

# 河川堤防の点検・巡視の合理化に関する一考察

## RATIONALIZATION OF INSPECTION OR PATROL FOR RIVER LEVEES

森 啓年<sup>1</sup>・福原直樹<sup>2</sup>・服部 敦<sup>3</sup>

Hirotoishi MORI, Naoki FUKUHARA and Atsushi HATTORI

<sup>1</sup>正会員 博士（工学） 国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室（〒 305-0804 茨城県つくば市旭 1）

<sup>2</sup>正会員 工修 同上

<sup>3</sup>正会員 博士（工学） 同上

Inspection or patrol plays an important role in the condition monitoring of river levees in Japan. The analysis of data obtained in the inspection or the patrol was attempted for the rationalization under the human resource shortage or the financial limitation. The results depicted that the faults of river levees which connected with seepage issues are scarcely observed: less than once in a year per kilometer. So, the forecast of the faults from the character of river levees by logistic regression was clarified to be difficult to apply without engineering judgments. Moreover, the assessment of the faults has its limitation because of the wide variety of faults. The close investigation of large faults will be carried out to find the indication by small faults in the future research.

**Key Words:** river levee, inspection, patrol

### 1. はじめに

#### (1) 背景

河川堤防等の河川管理施設の状態監視のため、河川管理者は徒歩で詳細な観察を行う「点検」（1～2回/年）<sup>1)</sup>と主に車上から外観を包括的に目視する「巡視」（1～2回/週）<sup>2)</sup>をあわせて実施している。被災の予兆である変状を小規模な時期から把握し、必要に応じて維持補修を実施することで、河川堤防等の河川管理施設を機能維持し、治水安全性を確保している。

一方、河川堤防は長い歴史の中で構築されてきた長大かつ不均質な土構造物である。そのため、将来の状態予測が難しく、機器によるモニタリングの実施も限られた範囲でしか実施できない。したがって、その機能維持は人の目による点検・巡視に大きく依存しているのが現状である。

しかし、限られた人的、経済的状況の中、河川堤防の治水安全性の確保のためには、戦略的な維持管理の実現が求められている。国土技術政策総合研究所では、点検・巡視により得られた河川堤防を対象とするデータを有効活用することにより、それらの合理化に関する検討を行っている。

#### (2) 目的

本報告では、実際の点検・巡視から得られた河川堤防のデータを用いた「点検・巡視区間の重点化」及び

「発見すべき変状の規模」に関する検討について、現状を述べる。

点検・巡視区間の重点化については、変状の発生と堤防特性との関係について分析を行い、変状が生じやすい堤防特性を明らかにすることを試みるものである。点検で発見した変状を巡視で継続的に監視するなど、メリハリのある点検・巡視を行うため、その区間を重点化する知見を得ることを目的としている。

また、発見すべき変状の規模については、発生した変状が河川堤防の機能維持に与える影響を評価し、維持補修を実施すべき変状の規模を明らかにしようとするものである。出水時に、変状によって河川堤防の機能が低下しないよう、適切な維持補修を実施できる知見を得ることが目的である。

#### (3) 方法

国が管理する5河川を対象に、最大過去5年間（詳細は表-1参照）の点検・巡視から得られた河川堤防のデータを整理・分析した。

はじめに、発見される変状の種類や数、規模、発生部位を整理し、河川堤防の変状の実態の把握を試みた。次に、点検・巡視区間の重点化のため、全変状と亀裂、陥没、抜け上がり、漏水の4種の変状（以下、「浸透4種変状」）の発生分布を比較した。浸透4種変状としては、河川堤防の耐浸透に関する機能の低下が懸念される変状の中で、河川堤防の安全性評価に用いられる飽

表-1 入手した点検・巡視データの年数

河川	点検	巡視
A 川	5	5
B 川	5	5
C 川	5	4
D 川	5	3
E 川	3	0

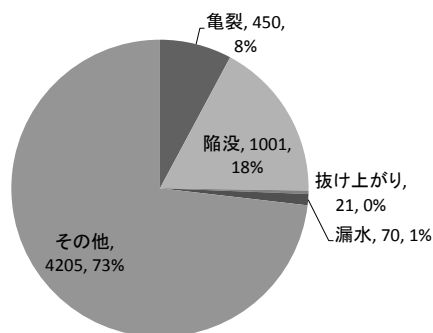


図-1 巡視・点検で発見される変状の種類と数

和不飽和浸透流解析や円弧すべり解析により、機能維持に与える影響を定量的に把握可能な変状を選定している。あわせて、浸透4種変状の発生と堤防特性の関係を多変量解析の一種であるロジスティック回帰により分析した。最後に、浸透4種変状の一つである亀裂の規模を整理するとともに、それらが河川堤防の機能維持に与える影響を定量的に評価した。

これまで、河川堤防を対象とし、その浸透に関する安全性について堤防特性などのデータを活用し信頼性解析を行う研究は平松ら<sup>3)</sup>が実施している。また、塚田ら<sup>4)</sup>は河川堤防の概略点検結果と詳細点検結果の関係について分析している。しかし、点検・巡視の合理化を目的として、データを活用する研究は、過去にほとんど実施されていない。また、実際の河川管理の現場においても、点検・巡視の合理化を目指した検討としては、新たな点検技術の適用等が行われた程度であった。

## 2. 河川堤防の変状の実態

### (1) 変状の発生頻度

5河川において点検・巡視により発見された変状の種類と数を図-1に示す。特に浸透4種変状に着目すると、全発見数の4分の1程度を占めていることが分かる。なお、その他として侵食、踏み荒らし・轍、土砂堆積、裸地化、植生の異常等がみられた。

次に、表-2に全変状の発見数を各河川の堤防延長で除し、それをさらにデータ収集年数により除すことにより発生頻度(年平均)をまとめた。これによると、河川堤防の延長1kmあたりの堤防の変状数は年間平均3.1

表-2 河川堤防の延長1kmあたりの変状数(全変状)

河川	変状数	発生頻度(年平均)
A 川	1056	2.6
B 川	1752	3.4
C 川	1197	2.8
D 川	671	3.1
E 川	1071	3.6
平均		3.1

表-3 河川堤防の延長1kmあたりの変状数(浸透4種変状)

河川	変状数	発生頻度(年平均)
A 川	178	0.4
B 川	423	0.8
C 川	488	1.1
D 川	155	0.7
E 川	298	1.0
平均		0.8

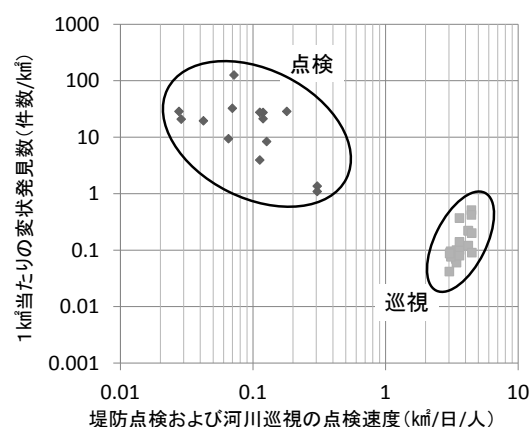


図-2 巡視・点検の速度と発見された変状数

個、最大でも3.6個程度となる。また、浸透4種変状が発生する頻度を表-3に示した。河川堤防の延長1kmあたりに年間平均0.8個、最大でも1.1個程度となる。

これらの結果から、点検・巡視の合理化のためには、少ないデータを有効に活用する必要があること、長期にわたるデータの蓄積が重要であることがうかがえる。

### (2) 点検と巡視の違い

図-2に点検・巡視の速度を横軸に、1km<sup>2</sup>当りの発見変状数を縦軸に整理した。なお、点検・巡視の速度(km<sup>2</sup>/日/人)は、各河川の堤防の面積を、年ごとの点検・巡視に必要とした日数と人員で除すことで求めている。また、1km<sup>2</sup>当りの発見変状数(件数/km<sup>2</sup>)は、年ごとの各河川の発見変状数をその堤防の面積で除すことで算出している。点検・巡視の速度と変状発見数の積(件/日/人)で評価してみると、点検は巡視のおよそ10倍程度である。この結果から、点検・巡視の速度が遅

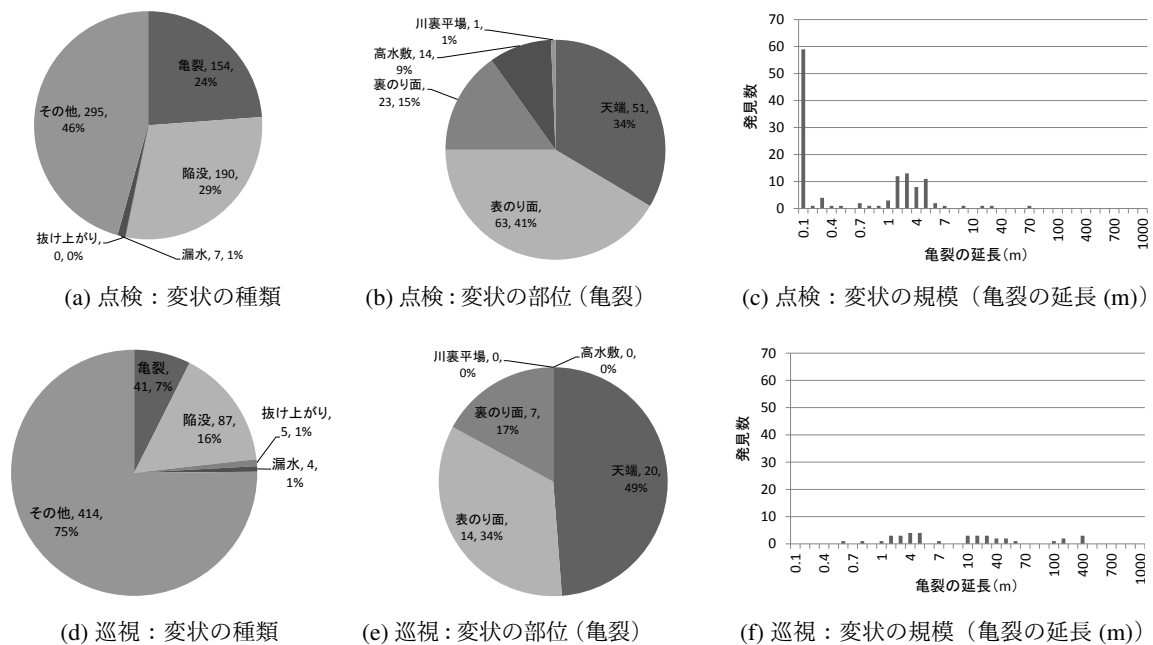


図-3 点検・巡視の結果（C川）

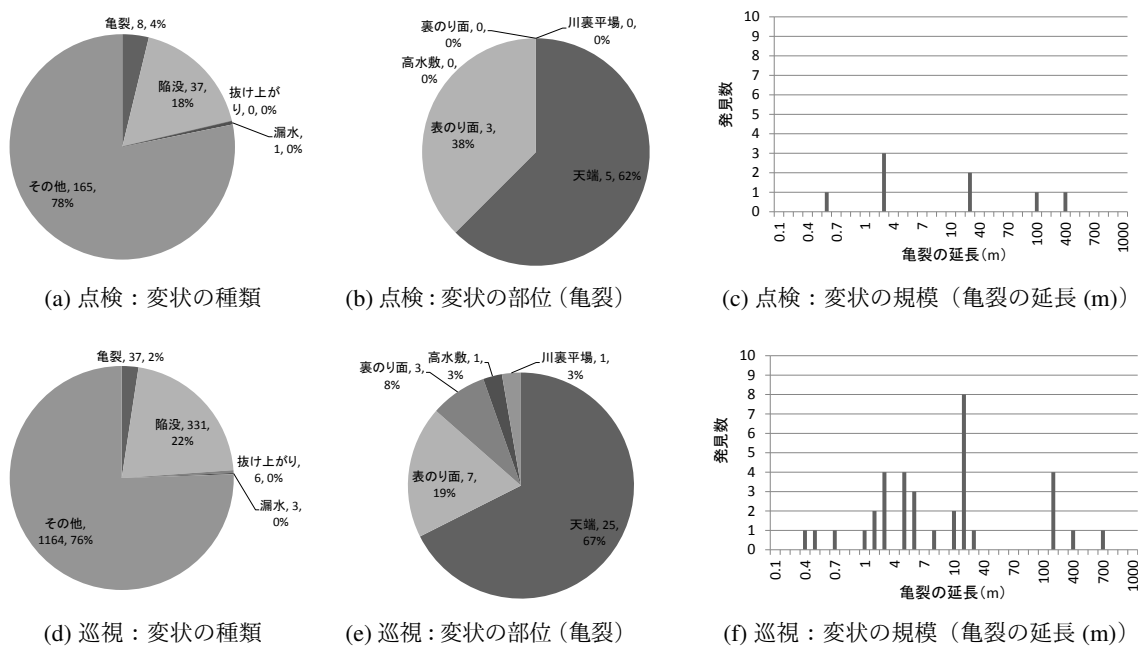


図-4 点検・巡視の結果（B川）

いほど、変状の発見数が多いことが分かる。

次に、C川における最大過去5年間の点検・巡視により発見された変状の種類と数、発生部位、規模を図-3に示す。まず、図-3aと図-3dを比較すると、浸透4種変状を発見する割合が、点検は巡視と比較しておよそ2.0倍となっている。また、点検が過去5年間、巡視が過去4年間のデータという違いも考慮すると、浸透4種変状の発見数は点検は巡視と比較しておよそ2.2倍であった。さらに、図-3bと図-3eの亀裂の発生部位に着目すると、ここでも点検と巡視の差は顕著にみられた。

点検は河川堤防の法面など、通常は植生が存在し目が届きにくい部位の変状を把握する割合が1.3倍程度高くなった。また、図-3cと図-3fから、延長が0.5m以下の亀裂は巡視では発見できなかったが、点検により発見された亀裂の半分以上は延長が0.1m以下であった。

一方、B川でも過去5年間の点検・巡視の結果を対象に、同様の整理を実施したところ、図-4に示すように点検と巡視の間には、有意な差がみられなかった。さらに、本報告では紙面の都合から省略しているが、点検と巡視の両方のデータが入手できた他の2河川につ

いても同様の分析を行ったところ、点検の方が巡視より変状発見数が少ないものや、浸透4種変状の発見割合が低いものなど、河川毎に異なった傾向が出た。

これらの結果は、河川堤防の特性の違いや、点検・巡視の目的や手法の違いから発生すると考えられる。全ての国管理の河川堤防で同質の点検・巡視データが存在するとは言えず、多種多様なデータが存在すると予想される。そのため、点検・巡視の合理化のためには、異なる河川堤防のデータに対して一様な取扱いではなく、河川堤防毎の特性を踏まえた対応が必要であることが示唆された。

### 3. 変状の分布特性

#### (1) 全変状と浸透4種変状の分布

点検・巡視区間の重点化に向けた検討のため、それらにより発見された変状が、その区間の河川堤防の特性とどのような関係があるのか定量的に分析した。ここでは、特に浸透4種変状に着目して検討を行った。

B川における過去5年間の点検・巡視の結果から、横軸を距離標、縦軸に全変状および浸透4種変状の発生頻度を取ったものを図-5aに示した。これを見ると、必ずしも全変状の分布と、浸透4種変状の分布が一致していないことが分かる。同様の整理を他の4河川でも行ったが、全変状と浸透4種変状の分布の一致はみられなかった。これは、前述のように浸透4変状は直接的にすべりやパイピングと関連するが、全変状はすべりやパイピングに直接的な関係がないものも多く存在するためと考えられる。

このことは全変状が多く発生する河川堤防の区間が、必ずしも浸透に対する注意が必要な区間とは限らないことを示している。点検・巡視区間の重点化においては、変状の種類にも留意しなければいけないことが分かる。

#### (2) ロジスティック回帰分析

次に浸透4種変状の発生と堤防特性との関係を分析した。ここでは、変状の有無という二値データを目的変数として取扱うことが可能な多変量解析の一種であるロジスティック回帰分析を用いた。ロジスティック回帰分析は、一般化線形モデルの一つであり、変状の有無と堤防特性との関係を分析できる統計モデルである。具体的には、変状の有 ( $p = 1$ )、無 ( $p = 0$ ) をもとに変状の発生確率 ( $0 < p < 1$ ) を求め、ロジット関数に変換したものを目的変数とし、任意の説明変数を与え、最尤法で線形的に回帰させる手法である。その特徴として、正規分布に従わない堤体土質、治水地形なども説明変数として、取り扱うことができることがあげら

れる。ロジスティック回帰分析は、河川環境の分野において、物理環境等の環境要因から魚類の在・不在を予測する場合などにも用いられている<sup>5)</sup>。

ここでは、10個の堤防特性を説明変数として、変状の有無の確率を目的変数として求めている。説明変数は、200m毎の堤防高、敷幅、平均法面勾配、セグメント、微地形、平均動水勾配、高水位継続時間、堤体土質、基礎地盤土質、築堤年次である。これら10個の堤防特性は、河川堤防の概略点検<sup>6)</sup>において使用され、経験的に河川堤防の浸透に関する安全性に関係するものである。

浸透4種変状の発生を10個の説明変数からロジスティック回帰分析により推定した結果を図-5bに実線として示した。なお、図中の三角印は、実際の変状の有無であり、0が無、1が有を示している。浸透4種変状に対するロジスティック回帰分析の予測は、変状の有無に対応する発生確率の判断の閾値を設定できず、変状の発生を予測することは困難であった。そこで、変状の種類を亀裂のみに絞って、同様の分析を行った結果を図-5cに示した。その結果、変状のサンプル数が少なくなるため、変状の発生確率が無 ( $p = 0$ ) 付近に位置し、変状が有 ( $p = 1$ ) に向け増加しない傾向が顕著となった。さらに、変状の種類を陥没のみに絞った場合の結果を、図-5dに示した。ある程度の発生確率の上下はあるものの、実際の変状の有無とは相関はあまりみられなかった。

なお、他の4河川でもロジスティック回帰分析による検討を行ったが、いずれもB川と同様の結果となり、10個の説明変数による変状の発生予測は困難であった。

河川毎にロジスティック回帰分析に適した説明変数を追加・選択するなど、相当程度の精度向上の工夫の余地がある。一方、上記の結果からデータの蓄積により変状が頻発する区間を予測する際、ロジスティック回帰分析を用いることは相当慎重な工学的判断が必要であることが分かる。この原因として、前述のように少ないデータを対象としていることその他、河川堤防の概略点検に用いた説明変数は、河川堤防の内部の情報に重点を置いたものが多く、主に表層部分において発生する浸透4変状を予測することは困難であるとも考えられる。

### 4. 発生した変状の定量的評価

#### (1) 亀裂の規模

発見すべき変状の規模に関する検討のため、点検・巡視により発見された変状が河川堤防の機能維持に与える影響について定量的に評価した。ここでは、浸透4種変状の中から、河川堤防の安全性評価として実施され

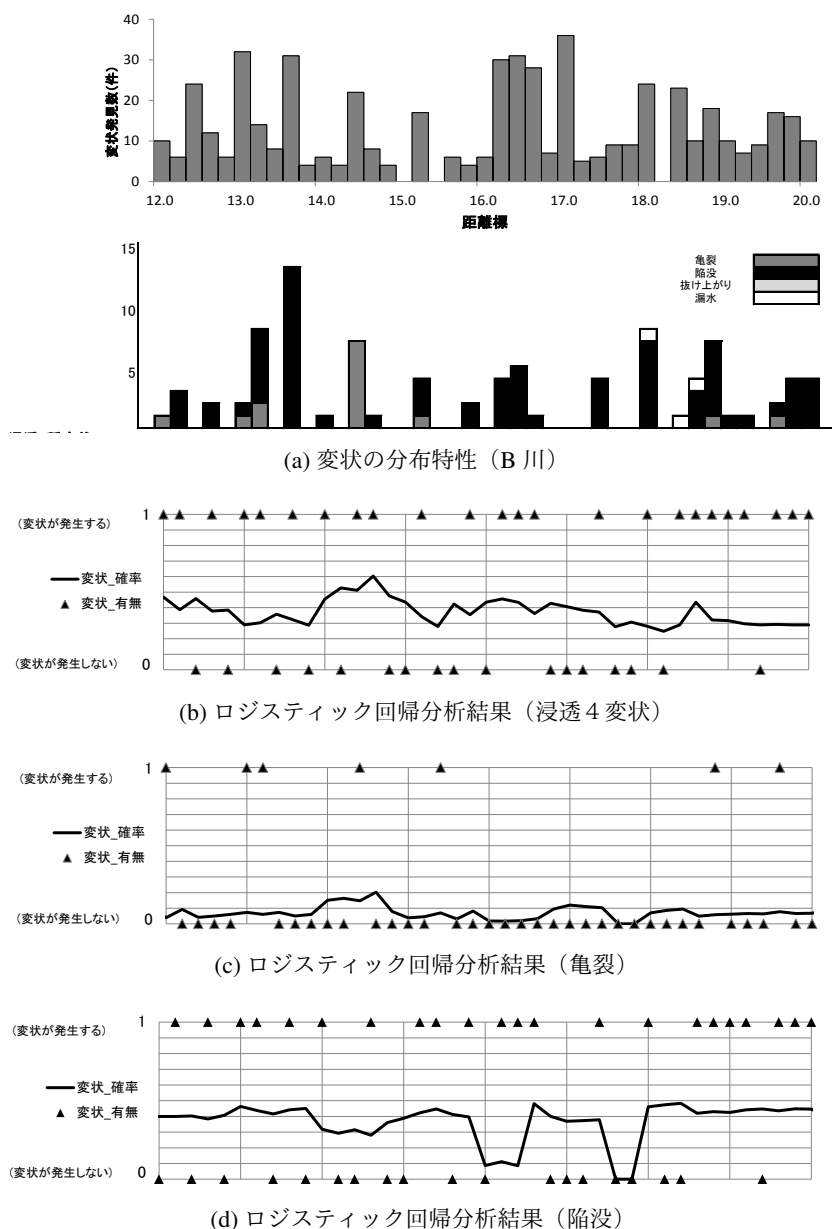


図-5 変状の分布特性とロジスティック回帰分析結果

ている河川堤防の詳細点検<sup>6)</sup>において用いられている円弧すべり解析により取り扱い可能な変状である，亀裂に着目して検討を行った。

A～E川の5河川について，発見された亀裂の規模の分布を図-6に示す．発見される亀裂の96%程度が深さ0.1m以下と，ほとんどの亀裂が小さな規模のものであった．また，深さ1.0mを超える大規模な亀裂が0.53%程度発見されている．

## (2) 亀裂の機能維持への影響

次に発生した亀裂が河川堤防の機能維持に与える影響について，円弧すべり解析を用いて求めた．解析では，A～E川の河川堤防特性を考慮し，平均的な堤防形状として堤防高6.3m，法面勾配を1:2の単断面を想定

した．堤体土の強度は砂質土（粘着力 $c=1.0\text{kPa}$ ，内部摩擦角 $\phi=30$ 度），中間土（ $c=10.0\text{kPa}$ ， $\phi=35$ 度），粘性土（ $c=15.0\text{kPa}$ ， $\phi=0$ 度）の3種類を想定し，外力として飽和不飽和非定常浸透流解析により求めた堤体内浸潤線を用いている．なお，亀裂は裏法面下部に生じ，その深さは0.0m，0.2m，0.5m，1.0m，1.5m，2.0mの6水準とした．

その結果を図-7に示す．横軸に亀裂の深さ，縦軸は亀裂の深さ0.0mを100%とした場合のすべりに対する安全率を比で示している．いずれの土質でも，亀裂の深さが増加するにつれて安全率の比が低下していく．その低下の度合いは砂質土，中間土，粘性土の順である．亀裂深さが0.1mのとき，砂質土と中間土は1%程度，粘性土は2%程度，安全率の比が低下する．亀裂深さが

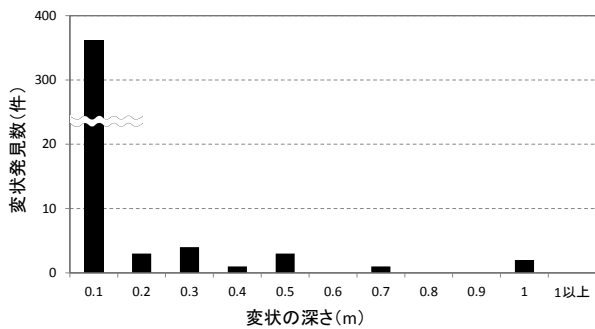


図-6 亀裂の深さ

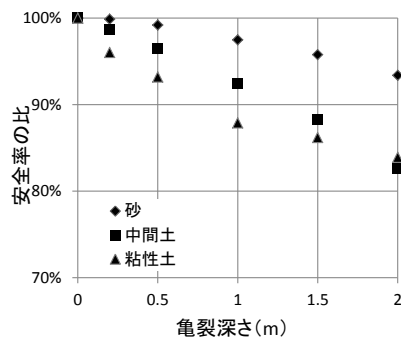


図-7 亀裂の深さとすべり安全率の比率

1.0m の場合、砂質土は 3%程度、中間土は 8%、粘性土の場合は 12%程度、安全率の比が低下する。

実際の河川堤防で発見される亀裂のほとんどは 0.1m 以下であることから、それらの亀裂が直ちに河川堤防の機能維持に大きな影響を与えるものではないことが分かる。しかし、点検において発見することが求められている河川堤防の変状は、例えば、植生の異常、表土の異常、小段の逆勾配、モグラ等による穴、樹木の侵入、踏み荒らし・轍、湿生植物の群生等、他にも多数ある。それらは河川管理者が経験的に注意してきたものが多く、亀裂のように定量的な評価が困難なものがほとんどである。そのため、点検・巡視により発見されるすべての種類の河川堤防の変状を対象に、工学的手法を用いて定量的に河川堤防の機能維持に与える影響を評価し、維持補修を実施することは現状では相当困難であると言わざるを得ない。

## 5. おわりに

本報告は、河川堤防の点検・巡視の合理化を目的として、それらにより得られた河川堤防のデータの活用に関する検討の現状を述べた。その概要については、以下の通りである。

- 点検・巡視の合理化のためには、限られた変状デー

タを有効に活用していく必要があること。

- 河川堤防の特性から変状の発生する区間を機械的に予測することは困難であり、点検・巡視の区間を重点化することには、慎重な工学的判断が必要であること。
- 発見される亀裂のほとんどは河川堤防の機能維持に軽微な影響しか与えないこと。しかし、多種多様な変状を定量的に評価し、維持補修の優先順位を決めることは困難であること。

変状データをただ蓄積し、それを機械的に分析することで、点検・巡視の合理化に資する知見を得ることは、変状データ数の限界や変状の多様性もあり相当困難である。そこで、大規模な変状や出水時の被災に焦点を絞り、それらを防ぐためには点検・巡視はどうあるべきか国土技術政策総合研究所で議論を進めている。それを踏まえ、今後研究を進めるにあたっては、大規模な変状や出水時の被災をもとに、それらの予兆となる変状はどのようなものがあるのか、ケーススタディを積み重ねていくという帰納的なアプローチを検討してみたい。そのなかでは、河川堤防の詳細点検結果などより詳細な情報も含めて分析を行うことにより、点検・巡視の合理化へのブレークスルーを目指す。

国土技術政策総合研究所では、引き続き河川堤防の点検・巡視の合理化に向けた検討を実施し、河川事務所で職員自ら実施可能な点検・巡視の結果の整理方法の提示を目指す。また、点検・巡視の結果を、河川堤防の機能維持のみならず、堤防強化対策の実施や出水時等の緊急対応へ活用する方法も検討したい。

## 参考文献

- 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検要領，2012. [http://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/kasen/pdf/tenken\\_youryou\\_h240517.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/tenken_youryou_h240517.pdf) (2014.4)
- 国土交通省河川局水政課・河川環境課：河川巡視規程例について，2011. [http://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/kasen/pdf/kasen\\_junsikiteirei\\_h230511.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/kasen_junsikiteirei_h230511.pdf) (2014.4)
- 塚田秀太郎，宇野尚雄：河川堤防の点検評価法に関する考察，第 42 回地盤工学研究発表会，pp.1119-1120，2007.
- 平松佑一，本城勇介，大竹雄，李圭太，小高猛司：堤体地盤調査データの統計解析に基づく河川堤防の信頼性評価地盤工学から見た堤防技術シンポジウム，pp.49-50，2013.
- 福島路生，亀山哲：サクラマスとイトウの生息適地モデルに基づいたダムの影響と保全地域の評価，応用生態工学，8(2)，pp.233-244，2006.
- 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版），JICE 資料第 111002 号，2012.

(2014. 4. 3 受付)