

# 事業紹介・事業報告

## 河川堤防の目視モニタリング



佐古俊介  
調査第一部  
主任研究員

### 1. はじめに

河川堤防（以下「堤防」という。）は、住民の生命と財産を洪水から防御する極めて重要な構造物であり、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。

一般に堤防は、長い歴史の中で過去の被災などの経験に基づいて、順次拡築や補修が行われてきた長大な土構造物であり、時代によって築堤材料や施工方法が異なるため、堤体の強度が不均一であり、しかもその構成が不明であること、複雑な地盤上に築造される構造物であること等、様々な不確実性を内包している。このような特徴を有する堤防においては、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た断面形状（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形状規定方式を基本としていた。

しかしながら、既往の被災事例から考えても形状規定方式による堤防が防災構造物としての安全性について十分な信頼性を有しているとは言い切れず、なおも計画的な補強対策が求められている。そのため、補強の必要性や優先度、対策工法の検討のために外力と耐力の照査を基本とする設計法を導入することが求められ、「河川堤防設計指針」（平成14年7月12日付け国河治第87号河川局治水課長通達。以下「指針」という。）が作成された。指針では、堤防の整備にあたり、従前から行われてきた堤防形状の確保に併せて、堤防に求められる機能、具体的には、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（地震に耐える機能で地盤高が低いゼロメートル地帯等に位置する堤防に限定）の3つに対して所要の安全性を確保することとしている。つまり、洪水や地震といった外力に対して、堤防の力学的な安全性の照査を実施し、所要の安全水準を満たさない堤防については、必要な強化対策を実施することとしている。

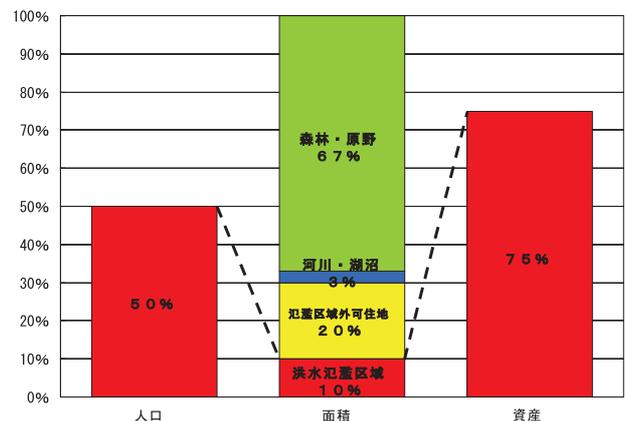
一方で、「指針」においては、堤防の信頼性を維持し高めていくためには、堤防の個々の機能に着目したモニタリングが不可欠としており、実用的なモニタリング手法の開発を必要としている。

上述の背景のもと、本稿は、堤防に求められる個々の機能に着目して、堤防の被災に至るメカニズムの整理、これを受けてのモニタリング項目の抽出、結果の整理の方法などにより構成される実用的なモニタリング手法について提案を行ったものである。

### 2. 河川堤防の特徴と被災のメカニズム

#### 2.1 河川堤防の構造物としての特徴

我が国の堤防が防御している氾濫源における人口や資産の集積度は諸外国と比較して著しく高く、国土面積（約38万km<sup>2</sup>）の約10%にあたる氾濫源に人口の約50%、資産の約75%が集中している。このような自然・社会条件のもと、堤防は洪水による水害の防御の基幹的施設として整備が進められてきており、現在、国が管理している堤防の延長は約13,000kmに及んでいる。



図一1 日本の国土利用状況

現在の堤防の多くは、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、自然の地盤の上に様々な土質材料を用いて構築されてきたことから、基礎地盤は多岐にわたるとともに、堤体に用いられた土質材料や締

固め密度等は施工時期や施工方法により異なり、土質構造は極めて複雑である。

このような特徴を持つ堤防においては、所要の安全水準を満たさない堤防について必要な対策を実施し、順次、堤防の強化を図ることが重要であるが、蟻の一穴で破堤したといわれるように、局所的な安全性が一連の堤防全体の安全性を左右していることから、局所的な部分も含めてモニタリングにより堤防の状況を監視しておくことは極めて重要である。

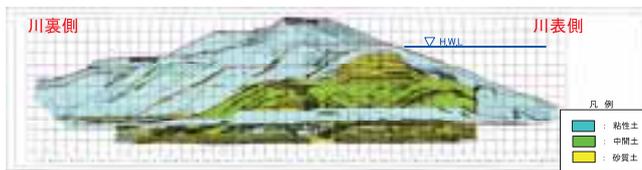


図-2 堤体構造の一例

## 2.2 堤防の破壊現象

河川堤防の被災に至る原因としては、降雨や河川水が堤体にしみこんで、材料の安定性を失わせる浸透によるものと、河川水の洪水時の流水の作用による侵食によるものがある。以下に、そのメカニズムについて示す。

### (1) 浸透破壊

#### ① 堤体浸透破壊

堤体浸透破壊のメカニズムは、まず、降雨により堤体の飽和度が上昇し、堤体内の浸潤線も上昇し始めるとともに、水を含んだ堤体土の透水性の増加、せん断強度の低下が始まる①。

さらに、河川水位の上昇に伴い、堤体内の浸潤線は上昇、発達し、浸潤線が裏のりまで到達する②。このよう

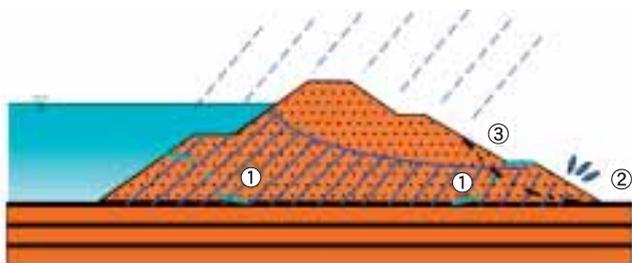


図-3 堤体浸透破壊の概略図

な状態になると、裏のり付近からの泥濁化、漏水がはじまり、最終的に堤体が破壊を生じる。③



写真-1 堤体浸透破壊の一例

#### ② 基礎地盤浸透破壊

基礎地盤浸透破壊とは、基礎地盤の土粒子が浸透水の流れにより移動し、川裏と川表の間に水平方向にパイプ状の洗掘空洞（水ミチ）が作られることを言う①。一般的に上向きの局所動水勾配が大きく、被覆土の厚さが薄い堤防ののり尻部で見られる噴砂（ボイリング）は、基礎地盤浸透破壊の初期に見られる現象である。水ミチに

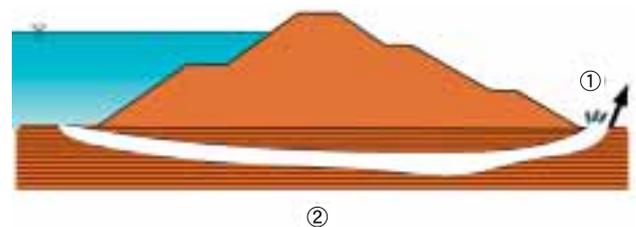


図-4 堤体浸透破壊の概略図



写真-2 パイピングの例

大量の河川水が流通することにより土砂も含んだ基盤漏水を生じ、さらに大きな空洞に拡大し②、最終的に堤体を変形させて破壊に至る。

## (2) 侵食破壊

### ① 直接侵食破壊

直接侵食破壊とは、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が剝離し、その後、堤体を構成する土砂が流失し、堤体破壊に至る現象をいう。

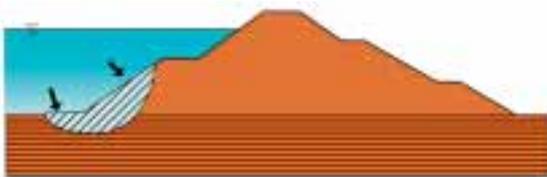


図-5 直接侵食破壊の概略図



写真-3 直接侵食破壊の例

### ② 側方侵食破壊

側方侵食破壊とは、低水路等の主流路から高水敷が側方侵食や洗掘をされ、進行的に高水敷が侵食された結果①、堤体を構成する土砂も侵食、流失し②、破壊に至る現象をいう。

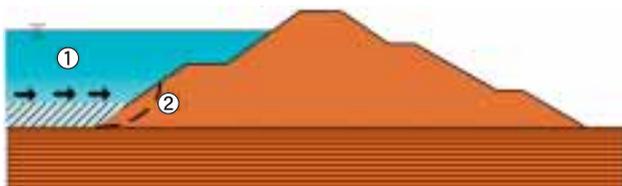


図-6 側方侵食破壊の概略図

これらの破壊現象は、洪水時に急激に生ずる場合もあるが、洪水時や洪水直後はもちろんのこと、平常時にお

いても見られる小さな変状が積み重なることや、放置しておくことにより生じる場合も多く、モニタリングにより変状を発見、監視することは、堤防の安全性確保の上で極めて重要となる。

## 3. 新たなモニタリング項目

### 3.1 従来の堤防監視方法と課題

河川堤防に関しては、「河川巡視規定例について」（平成9年7月28日付け河川局治水課河川利用調整官、流域治水調整官事務連絡）により、主として天端、小段やのり面の崩れの状況、車両の轍の有無等の堤防形状の維持管理的な項目を主体とした項目について、河川巡視の一環として点検を行っている。しかし、既存の社会資本ストックの維持管理による公共サービスの向上が益々重要となっている現在、過去の経験と蓄積情報を活かし、現場で生じている現象から、堤防の機能低下等を効率的に評価して、必要な措置を迅速にとることが重要となっている。また、経験の少ない職員でも、堤防機能の低下等を適切に判断するための技術的サポートの必要性が生じている。

### 3.2 新たな堤防モニタリング方法の視点

これらの目的を達成するためには、①定期的な時期に目視を主体としたモニタリングを実施し、現場で生じている現象を記録、集積、堤防管理に役立てる方法と、②計測機器により定められた箇所の物理現象を連続的にモニタリングする方法がある。本稿は、このうち①の方法について記述する。

堤防に求められる機能とは、“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であること”であり、これを満足させるためには、余裕高、天端幅、のり勾配等の最低基準を満足させた基本断面形状を確保するとともに、前述した浸透現象、侵食現象に対する安全性を確保することが原則である。本検討では、堤防モニタリング方法の新たな視点として、効率性を加味することを目的として、平常時と、堤防の変状が顕著に現れる洪水中、

洪水直後の各時期に分けて、これまでの浸透現象や侵食現象による堤体破壊現象を分類・整理し、深刻な破壊現象につながると推定される変状等を中心として、モニタリング項目の抽出を行った。

また、モニタリング項目と破壊現象の関連性について図示することによって、経験の少ないモニタリング実施者でも、項目の重要度を判断しながら目視点検が可能なように整理を行った。

### 3.3 モニタリング項目の抽出

ここでは、破壊現象につながる微細な変状のうち、代表的なものについて示す。

#### (1) 浸透に関する項目

##### ①天端、のり面亀裂から推測される堤体すべり破壊の危険性

天端やのり面に入った亀裂を発見した場合、堤体そのものにすべり面が発生している場合がある。この状態において、洪水時の堤体内浸潤面が上昇すると、堤防がせん断抵抗力を失い、天端の亀裂の拡大、のり面の大規模亀裂を伴って堤防のすべり破壊につながるきっかけとなり得る場合が多い。このような微細な変状を発見した場合、亀裂の幅や深さ、数について監視することが重要なモニタリング項目の一つとなる。

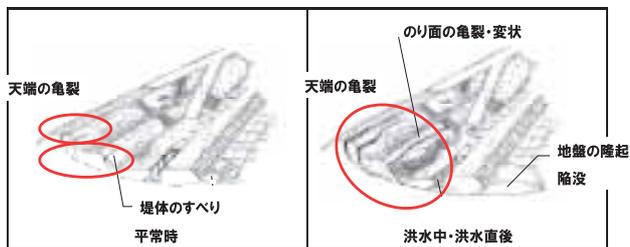


図-7 裏のり面・のり尻の漏水・泥濁化から推測される堤体被災

##### ②裏のり面・のり尻の漏水・泥濁化から推測される堤体漏水破壊の危険性

洪水中にのり尻付近から漏水を発見した場合、砂層で構成された透水性地盤の堤体のり尻付近に粘性土が分布し、透水性地盤を遮断しているような場合が多い。この場合、これを放置すると徐々に大きな漏水となり、のり尻付近が

不安定化し、破壊につながるきっかけとなり得る。

このような場合、一気に大規模なすべり破壊になることが想定されるため、洪水中で濁り水となるような場合や、漏水量が多くなるような場合は、早急に手をうつことが必要となる。

また、洪水中にのり面、もしくは小段付近から漏水を発見した場合、堤体のり尻付近に粘性土等で作られた古い堤防の存在が想定される。河川水位が上昇すると徐々に大きな漏水につながり、最後には小段付近からのすべり破壊につながるきっかけとなる。

このように漏水現象の位置と状況を監視し続けることは、基礎地盤や堤体の土質構成を踏まえた堤防の浸透破壊現象を予想することにつながり、適切な対処を行う手がかりとなることから重要なモニタリング項目の一つとなる。

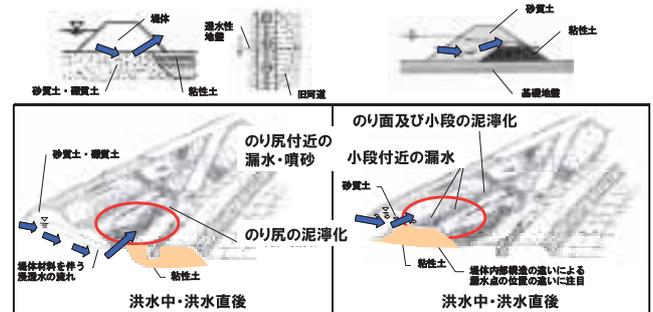


図-8 堤内地の隆起・陥没、噴砂から推測される堤体被災

##### ③堤内地の隆起・陥没、噴砂から推測されるパイピング破壊の危険性

洪水中にのり尻付近から漏水を発見し、写真のように澄んだ水の漏水から濁った水の漏水になった場合、基礎地盤を構成する土砂が移動し、ミズ道が形成されたことが予想される。

これは複数回の洪水による川側からの浸透水によって基礎地盤の材料が吸い出されミズ道ができたか、矢板等の川表遮水工法が破壊され、対策効果を失ってミズ道が形成されるような場合に多く見られ、最終的にはミズ道が拡大し、堤防が落ちて破壊につながるきっかけとなる。

このような場合、一気に大規模な基礎地盤破壊と堤体

破壊になることが想定されるため、濁りのある漏水が多くなるようであれば表のりの対応と併せて早急に手をうつことが必要となることから重要なモニタリング項目の一つとなる。

逆に濁っていない場合は、基礎地盤の材料が吸い出されていないことから深刻な問題に即時につながるとは考えられないが、漏水は土砂移動へと進行することから、漏水量や濁りの状況に注意が必要である。



図-9 堤内地の隆起・陥没、噴砂から推測される堤体被災

(2) 侵食に関する項目

① 護岸および護岸基礎（根固め工）の変状における主流路からの側方侵食、洗掘の危険性

洪水時に「低水護岸の変状」や「低水護岸の基礎部の変状」が発見された場合は、流体力によって変状部や端部からの破壊を生じ、高水敷の側方侵食に進行することから重要なモニタリング項目である。

また、「高水敷の侵食」まで進行している状況が発見された場合は、堤体本体の侵食破壊の危険性があるため、位置、大きさの進行と、土質の推定が重要となる。

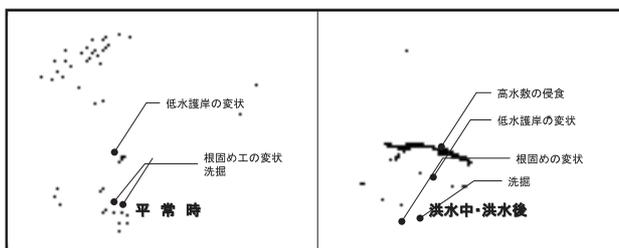


図-10 護岸および護岸基礎の変状における主側方侵食、洗掘

② のり面の侵食・亀裂や耐侵食構造物の変状による堤防表のり面、のり尻表面の直接侵食の危険性

「護岸や侵食防止シート等、耐侵食構造物の変状」は、洪水時の外力によって変状部や端部からの破壊を生じ、堤防表のり面やのり尻表面の直接侵食に関連するため重要なモニタリング項目である。

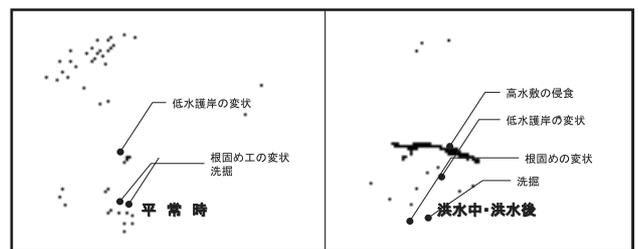


図-11 のり面の侵食・亀裂や耐侵食構造物の変状における直接侵食

3.4 モニタリング項目

堤防の破壊は、洪水中に急激に生ずる場合もあるが、洪水中や洪水直後ももちろんのこと、平常時においても見られる小さな変状が進行している場合も多いことから、常に破壊に至るメカニズムを想定しながら小さな変状を注意深くモニタリングしていくことが、弱点箇所の抽出につながるものとなる。以下に、平常時、洪水中、洪水後毎の主なモニタリング項目について示す。

表-1 モニタリング項目（主として要注意項目を抜粋）

	平常時	洪水中	洪水直後
河道内	・湾曲部、横断工物下流等における深掘れ		
高水敷、低水護岸		・高水敷の侵食	・高水敷の侵食 ・低水護岸の変状
表のり面、高水・堤防護岸	・のり面の亀裂 ・護岸や侵食防止シート等、耐侵食構造物の変状	・のり面の侵食・亀裂 ・護岸や侵食防止シート等、耐侵食構造物の変状	・のり面の侵食・亀裂 ・護岸および護岸基礎の変状
天端	・亀裂	・亀裂	・亀裂
裏のり面	・のり面の亀裂	・のり面の変状・亀裂 ・のり尻の漏水 ・のり面及び小段の泥濘化	・のり面の変状・亀裂 ・のり尻の漏水 ・のり面及び小段の泥濘化
裏のり尻	・表層付近の湿潤状態	・のり尻付近の漏水、噴砂 ・のり尻の泥濘化	・のり尻付近の漏水、噴砂 ・のり尻の泥濘化
堤脚水路	・水路の変形、沈下	・堤脚水路の継目からの漏水、噴砂	・堤脚水路の継目からの漏水、噴砂
堤内地	・表層付近の湿潤状態	・のり尻付近の噴砂 ・地盤の隆起・陥没	・のり尻付近の噴砂 ・地盤の隆起・陥没
樋門等構造物周辺	・取付け護岸の変形・クラック ・施設周辺の堤防との段差（抜けあがり） ・胸壁・翼壁等の部材接合部の開口	・胸壁・翼壁の接合部付近からの漏水、噴砂 ・堤防との接合部からの漏水、噴砂 ・堤内地水路の水の色	・胸壁・翼壁の接合部付近からの漏水、噴砂 ・堤防との接合部からの漏水、噴砂 ・堤内地水路の水の色

特に、洪水中、洪水直後のモニタリングに関しては、出水中の短期間に変状を発見する必要があることから、

平常時モニタリングにおいて堤防破壊の懸念がある変状が見られた区間等、表-2に示す要件において「重点区間」を予め設定し、この区間を中心に目視モニタリングを行うことが効率的である。

表-2 重点区間の要件

	浸透	侵食
モニタリング結果	・点検の結果、堤防破壊の懸念がある変状（以下、「要注意項目」という。）の見られた区間	
被災履歴	・有する区間	
地形的要因	・堤防横断構造物周辺 ・旧河川跡などの要注意地	・堤防護岸区間 ・セグメント1区間 ・河床低下傾向区間 ・堤防横断構造物及び河川横断構造物周辺
安全性	・詳細点検結果が所要の安全性を満足せず浸透破壊の恐れがある区間	・代表流速が2m/s以上となる箇所 ・出水による侵食破壊の恐れのある区間※

また、目視モニタリングは、1度実施すればおしまいという性質のものではなく、定期的にか、洪水等の大きな外力が堤防に作用するたびに実施し、結果を集積しながら堤防の弱点箇所の見直しを行うことで、より精度の高い堤防管理を実施するのに利用する他、堤防の被災現象とモニタリング結果の比較分析を行うことによってモニタリング項目の妥当性を判断し、今後の堤防全体の安全性をより高めていく等の目的で実施するものである。

そのため、モニタリング結果は堤防の形状や、土質、場の地形等といった情報と併せて、モニタリング情報図としてとりまとめ、その都度更新し、日々の堤防管理の効率化と高度化に利用していくことが最も重要である。

#### 4. おわりに

河川堤防は、長い治水の歴史を経て形成された長大な構造物であり、堤体の強度が不均一で内部構造が不明であること、また複雑な地盤上に築造される構造物であること等、様々な不確実性を内包している。このような構造物において、安全性・信頼性を維持し高めていくためには、

- 経験に基づいて設定される最低限の断面形状である基本断面形の確保を行った上で、堤防に求められる

耐浸透、耐侵食機能について、堤防の力学的な安全性照査を実施し、所要の安全性を満たさない堤防については、必要な強化対策を、平常時、洪水中、洪水直後に実施する。

- 併せて、堤防の深刻な破壊現象につながると推定される変状について発見、監視するモニタリングを実施することが重要であり、本検討では、実用的なモニタリング手法の提案を行った。

なお、これらの成果については、「目視点検によるモニタリングに関する技術資料」（JICE資料第104007号）と「中小河川における堤防点検・対策の手引き（案）」（JICE資料第104006号）として、JICEホームページを通じて情報発信しているので、ぜひ参考にされたい。



図-12 モニタリング情報図の例

#### 参考文献

- 1) 国土交通省河川局治水課：「河川堤防設計指針」、2002.7
- 2) (財)国土技術研究センター：「河川堤防構造検討の手引き」、2002.7
- 3) 国土交通省河川局治水課：「河川堤防モニタリング技術ガイドライン（案）同解説」、2004.3