

農業用水利施設小水力発電設備 計画設計技術マニュアル

平成7年12月

農林水産省構造改善局
建設部設計課・水利課

農業用水利施設小水力発電設備 計画設計技術マニュアル

は し が き

近年の土地改良事業は、農業の生産性の向上、農業構造の改善を促進し、併せて水田営農活性化対策、畑作の振興等のため、ポンプを利用する灌漑排水施設が増加し、土地改良施設の管理費に占める動力費の割合が増大してきており、施設の維持管理費の低減が要求されるようになって来ている。

一方、電力の供給は不安定な石油に頼っている部分が多く、オイルショックや地球環境保全のため、代替エネルギーの開発を核とした総合エネルギー対策が必要となってきた。

このような状況から、昭和58年度より、土地改良事業で造成される農業水利施設を利用した小水力発電設備の設置ができるよう制度改正が行われ、小水力発電が国のエネルギー政策に沿い、かつ農業生産費特に電力費の軽減に結び付くことから、今後農業水利施設に係わる包蔵水力の開発は大きく進展するものと予想される。このため、出力30～2000kw規模の設備を対象とした『鋼構造物計画設計指針（小水力発電設備編）』が昭和61年に作成されている。

しかしながら、農業用水の発電利用の特徴として、一般に低落差・小水量であり、期別の流量変動が大きく、農業利水が優先され、発電は従属となる形態が多い。したがって、発電規模が小さく、設備の利用度が低いため、経済的に問題となる地点が多い。また、管理面からは保守の簡易・容易性が要求される。このような事情から、小水力発電計画における機器の標準化・簡素化を推進し、建設コストの低廉化と管理コストの軽減化を目的として、昭和60年度から農林水産省の委託により、(社)農業土木機械化協会に小水力発電機器標準化技術検討委員会が設けられ、鋭意検討が進められている。

現在のところ、開発が予想される小水力発電設備の平均出力は300kw程度と推定され、また、経済性の点で問題となる出力規模は500kw未満の場合が多い。このため、委員会の検討の一環として、特に500kw未満の小水力発電機器の標準化・簡素化を実現し、開発可能地区の増加を図ることを目的として、計画設計を行う際の技術マニュアルが取りまとめられた。

本マニュアルの活用により、ローカルエネルギーとしての未開発水力の開発が広く展開され、ポンプ施設の維持管理費の低減と併せて農業の振興を期待してやまない。

最後に、本マニュアルの作成に御協力、御尽力いただいた委員並びに幹事各位に深甚の謝意を表する。

小水力発電機器標準化技術検討委員会

委員長 佐野文彦

第1章 総論

1. 1	マニュアルの目的	1
1. 2	適用範囲	1
1. 3	水力発電所建設に伴う許認可手続き	4
1. 4	環境影響調査審査等の手順	6
1. 5	小水力発電の設計業務フロー	8

第2章 農業用水利施設発電設備の計画

2. 1	農業用水利施設を利用した発電方式の計画概要	
2. 1. 1	発電方式	10
2. 1. 2	発電所の流量	11
2. 1. 3	発電所の落差	11
2. 2	発電計画の検討	
2. 2. 1	発電規模の決定	14
2. 2. 2	機器配置	29
2. 2. 3	作業結果のまとめ	31
2. 3	経済性の検討	
2. 3. 1	建設費	34
2. 3. 2	建設単価法による経済性の評価	35
2. 3. 3	発電原価	37

第3章 水圧管及び除塵設備

3. 1	水圧管路の概要	
3. 1. 1	水圧管の役割と形式	40
3. 1. 2	水圧管路施設と水圧管材料	41
3. 2	水圧管の計画	
3. 2. 1	管径の決定	50
3. 2. 2	管路損失水頭	52
3. 2. 3	許容最大水圧値の決定	52

3.3	除塵設備	
3.3.1	概要	55
3.3.2	除塵設備の設置基準	57
3.3.3	スクリーン	57
3.3.4	除塵機	59
3.3.5	搬送、貯留装置	63
3.3.6	操作方式	64
3.3.7	参考資料	64

第4章 水車

4.1	水車の概要	
4.1.1	水車の種類	67
4.1.2	水車の概要と特徴	67
4.1.3	水車の比速度	73
4.1.4	水車のキャビテーション	74
4.1.5	水車の回転速度と無拘束速度	79
4.1.6	振動・騒音	81
4.2	水車の効率と特性	
4.2.1	ペルトン水車	82
4.2.2	フランシス水車	83
4.2.3	クロスフロー水車	88
4.2.4	S形チューブラ水車	92
4.3	各種水車の標準化	
4.3.1	ペルトン水車発電装置（パッケージ形）	96
4.3.2	フランシス水車発電装置（パッケージ形）	111
4.3.3	クロスフロー水車発電装置（パッケージ形）	131
4.3.4	S型チューブラ水車発電装置	145
4.3.5	100kW 未満のクロスフロー水車発電装置（パッケージ形）	151
4.3.6	100kW 未満のチューブラ水車	164

第5章 水車補機

5.1	入口弁	
5.1.1	用途	188
5.1.2	入口弁の種類	188
5.1.3	入口弁の口径	189
5.1.4	操作・駆動方式	190
5.1.5	入口弁と水圧管の接続	190
5.1.6	付属品	190
5.1.7	概略寸法及び概略基礎荷重	190
5.2	調速機	
5.2.1	用途	193
5.2.2	調速機ブロック図	194
5.2.3	調速機の適用	194
5.2.4	電動サーボモータ	195
5.2.5	ダミーロード式調速機（ロードガバナ）	196
5.2.6	水位調整装置	196
5.3	流量測定装置	
5.3.1	用途	198
5.3.2	種類	198
5.3.3	超音波流量計	199
5.3.4	電磁流量計	202
5.4	排水装置	
5.4.1	用途	204
5.4.2	機器構成	204
5.4.3	設置上の留意点	204
5.4.4	排水ピットの容積	205
5.4.5	水中モーターポンプの選定	205
5.4.6	配管径の決め方	206

第6章 発電機

6.1	発電機容量選定	
6.1.1	発電機の種類と標準化容量	207

6. 1. 2	発電機の選定	210
6. 1. 3	増速機の選定	218
6. 2	発電機及び増速機の効率	
6. 2. 1	発電機の効率	219
6. 2. 2	増速機の効率	222
6. 3	構造及び励磁方式	
6. 3. 1	構造	223
6. 3. 2	励磁方式	227
6. 3. 3	誘導発電機の運転上の問題	229
6. 3. 4	S型チューブラ水車用発電機及び増速機の概略寸法及び概略重量	230

第7章 制御保護方式

7. 1	農業用水利施設を利用した小水力発電所の制御保護の標準方式	
7. 1. 1	発電所の基本条件	235
7. 1. 2	運転監視制御方式	237
7. 1. 3	機器の接続方式	239
7. 1. 4	主回路構成	239
7. 1. 5	保護方式	247
7. 1. 6	運転方式	252
7. 2	単独運転方式（100kW未満）の場合の制御保護の標準方式	
7. 2. 1	制御及び保護方式	253
7. 2. 2	単線接続図	255
7. 2. 3	負荷制御方式	257

第8章 配電盤及び開閉装置

8. 1	主配電盤	
8. 1. 1	盤の構成及び寸法	259
8. 1. 2	構成機器	264
8. 2	高低圧閉鎖配電盤	
8. 2. 1	盤の構成及び寸法	269

8. 2. 2	高低圧閉鎖配電盤の標準仕様	272
8. 2. 3	高低圧閉鎖配電盤の構成機器	272
8. 3	変圧器	
8. 3. 1	標準仕様	280
8. 3. 2	油入変圧器概略寸法及び概略重量	282
8. 4	屋外機器	
8. 4. 1	屋外機器の構成	283
8. 4. 2	構成機器の概要	283
8. 5	送電第1柱	
8. 5. 1	形式	287
8. 5. 2	取付機器	287
8. 5. 3	高圧引出線	287
8. 6	単独運動方式の場合（100kW未満の場合）	
8. 6. 1	配電盤及び開閉装置	288
8. 6. 2	警報装置（100kW未満の場合）	290
8. 6. 3	290直流電源装置	290

第9章 付帯設備

9. 1	クレーン設備	
9. 1. 1	クレーン設備の選定	291
9. 1. 2	外形寸法及び諸元	291
9. 2	遠方監視装置	
9. 2. 1	設備	294
9. 2. 2	自動通報装置	294
9. 3	火災報知器	
9. 3. 1	定格事項	296

第10章 試験及び検査

10. 1	工場試験および検査	
10. 1. 1	水車	297
10. 1. 2	補機	298
10. 1. 3	発電機	299
10. 1. 4	変圧器	299
10. 1. 5	配電盤及び開閉装置	300
10. 2	現場試験	
10. 2. 1	据付中のチェックポイント	301
10. 2. 2	据付完了後の試験	301

第11章 輸送及び現場工事

11. 1	施工計画	
11. 1. 1	概要	303
11. 1. 2	工事概要	303
11. 1. 3	工程表	303
11. 1. 4	工事組織	306
11. 1. 5	安全管理	307
11. 1. 6	労務計画	308
11. 1. 7	仮設計画	309
11. 1. 8	施工用機械使用計画	309
11. 1. 9	主要機器、資材搬入計画	309
11. 1. 10	施工方法	309
11. 2	輸送	310
11. 3	据付工事	
11. 3. 1	概要	311
11. 3. 2	パッケージ形水車発電設備(ペルトン、フランシス、クロスフロー)の据付項目	311
11. 3. 3	チューブラ水車発電設備の据付項目	312
11. 3. 4	据付方法	312

11. 4	施工管理	
11. 4. 1	工程管理	321
11. 4. 2	品質管理	322

第12章 資料

12. 1	資料1 例題	
	270kW 落差27.09m 流量1.55m ³ /S発電計画	
12. 1. 1	計画の概要	323
12. 1. 2	流量資料	323
12. 1. 3	発電規模の検討	323
12. 1. 4	発電原価の算定	333
12. 2	水圧管の計算事例	
12. 2. 1	ケーススタディ 1 水圧管が鋼管で埋設管の場合	340
12. 2. 2	ケーススタディ 2 水圧管がダクタイル管で露出管の場合	366
12. 2. 3	ケーススタディ 3 水圧管が強化プラスチック複合管で 地中埋設管の場合	376
12. 3	排水設備用水中モータポンプ（チューブラ水車用室内排水設備用）の選定	380
12. 4	力率改善用コンデンサ容量の計算	385
12. 5	しゃ断器短絡容量の計算	386
12. 6	直流電源装置の容量計算	389

参考文献

参考文献リスト	398
---------	-----

第1章 総論

1.1 マニュアルの目的

昭和58年度の調査による土地改良施設が保有する未開発水力は、一応の規模として開発が可能なものが全国で約530地点あり、一部は既に建設、運転が開始されている。

かんがい排水事業で設置した小水力発電設備は、昭和62年以来11カ所に至っている。各地区の概要を表1.1-1に示す。詳細は調査資料で示される。

最近はオイル価格の低迷で建設箇所は減少しているが、新規地点の他再検討を行うに価する経済地点もある。

現在、開発が予想される小水力発電設備の平均出力は300kW程度と推定される。また、経済性の点で実施することが困難となる出力は500kW未満の場合が多い。

こうした実態を踏まえ、昭和60年度～平成5年度にかけ小水力発電機器標準化技術検討委員会において、500kW未満の小水力発電機器の標準化、簡素化を推進し建設コストの低廉化を図ると共に、管理コストの低減をし開発可能地区増加を図ることを趣旨とした各種検討を行ってきた。

本マニュアルはこれらの成果である標準化仕様を主体にまとめ、国内のかんがい排水事業において実施される小水力発電施設を計画設計する担当者を対象として、計画設計業務の省力化、簡素化と業務内容の統一性を図りながら機器の仕様の検討概定ができることを目的として編集した。

なお、計画に当たっては鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編 昭和61年度）をあわせて参照するものとする。

1.2 適用範囲

- 1) 本マニュアルは土地改良事業で造成するダム、頭首工及び用水路に付属する落差工、急流工など、農業用水利施設に存在する位置エネルギーを活用する小水力発電設備についての概略設計及び基本設計に関する事項を示すものである。
- 2) 水力発電施設の計画・設計には地形、地質調査、気象、利水状況調査を初め、土木施設、建屋を含め広範囲な検討対象が必要であるが、計画・設計に当たっての基本事項は先行しているかんがい事業計画で概定されているとの前提に立って、本マニュアルでは、水車、除塵設備、水圧管、電気設備、試験、輸送、据付工事等の水力発電設備について詳細事項を示している等を対象としている。

表 1. 1 - 1 小水力発電施設実施地区一覧表

(平成 7 年 3 月現在)

地区名 (発電所名)	都道府県名	発電方式	有効落差 (m)	最大水量 (m ³ /s)	水車形式	最大出力 (kW)	年間発生電力量 (MWh)	水使用パターン	発電機形式	運転開始年月	管理主体
西目 (西目)	秋田	水路式	116	0.8	横軸 フランス	740	2,993	農業用水 従属式	三相同期	H元. 10	西目町
会津北部 (大平沼)	福島	ダム式	46	1.6	横軸 フランス	570	3,000	ダム 従属式	三相同期	H 4. 4	会津北部 土地改良区
那須野原 (那須野ヶ原)	栃木	水路式	28	1.6	横軸 フランス	340	2,098	農業用水 従属式	三相同期	H 4. 6	那須野原 土地改良区連合
加治川沿岸 (内の倉)	新潟	ダム式	71	5.0	立軸 フランス	2,900	11,084	ダム 従属式	三相同期	H 2. 4	加治川沿岸 土地改良区連合
庄川右岸 (安川)	富山	水路式	21	4.0	横軸 フランス	640	4,060	農業用水 従属式	三相同期	S 62. 12	庄川沿岸 土地改良区連合
愛本新 (愛本新)	富山	水路式	33	2.0	横軸 フランス	530	2,703	農業用水 従属式	三相同期	H元. 12	愛本新用水 土地改良区
上郷 (上郷)	石川	水路式	16	6.5	チューブラ	640	4,748	ダム 従属式	三相同期	H7. 4予定	宮竹用水 土地改良区
備北平野 (大佐ダム)	岡山	ダム式	25	2.6	横軸 フランス	510	2,005	ダム 従属式	三相同期	S 63. 3	備北 土地改良区
両筑平野 (両筑江川)	福岡	ダム式	69	2.0	横軸 フランス	1,110	2,846	ダム 従属式	三相誘導	H 2. 6	両筑 土地改良区
大野原 (大野原)	大分	ダム 水路式	117	0.3	横軸 ペルトン	260	424	農業用水 従属式	三相誘導	S 62. 6	大野町 土地改良区
十三塚原 (竹山ダム)	鹿児島	ダム式	46	0.6	クロスフロー	190	709	ダム 従属式	三相同期	S 63. 9	十三塚原 土地改良区

3) 標準化形式

形式機種は表1. 2-1のとおりである。

表1. 2-1 標準化小水力発電設備の水車形式

形 式	出 力 kW	有効落差 m	流 量 m ³ /s
ペルトン水車 (パッケージ形)	100~500	約65~約200	約 0.2~約0.5
フランスス水車(パッケージ形)	150~500	約13~約 85	約 0.4~約2.5
クロスフロー水車(パッケージ形)	100~500	約 5~約100	約 0.2~約 5
チューブラ水車	100~500	約 3~約 18	約 3 ~約15
クロスフロー水車(100kW未満) (パッケージ形)	20~100	約 5~約 60	約 0.2~約 2
チューブラ水車(100kW未満)	20~100	約 2~約 8	約 0.5~約 3

(1) パッケージ形水車発電機

ペルトン水車、フランスス水車、クロスフロー水車は、パッケージ形を採用し屋外形で主機建屋を省略し、機器例の一部として発電機または主機をカバーした構造とした。なお、ペルトン水車はデフレクターを省略し2ノズル方式を採用し、流量制御はニードルで電動方式としている

(2) S形チューブラ水車

低落差にはS形チューブラ水車を採用し機器は屋内型である、ランナベーンは主機停止時のみ開度調整可能とする。ガイドベーンは常時電動操作とする。

ただし100kW未満は定流量運転を想定してランナベーンは固定方式で立軸形の簡略構造を採用している。

(3) 発電機

a) 軸受は自冷式とし、給水装置は省略する。最大速度上昇率は無拘束速度を採用する。

従って発電機のフライホイール効果(GD²)は固有値を採用している。

b) 連続無拘束速度運転に耐える構造とする。

c) 発電機電圧は6.6kVと440Vを採用し、300kVA以上は変圧器を省略し、6.6kVとする。

(4) 100kW未満の水車発電機

主機制御、付帯設備共一層の簡素化をしている。

1. 3 水力発電所建設に伴う許認可手続き

水力発電所の建設を進める場合、計画作成から使用開始までに、関係者との協議、各種法令に基づく許可手続きが必要である。

まず最初に、土地改良区などの関係者に対する説明と同意の取得が必要であり、小水力発電を事業として取り込むために、農林水産省及び県関係者に対する事前説明のほか、法令に基づくものとして

- ・ 電気事業法に基づく工事計画の認可申請のための通産省に対する説明
- ・ 河川法に基づく水利使用等の許可申請のための建設省に対する説明
- ・ 発電した電気を電力会社に売電する場合の地元電力会社との協議も必要となる。

これらの一般的手順は、図1. 4-1 水力発電所建設に伴う許認可手続きのフローのとおりである。しかし、農業水利施設を利用する小水力発電は、事業用ではないので電源開発促進法に基づく手続き及び電気事業の許可手続きも不要である。

- 1) 電気事業法に基づく工事計画の認可申請は、自家用電気工作物の場合、出力100kW以上の水力発電所の設置工事等について、保安確保の観点から工事内容のチェックを受けるためのものであり、認可申請に要する書類として、工事計画書、工事計画書添付書類、工事工程表を所轄の通産局に提出しなければならない。(ただし、出力100kW未満の水力発電所工事については、工事計画の事前届出だけでよい。)
- 2) 河川法に基づく水利使用等の許可申請の内容は流水の占用（法第23条）、土地の占用（法第24条）、工作物の新築（法第26条）などである。発電計画の基本事項である取水量、河川維持流量、取水口・放水口の位置、特殊工作物等について、河川管理者の事前審査を受けておく必要がある。この水利使用許可は、他の法令に基づく許可の基本であり、発電計画に大きな影響を与えることになるので、申請に至るまでに河川管理者と十分協議を重ね、了解を得ておかなければならない。
- 3) 余剰電力として電力会社に売電する場合は、計画段階から早期に電力会社と協議し、発電計画、売買電の条件、送電方式等について、電力会社の合意を得る必要がある。
通常は、計画の基本的事項である最大出力、年間発電電力量、事業費、発電開始日等について仮契約を締結する。
電力会社との協議は、農林水産省構造改善局水利課長と電気事業連合会業務部長との間で締結された「農業基盤整備事業による小水力発電の取扱いに関する覚書」（昭和60年1月30日付）によって行うことになる。

計画地点選定から計画書作成まで | 計画作成から許可を得るまで | 工事着工から検査合格まで

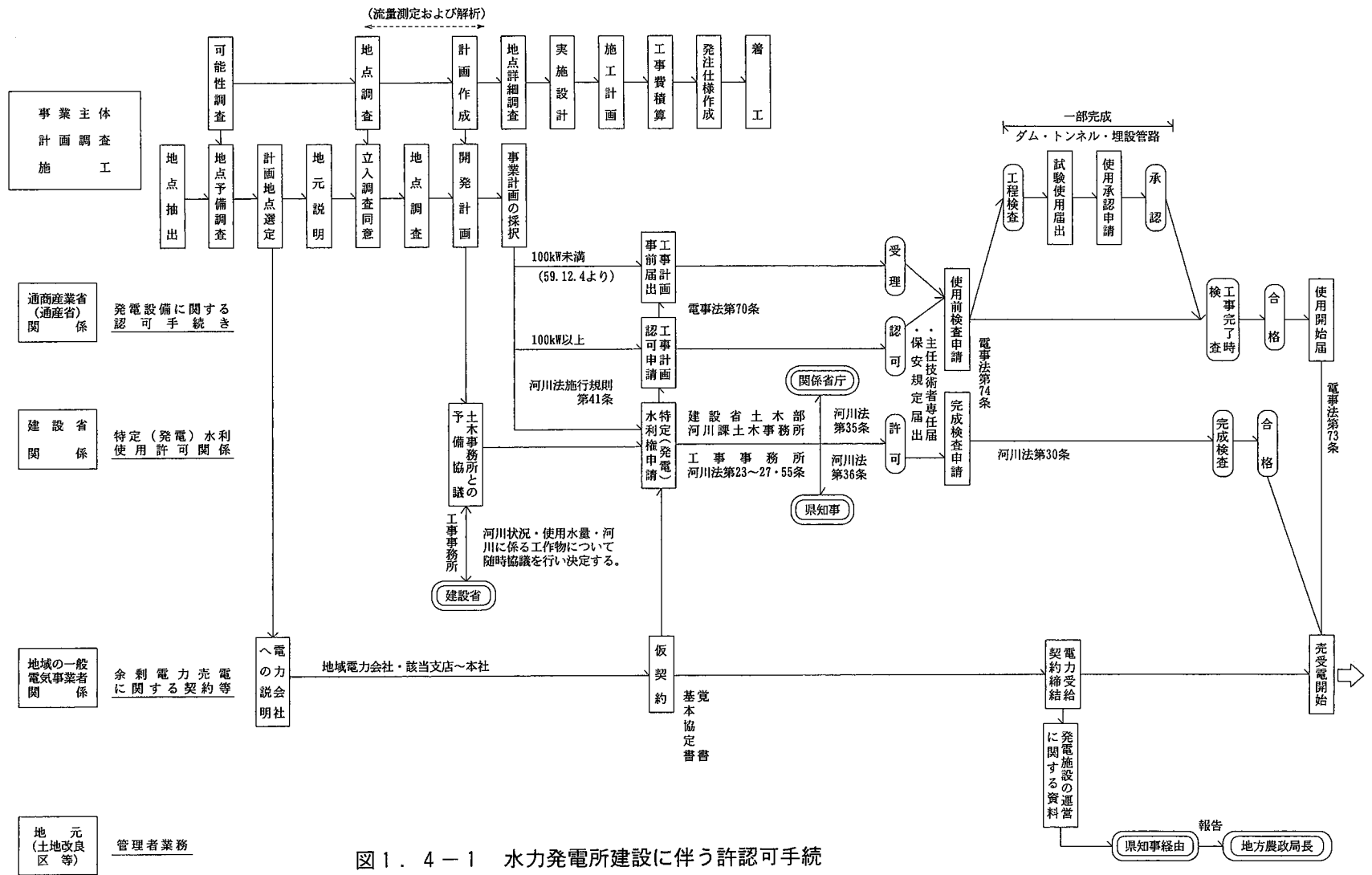


図 1. 4 - 1 水力発電所建設に伴う許認可手続

1. 4 環境影響調査審査等の手順

1) 自家用小水力発電所を設置する場合には、計画地点の選定及び計画概要がまとまった時点で環境影響調査に関する次の作業が必要である。

開発地点が国立公園、国定公園、自然環境保護区の特別地域にかかる場合を除いて環境審査の対象とはならない。しかし、環境審査の対象とならない開発地点でも環境調査をするよう指導がなされており、簡易な環境調査を必要とする。表1. 4-1に中小水力発電所に係わる環境影響調査の作成要領を示す。

表1. 4-1 中小水力発電所に係わる環境影響調査の作成要領

1) 環境審査の対象とならない水力発電所計画については、環境影響調査を実施し調査書を作成することとする。

*)環境審査の対象となる水力発電所は、出力30,000kW以上で環境保全上特に必要と認められるものであり、原則的には①揚水、ダム式一般水力など工事規模が大である場合、または②計画地点周辺区域の自然度が高く、周辺の自然環境の保全が必要と判断される場合（例えば、県立・国定・国立公園の特別地域内である場合）などが対象となる。

従って、①改造・増設・多目的ダムへの参加、水路式などで工事規模が比較的小さい場合②公園指定のない地域、公園指定がある場合でも比較的人為の影響を受けている地区などに立地する場合は環境審査対象外となる。

2) ただし、以下に示す場合には、環境保全上特に検討を要する項目（以下“特定項目”と称する）について、より詳細な調査検討を行い、その結果（影響の予測・評価を行うことが、適切な場合にはその内容を含め）を調査書に記載することとする。

(1) 自然公園区域内での計画

(2) 自然環境保全地域内での計画（項目に与える影響が大である場合）

(3) 鳥獣保護区内での計画

これらの場合には自然公園区域等の自然環境（自然景観・動植物）、レクリエーション施設などに対し特に注意を払うべきであり、これらの中から計画の実施により受ける影響が大であるものを特定項目とする。

(4) 文献資料や聞き取り調査により、工事区域の近傍及び減水区間となる場所に特記すべき自然景観・動植物・地形・地質・特異な自然現象が認

められた場合。

*)環境庁が実施した自然環境保全基礎調査報告書、都道府県でまとめた調査結果など（この場合には、それぞれ該当する項目が特定項目となる。）

(5) 貯水池の新設を行う場合。

この場合には、ダムの建設工事や湛水池の出現によって影響を受ける自然景観や動植物などの項目が特定項目となる。

(6) (5)の場合であって水の年間交換回数が30以下の場合、または10以下であって湛水池の集水域に集落や放牧池など富栄養化の原因物質の主要な発生源がある場合。

前段に該当する場合は水質のうち汚濁および富栄養化が、後段に該当する場合は富栄養化がそれぞれ特定項目となる。

(7) 水質汚濁に係わる環境基準を達していない場合、または減水区間となる所で環境基準を達成しなくなることが予想される場合。

これらの場合には基準値を超えている（あるいは超えることが予想される）環境基準項目が特定項目となる（生活環境の保全に関する代表的指標としてはBODがあげられる）。

なお、(6)、(7)の場合には貯水池または減水区間の集水域で計画されている水質汚濁負荷の増加を伴う開発計画も考慮し、調査検討を行うものとする。

(8) 分水計画や貯水池の新設などにより下流での水温変化が予想される場合

（この場合の特定項目は水質のうちの水温である。）

3) なお、増設計画や改造計画の場合や既設のダムや水路を利用する場合などで開発行爲の規模が小さいものについては、その計画内容に応じ一部を省略することができる。

1.5 小水力発電の設計業務フロー

図1.5-2に小水力発電の基本設計業務のフローを示す。

全国土地改良事業団体連合会の小水力発電委員会の指導を受け検討した概略設計の結果及び流量・水位の資料を基に、年間発生電力量の増加など経済性を考慮した検討を行う。

経済性は、最終的には発電原価で評価することになるので、評価すべき主要な項目を下記に示す。

- ・発電所の位置
- ・導水路の形式、種別、ルート
- ・最大有効落差
- ・最大使用水量
- ・水車の種類
- ・発電機形式、種別

通常、評価項目が流量、落差、導水路長が変数の時は図のような建設単価曲線を作成し、その反曲点付近を最終案とする。(図1.5-1参照)

小水力発電設備の計画に当たっては基本条件の整理を行った上で、図1.5-2で示す小水力発電の基本設計業務のフローに基づき検討を行う。

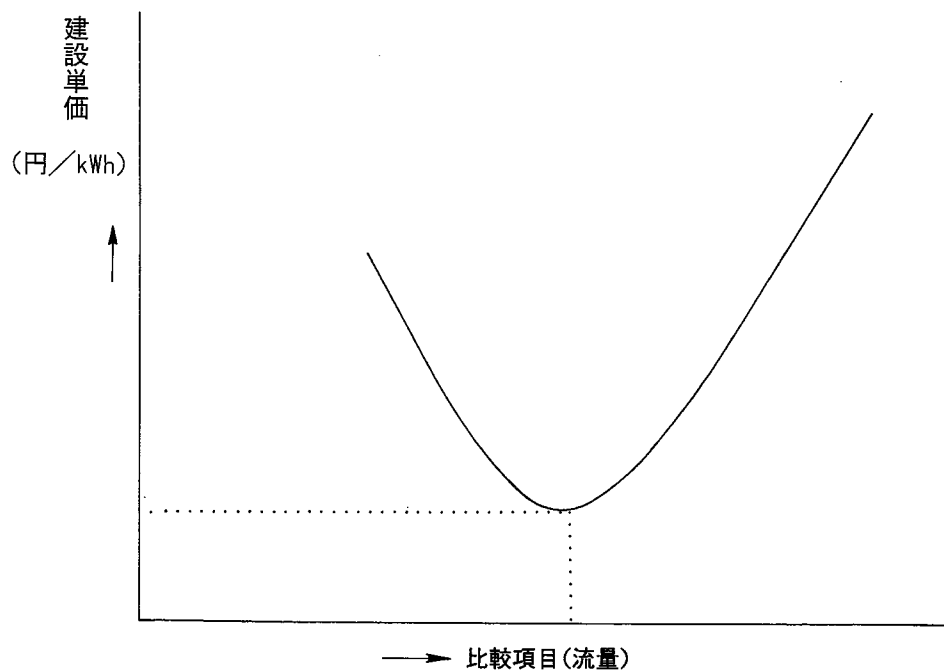
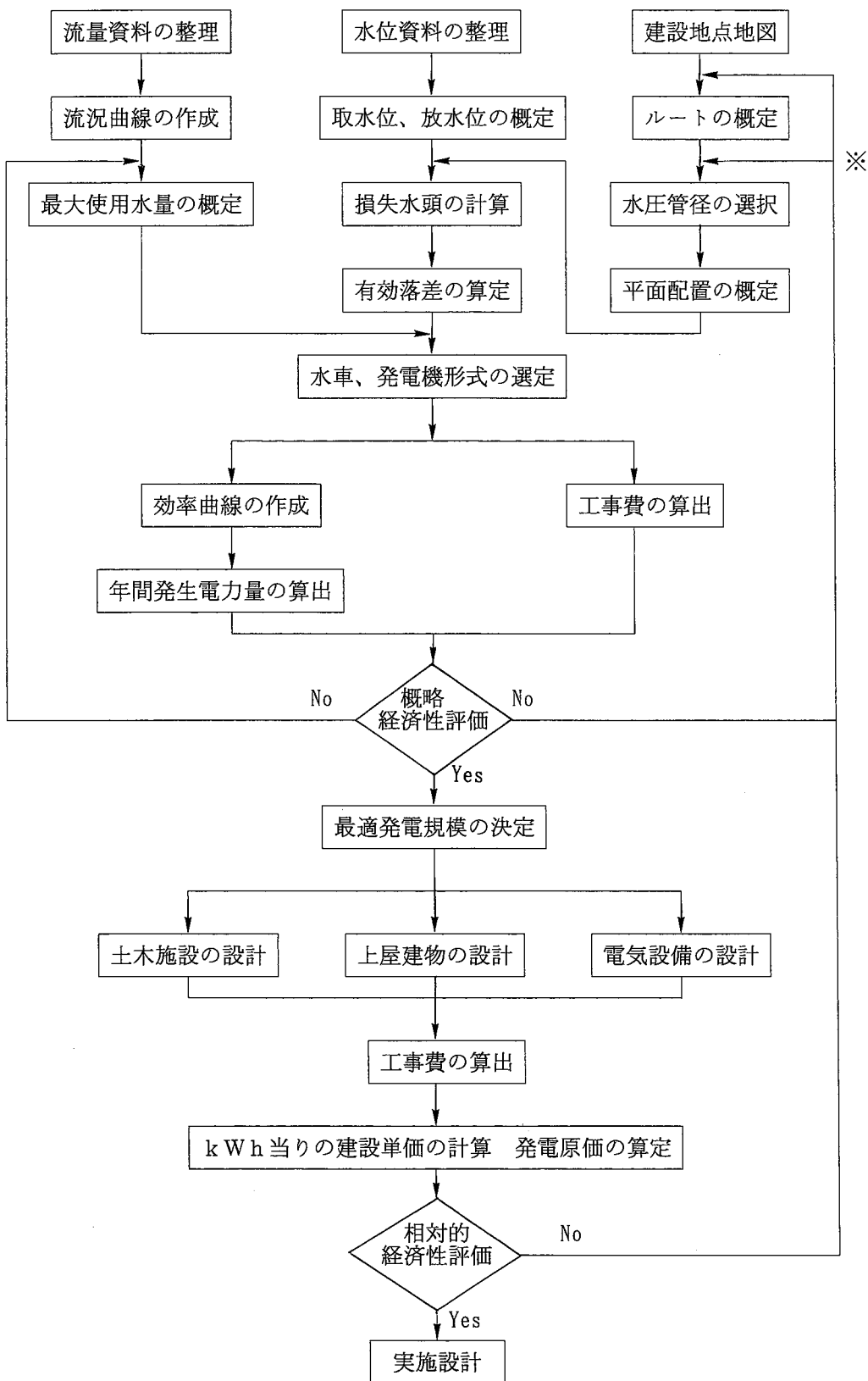


図1.5-1 建設単価曲線



(注) 流量・水位・建設地点等の詳細は12章参照

※ 土木費含みの検討の場合

図1.5-2 小水力発電の基本設計及び概略設計業務のフロー

第2章 農業水利施設発電設備の計画

2.1 農業水利施設を利用した発電方式の計画概要

2.1.1 発電方式

農業水利施設を利用した発電所と一般の発電所を比較すると、発電設備の目的は共通しているが、本質的に異なるのは、農業水利施設の主目的は高低差の異なる広範囲な田畑へのかんがいであり、且つ末端は必ず圃場につながっている点である。それ故、農業水利施設を利用して発電する場合、施設の規模によって、また、農業用水の運用によって発電が制限される場合が多く、農業用水に付属した発電計画になることが多い。年間の発電用水の変動を少なくし、且つ農業用水以外の用水も可能な限り発電用水に加えることにより、年間発生電力量を増大させることが発電計画の経済性向上のため重要である。このためには、かんがい期、非かんがい期の水利用を十分調査する必要がある。

計画書の作成にあたって最も重要な項目は最大使用水量である。これは

- ・ 水利権流量
- ・ 水利権流量から途中の受益地への農業用水量を差し引いた流量
- ・ 農業用水量に有効雨量を考慮した流量

から経済性を考慮して決められる。

計画書にはその他に、発電所周辺の概要を含む各地区の特徴を記載する。一例として頭首工による取水から放水口までの落差を利用して発電する流れ込み式発電所周辺の概要例を図2.1-1に示す。

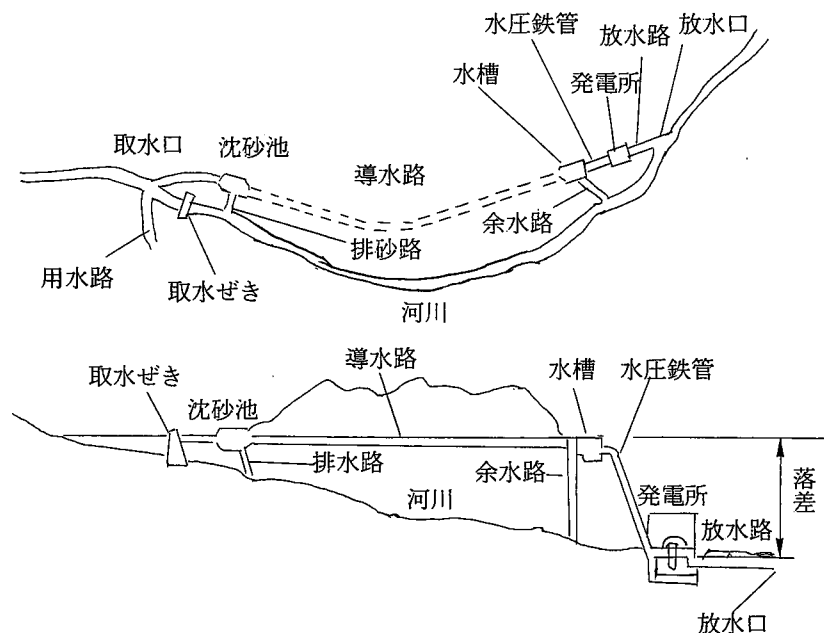


図2.1-1 発電所周辺の概要

2. 1. 2 発電所の流量

発電の対象となる農業用水利施設は、ダム、落差工・急流工、開水路、パイプラインなど種々あり、発電に利用される用水の種類も異なるが、その代表的な例を次に示す。

1) 農業用水のみを利用する場合

図2. 1-2に示すように農業用水のみを発電に利用する場合は、通常かんがい期の流量に比べ非かんがい期の流量が極端に少ないため、あるいは水利権がないため、非かんがい期の発電は不可能になることがある。

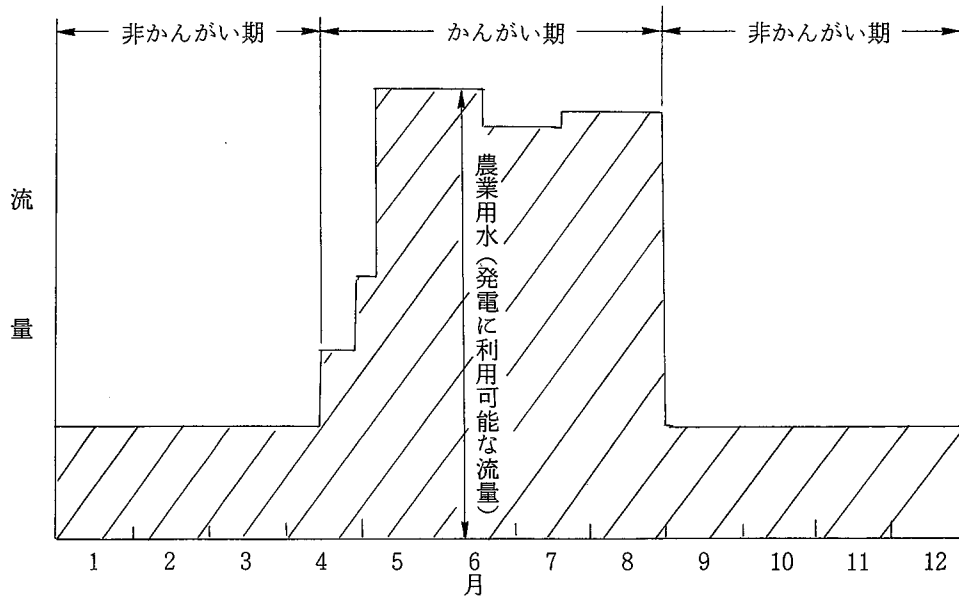


図2. 1-2 農業用水のみを利用する例

2) 農業用水、及び河川維持用水を発電に利用する場合

図2. 1-3及び図2. 1-7及び図2. 1-8に示すように、ダムからの放流水を発電に利用する場合は、農業用水の他に河川維持用水などの責任放流水などを発電のために利用することが可能となる。

3) 農業用水及び余剰水を利用する場合

図2. 1-4、図2. 1-5及び図2. 1-6に示すように、頭首工(取水せき)から取水する場合は、非かんがい期には農業用水に加えて責任放流水を除いた余剰水を発電に利用することができる。

2. 1. 3 発電所の落差

1) 流れ込み式の発電方式

図2. 1-5及び図2. 1-6に示すような農業用水利施設を利用した発電の場合は、水路は田畑への農業用水の供給を主目的として計画されるため、一般の発電所に比べて導水路の長さが長くなり、総落差に対する損失水頭の割合が大きくなる傾向がある。

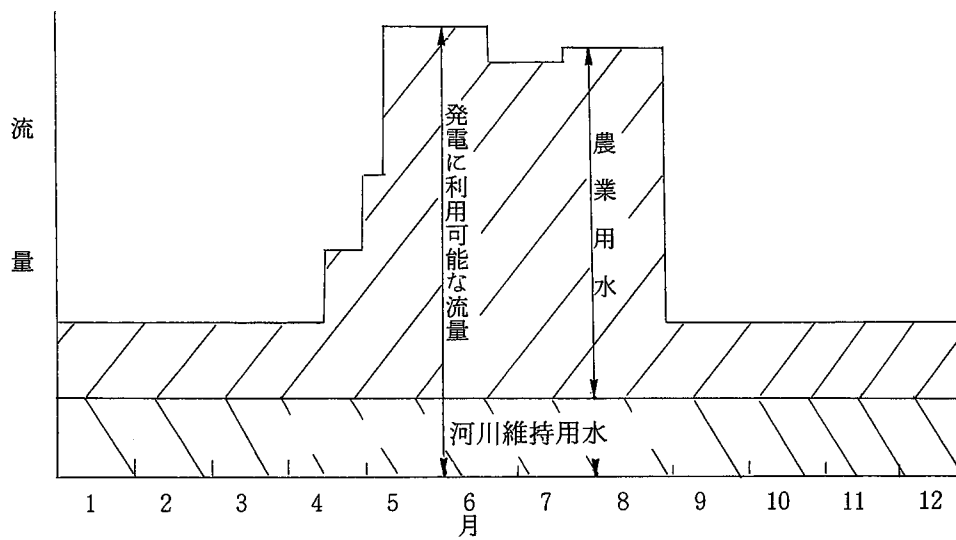


図 2. 1-3 農業用水、及び河川維持用水を利用する例
(ダム式発電所の例)

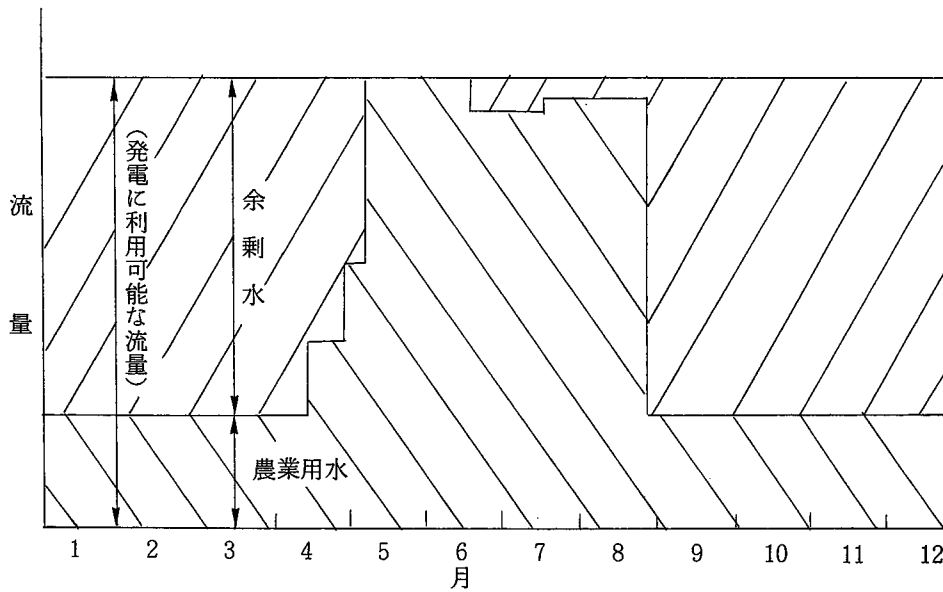


図 2. 1-4 農業用水及び余剰水を利用する例

導水路が開水路の場合は、流量の変化による有効落差の変化は少ないが、長い圧力水路により導水される発電所の場合(図 2. 1-6 参照)は、流量によって損失水頭が大幅に変わるため、小流量時の有効落差が最大出力時の有効落差より大幅に高くなり、水車のキャビテーションの発生、低比速度フランシス水車、クロスフロー水車の無拘束速度の増大などの問題があるので注意を要する。

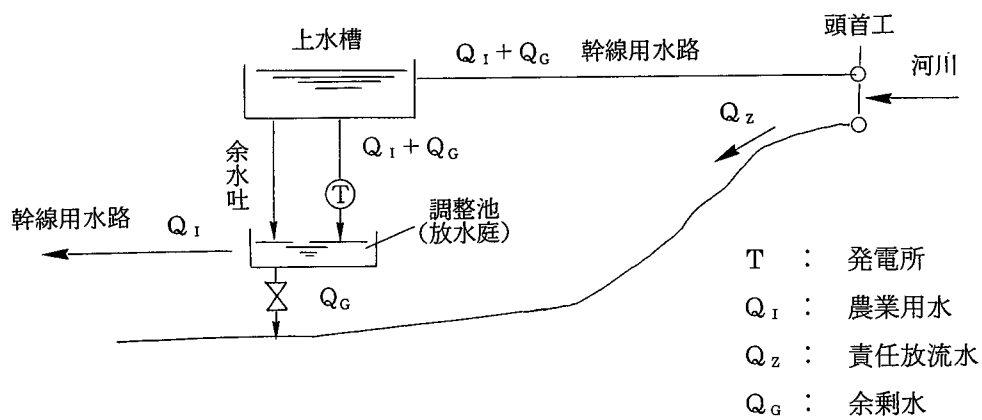


図 2. 1 - 5 落差工、急流工を利用した発電

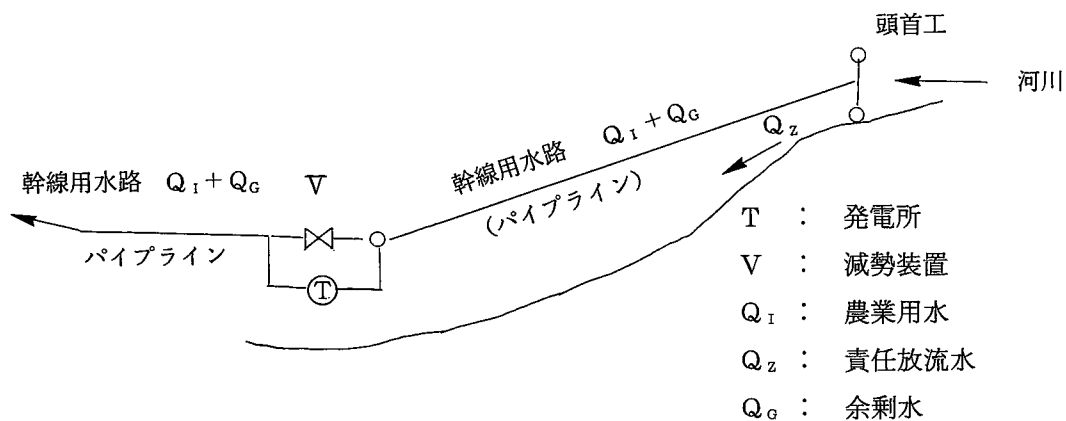


図 2. 1 - 6 圧力水路を利用した発電

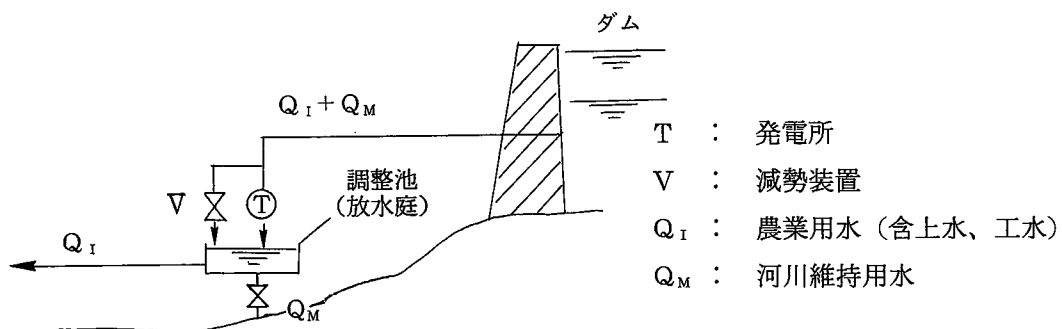


図 2. 1 - 7 ダムを利用した発電(1)

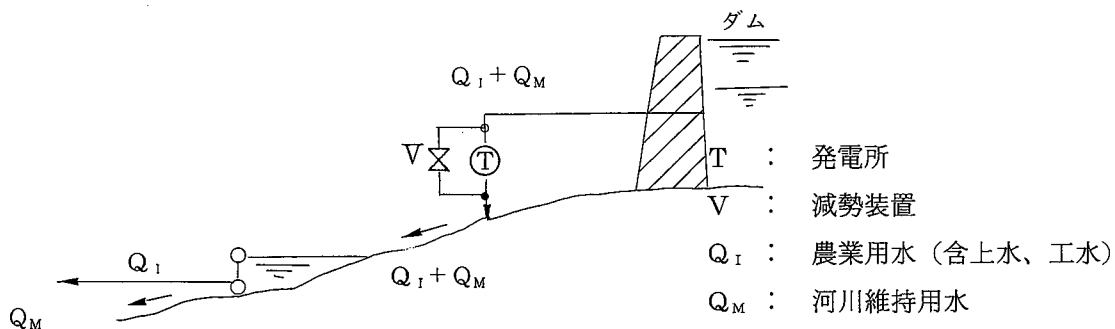


図2. 1-8 ダムを利用した発電(2)

2) 農業用ダムを利用した発電方式

図2. 1-7及び図2. 1-8のように、農業用水、河川維持放流水の他に、水位維持放流水を放流するための利水放流管から分岐して発電する場合には、水車で最大使用流量を放流し、残りを減勢装置で放流することがある。この場合、有効落差が減少し、出力が低下するので発生電力量の計算にあたっては注意を要する。

2. 2 発電計画の検討

2. 2. 1 発電規模の決定

最適発電規模は、第1章に示される「計画の手順」に従って概定する。まず最大使用水量、水圧管管径、有効落差、水車形式をいろいろ変えたケースを組合せて、数通りの発電施設の比較すなわちケーススタディの対象となる諸元の組合せにまとめ、各ケースについて水車の比速度、水車の性能、発電機の形式と定格事項を概定して発電に利用可能な水運用データに基づいて年間発生可能発電電力量(kWh)を算出する。これとは別に土木・建築・電気工事に分けて積算を行った建設費(円)をもとに、kWh当たり建設単価(円/kWh)を算出する。

この算出結果を最大使用水量の組合せと各々に対応するkWh当たり建設単価を図に表示する。(図2. 2-1)

通常kWh当たり建設単価が最小となる最大使用水量の発電規模とするが、売電収入の拡大を図るために採算のとれる限界コスト(売電料金)までの最大使用水量に対応する発電規模とすることがある。最終的にはそれによる建設費の負担の増加分、地域内の需要電力量とのバランスを配慮して決定する必要がある。

具体的手法については、以下詳細に記載する。

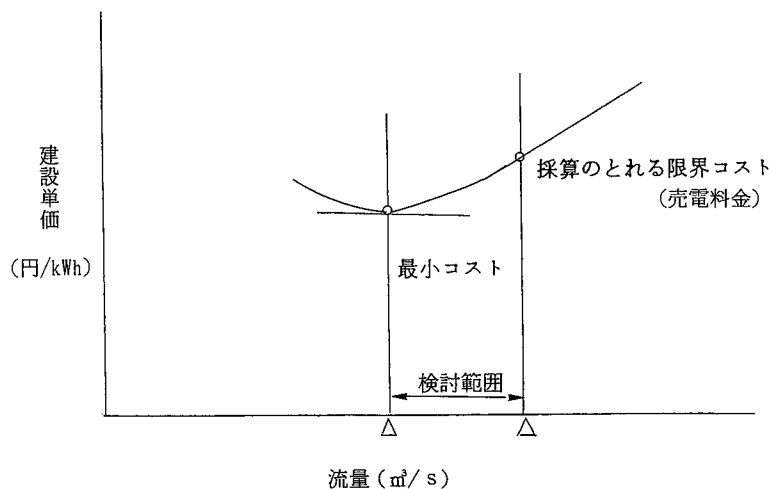


図 2. 2-1 最適発電規模

1) 最大使用水量の設定

- (1) 計画地点における農業用水運用パターンに基づき 3 通り以上の流量 (Q_1 、 Q_2 、 Q_3) を任意に設定する。図 2. 2-2 はその例を示す。

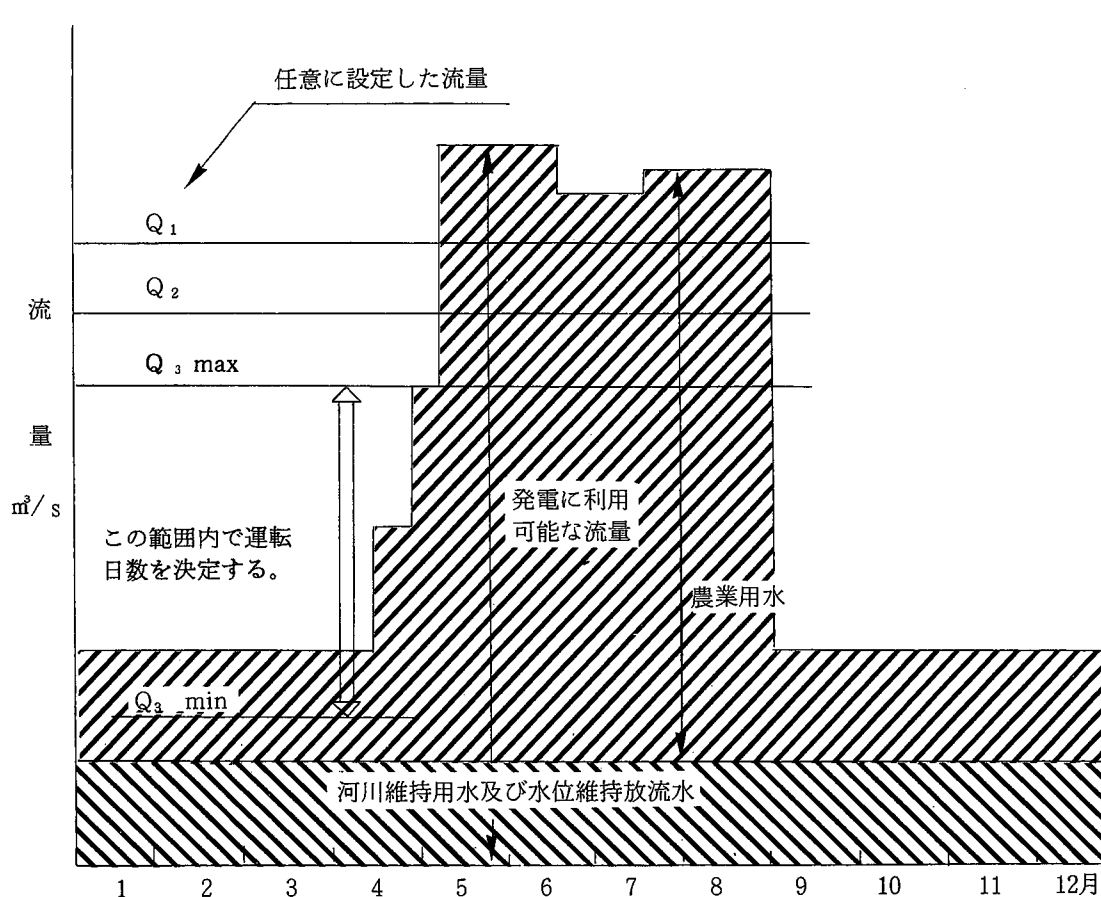


図 2. 2-2 水運用パターン

- (2) 図 2. 2-2 において、発電に利用可能な流量の最大値 Q_{max} を Q_3 にとれば、それに対する最小値 Q_{3min} の割合、即ちかんがい期の流量に対する非かんがい期の流量の割合が比較的大きい場合は、部分流量領域における発電効果が期待される。従って、流量の設定

を行う際には、設定流量の30%の流量を発電運転可能最小流量と仮定し^(注1)、これを考慮することも必要である。

注1) 変流量特性は水車形式によって異なるが、ここでは便宜的に、フランス水車を例に30%とする。ペルトン水車、クロスフロー水車、チューブラ水車については、この値と異なるので第4章水車を参照のこと。

(3) 後の手順によって2種類以上の水車形式が選定された場合は、それぞれの水車形式で3通り以上の流量を設定する。

また、添付の参考資料に準じた最適規模の検討において、さらに流量の設定数を増す必要がある場合は、これを補足する。

2) 水圧管管径の概定

- (1) 最適規模の検討には、水圧管管径を比較要素の1つとして加える必要がある。このため、1) 項で設定した各流量に対し、表2. 2-1を目安に、3通り以上の水圧管管径を設定する。

表2. 2-1 水圧管内平均流速の目安

総落差 (m)	管内平均流速 (m/s)
2以上～7未満	1以下
7以上～15未満	1.5以下
15以上～30未満	2以下
30以上～100未満	3以下
100以上～200未満	4以下

- (2) 水圧管管径は、後の手順から選定されている水車形式に対して、おのおの3通り以上設定する。また、最適規模の検討において、水圧管管径の設定をさらに増す必要がある場合には、これを補足する。

3) 有効落差の概定

- (1) かんがい排水事業の計画業務で概定・策定されている水位条件、導水路・水圧管路・放水路布設計画等と、1) 及び2) 項で設定した流量と水圧管管径の組合せを条件に本項(3)に示す各水車形式の有効落差算出式より有効落差を算出する^(注2)。

注2) 有効落差を計算する段階では、ケーススタディの対象となる水車形式が選定されていない。

従って、有効落差は原則としてすべての水車形式について算出する。但し、総落差が、図2. 2-8又は9に示す各水車形式のいずれかの有効落差の範囲から外れかつ水車枠番から外れる場合は、その水車形式は、ケーススタディの対象外となり各水車形式の有効落差算定作業から除外される。

- (2) 総落差が上水位、放水位等の変化により20%以上変動する場合は、図2. 2-3に示すように、上水位、放水位ともに変動幅の上位1/3の水位をもって有効落差を計算する。

また、変動幅が20%以内の場合には、最高落差をもって有効落差を計算する^(注3)。

注3) 変落差特性を考慮した水車性能、発電電力量の検討は複雑である。概略設計の趣旨から、ここでは代

表する1つの総落差を定め、作業の単純化を図る。水車形式毎の変落差作成の概要は第4章を参照のこと。

(3) 各水車形式の有効落差算出式

a. 横軸ペルトン水車

総落差、損失水頭、有効落差などの関係は図2. 2-4に示すとおりである。

$$H = H_G - hl_1 - hl_2 - h_1 \quad \dots\dots\dots (2. 2-1)$$

ここで、H : 有効落差 (m)

H_G : 総落差 (m)

hl_1 : 取水口と水槽間の損失水頭 (m)、本項(4)aによる。

hl_2 : 上水槽と水車入口間の損失水頭 (m)、本項(4)bによる。

h_1 : ジェット中心線とランナピッチサークルの交点と、放水口水位との高低差 (m)。但し、二射式の場合は、それぞれのジェット中心線がランナピッチサークルに接する点の平均高さ、放水口水位との高さとの高低差 (m) とする。ここでは2mと仮定する。

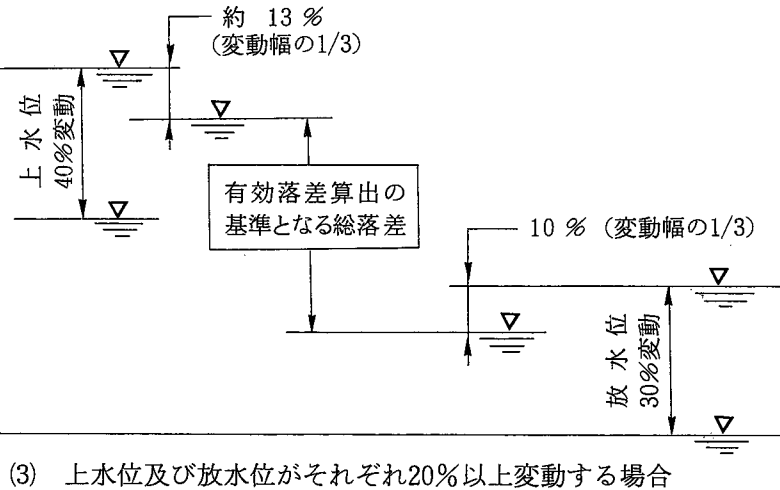
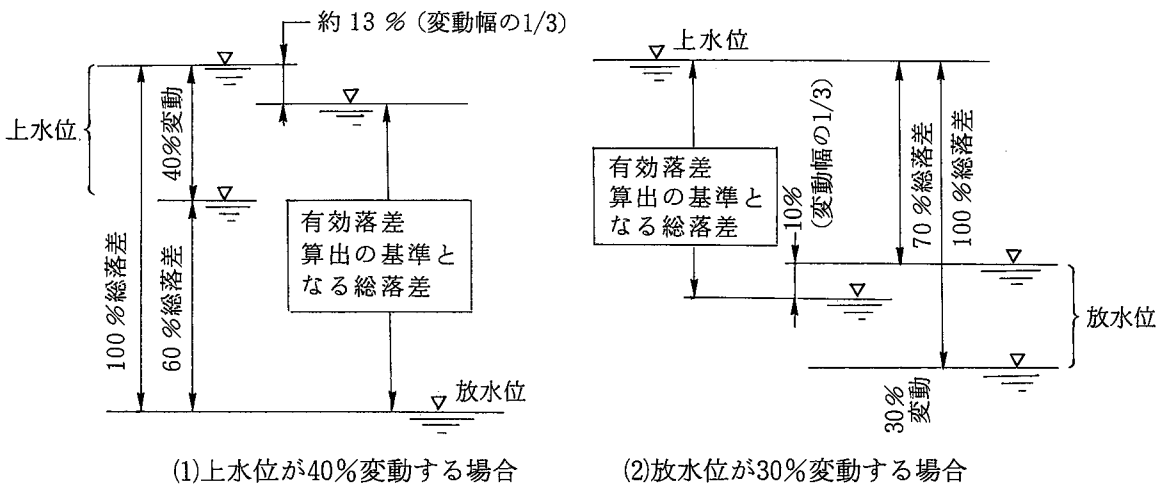


図2. 2-3 水位変動により総落差が20%以上変動する場合の有効落差算定上の基準となる総落差

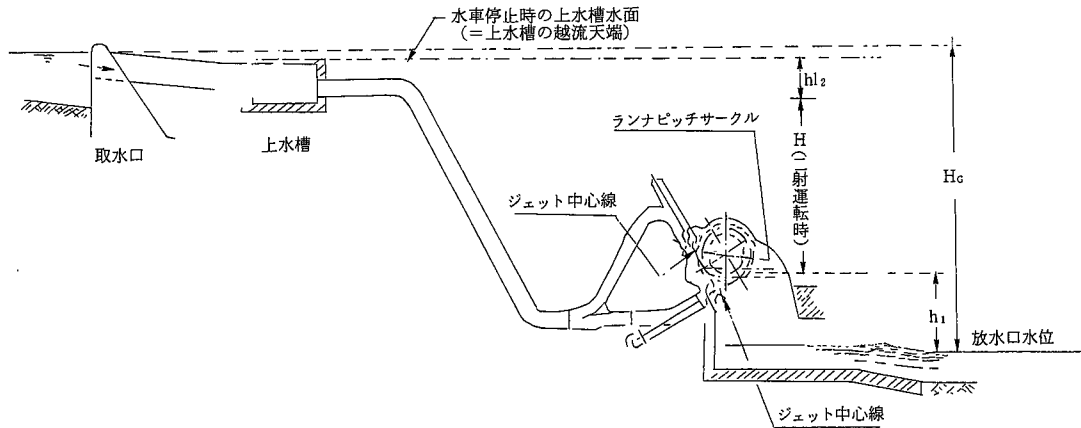


図 2. 2-4 総落差、有効落差の関係（横軸ペルトン水車）

b. 横軸フランシス水車

総落差、損失水頭、有効落差などの関係は、図 2. 2-5 に示すとおりである。

$$H = H_G - h_{l1} - h_{l2} - v_2^2 / 2g - h_3 \quad \dots\dots\dots (2. 2-2)$$

ここで、H : 有効落差 (m)

H_G : 総落差 (m)

h_{l1} : 取水口と水槽間の損失水頭 (m)、本項(4)aによる。

h_{l2} : 上水槽と水車入口間の損失水頭 (m)、本項(4)bによる。

v_2 : 吸出し管出口における流速 (m/s)、ここでの計算では、考慮しないものとする。

h_3 : 吸出し管出口水位と放水口水位との高低差 (m)

g : 重力の加速度 $9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$

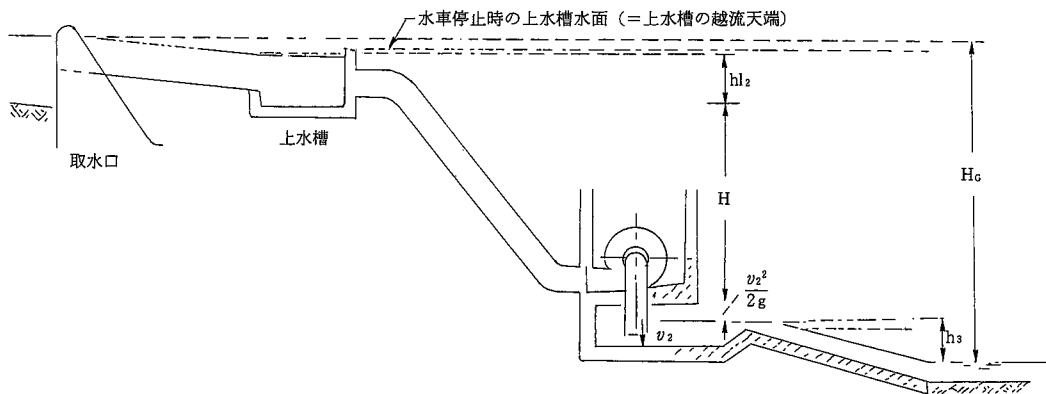


図 2. 2-5 総落差、有効落差の関係（横軸フランシス水車）

c. クロスフロー水車

総落差、損失水頭、有効落差などの関係は図2. 2-6に示す通りである。

$$H = H_G - hl_2 - h_2 + h_d \quad \dots\dots\dots (2. 2-3)$$

ここで、H : 有効落差 (m)

H_G : 総落差 (m)

hl_2 : ダムと水車入口間の損失水頭 (m)、本項(4)bによる。

h_2 : ランナ中心と放水口水位の高低差 (m)、1.5~2 m程度とする。

h_d : ドラフトチューブ効果 (考慮しない場合もある。)

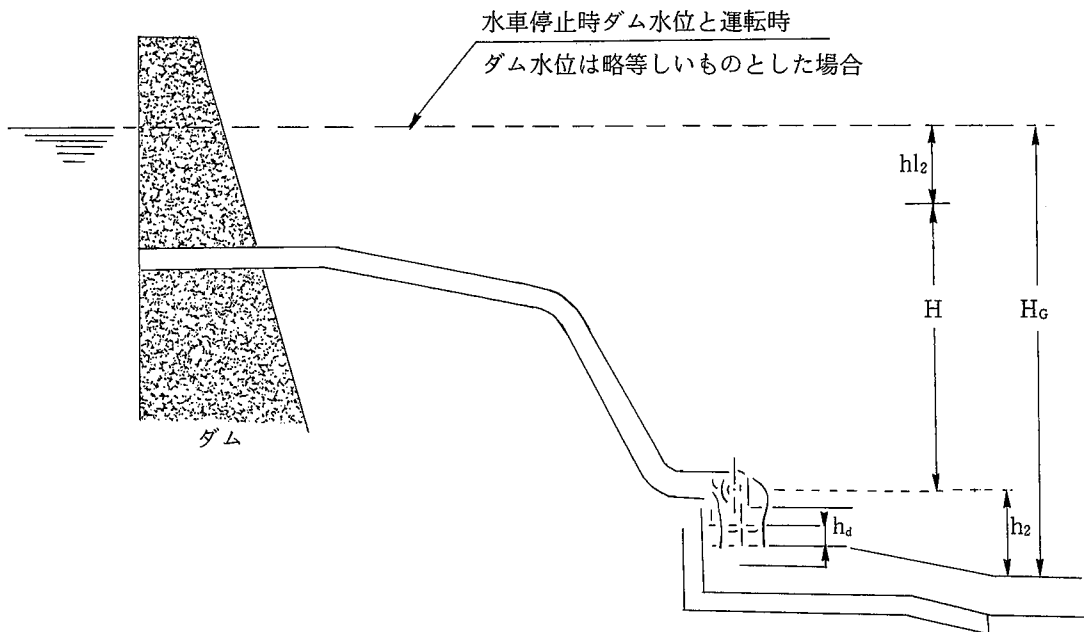


図2. 2-6 総落差、有効落差の関係 (クロスフロー水車)

d. S形チューブラ水車

総落差、損失水頭、有効落差などの関係は、図2. 2-7に示す通りである。

流れ込み式の場合

$$H = H_G - hl_1 - hl_2 - v_2^2 / 2g - h_3 \quad \dots\dots\dots (2. 2-4)$$

ダム式の場合

$$H = H_G - hl_1 - v_2^2 / 2g - h_3 \quad \dots\dots\dots (2. 2-5)$$

ここで、H : 有効落差 (m)

H_G : 総落差 (m)

hl_1 : 取水口と上水槽間の損失水頭 (m)、本項(4)aによる。

hl_2 : 上水槽と水車入口間の損失水頭 (m)、本項(4)bによる。

v_2 : 吸出し管出口における流速 (m/s)、ここでの計算では、考慮しないものとする。

h_3 : 吸出し管出口水位と放水口水位との高低差 (m)

g : 重力の加速度9.8 (m/s²)

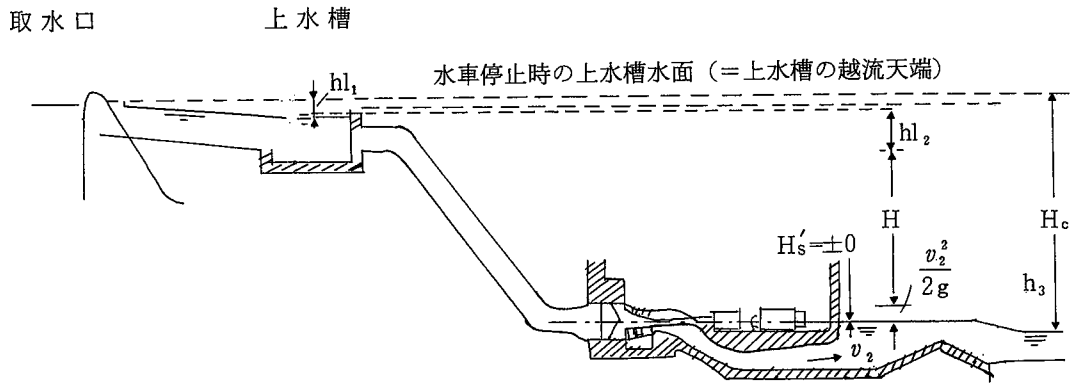


図 2. 2-7 総落差、有効落差の関係 (S形チューブラ水車)

(4) 損失水頭

a. 取水口と水槽間の損失水頭

導水路の損失水頭は、次式によって求められる。

ここに $h\ell$: 導水路の損失水頭 (m)

$$h\ell = L_c \cdot i$$

L_c : 導水路延長 (m)

i : 水路勾配、流れ込み式では $i = L/1000$

また、取水口、沈砂池、水路流入口、流出口等の合計損失は、0.5mと見込む。

従って、取水口と水槽間の損失水頭 ($h\ell_1$) は

$$h\ell_1 = 0.5 + L/1000 \quad \dots\dots\dots (2. 2-6)$$

b. ダム又は上水槽と水車間の損失水頭

損失水頭は、摩擦損失水頭、曲がり損失水頭、漸縮損失水頭、入口弁損失水頭等があるが、ここでは摩擦損失水頭をそれらの代表として扱い、全損失水頭を次式で求める。

$$h\ell_2 = k \frac{f}{D} \cdot L_p \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2. 2-7)$$

ここに $h\ell_2$: ダム又は上水槽と水車間の損失水頭 (m)

f : 円形断面管路流れの摩擦損失係数

D : 水圧管の内直径 (m)

L_p : 水圧管長さ (m)

v : 水圧管管内平均流速 (m/s)

k : 摩擦損失水頭以外の損失水頭を考慮した補正係数 ($k = 1.3$)

$$f = \frac{133.7}{C^{1.85} \cdot D^{0.167} \cdot V^{0.148}} \quad (\text{ヘーゼン・ウィリアムス公式})$$

C : 流速係数 (表 2. 2 - 2 参照)

あるいは

$$f = \frac{124.5 n^2}{D^{1/3}} \quad (\text{マニング公式})$$

n : 管の粗度係数

(鋼管、強化プラスチック (複合) 管 : n=0.012、ダクタイル鋳鉄管 :

n = 0.013)

の何れか大きい方を用いる。

詳細な損失水頭の計算は第12章12. 1 資料 1 例題参照のこと。

表 2. 2 - 2 流速係数 C の値

管の (内面の状態)	流 速 係 数 (C)		
	最 大 値	最 小 値	標 準 値
鋳鉄鋼 (塗装なし)	150	80	100
鋼管 (塗装なし)	150	90	100
コールタール塗装管 (鋳鉄)	145	80	100
タールエポキシ塗装管 (鋼) ⁽¹⁾			
φ 800以上	—	—	130
φ 700~600	—	—	120
φ 500~350	—	—	110
φ 300以下	—	—	100
モルタルライニング管 (鋼、鋳鉄)	150	120	130
遠心力鉄筋コンクリート管	140	120	130
プレストレスコンクリート管	140	120	130
硬質塩化ビニル管 ⁽²⁾	160	140	150
硬質ポリエチレン管 ⁽²⁾	170	130	150
強化プラスチック複合管 ⁽²⁾	160	—	150

(注) (1) 塗装方法はJWWA-115-1974に準拠するものとし、塗装厚は0.5mm以上が望ましい。

また、呼び径800未満のタールエポキシ塗装鋼管については、現場溶接部の内面塗装を行わない場合には本表の値を適応する。ただし、現場溶接部の内面塗装を十分な管理の下で行う場合 C=130を適応することができる。

(2) 呼び径150以下の管路では C=140を標準とする。

4) 水車形式の選定と定格事項の概定

- (1) 1) 項で設定した流量及び3) 項で算出した有効落差の組合せを図2. 2-8を参考に
してまず水車の形式を選定し、4. 3「各種水車の標準化」の中の選定図にしたがって
ケーススタディの対象となる水車枠番を選定する。同時に、水車出力の概略値を読み取る。
選ばれた水車枠番から水車回転速度、水車ランナの代表寸法が決まる。選定された水車形
式及び2) 項で設定した水圧管管径を含めて、ケーススタディを構成する個々のケースを
表2. 2-3のような各組合せ（流量、水圧管管径、有効落差及び水車形式の一連の組合
せ—以下、「おのおののケース」という—）に分類・整理する。
- (2) 水車形式は、流量と有効落差の組合せによって1つの形式が選定される場合と、2つ以
上の形式が選定される場合がある。
何れの場合も、選択された水車形式に対して3通り以上の流量それぞれについて3通り
以上の水圧管管径を設定する。
- (3) 上の作業で選定された諸元の中、有効落差、流量、水車出力、回転速度が各ケースの水
車定格として概定される^(注1)。

注1) ただし、ここでの水車定格出力は仮の値で、後の手順で概定される値に置き換えられる。

表2. 2-3 ケーススタディの対象となる諸元の組合せ

流 量 (m^3/s)	水圧管管径 (mm)	有 効 落 差 (m)					
		ペルトン 水 車	フランシス 水 車	クロスロー 水 車	チューブラ 水 車	100kW 未満	
						クロスロー水車	チューブラ水車

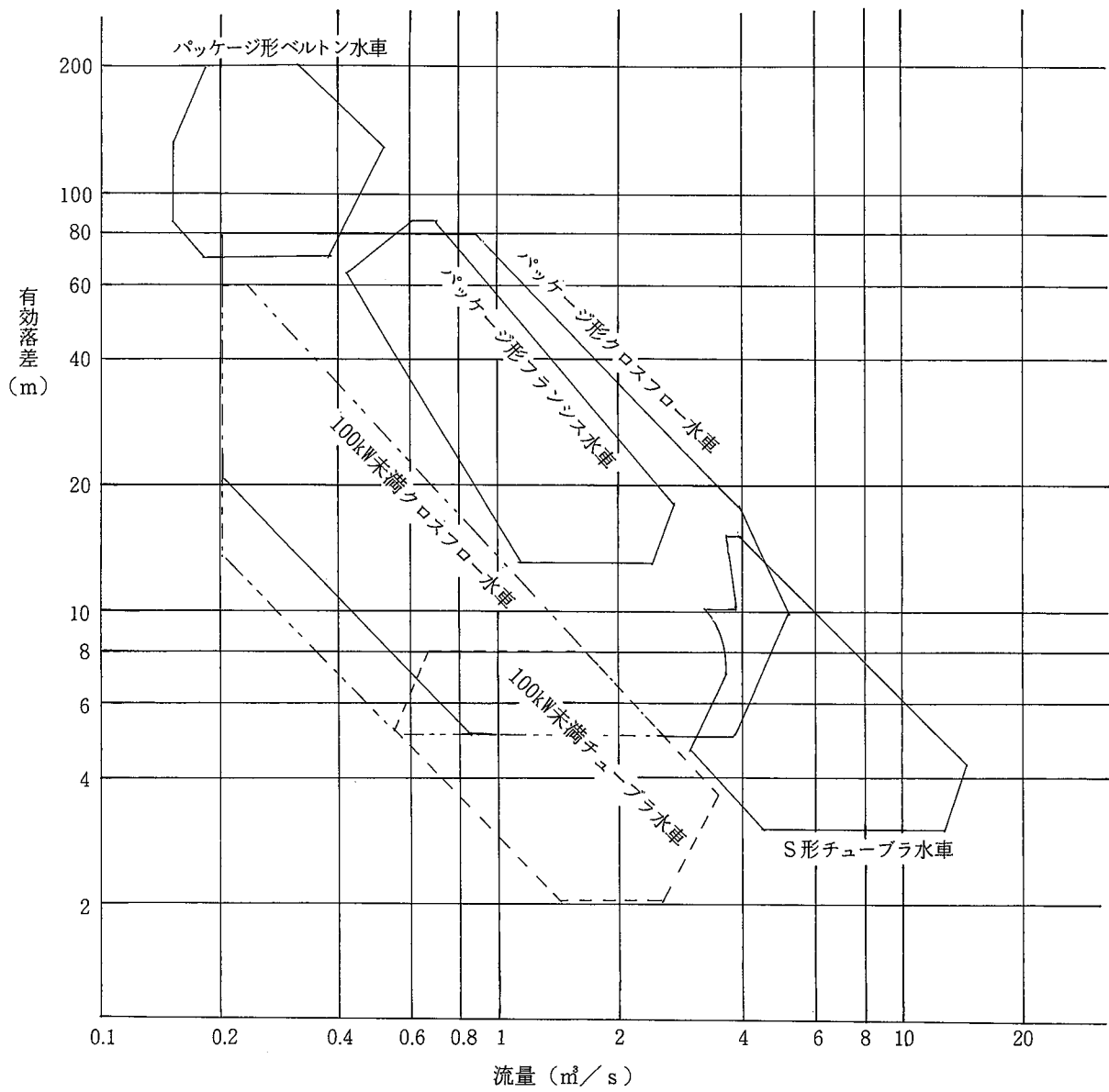


図 2. 2 - 8 水車選定図

5) 比速度の概定

比速度を概定する目的は、6) 項で行う水車性能の算定のための基準として第4章でいくつかの比速度をパラメータとして定めているためである。

各ケースの比速度は、次式により求める。

$$n_s = n \cdot P_T^{0.5} / H^{1.25} \dots\dots\dots (2. 2 - 8)$$

ここに、 n_s : 比速度 (m-kW)

n : 水車回転速度 (r/min)

P_T : 水車出力 (kW) (ペルトン水車の場合1ノズル当たりの出力)

H : 有効落差 (m)

表2. 2-4 水車性能曲線作成に関連する諸元表

流量比 %	100%	80%	60%	40%	最高効率時
流量 m ³ /s					
水車相対効率 %					100
水車効率 %					
有効落差 m					
水車出力 kW					
水車出力比 %					

6) 水車性能の概定

- (1) 第4章に掲載してある各水車形式別の水車特性曲線の中から各ケースで概定した比速度に近似した比速度をパラメータとする曲線を選ぶ。
- (2) 特性曲線は、流量比に対する水車相対効率が示されている。相対効率はその最高効率を100%とし、これに対する絶対値が水車定格出力毎に表示されている。各ケースの水車効率(絶対値)は、選んだ線図に掲載されている水車定格出力毎の最高効率(相対効率100%)に対する絶対効率値(表)から、各ケースの定格出力を包含する前後2つの出力における効率を抽出し、比例按分して各ケースの最高効率の絶対値を定め、次に上記水車特性曲線から読み取った流量比毎の相対効率を絶対効率に比例換算して求める。

$$\eta_T = (\eta_T - 100) / 100 \cdot \eta_{TL} \dots\dots\dots (2. 2 - 9)$$

ここに、 η_T : 任意の流量比における水車効率 (%)

η_{T-100} : 相対効率100%に対応する水車効率 (%)

η_{TL} : 任意の流量比における水車相対効率 (%)

なお、水車の各形式についての詳細な効率の求め方は第4章4.2を参照のこと。

(3) 年間発電電力量の計算に用いる水車性能曲線の作成(本項(5)に記載)を考慮し、関連する諸元を各ケースについて表2.2-4を参考にしてまとめる。

a. 流量比は、定格値(100%)と相対効率が100%における値(比)を含め4~5通りの比を設定する。最少比は、第4章に記載されている各水車形式の変流量特性を考慮して決める。ガイドベーン切替え機構を持ったクロスフロー水車の場合は、本項(1)で選んだ水車特性曲線の相対効率を参考に、7~8通りの比を設定して性能曲線を作成する。

b. 前の2.2.1.3)項で算定した有効落差は、上表の流量比100%における値である。流量比が減るにつれて有効落差は増えるが、ここでは次のように扱う。

a) 定格流量における有効落差に対して、流量比約50%における有効落差の増大分が20%未満の場合には、定格流量における有効落差をもって、すべての流量における有効落差とする。即ち、一定有効落差として扱う。(図2.2-9参照)

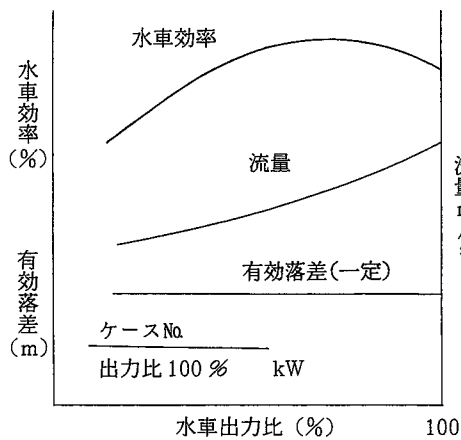


図2.2-9 水車性能曲線の例-1

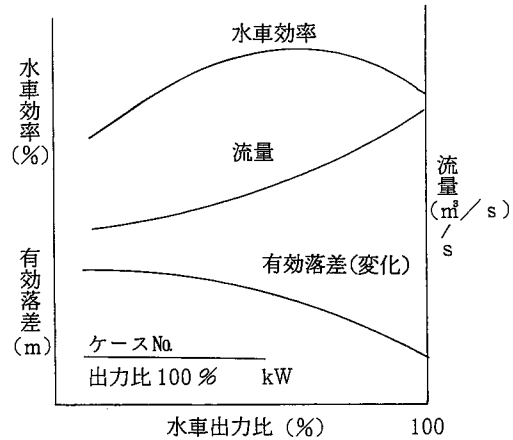


図2.2-10 水車性能曲線の例-2

b) a)に記載の増大分が20%を超える場合は2.2.3項の式に準じ、それぞれの流量における損失水頭を求め有効落差を定める。即ち、流量に対応した変落差として取り扱う。(図2.2-10参照)

(4) 表2.2-4の流量、水車効率及び有効落差より、次式で水車出力を計算する。

$$P_T = 9.8QH\eta_T \dots\dots\dots (2.2-10)$$

ここで、 P_T : 水車出力 (kW)

Q : 流量 (m^3/s)

H : 有効落差 (m)

η_T : 水車効率 (%)

また、流量比100%における水車出力を100%とし、算出された各出力の比率を求め、それぞれの値を表2.2-4に記入する^(註1)。

注1) 4)項、(3)注1)に記したように、各ケースの水車定格出力は、表2.2-4の出力比100%にお

ける値で、概定される。

- (5) 表 2. 2-4 の流量、水車出力比、水車効率を用い、水車性能曲線を各ケースについて作成する。この場合、後の手順で行う年間発電電力量の計算を考慮し、横軸に水車出力比をとる。

図 2. 2-9 及び図 2. 2-10 は水車性能曲線の例を示す。

7) 発電機形式の選定と定格事項の概定

- (1) 4) 項で選定、概定した各ケースの水車形式、水車枠番その他の諸元と、第 6 章に掲載されている各水車形式に組み合わされる発電機選定図より、該当する型番を選ぶ。発電機には、同期発電機と誘導発電機があるが、ここでは、適用例が多いことから同期発電機を対象にする。(発電機形式の選定については第 6 章発電機参照)

- (2) (1) の作業から、発電機の極数(回転速度)が決まり、これと水車回転速度との対比によって増速機の要否、増速比が判る^(注1)。

注1) パッケージ形ペルトン水車発電機及びフランス水車発電機の場合はすべての枠番について増速機は設けない。また、第 6 章表 6. 1-1 より、発電機の仕様概要が決まる。

- (3) 発電機定格出力は次式で概定する。

$$P_G = P_T \cdot \eta_G \cdot \eta_S \dots\dots\dots (2. 2-11)$$

ここに、 P_G ： 発電機定格出力 (kW)

P_T ： 水車定格出力 (kW)

η_G ： 発電機定格出力時の発電機効率 (%)

第 6 章図 6. 2-1 ~ 3 の発電機効率線図を用い、水車定格出力を発電機出力と仮定して発電機効率を読み取る。

η_S ： 増速機効率 (%)、第 6 章図 6. 2-4 に掲載されている増速機効率線図より定める。但し、増速機を用いていない場合、この項は削除する。

本項(2)で定めた諸元と、ここで算定した発電機定格出力をもって発電機の定格事項が概定される。

8) 年間可能発電電力量の概定

(1) 表 2. 2-5 は各ケースの年間可能発電電力量の概定表で、それぞれの諸元を次のように設定し計算する。

表 2. 2-5 年間可能発電電力量算定表

流量 m³/s	有効落差 m	運転日数 日	水車効率 %	水車出力 kW	水出力車比 %	増速機効率 %	発電機効率 %	発電電力量 kWh
								年間可能発電電力量 kWh

a. 流量：1) 項で記した計画地点の発電水運用パターンと対比しながら、定格流量から部分流量（最小値は、そのケースの水車形式によって概定される。第4章参照）に至る間を適宜に分割し、それぞれの値を表に記入する。（図 2. 2-11参照）^(注1)

注1) 発電電力量算定精度を高めるためには分割数を増やせばよいが、作業の省力化を図るため、運用パターン（変化の状況）を考慮し分割数は極力小さくする。

b. 有効落差：有効落差一定の場合は、a. で定めたすべての流量に対し、定格の有効落差が適用される。また、有効落差が流量によって変化する場合は、6) 項で作成した水車性能曲線を用い、a. で定めた流量に対する有効落差を読み取る。

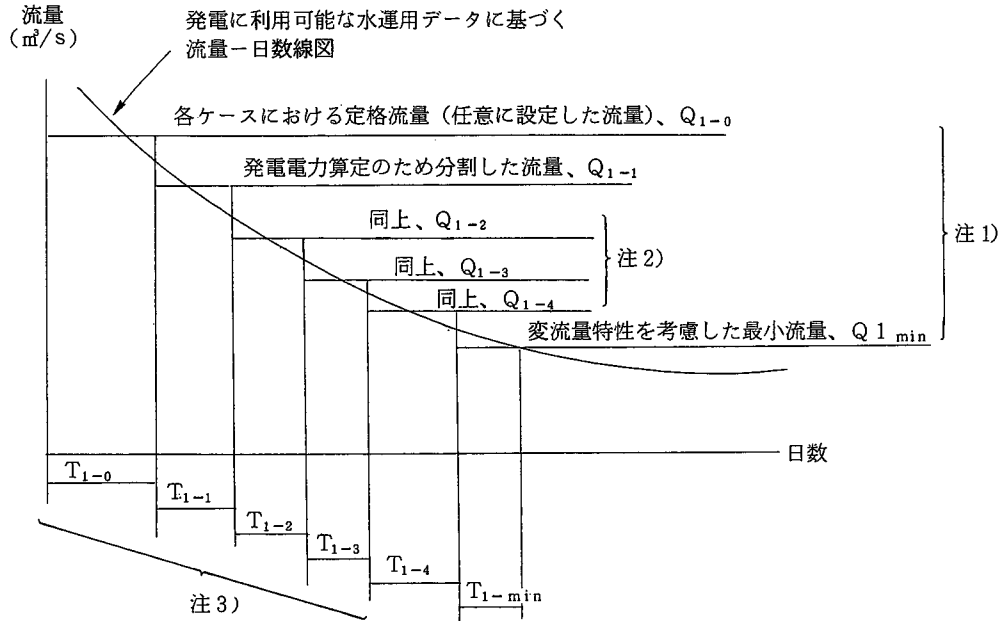
c. 運転日数：a. の流量の分割及び設定と同時の作業で、水運用パターンからそれぞれの流量に対し等価面積となる日数を読み取り、記入する。

d. 水車効率：6) 項(5)で作成した水車性能曲線より求める。

e. 水車出力：表に記入されているそれぞれの流量－有効落差－水車効率を用いて、式(2. 2-10) で算出する。

f. 水車出力比：定格流量（出力）を100%とし、e. で算出した各出力の比率を記入する。

g. 発電機効率：第6章図6. 2-1～3より、発電機効率を求める。



- 注1) $Q_{1-0} \sim Q_{1-min}$ の各流量の値が、表 2.2-5 の流量欄に記入される。
 注2) 定格流量の 50% 以下の流量では、水車効率の変化を考慮し、定格流量の 10% 以内の間隔で分割する。
 注3) $T_{1-0} \sim T_{1-min}$ の各日数が、表 2.2-5 の日数欄に、それぞれの流量値と対応して記入される。

図 2. 2-11 年間可能発電電力量算定のための流量分割例

- h. 増速機効率：増速機を用いている場合は、水車出力比即ち、増速機負荷比に対応する増速機効率を第 6 章図 6. 2-4 より読み取る。
- i. 発電電力量：h. までの作業で概定・算定された一連の諸元、すなわち運転日数、水車出力、増速機効率、発電機効率を用い次式により、発電電力量を算出し、記する。
 発電電力量 = 日数 × 24 時間 × 水車出力 × 増速機効率 × 発電機効率
- j. 年間可能発電電力量：i. で算出された発電電力量の和をもって年間可能発電電力量が得られる。
- k. ダムを利用した発電方式の場合、半旬毎の使用流量と総落差の資料から、各流量に対応する損失水頭を計算して有効落差を求め前項の手順にしたがって発電電力量を算出する。この計算を年間分行うと、年間可能発電電力量が求まる。この方法はぼう大な計算となるので、電算機を用いて処理することが多い。

2. 2. 2 機器配置

機器配置は水力発電設備の機器構成により一律に決まるものではなく、地形、水圧管路、建屋条件、搬入条件等の外的要因の影響を強く受けるので、これ等諸条件を事前に充分把握しておく必要がある。

農業用水に従属した発電所計画の場合は、水利施設による制約条件を受けるので、この点を明確にしておくことが大切である。

1) 発電所機器構成

表 2. 2 - 6 は発電所機器の構成を示す。

表 2. 2 - 6 発電所機器構成表

機能 機器	ペルトン水車	フランシス水車	クロスフロー水車	チューブラ水車	100kW未満	
					クロスフロー水車	チューブラ水車
水車	横軸 2 射 ペルトン水車	横軸 渦 巻 フランシス水車	クロスフロー水車	S 形チューブラ 水車	クロスフロー水車	横軸及び立軸 チューブラ水車
入口弁	電動弁	→	→	電動弁	手動式 止水装置	手動式 止水装置
ガイドベーン又は ニードル駆動装置	電動式	→	→	電動式	手動式	横軸機：手動式 立軸機：固定式
ライナベーン 駆動装置				電動式 但し 停止時のみ可動		無（固定式）
調速機	Z 級スピーダ ガバナ	→	→	→	ダミーロードガバナ	ダミーロードガバナ
発電機	同期又は誘導	→	→	→	→	→
主変圧器	油入式	→	→	→		
配電盤及び 開閉装置	6面構成	→	→	→	2面構成	2面構成
ホイスト				電動ホイスト又は チェーンロック		

2) 小水力発電所の設置条件

(1) 水車形式による設備条件

500kW以下のフランシス水車発電機、クロスフロー水車発電機及びペルトン水車発電機はパッケージ形を標準としているので建屋は不要である。そのため据付が簡単で工期が短縮できる等の特徴がある。但し配電盤及び開閉装置のみは屋内に設置する。

その設置条件は表 2. 2 - 7 の通りである。

表 2. 2 - 7 水車形式別設置条件

	主 機		配電盤及び開閉装置		主変圧器	
	屋 内	屋 外	屋 内	屋 外	屋 内	屋 外
ペルトン水車		○	○			○
フランシス水車		○	○			○
クロスフロー水車		○	○			○
チューブラ水車	○		○			○
クロスフロー水車(100kW未満)	○		○		—	—
チューブラ水車(100kW未満)	○		○		—	—

(2) 配置検討時の設置条件

a. 計画の基本的事項

- a) 全体地形と水圧管路及び放水路の位置、寸法等を念頭に置き掘削量が少なくなるよう全体配置を決める。未定の場合であっても仮設定を行い計画の進捗に合わせ見直しを行う。水圧管路の中心線で水車中心が決まる。また放水路上に発電機を設置することは避ける。
- b) 常時無人の発電設備であり操作室事務室等の操作員のための部屋は特に設けない。
- c) 主機は空冷としており、給水装置及び排水装置は設けない。但しチューブラ水車の場合で自然排水ができない場合は排水装置を設ける。(5.4 排水装置参照)
- d) 100kW未満の発電設備は単独運転を主体とする。
- e) 主機が屋外設置の場合、発電所建屋としては配電盤・開閉装置を主体として収納する。
- f) パッケージ形の場合、主機の周囲には安全確保のための柵を設けるものとする。
これは発電所の敷地の境界柵とは別とする。
- g) 主機及び建屋の据付レベルは洪水位の水位より高く計画する。
- h) 保守・点検のためのスペース(分解等)を設けておく。
- i) 搬入路を確保する。

b. 配置検討時の周囲条件

a) 気象条件

パッケージ形は屋外に据付けられる。そのため洪水、積雪等従来建築構造物で対策が採られてきた事項もその対策が限定されてくるが、積雪、凍結に対してはカバー等を設け、必要に応じて凍結防止ヒータ等を入れる等の対策を行う。

冬期の保守管理が不可能となる地域へのパッケージ形の適用は避け、従来通り建屋を設ける必要がある。

b) 騒音規制

パッケージ形は約95ホーン程度の騒音の発生が予想されるので、騒音規制がある場合は騒音予測計算を行い対策を検討する必要がある。

屋内据付となるS形チューブラ水車発電機の場合でも、騒音の規制値によっては建屋建築物に対する防音処置が必要になることがある。

c) 輸送・搬入路条件

パッケージ形は比較的寸法・重量が大きいため、輸送・搬入路条件と対比し問題のないことを予め確認する必要がある。

d) 水利施設による制約条件

水利施設の運用が主体となる水車発電設備での水利用は農業用水に従属した運用となる。即ち、水車設備の利用は、バイパスとして考えることが必要な場合がある。

3) 機器の配置計画

フランス水車発電機及びクロスフロー水車発電機の参考例を図2.2-12及び図2.2-13に示す。

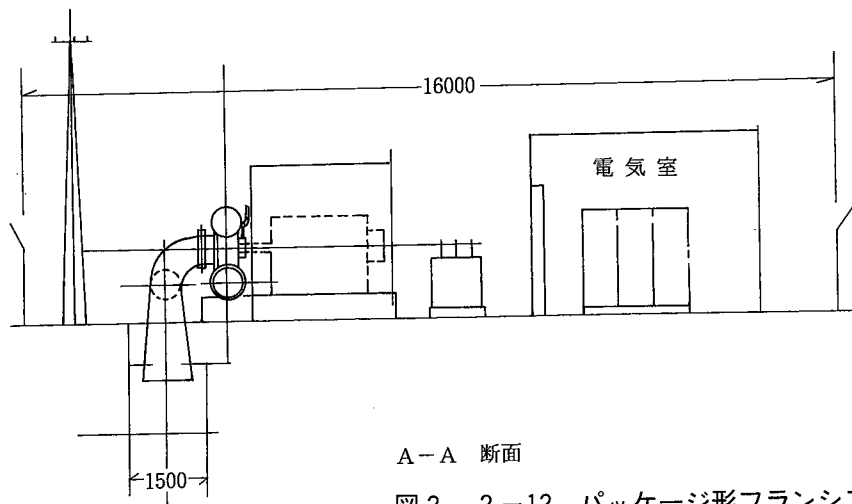
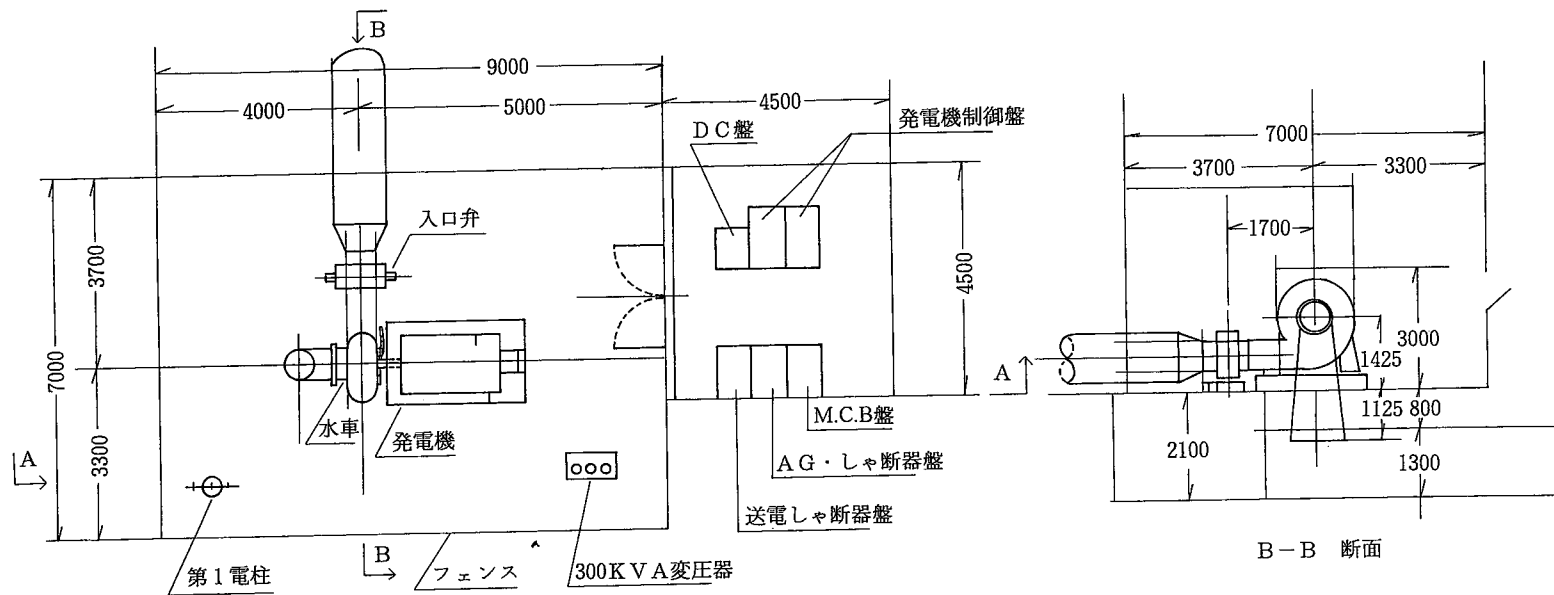
2. 2. 3 作業結果のまとめ

2. 2. 1～2. 2. 2項までの作業で得られた各ケースの諸元等は、表2. 2-8のように整理しておく。これらの諸元等は、第1章1. 6項に記載されているように、最適発電規模・水圧管径や水車形式の概定を含めた発電機施設全体に係る概略設計等に用いられる。

表2. 2-8 各ケースの諸元一覧表

諸元等	ケースNo.				
流量	m ³ /s				
有効落差	m				
水車形式					
水圧管管径	m				
周波数	Hz				
水車枠番	No.				
水車回転速度	r/min				
水車定格出力	kW				
比速度	m-kW				
発電機型番	No.				
発電機回転速度	r/min				
発電機定格出力	kW				
電圧	V				
増速比 ^(注1)					
年間可能発電電力量	kWh				
発電所機器構成					
機器配置					

注1) 増速機が不要の場合には、記載欄に「不要」と記入。

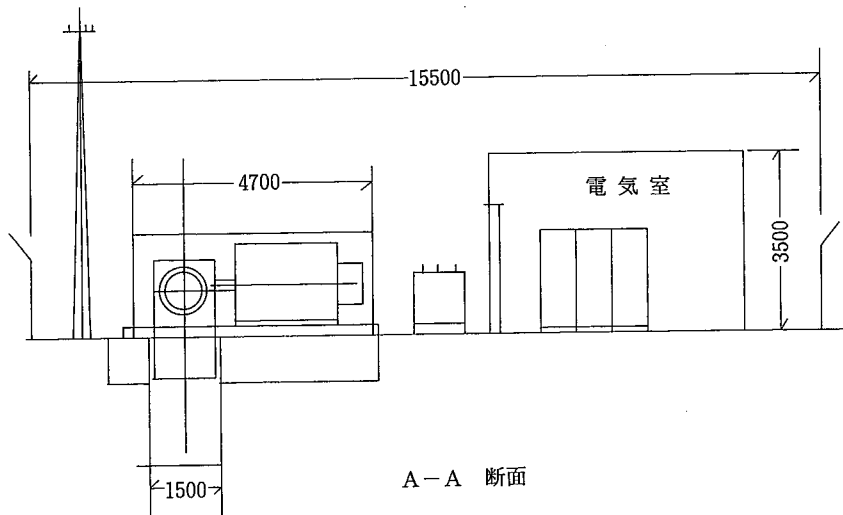
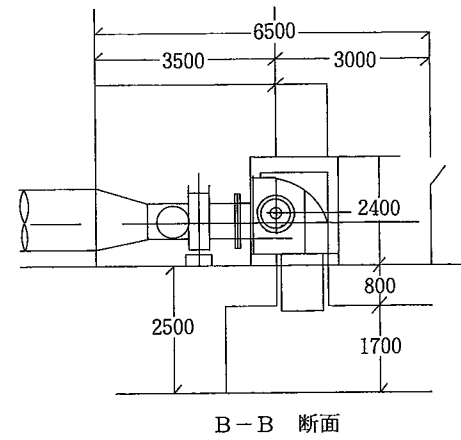
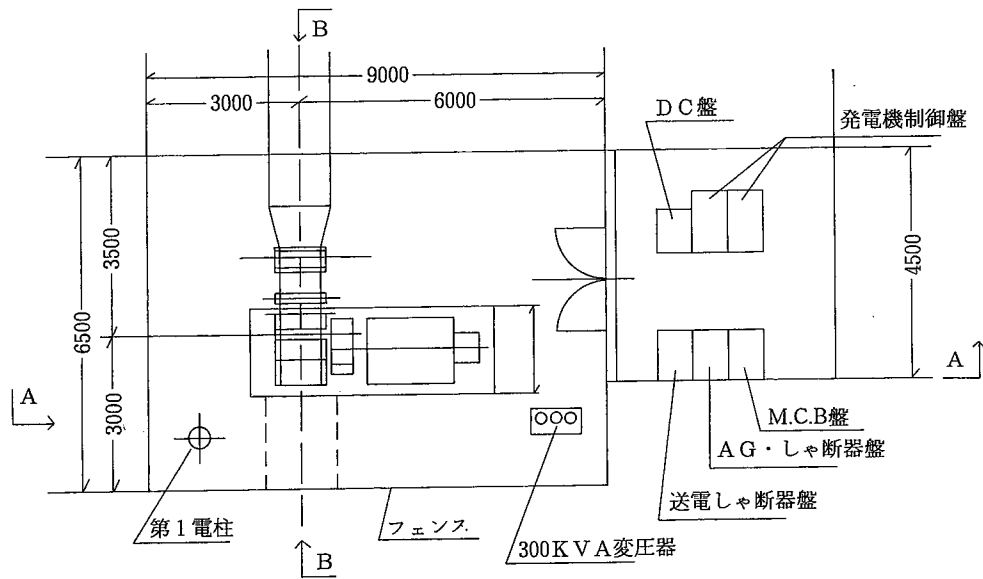


A-A 断面

仕様書

水車形式	積軸フランシス水車	発電機形式	積軸三相交流周期発電機
枠番	G 375	容量	282kVA
有効落差	27.09m	電圧	440V
仕様水量	1.32m ³ /s	電流	370A
出力	292kW	周波数	60Hz
回転速度	900r/min	力率	95%
		回転速度	900r/min

図 2. 2-12 パッケージ形フランシス水車発電機配置図



仕様書

水車形式	クロスフロー水車	発電機形式	積軸三相交流周期発電機
枠番	605 G	容量	235kVA
有効落差	25.10m	電圧	440V
仕様水量	1.32m ³ /s	電流	308A
出力	252kW	周波数	60Hz
回転速度	429r/min	力率	95%
		回転速度	1200r/min

図 2. 2-13 パッケージ形クロスフロー水車発電機配置図

2.3 経済性の検討

第12章12.1例題を参考にし、下記の項目について検討する。

2.3.1 建設費

一般に水力発電所の建設工事は土木工事、建築工事、電気工事に分かれ、土木工事にはダム、取水設備、水路、水槽、水圧鉄管、発電所基礎、放水路及び仮設備などの工事がある。建設費にはこれら工事費と、用地関係費、建設所運営関係費、工事資金の金利、事務経費が含まれることになる。

しかし、農業用水利施設利用の小水力発電所の建設費は、ダム、取水設備、水路などが公共施設となることから建設費をそのまま発電所の負担として計上されることにならない。これらの費用については全体の土地改良事業費から妥当な額を算定し、配分されることになる。概略工事費積算例を表2.3-1に示す。

表2.3-1 概略計画工事費積算基準例

項	目	内	容	工事費(千円)
(1)	建築関係		発電所(本館、付属建物等)	
(2)	土木関係	①水圧管路		
		②その他	ヘッドタンク、放水庭、放水路等	
(3)	電気関係	①発電機器	水車、発電機、主変圧器、配開装置、クレーン等	
		②送電施設	送電線等	
(4)	(小計) =純工事費		(1)+(2)+(3)	
(5)	測量及び 試験費		基本設計、実施設計等	
(6)	用地買収 補償費		用地買収、補償一式	
(7)	工事雑費		建設所運営関係 建設中利子 予備費	
(8)	(計)		(4)+(5)+(6)+(7)	

概略検討段階の算定については、かんがい排水事業ですでに設置した11ヶ所の小水力電設備の総建設費（図2.3-1参照）を参考にして建設費を積算する。

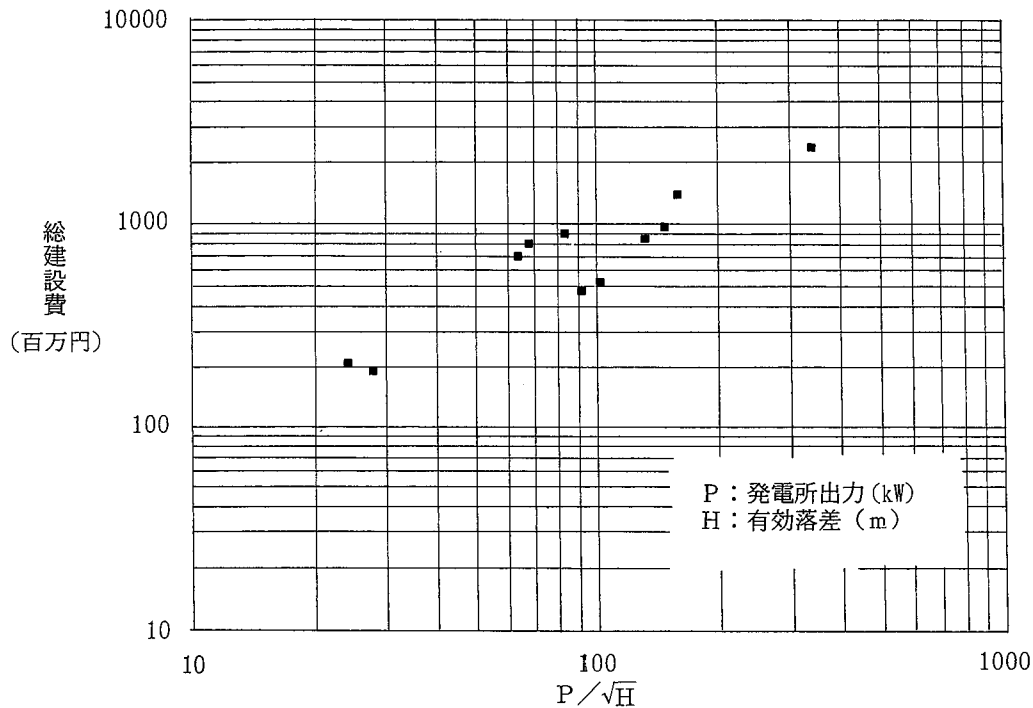


図2.3-1 総建設費の事例

このうち電気工事費は、11ヶ所の実績では総建設費の40～70%程度を占めている。

さらに詳細に建設費を検討するためには、それぞれ関係先より各項目につき、具体的な数値を入手の上検討を行うことが必要である。

2.3.2 建設単価法による経済性の評価

一般に水力発電の経済性の評価を行う場合、発電原価を最低とする原則を基本とする個別経済性評価法が用いられる。

この評価方法には、建設単価法、費用便益法 (C/V法)、限界単価法等があるが、手法が比較的簡便なことから、建設単価法が一般的に用いられる。建設単価法は、kW当たり建設単価またはkWh当たり建設単価をそれぞれ次式により求めて、経済性の評価をするものである。

$$\text{kW当たり建設単価 (円/kW)} = \frac{\text{発電所の総建設費 (円)}}{\text{発電所の最大出力 (kW)}} \quad \dots\dots\dots (2.3-1)$$

$$\text{kWh当たり建設単価 (円/kWh)} = \frac{\text{発電所の総建設費 (円)}}{\text{年間可能発電電力量}^{(\#1)} \text{ (kWh)}} \quad \dots\dots\dots (2.3-2)$$

注1) 年間可能発電電力量は、発電所が年間を通じて事故停止もせず、点検維持補修停止もしないものと仮定した場合、1ヶ年間に発電可能な電力量で、過去10ヶ年の日流量について毎日の発電力計算を行い、可能発電電力量を求めらる。

また、kW当たり建設単価とkWh当たり建設単価は設備利用率^(注1)を介して次の式で表される関係がある。

$$\text{kW当たり建設単価 (円/kW)} = 8760 \times \frac{\text{設備利用率}^{(注1)} (\%)}{100} \times \text{kWh当たり建設単価 (円/kWh)} \dots\dots\dots (2.3-3)$$

一般に流れ込み式の小水力発電では発電所出力は小さいが、設備利用率が比較的高く、年間可能発電電力量を大きく取りうることにメリットがあるので、kW当たり建設費で経済性を評価するよりは、kWh当たり建設単価がその指標として使用されている。

一方、農業用水利施設を利用する小水力発電では、余剰電力を電力会社に売電することになり、この場合、電力会社の購入単価はそれぞれの電力会社と交渉してきまるが、一般的には昼夜間毎の火力焚き減し燃料費等の水準を発電原価の目安とする場合が多い。

注1) 設備利用率とは、発電設備が年間を通じてフル(100%)運転できたとした場合の年間可能発電電力量(最大出力kW×24hr×365日)に対する実際の発電電力量の割合を示すもので、次の式で計算する。

$$\text{設備利用率}(\%) = \frac{\text{年間発電電力量(kWh)}}{\text{最大出力(kW)} \times 8,760(\text{hr})} \times 100$$

(2.3-3)式を用いて既に設置した11ヶ所の小水力発電設備のkW当たり建設単価、当たり建設単価の関係を設備利用率をパラメータにしてプロットすれば図2.3-2のようになる。設備利用率が高くとれる場合には、kW当たり建設単価が比較的高い例でも発電の経済性を確保することが可能である。

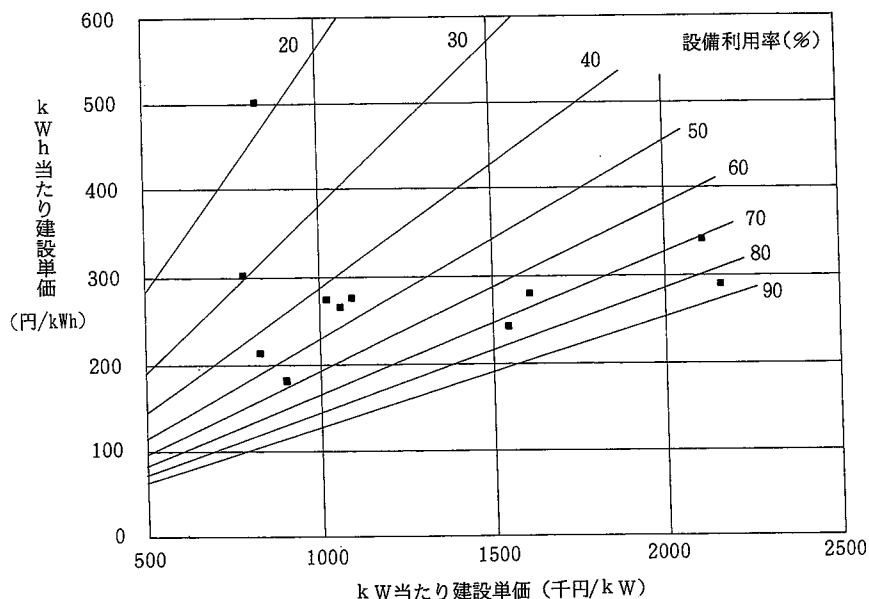


図2.3-2 建設単価参考例

一般的に農業用水利施設発電設備のkWh当たりの建設単価は、かんがい排水事業との費用負担を調整した後で上限が350円程度である。

2. 3. 3 発電原価

発電原価は、発電に係る年間費用を減価償却費、人件費、修繕費、支払利息、その他費用を費目毎に積算し、これと年間発電電力量^(註1)に基づいて発電量の1kWh当たりの原価として算定される。

注1) 年間発電電力量：事故、点検、維持補修等による発電停止を考慮して算定する年間の発電電力量＝
年間可能発電電力量×利用率

利用率としては一般に下記が採用される。

流れ込み発電： 0.97

貯水池式発電： 0.97～0.98

これは小水力発電の余剰電力を電力会社に売却する場合の売電単価の決定基礎となるもので、小水力発電計画を評価する上に重要なものである。

$$\text{発電原価 (円/kWh)} = \frac{\text{年発電経費 (円)}}{\text{年間可能発電電力量 (kWh)} \times \text{利用率}} \quad \dots\dots\dots (2. 3 - 4)$$

ここに、年発電経費は、次の構成からなる。

$$\begin{aligned} \text{年発電経費} = & \text{直接費 (人件費、修繕費、諸費等)} + \text{資本費 (減価償却費、借入金利息等)} \\ & + \text{管理部門費 (共用施設維持管理費、発電所維持管理費)} \end{aligned}$$

各項目毎の積み上げ方針は次によるものとする。

1) 減価償却費

農業用水利施設利用の小水力発電については、かんがい排水事業や農地開発事業などの土地改良事業の一工種としてのほか、中山間地域農村活性化総合整備事業その他の農村総合整備事業にある地域資源を有効活用するための施設整備でも発電所の建設ができる。2つの事業を組み合わせることによるエネルギーの有効活用も考えられる。これらは基本となる親事業と同率の国の負担率、補助率が適用されるので一般の水力発電に比べ大変有利な条件で開発することができる。平成6年度における国庫補助率を表2. 3 - 2に示す。

表2. 3 - 2 土地改良事業の国の負担率・補助率と地元負担率

事業名	国 %	都道府県、地元
国営かんがい排水事業	70～2/3	左の負担残
都道府県営かんがい排水事業	50	
団体営かんがい排水事業	45	
国営農地再編開発事業	70～2/3	
中山間地域農村活性化総合整備事業	55	
その他の農村総合整備事業	50	
その他農業生産基盤整備事業	各事業の負担率による	

注：北海道・離島・沖縄・奄美などについては、それぞれ別に定められた率による。

減価償却費は、小水力発電事業に係る事業費のうち、事業者負担分について、残存価格率10%とし、定額法により算出した額とする。

なお、総合耐用年数は、農業水利施設を利用した小水力発電の場合、約27～30年である。

2) 人件費

原則として計上しない。ただし委託運転費を要する場合は、協議の上計上する。

3) 修繕費

公営電気事業者の電気料金算定に使用されている標準修繕費により計上する。

その際、2,000kW未満については、2,000kW単価 1,182円/kWを用いて次式により計上する。

標準修繕費 (1,182円/kW) × 最大出力kW × 係数 (2.7)

4) 水利使用料

各都道府県の区域内で河川の流水を占有する場合は、水利使用料が必要である。

正確には「水利使用料は流水占用料」ともいい、河川法により建設大臣が限度額を定めているが、公益性の高い事業に係る流水の占用については免除または軽減することができるようになっているので、確認の上法令等による所定額を計上する。

5) 支払利息

小水力発電事業費の事業者負担分のうち、農林漁業金融公庫資金等、利息を伴うことが明らかなものについて、当該償還計画に基づき算定した均等化利率により計上する。

6) その他の費用

その他小水力発電の運営に必要とする費用として必要額を計上する。

(1) 共用施設維持管理費

水路等の共用施設に係る維持管理費として1人分の人件費相当額(600万円)等を目安に協議の上所要額を計上する。

(2) 一般管理費対応費として減価償却費の50%を上限として、各事業ごとの所要額を計上する。

(3) 諸費

当該発電施設を運転するために必要な光熱費、消耗品等の費用で、次式により算定された経費を計上する。

1,000円/kW × 最大出力kW

発電原価計算のフォーマットを表2.3-3に示す。

表 2. 3 - 4 発電原価計算表

項 目		数 値	計 算 式
建 設 費 千円			
売 電 可 能 電 力 量 kWh			
直 接 費	人 件 費 千円		
	修 繕 費 千円	"	1.182 (千円/kW) × 最大出力 (kW) × 2.7
	水 利 使 用 料 千円	"	注1)
	諸 費 千円	"	1.0 (千円/kW) × 最大出力 (kW)
	小 計 千円	"	
資 本 費	減 価 償 却 費 千円	"	建設費 (千円) × 0.9 × (事業負担率) ÷ (総合耐用年度)
	借 入 金 利 息 千円	"	建設費 (千円) × (事業負担率) × (年金利の均等化利率)
	一 般 管 理 対 応 費 千円	"	減価償却費 (千円) × 1/2
	固 定 資 産 税 千円	"	
小 計 千円	"		
管 部 理 門 費	共用施設維持管理費 千円	"	年間 1 人当たりの人件費 (600万円) × 人数
	そ の 他 千円	"	
	小 計 千円	"	
合 計 千円		"	
発電原価 円/kWh			

注 1) 「河川法施行令第十八条第一項第三号の建設大臣が定める額の件」として平成元年
3月20日建設省告示第671号を参照。

第3章 水圧管及び除塵設備

3.1 水圧管路の概要

3.1.1 水圧管の役割と形式

1) 水圧管の役割

上水槽又はダム等に貯えられた水の位置エネルギーを圧力エネルギーに変換して水車に与えることを目的としてその間に布設される圧力管を水圧管といい、この水圧管を支持する工作物と地盤とを総称して水圧管路という。

水圧管路は発電所の位置が限定される場合は、これに従属的に定まるが、発電所の位置の選定にあたっては、水圧管のアンカーブロックならびに支台（サドル）の設置上、岩盤で山くずれ、なだれの無い適当な地形・地質を選定しなければならない。一般に谷部よりも傾斜の変化の少ない山のりょう線が選ばれる。また落差に対してあまり長くならないことが必要で、通常そのこう長は落差の2～3倍である。

農業用水利施設を利用する発電計画においては、農業用水を確保し、それを優先させることが必須条件である。それ故、農業用水と関連した水運用に従わなければならないため、水車発電機が停止中の場合、又は水車最大流量が所要農業用水より少ない場合には、図3.1-1に示されるように分岐放流管に設けられた流量調整可能な減勢装置（減勢弁など）を通して、農業用水の不足分をかんがい地域へ流すことのできる機能をあわせ持つことを考慮しておくことが重要となる。また農業用水利施設としての既設パイプラインから分岐して発電用の水圧管路を新設することがあるが、この場合分岐以降を水圧管とした計画で許可されるケースが多い。但し、この場合既設パイプラインを含めた水撃計算を必ず行い、水車の負荷シャ断等によって発生する水撃作用による圧力上昇に対し、既設パイプラインが十分安全であることを確認しておく必要がある。

2) 水圧管の形式

通商産業省資源エネルギー庁公益事業部発電課編「発電用水力設備の技術基準と官庁手続き 第2編 水力設備の技術基準の解説」（以下技術基準の解説という）において、水圧管の形式を、つぎの3種類に分類している。

(1) 露出管

管を支台の上に支持し、露出して配管する方式。一般的に傾斜配管となる。

(2) 埋設管

管をトンネル内に配管し、トンネルと管の隙間をコンクリートやエアモルタルで充填する方式。

(3) 地中埋設管

管を掘削溝に埋設し、土質材料及びこれに類する材料で埋戻す方式。小水力発電の場合、トンネルで導水するよりも経済的となる場合が多い。

どの形式にするかは設備の安全確保を前提として、経済性、施工性、保守管理の容易性

等を考慮して決めるが、農業用水利施設を利用する発電においては農業用のパイプラインの場合と同様に地中埋設管方式が採用されるケースが多い。

3. 1. 2 水圧管路施設と水圧管材料

1) 水圧管路施設

水圧管路施設は水圧管とこれに付属する伸縮継手、制水ゲート、制水弁、空気弁、空気管、排水弁、マンホール等の鋼構造物と、水圧管を固定するアンカブロック（固定台）と、水圧管を支持するコンクリート支台（サドル）、リングガータ支台（円形補剛環）等の土木構造物等から構成されている。図3. 1-1に水圧管路の配置図（例）を示す。

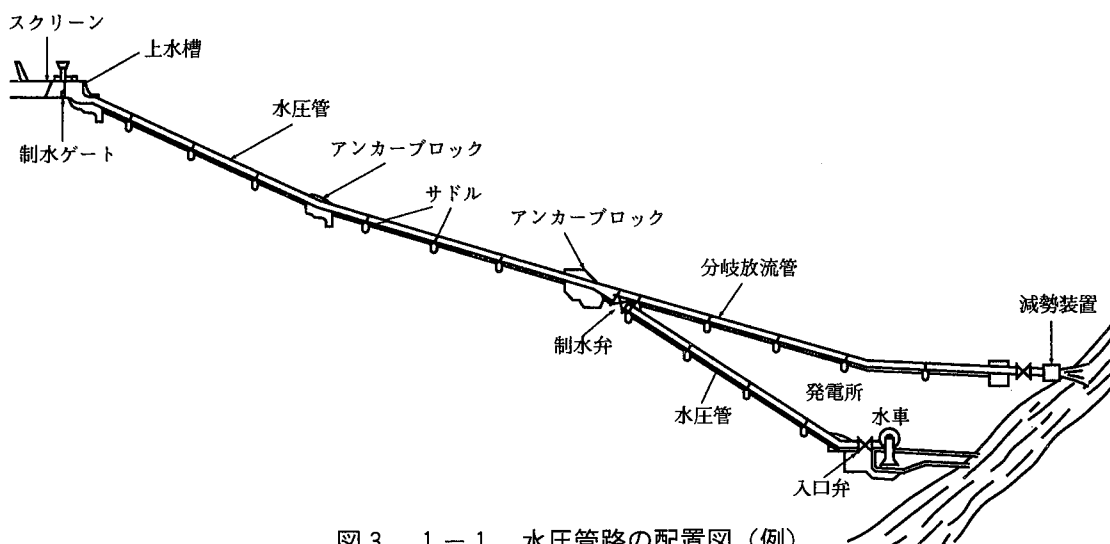


図3. 1-1 水圧管路の配置図（例）

(1) 伸縮継手

水圧管は温度変化を受けると伸縮するから、長さの変化を許さない状態にしておくと、温度変化のために著しい応力を発生し、変形あるいは座屈破壊を招くおそれがある。したがって、通常、固定台の間には伸縮継手を設ける。

(2) 制水ゲート

水圧管に事故が起きた場合、または、点検修理の場合、管内断水のために上水槽の水圧管入口にゲートを置くか、あるいは、水圧管の上部に制水弁をおく。これらの操作は発電所から遠隔操作によって行うものと、弁の近くの弁室で操作するものがある。

(3) 制水弁

農業用水利施設としてのパイプラインから分岐して発電用の水圧管を設ける場合、水車入口弁のメンテナンス、水圧管路のドロ吐き等のため水圧管入口部には必ず制水弁を設ける。

(4) 空気弁及び空気管

上水槽又はサージタンクの水圧管呑口または管の途中に制水弁を設けたとき、これを急に閉じると、管内の圧力が大気圧以下となって、外圧のために管が押しつぶされ、または変形する危険がある。これを防止するため、制水弁の直後に空気弁あるいは空気管を設け、管内の圧力低下の際、自動的に空気を流入補給させる。これらは、いずれも開口断面積の

不足、あるいは氷結などのため、思わぬ事故を起こすことがあるので、設計並びに保守にあたり十分注意する。

(5) 排水弁

水圧管断水の場合、制水ゲートまたは制水弁からの漏水を排除するため、排水弁を設ける。通常、水圧管の下端（水車の入口弁の直前）にも排水弁を設ける。

(6) マンホール

水圧管の内部点検を行い、また、修理の際の出入口として、適当な箇所にマンホールを設ける。位置は管路の上下部とするが、長い管路の場合は、塗装の際の通風などを考慮して配置をきめる。

(7) アンカーブロック、コンクリート支台、リングガータ支台など

水圧管を敷設するにあたり、地表で屈曲のある場所、または屈曲がなくても管路が長い場合は、その間の適当な箇所にアンカーブロック（固定台）をおき、屈曲その他による各種の力に対して管の位置を固定させる。長い水圧管が側面から日光の直射を受け、片面が膨張したため、湾曲を起こした例もあるから、十分堅固に固定しなければならない。固定台の間には、適当な間隔にコンクリート支台（サドル）をおくか、又はリングガータ支台をおいて、水圧管を支持する。

なお、切り取りをした地山は、石張り、張り芝などで法面を保護し、法先には排水みぞを設けるのがよい。

2) 水圧管材料

水圧管に用いる材料は、鋼管、ダクタイル鋳鉄管及び強化プラスチック（複合）管がある。

(1) 鋼管

発電用水力設備に関する技術基準の細目を定める告示（以下告示という）では、管胴本体に使用する鋼材の規格を定めているが、水圧管には一般に次に示した材料や既製管が使用される。

J I S	G	3106	溶接構造用圧延鋼材
J I S	G	3443	水輸送用塗覆装鋼管
J I S	G	3452	配管用炭素鋼鋼管
J I S	G	3454	圧力配管用炭素鋼鋼管
J I S	G	3457	配管用アーク溶接炭素鋼鋼管

管内の内面塗装は、タールエポキシ樹脂塗料や液状エポキシ樹脂塗料がよく用いられる。外面塗装は、つぎによるものが多い。

露 出 管鉛系錆止め塗装＋フェノール系M I O塗料＋塩化ゴム系塗装（現地）ノンブリード形タールエポキシ樹脂塗料＋エポキシ樹脂系M I O塗装＋塩化ゴム系塗装（現地）

地中埋設管 J I S G 3491 水道用鋼管アスファルト塗覆装方法による。

鋼管の接合形式は、溶接継手が一般的であるが、メカニカル継手も用いられている。

水圧管の曲管は、社団法人 水門鉄管協会 水門鉄管技術基準 第1章 水圧鉄管第21条により曲率半径は、管内径の3倍以上とし各節ごとの角度の振りは7°以下としなけれ

ばならない。ただし、直角屈曲管、分岐管その他やむえない場合は、曲率半径を管内径の2倍以上とすることができる。

尚、溶接による接合部の非破壊検査は放射線又は超音波探傷試験（超音波探傷試験はH5.3.31の告示で追加された）で行う。

(2) ダクタイル鋳鉄管

告示では、管胴本体の材料としてつぎの規格を定めている。

J I S G 5526 ダクタイル鋳鉄管

J I S G 5527 ダクタイル鋳鉄異形管

農業用水利施設のパイプラインには、この他にJ I S規格の管厚と異なるものも多く用いられているが、これを発電用水圧管として用いる場合は、特殊設計認可申請の対象となる。この場合、水車と管路の間にサージタンクを設置し、管路を導水路として使用し、特殊設計認可申請を避けることもできる。

管の内面は、J I S A 5314 ダクタイル鋳鉄管モルタルライニングによる。

管の外表面及び異形管の内外面は、合成樹脂塗装が一般的であるが、露出管として用いる場合の外表面は、鉛系錆止め塗装+フェノール系M I O塗料+塩化ゴム系塗装（現地）も使用されている。

接合形式は、J I S規格の継手の中で、露出管の場合は傾斜配管が多いのでK形継手、地中埋設管では、T形継手がよく用いられている。埋設管では、この他にU形継手も用いられている。

曲管は、水門鉄管技術基準に準じて、J I S規格の曲管のうちで曲率半径が呼び径の3倍以上のもの（直角屈曲は、2倍以上）を使用するのが望ましい。

露出管として配管する場合、管1本毎に受口に支台を設け支持する。この場合管は、支台で固定されなければならないので、技術基準の解説による固定台（アンカーブロック）として安定計算が必要である。

(3) 強化プラスチック（複合）管

水圧管として用いられる強化プラスチック（複合）管は、つぎの規格による。

J I S A 5350 強化プラスチック複合管（FRPM）

強化プラ協会規格 FRPM F 111 強化プラスチック管（FRP）

強化プラスチック複合管は、地中埋設管や埋設管に使用し、強化プラスチック管は、露出管として用いられている。但し強化プラスチック管（FRP）は告示では出力100kw未満の発電設備に係る水圧管に使用出来ることになっているが、100kw以上の発電設備の水圧管として用いる場合は、現在のところ特殊設計許可申請が必要である。強化プラスチック複合管（FRPM）は出力による制限はない。（強化プラスチック複合管はH5.3.31告示で改正され、出力100kw以上にも使用可能となり出力による制限はなくなった）

管は、塗装などの必要がない。接合形式は、差し込み（スリップオン）形の継手である。

曲管は鋼板製が一般的であり、鋼管の仕様に準じて製作される。鋼製曲管の継手はメカニカル継手である。

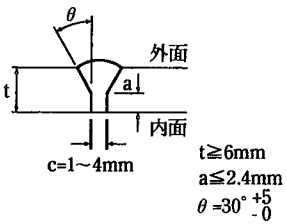
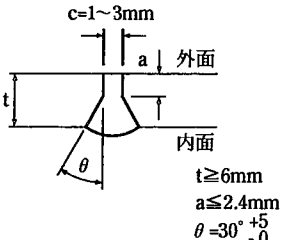
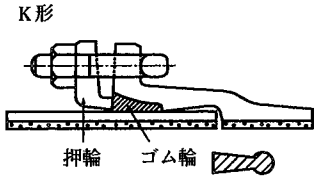
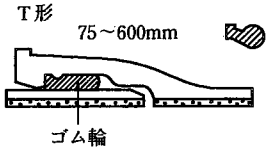
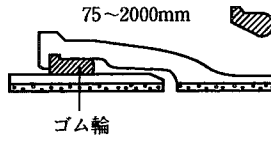
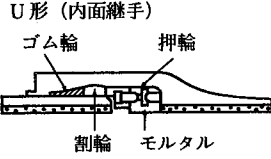
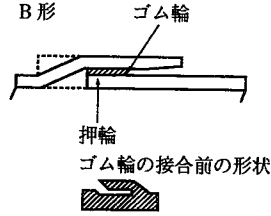
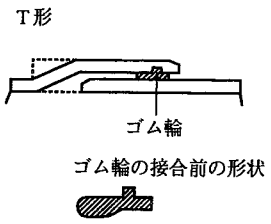
露出管の場合ダクタイル鋳鉄管と同様に支台を設けるが、この場合も、固定台（アン

カーブロック)としての安定計算を行わなければならない。

3) 鋼管、ダクタイル管、強化プラスチック(複合)管の比較

水圧管に使用する鋼管、ダクタイル管、強化プラスチック(複合)管の比較を表3.1-1に示した。

表 3. 1-1 鋼管、ダクタイル鋳鉄管、強化プラスチック（複合）管の比較

	鋼管	ダクタイル鋳鉄管	強化プラスチック（複合）管
<p>接合形式</p>	<p>溶接継手が一般的 水圧管路用メカニカル継手も用いられる。</p> <p>溶接継手 (a) 突合せV型外開先</p>  <p>(b) 突合せV型内開先</p> 	<p>露出傾斜配管は、K形 地中埋設管は、T形 埋設管は、T形、U形</p> <p>K形</p>  <p>T形 75~600mm</p>  <p>T形 75~2000mm</p>  <p>U形（内面継手）</p> 	<p>B形、T形、C形、D形などの差し込み形継手</p> <p>B形</p>  <p>T形</p> 

	鋼 管	ダクタイル鋳鉄管	強化プラスチック（複合）管
耐内圧性 （使用圧力）	$T = D/100$ で約25kgf/cm ² {2.45Mpa}	保証水圧の40%が目安 4種管で25kgf/cm ² {2.45Mpa} 程度である。	FRPM管は、試験水圧の1/2が目安 1種管で13.5kgf/cm ² {1.32Mpa} FRP管は、最高22.5kgf/cm ² {2.2Mpa} である。
内面塗装	タールエポキシ樹脂または、液状エポキシ樹脂塗装が一般的	直管は、モルタルライニング 異形管は、合成樹脂塗装による	直管は、塗装不要 鋼製異形管は鋼管と同じ。
外面塗装	露出管は、塩化ゴム系塗装 地中埋設管は、アスファルトビニロンクロス塗覆装が一般的	合成樹脂塗装が通常である。 露出管で色を指定する場合塩化ゴム系塗装による。	直管は、塗装不要 鋼製異形管は鋼管と同じ。
粗度係数 「土地改良事業計画設計基準」水路工（その1）パイプラインの標準値	$n = 0.012$	$n = 0.013$	$n = 0.012$
曲管 異形管	角度など自由に選択できる。	できるだけ規格品を用いるよう計画する。	鋼製曲管、鋼製異形管は鋼管と同じ。
施工形式	露出管 埋設管 地中埋設管	露出管 埋設管 地中埋設管	露出管は、FRP管 埋設管は、FRPM管または、FRP管 地中埋設管は、FRPM管

	鋼 管	ダクタイル鋳鉄管	強化プラスチック（複合）管
露出管の 支持形式	<p>溶接継手の場合 屈曲部やある長さ毎にアンカーブロックで固定し単位管毎にサドルで支持するか、管径の7～15倍の間隔でリングガータで支持する。</p> <p>メカニカル継手の場合 屈曲部でアンカーブロックで固定し、継手の前後をリングガータで支持する。</p>	<p>管1本毎に受口部を支台で固定する。 屈曲部は、地中埋設管でもアンカーブロックが必要である。</p>	<p>管1本毎に受口部を支台で固定する。 屈曲部は、地中埋設管でもアンカーブロックが必要である。</p>
伸縮可撓性	<p>溶接継手では、露出管や地中埋設管で大きな不等沈下が予想される場合、伸縮可撓管を設ける。</p>	<p>継手に伸縮可撓性があり一般に特別な伸縮可撓管は不要である。</p>	<p>継手に伸縮可撓性があり一般に特別な伸縮可撓管は不要である。</p>
作業性	<p>溶接継手の場合は、現地溶接、塗装があるので工期がかかる。 また、天候に左右される。 傾斜地や小口径管の内面現地塗装が難しい</p>	<p>工期が短縮でき、天候にも左右されにくい 重量は、重い。</p>	<p>工期が短縮でき、天候にも左右されにくい 重量が軽い。</p>
適応性	<p>小口径の場合、内面の現地塗装に難があり経済性の面でも適性が少ない。 中大口径の高圧の露出管に適す。</p>	<p>中小口径の比較的圧力のかかる地中埋設管で最も適性がある。</p>	<p>中大口径の比較的低圧の地中埋設管に最も適する。</p>

	鋼 管	ダクタイル鋳鉄管	強化プラスチック（複合）管
工事施工及び 土木施工上の 留意点 (継手の接合)	<p>溶接継手の接合について</p> <p>強風下又は雨雪下で作業する場合は、適当な保護設備をしなければならない。</p> <p>-15℃以下で作業してはならない。</p> <p>溶接部は、5%以上の長さについて放射線透過検査又は超音波検査を行い水門鉄管技術基準第4章第32条の判定基準に合格しなければならない。</p> <p>溶接工の技量は、水門鉄管技術基準第4章第2条の規定による。</p>	<p>接合は、日本ダクタイル鉄管協会（J D P A）の接合要領書を遵守して行わなければならない。</p> <p>接合に使用する滑剤は、J D P A規格による専用の滑剤を用いる。</p> <p>水密性の確認は、原則として充水試験による。ただし、呼び径900mm以上の平坦な路の直線部では、テストバンドによる確認も可能である。この場合の試験圧力は、最大5kgf/cm² {0.49M p a} とする。</p> <p>接合工は、都市の水道事業体が指定している熟練したものによる。</p>	<p>接合は、製造業者の発行する接合要領書を遵守して行わなければならない。</p> <p>接合に使用する滑剤は、製造業者の専用の滑剤を使用する。</p> <p>水密性の確認は、ダクタイル鋳鉄管と同じ方法による。ただしテストバンドによる管試験水圧は、最大5kgf/cm² {0.49M p a} とし静水圧を越えないこと。</p> <p>接合工は、ダクタイル鋳鉄管と同等の技量を有するものが行う。</p>

	鋼 管	ダクタイル鋳鉄管	強化プラスチック（複合）管
工事施工及び 土木施工上の 留意点 (露出管)	<p>現地塗装は、乾燥した日中のみ行い、湿度の高い雨天・曇天・夜間は避けなければならない。</p> <p>アンカーブロックは、十分な支持力をもつ基礎地盤の上に設ける。これが、困難な時は、基礎工として杭打ち基礎工、グラウト工事が用いられている。</p>	<p>現地塗装や基礎工については鋼管と同様の留意が必要である。</p> <p>管の受口部に支台を設けて、受口突部でスラストカラーの役割を果たすようにする。</p>	<p>基礎工については、ダクタイル管と同様の留意が必要である。</p>
(地中埋設管)	<p>コンクリート構造物前後の配管は、鉄筋と管を溶接しないようにする。またマクロセル腐食に対しては注意を要す。</p> <p>腐食性土壌に対しては、電気防食などの適切な措置をとる。</p>	<p>腐食性土壌に対しては、J D P A規格によるポリエチレンスリーブ法で防食する。</p> <p>スラスト力に対しては、アンカーブロックや離脱防止継手で対策を講じる。</p>	<p>スラスト力にたいしてアンカーブロックで対策を講じる。</p>
(埋設管)	<p>溶接や塗装作業における坑内の換気、火気などの安全管理に十分配慮する。</p>	<p>グラウト充填時の管の浮上防止のため支保やアンカーバンドを設ける。</p>	<p>グラウト充填時の管の浮上防止のため支保やアンカーバンドを設ける。</p> <p>グラウト材は、一般にクレーサンドエアモルタルを使用する。</p>

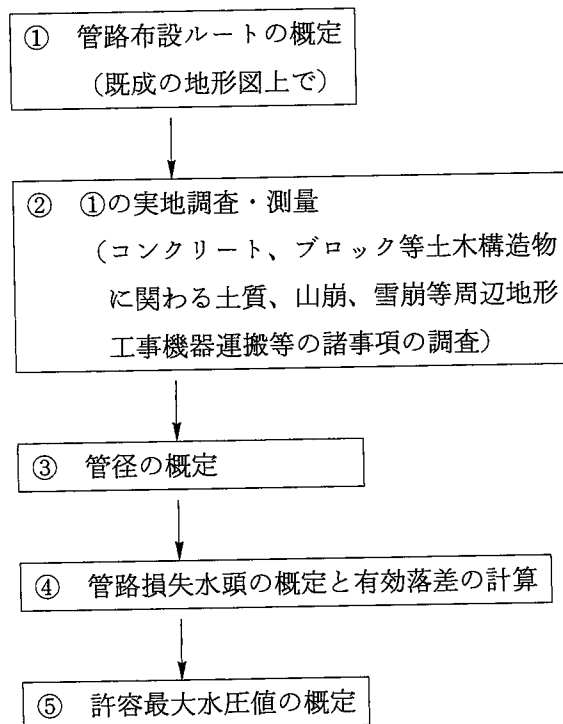
以上のほか、管路の施工あたっては、土地改良事業共通仕様書及び土地改良事業施工管理基準を遵守する。

3.2 水圧管の計画

水圧管の計画をするに当っては次の事が概定・確認されていなければならない。

- ・ 貯水地点の概定
- ・ 導水・送水方式およびルート of 概定
- ・ 水圧管取水地点、発電所建設地点、放水地点の概定
- ・ 水圧管取水地点および発電所地点の既成の地形図

これらを基に大略次の手順で水圧管（路）の計画・設計が成される。



上記の中①および②の作業は、水圧管上流に位置する諸土木・水路施設の場合と同様の手法が適用され得るのでこれの解説は省き、③、④、⑤の作業手法に就いて以降で解説する。

3.2.1 管径の決定

水圧管の経済的管径の選定は、数通りの管径を選択し、発電用水だけでなく、農業用水を考慮した最大流量との組合せでその各々について水圧管の建設に要する費用と、損失水頭による年間発生電力量の増減を考慮して建設単価を求め、これが最小となる管径を選定する。図3.2-1に水圧管径決定フローチャートを示す。(併せて図1.5-2参照)

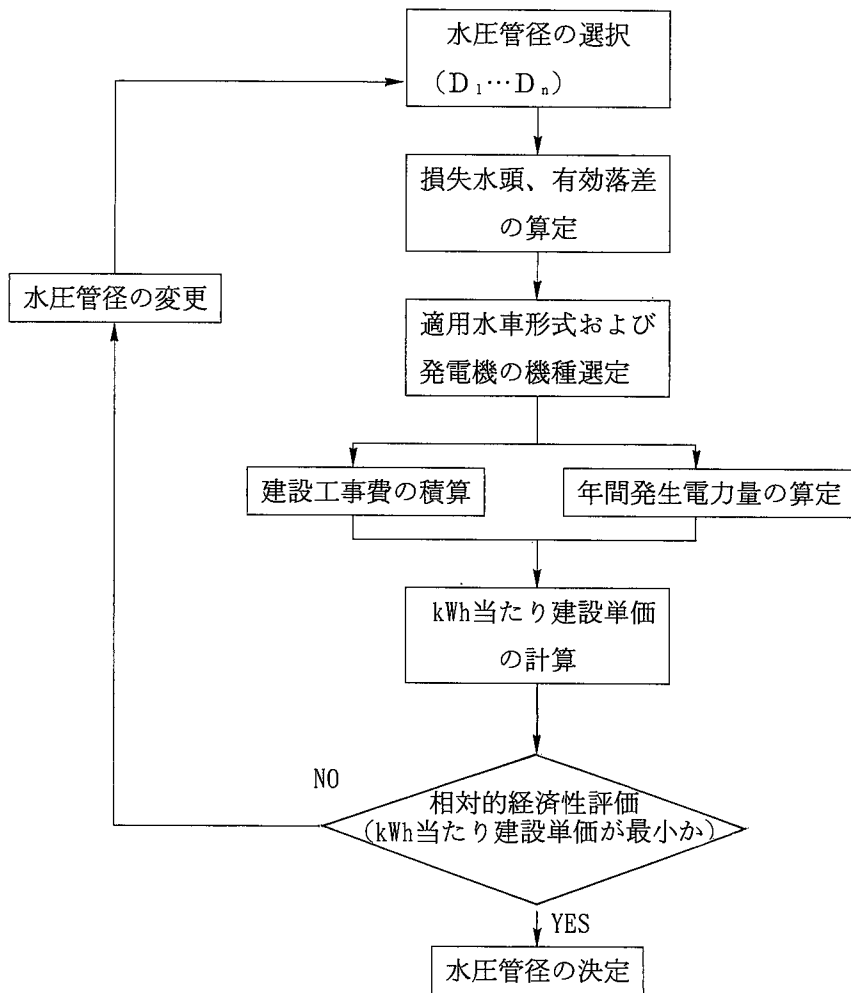


図3. 2-1 水圧管径決定フローチャート

管径の決め方としては、経済比較による方法が一般的であるが、管径の目安としては、表2. 2-1より落差に対応する管内平均流速の値から求めることが出来る。

水圧管径は表2. 2-1から落差に対応する流速を選んで既に概定している水量を用い次式より求められる。

$$D = \left(\frac{Q}{0.785v} \right)^{1/2} \text{ (m)} \dots\dots\dots (3. 2-1)$$

D：管径 [m]

Q：流量 [m³/s]

v：流速 [m/s]

3. 2. 2 管路損失水頭

損失水頭には、取水口入口における損失、水門ピアによる損失、沈砂池、水路、水槽、水圧管、吸入管、放水路、断面の変化、曲りなどによる種々の損失がある。

これらは流速の変化、摩擦に起因するもので、流速は水頭で表わすと $\frac{v^2}{2g}$ となるが、一般にこの損失水頭は $f \frac{v^2}{2g}$ の形をとり、損失係数 f は実験によって定められた多くの公式がある。これらの損失水頭の概略算定式を2. 2. 1 3) 有効落差の概定の項に示している。

また、損失水頭の計算は各土木設備の設計に関連して詳細に算出する必要があるが、詳細については土地改良事業計画設計基準（農林水産省）、発電用水力設備に関する技術基準（通商産業省）によるとともに、第12章12. 2 (12. 2. 1)「ケーススタディー1」に設計事例を添付しているので参照のこと。

3. 2. 3 許容最大水圧値の決定

許容最大水圧値は、水車によって起こされる負荷しゃ断時の水圧上昇量を計算し、管材料の持つ強度とのかね合いによって決定される。

1) 水撃作用による上昇水圧値の計算

(1) 制圧装置のない場合の水撃作用による上昇水圧の計算式は、アリエビの管路定数 ρ によって次のa)、b)に分類される。

$$\text{記号 } \rho = \frac{\alpha v_0}{2gH_0} \dots\dots\dots \text{アリエビの管路定数} \dots\dots\dots (3. 2-2)$$

$$\theta = \frac{\alpha T}{2L} \dots\dots\dots \text{閉塞器(サイドベーンまたはニードル)の閉鎖時間定数} (3. 2-3)$$

$$n = \rho / \theta$$

h : 水撃作用による閉塞器位置における上昇水圧 (m)

H_0 : 水車端における閉塞器全閉後の静水圧 (m)

L : 管路の長さ (m)

v_0 : 平均流速 (m/s)

T : 閉塞器の閉鎖時間 (s) 流量変化が非線型の場合は等価閉鎖時間

g : 重力の加速度 (m/s²)

α : 圧力波の伝播速度 (m/s)

a) $\rho > 1$ の場合

$$\frac{h}{H_0} > \frac{h}{H_0} < 50\% \text{ のときは } \frac{h}{H_0} = \frac{n}{2} (n + \sqrt{n^2 + 4}) \dots\dots\dots \text{(アリエビの略算式)} \dots\dots\dots (3. 2-4)$$

$$\frac{h}{H_0} < 50\% \text{ のときは } \frac{h}{H_0} = \frac{2n}{2-n} \dots\dots\dots (3. 2-5)$$

なお、 $\frac{h}{H_0} \doteq 30\%$ のときは $\frac{h}{H_0} \doteq 1.10n$ となる。

b) $\rho < 1$ の場合

$$\frac{h}{H_0} = \frac{2n}{1+n(\theta-1)} \dots\dots\dots (3.2-6)$$

フランスス水車の場合、a) 及び b) の条件にわたって使用できる経験式として、次が提案されている。

$$\frac{h}{H_0} = \left(\frac{0.75}{\theta\sqrt{\theta}} + 1.25 \right) n \dots\dots\dots (3.2-7)$$

(2) つぎのような場合には、図式解法、逐次計算、あるいは電子計算機による計算を行う必要がある。

a) 分岐管路の場合で、分岐点の位置が管路長に比べて水車から遠い場合

b) 差動型サージタンクなどのように、サージングによる水位上昇が早い場合

(多くの場合、a.、b. に示した式でよい。)

c) 低比速度のフランスス水車等の場合

(3) 低比速度のフランスス水車等の場合、ガイドベーンの開鎖時間を長くしても水車特性（回転数の上昇によって流量が抑制される）によって、4～6秒程度で最大水撃圧が発生するので留意する必要がある、電子計算機による計算を行う必要がある。

2) 最大水圧値計算における留意事項

(1) 水撃作用による上昇水圧は、サージタンク・閉塞器・制圧機などの機能・管路定数などによって左右されるが、最大値は閉塞器の中心位置において生じ、管路に沿って漸減する。

(2) ペルトン水車の場合の水車中心の水撃圧は、計算上10%以下であっても10%以上とっておかなければならない。

(3) 水撃圧とサージング上昇水圧を加算する場合には、同時点で起こりうる最大値をとればよい。ただし、単動サージタンクの場合にあつては、水撃圧とサージタンクの上昇水圧は重ならないと考えて差し支えない。なお、このような場合には、水圧管路の上部において「静水圧+サージングによる上昇水圧」が「静水圧+水撃圧」より大きくなることがある。

3) 許容最大水圧

許容最大水圧値の決定は、水圧管の材料とその強度、設計応力等から管の肉厚を定めることにも関連するが、一方肉厚即ち水圧管の強度設計には、

- ・ 布設方式（露出、埋設）
- ・ ブロック支持台の数・支持方式
- ・ 腐代
- ・ 固有振動
- ・ 耐震の検討（特定地域）
- ・ 管接合効果（溶接の場合）

等々の所要素を考慮する必要があり、いわば水圧管の詳細設計となるため、ここでは解説を省略する。第12章12. 2「水圧管の設計事例」に管種選定の参考資料として、水圧管の肉厚を決める計算例題を示した。

3.3 除塵設備

3.3.1 概要

発電不参加の農業用水利設備の場合は、放流装置に使用されるバルブの開口部が大きいため、スクリーンバーの間隔は、100～200mmにとることが多いが、一般の発電所の場合は流木などの異物の侵入によって水車に損傷を与える恐れがあるため、導水路入口には通常スクリーンバーの間隔が通過してはならない異物の大きさに対応したスクリーンが設けられる。

水車の水の通過面積が最も小さい場所は、フランシス水車ではガイドベーン入口、クロスフロー水車ではランナ入口、ペルトン水車ではノズル出口、チューブラ水車ではガイドベーン入口である。

これらの場所に異物をはさまると、出力低下、振動増大、水車の損傷等に結び付くことがあるので、スクリーンバーの間隔の決定にあたっては注意を要する。

一方、本標準の場合、水車出力500kW以下を対象としているため、3.3.3.スクリーンで述べるように各水車のスクリーンバーの間隔は小さいため、特に流れ込み式発電所の場合、落葉期、雪解け期に落葉、枯れ草などのスクリーン上の堆積が多くなり、発電所メンテナンス上の大きな問題となることが多い。

従って、自動除塵機の取付けが必要となる。

また、スクリーンバー強度の減少及びスクリーンの目詰まりによる損失水頭増大を防ぐため、スクリーンを通過する流速はできるだけ遅くすることが望ましい。

以下除塵設備の概要を示す。

1) 網場

網場は図3.3-1に示したようにロープを上流に張り、これにフロートと塵芥よけのスクリーンネットを吊り下げたものである。

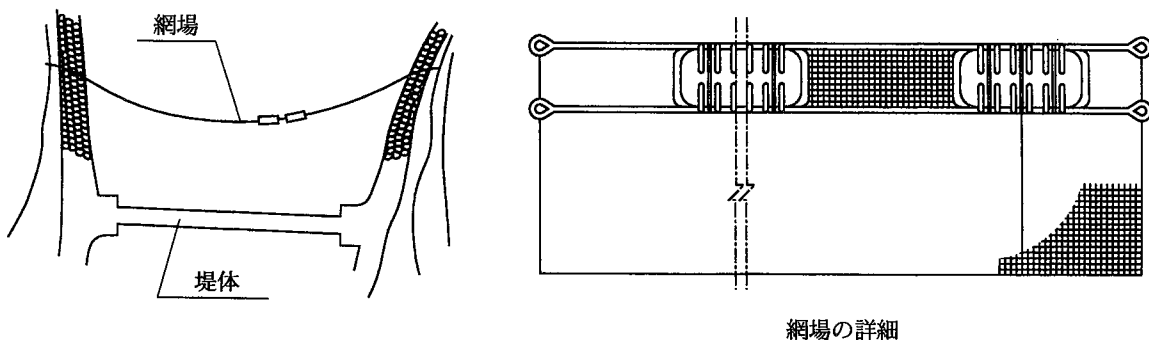


図3.3-1 網場

2) スクリーン

除塵スクリーンは塵芥などの流入をできるだけ防止するため、図3. 3-2のように取水口前面に平鋼板を縦に組み立てて固定したものである。

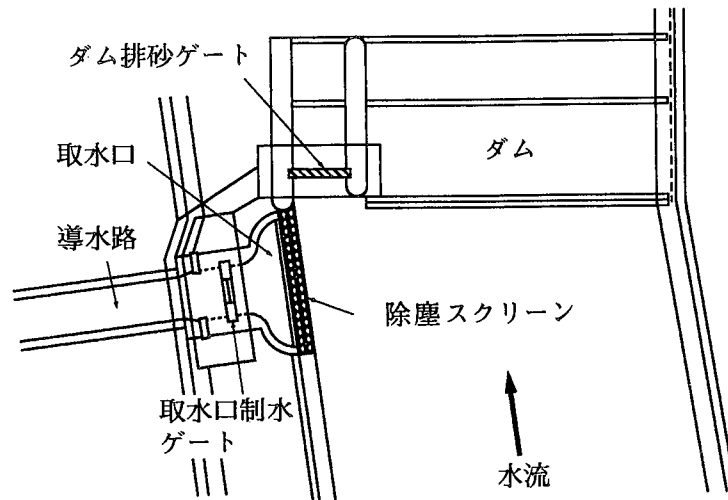


図3. 3-2 スクリーン

3) 除塵機，搬送，貯留設備

スクリーンの前面に滞留する塵芥を機械的に除去する装置で、図3. 3-3はその一例である。通常、掻上げた塵芥の搬送設備としてベルトコンベヤなどが用いられる。

また、搬送された塵芥を搬出時まで一旦集積しておく貯留設備としてピットやホッパを設ける事がある。

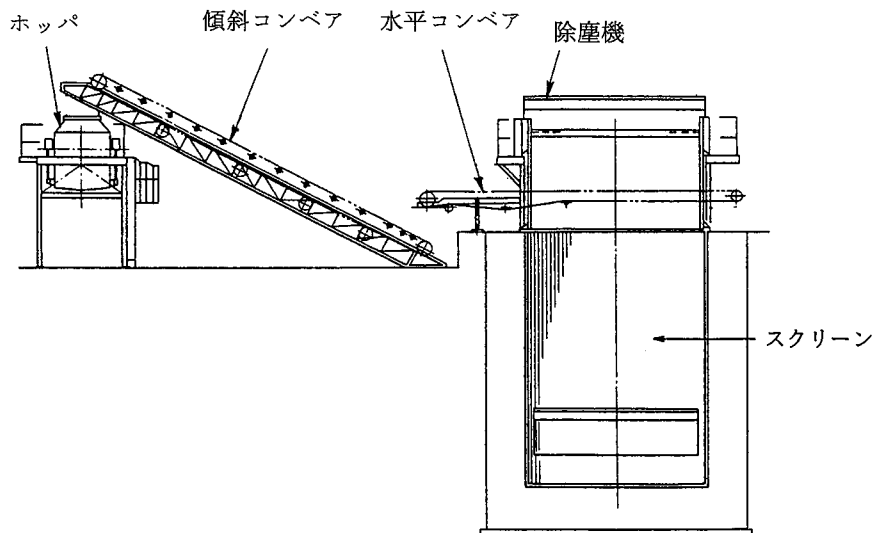


図3. 3-3 除塵機，搬送，貯留設備

3.3.2 除塵設備の設置基準

除塵設備の設置基準は原則として下記の通りとする。尚、除塵設備の設置基準を決定するに当たり、小水力発電用除塵設備実態調査を行った。その結果を3.3.7に参考資料として添付したが、流れ込み式で除塵機がない場合は、台風時や落葉期等に塵芥による水車の出力低下や弱点ピンの損傷等のトラブルが多発しているため、流れ込み式の場合は除塵機の設置を標準とした。

- ・流れ込み式の場合もダム式の場合も必ずスクリーンは設けるものとする。
- ・流れ込み式の場合、スクリーンには除塵機を設置するものとする。また、掻上げた塵芥を搬出するためコンベヤと集積しておくためのホップやピットなどを必要に応じて設ける。
- ・ダム式の場合は、除塵機を設けないものとし、塵芥の流入防止のための網場等を必要に応じて設置するものとする。

3.3.3 スクリーン

1) 構造

スクリーンの一例を図3.3-4に示す。その構造はフラットバーを並べ間隔を保つためにパイプを輪切りしたディスタンスピースを入れて、これを両ネジボルトで固定したものが一般的である。バーの間隔は下記2) 選定(1)スクリーンの目幅で述べるが、バーの厚さ及び幅は、計画最高水位の状態においてバーの上流側と下流側の差圧が1mあっても耐えられるよう設計する。水路が深くバーが長くなると、バーだけでは強度的に弱くなるので溝形鋼などで補強する。また、スクリーン幅や長さが大きい場合は分割してもよい。またスクリーンは腐蝕代を考慮すると共に取替可能な構造とする。

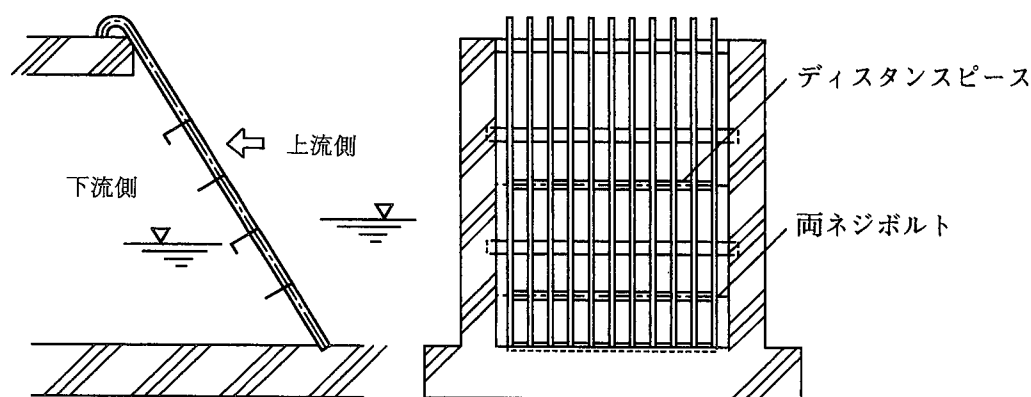


図3.3-4 スクリーン

2) 選定

(1) スクリーンの目幅

スクリーンの目幅は水車の種類と大きさから、図3.3-5～図3.3-8を目安に選定する。

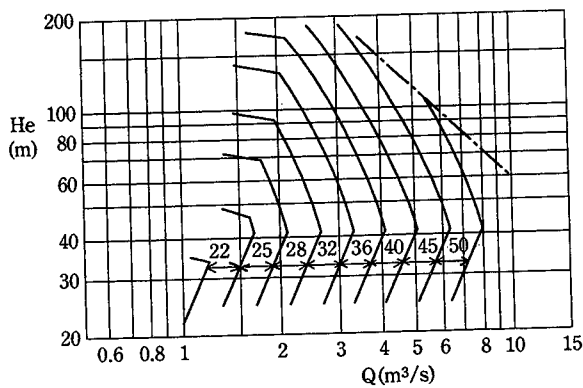


図 3. 3-5 取水部のスクリーン目幅(mm)
(フランスス水車)

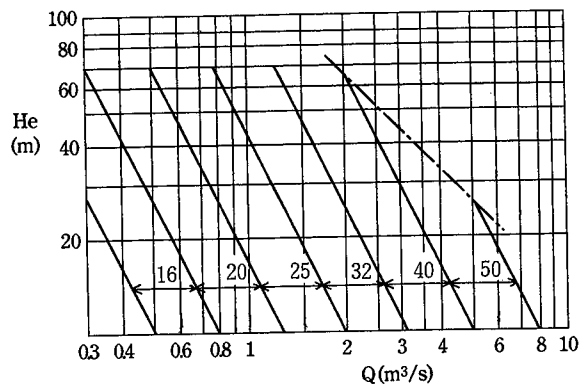


図 3. 3-6 取水部のスクリーン目幅(mm)
(クロスフロー水車)

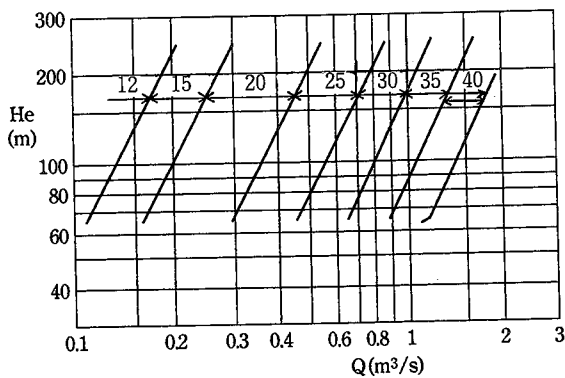


図 3. 3-7 取水部のスクリーン目幅(mm)
(ペルトン水車)

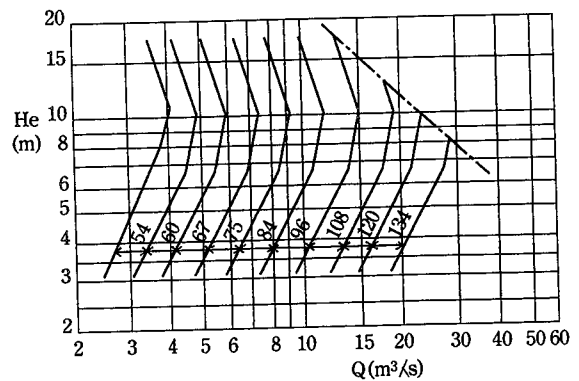


図 3. 3-8 取水部のスクリーン目幅(mm)
(チューブラ水車)

(2) スクリーンの傾斜角度

スクリーンの傾斜角度は手掻き除塵方式の場合 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 前後、機械式除塵機の場合 75° 前後が標準である。但し取水塔の場合は 90° 、斜樋の場合は地形に合わせるため角度は小さい。尚、機械式除塵機のスクリーンは形式によってはその取付け角度が 90° のものもある。

(3) 流速

スクリーンは損失の少ない形状のものとし、流水により振動を発生しないよう流速を考慮してその形状、支持方法を決める。

スクリーン直前の平均流速は下記を目標に決める。また、過大流量時でも最大流速は 1 m/s 以下とする。

手掻き除塵方式の場合 流速 $=0.3 \text{ m/s}$ 以下

機械除塵方式の場合 流速 $=0.5 \text{ m/s}$ 以下

(4) スクリーン損失の計算

スクリーンの損失水頭及び水面低下を計算で求める場合は次の式がある。

a) スクリーンにごみが全くかかっていない状態

スクリーンによる損失水頭の計算は次に示したキルシュメール公式によって求める。

$$h_r = f_r \cdot \frac{v_1^2}{2g} = \beta \cdot \sin \theta \left(\frac{t^{4/3}}{b} \right) \cdot \frac{v_1^2}{2g} \dots\dots\dots (3.3-1)$$

$$\Delta h_r = f_r \cdot \frac{v_1^2}{2g} + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (3.3-1)$$

ここに h_r : スクリーンによる損失水頭 (m) θ : 格子の傾斜角 (°)
 Δh_r : スクリーンによる水面低下量 (m) t : 格子のバーの太さ (m)
 v_1 : スクリーン上流側の流速 (m/s) b : 格子の目の大きさ (m)
 v_2 : スクリーン下流側の流速 (m/s) f_r : スクリーン損失係数
 β : 格子のバー断面形状による係数 (図 3.2-9)

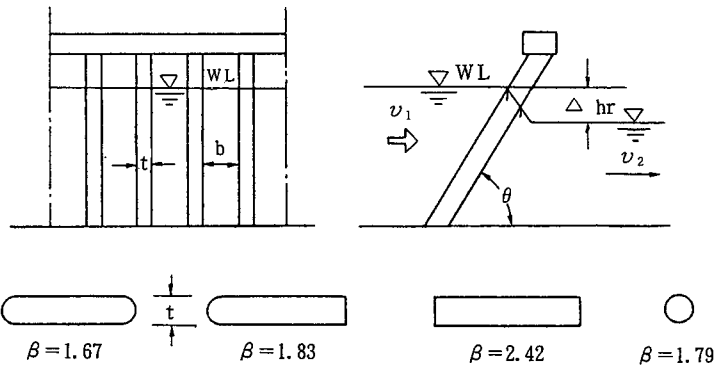


図 3.2-9

b) スクリーンにごみがかかった状態

ごみの流入が予想される場合には、次の鈴木光剛氏の公式を参考に計算する。

$$\Delta h_{r1} = 6.69 \sin \theta \left(\frac{t}{b} \right)^{4/3} \cdot \exp(0.074 \gamma_w \frac{\alpha}{H}) \cdot \frac{V_1^2}{2g} \dots\dots\dots (3.3-3)$$

ここに Δh_{r1} : ごみによる水面低下量 (m) α : ごみの付着高さ (m)
 γ_w : 湿潤ごみの単位重量 (kg/m³) γ_w は 200kg/m³ 程度

ただし、上式においてその場所に合った数値 α (ごみの付着高さ) を予測するのは困難な場合が多いと考えられる。このようなことからスクリーン損失は除塵方式により次の値を標準としている。

- ・ 定置式機械除塵 0.1m
- ・ 移動式機械除塵 0.15m
- ・ 手掻き除塵 0.3m

3.3.4 除塵機

1) 形式

除塵機は種々の形式のものがあるが、機械押込式除塵機、ロープ式除塵機、ロータリーチェーン式除塵機、スイング式除塵機及びネット式除塵機などに分けることができる。これらの内、水力発電用除塵機としては、機械押込式除塵機及びロータリーチェーン式除塵機の2形式が主として使用される。

(1) 機械押込式除塵機

この形式の除塵機一例を図3. 3-10に示す。レーキはスクリーンから離れた状態で降下し、下端でスクリーンに嵌入する。この状態でレーキをスクリーン面に添って上昇させ付着した塵芥を掻き上げるいわゆる間欠的除塵機である。この動作を行わせる方法によってピンラック式、ラック式、スライドアーム式、パワーシリンダ式など多くの種類がある。この機種は取入れ口の水路底部から除塵機据付床面までの高さが、比較的低い場合（6m程度以下）に適し、定置式と移動式がある。

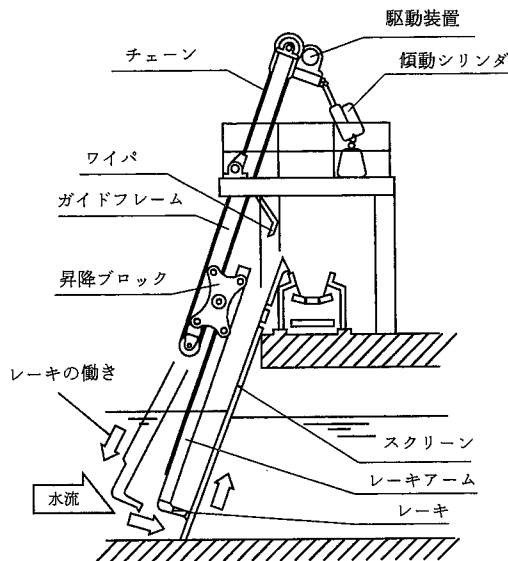


図3. 3-10 機械押込式除塵機

(2) ロータリーチェーン式除塵機

ロータリーチェーン式除塵機にはスクリーンの前面でレーキが降下し、スクリーンの前面を掻き上げる前面降下前面掻上式のもの、レーキがスクリーンの背面を降下しスクリーン下部をくぐってスクリーンの前面を掻き上げる背面降下前面掻上式の2種類がある。背面降下前面掻上式除塵機は、構造上レーキがスクリーン下部を通り抜けるためのスキマがあり、そこから塵芥が下流側に流れる可能性があるため、水車用除塵機としては殆ど使用されていない。図3. 3-11は前面降下前面掻上式除塵機の一例である。

この除塵機は、スクリーンの上流の水路の両側にエンドレスチェーンを置き、これに単一または複数のレーキを取付けたもので、レーキはスクリーンの前面を降下し、前面を掻き上げる連続的除塵機である。水路の両側にはレーキガイドがつくのでその分スクリーンの幅は狭くなる。また、水路底部及びバースクリーン下部の間でレーキが反転するので、流木などを噛み込む恐れがある。そこでスクリーン前面に砂止めを兼ねた段差を設け、これを防止する配慮が必要である。この除塵機は取入れ口の水路底部から除塵機据付床面までに全高が15m程度まで適用できる。

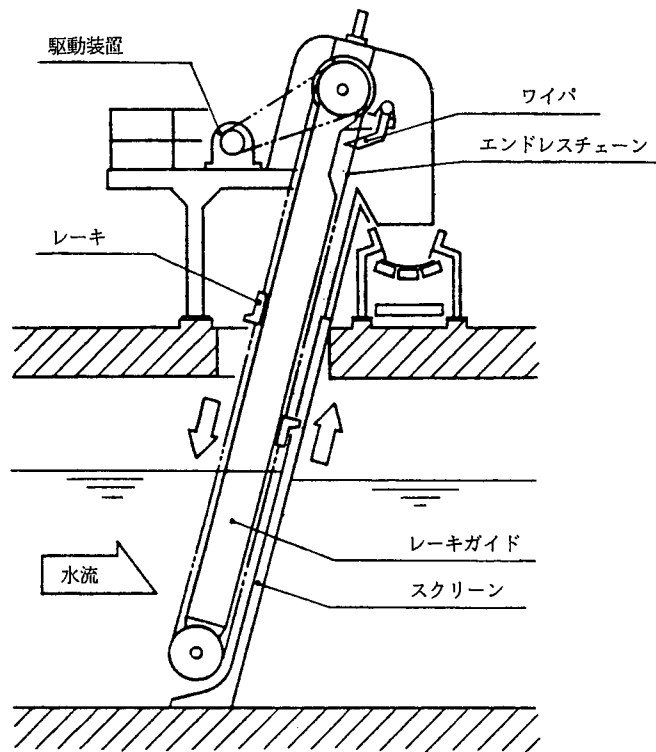


図 3. 3-11 ロータリーチェーン式除塵機 (前面降下前面掻上式)

2) 選定

小水力発電用除塵機は機械押込式除塵機またはロータリーチェーン式除塵機の2形式から選定する。選定は表3. 3-1の除塵機の形式別比較表を参考にすると共に、流入する塵芥の量や質、メンテナンス、経済性などを十分検討し決定するものとする。また、除塵機には定置式と移動式があるが、無人運転となるため原則として定置式を標準とする。なお、洪水時に冠水する恐れのある場所には除塵機を設置しないこともある。

表3. 3-1 除塵機の形式別比較表

形式 項目	機械押込式除塵機	ロータリーチェーン式除塵機 (前面降下前面搔上式)
搬出能力	動作が往復運動であるため、連続搔上げができず、時間当りの搔上げ能力が小さい。	搔上げ動作が連続的であるから、短時間に大量の塵芥を処理することができる。また、スクリーン面の塵芥を連続的に除去するため、スクリーンロスを常に最小に保つことができる。
塵芥の 大きさ	レーキの大きさ以上の塵芥は搔上げできない。	構造上、大きなレーキの取付けが困難なため、粗大塵芥は搔取れない。また、水路の両側にはレーキガイドがつくので水路の有効巾は小さくなる。
塵芥の 排出方法	搔き上げられた塵芥は自然落下でコンベヤに排出される。	搔上げられた塵芥をコンベアへ排出するときは、自重によりレーキを反転するため、固形物を噛込むことがある。
水路底部の 塵芥の除去	水路底部の堆積物の除去には不適である。したがって、水底部に塵芥がたまりやすい。	水路底部及びバースクリーン下部の間では塵芥を押しえ込んでレーキが反転するため、固形物を噛込むことがある
水中部の 保守点検	駆動部が水面上にあり、保守点検は容易であるが、構造が複雑で維持管理が面倒である。	水中部にスプロケット軸受があり、摩耗や異物の噛込みが生じやすく、維持管理に手数を要する。上流には角落しまたはゲートなどを設ける必要がある
運転操作	手動・自動運転及び遠隔、遠方制御ができる。人手による作業及び運転員を必要とせず、無人運転が可能である。	同 左
据付け高さ	構造上、水路高さの2倍以上の高さが必要で床面上に高いスペースを要する	同 左
取り入れ口の 水路底部から 除塵機据付床 面までの高さ	6 m以下	15mまで
定置式・ 移動式	定置式・移動式とも製作は可能。	定置式

3. 3. 5 搬送、貯留装置

除塵機により掻上げられた塵芥は図3. 3-12に示したようにコンベヤで搬送しホッパを貯留してトラックなどで搬出する。しかし、ホッパ容量に限度（5～10m³程度）があるので、塵芥の量が多い場合は野積する場合もある。この場合傾斜コンベヤを回転式とすることにより貯留量を多くすることができる。

塵芥の搬出処分が不便な場合、焼却炉を設置して焼却処分することもある。

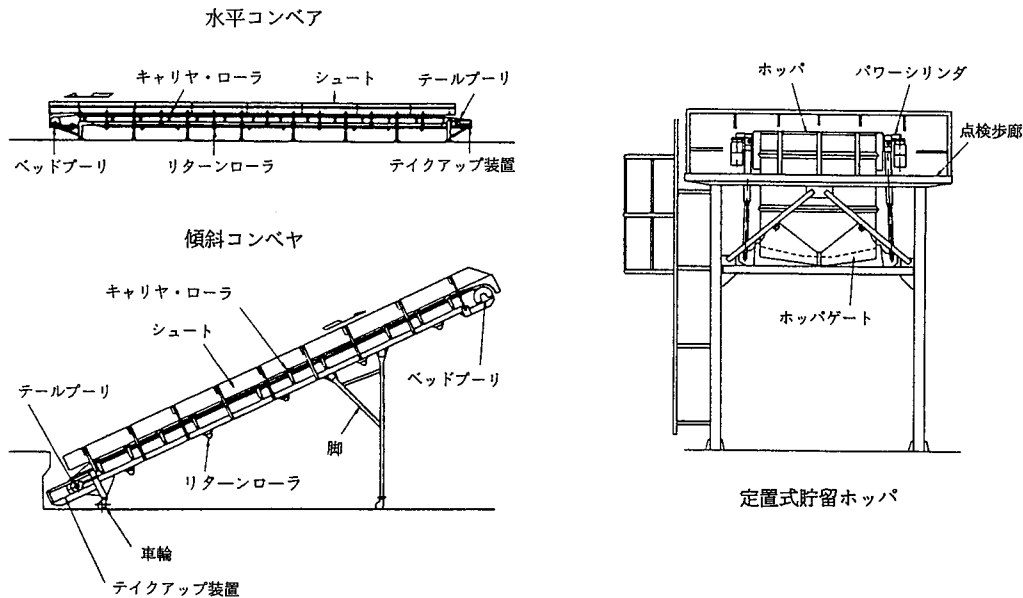


図3. 3-12 コンベヤ及びホッパ

1) ベルトコンベヤ

除塵機で掻き上げられた塵芥を搬出する一般的な方法として、ベルトコンベヤがある。ベルトコンベヤは水平方向に搬出する水平コンベヤと、トラックに積込んだり、ホッパに入れるための傾斜コンベヤとがある。ベルトは幅500～900mm程度、速度は一般に15～30m/min程度を採用する。なお、傾斜コンベヤの傾斜角度は平ベルトで15°～18°程度、ひれ付ベルトで30°以下をとる。

また、ホッパへ搬出するための傾斜コンベヤは、一時的に大量のごみが搬出されホッパが満杯になることも考慮して、塵芥の野積みができるように回転移動式コンベヤとそのスペースについても検討しておくことが必要な場合もある。このほかに塵芥を搬出するための装置として、チェンコンベヤがあるが大型に限られ、また冬期凍結する恐れのある場合のみに使用する。

2) ホッパ

塵芥を一時貯留し、トラックなどにより逐次搬出するためのもので、容量は5 m³～10 m³程度のものが使用される。通常はトラック積載に要する高さ2.6m以上の空間が得られるよう架台上に設置し、下部のゲートの開閉によって塵芥をトラックなどに積み込めるようにする。

3. 3. 6 操作方式

定置式除塵機の操作方式は、機側の操作盤による機器の単独運転と自動運転及び遠隔、遠方制御による自動運転ができるものとする。

1) 除塵設備の自動起動によるサイクル自動運転

- (1) スクリーン前後に水位差計を設置し、スクリーンの前面に滞留する塵芥によるスクリーン前後の水位差が或る設定水位を越えると起動する方法
- (2) タイマーにより設定した時間に起動する方法
- (3) 管理所などの遠方からの指令で起動する方法

などがある。また搬送コンベヤは除塵機に連動して起動させる。

2) サイクル自動運転の停止

- (1) 設定した運転回数の除塵を行った後、停止させる方法
- (2) 設定した時間内昇降を繰り返し除塵を行って停止させる方法

などがある。また搬送コンベヤは除塵機が停止した後、貯留ホoppaまで塵芥を搬送する時間をあらかじめ設定しておき、設定時間経過後、自動的に停止する方法をとる。

3) 貯留ホoppaの操作

塵芥の搬出は定期的にトラックなどで行うので、貯留ホoppaの機側に操作盤を設け、塵芥の搬出時に押ボタンスイッチによって単独操作を行い、ホoppaゲートを開閉する。

3. 3. 7 参考資料

除塵設備の設置基準を検討するに当たり、小水力発電設備用除塵設備の実態調査を行った。表3. 3-2参考資料は、その調査結果である。

流れ込み式発電所は12カ所あるが、その内11カ所には除塵機が設置されている。

除塵機のない発電所が1カ所あるが、小枝、木の葉、草などのゴミがケーシングにつまることによる出力低下や、弱点ピンの変形および折損などのトラブルが発生していた。

このため開渠の導水路に蓋を設置したり取水口の上流に網場を設けるなどしてゴミの流入を防止しているが、やはり月に1～2回のゴミ詰まりによるトラブルが発生している。

ケーシングのゴミ詰まりや弱点ピン折損は、水車の分解を伴うので分解点検・修理費用やその間の発生電力量の減少などを考えると、流れ込み発電所の場合は少なくとも除塵機の設置は必要である。従って、3. 3. 2「除塵設備の設置基準」では流れ込み式発電所の場合は、除塵機の設置を標準とした。

なお、この除塵設備の実態調査で、台風時の除塵能力を上回るゴミの流入や、人力による除塵時の安全性の問題、スクリーンの目幅やゴミの搬出方法などが問題点として指摘されている。

何れにしても、完成後に改善することは費用がかさむので、計画的にゴミ対策を十分検討し、適切な除塵設備を設置することが最も重要である。

表 3. 3-2 参考資料

小水力発電設備用除塵設備実態調査結果

No.	水車形式	水車出力 (kW)	取水方式	スクリーン			除塵機		ゴミ詰まりのトラブル事例					
				型 式	取付角度	有効目幅	形式	搬送	頻度	季節	詰る場所	ゴミの種類	それによって起るトラブル	対 策
1	横軸 フランシス	1,900	流れ込み式	バースクリーン	75°	21	定置式、チェーン ロータリー式	チェーンコンベヤ	3回程度/年	8~11月	スクリーン	流木、落葉	主機停止	人力による流木の除去
2	横軸 フランシス	569	流れ込み式	パンチングメタル式	90°	φ25	スクリーン レーキ 反転式		3回程度/年	早春または 強風大雨の後	水車ランナ	流木	出力低下	取水口巡視徹底
3	クロスフロー	1,270	流れ込み式	バースクリーン	1:02	19	可動フレーム 一軸一連式		なし					パトロール1回/2週、点検1回/月を実施 中現在トラブルなし
4	横軸ペルトン (2射)	286	ダム式	バースクリーン		38	なし	なし	なし					
5	横軸 フランシス	1,280	ダム式	バースクリーン		44	なし	なし	なし					
6	横軸 フランシス	1,870	流れ込み式	バースクリーン		19.4	電動かき上げ	チェーンコンベヤ	なし					
7	横軸 フランシス	1,010	流れ込み式	バースクリーン	50° 10'	19	電動かき上げ	チェーンコンベヤ	なし					
8	横軸 フランシス	1,054	ダム式	浮網場	垂直	網目 30角	なし	なし	なし					
9	横軸 フランシス	640	ダム式	バースクリーン			なし	なし	なし					
10	横軸 フランシス	643	流れ込み式	バースクリーン	75°	30 19.5改	レーキ回転 かき上げ式		1回程度/月	代かき期、落葉 期に多い	ステーション、ガイドバーン、 ケーシング巻終り部	木枝、木ノ葉、 草、ビニール袋	出力低下、弱点ピン変形及び 切損	1) スクリーンの目幅を1/2に改造 2) 除塵機の上流の 水槽入口に荒目(300mm)の除塵機を設置
11	横軸 フランシス	784	流れ込み式	網場+バース スクリーン	73°	30	なし	なし	1~2回程度 /月	運転初期落葉 期が特に多い	ガイドバーン、ケーシング巻 終り部	木枝、木ノ葉、 草	出力低下、弱点ピン変形及び 切損	1) 開きよの導水路にふたを設置 2) スクリーン上流に網場を設置
12	クロスフロー	213	ダム式 斜樋	網場+バース スクリーン		20	なし	なし	なし					
13	横軸 フランシス	469	流れ込み式	バースクリーン	66° 30'	26	定置式可動フレーム 一軸一連式	チェーンコンベヤ	なし					
14	横軸 フランシス	基準 645	ダム式	バースクリーン	89°	25	レーキ固定形	ベルトコン ベヤ(傾斜)	なし					
15	クロスフロー	658	弘式 多段式円筒形 表面取水ゲート	バースクリーン	鉛直	88	なし	なし	なし			流木、木片、小 枝等	水車の変形、摩耗、超音波流 量計の異常値	臨時ゴミ取りを行っている。
16	S形 チューブラ	796	弘式 フロート式表面水 取方式	スクリーン		ピッチ50	なし	なし	半年で9回程 度	夏季期間	フロート吸込口及び スクリーン	小枝、軽石、葉	エヤーハンマー	人力によるゴミの除去(現在除塵機の設 置を検討中)
17	クロスフロー	385	弘式 斜樋直樋 形 ローゲート表面 取水	バースクリーン	45°	18	なし	なし	なし					
18	横軸 フランシス	1,180	ダム式 ダム直下取水	C型浮後橋 式 ネット		網目 2.5	なし	なし	H2. 6~3回程 度	初夏	ガイドバーン 水車ランナ出口	木片	弱点ピン折損、出力低下、 電動サーボ過負担	
19	クロスフロー	333	ダム式 表面取水方式	スクリーン	垂直	28	なし	なし	少ない		スクリーン	小枝、葉	なし	年1回の定期点検でゴミの除去を実施
20	横軸ペルトン (2射)	940	流れ込み式	バースクリーン	75°	25	定置式チェーン ロータリー形	チェーンコンベヤ	なし					
21	横軸ペルトン (2射)	612	流れ込み式	バースクリーン	80°	20	チェーン式 固定形	チェーンコンベヤ	2回程度/年	台風時	スクリーン	竹、木	除塵不能による発電機停止	人力による除塵(台風時の人力除塵は安 全上問題があり限界がある)
22	S形 チューブラ	942	流れ込み式	バースクリーン	78°	28	チェーン式 固定形	チェーンコンベヤ	2回程度/年	台風時	スクリーン	竹、木	除塵不能による発電機停止	人力による除塵(台風時の人力除塵は安 全上問題があり限界がある)
23	横軸 フランシス	1,510	流れ込み式	バースクリーン	73.3°	16	レース反転式 傾斜形	ベルトコンベヤ	7回程度/年	1~2月 5~9月	スプロケット、 スクリーン	凍結による小 石	小石除去のため減水による出 力低下	洪水時及び定期的に沈砂池排砂を実施
24	横軸 フランシス	550	ダム式	バースクリーン	90°	21	なし	なし	1回程度/2 年	8月	ガイドバーン及 び水車ランナ	木片及びプラ スチック片	主機停止及び出力低下	水車カバーを分解し除去

第4章 水車

農業用水利施設を利用して計画される発電用水車には、高落差用に横軸ペルトン水車、中落差用に横軸フランシス水車、中低落差小容量にクロスフロー水車、低落差用にチューブラ水車があり、これ等4種類の水車に関して、基本設計ができるように、各水車の特徴、比速度の範囲、効率、キャビテーションなどの特性、構造、水車の詳細選定、回転速度の決定、水車の概略寸法及び概略基礎荷重などについて説明する。

4.1 水車の概要

4.1.1 水車の種類

水車の種類は大別すると、衝動水車と反動水車に分けられる。

衝動水車とは圧力水頭を速度水頭に変えた流水をランナに作用させる構造の水車であり、ペルトン水車がこれに相当する。

反動水車とは圧力水頭をもつ流水をランナに作用させる構造の水車であり、フランシス水車、プロペラ水車がこれに当る。

この3種類の水車はランナに流入する流水の方向は異なるが、ランナから流出する流水の方向はペルトン水車以外は軸方向となる。

衝動水車と反動水車の中間に位置するのがクロスフロー水車で、両方の特性を併せ持ち小水力発電に近年採用されている。

表4.1-1 水車の種類と水の流れ

水車の種類	水の流れ	
	ランナへの流入	ランナからの流出
ペルトン水車	軸に直角方向	軸方向に向きを変えて流出
フランシス水車	軸に直角方向	軸方向
クロスフロー水車	軸に直角方向	ランナを貫通して流出
プロペラ水車	軸方向	軸方向

プロペラ水車で吸出し管をS字形に湾曲させ、吸出し管上部の床面に発電機を配置する構造の水車をS形チューブラ水車と呼ぶ。

この他様々な呼名の水車があるが、一般的でないので省略する。

4.1.2 水車の概要と特徴

1) ペルトン水車の概要と特徴

(1) 概要

ペルトン水車は、中高落差に適用される水車で、大気中において衝動作用により水動力をランナに伝えるのが特徴である。本マニュアルでは横軸2ノズルで同時開閉方式を標準とする。

(2) 作動原理・水の流れ

水圧管で導かれた高圧の水は、ノズルで速度エネルギーに変換され、高速のジェットとなって噴出する。

このジェットは、ランナバケットに当たり、エネルギーをランナに伝達した後、ハウジング内に排出される。ランナは速度エネルギーを回転力なる機械エネルギーとして回収し、主軸を通じて発電機に伝え、電気エネルギーに変換される。

水車の効率は無ノズルとランナバケット部分で決定され、ノズル流量 Q 時のジェット流速 v_1 は空気抵抗とノズル及びニードル部分の損失により5%程度低下する。バケット部は流速成分は3成分に分析され速度三角形が成立する。ジェット流がバケット内面に沿い流れる間摩擦のため

幾らかの損失をともなうが、バケットを出るとき持ち去るエネルギーは $\frac{v_2^2}{2g}$ であってこれに摩擦係数 ζ_2 と附加した $\zeta_2 \frac{w_2^2}{2g}$ は損失となり下記の式がバケットに与える仕事 $E\eta$ となる。

$$E\eta = \gamma Q \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} - \zeta_2 \frac{w_2^2}{2g} \right)$$

バケット効率を良くするためにはジェット流を有効に受ける中心円にバケット個数をどう配置するかで決まる。バケットの切欠き部は最初にジェット水を受ける適当な角度で導入せしめるように作られる。バケット背面の尖端部はジェットの相対水路に激しく当たらぬよう設計されている。

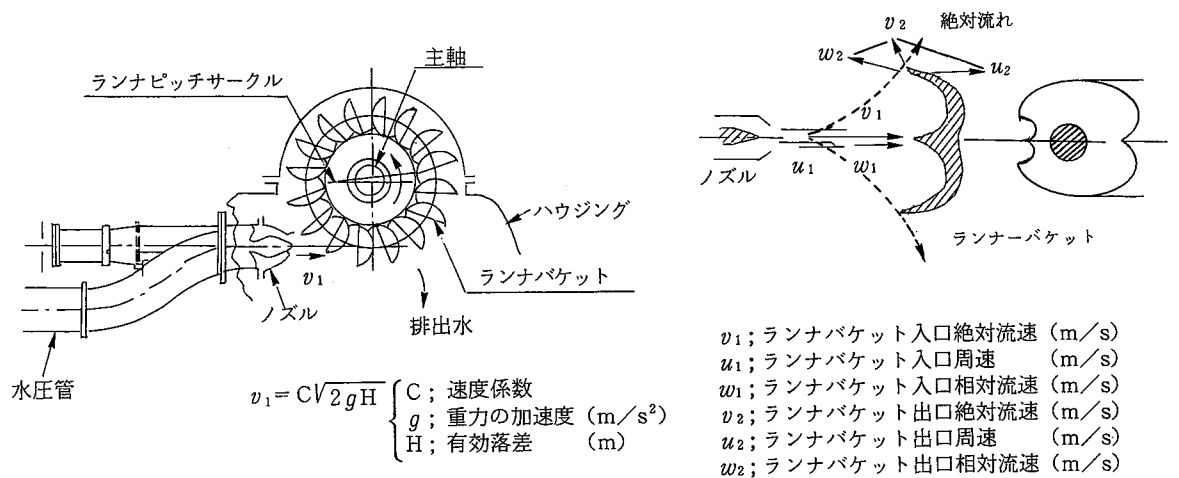


図4. 1-1 ペルトン水車の水の流れ

(3) 適用範囲

ペルトン水車は、一般には200~1800mの高落差地点に適用されるが、小水力発電においては落差範囲を65mまで拡大できる。ペルトン水車としては、落差の低い範囲となるので比速度も高い範囲を選び、かつパッケージの考え方から一体輸送限界、製作上の限界などを考慮し、また、給水装置や潤滑油装置の省略が可能な範囲として、本マニュアルでは、

適用範囲を下記とする。

- a. 有効落差 約65m～約200m
- b. 流量 約0.2～約0.5m³/s
- c. 出力 100～500kW
- d. ランナ径 500mm以上

(4) 特徴

- a. 流量制御は、ノズル内にあるニードル弁によって行われるため、流量が変化してもランナバケットに当たるジェットの流れ条件は大きく変化しない。したがってフランシス水車に比べて最高効率の値は、若干低い、低流量域での効率低下は少なく、部分負荷効率が高い特徴を持つ。
- b. ノズル内のニードル弁による流量制御を緩やかに行ない、高落差で長い水圧管を使用する発電所においては、管路途中にサージタンクを設置することなく水撃現象を緩和することができる。
- c. 水車停止中はランナバケットが、水に没していないため点検・整備が容易である。
- d. ペルトン水車は、常時気中運転が必要なので計画にあたっては、水車軸中心と放水位間距離を「ランナバケット外周径の1/2+1500～1800mm」程度とする必要がある。

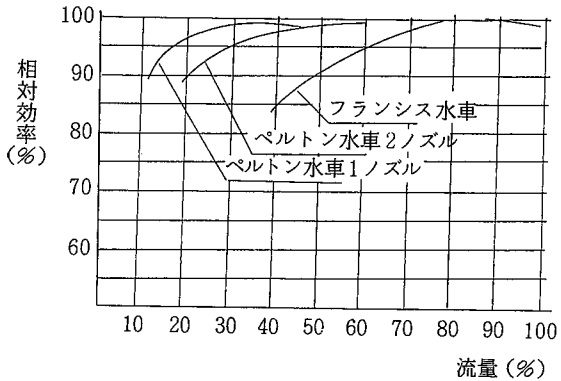


図4. 1-2 ペルトン水車の特性曲線

2) フランシス水車の概要と特徴

(1) 概要

フランシス水車は中落差発電所に適用される水車で、水中において衝動および反動の両作用により水の動力をランナに伝えるのが特長である。ランナの形を変化させることで衝動および反動両作用の占める率を大巾に変えることができるので広範囲の比速度に適用することができ、従来から最も数多く適用されている。

(2) 作動原理

図4. 1-3 参照

- a. 水圧管を通して水車入口まで導かれた水は
①ケーシング→②ステーション→③ガイドベーン（加速される）

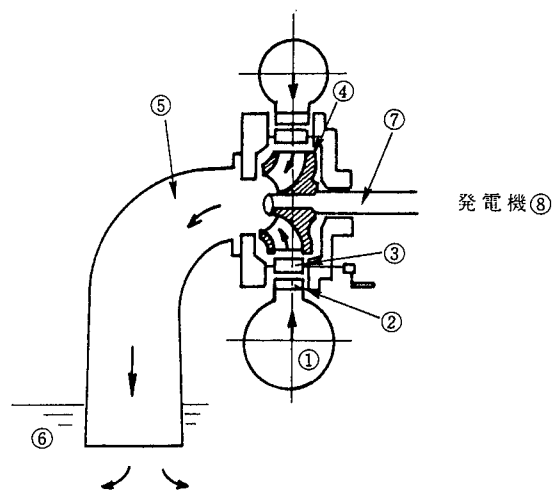


図4. 1-3 フランシス水車

- ④ランナ（主軸に直角方向から流入、流入した水はランナベーンの間を充満して流れ、水動力を伝える。その後軸方向にランナを出る）→⑤吸出し管→⑥放水路に排出される。
- b. ランナに伝えられた水動力はランナ出力→⑦主軸→⑧発電機と伝えられる。
- c. ランナ内の水の流れランナに流入する水（ $Q \text{ m}^3/\text{s}$ ）のもつ周方向の運動量の変化（入口と出口）の反力がランナに加わりトルクを発生している。概念的なランナ内の流れを示すと図4. 1-4のようになる。反動作用でトルクが発生する。ランナー外周面①と内周面②の速度ベクトル差がトルクとなる。

$$T = \frac{Q}{g} (r_1 v_1 \cos \alpha_1 - r_2 v_2 \cos \alpha_2)$$

有効落差 H では理論的に考えれば $\gamma Q H$ の仕事を行う。従って水車の水力効率 η_h は

$$\eta_h = \frac{1}{g H} (r_1 v_1 \cos \alpha_1 - r_2 v_2 \cos \alpha_2)$$

で表される。

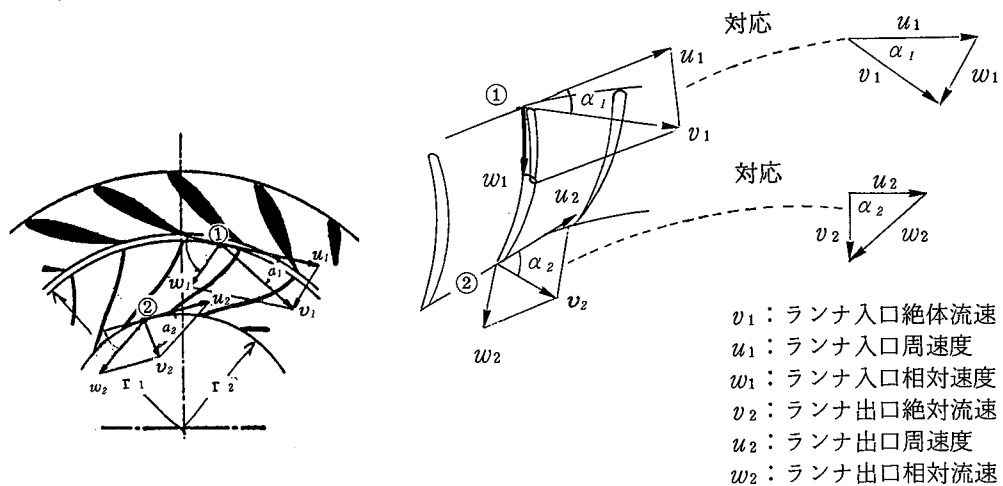


図4. 1-4 フランス水車ランナの速度線図

(3) 適用範囲

落差に対しての横軸フランス水車の適用範囲は大略15~200mの範囲である。

本マニュアルでは落差を100m以下に限定し、パッケージ化と一体輸送限界、製作上の限界などを考慮し、また給水装置や潤滑油装置の省略が可能な範囲として適用範囲を下記とする。

- a. 有効落差 13~85m
- b. 流量 0.4~2.5 m^3/s
- c. 出力 150~500kW
- d. ランナ径 350mm以上

(4) 特徴

- a. 有効落差として、ランナから放水路、水面までを吸出し管により利用できる。
- b. ランナの形状を変えることで幅広い比速度に適用でき、対応できる落差の範囲も広い。
- c. 立軸、横軸、渦巻形、露出形、単流形、複流形などに形を変えることができる。

なお、本マニュアルでは、横軸単輪渦巻形を標準としている

3) クロスフロー水車概要と特徴

(1) 概 要

クロスフロー水車は中低落差・小容量に適用される水車である。

クロスフロー水車は衝動水車及び反動水車の特性を併せ持ち、流水が円筒形ランナに軸に直角に流入し、ランナを貫流して流出するので貫流水車と言う。

(2) 作動原理

入口管より流入した水は、ガイドベーンの上・下の通路を通りランナ外周よりランナベーンに作用して、ランナ内側へ流入する主流と、ランナの内側へ入らずベーンに作用したのち、外側へ直接流出する二つの流れがある。

ランナの内側に流入した水は、ランナベーンと主軸の空間を横切って再びランナ内側よりベーンに作用して、ランナ外側へ流出する。図4. 1-5にその流れの概念を示す。

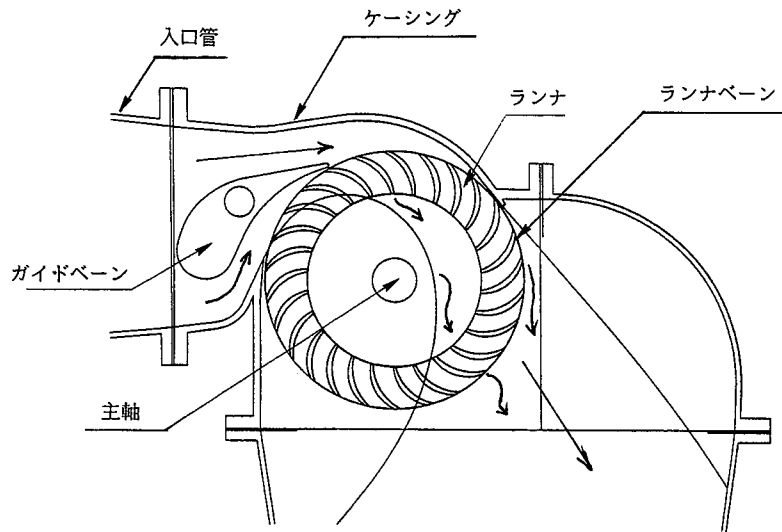


図4. 1-5 クロスフロー水車の水の流れ

(3) 適用範囲

落差として最高200mから最低数mまで計画されているが、高落差では変落差時にランナベーン入口部の流れの剝離による壊食の恐れのあることや、ランナを水没させないで運転しなければならないことなどから、クロスフロー水車の適用できる落差の範囲は5～100m程度である。またパッケージの考え方から一体輸送限界、製作上の限界などを考慮して、本マニュアルでは適用範囲を下記とする。

a. 有効落差	5～100m	5～60m
b. 流量	0.2～5.0m ³ /s	0.2～2 m ³ /s
c. 出力	100～500kW	20～100kW
d. ランナ径	250～800mm	250～630mm

(4) 特 徴

a. クロスフロー水車の特性はガイドベーンを分割する方法では、最高効率フランシス水車に劣るが、部分負荷の効率はフランシス水車より高くなる。

即ち、ガイドベーンを1：2に分割し、流量の変化に応じて小ガイドベーン単独、大

ガイドベーン単独、又は大・小のガイドベーンを同時に制御することによって、常に水車を高効率点で運転することができる。

- b. クロスフロー水車は構成部品が少なく、構造が簡単である。又、水流とランナベーンとの関係から判るように、水による軸方向スラストが生じないので、軸受はころがり軸受が使用できる。
- c. クロスフロー水車は、水車ランナ下流側に空間部が必要なため水車軸中心と放水位間距離を1.5～2.0m程度とする必要がある。

4) チューブラ水車（S形チューブラ水車）の概要と特徴

(1) 概 要

チューブラ水車は、低落差地点で比較的流量の多い場合に適用される水車で、水中において反動作用により水の動力をランナに伝える。

チューブラ水車にはS形チューブラ水車、バルブ水車、ストレートフロー水車などがあるが、本マニュアルでは小水力発電として設置、あるいは保守が比較的容易なS形チューブラ水車を採用する。

チューブラ水車の場合には低落差大流量地点に適用されるため、500kW以上のケースも多々出てくる。

(2) 作動原理

図4. 1-6にチューブラ水車の水の流れを示すが、ケーシング、ステーベーンに流入した水は、ガイドベーンによって旋回流となり、ランナに流入してエネルギーを伝達し、ランナ出口では主軸に概ね平行な流れとなる。

ランナを出た水は、S形状の吸出し管を通り、放水口に放流される。

チューブラ水車の水の流れとしての特徴は、ガイドベーン、ランナベーン共可動にすると、流量変化、あるいは落差の変化に対してもガイドベーン開度、ランナベーンの開度を相対的に変化させることによってエネルギー損失が少なくなり、運転範囲が広がることである。一方、ランナベーンを固定にすると流量、又は、落差が設計点よりずれるためランナベーン角度に対する水の流れがかい離し、効率の低下、振動の発生が生じ、運転範囲は設計流量、落差の近傍に限定される。

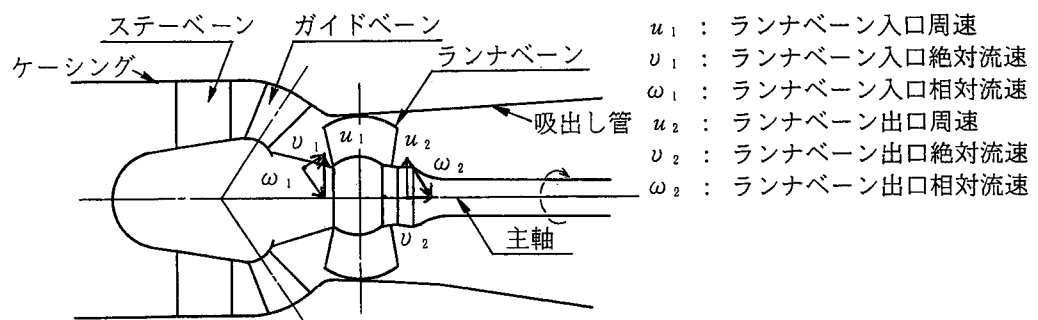


図4. 1-6 チューブラ水車の水の流れ

(3) 適用範囲

通常チューブラ水車が適用出来る落差は3～20mである。一般的にはガイドベーン、ランナベーンとも運転時可動であるが、農業用水利用の場合には流量は季節的にしか変化しないと考えられるため、機器の経済性を考慮してガイドベーンは運転時可動、ランナベーンは水車停止時可動（運転時固定）とする量の変化範囲に対応させることとする。

S形チューブラ水車の適用範囲は下記とする。

- | | | |
|---------|-----------------------|--------------------------|
| a. 有効落差 | 3～18m | 2～8 m |
| b. 使用流量 | 3～15m ³ /s | 0.5～3.0m ³ /s |
| c. 出力 | 100～500kW | 20～100kW |
| d. ランナ径 | 900～1,800mm | 400～800mm |

(4) 特徴

- a. S形チューブラ水車は、小容量に適した水車で、吸出し管をS字状に湾曲させ、発電機を吸出し管の上面に設置した構造である。

また、水車が低速の場合には発電機と水車の間に増速機を設ける。

この形式の水車は、発電機は、機械が床面に配列されているので、特に保守面ですぐれている。

水車・発電機室の床面は、通常放水面より高くして壁面より浸水を防止し、あわせて床面の漏水を自然流下で外部に排出させるとか、点検時にランナ回りを分解しても吸出し管より逆流による浸水の恐れのない配置にすることが多い。

- b. S形チューブラ水車は反動水車であり、フランシス水車同様、吸出し管により放水面まで有効落差として利用出来る。

- c. チューブラ水車は、主軸に水スラストが作用するのでその支持を考慮する必要があるが、更に負荷遮断時には逆方向にもスラストが作用するので注意が必要である。

4. 1. 3 水車の比速度

各種の水車は、どの範囲でも適用出来る訳でなく、それぞれ落差、比速度などに対して限界がある。比速度は各種の水車に適用出来る範囲があり、落差に対する強度、効率及びキャビテーションなどからその範囲が決められる。

流体機械は一般に比速度で整理されるが、水車の場合の比速度はつぎのように表わす。

$$n_s = n \times P_T^{0.5} / H^{1.25} \dots\dots\dots (4. 1 - 1)$$

- | | | |
|-------|----------|----------|
| n_s | : 比速度 | (m-kW単位) |
| H | : 有効落差 | (m) |
| n | : 定格回転速度 | (r/min) |
| P_T | : 水車出力 | (kW) |

水車の形と運転状態とを相似に保ってその大きさを変え、単位落差で単位出力を発生させたとき、その水車の回転速度が比速度であり、比速度によって水車の種類、ランナの形状が定まる。

1) ペルトン水車

J E C-4001では比速度の限界は次式で示されている。

$$n_s \leq \frac{4300}{H+195} + 13 \quad \dots\dots\dots (4. 1 - 2)$$

2) フランス水車

落差に対する比速度の限界としてはJ E C-4001に次のように示されている。

$$n_s \leq \frac{21000}{H+25} + 35 \quad \dots\dots\dots (4. 1 - 3)$$

最近の立軸フランス水車の実例ではこの限界を超える採用も多いが、小形の横軸フランス水車では、放水路の水位より水車を高く据付けて保守を容易するために、落差に対する比速度の限界を式(4. 1 - 3)より相当余裕のある値にする場合が多い。

3) クロスフロー水車

クロスフロー水車は古くから小水力発電用水車として採用されてきたが、国内での製作実績は他の水車に比べてまだ少ない。J E C-4001の n_s の範囲は $90 \leq n_s \leq 110$ となっている。しかし、500kW以下の国内製作実績から考慮し本マニュアルでは n_s の範囲を下記とする。

$$40 \leq n_s \leq 200$$

またクロスフロー水車が採用される落差は現在までの実績では約200m近い範囲まで製作されているが、実用的には落差100m以下に適している。

4) プロペラ水車

落差に対しての比速度の限界についてJ E C-4001には次式で示されている。

$$n_s \leq \frac{21000}{H+17} + 35 \quad \dots\dots\dots (4. 1 - 4)$$

しかし、低落差用として開発された、チューブラ水車などの特性からJ E C-4001に規定された値より相当大きな比速度が採用されている。本マニュアルでの n_s の範囲は下記の通りとする。

$$8 \text{ m以上} \quad 450 \leq n_s \leq 700$$

$$10 \text{ m以上} \quad 600 \leq n_s \leq 900$$

4. 1. 4 水車のキャビテーション

1) キャビテーション

キャビテーションとは水流によって、水車のランナのある部分の圧力が低下して、その部分の水が常温において沸騰して水蒸気のあわを形成し、続いてこのあわが崩壊する現象をいう。

一般にキャビテーションの発生場所からの後流でキャビテーションがランナの表面で崩壊するとその部分が壊食をうける。

キャビテーションの発生場所は通常の運転状態では、周囲の圧力の低いランナの出口付近で発生する。

しかし、設計点に対して、大幅にずれた運転を行うと、必ずキャビテーションの発生を伴い、思わぬ場所に壊食を生ずるので注意が必要である。

フランス水車、S形チューブラ水車の様な反動水車では設計点より高い落差で運転すれば、ランナ入口の負圧側にキャビテーションが発生する。逆に低落差の場合にはランナ入口の圧力側にキャビテーションが発生するが、ランナに附着してあわが崩壊することが少ないので、殆ど壊食につながらない。

フランス水車で流量を少なくして運転すると翼間渦キャビテーションが発生する。このキャビテーション気泡がランナに附着して壊食をもたらす。

ペルトン水車ではノズルからの噴射水は大気圧で、全エネルギーがすべて速度水頭になっている。ペルトン水車のランナのバケット内面に凹凸あるいは、流れの方向と十分対応出来ない形状面ではキャビテーションが発生し、その後流部が壊食される。

また、次のバケットに水を導入するため切かき部で、流れに剝離を生じた場合に背面にキャビテーションが発生する。

クロスフロー水車もランナベーン入口付近では反動水車の場合に近い現象となる。従って落差変化の大きい場合は、高落差運転時にランナベーン入口負圧側にキャビテーションが発生する。

クロスフロー水車は反動水車と衝動水車の性質を併せ持っているが、ランナベーン入口の絶対圧力はフランス水車に較べると非常に低い。それ故、吸出し管を設けて、ランナ回りの圧力を低下させて運転する方法は落差としては増加し、当然出力も増加するが、落差変化が大きい場合は高落差運転時に、キャビテーションが発生する恐れがあるので本マニュアルでは吸出し管の設置をしないこととした。

2) 吸出し高さ と キャビテーション

反動水車の通常の運転範囲（変落差運転などがない場合）では、ランナ出口に発生するキャビテーションを防止すればよく、このため水車の据付高さ即ち、吸出し高さを制限している。

水車の形式、比速度などが決まると、ランナ出口部に生ずる圧力低下は運転する有効落差に比例する。この圧力低下が飽和蒸気圧より大きくなるとキャビテーションの発生となる。

キャビテーションの起こり目安として4. 1-5式で示されるプラント有効吸出し高さNPSHが使われる。NPSHとは水車出口の全水頭がキャビテーション発生圧 h_{va} に対してどれだけ余裕を持っているかを表している。

$$NPSH = (h_{amb} + h_{v2} - Z_s - A) - h_{va} \quad \dots\dots\dots (4. 1-5)$$

- h_{amb} : 大気圧に相当する圧力水頭 (m)
- NPSH : 有効吸出し高さ (m)
- h_{v2} : 速度水頭 (m)
- Z_s : 吸出し高さ (m)

- A : ランナの指定位置と水車の指定位置との標高差 (m)
 h_{va} : 水の飽和蒸気圧に相当する圧力水頭 (m)

吸出し高さは、反動水車の吸出し管出口水位から水車のランナ基準面 (図 4. 1-7 参照) までの高さをいい、ランナの基準面が吸出し管出口水位より高い場合には正号⊕をとり、低い場合には負号⊖をとる。

ランナの基準面としては、横軸フランシス水車ではランナの出口上端、横軸プロペラ水車ではランナベーンシステムを中心線とランナベーン外縁との交点の上端をとる。図 4. 1-7 にその関係を示す。

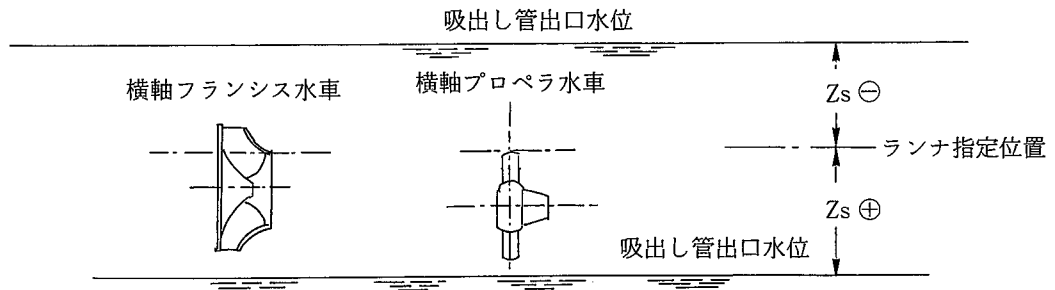


図 4. 1-7 吸出し高さ

飽和蒸気圧は、水温によって表 4. 1-2 のようになる。

大気圧は標高によって差が生じ、日本では表 4. 1-3 の値を採用している。

図 4. 1-10 にその値を示す。

式 (4. 1-5) から単位落差当りの NPSH を求めれば σ_p となり、次の式で表される。

$$\sigma_p = \frac{NPSH}{H} \dots\dots\dots (4. 1-6)$$

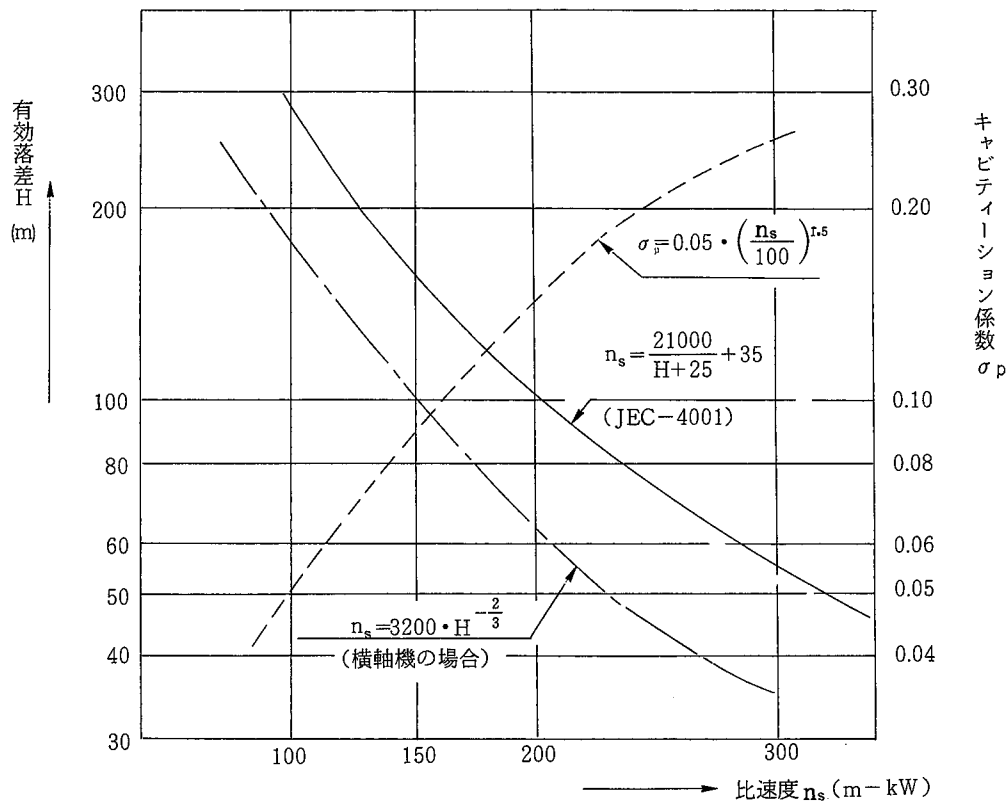


図4. 1-8 フランシス水車の n_s と σ_p

表4. 1-2 水温と水の飽和蒸気圧との関係

水温 (°C)	飽和水蒸気圧に相当 する圧力水頭 (m)	水温 (°C)	飽和水蒸気圧に相当 する圧力水頭 (m)	水温 (°C)	飽和水蒸気圧に相当 する圧力水頭 (m)
0	0.06	12	0.14	24	0.30
1	0.07	13	0.15	25	0.32
2	0.07	14	0.16	26	0.34
3	0.08	15	0.17	27	0.36
4	0.08	16	0.19	28	0.39
5	0.09	17	0.20	29	0.41
6	0.10	18	0.21	30	0.43
7	0.10	19	0.22	31	0.46
8	0.11	20	0.24	32	0.49
9	0.12	21	0.25	33	0.51
10	0.13	22	0.27	34	0.54
11	0.13	23	0.29	35	0.57

(一般には気温25°Cにおける水の飽和蒸気圧を使う)

表 4. 1 - 3 標高と大気圧との関係

(0℃標準気圧における大気圧)

標高 (m)	大気圧に相当する 圧力水頭 (m)	標高 (m)	大気圧に相当する 圧力水頭 (m)	標高 (m)	大気圧に相当する 圧力水頭 (m)
0	10.33	550	9.68	1200	8.94
50	10.27	600	9.62	1300	8.84
100	10.21	650	9.56	1400	8.73
150	10.15	700	9.50	1500	8.62
200	10.09	750	9.45	1600	8.52
250	10.03	800	9.39	1700	8.41
300	9.97	850	9.33	1800	8.31
350	9.91	900	9.28	1900	8.21
400	9.85	950	9.22	2000	8.11
450	9.79	1000	9.16		
500	9.73	1100	9.05		

キャビテーションの発生する度合いによってキャビテーション係数は、許容キャビテーション係数と臨界キャビテーションがある。

- ・許容キャビテーション係数：実際の吸出し高さ決定に利用する係数
- ・臨界キャビテーション係数：キャビテーションの発生により効率低下が始まるキャビテーション係数

吸出し高さの決定には、許容キャビテーション係数を用いて計画するが、吸出し管出口水位は、水車の流量変化、下流の条件で変化するので、最悪の条件でもキャビテーションの発生のない吸出し高さを選定する必要がある。

通常、反動水車で定義づけられている吸出し高さはランナの基準面に対する値であり、図 4. 1 - 9 に示される様に図面構成上からは架空の位置になる。そのため、水車中心の標高を基準にして表わすことが多い。このときの吸出し高さを $Z's$ と称し、次のようになる。

$$Z's = Zs - \frac{D_2}{2} \dots\dots\dots (4. 1 - 7)$$

D_2 ：ランナの出口径

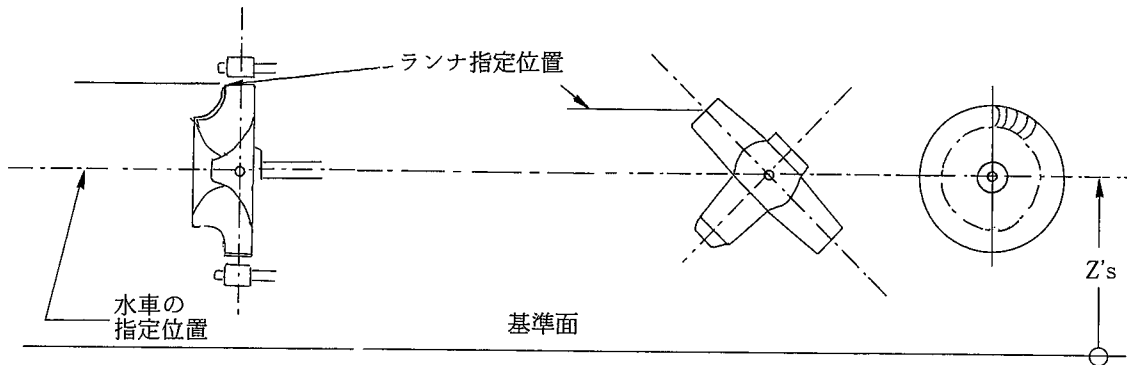


図 4. 1-9 吸出し高さと水車中心吸出し高さの関係

4. 1. 5 水車の回転速度と無拘束速度

1) 水車の回転速度

水車回転速度は、発電機の種類、その他地域の周波数、増速機の有無により若干異なる。

同期発電機と直結する水車の定格回転速度は、JEC-4001に表 4. 1-2 のように示されている。

ここにいう定格回転速度は、1 分間の回転数で表す。

表 4. 1-4 定格回転速度（同期発電機と直結する場合）

(単位: r/min)

極数	50Hz	60Hz	極数	50Hz	60Hz
6	1,000	1,200	18	333	400
8	750	900	20	300	360
10	600	720	24	250	300
12	500	600	28	214	257
14	429	514	32	188	225
16	375	450	36	167	200

誘導発電機と直結する水車の定格回転速度は、表 4. 1-4 に示す定格回転速度に、誘導発電機のすべり（スリップ）を加味した回転数となる。

また、水車と発電機を直結せず、増速機を介して結合する場合の水車の定格回転速度は、増速機の増速比に応じた回転速度を選定でき、水車の特性上望ましい回転速度を採用する。

小水力発電の場合、水車の回転速度が極端に低いと、直結では発電機が不経済になる場合が多く、発電機を直結にするのは、回転速度で300r/min以上の場合が多い。

横軸ペルトン水車、横軸フランシス水車はいずれも回転速度を300r/min以上の範囲とし、発電機と直結する場合を主にしている。

300r/min以上でも、500~300r/minの間の回転速度では、小容量で、シリーズ化された増速機を採用した方が経済的な場合がある。クロスフロー水車で500r/minを超える場合には直結

としている。

2) 無拘束速度

水力発電所で運転中の発電機の負荷が無くなれば（しゃ断器の開による無送電）、水車の開度（ガイドベーン開度又はニードル開度）、に相当した流量によって、発電機は過速度の状態になる。

ある落差、ある水車の開度及びある吸出し高さにおいて、水車が無負荷で回転する速度を無拘束速度といい、これらのうち起りうる最大のものを最大無拘束速度という。一般に無拘束速度といえは最大値を表すことが多い。

水車及び発電機は当然であるが、無拘束速度状態でも強度上安全であることが要求され、J E C - 4001でも過速度耐力として、水車及びその附属装置は最大無拘束速度において2分間安全に運転出来ることを義務づけている。

小水力発電においては、負荷しゃ断時の速度変動値を無拘束速度まで許容している例も多い。

なお、水車の機種によっては、無拘束速度（ n_R ）の状態での水車の流量は、定格速度（ n_0 ）時の流量に比べて、相当変化する。

参考までに水車の機種による無拘束速度と定格速度の比（ n_R/n_0 ）を示す。

ペルトン水車	1.5-1.8
フランシス水車	1.6-2.2
クロスフロー水車	2.0
S形チューブラ水車	2.5-3.0

4. 1. 6 振動・騒音

振動あるいは騒音の原因としては、機械的原因と水力的原因に大別される。
その概要を表4. 1-5に示す。

表4. 1-5 振動及び騒音と原因

項目 原因	具体的原因	現象	振 動 数
機械的原因	・回転部不良 ランナのアンバランス 軸の曲り	振動	$n/60$ または $(2\sim 3) \cdot n/60(c/s)$
	・軸受不良 (ギャップ不良)	振動	
水力的原因	・キャビテーション	騒音	$300\sim 600H_z$
	・吸出し管水圧脈動	振動	$(0.2\sim 0.5) \cdot n/60(c/s)$
	・ランナ入口圧力変動	振動	ランナベーン枚数 $\times n/60(c/s)$
	・ランナ出口カルマン渦	騒音	高周波

n：水車の回転速度 (r/min)

水力的な原因で生ずる振動、騒音は、フランス水車とチューブラ水車即ち反動水車に多い。
小水力発電の場合には、大形機に比べて剛性が大きいので、ランナ入口圧力変動とかランナ出口のカルマン渦による振動が生じにくい。

4.2 水車の効率と特性

4.2.1 ペルトン水車

1) 効 率

ペルトン水車は、ランナが気中にあるので落差変動の小さい範囲では、流量の変動が大きい場合でも効率の低下は少なく運転性能も良好である。表4.2-1は、比較的低落差で採用する代表的比速度三例を選び最高効率を示した。図4.2-1は水車効率(η)を最高効率(η_{max})に対する比で表わした相対効率を示す。

表4.2-1 ペルトン水車の出力と最高効率

水車出力 (kW)	最 高 効 率 (%)		
	$n_s=18.3$	$n_s=20.1$	$n_s=22.0$
100	82.1	81.8	81.5
200	83	82.7	82.3
300	83.4	83.1	82.7
400	83.8	83.5	83.1
500	84.0	83.7	83.4
600	84.3	83.9	83.6

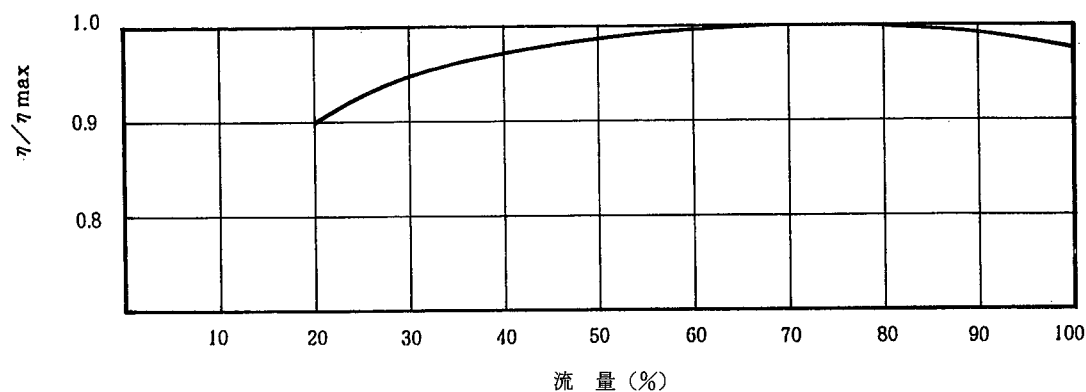


図4.2-1 ペルトン水車の相対効率曲線

2) 運転範囲

(1) 変流量特性

他の水車に比べて変流量特性（流量変動時における水車効率、キャビテーション・振動の有無等の水車特性）が優れており、通常運転範囲は、次の値を目安とする。（図4.2-1水車特性曲線参照）

$$2ノズル時 \quad Q_{min}/Q_{max} \geq 0.2$$

(2) 変落差特性

他の水車に比べて高落差のため変落差特性（落差変動時における水車効率、キャビテーション・振動の有無等の水車特性）は少ない。

3) 効率計算例

- ① 水車の仕様より比速度を求める。
- ② 水車効率曲線に比速度18.3, 20.1, 22.0の3種類が示されており、求まった n_s に近い水車効率曲線を採用する。
- ③ 中間値の最高効率は算術平均で次の様にして求める。
- ④ 280kW $n_s=18.3$ の場合の最高効率の求め方
200kWの $\eta_{max}=83.0\%$, 300kWの $\eta_{max}=83.4\%$ である。
従って、280kWの最高効率値は、

$$83.0 + (83.4 - 83.0) \times \frac{80}{100} = 83.32$$

- ⑤ 水車効率は相対効率で示されており各部分負荷の効率は相対値に最高効率値83.32%を乗じて求める。

4. 2. 2 フランス水車

1) 効 率

水車の比速度(n_s)により効率は変化するがその傾向は図4. 2-2で示れるランナ形状で決定される。図4. 2-3に n_s と D_1/D_2 の関係を示したが D_1/D_2 が1に近い所が最高効率となる。

- (1) $n_s < 100$: ランナと静止部とのギャップより漏れ損失と円板摩擦損失の比率が大きく、全体的に効率は低下するが、軽負荷の効率は、吸出し管損失が少なくないので、 n_s の大きいものより良い。
- (2) $100 < n_s < 200$: およそ180m-kW位で最高効率が最も高くなる。 n_s がそれ以上でも、以下でも最高効率はより低くなる傾向である。
- (3) $200 < n_s < 300$: ランナにおける水の相対流速が速くなるため摩擦損失が大きくなり効率は低くなる。また軽負荷での吸出し管損失が多く効率の低下が大きくなる。

以上の傾向を n_s 区分で相対効率として示したものが図4. 2-4~図4. 2-7である。図は代表的な比速度 n_s の水車の各流量における水車効率 η を最高効率 η_{max} に対する比で示したものである。最高効率 η_{max} は表の値を使用する。

図示以外の比速度、使用流量に対してはその図より推定し計画上利用する。

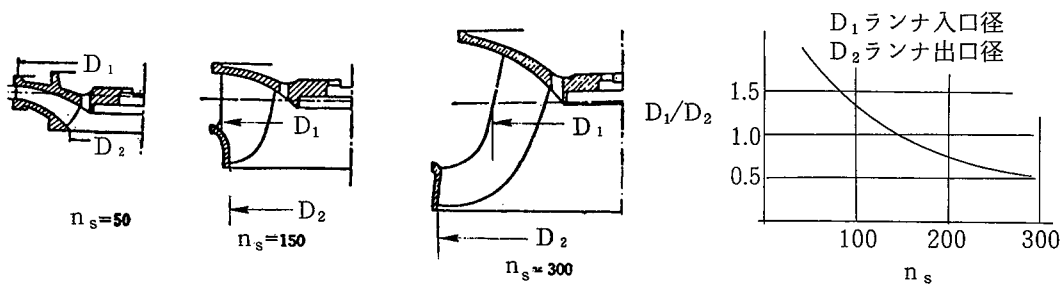


図4. 2-2 フランス水車の n_s とランナ形状の関係 図4. 2-3 n_s と D_1/D_2 の関係

2) 運転範囲

フランス水車では効率の低下、水量の変化および出力の変化は比速度 n_s の大小により著しくその傾向を異にする。

効率の低下、振動、キャビテーションなどを避けて、安定した運転を計るためには、下記の変流量、変落差の範囲内で運転することが好ましい。

(1) 変流量時の効率算定

農業用水利用の流況曲線は、低落差で低流量の場合、即ち運転範囲が $Q_{\min}/Q_{\max} \geq 0.3 \sim 0.4$ を目安とする。

図4. 2-8はフランス水車の変落差、変流量特性を水車ランナの N_s 特性にもとずいて効率との相互関係を示した。変流量の割合が0.4とした場合は N_s が80及び146では相対効率は比較的フラットに低下するが $N_s 266$ では効率の低下は大きくなる。高比速度ランナは40%程度が限度である。

(2) 変落差特性

水車定格落差を100とした時、 H_{\max} は水車許容水量として1.2倍、他方 H_{\min} は75%を限度とする。

水車効率は、85~90%負荷が最高効率点であり、 H/H_{\max} の比をどのように決定するかは流況曲線と水車効率で決定される。図4. 2-8の変落差特性を $N_s 209$ のランナについて比較すると流量は69%となり相対効率は0.975に低下する。 $N_s 266$ では0.95となる。

3) 効率計算例

有効落差 $H = 40\text{m}$

流量 $Q = 1.5\text{m}^3/\text{s}$

周波数 $f = 50\text{Hz}$ の場合について、以下に水車効率計算の例を以下に示す。

- (1) 図4. 3-8のフランス水車選定図より、流量 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ から水車としてC375が選定される。

回転速度 $n = 1000\text{r}/\text{min}$ が得られる。

比速度 n_s は、Cシリーズ水車として

$n_s = 236\text{m-kW}$ と選定される。

- (2) $n_s = n^{0.5}/H^{1.25}$ より

水車出力は、 $P_T = (n_s H^{1.25}/n)^2 = (236 \times 40^{1.25}/1000)^2 = 563\text{kW}$ と計算される。

- (3) 図4. 2-4~7水車特性曲線の中から上述の n_s に最も近似な $n_s = 209\text{m-kW}$ を選定し、この中で上述の水車出力に最も近似な水車出力500kWに対する最高効率 η_{\max} として86.2%が得られる。

- (4) 図4. 2-6より、流量(%)及び水車相対効率 $\eta_{TL} = \eta/\eta_{\max}$ を読みとる。

- (5) 流量 Q (m^3/s) は、100%流量が $1.5\text{m}^3/\text{s}$ に相当することから比例計算により、各%流

量に対するものとして求める。

- (6) 水車効率 η (%) は、(4)項に記載された式 $\eta = \eta_{\max} \cdot \eta_{TL}$ に、 $\eta_{\max} = 86.2\%$ 及びそれぞれの水車相対効率 η_{TL} を代入して算定される。

$$\text{流量}100\% \text{における水車効率 } \eta = 86.2 \times 0.97 = 83.6 \text{ (\%)}$$

$$\text{流量}80\% \text{における水車効率 } \eta = 86.2 \times 0.99 = 85.34 \text{ (\%)}$$

同様に流量60%、40%及び30%における水車効率が算定される。

- (7) (3)~(6)をまとめると、表4.2-2のようになる。

表4.2-2 水車特性値

流量Q (%)	100	80	60	40	30
水車相対効率 η_{TL}	0.97	0.99	0.928	0.83	0.69
流量Q (m ³ /s)	1.0	0.80	0.60	0.40	0.30
水車効率 η (%)	83.6	85.3	79.9	71.5	59.5

- (8) 変落差時の効率算定

$n_s = 236$ ランナの場合、

$H_{\max} = 40\text{m}$ とした時 563kWの水車では

水車効率=86.2%となるので流量は

$$Q = \frac{P_T}{9.8H\eta} = \frac{563}{9.8 \times 40 \times 0.862} = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

となる

今、変落差が最大流量に対して70%の運転状態を予測すると、

- (a) 流量はカーブから $H=70\%$ 時の $Q=69\%$

$$\text{よって } Q = 1.5 \times 0.69 = 1.032 \text{ m}^3/\text{s}$$

- (b) 効率は同様に カーブから $\eta/\eta_{\max} = 0.95$

$$\text{よって } \eta = 86.2 \times 0.95 = 81.89\% \text{となる。}$$

- (c) 従ってこの時の水車出力 P_T は

$$P_T = 9.8QH\eta = 9.8 \times 1.032 \times (40 \times 0.7) \times 0.8189 = 231.8 \text{ kW}$$

$$\approx 232$$

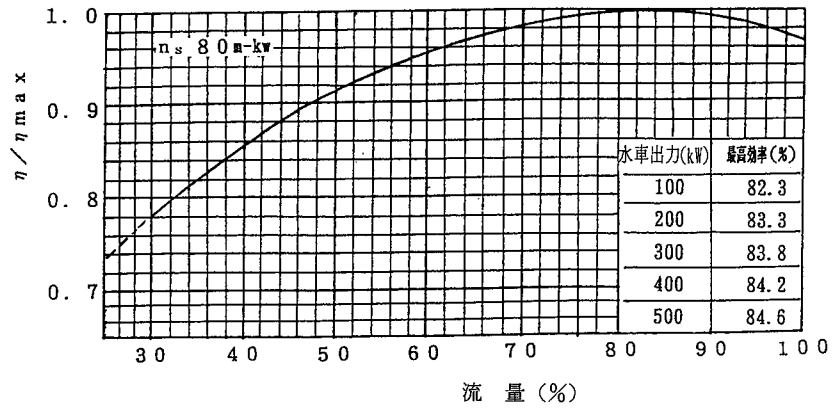


図 4. 2 - 4 n_s 80の相対効率曲線

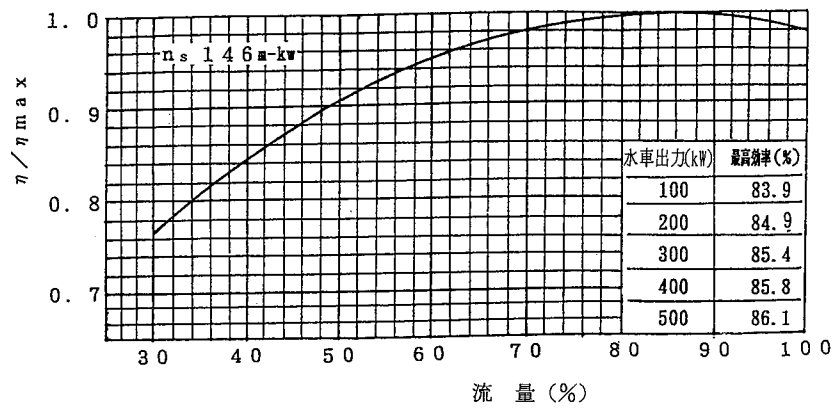


図 4. 2 - 5 n_s 146の相対効率曲線

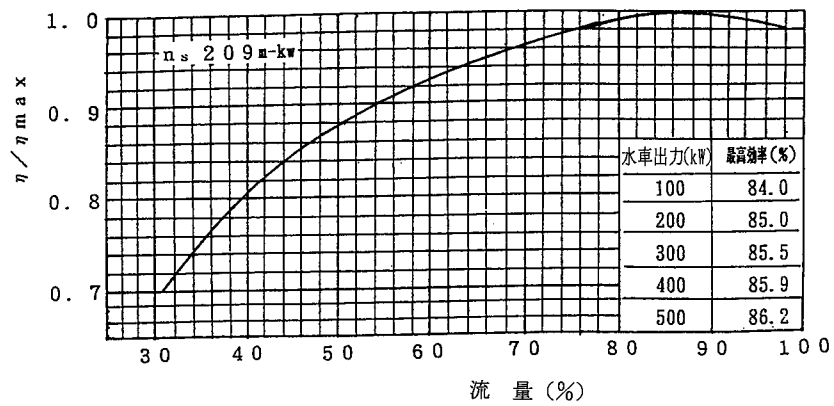


図 4. 2 - 6 n_s 209の相対効率曲線

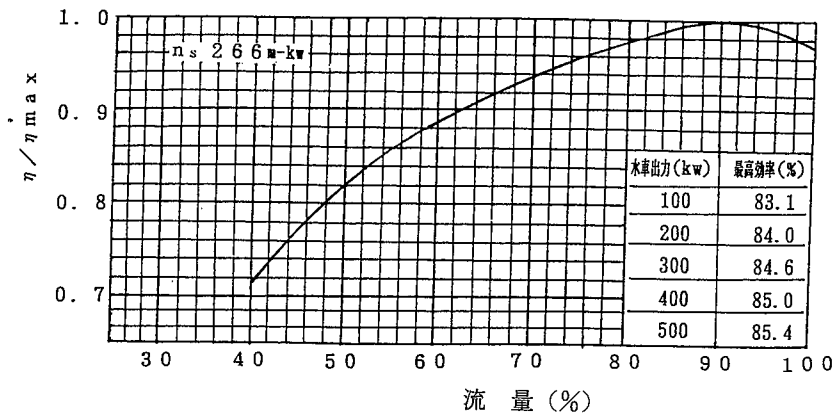


図 4. 2 - 7 $n_s 266$ の相対効率曲線

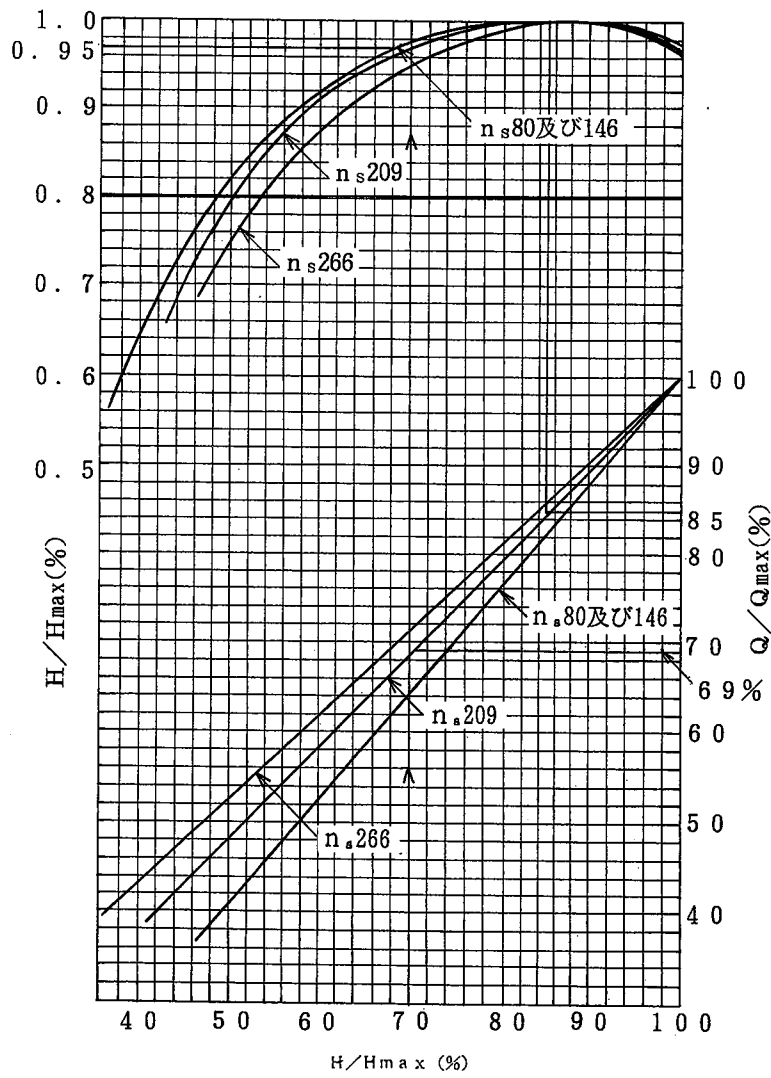


図 4. 2 - 8 フランス水車の変落差特性曲線

4. 2. 3 クロスフロー水車

1) 効 率

図4. 2-9にクロスフロー水車の特性を示す。

ガイドベーンを1：2に分割し、流量が多い場合は全体に水を流し、流量が2／3以下に減少すれば1／3の方がガイドベーンを閉じて2／3の方のガイドベーンだけで運転する。更に流量が減少し1／3以下になれば、2／3の方のガイドベーンを閉じて、1／3の方のガイドベーンで運転する。

この方法によって定格流量の15%程度までかなり高い効率で運転できる。このような運転を高効率運転と呼ぶ。

また、ガイドベーンを分割せず一体とした場合は、分割したものより、図4. 2-9に示した斜線部分だけ効率は低い。

なお、ガイドベーンの分割はアスペクト比、流量変化の関係から1：1を選ぶこともある。

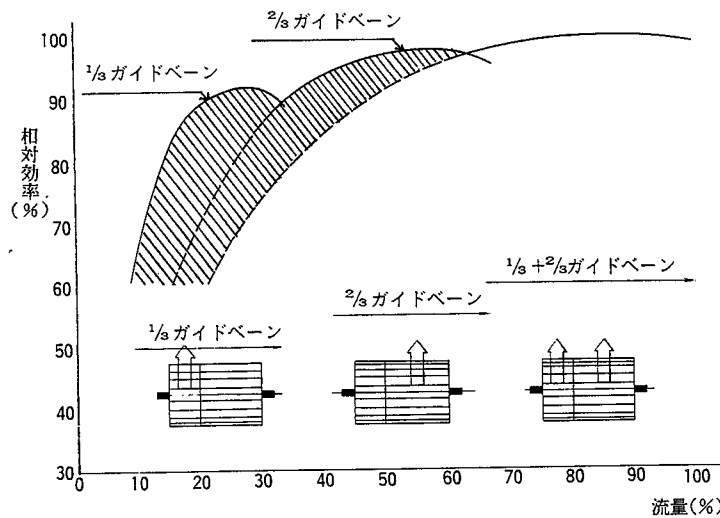


図4. 2-9 クロスフロー水車の特性

図4. 2-10～12にクロスフロー水車の代表的な特性を示す。これらの特性はいずれも相対値で表してあるが、計画に当たっては、比速度と水車出力によってそれぞれ最高効率を示してあるので、水車効率は相対値にその場合の最高効率を乗じて算出すればよい。

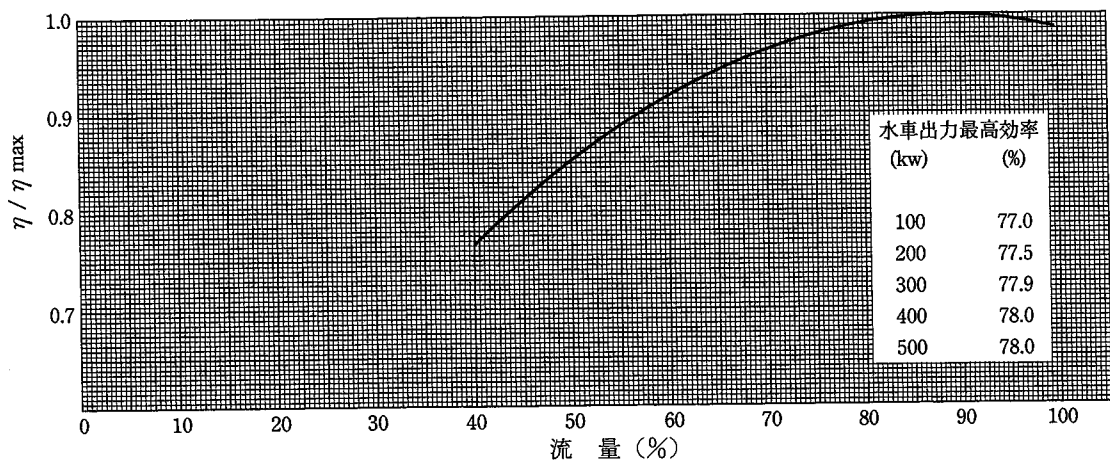


図4. 2-10 $n_s 60$ の相対効率曲線

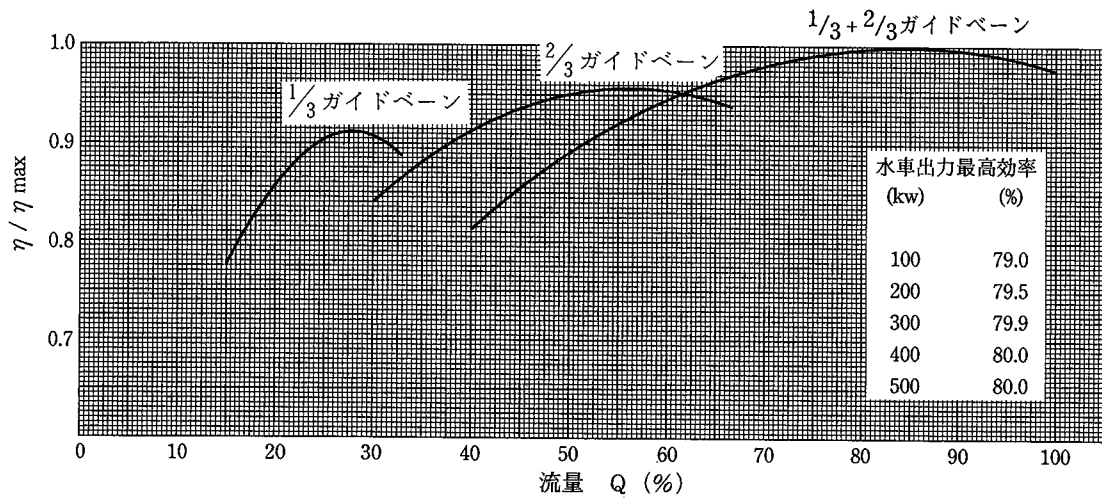


図 4. 2-11 $n_s 100, 140$ の相対効率曲線

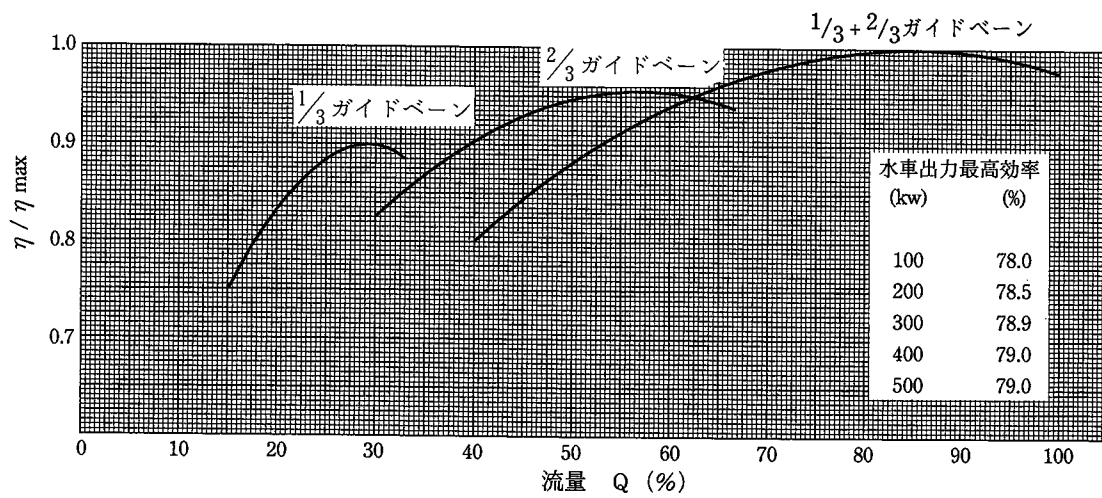


図 4. 2-12 $n_s 180$ の相対効率曲線

2) 運転範囲

変落差特性を下記に示す。

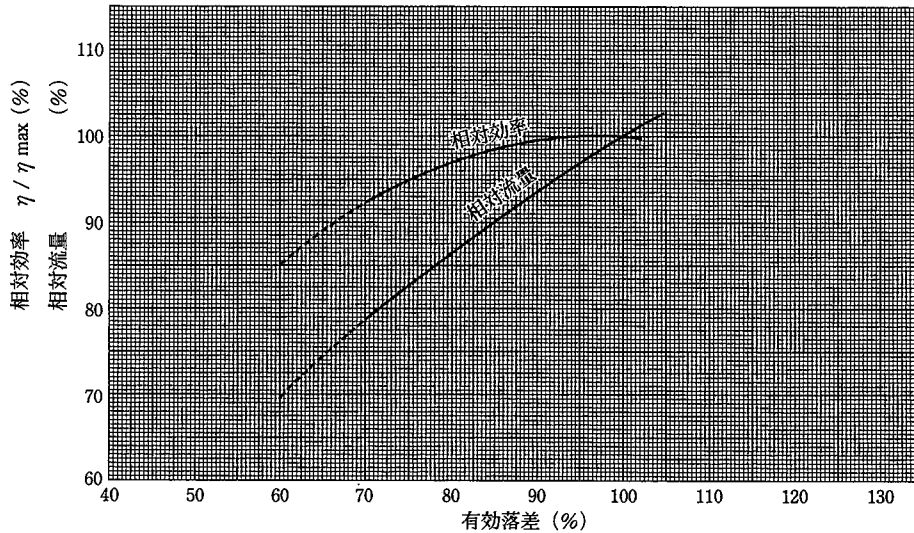


図4. 2-13 クロスフロー水車変落差特性曲線

3) 効率計算例

(1) 50Hz地区、有効落差30m、流量0.6m³/sの条件で水車の効率計算例を以下に示す。

a. 仮のn_sの計算

a) 図4. 2-14の縦軸、有効落差30mと横軸、流量0.6m³/sの交点が選定するクロスフロー水車となる。

b) 図より

ランナ径 400mm
 水車出力 約140kW
 回転速度 600r/min

となる。

c) 仮のn_sの計算を行う。

$$\begin{aligned} n_s &= n P_r^{0.15} / H^{1.25} \\ &= 600 \times (140)^{0.15} / 30^{1.25} \\ &= 101 \text{ m-kW} \end{aligned}$$

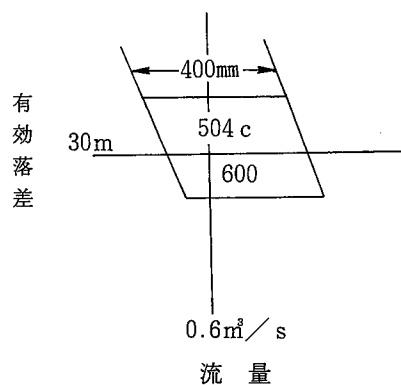


図4. 2-14 選定図の見方

b. 効率の計算

a) この水車の概略n_sは101m-kWであるので水車の効率は図4. 2-11より最大効率(η_{max})は79%となる。

b) 100%流量の効率は表よりη_{max}の98%であるので水車の効率は

$$\begin{aligned} \eta_{max} &= 79 \times 0.98 \\ &= 77.4\% \text{ となる。} \end{aligned}$$

c) 水車の出力を求めてn_sを確定する。

100%流量時の水車出力は次式により求まる。

$$\begin{aligned} P_T &= 9.8 \times 0.774 \times 0.6 \times 30 \\ &= 136.5 \text{ kW} \end{aligned}$$

d) 出力が決まったので n_s を求め、図 4. 2-11 が使えることを確認しておく。

$$\begin{aligned}n_s &= 600 \times 136^{0.5} / 30^{1.25} \\ &= 99.6 \text{ m-kW}\end{aligned}$$

e) n_s が確定したので、図 4. 2-11 を使って各流量での効率が求まる。例えば、流量が 70% の時の水車の効率は次の様にして算出できる。

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_{\max} \times 0.98 \\ &= 79 \times 0.98 = 77.4\% \\ \text{尚、この時の出力は} \\ Q &= 0.6 \times 0.7 = 0.42 \text{ m}^3/\text{s} \\ P_T &= 9.8 \times 0.774 \times 0.42 \times 30 \\ &= 95.5 \text{ kW}\end{aligned}$$

となる。

(2) 落差が変化する場合の水車効率の計算例を以下に示す。

a. 前項の条件で水車の有効落差が 27m になった場合の効率を計算する。計画点との有効落差の比は 90% ($27/30=0.9$) となる。

水車がのみこむことが出来る流量を図 4. 2-13 を使って求めると 93.5%、従って流量 Q は

$$\begin{aligned}Q &= 0.6 \times 0.935 \\ &= 0.561 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

b. 変落差時の水車の効率は図 4. 2-13 より 99%、更に 100% 流量の効率は図 4. 2-11 より 98%。従って求める効率は

$$\begin{aligned}\eta (H=90) &= \eta_{\max} \times 0.99 \times 0.98 \\ &= 79 \times 0.99 \times 0.98 \\ &= 76.6\%\end{aligned}$$

尚、これより有効落差が 27m になった時の水車の出力を計算すると

$$\begin{aligned}P_T &= 9.8 \times 0.766 \times 0.561 \times 27 \\ &= 113.7 \text{ kW}\end{aligned}$$

即ち $0.6 \text{ m}^3/\text{s} \times 30 \text{ m}$ の水車が 27m で運転する時の出力は 113.7kW となる。

4. 2. 4 S形チューブラ水車

1) 効 率

チューブラ水車は、ランナベーン、ガイドベーンをそれぞれ可動にするか、固定にするかによってその特性が大幅に変わる。

農業用水を利用して発電計画するに当たっては、その流況を十分把握して計画すべきであるが、一般には流量変化が多いが流量変化は季節的であるので、ランナベーンは停止時可動（運転時固定）、ガイドベーンは運転時可動とする。

ランナベーンを固定とし、ガイドベーンを可動とした場合の相対効率特性を図4. 2-15に示す。

図中の実線は、季節的に変化する流量に対応する、最適なランナベーン角度に調整した場合の、それぞれのランナベーン角度に対する効率特性を示す。各ランナベーン角度の効率特性（実線）の最高効率点を連続的にプロットしたものを破線で示す。

一般的に、ランナベーン固定の場合は、最大流量で最大効率を得られるように設計される。また、図4. 2-16に示すように水車最高効率は、最高有効落差時に得られる。

図4. 2-15は、ランナベーンの枚数が4～5枚の場合の効率を相対効率として示したもので、図は水車効率 η を最高効率 η_{max} に対する比で示している。最高効率 η_{max} は表4. 2-3の値を使用する。

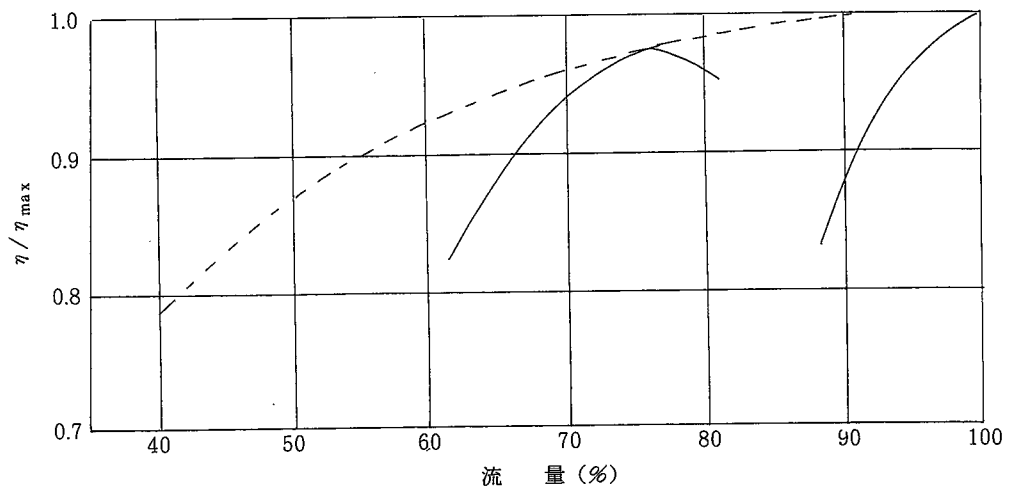


図4. 2-15 チューブラ水車の相対効率曲線

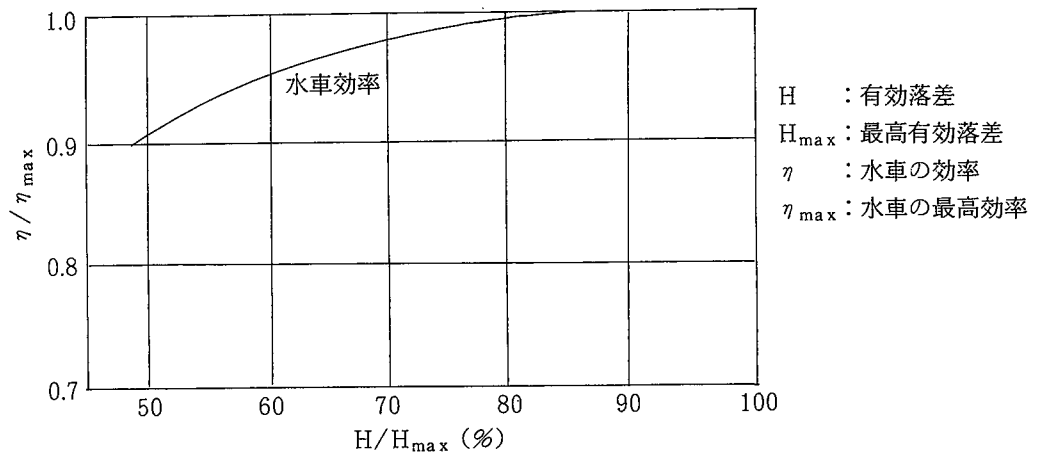


図 4. 2-16 チューブラ水車の変落差特性

表 4. 2-3 チューブラ水車の効率

最高効率 η_{max} (%)			
比速度 (m-kW) 水車出力(kW)	500	700	900
100	85.3	84.5	82.5
200	86.7	85.9	83.9
300	87.0	86.2	84.2
400	85.3	84.5	82.5
500	87.3	86.5	84.5
1000	88.1	87.3	85.3
1500	88.6	87.8	85.8
2000	88.9	88.1	86.1

2) 運転範囲

運転範囲を決める要素としては次の事項が考えられる。

- ・ 効率
- ・ キャビテーション
- ・ 振動、騒音

水車のランナーベーン固定の場合は落差変動 $H/H_{\max}=0.6$ 、 $Q/Q_{\max}=0.8$ 以上の範囲となる。

3) 効率計算例

	(最高)	(最低)
有効落差	$H=8.0\text{m}$	6.0m
流量	$Q=7.5\text{m}^3/\text{s}$	$6.1\text{m}^3/\text{s}$
回転数	$n=360\text{r}/\text{min}$	
水車出力	$P_T=500\text{kW}$	300kW

(1) 最高落差8.0m、流量7.5m³/sにおける効率計算

a. 基準落差の n_s を計算する。

$$n_s = \frac{n P_T^{0.5}}{H^{1.25}} = \frac{360 \cdot 500^{0.5}}{8^{1.25}} = 598.3 \text{ m-kW}$$

b. 表4. 2-3により $n_s=598.3 \text{ m-kW}$ 、 $P_T=500\text{kW}$ の最高効率を補間法により読みとる。この例では最高効率は87.1%となる。一般的には図4. 2-17のようなグラフを書くとき簡単に読みとれる。

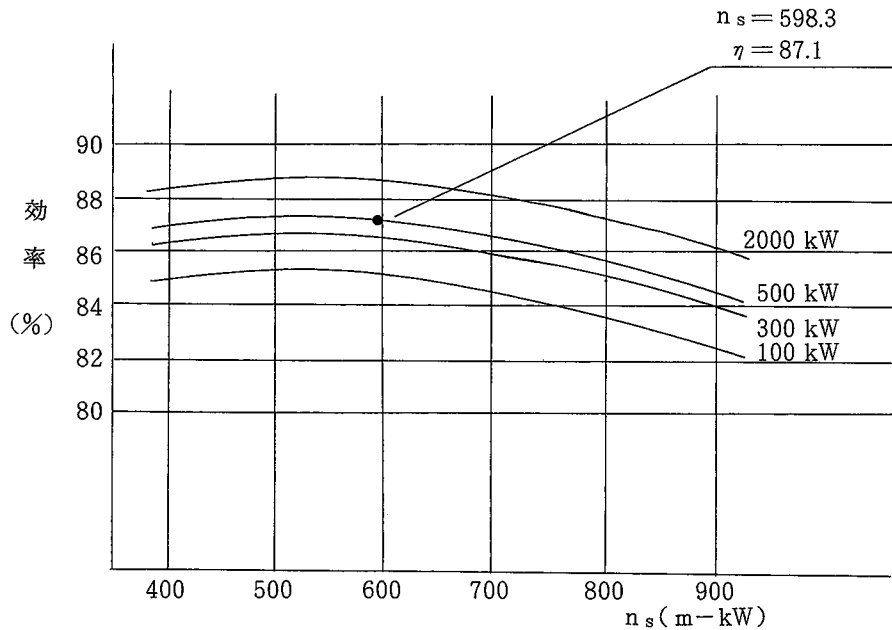


図4. 2-17 効率補間法

(2) 変落差変流量時（落差6.0m、流量6.1m³/s）における効率。

a. 流量6.1m³/sの最高落差時の最大流量（7.5m³/s）に対する比は

$$6.1/7.5=0.81 \text{ となる。}$$

従って、流量6.1m³/s時の効率は図4. 2-15より

$$87.1\% \times 0.96 = 83.6\% \text{ となる。}$$

b. 変落差（6.0m）に対する効率補正は、最高落差（8m）に対する落差比が
6/8=0.75となるため、図4. 2-16より0.98となり、300kWの効率は補
間値86.5(%)となり

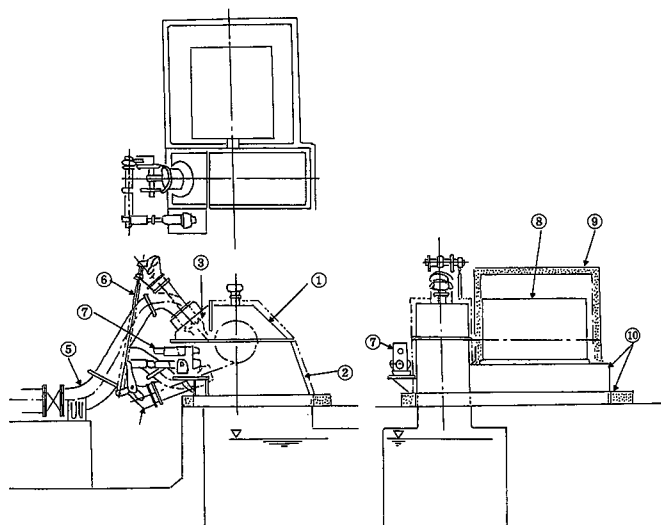
$$86.5\% \times 0.98 = 84.8\% \text{ となる。}$$

4.3 各種水車の標準化

4.3.1 ペルトン水車発電装置（パッケージ形）

1) 概要

- (1) 屋外形対応の水車発電装置とし水車本体、電動サーボは発電機本体とともに共通ベース上に設置した図4.3-1に示すようなパッケージ構造とする。発電機のカバー、入口管、ノズル及び電動サーボは、輸送の制約上現地組立とするが、その他は工場にて共通ベース上に組立するものとする。
- (2) 水車本体、入口管及びノズルはカバーで覆うことなく屋外構造対応を講じるものとし、発電機及び電動サーボは全体をカバーで覆い屋外対応とする。
- (3) 水車発電装置の共通ベースは現地据付け後埋め込むものとする（将来水車発電機を取外す場合、共通ベースの取外しは必要としない）。
- (4) 発電機用の屋外カバーは鋼板製とする。日常の保守点検はパッケージ内に入らず側面に設けた扉より行えるものとし保守性を考慮した構造とする。また輸送及びオーバーホールに際しては、屋外カバーを外せるものとする。
- (5) 給排気は屋外カバー面に設けるギャラリーまたは給気フードより行うものとし、原則的には強制換気装置は設けないものとするが、設置場所の気象条件とジェット力の大きさ条件が重なる地点への設置においては強制換気装置の設置あるいは発電機を出口管通風形とすることで対応するものとする。



No.	部 品	No.	部 品
1	上部ケーシング	6	連結ロッド
2	下部ケーシング	7	電動サーボ
3	上部ノズル	8	発 電 機
4	下部ノズル	9	発電機屋外カバー
5	入 口 管	10	共通ベース

下記の機器及び部品はパッケージの対象外とする。

- ・ノズル
- ・入口管
- ・連結ロッド
- ・電動サーボ

図4.3-1 標準化ペルトン水車発電装置の構造

2) 選定 (選定図)

選定対象となるペルトン水車は、4. 1. 2 1) (3)項「適用範囲」記載した諸条件から図4. 3-2および図4. 3-3に示すシリーズとなる。

a. n_s と記号分類

記号	C	D	E
n_s (m-kW)	18.3	20.1	22.0

b. ブロックの選定規準

① 適用範囲

有効落差 約65～約200m

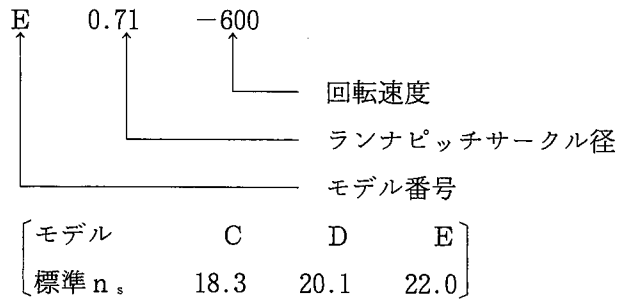
流量 約0.2～約0.5m³/s

② ノズル数は、2射形とする。

③ 最小ランナピッチサークル径は、500mmとする。

④ ランナバケット下端と放水口水位までの高さは、機種に関係なく1500mm～1800mm程度とする。

⑤ 図中の水車枠番記号は次による。



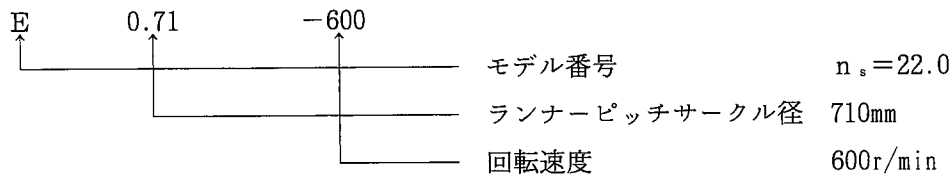
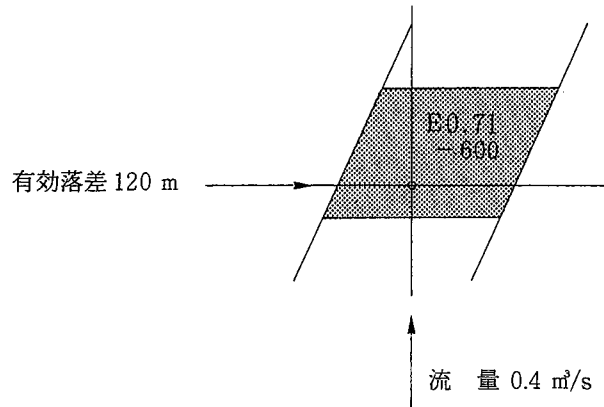
⑥ 水車出力は参考値である。

⑦ 本図は、概略設計時の目安を示すものであり、詳細設計にあたっては、水車の運転範囲等考慮して決定する必要がある。

3) 選定例

50Hz地区、有効落差120m、流量0.4m³/sの条件で水車を選定する場合を示すと次のようになる。

- (1) 図4. 3-2 の縦軸、有効落差 (m) と横軸、流量 (m³/s) の交点を選定する水車となる。



- (2) 図よりE0.71-600が選定できる。

これより、ランナ径 710mm

回転速度 600r/min

比速度 Eシリーズ (22.0m-kW相当)

となる。

4) 概略寸法及び概略基礎荷重

- (1) パッケージ形ペルトン水車発電装置の外形を図4. 3-4に、またトレーラによる輸送車計画図を図4. 3-6に示した。
- (2) 表4. 3-1～表4. 3-4には夫々50Hzと60Hzのパッケージ形ペルトン水車発電装置寸法、輸送寸法、概略基礎荷重を示す。図4. 3-5に輸送車両記号を示す。
- (3) 表中の概略基礎荷重は、(水車+発電機+電動サーボ+共通ベース+カバー+水車内水重量)×1.2とした。
- (4) パッケージ形ペルトン水車発電装置の据付けに使用する移動クレーン等を計画する場合の最大吊り上げ荷重は、概略基礎荷重×0.7を目安に選ばばよい。

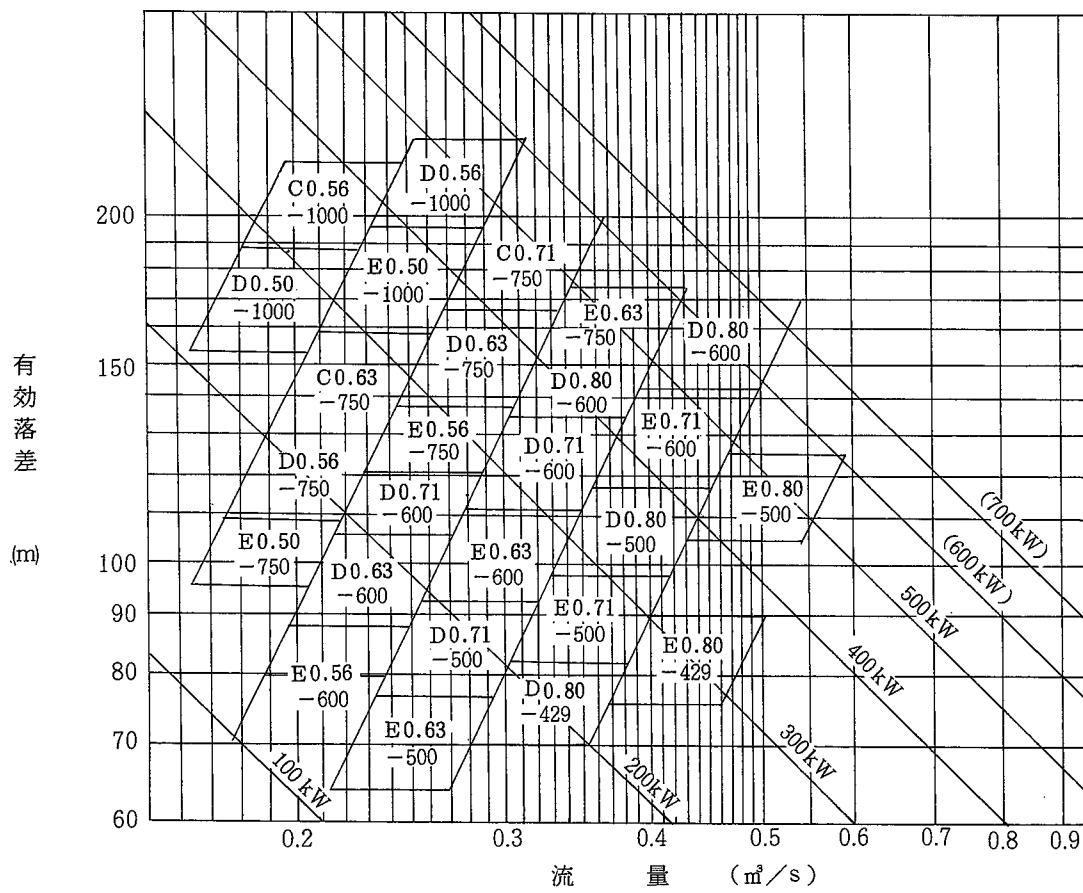


図 4. 3 - 2 標準化ペルトン水車選定図 (50 Hz)

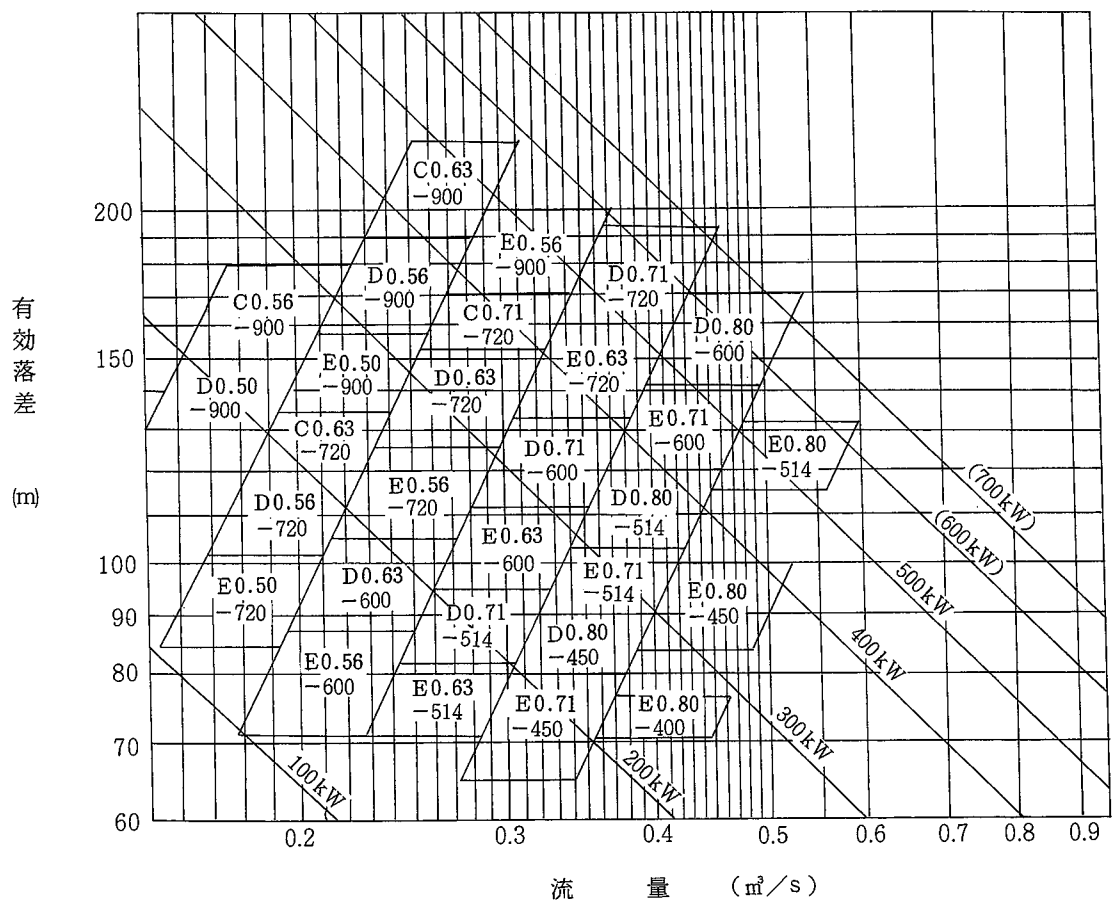


図4.3-3 標準化ペルトン水車選定図 (60Hz)

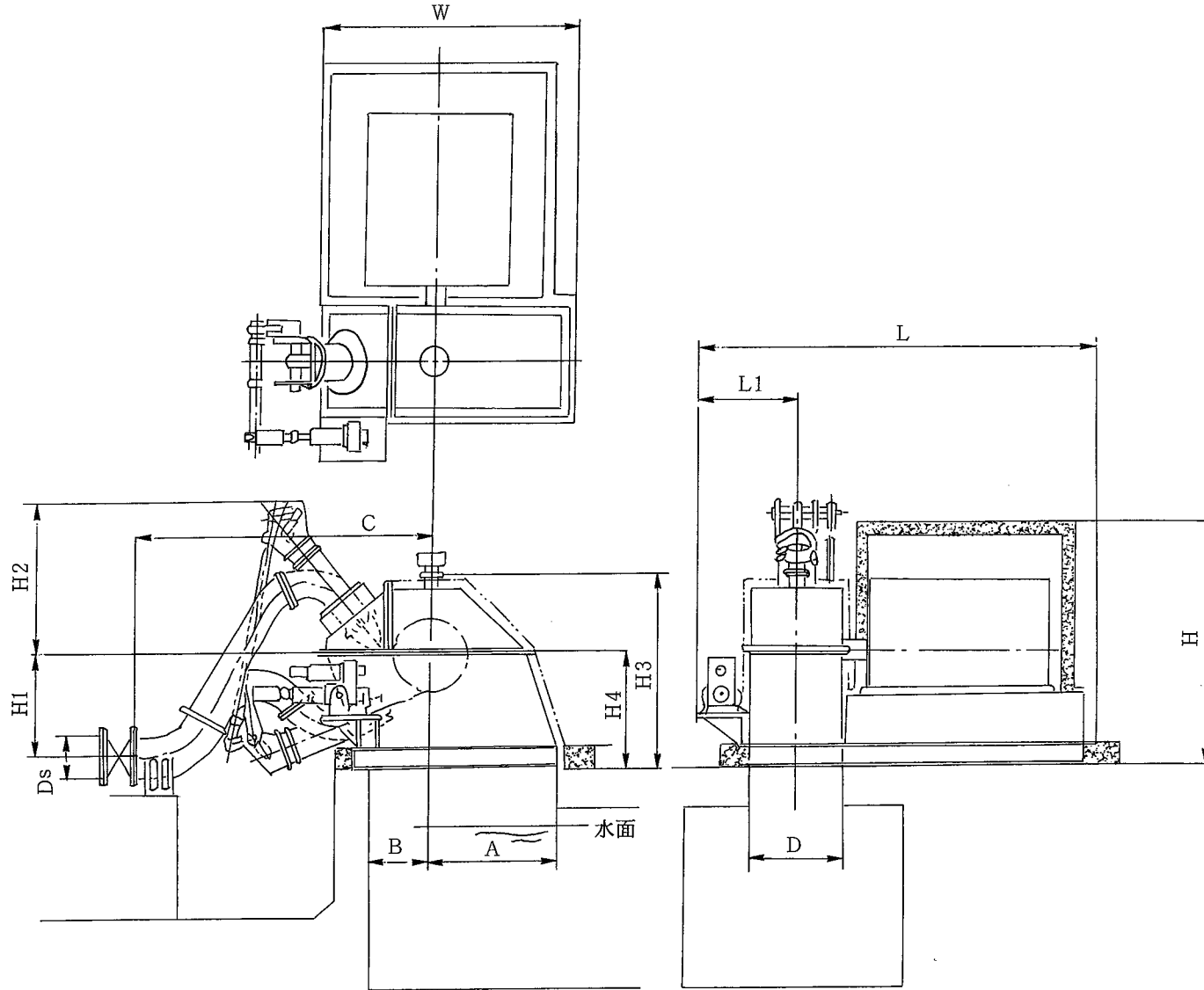


図 4 . 3 - 4 標準化ペルトン水車発電装置外形図

表 4. 3-1 (1/2) 標準化ペルトン水車発電装置概略寸法及び概略基礎荷重表 (同期発電機、50Hz)

水車枠番	発電機 (kVA)	回転速度 (r/min)	パッケージ寸法 (mm)										輸送寸法 (mm)			概略 基礎 荷重(t)	輸送 車両
			D s	A	B	D	L 1	C	H 1	H 2	H 3	H 4	L	W	H		
C0.56-1000	500	1000	300	950	440	630	815	2210	740	1260	1650	980	3765	2125	2110	13.0	D
D0.50-1000	400	1000	300	880	420	630	815	2060	700	1190	1640	990	3715	1930	2145	11.3	D
D0.56-1000	500	1000	350	990	460	700	850	2310	780	1410	1790	1100	3800	2165	2230	14.2	D
E0.50-1000	500	1000	350	910	440	700	850	2200	740	1330	1710	1020	3800	2085	2150	13.6	D
C0.63- 750	400	750	350	1070	490	710	855	2490	1390	1320	1830	1100	3875	2245	2195	14.9	D
C0.71- 750	500	750	400	1210	560	800	900	2800	940	1550	1990	1220	4640	2410	2310	18.4	C
D0.56- 750	300	750	350	990	460	700	850	2310	780	1270	1710	1000	3670	2120	2020	12.9	D
D0.63- 750	500	750	400	1110	520	790	895	2600	880	1480	1920	1150	4635	2290	2240	17.6	D
E0.50- 750	200	750	350	910	440	700	850	2200	740	1240	1670	970	3600	1950	2055	11.3	D
E0.56- 750	400	750	400	1020	490	780	890	2460	830	1420	1870	1110	3910	2195	2200	15.5	D
E0.63- 750	500	750	450	1150	550	880	940	2770	930	1660	2010	1210	4680	2350	2300	19.0	C
C0.71- 600	300	600	400	1210	560	800	900	2800	940	1430	1930	1140	3850	2430	2160	15.9	C
C0.80- 600	500	600	450	1360	630	900	950	3160	1060	1640	2150	1280	4900	2690	2420	22.4	A
D0.63- 600	300	600	400	1110	520	790	895	2600	880	1380	1870	1100	3845	2290	2120	14.9	D

備考：発電機kVAは、水車枠番内における最大出力より算出された必要発電機枠番のkVAを示すが、発電機容量の上限は500kVAとしている。

表 4. 3 - 1 (2 / 2) 標準化ペルトン水車発電装置概略寸法及び概略基礎荷重表 (同期発電機、50Hz)

水車枠番	発電機 (kVA)	回転速度 (r/min)	パッケージ寸法 (mm)										輸送寸法 (mm)			概略 基礎 荷重(t)	輸送 車両
			D s	A	B	D	L 1	C	H 1	H 2	H 3	H 4	L	W	H		
D0.71- 600	500	600	450	1250	590	890	945	2930	990	1600	2110	1250	4895	2550	2390	21.4	C
D0.80- 600	500	600	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1890	2210	1330	4950	2740	2470	23.6	A
E0.56- 600	200	600	400	1020	490	780	890	2460	830	1350	1820	1060	3650	2150	2120	12.8	D
E0.63- 600	300	600	450	1150	550	880	940	2770	930	1540	2040	1200	3890	2390	2220	17.0	C
E0.71- 600	500	600	500	1290	620	990	995	3120	1050	1790	2220	1330	4945	2620	2470	23.5	A
D0.71- 500	300	500	450	1250	590	890	945	2930	990	1530	2060	1200	4475	2550	2380	17.8	C
D0.80- 500	400	500	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1750	2300	1360	4950	2830	2610	23.2	A
E0.63- 500	200	500	450	1150	550	880	940	2770	930	1480	1990	1150	4430	2390	2330	16.1	C
E0.71- 500	400	500	500	1290	620	990	995	3120	1050	1700	2220	1310	4945	2650	2560	20.9	A
E0.80- 500	500	500	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1970	2410	1440	5210	2910	2750	28.7	A
D0.80- 429	300	429	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1680	2270	1340	4650	2810	2520	20.9	C
E0.80- 429	400	429	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1880	2430	1410	5150	2940	2780	27.1	A
—																	
—																	

表 4. 3-2 (1/2) 標準化ペルトン水車発電装置概略寸法及び概略基礎荷重表 (同期発電機、60Hz)

水車枠番	発電機 (kVA)	回転速度 (r/min)	パッケージ寸法 (mm)										輸送寸法 (mm)			概略 基礎 荷重(t)	輸送 車両
			D s	A	B	D	L 1	C	H 1	H 2	H 3	H 4	L	W	H		
C0.56- 900	400	900	300	950	440	630	815	2210	740	1210	1710	1040	3865	2125	2060	12.9	D
C0.63- 900	500	900	350	1070	490	710	855	2490	830	1420	1860	1150	3875	2245	2240	15.6	D
D0.50- 900	300	900	300	880	420	630	815	2060	700	1160	1600	940	3615	1905	2025	10.7	D
D0.56- 900	500	900	350	990	460	700	850	2310	780	1340	1760	1050	3870	2165	2145	14.6	D
E0.50- 900	400	900	350	910	440	700	850	2200	740	1280	1710	1020	3900	2085	2040	13.3	D
E0.56- 900	500	900	400	1020	490	780	890	2460	830	1520	1870	1140	3910	2195	2230	15.9	D
C0.63- 720	300	720	350	1070	490	710	855	2490	830	1290	1750	1030	3625	2200	2050	13.4	D
C0.71- 720	500	720	400	1210	560	800	900	2800	940	1510	1970	1180	4590	2420	2270	18.4	C
D0.56- 720	300	720	350	990	460	700	850	2310	780	1270	1710	1000	3620	2120	2020	12.8	D
D0.63- 720	400	720	400	1110	520	790	895	2600	880	1460	1930	1150	3995	2290	2200	16.7	D
D0.71- 720	500	720	450	1250	590	890	945	2930	990	1710	2050	1240	4635	2470	2330	19.6	C
E0.50- 720	200	720	350	910	440	700	850	2200	740	1240	1680	970	3520	1960	1975	11.0	D
E0.56- 720	300	720	400	1020	490	780	890	2460	830	1410	1860	1100	3660	2150	2120	14.4	D
E0.63- 720	500	720	450	1150	550	880	940	2770	930	1630	2060	1240	4630	2380	2330	19.5	C

表 4. 3 - 2 (2 / 2) 標準化ペルトン水車発電装置概略寸法及び概略基礎荷重表 (同期発電機、60Hz)

水車枠番	発電機 (kVA)	回転速度 (r/min)	パッケージ寸法 (mm)										輸送寸法 (mm)			概略 基礎 荷重(t)	輸送 車両
			D s	A	B	D	L 1	C	H 1	H 2	H 3	H 4	L	W	H		
D0.63- 600	300	600	400	1110	520	790	895	2600	880	1400	1880	1100	4385	2290	2280	15.4	D
D0.71- 600	400	600	450	1250	590	890	945	2930	990	1600	2100	1240	4745	2540	2400	20.4	C
D0.80- 600	500	600	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1660	2200	1330	4950	2740	2575	23.7	A
E0.56- 600	200	600	400	1020	490	780	890	2460	830	1360	1810	1050	3760	2195	2025	12.5	D
E0.63- 600	300	600	450	1150	550	880	940	2770	930	1540	2040	1200	4430	2390	2380	17.5	C
E0.71- 600	500	600	500	1290	620	990	995	3120	1050	1790	2220	1330	4945	2620	2575	23.4	A
D0.71- 514	300	514	450	1250	590	890	945	2930	990	1530	2050	1190	4415	2540	2370	17.4	C
D0.80- 514	500	514	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1760	2280	1350	5100	2820	2660	25.4	A
E0.63- 514	200	514	450	1150	550	880	940	2770	930	1500	1990	1150	3940	2390	2180	15.1	C
E0.71- 514	400	514	500	1290	620	990	995	3120	1050	1710	2220	1300	4945	2640	2545	22.8	A
E0.80- 514	500	514	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1820	2380	1430	5160	2890	2740	27.8	A
D0.80- 450	300	450	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1700	2270	1340	4630	2810	2520	20.8	C
E0.71- 450	300	450	500	1290	620	990	995	3120	1050	1690	2180	1260	4625	2650	2440	19.7	C
E0.80- 450	500	450	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1900	2420	1410	4870	2950	2800	27.0	C
E0.80- 400	300	400	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1850	2430	1410	4890	2940	2655	24.5	C

表 4. 3 - 3 (1 / 2) 標準化ペルトン水車発電装置概略寸法及び概略基礎荷重表 (誘導発電機、50 H z)

水車枠番	発電機 (kVA)	※ 回転速度 (r/min)	パッケージ寸法 (mm)										輸送寸法 (mm)			概略 基礎 荷重(t)	輸送 車両
			D s	A	B	D	L 1	C	H 1	H 2	H 3	H 4	L	W	H		
C0.56-1000	500	1000	300	950	440	630	815	2210	740	1260	1720	1050	3490	2050	2400	13.0	C
D0.50-1000	400	1000	300	880	420	630	815	2060	700	1190	1640	990	3345	1915	2280	10.6	D
D0.56-1000	500	1000	350	990	460	700	850	2310	780	1340	1790	1100	3525	2090	2450	13.9	C
E0.50-1000	500	1000	350	910	440	700	850	2200	740	1330	1710	1020	3525	2010	2370	13.3	D
C0.63- 750	400	750	350	1070	490	710	855	2490	830	1320	1830	1100	3585	2190	2450	14.2	C
C0.71- 750	500	750	400	1210	560	800	900	2800	940	1470	1990	1220	3660	2410	2630	17.2	C
D0.56- 750	300	750	350	990	460	700	850	2310	780	1270	1710	1000	3580	2090	2350	12.9	D
D0.63- 750	500	750	400	1110	520	790	895	2600	880	1480	1920	1150	3655	2290	2560	16.4	C
E0.50- 750	200	750	350	910	440	700	850	2200	740	1240	1670	970	3550	1950	2260	11.1	D
E0.56- 750	400	750	400	1020	490	780	890	2460	830	1420	1870	1110	3620	2150	2460	14.8	C
E0.63- 750	500	750	450	1150	550	880	940	2770	930	1550	2010	1210	3700	2350	2620	17.8	C
C0.71- 600	300	600	400	1210	560	800	900	2800	940	1430	1930	1140	3700	2430	2550	16.0	C
C0.80- 600	500	600	450	1360	630	900	950	3160	1060	1640	2150	1280	4020	2690	2690	20.3	C
D0.63- 600	300	600	400	1110	520	790	895	2600	880	1380	1870	1100	3695	2290	2510	15.0	C

※回転速度は同期速度で示している。実際はスリップ回転数が加算され、水車枠番C0.56-1000の場合では1020r/minとなる。

表 4. 3 - 3 (2 / 2) 標準化ペルトン水車発電装置概略寸法及び概略基礎荷重表 (誘導発電機、50Hz)

水車枠番	発電機 (kVA)	※ 回転速度 (r/min)	パッケージ寸法 (mm)										輸送寸法 (mm)			概略 基礎 荷重(t)	輸送 車両
			D s	A	B	D	L 1	C	H 1	H 2	H 3	H 4	L	W	H		
D0.71- 600	500	600	450	1250	590	890	945	2930	990	1600	2110	1250	3955	2550	2660	19.0	C
D0.80- 600	500	600	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1670	2210	1330	4070	2740	2740	21.5	C
E0.56- 600	200	600	400	1020	490	780	890	2460	830	1350	1820	1060	3620	2150	2300	13.4	D
E0.63- 600	300	600	450	1150	550	880	940	2770	930	1540	2040	1200	3740	2390	2610	17.1	C
E0.71- 600	500	600	500	1290	620	990	995	3120	1050	1720	2220	1330	4065	2620	2740	21.4	C
D0.71- 500	300	500	450	1250	590	890	945	2930	990	1530	2060	1200	3855	2550	2610	17.6	C
D0.80- 500	400	500	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1750	2300	1360	4110	2830	2710	22.9	C
E0.63- 500	200	500	450	1150	550	880	940	2770	930	1480	1990	1150	3820	2390	2420	16.2	C
E0.71- 500	400	500	500	1290	620	990	995	3120	1050	1700	2220	1310	3905	2650	2580	20.0	C
E0.80- 500	500	500	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1880	2410	1410	4230	2910	2855	25.4	C
D0.80- 429	300	429	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1680	2270	1340	4000	2810	2610	21.8	C
E0.80- 429	400	429	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1680	2430	1410	4210	2940	2760	25.5	C

表 4. 3 - 4 (1 / 2) 標準化ペルトン水車発電装置概略寸法及び概略基礎荷重表 (誘導発電機、60 H z)

水車枠番	発電機 (kVA)	※ 回転速度 (r/min)	パッケージ寸法 (mm)										輸送寸法 (mm)			概略 基礎 荷重(t)	輸送 車両
			D s	A	B	D	L 1	C	H 1	H 2	H 3	H 4	L	W	H		
C0.56- 900	400	900	300	950	440	630	815	2210	740	1210	1710	1040	3425	2050	2440	11.6	C
C0.63- 900	500	900	350	1070	490	710	855	2490	830	1350	1860	1150	3580	2240	2560	14.9	C
D0.50- 900	300	900	300	880	420	630	815	2060	700	1160	1600	940	3425	1980	2340	10.7	D
D0.56- 900	500	900	350	990	460	700	850	2310	780	1340	1760	1050	3575	2160	2460	14.0	C
E0.50- 900	400	900	350	910	440	700	850	2200	740	1280	1710	1020	3575	2010	2370	12.9	D
E0.56- 900	500	900	400	1020	490	780	890	2460	830	1440	1870	1140	3615	2190	2550	15.3	C
C0.63- 720	300	720	350	1070	490	710	855	2490	830	1290	1750	1030	3590	2170	2240	13.6	D
C0.71- 720	500	720	400	1210	560	800	900	2800	940	1510	1970	1180	3660	2420	2390	16.9	C
D0.56- 720	300	720	350	990	460	700	850	2310	780	1270	1710	1000	3585	2070	2210	13.0	D
D0.63- 720	400	720	400	1110	520	790	895	2600	880	1460	1930	1150	3695	2290	2360	15.9	D
E0.71- 720	500	720	450	1250	590	890	945	2930	990	1540	2050	1240	3705	2470	2450	18.1	C
E0.50- 720	200	720	350	910	440	700	850	2200	740	1240	1680	970	3585	1985	2180	12.4	D
E0.56- 720	300	720	400	1020	490	780	890	2460	830	1410	1860	1100	3625	2150	2310	14.6	D
E0.63- 720	500	720	450	1150	550	880	940	2770	930	1590	2060	1240	3700	2380	2450	17.9	C

表4. 3-4 (2/2) 標準化ペルトン水車発電装置概略寸法及び概略基礎荷重表 (誘導発電機、60Hz)

水車枠番	発電機 (kVA)	※ 回転速度 (r/min)	パッケージ寸法 (mm)										輸送寸法 (mm)			概略 基礎 荷重(t)	輸送 車両
			D s	A	B	D	L 1	C	H 1	H 2	H 3	H 4	L	W	H		
D0.63- 600	300	600	400	1110	520	790	895	2600	880	1400	1880	1100	3635	2290	2310	15.2	D
D0.71- 600	400	600	450	1250	590	890	945	2930	990	1600	2100	1240	3695	2540	2450	18.6	C
D0.80- 600	500	600	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1660	2200	1330	3785	2740	2540	21.2	C
E0.56- 600	200	600	400	1020	490	780	890	2460	830	1360	1810	1050	3625	2150	2260	13.8	D
E0.63- 600	300	600	450	1150	550	880	940	2770	930	1540	2040	1200	3680	2390	2410	17.3	C
E0.71- 600	500	600	500	1290	620	990	995	3120	1050	1720	2220	1330	3780	2620	2540	21.0	C
D0.71- 514	300	514	450	1250	590	890	945	2930	990	1530	2050	1190	3945	2540	2400	17.8	C
D0.80- 514	500	514	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1760	2280	1350	4170	2820	2560	22.9	C
E0.63- 514	200	514	450	1150	550	880	940	2770	930	1500	1990	1150	3840	2390	2360	16.5	C
E0.71- 514	400	514	500	1290	620	990	995	3120	1050	1710	2220	1300	4095	2640	2510	21.0	C
E0.80- 514	500	514	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1820	2380	1430	4230	2890	2640	25.2	C
D0.80- 450	300	450	500	1410	660	1000	1000	3300	1110	1700	2270	1340	4130	2810	2640	21.6	C
E0.71- 450	300	450	500	1290	620	990	995	3120	1050	1690	2180	1260	4125	2650	2560	20.5	C
E0.80- 450	500	450	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1900	2420	1410	4290	2950	2710	25.3	C
E0.80- 400	300	400	600	1460	700	1120	1060	3520	1180	1850	2430	1410	4350	2940	2710	25.4	C

車両記号	A	B	C	D	E
積載重量 t		20	15	12	45
車両	トレーラー 車巾 2.99m 	セミトレーラー 車巾 2.43m 	トレーラー 車巾 3m 	トラック 車巾 2.34m 	車巾 2.0m

図 4. 3 - 5 輸送車両記号

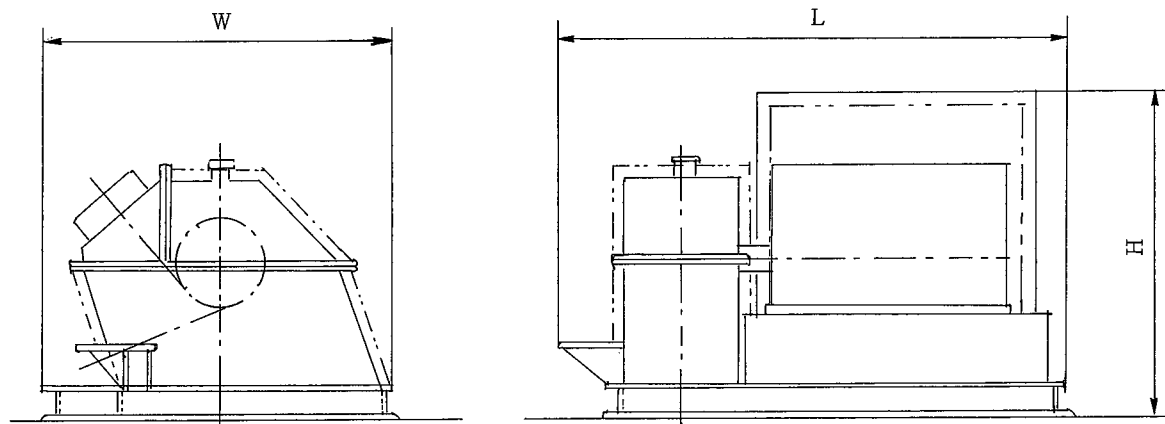


図 4. 3 - 6 標準化ペルトン水車発電装置荷物姿図

4. 3. 2 フランス水車発電装置（パッケージ形）

1) 概 要

屋外形対応の水車発電装置とし水車本体、電動サーボは発電機本体とともに共通ベース上に設置した図4. 3-7に示すような構造とする。

発電機の屋外カバーは輸送の制約上現地組立とするが、その他は工場にて共通ベースに組立てる。

(1) 発電機用屋外カバー

発電機用の屋外カバーは鋼板製とする。日常の保守点検はパッケージ内に入らず側面に設けた扉より行えるものとし保守性を考慮した構造とする。また輸送及びオーバーホールに際しては、屋外カバーを外す。

(2) 換 気

給排気は屋外カバー面に設けるギャラリーまたは給気フードより行うものとし、原則的には強制換気装置は設けないものとするが、設置場所の気象条件によっては強制換気装置の設置あるいは発電機を出口管通風形とすることで対応する。

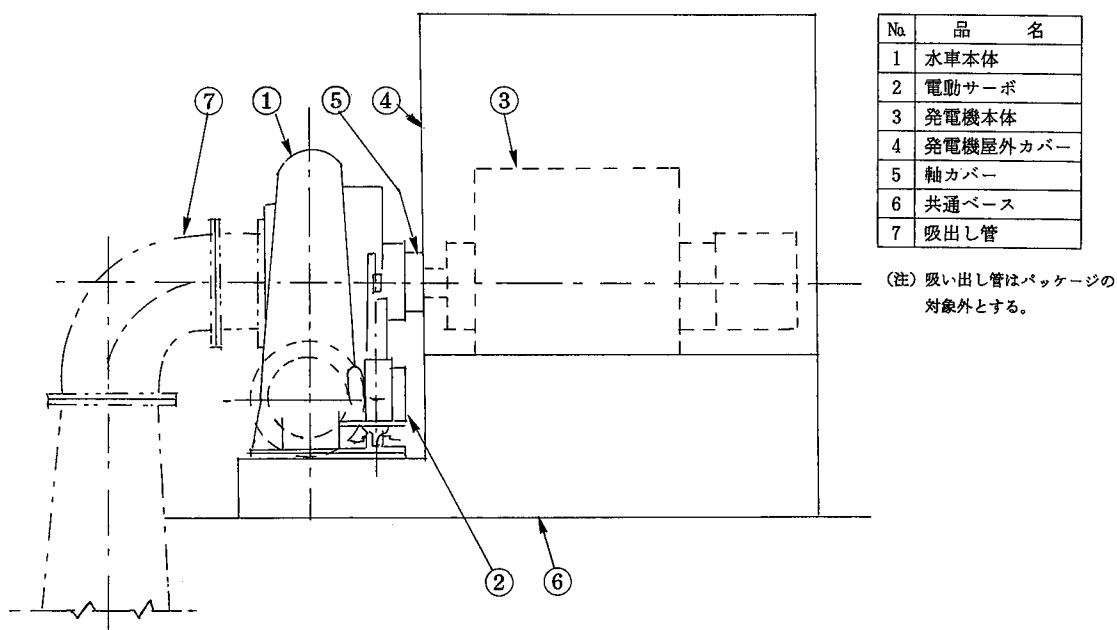


図4. 3-7 パッケージ形フランス水車・発電機の構造

2) 選 定 (選定図)

選定対象となるフランス水車は、標準化検討の基本事項に記載した諸条件から図4.3-11および図4.3-12に示すシリーズとなる。

(1) n_s と記号分類

記 号	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
$n_s(m-kw)$	266	236	209	186	165	146	130	115	102	90

注1) フランス水車の n_s の範囲は63~300m-kwに及ぶが、性能上及び農業用水利施設関連設備として小流量時でも運転することを考慮し、 n_s 90~266m-kwの範囲とした。

(2) ブロックの選定基準

- a. 選定されたブロック内に最適点はあるがブロックの中心位置とは限らない。ブロック内では最適点の水車効率から1.5%以上効率が低下しない範囲としている。
- b. 水車の最高効率点は最大出力の約85~95%の点としている。
- c. 水車停止時に放水路水位がランナ下端以下となるよう、すなわち横軸では吸出し高さ($Z's$)がプラス $D_2/2$ 以上となるようにしている。(D_2 :ランナ出口径)
- d. 落差は流量が最大を示す低い方の落差(基準有効落差)を使い選定する。変落差の範囲の大きい場合は個々に検討する。
- e. 水車ランナ出口径は350mmを最小とした。
- f. 水車特性は製造者のランナ基準径が多少異なることもあり、1部のブロックの上・下もしくは左・右の限界線では隣接するブロックを用いることがある。

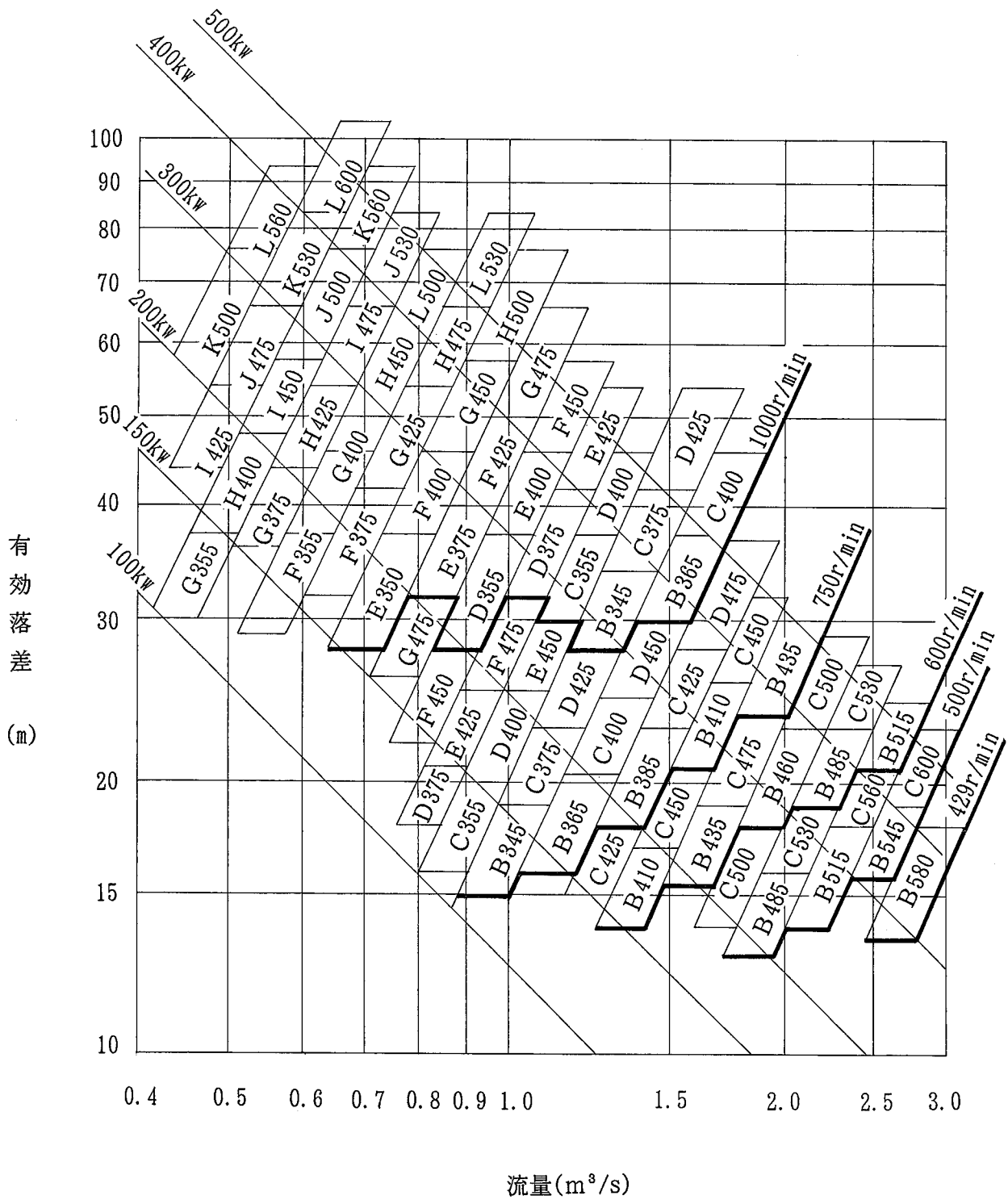


図 4. 3-8 横軸フランス水車選定図 (50HZ)

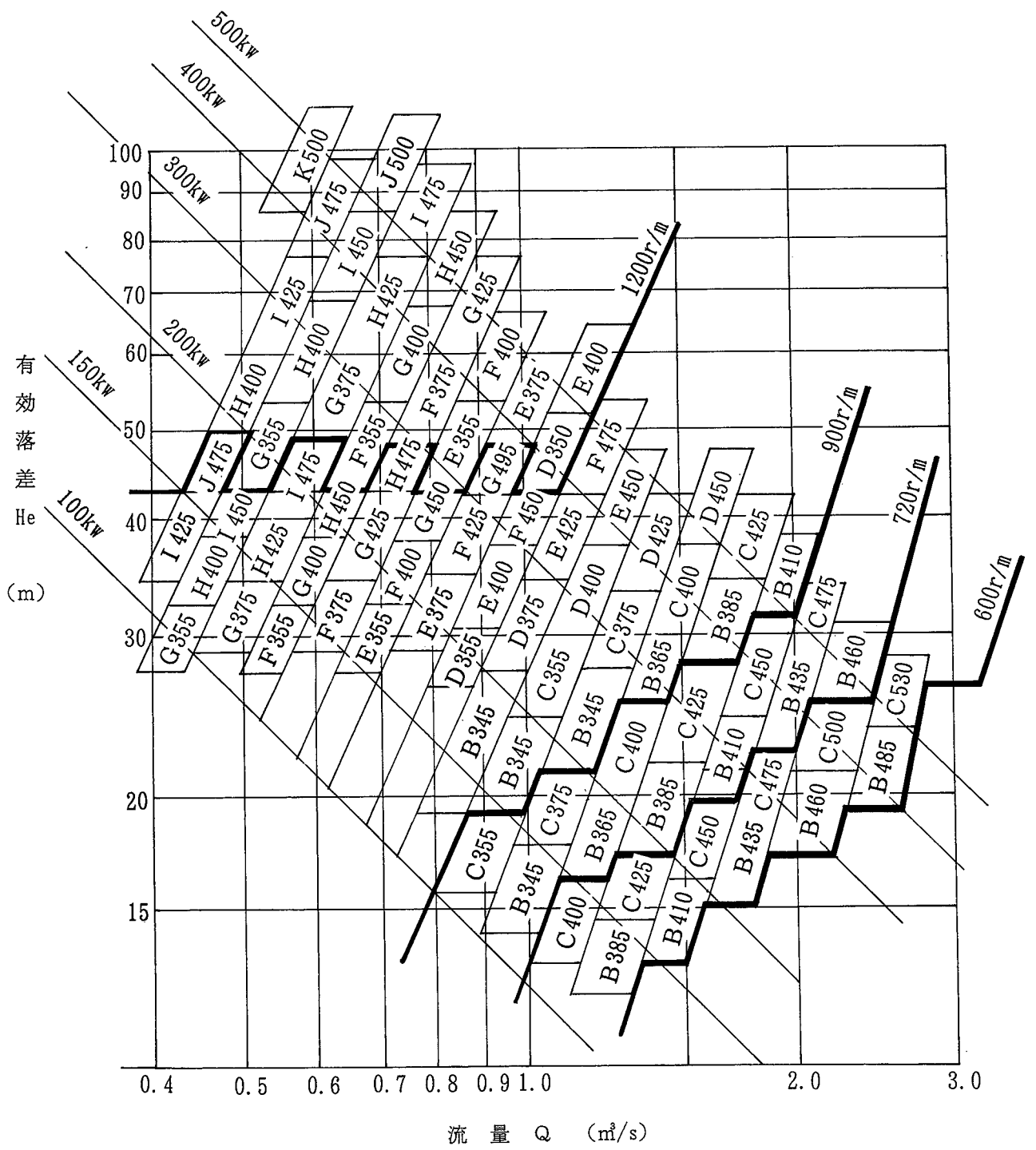
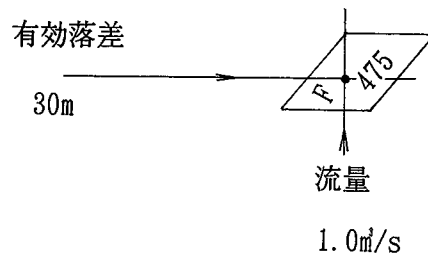


図4. 3-9 パッケージ形フランシス水車選定図 (60HZ)

3) 選 定 図

50Hz地区、有効落差30m、流量 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ の条件で水車を選定する場合を示すと次のようになる。

- (1) 図4. 3-8の縦軸、有効落差30mと横軸、流量 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ の交点が選定するフランシス水車となる。



- (2) 図より F 475 が選定できる。

これより、ランナ径 475mm
回転速度 750r/min
比速度 F シリーズ

となる。

4) 概略寸法及び概略基礎荷重

- (1) パッケージ形フランシス水車発電装置の外形を図4. 3-10に、またトレーラによる輸送車両図を図4. 3-5に示す。
- (2) 表4. 3-5及び表4. 3-6には夫々50Hzと60Hzのパッケージ形フランシス水車発電装置寸法、輸送寸法、概略基礎荷重を示す。
- (3) 表中の概略基礎荷重は(水車+発電機+電動サーボ+共通ベース+水車内水重量)×1.2とした。
- (4) パッケージ形フランシス水車発電装置の据付けに使用する移動クレーン等を計画する場合の最大吊上げ荷重は、概略基礎荷重×0.7を目安に選ばばよい。

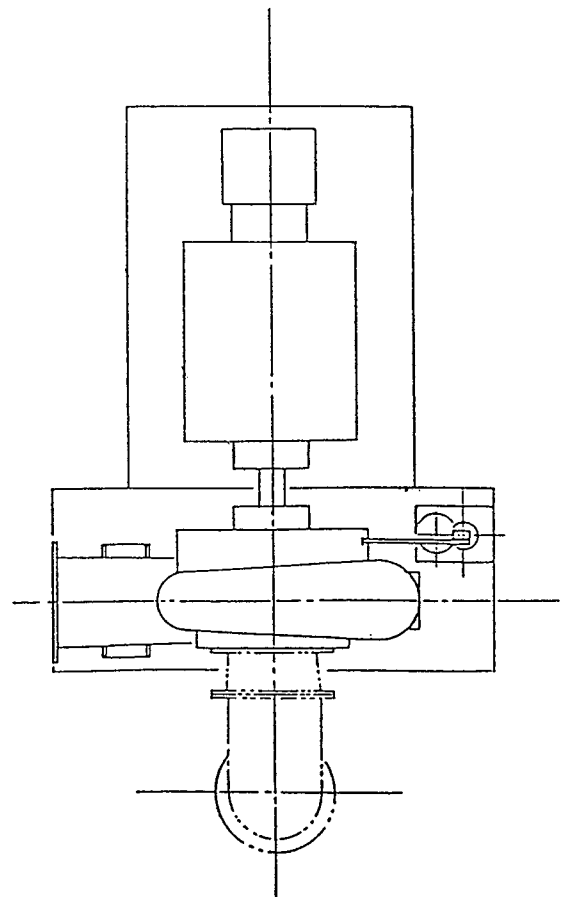
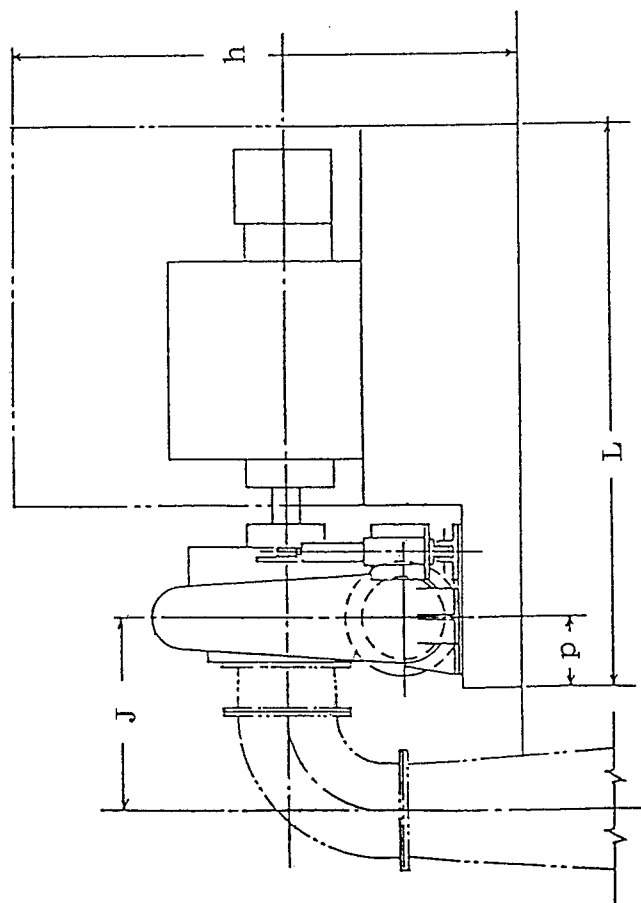
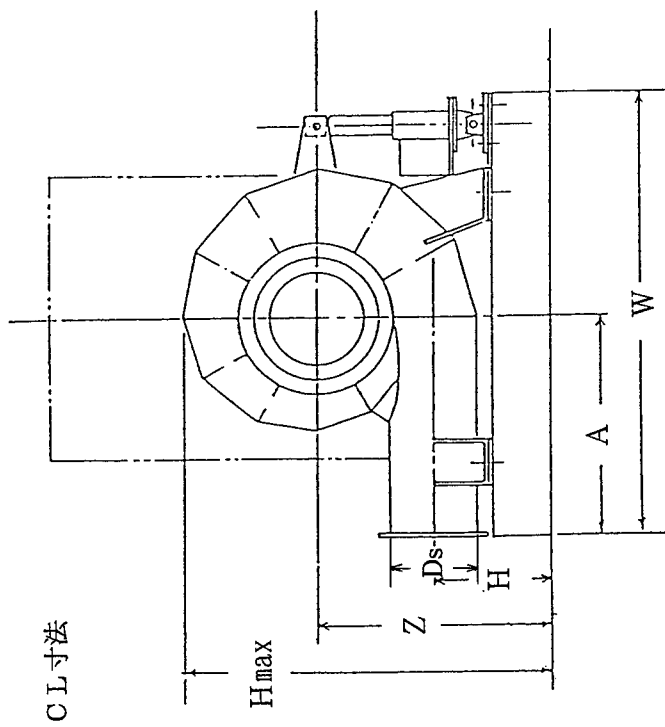


図 4. 3-10 パッケージ形フランシス水車発電装置外形図

表 4. 3-5 (1/8) パッケージ形フランシス水車発電機概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			Ds	A	H	h	Z	P	J	L	W	Hmax		
L560	400	1000	395	1770	590	2805	1255	350	920	3385	2410	1995	20.3	C
L560	500	1000	395	1770	590	2805	1255	350	920	3485	2410	1995	20.7	C
L600	500	1000	420	1900	600	2860	1310	360	985	3530	2520	2105	22.7	B
K500	300	1000	360	1580	620	2595	1220	330	870	3070	2270	1900	15.8	C
K500	400	1000	360	1580	620	2770	1220	330	870	3320	2270	1900	17.3	C
K530	300	1000	385	1675	630	2645	1270	345	925	3115	2360	1995	17.3	C
K530	400	1000	385	1675	630	2820	1270	345	925	3365	2360	1995	18.8	C
K530	500	1000	385	1675	630	2820	1270	345	925	3465	2360	1995	19.3	C
K560	500	1000	405	1770	640	2865	1315	355	975	3505	2450	2080	20.8	C
J475	300	1000	370	1515	660	2595	1220	335	880	3075	2270	1895	15.0	C
J475	400	1000	370	1515	660	2770	1220	335	880	3325	2270	1895	16.6	C
J500	300	1000	385	1590	635	2635	1260	345	925	3110	2340	1970	15.9	C
J500	400	1000	385	1590	635	2810	1260	345	925	3360	2340	1970	17.4	C
J500	500	1000	385	1590	635	2810	1260	345	925	3460	2340	1970	17.9	C
J530	400	1000	410	1685	645	2860	1310	355	985	3405	2440	2065	18.9	C
J530	500	1000	410	1685	645	2860	1310	355	985	3505	2440	2065	19.4	C

表4. 3-5 (2/8) パッケージ形フランシス水車発電機概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			Ds	A	H	h	Z	P	J	L	W	Hmax		
I425	200	1000	360	1360	620	2570	1170	330	865	2795	2160	1795	13.3	C
I425	300	1000	360	1360	620	2545	1170	330	865	3045	2160	1795	13.6	C
I450	200	1000	380	1440	625	2610	1210	340	915	2830	2240	1875	14.2	C
I450	300	1000	380	1440	625	2585	1210	340	915	3080	2240	1875	14.6	C
I475	300	1000	400	1520	640	2630	1255	350	965	3115	2320	1955	15.5	C
I475	400	1000	400	1520	640	2805	1255	350	965	3365	2320	1955	17.0	C
I500	400	1000	420	1600	650	2845	1295	360	1015	3405	2400	2030	17.9	C
I500	500	1000	420	1600	650	2845	1295	360	1015	3505	2400	2030	18.4	C
I530	500	1000	450	1700	665	2900	1350	375	1080	3550	2500	2130	19.9	C
H400	200	1000	375	1300	610	2570	1170	340	865	2770	2170	1795	12.6	C
H425	200	1000	400	1385	620	2615	1215	350	920	2810	2260	1880	13.7	C
H425	300	1000	400	1385	620	2590	1215	350	920	3060	2260	1880	14.0	C
H450	300	1000	420	1465	630	2635	1260	360	975	3095	2340	1965	15.0	C
H450	400	1000	420	1465	630	2810	1260	360	975	3345	2340	1965	16.5	C
H475	400	1000	445	1545	645	2855	1305	375	1030	3390	2430	2050	17.5	C
H475	500	1000	445	1545	645	2855	1305	375	1030	3490	2430	2050	18.0	C
H500	500	1000	465	1625	655	2900	1350	385	1080	3525	2510	2130	18.7	C

表 4. 3-5 (3/8) パッケージ形フランシス水車発電機概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			Ds	A	H	h	Z	P	J	L	W	Hmax		
G355	200	1000	360	1170	620	2540	1140	330	870	2735	2100	1735	11.6	C
G375	200	1000	380	1235	625	2575	1175	340	915	2770	2180	1805	12.4	C
G400	200	1000	405	1320	640	2625	1225	355	980	2810	2270	1895	13.0	C
G400	300	1000	405	1320	640	2600	1225	355	980	3060	2270	1895	13.3	C
G425	300	1000	430	1400	650	2650	1275	365	1040	3100	2360	1985	14.4	C
G425	400	1000	430	1400	650	2825	1275	365	1040	3350	2360	1985	16.0	C
G450	400	1000	455	1485	665	2875	1325	380	1110	3395	2450	2080	17.0	C
G475	400	1000	480	1570	675	2920	1370	390	1160	3430	2540	2165	18.0	C
G475	500	1000	480	1570	675	2920	1370	390	1160	3530	2540	2165	18.5	C
F355	200	1000	395	1190	630	2575	1175	350	905	2760	2170	1795	12.0	C
F375	200	1000	420	1255	640	2615	1215	360	955	2790	2240	1870	12.7	C
F375	300	1000	420	1255	640	2590	1215	360	955	3040	2240	1870	13.1	C
F400	300	1000	445	1340	650	2640	1265	375	1020	3085	2340	1965	13.7	C
F400	400	1000	445	1340	650	2815	1265	375	1020	3335	2340	1965	15.2	C
F425	300	1000	475	1420	670	2695	1320	390	1080	3130	2440	2060	14.9	C
F425	400	1000	475	1420	670	2870	1320	390	1080	3380	2440	2060	16.4	C
F450	400	1000	500	1505	680	2920	1370	400	1145	3415	2530	2155	17.5	C
F450	500	1000	500	1505	680	2920	1370	400	1145	3515	2530	2155	17.9	C

表4. 3-5 (4/8) パッケージ形フランシス水車発電機概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			Ds	A	H	h	Z	P	J	L	W	Hmax		
E350	200	1000	435	1190	645	2620	1220	365	910	2790	2230	1870	12.1	C
E350	300	1000	435	1190	645	2595	1220	365	910	3040	2230	1870	12.5	C
E375	300	1000	465	1275	660	2650	1275	385	975	3090	2330	1970	13.3	C
E375	400	1000	465	1275	660	2825	1275	385	975	3340	2330	1970	15.0	C
E400	300	1000	495	1360	675	2705	1330	400	1040	3135	2440	2070	14.1	C
E400	400	1000	495	1360	675	2880	1330	400	1040	3385	2440	2070	15.6	C
E425	400	1000	525	1445	690	2935	1385	415	1105	3430	2540	2175	16.9	C
E425	500	1000	525	1445	690	2935	1385	415	1105	3530	2540	2175	17.3	C
D355	200	1000	480	1230	685	2700	1300	390	1035	2815	2370	2015	12.7	C
D355	300	1000	480	1230	685	2675	1300	390	1035	3065	2370	2015	13.0	C
D400	400	1000	540	1385	715	2960	1410	420	1165	3400	2570	2215	16.0	C
D400	500	1000	540	1385	715	2960	1410	420	1165	3500	2570	2215	16.5	C
D425	500	1000	575	1475	735	3020	1470	440	1240	3550	2680	2325	17.8	C
C355	300	1000	535	1245	700	2745	1370	420	1115	3105	2500	2140	13.3	C
C355	400	1000	535	1245	700	2920	1370	420	1115	3355	2500	2140	14.9	C
C375	400	1000	565	1315	720	2975	1425	435	1175	3395	2600	2235	15.7	C
C400	500	1000	600	1400	735	3040	1490	450	1255	3540	2720	2355	16.5	C

表 4. 3 - 5 (5 / 8) パッケージ形フランシス水車発電機概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			Ds	A	H	h	Z	P	J	L	W	Hmax		
B345	300	1000	565	1245	710	2810	1435	435	1135	3085	2600	2235	13.5	C
B345	400	1000	565	1245	710	2985	1435	435	1135	3335	2600	2235	15.0	C
B365	400	1000	595	1315	730	3045	1495	450	1200	3375	2700	2345	15.7	C
B365	500	1000	595	1315	730	3045	1495	450	1200	3475	2700	2345	16.2	C
G475	200	750	480	1565	680	2750	1375	390	1160	3180	2540	2170	16.9	C
G475	300	750	480	1565	680	2885	1375	390	1160	3330	2540	2170	18.0	C
F450	200	750	500	1505	680	2745	1370	400	1145	3165	2530	2155	16.4	C
F475	300	750	530	1590	690	2930	1420	415	1210	3360	2630	2250	18.5	C
E425	200	750	525	1445	690	2760	1385	415	1105	3180	2540	2175	15.8	C
E425	300	750	525	1445	690	2895	1385	415	1105	3330	2540	2175	16.9	C
E450	300	750	555	1530	705	2950	1440	430	1170	3375	2640	2275	18.0	C
D375	200	750	510	1300	700	2725	1350	405	1095	3105	2460	2105	14.3	C
D375	300	750	510	1300	700	2860	1350	405	1095	3255	2460	2105	15.4	C
D375	400	750	510	1300	700	2810	1350	405	1095	3455	2460	2105	16.5	C
D400	200	750	540	1385	715	2785	1410	420	1165	3150	2570	2215	15.0	C
D400	300	750	540	1385	715	2920	1410	420	1165	3330	2570	2215	16.1	C
D425	200	750	575	1475	735	2845	1470	440	1240	3200	2680	2325	16.2	C
D425	300	750	575	1475	735	2980	1470	440	1240	3350	2680	2325	17.4	C

表 4. 3 - 5 (6 / 8) パッケージ形フランシス水車発電機概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			Ds	A	H	h	Z	P	J	L	W	Hmax		
D450	300	1000	610	1560	750	3040	1530	455	1310	3395	2790	2435	18.5	C
D450	400	1000	610	1560	750	2990	1530	455	1310	3595	2790	3435	19.6	C
D475	500	1000	645	1645	765	3050	1590	475	1385	4345	2900	2545	21.4	C
C355	200	1000	535	1245	700	2745	1370	420	1115	3105	2500	2140	13.8	C
C375	200	750	565	1315	720	2800	1425	435	1175	3145	2600	2235	14.6	C
C375	300	750	565	1315	720	2935	1425	435	1175	3295	2600	2235	15.7	C
C400	200	750	600	1400	735	2865	1490	450	1255	3190	2720	2260	15.3	C
C400	300	750	600	1400	735	3000	1490	450	1255	3340	2720	2360	16.4	C
C450	400	750	675	1575	770	3080	1620	490	1410	3640	2960	2595	19.9	C
C450	500	750	675	1575	770	3080	1620	490	1410	4340	2960	2595	20.7	C
B345	200	750	565	1245	710	2810	1435	435	1135	3085	2600	2235	13.9	C
B365	200	750	595	1315	730	2870	1495	450	1200	3125	2700	2345	14.6	C
B365	300	750	595	1315	730	3005	1495	450	1200	3275	2700	2345	15.7	C
B385	200	750	630	1390	745	2925	1550	465	1265	3165	2810	2445	15.3	C
B385	300	750	630	1390	745	3060	1550	465	1265	3315	2810	2445	16.4	C
B435	400	750	710	1570	785	3155	1695	505	1430	3610	3070	2705	20.2	C
B435	500	750	710	1570	785	3155	1695	505	1430	4310	3070	2705	21.0	C

表 4. 3 - 5 (7 / 8) パッケージ形フランシス水車発電機概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			Ds	A	H	h	Z	P	J	L	W	Hmax		
C425	200	600	640	1490	755	3105	1555	470	1330	3240	2840	2475	17.8	C
C425	300	600	640	1490	755	3065	1555	470	1330	3390	2840	2475	17.9	C
C450	200	600	675	1575	670	3170	1620	490	1410	3290	2960	2595	19.0	C
C450	300	600	675	1575	670	3130	1620	490	1410	3440	2960	2595	19.0	C
C475	300	600	715	1665	790	3195	1685	510	1490	3490	3070	2715	20.1	C
C475	400	600	715	1665	790	3145	1685	510	1490	4190	3070	2715	21.9	B
C500	400	600	750	1750	810	3210	1750	525	1565	4235	3190	2830	23.0	B
C530	500	600	795	1855	830	3230	1830	550	1660	4595	3340	2975	25.0	B
B410	200	600	670	1480	765	3175	1625	485	1345	3215	2940	2580	17.4	C
B410	300	600	670	1480	765	3135	1625	485	1345	3365	2940	2580	17.5	C
B435	200	600	710	1570	785	3245	1695	505	1430	3260	3070	2705	19.2	C
B435	300	600	710	1570	785	3205	1695	505	1430	3410	3070	2705	19.3	C
B460	300	600	750	1660	800	3275	1765	525	1510	3460	3200	2835	20.0	C
B460	400	600	750	1665	805	3235	1775	530	1515	4170	3210	3850	21.7	B
B485	400	600	795	1750	825	3300	1840	545	1595	4210	3330	2965	22.0	B
B515	500	600	840	1855	845	3325	1925	570	1690	4570	3480	3120	25.9	B

表 4. 3 - 5 (8 / 8) パッケージ形フランス水車発電機概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			Ds	A	H	h	Z	P	J	L	W	Hmax		
C500	200	500	750	1750	810	3300	1750	525	1565	4135	3190	2830	22.2	B
C500	300	500	750	1750	810	3300	1750	525	1565	4135	3190	2830	22.2	B
C530	300	500	795	1855	830	3380	1830	550	1660	4195	3340	2975	23.9	B
C530	400	500	795	1855	830	3380	1830	550	1660	4545	3340	2975	25.8	B
C560	400	500	840	1960	855	3460	1910	570	1755	4600	3480	3120	28.1	B
C600	500	500	900	2100	885	3455	2015	600	1880	4930	3670	3315	32.7	B
B485	200	500	795	1750	825	3390	1840	545	1595	4110	3330	2965	21.2	B
B485	300	500	795	1750	825	3390	1840	545	1595	4110	3330	2965	21.2	B
B515	300	500	840	1855	845	3475	1925	570	1690	4170	3480	3120	23.7	B
B515	400	500	840	1855	845	3475	1925	570	1690	4520	3480	3120	25.5	B
B545	400	500	890	1965	870	3560	2010	595	1790	4580	3640	3275	27.5	B
B580	300	429	950	2090	895	3660	2110	625	1910	4700	3820	3460	30.3	B
B580	400	429	950	2090	895	3550	2110	625	1910	4900	3820	3460	31.5	B

表 4. 3 - 6 (1 / 6) パッケージ形 フランシス水車・発電概略寸法および概略基礎荷重 (60 H z)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			D s	A	H	h	Z	P	J	I	W	Hmax		
K500	400	1200	360	1580	620	2530	1220	330	870	3320	2270	1900	17.0	C
K500	500	1200	360	1580	620	2730	1220	330	870	3420	2270	1900	17.7	C
J475	400	1200	370	1515	625	2530	1220	335	880	3325	2270	1895	16.2	C
J475	500	1200	370	1515	625	2730	1220	335	880	3425	2270	1895	17.0	C
J500	500	1200	385	1950	635	2770	1260	345	925	3460	2340	1970	17.8	C
I425	300	1200	360	1360	620	2545	1170	330	865	2895	2160	1795	13.7	C
I450	400	1200	380	1440	625	2520	1210	340	915	3330	2240	1875	15.8	C
I450	500	1200	380	1440	625	2720	1210	340	915	3430	2240	1875	16.5	C
I475	500	1200	400	1520	610	2765	1255	350	865	3465	2320	1855	17.5	C
H400	300	1200	375	1300	610	2545	1170	340	865	2870	2170	1795	14.2	C
H425	400	1200	400	1385	620	2525	1215	350	920	3310	2260	1880	15.2	C
H425	500	1200	400	1385	620	2725	1215	350	920	3410	2260	1880	16.0	C
H450	500	1200	420	1465	630	2770	1260	360	975	3445	2340	1965	15.8	C
G355	200	1200	360	1170	620	2590	1140	330	870	2835	2100	1735	10.8	C
G375	300	1200	380	1235	625	2550	1175	340	915	2870	2180	1805	12.8	C
G400	400	1200	405	1320	640	2535	1225	355	980	3310	2270	1895	14.5	C
G425	500	1200	430	1400	650	2785	1275	365	1040	3450	2360	1985	16.4	C
F355	300	1200	395	1190	630	2550	1175	350	905	2860	2170	1795	12.3	C
F375	300	1200	420	1255	640	2590	1215	360	955	2890	2240	1870	13.1	C
F375	400	1200	420	1255	640	2525	1215	360	955	3290	2240	1870	14.3	C

表 4. 3-6 (2/6) パッケージ形 フランシス水車・発電概略寸法および概略基礎荷重 (60Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			D s	A	H	h	Z	P	J	I	W	Hmax		
F400	400	1200	445	1340	650	2575	1265	375	1020	3335	2340	1965	14.9	C
F400	500	1200	445	1340	650	2775	1265	375	1020	3435	2340	1965	15.6	C
E350	300	1200	435	1190	645	2595	1220	365	910	2890	2230	1870	12.5	C
E350	400	1200	435	1190	645	2530	1220	365	910	3290	2230	1870	13.7	C
E375	400	1200	465	1275	660	2585	1275	385	975	3340	2330	1970	14.6	C
E375	500	1200	465	1275	660	2785	1275	385	975	3440	2330	1970	15.4	C
E400	500	1200	495	1360	675	2840	1330	400	1040	3485	2440	2070	16.1	C
D350	400	1200	475	1215	680	2600	1290	390	1020	3310	2350	1995	14.0	C
J475	200	900	370	1515	625	2620	1220	335	880	2925	2270	1895	15.0	C
I425	200	900	360	1360	620	2570	1170	330	865	2895	2160	1795	13.0	C
I425	200	900	360	1360	620	2570	1170	330	865	2895	2160	1795	13.0	C
I475	200	900	360	1520	640	2655	1255	350	965	2965	2320	1955	15.4	C
I475	300	900	360	1520	640	2830	1255	350	965	3165	2320	1955	16.2	C
H400	200	900	375	1300	610	2570	1170	340	865	2870	2170	1795	12.9	C
H425	200	900	400	1385	620	2615	1215	350	920	2910	2260	1880	14.0	C
H450	200	900	420	1465	630	2660	1260	360	975	2945	2340	1965	14.9	C
H450	300	900	420	1465	630	2835	1260	360	975	3145	2340	1965	15.7	C
H475	300	900	445	1545	645	2880	1305	375	1030	3190	2430	2050	16.7	C
G355	100	900	360	1170	620	2590	1140	330	870	2835	2100	1235	10.6	C
G375	200	900	380	1235	625	2575	1175	340	915	2870	2180	1805	12.7	C

表4. 3-6 (3/6) パッケージ形 フランシス水車・発電概略寸法および概略基礎荷重 (60Hz)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			D s	A	H	h	Z	P	J	I	W	Hmax		
G400	200	900	405	1320	640	2625	1225	355	980	2910	2270	1895	13.3	C
G425	200	900	430	1400	650	2675	1275	365	1040	2950	2360	1985	14.4	C
G425	300	900	430	1400	650	2850	1275	365	1040	3150	2360	1985	15.1	C
G450	300	900	455	1485	665	2900	1325	380	1100	3195	2450	2080	16.2	C
G475	400	900	480	1565	680	2885	1375	390	1160	3480	2540	2170	17.7	C
F355	200	900	395	1190	630	2575	1175	350	905	2860	2170	1795	12.2	C
F375	200	900	420	1190	630	2575	1175	350	905	2860	2170	1795	12.9	C
F400	200	900	445	1340	650	2665	1265	375	1020	2935	2340	1965	13.6	C
F400	300	900	445	1340	650	2840	1265	375	1020	3135	2340	1965	14.4	C
F425	300	900	475	1420	670	2895	1320	390	1080	3180	2440	2060	15.5	C
F425	400	900	475	1420	670	2830	1320	390	1080	3430	2440	2060	17.3	C
F450	300	900	500	1505	680	2945	1370	400	1145	3215	2530	2155	16.6	C
F450	400	900	500	1505	680	2880	1370	400	1145	3465	2530	2155	18.4	C
F475	500	900	530	1590	690	2880	1420	415	1210	3560	2630	2250	19.7	C
E355	200	900	440	1205	650	2630	1230	370	925	2900	2250	1890	12.7	C
E375	200	900	465	1275	660	2675	1275	385	975	2940	2330	1970	13.4	C
E375	300	900	465	1275	660	2850	1275	385	975	3140	2330	1970	14.1	C
E400	300	900	495	1360	675	2905	1330	400	1040	3185	2440	2070	14.8	C
E400	400	900	495	1360	675	2840	1330	400	1040	3435	2440	2070	16.5	C
E425	300	900	525	1445	685	2960	1385	415	1105	3230	2540	2175	16.0	C

表 4. 3 - 6 (4 / 6) パッケージ形 フランス水車・発電概略寸法および概略基礎荷重 (60 H z)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			D s	A	H	h	Z	P	J	I	W	Hmax		
E425	400	900	525	1445	685	2895	1385	415	1105	3480	2540	2175	17.7	C
E425	500	900	525	1445	685	2845	1385	415	1105	3530	2540	2175	18.1	C
E450	400	900	555	1530	705	2950	1440	430	1170	3525	2640	2275	18.9	C
E450	500	900	555	1530	705	2900	1440	430	1170	3575	2640	2275	19.2	C
D355	200	900	480	1230	685	2700	1300	390	1035	2915	2370	2015	13.0	C
D355	300	900	480	1230	685	2875	1300	390	1035	3115	2370	2015	13.7	C
D375	300	900	510	1300	700	2925	1350	405	1095	3155	2460	2105	14.5	C
D400	300	900	540	1385	715	2985	1410	420	1165	3200	2570	2215	15.2	C
D400	400	900	540	1385	715	2920	1410	420	1165	3450	2570	2215	16.9	C
D425	400	900	575	1475	735	2980	1470	440	1240	3500	2680	2325	18.2	C
D425	500	900	575	1475	735	2930	1470	440	1240	3550	2680	2325	18.6	C
D450	500	900	610	1560	750	2990	1530	455	1310	3595	2790	2435	19.7	C
C355	200	900	535	1245	700	2770	1370	420	1115	2955	2500	2140	13.3	C
C355	300	900	535	1245	700	2945	1370	420	1115	3155	2500	2140	14.0	C
C375	300	900	565	1315	720	3000	1425	435	1175	3195	2600	2235	14.8	C
C375	400	900	565	1315	720	2935	1425	435	1175	3445	2600	2235	16.6	C
C400	400	900	600	1400	735	3000	1490	450	1255	3490	2720	2355	17.3	C
C400	500	900	600	1400	735	2950	1490	450	1255	3540	2720	2355	17.6	C
C425	500	900	640	1490	755	3015	1555	470	1330	3590	2840	2475	18.8	C
B345	200	900	565	1245	710	2835	1435	435	1135	2935	2600	2235	13.4	C

表 4. 3 - 6 (5 / 6) パッケージ形 フランス水車・発電概略寸法および概略基礎荷重 (60 H z)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			D s	A	H	h	Z	P	J	I	W	Hmax		
B345	300	900	565	1245	710	3010	1435	435	1135	3135	2600	2235	14.1	C
B365	300	900	600	1315	730	3070	1495	450	1200	3175	2700	2345	14.8	C
B365	400	900	600	1315	730	3005	1495	450	1200	3425	2700	2345	16.6	C
B385	400	900	630	1390	745	3060	1550	465	1265	3465	2810	2445	17.3	C
B385	500	900	630	1390	745	3010	1550	465	1265	3515	2810	2445	17.6	C
B410	500	900	670	1480	695	3015	1555	485	1345	3565	2940	2506	18.5	C
C355	200	720	535	1245	700	2745	1370	420	1115	3055	2500	2140	14.9	C
C375	200	720	565	1315	720	2800	1425	435	1175	3095	2600	2235	15.7	C
C400	200	720	600	1400	735	2865	1490	450	1255	3140	2720	2355	16.4	C
C400	300	720	600	1400	735	3000	1490	450	1255	3240	2720	2355	15.6	C
C425	300	720	640	1490	755	3065	1555	470	1330	3290	2840	2475	17.9	C
C425	400	720	640	1490	755	3015	1555	470	1330	3540	2840	2475	18.7	C
C450	400	720	675	1575	770	3080	1620	490	1410	3590	2960	2595	19.9	B
C450	500	720	675	1575	770	3080	1620	490	1410	4440	2960	2595	19.8	C
C475	500	720	715	1665	790	3145	1685	510	1490	4490	3070	2715	22.1	B
B345	200	720	565	1245	710	2810	1435	435	1135	3035	2600	2235	15.0	C
B365	200	720	595	1315	730	2870	1495	450	1200	3075	2700	2345	15.7	C
B385	200	720	630	1390	745	2925	1550	465	1265	3115	2810	2445	16.4	C
B385	300	720	630	1390	745	3060	1550	465	1265	3215	2810	2445	16.6	C
B410	300	720	670	1480	765	3135	1625	485	1345	3265	2940	2580	17.5	C

表 4. 3 - 6 (6 / 6) パッケージ形 フランシス水車・発電概略寸法および概略基礎荷重 (60 H z)

水車枠番	発電機 (KVA)	回転速度 (rpm)	水車発電装置寸法 (mm)							輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両
			D s	A	H	h	Z	P	J	I	W	Hmax		
B410	400	720	670	1480	765	3085	1625	485	1345	3515	2940	2580	18.4	C
B435	400	720	710	1570	785	3155	1695	505	1430	3560	3070	2705	20.1	B
B435	500	720	710	1570	785	3155	1695	505	1430	4410	3070	2705	21.3	B
B460	500	720	750	1660	800	3225	1765	525	1510	4460	3200	2835	22.0	B
C400	200	600	600	1400	730	3040	1490	450	1255	3390	2720	2355	15.6	C
C425	200	600	640	1490	755	3105	1555	470	1330	3440	2840	2475	16.9	C
C450	300	600	675	1575	770	3170	1620	490	1410	4040	2960	2595	19.5	C
C475	300	600	715	1665	790	3235	1685	510	1490	4090	3070	2715	20.6	B
C475	400	600	715	1665	790	3235	1685	510	1490	4390	3070	2715	22.6	B
C500	400	600	750	1750	810	3300	1750	525	1565	4435	3190	2830	23.7	B
C500	500	600	750	1750	810	3300	1750	525	1565	5235	3190	2830	25.0	B
C530	500	600	750	1855	830	3380	1830	550	1660	5295	3340	2975	26.8	B
B385	200	600	630	1390	745	3100	1550	465	1265	3365	2810	2445	15.6	C
B410	200	600	670	1480	765	3175	1625	485	1345	3415	2940	2580	16.5	C
B435	200	600	710	1570	785	3245	1695	505	1430	3460	3070	2705	18.2	C
B435	300	600	710	1570	785	3245	1695	505	1430	4010	3070	2705	19.8	C
B460	300	600	750	1660	800	3315	1765	525	1510	4060	3200	2835	20.5	B
B460	400	600	750	1660	800	3315	1765	525	1510	4360	3200	2835	22.4	B
B485	400	600	795	1750	825	3390	1840	545	1595	4415	3330	2965	22.7	B
B485	500	600	795	1750	825	3390	1840	545	1595	5215	3330	2965	25.3	B

4. 3. 3 クロスフロー水車発電装置（パッケージ形）

1) 概 要

- (1) 屋外形対応の水車発電装置とし、水車、電動サーボモータは増速機（必要な場合）、発電機とともに共通ベットの床上に設置した図4. 3-12に示すようなパッケージ構造とする。屋外カバーは鋼板製とする。日常の保守点検はパッケージの中に入らず、図4. 3-13に示すように側面に設けた扉よりおこなえるものとし保守性を考慮したものとする。入口弁はその配置上から、共通ベットの床上に組込むことは共通ベットが大きくなり、輸送制限上から制約を受けるので別途外部に設置する。
- (2) 配電盤及び開閉装置は近傍に簡易な建屋を設け収納する。
- (3) 輸送は、共通ベットの床上に機器を組込んだままでの一体輸送で行ない現地の基礎へそのまま乗せるものとし、据付の簡素化を図った。なお、輸送及びオーバーホールは屋外カバーを外しておこなう。
- (4) パッケージ内の換気は図4. 3-13に示したように、水車入口管部に設けた開口部から吸気して、屋外カバーの発電機側より排気する構造とする。原則的には強制換気装置は設けないものとするが、気象条件によっては強制換気装置の設置あるいは発電機を出口管通風形とすることで対応するものとする。

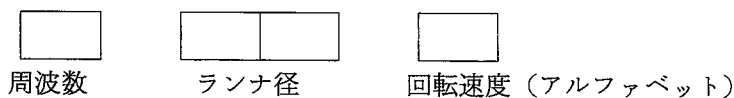
2) 選定（選定図）

選定対象となるクロスフロー水車は、4. 1. 2の3) 項「適用範囲」に記載した諸条件から図4. 3-14および図4. 3-15に示したシリーズとなる。

a. ブロックの選定基準

- | | | |
|----------|------|--------------------------|
| a) 適用範囲 | 有効落差 | 5～80m |
| | 流量 | 0.2～5.0m ³ /s |
| | 出力 | 100～500kW |
| b) ランナ外径 | | 250mm～800mm |
| c) 吸出し管 | | 吸出し管は原則として使用しない。 |

b. パッケージの枠名称



上の4桁記号で示すものとする。

a) 周波数

5 : 50 Hz

6 : 60 Hz

b) ランナ外径

08 : 800mm

06 : 630mm

05 : 500mm
 04 : 400mm
 03 : 315mm
 02 : 250mm

c) 回転速度 (水車回転速度)

	50 Hz	60 Hz
A :	1000r/min	1200r/min
B :	750	900
C :	600	720
D :	500	600
E :	447	536
F :	400	450
G :	357	429
H :	318	381
I :	282	338
J :	250	300
K :	222	267
L :	200	240
M :	179	214
N :	159	191
O :	169
P :	150

d. 直結時の発電機回転速度

50Hz :	1000(6極)	750(8極)	600(10極)	500(12極)r/min
60Hz :	1200(6極)	900(8極)	720(10極)	600(12極)r/min

e. 増速機使用時の発電機回転速度

50Hz : 1000 r/min(6極)
 60Hz : 1200 r/min(6極)

増速機の増速比はJIS標準数例R20系列による標準数とした。

3) 選定例

a. 50Hz地区、有効落差30m、流量0.6m³/sの条件で水車を選定する場合を示すと次のようになる。

a) 図4. 3-11の縦軸、有効落差30mと横軸、流量0.6m³/sの交点が選定するクロスフロー水車となる。

b) 図より水車枠番504Cであり、ランナ外径400mm、回転速度600r/minとなることが分かる。又、水車出力は図より約140kWである。

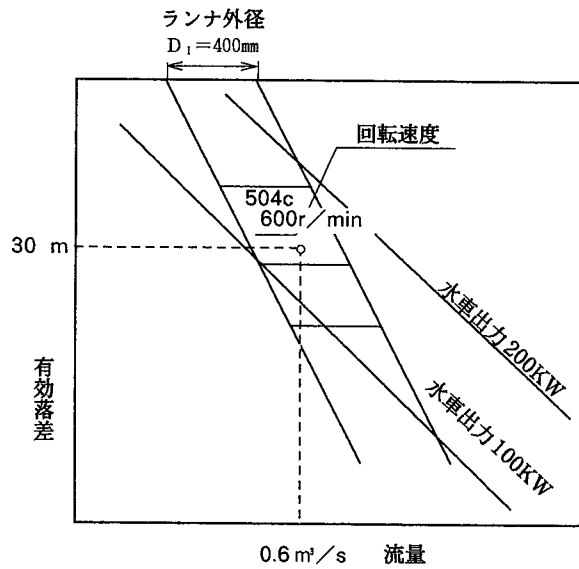


図4.3-11 選定図の見方

4) 概略寸法及び概略基礎荷重

- (1) パッケージ形クロスフロー水車発電装置の構造を図4.3-12に、またパッケージ外形図を図4.3-16に示した。
- (2) 表4.3-7、表4.3-8には夫々50Hzと60Hzのパッケージ形クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表を示す。輸送車両記号については図4.3-5を参照とする。
- (3) 表中の概略基礎荷重は（水車＋発電機＋電動サーボ＋共通ベース＋カバー＋水車内水重量）×1.2とした。
- (4) パッケージ形クロスフロー水車発電装置の据付に使用する移動クレーン等を計画する場合の最大吊り上げ荷重は、概略基礎荷重×0.7を目安に選べばよい。

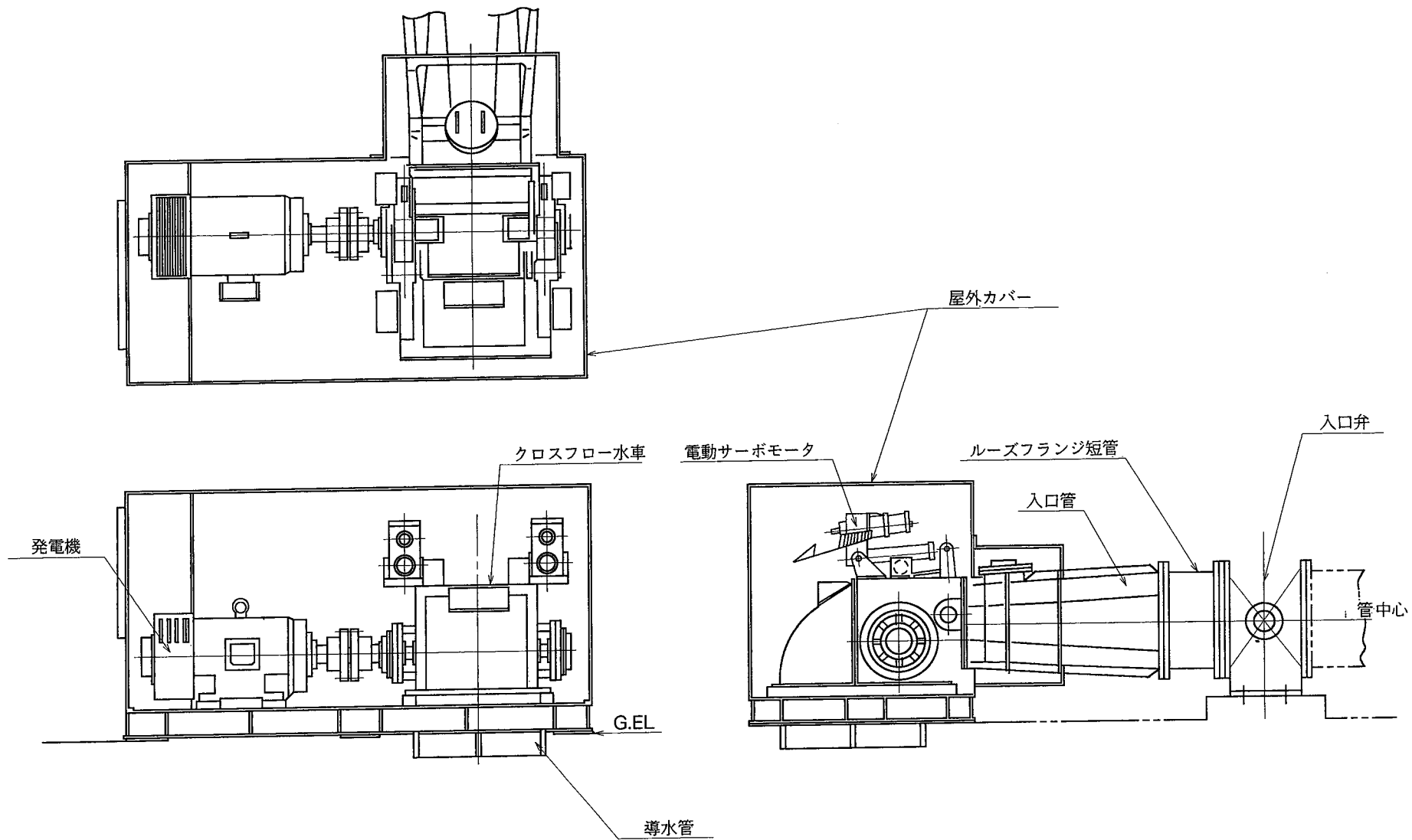


図4. 3-12 クロスフロー水車標準化発電装置の構造

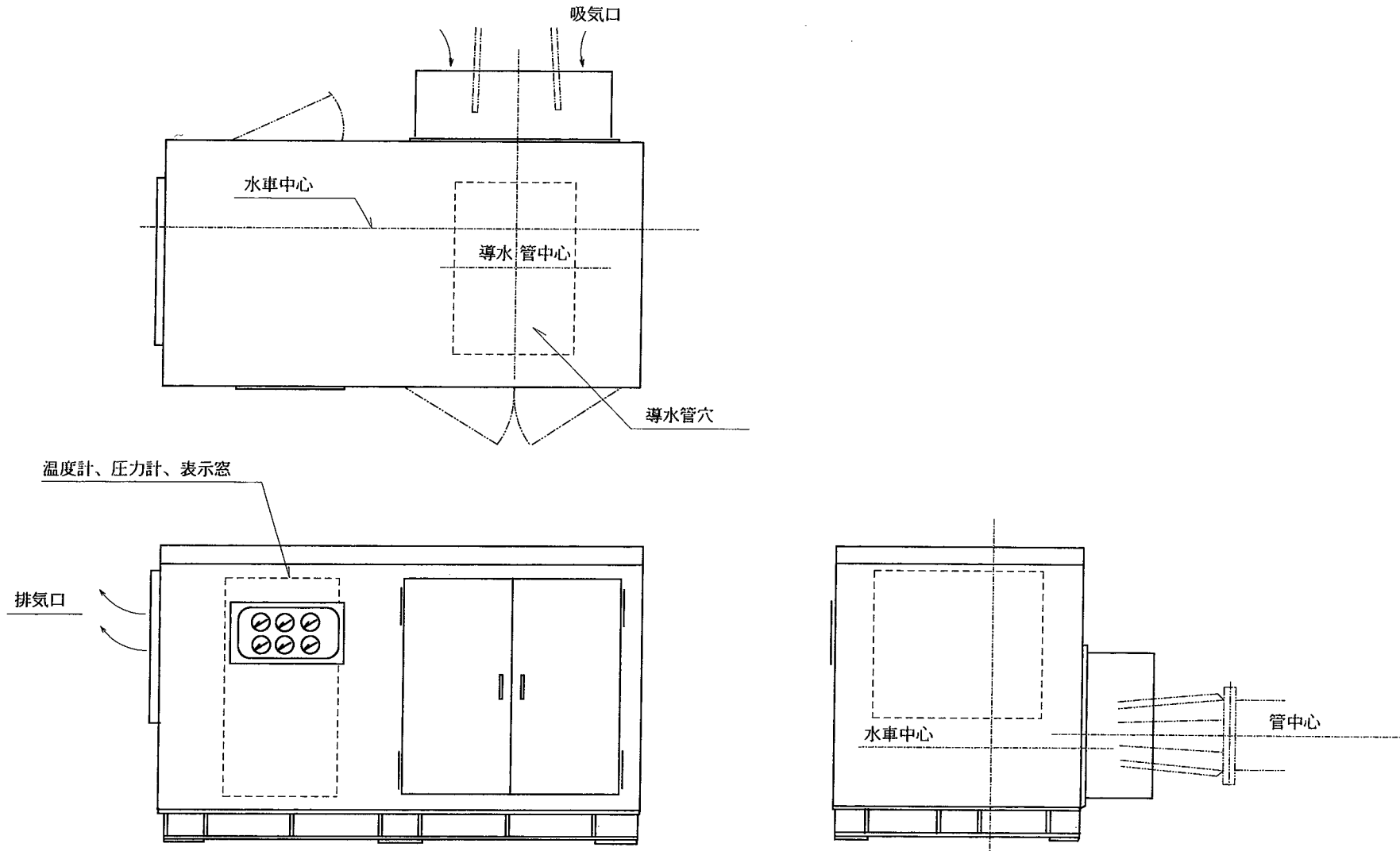


図4.3-13 パッケージ外観図

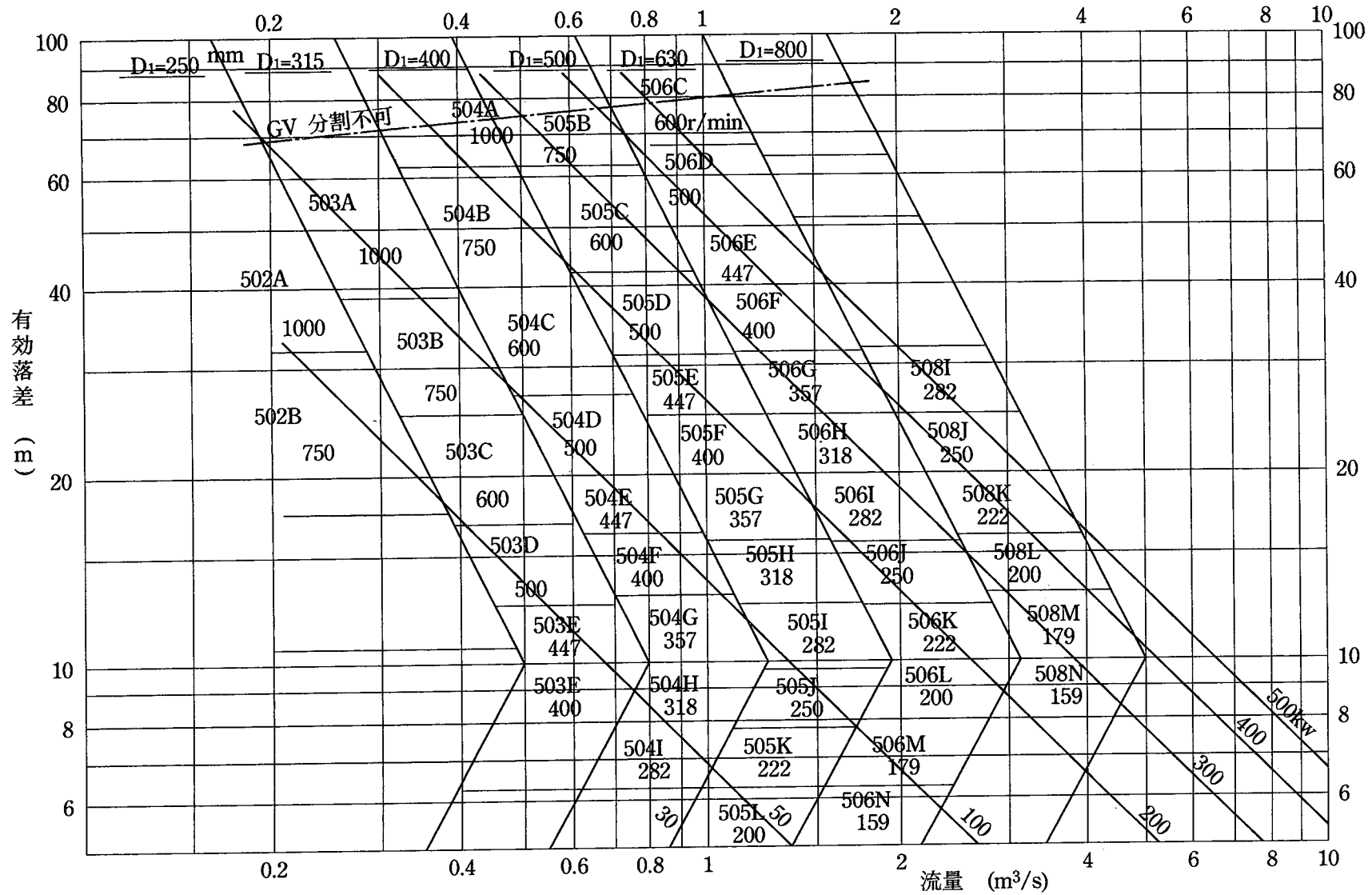


図4.3-14 クロスフロー水車選定図 (50Hz)

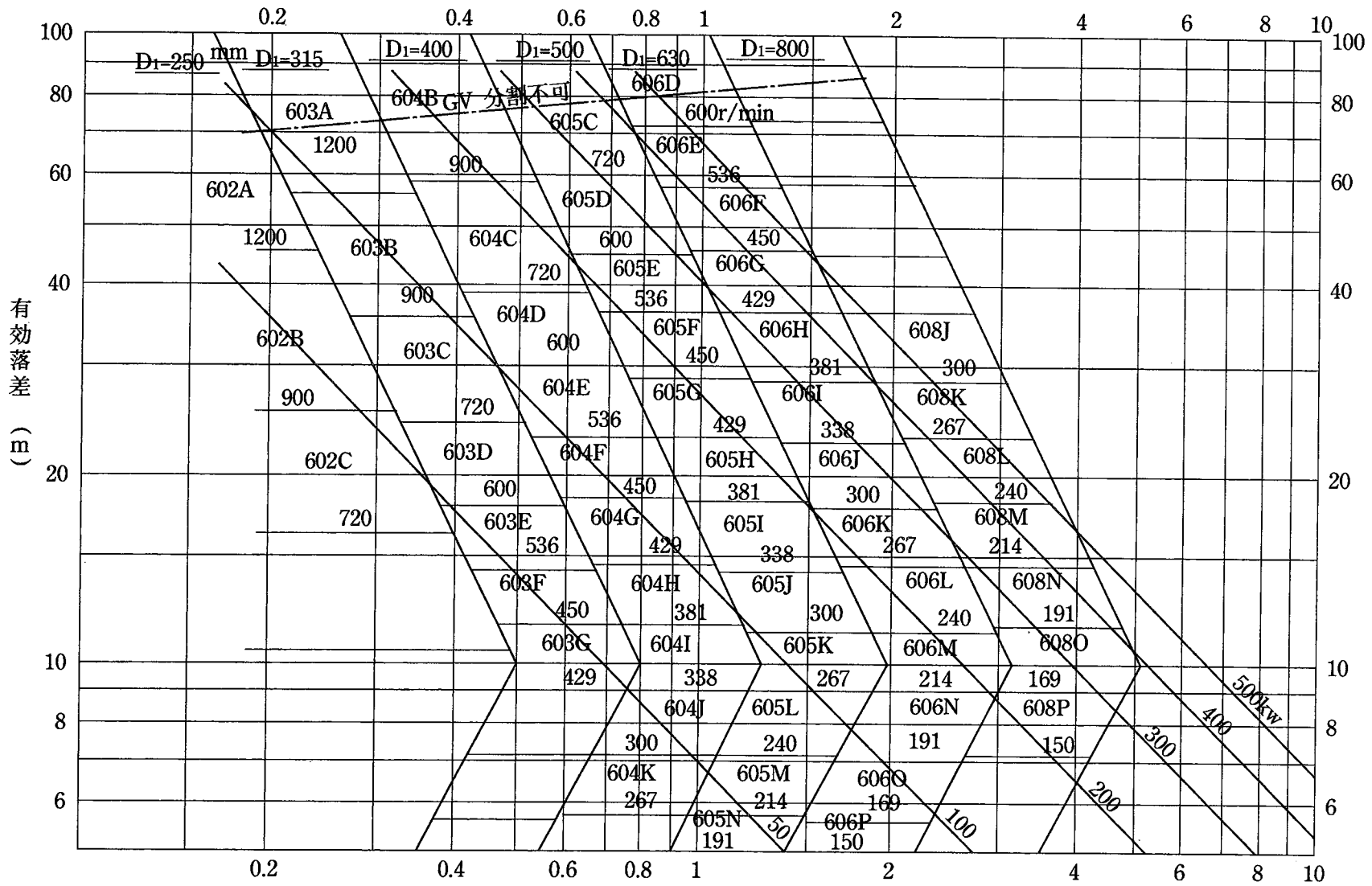


図4. 3-15 クロスフロー水車選定図 (60Hz)

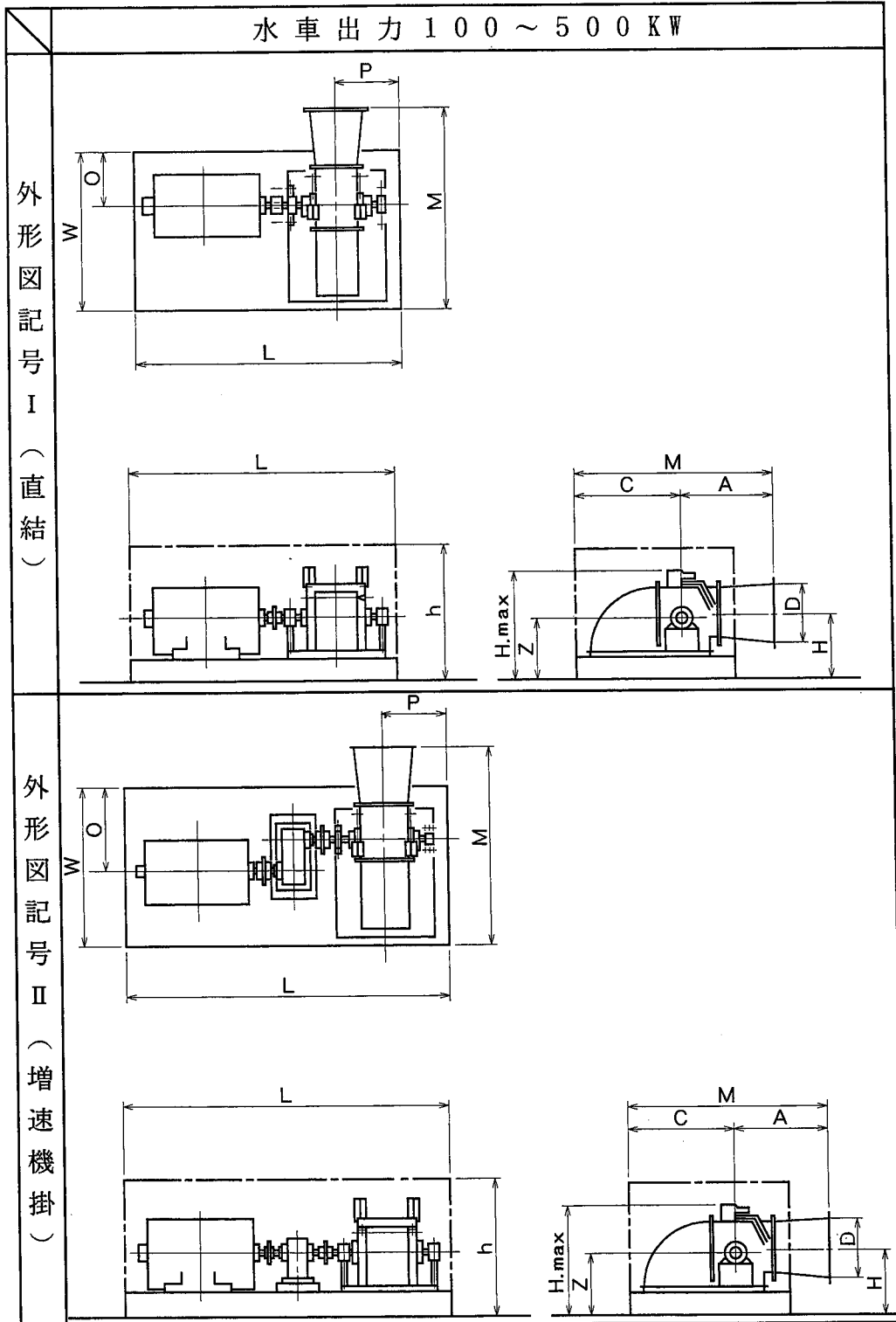


图 4. 3 - 16 外形图记号

表 4. 3-7 (1/3) クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機枠 (KVA)	パッケージ寸法 (mm)									輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両 記号	外形図 記号
		D	A	C	M	H	h	Z	P	Q	L	w	Hmax			
502A	100	350	750	700	1,450	550	1,675	510	520	535	2,290	1,200	1,375	3.4	E	I
502B	100	400	750	700	1,450	550	1,675	510	520	535	2,450	1,200	1,375	4.3	E	I
503A	200	400	850	770	1,620	585	1,705	545	650	635	3,120	1,270	1,405	4.4	E	I
503B	150	450	850	770	1,620	585	1,705	545	750	585	3,180	1,270	1,405	5.5	E	I
503C	100	500	850	770	1,620	585	1,705	545	830	585	2,690	1,270	1,405	5.1	E	I
503D	100	550	950	770	1,720	585	1,705	545	830	585	2,930	1,270	1,405	5.8	E	I
503E	100	600	1,200	770	1,970	585	1,705	545	950	560	4,120	1,270	1,405	6.4	D	II
503F	100	550	1,200	770	1,970	585	1,705	545	950	740	4,120	1,270	1,405	6.5	D	II
504A	300	450	1,010	890	1,900	710	1,850	650	670	730	3,270	1,470	1,550	6.8	D	I
504B	300	500	1,010	890	1,900	710	1,850	650	730	635	3,490	1,470	1,550	8.5	D	I
504C	200	550	1,010	890	1,900	710	1,850	650	800	700	3,550	1,470	1,550	8.3	D	I
504D	150	600	1,010	890	1,900	710	1,850	650	800	635	3,630	1,470	1,550	7.5	D	I
504E	150	700	1,210	890	2,100	710	1,850	650	970	615	4,410	1,470	1,550	8.4	D	II
504F	150	700	1,210	890	2,100	710	1,850	650	1,060	820	4,500	1,470	1,550	9.3	D	II
504G	150	800	1,540	890	2,430	710	1,850	650	1,190	810	4,850	1,470	1,550	11.4	D	II
504H	100	800	1,540	890	2,430	710	1,850	650	1,190	780	3,660	1,470	1,550	9.9	D	II
504I	100	700	1,540	890	2,430	710	1,850	650	1,190	770	3,660	1,470	1,550	9.4	D	II

(注) 1) 概略基礎荷重は (水車本体重量 + 水車内水重量 + 発電機本体重量 + ベット重量) × 12 とした。

表 4. 3-7 (2/3) クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機枠 (KVA)	パッケージ寸法 (mm)									輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両 記号	外形図 記号
		D	A	C	M	H	h	Z	P	Q	L	w	Hmax			
508H	500	1,100	1,760	1,440	3,200	1,200	2,430	1,030	1,310	1,500	5,930	2,400	2,130	28.6	A	II
508I	500	1,100	1,760	1,440	3,200	1,200	2,430	1,030	1,310	1,490	5,980	2,400	2,130	29.8	A	II
508J	500	1,200	1,760	1,440	3,200	1,200	2,430	1,030	1,350	1,470	6,000	2,400	2,130	31.6	A	II
508K	550	1,350	2,310	1,440	2,750	1,200	2,430	1,030	1,620	1,460	6,560	2,400	2,130	34.6	*	II
508L	500	1,350	2,310	1,440	2,750	1,200	2,430	1,030	1,800	1,420	6,740	2,400	2,130	37.2	*	II
508M	500	1,500	3,030	1,440	4,470	1,200	2,430	1,030	2,030	1,450	7,380	2,400	2,130	30.8	*	II
508N	400	1,350	3,030	1,440	4,470	1,200	2,430	1,030	2,030	1,440	7,320	2,400	2,130	42.5	*	II

*印は輸送制限を外れるものであるが参考用として記載した。

表 4. 3-7 (3/3) クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

水車枠番	発電機枠 (KVA)	パッケージ寸法 (mm)									輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両 記号	外形図 記号
		D	A	C	M	H	h	Z	P	Q	L	w	Hmax			
505B	500	550	1,170	1,020	2,190	830	2,010	750	850	700	4,510	1,690	1,710	12.4	D	I
505C	400	600	1,170	1,020	2,190	830	2,010	750	850	700	4,510	1,690	1,710	12.9	D	I
505D	300	700	1,270	1,020	2,290	830	2,010	750	900	770	4,470	1,690	1,710	12.0	D	I
505E	300	700	1,270	1,020	2,290	830	2,010	750	960	1,030	4,930	1,690	1,710	13.0	D	II
505F	300	800	1,370	1,020	2,390	830	2,010	750	960	1,030	4,750	1,690	1,710	12.8	D	II
505G	200	800	1,460	1,020	2,480	830	2,010	750	1,160	950	4,950	1,690	1,710	13.0	D	II
505H	200	900	1,670	1,020	2,690	830	2,010	750	1,210	940	5,090	1,690	1,710	14.1	D	II
505I	200	900	2,000	1,020	3,020	830	2,010	750	1,450	940	5,390	1,690	1,710	15.5	D	II
505J	150	900	2,000	1,020	3,020	830	2,010	750	1,450	880	5,200	1,690	1,710	14.5	D	II
505K	100	800	2,070	1,020	3,090	830	2,010	750	1,450	870	5,120	1,690	1,710	14.2	D	II
505L	100	800	2,070	1,020	3,090	830	2,010	750	1,450	870	5,120	1,690	1,710	14.2	D	II
506C	500	700	1,500	1,200	2,700	980	2,200	880	990	800	4,940	2,000	1,900	16.9	B	I
506D	500	800	1,500	1,200	2,700	980	2,200	880	990	800	4,980	2,000	1,900	16.8	B	I
506E	500	900	1,500	1,200	2,700	980	2,200	880	1,010	1,400	5,570	2,000	1,900	19.7	B	II
506F	500	900	1,500	1,200	2,700	980	2,200	880	1,100	1,280	5,600	2,000	1,900	20.3	B	II
506G	500	1,000	1,500	1,200	2,700	980	2,200	880	1,100	1,230	5,600	2,000	1,900	20.6	B	II
506H	400	1,100	1,910	1,200	3,110	980	2,200	880	1,100	1,210	5,420	2,000	1,900	19.2	B	II
506I	400	1,100	1,910	1,200	3,110	980	2,200	880	1,350	1,190	6,270	2,000	1,900	21.2	B	II
506J	300	1,100	1,910	1,200	3,110	980	2,200	880	1,510	1,110	6,050	2,000	1,900	21.9	B	II
506K	300	1,100	2,460	1,200	3,660	980	2,200	880	1,710	1,100	6,390	2,000	1,900	23.7	B	II
506L	300	1,100	2,460	1,200	3,660	980	2,200	880	1,710	1,110	6,210	2,000	1,900	23.4	B	II
506M	200	1,000	2,460	1,200	3,660	980	2,200	880	1,650	1,100	5,820	2,000	1,900	23.5	B	II
506N	100	1,000	2,460	1,200	3,660	980	2,200	880	1,650	1,100	5,740	2,000	1,900	21.9	B	II

表 4. 3-8 (1/3) クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表 (60Hz)

水車枠番	発電機枠 (KVA)	パッケージ寸法 (mm)									輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両 記号	外形図 記号
		D	A	C	M	H	h	Z	P	Q	L	w	Hmax			
602A	100	350	500	700	1,200	550	1,635	510	520	530	2,645	1,230	1,335	3.5	E	I
602B	100	350	500	700	1,200	550	1,635	510	520	530	2,645	1,230	1,335	3.6	E	I
602C	100	400	500	700	1,200	550	1,635	510	520	530	2,645	1,230	1,335	3.8	E	I
603A	200	350	550	770	1,320	585	1,705	545	610	585	2,850	1,355	1,405	4.6	E	I
603B	150	350	550	770	1,320	585	1,705	545	670	575	2,895	1,345	1,405	4.7	E	I
603C	150	350	550	770	1,320	585	1,705	545	760	575	3,085	1,345	1,405	5.0	E	I
603D	100	500	650	770	1,420	585	1,705	545	830	530	3,335	1,300	1,405	4.7	E	I
603E	100	550	650	770	1,420	585	1,705	545	830	740	4,165	1,270	1,405	5.9	E	II
603F	100	550	650	770	1,420	585	1,705	545	830	780	4,165	1,270	1,405	5.7	E	II
603G	100	600	900	770	1,670	585	1,705	545	950	720	4,385	1,270	1,405	6.3	D	II

表 4. 3 - 8 (2 / 3) クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表 (60Hz)

水車枠番	発電機枠 (KVA)	パッケージ寸法 (mm)									輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両 記号	外形図 記号
		D	A	C	M	H	h	Z	P	Q	L	w	Hmax			
604B	300	450	630	890	1,520	710	1,850	650	670	625	3,200	1,515	1,500	6.9	D	I
604C	300	500	630	890	1,520	710	1,850	650	730	625	3,260	1,515	1,500	7.2	D	I
604D	200	550	630	890	1,520	710	1,850	650	800	585	3,020	1,475	1,500	6.5	D	I
604E	200	600	630	890	1,520	710	1,850	650	800	880	4,215	1,470	1,500	8.6	D	II
604F	150	700	830	890	1,720	710	1,850	650	800	880	3,995	1,470	1,500	8.1	D	II
604G	150	700	830	890	1,720	710	1,850	650	970	870	4,325	1,470	1,500	9.0	D	II
604H	150	700	1,000	890	1,890	710	1,850	650	1,060	860	4,525	1,470	1,500	9.6	D	II
604I	100	800	1,160	890	2,050	710	1,850	650	1,190	790	4,835	1,470	1,500	9.4	D	II
604J	100	700	1,160	890	2,050	710	1,850	650	1,190	785	4,835	1,470	1,500	9.9	D	II
604K	100	700	1,160	890	2,050	710	1,850	650	1,190	780	4,835	1,470	1,500	9.6	D	II
605C	400	550	700	1,020	1,720	830	2,010	750	850	730	3,710	1,750	1,710	10.3	D	I
605D	400	600	700	1,020	1,720	830	2,010	750	850	730	3,760	1,750	1,710	10.4	D	I
605E	300	700	700	1,020	1,720	830	2,010	750	900	1,030	4,685	1,690	1,710	12.4	D	II
605F	300	700	800	1,020	1,820	830	2,010	750	900	1,010	4,795	1,690	1,710	12.7	D	II
605G	300	800	800	1,020	1,820	830	2,010	750	960	1,000	4,850	1,690	1,710	13.5	D	II
605H	300	800	900	1,020	1,920	830	2,010	750	1,160	990	5,055	1,690	1,710	14.3	D	II
605I	200	800	990	1,020	2,010	830	2,010	750	1,160	930	4,865	1,690	1,710	13.5	D	II
605J	200	900	1,200	1,020	2,220	830	2,010	750	1,310	930	5,015	1,690	1,710	14.6	D	II
605K	150	900	1,530	1,020	2,550	830	2,010	750	1,450	920	5,360	1,690	1,710	15.0	D	II
605L	150	800	1,530	1,020	2,550	830	2,010	750	1,450	920	5,250	1,690	1,710	16.0	D	II
605M	100	800	1,600	1,020	2,620	830	2,010	750	1,450	910	5,185	1,690	1,710	14.6	D	II
605N	100	800	1,600	1,020	2,620	830	2,010	750	1,450	910	5,185	1,690	1,710	14.1	D	II

表 4. 3-8 (3/3) クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表 (60Hz)

水車枠番	発電機枠 (KVA)	パッケージ寸法 (mm)									輸送寸法 (mm)			概略基礎 荷重 (t)	輸送車両 記号	外形図 記号
		D	A	C	M	H	h	Z	P	Q	L	w	Hmax			
606D	500	700	900	1,200	2,100	980	2,195	880	990	800	3,020	2,000	1,895	13.1	D	I
606E	500	800	900	1,200	2,100	980	2,195	880	990	1,395	5,640	2,000	1,895	20.0	B	II
606F	500	800	900	1,200	2,100	980	2,195	880	1,010	1,375	5,660	2,000	1,895	20.1	B	II
606G	500	800	900	1,200	2,100	980	2,195	880	1,010	1,360	5,680	2,000	1,895	20.7	B	II
606H	500	900	900	1,200	2,100	980	2,195	880	1,100	1,340	5,770	2,000	1,895	21.4	B	II
606I	400	900	1,310	1,200	2,510	980	2,195	880	1,100	1,220	5,580	2,000	1,895	20.4	B	II
606J	400	1,000	1,310	1,200	2,510	980	2,195	880	1,300	1,210	6,035	2,000	1,895	21.9	B	II
606K	400	1,100	1,310	1,200	2,510	980	2,195	880	1,350	1,200	6,085	2,000	1,895	23.1	B	II
606L	300	1,100	1,310	1,200	2,510	980	2,195	880	1,510	1,100	5,975	2,000	1,895	22.1	B	II
606M	300	1,100	1,860	1,200	3,060	980	2,195	880	1,710	1,163	6,315	2,000	1,895	23.6	B	II
606N	200	1,100	1,860	1,200	3,060	980	2,195	880	1,710	1,100	5,795	2,000	1,895	23.3	B	II
606O	150	1,000	1,860	1,200	3,060	980	2,195	880	1,650	1,365	5,780	2,000	1,895	22.6	B	II
606P	100	1,000	1,860	1,200	3,060	980	2,195	880	1,650	1,240	5,685	2,000	1,895	19.8	B	II
608J	500	1,100	1,000	1,440	2,440	1,200	2,430	1,030	1,310	1,370	5,865	2,300	2,130	29.1	A	II
608K	500	1,200	1,000	1,440	2,440	1,200	2,430	1,030	1,310	1,360	5,915	2,300	2,130	30.5	A	II
608L	500	1,200	1,350	1,440	2,790	1,200	2,430	1,030	1,350	1,350	5,955	2,300	2,130	32.2	A	II
608M	500	1,350	1,550	1,440	2,990	1,200	2,430	1,030	1,620	1,340	6,585	2,300	2,130	27.6	*	II
608N	500	1,350	1,550	1,440	2,990	1,200	2,430	1,030	1,800	1,340	7,025	2,300	2,130	40.5	*	II
608O	400	1,500	2,270	1,440	3,710	1,200	2,430	1,030	2,030	1,590	7,235	2,300	2,130	39.7	*	II
608P	400	1,350	2,270	1,440	3,710	1,200	2,430	1,030	2,030	1,580	7,235	2,300	2,130	42.3	*	II

*印は輸送制限を外れるものであるが参考用として記載した。

4. 3. 4 S形チューブラ水車発電装置

1) 概 要

S形チューブラ水車は、同一出力のフランシス水車等に比べて寸法が大きく、また、S形の吸出し管はコンクリート埋設が必要なため、パッケージ構造、あるいは共通ベッドへの設備は困難となるためパッケージ構造とせず、発電所建屋内に設置する方式とする。

- (1) 吸出し管はコンクリート埋設方式とする。
- (2) 水車本体は露出構造とし、外部より点検、保守が可能な構造とする。発電機は一体輸送を前提とし、水車軸に直結、又は、増速する場合は水車軸と発電機軸の間に増速機を設ける。
- (3) 水車のガイドベーンは運転中は電動操作で可動できるものとし、ランナベーンは運転中は固定とし、水車停止時に電動操作によりランナベーン角度を調整できるものとする。
- (4) 無拘束速度比が高く、無拘束速度時の振動が大きいため、速度変動率は85%以下とする。
- (5) 発電機は固有GD²とし、フライホイールは設置しないことを原則とする。
- (6) 軸受は油自蔵空冷方式とする。但し、水スラストが大きく油自蔵空冷方式が不可能な場合は油循環空冷方式とする。
- (7) スラスト軸受は直結の場合は発電機に、増速機付の場合は増速装置に設ける。
- (8) 換 気

S形チューブラ水車発電装置は発電所建屋内設置とするが、発電機を出口管通風形とし、強制換気装置は設けないものとする。

2) 選 定 (選定図)

選定対象となるS形チューブラ水車は、4. 1. 2, 4), 3項「適用範囲」に記載した諸条件から、図4. 3-22 (50Hz), 図4. 3-23 (60Hz) に示すシリーズとなる。

(a) 落差、流量、出力の範囲

落 差	3~18m
流 量	3~15m ³ /s
出 力	100~500kW

(b) ランナベーン枚数

5 枚	落差 ≥ 8 m
4 枚	落差 ≤ 10m

(c) 水車中心の吸出し高さ $Z_s \geq 0$

(d) ランナ径 900~1,800mm

(J I S 標準数列 R20 系列の標準数とする。)

(e) 増速時の発電機回転速度

60Hz	720r/min (10極)
50Hz	750r/min (8極)

増速の範囲は増速比で2以上、即ち、
 60Hzで水車回転速度 360r/min以下
 50Hzで水車回転速度 375r/min以下
 増速比はJ I S標準数列R20系列の標準数を採用する。

(1) 選定図の見方

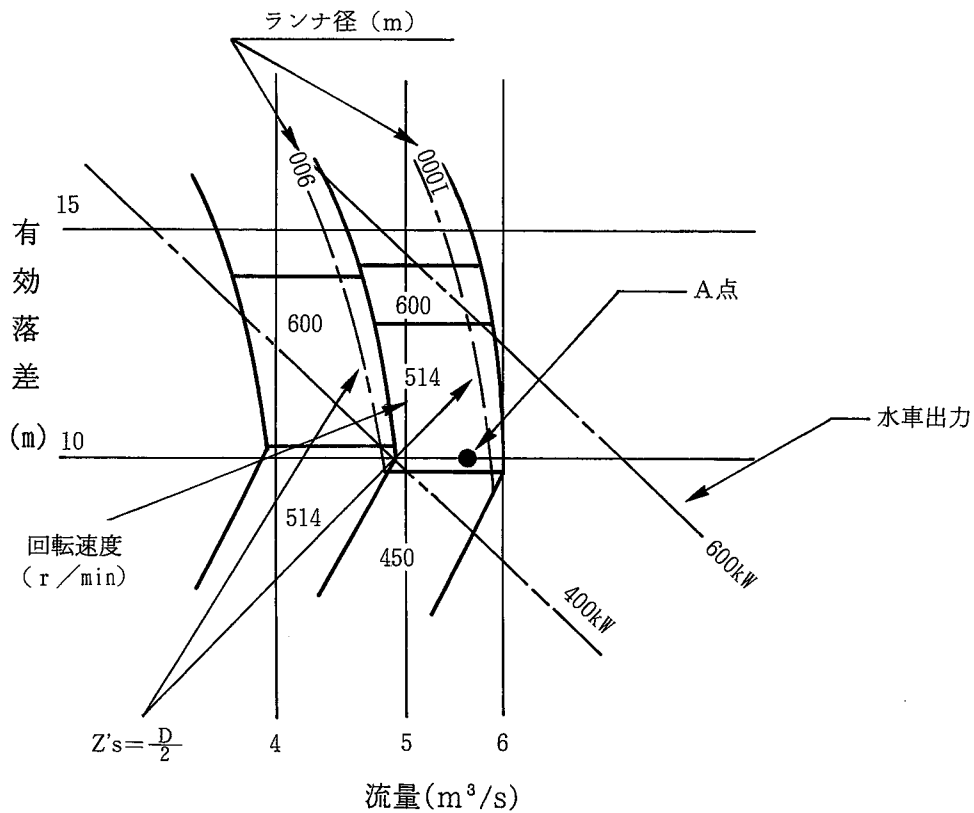
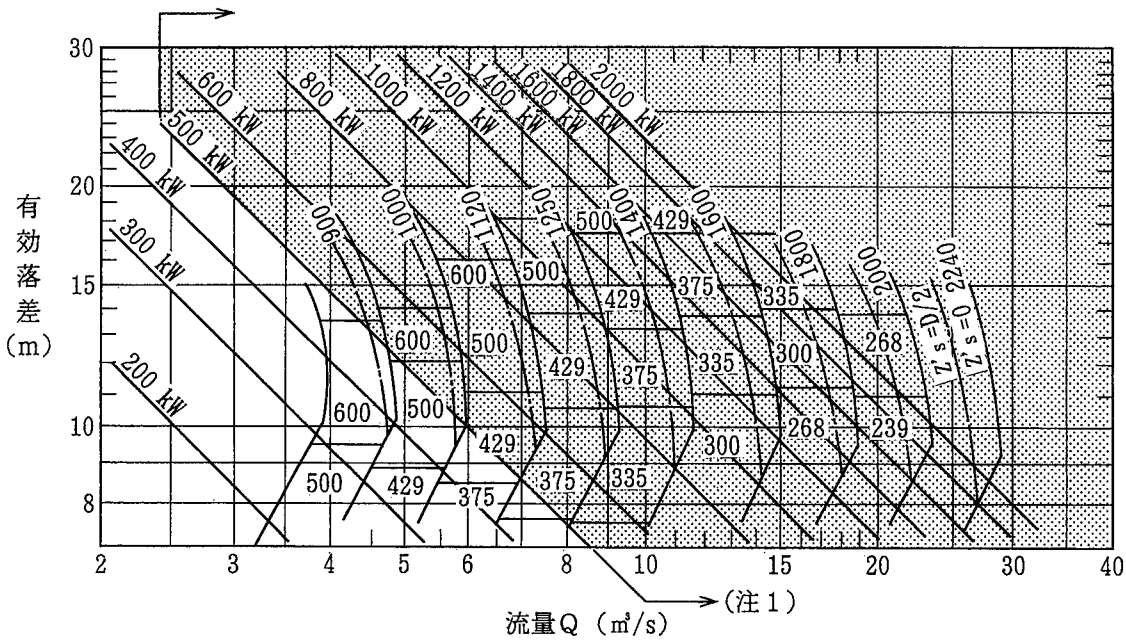


図4. 3-21 選定図の見方

図4. 3-21選定図の見方には図4. 3-23 S形チューブラ水車選定図(C)ランナペーン枚数5枚(60Hz)の一部を示している。その図でブロックは水車ランナ径、水車の回転速度によって区切られている。また区切られたブロック内には水車中心の吸出し高さ $Z's = 0$ (実線) と $\frac{D}{2}$ (削線) で更に区切られている。従って、有効落差と流量が定まれば水車ランナ径、回転速度及び $Z's$ が読み取れる。

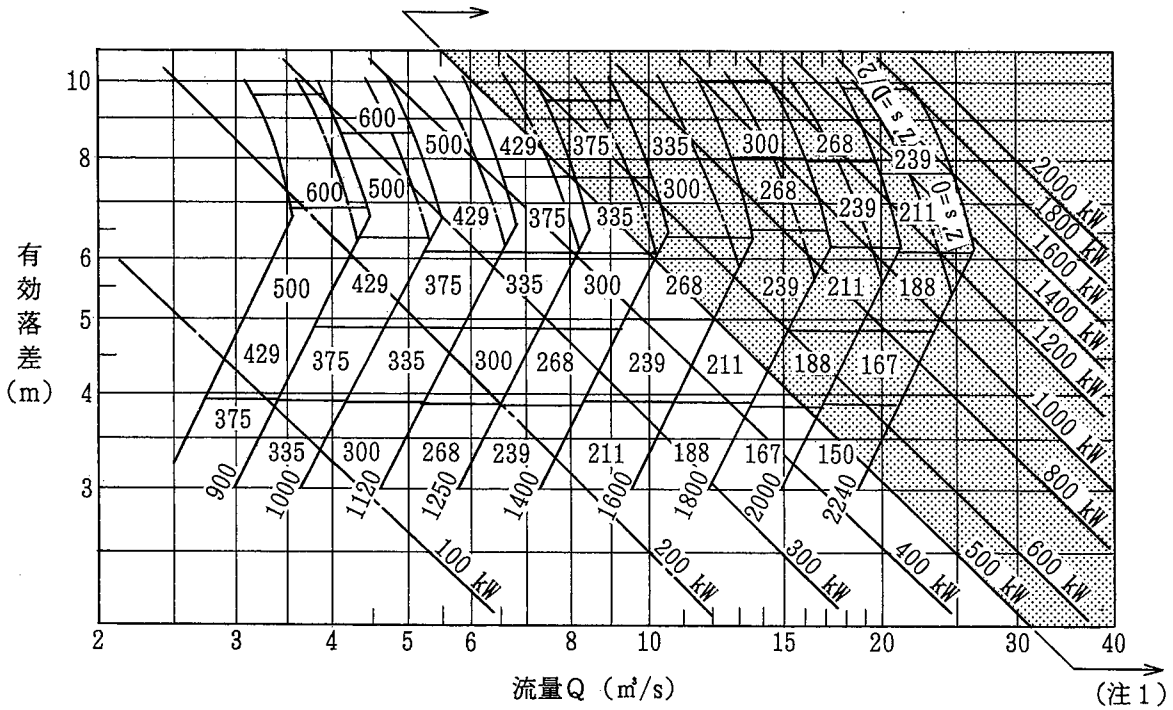
(2) 選定例

60Hz地区で有効落差10m、流量 $5.5\text{m}^3/\text{s}$ の選定点にはA点となり水車ランナ径1000mm、水車回転速度514r/minとなる。また有効落差10mの線上で選定点は水車中心吸出し高さ $Z's = \frac{D}{2}$ の左側にあるので水車の中心の据付高さは $Z's$ は放水面に対し $\frac{D}{2} = 500\text{mm}$ 高くしてよいことになる。



(注1) 500kW以上は本マニュアルの対象でないが、参考用として記載する。

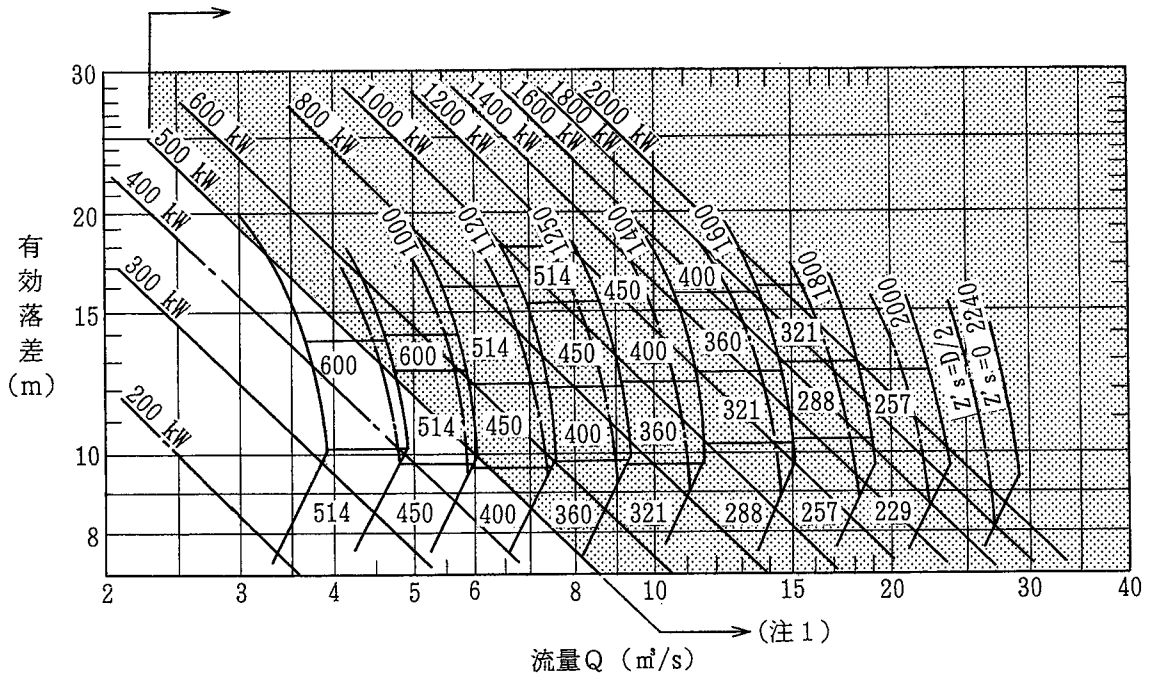
(a) ランナベーン枚数5枚



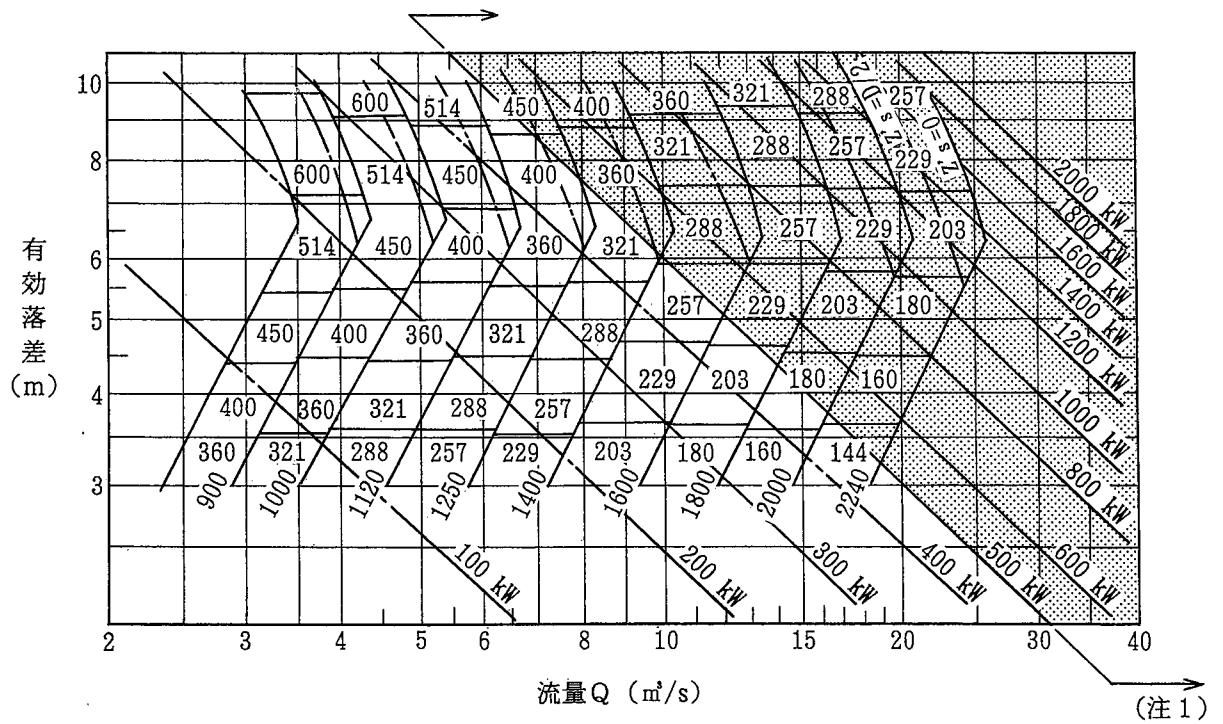
(注1) 500kW以上は本マニュアルの対象でないが、参考用として記載する。

(b) ランナベーン枚数4枚

図4. 3-22 S形チューブラ水車選定図1 (50Hz)



(c) ランナベーン枚数 5 枚



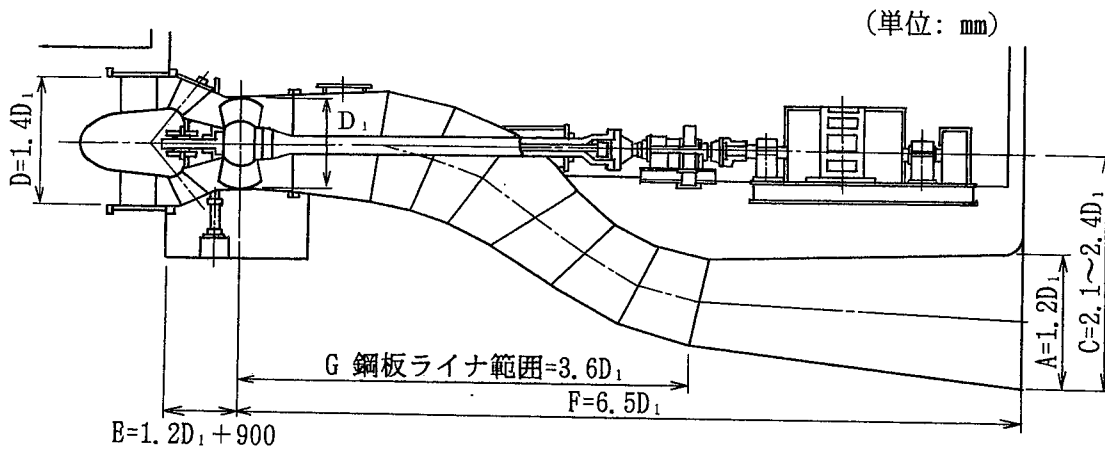
(注 1) 500kW以上は本マニュアルの対象でないが、参考用として記載する。

(d) ランナベーン枚数 4 枚

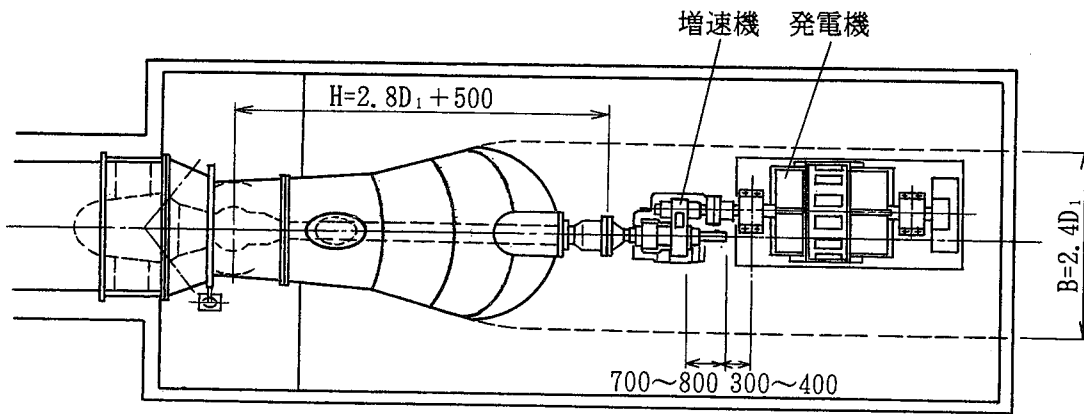
図 4. 3-23 S形チューブラ水車選定図 2 (60Hz)

3) S形チューブラ水車の概略寸法

S形チューブラ水車の外形寸法は、全てランナ径 D_1 に対する比率関係にあり、比率を図4. 3-24に各部の寸法を表4. 3-10に示す。



(a) 断面図



(b) 平面図

図4. 3-24 S形チューブラ水車寸法図

表4. 3-10 S形チューブラ水車外形寸法表

(単位 mm)

D ₁	A	B	C	D	E	F	G	H
900	1,080	2,160	2,160	1,260	2,000	5,900	3,250	3,000
1,000	1,200	2,400	2,400	1,400	2,100	6,500	3,600	3,300
1,120	1,350	2,700	2,700	1,570	2,250	7,300	4,050	3,650
1,250	1,500	3,000	3,000	1,750	2,400	8,100	4,500	4,000
1,400	1,680	3,360	3,360	1,960	2,600	9,100	5,050	4,450
1,600	1,920	3,840	3,840	2,240	2,800	10,400	5,750	5,000
1,800	2,160	4,320	4,320	2,520	3,050	11,700	6,500	5,550
2,000	2,400	4,800	4,800	2,800	3,300	13,000	7,200	6,100
2,240	2,690	5,380	5,380	5,380	3,600	15,200	8,050	6,800

4) S形チューブラ水車の概略基礎荷重

S形チューブラ水車の概略基礎荷重を図4. 3-25に示す。落差20m以下ではチューブラ水車の重量は概ね機械の剛性を考えランナ径により定まる。

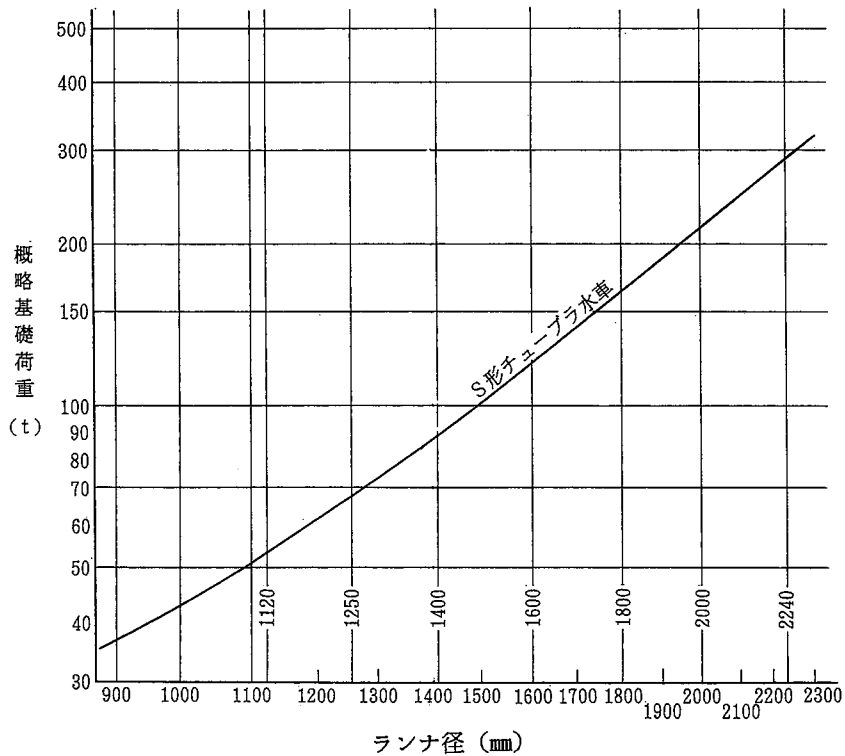


図4. 3-25 概略基礎荷重

(注) 概略基礎荷重は (水車本体重量+吸出し管荷重+吸出し管内水重量) ×1.2としている。

4. 3. 5 100kW未満クロスフロー水車発電装置（パッケージ形）

1) 概要と特徴

(1) 概要

a) 500kW未満の標準化の場合と同様に屋外対応の水車発電装置とし、水車、発電機、増速機（必要な場合）を共通ベッド上に設置し、かつ発電機、または発電機と増速機、または発電機とVベルトを屋外カバーで覆ったパッケージ構造とする。

本標準での出力は100kW未満を対象としているので、発電機駆動方法は直結、増速機付きの他に、Vベルト掛けも加えた3方式を採用した。

b) 制御方式は100kW未満の場合、単独運転のダミーロード方式を標準としているので、無拘束速度での連続運転が可能な設計となっている。

(2) 適用範囲

100kW未満標準化クロスフロー水車適用範囲を下記とする。

- a) 有効落差 5～60m
- b) 流量 $0.2 \sim 2 \text{ m}^3/\text{s}$
- c) 出力 20～100kW未満
- d) ランナ径 250～630mm

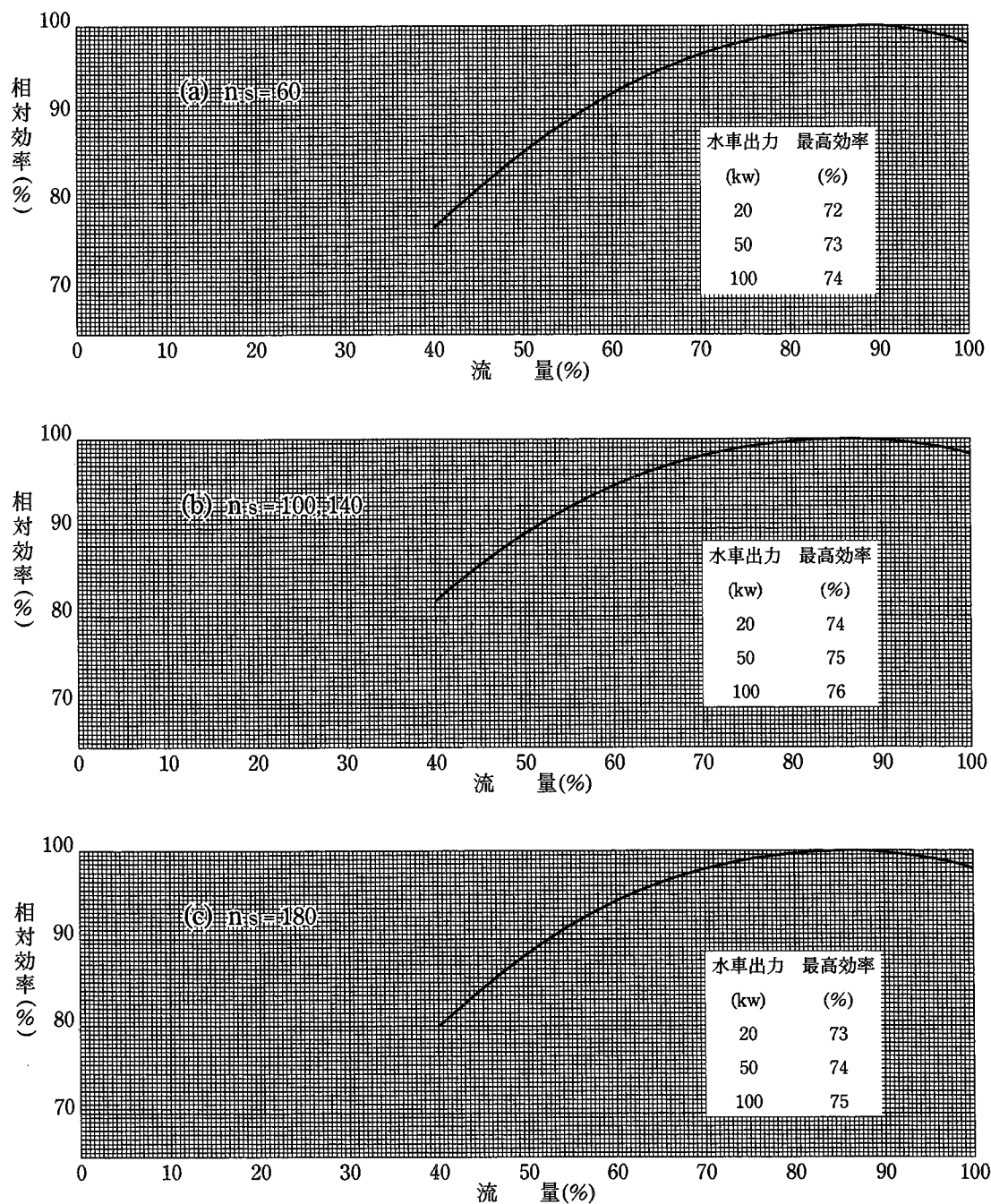
(3) 特徴

- a) ガイドベーンは分割せず一体とする。
- b) ガイドベーンは手動可能とする。
- c) 水流による軸方向スラストが生じないので軸受はころがり軸受とする。
- d) クロスフロー水車の有効落差は、水車ランナ下流側に空間部が必要なため放水路面までは利用出来ない。
- e) パッケージには原則として換気のための強制換気装置は設けないものとするが、気象条件によっては強制換気装置の設置あるいは発電機を出口管通風形とすることで対応する。
- f) 水車と発電機は共通ベースの上のせ一体形とする。

従って、工場にて一体組立をおこない現地工事の短縮が可能となる。

2) 効 率

クロスフロー水車の代表的特性を図4.3-26に示す。この特性は相対値で表してあるが、計画に当たっては、比速度と水車出力によってそれぞれ最高効率を示してあるので、水車効率は相対効率にその場合の最高効率を乗じて算出することが出来る。



注) 単独運転の場合にはダミーロードによる負荷制御方式となるので水車は計画点で運転する。従って水車効率は曲線上の一点となる。

図4.3-26 クロスフロー水車特性曲線

3) 選 定

(1) 選定図

図4.3-28及び図4.3-29にクロスフロー水車選定図を示す。

a) 直結時の発電機回転速度

、発電機容量に対応する極数は下記とする。

6極、8極	20、30、40、50、75、100kW
10極	30、40、50、75、100kW
12極	40、50、75、100kW

b) 増速時の発電機回転速度

(a) 水車出力50kW以上

増速機を標準とする。(増速機効率は96%とする)

50Hz : 1,000r/min (6極)

60Hz : 1,200r/min (6極)

増速機の増速比はJIS標準数列R20系列による標準数とした。

(b) 水車出力50kW未満の場合

Vベルト掛を標準とする。(Vベルト効率は95%とする)

50Hz 1,000r/min (6P) 又は 750r/min (8P)

60Hz 1,200r/min (6P) 又は 900r/min (8P)

標準Vプーリの最高周速は水車の無拘束速度は30m/s以下とする。

(2) 選定例

50Hz地区、有効落差30m、流量 $0.4\text{m}^3/\text{s}$ の条件で水車を選定する場合を次に示す。

a) 図4.3-27の縦軸、有効落差30mと横軸、流量 $0.4\text{m}^3/\text{s}$ の交点が選定するクロスフロー水車となる。

b) 図より

ランナ外径 315mm
水車出力 約90kW
回転速度 750r/min

となる。

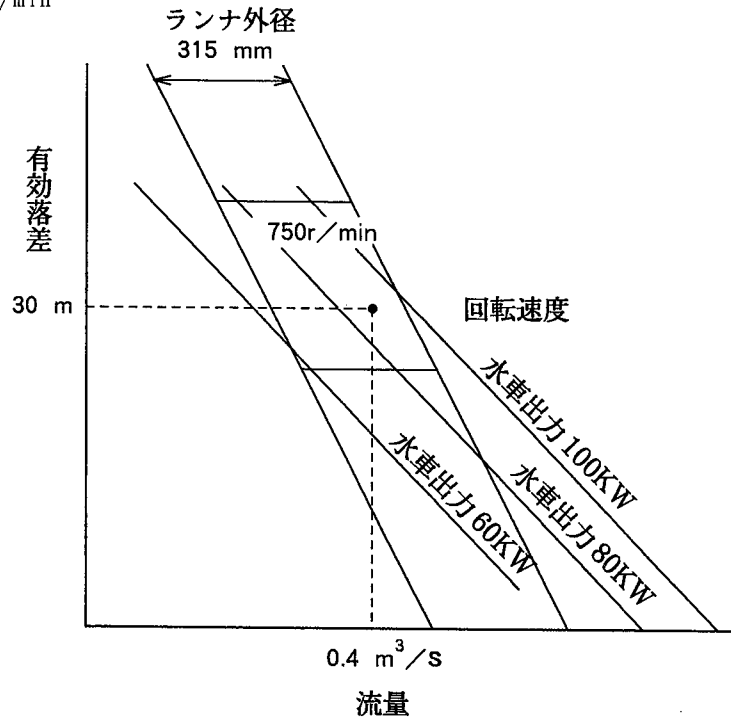


図4. 3-27 選 定 図

4) 概略寸法及び概略基礎荷重

- (1) パッケージ形100kW未満クロスフロー水車発電装置の外形図を図4. 3-30に又トレーラーによる輸送車両図を図4. 3-5に示す。
- (2) 表4. 3-11には50Hzと60Hzのパッケージ形クロスフロー水車発電装置方法、輸送寸法、概略基礎荷重を示す。
- (3) 表中の概略基礎荷重は(水車+発電機+共通ベース+水車内水重量)×1.2とした。
- (4) パッケージ形100kW未満クロスフロー水車発電装置の据付けに使用する移動クレーン等を計画する場合の最大吊上げ荷重は、概略基礎荷重×0.7を目安に選ばばよい。

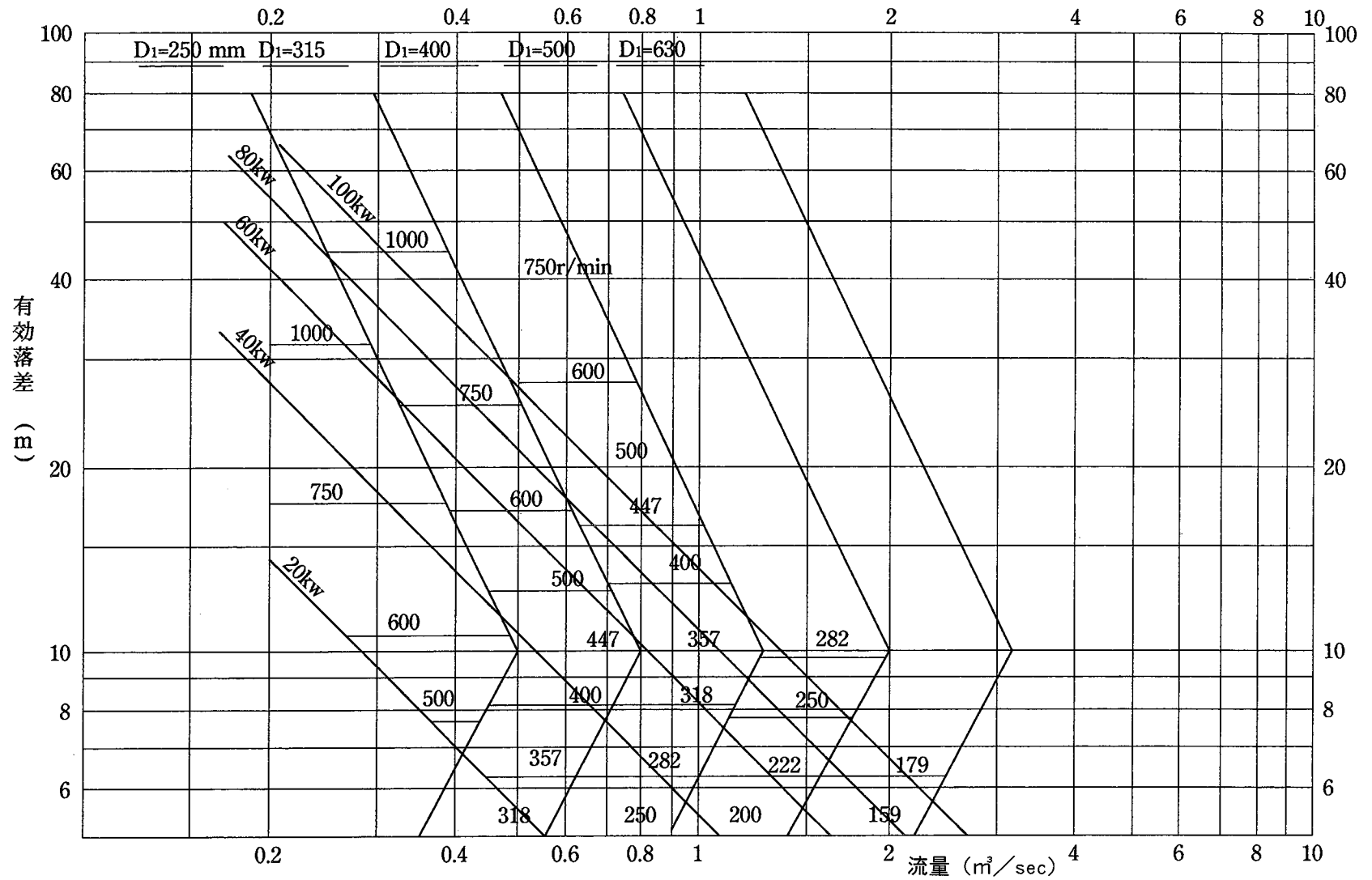


図 4. 3 - 28 クロスフロー水車選定図 (50Hz)

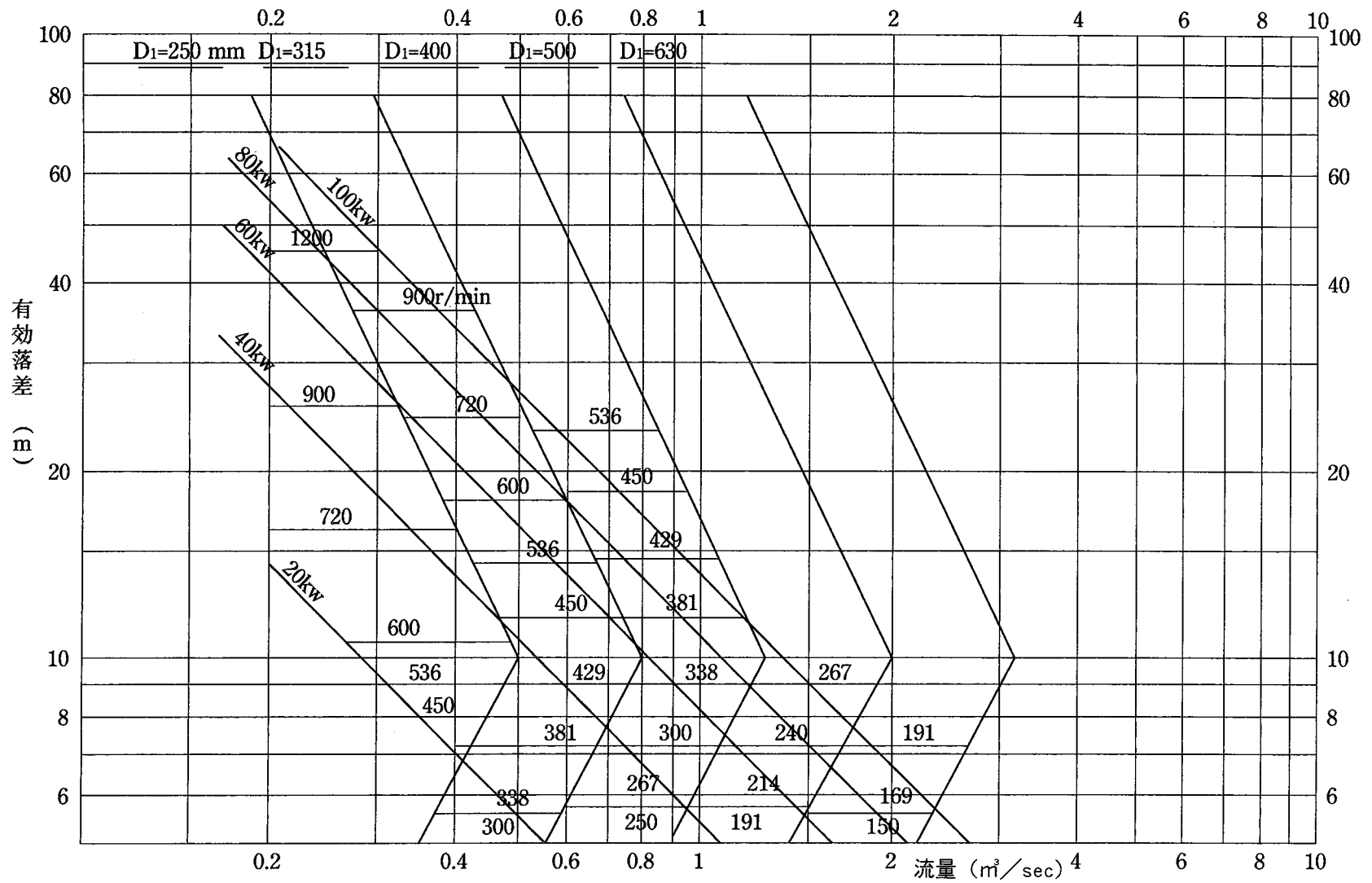


図4. 3-29 クロスフロー水車選定図 (60Hz)

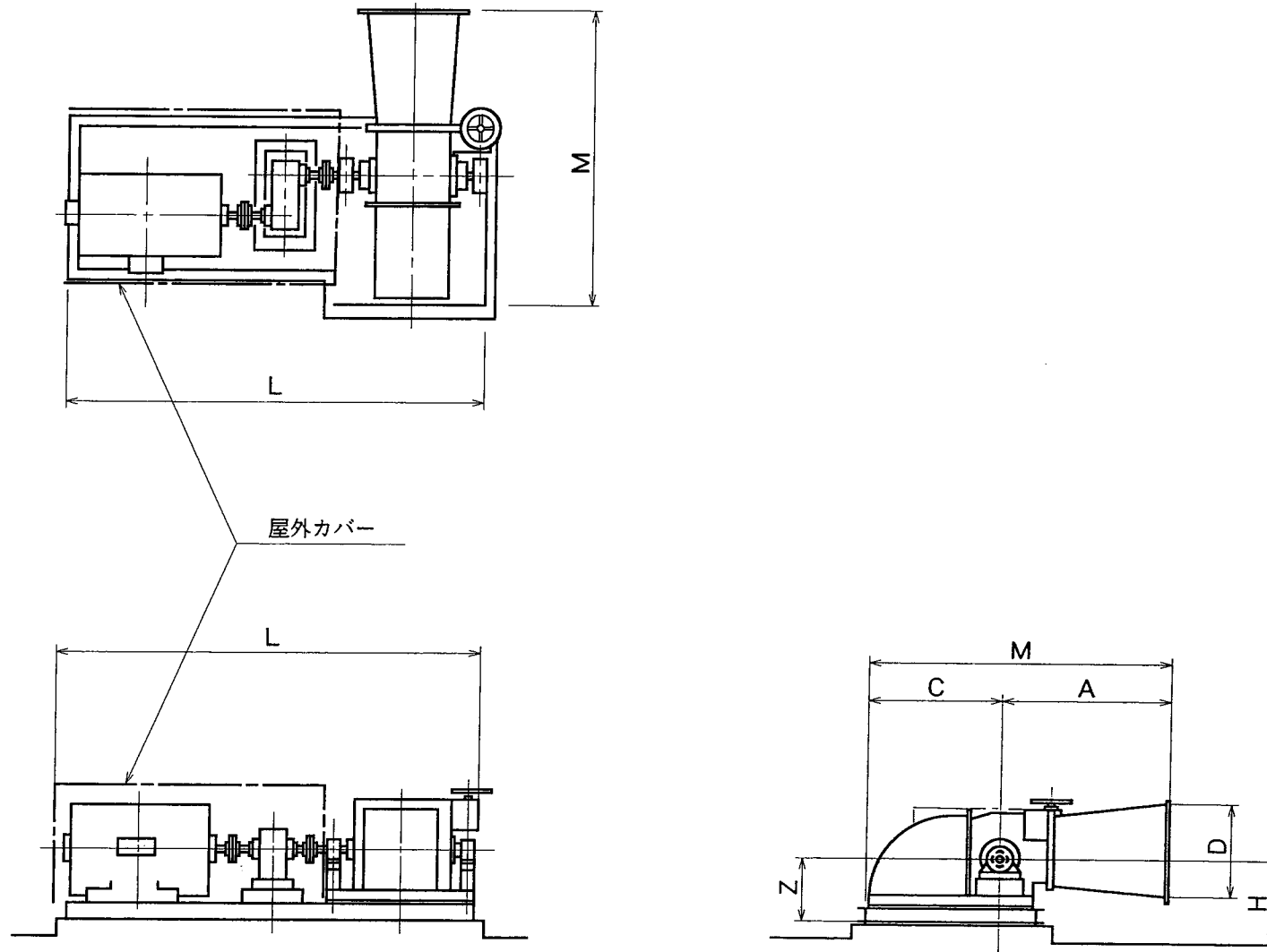


図4. 3-30 100kW未満標準化クロスフロー水車発電装置外形図 (ギヤー結合)

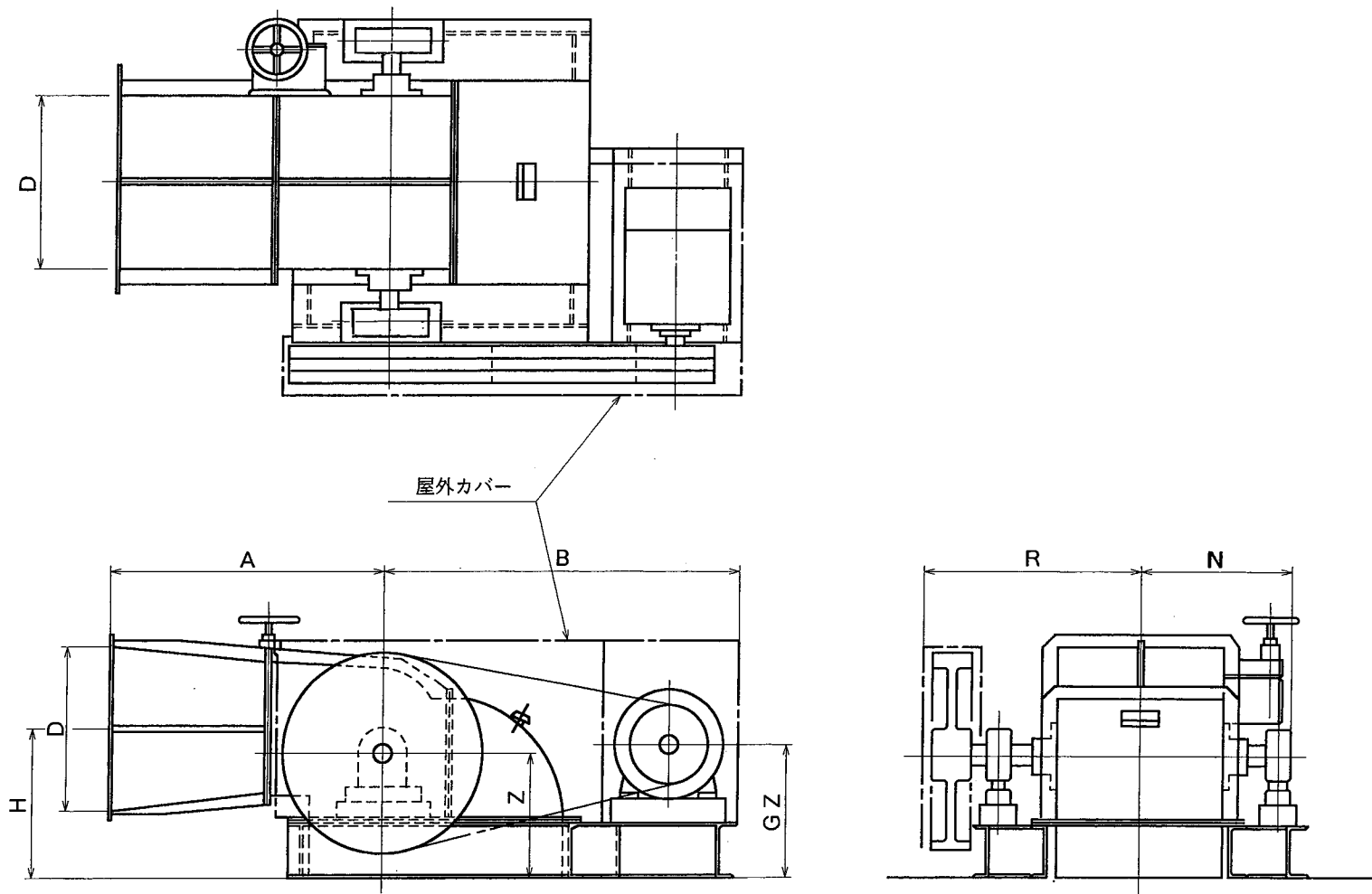


図4. 3-31 100kW未満標準化クロスフロー水車発電装置外形図（ベルト結合）

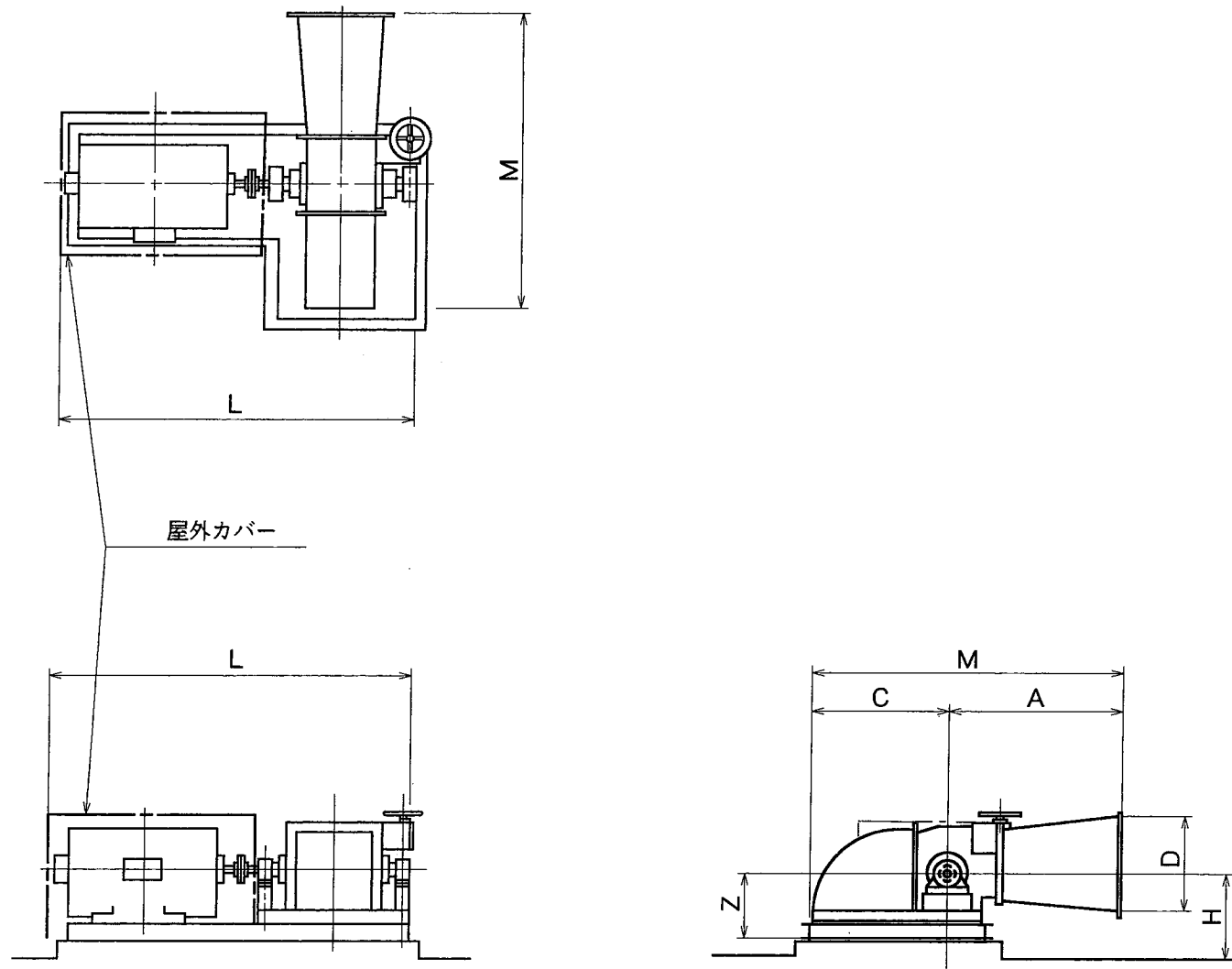


図4. 3-32 100kW未満標準化クロスフロー水車発電装置外形図(直結)

表4. 3-11 (1/4) 100KW未満標準化クロスフロー水車発電装置概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

ケース		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
水 力諸 元	有効落差 (m)	20	40	60	10	20	30	5	10	15	20	5	10
	流量 (m³/s)	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8
	発電所出力 (kW)	24	48	74	23	48	78	17	35	54	74	22	48
水 車	回転速度 (r/min)	750	1,000	1,000	500	600	750	250	447	500	500	250	357
	ランナ径 (mm)	250	250	250	250	315	315	400	315	315	315	400	400
発 電 機	電 圧 (V)	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220
	周 波 数 (Hz)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	極 数 (P)	D 8	D 6	D 6	V 6	D 10	D 8	V 6	V 6	D 12	D 12	V 6	G 6
主 要 寸 法 (mm)	D	300	300	300	400	400	400	500	500	500	500	600	600
	H	470	490	490	470	520	560	520	440	630	585	520	510
	Z	430	450	450	430	480	520	460	400	570	525	460	450
	GZ	—	—	—	430	—	—	430	430	—	—	430	—
	A	915	865	815	825	760	760	1,210	1,210	950	880	1,320	1,210
	B	—	—	—	1,330	—	—	1,500	1,310	—	—	1,560	—
	C	500	500	500	—	570	570	—	—	570	570	—	690
	R	—	—	—	670	—	—	800	800	—	—	950	—
	N	—	—	—	580	—	—	700	700	—	—	840	—
	M	1,415	1,365	1,315	—	1,330	1,330	—	—	1,520	1,450	—	1,900
	L	2,195	2,195	2,195	—	2,480	2,610	—	—	3,030	3,065	—	3,685
		概略基礎荷重 (t)	2.0	2.2	2.6	2.9	3.0	3.8	4.0	2.7	4.2	4.3	4.7
	適用外形図 図 番	4.3-30	4.3-30	4.3-30	4.3-31	4.3-30	4.3-30	4.3-31	4.3-31	4.3-30	4.3-30	4.3-31	4.3-32

(注) 1) D:直結 V:ベルト掛 G:増速機
 発電機極数 (P) 柵の記号

表 4. 3 - 11 (2 / 4) 100kW未満クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表 (50Hz)

ケース		13	14	15	16	17	18	19	
水 力諸 元	有効落差 (m)	15	5	10	15	5	8	5	
	流 量 (m ³ /s)	0.8	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	
	発電所出力 (kW)	74	29	59	92	45	73	59	
水 車	回転速度 (r/min)	400	200	357	400	159	250	159	
	ランナ径 (mm)	400	500	400	400	630	500	630	
発 電 機	電 圧 (V)	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	
	周 波 数 (Hz)	50	50	50	50	50	50	50	
	極 数 (P)	G 6	V 8	G 6	G 6	G 6	G 6	G 6	
主 要 寸 法 (mm)	D	600	700	700	700	800	800	900	
	H	510	480	510	540	500	480	500	
	Z	450	420	450	480	400	400	400	
	G Z	—	480	—	—	—	—	—	
	A	1,210	1,470	1,210	1,210	1,700	1,470	1,570	
	B	—	1,550	—	—	—	—	—	
	C	690	—	690	690	1,000	820	1,000	
	R	—	1,000	—	—	—	—	—	
	N	—	880	—	—	—	—	—	
	M	1,900	—	1,900	1,900	2,700	2,290	2,570	
	L	3,800	—	3,725	3,925	4,485	4,400	4,885	
	概略基礎荷重(t)	4.9	4.8	5.4	5.8	8.5	7.5	10.1	
	適用外形図番	4.3-32	4.3-31	4.3-32	4.3-32	4.3-32	4.3-32	4.3-32	

表 4. 3 - 11 (3 / 4) 100KW未満クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表 (60Hz)

ケース		1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'	11'	12'
水 力諸 元	有効落差 (m)	20	40	60	10	20	30	5	10	15	20	5	10
	流 量 (m ³ /s)	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8
	発電所出力 (kW)	23	48	74	23	48	74	17	35	54	74	22	48
水 車	回転速度 (r/min)	720	900	1,200	536	600	720	250	429	536	450	250	338
	ランナ径 (mm)	250	250	250	250	315	315	400	315	315	400	400	400
発 電 機	電 圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220
	周 波 数 (Hz)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	極 数 (P)	D 10	D 8	D 6	V 6	D 12	D 10	V 8	V 6	G 6	G 6	V 8	G 6
主 要 寸 法 (mm)	D	300	300	300	400	400	400	500	500	500	500	600	600
	H	520	490	520	470	590	520	460	460	490	540	560	460
	Z	480	450	480	430	550	480	400	400	450	480	500	400
	GZ	—	—	—	430	—	—	430	450	—	—	430	—
	A	915	865	815	825	760	760	1,210	1,210	950	880	1,320	1,210
	B	—	—	—	1,450	—	—	1,390	1,370	—	—	1,580	—
	C	500	500	500	—	570	570	—	—	570	570	—	690
	R	—	—	—	670	—	—	800	800	—	—	950	—
	N	—	—	—	580	—	—	700	700	—	—	840	—
	M	1,415	1,365	1,315	—	1,330	1,330	—	—	1,520	1,450	—	1,900
	L	2,195	2,195	2,195	—	2,670	2,480	—	—	3,295	3,345	—	3,685
	概略基礎荷重(t)	2.2	2.5	2.3	3.0	3.2	3.2	3.9	3.8	4.2	4.7	4.7	4.7
	適用外形図 図	4.3-30	4.3-30	4.3-30	4.3-31	4.3-30	4.3-30	4.3-31	4.3-31	4.3-32	4.3-32	4.3-31	4.3-32

表 4. 3-11 (4/4) 100kW未満クロスフロー水車概略寸法及び概略基礎荷重表 (60Hz)

ケース		13'	14'	15'	16'	17'	18'	19'	
水 力諸 元	有効落差 (m)	15	5	10	15	5	8	5	
	流 量 (m³/s)	0.8	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	
	発電所出力 (kW)	74	29	59	92	45	73	59	
水 車	回転速度 (r/min)	429	191	338	429	150	240	159	
	ランナ径 (mm)	400	500	400	400	630	500	630	
発 電 機	電 圧 (V)	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	440、220	
	周 波 数 (Hz)	60	60	60	60	60	60	60	
	極 数 (P)	G 6	V 8	G 6	G 6	V 6	G 6	G 6	
主 要 寸 法 (mm)	D	600	700	700	700	800	800	900	
	H	490	560	510	580	500	535	500	
	Z	430	500	450	520	400	435	400	
	G Z	—	480	—	—	—	—	—	
	A	1,210	1,470	1,210	1,210	1,700	1,470	1,570	
	B	—	1,610	—	—	—	—	—	
	C	690	—	690	690	1,000	820	1,000	
	R	—	1,000	—	—	—	—	—	
	N	—	880	—	—	—	—	—	
	M	1,900	—	1,900	1,900	2,700	2,290	2,570	
	L	3,800	—	3,725	3,840	4,585	4,400	4,985	
	概略基礎荷重(t)	4.9	5.8	5.4	5.8	9.1	7.5	10.8	
	適用外形図 番	4.3-32	4.3-31	4.3-32	4.3-32	4.3-31	4.3-32	4.3-32	

4.3.6 100kW未満チューブラ水車

1) 概要と特徴

(1) 概要

- a) 100kW未満の標準化の場合は共通ベッド上に水車、発電機、増速機を設置し、屋内形一体型構造とした発電機駆動方法は直結、増速機付きの他に、Vベルト掛けも加えた3方式を採用した。
- b) 制御方式は単独運転のダミーロード方式を標準としているので、無拘束速度での連続運転が可能な設計となっている。
- c) 水車は通常落差を利用し、サイホン方式は採用していない。

(2) 適用範囲

100kW未満の標準化チューブラ水車の適用範囲を下記とする。

有効落差	2～8 m
流量	0.5～3 m ³ /s
出力	20～100kW
ランナ直径	400～800mm
	但し、立軸は400～630mm

(3) 特徴

- a) 水車と発電機は共通ベースの上へのせ、一体形とする。
現地では共通ベースに水車、発電機をのせたまま据付することとし、現地工事の短縮を図った。
- b) ランナベーン、ガイドベーン共固定にする、負荷しゃ断時ガイドベーンを閉鎖できないため、逆方向スラストは考えない。

2) 特 性

(1) 効 率

100kW未満の標準化では、ランナベーン、ガイドベーンを固定とし、100%出力時の水車の効率を図4.3-33に示す。なお変落差時の変落差特性を図4.3-34に示す。

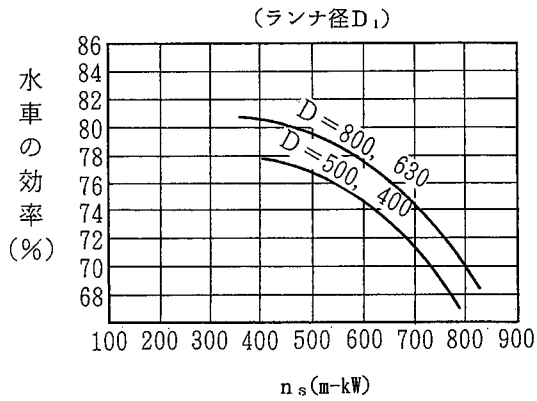


図4.3-33 水車の効率

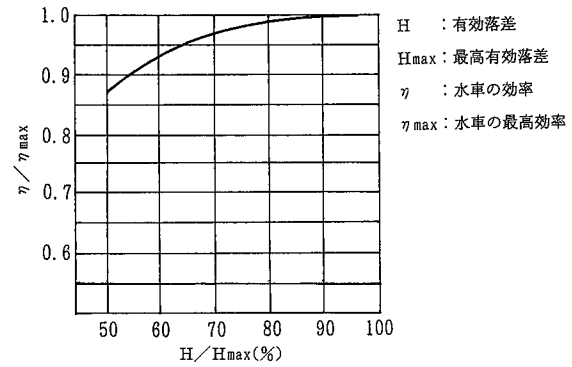


図4.3-34 変落差時の効率特性

(2) 吸出し高さ

比速度と吸出し高さの関係を図4.3-35に示す。

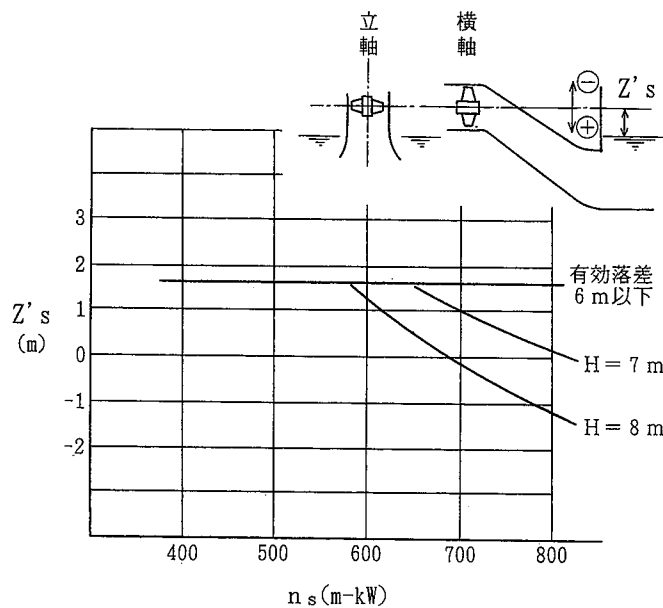


図4.3-35 比速度と吸出し高さ

(3) 運転範囲

100kW未満の標準化では、ランナベーン、ガイドベーン共固定にするため、その運転範囲は落差の変動により流量が変化する。その落差と流量範囲を図4.3-36に示す。

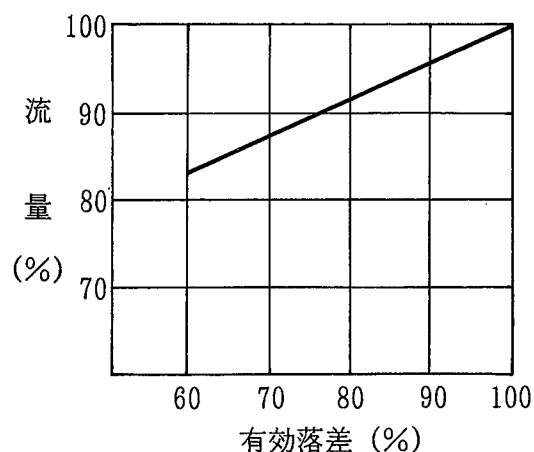


図4.3-36 運転範囲

3) 選 定

(1) 選 定 図

図4.3-38 (50Hz) 及び図4.3-39 (60Hz) にチューブラ水車選定図を示す。

この図中より、ランナ径、回転速度を選定する。

なお、発電機の回転速度は下記とする。

a) 直結時の発電機回転速度

50Hz	1,000r/min (6 P)	60Hz	900r/min (8 P)
	750r/min (8 P)		720r/min (10 P)
	600r/min (10 P)		600r/min (12 P)
	500r/min (12 P)		

尚、発電機容量に対する極数は下記とする。

6極、8極	20, 30, 40, 50, 75, 100kW
10極	30, 40, 50, 75, 100kW
12極	40, 50, 75, 100kW

b) 増速時の発電機回転速度 (横軸機のみ)

(a) 水車出力50kW以上の場合

増速機を標準とする。(増速機効率は96%とする。)

50Hz 1,000r/min (6 P)

60Hz 900r/min (8 P)

増速機の増速比はJIS標準系列、20系列による標準数とした。

(b) 水車出力50kW未満の場合

Vベルト掛を標準とする。(Vベルト効率は95%とする。)

50Hz 1,000r/min (6 P)

60Hz 900r/min (8 P)

標準Vプーリの最高周速は30m/sである。

(2) 選定例

50Hz地区、有効落差4 m、流量1.0m³/sの条件で水車を選定する場合を示すと次の様になる。

a. 図4. 3-37の縦軸、有効落差4 mと横軸、流量1.0m³/sの交点が選定するチューブラ水車となる。

b. 図より、
 ランナ径 500mm
 水車出力 約30kW
 回転速度 600r/min
 となる。

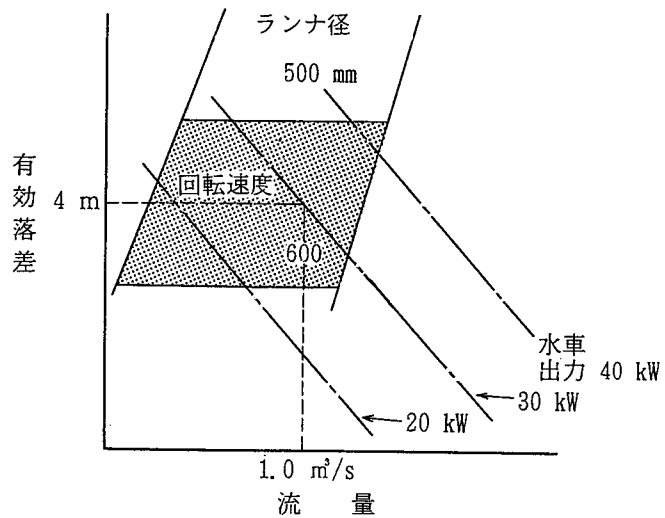


図4. 3-37 選定図

4) 概略寸法及び概略基礎荷重

- (1) 100kW未満チューブラ水車発電装置概略寸法を図4. 3-43、図4. 3-44、図4. 3-45、図4. 3-46に示す。
- (2) 表4. 3-12には100kW未満横軸チューブラ水車発電装置の組合せ概略寸法を示す。表4. 3-13には100kW未満立軸チューブラ水車発電装置の組合せ概略寸法を示す。
- (3) 表中の概略基礎荷重は(水車+発電機+共通ベース+水車内水重量)×1.2とした。
- (4) 100kW未満チューブラ水車発電装置の据付けに使用する移動クレーン等を計画する場合の最大吊上げ荷重は、概略基礎荷重×0.7を目安に選べばよい。

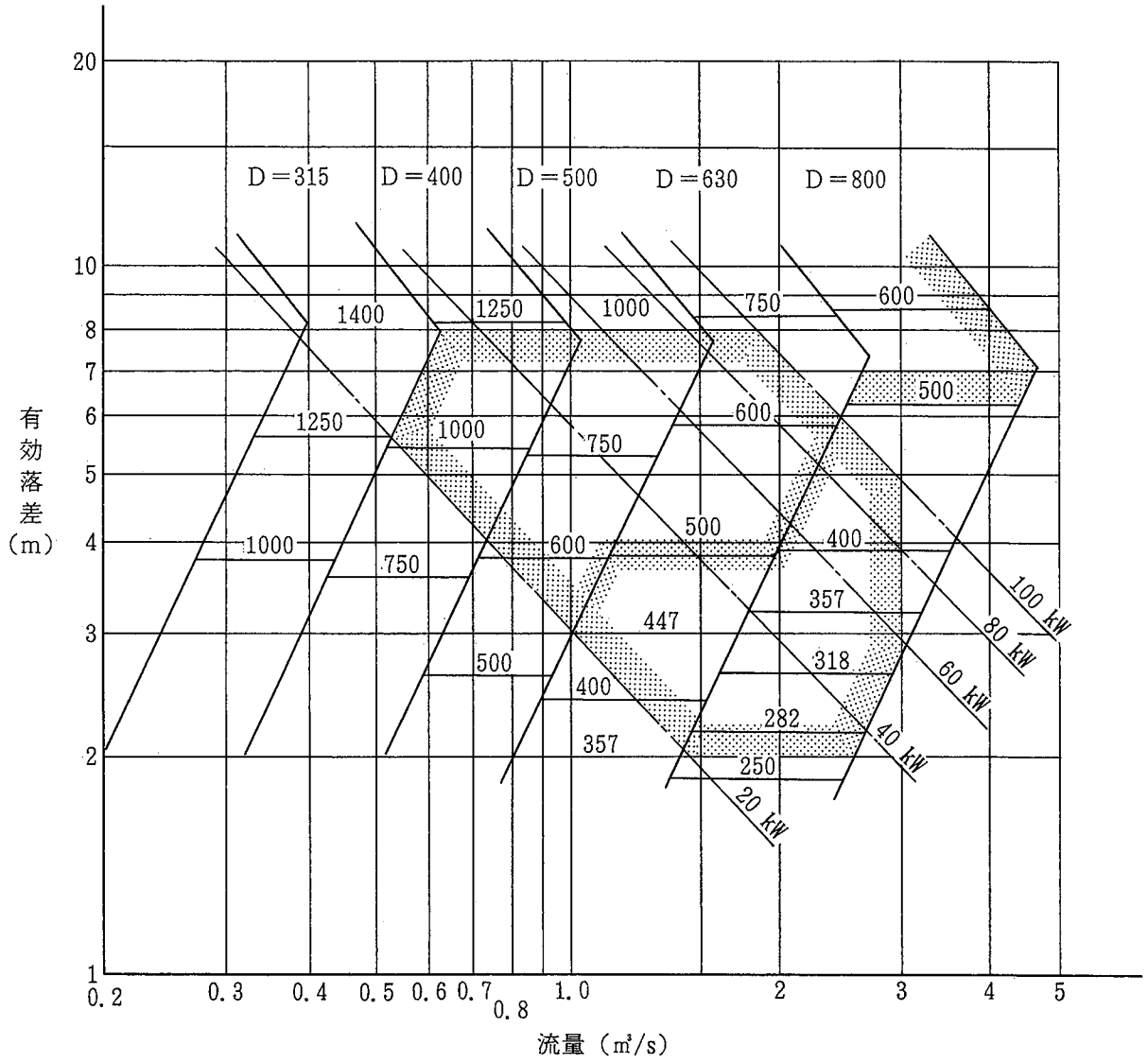


図 4 . 3 - 38 チューブラ水車選定図 (50Hz)

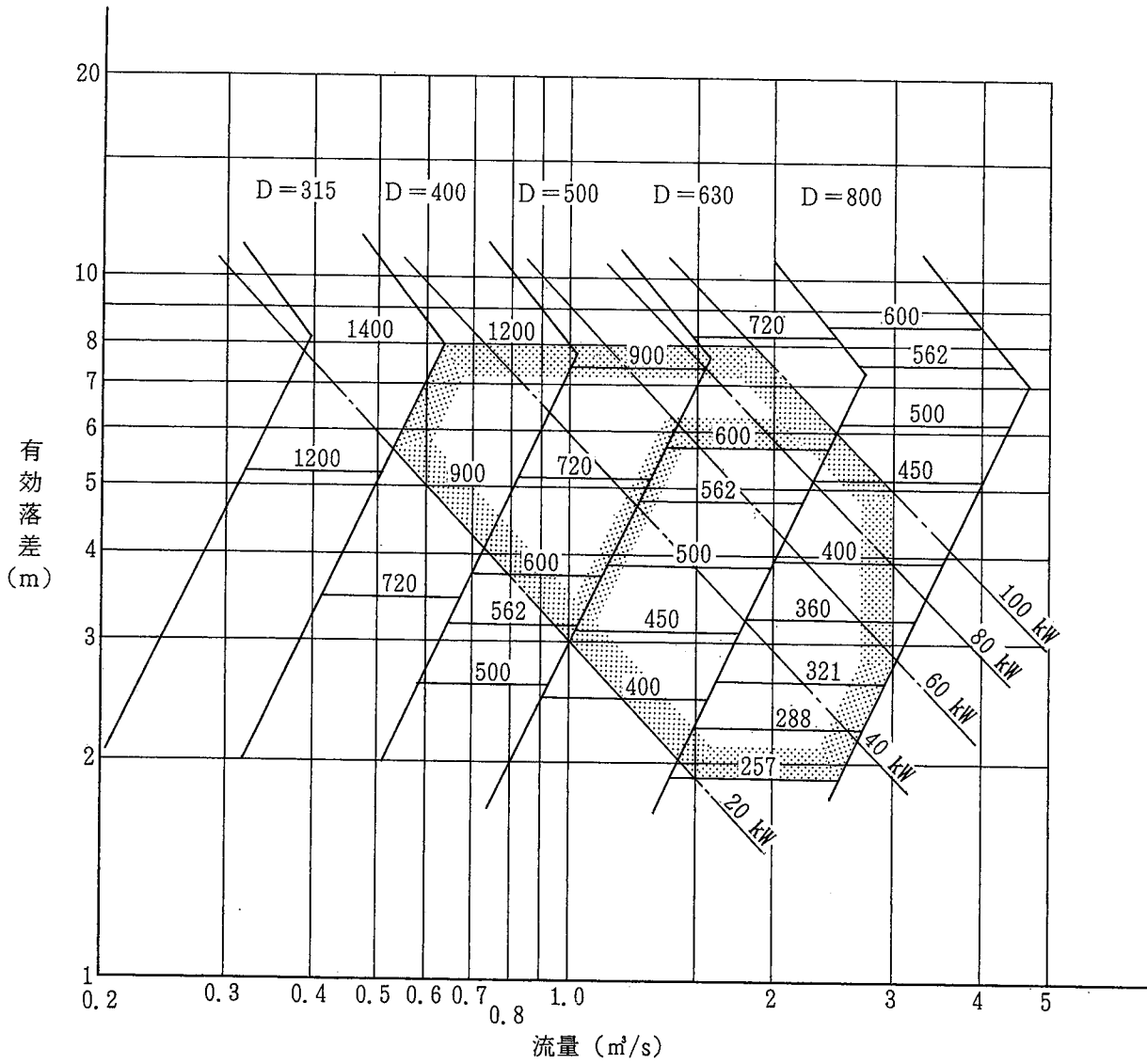


図 4. 3-39 チューブラ水車選定図 (60Hz)

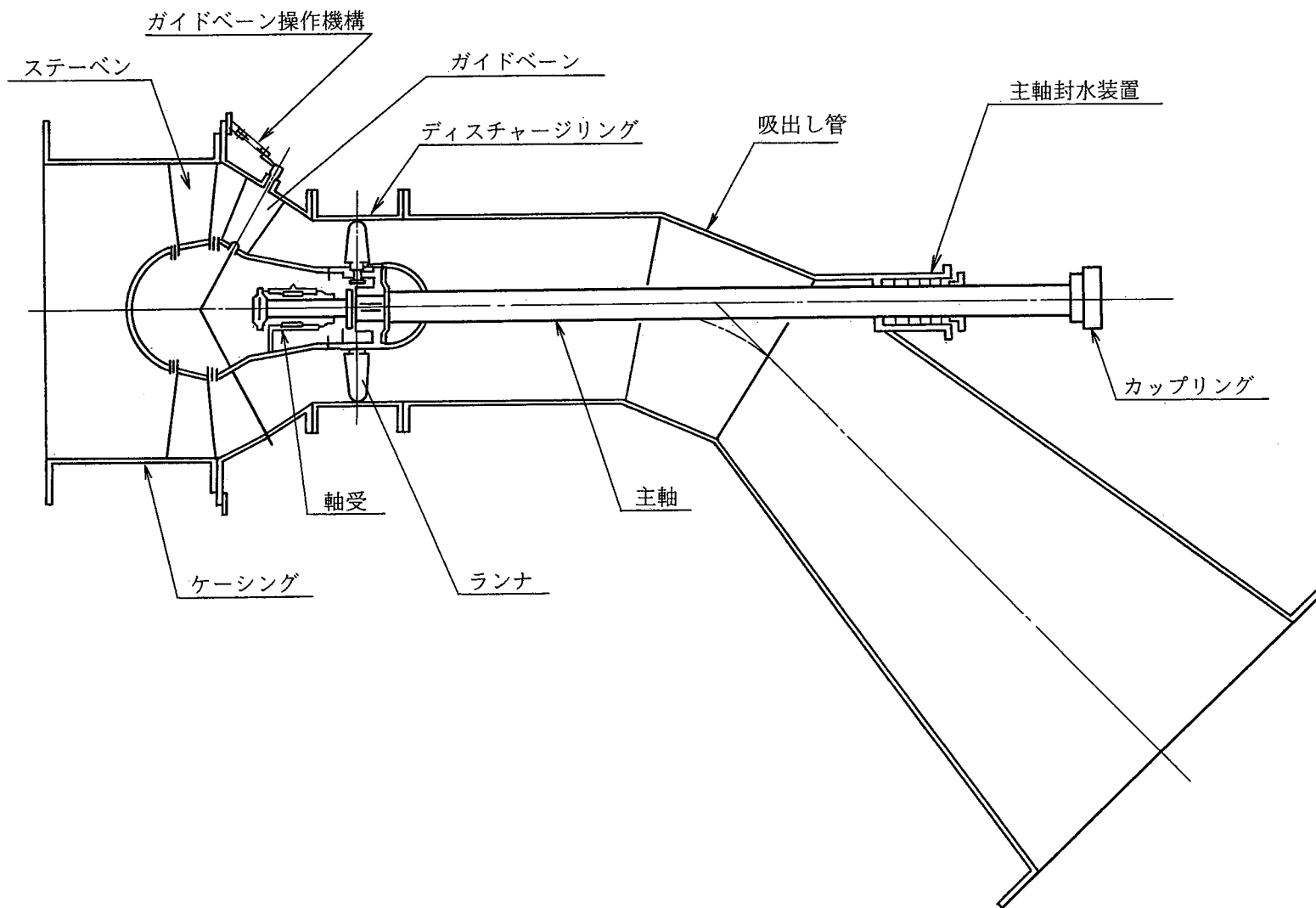


図4. 3-40 横軸チューブラ水車構造図 (直結及び増速機)

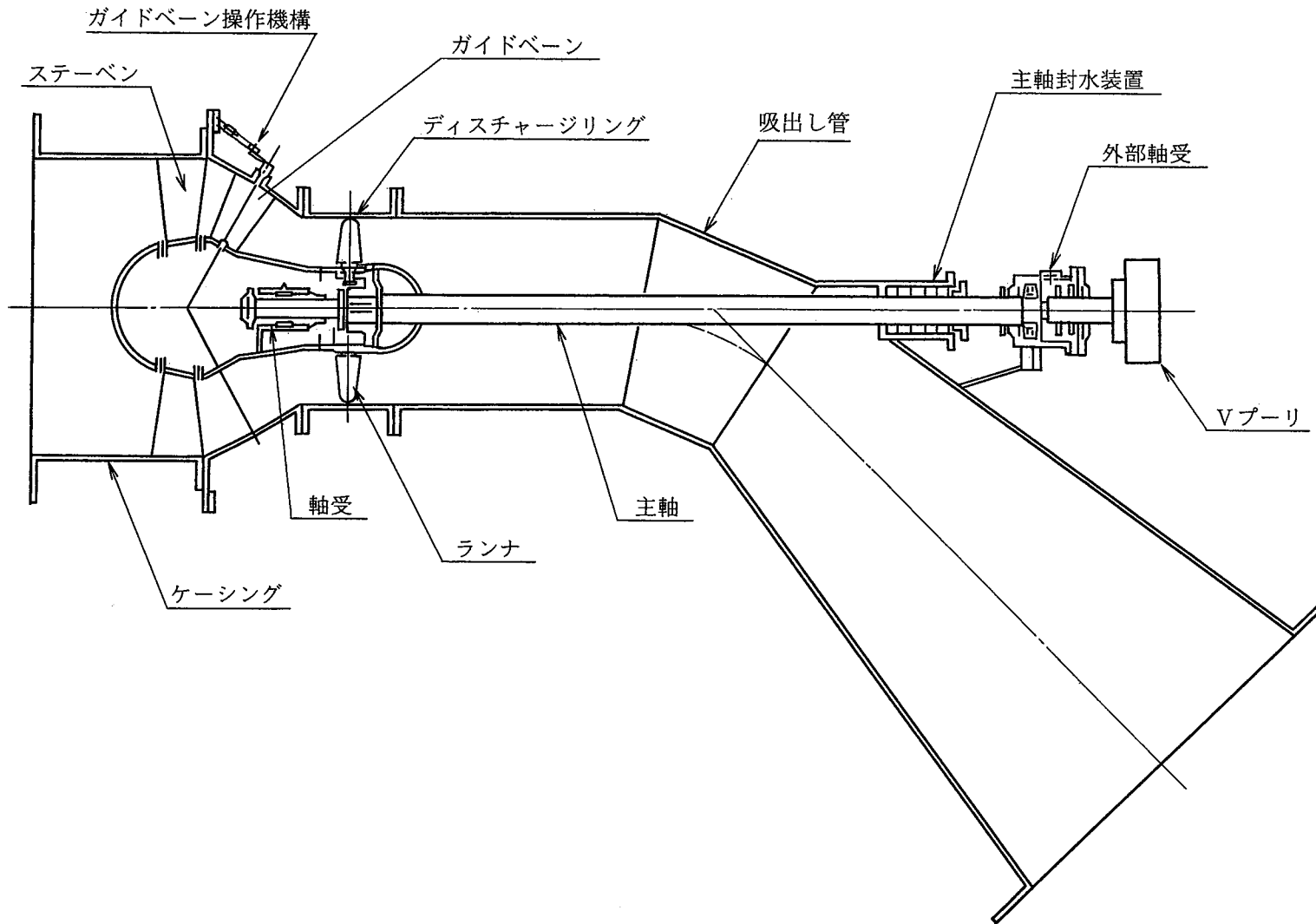


図4.3-41 横軸チューブラ水車構造図 (Vベルト掛け)

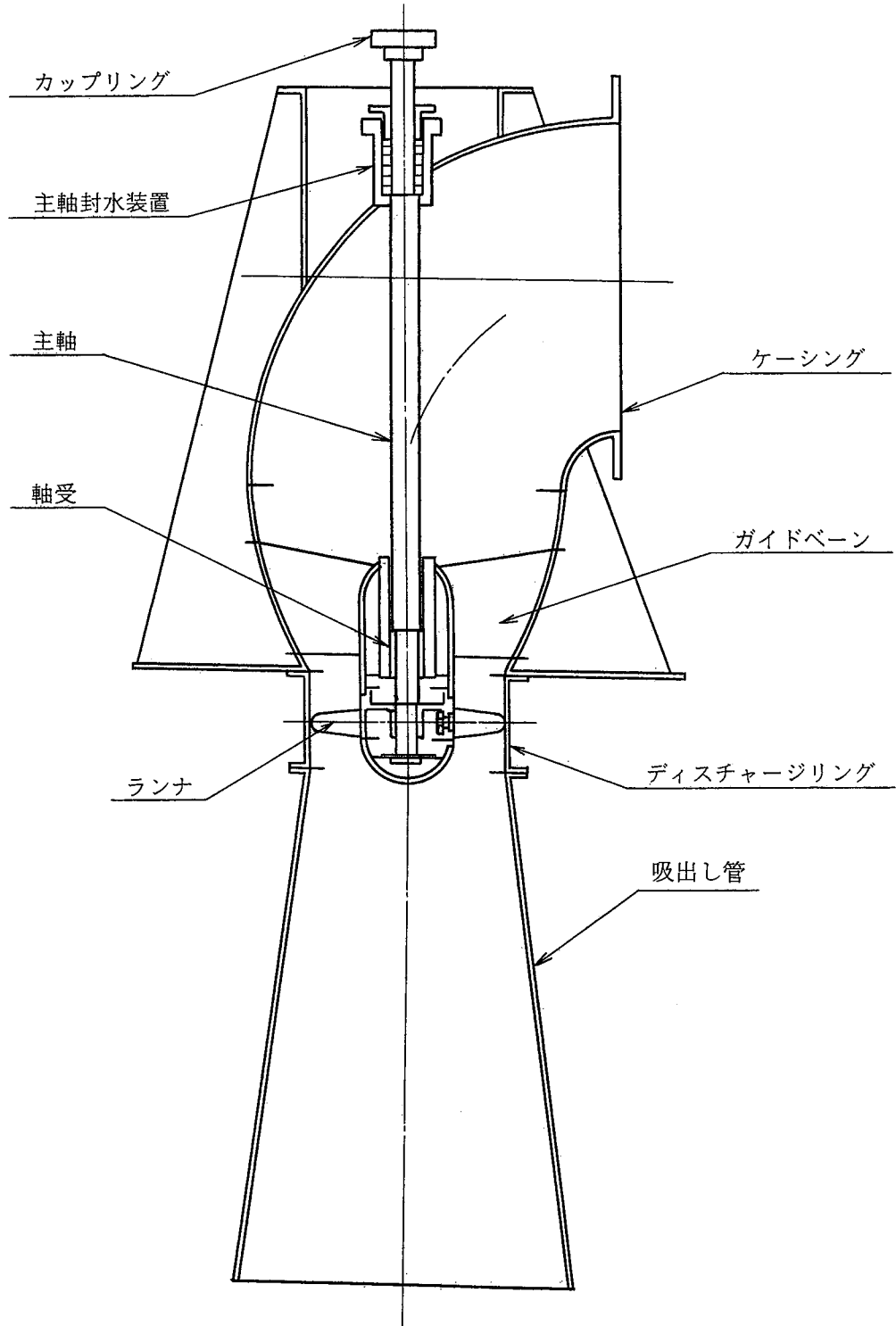


図 4 . 3 - 42 立軸チューブラ水車構造図

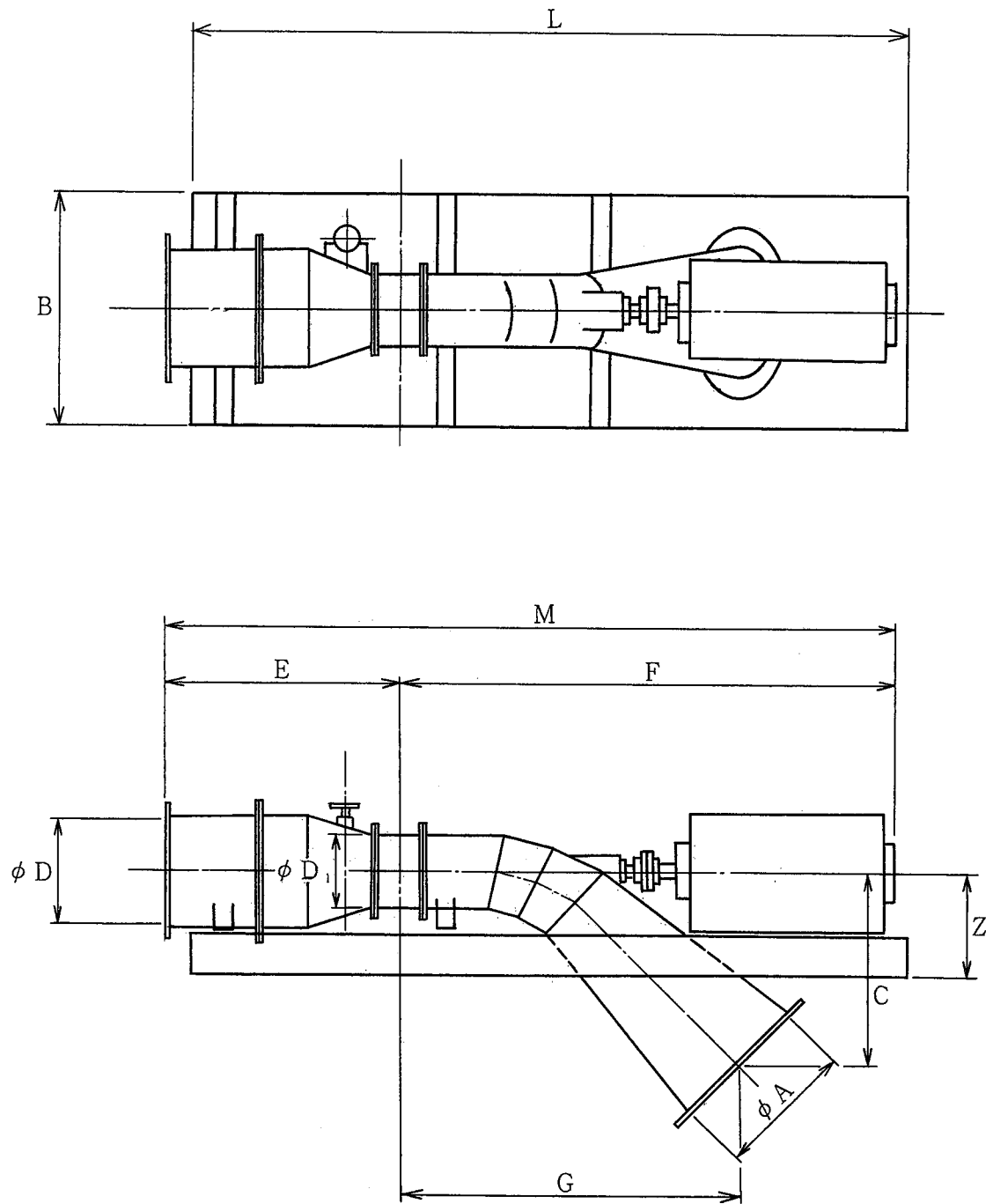


图 4 . 3 - 43 50KW以上直結外形寸法图

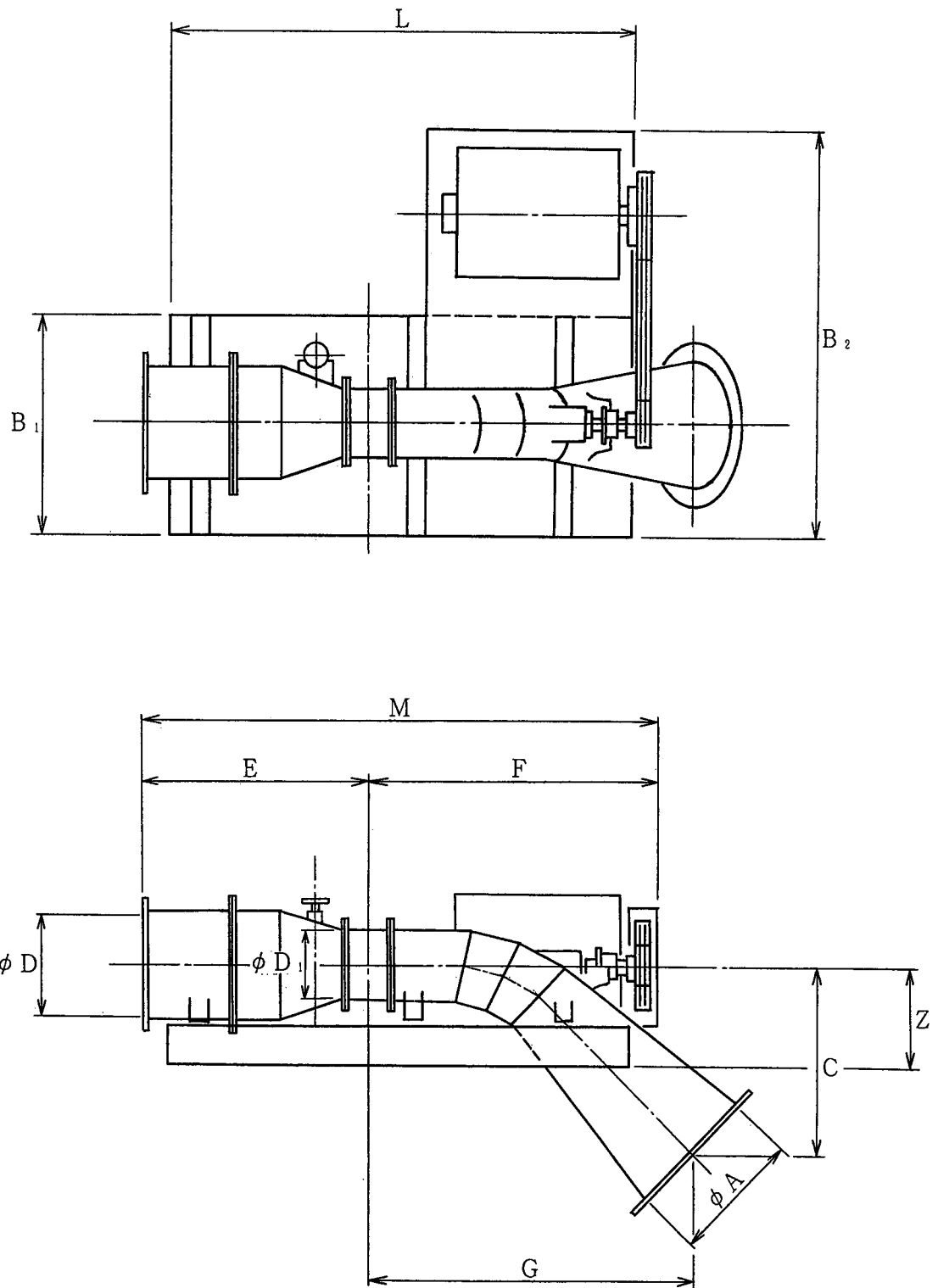


図 4 . 3 - 44 50KW未満Vベルト掛外形寸法図

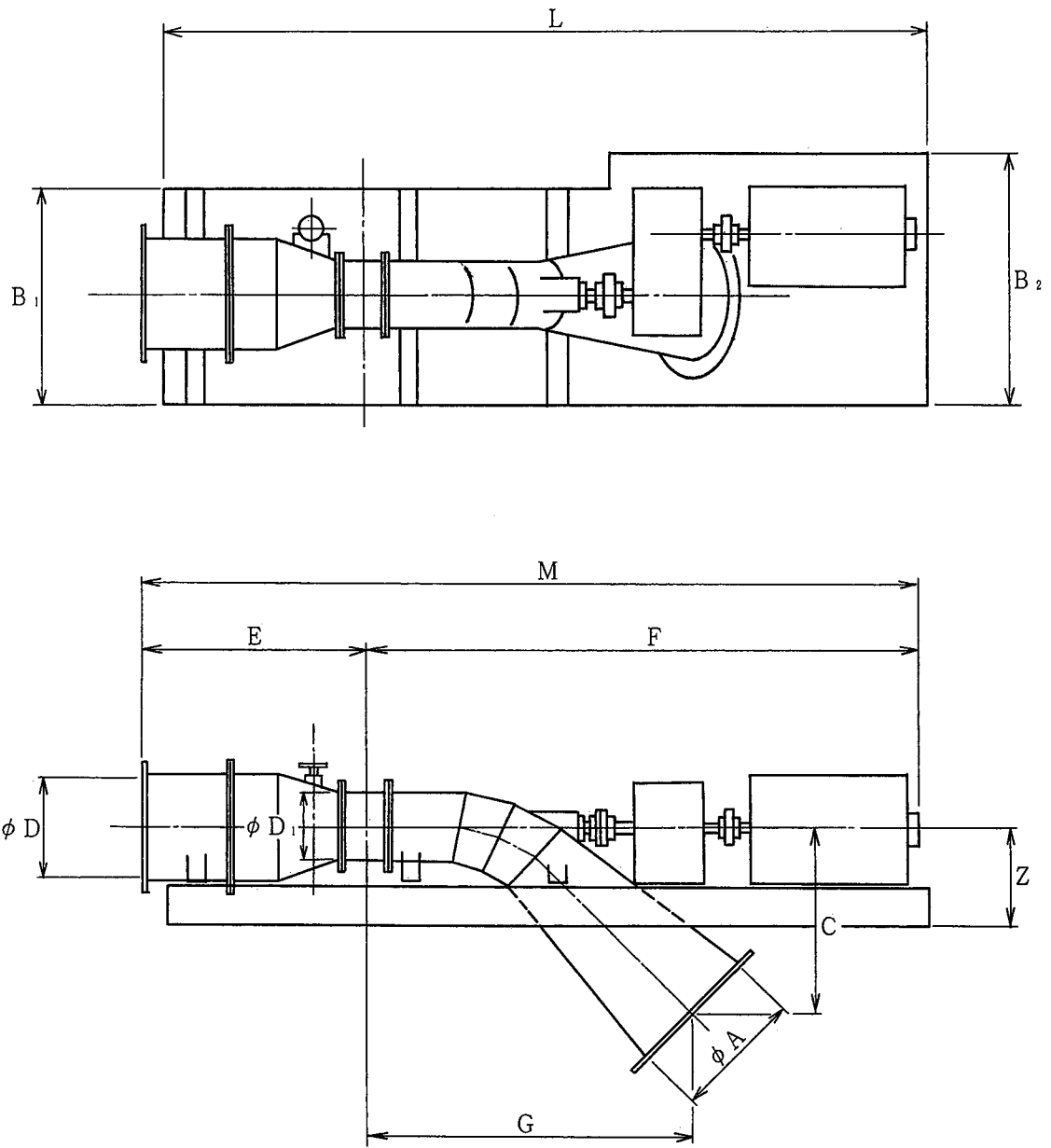


图 4. 3 - 45 50KW以上增速机外形尺寸法图

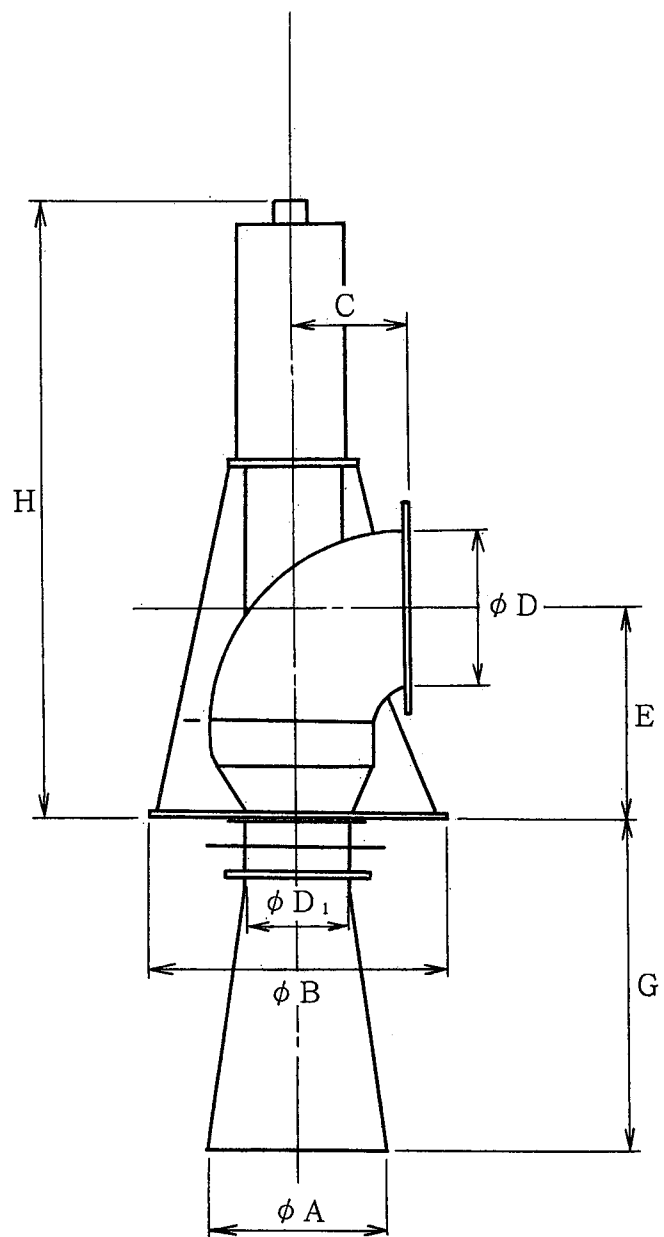


图 4 . 3 - 46 100KW 未滿立軸外形寸法圖

表 4. 3-12 (1/8) 100KW未満横軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表 (50Hz, 同期機)

ケース		1	2	3	4	5	6	7	8
水力諸元	有効落差 (m)	4	4	4	4	4	4	6	6
	使用流量 (m ³ /sec)	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.6	0.8
	発電所出力 (kW)	20	25	38	50	63	74	23	30
水車	回転速度 (r/min)	600	600	500	500	400	400	1000	1000
	ランナ径 (mm)	500	500	630	630	800	800	400	400
同期発電機	電 圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220
	回転速度 (r/min)	600	600	500	500	1000	1000	1000	1000
	極 数	D 10	D 10	D 12	D 12	G 6	G 6	D 6	G 6
寸法 (mm)	D	800	800	1000	1000	1200	1200	600	600
	A	900	900	1100	1100	1500	1500	700	700
	G	2000	2000	2270	2270	2730	2730	1720	1720
	C	1100	1100	1270	1270	1530	1530	920	920
	Z	630	630	730	730	830	830	530	530
	E	880	880	1100	1100	1400	1400	700	700
	F	3340	3340	3330	4070	5530	5530	3060	3060
	M	4220	4220	5030	5170	6930	6930	3760	3700
	L	4080	4080	4880	5020	6630	6630	3690	3690
B	1360	1360	1570	1570	2000 (B1) 2200 (B2)	2000 (B1) 2200 (B2)	1140	1140	
概略基礎荷重	ton	14.4	14.4	20.0	20.5	30.6	30.6	11.5	11.5
外形図		4.3-43	4.3-43	4.3-43	4.3-43	4.3-45	4.3-45	4.3-43	4.3-43

注) 1: D:直結, V:ベル掛, G:増速機

表4.3-12 (2/8) 100KW未満横軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表 (50Hz, 同期機)

ケース		9	10	11	12	13	14	15	
水力諸元	有効落差 (m)	6	6	6	6	8	8	8	
	使用流量 (m ³ /sec)	1.0	1.5	2.0	2.5	0.8	1.0	1.5	
	発電所出力 (kW)	39	59	76	98	39	52	81	
水車	回転速度 (r/min)	750	600	600	447	1000	750	600	
	ランナ径 (mm)	500	630	630	800	400	500	630	
同期発電機	電 圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	
	回転速度 (r/min)	750	600	600	1000	1000	750	600	
	極 数	D 8	D 10	D 10	G 6	D 6	D 8	D 10	
寸法 (mm)	D	800	1000	1000	1200	600	800	1000	
	A	900	1100	1100	1500	700	900	1100	
	G	2000	2270	2270	2730	1720	2000	2270	
	C	1100	1270	1270	1530	920	1100	1270	
	Z	630	730	730	830	530	630	730	
	E	880	1100	1100	1400	700	880	1100	
	F	3340	3740	3930	5140	3060	3380	4020	
	M	4220	4840	5030	6540	3760	4260	5120	
	L	4070	4690	4880	6230	3690	4110	4970	
B	1360	1570	1570	2000 (B1) 2200 (B2)	1140	1360	1570		
概略基礎荷重 ton		14.3	19.6	20.0	29.4	11.5	14.7	20.8	
外形図		4.3-43	4.3-43	4.3-43	4.3-45	4.3-43	4.3-43	4.3-43	

表 4. 3-12 (3/8) 100KW未満横軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表 (60Hz, 同期機)

ケース		1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
水力諸元	有効落差 (m)	4	4	4	4	4	4	6	6
	使用流量 (m ³ /sec)	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.6	0.8
	発電所出力 (kW)	20	25	37	49	63	74	24	30
水車	回転速度 (r/min)	600	600	480	480	400	400	900	900
	ランナ径 (mm)	500	500	630	630	800	800	400	400
同期発電機	電 圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220
	回転速度 (r/min)	600	600	900	900	900	900	900	900
	極 数	D 12	D 12	V 8	G 8	G 8	G 8	D 8	D 8
寸法 (mm)	D	800	800	1000	1000	1200	1200	600	600
	A	900	900	1100	1100	1500	1500	700	700
	G	2000	2000	2270	2270	2730	2730	1720	1720
	C	1100	1100	1270	1270	1530	1530	920	930
	Z	630	630	730	730	830	830	530	530
	E	880	880	1100	1100	1400	1400	700	700
	F	3340	3340	2300	5060	5570	5570	3060	3060
	M	4220	4220	3400	6160	6970	6970	3760	3760
	L	4070	4070	3400	6010	6670	6670	3690	3690
B	1360	1360	1570 (B1) 2800 (B2)	1570 (B1) 1900 (B2)	2000 (B1) 2200 (B2)	2000 (B1) 2200 (B2)	1140	1140	
概略基礎荷重	ton	14.6	14.6	20.2	21.9	31.2	31.2	11.5	11.5
外形図		4.3-43	4.3-43	4.3-44	4.3-45	4.3-45	4.3-45	4.3-43	4.3-43

表4. 3-12 (4/8) 100kW未満横軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表 (60Hz, 同期機)

ケース		9'	10'	11'	12'	13'	14'	15'
水力諸元	有効落差 (m)	6	6	6	6	8	8	8
	使用流量 (m ³ /sec)	1.0	1.5	2.0	2.5	0.8	1.0	1.5
	発電所出力 (kW)	37	59	76	97	39	52	81
水車	回転速度 (r/min)	720	600	600	450	900	900	600
	ランナ径 (mm)	500	630	630	800	400	500	630
同期発電機	電 圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220
	回転速度 (r/min)	720	600	600	900	900	900	600
	極 数	D 10	D 12	D 12	G 8	D 8	D 8	D 12
寸法 (mm)	D	800	1000	1000	1200	600	800	1000
	A	900	1100	1100	1500	700	900	1100
	G	2000	2270	2270	2730	1720	2000	2270
	C	1100	1270	1270	1530	920	1100	1270
	Z	630	730	730	830	530	630	730
	E	880	1100	1100	1400	700	880	1100
	F	3340	3930	4070	5690	3060	3340	4170
	M	4220	5030	5170	7090	3760	4220	5270
	L	4070	4880	5020	6790	3690	4070	5120
B	1360	1570	1570	2000 (B1) 2200 (B2)	1140	1360	1570	
概略基礎荷重 ton		14.4	20.0	20.2	31.6	11.5	14.6	20.8
外形図		4.3-43	4.3-43	4.3-43	4.3-45	4.3-43	4.3-43	4.3-43

表4.3-12(5/8) 100KW未満横軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表(50Hz, 誘導機)

ケース		1	2	3	4	5	6	7	8
水力諸元	有効落差 (m)	4	4	4	4	4	4	6	6
	使用流量 (m ³ /sec)	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.6	0.8
	発電所出力 (kW)	20	25	38	50	67	76	24	31
水車	回転速度 (r/min)	600	600	500	500	400	400	1000	1000
	ランナ径 (mm)	500	500	630	630	800	800	400	400
誘導発電機	電 圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220
	回転速度 (r/min)	600	600	500	500	1000	1000	1000	1000
	極 数	D 10	D 10	D 12	D 12	G 6	G 6	D 6	D 6
寸法 (mm)	D	800	800	1000	1000	1200	1200	600	600
	A	900	900	1100	1100	1500	1500	700	700
	G	2000	2000	2270	2270	2730	2730	1720	1720
	C	1100	1100	1270	1270	1530	1530	920	920
	Z	630	630	730	730	830	830	530	530
	E	880	880	1100	1100	1400	1400	700	700
	F	2870	2870	3420	3780	5070	5190	2520	2520
	M	3750	3750	4520	4880	6470	6590	3220	3220
	L	3590	3590	4360	4730	6170	6290	3150	3150
B	1360	1360	1570	1570	2000 (B1) 2200 (B2)	2000 (B1) 2200 (B2)	1140	1140	
略基礎荷重 ton		14.1	14.1	19.3	19.5	30.1	30.4	11.0	11.0
形 図		4.3-43	4.3-43	4.3-43	4.3-43	4.3-45	4.3-45	4.3-43	4.3-43

表4. 3-12 (6/8) 100KW未満横軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表 (50Hz, 誘導機)

ケース		9	10	11	12	13	14	15	
水力諸元	有効落差 (m)	6	6	6	6	8	8	8	
	使用流量 (m ³ /sec)	1.0	1.5	2.0	2.5	0.8	1.0	1.5	
	発電所出力 (kW)	40	60	78	100	39	53	83	
水車	回転速度 (r/min)	750	600	600	447	1000	750	600	
	ランナ径 (mm)	500	630	630	800	400	500	630	
誘導発電機	電 圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	
	回転速度 (r/min)	750	600	600	1000	1000	750	600	
	極 数	D 8	D 10	D 10	G 6	D 6	D 8	D 10	
寸法 (mm)	D	800	1000	1000	1200	600	800	1000	
	A	900	1100	1100	1500	700	900	1100	
	G	2000	2270	2270	2730	1720	2000	2270	
	C	1100	1270	1270	1530	920	1100	1270	
	Z	630	730	730	830	530	630	730	
	E	880	1100	1100	1400	700	880	1100	
	F	2870	3400	3580	5190	2520	2940	3580	
	M	3750	4500	4680	6590	3220	3820	4680	
	L	3600	4350	4530	6270	3140	3660	4520	
B	1360	1570	1570	2000 (B1) 2200 (B2)	1140	1360	1570		
概略基礎荷重 ton		14.0	19.3	19.5	30.4	11.0	14.1	19.5	
外形図		4.3-43	4.3-43	4.3-43	4.3-45	4.3-43	4.3-43	4.3-43	

表4. 3-12 (7/8) 100KW未満横軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表 (60Hz, 誘導機)

ケース		1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
水力諸元	有効落差 (m)	4	4	4	4	4	4	6	6
	使用流量 (m ³ /sec)	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.6	0.8
	発電所出力 (kW)	20	25	39	52	66	76	24	31
水車	回転速度 (r/min)	600	600	480	480	400	400	900	900
	ランナ径 (mm)	500	500	630	630	800	800	400	400
誘導発電機	電圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220
	回転速度 (r/min)	600	600	900	900	900	900	900	900
	極数	D 12	D 12	V 8	G 8	V 8	V 8	D 8	D 8
寸法 mm	D	800	800	1000	1000	1200	1200	600	600
	A	900	900	1100	1100	1500	1500	700	700
	G	2000	2000	2270	2270	2730	2730	1720	1720
	C	1100	1100	1270	1270	1530	1530	920	920
	Z	630	630	730	730	830	830	530	530
	E	880	880	1100	1100	1400	1400	700	700
	F	2940	2940	3230	3300	5130	5250	2520	2590
	M	3820	3820	4330	4400	6530	6650	3220	3290
	L	3670	3670	4180	4250	6230	6350	3150	3220
B	1360	1360	1570	1570	2000 (B1) 2200 (B2)	2000 (B1) 2200 (B2)	1140	1140	
概略基礎荷重 ton		14.1	14.1	18.9	19.1	30.2	30.5	11.0	11.2
外形図		4.3-43	4.3-43	4.3-44	4.3-45	4.3-44	4.3-44	4.3-43	4.3-43

表4. 3-12 (8/8) 100KW未満横軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表 (60Hz, 誘導機)

ケース		9'	10'	11'	12'	13'	14'	15'	
水力諸元	有効落差 (m)	6	6	6	6	8	8	8	
	使用流量 (m ³ /sec)	1.0	1.5	2.0	2.5	0.8	1.0	1.5	
	発電所出力 (kW)	39	60	78	99	40	53	83	
水車	回転速度 (r/min)	720	600	600	450	900	900	600	
	ランナ径 (mm)	500	630	630	800	400	500	630	
誘導発電機	電 圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	
	回転速度 (r/min)	720	600	600	900	900	900	600	
	極 数	D 10	D 12	D 12	V 8	D 8	D 8	D 12	
寸法 (mm)	D	800	1000	1000	1200	600	800	1000	
	A	900	1100	1100	1500	700	900	1100	
	G	2000	2270	2270	2730	1720	2000	2270	
	C	1100	1270	1270	1530	920	1100	1270	
	Z	630	730	730	830	530	630	730	
	E	880	1100	1100	1400	700	880	1100	
	F	2990	3400	3770	5250	2590	2940	3770	
	M	3870	4500	4870	6650	3290	3820	4870	
	L	3720	4350	4720	6350	3220	3670	4720	
B	1360	1570	1570	2000 (B1) 2200 (B2)	1140	1360	1570		
概略基礎荷重 ton		14.3	19.5	20.0	30.5	11.2	14.2	20.0	
適用外形図図番		4.3-43	4.3-43	4.3-43	4.3-44	4.3-43	4.3-43	4.3-43	

表4. 3-13 (1/4) 100KW未満立軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表 (50Hz, 同期機)

ケース		1	2	3	4	7	8	9	10	11	13	14	15
水力諸元	有効落差 (m)	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	8	8
	使用流量 (m ³ /sec)	0.8	1.0	1.5	2.0	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	0.8	1.0	1.5
	発電所出力 (kW)	20	25	37	50	23	30	39	59	76	39	52	81
水車	回転速度 (r/min)	600	600	500	500	1000	1000	750	600	600	1000	750	600
	ランナ径 (mm)	500	500	630	630	400	400	500	630	630	400	500	630
同期発電機	電圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220
	回転速度 (r/min)	600	600	500	500	1000	1000	750	600	600	1000	750	600
	極数	10	10	12	12	6	6	8	10	10	6	8	10
寸法 (mm)	D	800	800	1000	1000	600	600	800	1000	1000	600	800	1000
	A	850	850	1070	1070	680	680	850	1070	1070	680	850	1070
	G	1580	1580	1980	1980	1270	1270	1580	1980	1980	1270	1580	1980
	C	550	550	690	690	440	440	550	690	690	440	550	690
	E	1030	1030	1300	1300	820	820	1030	1300	1300	820	1030	1300
	H	3140	3140	3720	3860	2740	2740	3140	3530	3720	2740	3170	3810
	B	1000	1000	1240	1240	800	800	1000	1240	1240	800	1000	1240
概略基礎荷重 ton		11.5	12.0	16.3	17.0	9.5	10.0	10.5	15.9	12.3	9.5	12.0	17.1
適用外形図番		4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46

注) 1: 立軸の場合水車と発電機は直結されるのでギア又はVベルト結合の場合のケースは除く。

表 4. 3-13 (2/4) 100KW未満立軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表 (60Hz, 同期機)

ケース		1'	2'	7'	8'	9'	10'	11'	13'	14'	15'		
水力諸元	有効落差 (m)	4	4	6	6	6	6	6	8	8	8		
	使用流量 (m ³ /sec)	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	0.8	1.0	1.5		
	発電所出力 (kW)	20	25	21	30	37	59	76	39	52	81		
水車	回転速度 (r/min)	600	600	900	900	720	600	600	900	900	600		
	ランナ径 (mm)	500	500	400	400	500	630	630	400	500	630		
同期発電機	電圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220	440, 220		
	回転速度 (r/min)	600	600	900	900	720	600	600	900	900	600		
	極数	12	12	8	8	10	12	12	8	8	12		
寸法 (mm)	D	800	800	600	600	800	1000	1000	600	800	1000		
	A	850	850	680	680	850	1070	1070	680	850	1070		
	G	1580	1580	1270	1270	1580	1980	1980	1270	1580	1980		
	C	550	550	440	440	550	690	690	440	550	690		
	E	1030	1030	820	820	1030	1300	1300	820	1030	1300		
	H	3140	3140	2740	2740	3140	3720	3860	2740	3140	3960		
	B	1000	1000	800	800	1000	1240	1240	800	1000	1240		
概略基礎荷重 ton		11.8	12.0	9.5	9.8	11.6	16.3	16.5	10.0	11.8	17.1		
外形図		4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46	4.3-46		

表4. 3-13 (3/4) 100KW未満立軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表
(50Hz, 誘導機)

ケース		1	2	7	
水力諸元	有効落差 (m)	4	4	6	
	使用流量 (m ³ /sec)	0.8	1.0	0.6	
	発電所出力 (kW)	20	25	24	
水車	回転速度 (r/min)	600	600	1000	
	ランナ径 (mm)	500	500	400	
誘導発電機	電圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	
	同期) 回転速 (r/min)	600	600	1000	
	極数	10	10	6	
寸法 (mm)	D	800	800	600	
	A	850	850	680	
	G	1580	1580	1270	
	C	550	550	440	
	E	1030	1030	820	
	H	2660	2660	2190	
	B	1000	1000	800	
概略基礎荷重ton		11.3	11.3	9.0	
外形図		4.3-46	4.3-46	4.3-46	

表4. 3-13 (4/4) 100KW未満立軸チューブラ水車発電機の組合せ概略寸法表
(60Hz, 誘導機)

ケース		1'	2'	7'	
水力諸元	有効落差 (m)	4	4	6	
	使用流量 (m ³ /sec)	0.8	1.0	0.6	
	発電所出力 (kW)	20	25	21	
水車	回転速度 (r/min)	600	600	900	
	ランナ径 (mm)	500	500	400	
誘導発電機	電圧 (V)	440, 220	440, 220	440, 220	
	同期) 回転速 (r/min)	600	600	900	
	極数	12	12	8	
寸法 (mm)	D	800	800	600	
	A	850	850	680	
	G	1580	1580	1270	
	C	550	550	440	
	E	1030	1030	820	
	H	2730	2730	2200	
	B	1000	1000	800	
概略基礎荷重ton		11.3	11.3	9.5	
外形図		4.3-46	4.3-46	4.3-46	

第5章 水車補機

水車の補機とは水車の運転、即ち起動・速度調整・負荷調整・停止を安全且つ確実にこなすために必要な諸機器・装置をいう。

補機の選定にあたっては、経済性や運転保守の容易性を考慮し、必要最小限の機能を持つものとする。

補機の構成および水車形式との組合せは次の通りである。

水車形式		ペルトン	フランシス	クロスフロー	チューブラ
入口弁	蝶形弁	○	○	○	○
	複葉弁	—	○	○	○
	仕切弁	○	—	—	—
调速機	電動操作	○	○	○	○
流量測定装置		○	○	○	○
排水装置		—	—	—	○

注) 100kW未満の単独運転については、调速機はダミーロード式とする。

5.1 入口弁

原則として入口弁を設けるものとする。但しバイパス弁は設けないものとする。

(図2.1-5 落差工、急流工を利用した発電の場合で水路に制水門または非常用閉鎖装置を有する制水弁を設ける時は省略可能とする)

5.1.1 用途

入口弁は水圧管下流端の水車入口付近に設けられ、その用途・目的は次の通りである。

1) 水車停止時の流路の遮断

この場合ランナへの水の流入は、ガイドベーンあるいはニードルで予め遮断される。

2) ガイドベーンあるいはニードルの動作不能時の流水遮断。

3) 水車分解時等の流水の止水。

5.1.2 入口弁の種類

入口弁の種類を表5.1-1に示す。

入口弁の種類は水車形式、水車寸法、有効落差などを検討し、適切なものを選定するが、100kW未満のクロスフロー水車およびチューブラ水車については手動とする。

表5.1-1 入口弁の種類

形式	適用落差	シール方式	損失水頭
蝶形弁	150m以下	弁体ゴムシール方式が一般的	やや大
複葉弁	200m以下	弁体ゴムシール方式が一般的	中
仕切弁	200m以下	メタルシール方式	小

図5. 1-1に蝶形弁、図5. 1-2に複葉弁、図5. 1-3に仕切弁の夫々構造および外形を示す。

5. 1. 3 入口弁の口径

入口弁の口径は次の目安で決められる。

蝶形弁 $D_v = (1.1 \sim 1.2)D_s$

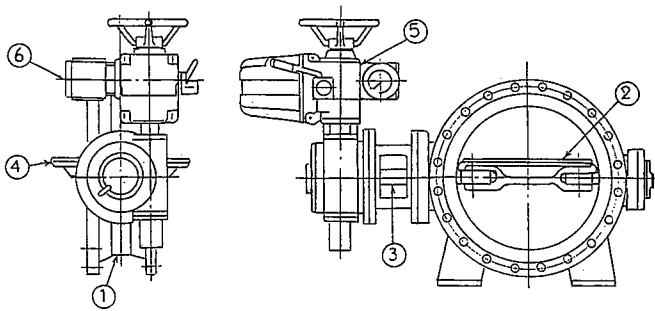
複葉弁 $D_v = (1.1 \sim 1.2)D_s$

仕切弁 $D_v = D_s$

D_v : 弁口径 (m)

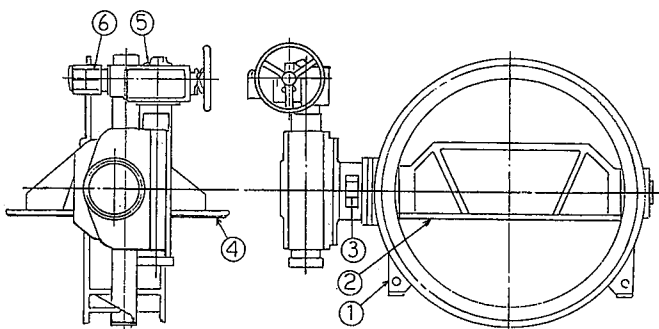
D_s : 水車ケーシング入口径 (m)

図5. 1-1および図5. 1-2に示すように、蝶形弁と複葉弁は流路中に弁体があり、これによる流水損失が生ずる。従って有効落差を算出する上では、この弁損失を他の水路諸損失と共に考慮する必要がある。



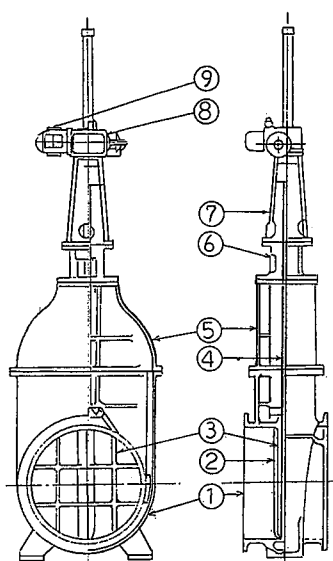
No.	品名	材質
①	弁 胴	一般構造用圧延鋼板 または鋳鋼
②	弁 体	同 上
③	弁 軸	ステンレス鋼 鋳鋼 または機械構 造用炭素鋼
④	パルプシート	ゴム
⑤	減速機	—
⑥	電動機	—

図5. 1-1 蝶形弁の構造図



①	弁 胴	一般構造用圧延鋼板 または鋳鋼
②	弁 体	同 上
③	弁 軸	ステンレス鋼 鋳鋼 または機械構 造用炭素鋼
④	パルプシート	ゴム
⑤	減速機	—
⑥	電動機	—

図5. 1-2 複葉弁の構造図



No.	品名	材質
①	弁胴	鋳鋼
②	パルナート	青銅
③	弁体	鋳鋼
④	弁軸	ステンレス鋼または 機械構造用炭素鋼
⑤	蓋	鋳鋼
⑥	スタンド	鋳鉄
⑦	スタンド	鋳鉄
⑧	減速機	—
⑨	電動機	—

図 5. 1 - 3 仕切弁の構造図

5. 1. 4 操作・駆動方式

すべての落差における水車の全流量を安全且つ確実に遮断できることを原則として、

- 1) 開閉操作は電動機駆動方式とする。
- 2) 開閉時間は180秒以下が一般的である。

5. 1. 5 入口弁と水圧管の接続

入口弁と水圧管の間に接続用短管を設けて接続する方法が一般的である。

また、入口弁を組立分解するために、接続用短管のフランジの片側をルーズ式にすることが多い。

5. 1. 6 付属品

- 1) 接続用短管 1式
この短管には水圧管排水座、圧力測定孔座などが設けられることが多い。
- 2) ルーズフランジ 1式
- 3) アンカープレートおよびボルト 1式
- 4) 鉄管水圧計 1式

5. 1. 7 概略寸法および概略基礎荷重

1) 蝶形弁，複葉弁

蝶形弁、複葉弁の概略寸法および基礎荷重を図 5. 1 - 4、表 5. 1 - 2 に示す。

2) 仕切弁

仕切弁の概略寸法および基礎荷重を図 5. 1 - 5、表 15. 1 - 3 に示す。

表 5. 1 - 2 蝶形弁および複葉弁の概略基礎荷重表 (電動式)

口径 D (mm)	350	400	450	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
W (mm)	350	350	350	400	400	400	450	450	500	500	600	600	650	650
H (mm)	325	350	375	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
H1 (mm)	600	650	650	680	750	800	800	870	950	1050	1050	1150	1150	1200
L1 (mm)	900	950	1000	1050	150	1250	300	1400	1500	1600	1700	1750	1800	1900
L2 (mm)	310	400	430	460	530	600	650	720	780	850	920	980	1040	1100
R (mm)	380	400	450	450	580	600	600	650	700	800	800	850	850	900
基礎荷重(t)	0.65	0.81	1.10	1.25	1.80	2.15	2.50	2.90	3.65	4.85	5.65	6.90	8.10	9.25

(注) 概略基礎荷重は (弁重量 + 弁内水重量) × 1.2 とした。

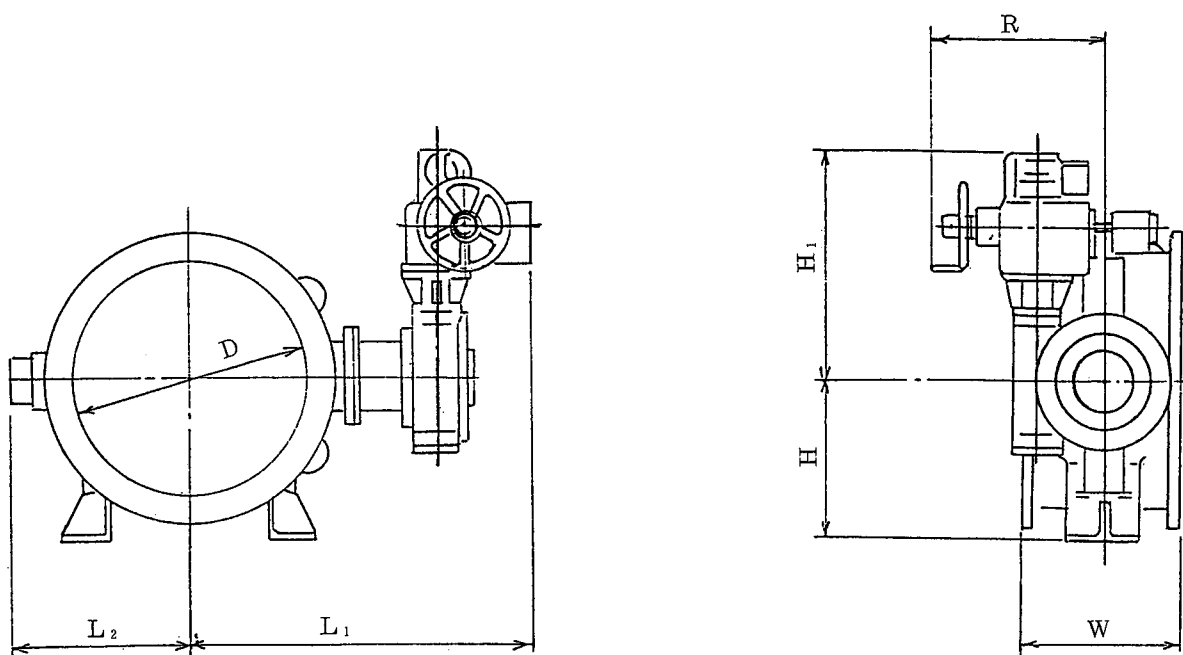


図 5. 1 - 4 蝶形弁および複葉弁の概略寸法図 (電動式)

表 5. 1 - 3 仕切弁の概略基礎荷重表

(a) 中圧用 (落差 ≤ 100m)

口径D (mm)	350	400	450	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
W (mm)	430	470	500	530	560	610	690	740	770	800	820
H (mm)	270	300	330	400	450	500	550	600	650	720	780
H ₁ (mm)	1750	1990	2120	2340	2810	3180	3740	4120	4520	4950	5400
L ₁ (mm)	480	480	510	510	570	570	630	720	720	820	820
L ₂ (mm)	445	445	445	445	465	465	510	575	575	670	670
基礎荷重(t)	0.85	1.10	1.35	1.75	2.60	3.35	5.10	6.50	8.40	11.1	14.1

(b) 高圧用 (落差 > 100m)

口径D (mm)	600	700	800	900	1000
W (mm)	280	390	500	610	720
H (mm)	620	670	720	770	820
H ₁ (mm)	2360	2780	3200	3600	4060
基礎荷重(t)	5.90	8.90	12.8	16.9	21.7

(注) 概略基礎荷重は、(弁重量 + 弁内水重量) × 1.2 とした。

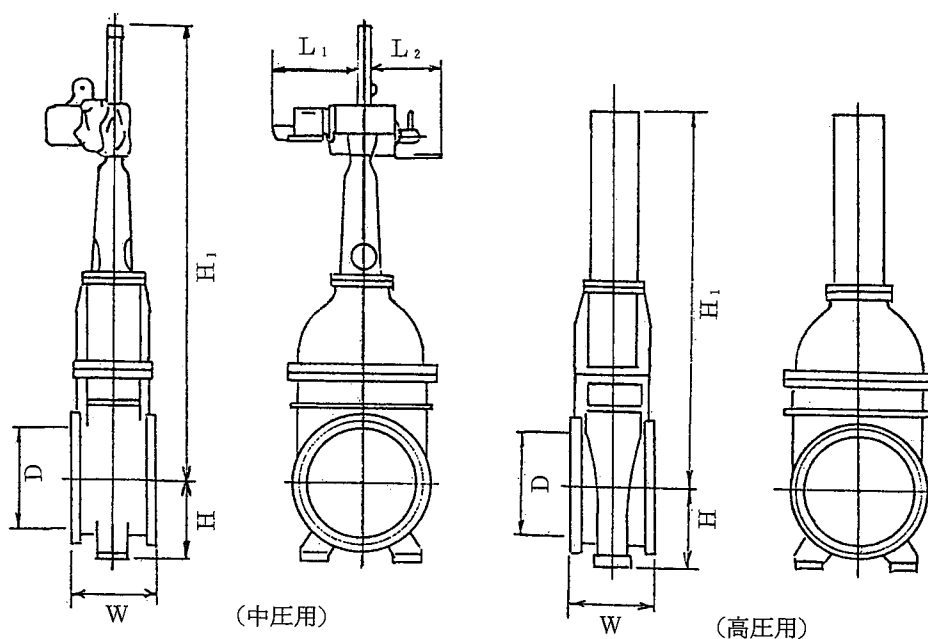


図 5. 1 - 5 仕切弁の概略寸法図

5. 2 調速機

5. 2. 1 用途

一般の大規模（大容量）発電所では、調速機は電力系統の周波数調整を目的とした水車の回転速度制御と負荷調整を行うために設けられる。

農業用水利施設を利用した発電の場合は、比較的小規模（小容量）であり、且つ電力会社の比較的大きな電力系統との並列運転が行われることが多く、電力系統への並列投入後は速度制御をする必要がないため、水車の出力制御用として速度制御機構を省いたZ級調速機を標準とする。

Z級調速機は、スピードレス調速機とも呼ばれ、流量あるいは水位調整信号を受けてガイドベーン開度（フランシス水車、クロスフロー水車、チューブラ水車）およびニードル開度（ペルトン水車）などを調整するためにサーボモータを動作させる。ただし、並列までの速度制御機能を有し、並列後はガイドベーン開度、ニードル開度の調整のみを行う場合も含まれる。一般的な調速機・級別の性能・機能を表5. 2-1に示す。

表5. 2-1 調速機性能・機能一覧表

項 目		調速機級別		
		X 級	Y 級	Z 級
性能	不動帯 (%)	0. 0 2 以下	0. 1 以下	————
	不動時間 (S)	0. 2 5 以下	0. 3 以下	————
機能	結合運転装置	取付可能	な し	————
	回転速度折線特性装置	取付可能	な し	————
	タンピング自動切替	あ り	な し	————
	又はPID要素の自動切替			
調整範囲	回転速度 (%)	90~108	90~108	————
	速度垂下率 (%)	0~6	0~6	————
	過速度垂過率 (%)	0~50	0~50	————
	弾性復原時定数 (S)	0~15	0~10	————
回転速度検出方法		PMG または SSG	PMG, SSG PT, その他	速度検出部無し
調速機制御用電源		PMG またはDC	PMG, DC またはPT	DC またはAC

(電気共同研究 巻より採用)

SSG : Speed Signal Generator PMG : Permanent Magnet Generator

5. 2. 2 調速機ブロック図

図5. 2-1に電動操作調速機のブロック図の例を示す。

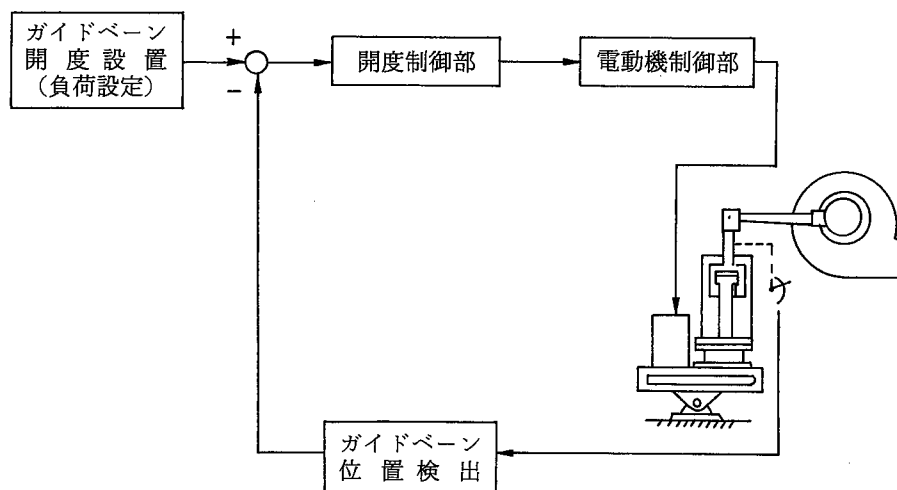


図5. 2-1 電動操作調速機ブロック図

水位調整器からの開度調速指令により、開度調整器にて電動操作機の電動機に開度調整指令（開または閉）を与え、電動機を回転させることにより、水車のガイドベーンまたはニードルを開閉し、水車出力（流量）を調整する。

5. 2. 3 調速機の適用

各種水車への調速機の適用は、表5. 2-2によることとする。

表5. 5-2 調速機の適用

	ペルトン水車	フランス水車	クロスフロー水車		チューブラ水車	
			系統接続	単独運転 (100kW未満)	系統接続	単独運転 (100kW未満)
形式	電動サーボ + Z級調速機	電動サーボ + Z級調速機	電動サーボ + Z級調速機	ダミーロード方式	電動サーボ + Z級調速機	ダミーロード方式

注) フランス水車、ペルトン水車の場合でも単独運転で100KW未満の場合は、ダミーロード方式の適用が可能である。

5. 2. 4 電動サーボモータ

図5. 2-3 に電動サーボモータの構造の1例を示す。

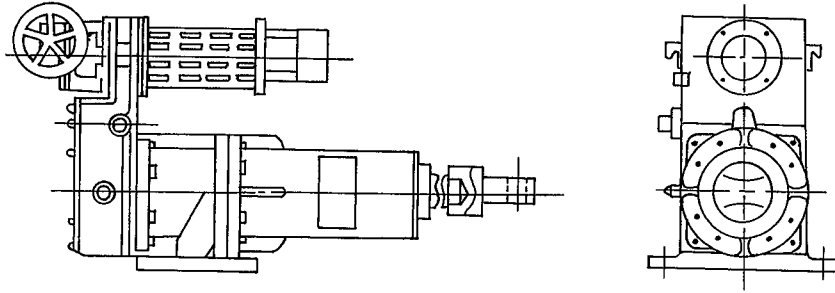


図5. 2-3 電動サーボモータの構成

電動サーボモータは駆動電動機、減速部及び作動部から構成される。駆動電動機はブラシレス直流電動機が採用され、開度調整器の指令によって正・逆転をする。減速部は、はすば歯車により構成され、電動機の回転数を減速する。なお、減速部を有しない場合もある。

作動部はボールねじにより構成されており、電動機による回転運動をガイドベーンを開閉させる直線運動に変換する。またストローク規制用の調整リミットスイッチなどが付属されている。

電動サーボモータの外形図を図5. 2-4に、また電動操作機の概略寸法及び概略重量を表5. 2-3に示す。

表5. 2-3 電動操作機概略寸法及び概略重量

サーボモータ 容量(Kgf・m)	600以下	601~1000
A (mm)	350	450
B (mm)	600	850
H (mm)	1,500	1,800
重量 (t)	0.2	0.3

注) 重量にはサーボモータ操作力は含まれていない。

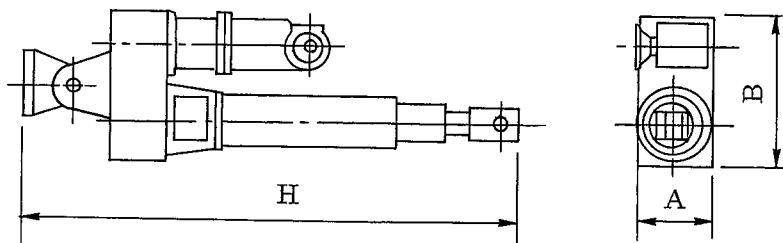


図5. 2-4 電動操作機外形図

電動サーボモータ容量と水車出力 (kW)、有効落差 (H) との関係は概略次の通りである。

kW/\sqrt{H}	200 以下	201~450
サーボモータ容量(kgf・m)	300~600	601~1000

5. 2. 5 ダミーロード式調速機 (ロードガバナ)

100kW未満のクロスフロー水車及びチューブラ水車の単独運転方式では、調整用負荷 (ダミーロード) を使用したロードガバナによる負荷制御方式を適用するため、ガイドベーンは手動操作とする。

ロードガバナの回路構成図を図 5. 2-5 に示す。

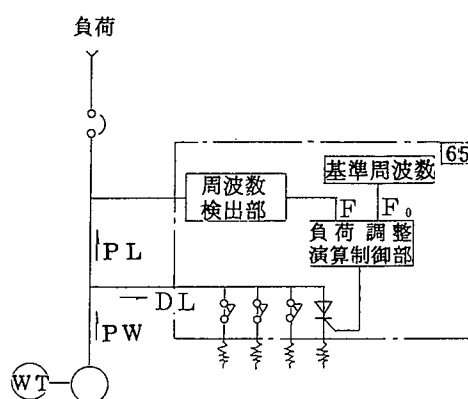


図 5. 2-5 ダミーロード式調速機ブロック線図

ダミーロードによる負荷制御方式は、発電機出力 (PW) と負荷容量 (PL) の差をダミーロード (DL) に給電するもので、 $PW = PL + DL$ となるように DL の容量をサイリスタにより可変制御する方式である。いま負荷容量 (PL) が減少し、 $PW > PL + DL$ の変化が起きた場合、基準周波数 F_0 に対して発電周波数 F が $F_0 < F$ となり、周波数が上るため、 $F_0 = F$ となるよう DL を増加させる。ダミーロードの制御方式は下記によるものとする。

- 1) 発電機負荷にサイリスタ負荷の占める割合が大きい程、発電機に発熱等の問題が発生し、発電機の体格に余裕を持たせる必要が生ずるため、サイリスタで制御するダミーロード容量は発電機容量の10~20%とし、残りのダミーロードは分割し必要量に見合った段階制御とする。
- 2) 100kW未満の水車では、電動式入口弁、電動操作ガイドベーンを省略するため、負荷遮断時に水車発電機の回転上昇が起これぬよう発電機容量と同一のダミロード容量を持つこととする。

5. 2. 6 水位調整装置

流れ込み式発電所においては、河川の自然流量を水源として利用するため、上水槽に流入する水の有効利用および水車の安定運転を目的として、上水槽の水位に応じて水車・発電機の出力を調整し、上水槽水位を常に一定とする水位調整運転が行われる。このために水位調整装置が設けられる。

1) 水位調整装置の機能

水位調整装置は上水槽水位を検出し、設定水位と比較して上水槽水位が常に設定水位と一致するように水車ガイドベーン開度を制御して、水車の使用水量を調整する。

水位調整装置のブロック図を図5. 2-6に示す。

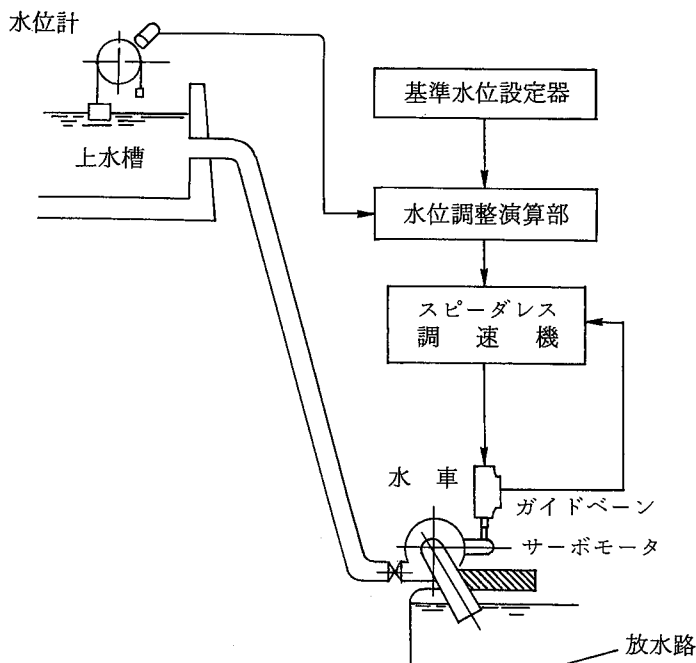


図5. 2-6 水位調整装置ブロック図

水位調整演算部は、上水槽の検出水位と水位設定器からの基準設定水位を比較し、上水槽水位が基準設定水位になるように調速機に水車ガイドベーンの開または閉指令を与える。水位調定率は水位検出回路の補正入力として加えられ、ガイドベーンの開度が開くと、見かけ検出水位が下がるように補正し、ガイドベーンの行き過ぎを抑制する効果を持たせる。

図5. 2-7に水位調整演算部のブロック図を示す。

水位調整演算部はシーケンスコントローラまたは調速機に組み込む。

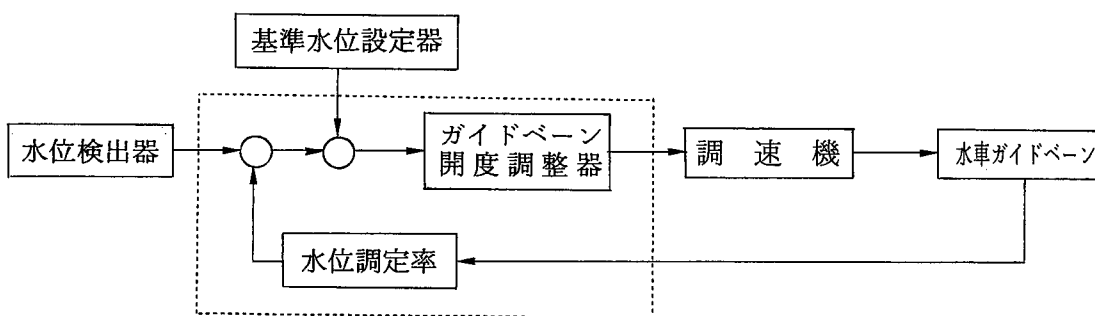


図5. 2-7 水位調整演算ブロック図

2) 水位検出装置

上水槽水位検出装置は、フロート式水位計または投込み式水位計を使用する。

水位計の設置は、水槽の波打ちによる検出水位の変動を避けるために防波管などにより保護

する。

水位計からの水位信号の電送線路は屋外敷設の場合が多く、雷サージより機器を保護するために避雷器を設置する。

図5.2-8 にフロート式水位計の外形図、図5.2-9に投込み式水位計の外形図を示す。

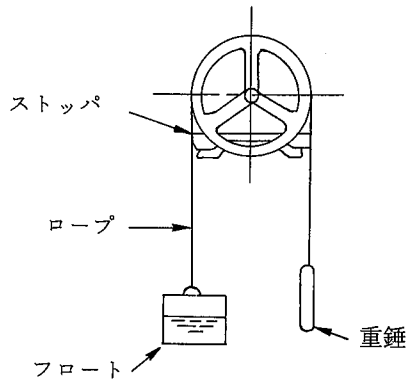


図5.2-8 フロート式水位計

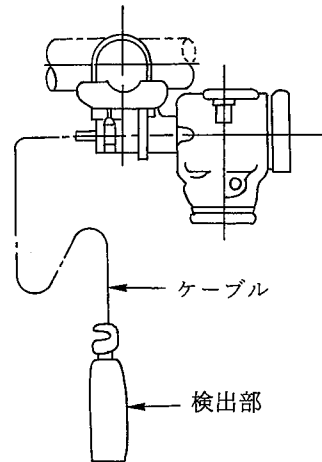


図5.2-9 投込み式水位計

5.3 流量測定装置

5.3.1 用途

農業用水を利用する発電所においては、水管理上から発電水量を把握する必要がある。発電水量を求めるために、5.3.2項に示されるような流量測定装置を設置することが望ましい。

また、運用上の見地から

①発電停止時においても下流側で所定の水量が必要な場合

②発電中においても下流側で水車使用水量以上の水量を必要とする場合

には水圧管から分岐したバイパス管に設けられた放流弁を開き、不足水量分を下流側へ供給できるように考慮する必要がある。

このように水車と放流弁が連動して流量調整をおこなう場合には、放流弁の開度調整用として水車流量信号を放流弁側へ送信することが必要となるが、これも流量測定装置の機能の一つである。

5.3.2 種類

水車流量の測定装置としては、次のようなものが考えられる。

- ①超音波流量計
- ②電磁流量計
- ③流速計
- ④ピトー管
- ⑤ベンチュリ管

⑥全幅せきと超音波液面計の組合せ

⑦ウインターケネディ法（指数法）

⑧落差をパラメータとして「ガイドベーン開度またはニードル開度対水車流量特性」を用いた流量演算装置

これらの流量測定装置の内、水力発電所用に常設される設備として使用されるものとしては、次のものが一般的である。

①超音波流量計

②電磁流量計

口径250mm程度までの比較的小口径の場合には、電磁流量計の方が経済的に優れている。それを超える比較的大口徑のものに対しては、超音波流量計が採用される。

なお、流量調整運転に伴う流量制御を行わない流れ込み式発電所において、単に流量を目安として求めるだけに用いられる場合は、前述の⑥、⑦および⑧の方法も使用する。

5. 3. 3 超音波流量計

1) 概 要

超音波流量計は、超音波が流体中を伝播する速度が流体の速度によって変化することを利用して、管路の流量に比例した出力を得て流量を相対値として計測するもので、JEC-4002「水車及びポンプ水車の効率試験方法」に示されているような相対流量測定法であるが、他の絶対流量測定法により校正することにより流量の絶対値を求めることもできる。

超音波が通過できる流体であれば、どのような流体でも測定可能であり、また流体内に障害物を挿入する必要がないため圧力損失が全くなく、管路への取付けも容易である等の特徴を持っている。

2) 構 成

図5. 3-1に超音波流量計の構成例を示す。

①検出器（プローブ及び取付具）

②変換器

③信号ケーブル

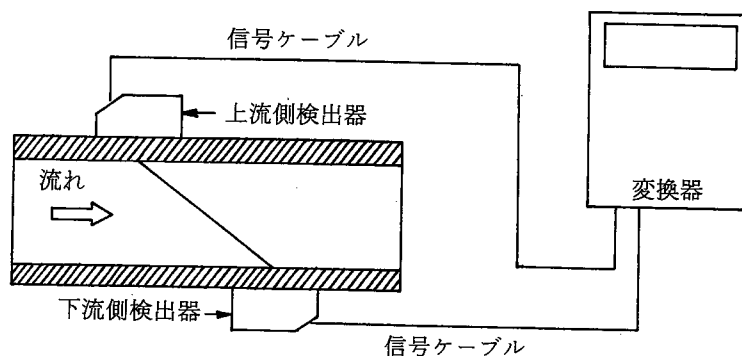


図5. 3-1 超音波流量計の構成例

3) 適用条件

a 取付け管路

材 質 : 鋼管、FRP管など
口 径 : $\phi 300 \sim \phi 3000 \text{ mm}$ 程度
管内最大流速 : $1 \sim 10 \text{ m/s}$

b 最大流速

図5.3-2において最大使用流量取付管路口径との交点から最大流速を求め、その値が $1 \sim 10 \text{ m/s}$ の範囲内であれば、その口径の超音波流量計は適用可能なものと判断される。

c 必要直管長さ

流速分布の乱れ等による測定誤差を軽減し、測定精度をフルスケールに対して $\pm 1.5\%$ 以内にするために、検出器の取付位置については次のように制限することが必要である。

a) 管路内径(D)に対して、検出器の上流側に10D, 下流側に5D以上の直管部を設ける。

b) 弁類は、検出端の上流側では3D以上離して設ける。

c) 分岐管は、検出器の上流側では5D以上離して設ける。

上記の制限値を逸脱して使用することも可能であるが、測定誤差は $\pm 1.5\%$ (フルスケールに対して)を超えるものとなる。

d) 上記の条件を満足できない場合でも、二測線方式を採用することにより、対応できることもある。

4) 仕様

a 本体

定格電源電圧 : AC100V 50Hz/60Hz
出力信号 : 瞬時流量 DC 4-20mA
積算流量 積算パルス
警報信号 無電圧接点出力

b 検出器

材 質 : ステンレス鋼、炭素鋼、アルミニウム合金など

5) 設置例

次のような理由により、超音波流量計検出器は発電所建屋内ではなく屋外ピット室に設置されるケースが比較的多くみられる。

a 検出器の設置点の上流, 下流に夫々最小直管部長さを確保することが必要である。

b 検出器の保守, 点検の容易さを考慮して十分メンテナンススペースを確保することが必要である。

流量計室がピットの場合における検出器の設置例を図5.3-3に示す。

なお、ピット式流量計室を設ける場合には、土木建築側に対して次のような施工条件を予め提示することが望ましい。

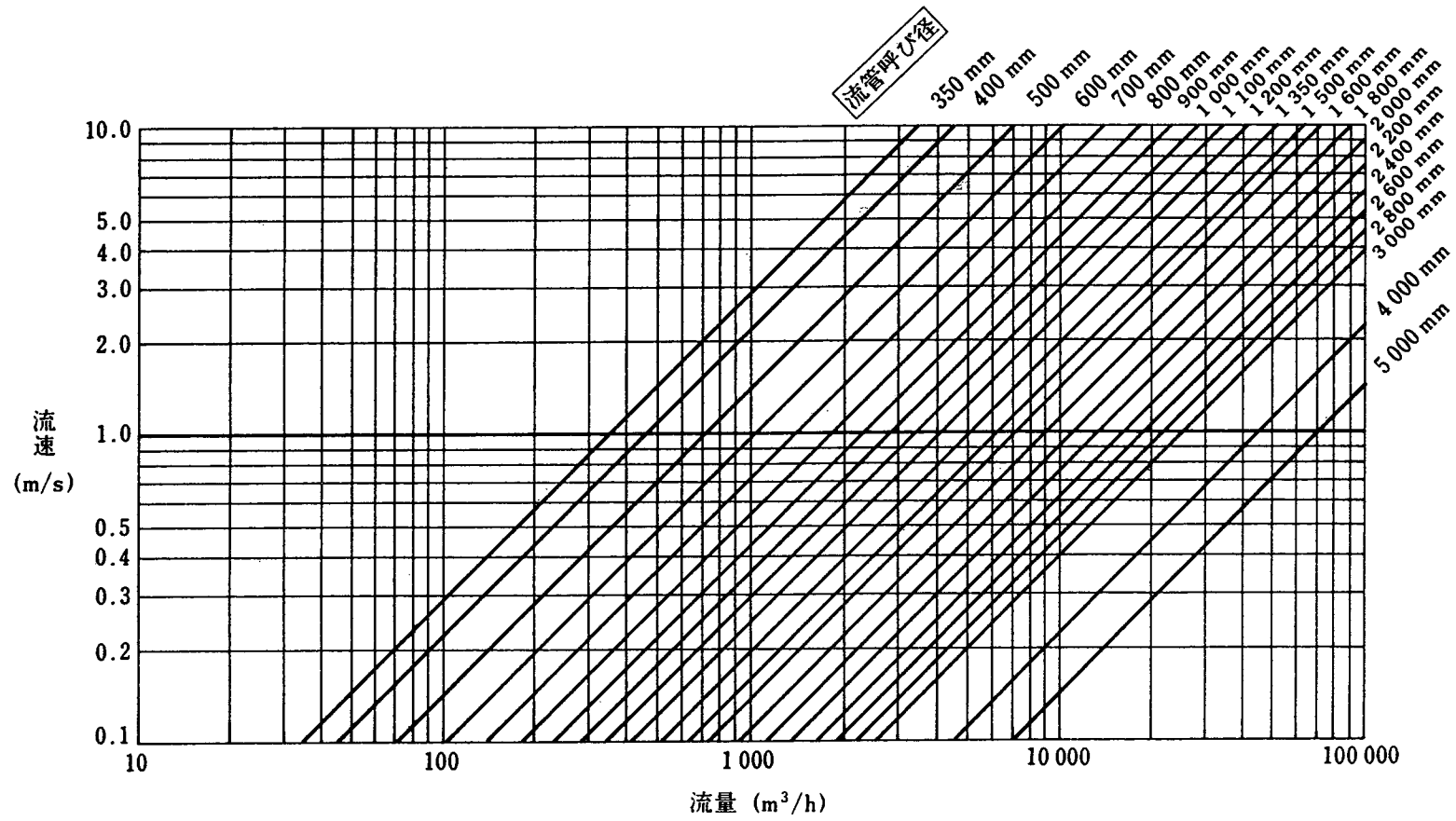


図 5. 3 - 2 超音波流量計の流量と平均流速

- ① メンテナンススペース寸法
- ② メンテナンス用タラップ、足場、水密マンホール等の設置
- ③ 防水構造による施工
- ④ 排水溝、排水管または排水ポンプの設置
- ⑤ 換気装置の設置
- ⑥ 信号ケーブル用電線管、AC100V防水コンセント等の設置

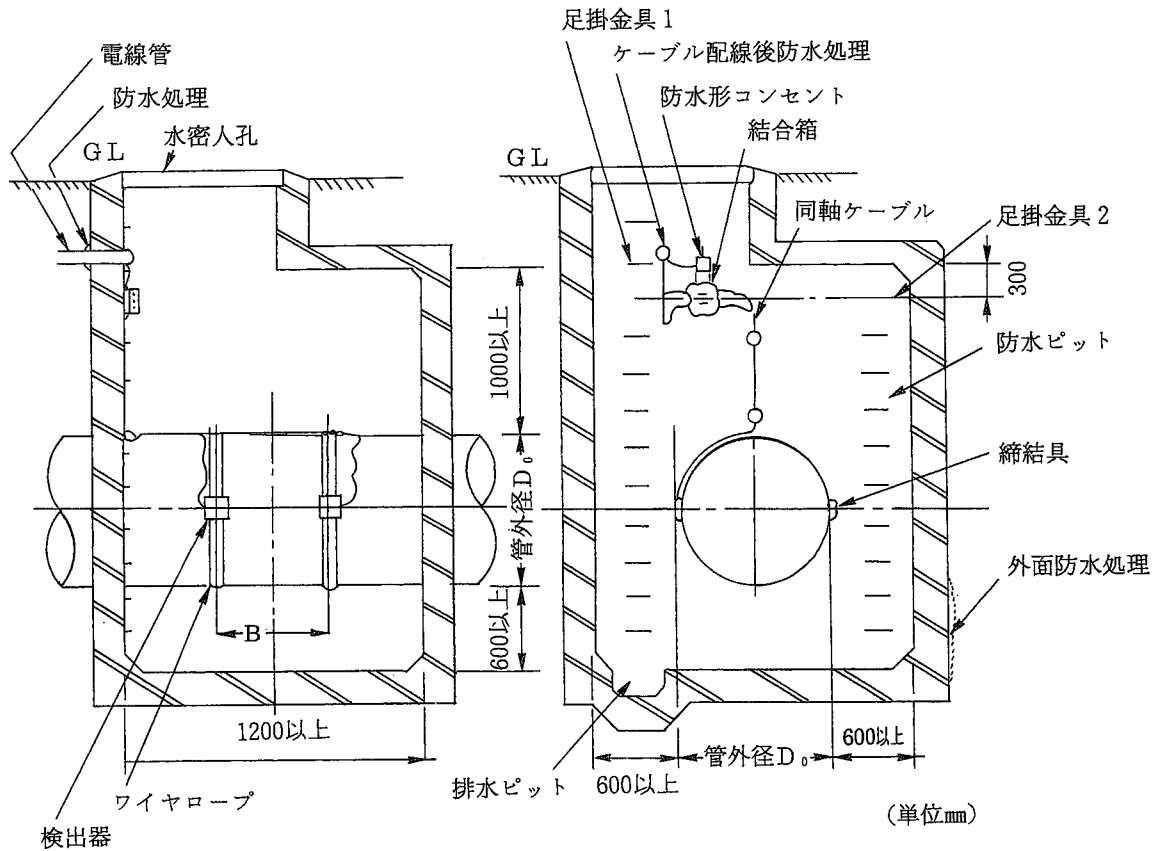


図 5. 3 - 3 設 置 例

5. 3. 4 電磁流量計

1) 概 要

電磁流量計は「導電性の物体が磁界の中を動くと、その物質内に起電力が発生する」というファラデーの電磁誘導の法則を応用して、管路の流量に比例した微小信号を得て流量値として計測するものである。

電気導度の条件を満足している流体であれば、どのような流体でも測定可能であり、また流体中に障害物を挿入する必要がないため圧力損失が全くなく、流れに障害を与えることもない等の特徴を持っている。

取付方法は、水圧管路の途中にフランジ接続により設置するのが一般的である。

2) 構 成

図 5. 3-4 に電磁流量計の構成例を示す。

- ① 検 出 器
- ② 変 換 器

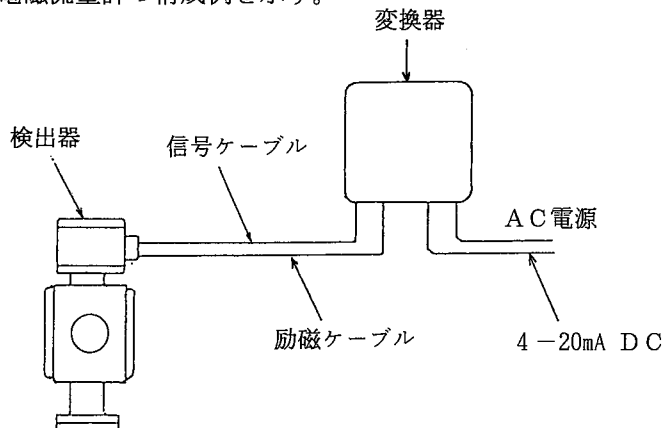


図 5. 3-4 電磁流量計の構成例

3) 適用条件

a. 取り付け管路

口径： $\phi 100 \sim \phi 1000$ mm程度の管路にフランジ接続により取り付けられる。

b. 最大流速

0.3~10m/sを適用範囲とするのが一般的である。

c. 必要直管長さ

流速分布の乱れによる測定誤差を軽減し、測定精度をフルスケールに対して $\pm 1.0\%$ 以内にするために、電磁流量計の上流側および下流側にはJ I S Z 8764に規定された下記の直管長さを設けることが必要である。

- a) 90° 曲管, T字管, 拡大管または仕切弁全開使用の場合には、管路内径 (D) に対して流量計の上流側に 5 D以上の直管部を設ける。
- b) その他の各種弁類を使用する場合には、流量計の上流側に10D以上の直管部を設ける。
- c) 流量計の下流側には、特に直管部を設ける必要は無い。

4) 仕 様

定格電源電圧 : AC 100V 50Hz/60Hz

電極材質 : DC 4-20mA

検出器の外形を図(例)を図 5. 3-5 に示す。

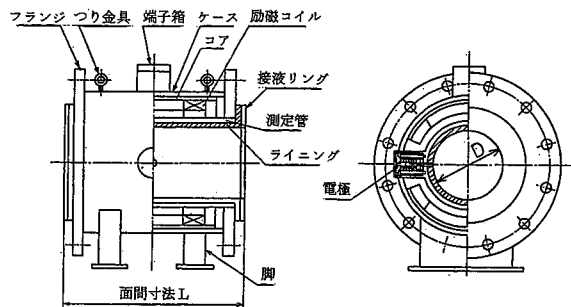


図 5. 3-5 検出器外形図(例)

検出器の概略面間寸法（例）を表5.3-1に示す。

表5.3-1 概略面間寸法（例）

口 径D (mm)	概略面間寸法L(mm)
100	240
150	260
200	300
250	350
300	400
350	450
400	500
500	600
600	600
700	700
800	800
900	900
1000	1000

5.4 排水装置

5.4.1 用途

標準化した500kW以下の水車の内、チューブラ水車は他形式の同一出力の水車に比べて外形寸法が大きいため、水車はパッケージ化せず屋内に設置することになっている。

チューブラ水車で放水路が水車据付位置より高い場合や、発電所内の漏水、排水などが自然流下できない場合は、排水ピットに集水後、排水ポンプで放水路に排水する。このための設備が排水装置である。

5.4.2 機器構成

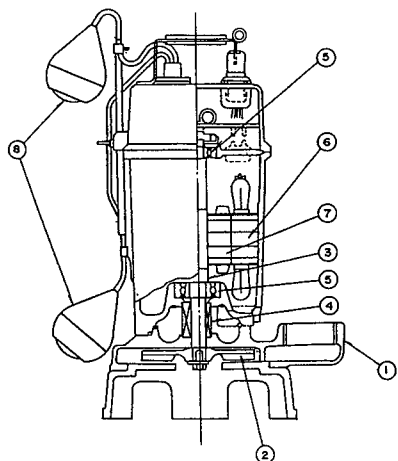
- 1) 水中モータポンプ（自動液面制御内蔵形） 2台（内1台予備）
- 2) 配管および弁類 1式
- 3) ポンプ故障警報装置（必要に応じて設ける） 1式

5.4.3 設置上の留意点

- 1) 排水ポンプは水中モータポンプとし、ポンプの故障により所内が浸水する場合を考慮して予備ポンプを設ける。
- 2) ポンプは自動液面制御装置をポンプ本体に内蔵した自動液面制御装置内蔵形水中ポンプを選ぶ。ポンプの構造の一例を図5.4-1に示す。

このタイプは操作盤が不要なのでシステム全体が簡略化できる。

図 4. 4-2 はこのポンプの 2 台自動交互運転の例である。水位が WL2~WL4の間では交互運転がおこなわれ、異常増水により水位が WL5 に達した時は、2 台の同時運転が、万一の故障時には残る健全な 1 台による単独運転が行われる。



番号	名称
1	ケーシング
2	羽根車
3	主軸(電動機軸)
4	メカカルシール
5	主軸受
6	電動機固定子
7	電動機回転子
8	フロートスイッチ

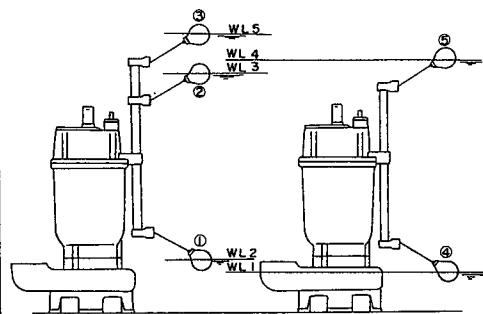


図 5. 4-2 2 台自動交互運転例

図 5. 4-1 構造図

- 3) ポンプの故障により発電所が浸水する恐れのある場合は、管理所または管理者にポンプの故障警報を発する。この場合、ポンプの故障は排水ピットの異常水位上昇を液面スイッチで検出して警報する。
- 4) ポンプ吐出側には逆止弁と仕切弁を設ける。また配管の吐出側末端は、サイフォン配管にならないよう必ず大気解放し逆流を防止する。
- 5) 冬期、ポンプや配管その他が凍結する恐れのある場合は、適切な凍結防止対策を行う。
- 6) 水車を運転せず休止しておく場合でも排水ポンプは必ず運転できるようにしておく。

5. 4. 4 排水ピットの容積

所内の漏水および機器から出るドレーンを集める排水ピットは、床の最低部の適当な位置に設けるが、その有効容積は 1 分間に流入する最大流入量の 15 倍程度をとる。

5. 4. 5 水中モータポンプの選定

水中モータポンプは次の手順で選定する。

1) ポンプ吐出量 Q (m³/min)

ポンプ吐出量は 1 分間に排水ピットに流入する最大流入量より若干大きくとる。

2) ポンプ全揚程 H (m)

ポンプ全揚程は次式より求め、若干余裕をとる。

$$\begin{aligned} \text{全揚程} &= \text{実揚程} [\text{吐出配管末端出口高さ (m)} - \text{排水ピット L.W.L. (m)}] \\ &\quad + \text{損失水頭 (m)} + \text{吐出速度水頭 (m)} \end{aligned}$$

3) ポンプの選定

吐出量と全揚程をもとにポンプメーカーのカタログより機種を選定し、軸動力を決定する。

5. 4. 6 配管径の決め方

配管の標準流量は、表 5. 4 - 1 を目安に選定する。この表は管内流速を最大 1.8m/s とし、各口径に対する流量を定めたものである。但し、選定したポンプの口径がこの表から選んだ配管口径より大きい場合は、ポンプ口径と配管口径を同一とする。

なお、継手については、口径 50mm 以下の管継手はネジ込み、口径 65mm 以上はフランジ継手を原則とする。

チューブラ水車室内排水装置用水中モータポンプの選定に関する例題を、後述 12 章 12. 3 に掲載した。

表 5. 4 - 1 口径と流量

口径	流量 m ³ /min
15A	~0.024
20A	0.025~0.042
25A	0.043~0.067
32A	0.068~0.114
40A	0.115~0.154
50A	0.155~0.242
65A	0.243~0.407
80A	0.408~0.558
100A	0.559~0.958

第6章 発電機

6.1 発電機容量の選定

本マニュアルでは、水車発電装置は適用する水車がS形チューブラ水車である場合を除き発電機と水車はパッケージ化されており、発電機及び増速機の選定はS形チューブラ水車においてのみ記述してある。

6.1.1 発電機の種類と標準化容量

1) 発電機の種類

発電機の種類は三相交流発電機を適用し、同期発電機と誘導発電機の2つに分類される。

- (1) 同期発電機とは、発生する交流起電力の周波数とその発電機の回転速度に比例するものと定義され、その発生周波数は次式で与えられる。

$$f = N_0 \times \frac{P}{120}$$

f : 周波数 (Hz)

N_0 : 同期回転速度 (r/min)

P : 極数

- (2) 誘導発電機とは、発生する交流起電力の周波数とその発電機の回転速度に比例することなく、接続される電源の周波数に等しいものと定義され、その回転速度は次式で与えられる。

$$N_{ig} = (1 - S) \times N_0$$

N_{ig} : 誘導発電機の回転速度 (r/min)

S : すべり (通常 - 2%程度)

2) 標準化における発電機容量

本マニュアルで対象とする発電機容量は500kW未満とし、S形チューブラ水車を除く、ペルトン・フランシス・クロスフローの各水車発電装置は、使用水量・有効落差により選定されたパッケージ形水車発電装置により、水車・発電機及び増速機容量は決定される。

3) 標準化で適用する発電機仕様

表 6. 1 - 1 標準化適用同期発電機及び誘導発電機の仕様

分類項目		同期発電機	誘導発電機	
形	軸方向	横軸形	同	左
	水車との結合	直結又は増速機を介し接続(注1)	同	左
	保護方式	保護形 (JP20)	同	左
	冷却方式	自由通風形 (JC0)	同	左
		出口管通風形 (JC2) (注2)		
	軸受の種類と潤滑方式 (注3)	ころがり軸受	同	左
すべり軸受 グリース式又は自蔵式				
式	回転子の形状	円筒形又は突極形	カ	ゴ 形
	中性点接地方式	非接地	同	左
仕 様	定格の種類	連続	同	左
	定格電圧	500~300kVA 300kVA以下	同	左
		6.6kV 440又は220V		
	定格力率 (注4)	0.95 (遅れ)	固	有
	定格周波数	50Hz又は60Hz	同	左
	極数 (注5)	50Hz 6P~14P 60Hz 8P~18P	同	左
	フランシス用	50Hz 6P~12P	同	左
		60Hz 8P~14P		
	クロスフロー用	50Hz 6P~12P	同	左
		60Hz 6P~12P		
	チューブラ用	50Hz 8P~16P	同	左
		60Hz 10P~20P		
100kW未満用	50Hz 6P~12P	同	左	
絶縁種別	F 種	同	左	

- 注1) : ペルトン水車 : 全範囲直結
 フランシス水車 : 全範囲直結
 クロスフロー水車 : 直結すると発電機極数14P以上となる場合は増速機により増速
 チューブラ水車 : 直結すると50Hzで発電機極数18P以上、60Hzで22P以上となる場合は増速機により増速
 100kW未満水車 : 直結すると発電機極数14P以上となる場合はVベルト又は増速機により増速
- 注2) : 据付場所の環境などにより出口管通風形の考慮が必要な場合がある。
- 注3) : 軸受の冷却は自冷式を標準とするが、フランシス水車及びチューブラ水車の出力の大きい範囲では強制冷却の考慮が必要な場合もある。

- 注4) : 100kW未満の単独運転の場合の力率は0.8とする。
- 注5) : 60Hz、14Pの発電機はフランス水車にのみ適用する。
尚、極数により定格回転速度を求める場合は、次式による。

$$\text{定格回転速度} = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (\text{r/min})$$

ここで、f : 周波数
P : 発電機の極数
とする。

6. 1. 2 発電機の選定

1) パッケージ形水車用発電機

パッケージNo.により発電機容量は水車枠番から決定される。

- (1) ペルトン水車用発電機
- (2) フランシス水車用発電機
- (3) クロスフロー水車用発電機

2) 100kW未満水車用発電機

パッケージNo.により発電機容量は水車枠番から決定される。

- (1) クロスフロー水車用発電機
- (2) チューブラ水車用発電機

3) S形チューブラ水車用発電機

水車の仕様に基づき、発電機を選定する。

- (1) 同期発電機の場合
(50Hz) : 図6. 1-2
(60Hz) : 図6. 1-3
- (2) 誘導発電機の場合
(50Hz) : 図6. 1-4
(60Hz) : 図6. 1-5

4) 選定例

落差7.0m、流量7.5m³/sの開発地点（50Hz地区）でS形チューブラ水車を選定し、この条件の場合で適用される同期発電機の型番の決定を行う。

発電機の選定に当たっては①周波数50Hz、②S形チューブラ水車、③同期発電機の条件により図6. 1-2の選定図を適用し、図6. 1-1の要領で発電機を選定する。

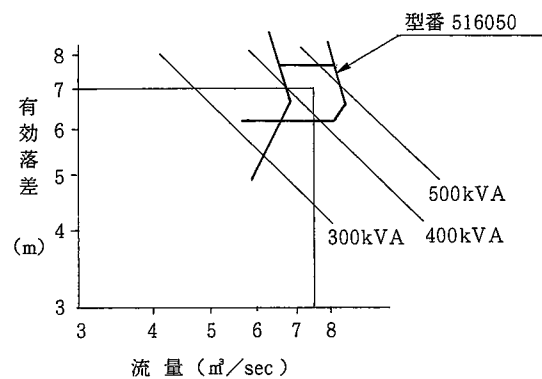


図6. 1-1 選定図の使い方

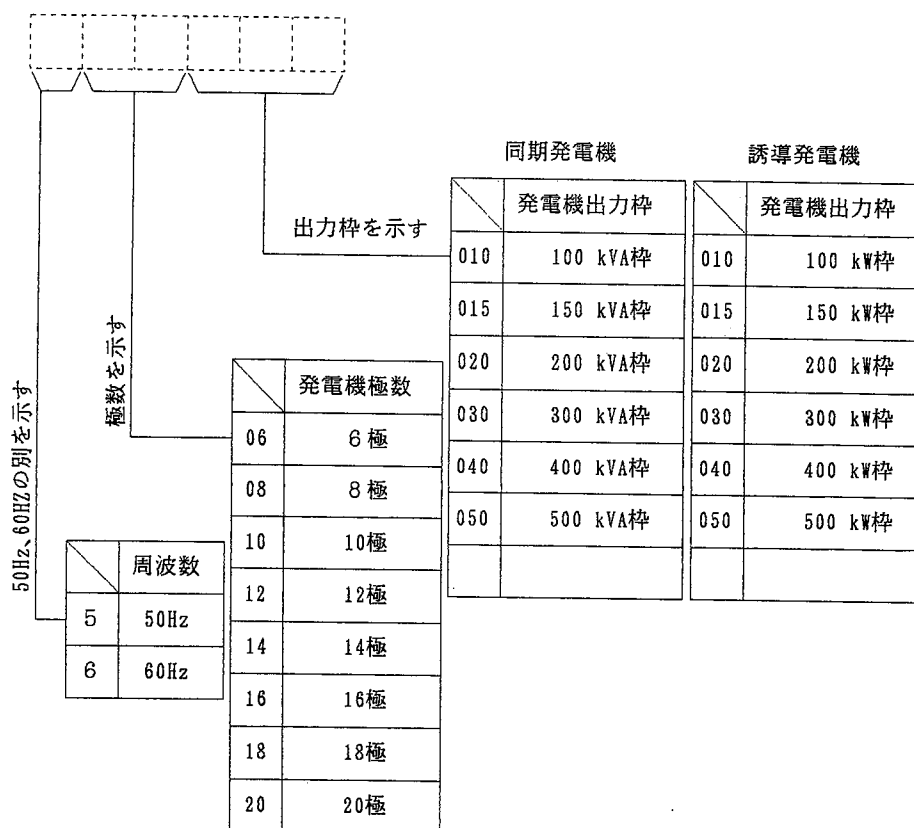
このことにより、発電機の型番516050が選定され、発電機出力枠は500kVAが得られ、その極数は16極となることが読み取れる。

5) 発電機型番記号の付け方

型番の付け方は水車の種類別に同じ考え方で決められている。

詳細を表6. 1-2に示す。

表6. 1-2 発電機の型番記号の付け方



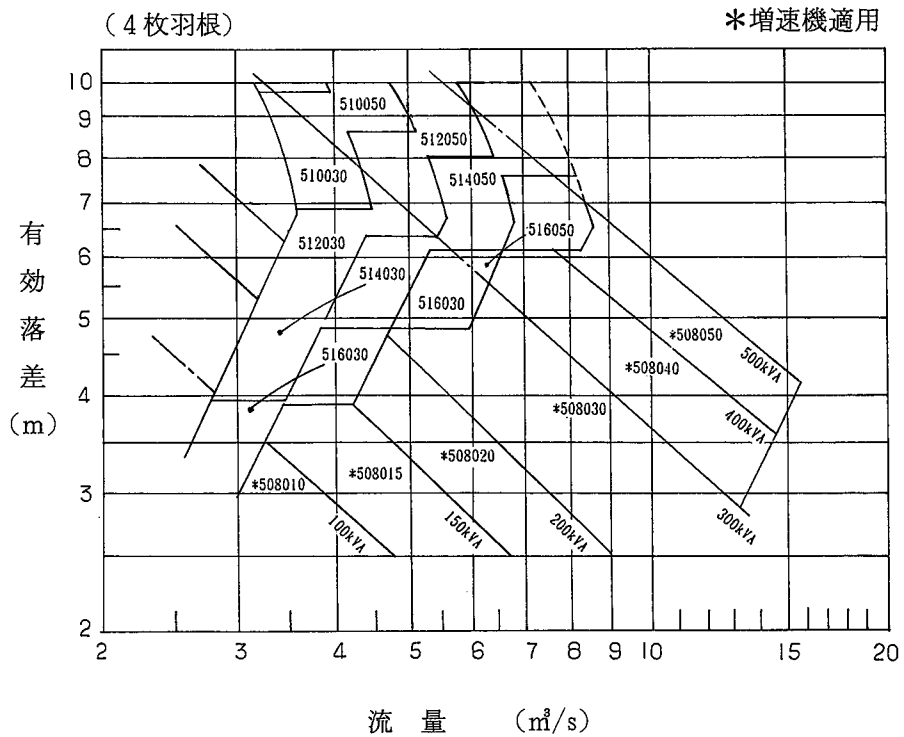
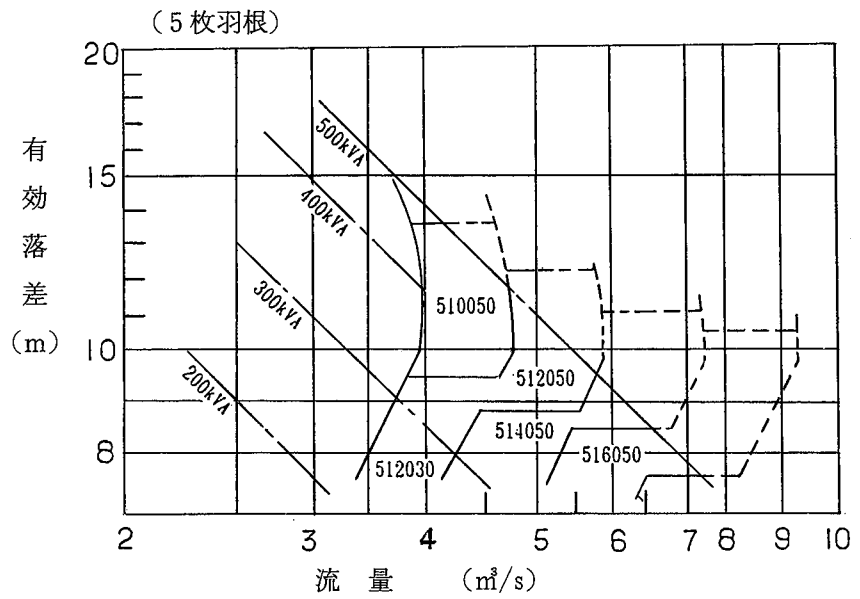


図6. 1-2 S形チューブラ水車 (50Hz) 同期発電機選定図

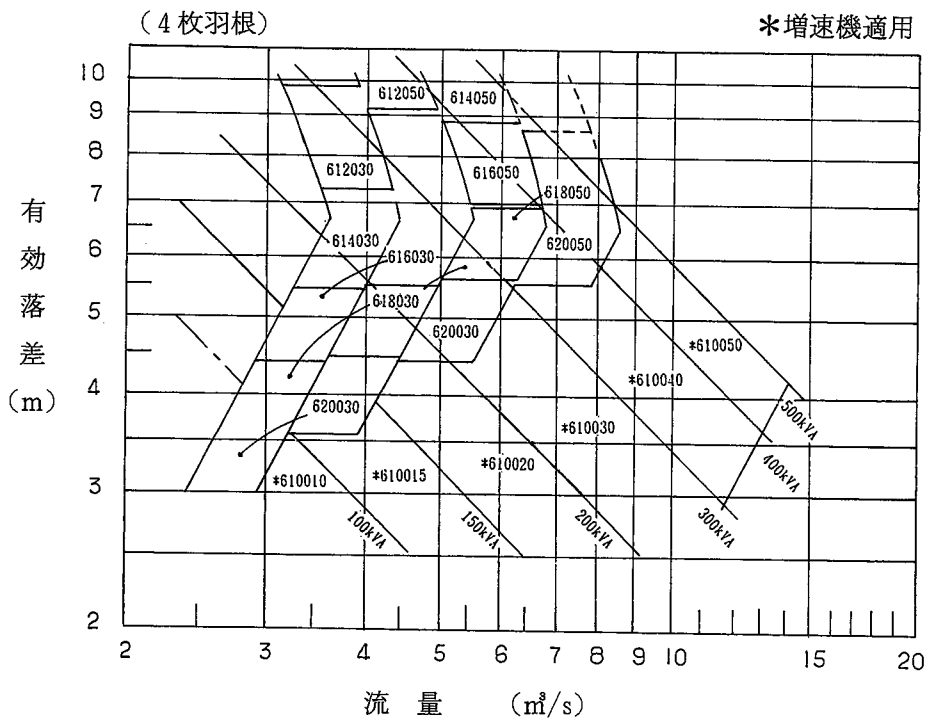
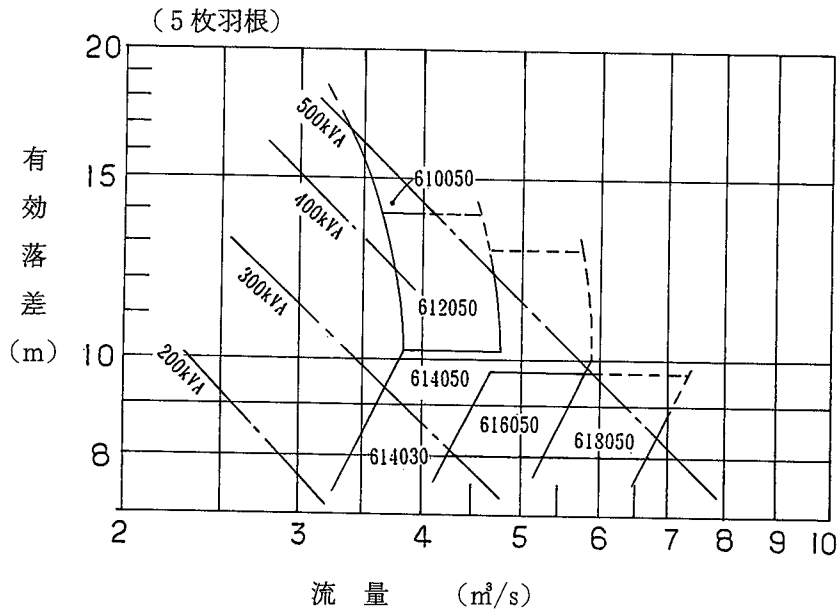


図6. 1-3 S形チューブラ水車 (60Hz) 同期発電機選定図

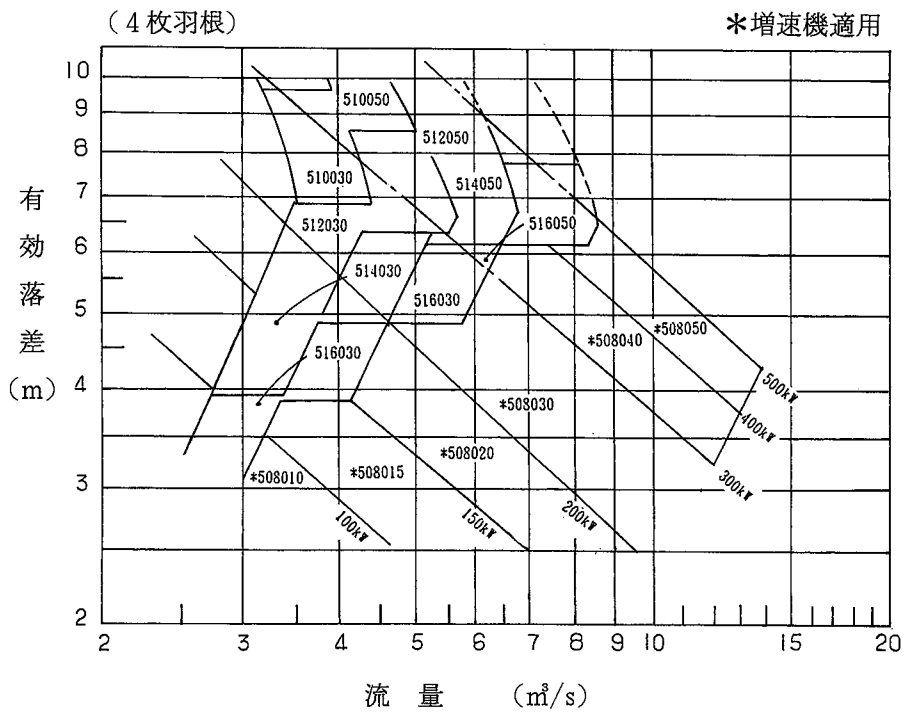
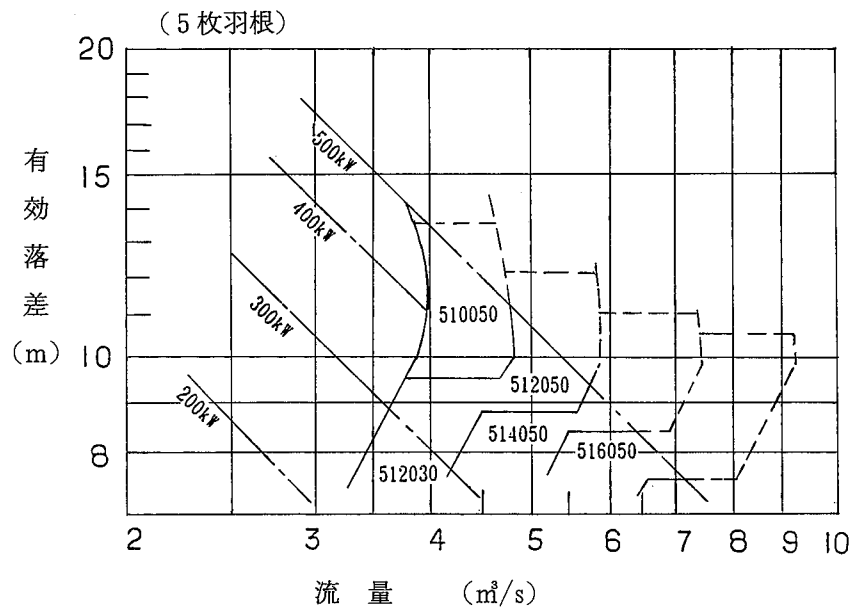


図6. 1-4 S形チューブラ水車 (50Hz) 誘導発電機選定図

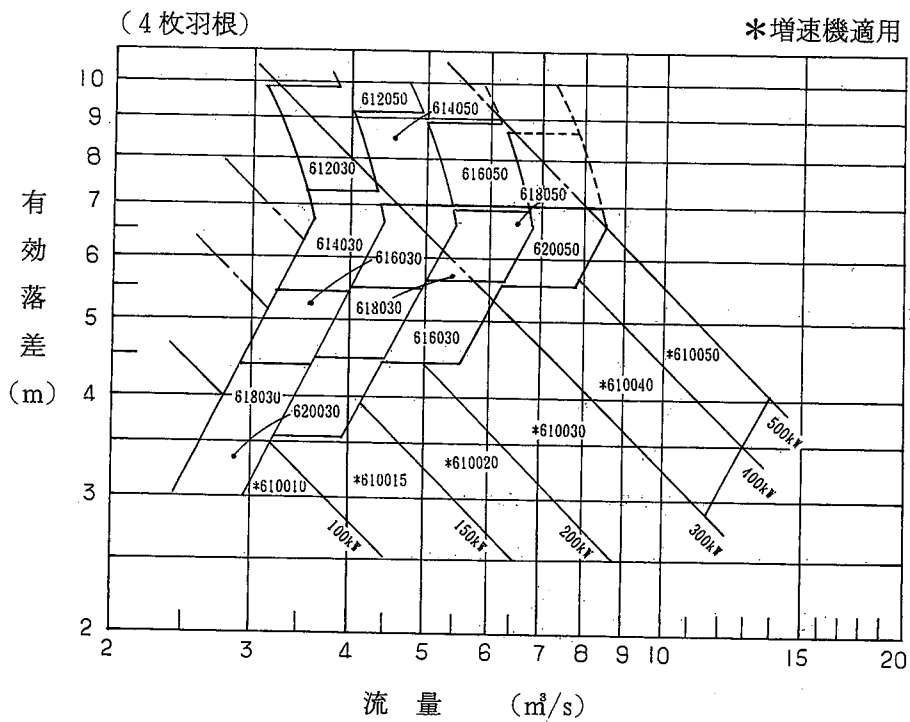
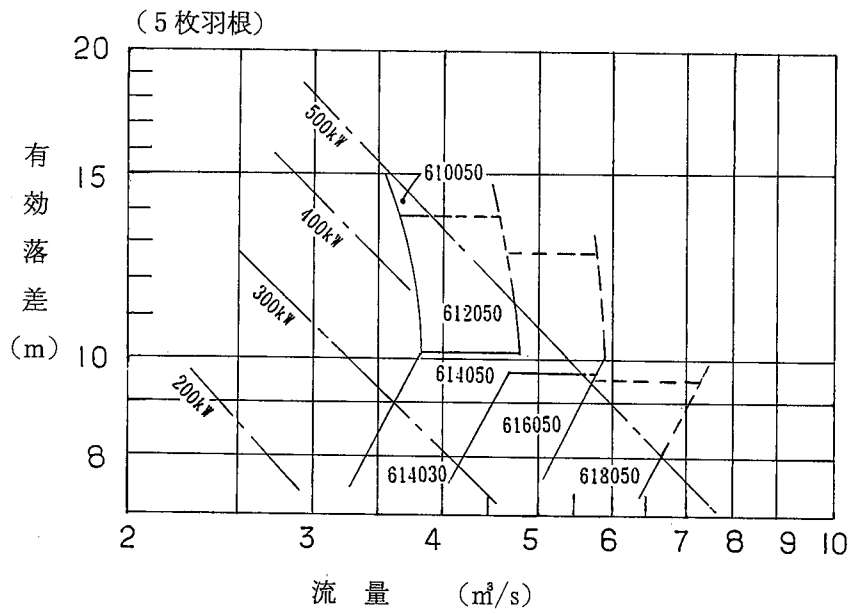


図6. 1-5 S形チューブラ水車(60Hz)誘導発電機選定図

7) 発電機出力の算出

(1) 発電機の出力算定方法

発電機の出力（有効電力）は次式で表わされる。

$$P_g = P_t \times \eta_g \times (\eta_m)$$

ここで、

P_g ：発電機出力（kW）

P_t ：水車出力（kW）

η_g ：発電機効率（単位法）

η_m ：増速機効率（単位法） 増速装置を設けた場合

同期発電機の定格出力は、定格周波数、定格電圧、定格力率において発電機端子に発生する皮相電力で示される。

$$\text{皮相電力 (kVA)} = \frac{\text{有効電力 (kW)}}{\text{力率}}$$

誘導発電機の定格出力は、定格電圧、定格回転速度において発電機端子に発生する有効電力で示めされる。

(2) 発電機の効率

同期発電機及び誘導発電機の系統接続方式の効率の目安を図6.2-1に、100kW未満単独運転方式の効率の目安を図6.2-2に示し、部分負荷効率の目安を図6.2-3に示してあり、該当する発電機の機種・容量及び回転数から効率を求める。

(3) 発電機の出力及び効率の算出例

60Hz地区、横軸フランス水車、水車出力310kW（ $H=29\text{m}$ 、 $Q=1.32\text{m}^3/\text{s}$ ）回転速度900r/minの水車条件で、同期発電機を適用する場合の発電出力及び効率を算出する。

a. 発電機極数の決定

横軸フランス水車は全範囲直結方式であり、増速機は適用されず8極の発電機が適用される。

b. 発電機の最大出力の算出

図6.2-1により発電機の100%出力時の効率を求め発電機の出力を求める。

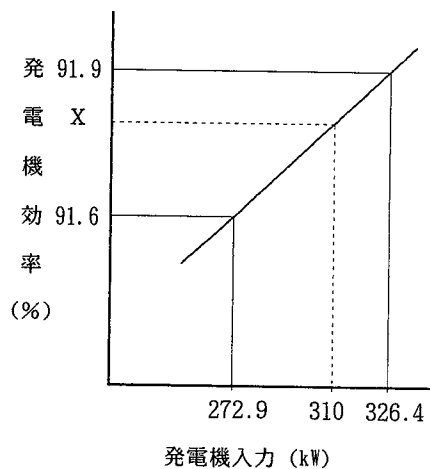
図6.2-1は発電機の出力に対する効率を示しているので発電機入力（水車出力）に対する効率を求める必要がある。

図6.2-1により発電機出力=300kW、及び250kW時の効率はそれぞれ約91.9%と91.6%と読み取れる。それぞれの場合の発電機入力（kW）は次式で求まる。

$$\text{発電機入力 (kW)} = \frac{\text{発電機出力}}{\text{発電機効率}}$$

従って、発電機入力326.4kW、272.9kWが得られる。

このことにより、水車出力310kW（発電機入力310kW）時の発電機効率は約91.8%が得られる。



計 算

$$\frac{310 - 272.9}{326.4 - 272.9} = \frac{X - 91.6}{91.9 - 91.6}$$

$$X = 91.8$$

X：発電機効率（小数点2桁目以下を切捨てる）

図 6. 1 - 6 効率計算

以上より、入力310kW時の発電機の効率は91.8%（目安値）が得られ、発電機の最大出力（ P_G ）は次に求まる。

$$P_G = 310 \times 0.918 = 284.6 \text{ (kW)}$$

同期発電機の出力は皮相電力で示され、力率は95%にて考えられているので

$$P_G = \frac{284.6}{0.95} = 300 \text{ (kVA)}$$

が求まる。

c. 部分負荷効率の算出

100%出力時の効率が求まれば、図 6. 2 - 3 により部分負荷時の効率を求めることができる。

6. 1. 3 増速機の選定

本マニュアルでは、クロスフロー水車、S形チューブラ水車及び100kW未満水車において増速機が適用されるが、S形チューブラ水車以外の水車は増速機を含め、パッケージ化されており増速機の外形図はS形チューブラ水車についてのみ記述する。

1) S形チューブラ水車用増速機の選定

増速機の選定方法を表6. 1-3に示す。

表6. 1-3 S形チューブラ水車用増速機選定表

水車出力範囲(kW)	水車回転速度 (r/min)		増速比					
	60Hz	50Hz	4.0	3.55	3.15	2.8	2.5	2.24
500~400					①			
400~320					②			
320~250					③			
250~220					④			
220~180						⑤		
180~150						⑥		
150~120							⑦	
120~100								

注1) 表中の①~⑦は表6. 3-6 S形チューブラ水車用増速機寸法重量表の枠番を示す。

2) クロスフロー水車用増速機の選定

パッケージに組込れているクロスフロー水車用増速機の選定を表6. 1-4に示す。

表6. 1-4 クロスフロー水車用増速機選定表

水車出力範囲(kW)	水車回転速度 (r/min)		水車出力範囲(kW)												
	60Hz	50Hz	150	169	190	214	240	267	300	338	381	428	480	536	600
増速比			8.0	7.1	6.3	5.6	5.0	4.5	4.0	3.55	3.15	2.8	2.5	2.24	2.0
500~400				①							②				
400~320	⑪										③				
320~250											④				
250~220											⑤				
220~180	⑫										⑥				
180~150											⑦				
150~120							⑦								
120~100					⑦						⑧				
100~85															
85~70	⑬										⑨				
70~55															
55~											⑩				

注) 表中の①~⑬は増速機の枠番を示す。

6. 2 発電機及び増速機の効率

水車出力算出後、本項で求める発電機効率及び増速機効率を用い(6. 2. 1-7)項の発電機出力算出方法の式から、発電機出力が計算できる。

6. 2. 1 発電機の効率

同期発電機及び誘導発電機の効率を図6. 2-1、及び図6. 2-2、部分負荷効率を図6. 2-3に示す。

なお、図6. 2-1において同期発電機効率は定格力率0.95(遅れ)の場合の効率値である。

また、図6. 2-2の効率は100kW未満の単独運転方式を対象とした定格力率0.8(遅れ)の場合の効率値であり、同期発電機では図6. 2-1の定格力率0.95(遅れ)の場合より低い値となっている。

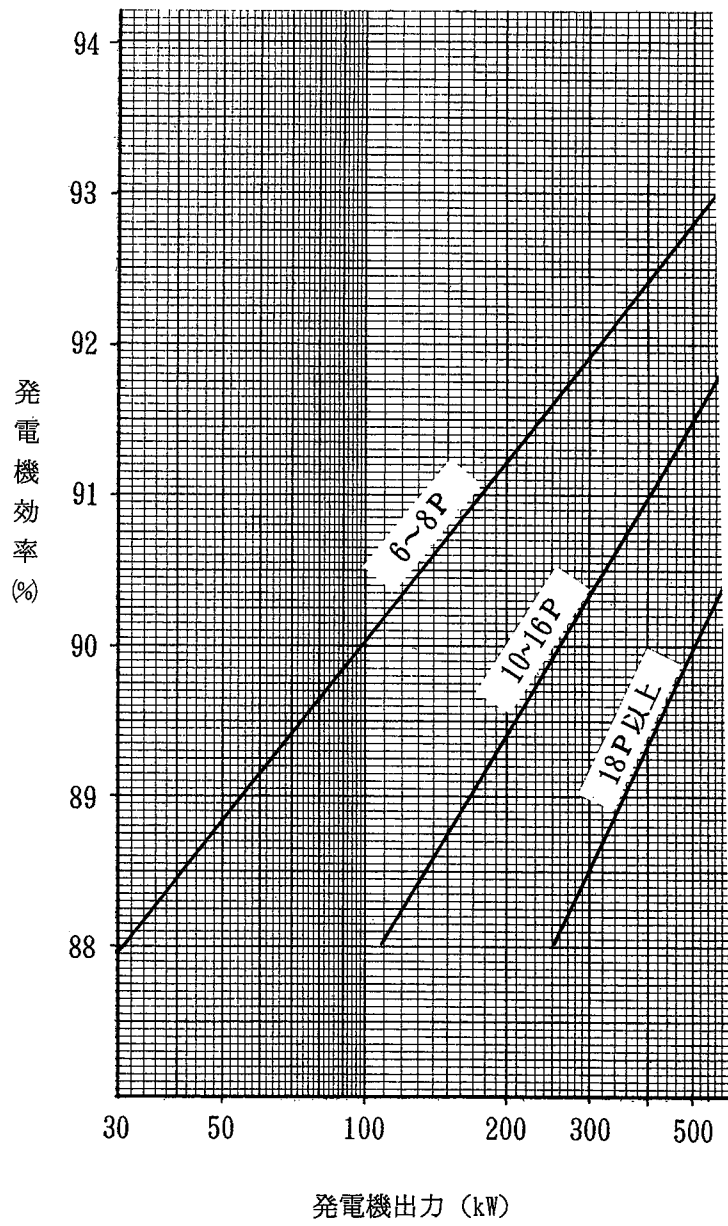


図 6. 2 - 1 定格出力時の発電機効率

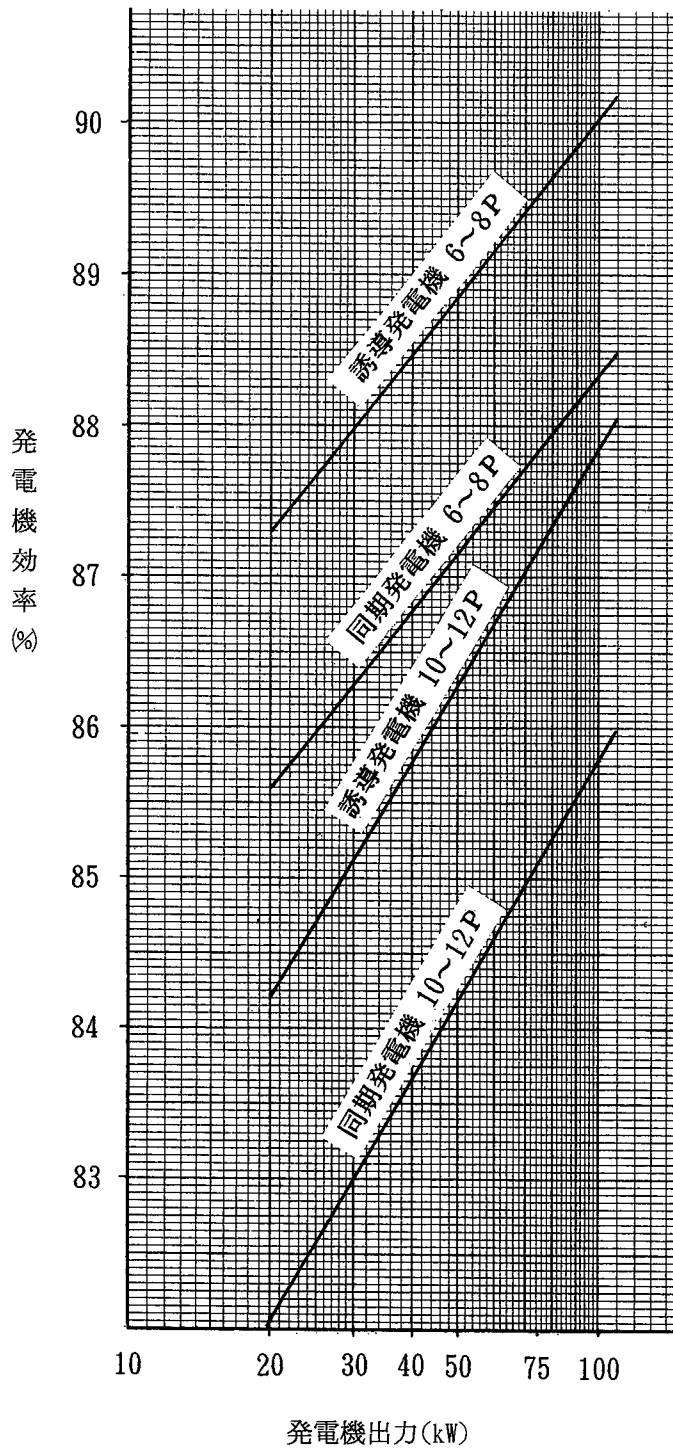
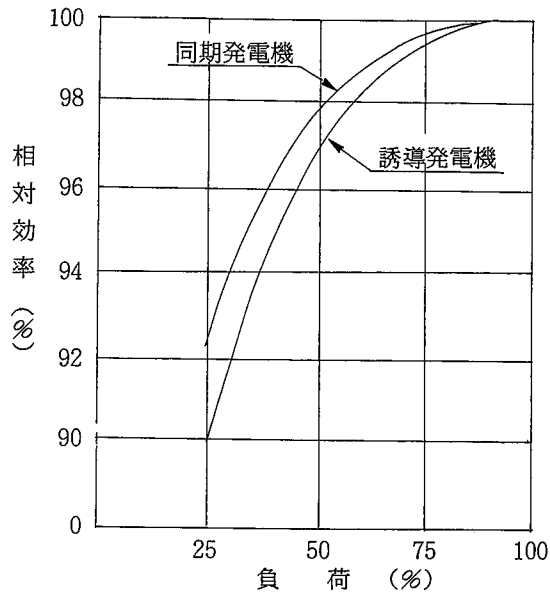


図 6 . 2 - 2 定格出力時の発電機効率
(100kW未満単独運転方式)



種類 \ 負荷(%)	100	75	50	25
同期発電機	100	99.7	98.0	92.5
誘導発電機	100	99.5	97.0	90.0

(注) 相対効率：100%出力時の効率を100%として各部分負荷時の効率を表す。

図 6. 2 - 3 発電機部分負荷効率

6. 2. 2 増速機の効率

効率を図 6. 2 - 4 に示す。

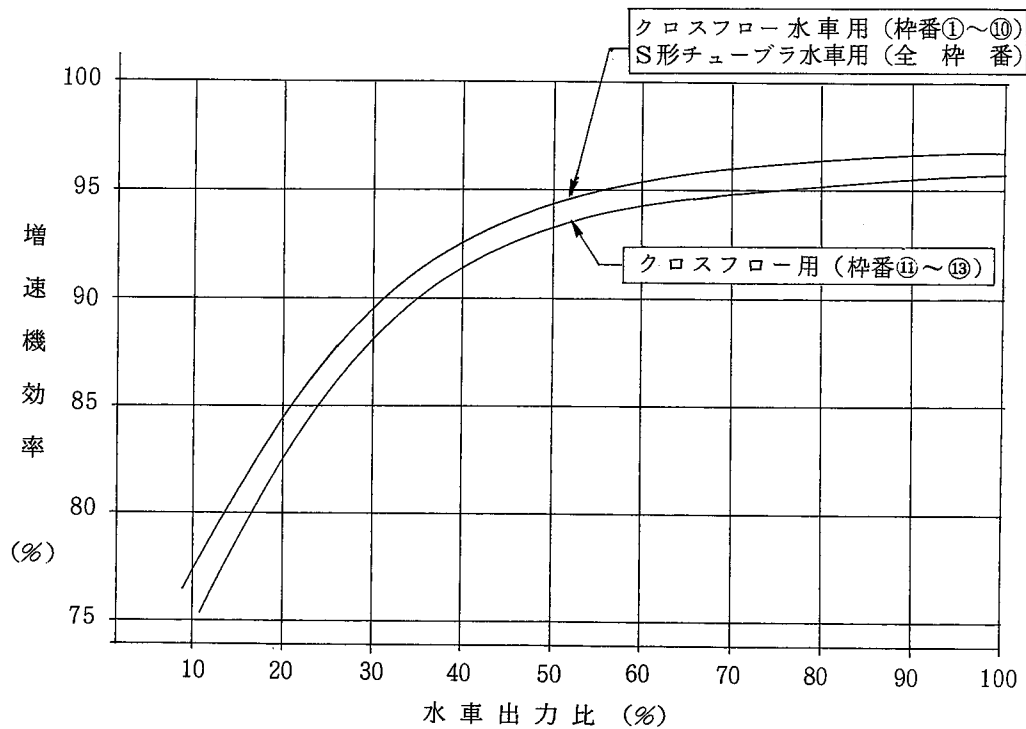


図 6. 2 - 4 増速機効率

水車出力比とは水車定格出力で水車出力を割ったものであり、次式で求まる。

$$\text{水車出力比 (\%)} = \frac{\text{水車出力 (kW)}}{\text{水車の定格出力 (kW)}} \times 100$$

6. 3 構造及び励磁方式

6. 3. 1 構造

1) 発電機

(1) 同期発電機の構造

同期発電機の場合、一般的に回転界磁形三相交流発電機が用いられ、発電機はその回転子軸の方向により立軸形と横軸形があるが、本標準化では横軸形を適用する。

図 6. 3 - 1 に一般的な同期発電機の構造及び名称を示す。

a. 固定子

a) 固定子わく

固定子わくは固定子鉄心を保持するとともに冷却空気の通路を構成するもので鋼板溶接構造が広く採用されている。

b) 固定子鉄心

固定子鉄心は固定子わくの内側にけい素鋼板を打ち抜いて重ね合わせ円形に成形したものである。

c) 固定子コイル

固定子コイルは絶縁電線を所要の巻数だけ巻いて絶縁（対地絶縁）を施たもので、これを固定子鉄心の開放スロットに挿入し、非磁性体のくさびをスロットの頭部に打ち込みコイルを保持する。

絶縁は一般にB種絶縁、F種絶縁が適用されるが、最近では絶縁材料の進歩によりF種絶縁を採用し、温度上昇限度を高くとることにより、機器を小形化し経済性の向上を図っている。

また絶縁ワニス処理の方法にも真空含浸方式、プリプレグ方式、全含浸方式があるが小容量機においては一般に全含浸方式が採用される。

この方式は導体に絶縁テープを巻いた後に固定子鉄心内に組込み、その後で鉄心と共に真空槽に入れて、ワニスを含浸させる方法で、きわめて均質な絶縁層に仕上がると同時に、スロットと鉄心の一体性、放熱性にも優れた特性を示し、中小形の発電機に採用されている。

b. 回転子

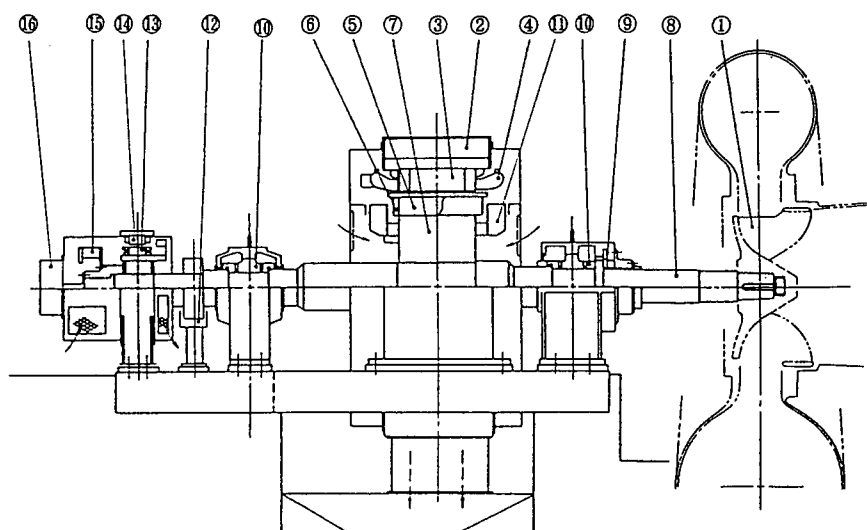
a) 磁極

中心部となる磁極鉄心には、通常、打抜片を積重ねた成層鉄心が用いられ、鉄心の両端には磁極端板を当て、リベット又はボルト締めで組立てられる。突極形の磁極鉄心は運転中、鉄心及び界磁コイルの遠心力に耐えるよう、ダブテールあるいは、ボルト締めなどにより、回転子リムに強固に取付けられる。

磁極鉄心の周辺には界磁コイルがある。界磁コイルは平打巻銅帯に、層間絶縁及び対地絶縁を行ったものや、絶縁銅線を重ね巻きしたもの等がある。又磁極鉄心頭部には銅棒をスロットに入れて短絡片で接続した制動巻線が取付けられる場合がある。

円筒形の場合は、この磁極の代りにドーナツ形の薄鋼板の外周にスロットを打抜い

たものを積層した回転子鉄心と、このスロットに挿入され、楔により保持された界磁巻線とからなる構造となっている。



番号	部品名称	備考	番号	部品名称	備考
①	水車ランナ		⑨	スラスト軸受	必要な場合
②	固定子わく		⑩	ガイド軸受	
③	固定子鉄心		⑪	通風翼	
④	固定子コイル		⑫	ブレーキ	
⑤	磁極		⑬	電機子	励磁機用
⑥	界磁コイル		⑭	固定子	励磁機用
⑦	回転子リム		⑮	回転整流子	励磁機用
⑧	主軸		⑯	回転検出器	

図 6. 3 - 1 横軸同期発電機

(2) 誘導発電機の構造

誘導発電機の構造は基本的には、かご形誘導電動機と同一であるが次のような相違点がある。

- ① 自己始動が不要なため、機械の体格が小さくて済む。
- ② 無拘束速度に耐える必要があるため、回転子の機械強度を大きくする。

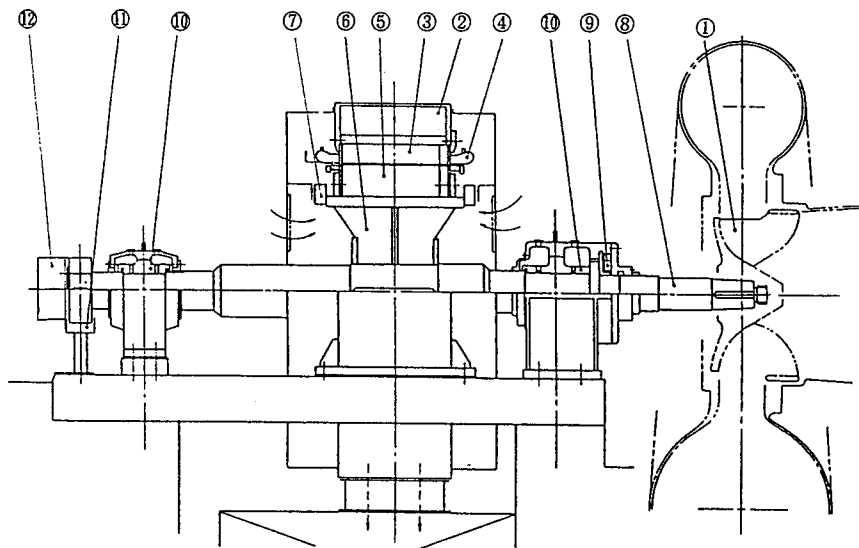
図 6. 3 - 2 に一般的な誘導発電機の構造及び名称を示す。

- a. 固定子
 - a) 固定子わく
 - b) 固定子鉄心
 - c) 固定子コイル

前(1)項、同期発電機の場合と同一の構造である。

- b. 回転子

回転子は、かご形導体を有する積層鉄心で簡単かつ堅牢な構造となっており、特に無拘束速度時の強大な遠心力に耐えるように設計、製作される。



番号	部品名称	備考	番号	部品名称	備考
①	水車ランナ		⑦	通風翼	
②	固定子わく		⑧	主軸	
③	固定子鉄心		⑨	スラスト軸受	必要な場合
④	固定子コイル		⑩	ガイド軸受	
⑤	回転子鉄心		⑪	ブレーキ	
⑥	回転子リム		⑫	回転検出器	

図 6. 3 - 2 横軸誘導発電機

2) 増速機

(1) 増速機の構造

構造の例を図 6. 3 - 3 に示す。

増速歯車は平行軸ハスバ歯車が一般的に用いられる。軸受はころがり軸受が使用され、歯車の推力も支持する構造となっている。

ケーシングは鋼板溶接構造とし、軸中心面で上下に分割可能とされ、分解点検が容易に行える。

水車及び発電機との結合は、通常フランジ形たわみ接手等が用いられるが、容量の大きな範囲ではギヤードカップリングが用いられる場合もある。

潤滑油方式は油自蔵式が通常適用されるが容量の大きな範囲では循環給油方式が適用される場合がある。冷却方式は自然冷却方式あるいはファンによる強制空冷方式が一般的に用いられるが、容量が大きな範囲では水冷方式が用いられる場合がある。

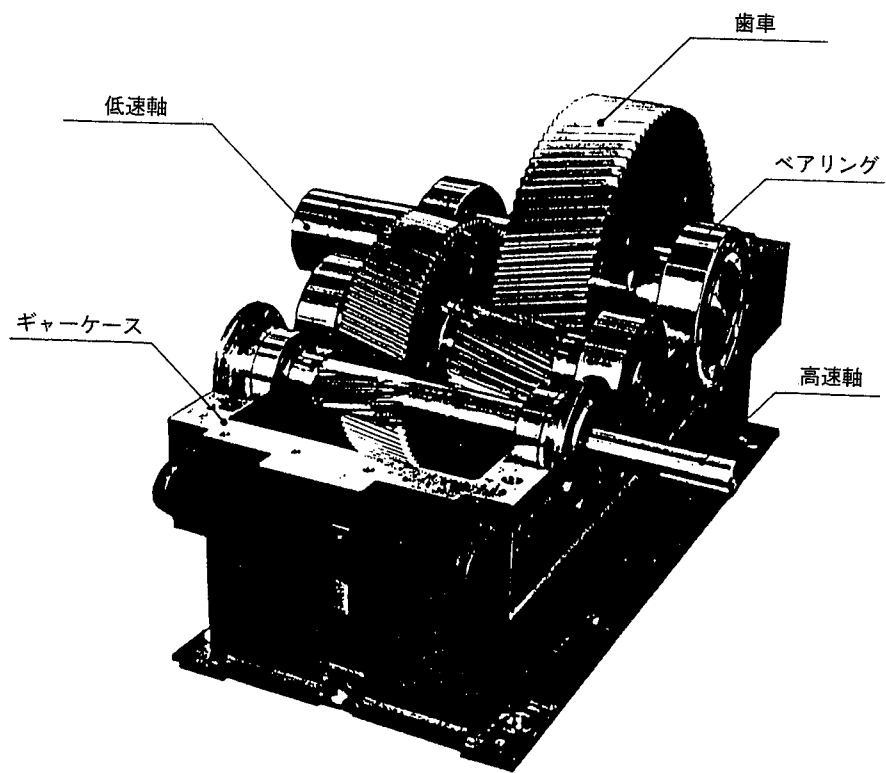


図 6 . 3 - 3 平行ハスバ歯車増速機

6. 3. 2 励磁方式

同期発電機の場合、発電機に電圧を発生させ、負荷が変動しても端子電圧を一定に保つように発電機の界磁に直流の励磁電流を供給する励磁装置が必要となる。

1) 励磁方式の種類

励磁装置には種々の方式のものがあるが、現在ではブラシレス励磁方式と静止形励磁方式が主に採用されている。小水力発電においては、無人化、省力化を計る目的でメンテナンスフリーであるブラシレス励磁方式を原則とする。

図6. 3-4にブラシレス励磁方式回路構成を、表6. 3-1にブラシレス励磁方式と静止形励磁方式の比較を示す。

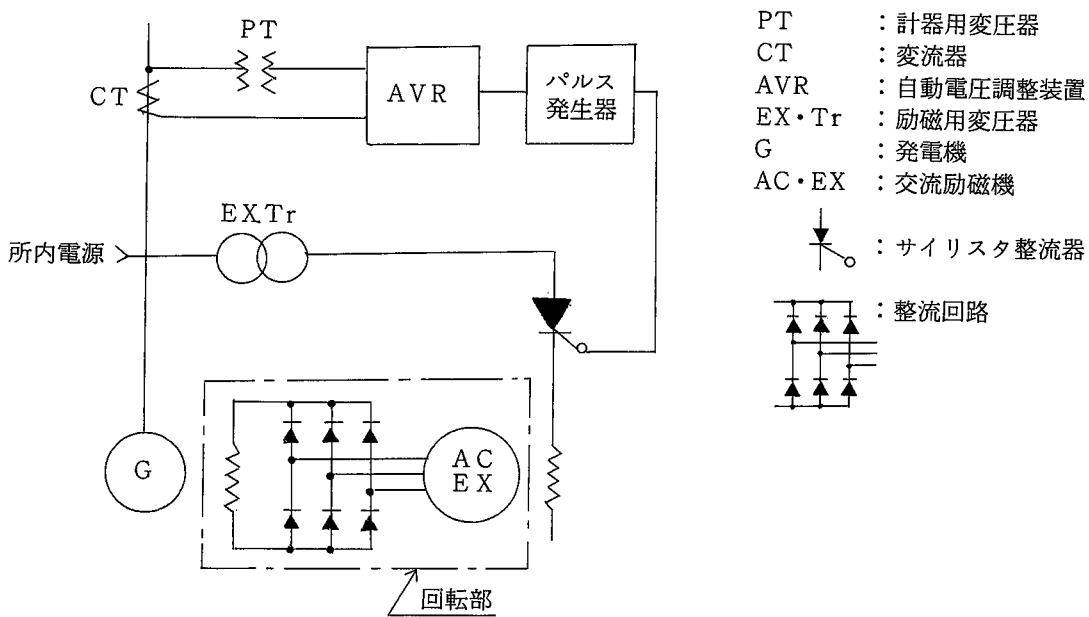


図6. 3-4 ブラシレス励磁方式回路構成図

表 6. 3 - 1 ブラシレス励磁方式と静止形励磁方式の比較

項 目	ブラシレス励磁方式	静止形励磁方式
構 成 機 器	交流励磁機 回転整流装置 サイリスタ整流器 励磁用変圧器	サイリスタ整流器 自動電圧調整装置 励磁用変圧器
発電機本体に関する機器	無	スリップリング ブラシ及び ブラシホルダー
据 付 面 積	交流励磁機、回転整流装置等は発電機本体に組まれるため、小形 AVR 盤のみとなる。 床面積は静止励磁方式の 1/3 程度である。	サイリスタ整流器盤をはじめ、発電機容量に応じていく面かの盤が設置される。 床面積として大。
保 守 性	無保守	界磁用スリップリング、 ブラシ等の保守が必要
据 付 工 事	励磁回路のパワー部分は発電機本体に一体となるため据付工事の範囲としては AVR 盤のみとなり容易となる。	界磁主回路の高圧ケーブルの布設、接続作業を伴い、また、励磁装置キュービクルの複数面の据付作業を必要とする。
性 能	静止形励磁方式の場合と同一	速応性、安定性、特性とも良い。

2) ブラシレス励磁方式

ブラシレス励磁方式の基本的な回路は図 6. 3 - 4 に示されるような主発電機直結の交流励磁機、回転整流装置及び別置のサイリスタ式自動電圧調整器 (AVR) により構成され、所内電源に接続されたサイリスタにより制御整流し交流励磁機 (ACEX) の界磁を励磁し、この交流励磁機出力を回転整流装置により整流し、その直流出力により主発電機の界磁を励磁する。

交流励磁機の界磁制御は発電機電圧検出用変圧器の電圧と基準電圧を比較し、その偏差を増幅器によって増幅し、位相制御部からの信号によって制御され、主発電機電圧を基準値に保つようになっている。

3) 付加装置

同期発電機には必ず励磁装置が設けられ、負荷の変動、回転速度の変化などで発電機端子電圧が変わることを防いでいるが、系統と常時並列運転を行う場合、系統と並列時においては、系統の要求により力率一定制御や無効電力制御を要求されることがある。

このような場合、励磁装置に自動力率調整装置 (APFR) や自動無効電力調整装置 (AQR) を付加することで容易に対応できる。

また、自己の容量に比べ系統の容量は通常はるかに大きいものとなる。このような場合、電圧制御を行おうとしても系統の容量が大きいため、発電機の励磁電流及び無効電力がどんどん大きくなって過電流となってしまう。これを防止するために、過電流限定装置 (OCL) 等が設けられる。

本マニュアルでは並列運転時は力率一定制御を行うものとし、自動力率調整装置付を原則とする。

6. 3. 3 誘導発電機の運転上の問題

誘導発電機を系統と並列運転する場合、下記の問題点があるため計画の実施にあたっては、下記問題点を検討する必要がある。

1) 並列時の突入電流による電圧降下

誘導発電機を系統に並列する時は、回転速度を系統の周波数に対応する同期速度に出来るだけ近づけ発電機用遮断器を投入するが、この場合定格電流の約5～10倍の投入電流が数サイクル程度流れたのち定格電流以下まで減衰する。

系統の容量によっては、この突入電流により系統の電圧降下が大きく他の需要家設備に影響を与えることもあるので、リアクトルを設置する等の対策を必要とする。

2) 力率の改善

誘導発電機は接続される系統から励磁電流を取って運転するので、単独運転はできず力率も調整できない。この励磁電流の分だけ系統に無効電力の負担を及ぼす。力率を改善する場合には発電機に並列にコンデンサを接続する必要がある。

3) 自己励磁現象

誘導発電機の力率改善用コンデンサなどが接続され発電機と並列に接続されるコンデンサ容量が大きい状態で負荷遮断が行われると、コンデンサの進み電流により発電機が励磁され、高い電圧を誘起する自己励磁現象が発生する場合がある。これを防止するため発電機の無負荷飽和特性とコンデンサの電圧、負荷特性を十分検討し、コンデンサの容量を適切に選定する必要がある。

自己励磁現象を検討する際には、力率改善コンデンサ、他需要家および線路に設置されているコンデンサ、配電線及び配電線回路に使用されているケーブル等の静電容量を検討する。

6. 3. 4 S形チューブラ水車用発電機及び増速機の概略寸法及び概略重量

1) 発電機

(1) 概略寸法及び概略重量の読み方

6. 1. 2項で選定された発電機仕様により、表6. 3-2～5から該当する発電機型番選択し概略寸法及び概略重量を読み取る。

なお、両表にて示されている値は概略値であるので計画の進捗に合わせ別途詳細な検討が必要となる。

表6. 3-2～5の発電機寸法は図6. 3-5 S形チューブラ水車用発電機外形図各記号に該当し、引き抜き寸法欄に寸法が記入されている場合は、ペDESTAL形の発電機であり、記入が無い場合はブラケット形の発電機となる。

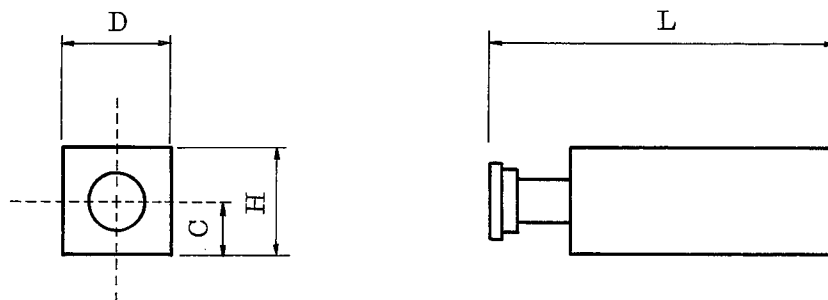


図6. 3-5 S形チューブラ水車用発電機

(2) 発電機概略寸法及び概略重量表

表 6. 3 - 2 S形チューブラ水車用同期発電機 (50Hz)

(単位 mm)

型番	重量(kg)	D	H	C	L	引き抜き寸法	備考
508015	1820	886	1010	400	1660		
508020	2290	850	1010	425	1800		
508030	2990	1060	1010	490	1900		
508040	3570	1150	1130	540	2110		
508050	3900	1140	1130	540	2800		
510030	3050	1150	1010	490	2650		
510040	4040	1140	1130	540	3390		
510050	5300	0350	1280	600	3670		
512030	3800	1140	1130	450	3240		
512050	6300	1500	1370	560	3760		
514030	3950	1140	1130	450	3280		
514050	6000	1700	1390	500	3520	2150	
516030	4600	1350	1200	450	3520		
516050	6700	1700	1390	500	3590	2220	

表 6. 3 - 3 S形チューブラ水車用同期発電機 (60Hz)

(単位 mm)

型番	重量(kg)	D	H	C	L	引き抜き寸法	備考
610015	1950	836	900	400	1660		
610020	2100	850	930	425	1750		
610030	2990	1060	1010	490	1850		
610040	3720	1150	1090	540	2110		
610050	4040	1140	1130	540	2750		
612030	3550	1140	1130	450	3080		
612050	5200	1350	1200	450	3570		
614030	3600	1140	1130	450	3080		
614050	5900	1500	1370	560	3610		
618030	4100	1350	1195	450	2230		
618050	5700	1700	1390	500	3400	2120	
620030	4900	1500	1370	560	3410		
620050	6100	1700	1390	500	3430	2160	

表 6. 3-4 S形チューブラ水車用誘導発電機 (50Hz)

(単位 mm)

型番	重量(kg)	D	H	C	L	引き抜き寸法	備考
508015	1500	770	1100	315	1440		
508020	1600	870	1190	355	1490		
508030	2300	1000	1300	400	1755		
508040	2500	1000	1300	400	1755		
508050	2900	1140	1360	450	1985		
510030	4000	950	1160	450	2250		
510040	4300	950	1160	450	2250		
510050	4100	950	1160	450	4000	2050	
512030	4200	950	1160	450	2250		
512050	5300	950	1160	450	4100	2100	
514030	4700	1060	1300	500	2500		
514050	8000	1320	1610	630	4300	2200	
516030	4900	1060	1300	500	2500		
516050	9000	1320	1610	630	4500	2300	

表 6. 3-5 S形チューブラ水車用誘導発電機 (60Hz)

(単位 mm)

型番	重量(kg)	D	H	C	L	引き抜き寸法	備考
610015	1600	870	1190	355	1490		
610030	2400	1000	1300	400	1755		
610040	2900	1140	1360	450	1985		
610050	3400	1140	1360	450	1985		
612030	4000	950	1160	450	2250		
612050	5000	950	1160	450	4000	2040	
614030	4200	950	1160	450	2250		
614050	5300	950	1160	450	4200	2150	
616030	4600	1060	1300	500	2500		
616050	6300	1060	1300	500	4100	2100	
620030	5000	1060	1300	500	2500		
620050	8800	1320	1610	630	4600	2350	

2) 増速機

6. 1. 3項で選定された増速機の型番により図6. 3-5, 表6. 3-6, 表6. 3-7により概略寸法及び概略重量を読み取る。

両表にて示されている値は概略値であるので計画の進捗に合わせ別途詳細な検討が必要となる。

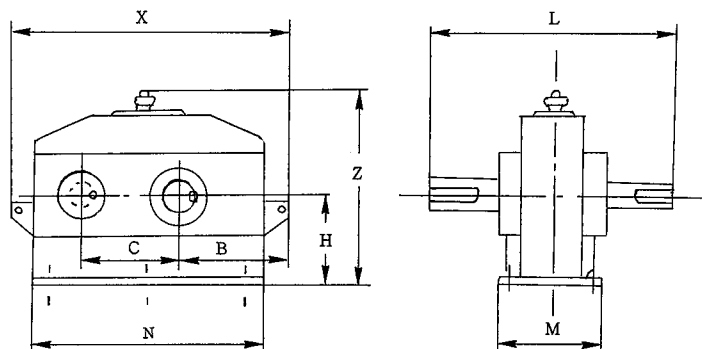


図6. 3-5 S形チューブラ水車用増速機外形図

表6. 3-6 S形チューブラ水車用増速機寸法重量表

記号 枠番	H	X	Z	N	M	L	B	重量(t)
①	430	1570	925	1370	660	1365	530	2.8
②	430	1440	910	1260	560	1145	510	1.7
③	350	1260	755	1080	560	1145	435	1.5
④	350	1160	750	1000	490	965	410	1.0
⑤	280	1020	615	860	490	965	355	0.9
⑥	280	960	610	820	410	830	355	0.6
⑦	240	860	530	720	410	830	300	0.5

表 6. 3 - 7 S形チューブラ水車用増速機中心距離 (C) 寸法表

増速比 枠番	4.5	4.0	3.55	3.15	2.8	2.5	2.24
①	402.3	410.5	418.7	431.0	443.3	459.8	476.2
②	375.6	384.9	394.1	406.4	418.7	431.0	446.4
③	301.7	307.9	314.0	323.3	332.5	344.8	357.2
④	313.0	320.7	328.4	338.7	348.9	359.2	372.0
⑤	251.4	256.6	261.7	269.4	277.1	287.4	297.6
⑥	250.4	262.7	270.9	279.2	287.4	297.6	—
⑦	201.2	205.3	209.4	215.5	221.7	229.9	238.1

第7章 制御保護方式

水力発電所を適切且つ安全に運転するためには、水車や発電機など構成設備の制御方式や保護方式が、その発電所の規模や運用方法に応じて確立されていることが必要である。電気設備技術基準では500kW未満の発電所は随時巡回方式に則り、農業用水利施設を利用した、小水力発電所の監視方式について記す。

7. 1 農業用水利施設を利用した小水力発電所の制御保護の標準方式

7. 1. 1 発電所の基本条件

農業用水利施設を利用した小水力発電の特徴として、下記の事項がある。

- ① 農業用水の放流の際の落差エネルギーを利用したり、農業用の余剰水を利用した発電であって、比較的小規模なものが殆んどで、その規模も500kW未満の場合が多い。
- ② かんがい期、非かんがい期による流量や水位の変動が大きい。
- ③ 発生電力は、電力系統に接続して運用され自家消費分を差し引いた余剰電力は全量売電される。(但し、100kW未満の場合は経済性を考えて系統に接続しないで単独で運転する方式も考えられる。この方式については後で述べる。)

発電所の運用面からも土地改良区などの職員により行われるので、特に保守管理代合理化、及び省力化を考えたシステムとし、職員への負担を極力少なくする設備とする必要がある。

- ④ コージェネレーション設備等の系統関係技術要件ガイドライン（以下コージェガイドラインと略す）が500kW未満の発電所にも適応され、その概要を表7. 1-1に示す。

この観点より、発電所の計画設計に当たっては、次の項目が基本条件となる。

1) 運用方式

電力会社の系統に接続して運用され、単独運転や調相運転、試送電などの特殊運転は行わない。(100kW未満の場合には単独運転を採用する。系統接続の場合には保護方式を変更する必要がある。)

2) 運転監視制御方式

運転監視制御方式は随時巡回方式とし、発電所は常時無人とする。

制御はその発電所において一人制御方式で行い、制御項目は次のとおりとする。

- ① 運転・停止
- ② 出力調整
- ③ 放流弁（バイパス弁）の開度調整（水車停止時に農業用水確保のための放流弁を有する場合）

表 7. 1 - 1 系統連係技術要件ガイドラインの概要

検討項目	技術的要件	技術的対応				備考
		高圧配電系統 (6kV)		特別高圧送電系統		
		逆潮流なし	逆潮流あり	逆潮流なし	逆潮流あり	
1. 設備容量	○コージェネレーションの連係により系統の設備構成上の基本に影響を与えないこと	原則として2000kW未満	同 左	系統の各電圧別の契約電力の上限の範囲内	同 左	
2. 電圧変動	○系統電圧を適正值内に維持すること 配電系統の場合 101±6V等 (低圧需要家) 変動幅が±1 送電系統の場合 ~2%程度 ○並列時の瞬時電圧低下を系統の常時電圧の10%以内に抑制すること	自動負荷遮断装置の設置 (左記対策が不可能な場合は配電線の増強等)	(専用線連係とするため不要)	必要に応じ自動電圧調整装置の設置	同 左	
3. 保護協調	○事故(コージェネレーション構内事故、配電線事故、上位系統事故)時、又は緊急時等の系統操作時にコージェネレーションが確実に解列されること ○事故時の自動再閉路を可能にするためコージェネレーションが確実に解列されていることを確認すること	同期発電機：自動同期検定装置の設置等 誘導発電機：限流リアクトル等の設置 (左記対策が不可能な場合は配電線の増強又は同期発電機の採用等)	同 左 同左 (左記対策が不可能な場合は同期発電機の採用)	同 左 同 左	同 左 同 左	
4. 短絡容量	○系統の短絡容量が需要家の遮断器の遮断容量を上回らないこと	短絡・地絡・発電機異常検出用継電器・逆電力継電器、周波数低下継電器等の設置 線路無電圧確認装置の設置	同左 (逆電力継電器を除く) 及び転送遮断装置の設置並びに専用線連係 同左 (ただし、コージェネレーション設置需要家が自動再閉路を必要とするときのみ)	高圧配電系統(逆潮流なし)と同様及び周波数上昇継電器の設置 同 左	同左 (逆電力継電器を除く) 及び転送遮断装置の設置 同 左	高圧配電系統で逆潮流がある場合は、連系容量が配電用変電所のバンク負荷を上回らないよう制限
5. 力 率	○連系点における力率を85%以上でかつ進み力率とならないこと	限流リアクトル等の設置 (左記対策が不可能な場合は異なる配電用変電所バンク系統又は特別高圧送電系統への連系)	同 左	限流リアクトル等の設置	同 左	
6. 連絡体制	○緊急時に迅速かつ確かな連絡及び復旧が行われること	誘導発電機：力率改善用コンデンサの設置 (ただし進み力率とならないように制御)	同 左	同 左	同 左	同期発電機の場合は力率調整が可能
		電力会社とコージェネレーション設置需要間の保安通信用電話設備の設置並びに連絡体制及び復旧体制の整備	同 左	同 左	同 左	

*その他 ○上記概要は原則的なものであり、実際の適用に当たっては、系統の実態等に応じ、個別に検討するものとする。
○コージェネレーションの設置、運転、保守、運用に当たっては設置者と電力会社で十分協議を行い協調を図ること。
○20kV配電は比較的新しい配電方式であり、コージェネレーションの連係については、高圧配電系統の場合に準じつつ個別に検討することが必要である。

3) 出力制御方式

出力制御方式は次の3方式が一般的である。

- ① 農業用水を直接利用する場合は流量制御（落差が一定の場合は出力調整による）
- ② 余剰水利用の場合は水位調整器による制御（頭首工利用）
- ③ ダム利用の場合は、利水放流量、ダム水位に応じたプログラム制御

4) 保護方式

重故障は非常停止、軽故障は警報とする。

停止は普通停止、非常停止の2種類とする。

各故障は配電盤（発電所設置）の集合故障表示器にまとめて表示し、停止故障の場合はベル、警報故障の場合はブザーにて警報する。また、管理所に対しては、電話回線を利用した自動通報装置により報知する。

7. 1. 2 運転監視制御方式

1) 運転監視制御方式の考え方

農業用水利施設を利用した小水力発電所の監視制御方式は随時巡回方式とし、考え方は下記とする。

(1) 発電所はその構外にある技術員が平常駐在（常駐ではない）している管理所（技術員駐在所等）から、技術員が適当な間隔（5～6回/月）で巡回する。

(2) 対象となる発電所では水車、発電機等の機器と監視、制御を行う配電盤が同一床面同一室内に設置され、配電盤において一人制御できるものとする。

機器の運転・停止操作は通常は配電盤の主幹開閉器により行い、故障の場合は自動停止させる。故障はすべて非常停止とし、同時に管理所への警報を行う。

管理所又は発電所と電力会社との間に保安通信用電話設備を設置する場合もある。（設備内容は電力会社と協議により決める）

管理所への警報、電力会社との保安通信用電話設備は技術基準上は必要ないが発電所運用上及びコージェネガイドラインより設置する。

なお、場合によっては故障が復旧した場合、自動再起動可能とすることもある。（例えば、落雷による送電線故障時）

ただしこの場合電力会社の変電所側に線路無電圧確認装置を設置する必要がある。

故障表示は発電所内設置の配電盤の集合故障表示器にまとめて表示する。

(3) 並列後の負荷調整は水位調整器制御、プログラム制御等による自動負荷調整とする。但し、配電盤より手動で負荷調整を行うことが出来る。

水車が停止した場合、バイパス放流弁を開いて下流の農業用水を確保する必要がある場合もある。

(4) 遠方監視制御装置は設置しない。（管理所への警報のみは設置する）

(5) 計測装置は発電所のみ設置し、計測項目は発電所規定に基づき最小限とする。

(6) 送電線は専用線とする。

2) 監視制御の内容

監視制御の内容は下記とする。

(1) 状態表示項目

表 7. 1-2 表示項目

表示項目	表示場所		備考
	発電所	管理所	
運 転	○		
停 止	○		

しゃ断器の「入」「切」、入口弁の「開」「閉」、水位調整装置、プログラムコンローラ（以下プロコンと略す）の使用除外等は、動作表示灯で示す。

(2) 計測項目

表 7. 1-3 計測項目

計測項目	表示場所		備考
	発電所	管理所	
発電機電圧計	○		
発電機電力計	○		
送電電力量計	○		
受電電力量計	○		
ガイドベーン開度計	○		
水圧管圧力計	○		機側設置
吸出し管圧力計	○		機側設置
軸受温度計	○		機側設置
発電機固定子温度計	○		
主変圧器温度計	○		機側設置
流 量 計	○		必要な場合とする。機側設置
直 流 電 圧 計	○		直流電源盤取付
直 流 電 流 計	○		直流電源盤取付

(3) 制御項目

表 7. 1 - 4 制御項目

制 御 項 目	表示場所		器具番号	備 考
	発電所	管理所		
起 動 - 停 止	○		1	
非常停止用スイッチ	○		5 E	
水調使用 - 除外	○		43-77W	水位調整装置使用の場合
フロコン使用 - 除外	○		43-10P	フロコン使用の場合
ガイドベーン開 - 閉	○		7-77	
発電機しゃ断器入一切	○		3-52	
送電用しゃ断器入一切	○		3-152	

注 1) プログラムコントローラの設定は、必要に応じ発電所にて流量または出力の設定を行うものとする。

注 2) 発電機電圧440V以下の場合、機側操作とする。

(電動MCCB又は気中しゃ断器とする)

7. 1. 3 機器の接続方式

機器の接続は電力会社施設の6.6kV送電線とし、系統との並列は低圧同期方式とする。

送電線、主回路、所内回路などの接続については7. 1. 4項の単線接続図に示す。

7. 1. 4 主回路構成

次の4ケースの主回路構成を示すが、実施に当たっては当該電力会社との協議による。

ケース① 同期発電機 (高圧) 主変圧器無し 図7. 1 - 1

ケース② 同期発電機 (低圧) 主変圧器有り 図7. 1 - 2

ケース③ 誘導発電機 (高圧) 主変圧器無し 図7. 1 - 3

ケース④ 誘導発電機 (低圧) 主変圧器有り 図7. 1 - 4

なお、単線接続図に記載の記号・略号表を表7. 1 - 5に示す。

各ケースについての考え方を次に示す。

1) ケース① 同期発電機 (高圧) 主変圧器無し

(1) 主変圧器の省略

主回路に絶縁変圧器を設けることにより、送電線からの進入サージの低減や母線の短絡容量の低減に効果があるが、送電線引込部の避雷器、発電機主回路のサージ吸収用コンデンサ及び発電機中性点に接続する避雷器により絶縁協調が可能であり、また母線構成が簡単なため特に短絡容量の低減を図る必要もないことから、主回路の簡略化を目的に主変圧器を省略する。

(2) 送電しゃ断器の省略

所内単独運転は行わないため、送電線故障の際には発電機しゃ断器でしゃ断する。また所内変圧器一次は電力ヒューズでしゃ断容量を確保できるので、送電しゃ断器は省略する。

(3) 送電線引込部断路器の省略

主回路の保守作業時はPASの開放及び発電機しゃ断器を断路位置にすることで安全確保できるため、断路器は省略する。

(4) 励磁用変圧器の接続

初励磁装置を省略する目的で所内回路に接続する。

(5) サージ吸収用コンデンサの接続

サージ吸収用コンデンサは、真空しゃ断器の開閉サージ吸収用と併用するので、発電機側に接続する。ただし、真空しゃ断器の種類によっては開閉サージ吸収用コンデンサを必要としないものもあるので、その場合はサージアブソーバ専用のコンデンサが必要となる。

2) ケース②同期発電機（低圧）主変圧器有り

(1) 主変圧器の設置

送電線電圧は6.6kVであるので昇圧のため主変圧器を設ける。

(2) 送電しゃ断器の設置

主変圧器の故障電流をしゃ断する必要があるため送電線側にしゃ断器を設ける。

(3) 送電線引込部断路器の省略

ケース①と同様の理由により省略する。

(4) 発電機中性点避雷器の省略

送電線からの進入サージは、高圧側避雷器及び主変圧器により低減できるので、発電機の中性点に避雷器は設けない。

(5) 440V回路の接地方式

主変圧器を高低圧混触防止板付とし、440V回路は非接地方式とする。地絡保護は接地形計器用変圧器（GPT）と、地絡過電圧継電器（64）にて行う。

(6) 励磁用変圧器の接続

ケース①と同様に所内回路に接続する。

3) ケース③誘導発電機（高圧）主変圧器無し

(1) 主変圧器の省略

ケース②と同様

(2) 送電しゃ断器の省略

ケース①と同様

(3) 送電線引込部断路器の省略

ケース①と同様

(4) 力率改善用コンデンサの接続

誘導発電機の場合、力率改善することが売電上有利となるので力率改善用コンデンサを

設置する。また発電所の運転、停止の頻度を考え、常時接続することとし、開閉器は手動操作式電力ヒューズ付負荷開閉器（LBS）とする。また、発電機の自己励磁現象に対し安全なように発電機しゃ断器の送電線側に接続する。

(5) サージ吸収用コンデンサ

サージアブソーバ用コンデンサと併用する

4) ケース④誘導発電機主変圧器（低圧）有り

(1) 主変圧器 設置

ケース②と同様

(2) 送電しゃ断器 設置

ケース②と同様

(3) 送電線引込部断路器の省略

ケース①と同様

(4) 発電機中性点避雷器の省略

ケース②と同様

(5) 440V回路接地方式

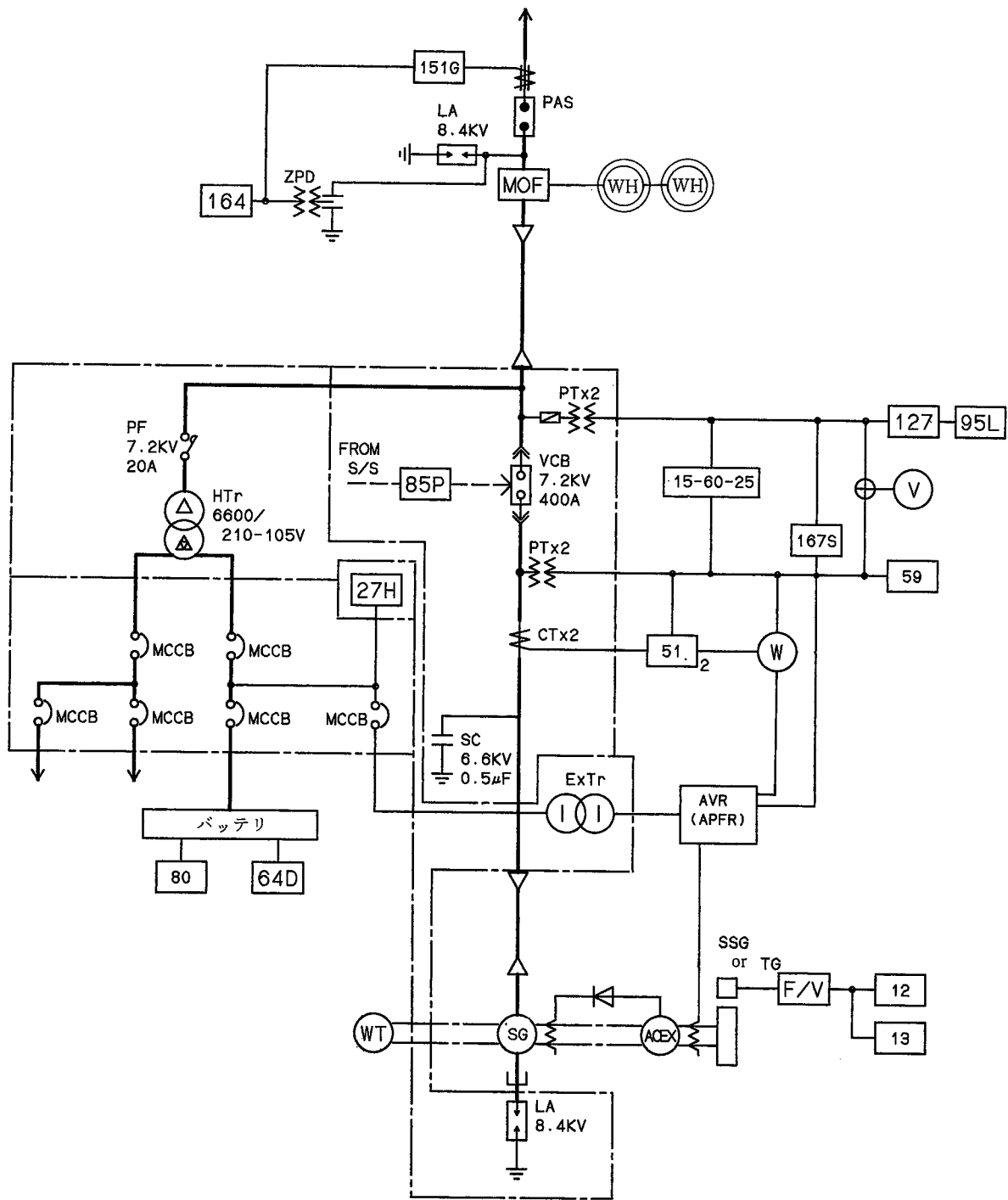
非接地方式とする。

(6) 力率改善用コンデンサの接続

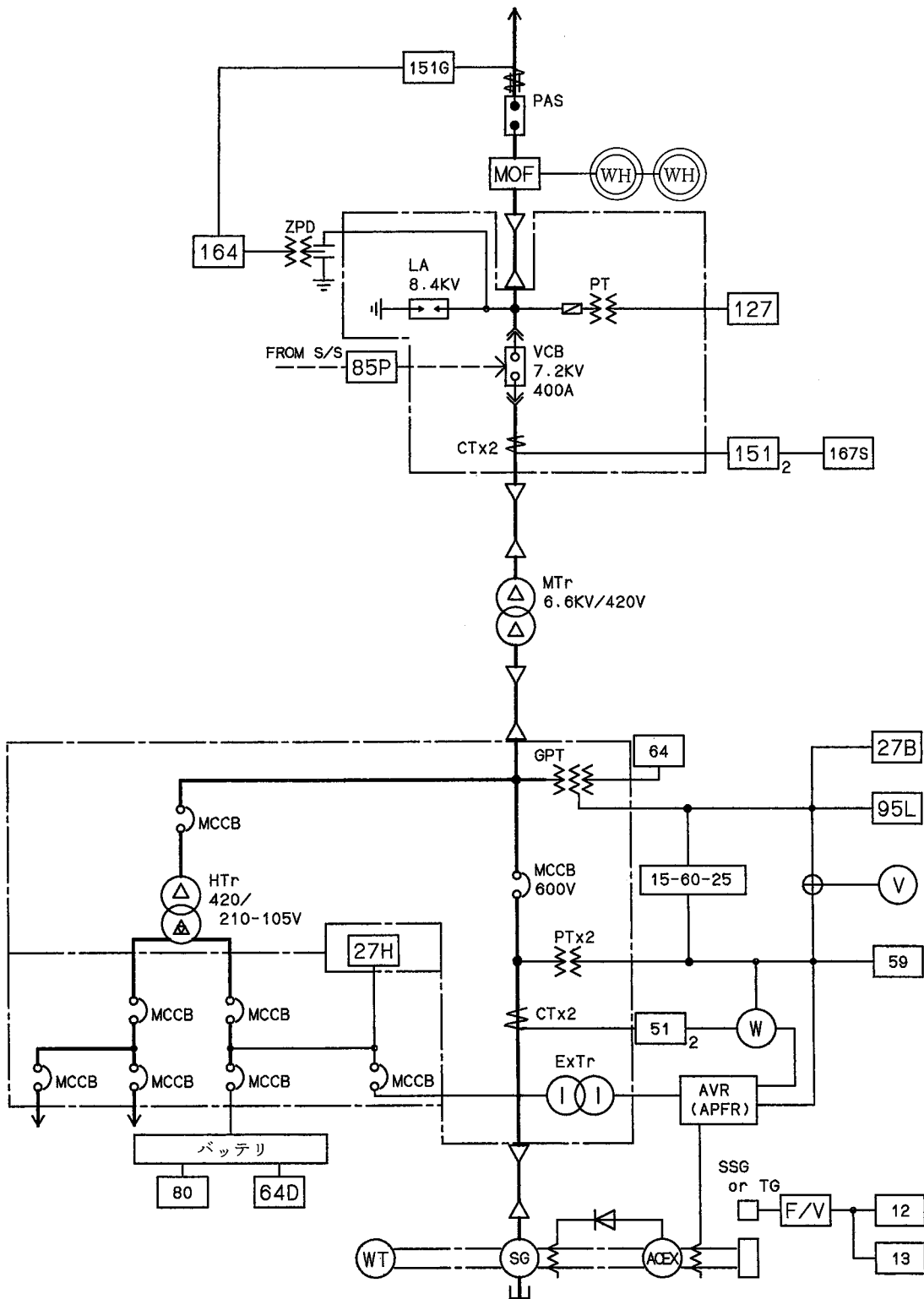
ケース②と同様

表 7. 1 - 5 記号・略号表

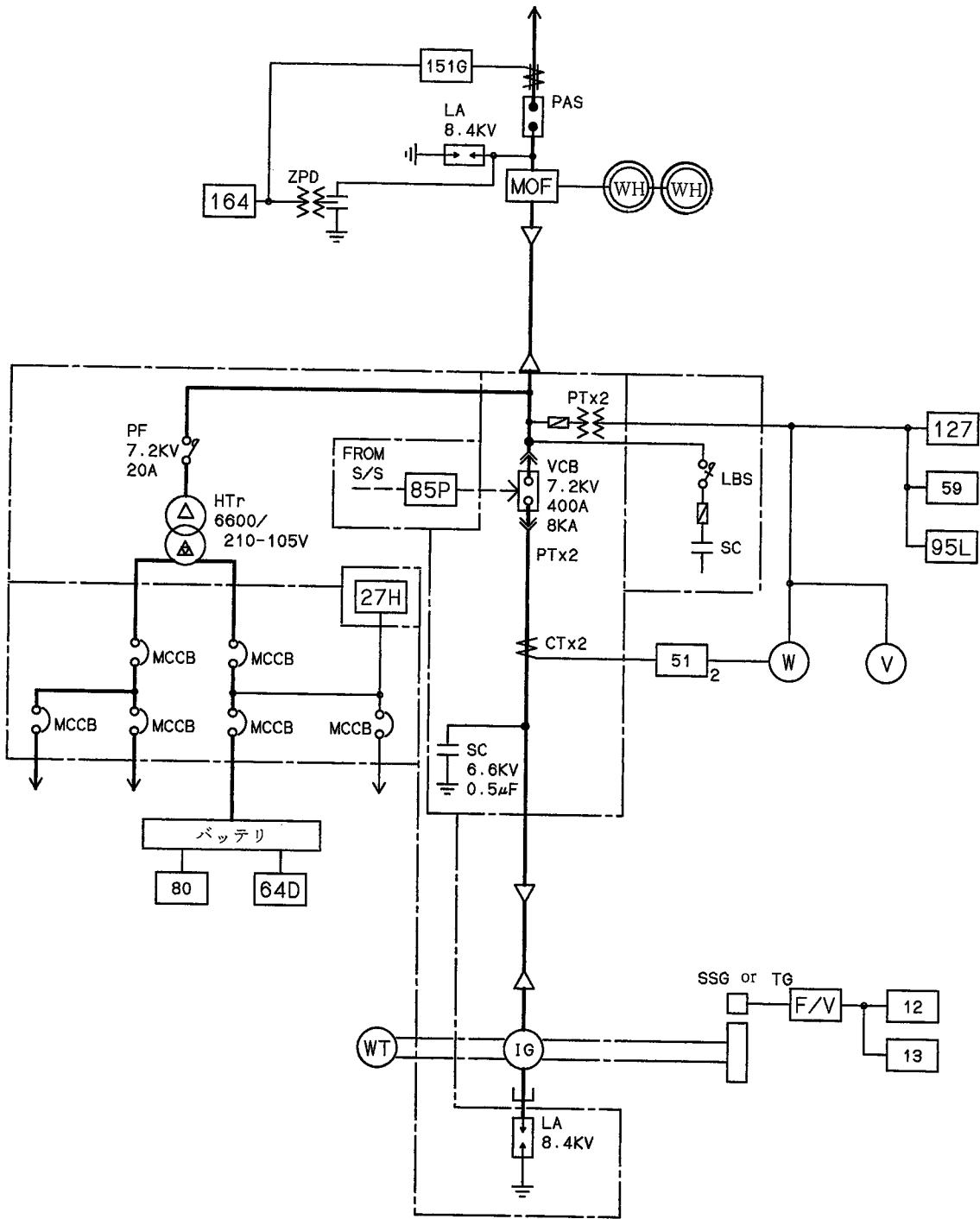
記号	機器名称	記号	機器名称
WT	水車	MCCB	配線用しゃ断器
SG	同期発電機	GPT	接地形計器用変圧器
IG	誘導発電機	ZPD	零相電圧検出コンデンサ形計器用変圧器
AC-EX	交流励磁機	LA	避雷器
SSG	速度検出器	PAS	柱上気中負荷開閉器
TG	回転計発電機	MOF	取引計器用変成器 (変圧変流器)
12	過速度継電器	WH	電力量計
13	同期速度継電器	151G	地絡過電流継電器
Ex. Tr	励磁電源変圧器	164 (64)	地絡過電圧継電器
AVR	自動電圧調整器	167S	短絡方向継電器
APFR	自動力率調整器	151 (51)	過電流継電器
SC	力率改善用コンデンサ	127	不足電圧継電器
HTr	所内用変圧器	95L	周波数継電器
PF	電力ヒューズ	59	過電圧継電器
VCB	真空しゃ断器	27H	所内不足電圧継電器
CT	変流器	80	直流不足電圧継電器
PT (VT)	計器用変圧器	64D	直流制御回路地絡継電器
W	電力計	85P	信号継電器 (転送しゃ断)
V	電圧計	S/S	電力会社変電所
15	自動揃速装置	M. C	電磁接触器
60	自動電圧平衡調整器	LBS	負荷開閉器
25	同期検出装置		



ケース① 図7. 1-1 単線接続図
同期発電機（高圧） 主変圧器無し

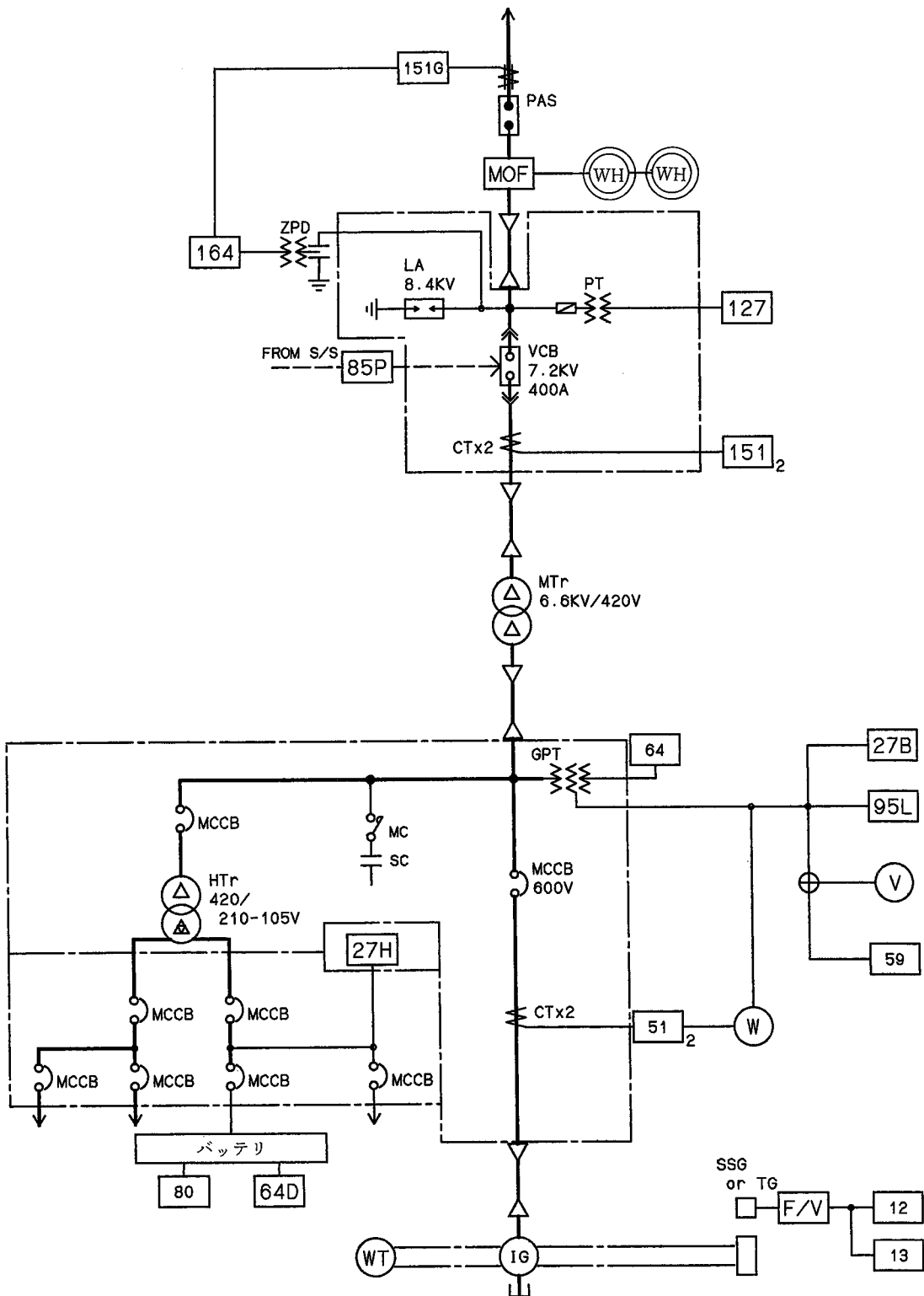


ケース② 図7. 1-2 単線接続図
同期発電機（低圧） 主変圧器有り



ケース③ 図7. 1-3 単線接続図

誘導発電機 (高圧) 主変圧器無し



ケース④ 図7. 1-4 単線接続図

誘導発電機（低圧） 主変圧器有り

7. 1. 5 保護方式

発電所の安全運転のために電氣的、機械的故障に対して保護手段が講じられるが、保護方式の考え方及び項目は次のとおりである。

1) 停止及び故障表示

主機が小容量であり、非常停止時の主機回転速度の上昇及び外部故障時の再起動のための待機等考慮する必要がないので、主機の運転継続が困難な故障は全て非常停止（86-1）とし、並列用しゃ断器及び界磁開閉器の開放と同時に入口弁及びガイドベーンあるいはニードルは閉鎖する。

また同時に管理所への警報も行うこととし、技術員へ故障発生を通報することを考慮する。

又、発電所内の配電盤には集合故障表示器を設け、保守の便を図ると共に「コージェネガイドライン」による、電力会社と保護協調が可能な表 7. 1-6 に示す保護継電器を設置する。

2) 設置する保護継電器

表 7. 1 - 6 保護継電器一覧表

番号	継電器名称	器具番号	ケース別の設置の有無				略号
			ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	
1	地絡過電圧継電器	164	○	○	○	○	OVGR
2	地絡過電流継電器	151G	○	○	○	○	OCGR
3	交流不足電圧継電器	127	○	○	○	○	UVR
4	交流過電流継電器	151		○		○	OCR
5	方向短絡継電器	167S	○	○			DSR
6	信号継電器 (転送しゃ断)	85P	○	○	○	○	TTR
7	地絡過電圧継電器	64		○		○	OVGR
8	周波数低下継電器	95L	○	○	○	○	UFR
9	交流過電圧継電器	59	○	○	○	○	OVR
10	交流過電流継電器	51	○	○	○	○	OCR
11	交流不足電圧継電器	27H	○	○	○	○	UVR
12	直流不足電圧継電器	80	○	○	○	○	UVR
13	直流制御回路地絡 継電器	64D	○	○	○	○	GR
14	過速度	12	○	○	○	○	
15	軸受温度上昇	38-2	○	○	○	○	
16	電動サーボ故障	86DM	○	○	○	○	
17	水位低下	33HL	○	○	○	○	
18	自動制御故障	86C	○	○	○	○	
19	励磁装置重故障		○	○			
20	シーケンサー重故障		○	○	○	○	
21	火災	28F	○	○	○	○	

(注) 番号1から11まではコージェネガイドラインによる保護協調である。
その他の番号は所内保護である。

3) 保護項目

(1) 系統連系の保護協調

発電所の構内事故の保護として次の保護継電器を構内の保護協調を考慮した位置に設置する必要がある。

a. 過電流継電器 (151)

短絡事故時には、電力系統側から大きな短絡電流が流入するのでこれを検出して即時にしゃ断する。

所内送電線の短絡及び主変圧器及び所内側双方向の保護を行う。また発電機を含めた発電所内の短絡後備保護も行う。

なお、主変圧器無しの場合は、上記主保護は (51) による。

b. 地絡過電流継電器 (151G)

通常の地絡事故時には、電力系統側から地絡電流が流入するのでこれを検出して即時にしゃ断する。なお、方向性のある167Gは高価であるので、送電線引込部柱上気中負荷開閉器 (PAS) 付属の地絡過電流継電器 (151G) を用いる。なお、151Gは方向性を有しないため継電器作動時は送電線の点検とともに発電所内の点検も必要である。

c. 過電圧継電器 (59)

発電機の電圧制御系統等の異常により電圧上昇を生じた場合に、これを検出して時限を持ってしゃ断する。なお、発電機自体の保護装置によって検出・保護できる場合は省略する。

d. 不足電圧継電器 (127)

発電機及び所内配電線の異常により電圧低下を生じた場合、これを検出して時限を持ってしゃ断する。また系統短絡及び発電所所内短絡の後備保護を行う。

(2) 電力系統事故対策 (コージェネガイドラインによる)

電力系統における短絡、地絡事故時の保護は、次の継電器を発電所の送電端を含む保護協調をする必要がある。

a. 短絡事故対策

a) 方向短絡継電器 (167S) ……同期発電機の場合

同期発電機の場合には短絡事故時発電機側から電力系統へ短絡電流が及ばないように高速度の処理を行う。

b) 不足電圧継電器 (127) ……誘導発電機の場合

誘導発電機の場合、電力系統の事故時励磁電流の減衰に伴い、発電機電圧が低下する。これを検出ししゃ断する。

b. 地絡事故対策

a) 地絡過電圧継電器 (164)

発電機側から流出する地絡電流は少なく、151Gは不動作となる場合があるため164により地絡電圧を検出ししゃ断する。

c. 送電系統事故対策

a) 周波数低下 (95L)

電力会社送電線事故時周波数低下を検出して発電機を即時にしゃ断する。

b) 転送しゃ断装置 (85P)

電力会社変電所のしゃ断器が開放した場合、この信号を転送して発電所の送電用しゃ断器を即時にしゃ断するために設置する。

(3) その他事故対策

a 所内電源異常 (27H)

所内変圧器 2 次の不足電圧継電器によるもので、所内電源の低下は即主機に支障があり、直流電源電圧の低下もきたすので非常停止とする。

b 過速度 (12)

電力系統解列又は調速機故障時の水車、発電機の過速度を保護する。

c 軸受温度上昇 (38-2)

水車、発電機軸受の異常検出、保護を目的とし、計測も兼ね接点付ダイヤル温度計による。

d 電動サーボ故障 (86DM)

スピーダーレスガバナであるので、電動サーボは特に複雑な制御系を有しないが、次のものをまとめ一括故障とする。

① 操作電源電圧低下

② トルクスイッチ動作

③ サーマルリレー動作

e 水位低下 (33HL)

上水槽水位又はダム水位の低下により、水車の運転に支障を生じる場合は、水位を検出して保護する。

f 自動制御故障 (86C)

シーケンスコントローラ等自動制御部が故障した場合、運転の継続は困難であるので非常停止とする。

故障原因には①～③がある。

① シーケンスコントローラ電源異常

② シーケンスコントローラ単体故障

③ シーケンスコントローラ入力信号異常

g 直流制御電圧低下 (80)

500kW未満の発電所を対象とする電気設備技術基準では、「制御回路の電圧が著しく低下した場合」の管理所に警報する装置の施設を省略できている。しかし、機器の安全運転のため、この場合水車を自動的に停止させる。

h 直流回路地絡 (64D)

直流回路の地絡は即主機の運転に支障ないが、正負両極の接地に波及した場合、(80) 動作時と同様の危険があるので、保護の簡略化より非常停止とした。

以上をとりまとめた保護及び故障表示項目一覧表を表7. 1-7~8に示す。

4) 保護及び故障項目

(1) 重故障

表7. 1-7 重故障項目

故障項目	保護方式	警報	表示場所		器具番号	備考
			発電所	管理所		
送電線地絡過電流	非常停止	ベル	○	○ (一括表示)	151G	
送電線地絡過電圧		〃	○		164	
発電機母線地絡過電圧		〃	○		64	主変圧器有の場合
送電線不足電圧		〃	○		127	
送電線過電流		〃	○		151	
発電機過電流		〃	○		51	
方向短絡		〃	○		167S	同期発電機の場合
周波数低下		〃	○		95L	
過電圧		〃	○		59	
所内電源異常		〃	○		27H	
過速度		〃	○		12	
軸受温度上昇		〃	○		38-2	
電動サーボ故障		〃	○		86DM	
水位低下		〃	○		33HL	
自動制御故障		〃	○		86C	
直流制御電圧低下		〃	○		80	
直流回路地絡		〃	○		64D	
転送しゃ断		〃	○		85P	
励磁装置重故障		〃	○			同期発電機の場合
シーケンサー重故障	〃	○				
火災	〃	○		28F		

(2) 軽故障

表7. 1-8 軽故障項目

故障項目	保護方式	警報	表示場所		器具番号	備考
			発電所	管理所		
扉開	警報	ブザー	○	○	92PS	
起動・停止渋滞		〃	○	○	48	
主変圧器温度上昇		〃	○	○	26T	主変圧器有りの場合
励磁装置軽故障		〃	○	○		同期発電機の場合
弱点ピン折損		〃	○	○		必要な場合
AC回路MCCBトリップ		〃	○	○		
DC回路MCCBトリップ		〃	○	○		

7. 1. 6 運転方式

1) 運転準備

運転に先立ち必要な各補機を始動し、また必要な切換スイッチの切換を行う。

2) 運転条件

通常の発電設備として必要な運転条件の他、下記に示す条件が満たされている場合のみ運転する。

- (1) 水位が運転範囲にある。
- (2) 入口弁が全閉している。
- (3) ガイドベーンあるいはニードルが全閉している。
- (4) 保護継電器が動作していない。
- (5) 並列しゃ断器が開いている。

3) 運 転

主制御スイッチ（#1）は「起動-停止」の位置操作とし、（#1）を「運転」に操作すると運転状態に入る。

4) 普通停止

主制御スイッチ（#1）を「停止」に操作すると、主機は停止する。

5) 非常停止

非常停止保護装置の動作により、主機を停止する。

この時機器は次の動作を行う。

- (1) 並列用しゃ断器 開 放
- (2) 水車ガイドベーン 全 閉
- (3) 入 口 弁 全 閉

7. 2 単独運転方式（100kW未満）の場合の制御保護の標準方式

7. 2. 1 制御及び保護方式

監視方式は随時巡回方式とし、発電所は常時無人とする。

1) 運転の監視制御方式

随時巡回方式による監視制御の考え方は下記とする。

- (1) 発電所運用の為の制御所または専用の技術員駐在所は問わず、技術員は平常駐在している場所より出向く。
- (2) 発電所では水車、発電機等の機器と監視・制御を行う配電盤は同一床面に設置する。
- (3) 機器の運転・停止は発電所にて行なうものとし、故障の場合にはしゃ断器は自動的に開放するが、ガイドベーン固定及び入口弁省略のため主機は自動停止しない。よって、故障と同時に管理所への警報を発する。

故障表示は発電所内設置の配電盤面の集合故障表示器にまとめて表示する。

- (4) 水車のガイドベーンを固定する為、負荷調整はダミーロードにより行なう。
- (5) 遠方監視制御装置は設置しない。
- (6) 計測装置は発電所にのみ設置し、技術基準で要求される必要最小限とする。
- (7) 監視制御の各項目

単独運転方式での機器の運転に関する状態表示、計測、制御についての考え方を次に示す。

a. 状態表示項目（発電機盤取付）

運転（発電）表示は「白」ランプとする。

b. 計測装置（発電機盤取付）

計測項目は最小限のものとし、次の計測項目以外は除外する。

- a) 電力計
- b) 電圧計
- c) 周波数計
- d) 電力量計

上記、a) 及び b) については「電気設備に関する技術基準」に設置が義務付けられている。

c. 制御項目

機器の運転・停止は全て発電所で行ない、故障時には、配線用しゃ断器が自動開放する。電動入口弁の省略、ガイドベーンを固定し水車・発電機の停止は手動とするため、簡易通報装置等を考慮し管理所へ故障を通報する。

a) 運転、停止操作

操作は2段階とする。

以上を取りまとめた監視・制御項目を表7. 2-1に示す。

取付場所は全て発電機盤とする。

表 7. 2 - 1 監視・制御項目一覧表

区 分	項 目	備 考
状態表示	運 転	白色表示灯
計 測	発電機電力 " 電圧 " 周波数 発電電力量	
制 御	主機運転・停止	電気的な操作とし主機の停止は手動も可能とする。

2) 保護方式

発電所の安全運転のため電氣的、機械的故障に対して保護手段が講じられるが、単独運転方式での保護方式の考え方を次に示す。

ガイドベーンの固定及び入口弁の省略を標準とするため、下記解説の非常停止は電氣的(しゃ断器開放等)な意味であり、主機の停止は止水装置の手動操作による。

(1) 停止および故障警報

主機が小容量であるため、保護継電器が動作し主機の連続運転が困難な場合は全て非常停止(遮断器及び界磁開閉器の開放)とする。

また、同時に管理所への警報を行い、技術員へ故障の発生を通報する。

(2) 保護項目

a. 配電線地絡 (51G)

配電線及び所内の地絡保護を行なう。

b. 過電流 (51)

配電線、発電機及び所内の短絡及び過負荷保護を行なう。

c. 過電圧 (59)

電圧調整装置の故障保護を行なう。

単独運転の保護項目は以上 3 項目を標準とするが運用上で水位・流量等の低下の発生が予想され、また検出が不可能な場合は保護項目の追加を検討する必要がある。

以上、取りまとめた保護項目を表 7. 2 - 2 に示す。

表 7. 2 - 2 保護項目一覧表

No.	保護項目	器具番号	故障表示	備 考
1	配電線地絡	51G	○	
2	過電流	51	○	
3	過電圧	59	○	

7. 2. 2 単線接続図

単独運転方式の場合、次の2種類の単線接続図とする。

1) 種類

(1) 同期発電機のケース 図7. 2-1

(2) 誘導発電機のケース 図7. 2-2

上記2種類のケースについての考え方を示す。

2) 同期発電機のケースの考え方

(1) 初期励磁は直流電源によるが、長期停止期間がある発電所では永久磁石発電機を考慮する。

(2) 負荷調整はロードガバナにより行なう。

(3) 地絡検出のため、発電機の中性点は接地する。

3) 誘導発電機のケースの考え方

- (1) 単独運転のため励磁用コンデンサを設ける。
- (2) 負荷調整はロードガバナにより行なう。
- (3) 地絡検出のため、発電機の中性点は接地する。

記号	名称
SG	同期発電機
AC EX	交流励磁機
WT	水車
EX. Tr	励磁用変圧器
AVR	自動電圧調整装置
DL	ダミーロード
65	負荷調整装置
MCCB	配線用しゃ断器
51	過電流継電器
59	過電圧継電器
51 G	地絡過電流継電器
W	電力計
WH	電力量計
V	電圧計
F	周波数計
CT	計器用変流器
PT	計器用変圧器

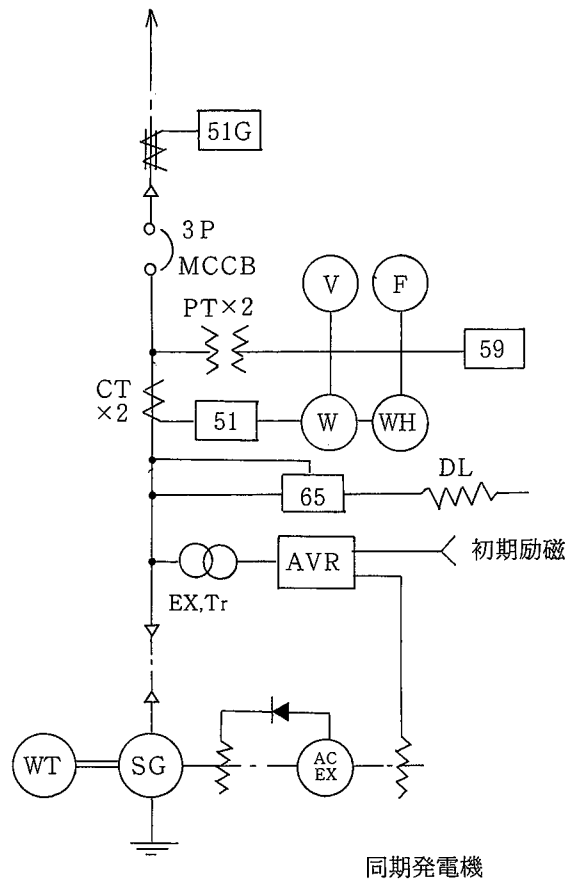


図 7. 2 - 1 単線結線図 (ケース 1)

記号	名称
I G	誘導発電機
W T	水車
C	励磁用コンデンサ
D L	ダミーロード
65	負荷調整装置
M C C B	配線用しゃ断器
51	過電流継電器
59	過電圧継電器
51 G	地絡過電流継電器
W	電力計
W H	電力量計
V	電圧計
F	周波数計
C T	計器用変流器
P T	計器用変圧器

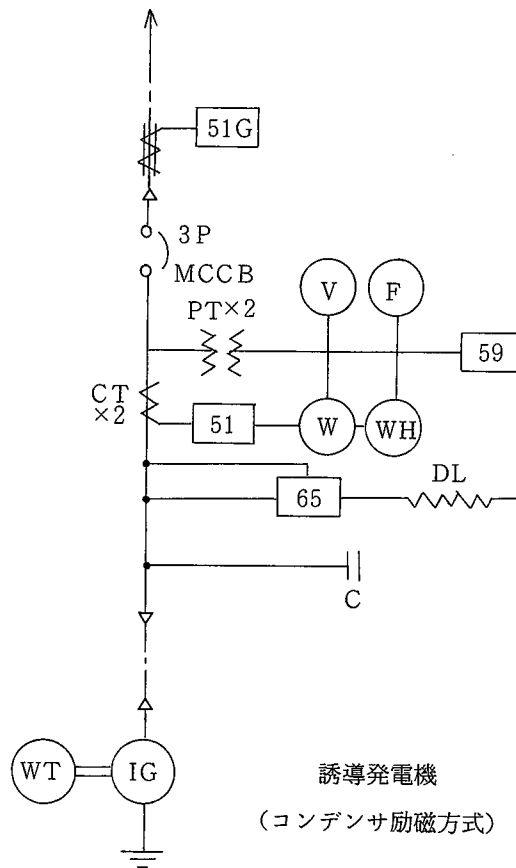


図 7. 2 - 2 単線結線図 (ケース 2)

7. 2. 3 負荷制御方式

単独運動方式では、系統接続方式で適用している周波数に応じてガイドベーンを変化させるための電動ガバナを持たず、ガイドベーンは固定とする為、電動ガバナのかわりに調整用負荷（ダミーロード）を使用したロードガバナによる負荷制御方式を適用する。

1) ロードガバナの回路構成

ロードガバナの回路構成を図 7. 2 - 3 に示す。

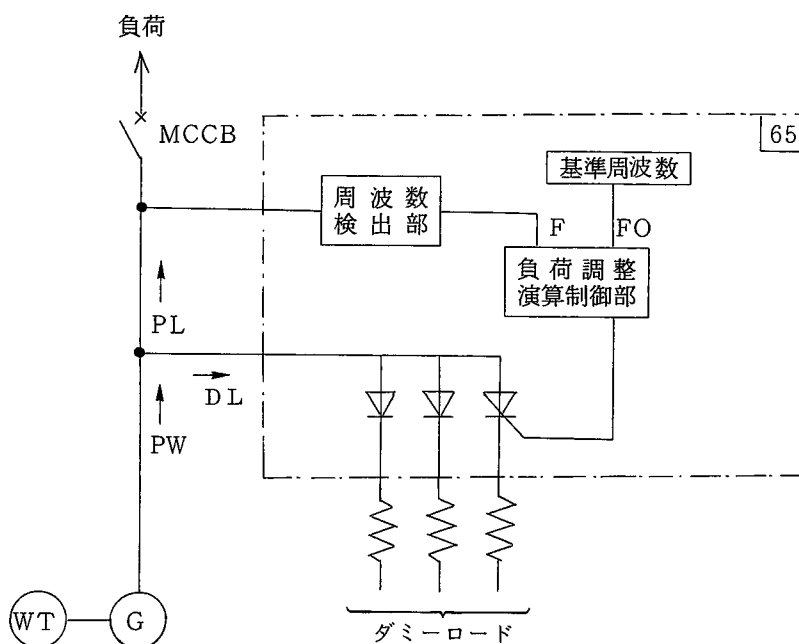


図7. 2-3 ロードガバナブロック線図

ダミーロードによる負荷制御方式は、発電機出力（PW）と負荷容量（PL）の差をダミーロード（DL）給電するもので、 $PW = PL + DL$ となるようにDLの容量をサイリスタにより可変制御する方式である。いま、負荷容量（PL）が減少し $PW > PL + DL$ の変化が起きた場合、基準周波数 F_0 に対し発電機周波数 F が $F_0 < F$ となり周波数上がるため、 $F_0 = F$ となるようDLを増加させる。

2) ダミーロードの容量

電動式入口弁、ガイドベーンを省略するため、負荷しゃ断時に水車発電機の回転上昇が起こらぬよう発電機容量と同一のダミーロード容量を持たせる。

なお、50kVAを越す発電機においてはダミーロードを分割し、サイリスター容量を減少し必要容量に見合った段階制御を行うことにより発電機枠番の増加を押える考慮をする。

第8章 配電盤及び開閉装置

水車・発電機など主構成設備の運転制御や保護のための配電盤、主回路用断路器、開閉器などの回路を開閉するための開閉装置がある。これらの配電盤・開閉装置の構成機器は、下記の項目で構成されている。

- ① 主配電盤
監視制御盤・遠方監視装置・直流電源装置・転送しゃ断装置
- ② 高低圧閉鎖配電盤
送電しゃ断器盤・発電機しゃ断器盤・所内盤・コンデンサ盤・配線用しゃ断器盤
- ③ 主変圧器
- ④ 屋外機器
- ⑤ 送電第1柱

8. 1 主配電盤

8. 1. 1 盤の構成及び寸法

発電所機器の監視制御を行う主配電盤としては、監視制御盤があり、更に遠方監視装置、直流電源装置等が補足するものとして設備される。

1) 監視制御盤

次の4面構成とする。

- ① 発電機盤
- ② 保護継電器盤
- ③ AVR盤
- ④ 自動制御盤（シーケンスコントローラを使用した一体形制御盤とする）

(1) 主な盤面取付及び収納器具

機器操作は全て自動とし手動運転の為の計器、開閉器類（電圧調整、同期検定、周波数計、回転計）は設置しない。従来形の盤面器具を表8. 1-1の記事欄に記載したが大幅に減少している。また、電圧計の切替開閉器は削除した。

表8. 1-2に故障表示項目、表8. 1-3に操作開閉器類を示す。

表 8. 1 - 1 盤面取付・収納器具

	項 目	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	記 事	
							従 来 形
発 電 機 盤	計 器	電 力 計 電 圧 計	電 力 計 電 圧 計	電 力 計 電 圧 計	電 力 計 電 圧 計		電流, 周波数, 回 転, 同期検定, 力 率, 無効電力等
	30 S	運転, 停止 自動, 手動	運転, 停止 自動, 手動	運転, 停止 自動, 手動	運転, 停止 自動, 手動		準備, 起動, 入口 弁, 励磁, 並入, 停止, 自動, 手動
	表 示 ラ ン プ	52(G,R)	152(G,R) 52(G,R)	52(G,R)	152(G,R) 52(G,R)		
	30 F	16個	18個	15個	18個	表8.1-2 による	20~22個
	ス イ ッ チ 類	5 個	6 個	5 個	6 個	表8.1-3 による	12個
	自動同期 装 置	設 置	設 置	設置せず	設置せず		
保継 電 器 繼 電 器 護 盤	保 護 繼 電 器	表8.1-2に よる 10	表8.1-2に よる 12	表8.1-2に よる 9	表8.1-2に よる 11		17~19個
A V R 盤	表示ランプ	41(G,R)	41(G,R)	なし	なし		
	A V R	設 置	設 置	なし	なし		
	A P F R	設 置	設 置	なし	なし		
	4 1	設 置	設 置	なし	なし		
自 動 制 御 盤	調 速 機 駆 動 装 置	設 置	設 置	設 置	設 置		
	自 動 制 御 装 置	設 置	設 置	設 置	設 置		

表 8. 1 - 2 故障表示項目 (30F)

No.	故障表示項目	器具番号	発電機盤 故障表示	直流電源盤 故障表示	管 理 所 故障表示	記 事
1	送電線地絡	151G	○		○ (一括表示)	
2	主回路地絡	64,164	○			
3	不足電圧	127	○			
4	送電線過電流	151	○			
5	発電機過電流	51	○			
6	方向短絡	167S	○			同期発電機の場合
7	周波数低下	95L	○			
8	転送しゃ断	85P	○			
9	発電機過電圧	59	○			
10	所内電源異常	27H	○			
11	過速度	12	○			
12	軸受温度上昇	38	○			
13	電動サーボ故障	86DM	○			
14	水位低下	33HL	○			必要な場合
15	自動制御故障	86C	○			
16	直流制御電圧低下	80		○		
17	直流回路地絡	64D		○		
18	火 災	28F	○			
19	扉 開	92PS	○			

表 8. 1 - 3 操作開閉器具

No.	制 御 項 目	略 号	制御場所	記 事
1	水車発電機起動・停止	1	発電機盤	
2	ガイドベーン開閉(負荷制御)	7-77	〃	
3	自動-手動	43-77Wまたは43-10P	〃	水調運転またはプロコン運転の場合
4	制御電源入一切	8	〃	
5	ベル, ブザー停止	3R-28	〃	
6	送電用しゃ断器入切	152	〃	ケース2, ケース4の場合

表 8. 1-4 盤面取付器具

計 器	電圧 (V)	電力 (W)		
故障表示器	(30F)			
動作表示器	(30S)			
操作スイッチ	送電しゃ断器/切-入	(3-152)	ハンドル	ピストル形
調整スイッチ	負荷調整/減-増	(7-77)	"	卵形
切替スイッチ	プロコン/除外-使用	(43-10P)		菊形
	水位調整器/除外-使用	(43-77W)	"	"
主幹スイッチ	主制御/停止-運転	(1)	"	卵形
制御電源スイッチ	制御電源/切-入	(8)	"	菊形
制御電源スイッチ	ベル・ブザー停止	(3R-28)	"	菊形

(2) 外形寸法

図 8. 1-1 に監視制御盤の外形寸法の 1 例を示す。この場合発電機盤、保護継電器盤、AVR盤、自動制御盤の 4 面の盤は前後面盤としたが従来型に比し大幅な縮小化が可能となった。

また 2 射ペルトン水車、分割ガイドベーン採用のクロスフロー水車の場合若干外形寸法に変動のある場合がある。

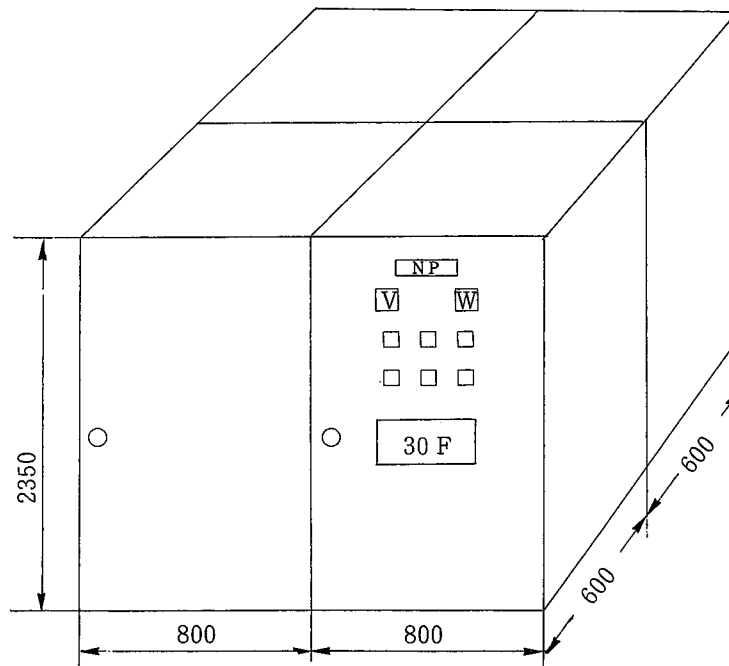


図 8. 1-1 監視制御盤 外形図

2) 遠方監視装置 (自動通報装置)

設備事故の早期発見を考慮して管理所に故障状況が確認可能な自動通報装置を設ける。

3) 直流電源装置

蓄電池内蔵のキュービクルタイプとし計器、保護継電器、配線用しゃ断器等は盤表面に取付ける。

(1) 外形寸法

キュービクルタイプ (MSE形鉛蓄電池内蔵) の外形寸法の1例を図8.1-2に示す。

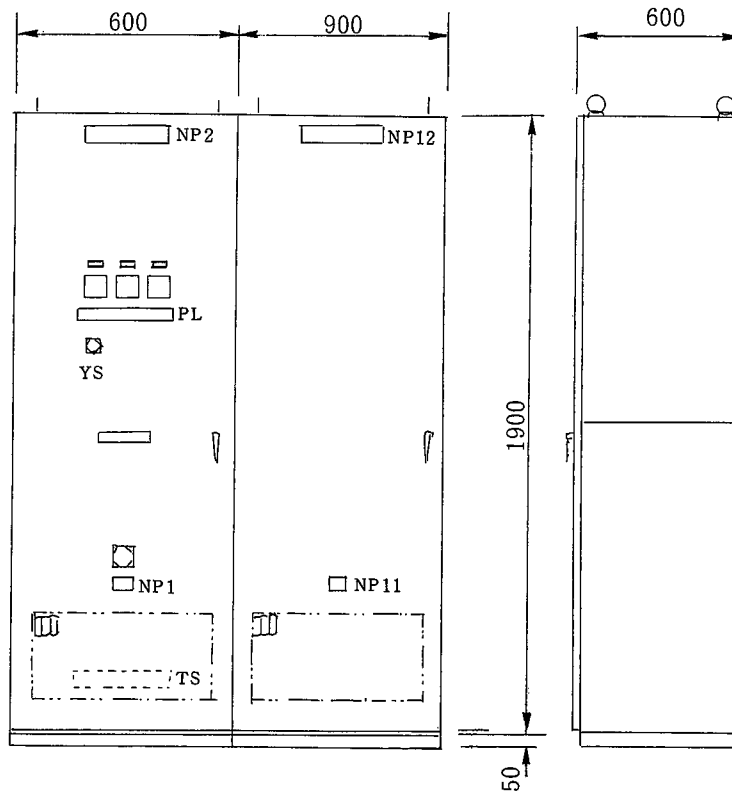


図8.1-2 直流電源装置外形図

4) 転送しゃ断装置

連系する電力会社側に設けた親局から、N T T専用回線を使って信号を送り、発電所の送電しゃ断器を開放する。

(1) 標準仕様

a. 伝送方式

a) 情報伝送方式 サイクリック時分割伝送方式

b) 伝送速度 600bit/s (某電力の1例)
電力会社との協議による。

c) 符号形式 NRZ等長符号

b. システム形態 1:1方式

c. 適用回線 NTT専用回線

(2) 構造

壁掛け形

(3) 外形寸法 (mm) (某電力の1例)
高さ300×幅420×奥行き260

8. 1. 2 構成機器

1) 監視制御盤

(1) 発電機盤

主機の運転監視に必要な最少限の計器、操作スイッチ類を盤面に取付ける。主なる盤面取付器具を表8. 1-4に示す。

(2) AVR盤

AVR、界磁しゃ断器等を収納する。

(3) 自動制御盤

シーケンスコントローラ等自動制御ユニットを収納する。

(4) 保護継電器盤

表8. 1-2に示す保護継電器を取り付ける。

2) 遠方監視装置

第9章に記載

3) 直流電源装置

(1) 蓄電池の概要

蓄電池には、鉛蓄電池とアルカリ蓄電池とがある。

鉛蓄電池の充放電現象の特長は、電解液の硫酸分が直接反応に関与することである。したがって充放電により電解液の比重が変化する。

鉛蓄電池の分類は、使用する陽極板の種類により表8. 1-5に示す。

表 8. 1-5 鉛蓄電池の種類

蓄電池種類	SBA規格	陽極板	陰極板
クラッド式	CS, EF	クラッド式	ペースト式
ペースト式	MSE・HS・PS・EP	ペースト式	ペースト式

アルカリ蓄電池は、使用される極板の種類により、ポケット式と焼結式に大別される。また、放電特性の差により、蓄電池工業会規格（SBA）で表 8. 1-6 のように分類されている。形式に用いる記号、及び数字の意味を表 8. 1-7 に示す。

アルカリ蓄電池は鉛蓄電池にくらべ機械的強度が強く、薄い極板を作ることができる。したがって、高効率放電特性の優れた蓄電池を作ることができる。

表 8. 1-6 アルカリ蓄電池の種類

電池形式 極板形式	ポ ケ ッ ト 式			焼 結 式
	SBA形式	AM-P	AMH-P	AH-P

表 8. 1-7 形式に用いる記号及び数字の意味

	記号及び 数 字	意 味
蓄電池	A	アルカリ蓄電池
性 能	M	標準放電 (Medium Rate) 性能
	MH	標準放電と高効率放電の中間
	H	高効率放電 (High Rate)
	HH	超高効率放電 (Very High Rate)
容 量	数字	定格容量
極 板	P	ポケット式極板
	S	焼結式極板

(2) 各種蓄電池の性能・用途

各種蓄電池の性能比較を表 8. 1-8 に示す。表に示すように鉛蓄電池のMSE形は安価で性能的にも優れた特性を有するので採用している。特に表 8. 1-8 に示すように補水不要、均等充電不要、比重計計測不要等メンテナンスが容易であり且つ、自己放電が少ない利点を有する装置である。

(3) 充電器

充電器は自動定電圧の機能と垂下（電流制限）の機能を有している。このほか、自動充電などの機能を備えているものが多い。

充電器はサイリスタ式自動定電圧装置付とし蓄電池内蔵キュービクルタイプとする。

a. 機能

a) 自動定電圧特性

整流器の交流入力電圧、周波数、または負荷電流が変動すると、直流出力電圧も変動するが、この装置では自動的に調整を行い定電圧を保つよう動作する。

b) 垂下特性

蓄電池が放電したとき、あるいは過負荷のときは、過電流が流れ整流装置を破損するおそれがある。したがって、出力電流が定格を超過すると、垂下装置が動作して出力電圧を下げ、出力電流を制限する。

b. 定格

充電器の定格を表 8. 1-9 に示す。

(4) 直流電源装置の容量

直流電源装置の容量は所内電源事故復旧時間、直流機器の内容にもよるが、下記容量とし、計算例を第12章資料に示す。

蓄電池容量 100AH

充電器容量 30A

表 8. 1 - 8 蓄電池比較表

比較項目		鉛蓄電池		アルカリ蓄電池	
形式名		ゴールデンクラッド式 (CS-E形)	ペースト式 (MSE形)	ポケット式 (AMH-E)	焼結式 (AHH-E)
作用物質	陽極	二酸化鉛		水酸化ニッケル	
	陰極	鉛		カドミウム	
	電解液	硫酸		苛性カリ、又はカセイ、カリ (作用物質として使用しない)	
電解液比重		1.215 (20℃)	1.260 (20℃)	1.2 (20℃)	
公称電圧		2 V		1.2 V	
構造	陽極板	鉛合金の心金に、ガラス繊維を加工した微多孔チューブを挿入し、その内へ陽極作用物質を充てん	鉛-カルシウム合金の格子体に陽極作用物質を充てん	突孔したニッケルメッキ鋼板製のポケットに陽極作用物質を充てん	多孔性ニッケルメッキ基板に陽極作用物質を充てんし焼結処理
	陰極板	鉛-アンチモン合金の格子体に陰極作用物質を充てん	鉛-カルシウム合金の格子体に陰極作用物質を充てん	上記ポケットに陰極作用物質を充てん	上記基板に陰極作用物質を充てん
造	電槽	合成樹脂		合成樹脂又は鋼製	
	セパレータ	硬質微孔ゴム	微細ガラスマット	合成樹脂	
電池構造		陽陰極板を各々適当枚数組合せ、かつ両極板間にセパレータを介して極板群として電解液と共に電極に収納			
放電特性		普通	高率放電に優れている	高率放電に優れている	特に高率放電に優れている
自己放電		15%~1ヶ月	3%/1ヶ月	20%~1ヶ月	20%/1ヶ月
期待寿命		10~14年	7~9年	12~15年	12~15年

表 8. 1 - 9 充電器定格

項 目		形 式	サイリスタ式	
		全自動充電式、自動電圧調整式		
充電の方式	浮 動 充 電	自動定電圧		
	回 復 充 電	自動充電電圧		
	均 等 充 電			
整 流 方 式		単相全波又は三相全波		
特 性	電 池 の 種 類		表 8. 1 - 8	
	自 動	浮動充電設定値 (V/セル)	同 上	
		回復・均等・充電電圧設定値 (V/セル)	同 上	
		電圧調整範囲	設定値±3%以上	
	垂 下 特 性		垂下直流電流の120%以下の直流電流で直流電圧が公称電圧迄垂下すること。	
	定 電 圧 特 性		定電圧精度は±2%とする。	
周 囲 温 度		0～40℃		
湿 度		80%以下		
冷 却 方 式		自冷又は強制風冷		

8.2 高低圧閉鎖配電盤

8.2.1 盤の構成及び寸法

各盤の構成は主回路の構成により異なるが、その1例を表8.2-1、8.2-2に、寸法を図8.2-1に示す。ただし収納器具は1例であり、変更する場合がある。

盤面数を少なくするためMOFは送電第1柱取付としてMOF盤は省略した。MOF盤内収納品は全て屋外送電第1柱にMOFと同様に取り付ける。

主変圧器は省略することとしたが、発電機容量300kVA以下については、発電機電圧を440Vとし、主変圧器を設置することとした。

主回路構成としては主変圧器を省略した誘導発電機がもっとも簡略化されているが、電力会社との協議により1部変更を要求される場合も考えられるので、十分事前検討する必要がある。

表 8. 2 - 1 盤面取付及び収納器具 (薄 形)

		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	記 事
① 送電し ゃ断器盤	避 雷 器		設 置		設 置	
	計器用変圧器 (2個)		"		"	
	真空しゅ断器 (1台)		"		"	
	変 流 器 (2個)		"		"	
② 発電機しゅ 断器盤	接地形計器用 変圧器 (1台)	計器用変 圧器(2台)	設 置	計器用変 圧器2台)	設 置	
	計器用変圧器 (2個)	設 置	"			
	変 流 器 (2個)	設 置	"	設 置	設 置	
	真空しゅ断器 (1台)	設 置		設 置		
	サージアブソーバ 用コンデンサ	設 置		設 置		
	M C C B		設 置		設 置	
③ 所 内 盤	所内変圧器	設 置	設 置	設 置	"	
	励磁用変圧器	"	"			
	高圧断路器 (電力ヒューズ付)	"		設 置		
	避 雷 器 (中性点用)	設 置		設 置		
④ コンデンサ 盤	力率改善用 コンデンサ			設 置	設 置	
⑤ 配線用しゅ 断器盤	配線用しゅ断器	設 置	設 置	設 置	設 置	

注1) ケース①②③④単線接続図 7. 1-1~7. 1-4を参照

図 8. 2-1 薄形閉鎖配電盤、盤配置及び盤外形図 (平面図)

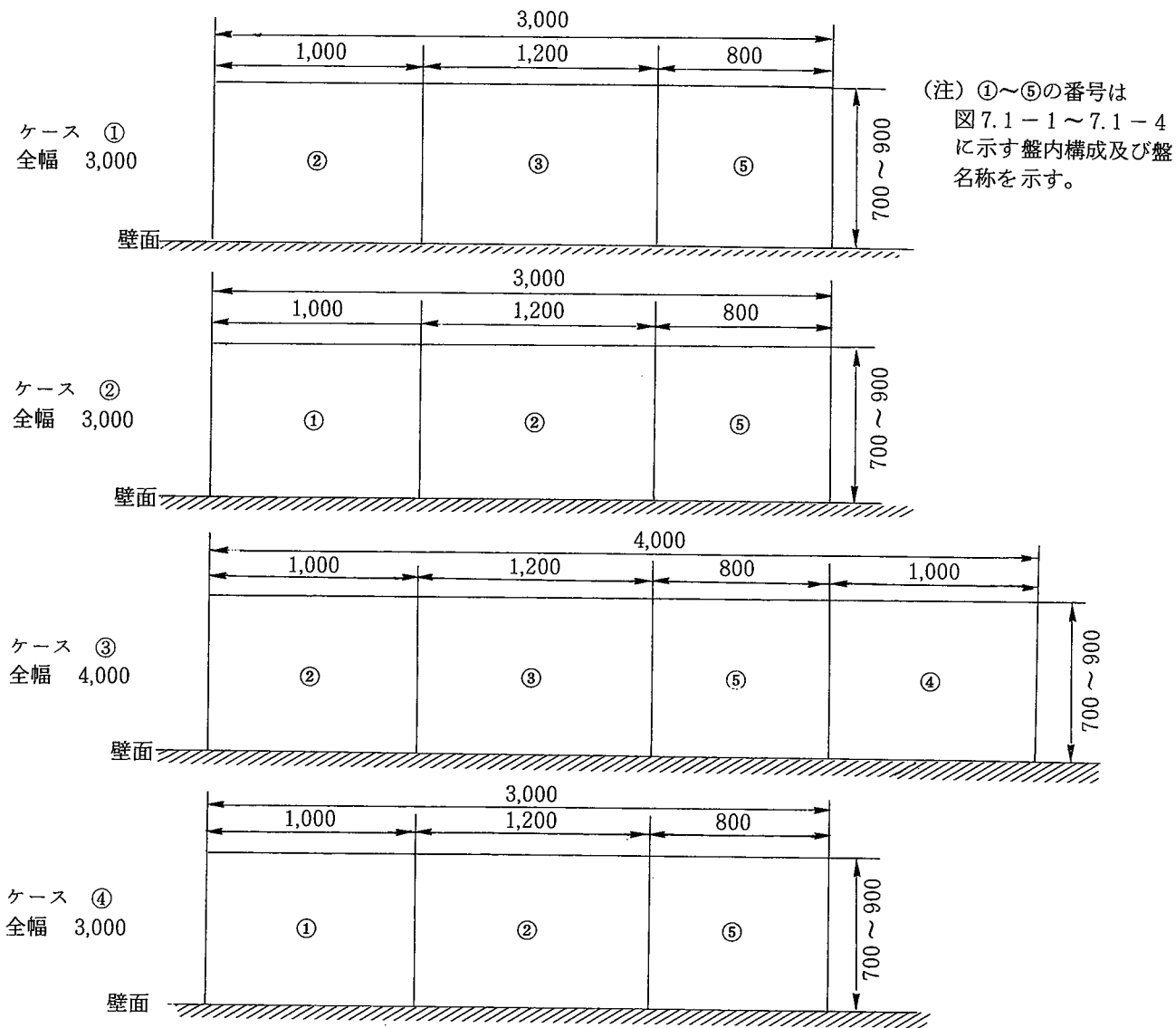


表 8. 2 - 2 主要盤面取付器具（操作開閉器）

No.	使用目的	取付個所	記 事
1	送電用しゃ断器開閉	送電しゃ断器盤	R, Gランプ付
2	発電機用しゃ断器開閉	発電機しゃ断器盤	R, Gランプ付

8. 2. 2 高低圧閉鎖配電盤の標準仕様

1) 高低圧閉鎖配電盤の規格

建屋面積の縮小化を図るため前面保守、前面操作方式の奥行寸法700～900mm、高さ2350mmに統一された壁密着式の薄型配電盤（FF式）を採用する。本方式では配電盤を建屋の壁面に密着するため従来方式の様に配電盤裏面と建屋壁面の間隔（600～1100mm）が不要となり、建屋面積が縮小可能となる。

(1) 薄形閉鎖配電盤の規格

薄形閉鎖配電盤の規格を下記に示す。

高圧閉鎖配電盤……………JEM1425（1990）C形準用

低圧閉鎖配電盤……………JEM1265準用

8. 2. 3 高低圧閉鎖配電盤の構成機器

1) 送電しゃ断器盤

主回路機器は送電用真空しゃ断器、計器用変圧器（PT、CT）、避雷器等である。

低圧発電機採用の場合にのみ昇圧用変圧器を設置する。したがって7. 1 - 4主回路構成に示すケース②、ケース④の場合に送電用しゃ断器盤を設置する。

(1) 送電しゃ断器盤の標準仕様

- a. 規 格 JEM-1425（1990）CW
- b. 形 式 金属閉鎖形スイッチギヤ（屋内用）
- c. 種 類 キュービクル形スイッチギヤ（JEM1425-C）
盤間仕切板は設置しない場合もある。
- d. 機器構造 引出し形（しゃ断器のみ）（JEM1425-CW）
計器用変成器、避雷器は固定形とする。
- e. 定 格
 - a) 定格電圧(kV) 6.9
 - b) 公称電圧(kV) 6.9
 - c) 定格周波数(Hz) 50/60
 - d) 主母線定格電流 (A) 400、600
 - e) 定格遮断電流 (kA) 8、12.5
 - f) 絶縁階級 6号A

(2) 構造概要

a. 収納器具

主なる収納器具を以下に示す。

a) しゃ断器

表 8. 2 - 3 定格及び仕様

準拠規格	J E C - 2300、J I S - C - 4603
形 式	水平引出 (自動連結形)
定 格 電 圧 電 流 しゃ断電流 しゃ断時間	表 8. 2 - 4 より選定する。
操作方式	電動ばね操作
操作電圧	D C 100V
付属品	銘板、開閉表示器、補助スイッチ、手動引外装置、動作回数計

表 8. 2 - 4 定格しゃ断電流・定格しゃ断時間・定格短時間耐電流・
定格電流・定格投入電流 (J I S - C - 4603)

定格電圧 kV	定格しゃ断電流 kA	定格しゃ断時間 サイクル	定格電流 A	定格短時間耐電流 kA	定格投入電流 kA	しゃ断容量注1) MVA
7.2	8.0	3.5	400, 600	8.0	20	100
	12.5	3.5	400, 600	12.5	31.5	160

注1) しゃ断容量は、そのしゃ断器が適用できる系統の三相短絡容量の限度を示し、次の式によって求め、参考値とする。

$$\text{しゃ断容量 (MVA)} = \sqrt{3} \times \text{定格電圧 (kV)} \times \text{定格しゃ断電流 (kA)}$$

しゃ断容量の計算方法は第12章資料に示す。

b) 計器用変圧器

乾式モールド形を適用する。取付方法は固定形とする。

a 相数と接続方法

相数と接続方法による分類を表 8. 2 - 5 に示す。

表 8. 2-5 相数と接続方法による分類

単相	非接地形	一次端子の両端を電線路間に接続して使用
	接地形	一次端子の一端を電線路に接続し他の一端を接地して使用
三相	非接地形	V-V接続で一次端子を電線路間に接続して使用
	接地形	入-入接続で三相端子を電線路に接続し、中性点を接地して使用。地絡保護用には入-入-□接続のものを使用。

b 計器用変圧器の定格を表 8. 2-6 示す。

尚、準拠規格 JEC-1201は保護継電器用、JISC1731は一般計器用である。

表 8. 2-6 計器用変圧器の定格

項目			準拠規格	
			JEC-1201, JISC-1731	
定格一次電圧 (kV)	接地形	単相	$6.6 / \sqrt{3}$	
		三相	6.6	
	非接地形		6.6	
定格二次電圧 (V)	接地形	単相	$110 / \sqrt{3}$	
		三相	110	
	非接地形		110	
定格三次電圧 (V)	接地形、三次付		110/3(190/3)	
絶縁階級 (号)			6 A	
負 担 (VA)	非接地形	50, 100		
	接地形	単相	定格一次	200
			定格二次	200
		三相	定格一次	3 × 200
			定格二次	3 × 200
確度階級	非接地形	1.0又は3.0		
	接地形	三次無し	1 P	
		三次付	1 P / 3 G	
定格周波数 (Hz)			50又は60	

c) 計器用変流器の定格を表8. 2-7に示す。

表8. 2-7 定格及び仕様

項目	準拠規格	J I S C - 1731 J E C - 1201
最高電圧 (kV)		6.9
公称電圧 (kV)		6.6
絶縁階級 (号)		6 A
定格一次電流 (A)		10~100
定格二次電流 (A)		5
定格二次負担 (VA)		10~100
確度階級 (級)		1.0 , 1 P S
過電流強度		40, 75, 150
定格過電流定数		$n > 10$
定格周波数 (Hz)		50又は60

d) 避雷器

発電所への雷の直撃、又は送配電線の雷撃による異常電圧が発電所へ波及した場合に、この異常電圧に耐えるように機器を設計することは困難であるため、異常電圧の波高値を低めて機器を保護するため発電所には避雷器を設ける。

素子は酸化亜鉛 (ZnO) を主成分とする高非直線抵抗素子である。

避雷器の構造、適用標準値を図8. 2-2、表8. 2-8に示す。

表8. 2-8 発電所用避雷器の適用標準値 (JEC-217)

接 地 系 統		
絶縁強度	雷インパルス試験電圧 (kV)	60
	開閉インパルス試験電圧 (kV)	45
	交流試験電圧 (kV)	—
適用避雷器	交流試験電圧 (kV)	22
	定格電圧 (kV)	16
	連続使用電圧 (kV)	8.4
	公称放電電流 (kA)	$\frac{6.9}{\sqrt{3}}$
保護性能(上限値)	動作開始電圧 (下限値) (kV)	5
	雷インパルス制限電圧 (kV)	10
	開閉インパルス制限電圧 (kV)	14.3
保護性能(上限値)	雷インパルス制限電圧 (kV)	33
	開閉インパルス制限電圧 (kV)	33

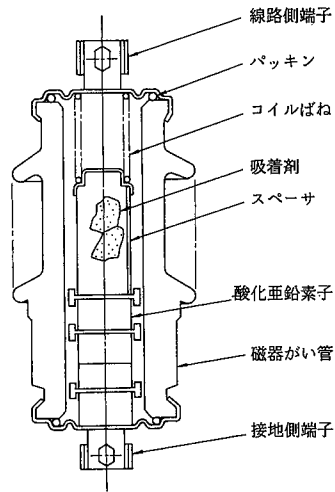


図 8. 2 - 2 酸化亜鉛形避雷器構造図

b. 盤面取付器具

主なる盤面取付器具 表 8. 2 - 9 に示す。

表 8. 2 - 9 主なる盤面取付器具 (操作開閉器)

No.	使用目的	取付場所	記 事
1	送電用しゃ断器開閉	送電しゃ断器盤	R, G ランプ付

但し、同一階に発電機制御盤を設けて送電用しゃ断器の操作が可能な場合は省略する。

2) 発電機用しゃ断器盤

収納する主回路機器は発電機用しゃ断器、計器用変成器 (PT、CT、GPT)、SA用コンデンサ等である。表 8. 2 - 1 に示す盤内収納器具は 1 例であり変更する場合がある。また、盤形式は送電用しゃ断器盤と同様薄形配電盤とする。

ケース②、ケース④の場合には所内変圧器、励磁用変圧器、力率改善用コンデンサを収納している。

(1) 発電機しゃ断器盤の標準仕様

a. 主変圧器なし (ケース①及びケース③の場合)

8. 2. 3 の 1) の (1) の送電しゃ断器盤に同じ。

b. 主変圧器あり (ケース②及びケース④の場合)

- a) 規 格 JEM-1265
- b) 形 式 低圧閉鎖配電盤
- c) 機器構造 しゃ断器以外は固定とする
- d) 定 格 表 8. 2 - 10 による。

表 8. 2-10 標準定格

項 目	仕 様	備 考
定格電圧 (V)	460	0.5秒
定格電流 (A)	800, 1,200	
定格周波数 (Hz)	50または60	
母線定格電流 (A)	800, 1,600	
定格短時間電流 (kV)	15	
定格操作電圧 (V)	D C 100	
制御電圧 (V)	D C 100	

(2) 構造概要

a. 収納器具

主なる収納器具を以下に示す。

a) シャ断器

(a) 高圧回路 (ケース①、ケース③の場合)

発電機用シャ断器の形式は真空シャ断器とし、仕様概要を 8. 2. 3 の 1) の (2) の a. の a) 真空シャ断器に示す。

(b) 低圧回路 (ケース②、ケース④の場合)

発電機用シャ断器の形式は配線用シャ断器とし、仕様概要を 8. 2. 3 の 5) の (2) の a) 配線用シャ断器に示す。

b) 計器用変成器 (C T、P T、G P T)

仕様概要を 8. 2. 3 の 1) の (2) の a. の b) 計器用変成器に示す。

c) サージアブソーバ (S A)

サージ吸収用コンデンサは、真空シャ断器の開閉サージ吸収用と併用するので、発電機側に接続することとする。但し、真空シャ断器で低サージ用採用の場合は開閉サージ吸収用コンデンサを必要としないものもある。

(a) 定 格

ア. コンデンサ

電 圧	6.6kV
容 量	0.5 μ F

イ. 避雷器

定格電圧	8.4kV
放電電流	10,000A

3) 所内盤

所内変圧器、励磁用変圧器、高圧断路器 (電力ヒューズ付)、避雷器 (中性点用) 等を収納する金属閉鎖形スイッチギヤである。ケース②、ケース④の場合は発電機シャ断器盤に収納し所内盤は設けない。

(1) 標準仕様

- a. 規格 JEM-1425 (1990) CX
- b. 形式 金属閉鎖形スイッチギヤ (屋内用)
- c. 種類 キュービクル形スイッチギヤ (JEM1425-C)
- d. 機器構造 盤間の仕切り板は設置しない場合がある。また機器取付は固定とする。
- e. 定格 8.2.3の1)の(1)送電しゃ断器盤の標準仕様と同じ。

(2) 構造概要

a. 収納器具

主なる収納器具を以下に示す。

a) 所内変圧器

仕様を8.3 変圧器に示す。

b) 励磁用変圧器 (Ex. Tr)

本標準方式では小水力発電の特性から励磁用電源は所内電源より受電することとしている。この利点は励磁変圧器に低圧変圧器の採用が可能なこと、又初期励磁装置 (直流電源) が省略出来ることである。

① 形式 乾式自冷式屋内形

② 電圧 一次 210V
二次 110V

③ 定格 連続定格

c) 高圧断路器 (電力ヒューズ付)

断路器の定格仕様を次に示す。

① 形式 屋内形

② 構造 単極単投

③ 操作方式 フック棒操作

④ 定格電圧 7.2/3.6kV

⑤ 定格電流 200A

⑥ 短時間電流 14kA

⑦ 絶縁階級 6号A

⑧ 定格 連続定格

4) コンデンサ盤

この盤は力率改善用コンデンサ及び高圧交流負荷開閉器 (電力ヒューズ付き) を収納する盤で、誘導発電機の場合にのみ設置される。(ケース③の場合)

又ケース④の場合コンデンサは発電機しゃ断器盤に収納し、コンデンサ盤は設けない。

(1) 標準仕様

8.2.3の3) 所内盤と同じ。

(2) 構造概要

a. 収納器具

主なる収納器具を以下に示す。

a) 力率改善用コンデンサ

力率改善用コンデンサ容量の計算方法を第12章資料に示す。

b) 高圧交流負荷開閉器

高圧交流負荷開閉器とは高圧交流電路に使用し、通常状態において所定の電流を開閉及び通電し、その電路の短絡状態における異常電流をも投入し、規定の時間通電出来るものを言う。短絡電流開放は出来ない。

本負荷開閉器は力率改善コンデンサ用として使用する。

又、力率改善コンデンサの短絡事故時の保護用として電力ヒューズを設置した。

高圧交流負荷開閉器の定格仕様を次に示す。

① 形 式	屋内形
② 操作方式	電動操作
③ 定格電圧	7.2kV/3.6kV
④ 定格電流	100A
⑤ 定格短時間電流	4 - 1 (kA-秒)
⑥ 絶縁階級	6号A
⑦ 定格開閉容量	負荷電流 200A 励磁電流 20A コンデンサ電流 75A
⑧ 定 格	連 続

5) 配線用しゃ断器盤

発電所内の所内低圧回路に使用する配電用しゃ断器(MCCB)を収納する盤である。

(1) 標準仕様

8. 2. 3の2)の(1)のb発電機しゃ断器盤(主変圧器あり)に同じ。

(2) 構造概要

(a) 収納器具

a) 配線用しゃ断器(MCCB)

(b) 適用規格 J I S C 8370による。

8.3 変圧器

8.3.1 標準仕様

1) 形式

変圧器は次の形式を適用する。

- ① 油 入 送電用（屋外設置）
- ② 乾式モールド 所内用（屋内設置）

2) 標準容量

(1) 送電用変圧器

出力500kW未満の小水力発電所に適用されるものであるが、力率を考慮し300kVA以下とした。300kVA以上は高圧6.6kVとする。

50, 75, 100, 150, 200, 300 (kVA)

(2) 所内用変圧器

20, 30 (kVA)

ただし、30kVAはS形チューブラ水車の場合とする。

3) 変圧器の容量と電圧

発電機で発生する電圧は一定でも、系統又は負荷の内容によって電圧は変化する。このため変圧器の二次側にタップが設けられており、このタップ電圧により系統の電圧に合わせるようになっている。表8.3-1及び表8.3-2に変圧器容量と電圧の関係を示す。

(1) 送電用変圧器

一次側電圧はJEC-204により電圧変動率を考慮し発電機端子電圧より0～5%低い値を選定する。

表8.3-1 変圧器の容量と電圧（送電用）

形式	種別	容量(kVA)	定格電圧 (kV)		適用規格	記 事
			一次側	二次側		
油 入	三 相	50, 75, 100,	420V	F6.75-R6.6-F6.45	JEC-204	
		150, 200, 300	または 210V	-F6.3-6.15		

(2) 所内用変圧器

標準的には20kVA程度でよい。但し、S形チューブラ水車の場合は30kVAとなる。所内用変圧器の容量計算方法を第12章資料に示す。

表 8. 3 - 2 変圧器の容量と電圧 (所内用)

形式	種別	容 量(kVA)	定格電圧 (kV)		適用規格	記 事
			一次側	二次側		
乾式 モールド	三 相	20, 30	420V級	210V	JEC-204	
			または 210V	-105V	JEM-1424	
	20, 30	R6.6-F6.3-6.0	210V	-105V	JEC-204 JEM-1424	

4) 定格と仕様

(1) 油入変圧器

表 8. 3 - 3 油入変圧器の定格と仕様

準 拠 規 格	J E C - 2 0 4 , J I S C - 4 3 0 4
形 式	油入開放形、窒素密封形、油入空気密封形
冷却方式	自冷式
定 格 相 数 容 量 電 圧	三相 } 表 8. 3 - 1 による。
絶縁階級	3号A (3.3kV用)、6号A (6.6kV用)
インピーダンス (参考値)	一般用 300kVA以下 1.7~6.3%

(2) 乾式モールド変圧器

表 8. 3-4 モールド変圧器の定格と仕様

準 拠 規 格	J E C-204 , J E M-1424
形 式	モールド形
冷却方式	自冷式
定 格	单相, 三相 } 表 8. 3-2 による。
相 数	
容 量 電 圧	
絶縁階級	3号A (3.3kV用) 相当、6号A (6.6kV用) 相当
付 属 品	標準付属品： 銘板、1次、2次端子、接地端子、 タップ切替端子、危険表示マーク、 ダイアル温度計 (300kVA以上) 特別付属品： ダイアル温度計 (300kVA未満のとき) 混触防止板、防振ゴム、車輪
インピーダンス (参考値)	容量300kVA以下 1.7~8%

8. 3. 2 油入変圧器概略寸法及び概略重量

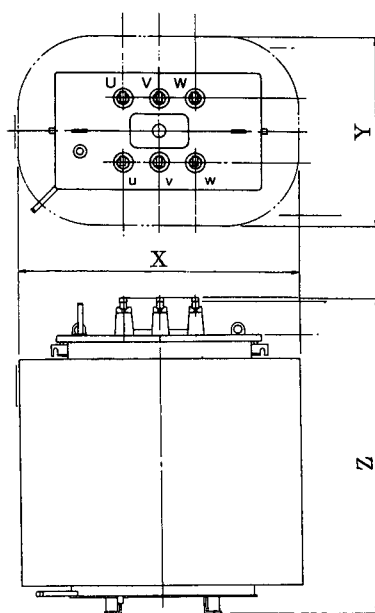


図 8. 3-1 油入変圧器外形図

表 8. 3 - 5 油入変圧器の概略寸法及び概略重量表
(三相 400V - 6kV級送電用)

容量 (kVA)	周波数 (Hz)	概略寸法 (mm)			重量 (kg)
		X	Y	Z	
50	50	545	550	770	310
	60				280
75	50	895	800	990	590
	60				530
100	50	895	800	1045	620
	60				580
150	50	985	805	1170	790
	60				750
200	50	1135	810	1170	970
	60				910
300	50	1310	840	1240	1190
	60				1070

8. 4 屋外機器

8. 4. 1 屋外機器の構成

屋外機器は主として以下の機器で構成される。

- 1) 主変圧器
- 2) 計器用変圧・変流器 (MOF)
- 3) 避雷器
- 4) 高圧気中負荷開閉器 (PAS)
- 5) 零相電圧検出コンデンサ (ZPD)

8. 4. 2 構成機器の概要

1) 主変圧器

仕様を 8. 3 変圧器の項に示す。

2) 計器用変圧・変流器 (MOF)

変流器 (CT) と計器用変圧器 (PT) を一つにまとめ、外箱などに入れ結線してある計器用変成器で電力需給用として使用する。PCTとも称する。

特性を変えることのできないように検定封印を施すことができる装置を設ける。MOFの設置場所は屋外送電第1柱取付とする。

(1) 定格及び仕様

- a. 定格 6.6kV以下
- b. 仕様 表8.4-1に示す。

表8.4-1 MOF定格仕様

	過電流 強度	計器用変圧器		計器用変流器		階級 (級)	絶縁階級	周波数 (Hz)
		電圧比 (V)	定格負担 (VA)	変流比 (A)	定格負担 (VA)			
三相三線式	40	6600/110	15×2	20/5, 50/5 100/5	15×2	0.5M または 1.0M	6号A	50 または 60
三相三線式	150	6600/110	15×2	20/5, 50/5	15×2	0.5M または 1.0M	6号A	50 または 60

(2) 構造概要

図8.4-1に6kV級MOFの外観図を、図8.4-2に外形図を示す。

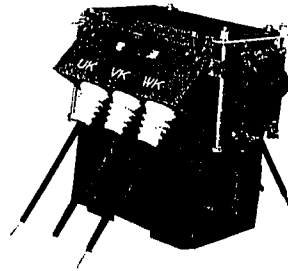


図8.4-1 6kV級MOFの外観図

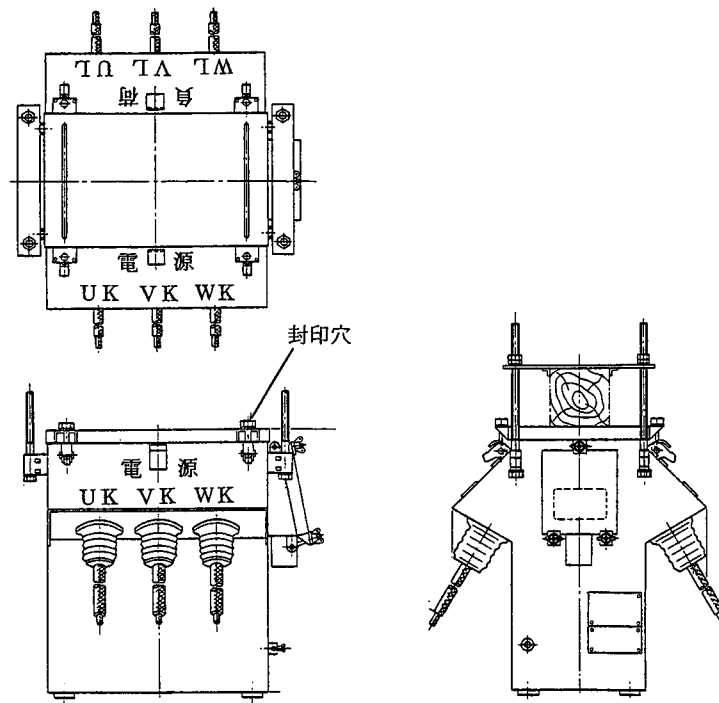


図8.4-2 MOF外形図

3) 避雷器

仕様を 8. 2. 3 の 1) の(2)の a. の d) に示す。

4) 高圧気中負荷開閉器 (PAS)

高圧交流電路に使用し、電路の開閉が大気中で行なわれる開閉器で通常状態では所定の負荷電流を開閉及び通電し、その電路の短絡状態における異常電流をも投入し、規定の時間通電できる装置(柱上気中開閉器)である。通常PAS (Pole air-break Switch) と称す。

送電第1柱に取り付け、発電所の送り出し側の電力会社との区分開閉器として使用する。

図 8. 4-3 に外観図、図 8. 4-4 にPAS外観図を示す。

(1) 形式

屋外用引き外し形高圧交流負荷開閉器 (J I S C-4607)

(2) 定格及び仕様

定格事項を表 8. 4-2 に示す。

表 8. 4-2 定格及び仕様

定格電圧 (kV)	定格電流 (A)	定格短時間電流 (実効値)(kVA)	定格短絡投入電流 (波高値)(kA)	定格短絡投入電流の 投入回数
7.2	100	2.0	5.0	(注1) A級: 1回 B級: 2回 C級: 3回
		4.0	10.0	
	200	4.0	10.0	
		8.0	20.0	

注1) 定格短絡投入電流の投入回数が1回可能なものA級、2回をB級、3回をC級と称す。

(3) 定格負荷開閉容量

定格負荷開閉容量を表 8. 4-3 に示す。

表 8. 4-3 定格負荷開閉容量

(単位: アンペア)

定 格 電 流	100	200
定格負荷電流開閉容量	100	200
定格励磁電流開閉容量	5	10
定格充電電流開閉容量	10	10

(4) 定格地絡しゃ断電流

地絡しゃ断電流 30A

(5) 構造概要

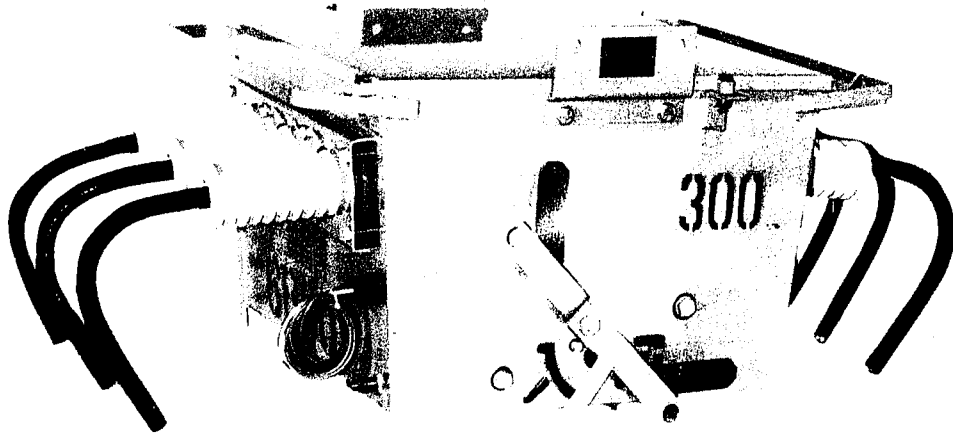


図 8. 4 - 3 外 観 図

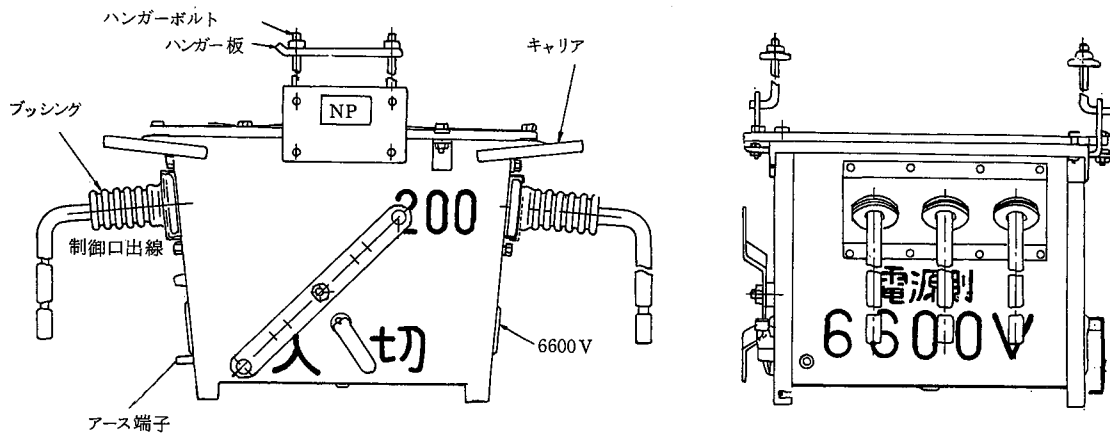


図 8. 4 - 4 PAS外形図

5) 零相電圧検出コンデンサ (ZPD)

零相電圧を検出するためのコンデンサ形計器用変成器である。高圧電路の地絡保護用継電器と組み合わせて使用される高圧気中負荷開閉器附属の継電器と組み合わせて使用される場合もある。

零相電圧検出コンデンサの外形図、内部接続の1例を図8.4-5に示すが容量によっては零相電圧検出部を内蔵した高圧気中負荷開閉器が使用される場合もある。

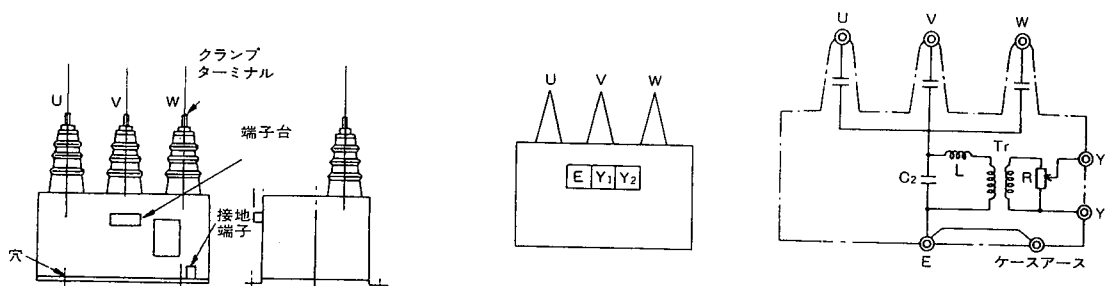


図8.4-5 零相電圧検出コンデンサ外形図

8.5 送電第1柱

送電第1柱は発電所構内の発電機室に近接した道路側に設置され、電力会社との保安上の責任分界点となる。発電機室よりケーブルで立ち上がり、図7.1-1～7.1-4に示す単線接続図のようにMOFに接続される。この送電第1柱は架空配電線の支持物であり、鉄筋コンクリート製とする。

8.5.1 形式

遠心力プレストレスコンクリート柱で長さは7m～17mまであり、未口径により100kgfまで設計過重に耐えられる。

JIS A-5309を表11.3-3に詳細に示す。

8.5.2 取付機器

コンクリート柱にはPAS、MOF、取引用計器、避雷器等を取付ける。特殊の場合には責任分界点用断路器を電力会社から要求される。

8.5.3 高圧引出線

高圧ケーブル及び高圧絶縁電線を使用する。電力会社隣接電柱まで架空の場合、表11.3-2 架空電線の高さを参照する。

8.6 単独運転方式の場合（100kW未満の場合）

本方式の場合の制御及び保護方式は第7章に記載されているが、これに基づく配電盤及び開閉装置を下記に示す。

8.6.1 配電盤及び開閉装置

1) 盤構成及び取付器具

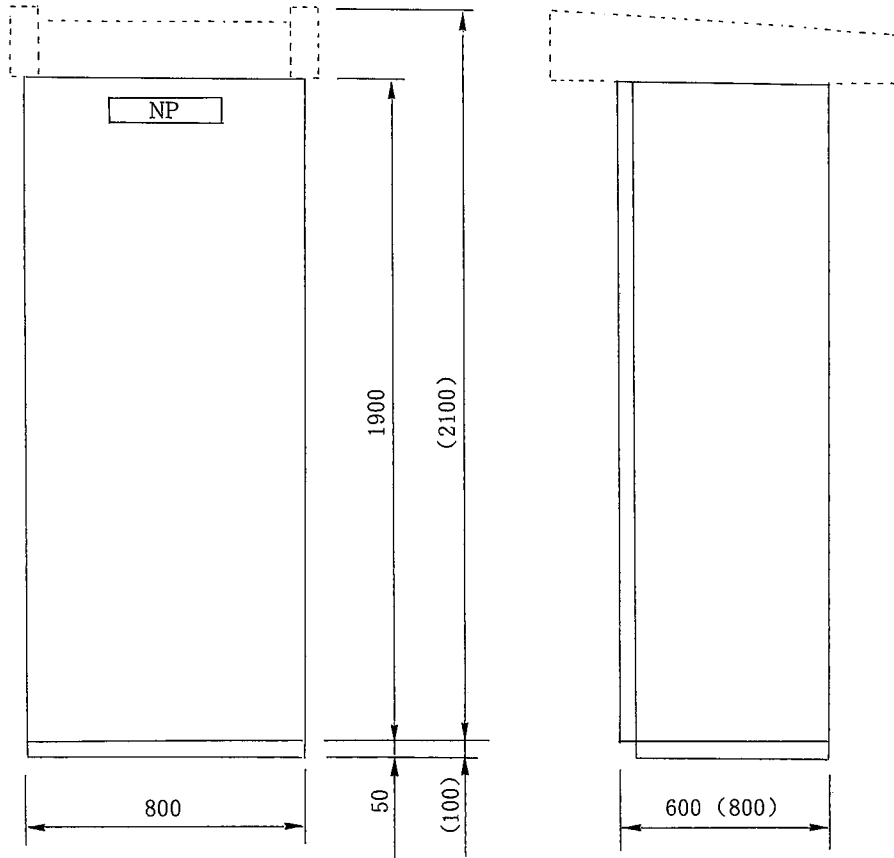
配電盤は発電機盤1面とし、取付器具を表8.6-1に示す。

表8.6-1 壁面取付、収納器具

項 目	ケース1（同期発電機）	ケース2（誘導発電機）
計 測	電力計・電力量計・電圧計・ 周波数計・回転計	同 左
30S	発 電	同 左
30F	なし：保護継電器ターゲットを 確認する。	同 左
スイッチ類	運転・停止 故障復帰	同 左
励 磁	A V R	コンデンサ
保護継電器	地絡過電流（51G） 過 電 流（51） 過 電 圧（59）	同 左
負荷調整	負荷調整装置（65）	同 左

2) 外形寸法

外形寸法は、同期発電機・誘導発電機とも同一とし、図8.6-1に発電機盤の外形寸法を示す。



注1) ()内寸法は、屋外形発電機盤とした場合の寸法とする。

図8.6-1 発電機盤外形図

8. 6. 2 警報装置 (100kW未満の場合)

遠方監視は行わないものとするが、ガイドベーン固定及び入口弁省略のため事故時にダミーロード故障が重複すると、水車・発電機は連続した無拘束速度となり早急な対応を要するため、管理所に事故の通報をする警報装置を考慮する。

1) 設備の概要

故障の通報だけとする。

2) 警報の方式

次の何れかによる。

- (1) ケーブル直送方式
- (2) N T T線による自動通報装置

3) 設備の構成

- (1) 発電所側
 - a. ケーブル直送方式……………発電機盤内収納
 - b. 自動通報装置……………壁掛形
- (2) 管理所側
 - a. ケーブル直送方式……………壁掛形
 - b. 自動通報装置……………N T T一般電話

8. 6. 3 直流電源装置

1) 形 式

蓄電池内蔵キュービクルタイプ

2) 用 途

同期発電機の初期励磁用とするほか、制御電源として使用する。

3) 設置の条件

- (1) 発電所が管理用に商用低圧電源を受電すること。
- (2) 商用を受電しない場合は通年発電を行なうか、長期停止のないこと。
尚、(1)(2)項に該当しない場合は、PMGによる初期励磁を考慮する。

第9章 付帯設備

9.1 クレーン設備

標準化された500kW以下の水車を設置する発電所では、S形チューブラ水車の場合のみ屋内式とするため、クレーン設備が必要となる。

クレーン設備は機器の搬入・搬出・組立および分解に際して利用するものとする。

クレーン設備を使用しないときは、吊上げ機を取外して他に流用することも考えられる。

最大吊上げ重量は、発電機の搬入時に一体で吊下ろしする場合は通常最大となるが、前述第6章発電機・6.3.4 S形チューブラ水車用発電機の概略寸法及び概略重量表（表6.3-4および6.3-5）に示すように、その最大重量は9トンを超すことがない。

9.1.1 クレーン設備の選定

建屋の梁にフックを設け天井クレーンを必要としない形式や、建屋壁にI形鋼を設置して、これにチェーンブロック等を取付ける形式がある。

一般には建屋の長手方向に走行するケタ（ガータ）を設置し、ケタ上に吊上げ装置としてチェーンブロックを搭載した天井クレーンが採用される。

ケタの走行と横行トロリーの移動方式は、手押し又は鎖動の手動方式とする。

天井クレーンの選定は、表9.1-1によるものとする。

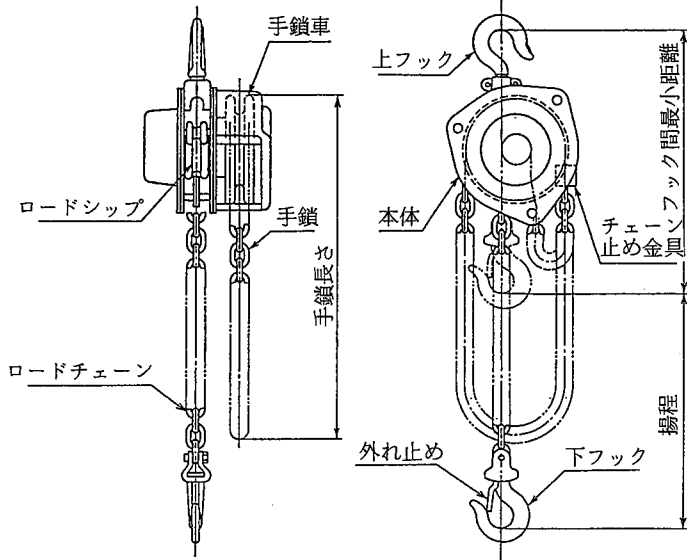
表9.1-1 天井クレーンの選定

定格荷重	天井クレーンの形式
5 t 以下	手動式チェーンブロック付形
8～10 t	手動式トロリ形

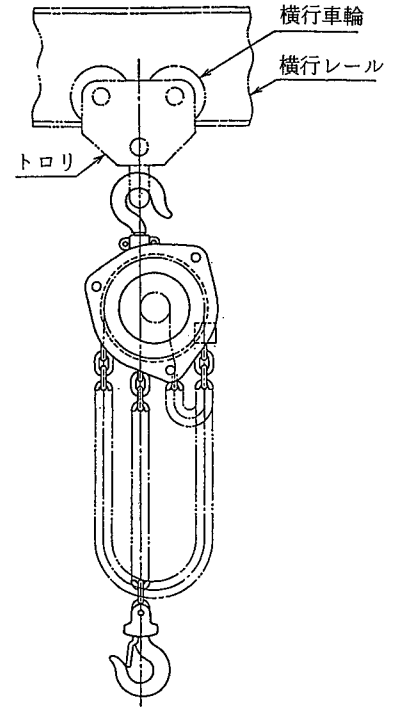
9.1.2 外形寸法および諸元

図9.1-1に手動式チェーンブロックの例を、表9.1-2にその主要諸元を示す。

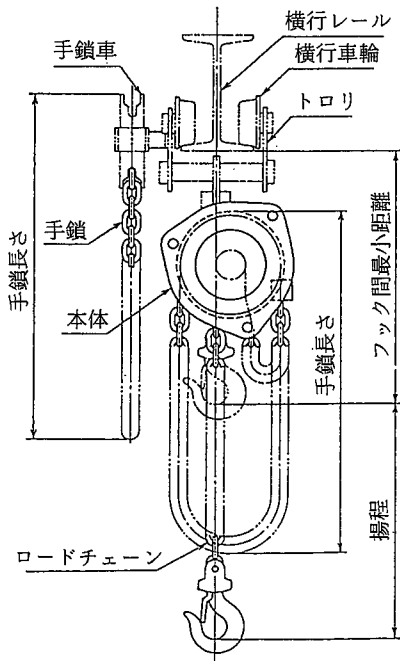
懸垂式 (一例)



トロリ式 (手押横行) (一例)



トロリ結合式 (鎖動横行) (一例)



トロリ結合式 (手押横行) (一例)

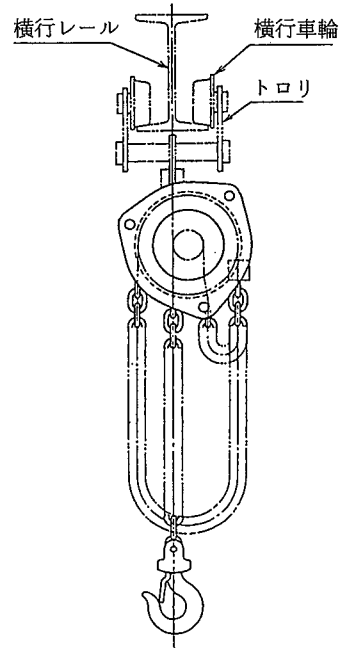


図 9. 1-1 手動式チェーンブロック

表9. 1-2 手動式チェーンブロック主要諸元
(JIS B 8802 から転載)

種 類	定格荷重 kN{tf}	標準揚程 (m) ①	フック間最小距離 (mm) ②		標準手鎖 長さ(m)③	製品の質量 (kg) ④	
			H級 ⑤	L級 ⑥		H 級	L 級
1/2 T	5 {0.5}	2.5	330以下	350以下	2.5	12以下	14以下
1 T	10 {1}	2.5	380以下	400以下	2.5	15以下	17以下
1 1/2 T	16 {1.6}	2.5	440以下	460以下	2.5	21以下	23以下
2 T	20 {2}	3	510以下	530以下	3	28以下	30以下
2 1/2 T	25 {2.5}	3	550以下	600以下	3	35以下	37以下
3 T	31.5{3.15}	3	600以下	700以下	3	42以下	45以下
5 T	50 {5}	3	700以下	850以下	3	55以下	70以下
7 1/2 T	75 {7.5}	3.5	900以下	1000以下	3.5	75以下	90以下
10 T	100 {10}	3.5	1000以下	1200以下	3.5	110以下	130以下

注

- ① 揚程とは、定格荷重を巻上げ・巻下げできる最大距離をいう。
- ② 定格荷重を巻上げできる限界におけるフック間最小距離をいう。
- ③ 手鎖長さは、図9. 1-1に示すように手鎖車に掛けた状態の長さをいう。
- ④ 製品の質量とは、標準揚程及び標準手鎖長さに対するものをいい、トロリの質量は含まない。
- ⑤ 比較的高頻度で使用されるものをいう。
- ⑥ 比較的低頻度で使用されるものをいう。

9.2 遠方監視装置

9.2.1 設備

(1) 設備の概要

a. 運転表示項目

表示しない。(但し、自動通報装置により故障状態の確認が可能)

b. 故障表示項目

a) 故障

表示しない。電話による音声通報とする。

(但し、自動通報装置により運転状態の確認が可能)

c. 方式

N T T線による自動通報装置

(2) 構造概要

a. 発電所側

自動通報装置： 壁掛形とする

b. 管理所側

N T T受話器による

9.2.2 自動通報装置

本装置は電話回線を使って運転状態、故障項目、発生個所を音声にて通報する装置である。

本装置は、各種センターからの監視入力を、加入電話回線を利用して、あらかじめ設定された通報先へ自動的に通報する自動通報装置である。また装置内設定スイッチにてダイヤル方式、通報モード、着信応答、集音等の機能設定が可能であり、データ受信装置を接続すればデータ通信も可能である。本装置の主な特長は、次のとおりである。

- ① センター入力8点に対応したメッセージ通報ができる
- ② ダイヤル方式は、回転ダイヤル、押ボタンダイヤルのいずれも可能
- ③ 呼出しに応じて、自動的に現在の監視入力状態が通報可能(着信応答機能)
- ④ 監視入力情報の符号伝送が可能
- ⑤ 集音マイクユニットを追加する事により、周囲の物音を集音して約100秒間送る事が可能
- ⑥ 取付方法は壁掛形

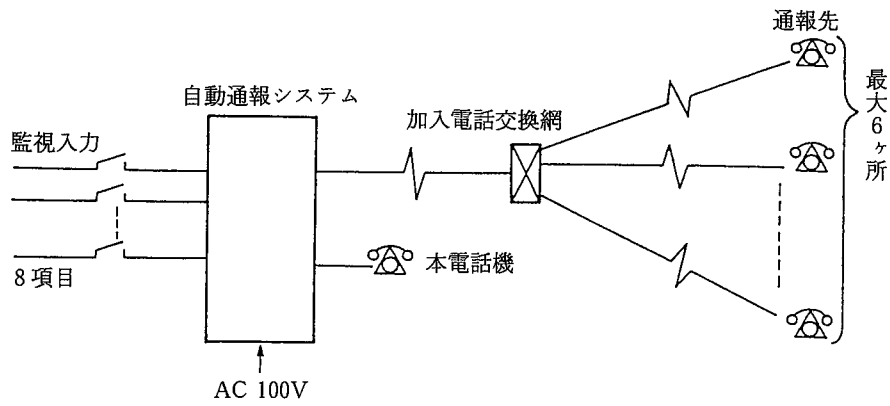


図 9. 2 - 1 自動通報装置の一例

■各部の名称と機能

- | | |
|-----------|-------------------------|
| ①電源ランプ | ⑥転換器 |
| ②通報動作中ランプ | 回線とVH-100を切り分けるスイッチです。 |
| ③通報異常ランプ | ⑦在/不在スイッチ |
| ④施錠穴 | 通報先切替用スイッチです。 |
| ⑤ケーブル導入口 | ⑧リセット |
| | 通報異常ランプ、外部警報出力をリセットします。 |

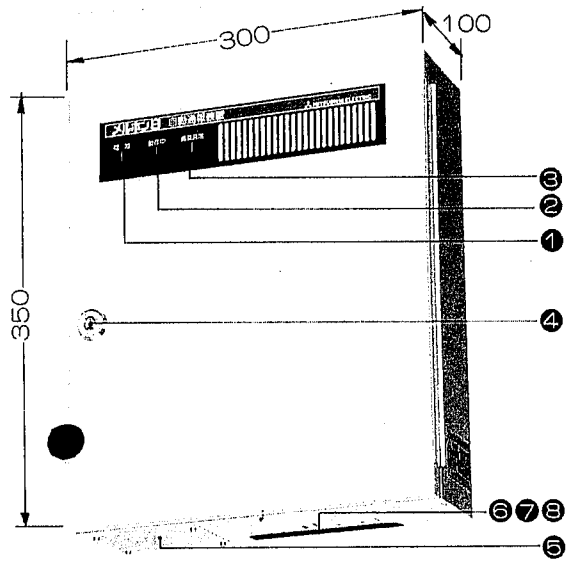


図 9. 2 - 2 自動通報装置

9.3 火災報知器

発電機規定第4-14条 常時監視をしない発電所等の保安警報装置で火災が発生した場合は技術員駐在所若しくは制御所に警報する装置を施設することが望ましい。

常時監視をしない発電所全般に火災警報装置の設置を義務づけることになっている。火災報知器は、警戒する面積、取付高などから適当な方式を選定すべきである。

9.3.1 定格事項

一般的なタイプは定温式スポット型感知器（1種普通型）が採用されている。

- 1) 公称作動温度 70° 80° 90°
- 2) 定格 DC30V 100mA
- 3) 重量 250 g
- 4) 主材質 SUS 321
- 5) 適合ボックス JISC 8336 中形四角アウトレットボックス

発信機を含む総合盤が壁面に取り付けられ総合盤の監視接点で遠方監視項目に接続される。

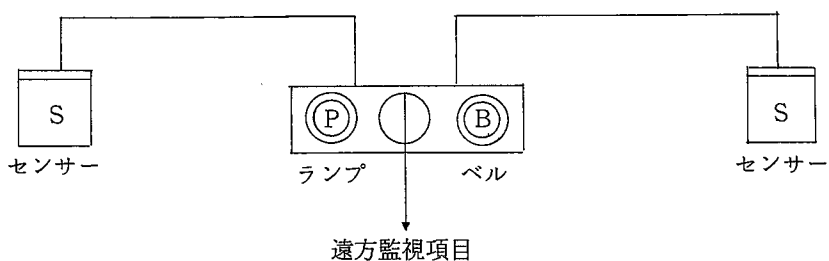


図9.3-1 遠方監視システム

第10章 試験及び検査

一般に水力発電所で使用される水車、水車補機、発電機、配電盤等の機器は製作者の工場で作製のため、水車、発電機に関しては工場で仮組立をおこなって必要な試験および検査を実施することになっている。

しかしながら、本マニュアルの対象としている機器の容量範囲では、特別に輸送や搬入条件の悪い場合を除いて、分割輸送・搬入を行った後で発電所現場において再組立のうえ据付をおこなうことを必要としない。即ち、工場で組立・試験・および検査をおこなった後一体で輸送し、発電所現場に据付けることとなる。

従って、工場試験と現場試験の項目の重複を極力避けて簡素化を図るものとする。

10. 1 工場試験および検査

製作工場における試験及び検査については、製作者の独自の品質管理基準に従って実施されているものであるから、製作者の独自性に任せるものとし、発注者のおこなう立会検査は構造検査・寸法検査など現地で他の工作物との関連の大きなものだけとして、性能・機能など機器の品質を保証するものについては製作者の工場試験検査記録によって確認し、その他は製作者の自主検査に任せるものとする。

10. 1. 1 水車

寸法検査と非破壊検査は原則として

J E C - 2 1 5 「水車及びポンプ水車の寸法検査基準」

J E C - 4 0 0 1 「水車及びポンプ水車」

電協研第26巻第7号「水車非破壊検査基準」

電協研第45巻第1号「水車・ポンプ水車及び付属装置の工場検査基準」

に準ずるものとするが、対象機器が小形であるので検査項目はできる限り簡略化して次に記載する程度に止める。

1) 組立検査

現地での据付作業に支障を来さないために、ケーシング、カバーなどの静止部および回転部を一体に組立て寸法の確認をする。

(1) 横軸ペルトン水車

ハウジング、ノズルパイプ、ノズルチップ、ニードル、ピットライナなどの静止部および回転部を一体に組立て、次の検査および確認をおこなう。

a. 外観検査

立会検査

b. バケット水切りの軸方向のずれ

検査記録

c. ジェット中心線の接円直径と軸方向のずれ

検査記録

(2) 横軸フランシス水車

ケーシング、水車カバー、軸封水装置、ガイドベーン、ガイドリングなどの静止部（吸出し管を除く）および回転部を一体に組立て、次の検査および確認を行う。

- | | |
|---------------------------------|------|
| a. 外観検査 | 立会検査 |
| b. ガイドベーン端面のギャップ | 検査記録 |
| c. ガイドベーンを閉じた時のガイドベーンシャッタ面のギャップ | 検査記録 |
| d. 吸出し管の寸法 | 検査記録 |

(3) クロスフロー水車

入口弁、ケーシング、ハウジング、主軸受、軸封水装置、ガイドベーンおよび回転部を一体に組立て、次の検査および確認をおこなう。

- | | |
|---------------------------------|------|
| a. 外観検査 | 立会検査 |
| b. ガイドベーン端面のギャップ | 検査記録 |
| c. ガイドベーンを閉じた時のガイドベーンシャッタ面のギャップ | 検査記録 |

(4) チューブラ水車

内外側ケーシング、内外側ガイドベーンリング、ディスチャージリング、水車軸受、軸封水装置、ガイドベーン、ガイドリングなど静止部（吸出し管を除く）および回転部を一体に組立て、次の検査および確認をおこなう。

- | | |
|---------------------------------|------|
| a. 外観検査 | 立会検査 |
| b. ガイドベーン端面のギャップ | 検査記録 |
| c. ガイドベーンを閉じた時のガイドベーンシャッタ面のギャップ | 検査記録 |
| d. 水車軸と軸受メタルのギャップ | 検査記録 |
| e. 吸出し管の寸法 | 検査記録 |

2) ランナ

ランナについては、下記の検査項目について工場試験・検査記録を確認する。

- (1) 寸法検査
- (2) 静的平衡試験

3) その他の検査

下記の項目については、製作者の自主検査に任せる。

- (1) 水車軸：単独振れ見、寸法検査
- (2) 非破壊検査：ケーシング、水車軸、ランナ、ガイドベーン
- (3) 耐圧試験
- (4) 材料試験：ケーシング、水車軸、ランナ、ガイドベーン

10. 1. 2 補機

1) 入口弁

(1) 組立検査

入口弁本体および駆動部を組立てた状態で次の試験をおこなう。

- | | |
|--------------------------------------|------|
| a. 外観・寸法検査 | 立会検査 |
| (2) 水密試験 | 試験記録 |
| 入口弁閉の状態において最高落差に相当する水圧を加え漏水量の測定をおこなう | |
| (3) 非破壊検査 | 検査記録 |
| (4) 耐圧試験 | 検査記録 |
| (5) 材料試験 | 検査記録 |
- 2) 調速機
- 調速機を組立てた後、次の試験・検査をおこなう。
- | | |
|----------|------|
| (1) 外観検査 | 立会検査 |
| (2) 性能試験 | 試験記録 |
- 3) その他の補機
- | | |
|----------------|------|
| (1) 外観検査 | 検査記録 |
| (2) ポンプの性能試験 | 試験記録 |
| (3) 電動機の絶縁抵抗試験 | 検査記録 |
10. 1. 3 発電機
- 発電機、励磁機およびその付属品は、工場で組立て下記の検査および確認をおこなう
- 1) 発電機本体
- | | |
|-----------------|------|
| (1) 組立検査および寸法検査 | 立会検査 |
| (2) 絶縁抵抗試験 | 立会試験 |
| (3) 耐電圧試験 | 立会試験 |
| (4) 巻線抵抗測定 | 試験記録 |
| (5) 主軸検査 | |
| a. 単独振れ見 | 検査記録 |
| b. 寸法検査 | 検査記録 |
| (6) 材料試験および探傷試験 | 試験記録 |
- 2) 励磁装置
- | | |
|------------|------|
| (1) 構造検査 | 検査記録 |
| (2) 絶縁抵抗測定 | 試験記録 |
| (3) 耐電圧試験 | 試験記録 |
| (4) 特性試験 | 試験記録 |
10. 1. 4 変圧器
- 1) 主変圧器

(1) 構造検査および寸法検査	検査記録
(2) 絶縁抵抗測定	試験記録
(3) 耐電圧試験	試験記録
2) 所内変圧器	
(1) 構造検査および寸法検査	検査記録
(2) 絶縁抵抗測定	試験記録
(3) 耐電圧試験	試験記録
10. 1. 5 配電盤および開閉装置	
1) 監視制御盤および低圧閉鎖配電盤	
(1) 組立検査	
a. 外観構造検査	立会検査
b. 寸法検査	立会検査
c. 配線検査	立会検査
(2) 絶縁抵抗測定	試験記録
(3) 耐電圧試験	試験記録
(4) 単体特性試験	
a. 保護継電器特性試験	試験記録
b. 制御装置特性試験	試験記録
(5) シーケンス試験	試験記録
2) 高圧閉鎖配電盤	
(1) 組立検査	立会検査
(2) インターロック機構操作試験	試験記録
(3) 絶縁抵抗測定	試験記録
(4) 耐電圧試験	試験記録
(5) 収納機器試験	試験記録
3) 直流電源装置	試験記録

10. 2 現場試験

現場試験は、通常据付中の試験と据付完了後の試験に分けられるが、製作者の工場では組立検査をおこなった後はそのまま一体で現地に輸送して据付を実施するので、据付中の試験は大巾に不要となるが、輸送中の異常の有無をチェックするための検査は必要である

据付完了後の試験については、関係官庁による使用前検査のための記録作成を考慮しておく必要がある。

10. 2. 1 据付中のチェックポイント

- | | |
|-------------|------|
| 1) 主軸レベル | 検査記録 |
| 2) 回転部のギャップ | 検査記録 |
| 3) 絶縁抵抗 | 試験記録 |

10. 2. 2 据付完了後の試験

官庁立会試験項目を含めて下記とする。

- | | |
|----------------|------|
| 1) 外観検査 | 立会検査 |
| 2) 接地抵抗測定 | 試験記録 |
| 3) 絶縁抵抗測定 | 試験記録 |
| 4) 耐電圧試験 | 試験記録 |
| 5) 主要機器単体の動作試験 | 試験記録 |
| 6) 保護装置試験 | 試験記録 |
| 7) 遮断器・開閉器関係試験 | 試験記録 |
| 8) 励磁装置組合せ試験 | 試験記録 |
| 9) 無水総合試験 | 試験記録 |

無水の状態で各部の動作、ガイドベーン又はニードルストロークを試験する。

- | | |
|----------|------|
| 10) 充水試験 | 試験記録 |
|----------|------|

入口弁を開き、ケーシング等に充水し水漏れその他の点検をおこなう。

- | | |
|----------------|------|
| 11) 通水試験（ゴロ廻し） | 試験記録 |
|----------------|------|

始動状況確認、軸受すり合せ、调速機の調整をおこなう。

- | | |
|------------|------|
| 12) 並列投入試験 | 試験記録 |
|------------|------|

- | | |
|---------------|------|
| 13) 自動起動・停止試験 | 試験記録 |
|---------------|------|

制御方式に従って自動起動・自動停止することの確認をする。

- | | |
|------------|------|
| 14) 負荷遮断試験 | 立会試験 |
|------------|------|

負荷運転中に負荷遮断した場合、どのような負荷を遮断しても安全に停止することを確認する。主に水圧管の圧力変動、回転速度の変動、発電機電圧の変動などを1/4, 2/4, 3/4および4/4負荷を遮断した場合について試験する。

- | | |
|------------|------|
| 15) 非常停止試験 | 試験記録 |
|------------|------|

- | | |
|-------------|------|
| 16) 出力・開度試験 | 試験記録 |
|-------------|------|

運転する負荷範囲で異常が無いこと、落差・流量・出力が仕様に満足していることを確認する。

- | | |
|---------------|------|
| 17) 振動測定、騒音測定 | 試験記録 |
|---------------|------|

出力開度試験中に合せておこなう。

- | | |
|----------|------|
| 18) 負荷試験 | 試験記録 |
|----------|------|

発電設備を定格出力、定格回転速度、定格電圧及び定格力率に保持し、各部の温度が飽和状態になるまで連続運転して、発電機、変圧器及び各部軸受の温度上昇を測定すると同時に、

水車・発電機の振動の有無、各部の漏油、異音、補機の異常の有無などを確認する。
尚、試験終了後は各部に緩みその他の異常の無いことを確認する。

第11章 輸送及び現場工事

一般の中小水力発電においては、水車・発電機は各々分離して輸送され現地にて組立のうえ据付が行われるが、農業水利施設利用の小水力発電では、パッケージ化による一体輸送、一体据付を目的としている。

11. 1 施工計画

11. 1. 1 概要

施工計画は所期の目的を達成するために具体的な方法と施工手順を示すものであり、輸送及び現場工事を管理して行くうえで最も重要である。

施工計画書の作成に当たっては、初めに事業主や、関連業者と事業全体の工程と工事区分の責任範囲などについて打合せを行い、そのうえ関係の深い土木建築工事等の施工計画などと協調した工程と後戻りや重複作業がないような工程を立案して、契約期日には設備の引渡しができるように施工計画書を作成する必要がある。

施工計画書の構成はおおむね次のような内容が一般的である。

- | | |
|---------|-----------------|
| 1) 工事概要 | 7) 仮設計画 |
| 2) 工程表 | 8) 施工用機械使用計画 |
| 3) 工事組織 | 9) 輸送計画 |
| 4) 安全管理 | 10) 主要機器・資材搬入計画 |
| 5) 施工管理 | 11) 施工方法 |
| 6) 労務計画 | |

11. 1. 2 工事概要

施工計画書の工事概要には発注仕様に規定されている主な項目、例えば、工事名、設備概要、その他の必要項目を記入する。

- 1) 工事名
- 2) 設備概要：据付を行う機器の概要を記す。
- 3) 工期
着工 平成 年 月 日
完成 平成 年 月 日
- 4) 工事場所：施工場所の住所を記す。
- 5) 適用規格

事業主の共通仕様書、特記仕様書のほか準拠する諸規格、規定を記す。

11. 1. 3 工程表

工程管理に一般的に使用される工程表には下記があるが、図11. 1-1、図11. 1-2にその一例を示す。

- 1) 横線式工程表
- 2) ネットワーク工程表

図11. 1 - 1 横線式工程表（工事期間45日間）〔例〕

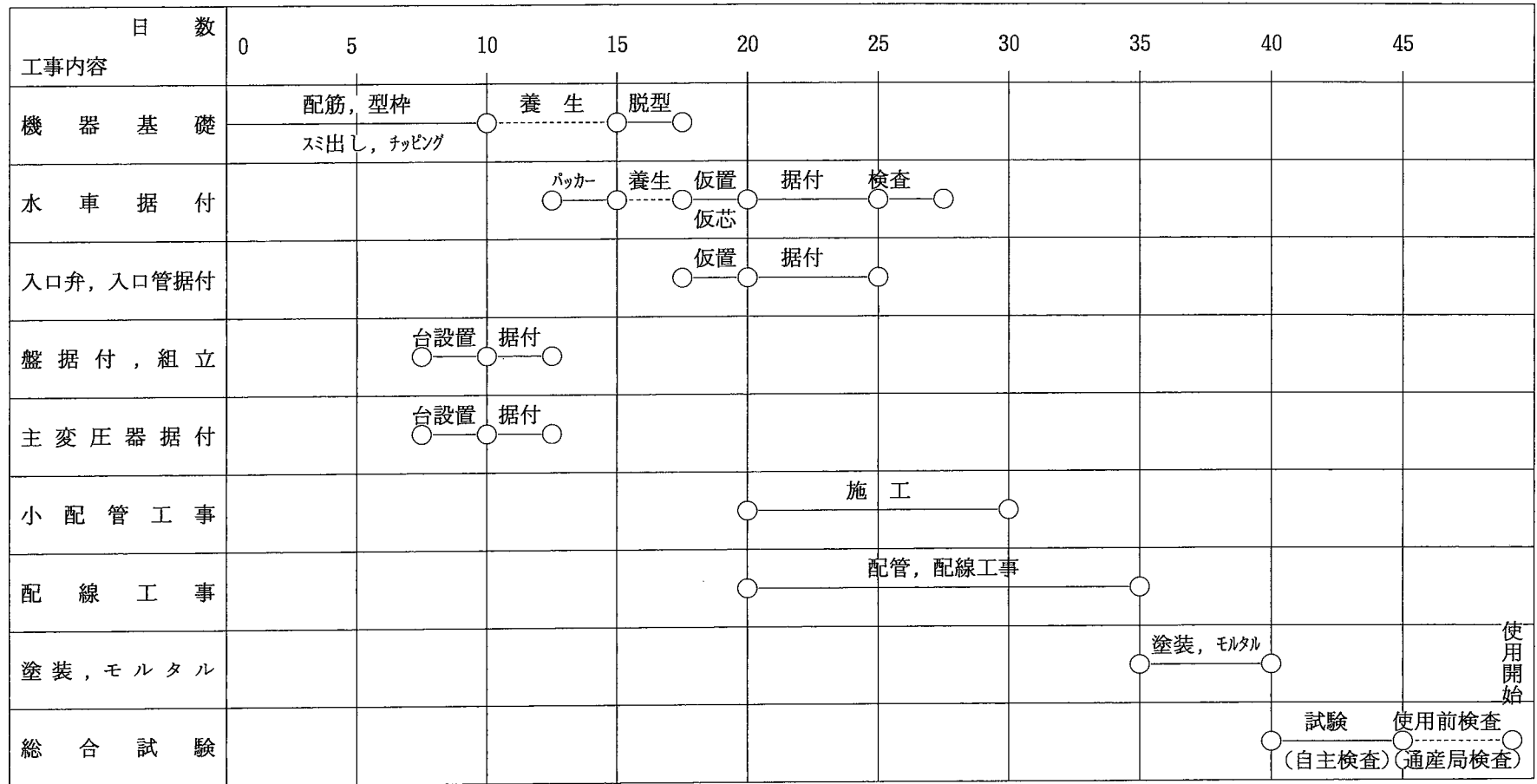
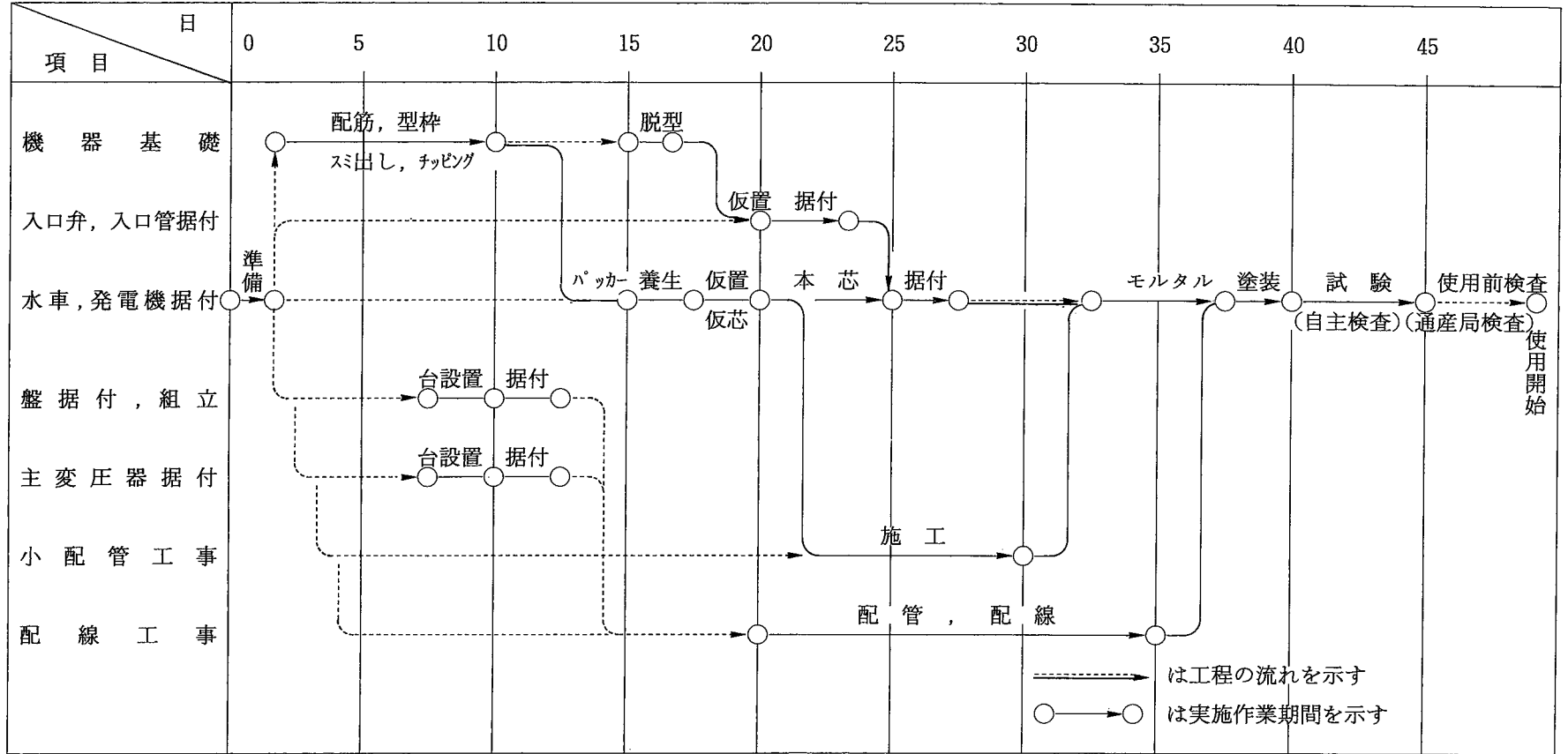


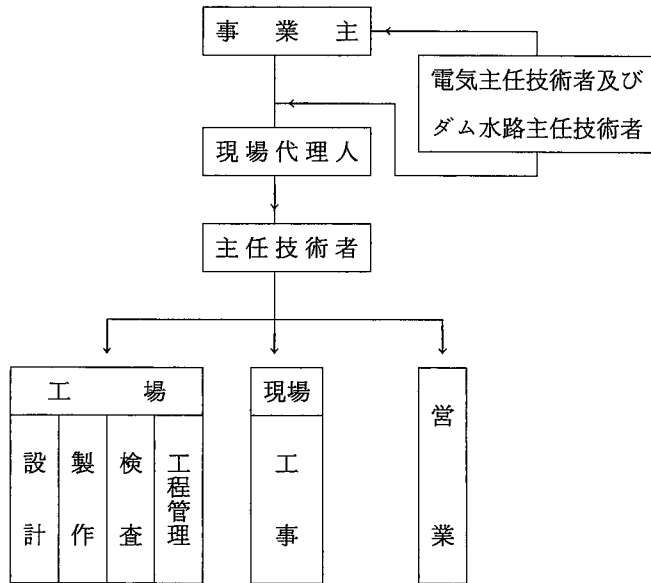
図11. 1-2 ネットワーク工程表 (工事期間45日間) [例]



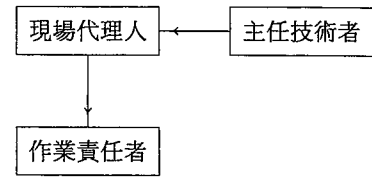
11. 1. 4 工事組織

施工計画書には、現場代理人、主任技術者、安全管理者や他の法令などで定める主任技術者又は責任者を定め、その氏名、職務分担、緊急時の連絡先などを記載する。

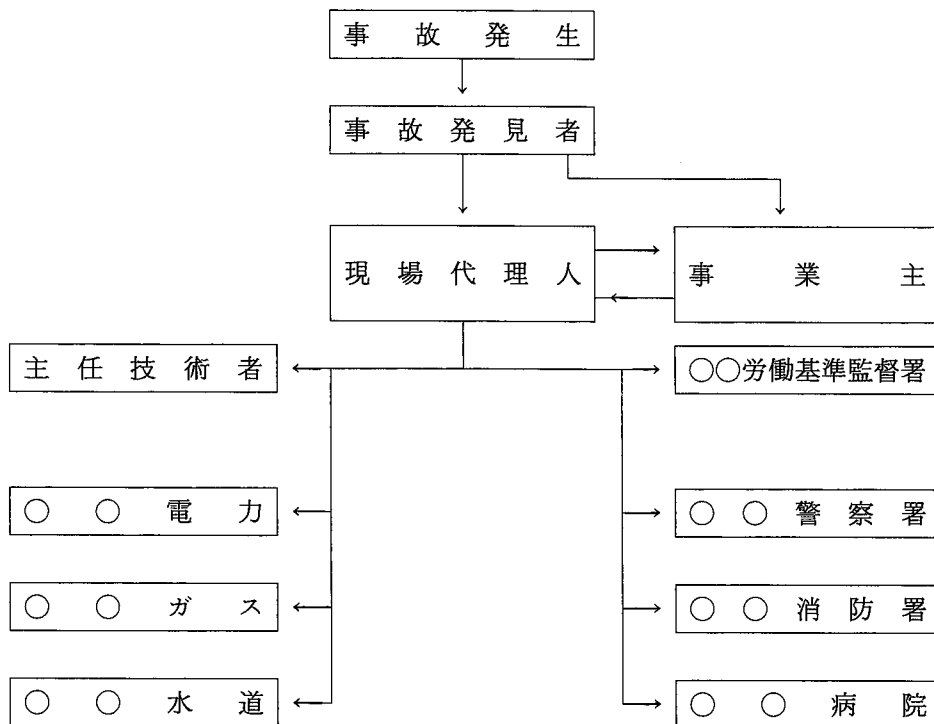
1) 全体組織



2) 現場組織



3) 緊急連絡体制

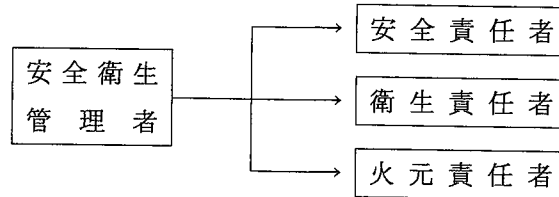


11. 1. 5 安全管理

1) 安全対策

1 安全管理組織

下記安全管理組織により安全対策委員会を設け、管理方針を定めて関係各部署との連絡などを十分に行い、工事を安全に施工し全体工事工程に支障をきたさないようにする。



2 安全重点対策

- a. 重機作業において作業環境が悪い時には誘導員らを配置して事故防止に努める。
- b. 工事関係者以外の人を現場に近づけないように立入禁止などの表示や板囲い、ロープなどによる囲いを施して外部の人に事故を及ぼさないようにする。

3 クレーン事故防止対策

- a. 運転前の機械の安全点検を行うとともに、荷吊用ワイヤーロープの点検や関係機器の整備を行い事故防止に努める。
- b. 過大な荷重によるワイヤーロープの切れ、吊荷のアンバランスによる荷くずれなどがないように注意する。
- c. クレーンを操作する時には操作の合図を行い、吊荷の下及び近くに作業員がいない事を確認して行う。
- d. クレーン車設置の地盤強度確認
- e. 作業半径と荷重の関係を確認する。

4 感電事故防止対策

- a. みだりに電線並びに電気設備に触れないように注意する。
- b. 電線の心線が露出している場合には安全確認後直ちにテーピングなどを行い危険を防止する。
- c. 工事前電線は通路面には極力配線しないようにする。やむを得ない場合は必ずガードを施す。
- d. 照明用電球には必ずガードを付けて使用する。
- e. 配線はタコ足配線、引掛け配線をしない。
- f. 配線電源部には必ずブレーカを取付け過電流を防止する。
- g. 電気溶接機は自動電撃防止装置付のものを使用し、必ずアースを取る。

5 開口部の安全対策

- a. 開口部にて作業する場合には必ず命綱を使用する。
- b. 開口部には蓋をするか、周囲にさくを設け危険標識を表示する。

2) 安全衛生管理

1 安全工程管理

各種工事の施工にあたり、安全施設の見地から工程を綿密に立案する。

2 現場管理

- a. 作業行動の安全を基本とした作業場を設定する。
- b. 各種工事用機器の日常点検整備を入念に行う。
- c. 現場内の整理整頓を徹底する。
- d. 常に安全作業の工法改善に努める。
- e. 災害防止厳守項目を設定し、これを表示し励行するように努める。
- f. 墜落、転落、クレーン事故などが発生しないように作業関係者に注意を徹底する。

3 環境管理

- a. 作業員の健康には十分注意し健康管理に努める。
- b. 防災、防火の指導に努める。
- c. 工事中、工事機械による振動、騒音などの影響は極力少なくするよう努める。

4 衛生管理

衛生規則に準拠し、共同生活、共同作業に十分なる対策を立て、これにより工事工程に支障をきたさないよう留意する。

5 交通管理

- a. 工事用車輛の運転速度は関係法規を遵守し、交通事故並びに一般の交通に支障のないように努める。
- b. 搬入時などにおいて道路を占有する場合には関係法規にのっとり安全措置を講じる。

3) 非常時対策及び応急対策、緊急連絡先

1 安全パトロール

現場の巡回によって、安全・衛生に関し改善すべき事項を発見した場合には、直ちに関係者に必要な措置をとらせるよう指導並びに指示をする。

2 非常事態発生の場合

非常事態が発生した場合は直ちに関係部署に指示連絡ができる体制を整えておく。また、緊急用として必要最小限の緊急用品を準備しておく。

3 緊急連絡先

緊急連絡先は連絡表による。緊急連絡としては概略次の場合とする。

- a. 現場内の事故発生
- b. 現場及び近隣の火災、水害など
- c. 近隣その他第三者に迷惑を及ぼした時など

11. 1. 6 労務計画

職種別の旬間予定人工を計画する。

なお、職種とは機械、電工、とび工、左官、土工、普通作業員等である。

11. 1. 7 仮設計画

仮設計画では次の項目について記載する。

- ・ 工事用電力
- ・ 工事用水
- ・ 仮設資材
- ・ 現場事務所

11. 1. 8 施工用機械使用計画

機器の据付及び配線工事などに使用する機材の使用計画を立案し、使用機材リスト表を作成する。

11. 1. 9 主要機器、資材搬入計画

主要機器、資材の搬入について、あらかじめその搬入経路を決めて輸送経路の計画を立案する。

11. 1. 10 施工方法

各機器について施工方法、順序などを記載する。

11. 2 輸 送

主要機器の搬出計画に当たっては次の調査が必要である。

- 1) 機器の輸送荷姿及び重量
- 2) 製作工場より施工場所（現場）までの道順及び道路状況
- 3) 使用運搬車

一般的に使用されるトラックの概略寸法を図11. 2-1に示す。

尚、現場での組立作業工程及び費用の低減化を図るためパッケージ化を図った場合はその機器の荷姿及び重量、施工場所までの道路状況を充分調査のうえパッケージの分割検討及び使用運搬車を選定する必要がある。特にパッケージ形フランシス水車・発電機やクロスフロー水車発電装置は、比較的寸法・重量が大きいため特に注意が必要である。

車両記号	A	B	C
積載重量t	30	20	15
車 両	<p>トレーラー 車幅2.99m</p>	<p>トレーラー 車幅2.43m</p>	<p>トレーラー 車幅3m</p>

車両記号	D	E
積載重量t	12	4.5
車 両	<p>トラック 車幅2.34m</p>	<p>車幅2.0m</p>

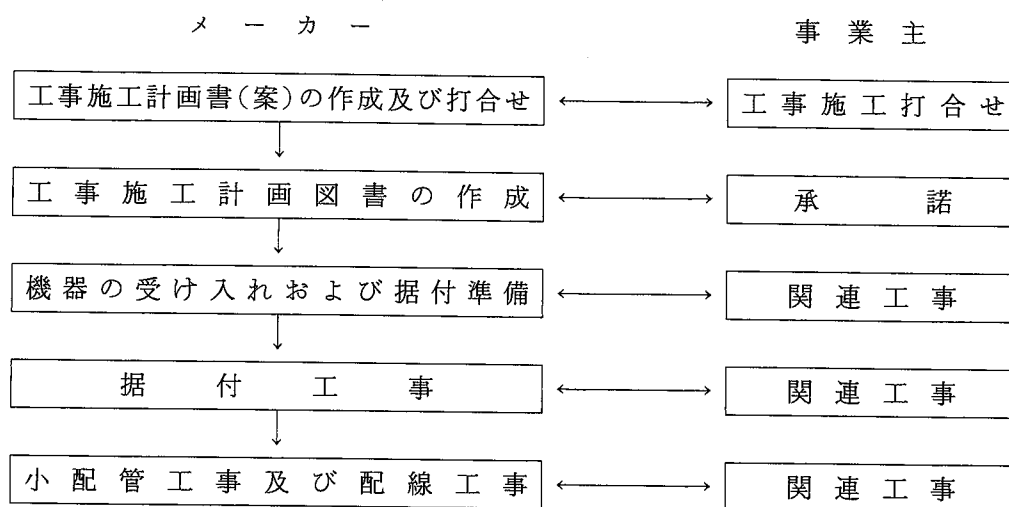
図11. 2-1 トレーラー及びトラック概略寸法図

11. 3 据付工事

11. 3. 1 概要

水車並びに設備機器は、所期の能力を十分発揮し長時間円滑な運転ができるように正確に据付を行う必要がある。

小水力発電設備の現場据付作業工程は、およそ次のとおりである。



また、発電設備の据付項目は次項に示す通りである。

11. 3. 2 パッケージ形水車発電設備（ペルトン、フランシス、クロスフロー）の据付項目

項 目		水車発電設備 (パッケージ形)
水車 ・ 発電機	基礎確認	○
	パッケージ基礎二次コンクリート打設	○
	パッケージ据付準備	○
	パッケージの吊込み及びセンタリング確認	○
	パッケージ据付	○
	センタリング確認	○
補機 ・ 配閉装置	入口弁及び入口短管の据付	○
	配電盤及び開閉装置	○
	主変圧器の据付	○
	電気配線工事	○
	接地工事	○

11. 3. 3 チューブラ水車発電設備の据付項目

項 目		水車発電設備
水車 ・ 発 電 機	基礎確認	○
	水車据付準備	○
	水車の据付	○
	水車部二次コンクリート打設	○
	水車センタリング確認	○
	発電機据付準備	○
	発電機据付	○
	水車部品の取付	○
補機 ・ 配 閉 装 置	水車・発電機のセンタリング確認	○
	入口弁及び入口短管の据付	○
	配電盤及び開閉装置	○
	主変圧器の据付	○
	電気配線工事	○
	接地工事	○

11. 3. 4 据付方法

1) パッケージ水車の据付

1 据付準備

土木工事にて施工済の基礎寸法、基礎ボルト用箱抜き寸法を確認する。

2 据付方法

a. 基礎面

台板グラウト時良く密着する様に基礎上面のピッチングを行ない粗面にし、よく清掃する。

b. パッカープレート及びウェッジの位置

基礎ボルトに出来るだけ近づけてパッカープレートとウェッジを設置する。

c. 台板設置

アンカーボルトを吊下げた状態で台板のみをウェッジの上に載せて墨芯に基づき、設置位置を決定し、アンカーボルトをグラウチングする。

d. レベル出し

アンカーボルト養生後、台板が動かぬ程度に軽くアンカーボルトを締付け、水車及び発電機設置面にストレートエッジを当てて、1 m当り約5/100mm程度を目標にレベル出しを行なう。

e. ハンマーリングチェック

各所のウェッジが全て良く効いているかを軽くハンマーリングしてチェックを行なう。

f. グラウチング

モルタルは流動性をもつ粘度とし、台板のグラウト穴から、突き棒又はバイブレーターを使用して、台板のすみずみまで充填するように注入する。

十分にグラウトした状態で約1週間位、放置養生し、十分硬化したことを確認し、台板のレベルを確認しながら、アンカーボルトを本締めする。

g. 仮置

水車及び発電機、その他補助用品、水圧管等を台板上に取付ける。

h. 仮芯出し

カップリングの部分で芯出しを行ない発電機側にライナーを挿入して調整する。(ラジアル方向10/100mm以内、アキシャル方向5/100mm以内)

i. 配管の接合

水圧管接合時水車及び入口弁に無理な力を加えないよう注意すること。

j. 本芯出し

水車と配管を確実に締付けた後、ラジアル方向5/100mm以内、アキシャル方向3/100mm以内になるよう発電機で調整する。

2) チューブラ水車の据付

1 据付準備

土木工事にて施工済の基礎寸法、基礎ボルト用箱抜き寸法を確認する。

2 据付方法

a. 吸出管ライナー据付

吸出管ライナーの各ブロックを吊り込み、基礎上に仮置きする。吸出管肌合わせ後、仮芯出しを行いブロックの溶接を行う。芯出し調整はターンバックル、パイプジャッキで行う。

溶接終了後、最終芯出しを行い、位置を決める。

b. 吸出管部コンクリート打設

吸出管をターンバックル、パイプジャッキで固定後、吸出管の内部補強を行い、吸出管部のコンクリート打設を行う。

c. ケーシング据付

ケーシングを吊り込み、基礎上に仮置きする。内外ガイドベーンリングを吊り込み、ケーシングと内外ガイドベーンリングの組立を行う。

ケーシングの芯出しを行い、基礎ボルトにて固定する。

d. ケーシングのコンクリート打設

ディスタージリング、ルーズフランジを仮組立後、ケーシングのコンクリート打設を行う。

e. ランナ、主軸受組立

ディスタージリングの上半分を分解する。ガイドベーンサーボモータを据え付け、ガイドベーンギャップを調整する。主軸受を組立後、上流軸を吊り込み、上流軸を主軸

受に仮組みする。ランナを吊り込み、ランナと上流軸を接続し、ランナと上流軸の芯出しを行う。

f. 主軸組立

主軸を吊り込み、ランナと主軸を接続し、増速機据付の為の芯出しを行う。

g. 増速機据付

増速機をあらかじめ設置した台床上に設置し、主軸と増速機軸の芯出しを行う。芯出し確認後、台床をグラウトする。グラウト硬化後、最終芯出しを行い、主軸と増速機軸を接続する。

h. ランナーギャップ調整、主軸振れ見

水車主軸受、ディスチャージリングを組立後、ランナギャップを調整する。

ランナーギャップの調整は、ディスチャージリングの位置を調整しながら行い、ディスチャージリングの取付け位置を決定する。

ディスチャージリング、ルーズフランジを組立後、水車軸の振れ見を行う。

i. 発電機据付

発電機の基礎チェック後、台床用パッカープレート、ウェッジを設置する。

台床を台床設置位置に仮設置し、増速機の軸芯に合わせて、台床の据付高さレベルを調整し、アンカーボルトで締め付ける。発電機を台床上に設置し、増速機軸を基準として仮芯出しを行う。仮芯出し後台床のグラウトを行い、グラウト硬化後、最終芯出しを行い、発電機を固定する。

j. 総合組立

水車・発電機の配管・配線等の最終組立を行う。

3) 盤の据付

1 床構造及び配線方法

機器の据付は床構造及び配線方法により状況に応じた基礎構造及び据付方法を選定する必要がある。(表11. 3-1 参照)

表11. 3-1 床構造及び配線方法

部屋・設備区分	床構造	配線方法
電気室（発電機室を含む）	コンクリート床	ピット内配線
現場盤、自立形（計装盤を含む）	コンクリート床 点検歩廊架台上	ピット内配線又は電線管配線 電線管配線
現場盤、壁掛形		電線管配線
計装品		電線管配線

2 盤据付方法

盤のレベルの出し方にはいろいろの方法があるが、据付精度（水平、垂直）を上げるための方法を下記に示す。

a. 調整ライナーによって調整しホールインアンカー等で固定する。コンクリート強度は、

1.77×10⁷ N/m² (180kgf/cm²) 以上のものを使用する。

- b. 無筋コンクリート打設時に、さし筋を行い、モルタル仕上前に平鉄に溶接し、平鉄でレベル調整を行なう。固定はアンカーボルト又はホールインアンカー等で行なう。
- c. 無筋コンクリート打設時に箱抜きを行い、モルタル仕上前にアンカーボルトを設定し、平鉄などによりレベル調整を行なう。
- d. 無筋コンクリート打設前にスラブコンクリート床から薄形鋼等を調整し固定しておく。

4) 変圧器の据付

1 変圧器類の据付

一般的に変圧器類の据付け場所は、常時、湿度・温度が高い場所、常時高温にさらされる場所、あるいは換気の悪い室内は避け、塩害・汚損・爆発性ガス・腐食性ガスなどの環境対策を考慮して選択しなければならない。変圧器類の基礎は機器を水平に、また移動しないよう堅固に据付け得るものとし、さらに荷重を支えるために床を補強し、漏水の侵入を防ぐために、基礎は床の仕上げ面より高くしておくことが必要である。

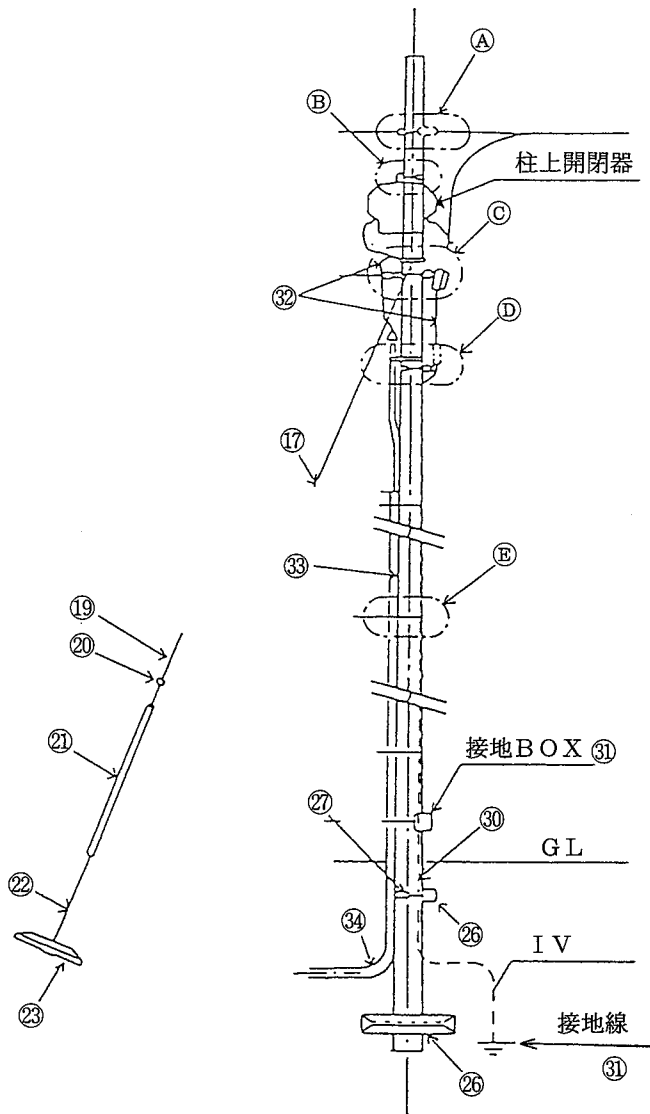
乾式変圧器収納のキュービクルの場合は、鉄筋などが入っていないものはコンクリートかぶりが30mm程度でもよいが、機器の固定には建築構造床に埋込んだボルトなどによって固定する。

2 小形変圧器端子への電線の接続

変圧器の一次端子には、主にクランプ式、ブッシング式、二次端子には羽子板式、リード線式などが、採用されている。端子に電線を締め付ける際には、振動でゆるまないようにスプリングワッシャなどを用いて強く締め、リード線式の場合は接続部を絶縁し、機器に接触しないように十分に離す必要がある。

5) 送電第1柱の据付

- 1 電力会社との保安上の責任分界点としての柱上気中負荷開閉器(PAS)は送電第1柱に取付けるものとする。
- 2 送電第1柱はコンクリート製とし、PAS、MOF、取引用計器、避雷器等を取付ける。
図11. 3-3にコンクリート柱の設置、装柱例を示す。
- 3 高圧引出線
高圧引出線は高圧絶縁電線又は、高圧ケーブルを使用すること。
- 4 電線の太さは下記とすること。
 - a. 高圧絶縁電線 5 mm以上
 - b. 高圧ケーブル 8 mm以上



品番	品名
	コンクリート柱
1-1	軽腕金
1-2	"
2	同上用M座
3	自在アームバンド
4	抱アーム取付金物
5	自在アームタイレスバンド
6	高圧耐張碍子
7	高圧カットアウト
8	高圧ビン碍子
9	避雷器
10	ストラップ
11	耐張碍子引留金物
12	高圧カットアウト取付金物
13	ケーブル支持金具
14	サドル
15	自在バンド
16	"
17	支線(1種A級)
18	支線ハンガー
19	巻付グリッパ
20	玉碍子
21	支線ガード
22	支線棒
23	支線ブロック
24	足場ボルト
25	—
26	コンクリート根かせ
27	U字ボルト
28	気中開閉器(PAS)
29	送電用電力ケーブル " 制御 "
30	接地線 ボルトコネクタ
31	接地測定BOX 接地極板
32	連絡IV線
33	電線管
34	ノーマルバンド

図11. 3-3 コンクリート柱用設置装柱例1

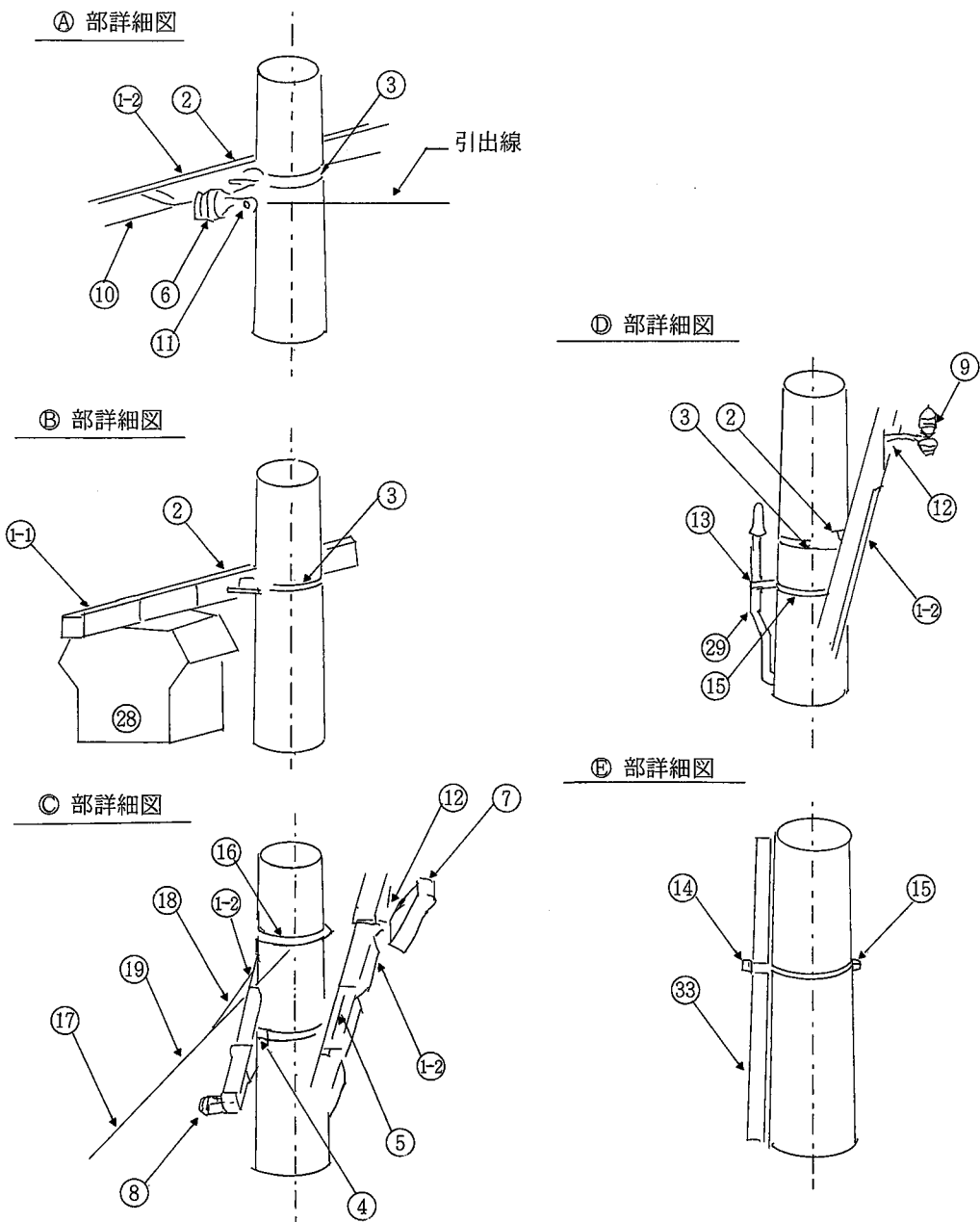


図11. 3-4 コンクリート柱用設置装柱例 2

5) 高圧架空電線の高さ

架空電線の地表上（鉄道又は軌道を横断する場合は軌条面上、横断歩道橋を横断する場合はその路面上）の高さは表11. 3-2、図11. 3-5の値以上とする。

表11. 3-2 架空電線の高さ

(単位 m)

施設場所他		低 圧		高 圧		〔電技〕 (条)
		裸 電 線	絶 縁 電 線 心 型 電 線 ケ ー ブ ル	裸 電 線 低 圧 絶 縁 電 線 (DV電 線を除く。)	高 圧 絶 縁 電 線 ケーブル	
道 路	横 断	6.0	6.0	6.0	6.0	74
	そ の 他	5.0	5.0	5.0	5.0	
鉄道又は軌道横断		5.5	5.5	5.5	5.5	
横断歩道橋の上		3.5	3.0	4.0	3.5	
上 記 以 外		4.0	4.0	5.0	5.0	
水 面 上		船舶の航行等に危険を及ぼさない高さ				
氷雪の多い地方の 積雪上				人又は車馬の通行等に危険を及ぼさない高さ		

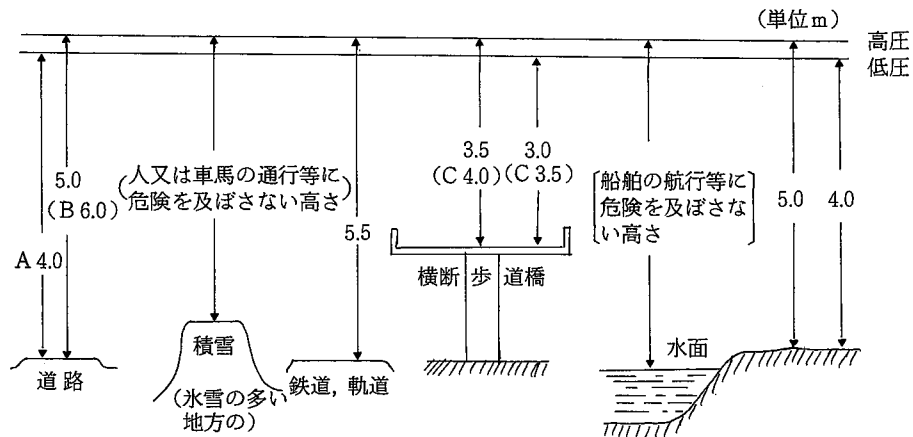


図11. 3-5 架空電線の高さ

注1) ・ Aは、絶縁電線又はケーブルを使用した対地電圧が150V以下の屋外照明用の電線を交通に支障のないように施設する場合を示す。

・ Bは、横断する場合を示す。

・ Cは、電線が裸電線である場合を示す。

6) 機器仕様

1 コンクリート柱

a. 適用規格 JIS A-5309

b. コンクリート柱の概略寸法は表11. 3-3による

表11. 3-3 コンクリート柱の概略寸法と設計荷重

長さ (m)	荷重点の高さ (m)	標準根入れ (支持点の高さ) (m)	末口径 (cm)	設計荷重 (kgf) [] 内は参考重量 (kgf)
7	5.55	1.2	14	150[340]
			19	430[450], 600[510]
8	6.35	1.4	14	200[410]
			19	430[570], 600[670]
9	7.25	1.5	14	200[450], 250[490]
			19	350[590], 430[660], 600[750],
10	8.05	1.7	14	250[570]
			19	300[650], 350[680], 430[720], 500[750], 600[810]
11	8.85	1.9	14	300[660]
			19	300[750], 350[770], 430[830] 500[850], 600[950]
12	9.75	2.0	19	300[920], 350[860], 500[960]
13	10.55	2.2	19	300[950], 350[960], 500[1,100] 700[1,300]
14	11.35	2.4	19	300[1,050], 350[1,060], 500[1,180] 700[1,300], *1,000[1,450]
			22	1,000[1,610]
15	12.25	2.5	19	350[1,150], 350[1,180], 500[1,300] 700[1,530], *1,000[1,590]
			22	1,000[1,790]
16	13.25	2.5	19	350[1,280], 500[1,430], 700[1,680] *1,000[1,750]
			22	1,000[1,950]
17	14.25	2.5	19	500[1,550], 700[1,830], *1,000[1,900]

注1) JIS A-5309のポール1種を示す。*印のものはJIS規格にないものを示す。

c. 鉄筋コンクリート柱の強度計算

a) 風圧荷重に対する強度計算

電線路の支持物として使用する鉄筋コンクリート柱及び鉄柱の電線路と直角方向の風圧荷重に対する強度計算方法は、次によらなければならない。

$$\frac{(H-0.25) P}{f} \geq K_1 \frac{(2D_1 + D_0) H^2}{6} + K_2 S (\Sigma dh)$$

- P : 支持物の破壊荷重 (標準設計荷重×2) (kgf)
 K₁ : 支持物の垂直投影面積 1 m²当りの風圧荷重 (kgf/m²)
 K₂ : 架渉線の垂直投影面積 1 m²当りの風圧荷重 (kgf/m²)
 D₁ : 支持物の末口直径 (m)
 D₀ : 支持物の地際直径 (m)
 H : 支持物の地上高 (m)
 S : 両側の径間の和の 1/2 (m)
 d : 架渉線の直径
 (乙種風圧荷重の場合は被氷の厚さを加算する。) (m)
 h : 架渉線の地上高 (m)
 f : 支持物の安全率

b) 垂直荷重及び曲げモーメントに対する強度計算

電線路の支持物として使用する鉄柱 (鋼板組立構造のものを除く。) 及び鉄筋コンクリート柱の垂直荷重及び曲げモーメントに対する強度計算方法は、次によらなければならない。

$$\sigma \geq \frac{W}{\mu A} + \frac{M}{Z}$$

ただし、

- σ : 支持物構成材の許容曲げ応力 (kgf/cm²)
 W : 強度計算する該当断面より上にある垂直荷重 (kgf)
 M : 強度計算する該当断面より上にある荷重による曲げモーメント (kgf・cm)
 μA : 等価断面積 (cm²)

μAの計算方法

$$0 < \lambda_2 < \sqrt{\frac{mE}{\sigma\rho} \cdot \frac{A_2}{A_1}} \text{ に対して}$$

$$\mu A = A_2 \left[\frac{A_1}{A_2} \right] - \frac{\sigma\rho}{mE} \left[1 - \frac{\sigma\rho}{\sigma\gamma} \right] \left[\frac{A_2}{A_1} \right]^2 \lambda_2^2$$

$$\lambda_2 > \sqrt{\frac{mE}{\sigma\rho} \cdot \frac{A_2}{A_1}} \text{ に対して}$$

$$\mu A = A_2 \frac{1}{\sigma \gamma} \cdot \frac{m E}{\lambda_2^2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = 0.001 \sim 0.01 \quad \text{のとき} \quad m = 0.0804 \left[\frac{I_1}{I_2} \times 10^4 \right]^{0.4133}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = 0.01 \sim 0.04 \quad \text{のとき} \quad m = 0.114 \left[\frac{I_1}{I_2} \times 10^4 \right]^{0.3373}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = 0.4 \sim 1.0 \quad \text{のとき} \quad m = 1.472 + 0.995 \left[\frac{I_1}{I_2} \right]$$

λ_2 : 柱の細長比

= 柱の荷重点と地際との間の長さ (cm) / 柱の地際の断面二次半径 (cm)

E : ヤング係数 (kgf/cm²)

$\sigma \gamma$: 降伏点 (kgf/cm²)

$\sigma \rho$ = 断面限度 = 0.8 $\sigma \gamma$

I_1, I_2 : 柱の荷重点と地際の慣性モーメント (cm⁴)

A_1, A_2 : 柱の荷重点と地際の断面積 (cm²)

Z : 当該断面の断面係数 (cm³)

7) コンクリート柱の基礎

コンクリート柱の基礎の施工は次の何れかによる。

- 1 基礎の安全率が2以上となるよう施工する。…………… (B種柱)
- 2 コンクリート柱が16m以下で設計荷重が700kgf以下の場合…… (A種柱)
 - a. 全長が15m以下の場合には根入れを全長の1/6以上とする。
 - b. 全長15m以上の場合には根入れを2.5m以上とする。

11. 4 施工管理

施工管理には、工程管理と品質管理などがあり、安全衛生面、労務管理面に考慮を払いながら、性能を発揮するための品質管理と、工事を所定の工期に完成させるための工程管理を行う。

パッケージ化等により、現地据付工程が短くなるが次の項目には特に注意して施工管理を行う。

11. 4. 1 工程管理

- 1) 機械工事、電気工事が平行して行われるケースが多いので、それぞれの工事進捗度管理を行い調整を行う。
- 2) 工事期間が短いので、コンクリート充填部基礎ボルトや基礎部さし筋との接合部は写真撮影を行い工事写真に纏めるなど、後で確認できるように撮影し、常時整理しておく。

11. 4. 2 品質管理

- 1) 据付期間は短いですが、工程管理を行いコンクリートやモルタル充填後十分な養生をとって回転部の芯出し調整を行う。
- 2) 現地手配の鉄筋、コンクリート、モルタル等は、試験記録付きのものを手配し、整理しておく。
- 3) 自主検査では、使用前検査申請に必要な検査・試験を行い検査記録として取纏めておく。

第12章 資料

12. 1 資料1 例題

ここでは、前章までに記載されている計画手順に準拠して発電計画を検討した例を資料に纏めた。具体的な計画においてはそれぞれの地点に対応して諸条件が変わってくるが、本内容に準じて計画を策定することが出来る。

12. 1. 1 計画の概要

例題の計画地点は図12. 1 - 1 概要図に示される地区にあり、河川の中流部右岸に位置する。A頭首工より取水した水量（最大 $2.43\text{m}^3/\text{s}$ ）のうち最大 $1.55\text{m}^3/\text{s}$ を径1000mm、延長1465mの水圧管路により発電所に導水し、有効落差27.09mを得て、最大出力270kWの発電をおこなうものである。

この水力発電施設は、同じ管理体系の下にあるかんがい排水施設の操作に必要な電力を供給することを目的とし、かんがい排水施設の一工種として設置されるものである。年間可能発電電力量は1513.5MWhで、関連電力会社の6.6kV送電線に接続されて運用され、余剰電力は売電される。なお、本地区は60Hz地域である。検討結果をまとめた計画諸元を表12. 1 - 1に示す。

12. 1. 2 流量資料

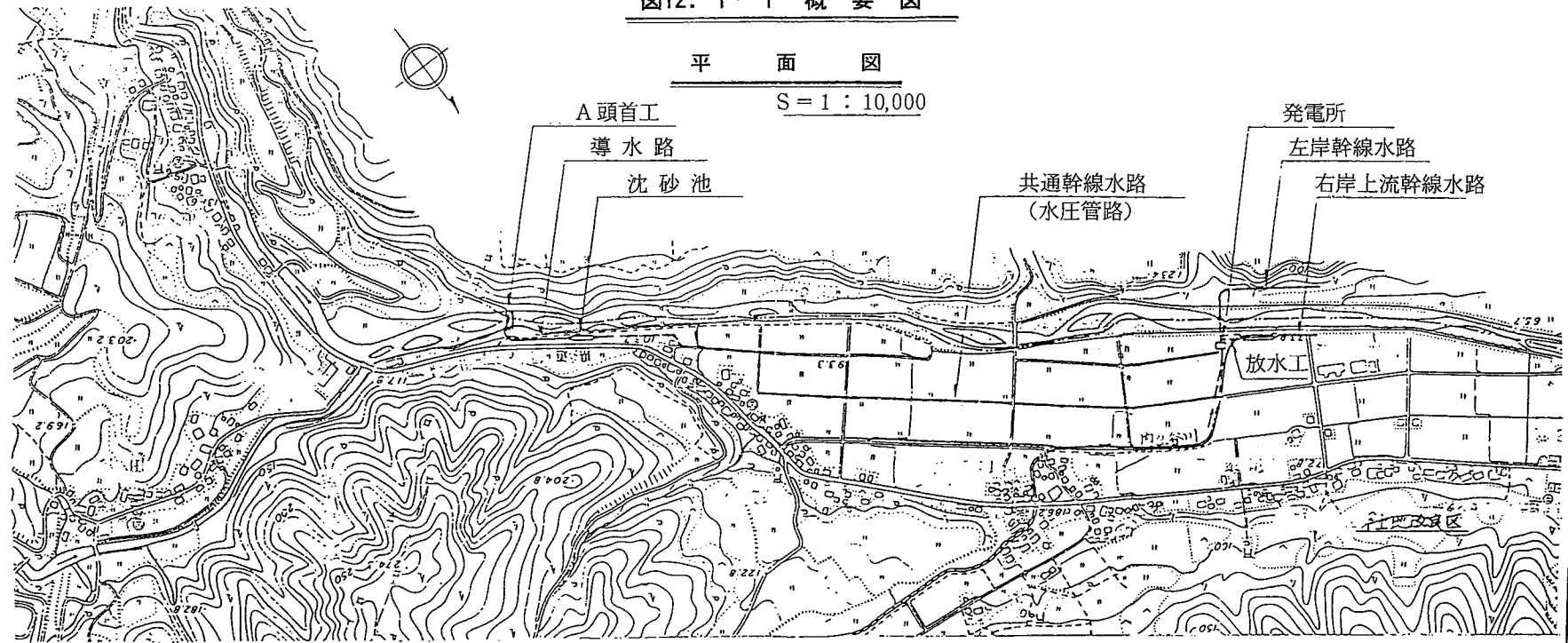
流量資料は慣行水利権となっている農業用水期別取水量を使用する。図12. 1 - 2に流量図を示す。

12. 1. 3 発電規模の検討

1) 最大使用水量の設定

流量図に示された発電可能水量より、最大使用水量として $1.55\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1.32\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1.15\text{m}^3/\text{s}$ の3ケースを設定する。

図12. 1-1 概要図



縦断図

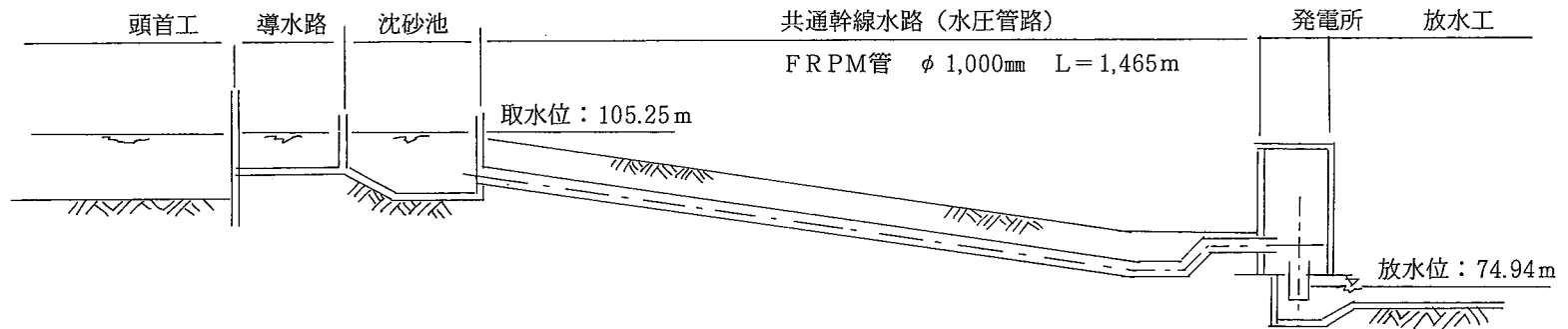


表12. 1-1 計画諸元表

項 目		諸 元		備 考
水 系 河 川 名		某		
農 業 用 水 名		共通幹線水路		
発 電 所 位 置				
取 水 口 位 置				
放水口位置				
発 電 計 画	発 電 方 式	流れ込み式		
	取 水 位 (m)	105.25		
	放 水 位 (m)	74.94		
	総 落 差 (m)	30.31		
	出 力 (kW)	最大 270	常時 110	
	使用水量 (m ³ /s)	最大 1.32	常時 0.62	
	有効落差 (m)	最大 27.09	常時 29.52	
	年間可能発電電力量(MWH)	1,513.5		
水 路	導 入 路 (m)	暗渠 100、パイプライン1465		
	放 水 路 (m)	本放水路(分水工) 8 m		
水 車		横軸フランシス		
発 電 機		三相交流同期		
事 業 費 (百万円)		367.5		
設 備 利 用 率 (%)		64.5		
経 済 性	kW当たり工事費 (千円/kW)	1371		
	kWh当たり工事費 (円/kWh)	243		

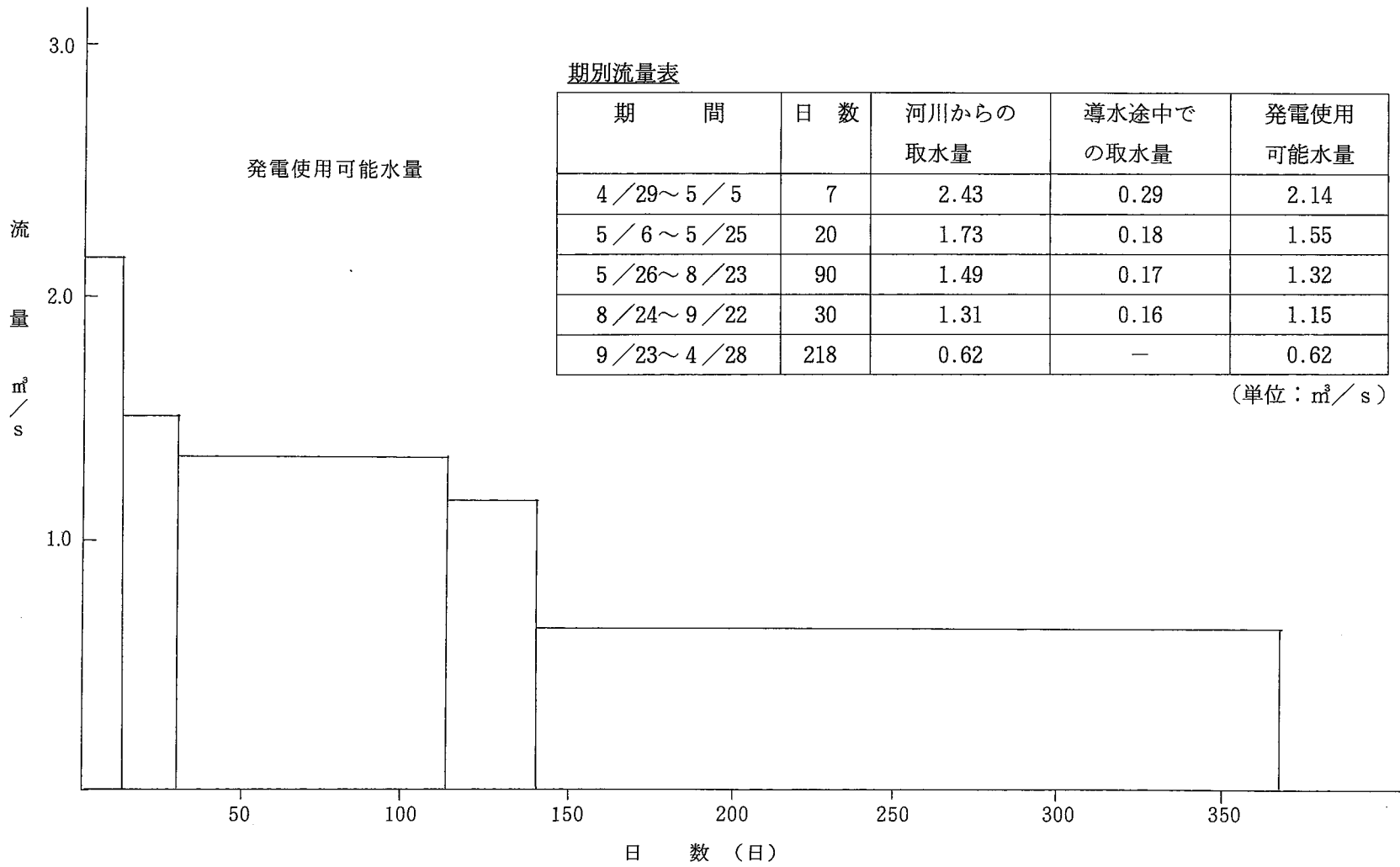


図12. 1 - 2 流 量 図

2) 水圧管管径の概定

最大取水量、水圧管内平均流速（表2. 2-1参照）を勘案して1000mm、1100mm、1200mmの3通りの水圧管径を設定する。なお、水圧管材料としては、種々利点を持つFRPM管を適用する。

3) 有効落差の概定

与えられた取水位EL.105.25m、放水位EL.74.94mより、
総落差=105.25-74.94=30.31m

最大使用水量から適用される水車としては、図2. 2-8よりフランシス水車と、クロスフロー水車の適用領域であることがわかるので、この3機種について有効落差を概定する。ケースとしては、水圧管管径3ケースにおいてそれぞれ使用水量における有効落差を算定する。

(1) 損失水頭の計算

第2章2. 2. 1の3)記載のヘーゼン・ウィリアム公式を使用して計算する。上水槽より水車までの損失水頭は式(2. 2-7)で求められる。計算結果を表12. 1-2に示す。

(2) 有効落差

第2章2. 2. 1の3)の(3)b.により、フランシス水車の場合、2. 2. 1の3)の(3)c.によりクロスフロー水車の場合、有効落差が算定される。

クロスフロー水車の場合はランナ中心と放水位との間の距離が有効落差に利用されないため、この分だけ水車出力が小さくなるので注意を要する。このようにして求めた有効落差の値を表12. 1-3に示す。

4) 水車形式の選定と定格事項の概定

前項で設定した流量及び有効落差の組合せで、図2. 2-8により水車機種を見直す。

この結果、フランシス水車及びクロスフロー水車の2機種について検討を進めることとする。

それぞれの水車について、第4章4. 3記載の選定図、図4. 3-8及び図4. 3-15により適用水車の枠番が選定され、同時に水車出力の概略値、水車回転速度がわかる。これらを使用して概略の比速度が計算出来る。一例として、水圧管径1000mm、最大使用水量1.32m³/sのケースを求める。

(1) フランシス水車の場合（図4. 3-8）

表12. 1-3より有効落差=27.09m

図より適用水車はC375、290kW、900r/min

これよりNsを算定すると、

$$Ns = 900 \frac{(290)^{1/2}}{(27.09)^{5/4}} = 248 \text{ m-kW}$$

となる。

表12. 1 - 2 損失水頭 (単位：m)

管径D (m) 流量Q (m ³ /s)	管径D (m)		
	1.0	1.1	1.2
1.55	4.32	2.71	1.77
1.32	3.22	2.02	1.31
1.15	2.48	1.57	1.01
0.62	0.79	0.50	0.32

表12. 1 - 3 有効落差 (単位：m)

水車機種	管径D (m) 流量Q (m ³ /s)	管径D (m)		
		1.0	1.1	1.2
フ ラ ン シ ス	1.55	25.99	27.60	28.54
	1.32	27.09	28.29	29.00
	1.15	27.83	28.74	29.30
	0.62	29.52	29.81	29.99
ク ロ ス フ ロ ー	1.55	23.99	25.60	26.54
	1.32	25.09	26.29	27.00
	1.15	25.83	26.74	27.30
	0.62	27.52	27.81	27.99

(2) クロスフロー水車の場合 (図4. 3-15)

表12. 1 - 3 より 有効落差=25.09m

図より適用水車は605G、250kW、429r/min、ランナ径φ500mm

これよりNsを算定すると、

$$Ns = 429 \frac{(250)^{1/2}}{(25.09)^{5/4}} = 121 \text{m-kW}$$

5) 水車性能の概定

前項で選定した水車についての効率算定を下記する。

(1) フランシス水車

図4. 2 - 6 ~ 7 より、モデルC (Ns=236) 出力290kWの効率を算定する。Ns=209、266より236の場合の出力200kW、300kWの最高効率を推定する。

$$\left. \begin{array}{l} 200\text{kWの最高効率}84.2\% \\ 300\text{kWの} \quad \quad \quad " \quad 85.4\% \end{array} \right\} \Delta = 1.4\%$$

これより、290kWの最高効率を求める。

$$\frac{0.5}{100} \times (290 - 200) = 1.26$$

$$84.0 + 1.26 = 85.26\%$$

任意の流量比における水車効率は、 N_s が近い $N_s=266\text{m-kW}$ の図4. 2-7の曲線を使用して算定する。

流量100%すなわち $1.32\text{m}^3/\text{s}$ のときの相対効率=98.0%

従って、水車最大出力は、

$$P_T = 9.8 \times 1.32 \times 27.09 \times 0.8526 \times 0.98 = 293\text{kW}$$

となる。

(2) クロスフロー水車

図4. 2-11により、 $N_s=121\text{m-kW}$ の場合、フランシス水車と同様の手法で出力250kWの最高効率を求めると 79.7% となる。

任意の流量比における水車効率も図4. 2-10を使用して算定する。

流量100%すなわち $1.32\text{m}^3/\text{s}$ の時の相対効率=97.6%

従って、水車最大出力は、 $P_t = 9.8 \times 1.32 \times 25.09 \times 0.797 \times 0.976 = 252\text{kW}$

この手法により算定した表2. 2-3水車性能曲線の作成に関連する諸元表の例をフランシス水車、クロスフロー水車につき、それぞれ表12. 1-4~5に示す。

6) 発電機形式の選定と定格事項の概定及び効率の算定

発電機は、適用例の多い同期発電機を採用する。3. 4項で求められた水車定格事項と第6章発電機6. 1~3より発電機の出力等の定格事項の概定及び効率の算定が出来る。

前項と同じケースで算出を行う。

(1) フランシス水車の場合

a. 発電機型番の選定

水車条件より表4. 3-7より発電機の型番は300kVAとなり、6. 1. 1項の表6.

1-1により

定格電圧 440V

定格力率 0.95

定格周波数 60HZ

極 数 8

が概定される。

表12. 1-4 水車性能曲線作成に関連する諸元表(1)
 フランシス水車、最大流量1.32m³/sの場合

水圧管径 (mm)	流量比 %	定格値 100	87.0	47.0			相対効率100% における比率
1,000	流 量 m ³ /s	1.32	1.15	0.62			
	水車相対効率 %	98.0	99.5	82.5			100
	水車効率 %	85.2	84.8	70.3			85.2
	有効落差 m	27.09	27.83	29.52			
	水車出力 kW	293	266	126			
	水車出力比 %	100	39.3	42.3			
1,100	流量比 %	定格値 100	87.0	47.0			相対効率100% における比率
	流 量 m ³ /s	1.32	1.15	0.62			
	水車相対効率 %	98.0	99.5	82.5			100
	水車効率 %	65.2	84.8	70.3			
	有効落差 m	28.29	28.94	29.81			
	水車出力 kW	312	277	127			
1,200	流量比 %	定格値 100	87.0	47.0			相対効率100% における比率
	流 量 m ³ /s	1.32	1.15	0.62			
	水車相対効率 %	98.0	99.5	82.5			100
	水車効率 %	85.2	84.8	70.3			
	有効落差 m	29.00	29.30	29.99			
	水車出力 kW	320	280	128			
	水車出力比 %	100	87.5	40.0			

b. 発電機定格出力の算定

水車出力=293kWと考え、図6. 2-1より発電機出力=280kW及び250kW時の効率を求めると、91.85、91.6%となる。従って、それぞれの場合の発電機入力は、305kW及び273kWとなる。これより、発電機入力=293kW時の効率を求めると

$$\frac{293-273}{305-273} = \frac{X-91.6}{91.85-91.6}$$

X=91.7 となる。

従って、発電機最大出力 $P_g=291 \times 0.918=267$ kW

同期発電機の出力は皮相電力で示される故、

$$267 \div 0.95 = 281 \text{ (kVA)} \quad \text{となる。}$$

c. 部分負荷効率の算定

図6. 2-3より、

100%時効率	91.8% (上記b. より)
75%	91.5 (91.8×0.997)
50%	90.0 (91.8×0.980)

が求められる。

(2) クロスフロー水車の場合

a. 発電機型番の選定

水車条件から表4.3-8より、300kVAとなり、増速機付となる。

定格電圧	440V
定格力率	0.95
定格周波数	60HZ
極数	6
回転速度	1200r/min
増速比	1200/429

b. 発電機定格出力の算定

(1)のケースと同様の手法でおこなうが、増速機効率を考慮する必要がある。増速機効率は図6. 2-4により求める。

水車出力252kW時増速機効率96.8%、発電機効率91.5%

従って、発電機最大出力 $P_g=252 \times 0.968 \times 0.915=223$ kW

kVA表示では、 $P_g=223 \div 0.95=235$ kVA

c. 部分負荷効率の算定

b. と同じく増速機効率を考慮して算定する。

7) 年間可能発電電力量の概定

第2章2. 2. 1項記載の手法により計算する。フランス、クロスフロー各ケースの算定表例を表12. 1-6~7に示す。

なお、作業結果の取まとめ表である各ケースの諸元など一覧表を表12. 1-8~9に示す。

8) 発電所機器配置と建屋寸法の概定

第2章2.2.2機器配置図2.2-13~14にフランシス水車、クロスフロー水車の各ケースについて概定した例を記載した。

9) 概算工事費

フランシス水車、クロスフロー水車の各ケースについての概算工事費の算定を表12.1-10~11に示す。

本表の概算工事費は類似のものより推定したもので、算出手順の説明のためのものである。実際の計画に当たっては、コンサルタントや機器メーカーより入手した値を採用することが望ましい。

10) 建設単価

12.1.3の7)で求めた年間可能発電電力量(kWh)と12.1.3の9)の概算工事費より、発電電力量当たりの建設単価(円/kWh)が算出される。これを表12.1-10~11の下欄に示す。

11) 発電規模の概定

表12.1-10~11で明らかなように、水圧管径は $\phi 1000\text{mm}$ が最も経済的である。従って $\phi 1000\text{mm}$ のケースにつき、最大使用流量を変えた場合のkWh当たりの建設単価を図12.1-3に示す。これより、水車機種としてはフランシス水車、最大使用流量は $1.32\text{m}^3/\text{s}$ が経済性が高く、採用する規模と概定される。

12) 適用発電機器仕様の設定

前項で概定された最大使用水量 $1.32\text{m}^3/\text{s}$ 、水圧管径 $\phi 1000\text{mm}$ フランシス水車案について、マニュアル各章より機器仕様が設定出来る。主機仕様を下記する。

水車

形式 横軸単輪単流うず巻フランシス水車
パッケージ形

定格事項 (1) 有効落差 27.09m
(2) 流量 $1.32\text{m}^3/\text{s}$
(3) 最大出力 291kW
(4) 回転速度 900r/min

発電機

形式 横軸回転界磁形三相同期発電機

冷却方式 空冷自由通風形

保護方式 保護形

定格事項 (1) 定格の種類 連続

- (2) 出力 281kVA
- (3) 電圧 440V
- (4) 電流 370A
- (5) 力率 0.95 (遅れ)
- (6) 周波数 60HZ
- (7) 回転速度 900r/min

主変圧器

形式 屋外油入自冷式

- 定格事項
- (1) 定格の種類 連続
 - (2) 容量 281kVA
 - (3) 相数 3
 - (4) 電圧 1次 420V
2次 F6.9kV/R6.6kV/F6.3kV
 - (5) 周波数 60HZ
 - (5) 力率 0.95 (遅れ)

12. 1. 4 発電原価の算定

第2章2. 3. 3項に基づき、前項12. 1. 3の11) で概定された12) のケースについて表12. 1-10の建設費を用いて発電原価を計算する。
 発電原価計算表は表12. 1-12にまとめて示す。

表12. 1-5 水車性能曲線作成に関連する諸元表(2)

クロスフロー水車・最大流量 $1.32\text{m}^3/\text{s}$ の場合

水圧管径 (mm)	流量比 %	定格値 100	87.0	47.0		90	相対効率100% における比率
1,000	流 量 m^3/s	1.32	1.15	0.62		η_{max}	
	水車相対効率 %	97.6	100	94.0		100	100
	水車効率 %	77.8	79.7	74.9		79.7	79.7
	有効落差 m	25.1	25.8	27.5			
	水車出力 kW	252	232	125			
	水車出力比 %	100	91.7	49.6			
1,100	流量比 %	定格値 100	87.0	47.0		90	相対効率100% における比率
	流 量 m^3/s	1.32	1.15	0.62		η_{max}	
	水車相対効率 %	97.6	100	94.0		100	100
	水車効率 %	77.8	79.7	74.9		79.7	79.7
	有効落差 m	26.3	26.7	27.8			
	水車出力 kW	265	240	127			
	水車出力比 %	100	90.6	47.9			
1,200	流量比 %	定格値 100	87.0	47.0		90	相対効率100% における比率
	流 量 m^3/s	1.32	1.15	0.62		η_{max}	
	水車相対効率 %					100	100
	水車効率 %	77.8	79.7	74.9			
	有効落差 m	27.0	27.3	28.0			
	水車出力 kW	272	245	127			
	水車出力比 %	100	90.4	46.9			

表12. 1-6 年間発電電力量算定表(1)
 フランス水車 最大流量 1.32m³/s の場合

水圧管径	流量 m ³ /s	有効落差 m	運転日数 日	水車効率 %	水車出力 kW	水車出力比 %	発電機効率 %	発電機出力 kW	発生電力量 kWh
1.00	1.32	27.09	117	85.2	293		91.8	269	755,352
	1.15	27.83	30	84.8	266.0		91.7	244	175,680
	0.62	29.52	218	70.3	126		89.0	112	585,984
			(365)						1,517,016
1.10	1.32	28.29	117	85.2	312		91.8	287	805,896
	1.15	28.74	30	84.8	277		91.8	254	182,880
	0.62	29.81	218	70.3	127		88.25	112	585,984
			(365)						1,574,760
1.20	1.32	29.00	117	85.2	320		91.8	294	825,552
	1.15	29.30	30	84.8	280		91.8	257	185,040
	0.62	29.99	218	70.3	128		88.2	113	591,216
			(365)						1,601,808

表12. 1-7 年間発電電力量算定表(2)
 クロスフロー水車 最大流量 1.32m³/s の場合

水圧管径	流量 m ³ /s	有効落差 m	運転日数 日	水車効率 %	水車出力 kW	水車出力比 %	増速機効率 %	増速機出力 kW	発電機効率 %	発電機出力 kW	発生電力量 kWh
1.00	1.32	25.1	117	77.8	252	100	96.8	243.9	91.5	223	626,184
	1.15	25.8	30	79.7	232	91.7	96.7		91.5	205	147,600
	0.62	27.5	218	74.9	125	49.6	94.7		89.6	106	554,592
			365								1,328,376
1.10	1.32	26.3	117	77.8	265	100	96.8		91.6	235	659,880
	1.15	26.7	30	79.7	240	90.6	96.7		91.6	213	153,360
	0.62	27.8	218	74.9	127	47.9	94.5		89.4	107	559,824
			365								1,373,064
1.20	1.32	27.0	117	77.8	272	100	96.8		91.5	241	676,728
	1.15	27.3	30	79.7	245	90.4	96.7		91.5	217	156,240
	0.62	28.0	218	74.9	127	46.9	95.2		89.3	108	565,056
			365								1,398,024

表12. 1-9 各ケースの諸元等一覧表(2)

クロスフロー水車の場合

ケースNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
諸元等									
流量 m^3/s	1.55	1.55	1.55	1.32	1.32	1.32	1.15	1.15	1.15
有効落差 m	23.99	25.60	26.54	25.10	26.30	27.00	25.83	26.74	27.30
水車形式	クロスフロー	クロスフロー	クロスフロー	クロスフロー	クロスフロー	クロスフロー	クロスフロー	クロスフロー	クロスフロー
水圧管管径 m	1.0	1.1	1.2	1.0	1.1	1.2	1.0	1.1	1.2
周波数 Hz	60	60	60	60	60	60	60	60	60
水車モデル No.	606I	606I	606I	605G	605G	605G	605G	605G	605G
水車回転速度 r/min	338	338	338	429	429	429	429	429	429
水車定格出力 kW	291	310	332	252	265	272	232	240	245
比速度 $m-kW$	108	103	100	121	117	115	112	109	108
発電機型番 (枠)	300	300	300	300	300	300	300	300	300
発電機回転速度 r/min	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
発電機定格出力 kVA	272	290	302	235	247	254	216	224	228
電圧 V	440	440	6600	440	440	440	440	440	440
増速比	3.55	3.55	3.55	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
年間可能発電電力量 kWh	1,315,696	1,377,672	1,403,520	1,328,376	1,372,064	1,398,024	1,277,832	1,311,288	1,330,632
発電所機器構成									
機器配置									

表12. 1-8 各ケースの諸元等一覧表(1)

フランス水車の場合

ケースNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
諸元等									
流量 m^3/s	1.55	1.55	1.55	1.32	1.32	1.32	1.15	1.15	1.15
有効落差 m	25.99	27.60	28.54	27.09	28.29	29.00	27.83	28.74	29.30
水車形式	横軸フランス	横軸フランス	横軸フランス	横軸フランス	横軸フランス	横軸フランス	横軸フランス	横軸フランス	横軸フランス
水圧管管径 m	1.0	1.1	1.2	1.0	1.1	1.2	1.0	1.1	1.2
周波数 Hz	60	60	60	60	60	60	60	60	60
水車モデル No.	B365	B365	B365	C375	C375	C375	C355	C355	C355
水車回転速度 r/min	900	900	900	900	900	900	900	900	900
水車定格出力 kW	325	355	367	293	312	320	266	277	280
比速度 $m-kW$									
発電機型番 (枠)	400	400	400	300	300	300	300	300	300
発電機回転速度 r/min	900	900	900	900	900	900	900	900	900
発電機定格出力 kVA	315	355	367	293	312	320	266	277	280
電圧 V	6600	6600	6600	440	440	440	440	440	440
増速比	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
年間可能発電電力量 kWh	1,536,456	1,600,680	1,630,968	1,517,016	1,574,760	1,601,880	1,446,816	1,482,096	1,497,912
発電所機器構成									
機器配置									

表12. 1-10 概略計画工事費 (1)

フランス水車の場合

単位：百万円

ケースNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
項目									
(1) 建設関係 (発電所建屋)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
(2) 土木関係	29.5	61.2	102.4	29.5	61.2	102.4	29.5	61.2	102.4
① 水圧管路	12.6	39.5	73.8	12.6	39.5	73.8	12.6	39.5	73.8
② その他	16.9	21.5	28.6	16.9	21.7	28.6	16.9	21.7	28.6
(3) 電気関係 発電機器	265	265	265	256	256	256	250	250	250
(4)=(1)+(2)+(3)小計	298.5	330.2	371.4	289.5	321.2	362.4	283.5	315.2	356.4
(5) 測定及試験費 (基本設計実施設計等)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(6) 用地買収補償費	3.1	3.1	3.4	3.1	3.1	3.4	3.1	3.1	3.4
(7) 工事雑費 建設所運営関係 建設中利子 予備費 他	77.2	85.3	95.9	74.9	83.0	93.6	73.4	81.4	92.0
合計	378.8	418.6	470.7	367.5	407.3	459.4	360	399.7	451.8
年間可能発電電力量 (MWh)	1536.4	1600.6	1630.9	1517.0	1574.7	1601.8	1446.8	1482.0	1497.9
建設単価 (¥/kWh)	246	261	288	242	258	287	249	270	302

表12. 1-11 概略計画工事費 (2)

クロスフロー水車の場合

単位：百万円

ケースNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
項目									
(1) 建設関係 (発電所建屋)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
(2) 土木関係	29.5	61.2	102.4	29.5	61.2	102.4	29.5	61.2	102.4
① 水圧管路	12.6	39.5	73.8	12.6	39.5	73.8	12.6	39.5	73.8
② その他	16.9	21.5	28.6	16.9	21.7	28.6	16.9	21.7	28.6
(3) 電気関係 発電機器	234	234	232	228	228	228	228	228	228
(4)=(1)+(2)+(3)小計	267.5	299.2	338.4	261.5	293.2	334.4	261.5	293.2	334.4
(5) 測定及試験費 (基本設計実施設計等)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(6) 用地買収補償費	3.1	3.1	3.4	3.1	3.1	3.4	3.1	3.1	3.4
(7) 工事雑費 建設所運営関係 建設中利子 予備費 他	69.2	77.3	87.4	67.7	75.8	86.4	67.7	75.8	86.4
合計	339.8	379.6	429.2	332.3	372.1	424.2	332.3	372.1	424.2
年間可能発電電力量 (MWh)	1315.7	1377.7	1403.5	1328.4	1373.1	1398.0	1288.8	1311.3	1330.6
建設単価 (¥/kWh)	258	276	306	250	271	303	260	284	319

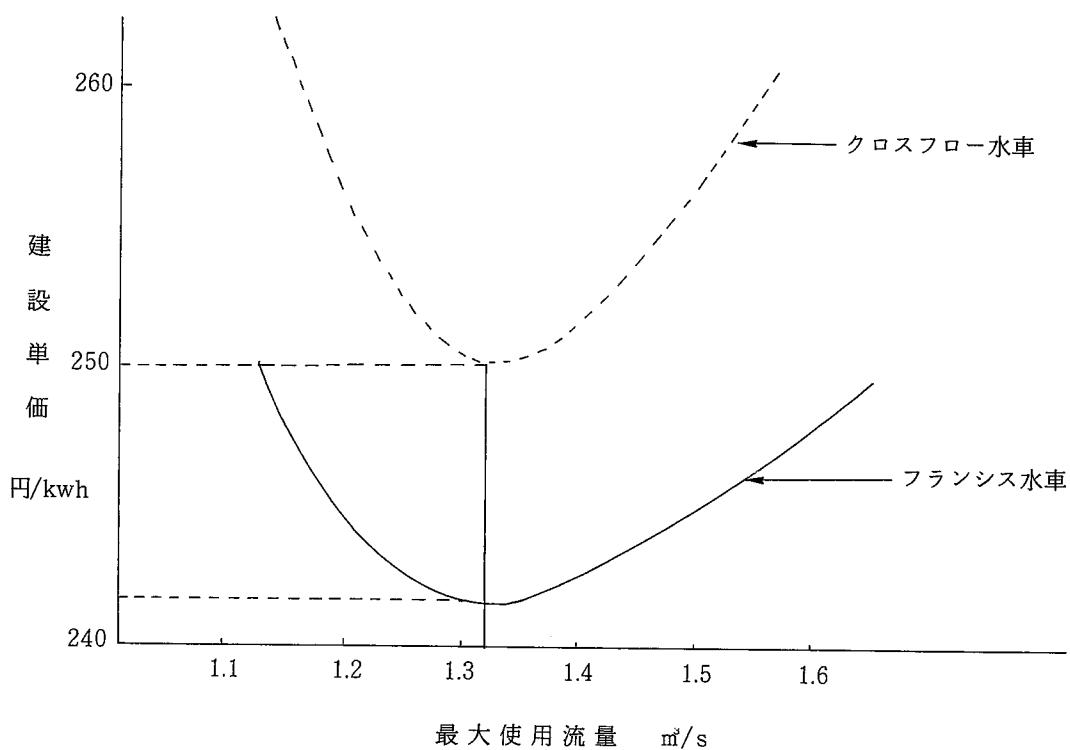


図12. 1 - 3 建設単価曲線

表12. 1 - 12 発電原価計算表

項目	金額	計 算 式
建設費	367,500千円	
売電可能電力量	1437.8MWh	年間可能発電電力量(kWh)×0.95
直接費	人件費	3000千円 0.5人×人件費単価
	修繕費	861.7〃 1.182(千円/kW)×最大出力(kW)×2.7
	水利使用料	120.2〃
	諸費	270〃 最大出力kW×1.0千円/kW
小計	4,251.9〃	
資本金	原価償却費	2953.1〃 建設費(千円)×0.9×0.25(事業費負担率)÷28(総合雇用年数)
	借入金利息	4777.5〃 建設費(千円)×0.25×0.052(6.5%の均等化利率)
	一般名管理対応費	1476.6〃 減価償却費(千円)×1/2
	固定資産税	0〃
小計	9207.2〃	
管部 理門 費	共用施設維持管理費	6000〃 1人×(人件費単価)千円
	その他	0〃
小計	6000〃	
合計	19459.1〃	
発電原価	13.53円/kWh	

注) 常時理論水力：179.4kW、最大理論水力：350.4kW

発電所最大出力：270kW

総合耐用年数：28年

6.5%の均等化利率：5.2%

12. 2 水圧管の計算実例

12. 2. 1 ケーススタディ-1 水圧管が鋼管で埋設管の場合

1) 概要

ケーススタディ-1においては、鋼管で埋設形の水圧管を選定し、検討した例を示す。

本例は農業用水を送る既設のダクタイル鋳鉄管及び鋼管から分岐し、鋼管の水圧管を新設するもので、既設管路についても水車の設置に伴ない水撃圧を受けるので問題点を検討する。

2) 検討条件

1 発電所の計画概要

頭首工により取水し、ダムを新設して畑地用水等の広域農業水利体系を確保しようとする土地改良事業において、取水からダムまでの落差を利用し発電するものである。

発電所周辺の概要を図12. 2-1に示す。

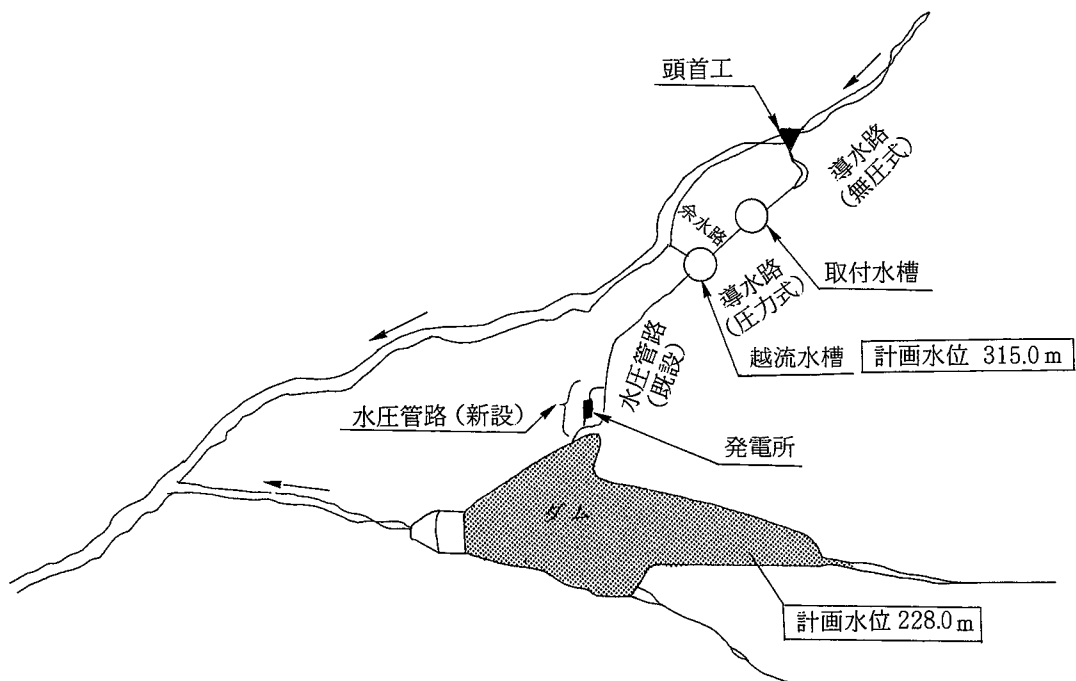


図12. 2-1 発電所周辺の概要

発電の最大使用水量は、 $4.0\text{m}^3/\text{sec}$ 、総落差は87.0mである。

大部分の土地改良施設は施工済であり、極力既設設備の設計条件内におさめた発電計画を行うことが前提となっている。

水圧管は、既設管路から分岐して発電所へ導く部分について新設管路となる。

2 設備概要

設備の概要を下表に、また取水系統図を12. 2-2に示した。

a. 土木・建築施設

項 目			諸 元	備 考
取水設備	頭首工	型式 堤長 堤高	コンクリートフローティングタイプ 20.00m 4.20m	既 設
	沈砂池	型式 高幅 延長	鉄筋コンクリート造り開渠 2.00m～2.70m 4.00m×2 28.00m	既 設 (上蓋のみ新設)
	取水庭	型式 高幅 延長	鉄筋コンクリート造り開渠 1.30m～2.70m 8.30m×2.40 21.90m	
導水路	トンネル		標準馬蹄形 内径 2.40m 延長 384.00m	既 設
	水管橋		円形・鋼製圧力管 内径 1.80m 延長 77.70m	
	PC管		埋設管 内径 1.80m 延長 303.30m	
	ダクタイル鋳鉄管		埋設管 内径 1.50m 延長 37.50m	
水槽	型式 高内 径		PC造, 一部鉄筋コンクリート造(円形) 20.07m 8.00m	新 設
余水路	型式 寸法 延長		鉄筋コンクリート造 幅6.00m～1.50m, 高さ3.00m～1.60m 66.25m	新 設
水圧管路	型式 内管 延長 条数	径厚	ダクタイル鋳鉄管及び鋼製埋設管 1.5m～1.0m ダクタイル鋳鉄管 t=16.5mm～20.0mm 鋼管 t=10mm～6mm ダクタイル鋳鉄管 l=2,148.82m(既設) 鋼管 l=689.89m(この内69.42m新設) 1 条	一部新設
発電所	型式 寸法		鉄筋コンクリート造 幅6.50m, 長さ15.70m, 高さ9.70m	新 設
放水路	型式 寸法		鉄筋コンクリート造開渠 幅2.40m, 長さ21.43m, 高さ1.50m～3.50m	新 設
利水放設流備	ゲート型式		ジェットフローゲート φ 650 1門 高圧スライドゲート 500×700 1門	既 設
発電所屋	型式 寸法		鉄骨造り 幅6.20m, 長さ13.5m, 高さ7.83	新 設

b. 電気設備

項 目	仕 様
水 車	立軸単輪単流うず巻フランス水車 出力2,600kW 1台
発 電 機	立軸三相交流同期発電機 出力2,600kVA 1台 力率 98%
変 圧 器	発電所 一次 6.6kV 二次 6.6kV 容量 3,000kVA 3相 1台
	変電所 一次 6.6kV 二次 66kV 容量 5,000kVA 3相 1台
発 電 盤 開閉装置	屋内キュービクル型 一体形制御盤, 発電機しゃ断器盤 所内電源盤, 直流電源盤 特高送電盤等 屋外開閉装置 一式
遠方制御装置	遠方監視制御卓 遠方監視制御装置

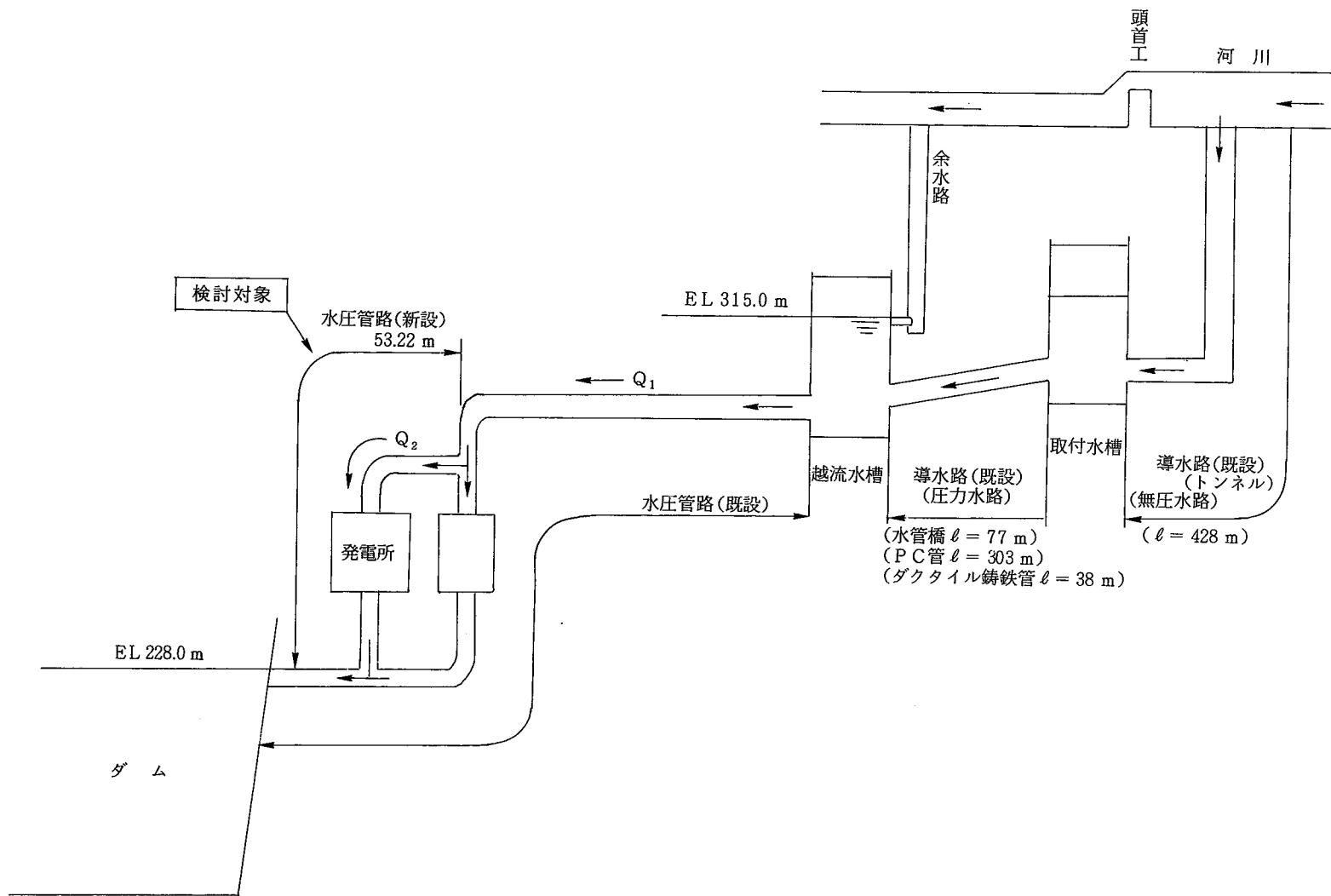
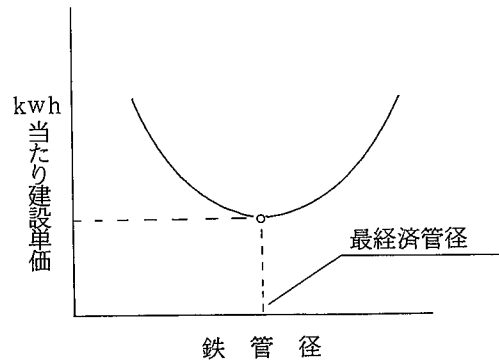


図12. 2-2 取水系統図

3) 管径の概定

水力発電所の水圧鉄管径の決定は、管径を変化させてこれにともなう建設費と、損失水頭を算定して最も経済的な管径を決定している。一般的には最大使用水量流下時に、管内流速が約2～4 m/sec程度となる管径が経済的であるとされている。



決定にあたっては、既設の水圧管路の鉄管径がφ1,500mmであることから、新設の鉄管径φ1,500mm, φ1,300mm, φ1,100mmについて、鉄管費、損失水頭、および発生電力量を比較し、総合的に判断することとした。

尚、落差に対応した口径の目安を下表に示した。本検討での総落差はH=87.0mあり、管内流速V=3 m/s以下が目安となる。Q=4.0m³/secとすると

$$D > \sqrt{\frac{Q}{V} \cdot \frac{4}{\pi}} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{4}{\pi}} = 1.3 \quad (\text{m})$$

口径1.3m以上が目安となる。

水圧管径概定のための落差対管内平均流速

落差 H (m)	管内平均流速 V (m/sec)
7 > H > 3	V < 1
15 > H > 7	V < 1
30 > H > 15	V < 2
100 > H > 30	V < 3
200 > H > 100	V < 4

(注) 表の落差とはダム又は上水槽の水位と放水路水位の差をいう。

4) 損失水頭、有効落差の算定 (管径1500mmの場合)

1 水圧管路の損失水頭

図2に示す取水系統において越流水槽からダムまでの損失水頭を計算する。

尚、既設の水圧管路から発電所への分岐に対して分岐前の流量をQ₁、分岐後の流量をQ₂として計算を行う。

a. スクリーンによる損失水頭 (h_1) (m)

$$h_1 = f_r \cdot \frac{v_1}{2g}$$

$$f_r = \beta \cdot \sin \theta \left[\frac{t}{b} \right]^{4/3}$$

ここに, f_r : スクリーンの損失係数

v_1 : スクリーンの下流側の平均流速 (m/sec)

β : スクリーンのバーの断面形状による
係数 (=1.79)

θ : スクリーンの傾斜角 (=90°)

t : スクリーンのバーの太さ (=0.028m)

b : スクリーンのバーの目の大きさ (=0.050m)

$$f_r = 1.79 \times \sin 90^\circ \times \left[\frac{0.028}{0.050} \right]^{4/3} = 0.826$$

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_1}{\pi \times 1.5^2 \times 1/4} = 0.566 Q_1^2$$

$$h_1 = 0.826 \times \frac{(0.566 Q_1)^2}{2 \times 9.8} = 0.014 Q_1^2$$

b. 流入による損失水頭 (h_2) (m)

$$h_2 = f_e \cdot \frac{v_1^2}{2g}$$

ここに, f_e : 流入損失係数

v_1 : 流入後の流速 (m/sec)

$f_e = 0.5$ (角端)

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_1}{1.5^2 \times \pi \times 1/4} = 0.566 Q_1$$

$$h_2 = 0.5 \times \frac{(0.566 Q_1)^2}{2 \times 9.8} = 0.008 Q_1^2$$

c. 摩擦による損失水頭 (h_3) (m)

$$h_3 = \frac{124.5 n^2}{D^{1/3}} \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

ここに, n : manning の粗度係数

L : 管の長さ (m)

D : 管の直径 (m)

v : 管内流速 (m/sec)

	分 岐 前					分岐後	
	ダクタイル 鑄鉄管 4種・K形	ダクタイル 鑄鉄管 3種・K形	ダクタイル 鑄鉄管 2種・K形	水管橋 鋼 管	2号トンネル 鋼 管	鋼 管	鋼 管
D	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.000
$A = \frac{\pi D^2}{4}$	1.767	1.767	1.767	1.767	1.767	1.767	0.785
$v = \frac{Q}{A}$	0.566Q ₁	0.566Q ₁	0.566Q ₁	0.566Q ₁	0.566Q ₁	0.566Q ₂	1.274Q ₂
n	0.013	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012
L	567.28	1,327.73	253.81	31.73	582.74	60.02	3.05
$\frac{124.5n^2}{D^{1/3}}$	0.018	0.018	0.018	0.016	0.016	0.016	0.018
$\frac{L}{D}$	378.187	885.153	169.207	21.153	388.293	40.013	3.050
$\frac{v^2}{2g}$	0.016Q ₁ ²	0.016Q ₁ ²	0.016Q ₁ ²	0.016Q ₁ ²	0.016Q ₁ ²	0.016Q ₂ ²	0.083Q ₂ ²
h _s	0.109Q ₁ ²	0.255Q ₁ ²	0.049Q ₁ ²	0.005Q ₁ ²	0.099Q ₁ ²	0.010Q ₂ ²	0.005Q ₂ ²

分岐前の摩擦損失水頭 = 0.517Q₁²

分岐後の " = 0.015Q₁²

d. 曲がりによる損失水頭 (h₄) (m)

$$h_4 = f_{b1} \times f_{b2} \times \frac{v^2}{2g}$$

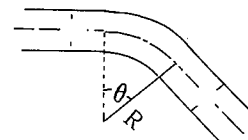
$$f_{b1} = 0.131 + 0.1632 \left[\frac{D}{R} \right]^{7/2}$$

$$f_{b2} = \left[\frac{\theta^\circ}{90^\circ} \right]^{1/2}$$

ここに、f_{b1} : 曲がりの曲率半径Rと管径Dとの比によって決まる損失係数

f_{b2} : 任意の曲がりの中心角θの場合の損失と中心角90°の場合の損失の比

v : 管内流速 (m/sec)



	分 岐 前			
	No 1 地点	No 2 地点	No 3 地点	No 4 地点
R	2.300	2.300	2.100	2.100
D	1.500	1.500	1.500	1.500
$A = \frac{\pi D^2}{4}$	1.767	1.767	1.767	1.767
$V = \frac{Q_1}{A}$	0.566Q ₁	0.566Q ₁	0.566Q ₁	0.566Q ₁
$\frac{D}{R}$	0.652	0.652	0.714	0.714
θ	49° 54' 09"	43° 04' 48"	50° 35' 00"	50° 11' 40"
f _{b1}	0.168	0.168	0.181	0.181
f _{b2}	0.745	0.692	0.750	0.747
$\frac{v^2}{2g}$	0.016Q ₁ ²	0.016Q ₁ ²	0.016Q ₁ ²	0.016Q ₁ ²
h ₄	0.002Q ₁ ²	0.002Q ₁ ²	0.002Q ₁ ²	0.002Q ₁ ²

	分 岐 後			
	No 5 地点	No 6 地点	No 7 地点	No 8 地点
R	4.500	4.500	4.500	4.500
D	1.500	1.500	1.500	1.500
$A = \frac{\pi D^2}{4}$	1.767	1.767	1.767	1.767
$V = \frac{Q_2}{A}$	0.566Q ₂	0.566Q ₂	0.566Q ₂	0.566Q ₂
$\frac{D}{R}$	0.333	0.333	0.333	0.333
θ	40° 00' 00"	79° 00' 00"	20° 00' 00"	20° 00' 00"
f _{b1}	0.134	0.134	0.134	0.134
f _{b2}	0.667	0.937	0.471	0.471
$\frac{v^2}{2g}$	0.016Q ₂ ²	0.016Q ₂ ²	0.016Q ₂ ²	0.016Q ₂ ²
h ₄	0.001Q ₂ ²	0.002Q ₂ ²	0.001Q ₂ ²	0.001Q ₂ ²

分岐前の曲がり損失水頭 = 0.008Q₁²

分岐後の " = 0.005Q₂²

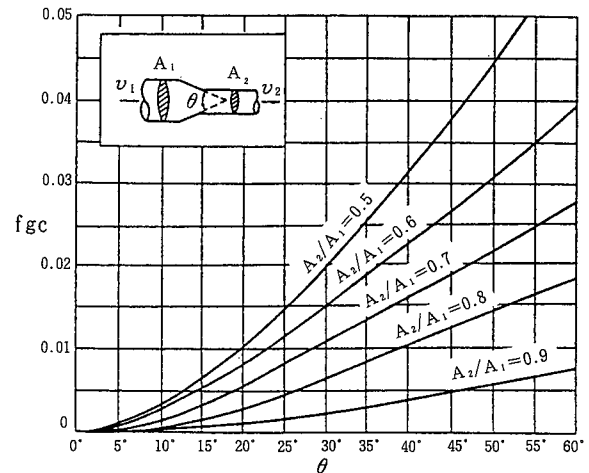
e. 漸縮による損失水頭 (h_5) (m)

$$h_5 = f_{gc} \frac{v_2^2}{2g}$$

ここに, f_{gc} : 漸縮損失係数

v_2 : 漸縮後の平均流速 (m/sec)

D	1.500 ~ 1.000
A_1	1.767
A_2	0.785
$\frac{A_2}{A_1}$	0.44
θ	14° 15'
f_{gc}	0.007
v_2	$1.274Q_2^2$
$\frac{v_2^2}{2g}$	$0.083Q_2^2$
h_5	$0.001Q_2^2$



(例) A_1, A_2 は漸縮前後の管断面積 (直近下位を取る)

漸縮損失係数 (ガルデル (Gardel) による)

f. 漸縮管の摩擦損失水頭 (h_6) (m)

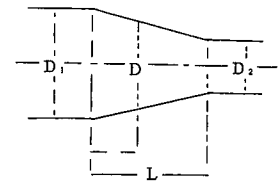
$$h_6 = \frac{2.37 n^2 Q^2 L}{D_1 - D_2} \left[\frac{1}{D_2^{1.3/3}} - \frac{1}{D_1^{1.3/3}} \right]$$

ここに, n : Manning の粗度係数 (=0.012)

L : 漸縮管の長さ (=2.00m)

D_1 : 漸縮前の管径 (=1.50m)

D_2 : 漸縮後の管径 (=1.00m)



$$h_6 = \frac{2.37 \times 0.012^2 \times 2.00 \times Q_2^2}{1.50 - 1.00} \times \left[\frac{1}{1.00^{1.3/3}} - \frac{1}{1.50^{1.3/3}} \right]$$

$$= 0.001 Q_2^2$$

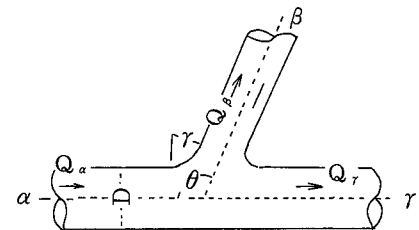
g. 分岐による損失水頭 (h_7) (m)

$$h_7 = H_\alpha - H_\beta = -f_\beta \frac{v_\alpha^2}{2g}$$

$$f_\beta = -0.95 \times (1 - q_\beta)^2 - q_\beta^2$$

$$\times \left[1.3 \cot \frac{\theta}{2} - 0.3 + \frac{0.4 - 0.1\phi}{\phi^2} \right] \times \left[1 - 0.9 \sqrt{\frac{\rho}{\phi}} \right] - 0.4 \times$$

$$\left[1 + \frac{1}{\phi} \right] \times \cot \frac{\theta}{2} \times (1 - q_\beta) q_\beta$$



ここに, H_α, H_β : 管の α, β の全水頭

f_β : 損失係数

v_α : 管 α の平均流速 (物流前)

θ : 本管と支管との交角

ϕ : 支管と本管の断面積比

ρ : 支管と本管との接続部の面取り

半径 r と本管直径 D との比 ($= r/D$)

q_β : 支管流量 Q_β と分流前の流量 Q_α の比 ($= Q_\beta/Q_\alpha$)

頭首工における最大取水量が約 $4.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ あることから,

$$q_\beta = \frac{4.0}{4.0} = 1.0 \text{ と仮定する。}$$

$$f_\beta = -0.95 \times (1-1)^2 - 1^2 \times \left[1.3 \times \cot \frac{180^\circ - 40^\circ}{2} \right. \\ \left. - 0.3 + \frac{0.4 - 0.1 \times 1}{1^2} \right] \times \left[1 - 0.9 \sqrt{\frac{0.075/1.50}{1}} \right] \\ - 0.4 \times \left[1 + \frac{1}{1} \right] \times \cot \frac{180^\circ - 40^\circ}{2} \times (1-1) \times 1 \\ = -0.377 \\ h_\tau = -(-0.377) \times \frac{(0.566Q)^2}{2 \times 9.8} = 0.006Q_2^2$$

h. 水圧管路の損失水頭の合計

			損失落差
分岐前	h_1	スクリーン	$0.014 Q_1^2$
	h_2	流入	$0.008 Q_1^2$
	h_3	摩擦	$0.517 Q_1^2$
	h_4	曲がり	$0.008 Q_1^2$
		余裕	$0.093 Q_1^2$
		小計	$0.640 Q_1^2$
分岐後	h_3	摩擦	$0.015 Q_1^2$
	h_4	曲がり	$0.005 Q_1^2$
	h_5	漸縮	$0.001 Q_1^2$
	h_6	漸縮管の摩擦	$0.001 Q_1^2$
	h_7	分岐	$0.006 Q_1^2$
		余裕	$0.002 Q_1^2$
	小計	$0.030 Q_1^2$	
合計			$0.64Q_1^2 + 0.03 Q_1^2$

2 放水路の損失水頭

a. 水路勾配による損失水頭 (h_s) (m)

$$h_s = IL$$

ここに, I : 水路勾配 ($= 1/1,000$)

L : 水路延長 ($= 9,856\text{m}$)

$$h_s = \frac{1}{1,000} \times 9,856 = 0.010\text{m}$$

b. 放水池の水面低下量 (h_g) (m)

$$h_g = f_{sc} \frac{v_2^2}{2g} + \left[\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right]$$

ここに, f_{sc} : 漸縮損失係数

v_1 : 漸縮前の平均流速 (m/sec)

v_2 : 漸縮後の " (m/sec)

$$A_1 = 3.00 \times 2.40 = 7.20\text{m}^2$$

$$A_2 = 1.20 \times 2.40 = 2.88\text{m}^2$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{2.88}{7.20} = 0.4$$

$$\theta = 18^\circ - 30'$$

$$f_{sc} = 0.013$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4.00}{7.20} = 0.56\text{m/sec}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{4.00}{2.88} = 1.39\text{m/sec}$$

$$h_g = 0.013 \times \frac{1.39^2}{2 \times 9.8} + \left[\frac{1.39^2}{2 \times 9.8} - \frac{0.56^2}{2 \times 9.8} \right] = 0.08\text{m}$$

c. 放水路の損失水頭の合計

		損失水頭
h_s	水路勾配	0.01 m
h_g	水面低下量	0.08 m
	余 裕	0.19 m
	合 計	0.28 m

3 損失水頭の合計

		損失水頭
水 圧 管 路		$0.64Q_1^2 + 0.03Q_2^2$
放 水 路		0.28 m
合 計		$0.64Q_1^2 + 0.03Q_2^2 + 0.28\text{m}$

4 有効落差の計算

	最 大	常 時
使用水量 m^3/s	4.00	0.83
取 水 位 m	315.00	315.00
放 水 位 m	228.00	228.00
総 落 差 m	87.00	87.00
損失水頭 m	11.00	0.74
有効落差 m	76.00	86.26

註) 常時使用水量は、頭首工の取水量の濁水量を基準に $0.83\text{m}^3/\text{s}$ とした。

5 適用水車について

水車の選定については、別途に検討を行うこととなるが、参考までに本仕様にて選定された水車仕様を以下に示す。

水車概略仕様

形 式	立軸単輪単流渦巻フランス水車
台 数	1 台
有 効 落 差	76.0m
流 量	$4.0\text{m}^3/\text{s}$
出 力	2600kW
回 転 速 度	750rpm
比 速 度	168m-kW
無 拘 束 速 度	1430r/min
吸 出 し 高 さ	+1.0m
ケーシング入口径	1,100mm
ガイドベーン 閉鎖時間	40sec
最大水圧値	121.7m
速度変動率	無拘束速度相当

5) 設計水圧の概定 (管径1,500mmの場合)

最大使用水量時 ($Q_{\text{max}}=4.0\text{m}^3/\text{s}$)において、水車が負荷遮断した場合の水撃圧と静水圧を合成して検討を行う。

1 設計要項

型 式	ダクタイル鋳鉄管, 全溶接鋼管トンネル内埋設
数 量	1 条
管 内 径	$\phi 1,500\sim\phi 1,000\text{mm}$
管 延 長	2,832m (越流水槽呑口～水車中心まで)

最大静水頭 88.00m (取付水槽水位WL 315.00 ~ 水車中心位EL 228.00)
 最大流量 4.0m³/s
 管胴の余裕厚 1.5mm
 使用材量 ダクタイル鋳鉄管 (2, 3, 4種)
 鋼管 (STPY 400及びSM400A)

2 水撃圧の計算

a. 記号説明

T : 閉塞器の閉塞時間=40sec
 L : 水圧管路の長さ=2,832m
 Q : 最大流量=4.0m³/sec
 H₀ : 水車中心静水頭=88.00m
 α : 圧力波の伝搬速度 (m/sec)
 v₀ : 管内平均流速 (m/sec)
 h₀ : 水撃圧による最大増加水頭 (m)
 μ : 圧力波が管内を往復する時間

b. 平均流速の計算

v_n : 各平均流速 [漸縮管に対して $v_n = \frac{v_{(n+1)} + v_{(n-1)}}{2}$] (m/sec)

A_n : 各平均断面積 [漸縮管に対して $A_n = \frac{Q}{v_n}$] (m²)

d_n : 各管内径 (m)

l_n : 各管内径に対する管長 (m)

A₀ : 平均断面積 (m²)

v₀ : 平均流速 (m/sec)

n	d _n (m)	A _n (m ²)	v _n (m/s)	l _n (m)	A _n · l _n	v _n · l _n
1	1.500	1.767	2.264	567.28	1,002.38	1,284.32
2	1.500	1.767	2.264	1,327.73	2,346.10	3,005.98
3	1.500	1.767	2.264	253.81	448.48	574.63
4	1.500	1.767	2.264	674.49	1,191.82	1,527.05
5	1.500~1.000	1.087	3.680	2.00	2.17	7.36
6	1.000	0.785	5.096	7.40	5.81	37.71
計				2,832.71	4,996.76	6,437.05

$$A_0 = \frac{\sum (A_n \cdot l_n)}{\sum l_n} = \frac{4,996.76}{2,832.71} = 1,764 \text{ m}^2$$

$$v_0 = \frac{\sum (v_n \cdot l_n)}{\sum l_n} = \frac{6,437.05}{2,832.71} = 2.272 \text{ m/sec}$$

c. 圧力波の伝搬速度

ダクタイル鋳鉄管

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega_0}{g} \left\{ \frac{1}{K} + \frac{2}{E} (r_1^2 + r_2^2) \right\} / (r_2^2 - r_1^2)}}$$

ここに, α : 圧力波の伝搬速度 (m/sec)

ω_0 : 水の単位体積重量 (=1.0 t/m³)

k : 水の体積弾性係数 (=2×10⁵ t/m²)

E : 管材の弾性係数 (=1.6×10⁷ t/m²)

r_1 : 管内半径 (m)

r_2 : 管外半径 (m)

トンネル部鋼管 (埋設管)

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega_0}{g} \left\{ \frac{1}{k} + \frac{2r_1}{Et} (1 - \lambda) \right\}}}$$

$$\lambda = \frac{r_2^2}{Et} / \left\{ \frac{r_1^2}{Et} + \frac{(r_3^2 - r_1^2)}{2r_3 + E_c} + \frac{(m_R + 1)r_1}{m_R E_R} \right\}$$

ここに, r_1 : 鋼管外半径 (m)

r_3 : コンクリート外半径 (m)

t : 鋼管の管厚 (m)

E_c : コンクリートの弾性係数 (=2.7×10⁶ t/m²)

m_R : 岩盤ポアソン比 (=0.11)

E_R : 岩盤の弾性係数 (=1.0×10⁶ t/m²)

鋼管

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega_0}{g} \left[\frac{1}{K} + \frac{1}{E} \frac{2r_1}{t} \right]}}$$

ここに, r_1 : 管内半径 (m)

t : 鋼管の管厚 (m)

E : 管材の弾性係数 (=2.1×10⁷ t/m²)

n	d _n	E _n	r ₁	r ₂	r ₃	t	λ	α _n	ℓ _n	ℓ _n / α _n
1	1.500	1.6 × 10 ⁷	0.749	0.777	—	—	—	1,079.65	567.28	0.5254
2	1.500	"	0.747	"	—	—	—	1,094.80	1,327.73	1.2128
3	1.500	"	0.745	"	—	—	—	1,108.60	253.81	0.2289
4	1.500	2.1 × 10 ⁷	0.750	—	—	0.010	—	898.36	31.73	0.0353
5	1.500	"	0.760	—	1.050	"	0.262	973.46	582.74	0.5986
6	1.500	"	0.750	—	—	"	—	898.36	60.02	0.0668
7	1.500~1.000	"	—	—	—	"	—	922.15	2.00	0.0022
8	1.000	"	0.500	—	—	0.008	—	945.93	7.40	0.0078
計									2,832.71	2.6778

$$\alpha_o = \frac{\sum \ell_n}{\sum (\ell_n / \alpha_n)} = \frac{2,832.71}{2.6778} = 1,057.85 \text{ m/sec} \quad (\alpha_o : \text{等価伝搬速度})$$

$$\frac{2 \times \sum \ell_n}{\alpha_o} = \frac{2 \times 2,832.71}{1,057.85} = 5.4$$

∴ T=40 > 5.4 となり緩閉塞である。

d. 水撃圧の計算

$$\rho = \frac{\alpha_0 v_0}{2 g H_0} \dots\dots\dots \text{Allieviの管路定数}$$

$$\theta = \frac{\alpha_0 T}{2 L} \dots\dots\dots \text{閉塞器の閉塞時間定数}$$

$$n = \frac{\rho}{\theta}$$

$$\rho = \frac{1,057.85 \times 2.272}{2 \times 9.8 \times 88.00} = 1.393 > 1$$

$$\theta = \frac{1,057.85 \times 40}{2 \times 2,832,71} = 7.469$$

$$n = \frac{1.393}{7.469} = 0.187$$

$\rho > 1$ の条件より

$$\frac{h_0}{H_0} = \frac{n}{2} (n + \sqrt{n^2 + 4}) = \frac{0.187}{2} \times (0.187 + \sqrt{0.187^2 + 4}) = 0.205$$

$$\therefore h_0 = 0.205 \times 88.00 = 18.04 \approx 19.0\text{m}$$

以上の結果、最大水撃圧は、19.0mとする。

3 設計水圧

新設水圧管路における静水圧は、88mである。

(取付水槽水位 WL 315.00－水圧管中心 EL 228.00)

従って新設管路における設計水圧は、次の通りである。

$$\begin{aligned} \text{設計水圧} &= \text{静水圧 (88m)} + \text{水撃圧 (19m)} \\ &= 107\text{m} \end{aligned}$$

6) 水圧管の型式

既設の水圧管路が発電所近くまで埋設管できている。

既設水圧管路から分岐して発電所へ到る水圧管の計画であり、同様に埋設管形式とする。

7) 管種の概定

水圧管は内径φ1500mm、管長約70m、設計水圧約110m、埋設管形式という条件からは、鋼管またはダグタイル鑄鉄管が選定出来るが、分岐点近傍の既設水圧管路が鋼管であることから鋼管を選定する。

8) 構造検討

1 概要

水圧管は、ダムの直前でY分岐管により、内径φ1,500mmのSTPY400（配管用アーケ

溶接炭素鋼鋼管)で分岐し発電所まで布設する。

発電所内においてφ1,500mmからφ1,000mmへ漸縮し、入口弁を経て水車へ接続する。

鋼管は、内側タールエポキシ系塗装、外側はさび止めを塗装するが、全線にわたって地中埋設になることからコンクリート360°巻立とし腐食の防止を図る。

なお、ダム直前のY分岐管は施工済である。

Y分岐管以降の新設水圧管の構造設計は、内圧は管本体で受け持ち、外圧は巻立コンクリートで受け持たせることとして行う。

内圧は、静水圧+水車急停止時の水撃圧である。巻立コンクリートの外圧に対する検討については、ここでは省略する。既設水圧管路についても水車の設置に伴ない、水撃圧を受けるので問題ないか検討を行う。既設水圧管路は農業用水の管路と兼用となるので「土地改良事業計画設計基準水路工(その2)」(以下「設計基準」と呼ぶ)の式でもチェックする。

2 水圧管路の各部の設計水圧の計算

構造検討に先だち水圧管路の各部の設計水頭を求める。

設計水頭は、次式で算出する。

$$\text{設計水頭} = \text{静水頭} + \text{水撃圧水頭}$$

静水頭は鉄管中心高から取付水槽水位(WL, 315.00)までの水頭とする。

水撃圧水頭は、各部の水撃圧水頭は次式で計算される。

$$H_i = H_\omega \times \frac{l_i}{L}$$

ここに、 H_i : 各部の水撃圧水頭 (m)

H_ω : 最大水撃圧水頭 (m)

l_i : 越流水槽呑口からの距離 (m)

L : 越流水槽呑口から水車中心までの距離 (m)

場所	呼び径D	l (m)	l_i (m)	静水頭 (m)	水撃圧水頭 (m)	設計水頭 (m)	備 考
1	1,500	567.28	567.28	44.67	3.80	48.47	既設(ダクタイル鋳鉄管 4種)
2	1,500	1,327.73	1,895.01	92.33	2.71	105.04	既設(ダクタイル鋳鉄管 3種)
3	1,500	253.81	2,148.82	98.38	14.41	112.79	既設(ダクタイル鋳鉄管 2種)
4	1,500	31.73	2,180.55	94.50	14.63	109.13	既設(鋼管JIS STPY管厚11.9mm)
5	1,500	582.74	2,763.29	85.59	18.53	104.12	"
6	1,500	60.02	2,823.31	88.00	18.94	106.94	新設(鋼管STPY)
7	1500x1000 テーパ管	2.00	2,825.31	88.00	18.95	106.95	新設(鋼管SM)
8	1,000	7.40	2,832.11	88.00	19.00	107.00	新設(鋼管STPY)

3 鋼管の構造計算

a. 発電用水力設備の技術基準と官庁手続き（以下「技術基準」と呼ぶ）による計算の場合

a) 最小板厚の計算

主要耐圧部に使用する管に補剛材を使用しないとした場合、管の最小板厚は次式により算出する。

$$t_o = \frac{D_o + 800}{400} \quad (\text{ただし, } t \geq 6 \text{ mm})$$

ここに、 t_o ：最小板厚（余裕厚を含む）（mm）

D_o ：管の内径（mm）

$D_o = 1,500 \text{ mm}$ の場合

$$t_o = \frac{1,500 + 800}{400} = 5.75 \text{ mm}$$

$D_o = 1,000 \text{ mm}$ の場合

$$t_o = \frac{1,000 + 800}{400} = 4.50 \text{ mm}$$

従って、 $D = 1,500 \text{ mm}, 1,000 \text{ mm}$ 共に最小板厚は 6 mm とする。

b) 既設及び新設鋼管の構造計算

内圧をすべて管胴で負担する場合、管胴の引張応力は次式で算出される。

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{2 (T - \varepsilon) \cdot \eta}$$

ここに、 P ：設計圧力（ kgf/cm^2 ） $P = \frac{\text{設計水頭}}{10}$

σ_t ：引張応力（ kgf/cm^2 ）

使用鋼材 STPY400 及び SM400A 許容応力 1250 kgf/cm^2

η ：溶接効率 80%

T ：使用管厚（mm）

ε ：余裕厚 1.5mm

D ：管内径（mm）

使用管厚は J I S の規格の中から選んで計算を行う。計算の結果は次の通りである。

場所	呼び径D。 mm	T mm	(T - ε) mm	D mm	P	σ_t kgf/cm ² { N/mm ² }
4	1,500	11.9	10.4	1,501.7	10,913	984.86 { 100.4 }
5	1,500	11.9	10.4	1,501.7	10,412	939.65 { 95.4 }
6	1,500	11.9	10.4	1,501.7	10,694	965.09 { 98.5 }
7	1500x1000 ※ テーバー管	12.0	10.5	1,501.7	10,695	955.99 { 97.6 }
8	1,000	7.9	6.4	1,001.7	10,700	1,046.70 { 106.8 }

※印のテーバー管のみ材質SM400A, 他はSTPY400

鋼管の許容応力 1,250kgf/cm²に対し計算結果はいずれも許容応力を下まわっている
ので既設管路は十分安全である。また新設の水圧管も選定した管種で問題はない。

b. 「設計基準」による計算の場合

「設計基準」では鋼管の場合, 計算式は「技術基準」と同一, 余裕厚は1mmである。

従って引張り応力 σ_t は「技術基準」による計算結果より小さくなる。ここでの計算は省略するが問題はない。

4 ダクタイル鋳鉄管の構造検討

既設ダクタイル鋳鉄管部分についても, 水車設置に伴ない, 水撃圧を受けるため管厚に
ついては問題ないか検討を行う。計算は「技術基準」と「設計基準」の両方の式で行う。

a. 計算条件

管	種	ダクタイル鋳鉄管
管	径	D=1.500m
土の単位体積重量	γ	$\gamma=0.0018\text{kgf/cm}^3$
土被り	H	H=150cm
土の受働抵抗係数	e'	$e'=28\text{kgf/cm}^2$
設計支持角		90°

b. 「技術基準」による計算の場合

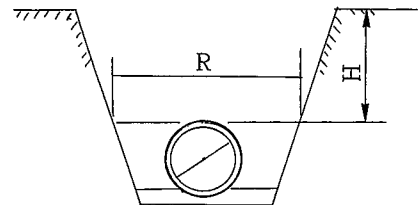
a) 考慮すべき荷重

地中埋設管の場合, 荷重は次の各号の組合せについて考慮し計算を行う。

管内満水時: 内圧, 温度変化, 土圧及び載荷重

管内充水時: 管力水の重量, 土圧及び載荷重

管内空虚時: 土圧, 載荷重及びその他の外圧



埋設形状

土圧及び載荷重は以下によって求める。

(a) 土 圧

管頂からの土かぶり $H \leq 2.0\text{m}$ のときは次の垂直公式による。

$$W_v = \gamma H = 1.8 \times 10^{-3} \times 150 = 0.270\text{kgf/cm}^2 \text{ [0.028 MPa]}$$

W_v : 土圧 (kgf/cm²)

γ : 埋戻し土の単位体積重量 (kgf/mm³) = 1.8×10^{-3} kgf/mm³

H : 管頂からの土かぶり (cm) = 150cm

(b) 載荷重

載荷重としては、自動車荷重、ブルドーザー荷重などが考えられるが、ここでは載荷重はかからないものとする。

b) 考慮すべき応力

(a) 管内満水時

① 内圧による引張応力

$$\sigma = \frac{PD}{2t}$$

t : 余裕厚を除いた管厚 (cm)

σ : 応力 (kgf/cm²)

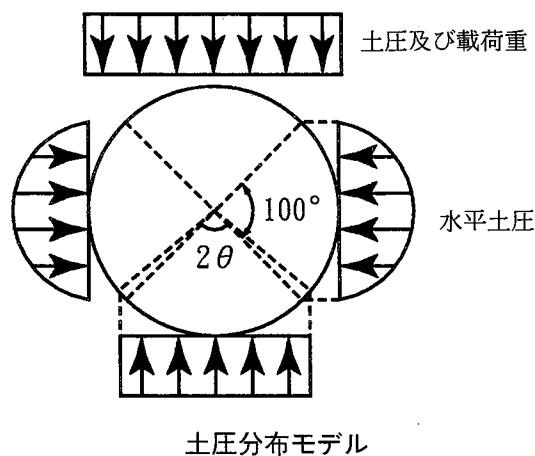
P : 応力を求めようとする位置の最大水圧 (kgf/cm²)

計算結果をまとめると、下記の通りである。

	内 圧 P kgf/cm ²	内 径 D cm	実際管厚 T cm	管 厚 t cm	応 力 σ kgf/cm ² { N/mm ² }
K形4種	4.847	152.42	1.65	1.335	277 { 28.3 }
K形3種	10.504	152.13	1.80	1.470	544 { 55.5 }
K形2種	11.279	151.66	2.05	1.695	505 { 51.5 }

② 土圧及び載荷重による曲げ応力

土圧及び載荷重による曲げ応力の算出式としては、内圧による復元力を考慮した場合の Spangler 式がある。この場合土圧分布モデルは下図のように考えるので最大曲げモーメントは管底に生じる。



円周方向の曲げ応力は以下による。

$$\sigma_{b1} = \frac{6 M_1}{t^2}$$

σ_{b1} : 円周方向の曲げ応力 (kgf/cm²)

M_1 : 管底に生じる曲げモーメント (kgf-cm/cm)

$$M_1 = K_1 W r_m^2 - 0.083 e' \Delta X_1 r_m - K_1 P \Delta X_1 r_m$$

W : 鉛直荷重強度 (=土圧 W_v +載荷重による土圧 W_d)
(kgf/cm²) = 0.270kgf/cm²

r_m : 板厚の中心の半径 (cm)

e' : 土の受働抵抗係数 (kgf/cm²) = 28kgf/cm²

P : 応力を求めようとする位置の最大水圧 (kgf/cm²)

ΔX_1 : 水平たわみ量 (cm)

K_1 : 管底の支持角によって決まる係数 = 0.314

$$\Delta X_1 = \frac{2 K W r_m^4}{E I + 0.061 e' r_m^3 + 2 K P r_m^3}$$

E : 材料の弾性係数 (kgf/cm²)

I : 断面の2次モーメント = $\frac{t^3}{12}$ (cm⁴/cm)

K : 管底の支持角によって決まる係数

係数 K , K_1 は下表の値となる。

管底の支持角 2θ	0°	60°	90°	120°	180°
K_1	0.587	0.377	0.314	0.275	0.250
K	0.110	0.103	0.096	0.089	0.083

曲げ応力の計算結果をまとめると、次の通りとなる。

	水平たわみ量 $\Delta \times 1$ (cm)	半 径 r_m (cm)	水 圧 P (kgf/cm ²)	曲げモーメント M_1 (kgf cm/cm)	管 厚 t (cm)	曲げ応力 σ_{b1} (kgf/cm ²) {N/mm ² }	発生応力 $\sigma + \sigma_{b1}$ (kgf/cm ²) {N/mm ² }
K形4種	1.198	77.03	4.847	148.083	1.335	498.533 {50.9}	775.220 {79.1}
K形3種	0.857	76.97	10.504	131.217	1.470	364.340 {37.2}	907.868 {92.6}
K形2種	0.751	76.85	11.279	162.135	1.695	338.602 {34.6}	843.179 {86.0}

(b) 管内充水時

土圧， 載荷重及び水重による円周方向の曲げ応力は次式で与えられる。

$$\sigma_{b2} = \frac{6 M_2}{t^2}$$

σ_{b2} : 土圧， 載荷重及び水重による円周方向曲げ応力 (kgf/cm²)

M_2 : 土圧， 載荷重及び水重による曲げモーメント (kgf-cm/cm)

最大曲げモーメントは次式で算出される。

$$M_2 = K_1 W_1 r_m^2 + K_2 W_0 r m^3 - 0.083 e' \Delta X_2 r m$$

W_0 : 水の単位体積重量 (=0.001kgf/cm³)

ΔX_2 : 土圧， 載荷重及び水重による水平たわみ量 (cm)

K_2 : 管底の支持角によって決まる係数=0.321

$$\Delta X_2 = \frac{2 K W r m^4 + 2 K_0 W_0 r m^5}{E I + 0.061 e' r m^3}$$

K_0 : 管底の支持角によって決まる係数=0.085

係数 K_2 , K_0 は下表の値となる。

管底の支持角 (2θ)	0°	30°	60°	90°	120°	180°
K_2	0.750	0.563	0.420	0.321	0.260	0.220
K_0	0.107	0.104	0.096	0.085	0.075	0.065

計算結果をまとめると下表の通りである。

	水平たわみ量 $\Delta \times 2$ (cm)	半 径 r_m (cm)	曲げモーメント M_2 (kgcm/cm)	管 厚 t (cm)	曲げ応力 σ_{b2} (kgf/cm ²) {N/mm ² }
K形4種	2.082	77.03	277.003	1.335	932.552 {95.2}
K形3種	1.895	76.97	309.613	1.470	859.679 {87.7}
K形2種	1.589	76.85	362.577	1.695	757.202 {77.3}

(c) 管内空虚時

① 土圧， 載荷重による円周方向曲げ応力

円周方向の曲げ応力は，

$$\sigma_{b3} = \frac{6 M_3}{t^2}$$

σ_{b3} : 土圧， 載荷重による円周方向曲げ応力 (kgf/cm²)

最大曲げモーメントは次式で算出される。

$$M_3 = K_1 W r m^2 - 0.083 e' \Delta X_3 r m$$

ΔX_3 : 土圧及び載荷重による水平たわみ量 (cm)

$$\Delta X_3 = \frac{2 K W r m^4}{E I + 0.061 e' r m^3}$$

② 外圧によるたわみ率（変形率）

$$\alpha = F \cdot \frac{\Delta X_3}{2 r_m}$$

α : 管内空虚時のたわみ率

F : 変形遅れ係数 (1.0)

計算結果をまとめると下表の通りである。

	水平たわみ量 $\Delta \times 3$ (cm)	半 径 r_m (cm)	モーメント M_3 (kgcm/cm)	管 厚 t (cm)	曲げ応力 σ_{b3} (kgf/cm ²) {N/mm ² }	たわみ率 α (%)
K形4種	1.663	77.03	205.456	1.335	691.683 {70.6}	1.079%
K形3種	1.513	76.97	231.572	1.470	642.987 {65.6}	0.983%
K形2種	1.269	76.85	274.011	1.695	572.241 {58.4}	0.826%

(d) 「技術基準」での計算結果をまとめると下表のようになる。

	σ	$\sigma + \sigma_{b1}$	σ_2	σ_3
K形4種	277	775	933	692
K形3種	544	908	860	643
K形2種	505	843	757	572
判定基準	1,200 以下	1,200 × 1.35 以下 (=1620)	1,200 × 1.5 以下 (=1800)	1,200 以下
判 定	OK	OK	OK	OK

c. 「設計基準」による計算の場合

a) 横断面に生ずる最大曲げモーメント : M

$$M = 0.314WR^2 + 0.321W_0R^3 + 0.102W_aR - 0.166P_vR^2$$

ここに、M : 横断面に生ずる最大曲げモーメント (管底)

W : 管体の単位面積に働く鉛直荷重強度 (kgf/cm²) W = W_v + W_w

W_v : 鉛直土圧 (kgf/cm²)

$$= W \cdot H = 1.8 \times 10^{-3} \times 150 = 0.270 \text{ kgf/cm}^2$$

W_w : 載荷重による鉛直土圧 (kgf/cm²)

W₀ : 水の単位体積重量 = 0.001 kg/cm³

W_a : 管長 1 cm 当たりの管体重量 (kg)

R : 管厚中心半径 (cm)

P_v : 管体側面中央における水平荷重強度

$$P_v = \frac{e'}{2R} \left[\frac{\Delta X_1 + \Delta X_3 + \Delta X_4}{F} + \Delta X_2 \right]$$

ΔX_1 = 鉛直土圧による水平たわみ量

$$= F \frac{2KW_v R^4}{EI + 0.061e' R^3}$$

ΔX_2 = 載荷重による水平たわみ量

$$= F \frac{2KW_w R^4}{EI + 0.061e' R^3}$$

ΔX_3 = 管内水重による水平たわみ量

$$= F \frac{2K_o W_o R^5}{EI + 0.061e' R^3}$$

ΔX_4 = 管重による水平たわみ量

$$= F \frac{2K_p W_p R^4}{EI + 0.061e' R^3}$$

K, K_o, K_p = 基礎の支持角によって決まる係数

$$K = 0.096$$

$$K_o = 0.085$$

$$K_p = 0.169$$

W_p = 管体の単位面積当り重量 (kg/cm²)

F : 変形遅れ係数 = 1.0

E : 管材の弾性係数 = 1.6 × 10⁶ kg/cm²

I : 管軸方向を軸とし、管延長 1 cm 当たりの管壁の断面二次モーメント cm⁴/cm

t : 計算管厚 = T / 1.1 - 1

ここに T : 使用管厚 (cm)

管種	t (cm)	I (cm ⁴ /cm)	R (cm)	W _a (kg)	ΔX_1 (cm)	ΔX_2 (cm)	ΔX_3 (cm)	ΔX_4 (cm)	P _v (kgf/cm ²)	M (kg·cm/cm)
K形4種	1.400	0.229	77.000	5.698	1.591	0.000	0.402	0.104	0.381	312.137
" 3種	1.536	0.302	76.932	6.210	1.440	0.000	0.363	0.103	0.347	348.795
" 2種	1.764	0.457	76.818	7.062	1.199	0.000	0.302	0.099	0.292	407.934

b) 内外圧から求める管厚計算式を使って許容水圧を求める。

$$t \geq \frac{0.5DH + \sqrt{(0.5DH)^2 + 24\alpha \cdot \delta_a \cdot M}}{2 \cdot \sigma_a}$$

t は応力計算から求められる必要管厚 (cm) であるが、この式を使って t に既設管の肉厚を代入し、許容水圧 P_a (kgf/cm²) を求める。

D : 管の内径 (cm)

H : 設計水圧 (kg/cm²) ただし H = H₁ + H₂

H_1 : 静水圧 (kg/cm²)
 H_2 : 水撃圧 (kg/cm²)
 M : 外圧により管体に発生する最大曲げ
 モーメント (kg・cm/cm)
 α : 引張応力/曲げ応力=0.7
 σ_a : 許容引張応力度=1,890kg/cm²

管種	D (cm)	H (kg/cm ²)	M (kg-cm/cm)	t (cm)	許容水圧 (kgf/cm ²) {MP _a }
K形4種	152.60	4.847	312.137	1.400	22.480 {2.29}
" 3種	152.33	10.504	348.795	1.536	25.695 {2.62}
" 2種	151.87	11.279	407.934	1.704	31.220 {3.19}

許容水圧>設計水圧となり十分安全である。

c) たわみ率

通常設計たわみ率を3%として管厚を計算するが、ここでは既設管が安全であることを確認すればよいので、既設管のたわみ率が3%以内になっているかどうかをチェックする。

たわみ率は次の式で求める。

$$\frac{\Delta X}{2 \cdot R} \times 100\%$$

ここで

$$\Delta X = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3 + \Delta X_4$$

R, ΔX_1 , ΔX_2 , ΔX_3 , ΔX_4 は1で求めた値を使う。

計算の結果

管種	ΔX (cm)	R (cm)	たわみ率 (%)
K形4種	2.097	77.000	1.361
" 3種	1.906	76.932	1.239
" 2種	1.600	76.818	1.041

いずれもたわみ率は3%以下になり十分安全である。

9) 経済性の検討

4項から8項の検討は口径1500mmと仮定した場合であるが、同様の検討を口径1100, 1300mmについても行い、経済性の比較を下表にまとめる。

表12. 2-1 水圧鉄管比較表

項目 \ 内径	φ 1,500mm	φ 1,300mm	φ 1,100mm
管 厚 (mm)	10	8	7
延 長 (m)	55	55	55
鋼管重量 (t)	20.5	14.2	10.6
①工事費の低減 (鉄管費+土木工事費) φ1,500 との差	±0	+200万円 (+2.5%)	+400万円 (+5%)
管内流速 (m/s)	2.3	3.0	4.2
損失水頭 (m)	0.13	0.30	0.81
年間発生電力量 φ1,500 との差(kWh)	±0	- 35,000	- 165,000
②売電料金 (50年間) φ1,500 との差	± 0	-1750万円 (- 22%)	-8250万円 (- 105%)
経済性評価 ① + ② (%)	± 0	-1550万円 (- 19.5%)	-7850万円 (- 100%)

注1) 本表の経済性評価における%表示は、φ1,500mm に対する、φ1,100mの経済性低下を-100%としたときのものである。

注2) 売電料金は、kWh当たり10円と仮定した。

この様に、工事費はφ1,500mmに比べ、φ1,300mm、φ1,100mmと低減するが、年間発生電力量も確実に減少する。

水力発電所は、数十年間にわたって発電を続けることとなるので、鉄管径φ1,500mmの上記程度の設備投資は、発生電力量の増分により十分補って余りあるものと考えられる。

従って、本地点の水圧鉄管径はφ1,500mmとする。

12. 2. 2 ケーススタディ-2. 水圧管がダクティル管で露出管の場合

1) 概要

ケーススタディ-2. では水圧管として、ダクティル鋳鉄管を露出管として使用する場合を事例として取り上げ検討する。

ケーススタディ-1. では水理検討、経済性検討について詳細に記述したので、ケーススタディ-2. では構造検討のみを示す。

2) 計算条件

図12. 2-3に示すような支持条件の場合について計算した。

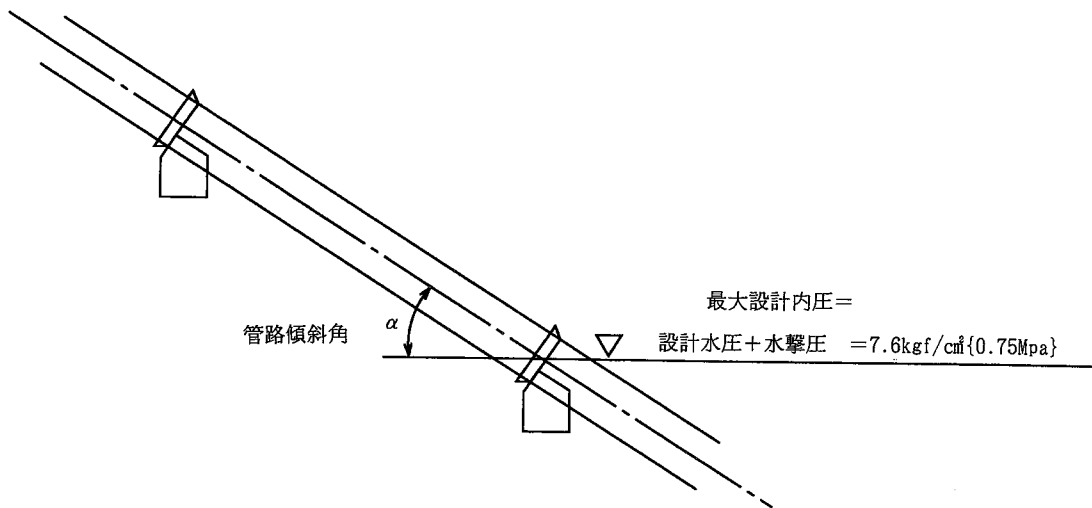


図12. 2-3 管の支持条件

- (1) 呼び径 (内径) : $D = 350\text{mm}$
- (2) 管長 $L = 6,000\text{mm}$
- (3) 管材の単位体積重量 $\gamma_p = 0.00715 \text{ kgf/cm}^3$
- (4) 許容応力 表12. 2-2に示す。
- (5) 最大設計内圧 $P = 7.6 \text{ kgf/cm}^2 \{0.75\text{MPa}\}$
- (6) 管路傾斜角 $\alpha = 30.45^\circ$
- (7) 支持角 $\theta = 120^\circ$
- (8) 最大積雪量 $W_s = 0.18\text{kgf/cm}^2$

図12. 2-2 許容応力 kgf/cm^2 $\{\text{N/mm}^2\}$

	引張応力	圧縮応力	せん断応力
ダクティル鋳鉄管	1200 {120}	1200 {120}	700 { 70 }

露出管の場合は下記の組合せで計算を行う。

- (1) 管内満水時
- (2) 管内充水時
- (3) 管内空虚時

ダクタイル鋳鉄管の場合、規格品を使用するので(3)管内空虚時はまず問題となることはないので計算は(1)管内満水時(2)管内充水時について行う。計算条件の積雪の有無、温度の上昇、下降、計算場所管中央、受口の全ての組合せで計算するととなると16通り計算しなくてはならないことになるが、殆どの場合次の3つの組合せの計算を行えばよい。

- a. 管内満水時、中央、積雪有り、温度上昇
- b. 管内充水時、中央、積雪有り、温度下降
- c. 管内充水時、受口、積雪有り、温度上昇

(a. b. c. 共積雪がない場合はb. の計算は不要)

以上、3つのケースについてJ I S規格(JIS G 5526)の管厚(φ350は第1種管と第3種管)で計算を行う。

3) 管内満水時、中央、積雪有り、温度上昇の場合の計算 (第1種管)

(1) 円周方向応力

a. 内圧による引張応力

$$\sigma_1 = \frac{P D_0}{2 t} \dots\dots\dots (1)$$

$$= \frac{7.6 \times 36.4}{2 \times 0.5} = 277 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \{27.1\text{N/mm}^2\}$$

- σ_1 : 内圧による引張応力 (kgf/cm²)
- P : 最大設計内圧 (kgf/cm²)
- D₀ : 管内径 (cm)
- t : 計算管厚 (規格の管厚Tから余裕厚及び鋳造誤差を引いた管厚)
(cm)、余裕厚0.15cm、鋳造誤差0.1cm (T ≤ 1 cm)
t = 管厚 T - 余裕厚 - 鋳造誤差 = 0.75 - 0.15 - 0.1 = 0.5 (cm)

(2) 管軸方向応力

a. 管を梁と考えた時の曲げ応力

a) 管内水重、管自重、積雪荷重による曲げモーメントM₁

曲げモーメントは

$$M_1 = \pm m \cdot G \cdot L^2 \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots (2)$$

$$= \pm \frac{1}{8} \times 8.49 \times 600^2 \times \cos 30.45^\circ = -329355 \text{ (kgf-cm)}$$

- M₁ : 最大曲げモーメント (kgf-cm)
- G : 単位長さ当りの荷重 (kgf/cm)
- L : 管長 (cm)

α : 管軸と水平面とのなす角度 (°)

m : 係数 (管の中央で $m=1/8$ 、管の両端で $m=0$)

$$G = \frac{\pi}{4} D_o^2 \cdot W_w + S + W_s (D_o + 2 T) \dots\dots\dots (3)$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 36.4^2 \times 0.001 + 0.626 + 0.18 \times (36.4 + 2 \times 0.75)$$

$$= 1.040 + 0.626 + 6.822 = 8.49 (\text{kgf/cm})$$

D_o : 管内径 (cm)

W_w : 水の単位体積重量 (kgf/cm³) (0.001)

S : 管長 1 cm 当り管体重量 (kgf/cm)

W_s : 積雪荷重 (kgf/cm²) (0.18)

$$S = \pi (D_o + T) T \cdot w_p \dots\dots\dots (4)$$

$$= \pi (36.4 + 0.75) \times 0.75 \times 0.00715 = 0.626 (\text{kgf/cm})$$

w_p : 管材の単位体積重量 (kgf/cm³)

T : 管厚 (cm)

b) 地震力による管軸方向モーメント M_2

地震力による水平方向荷重 P_A

$$P_A = K \cdot G \dots\dots\dots (5)$$

$$= 0.15 \times 8.49 = 1.273 (\text{kg/cm})$$

K = 水平震度 ($K=0.15$)

$$M_2 = \pm \frac{1}{8} \times P_A \times L^2 \times \sin \alpha \dots\dots\dots (6)$$

$$= \pm \frac{1}{8} \times 1.273 \times 600^2 \times \sin 30.45^\circ = -29031 (\text{kgf-cm})$$

したがって 管軸方向曲げ応力 σ_M は

$$\sigma_M = \frac{M_1 + M_2}{Z_u} \dots\dots\dots (7)$$

$$= \frac{M_1 + M_2}{\frac{\pi}{4} (D_o + T)^2 t}$$

$$= \frac{-329355 - 29031}{\frac{\pi}{4} (36.4 + 0.75)^2 \times 0.5} = \frac{-358386}{542.0} = -661.2 (\text{kgf/cm}^2) \{-64.8 \text{N/mm}^2\}$$

b. 管の傾斜による荷重

a) 管荷重による荷重 P_1

$$P_1 = e \cdot S \cdot L \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (8)$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.626 \times 600 \times \sin 30.45^\circ = 95.2 (\text{kgf})$$

b) 積雪荷重による荷重 P_2

$$P_2 = e \cdot u \cdot L \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (9)$$

$$= \frac{1}{2} \times 6.822 \times 600 \times \sin 30.45^\circ = 1037.2 (\text{kgf})$$

$$u = W_s (D_o + 2T) = 0.18(36.4 + 2 \times 0.75) = 6.822 (\text{kgf/cm})$$

W_s : 積雪荷重 (kgf/cm)

e : 係数 (管の中央で $e = 1/2$ 、管の受口端で $e = 1$)

c) 地震力による管軸方向成分荷重 P_3

地震力による水平方向荷重 P_A

$$P_A = 0.15 \times 8.49 = 1.273 \text{kgf/cm}$$

$$P_3 = e \cdot P_A \cdot L \cdot \cos \alpha \quad \dots \dots \dots (10)$$

$$= \pm \frac{1}{2} \times 1.273 \times 600 \times \cos 30.45^\circ = -329.2 (\text{kgf})$$

c. 継手に作用する内圧の管軸方向成分による荷重 P_5

$$P_5 = -\pi (D_o + T) T \cdot P \quad \dots \dots \dots (11)$$

P : 最大設計内圧 (kgf/cm²)

$$= -\pi (36.4 + 0.75) \times 0.75 \times 7.6$$

$$= -665.2 (\text{kgf})$$

d. 管の温度変化による荷重 P_6 (継手の摩擦による応力)

$$P_6 = \pm f \cdot \pi (D_o + 2T) \quad \dots \dots \dots (12)$$

$$= \pm 7 \times \pi (36.4 + 2 \times 0.75) = -833.5 (\text{kgf})$$

f : 継手の摩擦力 (kgf/cm) $\doteq 7 \text{kgf/cm}$

D_o, T, α : 式(2)、式(3)と同じ

e. 管軸方向荷重による応力

$$\sigma_p = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_5 + P_6}{\pi (D_o + T) t} \quad \dots \dots \dots (13)$$

$$= \frac{95.2 + 1037.2 - 329.2 - 665.2 - 833.5}{\pi (36.4 + 0.75) \times 0.5} = \frac{-695.5}{58.4} = -11.9 (\text{kgf/cm}^2) \{-1.17 \text{N/mm}^2\}$$

σ_p : 管軸方向荷重による応力 (kgf/cm²)

式(13)において温度変化による荷重 P_6 は、式(12)で温度上昇時に (-)、温度下降時に (+) の記号をとる。

管軸方向応力 σ_2 は式(7)と式(12)とより

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \sigma_M + \sigma_p \\ &= -661.2 - 11.9 = -673.1 (\text{kgf/cm}^2) \{-66.0 \text{N/mm}^2\} \end{aligned}$$

(3) 合成応力

$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2 + 3\tau^2} \leq 1200 (\text{kgf/cm}^2) \quad \dots \dots \dots (14)$$

$$\sqrt{277^2 - 277 \times (-673.2) + (-673.1)^2 + 3 \times 0} = 846.3 (\text{kgf/cm}^2) \{72.9 \text{N/mm}^2\}$$

σ_1 : 円周方向応力 (kgf/cm²)

σ_2 : 管軸方向応力 (kgf/cm²)

τ : せん断応力 (kgf/cm²)、管中央では $\tau = 0$

4) 管内充水時、中央、積雪有り、温度降下 (第1種管)

(1) 円周方向応力

a. 内圧は0 kgf/cm²であるから円周方向応力は0

(2) 管軸方向応力

a. 管を梁と考えた時の曲げ応力

a) 管内水重、管自重、積雪荷重による曲げモーメント

曲げモーメントは

$$M_1 = \pm m \cdot G \cdot L^2 \cdot \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$= \pm \frac{1}{8} \times 8.49 \times 600^2 \times \cos 30.45^\circ = 329355 (\text{kg-cm})$$

M : 最大曲げモーメント (kgf-cm)

G : 単位長さ当りの荷重 (kgf/cm)

L : 管長 (cm)

α : 管軸と水平面とのなす角度 (°)

m : 係数 (管の中央で $m=1/3$, 管の両端で $m=0$)

$$G = \frac{\pi}{4} D_o^2 \cdot W_w + S + W_s (D_o + 2 T) \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 36.4^2 \times 0.001 + 0.626 + 0.18(36.4 + 2 \times 0.75)$$

$$= 1.0406 + 0.626 + 6.822 = 8.49 (\text{kgf/cm})$$

D_o : 管内径 (cm)

W_w : 水の単位体積重量 (kgf/cm³)

S : 管長 1 cm 当りの管体重量 (kgf/cm²)

W_s : 積雪荷重 (kgf/cm²)

$$S = \pi (D_o + T) T \cdot W_p \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$= \pi (36.4 + 0.75) \times 0.75 \times 0.00715 = 0.626 (\text{kgf/cm})$$

W_p : 管材の単位体積重量 (kgf/cm)

T : 管厚 (cm)

b) 地震による管軸方向 曲げモーメント M_2

地震による水平方向荷重 P_A

$$P_A = K \cdot G \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$= 0.15 \times 8.49 = 1.273 (\text{kgf/cm})$$

K : 水平震度 (K=0.15)

$$M_2 = \pm \frac{1}{8} \times P_A \times L^2 \times \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$= \pm \frac{1}{8} \times 1.273 \times 600^2 \times \sin 30.45^\circ = 29031 (\text{kgf-cm})$$

したがって管軸方向曲げ応力 σ_M は

$$\begin{aligned}\sigma_M &= \frac{M_1 + M_2}{Z_u} \\ &= \frac{M_1 + M_2}{\frac{\pi}{4} (D_o + T)^2 t} \dots\dots\dots (20) \\ &= \frac{329355 + 29031}{\frac{\pi}{4} (36.4 + 0.75)^2 \times 0.5} = \frac{358386}{542} = 661.2 \text{kgf/cm}^2 \{64.8 \text{N/mm}^2\}\end{aligned}$$

b. 管自重による荷重

a) 管の傾斜自重による荷重 P_1

$$\begin{aligned}P_1 &= e \cdot S \cdot L \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (21) \\ &= \frac{1}{2} \times 0.626 \times 600 \times \sin 30.45^\circ = 95.2 \text{(kgf)}\end{aligned}$$

b) 積雪荷重による荷重 P_2

$$\begin{aligned}P_2 &= e \cdot u \cdot L \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (22) \\ &= \frac{1}{2} \times 6.822 \times 600 \times \sin 30.45^\circ = 1037.2 \text{(kgf)}\end{aligned}$$

$$u = W_s (D_o + 2T) = 0.18(36.4 + 2 \times 0.75) = 6.822 \text{(kgf/cm)}$$

W_s : 積雪荷重(kgf/cm)

e : 係数 (管の中央で $e = 1/2$,
管の受口端で $e = 1$)

c) 地震力による管軸方向成分荷重 P_3

地震による水平方向荷重 P_A

$$P_A = 0.15 \times 8.49 = 1.273 \text{(kgf/cm)}$$

$$\begin{aligned}P_3 &= e \cdot P_A \cdot L \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (23) \\ &= \pm \frac{1}{2} \times 1.273 \times 600 \times \cos 30.45^\circ = 329.2 \text{(kgf)}\end{aligned}$$

c. 管の温度変化による荷重 P_6 (継手の摩擦による応力)

$$\begin{aligned}P_6 &= \pm f \cdot \pi (D_o + 2T) \dots\dots\dots (24) \\ &= \pm 7 \times \pi (36.4 + 2 \times 0.75) = 833.5 \text{(kgf)}\end{aligned}$$

f : 継手の摩擦力(kgf/cm) $\doteq 7$ kgf/cm

d. 管軸方向荷重による応力

$$\begin{aligned}\sigma_p &= \frac{P_1 + P_2 + P_5 + P_6}{\pi (D_o + T) t} \dots\dots\dots (25) \\ &= \frac{95.2 + 1037.2 + 329.2 + 833.5}{\pi (36.4 + 0.75) \times 0.5} = \frac{2295.1}{58.4} = 39.3 \text{(kgf/cm}^2\text{)} \{3.85 \text{N/mm}^2\}\end{aligned}$$

σ_p : 管軸方向荷重による応力 (kgf/cm²)

式(25)において温度変化による荷重 P_6 は、式(24)で温度上昇時に(-)、温度下降時に(+)の記号をとる。

管軸方向応力 σ_2 は式(19)と式(24)より

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \sigma_M + \sigma_p \\ &= 661.2 + 39.3 = 700.5 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}\end{aligned}$$

(3) 合成応力

$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2 + 3\tau^2} \leq 1200 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$\sqrt{0^2 + 0 \times 700.6 + 700.5^2 + 3 \times 0^2} = 700.5 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \{68.6 \text{ N/mm}^2\}$$

σ_1 : 円周方向応力 (kgf/cm²)

σ_2 : 管軸方向応力 (kgf/cm²)

τ : せん断応力 (kgf/cm²)、管中央では $\tau = 0$

5) 管内充水時、受口、積雪有り、温度上昇 (第1種管)

(1) 円周方向応力

a. 受口固定部における円周方向曲げ応力

a) 管内水重による単位長さ当りの曲げモーメント M_{01}

$$\begin{aligned}M_{01} &= C_1 \cdot W_w \cdot R^3 \quad \dots\dots\dots (27) \\ &= 0.166 \times 0.001 \times 18.58^3 = 1.065 \text{ (kg-cm)}\end{aligned}$$

b) 管自重による単位長さ当りの曲げモーメント M_{02}

$$\begin{aligned}M_{02} &= C_2 \cdot S \cdot R \quad \dots\dots\dots (28) \\ &= 0.052 \times 0.626 \times 18.58 = 0.605 \text{ (kg-cm)}\end{aligned}$$

c) 積雪荷重による単位長さ当たりの曲げモーメント M_{03}

$$\begin{aligned}M_{03} &= C_3 \cdot W_s \cdot R^2 \quad \dots\dots\dots (29) \\ &= 0.243 \times 0.18 \times 18.58^2 = 15.1 \text{ (kg-cm)}\end{aligned}$$

ここに

C_1, C_2, C_3 : 支持角によって決まる係数 (表12. 2 - 3 参照)

W_w : 水の単位体積重量 (kgf/cm³)

S : 管長 1 cm 当たりの管体重量 (kgf/cm)

W_s : 積雪荷重 (kgf/cm²)

R : 板厚の中心の半径 (cm)

$$\begin{aligned}S &= \pi (D_o + T) T \cdot W_p \quad \dots\dots\dots (30) \\ &= \pi (36.4 + 0.75) \times 0.75 \times 0.00715 = 0.626 \text{ (kgf/cm)}\end{aligned}$$

W_p : 管材の単位体積重量 (kgf/cm³)

D_o : 管内径 (cm)

T : 管厚 (cm)

$$\begin{aligned}R &= \frac{D_o + T}{2} \quad \dots\dots\dots (31) \\ &= \frac{36.4 + 0.75}{2} = 18.58 \text{ (cm)}\end{aligned}$$

表12. 2-3 C₁, C₂, C₃の値

支持角	120°	180°
C ₁	0.166	0.055
C ₂	0.052	0.017
C ₃	0.243	0.220

d) 単位長さ当りの周方向曲げモーメント M₀

$$M_0 = M_{01} + M_{02} + M_{03} \dots\dots\dots (32)$$

$$= 1.065 + 0.605 + 15.1 = 16.8 (\text{kg-cm})$$

したがって円周方向の曲げ応力は

$$\sigma_0 = \alpha_0 \frac{M_0}{Z} \dots\dots\dots (33)$$

$$= 2 \times \frac{16.8}{0.0417} = 805.7 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \{78.96 \text{ N/mm}^2\}$$

σ_0 : 円周方向曲げ応力 (kgf/cm²)

Z : 1 cm当りの断面係数 (cm³/cm)

$$= \frac{t^2}{6} = \frac{0.5^2}{6} = 0.0417$$

M₀ : 単位長さ当り曲げモーメント (kgf-cm/cm)

$$\alpha_0 = \frac{L}{b} = \frac{600}{300} = 2$$

t : 計算管厚 (cm)

L : 管長 (cm)

b : 曲げモーメントに対して有効に働く
管胴本体の長さ (cm)

(2) 管軸方向応力

a. 管の傾斜による荷重

a) 管自重による荷重 P₁

$$P_1 = e \cdot S \cdot L \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (34)$$

$$= 1 \times 0.626 \times 600 \times \sin 30.45^\circ = 190.4 \text{ (kgf)}$$

b) 積雪荷重による荷重 P₂

$$P_2 = e \cdot u \cdot L \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (35)$$

$$= 1 \times 6.822 \times 600 \times \sin 30.45^\circ = 2074.4 \text{ (kgf)}$$

$$u = W_s (D_o + 2T)$$

W_s : 積雪荷重 (kgf/cm²)

e : 係数 (管の中央で e = 1/2, 管の受口端で e = 1)

α : 管軸と水平面とのなす角度 (°)

c) 地震力による管軸方向成分荷重 P_3

地震力による水平方向荷重 P_A

$$P_A = 0.15 \times 8.49 = 1.273 \text{ (kg/cm)}$$

$$P_3 = e \cdot P_A \cdot L \cdot \cos 30.45^\circ \dots\dots\dots(36)$$

$$= \pm 1 \times 1.273 \times 600 \times \cos 30.45^\circ = -659 \text{ (kgf)}$$

b. 管の温度変化による荷重 P_6 (継手の摩擦による応力)

$$P_6 = \pm f \cdot \pi (D_o + 2T) \dots\dots\dots(37)$$

$$= \pm 7 \times \pi \times (36.4 + 2 \times 0.75) = -833.5 \text{ (kgf)}$$

f : 継手の摩擦力 (kgf/cm) $\doteq 7 \text{ kgf/c}$

c. 管軸方向荷重による応力

$$\sigma_p = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_6}{\pi (D_o + T) t} \dots\dots\dots(38)$$

$$= \frac{190.4 + 2074.4 - 659 - 833.5}{\pi (36.4 + 0.75) \times 0.5} = \frac{772.3}{58.4} = 13.2 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \{1.29 \text{ N/mm}^2\}$$

σ_p : 管軸方向荷重による応力 (kgf/cm²)

式(38)において温度変化による荷重 P_6 は、式(37)で温度上昇時に(−)、温度下降時に(+)の記号をとる。

(3) 管軸に垂直な方向のせん断応力

a. 管内水重、管自重、積雪荷重によるせん断応力

$$F_1 = k_o \cdot G \cdot L \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots(39)$$

$$= \frac{1}{2} \times 8.49 \times 600 \times \cos 30.45^\circ = 2195.7 \text{ (kgf)}$$

F_1 : せん断荷重 (kgf)

k_o : 係数 (管の中央で $k_o = 0$
管の両端で $k_o = 1/2$)

$$G = \frac{\pi}{4} D_o \cdot W_w + S + W_w (D_o + 2T) \dots\dots\dots(40)$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 36.4^2 \times 0.001 + 0.626 + 0.18 (36.4 + 2 \times 0.75)$$

$$= 1.0406 + 0.626 + 6.822 = 8.49 \text{ (kgf/cm)}$$

D_o : 管内径 (cm)

W_w : 水の単位体積重量 (kgf/cm³)

S : 管長 1 cm 当りの管体重量 (kgf/cm)

b. 地震力によるせん断力 F_2

$$F_2 = \frac{1}{2} P_A \cdot L \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots(41)$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.273 \times 600 \times \sin 30.45^\circ$$

$$= 193 \text{ (kgf)}$$

したがって、せん断応力は、

$$\tau = k \frac{F_1 + F_2}{\pi (D_o + T) t} \dots\dots\dots(4)$$

$$= 1.5 \times \frac{2195.7 + 193}{\pi (36.4 + 0.75) \times 0.5} = 61.4 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \{6.02\text{N/mm}^2\}$$

τ : せん断応力 (kgf/cm²)

k : 係数 (支持角120° のとき $k=1.5$)

(4) 合成応力

$$\sqrt{\sigma_o^2 - \sigma_o \sigma_p + \sigma_p^2 + 3 \tau^2} \leq 1200 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(4)$$

$$\sqrt{805.7^2 - 805.7 \times 13.2 + 13.2^2 + 3 \times 61.4^2} = 806.2 \text{ (kgf/m}^2\text{)} \{79.0\text{N/mm}^2\}$$

σ_o : 円周方向応力 (kgf/m²)

σ_p : 管軸方向応力 (kgf/m²)

τ : せん断応力 (kgf/m²)

6) 計算結果の検討

以上3つのケースの計算全てについて管厚は次の条件を満たす必要がある。

a. 内圧による周方向引張応力が許容応力 1200kgf/m² {120N/mm²} 以下でなければならない。

b. 充水時の周方向応力は、許容応力の1.5倍以下でなければならない。

c. 管軸方向応力は許容応力 1200kgf/m² {120N/mm²} 以下であること。

$$\sigma M + \sigma p \leq 1200\text{kgf/m}^2 \{120\text{N/mm}^2\}$$

d. 管軸に垂直な方向のせん断応力が許容応力700kgf/m² {70N/mm²} 以下であること。

$$\tau \leq 700\text{kgf/m}^2 \{70\text{N/mm}^2\}$$

e. 合成応力が許容応力1200kgf/m² {120N/mm²} 以下であること。

3ケースについて第1種管の管厚で計算した結果は、いずれも前記 a. ~ e. の条件を満たしており適用可能なことが判る。次に第2種管の管厚について同様の計算を行う。ここでは計算を省略するが、結果は合成応力が1200kgf/m² {120N/mm²} を越えるので適用不可となり、この例で計算を行った水圧管は口径350mmのダクタイル鋳鉄管第1種管の採用が決まる。

計算を行った前後の圧力管についても同様な計算を行い使用管種を決定していく。

12. 2. 3 ケーススタディ 3

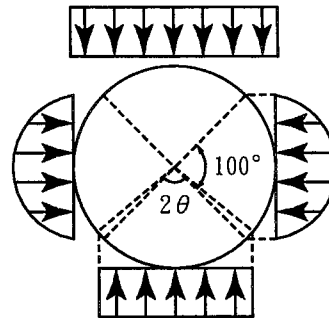
水圧管が強化プラスチック複合管で地中埋設管の場合

1) 概要

ケーススタディ 3では、水圧管として強化プラスチック複合管（FRPM管）を地中埋設管として使用する場合を事例として取上げ検討する。ケーススタディ 1では水理検討、経済性検討についても詳細に記述したので、この場合も同様の手順で検討するものとし、ここでは、構造検討のみを示した。FRPM管の設計はJISA3530に規定された管種の中から最適な管種を選択することにある。

2) 計算条件

- (1) 呼び径600mmのFRPM管を土被り100cmに地中埋設し、管基礎は180° 砂巻きとした場合について、土圧分布を右の図のように仮定して、中小水力発電の新技术の手引（財団法人 新エネルギー財団）に準拠して計算する。



土圧分布図

(2) 計算条件

- | | | |
|--------------|------------|---|
| a. 最大設計内圧 | : | 3.0kgf/cm ² |
| b. 管種 | : | FRPM管 |
| c. 管呼び径 | D : | 60cm |
| d. 管厚 | T : | 1.2cm |
| e. 管厚中心半径 | R : | $R = \frac{D+T}{2} = 30.6\text{cm}$ |
| f. 安全率 | S : | 2 |
| g. 土被り | h : | 100cm |
| h. 雪荷重 | h' : | $1\text{ m} \times 300\text{kgf/m}^2 = 300\text{kgf/m}^2 = 0.03\text{kgf/cm}^2$
換算土被り=0.03/0.0018=17cm |
| i. 計算上の土被り | H : | 土被り+雪荷重=117cm |
| j. 土の単位体積重量 | γ : | 0.0018kgf/cm ³ |
| k. 土の受働抵抗係数 | e' : | 28kgf/cm ² |
| l. 管基礎 | : | 180° 砂巻き |
| m. 管基礎の設計支持角 | 2θ : | 90° |
| n. 土の内部摩擦角 | ϕ : | 30° |
| o. 変形遅れ係数 | F : | 1.0 |

- p. 許容たわみ率 : 5 %
 q. 設計たわみ率 : 3 %
 r. E I 値 E I : $22.32 \times 10^3 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$

3) 4種管の構造計算

(1) 設計水圧 $3.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ {0.294MP a}

(2) 土被りによる土圧

管頂からの土被り $H \leq 2.0\text{m}$ のときは、垂直公式を用いる。

垂直土圧 $W_v = \gamma \cdot H = 0.0018 \times 117 = 0.211 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ {0.0206MP a}

(3) 載荷重による土圧

載荷重 = 0 従って、載荷重による垂直土圧 $W_w = 0$

(4) 水平土圧

$$P_h = \frac{e'}{2 \cdot R} \left(-\frac{X_1}{F} + X_2 + \frac{X_0}{F} \right) \quad (\text{kgf}/\text{cm}^2)$$

$$X_1 = F \cdot \frac{2 \cdot K \cdot W_v \cdot R^4}{E I + 0.061 \cdot e' \cdot R^3} \quad (\text{cm})$$

$$X_2 = \frac{2 \cdot K \cdot W_w \cdot R^4}{E I + 0.061 \cdot e' \cdot R^3} \quad (\text{cm})$$

$$X_0 = F \cdot \frac{2 \cdot K_0 \cdot \gamma_w \cdot R^5}{E I + 0.061 \cdot e' \cdot R^3} \quad (\text{cm})$$

ここで P_h : 管側面中心に作用する水平土圧 (kgf/cm²)

e' : 埋戻し土の受働土圧係数 (kgf/cm²)

F : 変形遅れ係数

X_1 : W_v による水平撓み (cm)

X_2 : W_w による水平撓み (cm)

X_0 : γ_w による水平撓み (cm)

K, K_0 : 基礎の支持角によって決まる係数 (下表)

W_v : 埋戻し土による垂直土圧 (kgf/cm²)

W_w : 載荷重による垂直土圧 (kgf/cm²)

γ_w : 水の単位体積重量 = 0.001 (kgf/cm³)

E I : 管体の曲げ剛性 (kgf · cm²/cm) 呼び径600mm、
4種管の場合 E I = 22.32×10^3

R : 管厚中心半径 (cm)

管底の支持角によって決まる係数：K, K₀, K₁, K₂, K_P,

基礎の設計支持角 2θ (°)	60°	90°	120°	180°
K : 土 圧	0.103	0.096	0.089	0.083
K ₀ : 管内水重	0.096	0.085	0.075	0.065
K ₁ : 土 圧	0.377	0.314	0.275	0.250
K ₂ : 管内水重	0.420	0.321	0.260	0.220
K _P : 管 自 重	0.191	0.169	0.149	0.131

$$X_1 = 1.0 \cdot \frac{2 \times 0.096 \times 0.211 \times 30.6^4}{22.32 \times 10^3 + 0.061 \times 28 \times 30.6^3} = 0.498$$

$$X_2 = \frac{2 \times 0.096 \times 0 \times 30.6^4}{22.32 \times 10^3 + 0.061 \times 28 \times 30.6^3} = 0$$

$$X_0 = 1.0 \cdot \frac{2 \times 0.085 \times 0.001 \times 30.6^5}{22.32 \times 10^3 + 0.061 \times 28 \times 30.6^3} = 0.064$$

$$P_h = \frac{28}{2 \times 30.6} \left(\frac{0.498}{1} + 0 + \frac{0.064}{1} \right) = 0.257 \text{ kgf/cm}^2 \{0.0252 \text{ MP a}\}$$

(5) 管周方向曲げモーメント

$$M = K_1 \cdot W \cdot R^2 \cdot K^2 \cdot \gamma_w \cdot R^3 - 0.083 \cdot e' \cdot \Delta X \cdot R$$

ここで M : 管底に生ずる曲げモーメント (kgf-cm/cm)
W : 土圧及び載荷重 = W_v + W_w + (kgf/cm²)
W_v : 埋戻し土による垂直土圧 (kgf/cm²)
W_w : 載荷重の組合せによる最大垂直土圧 (kgf/cm²)
γ_w : 水の単位体積重量 (kgf/cm³)
R : 板厚の中心半径 (cm)
e' : 土の受働抵抗係数 (kgf/cm²)
ΔX : 水平撓み量 (cm)

$$\Delta X = \frac{F (2 K \cdot W_v \cdot R^4 + 2 K_0 \cdot \gamma_w \cdot R^4) + 2 K \cdot W_w \cdot R^4}{E I + 0.061 \cdot e' \cdot R^3} \text{ (cm)}$$

E I : 管の剛性 (kgf-m²/cm)

K, K₀, K₁, K₂ : 管底の支持によって決まる係数

この曲げモーメントを、下式によって外圧による線荷重に換算する。

$$P_H = \frac{M}{0.318 \cdot R} \text{ (kgf/cm)}$$

ここで P_H : 外圧による線荷重 (kgf/cm)
M : 管体に発生する曲げモーメント (kgf · cm/cm)
R : 管厚中心半径 (cm)

$$\Delta X = \frac{1.0(2 \times 0.096 \times 0.211 \times 30.6^4 + 2 \times 0.085 \times 0.001 \times 30.6^5) + 2 \times 0.096 \times 0 \times 30.6^4}{22.32 \times 10^3 + 0.061 \times 28 \times 30.6^3}$$

$$= 0.562 \text{ cm}$$

$$M = 0.314 \times 0.211 \times 30.6^2 + 0.321 \times 0.001 \times 30.6^3 - 0.083 \times 28 \times 0.562 \times 30.6$$

$$= 31.147 \text{ kgf-cm/cm}$$

$$P_H = \frac{31.147}{0.318 \times 30.6} = 3.201 \text{ kgf/cm}$$

(6) 管の許容内圧

管の許容内圧を次式で求め、この内圧が設計内圧を上回ればよい。

$$\left(\frac{P_H}{P_c/S}\right)^2 + \left(\frac{H_P}{H_c/S}\right) = 1$$

ここで P_c : 試験外圧(kgf/cm)4種管の場合 $P_c=45.5 \text{ kgf/cm}$

H_c : 試験内圧(kgf/cm²)4種管の場合 $H_c=10.0 \text{ kgf/cm}^2 \{0.98 \text{ MP a}\}$

P_H : 外圧による線荷重(kgf/cm)

H_P : 外圧が P_H のときの許容内圧(kgf/cm)

S : 安全率(2.0とする)

上式から

$$H_P = \frac{H_c}{2} \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{2 P_H}{P_c} \right)^2 \right\}$$

$$H_P = \frac{10}{2} \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{2 \times 3.201}{45.4} \right)^2 \right\} = 4.901 \text{ kgf/cm}^2 \{0.480 \text{ MP a}\}$$

> 設計水圧 $3.0 \text{ kgf/cm}^2 \{0.294 \text{ MP a}\}$

許容内圧が設計内圧を上回るのので、4種管で問題はない。

(7) 管の許容撓み率

$$X = \frac{F(2K \cdot W_v \cdot R^4 + 2K_0 \cdot \gamma_w \cdot R^5 + 2K_p \cdot W_p \cdot R^4) + 2K \cdot W_w \cdot R^4}{EI + 0.061 \cdot e' \cdot R^3} \quad (\text{cm})$$

$$V = \frac{X}{2R} \times 100 \quad (\%)$$

ここで V : 水平撓み率 (%)

X : 水平撓み量 (cm)

R : 管厚中心半径 (cm)

W_v : 埋戻し土による垂直土圧 (kgf/cm²)

W_w : 載荷重による垂直土圧 (kgf/cm²)

γ_w : 水の単位体積重量 (kgf/cm³)

K, K_0, K_p : 管底の支持角によって決まる係数

F : 変形遅れ係数 $F=1.0$

E : 管の管周方向曲げ弾性係数 (kgf/cm²)

$$X = \frac{1.0(2 \times 0.096 \times 0.211 \times 30.6^4 + 2 \times 0.085 \times 0.001 \times 30.6^5 + 2 \times 0.169 \times 0.0024 \times 30.6^4)}{22.32 \times 10^3 + 0.061 \times 28 \times 30.6^3}$$

$$+ \frac{2 \times 0.096 \times 0 \times 30.6^4}{22.32 \times 10^3 + 0.061 \times 28 \times 30.6^3}$$

$$= 0.572 \text{ cm}$$

$$V = \frac{X}{2 \times R} = \frac{0.572}{2 \times 30.6} = 0.00935 = 0.935\% < 3\%$$

撓み率は3%以下となっているので問題はない。

同様に5種管についても構造計算を行った結果、許容内圧 $H_p = 2.446 \text{ kgf/cm}^2$ {0.240 MPa}となり、設計内圧(3.0 kgf/cm² {0.294 MPa})を上回るので、5種管は採用できない。従って、この例で計算を行った水圧管は口径600mmのFRPM管4種管の採用が決まる。前後の水圧管も同様の計算を行って使用管種を決めていく。

12. 3 排水設備用水中モータポンプ（チューブラ水車用室内排水装置）の選定

下記のような選定条件及び手順で、水中モータポンプの選定を行う。

1) 選定条件

- (1) 1分間に排水ピットに流入する最大流量 135 l/min
- (2) 配管縦断 図12. 3-1 配管長さ 12.2m

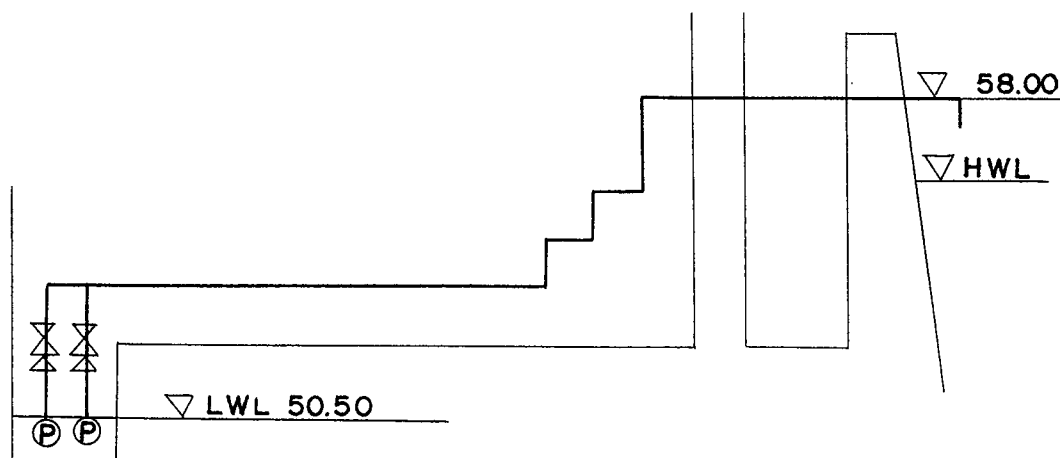


図12. 3-1 配管縦断図

2) 選定手順

水中モータポンプは次の手順で選定する。

- (1) ポンプ吐出量 Q (m³/min)

ポンプ吐出量は1分間に排水ピットに流入する最大流入量より若干大きくする。

(2) ポンプ全揚程 H (m)

ポンプ全揚程は次式より決める。

$$\text{全揚程 } H = \text{実揚程} [\text{吐出配管末端出口高さ (m)} - \text{排水ピット L. W. L (m)}] \\ + \text{損失水頭 (m)} + \text{吐出速度水頭 (m)}$$

(a) 損失水頭の計算

エルボ、チーズ、逆止弁、玉形弁などは、表12. 3-1 パイプ付属物の相当直管長さ換算表により全て直管に置き直し、ダーシー公式の中古管として損失水頭 h_f (m)を計算する。

$$\text{直管損失 } h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (12. 3-1)$$

ここで D : 配管内径 (m)
f : 損失水頭…新管の1.5倍

$$f = 1.5 \left(0.02 + \frac{1}{2000D} \right) \dots\dots\dots (12. 3-2)$$

V : 管内流速 (m/s)
L : 直管長さ+相当直管長さ (m)

(b) 吐出速度水頭 h_d (m)

$$\text{吐出速度水頭 } h_d = \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (12. 3-3)$$

ここで V : 吐出口の管内流速 (m/s)
g : 重力の加速度 9.8m/s²

(c) 電動機出力 P (kw)

ポンプ軸動力は次式により決める。

$$\text{軸動力 } P = \frac{0.163 \times Q \times H}{\eta_p} (1 + \alpha) \dots\dots\dots (12. 3-4)$$

ここで Q : 排水ポンプ吐出量 (m³/min)
H : ポンプの全揚程 (m)
 η_p : ポンプ効率
 α : 電動機余裕率 0.1

ポンプ効率 η_p については図12. 3-2によって求める。

表12. 3-1 パイプ付属物の相当直管長さ換算表 (m)

付属物			管 径 (mm)																				
			8	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
	ネジ込み	鋼板	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.0	2.3	2.6	2.9	3.4	4.0										
		铸铁										2.7	3.4										
	フランジ	鋼板			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.8	2.2	2.7	3.7	4.3	5.2	5.5	6.4	7.0	7.6	9.1
		铸铁										1.1	1.5		2.2	3.0	3.7	4.6	5.2	5.8	6.7	7.3	8.5
	ネジ込み	鋼板	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4										
		铸铁										1.0	1.1										
	フランジ	鋼板			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.3	1.5	1.7	2.1	2.4	2.7	2.9	3.0	3.4	3.7	4.3
		铸铁										0.9	1.0		1.4	1.7	2.1	2.4	2.6	2.9	3.4	3.4	4.0
	ネジ込み	鋼板	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.7										
		铸铁										1.0	1.4										
	フランジ	鋼板			0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	2.4	2.7	3.3	4.0	4.5	5.0	5.5	6.7
		铸铁										0.6	0.9		1.4	1.9	2.5	3.0	3.7	4.0	4.6	5.2	6.0
	ネジ込み	鋼板	0.2	0.4	0.5	0.7	1.0	1.4	1.7	2.4	2.8	3.7	5.0										
		铸铁										3.0	4.2										
	フランジ	鋼板			0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	2.9
		铸铁										0.6	0.7		0.9	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7
	ネジ込み	鋼板	0.7	1.1	1.3	1.6	2.0	2.8	3.0	3.7	4.0	5.2	6.4										
		铸铁										4.2	5.2										
	フランジ	鋼板			0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.0	2.3	2.9	3.7	4.6	5.5	7.3	9.1	10.3	11.2	13.1	14.3	15.8	18.9
		铸铁										2.4	3.0		4.6	6.1	7.6	9.1	10.6	11.9	13.4	14.9	17.3
	ネジ込み	鋼板	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.0	2.3	2.6	2.8	3.4	4.0										
		铸铁										2.7	3.4										
	フランジ (ショート)	鋼板			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.8	2.2	2.7	3.8	4.3	5.2	5.5	6.4	7.0	7.6	9.1
		铸铁										1.1	1.5		2.2	3.0	3.7	4.6	5.2	5.8	6.7	7.3	8.5
	フランジ (ロング)	鋼板			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.3	1.5	1.7	2.2	2.5	2.8	2.9	3.1	3.4	3.7	4.3
		铸铁										0.9	1.0		1.4	1.7	2.1	2.4	2.6	2.9	3.4	3.4	4.0
	ネジ込み	鋼板	6.4	6.7	6.7	7.3	8.8	11.3	12.8	16.5	18.9	24.1	33.5										
		铸铁										19.8	26.2										
	フランジ	鋼板			11.6	12.2	13.7	16.5	18.0	21.3	23.5	28.6	36.5	45.6	57.8	79.1	94.5	119					
		铸铁										23.5	30.2		45.7	64.0	82.2	100					
	ネジ込み	鋼板	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.8										
		铸铁										0.5	0.6										
	フランジ	鋼板								0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		铸铁										0.7	0.7		0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	ネジ込み	鋼板	3.9	4.6	4.6	4.6	5.2	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5											
		铸铁										4.6	4.6										
	フランジ	鋼板			4.6	4.6	5.2	5.5	5.5	6.1	6.7	8.5	11.6	15.2	19.2	27.4	36.6	42.6	48.7	57.9	64.0	73.1	91.3
		铸铁										7.2	9.4		15.8	22.6	29.9	36.5	45.7	51.8	61.0	70.0	85.2
	ネジ込み	鋼板	2.2	2.2	2.4	2.7	3.4	4.0	4.6	5.8	6.7	8.2	11.6										
		铸铁										6.7	9.5										
	フランジ	鋼板			1.2	1.6	2.2	3.1	3.7	5.2	6.4	8.2	11.6	15.2	19.2	27.4	36.6	42.7					
		铸铁										6.7	9.5		15.8	22.6	29.9	36.5					
	ネジ込み	鋼板	0.04	0.06	0.06	0.07	0.06	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2										
	铸铁											0.2	0.2										
	ベルマウス	鋼板	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2	1.5	1.6	1.9	2.3
		铸铁										0.2	0.2		0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	2.1
	角型吸込	鋼板	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.3	1.6	2.0	2.9	4.0	4.9	7.0	8.8	10.7	12.2	14.3	16.1	18.6	23.1
		铸铁										1.7	2.3		4.0	5.8	7.3	9.1	10.9	13.1	15.2	17.3	21.4
	流入口	鋼板	0.3	0.4	0.6	0.8	1.1	1.5	1.9	2.6	3.0	4.0	4.8	7.6	9.7	13.7	17.7	21.4	24.4	29.0	33.5	36.5	45.6
		铸铁										3.4	4.6		7.9	11.3	14.9	18.6	22.2	26.2	30.5	33.5	42.6
	急拡大		$h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$																				

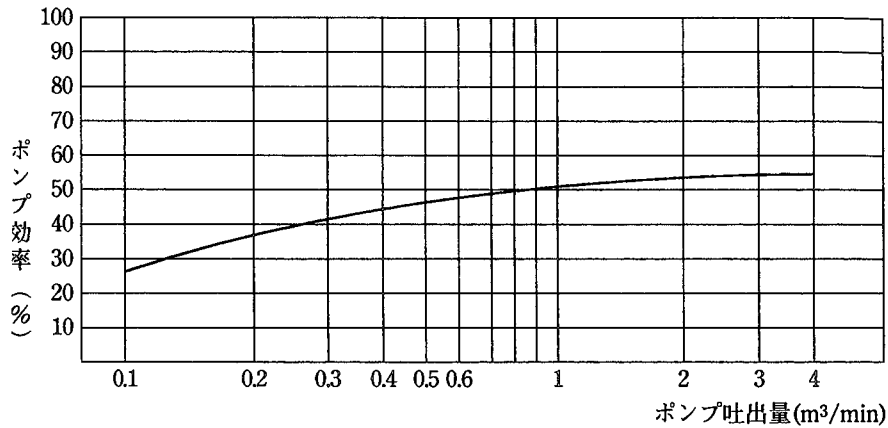


図12. 3-2 排水用水中モータポンプ効率

3) 計算結果

(1) 排水ポンプ吐出量は余裕をみて140 l/minとする。

(2) 配管損失計算

配管口径は、第5章5.4表5.4-1口径と流量の表より40Aとする。

直管損失計算	40A	=12.2m
90° エルボ	※2.3×8個	=18.4m
チーズ	※1.7×1個	=1.7m
仕切弁	※0.4×1個	=0.4m
逆止弁	※4.6×1個	=4.6m
合 計		37.3m

※印は、表12.3-1パイプ付属物の相当直管長さ換算表より求めた。

D=41.6mm (=0.0416m) ……40A鋼管実内径

(12.3-2) 式で f を求める

$$f = 1.5 \times \left(0.02 + \frac{1}{2000D} \right) = 1.5 \times \left(0.02 + \frac{1}{2000 \times 0.0416} \right) = 0.0480$$

$$Q = 140 \text{ l/min} = 0.140 \text{ m}^3/\text{min} = 0.00233 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0.00233}{\pi \times 0.0416^2} = 1.714 \text{ m/s}$$

(12.3-1) 式で hf を計算する

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{0.0480 \times 37.3 \times 1.714^2}{0.0416 \times 2 \times 9.8} = 6.45 \text{ m}$$

(12.3-3) 式で hd を求める

$$hd = \frac{V^2}{2g} = \frac{1.714^2}{2 \times 9.8} = 0.15 \text{ m}$$

(3) ポンプ全揚程

$$\begin{aligned} \text{全揚程} H &= \text{実損程} (58.00 - 50.50) + \text{損失水頭} + \text{吐出速度水頭} \\ &= 7.5 + 6.45 + 0.15 = 14.1 \text{ m} \end{aligned}$$

(12. 3 - 4) 式でPを計算する

$$P = \frac{0.163 \times Q \times H}{\eta_p} (1 + \alpha)$$

ここでポンプ効率 η_p は図12. 3 - 2 より求める。

$$= \frac{0.163 \times 0.14 \times 14.1}{0.33} (1 + 0.1) = 1.07 \text{ kw} \rightarrow 1.5 \text{ kw}$$

以上によりポンプの仕様

$$Q = 0.14 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$H = 14.1 \text{ m}$$

$$P = 1.5 \text{ kw} \text{ が決まる。}$$

これらをもとにポンプメーカーカタログより水中モータポンプを選定する。

12. 4 力率改善用コンデンサ容量計算

8章4) コンデンサー盤に収納するコンデンサーの容量は12. 4-1式で求められる。

a) コンデンサー容量計算

$$PC = PG (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \dots\dots\dots 12. 4 - 1$$

$$= PG (\sin \theta_1 / \cos \theta_1 - \sin \theta_2 / \cos \theta_2)$$

θ_1 : 改善前の角度

θ_2 : 改善後の角度

コージェネレーションガイドラインによれば連係点における力率を85%以上に改善する。

b) 計算例

発電機出力 $PG = 260 \text{ kW}$
 発電機力率 $\cos \theta_1 : 0.79$
 改善目標力率 $\cos \theta_2 : 1.00$

$$PC = PG (\sin \theta_1 / \cos \theta_1 - \sin \theta_2 / \cos \theta_2)$$

$$= 260 (0.613 / 0.79 - 0 / 1)$$

$$\approx 200 \text{ kVA}$$

表12. 4-1 力率改善用高圧進相コンデンサ容量決定表によっても求められる。参考までに表を示す。

表12. 4-1 力率改善用高圧進相コンデンサ容量決定表

		改善後の力率 ($\cos \theta_2$)										
		1.0	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9
改善前の力率 ($\cos \theta_1$)	0.675	109	95	89	84	80	76	73	70	66	64	61
	0.7	102	88	81	77	73	69	66	62	59	56	54
	0.725	95	81	75	70	66	62	59	55	52	49	46
	0.75	88	74	67	63	58	55	52	49	45	43	40
	0.775	81	67	61	57	52	49	45	42	39	36	33
	0.8	75	61	54	50	46	42	39	35	32	29	27
	0.825	69	54	48	44	40	36	32	29	26	23	21
	0.85	62	48	42	37	33	29	26	22	19	16	14
	0.875	55	41	35	30	26	23	19	16	13	10	7
0.9	48	34	28	23	19	16	12	9	6	2.8		

コンデンサ容量の計算例

誘導発電機の容量500kW 力率 $\cos \theta_1 = 0.75$
 力率 $\cos \theta_2 = 0.95$ に改善するには
 百分率は55% 従って、所要コンデンサ容量 $= 500 \times 0.55 = 275 \text{ kVA}$

12. 5 シャ断器短絡容量の計算

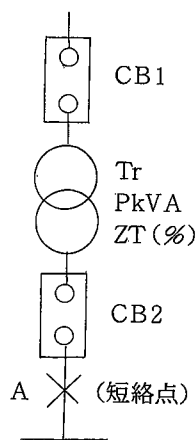
(1) 計算法

高圧機器のうち、主回路で使用されるシャ断器は、母線・機器等の故障電流をシャ断し、回路を保護する主要機器であるが、その使用に当っては、回路の保護協調について考慮する必要がある。

故障電流の主なものは短絡によるものであるが、短絡電流の推定は、シャ断器のシャ断電流(kA)やシャ断容量(MVA)の決定上、重要な項目である。

ここでは、一般に採用されている%インピーダンス法による短絡電流の計算について説明する。

図12. 5-1の回路で、変圧器TrPの二次側シャ断器(CB2)の必要なシャ断容量を決定するため、A点での短絡電流、又は短絡容量Psを求める場合の基本式(三相短絡)は次のとおりである。



$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot E \left(\frac{Z_r}{100} + \frac{P}{D} \right)} \quad (\text{A}) \quad \dots\dots(12. 5-1)$$

$$P_s = \frac{P}{\frac{Z_r}{100} + \frac{P}{D}} \quad (\text{kVA}) \quad \dots\dots(12. 5-2)$$

ただし、

I_s : 短絡電流交流分(対称)実行値(A)

P_s : 短絡容量(kVA)

P : 変圧器定格容量(kVA)

E : 変圧器二次側電圧(kV)

Z_r : 変圧器%インピーダンス(%)

図12. 5-1 変圧器二次側回路 D : 一次側短絡容量(kVA)。不明なときは、一次側シャ断器CB1のシャ断容量の値を採用してもよい。

上式は、一次側短絡容量を考慮した計算式であるが、一次側短絡容量が不明の場合、一次側シャ断器のシャ断容量も不明の場合には、一次側短絡容量を無限大と考えれば、選定上安全側であり、この場合、計算式は次のように簡単になる。故障電流には三相短絡、二相短絡、地絡等があるが、一般的には三相短絡の時の最大となるので、三相短絡電流で検討すれば、必要なシャ断容量の決定には十分である。

簡略式 三相短絡

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} E \times \frac{Z_r}{100}} \quad (\text{A}) \quad \dots (12. 5-3)$$

$$P_s = \frac{P}{\frac{Z_r}{100}} \quad (\text{kVA}) \quad \dots (12. 5-4)$$

(2) 計算例

しゃ断器の三相短絡容量の計算例を以下に示す。

a. 電力会社より系統のリアクタンスマップを入手する。

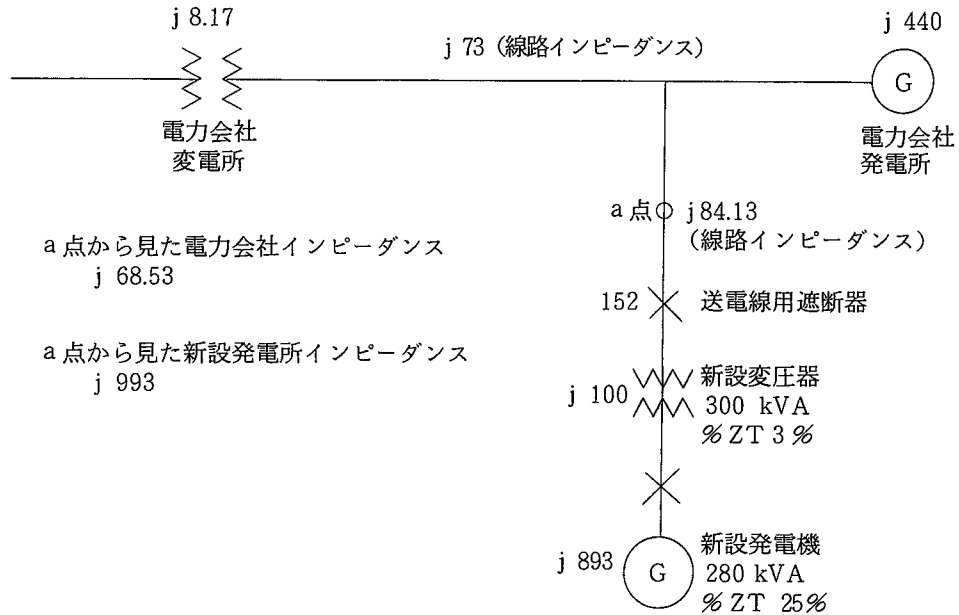


図12. 5-2 系統リアクタンスマップ (10MVAベース)

b. 変圧器、発電機の%インピーダンスを10MVAベースにする。

$$\text{変圧器;} \quad 3 \times \frac{10000}{300} = 100 \dots\dots j 100$$

$$\text{発電機;} \quad 25 \times \frac{10000}{280} = 893 \dots\dots j 893$$

(3) 送電線用しゃ断器に必要なしゃ断容量

a点、b点で短絡事故が発生した場合について計算する。

a. a点短絡時

$$P_s = \frac{10000}{\frac{993}{100}} = 1007 \text{ kVA}$$

$$I_s = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6.6 \times \frac{993}{100}} = 88 \text{ A}$$

b. b点短絡時

$$P_s = \frac{10000}{\frac{152.66}{100}} = 6550 \text{ kVA}$$

$$I_s = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6.6 \times \frac{152.66}{100}} = 88 \text{ A}$$

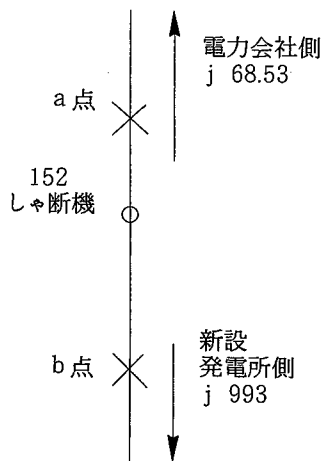
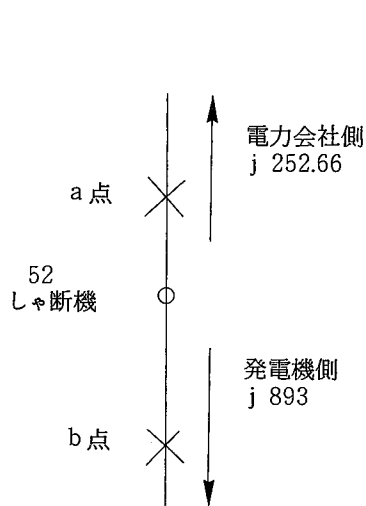


図12. 5-3 a. b点インピーダンス

したがって、送電線用しゃ断器に必要なしゃ断容量573A（6550kVA）

(4) 発電機用しゃ断器に必要なしゃ断容量

a 点、b 点で短絡事故が発生した場合について計算する。



a. a 点短絡時

$$P_s = \frac{10000}{\frac{893}{100}} = 1120 \text{ kVA}$$

$$I_s = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6.6 \times \frac{893}{100}} = 98 \text{ A}$$

b. b 点短絡時

$$P_s = \frac{10000}{\frac{252.66}{100}} = 3958 \text{ kVA}$$

$$I_s = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6.6 \times \frac{252.66}{100}} = 346 \text{ A}$$

図12. 5 - 4 発電機しゃ断器回路

したがって、発電機用しゃ断器に必要な遮断容量346A（3958kVA）

(5) 設置する遮断器の遮断容量

a. 送電線用しゃ断器（152）8 kA > 0.573 kA

b. 発電機用しゃ断器（52）8 kA > 0.346 kA

12. 6 直流電源装置の容量計算

(1) 蓄電池の容量計算

一般に、蓄電池の容量は、負荷の大きさと性質、予想停電時間、瞬時最大放電電流の大きさ、制御ケーブルによる電圧降下、経年による容量の減少、温度変化による容量補正などを考えて総合的に決定される。

容量の算定にあたっては、日本蓄電池工業会でまとめた規格S B A 6001「すえ置蓄電池の容量算出法」を利用する。

容量算出の一般式は次式で表される。

$$C = \frac{1}{L} [K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2) + \dots + K_n (I_n - I_{n-1})] \dots 12. 6. 1$$

ここに、C：25℃における定格放電率換算容量（A h）

L：使用中の経年容量低下率（保守率ともいい、一般に0.8をとる）

K：放電時間T、蓄電池の最低温度及び許容できる最低電圧により決められる容量換算時間

（時）（付図参照）本マニュアルはM S E型鉛蓄電池を標準としているので図-12. 6-7、12. 6-8、12. 6-9、表-12-6-1にM S E形の標準性を示す。

I：放電電流（A）

サフィックス1, 2, 3, …… n：放電電流の変化の順に番号を付したT, K, Iで図12. 6-1の負荷特性の例による。

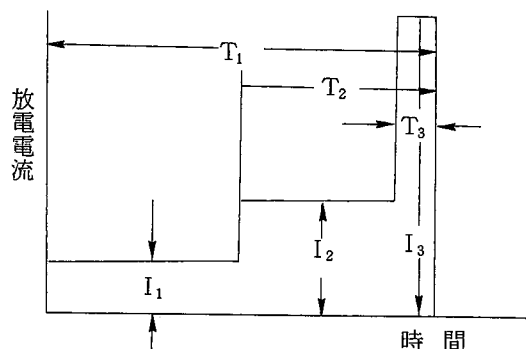
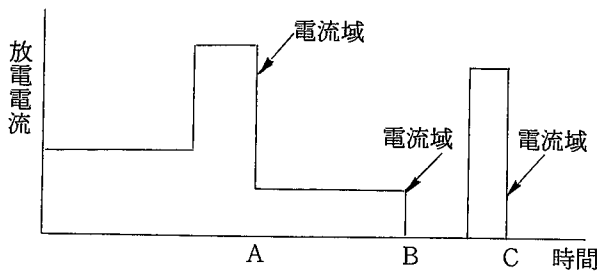


図12. 6-1 負荷特性ケース1

この一般式を適用する場合、図12. 6-1のように時間経過とともに放電電流が増減するような負荷特性ケース2では、電流が減少する直前までの負荷特性に区切って必要な蓄電池容量を求めなければならない。

この求めた蓄電池容量のうち最大の値が、全体の負荷に必要な定格放電率換算容量である。例えば図12. 6-2に示す負荷特性の場合には、A, B及びC点で電流が減少している。従って、A, B及びC点までに必要な定格放電率換算容量 C_A , C_B , C_C のうち最も大きい値の容量が、全体の負荷に必要な定格放電率換算容量となる。

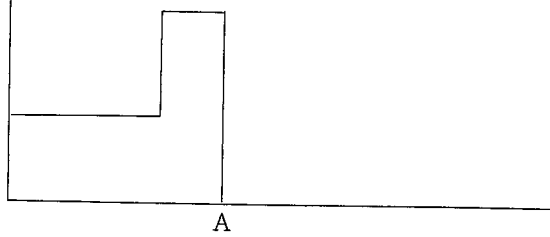
負荷特性



定格放電率換算容量

C_A, C_B, C_C のうち
の最大値

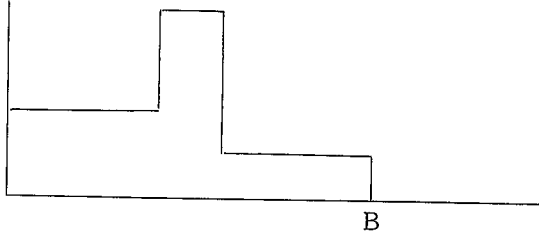
計算手順 1



定格放電率換算容量

C_A

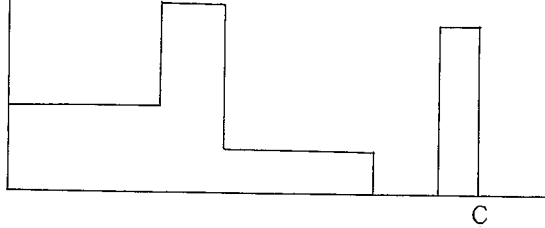
計算手順 2



定格放電率換算容量

C_B

計算手順 3



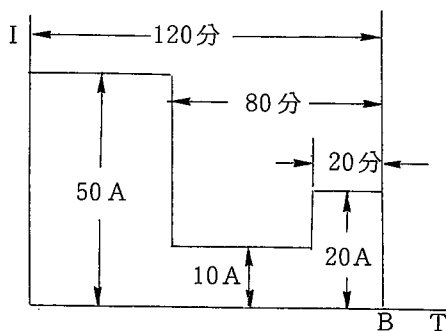
定格放電率換算容量

C_C

図12. 6-2 負荷特性ケース2

a. 計算例

放電電流が時間の経過とともに増減する場合



使用蓄電池 : MSE形鉛蓄電池

負荷特性 : 図12. 6-3 ケース3

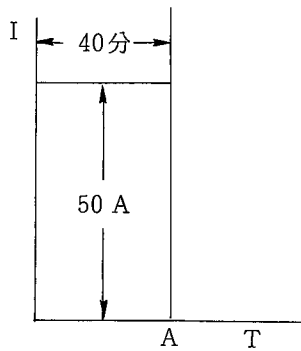
保守率 : $L=0.8$

最低蓄電池温度 : 5°C

許容最低電圧 : 1.6V/セル

と条件が与えられると次の2種類の
負荷特性について容量を
求める必要がある。

図12. 6-3 負荷特性ケース3



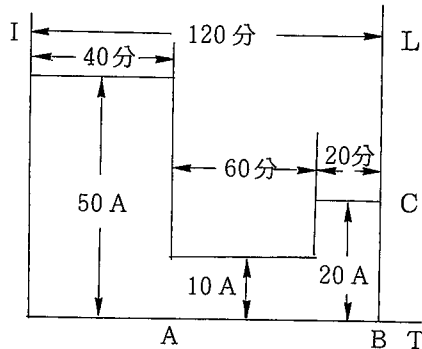
$$L=0.8 \quad I=50 \quad T=40 \quad K=1.27$$

$$C_A = \frac{1}{L} K I$$

$$= \frac{1}{0.8} \times 1.27 \times 50$$

$$= 80 \text{Ah} / 10 \text{HR}$$

図12. 6 - 4 負荷特性



$$L=0.8 \quad I_1=50 \quad I_2=10 \quad I_3=20$$

$$T_1=120 \quad T_2=80 \quad T_3=20$$

$$K_1=2.80 \quad K_2=2.07 \quad K_3=0.82$$

$$C_B = \frac{1}{L} [K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2)]$$

$$= \frac{1}{0.8} [2.8 \times 50 + 2.07(10 - 50) + 0.82(20 - 10)]$$

$$= 65.4 = 66 \text{Ah} / 10 \text{HR}$$

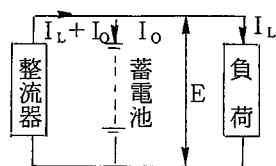
図12. 6 - 5 負荷特性

従って、 C_A 、 C_B のうち最大値80Ah/10HR以上の蓄電池、MSE-100形100Ah/10 HR鉛電池を選定する。

(2) 充電器の容量計算

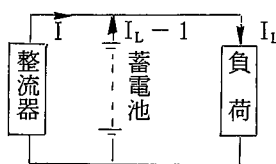
a. 充電方式

充電装置としては、一般に蓄電池容量の保持および寿命の点から浮動充電方式を採用し、充電装置を自動定電圧装置付とする。図12. 6 - 6に浮動充電方式の動作原理図を示す。



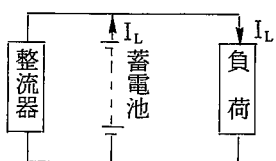
受電時

常時負荷電流 I_L はすべて整流器が負担する。蓄電池には蓄電池の自己放電を補う程度のわずかの電流 I_0 が流れる。



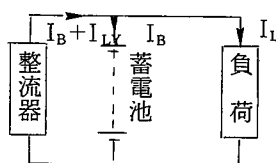
受電時 (大電流負荷のとき)

整流器には一般に電流制限回路あるいは電流抑制回路を設けているので。開閉器の投入など、短時間大電流の負荷は蓄電池がその大部分を負担し、短時間負荷が終わったあと蓄電池の放電分は整流器から補充される。



停電時

停電時は蓄電池が負荷電流を負担する。



停電回復時

停電が回復すると、整流器は常時負荷 I_L を負担しつつ蓄電池の補充電を行う。

E : 浮動充電電圧、 I_L : 負荷電流、 I_0 : 浮動充電電流

I : 整流器最大出力 (定格) 電流、 I_B : 補充電用充電電流

図12. 6 - 6 浮動充電方式の原理説明図

b. 充電器容量

充電器の容量は「常時負荷電流 + 蓄電池充電電流」により決定する。

常用負荷がなく非常時のみ点灯する非常照明装置専用の予備電源の場合は、充電器の容量としては蓄電池の充電電流値のみを考慮すればよく、その充電電流値は、充電に要する時間に逆比例するが、一般には蓄電池容量の1/10程度が望ましい。(トリクル充電 (維持) の場合)

(3) 発電所直流電源装置容量の計算例

a. 計算条件

- (a) 蓄電池形式 : M S E 形鉛蓄電池
- (b) 容量算出法 : S B A 6001 による
- (c) 最低蓄電池温度 : -5°C
- (d) 保守率 : 0.8
- (e) 許容最低電圧 : 1.7V/セル
- (f) 停電時間 : 60分

停電後60分で直流電源装置電源が回復するものとする。

(g) 負荷電流 :

入口弁、ガイドベーン共に直流電源操作とする。

イ 定常負荷電流 18A

- (イ) シーケンサー
- (ロ) 制御電源 } 15A
- (ハ) その他
- (ニ) 非常灯 3 A (60W×5)

ロ 停止負荷電流

- (イ) CBトリップ電流 ; 5.5A 0.1min
- (ロ) CB投入電流 ; 2.9A 0.1min
- (ハ) ガイドベーン閉 ; 8A 0.25min
- 電動サーボ 0.8kW
- (ニ) 入口弁閉 ; 8A 2min
- 入口弁サーボ 0.8kW

(h) 負荷特性

最大負荷 $18A + 5.5A + 8A + 8A = 39.5A$

常用負荷に併用される場合には、交流電源が供給されている場合にも充電器から当該負荷へ電力を供給する必要がある、充電器の充電電流定格 I_c は

$$I_c > I_1 + I_2$$

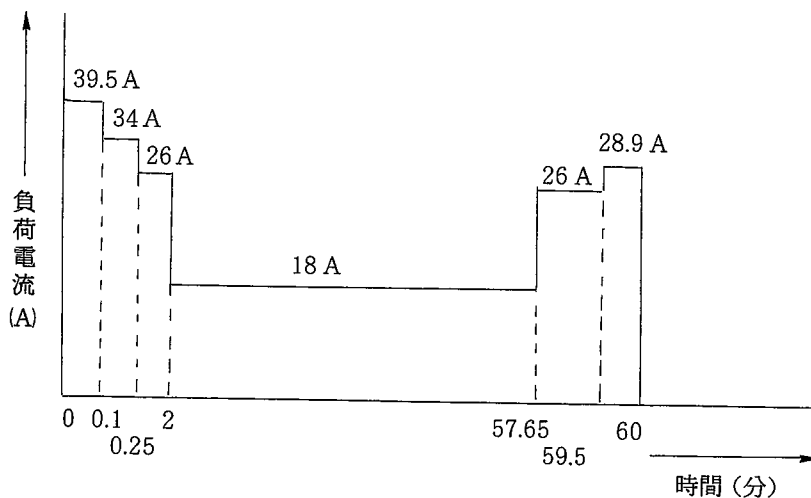
ただし、 I_1 : 常時負荷の最大電流値

$$I_2 : \text{蓄電池の充電電流値} = \frac{\text{蓄電池容量}}{K}$$

K : 蓄電池の充電時間

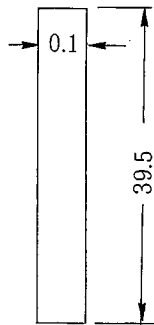
鉛蓄電池 10時間

アルカリ蓄電池 5時間



b 容量換算

(a) C_A



$$I = 39.5 \text{ A}$$

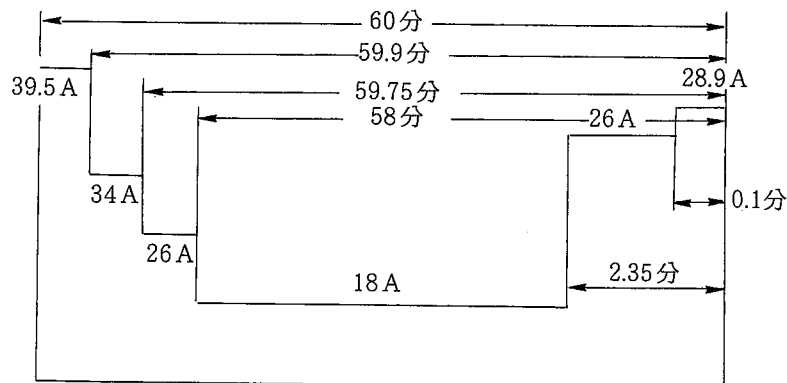
$$T = 0.1 \text{ (min)}$$

$$K = 0.48$$

$$C_A = \frac{1}{0.8} \times 0.48 \times 39.5$$

$$= 23.7 \text{ Ah}$$

(b) C_B



$$I_1 = 39.5 \text{ A} \quad 34 \text{ A} \quad 26 \text{ A} \quad 18 \text{ A} \quad 26 \text{ A} \quad 28.9 \text{ A}$$

$$T_1 = 60 \text{ 分} \quad 59.9 \quad 59.75 \text{ 分} \quad 58 \text{ 分} \quad 2.35 \text{ 分} \quad 0.1 \text{ 分}$$

$$K_1 = 1.95 \quad 1.93 \quad 1.90 \quad 1.89 \quad 0.57 \quad 0.48$$

$$C_B = \frac{1}{0.8} [39.5 \times 1.95 + 1.93(34 - 39.5) + 1.90(26 - 34) + 1.89(18 - 26) + 0.57(26 - 18) + 0.48(28.9 - 26)] = 52.5 \text{ Ah/10H}$$

c 容量

$$C = \text{MAX}(C_A, C_B) = 52.5 \text{ Ah/10H}$$

従って本設備のバッテリーはMS E100Ah/10H

d 充電器容量

$$\text{充電器出力容量} = \text{常時負荷} + \frac{\text{蓄電池容量}}{\text{充電時間}} = 18 + \frac{100}{10}$$

$$= 28 \text{ A}$$

従って、充電器は標準容量30Aとする。

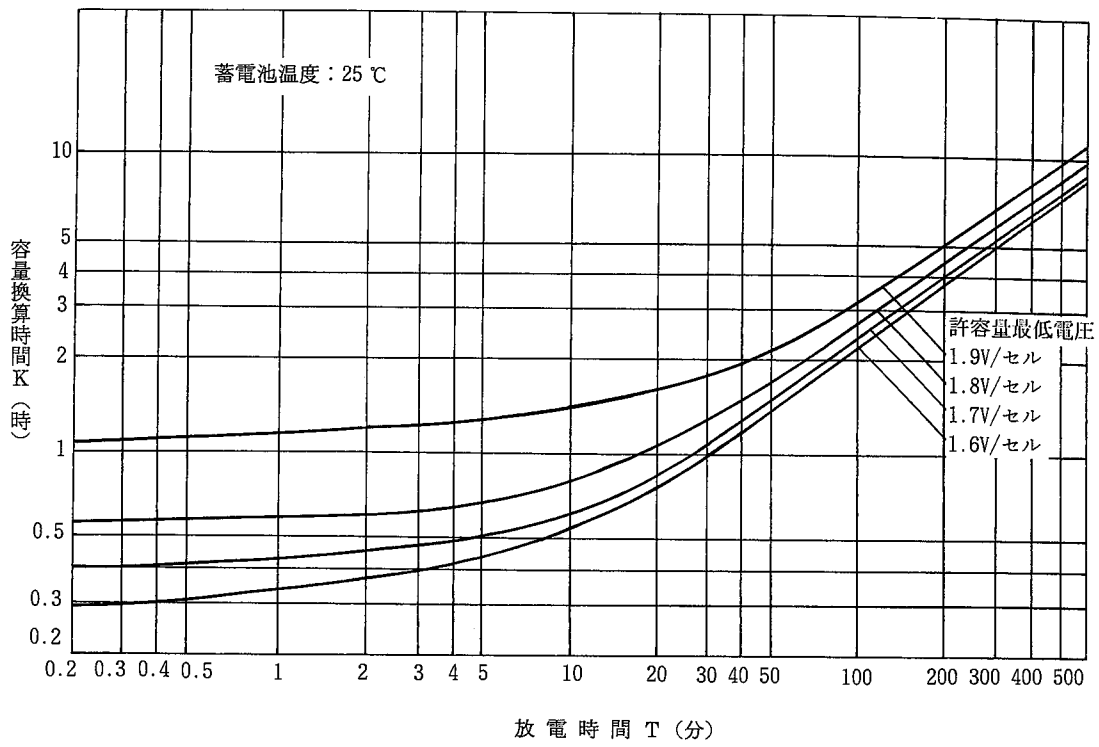


図12. 6-7 標準特性 (10HR容量換算)

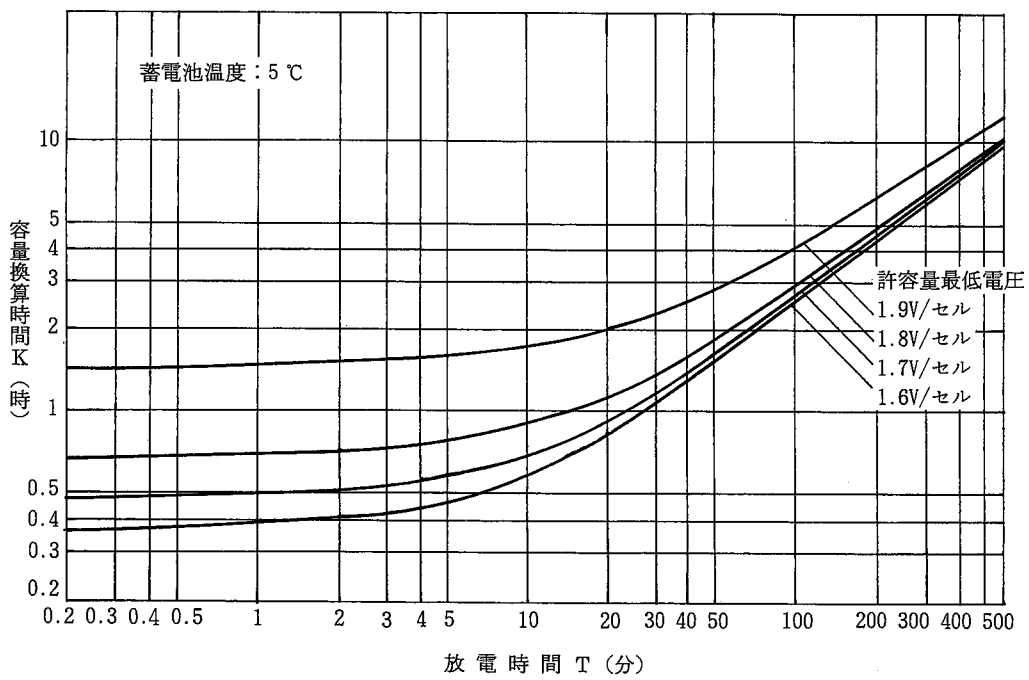


図12. 6-8 標準特性 (10HR容量換算)

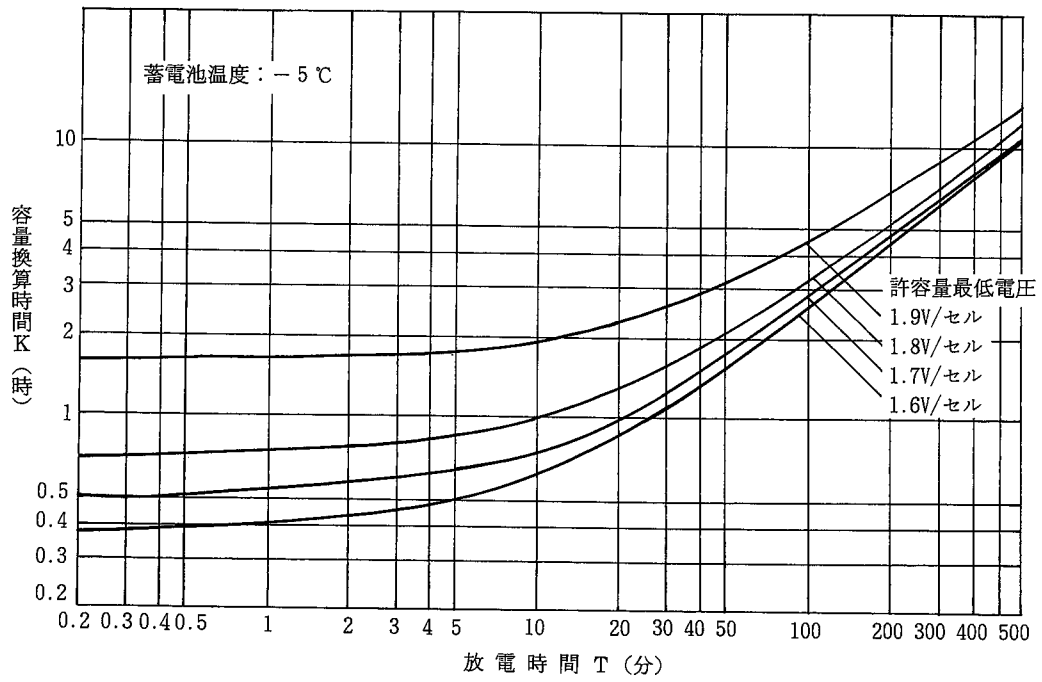


図12. 6-9 標準特性 (10HR容量換算)

表12. 6 - 1 標準特性 (10HR容量換算)

放電時間 (分)	25℃				5℃				-5℃			
	許容最低電圧				許容最低電圧				許容最低電圧			
	1.9V	1.8V	1.7V	1.6V	1.9V	1.8V	1.7V	1.6V	1.9V	1.8V	1.7V	1.6V
0.2	1.06	0.54	0.40	0.29	1.40	0.67	0.47	0.36	1.61	0.70	0.49	0.37
0.5	1.09	0.56	0.41	0.32	1.42	0.68	0.49	0.38	1.62	0.72	0.51	0.39
1	1.10	0.57	0.42	0.33	1.45	0.71	0.52	0.39	1.65	0.75	0.54	0.40
2	1.15	0.58	0.44	0.36	1.50	0.72	0.53	0.41	1.66	0.76	0.56	0.43
3	1.19	0.60	0.47	0.39	1.55	0.74	0.55	0.42	1.67	0.80	0.59	0.46
5	1.26	0.65	0.50	0.44	1.60	0.78	0.58	0.46	1.71	0.84	0.63	0.50
10	1.40	0.78	0.60	0.53	1.71	0.90	0.68	0.58	1.90	1.00	0.74	0.62
15	1.50	0.92	0.71	0.63	1.86	1.01	0.79	0.70	2.10	1.14	0.86	0.76
20	1.60	1.05	0.82	0.74	2.00	1.11	0.92	0.82	2.30	1.30	1.00	0.87
30	1.80	1.28	1.05	0.95	2.25	1.34	1.15	1.05	2.60	1.55	1.25	1.10
40	2.00	1.50	1.26	1.17	2.52	1.58	1.38	1.27	2.90	1.80	1.50	1.35
50	2.20	1.70	1.47	1.35	2.80	1.80	1.60	1.50	3.20	2.01	1.72	1.58
60 (1時間)	2.40	1.90	1.65	1.55	3.10	2.05	1.80	1.70	3.50	2.26	1.95	1.80
90 (1.5時間)	3.10	2.50	2.21	2.10	3.80	2.70	2.42	2.25	4.35	3.00	2.57	2.42
120 (2時間)	3.70	3.05	2.75	2.60	4.50	3.30	3.00	2.80	5.10	3.70	3.15	3.00
180 (3時間)	4.80	4.10	3.72	3.50	5.80	4.40	4.05	3.80	6.50	5.00	4.30	4.10
240 (4時間)	5.90	5.00	4.60	4.40	7.00	5.40	5.00	4.75	7.70	6.10	5.40	5.10
300 (5時間)	7.00	5.95	5.50	5.20	8.00	6.30	6.00	5.60	9.00	7.20	6.40	6.10
360 (6時間)	8.00	6.80	6.30	6.00	9.00	7.20	6.80	6.40	10.00	8.30	7.40	7.00
420 (7時間)	8.90	7.60	7.10	6.70	10.00	8.00	7.60	7.30	11.00	9.40	8.40	8.00
480 (8時間)	9.90	8.40	7.90	7.50	11.00	8.90	8.40	8.10	12.00	10.30	9.30	9.00
540 (9時間)	10.80	9.20	8.70	8.20	11.80	9.70	9.20	8.90	13.00	11.00	10.00	9.80
600 (10時間)	11.50	10.00	9.40	8.90	12.70	10.50	10.00	9.70	14.00	12.00	11.00	10.60

農業用水利施設小水力発電設備 計画設計技術マニュアル

参考文献

1. ハイドロバレー開発計画策定ガイドブック
通商産業省資源エネルギー庁 財団法人 新エネルギー財団
2. 河川法研究会編著「河川法解説」1994年 大成出版社
3. 農林水産省構造改善局建設部水利課監修 「かんがい排水事業実務便覧」平成6年度版
公共事業通信社
4. JEC-4001 水車およびポンプ水車 1992年 JEC-215 水車及びポンプ水車の寸法検査基準
電気書院
5. 発電用水力設備の技術基準と官庁手続き第2編 水力設備の技術基準の解説
通商産業省資源エネルギー庁 公益事業部発電課編
6. 鋼構造物計画設計技術指針 農林水産省構造改善局建設部計画課
7. 水車附属設備の設置基準 24巻第2号 電気協同研究会
8. 分散型電源系統連係技術指針 資源エネルギー庁公益事業部技術課監修
日本電気協会電気技術基準調査委員会
9. JEM-1425 金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ 日本電気工業会
10. JISB 8802 チェンブロック 日本規格協会
11. 発電機規定 4-14 常時監視をしない発電機等々の保安警報装置 日本電気協会
12. 水車非破壊検査基準 第26巻第7号 電気協同研究会
13. 水車、ポンプ水車及び附属装置の工場検査基準 第45巻第1号 電気協同研究会
14. すえ置蓄電池の容量算出法 SBA 6001 日本蓄電池工業会

小水力発電機器標準化技術検討委員会名簿

	氏 名	所 属	前 任 者
委員長	佐野文彦	茨城大学 名誉教授	
委員	片山秀策	農業工学研究所 地域資源工学部 地域エネルギー研究室長	
	坂上成永	(財)日本農業土木総合研究所 専門研究員	
	矢澤瀧治	全国土地改良事業団体連合会 土地改良研究所 技術開発部長	木村孝司
	森田耕一	(株)荏原製作所 プロジェクト設計第二部 部長	
	新濱仁	(株)クボタ枚方製造所 ポンプエンジニアリング部 副部長	
	志賀敏雄	神鋼電機(株) 技術本部 公共技術部 課長代理	
	山本昭	(株)東芝 水力プラント技術部 工務グループ 専門課長	有川 虔
	大石朝男	(株)日立製作所 電力事業部 部員	大越健児
	米山直人	富士電機(株) 水力事業部 技術部 次長	
	清田研治	三菱重工業(株) 環境装置部 ポンプ課 課長代理	益田將寛
	村岡正隆	三菱電機(株) 制御製作所 発電エンジニアリング部 発電プラント計画第二課 主幹	溝部 宰
	大藪俊司	(株)明電舎 電力技術部 水力発電技術課 主任	大橋文雄
	貝通丸明	農業土木機械化協会 常務理事	西出定雄
西出定雄	農業土木機械化協会 技術顧問		
幹事	下舞寿郎	農林水産省 構造改善局 建設部 設計課 課長補佐	川田明宏
	原田稔	農林水産省 構造改善局 建設部 設計課 課長補佐	市野吉造
	米山公一	農林水産省 構造改善局 建設部 水利課 課長補佐	小泉 勝
	松谷孝史	農林水産省 構造改善局 建設部 水利課 補助第2係長	大尾峰雄
	前田進	全国土地改良事業団体連合会 土地改良研究所 農村整備対策室 室長代理	五十嵐 淑典
	奥山光雄	農業土木機械化協会 業務部長	
	佐藤克雄	農業土木機械化協会 総務部長	木場三郎

農業用水利施設小水力発電設備
計画設計技術マニュアル

平成7年12月6日 発行 定価6,500円(送料・消費税込)

監 修 農林水産省構造改善局設計課・水利課
発 行 (社) 農 業 土 木 機 械 化 協 会
〒105 東京都港区新橋5-34-4 (農業土木会館内)
電 話 (03) 3434-5827
F A X (03) 3578-9156
郵便振替口座 00170-2-53775

印 刷 共 立 速 記 印 刷 株 式 会 社
〒102 東京都千代田区飯田橋3-11-24
電 話 (03) 3234-5511 (代)