

平成30年7月豪雨による肱川阿蔵箇所でのパイピング被災状況とメカニズムの一考察

大洲河川国道事務所 工務第一課 松山 海人
大洲河川国道事務所工務第一課長 三國 宣仁

平成30年7月豪雨において、1級河川肱川では既往最大の出水を経験した。左岸18k200付近では、水位の上昇によりパイピング現象が発生し、裏のりの陥没や、堤内地で激しい噴砂などの被害が発生した。本論文では、パイピング被災箇所において水ミチ調査を行い、漏水原因やメカニズムを考察するとともに、パイピング破壊に対しての今後の課題や再度災害防止のための対策工について述べる。

キーワード 平成30年7月豪雨、漏水、パイピング、地盤構成、質的整備

1. はじめに

河川堤防の安全性を確保することは、流域住民の人命・資産を守る上で極めて重要な課題である。しかし、近年の気候変動により集中豪雨の頻度が増し、水位が高い状態が長期的に継続するなど、堤防への負荷は増加している。これについて、今後はこれまでの量的な整備に加え、耐浸透機能・耐浸食機能・耐震機能の強化といった質的な整備を進めていく必要がある¹⁾。

昭和51年9月、台風17号に伴う集中豪雨により、長良川の堤防で比較的安全とされてきた箇所において、非溢水状態で決壊が発生し「越水無き破堤」の問題が提起された²⁾。また、平成24年7月の九州北部豪雨による矢部川の堤防決壊は、旧河道と現堤防の交差付近において堤体基礎地盤に透水性の高い砂層・砂礫層が互層状に分布し、この透水層を通じてパイピングが発生したことで破堤に至ったと考えられている³⁾。近年の研究では、透水性地盤が単一の場合は破壊の危険性は低いが、矢部川のように互層で透水性が相対的に高い層が下層にある場合は注意を要することが分かってきた⁴⁾。

大洲河川国道事務所が管理する1級河川肱川においても、平成30年7月豪雨では激しい降雨により水位が上昇し、パイピングによる被害が発生した。破堤には至らないまでも、裏のりの陥没・ずれ下がりや、堤内地での激しい噴砂が発生し、非常に危険な状態であった。

本論文は、平成30年7月豪雨でパイピングが発生した肱川の阿蔵箇所において、中型動的コーン貫入試験や堤防開削調査による水ミチ調査から漏水原因やメカニズムを考察するとともに、パイピング破壊に対しての今後の課題や、再度災害防止のための対策工について述べる。

2. 被災状況

(1) 水位・降雨特性

図-1に下流基準地点である、大洲第2地点上流域の5日から8日にかけての時間雨量および大洲第2地点水位の時間変化を示す。平成30年7月豪雨による肱川流域の降雨状況としては、7月4日22時より断続的に降雨が続き、特に、7日3時から7時の間は時間20mmを超える降雨を観測した。5日10時から7日9時にかけての2日間雨量では、計画降雨量340mm/2dに迫る333mm/2dを観測している。また、ピーク水位は7日12時20分に、計画高水位8.513mまであと50cm程度の8.11mまで上昇している。これは、詳細な水位記録が存在する昭和38年以降で、これまで最も水位が上昇した平成16年台風16号洪水の最高水位と比較しても1.26mも上回る水位であり、平成30年7月豪雨はまさしく過去に経験の無いような記録的大洪水であった。

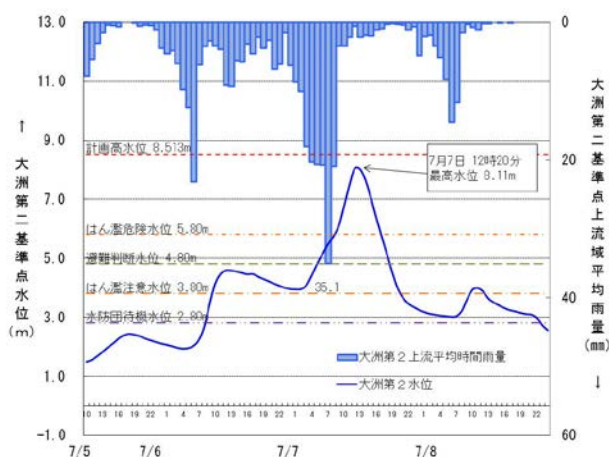


図-1 大洲第2地点 時間雨量および水位ハイドロ

(2) パイピング被災状況

パイピングが発生した箇所は肱川左岸18k200付近の阿蔵箇所である。図-2および図-3に被災状況を示す。堤防裏のり尻付近では、パイピングによる噴砂に伴い宅地の倉庫が傾倒し（図-2）、川裏側の堤体が陥没する被害が発生した（図-3）。

(3) パイピング箇所と旧地形の関係

図-4に、今回被災した箇所周辺の治水地形分類図を示す。今回被災した箇所は大洲城の近傍に位置し、旧河道（お堀）の埋め立て跡に面している。また、堤外側には床止めがあり、洪水時には水位が上昇しやすい箇所でもある。

(4) パイピング箇所と地質の関係

図-5に被災箇所の想定地質断面図を示す。堤体は透水性の良い砂礫（Bg）層からなる。また、堤体基礎地盤には、透水性の良い砂礫層（Ag）の上に透水性が1/10程度低い砂層（As1）が分布し、川裏側では粘性土（Ac）が分布している。堤内側の激しく噴砂した箇所は、旧河道が埋め戻された箇所、砂・礫質土（rd）からなる。

3. 被災分析（水ミチ調査）

近年の研究により、透水性の基礎地盤が単一層である場合は、漏水するもののパイピングは発達しづらいが、透水性の異なる複層構造の基礎地盤では透水性地盤（砂や礫）であっても、より透水性の高い層が下層にある場合はその境界が水ミチとなりパイピングが発生しやすいことが分かっている⁴⁾。今回の肱川被災断面もこれに当てはまり、砂礫層と砂層の層境界が水ミチとなって、パイピングが進行し、吸出しによる噴砂が発生した可能性が考えられる。

大洲河川国道事務所では、地層境界である砂層（As1）内の水ミチ（緩み）の有無およびパイピングの進展度を確認するため、中型動的コーン貫入試験（ミニラム）および堤防裏のり面の開削調査を実施した。

(1) 中型動的コーン貫入試験を使用した水ミチ調査

中型動的コーン貫入試験（ミニラム）は、標準貫入試験と同様の貫入原理で貫入値が得られるラムサウンディング試験をさらに簡易・小型化したものである。特徴として、可搬性に優れ、調査箇所の間隔を細かく設定し試験を行うことで、面的なデータ収集が可能であり、河川堤防の構造把握にも用いられている。



図-2 パイピング被害状況

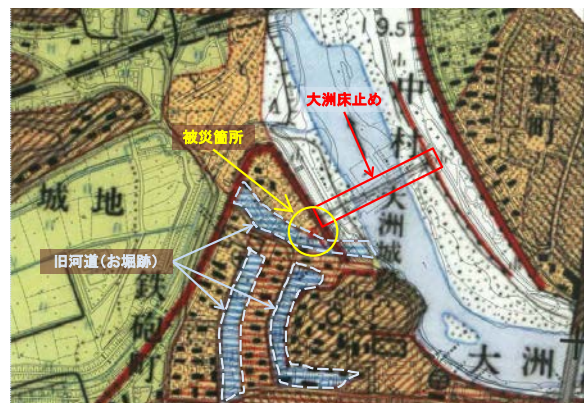


図-4 治水地形分類図



図-3 堤防裏のり面陥没・ずれ下がり状況

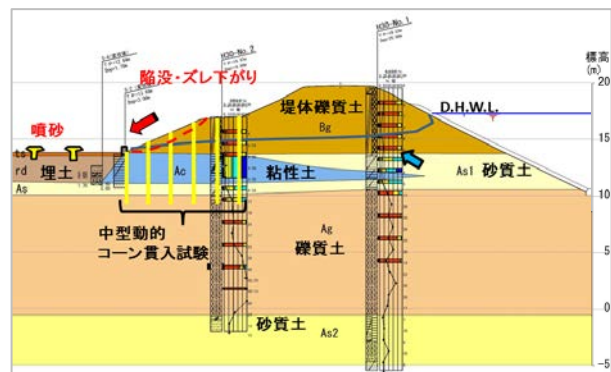


図-5 想定地質断面図

調査箇所として、堤防裏のり面で大きく陥没が見られた箇所を対象とし、2mメッシュで試験を行った。図-6に代表的な横断方向の結果を示す。

堤体および堤体基礎地盤の粘性土では自沈する箇所が確認できるが、これはのり面での陥没・ずれ下がりや堤内地で激しく噴砂したことで緩んだことによる影響と考えられる。砂層 (As1) では、空洞までは認められないものの、相対的にのり尻方向に向かって緩くなる傾向があり、パイピングに伴って緩んだ可能性が示唆される。

(2) 開削調査

中型動的コーン貫入試験によって、砂層 (As1) の緩みが確認され、水ミチとなった可能性が示唆された。さらに詳細に砂層 (As1) 内の水ミチの有無およびパイピングの進展度を確認するため、堤防裏のりにおいて、堤防開削調査を実施した。

図-7に調査の様子、図-8に開削時の断面調査スケッチを示す。調査から分かったことは次の通りである。

- ①堤体の直下には砂質シルト～シルト質細砂の粘土層 (Ac) が分布する。その下位に薄層状で砂層 (As1) が分布し、更にその下位に砂礫層 (Ag) が分布しており想定地質断面図とよく整合していることが分かる。
- ②上流側および川裏側の堤防開削断面には、大洲城の堀を埋めた跡 (埋土) の様子がよく観察できる。
- ③上流側断面では、堤体にせん断されたような跡 (滑落崖) があり、その直下の粘土層 (Ac) にも亀裂が多く発達し、指圧で容易に凹むなど軟質であることから乱れた形跡が確認できる。また、のり尻付近 (倉庫が傾倒した箇所) の基礎地盤では最下層の砂礫がシルト層内に貫入していることから、激しくボイリングした様子が伺える。
- ④下流側断面では、砂層 (As1) がシルト層内に貫入し、その周りに鉛直方向の亀裂が発達している様子が伺える。これは、砂礫層 (Ag) の上位に薄層状に分布する砂層 (As1) が吸出しを受け、粘土層 (Ac) が沈下したことで鉛直方向の亀裂が発達したと考えられる。

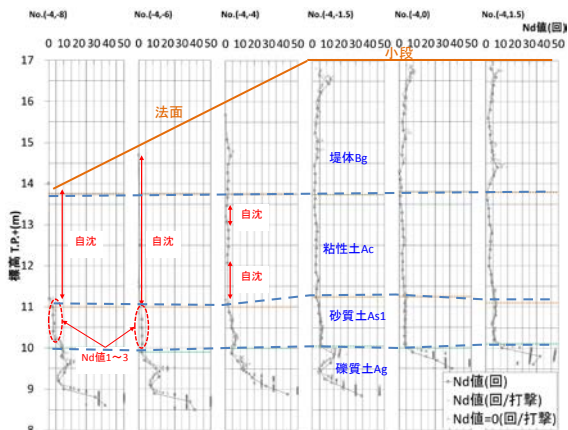


図-6 中型動的コーン貫入試験結果

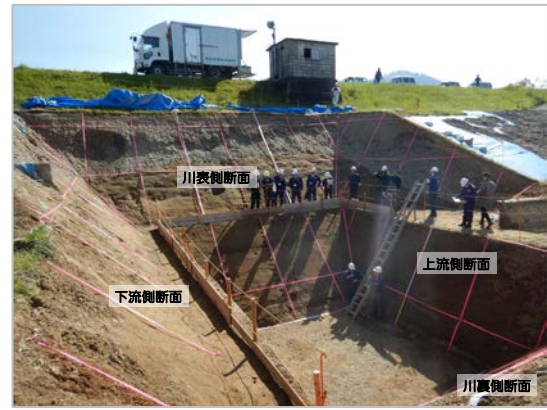


図-7 堤防開削調査状況

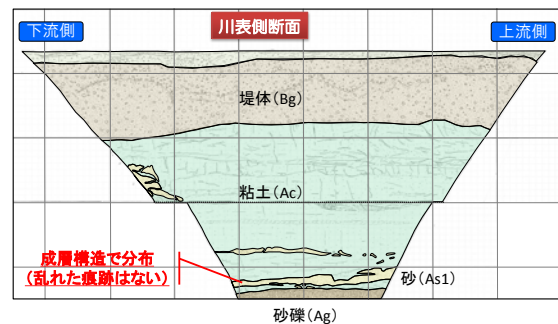
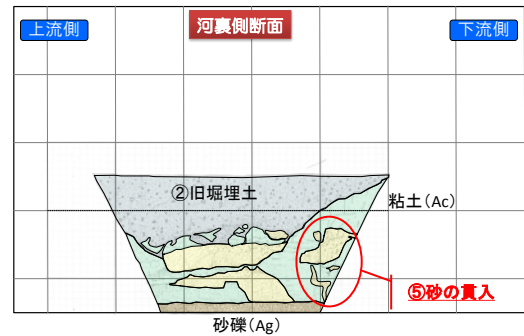
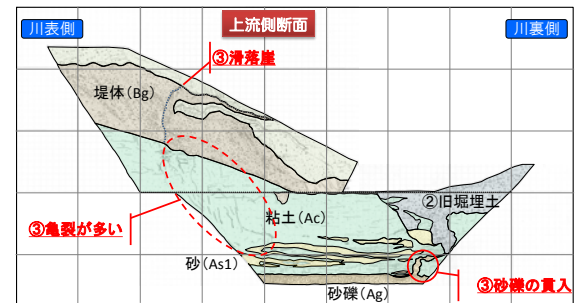
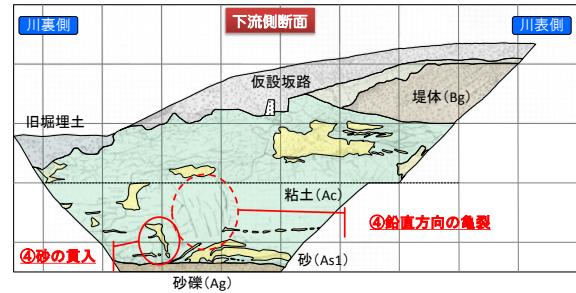


図-8 堤防開削スケッチ

⑤また、砂層のシルト層への貫入は川裏側断面でも確認できることから、被災時には開削断面から観察できる以外にも複数箇所で砂層（As1）の吸出しが生じたものと考えられる。

(3) 被災メカニズム

図-9に調査結果より推定した被災メカニズムのステップ図を示す。被災メカニズムは次のように考えられる。

STEP1:河川水位の上昇に伴い、基礎地盤に大きな動水勾配が発生した。

STEP2:大きな動水勾配が発生したことで基礎地盤にパイピングが発生し、地表面には土砂と水と一緒に噴出した。また、上向きの動水勾配が発生したことで基礎地盤の粘性土内に砂が貫入した。

STEP3:パイピングが進展し砂の吸出しや緩みが発達した。

STEP4:吸出しや緩みが発達したことで基礎地盤や埋土が陥没し、それに伴って堤体も一緒に陥没した。

(4) 漏水対策工

以上のようなメカニズムから、基盤漏水が被災の原因であると考えられる。図-10に、阿蔵箇所で行った災害復旧工事平面図を示す。被災原因である漏水の対策として、遮水矢板を施工し本年度の出水期に備えている。

4. おわりに

本論文では、平成30年7月豪雨で被災した肱川左岸18k200付近において開削調査を行い、漏水原因を分析し、被災メカニズムを考察した。

パイピングが進展すると、その後一気に地層内を貫通し、最悪の場合破堤に至る可能性がある。また、一度パイピングが発生した箇所では、パイピングに伴う水ミチが発生し、次回以降出水で進展する恐れもあり、深刻な問題であるといえる。今回パイピングが発生した箇所は、近年の研究で危険と言われている複層地盤であった。四国管内では礫地盤上に河川が流れていることが多く、今回と同様な地盤構成を有している箇所が多く存在している。これは、パイピング破壊の危険性が高い箇所が多いともいえ、今後四国管内での共通の課題といえる。パイピングが発生した箇所の堤防の健全性を評価するには、パイピングの進展度を評価することが重要になると考えられる。

謝辞: 堤防開削調査にご協力頂いたり、本論文を執筆するに当たり多くのご助言を頂いた愛媛大学大学院理工学研究科 生産環境工学専攻教授の岡村未対氏に深謝の意を表す。

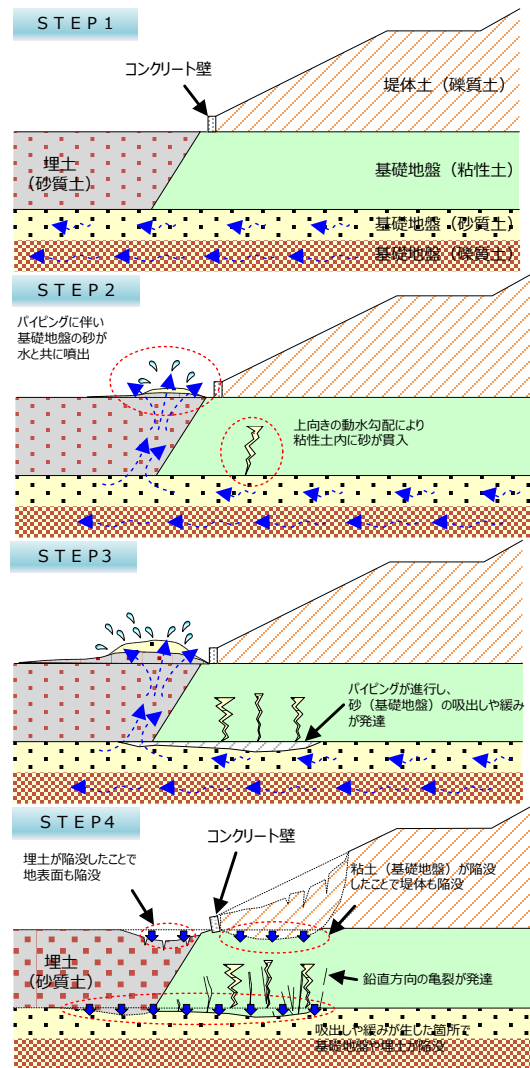


図-9 被災メカニズム



図-10 災害復旧平面図

参考文献

- 1) 国土交通省 河川局 治水課：河川堤防設計指針，2002
- 2) 高田彰，大野陽男：長良川堤防の決壊メカニズムに関する一考察，中部工業大学紀要，A，1977
- 3) 矢部川堤防調査委員会：矢部川堤防調査委員会報告，2013
- 4) 榎山総平，前田健一，齊藤啓，西村柁哉，李兆卿，泉典洋：漏水・噴砂の動態に着目した河川堤防のパイピングの進行性に及ぼす地盤条件と水位条件，河川堤防技術シンポジウム論文集，第4回，2016