

第 2 章 ダムの設計

第 1 節 総説

目 次

第 1 節	総説	1
1. 1	基本的考え方	1
1. 2	目的と適用範囲	1
1. 3	用語の定義	2

令和 3 年 10 月 版

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第1節 総説

1.1 基本的考え方

<考え方>

本章は、構造令で定められる事項に加え、ダムを設計する場合の一般的かつ基本的な規定を示すものである。なお、その適用に当たっては、各項の規定するところに従い、実情に即した適切な判断をする。また、特に堤高が高いダム、あるいは、特殊な条件のダムについては、さらに、特別の配慮を必要とする場合がある。

<標準>

ダムは、その計画に基づき、目的と機能に適合し、構造物としての安全性を有するものとした上で、環境・景観との調和、耐久性、維持管理の容易性、施工性、事業実施による地域への影響、経済性及び公衆の利用等を総合的に考慮して設計することを基本とする。

1.2 目的と適用範囲

<考え方>

構造令を適用するダムの範囲は、構造令第3条において以下のように定められている。

(適用の範囲)

第3条 この章の規定は、次に掲げるダム以外のダムについて適用する。

- 一 土砂の流出を防止し、及び調節するため設けるダム
- 二 基礎地盤から堤頂までの高さが15メートル未満のダム

本章の適用の対象とするダムは、河川を横断して流水を貯留するために設けるダムで、基礎地盤から堤頂までの高さが15m以上のダムである。ダムの堤体を構成する材料によってダムを分類すると、主にコンクリートで構成されるコンクリートダム、堤体の大部分を岩石、土及び砂で構成されるフィルダムなどに分かれる。コンクリートダムは、その構造によって、アーチ式コンクリートダム、重力式コンクリートダム、中空重力式コンクリートダム、バットレスダムに区分される。

土砂の流出を防止し、及び調節するため設けるダム（砂防堰堤等）については、本章の適用外とする。

高さ15m未満のダムも、事実上のダム高と考えられる現河床から設計洪水位までの高さが低く、ダムの上下流に与える影響が小さいこと、構造令第3条の適用対象でないこと、実用上、河川法（以下「法」という。）第13条第1項の規定で足りると考えられることにより、本章の適用外とする。

堤高15m以上の中空重力式コンクリートダム、アーチ重力式コンクリートダムについては、本章の規定を準用する。

複数の異なる種類のダムを組み合わせたダム（いわゆる複合ダム）は、この基準に規定するダムの種類に該当する部分に対して、それぞれの該当項を適用する。

<標準>

構造令第3条に基づき、流水を貯留することを目的とした基礎地盤から堤頂までの高さが15m以上の重力式コンクリートダム、アーチ式コンクリートダム及びフィルダムについては、本章を適用することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

ダム設計に関する用語については、下記の資料が参考になる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成 12 年 1 月。

1. 3 用語の定義**<考え方>**

主要な貯水位の定義は、構造令第 2 条第 1 項から第 3 項において、以下のように定められている。

(用語の定義)

第 2 条 この政令において、次の各号に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

- 一 常時満水位 ダムの新築又は改築に関する計画において非洪水時にダムによって貯留することとした流水の最高の水位でダムの非越流部の直上流部におけるものをいう。
- 二 サーチャージ水位 ダムの新築又は改築に関する計画において洪水時にダムによって一時的に貯留することとした流水の最高の水位でダムの非越流部の直上流部におけるものをいう。
- 三 設計洪水水位 ダムの新築又は改築に関する計画において、ダムの直上流の地点において 200 年につき 1 回の割合で発生するものと予想される洪水の流量、当該地点において発生した最大の洪水の流量又は当該ダムに係る流域と水象若しくは気象が類似する流域のそれぞれにおいて発生した最大の洪水に係る水象若しくは気象の観測の結果に照らして当該地点に発生するおそれがあると認められる洪水の流量のうちいずれか大きい流量（フィルダムにあっては、当該流量の 1.2 倍の流量。以下「ダム設計洪水流量」という。）の流水がダムの洪水吐きを流下するものとした場合におけるダムの非越流部の直上流部における最高の水位（貯水池の貯留効果が大きいダムにあっては、当該水位から当該貯留効果を考慮して得られる値を減じた水位）をいう。

(第 4 項～第 13 項省略)

その他、ダムの諸元の定義は以下のとおりとする。

1. 堤高は、ダムの基礎地盤面から堤頂までの高さとする。

堤高の基準となる堤頂は、堤体の天端の最高の部分であり、コンクリートダムにあっては、非越流部の最上面とし、フィルダムにあっては、非越流部に遮水ゾーン上部の保護層の厚さを含んだ最上面とするが、高欄、胸壁や堤体天端を道路として利用するために付加された部分（舗装など）は含めない。

堤高の基準となる基礎地盤面は、止水壁（遮水壁及びカーテングラウチングを含む）のないダムでは、基本的に堤頂の上流端を通る鉛直面と基礎地盤面とが交わる堤体の最低標高部とする（図 2-1-1 参照）。また、止水壁のあるダムでは、止水壁直下流の堤体部分をつないだ鉛直面が基礎地盤面と交わる堤体の最低標高部とする。ただし、堤体部に傾斜した遮水壁を持つ場合（表面遮水壁型フィルダム、傾斜コア型フィルダム等）はその直下流の堤体の最低標高部となる。なお、止水壁のうち、地中連続壁等の基礎地盤面内に埋設された部

分及びフィルダムの監査廊は堤高に含めない。

2. ダム軸面は、河川を横断する方向でのダムの構造設計上基準となる鉛直面とする。

ダム軸面とは、河川を横断する方向でのダムのほぼ中心を示すダムの構造設計上基準となる鉛直面であり、重力式コンクリートダムにおいては基本三角形の頂点を連ねた線を含む鉛直面、アーチ式コンクリートダム及びフィルダムにおいては堤頂の横断方向の中点を連ねた線を含む鉛直面とする。なお、表面遮水壁型フィルダムにあっては天端の上流端を連ねた線を含む鉛直面を用いる。

ダム軸面は、堤体部における定義であるので、堤体をはずれた兩岸の岩盤部での定義は特には行わないが、便宜上使用する場合は、通常カーテングラウチングの中心面をもってダム軸面とする。

なお、アーチ式コンクリートダムのダム軸は、手計算を主体とした解析と設計を行っていた時代は、アーチの円弧を平面形状の基線とした場合は下流面を基準とし、外力としての水圧の計算を優先する場合は上流面を基準とし、統一されていなかった。電子計算機による解析を行う現在では、上流面よりも構造物の中心であるダムの中心線を基準とする方が解析上も都合がよく、これをダム軸として用いる。

3. 堤頂長は、ダム軸面と堤頂標高の水平面との交線上のダムの堤体の長さとする。

堤頂長には、堤体に隣接する道路部分、フィルダムにおける洪水吐きコンクリート部分は含めないが、フィルダムの堤頂部に隣接する部分の洪水吐きの幅は（ ）書きで併記する。なお、複合ダムの場合は、堤体のコンクリート部分及びフィル部分の堤頂長の総和を堤頂長とする。

4. ダムの堤体とは、河川を横断して流水を貯留するため設けられる構造物及びこれと一体不可分としてその効用を果たす部分のうち、基礎地盤内に設けられた構造物を除いた部分とする。また、堤体積とは堤体の実体積とする。

コンクリートダムの堤体には、フィレット、フーチング等堤体の安定上一体となる部分及び堤体を保護する部分を含める。また、堤体上に一体として設置される洪水吐きも堤体に含めるが、本体部と分離した洪水吐き、基礎処理と考えられる断層置換え等は堤体に含めない。中空重力式コンクリートダムの場合は、実コンクリート部を堤体とする。

フィルダムの堤体には、堤体保護部、洪水吐き接合部等堤体と一体となる部分を含める。なお、洪水吐き、減勢工等のコンクリート部分、基礎処理と考えられる断層置換え、止水ブランケット、堤体上流側の埋戻し部、または、堤体背面の盛土等で堤体自体の安定上必要でない部分は堤体に含めない。

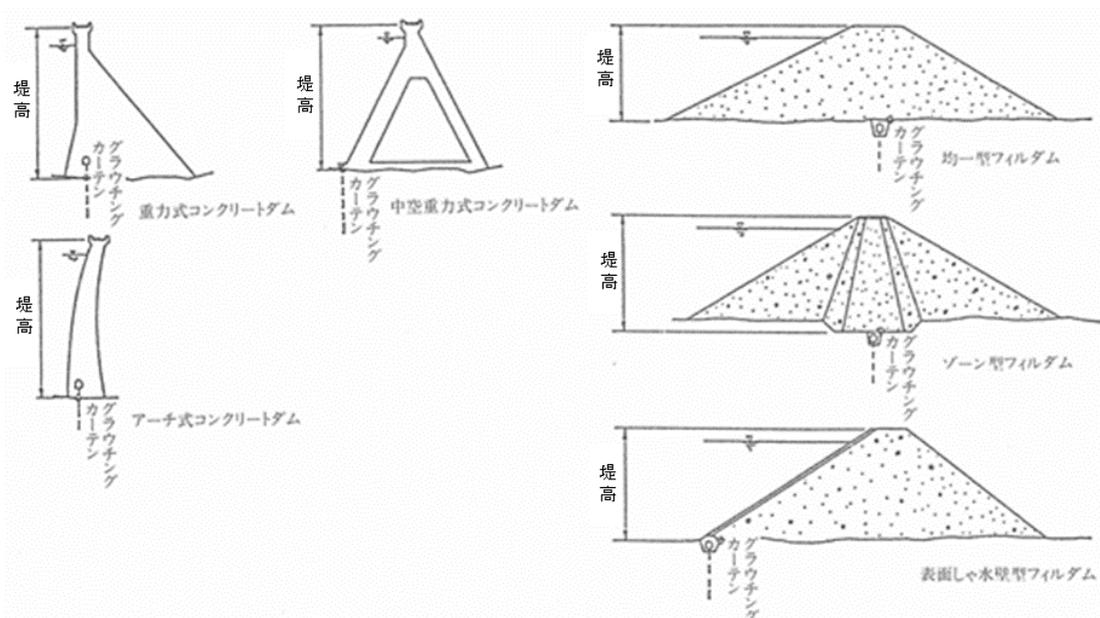


図2-1-1 各種のダムの堤高

<必須>

ダム設計に用いる主要な貯水位である常時満水位、サーチャージ水位、設計洪水水位は構造令第2条第1項から第3項によるものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政第70号。
- 2) 河川管理施設等構造令及び同令施行規則の運用について：昭和52年2月1日、建設省河政発第6号、建設省河開発第9号。

<参考となる資料>

ダム設計に関する用語や考え方については、下記の資料が参考になる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。

第 2 章 ダムの設計

第 2 節 ダムの基本形状、型式及び位置の決定

目 次

第 2 節	ダムの基本形状、型式及び位置の決定	1
2. 1	ダムの基本形状	1
2. 1. 1	堤体の非越流部の高さ	1
2. 1. 2	ダム設計洪水流量	5
2. 2	ダムの位置の選定	8
2. 3	ダムの型式の選定	9
2. 4	ダムの配置設計	10
2. 4. 1	重力式コンクリートダムの配置設計	10
2. 4. 2	アーチ式コンクリートダムの配置設計	12
2. 4. 3	フィルダムの配置設計	13

令和 3 年 10 月 版

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第2節 ダムの基本形状、型式及び位置の決定

2.1 ダムの基本形状

<考え方>

ダムの基本形状とは、ダムの高さ、横断面形状、平面形状、左右岸取付部の深さ、洪水吐きの形状をいう。

ダムの高さは、貯水池計画で定められる常時満水位、サーチャージ水位、設計洪水位を基に本章 2.1.1 に示す方法で求めた非越流部の高さに基づいて定める。

ダムの堤体の横断面形状は、本章 3.4 で規定する予想される荷重の組合せに対して、必要な安定性を確保するよう定める。

ダムの堤体の平面形状は、特に 3 次元構造として設計されるアーチ式コンクリートダムにおいては、予想される荷重の組合せに対して、必要な安定性を確保するよう定める。

ダムの堤体の左右岸取付部の深さは、予想される荷重の組合せまたは、浸透流に対して、十分な強度、変形性、遮水性を有するように、基礎地盤の状態に基づいて定める。

ダムは想定される最大規模の流量を安全に流下させる放流能力を持った洪水吐きを有する必要がある。

なお、想定される最大規模の流量としてダム設計洪水流量を採用する。

<必須>

ダムの基本形状は、必要な非越流部の高さや洪水吐きの能力等を勘案して決定するものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和 51 年 11 月 23 日，建設省河政発第 70 号.

<参考となる資料>

ダムの基本形状を決定する上で勘案すべき事項については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月.

2.1.1 堤体の非越流部の高さ

<考え方>

堤体の非越流部の高さは、常時満水位、サーチャージ水位、設計洪水位のそれぞれに所要の付加高さを加え、このうち最も高い値以上で、当該ダムの実情に応じて定める。

非越流部の高さは、構造令第 5 条において、以下のように定められている。

(堤体の非越流部の高さ)

第 5 条 ダムの堤体の非越流部の高さは、洪水吐きゲートの有無に応じ、コンクリートダムにあっては次の表の下欄に掲げる値のうち最も大きい値以上、フィルダムにあっては同欄に掲げる値のうち最も大きい値に 1m を加えた値以上とするものとする。

項	区 分	堤体の非越流部の高さ (単位 メートル)
1	洪水吐きゲート を有するダム	$H_n + h_w + h_e + 0.5 \quad (h_w + h_e < 1.5 \text{ のときは } H_n + 2)$ $H_s + h_w + \frac{h_e}{2} + 0.5 \quad (h_w + \frac{h_e}{2} < 1.5 \text{ のときは } H_s + 2)$ $H_d + h_w + 0.5 \quad (h_w < 0.5 \text{ のときは } H_d + 1)$
2	洪水吐きゲート を有しないダム	$H_n + h_w + h_e \quad (h_w + h_e < 2 \text{ のときは } H_n + 2)$ $H_s + h_w + \frac{h_e}{2} \quad (h_w + \frac{h_e}{2} < 2 \text{ のときは } H_s + 2)$ $H_d + h_w \quad (h_w < 1 \text{ のときは } H_d + 1)$

備考

この表において、 H_n 、 h_w 、 h_e 、 H_s 及び H_d は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H_n 常時満水位 (単位 メートル)

h_w 風による波浪の貯水池の水面からの高さ (単位 メートル)

h_e 地震による波浪の貯水池の水面からの高さ (単位 メートル)

H_s サーチャージ水位 (単位 メートル)

H_d 設計洪水水位 (単位 メートル)

2 洪水吐きゲートを有しないフィルダムで、ダム設計洪水流量の流水が洪水吐きを流下する場合における越流水深が 2.5 メートル以下であるものに関する前項の規定の適用については、同項の表 2 の項の下欄中、「 $h_w + h_e < 2$ のときは $H_n + 2$ 」とあるのは、「 $h_w + h_e < 1$ のときは $H_n + 1$ 」と、「 $h_w + h_e/2 < 2$ のときは $H_s + 2$ 」とあるのは、「 $h_w + h_e/2 < 1$ のときは $H_s + 1$ 」とする。

風による波浪の高さは、常時満水位、サーチャージ水位、設計洪水水位それぞれの水位の状態における貯水池水面以上の波浪高さを採用することが考えられるが、便宜的に設計洪水水位の状態における貯水池水面からの波浪高さをもち、サーチャージ水位、常時満水位の状態における貯水池水面からの波浪高さとみなす。

地震による波浪の貯水池水面からの高さについても、常時満水位、サーチャージ水位のそれぞれの貯水池水位の状態における貯水池水面からの高さを採用することが考えられるが、常時満水位の状態における貯水池水面からの波浪高さを基準とし、サーチャージ水位における波浪の高さは、常時満水位の波浪の高さの 1/2 とする。

ゾーン型及び均一型のフィルダムでは付加高さを決定する場合、頂部の保護層は付加高さに加えず、図 2-2-1 に示すように遮水ゾーンの頂部を非越流部の高さとする。

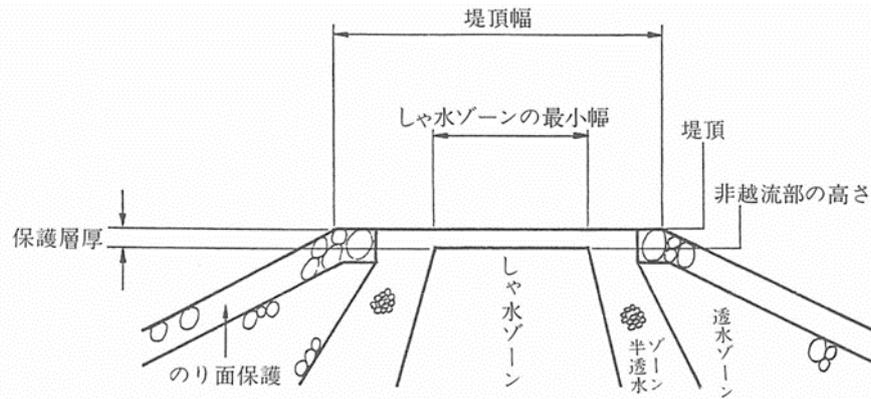


図2-2-1 ダム堤頂付近標準図

<必須>

ダムの堤体の非越流部の高さは、ダムの種類及び洪水吐きゲートの有無に応じ、構造令第5条で定める方法に従い決定するものとする。

<例示>

風による波浪の高さは、S. M. B法におけるWilsonの改良式により求めること等が考えられる。堤体の上流面がほぼ鉛直な場合は、反射波を考えて、貯水池水面からの波浪高さは2倍の半波高すなわち全波高となるので、次式により計算する（図 2-2-2、図 2-2-3 参照）。

$$h_w = 0.00077V \cdot F^{0.5}$$

V : 10 分間平均風速 (m/s) (一般に、30m/s ないしは 20m/s をとることが多い)

F : 設計洪水位におけるダムの堤体からの最大対岸距離 (m)

また、フィルダムのように上流面が傾斜している場合には、堤体に沿った波の打上げ高を考慮し、Saville の方法を用いること等が考えられる。

図 2-2-4 は、S. M. B 法によって求めた波高と Saville の方法により導かれた上流面の斜面勾配、斜面保護材料及び打上げ高／波高との関係を組み合わせ、対岸距離及び風速から波高を含めた打上げ高 (R) をもとめられるようにしたものである。

地震による波浪高さの計算は、佐藤清一の次式により求めること等が考えられる。

$$h_e = \frac{1}{2} \cdot \frac{K\tau}{\pi} \sqrt{gH_o}$$

K : 常時満水位の状態における設計震度

τ : 地震周期 (地震動の卓越周期) (s) (1 秒とすることが多い)

H_o : 常時満水位の状態における貯水池の水深 (m)

g : 重力の加速度 9.8m/s^2

例えば $K=0.15$ 、 $\tau=1$ 秒、 $H_o=60\sim 100\text{m}$ で $h_e=0.6 \sim 0.7\text{m}$ である。

なお、流水型ダムのように常時満水位時の水深がきわめて浅い場合には、地震による波浪高さ h_e を、上式の H_o にサーチャージ水位時の貯水池の水深を代入して算出する場合がある。

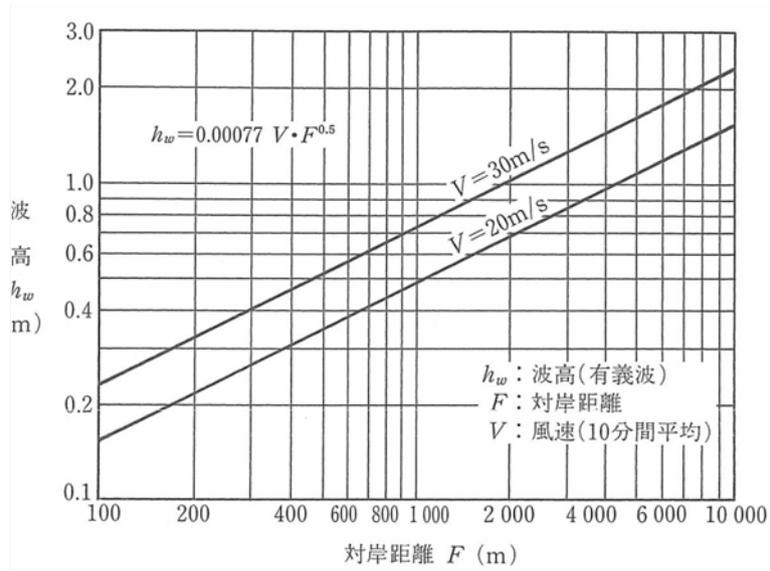


図2-2-2 S. M. B 法における Wilson の改良式によって求めた波高

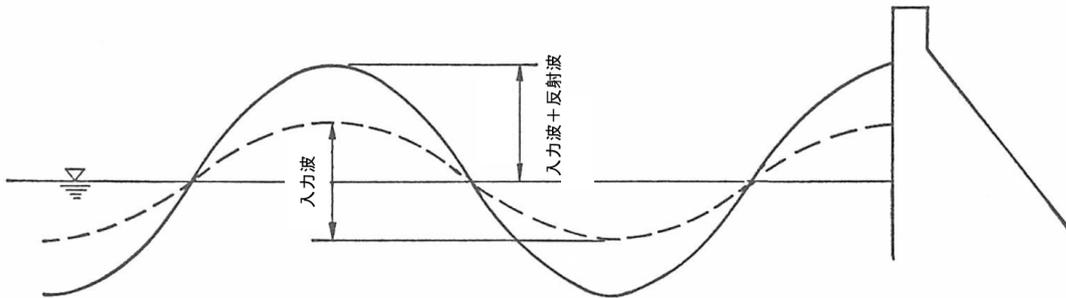


図2-2-3 貯水池の水面からの波浪高さ

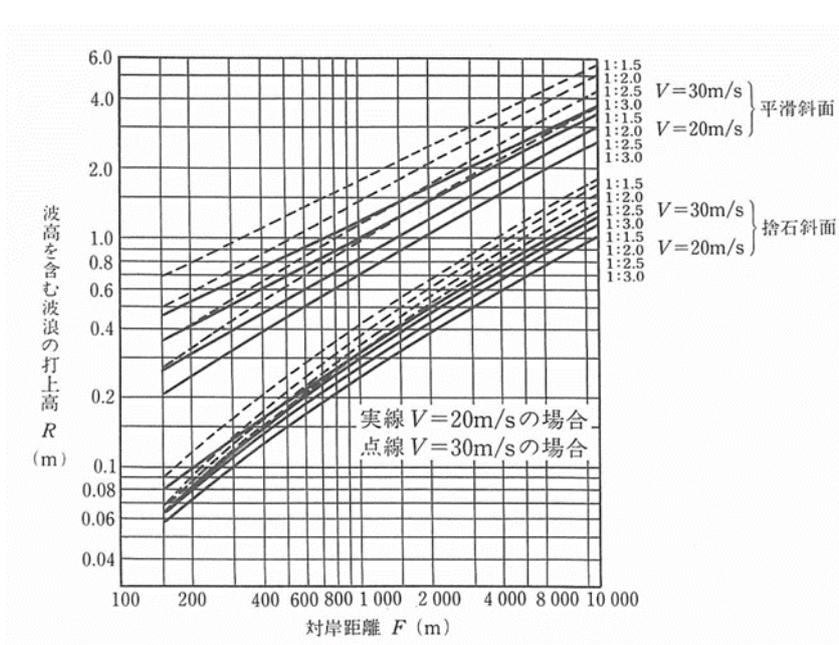


図2-2-4 S. M. B 法における Wilson の改良式と Saville の方法を組み合わせて求めた打上げ高（波高を含む）

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局水政課長、開発課長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の運用について、昭和52年2月1日、建設省河政発第6号・建設省河開発第9号。

<参考となる資料>

ダム の 堤 体 の 非 越 流 部 の 高 さ を 決 定 す る 際 の 付 加 高 さ の 算 定 に つ い て は 、 下 記 の 資 料 が 参 考 と な る。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。

2. 1. 2 ダム設計洪水流量**<考え方>**

ダム設計洪水流量及び設計洪水位は、ダム地点の洪水に関してダムの安全性を確保するため定められる重要な基本量である。

ダム設計洪水流量及び設計洪水位は、ダムの計画において、ダム堤体の非越流部の高さ、ダムの堤体及び基礎地盤の安定計算に使用される水位、ならびに洪水吐きの流下能力を決定するために用いられるものである。

ダム設計洪水流量及び設計洪水位は、構造令第2条第3項（本章1.3参照）において、定められている。

フィルダムでは、洪水が堤体を越流した場合の危険性を考慮して、コンクリートダムの場合のダム設計洪水流量の1.2倍の流量をダム設計洪水流量として定める。

ダム の 堤 体 が コ ン ク リ ー ト ダ ム と フ ィ ル ダ ム の 両 者 で 構 成 さ れ る 複 合 ダ ム の 場 合 、 ダ ム 設 計 洪 水 流 量 は 、 フ ィ ル ダ ム の ダ ム 設 計 洪 水 流 量 を 用 い る。

貯水池が導水による間接流域を有する場合のダム設計洪水流量は、貯水池へ直接流入する直接流域を対象として上述の方法により求められる流量（直接流域ダム設計洪水流量）に、間接流域から導水され得る流量を加えた流量とする。間接流域から導水され得る流量は、導水地点の洪水流量及び取水・導水施設等の構造等を勘案して設定し、導水地点の洪水流量は、間接流域を対象として、ダム設計洪水流量と同様の方法で求める（間接流域ダム設計洪水流量）。

なお、間接流域の導水地点下流にダムが設けられる場合の下流ダムのダム設計洪水流量については、上述の導水流量が、一般に取水・導水施設計画以上の流量となり導水の確実性に疑問があること等、確実に導水される流量を意味しないことから、導水によるダム設計洪水流量の低減は、原則として行わない。

また、取水・導水施設にゲートが設けられ操作が行われる場合においても、間接流域ダム設計洪水流量が発生するような出水に対する確実なゲート操作が、施設の構造計画、洪水処理計画及び管理面上担保されない限りにおいては、ゲート全開の状態により、間接流域から導水され得る流量を算出する。

<必須>

ダム の 堤 体 及 び 洪 水 吐 き の 設 計 に お い て 基 本 と な る ダ ム 設 計 洪 水 流 量 は 、 構 造 令 第 2 条 第 3 項 で 定 め る 方 法 に 従 い 決 定 す る も の と す る。

<例示>

ダム の 堤 体 が コ ン ク リ ー ト ダ ム と フ ィ ル ダ ム の 両 者 で 構 成 さ れ る 複 合 ダ ム の 場 合 、 ダ ム 設 計 洪 水 流 量 は 、 フ ィ ル ダ ム の ダ ム 設 計 洪 水 流 量 を 用 い る こ と と し て い る が 、 コ ン ク リ ー ト ダ ム が ダ ム の 堤 体 の 主 たる 構 成 要 素 で あ る 複 合 ダ ム の 場 合 の コ ン ク リ ー ト ダ ム 部 の 非 越 流 部 高 さ 及 び

その決定に用いる設計洪水位の算出においては、コンクリートダムとして求めたダム設計洪水流量を用いることができる。すなわち、コンクリートダム部及びフィルダム部について、それぞれの種類のダムとしての設計洪水位、非越流部の高さを設定し、設計することができる。この場合、コンクリートダムの堤体上に洪水吐きが設けられ、かつ 1.2 倍の流量が流下することによる導流部、減勢工導流壁からの越流や減勢工での流況の悪化が、フィルダムの堤体の安全に支障ないと判断される場合には、洪水吐きの構成要素のうち導流部、減勢工の設計におけるダム設計洪水流量としてコンクリートダムとして求めたダム設計洪水流量を用いることができる。

ダム地点の流域と類似する流域の洪水の観測結果に照らして、当該ダム地点に発生する恐れがあると認められる洪水の流量は、地域別比流量図（図 2-2-5、表 2-2-1、図 2-2-6 参照）から算出される流量を基にして定めるなどの手法がある。ただし、地域別比流量図の数値は、それぞれの流域における下限値を示すものであるから、その適用にあたっては、当該ダム流域と水象もしくは気象が類似する流域において発生した降雨や流量の観測資料を用い、降雨の観測資料を用いる場合は適正な流出解析を実施して、その妥当性を確認することができる。

当該ダムの流域面積が 20 km² 以下である場合には、地域別比流量図から求められる流量以上の流量で、当該ダム流域の実情に応じた数値がダム設計洪水流量として定められるが、流域面積が 1 km² 未満の場合の地域別比流量図から求められる流量は、1 km² の場合の比流量値より求められる流量とする場合が多い。

貯水池が導水による間接流域を有する場合は、地域別比流量図に見られるように、集水面積が大きくなると、比流量は小さくなる傾向にあるので、直接流域ダム設計洪水流量発生時の導水地点洪水流量は、上述の方法で求めた間接流域ダム設計洪水流量より小さいことが考えられるため、この影響を適切に評価することができる場合には、検討の対象とする導水地点の洪水流量を低減することができる。

比流量曲線式

$$q = C \cdot A^{(A^{-0.05} - 1)}$$

q : 比流量 (m³ / sec / km²)

A : 集水面積 (km²)

C : 地域係数

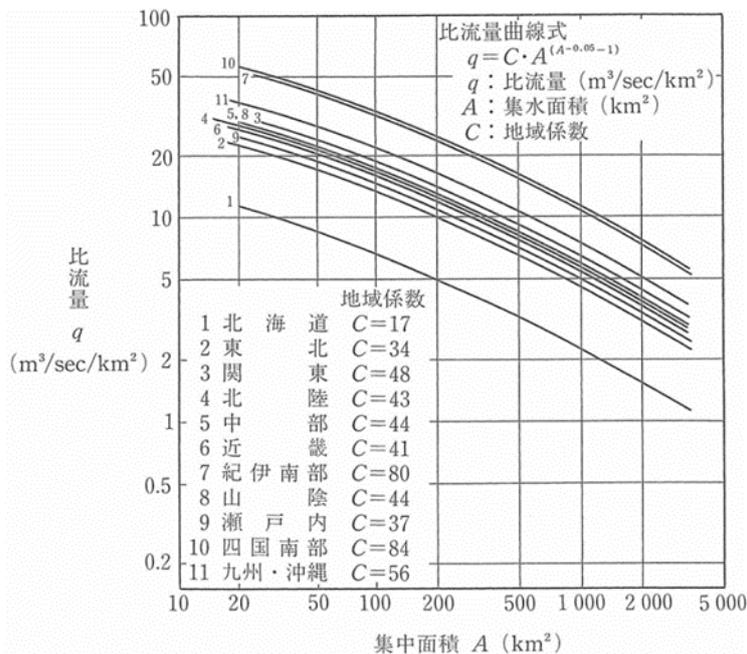


図2-2-5 地域別比流量図

表2-2-1 地域別比流量図の地域係数

地 域	地域係数 C	適 用 地 域
① 北 海 道	17	北海道全域
② 東 北	34	青森・岩手・宮城・秋田・山形・福島（阿賀野川流域を除く）の各県
③ 関 東	48	茨城・栃木・群馬（信濃川流域を除く）・埼玉・東京・千葉・神奈川の各都県、山梨県のうち多摩川、相模川流域及び静岡県のうち酒匂川流域
④ 北 陸	43	新潟・富山・石川の各県、福島県のうち阿賀野川流域、群馬県のうち信濃川流域、長野県のうち信濃川・姫川流域、岐阜県のうち神通川・庄川流域及び福井県のうち九頭竜川流域以北の地域
⑤ 中 部	44	山梨県及び静岡県のうち③に属する地域を除く地域、長野県及び岐阜県のうち④に属する地域を除く地域、愛知県及び三重県（淀川流域及び榑田川流域以南の地域を除く）
⑥ 近 畿	41	滋賀県、京都府のうち淀川流域、大阪府、奈良県のうち淀川流域及び大和川流域、三重県のうち淀川流域及び兵庫県のうち神戸市以東の地域
⑦ 紀伊南部	80	三重県のうち榑田川流域以南の地域、奈良県のうち⑥に属する地域を除く地域及び和歌山県
⑧ 山 陰	44	福井県のうち④に属する地域を除く地域、京都府のうち⑥に属する地域を除く地域、兵庫県のうち日本海に河口を有する流域の地域、鳥取、島根の各県、広島県のうち江の川流域及び山口県のうち佐波川流域以西の地域
⑨ 瀬 戸 内	37	兵庫県のうち⑥及び⑧に属する地域を除く地域、岡山県、広島県及び山口県のうち⑧に属する地域を除く地域、香川県、愛媛県のうち⑩に属する地域を除く地域
⑩ 四 国 南 部	84	徳島県、高知県、愛媛県のうち吉野川・仁淀川流域及び肱川流域以南の地域
⑪ 九州・沖縄	56	九州各県及び沖縄県

（注）地域④のうち長野県に属する信濃川流域及び地域⑤のうち長野県に属する天竜川流域については、当該地域の地域係数 C を35以上とすることができる。

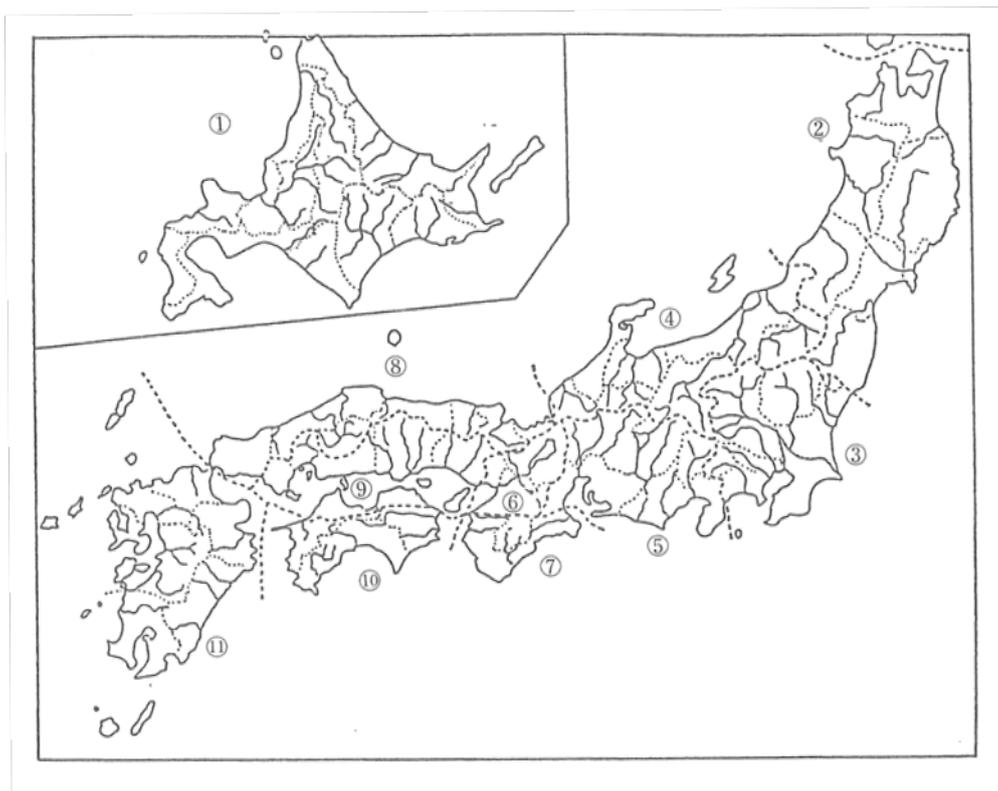


図2-2-6 地域別比流量図の地域区分（図中の番号は表 2-2-1 に示すもの）

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和 51 年 11 月 23 日，建設省河政発第 70 号。
- 2) 建設省河川局水政課長、開発課長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の運用について：昭和 52 年 2 月 1 日，建設省河政発第 6 号，建設省河開発第 9 号。

<参考となる資料>

ダム設計洪水流量の算出方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月

2. 2 ダムの位置の選定

<考え方>

ダムの位置を決定する作業は、必要な貯水容量が最も効率的に確保可能なサイトを、地域の社会経済、自然環境なども十分考慮して選定（以下、「サイト選定」という。）した上で、当該サイトにおいて、安全かつ最も経済的にダムの建設が可能な配置を定める（以下、「配置設計」という。）手順で行う。なお、この配置を定める作業は、通常、「座取り」とも呼ばれている。

サイト選定は、目的とする治水・利水機能が確保され、所要の貯水容量が得られる複数の候補サイトの中から、地形・地質調査、環境調査等の調査結果、水没地域の実態、経済性などを総合的に勘案して最適な位置を選定するよう行う。

サイト選定、配置設計の各段階に応じて、基礎岩盤やその周辺の地質調査、第四紀断層調査、貯水池周辺地すべり等の調査、堤体材料調査、環境調査などを系統的かつ効率的に行い、これらの課題の把握や対応について検討することが重要である。

<必須>

ダムの位置は、ダムの高さ、地形、地質、洪水処理の方法等の諸条件を総合的に検討し、選定するものとする。

<参考となる資料>

ダム位置の選定方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第2巻 環境・調査I編，平成17年6月。

2.3 ダムの型式の選定**<考え方>**

ダム型式は、堤体材料から主にコンクリートダム及びフィルダムに分類される。

コンクリートダムは、力学的な特性により主に重力式コンクリートダムとアーチ式コンクリートダムに、フィルダムは、堤体材料によってアースダムとロックフィルダムに分類され、また遮水機能を果たす部分の構造により均一型ダム、ゾーン型ダム、表面遮水壁型ダムに分類される。なお、上記以外の台形CSGダムやフィルダムで表面遮水壁型ダムとするような特殊な構造のダムとする場合には、構造令第73条第4項（いわゆる大臣特認制度）の手続きをとる必要がある。

一般に重力式コンクリートダムは地形、地質、洪水吐きの規模の面からみて、アーチ式コンクリートダムと比べて比較的制約の少ない型式である。

谷幅が狭く、平面形状がアーチ推力を安全に支持できるような地形、地質の場合は、アーチ式コンクリートダムが有利となる場合がある。

フィルダムの場合は、コンクリートダムに比較して、地形、地質上の制約は少ないが、堤体と別個に洪水吐きを設けなければならないことから、洪水規模が大きい場合、コンクリートダムに比べ不利となる。また、堤体積が大きくなることから、ダムサイト周辺で堤体材料を採取できる場合に有利となる。

これらの分類から、目的に対し所要の機能を十分に発揮する上で必要な安全性を最も合理的に確保できるようダムの型式を選定する。

<必須>

ダムの型式は、ダムの規模、ダム地点の地形、地質、洪水吐きの規模及び堤体材料等の諸条件を総合的に検討し、決定するものとする。

<例示>

ダムの主な型式ごとの特性を以下に例示する。また、複数のダムの型式を組み合わせる事例もある。

1. 重力式コンクリートダム

重力式コンクリートダムは、貯水の水压等の荷重を堤体の自重によって下方の基礎岩盤に伝達する構造物であり、必然的に大きな堤体断面を要求される。このため、基礎岩盤に作用する単位面積当たりの荷重はアーチ式コンクリートダムに比べ小さくなるが、基礎岩盤としてダム高に応じた十分なせん断強度を有する岩盤が必要である。水平または、これに近い断層、弱層が存在する場合には十分な注意が必要である。

堤体については、同一堤高のアーチ式コンクリートダムに比べ堤体断面が大きいことから、一般に発生応力は小さく、上流面に生じる鉛直方向の引張応力や、堤高が特に高いダムにお

ける下流部の圧縮応力を除けば、堤体の強度が問題となることは少ない。

2. アーチ式コンクリートダム

アーチ式コンクリートダムは、貯水の水圧等の荷重を主として堤体のアーチ作用によって左右岸の基礎岩盤に伝達する構造物であり、堤体断面を適切に選定すれば、コンクリートの強度を最大限に利用できる薄さまで、堤体断面を小さくすることができる。しかし、反面、基礎岩盤に伝達する単位面積当たりの荷重は大きくなり、重力式コンクリートダムに比べ、基礎岩盤の地形、地質の制約を受けやすい。よって、アーチ式コンクリートダムの基礎岩盤に対しては、重力式コンクリートダムに比べて剛性、強度に関する制約が大きくなる。

また、アーチ作用による荷重を基礎岩盤の厚みで支える必要があるため、アーチ式コンクリートダムのアバットメントの下流には十分な厚みを有する基礎岩盤が要求され、基礎岩盤内にアーチ作用を受けたときにすべりやすい方向の弱層が存在する場合等には、十分な注意が必要である。

3. フィルダム

一般に、フィルダムはコンクリートダムに比べダムから受ける荷重をより広い地盤に伝えるので、基礎の強度の面からの制約条件は少ない。

基礎地盤の必要条件として、せん断強さやパイピングに対する抵抗性が要求されるとともに、遮水ゾーンの基礎では所要の遮水性が要求される。

岩盤基礎の場合は、特別な欠陥がない限り強度的には問題ない。なお、遮水ゾーンの基礎地盤は一般に堤体の透水係数と同程度となるまで掘削するか、あるいはグラウチングにより処理できるものでなければならない。

砂礫基礎は、層状に形成されたもの以外は一般に十分なせん断強さを有するが、遮水性に劣るので、ダムの高さや基礎地盤の透水性に応じた遮水対策を検討する。

土質基礎は、比較的遮水性に優れているが、一般にせん断強度が小さく、滑動、沈下あるいは変形に対して問題があり、堤高が高いダムの基礎地盤としては適当でない。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

ダムの型式の選定方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月。

2. 4 ダムの配置設計

<考え方>

ダムの配置設計は、選定したダムの位置、ダムの型式を踏まえて、ダムの高さ、地形、地質及び洪水処理の方法等の諸条件を総合的に検討して実施する。

2. 4. 1 重力式コンクリートダムの配置設計

<考え方>

重力式コンクリートダムの配置は、堤体及び基礎岩盤の安定上、問題となる地形や地質を避けるとともに、安全に洪水処理が可能となること等の条件を考慮し、候補となる案の中か

ら決定する。

1. 地形

- (1) 谷幅：谷幅の広さは堤体積に直接影響するため、経済性の面から重視する必要がある。
- (2) やせ尾根：中位から高位標高にかけて特に注意する必要がある、透水性、せん断強度等が問題となる。
- (3) 下流下がり：最大荷重がかかった場合の堤体の安定性に注意する必要がある、下流下がりの状況によっては大きな岩盤強度を必要とする。
- (4) 上流下がり：貯水池空虚時及び貯水位が低い場合の堤体の安定性に注意する必要がある。
- (5) 長大のり面：施工時及びダム完成後の長大のり面の斜面安定について、地質条件とも関連し注意する必要がある。

2. 地質

- (1) 堅岩線：堤高に応じて必要な岩盤強度があり、それに応じた堅岩線が決定されるが、その深さは風化の度合に大きく影響される。ここで重要なのは岩盤のせん断強度であり、堤体の安定上必要なせん断強度が確保される基礎地盤であれば、支持力に関わる圧縮強度は一般的に問題とはならない。
- (2) 断層：基礎地盤に存在する断層でダム及び基礎地盤の安定上特に注意を要するのは、低角度断層と下流端付近の上流落ち（下流上がり）断層である。これに対して、鉛直に近い傾斜をもった断層は比較的問題は少ないが、断層規模が大きくなると、基礎処理を施しても高いダムを築造するのが難しくなる場合がある。一般に、断層の規模が大きくなると断層と堅岩との境界面が明確な場合には置換えなどの基礎処理は容易である。断層の透水性については、一般に断層粘土は透水性が低いと周辺部の破碎部は透水性が高く、グラウチングによる改良が難しいことが多く、グラウチング改良区域に分布する場合は所要の遮水性が確実に得られるよう改良できることが必要である。

3. 洪水処理

重力式コンクリートダムは洪水吐きを堤体内に設置できることが特徴の1つである。したがって、次の事項について考慮する。

- (1) 越流型洪水吐き：容量、位置、方向を考慮して水理条件を満たすための検討が必要である。
- (2) 放流管の配置：放流管及び操作室は、ダムの形状、継目の位置及び間隔等と関連して、その配置を検討する必要がある。
- (3) 減勢工：対象流量を減勢するのに必要な地形条件を考慮するとともに、他の構造物への影響がないことが必要である。

4. 施工設備

主な施工設備のうち、特にコンクリート運搬設備はダムの配置設計と大きな関連があり、地形・地質条件による制約を踏まえ、機種を選択や基本的な配置を考える。

<標準>

重力式コンクリートダムは、ダムの高さ、地形、基礎地盤の強度などの地質条件及び洪水処理の方法等を考慮して配置設計を行うことを基本とする。

<参考となる資料>

重力式コンクリートダムの配置設計の方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編, 平成17年6月.

2. 4. 2 アーチ式コンクリートダム の 配置設計

<考え方>

アーチ式コンクリートダム の 配置は、ダムや貯水池からの荷重を支持するのに必要な十分な厚みと強度を有する基礎岩盤が得られるとともに、安全に洪水処理が可能となること等の条件を考慮し、候補となる案の中から決定する。

アーチ式コンクリートダム の 場合は、左右岸の基礎岩盤に作用する荷重が大きいため、特に基礎岩盤ショルダーの厚さを十分確保できるようにダムを配置する必要がある。

基礎岩盤となる左右岸の岩盤の安定性を確保するためのダム の 配置設計及びダム の 根入れ深さ（アバットメントの位置）の概略検討は、所要堅岩線の検討により行う。

所要堅岩線は次のようにして求められる。まず、任意の水平断面を取り、ダム上流端から任意の方向のせん断面 S_i を仮定し、これに作用する岩盤内の揚圧力、ダムからの荷重などを算出することにより、所要のせん断摩擦安全率を満足するために必要な堅岩線の長さ l_i を Henny の式から次のように求める（図 2-2-7 参照）。

$$l_i = \frac{nH_i - f_i(V_i - U_i)}{\tau_i}$$

ここに、

l_i : 仮定せん断面 S_i に沿った所要の堅岩線の長さ (m)

τ_i : 仮定せん断面 S_i に沿ったせん断強度 (kN/m²)

f_i : 仮定せん断面 S_i に沿った内部摩擦係数

H_i : アーチ式コンクリートダムからの鉛直方向単位幅当たりの荷重の仮定せん断面に平行な成分 (kN/m)

V_i : アーチ式コンクリートダムからの鉛直方向単位幅当たりの荷重の仮定せん断面に垂直な成分 (kN/m)

U_i : せん断面に作用する揚圧力の鉛直方向単位幅当たりの合力 (kN/m)

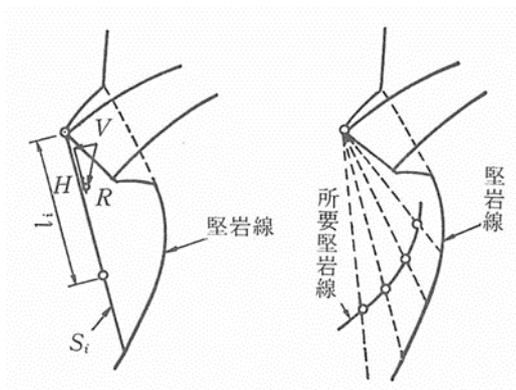
n : せん断摩擦安全率

揚圧力は仮定せん断面に対し本章 3.5.4 に示す方法を踏まえて設定する。

仮定せん断面の方向を種々に変えてその所要の堅岩線の長さを計算すれば図 2-2-7 に示すような所要の堅岩線の長さを包絡する曲線が求められる。この曲線を所要堅岩線と呼んでいる。

所要堅岩線は基礎岩盤の安全性を確保するために必要なショルダーの範囲であり、これが基礎岩盤内の実際の堅岩線と交差するときは、その標高での 2 次元検討による基礎岩盤は所要の安全率を持たないことを示し、反対に両者の間隔が非常に広いときは、ダム の 根入れが深すぎて不経済なことを示す。

一般に所要堅岩線を計算する際に用いるせん断摩擦安全率は 4 とする。しかし基礎岩盤内にせん断破壊を生じやすい方向に断層等の弱層がある場合には、別途、その弱層の位置、方向及び規模を考慮した安全性の検討が必要である。



注) 図示の簡略化のため堅岩線の川側(図では右側)に存在する地表線は描いていない。

図2-2-7 所要堅岩線

堤体と基礎岩盤の接触面及び基礎岩盤内部の断層、節理等の弱点と考えられる面の安全性は、本章 6.3.1 に示す方法に準じて判断する。特にアーチ式コンクリートダムの場合、ダムの左右岸部において高角度の弱層が存在する場合にその安全性に注意を要することが多い。

<標準>

アーチ式コンクリートダムは、ダムの高さ、地形、基礎地盤(特に左右岸)の強度などの地質条件及び洪水処理の方法等を考慮して配置設計を行うことを基本とする。

<例示>

アーチ式コンクリートダムにおいては、基礎岩盤の安全性を検討する際、標高ごとの2次元の所要堅岩線による検討が行われることが一般的である。しかし、堤体と基礎岩盤の接触面及び基礎岩盤内部の断層、節理等の弱点と考えられる面の安全性を検討する際などには、必要に応じて岩盤をモデルに組み込んだ3次元のせん断破壊に対する安全率の検討を行う場合がある。この場合の所要安全率として、解析の精度等を考慮して、2次元の検討で用いる4よりも大きい数値を用いている事例がある。

<参考となる資料>

アーチ式コンクリートダムの配置設計の方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

2.4.3 フィルダムの配置設計

<考え方>

フィルダムの配置は、堤体の安定や基礎地盤の遮水上問題となる地質を避けるとともに、安全な洪水処理が可能となる洪水吐きの配置などを考慮し、決定する。

フィルダムの場合、コンクリートダムと異なり堤体と分離して洪水吐きを設置しなければならないことから、洪水吐きの設置の容易さも考慮してダムを配置する必要がある。

フィルダムは、一般にコンクリートダムに比べ基礎地盤が良好でないサイトでも築造可能であるが、基礎地盤は堤体の安定上問題となる不等沈下や過大な沈下が生じないことが条件となる。また、必要な遮水性を確保することができるかどうか、配置設計の重要な要因となることが多い。

地形が極端なV字型の谷となっている場合の急傾斜部や変形性が大きく異なる地質境界部

に遮水ゾーンを設置すると、不等沈下によるせん断変形が亀裂の原因となり、ひいては、これが浸透破壊の誘因となることがあるので、注意する。

フィルダムは、堤体内に洪水吐きを設置できないので（構造令第4条第5項参照）、付近の地山に設置が可能かどうか、地形、地質面からの検討が重要である。洪水吐きを急峻な山腹に設ける場合、掘削量が大量となること及び長大のり面の安定性の確保や維持管理上の問題からダムの配置が不適當となることがあるので注意を要する。

<標準>

フィルダムは、ダムの高さ、堤体の遮水型式、地形、地質条件及び洪水吐きの配置等を考慮して配置設計を行うことを基本とする。

<例示>

フィルダムのダム軸の平面形状は、直線が一般的であるが、貯水圧による遮水ゾーンの応力状態を改善したり、地形によっては掘削量、盛立量あるいは堤体と洪水吐きの配置上有利とする目的で、上流側に凸の曲線が採用された事例もある。

<参考となる資料>

フィルダムの配置設計の方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

第 2 章 ダムの設計

第 3 節 ダム設計の基本条件

目 次

第 3 節	ダム設計の基本条件	1
3. 1	設計の要件	1
3. 2	設計の前提	2
3. 3	設計水位等	5
3. 4	荷重の組合せ	6
3. 5	荷重の計算法	10
3. 5. 1	自重	10
3. 5. 2	静水圧	10
3. 5. 3	泥圧	12
3. 5. 4	揚圧力	13
3. 5. 5	地震時慣性力	15
3. 5. 6	地震時動水圧	17
3. 5. 7	温度荷重	20

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第3節 ダム設計の基本条件

3.1 設計の要件

<考え方>

ダムは流水を貯留することにより洪水調節を行うとともに、各種の水の利用を図ることを目的として建設される構造物であり、ダムは長期的にこれらの治水と利水の機能を確実に発揮できるよう設計する必要がある。

ダムは堤体及び基礎が一体となって流水を止める働きをする構造物であるので、ダムの堤体及び基礎地盤は所要の水密性及び予想される荷重に対する安全性を有するとともに一定期間内確実に効用を発揮するのに必要な耐久性を有する構造とする。またダムは所要の放流が可能となる放流設備を有し、管理上も操作が確実に行える構造とする。さらに、ダムの設置される周辺環境と調和するよう配慮して設計する。

ダムの位置は計画上ならびに自然、社会条件等から通常は自由に選ぶことはできない。したがって、決められたダムサイトに対し、ダムの規模、ダムサイトの地形、地質条件、水文条件、堤体材料の条件、気象、施工性等の条件を総合的に検討することによって、ダムの型式及び基本的な配置を決定し、続いて詳細な設計へと移行していく必要がある。

ダムの構造の原則は、構造令第4条において、以下のように定められている。

(構造の原則)

- 第4条 ダムの堤体及び基礎地盤（これと堤体との接合部を含む。以下同じ。）は、必要な水密性を有し、及び予想される荷重に対し必要な強度を有するものとするものとする。
- 2 コンクリートダムの堤体は、予想される荷重によって滑動し、又は転倒しない構造とするものとする。
 - 3 フィルダムの堤体は、予想される荷重によって滑り破壊又は浸透破壊が生じない構造とするものとする。
 - 4 ダムの基礎地盤は、予想される荷重によって滑動し、滑り破壊又は浸透破壊が生じないものとするものとする。
 - 5 フィルダムの堤体には、放流設備その他の水路構造物を設けてはならない。

<必須>

ダムは、構造令第4条で定める構造の原則に従い、予想される荷重に対する安全性及び必要な水密性が備わった構造とし、耐久性、操作性、景観及び経済性を総合的に考慮して設計するものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

ダムの設計の要件については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成12年1月。

3. 2 設計の前提

<考え方>

ダムを安全に設計するためには、予想される荷重に対して堤体及び基礎地盤が安定であるか検討する必要がある。特に、ダムは、その規模が大きく、万一破壊すると及ぼす影響が大きいため、社会的にも極めて高い安全性を要求される。ダムの種類は、コンクリートダム、フィルダムなどに大別され、コンクリートダムは弾性構造物、フィルダムは非弾性構造物として設計される。

ダムは、その安全性を確保するために、ダム型式等に応じた合理的な設計手法により、設計手法に基づいた所要の安全率を有した設計を行う必要がある。

コンクリートダムの安定性及び強度は、河川管理施設等構造令施行規則（以下「施行規則」という。）第9条において、以下のように定められている。

（コンクリートダムの安定性及び強度）

規則第9条 コンクリートダムは、第1条第1項に規定する場合において、ダムの堤体と基礎地盤との接合部及びその付近における剪断力による滑動に対し、必要な剪断摩擦抵抗力を有するものとする。

2 前項の剪断摩擦抵抗力は、次のイの式によって計算するものとし、かつ、次のロの式を満たすものでなければならない。

$$\text{イ } R_b = fV + \tau_0 l_0$$

$$\text{ロ } R_b \geq 4H$$

これらの式において、 R_b 、 f 、 V 、 τ_0 、 l_0 及び H は、それぞれ次の数値を表すものとする。

R_b 単位幅当たりの剪断摩擦抵抗力（単位 1メートルにつき重量トン）

f 適切な工学試験の結果又は類似のダムの構造計算に用いられた値に基づき定める

内部摩擦係数

V 単位幅当たりの剪断面に作用する垂直力（単位 1メートルにつき重量トン）

τ_0 類似のダムに関する資料及び岩盤性状等により明らかな場合を除き、現場試験の結果に基づき定める剪断強度（単位 1平方メートルにつき重量トン）

l_0 剪断抵抗力が生ずる剪断面の長さ（単位 メートル）

H 単位幅当たりの剪断力（単位 1メートルにつき重量トン）

3 コンクリートダムの堤体に生ずる応力は、第1条第1項に規定する場合において、標準許容応力を超えてはならないものとする。ただし、地震時において、ダムの堤体に生ずる圧縮応力については、標準許容応力にその30パーセント以内の値を加えた値を超えてはならないものとする。

4 前項の標準許容応力は、ダムの堤体の材料として用いられるコンクリートの圧縮強度を基準とし、安全率を4以上として定めるものとする。

5 重力式コンクリートダムの堤体は、第1条第1項に規定する場合において、その上流面に引っ張り応力を生じない構造とするものとする。ただし、局部的な引っ張り応力に対して鉄筋等で補強されているダムの堤体の部分については、この限りでない。

フィルダムの安定性及び堤体材料については、施行規則第10条において、以下のように定められている。

（フィルダムの安定性及び堤体材料）

規則第10条 フィルダムは、第1条第1項及び第2項に規定する場合において、ダムの堤

- 体の材料の性質及び基礎地盤の状況を考慮し、ダム の 堤体の内部、ダム の 堤体と基礎地盤との接合部及びその付近における滑りに対し、必要な滑り抵抗力を有するものとする。
- 2 前項の滑り抵抗力は、次のイの式によって計算するものとし、かつ、次のロの式を満たすものでなければならない。

$$\text{イ } R_s = \sum\{(N - U)\tan\phi + Cl_1\}$$

$$\text{ロ } R_s \geq 1.2 \sum T$$

これらの式において、 R_s 、 N 、 U 、 ϕ 、 C 、 l_1 及び T は、それぞれ次の数値を表すものとする。

R_s 単位幅当たりの滑り抵抗力 (単位 1メートルにつき重量トン)

N 円形滑り面上の各分割部分に作用する荷重の単位幅当たりの垂直分力 (単位 1メートルにつき重量トン)

U 円形滑り面上の各分割部分に作用する荷重の単位幅当たりの間隙圧 (単位 1メートルにつき重量トン)

ϕ 円形滑り面上の各分割部分の材料の内部摩擦角 (単位 度)

C 円形滑り面上の各分割部分の材料の粘着力 (単位 1平方メートルにつき重量トン)

l_1 円形滑り面上の各分割部分の長さ (単位 メートル)

T 円形滑り面上の各分割部分に作用する荷重の単位幅当たりの接線分力 (単位 1メートルにつき重量トン)

- 3 フィルダムの堤体は、第1条第1項に規定する場合において、浸潤線がダム の 堤体の下流側の法面と交わらない構造とするものとする。
- 4 フィルダムのしゃ水壁は、次の各号に定めるところによるものとする。
- 一 しゃ水壁の材料は、土質材料その他不透水性のものであること。
 - 二 しゃ水壁の高さは、令第5条の規定による値以上であること。
 - 三 しゃ水壁及びこれと基礎地盤との接合部は、貫孔作用が生じないものであること。
- 5 基礎地盤から堤頂までの高さが 30メートル以上で、かつ、その堤体がおおむね均一 の 材料によるフィルダムの構造は、第1項及び第3項の規定によるほか、堤体の材料及び設計等について類似のダムに用いられた適切な工学試験又は計算等に基づき安全の確認されたものとする。
- 6 フィルダムには、ダム の 堤体の点検、修理等のため貯水池の水位を低下させることができる放流設備を設けるものとする。

ダム の 堤体及び基礎地盤の安定性は、堤体及び基礎地盤の物性、予想される荷重状態とその大きさ、使用する解析法の種類と仮定、その結果考慮すべき所定の安全率の大きさを鑑み総合的に評価することによって初めて正しく検討することができる。したがって、使用する解析法、材料の物性が異なれば、安全率の値も当然異なるので、設計を行うにあたっては、これらについて十分考慮し、注意深く行う必要がある。

ダム及び基礎地盤に作用する荷重及び荷重の組合せについては本章 3.4 に述べる。また、ダム型式ごとの設計手法については、表 2-3-1 に示すとおりであるが、それぞれの堤体材料の物性等による設計上の特徴及び使用する解析法と安全率について以下に述べる。

1. コンクリートダム

重力式コンクリートダムの設計にあたっては、ダム軸に垂直な鉛直断面を用いて2次元設計が行われる。この場合、一般に平面保持の仮定を用いた片持ばり理論が用いられる。そのうえで、上流面に鉛直方向の引張応力が生じないように、予想される荷重による合力の作用点が堤体内の上下流面間の長さの中央1/3 (ミドルサード (Middle third)) 内に入るよう基本断面を設定する。

アーチ式コンクリートダム設計は3次元解析が行われ、以前はアーチ要素と片持ばり要素の組合せとして解く荷重分割法で計算した応力状態等を模型実験で確認する方法で行われていたが、現在では、堤体の最終形状が概ね固まった段階で、有限要素法にて応力解析を行っている。重力式、アーチ式とも堤体コンクリートの許容応力を考える際の安全率は4以上を用いる。なお、地震時においては、許容応力にその30%以内の値を加えた値を基本とする。

コンクリートダムの基礎地盤設計にあたっては、一般にコンクリートダム設計の際に堤体と基礎地盤を一体となった剛体として取り扱い、2次元断面に対して作用力と抵抗力の比（Hennyの式）が4以上の安全率を確保するように設計する。また、基礎地盤の安定性が問題となるときには併せて内部応力を考慮した解析を行う。この場合、基礎地盤は一般に弾性体として取り扱われ、単位面積当たりのせん断摩擦安全率（局所せん断摩擦安全率）が概ね2以上になるよう設計する。

2. フィルダム

フィルダムの最大の特徴は、堤体が岩石、砂礫、土質材料などからなり塑性的あるいは粘弾性的性質を有する材料でできていることであり、かつ、フィルダムには、基礎地盤あるいは堤体自体の沈下に対しても、それに追従し、十分安定した状態を保っていられるという、コンクリートダムにない特徴がある。なお、基礎地盤の地形、地質条件から不等沈下が設計上の問題になる場合には注意が必要である。また、底面積を広くすることによりダムの基礎に及ぼす応力を小さくすることができるため、基礎地盤の条件によるダム設計上の制約はコンクリートダムに比べて小さい。

フィルダムはコンクリートダムに比べて非弾性的性質が著しいが、その非弾性的な性質に対する理論的な検討が複雑であることもあり、弾塑性解析に基づいた理論的な設計体系がたてにくいことも特徴である。また、フィルダムの堤体材料は一般の材料と異なり、強度が間隙水圧に影響されるため破壊の定義が複雑になる。

以上の状況から、現状ではフィルダムの設計は、斜面のすべりに対する安定性について2次元の円弧すべり面についてスライス法により検討し、作用力と抵抗力の比に対して安全率が1.2以上となるような断面形状となるよう設計する。なお、浸透力による遮水ゾーンの滑動に対しては下流の透水ゾーンの重量による摩擦抵抗で抵抗しているが、一般にこの条件から定まる下流面勾配よりも円弧すべりを考慮した検討から定まる下流面勾配の方が大きくなるため、通常は上記の円弧すべりに対する検討により設計することができる。

設計外力に対する変形及び応力・ひずみの解析を堤体設計に取り込む手法については、必要に応じ参考的に実施する。

表2-3-1 各ダム型式の設計手法の違い

ダム型式	基本的仮定	ダム標準設計条件	基本的な設計数値
重力式 コンクリート ダム	2次元 弾性体	1) 外力として考慮する力の合力の作用点が堤体水平断面のMiddle Thirdに入ること 2) Hennyの式で安全率が4以上あること 3) 堤体中に生ずる圧縮応力が許容応力を超えないこと	原位置試験による 岩盤のせん断強度 τ_0 岩盤の内部摩擦係数 f 配合試験による コンクリートの強度
アーチ式 コンクリート ダム	3次元 弾性体	1) 堤体中に生ずる圧縮応力が許容応力を超えないこと* 2) Hennyの式で安全率が4以上あること	

フィルダム	2次元 非弾性体	1) 円弧すべり面についてスライズ法による安全性が1.2以上あること	室内三軸試験等による フィル材料・基礎の 粘着力 c 内部摩擦角 ϕ
-------	-------------	------------------------------------	--

*) 堤体の組合せ応力より定めた修正係数を考慮する。

<必須>

ダムは予想される荷重状態とその大きさ、堤体及び基礎地盤の物性、使用する解析法、考慮すべき安全率等を総合的に検討し、施行規則第9条及び第10条で定める方法に従い、所要の安全性を確保するよう設計するものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

ダムの設計の前提条件については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。

3.3 設計水位等

<考え方>

ダムの構造計算に採用する荷重状態の対象となる水位は、施行規則第1条において、以下のように定められている。

(ダムの構造計算)

規則第1条 ダムの堤体及び基礎地盤（これと堤体との接合部を含む。次項及び第8条において同じ。）に関する構造計算は、ダムの非越流部の直上流部における水位が次の各号に掲げる場合及びダムの危険が予想される場合における荷重を採用して行うものとする。

- 一 常時満水位である場合
 - 二 サーチャージ水位である場合
 - 三 設計洪水水位である場合
- 2 フィルダムの堤体及び基礎地盤に関する構造計算は、前項の規定によるほか、ダムの非越流部の直上流部における水位が常時満水位以下で、かつ、水位を急速に低下させる場合における荷重を採用して行うものとする。

ダムの堤体設計等の基準となる貯水池の水位等は次のとおりである。

1. 常時満水位：本章1.3に示す水位である。なお、この水位は、利水目的で貯留される各種容量、死水容量、堆砂容量の組合せで決まる貯水池容量に対応する貯水池の水位である。洪水調節を目的に含むダムでは、洪水期に常時満水位を下回った水位を維持することがあるが、これを洪水期制限水位と呼ぶ。
2. サーチャージ水位：本章1.3に示す水位である。洪水調節を目的に含むダムでは、洪水防衛計画における基本高水に対して必要な洪水調節容量を確保しなければならないが、この容量と各種利水容量、死水容量、堆砂容量との組合せで決まる貯水池容量に対応する最高

の水位がサーチャージ水位である。

同様に、利水専用ダムにおいても、サーチャージ水位を定める。この場合のサーチャージ水位は、貯水池運用上定まる洪水時の初期水位、対象洪水及び洪水吐きの構造を検討して定めるが、このとき使用する対象洪水は、当該ダム地点の基本高水が年超過確率で 1/100 以上の規模である場合は当該ダム地点の基本高水を、基本高水が年超過確率で 1/100 以下の規模であるか、または、基本高水が定められていない場合には、当該ダム地点におけるコンクリートダムとしてのダム設計洪水流量の 80% の流量を基準として定める。

3. 設計洪水位：本章 1.3 に示す水位である。なお、利水専用ダムにおける設計洪水位を定めるにあたっては、洪水吐きゲートを有さず、かつ、流域面積に比べ貯水池面積の著しく大きいダムを除き、貯水池の貯留効果を考慮してはならない。
4. 最低水位：貯水池の運用計画上の最低の水位であり、最低水位以下の容量は堆砂容量あるいは死水容量として通常の計画では利用されない。
5. 堆砂位：貯水池流域の地形、地質、気象、水文状況等より貯水池の比堆砂量を推定し、これを基にして求めた概ね 100 年間の堆砂量より定められる。
6. 堤体の下流側水位：ダムの設計において、堤体の下流側水位による静水圧など水平に作用する力は一般に堤体の安定計算上安全側に作用するが、間隙水圧、揚圧力など鉛直に作用する力は危険側に作用する場合がある。したがって、下流側水位は、設計に用いるそれぞれの貯水位に対して、これと同時に起こる可能性のある水位でダム構造物の安定計算上、最も危険側となる水位状態をとり、ダム構造物の安定計算上、安全な設計となるよう設定する。
7. その他の水位：その他の水位についても、本章 3.4 に規定される荷重との組合せにおいて危険が予想される場合について定める。

<必須>

ダムの堤体設計の基準となる貯水池の水位等は、施行規則第 1 条で定めるもののほか、流域の水文特性及び貯水池の運用計画等に基づき定めるものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。
- 2) 河川砂防技術基準計画編，平成 31 年 3 月，国土交通省水管理・国土保全局 施設配置等計画編 第 2 章 河川施設配置計画 第 2-1 章 河道並びに河川構造物 第 3 節 貯水池（ダム）。

<参考となる資料>

ダムの構造計算に用いる設計水位については、下記の資料 1) が参考となる。また、ダムの容量については、下記の資料 2) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 2 巻 環境・調査 I 編，平成 17 年 6 月。

3.4 荷重の組合せ

<考え方>

ダムの堤体及び基礎地盤（これと堤体との接合部を含む）に関する安全性については具体的に構造計算等によって確かめる必要がある。

構造設計において考慮すべき荷重の種類と組合せは、構造令第 6 条において、以下のよう
に定められている。

(堤体等に作用する荷重の種類)

第 6 条 ダムの堤体及び基礎地盤に作用する荷重としては、ダムの種類及び貯水池の水位
に応じ、次の表に掲げるものを採用するものとする。

貯水池の水位		ダムの種類	
		重力式 コンクリート ダム	アーチ式 コンクリート ダム
1	ダムの非越流部の直上流 部における水位が常時満 水位以下又はサーチャ ージ水位以下である場合	W, P, P_e, I, P_d, U	W, P, P_e, I, P_d, U, T
2	ダムの非越流部の直上流 部における水位が設計洪 水位である場合	W, P, P_e, U	W, P, P_e, U, T

備考

この表において、 $W, P, P_e, I, P_d, U, P_p$ 及び T は、それぞれ次の荷重を表すもの
とする。

W ダム堤体の自重

P 貯留水による静水圧の力

P_e 貯水池内に堆積する泥土による力

I 地震時におけるダムの堤体の慣性力

P_d 地震時における貯留水による動水圧の力

U 貯留水による揚圧力

P_p 間げき圧 (ダムの堤体の内部及びダムの基礎地盤の浸透水による水圧) の力

T ダムの堤体の内部の温度の変化によって生ずる力

構造計算を行うにあたって必要な荷重の種類と組合せについては、貯水池の水位とダムの
種類に応じて表 2-3-2 に示すとおりである。

表2-3-2 荷重の組合せ

貯水池の 水位状態		ダムの種類	
		重力式 コンクリート ダム	アーチ式 コンクリート ダム
常時満水位 及び サーチャージ水位	自重 静水圧 地震時動水圧 (氷圧) 泥圧 地震時慣性力 揚圧力	自重 静水圧 地震時動水圧 (氷圧) 泥圧 地震時慣性力 揚圧力 温度荷重	自重 静水圧 地震時慣性力 間隙圧

設計洪水位	自重 静水圧 泥揚圧力	自重 静水圧 泥揚圧力 温度荷重	自重 静水圧 間隙圧
最低水位	自重 地震時慣性力 静水圧 地震時動水圧 揚圧力	自重 地震時慣性力 静水圧 地震時動水圧 揚圧力 温度荷重	
水位が急速に低下した 場合			自重 静水圧 地震時慣性力 間隙圧
中間水位			自重 静水圧 地震時慣性力 間隙圧
貯水池空虚 (フィルダムにあって は堤体完成直後)	自重 地震時慣性力	自重 地震時慣性力 温度荷重	自重 地震時慣性力 間隙圧

備考

自重：ダムの堤体の自重

静水圧：貯留水による静水圧の力

泥圧：貯水池内に堆積する泥土による力

地震時慣性力：地震時におけるダムの堤体の慣性力

地震時動水圧：地震時における貯留水による動水圧の力

揚圧力：貯留水による揚圧力

間隙圧：間隙圧（ダムの堤体の内部及びダムの基礎地盤の浸透水による水圧）の力

温度荷重：ダムの堤体の内部の温度の変化によって生ずる力

1. コンクリートダム（特に重力式コンクリートダム）においては、常時の状態及び下流向きの地震時慣性力を受けた状態では、高い水位状態での安全性が確認されれば、低い水位状態では自動的にその安全性が確認されるのが一般である。しかし、上流向きの地震時慣性力を受けたときには水位の低い方が危険側となることがあるので、このような水位状態に対しての検討が必要である。
2. 浸透流については通常は、定常状態となった場合について検討する。したがって、フィルダムにあっては、所要の水位状態が長期間継続したものとして水位を求め、その結果、定常状態の浸潤線より低い堤体の部分は飽和状態にあるとして検討を行う。
3. フィルダムにおける、表 2-3-2 中の「水位が急速に低下した場合」とは、一般に、貯水池水位が常時満水位から貯水池運用計画における最低水位までの範囲で貯水池運用計画に基づき急速に低下し、間隙圧が堤体内に残留する場合とする。

その他、サーチャージ水位と常時満水位との間の水位においても当該ダムの実情に応じ

て必要な場合があれば追加して検討する。

4. フィルダムにおいて構造計算を実施する場合としては、
- (1) 常時満水位で浸透流が定常状態にある場合
 - (2) サーチャージ水位で浸透流が定常状態にある場合
 - (3) 設計洪水水位で浸透流が定常状態にある場合
 - (4) 貯水池の水位が常時満水位と最低水位との間のダム安全性に最も不利となる水位（いわゆる中間水位）で浸透流が定常状態にある場合（中間水位については、試算によって安全率の最小値を見つける必要がある。）
 - (5) 水位を急速に低下させる場合
 - (6) 完成直後で建設中の間隙圧が残留する場合
- が一般的である。

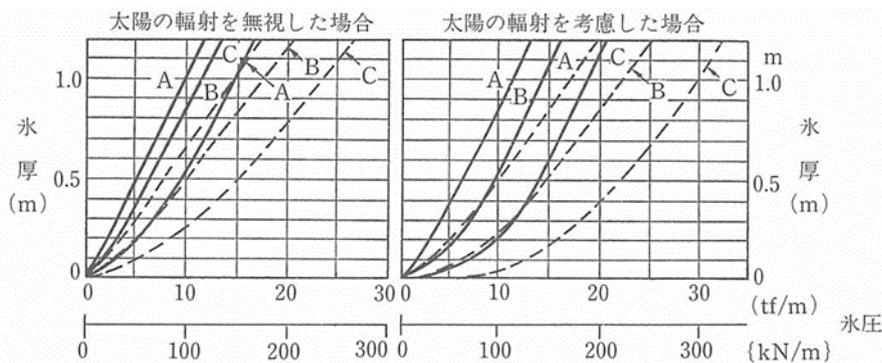
特に、均一型ダムや細粒分の多い遮水材料を使ったダムでは間隙圧の影響が大きいので完成直後の状態についても安全度を確かめることが重要である。この場合地震時慣性力については、表 2-3-3 に示す値の 1/2 を使用して求めることができる。

5. 氷圧

極寒地で、貯水池の対岸距離が短く、大きな氷圧の発生が予想される場合は、ダムの堤体及びゲートの設計に氷圧を考慮する。

貯水池の表面が結氷している場合、氷の温度が上昇すれば氷圧を生ずる。ただし、氷の下面部で貯水に接している付近には氷圧は生じない。氷圧は気温の上昇度、氷厚、貯水池両岸の状況、結氷面に対する直射日光の度合等によって変化するものとされている。図 2-3-1 に既往の実測資料より求めた氷厚とダム軸に直角水平方向の氷圧との関係を示す。

ただし、我が国ではダム本体の安定計算には一般に氷圧は、算入されない。それは、冬期にダムの安定計算で考慮するような波浪と氷圧（従来我が国では最大値 147kN/m²程度と考えられていた）とが同時に発生すると考える必要がなく、一般にダムの下部では前者をとるほうが安全側であり、また、上部では両者による影響の差が小さいので、安定計算には波浪による影響を取り入れるだけでよいと考えられるからである。



- 注 1) 横軸の氷圧：氷板のダム軸方向1mあたりの値
 2) 記号の意味
 ——— 貯水池両岸無拘束の場合
 - - - - 貯水池両岸完全拘束の場合
 3) 貯水池両岸完全拘束：両岸が急傾斜で結氷が不動の状態
 貯水池両岸無拘束：両岸傾斜が緩やかで氷の縁がすべり上がるような状態
- | | | |
|---|-------|--------|
| A | 気温上昇率 | 2.8℃/時 |
| B | " | 5.6 " |
| C | " | 8.4 " |

図2-3-1 氷厚と氷圧との関係

<必須>

ダムの堤体及び基礎地盤（これと堤体との接合部を含む）に関する構造設計において考慮

すべき荷重の種類と組合せは、貯水池の水位及びダム型式に応じて構造令第6条で定められたものを用いるものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

ダムの構造計算に用いる荷重の組合せについては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成12年1月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編、平成17年1月。

3.5 荷重の計算法

3.5.1 自重

<考え方>

ダムの堤体の自重は、施行規則第3条において、以下のように定められている。

(ダムの堤体の自重)

規則第3条 河川管理施設等構造令(以下「令」という。)第6条のダムの堤体の自重は、ダムの堤体の材料の単位体積重量を基礎として計算するものとする。

ダムの自重は設計上大きな要素となる。それに用いる単位体積重量は、実際に使用する材料について試験を行い決定するのが原則である。詳細については、コンクリートダムは本章4.2、フィルダムは本章5.2で述べる。

<必須>

堤体の自重は、施行規則第3条で定める方法によって計算するものとする。

<標準>

堤体材料の単位体積重量は、実際に使用する材料について試験を行い決定することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

ダムの堤体の自重の計算方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成12年1月。

3.5.2 静水圧

＜考え方＞

貯留水による静水圧の力は、施行規則第4条において、以下のように定められている。

(貯留水による静水圧の力)

規則第4条 令第6条の貯留水による静水圧の力は、ダム の 堤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、次の式によって計算するものとする。

$$P = W_0 h_0$$

この式において、 P 、 W_0 及び h_0 は、それぞれ次の数値を表すものとする。

P 貯留水による静水圧の力 (単位 1平方メートルにつき重量トン)

W_0 水の単位体積重量 (単位 1立方メートルにつき重量トン)

h_0 次の表の中欄に掲げる区分に応じ、同表の下欄に掲げる水位からダム の 堤体と貯留水との接触面上の静水圧の力を求めようとする点までの水深 (単位 メートル)

項	貯水池の水位	ダム の 非越流部の直上流部における波浪を考慮した水位 (単位 メートル)
1	ダム の 非越流部の直上流部における水位が常時満水位である場合	常時満水位に風による波浪の貯水池の水面からの高さ及び地震による波浪の貯水池の水面からの高さを加えた水位
2	ダム の 非越流部の直上流部における水位がサーチャージ水位である場合	サーチャージ水位に風による波浪の貯水池の水面からの高さ及び地震による波浪の貯水池の水面からの高さの2分の1を加えた水位
3	ダム の 非越流部の直上流部における水位が設計洪水水位である場合	設計洪水水位に風による波浪の貯水池の水面からの高さを加えた水位

2. 令第5条第1項及び前項の地震による波浪の貯水池の水面からの高さは、第2条第1項の規定により定めた設計震度の値を用いて計算するものとする。

ダム の 安定計算に用いる静水圧は、設計の対象となるそれぞれの水位に風による波浪の貯水池の水面からの高さを加えた水位によって計算する。

地震時のダム の 安定計算において、本章 3.5.6 に規定する地震時動水圧と組み合わせて用いる静水圧は、さらに、地震による波浪の貯水池の水面からの高さを加えた水位によって計算する。

フィルダム の スライス法による安定計算において、水面下の静水圧状態の部分に飽和重量を用いた場合の外力としての水圧は、堤体表面に作用する水圧、スライスのすべり面と側面に垂直に作用する水圧である。

堤体内の間隙圧としては、常時満水位時、サーチャージ水位時及び設計洪水水位時には、それぞれの水位による定常浸透圧を、水位急低下時には、残留間隙圧を、完成直後には建設中の間隙圧を考慮する。計算法は、本章 5.3 で詳しく述べる。

<必須>

静水圧は、施行規則第4条で定める方法によって計算するものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

貯留水による静水圧の力の計算方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。

3.5.3 泥圧

<考え方>

貯水池内に堆積する泥土（以下「堆泥」という）による力は、施行規則第5条において、以下のように定められている。

(貯水池内に堆積する泥土による力)

規則第5条 令第6条の貯水池内に堆積する泥土による力は、ダムの堤体と貯水池内に堆積する泥土との接触面において鉛直方向及び水平方向に作用するものとし、鉛直方向に作用する力は堆積する泥土の水中における単位体積重量を基礎として計算するものとし、水平方向に作用する力は次の式によって計算するものとする。

$$P_e = C_e W_1 d$$

この式において、 P_e 、 C_e 、 W_1 及び d は、それぞれ次の数値を表すものとする。

P_e 泥土による水平力（単位 1平方メートルにつき重量トン）

C_e 適切な工学試験の結果又は類似のダムの構造計算に用いられた値に基づき定める泥圧係数

W_1 堆積する泥土の水中における単位体積重量（単位 1立方メートルにつき重量トン）

d 貯水池内に堆積すると予想される泥土面からダムの堤体と堆積する泥土との接触面上の泥土による水平力を求めようとする点までの深さ（単位 メートル）

設計に用いる堆泥の深さは、貯水池計画において想定される概ね100年間の堆泥量を基に、一般に河状、貯水池面積の広狭、水深の大小等の貯水池の状況を考慮して推定する。

堆泥の重量は、

$$W_1 = W - (1 - v) \cdot W_0$$

で示される。ここに W_0 は水の単位体積重量（ kN/m^3 ）、 W は堆泥の見掛けの単位体積重量（ kN/m^3 ）、 v は堆泥の空隙率である。

これらの概略値として、下記の数値が常用される。

$$W = 14.7 \sim 17.7 \text{ kN/m}^3, v = 0.3 \sim 0.4, C_e = 0.4 \sim 0.6, W_0 = 9.81 \text{ kN/m}^3$$

なお、地震による動泥圧は、一般に本章3.5.6に後述する地震時動水圧を堆泥部も含めて考慮することで別途考慮しない。

貯水池の堆砂層を支配する因子としては、地形、地質、気象、水文、その他の流域特性及び貯水池特性などがあり、これらの因子は複雑に関連しあっているため、近傍類似水系の既設

貯水池の堆砂実績及び各種公式等に基づき的確に推定することが必要である。

堆砂形状については河川及び貯水池の形状、流入土砂の粒度特性、貯水池の年間変動形態、洪水規模と頻度、堆砂の進行状況などに影響され、通常、傾斜形状を呈するが、ダム の 堤 体 の 安 定 計 算 に お いて は 安 全 側 と な る よ う 考 慮 し て 、 水 平 堆 砂 と す る こ と と し て い る 。

< 必 須 >

貯水池内に堆積する泥土による力は、施行規則第 5 条で定める方法によって計算するものとする。

< 標 準 >

ダム の 構 造 設 計 に 用 い る 堆 砂 位 は 、 想 定 さ れ る 100 年 間 の 堆 砂 量 が 水 平 に 堆 砂 す る と し た 標 高 と す る こ と を 基 本 と す る 。

< 関 連 通 知 等 >

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。

< 参 考 と な る 資 料 >

貯水池内に堆積する泥土による力の計算方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成 12 年 1 月。

3. 5. 4 揚 圧 力

< 考 え 方 >

貯留水による揚圧力は、堤体内及び基礎地盤に水が浸透することによって発生する間隙圧を断面力として扱ったもので、本質的には間隙圧の力と同じのものである。技術的慣習、工学計算の便宜さから、コンクリートダムでは揚圧力を考慮する。また、フィルダムでは間隙圧を考慮する。

コンクリートダムの底面に作用する揚圧力は、施行規則第 8 条において、以下のように定められている。

(貯留水による揚圧力)

規則第 8 条 令第 6 条の貯留水による揚圧力は、ダムの堤体及び基礎地盤における揚圧力を求めようとする断面に対して垂直上向きに作用するものとし、断面の区分に応じ、次の表に掲げる値を基礎として計算するものとする。

断面上の位置 断面的区分		(1)	(2)			(3)
		上流端	上流端と下流端の間			下流端
1	排水孔の効果が及ぶ断面	上流側水圧の値	(イ)	(ロ)	(ハ)	下流側水圧の値
			上流端と排水孔の間	排水孔	排水孔と下流端の間	
			(1) 欄の値	(1) 欄の値	(2) の (ロ)	

			と(2)の(口)欄の値とを直線的に変化させた値	と(3)欄の値との差の5分の1以上の値に(3)欄の値を加えた値	欄の値と(3)欄の値とを直線的に変化させた値	
2	排水孔の効果が及ばない断面又は排水孔の無いダムの断面	上流側水圧と下流側水圧との差の3分の1以上の値に下流側水圧を加えた値	(1)欄の値と(3)欄の値とを直線的に変化させた値			下流側水圧の値

コンクリートダムでは、基礎地盤の状況等から判断して基礎排水孔を設けることが適切でないと考えられる場合を除いて、基礎排水孔を設ける。また、軟岩基礎や一部に軟弱な層を含む基礎の場合には、施行規則第8条に定める値では過小になる場合があるので注意を要する。兩岸の高標高部断面や、河床部断面においても放流管等の堤内構造物の配置から、基礎排水孔の設置標高の条件として、堤体底面から孔口標高までの高さが施行規則第8条の(1)欄の値と(3)欄の値の差の5分の1以下とならない場合は、基礎排水孔の設置標高を考慮して基礎排水孔位置の揚圧力の値を修正する必要がある。

また、堤体内の断面に作用する揚圧力を考慮する場合の分布についても上記に準じて定める。アーチ式コンクリートダムの底面に作用する揚圧力は、重力式コンクリートダムの場合と同様に作用するものとして考慮する。ただし、アーチ式コンクリートダムの場合、揚圧力を考慮しない方が堤体の安定性に与える影響が大きくなる場合があるため、揚圧力を考慮しない場合の安定性検討も行う必要がある。

揚圧力の値は、波浪及び貯水池水位の短時間の変化の影響を受けないこととしている。

<必須>

コンクリートダムの底面に作用する揚圧力は、施行規則第8条に定める方法により計算するものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

揚圧力の計算方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成12年1月。

- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年1月。

3.5.5 地震時慣性力

<考え方>

地震時におけるダムの堤体の慣性力は、施行規則第6条において、以下のように定められている。

(地震時におけるダムの堤体の慣性力)

規則第6条 令第6条の地震時におけるダムの堤体の慣性力は、ダムの堤体に水平方向に作用するものとし、次の式によって計算するものとする。

$$I = WK_d$$

この式において、 I 、 W 及び K_d は、それぞれ次の数値を表すものとする。

I 地震時におけるダムの堤体の慣性力 (単位 1立方メートルにつき重量トン)

W ダムの堤体の自重 (単位 1立方メートルにつき重量トン)

K_d 第2条第1項又は第2項の規定により定めた設計震度

ダムの構造計算に用いる設計震度は、施行規則第2条において、以下のように定められている。

(ダムの構造計算に用いる設計震度)

規則第2条 ダムの構造計算に用いる設計震度は、ダムの種類及び地域の区分に応じ、次の表に掲げる値以上の値で当該ダムの実情に応じて定める値とする。

ダムの種類		地域の区分		
		強震帯地域	中震帯地域	弱震帯地域
1.	重力式コンクリートダム	0.12	0.12	0.10
2.	アーチ式コンクリートダム	0.24	0.24	0.20
3.	フィルダム	ダムの堤体がおおむね均一の材料によるもの	0.15	0.15
	その他のもの			

2 ダムの非越流部の直上流部における水位がサーチャージ水位である場合は、第4条第2項の場合を除き、ダムの構造計算に用いる設計震度は、前項の規定により定めた値の2分の1の値とすることができる。

3 アーチ式コンクリートダムのゲートを堤体以外の場所に設ける場合における当該ゲートの構造計算に用いる設計震度は、前2項の規定により定めた値の2分の1の値とすることができる。

4 第1項の表に掲げる強震帯地域、中震帯地域及び弱震帯地域は、国土交通大臣が別に定めるものとする。

設計震度の値は、図 2-3-2 に示す「建設省告示第 1715 号（昭和 56 年 10 月 16 日）」による地域区分、基礎地盤の状態及びダム型式を考慮して、表 2-3-3 に示す値を目安とする。

設計震度の値は、表 2-3-3 に示す値を目安に設定するが、ダム地点周辺における既往地震の履歴、基礎地盤の地質、堤体の動力学的特性等を考慮して特に必要のある場合には、当該目安以上の値を定める。

なお、ダム本体とは別の隣接型及び分離型洪水吐きで、重力式コンクリートダムの型式をとるものについては、表 2-3-3 の重力式コンクリートダムの値を適用する。

ダムの非越流部の直上流部における水位がサーチャージ水位にある場合についての設計震度に関しては、施行規則第 2 条の規定のとおり、常時の水位時の 1/2 の設計震度を考慮することができる。また、同水位が設計洪水水位である場合は、本章 3.4 に定めるように地震時慣性力や地震時動水圧を考慮しない。これは、ダムの堤体の安定計算にあたっては、地震時、平常時を問わず、ダムの型式に応じた同一の所要安全率を満足するよう計算することとしているために、それぞれの水位の発生頻度等を考慮して、堤体に負荷する荷重の大きさを定めているものである。

コンクリートダムにおいて貯水池空虚時の安定を検討するとき、フィルダムにおいて完成直後の安定を検討するとき及び水位急低下が日常行われないダムにおいて水位急低下時の安定計算をするときは、表 2-3-3 に示す値の 2 分の 1 の値とすることができる。

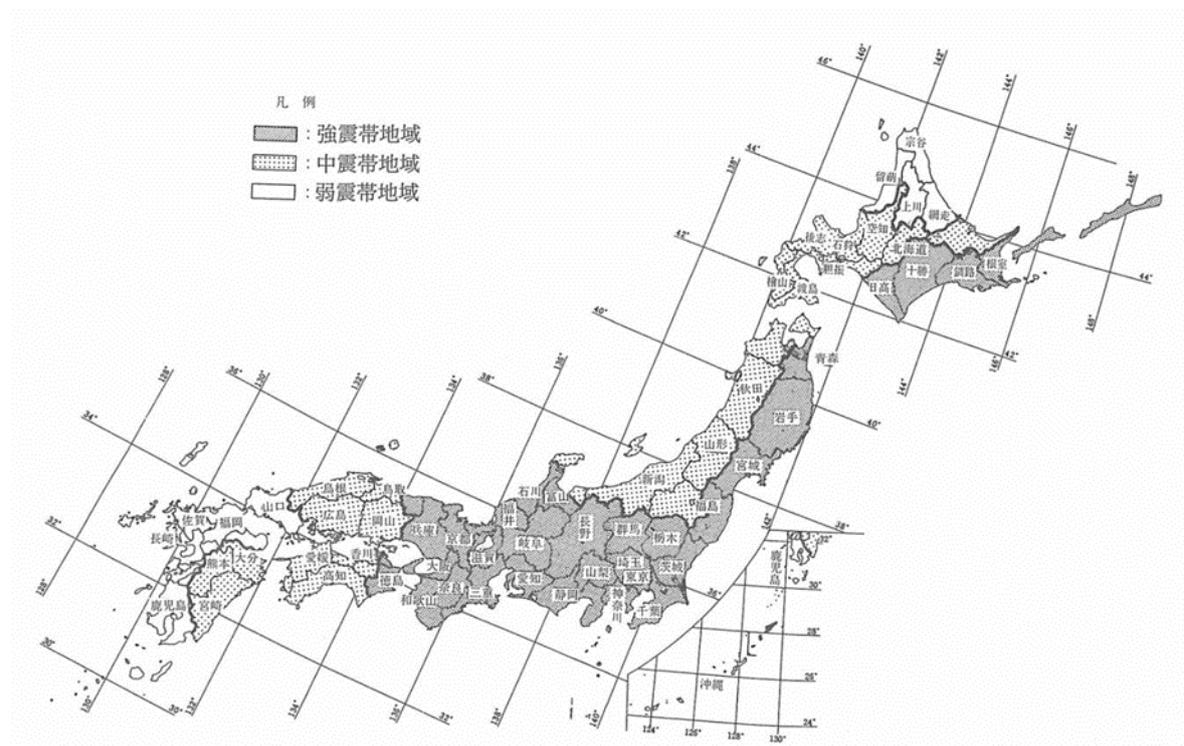


図2-3-2 設計震度の地域区分

表2-3-3 設計震度

ダムの基礎条件	重力式 コンクリートダム、 中空重力式 コンクリートダム	アーチ式 コンクリート ダム	ゾーン型 フィルダム	均一型 フィルダム
強 通常の岩盤基礎	0.12~0.15	0.24~0.30	0.15	0.15~0.18

震帯地域	土質基礎	—	—	0.18	0.20
中震帯地域	通常の岩盤基礎	0.12	0.24	0.12～0.15	0.15
	土質基礎	—	—	0.15～0.18	0.18～0.20
弱震帯地域	通常の岩盤基礎	0.10～0.12	0.20～0.24	0.10～0.12	0.12
	土質基礎	—	—	0.15	0.18
(注) これらの値は目安の値であり、当該地域の地震履歴、地質条件、堤体の動力学的特性を考慮してこれらの値以上をとることとする。					

高さ 100m 以下のフィルダムについては、構造令で示された設計震度以外に、地震時の堤体応答を考慮した設計震度である修正震度法によっても堤体の耐震性を確認する必要がある。確認の方法の詳細は本章 5.3.2 に示す。

<必須>

地震時におけるダムの堤体の慣性力は、施行規則第 6 条に定める方法により計算するものとする。

<標準>

高さ 100m 以下のフィルダムの堤体については、本章 5.3.2 に示す方法によっても地震に対する安全性を確認することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。
- 2) 建設省河川開発課長通知：「フィルダムの耐震設計指針（案）」について、平成 3 年 4 月 1 日、建設省河開発第 49 号。
- 3) 建設省告示第 1715 号、昭和 56 年 10 月 16 日。

<参考となる資料>

地震時慣性力の計算方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成 12 年 1 月。
- 2) 建設省河川局開発課監修／(財) 国土開発技術研究センター発行：フィルダムの耐震設計指針（案）、平成 3 年 6 月。

3.5.6 地震時動水圧

<考え方>

地震時に堤体に働く外力には、地震時慣性力のほかに、貯留水の動水圧がある。
地震時における貯留水による動水圧の力は、施行規則第7条において、以下のように定められている。

(地震時における貯留水による動水圧の力)

規則第7条 令第6条の地震時における貯留水による動水圧の力は、ダム の 堤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、適切な工学試験又は類似のダム の 構造計算に用いられた方法に基づき定める場合を除き、次の式によって計算するものとする。

$$p_d = 0.875W_0K_d\sqrt{H_1 \cdot h_1}$$

この式において、 p_d 、 W_0 、 K_d 、 H_1 及び h_1 は、それぞれ次の数値を表すものとする。

p_d 地震時における貯留水による動水圧の力 (単位 1平方メートルにつき重量トン)

W_0 水の単位体積重量 (単位 1立方メートルにつき重量トン)

K_d 第2条第1項又は第2項の規定により定めた設計震度

H_1 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 (単位 メートル)

h_1 ダムの非越流部の直上流部における水位からダム の 堤体と貯留水との接触面上の動水圧を求めようとする点までの水深 (単位 メートル)

(注：施行規則の H_1 及び h_1 は、本節では H 及び h と記載する。)

ダム の 堤体の上流面が鉛直に近い場合、適切な工学試験又は類似のダム の 構造計算に用いられた方法に基づきその数値を求めることができない場合には、施行規則第7条の Westergaard の式によることができる。

Westergaard の式において全動水圧 $P_d (= \int_0^H p_d dz)$ 及び全動水圧の作用点の基礎地盤からの高さ H_d は次のように表される (図 2-3-3 参照)。

$$P_d = \int_0^H p_d dz = 7/12 W_0 k H^2$$

$$H_d = 0.4H$$

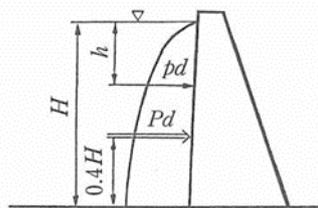


図2-3-3 Westergaard の式

なお、上流面が緩勾配で、動水圧に特殊な検討を必要とする場合には次の Zangar の式を用いることがある。

$$p_d = C \cdot W_0 \cdot k \cdot H$$

$$C = \frac{c_m}{2} \left\{ \frac{h}{H} \left(2 - \frac{h}{H} \right) + \sqrt{\frac{h}{H} \left(2 - \frac{h}{H} \right)} \right\}$$

C_m : 与えられたダム上流面勾配より定める定数 (図 2-3-4 参照)

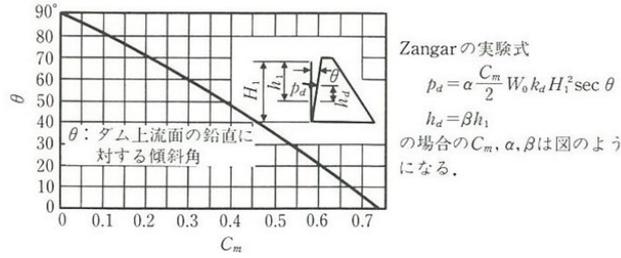


図2-3-4 Zangar の式の $\theta-C_m$ 曲線

Zangar の式においては、水深 h から上の全動水圧 $\int_0^H p_d dz$ 及び水深 h の位置から $\int_0^H p_d dz$ の作用点までの高さ h_d は次のように表される。

$$\int_0^H p_d dz = \alpha \cdot \frac{C_m}{2} W_0 k H^2 \sec \theta$$

$$h_d = \beta h$$

この式における α 、 β は図 2-3-5 により求める。

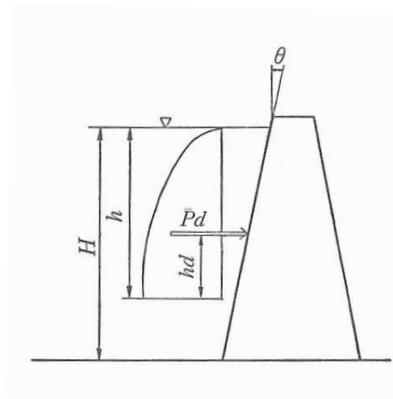
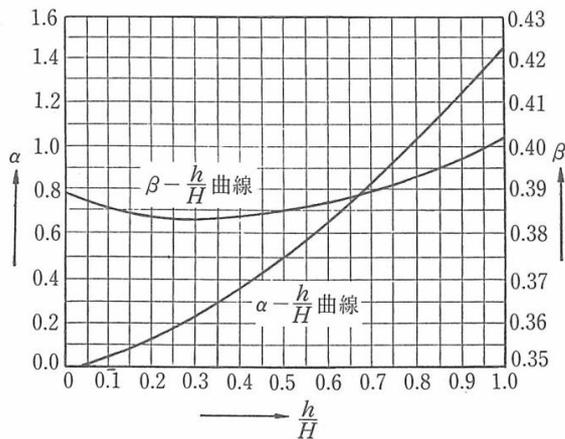


図2-3-5 h/H と α 及び β の曲線

なお、ダムの上流面が鉛直面と傾斜面との組合せから成る場合には Zangar の式の中の傾斜角度 θ は次のように考える。

- (1) ダムの上流面の鉛直部分の高さがダムの高さの 1/2 以上の場合は、上流面の全部を鉛直とみなす。
- (2) ダムの上流面の鉛直部分の高さがダムの高さの 1/2 未満の場合は、ダムの横断面において上流面が貯水面と交わる点と、上流面が基礎と交わる点とを結んだ直線の勾配を用いる。

<標準>

地震時における貯留水による動水圧の力は、施行規則 7 条に定める方法により計算することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。

＜参考となる資料＞

地震時動水圧の計算方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。

3. 5. 7 温度荷重

＜考え方＞

アーチ式コンクリートダム以外の型式のダムは、適当な収縮継目の設置により温度荷重による応力は緩和され、堤体安定性の上の問題とならないため無視して差し支えない。

アーチ式コンクリートダム堤体の応力計算を行う場合は、一般にアーチ作用が確保された後の温度降下のみを考慮する。一方、基礎岩盤の安定性の検討では、温度荷重によるアーチスラストへの影響を検討し、基礎岩盤の安定上不利に働く場合には温度荷重を考慮する。

アーチ式コンクリートダムの場合、温度上昇による曲げモーメントならびに半径方向せん断力は、水圧荷重等による曲げモーメント及び半径方向せん断力と向きが反対となるため、堤体設計上は安全側になる。また、温度上昇によるアーチ推力は、水圧荷重等によるアーチ推力と同じ向きになるが、この値は一般に堤体の内部応力の安全性を脅かすものではない。温度降下による曲げモーメントならびに半径方向せん断力は、水圧荷重等による曲げモーメント及び半径方向せん断力と同じ向きになり、またアーチ推力は引張応力を生じさせる向きに作用する。

堤体内部の温度による応力を求める場合には一般に以下の項目について考慮する必要がある。

- (1) 断面内の平均温度の変化
- (2) 上下流方向の温度勾配の変化
- (3) 上下流面表面近くに形成される温度勾配の変化

このうち、断面内の平均温度の変化は、ダムのたわみ、アーチ推力、アーチの曲げモーメント及び片持ばりの曲げモーメントに大きな影響を与える。また上下流方向の温度勾配の変化は、アーチの曲げモーメントにはかなりの影響を与えるが、ダムのたわみ及びアーチ推力に及ぼす影響は小さい。

設計には(1)、(2)を併せて考慮することを原則とする。

(3)の上下流面表面付近に形成される温度勾配による応力は局部的な応力であり、通常無視してよい(図2-3-6参照)。

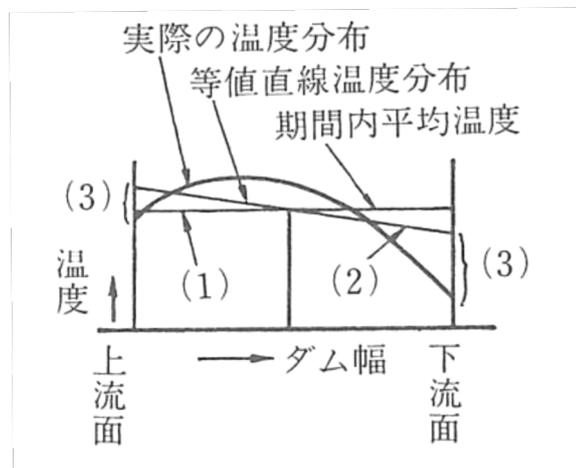


図2-3-6 ダム断面内温度分布

<標準>

アーチ式コンクリートダムは、収縮継目グラウチングの後に予想される堤体の内部温度の変化に基づき計算することを基本とする。

<参考となる資料>

温度荷重の計算方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，平成17年6月。

第2章 ダムの設計

第4節 コンクリートダムの設計

目次

第4節	コンクリートダムの設計	1
4.1	設計の基本	1
4.2	堤体材料	2
4.2.1	ダムコンクリートの基本	2
4.2.2	ダムコンクリートの設計値	2
4.2.3	ダムコンクリートの強度	3
4.2.4	ダムコンクリートの配合強度	5
4.3	重力式コンクリートダムの基本設計	6
4.3.1	形状及び安定計算	6
4.3.2	応力解析	13
4.4	アーチ式コンクリートダムの基本設計	15
4.4.1	形状及び安定計算	15
4.4.2	応力解析	18
4.5	温度規制計画と収縮継目	18
4.5.1	温度規制計画の策定	18
4.5.2	収縮継目	19
4.5.3	せん断キーと継目グラウチング	20
4.6	堤体各部の設計	22
4.6.1	止水装置	22
4.6.2	通廊（監査廊）	23
4.6.3	堤頂構造物	25
4.7	計測装置の設置	25

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第4節 コンクリートダム設計

4.1 設計の基本

<考え方>

コンクリートダムの構造の原則については、構造令第4条第1項及び第2項（本章3.1参照）において、コンクリートダムの安定性及び強度については、施行規則第9条（本章3.2参照）において、それぞれ定められている。

コンクリートダムの堤体設計にあたっては、予想される荷重の組合せに対して十分な安全性が確保されるように、堤体の断面、形状が決定されなければならない。設計に際しては、以下の点に注意しなければならない。

1. コンクリートダムはダム本体と基礎が一体となって挙動するように設計されているので、ダム本体の設計と基礎の物性とは切り離して考えることはできない。したがって、コンクリートダムの基礎は堤体を支持するのに十分な強度と、変形に対する抵抗性を有し、かつ、パイピング等によって基礎の弱層部に変化が生じ、これが堤体の支持力に影響を与えることのないように浸透破壊に対しても十分な抵抗性を有していなければならない。このためダム基礎で堤体からの荷重を直接受ける部分あるいは貯水の浸透水圧の影響を強く受けると考えられる部分が上記の条件を満足していない場合にはグラウチングや一部置換えを含む基礎処理方法によって十分な強度、変形、浸透破壊に対する抵抗性を有するよう対処する必要がある。
2. 1.に示した設計の前提から、ダムと基礎地盤は十分に付着しているものとする。そのため、施工時には基礎表面はこのような状態が確保されるように表面仕上げがなされなければならない。
3. コンクリートダムの設計に際しては、ダムコンクリートは弾性体として取り扱われる。したがって、コンクリートダム内に生じる応力は弾性体として近似できる応力範囲になければならない。
4. ダム堤体に設置される収縮継目には横継目と縦継目がある。2次元設計の重力式コンクリートダムにあつては縦継目、3次元設計のアーチ式コンクリートダムにあつては横継目も含めて、設計条件に合致するように、十分な継目グラウチングを実施して堤体を一体化しなければならない。なお、最近の重力式コンクリートダムの一般的な施工法であるRCD工法や拡張レア工法を採用したダムでは、堤体の温度応力に関する十分な検討に基づいて縦継目を省略することが一般的となっている。

設計の具体方法については、本章4.3及び4.4に示す。

<必須>

コンクリートダムは、その堤体の構造上の特質及び基礎地盤の特性等を考慮し、所要の安全性が確保されるよう設計するものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

コンクリートダムの構造の原則の考え方としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成12年1月。

4. 2 堤体材料

4. 2. 1 ダムコンクリートの基本

<考え方>

コンクリートダムの堤体に用いるコンクリート（ダムコンクリート）は、耐久性及び水密性が大きく、所要の強度及び単位体積重量を持ち、品質のバラツキが少なく、また、ひび割れの発生の恐れが少ないものであることが必要である。また、ダムコンクリートは各部に要求される性能に応じて、それらを満足するように配合区分（外部、内部等）を設けるのが一般的である。

内部コンクリートは主に強度と単位体積重量が要求され、外部コンクリートは主に内部コンクリートに要求される性能に加えて水密性や耐久性などが要求される。

ダムコンクリートの耐久性は特に外部コンクリートについて適切な空気導入が行われた状態で打設される場合には問題となることは少ないが、骨材に懸念のある場合には、必要な耐久性に関する試験を行う必要がある。

<標準>

コンクリートダムの堤体に用いるコンクリート（ダムコンクリート）は、ダムの構造の安全性と貯水機能を確保するために必要な強度、水密性、耐久性等の品質を有することを基本とする。

また、堤体各部の必要とする品質に応じた配合区分（外部、内部等）を設けることを基本とする。

<参考となる資料>

ダムコンクリートの堤体材料としては、下記の資料が参考となる。

- 1) 土木学会：2013 制定 コンクリート標準示方書（ダムコンクリート編），平成 25 年 10 月。
- 2) （財）ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編 平成 17 年 6 月。

4. 2. 2 ダムコンクリートの設計値

<考え方>

ダムコンクリートの設計値（構造設計に用いる物性の入力値）は安全側の値として確保されるか、または設計上許容する範囲内である必要がある。

ダムコンクリートの設計値としては、コンクリートの単位体積重量、弾性係数、ポアソン比等があり、実際に使用する材料及び配合で試験を行い、その結果に基づいて決定するのが基本である。なお、コンクリートの弾性係数やポアソン比は、有限要素法（FEM）解析等により堤体内部の応力状態等を検討する際に用いる。

コンクリートの弾性係数は圧縮強度が大きいほど大きくなる。

コンクリートのポアソン比は、材料・配合・材齢及び荷重の大きさによって若干異なるが一般的には 0.2 が用いられている。また、熱膨張係数は材料及び配合に影響される。

ダムコンクリートの温度規制を行う場合のコンクリートの熱拡散率・熱伝導率・比熱等は、安全側の値を用いるのが一般的であるが、必要に応じて断熱温度上昇試験等の実験を行い値の妥当性を確認する。

<標準>

ダムコンクリートの設計値は、実際に使用する材料及び配合によって試験を行い定めることを基本とする。

<例 示>

設計に用いる弾性係数の値は、持続荷重を受ける場合のクリープを考慮して、一般に 19.6kN/mm^2 ないし 29.4kN/mm^2 を採用すること等が考えられる。なお、残留ひずみを除いた材齢 91 日における応力ひずみ曲線は、通常許容応力の範囲内ではほとんど直線に近く、その付近での弾性係数は 29.4kN/mm^2 ないし 39.2kN/mm^2 の値を示すのが普通である。

基本断面設定時等の配合試験を行っていない段階で設計する場合には、次の各設計値を用いること等が考えられる。

単位体積重量 = 22.56 kN/m^3

ポアソン比 = 0.2

熱膨張係数 = $0.00001/^\circ\text{C}$

弾性係数 = 19.6 kN/mm^2

<参考となる資料>

ダムを設計する際に用いるコンクリートの設計値としては、下記の資料が参考となる。

- 1) 土木学会：2013 制定 コンクリート標準示方書(ダムコンクリート編)，平成 25 年 10 月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編 平成 17 年 6 月。

4. 2. 3 ダムコンクリートの強度**<考え方>**

コンクリートダムが設計荷重を受けるのは、コンクリートを打ち込んでから長時間経過後である。また、ダムコンクリートには水和熱を抑えたセメントや多量の混和材が用いられるため、一般のコンクリートに比べて初期の強度発現が小さい特徴がある。これらのことから、コンクリートダムの設計基準強度は、材齢 91 日での圧縮強度をもとに定める。コンクリートの強度は材齢 91 日の後も強度が漸増し、材齢 365 日で材齢 91 日の強度の 10%程度を増すような材料、または、配合を選ぶ。

ダムコンクリートの強度については、施行規則第 9 条（本章 3.2 参照）において、定められている。

施行規則第 9 条第 3 項において「コンクリートダムの堤体に生ずる応力は、標準許容応力を超えてはならない」とし、同第 4 項では「前項の標準許容応力は、ダム堤体の材料として用いられるコンクリートの圧縮強度の基準とし、安全率を 4 以上として定める」ことを規定している。この基準となる圧縮強度は、実務では「設計基準強度」（土木学会コンクリート標準示方書）と呼ぶ。

なお、コンクリートの圧縮強度はひずみ速度が標準試験の場合に比べ著しく大きくなると増加すること等を踏まえ、地震時の検討における上記の圧縮強度の基準値は、標準試験で得られた強度に基づき安全率を考慮して得られる値にその 30%以内を加えた値として差し支えない。

アーチ式コンクリートダムでは、ダム堤体内に引張応力の発生を認めていること、ダム堤体内の応力状態が多軸応力状態にあること等を考慮してダム堤体内の任意の点に生じる第 1 主応力（最大圧縮応力）に 4 以上の安全率（地震時以外）を乗じ、さらに第 3 主応力の大きさを考慮して定めた修正係数（図 2-4-1 参照）で除した値を設計基準強度とする。

$$f'_{ck} \geq \sigma_c \times 4 \div [\text{修正係数}] \quad (\text{地震荷重を受けていない状態})$$

$$f'_{ck} \geq \sigma_c \times 4 \div [\text{修正係数}] \div 1.3 \quad (\text{地震荷重を受けた状態})$$

ここに、 f'_{ck} ：設計基準強度、 σ_c ：堤体内に生じる圧縮応力

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

ダムコンクリートの設計に用いるダムコンクリートの強度については、以下の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) 土木学会：2013 制定 コンクリート標準示方書(ダムコンクリート編)，平成 25 年 10 月。

4. 2. 4 ダムコンクリートの配合強度

<考え方>

ダムコンクリートの配合強度は、設計基準強度に、現場におけるダムコンクリートの品質の変動を考慮した割増しを行って定められる。割増し係数は現場において予想されるコンクリートの圧縮強度の変動係数に応じて定められる。工事の初期においては十分な資料がないことから変動係数を適切に定めるのが困難な場合が多く、この場合は施工設備、既往の実績等を考慮して変動係数を推定し、これに応じた割増し係数を定めることとし、工事の進捗に伴って蓄積される施工実績を検討し、必要に応じて修正を行うこととする。

<標準>

ダムコンクリートの配合強度は、設計基準強度に、現場におけるダムコンクリートの品質の変動を考慮した割増しを行って定めることを基本とする。

<例示>

配合強度は設計基準強度に変動係数に応じて定まる割増し係数を乗じて定められるが、そのために必要な割増し係数の求め方について例示する。

図 2-4-2 は現場において、予想されるコンクリートの圧縮強度の変動係数から割増し係数を求めるために一般に用いられる図である。これは現場における圧縮強度の試験値が設計基準強度の 80% を下回る確率が 1/20 以下であること及び設計基準強度を下回る確率が 1/4 以下であることの 2 つの条件から求めたものである。

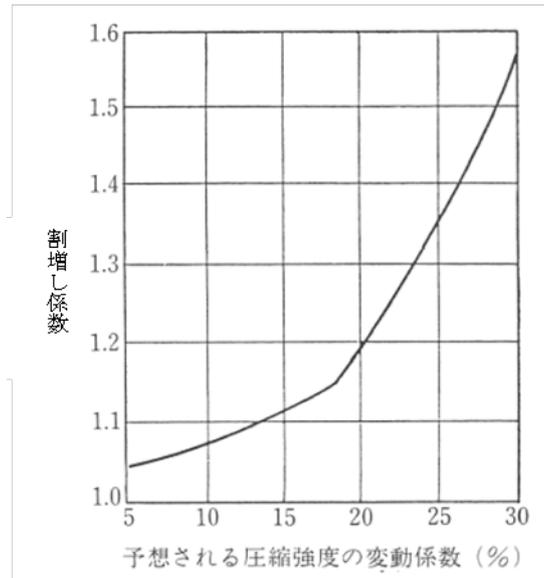


図2-4-2 一般の場合の割増し係数

<参考となる資料>

ダムコンクリートの配合強度については、下記の資料が参考となる。

- 1) 土木学会:2013 制定 コンクリート標準示方書(ダムコンクリート編), 平成 25 年 10 月.

4. 3 重力式コンクリートダムの基本設計

4. 3. 1 形状及び安定計算

<考え方>

重力式コンクリートダムの設計では、適切な配置設計を行った後、堤体の安定計算を行って、その横断面形状を定める。安定計算にあたって、堤体は単位幅の片持ばりがそれぞれ隣接する片持ばりと独立しているものとし、横断面形状を 2 次元設計によって定めるのが一般的である。この基本的な堤体の横断面の形状を基本三角形断面と呼ぶ。越流部については必要な修正を行って、所要の安定性を有する堤体形状を決定する。

重力式コンクリートダムの基本形状決定までの一般的な手順は以下となる。

- (1) 堤体の上流面に鉛直方向の引張応力を生じないように基本三角形断面を決定する。これによって、上・下流面勾配を最も経済的に決定することができる。
- (2) (1)の条件によって定まった基本三角形断面について堤体、着岩面及び基礎地盤内でのせん断に対して安全率が 4 以上であることを確認する。ここで必要な安全率 4 が得られない場合には、堤体断面からの対応としては、適切な増厚を行って安全率 4 以上を得るようにする。この場合、(1)の条件に対して求めた上・下流面勾配をもった基礎三角形が、最も経済的な断面とならないことがある。その場合は、断面形状の修正を行って、上・下流面勾配を設定することになる。
- (3) (2)で定まった基本三角形断面において、堤体内の応力が許容応力を超えないことの確認を行う。一般に重力式コンクリートダムに生じる圧縮応力は小さく、特に堤高が高いダムの場合等を除き、問題にならない場合が多い。
- (4) 想定されるせん断面において局所安全率がおよそ 2 以上であることを確認する。

以下に重力式コンクリートダムの安定性確保のための 3 条件を記す。

1. 堤体の上流面に鉛直方向の引張応力を生じないための条件

堤体を片持ばりとして、平面保持の仮定に基づいて縁応力を求めると、荷重の合力の作

用点が中立軸から断面の6分の1の距離にある場合に、その反対側の縁応力が0となる。したがって、堤体の上流面に鉛直方向の引張応力を生じないための条件に対しては荷重の合力が中央3分点内にあればよく、そのため、この条件は普通ミドルサードの条件とよばれる。

貯水池空虚時や最低水位の状態の上流向きの地震力を受けた場合の安定、すなわち、下流面に生ずる引張応力についても検討するが、一般には上流端の引張応力を厳しく規制する。これは、上流面に引張応力が発生すると、打継面が開いたり、基礎岩盤に緩みができやすくなり、その隙間に貯水が浸透して揚圧力が増大し、設計時の条件を大きく変えることになり危険になるからである。下流面の引張応力がコンクリートの許容引張応力の範囲である程度許容されるのは、下流面に引張応力が生じると考えられる場合は地震時の短時間に限られており、また下流側の水位条件及びそれに伴う揚圧力についても上流側に比べて著しく条件が緩やかになるためである。なお、本節で扱う構造計算の方法（施行規則第9条の規定による方法）によって上流面に引張応力が発生しない堤体形状とした場合でも、有限要素法（FEM）での詳細な解析を行うと引張応力が計算される場合もあるが、ミドルサード条件（本章3.2参照）に相当する本条件を満足する断面形状としておくことで、実際に引張応力が生じる可能性を大幅に小さくすることができる。

ミドルサードの条件を満足している場合には、平面保持の仮定に従えば、堤体内に引張応力を生じることはないが、例えば貯水池空虚時に上流向きの地震力を受けたような場合には下流面に引張応力を生じることがあるように、堤体の一部の引張応力が生じることがある。このような引張応力は許容引張応力の範囲内でこれを許容できる。許容引張応力は、許容圧縮応力（コンクリートの圧縮強度を元に安全率を4以上として定めた値）の10%を目安とすることができる。

2. せん断に対して安全であることの条件

せん断に対する安定については、堤体と基礎地盤との接合部、基礎地盤内について次のHennyの式を用いて検討し、施行規則第9条に定める4以上の安全率を有するものとする。

$$n = \frac{\tau_0 l + fV}{H}$$

n ：せん断摩擦安全率

H ：単位幅当たりのせん断面に作用するせん断力（kN/m）

V ：単位幅当たりのせん断面に作用する全垂直力（揚圧力を差し引いた垂直力）（kN/m）

τ_0 ：せん断強度（堤体又は基礎地盤の小さい方の値）（kN/m²）

f ：内部摩擦係数（堤体又は基礎地盤の小さい方の値）

l ：せん断面の長さ（m）

3. 堤体内の圧縮応力が許容圧縮応力を超えないことの条件

重力式コンクリートダム内に生じる圧縮応力は、一般に小さく、堤高が100mを大きく超えるような場合や、基礎地盤が著しく不均一な場合を除いて、その値が問題となることはまれである。

基礎地盤が著しく不均一で堤体や基礎地盤内の応力が問題となる場合には、さらに、厳密な解析が必要となる。

堤体の基本形状（基本三角形）を用いた安定計算において、基礎地盤の条件等から滑動や転倒に対する安定性の確保が難しい場合、せん断面積の増加や上載荷重の増加を図り必要な安全率を確保する目的で、堤体上流面にフィレット（増厚部）が付設されることがある（図2-4-3参照）。フィレットのうち、荷重の伝達、応力集中、施工性等を考慮して、特に上流面に緩い勾配で張り出す三角形躯体であるフィレットは、通常その勾配は1:1程度以

下とする。なお、フィレットの設計においては、堤体から基礎地盤への荷重伝達への悪影響、取付け部周辺での応力集中等の可能性に留意して、フィレットの形状はあまり上面が緩勾配の厚みのないものにならないように注意する必要がある。

一方、地形及び地質条件によっては、増厚が難しい場合もあるので、その場合、フィレット同様の可能性に留意して、コンクリートマット等の特殊な基礎形状とすることによって堤体安定性を確保する方法を検討する。

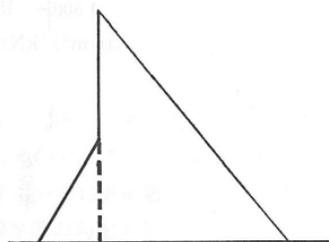


図2-4-3 フィレットの設置

重力式コンクリートダムのおせん断に対する安定性は、施行規則第9条（本章3.2参照）において、定められている。

a. 堤体上流端に鉛直方向の引張応力を生じないような基本三角形断面の計算

重力式コンクリートダムの最も経済的な断面を、貯水位と基本三角形の頂点が一致する条件で検討した結果を以下に記す。

なお、形状、外力についてはそれぞれ表2-4-1及び図2-4-4のとおりである。

表2-4-1 外力及び外力によるモーメント

	荷 重	記号	外 力	上流端より作用線 までの距離	外力によるモーメント
水 平 力	静 水 圧	H_w	$\frac{1}{2} W_w h^2$	$\frac{1}{3} h$	$\frac{1}{6} W_w h^3$
	水平工法泥圧	H_s	$\frac{1}{2} W_s C_e h_s^2$	$\frac{1}{3} h_s$	$\frac{1}{6} W_s C_e h_s^3$
	地 震 時 慣 性 力	H_c	$\frac{1}{2} (m + n) W_c k h^2$	$\frac{1}{3} h$	$\frac{1}{6} (m + n) W_c k h^3$
	地 震 時 動 水 圧	H_{kw}	$\frac{7}{12} W_w k h^2$	$\frac{2}{5} h$	$\frac{7}{30} W_w k h^3$
	$\sum H_i = \frac{1}{2} W_w h^2 + \frac{1}{2} W_s C_e h_s^2 + \frac{1}{2} (m + n) W_c k h^2 + \frac{7}{12} W_w k h^2$ $\sum M_i = \frac{1}{6} W_w h^3 + \frac{1}{6} W_s C_e h_s^3 + \frac{1}{6} (m + n) W_c k h^3 + \frac{7}{30} W_w k h^3$				
鉛 直 力	上流面水重	V_w	$\frac{1}{2} m W_w h^2$	$\frac{1}{3} m h$	$\frac{1}{6} m^2 W_w h^3$
	鉛直方向泥圧	V_s	$\frac{1}{2} m W_s h^2 s$	$\frac{1}{3} m h_s$	$\frac{1}{6} m^2 W_s h^3 s$
	堤体自重	V_c	$\frac{1}{2} (m + n) W_c h^2$	$\frac{2m + n}{3} h$	$\frac{1}{6} (m + n)(2m + n) W_c h^3$
	揚 圧 力	V_u	$-\frac{1}{2} (m + n) U_p W_w h^2$	$\frac{1}{3} (m + n) h$	$-\frac{1}{6} (m + n)^2 U_p W_w h^3$
	$\sum V_i = \frac{1}{2} m W_w h^2 + \frac{1}{2} m W_s h^2 s + \frac{1}{2} (m + n) W_c h^2 - \frac{1}{2} (m + n) U_p W_w h^2$ $\sum M_i = \frac{1}{6} m^2 W_w h^3 + \frac{1}{6} m^2 W_s h^3 s + \frac{1}{6} (m + n)(2m + n) W_c h^3 - \frac{1}{6} (m + n)^2 U_p W_w h^3$				

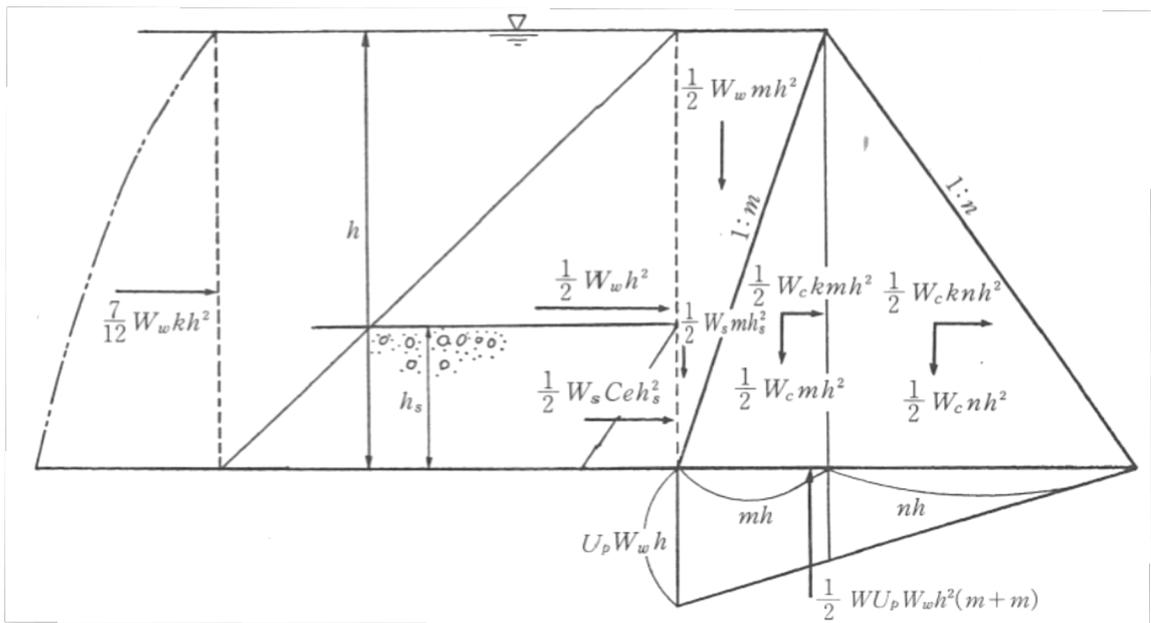


図2-4-4 外 力

いま、図 2-4-5 のように合力の作用点と上流端の距離 X_0 を定めると、

$$X_0 \leq \frac{2}{3}(m+n)h$$

$$X_0 = \frac{\text{水平, 鉛直によるモーメントの総和}}{\Sigma V}$$

と表すことができる。上式に表による外力及びモーメントを代入して、両辺に $6/h^3$ を乗じて $(m+n)$ について整理すると、

$$(m+n)^2(W_c - W_w U_p) - (m+n) [\{W_c - 2W_w - 2W_s(h_s/h)^2\} m + W_c k] - [W_s(h_s/h)^3 + W_w] m^2 + W_w + W_s C_e (h_s/h)^3 + (7/5) W_w k \geq 0$$

となり、この式を満足する m 及び n を求める。

ここで、 $A(m+n)^2 - B(m+n) - C \geq 0$ とおくと、

$$m+n = \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}$$

となる。

記号の説明

h : 貯水深

h_s : 泥土の深さ

m, n : 上、下流面勾配

W_c : コンクリートの単位体積重量 (kN/m³)

W_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

W_s : 泥土の水中における単位体積重量 (kN/m³)

k : 設計震度

U_p : 揚圧力係数 (上流端における揚圧力の値と静水圧の比)

C_e : 泥圧係数

ただし、泥圧は $P_e = C_e W_s H_s$

地震動水圧は $P_0 = \frac{7}{8} W_w k \sqrt{Hh}$ (Westergaard の近似式)

で表される。

$$A = W_e - W_w U_p$$

$$B = \{W_c - 2W_w - 2W_s (h_s/h)^2\} m + W_c k$$

$$C = \{W_s (h_s/h)^3 + W_w\} m^2 + W_w + W_s C_e (h_s/h)^3 + (7/5) W_w k$$

最も経済的な断面を揉めるといふことは、条件を満たす $m+n$ の最小値を求めることにほかならない。ここで、 A, B, C 等は m を除いては設計しようとするダムについてはすべて既知であるので、 $m+n$ を最小値にする m を決めればよい。すなわち、

$$m+n = \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}$$

を最小的にする m を求めればよいことになる。2A は常数だから、

$$f(m) = B + \sqrt{B^2 + 4AC} = \alpha_1 m + \alpha_2 + \sqrt{(\alpha_1 m + \alpha_2)^2 + 4A(\alpha_3 m^2 + \alpha_4)}$$

とおく。ここで、

$$\alpha_1 = W_c - 2W_w - 2W_s (h_s/h)^2$$

$$\alpha_2 = W_c k$$

$$\alpha_3 = W_s (h_s/h)^2 + W_w$$

$$a_4 = W_w + W_s C_e (h_s/h)^3 + \frac{7}{8} W_w k$$

$$A_4 = W_c - W_w U_p$$

である。 $f(m)$ を m で微分すると、

$$\frac{df(m)}{dm} = \frac{\alpha_1(\alpha_1 m + \alpha_2) + 4A\alpha_3 m}{\sqrt{(\alpha_1 m + \alpha_2)^2 + 4A(\alpha_3 m^2 + \alpha_4)}} + \alpha_1$$

となる。ここで、 α_2 、 α_3 、 α_4 、 A は常に正である。

いま $\alpha_1 \geq 0$ のときは、 df/dm は m を正にとれば常に正であり、 $m=0$ のときに $m+n$ は最小値となり、最も経済的な断面となる。

次に $\alpha_1 < 0$ のときは、 m がある値をとる場合に $m+n$ が最小値となる。しかし、これは泥土の深さが貯水深に比べて比較的大きい場合に限られ、一般には上流面が鉛直のときには最も経済的な断面と考えてよい。

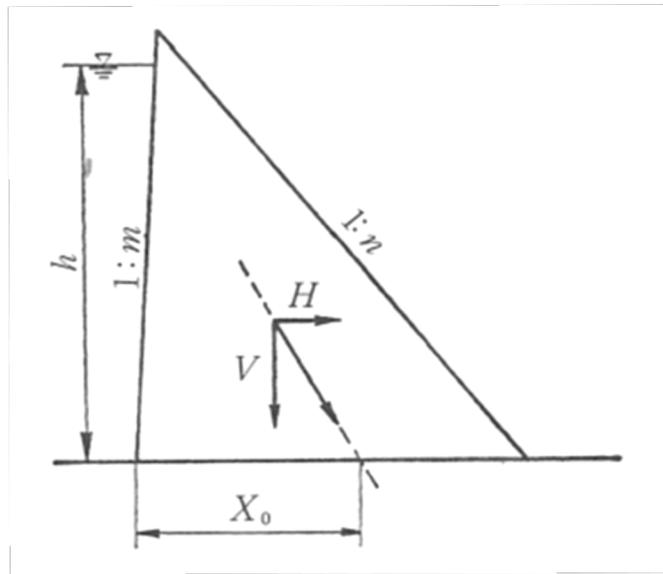


図2-4-5 重力式コンクリートダムに作用する合力の作用点

b. せん断面沿いのせん断摩擦安全率と局所安全率との関係

せん断面沿いのせん断摩擦安全率と局所安全率との関係を解析した例を図2-4-6に示す。

局所安全率の目安値の設定として次のような考え方がある。岩盤せん断試験を行ったとき、破壊荷重の6~7割程度の荷重で垂直方向の浮上がり現象が生じ、この点から水平方向の変形も増大する。したがって、この点が岩盤の弾性限界に関する特異点ということが出来る。そこで、この特異点を破壊荷重の60%とすると、局所安全率が $1/0.6 \approx 1.7$ のとき、その箇所では特異点に達する。このことから解析方法や強度評価の不確かさを考えて、局所安全率の一応の目安として2を基準にすることができる。

基礎地盤内にせん断破壊を生じやすい方向に断層等の弱層がある場合には、堤体と基礎地盤との接触面よりもこれら弱層に沿ったせん断摩擦安全率が小さな値を示すことがある。したがって、このような弱層が存在する場合には、弱層沿いのせん断摩擦安全率、局所安全率の検討を行うものとする。所要の安全率が確保されない場合には、堤体の形状を変えるかまたは、基礎地盤の処理を行って所要の安全率を確保する必要がある。

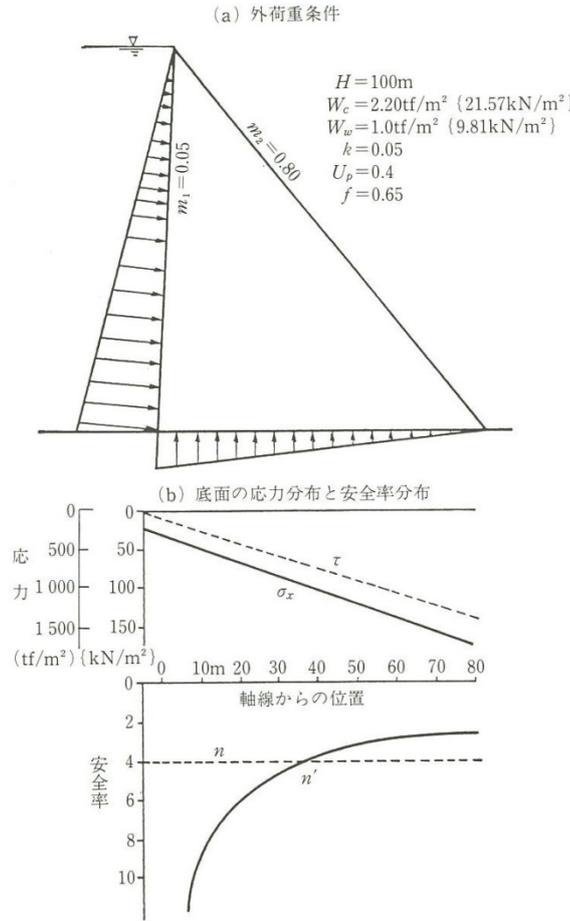


図2-4-6 ダムの堤体と基礎地盤の接触面における局所安全率の分布の例

c. 局所安全率と堤体の安全性の評価例

図 2-4-7 は均一な基礎地盤内の局所安全率の分布を示したものである。この結果から、局所安全率は堤体と基礎地盤の接触面よりも基礎地盤内部のほうが低い値を示し、またその方向は必ずしも水平方向ではない。しかし、巨視的に見た場合、局所安全率が小さな部分を結んだ形状は、堤体と基礎地盤の接触面と大きな差はないので、基礎地盤が一様である場合には、せん断に対しては堤体と基礎地盤の接触面沿いに検討を行うことは十分妥当なことが判る。

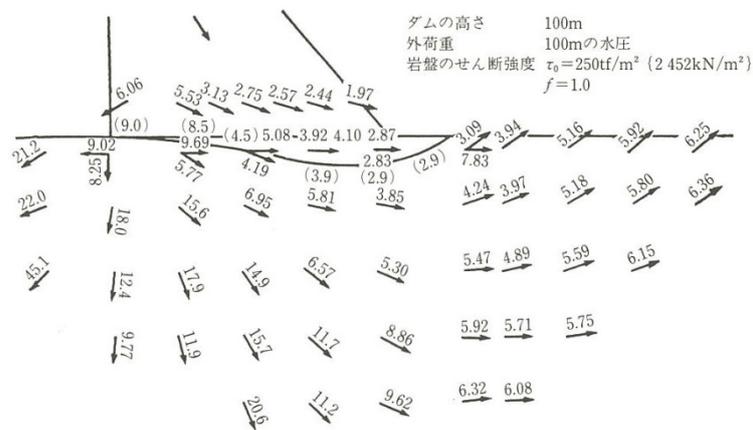


図2-4-7 重力式コンクリートダムの基礎岩盤内の局所安全率の分布

<必須>

重力式コンクリートダム の 堤体 の 形状 は、谷 の 形状、基礎地盤 の 性状 及び 洪水処理 の 方法 を 考慮 し、堤体 及び 基礎地盤 の 安定性 が 確保 さ れ る よう 設計 す る も の と す る。

重力式コンクリートダム は、施行規則第 9 条 の 規定 に 基づく 構造計算 に より、以下 の 条件 を 満足 す る よう 設計 す る も の と す る。

1. 堤体 の 上流面 に 鉛直 方向 の 引張 応力 を 生じ ない こと。
2. 堤体、堤体 と 基礎地盤 の 接合部 及び 基礎地盤 内 で の せん断 に 対し て 安全 で ある こと。
3. 堤体 内 の 応力 が、ダム コンクリート の 圧縮 強度 を 所要 の 安全率 で 除し て 求め た 標準許容 応力 を 超え ない こと。

<例示>

特殊断面による堤体安全の確保方法について例示する。

地形及び地質条件によって増厚部の設置が不適当な場合には、ダムの下にウェッジなどを掘り下げ、せん断面の位置を深くしてせん断面の長さを大きくすることによりせん断摩擦抵抗を大きくする方法がとられる事例があるが、その効果には次の 2 つの場合がある。

(1) 上流側を深く掘り込み、せん断面を下流上りにしてダムに作用する合力とすべり面との交角をできるだけ大きくし、すべり成分を小さくすることによってせん断摩擦抵抗を増加させる方法

(2) 下流端をくさび状に掘り込み、このくさびによりダムからの力を下流側に伝え、すべり面を下流側に延ばしてせん断摩擦抵抗を増加させる方法

(1) は静水圧が大きくなる可能性があり、外荷重が大きくなる結果、効果が減殺される。

(2) はせん断面がくさびの下側に押し下げられ、特にダム下流側の岩盤が良好な場合には有利な方法である。

なお、基礎地盤を深く掘り込みウェッジを造成する際には、掘削により基礎地盤、特に堅固な岩盤を傷めないように留意する必要がある。

基礎地盤が普通以上に悪い場合にフーチング形状をとる場合があるが、これはフィレット（増厚部）の変形として取扱い、応力分布の検討を行う必要がある。

<参考となる資料>

フィレットの勾配に関する検討としては、下記の資料が参考となる。

- 1) 飯田隆一：コンクリートダムの設計法 技報堂出版 平成 4 年 4 月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編 平成 17 年 6 月。

4. 3. 2 応力解析**<考え方>**

重力式コンクリートダムにおいて転倒や滑動の条件で基本断面が決定された後に、堤体内の応力状態を確認するために応力解析が実施される。応力の算定は、本章 4. 3. 1 で述べた片持ばり理論等のダム軸に直角な方向の 2 次元での断面応力計算を行うのが一般的である。ただし、堤体内部の応力や変形をより詳細に知る必要があるときは、2 次元または 3 次元モデルによる有限要素法（FEM）での解析を行う。また、堤体内に放流管、ゲート室、通廊などの大きな開口部があるときは、同様に応力解析により周辺に有害な変形や応力集中が生じないかを確認する。

<標準>

重力式コンクリートダム の 応力解析は、堤体及び基礎地盤の応力状態を適切に判断できる方法で行うものとし、ダム軸に直角な方向の2次元応力計算により行うことを基本とする。

<例示>

堤体の片持ちばり理論に基づく応力解析の計算式について例示する。

平面保持の仮定によれば、検討する断面の垂直応力及び曲げ応力は次式で示される。

$$\text{垂直応力度} = \frac{V}{B}$$

$$\text{曲げ応力度} = \frac{M}{I}y = \frac{Ve}{I}y$$

ここで、 V ：底面に作用する全鉛直力

M ：底面中心軸に作用する単位幅当たりのモーメント

I ：底面中心軸に対する単位幅当たりの断面二次モーメント

$$I = B^3/12$$

e ：底面中心より合力の作用点までの距離

B ：底面の長さ

y ：底面中心より曲げ応力を求めようとする点までの距離

このとき、下流端応力 σ_d 、上流端応力 σ_u は次式で示される。

$$\sigma_d = \frac{V}{B} + \frac{Ve}{I}y = \frac{V}{B} + \frac{Ve}{B^3/12} \cdot \frac{B}{2} = \frac{V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$$\sigma_u = \frac{V}{B} + \frac{Ve}{I}y = \frac{V}{B} + \frac{Ve}{B^3/12} \cdot \left(-\frac{B}{2}\right) = \frac{V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

これらの式によって示される最大垂直圧縮応力がダムの堤体に生じる最大応力ではなく、最大応力はダムの下流端で、ダムの下流面に垂直な面内に作用し、その値は次式で示される。

$$\sigma_1 = \sigma_d (1+n^2)$$

ここに、 n ：下流面勾配

堤体内部の有限要素法 (FEM) 解析による応力解析方法について例示する。

堤体付近及び堤体内に放流管、水圧管、通廊等の開口部があるときは、その付近の引張応力や応力集中について局所的な応力解析を行い、鉄筋による補強を検討する必要がある (本章 4.6.2 <例示> 参照)。

堤体内に設置される放流管部の設計に際しては、放流管に作用する内圧は放流管のみで受け、空洞部周辺の応力は周辺のコンクリート部で受け持つよう設計されるのが一般的である。

なお、実態としては、放流管は周辺コンクリートに拘束され両者が荷重を分担している状態 (協働状態) にある。このことを考慮した応力解析を行い、放流管の大幅軽量化及び放流管周辺構造鉄筋の縮減を図る技術開発が進んでおり、実際のダムの設計に採用された事例もある (図 2-4-8 参照)。

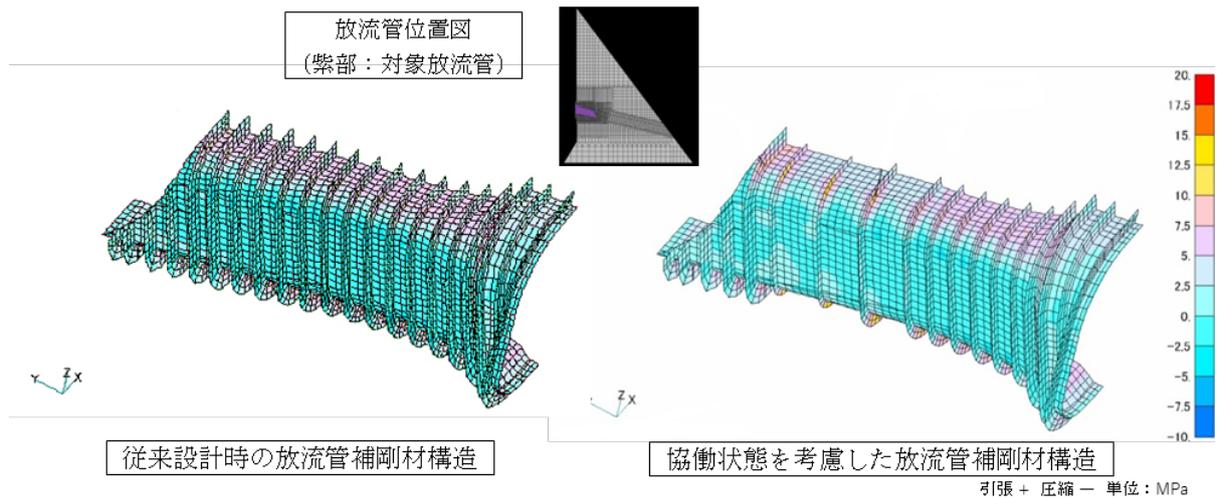


図2-4-8 放流管における協働設計の事例

<参考となる資料>

重力式コンクリートダム の 応力計算としては、下記の資料 1) が参考となる。また、協働設計の事例としては、下記の資料 2) が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月。
- 2) (財)ダム技術センター：「30 年の歩み」，平成 24 年 10 月。

4. 4 アーチ式コンクリートダムの基本設計

4. 4. 1 形状及び安定計算

<考え方>

アーチ式コンクリートダムは堤体内及びこれを支持する基礎岩盤内に大きな応力が発生することがその特徴である。したがって、その設計では、堤体の配置設計を基礎地盤（岩盤）の特性とともに総合的に検討して最適な堤体形状を決定することが重要になる。

アーチ式コンクリートダムの設計は、3次元構造として行われるが、以下に留意する必要がある。

1. 水平断面の設定：アーチの中心角を大きくとれば堤体の応力上は有利に作用するが、基礎地盤に作用する荷重は下流向きになり所要のショルダーを確保できなくなる場合もある。したがって、水平断面におけるアーチの曲線形については、アーチ応力の調整と、基礎地盤に作用する推力の方向を考慮して、単心円を用いるよりもアーチクラウン付近の曲率を小さくした三心円、放物線等を利用するのが有利になることが多い。また不等厚アーチを用いてアーチ応力の調整を図るのも有効である。
2. 鉛直断面の設定：アーチ式コンクリートダムの中央部の鉛直断面（拱頂片持梁という）の形状は一般的に下流側へオーバーハングを与えた形状とする。これは両岸に近いダムの鉛直断面での上流側へのオーバーハングを減じてダムの水平断面に対して適切な中心角を与えるのに有利となるためである。なお、セルフローズ（自重により継目が閉じること）による工事中のダムの安定を高める効果がある。
3. 洪水吐きの位置：アーチ式コンクリートダムは洪水吐き放流管が堤体内に設置されることが多いが、その際堤体内に局部的な応力を発生させるとともに、その規模によっては全体的な応力状態にも影響を与えるため、それを考慮した応力解析が行われる。

なお、洪水吐きは、継目の位置及び基礎岩盤に及ぼす影響を考慮して配置するとともに、

ゲート操作室を堤体外に置く等堤内開口部を少なくすることに留意する必要がある。

4. 発生応力への対応：堤体内に生じる応力は、堤高が同程度の重力式コンクリートダムに比べて著しく大きくなる。従って、堤体の形状は、実際に施工可能な配合から決まるコンクリートの許容圧縮応力を満足させることから、決定される。引張応力については、本章 4.2.3 に述べたアーチ式コンクリートダムにおける方法で対処される。
5. 補足構造物の設置：基礎岩盤の地形、または地質上の欠陥を補うためあるいはダムの安定性を改善するために、アバットメントに補足構造物を設ける場合がある。この場合はその安定性の検討を行って形状を定めなければならない。

アーチ式コンクリートダムのせん断に対する安定性は、施行規則第 9 条（本章 3.2 参照）の規定による。この検討は、堤体と基礎地盤の接合部でのせん断に対しては重力式コンクリートダムと同様の Henny 式（本章 4.3.1 参照）を用いて、また基礎地盤内のせん断に対しては Henny 式とそれに基づく所要堅岩線（本章 2.4.2 参照）の確認により行う。

< 必 須 >

アーチ式コンクリートダムの堤体の形状は、谷の形状、基礎地盤の性状、洪水吐きの位置等を考慮し、堤体及び基礎地盤の安定性が確保されるように設計するものとする。

アーチ式コンクリートダムは、施行規則第 9 条の規定に基づき、以下の条件を満足するよう 3 次元構造としての構造計算を行って設計するものとする。

1. 堤体内の応力が、ダムコンクリートの設計基準強度を所要の安全率で除した値を超えないこと。
2. 堤体、堤体と基礎地盤の接合部及び基礎地盤内でのせん断に対して安全であること。

< 例 示 >

アーチ式コンクリートダムの形状決定方法について例示する。

アーチ式コンクリートダムでは、以下に示すように、アーチの中心角、オーバーハングの大きさ、堤体の厚さを種々に変化させるとともに、補足構造物による地形・地質上の課題を解決するための検討が行われ、安全で経済的な断面が決定される。

1. アーチの中心角は、一般に放物線アーチを用いた場合 $70\sim 75^\circ$ とするのが最もよいとされており、アバットメントとクラウンにおけるダムの厚さの比は $1\sim 2$ としている例が多い。
2. ダムの中央鉛直断面のオーバーハングの大きさは、放物線アーチの場合、ダムの高さの 10% 程度とするのが一般的である。
3. アーチ式コンクリートダムのアバットメントの補足構造物には次のものがある。

(1) スラストブロック（下筈ダム等）

スラストブロックは堤頂付近で谷が急に開いている場合または、地質上の欠陥がある場合に、堤体と基礎岩盤との間に設けられる人工構造物で堤体からの推力を堅硬な基礎岩盤に伝達するものである（図 2-4-9 参照）。スラストブロックを採用することによって、堤体の形状を地形または、地質上の局所的な欠陥に左右されることなく決定することができる。

(2) 重力式アバットメントとウイングダム（黒部ダム等）

重力式アバットメントは、堤頂付近で谷が急に開いているような場合に設けられる補足構造物で、アーチ堤体からの推力を重力作用によってその直下の基礎岩盤に伝達するものである（図 2-4-10 参照）。

ウイングダムは、重力式アバットメントの採用に伴ってその上流側に設けられる構造物で、重力式アバットメントとその上流側の基礎岩盤との間での水の貯留を確保するための

構造物である（図 2-4-10 参照）。

(3) プラグ（川治ダム等）

河床付近の地形が急峻で、適切な堤体の形状を確保するためには、河床付近の両岸の岩盤を非常に深くまで掘削しなければならない場合に、これを避けるために堤体の基本形状と区別してその部分に設けられる人工の基礎をプラグという（図 2-4-11 参照）。

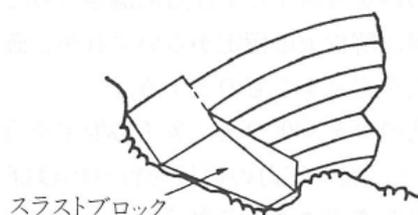


図2-4-9 スラストブロック

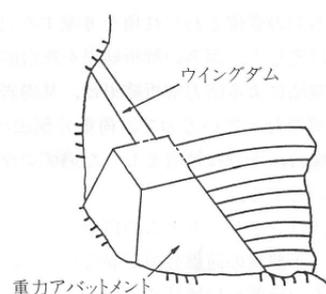


図2-4-10 重力式アバットメント及びウイングダム

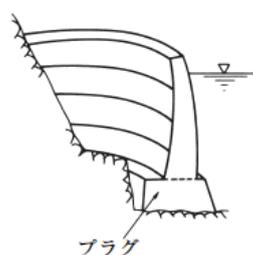


図2-4-11 プラグ

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和 51 年 11 月 23 日，建設省河政発第 70 号.

<参考となる資料>

アーチ式コンクリートダムの基本設計の考え方としては、下記の資料 1) が参考となる。また、アーチ式コンクリートダムの応力計算及び形状決定としては、下記の資料 2) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月.
- 2) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月.

4. 4. 2 応力解析

<考え方>

従来のアーチ式コンクリートダムに応力解析は、比較的容易に応力が算出され、かつ十分な実績を有する荷重分割法によって解析を行い、荷重載荷を再現した模型実験によって応力状態を確認するのが一般的であった。荷重分割法はアーチ式コンクリートダムを片持ばり要素とアーチ要素に分割して解析する簡便法であるが、簡略化されたモデルのため正確性の判断が難しかった。

現在は、アーチ式コンクリートダム堤体の応力や変形を精度良く把握するために、堤体の最終形状が概ね固まった段階で有限要素法での3次元応力解析が用いられる。

<標準>

アーチ式コンクリートダムに応力解析は、堤体及び基礎地盤の応力状態を適切に判断できるよう、堤体の3次元形状や基礎地盤の変形性が堤体応力に及ぼす影響を考慮できる方法によることを基本とする。

<参考となる資料>

アーチ式コンクリートダムの基本設計の考え方としては、下記の資料1)が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

4. 5 温度規制計画と収縮継目

4. 5. 1 温度規制計画の策定

<考え方>

コンクリートは硬化する際に、セメントの水和作用によって熱を発生する。ダムのようなマスコンクリートでは蓄積される熱量が多くなり、そのため種々の拘束を受けて温度ひび割れ発生の原因となるなどの弊害を生じる。コンクリートダムにおける温度ひび割れは、岩着部、既設コンクリートとの打継部、ゲートなどの開口部等において発生しやすい。したがって、最高上昇温度と各材齢における温度履歴を計算し、有害な温度ひび割れの発生を防止する必要がある。

このため、リフトスケジュールの調整、収縮継目の設置、コンクリート配合、プレクーリング、パイプクーリング、施工時（練混ぜ、打設時等）の温度上昇の規制、湛水養生、保温養生などの単独ないしは複数を組み合わせて設計・施工上の適切な対応を定める温度規制計画を定める。

<必須>

コンクリートダムでは、最高上昇温度及び温度履歴について考慮し、有害な温度ひび割れが生じないよう温度規制計画を策定するものとする。

<例示>

コンクリートダムでの温度ひび割れについては、堤体形状や打設工程を考慮した有限要素モデルによる温度応力解析を行って、供試体の引張強度の特性値と構造物中の引張側主応力の応答値の比であるひび割れ指数を求めて予測する手法などがある。

コンクリートダムにおける温度規制の方法の例としては以下のようなものがある。

- (1) リフト厚や打込み間隔などのリフトスケジュールを調整する方法。
- (2) 水和熱の小さいセメントを使用するか、単位セメント量を低減することにより発生する

熱を抑える方法。

(3) プレクーリングによる方法

夏期などの温度の高いときにコンクリートを打設する場合、コンクリートの材料の一部または、全部を予め冷却し、コンクリートの打設温度を低下させることにより、最高上昇温度を低下させる方法である。練混ぜ水に冷水を用いる方法、一部を氷で置換する方法がある。また、材料の冷却には冷気または、冷水を用いる。

冷水を用いる場合は配合水の管理上、細骨材の冷却は一般に好ましくなく、冷却効果の大きい粗骨材の冷却が主として行われる。

(4) パイプクーリングによる方法

パイプクーリングとは水和熱の大きい有スラブコンクリートを内部コンクリートに用いる柱状工法でのコンクリート打設の際、予め埋め込まれた鋼管内に冷水を通すことにより、セメントの水和熱を吸収し、コンクリートの温度上昇ならびに最高上昇温度を抑える方法で継目グラウチングとともに用いられるのが一般的である。なお、継目グラウチングを行う場合にはコンクリートを最終安定温度まで低下させておく必要がある。

<参考となる資料>

コンクリートダム温度規制計画の考え方や方法、事例などについては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，平成17年6月。
- 2) (財)ダム技術センター：改訂3版 コンクリートダムの細部技術，平成22年7月。
- 3) 土木学会：2013制定 コンクリート標準示方書(ダムコンクリート編)，平成25年10月。

4.5.2 収縮継目

<考え方>

温度応力によるコンクリートの温度ひび割れを防止するため、または、コンクリート打設設備の能力に併せて、コンクリートダムには一般に適当な間隔の収縮継目が設けられる。ダム軸に直角方向の継目を横継目、ダム軸に平行な継目を縦継目という。

1. 横継目：ダム軸に直角方向に入る不規則なひび割れは、堤体の止水に対して決定的な障害となる。このため、温度応力によるひび割れを防止するため、収縮継目としての横継目を設ける必要がある。漏水を防止するため、横継目には止水板を設置する。

放流設備の配置、基礎地盤内に存在する断層等との位置関係、その他堤体の折曲がりや左右岸の取付けなど、堤体の安定性、または、施工性により部分的に横継目の間隔を広げることが検討するときには、周到な温度規制計画を策定し、ひび割れ防止に努める。

2. 縦継目：ダム軸に平行方向に入る不規則なひび割れは、堤体の安定性に大きな影響を及ぼす。このため、重力式コンクリートダムのように上下流方向に堤体が長くなる場合には、ダム軸に平行かつ鉛直な縦継目が設けられる。ただし、RCD工法や拡張レア工法の面状工法では、堤体を一様に立ち上げ、コンクリートを定期的なサイクルで打設することを前提とした堤体の温度応力についての十分な検討に基づいて、縦継目を設けないことが可能となっている。柱状工法で築造する重力式コンクリートダムでは図 2-4-12 に示すような鉛直縦継目が一般的である。縦継目には堤体の一体化を図るために、継目グラウチングが行われる(本章 4.5.3 参照)。

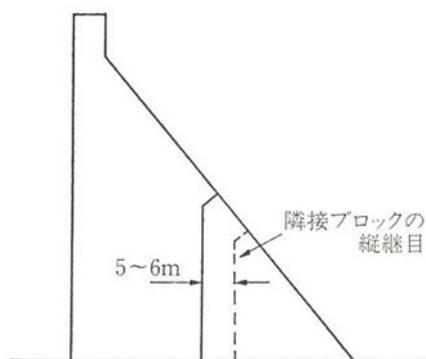


図2-4-12重力式コンクリートダム鉛直縦継目

3. 傾斜継目：重力式コンクリートダムでは、温度ひび割れ防止の目的で、下流下りの傾斜継目を採用することがある。傾斜継目は、その方向が堤体内部に発生する圧縮側の主応力の方向にほぼ合致するように設置することで、大きなせん断応力は作用せず、垂直応力も小さいため、傾斜継目がない場合とほぼ同様の応力状態とすることができるという考え方によっている。そのため、一般に継目グラウチングは行われぬ。なお、面状工法で施工されるダムでも大規模ダムにおいては、上下流方向に長大ブロックとなる場合に傾斜継目が設けられる場合がある。

<必須>

コンクリートダムには、ダムコンクリートの有害な温度ひび割れを防止するため、適切な間隔で収縮継目を設けるものとする。

<例示>

各種収縮継目の間隔等について例示する。

1. 横継目の間隔：横継目は、ダム軸方向に 15m 間隔で施工されるのが一般的である。
2. 鉛直縦継目の間隔：柱状工法のダムで用いられた縦継目の間隔は、温度規制の方法によって定められるが、コンクリート打設設備の能力によって制約されることもある。一般には 20～60m の施工実績が多い。
3. 傾斜継目の処置：面状工法のうち RCD 工法を採用した宮ヶ瀬ダムでは、上下流方向に長大ブロックとなる下部標高において、コンクリートの日打設量が打設能力を上回るため主応力方向と一致する下流下りの傾斜継目を採用した。また、傾斜継目の設置が温度規制の軽減に寄与することを温度応力解析により明らかにした。傾斜継目はその上端をダム上流面に到達させずに途中で止めるので、その上端からひび割れが生じるのを防止する処置が必要であり、一般に上端に通廊を設置するか、半割管を用いて継目を消去する。堤体内で消す鉛直縦継目の場合も同様の処置となる。

<参考となる資料>

コンクリートダムの収縮継目の事例としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：改訂3版 コンクリートダムの細部技術，平成22年7月。

4.5.3 せん断キーと継目グラウチング

<考え方>

収縮継目には、堤体ブロック間の応力伝達を確実なものにしてブロックの上下流方向の相対変位を拘束するため、せん断キー（歯型）が設けられる。ただし、上下流方向断面での2次

元設計が基本の重力式コンクリートダムでは、ブロック間での応力伝達を考慮しない構造として設計していることから、横継目のせん断キーは省略できる。RCD 工法や拡張レア工法のように、コンクリート打設後に横継目を造成する工法では、せん断キーを省略する。また近年は、重力式コンクリートダムにおいて、施工の合理化のために横継目のせん断キーを省略して、鋼製埋設型枠を使うことが多い。

収縮継目のうち、構造上一体化が必要な重力式コンクリートダムの縦継目やアーチ式コンクリートダムの横継目では、継目グラウチングを行って隣接ブロック同士を一体化させる必要がある。

なお、アーチ式コンクリートダムでは、堤体が一体となった構造として機能させる必要があるため、収縮継目（横継目、縦継目）には必ず継目グラウチングが行われる。一方、重力式コンクリートダムでは、上下流方向の堤体ブロックを 2 次元構造物として設計することを基本としていることから、一般に横継目には継目グラウチングを行わない。

継目グラウチングは、コンクリートが収縮し、継目が最も開いた状態で行う。

<必須>

アーチ式コンクリートダムの堤体内に設ける収縮継目や重力式コンクリートダムの堤体内にダム軸方向に設ける収縮継目（縦継目）では、堤体を一体化するためにせん断キーを設け、継目グラウチングを行うものとする。

<例示>

せん断キー（歯型）の設置と継目グラウチングの施工時期について例示する。

1. せん断キー

3 次元構造物として設計されるアーチ式コンクリートダムの横継目には、隣接ブロック間での応力伝達を確実にするため、図 2-4-13 に示すような縦歯型のせん断キーが設けられる。また、重力式コンクリートダムは 2 次元構造物として設計されるため、隣接ブロック間の応力伝達を目的とする横継目部のせん断キーは必要としないが、柱状工法のダムでは一体性を期待してせん断キーを設けることが一般的である。

縦継目には図 2-4-14 に示すような横歯型のせん断キーが設けられる。縦継目のせん断キーの面は、満水時において、ダム下流端付近に生ずる主応力の方向になるべく直交させる形がとられている。

継目にせん断キーを設ける場合には、その形状と大きさについて次の事項に注意する。

- (1) 継目に作用する応力を伝達できること。
- (2) 継目グラウチングを実施する場合、注入材料の流れを妨げないこと。
- (3) 応力集中及び表面の温度勾配によるひび割れを生じないこと。
- (4) 施工中に破損しないこと。

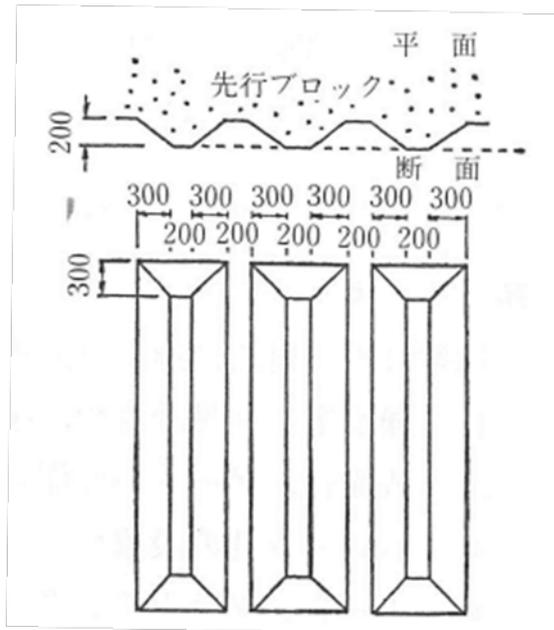


図2-4-13横継ぎ目のせん断キーの標準図

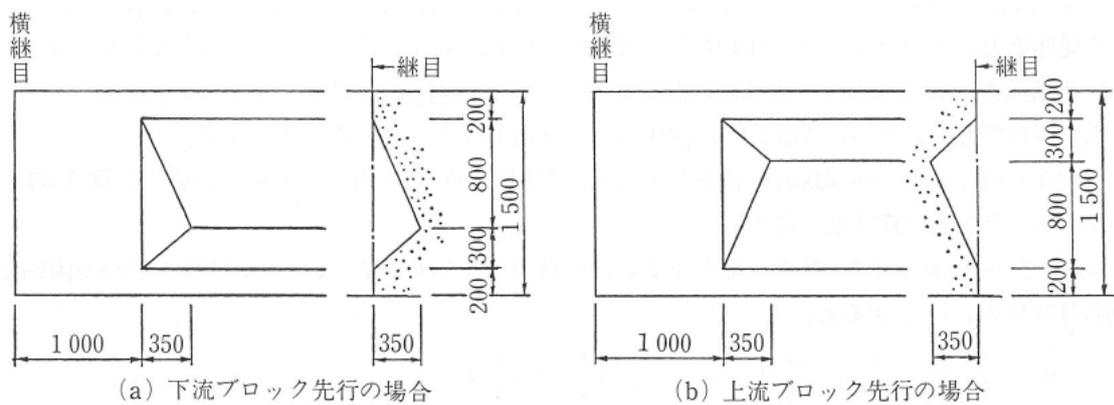


図2-4-14縦継目のせん断キーの標準図

2. 継目グラウチング

継目グラウチングは、コンクリートが収縮し、継目が最も開いた状態で行うのが効果的である。パイプクーリングを行う場合は、コンクリートの温度を通常起こり得る最低温度以下の温度まで低下させる。

アーチ重力式コンクリートダムでは、収縮継目へのせん断キー設置と継目グラウチングを行っている。

<参考となる資料>

コンクリートダムの収縮継目の事例としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：改訂3版 コンクリートダムの細部技術，平成22年7月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，平成17年6月。

4.6 堤体各部の設計

4.6.1 止水装置

<考え方>

止水装置は、止水効果を図るため、基礎地盤の不透水部に確実に接続させる必要がある。

<標準>

止水装置は、十分な水密性及び耐久性を有する材料を使用し、継目の伸縮に応じられる構造とし、横継目の上流面に近い位置に設けることを基本とする。

<例示>

止水装置の構造を図 2-4-15 に例示する。

主止水板の設置位置は上流面より 1m 程度以上内部とし、主、副止水板とも堤体コンクリートへの埋込み深さは 15cm 以上とし、基礎地盤に確実に定着させる。なお、止水板を定着させるための基礎岩盤地盤の掘削は概ね 50 cm 程度の深さとしている。また、止水板の後部に継目排水孔を設け、横継目内への漏水を通廊（監査廊）に導水・排水できるようにするとともに、監視できるようにする。

止水板には、かつてはステンレス鋼板または、銅板などが主に用いられていたが、最近は大半の場合、伸縮性、経済性等に優れている塩化ビニール製止水板が使用されている。

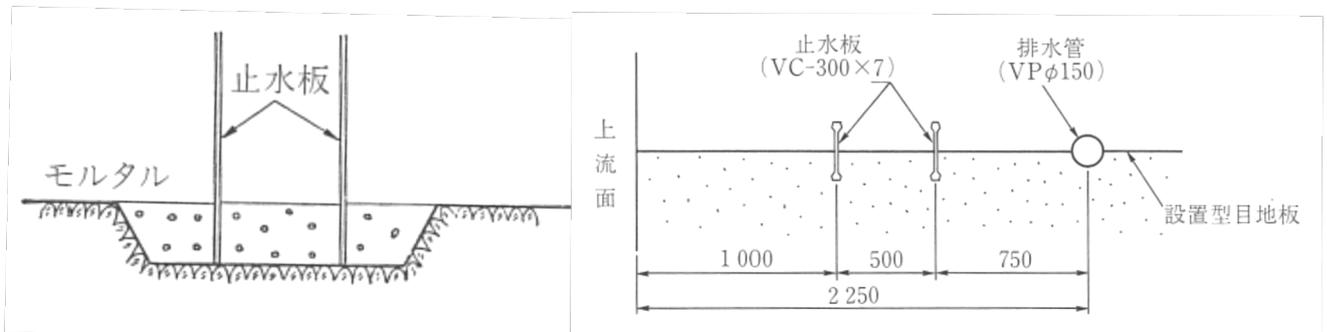


図2-4-15 止水装置の構造図

<参考となる資料>

止水装置となる止水板と継目排水孔の配置の事例としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：改訂3版 コンクリートダムの細部技術，平成22年7月。

4.6.2 通廊（監査廊）**<考え方>**

通廊（監査廊）は堤体においてその目的に適した位置に設けることが必要である。一般には次のような事項を目的として設置される。

1. 漏水量、揚圧力などの安全管理のための計測及び堤体内の巡視・点検
2. 基礎排水孔などのドレーン孔の設置
3. 放流管の点検やゲート操作室への連絡通路
4. カーテングラウチングの施工スペース

<標準>

堤体内施設の安全管理、基礎排水孔などのドレーン孔の設置及びカーテングラウチングの施工等を目的として、コンクリートダムの堤体内には通廊を設けることを基本とする。

なお、堤体内の空洞部となる通廊は、その周辺に発生する引張応力に対しても安全な構造となるよう設計することを基本とする。

<例示>

通廊（監査廊）の設置位置と空洞部の応力分布について例示する。

1. 通廊（監査廊）の設置位置

基礎排水孔などのドレーン孔の設置及びカーテングラウチングの施工スペース確保を目的として通廊を設置する場合には、できるだけ上流面に近く、河床に近い位置に設けるのが望ましい。

しかし、通廊の上流面からの距離の設定にあたっては、通廊周辺に発生する引張応力やコンクリート打設のためのスペースにも配慮する必要がある。事例によると、上流面からの距離は、フィレットがない断面では3～5mであり、フィレットのある断面ではフィレットの形状等の影響もあり3～6mの範囲のダムが多い。

また、基礎岩盤からの距離の設定にあたっては、基礎岩盤の性状や施工方法にも配慮する必要がある。事例によると、基礎岩盤からの距離は、水平部で2～5m、傾斜部（傾斜距離）では2～4mを最小距離としているダムが多い。

2. 空洞部の応力分布

空洞部の断面を円とした場合には、応力分布が図 2-4-16 のようになり、それに基づき必要な鉄筋量を定めることができる。

図は、無限平板が y 軸方向に一律な圧縮力を受けた場合の応力分布を表し、x、y 軸線上でかつ両軸に直交する方向の応力を σ_x 、 σ_y とすると、

$$\sigma_y = \frac{1}{2} \sigma \left(2 + \frac{r^2}{x^2} + 3 \frac{r^4}{x^4} \right)$$

$$\sigma_x = \frac{1}{2} \sigma \left(\frac{r^2}{y^2} - 3 \frac{r^4}{y^4} \right)$$

となる。

これによると引張応力は y 軸上で円の周から $\sqrt{3r}$ の位置で 0 になることがわかる。

特に空洞部が大きい場合や、空洞部の位置及び堤体形状との関係などから特別な応力集中が考えられる場合など、空洞部周辺の応力状態を詳細に予測する必要がある場合には、有限要素法による応力解析が有効である。

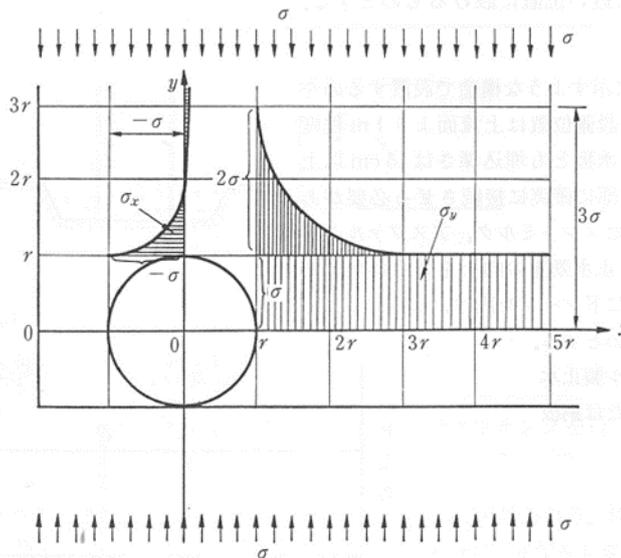


図2-4-16 空洞部周辺の応力分布

<参考となる資料>

通廊の事例としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：改訂3版 コンクリートダムの細部技術，平成22年7月。

4.6.3 堤頂構造物

<考え方>

ダム の 堤 頂 構 造 物 (門 柱、天 端 橋 梁、高 欄 等) は 他 の 構 造 物 と の 関 連、相 互 の 位 置 を 考 慮 し て 配 置 を 決 定 す る。

門柱部は所要の水力条件を満足する形状で、予想される荷重や表面の損傷に対して安全な構造物とする必要がある。クレストゲートを支持する場合は、ゲート機能を損なわないようにより高い剛性が必要となる。構造物設計の技術基準としては、ダム・堰施設技術基準(案)、道路橋示方書等がある。

天端橋梁は所要の水力条件を満足する位置で、道路橋に係る各種技術基準に従って、将来の維持、管理をも考慮して構造を決定する必要がある。

高欄の強度は道路橋に係る各種技術基準に準じて設定する。

<標準>

ダム堤体の上部に放流設備の設置や通行の用に供するために設ける各種の堤頂構造物は、ダムと各々の構造物の機能及び安全性を考慮してその配置及び構造を決定することを基本とする。

<参考となる資料>

堤頂構造物の事例としては、下記の資料 1) が参考となる。クレストゲートの事例としては、下記の資料 2)、3) 及び 4) が参考となる。天端橋梁の事例としては、下記の資料 3) 及び 4) が参考となる。高欄の事例としては、下記の資料 5) 及び 6) が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：改訂3版 コンクリートダムの細部技術，平成22年7月。
- 2) (一財)ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案)「平成28年3月改正」(基準解説編・マニュアル編)，平成28年10月。
- 3) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編，平成29年。
- 4) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱコンクリート橋・コンクリート部材編，平成29年。
- 5) 公益社団法人 日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説，平成28年。
- 6) 社団法人 日本道路協会：車両用防護柵標準仕様・同解説，平成16年。

4.7 計測装置の設置

<考え方>

ダムの安全管理の基本となる計測装置は、構造令第13条において、以下のように定められている。

(計測装置)			
第13条 ダムには、次の表の中欄に掲げる区分に応じ、同表の下欄に掲げる事項を計測するための装置を設けるものとする。			
項	区 分		計 測 事 項
	ダムの種類	基礎地盤から堤頂までの高さ(単位：メートル)	
一	重力式コンクリートダム	50未満	漏水量，揚圧力
		50以上	漏水量，変形，揚圧力

二	アーチ式コンクリートダム		30 未満	漏水量, 変形
			30 以上	漏水量, 変形, 揚圧力
三	フィルダム	ダムの堤体がおおむね均一の材料によるもの		漏水量, 変形
		その他のもの		漏水量, 変形, 浸潤線

2 基礎地盤から堤頂までの高さが 100 メートル以上のダム又は特殊な設計によるダムには、前項に規定するもののほか、当該ダムの管理上特に必要と認められる事項を計測するための装置を設けるものとする。

また、地震時においてはダムの安全性を迅速に確認することが求められ、最寄り地点で気象庁震度階 4 以上または基礎地盤相当位置での加速度が 25gal 以上の地震が発生した場合に必要な地震後の臨時点検を実施する必要がある。このような一定の強さ以上の地震が発生した場合の臨時点検の実施の判断、損傷の推定、安全性の評価などを迅速に行えるように、構造令第 13 条で定められている計測装置に加え、地震計を設置する。

ダムの計測装置には、安全管理以外にも、施工中のダムの状態監視（施工管理）の目的で設けられる埋設計器及び各種の調査研究の目的で設置されるものがある。下記は計測全体における目的別の計測の種類と方法だが、各目的に応じた適切な配置計画に基づいて、計測装置を設置することが重要である。

1. 安全管理

安全管理を目的とした計測の主な項目としては次のものがある。

- (1) 堤体及び基礎地盤の漏水量
- (2) 揚圧力
- (3) 堤体及び基礎地盤の変位
- (4) 堤体及び基礎地盤の地震時挙動

このほか、必要に応じ、次項に示す施工管理の目的で設置された埋設計器等を活用するなどして、温度、応力・ひずみ、継目の開度などの計測を行う。

ダムの安全管理を行う場合には、まず巨視的にみてダムが安全であるか否かを知ることが必要で、このためにはダムの全体的な状態を表す測定値に着目して、ダムが安定した状態にあるか、または、危険な状態にいたる段階にあるかを知ればよい。全体的な状態は全漏水量と変位によって判断することができる。また、堤体内の個々の排水孔からの漏水量や揚圧力の計測のように、ダム各部の状態が把握できるよう計測装置をダム全体に広く配置することで、ダムの全体的な状態を表す全漏水量などの計測値に異常がみられた場合、その原因箇所の把握や対策の検討を行いやすくすることも重要である。

2. 施工管理

施工管理を目的とした計測の主なものは、コンクリートの温度規制のための温度計測と、継目グラウチングを行うダムにおいてその実施時期の選定及び施工中の継目の開閉状況把握のための継目の開度の計測である。また、高圧によりグラウチングを施工するにあたっては、岩盤変位計などにより岩盤変位等の管理を行うことがある。

3. 調査研究

調査研究のための計測は、ダムの設計に用いられる様々な仮定の妥当性の検証とそれを踏まえたダムの設計手法の合理化や高度化、あるいは既設ダムの安全性や健全性の評価などに必要となる実測挙動の把握を目的として行われる。

<必須>

コンクリートダムには、その種類（型式）、規模（高さ）等に応じ、構造令第13条に規定する計測装置を設けるものとする。

<標準>

コンクリートダムには、地震動（地震時の加速度）を計測するための計測装置を設けることを基本とする。

<例示>

計測装置の配置計画及び計測項目と計測装置の種類について以下に例示する。

1. 計測装置の配置計画

(1) 安全管理

安全管理を目的とした計測装置としては、漏水量、揚圧力、変位等の計測装置が配置される。漏水量の計測は本章6.3.2に示した基礎排水孔や、横継目などからの漏水を排水する継目排水孔からの漏水などが対象となる。漏水量の計測装置は、これらをあわせた全漏水量、及び個別の排水孔からの漏水量を適切に把握できるよう配置される。

全漏水量の計測は河床部、左右岸部と分けて行うと漏水箇所の把握等に便利である。

変位の計測はプライムライン（正立）及びリバースプライムライン（倒立）で行われるのが一般的である。プライムラインは少なくとも最大断面に1箇所設置される（図2-4-17参照）。リバースプライムラインは河床部の最大断面付近または、断層等の軟弱地盤部分に設置される。

このほか、コンクリートダム、特にアーチ式コンクリートダムの場合、変位や応力の大きさが貯水池の水位によって変化するばかりでなく、温度変化の影響を強く受けるので、変位や応力と同時に温度分布が計測される。

漏水量、揚圧力の計測は通廊内の基礎排水孔によって行い、特に揚圧力の上下流方向の分布を測定する場合にはクロスギャラリー（ダム軸に直角方向の通廊）に排水孔を設けて行われる。

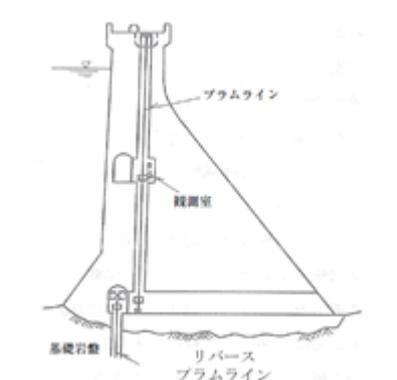


図2-4-17 重力式コンクリートダムに設置されたプラムライン

(2) 施工管理

施工管理を目的とした計測装置としては、温度計、継目計等が配置される。

温度の計測は、コンクリートの水和熱によるひび割れの発生を防止するために、また継目グラウチングを行うダムでは最終安定温度を知るために実施される。

2. 計測項目と計測装置の種類

(1) 全漏水量の計測

全漏水量の計測には、①個々の基礎排水孔や継目排水孔などの漏水量の和として求める

方法、②三角堰による計測、③集水水槽の水位上昇による計測、があるが、一般に②の方法が簡便で安定した計測値を得られる。③の方法は計測が容易で精度も高く優れた方法であるが、水槽及びポンプの容量を十分検討して行う必要がある。

(2) 個別箇所の漏水量の計測

個別の基礎排水孔などからの漏水量の計測は、一般にメスシリンダーにより一定時間あたりの漏水量を計測することにより行われる。

(3) 揚圧力の測定

基礎排水孔にブルドン管圧力計を取り付けて計測する方法と間隙水圧計による方法とがあり、一般に前者が多く用いられている。

(4) プラムラインによる変位の計測

- ①プライムライン（正立）：堤体内に鉛直に直径 30cm 程度の防食性のある管を埋設し、この中にピアノ線によって錘重を下げて移動量を測定するのが一般的である。
- ②リバースプライムライン（倒立）：ダム基礎地盤にボーリング孔を削孔し、ピアノ線を孔底に固定して引き上げ、上部で水槽に浮かせたフロートの移動量を測定するのが一般的である。

(5) 温度計

温度計は測温体の熱膨張を電気抵抗の変化に変換して測定する型式が一般的である。

(6) ひずみ・応力の計測

- ①ひずみ計：ひずみ計は歪（ひずみ）に対応するブリッジ回路の電気抵抗の変化により測定する型式が一般的である。
- ②応力計：応力計は受圧面に作用する圧力を封入された水銀に伝え、この水銀にかかる圧力を小円板に変形に変えて、ひずみ計と同様の原理で測定する形式が一般的である。

(7) 継目開度の計測

継目計は原理的にはひずみ計と同じであるが測定すべき長さがひずみ計より大きいいため大きな変位を測定できる。

(8) 地震計

地震時の応答は一般に堤体の上部で大きくなることから、その影響も含めて把握するため、地震計は基礎地盤相当位置（底部監査廊内など）に加え、ダムの天端付近など堤体上部にも設置される。地震計で得られる加速度波形データは、臨時点検以外にも、レベル2地震動に対する耐震性能照査（本章第12節参照）に必要となるダムの動的応答特性や長期的な健全性の変化を把握する上でも有効に活用できる。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。
- 2) 国土交通省河川局河川環境課長通知：地震発生後のダム臨時点検結果の報告について、平成 20 年 10 月 28 日、国河流第 3 号。
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局長通達：国土交通省河川砂防技術基準 維持管理編（ダム編）について、平成 26 年 4 月 1 日、国水情 26 号。

<参考となる資料>

計測装置の設置の考え方としては、下記の資料 1) が参考となる。また計測装置の事例としては、下記の資料 2) 及び 3) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。

- 2) (財)ダム技術センター：改訂3版 コンクリートダムの細部技術，平成22年7月．
- 3) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第7巻 管理編 第37章，平成17年1月．

第2章 ダムの設計

第5節 フィルダムの設計

目次

第5節	フィルダムの設計	1
5.1	設計の基本	1
5.1.1	フィルダムの型式	2
5.1.2	均一型フィルダム	4
5.1.3	ゾーン型フィルダム	6
5.1.4	表面遮水壁型フィルダム	9
5.1.5	複合ダム	13
5.2	堤体材料	14
5.2.1	堤体材料	14
5.2.2	透水性材料	15
5.2.3	半透水性材料	16
5.2.4	遮水材料	19
5.2.5	堤体材料の試験	22
5.3	フィルダム堤体の基本設計	26
5.3.1	すべり破壊に対する安全性	26
5.3.2	地震に対する安全性	33
5.3.3	地震時の強度低下に対する安全性の確保	35
5.3.4	浸透破壊に対する安全性	36
5.3.5	ゾーニングによる設計上の配慮	40
5.3.6	上・下流面勾配	41
5.3.7	堤頂幅	42
5.3.8	余盛り	42
5.3.9	上・下流面の保護	43
5.3.10	通廊（監査廊）	44
5.4	水位低下用放流設備	45
5.5	計測装置の設置	46

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第5節 フィルダムの設計

5.1 設計の基本

<考え方>

フィルダムの構造の原則については、構造令第4条第1項及び第3項（本章3.1参照）において、フィルダムの安全性及び堤体材料については、施行規則第10条（本章3.2参照）において、それぞれ定められている。

1. フィルダムの安全性

- (1) すべり破壊：堤体及び基礎は、静水圧、地震時慣性力、間隙圧等の荷重によるすべり破壊に対して十分な安全性を有している必要がある。
- (2) 浸透破壊：フィルダムは変形性に対し、比較的柔軟な構造をもつ反面、土質材料により遮水ゾーンを形成する場合、パイピング等による浸透破壊の危険性がコンクリートダムに比べて大きい。したがって、堤体材料として十分な遮水機能を持つ材料を使用することはもちろんのこと、堤体と基礎地盤との接触部付近の遮水について特に注意深く設計する必要があり、堤体との接触部付近の基礎地盤における十分なグラウチング及び良質な岩着材の選定などを行う必要がある。
- (3) 不同沈下（不等沈下とも呼ぶ）等：フィルダムは、完成後も堤体の沈下が避けられないこと、堤体と剛性の異なる構造物を堤体内に設けると堤体の不同沈下や地震時の振動に対する応答の相異等によって構造物の破壊等の恐れがある。特に堤体内に埋設される構造物が水路構造物であるときは、周辺の堤体内にダムの貯留水が漏水したり、当該水路構造物を使用時の貯水位操作ができなくなり貯水位が上昇するなどして、不測の事態を生じる恐れがある。このため、放流設備、自由越流堤等の水理構造物は堤体内には設けてはならない。また、これらの構造物は、堤体と接するときには、堤体から受ける荷重に対して安全となるように設計する必要がある。
- (4) 洪水吐き能力（本章3.1参照）：フィルダムは、万一の越流に対して抵抗力を期待できないので、洪水吐きの放流能力に十分余裕をもたせること、洪水到達時間が早いダムでは自由越流堤も同時に検討しながら堤体設計を行う必要がある。
- (5) 水位低下用放流設備：本章5.4に示すように、フィルダムには、万が一の時の貯水位低下による安全確保、点検・修理等のために、貯水位の低下が可能な放流設備が設けられる。

2. フィルダム設計の特徴

フィルダムは、その堤体材料としてダムサイト周辺で得られる多様な自然材料を使用する点で、コンクリートダムと大きな違いがある。そのため、力学的な条件だけでなく、利用可能な堤体材料の賦存量や効率的な採取計画等の要素も含めた検討の中で材料の特性に応じた設計が行われ、これによって堤体の断面形状やゾーニングが決まることも多い。すなわち、フィルダムでは、その施工計画も同時に検討しながら堤体設計が行われる。

<必須>

フィルダムは、その堤体の材料や構造上の特質及び基礎地盤の特性等を考慮し、所要の安全性が確保されるよう設計するものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。

＜参考となる資料＞

フィルダム設計の基本の考え方としては、下記の資料1)が参考となる。また、フィルダム設計における安定性の検討事例等については、下記の資料2)が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

5.1.1 フィルダムの型式

＜考え方＞

フィルダムは、その堤体に主として使用される材料によってその構造が支配されるので、材料の面からみてアースダム及びロックフィルダムに区分することもあるが、本基準では、遮水機能を果たす部分の構造により、以下に示す均一型フィルダム、ゾーン型フィルダム、表面遮水壁型フィルダムに区分する。

なお、均一型フィルダムは余り堤高を高くするのは難しく、施行規則第10条第5項によると、均一型フィルダムは、基本的にダムの高さが30m程度以内の場合に選定できるものとされている。なお、同高さを超える場合は、施行規則第10条第5項に定められた方法によりその安全が確認された構造とする必要がある。

＜標準＞

フィルダムには、均一型フィルダム、ゾーン型フィルダム及び表面遮水壁型フィルダムがある。これらからダムの必要高さ、入手可能な堤体材料の性質及び採取可能量、ダム地点の地形及び地質、気象条件ならびに貯水池の運用計画等を考慮して型式を選定することを基本とする。

＜例示＞

フィルダムの型式と型式選定の留意点を以下に例示する。

1. フィルダムの型式

フィルダムは遮水の機能を果たす部分の構造により、図2-5-1に示す3つの型式に分類される。

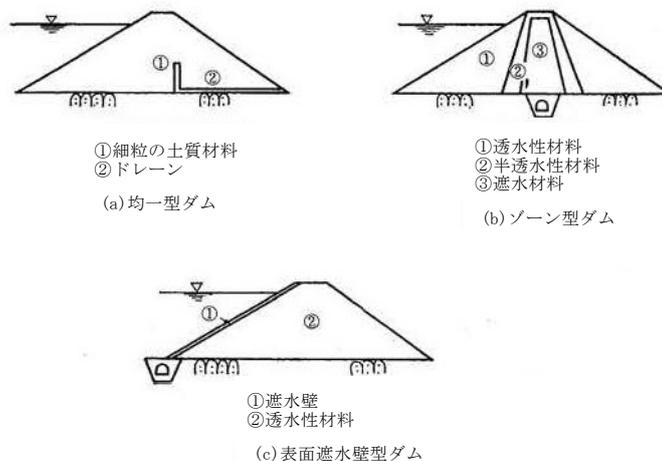


図2-5-1 フィルダムの型式

- (1) 均一型フィルダムとは堤体の大部分が、ほぼ均一な細粒の土質材料によって構築されたフィルダムをいう。
- (2) ゾーン型フィルダムとは、透水性の異なるいくつかのゾーンによって構築されたフィルダムをいう。
- (3) 表面遮水壁型フィルダムとは、透水ゾーンの上流側にアスファルトコンクリート、鉄筋コンクリートなどで作られた遮水壁を有するフィルダムをいう。

2. 型式選定の留意点

(1) ダムの高さ

低いダムでは、型式上の制約は少ないが、施工が簡単な均一型が採用されることが多い。なお、この型式のものは、高さ 30m 程度が限度である（施行規則第 10 条第 5 項）。高いダムは、一般にゾーン型が多い。

表面遮水壁型は、ダム高が大きくなると堤体の沈下が遮水機能に与える影響が大きくなるため、遮水壁の安定性等についても検討する。

(2) 堤体材料の性質及び採取可能量

ダムサイト周辺で、土質材料、透水性材料及び半透水性材料が十分得られる場合には、ゾーン型フィルダムとすることが多いが、低いダムで透水性材料が得にくく土質材料が豊富な場合には一般に均一型が採用される。

透水性材料は十分得られるが土質材料が得にくい場合は、表面遮水壁型フィルダムの採用が検討される。

(3) 地形及び地質

アバットメントが急傾斜の場合は、堤体の不同沈下を生じやすいので、比較的薄い鉄筋コンクリートなどの遮水壁を有する表面遮水壁型は損傷の懸念があるため適しておらず、ゾーン型では傾斜コア型より中央コア型の方が適している（本章 5.1.3 参照）。

基礎地盤が堅硬な岩盤の場合は、型式選定についての制約は少ない。土質基礎の場合は均一型が採用されることが多い。

(4) 気象条件

土質材料の含水比は、工学的性質や施工性に大きく影響するので天候・気温・降雨量等の気象条件により施工日数が制限を受ける。したがって、多雨地域では土質材料の使用量の少ない型式が適しており、この点では、均一型は不利である。

(5) 貯水池の運用計画

揚水式発電所の調整池のように水位低下速度が大きいダムでは、上流面のすべりに対する安全性を重視して、一般に、中央コア型または、表面遮水壁型が有利とされている。

以上のフィルダムの型式と考慮すべき要素をまとめると表 2-5-1 のようになる。

表2-5-1 フィルダムの型式と考慮すべき要素

要素	均一型	ゾーン型	表面遮水壁型
堤高	30m程度以下	特に制約なし	必ずしも明確な制約はないが、高いほど、より検討を要する。
堤体材料	土質材料	土質材料 透水性材料 半透水性材料	透水性材料 その他のランジション材料
ダムサイトの地形	—	アバットメントが急傾斜の場合は、中央コア型が有利	アバットメントが急傾斜の場合は不利
ダムサイトの地質	土質基礎の場合が多い	岩盤基礎の場合が多い	岩盤基礎の場合が多い
気象	寒冷地、多雨地域には不利	寒冷地、多雨地域では遮水ゾーンの薄いものが有利	多雨地域では有利
貯水池の運用計画	水位急低下に不利	水位急低下の場合、傾斜コア型は不利	水位急低下の場合有利

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

フィルダムの型式は、下記の資料 1) が参考となる。また、型式の選定については、資料 2) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月。

5. 1. 2 均一型フィルダム

<考え方>

均一型フィルダムは、堤体材料が難透水性及び半透水性のほぼ均一な材料により構築されるため、ドレーンを設けない場合には浸潤線が下流法面に現れてダムの安定性を損なうことがある。また建設中、間隙水圧が消散しにくいので堤体内部に高い間隙水圧が蓄積し安定性を低下させることがある。したがって、ドレーンの設置が有効である。

均一型フィルダムは次のような特徴を有する。

- (1) 堤体材料のほとんどが単一で、ほぼ均一な材料により構築されるので、施工が単純である。
- (2) 遮水ゾーンの幅が広いので、動水勾配が緩やかとなる。
- (3) 堤体内部にドレーンを設けないと、下流法面に浸潤線が現れ、ダムของ安定性を損なうことがある。
- (4) 施工中に堤体内部に発生する間隙水圧が消散しにくく、せん断強さも小さいので、一般に同じ形状を想定すると、ほかの型式のダムより安定性が低い。
- (5) 地震時の非排水繰り返し载荷による強度低下（極端な場合は液状化）に対する安全性を確認する必要がある。

フィルダムの構造の原則については構造令第4条第3項（本章3.1参照）において、安定性については施行規則第10条（本章3.2参照）において、非越流部の高さは構造令第5条（本章2.1.1参照）において、それぞれ定められている。

<必須>

均一型フィルダムは、構造令第4条及び施行規則第10条の関係規定を満足する構造とし、構造令第5条の規定に基づく非越流部の高さ以上となるよう、また浸潤線が下流側法面と交わらないよう設計するものとする。

<標準>

均一型フィルダムでは、堤体内に発生した間隙水圧の消散を図るため、適切なドレーンを設けることを基本とする。

<例示>

均一型フィルダムに用いる細粒の土質材料とは、ここで50%粒径が5mm以下または、透水係数が $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下の材料を指す。なお、50%粒径とはそれより細かい材料が重量で、全体の重量の50%を占める粒径をいう。

ドレーンの配置はダムの高さ、予想される間隙水圧の大きさ及び浸透流量によって異なるが、代表的な配置例を図2-5-2に示す。(1)、(2)は低いダムに適用されることが多く、(2)は基礎地盤内部の間隙水圧を減じる効果もある。また、(2)は帯状ドレーンとすることもある。

高さ30mに近いダムでは、浸潤線を低下させるために(3)の型式が多いが、さらに、(4)のような(3)に数条の水平ドレーンを組み合わせることもある。この場合、各ドレーンは建設中の間隙水圧の消散に、上流側水平ドレーンは水位急低下時の残留間隙水圧の低下に、下流側の立上りドレーンは浸潤線の低下にそれぞれ効果がある。ただし、上流側のドレーンは貯水池からの浸透水の動水勾配を大きくするため、設計にあたっては浸透破壊に対して十分検討する必要がある。

ドレーンの材料にはその透水係数が、一般的に堤体材料の10～100倍程度の材料が採用されている。

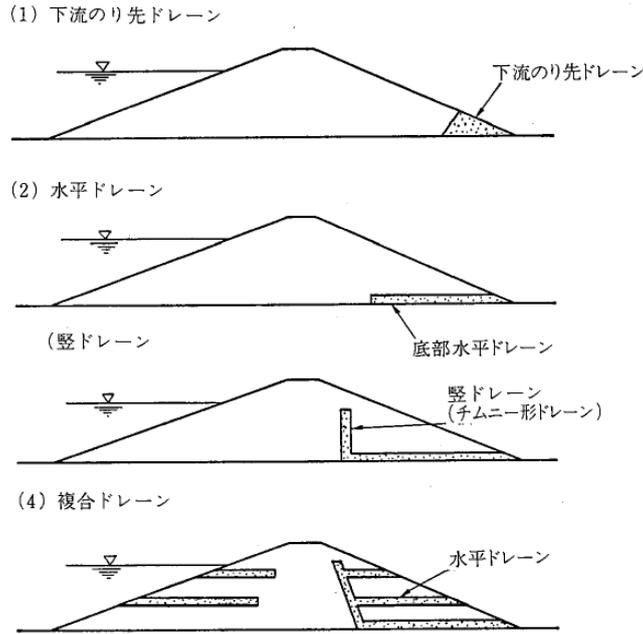


図2-5-2 均一型フィルダムにおけるドレーンの配置

＜参考となる資料＞

均一型フィルダムのドレーンの配置は、下記の資料 1) が参考となる。また、地震時の非排水繰り返し載荷による強度低下（極端な場合は液状化）については、下記の資料 2) が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月。
- 2) 国土技術政策総合研究所資料：大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料，国土技術政策総合研究所資料第 244 号／土木研究所資料第 3965 号，2005 年 3 月。

5. 1. 3 ゾーン型フィルダム

＜考え方＞

ゾーン型フィルダムは、透水係数と材料の粒度が急変しないようにするために、遮水ゾーンを中心とし、その両側に半透水ゾーン、さらに、その外側に透水ゾーンを配置するのが一般的であり、堤高 100 m 以上の高いダムの築造も可能である。遮水ゾーンの材料選定、半透水ゾーンを構成するフィルター材の粒度設定、強度と排水性を有する透水ゾーンの合理的配置を適切に行うことが必要となる。フィルダムの遮水ゾーンが堤体のほぼ中央にあるものを中央コア型ダム、上流に傾斜したものを傾斜コア型ダムと呼ぶ。

ゾーン型フィルダムの設計においては、次の点を考慮する必要がある。

- (1) 堤体の上下流幅に対して遮水ゾーンの幅が小さいので、施工は天候に支配されることが少ない。
- (2) 堤体の大部分が、せん断強さの大きい透水性材料で構造されるので、均一型ダムと比較して比較的安定性が高い。
- (3) 水圧に比して遮水ゾーンが薄く、浸透水の動水勾配が大きくなるため、フィルターの粒度設定を厳密に検討する。

また、ゾーン型フィルダムの設計においては、以下に示す中央コア型ダムと傾斜コア型ダムの特徴を考慮する必要がある。

1. 中央コア型ダム

- (1) 基礎地盤と遮水ゾーンの接触面及び遮水ゾーン内の各標高にそれより上部の全堤高の

荷重がかかっており、基礎地盤との接触面及び遮水ゾーンにおける浸透破壊に対する安全性が高い。

- (2) 遮水ゾーンにおける動水勾配は、傾斜コア型ダムの場合より緩やかになる。
- (3) アバットメントが急傾斜の場合、傾斜コア型ダムに比べ、遮水ゾーンの基礎地盤の施工が容易であり、また沈下に対して順応性が高い。

2. 傾斜コア型ダム

- (1) 下流側の透水ゾーンを先行して、盛立てることができる。
- (2) 基礎地盤の透水性が大きく、土質材料を用いたブランケットを施工する必要がある場合、遮水ゾーンと接合するブランケットの堤体内での長さを短くできるため施工上有利である。
- (3) 上流側の透水ゾーンが薄いので、上流側法面のすべりに対する安定性が相対的に強度の小さい遮水ゾーンのすべりにより支配される場合があるので注意する。

フィルダムの構造の原則については構造令第4条第3項（本章3.1参照）において、安定性については施行規則第10条（本章3.2参照）において、非越流部の高さは構造令第5条（本章2.1.1参照）において、それぞれ定められている。

<必須>

ゾーン型フィルダムは、構造令第4条及び施行規則第10条の関係規定を満足する構造とし、遮水ゾーンの頂部は構造令第5条の規定に基づく非越流部の高さ以上となるよう設計するものとする。

<標準>

ゾーン型フィルダムの遮水ゾーン、半透水ゾーン及び透水ゾーンの材料及び配置は、耐震性や経済性にも配慮して適切なものとなるようにし、また各ゾーン間の堤体材料の移動が生じないように設計することを基本とする。

<例示>

ゾーン型フィルダムの国内事例を表2-5-2に示す。

表2-5-2 ゾーン型フィルダムの国内事例（堤体構造）

	事業者名	竣工年	堤高 H(m)	堤頂長 (m)	堤長幅 (m)	遮水ゾーン		フィルター最小厚		B/H	余盛り ΔH(m)	法面勾配 1:n		コア タイプ	ΔH/H (%)
						最大幅 B(m)	最小幅 (m)	上流(m)	下流(m)			上流	下流		
御母衣	電源開発	1960	131.0	405.0	12.0	101.05	5.00	2.00	2.00	0.77	2.70	2.50	1.75	傾斜コア型	2.06
牧尾	水資源機構	1961	106.0	264.0	10.0	25.00	6.00	4.00 (等厚)	4.00 (等厚)	0.24	2.00	3.00	2.25	中央コア型	1.89
魚梁瀬	電源開発	1965	115.0	202.0	10.0	60.00	4.00	3.00	3.00	0.52	1.50	2.50	2.00~2.20	中央コア型	1.30
本沢	神奈川県	1965	73.0	234.0	15.0	51.80	8.00	2.80	2.37	0.71	2.20	3.50	3.00~3.50	中央コア型	3.01
九頭竜	電源開発	1968	128.0	355.0	12.0	55.00	4.00	2.00	2.00	0.43	1.15	2.60~3.00	1.80	傾斜コア型	0.90
水窪	電源開発	1969	105.0	225.0	10.0	27.00	4.50	2.25	2.25	0.26	1.00	2.30~2.50	2.00	中央コア型	0.95
喜撰山	関西電力	1969	95.0	270.0	11.0	51.00	4.00	細 1.50 粗 2.00	細 1.50 粗 2.00	0.54	2.00	2.50~3.00	2.20	中央コア型	2.11
下小島	関西電力	1973	119.0	289.2	11.0	49.70	3.00	細 1.00 粗 2.00	細 1.00 粗 2.00	0.42	2.00	2.30~2.40	1.83~1.85	中央コア型	1.68
福地	沖繩総合事務局	1973	91.5	264.0	10.2	40.00	3.00	1.524	1.52	0.44	0.90	2.25~3.00	2.00	中央コア型	0.98
新冠	北海道電力	1973	102.8	326.0	11.0	45.12	4.00	2.00	2.00	0.44	2.00	2.30	1.90	中央コア型	1.95
大雪	北海道開発局	1974	86.5	440.0	12.0	37.32	6.00	4.00 (等厚)	4.00 (等厚)	0.43	2.00	2.65	1.90~2.10	中央コア型	2.31
広瀬	山梨県	1974	75.0	255.0	10.0	48.70	4.00	3.00	3.00	0.65	1.00	2.50	2.00	中央コア型	1.33
岩屋	水資源機構 (中部電力)	1976	127.5	366.0	10.0	42.25	4.00	10.25 (等厚)	9.775	0.33	2.00	2.50	2.00	傾斜コア型	1.57
寺内	水資源機構	1977	83.0	420.0	10.0	79.25	5.00	8.00 (等厚)	8.00	0.95	1.50	2.70	2.10	中央コア型	1.81
高瀬	東京電力	1978	176.0	362.0	14.0	94.00	6.00	2.00 トランジション	細 2.00 粗 2.00	0.53	3.00	2.60	2.10	中央コア型	1.70
七倉	東京電力	1978	125.0	340.0	12.0	62.00	6.00	細 3.00 粗 2.00	細 3.00 粗 2.00	0.50	1.50	2.70	2.00	中央コア型	1.20
瀬戸	関西電力	1978	110.5	342.8	11.0	37.15	4.00	2.00	2.00	0.34	1.00	2.50	2.00	中央コア型	0.90
三保	神奈川県	1978	95.0	590.0	15.0	39.25	6.00	3.00	3.00	0.41	2.00	3.40	2.80	傾斜コア型	2.11
手取川	電源開発	1978	153.0	420.0	12.0	67.50	6.00	6.00 (等厚)	6.00 (等厚)	0.44	4.00	2.60	1.85	中央コア型	2.61
漆沢	宮城県	1979	80.0	308.4	10.0	35.00	4.00	5.00 (等厚)	5.00 (等厚)	0.44	1.00	2.80	2.50	中央コア型	1.25
漁川	北海道開発局	1980	45.5	270.0	10.0	21.40	5.00	4.00 (等厚)	4.00 (等厚)	0.47	1.00	3.20	2.10	中央コア型	2.20
白川	東北地建	1981	66.0	348.2	10.0	31.00	5.00	2.00	2.00	0.47	1.00	2.50	2.30	中央コア型	1.52
前川	山形県	1982	50.0	265.5	10.0	24.50	4.50	3.00	3.00	0.49	1.30	3.00	2.40	中央コア型	2.60
御所	東北地建	1982	52.5	210.0	10.0	23.00	4.00	2.13	2.13	0.44	0.50	3.30	2.50	複合タイプ	0.95
高見	北海道電力	1983	120.0	435.0	11.0	46.60	4.00	2.00	2.00	0.39	1.20	2.60	1.95	中央コア型	1.00
十勝	北海道開発局	1984	120.0	443.0	12.0	46.00	6.00	6.00 (等厚)	6.00 (等厚)	0.55	2.00	2.60	2.00	中央コア型	2.37
七北田	宮城県	1985	74.0	420.0	10.0	41.00	4.00	1.00	1.00	0.55	1.00	3.00	2.20	中央コア型	1.35
寺山	栃木県	1985	62.2	260.0	10.0	31.00	4.00	2.00	2.00	0.50	1.50	2.50	2.00	中央コア型	2.41
奥野	静岡県	1989	63.0	323.0	12.0	34.13	6.00	2.00	2.00	0.54	1.00	3.60	2.20	中央コア型	1.59
寒河江	東北地建	1990	112.0	510.0	14.0	49.20	5.00	細 5.00 粗 2.50	細 5.00 粗 2.50	0.44	1.50	2.90	2.10	中央コア型	1.34
奈良俣	水資源機構	1990	158.0	520.0	14.0	68.92	6.00	12.00 (等厚)	12.00	0.44	2.00	2.70	2.05	中央コア型	1.27
阿木川	水資源機構	1990	101.5	362.0	11.0	54.75	4.00	5.00 (等厚)	5.00	0.54	1.50	2.60	2.00	中央コア型	1.48
七ヶ宿	東北地建	1991	90.0	565.0	12.0	45.48	5.00	2.50	2.50	0.51	1.00	2.60	2.00	中央コア型	1.11
山瀬	秋田県	1991	62.0	380.0	10.0	29.70	5.70	3.00	3.00	0.48	1.00	2.90	2.10	中央コア型	1.61
三国川	北陸地建	1992	119.5	419.5	10.0	51.40	4.00	5.00 (等厚)	5.00	0.43	1.50	2.40	1.90	中央コア型	1.26
倉敷	沖繩県	1995	33.5	441.0	8.0	17.20	4.00	2.00	2.00	0.51		3.30	2.30	中央コア型	0
味噌川	水資源機構	1996	140.0	446.9	12.0	61.00	5.00	2.50	2.50	0.44	2.00	3.00	2.20	中央コア型	1.43
大谷	富山県	1998	29.5	168.0	10.0	140.00	4.00	2.0	2.0	4.75	0.50	3.00	1.20	中央コア型	1.69
堀川	福島県	2000	57.0	390.0	10.0	27.11	5.00	2.5	2.5	0.48	0.50	3.20	2.20	中央コア型	0.88
竜門	九州地整	2002	31.4	240.0	10.0	16.56	4.00	3.00	3.00	0.53	0.50	2.60	2.00	複合タイプ	1.59
柿崎川	新潟県	2003	54.0	424.0	10.0	25.28	2.00	2.0	2.0	0.47	1.00	2.70	2.00	中央コア型	1.85
上大沢	宮城県	2003	19.0	228.5	8.0	8.07	3.12	0.3	0.3	0.42	1.00	3.50	3.00	傾斜コア型	5.26
羽地	沖繩総合事務局	2004	66.5	198.0	10.0	37.00	4.00	1.50	1.50	0.56	1.00	2.70	2.20	中央コア型	1.50
摺上川	東北地整	2005	105.0	718.6	12.0	40.36	5.00	3.50	3.50	0.38	1.00	2.65	2.00	中央コア型	0.95
忠別	北海道開発局	2006	78.5	885.0	12.0	37.00	6.00	3.00	3.00	0.47	1.00	2.90	2.10	複合タイプ	1.27
藤波	福岡県	2009	52.0	295.0	10.0	33.70	4.00	4.0	4.0	0.65	0.50	2.90	2.10	中央コア型	0.96
留萌	北海道開発局	2009	41.2	440.0	10.0	21.32	5.00	2.50	2.50	0.52	0.40	2.40	1.80	中央コア型	0.97
森吉山	東北地整	2011	89.9	786.0	12.0	39.16	5.00	2.50	2.50	0.44	0.50	2.80	2.10	中央コア型	0.56
大分川	九州地整	2020	91.6	400.0	10.0	40.24	4.00	3.00	3.00	0.44	1.50	2.50	1.90	中央コア型	1.64
徳山	水資源機構	2008	161.0	427.1	14.0	57.42	6.00	2.00	2.00	0.36	2.00	3.00	2.25	中央コア型	1.24
殿	中国地整	2011	75.0	294.0	12.0	34.60	5.00	2.00	2.00	0.46	1.00	2.80	2.20	中央コア型	1.33
胆沢	東北地整	2013	127.0	723.0	12.0	54.80	4.00	2.00	2.00	0.43	1.50	2.70	2.00	中央コア型	1.18
大保勝	沖繩総合事務局	2011	66.0	445.0	10.0	30.20	4.00	2.00	2.00	0.46	1.30	3.00	2.70	中央コア型	1.97

- 注 1. コアタイプのうち、緩いコア傾斜のダムは中央コア型に分類
2. 堤高H、遮水ゾーンの最大幅Bについては、図 2-5-3 参照。

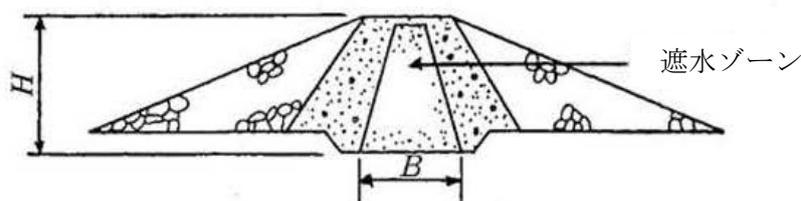


図2-5-3 ゾーン型フィルダムの堤高と遮水ゾーン最大幅の定義

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

ゾーン型フィルダムの設計については、下記の資料 1) 及び資料 2) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成 12 年 1 月。
- 2) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編、平成 17 年 6 月。

5. 1. 4 表面遮水壁型フィルダム

<考え方>

表面遮水壁型フィルダムはロック、砂礫などの良好な透水性材料は得られるが、遮水ゾーンに用いる適当な土質材料が得られない場合に採用される型式で、フィル堤体、遮水壁、プリンス(カットオフ)から構成される。遮水壁には種々の材料が用いられるが、鉄筋コンクリートや、アスファルトコンクリートによるものがある。

表面遮水壁型フィルダムの設計においては、次の点を考慮する必要がある。

- (1) 堤体の大部分に、せん断強さが大きく間隙水圧の発生しない透水性材料を使用することができるので、同じ高さの他の型式のフィルダムに比べ上流側法面勾配を急にすることができ、堤体断面を小さくすることができる。
- (2) 表面遮水壁は堤体の最上流部に配置されているため、水位急低下に対し、比較的安定性が高い。
- (3) 他の型式のフィルダムに比べて工程を短縮できる。
- (4) 地震、透水ゾーンの不同沈下等により、遮水壁が損傷を受けると、堤体の遮水機能が損なわれるおそれがある。
- (5) 遮水壁と基礎地盤の浸透路長が短いため、基礎地盤中の動水勾配が他の型式のフィルダムに比べ大きくなることを踏まえた確実な止水処理が行われる。

表面遮水壁型フィルダムの場合、本章 2.3 に示すように、特殊な構造のダムとして区別し、構造令第 73 条第 4 項(いわゆる大臣特認制度)の手続きをとって設計する必要がある。なお、この場合においても、表面遮水壁型フィルダムを含むフィルダムに対して共通して要求されると考えられる要件を定めた構造令第 4 条 構造の原則(本章 3.1 参照)、同第 5 条 堤体の非越流部の高さ(本章 2.1.1 参照)及び施行規則第 10 条 フィルダムの安定性及び堤体材料(本章 3.2 参照)に従う必要がある。

1. フィル堤体

表面遮水壁型フィルダムのフィル堤体の材料は良好な透水性材料を用いる必要がある。盛立ては薄い層状に巻き出して十分な締固めを行い、圧縮変形が生じないように配慮する。

遮水壁背面にはトランジションゾーンを設ける。これは、水圧荷重の本体への均等な伝達、背圧防止、凍害防止のほか、アスファルトコンクリート遮水壁の場合はその堤体への貫入防止等の目的を持っている。トランジション材料としては、細粒のロックまたは砂礫を用いるが、材料の選定、巻き出し、転圧を、十分慎重に行うように配慮する。

2. 遮水壁

(1) 鉄筋コンクリート遮水壁

鉄筋コンクリート遮水壁は堤体の不同沈下、温度変化及び水圧により極端な漏水を発生させるようなひび割れを生じない設計とする。

遮水壁の厚さについては、予想される荷重を考慮した応力解析のほか、施工性及び乾燥や温度変化によるひび割れ対策も考慮して設計する必要があるが、これまでの事例ではダムの天端付近では施工上の最小厚さや気象条件を考慮して 30 cm 程度以上とし、水深 1m の増加に対して 2-3mm 増厚している。

また、堤体の沈下や遮水壁の収縮によるひび割れが生じないように継目が設けられる。継目には水密性確保のため止水板が設置され、ウレタン系その他適切な目地材ですき間を充填する。

(2) アスファルトコンクリート遮水壁

アスファルトコンクリート遮水壁は、所要の水密性、たわみ性、強度及び耐久性等を有するものとし、一般に上層、中間排水層、下層より構成する。下層の下部には基層を設ける。基層は 1~2 層のアスファルトコンクリートにより構成される。

また、表面には耐久性を大きくするための保護膜が設けられる。上層及び下層には遮水を目的として密粒アスファルトコンクリートが用いられ、中間排水層には排水性を持たせるため粗粒アスファルトコンクリートが用いられる。また基層には貧配合のアスファルトコンクリートが用いられ、本体との十分な密着が図られるとともに、不陸直しなどが行われる。遮水壁全体の厚さは 30~40cm 程度が一般的である。また、これまでこの全体厚さを 4~6cm の厚さで積層打設されるのが一般であったが、最近の事例では 8cm の厚層舗設がなされている。施工継目の間隔は、施工機械の種類及び能力を考慮して決定される。

3. プリンス (カットオフ)

プリンス (カットオフ) は、遮水壁を基礎地盤上で確実に支持するとともに、基礎地盤と遮水壁間の水密を確保する構造として設計するとともに、不同沈下が生じないように良好な岩盤上に設ける。

プリンス (カットオフ) 内部には、一般的に監査廊 (通廊) を設ける。監査廊は、本体の盛立てと並行してカーテングラウチングを実施できること、アスファルトコンクリート遮水壁においては安全管理上遮水壁の排水層とパイプで連絡しておくことにより、遮水壁からの漏水量を知ることができること等の利点がある。プリンス (カットオフ) の施工継目間隔は、10~15m 程度である。

<必須>

表面遮水壁型フィルダムは、遮水壁が構造的に安定するとともに、遮水機能を損なうひび割れが発生しないよう設計するものとする。

<例示>

コンクリート表面遮水壁型フィルダムの国内事例を表 2-5-3 に示す。

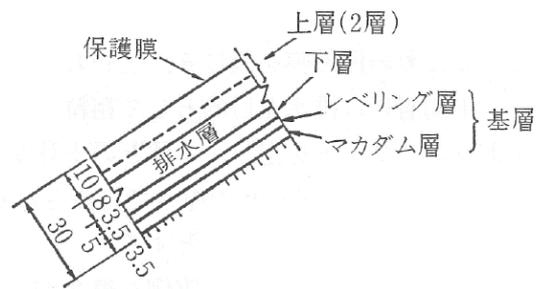
表2-5-3 我が国におけるコンクリート表面遮水壁型フィルダムの事例

ダムまたは貯水池名	竣工年	堤高(m)	遮水壁厚さ(cm)	遮水壁勾配	監査廊
小淵	1951	18.4	30~45	1:1.3	なし
石淵	1953	53.0	40 50 60	1:1.2 1:1.3 1:1.4	なし
野反	1956	44.0	30~60	1:1.3	なし
皆瀬	1963	66.5	30~60	1:1.35	あり
菅沢鞍部	1967	15.9	30	1:1.3	なし
荒沢1号	1972	38.0	35~59	1:1.095 ~1:1.3	なし
苫田鞍部	2004	25.0	35	1:2.0	なし
南摩	建設中	86.5	35~55	1:1.805	あり

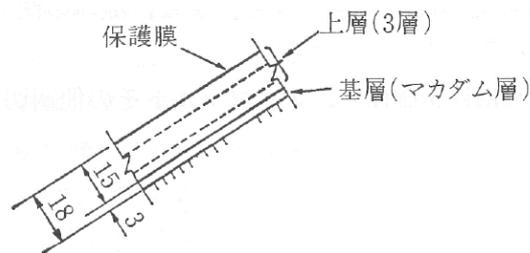
アスファルト表面遮水壁型フィルダムの国内事例を表 2-5-4 に示す。また、アスファルトコンクリート遮水壁の構造例を図 2-5-4 に示す。

表2-5-4 我が国におけるアスファルト表面遮水壁型フィルダムの事例

ダムまたは貯水池名	竣工年	堤高(m)	遮水壁厚さ(cm)	遮水壁勾配	中間排水層
大津岐	1968	52	30	1:1.7	あり
二の倉	1970	37	27	1:2.0	あり
東富士	1970	22	24	1:2.5	あり
大平沼	1970	32	12	1:2.5	なし
高野山	1971	33	18 23 28	1:1.8	あり
深山	1973	75.5	35.5	1:1.9	あり
沼原	1973	38	30	1:2.5	あり
多々良木	1974	64.5	33	1:1.8	あり
時雨	1975	24.2	22	1:2.1	なし
南川鞍部	1986	19.6	16	1:2.0	なし
双葉	1987	61.4	30.5 40.5	1:1.85	あり
万場	1993	28.6	26	1:2.7	あり
八汐	1994	90.5	37	1:2.0	あり
大瀬内	2007	65.5	35 26	1:2.5	あり
かなすみ	2007	42.5	30	1:2.5	あり
京極上部	2014	22.6	36 21	1:2.5	あり



中間排水層を設けた例



中間排水層を設けない例

図2-5-4 アスファルトコンクリート遮水壁の構造例

アスファルト表面遮水壁型フィルダムへのプリンス（カットオフ）の例を図 2-5-5 に示す。

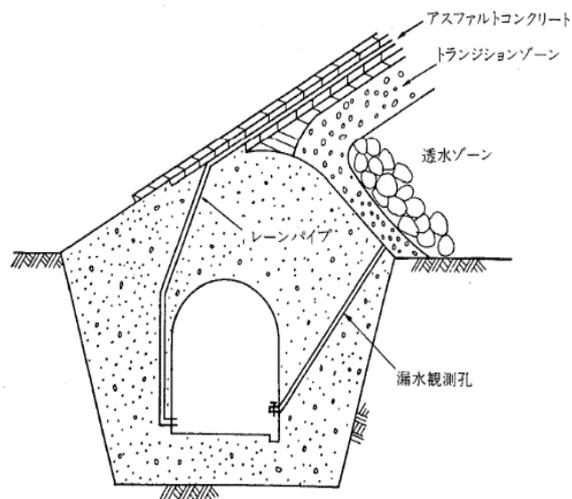


図2-5-5 アスファルト表面遮水壁型フィルダムのプリンス（カットオフ）の例

＜参考となる資料＞

表面遮水壁型フィルダムの設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

5. 1. 5 複合ダム

<考え方>

1. 複合ダムとは、地形、地質条件等から、2つ以上の異なる型式のダムを結合させたダムで、代表的な例は越流部を重力式コンクリートダム、非越流部をフィルダムとしたものである。ダムの基礎地盤にその変形性・強度が著しく異なる種類の地質が隣接して分布しており、しかも大規模な洪水吐きを必要とする場合に複合ダムが採用されることが多い。

2. 越流部を重力式コンクリートダム、非越流部をフィルダムとした複合ダムの設計上の特徴を以下に記す。

(1) 遮水ゾーンとコンクリートダムの接合面の勾配は、一般に緩やかであることが望ましく、堤高にもよるが、1:0.5程度の勾配より緩やかにするのが一般的である。

(2) 接合面における遮水材料の施工は一般のフィルダムのアバットメント部における施工と考え方は同じである。すなわち、コンクリート面をピックなどではつり、これに高含水比の塑性に富む細粒材料を付着させ、その後、遮水材料を巻き出して入念に締め固める。遮水材料としては沈下が少なく浸透破壊に対して抵抗性の大きい材料が用いられる。

(3) フィルダムとコンクリートダムの堤体材料特性が異なるので、接合部の設計にあたっては非地震時の安全性のほか、地震時の耐震性に十分注意する。接合部の安全性を高めるためには塑性に富み粒度のよい遮水材料を用い、十分な締め固めを行うことが重要である。また、接合部における耐震性および(2)に示す浸透破壊に関する対応として、接合部付近だけでも遮水ゾーンに接する範囲のフィルター材の品質(粒度構成)を高めたり、フィルターゾーンを厚くするなどが考えられる。接合部の高さは、これまでの実績では50m以下の例が多い。

(4) 複合ダムには、フィルダムでコンクリートダムを巻き込む型式のものとフィルダムとコンクリートダムの間にセパレートウォールを設ける型式のものがある。一般にセパレートウォールの設計は、重力式コンクリートダムの設計(本章第4節)に準じて行う。

複合ダムを構成するコンクリートダムとフィルダムの構造ごとに、構造の原則は構造令第4条(本章3.1参照)、安定性と強度や堤体材料については施行規則第9条及び第10条(本章3.2参照)に従う必要がある。

<必須>

コンクリートダム及びフィルダムからなる複合ダムは、コンクリートダム及びフィルダムの堤体及び基礎地盤について、それぞれ構造令第4条、施行規則第9条及び第10条、本基準の関係規定を満足する構造とした上で、両堤体間の接合部の止水性及び耐震性にも配慮して設計するものとする。

<例示>

複合ダムの接合部の国内事例を表2-5-5に示す。

接合部には、フィルダムでコンクリートダムを巻き込む型式(表2-5-5タイプA)とフィルダムとコンクリートダムの間にセパレートウォールを設ける型式(表2-5-5タイプB)がある。

表2-5-5 国土交通省所管の複合ダムにおける接合部の形状

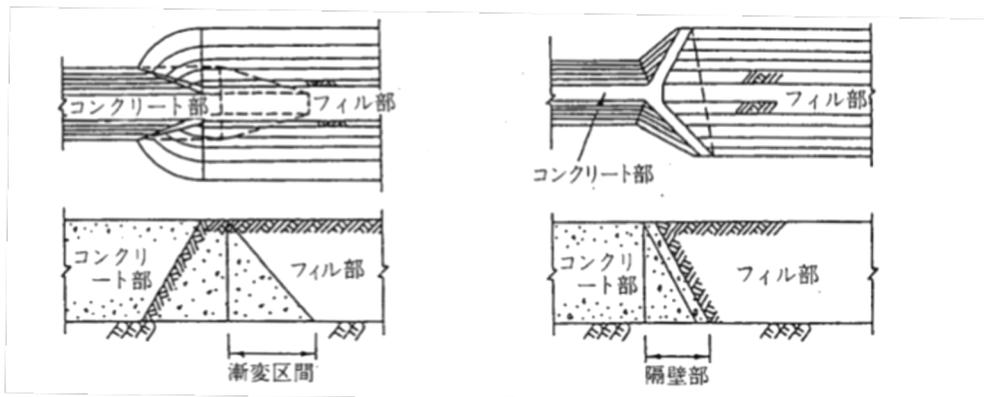
	ダム名	竣工年度	タイプ	接合部高	縦断勾配	コア接合面底辺の形状
複合ダム	(左岸) 四十四田 (右岸)	1968	B+A*	12.5m	1:0.5	フィルダム部を包み込む形状
			B	24.0m	1:0.5	フィルダム部を包み込む形状
	御所	1981	B	43.5m	1:0.65	ダム軸直交方向から上流側に約10°傾斜
	辺野喜	1986	A	35.0m	1:0.65	ダム軸直交方向から上流側に10°傾斜
	美利河	1991	A	22.0m	1:0.5	ダム軸と直交
	竜門	2002	B	31.4m	1:0.7	ダム軸と直交
	忠別	2007	A	76.0m	1:0.7	ダム軸方向から上流側に約3°傾斜

注1. タイプA、Bは、下図に示す。

2. *四十四田ダム左岸の接合部は、上流側がタイプB、下流側がタイプA。

タイプA (巻き込み型)

タイプB (セパレートウォール (隔壁) 型)



<参考となる資料>

複合ダムの設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

5.2 堤体材料

5.2.1 堤体材料

<考え方>

フィルダムの堤体材料は、通常ダムサイト周辺で得られる土質材料、砂礫材料、ロック材料等が用いられ、必要に応じて粒度及び含水量の調整が行われる。それぞれの材料は使用目的に応じた工学的特性（強度、遮水性、透水性、耐久性等）を有する必要がある。

採取地の材料や掘削ずりなどのなかには材料の特質が一定せず堤体材料としては用いることができないものがあるが、堤体の上下流に押え盛土として有効に用いられることもある。土質材料は、均一型フィルダムでは堤体の大部分を構成する材料として、ゾーン型フィルダムでは遮水ゾーンの材料として用いられる。

砂礫材料は、主としてゾーン型フィルダムの半透水ゾーンに用いられ、礫の粒径の大きなものは透水ゾーンに用いられることもある。

ロック材料は、主としてゾーン型フィルダム及び表面遮水壁型フィルダムの透水ゾーンに用いられるが、粒径の小さなものは半透水ゾーンにも用いられる。

このほか、表面遮水壁型フィルダムの遮水材料として、アスファルトコンクリートや鉄筋コンクリートなどの遮水材料が用いられる。

<必須>

フィルダムの堤体材料には、それぞれの目的に応じた性質の材料を用いるものとする。

<参考となる資料>

フィルダムの堤体材料としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計I編，平成17年6月。

5.2.2 透水性材料

<考え方>

透水性材料は岩石、掘削ずり、砂礫等所要の排水性を有する粗粒材料が用いられ、主として力学的安定性を分担する。

透水性材料は自由な排水が阻害されないことが必要であり、施工中に破砕されて著しく細粒化したり、風化の恐れのある材料を用いる場合には、ゾーニングや物性設定などにおいて特別な設計上の配慮が必要である。

透水性材料のせん断強さは、堤体の安定性に大きな影響を及ぼす。せん断強さは材質、粒子の形状、粒度分布、密度、含水比及び応力ひずみ状態等によって異なるが、一般に堅硬なもの、粒度分布がよいもの及び締固め度の大きいものほどせん断強さは大きく、盛立て後の変形が小さい。

透水性材料には、せん断強さの大きいロック材料、砂礫材料等が使用される。表層は水位変動、凍結融解、乾湿繰り返し、降雨、波浪などの外的条件に対する耐久性に優れたリップラップと呼ばれる大粒径材料を中心とした材料で保護される。透水ゾーンは遮水ゾーンからの浸透水、雨水及び貯水池の水位急低下時に残留する間隙水を速やかに排除できる排水性も考慮される。

<標準>

フィルダムの透水性材料は、所要のせん断強さ、排水性を有し、堅硬で耐久性があり、かつ締固めた状態で変形が小さい材料を使用することを基本とする。

<例示>

堤体表層付近に配置される材料は、特に粒径が大きく締固めが容易で耐久性のあるものが用いられる。一般に比重及び一軸圧縮強度が大きく吸水率の小さいものは耐久性がある。

岩種から透水性材料としての一般的な適合性をまとめると表 2-5-6 のようになる。

表2-5-6 岩種からみた透水性材料の一般的適合性

適合すると考える岩種	使用にあたって注意すべき岩種
深 成 岩 花崗岩、閃緑岩、斑れい岩など	超塩基性岩 蛇紋岩など
半 深 成 岩 石英斑岩、ひん岩、輝緑岩など	変 成 岩 片理の発達した結晶片岩、片麻岩など
火 山 岩 流紋岩、安山岩、玄武岩など	火 山 岩 温泉作用を受けた岩石、熔岩自破砕部
中生代以前の堆積岩 砂岩、輝緑凝灰岩、チャートなど (頁岩、粘板岩など層理が密な岩石を除く)	堆 積 岩 頁岩、粘板岩、新第三紀以後の凝灰岩、 新第三紀以後の砂岩及び隆起サンゴ 礁石灰石など

<参考となる資料>

フィルダムの透水性材料としては、下記の資料 1) 及び資料 2) が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月。

5. 2. 3 半透水性材料**<考え方>**

半透水性材料は、透水性材料よりやや細粒で粘着性のない材料が用いられ、遮水ゾーンと透水ゾーン間の粒度を漸変させるとともに、遮水材料の流出を防止する等の機能が求められる。そのため、材料としての粒度が重要である。半透水材料のせん断強さ、変形性、締固めの難易については 本章 5.2.2 透水性材料で述べたのと同様である。

半透水性材料が用いられる半透水ゾーンは、遮水ゾーンと透水ゾーンの間配置され、両ゾーンの材料の性質の急変を避ける役割を持つ。このような特性から半透水ゾーンをトランジションゾーンと呼ぶこともある。また、遮水材料の流出を防ぎ浸透水の排水を目的として設けられる半透水ゾーンをフィルターといい、フィルターで保護される材料である遮水材料の粒度に応じて、基準を満足する材料を用いる。これに関する基準としてフィルター 5 則や Sherard (1985) のフィルター基準等がある。

望ましいフィルター材料として河床砂礫がある。

<標 準>

フィルダムの半透水性材料は、遮水材料と透水性材料の間での粒度の急変を避けるとともに、フィルター材料としての役割を有するときは保護する遮水材料の流出を起こさない粒度分布のもので、所要の排水性及びせん断強さを有し、締固めが容易であり、かつ締め固めた状態で変形が小さい材料を使用することを基本とする。

<例 示>

一般に、施工性の観点からは単層のフィルターが望ましいが、単層のフィルター材料の粒度分布がフィルターに関する基準を満足しない場合には細粒 2 層のフィルターにすることがある。

フィルターの厚さは、施工条件や、地震に対する安全性などを考慮し、最小厚を2.0～4.0 m にしている例が多い（表 2-5-2 参照）。遮水ゾーンにおける構成材料の流出、クラック、地震に対する安全性に十分配慮してフィルターゾーン的设计が行われる。

フィルター材料で保護される遮水性材料とフィルター材料の粒度について満たすべき条件であるフィルター5則を以下に示す。

$$1. \quad \frac{\text{フィルター材料の 15\% 粒径}}{\text{フィルターで保護される材料の 15\% 粒径}} > 5$$

$$2. \quad \frac{\text{フィルター材料の 15\% 粒径}}{\text{フィルターで保護される材料の 85\% 粒径}} < 5$$

3. フィルター材料の粒度曲線は、フィルターで保護される材料の粒度曲線とほぼ並行であることが望ましい。
4. フィルターで保護される材料が粗粒材料を含む場合は、その材料の粒径 26.5mm 以下の部分について 1. 及び 2. を適用する。
5. フィルター材料は粘着性のないものとし、0.075mm 以下の細粒分を 5%以上含んでいてはならない。

なお、フィルターで保護される材料が粘着性に富む場合、これらの条件を多少緩和することができる。

この基準を満足すれば基本的に排水性も十分であり、フィルターで保護される材料の浸透破壊に対する抵抗性も大きいと考えてよい。フィルター材料の透水係数は一般にフィルターで保護される材料の透水係数の 10～100 倍ぐらいが適当である。

また、フィルター材料の細粒分含有率が 5%以上であっても、液性及び塑性限界試験から非塑性であることを確認したうえで、図 2-5-6 に示す Sand Castle 試験を実施して非粘着性判定を行うことで、5%よりも高い細粒分含有率を採用している事例もある。

さらに、Sherard (1985) らの提案したフィルター基準（表 2-5-7 参照）は、当該基準を満足すれば、地震等の不測の事態により遮水ゾーンに水みちが形成され、集中的な浸透流によりフィルターゾーン側へ遮水材料の細粒分が流出した場合でも確実にフィルターゾーンで捕捉される効果があるとされており、国内でも設計に考慮されている事例がある。

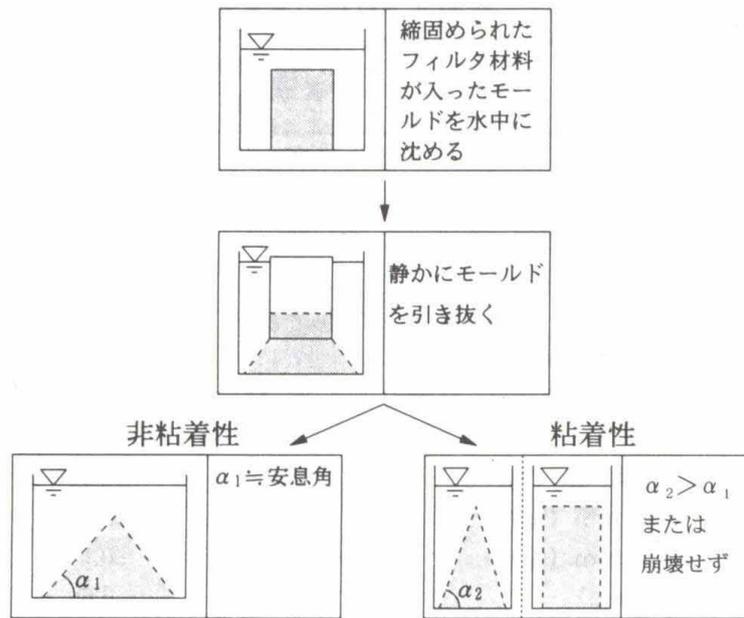


図2-5-6 Sand Castle 試験の手順

表2-5-7 Sherard らによって提案されたフィルター基準

グループ	細粒分含有率 A (%)	設計基準 (適切な安全率を加味してある)
①	85~100	$D_{15}/d_{85} \leq 9$
②	40~85	$D_{15} \leq 0.7(mm)$
③	0~15	$D_{15}/d_{85} \leq 4$
④	15~40	$D_{15} \leq 0.7 + (40 - A) (4 \times d_{85} - 0.7)/25(mm)$

(注) D_{15} : フィルター材料の 15%通過粒径

d_{85} : ベース材料 (フィルター材料で保護される材料) の 85%通過粒径

A : 4.75mm ふるいを通過する部分の細粒分 (粒径 0.075mm 以下) の含有率

<参考となる資料>

フィルダムの半透水性材料のフィルター基準については、下記の資料 1) が参考となる。また、材料の粒度分布については、下記の資料 2) が参考となる。さらに、フィルター材料の非粘着性確認試験については、下記の資料 3)、4) が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編, 平成 17 年 6 月.
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計 II 編, 平成 17 年 6 月.
- 3) 山口嘉一、横森源治、安仁屋勉、赤松利之：フィルタ材料の非粘着性向上に関する検討、ダム工学、Vol. 16、No. 1、2006 年 6 月.
- 4) 上阪恒雄、山口嘉一：フィルタ材料の非粘着性判定のための実験的研究、ダム工学、Vol. 11、No. 1、2001 年 6 月.

5. 2. 4 遮水材料

<考え方>

施行規則第10条第4項（本章3.2参照）によると、遮水材料は、土質材料またはその他不透水性の材料であることと規定されている。

土質材料の遮水材料としては、主として風化残留土、崖錐等のシルト分以下を10%程度以上含む細粒な材料が用いられる。また、締固めが容易であり、締固めた状態で変形が小さく、所要の遮水性とせん断強さを有し、かつ有害量の有機物等を含まない材料を使用する必要がある。

一方、土質材料以外の遮水材料としては、主として表面遮水壁型フィルダムの遮水壁に用いられる鉄筋コンクリート及びアスファルトコンクリートがある。これらの材料は、所要の遮水性、強度及び耐久性を有する必要がある。

一般に遮水ゾーンには下記を考慮して適当な土質材料を用いる。

(1) 材料の透水係数

遮水ゾーンとして要求される透水係数は、 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下を標準とするが、試料の最大粒径、透水係数の異方性、試験の方法及び試験値のバラツキを考慮し、室内試験では $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下に管理される場合が多い。

(2) 浸透破壊に対する抵抗性

締固めの十分なもの、塑性指数の大きい ($I_p > 10 \sim 15$ 程度) ものなどは、浸透破壊に対する抵抗性が大きい。

(3) クラック

基礎地盤の変形性が大きく異なる地質が隣接する場合、局部的な凹凸がある場合、アバットメントの傾斜が急な場合等遮水ゾーンにクラックの発生が懸念されることがある。そのような場合には、基礎掘削線の設定により対応したうえで、良好な材料により入念に施工するとともに、遮水ゾーンの厚さ（上下流方向幅）を少し厚くしておく等の配慮を行うことがある。

(4) 遮水ゾーンの厚さ

遮水ゾーンの厚さについては過去の経験から水深の30~50%の厚さをもっていれば、かなり厳しい条件下でも安全性に問題が発生することはないとされている。

遮水ゾーンの最小幅は、施工条件により決まることが多く、4~6mとしている例が多い（表2-5-2参照）。

<必須>

フィルダムの遮水材料は、土質材料またはその他の不透水性の材料でなければならない。

<標準>

フィルダムの土質材料は、締固めが容易であり、締固めた状態で変形が小さく、所要の遮水性とせん断強さを有し、かつ有機物等を有害量は含まない材料を使用することを基本とする。

土質材料以外の遮水材料には、所要の遮水性、強度及び耐久性を有する材料を使用することを基本とする。

<例示>

土質材料及び土質材料以外の遮水材料（鉄筋コンクリート、アスファルトコンクリート）の特性等について以下に例示する。

1. 土質材料

土質材料の透水係数及びせん断強さは、土の種類、締固め密度等に影響される。締固め密度は締固めエネルギーが同じであれば図 2-5-7 に示すように締固め含水比に影響され、乾燥密度が最大となる含水比（最適含水比）を有する。一般に透水係数は最適含水比より 1~2% 湿潤側で最小となり、粘着力は最適含水比よりやや湿潤側で、内部摩擦角はやや乾燥側でそれぞれ最大となる。間隙水圧は、締固め含水比が最適含水比より 2~3 %乾燥側ではほとんど発生せず、その後締固め含水比が大きくなるにつれて大きくなり、最適含水比より 2~3%湿潤側でほぼ収束する。

図 2-5-8 に示すように締固めた乾燥密度は同一材料であれば締固めエネルギーの増大とともに大きくなり、最適含水比は小さくなる。

最適含水比より多少湿潤側で締め固めた場合や塑性指数の大きいものは、変形量が大きくても変形に追随しやすいのでクラックが発生しにくい傾向がある。一方、含水比が最適含水比より数%湿潤側になると、締固めは困難になる。

土質材料は、締固めが十分なものほど変形は小さくなる。一般に粗粒分を多く含む材料ほど、締固めが容易であり、細粒分の多い材料ほど、変形が大きくなる。土質材料を最適含水比で締め固めた場合、細粒な材料ほどせん断強さは小さくなり、透水係数は小さくなる。

土質材料としてよく用いられる粒度の範囲は、図 2-5-9 に示すとおりである。

土質材料中に含まれる有機物は腐敗したり、溶出したりして材料内部に空隙を生じさせたり、化学変化によって材料の性質を変化させることがあるので注意する。有機物等を有害量含む材料は堤体材料には用いない。

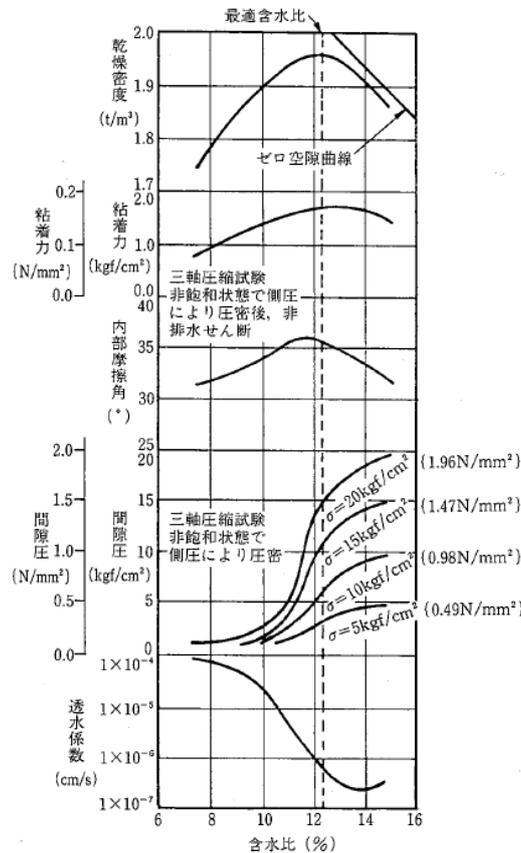


図2-5-7 含水比による土質材料の性質変化

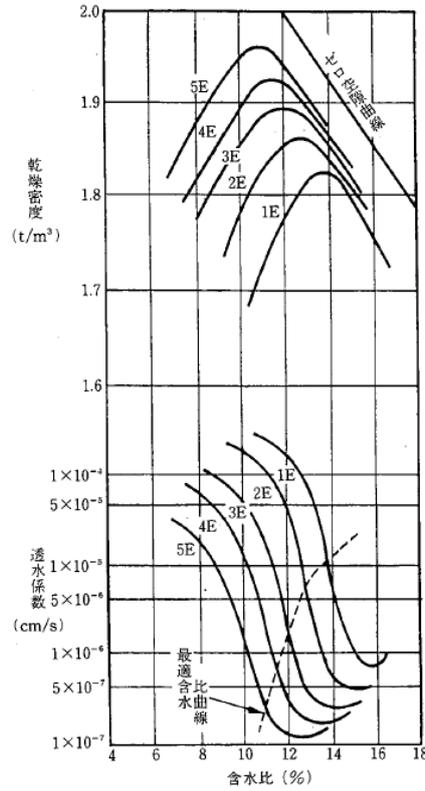


図2-5-8 締めエネルギーを変えた場合の乾燥密度、透水係数—含水比曲線

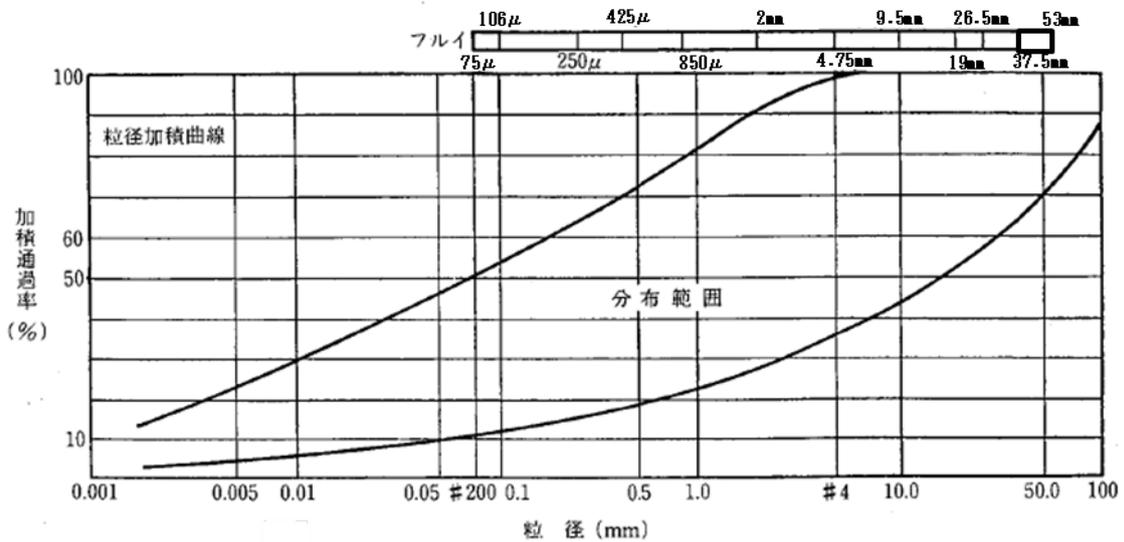


図2-5-9 土質材料の粒度分布の範囲

2. 土質材料以外の遮水材料：鉄筋コンクリート

鉄筋コンクリートはコンクリート標準示方書（土木学会）に準拠し、所要の水密性、強度及び耐久性を有するものが使用される。

3. 土質材料以外の遮水材料：アスファルトコンクリート

アスファルトコンクリートとは、アスファルト、骨材及びフィラーから成り、また使用目的に

応じ添加物を加えることもある。アスファルトコンクリートを遮水壁に用いる場合には所要の遮水性、排水性、強度、たわみ性、安定性、耐久性を有することが必要であるが、これらの性質は構成材料の種類及び配合に影響されるので、配合の決定には慎重な検討を必要とする。遮水壁表面にはアスファルト及びフィラーより成るアスファルトマスチックによる保護膜を舗設する。

アスファルトとしては一般にはストレートアスファルトが使用され、品質規格としては JIS K2207 があるが、遮水壁として用いる場合にはダム地点の気象状況、斜面の勾配、施工条件を考慮し慎重な検討を行う。

粗骨材としては天然砂利、破碎岩及びスラグ等が用いられ、細骨材としては天然砂、砕砂等が用いられる。その性状は、堅硬かつ耐久性があり適切な粒度分布を有し、加熱による品質の変化がなく、吸水量が小さくアスファルトとの付着が良好で粘土、シルト及び有機物を有害量含まないこと等が要求されることが多い。

フィラーは、一般にセメント、石灰石粉末及び消石灰粉末が用いられるが、ごみ、シルトを含まず団粒のないものが用いられる。

フィラーの添加量は、材料の特性及び施工性を考慮して決められる。

<参考となる資料>

遮水材料のうち、全般については下記の資料 1)、土質材料については、下記の資料 2) が参考となる。また、鉄筋コンクリートについては、下記の資料 3) が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計 II 編，平成 17 年 6 月。
- 3) 土木学会：2017 制定 コンクリート標準示方書（設計編・施工編），平成 30 年 3 月。

5. 2. 5 堤体材料の試験

<考え方>

フィルダムでは堤体の安全性を検討するにあたり、各材料の密度、せん断強さ、透水性などの設計値を決定する必要がある。設計値は、原則として実際に使用する材料について試験を行い、その結果をもとに、設計・施工条件、材料の品質のバラツキも考慮して総合的に決定することが重要である。

堤体材料について実施すべき一般的な試験は表 2-5-8 に示すとおりである。なお、材料が所要の性質を有することが明らかな場合にはこれらの試験の一部を省略することができる。堤体材料の試験については、調査編第 15 章土質地質調査 4.6.3、4.6.4、4.6.5 による。

材料により、これらの試験のみでは不十分な場合には必要に応じて試験を追加する。

試験の方法は JIS あるいは関連する学会等が制定した試験の基準による。これらの基準が制定されていない場合には材料の性質を把握できる適切な方法により実施する。

表2-5-8 フィルダムの材料試験一覧表

第Ⅰ期 材料の調査及び選定		第Ⅱ期 設計値及び施工計画の決定	
土質材料	粗粒材料	土質材料	粗粒材料

どのよう 実施すべ きでも 試験	粒 度 含 水 比 比 重 コンシステンシー 締 固 め (標 準) 透 水 (標 準)	粒 度 比重及び吸水率 一 軸 圧 縮 強 度	粒 度 含 水 比 比 重 コンシステンシー 締 固 め (エネルギー変化) 透 水 (エネルギー変化) せ ん 断 ($\bar{C}U$ 飽和) 現場採取、盛立て	粒 度 比重及び吸水率 大 型 せ ん 断 ($\bar{C}D$ 不飽和) 締 固 め
必 要 に 応 じ て 試 験	締 固 め (エネルギー変化) 透 水 (エネルギー変化) 有機物含有量 水溶性成分含有量 吸 水 膨 張 圧 密 せ ん 断	耐 久 性 有機物含有量	大型締固め (エネルギー変化) 大型透水 (エネルギー変化) せん断 (UU 不飽和) 圧密 せん断 ($\bar{C}U$ 不飽和)	一 軸 圧 縮 強 度 大 型 せ ん 断 ($\bar{C}U$ 、 $\bar{C}D$ 飽和) 現場採取、盛立て 耐 久 性 大 型 透 水

< 標 準 >

フィルダムの堤体材料は、所要の試験を行い、その性質を明らかにすることを基本とする。

< 例 示 >

各種材料に対する試験の主なものについて以下に例示する。

1. 土質材料

土質材料の締固め試験において、粗粒分の含有率より材料の諸性質が著しく変化する場合には、図 2-5-10 に示すように粗粒分の含有率と材料全体の性質の関係についても検討する。透水試験は室内試験では、 $1 \times 10^{-6} \sim 10^{-7} \text{cm/s}$ を目標とする。

せん断試験は、原則として三軸圧縮試験により行い、排水条件は非圧密非排水試験 (UU 試験) あるいは圧密非排水試験 ($\bar{C}U$ 試験) による。

土質材料は一般に最大粒径 10~15cm 程度の粗粒分を含むため、現場粒度による室内試験を行うことは現実的ではない。この場合、試験のための供試体はその最小寸法を全体材料の 85% 粒径の 5 倍以上とし、供試体の最大粒径が全体材料の 80% 粒径以上になるような材料について行った試験結果を全体材料の性質とみなすことも行われている。

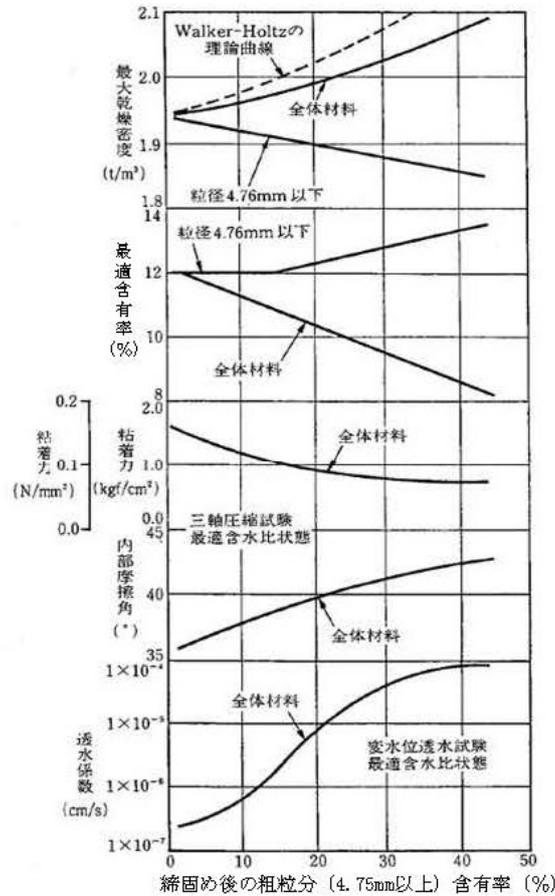


図2-5-10 土質材料の粗粒分(4.75 mm 以上)含有率による性質の変化

土質材料の室内試験の締固め機構は、実際の施工におけるものと異なるために、転圧試験を行って室内試験との関係について検討することが多い。試験は転圧機種、巻き出し厚さ、転圧回数、含水比等を変化させ、それぞれについて密度、含水比、透水係数、沈下量、転圧後の粒度の変化等に注意して行う。なお、近代的施工では、現場での締固めエネルギーは通常室内締固め試験での締固めエネルギーを超える場合が少なくない。したがって、施工時の含水比は現場締固めエネルギーに対応した最適含水比に対して調整・管理することが重要となる。

2. 粗粒材料（透水性材料及び半透水性材料）

粗粒材料の締固め試験において、材料によっては締固め時の破碎により細粒化することがあるので、試験後の試料を用いた粒度試験を行い粒度の変化傾向を把握する場合がある。特にフィルター材料として用いられる材料については、必要な工学的特性が粒度分布により強く影響を受けるため、粒度組成は重要な要素となる。

また粗粒材料は耐久性に優れていることが望ましい。耐久性は、比重及び吸水率、一軸圧縮強度、凍結融解等の試験結果から推定される。一般に、比重、圧縮強度が小さく吸水率の大きい材料は耐久性が小さい場合が多い。

粗粒材料のせん断試験は、大型三軸圧縮試験（直径 30cm 以上）によって行うのが一般的である。このとき供試体の最大粒径は、供試体の直径の 1/5~1/6 とする。せん断強さは材料の締固め度、粒度分布、気乾・飽和の試料状態、試験時の側圧範囲などの条件に影響されるので、これらを適切に組み合わせて試験を行う。このうち、締固め度については2~3の密度条件、側圧についてはダムの高さを考慮し5種類以上の条件で行うことが多い。

また試験粒度は実際に用いられる材料とほぼ相似となるよう調整する。ただし、相似粒度の

試料では、細粒分が多くせん断面において間隙水圧の発生が問題となる場合には、単に最大粒径のみを制限するせん頭粒度で調整することもある。透水材料は排水性が大きい材料であるために、三軸圧縮試験は一般的に圧密排水条件（CD 試験）による。

細粒分を含む透水性の小さい材料の場合には、供試体を飽和させて圧密非排水試験（ $\overline{\text{CU}}$ 試験）を行うこともある。粗粒材料の締固め度は、粒度、締固めエネルギーなどを適切に組み合わせた室内試験によって決定し、盛立試験によって確認する。

透水性材料の排水性については、一般に問題となることは少ないがシルト分以下の粒径を数%以上含む場合、または、破碎されて細粒になりやすい場合には、透水係数が小さくなり、自由な排水が阻害される恐れがある。このような材料を用いる場合には盛立試験、あるいは大型の供試体による透水試験を行い、透水性を確認しておく。

3. 土質材料以外の遮水材料の試験

(1) アスファルトコンクリート

アスファルトコンクリートの試験には、アスファルト及びアスファルトコンクリートに関するものがある。

アスファルトに関しては JIS K 2207 に示される品質を有するものに対し、針入度、比重、軟化点等の試験を行ってその性質を確認する。骨材に関する試験には粒度、密度、吸水率等がある。

このほかにアスファルトコンクリートにはフィラーが混合されるが、それぞれ必要な試験を行いその性質を確認しておく。

アスファルトコンクリートに対する試験項目は密度、安定性、透水性、強度、変形性、たわみ性及び耐久性等である。

(2) 鉄筋コンクリート

鉄筋コンクリートは、コンクリート標準示方書等に従って品質試験を行うが、使用条件によって所要の性質が異なる場合には、必要な試験を追加する。

<関連通知等>

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準 調査編，平成 26 年 4 月。

<参考となる資料>

ゾーン型フィルダムの設計については、下記の資料 1) 及び資料 2) が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計 II 編，平成 17 年 6 月。
- 3) (公社)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，平成 21 年 11 月。
- 4) 土木学会：2017 制定 コンクリート標準示方書（設計編・施工編），平成 30 年 3 月。

5.3 フィルダム堤体の基本設計

5.3.1 すべり破壊に対する安全性

<考え方>

フィルダムの堤体及び基礎地盤の安定性については施行規則第10条（本章3.2参照）において、定められている。

フィルダムの堤体及び基礎地盤は、予想される荷重に対してすべり破壊が生じないように設計する必要がある。堤体材料及び基礎地盤の性質は多種多様であり、同種の材料でも均一性に乏しい場合が多い。また設計及び施工の条件あるいは気象条件によってもその性質は大きく変化する。したがって、設計値はこれらの条件を考慮し、本章5.2.5に規定する試験を行い、試験結果のバラツキ及び材料の不均一性等に対する余裕を見込んで決定する必要がある。

フィルダムでの円弧すべりに対する安全性の検討は、原則として、すべり面上の土塊を鉛直方向に細分したスライスに作用する荷重による滑動力と抵抗力の関係を検討するスライス法により行う。

1. 設計荷重

堤体及び基礎地盤のすべり破壊に対する安全性の検討を行う際に考慮する荷重は、自重、静水圧、間隙水圧及び地震時慣性力である。

(1) 自重

均一型フィルダム及びゾーン型フィルダムの場合、常時満水位時、サーチャージ水位時、設計洪水水位時及び中間水位時についての安定性の検討には堤体の浸潤線以上の部分は湿潤重量を、それ以下の部分には飽和重量を用いる。水位急低下時においては、遮水ゾーンの水位低下前の浸潤線以上の部分は湿潤重量を、それ以下の部分については飽和重量を用い、透水ゾーンは、水位低下後の浸潤線以上の部分は湿潤重量を、それ以下の部分は飽和重量を用いる。なお、完成直後の安定性の検討には各材料の湿潤重量を用いる。表面遮水壁型フィルダムの場合には遮水壁については遮水壁の重量を、その他の堤体材料については湿潤重量を用いる。

(2) 静水圧

スライス法による安定計算において、外力としての水圧はスライスのすべり面と側面に垂直に作用する。この場合の水圧は堤体内においては間隙水圧として作用する。

(3) 間隙水圧

間隙水圧はスライス法による計算においてスライスの側面及びすべり面に垂直に作用するものとし、完成直後の安定性の検討には工事中の間隙水圧を、常時満水位時、中間水位時、サーチャージ水位時及び設計洪水水位時には貯水の浸透による間隙水圧を、また水位急低下時には、残留間隙水圧を考慮する。

完成直後の間隙水圧は次項2.設計値に、常時満水位時、サーチャージ水位時、設計洪水水位時、中間水位時及び水位急低下時の間隙水圧は、各種の浸透流解析等による。

(4) 地震時慣性力

地震時慣性力は、自重に設計震度を乗じた値とし、水平方向に一様に作用するものとする。設計震度は本章3.5.5及び本章5.3.2による。また、表面遮水壁型フィルダムは、ゾーン型フィルダムに準ずる。

(5) その他

地震時に作用する動水圧は、表面遮水壁型フィルダムの場合を除き、外力として小さいので考慮しないことが一般的である。また、泥圧は、通常は安全側に作用するので考慮しないのが一般的であるが、想定するすべり面の形状及びすべり方向を踏まえ、危険側に作用する際には考慮する場合がある。

2. 設 計 値

すべりに対する安全性の検討を行う場合には、密度、せん断強さ、間隙水圧及び透水係数等の設計値を下記のように決定する。

(1) 粗粒材料（透水性材料及び半透水性材料）

粗粒材料の密度の設計値は、室内締固め試験結果に基づき決定し、盛立試験により確認する。

せん断強度の設計値は、原則として大型三軸圧縮試験を実施し、設計密度に対応する値として決定する。これまでの事例によれば内部摩擦角の設計値は、 $35\sim 43^\circ$ 程度である。試験の結果では、見掛けの粘着力成分が認められることがあるが、粗粒材料の粘着力成分は設計上考慮しない。

一般に透水係数が 1×10^{-3} cm/s 以下になると、水位急低下時において、間隙水圧が残留するので、浸透流解析により残留間隙水圧を評価する。

(2) 土質材料

一般に土質材料の密度の設計値は、標準プロクター（1Ec）による締固め試験に基づく最大乾燥密度の $90\sim 95\%$ が用いられるが、JIS 第1法のエネルギによる最大乾燥密度とすることもある。

せん断強さの設計値は、施工含水比に対応した乾燥密度やその設計値に対応したせん断強さの下限値を基準として決定する。

ゾーン型フィルダムでは、土質材料のせん断強さの設計値が、安全に及ぼす影響は小さいが、遮水ゾーンの幅が広い中央コア型ダム、極端な傾斜コア型ダム及び均一型フィルダムでは土質材料のせん断強さはすべり破壊にとって重要な要素となる。

すべりに対する安定性については原則として有効応力法によって検討するものとし、設計値は \overline{CU} 試験によって求める。この場合、堤体の間隙水圧を推定することが必要となる。常時満水位時及び水位急低下時における間隙水圧は、本章 5.3.4 に示す方法による。

完成直後の間隙水圧を試験によって求める場合には、次のような方法がある。

- ① 圧密非排水条件のもとに三軸圧縮試験を行って直接測定する方法（ \overline{CU} 試験）。
- ② 圧密試験を行って、次の Hilf の式により求める方法。

$$U = \frac{F_a \Delta}{V_a + hV_w - \Delta}$$

ここに、

U : 間隙水圧 (kN/m²)

F_a : ダム地点における大気圧 (kN/m²)

Δ : 原容積に対する圧密量の百分率

V_a : 原容積に対する圧密後の間隙内の自由空気容積の百分率

h : 水中における空気溶解度 (Henry の常数で 20°C のとき 0.0198)

V_w : 原容積に対する圧密後の間隙水の容積の百分率

①、②による場合、間隙水圧は堤体内の位置、施工後の経過時間、盛立速度、遮水ゾーンの幅等を考慮し適正な低減を行って設計値とする。

試験を行わない場合には、すべり面における載荷重量から推定することが多い。この

場合の間隙水圧は載荷重の 20～100 %の値をとる。

透水係数は、一般に $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下とする。この数値を確保できない場合には透水係数が $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下となるように土質材料の粒度調整を行うか、あるいは透水係数の設計値を緩和する場合には浸潤線が適切に低下するようコア幅を変更（広く）し、十分な浸透破壊に対する抵抗性を確認するなど設計上特別な配慮を行うことが必要である。

安定性の検討は全応力法によることもある。全応力法とは間隙水圧を介さずにせん断試験により、全応力でせん断強さを決定する方法であり、この場合のせん断試験は一般に三軸圧縮試験により、非圧密非排水条件（UU 条件）で行う。試験値は材料の性質、含水比等により大きく変化するので設計値の設定にあたっては慎重な検討を必要とする。

3. 安定計算

堤体及び基礎地盤のすべり破壊に対する安定性の検討は原則として円弧すべり面についてスライス法により、表 2-5-9 の (1)から(6)の条件について行う。

表2-5-9 安定計算の条件

条件	計算対象のり面	堤体震度	水位	間隙圧
(1) 常時満水時	上・下流	100%	常時満水位	定常浸透圧
(2) 完成直後	上・下流	50%		工事中の間隙水圧残存
(3) 中間水位時 注)	上流	100%	常時満水位と最低水位の間の水位	定常浸透圧
(4) サーチャージ水位時	上・下流	50%	サーチャージ水位	定常浸透圧
(5) 設計洪水時	上・下流	0%	設計洪水水位	定常浸透圧
(6) 水位急低下時				
a) 日常水位急低下が行われるダム	上流	100%	常時満水位→最低水位 サーチャージ水位→洪水期制限水位	残留間隙水圧
b) その他のダム	上流	50%	常時満水位→最低水位	残留間隙水圧

注) 常時満水位と最低水位の間の水位で最も危険となるときの水位。

すべりに対する安全率 n は次式で表され、1.2 以上を確保する。

$$n = \frac{\Sigma\{cl + (N - U - N_e)\tan \varphi\}}{\Sigma(T + T_e)}$$

ここに、

N : 各スライスのすべり面上に働く荷重の垂直分力

T : 各スライスのすべり面上に働く荷重の接線分力（地震力を除く）

S : T 、 T_e とスライスの右と左の側面に働く有効土圧 P'_{n+1} 、 P'_n の合力（底面に平行と仮定）、ここに、 $\Sigma T = \Sigma\{S - (P'_{n+1} - P'_n)\} = \Sigma(S) - \Sigma(P'_{n+1} - P'_n) = \Sigma S$ の関係にある

U : 各スライスのすべり面上に働く間隙水圧の合力

N_e : 各スライスのすべり面上に働く地震時慣性力の垂直分力

T_e : 各スライスのすべり面上に働く地震時慣性力の接線分力

ϕ : 各スライスのすべり面における材料の内部摩擦角

c : 各スライスのすべり面における材料の粘着力

l : 各スライスのすべり面の長さ

なお、上式の安全率はすべり面沿いの滑動力に対する抵抗力の比として定義したものであるが、すべり面上の各スライスに働く地震時慣性力の接線成分 T_e が各スライスの重心ではなく底面に作用すると考えた場合の滑動モーメントに対する抵抗モーメントの比とみることができる。スライスの両側面に作用する有効土圧の合力はスライス底面に平行と仮定する。

ここで、 N 、 T 、 N_e 、 T_e 、 U は次のように表される。以下の式での記号の意味は次の通り。

ρ_w : 水の密度 (t/m ³)	γ_w : 水の単位重量 ($\rho_w \times g$)
ρ_t : 材料の密度 (t/m ³)	γ_t : 材料の湿潤重量 ($\rho_t \times g$)
ρ_{sat} : 材料の飽和密度 (t/m ³)	γ_{sat} : 材料の飽和重量 ($\rho_{sat} \times g$)
ρ_{sub} : 材料の水中密度 (t/m ³)	γ_{sub} : 材料の水中重量 ($\rho_{sub} \times g$)
g : 重力加速度 (m/s ²)	
ρ : 各スライスの密度 (t/m ³)	
V : 各スライスの体積 (m ³)	W : 各スライスの重量 ($\rho \times g \times V$)
b : 各スライスの幅 (m)	
θ : 各スライス底面の勾配	
k : 堤体の設計震度	
u : 間隙水圧 (kN/m ²)	

なお、この安定計算の定式化においては、本章 5.3.2 に記載している修正震度法と異なり、地震時慣性力のモーメントをスライス底面の位置に作用させているため、重心位置に作用させるよりも地震時慣性力のモーメントがやや大きめの値となる。

(1) 空虚時 (図 2-5-11 参照)

$$\begin{aligned}\Sigma N &= \Sigma (W \cos \theta) = \Sigma (bh \gamma_t \cos \theta) \\ \Sigma N_e &= \Sigma (kW \sin \theta) = \Sigma (kbh \gamma_t \sin \theta) \\ \Sigma U &= \Sigma (u l) \\ \Sigma T &= \Sigma (W \sin \theta) = \Sigma (bh \gamma_t \sin \theta) \\ \Sigma T_e &= \Sigma (kW \cos \theta) = \Sigma (kbh \gamma_t \cos \theta)\end{aligned}$$

ここに、 h : 各スライスの堤体上面からすべり面までの距離 (m)

(2) 満水時 (静水圧分布の場合) (図 2-5-12 参照)

$$\begin{aligned}\Sigma N &= \Sigma (W \cos \theta + \Delta E \sin \theta) \\ &= \Sigma \{ (W_s + W_w) \cos \theta + (E_n - E_{n+1}) \sin \theta \} \\ &= \Sigma \{ (\gamma_{sat} h_s + \gamma_w h_w) b \cos \theta + \gamma_w h b \sin^2 \theta / \cos \theta \} \\ &= \Sigma (\gamma_{sub} h_s b \cos \theta + \gamma_w h b / \cos \theta) \\ \Sigma N_e &= \Sigma (kW_s \sin \theta) \\ &= \Sigma (k \gamma_{sat} h_s b \sin \theta) \\ \Sigma U &= \Sigma (u l = \gamma_w h b / \cos \theta) \\ \Sigma T &= \Sigma (W \sin \theta - \Delta E \cos \theta) \\ &= \Sigma \{ (W_s + W_w) \sin \theta - (E_n - E_{n+1}) \cos \theta \} \\ &= \Sigma \{ (h_s \gamma_{sat} + h_w \gamma_w) b \sin \theta - \gamma_w h b \sin \theta \} \\ &= \Sigma (bh_s \gamma_{sub} \sin \theta) \\ \Sigma T_e &= \Sigma (kW_s \cos \theta) \\ &= \Sigma (kh_s \gamma_{sat} b \cos \theta)\end{aligned}$$

ここに、 h : 設定水面からすべり面までの距離 (m)

h_s : 各スライスの堤体上面からすべり面までの距離 (m)

h_w : 各スライスの設定水面から堤体上面までの距離 (m)

W_s : 各スライスの飽和重量 (kN/m)

W_w : 各スライス上面の水の重量 (kN/m)

E_n, E_{n+1} : 各土のスライスとその上の水柱の側面に作用する静水圧の合力 (kN/m)

ΔE : $E_n - E_{n+1}$ (kN/m)

(3) 部分貯水時 (浸透流がある場合) (図 2-5-13 参照)

$$\Sigma N = \Sigma (W \cos \theta + \Delta E \sin \theta)$$

$$= \Sigma \{ (W_1 + W_2) \cos \theta + (E_n - E_{n+1}) \sin \theta \}$$

$$= \Sigma \{ (\gamma_t h_1 + \gamma_{sat} h_2) b \cos \theta + (E_n - E_{n+1}) \sin \theta \}$$

$$\Sigma N_e = \Sigma \{ (W_1 + W_2) k \sin \theta \}$$

$$= \Sigma \{ (h_1 \gamma_t + h_2 \gamma_{sat}) b k \sin \theta \}$$

$$\Sigma U = \Sigma (u l)$$

$$\Sigma T = \Sigma (W \sin \theta - \Delta E \cos \theta)$$

$$= \Sigma \{ (W_1 + W_2) \sin \theta - (E_n - E_{n+1}) \cos \theta \}$$

$$= \Sigma \{ (h_1 \gamma_t + h_2 \gamma_{sat}) b \sin \theta - (E_n - E_{n+1}) \cos \theta \}$$

$$\Sigma T_e = \Sigma \{ (W_1 + W_2) k \cos \theta \}$$

$$= \Sigma \{ (h_1 \gamma_t + h_2 \gamma_{sat}) b k \cos \theta \}$$

ここに、 h_1 : 各スライスの堤体上面から浸潤面までの距離 (m)

h_2 : 各スライスの浸潤面からすべり面までの距離 (m)

W_1 : 各スライスの堤体上面から浸潤面までの部分の重量 (kN/m)

W_2 : 各スライスの浸潤面からすべり面までの部分の飽和重量 (kN/m)

ただし、堤体及び基礎地盤ですべり面が円弧にならないと推定される場合には、複合円によるスライス法、ウェッジ法または、修正 Fellenius 法等を用いて計算する。この場合も安全率は原則として 1.2 以上とする。

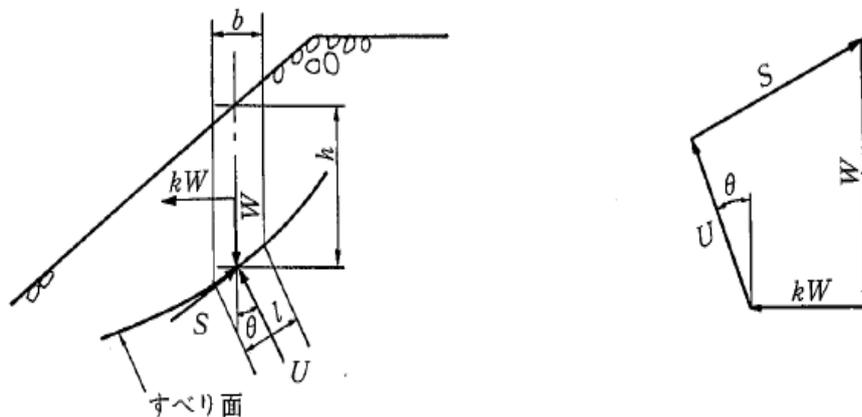


図2-5-11 スライス法による荷重 (貯水池空虚時)

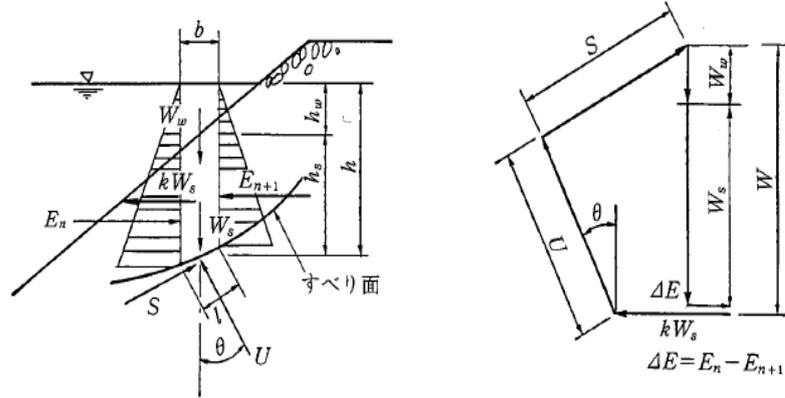


図2-5-12 スライス法による荷重（満水時、静水圧分布の場合）

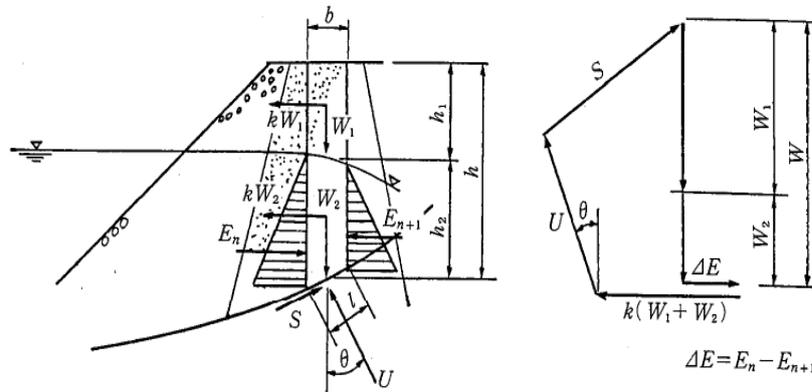


図2-5-13 スライス法による荷重
（部分貯水時、 E_n と E_{n+1} 、間隙水圧は浸透流解析から求める）

< 必 須 >

フィルダムの堤体及び基礎地盤は、施行規則第10条に規定される構造計算により、すべり破壊に対して所要の安全率を有するよう設計するものとする。

< 例 示 >

中央コア型ダムのように、遮水ゾーンの幅が狭く、遮水ゾーンのダムの安定性に及ぼす影響が小さいフィルダムでは、透水ゾーンのせん断強さを粘着力=0、内部摩擦角=一定と仮定すると、円弧すべり面法による場合のすべりに対する安全率は、無限斜面を想定した平面すべり面法による安全率に近似される。このため、堤体の上・下流面勾配を概略的に検討する場合に平面すべり面法が用いられることがある。

空虚地震時及び満水地震時における平面すべり面法によるすべり安全率の算定式を以下に示す。なお、ここで地震時の安全率の算定式を示したのは、すべり安定性に関しては地震時の安定性がより厳しい条件になることを考慮したことによる。

1) 空虚地震時 (図 2-5-14 参照)

$$N = W \cos \theta = br_t \cos \theta$$

$$N_e = kW \sin \theta = kbr_t \sin \theta$$

$$T = W \sin \theta = br_t \sin \theta$$

$$T_e = kW \cos \theta = kbr_t \cos \theta$$

$$n = \frac{(N - N_e) \tan \varphi}{T + T_e} = \frac{1 - k \tan \theta}{\tan \theta + k} \tan \varphi$$

ここに、 θ : 法面傾斜角
 φ : 材料の内部摩擦角

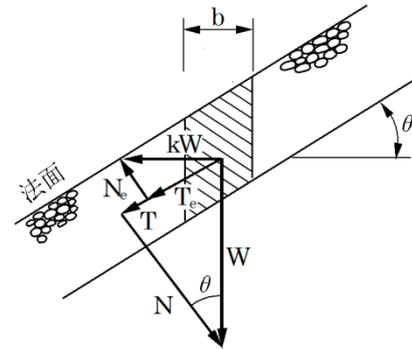


図2-5-14 無限斜面の単位体積に作用する力 (空虚地震時)

2) 満水地震時 (図 2-5-15 参照)

$$N = W \cos \theta = br_{sub} \cos \theta$$

$$N_e = kW \sin \theta = kbr_{sat} \sin \theta$$

$$T = W \sin \theta = br_{sub} \sin \theta$$

$$T_e = kW \cos \theta = kbr_{sat} \cos \theta$$

$$n = \frac{(N - N_e) \tan \varphi}{T + T_e} = \frac{1 - k \frac{r_{sat}}{r_{sub}} \tan \theta}{\tan \theta + k \frac{r_{sat}}{r_{sub}}} \tan \varphi$$

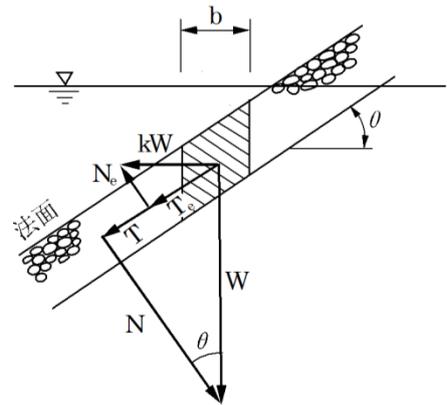


図2-5-15 無限斜面の単位体積に作用する力 (満水地震時)

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和 51 年 11 月 23 日，建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

フィルダムのすべり破壊に対する安全性については、下記の資料 1) が参考となる。また、スライス法については、資料 2) 及び資料 3) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編 / (社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) 建設省河川局開発課監修 / (財) 国土開発技術研究センター発行：フィルダムの耐震設計指針 (案)，平成 3 年 6 月。
- 3) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 6 月。

5. 3. 2 地震に対する安全性

<考え方>

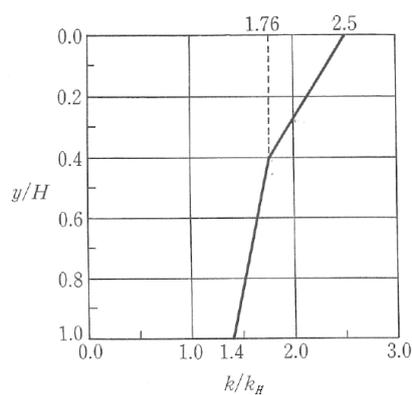
フィルダムが地震時に受ける被害には、堤体のすべり、沈下、亀裂、のり面のはらみ出し及び基礎地盤または、堤体の液状化による被害等がある。また、水理施設の受けた被害が原因でフィルダムの堤体にパイピングを生じさせることもある。したがって、フィルダムの堤体及び基礎地盤の設計においては、これらの被害が発生しないよう地震に対する安全性に十分配慮を払う必要がある。このため、フィルダムでは、構造令で示された震度法により耐震性を確認しているが、地震時の堤体応答を考慮した照査法である修正震度法によっても堤体の耐震性を確認することが基本である。

構造令に示されている震度法は一律の震度を堤体に加え、力のつり合いから安全性を判断する方法で、この方法により設計されたダムが、地震により大きな被害を受けた例がないことから、経験的にその有効性が実証されている。

一方、ダムの基礎地盤や堤体における地震観測、模型振動実験等のデータが蓄積されるにつれて、堤体の揺れ方が鉛直方向に一律でないこと、設計震度を上回る加速度を受けても大きな変状をきたさないことなどがわかってきた。このような背景を受けて、既設フィルダムの耐震性の評価結果や耐震設計に関する技術的知見を踏まえ、観測された地震動や堤体の応答特性を考慮し、標高に応じた地震力を考慮して堤体の耐震性を確認する方法として、修正震度法が提案された。この方法は、「フィルダムの耐震設計指針（案）」に示されている。

1. 修正震度法の使適用方法と安定計算

堤体に作用する地震力はすべり土塊の重量に設計地盤震度 (k_H) 及び図 2-5-16 に示す堤体震力係数を乗じることで求められる。また、設計に用いる粗粒材料のせん断強さについては、震度法では三軸圧縮試験から得られるせん断強さ $\tau = c + \tan \phi$ (c : 見掛けの粘着力、 ϕ : 内部摩擦角) の直線近似式に基づき、見掛けの粘着力 $c=0$ とするとともに、内部摩擦角 ϕ についてもばらつきを考慮することで設計上の余裕を確保した値を設計値として用いているが、修正震度法においては、指数近似曲線等の曲線近似式 (ϕ_0 法、もしくは Ab 法) によるせん断強さを採用し、低拘束圧条件下での強度を適切に評価して耐震性の確認を行う。



k : 堤体震力係数 k_H : 設計地盤震度



図2-5-16 堤体震力係数

修正震度法の安定計算は、円弧すべり面についてのスライス法を用い、次式によって安全率 n を求める（図 2-5-17参照）。

$$n = r \sum_{i=1}^n (\tau \cdot l_i) / \sum_{i=1}^n (M_{Di})$$

ここに、

τ : 材料のせん断強さ

M_{Di} : 各スライスの滑動モーメント、静水圧下のスライスでは $M_{Di} = \bar{W}_i \cdot r \cdot \sin\theta_i + k \cdot$

$W_i \cdot h_i$

\bar{W}_i : 各スライスの単位幅当たりの有効土柱重量（自由水面下については水中重量、自由水面より上位については湿潤重量）

W_i : 各スライスの単位幅当たりの全土柱重量（自由水面下については飽和重量、自由水面より上位については湿潤重量）

θ_i : 各スライスの底面が水平となす角度

r : すべり円弧の半径

h_i : すべり円弧の中心と各スライスに働く地震力の作用線との垂直距離

l_i : 各スライスのすべり面の長さ

k : 堤体震力係数

なお、上記の計算では、地震時慣性力は各スライスの重心に作用させうえて滑動モーメントを求めている。

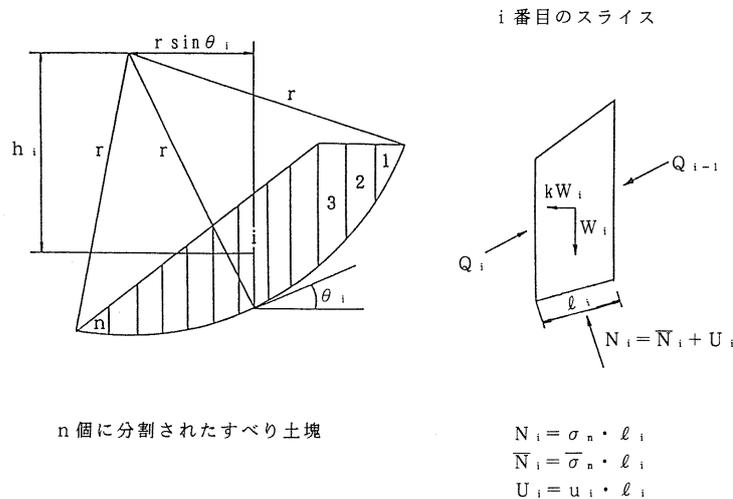


図2-5-17 スライス法

2. 修正震度法の適用対象

高さ 100m 程度以下のフィルダムについては材料物性値や実地震時挙動に関する経験の蓄積が多い。また、高さ 100m 程度以上となると堤体の固有周期が長くなり、岩盤における地震加速度の周波数特性などを考慮すると、修正震度法で示した堤体震力は減ずることができる可能性がある。このため、図 2-5-16 の堤体震力係数の適用範囲については高さ 100m 程度以下のフィルダムを基本としている。なお、高さ 100m 程度以上のダムに図 2-5-16 の堤体震力係数を用いた修正震度法を適用すると一般的に設計上安全側の対応となるが、検討対象の高さ 100m 程度以上のダムについては、地震時の挙動をより忠実に再現する動的解析等を行い、よ

り実態に即した堤体震力係数を求めたうえで修正震度法を適用することでより合理的な設計とすることも可能である。

<必須>

堤体及び基礎地盤は、地震時において所要の安全性を有するよう設計するものとする。

<標準>

高さ 100m 程度以下のゾーン型フィルダム及び均一型フィルダムでは、地震時の堤体応答を考慮できるよう標高に応じた地震力を用いて耐震性の確認を行うことを基本とする。

<例示>

フィルダムの地震時の挙動をより忠実に再現する方法として動的解析や模型振動実験がある。動的解析を行うにあたっては、(1)入力地震動の特性、(2)材料物性、(3)解析法、(4)解析結果の評価、の点について十分配慮する必要がある。模型振動実験は厳密に相似則を満足させて行うのは困難であるが、破壊等の性状を定性的に知るために使われることがある。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川開発課長通知：「フィルダムの耐震設計指針（案）」について、平成 3 年 4 月 1 日、建設省河開発第 49 号。

<参考となる資料>

フィルダム堤体の地震に対する安全性（修正震度法）については、下記の資料が参考となる。

- 1) 建設省河川局開発課監修／（財）国土開発技術研究センター発行：フィルダムの耐震設計指針（案）、平成 3 年 6 月。

5. 3. 3 地震時の強度低下に対する安全性の確保

<考え方>

緩い砂質地盤上に堤体を築造する場合や堤体材料に地震時の非排水繰返し載荷による過剰間隙水圧の上昇によりせん断強さの低下が生じることが予想される場合には、基礎地盤あるいは堤体について調査、実験、解析等による地震時の強度低下に対する安全性の検討を行う必要がある。なお、地震時の非排水繰返し載荷により著しい強度低下が発生した場合は液状化という。

基礎地盤について、地震時に強度低下が生じる可能性がある場合は、ダムサイトの再検討、対象となる砂質地盤の掘削除去ないしは地盤改良工法による確実な対策を検討する必要がある。堤体材料については、砂質土や粗粒材料に砂分が混入している場合には地震時に強度低下する可能性があるため、近代的工法により密に締固めることで地震時の強度低下に対する抵抗性は高まるものの、使用する材料の変更、砂質土を使用する場合の断面内の配置などを検討する必要がある。

砂質材料は、地震時に非排水繰返し載荷によって過剰間隙水圧が増加し、生じるひずみが大きくなるにつれて残留非排水せん断強度と剛性は低下していく。この低下の程度は、堤体材料の土質・締固め状態によって異なるので、詳細には現場条件を反映した供試体を用いて非排水繰返し三軸試験と非排水三軸圧縮試験を組み合わせることで評価することができる。一般に、良く締め固めるほど、同じ地震荷重によって生じるひずみは小さくなり、同じひずみによ

って生じる残留非排水強度と剛性の低下率は小さくなるため、同一の地震荷重を受けた後の残留非排水せん断強度と剛性は急速に増加して、地震荷重に対するすべり安全率は急速に増加する。

<標準>

フィルダムの設計においては、地震時においてその堤体または基礎地盤が過剰間隙水圧の上昇により強度が低下することを考慮して、十分な安定性の検討を行うことを基本とする。

<例示>

地震時による強度低下が生じる可能性がある土層の条件について例示する。

道路橋示方書・同解説 V耐震設計編によると地震時による強度低下が生じる可能性がある土層の条件として、以下に示す(1)～(4)の全てに該当する飽和砂質土層とされている。

- (1) 地下水位面が現地盤面から 10m 以内にある土層
- (2) 現地盤面から 20m 以内の範囲にある土層
- (3) 平均粒径 D_{50} が 10mm 以下で、かつ 10%粒径 D_{10} が 1mm 以下の土層
- (4) 細粒分含有率 F_c が 35%以下の地盤、または F_c が 35%を超えても塑性指数 I_p が 15%以下の土層

<参考となる資料>

地震時の強度低下の可能性のある土層条件については、下記の資料が参考となる。

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，平成 29 年。

5. 3. 4 浸透破壊に対する安全性

<考え方>

フィルダムの堤体及び基礎地盤は、あらかじめ発生が予想される浸透水圧、動水勾配等に対する安全性について検討する必要がある。

つまり、堤体及び基礎地盤は、浸透破壊が生じないように、浸透流速または浸透流による動水勾配を制限する必要がある。浸透破壊に対する安全性の検討のためには、浸透流解析が行われる。浸透流解析によって堤体内の間隙水圧、浸潤線を知ることが、すべり破壊に対する安全性の検討にも必要である。

1. 浸透流解析

浸透流解析は、一般に、均質体における定常浸透流の場合は与えられた境界条件のもとで Laplace の方程式を解くことにより、また非定常浸透流の場合には近似的に熱伝導型の方程式を解くことにより行われる。しかし、フィルダムの場合、定常流の場合でも境界条件が複雑であるため、数値解析による方法が一般的に用いられている。なお、以前は図式解法や模型実験が用いられることもあった。

浸透流解析は浸透流量と動水勾配の関係が Darcy の法則に従うとして行うが、結果の信頼性に大きな影響を及ぼすのは、解析に使用した仮定と実際の条件との相違であるので、解析結果を解釈する際には仮定と実際の条件との相違について十分留意する。

Darcy の法則は以下のとおりである。

$$Q = kiA$$

Q : 浸透流量 (m³/s)

k : 透水係数 (m/s)

i : 動水勾配

A : 浸透流の通過断面積 (m²)

2. 浸透破壊に対する検討

フィルダムの堤体及び基礎地盤の設計では、あらかじめ浸透水圧や動水勾配について検討し、クイックサンド、ボイリング及びパイピングなどの浸透破壊現象が生じないようにする。

浸透水圧は、浸透水が粒子に及ぼす力のことをいい、例えば一次元的浸透流を考えると、流入部と流出部間の平均的な浸透水圧は次式で表される。

$$P = i \gamma_w \quad (i = \Delta h / l)$$

P : 浸透水圧 (kN/m²)

γ_w : 水の単位体積重量 ($\rho_w \times g$)、 ρ_w : 水の密度 (t/m³)、 g : 重力加速度 (m/s²)

i : 動水勾配

Δh : 流入部と流出部間の水頭差 (m)

l : 流入部と流出部間の距離 (m)

したがって、動水勾配が大きくなると、浸透破壊に対する危険性は増すこととなり慎重な配慮を必要とする。浸透破壊は堤体材料、基礎地盤における不均一部及びクラック、堤体と基礎地盤との接合面に生じる可能性があり、設計、施工にあたっては慎重な配慮を必要とする。

堤体について浸透破壊に対する抵抗性を大きくする方法は、浸透水を極力抑制するとともに、いったん浸透した水は安全に堤外に排除することである。言い換えると、透水性が小さく浸透破壊に対する抵抗性の大きい遮水材料を用いること、遮水ゾーンの幅を広くし浸透経路長を長くすること、遮水ゾーンの締固めを十分に行うこと、粒度の適切な幅広いフィルターを設けること、クラックや不同沈下を生じない設計とすることである。基礎地盤に対する対策については本章 6.6 に示す。

特に堤体と基礎地盤の接触面付近はフィルダムの構造上の弱点でもあり、特にパイピングに対し慎重な配慮を必要とする。対策として、パイピングに対する抵抗性の大きい塑性に富む細粒材料を用いる、入念な締固めを行うなどがある。

施行規則第 10 条第 4 項 (本章 3.2 参照) において、遮水ゾーン (コアゾーン) 及びこれと基礎地盤との接合部 (コア敷) は貫孔作用 (パイピング) が生じてはならないことが規定されている。

< 必 須 >

フィルダムの堤体及び基礎地盤は、堤体と基礎地盤の接合部を含め、パイピングを含む浸透破壊に対して安全となるよう設計するものとする。

< 例 示 >

浸透流の解析方法と浸透破壊に対する解析方法について以下に例示する。

1. 浸透流の解析方法

前述したように、浸透流解析の方法としては、近年では数値解析による方法が一般的に用いられる。また、数値解析の方法としては、差分法、有限要素法などが用いられている。差分法は浸透流の方程式 (Laplace の方程式) を差分方程式に変換し、数値計算を行う方法であり、非定常浸透流にも適用することができる。

しかし最近では、有限要素法により解析される例が多い。この方法は非定常問題にも適用でき、かつ異方性、複雑な境界条件も考慮できるうえ、3次元の解析も可能であるが、一般には2

次元問題として取り扱われることが多い。

2. 浸透破壊に対する解析方法

浸透破壊に対する理論的な取扱いは一般に難しいが、次のような検討方法を参考として利用することができる。

(1) 限界流速による方法 (Justin の方法)

Justin は土粒子の径に対し、浸透流速の限界値を求め、粒子はその限界値を超えると移動しパイピングが発生するとした。このときの流速は限界流速とよばれ次式で表される。

$$V = \sqrt{\frac{W g}{A \gamma_w}}$$

ここに、 V ：限界流速 (m/s)

W ：土粒子の水中重量 (kN) $= (\rho - \rho_w) \times g$

ρ ：土粒子の密度 (t/m³)、 ρ_w ：水の密度 (t/m³)

A ：水流を受ける粒子の面積 (m²)

γ_w ：水の単位体積重量 ($\rho_w \times g$) (kN/m³)

g ：重力加速度 (m/s²)

上式から、粒径と限界流速の関係を求めたものを表 2-5-10 に示す。

表2-5-10 限界流速と粒径の関係

粒径 (mm)	限界流速 (cm/s)
4.0 ~4.8	20.0
2.8 ~3.4	17.0
1.0 ~1.2	10.0
0.7 ~0.85	8.5
0.4 ~0.7	7.0
0.25 ~0.5	4.2
0.11 ~0.25	3.5
0.075~0.11	2.5
0.044~0.075	2.0

土粒子径 d とその土粒子が移動しパイピングが発生する際の浸透の実流速、つまり限界流速との関係についての多くの研究成果をとりまとめたものを図 2-5-18 に示す。試験あるいは解析条件によって、同一粒径に対する限界流速は大きく変化することがわかる。また、天然の土粒子には種々の粒径のものが混じっており粒径の基準が定めにくい等の問題があるので、過去の研究成果の適用にあたっては試験及び解析条件を十分考慮した上で、十分な余裕を見込む等の配慮を行うことが望ましい。

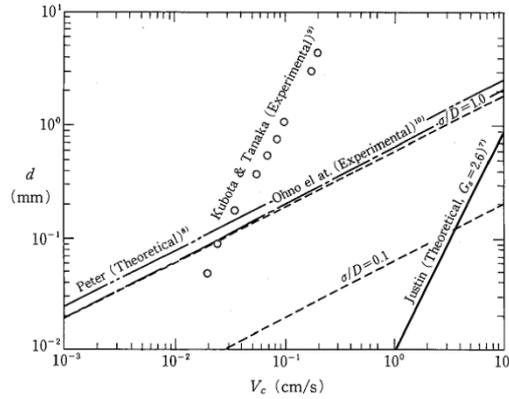


図2-5-18 砂あるいは砂質土の限界実流速

(2) 限界動水勾配による方法

水が静止している場合は土塊に作用する水圧は間隙水圧のみであるが、流れがある場合には浸透水圧を受ける。上向きの浸透を考慮すると、浸透水圧が大きくなっていくと土塊中の有効応力が小さくなり、やがてゼロになる。このときの動水勾配を限界動水勾配という。

Terzaghi は上向きの浸透水圧を受けた場合、限界動水勾配は次の式で表されるとした。

$$i_c = \gamma' / \gamma_w = (1 - n)(G_s - 1) = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

ここに、 i_c : 限界動水勾配

γ' : 土の水中単位体積重量 = $(\rho - 1) \times g$ 、 ρ : 土粒子の密度 (t/m³)

n : 土の間隙率

e : 土の間隙比

G_s : 土粒子の比重

γ_w : 水の単位体積重量 = $\rho_w \times g$ 、 ρ_w : 水の密度 (t/m³)、 g : 重力加速度 (m/s²)

土粒子の粘着力、かみ合わせ状態により土粒子間の抵抗力が変わるが定性的には土の塑性指数が大きい場合には抵抗力は大きく、塑性指数が小さくなるに従って小さくなる。粘着力がない細粒土の場合、限界動水勾配は 0.5~0.8 といわれている。

なお、過去の研究成果から対象地盤や堤体の限界流速、限界動水勾配を精度良く評価することは必ずしも容易ではない。そのため、必要に応じて、不攪乱試料や再構成試料を用いたパイピング試験を行い、限界流速や限界動水勾配を求める。ただし、この場合でも、試験結果のバラツキには十分留意する。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和 51 年 11 月 23 日，建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

フィルダムの浸透破壊に対する安全性の考え方は、下記の資料 1) が参考となる。また、解析については、資料 2) が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

5.3.5 ゾーニングによる設計上の配慮

<考え方>

ゾーン型フィルダムにおいて、遮水ゾーン、半透水ゾーン（フィルターゾーン）、透水ゾーン、上・下流面盛土等によるゾーニングは堤体の安全性や経済性を高める上で重要であるが、適切なゾーニングはフィルダムの耐震性も向上させる。地震時の安全対策上、効果的な対応を以下に記す。

(1) 良好なフィルターゾーンの配置

遮水ゾーンの上下流に良好なフィルターゾーンを配置することはゾーン境界付近における地震時の亀裂の発生を抑制に効果的である。

(2) 変形性の不連続を避ける

一般に剛性の著しく異なる材料が接している構造は地震時における応答特性・変形特性が異なるため、異種材料の境界付近において亀裂が発生しやすい。したがって、ゾーン型フィルダムでは透水ゾーンから遮水ゾーンにいたる間には、半透水ゾーンやトランジションゾーンが設けられるのが一般的で、結果的に変形性を漸変させる効果も得られる。

(3) パイピングに対する安全性

塑性的な遮水材料と適切な粒度の半透水性材料（フィルター材）の組合せは、遮水材料のパイピングに対する安全性を増し、間接的に耐震性を高める。

(4) 地震時の強度低下に対する安全性

耐震性は地震力に対するすべり安定性の他、地震時の強度低下に対する安全性についても配慮する必要がある。たとえば、ゾーニング対応の一つの対応として押え盛土を用いた場合、地震時のすべりに対する安全性を高めるだけでなく、基礎地盤の地震時の強度低下に対する安全性を高めることができる。

<標準>

ゾーン型フィルダムの堤体においては、安定性、変形性、浸透破壊、耐震性等を考慮して、遮水ゾーンの材料選定、半透水ゾーンのフィルター材料としての粒度設定、適切な強度と排水性を有する透水ゾーンの材料選定等を行い、各ゾーンの配置（ゾーニング）を合理的かつ適切に行うことを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和51年11月23日，建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

ゾーン型フィルダムのゾーニングについては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

5.3.6 上・下流面勾配

<考え方>

フィルダム堤体の上・下流面勾配は、堤体材料及び基礎地盤の特性、貯水池の運用計画、施工条件等の要素を考慮した上で、予想される荷重に対する安定計算を実施して所要の安全性を有するように決定する。

フィルダム堤体の上・下流面勾配は、本章 5.3.1 に規定する安全率を有するように決定する。なお、過去の実績等からフィルダムの上・下流面勾配については一般に次に示すような傾向がある。

1. 均一型フィルダム

均一型フィルダムの材料は、一般に比較的細粒でせん断強さが小さく間隙水圧の発生も大きいので、上・下流面勾配は他の型式のダムより緩くなる。

均一型フィルダムが土質基礎上に築造される場合、上・下流面勾配は基礎地盤の性質や弱層の分布に大きく左右されるので注意を要する。

上流面勾配は、堤体材料の性質、貯水位の変動範囲、水位低下速度等によって異なるが、下流面勾配に比べて一般に緩くなる。下流面はドレーンを効果的に配置することにより、間隙水圧の消散を図り浸潤線を低下させることができるので、この場合は下流面勾配を急にできる。

ダム高が高くなると、上・下流面勾配は緩くなる傾向にあるが、一般に上流面では1:3.0~1:4.5、下流面では、1:2.0~1:3.5程度である。

2. ゾーン型フィルダム

上流面勾配については、傾斜コア型ダムでは、せん断強さの小さい遮水ゾーンが上流面に近いので緩くなる。

中央コア型ダムあるいは中央コア型ダムに近い傾斜コア型ダムでは、遮水ゾーンに左右されることは少なく、透水ゾーンのせん断強さが支配的であり、傾斜コア型ダムに比べて特に上流面勾配を急にできる。

貯水位の変動が大きく、かつ水位低下速度が大きいダムで透水ゾーンの材料が細粒で排水性が劣る場合には、一般に上流面勾配は緩くなる。下流面勾配は、傾斜コア型、遮水ゾーンの薄い中央コア型で同等の条件である。

一般に上流面では1:2.2~1:3.4、下流面では1:1.7~1:2.8程度である（表 2-5-2 参照）。

3. 表面遮水壁型フィルダム

表面遮水壁型フィルダムでは、上流面勾配は水圧が安全側に働き、また、堤体内に間隙水圧が発生しないので、一般に急にできる。上流面勾配は遮水壁の施工条件により決まることが多いが、堤体材料のせん断強さが小さい場合には、その材料の性質に応じて緩くなる。

下流面勾配の設計条件は、ゾーン型フィルダムの場合と同じである。

<標準>

フィルダム堤体の上・下流面勾配は、フィルダムの型式、基礎地盤の特性、貯水池の運用計画、地震力を含む荷重条件等を考慮し、すべり破壊、浸透破壊、地震時の強度低下等に対する安全性を有するよう定めることを基本とする。

<参考となる資料>

フィルダム堤体の上・下流面勾配の考え方は、下記の資料 1) が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

5.3.7 堤頂幅

<考え方>

フィルダムの堤頂幅は、施工上の必要幅、完成後の使用目的等を考慮して定められるが、堤体の安全性を考慮し、余裕のあるものとする。

<標準>

フィルダムの堤頂幅は、施工にあたっての必要幅、完成後の使用目的とともに堤体の安全性等も考慮して定めることを基本とする。

<例示>

フィルダムの堤頂幅の例は表2-5-2に示すとおりであり、低いダムでは6～9m、高いダムでは10～15mとしている例が多い。

堤頂付近の標準的な構造を図2-5-19に示す。遮水ゾーン頂部は、フィルターで保護し、さらに、波浪による浸食を防止するために、岩片や砂利をよく締め固めた堤頂保護層を設ける。また、堤頂部を一般道路と兼用する場合は、堤頂保護層の上に路盤を設ける。

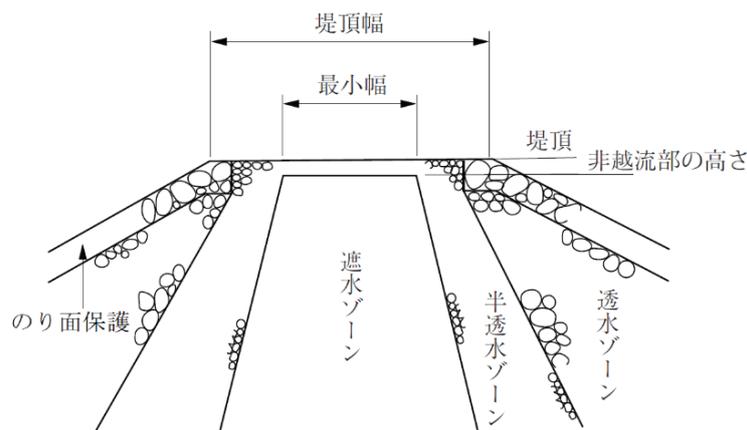


図2-5-19 堤頂付近標準図

<参考となる資料>

フィルダムの堤頂幅の考え方は、下記の資料1)が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

5.3.8 余盛り

<考え方>

フィルダムの堤体の余盛りは、その目的によって設計余盛りと施工余盛りに分けることができるが、一般に両者の合計を余盛りと称している。設計余盛りとは、ダム完成後に堤体または基礎地盤が自重、水圧、地震等によって沈下した場合に備えて設計上確保する余盛りで、施工余盛りとは、築堤施工中から築堤完了時まで生じる堤体の沈下量を対象として設計余盛り断面を確保するための余盛りである。

余盛りは、ダム軸方向にはダム高が高い中央部を高く、左右岸方向に低くするように曲線あるいは直線を組み合わせた形状とする。横断方向には堤址部付近の適切な位置で余盛りをゼロとして、その位置と頂部余盛りののり肩とを結ぶように上下流面勾配を補正した形状とする。

堤頂部における余盛りは、堤体の完成後予想される沈下量以上に行うが、沈下量は基礎の地質、堤高、堤体材料の性質、施工の方法等によって異なる。堤体の完成後の沈下は粒度分布がよく、大粒径のものを含む材料を十分締固めた場合、一般に1%以下である。したがって、堤頂部における余盛り高さは、ダム高の1.0～2.0%、細粒な土質材料を主体とするダムでは3.0～5.0%とするのが一般的である。

<標準>

フィルダム堤体の余盛り高は、沈下後においても遮水ゾーン頂部において構造令第5条の規定による非越流部高さが確保されるように堤体及び基礎地盤の変形を考慮して定めることを基本とする。

<参考となる資料>

フィルダムの堤体の余盛りの考え方は、下記の資料1)が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

5.3.9 上・下流面の保護

<考え方>

フィルダムの堤体の上・下流面は波浪、風、雨、気温の変化、貯水位の変動等により侵食作用、風化作用を受けるので、侵食防止のための保護が必要である。

上記の外的要因を踏まえ、表層には耐久性が高く、堅硬な材料を配置する必要がある。

表面遮水壁型ダム以外のダムの上流面の保護は、捨石、張石、コンクリートブロック張りなどによっており、下流面は、捨石、張石、張芝等によっている。

一般的な工法は捨石工で、その他の工法は良好な捨石材料が得られない場合か、または、得られても非常に高価な場合や景観等の周囲の条件から捨石工で施工することが難しい場合に限られている。その理由として捨石工は安価であり、上流面に用いる場合、波のはい上がり高さが低いので堤高を少し低くできること、沈下に対し順応性が大きいことがあげられる。適当な捨石材料が得られない場合、または、特に下流面では、美観上から張石工を使用することもある。張石工は捨石工より層厚を薄くできるが高価であり、また上流面については波のはい上がり高さが捨石工より高くなるので注意する。

上流面は、波の作用を受けるので波によって移動しない粒径の大きいものを所要の厚さに配置することが必要であり、その範囲は堤頂から最低水位以下2.0～3.0mまでとする。捨石工の厚さは、捨石の岩質、波高及び上下流面勾配により異なるが、粒径分布のよい捨石を利用した場合、0.5～1.0mである。

また、均一型フィルダムの場合、堤体を構成する遮水材料と捨石などの粒度の大きい材料の間に適切なフィルターを配置する必要がある。

<標準>

フィルダムの堤体の上・下流面には、堤体の侵食防止、風化防止等を考慮して、適切なのり面保護を行うことを基本とする。

<参考となる資料>

フィルダムの堤体の上・下流面の考え方は、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。

5.3.10 通廊（監査廊）**<考え方>**

フィルダムでは、遮水ゾーン下部の岩盤内に通廊（監査廊）を設けることにより、安全管理及び補修を容易にし、盛立とカーテングラウチングとを並行して行うことを可能にする。また、遮水ゾーンの盛立後、通廊（監査廊）周辺の岩盤に対して地表からのグラウチングを補強するために通廊（監査廊）内からコンタクトグラウチングを行うことにより、着岩部の施工に万全を期することができるなどの利点がある。

<標準>

フィルダムの遮水ゾーンの下部には、通廊を設けることを基本とする。なお、通廊は岩盤内に設けることを基本とする。

<例示>

通廊は一般に図 2-5-20 に示すように岩盤をオープンカットして岩盤内に設けられるが、岩盤が不均一で変形性の著しく異なるものがあったり、大規模な断層等がある場合には、特に通廊の断面、施工継目間隔及び位置等に配慮する。通常、通廊の施工継目間隔は、10m程度以下とすることが望ましい。堤体の築造に伴う通廊の継目の開きやズレは施工継目間隔が広がるほど大きくなるのが一般的で、基礎地盤を掘り込んで設けられる通廊の施工継目直上の堤体の遮水ゾーンの浸透破壊が懸念される。また、岩盤が不均一で変形性の著しく異なるものがあったり、大規模な断層等がある場合には施工継目の位置が継目の開きやズレの量に影響する。よって、施工継目の間隔及び位置を適切に設定するとともに、適切な止水構造を構築する必要がある。なお、岩盤が良好でなくオープンカット方式の通廊を設けることが強度不足、掘削面の崩壊あるいは過大な変形のため困難なときには、地山内にトンネル式の通廊を設ける等の配慮を行う。

そのほか、カーテングラウチングを行うためのグラウチングトンネルを通廊と連絡させてアバットメント部に設けることがある。

通廊に用いるコンクリートは、土木学会コンクリート標準示方書による。

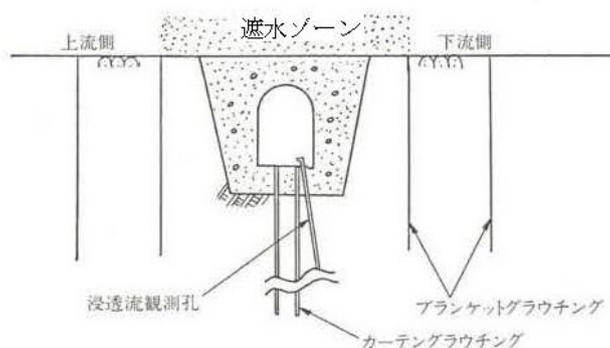


図2-5-20 通廊断面図

<参考となる資料>

フィルダムに設ける通廊の考え方は、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年6月。
- 2) 土木学会：2013 制定 コンクリート標準示方書(ダムコンクリート編)，平成25年10月。

5.4 水位低下用放流設備

<考え方>

フィルダムには堤体の点検及び補修、初期湛水時における水位制御、非常時における対処等を目的とし、貯水位の低下が可能な放流設備を設けておく必要がある。ただし、利水放流設備等の放流設備を有する場合には、その設備に貯水池の水位低下機能を兼用させることができる。

なお、構造令第4条第5項（本章3.1参照）に定められるように放流設備等の水理構造物は、フィルダムの堤体内には設置しないものとされており、水位低下用放流設備も同様である。

水位低下用放流設備は、貯水池の規模及び低下水位、フィルダムの型式、他の目的の放流設備の有無、貯水位低下の目的等を考慮して定められる。

貯水位の低下により、本章5.3.1に規定する安定計算の条件以外の条件が予想される場合には、その条件に従ってダム堤体や基礎地盤の安定性への影響を確認しておく必要がある。この場合には、通常地震力は考慮されない。

<必須>

フィルダムには、貯水池の水位を低下させることが可能な放流設備を設けるものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和51年11月23日，建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

フィルダムに設ける水位低下用放流設備の考え方は、下記の資料1)が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。

5. 5 計測装置の設置

<考え方>

ダム の安全管理の基本となる計測装置は、構造令第 13 条（本章 4.7 参照）において定められている。

また、地震時においてはダム の安全性を迅速に確認することが求められ、最寄り地点で気象庁震度階 4 以上または基礎地盤相当位置での加速度が 25gal 以上の地震が発生した場合に必要な地震後の臨時点検を実施する必要がある。このような一定の強さ以上の地震が発生した場合の臨時点検の実施の判断、損傷の推定、安全性の評価などを迅速に行えるように、構造令第 13 条で定められている計測装置に加え、地震計を設置する。

ダム の計測装置には、安全管理以外にも、施工中のダム の状態監視（施工管理）の目的及び各種の調査研究の目的で設置される埋設計器等がある。下記は計測全体における目的別の計測の種類と方法について以下に示すが、各目的に応じた適切な配置計画に基づいて、計測装置を設置することが重要である。

1. 安全管理

安全管理を目的とした計測の主な項目としては次のようなものがある。

- (1) 堤体及び基礎地盤の漏水量
- (2) 堤体及び基礎地盤の変位
- (3) 堤体及び基礎地盤の間隙水圧（水圧管、観測井など長期的に計測可能な計測設備）
- (4) 堤体の浸潤面（均一型フィルダム）
- (5) 堤体及び基礎地盤の地震時挙動

このほか、必要に応じ、次項に示す施工管理の目的で設置された埋設計器等の計測結果を活用する。

ダム の安全管理では、ダム が安全であるか否かに直接関係する値を確実に得ることが重要である。フィルダムでは安全性の判断は主として漏水量と変位によって行う。このとき個々の間隙水圧の測定は、漏水の計測に関し補助的な意味を持つ。

2. 施工管理

施工管理を目的とした計測としては、ゾーン型フィルダムの遮水ゾーン、または、均一型フィルダムにおける土圧計、間隙水圧などの計測がある。洪水吐きにおいてはコンクリートダムと同様に温度、応力・ひずみなどの計測を行うこともある。電気式の埋設計器の場合は、施工から試験湛水までの挙動計測が主目的である。

3. 調査研究

ダム の設計は多くの仮定のうえで行われている。これらの仮定が妥当なものであるか否かを確認、設計を合理化していくためには、実際のダム でその挙動を測定し解析することが必要である。

調査研究のための計測としては、解析の目的に応じて変位、土圧、間隙水位、地震時挙動（主として加速度、場合によって速度、変位）等がある。

<必須>

フィルダムには、その種類（型式）、規模（高さ）等に応じ、構造令第 13 条に規定する計測装置を設けるものとする。

<標準>

フィルダムには、地震動（地震時の加速度）を計測するための計測装置を設けることを基本とする。

<例 示>

計測装置の配置計画について以下に例示する。

(1) 安全管理**① 漏水量の計測**

フィルダムの漏水量は堤体の下流のり尻に締切り堰を設けて計測する場合が多い。この方法によるときには、地表水、湧水、堤体からの漏水、基礎からの漏水の合計量が測定されるので、湛水前から降雨による地表水及び湧水の量を測定しておかないと、貯水による漏水量を分離して把握できない。また、この方法ではダム下流の水位が高いときには、漏水量の計測は困難である。

これに対して漏水を一時的にのり尻の締切り堰付近の集水ますに貯留し、一定時間ごとに強制排水して漏水量を計測する方法もある。一方、漏水が堤体のどの部分からの漏水かを知るためには、遮水ゾーンの下流部に（フィルターの一部）小さな堰をいくつか設け、浸透水を集水し、パイプで通廊または、のり尻へ排水してこれを計測する方法がある。

通廊（監査廊）を設けたフィルダムで岩盤基礎の場合には、カーテングラウチングの下流側に浸透流観測孔を設けて地下水位分布を計測し、そこから得られる動水勾配と基礎地盤の透水係数から基礎地盤の漏水量を算出することもある。基礎地盤の漏水量を知ることは安全管理上意義が大きい。

② 変位の計測

変位測定は堤体内部の変位測定と表面の変位の測定に分けられる。

堤体内部の変位測定は、層別沈下計または、岩盤変位計等を施工段階から順次設置し、施工中から実施しておく。層別沈下計は、通常、間隙水位計、土圧計等を設置する1～2断面に1～2基設置する。岩盤変位計は、堅岩部にアンカーをとり、通廊（監査廊）に引き出すかまたは、層別沈下計に接続し、特に基礎の弱層部で設計上沈下量が大きいと懸念される部分に設置する。

表面変位は、視準測量によって計測されるので、確実であり、しかも堤体の巨視的な挙動が測定できる。表面側点は堤体天端に10～15点ぐらいを配置し（測点間隔が15mより短くなるときには15m間隔）、これをほぼ等間隔に格子状に、下流面及び水位が下がる範囲の上流面に配置する。

安全管理のための計測では、表面変位の測定が有効な場合が多い。

なお最近では、表面変位の測定において、地震時のように迅速に計測結果が求められる場合にも有効なGPS変位計測システムの導入事例も増えている。

③ 間隙水圧の計測

間隙水圧の計測は、湛水後の挙動の安定が確認されたダムの安全管理ではそれほど重視されないことも多いが、均一型フィルダムや水位急低下を日常的に行うダムでは重要である。

基礎地盤の間隙水圧については、カーテングラウチングの効果を調べたり、基礎の浸透流の挙動を知るうえで役立つ場合がある。

④ 浸潤線の計測

均一型フィルダムでは、ドレーンが有効に働き浸潤線が下流面に出てないことを確認するために、水位観測孔を設けて浸潤線を計測することが一般的である。

ゾーン型フィルダムにおいて下流側ゾーンの排水機能が低いと予想される場合も、同様である。

⑤ 地震計

地震計は地震時の堤体基礎部及び天端部の加速度を正確に測定できるような位置に配置する。なお、洪水吐きのピア部などの堤体天端と応答が異なると考えられる部分では堤体の天

端部の加速度を正しく測定できないので注意を要する。

(2) 施工管理

均一型フィルダムや遮水ゾーンの幅の広いゾーン型フィルダムでは、施工中に間隙水圧が消散しにくく、盛立速度が間隙水圧の大きさによって制限される場合がある。間隙水圧計をこのような施工管理の目的で配置するときには、堤体材料によって異なるが、代表的な1～2断面に約10 m間隔程度に配置するのが標準的である。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和51年11月23日，建設省河政発第70号。
- 2) 国土交通省河川局河川環境課長通知：地震発生後のダム臨時点検結果の報告について，平成20年10月28日，国河流第3号。
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局長通達：国土交通省河川砂防技術基準 維持管理編（ダム編）について，平成26年4月1日，国水情26号。

<参考となる資料>

計測装置の設置の考え方は、下記の資料1)が参考となる。また、計測計画上の留意点は、資料2)が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第7巻 設計I編，平成17年6月。

第2章 ダムの設計

第6節 ダムの基礎地盤の設計

目次

第6節	ダムの基礎地盤の設計	1
6.1	基礎地盤の設計の基本	1
6.2	基礎地盤の特性の把握	2
6.2.1	基礎地盤のせん断強度特性	2
6.2.2	基礎地盤の変形性	4
6.2.3	基礎地盤の遮水性	6
6.3	コンクリートダムにおける基礎地盤の設計	8
6.3.1	基礎地盤の安定計算	9
6.3.2	基礎排水孔	12
6.4	フィルダムにおける基礎地盤の設計	12
6.4.1	基礎掘削線と基礎処理	13
6.5	基礎地盤の改良	13
6.6	グラウチングによる基礎処理計画	14
6.6.1	コンソリデーショングラウチング	16
6.6.2	ブランケットグラウチング	18
6.6.3	カーテングラウチング	19
6.7	グラウチング以外の基礎処理	21
6.7.1	弱部処理	21
6.7.2	砂礫基礎における基礎処理	2
6.7.3	岩盤・砂礫以外の基礎における基礎処理	3

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第6節 ダムの基礎地盤の設計

6.1 基礎地盤の設計の基本

<考え方>

ダムの基礎地盤とは、岩盤基礎、土質基礎を問わず、ダムの堤体を通じて伝えられる外力に対して、工学的な抗力（せん断摩擦抵抗力、支持力等）が生じ、かつ工学上必要な水密性を得なければならないと考えられるダムの堤体の直下及びその付近の地盤をいう。

ダムの基礎地盤の構造の原則については、構造令第4条第1項及び第4項（本章3.1参照）において、定められている。

ダムの基礎地盤は、堤体との接合部及び基礎地盤内部でのせん断、変形及び浸透破壊に対して、十分な安全性を確保する必要がある。そのため、地質状況、ダムの型式、規模等に応じて、基礎掘削線（範囲）を適切に設定するとともに、必要な基礎処理の設計を行う必要がある。基礎処理の目的には大きく遮水性、変形性、せん断抵抗性等の改良がある。その改良目標は、ダム型式、水理地質構造等の地質、地盤の透水性状、地盤の改良特性等に応じて設定する。以下に、遮水性、変形性、せん断抵抗性等の改良方法とその効果について示す。

1. 基礎地盤における遮水性の改良方法（グラウチング）

グラウチングによる遮水性の改良度合は、岩盤基礎についてはルジオン値、砂礫基礎及びその他の土質基礎については透水係数によって一般に把握される。これは浸透流に関するそれぞれの基礎地盤の特性に基づくものであり、また、それによる既往の資料も整っているため、判断基準が得やすいことによる。

カーテングラウチング（本章6.6.3参照）の改良目標値は、従来、コンクリートダムで1～2 Lu、フィルダムで2～5 Luとダム型式により一律に設定されてきたが、現在、改良目標値はダム型式以外にも水理地質構造等の地質、地盤の透水性状、グラウチングによる地盤の改良特性等に応じて適切に設定することとしている。

なお、グラウチングには基礎地盤の密度あるいは変形性を改良する効果があると考えられるが、基礎地盤の強度を支配していると考えられる割れ目に介在する粘土等は、そのまま改良されずに残る可能性があり、定量的に改良度を把握することが困難なため、強度、変形性とも設計にあたってグラウチングによる改良を見込んだ値を用いることは一般には行っていない。

2. 基礎地盤における変形性、せん断抵抗性等の改良方法

基礎地盤の変形性、せん断抵抗性等に著しい不均一さ、あるいは弱点がある場合には、基礎掘削線（範囲）を適切に設定するとともに、必要なコンクリート置換などの対策（改良）を行う。

重力式コンクリートダムで強度の不均一さが問題になる例としては、堤体の下流端付近に良好でない岩盤が存在する場合がある。このような場合、その部分の安全率が著しく低下するので、コンクリート置換え等の設計上の配慮が必要となる。

変形性の不均一さが問題となり、検討が必要とされる事項としては、アーチ式コンクリートダムでは堤体や基礎地盤内の応力分布、重力式コンクリートダムでは主として基礎地盤内の応力分布、フィルダムでは堤体及び洪水吐きの沈下などがある。

<必須>

ダムの基礎地盤は、堤体から伝達される荷重に対して安全であるとともに、貯水池からの浸透流に対して所要の遮水性を有するよう設計するものとする。

<例 示>

基礎地盤のせん断強度、変形性、遮水性についての試験方法、評価指標、対策工法についてまとめると表 2-6-1 のとおりとなる。

表 2-6-1 基礎地盤の試験方法、評価指標、対策工法

	試験方法	評価指標	対策工法
強度	原位置ブロック（ロック）せん断試験、三軸圧縮試験、一面せん断試験	せん断強度 τ_0 、内部摩擦係数 f 粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ	断層処理 岩盤プレストレス工法等
変形性	ジャッキ試験（平板載荷試験） 孔内載荷試験 三軸圧縮試験	弾性係数 E 変形係数 D	コンソリデーショングラウチング 断層処理等
遮水性 (透水性)	ルジオンテスト ダルシーの法則に基づく透水試験	ルジオン値 Lu 透水係数 k	カーテングラウチング ブラケットグラウチング コンタクトグラウチング 断層処理、ブランケット リリーフウェル、ドレーン 遮水壁（連続地中壁）等

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日 建設省河政発第 70 号。
- 2) 国土交通省河川局長通達：国土交通省河川砂防技術基準 調査編について、平成 24 年 6 月 29 日 国水情 26 号。
- 3) 国土交通省河川局治水課長通知：グラウチング技術指針について、平成 15 年 4 月 1 日、国河治第 263 号。

<参考となる資料>

基礎地盤の設計の考え方としては、下記の資料 1) が参考となる。また、グラウチングによる改良効果としては、下記の資料 2) 及び 3) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) (財) 国土技術研究センター：グラウチング技術指針・同解説，平成 15 年 7 月。
- 3) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 1 月。

6. 2 基礎地盤の特性の把握**6. 2. 1 基礎地盤のせん断強度特性****<考え方>**

コンクリートダムで必要とされるものは、一般に基礎地盤（岩盤）のせん断摩擦抵抗力であり、その値は原則として原位置試験を行って求める。試験は、基礎地盤（岩盤）となる各岩級の代表的な分布箇所において実施する必要がある。ただし、試験を多数実施することが困難な場合において、地質工学的性状の類似性を十分確認した上で他ダムの原位置試験結果を参考に設計値を定めることができる場合はこの限りでない。

基礎地盤（岩盤）のせん断摩擦抵抗力は、以下の方法によって、原位置試験結果から決定する。

岩盤面に作用する垂直応力を種々変化させたときの単位面積当たりのせん断摩擦抵抗力 τ を図 2-6-1 のように整理し、次式によって各強度定数を算出する。この場合、破壊時の作用応力はそのダム基礎地盤（岩盤）に作用すると考えられる応力の範囲を考慮して選択される。

$$\tau = \tau_0 + f \cdot \sigma$$

τ_0 : 基礎地盤（岩盤）のせん断強度（ kN/m^2 ）

f : 基礎地盤（岩盤）の内部摩擦係数

σ : 垂直応力（ kN/m^2 ）

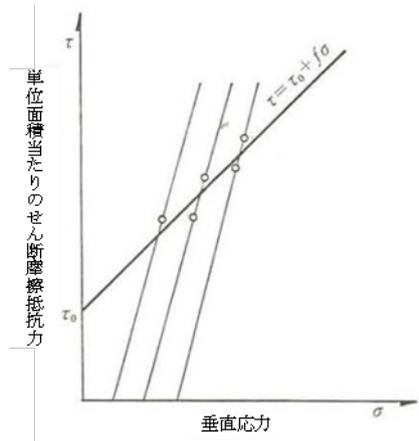


図2-6-1 原位置せん断試験結果の例

フィルダムについては、基礎地盤のせん断強度の面からの制約は一般的には少ないが、軟岩あるいは土質、砂礫基礎などのように堤体及び基礎地盤が一体となったすべりの安定性について検討する必要があるときは、室内試験等を行い、基礎地盤のせん断強度を決定する。

<標準>

基礎地盤の設計に用いるせん断摩擦抵抗力は、原位置試験の結果を基に、基礎地盤の性状等を考慮して決定することを基本とする。

<例示>

せん断摩擦抵抗力の原位置試験は、岩盤上に図 2-6-2 に示すように、標準 60×60cm のコンクリートブロックを打ち込み、その上面及び傾斜を設けた側面に同時に垂直力を加え、底面にせん断破壊を起こさせることにより行われる（ブロックせん断試験）。

試験せん断面は、横坑掘削等による人工的な緩みの影響のないようにしなければならない。通常、横坑の底面では、深さ 30cm 程度まではこの影響があるとみられており、この程度まで手掘りによって除去され、ていねいに清掃される。また、図 2-6-3 のように切り出された岩塊を包むように造成されたブロックによりせん断試験を行うこともある（ロックせん断試験）。

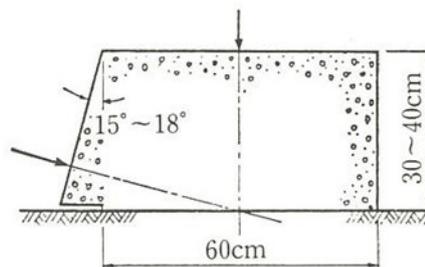


図2-6-2 ブロックせん断試験

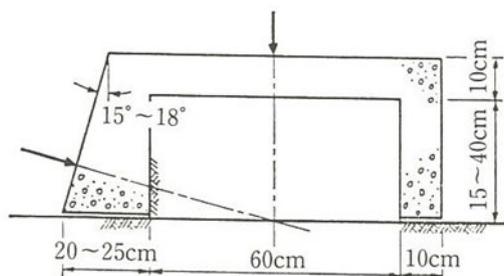


図2-6-3 ロックせん断試験

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日 建設省河政発第 70 号。
- 2) 国土交通省河川局長通達：国土交通省河川砂防技術基準 調査編について、平成 24 年 6 月 29 日 国水情 26 号。

<参考となる資料>

基礎地盤のせん断強度特性の考え方としては、下記の資料 1) が参考となる。また、せん断摩擦抵抗力の事例としては、下記の資料 2) 及び 3) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成 12 年 1 月。
- 2) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編、平成 17 年 1 月。
- 3) 土木学会岩盤力学委員会：原位置岩盤試験法の指針、平成 12 年 12 月。

6. 2. 2 基礎地盤の変形性

<考え方>

ダム設計を行う際に、特に基礎地盤（岩盤）の変形を考慮して解析を行う場合は、弾性係数または変形係数を用いる必要があり、原則として原位置試験を行って求める。試験は、基礎地盤（岩盤）となる各岩級の代表的な分布箇所において実施する必要がある。

基礎地盤の弾性係数・変形係数を求める現地での直接荷重による原位置試験は、ジャッキ試験によることが多いが、任意の深度で試験できることから補助的に孔内荷重試験を用いることもある。ジャッキ試験は、荷重をオイルジャッキによって荷重伝達板を介して岩盤面に作用させ、岩盤の変位が測定される。その荷重伝達板には、等変位荷重を目的として剛体円板を用いるもの（平板荷重試験）と、等分布荷重荷重を目的としてフラットジャッキを用いるものがある。なお、最近では、フラットジャッキはほとんど用いられていない。試験面は、せん断試験と同様に人工的な緩みを取り除くようにする。また、孔内荷重試験では、試験面となる孔壁を直接観察したり触れたりすることができないため、ボーリングコア観察やボアホールテレビなどでその状況を確認することが重要である。

<標準>

基礎地盤の変形を考慮して設計を行う場合には、基礎地盤の弾性係数または変形係数は、原位置試験を行い決定することを基本とする。

<例 示>

ジャッキ試験（平板載荷試験）による弾性係数の評価方法とその他の変形性の評価方法について以下に例示する。

1. ジャッキ試験（平板載荷試験）による弾性係数の評価方法

剛体円板を用いたジャッキ試験（平板載荷試験）により弾性係数を求めるには、図 2-6-4 に示すような荷重方法によって荷重を載荷し、得られた図 2-6-5 のような荷重変位曲線における急勾配で直線的な線上の点の値を用いて、次式によって計算する。なお、変形係数を求める際にも同式を用いる。

$$E_r = \frac{(1-\nu^2)(F_2-F_1)}{2a(W_2-W_1)}$$

ここに、 E_r ：弾性係数 (N/mm²)

a ：剛体円板の半径 (mm)

ν ：ポアソン比

F_1, F_2 ：荷重変位曲線上の2点の荷重の値 (N)

W_1, W_2 ：それぞれ F_1, F_2 に対応する変位の値 (mm)

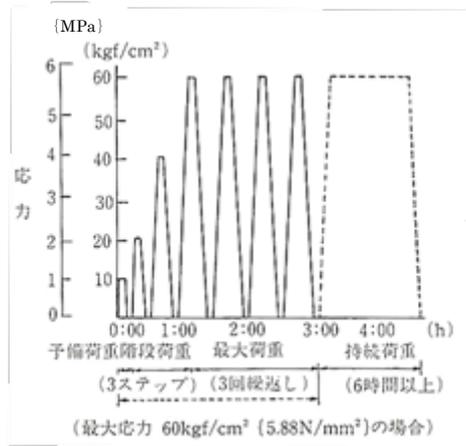


図2-6-4 荷重載荷方法の例

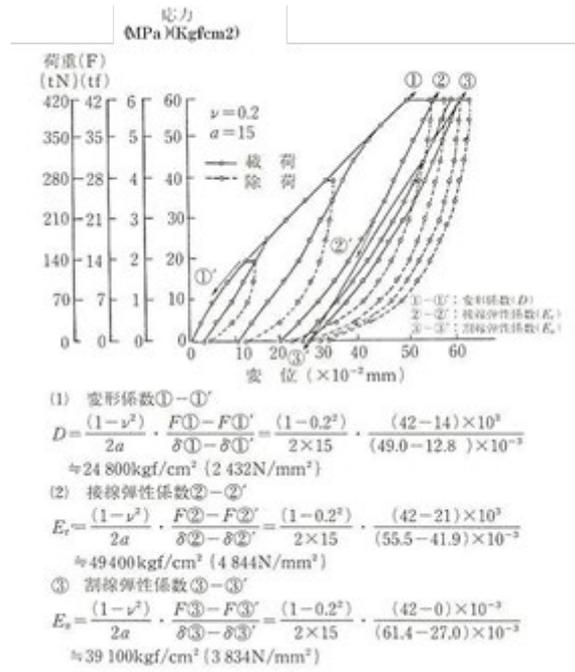


図2-6-5 荷重変位曲線の例

2. その他の変形性の把握方法

基礎地盤の変形性については、補助的手段として弾性波試験によっても概略的に把握することができる。

弾性波試験は、衝撃的な荷重によって生ずる弾性波の伝播速度を測定し、これにより岩盤の弾性係数を求めるもので、地山全体の状態を概略把握するために有効である。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日 建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

原位置試験の事例としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編, 平成 17 年 1 月。
- 2) 土木学会岩盤力学委員会：原位置岩盤試験法の指針、平成 12 年 12 月。

6. 2. 3 基礎地盤の遮水性

<考え方>

ダムの基礎地盤に求められる遮水性を確保するためには、基礎地盤の透水性を知ることが不可欠である。

基礎地盤の透水性を求める方法としては、比較的簡便に試験ができること、実用的に透水性の大小を知ることができること、直接ボーリング孔に水を圧入するのでグラウチングの資料を得やすいこと、ならびに測定値から簡単に透水性を求め得ることなどから、岩盤基礎においてはルジオンテストが一般に用いられる。

岩盤基礎でも風化部や断層部等のように限界圧力が低い場合は、静水圧だけによるルジオンテストである静水圧透水試験や、ピット法等による Darcy 則に基づく透水試験が行われることもある。その他、ボーリング孔を用いた地下水位観測が一般に行われる。

ルジオンテストの方法及び地下水位観測の方法について以下に示す。

1. ルジオンテストの試験方法と評価方法

- (1) ルジオンテストは、ボーリング孔に水を圧力注入し、得られた有効注入圧力と注入量の関係から岩盤の透水性を表すルジオン値や限界圧力を求めるもので、ボーリング孔 1m につき 0.98MPa の注入圧力で 1l/min の水が入ったとき、岩盤の透水性は 1 ルジオンであると規定し、例えば同じ 0.98MPa の圧力でボーリング孔 1m につき 9l/min 入れれば 9 ルジオン (Lu) である。
- (2) 調査の初期段階では一般に最大ダム高程度の深度までを調査範囲とする (図 2-6-6 参照)。ただし、比較的浅部で難透水性の地盤が確認された場合には、その後の調査深度を浅くすることも可能である。なお、カーテングラウチングの計画深度付近でもルジオン値が大きい場合は、さらに延長する。調査段階では、地質調査を目的として 20~40m 程度のグリッド間隔で設けられるボーリング孔でルジオンテストを実施する。
- (3) 各ボーリング孔のステージ別のルジオン値が得られたならば、これをダムサイトの断面図に記入し、ルジオン値分布図 (ルジオンマップ) を作成する。これは、その後のグラウチングの設計及び施工にあたって有効な資料となる。なお、このルジオンマップに併せて同一縮尺の地質図、岩級区分図も用意する。
- (4) ルジオンテストを行った場合、良好な岩盤では図 2-6-7 の①の曲線のように注入圧力 P と注入量 Q とは、注入圧力が 0.98MPa 程度以上まで比例することが多い。図 2-6-7 に

示すような注入圧力 P と注入量 Q の関係図を P - Q 曲線と呼ぶ。しかし、さらに注入圧力を上げると比例しなくなり、注入量が急速に増加してくる。また軟弱な岩盤の場合には、しばしば、注入圧力をそれ以上に上げることができない限界圧力が生じ、②の曲線のようなになる場合がある。このように、注入圧力として 0.98MPa を採用できない場合には、図 2-6-7 に示すように、図上で点線のように 0.98MPa まで外挿してルジオン値（換算ルジオン値）を求める。

一般に風化の進んだ岩盤では、大きな注入圧力を採用すると、限界圧力以下の岩盤の透水性を評価できないことがあるので、 0.98MPa 以下の圧力で試験を行わなければならない場合がある。このように限界圧力が低い場合のルジオン値は、 P - Q 曲線の限界圧力以下の直線部を 0.98MPa の圧力まで延ばして求める。

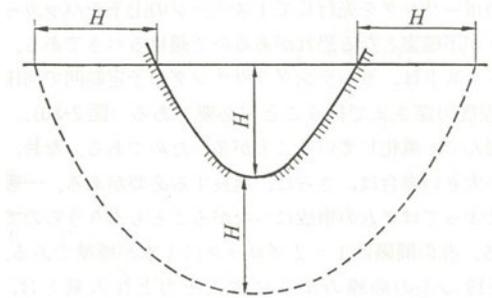


図2-6-6 ルジオンテストの範囲

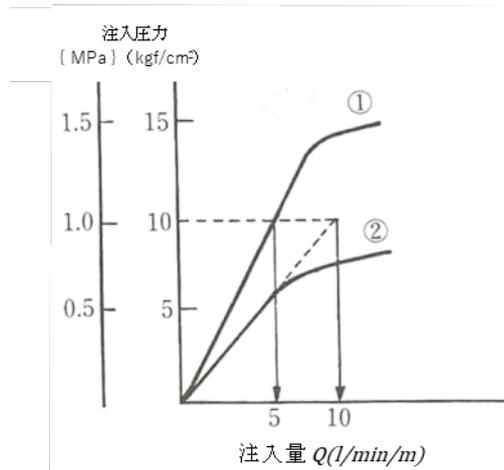


図2-6-7 P - Q 曲線とルジオン値の決め方

2. 地下水位の観測方法

貯水池の水位との関連で、いわゆるリム部のカーテングラウチングであるリムグラウチングの範囲を定めるにあたって、地下水位は極めて有力な情報である。これは、リム部における地下水位が貯水位より高くなる範囲では、湛水時に当該範囲の地盤を通じた浸透流が新たに発生することは考えにくいから、そのような範囲は遮水性改良のための基礎処理の施工範囲としないことが可能となるからである。なお、ダム施工時における基礎掘削により地下水位が変化（低下）する場合があるので注意が必要である。

地下水位は基礎地盤の透水性も反映しており、透水性の低い地盤に存在する地下水位は安定していることが一般的である。逆に透水性の高い地盤の地下水位は、降雨などの影響を受ける場合が多く、このため経時的な地下水位観測が必要になってくる。

また、不透水層の下に透水層がある場合には、上部の不透水層中に見掛けの地下水位が存在することがある。これを宙水とよぶが、真の地下水位ではないので注意が必要である。

<標準>

基礎地盤の遮水工法の設計及び遮水性の改良度の判定は、基礎地盤の地質状況等に応じた透水試験、地下水位観測等の結果に基づいて行うことを基本とする。

透水試験方法は、岩盤基礎においてはルジオンテストを標準とするが、その他岩盤の性状に応じて、静水圧による透水試験等を行うことを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日 建設省河政発第 70 号。
- 2) 国土交通省河川局治水課長通知：グラウチング技術指針について、平成 15 年 4 月 1 日、国河治第 263 号。
- 3) 国土交通省河川局治水課長通知：ルジオンテスト技術指針について、平成 18 年 1 月 20 日、国河治第 128 号。

<参考となる資料>

ダムの基礎地盤に求められる透水性の考え方としては、下記の資料 1) が参考となる。また、透水試験の方法や事例としては、下記の資料 2)、3) 及び 4) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成 12 年 1 月。
- 2) (財) 国土技術研究センター：グラウチング技術指針・同解説、平成 15 年 7 月。
- 3) (財) 国土技術研究センター：ルジオンテスト技術指針・同解説、平成 18 年 7 月。
- 4) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編、平成 17 年 1 月。

6.3 コンクリートダムにおける基礎地盤の設計**<考え方>**

コンクリートダムの基礎地盤は、堤体から伝達される力によるせん断及び変形に対して安全であるとともに貯水池からの浸透流に対して所要の遮水性を有することが必要である。

コンクリートダムの基礎地盤の設計は、ダムの高さ、型式、地盤の種類、断層・弱層の有無等によって異なるが、せん断、変形、浸透、地震時挙動等に着目し、堤体との関連において安全性の検討を行い、必要に応じて対策を検討する。

基礎地盤に弱層、断層等が存在する場合、また過度の変形、浸透流が生じる恐れのある場合、本章 6.3.1 の各種安定計算を行い、所要の安全性を有さない場合は、所要の安全性が得られるように基礎掘削線（範囲）を設定するか、堤体の形状の変更を行うとともに、必要な基礎地盤の改良を行う。

堤体の形状を変える方法として、重力式コンクリートダムの場合、フィレットやマット工の設置、特殊断面の採用等があり、アーチ式コンクリートダムの場合は配置設計、中心角の変更等の措置がある。

基礎地盤の改良には、グラウチング、コンクリート置換え等の断層処理、基礎排水等の工法がある。

<必須>

コンクリートダムの基礎地盤は、せん断による滑動破壊や貯水池からの浸透による浸透破壊を生じず、また変形により堤体の安定性を損なうことがないように設計するものとする。

<標準>

コンクリートダム基礎地盤の設計では、せん断による滑動破壊に対して所定の安全率を有さない場合は、堤体の形状を変えるか、基礎地盤の改良を行うことを基本とする。また、過度の変形、浸透流が生じる恐れのある場合も基礎地盤の改良を行うことを基本とする。

<参考となる資料>

コンクリートダムにおける基礎地盤の設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年1月。

6.3.1 基礎地盤の安定計算**<考え方>**

コンクリートダム基礎地盤の安定性については、施行規則第9条（本章3.2参照）において、定められている。

コンクリートダム基礎地盤は、堤体との接合部及び基礎地盤内におけるせん断力による滑動や変形に対し、必要なせん断摩擦抵抗力を有しなければならない。

基礎地盤における安全性確保の考え方について以下に示す。

1. 堤体接合部及び基礎地盤内におけるせん断に対する安定性

基礎地盤のせん断に対する安定性は、堤体形状との関連性が大きいことから、通常は、堤体及び基礎地盤を一体とした解析が行われる。このため、基礎地盤の安定性は、本章4.3.1及び4.4.1のコンクリートダム堤体の安定性とあわせて検討することが重要である。

堤体接合部及び基礎地盤内の想定せん断面におけるせん断に対する安定性については、Henny式を用いて検討し、4以上のせん断摩擦安全率が確保されることを確認する。

$$n = \frac{\tau_0 l + fV}{H}$$

n ：せん断摩擦安全率

H ：単位幅あたりのせん断面に作用するせん断力(kN/m)

V ：単位幅あたりのせん断面に作用する全垂直力(kN/m)（揚圧力を含む）

τ_0 ：せん断強度（堤体接合部と基礎地盤の小さい方の値）(kN/m²)

f ：内部摩擦係数（堤体接合部と基礎地盤の小さい方の値）

l ：せん断面の長さ(m)

2. 弱層の局部せん断に対する安定性

基礎地盤内にせん断破壊を生じやすい方向に弱層がある場合には、弱層沿いのせん断摩擦安全率、局所せん断摩擦安全率の検討が行われる。所要の安全率が確保されない場合には、堤体の配置設計、(座取り)または、形状を変えることになるが、基礎地盤面(掘削面)の変更もしくはコンクリート置換などの基礎地盤の処理を行って所要の安全率を確保する場合もある。

せん断面沿いの局所せん断摩擦安全率は、岩盤のせん断破壊がモール・クーロンの式に基づくと考えることで、次式により求める。局所せん断摩擦安全率は概ね2.0以上の値が目安となる。

$$n' = \frac{\tau_0 + f(\sigma - u)}{\tau}$$

ここで、 n' ：局所せん断摩擦安全率

τ_0 ：局所のせん断強度(kN/m²)

f ：局所の内部摩擦係数

- σ : せん断面沿いの垂直応力度 (kN/m²)
- τ : せん断面沿いのせん断応力度 (kN/m²)
- u : 局所のせん断面沿いの間隙圧 (kN/m²)

3. 変形に対する安全性

コンクリートダム基礎地盤の変形性が問題となることは一般的には少ないが、堤体と基礎地盤との接合面または、基礎地盤内に強度または、変形性の大きく異なる部分が存在する場合には、変形に伴う応力集中に対する安全性を検討することが重要である。また、堤体左右岸の端部に基礎掘削量や堤体積の削減を目的とした端部処理工を設けるような場合にも、せん断に対する安定性等の検討だけでなく、設計の前提として、その基礎地盤が必要な支持力を有し、有害な変形を生じないものである必要があることに留意することが重要である。

<必須>

コンクリートダムの基礎地盤は、予想される荷重による安定計算を行い、せん断及び変形に対する所要の安全性を確保するよう設計するものとする。

<例示>

コンクリートダムの基礎地盤内の弱層の局所せん断に関する安定性と基礎地盤の変形に対する安全性の検討事例を以下に示す。

1. 基礎地盤内の弱層の局所せん断に対する安定性検討事例

(1) 重力式コンクリートダムの場合、水平に近い弱層が存在するとき、そのせん断に対する安全性について検討が必要とされる場合が多い。図 2-6-8 はこのような弱層の存在が基礎掘削段階で判明したために、当該弱層沿いのせん断に対する安全性を検討した例を示したものである。このような場合、局所せん断摩擦安全率、せん断摩擦安全率ともに小さくなり、コンクリートによる弱層の置換えが必要となる。

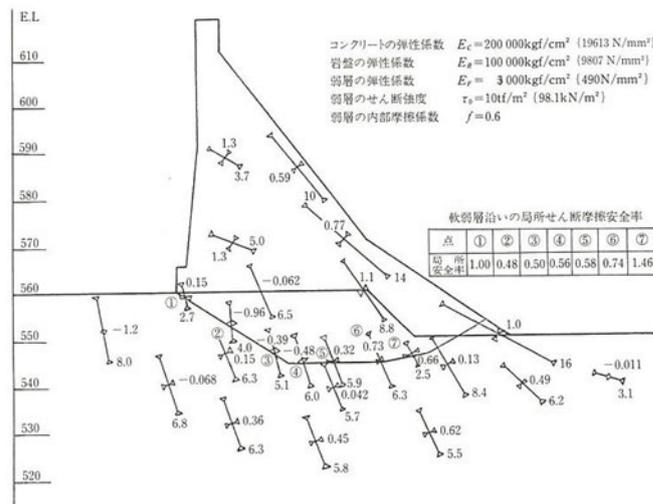


図2-6-8 水平に近い弱層がある場合の重力式コンクリートダムの応力及び局所せん断摩擦安全率

(2) アーチ式コンクリートダムの基礎となる岩盤では、特に、ダムからの荷重に対してすべりやすい方向に連続性のある弱層があるとき、そのせん断破壊に対する安全率が最も低い値を示す。一般的には、図 2-6-9 の (a) のように、ダムから作用する力と鋭角で交わる弱層がダムの直下流の地表面に抜けているとき、基礎岩盤のせん断破壊に対する安全率が極めて小さくなる。しかし、同図 (b) のように、弱層とダムから作用する力のなす角度が大きくなると、せん断方向の力の成分が小さくなるため安全率は比較的高くなる。また、弱層がダム

から離れている場合、作用する応力が小さくなり、さらに、せん断に抵抗する長さも長くなるので安全率も向上するが、荷重を受けるブロックが弱層で区切られ地山から分離しやすくなっているときは、この距離が大きくなっても全体としての安全率は大きくならないので注意を要する。なお、アーチ式コンクリートダム基礎岩盤における弱層の安定性は非常に重要な検討事項であり、2次元解析のみならず3次元解析による検討が行われる場合もある。

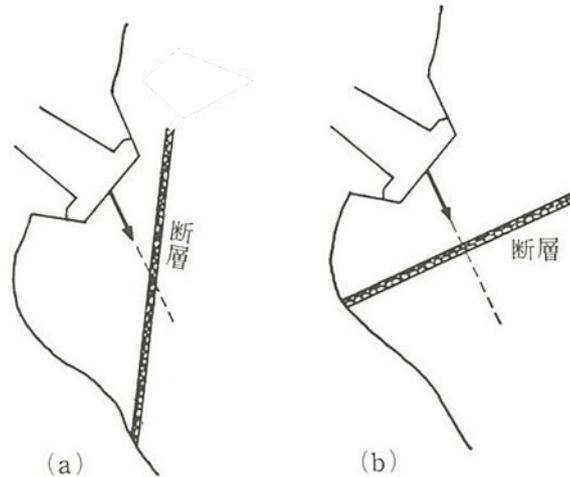


図2-6-9 アーチ式コンクリートダムの基礎岩盤における連続性のある弱層分布

2. 鉛直な弱層が存在する場合の安全性検討事例

図 2-6-10 は、鉛直な弱層が基礎地盤内に存在する場合の応力の分布を示したものである。この場合、堤体の下流端付近の基礎地盤と接触する部分に著しい応力集中を起こしている。これはいわゆるブリッジ作用によって、弱層より下流側の基礎地盤に大部分の荷重が伝達されるためである。また基礎地盤内の応力分布を見ても、堤体から作用する水平力は大部分が弱層より下流側の基礎地盤に伝えられていて、その部分の局所せん断摩擦安全率が小さくなっている。このような場合は、配置設計の再検討や変形に伴う応力集中を改良するために弱層に対してコンクリートによる置換え等の処理が必要となる。

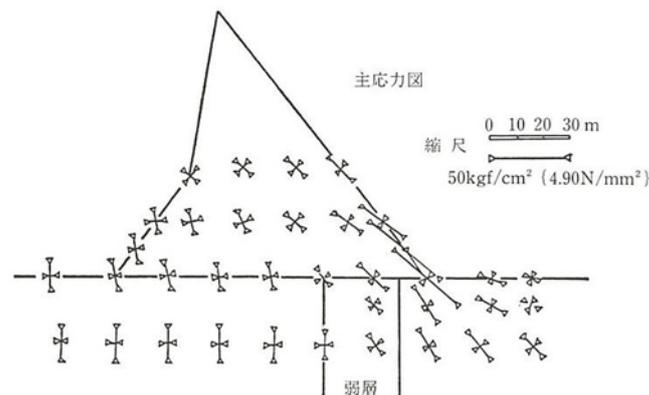


図2-6-10 垂直な弱層部が存在する場合の基礎地盤内応力

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日 建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

基礎地盤の安定計算としては、下記の資料 1) が参考となる。また、安定計算の事例としては、

下記の資料 2) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成 12 年 1 月。
- 2) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編、平成 17 年 1 月。

6. 3. 2 基礎排水孔

<考え方>

基礎地盤内の間隙水圧に起因する揚圧力は垂直応力を減少させ、それにより基礎地盤内のせん断面での摩擦抵抗力を減少させる。その結果、堤体の安定が損なわれる場合もあるので、揚圧力をできるだけ低減させる必要がある。そのため、通廊（監査廊）内からカーテングラウチング直下流に基礎排水孔を適切に配置する方法が標準的に用いられる。

基礎排水孔の設計では次の点に注意を要する。

1. 貯水池に近い位置に配置するほうが揚圧力低下の効果が高くなるので有利であるが、反面、貯水池に近い所ほど動水勾配が急になるので位置の決定には注意が必要である。一般に、基礎排水孔は、1 ブロックあたりの孔数は 3 本程度が配置されている。
2. 基礎排水孔では、揚圧力を計測するため圧力計を設置することが一般的である。必要に応じて、当該孔の排水量を計測するため流量計を設置する。
3. 排水処理については、ポンプを使わない自然排水が維持管理の面から有利となる。

<標準>

コンクリートダムでは、堤体の底面及び基礎地盤内に作用する揚圧力を低減させるため、適切な位置に基礎排水孔を設けることを基本とする。

<参考となる資料>

基礎排水孔の事例としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財) ダム技術センター：改訂 3 版 コンクリートダムの細部技術、平成 22 年 7 月。

6. 4 フィルダムにおける基礎地盤の設計

<考え方>

フィルダムは、コンクリートダムと比較すれば、基礎地盤に伝える応力が小さく、ある程度の沈下にも順応できるので、基礎地盤の条件による制約は少ない。しかし、基礎地盤の良否は、基礎掘削量やグラウチングの施工量に影響し、結果として建設費に大きな影響を及ぼすのでダムの設計にあたっては慎重な検討が必要である。

フィルダムの基礎地盤の設計は、ダムの高さ、型式（ゾーン型の場合はゾーンの種類）、地盤の種類・性状等によって異なるが、すべり、変形、浸透、地震時の強度低下等に目し、堤体との関連において安全性の検討を行い、必要に応じて対策を検討する。なお、地震時の強度低下に対する安全性については、5.3.3 に示す。

フィルダムの基礎地盤が、岩盤、砂礫等の基礎地盤の種類によって処理の内容、方法及び規模が異なるため、基礎条件に適応した基礎処理を設計する。

基礎地盤の改良工法には、グラウチング、遮水壁（連続地中壁）、ブランケット、ドレーン及びリリーフウェル、押え盛土等がある。

<必須>

フィルダムの基礎地盤は、すべり破壊や浸透破壊を生じず、また変形により堤体の過大な

沈下を生じたり安定性を損なったりしないよう設計するものとする。

<参考となる資料>

フィルダムにおける基礎地盤の設計としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年1月。

6. 4. 1 基礎掘削線と基礎処理

<考え方>

岩盤基礎は、一般に、特殊な欠陥がない限り、フィルダムの基礎地盤としては安全性が大きいので高いダムの建設も可能である。しかし、岩盤は、断層、亀裂、節理、シーム等の弱層が発達していることが多く、表層部には風化や緩みがあるため、所要の安全性が確保される岩盤まで掘削する。掘削の目標は、遮水ゾーンの基礎とする場合は遮水性の改良の可能性を考慮した良好な岩盤までとし、透水ゾーンの基礎とする場合はすべりを生じない範囲までとする。岩盤基礎の遮水性の改良は、主としてグラウチングにより行う。

岩盤基礎でも不等沈下やパイピングの原因となる弱層を含んだり、層状構造がすべり面となる層理面を形成することがあるので、注意を要する。

岩盤基礎には、新第三紀以降の固結度の低い堆積岩、低溶結の溶結凝灰岩及びマサのような風化岩等のいわゆる軟岩基礎が含まれている。これらの軟岩基礎は、変形性が大きく、強度が小さく、また透水性が大きいことが多い。また、堅硬な岩盤とは異なり、応力の解放、含水比の変化、乾湿の繰返しなどにより、たとえばスレーキングの発生など、性質が変化することが知られている。軟岩基礎の性質は、岩石の種類や生成の時代により異なっているので、適切な試験の結果に基づき、設計、施工を進めることが重要である。

<標準>

フィルダムの基礎地盤の設計では、せん断によるすべり破壊や貯水池からの浸透による浸透破壊を生じず、また変形により堤体の過大な沈下を生じたり安定性を損なったりすることがないように掘削範囲を設定するとともに、基礎処理による改良を設定することを基本とする。

<参考となる資料>

岩盤基礎における基礎処理としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編，平成17年1月。

6. 5 基礎地盤の改良

<考え方>

ダムの基礎地盤は、堤体の安全性とともにダムの貯水機能を確保するため、必要な強度と遮水性を有している必要がある。このため、基礎地盤の地質状況に応じて、適切に弱部の補強および遮水性の改良を行う必要がある。湛水後に漏水などの問題が生じてからでは処理が非常に難しいため、事前に基礎地盤の改良（基礎処理）を行うことが重要である。

基礎地盤のせん断強度、変形性及び遮水性に関する各種の試験結果を基に、基礎地盤の物理的な特性を適切に評価して、基礎処理方法を決定する。

基礎処理の方法の種類について以下に示す。

1. 遮水性の改良を目的とした場合、グラウチングは他の工法と比較して次のような利点があるので、優先して検討する。詳細は本章6.6に記す。

- (1) 施工実例が多く技術が一般化し定着している。
 - (2) 一般に、亀裂性の岩盤の遮水性の改良に適している。
 - (3) 広範囲の施工が比較的容易にできる。
 - (4) 施工の進捗と並行して、ルジオン値の低減等として効果が比較的容易に検証できる。
2. 通常のグラウチングでは改良されにくい場合、あるいは施工が困難である場合はダム型式、基礎の地質特性に応じた適切な他の工法を単独、あるいは併用して行う。
 3. 強風化部分等グラウチングによる改良の効果が期待できない部分に対しては、コンクリートなどの遮水壁（連続地中壁）による止水や基礎掘削線の見直し等を検討する。
 4. フィルダムの砂礫基礎の止水のためには、透水層の厚さ等に応じてコアトレンチ、土質材料を用いたブランケット、遮水壁（連続地中壁）などの工法を用いる。基礎地盤の浸透圧の処理のために堤体下流端付近にリリーフウェル、ドレーンなどの施設を設けることもある。
 5. 基礎処理を行って断層などの弱部の強度および変形性を改良する場合には、コンクリート置換えによることを原則とする。この場合周辺岩盤の遮水性と変形性の改良を図るために、グラウチングを併用するのが一般的である。

<必須>

基礎地盤の改良（基礎処理）の方法は、基礎地盤の特性を的確に評価した上で、ダムの型式と規模、地形、基礎地盤の地質及び透水性等に基づき、改良目的に応じた必要な効果が得られるよう決定するものとする。

<標準>

基礎処理の方法としては、遮水性の改良の目的には、基礎地盤が岩盤の場合はセメントミルクを用いたグラウチングを基本とし、岩盤でも強風化部分等や岩盤以外の基礎地盤の場合は、コンクリートなどの遮水壁（連続地中壁）、ドレーン、土質ブランケット等から所要の効果が効率的に得られる方法を選定する。弱部の改良の目的には、コンクリート置換え等から適切な方法を選定して行うことを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 国土交通省河川局治水課長通知：グラウチング技術指針について、平成 15 年 4 月 1 日、国河治第 263 号。

<参考となる資料>

基礎地盤の改良方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) 土木学会：ダム建設における水理地質構造の調査と止水設計，平成 13 年。
- 2) (財) 国土技術研究センター：グラウチング技術指針・同解説，平成 15 年 7 月。
- 3) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編，平成 17 年 1 月。

6. 6 グ라우チングによる基礎処理計画

<考え方>

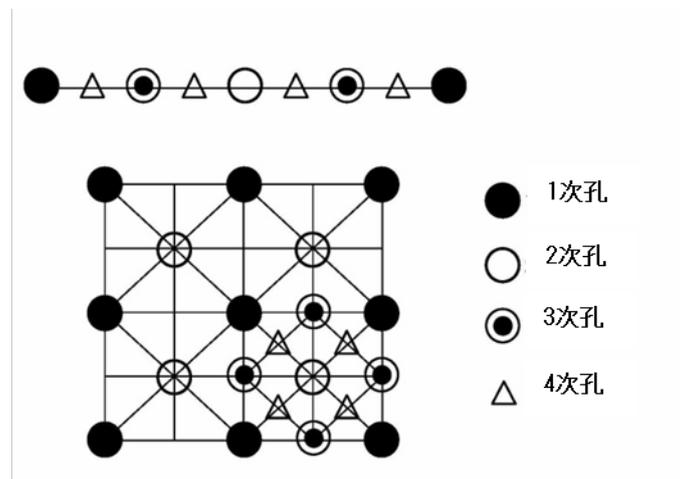
基礎処理のうち、ダムの基礎地盤に多数の削孔を行い、その孔を通じて基礎地盤にグラウトを注入し、地盤を改良する工法をグラウチングと呼ぶ。

グラウチングによる基礎処理計画を合理的に立案するためには、遮水性の改良が必要な地盤の性状と分布形態を把握することが最も重要である。このため、各ダムサイトにおける透水性と関連する地質的諸要因等の水理地質構造を把握するための調査を十分に行う。

グラウチングによる基礎処理計画について、本基準に明示していないものについては、「グラウチング技術指針」による。

以下に、グラウチングによる基礎処理計画の立案にあたっての留意点を示す。

1. グ라우チングは、他の工種と比較して、施工状況を常に分析しながら計画の妥当性の検証を行い、必要に応じて見直しながら進めることが特徴的である。これは、対象とする基礎地盤の条件が多様であること、地下の状況を簡単に数値化できないことなどに由来するものであるが、効果的なグラウチングを行うためには地質調査、ルジオンテスト等の調査を行うと同時に、施工段階に入ってから、資料を整理、分析して当初計画の妥当性を確かめ、必要に応じて計画の修正を行いながら進める。
2. ルジオン値が同一であっても、岩盤の種類や状況によってグラウチングの効果は異なってくる。すなわち、硬い岩盤で大きな割れ目が存在する場合は特別大きなオープクラックでない限り、一般に改良効果は高いが、軟岩や破碎風化岩の場合には全体として小さな間隙が存在し、水は通すがセメントを主材料としたグラウトは入らない場合があり、一般にグラウチングによる改良性が低い。したがって、このような場合にはグラウチングテストを行って、岩盤の改良特性を把握したうえで遮水性改良の確実性や経済性を考慮してグラウチングの採否の判断を行う。
3. 一般には過去の類似の例を踏まえつつ、ダムサイトの水理地質構造等に基づいて、グラウチングの計画を立案する。しかし、対象となる岩盤の注入特性が多様であり、既設ダムの実例をそのまま適用することが不相当であることもあるため、注意が必要である。
4. グ라우チングは、順次2孔の中央に実施する中央内挿法にて施工し（図 2-6-11 参照）、水押し試験または、ルジオンテストを並行して行い、改良目的を考慮して中央孔のルジオン値及びセメント注入量の低下を確認し、これらの減少等によって注入効果を判定する。この際、施工状況を分析しながら計画の妥当性を検証し、必要に応じて見直しすることが重要である。



(注) 図は、直線配置及び面的配置の中央内挿法の概念を説明したものである。

図2-6-11 中央内挿法の説明（平面配置）

<標準>

基礎地盤のグラウチングは、ダムの型式と規模、地形、基礎地盤の地質及び透水性等に基づいて、改良目的に応じた必要な効果が得られるよう計画することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。
- 2) 国土交通省河川局治水課長通知：グラウチング技術指針について、平成 15 年 4 月 1 日、国河治第 263 号。

<参考となる資料>

基礎処理計画の考え方としては、下記の資料 1) が参考となる。また、グラウチングの計画については、下記の資料 2) 及び 3) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成 12 年 1 月。
- 2) (財) 国土技術研究センター：グラウチング技術指針・同解説、平成 15 年 7 月。
- 3) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 4 巻 設計 I 編、平成 17 年 1 月。

6. 6. 1 コンソリデーショングラウチング**<考え方>**

コンクリートダムのコンソリデーショングラウチングは、着岩部付近において、カーテングラウチングとあいまって浸透路長が短い部分の遮水性を改良する、あるいは断層・破碎帯等の弱部を補強するために実施する。前者を遮水性の改良目的のコンソリデーショングラウチング、後者を弱部の補強目的のコンソリデーショングラウチングという。

なお、フィルダムの洪水吐きの着岩部付近において、遮水性の改良を目的として実施するグラウチングは、遮水性の改良目的のコンソリデーショングラウチングに含める。

コンクリートダムのコンソリデーショングラウチングの計画上の留意点を以下に示す。

1. 施工範囲

重力式コンクリートダムの遮水性の改良目的のコンソリデーショングラウチングは、堤敷上流端から基礎排水孔直下流の部分までの間または浸透路長が短い部分を、また弱部の補強目的のコンソリデーショングラウチングは、基礎地盤に作用する応力を考慮して、断層・破碎帯、変質帯、強風化部等の弱部を施工範囲とする。なお、重力式コンクリートダムでは、その堤趾部付近において大きな応力が作用するので、必要に応じて施工範囲に含める。

アーチ式コンクリートダムは、堤体幅が薄く、また基礎地盤に作用する荷重も大きいいため、コンソリデーショングラウチングは堤敷全面を施工範囲とする。

2. 改良目標値

重力式コンクリートダムの遮水性の改良目的のコンソリデーショングラウチングの改良目標値は、水理地質構造等を総合的に勘案して、適切に設定する。硬岩からなる亀裂性の地盤の改良目標値は、5Lu 程度とする。また、弱部の補強目的のコンソリデーショングラウチング改良目標値はルジオン値または単位注入セメント量によって設定する。ルジオン値で設定する場合には 10Lu 以下とする。

アーチ式コンクリートダムでは、一次、二次の 2 回に分けてコンソリデーショングラウチングを施工する。これは、アーチ式コンクリートダムにおいては、重力式コンクリートダムより変形性が小さい基礎地盤が要求されること、また継目グラウチング前の片持ち梁状態となる堤体の撓みによって生じているおそれのある基礎地盤の緩みに対応することによってしている。なお、改良目標値は一次で 5Lu 以下、二次で 2~5Lu 以下とする。

3. 施工時期

重力式コンクリートダム の 遮水性 の 改良 目的 の コンソリデー ション グラウチング は、作 業 性 及 び 注 入 効 果 の 向 上 を 図 る た め、本 体 コンクリート を 数 リフト 打 設 後 に 施 工 す る の が 一 般 的 で あ る。一 方、基 礎 地 盤 が 良 好 で セ メ ン ト ミ ル ク の リ ー ク や 有 害 な 地 盤 変 位 の 発 生 の お そ れ が ない 場 合 に は、カ バ ー ロ ッ ク を 残 し た 粗 掘 削 後 の 基 礎 地 盤 面 か ら 堤 体 打 設 前 に 直 接 施 工 す る 場 合 も あ る。ま た、弱 部 の 補 強 目 的 の コンソリデー ション グラウチング は、カ バ ー コンクリート 上 か ら 施 工 す る か、コ ンクリート 打 設 前 に 弱 部 を V 字 型 に 掘 り 下 げ て コ ンクリート を 打 設 し、そ の 上 か ら 施 工 す る こ と が 一 般 的 で あ る。

ま た、ア ー チ 式 コンクリート ダム の 一 次 コンソリデー ション グラウチング の 施 工 時 期 は、重 力 式 コンクリート ダム と 同 様 と す る が、二 次 コンソリデー ション グラウチング は、高 圧 注 入 を 行 う た め 所 定 の 高 さ ま で 堤 体 が 打 ち 上 が っ た 後 に 堤 内 通 廊 あ る い は 上 ・ 下 流 フ ー チ ング か ら 施 工 す る。

4. 孔の配置および深さ

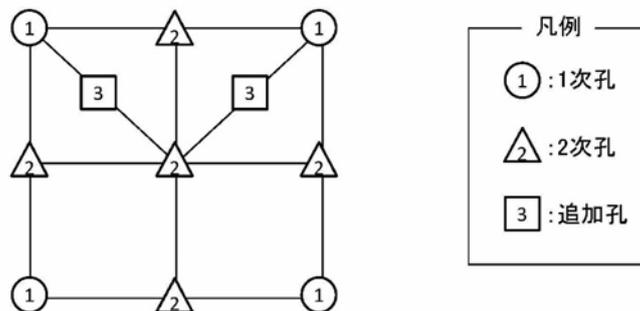
(1) 孔の配置

重 力 式 コンクリート ダム の 遮水性 の 改良 目的 の コンソリデー ション グラウチング で は、規 定 孔 で 3~6m 格 子 程 度 の 孔 配 置 を 標 準 と す る。一 般 的 な 孔 配 置 の 概 念 図 を 図 2-6-12 に 示 す。ま た、弱 部 の 補 強 目 的 の コンソリデー ション グラウチング で は、断 層 ・ 破 砕 帯 等 の 弱 部 の 幅 が 広 い 場 合 は 格 子 状 の 孔 配 置 と す る が、幅 が 狭 い 場 合 は 弱 部 を 挟 ん で 1~2 列 の 列 状 の 孔 配 置 と し て 弱 部 周 辺 も 含 め て 串 刺 す よ う に 施 工 す る。

ま た、ア ー チ 式 コンクリート ダム の 一 次 コンソリデー ション グラウチング 孔 配 置 は、重 力 式 コンクリート ダム と 同 様 に 3~6m の 格 子 状 に 配 置 す る。ま た、二 次 コンソリデー ション グラウチング の 孔 配 置 は、通 廊 (監 査 廊) ま た は 上 下 流 面 か ら 放 射 状 に 配 置 す る。

(2) 孔の深さ

重 力 式 コンクリート ダム の 遮水性 の 改良 目的 の コンソリデー ション グラウチング に お け る 孔 の 深 さ は 5m ま た は そ れ 以 上 の 適 切 な 値 で 設 定 し、弱 部 の 補 強 目 的 の コンソリデー ション グラウチング に お け る 孔 の 深 さ は 5m を 標 準 と す る が、断 層 ・ 破 砕 帯 等 の 弱 部 が 深 部 に 及 ぶ 場 合 は 5m 以 上 の 適 切 な 深 さ と す る。な お、急 勾 配 の ア バ ッ ト メ ン ト 部 に お け る 施 工 に お い て、斜 面 直 交 方 向 に 改 良 深 度 5m を 確 保 す る た め に、5m よ り も 孔 の 深 さ が 長 い 鉛 直 孔 を 配 置 す る 場 合 が あ る。



(注) 図中の記号内の数字は次数を示す。

図2-6-12 孔の平面配置

<標準>

コンソリデー ション グラウチング は、コ ンクリート ダム の 着 岩 部 付 近 に お い て、カ ー テ ン グ ラウチング と あ い ま っ て 浸 透 路 長 が 短 い 部 分 の 遮 水 性 の 改 良 ま た は 断 層 ・ 破 砕 帯 等 の 弱 部

を補強すること目的として計画することを基本とする。

施工範囲は、その目的に応じて、着岩部付近の地盤の性状を考慮して適切に設定することを基本とする。

また、改良目標値は、遮水性を改良するまたは弱部を補強する目的が達成されるように、着岩部付近の地盤の性状、グラウチングによる地盤の改良特性等を考慮して適切に設定することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 国土交通省河川局治水課長通知：グラウチング技術指針について、平成 15 年 4 月 1 日、国河治第 263 号。

<参考となる資料>

コンソリデーショングラウチングについては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財) 国土技術研究センター：グラウチング技術指針・同解説、平成 15 年 7 月。
- 2) 独立行政法人土木研究所水工研究グループダム構造物チーム：重力式コンクリートダムの遮水改良目的のコンソリデーショングラウチングの施工範囲と基礎排水孔の位置関係、ダム技術、No. 263、1998 年 8 月。
- 3) 独立行政法人土木研究所水工研究グループダム構造物チーム：改訂グラウチング技術指針運用に際しての課題、ダム技術、No. 269、2009 年 2 月。

6. 6. 2 ブランケットグラウチング

<考え方>

ブランケットグラウチングは、ロックフィルダムの基礎地盤において、遮水（コア）ゾーンの全面にわたって格子状に浅いグラウチングを行うものであり、カーテングラウチングとあいまって浸透路長が短い遮水（コア）ゾーンとの接触部付近（以下、コア着岩部という。）の遮水性を改良するために実施する。

ロックフィルダムのブランケットグラウチングの計画上の留意点を以下に示す。

1. 施工範囲

ブランケットグラウチングの施工範囲は基本的にコア着岩部全域を対象とする。

2. 改良目標値

ブランケットグラウチングの改良目標値は、実績によれば 5～10Lu とする例が多いが、改良目標値の設定にあたっては、透水性状等の基礎地盤の性状、グラウチングによる地盤の改良特性等を総合的に考慮して設定する。

3. 施工時期

ブランケットグラウチングは、ロックフィルダムの遮水（コア）材料の盛立前に施工する。割れ目の発達した岩盤に対して基礎地盤面からグラウチングを行うと、小さい注入圧力からリークしたり、有害な地盤変位が発生したりすることがある。このような場合には、グラウチングによる改良効果を高めるため、カバーロックを厚めにする等の表面処理を施した後にグラウチングを施工する。

4. 孔の配置および深さ

ブランケットグラウチングは、面的な中央内挿法によって施工する。孔間隔は、規定孔で 3～6m を標準とするが、地盤の状況や改良目標値の大きさに応じて適切な間隔を設定する。

また、孔の深さは、実績によれば 5～10m としている場合が多いが、孔の深さの設定にあたっては、透水性状等の基礎地盤の性状等を勘案したうえで適切に設定する。

<標準>

ブラケットグラウチングは、ロックフィルダムの基礎地盤において、カーテングラウチングとあいまって浸透路長が短い遮水（コア）ゾーンとの接合部付近（以下、コア着岩部という。）の遮水性の改良を行う目的に計画することを基本とする。

施工範囲は、コア着岩部付近の遮水の重要性を考慮し基本的にコア着岩部全域を対象とするが、透水性等の基礎地盤の性状等を考慮して適切に設定することを基本とする。

また、改良目標値は、遮水性を改良する目的が達成されるように、透水性状等の基礎地盤の性状、グラウチングによる地盤の改良特性等を考慮して適切に設定することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日 建設省河政発第 70 号.
- 2) 国土交通省河川局治水課長通知：グラウチング技術指針について、平成 15 年 4 月 1 日、国河治第 263 号.

<参考となる資料>

ブラケットグラウチングの設計の事例としては、下記の資料が参考となる。

- 1) （財）国土技術研究センター：グラウチング技術指針・同解説、平成 15 年 7 月.

6. 6. 3 カーテングラウチング**<考え方>**

カーテングラウチングは、ダムの基礎地盤及びリム部の地盤において、浸透路長が短い部分と貯水池外への水みちを形成するおそれのある高透水路部の遮水性を改良することを目的とした孔長の比較的長いグラウチングである。なお、リム部のカーテングラウチングをリムグラウチングと呼ぶことがある。

カーテングラウチングの計画上の留意点を以下に示す。

1. 施工範囲

カーテングラウチングの施工範囲は、地形、水理地質構造、貯水位と地下水位の関係などを考慮して適切に設定することを基本とするが、最大ダム高を限度に、基礎地盤の深度方向には、地盤の透水性が、その深度に応じた改良目標値に達するまでの範囲を目安とする、また、リム部奥行き方向には、水みちとなる高透水路が無いことを前提に、①地盤の透水性が、その奥行きに応じた改良目標値に達するまでの範囲、②地下水位が高い場合には、地下水位（季節的な変動を考慮）と貯水位（常時満水位～サーチャージ水位の間）との交点までの範囲、とする。なお、②において、施工範囲は、各ダムサイトのリム部の地形、地質、サーチャージ水位と常時満水位の水位差、常時満水位以上の水位継続時間等の条件を総合的に考慮して設定する。

なお、断層・破碎帯、冷却節理、粒子間の間隙等が高透水路部の成因となっている地盤においては、それぞれの高透水路部の成因と性状を踏まえて施工範囲を設定する。高透水路であっても、深部に孤立して存在し上下流方向の連続性が認められないものについては、カーテングラウチングの施工範囲に含めない。

また、カーテングラウチングの施工範囲は、パイロット孔の施工結果により水理地質構造の検証、再検討を行い、必要に応じて見直す。

2. 改良目標値

カーテングラウチングの改良目標値は、従来、ダム型式により一律にコンクリートダムで 1~2Lu、フィルダムで 2~5Lu とされてきたが、本来、改良目標値はダム型式以外にも水

理地質構造等の地質、地盤の透水性状、グラウチングによる地盤の改良特性等に応じて適切に設定すべきものである。また、一般的に地盤の深部では浸透路長が長く動水勾配が小さいことから、改良目標値を緩和することができるため、深度に対応した改良目標値は、次の値を標準として、水理地質構造等が類似する他ダムの事例も参照した上で設定する。

0～ $H/2$: 2～5 Lu 程度、 $H/2$ ～ H : 5～10 Lu (H は最大堤高)

なお、コンクリートダムの場合、堤体の上流面付近に基礎排水孔が設けられるので、堤体の上流端から基礎排水孔までの間の動水勾配が大きくなる。そこで、浅部は水理地質構造に応じて改良目標値を厳しくして入念な施工を行う。一方、軟岩等の遮水性の改良が難しい地盤では、改良目標を5 Lu 程度とする代わりに、浅部の複数列化によって厚みのある遮水ゾーンを形成する等、地盤状況に応じた適切な対応をとる。

なお、断層・破碎帯、冷却節理、粒子間の間隙等が高透水部の成因となっている地盤においては、それぞれの高透水部の成因と性状を踏まえて改良目標値を設定する。

3. 施工位置及び施工時期

カーテングラウチングは、コンクリートダム上流フーチングまたは堤内通廊（監査廊）から、ロックフィルダムは基礎通廊（監査廊）から施工する。リム部は、グラウチングトンネルあるいは地表から施工する。なお、コンクリートダムにおける施工位置は、特に地盤の水理地質構造、施工性等を考慮して適切に設定する。

また、カーテングラウチングは、注入効果を高めるため、地盤に有害な変位を与えない範囲で注入圧力をできるだけ高くする。そのためには、上載荷重となる堤体高がある程度高くなった後に施工することが望ましいが、全体施工計画に支障をきたさない範囲で適切な時期に施工する。

4. 孔の配置

調査孔の目的を兼ねるパイロット孔は、12m 間隔を標準とする。また、規定孔の間隔は1.5m 程度を最小とするように計画する。なお、単列の孔配置では追加孔の施工が多くなり、孔間隔が75cm より狭くなると想定される場合には、複数列配置等により厚みのある遮水ゾーンを形成する等によって対応する。この場合、単列配置と比べて改良目標値を緩和することができる。

CM 級以上の地質の良好な基礎地盤で、単列で規定孔の孔間隔を3m 以上に広く設定する場合は、中央内挿法による改良の進捗状況、地盤の性状、セメントミルク（グラウト）の到達距離等を十分検討したうえで孔配置を設定する。

注入圧力を高めることのできる深部は、セメントミルクが広い範囲に到達することから、注入圧力に応じて段階的に孔間隔を広く設定することができる。

また、割れ目の方向から斜孔とする場合は、注入効果、経済性、地盤による孔壁保持性等を十分考慮して適切な角度及び配置とする。

<標準>

カーテングラウチングは、ダムの基礎地盤及びリム部の地盤において、浸透路長が短い部分と貯水池外への水みちを形成するおそれのある高透水部の遮水性を改良することを目的として計画することを基本とする。

施工範囲は、地形、水理地質構造等の地質、地盤の性状、貯水位と地下水位の関係等を考慮して適切に設定することを基本とする。

また、改良目標値は、ダム型式・規模、水理地質構造等の地質、地盤の性状、グラウチングによる地盤の改良特性等を考慮して適切に設定することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日 建設省河政発第 70 号.
- 2) 国土交通省河川局治水課長通知：グラウチング技術指針について、平成 15 年 4 月 1 日、国河治第 263 号.

<参考となる資料>

カーテングラウチングについては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財) 国土技術研究センター：グラウチング技術指針・同解説、平成 15 年 7 月.

6. 7 グラウチング以外の基礎処理**6. 7. 1 弱部処理****<考え方>**

基礎地盤内の断層等の弱部が、堤体の安全性に影響を与える場合や湛水時の水みちとなる可能性がある場合は、適切な基礎処理を行う必要があるが、グラウチング以外にコンクリートダムで用いられる処理方法として、以下のような方法がある。なお、弱部処理において、大規模な岩盤掘削・置換が伴う場合には岩盤を大きく緩める可能性について、十分配慮する必要がある。

1. コンクリート置換え

基礎地盤の表層に局所的な弱部がある場合にこれを掘削してコンクリートで置き換える工法である。一般的な基礎処理方法であり、大規模なものはプラグ処理と呼ばれることもある。断層を通る浸透流が過度となる恐れがあり、グラウチングによる処理では十分に処理できない場合に、置換えコンクリートプラグによる処理を行う場合もある。断層をコンクリートで置き換える場合は、十分な深さまで断層を掘削し、置換えコンクリートを施工した後、堅岩との接触部周辺にグラウチングを行う。

2. 推力伝達構造物（スラストブロック）による方法

断層を貫いて推力を深部の堅岩に伝達するためにコンクリートの柱または、壁を設ける工法である。

3. ダウエリング工法

断層など弱層のせん断抵抗力を改善するため、弱部をコンクリートで置換えしてせん断抵抗力を増加させる工法である。

4. 岩盤 PS 工

アーチ式コンクリートダムのショルダーの谷側へのはらみ出しを拘束し、基礎岩盤を補強するため、岩盤に削孔し、その孔内にテンドン（PC 鋼より線の束）を挿入して、先端部を岩盤に定着し、テンドンを緊張して岩盤内にプレストレス（圧縮力）を与える工法である。なお、鋼材を使用する本工法では、その耐久性に十分配慮すること等により長期的な安定性の確保が重要となる。

<標準>

ダムの基礎地盤において、その一部にせん断強度、変形性または遮水性の面で望ましくない断層やゆるみ等の弱層でグラウチングによる改良が困難な箇所が残る場合には、コンクリート置換え等の適切な基礎処理を行うよう設計することを基本とする。

＜例 示＞

重力式コンクリートダム基礎地盤における弱部処理について以下に例示する。

1. 下流端付近に下流上りの弱層が分布する場合

基礎地盤内の応力分布は断層等の弱層によって乱されているのが一般的である。特に弱層が図 2-6-13 に示されるように重力式コンクリートダムの堤体の下流端付近にあって、その傾斜が下流上りの場合は、弱層の下流側の基礎地盤への力の伝達が阻害され、基礎地盤の安全性が著しく低下することがある。このような弱層はコンクリートで置き換えるが、その深さはダムの高さ、断層の位置及び規模ならびに堤体コンクリート、置換えコンクリート及び弱層の変形特性を考慮した解析を行って定めることが多い。なお、置換えコンクリートの設置により底面沿いの揚圧力が増加する場合があるので注意する必要がある。

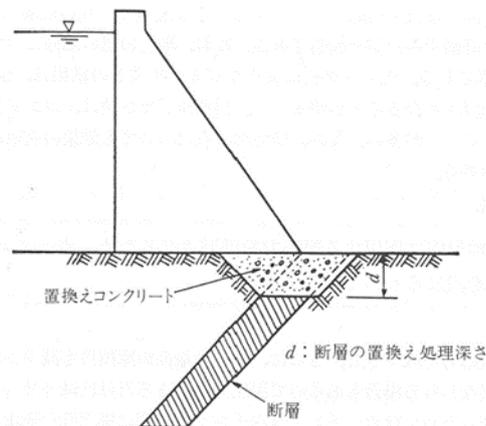


図2-6-13 堤体の下流端付近の断層のコンクリートによる置換え処理

2. 下流上りの低角度断層が分布する場合

重力式コンクリートダム基礎地盤内に、下流上りで連続性がよい断層などの弱層が分布している場合、ダム基礎岩盤及びダム堤体のせん断力による滑動に対する安全性に大きな影響を及ぼす。

このような状況を想定した解析モデルを図 2-6-14 に示す。堤体基礎岩盤面上の荷重（水平力 H 、鉛直力 V ）、岩盤自重、揚圧力を BC のすべり面に対して、すべり面法線方向の垂直力 N と接線方向のせん断力 S に変換し、BC 面に対し、Henny の式を適用して、せん断摩擦安全率を求めた。この際、AB 面のせん断角 δ は 45° とし、AB 間は引張応力発生範囲と考え、せん断抵抗 (τ_0 , φ) は考慮していない。なお、図 2-6-14 に示すように単純な下流上りの弱層ではなく、低角度弱層と堅岩部で構成される想定せん断面上の岩盤ブロックに対するせん断力の作用方向を想定した上で、想定せん断面沿いの弱層部と堅岩部の延長比率を考慮した平均的なすべり面強度を設定して安定解析を行うことになる。

Henny の式により算定したせん断摩擦安全率 n は所要の値である 4 を下回った。

$$n = \frac{\tau_0' l_2 + N \tan \varphi}{S} = 3.34 < 4$$

ここに、 τ_0' 、 φ ：低角度弱層のせん断強度 (0.049 N/mm^2)、内部摩擦角 (20°)

l_2 ：低角度弱層のせん断抵抗長

N ：単位幅当たりの低角度弱層に垂直な方向の力

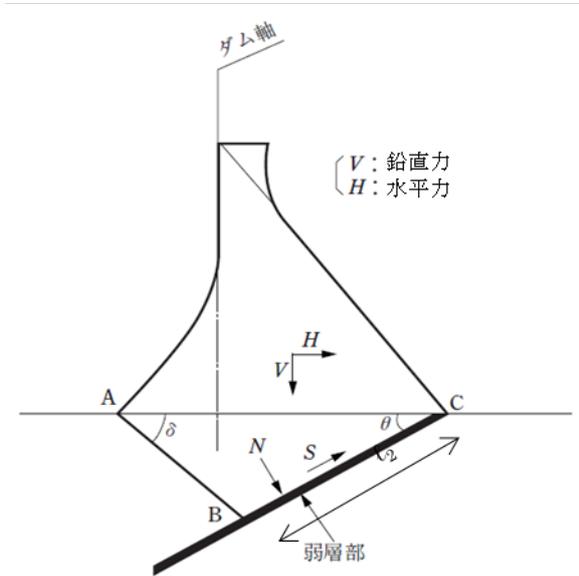
S ：単位幅当たりの低角度弱層をせん断する方向の力

このため、図 2-6-15 に示すように、下流端付近のすべり面上部をコンクリートで置換え、CM 級岩盤のせん断抵抗によって、すべり抵抗力を増加させる方法を用いた。コンクリート置換え長さが長いほどせん断摩擦安全率が増すが、検討の結果、せん断摩擦安全率が 4 以上を満足する最小置換え長さは 2.4m となった。

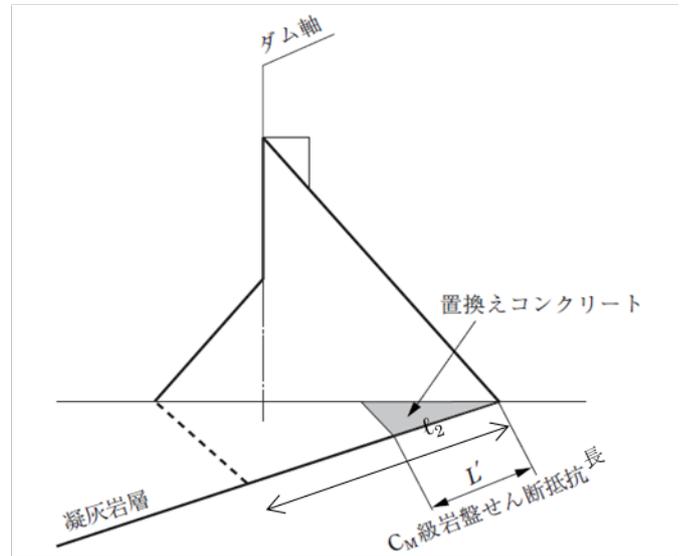
$$n = \{[\tau_0'(l_2-L') + \tau_1 L'] + N \{(l_2-L')\tan\phi + L' \tan\phi_1\} / l_2\} / S$$

ここに、 τ_1 、 ϕ_1 : CM級岩盤のせん断強度 (0.784 N/mm²)、内部摩擦角 (45°)

L' : CM級岩盤のせん断抵抗長



l_2 : せん断抵抗長
 τ_0' 、 ϕ' : 低角度弱層のせん断強度、内部摩擦角



l_2 : せん断抵抗長
 τ_1' 、 ϕ_1' : CM級岩盤のせん断強度、内部摩擦角

図2-6-14解析モデルの断面図

図2-6-15対策工の考え方

3. 弱層がダム軸と直角に近い角度で交わる場合

断層等の弱層が重力式コンクリートダムのダム軸と直角に近い角度で交わり堤体ブロックの岩着面のせん断摩擦抵抗力が不足する場合は、必要な深さまでコンクリートで置き換えることによりせん断摩擦抵抗力の不足を補うことが多い。弱層の幅が 1~2m と狭く堅岩の境界が明白なとき、また堅岩線の勾配がそれほど急でないときには、図 2-6-16 に示すような置換えを行うが、その深さは次式によって計算する。なお、弱層幅が広い場合には別途有限要素法等で応力状態などを解析することがある。

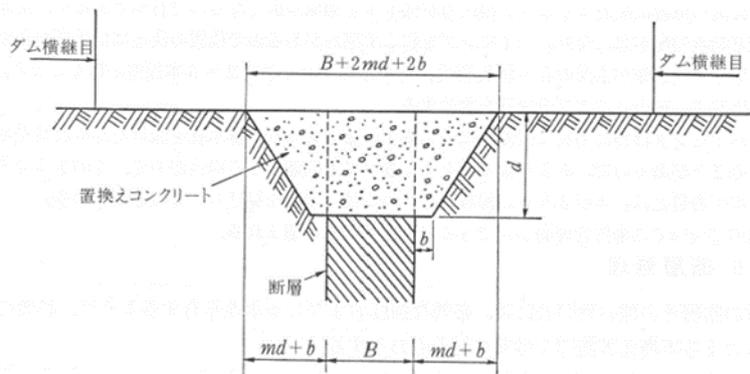


図2-6-16ダム軸と直角に近い角度で交わる断層のコンクリートによる置換え処理

$$d = \frac{nH - fV}{2\sqrt{1+m^2}\tau_0 l}$$

ここに、 d : 置換えの深さ (m)

n : せん断摩擦安全率

H : $(B + 2md + 2b)$ の区間に作用する水平力 (kN)

- V : $(B+2md+2b)$ の区間に作用する鉛直力 (kN)
 B 、 b : $(B+2md+2b)$ に示すそれぞれの長さ (m) (b は通常 0.5 ~ 1.0 m)
 f : 内部摩擦係数 (岩盤の f とコンクリートの f のうち小さい値)
 τ_0 : せん断強度 (kN/m^2) (岩盤の τ_0 とコンクリート τ_0 のうち小さい値)
 l : コンクリート置換え長さ (m) (通常堤敷幅)

<参考となる資料>

弱部処理の事例としては、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第4巻 設計I編, 平成17年1月.

6.7.2 砂礫基礎における基礎処理

<考え方>

砂礫基礎とは、礫を主体とする透水性の高い基礎地盤であり、フィルダムの場合、基礎地盤の対象とすることがある。砂礫基礎はグラウチングによる改良が難しいため、遮水対策を行っても高いダムの建設は、基本的に困難である。低いダムを設計する場合に限るが、砂礫基礎を対象とした遮水工法としては、以下のような遮水壁（連続地中壁）、ブランケット、ドレーン、リリーフウェル、コアトレンチ、押え盛土等がある。

(1) 遮水壁（連続地中壁）による方法

透水性が高く改良が必要な部分を安定液を用いて掘削壁面の崩壊を防ぎながら壁状に掘削し、これに組み立てた鉄筋を挿入した後コンクリートを打設して鉄筋コンクリート壁を築造する方法や透水性が高く改良が必要な部分をセメント懸濁液と混合攪拌してソイルセメント壁を築造する方法などがあるが、実際の設計にあたっては、止水の信頼性や耐震性等に十分配慮する。

(2) ブランケットによる方法

ダムの高さが低い場合には、堤体の上流側に土質材料で築造する不透水性のブランケットを設けて浸透路長を長くし、結果として砂礫基礎内の浸透流の動水勾配を小さくし、浸透水量を減少させる方法である（図 2-6-17 参照）。

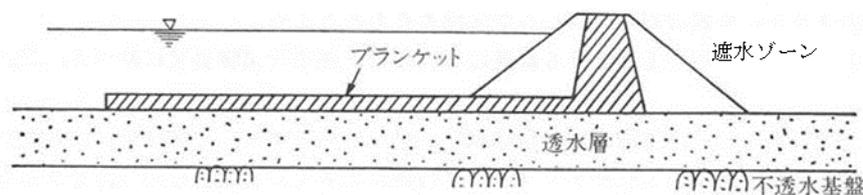


図2-6-17 ブランケットによる砂礫基礎の遮水

(3) ドレーン及びリリーフウェルによる方法

一般に、粒度が均一で締まりにくい砂礫基礎の場合には堤体の下流側の基礎地盤に接する部分にドレーンを設けて、基礎地盤内の間隙水圧を減じて浸透破壊の発生を防止する必要がある（図 2-6-18 参照）。

一方、透水性が高い基礎地盤で、上層を不透水層が覆っている場合には、堤体下流付近において浸透水圧が増大し下流面の安定を脅かすばかりでなく、浸透破壊の誘因となることがあるので、浸透水圧を軽減するためにリリーフウェルを配置する場合がある（図 2-6-19 参照）。リリーフウェルは堤趾部に直径 15~60cm 程度の井戸を設けるが、井戸には、透水層内部に間隙水圧計を設けておき、その測定結果に基づいて効果を検討しつつ配置する。リリーフウェルは、一方では浸透流量を増加させる結果となるので、フィルタを井戸内に配置して堤体材料や基礎地盤のパイピングを生じないように対応する。

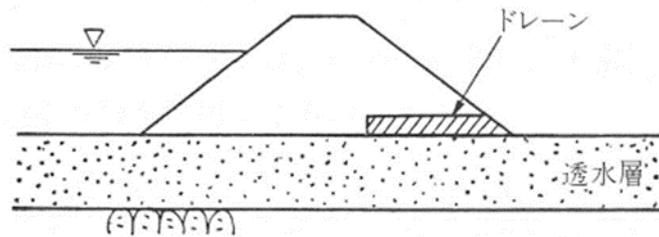


図2-6-18 ドレーンの配置

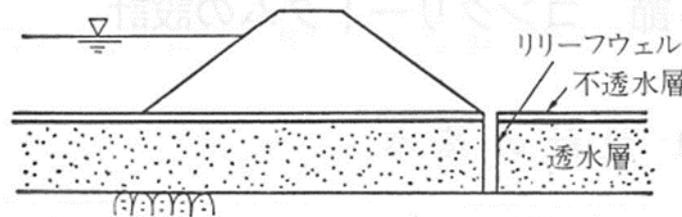


図2-6-19 リリーフウェルの配置

(4) コアトレンチによる方法

砂礫基礎を基岩部までトレンチ掘削し、その部分に遮水性材料を締め固めて砂礫基礎部に遮水部を構築する工法である。

(5) 押え盛土による方法

堤体の下流に押え盛土を行うもので、浸透水圧による基礎地盤の持ち上がりを防止し、かつ堤体のすべり破壊に対する安全性を大きくすることができる。

なお、ゾーン型フィルダム の透水ゾーン の基礎地盤としては、砂礫層を含む地盤を高いダム の基礎とすることも可能である。これは、一般に砂礫層は締まっており、表層付近の緩んだ部分を除去すればせん断強さや変形が問題となることが少ないためである。しかし、砂及びシルトなどの細粒分を互層に含む場合には、掘削、除去するのが望ましい。

<標準>

フィルダムにおける砂礫基礎では、浸透流を抑制するとともに、浸透破壊に対し安全性を確保するため、グラウチング以外の適切な方法による基礎処理を行うことを基本とする。

<参考となる資料>

砂礫基礎における基礎処理としては、下記の資料が参考となる。

- 1) 土木学会：ダム建設における水理地質構造の調査と止水設計，平成13年。

6.7.3 岩盤・砂礫以外の基礎における基礎処理

<考え方>

岩盤及び砂礫以外の基礎とは、崖錐堆積物、砂、シルト、粘土等の細粒材料を主体とする土質基礎であり、フィルダムの場合、基礎の対象とすることがある。これらは、一般にフィルダム の基礎地盤として安定性に課題があることが多いことから、高いフィルダム の基礎としては不適当となることが多い。

崖錐堆積層等のような、ルーズな堆積層をフィルダム の基礎地盤とする場合、遮水ゾーン の基礎地盤としては遮水性が問題となり、また基礎処理の効果を期待できないことが多いために、一般に除去されることが多い。透水ゾーン の基礎地盤とする場合には、堆積層の分布の調査及び基礎の性質についての試験結果に基づき、すべり、変形に対する検討を行ったうえ

で除去するか、所要の対策を講じるかを定める必要がある。

岩盤及び砂礫以外の基礎における基礎処理の設計上の留意点を以下に示す。

- (1) 砂、シルト、粘土等の細粒材料を主体とする基礎地盤の場合には、適切な試験結果に基づき、設計、施工を進める必要がある。
- (2) 安全性の検討に必要な諸数値は、室内試験と現地試験の結果から求める。力学試験は乱さない試料を採取して行うが、特にせん断強さは、試験の方法やサンプリング技術に大きく左右されるので注意する。
- (3) シルトや粘土を主体とする場合には、遮水性には優れているが堤体の自重による基礎の変形及びすべりに留意する必要がある。変形は圧縮によるものが支配的であり、圧密試験を行って推定する。試験値から設計値を求める場合には、試験の精度やバラツキを考慮し、安全側の値を採用するよう配慮する。
- (4) 基礎が砂層を主体とする場合には、上記の検討のほかに地震時の強度低下についても検討する。地震時の強度低下については本章 5.3.3 による。検討の結果、安全性が十分でない場合には掘削除去も含めて適切な対策を講じる。
- (5) 基礎処理としては、これらの基礎地盤ではグラウチングによることは困難であり、目的によっても異なるが、一般に本章 6.7.2 で述べた工法も有効である。
- (6) 基礎地盤が細粒の材料の場合には、圧密を促進させるためコンパクションパイル工法がとられることもある。また、盛立速度を制限する緩速工法も有効な手段である。ただし、これらの工法の採用にあたっては慎重な配慮を必要とする。

<標準>

フィルダムにおける岩盤や砂礫以外の基礎では、すべり破壊や浸透破壊に対する安全性の確保及び遮水性や変形性の改良のため、適切な方法によって必要な基礎地盤の処理を行うことを基本とする。

第2章 ダムの設計

第7節 洪水吐き及びその他の放流設備の設計

目次

第7節	洪水吐き及びその他の放流設備の設計	1
7.1	放流設備の設計	1
7.1.1	放流設備の設計	1
7.1.2	構成及び型式	2
7.1.3	洪水吐きの設計	3
7.1.4	配置	5
7.1.5	形状	6
7.1.6	構造	7
7.2	流入部の設計	8
7.2.1	流入水路	8
7.2.2	流入部	9
7.3	導流部の設計	11
7.4	減勢工の設計	12
7.5	放流管の設計	14
7.6	排砂設備の設計	17
7.6.1	排砂設備の設計の基本	17
7.6.2	排砂バイパス	17
7.6.3	堤体に設置する排砂設備	18

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第7節 洪水吐き及びその他の放流設備の設計

7.1 放流設備の設計

7.1.1 放流設備の設計

<考え方>

ダムの放流設備（洪水吐き）は、構造令第7条及第1項及び第14条において以下のように定められている。

（洪水吐き）

第7条 ダムには、洪水吐きを設けるものとする。

（第2項及び第3項省略）

（放流設備）

第14条 ダムには、河川の流水の正常な機能を維持するために必要な放流設備を設けるものとする。

放流設備等の水理構造物の設計にあたっては、形状・寸法の基礎となる水理機能に関する設計と構造に関する設計が必要である。なお、この両者が与えられた設計条件のもとでいずれかに過大な負担をかけることなく適当な調和を保つように配慮する。一般には、与えられた設計条件のもとで水理機能設計を先行して行い、それを満足させる構造設計を行うという傾向が強いが、水理機能面の改良を重視するあまり構造設計を困難にしたり、製作・施工あるいは操作及び保守管理を困難にすることのないよう配慮する必要がある。

設計された洪水吐き及び放流設備については、既往の流量記録等を用いて操作シミュレーションを行い、円滑に機能することを確認する必要がある。

水理構造物に用いるコンクリートは、コンクリート標準示方書（設計編）による。ただし、マスコンクリートとなる場合は、コンクリート標準示方書（ダムコンクリート編）による。

ダムの放流設備の設計について、本基準に明示していないものについては、ダム・堰施設技術基準（案）による。

<必須>

構造令第7条第1項及び第14条の規定に従い、ダムの放流設備の配置、型式及び規模は、操作及び保守管理に十分配慮して設計するものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。
- 2) 技術調査課長・公共事業企画調整課長・河川環境課長・治水課長通達：ダム・堰施設技術基準(案)の一部改定について、平成28年3月31日、国技電第72号・国総公第80号・国水環第140号・国水治第142号。
- 3) 河川砂防技術基準計画編，平成31年3月，国土交通省水管理・国土保全局 施設配置等計画編 第2章 河川施設配置計画 第2-1章 河道並びに河川構造物 第3節 貯水池（ダム）。

<参考となる資料>

放流設備の設計については、下記の資料1)、2)及び3)が参考となる。また、水理構造物に用いるコンクリートの設計については、下記の資料4)及び5)が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。
- 2) (一社)ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案)「平成28年3月改正」(基準解説編・マニュアル編)，平成28年10月。
- 3) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，平成17年6月。
- 4) 土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書(設計編)、平成30年3月。
- 5) 土木学会：2013年制定 コンクリート標準示方書(ダムコンクリート編)，平成25年10月。

7. 1. 2 構成及び型式

<考え方>

ダムの放流設備は、機能面から大別すると洪水吐きとその他の放流設備に分けられるが、構造面からみると、表2-7-1のように越流型の放流設備と管路型の放流設備に分類される。

ダムの放流設備は、洪水時に貯水池に流入してきた流水を放流する洪水吐きと非洪水時に河川の流水の正常な機能を維持するため及び利水目的のため放流する設備(低水放流設備)、貯水位の維持等を目的として放流する設備、ダムの安全管理上貯水池の水位を低下させるために設けられる放流設備及び土砂を流下させるために設けられる排砂設備等により構成される。洪水吐きについては、サーチャージ水位以下の水位で洪水調節を行うための放流設備(洪水調節用放流設備)とそれ以外の洪水を放流する設備に分けられる。これらの各設備は複数の目的で兼用して用いられることがある。

表2-7-1 ダムの放流設備

機能 \ 構造	越流型の放流設備	管路型の放流設備
洪水吐き 洪水調節用放流設備 洪水調節用以外の放流設備	越流型洪水吐き オリフィス型洪水吐き	放流管型洪水吐き
その他の放流設備		
貯水位維持用放流設備	越流型の「その他の放流設備」※	管路型の「その他の放流設備」
低水放流設備 水位低下用放流設備		管路型の「その他の放流設備」
排砂設備	排砂バイパス 排砂ゲート	排砂管

※ 通常、越流型洪水吐きと兼用される。

越流型の放流設備には、越流型の洪水吐き(オリフィス型洪水吐きを含む)と越流型の「その他の放流設備」とがあるが、通常後者は前者と兼用で用いられる。

管路型の放流設備は、放流管型洪水吐きと管路型の「その他の放流設備」があり、後者は、低水放流設備、フィルダムなどの水位低下用放流設備等に用いられる。

放流管は、大容量放流管と小容量放流管に大別し、構造的には圧力管路と無圧管路に区分して取り扱う。なお、選択取水設備等は放流管に含めて取り扱う。一般に、低水放流設備は、

選択取水設備を有する小容量放流管と減勢工により、水位低下用放流設備は小容量、もしくは大容量放流管と減勢工により構成される。

洪水調節用放流設備は、洪水調節計画を満たすために、大容量放流管を有する洪水吐きもしくはオリフィス式流入部を有する洪水吐きとなるのが通例である。

排砂設備には、貯水池上流の分派設備堰から水路を介してダム下流に土砂を排出する排砂バイパスや、堤体に設置する排砂ゲート及び排砂管がある。

<標準>

ダムの放流設備は、越流型と管路型に大別し、越流型は流入部、導流部及び減勢工により、管路型は放流管及び減勢工により構成することを基本とする。なお、越流型の放流設備は、原則として、越流式流入部、堤体流下式あるいは水路式導流部、跳水式あるいは自由落下式減勢工により構成することを基本とする。

<例示>

越流型の洪水吐きは、越流式流入部、堤体流下式あるいは水路式導流部、跳水式減勢工が最も好ましい組合せとなる。ただし、アーチ式コンクリートダムの減勢工では自由落下式とすることが多い。

常時満水位における放流能力が過大となる場合にはオリフィス型洪水吐きを採用することができる。

地形上の制約から水路式導流部を採用するのが困難な場合でそれを採用することの安全性が十分確認されている場合には、トンネル式導流部を用いることができる。

スキージャンプ式減勢工は、下流河床の洗掘等下流河川の管理上問題がない場合のみに限定して採用することができる。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。
- 2) 技術調査課長・公共事業企画調整課長・河川環境課長・治水課長通達：ダム・堰施設技術基準(案)の一部改定について、平成 28 年 3 月 31 日、国技電第 72 号・国総公第 80 号・国水環第 140 号・国水治第 142 号。

<参考となる資料>

放流設備の構成と型式については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) (一社)ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案)「平成 28 年 3 月改正」(基準解説編・マニュアル編)，平成 28 年 10 月。
- 3) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計Ⅱ編，平成 17 年 6 月。

7. 1. 3 洪水吐きの設計

<考え方>

洪水吐きの構造は、構造令第 7 条第 2 項及び第 3 項において以下のように定められている。

(洪水吐き)

第7条 (第1項省略)

2. 洪水吐き(減勢工を除く。)は、ダム設計洪水流量以下の流水を安全に流下させることができる構造とするものとする。
3. 洪水吐きは、ダムの堤体及び基礎地盤並びに貯水池に支障を及ぼさない構造とするものとする。

減勢工の設置は、構造令第9条において以下のように定められている。

(減勢工)

第9条 ダムの堤体又は下流の河床、河岸若しくは河川管理施設を保護するため、洪水吐きを流下する流水の水勢を緩和する必要がある場合においては、洪水吐きに適当な減勢工を設けるものとする。

洪水吐きは、流入部、導流部及び減勢工によって構成され、その構造は、洪水調節計画に対して必要となる放流能力が確保されるとともに、ダム設計洪水流量時に設計洪水水位において放流することとなる流量以下のすべての流量に対してダムの堤体ならびに基礎地盤の安全を損なうことなく流下させる必要がある。なお、洪水吐きは、ダムの堤体に対して常に安全であることが必要である。

減勢工を除く洪水吐きは、サーチャージ水位における放流可能流量もしくは年超過確率1/100の規模の洪水流量もしくは、基本高水のピーク流量のうちいずれか大なる流量以下の流量をすべて安定した流況で安全に流下させようことを設計条件とする。ここに、放流可能流量とは、ダム設計洪水流量時に設計洪水水位において放流することとなる流量の放流を行っているときのゲートなどの状態でサーチャージ水位において放流される流量のことである。また、安定した流況とは、流れの水理量の時間的変動の少ない流況を示しており、水理設計の判断基準となる流況を表している。ダム地点の基本高水のピーク流量が決められていない場合、もしくはこの流量が年超過確率1/100の規模の洪水流量以下の場合は、当該ダム地点のコンクリートダムとしてのダム設計洪水流量の80%の流量を基本高水のピーク流量として用いる。

洪水吐きの減勢工は、水叩き下流端までの減勢池とその下流の護岸・護床などを施した河道区間に区分され、設計洪水水位において放流することとなる流量以下の流量を放流する際の流水の状態が、減勢工内においてダム築造前の状態に復するように設計する。

減勢池は、その型式にもよるが、一般に比較的広い流量範囲において減勢効果を有しており、減勢池内において減勢できる流量を減勢池の対象流量とすると、この対象流量を超える流量に対してもかなりの程度の減勢効果を期待することができる。このため、減勢池の対象流量は、通常、設計洪水水位において放流することとなる流量より小さい流量で設定されており、対象流量を超える流量に対しては、減勢効果の一部を河道区間に分担させるのが一般的である。この場合、減勢池の対象流量は、対象流量を超える放流における減勢工内の流れの状況、下流河道区間で必要となる護岸、護床等の規模・型式等の諸事項を勘案して決定する必要がある。これら諸事項の状況は、対象流量との流量比はもちろん、減勢型式、洪水吐き配置等により異なるが、減勢池の対象流量の一応の目安として計画最大放流量、年超過確率1/100の規模の洪水流量、ダム地点の計画高水のピーク流量等がある。

< 必 須 >

洪水吐きは、構造令第 7 条第 2 項及び第 3 項に定める構造となるよう設計するものとする。

< 標 準 >

洪水吐きの流入部、導流部については、サーチャージ水位における放流可能流量もしくは年超過確率 1/100 の規模の洪水流量、もしくはダム地点の基本高水のピーク流量のうちいずれか大なる流量以下の流量を安定した流況で安全に流下させ得る構造となるよう設計することを基本とする。

構造令第 9 条の規定に従い、洪水吐きに適当な減勢工を設けることを基本とする。

減勢工は、設計洪水位において放流することとなる流量以下の流量に対し、河川の従前の機能が維持されるよう設計することを基本とする。

< 例 示 >

減勢工において、最も一般的な直線等幅の副ダム付き水平水叩き式減勢工では、設計洪水位において放流することとなる流量と減勢池の対象流量の比は 1.4～1.5 倍程度が水理的な一応の目安とされており、ダム地点の計画高水のピーク流量を減勢池の規模を設定する際の対象流量としている場合が多い。

< 関連通知等 >

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。
- 2) 河川砂防技術基準計画編，平成 31 年 3 月，国土交通省水管理・国土保全局 施設配置等計画編 第 2 章 河川施設配置計画 第 2-1 章 河道並びに河川構造物 第 3 節 貯水池（ダム）。

< 参考となる資料 >

洪水吐きの設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) （財）国土開発技術研究センター編／（社）日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。

7. 1. 4 配置**< 考え方 >**

放流設備の配置については、放流目的と必要な施設及び施設の特性を十分に念頭において実施する必要がある。

放流設備は、堤体との構造上の関係により、付属型、隣接型及び分離型に分類される。

コンクリートダムで一般に採用される付属型放流設備は、構造上堤体の一部を構成するものであり、その構造・形状は堤体の構造に直接影響を及ぼすため、堤体としての条件を満たすよう設計する。

構造令第 4 条第 5 項（本章 3.1 参照）に規定されているとおり、フィルダムの堤体には付属型放流設備を設けてはならない。これは、完成後の沈下は避けられないため水理構造物等の剛構造物の基礎として適当でないこと、剛性の異なる基礎上に構造物を設けると不同沈下の恐れがあること、堤体と構造物の密な接合の維持が困難であり浸透流によるパイピングの危険があること、地震時における振動特性が異なるため一体性の維持が困難なことなどの理由による。フィルダムの洪水吐き、放流設備、自由越流堤等の構造物は十分支持できる基礎上

に設ける。

堤体内に水理構造物を設けてはならないフィルダムや発電施設等の他の施設との放流設備の併用が困難なコンクリートダムでは、隣接型や分離型の放流設備が設けられる。

隣接型や分離型放流設備の止水機能に係る構造は、コンクリートダムに準じて設計する。

長大掘削のり面はできるだけ避けるように、水理構造物を設計する。長大のり面を生ずる場合にはのり面の安定を検討し必要に応じのり面保護を行う。

放流設備の壁部は、地質、地形等の条件によって異なるが重力式鉄筋コンクリート構造物または、張コンクリートとして設計する。張コンクリートの場合は、比較的良好な岩盤に適しているがロックアンカーなどが必要となることもある。

堤体に接して設けられる隣接型放流設備では、堤体から受ける荷重に対して安全となるように設計する。また、構造物の基礎が同時に堤体の基礎となるから、放流設備の基礎処理は堤体の基礎の取扱いと整合させる必要がある。堤体と放流設備の接合部が弱点となりやすいので、特に注意を要する。なお、フィルダムの堤体との接合部の設計は、複合ダムの設計に準じて行う。

堤体から独立して設けられる分離型放流設備については、独自のコンクリート構造物としての設計を行うものとし、特に周辺の地形・地質ならびに環境との適合に留意して設計する。

<必須>

ダムの放流設備の配置は、ダム型式、地形、地質、放流量等を考慮し、ダムの堤体に支障を及ぼさないよう定めるものとする。

なお、フィルダムについては、構造令第4条第5項の規定に基づき堤体内に放流設備を設けることができないため、堤体外に放流設備を設けるものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和51年11月23日、建設省河政発第70号。

<参考となる資料>

放流設備の配置については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，平成17年6月。

7.1.5 形状

<考え方>

放流設備の形状は、設計条件に対し、安定した流況を示す形状とすることが原則である。構造物の全体規模は、流況を考えて決定することが必要で、流況の安定性に欠ける場合には構造に対して十分な配慮を必要とする。

放流設備の形状は、流水によって摩耗あるいは侵食され、設計形状の維持が難しいため、わずかな変形によって機能や流況が急変しない形状とする。

さらに、放流設備の流水に接する構造物の表面については、流水による洗掘や摩耗の軽減に配慮して設計する。

流入水路等で流速の小さい場合には、流線の集中等がなければ保護工を実施しなくても侵食の危険は少ないが、必要な場合には捨石工やコンクリートライニングを行い水路の安定を

図る。流速が大きい場合には、流水やキャビテーションによる摩耗や侵食の対策を考える必要があり、施工上生じたコンクリート面の不整や段差がキャビテーションの原因となることも予想されるので、設計にあたってはコンクリート面の許容圧力を大気圧 -0.029N/mm^2 以上とする。また、流速が 20m/s 程度を超える圧力管路では許容圧力を大気圧以上として設計し、鋼板ライニングを施すのが一般的である。

<標準>

ダム放流設備は、設計条件に対し、安定した流況を示す形状とすることを基本とする。

<参考となる資料>

放流設備の形状については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，平成17年6月。

7.1.6 構造

<考え方>

ダムの放流設備は、堤体とともにダムを構成する重要な構造物であるから、その耐久性ならびに安定性については堤体と同等の安全性を有するよう配慮する必要がある。

このため、ダムの放流設備の主要な構造、特に洪水吐きの主要構造はコンクリート構造とし、コンクリートダムの堤体に属する部分を除き、いずれも安定した基礎地盤に緊密に接続した構造とする。洪水吐きの主要構造とは、流入部、導流部ならびにダムの堤体に重大な影響を及ぼすと考えられる部分である。このうち堤体と分離して設置されるフィルダムの洪水吐きについては、流入部と導流部の堤体側は原則として重力式コンクリートダムと同等の安全性を有するよう設計する。

洪水吐きの主要構造の中にはゲートや放流管のように機能上鋼構造とすることが要求される部分もあるが、これらに対しても他のコンクリート構造と同様な耐久性ならびに安定性が維持できるように設計するとともに、完成後の適切な管理が可能な構造とする必要がある。

ダムの放流設備の各部分の構造は、それに作用する荷重に対して安定かつ安全であることが必要であり、作用する荷重は、その状態により異なるが、一般には自重、貯留水および放流水による内水圧（波圧を含む）、外水圧（揚圧力を含む）、土圧、氷圧、地震時慣性力、地震時動水圧、施工時に作用するコンクリート圧等の一時荷重、温度荷重及びその他の荷重の組合せとして定められる。

ここに、内水圧は、流水に接する構造物表面に作用するもので、外水圧及び土圧は直接基礎地盤、地山あるいはフィルダムの堤体に接する場合に注意が必要である。

内水圧のうち、放流水による水圧は水理機能設計に基づき算定する。また、構造物に接して貯留水の水面がある場合には、氷圧、波圧あるいは地震時動水圧等を必要に応じ考慮する必要がある。

施工時には一時荷重として施工機械等による付加加重、コンクリート圧あるいはグラウト注入圧等も作用するので、その状態に応じ適宜考慮する必要がある。

これら以外にも、構造型式や状態によっては温度荷重や風圧、雪荷重等も考慮することが必要な場合もあり、荷重の組合せはその影響を勘案して十分検討のうえ行うことが必要である。

なお、本項における常時とは地震時以外の状態であり、貯水池の水位はダムの堤体の設計に用いる水位に準じて定める。また、この場合、ゲートなどを有する放流設備においてはゲートなど開放時（放流時）と全閉時の状態の荷重の組合せについて検討する。

荷重の計算方法は、堤体に作用する荷重と同種の荷重についてはこの計算方法に準じて行い、それ以外の荷重については一般的な公式が適用できる場合もしくは過去の試験、実験の資料が利用できる場合にはそれらによるものとし、それ以外は試験もしくは実験により求める。

ダムの放流設備の各部分の応力は、構造、型式に応じてその応力状態を適切に判断できる方法で応力解析を行い検討する。

< 必 須 >

ダムの放流設備の主要な構造は、ゲートなどの可動部、放流管あるいは流出水路等を除き、コンクリート構造とするものとし、コンクリートダムの堤体に属する部分を除き、基礎地盤に緊密に接続した構造とするものとする。

また、常時及び地震時において予想される荷重に対して安定かつ安全な構造となるよう設計するものとする。

< 関連通知等 >

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。

< 参考となる資料 >

放流設備の構造については、下記の資料が参考となる。

- 1) 国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。

7. 2 流入部の設計

7. 2. 1 流入水路

< 考え方 >

フィルダムの洪水吐きのように、地山に放流設備を設ける場合には、貯水池から放流設備まで流れを導く流入水路が必要となる場合が多い。流入水路の水面の動揺や流れの不均一性は、放流量の低下の原因となるとともに、導流部や減勢工での流況を乱す原因にもなるので、できるだけ緩やかな形状変化となるよう考慮するとともに、流速についてもできるだけ抑える必要がある。

< 標 準 >

流入水路は、水深を大きくして流速を小さくし、平面形状はできるだけ緩やかに変化させて流速分布を均一にし、流れに攪乱を生じないように設計することを基本とする。

< 推 奨 >

流入水路の底部は、地質条件によっても異なるが、流水による侵食、風化が問題とされる場合にはコンクリート張りとするのが望ましい。

< 例 示 >

流入水路の越流頂の高さ以下の深さ W が小さく、設計越流水深 h との比 W/h が小さくなると、流量係数が小さくなる。一般に放流能力を損なわないためには、 W/h が 1/5 程度以上とされる（図 2-7-1 参照）。

また、洪水吐きの入口の形状が流れに攪乱を与えるものであると、流入損失水頭が増大し、

かつ疎通能力を低下させ、この攪乱は導流部に存続して流量分布を不均一にし、減勢工の減勢能力を損なうことがある。このほか、土砂流入の点からも接近流速を増すことは好ましいことではなく、接近流速の限界は一般にほぼ4m/s以下であるとされる。

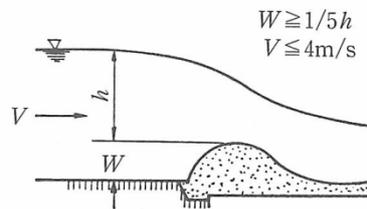


図2-7-1 流入水路の水深

<参考となる資料>

流入水路の設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，平成17年6月。

7. 2. 2 流入部

<考え方>

ダムの越流型洪水吐きの越流部の幅は、構造令第8条及び施行規則第12条の2において以下のように定められている。

(越流型洪水吐きの越流部の幅)

第8条 越流型洪水吐きを有するダムの上流における堤防（計画横断形が定められている場合には、当該計画横断形に係る堤防（以下「計画堤防」という。）を含む。）の高さが当該ダムの設計洪水水位以上非越流部の高さ以下である場合においては、第38条及び第39条の規定は、当該ダムの洪水吐きについて準用する。この場合において、第38条第1項中「径間長（隣り合う堰柱の中心線間の距離をいう。以下この章において同じ。）」とあり、並びに同条及び第39条中「径間長」とあるのは、越流部の幅（洪水吐きの越流部が門柱、橋脚等によって分割されているときは、分割されたそれぞれの越流部の幅をいう。）と読み替えるものとする。

(ダムの越流型洪水吐きの越流部の幅の特例)

規則第12条の2 越流型洪水吐きを有するダムの上流における堤防（計画横断形が定められている場合には、計画堤防を含む。）の高さが当該ダムの設計洪水水位以上非越流部の高さ以下である場合においては、第17条から第19条までの規定を当該ダムの洪水吐きについて準用する。この場合において、これらの規定中「可動部」とあるのは、「越流型洪水吐き」と、「径間長」とあるのは、「越流部の幅（洪水吐きの越流部が門柱、橋脚等によって分割されているときは、分割されたそれぞれの越流部の幅をいう。）」と、第17条及び第19条中「径間長に応じた径間数」とあるのは、「当該越流部の幅に応じた越流部の数」と、第19条中「可動堰」とあるのは、「ダム」と読み替えるものとする。

構造令及び施行規則では、原則として、ダムは、山間狭窄部でダムの影響が及ぶ付近までは、堤防等が存在しない河川の区域に建設されるものとして、また堰は、平野部の堤防によって洪水防御される河川の区域に建設されるものと考えて規定している。堤防区間の河川に設

けられたダムについては、堰と同様な配慮が必要であるので、越流型洪水吐きの越流部の幅について、堰の規定との整合性を取る必要がある。

流入部は、流量を制御する重要な部分である。したがって、厳密な形状維持を図るとともに、変動の少ない、安定した放流流況が得られるよう設計する。

流入部には越流式とオリフィス式の 2 型式がある。越流式流入部は、正面越流型と横越流型の 2 種に大別される。朝顔形流入部も越流式に含まれる。オリフィス式流入部とは、使用水頭が 25m 程度以下の高圧放流管に属さない管路型の流入部のことであり、一般には出口断面高 d と最大使用水頭 h の比 d/h が 1/4 程度以上で、かつ出口断面高と管長がほぼ等しいものをいう。

越流式流入部においては、越流頂に負圧を生ぜしめないで流量係数をできるだけ大きくすることが必要であるため頂部の縦断形状として刃形堰の自由ナップ下側の形を設計の目安とすることが一般的である。

横越流型流入部の場合は、側水路の水力条件によっては完全越流、不完全越流、潜り越流の流況が生ずることがある。潜り越流になると流量係数が急減すること及び越流方向の流れを側水路方向の流れに変換するために生じる一種のらせん流とそれによる水面動揺が激しいことなどの現象を生ずるため設計上注意を払う必要がある。

また、貯水池の堆砂が越流頂付近まで達するようになると、流入部の放流能力は低下するので、満砂状態が予想されるダムでは、予めその対策を考慮しておく必要がある。

オリフィス式流入部において、オリフィスの流量係数は、流況に応じその流出機構も異なることから一様に表示できないので、模型実験あるいは実例により定める。

キャビテーションの許容負圧は、流速変動及びコンクリート面の微小な凹凸を考慮して、 -0.029N/mm^2 程度とする。

< 必 須 >

越流型洪水吐きの越流部の幅の決定にあたっては、構造令第 8 条及び施行規則第 12 条第 2 項の規定を踏まえて設計するものとする。

流入部は、放流時にキャビテーションまたは、危険な振動を誘発するような負圧を生じないように設計するものとする。

< 標 準 >

流入部の形状及び流量係数は、その特性が既に明らかにされているものを使用する場合のほかは、実験によって定めることを基本とする。

< 推 奨 >

越流型流入部において、下流水位が高く、潜り越流になる恐れがある場合、アーチダムのように曲線越流頂である場合、あるいはゲート部分開放操作の流量係数等で、その特性がまだ明らかにされていない場合については模型実験によって定めることが望ましい。

オリフィス式流入部においては、上流側水位に応じて自由越流状態から管路流状態まで変化し、両者の遷移区間では管内の流れが不安定になり、流量も安定しないので、オリフィスの配置と設計にあたっては常時使用する状態で上に述べたような流況ができるだけ生じないように配慮することが望ましい。

アーチ式コンクリートダムの自由落下式洪水吐きの場合は、キャビテーションの許容負圧以下の負圧でも水脈の振動を誘発する恐れがあり、またアーチ式コンクリートダムに限らず、ゲート部分開放操作時には自由越流時より負圧が発生しやすいので、流量係数を多少犠牲にしても安全な形状に定めるのが望ましい。

<例 示>

越流型洪水吐きで洪水吐きゲートを有するものにあつては、ダム貯水池に当該ダムの設計洪水位以上で非越流部高さ以下の高さの堤防がある場合、構造令第 8 条の規定に合致するような幅を有するダムの洪水吐きゲートを建設することは、ゲートの構造上困難である場合が多い。このようなときには、上流の堤防の高さをダムの堤体の非越流部高さ以上の高さまで嵩上げし、堤防を安全にすることも考えられる。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日、建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

流入部の設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令、平成 12 年 1 月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計Ⅱ編、平成 17 年 6 月。

7. 3 導流部の設計**<考え方>**

導流部の流れは、流速の大きい流れであり、フルード数も大きい。したがって、水路は、原則として等幅・直線とする。

導流部には明渠と暗渠の 2 型式があり、明渠型式の導流部は堤体流下式と水路（シュート）式に分類される。また、暗渠型式の導流部はトンネル式導流部とよばれる。

導流部の平面線形を直線とするのは流速、流量分布が均等で安定した流況と効果的な減勢が期待できるからであり、やむを得ず平面湾曲を挿入する場合または水路幅を変化させる場合は衝撃波、水位上昇、流れの不均等についての配慮が必要となる。

縦断湾曲のうち凸な鉛直曲線を挿入するときは、流れが水路底からはく離するのを防ぐため断面の平均流速を初速とする自由落下軌道曲線を用いる。また、凹の鉛直曲線を挿入するときは、流れの遠心力による水路底への動水圧を小さくするため十分大きな曲率半径の曲線とする。

導流部においては、一般に流れが高速となるのでキャビテーションによる損傷を生じないように、ジョイントの施工等に注意を要する。底部は鉄筋コンクリートとし、厚さは地質条件によっても異なるが、1.5m 程度とする。壁部と底部には必要に応じてドレーンを設ける。

導流部は高速流による摩耗、損傷によって変形すると著しい流況の変化をきたすことがあるので、その機能の保全に十分配慮した設計とする。

導流部の側壁高については、一般に高速流では空気混入現象が十分に発達するものと考えが必要があり、この場合空気の混入によって水面が上昇するため模型実験あるいは計算によって求めた水位に空気混入による水位上昇分の補正を行った水位を対象として定める。

平面湾曲のある場合は、水路湾曲部外側壁における水位上昇は遠心力と重力との平衡の条件で計算した値の 2 倍程度となる。したがって、やむを得ず水路を湾曲させる場合の側壁高は、この水位上昇に対し安全なものとなるよう設計する。

トンネル式導流部を採用する場合は、堅硬な岩盤内部にルートを選定する必要がある。トンネルの覆工は鉄筋コンクリートとし、覆工周辺にはグラウチングを行う。

トンネル式導流部の平面形状は直線を原則とする。これは、トンネル内の流れはエネルギーの集中度が高いため、平面内の湾曲は激しい攪乱の原因となり流れを不安定にするからである。また、万一流木が流入した場合でも直線の場合は被害が少ないと考えられる。

トンネル内の流れは常に開水路流となるよう設計する。流れが開水路流から管路流に移行するトンネルは脈動や危険な圧力変動が生じることがあるので好ましくない。ただし、朝顔形流入部の場合は、流入部のみ管路流となる状態を許容する。

設計洪水水位において放流することとなる流量の流積 A_w とトンネル断面積 A_o の比 A_w/A_o は 3/4 程度を上限とする。

トンネル内の流れを安定した開水路流に保つためには空気の供給が必要であり、現状では経験的に朝顔形流入部とトンネルの接続点、勾配の変化点、流積の増大により気流が阻害される点の下流等に必要に応じ適当な規模の給気孔を設置する。

トンネル式導流部中心線の標高は原則として下流水位以上とする。やむを得ずトンネル中心線標高が下流水位より低くなる場合は、流出端部のみでも下流水位以上とすることが必要である。この場合、洪水放流初期に管内で跳水が生じると過度的にエアハンマー現象を伴うことがあるから、流出部形状の設計には適切な考慮を必要とする。

<標準>

導流部の平面線形は、原則として直線とし、縦断形状の急激な変化は避けることを基本とする。また、導流部の断面はできるだけ緩やかに変化させることを基本とする。

なお、導流部は設計洪水水位において放流することとなる流量をダム の 堤体及び基礎地盤の安全性に支障なく流下させる側壁高をもたせるものとし、トンネル式導流部では常に開水路となるよう設計することを基本とする。

<参考となる資料>

導流部の設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計Ⅱ編，平成 17 年 6 月。

7.4 減勢工の設計

<考え方>

洪水吐きの減勢工の型式の選定、規模及び形状の設計は、ダム の 堤体及び基礎地盤の安全性の確保とともに下流に存続する水勢の程度、水流の性状及び下流部の状況等を考慮して行うことが肝要である。

減勢工の底部の厚さは、地質条件、流況ならびに揚圧力の影響によっても異なるが一般に下流水位の低い跳水式減勢工では導流部と水叩きの接触部付近及び副ダム の 上下流部を除き 1.5～2.0m 程度とする。壁部と底部には必要に応じてドレーン を 設ける。

洪水吐きの減勢工には、主に跳水式、スキージャンプ式及び自由落下式の 3 型式がある。また、これら以外にも小規模の放流設備に利用できる衝撃型、減勢バルブ等の型式がある。

1. 跳水式減勢工

跳水式減勢工については水叩き上で安定した跳水を形成するように設計する。跳水式減勢工の型式は跳水曲線と下流河川の水位流量曲線との関係によって決まるものであるが、両者が一致することは極めてまれであり、下流水深が不足する場合は水叩き面の低下または、副ダムによる水深の増加を必要とする。一方、下流水深が大きすぎる場合は、水叩き面の底上げあるいはバケット型水叩き、または、順傾斜水叩きの採用が考えられる。

水叩き部の断面形状については、その側壁は流水の横方向の振動を防ぐためにできる限

り鉛直とする。また、等幅直線水路でないとき安定した跳水の形成は難しいので、水叩き幅の変化や中心線の湾曲はなるべく避ける。やむを得ず水叩き幅を変化させたり湾曲させたりあるいはその特性が定められていない特殊な水叩きを採用する場合は、原則として模型実験によってその形状を定める。

水叩き部の長さは、跳水の表面渦の長さを基準として定めるが、下流河床の状態、水叩き末端のエンドシルの形状によってある程度短縮することができる。

副ダムを設ける場合は、副ダムによって堰上げられたエネルギーに留意し、必要があれば副ダム下流に二次減勢工を付加する。また、水叩き末端付近の構造、河床の状況によっては、その付近に発生する平面渦によって砂礫の巻込みを生ずることがあるので、直下流の河床に床固め工を施すなどの対策を必要とすることがある。

2. スキージャンプ式減勢工

スキージャンプ式減勢工は、水流を空中にはね上げて下流の河床に放流し、その洗掘によって形成される自然の水クッションによって減勢効果を期待する型式である。ダムの堤体の安全を保ち、かつ落下点より下流の河川にまで必要以上に洗掘が拡大することを避けるために、水脈の落下点は、原則としてダムの堤体からできるだけ遠ざけかつ水脈を広範囲に拡散させるように設計する。

水脈の射出端には落下点及び拡散範囲を適正かつ効果的に制御する目的でデフレクタや歯型を設けるのが普通である。

水脈落下点の河床洗掘は、水クッションの形成によって比較的早く平衡状態に達するが、過度に下流に発達することを避けるために必要ならば床固め工等を設ける。

なお、拡散水脈の直接、間接的影響及び河床洗掘の二次的影響によって山腹の崩壊を起こすことは絶対に避けなければならないため、スキージャンプ式減勢工の利用は限定される。

3. 自由落下式減勢工

自由落下式減勢工は、水脈落下点の動水圧を軽減し、かつ落下後に速やかに減勢するように設計する。

自由落下式減勢工では落水脈が河床に与えるエネルギーの拡散を図るため越流幅をなるべく広くとることが望ましい。ただし、水脈落下幅を水叩き幅より広くして水脈が水クッションのない斜面に直接衝突することは好ましくない。

このため、水叩き幅と水脈落下幅はほぼ等しくとることが落下点の保護及びエネルギーの処理の点から考えて合理的である。

水叩き上の流れが落水脈によって上下流に遮断される場合は、下流側から堰上げのない露出した水叩きでも水脈の落下点と堤体との間に自然に水クッションが形成され、落水脈の減勢に効果のあることが知られている。

水叩き部の長さは、落下後直ちに跳水を起こす場合の表面渦の長さが1つの基準になるが、下流河床の状態によってある程度短縮することができる。

自由落水脈を受ける水叩き部は、水クッションの有無にかかわらず動水圧が作用し基礎地盤が洗掘される恐れがあるので、原則としてコンクリートで保護する。

<標準>

減勢工の型式、規模及び形状は、ダムの堤体及び基礎地盤の安全性、放流される流水の性状ならびに下流部の状況等を考慮して決定することを基本とする。また、その特性が既に明らかにされている場合のほかは、実験に基づき定めることを基本とする。

<例 示>

跳水式減勢工において、跳水長の短縮及び跳水水深の低下を図るために逆傾斜水叩き、または、シュートブロック、バップルピアー、エンドシルなどを併用した強制跳水による減勢方法が採用される場合がある。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和 51 年 11 月 23 日，建設省河政発第 70 号。

<参考となる資料>

減勢工の設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計Ⅱ編，平成 17 年 6 月。

7. 5 放流管の設計**<考え方>**

放流管は、貯水池から放流断面までを管路にて繋ぐ主たる部材が鋼材の構造物であり、コンクリートダム堤体やトンネル内に埋設される場合が多く、荷重に対して安全なことのほか、周辺コンクリートに有害な影響を及ぼさないとともに、コンクリートの施工が容易に行える必要がある。また、取り替えが簡単ではないため、摩耗に対する余裕を考慮するなど十分な耐久性を有し、点検・整備が行えるよう設計する必要がある。

放流管は、次の事項を考慮してその型式を選定する。

- (1) 設置目的（洪水調節、ダム保安、流水管理、その他）
- (2) 使用範囲（放流量、操作水頭）
- (3) 使用頻度（年間放流時間及びその平均放流量、連続放流時間及びその平均流量）
- (4) 使用条件（流量調節方式ならびに調節精度）
- (5) 流入条件（入口部周辺の構造、形状等）
- (6) 放流条件（出口部周辺の構造、形状、特に減勢処理方式等）
- (7) 放流水の性質（酸等の含有量、流砂、流木の状況等）
- (8) 将来予想される堆砂、堆泥の状況
- (9) 放流管設置条件（放流管設置部周辺の構造、形状、特に応力状態、荷重状態、継目位置等）
- (10) ゲート・バルブの型式、位置の選定
- (11) 製作、輸送ならびに据付け上の配慮事項
- (12) 保守ならびに管理上の配慮事項（監査廊、管理所との配置等）

放流管は、洪水調節、ダム保安、流水管理等のために設置される圧力管路部を有する放流設備である。

放流管は、設置目的ならびに使用範囲によって大容量放流管と小容量放流管に区分される。また、使用する主ゲート・バルブの型式及び位置によっては圧力管路と無圧管路で構成され

る場合もある。

一般に、洪水調節用放流管は大容量放流管となり、ダム保安、流水管理あるいはその他の用水補給等の放流管は小容量放流管となる。

放流管の条数等はダム設置計画において選定されるが、使用頻度、使用条件等によっては大容量放流管に分岐構造を設け、小容量放流管を併設する必要がある場合も生じる。

流水管理用あるいは用水補給用等の目的で使用される放流管の呑口には、通常、選択取水設備が設けられる。また、フィルダムに設置される小容量放流管は仮排水路に設置されることが多い。この場合、仮排水路閉塞用のプラグコンクリート内に放流管及びゲートを配置し、上流側はコンクリートの圧力トンネルとし、下流側は開水路トンネルとして使用するのが使用するのが一般的である。

放流管からの放流水は流路の特性によって、直ちに短区間で減勢処理を必要とする場合もあり、特殊な減勢方式により減勢する場合がある。

流砂、流木の状況ならびに将来予想される堆砂、堆泥の状況により、土砂の流入が重大な影響を及ぼすと推定される放流管においては、入口の構造を土砂等の流入を防止する構造とし、摩耗によって頻繁な維持補修を必要とする区間をできるだけ短くするなどの配慮が必要になる。また、設置目的により流量調節用などとしてバルブ型式が採用できる場合には、開口面積の小さいスクリーン構造として塵芥等の流入を防止する。

放流管の水力機能は、圧力管路出口断面の形状、位置、放流管の線形ならびに設置されるゲート・バルブの機能によって定まるので、これらが正常に機能するよう設計することが放流管設計の基本原則である。

放流管はゲート類とともに大規模な鋼構造物であるから、工場製作、輸送ならびに据付け上の自由度はコンクリート構造物に比して著しく制約される。特にダム地点は山間部が多いので、これらが重大な制約条件となる場合もあり、予め十分な調査が必要となる。放流管の管胴の材質は、近年では、点検・整備の困難性を考慮して耐久性の高いステンレス鋼又はステンレスクラッド鋼が原則的に用いられている。また、同時に放流管は定期点検、塗装を必要とするので、これらが容易に行えるように設計されることが必要であり、設計では製作コストとともにこれらの維持補修のコストを含めた総コストでその経済性を考える必要がある。

1. 大容量放流管

大容量放流管とは、洪水調節用放流設備として利用される出口断面積が 3~4 m² 以上の放流管である。

流量調節操作を行う大容量放流管では、圧力管路部下流端にゲートを設置する。設計水深 25m 程度以上の場合には、ゲートには一般に高圧ラジアルゲート、あるいは高圧ローラゲートが使用される。また、放流管入口には、管路ならびに主ゲートの保守点検用として予備ゲートを設置する。予備ゲートには流水遮断が可能な機能を付与する。

予備ゲートに流水遮断の機能を持たせるためには、入口周辺の形状を流水遮断が可能な形状とすることが必要で、放流管入口上部のリセスの設置ならびに管内入口部の給気孔の配置等に十分な配慮が必要である。なお、圧力管路入口部に設けられる管内空気吸排気用ならびに流水遮断用の給気孔は、管内圧力が常に高い領域に配慮し、通常の放流に際して空気混入が生じないようにする。

大容量放流管の圧力管路部は、通常流速が 20m/s 以上となり、管壁面の不整等によってキャビテーションなどの問題が生じやすいので、設計では管内圧力が常に大気圧以上とな

ることが必要である。また、無圧管路部では、流況を定常化し気圧の低下を許容範囲に収めるために、トンネル式導流部と同様な目的の大口径の給気設備を必要とする。

管路壁面の遷移形状は、流線のはく離に伴う圧力低下を防止する形状とすることが必要で、流速が急激に加速される領域では特に形状の変化に注意する必要がある、貯水池に直接面する放流管では入口形状をベルマウス形状とする。

大容量放流管では、管路断面積をできる限り小さくして経済的設計とすることを目標とする。

2. 小容量放流管

小容量放流管とは、小規模の洪水調節用放流設備、ダム保安用あるいは流水管理用の放流設備として利用される出口断面積が3～4 m²未満の放流管である。

放流量の調節操作を行う小容量放流管では、圧力管路部下流端にゲートあるいはバルブを設置する。型式は、高圧スライドゲート、ジェットフローゲート、ホロージェットバルブ、フィクストコーンバルブ、コーンスリーブバルブあるいは引張りラジアルゲートなどが利用される。また、流量制御を全開全閉操作で行う場合には、圧力管路途中に高圧スライドゲートを設置する場合がある。

管長が長くかつ使用頻度が高い放流管では、これら主ゲート・バルブの直上流に流水遮断可能な副ゲートを設置するのが通例である。副ゲートとしては、高圧スライドゲート、リングホローゲートあるいはゲート・バルブなどが使用される。また、放流管最上流端には、これらのスルースバルブのほかに、管路の維持補修用の修理用ゲートが必要である。

バルブを使用する場合あるいは小口径の放流管では、適当な開口を有するスクリーンを放流管入口に設ける。

小容量放流管では、断面は一般に円形断面であり、管長が十分長いことならびにバルブなどの損失水頭が比較的大きいことなどのために、管内圧力の調整は大容量放流管に比べて容易であり、入口部、湾曲部あるいは断面遷移部の局所的な圧力降下のみに注意すれば、かなり自由な線形を選定できる。

しかし、末端に設置されるゲートあるいはバルブは一般に流線が管軸に平行する場合を標準として設計されているので、これらの直上流で湾曲管路とするときには流線の修正のための措置が必要となる。

管長が長くかつ断面の小さい管路では、維持補修を念頭においた設計とすることが必要で、急勾配管路等は好ましくなく、また、マンホールの配置を適切に行う必要がある。同時に、堤体内に埋設される管路は口径 800mm 以上を標準とし、800mm 未満のものは原則として露出管として設計する。ただし、管路閉塞の恐れがないあるいはこれに代わる放流設備により機能が確保される場合は、800mm 未満としてもよい。

小容量放流管で、管路途中にゲートなどを設けこの下流を無圧管路として設計する場合がある。この場合には、ゲートなどの下流の流れは極度に発達した空気混入流となり空気と水との混相流の流況を呈するので、管路の線形を適切に選定し、十分な給気設備を設けて流況の定常化を図る必要がある。

<必須>

放流管は、管内圧力を正常に保つようにするとともに、維持管理に配慮して設計するものとする。

<標準>

放流管は、所要の流量を安定した流況で放流するため、できる限り単純な形状となるよう

設計することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和 51 年 11 月 23 日，建設省河政発第 70 号。
- 2) 技術調査課長・公共事業企画調整課長・河川環境課長・治水課長通達：ダム・堰施設技術基準(案)の一部改定について，平成 28 年 3 月 31 日，国技電第 72 号・国総公第 80 号・国水環第 140 号・国水治第 142 号。

<参考となる資料>

放流管の設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) (一社)ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案)「平成 28 年 3 月改正」(基準解説編・マニュアル編)，平成 28 年 10 月。
- 3) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計Ⅱ編，平成 17 年 6 月。

7. 6 排砂設備の設計

7. 6. 1 排砂設備の設計の基本

<考え方>

貯留型ダムにおいて、貯水池の堆砂対策のため放流設備を用いて流水とともに土砂を流下させる排砂設備には、貯水池上流の分派設備堰から水路を介してダム下流に土砂を排出する排砂バイパスや、堤体に設置する排砂ゲート等がある。これらの排砂設備は、流入土砂の量と質、流入条件や貯水池運用条件、地形・地質、環境への影響等を考慮し、対象とする土砂を計画的に排砂することができるよう設計するとともに、閉塞やキャビテーション、摩耗等による施設の損傷が発生しないよう留意する必要がある。

なお、排砂設備については、近年整備事例が増加しつつあることも踏まえ、設計時点での技術的な進展等を考慮しつつ、新たな技術の積極的な取り組みを行っていくことが望ましい。

<標準>

排砂設備は、対象とする土砂を計画的に排砂ことができ、摩耗等により所要の施設機能に支障を及ぼすことがないよう設計することを基本とする。

7. 6. 2 排砂バイパス

<考え方>

排砂バイパスについては、貯水池を迂回して土砂を通過させるため水路となり、出水時の流水の一部または全部を分流するための分流設備や水路を通過した流れを必要に応じて減勢させる減勢工から構成される。

排砂バイパスの設計では、貯水池から水路への分流が適切に行われるような分派堰の構造とするとともに、対象とする土砂が安全・確実に排砂されるよう、必要な掃流能力が確保される水路断面や縦断勾配を設定する。

排砂バイパスの呑口部は、分流設備にスクリーンや流木止めを設置するとともに、分流設備側を越流しやすい構造とするなどの配慮が必要である。また、土砂によるゲート等の損傷が考えられるため、ゲート操作は全閉・全開操作を基本とし、自然調節で分流する方式とする

のが望ましい。

水路内は土砂の堆積を生じさせないのが原則であり、設計流速は土砂による摩耗量の増加やキャビテーションを考慮して設定する。また、10m/s を超える流速となる場合には、空気混入現象にも留意する必要がある。

水路が開水路トンネルの場合は、第1章第10節のトンネル構造による河川によるが、土砂流下時には、流砂による抵抗が存在するのでその抵抗を見込む必要がある。

平面線形については、地形・地質特性を踏まえて、構造安全性や水理面等で支障の無い範囲で最短となるルートとすることが多いが、既存施設（利水導水管等）に有害な影響が生じないよう十分な離隔を確保するとともに、湾曲部では土砂輸送能力が低下することが考えられ、トンネルの摩耗は内側に集中する事例が確認されているため、摩耗対策の観点からは、できるだけ湾曲部を長くして曲率半径を大きくする等の工夫をすることが望ましい。

排砂バイパスの減勢工は、ダム の減勢工及び下流河道の流況に悪影響を与えないように留意して配置・構造を定める。

<標準>

排砂バイパスは、排砂効果を最大限発揮することができるように計画し、対象とする土砂を安全かつ確実に流下させると共に、施工性や経済性、将来的な維持管理面に配慮した形状・構造とすることを基本とする。

<例示>

排砂バイパストンネルの摩耗対策としては、摩耗損傷が集中するインバートにおける対策が重要であり、インバートが流出すると大規模な補修となることから、インバートコンクリートに十分な摩耗代を設けるとともに、掃流砂が流下する場合にはインバートに高強度コンクリートを用いる事例がある。

<参考となる資料>

排砂バイパスの設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，平成17年6月。
- 2) ダム工学 18-4 2008：ダム工学会 維持管理研究部会 排砂施設の設置に関する技術的検討ーダム排砂バイパスの事例研究。
- 3) 土木学会：水理公式集 2018年版 平成31年3月。

7.6.3 堤体に設置する排砂設備

<考え方>

貯留型ダムの堤体に設置する排砂設備は、貯水位を低下させること等により貯水池内の流水の土砂輸送力を回復させ、堆砂した土砂を排出する排砂ゲートや、管路流の状態で呑口近傍の限られた範囲の土砂を排出する排砂管がある。

排砂設備は、土砂を含む流れを遮断することが可能となるよう、ゲートやバルブの型式・構造を決定する必要がある、その操作は可能な限り低い貯水位の間に実施することが望ましい。また、対象となる土砂の量・粒径を考慮して、必要な操作が可能となるように土砂の噛み込みや摩耗に対応できること、将来的な維持管理に配慮すること等に留意して設計を行う必要がある。特に、土砂の流下による排砂設備の摩耗・損傷はダムの健全性を損なう恐れがあるため、摩耗対策が必要となる。

貯水位を低下させてから土砂を排出し再び貯留する排砂ゲートの場合、相当量の流入量が

あり、貯水池容量に対する年間総流入量が大きなダムが基本的に対象となる。この場合、貯水位を低下させほぼ空虚となった堆砂面上の流れは河道でのそれと同様となり、地形の影響を受けてみお筋を形成しながら流下する。このため、排砂設備は貯水池の湾曲形状等に留意してみお筋が向かうと想定される位置に配置することが望ましい。

排砂ゲートによる排砂時は、ダム近傍の堆砂面上の流れが流速の大きな射流となることが多いため、ダムのアバットメント部の岩盤や堤体上流面等に有害な影響を与えないように排砂ゲート流入部の形状・構造に配慮する。

排砂管の場合は、土砂を含む堆積物の堆積・圧密等による固結を抑制するために、定期的な操作が必要である。

<標準>

堤体に設置する排砂設備は、土砂の噛み込みや摩耗に対する対策を図り、将来的な維持管理面にも配慮した形状・構造とすることを基本とする。

<例示>

1. 排砂ゲート

排砂ゲート設備は、図2-7-2のように止水ゲート・主ゲート・副ゲートの3枚構造とする事例がある。

ゲートは土砂の噛み込みに対し、構造的に有利なバーチカル型式とし、最上流の止水ゲートは、排砂時に戸溝保護枠を挿入して戸溝への土砂の流入を防止する構造とし、主・副ゲートは、戸溝内への土砂の侵入による損傷を抑制するため、オフセットを大きく取るとともに、戸溝幅を極力狭くしたナロースロット型を採用している事例がある。摩耗対策は、耐摩耗性や強度を考慮して材質や板厚を設定し、補修困難な流入部や導流部はジベル方式とし、堤内水路部は取り外し可能なボルト取付方式、堤体外の下流水路は経済性を考慮して高強度の石材とした事例がある。

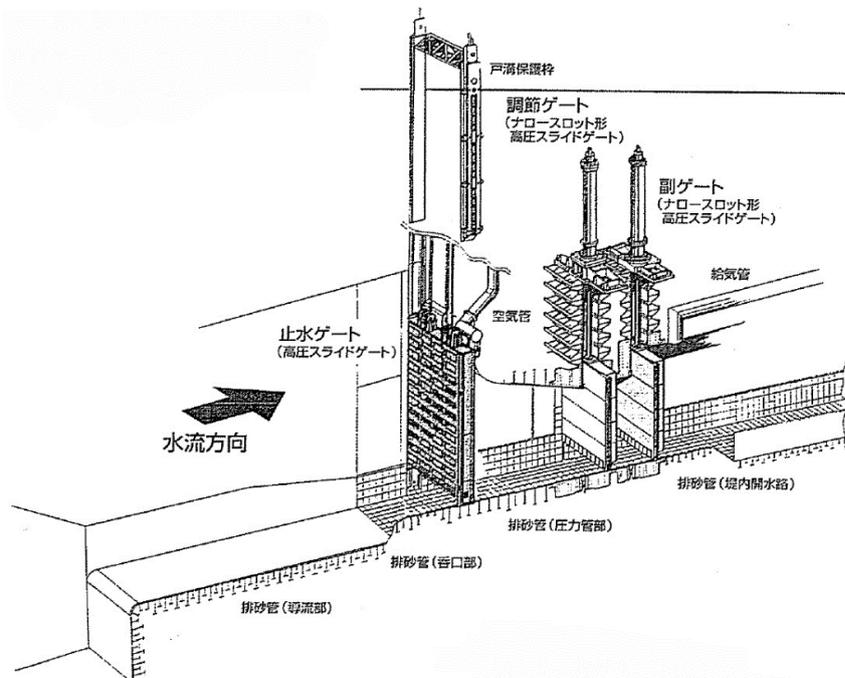


図2-7-2 排砂ゲートの事例

2. 排砂ゲート流入部

排砂ゲートの流入部は、排砂時のダム近傍での堆砂上の流れが比較的流速の速い射流になる

ことから、土砂混じりの流れが、ダムのアバットメント部の岩盤や堤体上流面等に与える有害な影響を極力軽減するため、図 2-7-3 のように流入部の流向を管軸方向に一樣にして堤体内を通過させることを目的として構造物を配置した事例がある。

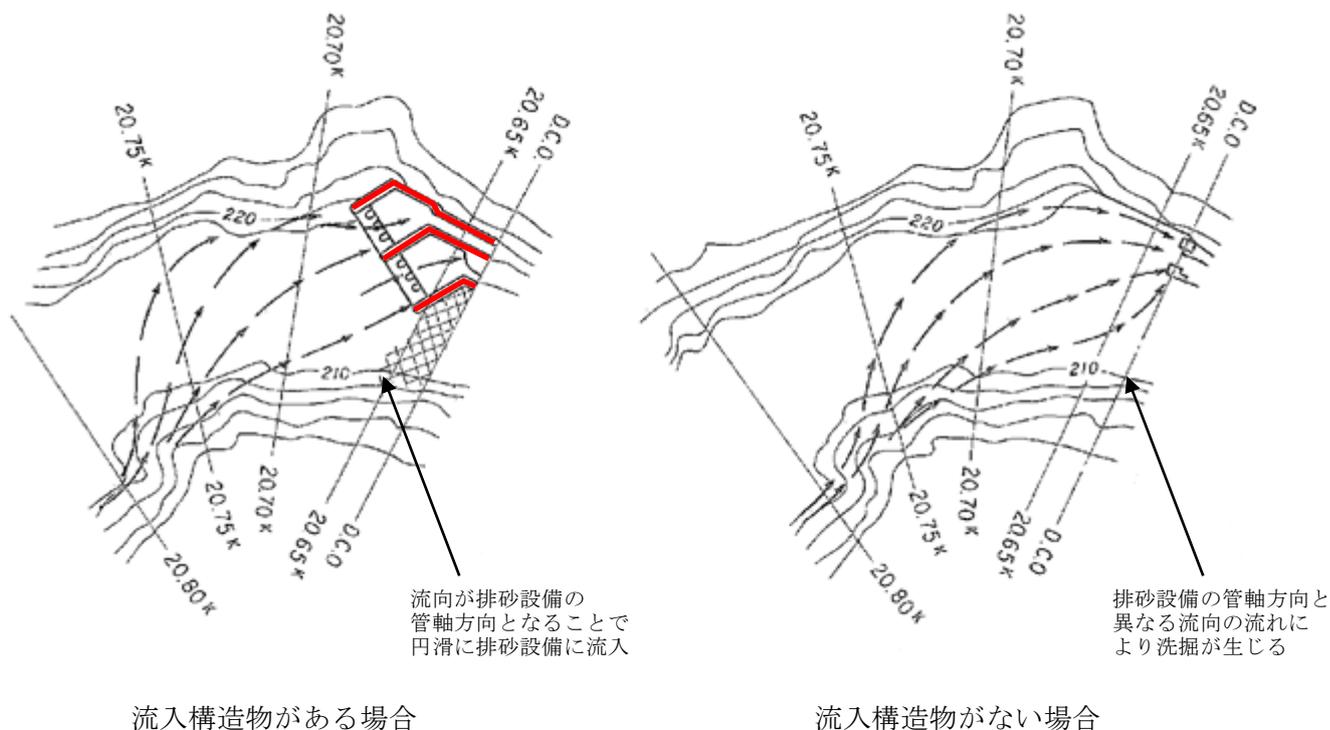


図2-7-3 流入部構造物有無のダム近傍の流れの比較

<参考となる資料>

堤体に設置する排砂設備の設計については、下記の資料が参考となる。

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，平成17年6月。
- 2) 建設省土木研究所ダム部水工研究室：土木研究所資料 宇奈月ダム水理模型実験報告書—排砂設備の流入部形状の検討—，平成2年3月。
- 3) 柏井条介：宇奈月ダムの洪水吐き・排砂設備の水理設計、取水と制水 No. 44、(一社)ダム・堰施設技術協会、p. 133-139、平成14年9月。
- 4) 林ほか：排砂設備、取水と制水 No. 44、(一社)ダム・堰施設技術協会、p. 41-45、平成14年9月。

第 2 章 ダムの設計

第 8 節 ゲートの設計

目 次

第 8 節	ゲートの設計	1
8. 1	ゲートの設計	1
8. 2	予備ゲートの設計	5

令和 3 年 10 月 版

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第8節 ゲートの設計

8.1 ゲートの設計

＜考え方＞

1. ゲートの種類

ゲートには、その目的から洪水吐き（構造令第7条）に設けられるゲート（バルブを含む。以下同じ。）、河川の流水の正常な機能を維持するため必要な放流設備（構造令第14条）に設けられるゲート、フィルダムの点検・修理等のため貯水池の水位を低下させるための放流設備（施行規則第10条第6項）に設けられるゲート、その他各種利水用の放流設備に設けられるゲート等がある。

また、ゲートの形式は、ローラゲート、スライドゲート等のように鉛直方向に引き上げる非ヒンジ形式とラジアルゲート等の支承部の回転によるヒンジ形式に大別される（図 2-8-1 参照）。

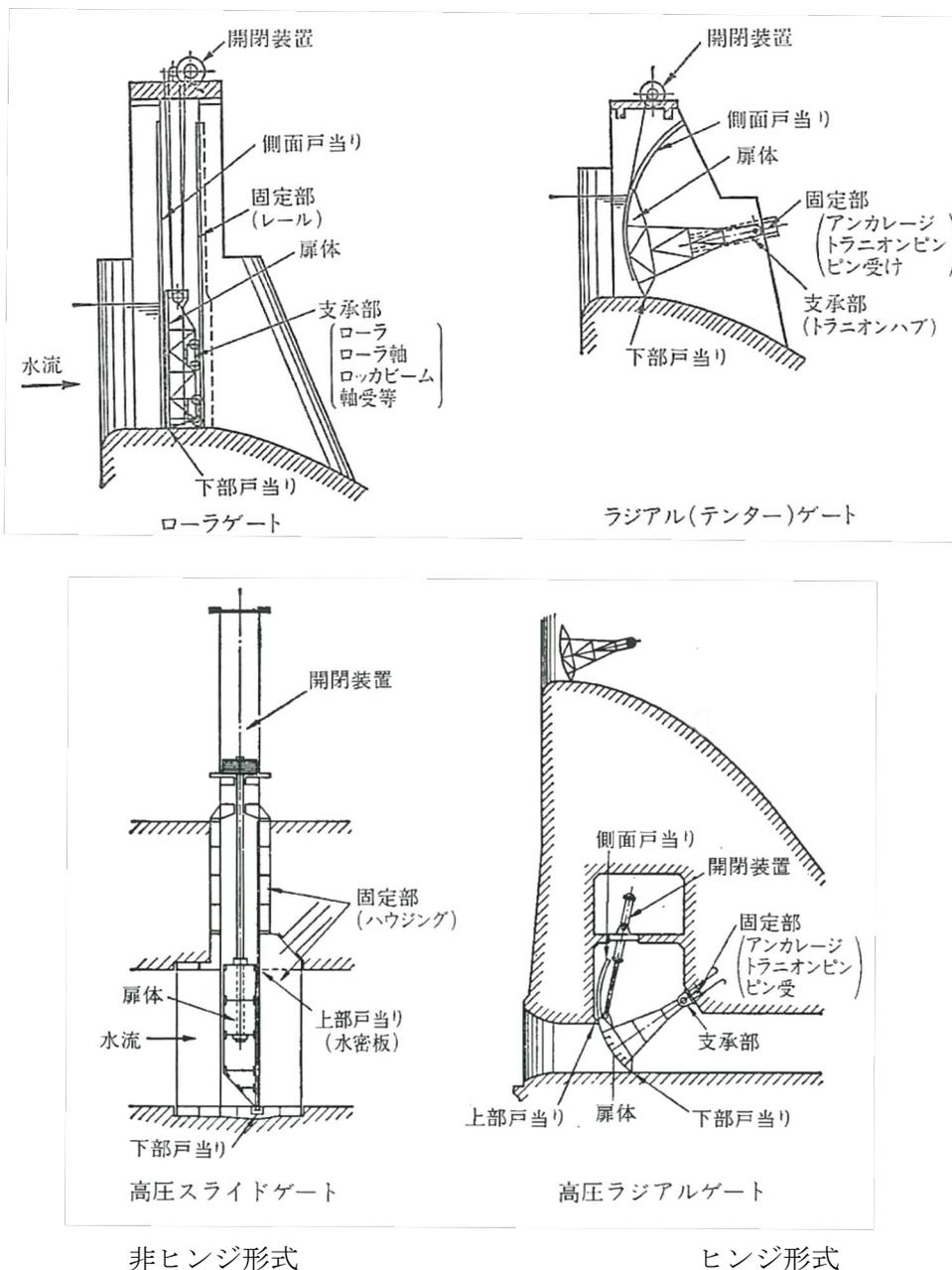


図2-8-1 ゲートの種類

2. ゲートの構造の原則

ゲートの構造の原則は、構造令第10条第1項から第3項において、以下のように定められている。

(ゲート等の構造の原則)

第10条 ダムのゲート(バルブを含む。以下この章において同じ。)は、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ものとする。

2 ダムのゲートの開閉装置は、ゲートの開閉を確実に行うことができる構造とするものとする。

3 ダムのゲートは、予想される荷重に対して安全な構造とするものとする。

(第4項 省略)

ゲートは、予想される荷重によって生じる応力が材料の許容応力度を超えないようにするとともに、その荷重によって座屈を生じない構造とすることが必要である。

ゲートの高さ、揚程、水密性、開閉速度等のゲートの基本的な形状、寸法及び機能は、その用途に合致したものであることが必要である。

ゲートは、ゲートの使用によって有害な振動を生ぜず、扉体が円滑かつ確実に作動するとともに、耐久性があり十分な剛性を有する構造とする必要がある。また、操作および点検・整備が容易かつ安全に行えるようにする。

3. ゲートの構造計算

ゲートに作用する荷重は、構造令第11条において、以下のように定められている。

(ゲートに作用する荷重の種類)

第11条 ダムのゲートに作用する荷重としては、ゲートの自重、貯留水による静水圧の力、貯水池内に堆積する泥土による力、貯留水の氷結時における力、地震時におけるゲートの慣性力、地震時における貯留水による動水圧の力及びゲートの開閉によって生ずる力を採用するものとする。

ゲートに作用する荷重の具体的な計算方法、荷重の組み合わせ及び許容応力は、施行規則第11条において以下のように定められている。

(ダムのゲートに作用する荷重)

規則第11条 令第11条に規定するダムのゲートに作用する荷重のうち、ゲートの自重、貯留水による静水圧の力、貯水池内に堆積する泥土による力、地震時におけるゲートの慣性力及び地震時における貯留水による動水圧の力については、第3条から第7条までの規定を準用する。この場合において、これらの規定中「ダムの堤体」とあるのは、「ダムのゲート」と読み替えるものとする。

2 ダムのゲートに作用する荷重としては、次の表の中欄に掲げる区分に応じ、同表の下欄に掲げるものを採用するものとする。

項	区分	荷重
1	地震時以外の時	W, P, Pe, Pi, Po
2	地震時	W, P, Pe, Pi, I, Pd
備考		

この表において、 W, P, Pe, Pi, I, Pd 及び Po は、それぞれ次の荷重を表すものとする。

- W ゲートの自重
- P 貯留水による静水圧の力
- Pe 貯水池内に堆積する泥土による力
- Pi 貯留水の氷結時における力
- I 地震時におけるゲートの慣性力
- Pd 起震時における貯留水による動水圧の力
- Po ゲートの開閉によって生ずる力

- 3 前項の表において採用する荷重によりダムゲートに生ずる応力は、適切な工学試験の結果に基づき定める許容応力を超えてはならないものとする。

ゲートの実状を踏まえ、必要に応じて、構造令第 11 条の規定以外の荷重との組合せを考慮する。

ゲートの応力精査は従来、ダム軸に直角な方向の 2 次元応力計算により行われることが多かったが、ゲートの形状が複雑な場合は 3 次元モデルやダム軸方向モデルで解析されることが多くなっている。

4. ゲートの構造の条件

越流型洪水吐きの引上げ式ゲートの最大引上げ時におけるゲートの下端及び越流型洪水吐きに付属して設けられる橋、巻上げ機等の堤頂構造物が設計洪水位において放流されることとなる流水の越流水面から有しなければならない間隔は、施行規則第 12 条において、以下のように定められている。

(ダムの越流型洪水吐きのゲート等の構造)

規則第 12 条 越流型洪水吐きの引上げ式ゲートの最大引上げ時におけるゲートの下端及び越流型洪水吐きに付属して設けられる橋、巻上げ機その他の堤頂構造物は、設計洪水位において放流されることとなる流量の流水の越流水面から 1.5 メートル以上の距離を置くものとする。

- 2 ダム設計洪水流量の流水が洪水吐きを流下する場合における越流水深が 2.5 メートル以下であるダムに関する前項の規定の適用については、同項中「1.5 メートル」とあるのは、「1.0 メートル」とする。

越流水面から有しなければならない間隔の範囲は、図 2-8-2 のとおりである。

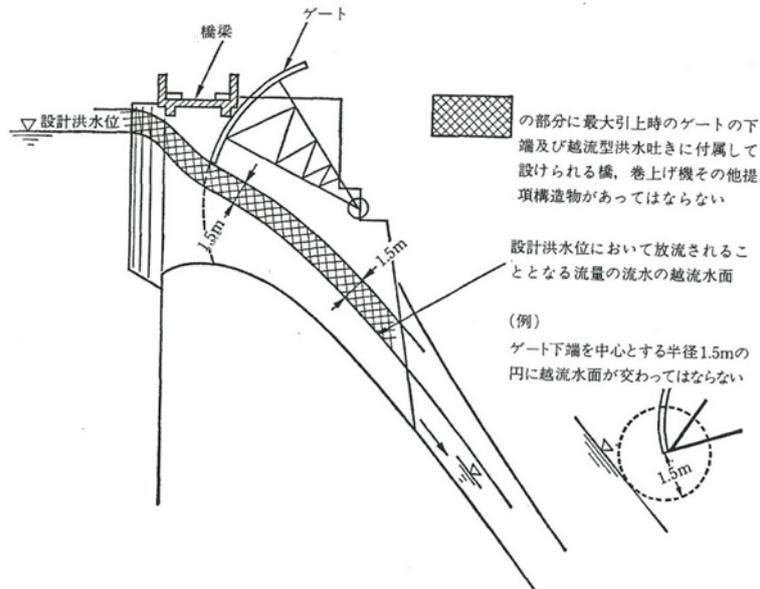


図2-8-2 ダムの越流型洪水吐きのゲートの構造

ゲートを、波浪等による越波に対しても安全な構造とするため、越流型洪水吐きのゲートの上端の標高は、ゲート形式及び各々の貯水池の水位に応じて必要な余裕を加えた標高のうち大きい値以上とする必要がある（表 2-8-1 参照）。

表2-8-1 ダムの越流部に設置されるゲートの上端の標高

ゲート形状		貯水池の水位	常時満水位	サーチャージ水位
		引上げ式	ラジアル形式	$H_n + h_w + h_e$
	パーティカル形式	$H_n + (h_w + h_e) / 2$	$H_s + (h_w + h_e / 2) / 2$	
	越流式	$H_n + H_w / 2$	H_s	

注) 1. H_n : 常時満水位、 H_s : サーチャージ水位
 h_w : 風による波浪高さ、 h_e : 地震による波浪高さ
 2. h_w 及び h_e は、本章 2.1.1 によるものとする。

扉体の開閉速度は、一般に 0.3m/min 前後を目安とする。

主動力の故障時に必要最低限の機能を確保するため、ゲートの開閉装置には、常用する動力設備のほか予備の動力設備を設けることとしている。ゲートの規模が小さく手動によっても確実に開閉できるときには、予備の動力設備に代えて、手動の開閉機構を設けることができる。

5. その他

ゲートの設計について、本基準に明示していないものについては、ダム・堰施設技術基準(案)による。

<必須>

1. ゲート（バルブを含む。以下同じ。）は、構造令第10条第1項から第3項に定めるゲート等の構造の原則に従い、必要な強度を有する材料及び部材を使用するものとし、以下の条件に適合するよう設計するものとする。

- ① ゲートは、十分な水密性及び耐久性を有する構造であること。
 - ② 予想される荷重によって生じる応力度が材料の許容応力度を超えないこと及びその荷重によって座屈を生じない構造であること。
 - ③ ゲートの高さ、揚程は流水の流下に対して安全であること。
 - ④ ゲートの開閉が円滑かつ確実であること。
 - ⑤ ゲートの開閉速度は、その使用条件に適合していること。
 - ⑥ ゲートの使用によって、有害な振動を生じないこと。
 - ⑦ ゲートのローラ、トラニオンハブなどの支承部は、扉体にかかる荷重を戸当りまたは、固定部に安全に伝える構造であること。
 - ⑧ 戸当りまたは固定部は、扉体にかかる荷重を支承部より受け、堤体等に安全に伝える構造であること。
 - ⑨ ゲートには原則として、ゲートを開閉するための動力設備及びその予備動力設備を用いること。
 - ⑩ ゲートは、操作及び保守管理が容易かつ安全に行えること。
2. ゲートに関する構造計算において作用する荷重の種類と組合せは、構造令第 11 条で定められたものを用いるものとし、それぞれの荷重は、施行規則第 11 条で定める方法によって計算するものとする。
 3. 越流型洪水吐きの引上げ式ゲートの最大引上げ時におけるゲートの下端及び越流型洪水吐きに付属して設けられる橋、巻上げ機等の堤頂構造物は、設計洪水位において放流されることとなる流量の流水の越流水面から、施行規則第 12 条に定める距離を置くものとする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について、昭和 51 年 11 月 23 日 建設省河政発第 70 号。
- 2) 技術調査課長・公共事業企画調整課長・河川環境課長・治水課長通達：ダム・堰施設技術基準(案)の一部改定について、平成 28 年 3 月 31 日、国技電第 72 号・国総公第 80 号・国水環第 140 号・国水治第 142 号。

<参考となる資料>

ゲートの設計に関しては、下記の資料 1)、資料 2) 及び 3) が参考となる。

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編／(社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成 12 年 1 月。
- 2) (一社) ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案)「平成 28 年 3 月改正」(基準解説編・マニュアル編)，平成 28 年 10 月。
- 3) (財) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 5 巻 設計Ⅱ編，平成 17 年 1 月。

8. 2 予備ゲートの設計

<考え方>

予備ゲートは、構造令第 10 条第 4 項において、以下のように定められている。

(ゲート等の構造の原則)

第 10 条

(1 項～3 項 省略)

4. ゲートを有する洪水吐きには、必要に応じ、予備のゲート又はこれに代わる設備を設け

るものとする。

ゲートを有する洪水吐きには、主ゲートの万一の故障及び保守点検に備えて、予備のゲートを設置しておく必要がある。ただし、保守点検や補修のときに貯水池水位の低下が容易に可能である場合には予備のゲートを必ずしも設ける必要はない。

また、ゲートの敷高と常時満水位との水頭が小さなきはこれに代わる角落とし等の戸当りを設けておくことが好ましい。

<標準>

ゲートを有する洪水吐きには、構造令第10条第4項に従い、主ゲートの故障、補修のために、予備ゲート又は、これに代わる設備を設けることを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局長通達：河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について，昭和51年11月23日 建設省河政発第70号。
- 2) 技術調査課長・公共事業企画調整課長・河川環境課長・治水課長通達：ダム・堰施設技術基準(案)の一部改定について，平成28年3月31日，国技電第72号・国総公第80号・国水環第140号・国水治第142号。

<参考となる資料>

予備ゲートの設計に関しては、下記の資料1)及び資料2)が参考となる。

- 1) (財)国土開発技術研究センター編／(社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，平成12年1月。
- 2) (一財)ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案)「平成28年3月改正」(基準解説編・マニュアル編)，平成28年10月

第2章 ダムの設計

第9節 管理設備の設計

目次

第9節	管理設備の設計	1
9.1	ダムの管理設備	1
9.2	水理観測・計測設備	1
9.3	放流警報設備	3
9.3.1	放流警報設備	3
9.3.2	放流警報設備を設置する区域	5
9.4	ダム管理用制御処理設備	5
9.5	監視設備	6
9.6	通信設備	7
9.7	電気設備	7
9.8	ダム・貯水池付属設備	8
9.9	管理所	9

令和3年10月 版

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第9節 管理設備の設計

9.1 ダムの管理設備

<考え方>

ダムの安全性を維持し、建設目的に応じた所要の機能を発揮するため、ダムには管理設備を設ける必要がある。

管理設備は、所要の洪水処理、低水放流が安全・確実に実施できるようにしなければならないことはもちろんであるが、併せて、設備部品の故障や地震による各種施設の破壊・損傷等の異常時あるいは緊急時の対応や設備の維持、修繕、更新の対応についても、これらが容易に行える施設とする必要がある。

このため、異常時あるいは緊急時に故障箇所等の必要な場所に操作員が速やかに移動できるよう十分配慮するとともに、貯水位計や放流設備の開度計等の重要な設備は、二重化する必要がある。

また、設備の維持、修繕、更新のための通路、機器の搬入方法について十分配慮するとともに、耐用年数が長い材質の採用、機器における汎用品の活用等についても併せて検討する必要がある。

管理設備は、降雨や洪水に対して確実に機能を発揮するために必要に応じて耐水化を図る必要がある。

ダムの管理設備は、施工時期が建設工程の最終段階になることや対象範囲が広範囲かつ多岐にわたることから、ダムの操作・運用への配慮が不足し、管理に入ってから問題を生じる場合があるため、ダム建設当初の段階から、逐次検討していく必要がある。

<標準>

ダムには管理設備として、水理観測・計測設備、放流警報設備、ダム管理用制御処理設備、監視設備、通信設備、電気設備、ダム・貯水池付属設備、管理所等を設置することを基本とする。

<例示>

以上のほか、管理設備として管理用車両及び船舶、一般広報設備、融雪施設等がある。

<関連通知等>

- 1) 水位・流量・雨雪量：河川法第45条，政令第25条・第26条。
- 2) 放流警報：河川法第48条，政令第31条，その他特定多目的ダム法第32条。
- 3) 河川砂防技術基準維持管理編（ダム編），平成28年3月，国土交通省水管理・国土保全局。

9.2 水理観測・計測設備

<考え方>

ダムの操作が当該河川の管理上適正に行われることを確保するため、雨量計、積雪計、貯水位計、河川水位計、流量計、開度計、水質自動観測装置、気象観測装置等の水理観測・計測設備を設置する必要がある。

これら各種データの収集・表示・記録等は一般にダム管理用制御処理設備を用いて行われることが多い。

各設備の設計にあたっては、以下のことに留意する必要がある。

1. 雨量計の配置は、集水域の面積50km²に1個所を目安とし、流域の規模、形状や降雨特性

等を考慮し、ダム目的、規模、特性に十分適合するよう検討する。

また、ダム操作上の基準地点までの間に大きな支川が合流する場合など、必要に応じ集水域外にも設置する。

2. 積雪計は集水域の一部または全部が積雪地域に属する場合に、原則として1箇所以上設けるものとする。

積雪計は、集水域内の積雪量がダムの設置目的・特性に応じて把握できるように集水域内の地形や降雪特性を調査して配置する。

3. 水位計は、ダム貯水量の把握、流入量の変化の把握や洪水のピーク到達時間の推定、放流による水位上昇量の把握や利水基準点までの到達時間の推定等、的確な放流操作等を行うため、必要な箇所に設置する。

(1) 貯水位計の設置位置は、ダムの直上流部に設置することを原則とし、貯水池の水面変動や放流による影響の少ない地点に正・副を設置する。計測範囲は、最低部の放流設備敷高からダム天端までとする。また、貯水池の特性からダムの直上流部の貯水位計だけでは貯水位が的確に捉えられない場合は、必要に応じてダムの直上流部以外にも設置する。

(2) ダム上流の河川水位計は、流入河川の特性を把握し、流入河川の流入状態が把握できるように、必要な箇所に設置する。

(3) ダム下流の河川水位計は、治水基準点、利水基準点及び操作のための基準点に設置する。また、必要に応じて狭窄部等に設置する。

4. 流量計は、小流量の放流能力を持つ低水放流設備等の流量を把握する必要がある場合に、放流管等に設置する。

5. 開度計は開度制御が必要な全てのゲート、バルブに設置する。

また、調整・点検が容易な場所に設置する。

重要なゲート、バルブの開度計は二重化する。

6. 水質自動観測装置は、選択取水設備を設置するなど連続的な水質観測が必要な貯水池において必要に応じて設置する。

ダム貯留水の水質を観測する地点は、取水または放流の影響を受けない地点とする。

また、流入水及び放流水を観測する地点は、貯水池にできるだけ近い地点とする。

計測装置は、維持管理を考慮して水中潜漬方式のものとし、信頼性、耐久性に配慮するものとする。

7. ダムの管理に必要となる気象情報として、大雨・洪水警報等の気象予警報、台風情報、天気予報、アメダス、高層気象、天気図、降水短時間予報、XRAIN、気象庁レーダ情報、気象衛星画像があるが、収集できない情報がある場合は、必要に応じて管理所周辺に気象観測装置を設置する。

<標準>

ダム管理に必要な水理観測・計測設備は当該ダムの設置位置、ダム操作方法等に応じ、雨量計、積雪計、貯水位計、河川水位計、流量計、開度計、水質観測設備等を設置することを基本とする。

貯水位計は正・副2台の水位計を設置することとし、量水標は管理所より目視により確認できるものであることを基本とする。

<推奨>

間接流域のあるダムにおいて、ダムを操作する上で間接流域の降雨情報が必要とされる場合には、間接流域にも雨量計を設置することが望ましい。

また、雨量がダムの管理運営上に重要なデータとなる場合は、欠測を考慮した配置を行うことが望ましい。

雨量計の設置地点は、公道の近く等、維持補修を容易に行える場所とすることが望ましい。

<例 示>

ダム集水域内に設置する雨量計のほかに地点雨量では把握の難しい降雨域の移動状況や流域内の雨量強度の分布等を定量的あるいは定性的に把握することが重要であり、そのための情報としては、流域の水位、カメラ画像、レーダ雨量(XRAIN)、ダムの情報、水質・潮位・積雪深、河川の子警報などがある。

水質自動観測装置の観測項目としては、水温、pH、溶存酸素(DO)、導電率、濁度、COD、クロロフィルaなどがある。

気象観測装置の観測項目としては、温度、湿度、気圧、蒸発量、日照・日射量、風向・風速などがある。

<関連通知等>

- 1) 水位・流量・雨雪量：河川法第45条，河川法施行令第25条・第26条。
- 2) 放流警報：河川法第48条，河川法施行令第31条，特定多目的ダム法第32条。
- 3) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室長通知：電気通信施設設計要領（通信編），平成29年3月28日，国技電第40号。
- 4) 技術調査課長・公共事業企画調整課長・河川環境課長通達：ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書について，平成28年8月1日，国官技第122号・国総公第28号・国水流第8号。

<参考となる資料>

水理観測・計測設備の標準的な設計手法としては、下記の資料1)が参考となる。開度計の設計手法としては、下記の資料2)が参考となる。ダム管理用制御処理設備の標準的な設計仕様としては、下記の資料3)が参考となる。また水理観測・計測設備の事例としては、下記の資料4)が参考となる。

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室監修／（一社）建設電気技術協会：電気通信施設設計要領・同解説（通信編），平成29年11月。
- 2) （一社）ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案)「平成28年3月改正」（基準解説編・マニュアル編），平成28年10月。
- 3) 電気通信室課長補佐・公共事業企画調整課長補佐・流水管理室課長補佐：ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書・同解説，平成28年8月。
- 4) （財）ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第7巻 管理編 第37章、平成17年1月。

9.3 放流警報設備

9.3.1 放流警報設備

<考え方>

ダムによって貯留された流水を放流することによって、流水の状況に著しい変化を生ずると認められる場合において、これによって生ずる危害を防止するため必要があると認められるときに、放流に先だて、あらかじめ河川の区域内にいる河川利用者のほか、河川の区域内に立ち入ろうとしている人々に警告を与えることを目的として放流警報設備を設置する必要がある。

ゲートを有しないダム、またはゲートを有していても洪水時に操作しないダムでは、常用洪水吐きから越流する場合、非常用洪水吐きから越流する場合の各場合において、これによって生ずる危害を防止するため必要があると認められる場合には、放流警報設備を設置する必要がある。

異常洪水時防災操作時におけるダム放流警報設備等の機能確保として、必要に応じ施設能力を超える規模の洪水に対するダム警報設備等の耐水化を図る必要がある。

各設備の設計にあたっては、以下のことに留意する必要がある。

1. サイレン及びスピーカ装置は、定められた放流警報区域の河川沿いの全範囲にわたり、河川の区域内に立ち入ろうとする人が確実に聞き取れるように、音達範囲、周辺環境、電源状況、電波伝搬等を考慮の上、配置する。

制御はダム管理所からの遠隔制御とし、無線回線を基本とし、その動作が管理所で直ちに確認できるよう返送確認方式の作動確認装置を設置する。

また、停電時の電源設備は直流電源とし、スピーカによる音声放送及びサイレン疑似音による警報が可能なものとする。

2. 立札は、ダムによる放流の危険性があること及びサイレンによる警報の意味について、河川利用者及び周辺住民に周知できるよう、定められた放流警報区域内の河川利用者や周辺住民の目につきやすい場所に設置する。

3. 放流警報表示装置は、サイレン及びスピーカ等の警報装置の補助的手段として、警報周知の徹底が必要な場合に活用するものとする。

制御はダム管理所からの遠隔制御とし、有線または無線回線を用いるものとする。

4. 注意灯は、放流警報後における警報継続を示すものとし、サイレン及びスピーカ装置、放流警報表示装置の各装置に併設して設置する。

制御は管理所からの遠隔制御方式とし、被併設装置の操作時にあわせて作動するものとする。

5. 警報車は、移動しながらの速やかな警報が可能なように、下流河川の利用状況、河川周辺の道路状況、警報区間、河道特性等の状況に応じて台数設定する。

警報車にはスピーカ装置を搭載するものとする。

また、緊急指定用の赤色回転灯及びサイレンを装備するとともに、管理所との連絡用として専用の移動無線電話装置を装備することを基本とする。

6. 放流に関する通知は、FAX 等により送信し、電話で着信確認することを基本として行う他、関係機関とのホットラインを活用するなどし、ダムからの放流が影響を及ぼす恐れのある地域を所轄する都道府県知事、市町村長、警察署長及び必要に応じその他機関に通知できるものとする。

< 必 須 >

ゲート操作を行うダムでは、ダムから放流を開始する場合、放流継続中に放流量増加制限を越えて放流を行う場合、異常洪水時防災操作に移行する場合の各場合において、警報を実施する為の放流警報設備を設置するものとする。

また、河川利用者等への警報のほか、防災活動の実施機関や放流による影響が生じると認められる関係機関へ通知するための装置を設けるものとする。

< 標 準 >

放流警報設備は、立札、サイレン、スピーカを基本とし、警報車を備えるものとする。また必要に応じて放流警報表示装置、注意灯等を用いることを基本とする。

9.3.2 放流警報設備を設置する区域

<考え方>

放流警報設備を設置すべき区域は、ダムからの放流による水位上昇量が30分間で30cmとなる影響範囲を考慮し設定されることが多いが、異常洪水時防災操作にあたり必要な警報を与えるべき区間も考慮し、周辺条件の連続性（直近の支川合流点、連続する家屋等）等を踏まえて設定する。

<標準>

放流警報設備を設置すべき区域は、ダムからの放流により流水の状況に著しい変化を生ずると認められる区間を基本とする。

<関連通知等>

- 1) 放流警報：河川法第48条，政令第31条，その他特定多目的ダム法第32条。
- 2) 国土交通省河川局河川環境課流水管理室長通知：ダム放流警報システム計画・設計指針（案）の改訂について，平成23年4月1日，国河流第3号。
- 3) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室長通知：電気通信施設設計要領（通信編），平成29年3月28日，国技電第40号。

<参考となる資料>

放流警報設備の計画及び設計の基本的な事項については、下記の資料1)が参考となる。放流警報設備の標準的な設計手法として下記の資料2)が参考となる。また放流警報設備の事例としては下記の資料3)が参考となる。

- 1) 国土交通省河川局河川環境課流水監理室事務連絡：ダム放流警報システム計画・設計指針（案）・同解説，平成23年4月。
- 2) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室監修／（一社）建設電気技術協会：電気通信施設設計要領・同解説（通信編），平成29年11月。
- 3) （財）ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第7巻 管理編 第37章，平成17年1月。

9.4 ダム管理用制御処理設備

<考え方>

ダムの制御の基本は、放流設備の操作を的確に行うことにより洪水調節、用水補給などの機能を確実に発揮させる必要がある。

ゲート・バルブなどの操作は操作員により行われるが、ダム管理用制御処理設備は、この操作を確実かつ容易に行うための補助設備であり、実際に操作を判断・実行する操作員との役割分担を十分に理解して設置する必要がある。

<標準>

ダム管理用制御処理設備は、ダムの操作などに応じ、入出力処理機能、演算処理機能、制御処理機能、表示・記録処理機能、情報伝達処理機能、その他機能を有する設備を設置することを基本とする。

ダム管理用制御処理設備はダム管理上の情報が集中する設備であるため主要な部分の二重化による安全性を確保した設備を設置することを基本とする。

また、修繕、更新の容易さを確保するため汎用型の機器により構成された設備を設置することを基本とする。

<推 奨>

通常経路の途絶やダム地点への立ち入り規制等によりダム管理所にダムの操作員が参集できなくなる等の異常事態に対処するため、放流設備の遠隔操作が可能な設備を導入することが望ましい。ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書では、導入する場合の安全対策について示している。

<関連通知等>

- 1) 技術調査課長・公共事業企画調整課長・河川環境課長通達：ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書について，平成 28 年 8 月 31 日，国管技第 122 号・国総公第 28 号・国水流第 8 号。

<参考となる資料>

ダム管理用制御処理設備の標準的な設計仕様として下記の資料が参考となる。

- 1) 電気通信室課長補佐・公共事業企画調整課長補佐・流水管理室課長補佐：ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書・同解説，平成 28 年 8 月。

9. 5 監視設備**<考え方>**

CCTV装置は、管理棟内においてゲートの動作状態、貯水池及びダム直下流の河川内の状況を確認できるものとし、運用条件、距離等を勘案の上配置する必要がある。

遠隔監視設備は、ダム管理所から離れた遠隔地においてダム管理情報を監視できるものとし、ダム管理用制御処理設備からダム管理情報を伝送する通信設備、遠隔管理箇所での表示装置、無停電化された電源設備により構成する必要がある。

遠隔監視設備で取り扱う情報は、(1)洪水警戒体制の判断に必要な情報、(2)貯水位、ダムの取水・放流量などダムに関する情報、(3)地震動による最大加速度、地震後の漏水量、(4)施設の状態信号、故障信号など設備の動作監視に必要な各種情報の中からダムの操作等を勘案の上選択する必要がある。

<標 準>

監視設備は、CCTV装置及び遠隔監視設備を必要に応じて設置することを基本とする。

<推 奨>

遠隔監視設備は、操作規則上の所長が常駐する場所が遠隔地である場合、複数のダムを統合管理する場合、積雪地域のダムで冬期に管理所までの交通が容易に確保できない場合、ダムの操作頻度が比較的高い場合などには設置することが望ましい。

<関連通知等>

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室長通知：電気通信施設設計要領（情報通信システム編），平成 29 年 3 月 28 日，国技電第 40 号。

<参考となる資料>

監視設備の標準的な設計手法として下記の資料が参考となる。

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室監修／（一社）建設電気技術協会：電気通信施設設計要領・同解説（情報通信システム編），平成 29 年 11 月。

9. 6 通信設備

<考え方>

通信設備は、ダム管理に必要な情報伝達を担う重要な設備であり、体制の判断に必要な不可欠な情報の収集、あるいは放流操作に係る関係機関への連絡通知等のため設置する必要がある。

各設備の設計にあたっては、以下のことに留意する必要がある。

1. 職員及び関係機関などが管理所の外から貯水位、流入量、流域雨量、累積雨量などの基本的なダム情報を把握できるようにする必要がある。
2. ダム管理用の通話装置として、管理所とゲート機械室等堤体内の主要設備が設置されている場所、電気室、発電室、無線室、艇庫、車庫、通路の出入口、昇降口などの現地との連絡が可能なよう所内電話を設置する。

<標準>

通信する必要がある情報の種類、量などに応じて、適切な通信設備を設置することを基本とする。

<推奨>

ダム管理用の通話装置は、原則として外線との接続を行わないこととするが、ゲート機械室、電気室、無線室等では機器の保守作業時に外部との連絡が必要になるため、外線への接続が可能であることが望ましい。

<関連通知等>

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室長通知：電気通信施設設計要領（通信編），平成 29 年 3 月 28 日，国技電第 40 号。

<参考となる資料>

通信設備の標準的な設計手法として下記の資料が参考となる。

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室監修／（一社）建設電気技術協会：電気通信施設設計要領・同解説（通信編），平成 29 年 11 月。

9. 7 電気設備

<考え方>

電気設備の計画にあたっては、管理設備全体を把握し、施設の目的や規模に合った適切なものとする必要がある。

受変電設備の電力容量は、将来需要を見込んだ上、適切な需要率を乗じて設定する必要がある。

ダム管理設備の中から交流電源の瞬断が許されない機器については、無停電電源装置を計画する必要がある。

<標準>

電気設備は、安定した電源の供給と停電時の電源を確保するものとし、適切な電気設備を設置することを基本とする。

地震や豪雨等の停電発生時における、予備発電機の連続運転可能時間は、72 時間以上とすることを基本とする。

予備発電設備の発電機は、ゲートを有するダムでは2台方式、ゲートを有しないダムでは1台方式を基本とする。

<例 示>

電気設備を構成する設備・装置には、受変電設備、配電設備、予備発電設備、無停電電源装置、照明設備などがある。

<関連通知等>

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室長通知：電気通信施設設計要領（電気編），平成29年3月28日，国技電第40号。

<参考となる資料>

電気設備の標準的な設計手法として下記の資料が参考となる。

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室監修／（一社）建設電気技術協会：電気通信施設設計要領・同解説（電気編），平成29年11月。

9.8 ダム・貯水池付属設備

<考え方>

ダム・貯水池付属設備は、ダム・貯水池の管理を効率的に行うように補助する設備、あるいはダム湖及び周辺環境の保全を目的として設置する設備である。

各設備の設計にあたっては、以下のことに留意する必要がある。

1. 昇降設備は、堤体・基礎地盤の補修及びゲート・バルブ等の堤体内の諸設備の維持管理のための人荷輸送が適切に行われるように、必要に応じて設ける。

設備形式としてはエレベータ、モノレール、インクライン等があるが、一般にエレベータが設けられている。

モノレール、インクラインについても有効に活用されるためには、設置目的を明確にするとともに、乗降の便や乗車中の安全性を十分考慮する。

2. 排水設備は、堤体や基礎地盤からの漏水等を排除するものであり、ダム形型式、ダム規模、基礎地盤の地質特性等を考慮の上必要な排水量を検討し、確実に排水できるよう計画する。

排水は、原則として自然流下によるものとするが、下流水位が高く、自然流下による排水が困難な場合には、ポンプ設備を用いる。

3. 係船設備は、係留設備、昇降設備、格納庫から構成するものとし、貯水池の水位変動、船舶の使用頻度等を考慮して、必要な機能を発揮できるよう計画する。

4. 除塵及び処理設備は、一般に流木止め、引揚設備、運搬路により構成され、集塵船が用いられる場合もある。

設備の計画にあたっては、発生流木量、流木・塵芥の種類、湛水面積に十分留意のうえ、流木・塵芥の収集から処理までの作業が一連のものとして円滑に行えるよう検討する。

5. 作業ヤードや貯水池への進入路は、流木・塵芥の収集や堆砂掘削などの貯水池の管理に必要な作業を考慮して計画する。

<標準>

ダム・貯水池付属設備は、ダムや貯水池の特性に応じ、昇降装置、排水設備、係船設備、除塵及び処理設備、作業ヤードや進入路を設置することを基本とする。

9.9 管理所

<考え方>

管理所は、洪水時及び異常時等においてもダムの管理を十分安全に行い、また、日常の作業を円滑に行うために設ける必要がある。

管理所の設置に当たっては、以下のことに留意する必要がある。

1. 管理所はダム本体上に設置してはならない。
2. 管理所は、異常時に浸水、がけ崩れ等のため機能が停止するような場所に設置してはならない。
3. 管理所の構造は永久構造とし、その規模は操作室の面積及び操作、監視等に必要な設備機器の床面積等、将来を考慮して決定することを基本とする。
4. 管理所の設置位置は貯水池水位、ゲートの操作状況を目視できる場所に設けるものとし、近くに作業用の広場を極力確保することを基本とする。
また、洪水時における勤務体制を考慮して、宿泊等が可能な施設を設けることを基本とする。
5. 管理所には、ダムの操作、情報の収集、連絡・通報・警報の発信、記録の作成、情報の処理等の機器を配置する必要がある。
6. 管理所には、操作室、事務室、資料室、宿直施設、車庫、倉庫、予備動力室、油庫、受電施設室等を設け、このうち予備動力室、車庫等は別棟とし、管理業務に支障を生じないよう配慮する必要がある。
7. ダム管理用制御処理設備等電子機器を入れる場合には、特に空調施設を考慮しなければならないが、管理所全体の空調施設との関連を十分検討しておく必要がある。

<標準>

ダムには、ダムの管理を安全確実にを行うため、管理所を設けることを基本とする。

<例示>

より効率的なダム運用を実現することを目的として複数のダムを1箇所の管理所より遠隔監視・制御している事例がある。

第 2 章 ダムの設計

第 10 節 試験湛水

目 次

第 10 節 試験湛水	1
-------------------	---

令和 3 年 10 月 版

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第10節 試験湛水

<考え方>

試験湛水とは、ダムの本格的な運用に移行する前に、貯水池の水位を上昇及び下降させてダム、その基礎地盤及び貯水池周辺の斜面の安全性を確認する行為である。

ダムの建設にあたっては、入念な諸調査を実施し、その結果に基づいて諸施設の確実な設計、施工を行っているところであるが、ダムの初期湛水時にあたっては、その挙動を計測、監視し、ダムの安全性を確認する試験湛水を行う必要がある。

試験湛水は、「試験湛水実施要領（案）」に基づき、実施する。

ダムを築造して初めて湛水にあたる場合には、ダムや基礎地盤の安全性、さらには、放流設備やそれに関わる諸設備の作動状況、操作の信頼性を確実なものにしておかなければならない。また、貯水池周辺の斜面も、貯水位の上昇による浮力の発生や貯水位の下降による残留間隙水圧等が原因となって不安定な状態となる場合があることから、その安全性も同時に確認しておかなければならない。

ダム再生事業等において、堤体のかさ上げ、放流設備の増設等の改良により運用貯水位の変動範囲や変動速度を変更させるなどの貯水池運用変更をする場合は、管理ダムの運用貯水位の変動範囲や変動速度の実績、既往の調査結果や計測データを踏まえて試験湛水の必要性を検討し、必要に応じて試験湛水を行う。

また、試験湛水時の状況や各種計測結果は、その後のダム管理に使用するダム点検整備基準を策定するうえで必要な情報となる。

<標準>

ダムはその本格的な運用に移行する前に、貯水池の水位を上昇及び下降させてダム、その基礎地盤及び貯水池周辺の斜面の安全性を確認することを基本とする。

<関連通知等>

- 1) 建設省河川局開発課通達：試験湛水実施要領（案）の策定について、平成 11 年 10 月 1 日、建河開発第 98 号。
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局長通達：国土交通省河川砂防技術基準維持管理編（ダム編）について、平成 28 年 3 月 31 日、国水流第 31 号。
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課長通達：ダム総合点検実施要領について、平成 25 年 10 月 1 日、国水環第 65 号。
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課長、治水課長通達：貯水池周辺の地すべりに係る調査と対策に関する技術指針・同解説について、平成 31 年 3 月 25 日、国水環第 205 号、国水治第 170 号。

<参考となる資料>

試験湛水の実施方法については、下記の資料が参考となる。

- 1) （財）ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成 17 年版 第 7 巻 管理編 第 35 章，平成 17 年 6 月。

第 2 章 ダムの設計

第 11 節 ダム再生

目 次

第 11 節	ダム再生	1
--------	------------	---

令和 3 年 10 月 版

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第11節 ダム再生

<考え方>

既設ダムを有効活用するダム再生には、降雨予測の精度向上を図りながらの事前放流等の運用改善、既設ダムのかさ上げ、容量振替、既設ダム間の連携利用、堆砂対策等の様々な手法があるが、洪水調節容量の増加や放流能力の増強等のための施設改造が必要となることがある。

ダム再生における施設改造の手法としては、堤体のかさ上げ、堤体の削孔又は切削による放流設備の増設、地山の開削やトンネル掘削による放流設備の増設等がある。

ダム再生における施設改造は、現ダムの治水・利水機能を維持しながら施工することを考慮し、工事中の安全性保持や利水施設への影響に留意する必要がある。特に、既設ダムを改造する場合には施工中の河流処理が大きな課題となるため、設計段階で施工計画を一体的に検討しておくことが必要である。

以下では国内で実績のある改造方式について述べる。なお、応力状態が複雑なアーチダムでは堤体のかさ上げや削孔などの国内事例がなく、今後の技術的な検討の積み重ねが必要である。

1. 重力式コンクリートダムのかさ上げ

かさ上げを行う重力式コンクリートダムでは、かさ上げを行うダム堤体全体としての安定性ととも、既設堤体コンクリート及びこれに拘束される新堤体コンクリートの温度応力、新旧堤体の一体化の確実性、水圧増加による基礎処理の止水機能への影響、必要せん断強度の増加に伴う基礎地盤の安定性への影響等に対して検討を行う。また、かさ上げ工事中は、既設堤体に及ぼす影響を抑えるために、既設堤体下流の掘削の施工方法を慎重に選定する。

既設ダムのかさ上げは、既設堤体とダムを同一として堤高を増加させる同軸かさ上げと、既設ダムより下流側にダム軸を持つ新堤体により堤高を増加させる下流軸かさ上げがある。なお、既設堤体の頂部のみをかさ上げする堤頂部かさ上げや、既設堤体下流面の高標高部以上の一部をかさ上げする部分かさ上げが行われることもある（図 2-11-1 参照）。

下流面全体の増厚を伴う同軸かさ上げでは、垣谷公式等による堤体安定性の検討を基本として基本断面形状の決定を行うが、決定した堤体形状に対して内部応力解析を行い、安定性の確認や基本形状の微修正を行う場合がある。

部分かさ上げは、同軸かさ上げと同様の検討を行う。

小規模なかさ上げである堤頂部のかさ上げでは、垣谷公式は用いず、新設ダムと同じ安定計算を行って安定性を確認することが可能であるが、最大断面以外にも堤頂部付近の下流面勾配が変化する断面の堤体上流端に引張が生じ易くなる場合があるため注意を要する。

下流軸かさ上げでは、新設ダムと同様の安定性の検討が必要となる。なお、新堤体の一部が既設堤体に上座する場合は、既設堤体の横継目を經由して貯水が新設堤体内に浸透しやすくなるため十分な止水処理を行う必要がある。なお、既設ダムの下流側に新規ダムを建設する場合については、設計面では基本的に新設ダムの場合と同様であるため、ここでは既設ダムのかさ上げのタイプとして位置づけていない。

重力式コンクリートダムのかさ上げにあたっては、既設ダムに比べ相対的に地形・地質条件が厳しい可能性があること、既設堤体の扱いとして施工中の放流設備の機能維持や新ダムの運用上支障となる設備の撤去が必要になることなどに留意する必要がある。

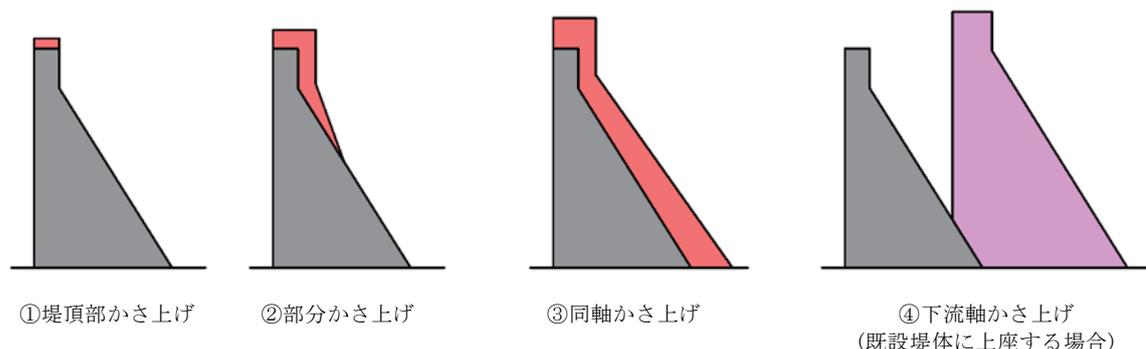


図2-11-1 重力式コンクリートダムのかさ上げのタイプ

かさ上げを行うダムの温度応力を検討する場合の特徴としては、基礎岩盤の他に既設堤体コンクリートに拘束された新堤体コンクリートの温度応力、貯水位変動に伴った既設堤体の挙動による、新設堤体への荷重が作用する条件下にあることが挙げられる。このため、施工時水位とリフトスケジュールを組み合わせた計算モデルにより、温度応力を検討し、その検討結果を堤体設計や施工計画に反映させる検討が必要となる。

かさ上げを行うダムは、新旧堤体が一体化し水圧に抵抗する構造物であり、また、万一の漏水が打継面に浸入すると水圧が作用し新旧堤体の一体化が阻害されることから、既設堤体下流面の表層劣化部をチップングし、新堤体コンクリートの付着を確実にする必要がある。

かさ上げを行うダムは貯水位が従前より増加するため、水理地質に関する調査および解析を行い、カーテングラウチングを新たに実施するが多い。ただし、施工範囲については、既設ダムにおける基礎岩盤内の浸透流の状況に関する調査結果も踏まえ適切に設定する必要がある。この場合のカーテングラウチングの施工は、一般には既設ダムの通廊内から実施されるが、通廊が設置されていない場合には、既設ダムの天端からの施工や貯水位を一時的に下げて上流フーチングから実施する場合がある。また、コンソリデーショングラウチングについては、新堤体の基礎岩盤部分にのみ実施する例が多い。

かさ上げダムで基礎掘削を行う場合は、既設ダムの直近傍で実施され、水圧等による応力が作用している状態での岩盤掘削となることから、既設ダム堤体に及ぼす影響を最小限に抑える必要がある。

2. フィルダムのかさ上げ

アースダムのかさ上げでは、既設堤体の物性やそれに基づく安定性評価の結果が現行の基準に適合するか確認するとともに、かさ上げダムの地震時を含めた安全性評価が必要である（図 2-11-2 参照）。堤体が砂質土主体で築造されている場合には、地震時の非排水繰り返し荷重による強度低下とひずみ軟化を考慮した安定性の検討等が必要になることもある。また、施工に当たっては、新旧堤体の境界面が水みちとなって安全性に影響を及ぼす可能性が考えられることから、新旧堤体の境界面の施工、締固めには十分留意する必要がある。

ゾーン型（土質遮水壁型）ロックフィルダムのかさ上げでは、新旧堤体の遮水ゾーン（コアゾーン）の連続性を確保するほか、既設堤体内の遮水ゾーンの堤敷幅は拡大出来ないため貯水位の上昇に対する遮水ゾーンの水压破砕に対する安全性の検討や監査廊コンクリートの応力増加に対する安全性の検討も必要となる。これらの課題検討の必要性より一般的に、ゾーン型（土質遮水壁型）ロックフィルダムの大規模なかさ上げは困難を伴う点が多い。なお、既設フィルダムを新設のゾーン型（土質遮水壁型）ロックフィルダムの上流側透

水ゾーン（ロックゾーン）に取り込むかさ上げ事例もあるが、この場合には遮水ゾーン（コアゾーン）の連続性などの課題は発生しないが、新旧堤体の変形性に大きな差がある場合には新設堤体の築堤による応力に対する安全性の検討が重要となる。また、既設ダムのかさ上げにおいては、コア材の水圧破砕に対する抵抗性の試験・評価方法の精度向上が重要である。

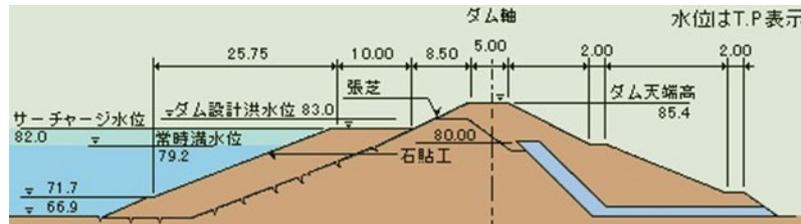


図2-11-2 アースダムのかさ上げ

3. 既設重力式コンクリートダムの削孔

既設重力式コンクリートダムの堤体を削孔し、放流管を新設又は増設する場合には、施工時及び完成時に削孔した周辺のコンクリートに発生する引張応力に対する安全性を確認する必要がある。

放流管周辺のコンクリートに発生する応力を算出する手法は、新設ダムの放流管ブロックの設計を行う方法に準じることとなる。しかし、放流管周辺コンクリートの補強のための配筋計算の際、新設ダムの場合には、上載される堤体自重や水圧により生じる堤体内応力に対して配筋量を定めていたが、既設堤体を削孔する場合、施工時水位に対応した水圧荷重と堤体自重分による応力は既設のコンクリート内で再配分されることから、その状態を初期応力状態として必要となる配筋量を計算することとなる。なお、特に削孔箇所が堤体下部となる場合、施工時において削孔した周辺には大きな引張応力が発生する可能性があることから、必要な配筋を行うとともに、ひび割れの発生を監視しながらの施工が必要である。

堤体削孔により設ける放流管の開口部の大きさは、開口部周辺に生じる引張応力が大きくなることから設置される堤体ブロック幅の1/3程度以下とするのが一般的であるが、より大きな開口部を設計する場合には、応力条件がさらに厳しくなる。また、開口部を設ける箇所が深いほど応力条件は厳しくなる。開口部の設計にあたってはこれらのことを考慮して、開口部を含む堤体ブロックについて詳細な応力解析を行い、安全性を確認する必要がある。

また、増設放流管の規模や条数を検討する場合には、放流管に求められる放流機能、キャビテーション損傷を防止するための負圧発生への対応、操作条件や操作効率を考慮することが必要である。

さらに、堤体上流面に設置する仮締切工は、削孔部の両側堤体に貯水等から作用する荷重を伝達する重要な構造物であることを考慮し、その堤体との接合部を含めて施工中の安全性が十分確保されるよう設計する必要がある。

4. 既設重力式コンクリートダム上部の切削

既設重力式コンクリートダムの堤体の天端を含む高標高部を切削し、洪水吐きなどの放流設備を新設、増設又は改造（ゲートレス化含む）する場合、切削による改造を施した周辺の堤体に発生する応力等に対する安全性が確保されるよう設計・施工する必要がある。

そのためには、堤体構造及び貯水池運用の特性を踏まえ、貯水や地震による荷重に対する堤体の安定性が改造（切削）後の状態だけでなく施工の各段階においても確保されるよ

うにする必要がある。このため、完成後とともに施工中においても必要な安全性を確保するための施工手順を施工中の運用水位制限の必要性を含め設計段階で検討しておく必要がある。

例えば、切削部周辺の堤体においては、新設ダムの構造設計で一般的に考慮される上下流方向の荷重に対する安定性だけでなく、ダム軸方向の荷重に対する安定性の確保も必要となる。既設堤体が無筋コンクリートであることもあり、切削部周辺堤体のダム軸方向の変位を抑制するための補強部材の設置が必要になる場合もある。なお、このような補強部材の設計を含むダム軸方向の安定性の検討では、堤体や補強部材の温度変化による影響も考慮する必要がある。

さらに、堤体上流面に設置する仮締切工は、切削部の両側堤体に貯水等から作用する荷重を伝達する重要な構造物であることを考慮し、その堤体との接合部を含めて施工中の安全性が十分確保されるよう設計する必要がある。

5. トンネル洪水吐きの増設

地山を掘削して洪水吐きを設置するトンネル洪水吐きは、呑口部（流入水路含む）、トンネル部、吐口部（減勢工）で構成され、各々の構造的安定性を確保するように設計する必要がある。

トンネルの平面線形は、既設堤体及びカーテングラウチングに有害な影響を与えないこと、十分な浸透路長を確保すること等を考慮して定める必要がある。また、地山の地下水位がトンネル背面を介して下流側へ浸透しないようにトンネル周辺の止水処理は入念に行う必要がある。

呑口部は貯水池を運用しながら施工する場合は、大規模な仮締切（鋼管矢板構造等）が必要となり、土留め壁等として恒久的に活用する前提で仮締切を設計することが多い。この場合、仮締切は、完成後の形状と荷重条件も考慮して設計する必要がある。仮締切は、トンネル掘削時、流入水路設置時の鋼管矢板の切断により荷重状態が大きく変わるため、各施工ステップで構造的安定性を検討する必要がある。呑口部とトンネルの接合部は止水上の弱点となり易いため密実な止水グラウチングを行うことが重要である。

6. 地山開削による洪水吐きの増設

地山開削により増設する洪水吐きは、呑口部、導流水路部（シュート部含む）、減勢部で構成され、各々の構造的安定性を確保するように設計する必要がある。

地山開削に伴い既設堤体の変形や浸透量が増大しないように施工方法を含めて検討する必要がある。また、造成する洪水吐きと既設堤体の止水ラインの連続性に留意して基礎処理を行う必要がある。

<標準>

既設ダムの改造は、既設ダムの設計条件や挙動を踏まえ、新設ダムと異なる応力状態となることに留意して、施工条件を考慮した上で設計することを基本とする。

<例示>

同軸かさ上げダムの設計は、「垣谷公式」を基本として検討されることが多い。その基本形状は、上流面は貯水位を低下させることが出来ないため下流面勾配を調整して安定性を確保するように決定する。

垣谷公式では以下の仮定を前提としている。

- ①新コンクリートの硬化収縮による容積変化を無視する
- ②新コンクリートの物理的性質の相違などを無視する

③新旧コンクリートが一体となれば剛体力学的に扱うことができる

④新コンクリートは自重のほかには外力を受けずに硬化するものとする

かさ上げ後の堤体着岩部の応力は、既設ダム of 応力とかさ上げによって新たに生じた荷重による新ダムの応力との和となる。かさ上げダムの断面は、この重ね合わせた応力が、堤体の上流端で 0 若しくは圧縮側となるように決定される。既設堤体に作用する荷重は静水圧及び水重、かさ上げによって新たに加わる荷重は静水圧（かさ上げによる増分）、堆砂圧、地震時慣性力、地震時動水圧、水重、揚圧力、自重である（図 2-11-3 参照）。自重については、かさ上げ部分も含めた全堤体の自重をかさ上げ後の荷重として取り扱っている。

既設堤体上流端の着岩部応力は、

$$\sigma_u(\text{I}) = \frac{2n_0\beta^2}{m_0 + n_0} \gamma \cdot h - \frac{(1 + n_0^2)\beta^3}{(m_0 + n_0)^2} \gamma \cdot h$$

新堤体上流端の着岩部応力は、

$$\begin{aligned} \sigma_u(\text{II}) = & \frac{h}{(m + n_0)^2(1 + \alpha)^2} [(\gamma_c - \mu \cdot \gamma)(1 + \alpha)^3 m^2 \\ & + [(1 + \alpha)^3 \{2\gamma \cdot n_0 + \gamma_c n_0 - 2\mu \cdot \gamma \cdot n_0 - \gamma_c k\} + \\ & (1 + \alpha)\{2(\gamma_s - 1) \cdot n_0 \delta^2 - 2\gamma \cdot n_0 \beta^2\}] m \\ & + (1 + \alpha)^3 \{\gamma \cdot n_0^2 - \mu \cdot \gamma \cdot n_0^2 - \gamma - 1.4\gamma \cdot k \cdot \zeta^3 - \gamma_c k n_0\} + \\ & (1 + \alpha)\{2(\gamma_s - 1)n_0^2 \delta^2 - 2\gamma \cdot n_0^2 \beta^2\} + \gamma \beta^3(1 + n_0^2) - (\gamma_s - 1)\delta^3(n_0^2 + C_e)] \end{aligned}$$

ここで、

n_0 : 既設堤体上流面勾配

m_0 : 既設堤体下流面勾配

m : 新堤体下流面勾配

h : 旧堤高

α : かさ上げ高と h の比率（かさ上げ高/ h ）

β : 施工時水深と h の比率（施工時水深/ h ）

δ : 堆砂高と h との比率（堆砂高/ h ）

ζ : 新満水位時水深と新堤高 $(1 + \alpha) h$ との比率（新満水位時水深/新堤高）

γ : 水の単位体積重量

γ_c : コンクリートの単位体積重量

γ_s : 堆砂の水中の単位体積重量

μ : 揚圧力係数

k : 設計震度

C_e : 泥圧係数

W : かさ上げ後の全堤体の自重

σ_u : 堤体底面上流端に作用する鉛直応力

σ_j : 既設堤体底面下流端に作用する鉛直応力

σ_d : 新堤体底面下流端に作用する鉛直応力

ここで堤体上流端の応力を 0 とする必要から、 $\sigma_u(\text{I}) + \sigma_u(\text{II}) = 0$ が成り立ち、これにより、かさ上げ堤体の下流面勾配 m が求められる。

なお、垣谷公式では、かさ上げ前の既設堤体には静水圧及び水重のみを作用させているが、実際の荷重の載荷状況を踏まえて、かさ上げ前の既設堤体に自重、揚圧力も作用させ、かさ上げ後にはそれらの荷重増加分のみを作用させて安定計算を行う場合もある。一般的には垣谷公式を用いた方が安定条件を満足する下流面勾配が緩くなる点で安全側の設計となる。

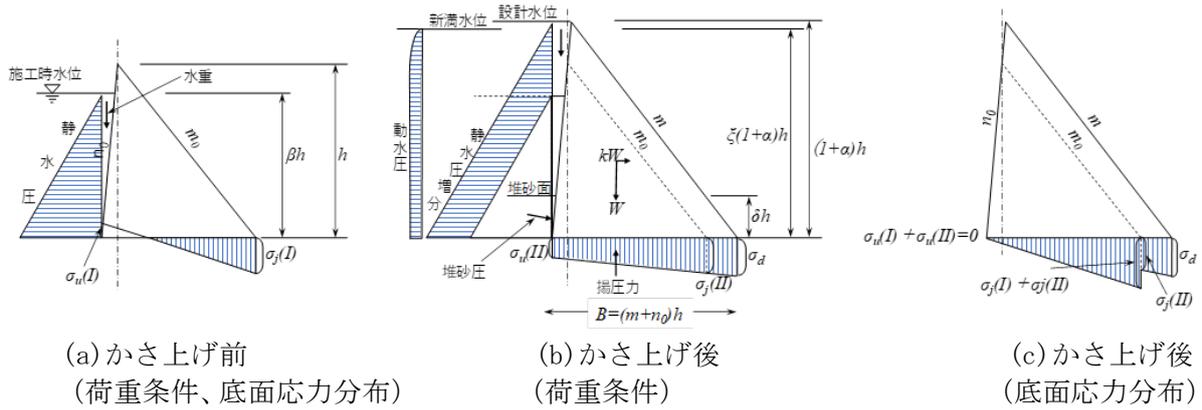


図2-11-3かさ上げ公式（垣谷公式）での荷重条件と着岩部の応力分布

堤体削孔による構造解析は、近年では1ブロックの抽出モデルを対象に3次元FEM解析により行うことが多くなっている。内部応力に対する安全性評価は、施工時水位での初期応力に対して、完成後の水位の上昇による荷重増分や地震荷重による発生応力を重ね合わせて検討されている。この際、既設堤体に発生する応力については既設堤体コンクリートの引張強度を十分下回ることを条件とし、放流管周りの充填コンクリートに発生する引張応力に対しては配筋により対応することが多い。

堤体削孔による増設放流管は、求められる放流機能として既設の放流設備より低位での放流が可能となるよう圧力管として設計される事例がある。また、トンネル洪水吐きは、一般に対象流量が大きく必要断面が大きくなるため、経済性や施工性を考慮してコンクリート覆工の圧力トンネルとして設計される事例がある。これらの圧力管もしくは圧力トンネルについては、キャビテーション損傷を防止するための負圧発生への対応として、水理的な安全性確保の面から、既往事例では流速10m/s以下として設計されているのが基本であるが、水理模型実験等により安全性を確認し、流速10m/s以上で設計した事例もある。

<関連通知等>

ダム再生ビジョン 平成29年6月 国土交通省水管理・国土保全局。

- 2) ダム再生ガイドライン 平成30年3月 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課流水管理室, 治水課事業監理室。

<参考となる資料>

- 1) 垣谷正道：嵩上げ堰堤の安定計算について 日本発送電工 第1202号, 1946.
- 2) 独立行政法人土木研究所：環境に配慮したダムの効率的な建設・再開業事業に関する研究 土木研究所報告 No. 208, 平成19年.
- 3) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年版 第5巻, 設計Ⅱ編, 平成17年6月.

第 2 章 ダムの設計

第 12 節 ダムの耐震性能照査

目 次

第 12 節	ダムの耐震性能照査	1
12. 1	耐震性能照査の基本	1
12. 2	耐震性能の照査に用いる地震動	2
12. 2. 1	想定地震の選定	2
12. 2. 2	耐震性能の照査に用いるレベル 2 地震動の設定	12
12. 3	ダム本体の耐震性能の照査	14
12. 3. 1	ダム本体の耐震性能の照査方針	14
12. 3. 2	コンクリートダム本体の耐震性能の照査	15
12. 3. 3	フィルダム本体の耐震性能の照査	21
12. 3. 4	その他の型式のダムの本体の耐震性能照査	28
12. 4	関連構造物等の耐震性能の照査	28
12. 4. 1	耐震性能の照査の対象とする関連構造物等	28
12. 4. 2	関連構造物等の耐震性能照査	29

令和 3 年 10 月 版

適用上の位置付け

河川砂防技術基準設計編は、基準の適用上の位置付けを明確にするために、下表に示すように適用上の位置付けを分類している。

分類		適用上の位置付け	末尾の字句例
考え方	技術資料	●目的や概念、考え方を記述した事項。	「…ある。」「…いる。」 「…なる。」「…れる。」
必須	技術基準	●法令による規定や技術的観点から実施すべきであることが明確であり遵守すべき事項。	「…なければならない。」 「…ものとする。」
標準	技術基準	●特段の事情がない限り記述に従い実施すべきだが、状況や条件によって一律に適用することはできない事項。	「…を標準とする。」 「…を基本とする。」 「…による。」
推奨	技術資料	●状況や条件によって実施することが良い事項。	「…望ましい。」 「…推奨する。」 「…務める。」 「…必要に応じて…する。」
例示	技術資料	●適用条件や実施効果について確定している段階ではないが、状況や条件によっては導入することが可能な新技術等の例示。 ●状況や条件によって限定的に実施できる技術等の例示。 ●具体的に例示することにより、技術的な理解を助ける事項。	「…などの手法（事例）がある。」 「…などの場合がある。」 「…などが考えられる。」 「…の場合には…ことができる。」 「…例示する。」 「例えば…。」 「…事例もある。…もよい。」

関連通知等	関連する通知やそれを理解する上で参考となる資料
参考となる資料	例示等に示した手法・内容を理解する上で参考となる資料

第12節 ダムの耐震性能照査

12.1 耐震性能照査の基本

<考え方>

ダムの耐震設計は、構造令に基づき、ダムの自重に地域ごとに経験的に定められた一定の設計震度を乗じて算定される慣性力等を水平地震力として考慮する方法（以下、「震度法」という。）により行われている。この「震度法」で設計されたわが国のダムは、これまで致命的な地震被害を被っていないが、近年では、観測設備等の整備により極めて強い地震動がダムにおいても観測されるようになってきている。このため、ダム地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動、いわゆるレベル2地震動に対してもダムの安全性について合理的に照査することが重要である。なお、新設のダムや堤体改造を伴う再開発ダムに関しては、構造令に基づく設計がなされたものに対して耐震性能照査を行う。

ダム本体（ダムの堤体及び堤体と接する部分の基礎地盤）及び関連構造物等（ダム本体またはその周辺に設置され、ダムの機能を担う各種の構造物や設備で、ダム本体に含まれないもの）の耐震性能照査にあたっては、以下のことに留意する必要がある。

1. レベル2地震動に対する耐震性能照査は、ダムの型式や構造上の特徴、材料特性等を踏まえたうえで、関連した最新情報などを考慮して行う。
2. レベル2地震動の設定は、ダム地点周辺において過去に発生した地震に関する情報や周辺に分布する活断層やプレート境界等の情報について文献資料等により十分な調査を行うとともに、関連した最新情報に基づき、当該ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震動を設定する。
3. ダムの耐震性能の照査において考慮する貯水位は、供用中のダムにおいて通常時の状態として想定される水位の中で、地震が発生した場合にダムの構造物に対する影響が大きくなる水位である常時満水位を基本とする。なお、常時満水位より低い水位であっても、構造上、耐震性能を照査する上で別途考慮すべき水位条件を有するダムについては、常時満水位のほか当該水位についても照査を行う。
4. レベル2地震動に対しては、一定の損傷を許容した上で、ダムの「貯水機能が維持されること」、「生じた損傷が修復可能な範囲にとどまること」をダムが満足すべき条件、つまり耐震性能とする。なお、貯水機能が維持されることとは、制御できない貯水の流出が生じないことをいう。また、修復可能な範囲にとどまることとは、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲でダムの継続使用を可能とする範囲にとどまることをいう。
5. ダムの耐震性能を満足しない場合、構造令に基づく設計がなされた新設のダムや堤体改造を伴う再開発ダムでは耐震性能を満足するように設計を行う。

<標準>

ダムは、そのダム本体及び関連構造物等の設計に際して、レベル2地震動に対する耐震性能の照査を行い、地震時に損傷が生じたとしても、「ダムの貯水機能が維持されるとともに、生じた損傷が修復可能な範囲にとどまる」ことを確認することを基本とする。

<例示>

照査にあたり考慮する貯水位は、供用中のダムにおいて通常時の状態として想定される水位の中で、地震が発生した場合にダムの構造物に対する影響が大きくなる水位である常時満水位を基本としている。

なお、ダムの構造上、地震時におけるダムの応答が常時満水位時よりも大きくなる可能性のある貯水位が、ある程度の期間継続する可能性がある場合については、そのような貯水位についてもダムの耐震性能を照査する必要がある。このような貯水位としては、アーチ式コンクリ

ートダム の最低水位等がある。

<参考となる資料>

ダム の耐震性能照査に関する基本的な考え方については以下の図書が参考となる。

- 1) 「大規模地震に対するダム の耐震性能照査に関する資料」：国土技術政策総合研究所資料 第244号 平成17年3月。
- 2) 「多目的ダム の建設 平成17年版 第4巻 設計I編」：財団法人 ダム技術センター。
- 3) 三石真也、島本和仁：大規模地震に対する耐震性能照査について，ダム技術，No.274，pp.6-35，2009年7月。

12.2 耐震性能の照査に用いる地震動

12.2.1 想定地震の選定

<考え方>

照査に用いる地震動の設定にあたっては、当該ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震を「想定地震」として選定する必要がある。

想定地震の選定は、当該ダム の周辺地域において過去に大きな被害をもたらした地震の再来の可能性、またダム地点周辺の活断層やプレート境界等の活動による地震発生 の可能性等の観点から行う必要がある。

また、その際には、国または地域の防災計画に位置づけられている地震のうち、当該ダムに大きな影響を及ぼす可能性のある地震についても考慮する必要がある。

そのため、まず、当該ダム周辺において過去に発生した被害記録がある地震や当該ダムに大きな影響を与える地震を発生させる可能性のある活断層やプレート境界等に関する情報等を文献資料等により抽出・収集する。

文献資料等調査の結果に基づき抽出された地震の中から「想定地震」を選定することになるが、この作業は、便宜上、ダム の基礎地盤における地震動記録をもとに経験的に得られている加速度応答スペクトルの距離減衰式（以下、「ダム の距離減衰式」という。）等を用い、ダム地点に生じる地震動の強さ（加速度応答スペクトル）を推定することにより行うことができる。

なお、地震動がダムに及ぼす影響は、地震動の加速度応答スペクトルだけでなく、地震動の継続時間などにも左右される。想定地震は、活断層で発生する地震あるいはプレート境界で発生する地震等の地震の種類やそれに伴う継続時間の違いなどによる影響についても勘案して選定する必要があり、必要に応じて複数選定する。

<標準>

照査に用いるレベル2地震動の設定にあたっては、あらかじめダム地点周辺において過去に発生した地震に関する情報や周辺に分布する活断層やプレート境界等の情報について文献資料等により十分な調査を行い、その結果に基づき、当該ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震（以下、「想定地震」という。）を選定することを基本とする。

<例示>

1. 想定地震選定における調査文献資料等

想定地震の選定にあたって調査する文献資料等としては、過去に発生した地震に関する情報や活断層やプレート境界等に関する情報を全国的にとりまとめた代表的な文献資料等として、『新編 日本の活断層』、『日本の地震断層パラメーター・ハンドブック』、『活断層詳細デジタルマップ』などがある。

また、地震学・地質学的調査研究の成果として特定または関係する地域における活断層等の情報を示した資料、歴史地震に関する資料等についても、必要に応じて参照するのが良い。

さらに、内閣府中央防災会議や政府の地震調査研究推進本部の情報、各地方公共団体や国の研究機関による活断層の調査結果などもある。

2. 地震動推定手法の概要とダムの距離減衰式

前述したように、文献資料等調査の結果に基づき抽出された地震に関する情報から「想定地震」を選定する際に、それらの地震の影響を推定する方法として、ダムの距離減衰式を用いる方法がある。ダムの距離減衰式は、比較的良好な岩盤であるダムサイトにおける地震観測記録をもとに、地震動の距離減衰特性を地震の規模等をパラメータとして統計的に評価した結果を用いて、ダム地点における地震動の加速度応答スペクトルを求める経験的方法であり、断層モデル等の詳細な諸元が明らかでない場合にも適用できる実用的な地震動推定手法である。

なお、震源等の情報をもとに、ある地点での地震動を推定する手法の特徴等について以下に例示する。

①経験的手法

距離減衰式等、過去に発生した地震の震源に関する情報と実際に観測された地震動に関する情報との関係等を統計的に分析して得られた結果をもとに、想定する地震によってダム地点において発生する地震動を推定する方法である。過去にダム基礎岩盤で実際に観測された多数の地震動記録に基づき、ダム地点での地震動（加速度応答スペクトル）を推定する「ダムの距離減衰式」もこのひとつである。

距離減衰式をはじめとする経験的手法は、地震の発生機構や地震波の伝播過程等をモデル化して考慮するものではないが、想定地震の震源となる断層に関する情報が限られている場合にも適用できることから、実用的な方法である。

②半経験的手法

同じ断層において発生する大規模地震と小規模地震の震源特性の違いは、震源の相似則で説明できるものと仮定して、小規模地震による地震動波形を重ね合わせることで大規模地震による地震動波形を合成する手法である。

この半経験的方法の代表的な手法としては、検討対象とする断層における地震による地震動として当該地点において実際に観測された小規模地震による地震動波形を用いる「経験的グリーン関数法」や、検討対象とする断層に小規模地震による地震波形成記録がない場合に人工的に合成した小規模地震による地震動波形を重ね合わせて大規模地震による地震動波形を作成する「統計的グリーン関数法」と呼ばれる方法がある。

いずれも、想定地震の震源となる断層の位置、形状、破壊過程などを適切にモデル化する必要がある。

③理論的手法

断層で発生し地盤中を伝播する地震波を3次元差分法や有限要素法を用いて理論的に計算する方法である。想定地震の震源となる断層のモデル化に加え、断層と地震動予測地点の間の領域（伝播経路）についても適切にモデル化する必要がある。

ただし、地震動の短周期成分については、伝播経路や対象地点近傍の地盤の微細な構造に大きく影響を受けるため、この手法はおおむね周期1s以上の長周期成分が適用範囲となるとされている。

このため、長周期成分に対しては理論的方法、短周期成分に対しては半経験的方法を適用し、双方の長所を有効に利用する方法（ハイブリッド法）も提案されている。

以下、経験的手法の代表例であるダムの距離減衰式について詳述する。

ダムの距離減衰式には、震源からの距離の取り方により、断層面と対象とするダム地点間の最短距離を用いた最短距離式と、断層面から発散される地震のエネルギーと等価となる仮想的な点震源と対象とするダム地点間の距離（等価震源距離）を用いた等価震源距離式（図2-12-1 参照）とがある。

ダムの距離減衰式を用いてダム地点の地震動を推定する際には、ダムの距離減衰式に含まれるパラメータを設定するため、あらかじめ文献資料等をもとにダム地点周辺に位置する活断層やプレート境界について、① 断層面の位置と範囲、② ダム地点と断層との距離（最短距離および等価震源距離）、③ 当該断層で発生する地震の規模（マグニチュード）以下の情報を整理する必要がある。

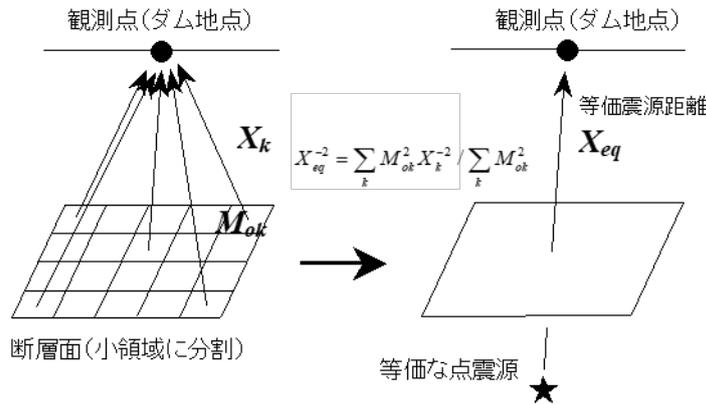


図2-12-1 等価震源距離の概念

ダムの距離減衰式の最短距離式と等価震源距離式の具体的な式形を以下に示す。

[最短距離式]

$$\log SA(T) = Cm1(T)Mw + Ch(T)Hc - \log(R + C1(T) \cdot 10^{0.5Mw}) - (Cd(T) + Cdh(T)Hc)R + Co(T) \quad (Mw \leq 5.0)$$

$$\log SA(T) = Cm1(T)Mw + Cm2(T)(Mo - Mw)^2 + Ch(T)Hc - \log(R + C1(T) \cdot 10^{0.5Mw}) - (Cd(T) + Cdh(T)Hc)R + Co(T) \quad (Mw > 5.0)$$

[等価震源距離式]

$$\log SA(T) = Cm1(T)Mw + Ch(T)Hc - \log(Xeq + C(T)) - (Cd(T) + Cdh(T)Hc)Xeq + Co(T) \quad (Mw \leq 5.0)$$

$$\log SA(T) = Cm1(T)Mw + Cm2(T)(Mo - Mw)^2 + Ch(T)Hc - \log(Xeq + C(T)) - (Cd(T) + Cdh(T)Hc)Xeq + Co(T) \quad (Mw > 5.0)$$

ここに、

T : 固有周期(s)

$SA(T)$: 応答スペクトル(cm/s^2)

Mw : 断層で発生する地震のモーメントマグニチュード

Mo : 5.0

Hc : 断層面中心の地表からの深さ(km) (ただし、100kmを超える場合は100km)

R : 断層面までの最短距離(km)

Xeq : 等価震源距離(km)

$Cm1(T)$, $Cm2(T)$, $Ch(T)$, $Cd(T)$, $Cdh(T)$, $Co(T)$, $C1(T)$: 地震のタイプに応じた回帰係数

なお、最短距離式の水平動と鉛直動の回帰係数をそれぞれ 図 2-12-2、図 2-12-3 に、ま

た、等価震源距離式の水平動と鉛直動の回帰係数をそれぞれ 図 2-12-4、図 2-12-5 に示す。

また、地震タイプと使用する補正倍率（全タイプの地震を対象として求めた各周期の回帰係数に対する各タイプの地震のみを対象とした場合の同じ周期の回帰係数の比率）の対応を表 2-12-1 に示す。

表2-12-1 地震タイプ別補正倍率

タイプ名	地震タイプ	使用する補正倍率
A	内陸地殻内地震	タイプ A
B	プレート境界地震	タイプ B
α	プレート内地震	タイプ α
E	日本海東縁部の地震	タイプ B

タイプ A、B、 α は、観測データから得られた補正倍率を用い、タイプ E は、十分な数の観測データが得られていないため、当面は、プレートの相対運動に伴う圧縮力の作用により発生する地震である点で類似するタイプ B の補正倍率を用いる。

最短距離式と等価震源距離式の地震タイプ別補正倍率を、それぞれ図 2-12-6、図 2-12-7 に示す。

なお、モーメントマグニチュード M_w が求められていない地震については、気象庁マグニチュード M_J からモーメントマグニチュード M_w へ変換する必要があることに留意する。また、最短距離式の特長として、条件によっては地震規模が非常に大きい領域（マグニチュード 8 程度を超える場合）ではマグニチュードの増加に対して加速度応答スペクトルが減少する可能性があるため、想定地震の前後でマグニチュードの値を変化させて加速度応答スペクトルを算出し、算出される対象構造物の固有周期帯における加速度応答スペクトルが最大となるマグニチュードに対応する加速度応答スペクトルを採用するなど、対象構造物（ダム、関連構造物）の加速度応答スペクトルが過小とならないよう留意する。

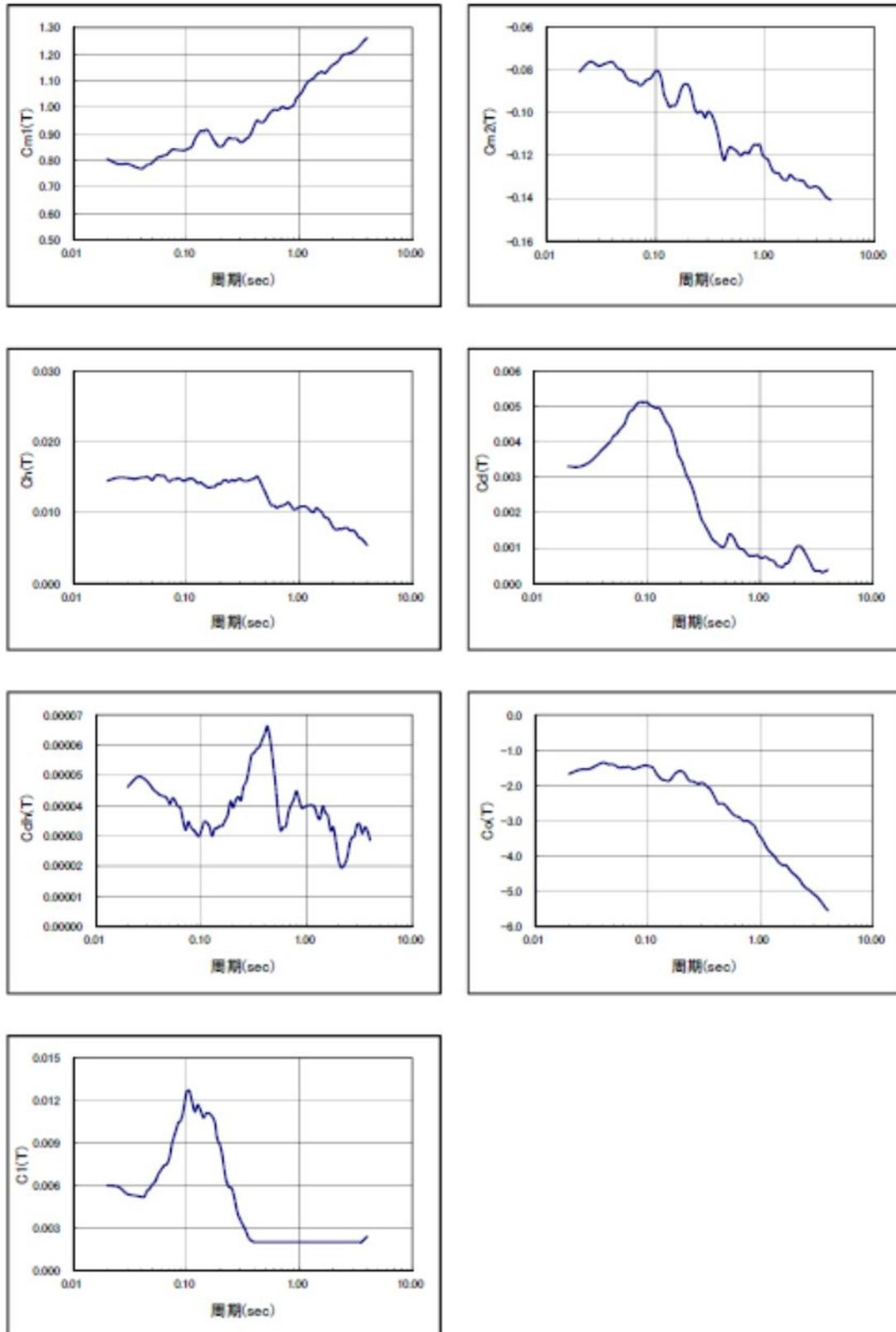


図2-12-2 水平動最短距離式の回帰係数

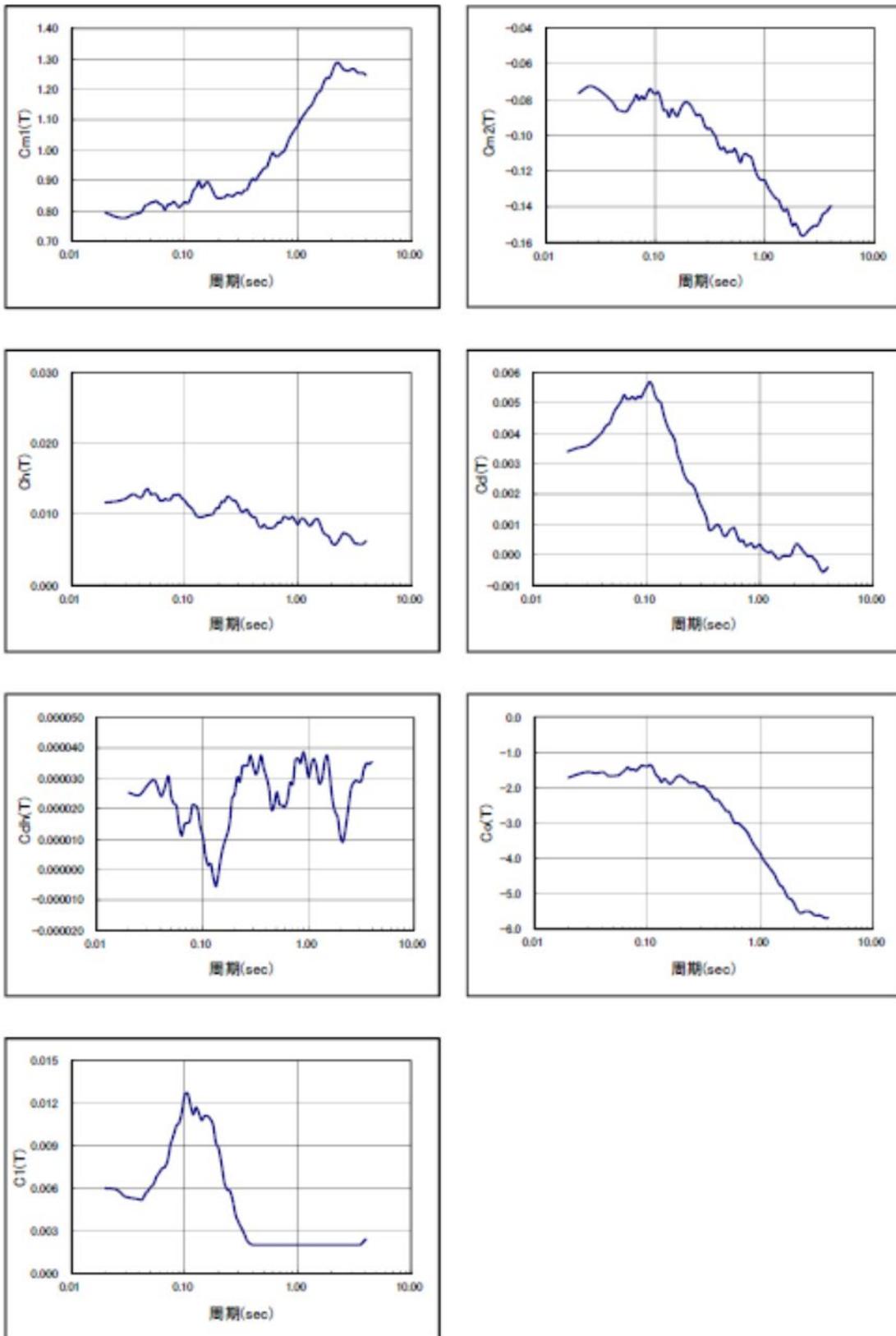


図2-12-3 鉛直動最短距離式の回帰係数

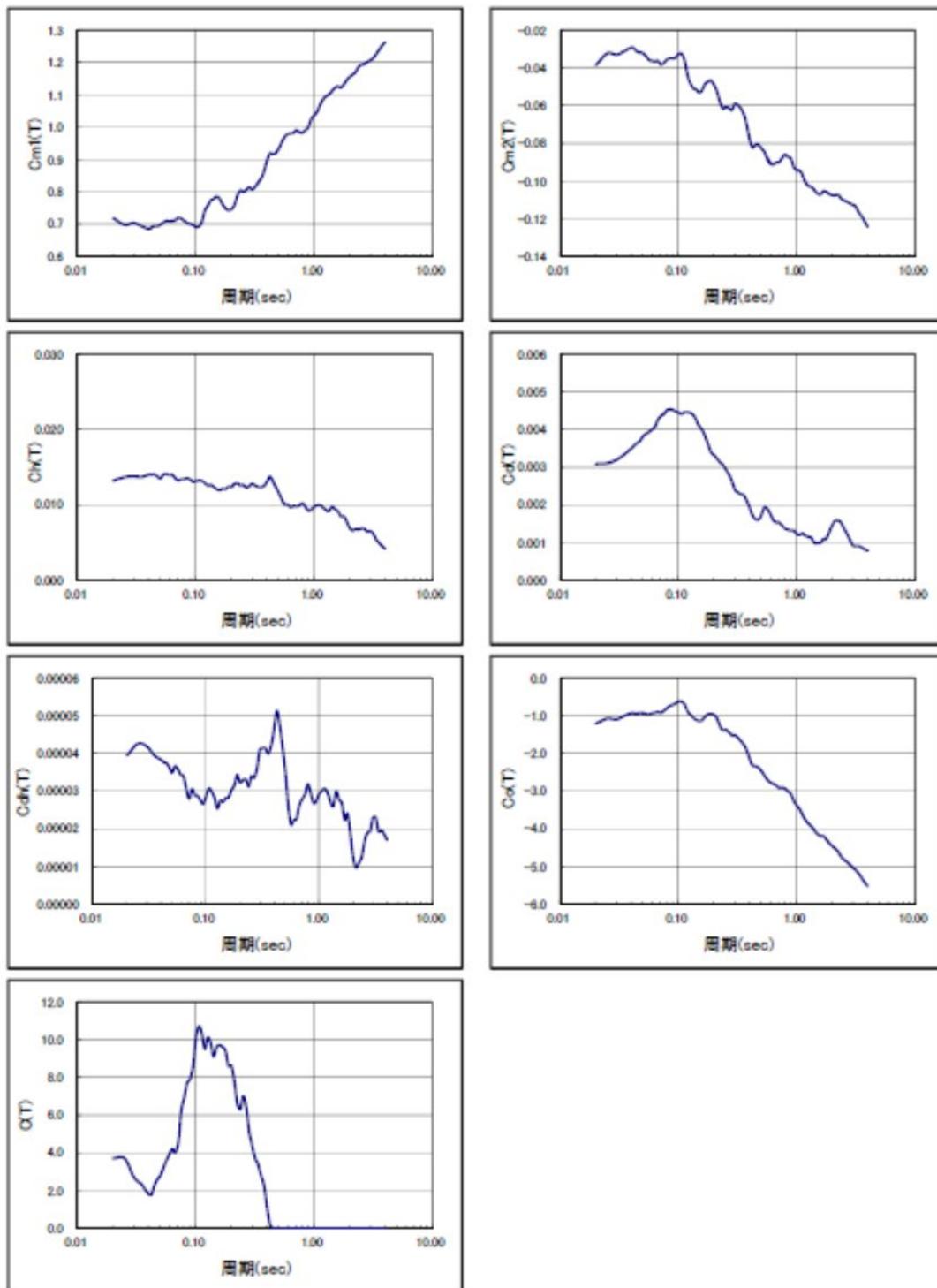


図2-12-4 水平動等価震源距離式の回帰係数

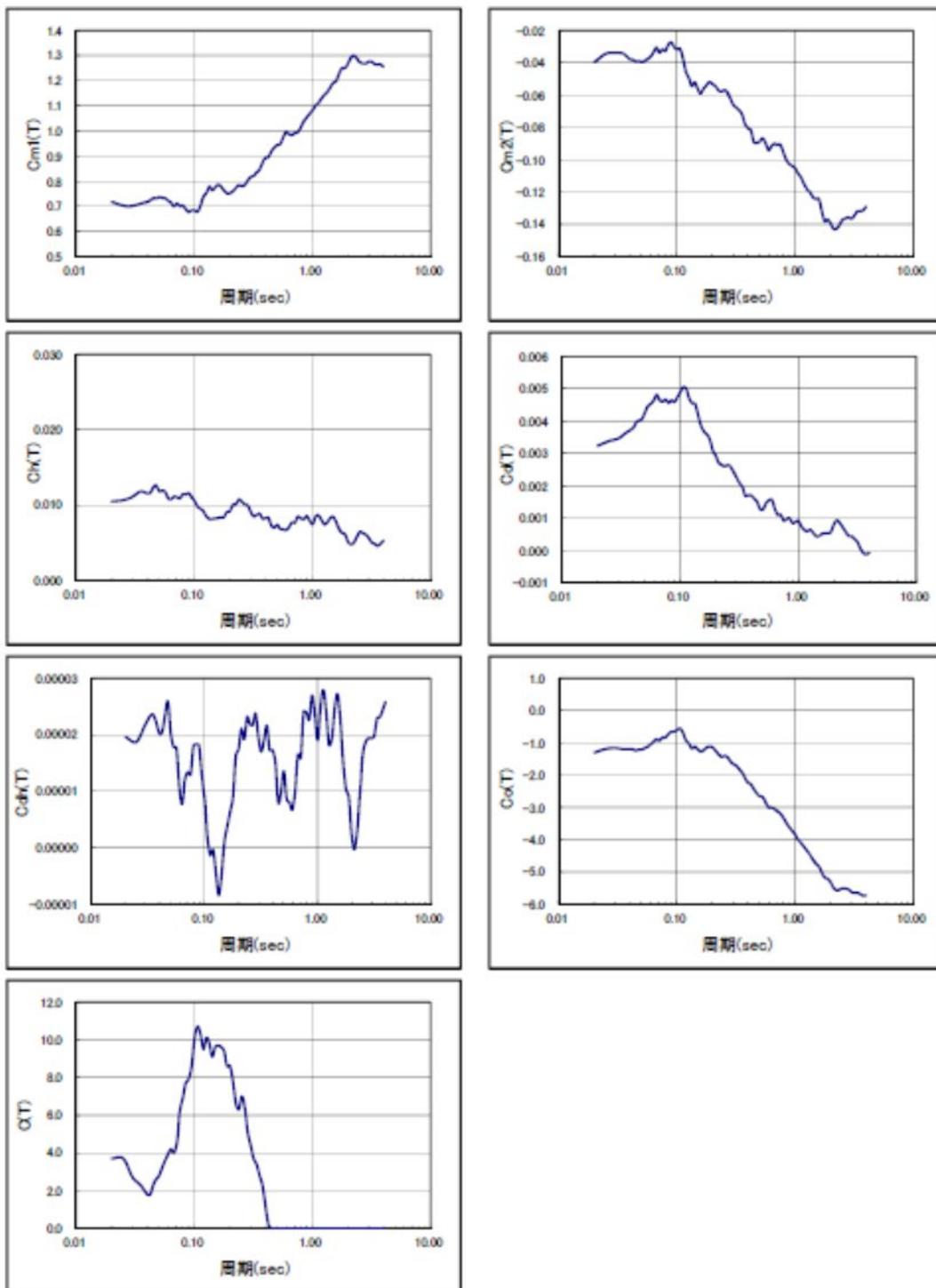


図2-12-5 鉛直動等価震源距離式の回帰係数

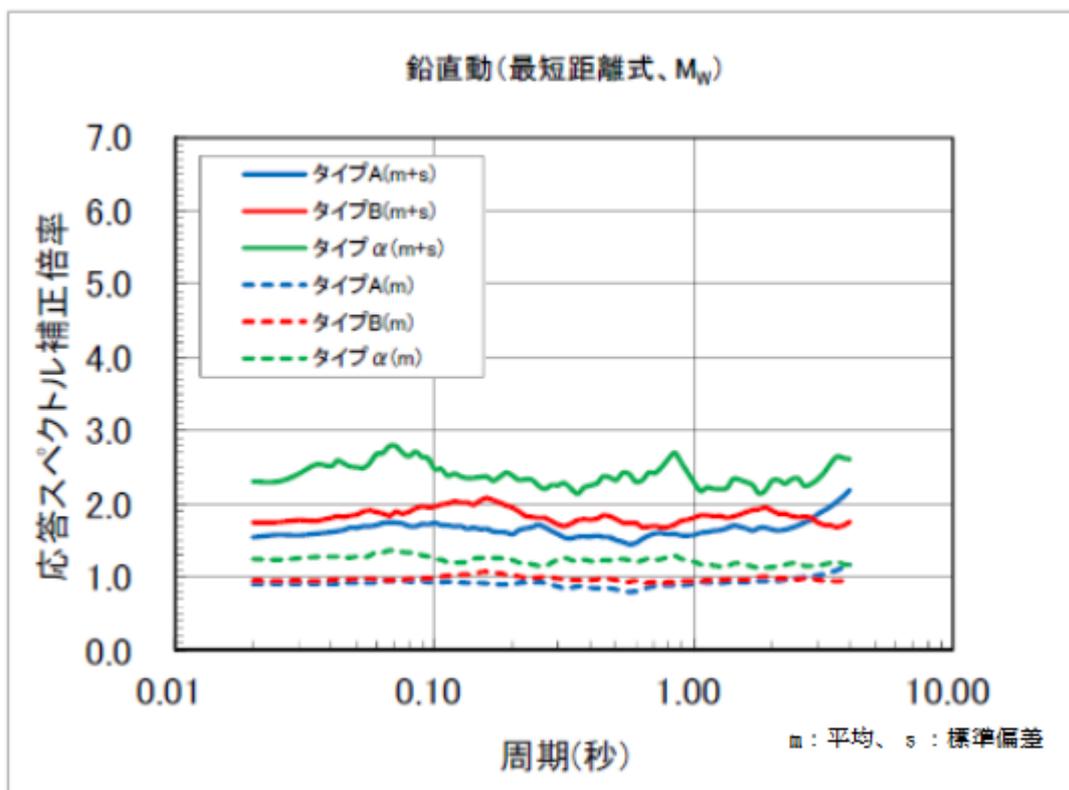
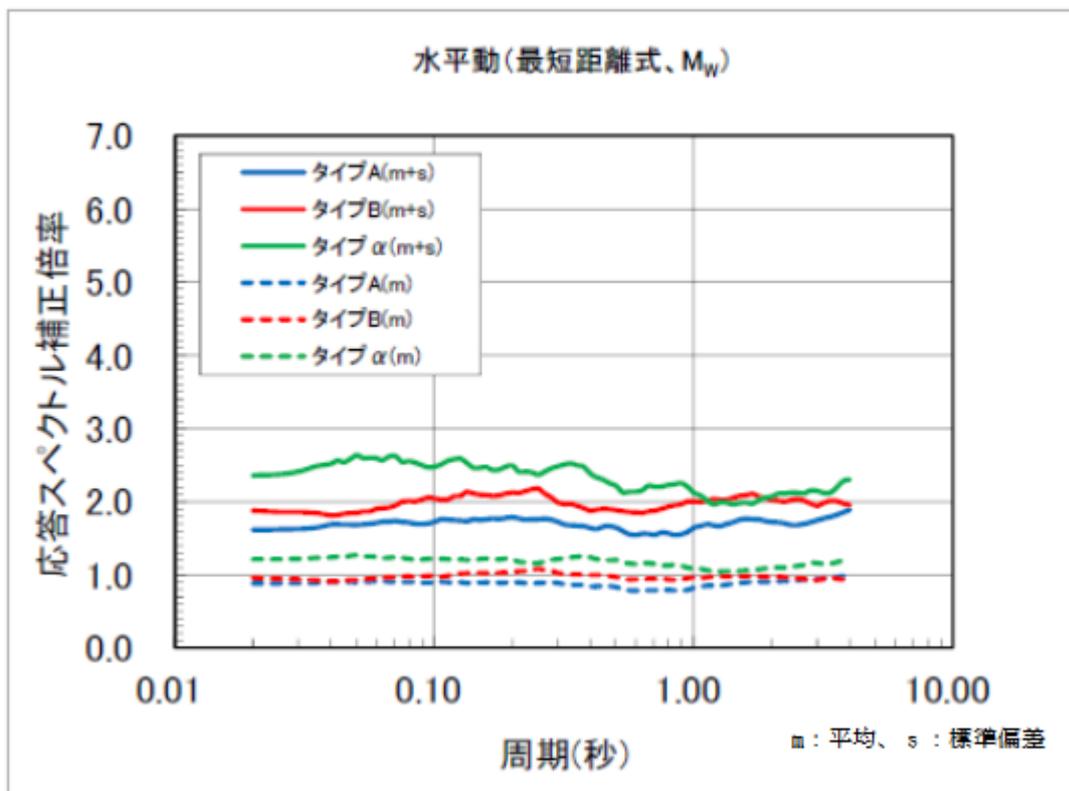


図2-12-6 最短距離式 地震タイプ別補正倍率

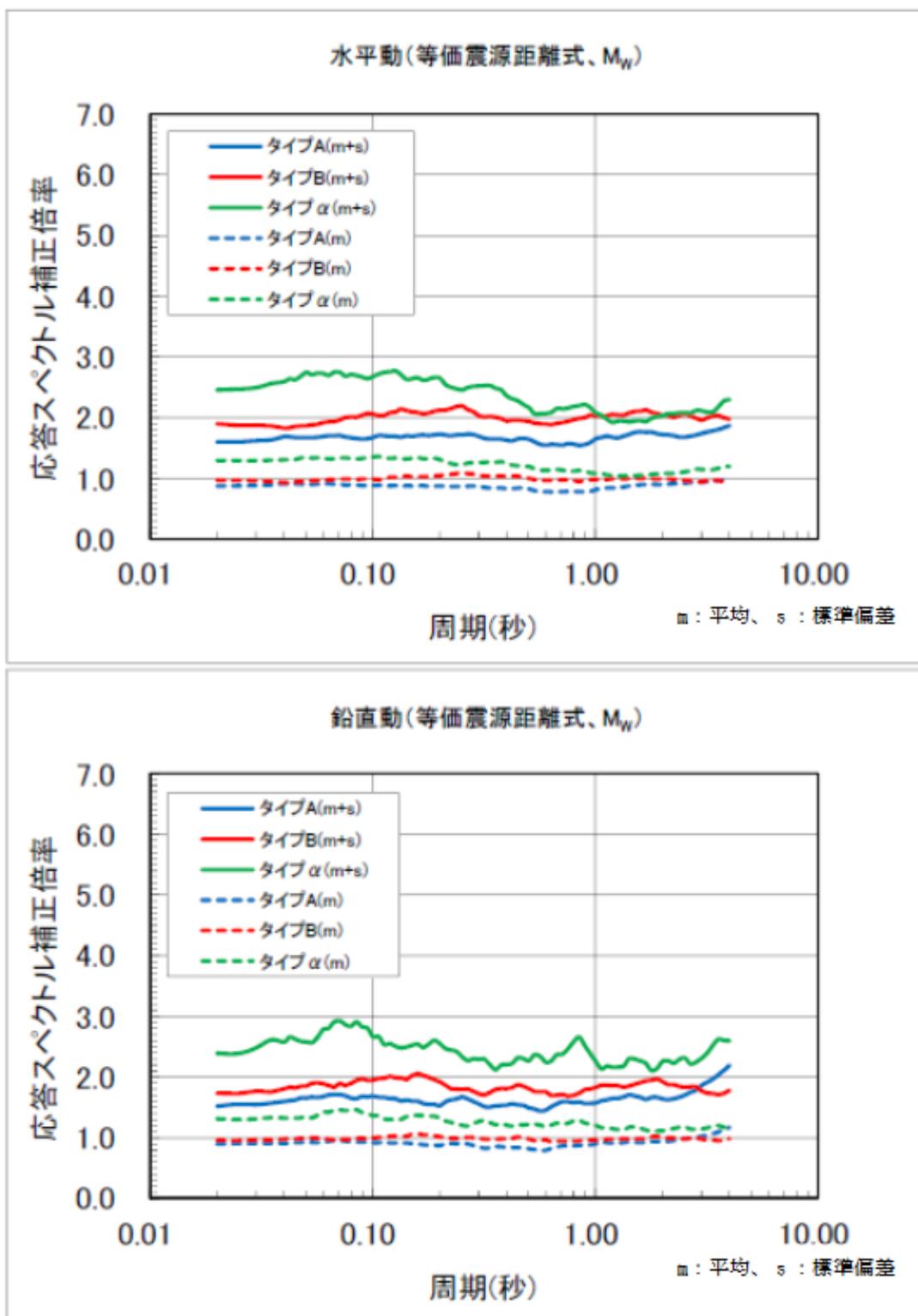


図2-12-7 等価震源距離式 地震タイプ別補正倍率

<参考となる資料>

ダムの距離減衰式を含む地震動設定手法の概要については以下の1)の資料が、また、ダムの距離減衰式の詳細については以下の2)、3)が参考となる。さらに、想定地震選定における調査文献資料等としては4)~10)が挙げられる。

- 1) 「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料」：国土技術政策総合研究所資料，第244号，平成17年3月。
- 2) 佐々木隆、伊藤壮志：地震動の距離減衰式の改良，ダム技術，No. 338，pp. 17-28，2014年11月。
- 3) 佐々木隆、伊藤壮志：東北地方太平洋沖地震を踏まえたダムにおける地震動距離減衰式，日本地震工学論文集，第16巻，第4号，pp. 80-92，2016年。
- 4) 活断層研究会：新編 日本の活断層，東京大学出版会，1991年。
- 5) 佐藤良輔：日本の地震断層パラメーター・ハンドブック，鹿島出版会，1989年。
- 6) 中田 高・今泉俊文：活断層詳細デジタルマップ，東京大学出版会，2002年。
- 7) 国土交通省国土地理院：都市圏活断層図。
- 8) 宇佐美龍夫：新編 日本被害地震総覧 [増補改訂版 416-1995]，1996年。
- 9) 内閣府中央防災会議：<http://www.bousai.go.jp/index.html>
- 10) 地震調査研究推進本部：<https://www.jishin.go.jp/>

12. 2. 2 耐震性能の照査に用いるレベル2地震動の設定

＜考え方＞

選定した「想定地震」を踏まえ、耐震性能照査に用いるレベル2地震動を具体的に設定する方法は、以下のとおりである。

1) 想定地震による地震動の推定

想定地震によりダム地点において発生する地震動を推定する手法としては、①ダムの距離減衰式などの経験的方法、②経験的グリーン関数法や統計的グリーン関数法などの半経験的方法及び③理論的方法などがある。

少なくとも、断層モデル等の詳細な諸元が明らかでない場合にも適用できる、「①経験的方法であるダムの距離減衰式」による推定結果を得て、さらに、「②半経験的方法」や「③理論的方法」によって地震動が推定できる場合には、それらの推定結果も含め総合的に判断して適切な地震動を設定する。

2) 過去に実際に観測された地震動及び照査用下限加速度応答スペクトルを有する地震動との比較

ダムの耐震性能照査に用いるレベル2地震動は、想定地震によってダム地点において発生するものと推定される地震動によることを基本としても、(1)過去にダム地点またはその近傍で実際に観測された最大の地震動や、(2)地震の震源となる活断層が地表面に現れていない場合を想定して、最低限考慮すべき地震動を加速度応答スペクトルとして設定した、照査用下限加速度応答スペクトルを有する地震動による影響の方が大きいと予想される場合には、それらについても考慮して照査に用いる地震動を設定する。この際、それぞれの加速度応答スペクトルのほか、活断層で発生する地震あるいはプレート境界で発生する地震等の地震の種類やそれに伴う地震動の継続時間の違いなども考慮して比較する。

3) 加速度応答スペクトルに適合する時刻歴波形の作成

想定地震によってダム地点において生じる地震動をダムの距離減衰式によって推定する場合、その地震動は加速度応答スペクトルとして推定されるが、レベル2地震動に対するダムの耐震性能照査では、推定された加速度応答スペクトルが有する地震動の周波数特性を保持しつつ、これに適合するよう位相特性に関する情報を付与した加速度時刻歴波形が必要となる。

この場合の位相特性は、実測により得られた地震動の加速度時刻歴波形（以下、これを「原種波形」という。）により与える方法などが考えられる。

原種波形としては、当該ダム地点及び近傍において、想定地震の震源として考慮している活断層やプレート境界等を震源とする過去の地震による強震記録が得られているときはそれを用い、そのような記録が得られていない場合は、過去の大規模地震時にダム基礎岩盤で得られている代表的な強震記録を用いることができる。ただし、この場合には、選定された想定地震と同じ種類（活断層で発生する地震あるいはプレート境界で発生する地震等）で規模（マグニチュード）が同程度の地震により得られた強震記録を採用するなどの配慮が必要である。

なお、ここで設定したレベル2地震動は、ダム基礎岩盤相当の地盤におけるものであるため、岩盤を基礎としないフィルダム（特にアースダムに多い。）の照査では、地震応答解析に用いる入力地震動は、表層地盤における地震動の増幅特性が適切に考慮されたものとする必要がある。

<標準>

ダムの耐震性能の照査には、想定地震によってダム地点において発生するものと推定される地震動の加速度時刻歴波形（加速度応答スペクトルを推定した場合は、それに適合するもの）を用いることを基本とする。

ただし、想定地震によってダム地点において発生するものと推定される地震動よりも、以下に示す地震動による影響の方が大きいと予想される場合には、その影響についても考慮した上で、当該ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震動を照査に用いる地震動として設定することを基本とする。

- (1) ダム地点またはその近傍で過去に実際に観測された最大の地震動
- (2) 表 2-12-2、図 2-12-8及び表 2-12-3、図 2-12-9に掲げる照査用下限加速度応答スペクトルを有する地震動

表2-12-2照査用下限加速度応答スペクトル(水平地震動) (減衰定数=5%)

固有周期 $T(\text{sec})$ の範囲	加速度応答スペクトル $S_A(\text{gal})$
$0.02 \leq T < 0.10$	$S_A = 300 \times (T / 0.02)^{0.5265}$
$0.10 \leq T \leq 0.70$	$S_A = 700$
$0.70 < T \leq 4.00$	$S_A = 700 \times (T / 0.7)^{-1.409}$

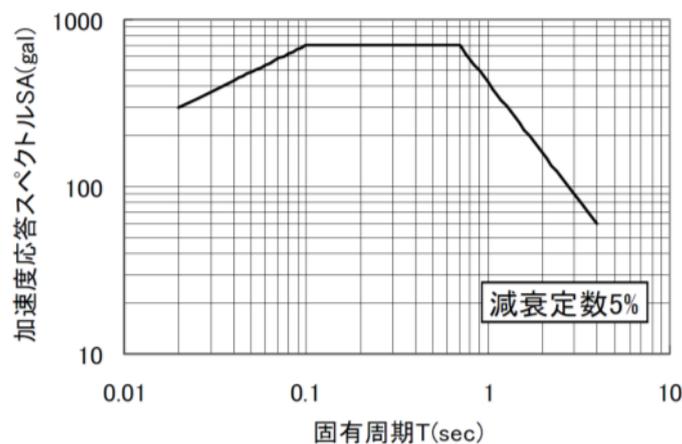


図2-12-8 下限加速度応答ベクトル図 水平地震動

表2-12-3 照査用下限加速度応答ベクトル(鉛直地震動)(減衰定数=5%)

固有周期 $T(\text{sec})$ の範囲	加速度応答スペクトル $S_A(\text{gal})$
$0.02 \leq T < 0.08$	$S_A = 250 \times (T / 0.02)^{0.5}$
$0.08 \leq T \leq 0.40$	$S_A = 500$
$0.40 < T \leq 4.00$	$S_A = 500 \times (T / 0.4)^{-1.096}$

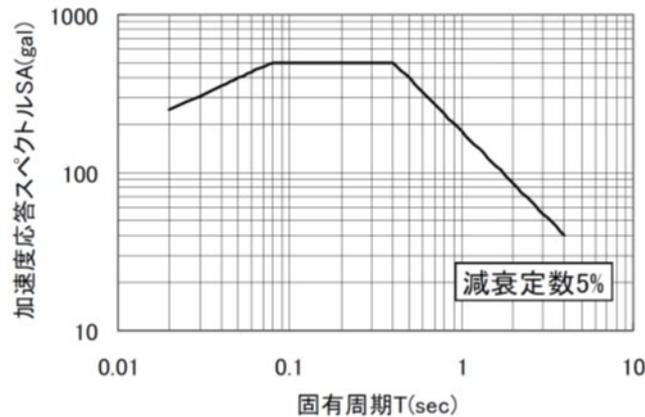


図2-12-9 下限加速度応答ベクトル図 鉛直地震動

<参考となる資料>

照査用下限加速度応答スペクトルの検討方法、経緯等については、以下の資料が参考となる。

- 1) 「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料」：国土技術政策総合研究所資料，第244号，平成17年3月。
- 2) 佐々木隆、伊藤壮志：地震動の距離減衰式の改良，ダム技術，No. 338，pp. 17-28，2014年11月。
- 3) 三石真也、島本和仁：大規模地震に対する耐震性能照査について，ダム技術，No. 274，pp. 6-35，2009年7月。

12.3 ダム本体の耐震性能の照査**12.3.1 ダム本体の耐震性能の照査方針****<考え方>**

レベル2地震動に対するダムの耐震性能照査では、「ダムの貯水機能が維持されること」、及び「生じた損傷が修復可能な範囲にとどまること」の2点を確認する必要がある。

ダム本体に関する照査において、このうち、貯水機能が維持されるかどうかは、地震応答解析によって確認する。

また、地震応答解析の結果からダム本体に何らかの損傷が予想される場合においては、地震応答解析の結果から予想される損傷の形態や程度を勘案し、補修工法等を想定の上、所要の耐震性能を回復することが可能と判断される場合は修復可能であるとしてよい。

<標準>

ダム本体の耐震性能の照査は、ダム本体に損傷が生じたとしても、その貯水機能が維持されることをダムの構造特性に応じた適切な地震応答解析により確認するとともに、生じた損傷が修復可能な範囲にとどまることを確認することにより行うことを基本とする。

<参考となる資料>

ダム本体の耐震性能照査全般に対する関する資料として以下の資料がある。

- 1) 「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料」：国土技術政策総合研究所資料，第 244 号，平成 17 年 3 月．三石真也、島本和仁：大規模地震に対する耐震性能照査について，ダム技術，No. 274，pp. 6-35，2009 年 7 月．

12. 3. 2 コンクリートダム本体の耐震性能の照査

<考え方>

- 1) 重力式コンクリートダム

重力式コンクリートダム本体の照査では、その材料特性上、一般に引張破壊に対する条件が最も厳しくなる。このため、特に引張破壊に対する安全性について確認することが重要となる。

重力式コンクリートダム本体の照査の流れを図 2-12-10に示す。

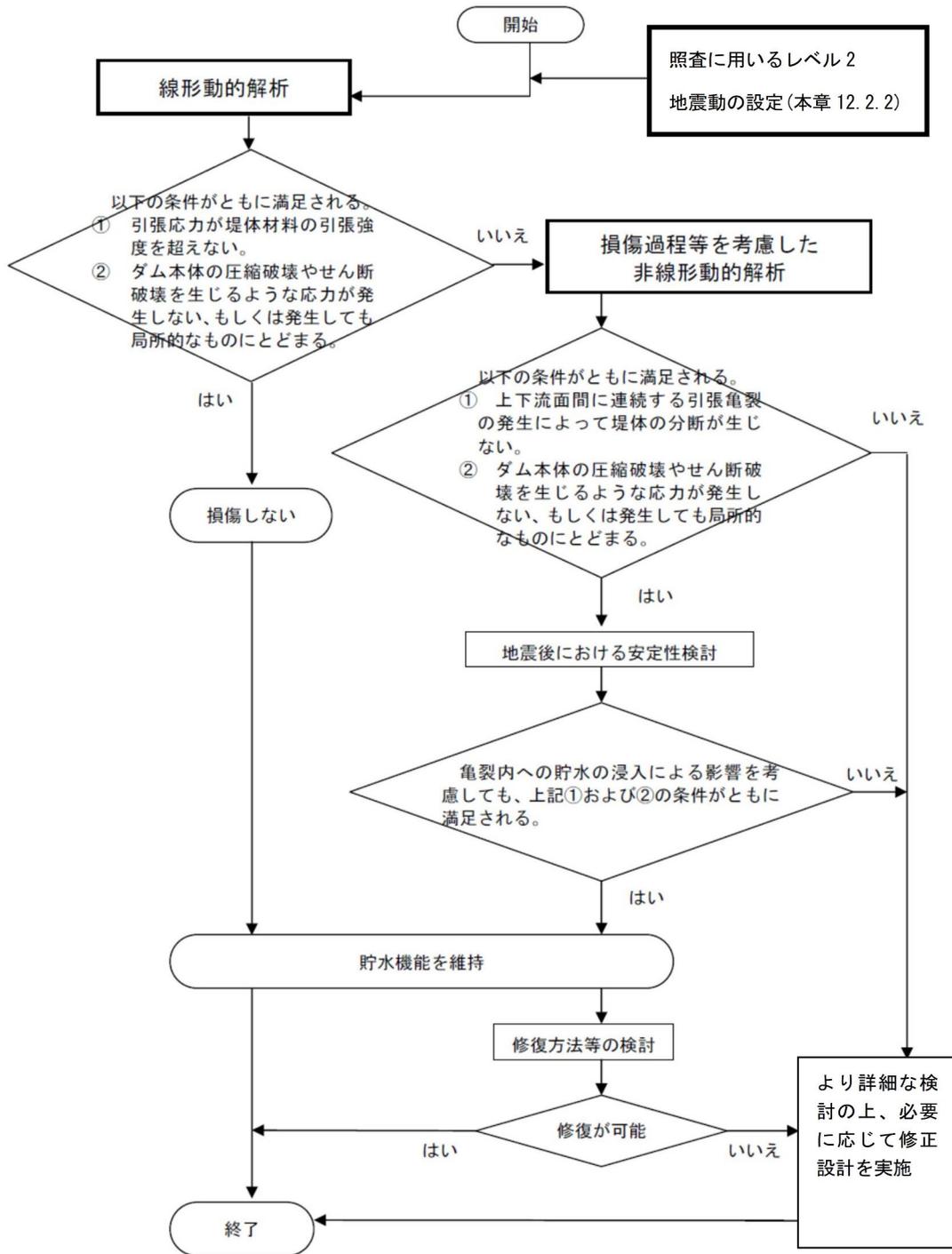


図2-12-10 重力式コンクリートダム本体の耐震性能の照査の流れ

ア. 線形動的解析

重力式コンクリートダム本体の耐震性能照査は、まず線形動的解析により行ってよい。解析の結果、以下の①及び②がともに満足されることが確認されれば、ダム本体に損傷を生じるおそれはないと考えられるため、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

- ① 引張応力が堤体材料の引張強度を超えない。
- ② ダム本体の圧縮破壊やせん断破壊を生じるような応力が発生しない、もしくは発生しても局所的なものにとどまる。

イ. 損傷過程等を考慮した地震応答解析

線形動的解析の結果、ダム本体に損傷（特に引張破壊）が生じるおそれがある場合には、引張亀裂の進展等、引張破壊による損傷過程を適切に考慮できる非線形動的解析が必要となる。

解析の結果、以下の①及び②がともに満足されることが確認されれば、地震時においてダム本体に生じる損傷は限定的なものにとどまると考えてよい。

- ① 上下流面間に連続する引張亀裂の発生によって堤体の分断が生じない。
- ② ダム本体の圧縮破壊やせん断破壊を生じるような応力が発生しない、もしくは発生しても局所的なものにとどまる。

なお、①の条件については、解析上、引張亀裂がダム本体を上下流面間に連続するものとなっても、その上部の堤体ブロック全体が不安定化しなければダムの貯水機能は維持されると考えられるが、安全側の判断として設定したものである。

ダム本体に引張亀裂が生じるおそれがある場合、それが地震時には限定的なものにとどまっても、地震後に亀裂内に浸入する貯水の影響によりダム本体を分断するものにならないことを確認しておく必要がある。この検討は、亀裂内における揚圧力の発生を考慮した静的解析により行うことができる。

解析の結果、上記①及び②の条件が満足されることが確認されれば、地震後においてもダム本体に生じる損傷は限定的なものにとどまると考えられるため、貯水機能は維持されるものとしてよい。

ウ. その他

以上の検討によっても所要の耐震性能が確保されることを確認できない場合には、上下流面間に連続する引張亀裂が生じた場合における上部の堤体ブロックの安定性を検討するなど、さらに詳細な検討が必要となる。

なお、このような検討を含めた照査の結果、堤体の上下流面間に連続する引張亀裂の発生などによりダムの耐震性能が確保されないと判断される場合には、修正設計が必要となる。

2) アーチ式コンクリートダム

アーチ式コンクリートダム本体の照査では、その構造上、継目の挙動を適切に考慮することが重要であるほか、材料及び応答特性上は一般に引張破壊に対する条件が最も厳しくなることから、堤体の引張破壊に対する安全性について確認することが重要となる。

アーチ式コンクリートダム本体の照査の流れを図 2-12-11に示す。

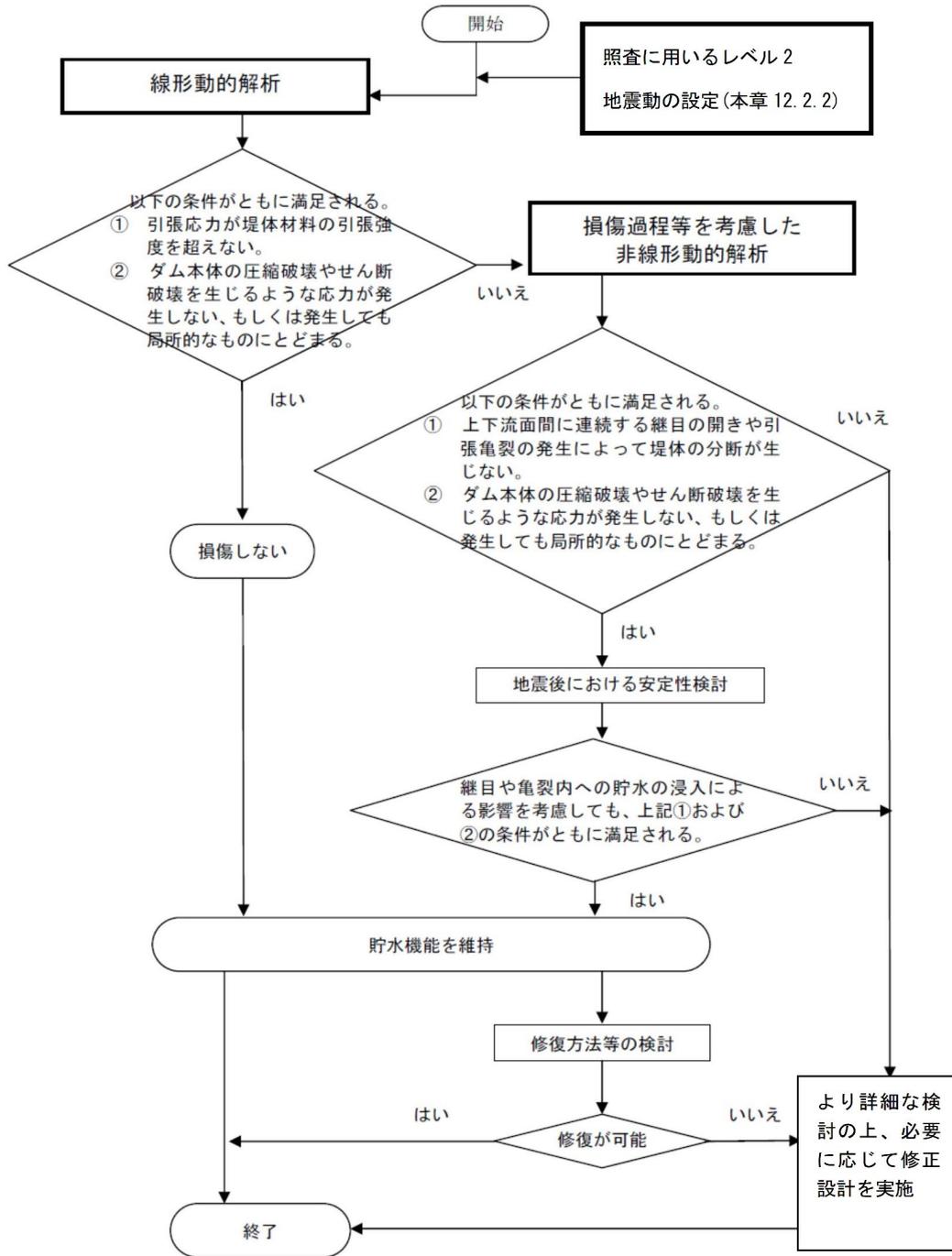


図2-12-11 アーチ式コンクリートダム本体の耐震性能の照査の流れ

ア. 線形動的解析

アーチ式コンクリートダム本体の照査は、重力式コンクリートダムと同様、ダム本体を線形弾性体として取り扱う線形動的解析により行ってよい。

解析の結果、以下の①及び②がともに満足されることが確認されれば、ダム本体に損傷を生じるおそれはないと考えられるため、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

- ① 引張応力が堤体材料の引張強度を超えない。
- ② ダムの本体の圧縮破壊やせん断破壊を生じるような応力が発生しない、もしくは発生しても局所的なものにとどまる。

イ. 損傷過程等を考慮した地震応答解析

線形動的解析の結果、ダム本体に損傷（特に引張破壊）が生じるおそれがある場合には、ブロック間の応力伝達を受け持つ横継目や周辺継目の挙動を適切に考慮できる非線形動的解析が必要となる。なお、このような継目の挙動を考慮しても、地震時においてダム本体に発生する応力が材料の強度を超える場合には、重力式コンクリートダム同様、引張破壊による損傷が生じることも考えられる。

解析の結果、以下の①及び②がともに満足されることが確認されれば、ダム本体に生じる損傷は限定的なものにとどまると考えてよい。

① 上下流面間に連続する継目の開きや引張亀裂によってダム本体の分断が生じない。

② ダム本体の圧縮破壊やせん断破壊を生じるような応力が発生しない、もしくは発生しても局所的なものにとどまる。

なお、継目の挙動を考慮した非線形動的解析にあたっては、算定される継目の開きが、キーや止水板の構造上、適切な範囲内にとどまっていることをあわせて確認しておく必要がある。

ダム本体に継目の開きや引張亀裂が生じるおそれがある場合、それが地震時には限定的なものにとどまっても、地震後に開口した継目や亀裂内に浸入する貯水の影響によりダム本体を分断するものとならないことを確認しておく必要がある。この検討は、開口した継目や亀裂内における揚圧力の発生を考慮した静的解析により行うことができる。

解析の結果、上記①及び②の条件が満足されることが確認されれば、地震後においてもダム本体に生じる損傷は限定的なものにとどまると考えられるため、貯水機能は維持されるものとしてよい。

ウ. その他

以上の検討によっても所要の耐震性能が確保されることを確認できない場合には、上下流面間に連続する継目の開きや引張亀裂が生じた場合における上部の堤体ブロックの安定性を検討するなど、さらに詳細な検討が必要となる。

なお、このような検討を含めた照査の結果、堤体の上下流面間に連続する継目の開きや引張亀裂の発生などによりダムの耐震性能が確保されないと判断される場合には、修正設計が必要となる。

＜標準＞

コンクリートダム本体の耐震性能の照査は、以下の手順により行うことを基本とする。

1. 線形動的解析を行い、その結果、地震時にダム本体に発生する応力が材料の強度を超えない場合には、ダム本体に損傷が生じるおそれはないため、所要の耐震性能は確保されるものとしてよい。
2. 上記1. における線形動的解析の結果、ダム本体に損傷が生じるおそれがある場合は、さらに損傷過程等を考慮した地震応答解析を行うものとする。その結果、ダム本体に損傷が生じたとしても、それが限定的なものにとどまる場合には、ダムの貯水機能は維持されるものとしてよく、かつ修復可能な範囲にとどまる場合には、所要の耐震性能は確保されるものとしてよい。

＜例示＞

コンクリートダム堤体の損傷過程を考慮する地震応答解析（非線形動的解析）の方法について

て以下に例示する。

1) 重力式コンクリートダム堤体の引張破壊を考慮した数値解析方法

重力式コンクリートダム堤体は、ダム軸方向を横断するような横継目によって幅 15m 程度のブロックごとに分割されていることから、設計においては 2 次元断面でその構造安定性を確認している。そこで、耐震性能照査においても、一般的には 2 次元断面で検討が行われている。

引張破壊による損傷過程を考慮する地震応答解析（非線形動的解析）に利用可能な数値モデルとしては、引張破壊により発生したクラックの開きを変位として考慮できる要素（例：ジョイント要素）を用いる「離散型クラックモデル」と要素自体にクラック発生前後の特性を付与することで予めクラックが入る場所を設定する必要がない「分布型クラックモデル（スミアドクラックモデル（smeared crack model））」がある。大規模地震時における重力式コンクリートダム堤体のクラック発生箇所および進展方向を予め推定・予測することは困難であることから、重力式コンクリートダムのクラック進展解析は分布型クラックモデルを用いて行われることが多い。

分布型クラックモデルを用いて引張破壊による損傷過程を考慮した非線形動的解析により得られた地震終了時における最終的な引張亀裂の発生範囲（図中の色付要素）の例を図 2-12-12 に示す。

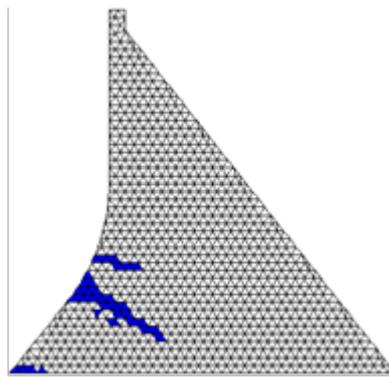


図2-12-12 重力式コンクリートダムの引張亀裂発生範囲（色付要素表示）の例

2) アーチ式コンクリートダム堤体の引張破壊を考慮した数値解析方法

アーチ式コンクリートダムは、構造上、3 次元的な挙動が特徴的であるダム型式であるため、堤体および基礎地盤を含めた 3 次元モデルを用いることが適切である。

アーチ式コンクリートダムでは、地震応答解析にあたり、ブロック間の応力伝達を受け持つ横継目や堤体と岩盤間の応力伝達を受け持つ接合部（周辺継目が設けられている場合はその継目部）の挙動を適切に考慮する必要がある。このため、アーチ式コンクリートダムの非線形動的解析は横継目や堤体と岩盤の接合部の開口挙動を考慮できるジョイント要素を用いて行われることが多い。

横継目や周辺継目にジョイント要素を設定した非線形動的解析により得られた周辺継目の開口範囲の例を図 2-12-13 に示す。

レベル 2 地震動によって、アーチ式コンクリートダムの横継目や堤体と岩盤の接合部（周辺継目が設けられている場合はその継目部）が開いても発生応力が堤体コンクリートの強度を超える場合には、分布型クラックモデル等を用いて任意の方向に引張亀裂が発生することを考慮した 3 次元動的解析を実施することが考えられる。

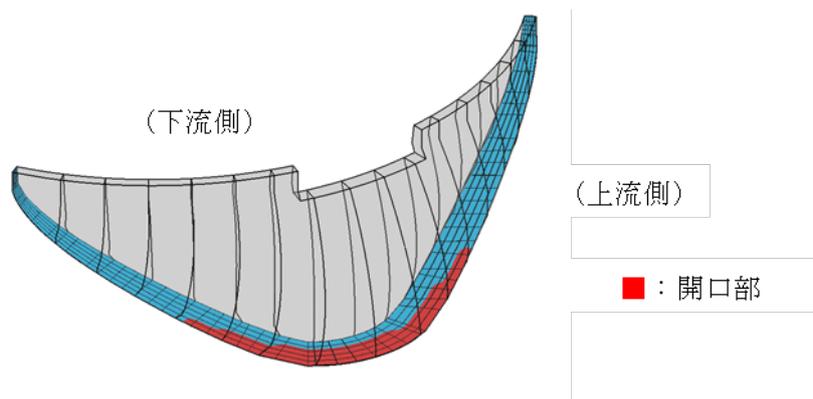


図2-12-13 アーチ式コンクリートダム周辺の継目の開口範囲の例

<参考となる資料>

コンクリートダムの引張破壊を考慮した数値解析手法やそれを用いた照査事例については、以下の資料が参考となる。

- 1) 「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料」：国土技術政策総合研究所資料、第244号、平成17年3月。
- 2) 三石真也、島本和仁：大規模地震に対する耐震性能照査について、ダム技術、No. 274、pp. 6-35、2009年7月。

12. 3. 3 フィルダム本体の耐震性能の照査

<考え方>

フィルダムの堤体材料である粗粒材料や土質材料は、応力とひずみの関係において非線形性を有するとともに塑性を有する材料であるため、フィルダム本体の耐震性能の照査は、その特性を考慮した動的解析により行うこと望ましい。

フィルダム本体の照査の流れを図 2-12-14 に示す。

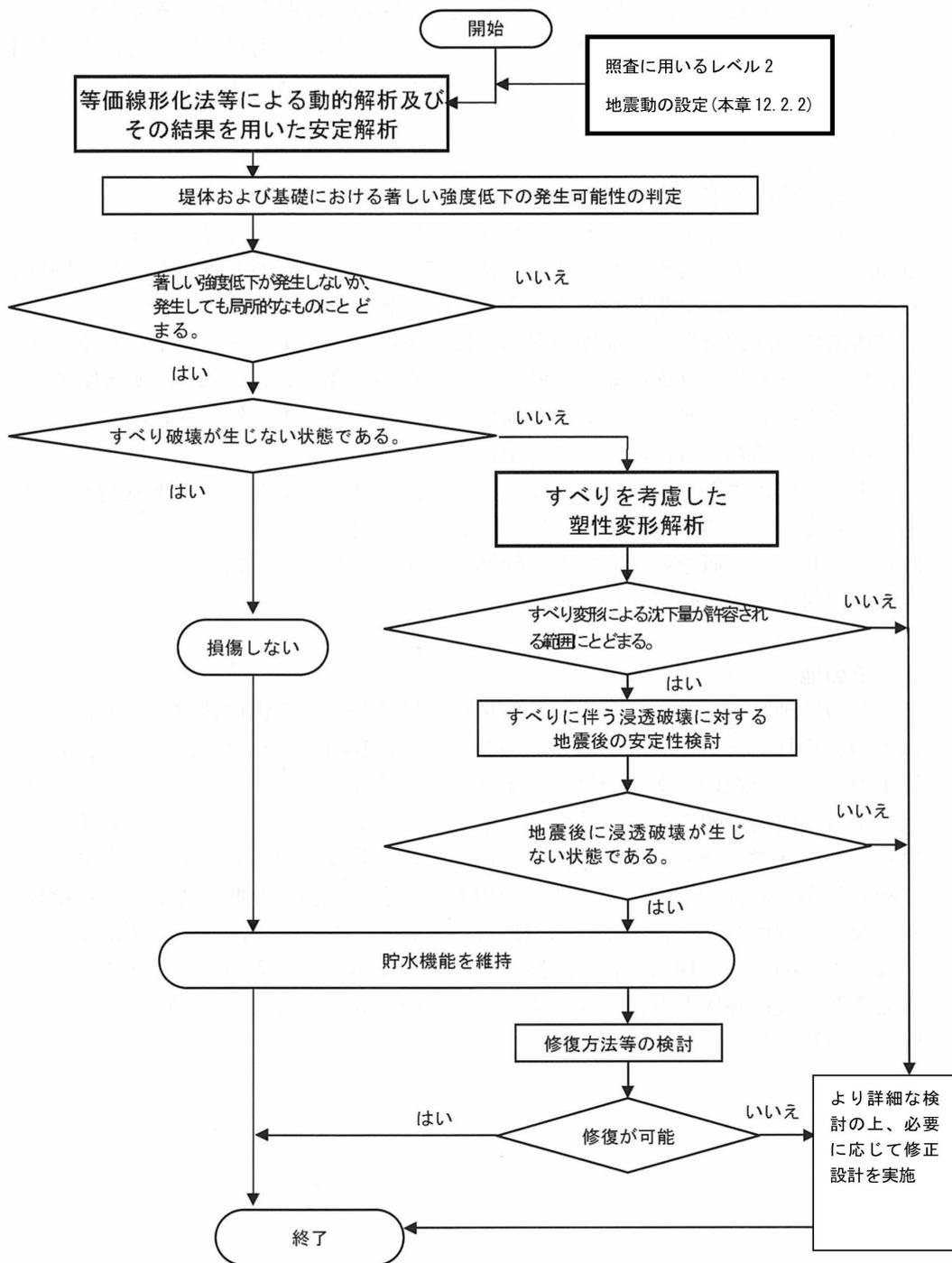


図2-12-14 フィルダム本体の耐震性能の照査の流れ

1) 等価線形化法等による動的解析及びその結果を用いた安定解析

フィルダム本体の耐震性能の照査は、前述のフィルダムの堤体材料の特性を考慮した動的解析により行うこと望ましいが、通常の場合、この解析は既往の実績も多く実用上妥当な挙動予測を行うことができる等価線形化法による動的解析によって行うことができる。

すべり破壊に対する安定性は、最もその安全性が低くなるすべり面に対して評価する必要があるため、等価線形化法等による動的解析の結果から得られた慣性力を用い、堤体あるいは必要に応じ基礎地盤を含め、すべり破壊が生じる可能性を考慮した多数のすべり面に沿っ

て検討する。なお、すべり面の形状としては、ダム基礎地盤に弱層が存在する場合などを除き、一般に円弧を想定してよい。

なお、近代的なロックフィルダムは、比較的良質な基礎地盤に品質管理をおこなった材料を十分締め固めて施工しているので地震動による非排水繰り返し荷重による著しい強度低下は、通常の場合、これを別途考慮しなくても差し支えない。しかし、堤体の締固めが十分でなかったり、未固結の堆積層等を基礎地盤としていたりするフィルダムで、地震動により堤体材料や基礎地盤の強度が著しく低下する可能性のあるフィルダムについては、等価線形化法等による動的解析の結果に基づき、液状化の判定に用いられる安全率 (FL 値) による判定を行う。

その結果、著しい強度低下が生じるおそれがない、あるいは生じても局所的なものにとどまるフィルダムでは、せん断力の総和がせん断抵抗力を超えない、あるいはすべり面上の土塊に作用するすべりモーメントが抵抗モーメントを超えない場合には、すべり破壊が生じるおそれはないため、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

2) 塑性変形解析

ア. 越流に対する安全性の照査

等価線形化法等による動的解析の結果、すべり等による塑性変形が生じるおそれがある場合には、まず、塑性変形に伴う堤体の沈下により貯水の越流が生じないことを確認する必要がある。これは、フィルダムでは、堤体からの越流が生じた場合、堤体材料の流出により貯水機能が維持されないおそれがあるためである。

フィルダムのすべりによる残留変形量は、等価線形化法等による動的解析結果をもとに、想定する土塊に作用する慣性力とすべり面沿いの抵抗力を踏まえて、塑性変形解析により算定することができる。

なお、レベル2地震動に対する塑性変形解析により、ある程度大きな変形量が算定される場合には、ピーク強度以降のひずみ領域におけるひずみ軟化に伴う強度低下を考慮する必要があるが、算定されるすべり変形量が比較的小さな範囲では、通常の三軸圧縮試験によって得られたピーク強度を用いて評価してもよい。

以上のような塑性変形解析の結果、すべり変形による沈下が堤体からの越流に対して十分安全な程度に小さいものとして許容される範囲にとどまる場合には、堤体からの越流が生じるおそれはないものと考えてよい。

ここでは、許容される範囲としては、設計上見込まれている付加高さ以内とすることが基本となる。なお、構造令に基づいて設計されたフィルダムにおいては、フィルダム堤体からの越流がダムの致命的な破壊をもたらすことを踏まえ、コンクリートダムと同様の考え方に基づいて算出した付加高さにさらに1mを加えた高さが確保されているため、沈下量が1m以内であれば十分な余裕を持って許容されると考えてよい。

なお、沈下の形態としては、すべりに伴うものとともに、いわゆる揺すり込みによるものが考えられる。しかし、構造令に基づいて設計されたフィルダムにおいては、付加高さが設定されているため、堤体及び基礎地盤に著しい強度低下が発生しないと判断され、かつ、すべりに伴う沈下量が十分小さい場合には、揺すり込みによる沈下については耐震性能照査上特に考慮しなくても大きな問題にならないと考えられる。ただし、すべり変形による沈下が十分安全な程度に小さいものと判断し難い場合や、設計上見込まれている付加高さが非常に小さいフィルダムの場合、想定地震によるレベル2地震動の継続時間が非常に長く揺すり込みによる沈下が大きくなることが想定される場合などは、3) その他に示す手法により揺すり込み沈下を適切に考慮することが望ましい。

イ. 浸透破壊に対する安全性の照査

すべり等による変形が生じるおそれがある場合には、越流に対して沈下量が許容される範囲にとどまると考えられる場合であっても、すべり面の位置や変形量を勘案して、貯水による浸透破壊が生じないことをあわせて確認する必要がある。

浸透破壊が問題となる可能性があるのは、下流側へのすべりが想定される場合であるが、想定されるすべり面の始点が貯水位より高い場合、あるいは土質遮水壁型のロックフィルダムにおいて遮水ゾーンを貫通するすべり面の発生が想定されない場合には、浸透破壊が生じるおそれはないとしてよい。

一方、土質遮水壁型ロックフィルダムで、遮水ゾーンを貫通する下流側へのすべりが生じるおそれがある場合、あるいは堤体全体が遮水材料で構築されているアースダムで、貯水位より低い位置を始点とする下流側へのすべりが生じるおそれがある場合には、浸透破壊に対する安全性について検討する必要がある。

3) その他

1) の等価線形化法等による動的解析の結果に基づく液状化判定の結果、著しい強度低下のおそれがある領域がかなり広範囲に及ぶおそれがあると判断される場合、及び、著しい強度低下のおそれがない、あるいはその領域が局所的なものにとどまる場合でも、2) の検討結果から所要の耐震性能が確保されることを確認できない場合には、対象となる堤体材料や基礎地盤の繰り返し荷重に対する変形及び強度を評価した上で、有効応力に基づく動的弾塑性解析や地震による変形の増加を考慮して剛性を低下させた変形解析（「累積損傷度理論」に基づく残留ひずみの評価等）を実施するなど、適切な手法により貯水の越流が生じないことを確認する必要がある。

なお、このような検討を含めた照査の結果、すべり等の変形に伴う沈下による貯水の越流または浸透破壊などによりダムの耐震性能が確保されないと判断される場合には、修正設計が必要となる。

<標準>

フィルダム本体の耐震性能の照査は、以下の手順により行うことを基本とする。

なお、地震動によりその強度低下を生じる可能性のある堤体材料または基礎地盤を有するフィルダムについては、地震時における堤体材料または基礎地盤の強度低下について考慮する。

1. 等価線形化法等による動的解析を行い、得られた慣性力を用いたすべりに対する安定解析の結果、地震時にすべり破壊が生じないと判断される場合は、ダム本体の損傷が生じるおそれはないため、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。
2. 上記1. における安定解析の結果、ダム本体の損傷が生じるおそれがある場合には、さらに1. による解析結果を用いた塑性変形解析により、地震によるすべり等の変形を推定する。その結果、変形に伴う沈下が貯水の越流を生じるおそれがないほどに小さく、かつ地震後において浸透破壊を生じるおそれがない場合には、ダムの貯水機能は維持されるとしてよく、かつ修復可能な範囲にとどまる場合には、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

<例示>

フィルダム本体のすべり変形量を求める塑性変形解析と地震時における堤体および基礎地盤の強度低下を判定する方法について以下に例示する。

1) すべり変形量を求める塑性変形解析

フィルダム本体の耐震性能照査解析の手法として、等価線形化法による動的解析、およびその結果を用いてすべり変形量を求める塑性変形解析手法である Newmark 法と渡辺・馬場法がある。

a) Newmark 法

Newmark 法は、すべり土塊を剛体として考え、すべり面に応力ひずみの関係から完全剛塑性を仮定し、すべり土塊の滑動変形量を算定するものである。

まず、円弧すべり面を仮定した簡便分割法に基づいて安定計算によるすべり安全率 F_s は次式のように表される (図 2-12-15 参照)。

$$F_s = \frac{M_R}{M_{DW} + M_{DKH}} = \frac{M_{RW} + M_{RC} - k_H M_{RK}}{M_{DW} + k_H M_{DK}}$$

ここに、

M_R : 抵抗モーメントの合計

M_{DW} : 自重による滑動モーメント ($= \sum x_g W$)

M_{RC} : 粘着力による抵抗モーメント ($= r \sum c \cdot L$)

M_{DKH} : 地震慣性力による滑動モーメント ($= k_H \sum y_g W$)

M_{RW} : 自重による抵抗モーメント ($= r \sum (W - b \cdot u) \cos \alpha \cdot \tan \phi$)

M_{RK} : 地震慣性力 1G が作用した場合の抵抗モーメント ($= r \sum W \sin \alpha \cdot \tan \phi$)

M_{DK} : 地震慣性力 1G が作用した場合の滑動モーメント ($= \sum y_g W$)

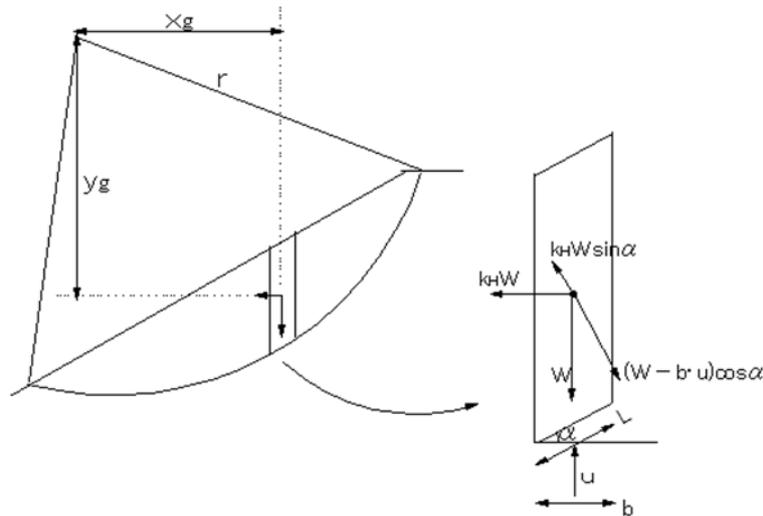


図2-12-15 滑動変位計算モデル

いま、土塊が滑動する直前で釣り合っているとすれば、 $F_s = 1$ 、 $k_H = k_y$ (降伏震度)として式を変形することで次式が得られる。

$$k_y (M_{RK} + M_{DK}) = M_{RW} - M_{DW}$$

ここで、動的解析により求まる時々刻々の土塊の平均加速度を等価瞬間震度を k_{H0} とすれば、角運動量保存則より、

$$\ddot{\theta} = \Delta M / J = (k_{H0} - k_y) (M_{RK} + M_{DK}) / J$$

ここに、

$\ddot{\theta}$: 回転加速度

J : 土塊の慣性モーメント

k_{H0} が k_y を越えた分に対し、線形加速度法 ($\beta=1/6$) により逐次計算して回転角 θ を算定し、それに半径 R を乗じて変形量 δ を求める。

$$\left. \begin{aligned} \dot{\theta}_{n+1} &= \dot{\theta}_n + \frac{1}{2}(\ddot{\theta}_n + \ddot{\theta}_{n+1})\Delta t \\ \theta_{n+1} &= \theta_n + \dot{\theta}_n \Delta t + \left(\frac{1}{2} - \beta\right)\Delta t^2 \ddot{\theta}_n + \beta\Delta t^2 \ddot{\theta}_{n+1} \\ \delta &= \theta \cdot R \end{aligned} \right\}$$

b) 渡辺・馬場法

渡辺・馬場法は、潜在のすべり円弧上土塊の等価瞬間震度 k_h に対応する慣性力、重力、すべり円弧に作用する応力の釣り合い式から、土塊がすべり出すのに必要な震度を降伏震度 k_{hy} と定義し、これを超える震度が土塊に作用した場合にすべり変位が生じるとして計算する。

すべり安全率 F_s の算定方法は以下のとおりである (図 2-12-16 参照)。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^M l_i (c_i + \sigma_{ni}' \tan \phi_i) + \sum_{j=1}^P l_j A_j \sigma_{nj}' b_j + \sum_{k=1}^Q l_k A_k' \sigma_{nk}' b_k'}{\sum_{i=1}^M \tau_{Si} l_i + \sum_{j=1}^P \tau_{Sj} l_j + \sum_{k=1}^Q \tau_{Sk} l_k}$$

ここに、

M : すべり線を通る要素のうちコア部を通る要素の数

P : すべり線を通る要素のうちフィルタ部を通る要素の数

Q : すべり線を通る要素のうちロック部を通る要素の数

i, j, k : i, j, k 番目要素

l : すべり面上の要素 i, j, k を通るすべり線長さ

c_i, ϕ_i : 要素 i の強度定数 (コア材)

A_j, b_j : 要素 j の強度定数 (フィルタ材)

A'_k, b'_k : 要素 k の強度定数 (ロック材)

σ_{ni}' , σ_{nj}' , σ_{nk}' : 要素 i, j, k におけるすべり面直交方向の有効応力

τ_{Si} , τ_{Sj} , τ_{Sk} : 要素 i, j, k におけるすべり面沿いのせん断応力

ただし、 σ_{ni}' が引張の場合には抵抗力を 0 とする。

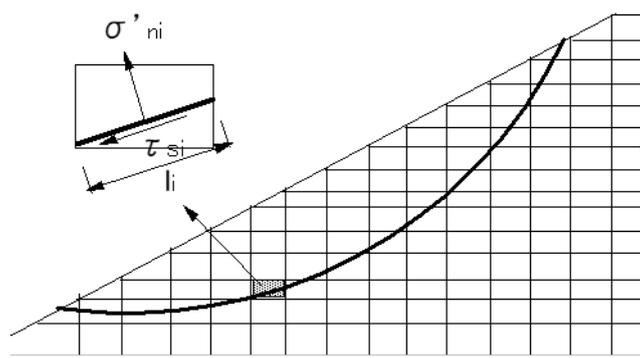


図2-12-16 すべり線上の要素の応力

鉛直震度の影響を無視した場合、降伏震度 k_{hy} は次式で求められる。

$$k_{hy} = F_s k_h + (F_s - 1) \tan \beta$$

ここに、 β は円弧中心と土塊重心との連結直線が鉛直線となす角度である。

降伏加速度を超過する加速度に対して、すべり線上の土塊の水平残留変位量 D_{rh} は次式で求められる。

$$D_{rh} = \int_{t_0}^{t_1} \int_{\sigma}^{\tau} (k_h - k_{hy}) g d\tau dt$$

ここに、

k_{hy} : 降伏震度

t_1 : 土塊の速度がゼロとなる時刻

t_0 : 潜在すべり線の安全率が 1 となる時刻

2) 地震時における堤体および基礎地盤の強度低下を判定する方法

地震時におけるフィルダムの堤体および基礎地盤の強度低下を判定する方法として、通常、次式に示す液状化を判定するための安全率 F_L が用いられている。

$$F_L = \frac{R}{L}$$

ここに、

F_L : 液状化を判定するための安全率

R : 動的せん断強度比

L : 地盤の地震時せん断応力比

いま、動的せん断強度比 R については、簡易判定では粒度ならびに N 値等の一般調査結果から、また詳細判定では不攪乱試料による液状化試験結果からそれぞれ求める。また、地震時せん断応力比 L については、フィルダムの堤体と基礎地盤を含めた地震応答解析結果から求める。

なお、密な砂では、一旦過剰間隙水圧が有効拘束圧に達しても、緩い砂のようにせん断抵抗が失われてひずみが急激に増加するような、いわゆる完全液状化は起こらず、正のダイラタンシー (dilatancy : せん断による体積の膨張) の影響により、せん断応力が大きくなるにつれて有効応力が回復して、ある限られたひずみの範囲でせん断ひずみの増加により接線せん断剛性が増加するサイクリックモビリティ (cyclic mobility) 現象が生じる。したがって、 F_L が 1.0 を下回っても液状化によるせん断強度が完全に喪失することはなく、むしろ、cyclic mobility によりどの程度のひずみが地盤に引き起こされるのかを評価することが重要となる。

<参考となる資料>

フィルダムのすべり変形量を求める塑性変形解析手法や照査事例については、以下の1)、2)の資料が、また、液状化を判定するための安全率については、以下の3)の資料が参考となる。

- 1) 「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料」：国土技術政策総合研究所資料、第244号、平成17年3月。
- 2) 三石真也、島本和仁：大規模地震に対する耐震性能照査について、ダム技術、No.274、pp.6-35、2009年7月。
- 3) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、平成29年11月。

12.3.4 その他の型式のダムの本体の耐震性能照査**<考え方>**

ダムは構成材料および構造等の違いからいくつかの型式に分類される。本章12.3.2、12.3.3でその本体の耐震性能照査について示した、重力式コンクリートダム、アーチ式コンクリートダム、土質遮水壁型ロックフィルダム及びアースダムといった主要型式ほか、表面遮水壁型ロックフィルダム、複合型式ダム、中空重力式コンクリートダム、バットレスダムなどがある。さらに、新型式のダムとして台形CSGダムがある。

これら主要型式以外のダムに関しても、主要型式のダム本体の耐震性能照査方法を参照し、またその構造上の特徴や材料特性等を踏まえ適切な方法により本体の耐震性能照査を行う。

<標準>

重力式コンクリートダム、アーチ式コンクリートダム、土質遮水壁型ロックフィルダムおよびアースダム以外の型式のダムの本体についても、またその構造上の特徴や材料特性等を踏まえ適切な方法により本体の耐震性能照査を行うことを基本とする。

12.4 関連構造物等の耐震性能の照査**12.4.1 耐震性能の照査の対象とする関連構造物等****<考え方>**

ダム全体として所要の耐震性能が確保されるかどうかを照査するためには、本章12.3に示したダム本体についての照査だけでなく、放流設備や各種の管理設備等の関連構造物等のうち、ダム全体の耐震性能に係わるようなものについても、重大な損傷が生じないことを確認する必要がある。

ただし、関連構造物等の場合、ダム本体とは異なり、損傷した構造物等の全体の取替または再設置等を行えば、ダム全体として十分に継続使用が可能となると想定される。このため、関連構造物等の耐震性能の照査では、耐震性能のうち貯水機能が維持されることを確認することが基本となる。

なお、その際、地震時のみならず地震後の出水への対応も考慮して、以下に示す視点を踏まえて照査の対象とする関連構造物等を選定する必要がある。

- ① 当該関連構造物等が損傷した場合、制御できない貯水の流出を生じるおそれがあるもの
- ② 地震後に、ダムの安全性を確保するために、緊急に水位を低下させたり、また低下させた水位の上昇を規制するために必要となるもの。

これらに該当する関連構造物等としては、非常用洪水吐き及び常用洪水吐きの放流設備等主要な放流設備の主ゲートや、緊急水位低下や低下させた水位の上昇を規制するために必要な放流設備の主ゲート、またこれらを支持する門柱、操作・制御する上で必要な設備等が想定される。

1) 主要な放流設備の主ゲート及び緊急水位低下に必要な放流設備の主ゲート

非常用洪水吐き及び常用洪水吐きの放流設備等の主要な放流設備の主ゲートは、洪水処理に利用されるため一般にその放流能力が大きいこと、また常時は閉じた状態にあって貯水位を保持していることから、地震により重大な損傷を生じた場合には、制御できない貯水の流出を生じるおそれがある。このため照査の対象とする必要がある。

また、地震時に、ダム安全性を確保するために緊急に貯水位を低下させるとともに、出水等による貯水位の上昇を規制しなければならない場合がある。このため、水位低下用放流設備や地震後の出水に対して水位の上昇を規制できる放流設備の主ゲートについては照査の対象とする必要がある。

なお、上記以外の放流設備であっても、地震により重大な損傷を生じた場合に制御できない貯水の流出により下流域に甚大な被害を発生させる可能性があるものや、フィルダム堤体に隣接して設置される洪水吐きの堤体との接合部等、地震時に損傷を生じた場合にダム本体の耐震性能に影響を及ぼすおそれのあるものについては照査の対象とする必要がある。

2) 上記1) を操作・制御する上で必要な設備等

上記1) に示した放流設備は直接流水を制御する構造物であるが、それを操作・制御可能な状態に維持するために、開閉装置や機側操作盤等についても照査の対象とする必要がある。

また、放流設備の機側操作盤にアクセスするために必要となる施設や、停電等により常用電源が使用できない状態となった場合に放流設備のゲートを駆動させるために必要となる予備電源設備等についても、照査の対象とする必要がある。

<標準>

関連構造物等の耐震性能の照査は、それが損傷した場合にダムの貯水機能が維持されないおそれがあるものについて行うことを基本とする。

<参考となる資料>

関連構造物等の耐震性能照査全般に対する関する資料として以下の資料がある。

- 1) 「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料」：国土技術政策総合研究所資料，第244号，平成17年3月。
- 2) 三石真也、島本和仁：大規模地震に対する耐震性能照査について，ダム技術，No. 274，pp. 6-35，2009年7月。

12. 4. 2 関連構造物等の耐震性能照査**<考え方>**

関連構造物等の耐震性能の照査において、貯水機能が維持されるかどうかは、地震応答解析等の結果から評価する。

なお、地震応答解析等の結果、関連構造物等に何らかの損傷が予想される場合には、予想される損傷の形態や程度を勘案し、必要に応じその修復方法や取替等の対応方法について検討しておく必要がある。

以下、各種の関連構造物等について本章12. 4. 1で示した選定の視点①②を踏まえた耐震性能の照査の考え方を表 2-12-4に示すとともに、放流設備ゲート（扉体、戸当り及び固定部）の耐震性能の照査の流れを図 2-12-17に示す。

表2-12-4各種関連構造物の耐震性能照査の考え方

		関連構造物等を選定する視点		
		① 当該関連構造物等が損傷した場合、制御できない貯水の流出を生じるおそれがあるもの	②-1 地震後に、ダムの安全性を確保するために緊急に水位を低下させるために必要となるもの	②-2 地震後に、ダムの安全性を確保するために緊急に低下させた水位の上昇を規制するために必要となるもの
関連構造物等に求められる性能		貯水機能の維持	地震直後に水位を低下できるように、地震直後にゲートを解放することが可能	地震後の出水に対して、水位の上昇を規制できるように地震後の出水時までにはゲートを解放することが可能
照査の確認事項	ゲート	部材の座屈	<ul style="list-style-type: none"> ・主要構造部材が座屈しない ・補助構造部材が座屈しない、又は、一部の補助構造部材が座屈しても、その影響により主要構造部材が座屈しない 	
		部材の塑性化	主要構造部材がほぼ弾性域内にとどまるとともに、補助構造部材が限定的な塑性化にとどまる	主要構造部材及び補助構造部材ともにほぼ弾性域内にとどまる
		開閉装置等の状態		開閉装置等が、ほぼ健全な状態を維持（ほぼ健全とは、すみやかに必要な補修や取替え等の対応で健全な状態を維持する状況）
	門柱	門柱全体の損傷状態	主ゲートの脱落等、重大な損傷により貯水機能が維持できない状況にならない	
		門柱の変形がゲートに与える影響	損傷しても、その変形による影響でゲートが変形して貯水機能が維持できない状況にならない。	損傷しても、その変形がゲートとの遊間長に収まり、ゲートを開けることができる。

※ ②- 1、②- 2 は求められる性能において、それが発揮されるべき時期に相違があるが、現状では照査の確認事項としては差異をつけることが困難であるため同一の照査の確認事項としている。

1) 放流設備のゲート等

放流設備のゲート等の耐震性能の照査は、本章12.2の方法で設定したレベル2地震動による当該ゲートの設置位置における加速度応答を考慮して行う。ダム本体の堤体上に設置されているゲートの場合は、本章12.3の方法によって行ったダム本体の地震応答解析の結果から得られるゲート等の設置位置での応答加速度の時刻歴波形を用いることができる。なお、ゲート等の設置位置付近において強震記録が得られている場合には、照査に用いる入力加速度を設定するにあたり、その記録から得られる振動特性を考慮する。

ア. 非常用洪水吐きの主ゲート

非常用洪水吐きの主ゲートは、常時満水位がゲート敷高より高い場合、地震によって扉体の架構部または支承部に変形が生じたり、戸当り及び固定部や門柱部が損傷して扉体の脱落等が生じたりすれば、制御できない貯水の流出が生じるおそれがある。このため、そ

のような損傷が生じないことを地震応答解析により確認する必要がある。

なお、照査にあたって考慮する開閉状態としては、全閉の状態を基本とする。

・扉体、戸当り及び固定部

まず、ゲートの各構成部材に発生する応力を線形動的解析等によって求め、その結果、ゲート全体構造の安定性を確保する上で必要な主要部材（以下、「主要構造部材」という。）の座屈を生じるおそれがなく、かつ各部材の力学的状態がほぼ弾性域内にあることが確認できれば、耐震性能上問題となるような損傷は生じないと考えてよい。

なお、主要構造部材以外の構造部材（補助構造部材）の一部において座屈を生じるおそれがある場合には、当該補助構造部材の座屈の影響を考慮した動的解析等を行って、ゲート全体構造の安定性が確保されることを確認することが必要となる。

次に、主要構造部材の座屈が生じるおそれはないものの、一部部材の力学的状態がほぼ弾性域にとどまることが確認できない場合には、当該部材の降伏による塑性化の影響を再現できる非線形動的解析等を行う必要がある。

その結果、主要構造部材の塑性化が限定的なものにとどまるとともに、塑性変形量がゲート操作に支障をきたすものとならない場合には、耐震性能上問題となるような損傷は生じないと考えてよい。

また、以上の動的解析等において考慮していない部材については、動的解析等の結果を踏まえた構造計算等により、耐震性能の確保上問題となる損傷が生じないことを確認する必要がある。

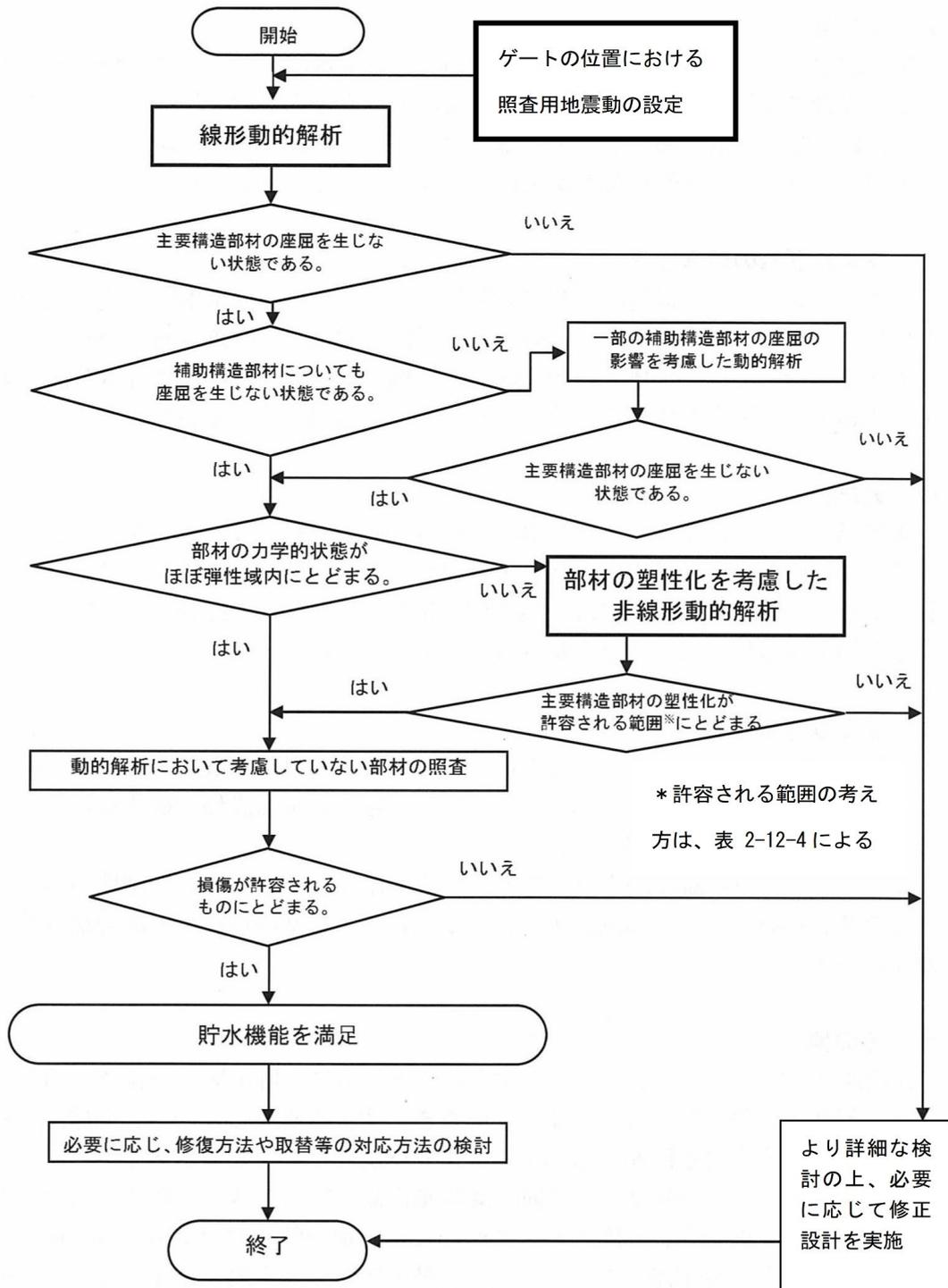


図2-12-17 放流設備のゲート（扉体、戸当り及び固定部）の耐震性能の照査の流れ

・門柱部

主ゲートを支持する門柱（天端橋梁の橋脚と一体構造のものを含む）は、構造的にはダム本体の一部であるが、その重大な損傷により主ゲートの脱落、顕著な変形等により貯水機能が維持できない状況にならないことを確認する必要がある。なお、ダム本体の場合と異なり、ダム軸方向の地震動の影響が大きくなる可能性があることに留意する必要がある。

イ. 常用洪水吐きの主ゲート

常用洪水吐きの主ゲートは、地震によって扉体の架構部または支承部に大変形が生じたり、戸当り及び固定部が損傷して扉体の脱落等が生じれば、制御できない貯水の流出が生じるおそれがある。また、ダムによっては、緊急水位低下や低下させた水位の上昇を規制するために、常用洪水吐きの主ゲートを使用する必要がある。このため、求められる耐震性能を満たさなくなるような損傷が生じないことを地震応答解析等により確認する必要がある。

- ・扉体、戸当り及び固定部

耐震性能の照査の手法および解析結果の評価の考え方については、基本的に非常用洪水吐きの主ゲートの扉体、戸当り及び固定部の場合と同様である。ただし、地震後に、ダムの安全性を確保するために、緊急に水位を低下させたり、また低下させた水位の上昇を規制するために必要とされる場合には、部材がほぼ弾性域内にとどまり、主ゲートを開放することが可能であることを確認する必要がある。

- ・開閉装置等

主ゲートを操作・制御するための開閉装置本体については一般に剛性が高いため、装置の移動もしくは転倒による破損が生じないことを基礎ボルトの応力照査等により確認することとしてよい。また、機側操作盤についても同様である。

開閉装置架台については、通常十分剛性が高い構造となるよう設計されているが、たとえば、門構形式など比較的地震動の影響を受けやすい構造の場合には、大きな変形等の損傷が生じないことを確認する必要がある。

開閉装置室（ゲート室建屋）については、特に張出し構造の場合には地震動の影響を大きく受けるため、開閉装置の支持機能が失われるような損傷を生じないことを確認する必要がある。

- ・門柱部

常用洪水吐きの主ゲートが門柱で支持されている場合には、門柱についても、重大な損傷により主ゲートの脱落等が生じないことを確認する必要がある。この場合、ダム軸方向の地震動の影響が大きくなる可能性があることに留意する必要がある。その際、緊急に水位を低下させたり、低下させた水位の上昇を規制する際に使用するゲートを支持する門柱の場合は、門柱の損傷に対して、ゲートを開放することが可能であることを確認する必要がある。

ウ. その他のゲート

低水放流設備、水位維持放流設備、水位低下用放流設備等の主ゲート等のうち、損傷した場合に制御できない貯水の流出が生じるおそれがあるものについては、非常用洪水吐きの主ゲートや常用洪水吐きの主ゲートと同様の考え方により照査を行うものとする。

予備ゲート等については、常時は水圧を受ける状態にないために荷重条件が厳しくないこと、及び主ゲートの安全性が確認されておれば地震時においてもダムの貯水機能は保持されることから、必ずしも照査を行う必要性はない。一般に修理用ゲートや副ゲートについても同様に地震動の影響は小さいと考えられるため、同様である。

ただし、予備ゲートの開閉装置室（予備ゲート室建屋）については、床版が上下方向の地震動の影響を受けやすい張出し構造であり、床版の損傷等により開閉装置の落下が生じた場合、洪水吐きを閉塞して主ゲートの機能を阻害するおそれがあるので、非常用洪水吐きの主ゲートの開閉装置室と同様に照査しておく必要がある。

エ. その他

以上の各種関連構造物については、表 2-12-4に示した耐震性能照査の考え方にに基づき、求められる耐震性能を有するかどうかを確認することになる。しかし、これらの照査によっても所要の耐震性能を確認できない場合には、ゲートであれば座屈・塑性化後の変形解析の実施や、門柱である鉄筋コンクリート構造物の動的解析の実施など、さらに詳細な検討を行って、求められる性能を満たすかどうかを、照査する必要がある。

なお、このような検討を含めた照査の結果、構造物毎の求められる性能が確保されないと判断される場合には、修正設計が必要となる。

2) その他の関連構造物等

ア. 取水塔

選択取水ゲート等及びその支持構造物である取水塔については、配置上、塔体が倒壊した場合に堤体や主要な放流設備に重大な損傷を与えるおそれがある場合や、緊急時の水位低下時に放流設備として用いる必要がある場合には、その構造等を考慮した適切な地震応答解析により地震時の安全性を確認しておく必要がある。

イ. フィルダムの洪水吐き

一般にコンクリート構造物として設置されるフィルダムの洪水吐きは、地震時の挙動が堤体とは異なるものとなる。このため、堤体に隣接して設置されているフィルダムの洪水吐きについては、堤体との接合部等の損傷により、ダム本体の貯水機能を維持する上で問題となる損傷を生じるおそれがないことを確認する必要がある。

ウ. 天端橋梁

天端橋梁が地震により落下した場合、放流設備のゲート等に被害を与え、その操作の支障となったり、添架電線の破断により開閉用電力の供給に支障を及ぼしたりするおそれがある。このような場合には、橋脚部に相当する門柱部の照査結果等に基づき、橋梁の上部構造が落橋しないことを確認しておく必要がある。

エ. 重要な電気設備等

主要な放流設備については、緊急時においてもその開閉用電力の供給が確保され、必要な操作が可能である必要がある。このため、重要な電気設備や機側操作盤等については、地震時の安全性を確認する必要がある。

なお、これらの設備は、その構造上、装置本体については一般に剛性が高いと考えられるため、移動もしくは転倒により損傷しないことを基礎ボルトの応力照査等により確認すればよい。

オ. その他

管理棟については、人的被害の発生を防ぐとともに、貯水機能を維持するために行うゲート操作等、緊急時の管理機能に支障をきたす被害を生じないことを確認するため、その構造上の安全性を関連する基準等により確認しておく必要がある。

また、管理棟から主要な放流設備の機側操作盤にアクセスするための通路となる天端橋梁、操作橋、監査廊、昇降設備等については、地震時においても通行不能となることがないか、また通行不能となった場合に代替のアクセス手段を確保できるか等の観点から、その安全対策を検討しておく必要がある。

<標準>

関連構造物等の耐震性能の照査は、当該関連構造物等に損傷が生じたとしても、ダム貯水機能が維持されることを、その機能や構造特性に応じた地震応答解析その他の適切な手法により確認することを基本とする。

<例示>

ゲートの耐震性能照査においては、構造部材について、座屈しないことと、塑性化がほぼ弾性領域内にとどまることを照査する。ここに、ほぼ弾性領域内にとどまる範囲とは、最大ひずみを降伏ひずみの2倍程度まで、限定的な塑性化にとどまる範囲としては最大ひずみを降伏ひずみの10倍程度までが目安となる（図 2-12-18 参照）。なお、部材の塑性化の可能性を検討する方法として、図 2-12-19 に示すように線形動的解析の最大応力値からエネルギー一定則を用いて簡便に塑性ひずみを算出する方法を用いることもできるが、塑性化の程度について詳しい検討が必要な場合は、部材の塑性化を考慮する非線形動的解析等によることが考えられる。

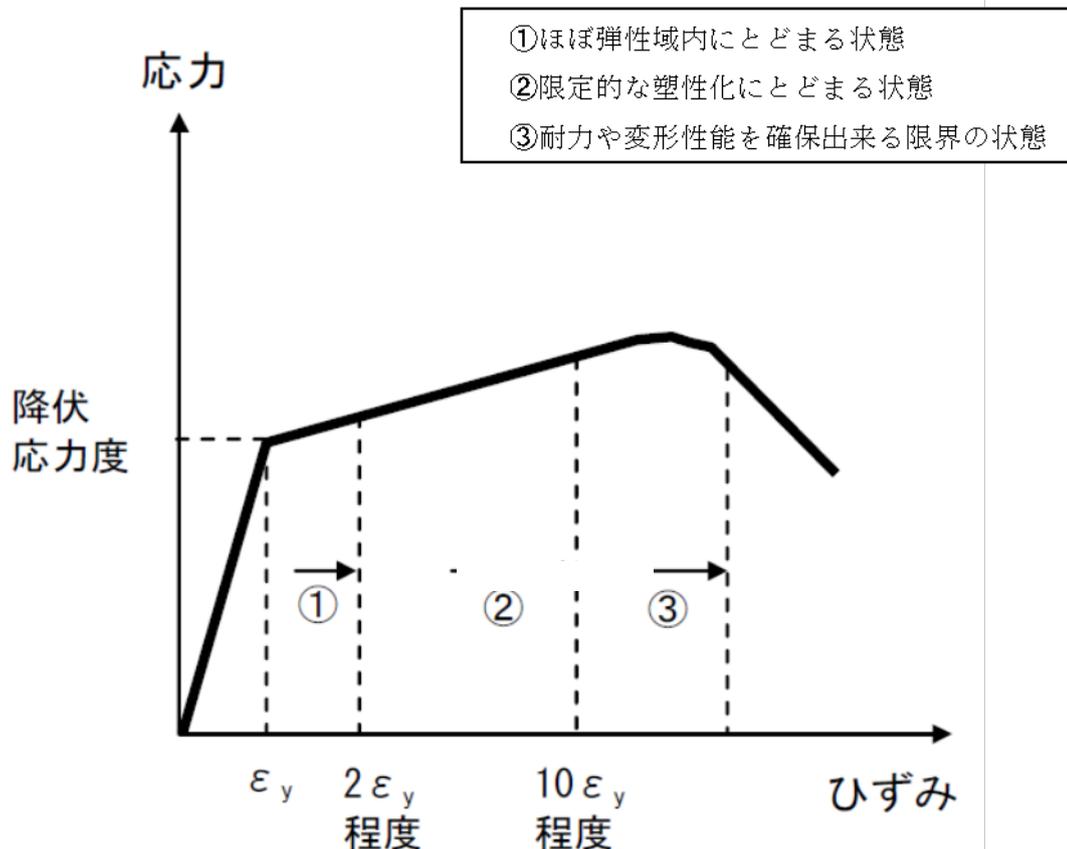


図2-12-18 鋼部材の許容される限界状態の範囲

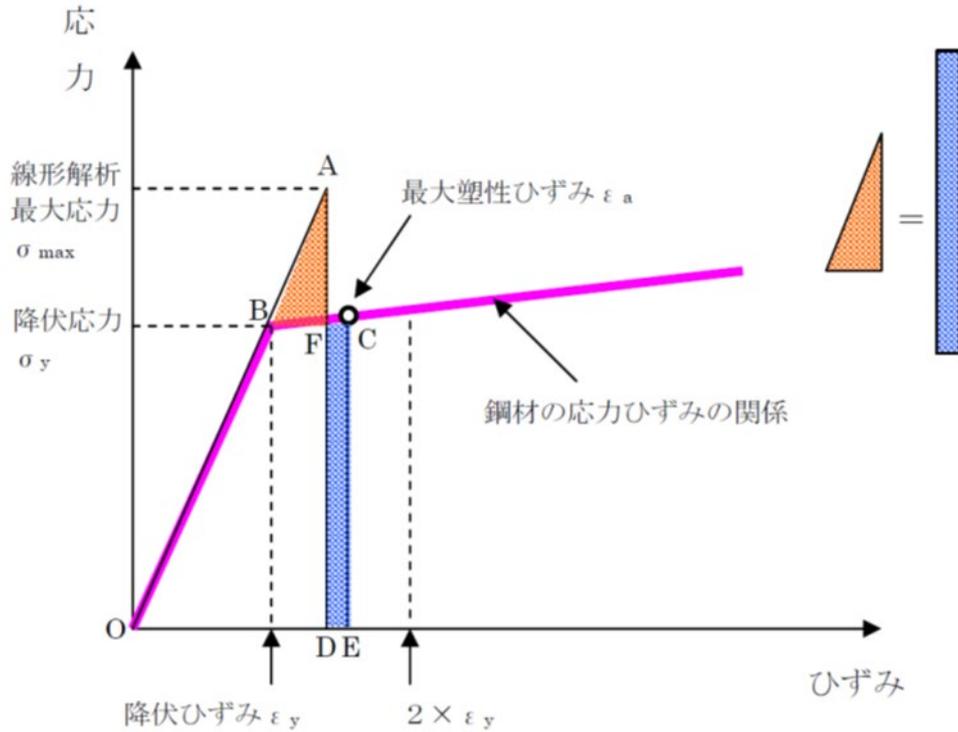


図2-12-19 鋼材のエネルギー一定則の適用概念

鉄筋コンクリート構造物であるダム門柱の耐震性能照査においては、設定したレベル2地震動やそれを考慮したダム本体の地震応答解析結果をもとに門柱に作用する地震力（震度ないしは地震動）を設定したあと、曲げ損傷のほかせん断損傷に関する検討を行う。

門柱の比較的簡便な実務的照査手法としては、道路橋示方書V耐震設計編に規定された鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力法のように、鉄筋コンクリートの弾塑性変形により消費されるエネルギーが弾性変形により消費されるエネルギーと等しいとするエネルギー一定則を適用して非線形応答変位を求める（図2-12-20参照）方法が考えられる。ただし、一般にダム門柱はこの方法の適用に適した橋梁の橋脚のように慣性力が頂部に集中して作用するトップヘビーな構造ではないため、自身の重量や動水圧の影響が大きくなりやすく、断面形状や配筋が高さ方向に大きく変化しているため、塑性化を生じる可能性のある部位を複数想定すべきケースも考えられる。このような場合には、これらの点を適切に考慮できる詳細な検討として有限要素モデル等による地震応答解析を行うのがよい。

門柱のせん断に対する照査に必要なせん断耐力については、道路橋示方書に棒部材を対象とした算定式が示されているが、せん断スパン比が小さい門柱で、その実際の構造に応じてコンクリートが負担するせん断力が向上する効果（いわゆるディープビーム効果）が見込めると考えられる場合には、この効果を見込むことができるコンクリート標準示方書〔設計編〕のせん断耐力式を適用して算定してもよい。

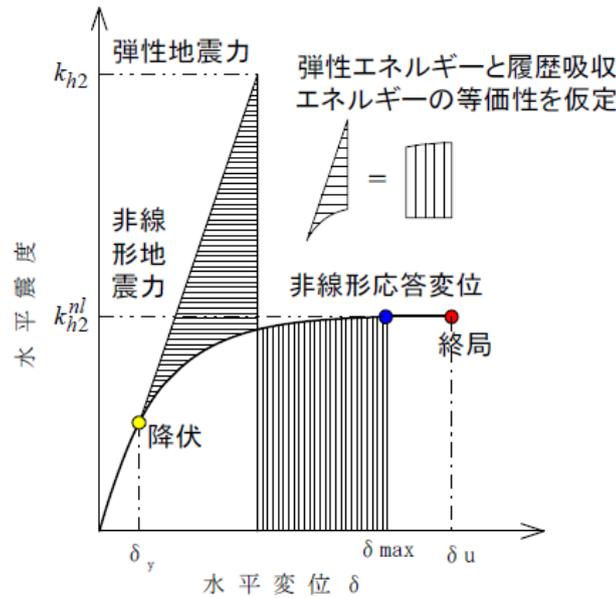


図2-12-20 エネルギー一定則による非線形応答の推定

<参考となる資料>

関連構造物等の耐震性能照査の全般については、以下の 1)、2)が、ゲートの耐震性能照査の詳細や塑性化判定などについては、以下の 3)~7)が、ダム門柱の耐震性能照査の参考となる鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有耐力法については、以下の 8)が、またせん断耐力式については、以下の 9)が参考となる。

- 1) 「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料」：国土技術政策総合研究所資料，第 244 号，平成 17 年 3 月。
- 2) 三石真也、島本和仁：大規模地震に対する耐震性能照査について，ダム技術，No. 274，pp. 6-35，2009 年 7 月。
- 3) 「大規模地震に対するダムゲートの耐震性能照査手法の現状」：ダム技術研究所報告 第 201101 号 平成 23 年 3 月。
- 4) 土木学会 地震工学委員会：橋の動的耐震設計，平成 15 年 3 月。
- 5) 宇佐美勉・(社)日本鋼構造協会：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，2006 年 9 月。
- 6) 建設省建築研究所・(社)鋼材倶楽部：エネルギー法に基づく耐震性能評価法－鋼構造建築物に適用した場合－，平成 12 年 10 月。
- 7) 加藤勉・中尾雅躬：局部座屈に支配される H 形断面鋼部材の耐力と変形能力，日本建築学会構造系論文集、第 458 号，pp. 127-136，1994 年 4 月。
- 8) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，平成 24 年 3 月。
- 9) (社)土木学会：2007 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，平成 20 年 3 月。