

河川堤防設計指針

(国土交通省河川局治水課、平成14年7月12日)

(最終改正、平成19年3月23日)

1. 本指針の目的

河川堤防(以下「堤防」という。)は住民の生命と資産を洪水から防御する極めて重要な防災構造物であり、河川管理施設等構造令(以下「構造令」という。)では「計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造とする」ことを構造の原則としている。

現在の長大な堤防の多くは、古くから逐次強化を重ねてきた長い治水の歴史の産物であり、これまでの整備によって、堤防延長や堤防断面の確保については相当の整備がなされてきている。しかしながら、その構造は主に実際に発生した被災などの経験に基づいて定められてきたものであり、構造物の破壊過程を解析的に検討して設計されてきているものではない。治水対策の進捗に伴い、氾濫原における人口や資産の集積には著しいものがあり、堤防の安全性の確保が益々必要となってきたことから、工学的に体系化された堤防の設計法の確立が求められている。

この河川堤防設計指針(以下「本指針」という。)は、以上のような背景のもと、現時点における堤防設計の考え方を示したものである。また、堤防の弱点となりやすい樋門等の構造物の周辺についても、点検や補強対策の考え方を併せて示している。

本指針は、直轄河川の既設の堤防を拡築することを念頭に置いてまとめているが、新堤の整備や既設の堤防の安全性の点検にも適用できるものである。高規格堤防については構造令及びそれに関連する基準等により別途規定されている。構造令の適用外の堤防、すなわち越流堤、囲繞堤、背割堤および導流堤などについては、本指針は適用しない。また、高潮堤や湖岸堤、特殊堤および越水も考慮する必要がある堤防については、設置の適否を含め目的に応じた構造の検討が個々になされるものであることから、本指針は適用しない。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指針の基準を準用できる。

本指針は、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、本指針よりも高い安全性を求めることを妨げるものではない。

2. 堤防設計の基本

(1) 基本指針

構造令では、堤防の構造の原則は定めているものの、その設計に関する事項としては、断面形状(余裕高、天端幅、のり勾配等)の最低基準を河川の規模(流量)等に応じて規定しているだけであり、いわば形状規定方式を基本としている。通常の構造物で行われるような構造物の耐力と外力を比較するという設計法が、堤防においてなされてこなかった理由としては次のようなことが考えられる。すなわち、堤防が長い歴史の中で順次拡築されてできてきた構造物であり、時代によって築堤材料や施工法が異なるため、堤体の強度が不均一であり、しかもその分布が不明であること、基礎地盤自体が古い時代の河川の作用によって形成された地盤であり、極めて複雑であること、堤防が被災した場合、堤体や基礎地盤が破壊されてしまい、被災原因を解明することが困難であること、小さな穴ひとつでも破堤するといわれるように、局所的な安全性が一連の堤防全体の安全性を規定すること、水防活動と一体となって堤防の安全性が確保されてい

ること、などである。

このため、ある断面形状を定めて堤防を整備し、大洪水に遭遇して堤防が危険な状態になることを経験すると、その後の改修において、堤防を拡築して強度を上げるという方式を採ってきたと考えられる。また、場所によって堤防の断面が異なると住民に不安を与えることになることも形状規定方式がとられてきた背景のひとつであろう。

このような形状規定方式による堤防の設計は、簡便で極めて効率的であり、長年の経験を踏まえたものであることから、堤防整備の基本として十分な役割を果たしてきたことは間違いのないところである。しかしながら、一方で堤防の洪水に対する安全性を評価することが難しいことも事実である。既往の被災事例をみても、計画高水位以下の洪水により漏水など構造上の課題となる現象が数多く発生しており、現在の堤防が必ずしも防災構造物としての安全性について十分な信頼性を有するとはいえない。そのため、計画的な補強対策が必要であり、その必要性や優先度、さらには対策工法を検討するためには、堤防の設計においても一般の構造物の設計法と同様、外力と耐力の比較を基本とする設計法(安全性照査法)を導入することが求められる。

以上の考えから、平成9年に改訂した河川砂防技術基準(案)では、堤防の断面形状については従来の考えを踏襲しつつ、堤防の耐浸透・耐侵食機能に関しては機能毎に水理学的あるいは土質工学的な知見に基づく安全性の照査法を用いた堤防設計法を導入した。また、耐震機能については、「河川構造物の耐震性能照査指針(案)」(平成19年3月)において、いわゆるレベル2地震動に対して地震に起因する堤防変形により二次災害が発生する条件を工学的な手法に基づき検討し、それに対し所要の強化工法を施す設計法を導入している。

本指針は、河川砂防技術基準(案)を補足することにより、堤防の信頼性の一層の向上を図るものである。

(2) 堤防の安全性確保の基本的な考え方

堤防の安全性を確保するためには、堤防に求められる機能を明確にした上で、それぞれの機能毎に堤防の安全性を照査し、所要の安全性が確保されていないと判断される区間については強化を図る。しかしながら、洪水あるいは地震による堤防の不安定化、あるいは変形のメカニズム等については、現時点においても全てが解明されているわけではなく、本指針で採用した設計法は、十分に確立された技術的知見であるとは必ずしもいえない。したがって、適用にあたっては未解明な部分が残されていることに留意するとともに、モニタリングを並行して実施することにより、水防活動とあいまって洪水等に対する堤防の安全性の向上を図ることが重要である。

3. 堤防設計の基本的な流れ

堤防は洪水が氾濫区域に溢水することを防止するための施設であり、そのためには洪水等により堤防がその機能を喪失または低下することを回避しなければならない。すなわち、洪水等によって生じられる浸透、侵食作用、さらに地震に対して安全な構造を有している必要がある。このことから、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機能である。

一方、③耐震機能については、洪水と地震が同時に生じすることは極めてまれであり、土堤

である堤防の復旧は比較的容易であることから、本指針においては、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とする。この機能が必要とされる堤防区間は、平常時の最高水位が堤内地盤高に比べて高いゼロメートル地帯等で、堤防の沈下等により浸水が生ずる可能性のある区間である。

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。特に函体底版周辺の空洞化や堤体の緩みにともなう漏水等、浸透問題については個別に十分な点検を行い、周辺の堤防と同じ水準の機能が確保されるよう管理しなければならない。

堤防設計の基本的な流れを図1に示す。まず、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各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。樋門等の構造物周辺の安全性に問題があると考えられる場合には、所要の対策を行う。

4. 堤防構造の検討手順と手法

(1) 検討の手順

堤防構造の検討では、まず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(以下「一連区間」という。)を設定し、一連区間において高さ、天端幅、のり勾配など堤防の基本的な断面形状(以下「基本断面形状」という。)を構造令などから定める(図1③アイ)。次に、堤防構造の検討を行うため、堤防に求められる機能毎に堤防の耐力の条件(基礎地盤の状況など)を調査して一連区間を細分する(図1③ウエ)。その細分区間における堤防構造を検討するため、細分区間毎に代表断面を設定する(図1③エ)。また、外力ならびに堤防の耐力の条件(堤体の土質強度等)となる諸量を把握するために、堤防の機能に応じて適切な調査を実施する(図1③ウ)。

以上の結果を用いて堤防構造の検討を行う。構造の検討は、基本断面形状をもとに仮設定した代表断面の堤防構造を対象として、機能毎に適切な手法を用いて安全性を照査する。ここで、照査の結果が照査基準を満足しない場合には、強化工法を検討して堤防構造を再設定し、その安全性を確認する(図1③オ～キ)。最後に各機能毎の照査結果、強化工法の設計等を調整することにより設計を終了する(図1③ク)。

(2) 一連区間の設定

一連区間とは、堤防構造の検討を効率的に進めるために設定するもので、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、河川の特長、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考慮して分割してもよい。

山付き箇所は、一連区間の設定の基本となる。また、支派川の分合流箇所の多くは計画高水流量の変化点であり、堤防の断面形状が変わる可能性がある地点であるとともに、氾濫区域を分断する地点でもあることから、これを一連区間の境界として設定することは合理的である。

なお、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断続する場合や支派川が近接して分合流する場合には、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。

(3) 堤防の基本断面形状

堤防構造の検討にあたっては、まず堤防の基本断面形状を設定する必要がある。性能規定の設計手法であれば、機能さえ満足していれば場所毎に多様な形状を設定することが可能であるが、堤防においては上下流あるいは左右岸の堤防断面形状の整合性が強く求められることから、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

堤防の高さ及び天端幅は、構造令により設定する。

余裕高は、洪水時の風浪、うねり、跳水等による一時的な水位上昇に対する備えであるほか、洪水時の巡視や水防活動の安全の確保、植生や風雨などによる劣化、流木等の流下物によりゲートや橋梁が閉塞することの防止等、様々な要素をカバーするためのものであり、堤防の構造上必要とされる高さである。

天端幅は、堤防の天端が管理用通路として使用されるだけでなく、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化の推進、あるいは水防時の円滑な車両通行の確保、地震災害時等の河川水利用等を考慮し、可能な限り広くとることが望ましい。また、水防活動等のため適当な間隔で天端幅の広い箇所を設けておくことが望ましい。

なお、構造令に規定されている余裕高及び天端幅は最低限確保すべき値であり、河川の特성에応じて適宜設定する。

②のり面の形状とのり勾配

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。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が、小段は雨水の浸透をむしろ助長する場合があります。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、また除草等の維持管理面やのり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、緩傾斜の一枚のりとするを原則とした。ただし、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、のり勾配が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侵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。

(4)設計のための調査

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

既往の点検や調査の結果及び設計のための調査等にもとづき、一連区間を堤防構造の検討を行う区間に細分する。細分の観点は堤防に求められる機能により異なるが、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

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。代表断面は、堤内地盤高と堤防高の差が最も大きい等、設計上厳しい条件にある箇所において設定する必要がある。

(7) 設計外力の設定

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

なお、堤防の耐震性能の照査に当たっては、レベル2地震動による液状化の影響を考慮することとしている。

(8) 強化工法の検討

耐浸透、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。

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

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、細分区間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。

5. 安全性の照査

(1) 照査の基本

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。

- ・耐浸透機能： 非定常浸透流計算及び円弧滑り安定計算
- ・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)
- ・耐震性能： 堤防の変形を数値解析により算定

(2) 照査外力と照査基準

1) 浸透に対する照査

耐浸透機能の照査では、照査外力として照査外水位と照査降雨を設定する。

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が定められている場合にはその時の降雨)とする。

照査基準には、以下に示すように滑りに関しては目標とする安全率を、パイピングに関しては力学的な限界状態を設定する。

①滑り破壊に対する安全性

a.裏のりの滑り破壊に対する安全性

$$F_s \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$$

F_s ; 滑り破壊に対する安全率

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

$$\alpha_1 = 1.2$$

築堤履歴が単純な場合

$$\alpha_1 = 1.1$$

新設堤防の場合

$$\alpha_1 = 1.0$$

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

$$\alpha_2 = 1.1$$

被災履歴あるいは要注意地形がない場合

$$\alpha_2 = 1.0$$

※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、落掘跡などの堤防の不安定化につながる治水地形

b.表のりの滑り破壊に対する安全性

$$F_s \geq 1.0$$

F_s ; 滑り破壊に対する安全率

②基礎地盤のパイピング破壊に対する安全性

a.透水性地盤で堤内地に難透水性の被覆土層がない場合

$$i < 0.5$$

i ; 裏のり尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値

b.透水性地盤で堤内地に難透水性の被覆土層がある場合

$$G > W$$

G ; 被覆土層の重量

W ; 被覆土層基底面に作用する揚圧力

2) 侵食に対する照査

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にはその水位)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。

照査基準は以下を標準とする。ただし、河岸防護等の適切な対策がとられる場合にはこの限りではない。

①堤防表のり面およびのり尻の直接侵食について

表面侵食耐力 > 代表流速から評価される侵食外力

②主流路(低水路等)からの側方侵食、洗掘について

高水敷幅 > 照査対象時間で侵食される高水敷の幅

3) 耐震性能照査

河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説(平成19年3月)を参考にされたい。

6. 機能維持のためのモニタリング

堤防は延長の長い線状の形態を有し、歴史的な経緯を経て構築されてきた構造物であることから、洪水および地震に対する堤防の信頼性を維持し高めていくためには、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。モニタリングにより機能の低下や喪失が認められた場合、あるいはその恐れがあると判断された場合には、直ちにその復旧や予防措置を講ずるとともに、必要に応じて堤防の構造、材料や設計法の妥当性について再検証することも重要である。

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、滯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。

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。

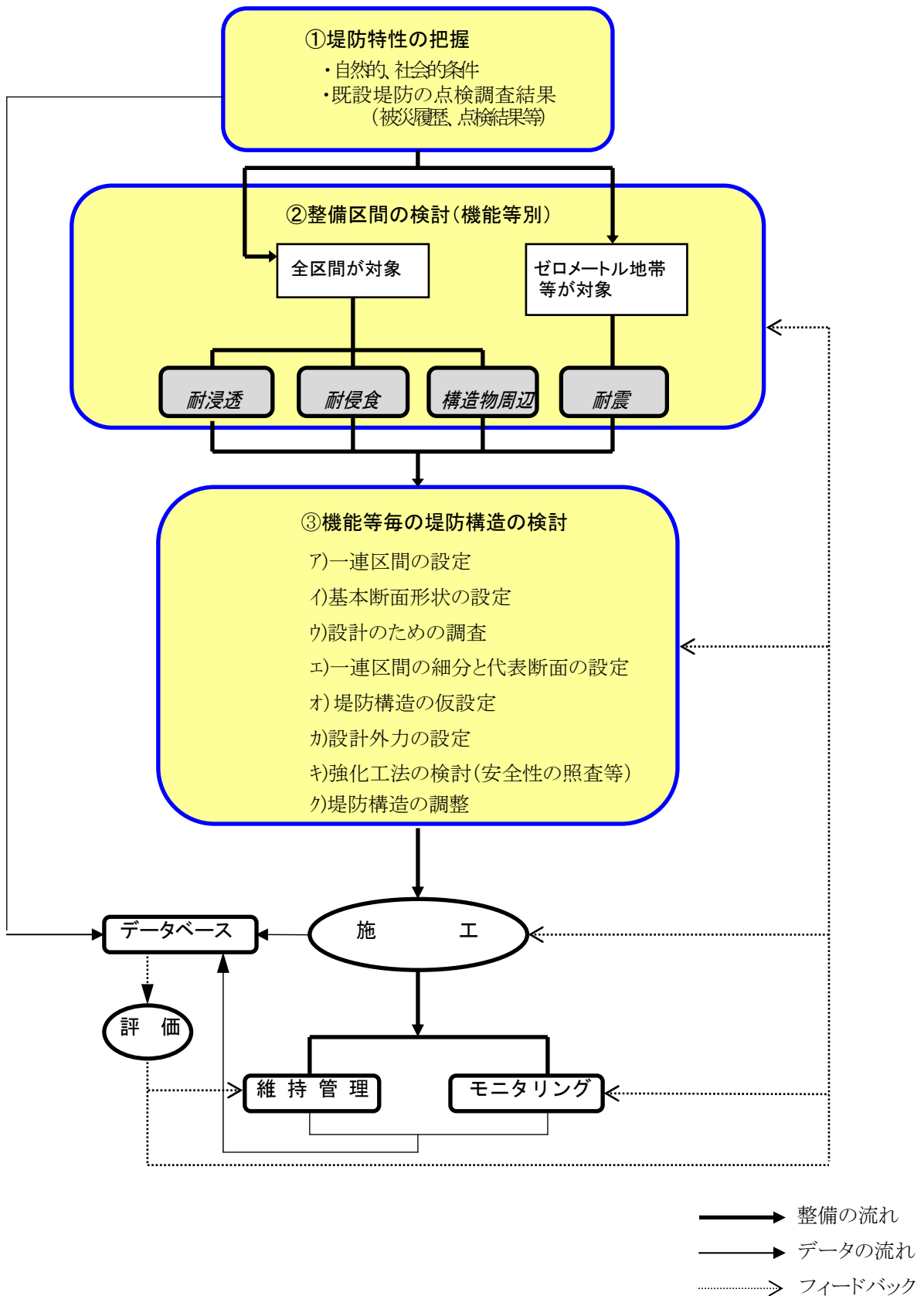


図1 堤防設計の基本的な流れ