

# 河川堤防の平常時の変状と出水時の被災に関する統計分析

下川大介・福原直樹・笹岡信吾・森 啓年・服部 敦

## 1. はじめに

堤防は長い歴史の中で構築された長大で不均質な土構造物であり、堤防の維持管理は、人の目による状態把握に頼るところが依然として大きい。すなわち、河川管理者は、目視による点検<sup>1)</sup>と巡視<sup>2)</sup>により、変状を小規模な時期から把握し、補修することによって堤防の機能を維持し、出水時の治水安全性を確保してきた。

しかし、今後の経済的及び人力的な制限を考慮すると、治水安全性の確保のためには、潜在的な弱点箇所を絞り込めるように、現状の点検や巡視を合理化することが求められている。その様な中、点検や巡視で発見される変状と出水時の被災の関連性など、蓄積されてきたデータを用いた検討はこれまで以上に重要である。

本稿では、より効率的な河川堤防の維持管理の実現を目的として、国管理の8河川を対象に、点検・巡視結果、被災履歴、堤防特性のデータを収集し、河川堤防の変状及び出水後に発見される被災、堤防特性の関係を分析した。

なお、本稿では、点検・巡視にて目視で確認される軽微な異常及び変化等を「変状」と定義し、出水によって堤防機能の低下が認められる大規模な異常及び変化等を「被災」と定義した。被災の原因の違いにより「すべり」、「漏水」、「パイピング」の3つの被災に区分した。

## 2. 変状及び被災の分布状況の把握

### 2.1 変状の分布状況の整理

点検・巡視により発見される変状の分布状況を把握することを目的とし、8河川の過去5年間の点検・巡視結果を用いて、変状の種類、発生頻度について整理した。

まず、図-1に8河川の点検・巡視により発見された変状の種類について示す。変状が進行することにより河川堤防の耐浸透機能の低下が懸念され

る変状（亀裂・法崩れ、陥没、構造物周辺の抜け上がり、漏水（以下「浸透に関する変状」という。））に着目すると、全体の4分の1を占めていることがわかる。その他に発見された変状は、植生の異常、表土の異常、モグラ等小動物の穴、樹木の侵入、踏み荒らし・轍等である。

次に、各河川での変状発生頻度について整理した。表-1に変状発見数を堤防延長で除したものをまとめた。1kmあたりに発見される全変状数は約3.4個であり、そのうち、浸透に関する変状は1.0個であり、堤防延長に対して比較的低い頻度でしか変状が発生していないことがわかる。

### 2.2 変状規模の影響

森らの研究<sup>3)</sup>では、変状規模が堤防の機能維持へ与える影響についての検討を行っている。ここでは、浸透に関する変状の中で亀裂に着目し、亀裂深さが堤防の機能維持に与える影響を、堤防の安全性評価に用いられる円弧すべり解析を実施し定量的に評価を行っている。解析モデルは堤防高6.3m、法面勾配を1:2の単断面とし、堤体土質は砂質土（ $c=1.0\text{kPa}$ 、 $\phi=30.0$ 度）、中間土（ $c=10.0\text{kPa}$ 、 $\phi=35.0$ 度）、粘性土（ $c=15.0\text{kPa}$ 、

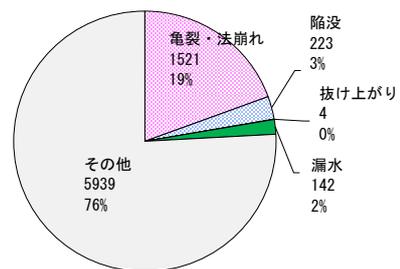


図-1 点検・巡視にて発見される変状の種類

表-1 1kmあたりの変状発見数

河川	点検対象 (km)	変状数		発生発見数(年平均)	
		全変状	浸透に関する変状	全変状	浸透に関する変状
A川	41.1	623	207	3.1	1.0
B川	59.8	638	127	2.1	0.4
C川	265.1	1682	432	3.2	0.8
D川	130.3	1249	99	2.3	0.2
E川	24.8	209	86	3.5	1.4
F川	99.8	1270	248	3.2	0.6
G川	75.2	451	50	1.2	0.1
H川	95.9	1707	641	8.3	3.1
平均				3.4	1.0

Statistical Analysis of Faults or Failure of River Levees by the Comparison of Normal and Flood Periods

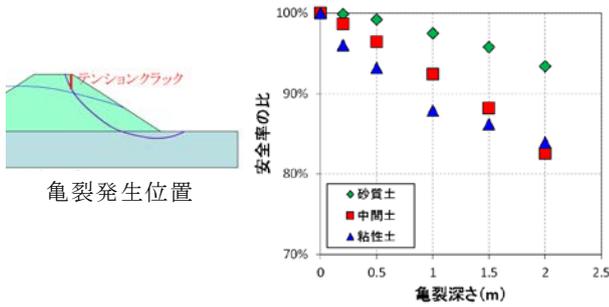


図-2 亀裂深さと安全率の関係<sup>3)</sup>

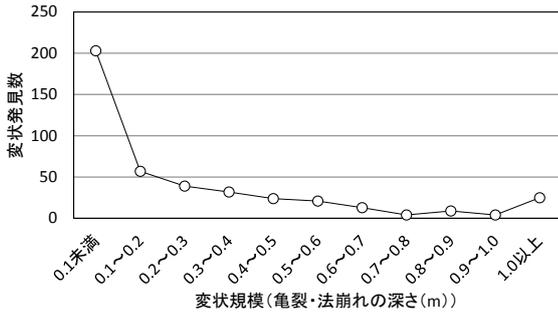


図-3 点検・巡視で発見される亀裂の規模 (m)

$\phi=0.0$ 度)の3種類を想定し、浸潤線は浸透流解析により求めた結果を用いている。その結果を図-2に示す。図は亀裂深さとすべりに対する安全率の関係を示したものであり、亀裂深さが増加するに従いすべりに対する安全率が低下していることがわかる。

ここで、点検・巡視で発見される亀裂の規模(深さ)を整理したものを図-3に示す。亀裂の深さは0.1m未満のものが大半を占めており、図-2に照らし合わせると、堤防に0.1m未満の亀裂が生じて安全率はほとんど低下しないことがわかる。よって、現状の維持管理では、堤防の機能維持に影響を与える前に、早期に補修することにより治水機能を維持していることが示唆される。

### 2.3 被災の発生状況

本稿の分析では、被災履歴は被災位置と被災形態が判明している昭和51年から平成25年の間に確認された被災記録を使用した。堤防が被災した場合、現況復旧を基本としていることから、基礎地盤の特性は変化していないと仮定し、平成21年以前の被災も分析の対象とした。分析は8河川のうち、被災履歴のあった5河川を対象として実施した。図-4に本稿で用いた被災種別の件数とその割合を示す。すべりによる被災が最も多く約60%を占める。また、堤防の安全性が不足している区間を抽出し、優先的に堤防強化を進めるために、堤防詳細点検が行われている。そこで、被災

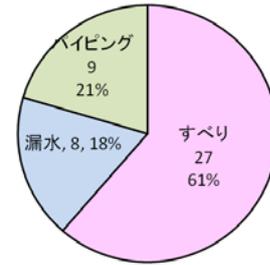


図-4 被災履歴の種類

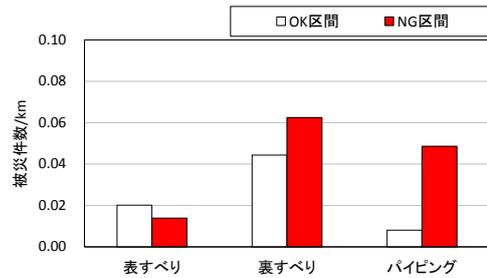


図-5 被災履歴の種類

が詳細点検の照査結果のNG区間(安全性が不足していると判定された区間)と一致するかを調べた(図-5参照)。パイピングによる被災は9件発生している。そのうち、パイピングの照査でNGと判定された区間で発生しているものが7件(0.05件/1km)発生しているのに対し、OK区間で2件(0.01件/1km)発生していることから、パイピングの照査によりNGとなった区間については、パイピングの被災が発生する可能性が高いと言える。

## 3. 被災と堤防特性の関係

### 3.1 分析方法

前章で分析を行った被災事例について、どのような条件下で被災が発生しているかを検討するために、被災と堤防特性の関係について、ロジスティック回帰分析を行った。分析は被災履歴のあった5河川を対象として実施した。説明変数には堤防概略点検にて求められる項目を用いた。

ここで、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、変状の発生有・無データと堤防特性との関係を分析できる統計モデルである。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。

### 3.2 平均法面勾配とすべりによる被災の関係

法勾配が急になるとすべり破壊が生じやすいため、すべりによる被災と平均法面勾配との関係性について分析を行った(図-6参照)。平均法面勾配が1:2~1:3の堤防にて被災が集中しており、被災

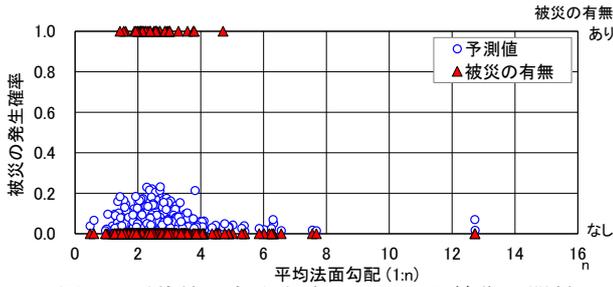


図-6 平均法面勾配とすべりによる被災の関係

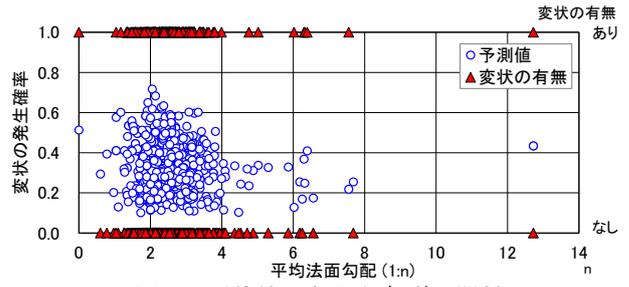


図-8 平均法面勾配と亀裂の関係

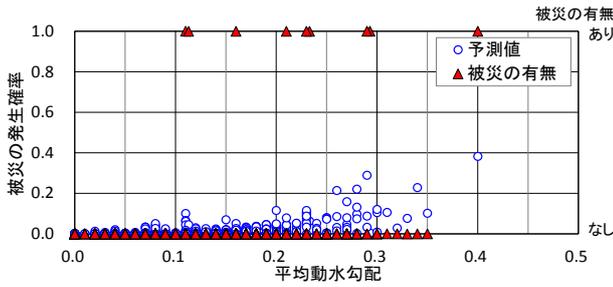


図-7 平均動水勾配とパイピングによる被災の関係

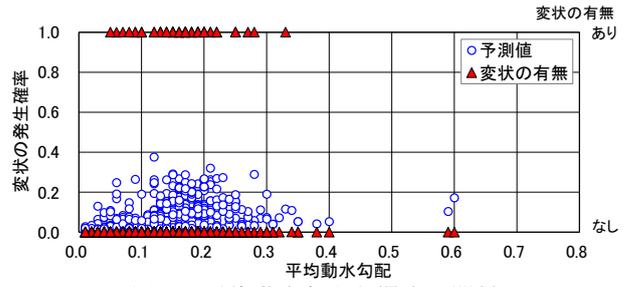


図-9 平均動水勾配と漏水の関係

災の発生確率 ( $0 < p < 1$ ) も高くなっている。また、平均法面勾配が1:4よりも緩くなると被災が確認されておらず、被災の発生確率も小さい値を示す。なお、平均法面勾配が1:2よりも急な箇所では被災が確認されていない。今回の分析では、小段や法面数を考慮せず、法肩と法尻を結んだ直線の勾配を平均法面勾配として用いているため、実際に被災が発生した箇所の法面勾配よりも緩い値を採用している可能性が考えられる。

### 3.3 平均動水勾配とパイピングによる被災の関係

一般的に、平均動水勾配が大きいと浸透に対し危険となりやすいとされていることから、パイピングによる被災と平均動水勾配の関係について検討を行った(図-7参照)。パイピングによる被災は、平均動水勾配が0.1を超えている箇所が発生し、平均動水勾配が大きくなるに従い被災発生箇所が増加する傾向がみられた。また、平均動水勾配の増加に従い、被災の発生確率も大きくなる傾向が確認された。

## 4. 変状と堤防特性の関係

### 4.1 分析方法

被災と同様に、変状についてもロジスティック回帰分析により、堤防特性との関係を定量的に評価した。目的変数は、浸透に関する変状とし、説明変数は被災の分析と同様とした。

### 4.2 平均法面勾配と亀裂の関係

浸透に関する変状の中で、すべりによる被災の

予兆として出現することが想定される亀裂と平均法面勾配の関係について分析を行った。図-8に平均法面勾配と亀裂の発生確率の関係を示す。図に示す通り、平均法面勾配が緩くなっても変状が発生しており、亀裂の発生確率と平均法面勾配の間にも特に関係性は確認されなかった。これは、亀裂にはいわゆるすべり被災とは異なる成因である表層付近で生じた亀裂が多く含まれているためであると考えられる。

### 4.3 平均動水勾配と漏水の関係

浸透に関する変状の中で、パイピング及び漏水による被災の予兆として出現することが想定される漏水による変状と平均動水勾配の関係について分析を行った。図-9に平均動水勾配と漏水の発生確率の関係を示す。平均動水勾配の大小に関わらず漏水が発生しており、変状の発生確率も平均動水勾配との間には特に関係性は確認されなかった。漏水は、堤体土質又は基礎地盤の透水性も影響しており、平均動水勾配だけでは、漏水発生の有無の判別は困難であると言える。

## 5. 被災と変状の関係

3章、4章にて変状と堤防特性、被災と堤防特性については確認したが、被災と変状の関係については明らかになっていない。そこで、変状発生の傾向から被災発生の予測を行うことを目的として、平面図上に被災発生箇所と変状発生件数を整理し、被災と変状の関係性について分析を行った。

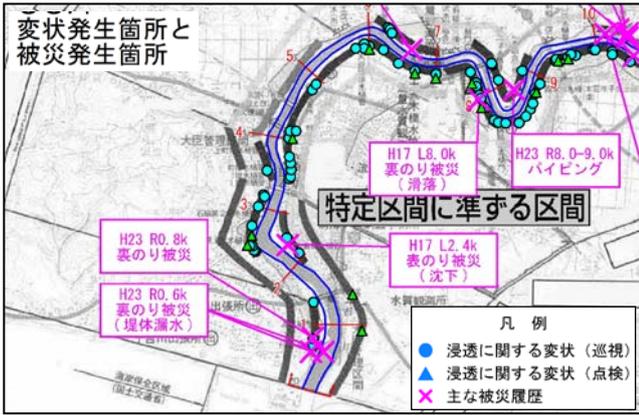


図-10 被災発生箇所と変状発生箇所の比較

図-10は、A河川の平面図上に被災履歴と変状発生箇所を整理し、「見える化」を行ったものである。被災履歴は前章で分析を行った被災を使用した。図に示す通り、変状が高頻度に発生する箇所と被災箇所は必ずしも一致していない。これは、変状のほとんどが、表層部分で生じている小規模な変形であり、被災の予兆として生じているものが少ないことが推察される。このことから、変状発生頻度から出水時の被災発生を予測し、点検の重点箇所を設定することは困難であると言える。

## 6. 今後の展望

現在の堤防の維持管理は、点検・巡視によって変状が小規模なうちに発見し補修することで、出水時にその性能が発揮できるように努めている。

本稿では、出水により発生する被災と常時に発見される変状の分析により、①変状の規模に比例して堤防の性能は低下するが、現状の点検・巡視によって小規模なうちに変状を発見できていること、②被災と変状に直接的な関係はなく、変状が被災の予兆であるか否かを判断するのは困難であること、平均動水勾配の大きな区間や平均法面勾配の急な区間は、被災の発生する可能性が高いこと、などを明らかにした。

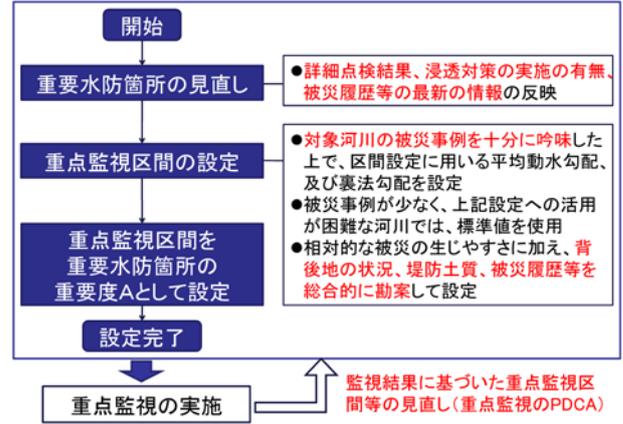


図-11 重点監視区間の設定フロー④

国土交通省では、これらの研究成果等を基に、平成26年度より試行的に、氾濫危険水位時の避難勧告等の発令判断のため、予め漏水発生等の確認を開始する水位及び重点的に確認を行う区間を定めている<sup>4)</sup>。具体的には、被災実績、堤体形状、土質構成、背後地の状況等から堤防機能に支障を及ぼす変状が生じる可能性が高い区間を設定し、出水中の監視を行っている(図-11)。今後、出水時の監視結果や被災時の原因究明のための調査結果に基づき、さらに重点区間の見直しを図る予定である。引き続き、点検・巡視及び出水中の監視結果等のデータを蓄積し、効率的な維持管理の実現を目指していくことが重要である。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 森啓年、福原直樹、服部敦：堤防の点検・巡視の合理化に関する一考察、河川技術論文集、第20巻、pp.479～485、2014
- 4) 福島雅紀、佐古俊介、佐藤稔郎：河川堤防の浸透被災に対する監視強化について、国土技術研究センター第29回技術研究発表会、2015

下川大介



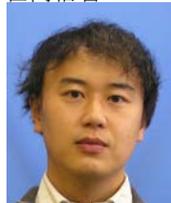
国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 交流研究員  
Daisuke SHIMOKAWA

福原直樹



国土交通省国土技術政策総合研究所企画部国際研究推進室 研究員  
Naoki Fukuhara

笹岡信吾



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 研究員  
Shingo SASAOKA

森 啓年



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 主任研究員、工博  
Dr. Hiroto Mori

服部 敦



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長、工博  
Dr. Atsushi HATTORI