

第 3 章 設 計

3.1 ため池改修設計の考え方

ため池改修の設計は、個々のため池固有の諸条件を十分考慮した上で、ため池の形態・規模等の特徴に応じた適正かつ柔軟な方法により行うものとする。

また、ため池の改修においては、農業用施設、防災保全施設としての機能及び安全性が損なわれない範囲で、環境との調和に配慮するものとする。

ため池の改修は、各施設が所要の機能と安全性を有し、かつ、経済的でなければならない。そのためには、個々のため池固有の諸条件を十分考慮しなければならない。

ため池は、その立地条件により形態に違いが見られ、規模も様々である。また、改修を必要とする要因、機能低下の程度もそれぞれに異なるものである。

したがって、ため池の改修に当たっては、形態・規模等の特徴に応じた適正な考え方により、現地の条件や地域の特性を生かした柔軟な設計を行う必要がある。

また、ため池改修の設計においては、農業水利施設としての機能と生物の生息・生育環境を確保する機能を併せ持つことが求められる。

これらの機能には、経済性や維持管理面等の相反する部分があるため、地域条件に応じた適切なものとなるよう、農家を含む地域住民及び有識者等の議論や意見を踏まえ、地域の合意形成を図りつつ、総合的な検討を行う必要がある。

3.1.1 ため池形態別の特徴

ため池は、その形態により「谷池」と「皿池」に区分される。

ため池の形態は、立地により大きく谷池と皿池に区分される。本指針においては、次のように定義することとする。

谷池：山間や丘陵地で谷をせき止めて造られたため池

皿池：平地の窪地の周囲に堤防を築いて造られたため池

一般的に、谷池は山間部、丘陵地といった河川上流部に多く立地しているのに対し、皿池は平野部（下流部）に立地している場合が多く、それぞれの立地条件、水質（栄養度）等の違いにより、生育する水生植物、生息する動物にも特徴が見られる。

また、立地条件による特徴から、ため池の性格にも違いが見られ、谷池は、貯水機能が主であるのに対し、皿池は貯水機能とともに用水の中継地の役割を有し、洪水の調節機能（貯留効果）をも有している。

平成 25 年度ため池一斉点検時の調査資料から、形態別のため池諸元には表-3.1.1 のような実態が見られる。

表-3.1.1 ため池形態別の実態

項 目		谷 池	皿 池
堤 高		大 (10 m以下は89%)	小 (10m以下は98%)
堤 長		小 (100m以上は16%)	大 (100m以上は46%)
貯 水 量		小 (50千m ³ 以上は10%)	大 (50千m ³ 以上は13%)
満 水 面 積		小 (1ha以上は17%)	大 (1ha以上は29%)
流 域 面 積		大 (10ha以上は48%)	小 (10ha以上は41%)
設 計 洪 水 量		大 (1m ³ /s以上は75%)	小 (1m ³ /s以上は41%)
天 端 幅		谷池、皿池共に同程度(1m以上5 m以下は88%)	

注1) 平成25年度ため池一斉点検調査結果(受益面積2ha以上、又は防災重点ため池)による。(調査ため池:46,107箇所)

2) ()内は各形態別のため池で、その範囲が占める割合である。



代表的な谷池



代表的な皿池

3.1.2 ため池の多面的機能

ため池は、本来、農業利水や地域防災としての役割を果たす施設であるが、ほかにも、生物の生息・生育場所の保全、住民の憩いの場の提供等、多面的な機能を有する。

ため池は、古くから農業利水や地域防災としての役割を果たしてきた施設であるが、ほかにも、生物の生息・生育場所の保全、住民の憩いの場の提供等、様々な機能を有している。

ため池は、人と稲作との関わりの中で形成されてきた歴史ある施設であり、稲作の水利用により水位が変動するという特徴を持つ。さらに、継続的な維持管理等の人間の働きかけにより多様な環境を形成し、勾配の緩やかな水際等が水草の生育環境として適しているほか、水生昆虫、魚類、鳥類等様々な生物の生息・生育空間となっている。

また、ため池は周囲の水田や雑木林等と一体となって農村環境を形成しており、農村地域の生物の多くは、これらを生活の場として往き来しながら生息している。このため、ため池と周辺環境との連続性の確保が、地域の生態系を確保する上で重要なポイントとなる。

3.1.3 ため池の形態・規模に応じた設計の考え方

ため池の改修設計に当たっては、ため池を取り巻く環境を評価し、ため池の形態・規模に応じた適切な考え方により行うものとする。

ため池固有の諸条件を考慮するためには、形態別の特徴を設計に反映させる必要がある。

そのためには、各種の既存資料及び管理者等から得られる情報を把握し、ため池を取り巻く現況及び将来の環境を適切に評価することが重要である。その上で、本指針を柔軟に適用し、ため池を構成する各施設を設計することが必要である。

ため池の環境によっては、想定される被害や下流の状況に応じて、貯水容量の見直しや洪水調節機能の付加を考慮する等、効率的な設計を行うことも可能である。また、ため池の持つ満水面積、流域面積及び基礎地盤等の環境の違いは、洪水吐設計に対しても大きく影響する。

したがって、ため池改修設計に当たっては、ため池の環境を総合的に評価してため池の形態・規模を検討し、それらに応じた設計の考え方及び適切な設計手順を選定することが望ましい。

参考として、ため池の形態に応じた設計手順を、図-3.1.1に示す。

また、設計洪水流量、設計洪水位決定の手順及び堤体設計の手順の詳細については、それぞれ、図-3.2.2及び図-3.3.1に示す。

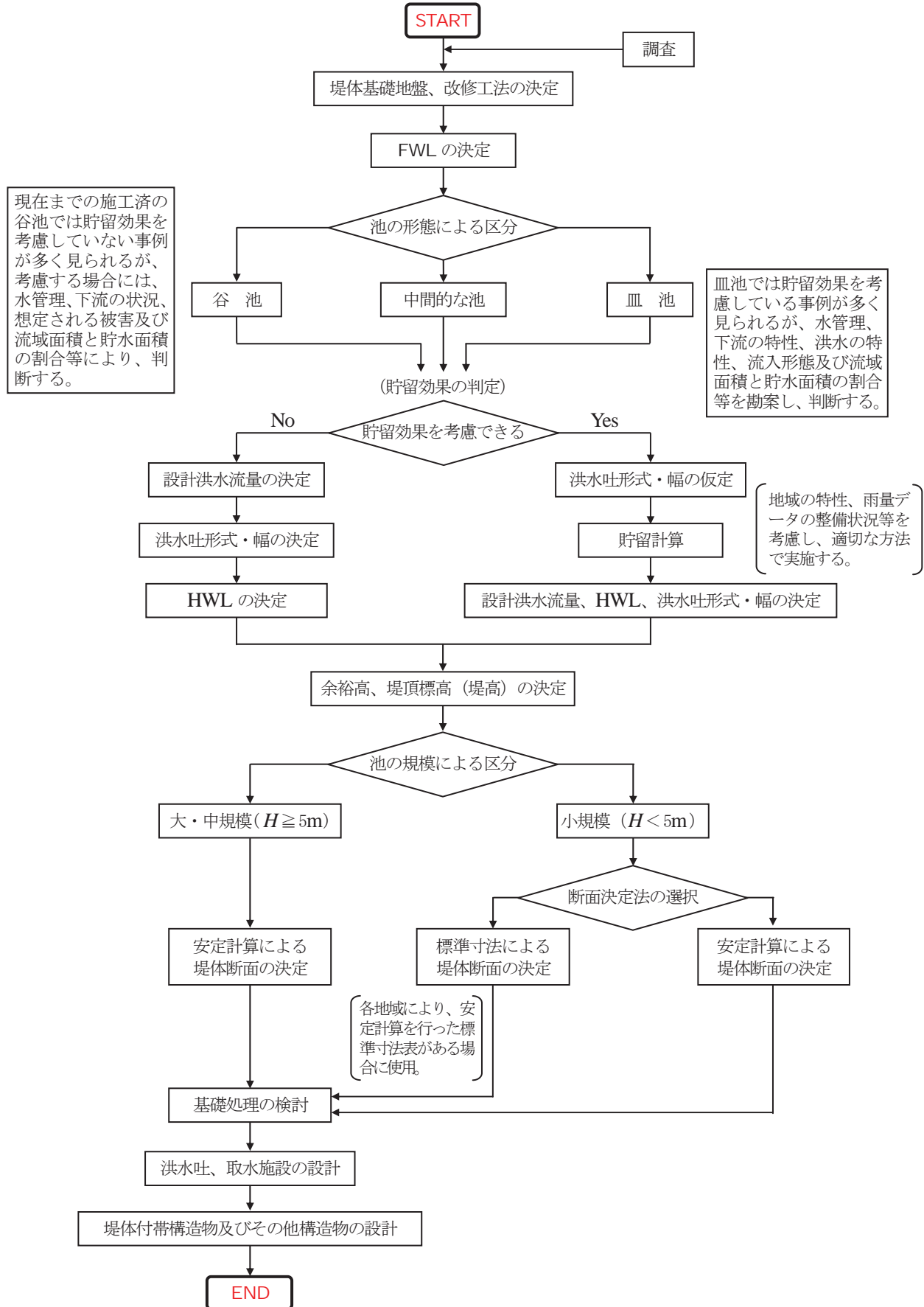


図-3.1.1 ため池の形態に応じた設計手順

3.1.4 二次的自然空間としてのため池

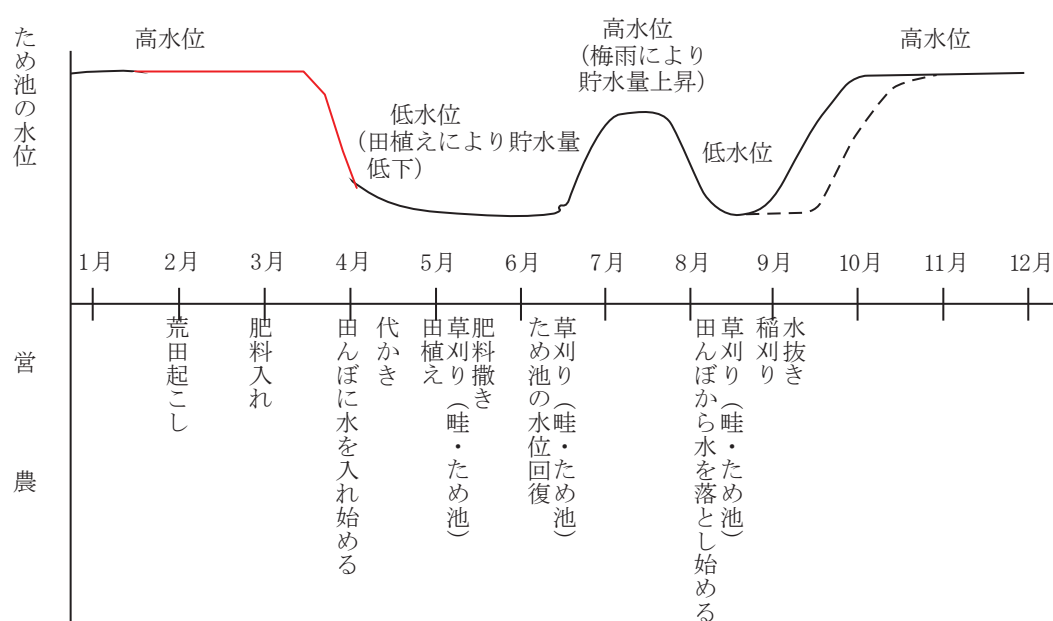
ため池は、長年にわたる稲作と人との関わりの中で形成されてきた歴史のある施設である。
 また、自然の湖沼と違い、人為的な操作により、水位が年間周期で大きく変動するという特徴を持つ。
 さらに、継続的な維持管理等、人間の働きかけ（人為的攪乱）による環境に対応した様々な植物、水生昆虫、魚類、両生類、鳥類などが生息・生育し、良好な二次的自然空間が形成されている。

ため池は、古くは縄文時代末期ないしは弥生時代初期に稲作が伝来して以来、主としてかんがい用水に恵まれない地域を中心として、農業用水を貯えるために堤を築き、取水のための施設（斜樋、底樋等）として設けられた人工的な水域であり、長年にわたる稲作と人との関わり合いの中で形成されてきた歴史のある施設である。

また、自然の湖沼と比べ、一般的に、かんがい期に放水され、その後、翌年の耕作に向けた貯水のため、水位が再び上昇するなど、営農活動にあわせた人為的な操作により年間周期で水位が大きく変動するという特徴を持つ。

さらに、ため池では、その貯水機能を長期にわたり維持するため、利水者等による草刈り、水抜き、漏水補修等の伝統的な維持管理活動が継続的に行われている。

このような人間の働きかけ（人為的攪乱）による環境の変化に対応して、例えば、かんがいのための取水による水位の周期的変化により、様々な水生植物、水生昆虫、魚類、両生類、鳥類などが生息・生育する良好な二次的自然空間が形成されている。



（出典：「水辺環境の保全」、江崎保男・田中哲夫 編、1988年 をもとに作成）

図-3.1.2 田んぼの年間スケジュールとため池水位の変動の一例¹⁾

3.1.5 環境との調和に配慮する考え方

ため池改修における「環境との調和への配慮」は、農業利水や地域の防災を図る目的を達成しつつ、可能な限り環境への負荷や影響を回避・低減するとともに、良好な環境を形成することにより行うものとする。

ため池改修に当たっては、地域の防災を図る目的を達成しつつ、ため池周辺の二次的自然空間や景観への負荷や影響を回避し、低減することが必要である。また、状況に応じて外来種の排除、在来種の保存を積極的に考え、これまで失われてきた環境を回復し、さらには良好な環境の形成に留意することも必要である。

環境との調和への配慮をより実効性のあるものにするためには、調査・計画・設計の各段階において十分に検討することが必要である。

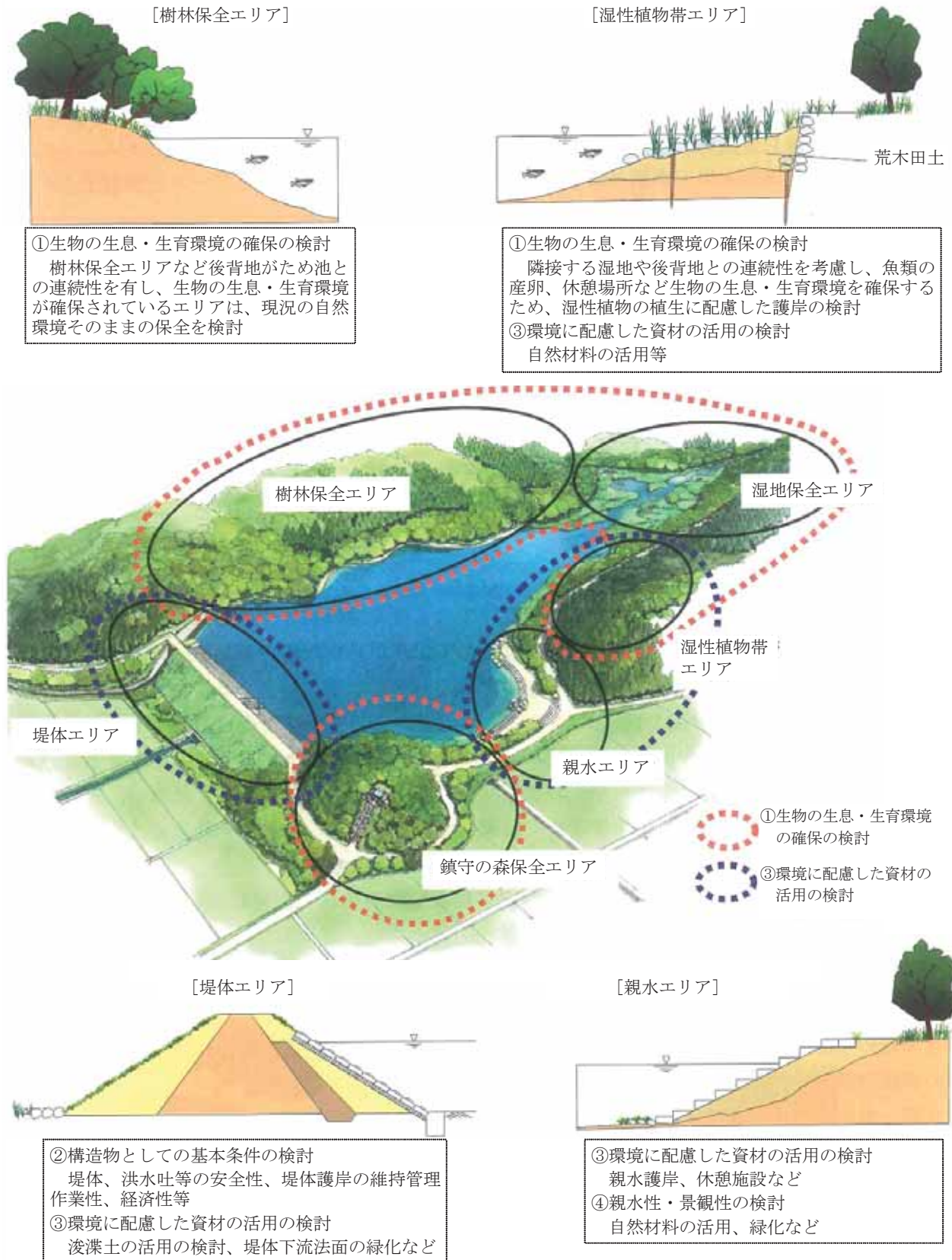
ため池における環境配慮計画では、調査結果に基づいて保全対象種を設定し、具体的な配慮対策の検討を行う。その際、保全対象種の生息・生育環境として必要な保全範囲（エリア）を設定し、エリアごとにミティゲーション5原則（p. 26 参照）を基本とした影響の軽減対策を検討する。また、影響の最小化や軽減対策と併せて、複数の環境を利用している生物を対象とした環境要素のネットワーク化を検討する。

環境との調和に配慮したため池設計は、農業水利施設としての機能の確保に加えて、①生物の生息・生育環境の確保、②構造物としての基本条件の確保、③環境に配慮した資材の活用、④その他の多面的機能（親水性や景観等）への配慮が行われることが必要である。

農業水利施設としての機能と生物の生息・生育環境を確保する機能には、経済性や維持管理面等の相反する部分があるため、地域条件に応じた適切なものとなるよう、農家を含む地域住民及び有識者等の意見を踏まえ、地域の合意形成を図りつつ、総合的な検討を行う必要がある。

ため池の設計に当たっては、農業用水の確保及び災害防止だけではなく、図-3.1.3 に示すような、多様な視点から検討する必要がある。

ため池設計の検討事項の例



(1) ミティゲーション5原則（環境配慮の5原則）

諸外国及び国際機関の環境影響評価においては、事業が環境に与える影響を回避や軽減等の措置により緩和する措置（ミティゲーション）を環境影響評価の中で記述することとしており、米国 NEPA（国家環境政策法）では、ミティゲーションを回避、最小化、修正、影響の軽減／除去、代償の5原則に分類している。

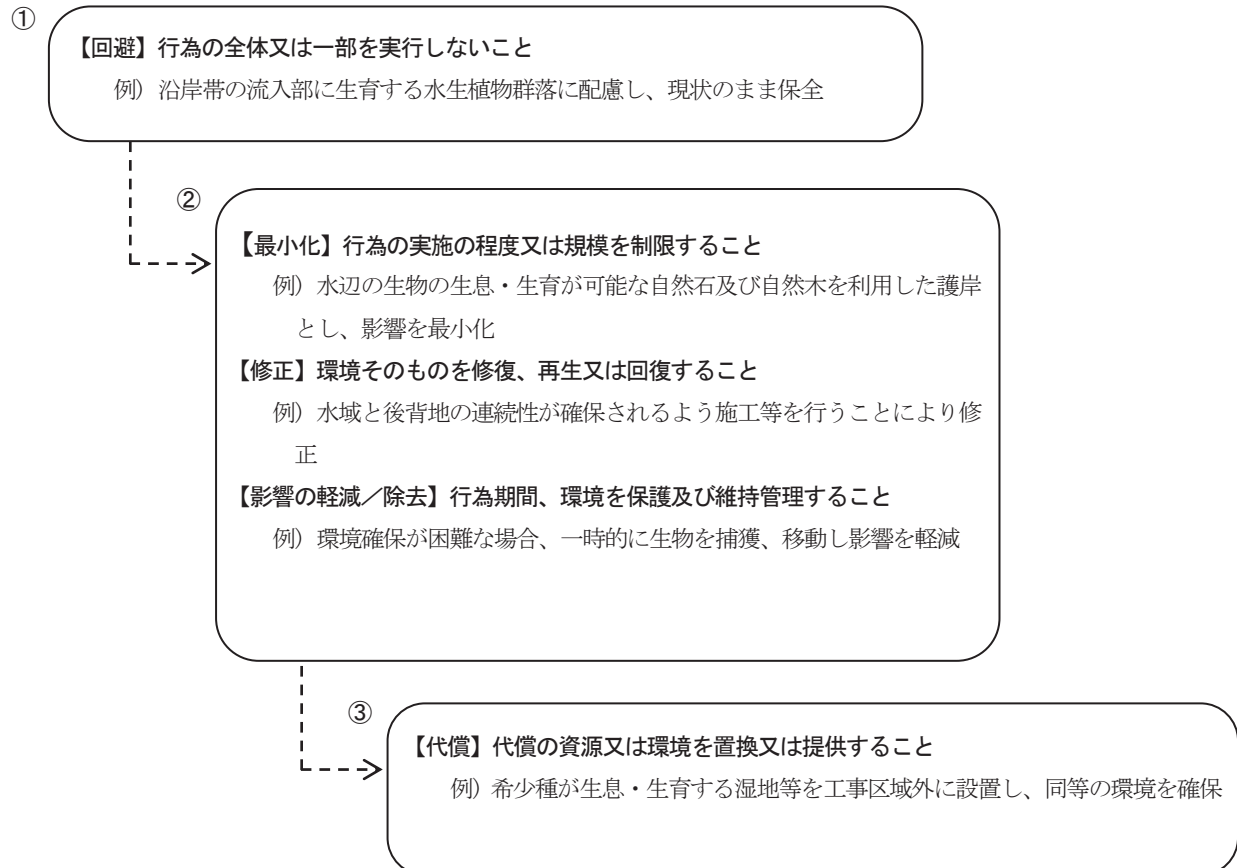


図-3.1.4 ミティゲーションの分類¹⁾

ため池整備の場合には、既存ため池の改修が主となるが、調査結果により、環境との調和への配慮対策が必要な保全対象種、又は重要な環境要素が確認された場合には、農業生産性や施設機能の維持を前提とし、保全対象種の生活史を踏まえた上で、後背地との連続性を確保する等、保全対象種の生息・生育環境保全の観点から、自然状態での生息・生育環境の保全(回避)が可能かどうかを十分検討し、それが不可能な場合は、考えられる軽減対策を複数案検討する必要がある。

ミティゲーション5原則をため池の例で説明すれば、図-3.1.5 のようになる。

①

回避 (avoidance)

行為の全体又は一部を実行しないことにより、影響を回避すること



護岸工事を実施しないため池

②

最小化 (minimization)

行為の実施の程度又は規模を制限することにより、影響を最小とすること



自然材料を用いたため池護岸

③

修正 (rectification)

影響を受けた環境そのものを修復、復興又は回復することにより、影響を修正すること



落差工改修の際に、上下流の連続性確保

④

影響の軽減／除去 (reduction /elimination)

行為期間中、環境を保護及び維持することにより、時間を経て生じる影響を軽減又は除去すること



工事前に一時的に移植していた植物を復元

⑤

代償 (compensation)

代償の資源又は環境を置換又は供給することにより、影響を代償すること















イバラトミヨの保全池を創設

図-3.1.5 ミティゲーション5原則

(2) 生物の生息空間としてのネットワークの確保

生物種や生態系の保全のためには、生息域のネットワークを適切な形で確保することが必要である。

生物種や生態系の保全のためには、国際自然保護連合（IUCN）が提唱している「生物生息空間の形態・配置の6つの原則」である「拡大化」「団地化」「集合化」「等間隔化」「連結化」「円形化」を考慮して、環境要素のネットワーク化を図ることが重要である（図-3.1.6 参照）。

	優 (better)	劣 (worse)	生物生息空間の形態・配置の原則
拡大化			生物生息空間は、なるべく広い方がよい。 タカ、フクロウやキツネ等高次消費者が生活できる広さが一つの目安となる。生物の多様性に富み、安定性が増し、種の絶滅率が低くなる。
団地化			同面積ならば、分割された状態よりも一つの方がよい。 多くの種は一塊の広い地域にあって初めて高い生存率を維持できるため、生息空間が幾つかの小面積に分割されると、生存率が低くなる。
集合化			分割する場合には、分散させない方がよい。 生物空間が接近することで、一つの生物空間で種が絶滅しても近くの生物空間からの種の供給が容易になる。
等間隔化			線上に集合させるより、等間隔に集合させた方がよい。 等間隔に配置されることで、どの生物空間も、他の生物空間との間での種の良い交流が確保される。線上の配置は、両端に位置する生物空間の距離が長く、種の交流を難しくしてしまう。
連結化			不連続な生物空間は、生態学的回廊で繋げた方がよい。 生態学的回廊（エコロジカルコリドー）の存在により、生物の移動が飛躍的に容易になる。
円形化			生物空間の形態は、できる限り丸い方がよい。 生物空間内における分散距離が小さくなる。外周の長さも短くなり、外部からの干渉が少なくて済む。

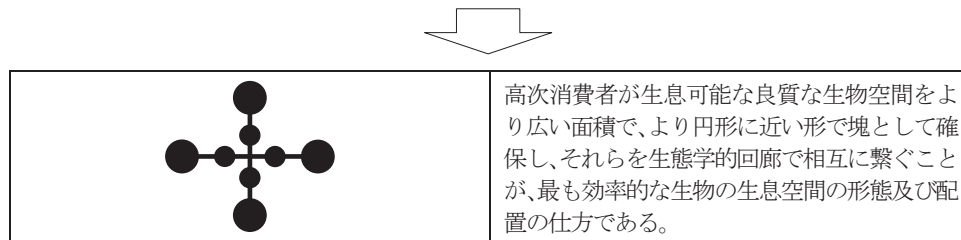


図-3.1.6 生物生息空間の形態・配置の原則²⁾

(3) 生物の生息・生育環境の確保

生物の生息・生育環境を確保するためには、現況の水際やその周辺をできる限り保全するとともに、生物の生息・生育に適した凹凸に富む曲線の水際や変化に富む地形形状、年間の水位変動を考慮した浅水域や部分的な深水域等の環境を確保することが望ましい。

そのためには、ため池の安全性が確保される範囲で、石や木杭等を用いた多孔質材料の使用又は凹凸のある素材を使用する等の土木工法的な工夫と、できる限り現況のままの自然環境を保全する計画上の工夫を併せて検討する必要がある。

(4) 環境に配慮した資材の活用

周辺環境と調和する自然材料や発生材は、廃棄物の発生抑制による環境への配慮に効果的であることから、積極的に検討することが望ましい。

(5) 後背地との連続性確保のための配慮

保全対象種によっては、生息場所がため池だけでなく後背地の樹林や草地に移動するものがあるため、後背地の改変や水際と後背地との分断に関して配慮が必要な場合がある。

- ① ため池と後背地を移動する小動物への配慮として、水際は緩傾斜とすることが望ましい。緩傾斜にできない場合は、護岸の一部にカメなどが移動できるスロープを設けることを検討する。
- ② ため池沿いの管理道路や散策路は、アスファルトやコンクリートによる舗装をできるだけ避け、生態系に配慮した舗装材料の使用や、わだち部分のみの舗装等を検討する。ただし、ため池の維持管理作業に関わるため、ため池管理者や農家を含む地域住民等の意見を踏まえ、合意形成を図る必要がある。また、側溝等では、小動物がはい上がれるよう留意する。
- ③ ため池の岸辺の湿地や流入部の沿岸域は、多様な生物が生息・生育している場合が多いため、その環境をできる限り保全する。
- ④ ため池周辺に生息する鳥類の営巣地の環境を確保することに留意する。

(6) 水際の植生

ため池の水際の植生は、生物の生息・生育環境や景観の形成等に重要な役割を果たしており、現況の多様な植生を保全することが重要である。

水際・水中の植生を復元・創出するエリアについては、治水・利水上の安全性を確保した上で植栽することが必要である。なお、植栽の範囲、種類、方法等については、植栽の目的や場所及び保全対象種の生息・生育環境を考慮して、決定することが重要である。

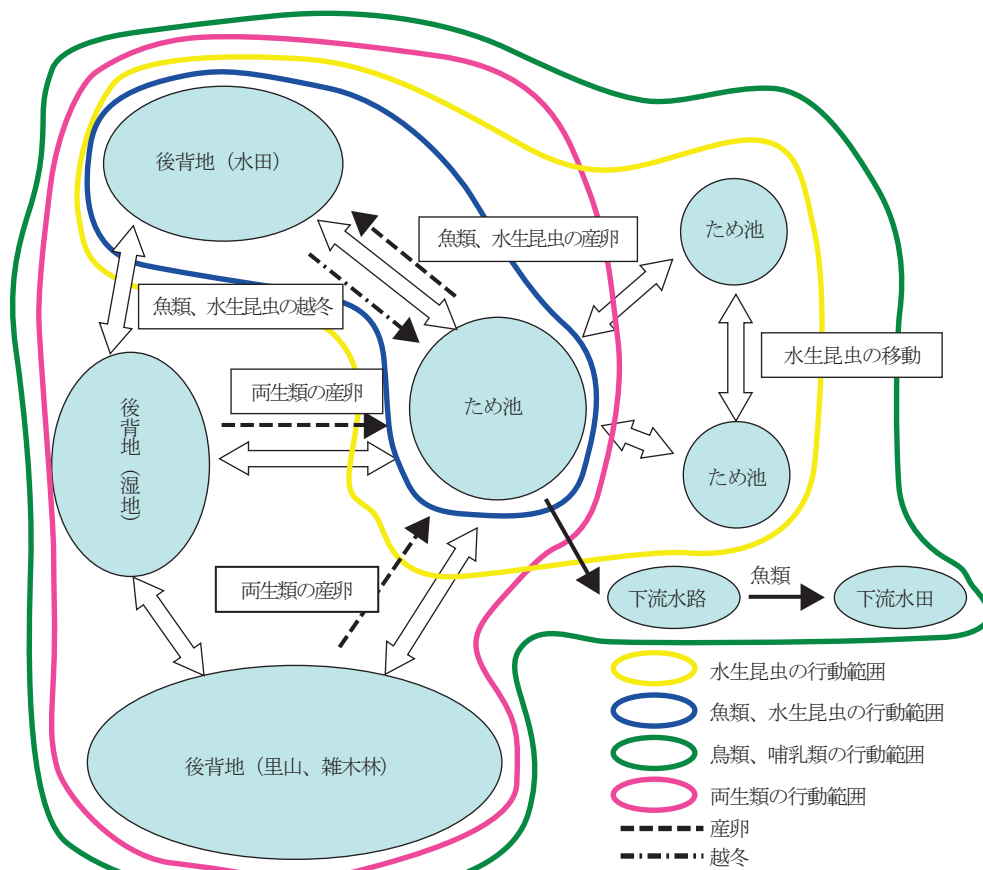


図-3.1.7 ため池間及びため池とその周辺環境とのネットワーク概念図¹⁾

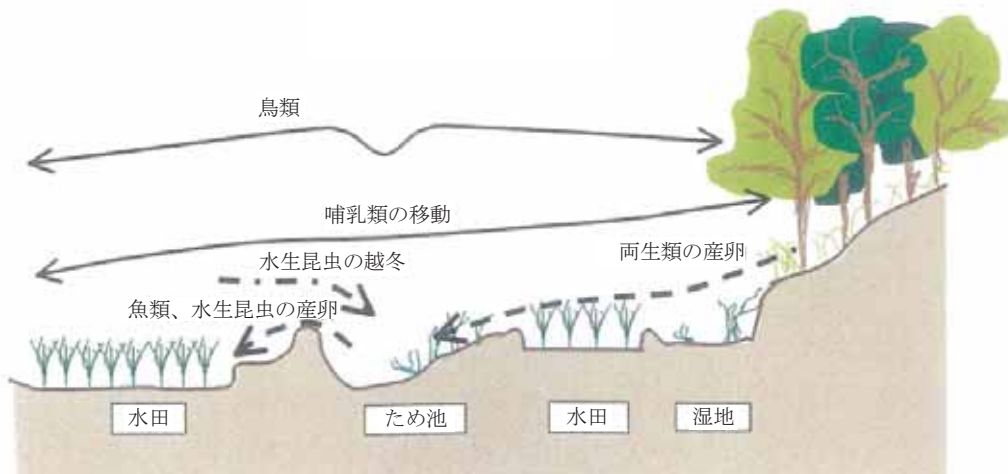


図-3.1.8 ため池周辺環境の断面図¹⁾

引用文献

- 1) 環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き（第2編）
- 2) 環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き（第1編）

参考文献

- 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」（平成15年4月）
 農林水産省構造改善局建設部防災課：老朽ため池整備便覧（昭和57年5月）

3.2 設計洪水流量

ため池の設計洪水流量は、次のうち最も大きい流量の1.2倍とする。

- ① 確率的に200年に1回起こると推定される200年確率洪水流量（以下「A項流量」という）。
- ② 観測又は洪水痕跡等から推定される既往最大洪水流量（以下「B項流量」という）。
- ③ 気象・水象条件の類似する近傍流域における水象又は気象の観測結果から推定される最大洪水流量（以下「C項流量」という）。

設計洪水流量は、設計上考慮される最大の洪水流量で、ため池は、洪水の堤体越流に対する安全性を考慮して、20%の余裕を見込むものとする。

なお、ため池に用水路等からの流入がある場合には、流入量も考慮するものとする。また、池敷の他に流域をもたない皿池のような場合は、貯水池内の雨水及び流入水路等からの流入水を設計洪水流量とする。

また、気象・水象記録の状態から200年確率洪水流量を算定することが、理論上不適当な場合には、100年確率洪水流量の1.2倍をもって200年確率洪水流量とすることができる。

3.2.1 A項流量

A項流量は、次に示す合理式によって推定する。

$$Q_A = \frac{1}{3.6} \cdot r_e \cdot A \quad \dots\dots\dots (3.2.1)$$

Q_A : 洪水ピーク流量 (m³/s)

r_e : 洪水到達時間内流域平均有効降雨強度 (mm/h)

A : 流域面積 (km²)

(1) A項流量の推定

本来、A項流量は洪水流量データに基づき確率計算を行って推定すべきであるが、一般的には洪水流量データが存在しないため、降雨データに基づく確率計算により推定するものとする。

合理式の適用可能な流域面積は、40km²以下とし、ため池の満水面積を含むものとする。間接流域からの洪水流量については、実情に応じて加算するものとする。

(2) 洪水到達時間の推定

洪水到達時間 t_p は、原則的には対象流域ごとに観測値に基づき推定されるべきであるが、観測値が得られない場合は、式(3.2.2)（角屋・福島公式）によるものとする。

$$t_p = C \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35} \quad \dots\dots\dots (3.2.2)$$

ここに、 A : 流域面積 (km²)

r_e : 洪水到達時間 t_p 内の平均有効降雨強度 (mm/h)

C : 流域の土地利用形態に応じて異なる定数

t_p が分単位のときの C の値は、表-3.2.1 による。

なお、表-3.2.1の C の範囲は経験的に予想される値であり、平均値は観測値を整理して得た値である。流域地形等が複数の異なる状態に区別される場合は、加重平均により流域全体の C を求める。

ただし、この式をため池地点の洪水到達時間の推定に利用する際、ため池地点が2～3本の大支川の合流直後に位置しているときは、面積は全流域面積ではなく、合流前の支流域面積の最大の方を用いるべきことに注意する。

角屋・福島の式のほかに洪水到達時間を推定する方法として、山腹流下時間 k_{arbey} （カーベイ）式法と河道流下時間 r_{zih} （ルチハ）式、 k_{raven} （クラーヘン）式を組合せて算出する方法がある。いずれも河道勾配のみで一義的に洪水到達時間を推定する方法であり、洪水到達時間が流域特性と水文特性に左右される値であり流域固有の一定値となることから考えると、適用するには問題があるといわれている。

表-3.2.1 洪水到達時間係数 C の値（角屋・福島）

・自然丘陵山地	： $C = 250 \sim 350 \rightleftharpoons 290$
・放牧地	： $C = 190 \sim 210 \rightleftharpoons 200$
・ゴルフ場	： $C = 130 \sim 150 \rightleftharpoons 140$
・開発直後粗造成宅地、舗装道路及び水路の密な農地	： $C = 90 \sim 120 \rightleftharpoons 100$
・市街地	： $C = 60 \sim 90 \rightleftharpoons 70$

(3) ピーク流出係数

洪水ピーク流量に關与する有効降雨強度（式(3.2.1)に用いる r_e ）を観測降雨強度 r から推定する方法として、しばしばピーク流出係数 f_p が用いられる。

$$r_e = f_p \cdot r \quad \dots\dots\dots (3.2.3)$$

r ：200年確率降雨強度（mm/h）

本来、ピーク流出係数 f_p は流域表層部の条件により著しく異なり、同一流域でも先行降雨条件によりかなり変化する。参考のため、表-3.2.2、表-3.2.3にピーク流出係数の例を示す。流域地形等が複数の異なる状態に区別される場合は、加重平均により流域全体の f_p を求める。

表-3.2.2 物部によって提示されたピーク流出係数

地 形 の 状 態	f_p	地 形 の 状 態	f_p
急しゅんな山地	0.75～0.90	かんがい中の水田	0.70～0.80
第三紀層山地	0.70～0.80	山地河川	0.75～0.85
起伏のある土地及び樹林地	0.50～0.75	平地小河川	0.45～0.75
平らな耕地	0.45～0.60	流域のなかば以上が平地である大河川	0.50～0.75

表-3.2.3 防災調節池の洪水吐等の設計流量算定のために提示されたピーク流出係数

土地利用状況	f_p	備 考
開発前	0.6～0.7	山林・原野・畑地面積率が70%以上の流域
開発後 (1)	0.8	不浸透面積率がほぼ40%以下の流域
開発後 (2)	0.9	不浸透面積率がほぼ40%以上の流域

3.2.2 B項流量

B項流量は、ため池地点で観測された最大洪水流量又は過去の洪水痕跡から推定される既往最大流量のうち、いずれか大きい方とする。

3.2.3 C項流量

下記①及び②で推定される洪水ピーク流量のうち、いずれか大きい方をC項流量とする。

- ① 気象条件及び洪水流出特性が類似する同一流域内において十分信頼できる既往最大洪水比流量曲線が得られている場合には、この曲線から当該ため池の流域面積に相応する洪水比流量を求め、求めた値に流域面積を乗じて洪水ピーク流量を推定する。
- ② 当該ため池流域に近く、気象条件が類似する流域で観測された既往最大級豪雨が当該ため池流域に発生するとした場合の、当該ため池地点で予想される洪水ピーク流量を計算により推定する。

ここにいう「流域に近い」範囲は隣接する市町村程度とし、豪雨が周辺の観測結果から地域性を強く有すれば、豪雨発生時の気象条件、地形等を考慮して地域を限定して適用する。

なお、洪水比流量を求める式としては複数のものが提唱されているが、そのうち、式(3.2.4)に示すクリーガー(Creager)型近似式については、当分の間、小流域(20km²以下を目安)を除き用いることができるとされている。

$$q = CA^{(A^{-0.05} - 1)} \dots\dots\dots (3.2.4)$$

q : 最大洪水比流量 (m³/s/km²)

A : 流域面積 (km²)

C : 地域係数 (図-3.2.1、表-3.2.4)

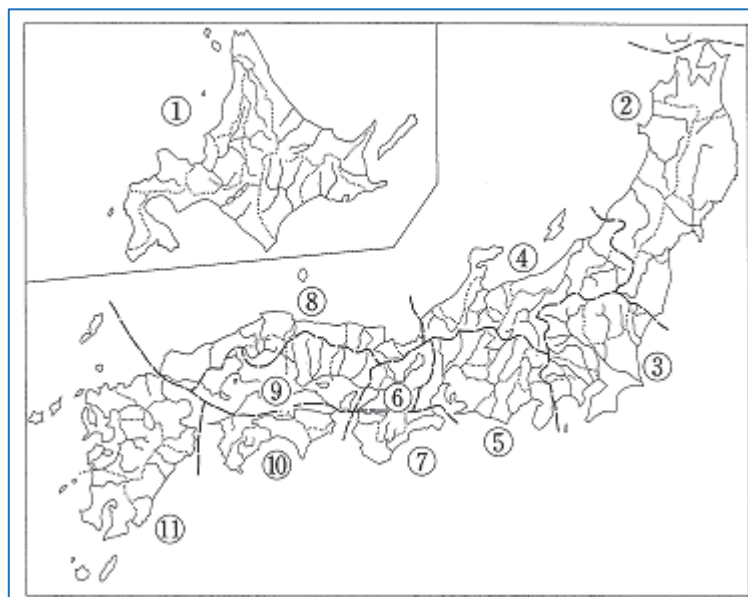


図-3.2.1 地域別比流量式(クリーガー曲線)の地域区分図

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（淀川流域及び舞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	三重県のうち舞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⑨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、当該地域係数 C を35以上とすることができる。

表-3.2.4 地域別比流量式（クリーガー曲線）の地域係数 C 値

3.2.4 貯留効果

貯留効果は、流域面積、貯水面積等の、ため池の諸元、洪水の特性、想定される被害、下流の状況、現況洪水吐の規模等の条件から総合的に判断し、評価するものとする。

一般に、ため池に流入する洪水は、貯水池に流入して貯水水位を高めつつ洪水吐を流下することから、いわゆる貯留効果が生じ、洪水吐を流下する流量ピーク値は流入量のそれよりはいくぶん小さくなり、このときの洪水水位は、この効果を考慮しない場合より低くなる。したがって、流域面積に比べて貯水面積の大きいため池で、確実に貯留効果が発揮できるため池は、貯留効果を考慮して設計洪水水位を定めてもよい。

ただし、想定される洪水の状況により、堤体や下流域へ悪影響を及ぼすと考えられる場合はこの限りでない。

また、流域面積に比べて貯水面積が大きいため池とは、従来から、流域面積/貯水面積が30以下を目安としている。

なお、貯留効果算定に当たっての貯留量は常時満水位以上のものに限定されるとともに、貯留効果により従来の洪水吐流下能力を下回る洪水流出量を定めることはできない。

設計洪水流量、設計洪水水位決定の手順を、図-3.2.2に示す。

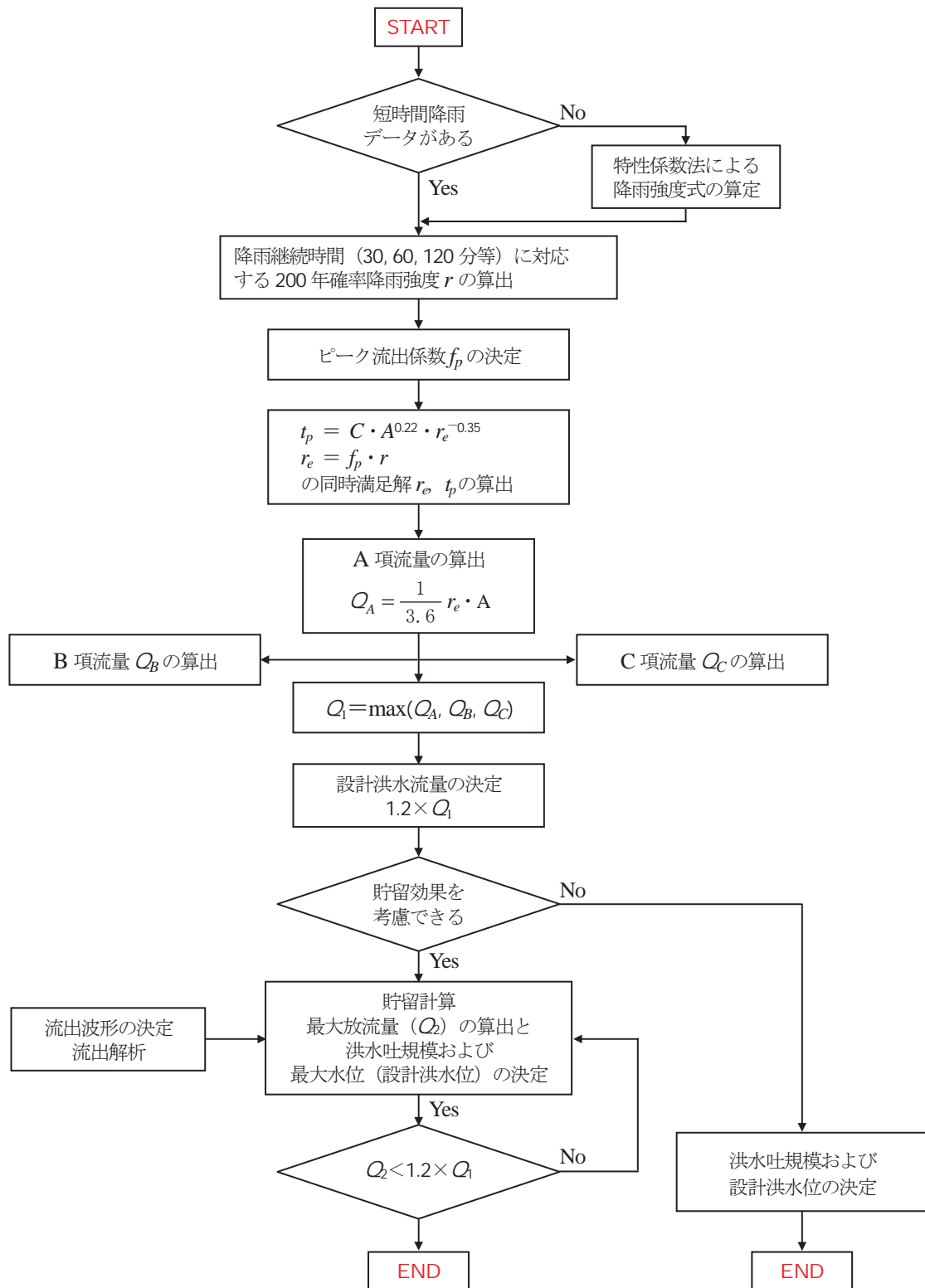


図-3.2.2 設計洪水流量、設計洪水位決定の手順

参考文献

- 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」(平成15年4月)
- 農林水産省構造改善局建設部防災課：老朽ため池整備便覧(昭和57年5月)
- 岩井重久・石黒政儀：応用水文統計学(昭和45年10月)
- (社)土木学会：水理公式集(平成11年11月)

3.3 堤体の設計

3.3.1 堤体設計の考え方

堤体の設計は、各種調査の結果を踏まえ、ため池の形態・規模に応じた適切な手順により行い、個々のため池固有の諸条件を十分考慮した上で、所要の機能を有し、かつ、経済的な工法及び断面を決定するものとする。また、堤体の安全性が確保される範囲で、環境との調和に配慮するものとする。

経済的な断面とするためには、現況堤体を適切に評価し、これを可能な限り利活用することを念頭に置き、加えて、洪水吐越流水深と堤高の関係等多面的かつ総合的な判断を必要とする。

また、堤体の所要機能及び安全性の確保を図るためには、浸透量計算、安定計算等の基本的な技術検討を全体の設計手順の中で適切に実施する必要がある。

ため池改修における環境配慮対策としては、植生に配慮した自然材料や多自然型ブロックを堤体護岸工に導入する等、主に、堤体を対象とした工夫が考えられるが、ため池の水際断面・工法の選定に当たっては、堤体のみを対象とするのではなく、水際全域における生物の生息・生育環境条件を考慮して検討することが望ましい。

なお、ため池の形態・規模等の特徴及び環境への影響度に応じて堤体設計の考え方は異なることから、堤体の設計は、個々のため池固有の諸条件を十分考慮し、適正かつ効率的な設計手順に従って行うものとする。

標準的な設計手順を、図-3.3.1に示す。

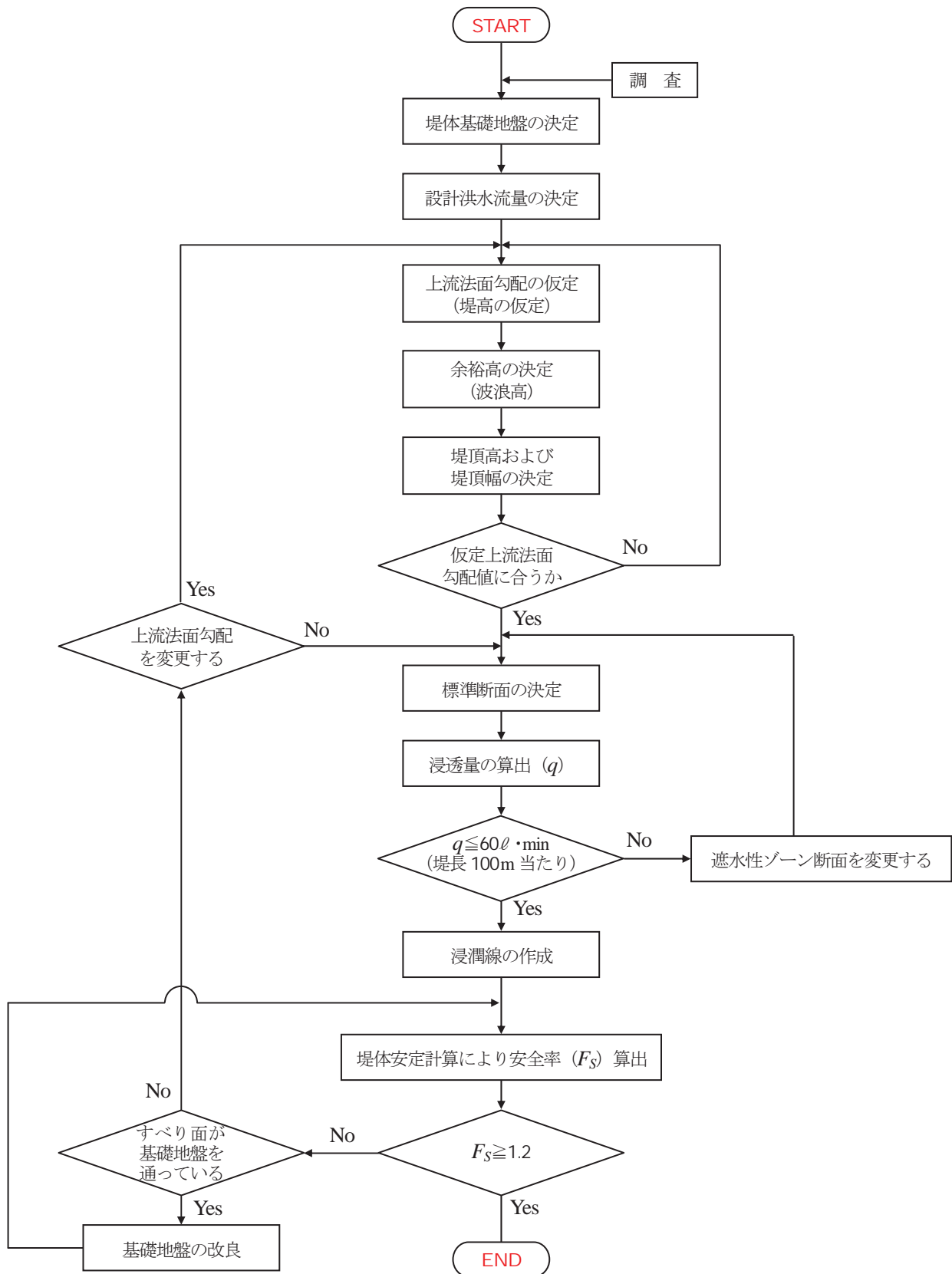


図-3.3.1 堤体設計の手順

3.3.2 堤体改修型式の選定

堤体改修の設計に当たっては、ため池として必要な機能及び安全性を有し、かつ、経済的となる型式を選定しなければならない。

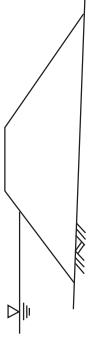
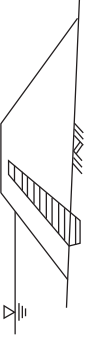




堤体改修型式には、表-3.3.1に示した均一型、ゾーン型（傾斜遮水ゾーン型、中心遮水ゾーン型）、表面遮水壁型（遮水シート）、堤体グラウト型等があり、それぞれの特徴は次のとおりである。

ただし、中心遮水ゾーン型は、一般に新設を対象とした型式であり、現況堤体を利用する改修型式としての実績は少ない。

また、巻末参考資料に示す固化処理した浚渫底泥土を堤体盛土材へ活用する建設リサイクル等は、廃棄物の発生抑制による環境への配慮、社会的コストの縮減及び工事費の軽減にも効果的であることから、積極的に検討することが望ましい。

- ① 均一型：現況堤体の土質とほぼ同質の土質材料で改修する型式で、ゾーン型に比して一般に法面勾配が緩くなり堤体積が大きくなるので、堤高が比較的低い場合に適する。
- ② 傾斜遮水ゾーン型：現況堤体の上流側に傾斜した遮水性ゾーンを設け遮水する型式で、堤体盛土材料に遮水性材料が得られる場合に用いられる一般的な改修型式である。遮水効果が高く、現況堤体とのなじみもよい。
- ③ 中心遮水ゾーン型：遮水性ゾーンを中央に設け遮水する型式で、現況堤体を利用して改修する場合は、傾斜遮水ゾーン型に比して取扱い土量が多くなることが多い。
- ④ 表面遮水壁型：表面遮水材料には、合成ゴム系シート、合成樹脂系シート等がある。本型式は、遮水性材料の入手が困難な場合に適する型式である。
- ⑤ 堤体グラウト型：堤体からの漏水経路が明らかな場合に行われる型式である。ただし、地震時にグラウト境界部からクラックが発生する可能性があるため、採用には材料及び施工方法等について慎重な検討が必要である。

表-3.3.1 堤体改修型式の比較

型 式	略 図	定 義	特 性	備 考
均 一 型		堤体の全断面で遮水する型式又は堤体の最大断面で均一の材料の占める割合が80%以上である型式。	全断面がほぼ同一材料のため施工が容易である。ゾーン型の遮水性材料よりいくぶん透水性の高い材料でも使用できる。ゾーン型に比して一般に法面勾配は緩傾斜となり堤体積が増大する。全体が粘性土の場合は、施工中に堤体内部に発生する間隙圧が消散しにくく安定性が悪くなるので、内部にドレーンを設ける必要がある。	
ゾーン型		土質材料が遮水性材料と半透水性又は透水性材料からなる型式で、遮水性ゾーンが上流側へ傾斜したものの。	遮水性材料の占める割合は少ないので遮水性ゾーンの間隙圧の消散は早い。遮水性ゾーンの施工は、均一型に比して施工が難しいので、慎重に行う必要がある。 遮水性ゾーンが上流側に傾斜しているので、堤体改修型式には適する。	ため池改修工事においては、最も一般的な型式。
		土質材料が遮水性材料と半透水性又は透水性材料からなる型式で、遮水性ゾーンを堤体中心に設けるもの。	遮水性材料が占める割合は少ないので遮水性ゾーンの間隙圧の消散は早い。遮水性ゾーンの施工は、均一型に比して施工が難しいので、慎重に行う必要がある。 遮水性ゾーンを堤体の中心部に設けるため、堤体改修型式には不適であるが、全面改修または新設する場合は、傾斜遮水ゾーン型に比して施工が容易である。	
表面遮水壁型		堤体が透水性又は半透水性材料からなり、上流側法面にシートを設け遮水する型式。	堤体盛土材料に遮水性材料が得られない場合に採用されることが多い。堤体の大部分に剪断強さの大きい透水性材料が使用でき、堤体積を少なくすることができ、遮水シートと土および構造物との接着部を特に入念に施工する必要がある。また異物による破損を防ぐため、張ブロックの内側に遮水シートを併設する場合もある。	合成ゴム系、合成樹脂系等の各種シートがある。
		堤体が透水性又は半透水性材料からなり、上流側法面にアスファルト舗装を施工し遮水する型式。	堤体盛土材料に遮水性材料が得られない場合に採用されることが多い。堤体の大部分に剪断強さの大きい透水性材料が使用でき、堤体積を少なくすることができ、一般的に、遮水壁材料が高価である。	
		堤体材料が透水性又は半透水性材料からなり、堤体の中心部にグラウト工を施工し遮水する型式。	現況堤体にグラウト工を施工し遮水する型式で、堤体盛土材料に遮水性材料が得られず、また、漏水経路等が明らかな場合に行われる型式。	地震時にグラウト境界部からクラックが発生する可能性があるため、慎重な検討が必要。

3.3.3 堤体の構成及び用語の定義

堤体の構成及び用語は、以下のとおりとする。ここでは、傾斜遮水ゾーン型及び均一型を例として示す。他の型式についても、これを参考とする。

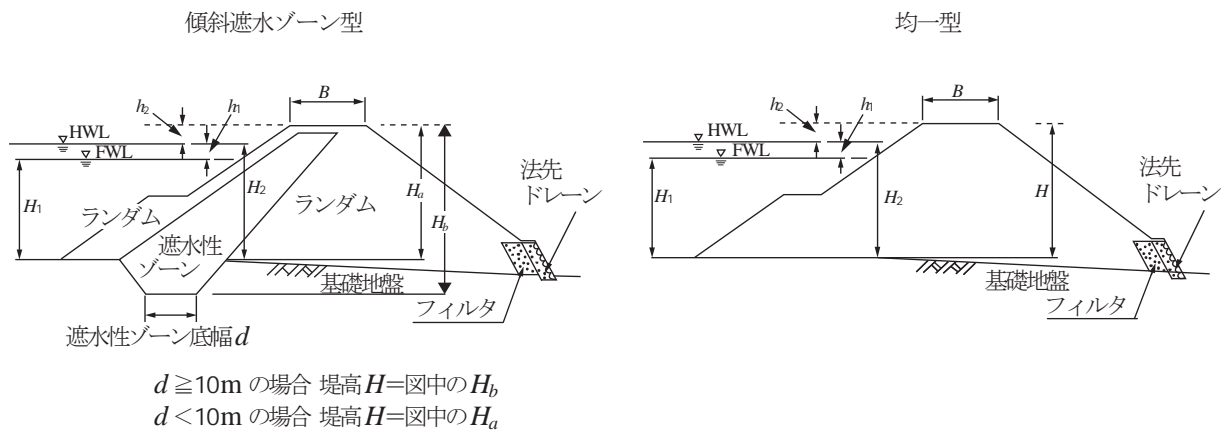


図-3.3.2 傾斜遮水ゾーン型及び均一型の堤体断面

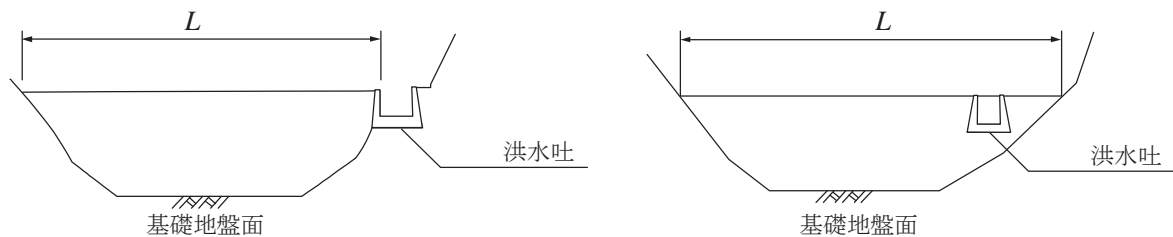


図-3.3.3 堤長のとり方

堤 体：基礎地盤上に築造された、ため池の本体をいう。

基 礎 地 盤：堤体直下及び付近の地盤をいう。

遮 水 性 ゾ ーン：堤体盛土のうち、遮水を主たる目的とする部分をいう。

ラ ン ダ ム：堤体盛土のうち、遮水性ゾーン以外の部分をいう。

堤 頂 の 高 さ：堤体の天端の最上面をいう。高欄、胸壁を設置する場合はこれを含めない。

堤 高 (H)：遮水性ゾーン型にあつては、遮水性ゾーンが基礎地盤面を切る線の最深部から堤頂までの鉛直距離をいう。なお、遮水性ゾーンの底幅が 10 m 以上のときは、遮水性ゾーン底面から堤頂までの鉛直距離をいう。
 均一型にあつては、堤頂上流端を通る基礎地盤面から堤頂までの鉛直距離をいう。

堤 頂 長 (堤長 L)：堤頂における堤体の縦断方向の長さをいう。また、洪水吐等の構造物はこれが堤体内、又は隣接して設けられ、かつ堤体の一部と考えられる場合にはこれを含める。

堤 頂 幅 (B) : 堤頂における堤体の横断方向の幅をいう。

設計洪水位 (HWL) : 設計洪水流量の流水が洪水吐を流下するときの、堤体直上流における最高水位をいう。

常時満水位 (FWL) : 非洪水時に貯留することとした貯水の、堤体直上流における最高水位をいう。

貯 水 深 (H_1) : 常時満水位と基礎地盤面（土砂吐敷）の標高差をいう。

最 高 水 深 (H_2) : 設計洪水位と基礎地盤面（土砂吐敷）の標高差をいう。

越 流 水 深 (h_1) : 設計洪水位と常時満水位との標高差をいう。

余 裕 高 (h_2) : 堤頂と設計洪水位との標高差をいう。

3.3.4 堤体の各種設計

堤体は、すべり破壊に対して安定する強度と水密性を有しなければならない。そのため、堤体材料、旧堤、基礎地盤、施工事例等を総合的に判断し、堤体断面及び工法を決定するものとする。

(1) 堤体の基礎地盤

堤高等の堤体断面形状を決定する上で基準となる基礎地盤面は、現況堤体の改修であることから、築堤当時の現地地盤面と考えるのが適切である。

堤体の基礎地盤は、所要の支持力及び水密性を有しなければならないが、ため池築造当時に安定した基礎地盤上に築堤されていることも少ないことから、これらの条件に適合しない基礎地盤に対しては所要の機能が得られるよう処理を施す必要がある。

堤体基礎地盤は機械施工が可能な支持力を必要とし、目安としては、ポータブルコーン貫入試験で得られるコーン貫入抵抗 q_c が 500 kN/m^2 程度である。

堤体基礎地盤の透水係数は、 $k \leq 1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ($1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$) が望ましい。

難透水性地盤とは、透水係数が遮水性ゾーンと同等かそれ以下の基礎地盤で、逆に、遮水性ゾーンより大きなものを透水性地盤という。

また、軟弱地盤とは、堤体の基礎地盤として十分な地耐力を有しない地盤 (N 値 ≤ 4 程度) で、一般に、軟らかい粘土、シルト、有機質土又は緩い砂質土等の地層で構成される地盤のことをいう。

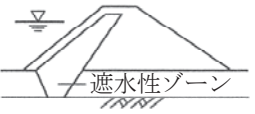


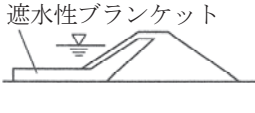
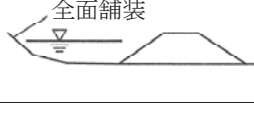
a. 透水性地盤に対する処置

基礎地盤が透水性地盤で上記の透水係数を超える場合には、パイピングに対する検討を行い、水理学的安定性の確保が保たれるような処理（床掘り深さの検討又はブランケット工法等）を施すものとする。

また、遮水性ゾーンを難透水性地盤まで挿入することが工法的に不可能又は経済的に不利である場合には、現場条件を考慮の上、表-3.3.2を参考とし、浸透水量を許容範囲に抑えるとともに浸透水を安全に堤外に流下させなければならない。

なお、対処工法の一例として、ブランケット工法について示す。

表-3.3.2 透水性地盤に対する処置

透水層の厚さ	設 計 法	略 図	摘 要
薄い	遮水性ゾーン		遮水効果完全。ただし、透水層の厚さが現地盤上の堤高の1/3以内程度が目安。
中	シートパイル		遮水効果不完全。玉石混じり層には不適。微砂、シルト層には有効。
	グラウト		岩盤透水層に有効。 参考文献 ・土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書〔フィルダム編〕 ・「グラウチング技術指針・同解説」
厚い	ブランケット		パイピング防止に有効。コスト安。
	全面舗装		極めてコスト高。漏水量が極小に制限されるとき以外は採用しない。

b. ブランケット工法

この工法は、貯水池内の鉛直浸透流を抑制することにより貯留水の浸透を抑制する工法で、浸透路長を長くすることにより動水勾配を小さくするとともに浸透量を減少させるためのものである。

この工法で広い面積を処理する場合には、多量の建設発生土が発生することがある。

水平方向の透水性が大きい地盤では、ブランケットのみでは必ずしも下流法先の浸透破壊を防止できないので、下流部にはドレーン又はリリーフウェルとの併用でその効果を向上させることもある。

透水性地盤の上部に不透水性の粘土等が堆積し、この層にブランケットの効果を期待する場合を自然ブランケット、遮水性材料を搬入してブランケットを築造する場合を人工ブランケットと呼ぶ。

ため池の場合、池底の堆積土により自然にブランケットが形成されている場合が多く、一般に水深が浅いことから、その層を連続させるために表面をかき乱し、穴等を埋めるだけで十分なことがある。したがって、不必要な浚渫等により、ブランケットとしての効果を失うことのないよう、考慮する必要もある。

(a) 自然ブランケット

透水性地盤の表層に不透水性土が堆積して、自然ブランケットを形成している場合、ブランケットによって生ずる有効浸透路長 x_r は、式(3.3.1)により与えられる。

$$x_r = \sqrt{\frac{t \cdot d \cdot k}{k_1}} \dots\dots\dots (3.3.1)$$

ここに、

t : ブランケットの厚さ(m)、 d : 透水性地盤の厚さ(m)

k_1 : ブランケットの鉛直方向の透水係数(m/s)

k : 基礎地盤の透水係数(m/s)

また、 x_r は図-3.3.4 に示したように、損失水頭(Δh_b)を生じさせるのに必要なブランケットの水平距離である。このブランケットによる損失水頭は、ため池上流に完全不透水性板を水平に x_r だけ敷いたのと同じことを意味する。なお、基礎地盤中の浸透量 q_f は、式(3.3.2)で求める。

$$q_f = \frac{k \cdot h \cdot d}{x_r + x_d} \dots\dots\dots (3.3.2)$$

ここに、

q_f : 基礎地盤中の浸透量(m³/s)、 h : 貯水位と下流水位との差(m)

x_r : 有効浸透路長(m)、 x_d : 堤体の底幅(m)

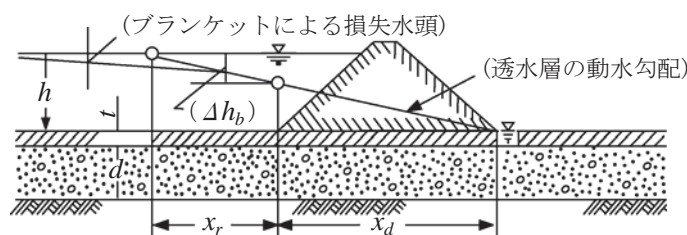


図-3.3.4 自然ブランケット（不透水性）

(b) 人工ブランケット

人工ブランケットの必要長さ x は、式(3.3.3)で計算する。

$$x_r = \frac{e^{2ax} - 1}{a(e^{2ax} + 1)} \dots\dots\dots (3.3.3)$$

$$\text{ここに、} a = \sqrt{\frac{k_1}{t \cdot k \cdot d}}$$

x : ブランケットの必要長さ(m)

x_r : 有効浸透路長(m)

q_f を貯水池の許容漏水量から決定し、これに対する x_r を式(3.3.1)で求めて、式(3.3.3)に代入してブランケットの必要長さ x を求める。

厚さは、水圧の 1/10 を標準とする。普通 1.0～3.0m が多く、堤体の近くほど厚く、上流にいくほど薄くする。

しかし、水平方向の透水係数の大きい地盤では、ブランケットの施工のみで必ずしもパイピングに対する十分な抵抗性を得ることができない場合があることに注意する。

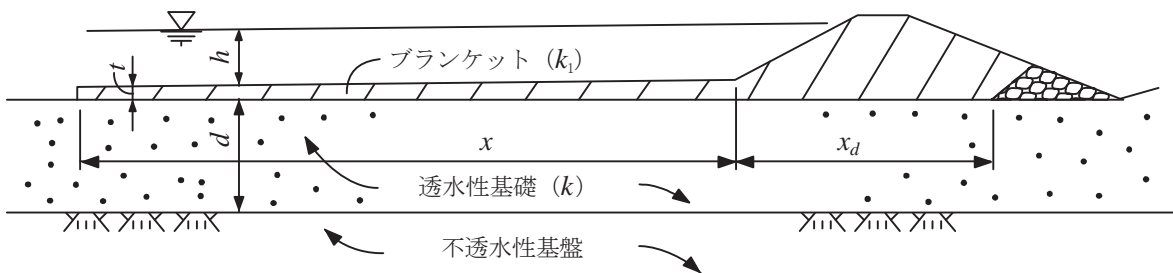


図-3.3.5 人工ブランケットの設計法

c. 軟弱地盤に対する処置

堤体が軟弱地盤上に位置する場合には、特にすべり破壊と圧密沈下に対して、十分な安全を見込んだ設計としなければならない。軟弱地盤処理工法として表-3.3.3に示す方法の実績が多い。なお、これらの設計手法については、土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書〔フィルダム編〕によるものとする。

表-3.3.3 軟弱地盤の処理工法

軟弱層の厚さ	設 計 法	略 図	摘 要
薄い	置換方法		軟弱層の全部、又は一部を除去して、安全度の高い材料と置換する。
	地盤改良		軟弱層の必要深度まで改良材と混合して、安全度の高い材料に改良する。
厚い	押え盛土		基礎面を通るすべり破壊を防ぐために、斜面先に押え盛土を置く。
	地盤改良		軟弱層の必要深度まで改良材と混合して、安全度の高い材料に改良する。

注) 地盤改良による軟弱地盤処理工法は、前刃金土の増設等の部分改修を行う場合の方法として示しており、不等沈下に注意する必要がある。

(2) 設計洪水位

設計洪水位は、式(3.3.4)から求める。

$$\text{設計洪水位 (HWL)} = \text{常時満水位 (FWL)} + \text{越流水深 (} h_1 \text{)} \dots\dots\dots (3.3.4)$$

a. 常時満水位 (FWL)

常時満水位は、洪水吐敷高、又は越流堰頂高をいい、ため池の有効貯水量は、この水位以下の貯水量をいう。常時満水位は、必要貯水量と周辺地形との関係から決定される。

b. 越流水深 (h_1)

越流水深は、一般に、0.3～1.2mであるが、以下を考慮して決定する。

越流水深の決定方法として、特に定まった手法はないが、①越流水深と設計洪水流量の事例、②数種の越流水深における洪水吐越流部工事費と堤体工事費の組み合わせ結果 (図-3.3.6) 等を基に決定している。

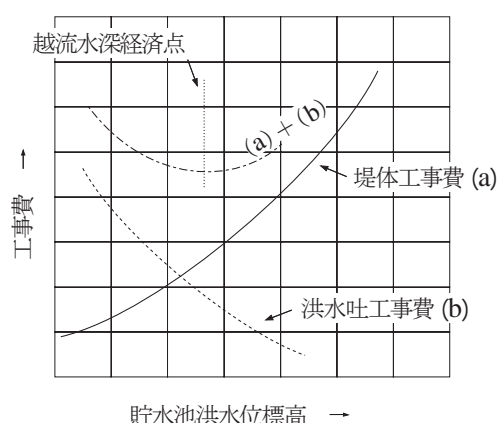


図-3.3.6 洪水吐越流水深の経済点の概念図

(a) 洪水吐計画との関連

越流水深 (h_1) は、洪水吐越流幅 (b) を左右する (h_1 大 \rightarrow b 小、 h_1 小 \rightarrow b 大) ので、洪水吐設置個所の地形を考慮する。

(b) 盛土との関連

越流水深 (h_1) は、盛土量 (v) を左右する (h_1 大 \rightarrow v 大、 h_1 小 \rightarrow v 小) ので、築堤材料の賦存量を考慮する。

(c) 堤頂標高との関連

左右岸の接合部及び後法尻線、下流法先ドレーン（腰ブロック）の高さへの影響について検討する（堤頂標高＝常時満水位＋越流水深＋余裕高）。

(d) 周辺地との関連

ため池の集水区域内において設計洪水位より低位部（道路、水路、地形的低位）があり、洪水が流出しないかどうか、また背後地に家屋等がある場合浸水しないかどうかを確認して計画する。

(3) 余裕高

堤体の余裕高は、設計洪水時の貯水が堤頂を越流することがないように十分な高さとしなければならない。

余裕高は、式(3.3.5)により求める。

$R \leq 1.0$ m の場合

$$h_2 = 0.05 H_2 + 1.0 \quad \dots\dots\dots (3.3.5)$$

ただし、堤高が5.0m未満のため池では、洪水量、ため池容量、ため池周辺の土地利用状況から想定される、ため池決壊時の被害規模に応じて、余裕高を最小1mとすることができる。

$R > 1.0$ m の場合

$$h_2 = 0.05 H_2 + R \quad \dots\dots\dots (3.3.6)$$

ここに、

R : 波の打上げ高さ (m)

h_2 : 余裕高 (m)

H_2 : 「3.3.3」に定義する最高水深 (m)

風による波の打上げ高さ R は、図-3.3.7及び図-3.3.8を参考に、対岸距離 F (m) 及び風速 V (m/s) を定め、図-3.3.9から求める。

なお、対岸距離を求める場合の貯水面は、設計洪水位の状態における貯水面とする。

a. 対岸距離

対岸距離とは、ため池の水面上に風が吹いて、波浪を起こすことのできる自由水面距離をいう。したがって、本来ならば堤体から最高風速の方向に測った直線距離（図-3.3.7(a)の F' 、又は F'' ）を用いればよいが、風向等のデータは少ないため、ここでは堤体からほぼ直線距離にして最大となる対岸距離を採用することに

する。ほぼ直線としたのは、同図(b)のように、多少曲がっていても波の伝播する経路としては F' よりも F をとるほうが合理的な場合があるからである。この曲線をどの角度まで許すかは各々のため池において判断するものとする。

ため池内に島がある場合は、その規模及び位置から同図(c)のように F をとることができる。

また、皿池の場合においても、同図(d)のように池内最大となる直線距離をとるものとする。

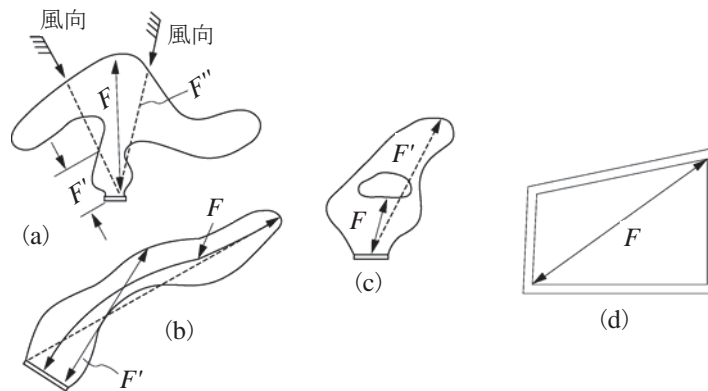


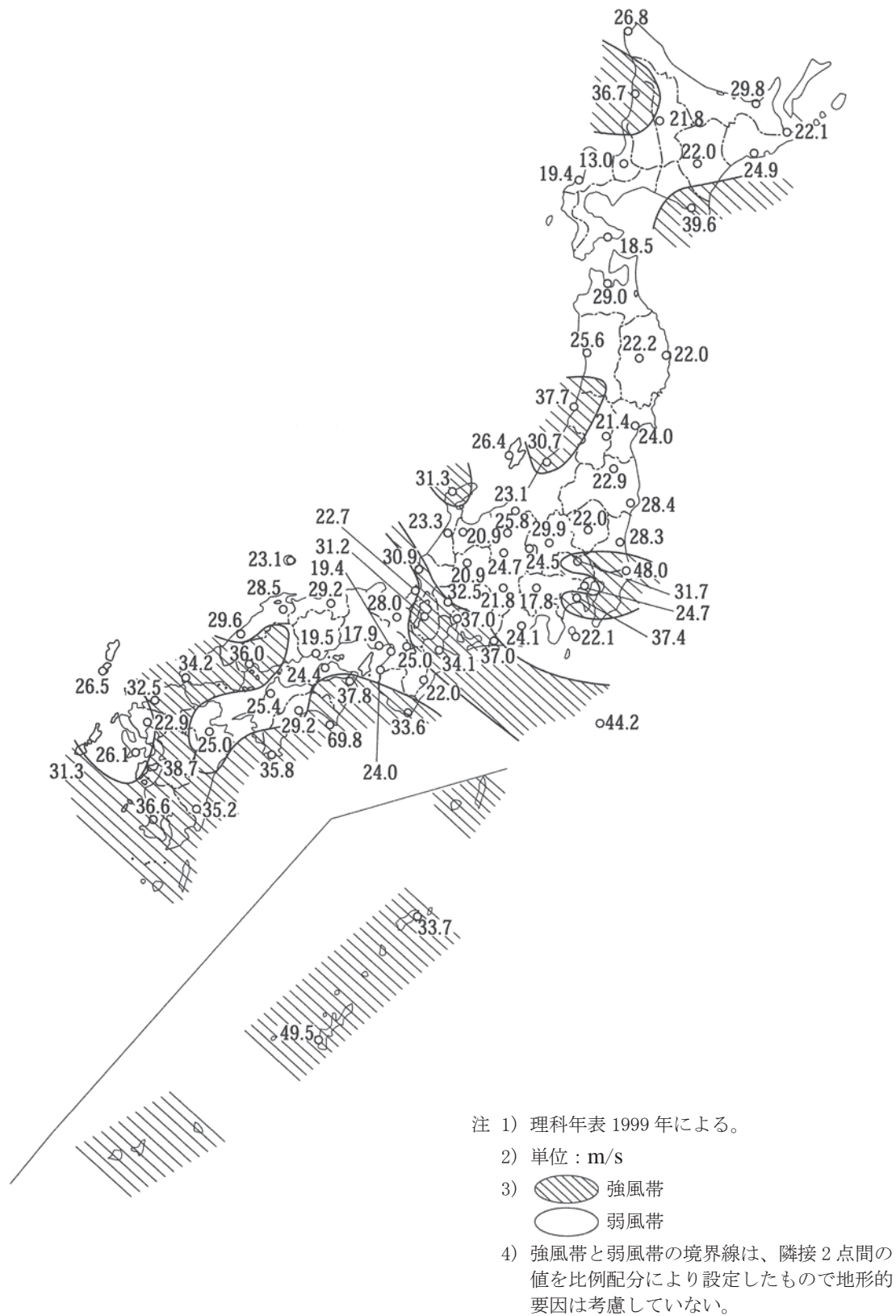
図-3.3.7 対岸距離のとり方

b. 風速

ため池位置における長期観測資料がない場合には、原則として風速 30 m/s を採用する。ただし、弱風帯に位置する地域であって、局地的な強風のおそれのない場合には、20 m/s の風速を採用してもよい。図-3.3.8 は、1999 年理科年表の最大風速記録を基に、30 m/s を境として強風帯と弱風帯に二分したものであるが、地点によっては観測期間が非常に短い記録値となっているので、他の類似資料と合わせて検討する必要がある。

このように、余裕高計算上の風速として最大風速記録の低い値を採用する理由は、以下のとおりである。

- ① 瞬間最大風速は波浪を起こすだけの吹送時間がないため、これをとるのは不合理である。
- ② 風向が対岸距離最大の方角と一致しないことが多い。
- ③ 特に山池の場合は、地形、植生等の影響を大きく受け、風速は弱まる。



-3.3.8 日本における最大風速記録

c. 堤体斜面粗度

図-3.3.9において、「平滑斜面」とは、比較的平滑な斜面をもったコンクリートブロック、張石等の場合であり、一方「捨石斜面」とは、表面がロック材等で、波浪が材料間に吸収されてしまうような場合をいう。

よって、ため池の場合は一般的に「平滑斜面」となるが、使用する材料によっては、十分な検討を行った上で、両者の中間の値を採用することができる。

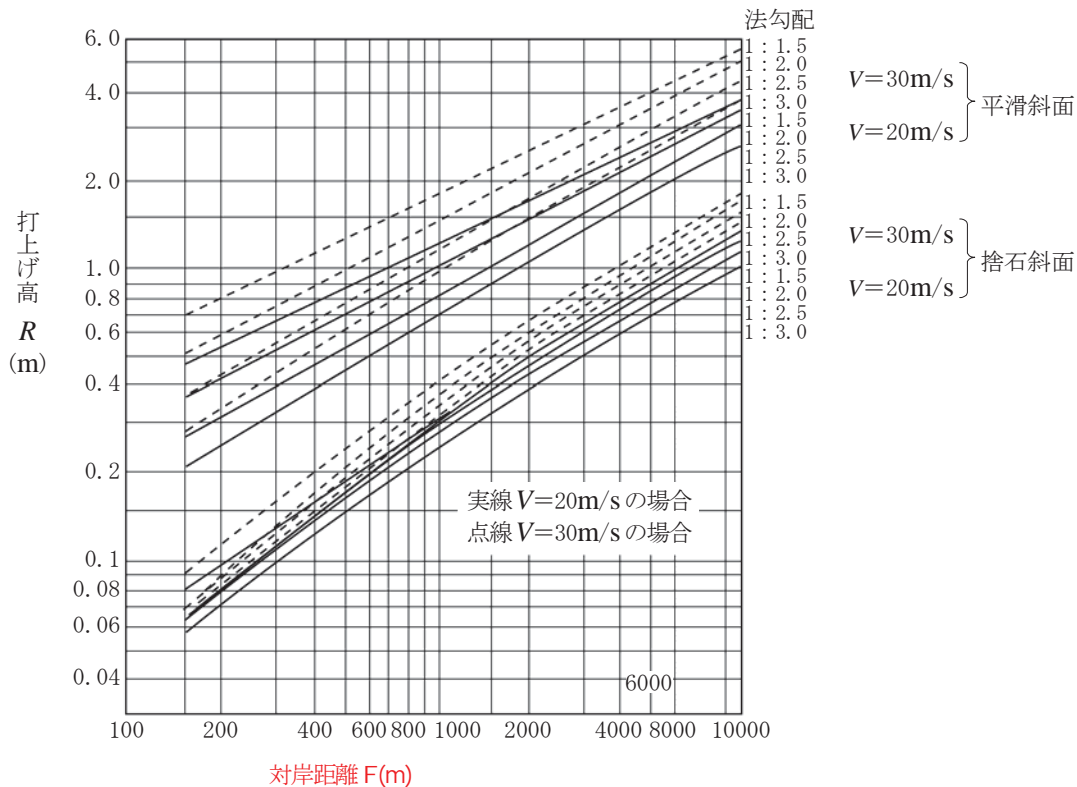


図-3.3.9 Severdrup-Munk-Bretschneider の方法 (S.M.B 法) における Wilson の改良式と Saville の方法とを組合わせて求めた打上げ高

(4) 堤頂幅

堤頂幅は、堤頂の利用及び堤体の維持管理を考慮して、下式により算出する。

$$B = 0.2H + 2.0 \quad \dots\dots\dots (3.3.7)$$

B : 堤頂幅 (m)

H : 堤 高 (m)

なお、堤高が 5.0 m 未満で堤体天端を車両が通行しない等のため池にあつては 2.0 m とすることができる。

ただし、堤体の施工等を考慮し 3.0 m 以上が望ましい。

(5) 堤体断面形状

堤体の断面形状は、原則として安定計算により決定するものとする。

断面形状の設定は、図-3.3.10に示す標準断面及び表-3.3.4を参考とする。

堤体天端を道路として利用する場合は、舗装厚部分を堤高に含めない。

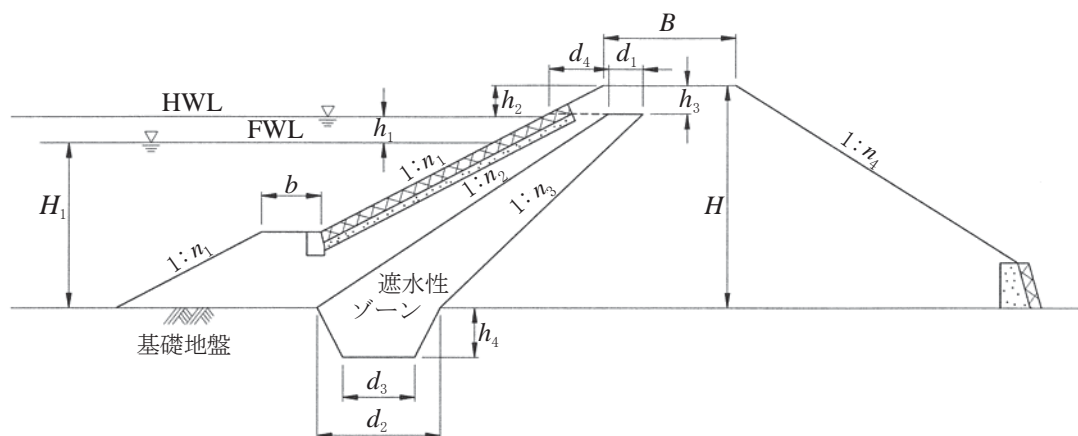


図-3.3.10 傾斜遮水性ゾーン型の標準断面

表-3.3.4 傾斜遮水性ゾーン型ため池の参考寸法表

堤高 H (m)	貯水深 H_1 (m)	計画越 流水深 h_1 (m)	余裕高 h_2 (m)	堤頂幅 B (m)	前 法		遮 水 性 ゾ ー ン						後法 勾配 n_4 (割)
					勾 配 n_1 (割)	小段幅 b (m)	堤頂から の距離 h_3 (m)	天端幅 d_1 (m)	前法から の距離 d_4 (m)	遮水性ゾ ーン 下端幅 d_2 (m)	床掘り 下 幅 d_3 (m)	床掘り 深 さ h_4 (m)	
5	3.3	0.3	1.0	3.0	1.5	0	0.3	1.5	1.5			1.1	1.5
		0.5	1.2		1.8	1.5	0.5	1.8				1.3	1.8
10	7.8	0.5	1.2	3.0	1.8	1.5	0.5	1.8	1.5			1.3	1.8
		0.8	1.4	4.0	2.1		以上	2.4				2.1	2.1
15	12.2	0.8	1.4	4.0	2.1	2.0	0.5	2.4	1.5			2.1	2.1
		1.2	1.6	5.0	3.0		以上	3.5				3.2	2.5
摘要	堤高から仮 定	地質条件や 洪水量に応 じて決定。	式(3.3.5)、 式(3.3.6)に よる。	式(3.3.7) による。	1.5～ 3割	小段を設 ける場合 は最小1 m	0.3m 以上	1.5～ 3.5m	1.5m 以上	$n_2 =$ $n_1 - 0.1$ $n_3 =$ $n_2 - 0.2$ より算定	$d_3 \geq$ $1/2 d_1$	基礎地盤の 土質の状況 による。 数値は参考	1.5～ 2.5割

注 1) 現場条件によってはドレーンの施工を検討する。

注 2) 床掘部の掘削勾配は基礎地盤の性状や強度に応じ、掘削斜面の安定を考慮して決定する。

注 3) 小段は、斜面保護工の基礎スペースや安定計算上必要な場合において設置する。

(6) 浸透流の検討

a. 浸透量

堤体からの浸透量は、堤体の浸透流に対する安定性と必要な貯水機能を満足する量であることを確認するものとする。

(a) 許容浸透量

ため池の許容浸透量は、遮水性材料や基礎地盤の性質、ため池の形式、規模に支配され、安全性により異なるため一概に決定されるものではない。しかし、ある限度を超えるとパイピングやボーリング等の浸透破壊の要因ともなるので、慎重に配慮する必要がある。

堤体からの許容浸透量としては、堤体の安全性を確保する観点から、要改修判定指標の数値（堤長 100m 当たり 600/min 以下）を目安としている。

【参 考】 ため池に求める貯水機能を厳密に検討する場合は、一般に、浸透による貯水の減少率を1日当たり総貯水量の0.05%以下に抑えることを目標としている。

(b) 浸透量の計算

7. 堤体からの浸透量

傾斜遮水ゾーン型の計算方法を以下に示す。なお、中心遮水ゾーン型及び均一型については、土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書〔フィルダム編〕(平成15年4月)によるものとする。

$$q = \frac{(H_1 - 0.5h)}{b + CM} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{H_1}{\sin \theta_1} + \frac{h}{\sin \theta_2} \right) \cdot k \quad \dots\dots\dots (3.3.8)$$

ここに、

q : 単位幅当たりの浸透流量 (m³/s)

b : 浸潤線の長さ (円弧 PQ) (m)

H_1 : 貯水深 (m)

k : 遮水性ゾーンの透水係数 (m/s)

CM : 傾斜遮水ゾーン下流面の最下端 M を通る流線の長さであって、L を通る MQ の平行線に M から垂線を引き、この垂線と LP との交点を C として求める。

$$CM = B_1 \frac{\sin \theta_1}{\cos(\theta_2 - \theta_1)} \quad \dots\dots\dots (3.3.9)$$

上記以外の記号は、図-3.3.11 に示すとおりである。

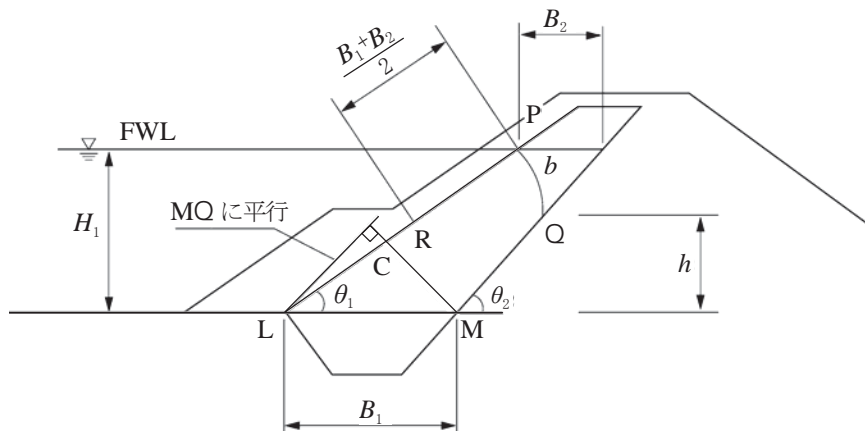


図-3.3.11 浸透量算定図

4. 地盤を含めた浸透量の計算

特に、次のような場合にあっては、堤体のみならず地盤を含めた浸透量を検討する。手法としては、流線網による方法や浸透流解析(数値解析)がある。なお、この検討に当たっては、地盤の地質特性や周辺地下水位等を十分に把握する必要がある。

- ① 堤体下流周辺において、浸透水湧出が認められる場合
- ② 利水計画上、地盤からの浸透量を詳細に検討する必要がある場合等

(c) 遮水性ゾーン断面、均一型堤体断面の検討

遮水性ゾーン又は均一型堤体の断面は、浸透量が許容範囲内になるように、図-3.3.12 に示す手順で設計しなければならない。

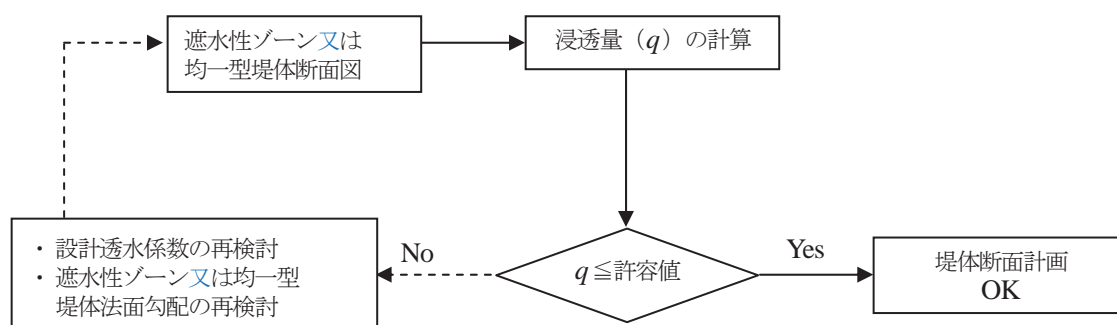


図-3.3.12 遮水性ゾーン断面、均一型堤体断面の検討手順

b. 浸潤線

堤体内の浸透流が堤体及び法面の安定を損なうことのないよう、浸潤線の位置について検討を行う。

浸潤線は堤体下流法面に出ないように計画することを基本とし、現場条件等を考慮して、適切にドレーンを設け、浸潤線が堤体内に入るよう計画する。

また、浸潤線の位置は、堤体の安定計算等を行う際にも不可欠のものであり、十分な検討が必要である。

以下に、傾斜遮水ゾーン型の計算方法を示す。なお、中心遮水ゾーン型及び均一型については、土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書〔フィルダム編〕（平成15年4月）に示されているカサグランデ（A. Casagrande）の方法によるものとする。

なお、均一型で浸潤線が堤体外に発生する場合等は、基礎地盤も併せてFEM解析により計算してもよい。

遮水性ゾーン内の浸潤線は、図-3.3.13のゾーン底幅 B_1 と貯水面でのゾーン幅 B_2 との平均値 $(B_1+B_2)/2$ を、点Pからゾーン斜面上に下ろした点Rを中心とした半径 $(B_1+B_2)/2$ の円弧PQである。

また、点Qから下流側については、ランダム部の透水係数を k_2 として、図-3.3.13に示すように、ドレーンの上流下端D（●点）を原点、水平上流向きに堤体底面に沿ってX軸、鉛直上向きにY軸を取る。Y軸と基本放物線の交点のY座標 Y_0 を式(3.3.10)により求めると、放物線の軸をX軸、原点を焦点とし、点 $(0, Y_0)$ を通る基本放物線は式(3.3.11)で与えられる。

なお、傾斜遮水ゾーン型の場合、浸透量 q を式(3.3.8)により算出するため、 Y_0 の算出にもこれを適用することとしている。

$$Y_0 = \frac{q}{k_2} \quad \text{.....(3.3.10)}$$

$$Y = \sqrt{2Y_0 \cdot X + Y_0^2} \quad \text{.....(3.3.11)}$$

ただし、 q は、式(3.3.8)で求められる流量である。

以上から、遮水性ゾーン内及び堤体下流部の浸潤線は求まるが、両者はそれぞれ不連続であるので、点Qを通るスムーズな曲線で、2つの浸潤線をつなげる。

なお、 $k_2/k_1 < 10$ の場合は均一型と考えてよい。

注）現況堤体の耐震診断を行う場合は、調査ボーリング孔や水位観測孔の観測値を考慮して浸潤線を補正する。

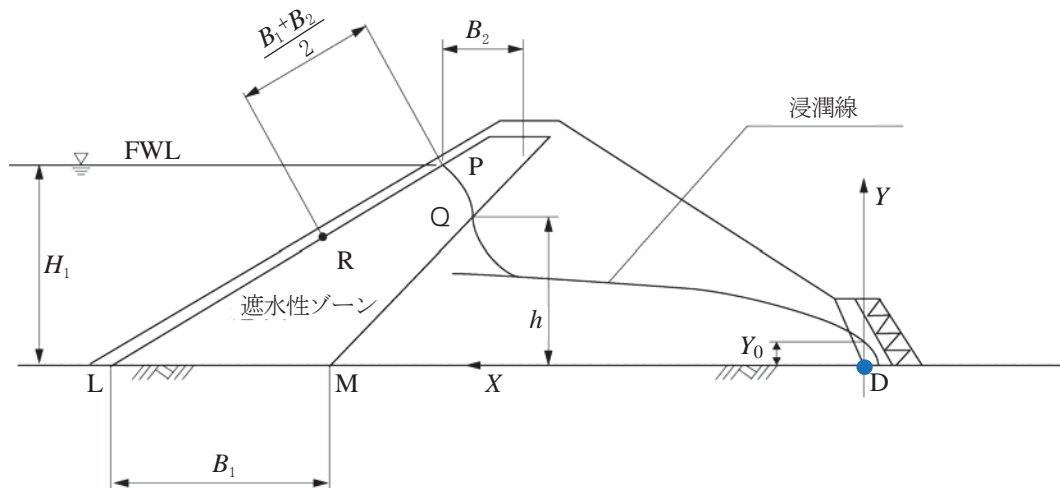


図-3.3.13 傾斜遮水ゾーン型の浸潤線

(7) 堤体の安定計算

堤体は安定計算を行い、安全性を確認するものとする。

a.安定計算の諸条件

(a)安全率

安全率(F_s)は、1.2以上を確保しなければならない。ただし、材料試験や安定計算の精度が不十分なとき、又は軟弱地盤上の堤体のように不確定要素が入りやすい場合は、さらに安全側の値とする等、慎重な配慮が必要である。

(b)すべり破壊を検討するケース

すべり破壊の検討は、表-3.3.5に基づいて行うものとする。

表-3.3.5 すべり破壊を検討するケース

安定解析ケース	安全率	設計震度 ^{注)} (%)	円形すべり面スライス法の適用	
			応力表示	計算斜面
完成直後	1.2以上	50	全応力若しくは有効応力	上下流側
常時満水位	〃	100	有効応力	〃
設計洪水位	〃	—	〃	〃
水位急降下	〃	50	〃	上流側

注) 設計震度は、表-3.3.6による。

(c)荷 重

ア. 自 重

すべり破壊に対する安定計算に用いる堤体の自重は、次のように考える (図-3.3.14 参照)。なお、堤体材料 (築堤材料、現況堤体) 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、その結果に基づき決定する。

(ア)完成直後で貯水が行われていないとき

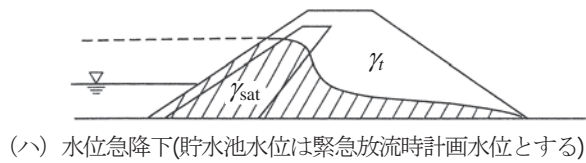
堤体材料の湿潤単位体積重量 (γ) とする。

(イ)経年後の貯水時で定常浸透状態のとき

貯水時での浸潤線から上の部分は堤体材料の湿潤単位体積重量 (γ_t) を、浸潤線から下の部分は飽和単位体積重量 (γ_{sat}) を用いる。

(ウ)水位急降下のとき

浸潤線は常時満水位時の位置に残存するものとし、浸潤線から上の部分は堤体材料の湿潤単位体積重量 (γ_t) を、浸潤線から下の部分は飽和単位体積重量 (γ_{sat}) を用いる。

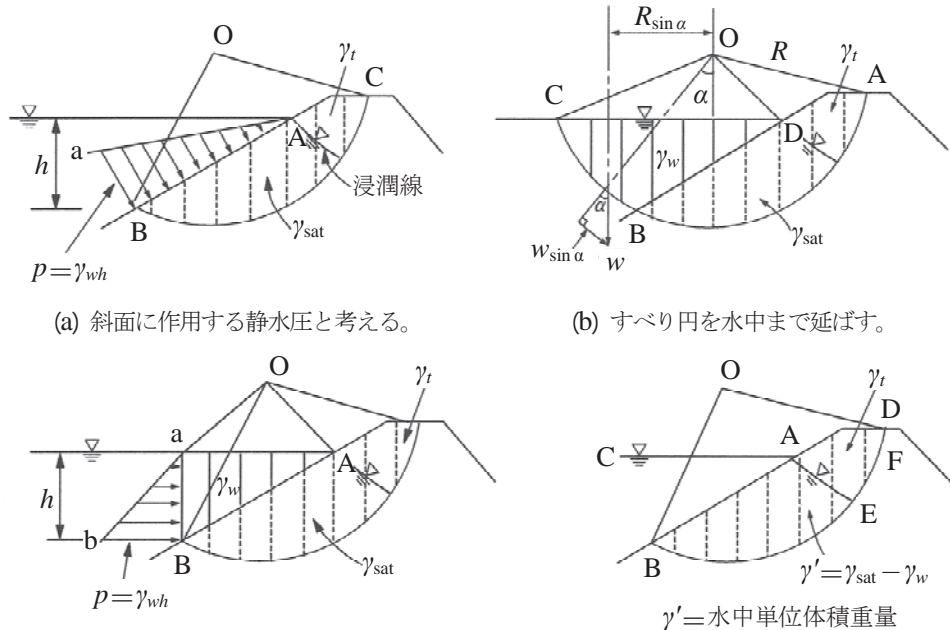


γ_t : 湿潤単位体積重量、 γ_{sat} : 飽和単位体積重量

図-3.3.14 単位体積重量のとり方

4. 静水圧

すべり破壊に対する安定計算において、貯水時の静水圧の滑動モーメントの寄与分をどのように考えるのかは、図-3.3.15に示すいくつかの方法が考えられるが、各スライスにおいて滑動側の静水圧と抵抗側の静水圧がバランスしていることにより、静水圧を無視した同図(d)の考え方を採るものとする。



(c) 水平方向の静水圧と斜面上の水塊を考える。

(d) 貯水池内の水と堤体内の水がモーメントについてはバランスしているものとして、ABEFDA についてのみ考える。

図-3.3.15 静水圧のすべり円の中心点に関する

ウ.震度法における地震慣性力

レベル1地震動に対するため池の安定性に関しては、湿潤線から上の部分については湿潤単位体積重量に、下の部分については飽和単位体積重量に、表-3.3.6の設計震度を乗じたものを水平方向の荷重として作用させるものとする。

表-3.3.6 設計震度の基準

地域区分		強震帯地域	中震帯地域	弱震帯地域
た め 池	堤体がおおむね均一の材料によるもの	0.15	0.15	0.12
	その他のもの	0.15	0.12	0.10

注) 「その他のもの」とは、ロック材や遮水壁（地盤材料以外）等でゾーニングされたものをいう。

(1)強震帯地域	(2)中震帯地域	(3)弱震帯地域
<p>北海道のうち釧路市、帯広市、根室市、沙流郡、新冠郡、静内郡、三石郡、浦河郡、様似郡、幌泉郡、河東郡、上川郡(十勝支庁)、河西郡、広尾郡、中川郡(十勝支庁)、足寄郡、十勝郡、釧路郡、厚岸郡、川上郡、阿寒郡、白糠郡、野付郡、標津郡、目梨郡。</p> <p>青森県のうち三沢市、十和田市、八戸市、上北郡、三戸郡。</p> <p>岩手県の全域、宮城県の全域。</p> <p>福島県のうち福島市、二本松市、相馬市、原町市、いわき市、伊達郡、相馬郡、安達郡、田村郡、双葉郡、石川郡、東白川郡。</p> <p>茨城県の全域、栃木県の全域、群馬県の全域、埼玉県の全域、千葉県の全域、東京都の全域、神奈川県、長野県の全域、山梨県の全域。</p> <p>富山県のうち富山市、高岡市、氷見市、小矢部市、砺波市、新湊市、中新川郡、上新川郡、射水郡、婦負郡、東礪波郡、西礪波郡。</p> <p>石川県のうち金沢市、小松市、七尾市、羽咋市、松任市、加賀市、鹿島郡、羽咋郡、河北郡、能美郡、石川郡、江沼郡。</p> <p>静岡県の全域、愛知県の全域、岐阜県の全域、三重県の全域、福井県の全域、滋賀県の全域、京都府の全域、大阪府の全域、奈良県の全域、和歌山県の全域、兵庫県の全域。</p> <p>鳥取県のうち鳥取市、岩美郡、八頭郡、気高郡。</p> <p>徳島県のうち徳島市、鳴門市、小松島市、阿南市、板野郡、阿波郡、麻植郡、名西郡、名東郡、那賀郡、勝浦郡、海部郡。</p> <p>香川県のうち大川郡、木田郡、鹿児島県のうち名瀬市、大島郡。</p>	<p>(1)及び(3)以外の地域</p>	<p>北海道のうち旭川市、留萌市、稚内市、紋別市、士別市、名寄市、上川郡(上川支庁)のうち鷹栖町、当麻町、比布町、愛別町、和寒町、剣淵町、朝日町、風連町及び下川町、中川郡(上川支庁)、増毛郡、留萌郡、苫前郡、天塩郡、宗谷郡、枝幸郡、礼文郡、利尻郡、紋別郡。</p> <p>山口県の全域、福岡県の全域、佐賀県の全域、長崎県の全域。</p> <p>熊本県のうち八代市、荒尾市、水俣市、玉名市、本渡市、山鹿市、牛深市、宇土市、宇土郡、玉名郡、鹿本郡、葦北郡、天草郡。</p> <p>大分県のうち中津市、日田市、豊後高田市、杵築市、宇佐市、西国東郡、東国東郡、速見郡、下毛郡、宇佐郡。</p> <p>鹿児島県のうち名瀬市及び大島郡を除く地域。</p> <p>沖縄県の全域。</p>

表-3.3.7 地震強度の地域区分（平成14年11月現在）

b.安定計算の方法（円形すべり面スライス法）

安定解析手法は、円形すべり面スライス法によるものとする。この場合、三軸圧縮試験結果から見かけの粘着力及び内部摩擦角を表示するには、全応力表示と有効応力表示の2通りの方法がある。

全応力表示とは、三軸圧縮試験の際に使用した軸力 σ_1 （最大主応力）及び側圧 σ_3 （最小主応力）の値をそのまま使用してモールの応力円により求めた c 及び ϕ であり、間隙水圧の影響が加味されている値である。

一方、有効応力表示とは、三軸圧縮試験の際に使用した軸力 σ_1 及び側圧 σ_3 より間隙水圧 U を控除した値をそれぞれ最大主応力、最小主応力としてモールの応力円により求めた c' 及び ϕ' である。

(a) 設計強度定数の適用

一般に、ダム等で堤高が30 mを超えるような場合は、間隙水圧発生の問題が生じるが、堤高15 m未満のため池の場合、遮水性ゾーンの厚さが薄く、土質のいかんを問わず、施工中に発生した間隙水圧のほとんどが完成後において消散しているものと考えられる。

このため、有効応力表示の c' 、 ϕ' を求め、斜面のすべりに対する安全率を有効応力解析で求める。

ただし、堤体断面又は築堤の状況により、これに拠りがたいと判断される場合は、完成直後のケースに限り全応力表示による c 、 ϕ により安全率を求める。この c 、 ϕ には、間隙水圧の影響が既に入っているため、式中に間隙水圧を改めて考慮してはならない。

有効応力表示の c' 、 ϕ' 及び全応力表示の c 、 ϕ は、表-3.3.8の三軸圧縮試験法により求める。

表-3.3.8 三軸圧縮試験法と応力表示

	粘 性 土	砂 質 土
有効応力表示の c' 、 ϕ'	・圧密非排水試験（CU） 間隙水圧を測定する。	・圧密排水試験（CD）
全応力表示の c 、 ϕ	・非圧密非排水試験（UU） 乱さない試料を対象。	・圧密排水試験（CD）

また、良質な不攪乱試料が採取できない場合にあっては、現況堤体及び基礎地盤の設計強度定数（ c 、 ϕ ）は、 N 値から、表-3.3.9、図-3.3.16、図-3.3.17を用いて求めてもよいものとする。

ただし、砂質土の粘着力（ c ）については、できる限り試験を行い、適切な評価を行うことに努める。

表-3.3.9

		粘 性 土	砂 質 土
現 況 堤 体	c	図-3.3.17から算定する。	$c = 0$
	ϕ	$\phi = 0$	図-3.3.16から算定する。
基 礎 地 盤	c	図-3.3.17から算定する。	$c = 0$
	ϕ	$\phi = 0$	図-3.3.16から算定する。

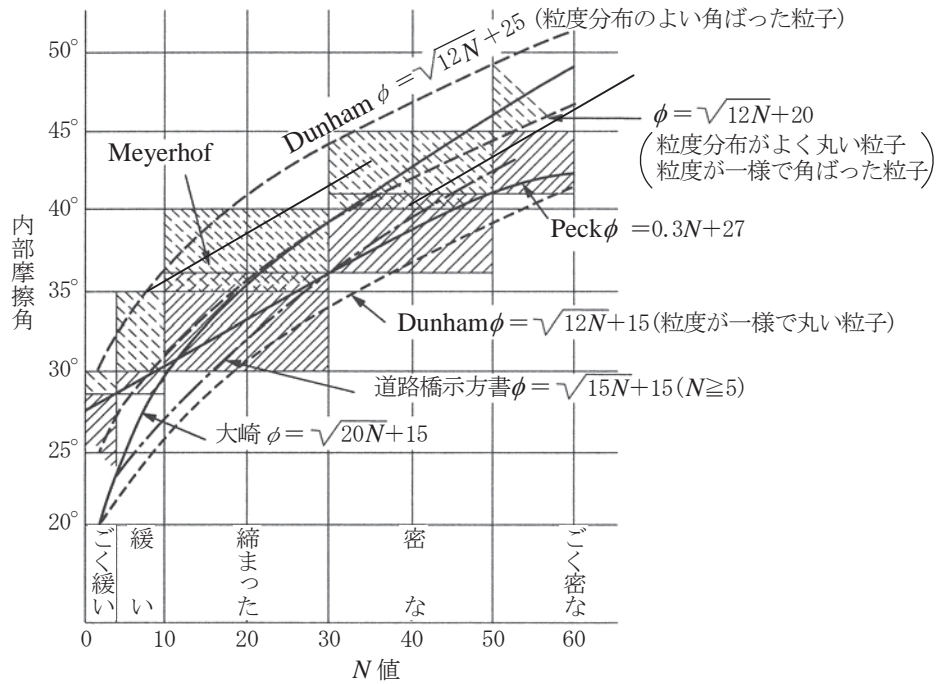


図-3.3.16 砂質土の N 値と内部摩擦角 ϕ の関係

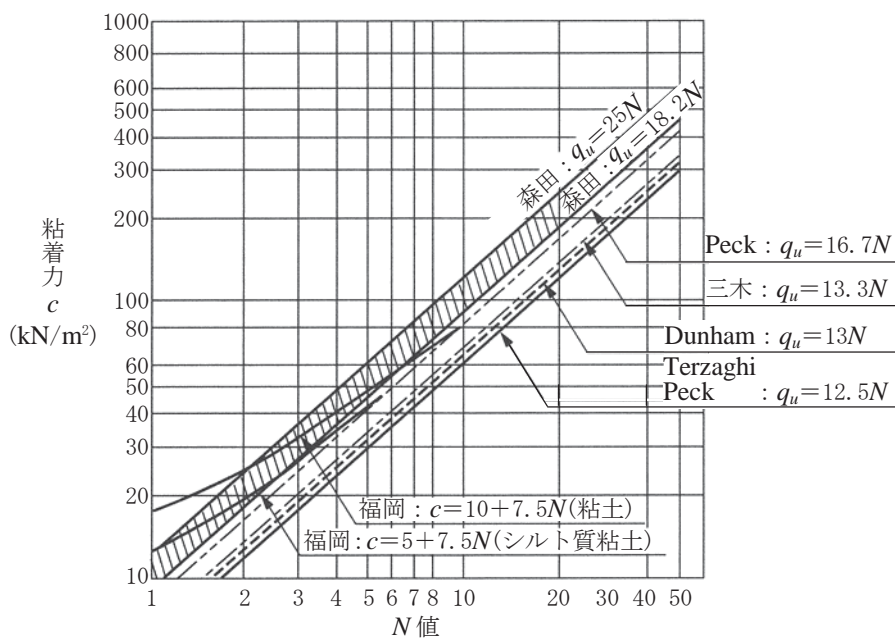


図-3.3.17 粘性土の N 値と粘着力 c との関係

(b) 円形すべり面スライス法

この方法は、円の中心に関する各スライスのすべり面に作用する滑動モーメントと抵抗モーメントとの総和の比をもって安全率を定義したものである。

具体的な計算方法及び計算例については、土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書〔フィルダム編〕（平成15年4月）p.Ⅱ-102～Ⅱ-111によるものとする。

c. 液状化の判定について

ため池の重要度区分により各地震動に対する液状化の判定を行うものとし、判定方法については、「3.8 液状化の検討」によるものとする。

なお、対策工が必要な場合には、必要な追加調査、解析を行い、適切な工法を決定するものとする。

d. 河川区域におけるため池堤防の設計について

河川区域に位置するため池堤防の設計においては、その堤体を河川構造物として「建設省河川砂防技術基準（案）同解説（日本河川協会：平成9年10月）」の内容を考慮し、検討方法について留意する必要がある。なお、同書では、河川堤に対して堤体の沈下を見込み、二次災害に対する検討を行う手法が示されている。

(8) ドレーン

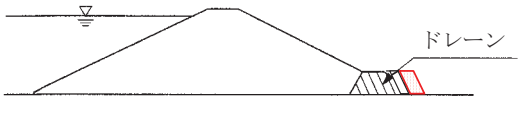
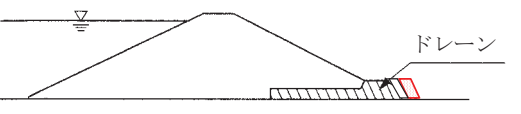
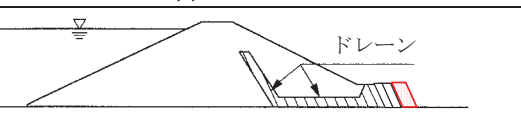
ドレーンは堤体のパイピングを防止するため、浸透水を小さい損失水頭で通水し得るフィルタの機能をもつものでなければならない。なお、ドレーンの設計は土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書〔フィルダム編〕によることが望ましい。

堤体内の浸透流による浸透力が土粒子に作用し、細かい土粒子が粗い土粒子の間隙に洗い流される危険性がある。その結果、堤体内にパイピングを誘起し、内部浸食となり、堤体の局所的な沈下や破壊の原因になる。この現象を防止するため、フィルタ機能を有するドレーンを設ける。

ドレーンには、下流法先ドレーン、水平ドレーン、立上りドレーン等があり、ため池改修工法として一般的な傾斜遮水ゾーン型では、下流法先ドレーンが多く用いられている（表-3.3.10）。

また、堤体下流築堤土及び基礎地盤で液状化が問題になる土質条件の場合、立上りドレーンと水平ドレーンは浸潤面の低下や過剰間隙水圧の消散にも効果を発揮するため、液状化対策としても有効である。

表-3.3.10 ドレーンの区分

ドレーン区分	目的	特徴
 (a)下流法先ドレーン	堤体内の浸透水排水促進及び浸潤線を低下させる	(b)、(c)の設置が困難な場合に採用する。 改修時に採用する事例が多い
 (b)水平ドレーン	堤体内及び基礎からの浸透水排水促進及び浸潤線を低下させる	浸潤線の低下効果が比較的高い 堤体盛土の大規模な掘削が必要
 (c)立上ドレーン	堤体内及び基礎からの浸透水排水を促進させる。また、浸潤線を立ち上がりドレーン部で確実に低下させる	浸潤線の低下効果が高い 立上り部下流に浸潤線が生じないため、堤体の安定性、液状化に対する効果が高い 堤体盛土の大規模な掘削が必要

a. 下流法先ドレーン

堤体下流には法先ドレーンを設置することを原則とし、現況の浸潤線に基づく堤体の安定計算を含めて慎重な安定検討が必要である。

腰積み擁壁の構造は空積み、練積みのいずれでも良いが、堤体内に設置する場合は滑動・転倒の安定計算を行って選定する。ただし、練積みとする場合は、適切な水抜孔を設けて十分な排水能力を持たせる必要がある。法先ドレーンの設計例を図-3.3.18 に示す。なお、法先ドレーンを押さえる腰積み擁壁の高さは下記を参考に決定するものとする。

- ①現況に法先ドレーンが設けられており、老朽化している場合は現況の高さを目安に安定検討を行って改修する。
- ②現況にない場合は、貯水深の3分の1程度とする。

ドレーン材料は堤体材料に対しフィルタの条件を満足することとし、条件を満足しない場合は、両者間にフィルタ部を設置することを検討する必要がある（図-3.3.18 (b)）。

なお、コンクリート再生砕石はアスファルト成分（殻）等の固化により排水機能を損なう場合があるので注意が必要である。また、「建設汚泥リサイクル指針」等を参考に環境への影響についても検討する必要がある。

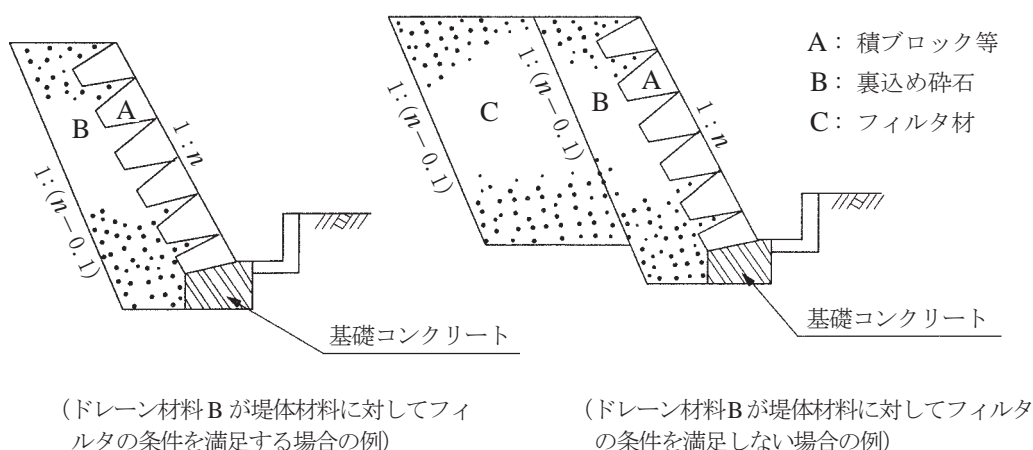


図-3.3.18 下流法先ドレーンの設計例

b. フィルタの設計

フィルタとしての材料は、次の条件を満足する必要がある。

$$\textcircled{1} \quad \frac{F_{15}}{B_{85}} < 5, \quad \frac{F_{15}}{B_{15}} > 5$$

ここに、 F_{15} ：フィルタの15%粒径

B_{85} ：フィルタで保護される材料の85%粒径

B_{15} ：フィルタで保護される材料の15%粒径

② フィルタ材は粘着力のないもので、 $75\mu\text{m}$ 以下の細粒分含有率は5%以下を原則とし、その粒度曲線は保護される材料とほぼ平行であることが望ましい。なお、購入材の使用に当たっては、粒度分布を確認する必要がある。

なお、多層フィルタにおける隣接フィルタにも同様の条件を満足させる必要がある。

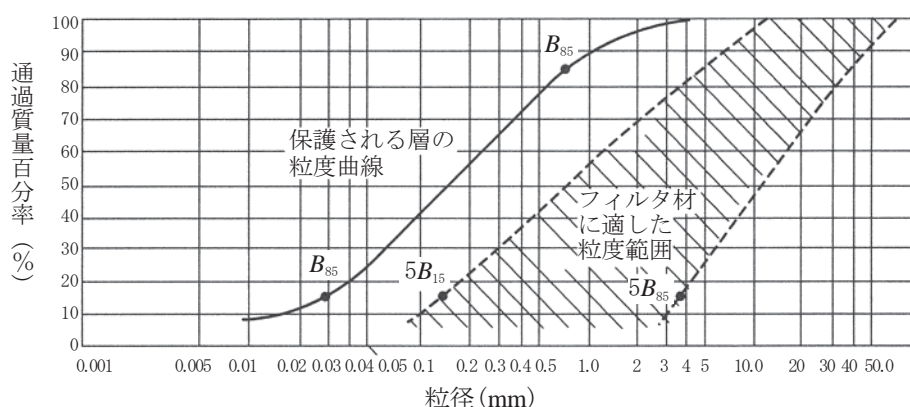


図-3.3.19 フィルタ材の選択範囲

(9) 堤体及び基礎地盤のグラウト

堤体及び基礎地盤からの漏水が明らかな場合には、漏水量を減少させるために堤体補修工法としてグラウト工法を採用してもよい。

グラウト工法の特長としては他の工法に比して、作業の制約が少ない等施工性がよく、漏水が比較的大きな空隙により生じ、その位置が明確で特定化される場合には効果が大きい。

グラウト工法の設計に当たっては、以下の点に留意する。

- ① 貯水による漏水の状況を確認して工事を進めることができるが、どの程度の注入で十分な改良が可能か、どこに注入されたかは把握し難いため、施工後の確認が必要である。
- ② 補修を行うことで、堤体とは異質の材料を内包させることとなり、それが堤体の安定上不利になるとも考えられる。特にセメント系グラウトの場合、剛性が異なるため地震時にクラックが入ることがある。しかし近年では、ベントナイトあるいは高分子系材料とセメントを混合することにより、土の剛性と近似した材料も開発されている。
- ③ 高い注入圧力をかけると堤体にクラックが入り、逆に漏水の状況を悪化させる場合がある。

3.3.5 法面保護工及び安全施設工

① 上流法面の保護

上流法面の保護工は、1/2貯水位から（設計洪水位＋波の打上げ高さ）までは捨石、石張り、コンクリートブロック張工、コンクリートブロックマット工、布製型枠工等を施すこととし、ため池の状況により、堤頂又は法先まで保護工を施すこととする。

② 下流法面の保護

下流法面が細粒土から成るときは、芝工又は排水路付き小段を設けて法面の浸食を防止する。

③ 安全施設工

ため池内への転落防止及び立入り防止のために、必要に応じて安全施設を設置する。

上流法面保護工の参考として図-3.3.20を示す。また、法面下部には小段又は捨石を入れて滑動及び沈下を防止する。

なお、水深の浅いもの、水位変動の激しいもの、落水時の流水による浸食が懸念されるもの等、個々のため池の状況及び経済性を考慮し、法先まで法面保護工を施してもよい。

基礎コンクリートが必要な場合の断面は、法面保護工の厚さ及び勾配等から転倒に対する安全性、施工性、なじみを考慮して決定する。

なお、環境配慮対策として、植生に配慮した法面保護工とする場合には、堤体の安全性に影響を与えるような自然素材の使用や植樹を避ける等の注意が必要である。

また、必要に応じてため池内への転落防止及び立入り防止のために、堤頂等に防護柵等の安全施設を設置する。安全施設の構造及び設置位置は、安全性、周辺環境との調和及び維持管理面に配慮して決定する。

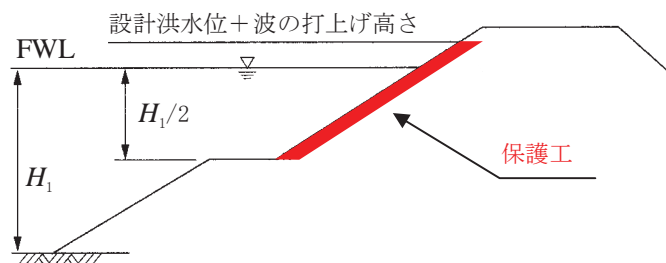


図-3.3.20 上流法面保護工の参考

参考文献

農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」（平成15年4月）

農林水産省構造改善局建設部防災課：老朽ため池整備便覧（昭和57年5月）

(社) 日本河川協会：建設省河川砂防技術基準（案）同解説（平成9年10月）

(社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編（平成14年3月）

福田秀夫：上下流面が平行でない傾斜心壁の浸潤・浸透量について、鹿島建設技術研究所年報 7、pp.51-65