第２章　堤防

2-1　堤防設計の基本

1)　適用の範囲

本要領で適用の対象としている堤防は、流水が河川外に流出することを防止するために設ける普通の堤防及び霞堤について適用する。越流堤、囲繞堤、背割堤及び導流堤は目的に応じて個々に構造設計がなされているので除外する。なお、自立式特殊堤を除けば、耐震機能についてはそれらの堤防であっても本要領の基準を準用できる。本要領は、堤防に関して一般的に確保されるべき最低限の安全性について述べたものであり、過去の被災履歴などについて個々の河川が有する特性から必要があると判断される場合においては、本要領よりも高い安全性を求めることを妨げるものでない。なお、本要領は、原則的には既設堤防の安全性の照査ならびに強化工法（対策工法の設計）に適用するものであるが、新設堤防の設計にも準用する。

2)　完成堤防の定義　〔河川砂防（設Ⅰ）第１章 2.1.1〕

完成堤防とは、計画高水位に対して必要な高さと断面を有し、さらに必要に応じ護岸（のり覆工、根固工等）等を施したものをいう。

【解　説】

堤防の高さおよび断面については、計画高水位を対象に築造されるが、一般に堤防は土砂でできているので越流や浸透に対して十分な配慮が必要である。

したがって、余裕高が必要であり、また浸透等に耐える安定した断面形状と構造が必要である。さらに流勢に対して侵食による破壊を防ぐためには必要に応じて護岸（のり覆工に根固等を備えたもの）等を設け、堤防の土羽部分は芝等で被覆する。

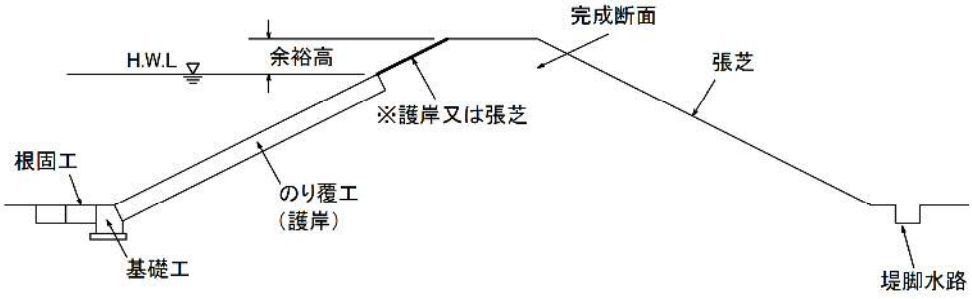


図 2-1-1　完成堤防（計画断面堤防）の例

※のり覆工（護岸）は、余裕高部分の植生被覆等の効果等も勘案して過大な範囲とならないように留意する。

3) 堤防の種類

河川堤防は、堤防の規模、形状、構造およびつくられる目的によって図2-1-2に示すように、いろいろの名称がつけられている。

①本堤　②副堤（控堤）　③輪中堤　④霞堤　⑤横堤及び羽衣堤（付流堤）
⑥背割堤(分流堤)　⑦導流堤（突堤）　⑧逆流堤（バック堤）　⑨囲繞堤及び周囲堤
⑩越流堤　⑪湖岸堤および高潮堤　⑫山付堤

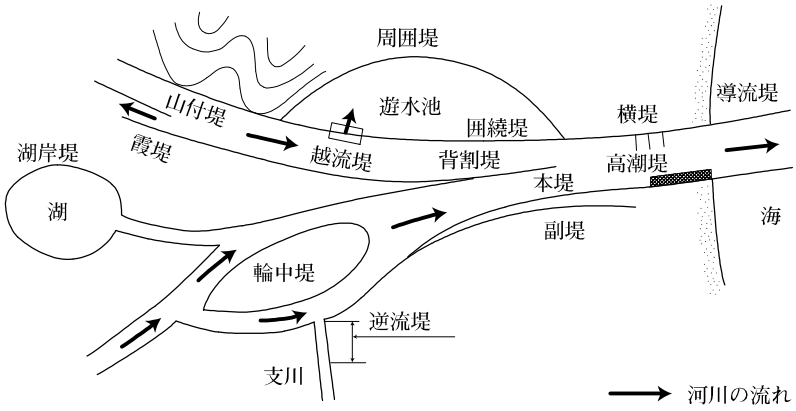
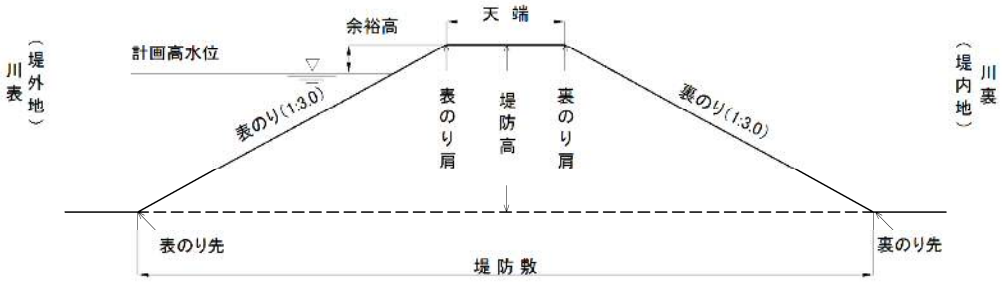


図 2-1-2　堤防の種類

4) 各部の名称〔河川土工マニュアル 3.1.2〕

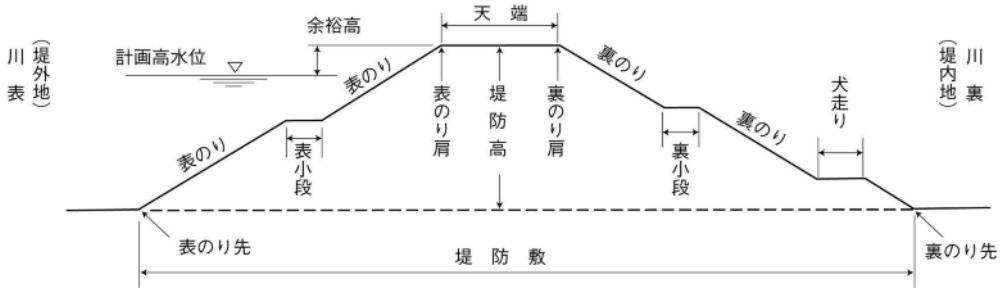
一般的な河川堤防の各部の名称は、図2-1-3(1)、図2-1-3(2)に示すとおりである。

なお、原則として、堤防は可能な限り緩やかな一枚のりとしているが、堤防によっては小段を設ける場合もあり、堤防高の大きい堤防では2段、3段と設け、上から第1小段、第2小段という。



〔河川土工マニュアル 3.1.2〕

図 2-1-3(1)　堤防各部の名称（3割勾配）



〔河川土工マニュアル 3.1.2〕

図 2-1-3(2)　堤防各部の名称

5) 堤防設計の基本 〔河川砂防（設Ⅰ）第１章2.1.2〕

流水が河川外に流出することを防止するために設ける堤防は、計画高水位（高潮区間にあっては計画高潮位、暫定堤防にあっては、河川管理施設等構造令第 32 条に定める水位）以下の水位の流水の通常の作用に対して安全な構造となるよう設計するものとする。

また、地震の作用に対して、地震により壊れても浸水による二次災害を起こさないことを原則として耐震性を評価し、必要に応じて対策を行うものとする。

【解 説】

堤防に求められる安全に関わる機能を、①耐浸透機能（浸透に耐える機能）、②耐侵食機能（侵食に耐える機能）、③耐震機能（地震に耐える機能）とし、整備箇所に応じて所要の機能を確保するよう堤防を整備する。

① 耐浸透機能とは、洪水時の降雨および河川水の浸透により堤防（堤体および基礎地盤）が不安定化することを防止する機能であり、全堤防区間で必要とされる。

② 耐侵食機能とは、洪水時の流水の侵食作用により堤防が不安定化あるいは流失することを防止する機能であり、耐浸透機能と同様に全堤防区間で必要とされる。

③ 耐震機能とは、地震により堤防が沈下し、河川水が堤内地に侵入することによって、浸水等の二次災害を発生させないようにする機能であり、**津波遡上区間**※で必要とされる。

なお、樋門等の堤防横断構造物の周辺においても、以上の三つの機能が確保されている必要がある。

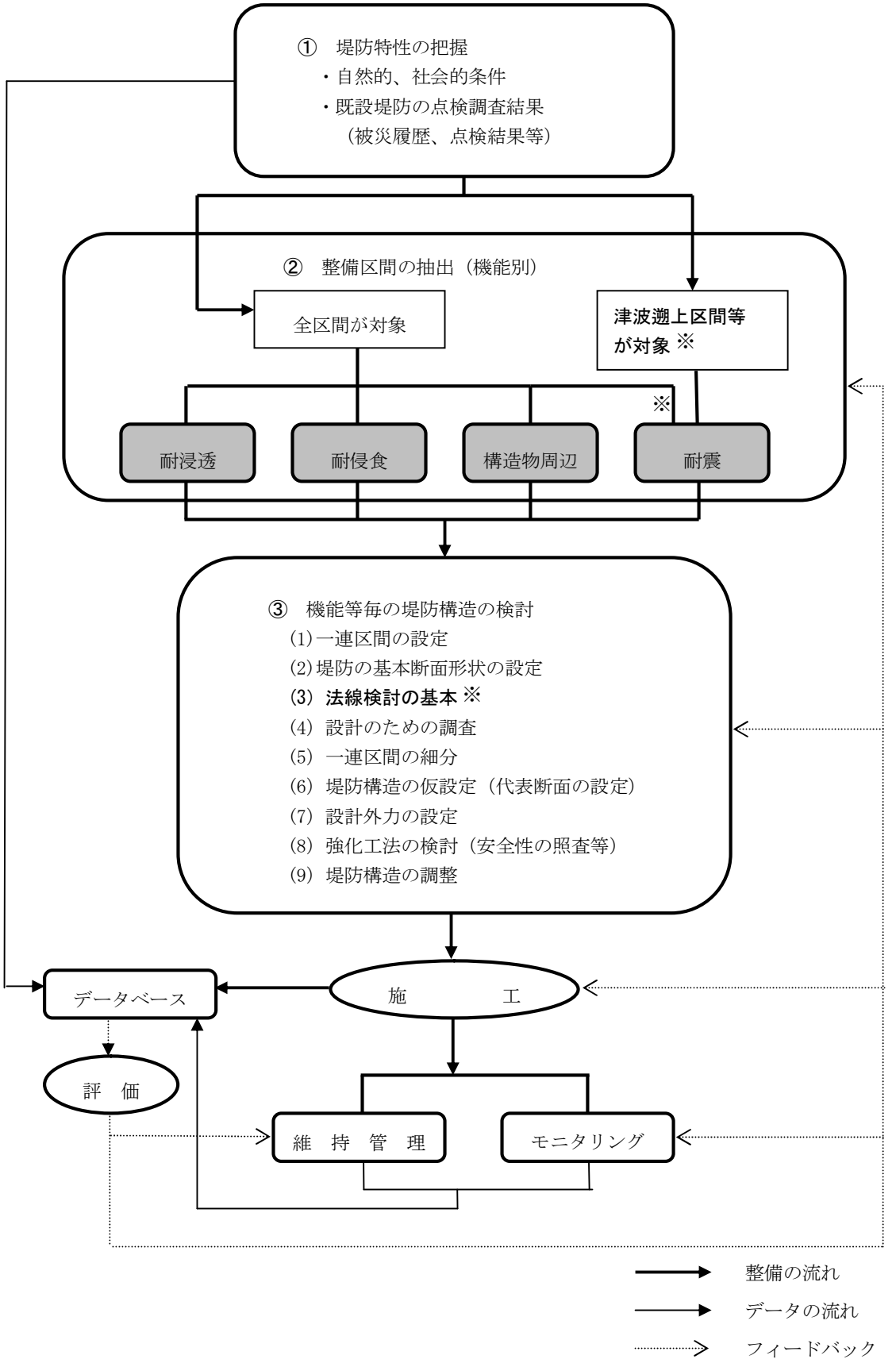
〔河川堤防設計指針〕※一部加工

6) 堤防設計の基本的な流れ 〔河川堤防設計指針〕

堤防設計の基本的な流れを図 2-1-4 に示す。

①自然的、社会的条件の調査や被災履歴などの既設堤防の安全性に係わる点検・調査等により堤防の特性を把握する。それにより、②耐浸透、耐侵食、耐震の各機能の確保が必要となる区間を抽出し、③機能毎に堤防構造の検討を行う。

樋門等の構造物周辺の堤防については、外観の観察等を実施して安全性を評価するが、この評価には特に高度な知見を要することから、専門家の助言を受けることが重要である。



〔河川堤防設計指針〕※一部加工

図 2-1-4 堤防設計の基本的な流れ

2-2　堤防構造の検討手順

1)　機能毎の堤防構造の検討　〔河川堤防設計指針〕

(1)　一連区間の設定

一連区間は、堤防整備区間を対象として河道特性や洪水氾濫区域が同一、または類似する区間を設定する。

①　一連区間の境界は、支派川の分合流箇所や山付き箇所に設定することを基本とするが、河川の特性、地形地質、あるいは堤内地の状況（地盤高等）や想定される氾濫形態等も配慮して分割してもよい。

②　山間狭隘部の堤防のように山付き箇所をはさんで短い堤防が連続する場合や支派川が近接して合流する場合には、河道特性や地形特性を考慮して、いくつかの堤防区間を一連区間と見なしてもよい。

(2)　堤防の基本断面形状の設定

一連区間内の基本断面形状は原則として同一とする。なお、ここで設定する基本断面形状は、必要最小限の断面であることに留意する必要がある。

①　堤防高および天端幅　〔河川堤防設計指針〕

堤防の高さ及び天端幅は、「河川管理施設等構造令」により設定する。なお、規定されている余裕高及び天端幅は最底限確保すべき値であり、河川の特性に応じて適宜設定する。

【解　説】

a.　堤防の余裕高

堤防（計画高水流量を定めない湖沼の堤防を除く）の高さは、計画高水流量に応じ、計画高水位に表2-2-1に掲げる値を加えた値以上とする。ただし、堤防に隣接する堤内の地盤高が計画高水位より高く、かつ、地形状況等により治水上の支障がないと認められた区間にあっては、この限りではない。

〔構造令 第20条〕

b.　天端の構造

堤防天端は雨水の堤体への浸透抑制や河川巡視の効率化、河川利用の促進等の観点から、河川環境上の支障を生じる場合等を除いて、舗装されていることが望ましい。ただし、雨水の堤体への浸透を助長しないように適切に維持管理するとともに、適切な構造によるのり肩の保護等を講ずるものとする。

また、堤防天端利用上の危険の発生を防止するために、必要に応じて車止めを設置する等の措置を講ずるものとする。なお、天端幅の決定においては、散策路や高水敷へのアクセス路として広く利用されており、それらの機能増進やバリアフリーの推進あるいは水防時の円滑な車両通行の確保等を考慮して、地域の実情を踏まえ可能な限り広くとることが望ましい。〔構造令 第21条〕

表 2-2-1　『河川管理施設等構造令』が規定する堤防の余裕高及び天端幅

計画高水流量 （単位１秒間につき立方メートル）	計画高水位に加える値 （単位 メートル）	天端幅 （単位 メートル）
200 未満	0.6	3
200 以上　500 未満	0.8	
500 以上　2000 未満	1	4
2000 以上　5000 未満	1.2	5
5000 以上　10000 未満	1.5	6
10000 以上	2	7

〔構造令　第 20 条、第 21 条〕

② のり面の形状とのり勾配 〔河川堤防設計指針〕

堤防のり面は表のり、裏のりともに、原則としてのり勾配が３割より緩い勾配とし、一枚のりの台形断面として設定する。

【解 説】

河川管理施設等構造令では、のり勾配は２割より緩い勾配とし、一定の高さ以上の堤防については必要に応じ小段を設けることとしている。しかし、小段は雨水の浸透をむしろ助長する場合があり、浸透面からみると緩やかな勾配の一枚のりとした方が有利なこと、**のり面のすべり破壊に対する安定性の向上、洪水時の水防活動等は活動場所の確保が容易な堤防天端で行われていること、**また、除草等の維持管理面や法面の利用面からも緩やかな勾配が望まれていること等を考慮し、緩傾斜の一枚のり（**３割**）とすることを原則とする。

従来より小段を設ける計画がないような、高さの低い堤防に関してはこの限りではない。さらに、既存の用地の範囲で一枚のりにすると、法勾配が３割に満たない場合の断面形状については個別に検討する必要がある。また、小段が兼用道路として利用されている等の理由から、一枚のりにすることが困難な場合には、必ずしも一枚のりとする必要はないが、雨水排水が適確に行われるよう対処することが必要である。

なお、のり面の延長が長くなると雨水によるガリ浸食が助長される場合があるので、雨水排水の処理については注意する。

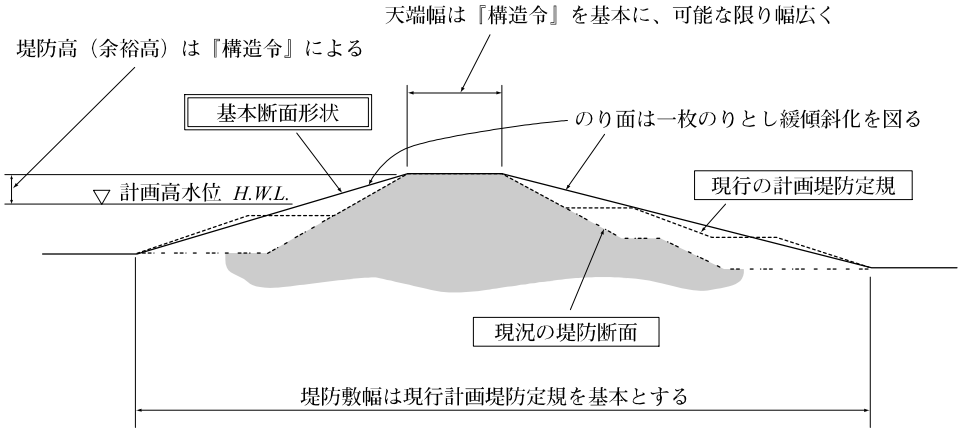


図 2-2-1 一連区間の堤防の基本的な断面形状

③ 裏のり尻 〔構造令 第 22 条〕

一枚のりの緩やかな勾配とした場合、のり面への車両の進入、不法駐車等が行われる場合があるので、これらによる危険発生防止のため、必要に応じて裏のり尻に 30～50cm 程度の高さの石積み等を設置するものとする。

④ 護岸ののり勾配〔構造令 第 22 条〕

護岸で保護される堤防の部分ののり勾配については、特に 50%以下（2 割以上）という規定はない。堤防としての機能と安全性が確保できるよう河川環境にも配慮して適切にのり勾配を定める必要がある。

護岸については、水理特性、背後地の地形・地質・土地利用状況等を十分踏まえた上で必要最小限の設置区間とし、生物の生息・生育・繁殖環境と多様な河川景観の保全・創出に配慮した適切な工法とすること。

〔美しい山河基本方針〕

(3) 法線検討の基本 〔河川砂防（計画）第 2 章 1.3.2〕

堤防の法線（掘込河道等の区間を含む）は、計画高水流量、沿川の土地利用状況、自然環境、洪水時の流況、現況の河道、将来の河道の維持、経済性等を総合的に勘案し、必要な川幅の確保を基本とし設定するものとする。

【解 説】

堤防法線は、計画高水流量を流下させるために必要となる平面形の基本となる川幅を定めるものであり、堤内地にとっては土地利用を制約する最も重要な条件となる。また、計画高水流量が同じであっても、水深、勾配、河床の粗度が異なれば適正な川幅は異なる。さらに既設堤防の状態、沿岸における家屋の密集状況、自然環境や河川利用の状況、用地取得の状況によっても異なってくる。したがって、川幅は河道計画全体の検討の中で定める必要がある。なお、堤防法線の設定にあたっては、以上を踏まえた上で次の各点に留意して検討しなければならない。

① 当該河川固有の自然環境や河川の利用状況等との関係を十分に配慮して、河川環境の整備と保全が容易となるようにする。**また、法線検討にあたっては、河川管理基図や河川環境情報図を確認し、瀬、淵、ワンド等の現況の良好な河川環境の保全に配慮すること。**

② 流下能力からみて現況の河道に十分な余裕のある川幅であっても、一般には河道の貯留効果を考慮してその川幅を確保することが望ましい。なお。計画上の効果としては、洪水によってその効果に差異があることなどの理由から河道貯留による流量低減の効果は考慮しないのが通例であるが、この河道貯留の効果を低く評価するという趣旨ではない。

③ 洪水時における流況を踏まえて、堤防の安全性の確保、侵食・堆積に対する河道の維持等の点を総合的に検討する。一般に急流河川では直線に近い形状とする場合が多い。また、緩流部の河川では、必ずしも直線である必要はないが急な曲がりは避け、場合によっては適切な蛇行形状にすることにより、堤防や河岸の侵食対策の必要範囲を限定することも可能である。

④ 蛇行形状の設定にあたっては、現状の河道、背後の地形・地質の状況、土地利用状況等を考慮するものとし、家屋の連たん地域や旧川の締切り箇所などができるだけ水衝部とならないよう配慮するものとする。

(4) 設計のための調査〔河川堤防設計指針〕

一連区間の細分、構造の検討における安全性の照査を行うために、所要の調査を実施する。

調査の内容は堤防に求められる機能や検討区間の特性等によって異なるため、 河川の洪水の特性、河道特性や堤防整備区間の地形地質条件、背後地の状況等を勘案して適切な項目を設定する必要がある。

(5) 一連区間の細分〔河川堤防設計指針〕

既往の点検や調査の結果及び設計のための調査等に基づき、一連区間を堤防構造の検討を行う区間に細分する。細分の観点は、堤防の種別（完成、暫定など）、堤内地盤高から見た堤防高、背後地の状況、治水地形分類、堤体や基礎地盤の土質特性、高水敷の状況、過去の被災履歴などの条件から、堤防構造を同一とする区間として設定する。

(6) 堤防構造の仮設定〔河川堤防設計指針〕

細分された区間の中から代表断面を選定し、基本断面形状に基づき、過去の経験や周辺の堤防構造等を参考にして、代表断面の堤防構造を仮設定する。

(7) 設計外力の設定〔河川堤防設計指針〕

洪水時の堤防は、計画高水位以下の水位の流水の通常の作用に対して安全な構造とする必要がある。

① 計画高水位は河道計画および施設配置計画等の洪水防御計画の基本となるものであり、河川管理施設は計画高水位に達する洪水状態を想定して設計を行う必要がある。また、耐浸透機能については、計画規模の洪水時の降雨も重要な外力である。

② 液状化の判定に用いる地震力および慣性力として作用させる地震力には、震度法による設計震度を用いる。この際、地震力の作用方向は水平とする。

③ 地震時の外力は、レベル1地震動とレベル2地震動を受けた場合の堤防の変形、沈下等の損傷状況は異なるものの、修復性には顕著な差異が認められないことにより、堤防の耐震性能の照査においては、原則として、レベル1地震動とレベル2地震動のうち厳しい結果を与えるレベル2地震動のみを考慮する。

〔耐震性能照査指針（Ⅱ）2.4〕

(8) 強化工法の検討〔河川堤防設計指針〕

① 耐浸透や耐侵食機能に関する構造の検討では、まず代表断面において仮設定した堤防構造を対象として、機能毎に適切な手法を用いた安全性の照査を行う。照査の結果が照査基準を満足しない場合には、強化工法を検討し堤防構造を修正する。

② 地震を対象とした構造の検討は、耐浸透や耐侵食機能の確保が確認された堤防構造について、地震による堤防の変形が二次災害の発生につながるか否かについて検討する。その結果、地震に対する対策が必要とされる場合においては、所要の安全性を確保できる構造となるよう強化工法を検討し堤防構造を修正する。

(9) 堤防構造の調整〔河川堤防設計指針〕

個々の機能に必要とされる堤防構造が互いに矛盾する場合や、全体として構造体としてのバランスのとれない堤防構造となる場合には、堤防構造が最大限の効果を発揮するよう十分な調整を図る必要がある。

また、環境面にも配慮した上で堤防構造を決定する必要がある。

さらに、縦断方向の構造の連続性や、樋門、樋管等の構造物の配置等を考慮して、一連区間の堤防が同等の機能を発揮するよう最終的な堤防構造を決定する。決定にあたっては、細分区分毎の堤防構造の連続性に配慮し、境界部が弱点とならないよう留意する必要がある。

2) 安全性の照査 〔河川堤防設計指針〕

工学的手法を基本とする堤防の安全性照査では、堤防に求められる機能に応じて、安全性の照査手法の適用、照査外力の設定、照査基準の設定をそれぞれ適切に行うことが重要である。

安全性照査の手法については次の手法を標準とし、これらの手法の適用に必要とされる照査外力、照査基準を設定する。

① 耐浸透機能 : 非定常浸透流計算及び円弧すべり安定計算

② 耐侵食機能 : 設計外力とする洪水による堤防のり面及び高水敷の侵食限界の判別
（既設護岸のある場合には設計外力とする洪水による護岸の破壊限界の判別）

③ 耐震機能 : 堤防の変形を**静的地盤変形解析により算定（場合によっては動的解析を実施）**

3) 機能維持のためのモニタリング 〔河川堤防設計指針〕

洪水および地震に対する堤防の信頼性を高めるためには、堤防の保持すべき個々の機能に着目したモニタリングが不可欠である。

① モニタリングとしては、堤防の各部分に変状や劣化が生じていないか、降雨終了後も長期間にわたり水が滲み出していないか、澪筋や河床高に変化がないかなどについて、日常の巡視や調査等により把握するとともに、出水時に堤体及び堤防周辺地盤の挙動、樋門等の構造物周辺の漏水、あるいは堤体内の浸潤面の発達状況等を監視、計測すること等が重要である。

② モニタリングの方法としては、目視によることのほか、堤防の個々の機能に応じて計器を設置するなどして、出水時に生じた変化などを把握することが望ましい。堤防が洪水あるいは地震により被害を受けた場合には、入念な調査により被害の原因やメカニズムを把握して対策を行うことが重要である。

③ 堤防のモニタリングは、築堤が安定する3年間を目安に実施する。

2-3　設計細目

2-3-1　浸透に対する堤防の設計

1)　設計の方針および手順

(1)　設計方針

河川堤防の浸透に対する設計は、河川水ならびに降雨の浸透に対して安全となるよう設計する。なお、浸透対策は、耐震対策に寄与することもあり、耐震対策が必要な区間では、その他の機能も踏まえて相乗効果が得られる検討を行い、効率的な堤防整備を推進する。

(2)　設計手順

浸透に対する堤防の設計は、図 2-3-1 の手順にしたがって実施する。

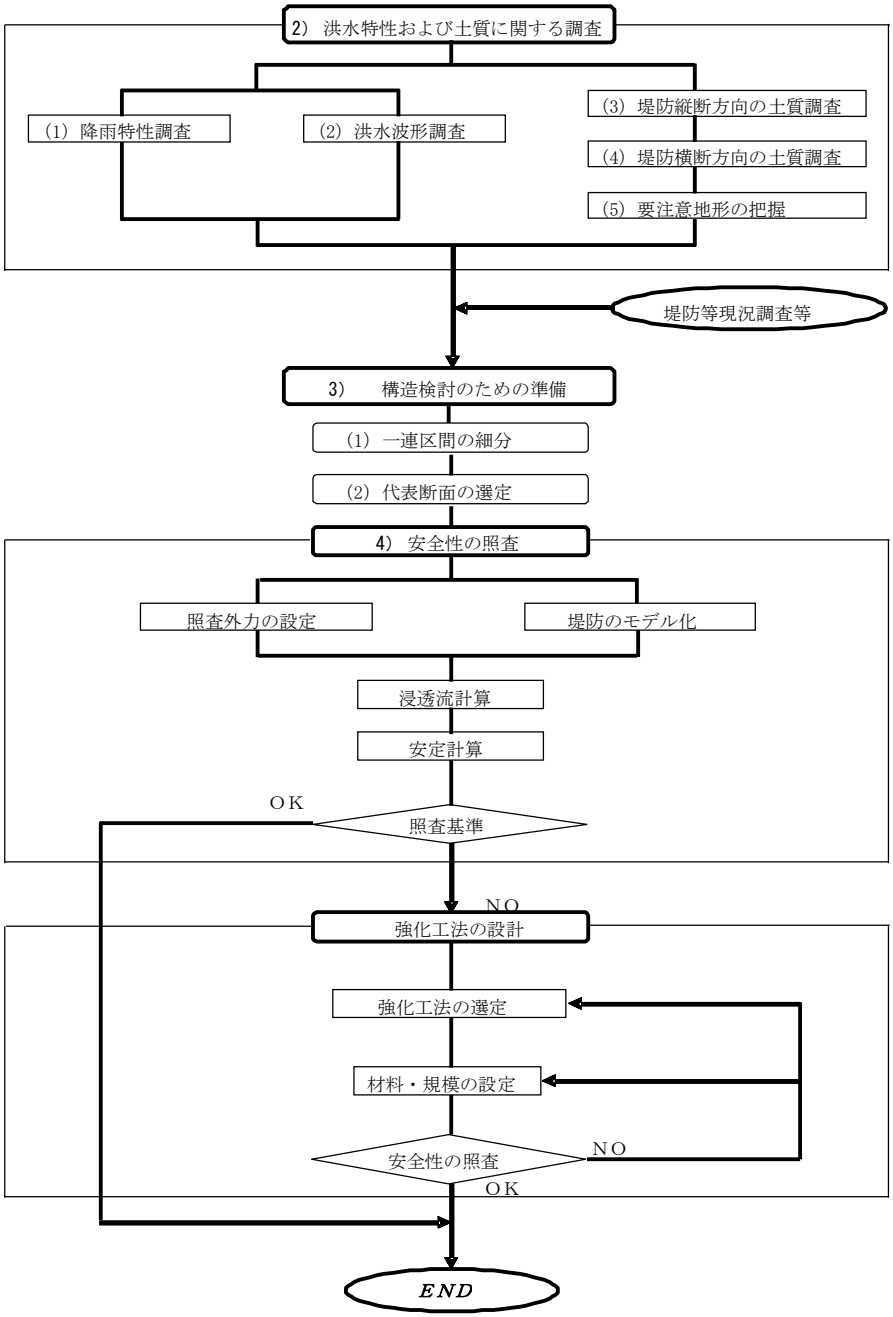


図 2-3-1　浸透に対する堤防設計の手順

2) 洪水特性および土質に関する調査 〔構造検討の手引き 3.2〕

(1) 降雨特性調査

降雨特性については、出水期の月平均降雨量、既往最大降雨量、計画降雨量等を中心に調査する。

① 出水期の月平均降雨量は、洪水が生起する可能性の高い時期、通常は6月～9月で、原則的には対象区間近傍の観測所の記録を収集整理することが望ましい。記録としては最低でも 10 年間程度を対象として、月降雨量の平均値を算出する。

② 計画降雨量は、洪水防御計画で対象としている流域平均もしくは対象区間の集水域平均の計画降雨量について収集整理する。

(2) 洪水波形調査

洪水波形調査では、計画高水流量算定時に対象とした複数洪水の流量および水位波形を収集整理する。

① 対象洪水が多数ある場合には、ピーク水位が高い波形、洪水継続時間の長い波形、波形面積が大きい波形、そして洪水末期の水位低下速度が早い波形等を選定する。

② 既往洪水の水位波形は、過去の洪水に対する堤防の安全性を確認するために収集するもので、安全性照査の対象区間近傍において、単にピーク水位が高い波形だけでなく、洪水継続時間が長い、あるいは波形面積が大きい波形にも着目する。

(3) 堤防縦断方向の土質調査

① 調査地点の配置

堤防縦断方向の土質調査地点は、「河川砂防技術基準 調査編 第 15 章 第 2 節」による河川堤防の土質調査の成果を活用して適切に配置する。

a. 浸透の面からみた対象区間の細分（縦断方向の区分）を行い、細分した区間ごとに浸透に対して相対的に最も危険と想定される箇所を選定してボーリング調査地点を配置する。

b. 調査地点の間隔は、既設のボーリング調査地点を含め、最低限 100m ごと、浸透に対して問題が少ないと想定される区間については最低限 200m ごとを目安とする。

逆に区分した区間の延長が極端に短い場合には、隣接区間と併せて相対的に最も危険と想定される位置に調査地点を選定してもよい。

② 調査の内容および方法

a. ボーリング調査

ボーリング調査は堤防天端の中央付近において実施することを原則とする。深さは、基礎地盤の上面から 10m程度とする。ただし、透水性地盤が 10m以上連続する場合には、その下位の難透水層を 2～3m確保する深さまでとするが、基礎地盤上面から 20m程度を上限とする。

b. 地下水位

ボーリング調査に際しては、地下水位を精度よく把握する。また、近傍の地下水位観測所の記録を収集整理し、地下水位の季節的な変化を把握しておくことが望ましい。

c. 標準貫入試験

標準貫入試験を実施する位置は、堤体および基礎地盤とも原則として深さ 1m毎とする。

d. 土質試験

標準貫入試験器によって採取した乱した試料を対象に、物理的な性質を把握するための土質試験を実施する。試験の項目は表 2-3-1 に示す通りである。実施する頻度は土質が変化する毎を原則とするが、土質が比較的均一とみられる場合でも、堤体では 1m毎、基礎地盤については 2～3m毎に実施しておくことが望ましい。

表 2-3-1 堤防縦断方向の土質調査における土質試験の項目

土質試験の項目		礫質土	砂質土	粘性土
物理試験	土粒子の密度試験	○	○	○
	含 水 量 試 験	○	○	○
	粒 度 試 験	○	○	○
	液性限界・塑性限界試験	注)	注)	○

注）礫質土は礫粒土Ｇで、〔Ｇ〕〔Ｇ－Ｆ〕｛ＧＦ｝に該当する。
砂質土は砂粒土Ｓで、〔Ｓ〕〔Ｓ－Ｆ〕｛ＳＦ｝に該当する。
粘性土は細粒土Ｆで、〔Ｍ〕｛Ｃ｝に該当する。
礫質土・砂質土は、細粒分含有率が 15%程度以上の場合には、液性限界・塑性限界試験を実施することが望ましい。※液塑性限界・塑性限界試験は、土質材料を細分類するために実施する。

〔構造検討の手引き 3.2〕

e. 物理探査

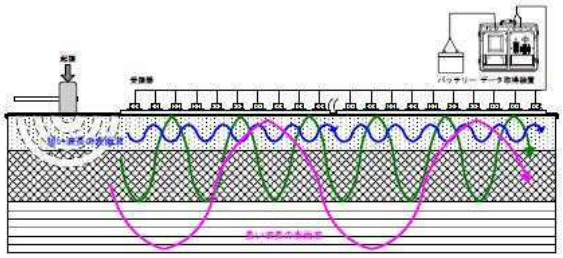
物理探査については、ボーリング調査の補足等、地層を概略的に把握する場合に採用を検討する。

【コラム】物理探査の事例

○河川堤防の安全性評価は、浸透・侵食および地震に対して行われており、そのためには堤体および基礎地盤の土質構成、透水特性、締固め度等を把握する必要がある。これらの物性情報は物理探査から直接得られるものではないが、物理探査結果のＳ波速度や比抵抗との関係から間接的には推定することができる。

○物理探査によって、堤体内の複雑な物性情報を精度よく把握することは困難であり、深度が深いほど精度が落ちる。物理探査の精度限界を考慮すると、現時点では浅層におけるボーリング調査の補足や地盤改良の面的な精度管理への活用が考えられる。

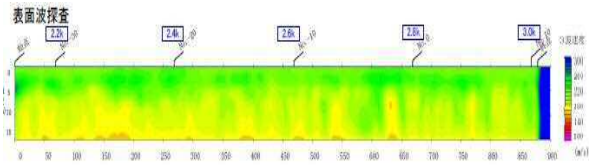
表面波探査状況



表面波探査概要図

表面波探査評価表

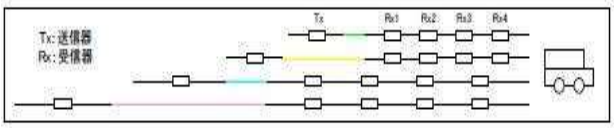
項目	状態	Ｓ波速度
締固め度	緩⇔締	低⇔高
密度	小⇔大	低⇔高
粒度	細⇔粗	低⇔高
Ｎ値	小⇔大	低⇔高
断面図の着色		暖色系⇔寒色系



表面波探査結果

表面波探査の例

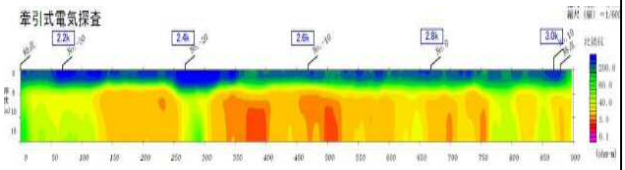
牽引式電気探査状況



牽引式電気探査概要図

牽引式電気探査評価表

項目	状態	比抵抗
地下水・間隙水の比抵杭	低⇔高	低⇔高
飽和度	高⇔低	低⇔高
粘土分	多⇔少	低⇔高
風化・変質程度	強⇔弱	低⇔高
地温	高⇔低	低⇔高
断面図の着色		暖色系⇔寒色系



牽引式電気探査結果

牽引式電気探査の例

f.　その他の調査

堤体および基礎地盤の土質構成が複雑な場合には、サウンディング調査および試掘調査によりボーリング調査地点の間を補間する。

(4)　堤防横断方向の土質調査

①　調査対象断面の選定

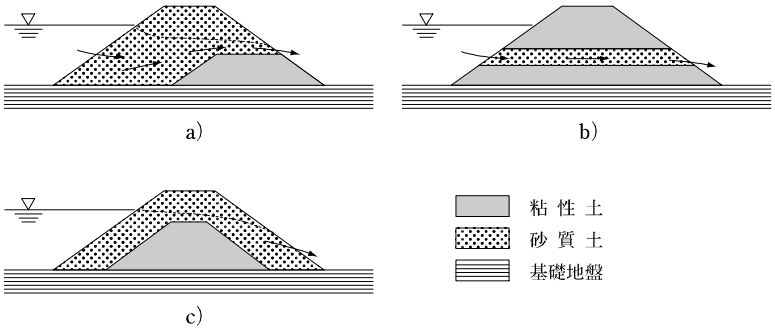
堤防横断方向の調査対象箇所は、堤防縦断方向の土質調査地点の中から浸透に対して条件が厳しい地点を選定する。

a.　堤体の土質で、浸透に対して特に問題となる土質条件は概ね次のとおりである。

ｲ.　大部分が透水性の大きい土質で構成され、かつ裏のり尻付近に難透水性の土質が分布されると想定される断面。（図 2-3-2　a）

ﾛ.　粘土性を主体に構成される堤体で、裏のりから表のりにかけて連続的に透水性の大きい土質が挟まれていると想定される断面。（図 2-3-2　b）

ﾊ.　中央部の難透水性の土質を透水性の大きな土質が被覆し、かつ難透水層の土質の上面が計画高水位に達していない断面。（図 2-3-2　c）



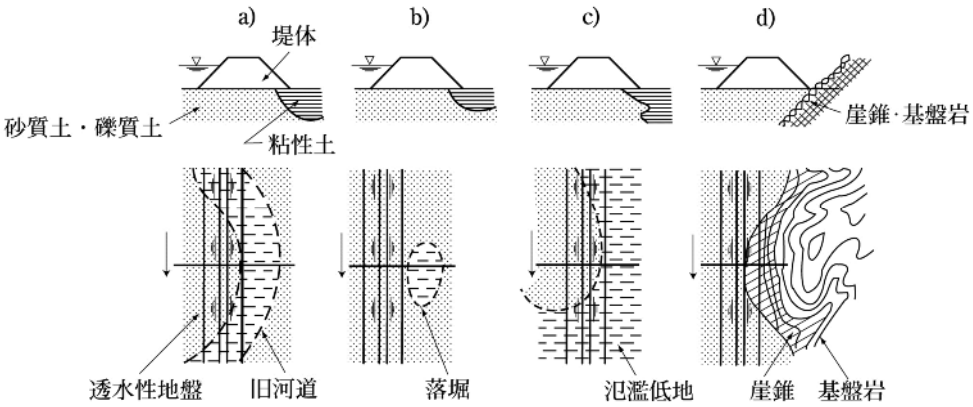
〔構造検討の手引き 3.2〕

図 2-3-2　浸透が問題となる堤体の土質構成

b.　基礎地盤土質で浸透が特に問題となる土質構成は、堤体と同様に透水性の異なる土質が複雑に分布する地盤である。図 2-3-3 はこれを模式的に示したものである。

ｲ.　透水性地盤において裏のり尻下に粘性土等の難透水層（行止り地盤）が分布していると、基礎地盤への浸透水は堤体内に上昇して浸潤面を押し上げ、漏水やすべり破壊が発生しやすくなる。

ﾛ.　裏のり尻近傍の難透水層が薄い場合には、基礎地盤からの漏水やパイピング破壊が発生しやすい。



	堤外側の地形	堤内側の地形
a)	旧河道・自然堤防・旧川微高地	埋積された旧河道
b)	旧河道・自然堤防・旧川微高地	落堀
c)	旧河道・自然堤防・旧川微高地	氾濫低地
d)	河床・自然堤防	崖錐・基盤岩

〔構造検討の手引き 3.2〕

図 2-3-3　浸透が問題となる基礎地盤の土質構成

c.　被災の履歴について

漏水やのりすべり等の浸透に関わる被災の履歴を有する箇所は優先的に選定する。

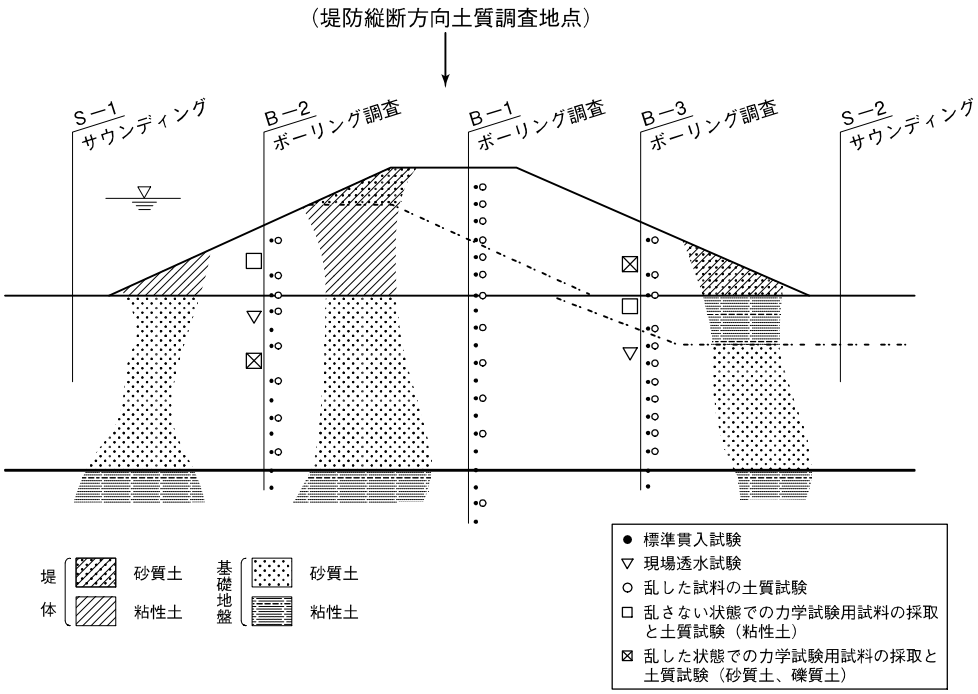
②　調査地点の配置

調査対象箇所内で行う土質調査では、堤体および基礎地盤からなる堤防が適切にモデル化できるよう、調査地点を配慮する必要がある。

a.　ボーリング地点の数としては最低限、堤防天端、裏のり面、表のり面、各の中央付近の３箇所程度とする。

b.　土質構成が複雑な場合には、ボーリング調査地点の間を補間するよう、サウンディング調査地点を配置することが望ましい。

図 2-3-4 は堤防横断方向の土質調査の計画事例を模式的に示したものである。



〔構造検討の手引き 3.2〕

図 2-3-4　堤防横断方向の土質調査の事例

③　調査の内容および方法

堤防横断方向の土質調査では、堤防縦断方向の調査方法に加え、主として構成土質の透水性や強度特性を把握するための現場透水試験、試料の採取および土質試験を実施する。

新設堤防の照査にあたっては、土取場等から試料を採取し、別途材料試験を実施して締固めた後の材料の浸透特性ならびに強度特性を把握する必要がある。

個々の目的に応じた調査の方法は、表 2-3-2 に示す。

表 2-3-2　調査の目的に応じた調査の方法

調査目的	調　査　方　法	
	堤　　体	基礎地盤
土質構成の把握	ボーリング調査・サウンディング・電気探査等	
浸透特性の把握	主として室内土質試験（粒度試験・室内透水試験）	主として現場透水試験・土質試験（粒度試験）
強度特性の把握	標準貫入試験・サウンディング・室内土質試験（密度試験・せん断試験等）	主として標準貫入試験・サウンディング
材料特性の把握（堤防新設の場合）	室内土質試験（締固め試験および締固めた材料の密度試験・透水試験・せん断試験等）	

〔構造検討の手引き 3.2〕

a.　現場透水試験

現場透水試験は、土質に大きな変化がないかぎりは、各ボーリング調査地点で 1 箇所（深度）程度とする。

b.　土質試験

物理試験は標準貫入試験器によって採取した試料を、堤防縦方向の調査と同様の項目の土質試験（表 2-3-1）に供するとともに、力学試験用に採取した試料について表 2-3-3 に示す土質試験を実施する。

表 2-3-3　堤防横断方向の土質試験の項目（力学試験用試料）

土質試験の項目			礫質土	砂質土	粘性土	得られる定数等
物理試験	土粒子の密度試験		○	○	○	土粒子の密度 ρ_s
	含水量試験		○	○	○	含水比 w_n
	粒度試験		○	○	○	粒径加積曲線、10%粒径 D_{10} 等
	液性限界・塑性限界試験		注 3)	注 3)	○	液性限界 w_L、塑性限界 w_P
	湿潤密度試験		○	○	○	湿潤密度 ρ_t
力学試験	透水試験		○	○		飽和透水係数 k_s
	三軸圧縮試験もしくは等体積一面せん断試験注 4)	UU試験			○	粘着力 c_U（内部摩擦角 ϕ_U）
		CU試験	○	○	◎	粘着力 c_{CU}、内部摩擦角 ϕ_{CU}
		CUB試験	◎	◎	○	粘着力 c、c´ 内部摩擦角 φ、φ´
		CD試験	◎	◎		粘着力 c_i、内部摩擦角 ϕ_i
材料試験（堤防新設の場合）			○	○	○	最大乾燥密度 ρ_{dmax} 等

注 1）UU条件は非圧密非排水条件、CU条件は圧密非排水条件、CUB試験は圧密非排水条件(間隙水圧測定)、CD試験は圧密排水条件である。

2）土質分類（礫質土、砂質土、粘性土）は表 2-3-1 に同じである。

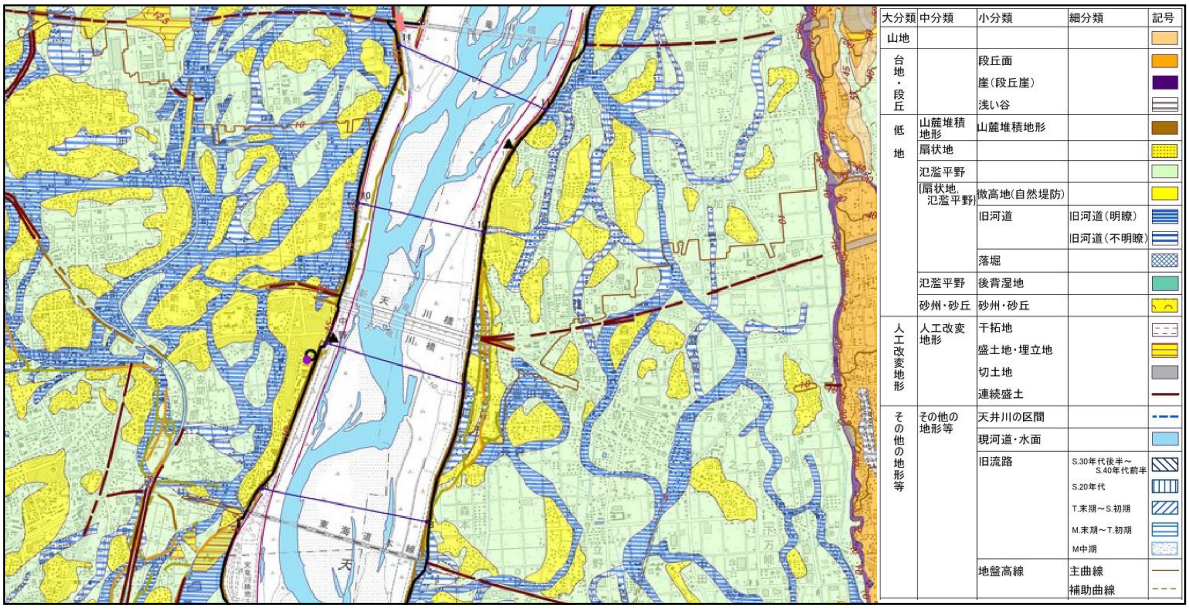
3）礫質土・砂質土は、細粒分含有率が 15%程度以上の場合には、液性限界・塑性限界試験を実施することが望ましい。
※液塑性限界・塑性限界試験は、土質材料を細分類するために実施する。

4）せん断強度試験の結果は、一般全応力法によるすべり安定計算に利用する。

〔構造検討の手引き 3.2〕

(5)　要注意地形の把握

要注意地形の把握では、治水地形分類図・旧版地形図等により高透水性地盤を示唆する旧河道や落堀の位置を抽出し、これらの情報を把握する。特に、自然堤防と後背湿地の境界部など、地形・地質学的に認定できる要注意地形に留意する。また、自然河川によって形成された沖積地盤の構造は複雑であり、空間的な広がりを把握可能な地形地質情報の有効利用が必要である。



〔国土地理院　治水地形分類図〕

図 2-3-5　要注意地形

3) 構造検討のための準備 〔河川堤防の構造検討の手引き 4.2〕

(1) 一連区間の細分

堤防の構造設計にあたっては、堤防等現況調査および土質調査等の結果に基づいて一連区間を堤防構造の検討を行う区間に細分する。図 2-3-6 には一連区間の細分の考え方を示す。

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="16">←下流　　上流→</td></tr>
<tr><td rowspan="2">土質</td><td>堤　体</td><td colspan="3">C</td><td colspan="5">S</td><td colspan="2">C</td><td colspan="4">S</td><td colspan="3">G</td></tr>
<tr><td>基礎地盤</td><td colspan="4">C</td><td colspan="8">S</td><td colspan="4">G</td></tr>
<tr><td colspan="2">要注意地形</td><td colspan="4"></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">築堤履歴</td><td colspan="12">昭和３０年代以前</td><td colspan="4">昭和３０年代以後</td></tr>
<tr><td colspan="2">被災履歴</td><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="9"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">一連区間の細分</td><td>①</td><td>②</td><td>③</td><td>④</td><td>⑤</td><td>⑥</td><td>⑦</td><td>⑧</td><td>⑨</td><td>⑩</td><td>⑪</td><td>⑫</td><td>⑬</td><td>⑭</td><td>⑮</td><td>⑯</td></tr>
</table>

注）土質分類はC：粘性土、S：砂質土、G：礫質土　　〔構造検討の手引き 4.2〕

図 2-3-6　一連区間の細分の考え方

(2) 代表断面の選定

代表断面は細分区間を代表する断面、すなわち浸透に対して最も厳しい条件を有する箇所を選定する。

4) 安全性の照査 〔構造検討の手引き 4.3〕

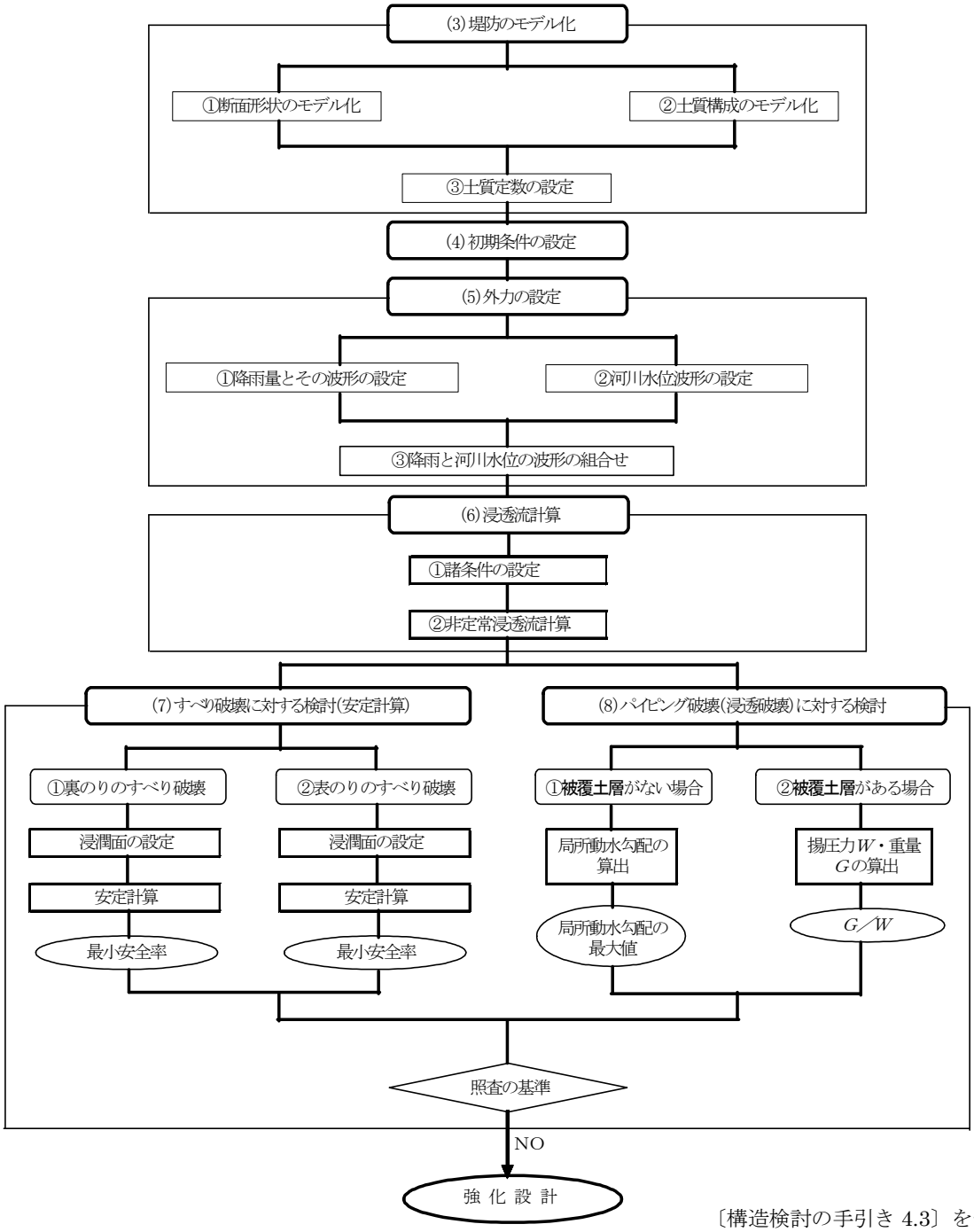
浸透に対する堤防設計における安全性の照査は、細分した区間を代表する堤防断面を対象に、外力に対して所要の安全性が確保されているかを照査する。

(1) 照査外力の設定

照査外水位としては、計画高水位（当面の整備目標として設定する洪水時の水位が定められている場合にはその水位）とし、照査降雨としては、計画規模の洪水時の降雨（当面の整備目標として設定する洪水時が定められている場合にはその時の降雨）とする。

(2) 照査の手順

堤防の浸透に対する安全性照査の具体的な手順を図 2-3-7 に示す。



〔構造検討の手引き 4.3〕を一部加工

図 2-3-7 浸透に対する安全性照査の手順

(3) 堤防（堤体および基礎地盤）のモデル化

浸透に対する安全性照査では、断面形状、土質構成をモデル化するとともに、土質定数を設定する。

① 断面形状のモデル化

堤防の横断面形状および堤内地、堤外地の地盤面（地表）をモデル化する。

a. 堤外地側は、平常時に河川水が存在する箇所までとする。ただし、高水敷の幅が 100m を超えるような断面については、表のり尻から 100m 程度の範囲までとする。

b. 堤内地側は、河川や水路等の水位条件が把握されている個所（水位一定境界）までとするが、このような個所がない場合や遠方にある場合には､裏のり尻から堤防高の 10 倍程度の範囲をモデル化する。

② 土質構成のモデル化

土質構成については、堤防横断方向の土質断面図を基にモデル化するが、堤体については土質調査の結果とともに、近傍の堤防開削調査の結果や築堤履歴を十分に勘案し、適切にモデル化することが重要である。

a. 深さ方向のモデル化の範囲としては、基礎地盤の上面から 10m程度を考えるが、透水性地盤ではその下限までとするのが原則である。

b. 透水性地盤が厚い場合は、地下水面から水位変動量（計画高水位と地下水位または平水位の差）の 3～6 倍、最大 20m程度の深さを目安とする。

c. 基礎地盤が粘性土のような難透水性地盤で構成される場合は、堤内地盤高もしくは河川の平水位のいずれか低い高さ以下 2～3mまでとする。

③ 土質定数の設定

土質定数は、原則として原位置（現場）における試験および室内での土質試験結果に基づいて、モデル化した土質区分毎に適切に設定する。設定にあたっては、試料の透水性や堤体の土層構成から想定される被災メカニズム、土質の不均質さなどを十分考慮するとともに、経験的に知られている値についても勘案する必要がある。

表 2-3-4 浸透に対する堤防の安全性確認に必要な土質定数

<table>
<tr><th colspan="2">必要な土質定数</th><th>用 途</th><th>備 考</th></tr>
<tr><td colspan="2">飽和透水係数 k_s</td><td rowspan="3">非 定 常
浸透流計算</td><td>現場および室内での透水試験結果に基づいて設定する</td></tr>
<tr><td rowspan="2">不 飽 和
浸 透 特 性</td><td>比透水係数
θ ～k_r</td><td rowspan="2">体積含水率 θ と比透水係数 kr（不飽和透水係数/飽和透水係数）の関係、および体積含水率 θ と負の圧力水頭 ϕ の関係（水分特性曲線）を示すもので、実際に求める場合には特別な試験が必要で、原則としては後出の表 2-3-5 に設定される不飽和浸透特性を利用することとする</td></tr>
<tr><td>水分特性曲線
θ ～ ϕ</td></tr>
<tr><td colspan="2">湿潤密度 ρ_t</td><td rowspan="3">安定計算注)</td><td>原則として室内試験結果にもとづいて設定する</td></tr>
<tr><td colspan="2">粘 着 力 c</td><td rowspan="2">粘性土についてはＣＵ試験またはＵＵ試験の結果に基づいて設定する
砂質土についてはＣＵＢ試験、ＣＤ試験またはＣＵ試験の結果に基づいて設定する</td></tr>
<tr><td colspan="2">内部摩擦角 ϕ</td></tr>
</table>

注）安定計算は一般全応力法に基づいて実施

〔構造検討の手引き 4.3〕

a. 浸透流計算に必要な土質定数

ｲ. 飽和透水係数 K_s

原則的には現場透水試験（主として基礎地盤）および室内の透水試験（主として堤体）の結果に基づいて設定するが、粒度試験の結果等をもとに土質の不均質さを十分考慮して適切に設定する必要がある。

粘性土については、特別な条件（亀裂が多い等）がない限りは、次の値を設定してもよい。

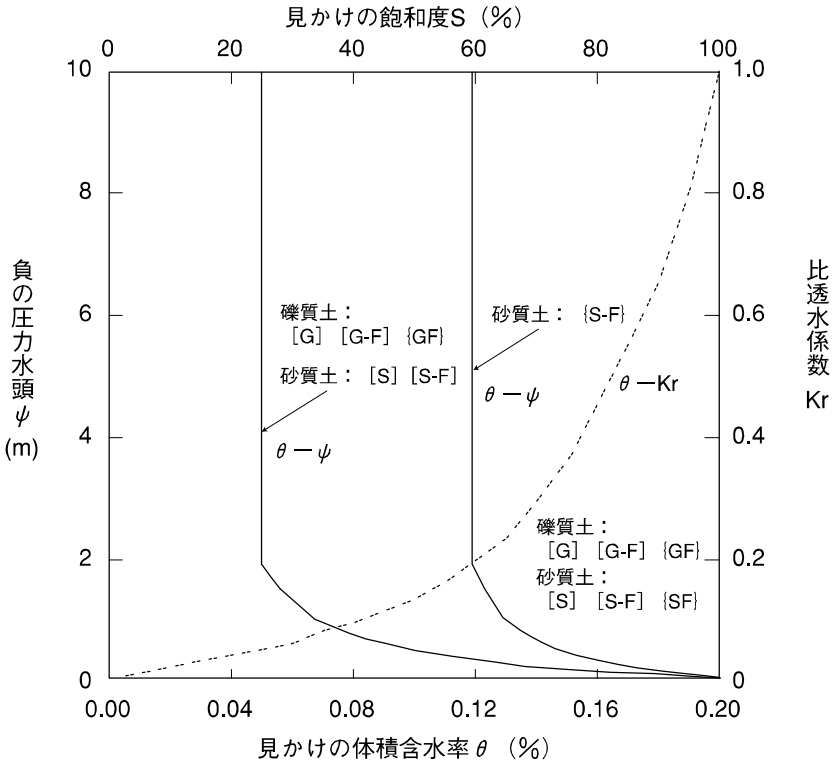
シルトを主体とする場合、 $K_s=1\times10-5$ cm/sec

粘土を主体とする場合、 $K_s=1\times10-6$ cm/sec

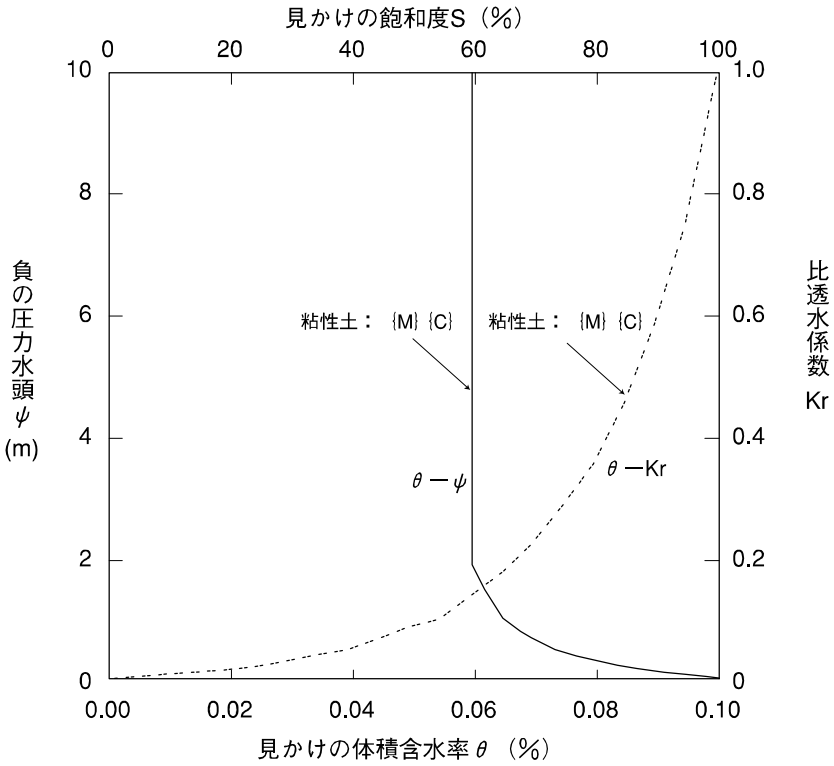
ﾛ. 不飽和浸透特性

飽和・不飽和浸透流計算に必要な不飽和の浸透特性、すなわち ①体積含水率 θ と比透水係数 $K_r=\frac{K_\theta}{K_s}$（=不飽和の透水係数 K_θ／飽和状態での透水係数 K_s）の関係、および ②体積含水率 θ と負の圧力水頭 ϕ の関係（水分特性曲線）については図 2-3-8 にそれぞれの数値は表 2-3-5 に示す。

図の横軸の体積含水率 θ は見掛けの体積含水率として扱い、飽和状態のそれを砂質土および中間土では 0.2、粘性土では 0.1 とした。



a）礫質土・砂質土



b）粘性土

〔構造検討の手引き 4.3〕

図 2-3-8　浸透流計算に用いる体積含水率と、負の圧力水頭・比透水係数の関係

表 2-3-5　不飽和浸透特性数値表

a）見かけ体積含水率θと比透水係数K_rの関係

礫質土；[G]，[G-F]，{GF} 砂質土；[S]，[S-F]，{SF}	
体積含水率θ	比透水係数K_r
0.000	0.000
0.010	0.010
0.020	0.020
0.030	0.030
0.040	0.040
0.050	0.050
0.060	0.060
0.070	0.080
0.080	0.090
0.090	0.110
0.100	0.130
0.110	0.160
0.120	0.190
0.130	0.230
0.140	0.290
0.150	0.360
0.160	0.450
0.170	0.550
0.180	0.650
0.190	0.800
0.200	1.000

粘性土；{M}，{C}	
体積含水率θ	比透水係数K_r
0.000	0.000
0.005	0.003
0.010	0.006
0.015	0.010
0.020	0.015
0.025	0.020
0.030	0.030
0.035	0.040
0.040	0.050
0.045	0.070
0.050	0.090
0.055	0.100
0.060	0.140
0.065	0.180
0.070	0.230
0.075	0.290
0.080	0.360
0.085	0.460
0.090	0.590
0.095	0.750
0.100	1.000

b）みかけ体積含水率θと負の圧力水頭ψの関係

礫質土；[G]，[G-F]，[GF] 砂質土；[S]，[S-F]	
体積含水率 θ	圧力水頭 ψ
0.049	12.00
0.050	1.90
0.056	1.50
0.068	1.00
0.078	0.80
0.084	0.70
0.090	0.60
0.100	0.50
0.112	0.40
0.126	0.30
0.136	0.25
0.150	0.20
0.164	0.15
0.178	0.10
0.190	0.05
0.200	0.00

砂質土；{SF}	
体積含水率 θ	圧力水頭 ψ
0.119	12.00
0.120	1.90
0.123	1.50
0.129	1.00
0.135	0.80
0.138	0.70
0.141	0.60
0.146	0.50
0.153	0.40
0.160	0.30
0.166	0.25
0.173	0.20
0.181	0.15
0.188	0.10
0.195	0.05
0.200	0.00

粘性土；{M}，{C}	
体積含水率 θ	圧力水頭 ψ
0.059	12.00
0.060	1.90
0.062	1.50
0.066	1.00
0.068	0.80
0.070	0.70
0.072	0.60
0.074	0.50
0.076	0.40
0.081	0.30
0.084	0.25
0.088	0.20
0.092	0.15
0.095	0.10
0.098	0.05
0.100	0.00

〔構造検討の手引き 4.3〕

b. 安定計算に必要な土質定数

ｲ. 湿潤密度 ρ_t

原則として土の湿潤密度試験（土質工学会基準　ＪＳＦ　Ｔ　191－1990）の結果に基づき設定する。なお、湿潤密度は飽和度によって変化するので、ここでは安全側に、モデル化した土質ごとに飽和状態に近い値を採用する。

ﾛ. 粘着力　c

粘着力ｃは主として粘性土に与える強度定数で、飽和状態の非圧密非排水（ＵＵ条件）の三軸圧縮試験（土質学会基準　ＪＳＦ　Ｔ　521－1990）に基づいて設定する。

ﾊ. 内部摩擦角　φ

内部摩擦角φは砂質土および礫質土に設定する強度定数で、乱した試料で採取した場合には、密度調整した試料（飽和状態）を対象とした三軸圧縮試験あるいは等体積一面せん断試験（いずれもＣＵ条件の試験）の結果を基に設定する。

設計上は、粘性土はφ=0、砂質土と礫質土はｃ=0 と割り切って扱うのが一般的である。

また、経験的に知られている値や、標準貫入試験から得られるN値とφの関係、あるいは隣接する断面の類似の土質に対する試験結果等を十分勘案し、適切に設定する必要がある。

安定計算の技術上の問題からいえば、堤体土が砂質土と礫質土の場合にｃ=0 とすると、のり面の表層をかすめるような円弧が最小安全率を示すことがあり、堤防全体の安全性を照査するという意味からは望ましいものではないので、三軸圧縮試験等の結果がｃ=0 であっても計算上はｃ=1 kN/m2 程度を見込んでおく必要がある。

c. 浸透対策工のモデル化

ｲ. 止水矢板や遮水シート等の人工材料を用いた浸透対策工については、これを土質材料に置き換えて土質定数を設定する。

$$K_s = \frac{K_v \cdot t_s}{t}$$

ここに、　K_s ：モデルの厚さに応じて設定する透水係数（cm/sec）

K_v ：実験等から求められた見掛の透水係数

遮水シート　　$K_v = 1 \times 10^{-8}$（cm/sec）

止水矢板　　$K_v = 1 \times 10^{-7}$（cm/sec）

t_s ：モデルの厚さ（cm）

t ：実験等に用いた材料の厚さ（遮水シートは厚さ 1mm、止水矢板は厚さ 1cm）

ﾛ. モデル化する対策工の厚さを、堤防高の 1/10 程度以下で要素を分割した場合、対策工を計算に反映するためには要素の 1/2 程度の厚さで対策工のモデル化を行うことが望ましい。

ﾊ. 護岸等ののり覆工については、遮水性はないものとして扱いモデルには含めない。

ﾆ. 天端が兼用道路でアスファルト舗装がされている場合には、粘性土と同程度の透水係数を与えるとよい。

(4) 初期条件の設定

浸透に対する安全性照査では、事前降雨量および初期地下水位を初期条件として設定する。

① 事前降雨量の設定

事前降雨量は、設計対象区間の降雨特性に応じ、総降雨量として多雨時期の月降水量の平年値程度を設定する。

降雨強度としては、堤体の透水係数を勘案して事前降雨量が全て堤体に浸透するよう 1mm/h 程度を設定する。

② 初期地下水位の設定

初期地下水位は出水期（多雨時期）の平均地下水位程度を水平に設定する。設定に当たっては次の点に留意する必要がある。

a. 帯水層が複数分布する場合には、堤防の安全性の評価では地表に最も近い帯水層の地下水位が重要である。

b. 土質調査から得られた地下水位が局所的な地形や土質状況等に影響されたものではないことを確認する。

c. 確認された地下水位が出水期の平均的なものであるか不明確な場合、あるいは出水期の平均地下水位が堤内地盤面下 0.5m 以深にある場合には、堤内地盤面の下方 0.5m（堤内地盤高－0.5m）程度に初期地下水位を設定する。

(5) 外力の設定

浸透に対する安全性照査では、外力として洪水時の降雨波形、および河川水位波形の両者の組合せを設定する。

① 降雨量とその波形の設定

設定に当たっては次のような手順で設定する。

a. 原則として当該河川の計画降雨量（総降雨量）を用いる。

b. 降雨強度は 10mm/hr 程度を標準とする。

c. a. で設定した総雨量と、b. で設定した降雨強度を基に長方形の降雨波形を設定する。

② 河川水位（外水位）波形の設定

日本の河川は、洪水継続時間が短いことから原則として非定常状態の河川水位を用いて安全性を照査することとし、河川水位波形（基本水位波形）を設定する。

a. 基本水位波形の作成法

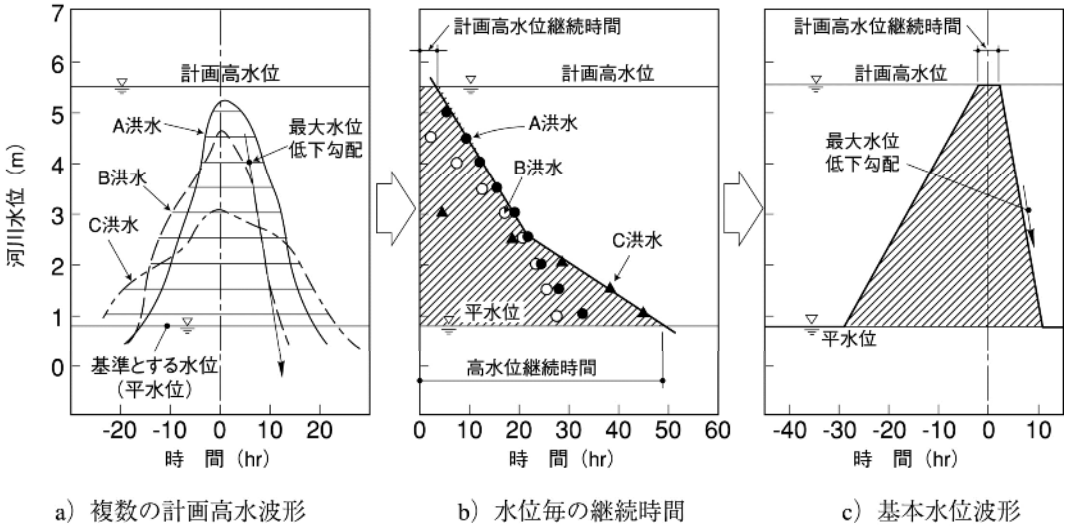
安全性の照査に用いる基本水位波形の設定手順は次のとおりである。

ｲ. 図 2-3-9 a）の複数の波形のそれぞれについて基準となる水位（原則として平水位）毎の 継続時間を求め 同図 b）を作成する。

ﾛ. 図 2-3-9 b）の継続時間を包絡（外挿）するような直線を描き、この包絡線で囲まれる部分の面積を求める。ここで、包絡線が図 2-3-10 に示すように計画高水位に達しない場合には、同水位の継続時間が 1 時間になるような包絡線を設定する。

ﾊ. 図 2-3-9 a）の複数の水位波形の中で、洪水末期の水位低下勾配（水位低下速度）の最大のものを抽出し、その勾配を求める。

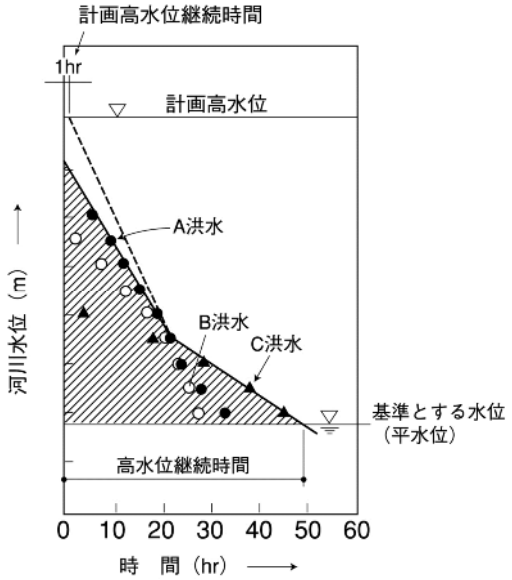
ﾆ. ﾛ. およびﾊ. を基に、計画高水位の継続時間および水位低下勾配（水位低下速度）を決定した上で図 2-3-9 c）に示すように、ﾛ. と波形面積が同等となるよう洪水立ち上がり時間を定め、台形ないし台形に近い波形を作成し、これを基本波形とする。



〔構造検討の手引き 4.3〕

図 2-3-9　河川水位波形（基本水位波形）の設定方法

ﾎ. 図 2-3-9 に示す方法で計画高水位または当面の整備目標として設定する洪水時の水位に到達しない場合。

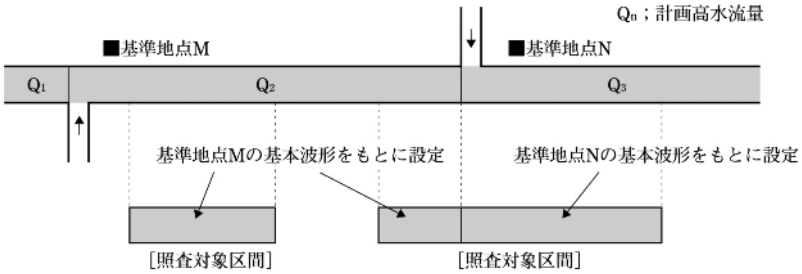


〔構造検討の手引き 4.3〕

図 2-3-10　基本水位波形の設定法

b. 代表断面の水位波形の設定

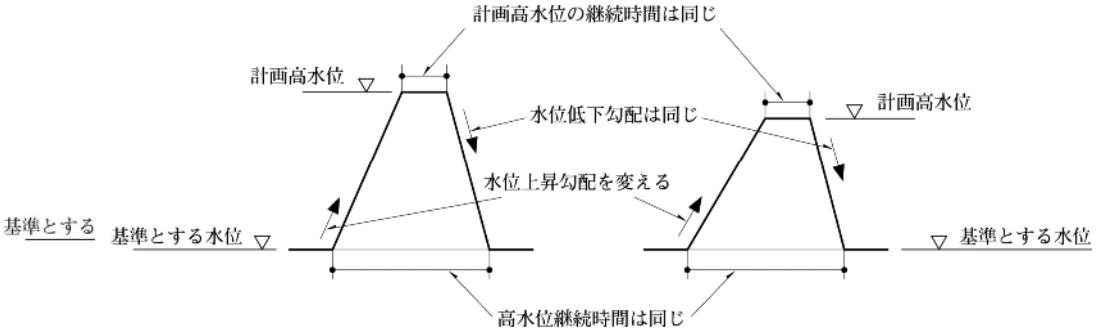
ｲ. 代表断面の水位波形は、図 2-3-11 に示すように、計画高水流量が同一の区間については、その区間下流の基準地点において作成した基本水位波形を適用する。



〔構造検討の手引き4.3〕

図 2-3-11 照査対象区間ごとの水位波形の設定方法

ﾛ. 計画高水位と基準とする水位（平水位）の差が基準地点のそれと異なる場合には、区間内の流量の変化はないものとして図 2-3-12 に示すように、計画高水位の継続時間、高水位継続時間（平水位以上の水位継続時間）および水位低下勾配（速度）は変わらないものとして、水位上昇勾配を調整し、照査対象断面（箇所）の計画水位と平水位に対応した水位波形を設定する。



a）基準地点で作成した基本水位波形　　b）代表断面に設定する波形

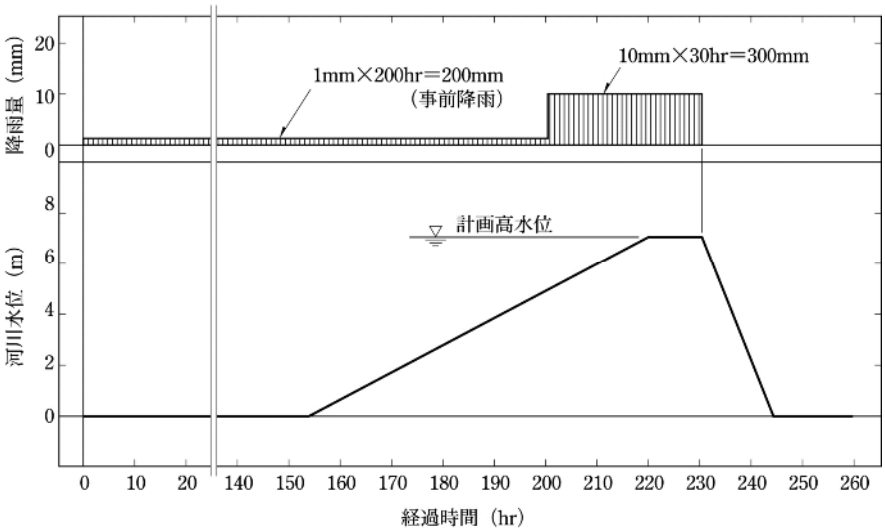
〔構造検討の手引き4.3〕

図 2-3-12 計画高水位と基準とする水位の差が基準値地点と異なる断面の水位波形の設定法

ﾊ. 計画堤防高に達していない堤防を対象として安全性の評価を行う場合には、計画高水位を当面の整備目標とする洪水時の水位と読み替えて水位波形を設定する。

③ 降雨と河川水位（外水位）の波形の組合せ

堤体内の浸潤面の高さは、河川水位波形と降雨波形の重なり方、すなわち組合せ方によって変化する。このため、河川水位と降雨の組合せは、過去の洪水における組合せの実態等、地域の特性を考慮して適切に設定する必要があるが、設定にあたって適当な資料がない場合には、図 2-3-13 に示すように、計画高水位もしくは当面の整備目標として設定する洪水時の水位の終了時点と降雨終了時点が一致するように組合せる。



〔構造検討の手引き 4.3〕

図 2-3-13　降雨と河川水位波形の組合せ例

(6)　浸透流計算

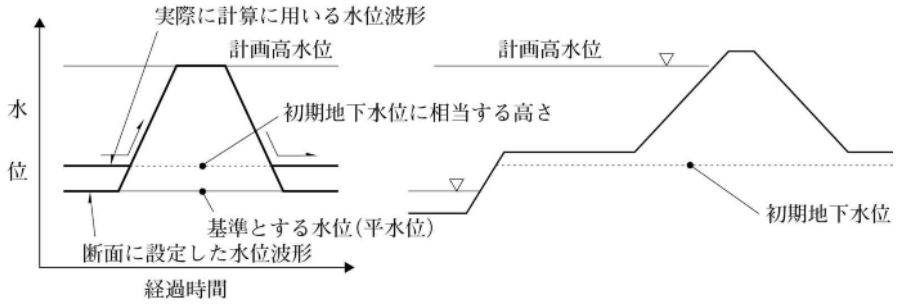
浸透に対する安全性照査では、モデル化した堤防について、設定した外力条件の基で非定常飽和・不飽和浸透流計算により浸潤面を算出する。

①　諸条件の設定

a.　計算時に用いる水位波形について

ｲ.　平水位が設定した初期地下水位より低い場合には、図 2-3-14 に示すように、設定した水位波形の初期地下水位に相当する高さ以上の部分を用いれば計算が効率的である。

ﾛ.　平水位が初期地下水位より高い場合には（極端な事例は天井川）、平水位で定常計算を行った後に所定の水位波形を与えるとよい。



a）評価対象断面に設定した水位波形　　b）堤防断面と水位条件

〔構造検討の手引き 4.3〕

図 2-3-14　初期地下水位が平水位より高い場合に用いる水位波形

b. 分割する要素の大きさ

ｲ. 堤体の鉛直方向の要素分割の幅（高さ）は、堤防の高さの 1/10 程度以下とする。

ﾛ. 基礎地盤における表層部分の要素分割の高さは、0.25～0.5m 程度の高さ以下とする。

c. 計算時間のステップ

外力条件が 1 時間毎となることから、基本的には計算時間ステップも 1 時間毎とする。

② 非定常浸透流計算の方法

実際に近い現象が再現できる非定常の飽和・不飽和浸透流計算を行なうことを原則とする。その基本式は次のとおりである。

$$\frac{\partial \psi}{\partial X}\left(K\frac{\partial \psi}{\partial X}\right)+\frac{\partial}{\partial Z}\left(K\frac{\partial \psi}{\partial Z}+K\right)=\left(C+\alpha\cdot S_s\right)\frac{\partial \psi}{\partial t}$$

ここに、 X ：堤防横断面の水平方向の軸

Z ：堤防横断面の鉛直方向の軸

K ：透水係数（m/hr）

ψ ：圧力水頭（m）

C ：比水分容量（水分特性曲線の接線勾配として与えられる）（1/m）

α ：飽和領域では 1、不飽和領域では 0

S_s ：比貯留係数（砂質土=1×10^{-4} 1/m、粘性度=1×10^{-3} 1/m程度を設定する）

t ：時間 （hr）

計算は、モデル化した堤防（堤体および基礎地盤）を対象に土質定数、初期条件および計算条件を設定するとともに、境界条件等を入力して実施する。

(7) すべり破壊に対する検討（安定計算）

浸透流計算によって得られた浸潤面の中から最も危険なものを抽出し、一般全応力法にもとづく円弧すべり法によってすべり破壊に対する最小安全率を算出する。

$$F_s=\frac{\sum\left\{c\cdot\ell+\left(W-ub\right)\cdot\cos\alpha\cdot\tan\phi\right\}}{\sum W\sin\alpha}$$

ここに、 F_s ：安全率

u ：すべり面の間隙水圧（kPa）

W ：分割片の重量（KN/m）

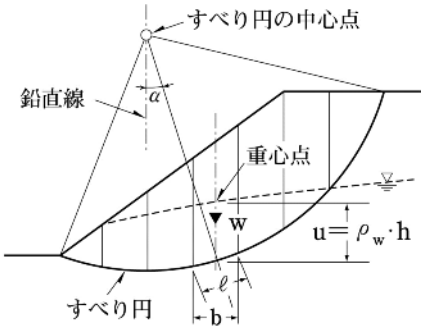
c ：すべり面に沿う土の粘着力（kPa）

ℓ ：円弧の長さ（m）

ϕ ：すべり面に沿う土の内部摩擦角（°）

b ：分割片の幅（m）

α ：円弧の中央におけるのり線と鉛直線のなす角度（°）



〔構造検討の手引き 4.3〕

図 2-3-15　円弧すべり法

一般全応力法は、実際と同じ応力条件と排水条件を与えたせん断試験を行って、いわゆる見かけの強度定数ｃ、φを求め、すべり面の間隙水圧を用いて安定計算を行う方法である。間隙水圧には、降雨・河川水等の浸透・排水による間隙水圧と、せん断に伴う土の体積膨張または体積収縮による間隙水圧等がある。計算式のすべり面の間隙水圧とは、浸透・排水による間隙水圧のことを意味し、テルツァーギはこの間隙水圧のことを‘中立間隙水圧’と形容している。一般全応力法では、強度定数を求める土質試験の中で、せん断に伴う間隙水圧が反映されていることから、計算式ではせん断に伴う間隙水圧を考慮しない。 円弧すべり法による安定計算には数多くの方法が提案されているが、ここで提示した計算式は修正フェレニウス式と呼ばれる。 安定計算においては、複数の円弧中心に対して最小安全率を求め、そのなかの最小値が計算断面に対する最小安全率となる。〔構造検討の手引き 4.3〕

①　裏のりのすべり破壊に対する安全性　〔河川堤防設計指針〕

裏のりが最も危険な時点は洪水時の降雨の終了時点あるいは河川水位が高水位近くにある時点が一般的である。

$F_s \geqq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$

ここに、Ｆｓ　：すべり破壊に対する安全率（小数点二位以下を四捨五入して基準値とする）

α_1　：築堤履歴の複雑さに対する割増係数

・築堤履歴が複雑な場合　α_1=1.2

・築堤履歴が単純な場合　α_1=1.1

・新設堤防の場合　α_1=1.0

α_2　：基礎地盤の複雑さに対する割増係数

・被災履歴あるいは要注意地形がある場合　α_2=1.1

・被災履歴あるいは要注意地形がない場合　α_2=1.0

築堤履歴の複雑な場合：築堤開始年代が古く、かつ築堤が数度にわたり行われている場合や履歴が不明な場合

要　注　意　地　形：旧河道、落掘跡等の堤防の不安定化につながる治水地形

②　表のりのすべり破壊に対する安全性　〔河川堤防設計指針〕

表のりが最も危険となるのは洪水期末期の河川水位が低下し、堤体内に浸透水が残留している時点である。

$F_s \geqq 1.0$　　ここに、Ｆｓ　：すべり破壊に対する安全率

(8) 基礎地盤のパイピング破壊（浸透破壊）に対する安全性

① 透水性地盤で堤内地に難透水性の被覆土層がない場合 〔河川堤防設計指針〕

パイピングに対する安全性照査に必要な局所動水勾配 i は、浸透流計算の結果から得られた全水頭 ψ あるいは圧力水頭 ϕ を基に、裏のり尻近傍の基礎地盤について次式によって算出し、鉛直方向ならびに水平方向の最大値を求める。図 2-3-16 参照

$$i_v = \frac{\Delta\psi}{d_v} = \frac{\Delta\phi - d_v\rho_w}{d_v}$$ （鉛直方向の局所動水勾配）

$$i_h = \frac{\Delta\psi}{d_h} = \frac{\Delta\phi}{d_h}$$ （水平方向の局所動水勾配）

ここに、 $\Delta\psi$ ：節点間の全水頭差（m）

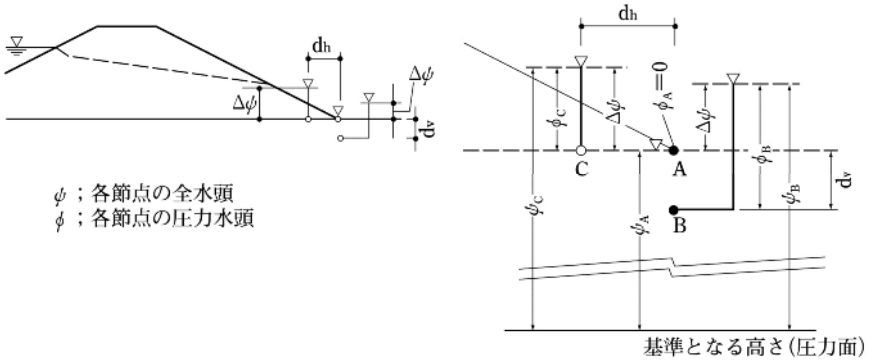
$\Delta\phi$ ：節点間の圧力水頭差（m）

d_v ：節点間の鉛直距離（m）

d_h ：節点間の水平距離（m）

ρ_w ：水の密度｛1.0t/㎥｝

パイピング破壊（浸透流破壊）に対する安全性の照査基準としては、局所動水勾配の最大値 i（鉛直方向、水平方向とも）について $i<0.5$ を満足するものとする。



〔構造検討の手引き 4.3〕

図 2-3-16 局所動水勾配の算出の考え方

② 透水性地盤で堤内地に難透水性の被覆土層がある場合 〔河川堤防設計指針〕

被覆土層（粘性土）の重量Gと被覆土層の基底面に作用する揚圧力Wを比較することによって、被覆土層が破壊するかの安全性を照査する。

なお、被覆土層厚が 3m 以上の場合や粘性土地盤の場合には浸透破壊に対する安全性の照査は原則的には不要である。

$$G / W = (\rho_t \cdot H) / (\rho_w \cdot P) > 1.0$$

ここに、 G ：被覆土層の重量（KN/m²）｛tf/m²｝

W ：被覆土層基底面に作用する揚圧力（KN/m²）｛tf/m²｝

ρ_t ：被覆土層の密度｛t/m³｝

H ：被覆土層の厚さ（m）

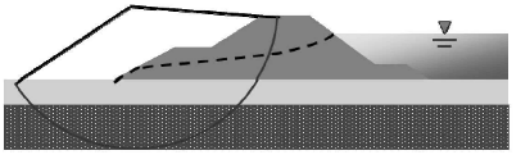
ρ_w ：水の密度｛1.0t/m³｝

P ：被覆土層底面の圧力水頭（全水頭と位置水頭の差）（m）

【コラム】浸透流解析におけるポイント

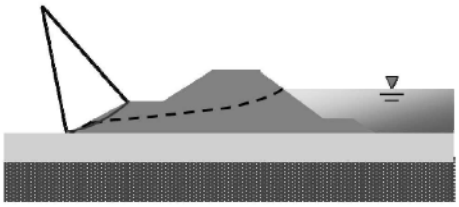
【円弧すべり計算のポイント】

○円弧すべり計算で最少安全率が得られた円弧の形状、位置について以下の点に着目してその妥当性を検討することが望ましい。



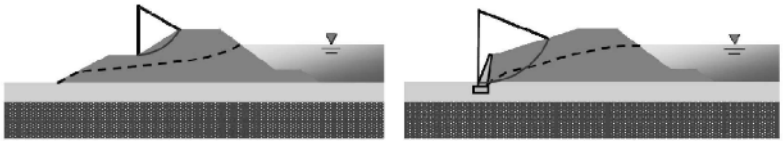
円弧が深すぎる例

（下の粘土層の強度が弱いことが原因．浸透問題ではなく，軟弱地盤の問題（盛土できるか，盛土の施工速度は，圧密沈下の周辺への影響は．）として検討（5.2 節の強度増加率を参照）．既設堤防では，深いすべりが発生することは考えづらいため，強度定数の設定を再検討すべき．）



円弧が浅すぎる例

（表層がすべる程度であれば，堤防の機能は大きく低下するわけではない．
砂質土では粘着力が小さく浅いすべりが発生し易く計算される．ただし，浅いすべりを端緒として大きなすべりに発展する進行性の崩壊も．）



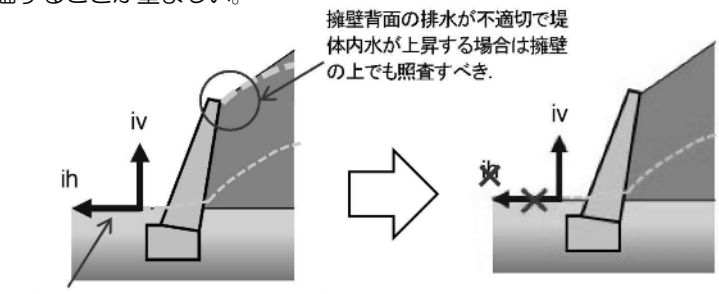
円弧は浸潤線を切るように　　円弧は擁壁を切らないように

（計算条件の設定に問題）

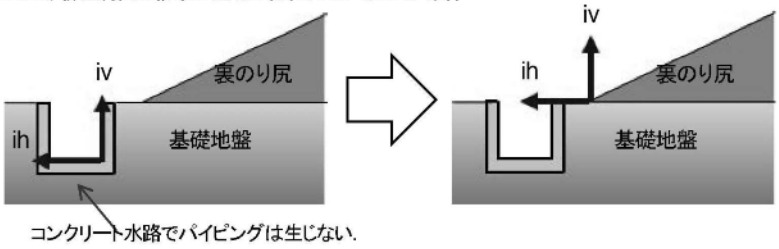
〔堤防浸透チェックポイント〕

【パイピング照査のポイント】

○堤脚部が擁壁など堅固な構造物の場合、水平方向に土粒子は動かないため、水平方向の局所動水勾配を除く評価項目で安全性を評価することが望ましい。



擁壁があることで，のり尻において水平方向のパイピングは生じないことから，鉛直方向のみの照査とするべき．
ただし，擁壁背面の排水が適切に行われていることが条件



〔堤防浸透チェックポイント〕

5) 強化工法の設計 〔構造検討の手引き 4.4〕

(1) 強化の基本的な考え方

浸透に対して所要の安全性を満たしていない区間については、浸透に対する堤防強化工法の設計を行い、所要の安全性を確保するものとする。

堤防の浸透に対する堤防強化を図る基本的な考え方は次のとおりである。

① 堤体にはせん断強さの大きい材料を使用する。（堤体のせん断強さを増す）

② 堤体内に浸透した水（降雨および河川水）を速やかに排水する。

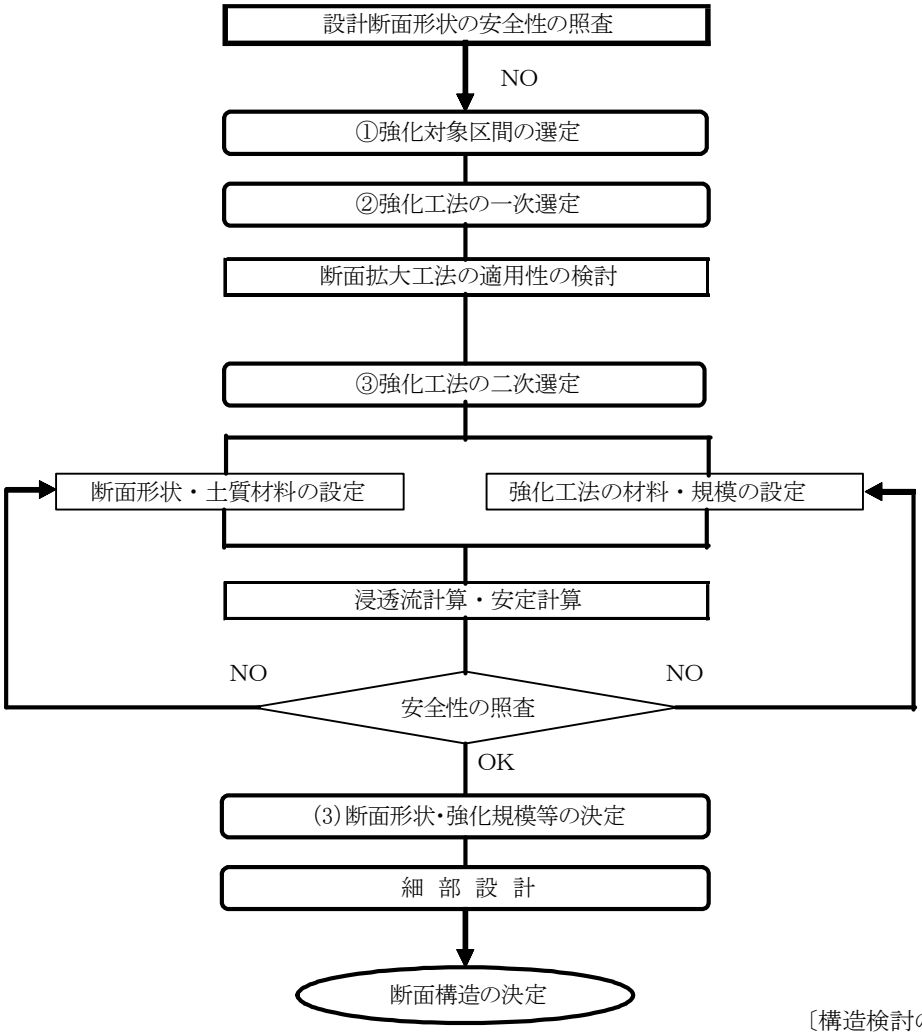
③ 堤体および基礎地盤の動水勾配を小さくする。（特に裏のり尻近傍）

④ 堤体内に降雨および河川水を入れない。（降雨および河川水の浸透を抑制、防止する）

浸透に対する強化工法の設計にあたっては、以上の考え方を基本に、洪水の特性、築堤の履歴、土質特性、背後地の土地利用状況、効果の確実性、経済性および維持管理等を考慮して適切な工法を選定し、決定する必要がある。

(2) 強化工法の設計手順

浸透に対する強化工法の設計は、図 2-3-17 の手順で実施する。



〔構造検討の手引き 4.4〕

図 2-3-17 浸透に対する強化設計の手順

① 代表断面を対象とした安全性の照査結果に基づいて強化対象区間を設定する。

② 強化対象区間の諸条件、すなわち洪水特性、堤防の現況（断面形状や土質条件）、背後地条件（地形や土地利用）等を整理し、強化工法を一次選定する。

ここで一次選定とは、当該区間に適用が可能と判断される工法を選定することで、浸透に対する安全性の阻害要因を十分に分析するとともに、浸透以外の侵食あるいは地震に対する強化が別途必要な場合には、浸透に対する強化工法との調整も考慮しておく必要がある。一次選定の段階では、強化方法を一つに絞り込む必要はなく、明らかに適用が困難と判断できるもの、非現実的と考えられるものを除外すればよい。なお、堤防の幅を広げてのり面を緩傾斜する断面拡大工法は、既設の堤防や基礎地盤とのなじみがよく、環境面や維持管理面でも有利となるので、用地の制約が厳しい区間を除けば、優先的に選定することが望ましい。この場合、川表側の拡大に対しては、現況堤防より透水性の小さい築堤材料を、また川裏側の拡大に対しては、透水性の大きい築堤材料を用いることが堤防の安全性向上につながる。

③ 強化工法の二次選定は、一次選定された強化工法を当該区間の断面に適用し、すでに述べた安全性の照査方法に準じて強化工法の規模や材料を決定する。ここで所要の安全性が確保できる工法とその規模や材料が決定されれば、施工性、経済性、維持管理のし易さ等を比較して強化工法の絞り込みを行う。そして最終的には細部設計を実施して断面構造を決定し、強化工法の設計を終了することになる。なお、強化工法の設計では各種の土質材料や人工材料を扱うので、それぞれを土質材料に置き換えて定数を設定し、安全性を確認することになる。その際に用いる土質定数の目安値を表 2-3-6 に示す。

表 2-3-6 強化工法に用いる材料の土質定数の目安

1材 料		浸透流計算に必要な定数		安定計算に必要な定数		
		飽和透水係数 ks（cm/sec）	比貯留係数 Ss（1/m）	密 度 ρ_t(t/m^3)	粘着力 c（kN/ m^2）	内部摩擦角 ϕ（°）
土質材料	砂質土	1×10^{-3}	1×10^{-4}	実際に用いる材料に応じて設定する。		
	粘性土	1×10^{-5}	1×10^{-3}			
砕 石		1×10^{-1}	1×10^{-4}	2.0	(1.0)	40
アスファルト		1×10^{-5}	1×10^{-3}	安定計算では考慮しない（強度を見込まない）		
遮水シート		1×10^{-8}	1×10^{-3}			
鋼 矢 板		1×10^{-7}	1×10^{-3}			

注1） 遮水シート、鋼矢板の飽和透水係数はそれぞれ厚さ 1mm、1cm に対するものであり、計算では

4)（3）③c．「浸透対策工のモデル化」に示すようにモデルの厚さに応じて設定する必要がある。

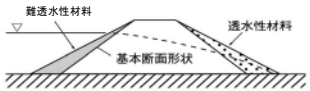
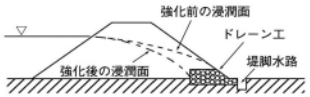
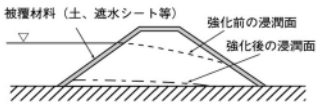
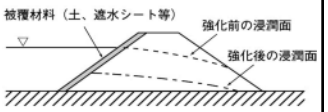
2） 砕石の飽和透水係数はフィルター材料を含めた値

〔構造検討の手引き 4.4〕

(3) 強化工法の選定

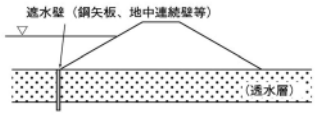
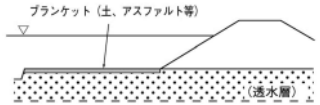
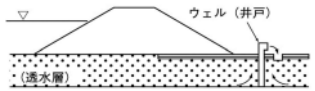
河川堤防の浸透に対する強化工法は、堤体を対象とした強化工法と、基礎地盤を対象とした強化工法に分けられ、表 2-3-7（1）、（2）のように整理することができる。

表2-3-7 (1) 浸透に対する堤防強化工法の種類とその特徴

	代表的な工法	強化の原理・効果	計画・設計上の留意点	施工上の留意点	維持管理上の留意点	その他
堤体を対象とした強化工法	断面拡大工法  	・堤防断面を拡大することにより浸透路長の延長を図り、平均動水勾配を減じて堤体の安全性を増加させる。 ・のり勾配を緩くすることによりすべり破壊に対する安全性を増加させる。 ・川裏のり尻近傍の基礎地盤のﾊﾟｲﾋﾟﾝｸﾞを防止する押え盛土としての機能も兼ねる。	・川表側および川裏に用地を必要とする。この場合、川表については河積の確保、川裏については用地の確保に留意する。 ・築堤材料は、川表側の拡大では既設堤体よりも難透水の材料、川裏側の拡大では既設堤体より高透水性の材料を使用する。 ・基礎地盤が軟弱地盤の場合には、既設堤防への影響（天端のｸﾗｯｸ等）について検討する。	・築堤材料が容易に入手できることが望ましい。 ・既設堤体とのなじみをよくするため段切等を行う。	・軟弱地盤では堤体が沈下することが考えられるため、天端の沈下量を継続的に計測し、天端高の確保、ｸﾗｯｸ等の発生等を管理する。	・他の強化工法と併用しやすい。 ・有効上載圧が増加するためある程度の液状化防止効果が期待でき、また緩傾斜化により地震時の安定性は向上する。
	ドレーン工法  	・堤体の川裏のり尻を透水性の大きい材料で置換え、堤体に浸透した水を速やかに排水する。 ・堤体内浸潤面の上昇を抑制し、堤体のせん断抵抗力の低下抑制する。 ・のり尻部をせん断強度の大きいﾄﾞﾚｰﾝ材料で置き換えるための安定性が増加する。	・堤体の透水係数が10^{-3}～10^{-4}cm/secのｵｰﾀﾞｰの場合に特に有効である。 ・堤脚水路が必要である（用地を確保する必要がある）。 ・ﾄﾞﾚｰﾝ工の厚さは0.5m以上とし、幅（奥行）は平均動水勾配が0.3以上とならないよう設定する。 ・ﾄﾞﾚｰﾝ材料には礫または粒調砕石を用い、周囲をﾌｨﾙﾀｰ材料（通常は人工材料）で被覆する。	・堤体との間及びﾌｨﾙﾀｰ材料の継目に隙間が生じないよう留意する。 ・重機等によりﾌｨﾙﾀｰ材料（人工材料）を損傷しないよう留意する。	・効果の長期的な安定性を確認するた堤体及びﾄﾞﾚｰﾝ工内に水位観測孔を設置することが望ましい。 ・出水時や多量の降雨時には排水の状況を観察し、出水後は土砂の流出等の有無を点検する。	・緑化のために覆土する場合には、ﾄﾞﾚｰﾝ内への流入防止に注意する。 ・間隙水圧を消散するため液状化の防止にもある程度有効である。
	全面被覆工法  	・堤体全体を難透水性材料（土質材料あるいは人工材料）で被覆することにより、降雨及び高水位時の河川水の堤体への浸透を抑制する。	・被覆材料（土質材料または遮水ｼｰﾄ等の人工材料）のすべりに対する安定計算を検討する。 ・遮水ｼｰﾄを用いる場合には、覆土やｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ等によりｼｰﾄの残留水圧による浮き上がりと劣化を防止する。 ・排水不良による堤体の湿潤面を防止するための排水対策や空気圧の増大を防止するための排気対策を考慮する必要がある。	・土質材料を用いる場合には、既設堤体とのなじみをよくするため段切を行う。 ・遮水ｼｰﾄの継目、及び端部の施工に留意する。 ・覆土は十分に締め固める。	・土質材料を用いる場合は、乾燥によるｸﾗｯｸの発生に留意する。 ・遮水ｼｰﾄを用いる場合には、杭打ちや草木等の根の発育による損傷に留意する。 ・表のり尻付近に浸透水が滞留しやすいので、のり尻付近のはらみ出し留意する。	・天端や小段を被覆するだけでも降雨浸透を抑制する効果が期待できる。 ・遮水ｼｰﾄを用いた場合は地震後に変形や損傷の有無を確認する必要がある。
	表のり面被覆工法  	・表のり面を難透水性材料（土質材料あるいは人工材料）で被覆することにより、高水位時の河川水の表のりからの浸透を抑制する。	・透水性の大きい礫質土や砂質土の堤体で効果が期待される。 ・被覆材料(土質材料または遮水ｼｰﾄ等の人工材料)のすべりに対する安定計算の検討が必要である。 ・遮水ｼｰﾄを用いる場合には、覆土やｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ等によりｼｰﾄの残留水圧による浮き上がりと劣化を防止する。 ・難透水性地盤の場合は排水対策を要する。	・土質材料を用いる場合には、既設堤体とのなじみをよくするため段切を行う。 ・遮水ｼｰﾄの継目、及び端部の施工に留意する。 ・覆土は十分に締め固める。	・土を用いる場合は、乾燥によるｸﾗｯｸの発生に留意する。 ・遮水ｼｰﾄを用いる場合には、杭打ちや草木等の根の発育による損傷に留意する。 ・表のり尻付近に浸透水が滞留しやすい点に留意する。	・遮水ｼｰﾄを用いた場合は地震後に変形や損傷の有無を確認する必要がある。

［構造検討の手引き 4.4］

表2-3-7（2） 浸透に対する堤防強化工法の種類とその特徴

	代表的な工法	強化の原理・効果	計画・設計上の留意点	施工上の留意点	維持管理上の留意点	その他
基礎地盤を対象とした強化工法	川表遮水工法  	・川表のり尻に止水矢板等により遮水壁を設置することにより、基礎地盤への浸透水量を低減する。	・浸透水量を半減させるためには、止水壁を透水層厚の80～90%まで貫入させる必要がある。 ・止水壁の材料としては、鋼矢板、軽量鋼矢板、薄型鋼板や連続地中壁が用いられる。	・止水壁の打設法は周辺の環境に配慮して選定する。 ・止水壁の接合部の施工に留意する。 ・既設堤体と止水壁頭部の接合部の処理に留意する。	・土中に止水壁を設置するので、基本的には維持管理を必要としてない。	・地下水流を遮断するので、周辺への影響を検討する必要がある。 ・側方を拘束するため、川表側の液状化による変形に対してはある程度の効果が期待できる。
	ブランケット工法  	・高水敷を難透水性材料（主として土質材料）で被覆することにより、浸透路長を延伸させ、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。	・高水敷が礫質土や砂質土の場合に効果が期待される。 ・ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ長は30m以上である程度の効果が期待できる。 ・土質材料（良質土）を用いる場合は洗掘防止のため厚さは50cm以上とし、張芝で被覆する必要がある。	・土質材料を用いる場合には、止水性を高めるために十分な締め固めを行う。 ・既設堤体とﾌﾞﾗﾝｹｯﾄの接合部の処理に留意する。	・土質材料を用いる場合は、乾燥によるｸﾗｯｸの発生に留意する。 ・表のり尻付近に浸透水が滞留しやすい点に留意する。	・耐震性の向上にはつながらない。ただし、高水敷が新設される場合には川表側の上載圧が増加し、液状化に対するある程度の効果が期待できる。
	ウェル工法  	・基礎地盤からの浸透水を裏のり尻に設置した減圧井戸等で排水することにより、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。	・井戸及び堤脚水路を設置する必要があり、そのための用地が必要である。 ・短期的、応急的な対応として、天井川や扇状地河川で適用を考えるとよい。	・井戸等は目詰まりを生じない構造とする。	・土砂の流出やﾌｨﾙﾀｰ材料の目詰まりに留意する。 ・ﾎﾟﾝﾌﾟの稼動を制御する施設が必要である。	・周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。

［構造検討の手引き 4.4］

2-3-2　侵食に対する堤防の設計

1）　設計の方針および手順

(1)　設計方針

河川堤防は流水の侵食作用に対して安全な構造となるよう設計する。

①　護岸工がない場合は、堤防表のり面、のり尻表面の直接侵食に対する安全性、および主流路（低水路等）からの側方侵食、洗掘に対する安全性が確保されているかを照査する。

②　護岸工がある場合は、護岸を構成する、のり覆工、基礎工、根固工のそれぞれについて、設定した外力のもとで力学的な安定性を照査し侵食に対する安全性が確保されているか否かを判断する。

③　侵食に対する堤防強化が必要と認められた場合には、侵食に対して所要の安全性を確保できるような護岸工種や細部構造を検討する。

④　侵食作用としては、流体力によるものの他に、流木や波浪によるものもあるが、このような侵食作用が想定される場合には別途検討が必要である。

(2) 設計手順

侵食に対する堤防の設計の手順を図 2-3-18 に示す。

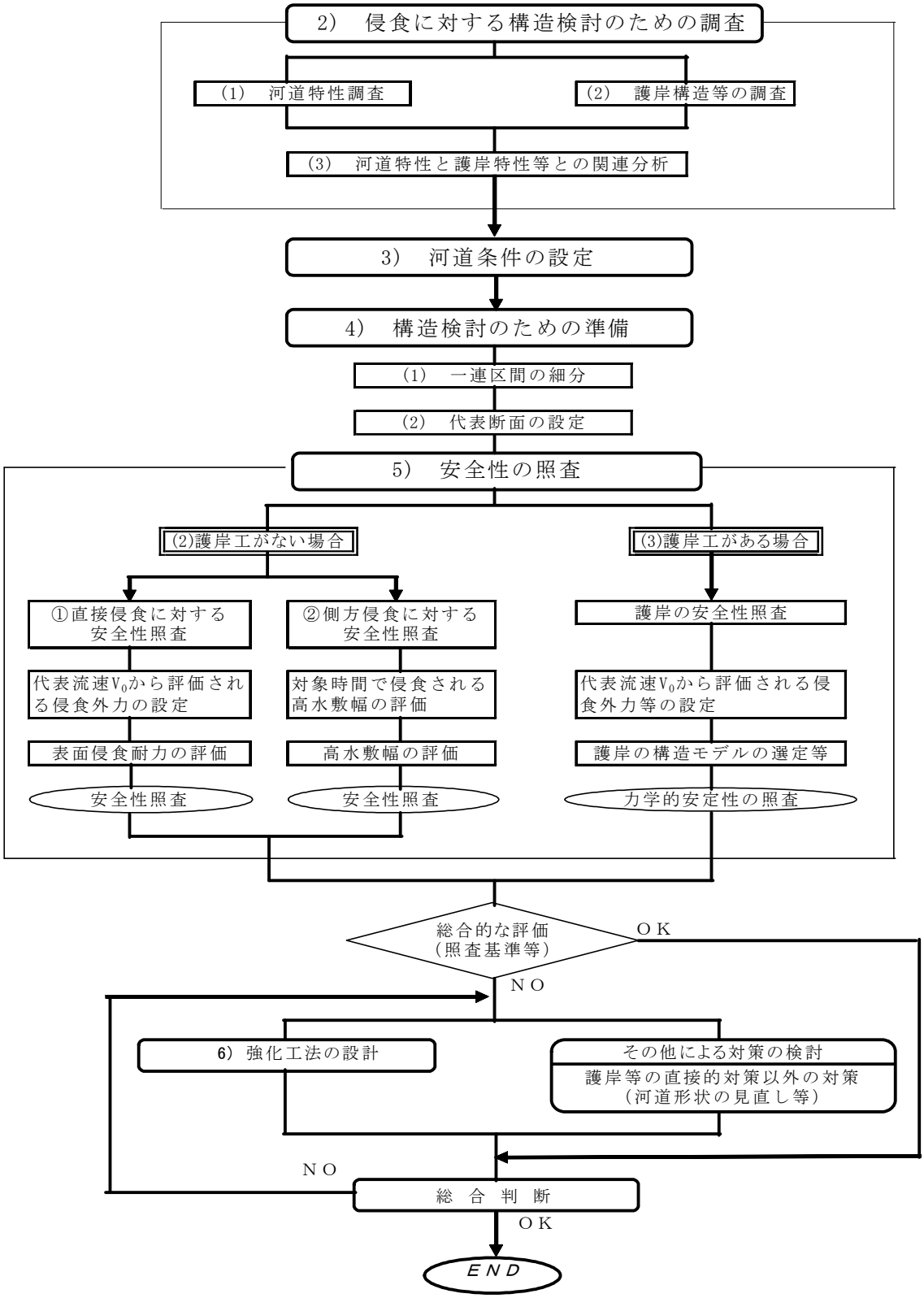


図 2-3-18 侵食に対する堤防の設計の手順

2) 侵食に対する構造検討のための調査 〔構造検討の手引き 3.3〕

(1) 河道特性調査

河道特性調査では、以下の内容について調査を実施する。

① セグメント分類

a. セグメント区分の方法

河道のセグメント分類は河道特性を評価するひとつの指標であり、表 2-3-8 に示すように、河床勾配や河床材料等を基に河道を分類するもので、セグメント分類からは河岸の侵食の程度を類推することができる。ここでは、同表を基に現況の河床勾配および河床材料の代表粒径に着目し、照査対象区間について河道を分類する。

表 2-3-8 河道のセグメント分類とその特徴

	セグメントM	セグメント１	セグメント２		セグメント３
			２－１	２－２	
地形区分	← 山間地 → ← 扇状地 → ← 谷底平野 → ← 自然堤防 → ← デルタ →				
河床材料の代表粒径d_R	さまざま	２㎝以上	1～3㎝	10～0.3㎜	0.3㎜以下
河床構成物質	河床河岸に岩が出ていることが多い。	表層に砂・シルトが乗ることがあるが薄く、河床材料と同一物質が占める。	下層は河床材料と同一で、細砂・シルト・粘土の混合物。		シルト・粘土。
勾配の目安	さまざま	1/60～1/400	1/400～1/5000		1/5000～水平
蛇行の程度	さまざま。	曲りが少ない。	蛇行が激しいが、川幅水深比が大きい箇所では８字蛇行または島発生。		蛇行が大きいものがあるが、小さいものもある。
河岸侵食の特徴	・直線河道であればどこの河岸も侵食され得る。 ・侵食箇所の予測は困難。	・砂礫堆（砂洲）による水衝部で侵食が発生することが多い。 ・河道の平面形によっては水衝部が固定する、したがって、侵食危険箇所が固定性か移動性か、移動速度が速いか遅いかを把握することが重要。	・侵食量はセグメント１ほど大きくない。 ・川幅水深比が小さな河川では、河道平面形によって侵食箇所が規定されている場合が多く、基本的には湾曲部外岸側が要注意。		・砂洲はほとんど発生しないため、侵食発生箇所は河道平面形に規定され、基本的には湾曲部外岸側が要注意。 ・侵食量は少ない。 ・舟運が盛んな河川では航行波による河岸侵食も考慮する必要がある。
低水路の平均深さ	さまざま	0.5～3m	2～8m		3～8m

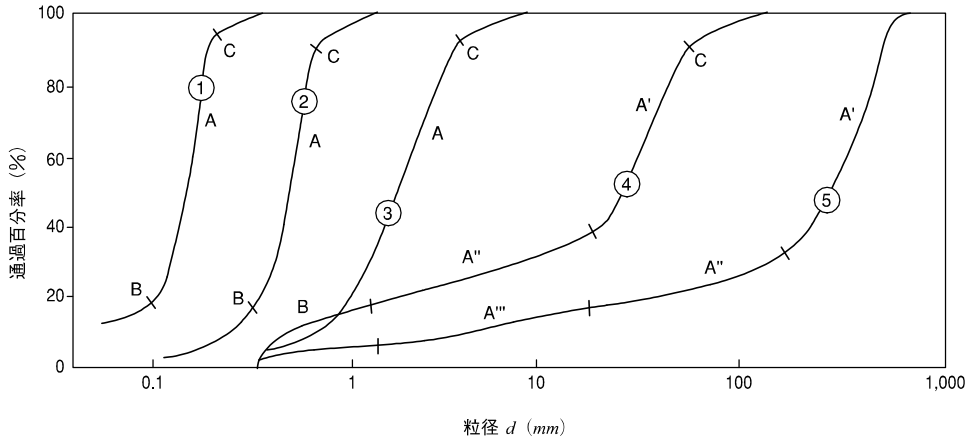
〔構造検討の手引き 3.3〕

b.　河床材料の代表粒径　〔力学設計 2-1〕

河床材料の代表粒径 d_Rは、河床材料の変動のしやすさを考慮して河床材料の粒径加積百分率分布形の変曲点に留意して河床材料の集団をＡ～Ｃに分類し、通常は、60%通過粒径を d_{60} で与える。

ただし、図 2-3-19 に示すように、A”集団以下の材料が 30%以上を占めるような場合は、Ｃ集団とA”集団のみからなる河床材料の粒径加積分布曲線を新たに作成し、その 60%通過粒径（d_{60}）を求め、これを代表粒径 d_Rとする。代表粒径 d_Rは、平均粒径 d_mもしくは 60%粒径で与える。

なお、河床材料の調査地点、サンプル数等の調査方法については、河川砂防技術基準 調査編を参照されたい。



〔力学設計 2-1〕

図 2-3-19　種々の粒度分布における集団区分点

表 2-3-9 代表粒径 d_R の求め方

河床材料の d_{60}	代表粒径 d_R
1 ㎝以下	d_{60} を採用する。
1 ㎝以上	A‴集団以下の材料が 30%未満である場合は、d_{60}を採用して良いが、できれば 30%以上の場合と同様とする。 A‴集団以下の材料が 30%以上を占める場合は、A′ 集団とＣ集団を対象として、新たに粒度分布を作成し、その平均粒径 d_{60} を代表粒径とする。

〔力学設計 2-1〕

②　河道線形

河道の平面形状をもとに、直線部か曲線部かを調査し、平均河道幅Ｂおよび河道中心における曲率半径γを把握する。ここでは、曲率半径ｒと川幅Ｂの比が５以上の場合であれば直線部とみなす。

③　河道状況

a.　河床変動の調査では、最深河床高の経年的な変化を縦断的に整理し、河床の変動を評価する。また、護岸工については、基礎工の根入れ高や根固工の施工高を併せて記録するとよい。

b.　河道状況の調査では、併せて澪筋、砂洲のパターンや配置の変化、近年の洪水や被災の発生状況を把握しておくことも重要である。

④　堤防および高水敷の諸元

a.　堤防については、諸元の他に護岸の有無も把握する。

b.　高水敷については、低水河岸高H、および高水敷幅ｂについて把握する。

⑤　既往の洪水データ

既往の主要洪水のデータを整理し、流量、流速、流況、洪水継続時間等の洪水特性を把握する。

(2)　護岸構造等の調査

護岸構造等の調査では、以下の項目について調査を実施する。

①　護岸の現況

護岸の種類については、高水護岸と堤防護岸に区分する。

②　護岸工の工種および諸元

護岸工の工種や諸元については、時期を異にする河床縦断の測量結果と併せ、縦断図として整理しておくとよい。**護岸工の基本的な工種区分は表 2-3-10 に示すとおりである。**

表 2-3-10　護岸工の基本的な工種区分

のり覆工	基礎工	根固工
①張り護岸 **②積み護岸** **③擁壁護岸** **④矢板護岸** **⑤連節ブロック護岸** **⑥篭護岸** **⑦その他**	**①鋼矢板基礎工** **②直接基礎工** **③のり覆工と一体型** **④その他**	**①ブロック層積み** **②ブロック乱積み** **③捨石工** **④籠工** **⑤木工沈床工** **⑥粗朶沈床工** **⑦その他**

③　護岸工の変状状況

護岸工の変状状況の確認を目的として表 2-3-11 に示す内容の調査を実施する。

表 2-3-11　護岸等の変状調査の内容

調査対象	調査部位	調査内容
高水護岸	のり覆工	①亀裂の有無 ②部材の劣化 ③のり面の陥没 ④すり付け部の侵食
堤防護岸 （低水護岸）	のり覆工	高水護岸に準ずる
	基 礎 工	①根浮き ②沈下
	根 固 工	①流出 ②崩れ
護岸なし	の り 面	植生の侵食・剥離

〔構造検討の手引き 3.3〕

④　被災履歴

a.　既往の侵食による堤防の被災、および河岸の被災について調査する。調査の内容は被災箇所、被災回数（同一箇所あるいは近傍の区間に複数回の被災がある場合）、被災部位(のり覆工、基礎工、根固工)等。

b.　ここでいう被災とは、災害復旧事業またはそれに類するような被災が対象で、低水河岸の被災については原則として調査の対象から除外する。

⑤　既往の検討資料

既往の侵食に対する設計あるいは検討内容等を整理する。

(3) 河道特性と護岸特性等の関連分析

① 堤防の耐侵食性は、河道特性調査と護岸構造等の調査の結果関連を個別にみるにとどめず、両者を関連させて整理、分析することが大切である。

② 河道特性および護岸構造等に関する調査の結果は、堤防の設計に利用しやすいよう、平面図、縦断図にとりまとめる。

とりまとめ例 a. 治水地形分類図上に堤防の現況、構造物の位置や設置時期、被災の履歴等。

b. 縦断図には、河道の特性、堤防の形状、外力の特性、土質条件等を整理する。

3) 河道条件の設定

侵食に対する堤防の設計にあたっては、前提とする河道条件を明確にしておく必要がある。

河道条件としては、①現況河道 ②種々の改修進捗段階での河道 ③自然の河岸侵食による平面形変化がある程度進んだ後の河道等が考えられる。

4) 構造検討のための準備 〔構造検討の手引き 5.2〕

(1) 一連区間の細分

侵食に対する堤防の構造検討にあたっては、河道条件を設定した上で、河道特性および護岸構造等の調査結果を指標として図 2-3-20 のようにして一連区間を細分する。

(左岸)

距 離 (km)		(下流側) ←														→ (上流側)
a)河道のセグメント分類		セグメント 2−2			セグメント 2−1									セグメント 1		
b)河道(堤防)の平面形状		直線	Ri	直線			Ro	直線		Ri	直線				Ro	直線
c)高水敷諸元						N			N			N			N	
d)被災履歴を有する個所						●			●						●	
e) 既設護岸	高水護岸															
	堤防護岸															
	低水護岸															
一連区間の細分		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮

注1) Ri：湾曲部内岸、Ro；湾曲部外岸

2) N：例えば、[高水敷幅 b／高水敷水深 H_{fp}] の比からみて危険とされる区間（後出）

〔構造検討の手引き 5.2〕

図 2-3-20 一連区間の細分の例

(2) 代表断面の選定

侵食に対する堤防の構造検討では、細分された区間ごとに、侵食に対して最も危険と考える断面を１断面以上選定する。最も危険な断面とは、基本的には細分区間内で流速が速い、洪水時の河床変動が大きい、高水敷幅が狭いなど、耐力が最も小さくなる断面である。

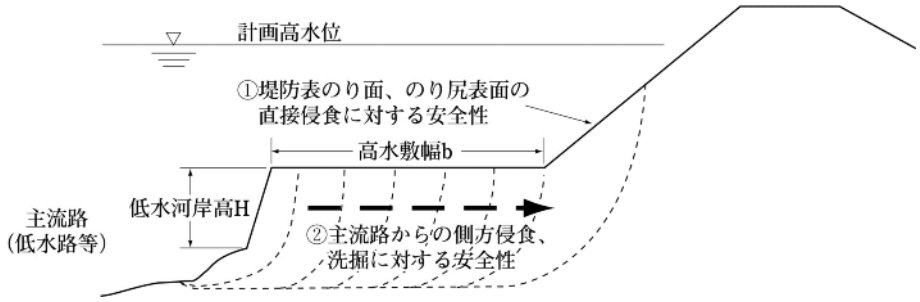
5) 安全性の照査 〔構造検討の手引き 5.3〕

(1) 外力の設定

耐侵食機能の照査検討では、照査外力として代表流速を設定する。代表流速としては、計画高水位（当面の整備目標とする洪水時の水位が定められている場合はその水位）以下の水位時において、最も早い平均流速に湾曲等による補正係数を乗じて算出する。**本編 3-1-4 1）によるものとする。**

(2) 護岸工がない場合

侵食に対する堤防の破壊の状況は、一般に図 2-3-21 に示すように、① 堤防表のり面やのり尻付近に流水が直接作用して表面を被覆する植生を削剥し、堤体を構成する土砂が流失して破壊に至るものと、②主流路（低水路等）からの側方侵食、洗掘により破壊に至るものとに大別できる。



〔構造検討の手引き 5.3〕

図 2-3-21 侵食による堤防破壊の模式図

① 堤防表のり面、およびのり尻表面の直接侵食に対する安全性

照査基準は、表面侵食耐力＞代表流速から評価される侵食外力とする。〔河川堤防設計指針〕

a. 植生による表面侵食耐力 u_{*c} は、流水によるせん断力が作用する継続時間 t と平均根毛量 σ_o をパラメータとして次式により求める。

$$u_{*c} = \frac{Z_{brk}}{\alpha} \cdot \frac{1}{\log t}$$

ここに、 u_{*c} ：表面侵食耐力（摩擦速度）（m/s）

t ：せん断応力が作用する継続時間（min）

Z_{brk} ：許容侵食深（芝の根毛は表層から 2～3cm の所に集中している）（cm）

α ：侵食されやすさを表わすパラメータ（$=-50 \cdot \sigma_o + 9$）

σ_o ：平均根毛量（gf/cm³）〔地表面から深さ 3cm までの単位体積当りの土中に含まれる根および地下茎の総重量とする〕

b. 侵食外力 $u_{*\max}$ は、代表流速 V_o と流速係数 ϕ との関係より次式で求める。

$$u_{*\max} = V_o / \phi$$

ここに、 $u_{*\max}$ ：最大侵食外力（m/s）

V_o ：代表流速（m/s）

ϕ ：流速係数 $=(1/n) \cdot \left(H_d^{1/6} / \sqrt{g}\right)$ 〔水理公式集 第 2 編 2.2〕

n ：マニングの粗度係数

H_d ：設計水深（m）

c.　簡便法による侵食外力

流速が時間的に変化する場合には、以下の簡便法によって安全性を照査する。

簡便法は次の仮定に基づいている。

ｲ.　水位波形がピーク水位を頂点とする三角形で近似できる。

ﾛ.　水位の変化にともなって流速が増減する。

上記の仮定が当てはまる場合、侵食外力の平均値 u_{*ave} はピーク値 $u_{*\max}$ の約 82%に対応するとしている。

$$u_{*ave} = 0.82 \cdot u_{*\max}$$

以上から $u_{*c} > u_{*ave}$ であれば堤防のり面、およびのり尻表面の直接侵食に対する安全性は確保されていると評価する。

なお、上式は以下のような条件の場合に適用できることに留意する必要がある。

・　イネ科の植物が優先種である植物群落が繁茂している。（根の直径が最大でも 1mm 程度）

・　モグラ穴に代表される裸地部がほとんどなく、植物により一様に被覆されている。

・　地面の構成材料がシルトないしシルト混り砂である。

・　摩擦速度 u_* が 27cm 以下である。

・　平均根毛量 σ_o が 0.02～0.12 gf /cm^3 の範囲内にあること。

概略的ではあるが代表流速 $V_o = 2$m/s を目安とし、これ以下であれば堤防のり面およびのり尻面の耐侵食性は一応確保されているものと考えることもできる。

d.　平均根毛量の測定は次のようにするとよい。

ｲ.　測定した調査地点ののり面に塩化ビニール管を打ち込む。

ﾛ.　塩化ビニール管に詰まった土を地表面から 3 ㎝まで押し出してカッター等で切り取る。

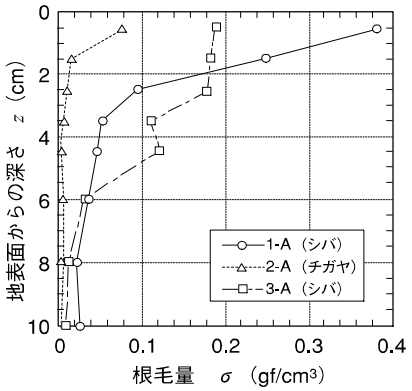
ﾊ.　土に含まれる根および地下茎を水で洗い出して、それらの重量を測定する。

ﾆ.　総重量を切り取った土の体積で除することにより平均根毛量を計算する。

ﾎ.　以上の測定を 3 回行い、その平均値を当該調査地点の平均根毛量とする。

深さ方向の芝とチガヤの単位体積重量当たり根毛量の測定結果（例）を図 2-3-22 に示す。

芝の根毛は表層から２～３㎝の所に集中していることが分かる。



〔植生の流水に対する耐侵食性　建設省土木研究所〕

図 2-3-22　芝とチガヤの深さ方向の根毛量（例）

計算例

① 条件

植生高さ	$h_v = 20\text{cm}$	流速作用継続時間	$t = 48\text{hr} = 2880\text{min}$
許容侵食深	$Z_{brk} = 2\text{cm}$	平均根毛量	$\sigma_o = 0.10\ \text{gf/cm}^3$
代表流速	$V_o = 2\text{m/s}$	設計水深	$H_d = 4.0\text{m}$

② 計算（簡便法による）

a. 植生の表面侵食耐力

$$\alpha = -50\sigma_o + 9 = -50 \times 0.10 + 9 = 4$$

$$u_{*c} = \frac{Z_{brk}}{\alpha} \cdot \frac{1}{\log t} = \frac{2}{4} \cdot \frac{1}{\log 2880} = 0.14\ \text{m/s}$$

b. 侵食外力

$H_d/h_v = 4.0/0.2 = 20$　　図 3-1-5 より粗度係数を求めると　n=0.032

$$\phi = \frac{1}{n} \cdot H^{1/6}/\sqrt{g} = \frac{1}{0.032} \cdot 4.0^{1/6}/\sqrt{g} = 12.6 \qquad u_{*max} = V_o/\phi = 2/12.6 = 0.16\text{m/s}$$

$$u_{*ave} = 0.82 \cdot u_{*max} = 0.82 \times 0.16 = 0.13\text{m/s}$$

したがって、$u_{*c} = 0.14 > u_{*ave} = 0.13$ であるから安全性は確保されている。

② 主流路（低水路等）からの側方侵食、洗掘に対する安定性

照査基準は、高水敷幅＞照査対象時間で侵食される高水敷の幅とする。〔河川堤防設計指針〕

a. 洪水の作用する期間は対象河川の状況を総合的に勘案し、照査対象期間を定める必要がある。最小の照査対象時間は１洪水（一回の洪水）であるが、照査対象時間を１洪水とした場合には、洪水の度に点検、対処することが必要とされる。

b. 表 2-3-12 に示す値は、１洪水で生じると想定される主流路（低水路等）からの側方侵食、洗掘量の目安である。なお、当該河川において既往の洪水による高水敷の侵食幅が整理されている場合には、これらの実績を踏まえて照査に用いる必要がある。

表 2-3-12　表のり尻部の洗掘に対する安全性の照査基準

河道のセグメント分類	照　査　基　準 （１洪水で侵食される高水敷幅の目安）
１	４０m程度
２－１	高水敷幅 b＞低水河岸高Hの５倍
２－２および３	高水敷幅 b＞低水河岸高Hの２～３倍

ここに、低水河岸高H：河岸前面部の平坦部または河岸前面の深掘れ最深部河床から河岸天端（高水敷あるいは中水敷）までの高さ。　〔構造検討の手引き 5.3〕

(3) 護岸工がある場合

護岸工がある場合の安全性照査は、のり覆工、基礎工、および根固工のそれぞれについて、主として、設定した外力のもとでの力学的に安定性が確保されているかを照査する。

① のり覆工は本編 3-2　のり覆工により照査する。

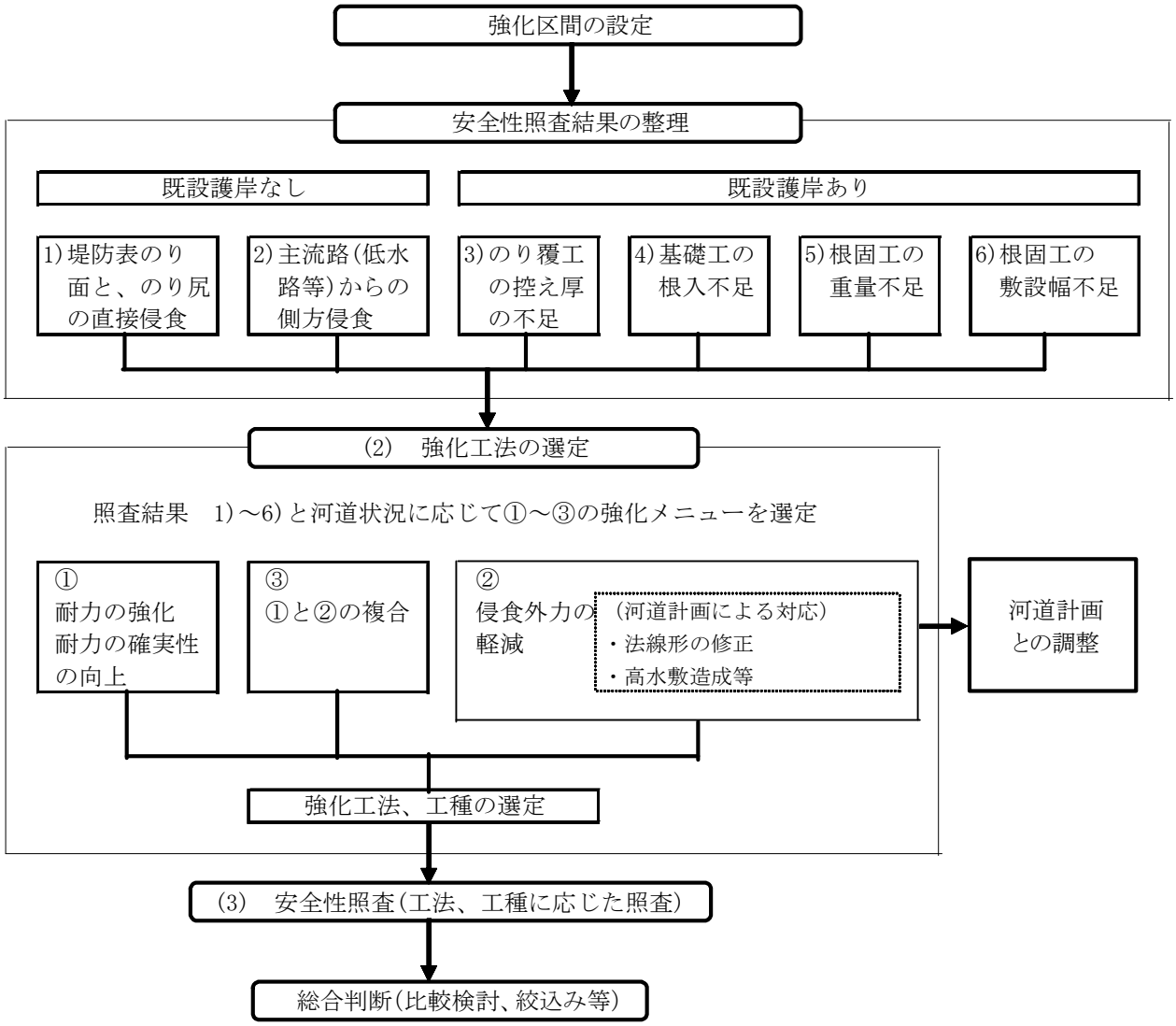
② 基礎工は本編 3-3　基礎工により照査する。

③ 根固工は本編 3-4　根固工により照査する。

6) 強化工法の設計 〔構造検討の手引き 5.4〕

(1) 強化工法の設計手順

河川堤防の侵食に対する強化工法の設計の一般的な手順を図 2-3-23 に示す。



〔構造検討の手引き 5.4〕一部加筆

図 2-3-23 侵食に対する堤防の強化工法の一般的な設計手順

(2) 強化工法の選定

表 2-3-13 は、安全性の照査結果を踏まえた堤防強化工法の例を整理したものである。工法の選定にあたっては、安全性の照査結果を十分に勘案するとともに、当該河川の河道特性、河道の状況、被災の履歴、河川環境等を考慮して適切なものを選定する。

表 2-3-13 安全性の照査結果と堤防強化工法の関係の例

安全性の照査結果			堤防強化の方法	
			①耐力の強化	②侵食外力の軽減
護岸工がない	1) 堤防表のり面、のり尻の直接侵食		・高水護岸の新設 ・侵食防止シートの敷設 ・堤防植生管理の徹底	・流速減少効果を期待する水制工設置 ・置換工法による埋め戻し ・法線形の修正 ・水はね効果を期待する水制工の設置 ・ベーン工法
	2) 主流路（低水路等）からの側方侵食、洗掘		・低水護岸、堤防護岸の新設 ・（埋め込み）水制工設置 ・上下流に影響を及ぼさない高水敷きの新設、腹付け ・縦工水制の設置	・置換工法による埋め戻し ・法線形の修正 ・水はね効果を期待する水制工の設置 ・ベーン工法
護岸工がある	3) のり覆工の厚さ不足		・護岸工の改築 ・のり覆工の腹付け ・空石張り工の練石張り工化 空ブロック張り工の練ブロック張り工化	・流速減少効果を期待する水制工設置 ・置換工法による埋め戻し ・法線形の修正 ・水はね効果を期待する水制工の設置 ・ベーン工法
	4) 基礎工の根入れ不足		・護岸工の改築 ・基礎の根継ぎ ・根固工の設置	・根固工の設置 ・置換工法による埋め戻し ・法線形の修正 ・水はね効果を期待する水制工の設置 ・ベーン工法
	根固工	5) 重量不足	・根固工の改築 ・根固めブロックの一体化（連結や確実な層積み） ・根固ブロックの追加投入	・流速減少効果を期待する水制工設置 ・置換工法による埋め戻し ・法線形の修正 ・水はね効果を期待する水制工の設置 ・ベーン工法
		6) 敷設幅不足	・根固工の改築 ・根固ブロックの追加投入	・流速減少効果を期待する水制工設置 ・置換工法による埋め戻し ・法線形の修正 ・水はね効果を期待する水制工の設置 ・ベーン工法

注） ┆　┆ は河道計画に併せて検討すべき方策

〔構造検討の手引き 5.4〕

(3) 安全性の照査

強化工法の設計では、選定した強化工法に応じた適切な手法を用いて安全性を照査する。

護岸の新設あるいは改築にあたっては、本編 第 3 章 護岸、および第 4 章 水制による。また、ベーン工の設計については、水理公式集 平成 11 年版 2 編 6.3.5 を参考に安全性を照査する。

2-3-3　地震に対する堤防の設計

地震に対する堤防の設計に関しては、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説－Ⅱ堤防編－」、「河川堤防の耐震点検マニュアル」および「河川堤防の構造検討の手引き」によるものとする。

1)　設計の方針および手順

(1)　設計方針

地震による二次災害（浸水被害等）の発生するおそれのある区間の河川堤防は、必要に応じ地震に対して所要の安全性を確保できる構造となるよう設計する。

①　堤内地の二次災害（地震によって河川堤防に被害（沈下）が生じた場合）としては、

a.　洪水、高潮、津波が、被害を受けた堤防を越水し、堤内地が浸水する。

b.　被害を受けた堤防がその機能を失い、照査外水位※が堤内地に溢水する。

c.　被害を受けた堤防が河川を塞き止め、堤内地が浸水する等が考えられる。

b. を主体とする。なお、堤防の崩壊等による二次災害は個別に検討すべき事項であり本要領の適用から除外する。

②　所要の安全性とは、地震による被害（沈下等の変形）が生じても、照査外水位※が越流しない程度の高さが確保できるような堤防である。

※照査外水位：平常時の最高水位（河口部については朔望平均満潮位および波浪の影響を考慮）と津波遡上が予測される場合は施設計画上の津波高のうち、高いほうの水位

なお、広域な地盤沈下が予想される場合は地盤沈下量を考慮して設定する。

(2)　設計手順

地震に対する堤防の設計は図 2-3-24 の手順で実施する。

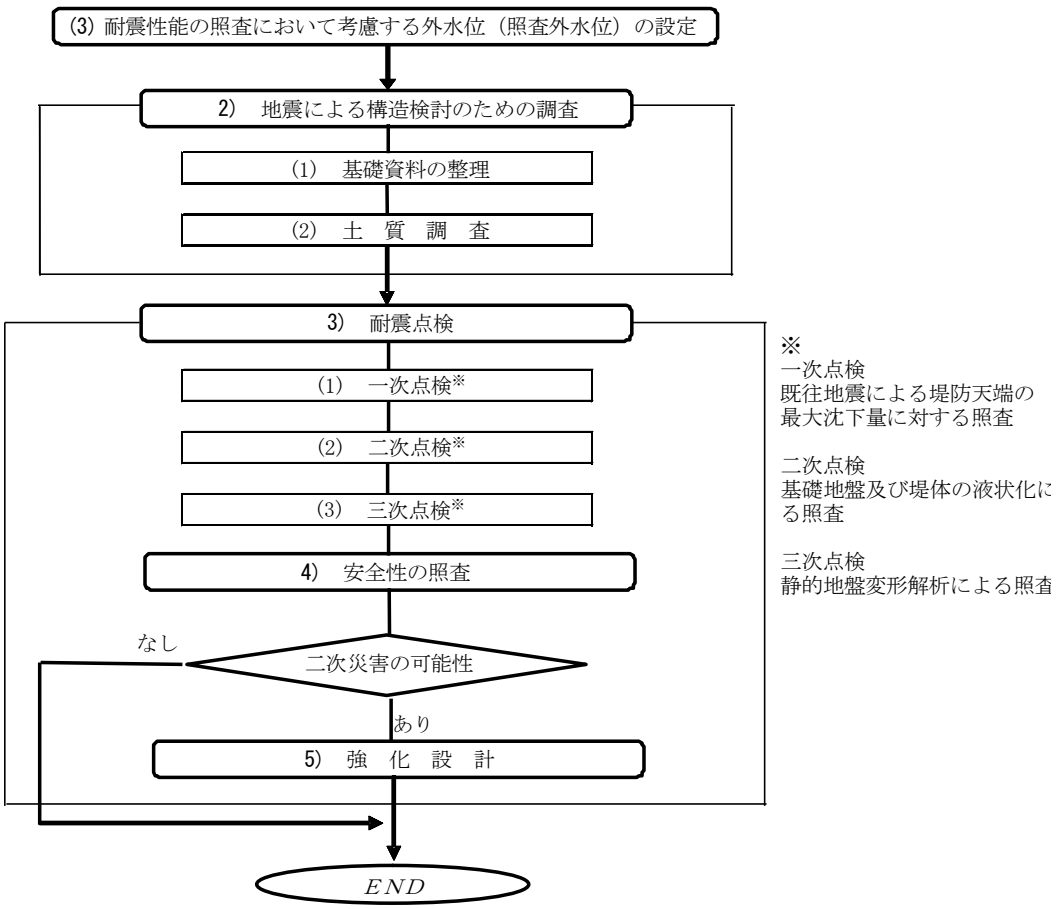


図 2-3-24　地震に対する堤防設計の手順

(3) 耐震性能の照査において考慮する外水位（照査外水位）の設定 〔耐震性能照査指針（Ⅱ）2.3〕

耐震性能の照査において考慮する外水位（照査外水位）は、原則として、平常時の最高水位とするものとする。ここで、河口部付近では、平常時の最高水位として朔望平均満潮位および波浪の影響を考慮するものとし、また、地震の発生に伴い津波の遡上が予想される場合には、施設計画上の津波高についても考慮するものとする。

① 「波浪の影響を考慮しない河川の平常時の最高水位」の算定方法〔最高水位の算定の手引き（案）2〕

「波浪の影響を考慮しない河川の平常時の最高水位」は、流量記録を用いて 14 日間に発生する確率が 1/10 の流量を算出した後、当該流量を用いて、朔望平均満潮位を河口における出発水位として与え不等流計算によって算定することを基本とする。

② 「波浪の影響を考慮した河川の平常時の最高水位」の算定方法〔最高水位の算定の手引き（案）3.1〕

「波浪の影響を考慮した河川の平常時の最高水位」は、検討対象河川の近傍の海域における波浪観測記録から 14 日間に発生する確率が 1/10 の波高（有義波高）を求め、この値をもとに求められたうちあげ高を朔望平均満潮位に加えることによって算定することを基本とするが、十分な波浪観測記録がない場合は、風観測記録から推算する等適切な手法により算定するものとする。

③ 「津波の河川遡上解析」の算定方法〔河川遡上解析の手引き（案）2〕

「津波の河川遡上解析」にあたっては、原則として平面 2 次元解析を用いるものとする。ただし、津波高、遡上距離の概略を推定する場合には、河口周辺に特異な地形がないことや河川形状が複雑でないこと等の適用条件を考慮の上、簡易推定手法によることができる。

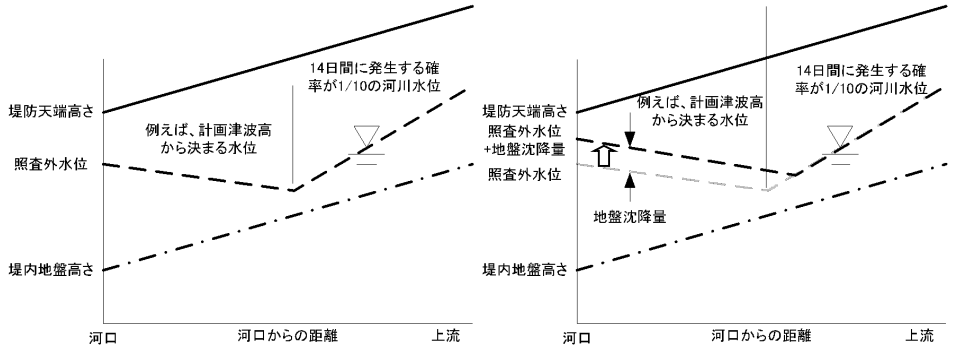
【コラム】広域な地盤沈降が予想される場合の照査外水位の設定方法

○平成 23 年３月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により、東北地方の太平洋沿岸部では、堤内地盤高が堤防縦断方向に沈降する現象が見られた。

○広域的な地盤沈降が予想される場合は下図（b）に示すように堤防周辺地盤面を基準として、地盤沈降量の分、相対的に外水位が上昇するものとして照査外水位に加える。

○自己流で照査外水位が決定する区間については河床と堤防が同じく沈降し、水位と堤防の相対的な関係が変わらないため、照査外水位に沈降量を加えない（下図（a））。

○地盤沈降量は中央防災会議の検討結果や地方自治体の防災計画、海岸堤防の施設計画等と整合を図ることも重要である。



(a)広域な地盤沈降が予想されない場合　　(b)広域な地盤沈降が予想される場合

〔耐震点検マニュアル 3.1〕

2) 地震による構造検討のための調査 〔構造検討の手引き 3.4〕

(1) 基礎資料の整理

耐震機能を確保すべき区間の堤防については、地形および水文に関する資料、既往の地震被害に関する資料、土質調査等に関する資料を整理する。

① 「治水地形分類図」等を利用して地震時に液状化を生じ易い地盤の分布を整理する。

② 二次災害の発生するおそれのある区間の検討に際しては、河川水位の設定に必要な出水確率規模別洪水位、朔望平均満潮位、計画津波高、平水位等について整理する。

③ 対象区間とその近傍おいて過去に地震による被害が発生していれば、被災年月、被害個所、地震動の大きさ、被害の形態や原因を整理する。

(2) 土質調査

① 調査地点の配置と調査の深さ

既往のボーリング調査地点を含め､堤防縦断方向に 500m に 1 個所程度が地点間隔の目安の最大とする。

調査の深さについては、原則的には、基礎面（工学的な地震基礎で、S 波速度が 300m/s 以上、または粘性土層の場合ではN値 25 以上、砂質土層の場合では N 値 50 以上の地層）を確認できる深さまでとする。軟弱な土層が厚い場合には、道示（V）4.6 耐震設計上の地盤面を参考とする。

② 調査の内容と方法

地震に対する堤防の安全性照査では表 2-3-14 に示す項目の調査が必要である。

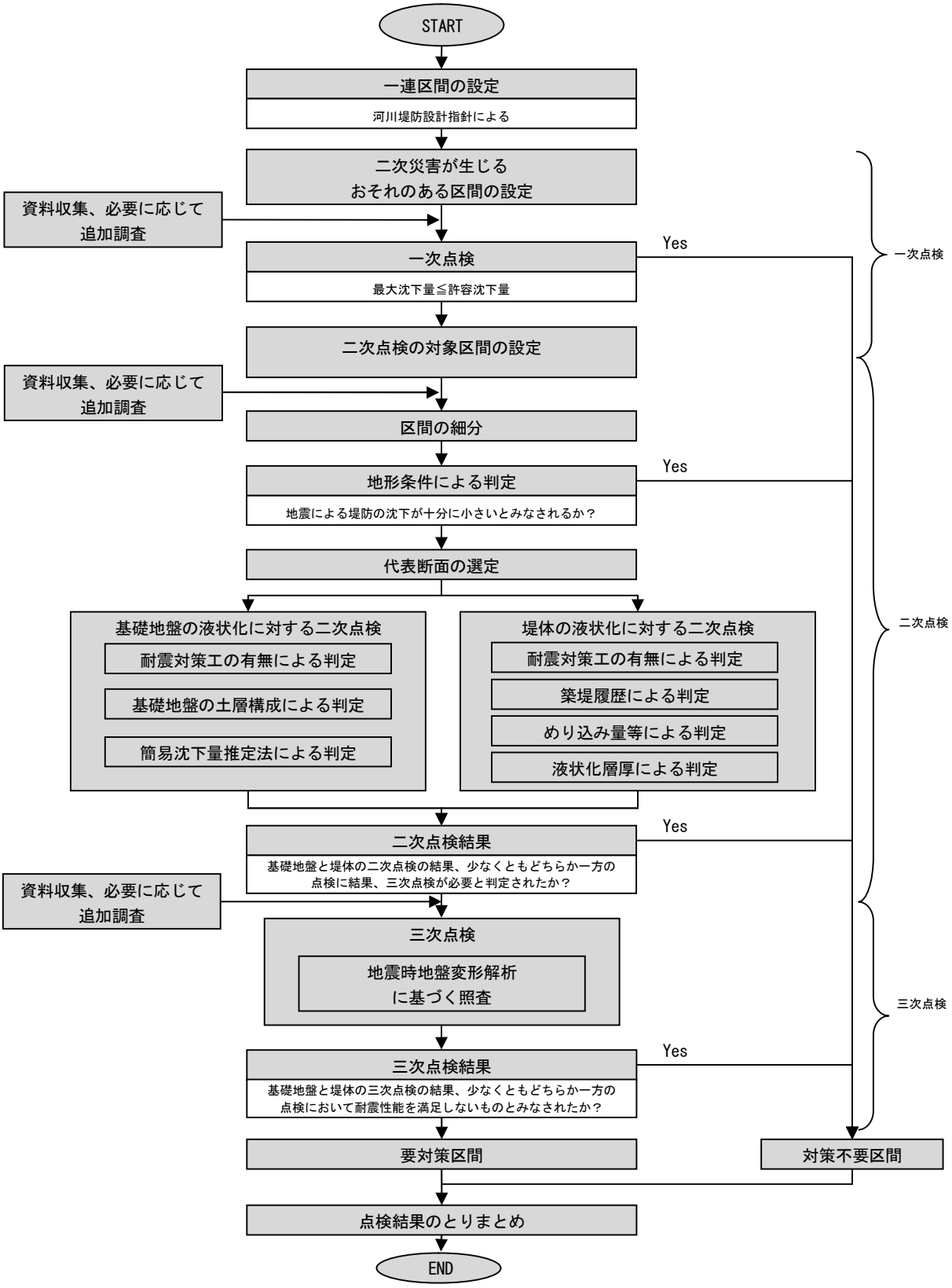
表 2-3-14 堤防の地震に対する安全照査に必要な調査項目

	必 要 項 目	主な調査方法
堤　　体	・横断面形状	横断測量
	・土質構成	ボーリング調査
	・構成土層の密度	乱さない試料の採取と土質試験（密度試験）等
	・構成土層の強度定数（c，φ）	乱さない試料の採取と土質試験（密度試験）等
基礎地盤	・土質構成	ボーリング調査
	・地下水位	ボーリング調査、間隙水圧測定
	・構成土層の層厚	ボーリング調査、サウンディング、
	・構成土層の密度	乱さない試料の採取と土質試験（密度試験）等
	・構成土層の平均粒径および細粒分含有率（Fc）	土質試験（粒度試験）
	・構成土層強度定数（c，φ）	乱さない試料の採取と土質試験（密度試験）、標準貫入試験等
	・深さ毎の N 値	標準貫入試験

〔構造検討の手引き 3.4〕

3) 耐震点検 〔耐震点検マニュアル 2.1〕

堤防の耐震点検を行うにあたっては、調査、点検作業の進捗に合わせ一次点検、二次点検、三次点検に分けて実施することを標準とする。



〔耐震点検マニュアル 2.1〕

図 2-3-25 一次点検フロー

(1) 一次点検 〔耐震点検マニュアル 3.1〕

地震後に二次被害が生じるおそれのある区間に対して一次点検を行う。

① 地震後に二次被害が生じるおそれのある区間とは、堤内地盤高が「耐震性能照査指針（Ⅱ）2.3」に規定される耐震性能の照査において考慮する外水位（以下、照査外水位という）より低い区間とする。

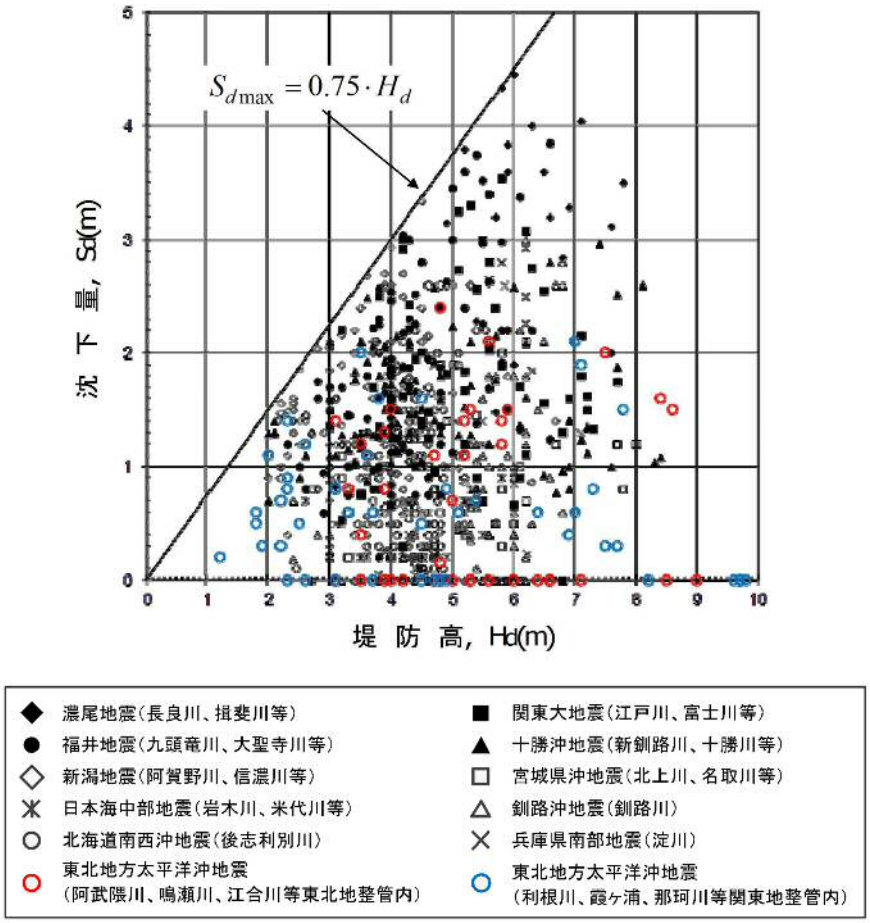
② 一次点検における耐震性能の照査は、既往の地震による堤防天端の最大沈下量**（既設堤防高さの 75%）**が許容沈下量**（堤防天端高と照査外水位の差）**を上回らないことを照査することにより、耐震性能を満足するとみなすものとする。

③ 一次点検における耐震性能の照査を行う位置は、堤内地盤高、堤防天端高、照査外水位の延長方向の変化を考慮して適切に設定するものとする。

④ 一次点検の結果、耐震性能を満足しない可能性がある区間の堤防を二次点検の対象とする。

【コラム】既往地震における堤防天端の沈下量

○既往の地震においては、堤防天端に堤防高さの 75%以上の沈下が生じた事例はなく、地震前の堤防高さの 25%は最低でも残存していたことが経験的に知られている。



〔構造検討の手引き 6.1〕

(2) 二次点検 〔耐震点検マニュアル 4.1〕

一次点検の結果、耐震性能を満足しない可能性がある区間に対して二次点検を行う。

① 二次点検にあたっては、地震に対する安全性が同程度になるような一連の区間として二次点検の対象区間を細分化するものとする。

② 各細分区間において、⑨に示す地形条件による判定を実施し、既往の地震被害事例に照らしても地震による堤防の沈下が十分に小さいと判断される区間については、耐震性能を満足するとみなしてよい。

③ ②の結果、耐震性能を満足するとみなすことのできない細分区間において、地震時に最も不利となる位置の断面を代表断面として選定するものとする。代表断面の選定は⑩に示す方法によるものとする。

④ 代表断面について、⑤に示す基礎地盤の液状化に対する点検と⑥に示す堤体の液状化に対する点検の両方を実施し、少なくともどちらか一方の点検の結果、三次点検が必要と判断された場合には、当該断面を含む細分区間の堤防を三次点検の対象とする。

⑤ すでに基礎地盤の液状化に対する耐震対策が実施されている区間の堤防は、無対策に比べ高い耐震性を有していると考えられることから、当面、基礎地盤の液状化に対する対策を実施しない。さらに、代表断面について、⑪-a に示す方法に基づき、既往の地震被害事例に照らしても地震による堤防の沈下が十分に小さいと判断されるか、⑪-b に示す簡易式方法により算定される堤防の沈下量が、許容沈下量を上回らないことを照査することにより、三次点検の必要性を判定する。

⑥ すでに堤体の液状化に対する耐震対策が実施されている区間の堤防は、無対策に比べ高い耐震性を有していると考えられることから、当面、堤体の液状化に対する対策を実施しない。代表断面について、粘性土や透水性の高い礫質土などの液状化しない材料が堤体内に部分的に存在し、それ以外の部分が仮に無くなったとしても外水位に対して必要となる堤防の高さと幅を確保できるかどうか築堤履歴を確認するか、⑫に示す方法に基づき、三次点検の必要性を判定する。

⑦ 二次点検を行うにあたっては、十分な情報収集を行うものとし、不足する場合は追加調査を行うものとする。

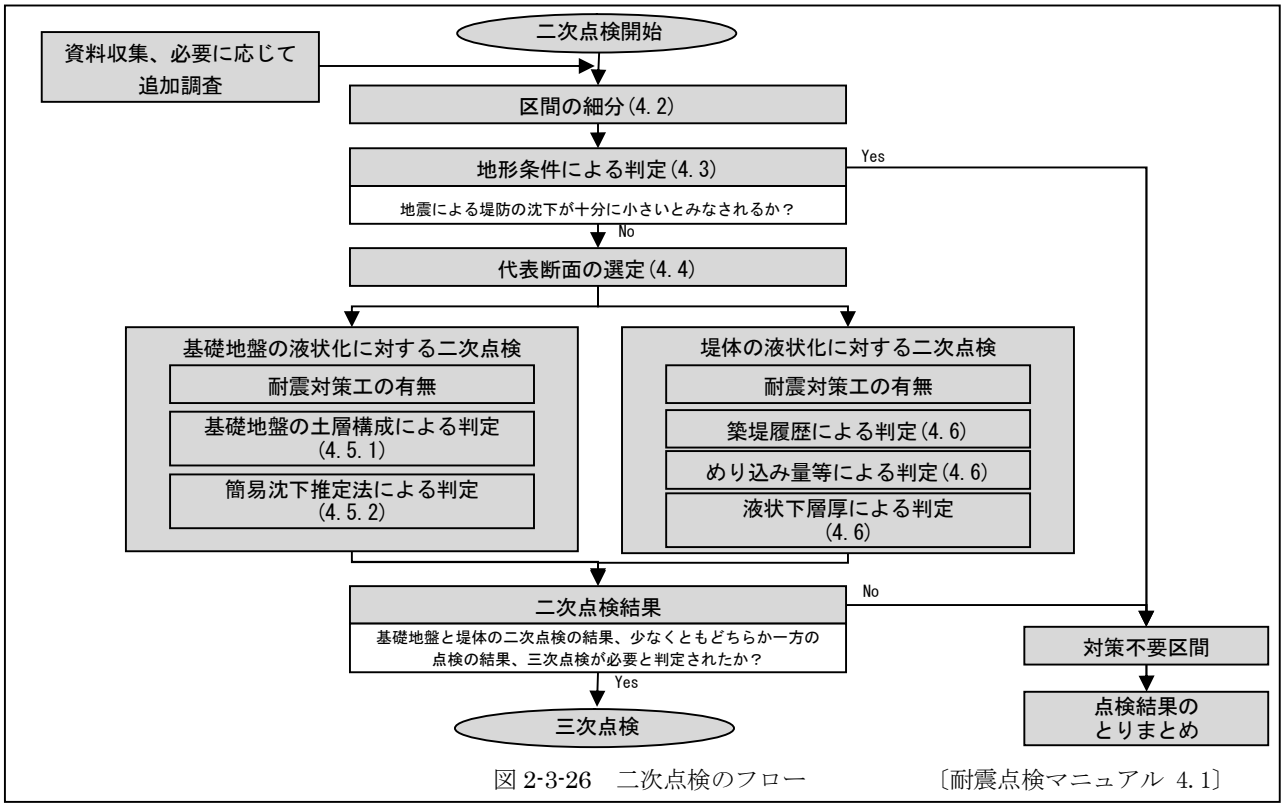


図 2-3-26 二次点検のフロー 〔耐震点検マニュアル 4.1〕

⑧　二次点検の対象区間の細分　〔耐震点検マニュアル 4.2〕

二次点検の対象区間の細分にあっては、地震に対する安全性が同程度になるように、次に示す a）～f）を考慮するものとする。

a.　被災履歴

b.　微地形分類

c.　基礎地盤の土層構成及び堤体の土質

d.　許容沈下量

e.　耐震対策工及び護岸の有無、川裏のり尻ドレーン工の規模

f.　その他

⑨　地形条件による判定　〔耐震点検マニュアル 4.3〕

既往の地震被害事例に照らし、地震による堤防天端の沈下量が十分に小さいと判断される地形条件に該当する細分区間の堤防は、基礎地盤及び堤体の液状化に対して耐震性能を満足するものとみなしてよい。

⑩　代表断面の選定　〔耐震点検マニュアル 4.4〕

代表断面は、選定対象とする細分区間のうち、地震による堤防天端の沈下量が最も大きくなると考えられる断面として選定するものとする。

⑪　基礎地盤の液状化に対する二次点検　〔耐震点検マニュアル 4.5〕

a.　基礎地盤の土層構成による判定　〔耐震点検マニュアル 4.5.1〕

代表断面位置において、既往の基礎地盤の液状化による地震被害事例に照らし、地震により生じる堤防天端の沈下が十分に小さいと判断される土層構成に該当する場合、当該細分区間は基礎地盤の液状化に対する耐震性能を満足するものとみなしてよい。

b.　簡易式による基礎地盤の液状化に関する判定　〔耐震点検マニュアル 4.5.2〕

代表断面位置において、指針 6.3 に規定される液状化の判定を行い、堤防天端の沈下量を次に示す簡易式により算定し、これが許容沈下量を上回らないことを照査するものとする。

$$S = 1.41 \cdot H \cdot H_L^{1.56} \cdot 10^{-7.54 \cdot R_L} + 0.0655 \cdot H_L^{0.93} \leqq S_{max}$$

ここに、　S　：堤防天端の沈下量（m）

H　：堤防高さ（m）

H_L　：表層の液状化層厚（代表断面において、複数のボーリングデータがある場合には堤内地、天端直下、堤外地の表層の液状化層厚の平均値）（m）

（「表層の液状化層」とは、液状化層が複数あり、第 1 液状化層と第 2 液状化層の間に 5m程度の非液状化層がある場合に第 1 液状化層を「表層の液状化層」と定義する）

R_L　：表層の液状化層厚の繰返し三軸強度比（算定されたR_Lの平均値）

S_{max}　：既往の地震による堤防天端の最大沈下量（m）

⑫　堤体の土質等による判定（堤体の液状化に対する二次点検）　〔耐震点検マニュアル 4.6〕

代表断面位置において、a. と b. 、c.のすべての条件を満たす場合には、堤体の液状化による被害が生じる可能性があることから、三次点検を行わなければならない。

a.　堤体下部が砂質土で以下の両方の条件に該当する場合

ｲ.　細粒分含有率 FC が 35%以下の土層、又は、FC が 35%を超えても塑性指数 Ip が 15 以下の土層

ﾛ.　50%粒径 D_{50} が 10mm 以下で、かつ、10%粒径 D_{10} が 1mm 以下である土層

b.　以下のいずれかの条件に該当する場合

ｲ.　堤防の下に粘性土層が存在し、めり込み量が 1.0m 以上の場合

ﾛ. 常に河川水が堤体内に浸透するなどにより堤体内水位が高いことが想定される場合

c. 以下の液状化層厚や透水係数に応じ繰返し三軸強度比に補正を加え液状化判定を実施し、液状化すると判定された土層の厚さが 1.0m 以上、かつ堤防高さの 2 割以上ある場合

$$\varepsilon_{v\max} = \frac{k\sigma_v'}{\gamma_w H^2} t_d$$

$$R_L^* = \log_{10}(65000 \cdot \varepsilon_{v\max} + 10) \cdot R_L$$

ここに、

$\varepsilon_{v\max}$ ：最大体積ひずみ

k ：液状化が懸念される堤体土層の透水係数（m/秒）

σ_v' ：液状化が懸念される堤体土層中央の有効鉛直応力（kN/m²）

γ_w ：水の単位体積重量（kN/m³）

H ：液状化が懸念される堤体土層の厚さ（m）

t_d ：地震動継続時間（秒）。一般に、地震動タイプによらず 10 秒。

R_L^* ：補正後の繰返し三軸強度比

R_L ：補正前の繰返し三軸強度比

(3) 三次点検 〔耐震点検マニュアル 5〕

① 三次点検における耐震性能の照査は、二次点検の結果、三次点検が必要と判断された細分区間の代表断面において耐震性能照査を行う。

② 三次点検は、静的照査法に基づいて行うものとする。

③ 三次点検の結果、耐震性能を満足しないものとみなされた場合、当該断面を含む細分区間の堤防は、耐震性能を満足しないものとみなし、要対策区間として扱う。

④ 三次点検を行うにあたっては、十分な情報収集を行う必要があり、不足する場合は追加調査を行う。

4) 安全性の照査〔耐震性能照査指針（Ⅱ）2.1〕

堤防の耐震性能の照査においては、耐震性能及び耐震性能の照査に用いる地震動を適切に設定するとともに、適切な耐震性能の照査方法を用いるものとする。

(1) 耐震性能照査の基本方針

① 耐震性能 〔耐震性能照査指針（Ⅱ）2.2〕

堤防の耐震性能は、耐震性能の照査において考慮する外水位に対して耐震性能照査上の堤防としての機能を保持する性能を原則とする。ここで、耐震性能照査上の堤防としての機能とは、河川の流水の河川外への越流を防止する機能とするものとする。

② 地震動 〔耐震性能照査指針（Ⅱ）2.4〕

堤防の耐震性能の照査においては、対象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（以下、レベル 2 地震動）を考慮するものとする。

ここで、レベル 2 地震動としては、プレート境界型の大規模な地震を想定したレベル 2-1 地震動及び内陸直下型地震を想定したレベル 2-2 地震動の 2 種類を考慮するものとする。

③　地震の影響　〔耐震性能照査指針（Ⅱ） 3〕

堤防の耐震性能の照査においては、原則として、地震の影響として基礎地盤及び堤体の液状化の影響と広域な地盤沈降の影響を考慮するものとする。

(2)　耐震性能の照査

①　一般　〔耐震性能照査指針（Ⅱ）5.1〕

堤防の耐震性能の照査は、耐震性能の照査に用いる地震動によって生じる堤防の状態が堤防の限界状態を超えないことを照査することにより行うものとする。

②　耐震性能の照査方法　〔耐震性能照査指針（Ⅱ）5.2〕

堤防の耐震性能の照査は、耐震性能の照査に用いる地震動及び堤防の限界状態に応じて、適切な方法に基づいて行うものとする。ただし、静的照査法により耐震性能の照査を行えば、本規定を満足するとみなしてよい。

③　堤防の限界状態　〔耐震性能照査指針（Ⅱ）5.3〕

堤防の限界状態は、地震により堤防に変形、沈下等が生じた場合においても、その変形が耐震性能の照査において考慮する外水位に対して耐震性能照査上の堤防としての機能を保持できる範囲内になるよう適切に定めるものとする。

(3)　静的照査法による耐震性能の照査方法

①　一般　〔耐震性能照査指針（Ⅱ）6.1〕

静的照査法による堤防の耐震性能の照査は、基礎地盤と堤体の液状化の影響をそれぞれ考慮した上で行うものとする。

②　液状化の影響　〔耐震性能照査指針（Ⅱ）6.2〕

液状化が生じると判定された土層については、土層の物性の変化を適切に考慮するものとする。また、液状化した土層の上部に液状化しない土層が存在する場合には、液状化しない土層の物性によって液状化の影響が大きく変わる。一般には、液状化しない土層が存在する場合には、液状化しない土層に引っ張り応力が生じないよう弾塑性モデルを用いるか合成を低下させる等の方法を用いるのがよい。

③　液状化の判定　〔耐震性能照査指針（Ⅱ）6.3〕一部加筆

沖積層及び堤体の土層については、液状化が生じると判定される土層を特定するために、液状化の判定を行うものとする。液状化の判定は「液状化対策手引き」に準拠する。

④　耐震性能の照査　〔耐震性能照査指針（Ⅱ）6.4〕

堤防については、液状化に伴う土層の物性の変化を考慮し、堤防の変形を静的に算定できる方法を用いて、地震後の堤防高が耐震性能の照査において考慮する外水位を下回らないことを照査するものとする。

(4)　地震外力の設定

東日本大震災で多数確認された堤体の液状化を踏まえ、当面の耐震対策に当たっては「液状化対策手引き」に準拠する。

5) 強化工法 〔構造検討の手引き 6.4〕一部加筆

(1) 強化工法の選定

① 液状化に対する強化工法として、河川堤防への適用性が高いと考えられる工法は「液状化対策手引き」を参考とすること。

② 地震に対する強化工法選定の優先順位は以下のとおりである

a. 浸透や侵食に対する堤防強化に効果があり、地震対する強化につながるものを選定する（高水敷造成、緩傾斜表腹付け、根固工、矢板工、緩傾斜裏腹付け、裏のり尻ドレーン工等)。

b. 川裏側の強化工法として、押え盛土や裏腹付け盛土の可能性を検討し、一部区間でも可能な場合には将来計画の段階施工とする。

c. 次に、騒音や振動問題、施工スペース等を考慮すると川表側を優先すべきで、この場合の工法は、治水機能上の悪影響が無く、耐浸透機能の確保にも有効な強化工法を検討する。

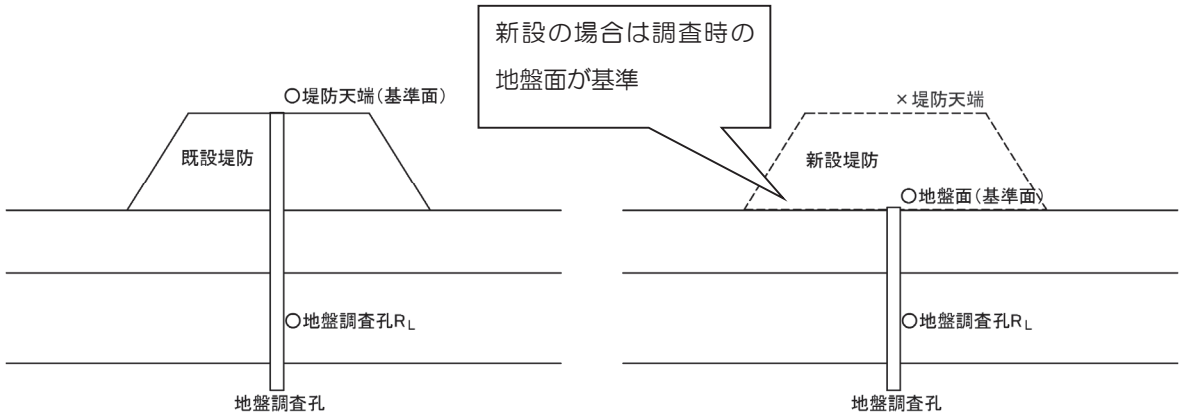
d. 川裏側に適用する強化工法は、グラベルドレーン工法やサンドコンパクション工法等、透水性材料を用いた工法とすることが望ましい。

(2) 安全性の照査

安全性の照査基準は、強化後の地震時安全率が 1.0 を上回る（$F_{Sd} \geqq 1.0$）ことを目標として設計する。

【コラム】液状化判定における地盤面の基準位置

○一般的に既設堤防の液状化判定では、有効上載圧σv’を算定する際の地盤面の深さは、堤防天端が基準であるが、新設堤防の場合は、地盤調査時の地盤面が基準となることに留意する。



2-3-4　構造細目

1)　漏水防止工　〔河川砂防（設Ⅰ）第1章2.2.4〕

堤防には、堤体材料、基礎地盤材料、水位、高水の継続時間等を考慮して、浸透水のしゃ断およびクイックサンド、パイピング現象を防止するため、必要に応じて漏水防止工を設けるものとする。

遮水シートの設計に当っては、本編 3-2-8 7) (2)を参照とする。

2)　ドレーン工　〔河川砂防（設Ⅰ）第1章2.2.5〕

堤防の浸透水を安全に排水するため、必要に応じてドレーン工を設けるものとする。

【解　説】

浸透対策を必要とする区間としては、

①　計算等により、浸透に対する安全度が低いと評価された区間。

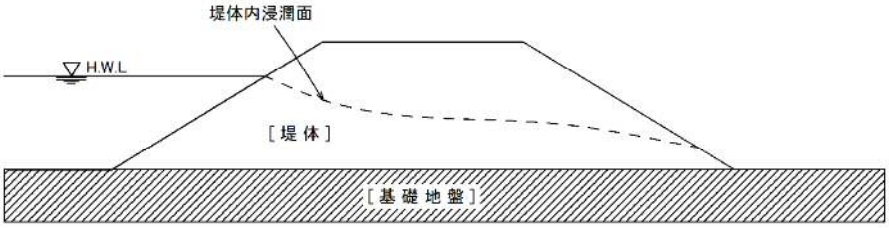
②　過去に、堤防漏水の履歴がある区間。

③　治水上の重要区間であること等が該当する。　〔ドレーン工マニュアル1.2〕

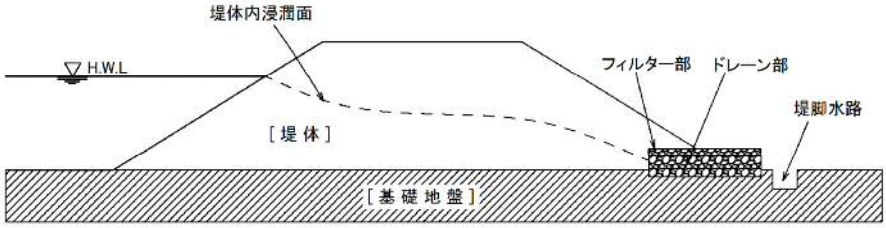
設計に当っては、「河川砂防技術基準(案)同解説 設計編〔Ⅰ〕 第1章2節 堤防 2.2.5 ドレーン工」及び「ドレーン工設計マニュアル」等を参考とする。

(1)　基本方針　〔ドレーン工マニュアル1.1〕

ドレーン工は、平時や洪水時に堤防に浸透した降雨ならびに河川水を裏のり尻のドレーン部に集水し、堤防外に速やかに自然排水する機能を長期にわたって有する対策工であり、主として堤体の浸潤面の低下を目的とする。



ドレーン工がない場合



ドレーン工がある場合

〔ドレーン工マニュアル1.1〕

図 2-3-27　ドレーンの構造とその効果

(2) 構造の基本 〔ドレーン工マニュアル1.2.1 1.2.2〕

① ドレーン工は、原則としてドレーン部、フィルター部および堤脚水路で構成するものとし、その機能が長期的に確保され、かつ堤防の安定性を阻害することのない構造として計画するものとする。

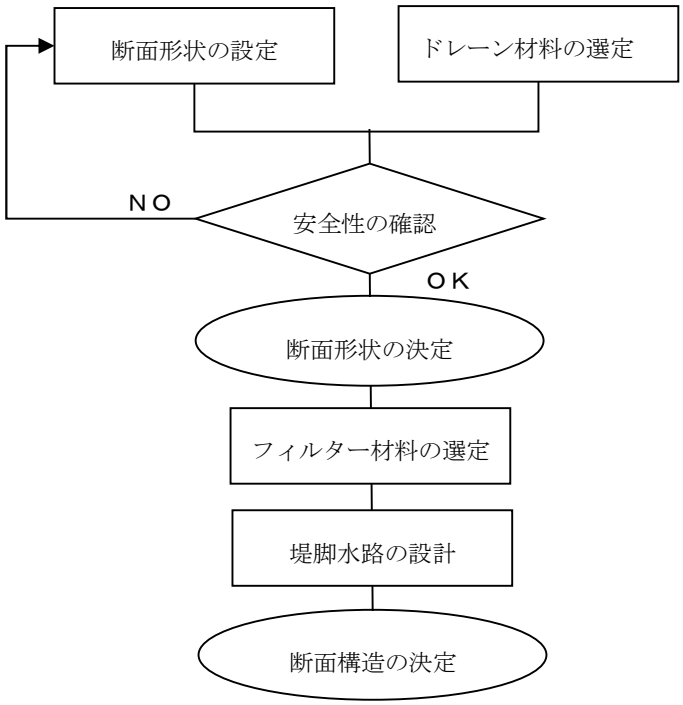
② ドレーン工の排水を受ける堤脚水路は、適当な排水路に接続する必要がある。

(3) 設計の基本方針 〔ドレーン工マニュアル2.1〕

ドレーン工は、長期間にわたりその機能を発揮し、浸透や地震に対する堤防の安全性が確保できるよう設計するものとし、浸透に対しては当該河川の堤防に求められている所要の安全水準以上、地震に対しては所要の堤体内水位以下となるように設計する。

(4) 設計の手順 〔ドレーン工マニュアル2.2〕

ドレーン工の設計の手順は、浸透に対しては①土質調査、②浸透流解析、及び円弧すべり計算、③安全性の確認の順で、地震に対しては、①土質調査、②浸透流解析、③所要の堤体内水位の確認の順で設計を行う。



〔ドレーン工マニュアル2.2〕

図 2-3-28 ドレーン工の設計手順

(5) 設計の方法 〔ドレーン工マニュアル2.3〕

① 浸透に対するドレーンの設計方法

ドレーンの設計の方法は、①堤体内浸潤面の設定、および②裏のりの円弧すべりに対する安定計算によるものとする。①の堤体内浸潤面については、十分な土質調査を実施し、築堤履歴を考慮した適切な堤防土質構成並びにドレーン工の形状及び材料をモデル化し、適切な外力条件（照査に用いる水位波形や降雨量等）を設定し、非定常浸透流計算を行って最も高い堤体内浸潤面を設定する。

②のすべり破壊に対する安全性の確認は、堤体の裏のりすべり破壊に対する安全率が当該河川の堤防に求められている所要の安全率以上であるか否かによって判断する。なお、浸透流計算におけるドレーン工の透水係数については、フィルター部を含むドレーン工全体として 1×10^{-2}（cm/sec）、安定計算におけるドレーン部の強度については、材料試験による他、密度（ρ）ついては ρ=2.0t/m^3、強度定数については、粘着力 c=1kN/m^2、内部摩擦角 ϕ=40° を標準として設定しても良い。

①、②の計算手法は、本編 2-3-1 浸透に対する堤防の設計によるものとする。

【コラム】すべり安全率と土質定数の関係

○すべり破壊に対する安定計算については、以下の視点やポイントに留意して計算条件を設定することが望ましい。

【視　点】：特に粘着力の設定精度がすべり安全率に大きく影響する。

（一般的に）

・細粒分含有率が多い粘性土の場合、粘着力Ｃが大きく内部摩擦角ϕは小さい。

・砂・砂礫の含有率が多い砂質土の場合、粘着力Ｃが小さく内部摩擦力ϕは大きい。

→密な砂の粘着力Ｃの値は拘束力の影響もあり非常に大きくなる場合がある。

【ポイント】：安定計算では粘着力Ｃの影響が大きいことを認識した上で、堤体や基礎地盤の土質と土質定数（C、ϕ）の組み合わせが妥当性か確認する。

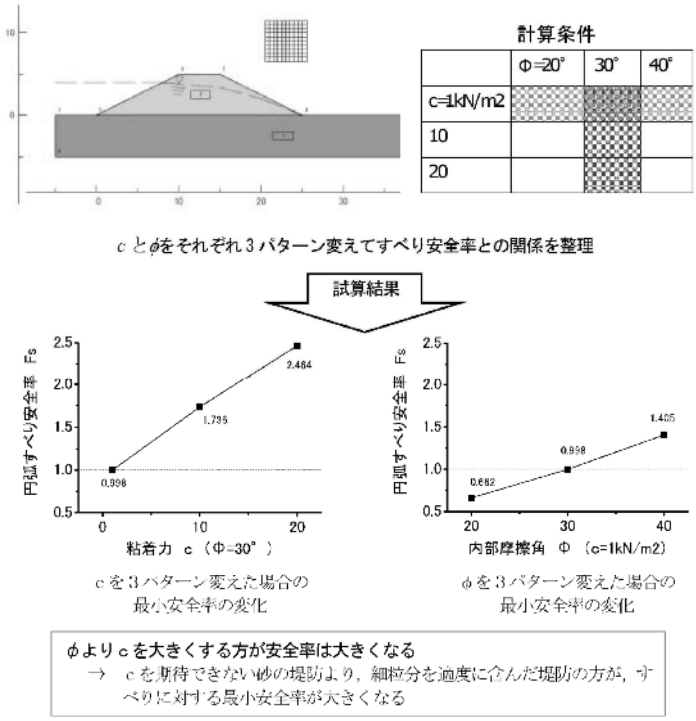


図 5.10.1 円弧すべり安全率と土質強度の関係（土木研究所試算）

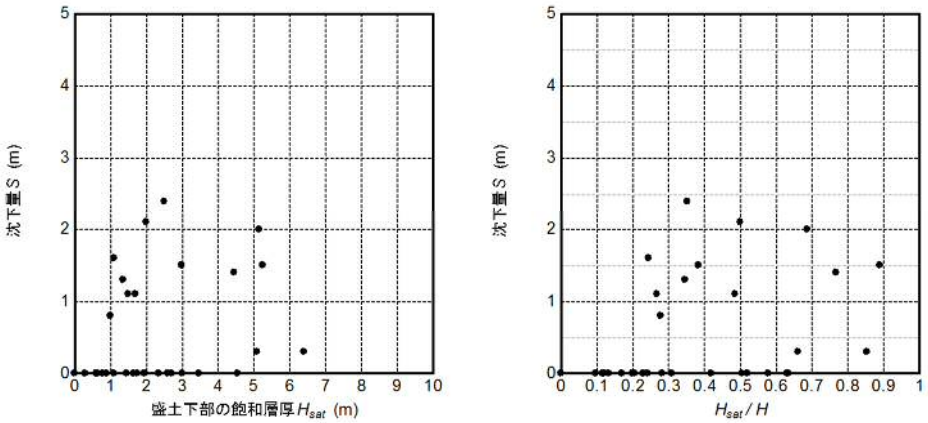
〔堤防浸透照査・設計のポイント〕

② 地震に対するドレーンの設計方法

地震に対する安全性が確保されるように、堤体内水位を低下させることとし、そのために必要な形状のドレーン工を設ける。飽和層厚の最も厚いところが1m 未満、または堤防高さの0.2 倍未満となるように、堤体内水位を低下させることを目標とし、浸透流解析を用いて、ドレーン工の形状を設定する。

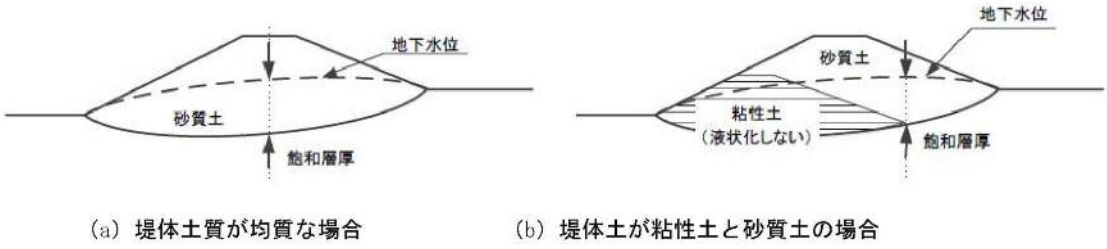
なお、飽和層厚の目標は、東北地方太平洋沖地震による被災事例及びその近傍の無被災事例の分析から得られたもので、たとえ堤体が基礎地盤にめり込んでいたとしても、飽和層厚が1m 未満あるいは飽和層厚比（＝飽和層厚／堤防高さ）が0.2 未満では有意な天端の沈下が見られなかったためである。

また、ドレーン部の強度、透水係数については、①浸透に対するドレーン工の設計方法における設定値に準拠するものとする。



〔ドレーン工マニュアル2.3〕

図 2-3-29　東北地方太平洋沖地震における堤体の液状化による沈下量と飽和層の関係



〔ドレーン工マニュアル2.3〕

図 2-3-30　飽和層厚（H_{sat}）の考え方

また、堤体下端が周辺の排水路敷高よりも明らかに低く排水勾配を確保することが困難な場合や、浸透流解析の結果、十分な排水が期待出来ない場合などについては、のり尻安定化工法の検討を別途行う。

(6) 断面形状 〔ドレーン工マニュアル2.4〕

ドレーン工の幅(奥行)は、追い込みすぎによるパイピングの発生や、小さすぎによる排水機能の不足を生じさせないように、適切に設定する。

また、ドレーン工の高さ(厚み)は、沈下や変形等による機能の低下を考慮して最低限の厚みを確保する。

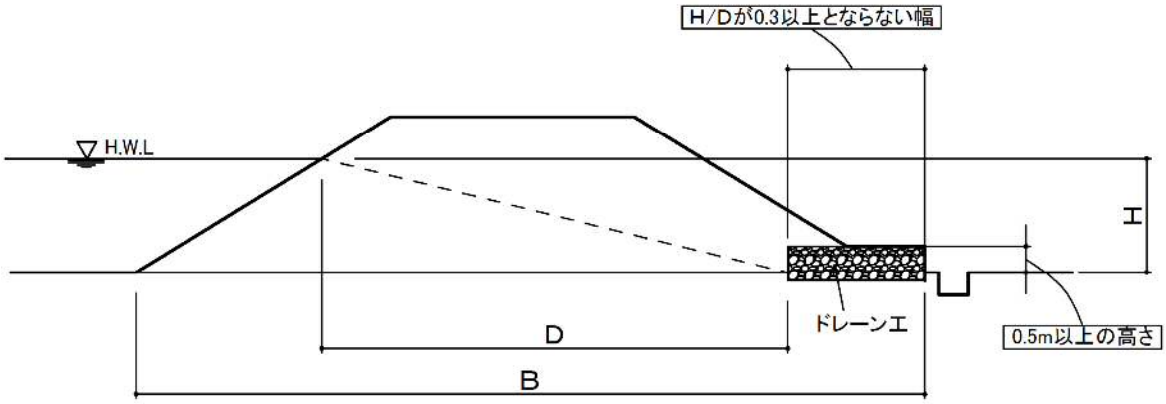
【解 説】

ドレーン工の幅(奥行)は堤体内の浸潤面を低下させるという意味では広いほど、すなわち堤防の表側に追い込むほど効果があるが、極端に追い込むとドレーン工と接する堤体に大きな浸透圧が作用してフィルター部に過大な負担をかけることになり、フィルターの材料や構造によっては出水のたびに堤体を構成する土粒子が流失し、パイピングを誘発する恐れがある。

また、土粒子のドレーン部への侵入は目詰りの原因となり、ドレーン工の排水能力を低下させることになる。したがって、フィルター部の破損、目詰まりによって排水能力が低下した場合でも最低限堤防の安全性が確保できるよう留意する必要がある。

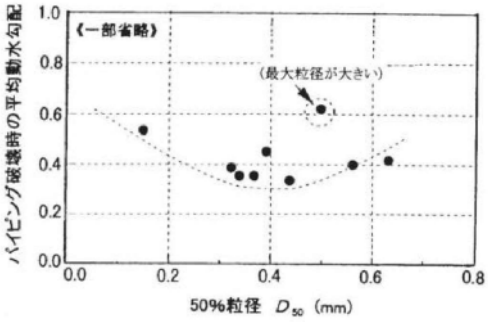
一方、ドレーン工の幅(奥行)が小さ過ぎると堤体内の浸潤面を低下させることが困難になる。このようなことから、ここではドレーン工の幅(奥行)の設定の目安を以下のように考えることにする。

ドレーン工の幅(奥行) は、図2-3-31 のようにドレーン工の幅を考慮した平均動水勾配 (H/D) が0.3 以上とならないよう設定することにする。ここで平均動水勾配の最大値を0.3 としたのは図2-3-32 に示すように、平均動水勾配が概ね0.3 以下であればパイピングを生ずる可能性がほとんどないことが土木研究所における模型実験で確認されているためである。



〔ドレーン工マニュアル2.4〕

図 2-3-31 幅 (奥行き) の考え方

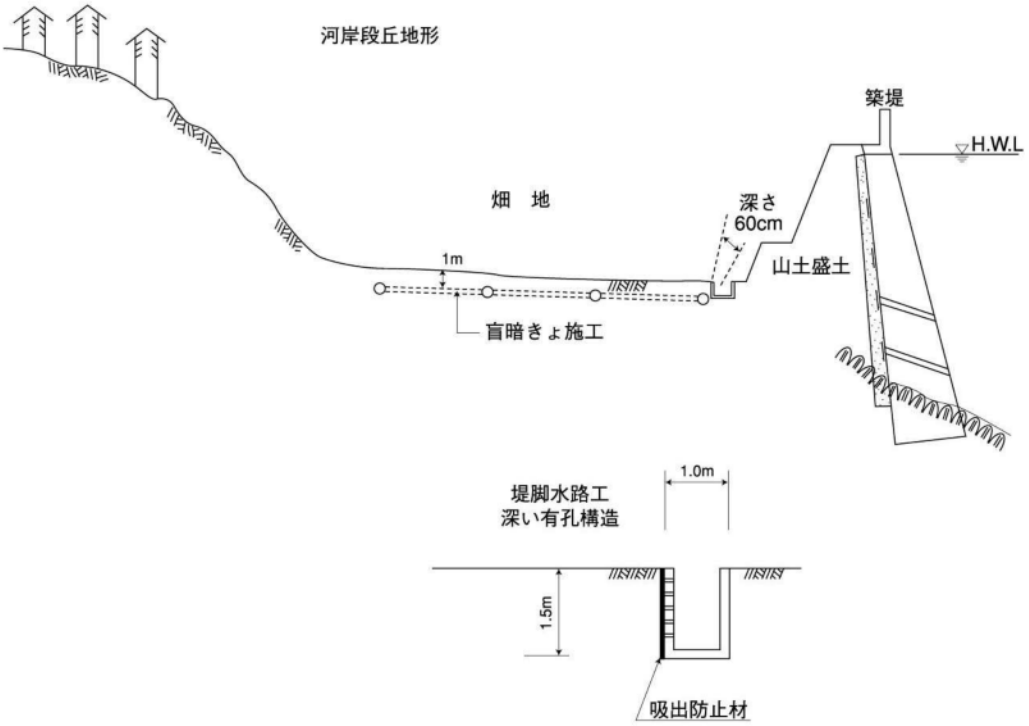


〔ドレーン工マニュアル2.4〕

図 2-3-32 50%粒径と平均動水勾配の関係

【コラム】堤防背後地の湿地化対策

○河岸段丘地形の前面に築堤を施工した場合、堤防背後地が湿地化する可能性があるため、用地制約を確認の上、盲暗渠を設けるか堤脚水路を深い有孔構造とし、浸透水を横排水できるような構造が望ましい。



3) 堤体の材料の選定　〔河川砂防（設Ⅰ）第1章2.2.2〕

盛土による堤防の材料は、原則として近隣において得られる土の中から堤体材料として適当なものを選定する。

【解　説】

材料の選定にあたっては「河川砂防技術基準(案)同解説 設計編〔Ⅰ〕 第1章2節 堤防 2.2.2 堤体の材料の選定」及び「河川土工マニュアル 第3章3.1.3 堤体材料の選定」を参考とする。

また、下記事項についても検討し、適切な堤体材料を選定する。

(1) 湿潤、乾燥等の環境変化に対して安定していること。

(2) 腐植土等の高有機質分を含まないこと。

(3) 施工時に締固めが容易であること。

適切な堤体材料を得ることが難しい場合には、土質改良をしたり、２種類以上の土の適当な組合わせ等によっている場合がある。

近隣に類似の土を用いた堤防がある場合は、その堤防の洪水時の過去の挙動を検討して選定する。また、既設堤防を拡幅する場合には、既設堤防の堤体材料を検討のうえ、選定する必要がある。

堤防の材料の選定の際、あるいは締固め等の検討にあたっては、「河川土工マニュアル」等を参考にするとよい。

表 2-3-16　河川築提要求品質表（参考）

用　途		一　般　堤　防
材料規定	最大粒径	(150 ㎜以下)
	粒　度	(Fc=15～50%)
	コンシステンシー	－
	強　度	－
施工管理規定	施工含水比	Dc≧90%の締固め度が得られる湿潤側の含水比の範囲
	締固め度	RI 計器:締固め度平均値 Dc≧90% 砂置換法締固め度規定値 Dc≧85%
	空気間隙率または飽和度	粘性土 Va=2～10% Sr=85～95% 砂質土 Va≦15%
	１層の仕上り厚さ	30cm 以下
	その他	－
基　準　等		河川土工マニュアル H21.4

〔建設発生土マニュアル〕

凡例

Va：空気間隙率

Fc：細粒分含有率

Sr：飽和度

Dc：締固め度

－：特に規定なし

Dc：平均締固め度

(　)：望ましい値

4) 堤防の余盛

堤防を築造するときには、一般に堤防の沈下を考慮して余盛を行う。

(1) 堤防余盛基準 〔例規集第 4 編 2-2（昭和 44 年 1 月 17 日 治水課長通達）〕

堤防余盛基準は、継続工事等急激に余盛高を変更することが不適当である場合は除外する。

① 余盛は、堤体の圧縮沈下、基礎地盤の圧密沈下、天端の風雨等による損傷等を勘案して通常の場合は表 2-3-17 に掲げる高さを標準とする。ただし、一般的に地盤沈下の甚だしい地域、低湿地等の地盤不良地域における余盛高は、さらに余裕を見込んで決定するものとする。

② 余盛高は、堤高の変動を考慮して支川合流点、堤防山付、橋梁等によって区分される一連区間（改修計画における箇所番号区間を標準とする）毎に定めるものとする。

③ 余盛高の基準となる堤高は、対象とする一連区間内で、延長 500m以上の区域についての堤高の平均値が最大となるものを選ぶものとする。

④ 残土処理等で堤防断面をさらに拡大する場合にはこの基準によらないことができる。

表 2-3-17 余盛り高の標準 （単位：cm）

堤体の土質		普通土		砂・砂利	
地盤の地質		普通土	砂、砂利	普通土	砂、砂利
堤高	3m以下	20	15	15	10
	3m～5mまで	30	25	25	20
	5m～7mまで	40	35	35	30
	7m以上	50	45	45	40

注 1) 余盛りの高さは、堤防のり肩における高さをいう。 〔例規集第４編2-2〕

2) かさ上げ、拡幅の場合の堤高は、垂直盛土厚の最大値をとるものとする。

3) **小段についての余盛りは小段の盛土高に応じて余盛り高を決定すること。**

4) **普通土とは、砂質土（ＳＭ）（ＳＣ）（ＳＶ）のことをいう。**

5) **堤高とは堤内側ののり尻から求めた堤防高さＨ2と堤外側ののり尻から求めた堤防高Ｈ1の高い方とする。**

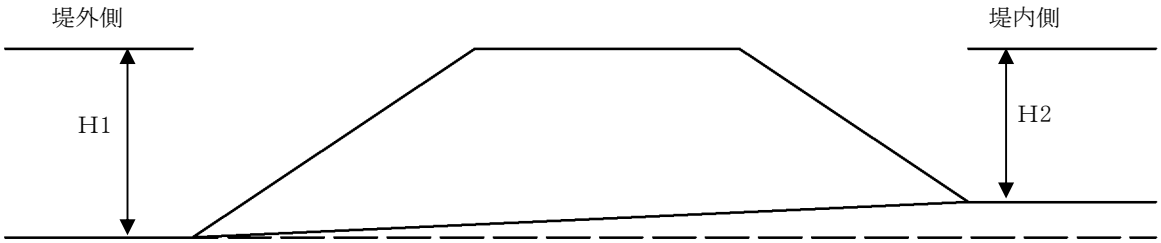


図 2-3-33 堤高の定義

(2) 余盛の形状

余盛は、図 2-3-34 によることを一般的とする。

① 沈下の少ない場合は図の①とし、のり面の余盛はのり尻で零となるようにする。

② 沈下の多い場合は図の②とする。

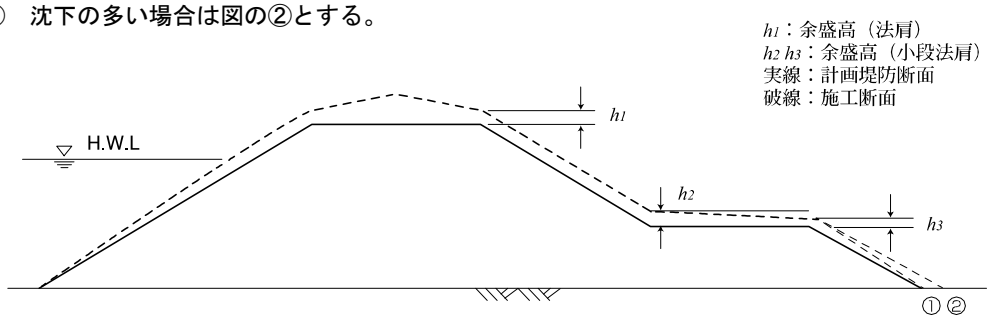
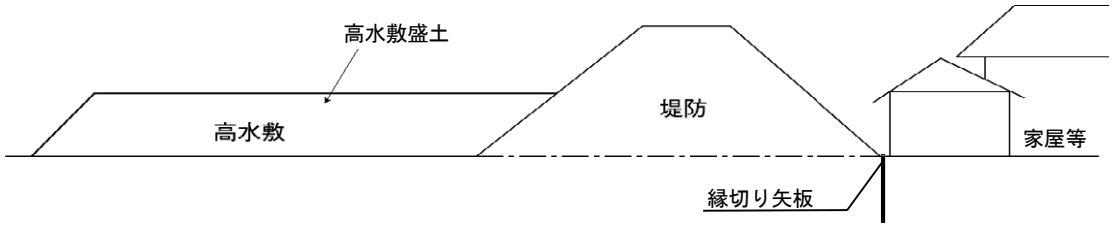


図 2-3-34 余盛図（小段のある場合）

【コラム】家屋等に近接する築堤盛土の影響

○家屋等に近接して築堤や高水敷盛土を計画する場合は、圧密沈下や側方流動のおそれがある。これらの影響を把握するため、土質調査を実施し対策（縁切り矢板等）を事前に検討しておくことが望ましい。



5) 堤防の排水勾配及び天端の処理

(1) 排水勾配

堤防天端や小段および高水敷には、雨水の排水を良好にするため、図2-3-35のとおり所要の勾配をつけることを標準とする。

① 勾配は余盛部分でつけるものとする。

② 堤防天端には、余盛のほかに排水のため 5%～10%程度（砕石天端の場合）の横断勾配をつけるものとする。

③ 高水敷には、1/100～1/200程度の勾配をつけるものとする。

④ 小段を設ける場合には、土の場合1/10程度、コンクリート張りの場合には1/20程度の勾配をつけるものとする。

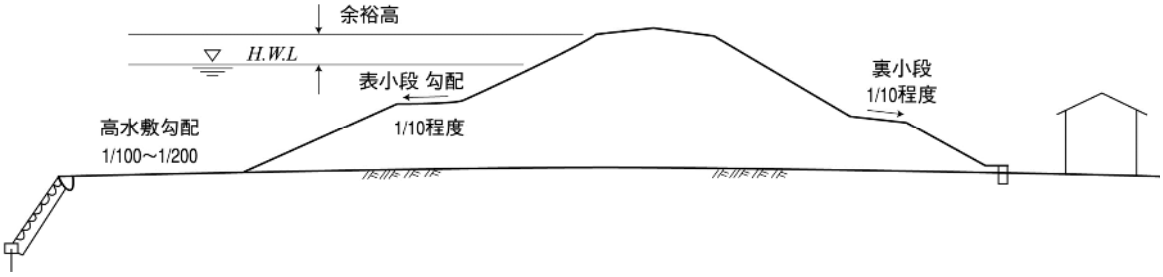


図 2-3-35 堤防及び高水敷の排水勾配

(2) 天端の処理法

堤防天端は、雨水の堤防への浸透抑制やねばり強い構造、越水河川巡視の効率化、河川利用の促進の観点から、河川環境上の支障を生じる場合を除いて、舗装されていることを基本とする。

① 環境地域特性等により舗装が好ましくないと判断される場合は、砕石等を施工するものとする（図2-3-36（1）参照）。

② 舗装とした場合の留意点

a. 堤防のり面に雨裂が発生しないように、アスカーブ及び排水処理工の設置、適切な構造によるのり肩の保護等の処置を講ずるものとする。

b. 堤防天端利用上の危険の発生を防止するため、必要に応じて、車止めを設置する等の適切な措置を講ずるものとする。（第3編 2-5 参照）

c. 原則として路盤材及び舗装材は、計画堤防断面外とする。

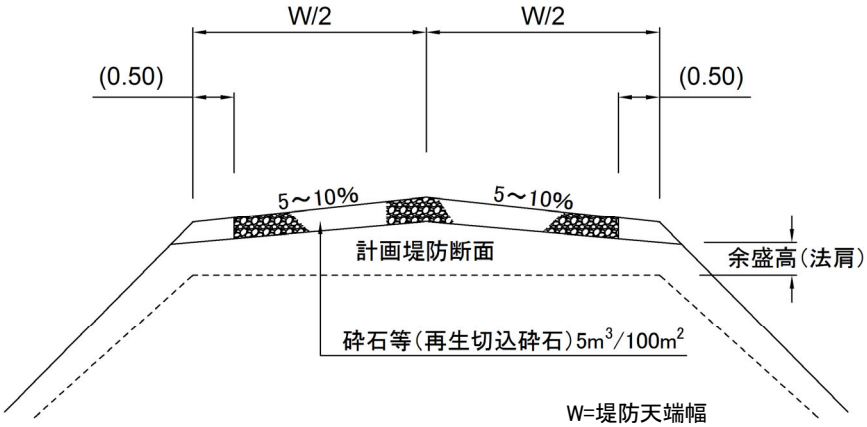


図 2-3-36(1) 堤防天端の処理（砕石の場合の例）

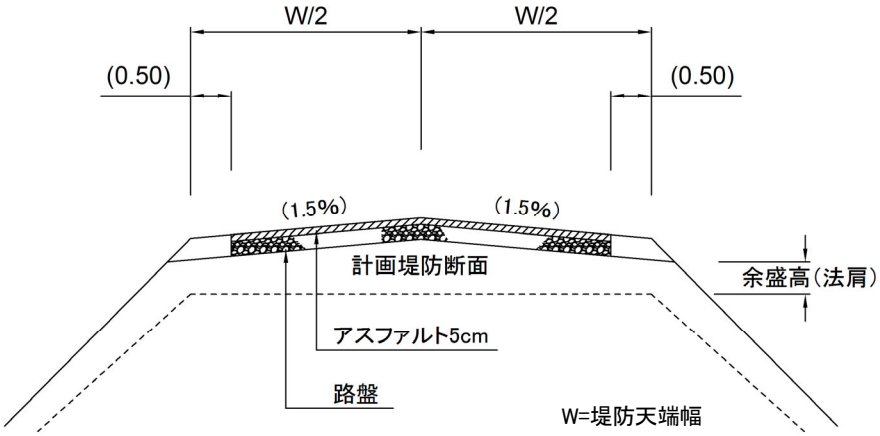


図 2-3-36(2) 堤防天端の処理（アスファルトの場合の例）

6) のり面保護（被覆工）　〔構造令　第 22 条〕

盛土による堤防の法面（高規格堤防の裏法面を除く）は、芝等によって覆うものとする。

【解　説】

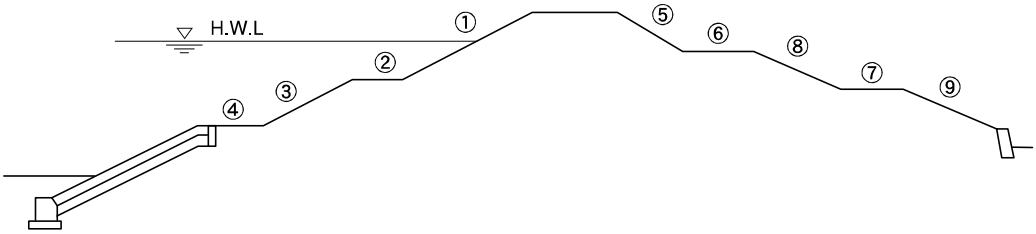
「芝等」とは、芝のほか、チガヤ、その他の植生を含むものである。

① 芝付には、張芝、種子吹付け等があり、張芝の場合は、図 2-3-37 のとおりとする。ただし、土質条件、現場条件によりこれにより難い場合は、別途考慮することができる。

② 芝の活着までに雨裂の発生しやすい土質については、活着するまでの間、排水工で処理を行う。

③ 樋門等本堤開削に伴う堤防の芝付は、張芝とする。

④ 芝の活着のために必要な場合は、30cm 程度の衣土にて施工する。



芝の種類	芝付の位置
張芝	①、②、③、④、⑤、⑧、⑨
市松芝	⑥、⑦

図 2-3-37　芝付の位置

7) 堤脚保護工

堤防のり尻が水路・道路となる場合または、小段に道路がある場合（坂路を含む）は、堤脚保護工を設けることを標準とする。

① 堤脚保護工の高さは、1m以下（3 段積（平積））が望ましい。

② 材料は間知ブロック控 35 ㎝を使用し、のり勾配は 1:0.5 を標準とする。なお、ドレーン工が必要な箇所ではプレキャスト製品の採用も検討する。

③ 堤脚保護工は、堤体内に浸潤した流水及び雨水の排水に支障を与えないとともに、堤体材料の微粒子が吸出されることのないように特に配慮した空石積み等の構造のものとする。

④ のり尻の土質が悪い場合は、基礎工を設ける。

⑤ 堤脚保護工と堤脚水路の間に平場が発生するような場合は、コンクリート打設等による雑草抑制の検討を行うことが望ましい。

※上記内容によりがたい場合は、別途検討すること。

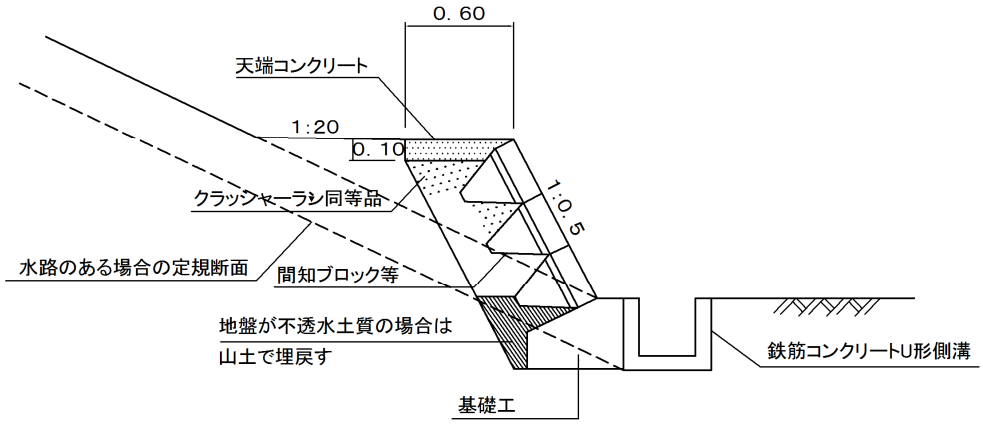


図 2-3-38 基礎のある例

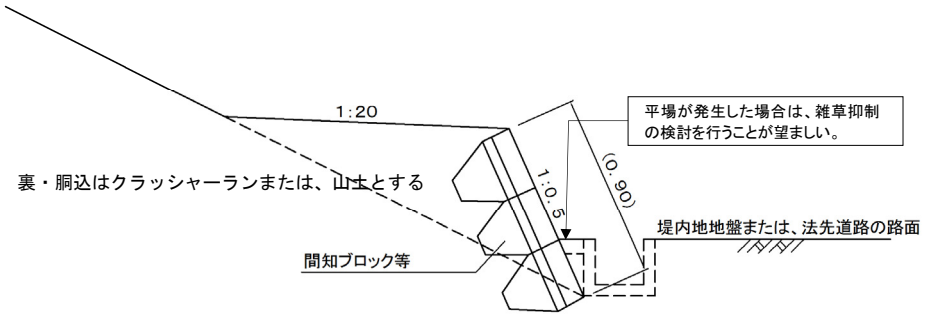


図 2-3-39 基礎のない例

8) 階段工

工作物の管理上または、河川敷の利用のために、必要な場合には階段工を設けることができる。高水敷等の利用頻度が高い箇所では100mに1箇所を標準とし、その他の箇所では200mに1箇所を標準とする。

なお、距離標の設置箇所付近及び川裏の道路利用状況を総合的に検討する。

(1) 階段の構造

① 川表側は、階段の上面を堤防のり面にあわせ、川裏側は、階段を計画堤防線外に設置することを基本とする。(図2-3-41)。

② 階段の幅は、2.0m以上、ステップの高さは、0.2m以下としステップの高さ調整は最下段とする。

③ 階段には、河川の安全な利用のため手すりを設置することが望ましい。一般的には、高さが1m以下のパイプ形式のものであれば治水上の影響は小さい。また、自転車の利用状況により斜路付きの階段工も検討する。

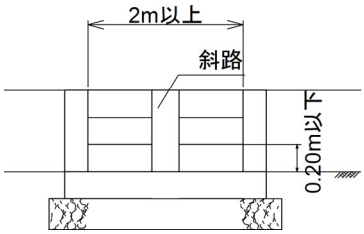


図 2-3-40(1) 階段工正面図

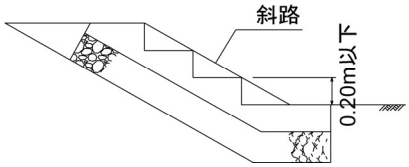


図 2-3-40(2) 階段工断面図

(2) のり面保護

① 川表に設置する場合

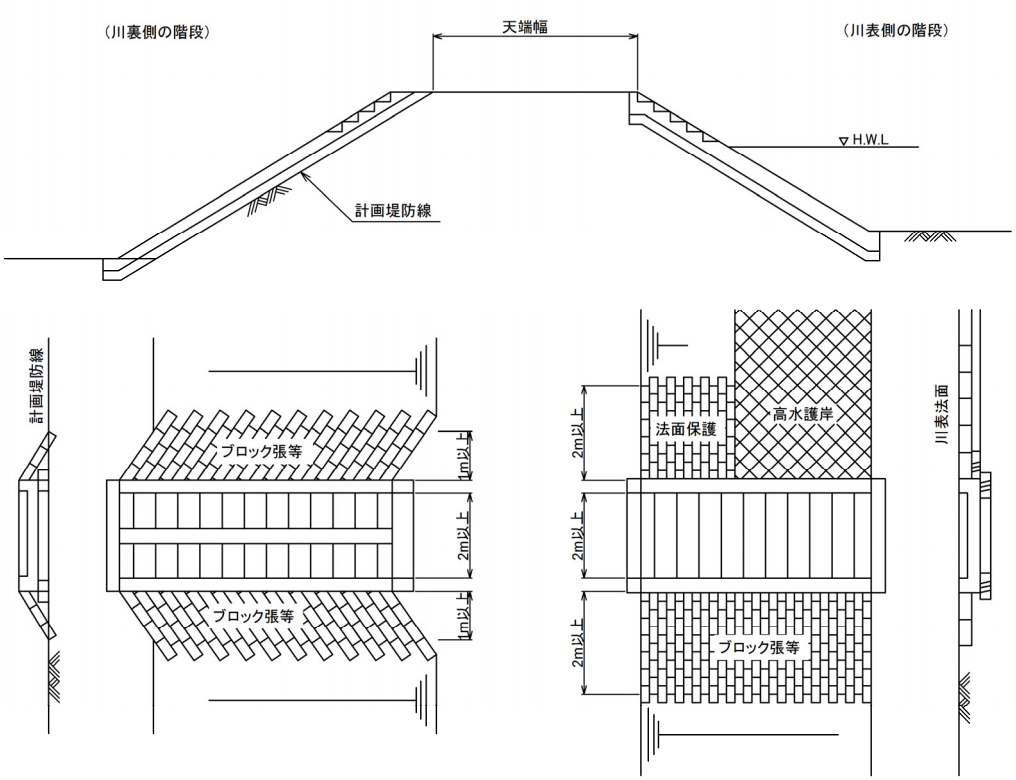
階段工の上下流それぞれ2m以上の幅で、空ブロック張り等で施工することを標準とする。

a. 既設護岸のある場合は、取り壊し部分を元と同一工法で復旧し、護岸高以上については、築堤高までとする。

b. 護岸等の新設にあわせて階段を設置する場合は、周辺の護岸と同様の構造とし、護岸高以上については、築堤高までとする。

② 川裏に設置する場合

階段工の上下流それぞれ 1m以上の幅で、空ブロック張り等を施工することを標準とする。



※雨裂防止のため、堤防法面と階段のブロック張等の接続部は、千鳥配置にすること。

図 2-3-41 階段工

9) 坂路工

(1) 坂路設置の基本

① 坂路は、計画堤防断面外に設けるものとする。

② 坂路の設置にあたっては、既設坂路の配置等を考慮して極力統合を図るものとする。

③ 計画堤防外に拡幅し、のり面処理は上下流ののり面と同一工法として、なじみ良く取り付けること。のり勾配は計画堤防断面勾配とする。

(2) 堤外坂路（川表坂路）

① 堤外坂路は、河積を狭め、流水に対し支障となることが多いので、できる限り小さくおさえる必要がある。

② 堤外坂路は、狭窄部、水衝部等流下断面に支障のある場合には、原則として設けてはならない。

③ 堤外側には、上流に向かって設置する坂路（逆坂路）は避けなければならない。ただし、治水上の支障の生じないよう必要な対策を講ずる時にはこの限りでない。

④ 川のオープンスペース利用へのアクセスとなる坂路は、高齢者、車椅子等が安心して利用できるよう緩傾斜化や手すりの設置（治水上支障のない構造）などに努める。

⑤ 舗装材

堤外坂路の舗装材は、流水による耐侵食機能を考慮して計画高水位（HWL）に応じて下表を参考に設定する。なお、設定に際しては対象河川における実績も考慮する。

表 2-3-18 堤外坂路の舗装材

水位	舗装材
HWL 以下	コンクリート t=20cm
HWL 以上	アスファルト t=5cm

(3) 堤内坂路（川裏坂路）

① 堤内坂路は、堤防が兼用道路であり公道間を結ぶ場合に設置することを基本とするが、水防活動等の観点から適宜必要性を判断する。

② 幅員は、計画天端幅以内とし、勾配は６％を基本とする。

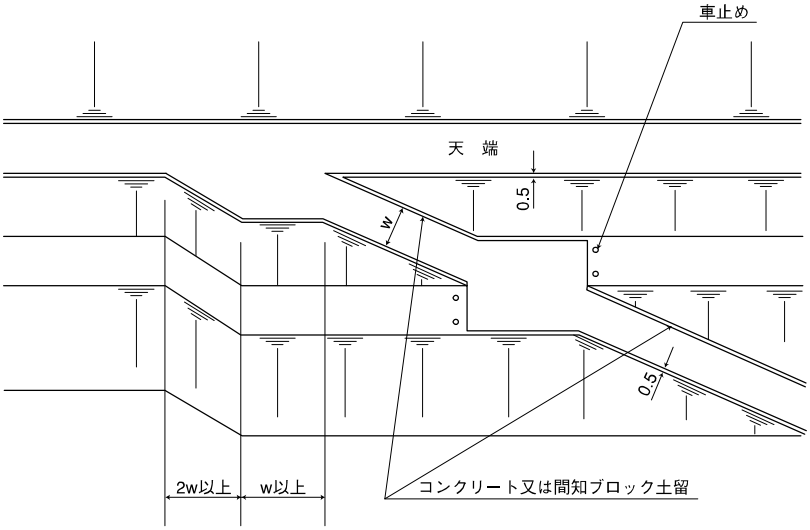


図 2-3-42(1)　坂路工詳細図(小段がある場合)

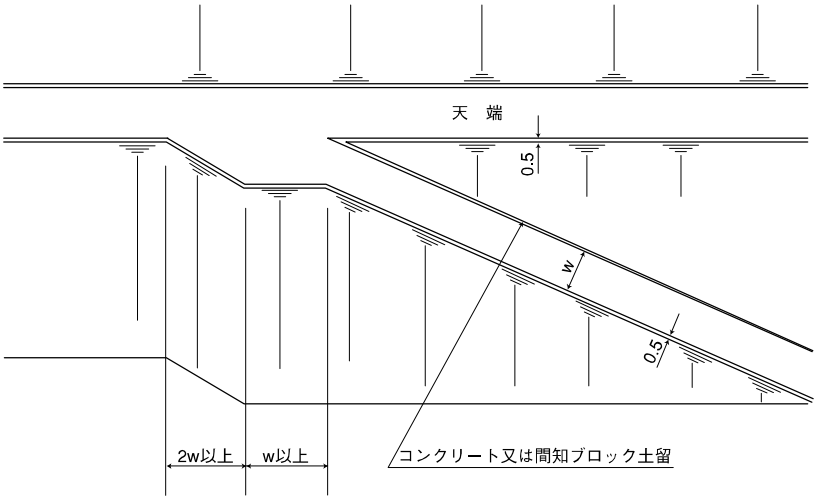


図 2-3-42(2)　坂路工詳細図（小段のない場合）

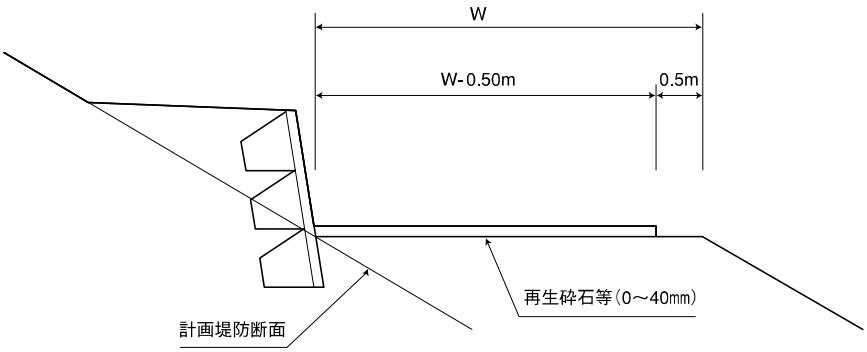


図 2-3-43　坂路工断面図

10) 境界杭

官民境界を明確にするために、必要に応じて境界杭を設置するものとする。

河川における官民境界杭の設置方法は、以下によるものを標準とする。

(1) 設置地点

① 50m程度毎

② 境界線の折点毎

(2) 設置方法等

① コンクリート杭

a. 特に地盤の悪い場所等には、基礎に切込砕石等を考慮する。

b. 基礎ブロックについては、A型を標準とするが、現場条件等により、B型またはC型を使用してもよい（図 2-3-44 参照）。

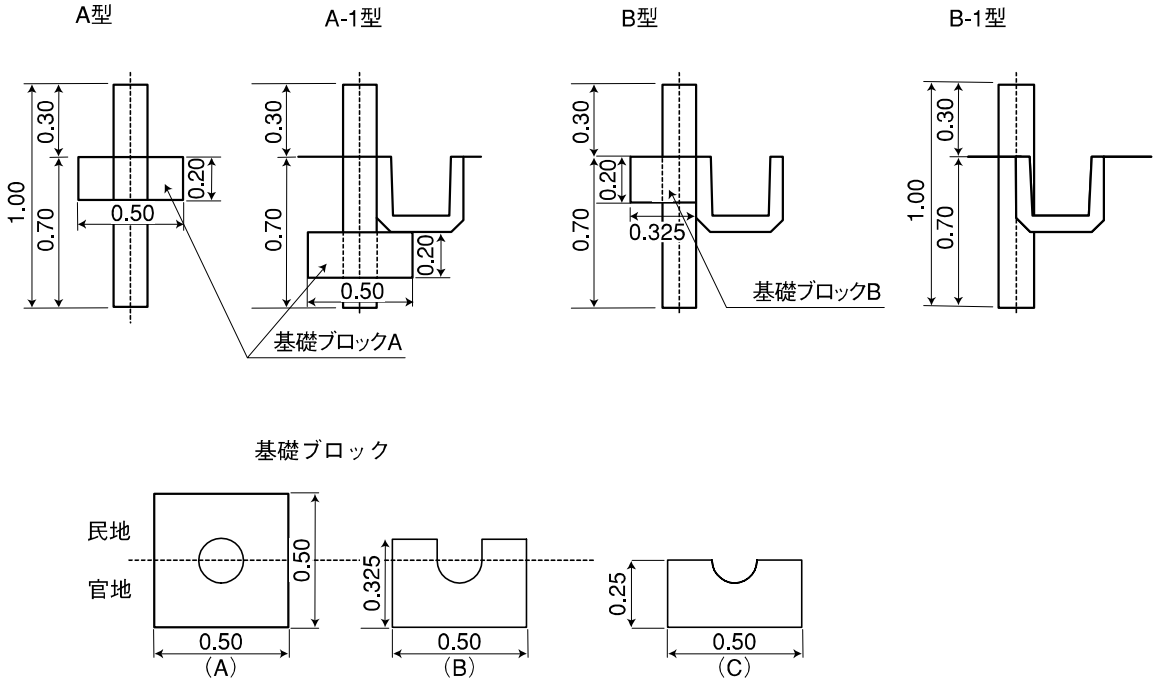


図 2-3-44 基礎ブロック

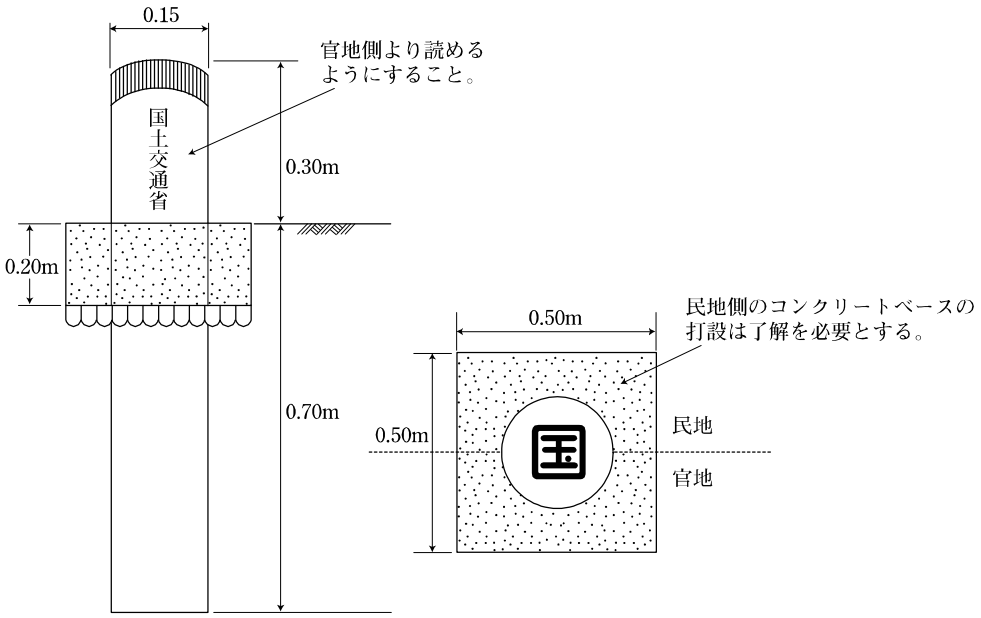


図 2-3-45　標準境界杭

② 境界鋲

都市河川及び家屋連たん部で用地境界杭が境界中心に設置できない場合または、車等による破損の恐れのある場合には鋲を使用することができる。(図 2-3-46 参照)

a.　材質はアルミニウム合金製とする。

b.　文字矢印は掘込みで、ペイント仕上げ(赤色)ペイントの材質は用地境界杭部着色と同一とする。

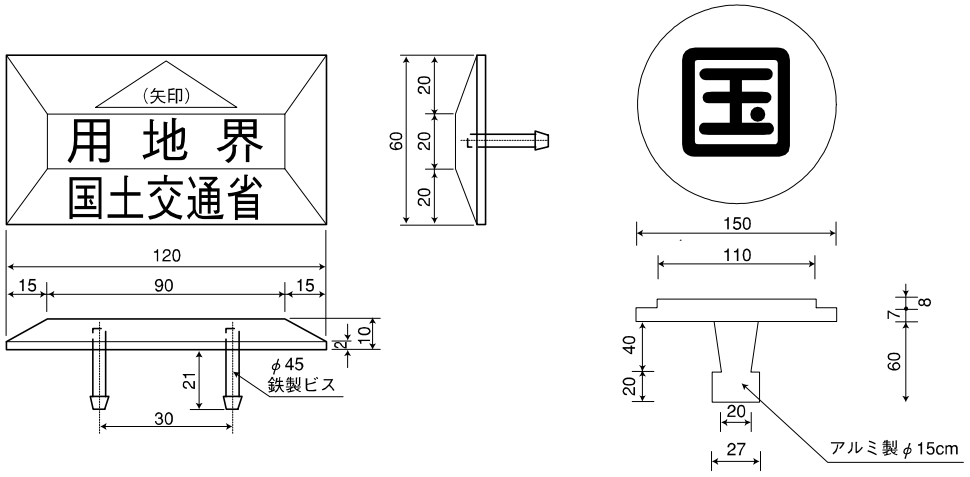


図 2-3-46　境界鋲

表 2-3-19　境界杭の寸法

品　　目		主要部寸法（mm）
官民境界杭		φ150×1,000（直径×長さ）
		φ150（半円）×1,000
基礎ブロック	A型	500×500×200（幅×長さ×厚さ）
	B型	500×325×200（幅×長さ×厚さ）
	C型	500×250×200（幅×長さ×厚さ）
境界鋲	用地界	アルミ合金　120×60×10
	㊗	アルミ合金　φ150×15

2-4　高潮堤防

1)　高潮堤防の構造〔河川砂防（設Ⅰ）第 1 章 2.1.5〕

高潮の影響を受ける区間の堤防ののり面、小段、天端は、必要に応じてコンクリートその他これに類するもので被覆するものとする。

【解　説】

①　高潮の影響を受ける区間の堤防は、越波を考慮して一般にコンクリートまたはこれに類するもので三面張りにする。なお、堤防に越波した水を集水する排水路を設けることが必要である。

②　高潮の影響を受ける区間の堤防の設計は、水圧、土圧、波圧に対しても安全な構造となるよう設計する。また、断面形状等が上流の河川堤防となめらかに接続するよう配慮する。

③　高潮区間に設置される堤防において背後地への越波を防ぐためには、必要に応じて波返工を設けるものとする。**また、波返し等はプレキャスト製品の採用も検討する。**

2)　高潮堤防の堤体の材料選定

本章 2-3-4　3)によるものとする。

3)　計画堤防・護岸高〔河川砂防（計）第 4 章 3.3.6〕

計画堤防・護岸高は、

①　計画打ち上げ高に余裕高を加えた高さ。

②　越波量が許容越波量以下となる高さに余裕高を加えた高さ。

とする。

4)　被覆工〔河川砂防（設Ⅰ）第 1 章 2.1〕

河川砂防技術基準(案)同解説 設計編［Ⅰ］第 1 章第 2 節堤防 2.1 および 設計編［Ⅱ］第 7 章第 3 節堤防および護岸 3.6 によるほかは、以下によるものとする。

高潮堤防は、越波を考慮して一般にコンクリートまたはこれに類するもので被覆を行い三面張りにするので、海岸堤防の構造の考え方を踏まえて設計するのが一般的である。被覆を行う部分は、高水敷、表のり面、天端、裏のり面などがある（図 2-4-1 参照）。以下に各部分毎に使用する被覆材の標準を示す。

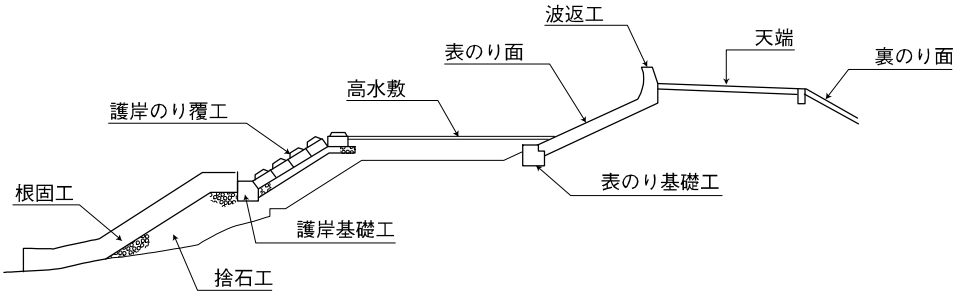


図 2-4-1　高潮堤防の三面張りの例

(1) 高水敷の被覆工

高水敷の被覆は、アスファルトによる被覆もしくは芝付(張芝)による被覆を標準とする。図 2-4-2 にアスファルトによる被覆を行う場合の舗装構成の標準を示す。なお、基礎材には再生材の使用を標準とするが、環境面及び漁業等に配慮が必要な場合には、別途考慮する。また、波浪の影響や現場状況に応じて大型ブロックの採用を検討する。

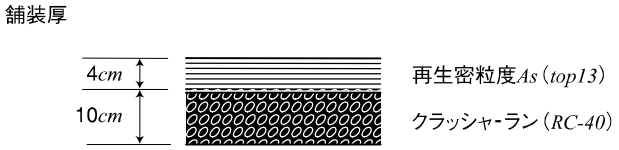


図 2-4-2 高水敷の被覆の標準

(2) 表のり面の被覆工

表のり被覆は、波返工の形状を標準とし、コンクリートにより被覆することを標準とする。

コンクリートを場所打ちする場合には、原則として 6～10mの間隔に伸縮目地を設けるものとする。また、伸縮目地は、スリップバー等により食違いを防止するとともに、止水板、または充てん材により水密性をもたせる。

(3) 天端の被覆工

堤防天端の被覆は堤体を保護し、堤体土砂の収縮や沈下に対しても順応できる構造とするものとし、アスファルトによる被覆を標準とする。なお、天端の排水上を考慮し、必要な勾配を設ける。また、堤防天端を道路として兼用する場合には、予想される交通荷重に対して堤防の安全を維持するために必要な強度を有する被覆とする。

以下にアスファルトによる被覆を行う場合の舗装構成の一例を図 2-4-3 に示す。なお、基礎材には再生材の使用を標準とする。

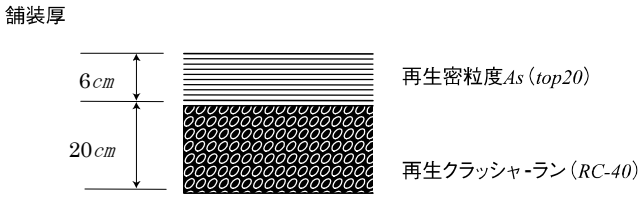


図 2-4-3 天端の被覆の一例

(4) 裏のり面

裏のり面の被覆は、堤体を保護し、堤体土砂の収縮や沈下に対しても順応できる構造とするものとし、コンクリートブロック張りによる被覆を標準とする。

5) 堤防表のり面の基礎工〔河川砂防（設Ⅱ）第 7 章 3.6〕

河川砂防技術基準（案）同解説 設計編［Ⅱ］第 7 章第 3 節 堤防および護岸「3.6.3 基礎工」によるほかは、以下によるものとする。

基礎工の目地間隔は、10mを標準とするが地盤の沈下等、現地の状況により別途考慮することができる。また、基礎工に二次製品を用いる場合の目地間隔は、製品長に応じた目地間隔とすることができる。

6) 護岸部の根固工〔河川砂防（設Ⅱ）第 7 章 3.6〕

根固工は、波浪による前面の洗掘を防止して、被覆工または基礎を防護するものとする。

河川砂防技術基準（案）同解説 設計編［Ⅱ］第 7 章第 3 節堤防および護岸「3.6.5 根固工」によるほかは、以下によるものとする。

(1) コンクリートブロック根固工

根固には、異形コンクリートブロックの使用を標準とするものとする。

なお、河床の地盤等を考慮し、必要に応じて沈床マットもしくは安定シート(t=1 ㎜)を布設してもよいものとする。

(2) 捨石根固工

中詰に用いる捨石材は雑石とし、質量 30～70 kg/個を標準とするが、現場の状況に応じ別途考慮してもよいものとする。なお、河床の地盤等を考慮し、必要に応じて沈床マット等を使用してもよいものとする。

7) 高潮堤防の付属施設

高潮堤防には、必要に応じて坂路、階段、防止柵等を設置するものとする。

(1) 坂路

高潮堤防に坂路を設置する場合は以下によることを標準とする。

① 坂路設置位置

坂路設置箇所は、現況箇所の復旧を基本とする。ただし、河川管理上必要な場合および地元の要望等を考慮して新設してもよい。

② 坂路の向き

川表坂路の向きは、洪水時および高潮時の水理特性および利用形態等を考慮し、その方向を定めるとよい。一例として河口部付近（波高が高い箇所）では、上流へと向かって下る逆坂路、高潮区間の上流部は下流へと向かって下る坂路が考えられる。

③ 坂路の構造

高潮堤防に設置する坂路は三面張り（アスファルト被覆）を基本とする。なお、詳細は以下による。

a. 坂路幅員は 4m を標準とし、摺り付け長さは坂路幅員の 3 倍を標準とする。

b. 川表坂路の勾配は 6%を標準とし、川裏坂路の勾配は 6%以下とする。

c. 道路のレベル区間の長さは、管理車両の安全性を考慮し、天端幅に対して 5 倍を標準とする。

(2) 階段

高潮堤防に階段を設置する場合は以下によることを標準とする。

① 階段設置箇所は、現況箇所の復旧を基本とする。ただし、河川管理上必要な場合および地元の要望等を考慮して新設してもよい。なお、川表の階段については、津波時等の緊急時を考慮し、200m程度に最低1個所設置することを標準とする。

② 階段の幅は2.0m程度とし、材料には階段ブロック等の二次製品の利用も考慮するものとする。なお、ステップの高さ調整は最下段で行うものとする。

(3) 防止柵

坂路および小段等には河川管理上必要な場合は、防止柵（車止め）の設置を考慮する。

2-5 胸壁（パラペット）構造の特殊堤〔構造令 第19条〕

堤防は、土地利用の状況その他の特別の事情によりやむを得ないと認められる場合においては、コンクリート構造もしくはこれに準ずる構造の胸壁を有するものとすることができる。

① 胸壁の高さは、余裕高（または波高相当高）未満とし、高くする場合でも1m程度、できれば80cm程度以下にとどめることが望ましい。 〔河川砂防（設Ⅰ）2.1.7〕

② 胸壁を有する堤防の基準天端幅は、胸壁を除いた部分の上面における堤防の幅からの胸壁の直立部分の幅を減じたものを堤防の天端幅とみなす。

③ 胸壁を有する堤防の胸壁を除いた部分の高さは、計画高水位以上とするものとする。

④ 胸壁は自立構造とし、原則的に直接基礎とする。

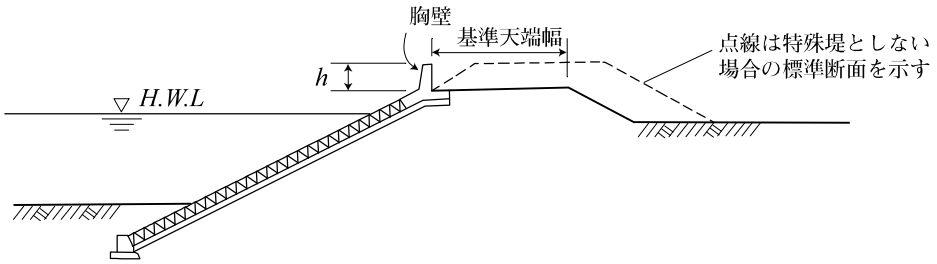


図 2-5-1 胸壁（パラペット）を有する堤防

2-6　水防上の配慮事項

水防活動を考慮した設計上の配慮事項

(1)　堤防天端幅の狭い区間における車両待避スペースの設置

堤防天端は水防活動や緊急車両等が円滑に通行できるよう見通し、坂路および堤内地側への取り付け道路の位置等を考慮して、計画的に車両待避スペースを設置する。設置に際しては、工事中に利用した工事用車両の離合箇所等も活用する。

(2)　水防拠点の確保（搬入資材仮置き場、備蓄材の確保）

水防拠点の計画に当たっては、下記を考慮し設置位置を検討する。

①　水防倉庫など関連施設との役割分担

②　重要水防箇所の状況

③　過去に大きな被害を受け、水防活動や緊急復旧の実績のある区間およびその状況

④　想定される水防活動および緊急復旧活動に関わる輸送路の状況

⑤　集落や市街地に近く、通常時にも一般の利用が活発に行われ、河川を軸とした文化活動の拠点として活用されるとともに、河川事業の展示活動、研修などが展開できる地域

○参考文献

基準等の略称	参考文献	年月	監修・編集・発行等
耐震性能照査指針（Ⅱ）	河川構造物の耐震性能照査指針・解説 －Ⅱ．堤防編－	H28.3	国土交通省
河川堤防設計指針	河川堤防設計指針	H19.3	国土交通省
河川砂防（計）	国土交通省 河川砂防技術基準　同解説　計画編	H17.11	国土交通省
ドレーン工マニュアル	ドレーン工設計マニュアル	H25.6	国土交通省
耐震点検マニュアル	河川堤防の耐震点検マニュアル	H28.3	国土交通省
構造令	改定　解説・河川管理施設等構造令	H12.1	(社)日本河川協会
河川砂防（設Ⅰ）	改訂建設省河川砂防技術基準(案)設計編(Ⅰ)	H9.10	(社)日本河川協会
力学設計	改訂　護岸の力学設計法	H19.11	(財)国土技術研究センター
例規集	河川事業関係例規集	H27	(社)日本河川協会
液状化対策手引き	河川堤防の液状化対策の手引き	H28.3	(国研)土木研究所
構造検討の手引き	河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）	H24.2	(財)国土技術研究センター
堤防浸透照査設計 のポイント	河川堤防の浸透に対する照査・設計の ポイント	H26.7	(国研)土木研究所
河川土工マニュアル	河川土工マニュアル	H21.4	(財)国土技術研究センター
建設発生土マニュアル	建設発生土利用技術マニュアル（第４版）	H25.12	(国研)土木研究所
水理公式集	水理公式集	H11.11	(社)土木学会
最高水位の算定 の手引き（案）	河川構造物の耐震性能照査において考慮する 河川における平常時の最高水位の算定 の手引き（案）	H19.5	(財)国土技術研究センター
河川遡上解析の手引き	津波の河川遡上解析の手引き（案）	H19.5	(財)国土技術研究センター