

## 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。

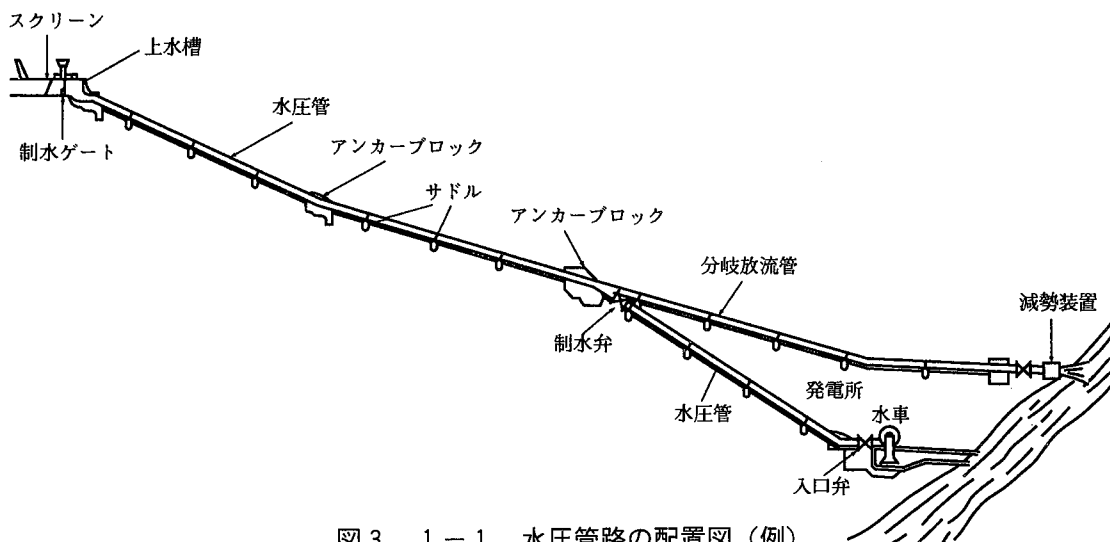


図3. 1-1 水圧管路の配置図（例）

#### (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。

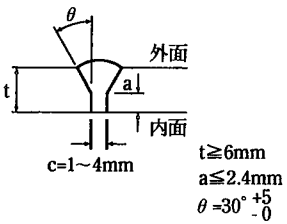
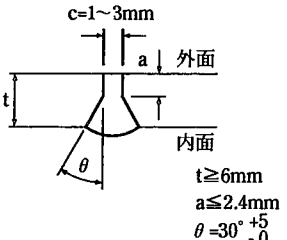
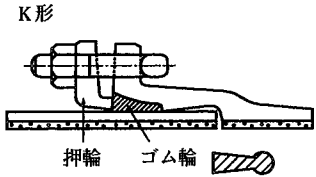
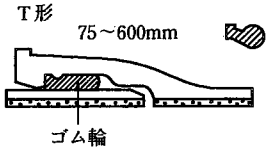
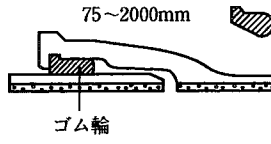
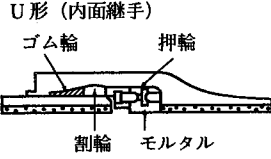
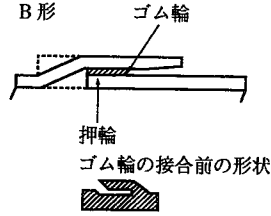
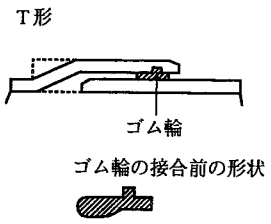
露出管の場合ダクタイル鋳鉄管と同様に支台を設けるが、この場合も、固定台（アン

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 <sup>2</sup> {2.45Mpa}	保証水圧の40%が目安 4種管で25kgf/cm <sup>2</sup> {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 <sup>2</sup> {1.32Mpa} FRP管は、最高22.5kgf/cm <sup>2</sup> {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/cm<sup>2</sup> {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/cm<sup>2</sup> {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>

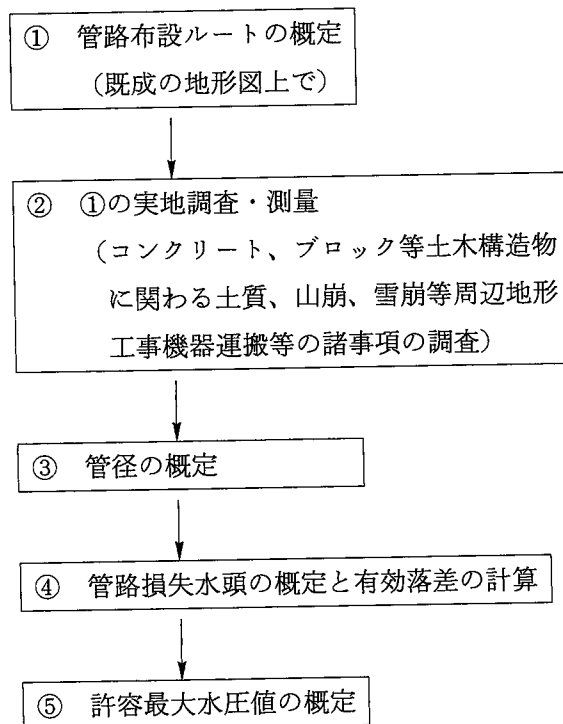
以上のほか、管路の施工あたっては、土地改良事業共通仕様書及び土地改良事業施工管理基準を遵守する。

### 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)

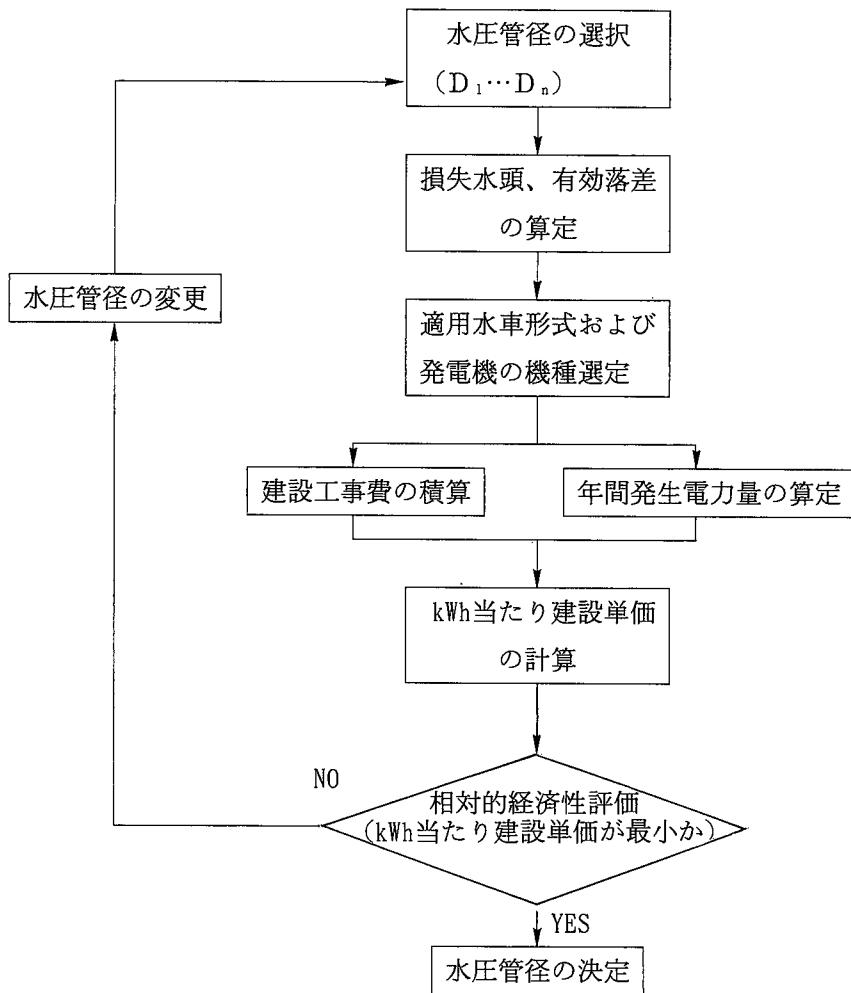


図3. 2-1 水圧管径決定フローチャート

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 [m<sup>3</sup>/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 $\rho$ 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/s<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 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) ベ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。

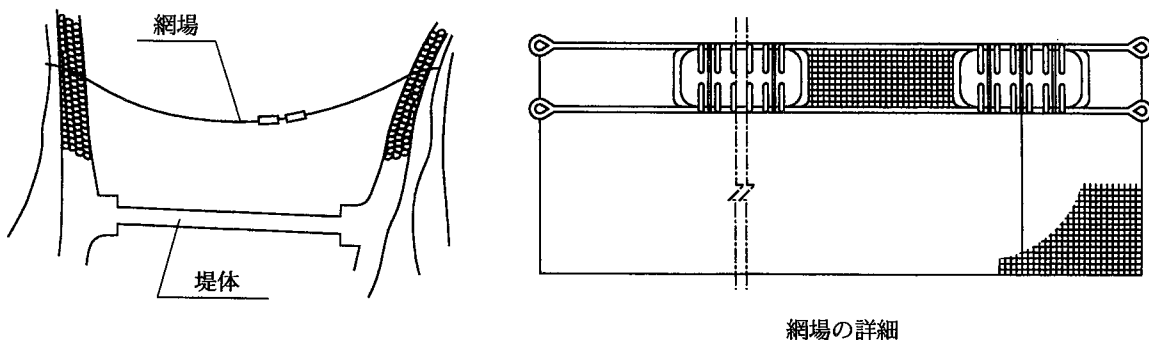


図3.3-1 網場



## 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。

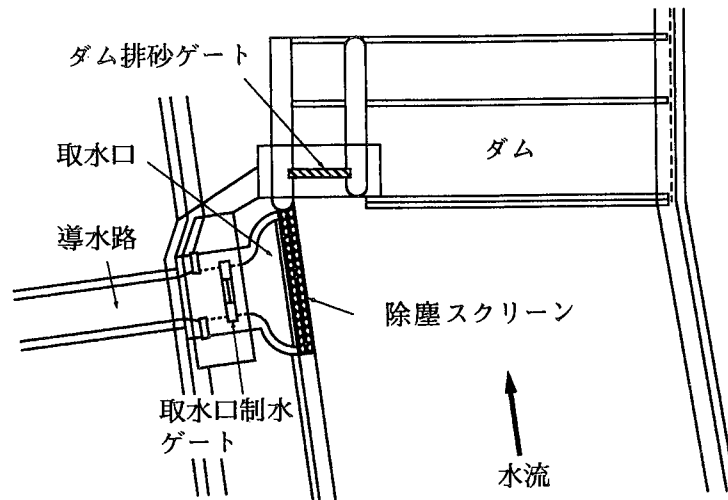


図3. 3-2 スクリーン

## 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。

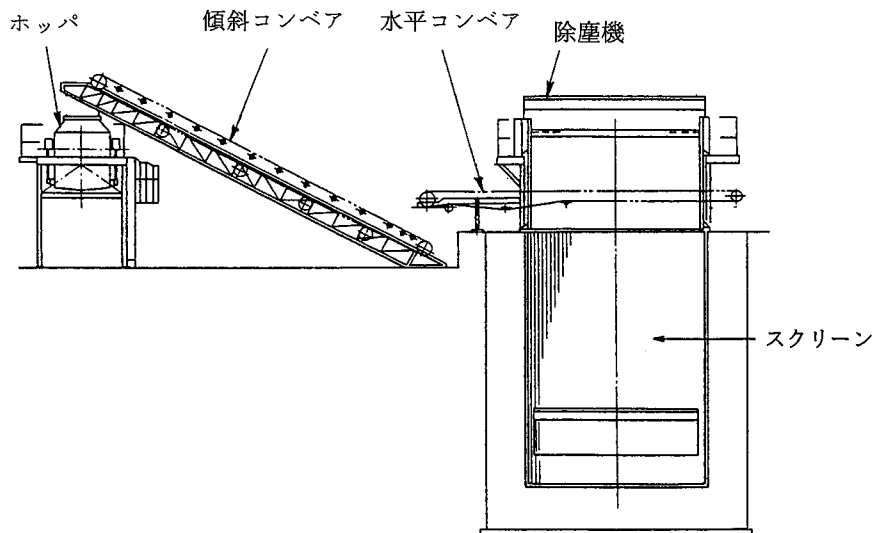


図3. 3-3 除塵機，搬送，貯留設備

### 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。

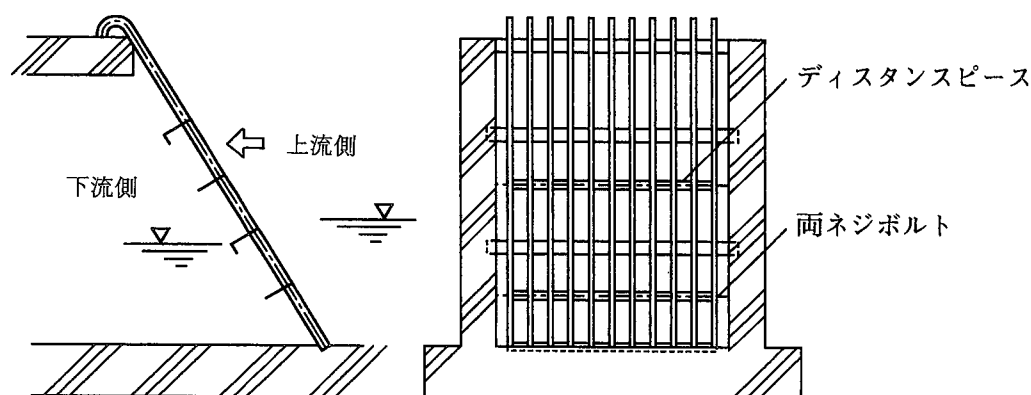


図3.3-4 スクリーン

#### 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。

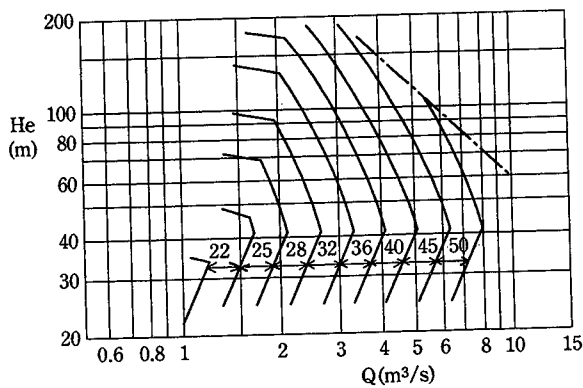


図 3. 3-5 取水部のスクリーン目幅(mm)  
(フランスス水車)

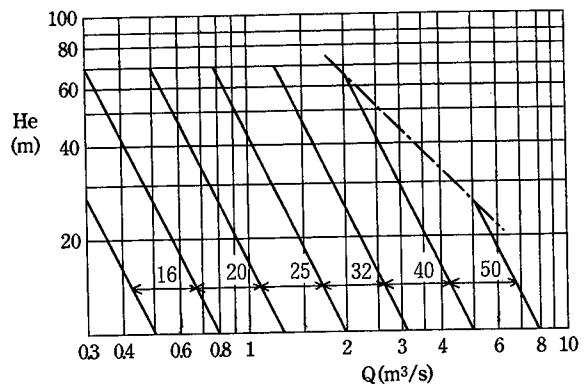


図 3. 3-6 取水部のスクリーン目幅(mm)  
(クロスフロー水車)

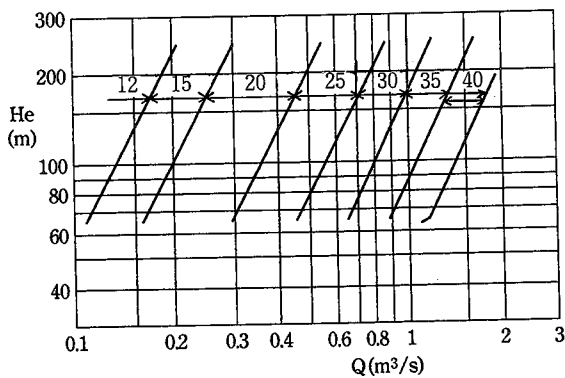


図 3. 3-7 取水部のスクリーン目幅(mm)  
(ペルトン水車)

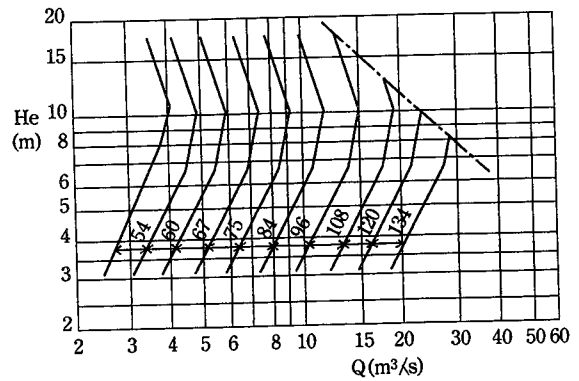


図 3. 3-8 取水部のスクリーン目幅(mm)  
(チューブラ水車)

(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 $75^{\circ}$ 前後が標準である。但し取水塔の場合は $90^{\circ}$ 、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 $90^{\circ}$ 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 $1 \text{ m/s}$ 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)       $\theta$  : 格子の傾斜角 (°)  
 $\Delta h_r$  : 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  
 $\beta$  : 格子のバー断面形状による係数 (図 3.2-9)

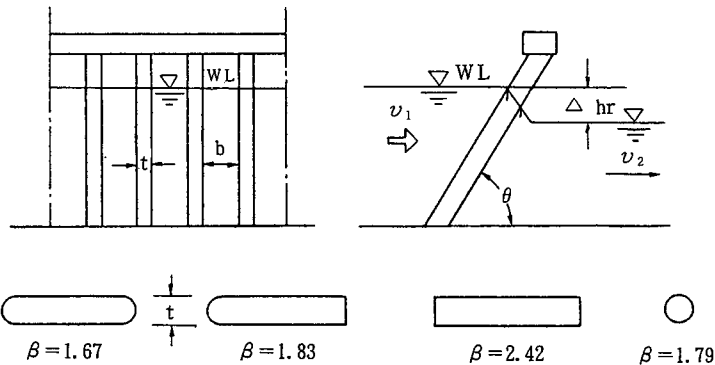


図 3.2-9

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  $\Delta h_{r1}$  : ごみによる水面低下量 (m)       $\alpha$  : ごみの付着高さ (m)  
 $\gamma_w$  : 湿潤ごみの単位重量 (kg/m³)       $\gamma_w$  は 200kg/m³ 程度

ただし、上式においてその場所に合った数値  $\alpha$  (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。

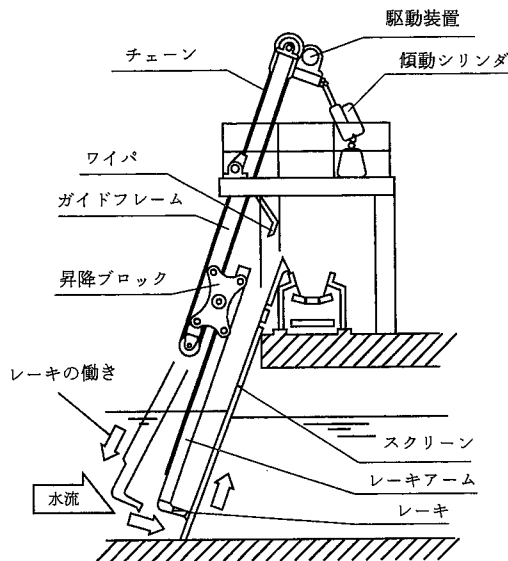


図3. 3-10 機械押込式除塵機

### (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。

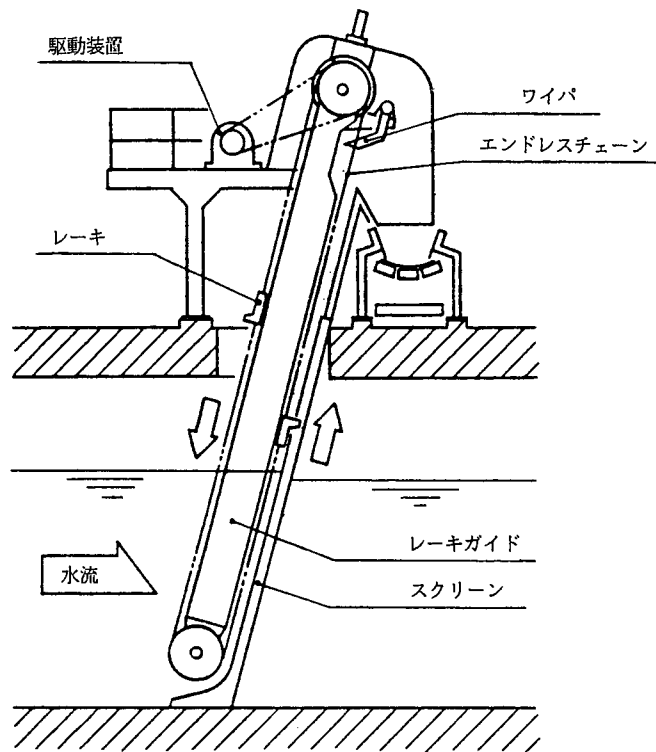


図 3. 3-11 ロータリーチェーン式除塵機 (前面降下前面掻上式)

## 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（5～10m<sup>3</sup>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。

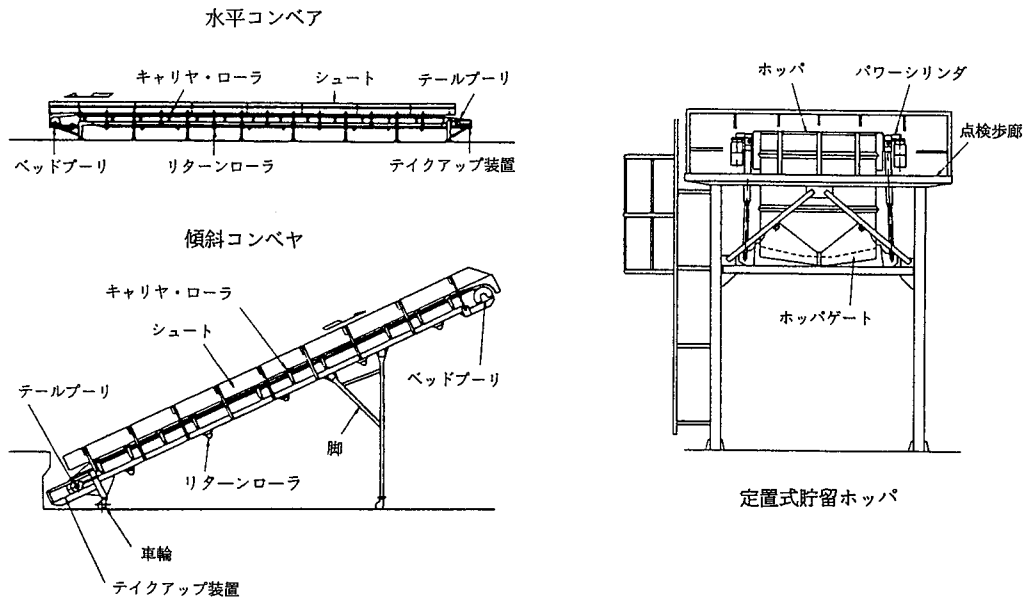


図3. 3-12 コンベヤ及びホッパ

#### 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 m<sup>3</sup>～10 m<sup>3</sup>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