

令和元年台風第19号の決壊箇所における浸透の影響

越水 浸透 決壊

(一財) 国土技術研究センター
 (国研) 土木研究所
 国土交通省 水管理・国土保全局 治水課
 国土交通省 国土技術政策総合研究所

○真野 友里子
 石原 雅規
 森 文昭
 笹岡 信吾

1. はじめに

令和元年台風第19号により全国142箇所の河川堤防で決壊が生じたが、その殆どは越水が主要因で決壊したものである。一方、決壊の主要因は越水ではあるものの、国管理河川の久慈川左岸27kと那珂川左岸40kでは、被災時外力を用いた浸透流解析による再現解析の結果、パイピングに対する所要の安全性を確保しておらず、決壊に対する浸透の影響は排除できないと報告されている¹⁾。また、平成27年の鬼怒川左岸21.0k付近の堤防決壊では、「越水前の浸透によるパイピングについては(中略)発生した恐れがあるため、決壊の主要因ではないものの、決壊を助長した可能性は否定できない。」と報告されている²⁾等、越水が堤防決壊の主要因のものについても、越水前の浸透状況が、堤防の決壊・非決壊を分ける要因の一つとなる可能性が考えられる。

本件は、国土交通省の「令和元年台風第19号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会」における検討内容の一部を報告するものであり、具体的には、国管理河川における台風第19号の決壊箇所を対象に、浸透流計算と円弧すべり法による裏法すべり破壊の安全率や、局所動水勾配等のパイピング破壊の指標、福岡ら³⁾が提案する堤防脆弱性指標 t^* を用いて、越水決壊に対する浸透の影響について検討を行ったものである。

2. 越水箇所に対する浸透の影響の検証

越水決壊に対する浸透の影響を検証するため、令和元年台風第19号による国管理河川の越水決壊箇所と越水したが決壊しなかった箇所(以下、非決壊箇所)について、浸透流計算と円弧すべり法による裏法すべり破壊の安全率と、局所動水勾配、 G/W によるパイピング破壊に対する安全性、福岡らが提案する堤防脆弱性指標 t^* を用いて、それぞれ裏法部の越流流速 v_f との関係を比較した。

裏法部の越流流速 v_f は、エネルギー保存則と裏法部の等流を仮定し、以下の式で求めた。

$$v_f = \frac{q}{h_f} \quad h_f = \left(\frac{n^2 g}{i} \right)^{\frac{3}{10}} h_c^{\frac{9}{10}}$$

$$q = \sqrt{gh_c^3} \quad h_c = \frac{1}{3(h_t + H)^2} h_c^3 + \frac{2}{3} h_t$$

ここで、 h_t :越流水深、 q :単位幅流量、 H :堤防の高さ(比高)、 h_c :天端で生じる限界水深、 h_f :裏法尻付近での水深、 i : $\sin\theta$ である。粗度 n は一律0.03を用いた。

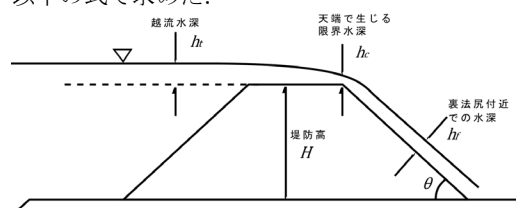


図-1 裏法部の越流流速 v_f の算出

2.1. すべりとパイピングに対する安全性の検証

過去の堤防詳細点検等で、越水の当該箇所または当該箇所ではないものの一連区間内で安全性照査が行われた箇所について、その結果を収集し、決壊箇所と非決壊箇所における裏法すべり破壊の円弧すべり安全率と、パイピング破壊の局所動水勾配 i (i_b と i_v のうち値が大きい方を採用した)と G/W の分布を比較した。また、堤防形状と越流水深から裏法部の越流流速 v_f が算出可能であった箇所については越流流速 v_f との関係を整理した。なお、安全性照査の外力は計画高水位に対するものであり、被災時外力ではない。

その結果、決壊箇所において裏法すべり破壊の安全率を満足しない箇所は、7箇所中1箇所、非決壊箇所において裏法すべり破壊の安全率を満足しない箇所は34箇所中8箇所であり、決壊箇所と非決壊箇所間で明瞭な違いは確認されなかった(図-2)。また、裏法すべり破壊の安全率と裏法部の越流流速 v_f の分布についても決壊箇所と非決壊箇所間で明瞭な違いは確認されなかった(図-3)。

パイピング破壊については、決壊箇所においてパイピングの基準値を満足しない箇所は無かった。一方、非決壊箇所においてパイピングの基準値を満足しない箇所は32箇所中5箇所であり、決壊箇所へのパイピングの影響は見られない(図-4,5)。また、局所動水勾配 i 、 G/W と裏法部の越流流速 v_f の分布についても決壊箇所と非決壊箇所間で明瞭な違いは確認されなかった(図-6,7)。

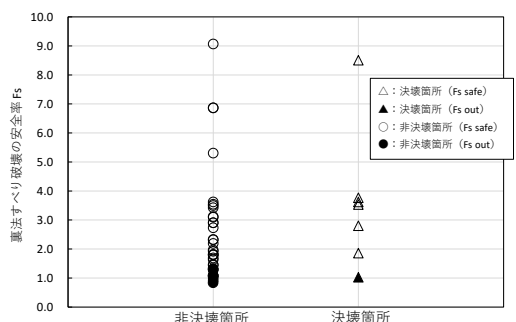


図-2 裏法すべり安全率の分布

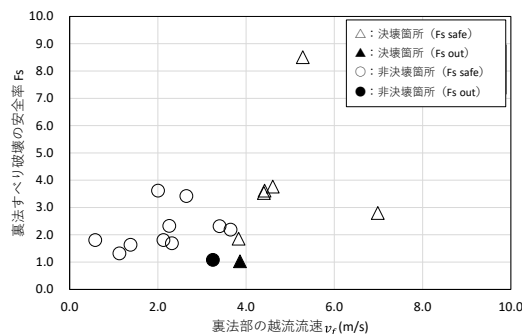


図-3 裏法すべり安全率と越流流速 v_f の関係

2.2. 堤防脆弱性指標 t^* を用いた検証

河川水の堤体内への浸透状況を確認するため、堤防の形状や水位ハイドロが要素として含まれている堤防脆弱性指標 t^* を算出し、決壊箇所と非決壊箇所について裏法部の越流流速 v_f との関係と比較した。

堤防脆弱性指標 t^* の算出に用いた水位ハイドロは、近傍の水位観測所の被災時の水位を水面勾配で被災箇所までスライドさせ、天端を超える水位については天端高に置き換えた。水位ハイドロの時間間隔は 60 分とした。また、堤防脆弱性指標 t^* の算出に用いた透水係数は越水の当該箇所または近傍の詳細点検に用いた断面モデルの各層の透水係数を面積によって単純平均した。

堤防脆弱性指標 t^* と裏法部の越流流速 v_f が算出できた決壊箇所 11 箇所と非決壊箇所 19 箇所について、堤防脆弱性指標 t^* と裏法部の越流流速 v_f の関係をグラフ化し、決壊箇所と非決壊箇所の分布について線形判別分析を行った。

その結果、今回の決壊箇所と非決壊箇所では t^* の分布に明瞭な違いは確認されないが（図-8）、線形判別分析で得られた境界線が右下に傾いており、裏法部の越流流速 v_f に比べると影響は小さいものの堤防脆弱性指標 t^* の寄与を示唆する分析結果が得られた（図-9）。

なお、中村ら⁴⁾の研究では、被災箇所における t^* とその他の箇所の t^* に顕著な差が見られない理由として、 t^* が対策工の効果等（例えば、川表の遮水シート）を考慮していない点を挙げている。今回の決壊箇所及び非決壊箇所でも川表に遮水シート等が敷設されている箇所が含まれているために、遮水シート等の有無が本検討の結果に影響を及ぼした可能性も考えられる。

3. まとめ

令和元年台風第 19 号による越水決壊箇所と、非決壊箇所について、堤防詳細点検における安全性照査結果と、堤防への浸透の程度を表す指標である堤防脆弱性指標 t^* を用いて、決壊・非決壊箇所を比較した。

決壊・非決壊箇所の詳細点検の結果による局所動水勾配と G/W と裏法部の越流流速との関係においては、明確な傾向は見られなかった。これは照査に用いた外力が被災時とは異なることや、検証箇所が必ずしも被災箇所と同一ではないことなどが関係していると考えられる。

一方、データ数が少ないものの、堤防脆弱性指標 t^* と裏法部の越流流速 v_f の関係について線形判別分析を行ったところ、裏法部の越流流速 v_f に比べると小さいものの堤防脆弱性指標 t^* の寄与を示唆する分析結果が得られた。このことから、越水決壊に対する浸透の影響は、完全には否定できない結果となった。

今回は限られたデータの中で、越水を主要因とする決壊箇所や、非決壊箇所における浸透の影響について検討を行ったが、浸透による裏法の侵食耐力の変化なども含めて、今後も継続的に調査を実施する必要がある。そのためには、決壊箇所のみならず、非決壊箇所や越水以外の被災箇所についても被災時外力や堤体土質の詳細などを調査し、これらを蓄積・分析していくことが必要である。

参考文献

- 1) 那珂川・久慈川堤防調査委員会：那珂川・久慈川堤防調査委員会報告書, p.3-55, 4-72, 2020
- 2) 鬼怒川堤防調査委員会：鬼怒川堤防調査委員会報告書, p.3-32, 2016
- 3) 福岡捷二, 田端 幸輔：浸透流を支配する力学指標と堤防浸透破壊の力学的相似条件—浸透流ナンバー SFn と堤防脆弱性指標 t^* , 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.74, 2018
- 4) 中村賢人, 笹岡信吾, 上野俊幸, 福島雅紀, 諏訪義雄：河川堤防の被災実態と堤防脆弱性指標の関係 第 5 回河川堤防技術シンポジウム論文集, pp71-74, 2017

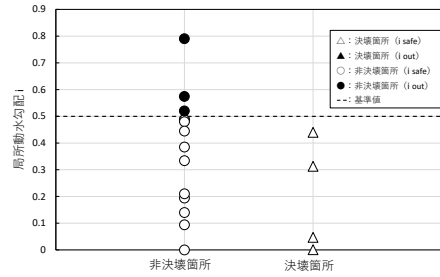


図-4 局所動水勾配 i の分布

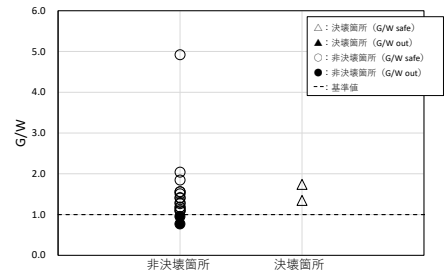


図-5 G/W の分布

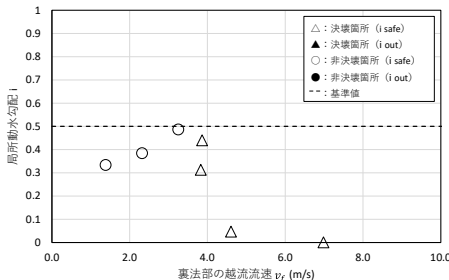


図-6 局所動水勾配 i と越流流速 v_f の関係

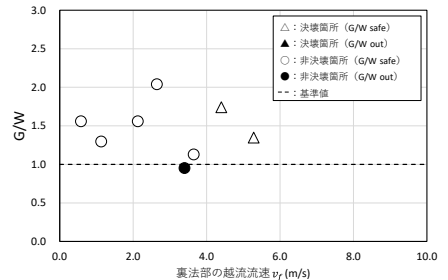


図-7 G/W と越流流速 v_f の関係

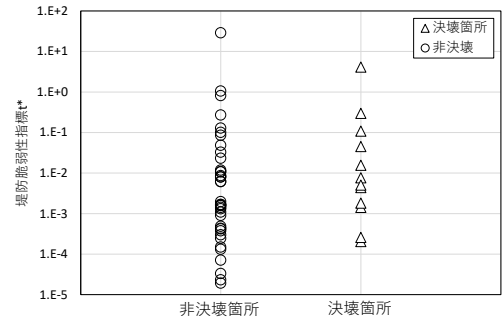


図-8 堤防脆弱性指標 t^* の分布

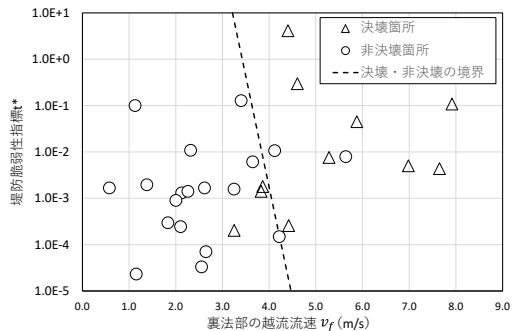


図-9 堤防脆弱性指標 t^* と越流流速 v_f の関係