

ダムフラップゲート設計の手引(素案)

昭和59年3月

貸し出し用

財団法人 国土開発技術研究センター

ま え が き

この手引は、既設フラップゲートの実態調査並びに分析に基づいて、寒河江ダムの越流部に設けるフラップゲートの設計に採用された設計手法を手引の形にとりまとめたものである。

本手引のとりまとめにあたっては、「フラップゲート検討委員会」(委員長：村 幸雄 明星大学教授)において検討を頂いた。

財団法人 国土開発技術研究センター

目 次

1章 総 則	1
1節 適用範囲	1
2節 フラップゲートの選定	9
3節 形式の選定	14
2章 設 計	16
1節 基本条件	16
2節 水理模型実験	16
3節 設計条件	17
1項 設計荷重及び荷重の組合せ	17
2項 材 料	22
3項 許容応力度	23
4項 許容たわみ度	26
5項 部 材	26
4節 基本寸法の設定	31
5節 振動防止対策	33
6節 扉体及び戸当り	36
1項 扉体構造	36
2項 主桁の設計	40
3項 縦桁の設計	42
4項 補助横桁の設計	44
5項 スキンプレートの設計	45
6項 下部固定ヒンジの設計	47
7項 上部駆動ヒンジの設計	49
8項 水密部の設計	52
9項 水抜き穴	54
10項 接 合	54
11項 戸当り金物	55
7節 開閉装置	57
1項 開閉速度	57
2項 開閉装置の一般事項	57
3項 開閉荷重	58
4項 開度計	59
5項 自動復帰装置	59

1章 総 則

1節 適用範囲

1. この手引は、ダム越流部のコンクリート構造に直接設置される3方水密のフラップゲートに適用する。
2. この手引で取扱うフラップゲートの規模・形式は原則として次のものとする。
規模は1門当り純径間20m以下、扉高3m以下
構造形式は、扉体を下部固定ヒンジを2点とするボックスガーダ形式、開閉を油圧シリンダ2本の背面突上げ式とする形式

[解説]

1. フラップゲートは、河川用として多く採用されてきたが、ダム用としてはほとんど実例がない。この手引はダム^{*1)}越流部に設けるフラップゲートに適用する。なお、ローラーゲートなどの上段に設けるフラップゲートは、基本計画や構造計算がコンクリート構造に直接設置されるゲートとは異なるので、この手引では対象としない。
2. この手引は、既設フラップゲートの実態調査ならびにそれ等の分析にもとづいて寒河江ダムのフラップゲートの設計に採用された設計手法を手引の形にとりまとめたものである。従って、適用の範囲も寒河江ダムのフラップゲートを検討した範囲に限定している。

すなわち、

- 1) 径間については、河川用フラップゲートの実績で1駆動ヒンジ当り径間長が図1.1.1に示すようにほぼ10mが多く、ダム用では2点支持（駆動）を標準とすれば20mとなること、径間長を長くすると温度変化による扉体の伸縮が水密部へ影響を及ぼすこと及び1駆動ヒンジ当り径間長を10m以上とすると駆動装置（油圧シリンダ）の重量の点で据付が難しくなることが考えられることなどから径間20m以下を本手引での適用範囲とした。

扉高については「河川管理施設等構造令」では、可動堰の場合に「フラップゲート（起伏ゲート）の直高は3m以下とすること」と示されていること、またフラップゲートは径間に対して扉高の比が小さい場合に有利なゲート形式であること、さらに河川用ゲートの実績でも図1.1.2に示すように2m程度が多く、3m以上のものは極めて少ないことなどから3m以下を本手引での適用範囲とした。

* ダムとは、「河川管理施設等構造令」第3条に該当するダムをいう。

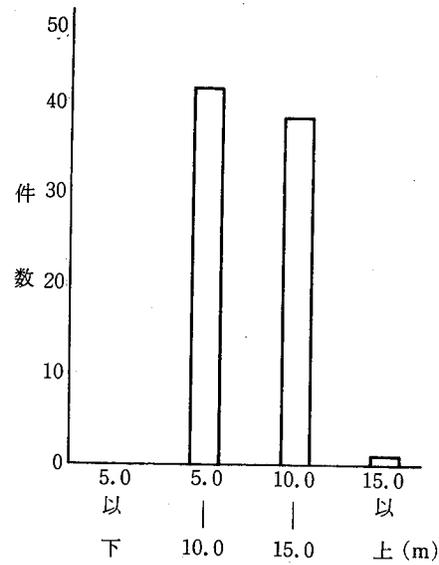


図1.1.1 河川用フラップゲートの1駆動ヒンジ当り径間長の実績
(アンケート調査による)

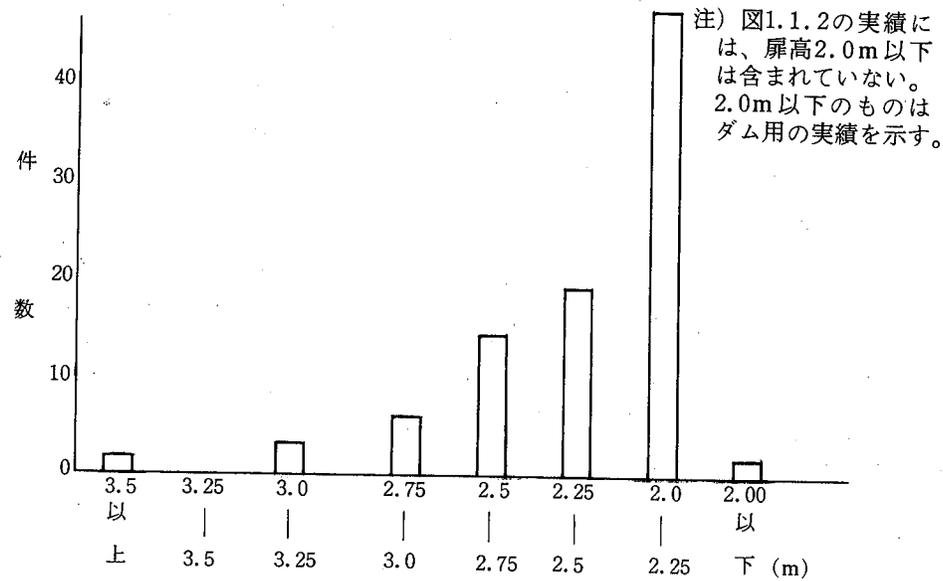


図1.1.2 河川用フラップゲートの扉高の実績

2) 構造形式については、この手引は寒河江ダムの検討結果を踏えて作成するもので、その場合に「扉体を下部固定ヒンジ2点のボックスガーダ形式、開閉を油圧シリンダ2本の背面突上げ式」の構造を主に検討し、他の構造形式のゲートは検討が十分でないので、本手引では、扉体を下部固定ヒンジ2点のボックスガーダ形式で、開閉を油圧シリンダ2本の背面突上げ式とする形式を適用範囲とし、他の形式については関連して説明した方がよいと考えられる場合以外は付言していない。

なお、この手引を用いてダムフラップゲートの設計を行うにあたっては、次に示す諸法規・基準等の規定が優先されるので、これらの諸法規と併せて使用するものとする。

- (1) 河川管理施設等構造令・同施行規則 (建設省)
- (2) 建設省河川砂防技術基準(案) (建設省)
- (3) 水門開閉装置技術基準・同解説 (建設省)

さらに関連する基準等に次のものがある。

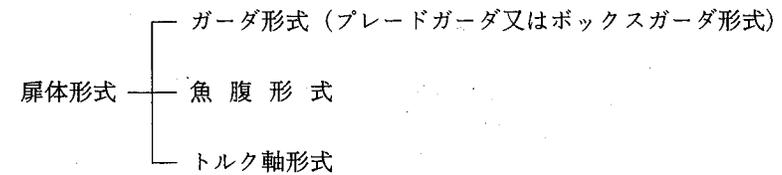
- ・ダム設計指針(案)第6編 放流設備 (水資源開発公団)
- ・ダム設計基準(日本大ダム会議)
- ・水門鉄管技術基準 (水門鉄管協会)

(参考)

この手引に示すこととしたフラップゲートの構造形式は、上記2)に示したとおりであるが、河川用ゲートとして用いられているフラップゲートの構造形式を参考に示すと次のとおりである。

1. 扉体

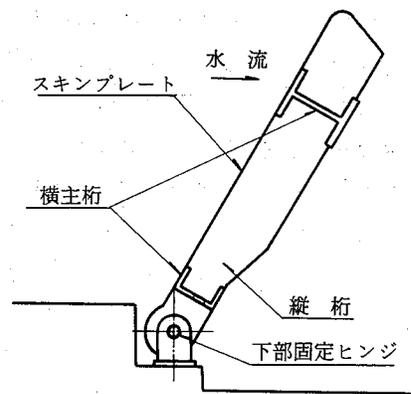
フラップゲートの扉体の基本的な形式は次のとおりである。



1) ガーダ形式

この形式は1本又は2本の横主桁を配置し、これを下部固定ヒンジ及び駆動ヒンジで支持する方式で開閉方式は背面突上げ式がほとんどである。

上部主桁の断面は、I形、箱形、丸形等があり、大形ゲートの場合には箱形(ボックスガーダ)とすることが多い。この形式は構造が簡単で、扉体の保守点検修理等が容易であるが、片側駆動の場合のように扉体に大きなねじりモーメントが作用する場合にねじり剛性が不足することが多い。

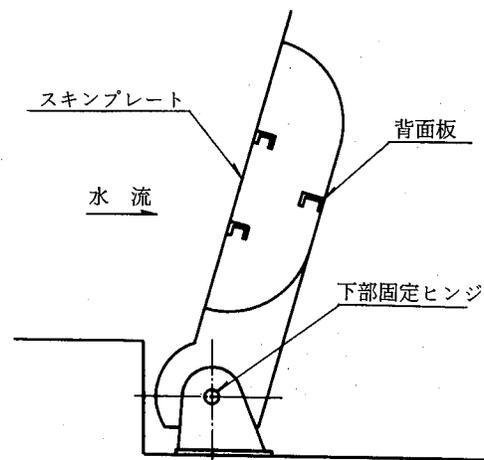


図参.1 ガーダ形式

2) 魚腹形式

この形式は参.2に示すように魚腹形状の殻（シエル）構造をしている。特にその形状からねじり剛性に強く、片側駆動（トルク軸を除く）のように扉体に大きなねじりモーメントが作用するゲートに有利な形式である。ただし、扉体が閉断面なので扉体内部の塗装などメンテナンスのためのマンホール等が必要である。

なお、魚腹式の背面突上げ式は外国ではいくつかの例があるが我が国では採用された例がない。

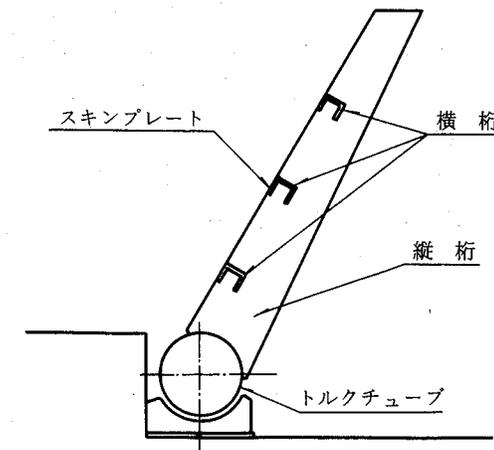


図参.2 魚腹形式

3) トルク軸形式

この形式は、ゲートヒンジ部に鋼管の中空軸を通し、主にこの管のねじり剛性によって、水圧による転倒モーメントを支える型式である。トルクチューブの大きさに限界があるので、剛性の面で限界があること、関連して越流水による振動が発生し易い

ので、比較的小規模なゲートに採用される。このようなことからダムのような重要な施設のゲートにはこの形式は適しないものと考えられる。



図参.3 トルク軸形式

表参.1に各形式の河川用での扉体規模による実績を示す。

表参.1 扉体規模と形式の実績

扉高と扉体形式				径間と扉体形式					
扉高(m)	扉形式	ガーダ形式	魚腹形式	トルク軸形式	径間(m)	扉形式	ガーダ形式	魚腹形式	トルク軸形式
0.50 ~ 0.99		1		1	0 ~ 4.99			1	
1.00 ~ 1.49		5	7	4	5.00 ~ 9.99		2	6	1
1.50 ~ 1.99		205	19	77	10.00 ~ 14.99		76	7	31
2.00 ~ 2.49		55	11	20	15.00 ~ 19.99		71	2	37
2.50 ~ 2.99		15	11	2	20.00 ~ 24.99		72	13	19
3.00 ~ 3.49		1	2		25.00 ~ 29.99		36	9	12
3.50 ~ 4.00		2	2		30.00 ~ 34.99		18	10	4
計		284	52	104	35.00 ~ 39.99		6	1	
		440			40.00 ~ 45.00		3	3	
計		284	52	104			284	52	104
		440					440		

2. 開閉装置

フラップゲートの開閉装置の形式は一般的な形式の分類と、その形式に適応する扉体形式について示すと図参.4のとおりである。また、駆動方式によって開閉装置は基本的に油圧式*1)と機械式に分けられる。両駆動方式による開閉装置の比較を表参.2に示す。各方式を概要図で示すと図参.5~図参.7のとおりである。いずれの方式を採用するかは選定は管理条件が重要な要素となる。

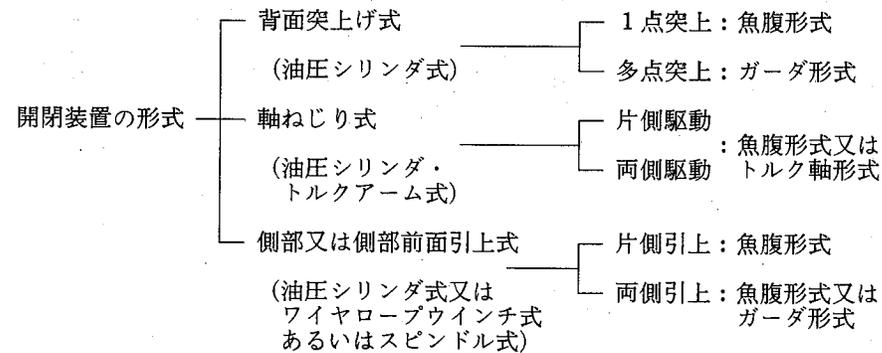
選定の大まかな目安は、表参.2から要約して示すと、次のとおりとなる。

油圧式：レイアウトの面で優れ、無動力で任意の倒伏が可能であるがシリンダ及び操作バルブなど精密な機構を有する部分が多いため、メンテナンスがやや難しい。

機械式：油圧式の逆のことがいえるほか特にレイアウトに対して難点がある。

これらを勘案して本手引きでは、管理体制などのメンテナンス上必要な条件が良く、構造上からも越流部の上でドライ状態でのメンテナンスができることを前提として、レイアウト上有利な油圧シリンダによる背面突上げ式を望ましい開閉装置のタイプとしている。

管理体制などに不安がある場合にはメンテナンス上から機械式が望ましいものとなるが、この方式は無動力での倒伏が難しいこと及びワイヤロープやスピンドルを流水から保護する必要があること、保護するための構造により流量が減少しないよう配慮するなどのことが必要となる。



図参.4 開閉装置の形式と適応する扉体形式の組合せ

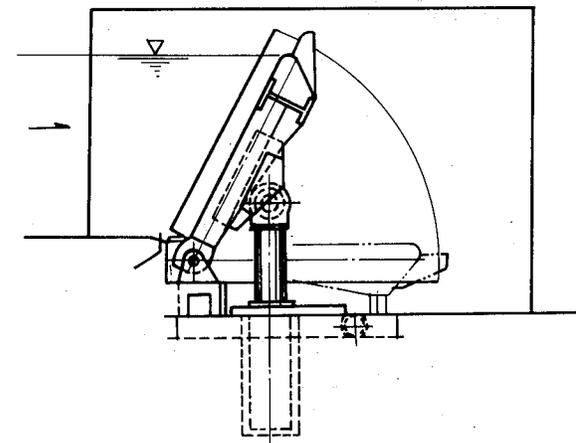
① 背面突上げ式

この方式は図参・5に示すとおり、扉体基礎下流に設ける油圧シリンダで扉体背面を径間長に応じ1箇所から数箇所を支持し、突き上げる方式である。支持は、径間に対して10m毎に1箇所程度とすることが多い。

*1) 油圧式には、油圧シリンダ式、油圧モータ式等があるがここでは油圧シリンダ式のみを示す。

表参.2 駆動方式による開閉装置形式

駆動方式	油 圧 式			機 械 式	
	油 圧 シ リ ン ダ 式			ワイヤロープ式	スピンドル式
	背面突上げ式	軸ねじり式	側部引上げ式	側 部 引 上 げ 式	
駆 動 部 設 置 場 所	径 間 内	ピ ア 内	ピ ア 上	ピ ア 上 扉 体 側 方	
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ・配置上自由度が高い。 ・無動力で倒伏できる。 ・リーク対策がないと自然倒伏する。 ・故障の事前事後の対応が難しい。 ・多量の作動油の交換が必要。 ・自然環境の影響を受けやすい。 			<ul style="list-style-type: none"> ・配置上制約が多い。 ・無動力での倒伏は難しい。 ・自然倒伏はない。 ・故障の対応がしやすい。 ・大規模での実績は少ない。 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・扉体の強度や剛性上有利(扉体を軽くできる。) ・油圧シリンダは圧縮を受ける柱となるため重くなる。 ・油圧シリンダが流水にさらされ腐食やメンテナンス上やや不利。 	<ul style="list-style-type: none"> ・油圧シリンダは流水にさらされない。 ・背面突上式に比べ扉体は曲げ、ねじりともモーメントが大きく扉体は重くなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ピアは油圧シリンダの入るスペースだけ厚くなる。したがって全越流頂が長くなる。 ・油圧シリンダは引張り力を主体とするので比較的軽くなる。 ・油圧シリンダを保持する桁等をピア上に設ける必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・点検が容易。 ・ローラゲートなどの実績が多い。 ・振動に対しワイヤロープが弾性体のためやや不利。 	<ul style="list-style-type: none"> ・機械効率をもっとも悪い。 ・やや余裕をもった設計を行えば、耐用時間は長く管理しやすい。
<ul style="list-style-type: none"> ・油圧シリンダロッド・ワイヤロープ又はスピンドルを、越流水から保護するために扉体側部上部に、整流板が必要となり、そのスペースの寸法だけ越流頂が減少する。 					

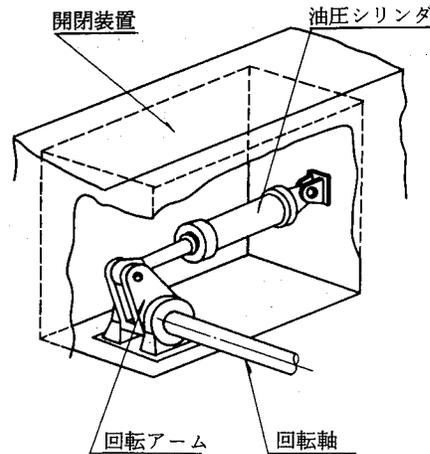


図参.5 背面突上げ式の1例

② 軸ねじり式

この方式は扉体回転軸を両側又は片側で回転させる方式である。従来はトルク軸形式がこの方法であったが、魚腹形式の扉体が開発されてからは、魚腹形式の扉体の両側又は片側に回転軸を接続する方式が多くなっている。

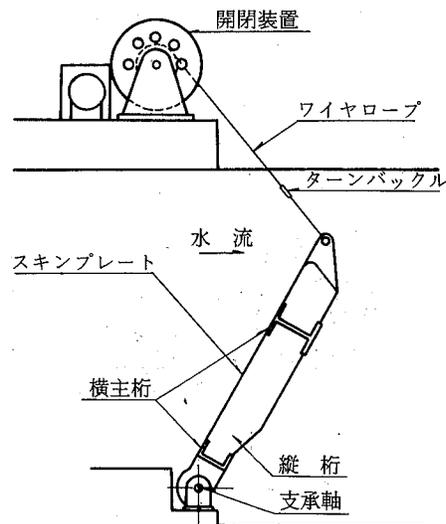
この方式では、駆動力は堰柱等のコンクリート構造物の内部に設けた油圧シリンダ等から回転アームを介して扉体回転軸に伝えられる。



図参.6 軸ねじり式の1例

③ 側部引上げ式

この方式は、扉体の両側（又は片側）をピア等の上方からワイヤロープ又は油圧シリンダで吊り、支持及び回転させる方式である。駆動装置のほぼ全体を陸上部に置くので、この点メンテナンスが行い易いが、ワイヤロープ又は油圧シリンダを流水から保護する必要がある。



図参.7 側部引上方式の1例

2節 フラップゲートの選定

フラップゲートの選定は、ダム形状・放流量および操作条件の適合性を十分に検討し、採用するものとする。

なお、土石の越流の予想される場合には、フラップゲートは採用しないものとする。

【解説】

1. ダム越流部に用いられるゲートは、一般には引上げ式のラジアルゲートまたはローラゲートが用いられ、越流式のゲート（フラップゲート、ドラムゲート、ドロップゲート等）は我が国のダムの越流部のゲートとしての例は少ない。一般にフラップゲートを採用するのは越流式のメリットを重視するものであるが、構造形式や安定性及び管理体制などを十分考慮して、その採用については慎重に行わなければならない。フラップゲートとクレストゲートラジアルゲートとの比較を表1.2.2に、各越流式ゲートの形状概要を図1.2.1にそれぞれ示す。

なお、ダムに用いる場合のフラップゲートの主な特性は、河川フラップゲートのアンケート調査*1)や水理模型実験*2)の結果などから引用して示すと次のとおりである。

- 1) 越流式であるため、引上式に比べ、貯水位の異常上昇に対する応答性に優れている。また、自由越流頂を短くすることができる。
- 2) 戸溝を必要としない。また、開閉装置を扉体背面に設ける場合にはピアに扉体からの反力が作用しないこと、およびピア内に開閉装置を格納する必要がないためピア幅は引き上げ式のゲートの場合に比べ薄くできる。
- 3) 原則として非常時に無動力のもとで倒伏が可能である。
- 4) 越流式で、かつ扉体の断面形状が他のタイプのゲートに比べて比較的薄いために、越流水脈（ナップ）の振動特性によっては扉体振動が誘発される場合がある。
- 5) 流量係数は、スキンプレート面形状、越流部全体形状、越流水深および倒伏角度によって異なる。
- 6) 越流部におけるフラップゲート直下流部の法面形状は、越流水深や倒伏角度によって越流水脈の落下点が変わること及び全開時の扉体の下流法面のすり付け具合、さらに越流水の減勢を考慮して決める必要がある。
- 7) 扉体設計の主要な荷重となる水圧荷重は、同一越流水位であっても開閉時の倒伏角度により変化し、最大の荷重は中間開度で生じることが水理模型実験で認められている。
- 8) 水密構造は、扉体のタワミや温度変化による伸縮及び流木などの異物のかみこみ、さらにドライ状態における水密ゴムのまくれ込みなどに対して十分配慮した設計、施工が必要である。

*1) 「寒河江ダムフラップゲート設計解析業務報告書、第I部、既設フラップゲートの実態調査」
*2) 「フラップゲートの水理特性」土木技術資料24.5 (1982) 土木研究所

これらの特性のうち1)～3)に示したものは、ダムフラップゲートの利点である。また、4)～8)についてはフラップゲートをダムに使用する場合の留意事項である。特に4)に示した振動については、(1)ピアの縮流の影響や風等による流れの乱れ(2)越流ナップの裏側に生じる閉塞空間内の圧力変動(3)放流水の下流落下面での拡散による水位変動及び空気連行(4)下流の流れの状態、などが相互に関連するといわれており、厳密には当該ダムの地形やダム形状などの条件を考慮した水理模型実験を行うことが望ましい。

さらに5)～7)についても当該設計条件で水理模型実験を行い、必要な形状や係数などを求めることが望ましい。

次に、フラップゲートの比較対象となる同じ越流式のゲートとしてドラムゲート及びドロップゲートがある。これについては、それぞれ実績が少ないので十分な比較判定基準はないが、一般的には次のことがいえる。

(1) ドラムゲート (例：御母衣ダム、福地ダム)

① ドラムゲートの開閉は、機構的には上流水圧を利用し無動力での操作が可能である。しかし水圧のみによる厳密な操作は難しく、メンテナンスも難しい。このため一般には開閉用動力を必要とする。

② 扉体を全開（倒伏）にするため越流部には扉体と同等の容積の切り欠きを必要とする。

(2) ドロップゲート (例：殿山ダム)

① ゲート構造は本質的にローラーゲートと変わらないので、構造はシンプルであるが、ピアに戸溝部及び開閉装置のスペースを必要とする。

② 扉体を越流部の前面に設けることができるので、アーチダムのように越流部の薄い場合に有利である。

2. 河川用フラップゲートの実績調査では、表1.2.1に示すように増水時の土石のフラップゲート回りへの堆積などの影響で、開閉が困難になるなど重大な支障が認められている。従って土石の越流が考えられるダムでは、フラップゲートは採用しないものとする。

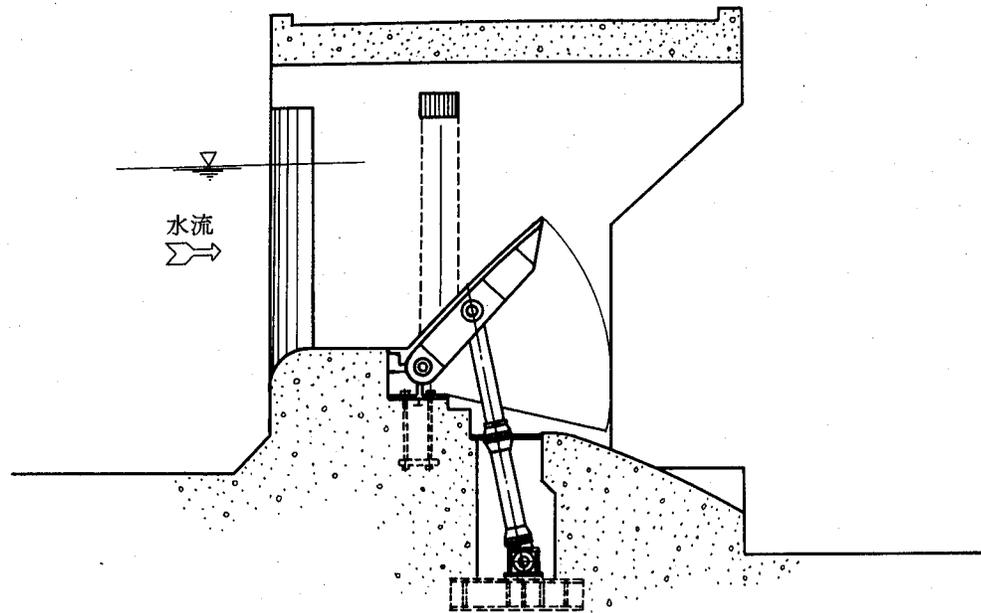
表1.2.1 土石の流下による支障件数
(河川用フラップゲートのアンケート調査結果)
(件)

(イ) 堆積土石で扉体の作動不能	8
(ロ) 水密ゴムの支障	8
(ハ) ヒンジの支障	3
(ニ) 油圧シリンダの損傷	5
(ホ) 扉体の損傷	4
計	28

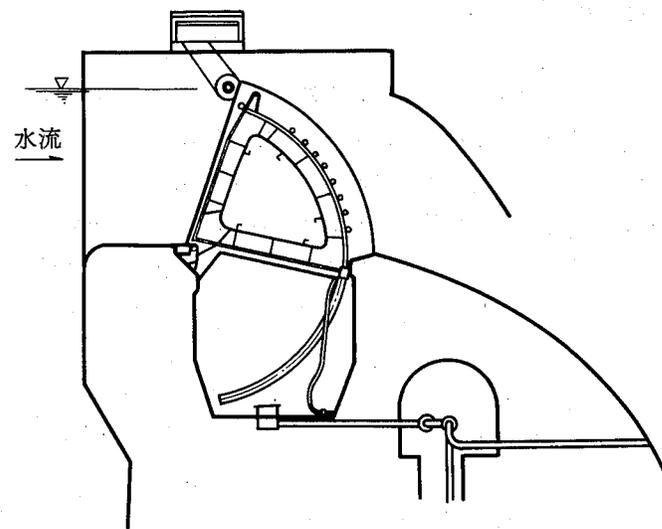
3. 薄肉アーチ式コンクリートダムに設けるフラップゲートは、ダムのたわみ等の挙動のゲートに及ぼす影響が不明確であるため、この点注意が必要である。

表1.2.2 ラジアルゲートとの比較

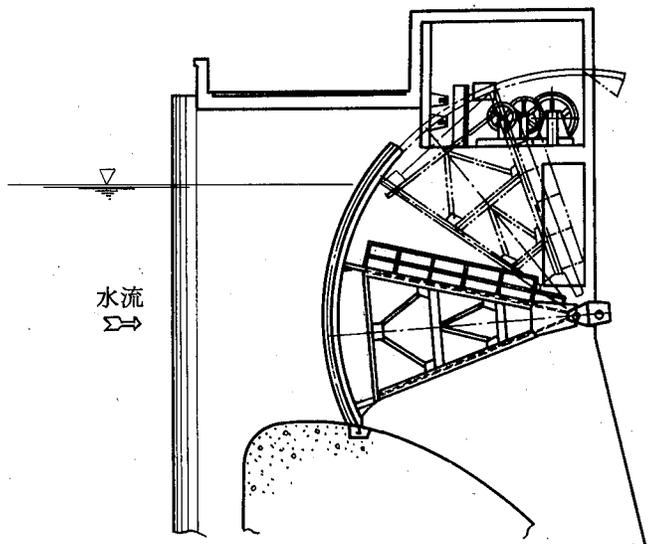
項目	ラジアルゲート	フラップゲート
全体構造	<ul style="list-style-type: none"> 扉高を高くできる(15m以上の実績がある)。 径間は一般的には12m程度までである。 開閉は常に動力を要する。 原則として非越流式である。 	<ul style="list-style-type: none"> 扉高は一般的に3m程度までである。 径間は20m程度までである。 非常時に無動力で倒伏が可能である。 越流式である。
ゲートの外観	<ul style="list-style-type: none"> 扉体の天端がダム天端とほぼ一定高さに仕上がることで、ゲート自体が曲線であること等で外観がよいとする意見が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ラジアルゲートの場合とほぼ同様と考えられるが、下流側からの外観はやや劣る。
ピア	<ul style="list-style-type: none"> ピアが上下流方向に長くなる。 ピア形状は、荷重伝達(分散)に特に配慮を必要とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ピアは長さ高さとも小さい。 ピアに作用する荷重は小さい。
荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> 水圧荷重等を開閉中心(ピア)に集中し伝達させる。 脚の構造によってはピアにダム軸方向の水平反力が作用する。 	<ul style="list-style-type: none"> 水圧荷重等は下部固定ヒンジ、上部駆動ヒンジに集中するが、反力は堅固な越流部コンクリートに伝達される。
水理特生	<ul style="list-style-type: none"> 微小開度以外は比較的安定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 越流水深の大小、倒伏角度の大小によって変る。
扉体構造	<ul style="list-style-type: none"> 圧縮材と曲げ部材で構成される。 部材数が多くやや複雑。 越流した場合に脚柱が弱い。 据付精度・工程管理は、ローラーゲートより難しい。 	<ul style="list-style-type: none"> 駆動部(油圧シリンダ)を除きほぼ曲げ部材で構成される。 部材数は比較的少ない。 水密構造がやや複雑。 同左



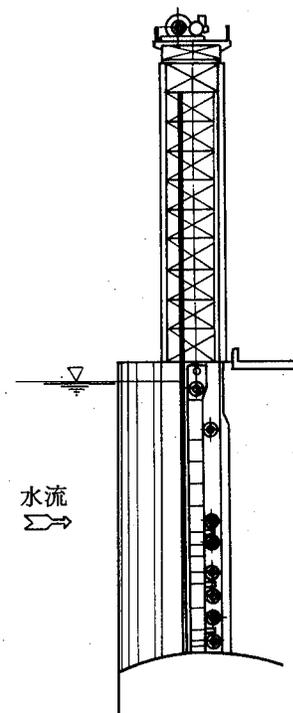
(フラップゲート)



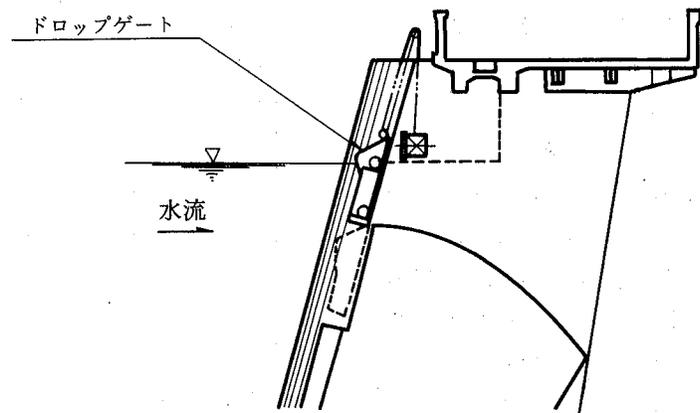
(ドラムゲート)



(ラジアルゲート)



(ローラーゲート)



(ドロップゲート)

図1.2.1・(2) ゲートの形状概要

図1.2.1・(1) ゲートの形状概要

3節 形式の選定

ダムフラップゲートの扉体形式及び開閉装置形式は、ダムの諸条件を十分に考慮して荷重伝達が簡明で、据付及び据付精度の確保が容易な構造方式を決定する。この手引の扉体形式は2点ヒンジのガーダ形式（原則としてボックス）とし、開閉装置は背面突上げ式とする形式を標準とする。ただし、開閉を両端駆動式で行う場合には扉体形式を魚腹形式とすることが望ましい。なお、トルク軸形式は、原則として用いないものとする。

[解説]

フラップゲートの扉体形式（形状）には、ガーダ形式、魚腹形式及びトルク軸形式などがあるが、この手引では扉体を2点ヒンジのガーダ形式として開閉装置を背面突上げ式とする方式を標準とする。

この理由は、開閉装置に背面突上げ式を採用することにより、同一水理条件では扉体に作用する曲げモーメント及びねじりモーメントを他の形式の場合より小さくできるので、シンプルなガーダ形式の構造で十分対応できるからである。背面突上げ式の不利な点としては、越流部の径間内に設ける開閉用油圧シリンダのメンテナンスが難しいことがあるが、一般には、軽微な修理等は夏期等の制限水位時に、また定期的で比較的長期間を要する整備等は、計画的に水位を下げ越流部上でのメンテナンスが可能である。なお、基本的には管理施設及び管理体制を調べ、管理を十分に行う必要がある。

また、これまでのフラップゲートは、下部に多数の固定ヒンジをもつ構造として、水圧荷重等の荷重は多数のヒンジから基礎コンクリートに伝え、特に扉高が低く細長いフラップゲートでは水圧荷重のほとんどが下部固定ヒンジの反力に置き変るので、同形状のローラゲートに比べ扉体は一般に軽量化がされている。このほか河川用のフラップゲートでは、河床勾配の関係から下部固定ヒンジ部分の配置スペースが小さく深くできない、全開時の扉体格納深さも充分でないため下部主桁は桁高を大きくすることができず、多点ヒンジの連続梁としないと強度上満足できないことが多い。実態調査の結果でも、図1.3.1に示すように下部ヒンジは一般に2.5m程度の間隔で設けられている。

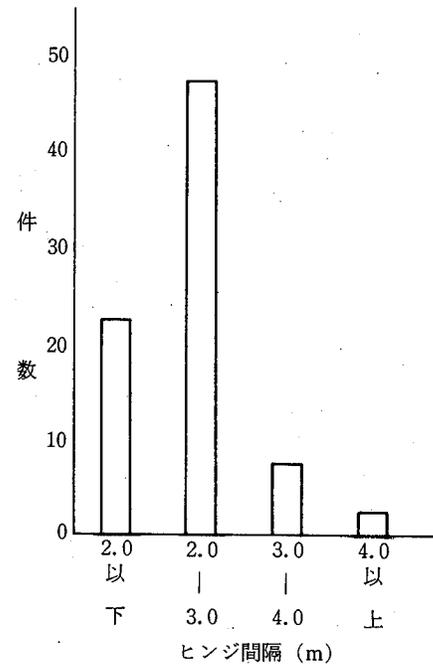


図1.3.1 河川用フラップゲートのヒンジ間隔

これに対して、ダムフラップゲートのように河川用フラップゲートに比べ設計水頭が大きい場合には、下部主桁で分担する荷重が上部主桁に比べ小さく、また下部主桁の部材寸法は計算応力以外の水密上必要な回転曲率を与えるに必要な寸法及び制作・据付条件などから決定されるので、下部固定ヒンジを2点ヒンジとしても許容応力の面から十分安全なものとなる。さらに、多点ヒンジの構造は次のような課題もあることからこの手引では下部ヒンジは2点とする。

- ① 不静定構造となり反力のアンバランスが生じる。
- ② 2点ヒンジと比較して、据付精度の確保がむずかしい。

なお、2点ヒンジの場合は静定構造なので、扉体のねじれは特に問題とはならないと考えられるが、安全を考慮して上部主桁は原則としてボックスガーダとする。

2章 設 計

1節 基本条件

フラップゲートは、次の基本条件を満足するものとする。

予想される荷重に対して安全な構造であること。

確実に開閉し、かつ必要な水密性及び耐久性を有する構造とすること。

開閉装置は確実に作動し、非常時の無動力状態でも倒伏が可能な機能を備えること。

維持・管理が容易な構造とすること。

必要により予備ゲートを備えること。

[解説]

フラップゲートの備える基本条件は、他のゲートと根本的には同様であるが、特にこの手引に示すフラップゲートの場合には、開閉装置が比較的精密な機構の油圧システムになっていることや油圧シリンダがゲート背面の越流水や流下物に接触するなどの点から、開閉装置はこれらに対する十分な配慮が必要である。

また、フラップゲートは設置場所及び規模の面で、維持・管理が予想外に難しいことから、維持管理の容易な構造とすること及びそれに必要な付属設備を備えることが肝要である。特に油圧シリンダなど油圧システムについては、この配慮を必要とする。なお、予備ゲートは、フラップゲートを常時接水状態で用いる場合には、維持管理において、必要性が大きい。

2節 水理模型実験

フラップゲートの水理特性については水理模型実験を行うことが望ましい。

[解説]

第1章、2節の解説で示したようにフラップゲートは越流式であり、かつ越流に対するゲート天端の形状が開閉による起伏角度によって変化するので、次の点などについて水理模型実験を行いゲートの安全性及び操作ルール作成上の基本事項の確認を行うことが望ましい。

1. 流量係数は、スキンプレート面形状、越流水深及び倒伏角度によって異なるので、これを求める。
2. 越流部におけるフラップゲート直下流部の法面形状は、越流水深や倒伏角度によって変る越流水脈の落下点の影響及び全開時の扉体と下流法面のすり付けの具合、さらに越流水の減勢を考慮して決める。
3. 扉体の設計に採用する水圧荷重は、同一越流水位であっても開閉時の起伏角度で変化するので、最大荷重の生じる開度及びその最大荷重を求める。

3節 設計条件

1項 設計荷重及び荷重の組合せ

1. フラップゲートの設計に考慮する荷重は次による。

ゲートの自重	(W)
貯留水による静水圧の力	(P)
水圧の力	(P _i)
地震時におけるゲートの慣性力	(I)
地震時における貯留水による動水圧の力	(P _d)
ゲートの開閉によって生じる力	(P _o)
風荷重	(P _w)
積雪荷重	(P _s)
2. 1に掲げた荷重は設計水位と地震時以外の時及び地震時について、次表に示す組合せを考慮する。

設 計 水 位	地震時以外の時	地 震 時
(1)常時満水位である場合	W, P, P _i , P _o	W, P, P _i , I, P _d
(2)サーチャージ水位である場合	W, P, P _i , P _o	W, P, P _i , I, P _d
(3)設計洪水水位である場合	W, P, P _i , P _o	W, P, P _i
(4)そ の 他	P _w , P _s	

[解説]

1. ダムのゲートの設計に考慮する荷重の種類については、河川管理施設等構造令第11条第1項に規定されているが、規定には含まれていない風荷重及び積雪荷重も設置場所の立地条件で考慮するものとする。なお、泥圧はフラップゲートでは考慮しない。
2. 静水圧及び動水圧による力は、ゲートが全閉または中間開度の状態でダムの非越流部の直上流における水位が、常時満水位、サーチャージ水位および設計洪水水位である場合のそれぞれについて、地震時および地震時以外の時に分けて荷重計算を行う。
地震時の設計震度は、サーチャージ水位の場合にあっては常時満水位の場合の地震震度の1/2の値とする。設計洪水水位の場合は、地震時の計算をしなくてもよい。
構造計算に用いる設計震度は、河川管理施設等構造令施行規則第2条に示されるとおりで、同施行規則第11条は堤体の設計震度とゲートに作用する震度とは同じとして取扱うよう規定されている。

表2.3.1 設計震度

地域の区分		強震地域	中震地域	弱震地域
ダムの種類				
重力式コンクリートダム		0.12	0.12	0.10
アーチ式コンクリートダム		0.24	0.24	0.20
フダ イル ム	ダムの堤体がおおむね 均一の材料によるもの	0.15	0.15	0.12
	その他のもの	0.15	0.12	0.10

注) ゲートの設計震度は上表に示す値以上の値で、当該ダムの実状に応じて定めるものとする。

アーチ式コンクリートダムの設計震度は、堤体構造に基く振動特性を考慮して、その値を基礎地盤に発生する震度の2倍以上の堤体振動が生じるものとして定めているので、アーチ式コンクリートダムのゲートを堤体以外の設置場所に設けた場合には、アーチ式コンクリートダムの設計震度の値の1/2の値にすることができる。

3. 荷重項の個々の計算方法は、河川管理施設等構造令同規則等に準じるものとするが、フラップゲートにかかわるものを示すと次のとおりである。

1) ゲートの自重 (W)

フラップゲートの設計において自重は水圧荷重の方向と比較的一致し、主桁等の主要部材及び開閉力の計算に自重が重要な要素となるので、最終設計では全ての部材の自重を詳細に積上げて検討する必要がある。

2) 貯留水による静水圧の力 (P)

各々の設計水位における貯留水による静水圧の力は、フラップゲートの場合一般に次の簡便式により計算してもよいものとする。

$$P = \frac{p_1 + p_2}{2} \cdot \ell \quad (\text{tf/m})$$

$$\text{ここに、} p_1 = W_0 \cdot h_1 \quad (\text{tf/m}^2)$$

$$p_2 = W_0 \cdot h_2 \quad (\text{tf/m}^2)$$

W_0 : 水の単位体積重量 (tf/m³)

h_1 : 設計水位から底部水密部までの水深 (m)

h_2 : 設計水位から、そのときの扉体天端までの水深 (m)

ℓ : 底部水密部から天端までの扉体の寸法 (m)

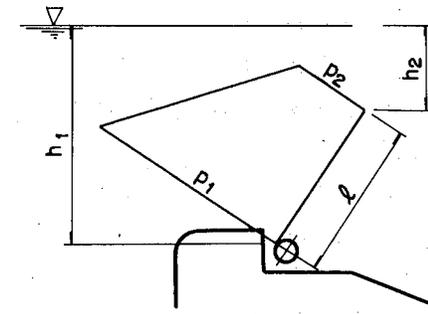


図2.3.1 水圧荷重

ただし、越流時にフラップゲートに作用する水圧は水理模型実験等によれば、水の流れは自由水面を持ち遠心力などが作用する複雑な流れのため、扉体の受ける水圧荷重も一様でなく複雑に変化する。設計水深 (h_1) と起立角度による水圧荷重の変化を図2.3.2に土木研究所が行なった水理模型実験^{*1)}の結果で示す。このため、静水圧の力は起立角度が重要な要素となり、この角度によっては簡便式に比べ異なる値となることがあるので厳密には水理模型実験による確認が必要である。

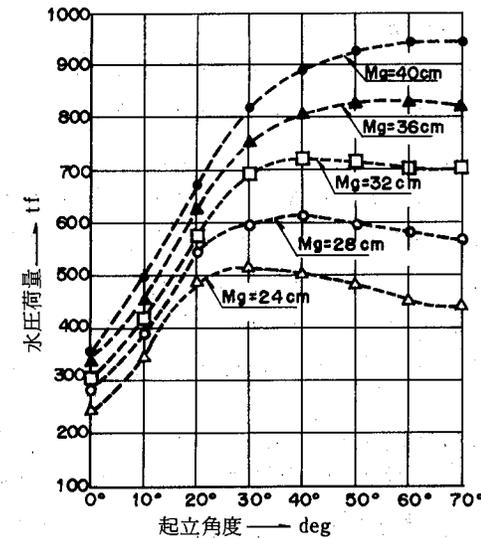


図2.3.2 水圧荷重と起立角度の関係の実験の一例

*1) 「フラップゲートの水理特性」から (1章2節脚注参照)。

一般に設計静水圧は設計最大水位（設計洪水水位+波浪高）において最大荷重の発生する起立角度で、上記簡便式により計算すれば比較的安全側でかつ妥当なものとなる。なお、静水圧には次の計算式による波浪高を考慮する。

(1) 風による波浪高

ダム上流流が鉛直に近いコンクリートダムのような場合には、S. M. B法(Svedrup-Munk-Bretschneider)により求めた値とする

$$hw = 0.00086 V^{1.1} \cdot F^{0.45}$$

ここに、hw：全波高（有義波） (m)

F：対岸距離 (m)

V：風速（10分間の平均） (m/s)

ダム上流面が傾斜しているフィルダムのような場合には、S. M. B法とsaville法を組合せたものがある。

(2) 地震による波浪高

$$he = \frac{k \cdot \tau}{2 \cdot \pi} \sqrt{g H}$$

ここに、he：半波浪 (m)

k：設計震度

τ ：地震周期 (s)

g：重力の加速度 (m/s²)

H：貯水池水面より基礎地盤までの水深 (m)

3) 氷圧の力 (Pi)

氷圧については現地における気温の上昇率・氷厚・貯水池の兩岸の状況・結氷面に対する直射日光の度合など、種々の条件に対して必要に応じて考慮する。

氷厚と氷圧の関係の一例を、図2.3.3に示す。

一般には極寒地におけるゲートには結氷防止装置をつけることが望ましいので、結氷防止装置のない場合にのみ氷圧の力を考慮する。

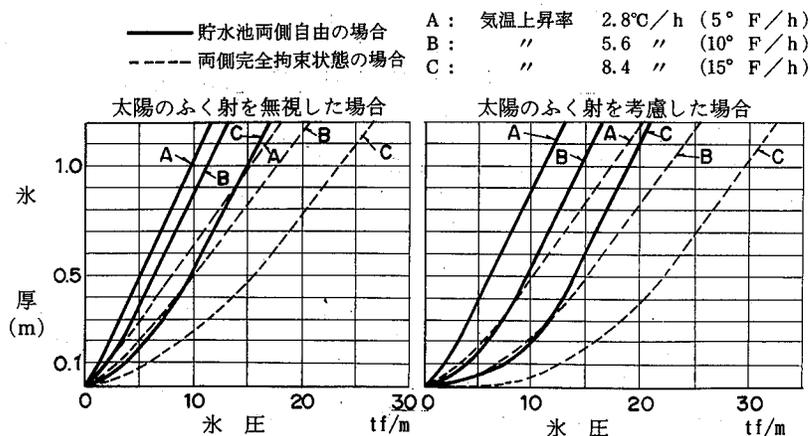


図2.3.3 氷厚・氷圧の関係

4) 地震時におけるゲートの慣性力 (I)

地震時におけるゲートの慣性力は、あらゆる水平方向に作用するものとし、次式によって計算する。

$$I = W \cdot k$$

ここに、

I：地震時における扉体など当該部分の慣性力(tf)

W：当該部分の自重(tf)

k：設計震度

5) ゲートの開閉によって生ずる力 (P_o)

ゲートの開閉に伴って生じる、回転摩擦力、水密ゴムの摩擦力等の反力を考慮する。なお、扉体は何らかの影響で開閉中にロック状態になった時を想定して、この時の油圧シリンダ等駆動力が最大になった状態での各部への集中荷重（反力）とその方向に留意する必要がある。

6) 地震時における貯留水による動水圧の力 (P_d)

地震時における貯留水による動水圧の力は、扉体と貯留水との接触面に対して垂直に作用するものとして、次式によって計算する。

$$P = \frac{7}{12} \cdot W_o \cdot k \cdot H_1^{1/2} \cdot (h_1^{3/2} - h_2^{3/2})$$

ここに、

P：扉体の径間方向単位長さ当りの水圧荷重 (tf/m)

W_o：水の単位体積重量 (tf/m³)

k：設計震度

H₁：ダムの非越流部の直上流部における水位から基礎地盤までの水深 (m)

h₁：ダムの非越流部の直上流部における水位から扉体底部水密までの水深(m)

h₂：ダムの非越流部の直上流部における水位から扉体天端までの水深(m)

7) 風荷重 (P_w)

風荷重は純投影面積に考慮し、次の値に形状係数を乗じた値を標準とする。

鉛直投影面積に対して 300kgf/m²

乗じる形状係数は、

平面形状に対して……………1.2

円筒形状（1本）に対して………0.7

一般に風荷重を考慮するのは、油圧シリンダと扉体がピン結合されていない場合やワイヤロープ式の開閉装置を採用した場合の無水圧起立時である。

8) 積雪荷重 (P_s)

雪荷重は、次の値を目安とする。

降りたての雪 150(kgf/m²)

やや落ちついた雪 300(kgf/m²)

圧縮された雪（又は多量に水を含んだ雪） 500~700(kgf/m²)

フラップゲートでは一般に積雪荷重を考慮する必要はないが、倒伏状態で豪雪が予想される場合など特殊条件のフラップゲートにあつてはチェックしなければならない。

なお、積雪高さについては、当該地区の立地条件によって決める。

2項 材 料

フラップゲートに使用する材料は、次を標準とする。

桁類	S S 41、S M 41
スキンプレート	S S 41、S M 41又はステンレスクラッド鋼
支持ブラケット及び軸受	S S 41、S M 41又はS C 46
支持ピン	S U S 304
軸受メタル	オイルレスメタル
水密ゴム	合成ゴム
水密ゴム当り面	S U S 304
ボルト類	S U S 403又はS U S 304
油圧シリンダ	
チューブ	S M 41
ロッド	(S FまたはS - C) + S U S 304表面ステンレス仕上又はS U S 304
油圧配管	S U S 304 T P

[解説]

本文に示す材料は河川砂防技術基準（案）に示されているものから標準的なフラップゲートの条件を勘案して示したものである。

特に構造用圧延鋼材は、S S 41、S M 41にしぼり、S M 50などの高張力鋼を除いたのは、重量の軽減よりも剛性や振動に対する安定性を考慮したものである。そのほか錆を重視し選定したものである。なお、油圧シリンダロッドについては室内に設置する形式の場合にはS - C、S F材等にクロームメッキを加工した部材とすることも考慮すべきである。

溶接構造に用いる鋼材についてS S 41とS M 41の使い分けは、表-2.3.4による。

軸受メタルは、管理及び強度の面から現状ではオイルレスメタルが最適と考える。

ただし、適合した油脂による潤滑、防錆を行うことが必要である。

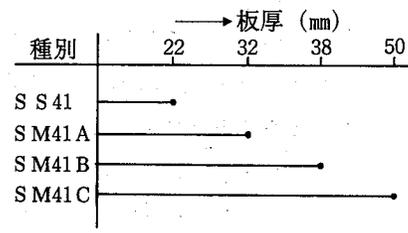


図2.3.4 板厚による鋼種選定基準

3項 許容応力度

ダムフラップゲートに生ずる応力度は、適切な工学試験の結果に基づき定める許容応力度を越えてはならないものとする。

地震時の影響を考慮したときの許容応力度は、上記の許容応力度より50%増加することができる。

[解説]

1. 許容応力度については、河川砂防技術基準（案）に準じ、材料の降伏点強度の1/2以内を基準として表2.3.2によるものとする。

アンカ部のコンクリートの許容応力度は、コンクリート標準示方書（土木学会）によるものとする。

なお、アンカ材としてPC鋼材を用いる場合、PC鋼材には、許容応力度の割増は適用しないものとする。

表2.3.2(a) 構造用鋼材の許容応力度

種 類	鋼 種		
	S S 41, S M 41		
	厚さ ≤ 40mm	>40	
1. 軸方向引張応力度（純断面積につき）	1,200		
2. 軸方向圧縮応力度（総断面積につき）	$\frac{l}{r} \leq 20$:		1,200
	圧縮部材 $20 < \frac{l}{r} \leq 93$:		$1,200 - 7.5 \left(\frac{l}{r} - 20 \right)$
	r : 部材の総断面積の断面二次半径 (cm)		$93 \leq \frac{l}{r} :$ $\frac{10,000,000}{6,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$
圧縮添接材			1,200
3. 曲げ 応 力 度	桁の引張縁（純断面積につき）		1,200
	桁の圧縮縁（総断面積につき）		$\frac{l}{b} \leq \frac{9}{K} :$ 1,200
	A _w : 腹板の総断面積 (cm ²)		$\frac{9}{K} < \frac{l}{b} \leq 30 :$ $1,200 - 11 \left(K \frac{l}{b} - 9 \right)$
A _c : 圧縮フランジの総断面積 (cm ²)		但し $\frac{A_w}{A_c} < 1$ の場合は K=2 とする	
l : 圧縮フランジの固定点間距離 (cm)			
b : 圧縮フランジ巾 (cm)			
K = $\sqrt{3 + \frac{A_w}{2 A_c}}$			
スキンプレート等で直接固定された場合		1,200	
4. せん断応力度（総断面積につき）			700

左記応力の0.92倍とする

表2.3.2 (b) 構造用鋼材の許容応力度

鋼種	S C 46	S F 45	S U S 304	S U S 403
1. 軸方向引張応力度	1,200	1,200	1,050	2,000
2. 軸方向圧縮応力度	1,200	1,200	1,050	2,000
3. 曲げ応力度	1,200	1,200	1,050	2,000
4. せん断応力度	700	700	600	1,150
5. 支圧応力度	1,200	1,200		

部材の座屈長 (ℓ) は、部材長 (L) 及び表2.3.3に示す係数 β から次式により計算する。β の値は推奨値を用いるものとする。

$$\ell = \beta \cdot L$$

表2.3.3 支持条件による β の値

座屈形が点線のような場合	1	2	3	4	5	6	材端条件	回転に対して	水平変位に対して
									固定
β の理論値	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0		自由	固定
β の推奨値	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0		固定	自由
								自由	自由

許容曲げ応力度を計算する場合の圧縮フランジの固定点間距離 ℓ は、当該部材の圧縮側フランジと同一平面で交わる部材中心線の交点間の距離をとる。

- 上記1.に規定していない材料を使用するときの許容応力度については、1.の規定に準じて各応力度を決定するものとする。
- 同一軸方向の応力のみでない場合は、合成応力度は次式により計算する。

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + 3\tau^2}$$

ここに、

- σ_g : 合成応力度
- σ₁ : 軸応力度 (引張を正とする)
- σ₂ : σ₁ に直角な方向の軸応力度 (引張を正とする)
- τ : σ₁、σ₂ の面内に作用するせん断応力度

合成応力度 σ_g に対する許容応力度は、次式によって計算するものとする。

常時 $1.50 \sigma_a$

地震時 $0.90 \sigma_y \cdot \alpha$

ここに、

- σ_a : 許容応力度
- σ_y : 降伏応力度

α : フラップゲートの状態を考慮した係数 (0.8)

4. 接合用鋼材

接合用鋼材の許容応力度は表2.3.4によるものとする。

表2.3.4 接合用鋼材の許容せん断応力度 (kg f / cm²)

鋼材種類	S S 4 1, S M 4 1	
	厚さ ≤ 40mm	> 40
ボルト	S S 4 1, S M 4 1	
仕上ボルト	750	左記に同じ
アンカボルト	500	

- 鋼材を溶接接合する該当部分の許容応力度は、表2.3.2の値に表2.3.5の値を乗じた値とする。

表2.3.5 溶接効率

		工場溶接	現場溶接
突合せ溶接	放射線検査を行うとき	0.95 (1.0)	0.90 (0.95)
	放射線検査を行わないとき	0.85	0.80
すみ肉溶接		0.95	0.90

表2.3.5に示した値は、河川防砂技術基準 (案) に従った。

ただしこの表を採用できる条件として、溶接部の設計形状や施工法及び検査方法とその判定などは、機械工事共通仕様書 (案) (大臣官房建設機械課) 等の当該規定を満足するものとする。

4項 許容たわみ度

扉体の曲げによるたわみ度は、1/800以下とする。

[解説]

たわみ度の許容量は、構造物として必要な剛性、水密性及び操作時の安定性を考慮して支点間の1/800以下とする。ここでいう支点間とは、支持された区間または張り出し部の長さをいう。

たわみ量は桁断面のX軸上(図2.3.4の δ)の量とする。

このとき与える外力は、最大水圧が作用するときの外力の総和とする。

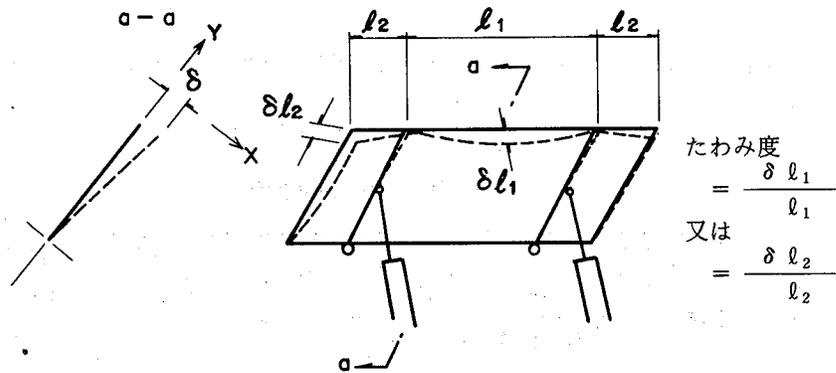


図2.3.4 たわみの概念

$$\begin{aligned} \text{たわみ度} &= \frac{\delta l_1}{l_1} \\ \text{又は} &= \frac{\delta l_2}{l_2} \end{aligned}$$

5項 部 材

1. 余裕厚

鋼材の余裕厚は、原則として、貯留水に接する面に1mm以上とする。

2. 最小板厚

ゲートに使用する部材の鋼材の最小板厚は、腐食代を含み8mm以上とする。

3. 桁

1) プレートガーダ

プレートガーダの腹板、補剛材、フランジプレートの寸法は次による。

(1) 腹板の最小厚さ(但し、SS41、SM41の場合)

垂直補剛材のない場合

$$\frac{b}{70}$$

垂直補剛材のある場合

$$\frac{b}{152}$$

ここに、b:上・下フランジの純間隔(cm)

(2) フランジプレートの中

圧縮フランジ $24 \cdot t_f$ 以内

引張フランジ $30 \cdot t_f$ 以内

ここに、 t_f :フランジプレートの厚さ(cm)

(3) 垂直補剛材の間隔

$$d \leq 3,200 \sqrt{\frac{t_w}{\frac{S}{A}}}$$

ここに、d:垂直補剛材の最大間隔(cm)

t_w :腹板の厚さ(cm)

S:腹板に作用するせん断力(kgf)

A:腹板の総断面積(cm)

(4) 垂直補剛材の寸法

(1)に示す垂直補剛材及び桁の支点等で荷重が集中する部分の桁の腹板に取付ける垂直補剛材の寸法は次のとおりとする。

イ. 垂直補剛材の場合

$$bs \geq \frac{b}{12}$$

$$ts \geq \frac{bs}{12}$$

ここに、bs:垂直補剛材の中

b:上・下フランジの純間隔

ts:垂直補剛材の厚さ

ロ. 荷重集中点の垂直補剛材の場合

その部分に作用する荷重に対し、腹板及び補剛材が座屈しないようにその断面を定め、普通腹板の両側に設ける。

有効座屈長はb/2(桁高の1/2)とし、腹板の有効幅は垂直補剛材の側にそれぞれ腹板厚の12倍までとする。なお、腹板の有効断面積は補剛材の両断面の1.7倍以上としてはならない。

2) ボックスガーダ

(1) 腹板の最小厚さについては、プレートガーダに準じるものとする。

(2) フランジは、補剛された板(以下「補剛板」という)とし、圧縮に対して座屈しないよう検討を行うものとする。

[解説]

1. ゲート部材の計算板厚に加算する余裕代は、河川砂防技術基準（案）に参考として示されている。フラップゲートは、越流時に閉鎖断面内を含む全ての面が流水にさらされるので、すべて片側1mmの余裕を見込むものとする。流水にさらされる油圧シリンダ等も同じ取扱いとする。

また酸性水等の特に腐食傾向の大なる場合や接水期間が長く、再塗装期間に制約のある場合にはステンレスクラッド鋼等を用いる必要がある。ステンレスクラッド鋼を用いる場合はステンレス厚さを最少2mmとし、その厚さは強度に見込まないものとする。

2. ゲートに使用する部材の最小板厚は、扉体の剛性を重視し、河川砂防技術基準（案）に準じ、鋼板または形鋼にかかわらずいずれも8mm以上とする。

3. 曲げを受ける桁は、腹板やフランジの板厚が薄い場合に、座屈を起すことから、種々の技術基準を参考に必要最小限の規定を示した。

なお、本文3.2)、(2)に示すボックスガーダの圧縮応力を受ける補剛板として座屈しないための検討は、次により行うものとする。

1) 補剛板の必要な板厚

$$t \geq \frac{b}{k \cdot f \cdot n}$$

ここに、

t : 補剛板の板厚 (cm)

b : 補剛板の全幅 (cm) 図2.3.5 (a)

n : 水平桁 (補剛材) によって区切られるパネル数 ($n \geq 2$)

f : 応力勾配による係数、 $= 0.65 \left(\frac{\phi}{n}\right)^2 + 0.13 \left(\frac{\phi}{n}\right) + 1.0$

k : S S 41=56、S M 50=48

ϕ : 応力勾配、 $\phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1}$

σ_1 、 σ_2 : それぞれ補剛板の両縁での縁応力度 (kg f/cm²)

ただし、

$\sigma_1 \geq \sigma_2$ とし、圧縮応力を正とする。(2.3.5(b)参照)

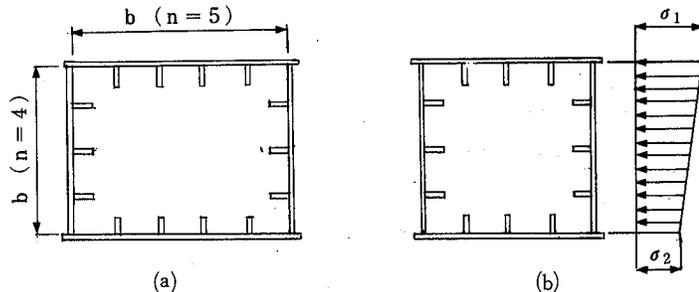


図2.3.5 補剛板の幅縁応力度の例

2) 1) により設計される補剛板の補剛材は、次の規定を満足しなければならない。

(1) (2)項より算出される水平桁 (補剛板) 1個の断面二次モーメント I、および断面積 A は、それぞれ次式を満足しなければならない。

$$I \geq \frac{b \cdot t^3}{11} \cdot \gamma_r \quad (\text{cm}^4)$$

$$A \geq \frac{b \cdot t}{10 \cdot n} \quad (\text{cm}^2)$$

ここに、

t : 水平桁 (補剛板) の板厚 (cm)

b : 水平桁 (補剛板) の全幅 (cm)

n : 水平桁 (補剛材) によって区切られるパネル数

γ_r : (2)項により算出した水平桁 (補剛材) の必要剛比

(2) 水平桁 (補剛材) の必要剛比 γ_r は次のとおりとする。

① $a \leq a_0$ かつダムイヤフラム (補剛材) 1個の断面二次モーメント I (cm⁴) が式を満足する場合

$$\begin{aligned} \gamma_r &= 4 \cdot a^2 \cdot n \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^2 \cdot (1 + n \cdot \delta_\ell) - \frac{(a^2 + 1)^2}{n} \quad (t \geq t_0) \\ &= 4 \cdot a^2 \cdot n \cdot (1 + n \cdot \delta_\ell) - \frac{(a^2 + 1)^2}{n} \quad (t < t_0) \end{aligned}$$

$$I \geq \frac{b \cdot t^3}{11} \cdot \frac{1 + n \cdot \gamma_r}{4 a^3}$$

(2)、(1)に規定する以外の場合

$$\begin{aligned} \gamma_r &= \frac{1}{n} \left[\{2 \cdot n^2 \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^2 \cdot (1 + n \cdot \delta_\ell) - 1\}^2 - 1 \right] \quad (t \geq t_0) \\ &= \frac{1}{n} \left[\{2 \cdot n^2 \cdot (1 + n \cdot \delta_\ell) - 1\}^2 - 1 \right] \quad (t < t_0) \end{aligned}$$

ここに、

a : 水平桁とダイヤフラムの縦横寸法比、 $a = \frac{a}{b}$

a_0 : 限界縦横寸法、 $a_0 = \sqrt[4]{1 + n \cdot \gamma_r}$

a : ダムイヤフラム間隔 (cm)

δ_ℓ : 水平桁1個の断面面積比 $\delta_\ell = \frac{A}{b \cdot t}$

γ_r : 水平桁の必要な剛比、 $\gamma_r = \frac{I}{b \cdot t^3}$

t_0 : 表2.3.6に示す板厚 (cm)

表2.3.6 板厚 t_0 (cm)

鋼種	SS41 SM41 SMA41
t_0	$\frac{b}{28 \cdot f \cdot n}$

$f : 1$) にしめす応力勾配による係数

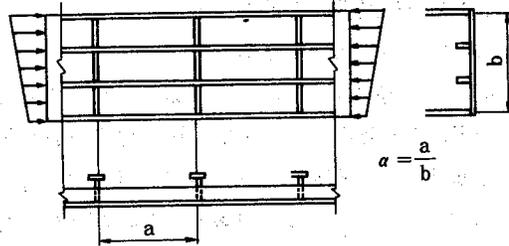


図2.3.6補剛板の縦横寸法比

3) 水平桁(補剛材)の断面二次モーメントは、次の規定により算出する。

- (1) 水平桁(補剛材)が補剛される板の片側に配置されている場合は、補剛される板の補剛材側の表面に関する断面二次モーメントとする。
- (2) 水平桁(補剛材)が補剛される板の両側に配置されている場合は、補剛される板の中立面に関する断面二次モーメントとする。

4節 基本寸法の設定

フラップゲートの扉高、起立角度、倒伏角度及び下部固定ヒンジの位置などの基本寸法は、水理条件、越流部形状を考慮して定めるものとする。

[解説]

1. 扉高の設定

扉高は図2.4.1において一般に越流頂からのゲートの有効鉛直高さ(H)によって示すものとする。従って扉体の実高は扉高とは異り起立角度や越流頂と固定ヒンジの標高差(h)によって決まる。フラップゲートの天端高さは洪水時にダムによって一時的に貯留することとした最高の水位であるサーチャージ水位を下まわってはならない。一般には、フラップゲートが越流式であるという特性を生かすためには余裕高さを設けず、ゲートの天端高さはサーチャージ水位に設定することが望ましい。なお、サーチャージ水位より常時満水位が高い場合は通常の波浪が越流しないよう常時満水位に波浪高を加えるものとする。

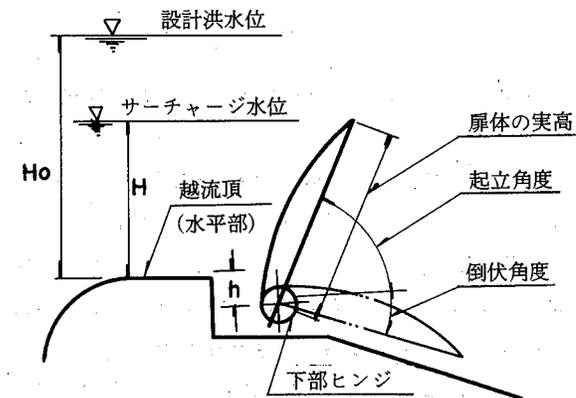


図2.4.1 フラップゲートの扉高と関連寸法等

2. 起立角度

起立角度は、扉体の回転中心となる下部固定ヒンジから下流へ水平面を仮想し、この水平面から扉体が全閉(起立)したときの角度をいう。フラップゲートは無動力で全開への倒伏作動が可能な利点を生かすため、油圧シリンダと扉体の取り合いを考慮し、起立角度は90°未満とする。

一般に河川用フラップゲートの起立角度は実績では図2.4.2示すように75°前後が多いが、ダムフラップゲートの場合、起立角度はつぎの理由で45~55°とすることが望ましい。

- 1) 油圧シリンダを越流水から保護しやすい。
- 2) 扉体背部に流下物が落下したとき落下点を出来るだけ下流側に移行させ、越流部に

堆積させないようにする。

- 3) ストロークを短かくし、油圧力を効率的に作用させる油圧シリンダ配置としやすい。
- 4) ピア切欠きから取りこむ扉体背面への給気を容易にする。

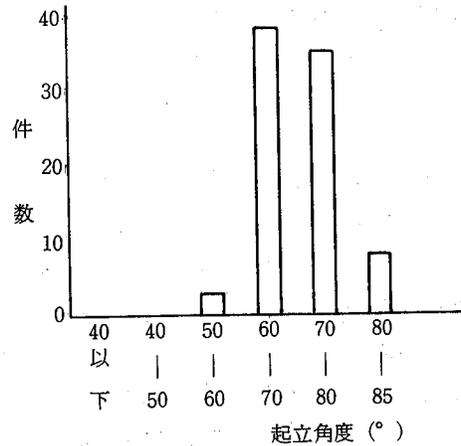


図2.4.2 起立角度別実績

3. 倒伏角度

ここで、倒伏角度とは、扉体が下部固定ヒンジを通る水平面から、下方へ全開したときの角度をいう。

河川用フラップゲートではこの角度は設置条件から0°とすることが多く、0°以外の角度はまれである。しかし、ダム用の場合には、越流部の形状を下流法面へのすり付けをよくし、かつゲート越流面（スキムプレート上面）に負圧を生じないで、流量係数を大きくするためにスキムプレート面を凸曲線で形成することが必要となり必然的に負の角度となる。たとえば寒河江ダムの場合は水理模型実験によってスキムプレート面形状は、 $y = 0.08x^2$ で計画されており、倒伏角度は約-15°である。

このように、倒伏角度は水理条件からも決める必要がある。

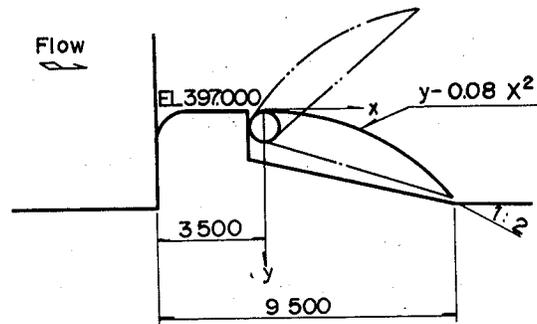


図2.4.3 寒河江ダムのスキムプレート形状（計画）

4. 下部固定ヒンジの設置高さ

全開時のスキムプレートの上流側上面は越流頂とのすり付けを、原則として水平にする必要から下部固定ヒンジの位置は、図2.4.4の例で示す(h)の寸法だけ越流頂より下になる。

この寸法(h)は、扉体規模により底部水密を確保する回転半径(r)の寸法から主に定められる。

(r)は一般には300~500mm程度の寸法が必要となる。

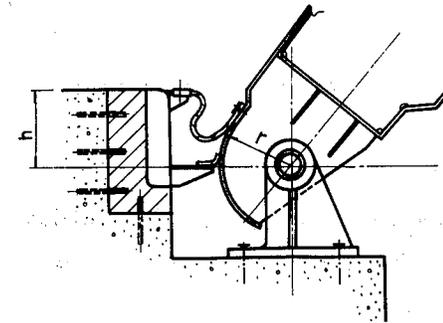


図2.4.4 下部固定ヒンジの設置例

5 節 振動防止対策

フラップゲートの扉体及び関連部分には、越流時の扉体の振動に対し振動防止対策を施すものとし、次の2点を考慮するものとする。

1. 扉体天端（先端）には、スポイラを設ける
2. 扉体先端の回転軌跡より下流側の導流壁に切り欠きを設け給気を十分に行なう。これが不可能な場合は扉体背面にピア等から給気管による給気装置を設ける。

[解説]

越流式ゲートでは、越流時に越流ナップ裏側に閉塞空間が生じると圧力変動によって扉体の振動が発生する。特に比較的薄い形状のフラップゲートは、この圧力変動による振動に対し防振対策が必要である。対策が十分でない場合にはヒンジの損傷やゲートの疲労につながるおそれがある。このようなことから越流ナップの裏側が閉塞空間にならないようにするための対策として本文に示す2つの方法などがある。

1. スポイラ

スポイラは、一般には40cm程度までの越流水深に有効に作用する。

その基本形状には、図2.5.1に示すような2つの形状がある。両形状について寒河江ダムの水理模型実験によれば、(a)の形状の方が越流ナップの裏側への給気を行うための水脈を割る効果が大きく防振対策の面では良い効果をもっている。

スポイラの間隔は、ダムの場合スポイラの効果のある範囲では背水位が比較的低いので、河川用の場合よりやや広い3~5m程度とする。

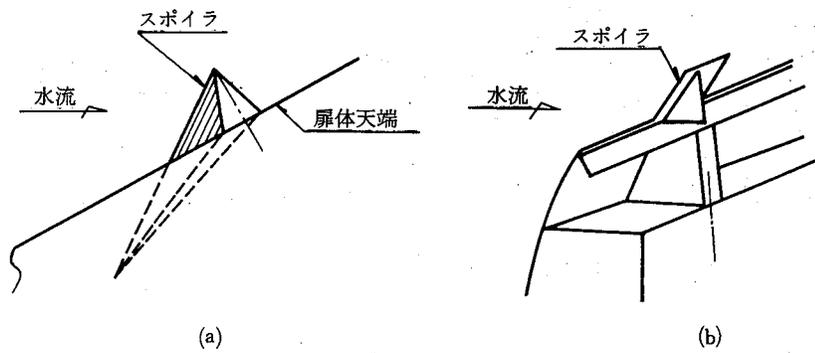


図2.5.1 スポイラの形状

2. 導流壁下流側の切り欠き

この方法は、土木研究所の水理実験により有効性が確認されているものであり、スポイラでは効果のない越流水深の大きい場合に特に有効である。図2.5.2にその例を示す。

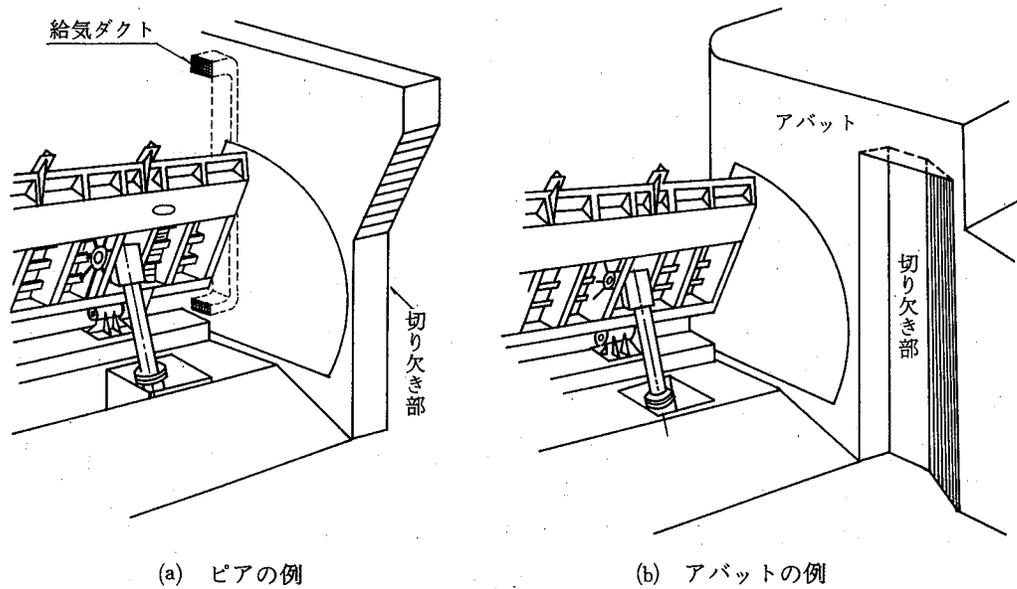


図2.5.2 導流壁切欠きの例

切り欠きの規模は、側部戸当り金物の補強やこのためのコンクリート施工に支障のない範囲で大きなものとするのが望ましい。

3. その他の給気対策として、図2.5.2(a)に示されている給気ダクトも考えられるが、越流水深が大きい場合には、下流面形状に勾配があっても背水で給気口が水没するので、この方法での十分な効果は期待できないことが多い。

一方、やや異なる現象として、越流水深が非常に小さい場合には、スポイラが設けてあっても図2.5.3に示すような越流後の落下水脈にカーテン状の波打ち水脈振動が発生することがあり、これによる空気振動の誘発で、周辺に低周波振動による問題を生じた例がある。この現象を防ぐ具体的対策として、扉体天端に鋸切り状の小さな凹凸を設ける方法が、実績では有効であると報告されている。

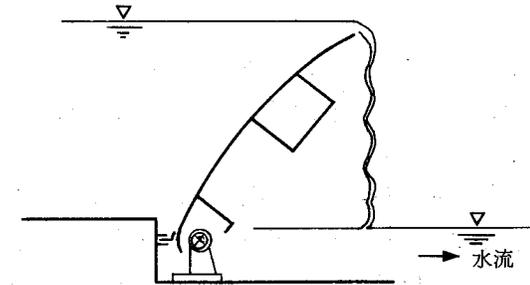


図2.5.3 水脈振動（越流水深3cm程度）の観測図

6節 扉体及び戸当り

1項 扉体構造

扉体の構造は、下部固定ヒンジと上部駆動ヒンジとで、あらゆる水理条件及び倒伏角度において安定してコンクリート基礎に水圧等の荷重を伝えられるものとする。

〔解説〕

標準的な扉体の設計に必要な基本事項は次のとおりである。

1. ガーダ形式の扉体鉛直面内の主桁の配置は、上部主桁と下部主桁の2本を合理的に配置するものとする。

扉体の通常の状態での静水圧等の力の伝達は、図2.6.1に示すものとする。基本的には上部及び下部の主桁で分担する外力を縦主桁を通じ各々のヒンジから開閉装置及び基礎コンクリートに伝える。地震時の場合の力の伝達は図2.6.1に準ずるが、ダム軸方向の地震が作用した場合には、扉体は十分剛なものとし、地震時の扉体の慣性力は下部スラスト軸受から直接基礎コンクリートへ伝達されるものとする。

従来のフラップゲートでは上部主桁を2点支持の単純梁とし、下部主桁は多点支持の連続梁としているが、この手引では下部主桁も2つの下部固定ヒンジを支持点とする単純梁とする。

- 1) 上部及び下部主桁の配置の手順は、まず下部主桁を、この桁に取付く下部ヒンジとそのブラケットの大きさ及び8項に示す底部水密ゴムの取付け寸法などを総合的に考慮して配置する(図2.6.3)。

次に上部主桁は、強度やメンテナンスに必要な桁断面寸法で、全閉時の越流水が小さい時でも落下する流水が桁の先端に直接当たらないように図2.6.4における(hw)の寸法を決める。このとき背面に取り付く油圧シリンダのヒンジ位置や起立角度なども勘案して配置を決める。

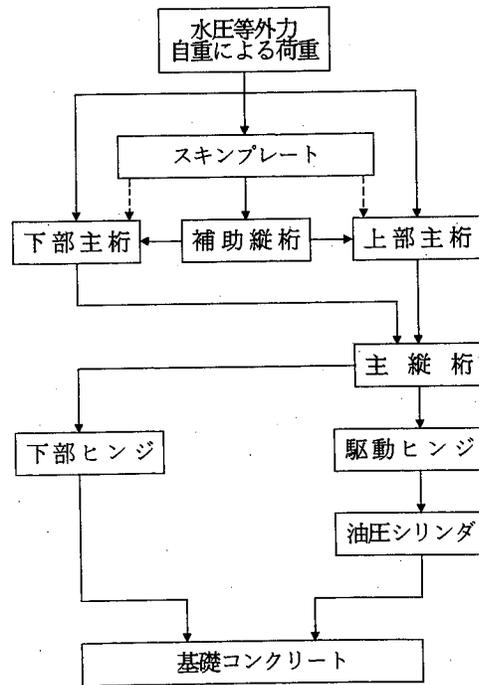


図2.6.1 荷重の伝達

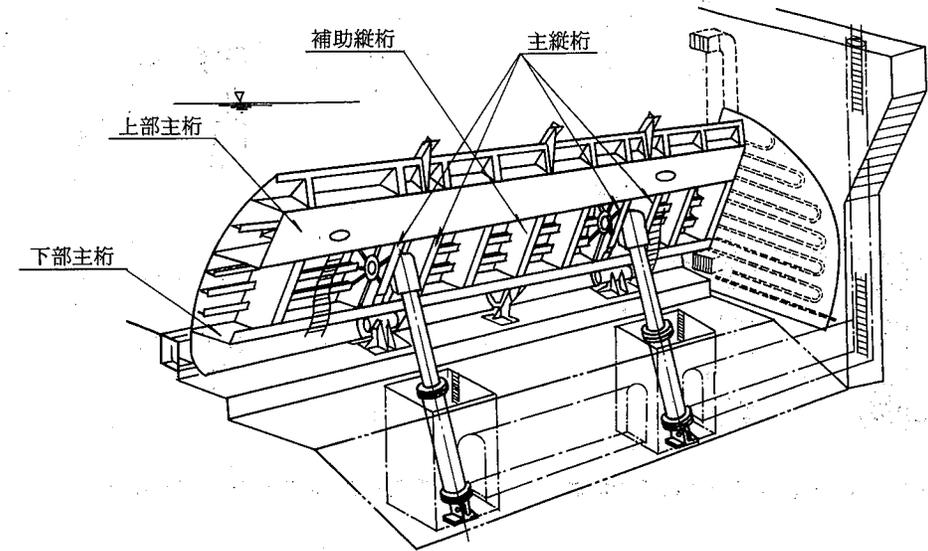


図2.6.2 扉体背面見取図

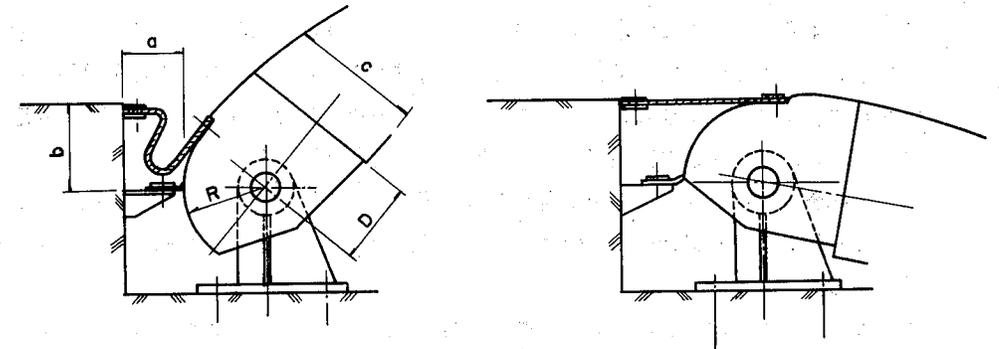


図2.6.3 下部固定ヒンジ・水密ゴムの関係

2. 油圧シリンダ(駆動ヒンジ)の平面配置は、原則として扉体の曲げモーメントが油圧シリンダに伝わらない位置に配置する。

油圧シリンダのヒンジは、平面内では固定要素の強いヒンジのため、ヒンジ部で図2.6.6(a)のように扉体の変形すると油圧シリンダに曲げモーメントが発生する。原則としては図2.6.6(b)のように曲げモーメントが生じないようにシリンダを配置することが望ましい。

等分布荷重を受ける単純梁の場合には図2.6.6において、 $l_2 = 0.55 \cdot l$ 又は $l_2 = \sqrt{6} \cdot l_1$ のとき支持部には曲げモーメントは生じない。

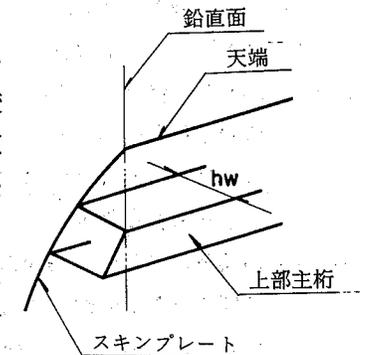


図2.6.4 上部主桁の配置

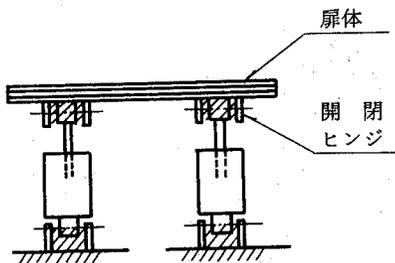


図2.6.5 油圧シリンダの平面配置

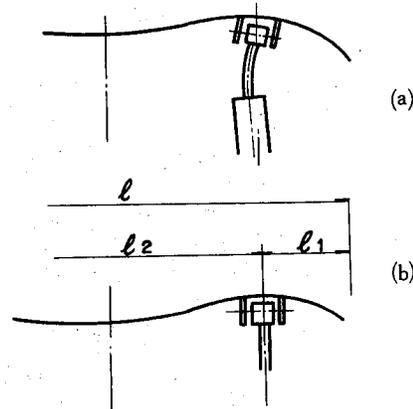


図2.6.6 油圧シリンダの拘束

次に、駆動ヒンジの鉛直面内の配置は、①上部主桁との取り合いに支障のない範囲で上方かつ、スキムプレートに接近させて配置する。②駆動ヒンジは、水圧荷重中心線より下方に配置すると下部固定ヒンジが上向きの反力を受け、基礎コンクリートへの取り付け上好ましくないので、駆動ヒンジは水圧荷重中心より上方におくことを原則とする。③さらに、シリンダ下部ヒンジは、作用する水圧荷重とその方向に対し効率よく対応させるために、流水などが直接当たらない範囲で、下流へ配置する。

この配置の原則に従っても土木構造上の影響などから下部固定ヒンジに上流向の反力が生じる配置となる場合は、この反力に対して十分安全なようアンカ構造を決定する必要がある。

3. 下部固定ヒンジは、駆動ヒンジの取付く桁（主縦桁）の下方に設け扉体が静定構造物となるよう配置する。
4. 径間中央にはゲートに作用するダム軸方向の地震時慣性力などの横荷重を確実に基礎コンクリートに伝達するスラスト軸受を設け、扉体の移動の生じないよう考慮する。スラスト軸受の例を図2.6.7に示す。
5. 上記スラスト軸受の反力に対する扉体の剛性の考え方には図2.6.8に示す3方式など

がある。例として図2.6.8のa)に示す扉体の中央桁を含む全体骨格がラーメン構造として作用する考え方の場合には図2.6.8において下部主桁の径間中央に図2.6.7のような横荷重対策のスラスト軸受を設けることにより、横荷重は図2.6.9の斜線で示す上部及び下部主桁と縦桁で囲まれた1区画の面内でスキムプレートの有効幅を考慮した矩形のラーメン構造で、扉体の安定を保持するものとする。

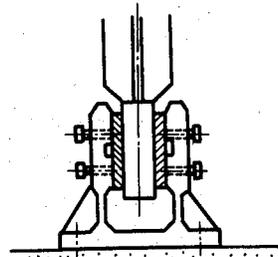
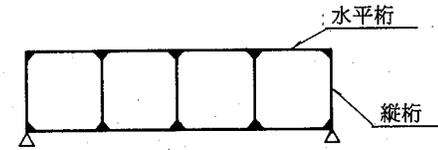
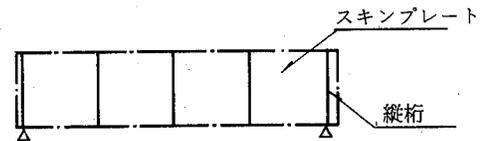


図2.6.7 スラスト軸受

- a) ラーメン（格子桁）構造として、横荷重に対応する。



- b) スキムプレートを補剛板として、横荷重に対応する。



- c) トラス構造として横荷重に対応する。

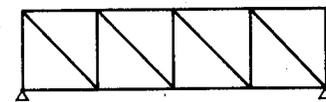


図2.6.8 扉体の横方向の剛性

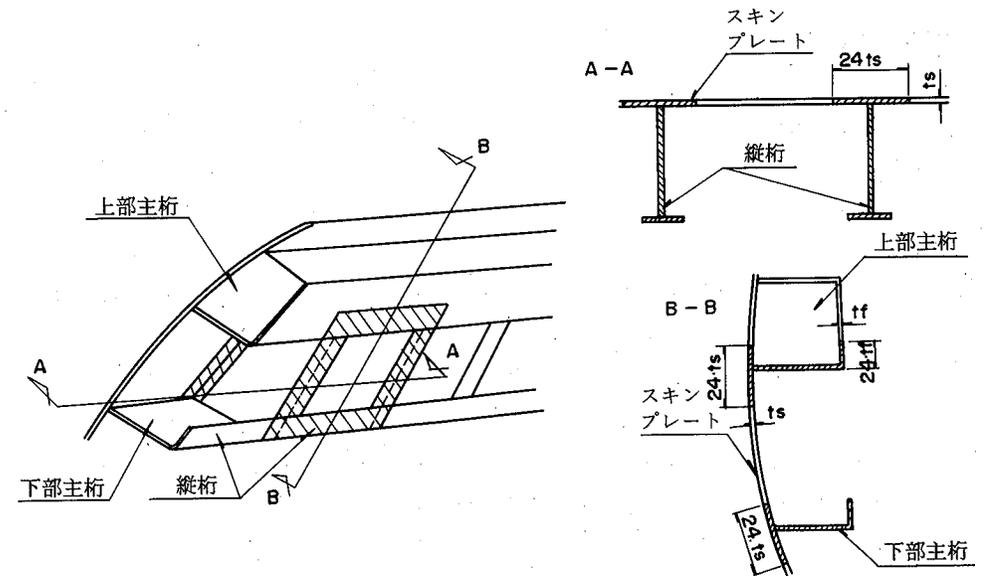


図2.6.9 横荷重に対する構造計算例

6. ボックスガード閉断面は、据付時の接合やメンテナンスのため、原則として作業員が入り得る大きさとする。

ボックスや魚腹形状の閉断面を有するフラップゲートは、ねじり剛性や軽量化の面で優れているが、製作・据付・保守及び管理面ではプレートガードのような閉断面の梁に比べて劣る。このため、閉断面とした場合は断面寸法を作業員の出入りできる大きさとし、マンホールなどを設け点検や作業が可能な構造とする。

小断面ではメンテナンスが難しいので、防錆上から密閉構造とする方法もあるが、背水による浮力が作用する問題がある。密閉構造としない場合は腐食に対して十分な余裕代やステンレスを採用するなどの対応が必要になる。このような内部に作業員が入り得ないような規模のフラップゲートは、主桁としてプレートガードを用いることも考えられる。この場合、水圧荷重による扉体のねじりモーメントに対応する構造検討が必要である。

7. 扉体の構造計算において、支持点は原則としてピン構造で取扱ってもよいものとする。

ただし、背面突上げ式の油圧シリンダと扉体の駆動ヒンジはピンと軸受メタルで構成する場合、平面内では固定支店の要素が強いため、油圧シリンダは、実状に応じて曲げ応力が作用しても耐えるよう配置するものとする。

2項 主桁の設計

主桁は、水深や倒伏角度の変化に伴って変る水圧荷重や自重等の荷重条件に対して、応力・たわみ・形状などが当該各項の基準を満足するよう設計するものとする。

[解説]

1. 主桁の強度計算を行うに当たり、その構造系の基本的な考え方は、前項に示したが、ここでは主桁を2本とするガード形式について計算の考え方を示す。

構造系としては、主桁は主縦桁を支点とする単純梁とする。

この場合、主桁の分担荷重は図2.6.10において水圧及び自重等の全荷重Pをその作用中心に置き換え、作用中心と上部・下部主桁の重心位置から反力(R1, R2)を求め、この反力をそれぞれ上部主桁と下部主桁で分担するものとする。

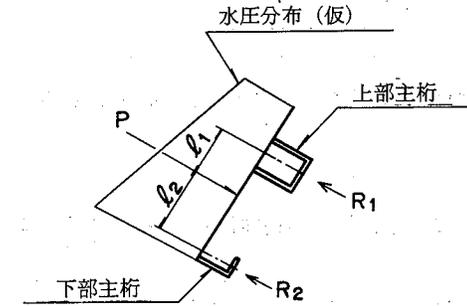


図2.6.10 荷重の分担

2. 主桁の断面性能

1) この手引において主桁は、有効断面性能を決定する場合に、スキンプレートをフランジの部材として協働させる部材構成の考え方を採用する。この理由は、上部主桁をボックスガードとする場合には、スキンプレートを桁のフランジと協働させるのが自然で、かつ、スキンプレートを比較的厚いものにして振動対策に有利に対応させるためである。

なおスキンプレートを桁のフランジとして協働させる場合の設計手法は2章3節5項(部材)の規定を満足するものとする。

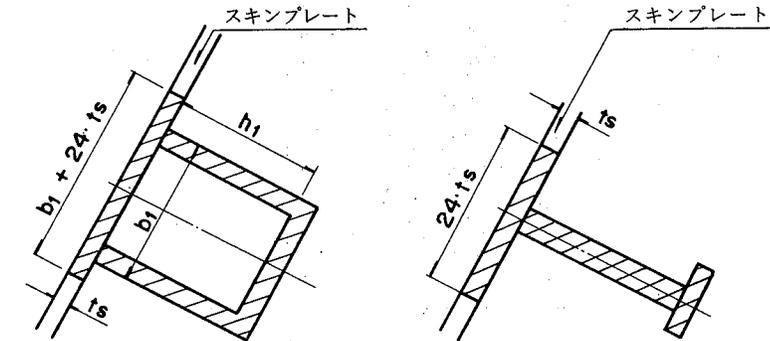


図2.6.11 スキンプレートと桁

2) 桁が受ける直せん断力に対して桁のせん断応力は、腹板のみにせん断応力が生じるものとする。

3項 縦桁の設計

縦桁の設計において、荷重および構造はつぎのように考えるものとする。

1. 主縦桁

〈荷重〉

主縦桁に作用する荷重は上部・下部主桁からの集中荷重とする。

〈構造〉

主縦桁は、下部固定ヒンジと駆動ヒンジで支持された張り出し部を持つ単純梁とする。

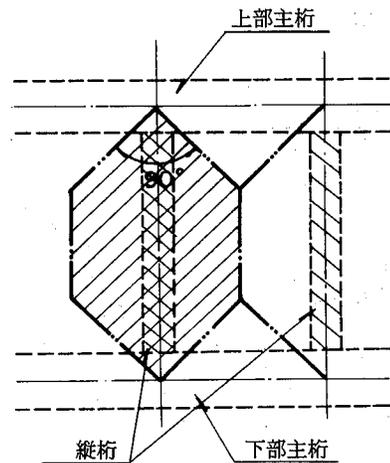
2. 補助縦桁

〈荷重〉

補助横桁の有無に関係なく、下図のように上部・下部主桁間隔で、当該縦桁間隔の亀甲又は菱形の面に作用する水圧荷重とする。

〈構造〉

上部・下部主桁間隔を支点とする単純梁とする。



縦桁の桁高さは、上部・下部主桁高さに合せ、かつボックスガダのダイアフラムと一体の構造とする。

[解説]

本文は、主縦桁と補助縦桁の構造計算の考え方を示したものである。

1. 主縦桁の最大曲げモーメントは、図2.6.12において一般に次式により求める。

$$M_{\max} = P_1 \cdot l_1$$

ここに、

M_{\max} : 最大曲げモーメント

P_1 : 上部主桁分担荷重
(水圧荷重、自重など)

l_1 : 駆動ヒンジ中心から
上部主桁心中までの距離

P_2 : 下部主桁分担荷重

R_s : 油圧シリンダ反力

R_h (R_h') : 下部固定ヒンジ反力

なお、主縦桁の分担する区間の水圧荷重など考慮した場合の厳密な曲げモーメントは、図2.6.12(c)のようになると考えられるが、縦桁の曲げ応力としてはほぼ図2.6.12(b)と差がないと判断する。

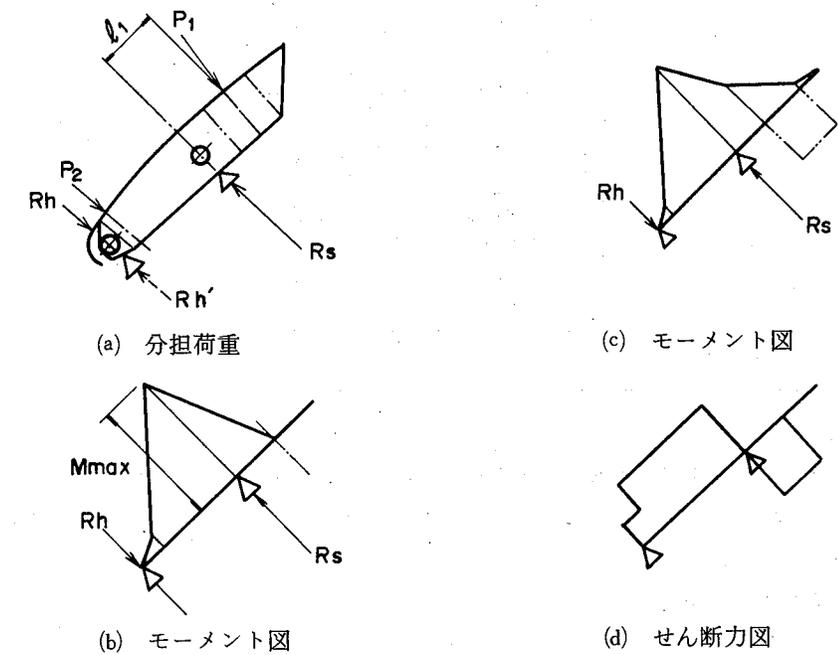


図2.6.12 縦主桁の計算

2. 補助縦桁の構造計算は、次項の補助横桁に準じるものとする。
3. 補助縦桁は上部・下部主桁の補剛材を兼ねた連結材とする必要からその桁高さは上部・下部主桁の桁高さに合わせるものとする。

4項 補助横桁の設計

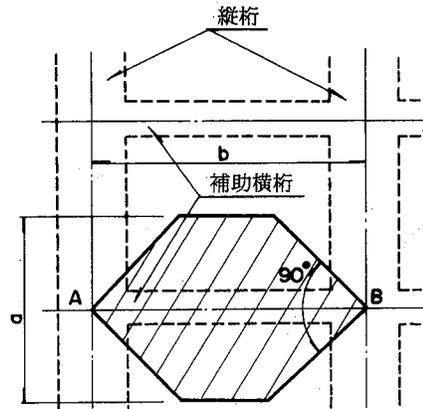
補助横桁の設計において荷重および構造はつぎのように考えるものとする。

〈荷重〉

下図において補助横桁A-Bは、これに直交する2本の桁と平行する桁から、下図の斜線で示される亀甲又は菱形の面に作用する水圧によって生じる不等分布荷重を受けるものとする。

〈構造〉

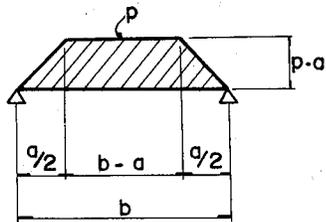
縦桁間隔(b)をスパンとする、単純梁とする。



[解説]

本文は、補助横桁計算の考え方を示したものである。図において、桁A-B上の水圧を $p \cdot a$ (kgf/cm) とすれば、桁A-Bの曲げモーメントは中央で最大で、次式によって求められる。

1. 台形荷重の場合 ($a < b$)



全荷重 P (tf)

$$P = p \cdot a (b - a / 2)$$

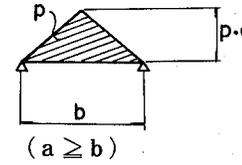
最大せん断力 S (tf)

$$S = \frac{1}{2} P$$

最大曲げモーメント M (tf-m)

$$M = \frac{p \cdot a}{24} (3b^2 - a^2)$$

2. 三角荷重の場合



全荷重 P (tf)

$$P = \frac{1}{2} \cdot p \cdot a \cdot b$$

最大せん断力 S (tf)

$$S = \frac{1}{2} P$$

最大曲げモーメント M (tf-m)

$$M = \frac{1}{6} \cdot p \cdot b$$

5項 スキンプレーツの設計

スキンプレーツの設計において荷重および構造はつぎのように考えるものとする。

〈荷重〉

- ・水圧は等分布とする。
- ・水圧の値は、固定する区画の長辺と短辺の比を考慮して適切な値を採る。

〈構造〉

- ・四周边固定板とする。

[解説]

本文はスキンプレーツの設計の考え方を示したものである。

1. 水圧によって平板に生ずる曲げ応力度は、次式によって計算する。

$$\sigma = \frac{1}{100} \cdot k \cdot a^2 \cdot \frac{p}{t^2}$$

ここに

σ : 応力度 (kgf/cm²)

k : 表2.6.1による値

a : 区画の短辺 (cm)

b : 区画の長辺 (cm)

p : 水圧 (kgf/cm²)

t : 板厚 (cm)

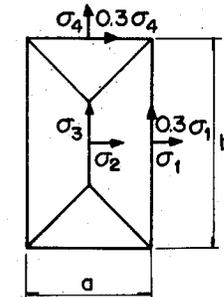


図2.6.13 スキンプレーツの応力度

表2.6.1 kの値

b/a	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
1.00	30.9	13.7	13.7	30.9
1.25	40.3	18.8	13.5	33.9
1.50	45.5	22.1	12.2	34.3
1.75	48.4	23.9	10.8	34.3
2.00	49.9	24.7	9.5	34.3
2.50	50.0	25.0	8.0	34.3
3.00	50.0	25.0	7.5	34.3
∞	50.0	25.0	7.5	34.3

2. なお、区画の短辺及び長辺の固定端は、スキンプレートを桁と協働させる場合は桁ウェブプレートを中心線上とし、フランジ付の桁にスキンプレートを溶接する構造の場合で、かつスキンプレートより桁のフランジが厚い場合にはフランジ端の溶接線上とする。
- また、水圧(p)は、上記区画の短辺(a)に対し長辺(b)が2倍以下の場合には区画の平均水圧をとり、水深方向に長辺(b)が2倍以上の場合には区画の最大水圧をとるものとする。

スキンプレートを桁と協働させる場合には、フランジプレートの有効幅は、5節2項解説2)で示したように圧縮応力が作用する場合にはスキンプレートの厚の24倍、引張応力のみが作用する場合には同30倍とする。

又この場合、次式により応力度の検算を行わなければならない。

1) 同方向応力度

$$\sigma_{bs} = \sigma_s + \sigma_b \leq \sigma_a$$

ここに、

σ_{bs} : 同方向の合成応力度 (kgf/cm²)

σ_s : スキンプレートの桁と同方向の応力度 (kgf/cm²)

σ_b : 桁の引張り(又は圧縮)縁の応力度 (kgf/cm²)

σ_a : 許容応力度 (kgf/cm²)

2) 直行する応力の合成応力度(2章2節3項の規定)

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_{bs}^2 - \sigma_s \cdot \sigma_{bs} + 3 \cdot \tau^2} \leq 1.5 \cdot \sigma_a \text{ 又は } 0.72 \cdot \sigma_y$$

ここに

σ_g : 合成応力度 (kgf/cm²)

σ_{bs} : 桁の引張り(又は圧縮)縁の応力度と、スキンプレートに生じる桁と同方向の応力度の合計。引張を正とする (kgf/cm²)

σ_s : スキンプレートに生じる桁と直角に交わる方向の応力度。引張を正とする (kgf/cm²)

τ : スキンプレートに作用するせん断応力度 (kgf/cm²)

σ_a : 許容応力度 (kgf/cm²)

σ_y : 降伏点強度 (kgf/cm²)

6項 下部固定ヒンジの設計

下部固定ヒンジの設計において荷重および構造はつぎのように考えるものとする。

〈荷重〉

水圧、扉体の自重及び開閉により生じる力を集中荷重とし、必要により特殊荷重を考慮する。

〈構成〉

下部固定ヒンジは、原則としてヒンジ及びスラスト軸受のそれぞれ独立した要素で構成する。

〈構造〉

下部固定ヒンジのブラケットはコンクリート基礎面に取り付く片持梁とし、形状はあらゆる方向の荷重に対し、確実に反力を支持面に伝達する形状とする。ピンは主縦桁又は下部固定ヒンジを支点とし軸受メタルから等分布荷重を受ける単純梁とする。スラスト軸受は、径間中央に設け径間方向に作用するスラスト荷重を確実に基礎に伝達する構造とする。

なおそれぞれの軸受メタルは給油できる構造とする。

【解説】

本文は下部固定ヒンジの考え方を示したものである。

ヒンジに作用する荷重の方向は、扉体の起伏角度によって、下向、水平、あるいは上向に変わる。また地震のゆれ方向が扉体に対し横や斜の場合や温度変化などで軸方向水平力が作用する。このようなことから本手引では、通常のヒンジのほかに地震による軸方向水平力に対しては、扉体の中央に独立するスラスト軸受を設け反力を基礎コンクリートに伝える構造とする。

中央のスラスト軸受には温度変化による扉体の伸縮に伴う横方向力は作用しないが、他のブラケットには作用するので、スラスト軸受け以外のブラケットは図2.6.14において、上部ブラケット軸受の間は、温度変化による扉体の伸縮に見合うに十分な隙間をもたせる配慮が必要である。

下部固定ヒンジの構造は、これら予想される荷重のもっとも不利な条件で十分耐えられるものとする。

なお、ピンの構造計算は、次項に示す駆動ヒンジピンに準じるものとする。

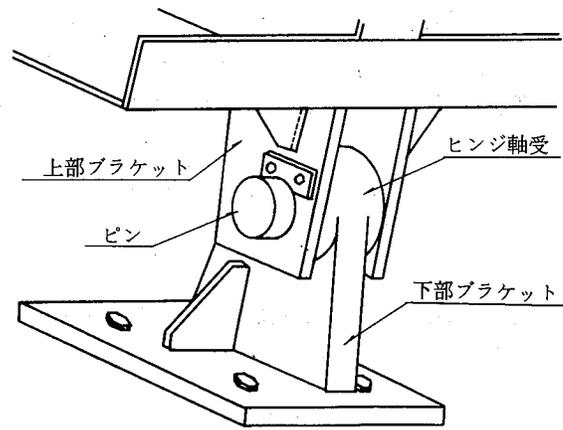


図2.6.14 上部・下部ブラケット及びピンの構造例

ヒンジのピンと軸受メタルの間は扉体の回転及び荷重の伝達に支障のないよう適当なかん合とし、ピンは軸受メタルを設けない方のブラケット（図2.6.14では縦桁）にキーププレートで固定する。なおピンは軸受メタルの補修が必要になった時に、扉体を取外すことなく軸受メタルが抜き出せるように径を3段に変えるなど一方への抜き出しのできる形状とするのが望ましい。

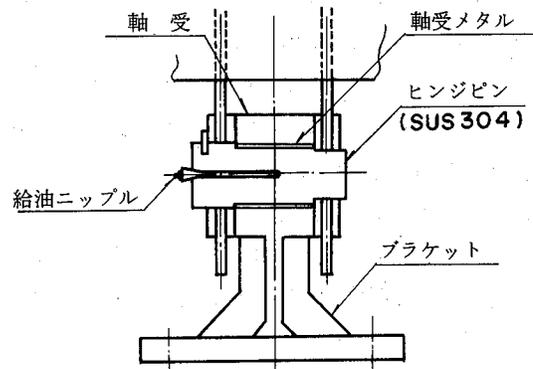


図2.6.15 軸受メタルの抜き出しを考慮してピンの径を3段に変えた軸受の例

なお、下部ブラケットを堤体基礎コンクリートに取り付けるアンカーボルトとは、せん断力のほかに開度によっては引張力が作用する場合がありますので、そのような場合には引張(引抜き)力に対する対策が必要である。この例として図 2.6.16のように、基礎コンクリート側にベースプレートを経基礎金物と1体に固定しておき、ブラケットをアンカーボルトで締付け後、ベースプレートにストッパで固定するなどの方法が考えられる。

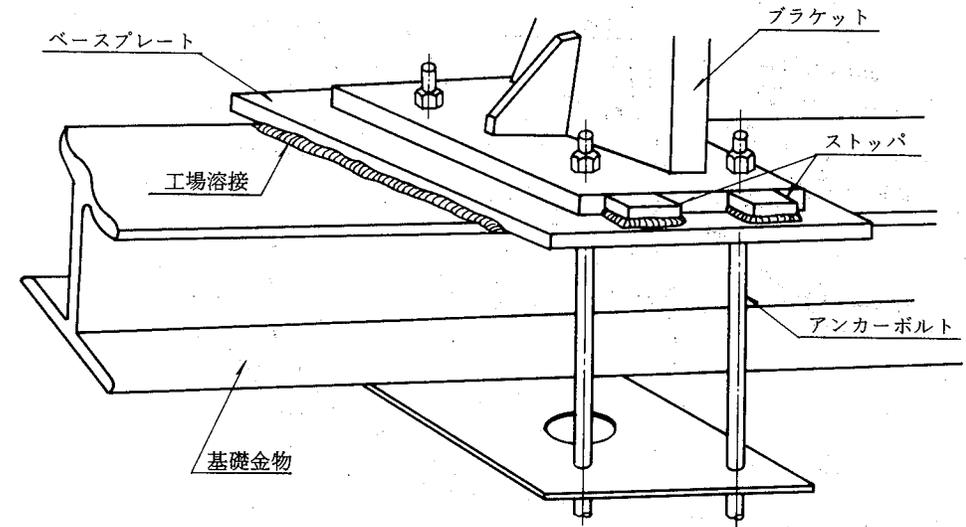


図2.6.16 下部ヒンジ固定の例 (参考)

7項 上部駆動ヒンジの設計

上部駆動ヒンジの設計において荷重および構造はつぎのように考えるものとする。

〈荷重〉

水圧、扉体の自重及び開閉によって生じる力を集中荷重とし、必要により特殊荷重を考慮する。

〈構造〉

上部駆動ヒンジは、扉体の主縦桁腹板に設ける。構造は作用する集中荷重に対して主縦桁が局部座屈しないよう補剛材を取付け荷重を分散する構造とする。

ピンは原則として縦主桁の2点で支持し、シリンダロッドの軸受メタルから等分布荷重を受ける単純梁とする。軸受メタルは給油できる構造とする。

[解説]

本文は上部駆動ヒンジの考え方を示したものである。

この手引きに示す背面突上げ式の上部駆動ヒンジの構造例は図2.6.17に示すとおりである。

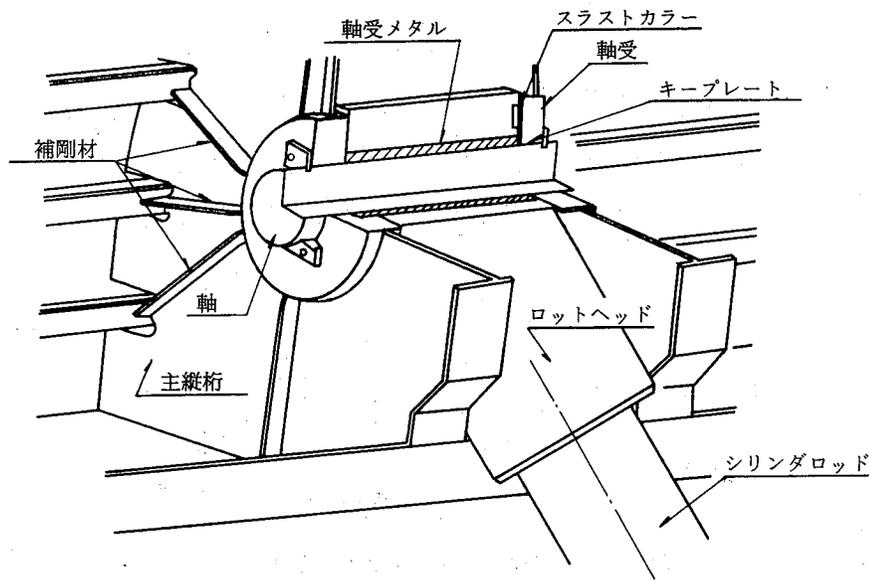


図2.6.17 駆動ヒンジピン

荷重は、下部ヒンジと同様に水位条件や開閉条件で、もっとも厳しい荷重を考慮する必要がある。これと対応してヒンジは主桁の腹板に設け、腹板は作用する支圧力、せん断力及び横荷重に対し応力集中や座屈しないよう、軸受から放射状の補剛材（リブ）を設けるものとする。

ピンは、ヒンジとしての適切な面圧を保持し、強度は曲げ応力、せん断応力及び回転摺動摩擦力によるねじりせん断応力を考慮するものとする。なお、ピンは一般に回転しない主縦桁側の軸受板にキープレート等で固定する。

ピンの曲げモーメント (M_p) は、次式により計算する。

$$M_p = \frac{P}{8} (2 \cdot l - b) \text{ (kgf} \cdot \text{cm)}$$

軸受メタルの面圧 (p_b) は

$$p_b = \frac{P}{b \cdot d} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

ここに、 P : ピンに作用する荷重 (kg)

b : 軸受メタルの巾 (cm)

d : ピンの直径 (cm)

l : ピンを支持するブラケット（一般に2本で構成する主縦桁の腹板）の間隔 (cm)

なお、ヒンジの方式としては、この手引で採用するピンヒンジの他に図2.5.18に示すようなころがり接触 ((a)インポリュートカーブとローラ、(b)ローラとシリンダロッド上面でころがり接触) による方法などがある。

ピンヒンジとこれ等方式の基本的な違いは、ピンヒンジは油圧シリンダを揺動形としているのに対し、ころがり接触の場合は固定シリンダとしている点である。

ころがり接触の方式は、河川用のフラップゲートにおいて、土石の流下による堆積の影響で油圧シリンダを揺動式にすることが設置上無理なため用いられているものと考えられる。一方ピンヒンジの方は据付精度の影響が少なく、シリンダロッドが偏心荷重を受けにくいこと、地震時の動水圧や振動などに対する扉体の安定性などの点で優れている。さらに、ダムでは土砂の影響が少なく、ピット内の排水が容易であること等を考慮するとダム用フラップゲートのヒンジの構造はピンヒンジ方式を採用するのが望ましいと考えられる。

表2.6.2 河川用フラップゲートのヒンジ方式の実績

形式	(a)	(b)	その他*	計
設備数	42	26	25	93

* その他は、両端駆動方式

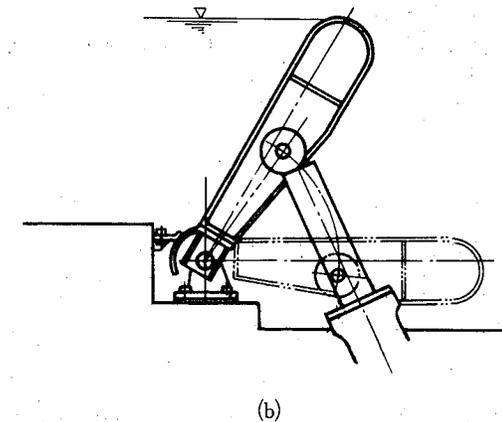
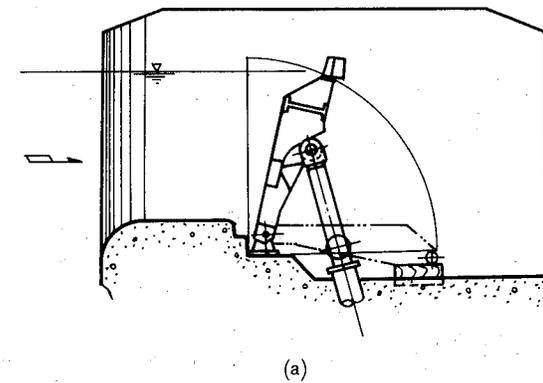


図2.6.18 ころがり接触駆動方式の例

8項 水密部の設計

水密部の設計は、次の各項目を配慮して行うものとする。

1. 底部水密方式は、水密性はもとより、ゲート起伏に伴う異物のかみ込み、越流時の流水の流況に与える影響及び水圧などを考慮した形状、方式とする。
2. 側部水密方式は、水密性がよく、自然条件などによる劣化、ドライ状態での開閉動作による水密ゴムのまくれ込み、温度変化による扉体の伸縮に対する余裕代とその追従性及び流木などの衝突による損傷などを考慮した材料・形状・形式とする。
3. 隅角部は漏水を起し易いので、底部及び側部水密方式形状を考慮し最良な形状とするものとする。
4. 水密ゴムの摺動面は冬期に凍結が予想される場合には、凍結防止装置を設けるものとする。

[解説]

1. 底部水密方式には、大きく分けるとゴム摺動式とゴム連結式がある。両者の一般的特徴は、表2.6.3のとおりである。

表2.6.3 底部水密方式の比較

	摺動式	連結式
利点	<ul style="list-style-type: none"> ・堆積物のかみ込みが少ない。 ・ゴムの加工と取替えは容易。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水密性がよい。 ・水密部に特別な製作精度を要しない。
欠点	<ul style="list-style-type: none"> ・水密性にやや不安がある。 ・摺動式は水密に必要な精度で製作しなければならない。 ・摺動面の材料はステンレスとする必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・堆積物をかみ込むことが考えられる。 ・隅角部の側部水密ゴムと底部水密ゴムの水密性の対応が難しい。

いずれの形式を採用するかは、メンテナンスを含めた現場条件による判断が必要であるが、実績調査によれば、ゴム摺動式が望ましい傾向にある。

なお、2重（2段）ゴムにする方式、扉体側にゴムを固定し基礎コンクリート側に円弧を設ける摺動方式、など改善の方法が考えられる。いずれの場合でもメンテナンスの容易なことが重要である。

特にダムの場合は河川のゲートに比ベドライ状態での温度変化など自然条件が厳しく、水密ゴムの劣化が考えられるのでメンテナンス及び取替の容易な構造としなければならない。

なお、摺動式のゴム形状はP形ゴム、L形ゴムなどがあるが、その性状が、扉体（摺動面）のたわみや伸縮に十分追従することが重要である。

また、摺動式では扉体の回転面を摺動面に利用するため図2.6.19に示す(h)だけ越流頂から下段に水密ゴムが取り付けようになるので、全開時流水の整流を考慮する必要がある。

整流の対策として図2.6.19(a)のような整流板を取り付ける方式があるが、この方式では整流板と扉体の間に泥土の堆積が考えられるので、同図(b)のように連結式ゴムを摺動ゴムの上段に2重に取り付け、全開時に連結ゴムをできる限りフラットな形状にし防塵と整流を兼ねた構造のものが有利と考えられる。

2. 側部水密は、ゴム摺動方式となる。この水密の難しい点は扇状の摺動の形態や浅い水深での水密を確保するため、ゴムを圧着ぎみに設置する場合、温度変化による扉体の伸縮により開閉時にゴムのまくれ込みを起こしやすい。実際もこの点が管理上の支障となっている例がある。

ダムの場合は、特にドライ又はドライに近い条件での運転が要求されるので、設計時から十分配慮しておく必要がある。

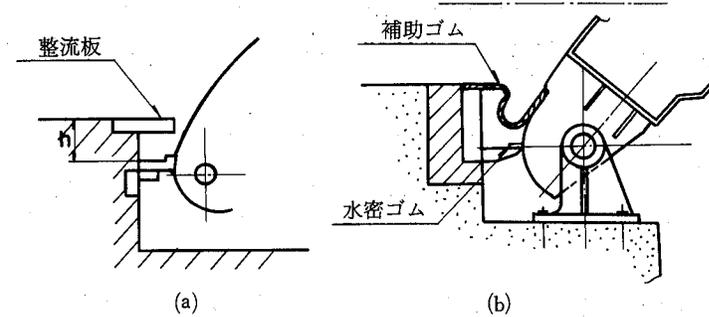


図2.6.19 底部水密度の例

対策として、つぎのものがあげられる。

- 1) ゴムの形状・材質の改良
- 2) 戸当り面の材質の改良
- 3) 運転前に戸当り面への散水

ゴムの形状は一般的にP形ゴム、あるいはL形ゴムがあり、P型はまくれ込みに強いと考えられるが、経間が15m程度以上になると温度変化による扉体の伸縮が10mm程度になることがあり、ゴムの伸縮がこれに追従できないこともあるので、形状には、十分な検討が必要である。また、ゴムのまくれ込みを防ぐものとして、ゴムの摺動面を4弗化エチレン樹脂加工する方法もあるが、ゴムが硬化して密着性が悪くなるのでフラップゲートのように作用水圧が低い場合には、漏水が考えられ採用には慎重を要する。

戸当り面の材料は、表面の腐食を考慮してステンレスとする。ただし、まくれ込み防止対策としては十分なものとはいえないのでこの点は別途の配慮を要する。

ゴムのまくれ込み対策は、戸当り摺動面に散水する方法が確実で、一つの方法と

して、ピア側面に散水ノズルを取付けておき、その動作を運転系統に組み込んでおく方法などが考えられる。

次に、側部戸当りゴムには流木が当たる恐れがあるので、ゴム前面に保護板を設けるなどの考慮をする。さらに、水密ゴムや保護板の取付けボルトは、サラボルトのように、スキンプレート面から突出しないことが望ましい。

- 隅角部はゴムの接続及び密着が難しいので、この点漏水に対して設計施工時に十分な配慮が必要である。
- 水密ゴムの摺動面は、冬期に凍結が予想される場合には、ゴムの破損、開閉の支障を考慮して戸当り金物の裏側（ピアコンクリート内部）及び扉体水密ゴム摺動面の裏側に電熱を利用するヒータを設ける方式、あるいは常に水位がある場合は気泡による方式などの凍結防止対策を講じるものとする。

9項 水抜き穴

扉体の背面及び桁の内部には、流水や雨水が溜ることのないように必要な大きさの水抜き穴を設ける。

【解説】

桁の上面などには流水などが溜ることによってゲートが腐食しないよう水抜き穴を設けるものとする。

この場合、水抜き穴は、桁の形状、応力の状態を考慮した配置、大きさとし、開閉によって扉体の起立角度が変わっても水抜きが可能なよう配慮するものとする。

10項 接合

扉体の接合（又は継手）は、原則として溶接とする。

【解説】

- この手引では、接合は現場継手も含め、原則として溶接で行なうものとする。この理由は、①現場継手箇所は、応力集中箇所を避けることができる②継手部材の板厚が12~16mm程度で溶接し易い範囲にあり、変形や残留応力の問題が少ない③スキンプレートの水密性がよい、など他の接合方法に比べ総合的に優れていると判断したものである。ただし、現場溶接は施工の難しさは避けられないので、事前に仮付けの方法や溶接の順序、姿勢、溶接材の選定及び気候条件などの施工計画を綿密に行い、設計に忠実な施工が肝要である。

なお、一部に高力ボルトの採用も考えられるが、フラップゲートに高力ボルトを使用

した場合、接水による腐食や越流水による振動の問題もあるので、高力ボルトは原則として用いないものとする。

さらに、河川用フラップゲートでは下部固定ヒンジの構造としては、扉体側を図2.6.20(b)に示すボルトで接合する場合もあるが、ダムの場合には設計の最大と最小の水位差が大きく荷重が一定でないので、接合面がずれる可能性が考えられ、この方式は採用しないものとする。ダムフラップゲートのブラケットの構造については2章6節3項で示したとおり、扉体側面の下部固定ヒンジは主縦桁の腹板に付く軸受によって支持されるものであって図2.6.20(a)で示されるものとする。

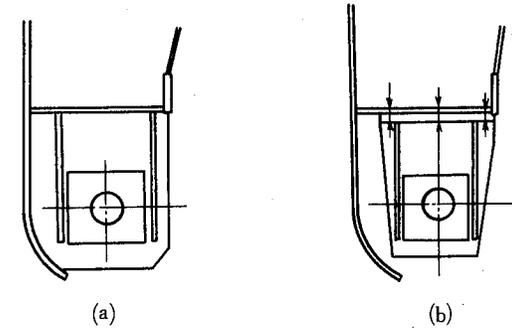


図2.6.20 下部ヒンジブラケットの接合例

なお、せん断力のみに対しては、リーマボルトの採用が考えられるが、据付時に位置の調整が難しいのでこれも原則として採用しないものとする。

- 溶接継手を用いるときの設計に係わる一般基本事項は、機械工事共通仕様書（案）（昭和57年4月建設大臣官房建設機械課）等に述べられているので、これによるものとする。そのうちからフラップゲートの場合に準用すべき主な事項は次のとおりである。
 - 溶接継手は、全断面溶込みグループ溶接、部分溶込みグループ溶接、または連続すみ肉溶接とする。
 - すみ肉溶接は等脚すみ肉溶接とし、そのサイズは5mm以上を原則とする。
 - すみ肉溶接の部材と母材料のすき間は、できるかぎり密着させるものとする。
 - 突合せ溶接は、原則として裏溶接を行うものとする。
 - 厚さの3mm以上の異なる2枚の鋼板の突合せ溶接は、厚い方の板を以下のよう配をつけて薄いほうの厚さまで削り、溶接する。
 - 継手の強度は、原則として接合部材断面の全強と同等とするものとする。

11項 戸当り金物

戸当り金物は、水密の目的を満足し、据付時のコンクリート打ち込みが容易な形状・寸法及び強度を有するものとする。なお、底部基礎金物は、原則として連続した基礎金物とし、基礎コンクリート打継目に対応できる継手を設ける。

[解説]

フラップゲートの戸当り金物は、水密性がよく扉体の据付が容易な形状とする。なお、設計上の外力は小さいが運搬や据付時及びコンクリートの施工による変形が生じやすいので、これに耐える強さや剛性を考慮し設計するものとする。

また、フラップゲートの径間内に、越流部コンクリート打継目位置がある場合は、その伸縮に対応できる構造が必要である。

堤体側に取付ける下部固定ヒンジは、堤体コンクリートに直接据付けすることもできるが、据付精度の保持及び荷重の分散を考慮して、径間方向に連続する基礎金物を敷設し、この上面に設置する。

7 節 開閉装置

1 項 開閉速度

ダムフラップゲートの開閉速度は、所要のゲート操作を行える速度でなければならない。

[解説]

ゲート開閉速度は、貯水池水位の異常な上昇及び下流河道水位の上昇などゲートの上下流に対する検討を十分行い決める必要がある。一般のゲートでは $0.3\sim 0.5\text{m}/\text{min}$ 程度で、特に $0.3\text{m}/\text{min}$ が最も多く採用されているが、フラップゲートはバーチカルリフトゲートと異なり開閉動作が円弧運動なこと及び越流形式なので $0.3\text{m}/\text{min}$ 以下とすることも考慮する必要がある。またフラップゲートは鉛直な方向に対して開閉速度を一定速度とすることが難しいので、開閉速度を示すのにフラップゲートの有効鉛直高さを必要な所要時間で除した値をもって、表示する例も多い。

2 項 開閉装置の一般事項

開閉装置の設計にあたっては次の事項に注意するものとする。

1. 油圧シリンダロッドは座屈荷重に関し適切な設計とする。
2. 設計圧力及び設計油量は、それぞれ油圧ポンプの定格吐出圧力、定格吐出量の80%及び90%以下とする。定格吐出圧力は原則として $140\text{kgf}/\text{cm}^2$ を最高とする。
3. 油圧配管は、流下物に対して保護され、基礎コンクリートの継目や配管自身の温度変化などによる伸縮に対応できるものとする。
4. 油圧システムは、複数の油圧シリンダが均等に作動するシステムとする。
5. 油圧シリンダは、部品交換が容易に行える構造及び付属設備などを考慮したものとする。
6. 油圧ポンプは、原則としてゲート1門に対し1台以上とする。
7. そのほか保守点検が容易な構造とする。

[解説]

開閉装置の機械構造部分の設計及び安全装置は、水門開閉装置技術基準・同解説による必要があるが、本文は同基準の運用のなかでフラップゲートに関する重要な事項を示すものである。

1. この手引に示す油圧シリンダは、長柱の分類のなかでは両端ピンと見なし得るので $\beta = 1$ とする。
2. 設計圧力及び設計油量の余裕値は、油圧機器の耐久性等から従来から採用されているものである。油圧力（油圧ポンプの定格吐出圧力）としては、J I S規格に適合するも

のとして、70, 140, 210kgf/cm²がある。単なる経済比較などでは210kgf/cm²を採用する方が得策なこともあるが、フラップゲートの設置環境などから判断すればメンテナンスの点で圧力の低い方が有利なので、140kgf/cm²を最高とする。

3. 油圧配管は、ルートや支持の方法によっては流木の衝突や温度変化などの伸縮で破損することが考えられるので、この点配慮が必要である。
4. 複数の油圧シリンダを同調させて使用する場合には、シリンダへの配管長を等しくすること、必要なバルブ機構を備えるなどによって、それぞれ同調させることが扉体に不測のねじりを生じさせないために重要である。
5. フラップゲートの保守を考えた場合、取扱いがもっとも難しいのは油圧シリンダと考えられる。このため、油圧シリンダはロッドを抜き出す場合などの要領を示しておくこと、また、そのための必要なフックやアンカなどを扉体やピアなどに設けて置くことも必要である。
6. 油圧ポンプは、フラップゲートが1門の場合は2台、隣接して2門以上の場合は各1台以上を備え、1台のポンプに支障が生じて他のポンプでゲートの開閉を行えるシステムとすることが必要と考えられる。
7. そのほか、保守管理を考慮して油圧オイルの定期的な検査のためのオイル抜き出し装置やそのための器具、あるいはオイル交換が容易に行えるような付属の配管などを必要により備えるものとする。

油圧オイルの定期的な検査については、この手引の範囲外と考えるが、一年に一回程度の期間で、オイルに許容以上の水分などが混入していないかなど劣化の程度について検査を行うことが操作上の安全、機器の寿命の点で重要である。

3項 開閉荷重

開閉荷重は、水圧荷重、扉体自重及び支承部と水密ゴムの摩擦抵抗などのもっとも厳しい条件の組合せを考慮するものとする。

[解説]

フラップゲートの開閉に考慮する荷重は、本文に示されているとおりである。ここでは、本文に従いかつ簡略化して、次式により計算してよいものとする。

$$F = \frac{1}{R} (P \cdot r_r + G \cdot r_g) \times 1.05 \times \frac{1}{n}$$

ここに、

- F : 油圧シリンダ1個当り開閉荷重 (tf)
- R : 回転中心から開閉中心までの距離 (m)
- P : 水圧荷重 (tf)
- r_r : 回転中心から水圧中心までの距離 (m)

G : 扉体可動部自重 (tf)

r_g : 回転中心から扉体重心までの距離 (m)

n : 油圧シリンダの数

水圧荷重 (P) は予想される最大値を採用し、(r_r)、(r_g)の距離は(P)及び(G)を与える各状態における扉体と開閉装置 (油圧シリンダ) の相対関係に対応した値を採用する。

なお、式中の値 (1.05) は、下部固定ヒンジと駆動ヒンジの支承部及び水密ゴムの開閉時摩擦抵抗が開閉力に与える荷重は、上式中 (P・r_r+G・r_g) の値に対し通常2%程度となるので、その他付加される力を考慮して、合計5%として示したものである。

4項 開度計

開度計は原則として電気式と機械式の2系列を設けるものとする。ただし、機械式の設置が困難な場合には電気式を2系列とする。

[解説]

フラップゲートは、越流時には、扉体の状態を目視により十分に確認することは難しい。このため開度計が故障した場合に開閉操作上支障となることが考えられるので、開度計は2系列備えるものとする。

なお、一般には2系列のうち一系列は機械式とするのが原則であるが、背面突上げ式のフラップゲートでは機械式の開度計の設置が難しいので、この場合2系列とも電気式としてもよいものとする。

5項 自動復帰装置

開閉装置に油圧シリンダ式を採用する場合は、リークによるゲートの自然倒伏を防止するため、自動復帰装置を備えるものとする。ロック装置は、原則として設けないものとする。

[解説]

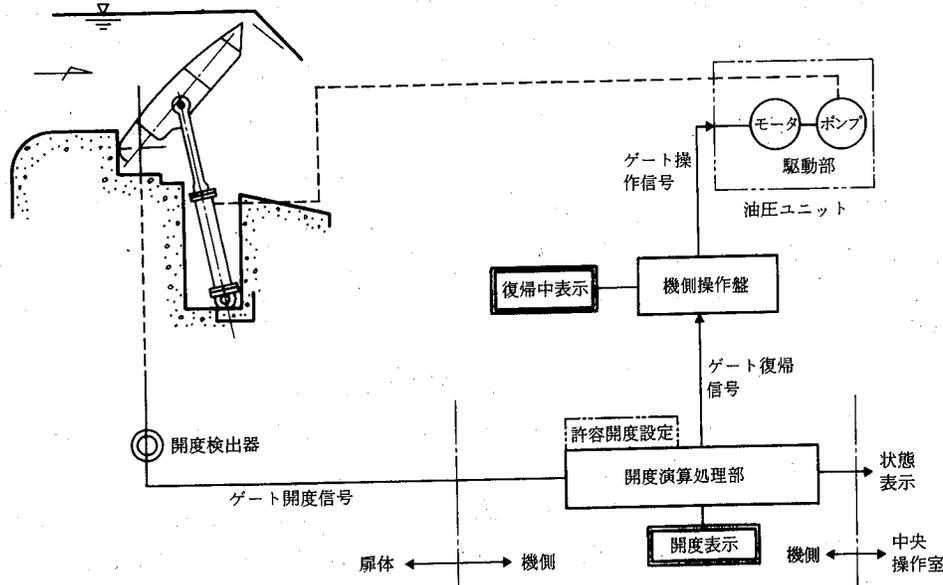
開閉装置に油圧シリンダを採用した場合は、回路や配管などの設計施工が適切であっても、シリンダやチェック弁の構造上からオイルの内部リークが避けられない。これに対する具体的な対策としては、設定された開度を保持するため、フラップゲートの操作機構に電気的な自動復帰装置を備えるものとする。この場合の開度保持の許容精度は、現状では1cmが限界であるが、ダムの貯水位や放流量などの管理上からこの値で支障ないと判断した。

自動復帰装置のセンサは、扉体あるいはシリンダロッドなどの動きを直接検知する方式のものとするのが望ましい。

なお、自動復帰装置によらず、機械的なロック方式が一般には有効と考えられるが、①万の場合に無動力でロックを解除できる方式は難しい ②操作が複雑となる ③仮に通常の範囲で電源が確保されない状況があったとしても通常の保守管理が行なわれているゲートの自然倒伏の量は危険な放流量となることはない。などから、実用面を考慮し、ロック装置は設けない方が望ましいものとする。

(参考)

1. 自動復帰装置の1例を、次に示す。



図参・7 自動復帰装置概念図

図参・7の場合のセンサは扉体下部ヒンジの回転運動を角度で検出し、開度をデジタル変換する方式の例である。

2. J I S B-8354-1978に規定されている油圧シリンダの内部リーク許容量は、次表のとおりである。

表参・3 油圧シリンダ内部油漏れ量の許容値
単位 ml/10min

内径mm	油漏れ量	内径mm	油漏れ量	内径mm	油漏れ量
32	0.2	100	2.0	200	7.8
40	0.3	125	2.8	220	10.0
50	0.5	140	3.0	250	11.0
63	0.8	160	5.0		
80	1.3	180	6.3		

3. リークによる自然倒伏の概算例

フラップゲートの油圧系統は、図参・8が考えられる。

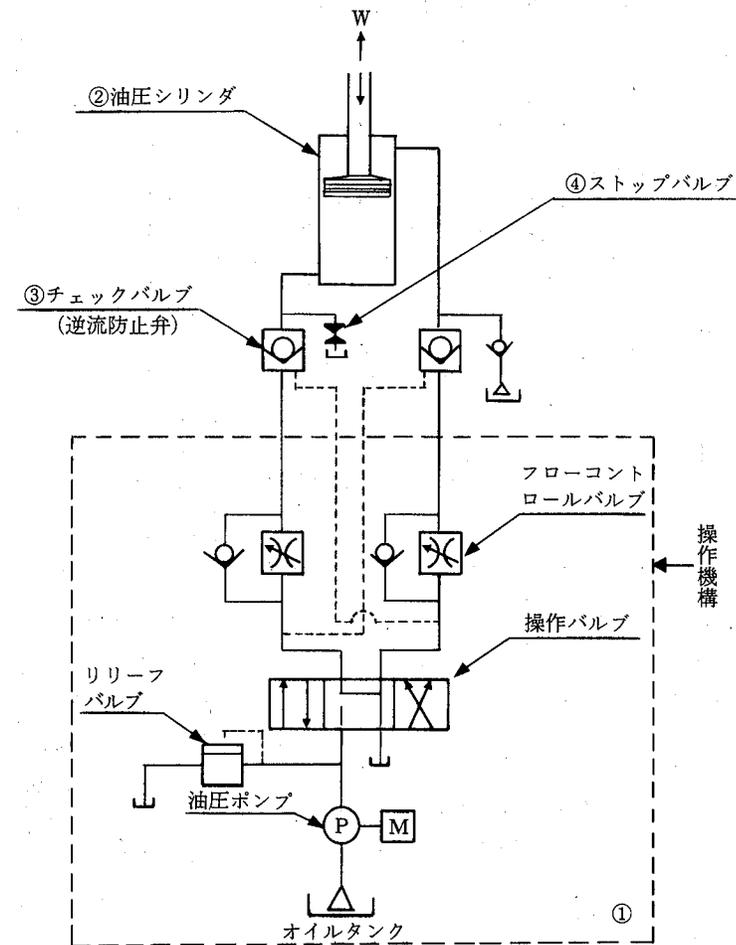
図において、油圧ポンプを停止したまま油圧シリンダに荷重をかけて放置すると特に故障がなくとも、

1) 油圧シリンダのピストンとシリンダ摺動面

2) チェック弁の弁と弁座

などから内部リークを生じ、ピストンは自然降下する。

2)のチェック弁からのリーク許容量を定めた J I S 規格はないが、一般に1)に比べ、ごく少ない。



図参・8 油圧系統図

表参・3に示した油圧シリンダ内部油漏れ量の許容値を、ピストン移動量に換算すると、シリンダ内径の大小にかかわらずほぼ0.25mm/10minである。

したがって、ピストン移動量を1.5mm/hと仮定し、図参・9に示すフラップゲートについて、自然倒伏の状況をチェックした結果を表参・4に示す。

これによれば、

○倒伏量 1 cm に達する経過時間 …… 約 3.5 h

○一昼夜放置した場合の倒伏量 …… 約 7.3 cm

しかしこの値は J I S の許容最大限に基づくもので、実際のゲート用油圧シリンダの油漏れ量は、許容値の 1/10 程度 (J I S 検査規定による新規製作シリンダの検査成績例) である。

この値によれば、

○倒伏量 1 cm に達する経過時間 …… 約 35 h

すなわち、ゲート開度自動復帰装置は、ほぼ 1.5 日の間隔で作動すればよいこととなる。なお J I S の油漏れ量は、ピストンに最高使用圧力をかけた試験によるもので、油圧式ゲートにおいては通常シリンダにかかる油圧力は、最高使用圧力よりかなり小さい、したがって事実上自然倒伏の速度はさらに小さいものと考えられる。

表参・4 自然倒伏量算出結果

経過時間 h	ピストンロッド 縮み量 mm	倒伏角度 deg	倒伏高さ mm
1	1.5	0.059	2.97
2	3.0	0.118	6.00
3	4.5	0.177	9.03
4	6.0	0.235	12.02
5	7.5	0.294	15.06
6	9.0	0.353	18.10
12	18.0	0.706	36.40
24	36.0	1.407	73.11
48	72.0	2.798	147.48
72	108.0	4.173	222.93

△ABC について

$$\cos \theta = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b}$$

C → C' : リークによるシリンダの長さの変化

$\theta \rightarrow \theta'$: リークによる起立角度の変化

$\Delta \theta = \theta - \theta'$: リークによる倒伏角度

$\Delta H = 3500 - 4569 \times \sin (50^\circ - \Delta \theta)$ (mm)

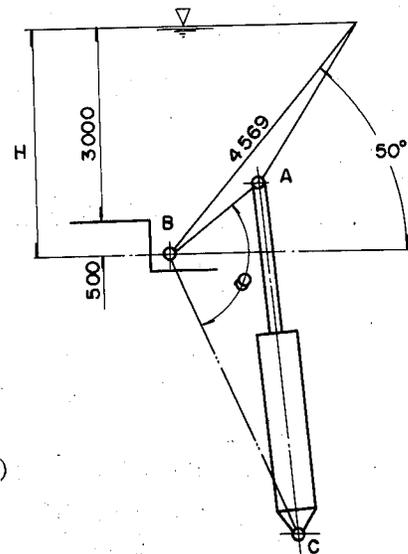
a = 1700 mm (線分 AB)

: 下部ヒンジから駆動ヒンジの距離 (一定)

b = 4800 mm (線分 BC)

: 下部ヒンジからシリンダ下端ヒンジの距離 (一定)

c = 5450 mm (線分 AC) : シリンダの長さ



図参・9 自然倒伏量計算例

8 節 保守点検装置

フラップゲートの扉体及び扉体まわりには機能を損わない範囲で、扉体各部や開閉装置の点検、維持管理が行えるよう、次のような装置を備えるものとする。

1. ダム天端道路から越流頂に容易に下ることのできる設備。
2. 扉体の梯子、マンホール、手摺など。
3. 扉体を起立したままの状態で行える点検・修理を行える扉体休止装置。ただし、休止装置はドライ状態でのみ使用するものとして、操作は原則として人力で行えるものとする。

【解説】

ダムの越流部に設けるフラップゲートの設置環境は保守管理が容易に行えるものではない。したがって、フラップゲートの設備の設計には、特に保守管理に対する配慮が必要となる。

1. ダム天端道路からのアプローチの方法としては、流水を阻害しないものとする。

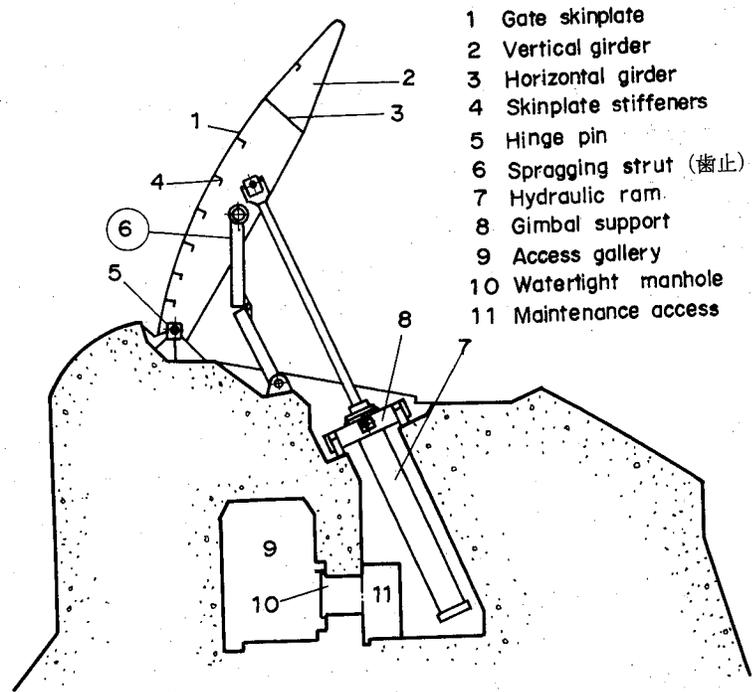
例として、ピア内にマンホールを設け、ピア上からマンホールを通じ扉体下流面に下りる。また、越流頂の下に油圧シリンダに通じるギャラリを設け、マンホールと通じさせるなどの方法がある。

2. 扉体規模が大きな場合には、扉体背面やガーダ内部の点検のための梯子やマンホールを設けるものとする。
3. 背面突上げ式の油圧シリンダは、扉体を起立した状態で維持・管理が必要なので、このとき安全に作業が行えるよう、扉体休止装置を備えるものとする。

休止装置は、通常の水位維持などの扉体ロック装置に兼用しようとする規模が大きくなり、また、取りはずしができない場合危険なので、水位低下時の扉体補修時などの起立状態保持の利用に限るため、図 2.8.1 の例のように操作は人力程度で行えるようなものが望ましい。

なお、小規模のゲートで、簡易な支保工等でも安全で容易に起立状態を保持できる場合には、その方法を具体的に示しておくことで、特別な扉体休止装置を設けなくてもよいものとする。

3章 製作・運搬・据付



- 1 Gate skinplate
- 2 Vertical girder
- 3 Horizontal girder
- 4 Skinplate stiffeners
- 5 Hinge pin
- 6 Spragging strut (歯止)
- 7 Hydraulic ram
- 8 Gimbal support
- 9 Access gallery
- 10 Watertight manhole
- 11 Maintenance access

図2.8.1 Meadowbank Dam (オーストラリア) の例

1. 製作・運搬・据付は、設計条件を忠実に反映した方法を採用するものとする。このため、製作・運搬・据付の主要事項、手順、方法などを計画に明示するものとする。

2. 製作・据付の出来形管理は、適切な許容値を定め行うものとする。

[解説]

1. 製作・運搬・据付は、設計時に検討すべき事項が多く、特に設計に関連する事項は前章までの各項に示したが、なお慎重な配慮が必要である。

このため、施工計画書には、接合を含む製作の要領、運搬とのかかわり及び据付における重点事項を示しておくことが必要である。

なお、油圧配管は、その大部分が現地作業となるため、作業性が悪く配管内にゴミ、スパッター、さびなどが残留するおそれがあり、これらを防ぐ厳重な施工管理を行うこと、さらに、これらを除去するようにフラッシングを十分実施することが重要である。

2. 出来形管理については、ゲート自体が目的とする機能及び強度上の条件が満たされる範囲で、その製作・据付誤差は許されるものとするが、これらの総合的な出来形管理規定は、河川砂防技術基準(案)、機械工事施工管理基準(案)及び各地方建設局が定めている基準ならびに水門鉄管技術基準などによるものとする。

なお、特にフラップゲートの出来形管理では次の事項に留意するものとする。

- 1) 下部固定ヒンジの水平・垂直方向の制作・据付誤差
- 2) 側部戸当りの垂直度
- 3) 扉体天端の水平度

このうち、1)のヒンジの製作・据付誤差は、ピンと軸受メタルのかん合の度合、扉体の接合による微少のひずみ、水圧に対する下部桁の許容たわみなど総合的に検討し、その都度決めることが望ましい。