

鋼製起伏堰（ゴム袋体支持式） 設計指針（一次案 増補版）

－ 特性を踏まえた設計の考え方を中心に －

平成 19 年 5 月

SR 堰技術検討会

まえがき

鋼製起伏堰（ゴム袋体支持式）（以下「SR 堰」という）は、鋼製の扉体を有し、ゴム引布製袋体の膨張・収縮により扉体を起伏するゲート形式で、1 径間を複数の単位ゲートに分割し、隣接する単位ゲートを中間水密ゴムで接続する型式が河川では一般に用いられている。そもそも SR 堰は、アメリカ合衆国において開発された技術で、平成 12 年 12 月に民間開発建設技術の技術審査・証明事業認定規程に基づく土木系材料技術・技術審査証明において認定された新しい形式の起伏堰である。国内では小規模な農業用水路等に設置されたものがほとんどであったが、最近、大河川に設置された比較的規模の大きな SR 堰も見受けられるようになってきたものの、河川に関する実績は平成 17 年末で約 40 件と少ない。

このような状況下において、SR 堰の計画・設計に当たっては、SR 堰の特徴と我が国の河川特性及び SR 堰に要求される機能を踏まえた適用性の検討が不可欠であるが、SR 堰の特徴については不明な点も少なくない。このため、本 SR 堰技術検討会では、SR 堰の特徴を把握するとともに、その特性を踏まえた標準的な断面二次元設計手法を確立することを目的として、雄物川の大久保堰や六角川水系牛津川の大井手堰での現地観測試験及び水理模型実験等を基に、①堰高変化特性及び袋体内圧変化、②振動特性、③排砂性能、④大開度越流水深時の扉体の状況・変位などについて検討し、SR 堰の構造に起因する特徴を明らかにした。また、これらの特性を踏まえた標準的な断面二次元設計手法を構築した。

この一連の検討の結果、SR 堰の特徴として、起伏装置となる袋体が柔構造であるため、上下流水位や温度が変化すると袋体に変形し、堰高も変化すること、また、SR 堰は複数の単位ゲートで構成されることから、扉体背面に流木等の噛み込みが生じたとしても河積を確保しやすいという利点を有していること、さらに、ゴム引布製起伏堰と比べては、倒伏過程で V ノッチ現象が発生しないため、中間開度操作が可能であり、扉体背面に給気すれば越流振動が発生しにくいという利点を有していることなどが分かった。

本設計指針は、上述したような SR 堰の特徴と河川に適用する SR 堰の標準的な設計の考え方について、現段階において得られた知見を基にとりまとめたものであるため、一次案としており、今後の知見の蓄積や技術の進歩に伴って改訂されるべき性格のものである。

最後に、本設計指針（一次案）のとりまとめに当たって、ご指導・ご助言をいただいた SR 堰技術検討会の関係各位及び関係機関の方々に深く感謝の意を表するとともに、事務局を務めた（財）国土技術研究センターの技術力と尽力に敬意を表す。本設計指針（一次案）が、今後の SR 堰に関する検討の一助となることを期待するものである。

平成 18 年 6 月

SR 堰技術検討会
委員長 中 川 博 次

増補版について

昨年6月、SR堰の特徴と河川に適用するSR堰の標準的な設計の考え方を「鋼製起伏堰（ゴム袋体支持式）設計指針（一次案）」としてとりまとめ、断面二次元設計プログラムと共に、当センターのホームページに掲載し、SR堰の検討に役立てていただいていた。

その後、SR堰の特性を踏まえた連携操作等の検討を通じて、SR堰の構造に起因する新たな特徴が明らかになったことから、増補版として新たな断面二次元設計プログラムと共に更新するに至った。

集積した新たな知見を踏まえ、増補改訂を行った主な点は次のとおりである。

- ① 扉体の断面形状や袋体内圧の違いによる堰高変化特性と堰に要求される水位制御等の機能を勘案し、適切な扉体及び袋体の諸元を検討することが重要であることを明記した。
- ② 袋体内圧の設定によって水位変化に伴う堰高変化が変化するので、堰に要求される機能を満足するように袋体内圧を適正に設定することが重要であることを明記した。
- ③ 給排気管の配管方式について、操作室と各袋体との間で生じる圧力損失が同等になるように、給排気管の配置・延長及び口径の選定に留意して設計する必要があることを明記した。

なお、本増補版は、技術基準類は常に新たな知見等を反映すべき継続的な見直しが必要であるという考えの下、当センターが受託業務によりとりまとめた成果（一次案）にその後当センターにおいて得た情報や知見を加えて、自主的に更新したものである。

平成19年5月

（財）国土技術研究センター
調査第一部長 大西 亘

目 次

第 1 章	目的と適用	1
1.1	目 的	1
1.2	適用範囲	1
1.3	準拠規程	1
第 2 章	設計総論	2
2.1	SR 堰の特性	2
2.1.1	SR 堰採択の検討	2
2.1.2	SR 堰の経済性	7
2.1.3	SR 堰の選定	7
2.2	設計一般	7
2.2.1	各部の名称	7
2.2.2	設計の手順	10
2.2.3	基準堰高	11
2.2.4	設計対象水量	12
2.2.5	操作条件	13
2.3	模型実験等	14
2.3.1	実験等の適用	14
2.3.2	実験方法と結果の判定	14
第 3 章	機能性の検討	15
3.1	確実な起伏	15
3.1.1	起伏の確実性	15
3.1.2	起伏装置の信頼性	17
3.2	水密性の確保	18
3.2.1	水位による堰高変化	18
3.2.2	温度による堰高変化	26
3.2.3	径間内の堰高変化	28
3.3	耐久性の確保	28
3.3.1	最大越流水深	28
3.3.2	摩耗・損傷の防止	29

第 4 章 上部工の設計	31
4.1 一般	31
4.1.1 設計荷重	31
4.1.2 袋体等の安全率	31
4.1.3 固定金具の安全率	32
4.2 上部工設計	33
4.2.1 設計方法	33
4.2.2 扉体の設計	40
4.2.3 袋体の設計	41
4.2.4 定着部の設計	43
4.2.5 中間水密ゴムの設計	44
4.2.6 扉体留具の設計	46
4.2.7 固定金具の設計	46
4.3 各部材質	47
4.3.1 ゴム引布の仕様	47
4.3.2 固定金具等の材質	48
第 5 章 操作設備の設計	49
5.1 一般	49
5.1.1 起伏用センサ	49
5.1.2 安全装置	50
5.2 操作設備設計	50
5.2.1 起伏装置の設計	50
5.2.2 給排気管等の設計	51
第 6 章 操作及び管理	53
6.1 堰の操作	53
6.1.1 操作規則の作成	53
6.1.2 操作の基本	53
6.2 点検	53
6.3 保守	55
6.3.1 保守一般	55
6.3.2 堆積土砂の排除	55

第 1 章 目的と適用

POINT

この指針において「鋼製起伏堰（ゴム袋体支持式）」（以下「SR 堰」という）とは、鋼製の扉体とゴム引布製の袋体を有し、袋体に空気を充填し、もしくは袋体から排除することによって起伏させる形式の堰をいう。

この指針は、河川等に適用する SR 堰の標準的な設計の考え方を示したものである。SR 堰の適用性検討及び各部の設計は、この指針に示される技術的事項を十分に踏まえ、適用する場所の特性等を反映して行うことが望ましい。

1.1 目 的

この指針は、現時点で得られた知見を基として、SR 堰の特性及び他形式の起伏堰との相違を認識し、SR 堰の適正な活用を図り、SR 堰の諸特性を踏まえた合理的な設計を行うために必要な最低限の技術的な事項を明らかにすることを目的として策定したものである。

従って、本指針において記述した事項以上の技術的検討を妨げるものではない。また、本指針は、今後の SR 堰の実績が増加し、SR 堰に関する技術的な知見が蓄積された場合には、改訂が行われるべき性格のものである。

1.2 適用範囲

この指針の適用範囲は、現在までの SR 堰の施工実績等を勘案し、堰高 3m 程度までとする。堰高 3m を超える SR 堰を設置するに当たっては、本指針に記述した技術的事項を参考として、堰に要求される機能・材料・構造等の必要事項について十分な検討を行う必要がある。

1.3 準拠規程

この指針に定める内容について関係諸法令等に別に定めがある場合、及びこの指針で定めない事項については、これらの諸法令等によるものとする。

- 河川管理施設等構造令
- 建設省河川砂防技術基準（案）

その他、関係するものとして、以下のようなものがある。

- ダム・堰施設技術基準（案）
- 鋼製起伏ゲート設計要領（案）
- ゲート点検・整備要領（案）
- ゴム引布製起伏堰技術基準（案）

第2章 設計総論

2.1 SR 堰の特性

2.1.1 SR 堰採択の検討

POINT

SR 堰の採択に当たっては、設置目的・設置場所を明確にするとともに、SR 堰の特性を十分に踏まえて、所要の機能が満足されることを確認しなければならない。

1. SR 堰の特徴

SR 堰は鋼製の扉体を有し、ゴム引布製袋体の膨張・収縮により扉体を起伏するゲート形式で、1 径間を複数の単位ゲートに分割し、隣接する単位ゲートを中間水密ゴムで接続する型式が河川では一般に用いられている。SR 堰は、その構成部材の特徴から、以下に示すような油圧シリンダ式等の鋼製起伏堰とゴム引布製起伏堰（以下「ゴム堰」という）との中間的な特性を有している。

SR 堰は、起伏装置となる袋体が柔構造のため、上下流水位が変化すると、上下流水位差等の荷重条件に見合う内圧・張力が発生するまで袋体に変形し、その釣り合いを保つという特性がある。例えば、上流水位が上昇すると、上下流の水位差が増加するため、その水位差に釣り合う内圧と接触面積となるまで袋体に変形して堰高が低下する。この堰高低下特性は、扉体の断面形状や袋体の形状・内圧の設定方法によって大きく変化する。また、袋体内の温度が変化すると、媒体である空気が収縮・膨張し、袋体内圧が変化して堰高変化が生じるが、この特性も袋体の形状・内圧の設定による影響を受ける。

このような堰高変化特性を有することが、油圧シリンダ式の起伏装置を用いる鋼製起伏堰と大きく異なる点であり、また、袋体のみで構成されるゴム堰の堰高変化とも異なる特性を有する。この上下流水位の変化等に伴う堰高変化特性をどのように堰の計画・設計・運用に取り込むかが SR 堰採択検討の大きなポイントとなる。

例えば、堰に求められる機能との関係で、全閉時の堰高を一定に保つ必要がある場合、倒伏水位時にバランスする袋体内圧以上の内圧に設定すると、常時満水位～倒伏水位の範囲において、扉体留具張力によって扉体が固定され、堰高が維持される。一方、取水位が確保されるという前提の下で、上流水位の上昇時に堰高の低下を許容する場合、常時満水位～倒伏水位の間のある水位においてバランスする袋体内圧に設定すると、設定水位以上の水位変化に伴って堰高が変化し、越流水深と放流量が増加するため、堰高が一定の場合に比べて倒伏する頻度が低減できるといった利点を有することになる。

なお、中間開度操作時に上下流水位の変化に伴う堰高の変化や放流量の変化を許容しないとした場合には、堰高を一定に維持するために、傾斜計等の堰高検出装置や給排気操作による堰高調節が必要となり、維持されるべき堰高の精度の設定によっては堰高調節装置の構造や操作方法等が複雑となる。

SR 堰は、複数の単位ゲートで構成されることから、鋼製起伏堰と比べて、径間方向に柔軟に変形するため、扉体背面に流木等の噛み込みが生じたとしても河積が確保しやすいという利点を有している。また、堆砂が生じた場合、堆砂厚が大きい部分の堰高が低下することになるので、流水によるフラッシュ排砂の効率が良くなる。なお、その他に支承部に荷重が集中しないので扉体及び下部工が簡略化できるなどの利点を有している。

ゴム堰と比べては、倒伏過程で V ノッチ現象が発生しないため、中間開度操作が可能であり、扉体背面に給気すれば越流振動が発生しにくいという利点を有している。また、倒伏時には袋体が扉体で保護されるので損傷しにくいなどの点も優れている。

SR 堰の計画・設計に当たっては、上述したような SR 堰の特徴及び河川の特性或堰に要求される機能を十分に踏まえた検討が不可欠である。

SR 堰の特徴を、鋼製起伏堰及びゴム堰と対比して表 2.1.1 に示す。

表 2.1.1 堰形式とその特徴

	鋼製起伏堰	SR 堰	ゴム堰
水位変化による 堰高変化	起伏装置が油圧シリンダのため、上下流水位の変化に伴う堰高変化は生じない。	起伏装置となる袋体が柔構造のため、上下流水位の変化に伴い、堰高も変化する。堰高変化特性は、扉体の断面形状や袋体内圧の設定によって変化する。	袋体が柔構造のため、上下流水位の変化に伴い、堰高も変化するが、堰高の変化率は SR 堰より小さい。堰高変化特性は、袋体の断面形状や内圧の設定によって変化する。
温度変化による 堰高変化	起伏装置が油圧シリンダのため、温度の変化に伴う堰高変化は生じない。	外気温あるいは日射によって袋体の内部温度が変化すると、袋体内圧・堰高が変化する。内圧・堰高変化特性は、扉体の断面形状や袋体内圧の設定によって変化する。	外気温あるいは日射によって袋体の内部温度が変化すると、袋体内圧・堰高が変化するが、堰高の変化率は SR 堰よりやや小さい。内圧・堰高変化特性は、袋体の断面形状や内圧の設定によって変化する。
起伏の確実性	扉体背面に流木等の噛み込みが生じた場合、径間全体の倒伏が阻害される。	扉体背面に流木等の噛み込みが生じたとしても、噛み込みが生じた単位ゲート以外は、袋体と中間水密ゴムが柔軟に変位することから、河積を確保しやすい。	扉体背面に流木等の噛み込みが生じたとしても、径間全体が柔軟に変位することから、SR 堰より河積を確保しやすい。
堰高制御	適切な開度計を設置することにより、堰高制御は容易に行える。	堰高検出装置を設置することにより、堰高制御は可能であるが、高い精度が要求される場合は、各単位ゲートごとに制御を行うことが必要になる。	堰高検出装置を設置することにより、堰高制御は可能であるが、空気式ゴム堰では、V ノッチが発生する条件での堰高制御は不可能である。
堆砂の影響	堆砂による土圧が油圧シリンダの駆動力以下であれば起立可能である。	堆砂による土圧が袋体の設計内圧以下であれば起立可能である。	堆砂による土圧が袋体の設計内圧以下であれば起立可能である。
最大越流水深	一般に 0.3～0.5m 程度以下で使用される。	鋼製起伏堰及び空気式ゴム堰と同程度まで適用可能と考えられるが、十分に解明されていない。	空気式ゴム堰は堰高の 20% 以下の範囲で使用される。
耐久性	鋼製部材については、50 年程度の使用に耐え得ると判断されるが、設置環境に応じた摩耗代等、鋼製部材に適切な余裕厚を見込むことで耐久性を確保する必要がある。	鋼扉等の鋼製部材については、鋼製起伏堰と同様。起伏装置となる袋体については、ゴム堰と同様。ただし、ゴム堰に比べて高内圧・高張力で使用されることから、プライ数を増して部材厚を厚くする場合には、クリープ特性と経年的な強度低下特性を踏まえ、適切な安全率を設定する必要がある。	使用条件等によって異なるが、施工実績からみれば、材料の強度については 40 年程度の耐久性を有していると考えられる。ただし、袋体が露出しているため、設置環境に応じて、袋体に適切な余裕厚を見込んだり、転石等による損傷防止対策を施すことで耐久性を確保する必要がある。

2. SR 堰に要求される機能の照査

可動堰の可動部のゲート等の構造の原則は以下に示される(河川管理施設等構造令第 40 条)。

- ①ゲートは確実に起伏し、かつ、必要な水密性及び耐久性を有する構造とする。
- ②起伏装置は、ゲートの起伏を確実に行うことができる構造とする。
- ③予想される荷重に対して安全な構造とする。

上記の構造の原則を SR 堰に照合すると、SR 堰の持つ基本的な特性のうち、河川に適用するに当たって特に考慮すべき事項として以下があげられる。

(1) 起伏の確実性

①倒伏の確実性

SR 堰は、扉体の背面を柔構造の袋体で支える構造である。1 径間を複数の単位ゲートに分割した構造の場合には、扉体背面に流木等の噛み込みが生じたとしても、噛み込みが生じた単位ゲート以外は、袋体と中間水密ゴムが柔軟に変位することから、鋼製起伏堰より河積を確保しやすい。なお、この場合に中間水密ゴムの破断、もしくはボルトの破断などにより中間水密ゴムがはずれれば、より大きな河積が確保されるが、破断の可否については照査が必要である(第 3 章 3.1、第 4 章 4.2 参照)。

②起伏操作

起伏操作は基本的にゴム堰と同様である。

起立操作はコンプレッサの起動と弁操作のみであり、操作手順は単純で動作の信頼性は高い。倒伏操作は排気弁を開けるのみで、動作の信頼性は起伏システムが類似しているゴム堰の実績等からみて十分であると判断される。また、急激な増水に対する迅速な対応も容易である(第 5 章 5.2 参照)。

③排砂機能

扉体上に堆砂した場合、堆砂による土圧が袋体の設計内圧以下であれば起立可能である。ただし、扉体上に堰軸方向に不均一に堆砂した場合は、堆砂厚が大きい部分の堰高が低下することになるので、繰り返し操作等によって流水によるフラッシュ排砂の効率が良くなるが、排砂操作によって中間水密ゴムに大きな変形や応力集中が生じるため、中間水密ゴム及び扉体はそれに対応した設計が必要である(第 3 章 3.1、第 4 章 4.2 参照)。

(2) 水密性の確保

SR 堰は扉体背面を柔構造の袋体で支持する構造であり、袋体は、荷重条件に見合う内圧・張力が発生する形状に変形して釣り合いを保つという特性を有している。このため、荷重条件が変化すると、袋体に変形し堰高が増減するので、堰に要求される機能との関係において、その機能が確保されるかどうかを検討することが重要である。

①水位による堰高変化

袋体の空気量が一定の条件で運用される SR 堰では、上下流水位差の増減によって袋体に変形して堰高も変化する。このため、SR 堰の採択検討に当たっては、水位変化に伴う堰高変化特性と堰に要求される機能の関係を十分に検討することが重要である。

また、SR 堰の設計に当たっては、堰高変化を許容範囲に抑えるような扉体の断面形状と袋体の内圧を設定することや、必要に応じて堰高調節装置を設置するなど、SR 堰全体を適切に設計することが重要である。（第 3 章 3.2 参照）。

②温度による堰高変化

袋体の空気量が一定の条件で運用される SR 堰では、外気温あるいは日射の影響によって袋体の内部温度が変化し、袋体内圧が変化するとともに袋体に変形して堰高が変化する。

温度による堰高変化と堰に要求される機能の関係を十分に検討したうえで、袋体内部温度の変化に伴う堰高変化を許容範囲に抑えるように袋体の内圧を設定することや必要に応じて堰高調節装置を設置するなど SR 堰全体を適切に設計することが重要である（第 3 章 3.2 参照）。

③径間内の堰高変化

径間を複数の単位ゲートに分割する構造の SR 堰では、堰上流に不均一な堆砂が生じる場合や大越流水深時に扉体背面に不均一な水圧が作用する場合等には、径間内の各単位ゲートに作用する荷重条件に差異が生じる。この際、各単位ゲート毎に作用荷重と袋体形状のバランスを保とうとするため、各単位ゲートの天端高に差異が生じ、結果として径間内の堰天端高に偏りが生じることがある。このため、特に高越流水深で使用する堰の場合には、給気装置等を用いるなどにより扉体背面に不均一な水圧が作用しないようにすることが肝要である（第 3 章 3.2 参照）。

(3) 耐久性の確保

①袋体等の耐久性

SR 堰において使用される袋体は、ゴム堰に使用される袋体よりも 10 倍程度大きな内圧で使用され、発生する張力も 5 倍程度大きなものとなるため、袋体の形状諸元の選定に当たっては、ゴム引布の構造（プライ数、端部の補強）及び材質を適切なものとし、十分な耐久性を有するように設計する必要がある。また、袋体の製造方法によっては、袋体端部等に応力集中が発生するため、袋体の耐久性を増すために袋体の補強を行うことが重要となる。（第 4 章 4.2 参照）

②最大越流水深と振動

越流水深が大きくなると、袋体の柔構造に起因する振動が発生する可能性がある。振動が生じると部材の疲労等により耐久性が低下することから、常時の越流水深は振動発生限界以下に設定する必要がある（第 3 章 3.3 参照）。

③摩耗・損傷防止対策

転石や流下物が多い河川では、金物及びゴム部材が摩耗、損傷を受けやすいため、堰設置地点の河道条件を十分考慮して適切な対策を施す必要がある（第3章 3.3 参照）。

2.1.2 SR 堰の経済性

POINT

SR 堰の設置に際しては、建設費、維持管理費、耐用年数を勘案し、経済性について検討しなければならない。

SR 堰を構成する鋼製部材、ゴム引布製部材、空圧機器、電気設備等の耐用年数を勘案のうえ、他形式の堰とのライフサイクルコストの比較に基づき、経済性について検討を行うものとする。

2.1.3 SR 堰の選定

POINT

SR 堰の設置に際しては、堰に要求される機能、SR 堰の特性及び経済性を総合的に評価して、採択の可否を検討するものとする。

2.2 設計一般

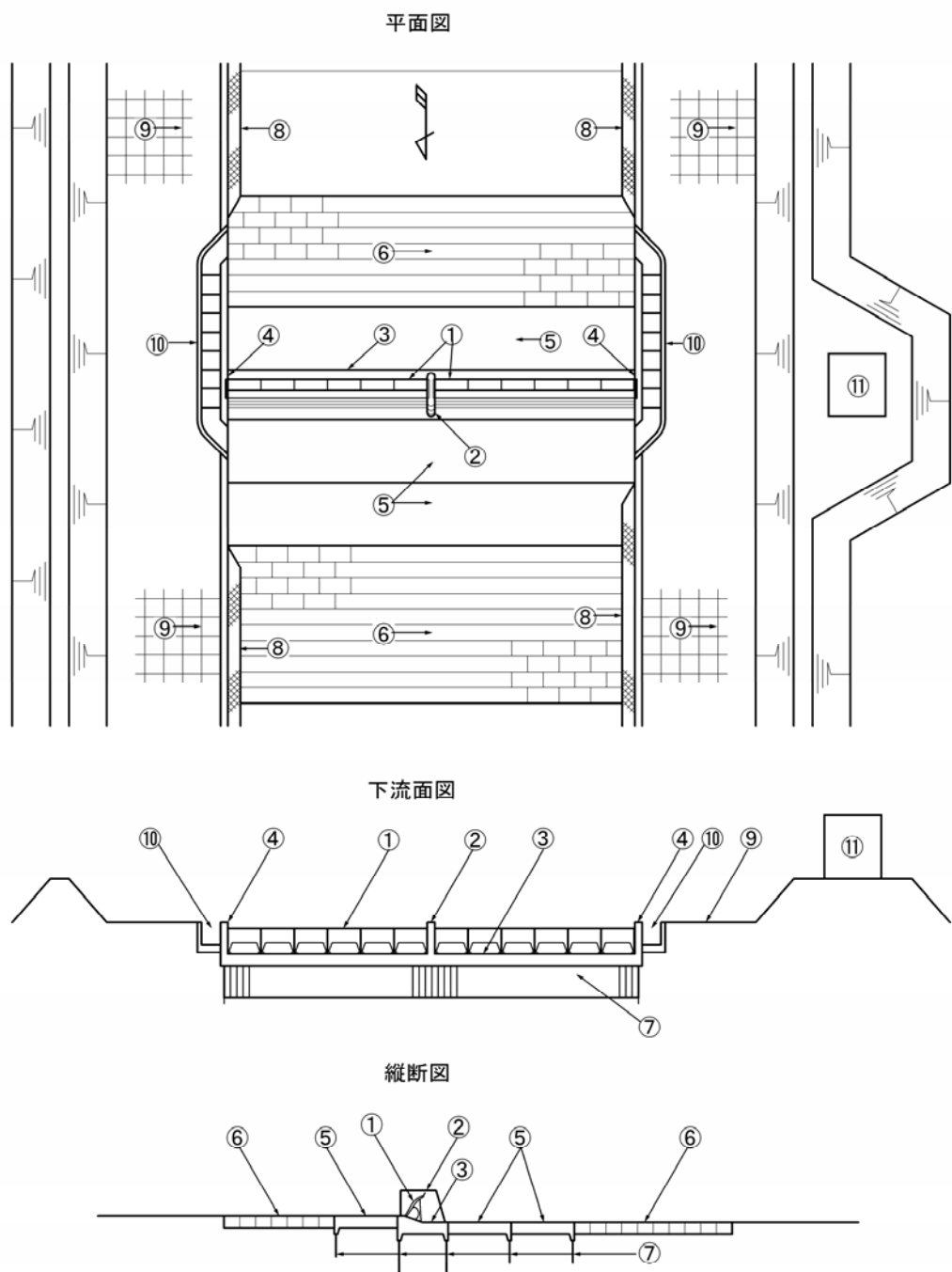
2.2.1 各部の名称

POINT

SR 堰は、上部工、下部工及び操作設備から構成される。

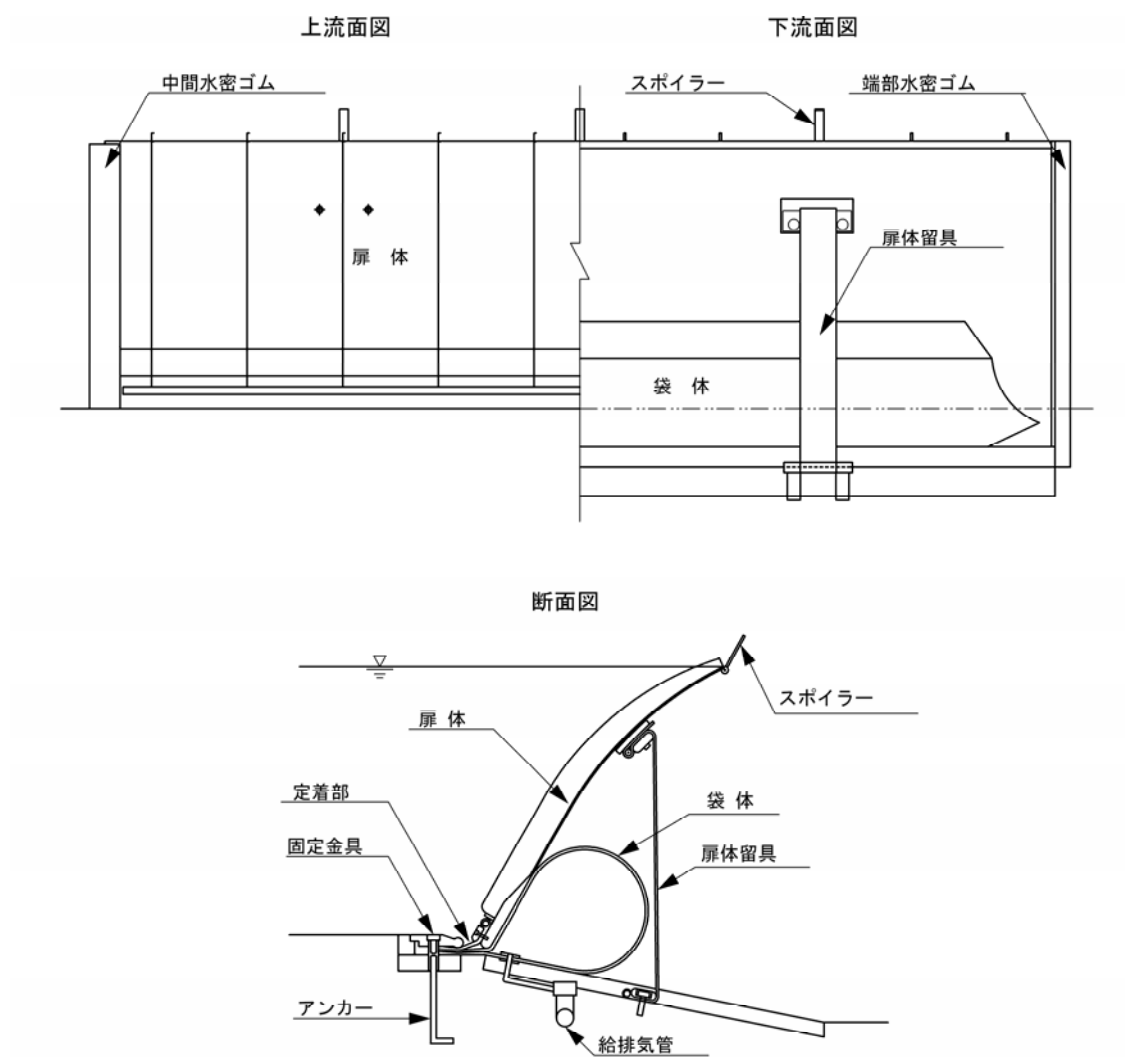
1. 上部工：扉体、袋体、定着部、水密ゴム、扉体留具、固定装置等をいう
2. 下部工：堰柱、床版、側壁、水叩き、護床工、しゃ水工等をいう
3. 操作設備：給排気管を含む起伏装置、管理設備等をいう

SR 堰各部の名称を、径間を複数の単位ゲートに分割する場合を例にして図 2.2.1、図 2.2.2 に示す。SR 堰の単位ゲートは、1 つの扉体と 1 つの袋体で構成されるのが一般的であり、隣接する単位ゲートは中間水密ゴムで連結される。



- | | |
|------|-----------------------|
| 上部工 | ①単位ゲート |
| 下部工 | ②堰柱、③床版、④側壁 |
| | ⑤水叩き、⑥護床工、⑦しゃ水工、⑧取付護岸 |
| | ⑨高水敷保護工、⑩魚道 |
| 操作設備 | ⑪操作室 |

図 2.2.1 SR 堰各部の名称



- | | |
|-------|---|
| 単位ゲート | <ul style="list-style-type: none"> ・扉体（鋼製）：スキンプレート及び補助桁からなる受圧部 ・袋体（ゴム引布製）：内部の空気圧により扉体を支える ・定着部（ゴム引布製、鋼製）：扉体と固定金具を接続する ・扉体留具（ゴム引布製、鋼製）：扉体の起立角を拘束する ・中間水密ゴム（ゴム引布製）：単位ゲート間の水密を保つ ・端部水密ゴム（ゴム引布製、ゴム製）：単位ゲートと側壁の水密を保つ ・スポイラー（鋼製）：小越流水深時のナップ振動を防止する ・固定金具、アンカー（鋼製）：定着部を床版に固定する |
| 操作設備 | <ul style="list-style-type: none"> ・給排気管（鋼製）：袋体への給気及び排気用の配管 |

図 2.2.2 単位ゲート各部の名称

2.2.2 設計の手順

POINT

SR 堰の設計に当たっては、堰に要求される機能と SR 堰の特性及び河川特性を踏まえ、要求される機能が満たされるよう、扉体の断面形状や袋体の内圧などについて検討を行うとともに、機能を満たすために必要な操作装置などについて十分な検討を行うものとする。

SR 堰は、起伏装置が柔構造である袋体でできているため、SR 堰の特性で述べたように上下流の水位変化に伴って袋体が変形し、堰高が変化するという特性を有している。このため、SR 堰の設計に当たっては、堰に要求される機能を満足させる扉体の断面形状と袋体の内圧を如何に設定するかが大きなポイントとなる。

具体には、扉体断面が円弧形等の SR 堰は、扉体断面が直線形のものに比べて上流水位変化に伴う堰高の変化が大きくなり、また、小さな袋体内圧を高くして運用する SR 堰は、大きな袋体内圧を低くして運用するものに比べて、上下流水位変化に伴う堰高の変化は大きくなるという、扉体の断面形状や袋体の内圧の違いによる堰高の変化特性と堰に要求される水位制御等の機能を勘案し、適切な袋体の諸元を検討することが重要となる。なお、袋体諸元だけで堰に要求される機能を満足することが不可能な場合には、傾斜計等の堰高検出装置と給排気設備を組み合わせる堰高制御装置についても検討を行い、堰に要求される機能を満足させるように SR 堰を設計しなければならない。

標準的な設計の手順を図 2.2.3 に示す。

まず最初に、基準となる常時満水位の状態における堰高を確保するために必要な扉体の断面形状と袋体内圧を設定し、その袋体諸元の下に、常時・倒伏時を含む、想定されるすべての水位・流量条件に対して袋体の変形特性に伴う堰高変化特性について検討を行い、堰に要求される機能を満足するか否かを確認する。

堰に要求される機能が満足されない場合には、扉体の断面形状と袋体内圧を変更して、上記と同様の検討を行い、堰に要求される機能を満足する扉体の断面形状と袋体内圧を設定する。または、堰に要求される機能を満足させるために必要な操作装置について検討を行う。

起伏の確実性という観点からは、中間水密ゴムの強度・材質等の仕様や中間水密ゴムの取付ボルトの強度・材質を検討する。もしくは単位ゲートの諸元の変更、装置の多重化を図るなどの検討を行うことが設計上の重要な検討事項となる。

耐久性の確保という観点からは、堰が通常使用される条件の範囲内で振動防止対策が必要であるかを判断するとともに、使用される河川の土砂条件等において耐磨耗性材料あるいは損傷防止対策が必要であるかを判断することが設計上の重要な事項である。なお、袋体の耐久性という点からは、袋体に通常発生する張力に対して、袋体の構造（プライ数、端部の補強等）及び材質が適切であるかを判断することが設計する上で重要な事項である。

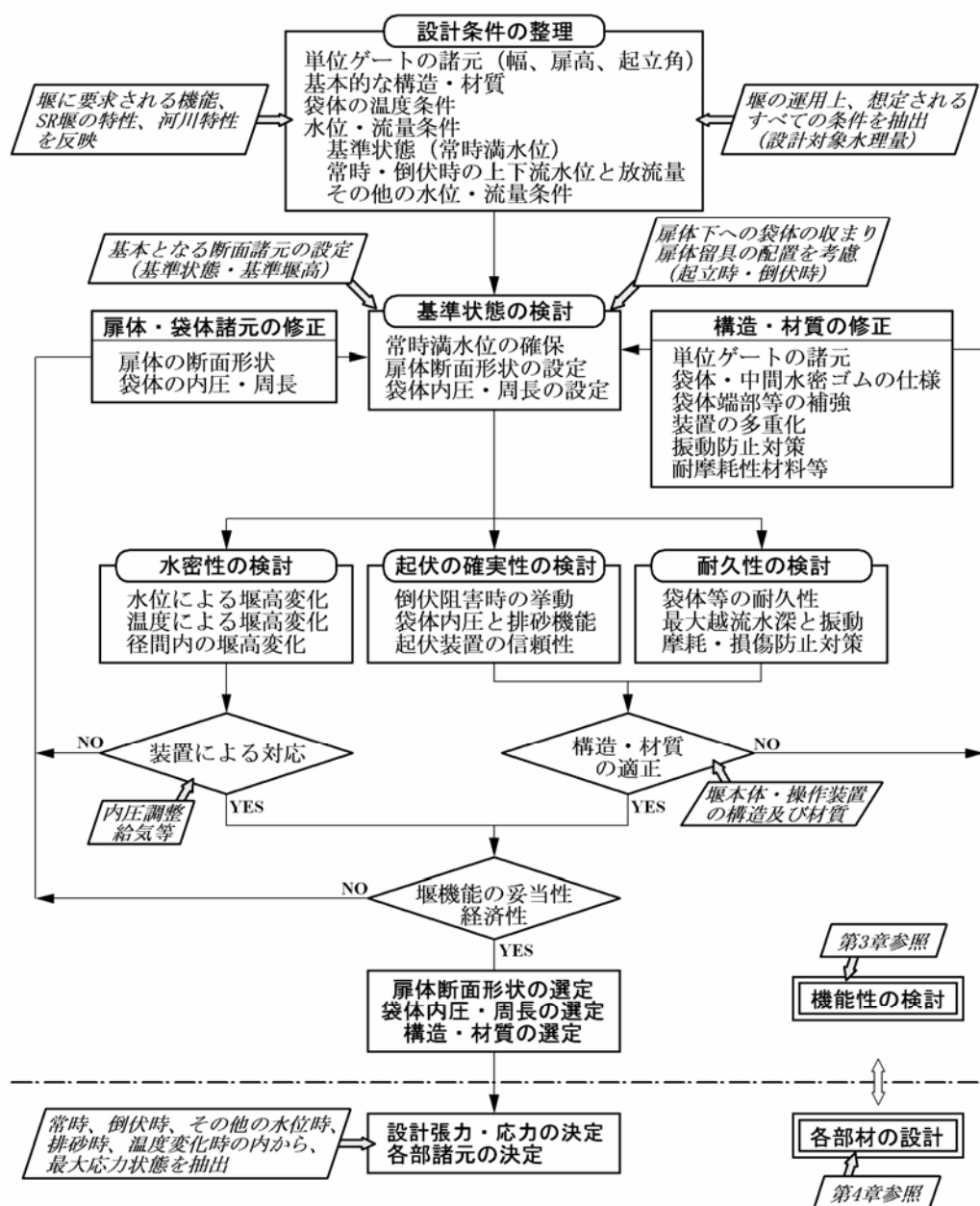


図 2.2.3 設計手順

2.2.3 基準堰高

POINT

堰上流水位を満水位、堰下流水位をゼロとした状態を基準状態とし、この場合の堰高を基準堰高とする。また、このときの内圧を基準内圧とする。

SR 堰は、堰上下流の水位変化、内圧変化等によって袋体に変形し、堰高も変化する。このため、水位を維持するという堰に要求される機能を満足するために、確保されるべき状態を基準状態とし、その時の堰高を基準堰高として定義する。この基準堰高の概念は図 2.2.4 に示すとおり

である。

具体的な SR 堰の設計においては、この基準堰高の状態における空気量（内圧×断面積）を一定として、上下流水位変化による袋体の変形と堰高変化について検討を行う。

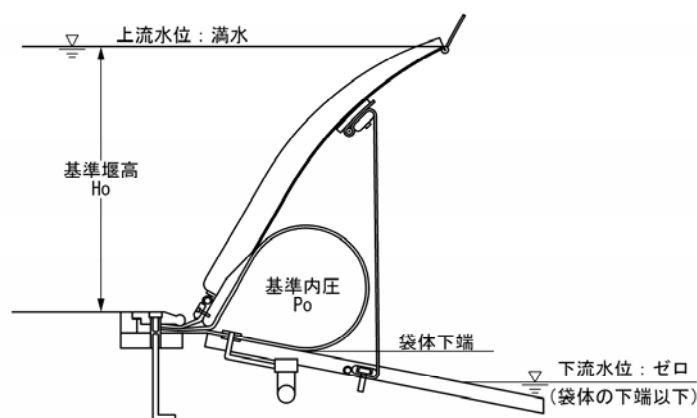


図 2.2.4 基準堰高の定義

2.2.4 設計対象水理量

POINT

SR 堰の設計に当たっては、設置場所及び設置目的に応じ、適切な設計対象水位及び設計対象流量等の水理量を設定しなければならない。

設計対象水理量の設定は、SR 堰の特性を踏まえ、堰に求められる機能に応じて、次のように行うものとする。

1. 設計対象水位

SR 堰は上下流水位変化により袋体の変形し、堰高や袋体張力に変化が生じる。設計対象水位の設定においては、このような袋体の変形特性を踏まえ、堰の操作上想定されるあらゆる水位の組み合わせについて検討しなければならない。特に、維持水位の条件が厳しい堰や、倒伏条件が水位と放流量の両面から制約を受ける堰、及び背水区間のように堰の操作と無関係に水位変化を受ける場合は、十分な検討を要する。

堰の設置目的から定められる水位に常時満水位があり、これにより必要となる堰高(基準堰高)等の基本諸元が定まる。倒伏水位においては、一般に上下流水位差が増大して袋体が収縮し、倒伏時の堰高は基準堰高より低下する。逆に、背水等の影響によって堰下流水位が上昇すると、上下流水位差が減少して袋体の変形し、堰高は高くなる。

SR 堰の各部設計においては、このような袋体の変形特性を考慮するための上下流の最高、最低水位を定めるとともに、構造設計において各部材に作用する応力が最大となる水位条件を定めなければならない。また操作設備の設計では、倒伏水位、起立水位を対象水位として定めなければならない。

なお SR 堰は、外気温及び日射によって袋体の内圧が変化し、堰高も変化することから、堰設置予定地点における温度条件を合わせて設定する必要がある。

2. 設計対象流量

SR 堰の設計においては、原則として計画高水流量以下のすべての流量を設計対象流量としなければならない。また、倒伏後においても取水が必要な堰等においては、倒伏操作時の水位と放流量との整合について十分な検討が必要となる。

3. 流送土砂

堰に作用する泥圧、堰各部の摩耗、堆砂処理の必要性などを検討する場合には、堰の起立及び倒伏期間に応じ、堰設置予定地点における流送土砂の特性を設定する。

2.2.5 操作条件

POINT

SR 堰は、流域からの流出特性や河道の特性及び設置目的に応じ、必要な起立条件及び倒伏条件を定めなければならない。

基本的な起立・倒伏条件として、起伏速度、起伏水位及び起伏流量を定めなければならない。

1. 起伏水位及び流量

起伏水位の設定に当たっては、越流水深が振動発生限界を超えていないかを確認する必要がある。全閉・全開操作のみで、上流水位が一定値以上になると倒伏させる堰では、条件の設定は容易である。常時と倒伏時においてそれぞれ設計対象水位、流量が設定される場合、及び背水区間、感潮区間のように堰操作と無関係に下流水位が変化する場合等では、水位変化による堰高変化と放流量の関係を考慮する必要があり、操作条件によっては観測水位や傾斜計等の堰高検出装置に基づいて給排気を行い、堰高調節を併用する必要が生じる。

2. 起伏速度

起立速度は、起立に伴う上流水位の上昇、下流の維持流量、管理上必要とされる操作時間等を考慮して設定する。倒伏速度は、放流に伴う水位上昇や流速の増加等を含めて下流への影響を検討したうえで設定する。

起伏速度は上下流水位、内圧によって決定されるが、一般には、起伏過程においてこれらの条件が変化するため、起伏速度は一定とはならない。倒伏用排気弁の開度を一定として自然排気させて倒伏させる場合には、倒伏速度は倒伏開始直後が最も大きく、その後、上流水位の低下とともに徐々に小さくなる。このため、下流水位の上昇率は、一般に倒伏開始直後が最大になるため、初期の倒伏速度については、放流に伴う下流河道での水位上昇や流速の増加等の下流への影響を勘案して設定する必要がある。

2.3 模型実験等

2.3.1 実験等の適用

POINT

SR 堰の水理的特性、堰の設置が河道等に及ぼす影響等について、この指針や既存資料によることが適当でない場合は、模型実験等を行って確認するものとする。

2.3.2 実験方法と結果の判定

POINT

模型実験を行う場合は、相似則に留意して模型構成材料、模型範囲、境界条件の設定を行うとともに、適切な方法で測定しなければならない。

相似則に関して、留意すべき事項を以下に示す。

1. 力学的な相似条件

流れに関する相似条件であり、対象とする流体運動に支配的な力学量に応じて相似則を適用する。堰を越える流れに対しては、表面張力や粘性力に比べて重力に起因する慣性力が卓越するため、一般にフルードの相似則が適用される。

2. 幾何学的な相似条件

SR 堰の場合は、袋体内部の空気の圧縮性の影響により、模型と実物の変形特性が異なるため、模型袋体の空気量を調節して変形特性を再現する等の対応が必要となる。

3. 振動現象に関する相似条件

振動系の特性に関与する主要なパラメータとして、質量、バネ定数、減衰定数があげられる。振動実験では、以下の相似条件を満足する必要がある。

①質量

扉体等の鋼製部材の模型材料として軽金属等を用い、ゴム部材の模型材料として実物と同様にゴム引布を用いることで、質量の相似則はほぼ満足できる。

②バネ定数

袋体のバネ定数は、内圧、張力及びゴム引布の伸び剛性により定まる。内圧と張力は、袋体の変形特性を相似にすることで満足できる。伸び剛性については、模型材料を適切に選定して相似条件を満足させるものとする。

③減衰定数

微小な振動を扱う場合は、減衰定数の違いによる影響は小さいと考えられるが、大振幅の現象を対象とする場合は減衰定数の影響に配慮する必要がある。

第3章 機能性の検討

3.1 確実な起伏

3.1.1 起伏の確実性

POINT

SR 堰の運用において、洪水時の倒伏の確実性、及び倒伏後の起立の確実性が確保されなければならない。

1. 倒伏の確実性

流木の噛み込み等による倒伏障害が生じた場合、1 径間を複数の単位ゲートに分割した構造の SR 堰では、単位ゲートを連結する中間水密ゴムが柔軟に変形するため、鋼製起伏堰に比べて河積を確保しやすい特長がある。倒伏障害が発生した場合に中間水密ゴムが破断、もしくははずれれば、より大きな河積が確保されるが、破断等の条件については照査が必要である（第4章 4.2 参照）。

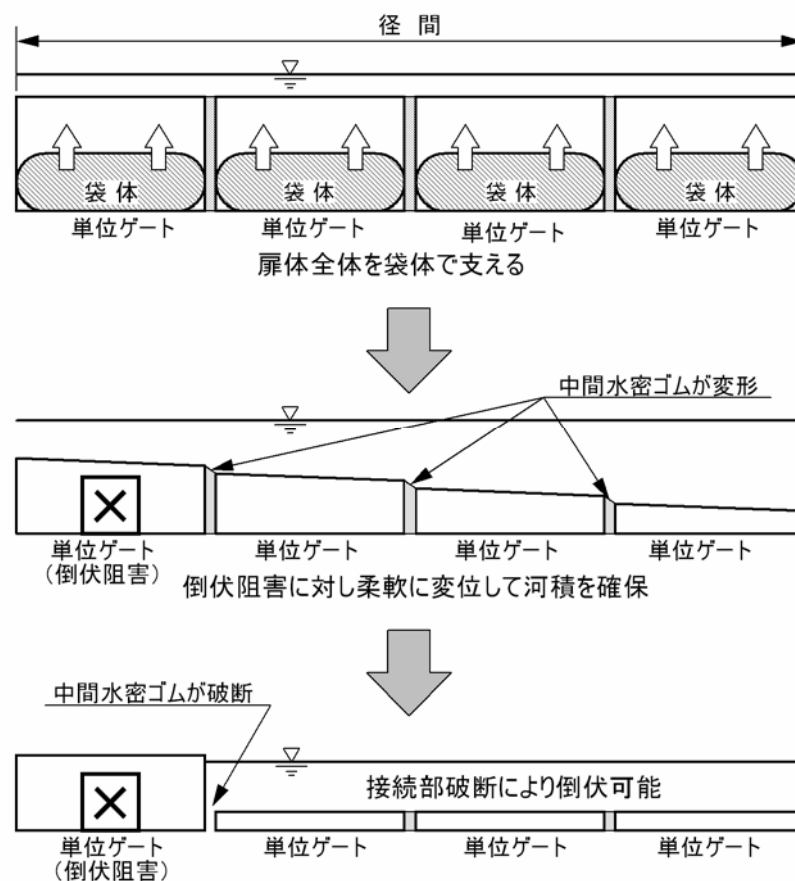


図 3.1.1 倒伏障害時の概念図

なお、近接して複数の堰が設置されている場合には、上流側の堰の倒伏操作によって下流側の堰が連鎖的に倒伏し、下流河道において異常な水位上昇等の問題が発生することがないように、近接する堰の統合的な管理により安全な倒伏が確実にできるようにすることが必要となる。

2. 起立の確実性

扉体上に堆砂した場合でも、堆砂による土圧が袋体の設計内圧以下であれば起立可能で、起伏操作を繰り返すフラッシュ排砂により堰高回復率は向上する。ただし、扉体上に不均一に堆砂した場合は、排砂操作によって中間水密ゴムに大きな変形や応力集中が生じるため、中間水密ゴム及び扉体はそれに対応した設計が必要である（第4章 4.2 参照）。また、堆砂が特に大きい場合は人力、機械力による排砂が必要となる。

[参 考]

SR 堰（基準堰高 1.567m、単位ゲート 5.27m×6 門＝径間長 31.6m）の現地排砂実験において、径間全体に堆砂した場合、堆砂厚 1m の時は 80%程度、堆砂厚 0.5m の時は 95%程度と高い堰高回復率を示した。この実験では、流水が無い状態での実験を行っているため、実際の流水がある場合には、堰上の堆積土砂がフラッシュされ、堰高回復率はさらに向上するものと推察される。

一方、径間の 1/3 のみに堆砂した場合は、径間内の堰高変化が大きくなり、中間水密ゴムに応力集中が生じた（写真 3.1.1 参照）。なお、この排砂実験では堆積土砂の締固めは行わず、また水圧荷重を作用させていないため、実際よりも堰高が回復しやすい条件で実施したものである。

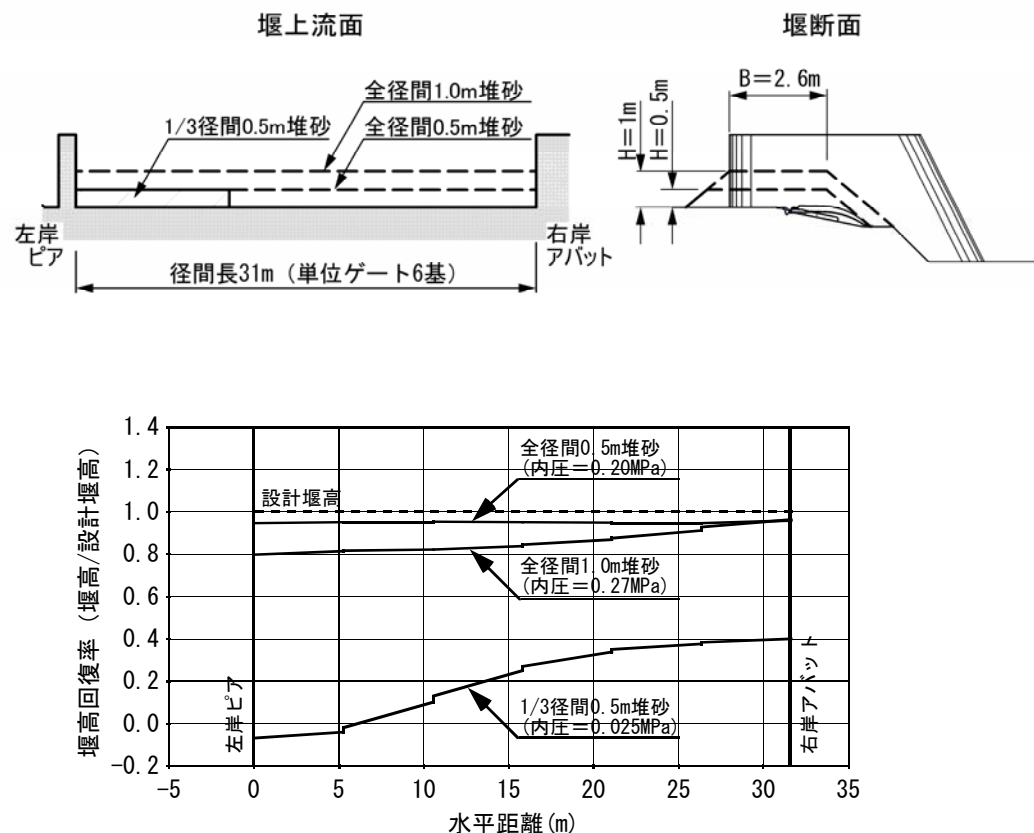


図 3.1.2 排砂機能の現地実験結果



写真 3.1.1 径間の 1/3 のみに堆砂した場合の状況

3.1.2 起伏装置の信頼性

POINT

倒伏装置は、常時、非常時とも確実に作動する構成とし、安全装置を設けるものとする。また、起立装置は確実に作動する構成とする。

1. 倒伏装置

倒伏操作は排気弁を開けるのみで、動作の信頼性は起伏システムが類似しているゴム堰の実績等からみて十分であると判断される。また、急激な増水に対する迅速な対応も容易である。ただし、ドレインなどによる排気系統の詰まりが生じない構造にすることが必要である（第 5 章 5.2 参照）。この背景として、内圧、袋体規模等の条件は異なるが、SR 堰と類似の操作装置を有するゴム堰において、排気管のドレイン排出不良、水位検知管の土砂詰まりなどによる倒伏支障が発生した事例がある。

2. 起立装置

起立操作はコンプレッサの起動と給気弁操作のみであり、構造が単純で動作の信頼性は高い。ただし、ドレインなどによる給気系統の詰まりが生じない構造にすることが必要である（第 5 章 5.2 参照）。

3. 安全装置

倒伏安全装置として、出水時に上流水位を検出して、動力を用いず水圧荷重で扉体を倒伏できる機械式自動倒伏装置を設ける。また、起立安全装置として、袋体の破損等を防止するための過圧防止装置を設ける（第 5 章 5.1 参照）。

4. 堰高調節装置

上下流水位あるいは温度による堰高変化が堰機能上の支障となる場合、水位・温度の変化に応じた給排気操作により堰高の維持が可能であるが、装置が常時運転状態となる点、及び通常の起伏装置の信頼性確保等について十分な検討が必要である。

5. 装置の多重化

起伏動作を確実なものとするため必要に応じて起伏装置の多重化を行い、起伏装置の信頼性向上を図るものとする。ただし、あまり複雑な装置の多重化を図ると、操作ミスを誘発しかねないので、注意を要する。

3.2 水密性の確保

3.2.1 水位による堰高変化

POINT

水位変化による袋体変形と堰高変化特性を考慮し、堰に要求される機能を損なわないよう、適切な扉体の断面形状と袋体の内圧や必要となる堰高制御装置等を選定しなければならない。

空気量が一定で運用される SR 堰では、上流水位が高くなると袋体が収縮して堰高は低下し、下流水位が高くなると袋体の変形して堰高は高くなる。

上流水位制御で倒伏させる堰では、倒伏時の堰高は基準堰高より低下し、越流水深と放流量が増加するため、堰高が一定の場合に比べて倒伏頻度は低減する。また、感潮区間や他構造物の背水区間に位置する堰では、下流水位の影響によって倒伏時の堰高・放流量が変化することになる。

このような、水位による堰高変化と要求される機能の関係を十分に検討したうえで、適切に設計することが必要であり、上下流水位にかかわらず一定の堰高維持が要求される堰では、堰高調節装置の設置が必要になる（第 5 章 5.2 参照）。

本指針では、水位変化による堰高変化の算定方法として、単位ゲートの中央断面を対象とする断面二次元モデルを示した（第 4 章 4.2 参照）。

[参 考]

1. 袋体の変形特性

袋体内の空気量が一定の場合、内圧・温度変化による膨張・収縮は、[1]の状態方程式で表される。水位変化等による袋体の変形特性は、断面二次元設計モデルを用いて、[1]、[2]式の条件を満たすように収束計算することで解析できる

$$\begin{aligned} &\bullet \text{ 袋体内の空気量が一定} \quad \frac{(P_a + P) \cdot V}{T} = \text{const.} \quad [1] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\bullet \text{ 袋体の周長が一定} \quad L_b = \text{const.} \quad [2] \end{aligned}$$

ここに、 P_a ：大気圧、 P ：袋体の内圧、 V ：袋体の体積、 T ：袋体の絶対温度、 L_b ：袋体の周長

2. 扉体の断面形状の影響

倒伏時における扉体下への袋体収納スペースの確保、あるいは起立時における堰軸方向の剛性を高める観点から、扉体の断面形状を円弧形や屈曲形にする型式が考えられる。

円弧形や屈曲形の断面形状を有する扉体は、直線形の扉体に比べて扉体の平面投影面積が大き

い。このため、図 3.2.1～図 3.2.3 に示すように、上流水位の変化に対する上載水圧荷重の変化が大きくなり、水位変化に伴う堰高変化量も、直線形扉体とは異なる特性を示すことになる。扉体の設計に当たっては、このような堰高変化特性への影響を十分に考慮した上で、扉体の断面形状を選定することが必要である。

(1) 直線形の扉体

扉体の断面形状が直線形の堰は、扉体が曲線形の堰に比べて、扉体の平面投影面積が小さい。このため、上流水位変化による上載水圧荷重の変化が小さく、水位変化に伴う堰高変化も小さい。

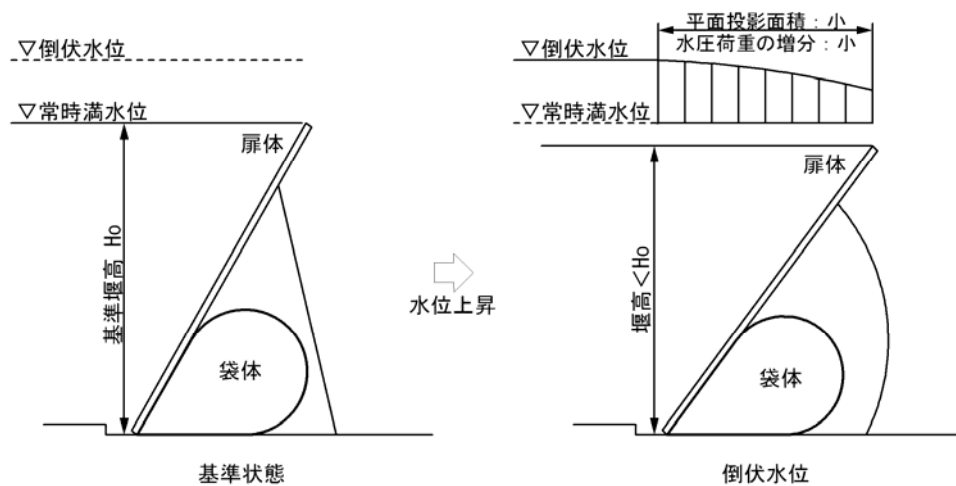


図 3.2.1 扉体の断面形状による水圧荷重と堰高変化（直線形扉体）

(2) 曲線形の扉体

扉体の断面形状が屈曲形や円弧形のような曲線形の堰は、扉体が直線形の堰に比べて、扉体の平面投影面積が大きい。このため、上流水位変化による上載水圧荷重の変化が大きくなり、水位変化に伴う堰高変化も大きい。平面投影面積が大きい扉体形状ほど、水位変化に伴う堰高変化が大きくなる。

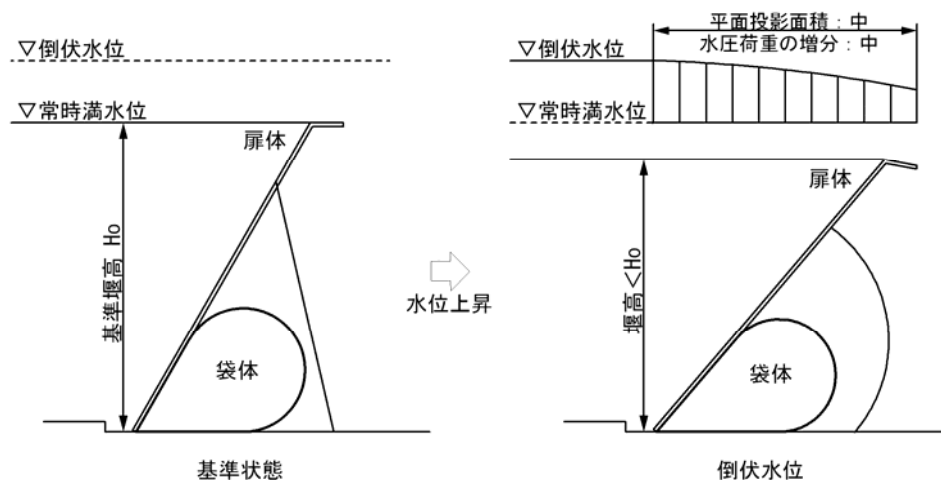


図 3.2.2 扉体の断面形状による水圧荷重と堰高変化（屈曲形扉体）

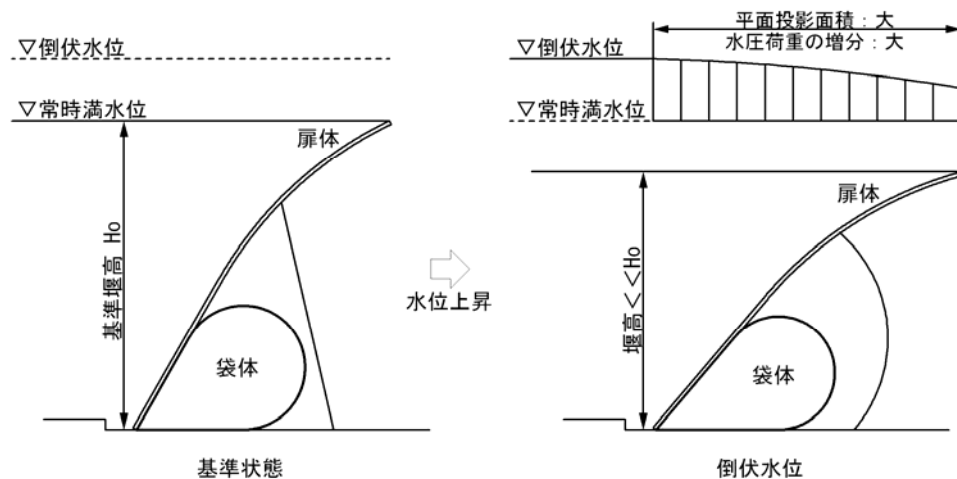


図 3.2.3 扉体の断面形状による水圧荷重と堰高変化（円弧形扉体）

基準堰高が 3.0m の SR 堰について、上流水位と堰高の関係を断面二次元モデルにより試算した。上流水位が高くなると堰高は低下するが、扉体の断面形状が直線形の場合に比べて、図 3.2.4 に示すように、扉体の平面投影面積が大きい円弧形や屈曲形の場合のほうが、堰高の変化量が大きくなる。また、図 3.2.5 に示すように、同じ円弧形でも、円弧半径が大きい扉体のほうが、堰高の変化量が大きい。

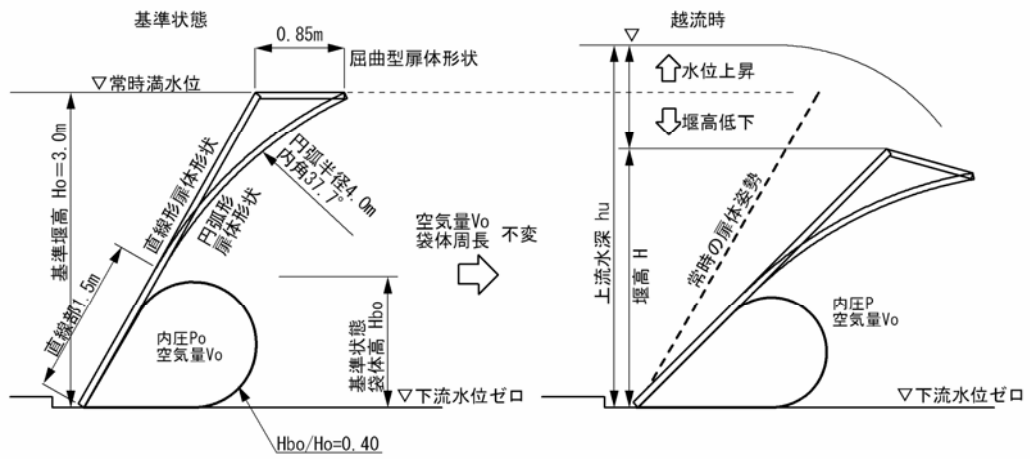
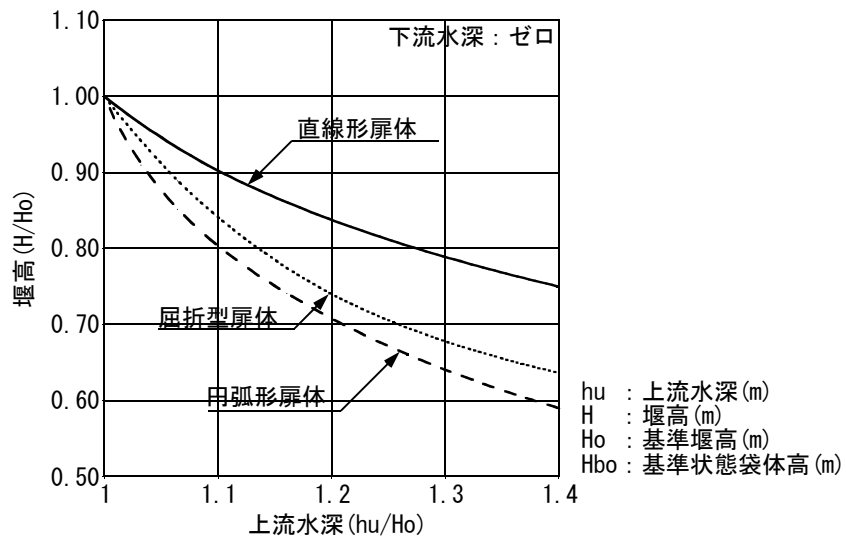


図 3.2.4 上流水深による堰高変化（扉体の断面形状の影響）

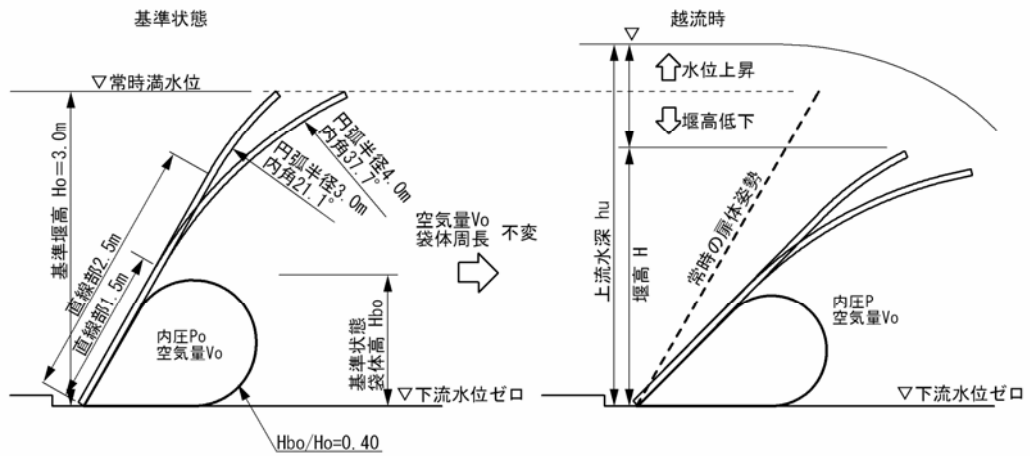
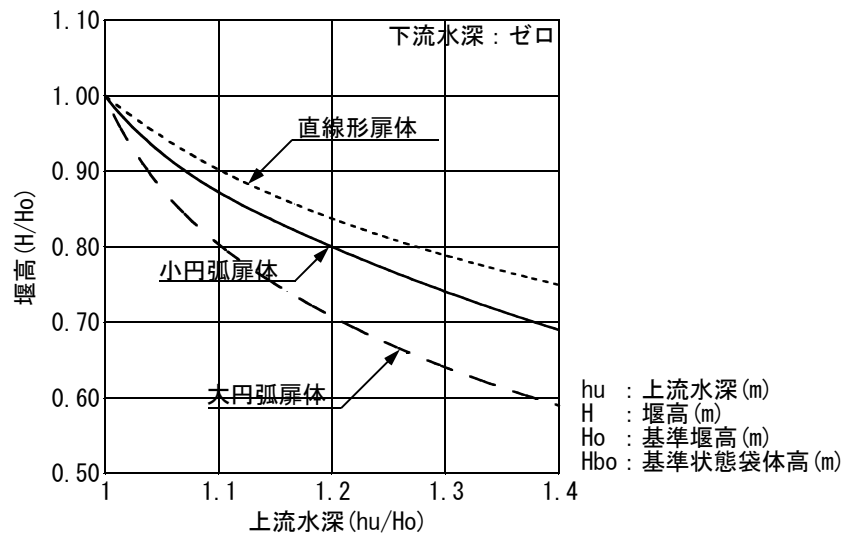


図 3.2.5 上流水深による堰高変化（円弧形の半径の影響）

3. 袋体内圧の影響

袋体内圧の設定によって水位変化に伴う堰高変化特性が変化するため、堰に要求される機能を満足するように袋体内圧を適正に設定することが必要である。

(1) 高内圧設定

高内圧設定とは、倒伏水位に至るまでは堰高に変化が生じないように、倒伏水位時にバランスする袋体内圧以上に内圧を設定する場合をいう。常時満水位～倒伏水位の範囲において、扉体留具張力によって扉体が固定されるので、堰高変化は生じない。

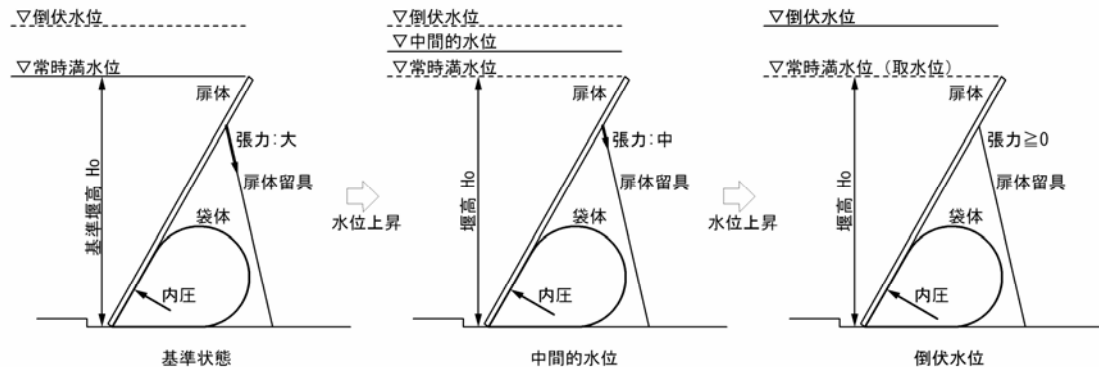


図 3.2.6 上流水位変化に伴う堰高変化（高内圧設定）

(2) 中内圧設定

中内圧設定とは、高内圧と低内圧の中間的な設定にする場合をいう。常時満水位～中間的水位の範囲で、扉体留具張力によって扉体が固定されるので、堰高は変化しない。中間的水位以上の範囲では、扉体留具張力がゼロになり、水位変化に伴って堰高が変化する。

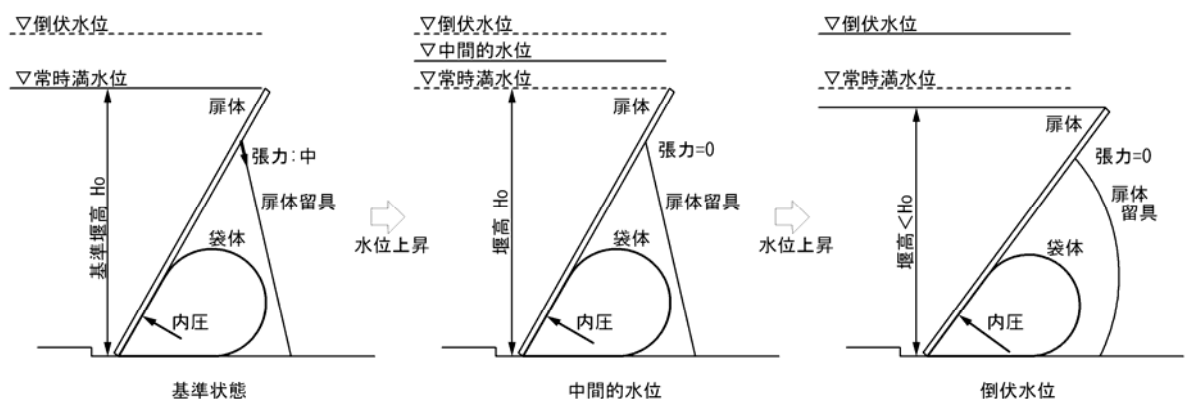


図 3.2.7 上流水位変化に伴う堰高変化（中内圧設定）

(3) 低内圧設定

低内圧設定とは、常時満水位において袋体留具張力をゼロにするように袋体内圧を設定する場合をいう。常時満水位以上の範囲で、扉体留具張力がゼロになり、水位変化に伴って堰高が変化

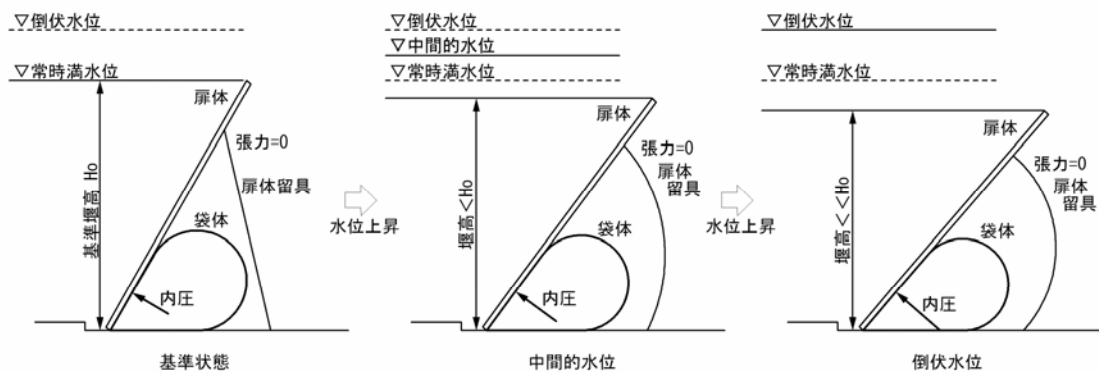


図 3.2.8 上流水位変化に伴う堰高変化（低内圧設定）

(4) 袋体内圧・規模の影響

基準堰高が 3.0m の SR 堰について、上下流水位と堰高の関係を断面二次元モデルにより試算した。上流水位が高くなると堰高は低下し、下流水位が高くなると堰高は増加する。また、袋体の内圧を高く設定すると袋体の規模（ H_{b0}/H_0 ）は小さくなるが、堰高に対する袋体の規模が小さいほど、堰高の変化量が大きくなる傾向が示されている。

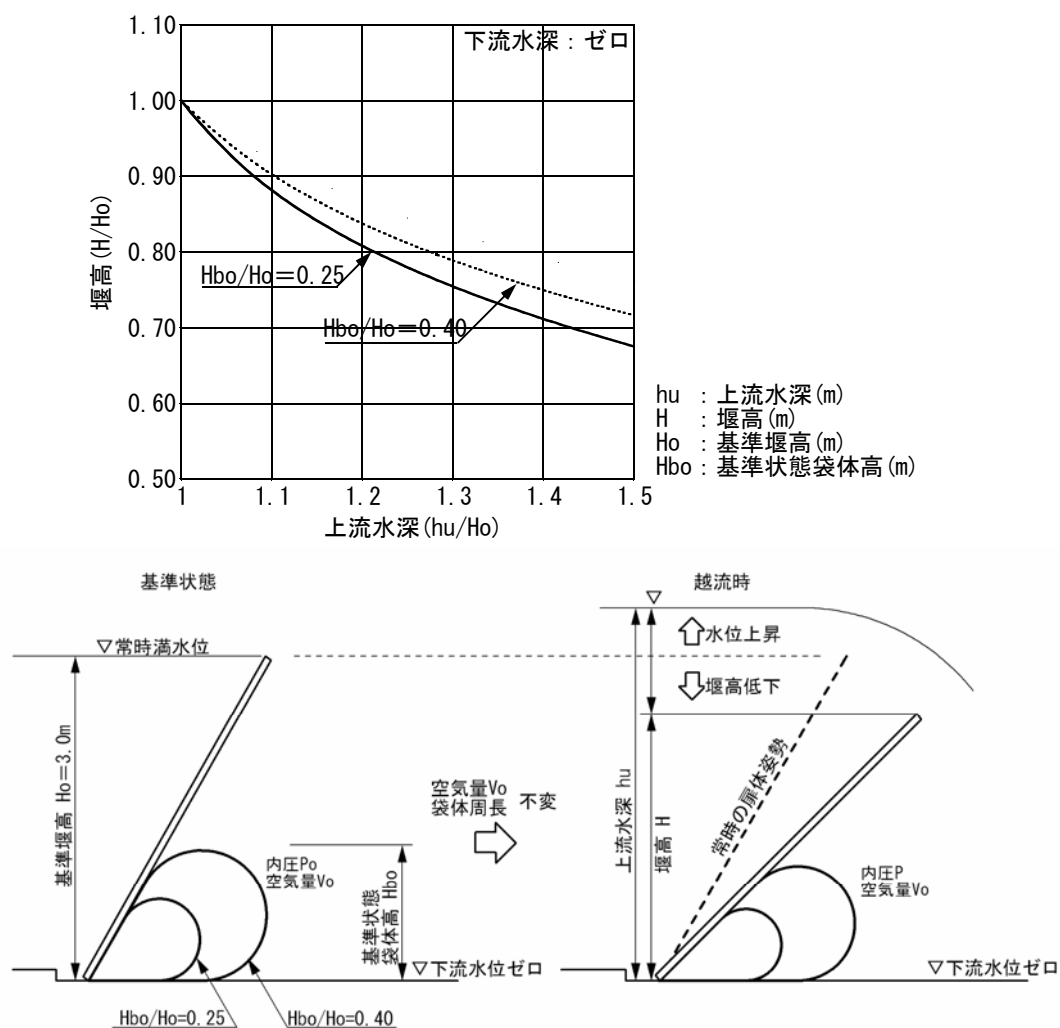


図 3.2.9 上流水深による堰高変化（袋体内圧・規模の影響）

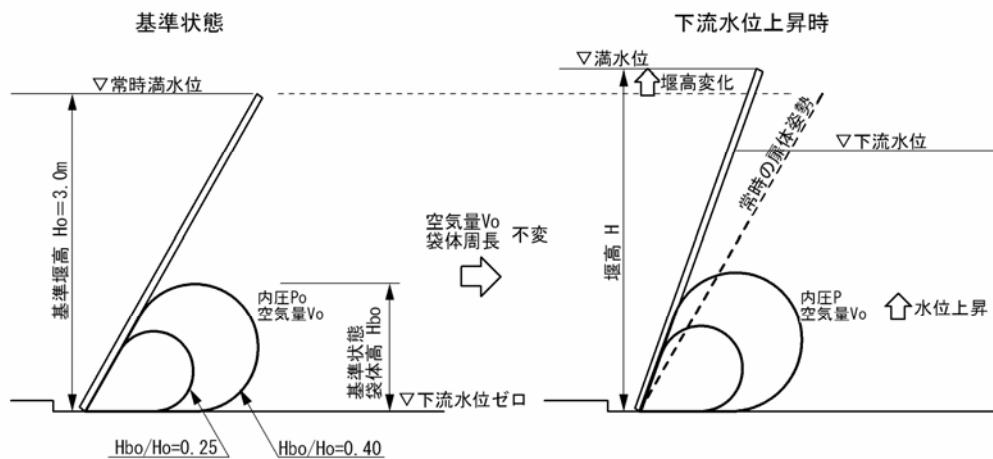
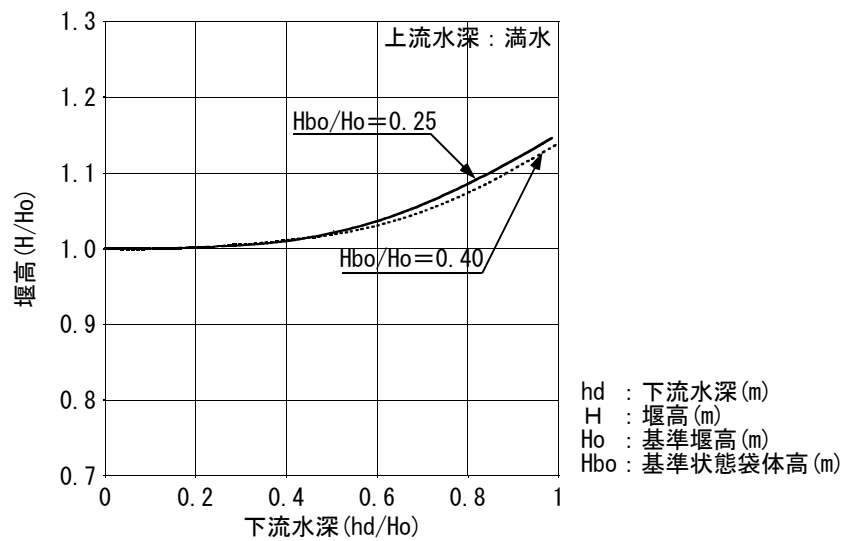


図 3. 2. 10 下流水深による堰高変化（袋体内圧・規模の影響）

4. 放流量及び下流水位上昇量との関連

堰高変化による放流量への影響を図 3. 2. 9 の結果を用いて例示すれば表 3. 2. 1 のようになる。この試算例（基準堰高 3. 0m、上流水深 3. 6m）では、上流水深が 3. 0m から 3. 6m へ上昇すると堰高が 16%低下し、放流量は堰高低下がない場合の 2. 4 倍に増加する。すなわち、上流水位で自動倒伏させる堰では、堰高低下が生じることによって倒伏頻度の低減が図られることになる。

表 3. 2. 1 上流水位による堰高変化と放流量への影響

項 目		堰高が変化する場合	堰高が一定の場合
上流水深	h_u/H_0	1. 20	同左
	h_u	3. 60m	同左
堰 高	H/H_0	0. 84（図 3. 2. 1 より）	1. 00（堰高一定）
	H	2. 52m	3. 00m
内 圧	P	0. 17Mpa	0. 22Mpa
越流水深	$h=h_u-H$	1. 08m	0. 60m
単位幅放流量	$q=Ch^{1.5}$	2. 02m ³ /s/m	0. 84m ³ /s/m

※) $H_0=3.0\text{m}$ 、 $H_{b0}/H_0=0.40$ 、 $h_u/H_0=1.2$ の場合、流量係数を $C=1.8$ と仮定

また、上流水位の上昇に伴う堰高低下量が大きくなるように扉体の断面形状や袋体内圧を設定すれば、倒伏過程における下流河道の水位上昇量を抑制できる。

これは、倒伏開始時の堰高が低下するため、倒伏時間が同一の場合には倒伏速度（堰天端高の低下速度）が低減すること、堰上流の河道貯留量が減少し、貯留量の流出による影響が低減すること、倒伏開始時の放流量が大きくなるため、河道の水位～流量特性の傾向から、放流量変化に対する水位変化率が小さくことなどによるものである。

5. 扉体留具との関連

扉体留具の張力によって扉体を拘束すると、水位変化による堰高変化を抑制できる。ただし、袋体の内圧を大きく設定することになるため、扉体、袋体、定着部の構造、強度、経済性について十分な検討が必要となる。

3.2.2 温度による堰高変化

POINT

袋体内部の温度変化による堰高変化特性を考慮し、堰に要求される機能を損なわないよう、適切に設計しなければならない。

空気量が一定で運用される SR 堰では、[1]式で示した特性によって、例えば夜間等に袋体内部の温度が低下すると袋体が収縮して堰高は低くなり、日中に温度が高くなると袋体が膨張して堰高は高くなる。

このような、温度による堰高変化と要求される機能の関係を十分に検討したうえで、適切に設計することが必要であり、温度変化にかかわらず一定の堰高維持が要求される堰では、堰高調節装置の設置が必要になる（第 5 章 5.2 参照）。

[参 考]

1. 温度変化と堰高の関係

基準堰高が 3.0m の SR 堰について、袋体温度と堰高の関係を断面二次元モデルにより試算した結果を図 3.2.11、図 3.2.12 に示す。

(1) 扉体の断面形状の影響

袋体温度が上昇すると堰高と内圧は増加し、袋体温度が低下すると堰高・内圧は減少する。なお、扉体の断面形状の相違による堰高変化量の差異は小さい。

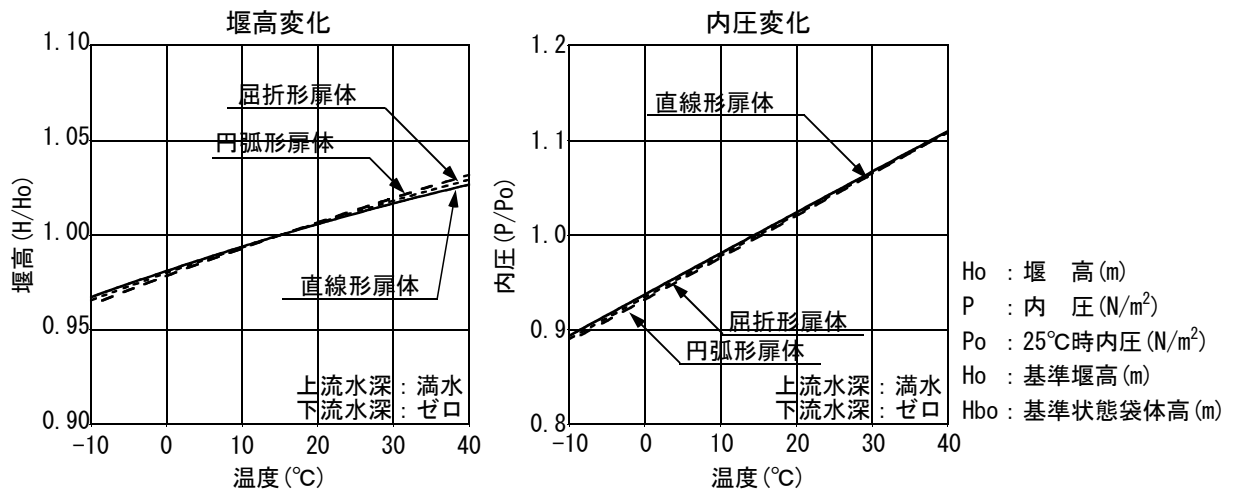


図 3.2.11 温度による堰高・内圧変化（扉体の断面形状の影響）

(2) 袋体内圧・規模の影響

袋体温度が上昇すると堰高と内圧は増加し、袋体温度が低下すると堰高・内圧は減少する。また、堰高に対する袋体の規模（ H_{b0}/H_0 ）が大きいほど、堰高・内圧の変化量が大きくなる傾向が示されている。

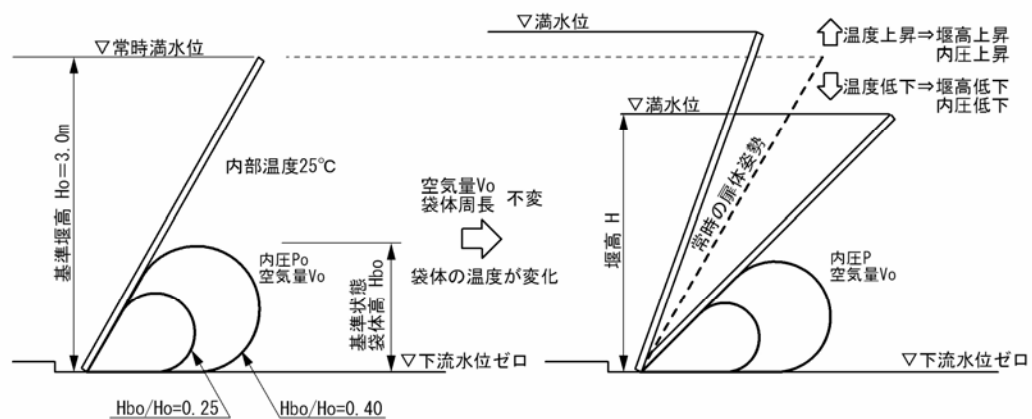
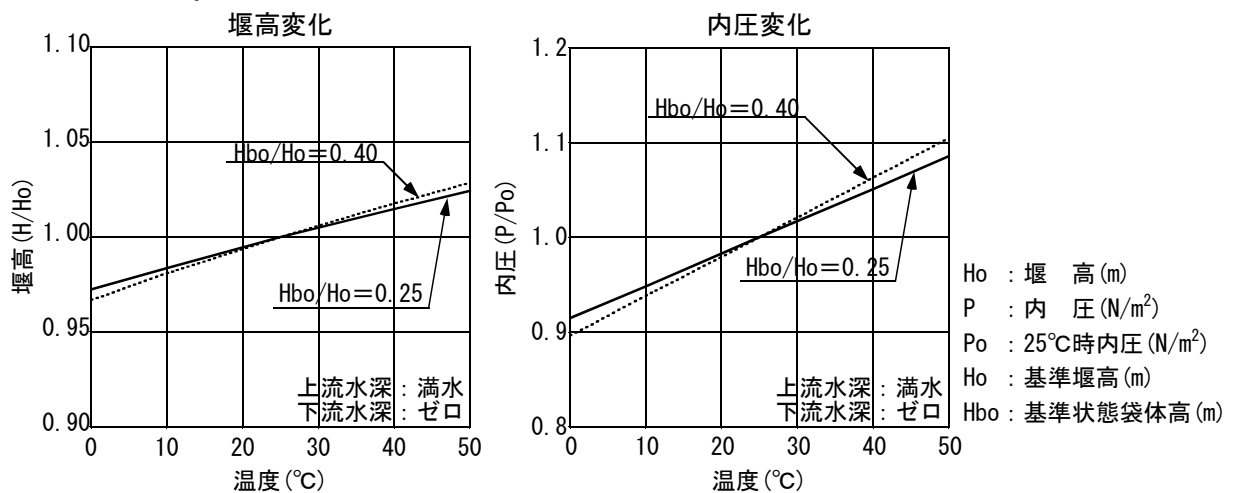


図 3.2.12 温度による堰高・内圧変化（袋体内圧・規模の影響）

3.2.3 径間内の堰高変化

POINT

SR 堰は、荷重に応じて袋体の内圧・形状が変化するため、水圧・泥圧等の荷重が径間内で不均一になると、各単位ゲートの天端高が異なる。この天端高の差異によって堰に要求される機能を損なわないよう、必要となる設備等を適切に設計しなければならない。

1. 大越流水深時における径間内の堰高変化

越流水深が大きい場合、ゲート背面の空気が排気されてゲート背面に負圧が作用する可能性がある。この状態で、堰柱部等で水流の乱れが発生して部分的な給気が生じると一部区間の負圧が減少する結果、堰背面の水圧荷重が径間内で不均一になり、単位ゲート毎に荷重のバランスを保とうとするために単位ゲート毎に袋体に変形し、結果として単位ゲート毎の堰天端高に差異が生じる。また、各単位ゲート毎の天端高の差異に伴って、越流水深及び放流量に偏りが生じる。大越流水深で操作を行う堰では、ゲート背面への給気装置、堰柱形状、スパン割等、径間方向の水圧荷重を均一にするための対策について検討が必要である。

2. 泥圧による径間内の堰高変化

河道の湾曲、砂州の形成等によって堰上流の堆砂が径間方向に不均一になると、径間内の各単位ゲートに作用する荷重条件に差異が生じ、各単位ゲート毎に作用荷重と袋体形状のバランスを保とうとするため、各単位ゲートの天端高が異なり、結果として径間内の堰天端高に偏りが発生する可能性がある。

3. 中間開度の堰高制御

中間開度での堰高設定は、袋体の内圧制御により行うことになる。しかしながら、堰高と内圧の関係は上下流水位条件によって変化するため、堰高検知装置を含む制御システムが必要となる。また、1 径間内の単位ゲート高を同一にするためには、単位ゲート毎に堰高検知装置を設置すると共に、給排気系統も独立させたシステムとなる。中間開度の堰高制御を行う場合は、SR 堰の特性、必要な精度及び制御システムについて十分に検討し、適切な設備等の設計を行う必要がある。

3.3 耐久性の確保

3.3.1 最大越流水深

POINT

常時の最大越流水深は、SR 堰の安全性に支障を来すような有害な振動が生じないように定めなければならない。

SR 堰は、越流水深が大きくなると、袋体の柔構造に起因する振動が発生する可能性がある。振動が生じると部材の疲労等により耐久性が低下することから、常時の越流水深は振動発生限界

以下に設定する必要がある。

[参 考]

一般に、扉体先端から越流水脈が剥離する越流形態では振動が生じにくいが、越流水深の増加あるいは下流水位の上昇等によって扉体背面が閉塞すると、越流水脈による圧力変動が増大して振動が生じやすくなる。振動の発生条件は、上下流水深、袋体の形状と内圧、扉体の形状等によって異なると考えられるが、SR 堰の振動発生限界は十分には解明されていない。

図 3.3.1 に模型実験結果の例を示す。実験の範囲では目視で確認できる振動は発生しなかったが、越流水深が $h/H \geq 0.4$ の範囲で微小な内圧振動が見られた。

河川に適用する鋼製起伏堰の最大越流水深は 0.3～0.5m 程度（「ダム・堰施設技術基準（案）」）とされている。また、空気式ゴム堰の最大越流水深は堰高の 20%以下（「ゴム引布製起伏堰技術基準（案）」）と定められている。上記の模型実験結果から、SR 堰の最大越流水深は、鋼製起伏堰及び空気式ゴム堰と同程度までの適用が可能であると考えられる。

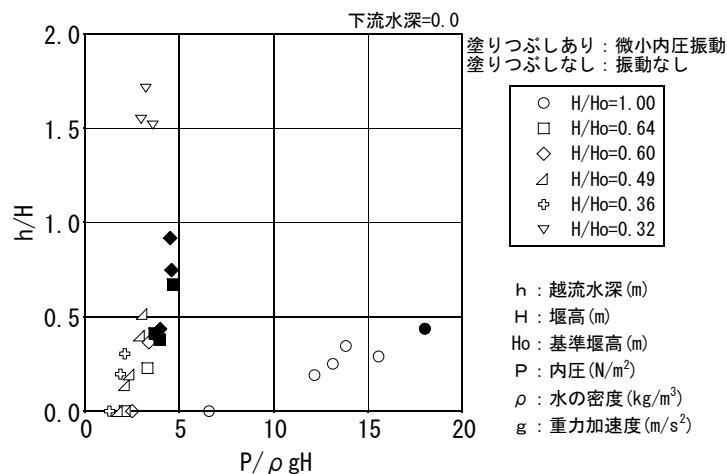


図 3.3.1 振動の模型実験結果

3.3.2 摩耗・損傷の防止

POINT

流砂、転石等によって摩耗・損傷を受ける恐れのある場合には、適切な処置を施さなければならない。

流砂・転石や流下物の多い場所では、扉体、取付金具、定着部等の摩耗・損傷防止対策として、必要に応じた摩耗代の設定、保護カバーの適用、耐摩耗性が高い材料の適用等の対策を行うものとする。

[参 考]

図 3.3.2 に示すゴム堰の実績によれば、流速 5m/s～7m/s の場合、ゴム引布の外層ゴムは 30 年間で 2mm 程度の摩耗が生じる可能性がある。

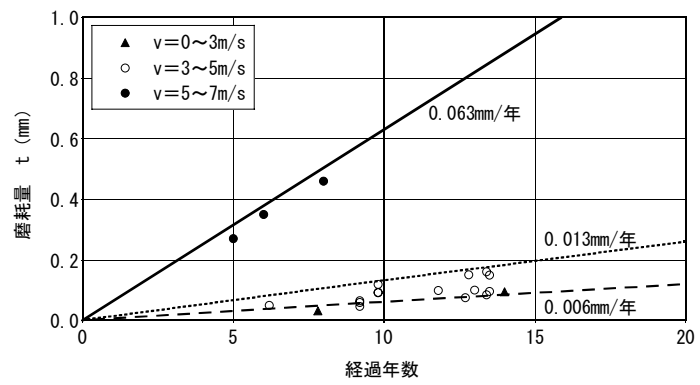


図 3.3.2 ゴム堰の実績によるゴム引布摩耗量

第4章 上部工の設計

4.1 一般

4.1.1 設計荷重

POINT

堰各部の設計に用いる外力は、堰の設置目的、河道条件、設置環境等を考慮し、通常の状態において、堰各部の応力が最大となる荷重条件を適用するものとする。

SR 堰の設計に適用する荷重は、自重、静水圧、地震時動水圧、地震時慣性力、温度の他、必要に応じ泥圧、波圧、風荷重、氷圧、雪荷重を考慮するものとする。

荷重条件の基本的な考え方は鋼製起伏堰及びゴム堰と同様であるが、SR 堰の袋体は外気にさらされやすい環境にあるため、設計に当たっては袋体内部の温度変化による袋体変形と堰高変化に留意する必要がある。

なお、袋体内圧の設定に当たっては、「第3章 機能性の検討」で定められる袋体内圧の他に、給気装置の減圧弁・安全弁等の作動圧力を考慮し、袋体に作用する可能性がある最高圧力を対象としなければならない。

4.1.2 袋体等の安全率

POINT

袋体、定着部、扉体留具、中間水密ゴムの安全率は、堰の安全が確保されるよう、適正な値を定めなければならない。

SR 堰に使用するゴム引布部材については、ゴム堰のゴム引布製袋体と同様の考え方により、安全率を定めることとする（「ゴム引布製起伏堰技術基準（案）」参照）。

袋体等に用いられるゴム引布は、張力を支える補強繊維層と、これを保護し気密性等を確保するゴム層で構成される。補強繊維としては、ナイロン、ポリエステル等が一般に用いられている。

このような繊維材料の安全率を設定するに当たり、クリープ破断特性と経年的強度低下を考慮する必要がある。クリープ破断とは、一定張力をかけて放置した場合に、材料の破断強度以下の張力でも変形が進んで破断する現象である。経年的な強度低下の要因としては、化学的な劣化、繰り返し疲労による劣化がある。

すなわち、袋体等の設計に用いる安全率は、ゴム引布のクリープ破断特性と経年的強度低下をそれぞれ独立した事象と仮定して、

$$F_s = f_1 \cdot f_2$$

ここに、 F_s ：袋体、定着部、扉体留具、中間水密ゴムの安全率

f_1 ：クリープ破断特性を考慮した係数

f_2 ：経年的強度低下を考慮した係数

以上とし、地震時の安全率は $F_s/1.5$ 以上とする。

[参 考]

1. クリープ破断特性を考慮した係数

クリープ破断時間とそれに対応する応力との関係から f_1 を設定する。ナイロンを補強層とするゴム引布の場合は、耐用年数を 30 年とすれば、クリープ試験結果から f_1 は 2.53 となる。ポリエステルを補強層とするゴム引布については、当面ナイロンと同一の係数を適用するものとし、今後の実績及びデータ取得により必要に応じて見直しを行うものとする。

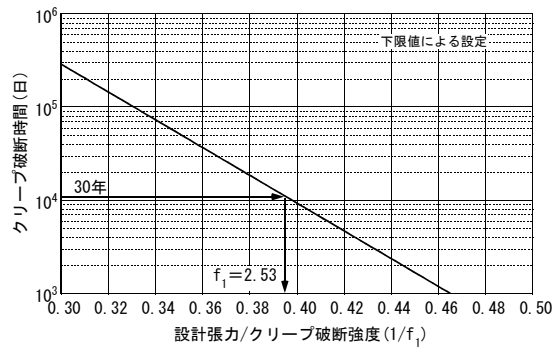


図 4.1.1 ゴム引布のクリープ破断特性（補強層がナイロンの場合）

2. 経年的強度低下を考慮した係数

経年的な化学的劣化、起伏操作に伴う繰り返し疲労による経年的な強度低下を考慮して f_2 を設定する。ナイロンを補強層とするゴム引布の場合、耐用年数を 30 年とすれば、ゴム堰の現地暴露試験結果から f_2 は 1.73 となる。ポリエステルを補強層とするゴム引布についても、当面ナイロンと同一の係数を適用するものとし、今後の実績及びデータ取得により必要に応じて見直しを行うものとする。

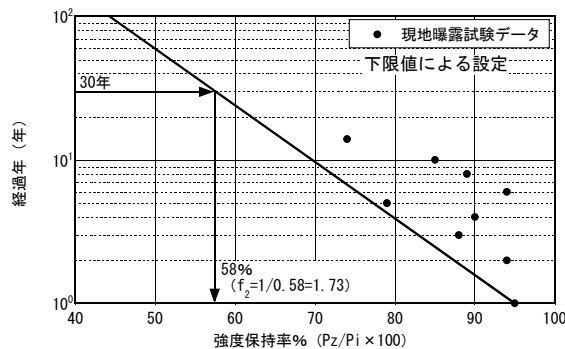


図 4.1.2 ゴム引布の経年的強度保持特性（補強層がナイロンの場合）

4.1.3 固定金具の安全率

POINT

取付金具、固定ボルト、アンカーの安全率は、堰の安全が確保されるよう、適正な値を定めなければならない。

取付金具、固定ボルト、アンカーの常時の設計に用いる安全率は、降伏点応力に対して 2 以上とし、地震時の安全率は 2/1.5 以上とする。

4.2 上部工設計

4.2.1 設計方法

POINT

上部工の設計には、扉体、袋体、定着部、扉体留具を一体として扱い、各部の外力及び応力が適切に評価できる計算方法を用いるものとする。

SR 堰は、自重、水圧等の外力に対して、袋体、定着部、扉体留具に発生する張力が釣り合うことで堰としての安定が得られる。また、堰に要求される機能確保の観点から、水圧、温度等の変化による堰高変化を照査することが必要であり、扉体、袋体、定着部、扉体留具を一体とした設計方法によることを基本とする。

FEM 等による三次元解析による方法は、袋体端部の三次的な形状や応力状態を詳細に検討できる利点があるが、計算労力が大きく適用事例も少ない。断面二次元を仮定した計算方法は、端部の応力集中等の影響を考慮することはできないが、比較的簡便に平均的な応力を計算できる。

以上のことからこの指針では、SR 堰の標準的な設計計算方法として、断面二次元モデルによる設計方法を〔参考〕に示す。なお、断面二次元モデルによる袋体及び定着部の設計では、応力集中を加味した係数を導入して設計を行うものとする。

〔参 考〕

1. 設計フロー

標準的な設計の全体フローを図 4.2.1 に、断面二次元モデルによる計算フローを図 4.2.2 に示す。

なお、簡易に SR 堰の設計・検討が行えるように、上下流水位変化に伴う袋体の変形特性を考慮した断面二次元設計プログラムを www.jice.or.jp/SR においてダウンロードできるようにしているので活用されたい。

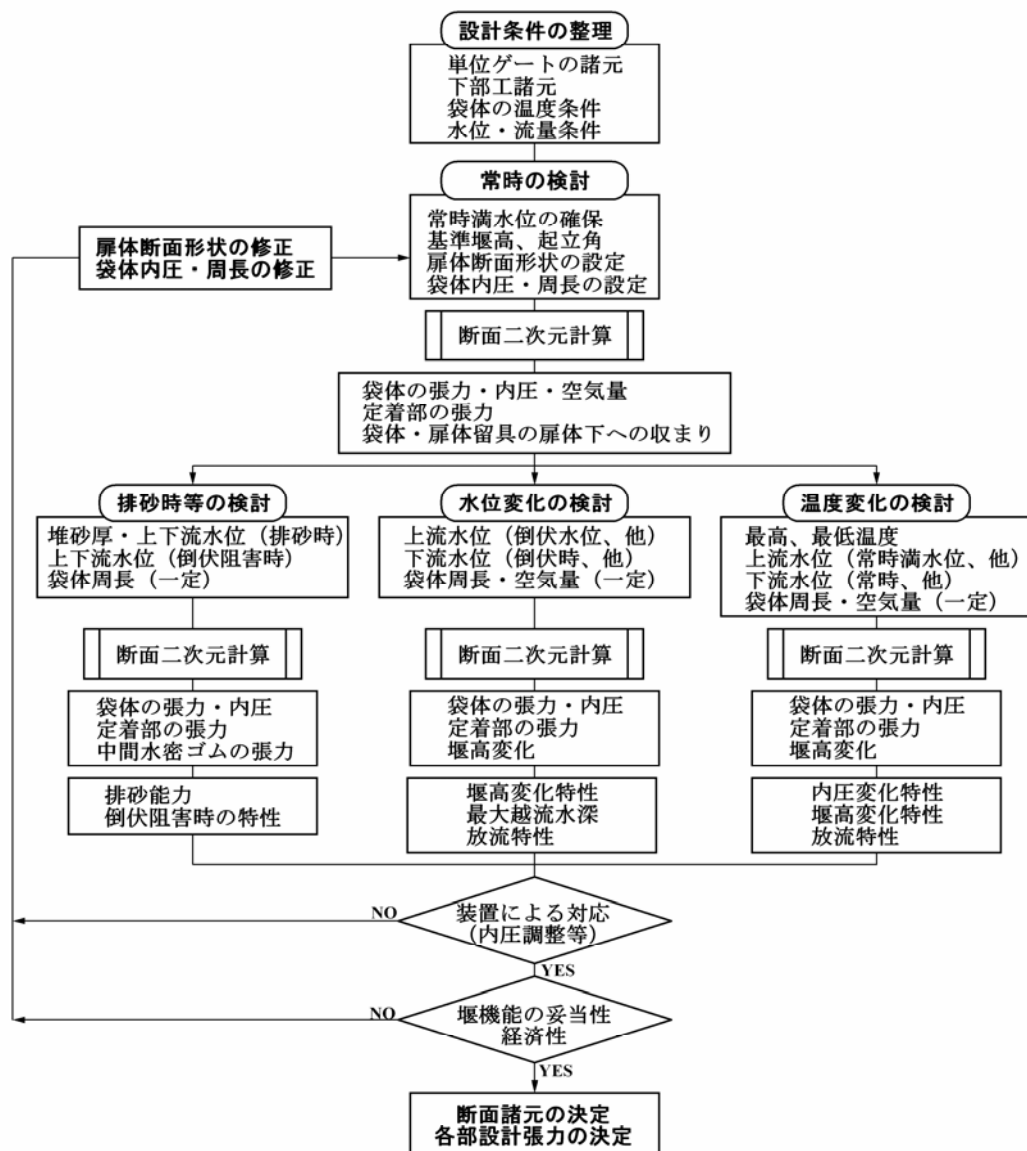


図 4. 2. 1 設計全体フロー

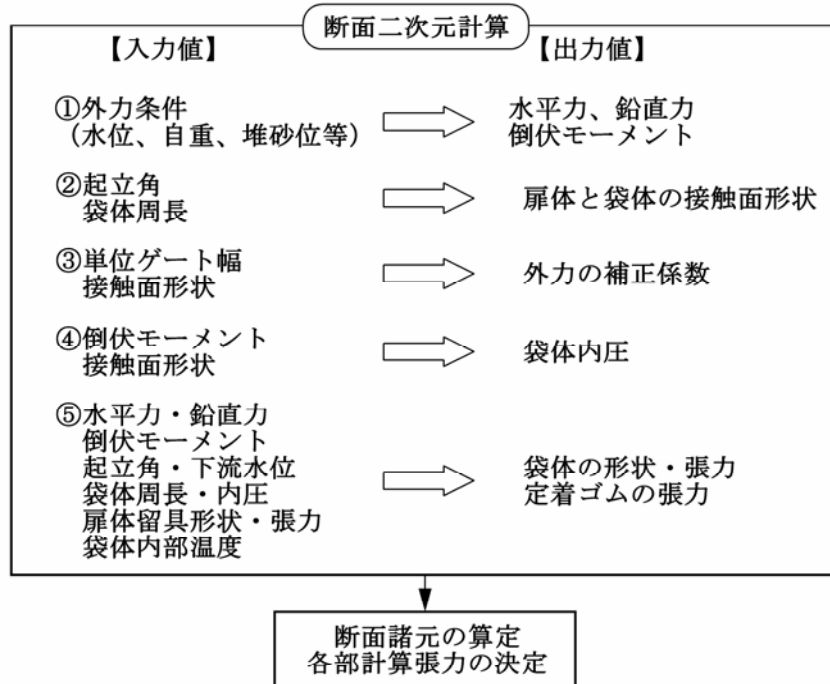


図 4.2.2 断面二次元計算フロー

2. 断面二次元モデル

単位ゲートの中央断面を対象とし、断面二次元を仮定して設計を行う。

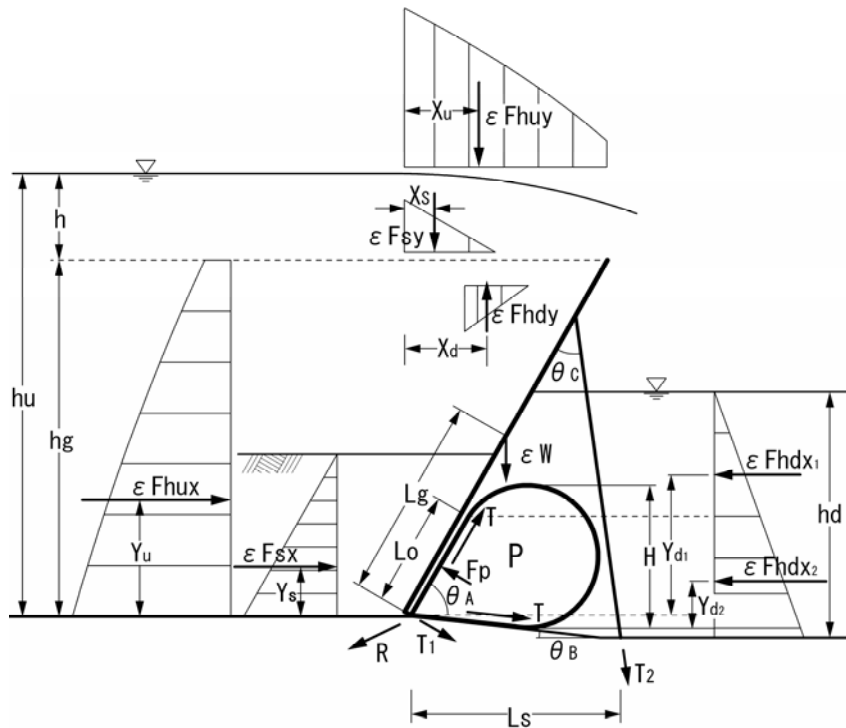


図 4.2.3 断面二次元モデルの定義図

ここに、

【既知数】

ε : 外力の補正係数

W : 扉体自重

θ_B : 下流床版の角度

L_g : 扉体の重心位置

F_{hux} : 上流側水圧の水平成分

F_{sx} : 堆砂圧の水平成分

F_{hdx1} 、 F_{hdx2} : 下流側水圧の水平成分

X_u 、 Y_u : 上流側水圧の作用位置

X_d 、 Y_{d1} 、 Y_{d2} : 下流側水圧の作用位置

P : 袋体の内圧

θ_A : 起立角度

θ_C : 扉体と扉体留具の角度

L_s : 扉体留具の位置

F_{huy} : 上流側水圧の鉛直成分

F_{sy} : 堆砂圧の鉛直成分

F_{hdy} : 下流側水圧の鉛直成分

X_s 、 Y_s : 堆砂圧の作用位置

T_2 : 扉体留具の反力

【未知数】

H : 袋体の高さ

L_0 : 袋体と床版の接触長

R : 袋体張力の反力

T : 袋体の張力

T_1 : 定着部の反力

F_p : 袋体内圧の反力

(1) 断面二次元モデルの釣合条件式

① 水平力の釣合条件

$$\varepsilon(F_{hux} + F_{sx} - F_{hdx1}) - R \cos \frac{\theta_A - \theta_B}{2} + T_1 \cos(\pi - \theta_A) + F_p \sin \theta_A + T_2 \sin(\theta_A + \theta_C - \pi/2) = 0 \quad [1]$$

② 鉛直力の釣合条件

$$\varepsilon(W + F_{huy} + F_{sy} - F_{hdy}) + R \sin \frac{\theta_A - \theta_B}{2} + T_1 \sin(\pi - \theta_A) - F_p \cos \theta_A + T_2 \cos(\theta_A + \theta_C - \pi/2) = 0 \quad [2]$$

③ モーメントの釣合条件

$$\varepsilon(F_{hux} \cdot Y_u + F_{sx} \cdot Y_s - F_{hdx1} \cdot Y_{d1} + F_{huy} \cdot X_u + F_{sy} \cdot X_s - F_{hdy} \cdot X_d + W \cdot L_g \cos \theta_A) - F_p \frac{1}{2} L_0 + T_2 \frac{\sin(\theta_A + \theta_B + \theta_C)}{\cos \theta_B} L_s = 0 \quad [3]$$

④ 袋体張力の反力

$$R = 2T \cos\left(\frac{\theta_A + \theta_B}{2}\right) \quad [4]$$

⑤ 袋体内圧の反力

$$F_p = P \cdot L_0 \quad [5]$$

(2) 扉体と袋体の接触面積

標準的な枕形の袋体について、扉体と袋体の接触面を台形と仮定して接触面積を算定する。

$$\theta = 90 - 0.75(\alpha + \beta) \quad [6]$$

$$A = (B - L_c \cot \theta) L_c \quad [7]$$

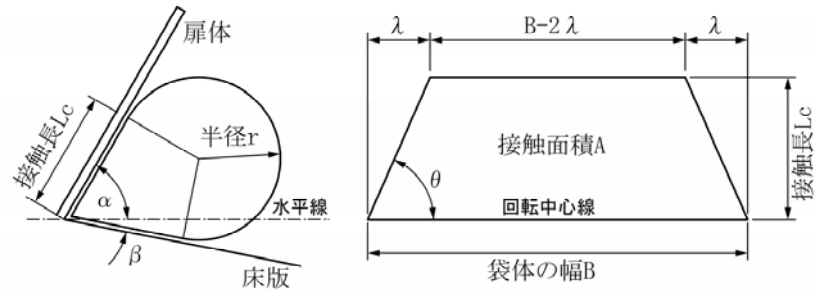


図 4.2.4 袋体と扉体の接触面形状

(3) 袋体の内圧

単位ゲート 1 門のモーメントの釣合い条件に基づいて行う。

$$P = \frac{M_r}{G_A} \quad [8]$$

ここに、
 P : 袋体の内圧
 M_r : 扉体の倒伏モーメント
 G_A : 接触面の断面一次モーメント

(4) 外力の補正係数

二次元断面設計においては、台形接触面での釣合条件と等価になるように、仮想の単位ゲート幅を設定し、外力の補正係数を導入する。

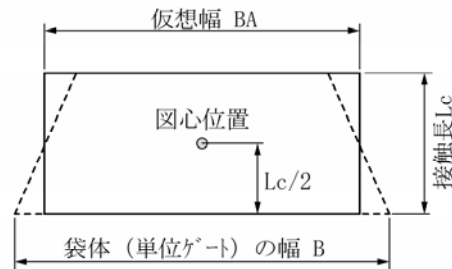


図 4.2.5 仮想ゲート幅

接触面の断面一次モーメントが等しくなる条件から、仮想の単位ゲート幅は次のように求められる。

$$G_A = (B_A L_c) \frac{L_c}{2}$$

$$B_A = \frac{2G_A}{L_c^2} \quad [9]$$

ここに、 B_A : 仮想単位ゲート幅
 G_A : 接触面の断面一次モーメント
 L_c : 接触長

これにより仮想の単位ゲート幅に対して、外力（水圧荷重・扉体自重）を 1 門全体と等価にするための補正係数は次のようになる。

$$\varepsilon = \frac{B}{B_A} \quad [10]$$

二次元断面設計に用いる外力値は、この補正係数 ε を乗じて求める。

(5) 袋体の張力

袋体の張力と内圧・半径の関係は次式で表される。

$$T = \Delta P \cdot R$$

ここに、 T ：袋体の張力 ΔP ：袋体の内外圧力差 R ：袋体の曲率半径

袋体の張力・形状等の特性は空気式ゴム堰と同一であり、「ゴム引布製起伏堰技術基準（案）」に示される、空気式ゴム堰の無次元形状計算手法を用いて算定する。

表 4.2.1 張力計算に用いる記号

袋体高	$1 = H/H$
水深	$h = hd/H$
内圧	$\alpha = P/\rho gH$
張力	$t = T/\rho gH^2$
立上角度	β

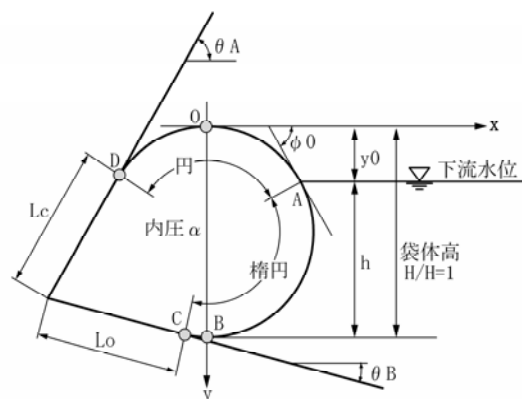


図 4.2.6 袋体の張力計算

袋体の張力は、下流水深の条件によって各々次式で与えられる。

① $h \geq 1$ （下流水深が袋体の高さ以上）の場合

$$t = \frac{\alpha - h + \frac{1}{2}}{1 - \cos \beta} \quad [11]$$

② $h < 1$ （下流水深が袋体の高さ未満）の場合

$$t = \frac{y_0 \alpha}{1 - \cos \phi_0} \quad [12]$$

$$\cos \beta = \cos \phi_0 - \frac{\frac{1}{2} - h(1 - \alpha) - \frac{1}{2} y_0^2}{t} \quad [13]$$

袋体を、図 4.2.6 に示す D-O、O-B、B-C の 3 区間に分割し、扉体及び床版での立上角度 β が各々 θ_A 、 $\pi - \theta_B$ となることを考慮すれば、[11]～[13]式から各区間の張力は次式で与えられる。

① D-O 区間

$$t_{D-O} = \frac{\alpha h_1 - h h_1 + h_1 - \frac{1}{2} h_1^2}{\cos \theta_A - 1} \quad (h \geq 1 \text{ の場合}) \quad [14]$$

$$t_{D-O} = \frac{\alpha h_1 + h_1 - h h_1 - \frac{1}{2} h_1^2 + h - \frac{1}{2} h^2}{\cos \theta_A - 1} \quad (h < 1 \text{ の場合}) \quad [15]$$

② O-B 区間

$$t_{O-B} = \frac{\alpha - h + \frac{1}{2}}{2} \quad (h \geq 1 \text{ の場合}) \quad [16]$$

$$t_{O-B} = \frac{\alpha - \frac{1}{2} h^2}{2} \quad (h < 1 \text{ の場合}) \quad [17]$$

③B・C 区間

$$t_{B-C} = \frac{\frac{1}{2}h^2 - \alpha h_2}{\cos \theta_B - 1} \quad (h \geq 1 \text{ の場合}) \quad [18]$$

$$t_{B-C} = \frac{-\frac{1}{2}h_2^2 - \alpha h_2 + h h_2}{\cos \theta_B - 1} \quad (h < 1 \text{ の場合}) \quad [19]$$

ここに、 h_1 : D・O 区間の袋体高さ

h_2 : B・C 区間の袋体高さ

張力の計算は、[16]式または[17]式により張力 t_{O-B} を求め、次の[20]式の関係から、袋体の高さ h_1 、 h_2 を算定する。

$$t_{O-B} = t_{D-O} = t_{B-C} \quad [20]$$

4.2.2 扉体の設計

POINT

扉体は、使用状態において発生する最大応力に対して、必要な強度、剛性及び水密性を有するように設計を行うものとする。

扉体は、スキンプレート、縦桁等からなり、水圧等の外力の他に袋体の内圧、定着部・扉体留具の張力が作用する。扉体の設計は、「ダム・堰施設技術基準（案）」、「鋼製起伏ゲート設計要領（案）」を適用し、最大応力が発生する条件を対象として行う。

扉体の端部は袋体で支持されないため、断面方向のたわみが大きくなるとともに、堰軸方向にもたわみが生じる。扉体の設計に当たっては、堰機能に対する端部たわみの影響を十分に考慮し、必要な強度、剛性及び水密性を有するように設計を行う。

全閉時には、上流側が最高水位、下流側が最低水位の場合に発生応力が最大となる。中間開度操作を行う場合、袋体内圧を高めて排砂操作を行う場合等は、全閉時との発生応力の比較を行い、発生応力が最大になる条件を対象として設計を行う。

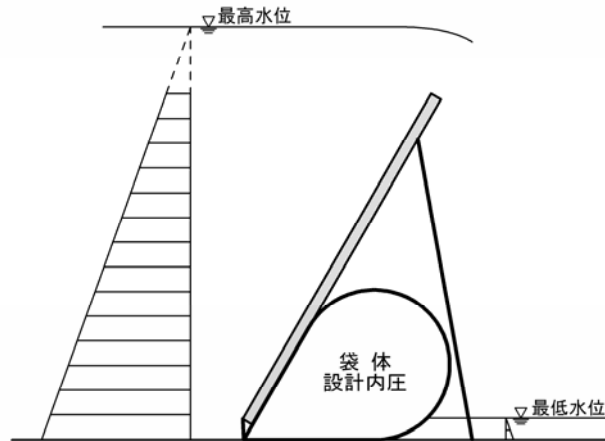


図 4.2.7 扉体の設計水位条件（全閉時）

[参 考]

SR 堰の扉体は、河川の規模により、1 径間を複数の単位ゲートに分割する形式と、分割せずに 1 つの扉体とする形式がある。単位ゲート幅の設定によっては、施工性、経済性、維持管理性が異なってくるので、総合的な検討が必要である。

経済性、維持管理性を含めた総合的な検討を行う際には、分割数を多くするほど径間方向の柔軟性が増し、扉体背面に流木等の噛み込み等が生じても河積が確保しやすくなるが、一方で、扉体端部において袋体で支持されない面積（前項の図 4.2.4 に示す $\lambda \times L_c$ ）の割合が増加し、より高い袋体内圧と張力が必要となるなどの特徴を踏まえた検討が重要である。

4.2.3 袋体の設計

POINT

袋体は、使用状態において発生する最大張力に対して、必要な強度及び気密性を有するように設計を行うものとする。設計に当たっては、袋体の応力集中及び変形特性を十分考慮するものとする。

1. 設計内圧

袋体の設計内圧は、堰に要求される機能から定められる袋体内圧の他に、給気装置の減圧弁・安全弁等の作動圧力を考慮し、袋体に作用する可能性がある最高圧力とする。

2. 設計張力

袋体の設計張力は、使用状態において袋体に発生する最大の張力とする。袋体の張力は空間的に一様ではなく、端部等には応力集中が発生するため、設計張力にはこのような応力集中による増分を見込まなければならない。

$$T_d = \lambda_F \cdot T$$

ここに、 T_d ：設計張力、 T ：計算張力、 λ_F ：袋体の応力集中係数

計算張力 T は、「第 4 章 4.2.1」で示した断面二次元を仮定した方法により計算された袋体張力であり、単位ゲート中央断面の周方向における平均的な張力である。

計算張力の算定は、最大応力が発生する条件を対象としなければならない。全閉時には、上流側が最高水位、下流側が最低水位の場合に発生応力が最大となる。中間開度操作を行う場合、袋体内圧を高めて排砂操作を行う場合等は、全閉時との発生応力の比較を行い、発生応力が最大になる条件を対象として設計を行う。

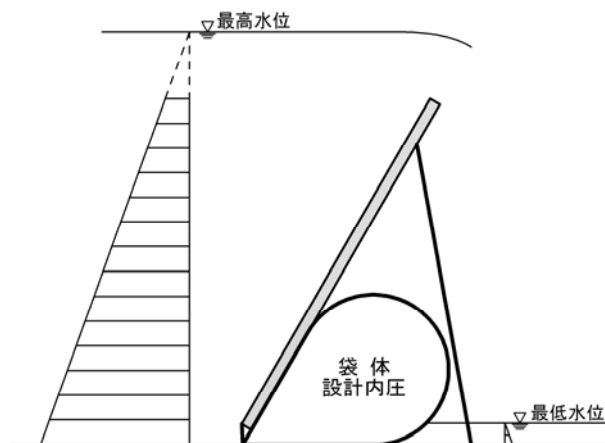


図 4.2.8 袋体の設計水位条件（全閉時）

[参 考]

1. 袋体の応力集中等

袋体の端部等に発生する応力集中は、一般に袋体の形状・構造・製造方法・内圧、扉体の起立角等によって変化する。袋体の伸び分布測定及び三次元 FEM 解析による検討事例では、応力集中係数 λ_F として 1.8 が示されているが、今後の実績及びデータ取得により必要に応じて見直しを行うものとする。なお、袋体の設計に当たって三次元 FEM 等の計算方法を用いる場合は、計算張力を設計張力とすることができる。

また、製造過程で折り返し部が形成される袋体では、起立時に折り返し部の内側に応力集中が生じる。折り返し部が弱点にならないように、特別な措置を講ずる必要がある。

2. 袋体の最大規模

倒伏時において、扉体の下部に袋体を収納する観点からは、袋体周長は扉体長の 2 倍が最大値となる。一方、起立時において、流木等の落下による袋体の損傷を抑制する観点からは、袋体の下流面が扉体先端より下流側へ突出しないような配慮が必要である。

袋体の設計に当たっては、上下流水位変化や袋体温度変化に伴う堰高変化特性(第 3 章 3.2.1、3.2.2 参照)を十分に考慮するとともに、扉体下部への収まりにも配慮して袋体諸元を選定することが必要である。

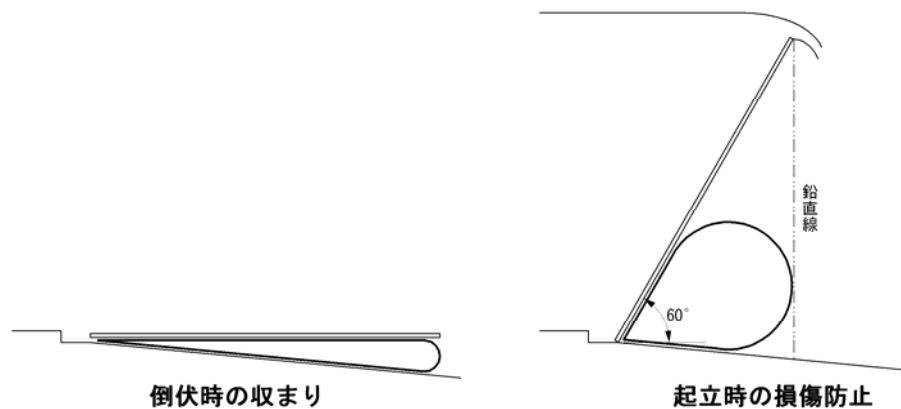


図 4.2.9 袋体の最大規模

4.2.4 定着部の設計

POINT

定着部は、使用状態において発生する最大張力に対して必要な強度及び水密性を有する構造とする。

1. 設計張力

定着部の設計張力は、使用状態において定着部に発生する最大の張力とする。扉体端部のたわみが多い場合、扉体に不均一な堆砂が生じた場合等は、定着部張力も堰軸方向で不均一になる。設計張力にはこのような応力集中による増分を見込まなければならない。

$$T_d = \lambda_T \cdot T$$

ここに、 T_d ：設計張力、 T ：計算張力、 λ_T ：定着部の応力集中係数

計算張力 T は、「第 4 章 4.2.1」で示した断面二次元を仮定した方法により計算された定着部張力であり、単位ゲート中央断面における平均的な張力である。

計算張力の算定は、最大応力が発生する条件を対象としなければならない。全閉時には、上流側が最高水位、下流側が最低水位の場合に発生応力が最大となる。中間開度操作を行う場合、袋体内圧を高めて排砂操作を行う場合等は、全閉時との発生応力の比較を行い、発生応力が最大になる条件を対象として設計を行う。

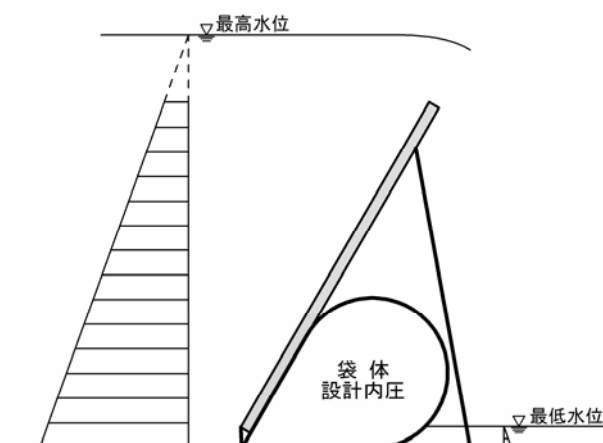


図 4.2.10 定着部の設計水位条件（全閉時）

[参 考]

定着部の応力集中は、一般に定着部の形状・構造・製造方法、外力の偏り、扉体の剛性・起立角等によって変化する。模型実験による定着部応力の検討事例では、応力集中係数 λ_F として 2.3 が示されているが、今後の実績及びデータ取得により必要に応じて見直しを行うものとする。なお、定着部の設計に当たって三次元 FEM 等の計算方法を用いる場合は、計算張力を設計張力とすることができる。

4.2.5 中間水密ゴムの設計

POINT

中間水密ゴムは、使用状態において発生する最大張力に対して必要な強度と水密性を有する構造とする。

1. 中間水密ゴムの機能

隣接する扉体が起伏時等に重なり合って干渉することがないように、扉体間には一定の間隙が設けられる。中間水密ゴムは、隣接する扉体間の間隙を覆って水密性を確保するための部材であり、間隙に作用する最大の水位差に対応できる水密性と強度が求められる。

堆砂厚が不均一な場合等に排砂操作を行うと、隣接する扉体の起立角に差異が生じ、中間水密ゴムも大きく変形する。また、流木の噛み込み等による倒伏阻害が生じた場合、中間水密ゴムが大きく変形すれば、ある程度の河積確保が可能になる。すなわち、排砂操作時・倒伏阻害時には、中間水密ゴムには柔軟な変形特性が求められる。

2. 常時に対する検討

計算張力の算定は、最大応力が発生する条件を対象としなければならない。全閉時においては一般に、上流側が最高水位、下流側が最低水位の場合に発生応力が最大となる。

隣接する扉体の端部で支持されるゴム引布とすれば、中間水密ゴムの張力は次式で表される。

$$T = \Delta P \cdot R \quad [21]$$

ここに、 T ：中間水密ゴムの張力

ΔP ：上下流の水圧差

R ：中間水密ゴムの曲率半径

上下流の水圧差 ΔP を一定とすれば中間水密ゴムの形状は円弧となるので、A・Bを通る弧長 s の円の半径として R が求められ、[21]式から常時の張力が算定される。

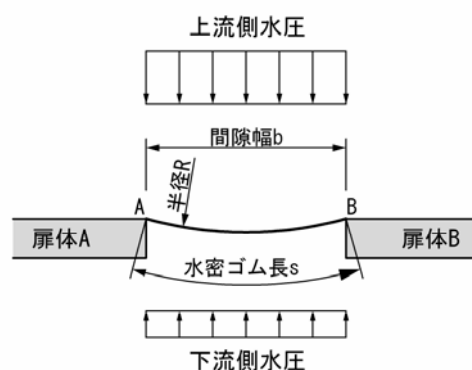


図 4.2.11 常時の概念図

3. 排砂操作時に対する検討

袋体内圧による排砂を行う場合は、対象とする水位・堆砂条件、及び隣接する扉体間の許容変位 δ を設定し、中間水密ゴムの設計を行う。

扉体間に変位が生じる場合の応力状態は三次元的になると考えられるが、ここでは断面二次元モデルを用いた近似的な計算によるものとする。

すなわち、排砂時の水位・堆砂条件に対して、隣

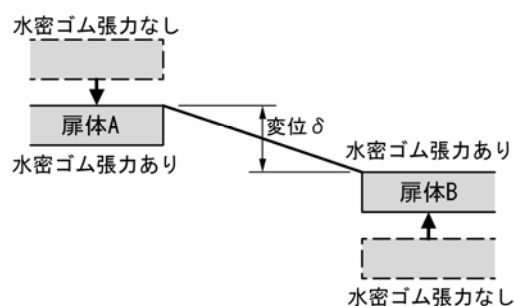


図 4.2.12 排砂時の概念図

接する扉体の変位が δ となる中間水密ゴムの張力を試行的に求め、中間水密ゴムの計算張力を算定する。ただし、断面二次元モデルによる算定は概略値であり、堆砂厚が大きい場合は模型実験等による検討を行うものとする。

4. 倒伏阻害時に対する検討

倒伏阻害時に中間水密ゴムを破断する場合、排砂時と同様にして断面二次元モデルを適用し、扉体変位と中間水密ゴムの破断条件を求めることで、張力を概算することは可能である。しかし実際には、扉体、袋体、定着部を含めて三次元的な変形と応力状態が生じるので、破断時の水位・流量・張力を定量的に把握するには模型実験等による検討が必要となる。

5. 径間内の堰天端高の偏りに対する検討

排砂操作時と同様に、隣接する扉体の変位が δ となる中間水密ゴムの張力を試行的に求め、中間水密ゴムの計算張力を算定する。ただし、径間内の堰天端高の偏りが大きい場合は模型実験等による検討を行うものとする。

6. 中間水密ゴムの設計張力

常時においては特段の応力集中は生じないと考えられるため、計算張力を設計張力とすることが出来る。一方、排砂時・倒伏阻害時には扉体先端部の伸びが最大になって応力集中が生じ、最先端部の補強繊維から順次破断するような現象が予想される。このような場合の応力集中特性は明らかではないため、必要に応じて材料試験等を行い、適切な応力集中係数を設定して設計張力を定めるものとする。

また、倒伏阻害時に破断させるための張力と、排砂操作から定まる張力が整合しないことが考えられる。このような場合は、堰の管理方法及び当該河川の河道特性を総合的に勘案して、設計張力を設定する。

4.2.6 扉体留具の設計

POINT

扉体留具は、使用状態において発生する最大張力に対して必要な強度を有する構造とする。

1. 扉体留具の機能

扉体留具の基本的な機能は、扉体の起立角が一定以上にならないように拘束することである。また、越流時に扉体留具の張力を大きくし、扉体の固定力を増大させることで、越流振動の発生を抑制できる可能性があるが、扉体・定着部の強度及び袋体の内圧・強度も高めることになるため、経済性も含めて十分な検討が必要である。また、クリープによる経時的な伸びの影響についても考慮が必要となる。

2. 設計張力

扉体留具の設計張力は、最大応力が発生する条件として、上流側が最低水位、下流側が最高水位について算定する。

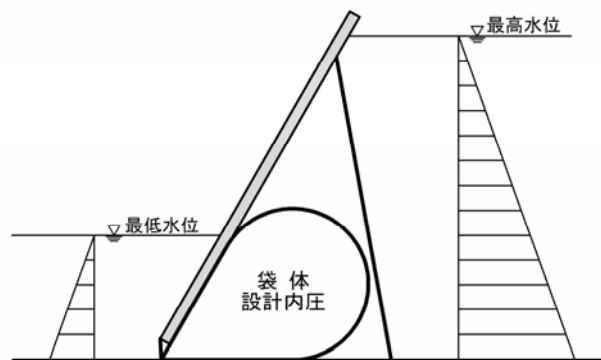


図 4.2.13 扉体留具の設計水位条件

振動発生防止対策等として設置する場合は、扉体留具の設置目的に応じて必要となる張力を設計張力とする。

4.2.7 固定金具の設計

POINT

取付金具、固定ボルト、アンカーは、使用状態において発生する最大応力に対して必要な強度を有する構造とする。

定着部、袋体及び扉体留具は取付金具、固定ボルト、アンカーで床版に固定される。固定金具に作用する荷重として、定着部、袋体及び扉体留具の設計張力、固定ボルトの締付力を考慮する。なお、転石などの流下物の多い場所では、摩耗・損傷に対する検討を行わなければならない。

4.3 各部材質

4.3.1 ゴム引布の仕様

POINT

袋体、定着部、扉体留具、中間水密ゴムに使用するゴム引布の仕様は、想定される使用条件に耐えられるよう、所要の初期物性、耐久性を有するものでなければならない。

SR 堰に用いるゴム引布は、張力を支える補強繊維層と、これを保護し気密性等を確保するゴム層で構成される。ゴム層は、外層、中間層、内層に区分され、各々が所定の機能を十分に発揮できる構造を有していなければならない。各ゴム層に要求される機能を以下に示す。

1. 外層ゴム

流水に常時さらされるため、流下物に対する耐摩耗性が高いこととともに、日射に対する耐候性、耐熱性及び耐オゾン性が重要である。

2. 中間層ゴム

補強繊維を直接保護するゴム層であり、ゴムと補強繊維の接着性、ゴムとゴムとの接着性、耐水性等に関する性能が重要である。SR 堰の袋体は高内圧で使用され、空気の透過があり得るため、内層・外層ゴムほどではないが、耐オゾン性について配慮が必要である。

3. 内層ゴム

補強繊維の保護機能に加えて、気密性が高くなければならない。また、袋体内には空気の流通があるため、外層ゴムほどではないが、耐オゾン性について配慮が必要である。

4. ゴム引布の仕様

ゴム引布は接合部等を含め、いずれの部位についても表 4.3.1 の仕様を満足するものとする。

表 4.3.1 ゴム引布仕様表

部材	試験項目	規格値	試験方法	
ゴム (外層・中間層・内層)	初期物性	TB $1.18 \times 10^7 \text{N/m}^2$ 以上 EB 400%以上	JIS K 6251×3 点 (ダンベル状 3 号)	引張速度 500±50mm/min
	耐熱 老化性	TB $9.81 \times 10^6 \text{N/m}^2$ 以上 EB 300%以上	JIS K 6257×3 点 (ダンベル状 3 号)	引張速度 500±50mm/min 温度 100±1℃、96 時間
	耐水性	TB $9.81 \times 10^6 \text{N/m}^2$ 以上 EB 350%以上	JIS K 6258×3 点 (ダンベル状 3 号)	引張速度 500±50mm/min 温度 70±1℃、96 時間
	耐寒性	異常なし	JIS K 6261×5 点	ぜい化温度 -25℃以下
外層ゴム	耐摩耗性	0.5ml 以下	JIS L 6264×3 点 (テーパー摩耗試験)	研磨といし H18 荷重 9.8N 回数 1000 回
	耐オゾン性	異常なし	JIS K 6259×3 点 (短冊状、静的オゾン 劣化試験)	オゾン濃度 100±10pphm 引張ひずみ 50±2% 温度 40±2℃、96 時間
ゴム引布	引張強さの 初期物性	設計張力×安全率以上	JIS K 6322×3 点 (ダン ベル状 A 形又は B 形)	引張速度 100±10mm/min
	引張強さの 耐熱老化性	初期物性×80%以上	JIS K 6257 及び JIS K 6322×3 点 (ダン ベル状 A 形又は B 形)	引張速度 100±10mm/min 温度 100±1℃、96 時間
	引張強さの 耐水性	同 上	JIS K 6258 及び JIS K 6322×3 点 (ダン ベル状 A 形又は B 形)	引張速度 100±10mm/min 温度 70±1℃、96 時間
	ゴムと 補強繊維の 接着力	初期物性 $5.88 \times 10^3 \text{N/m}$ 以上 70℃水 4 日浸水後 $3.92 \times 10^3 \text{N/m}$ 以上	JIS K 6258 及び JIS K 6256×3 点 (短冊状)	引張速度 50±5mm/min

TB: 破断強度 (N/m) EB: 破断時伸び (%)

4.3.2 固定金具等の材質

POINT

取付金具及び固定ボルトの材質は、使用場所に応じ、必要とされる強度及び耐久性を十分考慮しなければならない。

固定金具等は、常時、水中に没することから、取付金具及び固定ボルトの材質は、堰の設置目的、使用環境、規模、保守管理体制を考慮して適切に選定しなければならない。

第5章 操作設備の設計

5.1 一般

5.1.1 起伏用センサ

POINT

SR 堰の起伏用センサは、河川水位、袋体内圧、扉体起立角等、必要な検出対象によって選択し、適切な位置に設置するものとする。

1. 扉体起立角センサ

既往事例では、起立角センサとして傾斜計が用いられているが、検知精度、応答性、耐久性、維持管理性等を考慮し、形式・諸元を適切に選択するものとする。水圧荷重が不均一になる場合や堆砂時には各単位ゲートの扉体天端高が一定にならないため、検知目的によっては、各単位ゲートに起立角センサを設置する等の対応が必要になる。

2. 河川水位センサ

水位センサにはフロート式、圧力式、超音波式、電極式、気泡式等の形式があるが、検知精度、応答性、耐久性、維持管理性等を考慮して適切に選択するものとする。

越流水深が大きい場合及び起伏操作時には、堰付近に局所的な水位低下や水面変動が生じるため、検知目的に応じてセンサの設置位置を適切に選択することが重要である。また、河川水位検知管を介して水位センサを設置する場合は、河川水位検知管が土砂や空気で閉塞されないように十分な対策を施す必要がある。

3. 袋体内圧センサ

内圧センサには各種圧力計が用いられるが、検知精度、応答性、耐久性、維持管理性等を考慮して適切に選択するものとする。

内圧センサを袋体の給排気管に接続すると、起伏操作時には給排気管の圧力が変動するため、起伏過程における袋体内圧の検知は不可能になる。起伏操作時においても袋体内圧を検知する必要がある場合には、給排気管から独立した袋体内圧検知管に内圧センサを設置する必要がある。

4. 雷対策

雷害には直接雷と誘導雷によるものがあるが、雷害の大半は誘導雷によるもので、これによるサージ性異常電圧が機器に被害を与える。各種センサなどの電子機器はサージ性異常電圧に弱いため、雷の常襲多発地域等では雷対策が必要となる。

5.1.2 安全装置

POINT

SR 堰には、安全装置を設置するものとする。

空気の過給による袋体等の損傷防止、及び倒伏装置が故障した場合の保障装置として、安全装置を設けるものとする。

1. 過給防止装置

袋体の過給防止装置として一般に安全弁が用いられる。安全弁は、給気装置の給気量を十分に考慮して形式・口径を選定する。

2. 倒伏安全装置

出水時に上流水位を検出して、動力を用いず扉体を倒伏できる機械式自動倒伏装置を設けるものとする。自動倒伏装置が故障した場合は手動弁で倒伏させることができるが、重要な堰においては、常用から独立した非常用倒伏装置を併設するなどして、倒伏操作の安全性を高めることが望ましい。

5.2 操作設備設計

5.2.1 起伏装置の設計

POINT

起伏装置は、常時、非常時とも確実に作動するものでなければならない。

1. 起立装置

給気装置として一般にコンプレッサ、エアードライヤー等が設置される。起立装置の圧力・容量は、起立速度、堰の操作頻度を考慮して適切に選定する。

2. 倒伏装置

倒伏装置はできるだけ単純な機構とし、人為的な誤操作の防止対策を施す。誤操作による事故を防止するためには、フールプルーフ機構を取り入れる等、操作の確実性が損なわれないように考慮しなければならない。倒伏装置の排気容量は、倒伏速度を考慮して適切に選定する。

3. 堰高調節装置

水位・温度による堰高変化を調節する必要がある場合、堰高調節装置を設置する。SR 堰の堰高調節は袋体への給排気により行うが、堰高調節の目的に応じて、検出端となる起立用センサを適切に選択しなければならない。また、調節操作によって急激な堰高変化が生じないように、給排気速度を適切に設定する必要がある。

堰高調節装置は、堰高を検出する装置と給排気を行う装置で構成される。堰高の検出は、扉体起立角を直接検知する方法と、上下流水位と袋体の内圧を検知し、断面二次元モデルを用いて間

接的に堰高を推算する方法がある。

いずれの方法においても、水圧等の外力が不均一になって各単位ゲートの扉体天端高が一定にならない状況が想定される場合には、単位ゲートごとに堰高検出装置及び給排気装置を個別に設置することが必要になる。

①扉体起立角センサを用いる場合

扉体の起立角から堰高を換算し、給排気操作を行って堰高を調節する。

なお、堰高調節を行う場合、上流水位は堰の操作直後から安定するまで徐々に変位する。この間、ゲートに作用する上流水圧荷重も徐々に変化し、堰高も変化する。このように、操作直後と水位安定後では堰高に差異が生ずるため、給排気操作を繰返し、目標とする堰高に収束させる必要がある。

②河川水位センサ・袋体内圧センサを用いる場合

上下流水位と袋体内圧から断面二次元モデルを用いて堰高を推算し、給排気操作を行って堰高を調節する。ただし、起立角が小さく、越流水深が大きい条件においては、越流水脈によるゲート下流面への作用圧力の影響が卓越し、下流水位から算定される水圧荷重と実際にゲート下流面に作用する水圧荷重に差異が生じるため、高精度の堰高調節は困難である。

なお、扉体起立角センサを用いる場合と同様に、操作直後と水位安定後では堰高に差異が生ずるため、給排気操作を繰返し、目標とする堰高に収束させる必要がある。

4. 予備動力設備

重要な堰には、適切な容量の予備動力設備を設けなければならない。

5.2.2 給排気管等の設計

POINT

給排気管は、起伏速度に応じて十分な給排気能力を持つとともに、耐久性を有するものでなければならない。また、河川水位検知管及び袋体内圧検知管も含めて、管の閉塞防止対策を十分に考慮しなければならない。

1. 給排気管

起伏速度は、上下流水位、袋体内圧、給排気管径によって決定されるが、起伏過程においてこれらの条件が変化するので、起伏速度は一定ではない。給排気管径は、管理上要求される操作速度を十分に考慮して選定する。ドレインによる閉塞を防止するため、給排気管にはドレイン排出管を設けるものとする。

給排気管の配管方式は、すべての単位ゲートを 1 系統の給排気管で連通することが多いが、操作室と袋体の距離が個々に異なることから、給排気管の圧力損失が不均一になり、各単位ゲートの起伏時間に差異が生じる可能性がある。これを回避するためには、操作室と各袋体との間で

生じる圧力損失が同等になるように、給排気管の配置・延長及び口径の選定に留意して設計する必要がある。また、堰の操作条件によっては、単位ゲートごとに独立した給排気管が必要になる場合もある。

2. 河川水位検知管

河川水位検知管は、河川側の開口部が土砂や流下物で閉塞されないように、適切な位置を選定するとともに、必要に応じてスクリーン等の対策を施すものとする。また、配管の途中に空気溜まりが生じないように、河川側から水位センサに向かって登り勾配とする配慮が必要である。寒冷地においては、必要に応じて凍結防止対策を施すものとする。

3. 袋体内圧検知管

袋体内圧検知管には、ドレインによる閉塞を防止するため、ドレイン排出管を設けるものとする。

4. 配管材料

配管用材料は、配管用ステンレス鋼管（JIS G 3459 SUS304TP、又は SUS316TP）、又はこれと同等以上の性能を有するものとする。また、フランジ継手の規格は、JIS B 2220 における呼び圧力 10K 以上のものを原則とし、配管の設計内圧を十分に考慮して選定するものとする。

5. 不同沈下対策

上記の各種配管は、不同沈下等の地盤変形に対しても安全な構造としなければならない。

第 6 章 操作及び管理

6.1 堰の操作

6.1.1 操作規則の作成

POINT

SR 堰の管理者は、設置目的に従い、操作規則を作成しなければならない。

操作規則は、堰の設置目的を十分満足し、堰に要求される機能及び操作の安全を確保するものでなければならない。

6.1.2 操作の基本

POINT

SR 堰は、操作規則に基づいて操作するものとする。

倒伏開始直後は、上下流水位差が大きく袋体内圧も高いため、倒伏速度及び下流河道の水位上昇率が最大になることに留意しなければならない。

複数スパンの堰を同時に倒伏させる場合、河川条件によっては同時に操作しても滞筋側の径間が早く倒れるなど、倒伏速度に差が生じることも考えられる。倒伏開始時期をずらして順次倒伏させる場合等は、下流水位が高くなるので後発の径間が倒れにくくなる可能性があり、十分な検討が必要である。

6.2 点 検

POINT

SR 堰は、その機能維持に必要な点検を適時行わなければならない。

1. 点検項目

点検は以下の項目について行うものとする。

- (1) 扉 体
- (2) 袋 体
- (3) 定着部
- (4) 水密ゴム（中間水密ゴム、端部水密ゴム）
- (5) 固定金具
- (6) 操作設備（起伏装置、安全装置、起伏用センサ）
- (7) 配管部、弁類
- (8) コンクリート構造物（基礎コンクリート、操作室等）
- (9) その他（安全施設、付帯設備、河川内の堆積土砂・転石・流木の有無）

2. 点検の種類

点検の種類と方法は、対象項目の使用状況、機能及び重要度に応じて適切に定めなければならない。表 6.2.1 に一般的な点検の周期を示す。

表 6.2.1 点検の種類と周期

点検の種類	点検の期間	点検の目的
定期点検	6 ヶ月に 1 回	設備の劣化、気密・水密性等の機能維持の確認のため、目視点検を中心に行う。
	1 年に 1 回	機能維持の確認のため、計測機器による測定及び機器内部の状況確認を行う。
臨時点検	必要に応じ	増水、異常気象、地震、落雷等により、施設等になんらかの異常が予想される場合や、堰操作を行う前後において必要な項目について点検を実施する。

なお、袋体が第二種圧力容器¹⁾に該当する場合は、労働安全衛生法 ボイラー及び圧力容器安全規則に沿った性能検査²⁾及び定期自主検査³⁾が必要である。

1) ゲージ圧力 0.2MPa 以上の気体をその内部に保有する容器(第一種圧力容器を除く)のうち、次に掲げる容器

①内容積が 0.04m³ 以上の容器

②胴の内径が 200mm 以上で、かつ、その長さが 1000mm 以上の容器

2) 1 年ごとに登録性能検査機関が実施

3) 1 年以内ごとに 1 回実施し、記録を 3 年間保存する

3. 定期点検の概要

箇所	点検項目と着眼事項		間隔	点検方法	判定基準・対応等
扉体	スキンプレート、リブ等		1年	目視	たわみ・変形がないこと
				目視計測	必要な板厚を確保していること
				目視	溶接割れがないこと
				目視触診聴診	異常な振動・異音がないこと
	ボルト・ナット		6ヶ月	目視打診	緩み・脱落がないこと
ゴム部材	外層ゴム	摩耗	6ヶ月	目視	1プライ接着による補修
		劣化・損傷			先の症状が部材全体にわたる場合は取替え、局所的な場合は補修で対応
	外層ゴムと補強繊維の接着			目視指触	
金具 固定	気密・水密性及び止水性		6ヶ月	目視	必要な強度、機能を損なう異常があれば交換
	変形・腐食・摩耗の有無 ボルトの緩み		1年	目視打診	
設備 操作	各操作装置の機能・性能に応じた正常な動作確認 (加熱・音響・振動、電気系統、給油状況に留意) 清掃状態、塗装		6ヶ月～1年	動作確認 目視	操作説明書、機器の取扱い説明書による
弁類・配管	露出部分： ボルトの緩み、空気・水漏れ、腐食、変形、損傷 埋設部分： 不同沈下の有無、土砂・浸入水による閉塞		1年	目視	必要な強度、機能を損なう異常があれば交換
コンクリート構造物	操作室内への漏水、亀裂、その他の損傷 (水没箇所を除く)		1年	目視	必要な強度、機能を損なう異常があれば交換
その他	河川内の堆積土砂、堰付近の有害物質等、浸入水の有無		1年	目視	正常な起伏操作の阻害、損傷の恐れのある場合は除去

6.3 保守

6.3.1 保守一般

POINT

SR 堰は、常に確実に起伏できるように保守しておかなければならない。

6.3.2 堆積土砂の排除

POINT

扉体上に多量の土砂が堆積した場合、扉体、定着部等を損傷しないように十分注意して排除しなければならない。

起立・倒伏操作により排砂を行う場合は、排砂時の袋体内圧及び各部の張力を考慮し、各部の

設計に反映させなければならない。重機等を利用して堆積土砂を排除する場合には、扉体、定着部等を損傷しないように十分注意する必要がある。

SR 堰技術検討会 名簿

委員長	京都大学名誉教授	中川 博次
委員	宇都宮大学名誉教授	須賀 堯三
	国土交通省河川局治水課企画専門官	竹島 睦
	国土交通省総合政策局建設施工企画課課長補佐	田中 晴之
	国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長	末次 忠司
	(独)土木研究所技術推進本部主席研究員（先端技術）	山元 弘
	国土交通省東北地方整備局河川部河川工事課長	矢沢 賢一
	国土交通省東北地方整備局企画部施工企画課長	斎野 純二
	国土交通省東北地方整備局湯沢河川国道事務所長	伊藤 和久
	国土交通省九州地方整備局河川部河川工事課長	中原 鶴見
	国土交通省九州地方整備局企画部施工企画課長	山下 尚
	国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所長	尾澤 卓思
	(社)ダム・堰施設技術協会専務理事	花籠 秀輔
事務局	(財)国土技術研究センター調査第一部次長（首席研究員）	湧川 勝己
	(財)国土技術研究センター調査第一部上席主任研究員	柳澤 修
オブザーバー	(社)ダム・堰施設技術協会 SR 合成起伏堰ゲート検討部会	
スタッフ	西村茂樹、小川和彦	

平成 18 年 3 月