

河川堤防の雨水排水による被災と対応



河川政策グループ 首席研究員
佐古 俊介



元 河川政策グループ 上席主任研究員
延常 浩次

1 はじめに

河川堤防は、洪水・高潮による水災害防御の根幹的施設として古くから整備が進められてきており、安全で安心な社会や地域づくりを進めていくにあたっての重要な社会基盤施設の一つである。

河川堤防に求められる機能としては、耐浸透性や耐侵食性、耐震性等が挙げられており、特に浸透に対しては、降雨と河川水を外力とした堤防のすべりやパイピングに対する点検や強化対策が行われてきているところである。

近年、全国各地で短時間スケールの豪雨の頻発に伴い、これまで破堤に直結しないため重要視されていなかった、雨水が原因と疑われる、堤防のり面の表層すべり被災が少なからず発生している。その一方で、浸透対策上、天端舗装が推奨されていることや、鬼怒川破堤を契機とした危機管理型ハード対策を受けて、1,800 kmの延長にわたり天端のアスファルト舗装を行う施策が打ち出され、今後これに基づく堤防整備が行われた場合、降雨の天端からのり面への排水が助長される恐れがあることから、堤防の雨水に対する対策や管理が求められている。

本報告は、降雨に起因した堤防のり面における表層すべり被災の事例を分析することにより、そのメカニズムを推定し、雨水に対する今後の堤防管理や対策手法について示したものである。

2 代表的被災事例からみた被災原因の検討

降雨に起因した堤防のり面の表層すべりの代表的被災事例として、平成 27 年 8 月の台風 15 号の影響により表のり崩れが発生した、筑後川における被災を示し、被災原因について検討する。

2.1 被災の概要

筑後川は、流域面積 2,860km²、幹川流路延長 143km の九州最大の一級河川である。平成 27 年 8 月の台風 15 号の影響に

より、総雨量としては約 140mm、時間雨量の最大値で 73mm（筑邦観測所）という猛烈な雨が降る一方で、水位は平常時よりも 40cm 高い程度（瀬の下観測所）であったが、筑後川左岸大善寺地先 18.310k ~ 18.360k 区間において表法面の法崩れが 2 箇所発生した。のり崩れの規模は、上流側では延長約 11m（天端道路亀裂を含むと 15.2m）、下流側では延長約 10.9m であった。



写真 2-1 被災箇所全景

2.2 被災箇所の調査

被災要因の検討にあたり、被災堤防の形状的特徴と詳細な土質の性状について把握するために、モービル・マッピング・システム（以下、「MMS」）調査と土質調査を実施した。

MMS 調査は、被災断面を中心に約 400m の区間において堤防天端の連続的な形状の把握を行った。（図 2-1 参照）

また、土質調査については、被災箇所 2 断面（断面③、④）、上下流概ね 200m にそれぞれ 2 断面（下流側：断面①、②、上流側：断面⑤、⑥）の計 6 断面に対してボーリング調査や土質試験等を行った。

MMS 調査によると、被災箇所付近の天端路面部標高図は、上下流堤防の標高の高い区間（緑色で着色されている箇所）で挟まれた標高の低い区間（青色で着色されている箇所）に位置していることが分かる。

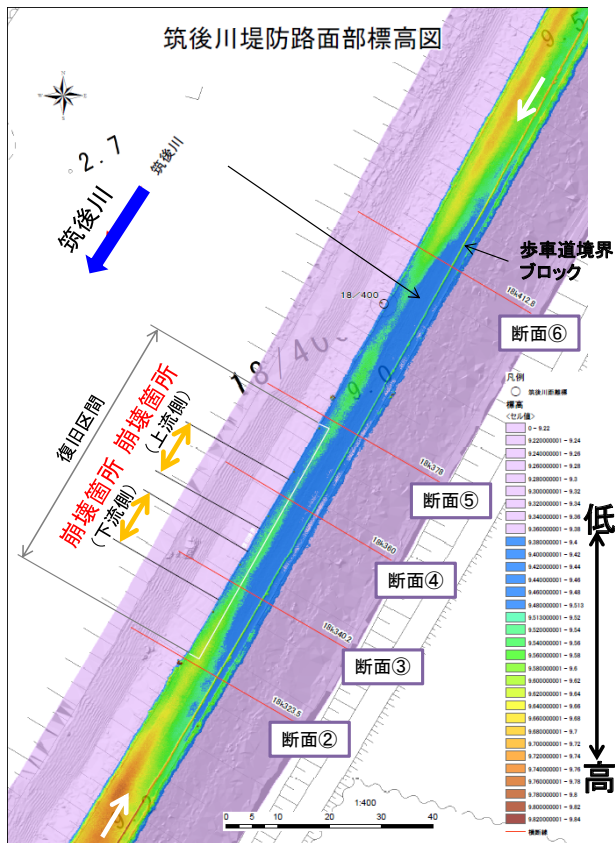


図 2-1 MMS 調査による堤防路面部標高図

また、堤防天端標高の縦断形状について見てみると、仮復旧後の表のり肩標高を見ても被災箇所付近で堤防高は最も低くなっている。仮に、被災前の表のり肩標高を仮復旧後の表のり肩標高の最も低い部分と想定して図示すると、図 2-2 の赤破線のようになり、約 50m の区間で低い部分が存在した可能性がある。

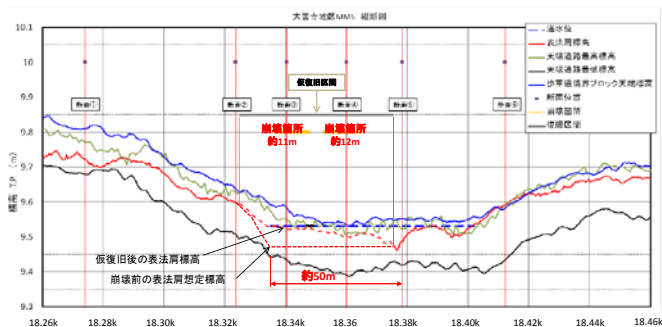


図 2-2 MMS 調査結果による被災箇所の縦断形状

次に土質調査結果であるが、昭和 28 年以前に築堤された粘性土による旧堤 (Bc1 層、Bsc1 層、Bcs1 層) に対して、細粒分のやや卓越したシルト層 (Bc2) で 1.5 m～2 m 程度嵩上げされた堤防がもとの堤防であり、その後、昭和 44 年 (Bsc3)、平成 20 年 (Bk4) と若干の拡幅、嵩上げが行われている。なお、これらの構造は、被災断面 (断面③、④) においても近傍の無被災断面 (断面①、②、⑤、⑥) においても大きく変化することとはなく、同様の構造をもった堤防である。

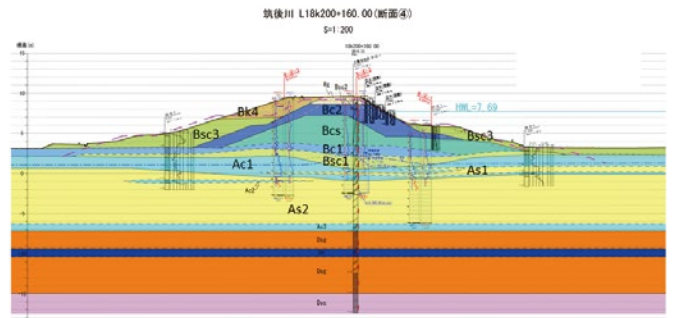


図 2-3 被災断面 (断面④) における堤防土質構造

一方で、崩壊した土層に該当する Bc2 層については、のり面からの浸透のし易さを評価するために、マリ奥特サイフォンによるのり面表層部の透水試験を実施した結果、室内試験から得られた Bc2 層の深部の透水係数 ($k=6.16 \times 10^{-5}$) よりも高い透水性 ($2.27 \times 10^{-3} \sim 3.06 \times 10^{-4}$) であることが分かった。

次に、天端の排水状況に関しては、川裏側の歩車道境界ブロックには約 10cm の半円状の雨水排水のための孔が 8m 間隔で設けられているが、被災後の調査によると、これらの排水孔には土砂が堆積して完全に閉塞したものや、土砂の堆積によって大きさが小さくなったもの等が確認された。MMS 調査によると、被災した断面④の天端の横断形状は、排水孔の閉塞や川裏側歩車道境界ブロックが高いため、雨水が川裏へ排水しにくい状況にあったと推定され、短時間の豪雨時には、排水不良によって天端に水たまりができやすい状況になり、場合によっては溜まった雨水が天端中央の標高の高い部分を超えて、川表側に越水するような状況があったことが推察される。(図 2-4 参照)

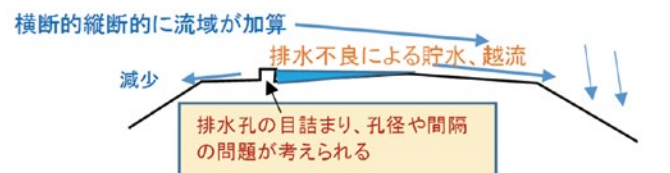


図 2-4 歩車道境界ブロック排水孔の目詰まり状況

2.3 被災原因の検討

被災原因の検討にあたっては、解析を主体として行うこととした。解析は被災時降雨と水位を外力として与え、飽和—不飽和浸透流解析と円弧滑りによる安定解析により行った。

なお、降雨外力については、被災箇所近傍の筑邦雨量観測所の被災時の実績降雨に加えて、天端の上下流から集中してきた雨水を雨水排水として付加した。雨水排水の付加にあたっての

考え方は以下の通りである。

集水区間に降った雨は表法の最も低い区間（以下、排水区間）に集中するため、集水区間に降った降雨量を用いて崩壊区間ののり面に与えられたと推定される降雨強度を算定することとし、「集水区間に降る雨量①」と「排水区間の表法面に降る雨量②」は、「排水区間の天端と法面に排水される水量③」に等しと仮定し、図 2-5 中の式 1 により行った。

図 2-2 で推定したとおり、被災前の表法肩標高の低い区間 50m が、排水幅に相当すると考え、集水区間の延長を、被災箇所上下流の堤防天端の標高変曲点から推定して約 370m の区間だったと仮定すると、天端からの排水量を勘案した降雨強度 r' は被災時降雨強度 r の 2.5 倍に相当したと推定される。

そこで、被災箇所における、被災時降雨外力に雨水排水集中を考慮した解析においては、天端からの排水量は降雨を 2.5 倍に引き延ばすことによって与えることとした。被災原因の検討を行うにあたっては、大きな崩壊が生じた断面④と、被災断面下流側の断面①、被災断面上流側の断面⑥について、築堤履歴や土質調査結果をもとにモデル化を行った。

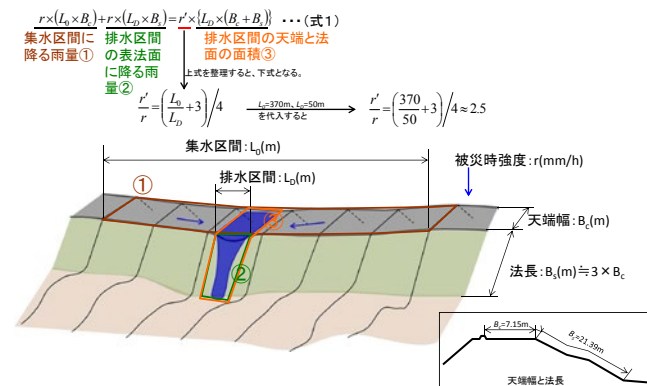


図 2-5 雨水排水集中状況の雨量強度への換算概念

被災断面④と、近傍無被災断面の①、⑥に対して、飽和—不飽和浸透流解析と円弧滑りによる安定解析を実施した。その結果、被災時降雨の条件では被災断面である断面④の $F_s = 1.38$ 、また無被災断面である断面①、⑥についてはそれぞれ $F_s = 1.39$ 、 $F_s = 1.42$ と、崩壊の有無の基準である $F_s = 1.0$ を上回る結果となったが、天端への雨水排水の集中を考慮して被災断面である断面④について解析を行った結果、 $F_s = 0.96$ となり、崩壊の有無の基準である $F_s = 1.0$ を下回る結果となった。

表 2-1 感度分析計算結果

降雨外力	断面①	断面④ (被災断面)	断面⑥
	安全率	安全率	安全率
被災時降雨	1.39	1.38	1.42
被災時降雨+天端排水集中	—	0.96	—

被災原因をまとめると以下の通りである。

- ・堤防天端の延長 370m 区間に降った降雨が、縦断的に低い区間に集中し、堤防天端の形状や排水孔も目詰まり等により、集中した雨水は表法側に流出した。

- ・流出した区間は約 50m であり、その区間では雨水に天端からの雨水排水が加わり、降雨のみの場合に比べて 2.5 倍の雨水が法面を流下・浸透した。
- ・崩壊した土層に該当する Bc2 層の表層は雨水が浸透しやすいことから、浸透時の強度が低下しやすい土層であった。浸透流解析と円弧滑り解析の結果、天端からの雨水排水集中を考慮した場合、 $F_s = 1.0$ 程度もしくは $F_s = 1.0$ を下回ることが確認された。

したがって、被災原因としては、降雨に加えて天端からの雨水排水が堤防表法面に浸透し、法面表層の間隙水圧が上昇した結果土質強度が低下し法面の崩壊に至ったと考えられた。

3 全国における被災事例とその特徴

筑後川と同様の被災事例について、過去 10 年に遡って、全国の直轄堤防を対象として収集すると、水位が低いにも関わらず堤防ののり面すべりが発生した事例は 20 事例ある。

これらの特徴を示すと以下の通りである。

- ・形状に着目すると、20 事例中 16 事例で天端舗装がなされており、天端に降った雨水は浸透せず、のり面に排水されている可能性がある。
- ・堤防土質構造に着目すると、20 事例中 13 事例でのり面は覆土成形した箇所であり、切土成形よりは透水係数が高い可能性がある。

表 3-1 雨水排水を原因とする被災事例

NO.	地盤名	水系名	河川名	左右岸	距離標	のり勾配	天端舗装の有無	覆土の有無	発災年月日
1	北海道	尻別川水系	尻別川	右岸	4.9k	2	無	有	H25.4.7
2		鳴瀬川水系	鳴瀬川	左岸	29.0k	2	有	有	H25.7
3	東北	最上川水系	鮎川	右岸	0.2k+60.4k	2		有	H23.7
4		最上川	左岸	4.8k	2	有	有	有	H23.7
5		鳴瀬川水系	吉田川	右岸	1.6k	1.5	有	無	H25.10.16
6		荒川	左岸	20.3k	2	有	有	有	H25.4.7
7		荒川水系	荒川	左岸	24.9k	2	有	有	H25.4.7
8		荒川	右岸	19.4k	2	有	有	有	H25.4.7
9	関東	信濃川	右岸	15.0k	2	無	有	有	H23.6.27
10		信濃川	左岸	14.0k	2	無	有	有	H25.7.31
11		信濃川水系	信濃川	左岸	1.5k	1.5	有	有	H25.7.31
12		信濃川下流	右岸	10.0k-40m	1.3	有	無	有	H23.7.29
13	中部	庄内川水系	庄内川	右岸	5.6k	2~3	有	不明	H25.9.4
14	近畿	大和川水系	大和川	左岸	36.0k	2	有	不明	H22.9.23
15	中国	日野川水系	日野川	左岸	0.6k	1.5	有	不明	H24.4
16		七瀬川	右岸	5.65k	2	有	有	有	H21.6.30
17	九州	本明川水系	本明川	右岸	1.6k	1.6	無	有	H23.6.12
18		松浦川水系	松浦川	左岸	4.2k	1.4~2.2	有	無	H25.6.24
19		筑後川水系	筑後川	左岸	18.3k	2	有	不明	H27.8.25
20		筑後川	左岸	21.2k	1.4~1.8	有	有	有	H20.6.19

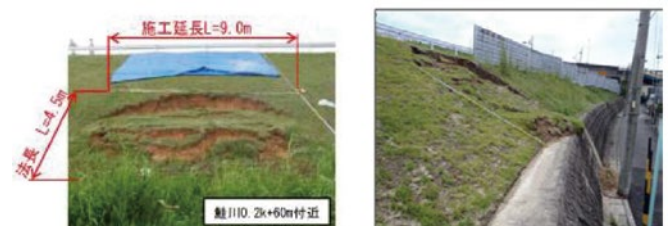


写真 3-1 表層すべりの事例

- ・被災時降雨量についてみると、最大時間雨量が 10mm、累加雨量 50mm 程度でも被災を生じている。(図 3-1)

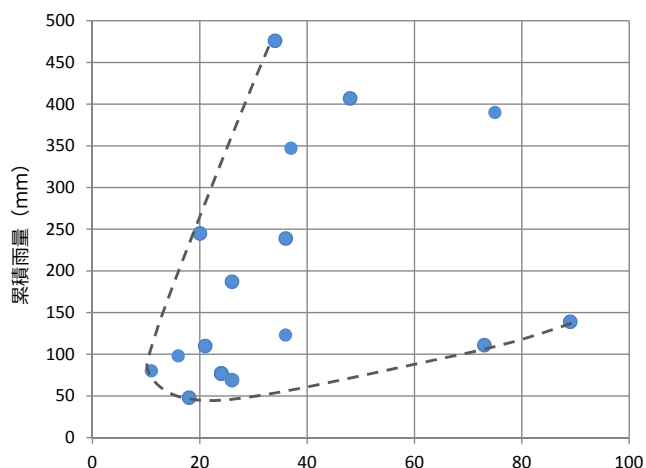


図 3-1 被災箇所における最大時間雨量と累積雨量

4 雨水による堤防の被災メカニズムと対策

筑後川におけるのり面すべりから検討された被災原因や、全国直轄河川の同様の被災結果を踏まえて、舗装された天端からの雨水排水の集中から堤防の被災までの被災メカニズムのフローを図 4-1 に示した。

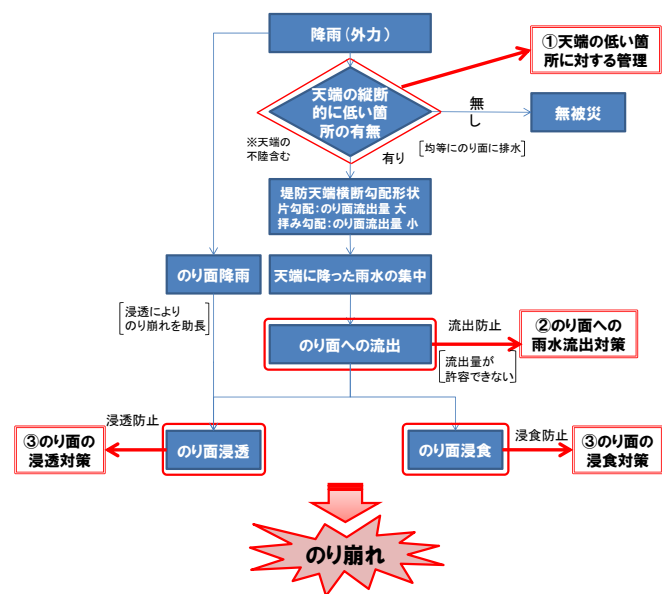


図 4-1 天端からの雨水排水を原因とする「のり崩れ」のメカニズムと対応策のフロー

これによると、天端の縦断的に低い区間があると、天端に降った降雨がそこに集中し、天端の横断的に低い箇所から堤防のり面に流出する。その後、流出した降雨が堤防表法面に浸透し、土質強度が低下しやすい箇所だとのりすべりを生じる、もしくは、直接のり面を侵食してのりすべりを生じると考えられる。

したがって、天端からの雨水排水に対する対策と管理としては、以下が考えられる。

①天端の低い箇所に対する管理

- ・ MMS 等を用いた緻密な天端縦横断形状の把握

- ・ 巡視や堤防点検等における、雨天時の路肩の水たまりの確認や、雨水の法面への集中の有無確認、法面の侵食痕や緩み域の有無確認。

②のり面への雨水流出対策

- ・ のり面に天端からの雨水排水が流出すること自体を抑える方法として、適切な切欠きをつけた“歩車道境界ブロック”や“アスカーブ”の設置による天端の雨水排水流出防止策や、“縦排水溝”、“堤脚水路”や“集水ます”の設置による排水処理が考えられる。

③のり面浸透・侵食そのものを抑える対策と管理

(管理)

- ・ 除草の適切な時期設定等、“植生管理”による雨水浸透防止”

(対策)

- ・ “ジオテキスタイル等を用いた法面補強”の実施

5 おわりに

これまで雨水排水を原因とする堤防すべり被災については、それが直ちに破堤に結びつく現象ではないこともあり、堤防管理において重要視されてこなかった項目であった。本報告では、全国における堤防すべり被災の実態調査結果や、筑後川における代表被災事例をもとに、天端からの雨水排水によるのりすべりの被災メカニズムを明らかにするとともに、その対策について明らかにした。また、管理手法として、MMS の活用や堤防天端の雨水排水に着目した巡視や堤防点検項目の追加等について提案を示したことが成果であると考えている。今後、これらの成果を活用して、堤防管理のさらなる高度化を目指し、また安全性の確保を図っていくことが重要であると考えている。