北川における漏水の変遷と 地形及び堤防構造等の関係 TRASITION OF UNDERSEEPAGE BOILING, TOPOGRAPHY AND STRUCTURE OF LEVEE ON KITA RIVER

石原雅規1・上田秀一2・安部知之3・品川俊介1・笹岡信吾4・富澤彰仁5 ・佐々木亭6・杉山詠一7・佐々木哲也8 Masanori ISHIHARA, Shuichi UEDA, Tomoyuki ABE, Shunsuke SHINAGAWA, Shingo SASAOKA, Akihito TOMIZAWA, Toru SASAKI, Eiichi SUGIYAMA and Tetsuya SASAKI

¹正会員 土木研究所地質・地盤研究グループ主任研究員(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
²正会員 宮崎県延岡土木事務所所長(〒882-0872 宮崎県延岡市愛宕町2-15)
³正会員 宮崎県延岡土木事務所河川砂防課主査(〒882-0872 宮崎県延岡市愛宕町2-15)
⁴正会員 国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室研究官(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
⁵正会員 前 土木研究所地質・地盤研究グループ交流研究員(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
現 (株)建設技術研究所大阪本社水工部主幹(〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町1-6-7)
⁶正会員 土木研究所地質・地盤研究グループ研究員(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
⁷正会員 土木研究所地質・地盤研究グループ交流研究員(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
⁸正会員 土木研究所地質・地盤研究グループシ流研究員(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

The river embankment of Kita River in Miyazaki Prefecture has been experienced some floods in recent years. Many sand boils due to underseepage were observed repeatedly at around 13km from the river mouth. Our research group conducted some detail and large-scale field surveys at the sites.

This report shows the conditions of floods and sand boils as the premises of these survey results. In addition, the properties of the foundation ground and the topography also were introduced. The thick alluvial gravel layer that is widespread under the embankment is necessary condition for supplying water to the boiling sites. It is likely that the topography and the ground properties are important for boiling.

Key Words: underseepage, case study, topography

1. はじめに

洪水の基盤漏水による決壊としては,直轄河川では 2012年の矢部川の事例が最近の事例である.矢部川では, それ以前にHWLに達するような大きな洪水の経験も, 漏水の記録もなく,突如として基盤漏水による決壊に 至っている.一方で,那賀川や木津川のように,これま で繰返し基盤漏水を生じていても,ここ最近の洪水では 決壊に至っていない河川も存在する.決壊に至らなかっ た状態として,基盤漏水による堤防への影響が極めて少 なく堤防として健全性を保っている状態(繰返し漏水が 発生しても決壊しない堤防)と,徐々に影響が出てきて 堤防として劣化した状態(繰返し漏水が発生すればいつ か決壊する堤防)の2種類が考えられる.現時点では, これを区別できないため,劣化した状態であることを仮 定し,災害復旧が実施されている. このため、漏水を経験した堤防の状態を区別したり、 堤防の劣化程度を評価するための技術開発に向けて、実際の漏水箇所を対象とした詳細な調査を行い、漏水発生 メカニズムや堤防の状態を調べることが重要である.

そこで、当研究グループでは、近年、漏水が度々発生 している宮崎県の北部を流れる五ヶ瀬川支川の北川沿川 の川坂地区(左岸13.0km付近、図-1)において、詳細か つ大規模な調査^{1,2)}を実施した.本報告では、詳細調査の 前提となる堤防構造、出水・漏水の状況、基礎地盤・地 形の概況を説明するとともに、漏水に影響すると考えら れる因子を抽出した.

2. 出水と堤防構造の経緯

北川においては、古くから繰返し大規模出水により、



図-1 漏水が発生した川坂地区の位置



図-3 堤防構造(川坂大橋よりも下流)

甚大な被害が発生してきていたが、本流域は平地に乏し く、川幅を広げることが難しいことから、霞堤方式によ る堤防整備が進められていた.その後、1997年9月に九 州を縦断した台風19号に伴う豪雨により、大規模出水

(最大流量5,000m³/秒)が発生し,周辺地域で甚大な被 害が発生した.川坂地区においても,堤防が決壊するな どにより大きな被害が発生した.このような被害を受け, 霞堤方式を維持しつつ,激特事業(1997~2003年)によ り,河道掘削等の対策が行われた.

その後,確認できるだけでも,2004年,2014年,2016 年,2017年,2018年の洪水で漏水が発生している.大規 模な漏水が集中して



図-2 川坂地区の地形と漏水が多く見られる範囲

補強が行われた. その後,2016年の漏水の発生を踏まえ, 川表遮水対策(鋼矢板)が徐々に進められてきた. 既設 コンクリート護岸の足元と鋼矢板の頭部を根継ぎするこ とにより,水密性を高めている. 鋼矢板の施工済み範囲 は徐々に拡大してきており,その範囲を漏水箇所ととも に,図-7に示す. なお,川坂大橋よりも上流では,下流 側に存在する排気孔がない形式になっている等の違いが あるが,基本的な構造は同様である.

3. 地盤調査結果

川坂地区においては、数多くの地盤調査が実施されているが、ここでは堤防上で行ったボーリング調査結果を縦断方向に並べて図-4に示す.なお、測線の位置は、図-7に示した.堤内地の標高は、実際に漏水が多く発生している堤内地の高さを表している.具体的には、川坂大橋よりも下流では、堤防ののり尻を並走する市道の堤内地側端部からさらに5mほど堤内地に入った辺りを、川坂大橋よりも上流では主に水田として利用されている土地の高さを採用している.

上流側の山付き付近では浅い位置で岩が確認できるが、

発生しているのは, 図-2に示す川坂大橋 を挟んで上下流に2箇 所となっている. 川坂大橋よりも下

二級八橋よりも下 流の堤防断面の代表 的な断面を図−3に示 す.激特事業により, 全面被覆構造(コン クリート護岸,遮水 シートと連接ブロッ ク,カゴ工)による



漏水が発生した箇所では,40m~50m程度の厚い礫層が 基礎地盤に分布している.川坂大橋の前後区間では,堤 内地の地表面高さ付近に砂層が分布していることが特徴 的である.

4. 出水・漏水の履歴

川坂大橋に設置されている長井観測所における19年間の水位と降雨の観測結果を図-5に示す.堤内地の漏水が 生じている地盤の標高が10m程度であるが、これを上回る出水が21回発生している(図-5の★).

このうち,漏水の発生が記録されているのは,2004,2014,2016,2017,2018年である.2018年には、9月の 出水だけでなく、7月の出水でも小規模ながら漏水が発 生している.2005年や2011年もかなり高い水位となって おり,漏水が発生していても不思議ではないが,記録は ない.

資料によると、2004年には川坂大橋上流において、 2014年には川坂大橋下流において、漏水が確認されている.

5.2016年の出水・漏水

2016~2018年の3年間に、4回の漏水が確認されている. この時の4回の出水の水位波形を図-6に示す.24時間付 近で堤内地の地盤高さの代表値10mを超えるように並べ た.最高水位は、2017年、2016年、2018年9月、2018年7 月の順であり、2017年(最高水位14.2m)、2016年(最 高水位13.8m)はHWLを上回っていた.

次に漏水地点の変遷を図-7に示す.

2016年の洪水では、No.5~20の漏水・噴砂が中~大規 模であり、No.1~4及びNo.21以降が軽微な漏水であった. 代表的な状況を**写真-1~3**に示す.川坂大橋の上流では No.12が3m×3mの大規模な漏水であったが、それ以外は 小規模なものが多く、漏水地点の密度も高くなかった. 一方で、川坂大橋よりも下流のNo.16は2m×3mで、 No.12に比べれば小さいものの、その周辺にも同規模の 漏水が多数確認できた. そのため,全体的には,川坂大橋下流側の漏水の比重が大きい印象である.

漏水が発生した地区は川と山に挟まれた細長い平地で あるため内水や漏水の影響を受けやすく,さらには霞堤 であるために堤防下流端から回り込んできた外水によっ ても浸水が生じる.さらに詳しく上流側の地形について 述べると,堤内地の堤防に近い側が標高11m~12mで一 段高い平坦地になっており畑地や畜産に利用されている. 堤防から離れた部分が標高10m前後の低い平坦地となっ ており,水田として利用されている.このため,低い平 坦地は,より浸水しやすい状況になっている.また,漏 水が確認されているのは,基本的には低い平坦地から高 い平坦地との間ののり面であった.

このような地形条件から、2016年の洪水でも堤内地が 浸水している.堤内地が浸水することによって内外水位 差が小さくなり、漏水が軽減されていたと考えられるも のの、そのような状況でも、写真-4のようにNo.12では 漏水が継続していたようである.2m以上の内外水位差 はついていたようであるが、No.12は堤防から70m以上 離れているため、極めて小さい動水勾配で漏水が発生し ていたことになる.

この洪水による被災を契機に、図-3に示す鋼矢板による川表遮水対策が開始された.2017年度の出水期までに、No.5~20の漏水箇所から45度の範囲で鋼矢板が打設された.



図-6 長井観測所における洪水水位波形(毎正時)





図-7 2016~2018年の漏水地点の変遷(破線で囲った範囲が大規模な噴砂や陥没を含む範囲、それ以外は軽微な噴砂・漏水痕)と鋼 矢板による対策の範囲

6.2017年の出水・漏水

2017年には、HWLを大幅に上回る出水により、多数 の漏水が生じた.大規模な漏水は図-7上に○で囲んだ範 囲で生じた.川坂大橋上流で、青い△が集中している箇 所では、箇所数が多すぎるために全ての漏水箇所を記録 できていない.面的に漏水が発生していたような状況で あった.

住民によれば、いつもの洪水に比べ堤内地の浸水が遅かったという.これが正しいとすれば、2016に比べ河川水位が40cmも高いにも関わらず、漏水量が全体的に減少したものと推測される.これは鋼矢板を打設したことによる効果と考えられる.

川坂大橋下流の大規模漏水の状況を写真-5に示す. 釜 段による水防活動が実施されたが, 釜段の内側が噴砂で 一杯になったり, 釜段よりも広い範囲まで漏水が拡大し, 土嚢が沈下した.漏水の激しさが伺える.写真-6は,写 真-2とほぼ同じ位置で発生したもので, 2016に比べ激し くなっていることが分かる.写真-7は, No.6やNo.7付近 の様子を写したものである.水田面から噴き出した痕跡 も多いが,低い平坦地と高い平坦地の境界の法面に砂が 溜まっている状況が確認できた.法面の途中あるいは高 い平坦地の地表面からの水の流れに含まれていた砂が堆 積したものと推測される.このような全体的な漏水の状 況から, 2017年の出水では漏水の比重が川坂大橋よりも 上流側に移ったように見える.









写真-7 上流の噴砂痕(2017)

写真-8上流の噴砂痕・陥没(2018)

鋼矢板を打設範囲内の川坂大橋の上流側で漏水が発生 し、しかも比重が大きくなったことに関しては、様々な 理由が考えられる.1つ目は、透水層を鋼矢板で完全に 締め切っている訳ではないため、打設区間の上下流や矢 板の下部から水が回り込むことが考えられる.2つ目は、 2016年よりも40cm高い水位が作用したことである.2m の水位差でも激しく漏水するような場所であるため、 40cmの影響は想像以上に大きかった可能性がある.3つ 目に、基礎地盤に浸透した堤内地に降った雨の一部が、 鋼矢板を打設したことにより、堤内地側の基礎地盤内に 溜まりやすくなり、漏水に影響していることが考えられ る.現時点では、その他の可能性も排除せず、様々な理 由を想定し、調査・観測を継続することが重要である.

7.2018年の出水・漏水

2018年7月の洪水では、漏水箇所自体も少なく、いず れも軽微な漏水であった.この分布からは、鋼矢板の効 果が現れ、鋼矢板打設区間上流側の無対策部分から回り 込んだことによって端部に近い部分で漏水が発生したよ うに見える.

2018年9月の洪水では、再び多くの箇所で漏水が発生

写真-9 上流の噴砂痕・陥没(2018)

した.川坂大橋の下流側の2016年,2017年の洪水で激し く漏水していた箇所では,噴砂の程度は軽微になってい た.最高水位が2016,2017年に比べ低かったことや,鋼 矢板をさらに上下流に延伸した効果が現れたものと考え られる.また,大規模な開削調査に伴う埋め戻しによっ て,漏水・噴砂が生じやすい状態になっていた地盤がリ セットされた影響も考えられる.川坂大橋上流では,写 夏-8,9に示すように,噴砂をほとんど伴っていない陥没 だけの変状がいくつも見つかった.噴砂によって地盤内 に空洞ができ被覆土層が支えを失い陥没が生じるとすれ ば,陥没と噴砂の中心はほぼ同じ位置になると考えられ るが,これらの陥没は,このようなメカニズムでは説明 できない.同様の現象は,2017年の洪水でも同じ区画の 水田で確認されている.

8. 漏水箇所の動水勾配

2016年,2017年,2018年9月の洪水による漏水地点の 動水勾配H/Dを算出した結果を図-8に示す.ここでのH は、各洪水における長井観測所における最高水位と各漏 水地点の比高であり、水面勾配を考慮していない点に留 意が必要である.Dは、最寄りの堤防天端中心から各漏

水地点までの距離である.

ハッチをかけた大規模漏水が見られた範囲は、必ずし も、H/Dが大きい場所ではなかった.図-7における2016 年9月の漏水地点No.21~No.30及び2017年9月の漏水地点 No.23~No.28では、2017年度の矢板打設後、2018年9月 出水では漏水が確認されておらず、山地形が迫っている 川坂大橋上流とは動水勾配の傾向も相対的に違うことか ら、被災メカニズムが違うことが考えられる.また、 2018年7月の洪水では、動水勾配がほぼゼロでも漏水し ている箇所があることから、山側から供給される水の影 響等も懸念される.



9. 微地形による分析

北川漏水箇所周辺の米軍1947年撮影の空中写真 (M75-16,17)判読に基づいて作成した地形分類図(品 川ほか³³を修正)を図-9示す.地形分類に当たっては、 空中写真判読で認められる地形の凹凸のほか、地割り形 状や表層土質の違いを示唆すると考えられている写真の 濃淡などを考慮した.





漏水箇所周辺には帯状の低まり(旧河道)と微高地 (旧中州もしくは自然堤防)および盛土が存在する.ま た1947年にアメリカ軍によって撮影された空中写真を見 ると,国鉄日豊本線の北川橋梁の直下およびその上下流 に,地表に凹凸のある荒地が認められた.これは1943年 の洪水堆積物であると推定した.

図中央の,2016年9月洪水に伴う漏水が集中する畑地 周辺は,畑地とその下流側の水田との間に約0.8mの比高 があるが、地割りなどから旧河道の一部とした.

大規模な漏水が発生した箇所は、地盤標高が低い旧河 道に位置していた.

10. まとめ

近年,漏水が多発している北川川坂地区の堤防構造, 出水・漏水の状況,基礎地盤・地形の概況を説明した. これらを整理すると以下の通りとなる.

1) 基盤漏水は同じ場所で繰返し発生するが,堤防構造の変化や外力に応じて,基盤漏水の有無や程度が変化する.これらの漏水が堤防へ及ぼす影響を把握するための基礎情報として,漏水の位置や程度,外力を丁寧に調査・記録することが重要である.また,対策効果を検証するための観測も有用である.

2) 今回整理した範囲では、堤内地の標高が低く、か つ、地表付近に砂質土層が分布する範囲で大規模な漏水 が確認された.比較的透水性の悪い砂質土層の下に圧力 がかかり、さらに局所的な漏水箇所に浸透水が集中する ことによって大規模な噴砂等の地盤変状が発生すること が考えられる.動水勾配H/Dの大きさだけでは、大規模 漏水地点の説明は困難であったことや、大規模な漏水が 旧河道に分類される地形区分において発生していたこと とも整合的である.

3) 漏水の状況に対して、内水の状態やその他に現時 点では把握できていないメカニズムが影響している可能 性も有り得る.今後とも、漏水調査結果を踏まえた調査 や内水等を含めた観測を充実、継続することが重要であ る.

4) 現時点で、漏水の堤防への影響を、漏水の状況からだけで判断することは難しい.漏水の状況が同じであったとしても、堤防への影響は、堤防からの距離や、河川水位が原因で漏水が生じているのか、堤内地の降水等河川水以外が大きく影響しているのかで全く異なるし、基礎地盤や堤体の土質によっても異なることが想定されるためである.そこで、筆者らの研究グループでは、堤防への影響を直接的にサウンディング調査により把握した².このような成果を踏まえ、将来的には、漏水状況・位置等の外形的調査結果のみから漏水深刻度が把握できるようになることが望ましい.

参考文献

 岡村未対ら:北川で繰返し発生した陥没を伴う噴砂の詳細 メカニズム調査,河川技術論文集,第25巻,2019(投稿中)
前田健一ら:北川で繰返し発生した噴砂による堤内・裏法 尻箇所のゆるみ調査,河川技術論文集,第25巻,2019(投稿 中)

 3)品川俊介・矢島良紀・西塚大・阿南修司:河川堤防基礎地 盤漏水現場におけるトレンチ調査.日本第四紀学会講演要旨集, vol.48, p.7, 2018.
(2019.4.2受付)