

# 肱川阿蔵箇所 支川との合流部における 漏水対策検討の事例

肱川緊急治水対策河川事務所 工務課 工務係員 島内 尚之  
那賀川河川事務所 工務課 工務課長 三國 宣仁  
大洲河川国道事務所 工務第一課 水防企画係長 井上 博義

平成30年7月豪雨において、一級河川肱川の阿蔵箇所ではパイピング現象が発生し、裏法の陥没や、堤内地で激しい噴砂などの被害が確認された。その後、被災箇所対策を完了したが、既往の点検では被災箇所を含む一連区間において、パイピング破壊は生じない結果であったため、残区間において対策必要性の早急な把握が課題とされた。また、本調査箇所は、支川との合流部であり、支川の外水位も堤内地へ影響を与える特殊な水位条件を有していた。そこで本稿では、対策完了箇所の下流区間において実施した牽引式電気探査の結果を用い、表層2~4mの地盤構造を詳細に反映した地盤モデルおよび合流部の水位条件を考慮したモデルから浸透に対する安全性の照査および対策工法を検討し、支川側も含めて対策範囲を設定した。

キーワード 堤防, 浸透, パイピング, 牽引式電気探査

## 1. はじめに

大洲河川国道事務所が管理する一級河川肱川では、平成30年7月豪雨で阿蔵箇所においてパイピング被害が発生し、破堤には至らないまでも、裏法の陥没・ずれ下がりや、堤内地での激しい噴砂が発生した。これを受けて被災直後から漏水原因把握のための地質調査や堤防開削調査を実施した。その結果、被災箇所は旧河道を利用した大洲城のお堀の埋土部に位置し、砂礫層の上の砂層で吸出しが生じるなど、堤防直下および背後地の地盤構造によってパイピング被害が生じていたことが明らかとなった。その後、遮水矢板による基盤漏水対策工事を完了したが、被災箇所から下流の一連区間でも小規模な噴砂が発生していたため、当該箇所においても調査・検討が必要となった。また当該箇所は、支川久米川との合流部であり、支川の水位も堤内地へ影響を与えるため、より危険な水位条件を有している。

そこで、本稿では、下流区間において実施した牽引式電気探査の結果を用い、表層2~4mの地盤構造を詳細に反映した地盤モデルおよび合流部の水位条件を考慮した外力条件から浸透に対する安全性の照査を行い、対策工および対策範囲を検討した方法について報告する。

図-1に、平成30年7月豪雨の被災箇所・対策範囲および本調査範囲を示す。

## 2. 河川堤防のパイピング

河川堤防のパイピングは、上昇した外水の水压による川裏法尻付近の漏水や噴砂をきっかけとし、堤体あるいは基礎地盤内の土が徐々に噴砂孔から排出されることによって、パイプ状の空洞が川裏側から川表側に向かって

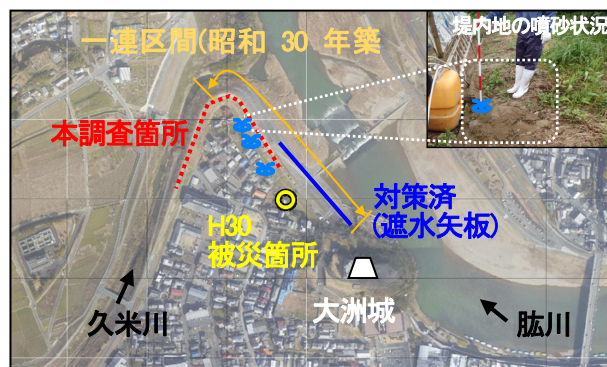


図-1 平成30年7月豪雨の被災箇所(阿蔵箇所)

進展する現象である。パイプが川表側まで貫通すると同時に、大量の水が流れ、パイプを急激に拡大させる。それにより安定を失った堤体が沈下・陥没し、最終的には破堤に至るものと考えられている<sup>1)</sup>。わが国では、平成24年の矢部川堤防などの数事例が知られている<sup>2)</sup>。

近年の研究結果<sup>3)</sup>では、パイピング発生要因の着眼点として、次の3つが挙げられており、堤内地の表層2~4mの地盤構造を詳細に把握することが重要である。図-2に、パイピングの発生しやすい地盤構造を示す。

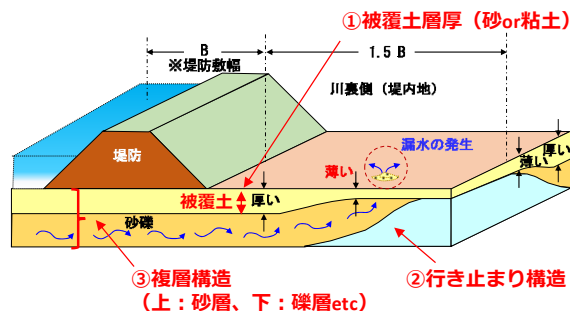


図-2 パイピングが発生しやすい地盤構造

①被覆土層厚：パイピングは、被覆土層厚が相対的に薄くなる箇所が生じやすく、被覆土層厚が3m未満の場合は、発生の危険性が高い。②行き止まり構造：川表側から透水層を通して供給された水が、川裏側に分布する粘性土などの行き止まり地盤によって堰上げられることで噴砂を伴う漏水が発生する。堤防敷幅に対して、裏法尻から1.5倍の範囲に行き止まり構造がある場合はパイピングの危険性が高くなる。③複層構造：基礎地盤が透水性の異なる複層からなり、かつ上層に対し下層の透水性が高い場合（上層が砂層で下層が砂礫層等の場合）にパイピングが生じやすい。

### 3. 検討条件

#### (1) 合流部における水位条件

検討箇所は、支川久米川との合流部にあたる。合流部付近は、本川の水位だけではなく支川の水位も堤内地へ影響を与える。図-3に通常時の水位条件と合流部付近での水位条件を示した。通常時の浸透照査は外水位＝HWL、堤内地側地下水位＝堤内地盤高付近で断面二次元の浸透流解析を実施するが、支川の影響を考慮する場合には、支川側の水位も設定する必要があり、合流部付近の水位条件は通常時の水位条件と比較して、堤内地に発生する浸透圧力は高くなると考えられる。

なお、このような条件の場合、三次元の浸透流解析が適切であるが複雑な解析となるため、本調査では、便宜的に断面二次元解析を3断面設定し、各断面において浸透に対する安全性照査を実施し対策範囲を検討した。

図-4に調査位置平面図を、表-1に各解析検討断面の条件を整理して示した。

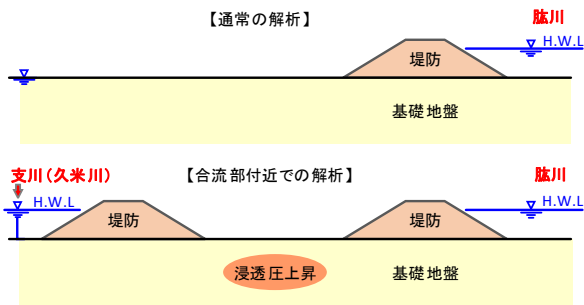


図-3 合流部における水位条件のイメージ図

表-1 解析検討断面

検討断面	内容
断面①	久米川右岸上流断面(西大洲樋門上流の断面)から肱川左岸堤防と直交する断面
断面②	簡易ボーリングを実施している久米川右岸中流断面(西大洲樋門下流の断面)から肱川左岸堤防と直交する断面
断面③	既往検討断面である肱川左岸18K100断面と久米川右岸下流の簡易ボーリング地点を結んだ断面

#### (2) 牽引式電気探査を用いた解析断面の検討

堤防弱部を効率的に把握するためには、堤内地において深度2～4m程度の浅部地盤構造の把握が重要となる。堤内地は民有地であることが多いため、調査を行う場合

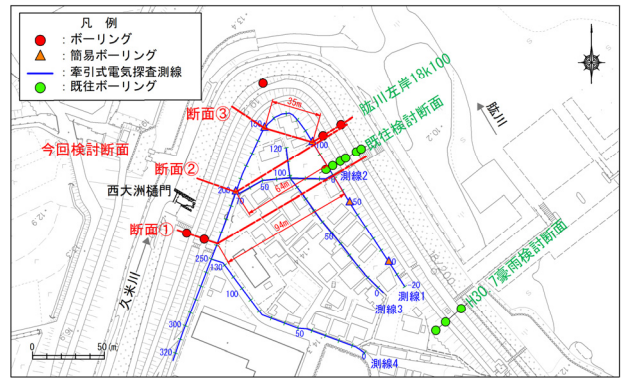


図-4 調査位置平面図

は、非破壊調査である物理探査が望ましい。

牽引式電気探査は、被覆土層厚が相対的に薄い箇所、旧河道等の要注意地形の分布、行き止まり構造および複層構造を比抵抗値により連続的に把握することを目的として実施した。また、牽引式電気探査結果の精度を確認するため、堤防法尻部において簡易ボーリングによる試料採取を行い、基礎地盤表層部の土質構成を把握した。図-5に、使用した牽引式電気探査の測機器および測定状況を示した。



図-5 測定機器および測定状況

図-6に、牽引式電気探査結果および簡易ボーリング調査結果を、図-7に、電気探査結果を反映した検討断面図と既往検討断面図を示した。牽引式電気探査より得られる比抵抗値は、高比抵抗ほど礫質土を示し、低比抵抗ほど粘性土を示す。簡易ボーリングは、礫質土・砂質土・粘性土に区分した。

牽引式電気探査を用いて堤防縦断方向の調査を行ったことで、被覆土の層厚変化を連続的に把握することができ、その結果、被覆土の層厚はわずか200mの区間内でも1.5～3m程度で変化することを確認した。また、堤防横断方向の調査により、行き止まり構造とまではいえないが、堤内地側にしたがって被覆土層の層厚が厚くなる状況も把握することができた。

また、図-7には、肱川および久米川の河川水位波形と降雨波形の組み合わせを示した。検討した地盤モデルに対し、肱川側および久米川側に外力条件を与え、合流部の水位条件として解析を行った。

### 4. 浸透流解析

表-2に、安全性照査結果の一覧表を、表-3に、各対策ケースの解析条件を示した。対策工はcase1～case4の4段階で検討した。



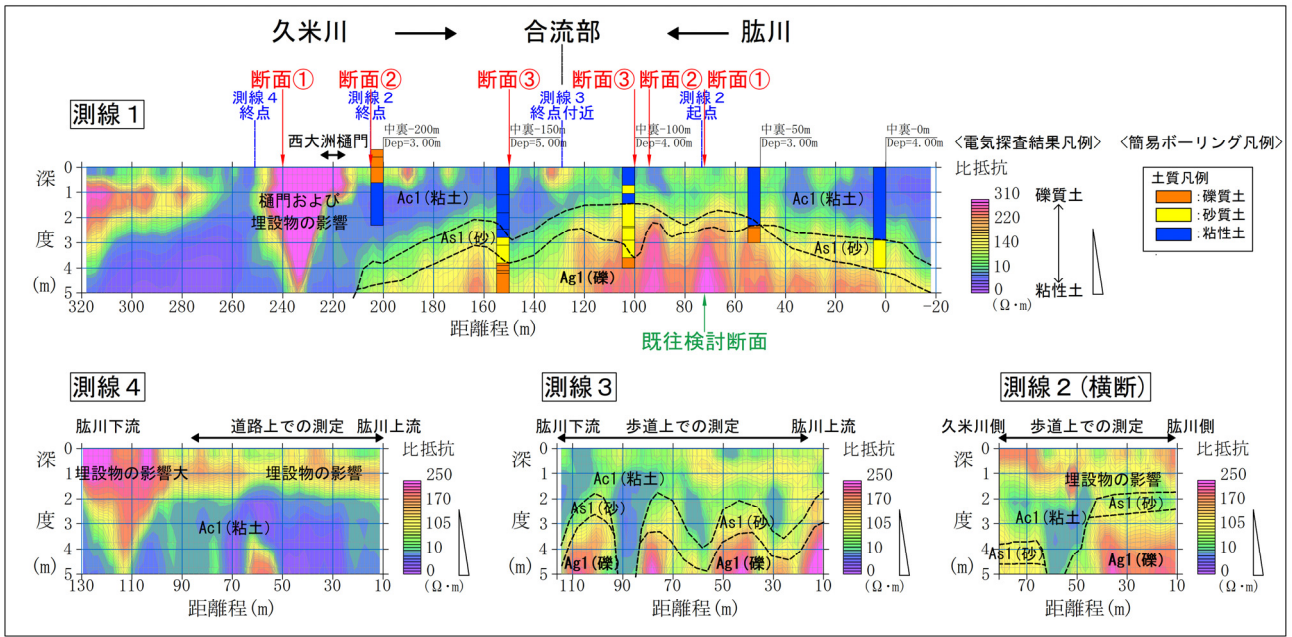


図-6 牽引式電気探査結果および簡易ボーリング調査結果

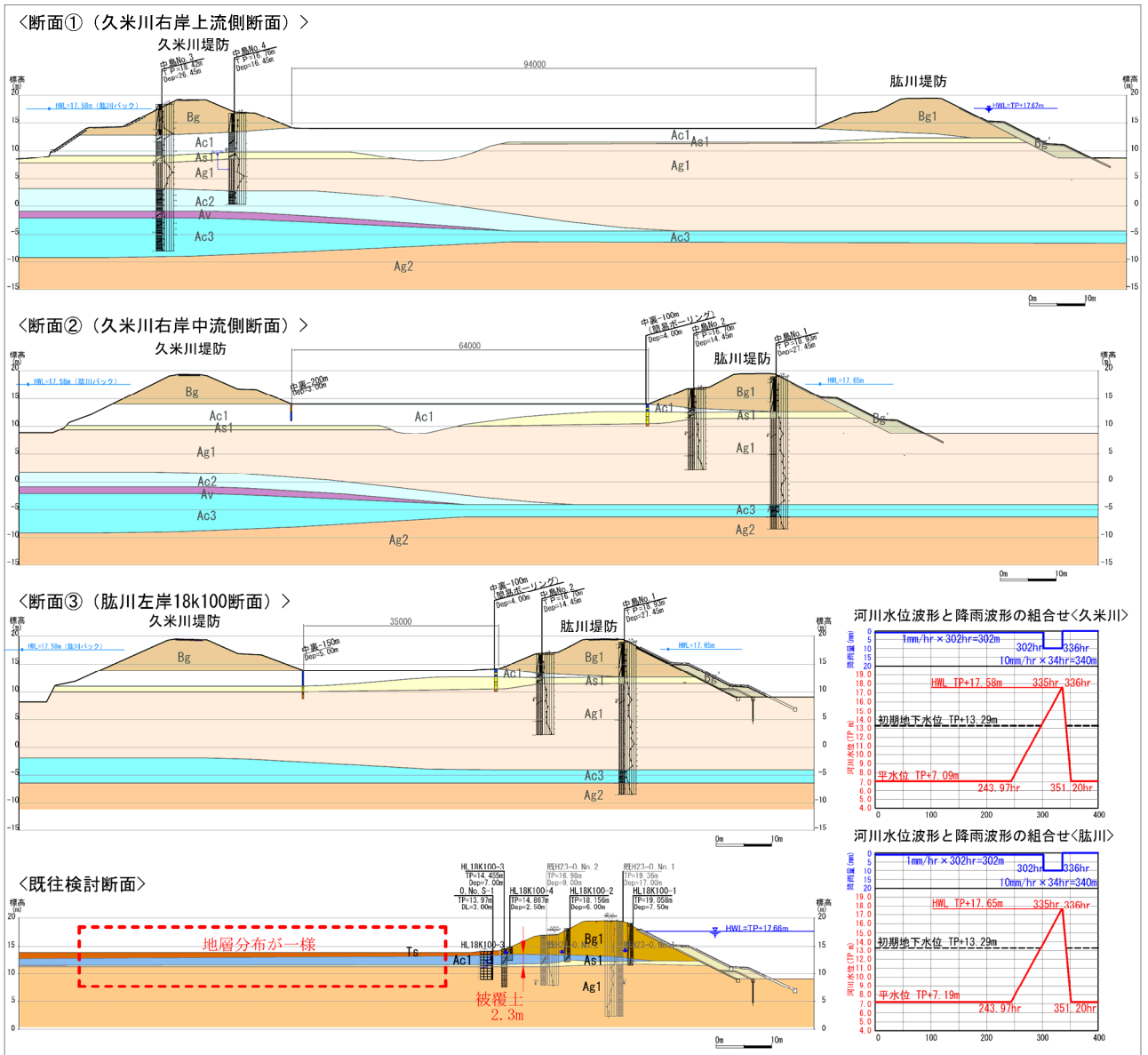


図-7 電気探査結果を反映した検討断面図および既往検討断面

表-2 解析結果一覧表

検討断面	CASE	浸透破壊に対する照査						すべり破壊						
		G/W	照査基準	評価	in	iv	照査基準	評価	裏のり	照査基準	評価	裏のり	照査基準	評価
断面①	1	0.93		NG	0.49	-	<0.5	OK	1.583	<1.45	OK	1.055	<1.0	OK
	2	1.27	>1.0	OK	0.49	-	<0.5	OK	1.587	≥1.45	OK	1.064	≥1.0	OK
断面②	1	0.69		NG	0.42	-	<0.5	OK	1.553	<1.45	OK	1.077	<1.0	OK
	2	0.87		NG	0.42	-	<0.5	OK	1.553	<1.45	OK	1.076	<1.0	OK
	3	0.87	>1.0	NG	0.42	-	<0.5	OK	1.631	≥1.45	OK	1.007	≥1.0	OK
	4	1.09		OK	-	-	<0.5	OK	1.627	<1.45	OK	1.003	<1.0	OK
断面③	1	0.51		NG	0.43	-	<0.5	OK	1.493	<1.45	OK	1.217	<1.0	OK
	2	0.59		NG	0.43	-	<0.5	OK	1.556	<1.45	OK	1.111	<1.0	OK
	3	0.60		NG	0.43	-	<0.5	OK	1.558	<1.45	OK	1.111	<1.0	OK
	4	0.92	>1.0	NG	0.42	-	<0.5	OK	1.633	≥1.45	OK	1.161	≥1.0	OK

表-3 各対策工の検討条件

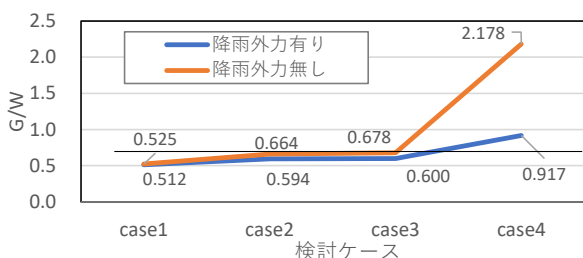
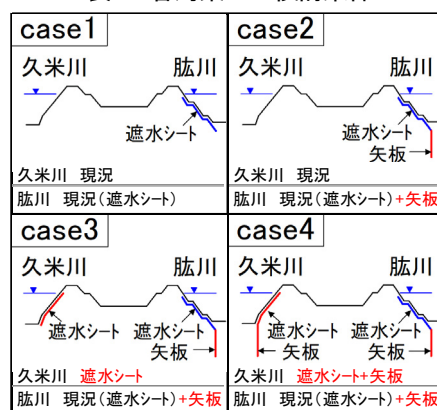


図-8 降雨外力の有無によるG/Wの比較図

断面①は case2, 断面②は case4 で安全性照査基準を満足する結果が得られた。しかし、断面③は、case4 の両堤防に遮水シート+矢板を適用し、河川水位が浸透しないよう締め切ったにもかかわらず G/W で基準値を満足しない結果となった。

図-8 に降雨外力の有無による G/W の比較図を示した。case1~case3 では降雨外力の有無による差は比較的少ないが、case4 では差が大きい。これは、case1~case3 では外水の影響を受けているため降雨の有無による影響が相対的に少ないが、case4 は矢板によって締め切ることで外水に対する浸透は抑制されるが、降雨により堤体内の水位が上昇し G/W が僅かに基準を下回ったものと考えられる。このような場合、たとえ降雨により漏水が発生したとしても外水からの浸透は抑えられていることから、パイピングが進展し、破堤に繋がるような現象は生じないものとする。

なお、降雨に伴う漏水対策として考えられる工法は、「堤内基盤排水工」が挙げられるが、合流部付近の堤内

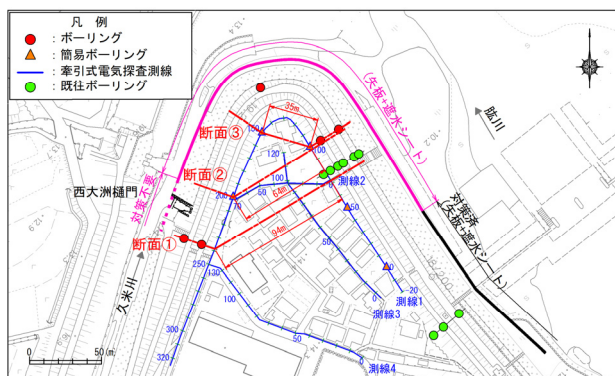


図-9 対策範囲

地盤高は相対的に低く内水が溜まりやすい箇所であり、流末の確保も困難であるから適用性は低い。したがって断面③は、case4 の対策により両方の河川からの浸透水を抑制し、降雨により破堤には至らないまでも漏水は発生する可能性があるため、モニタリングによって監視することとした。図-9に対策範囲を示した。

## 5. おわりに

本調査では、小規模な噴砂が発生した当該箇所において牽引式電気探査を実施し、深度2~4m程度の浅部地盤構造に着目し、堤防弱部を反映した地盤モデルにて浸透に対する詳細な調査を実施した。また、合流部という特殊な水位条件を考慮し、支川の水位も外力条件として与え、断面二次元での検討を行った。その結果、本川だけではなく合流する支川も含めて対策が必要となった。

平成30年の洪水で被災した阿武隈川でも同様に合流部での被災が確認されており、合流部付近は浸透に対して危険な箇所といえる。したがって、合流部付近においては両方の河川の水位条件を考慮したうえで検討し、支川も含めた対策を実施する必要があるものとする。

今後、肱川では「河川激甚災害対策特別緊急事業」により堤防が急速に整備されるが、過去に整備された堤防も多く存在する。今回、得られた知見を生かし、堤防弱部の早急な調査を行い、対策を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 田中秀岳, 笹岡信吾, 下津隆介, 福島雅紀: 河川堤防基礎地盤におけるパイピング進行評価の検討. 第6回河川堤防技術シンポジウム論文集. p.29-32, 2018,
- 2) 矢部川堤防調査委員会: 矢部川堤防調査委員会報告, 2013
- 3) 国土交通省 河川技術研究開発制度 河川技術分野: 透水性基礎地盤を有する河川堤防の進行性破壊を考慮した総合的安全性点検のための評価手法と破壊抑制に関する技術研究開発, 2018
- 4) 田内敬祐, 三國宣仁: 肱川阿蔵箇所での牽引式電気探査を用いた堤防浸透に対する弱部抽出事例, 令和2年度四国地方整備局管内技術・業務研究発表会, pp I-57- I-60, 2020
- 5) 小西千里, 山下善弘, 倉田大輔, 新清晃: シリンダー電気牽引式電気探査による浅部地盤調査, 地盤工学会誌, pp20-23, 2020