

災害報告特別セッション —近年の特徴的な堤防被災事例と 今後の方向—

国土交通省水管理・国土保全局治水課
技術調整官 高橋裕輔

近年の河川堤防の主な被災



H25.9 由良川



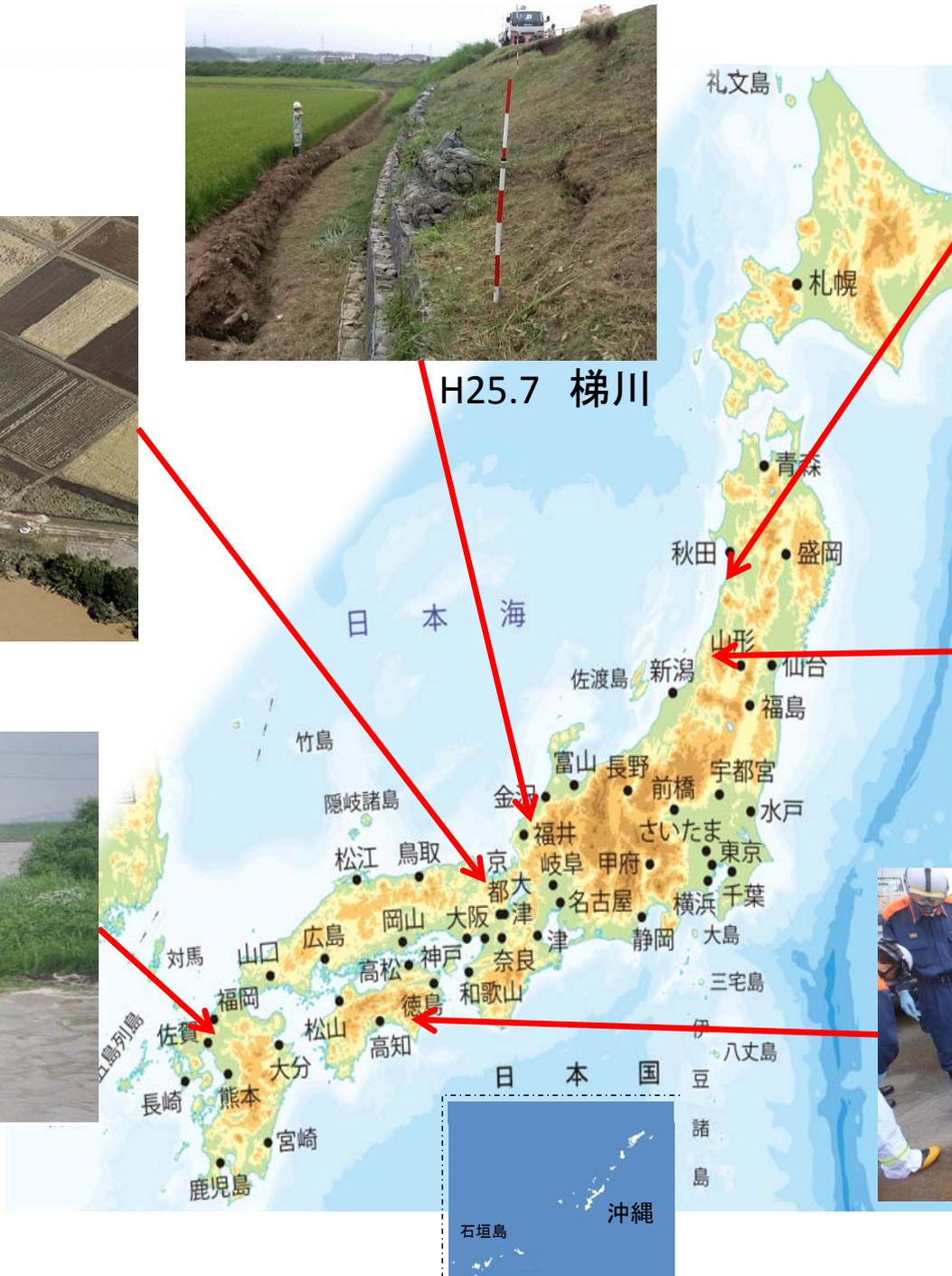
H25.7 梯川



H25.7 子吉川



H24.7 矢部川



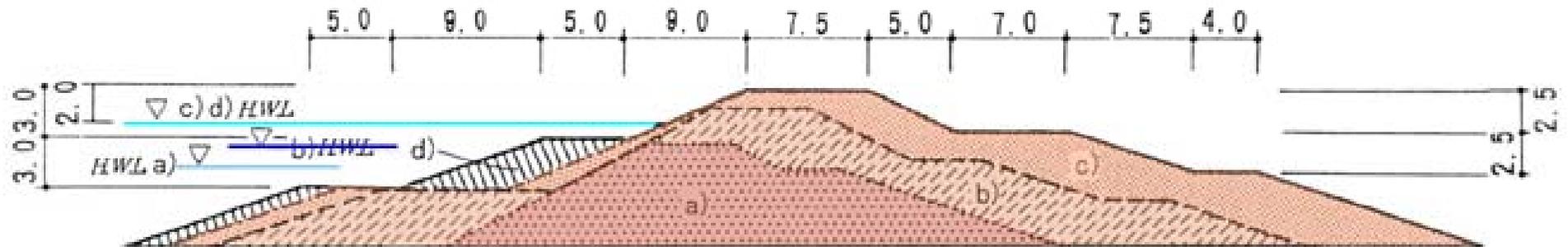
H25.7 最上川



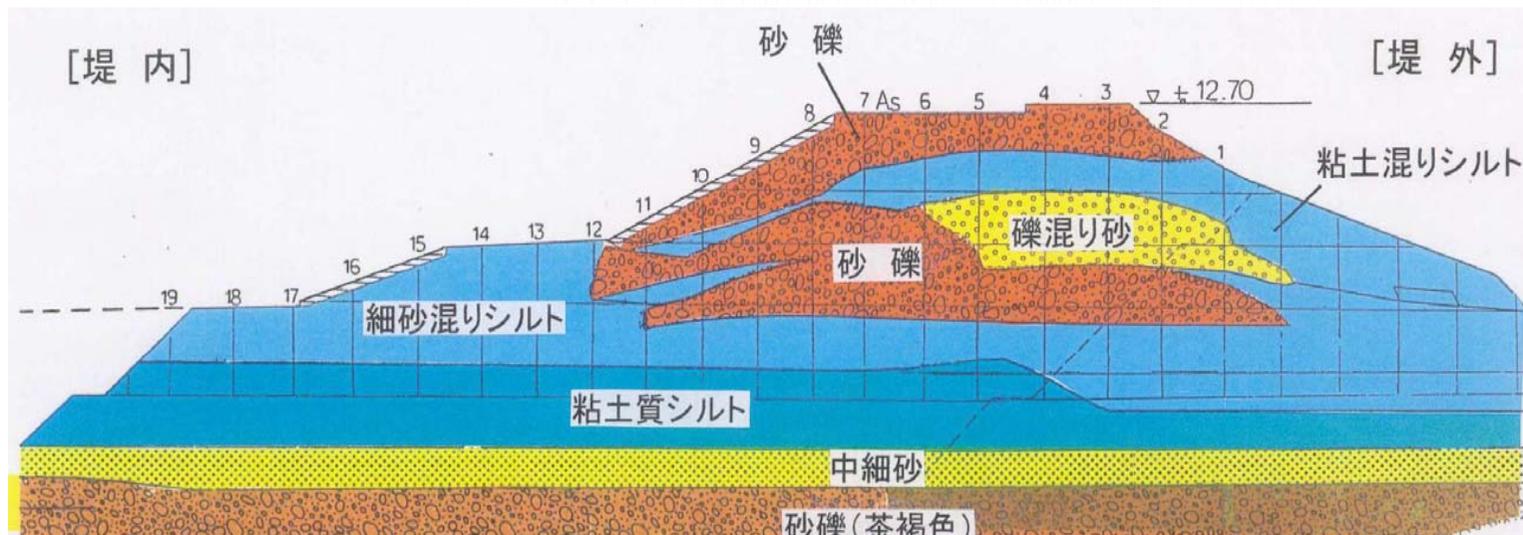
H26.8 那賀川

堤防は長大な歴史的構造物

- 堤防は、嵩上げや拡幅等による補強が長期間にわたって繰り返され、現在の姿になっている。
- 堤体材料は現場発生土を主体としてきたが、施工ごとに堤防材料(土質)は様々である。

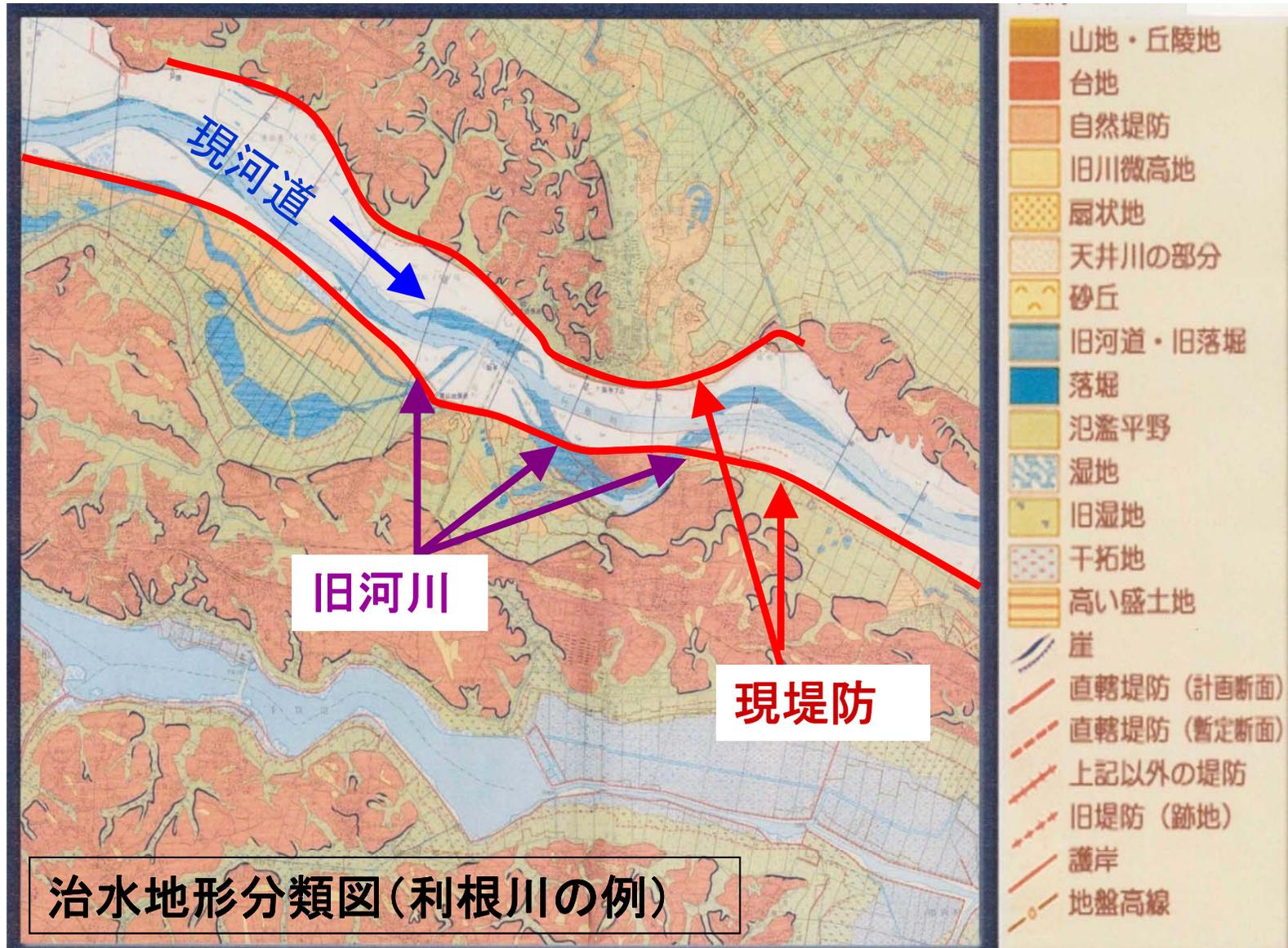


- a) 改修計画(明治44年、1911)
- b) 増補計画(昭和14年、1939)
- c) 改修改訂計画(昭和24年、1949)
- d) 新改修改訂計画(昭和55年、1980)



堤防の基礎地盤の複雑な構造

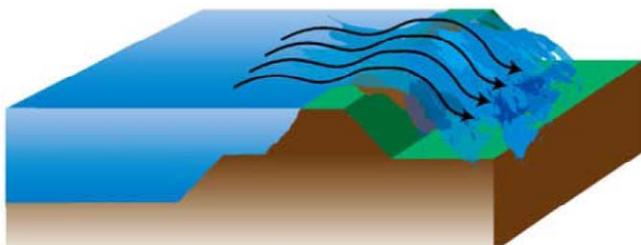
○日本の平野の多くは、河川氾濫による土砂堆積で形成された沖積平野。
現堤防は旧河川上に築造されている場合が多く、基礎地盤も複雑。



堤防破壊の主なメカニズム

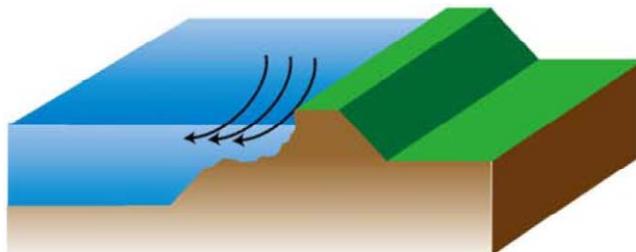
①越水による破壊

洪水による河川水位の上昇により、堤防を越水し堤防が破壊、決壊



②侵食による破壊

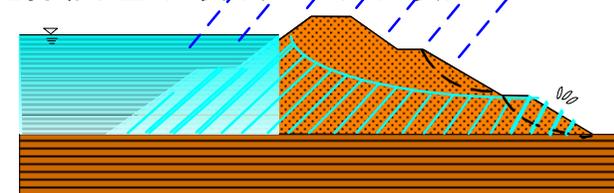
激しい洪水流により堤防が侵食され、堤防が決壊



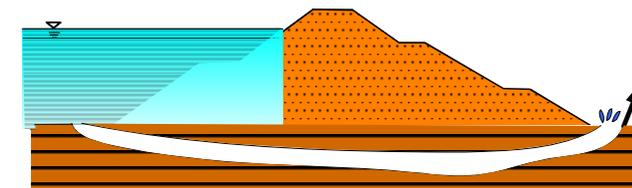
③浸透による決壊

堤体浸透破壊(すべり破壊)と基礎地盤パイピング破壊

堤体浸透破壊(すべり破壊)



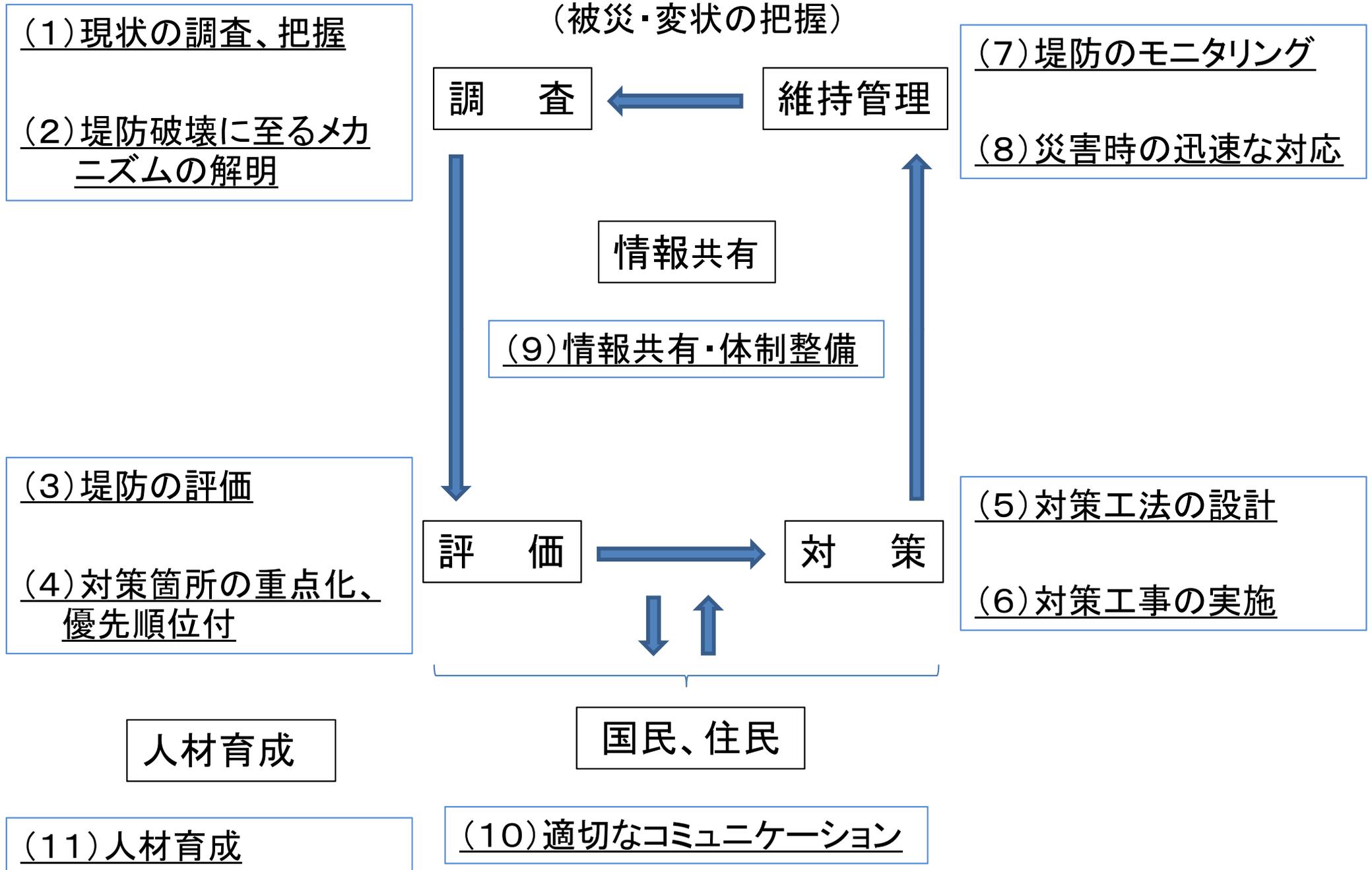
基礎地盤パイピング破壊



○事例(法すべり)(長良川(安八)昭和51年9月)○事例(噴砂)(利根川(大越)平成13年7月)



河川堤防の強化の取り組みについて(案)



矢部川堤防の被災要因と調査の取り組みについて



矢部川決壊地点(右岸7/300) 上空より

筑後川河川事務所 調査課 江上 綾子

平成24年7月13日～14日に九州北部を
おそった梅雨前線に伴う豪雨

○矢部川本川

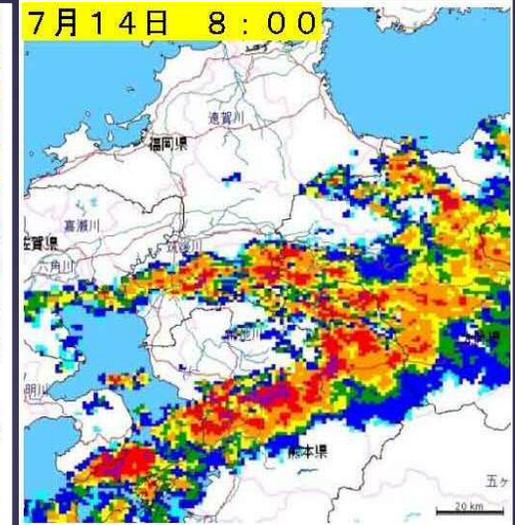
堤防決壊外 18カ所の被災が発生。

○派川の沖端川で2カ所堤防決壊。

○浸水面積約2,759ha

浸水戸数1,870戸

雨量レーダー 7月14日朝5～8時



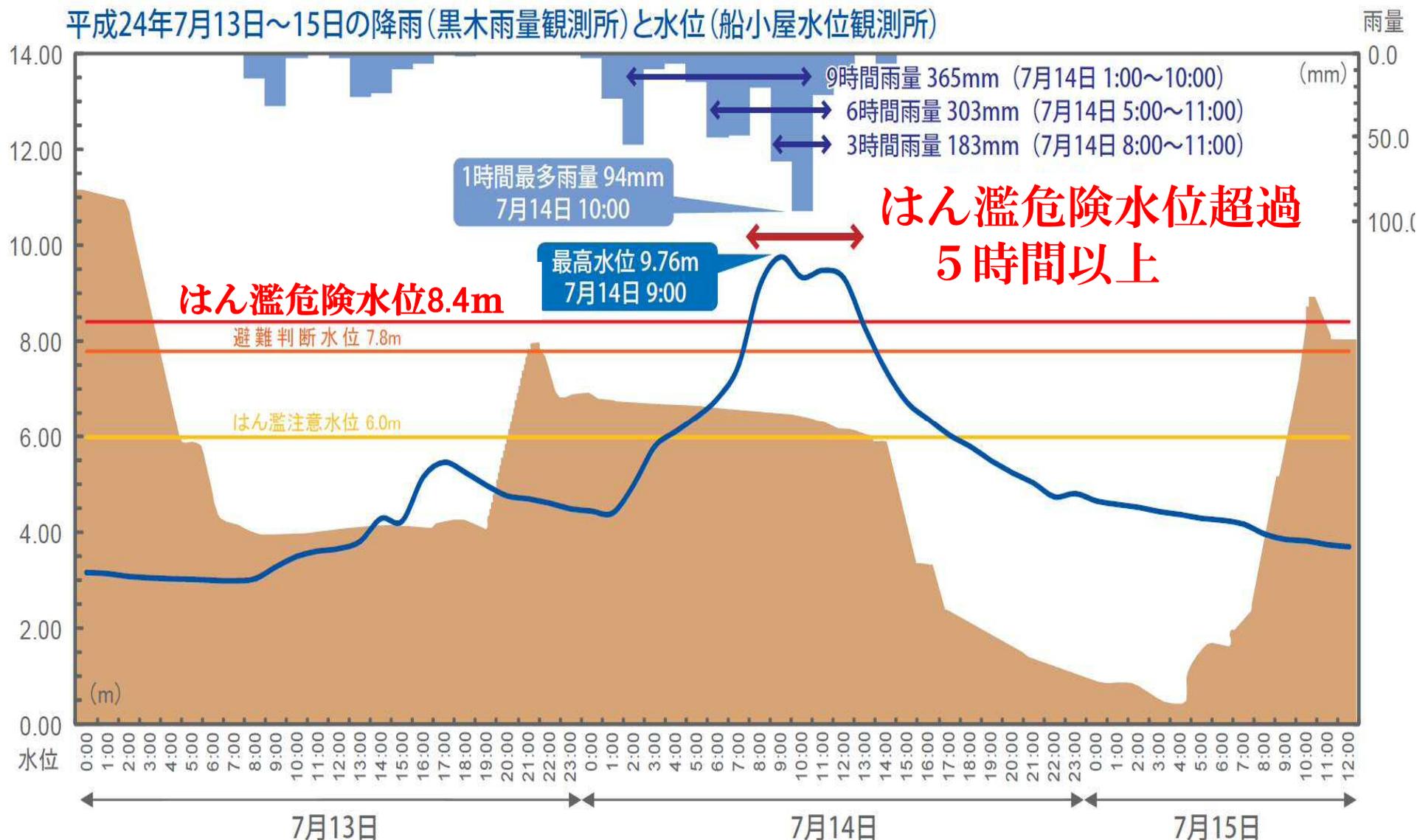
柳川市
大和町
六合



柳川市
三橋町
中山地区

○矢部川 船小屋水位観測所 の水位
 はん濫危険水位を越える水位が5時間以上。観測史上最高水位。
 ○黒木、ゆずりは、の両雨量観測所で、観測史上最大を記録。

平成24年7月13日～15日の降雨(黒木雨量観測所)と水位(船小屋水位観測所)



矢部川 地形・地質・河川の形成



基礎地盤
砂・礫質土
堤防
砂・礫質土
主体

10/000

干潮区間
干満により
ガタ土堆積

基礎地盤は、
有明粘土
堤防も
粘性土主体

河川改修で流路を固定するまでは、度重なる氾濫で流路は網状。
堤防は、旧川微高地・旧河道・自然堤防の上に形成される。

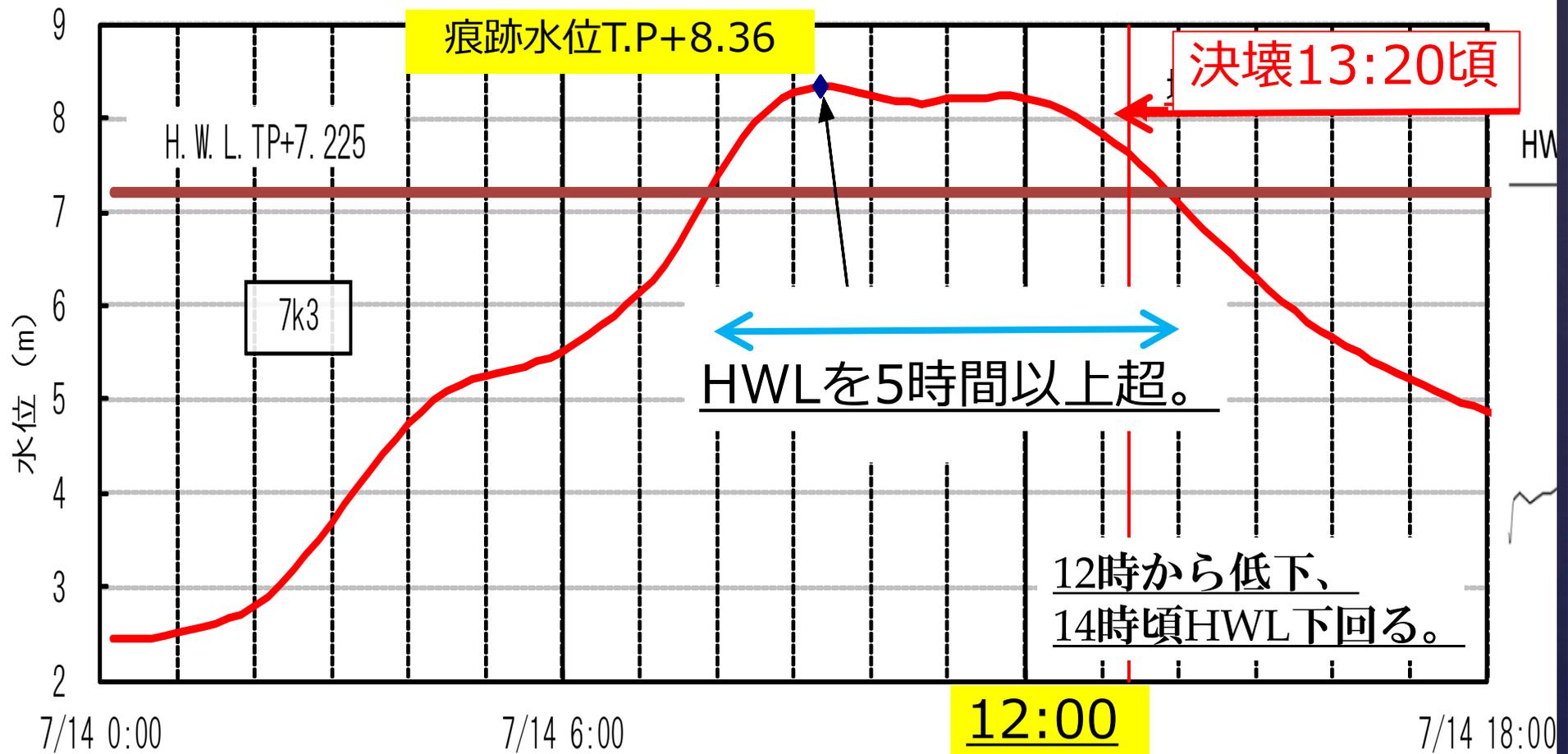
決壊箇所状況 (矢部川右岸 7. 3 K)



決壊箇所の状況（矢部川右岸7.3K）

8時頃から、HWLを5時間以上超。

12時頃から水位低下をはじめ、13:20頃決壊。



不定流計算から推定した7.3k付近の水位ハイドロ

決壊箇所 の状況 (右岸 7.3 K)



上流側

決壊幅
約0m



約10m



約20m



約30m



約40m



約50m

※CCTVカメラ画像

決壊箇所状況 (矢部川 右岸 7.3K) 7月15日



14日15:30頃、決壊箇所からの流入



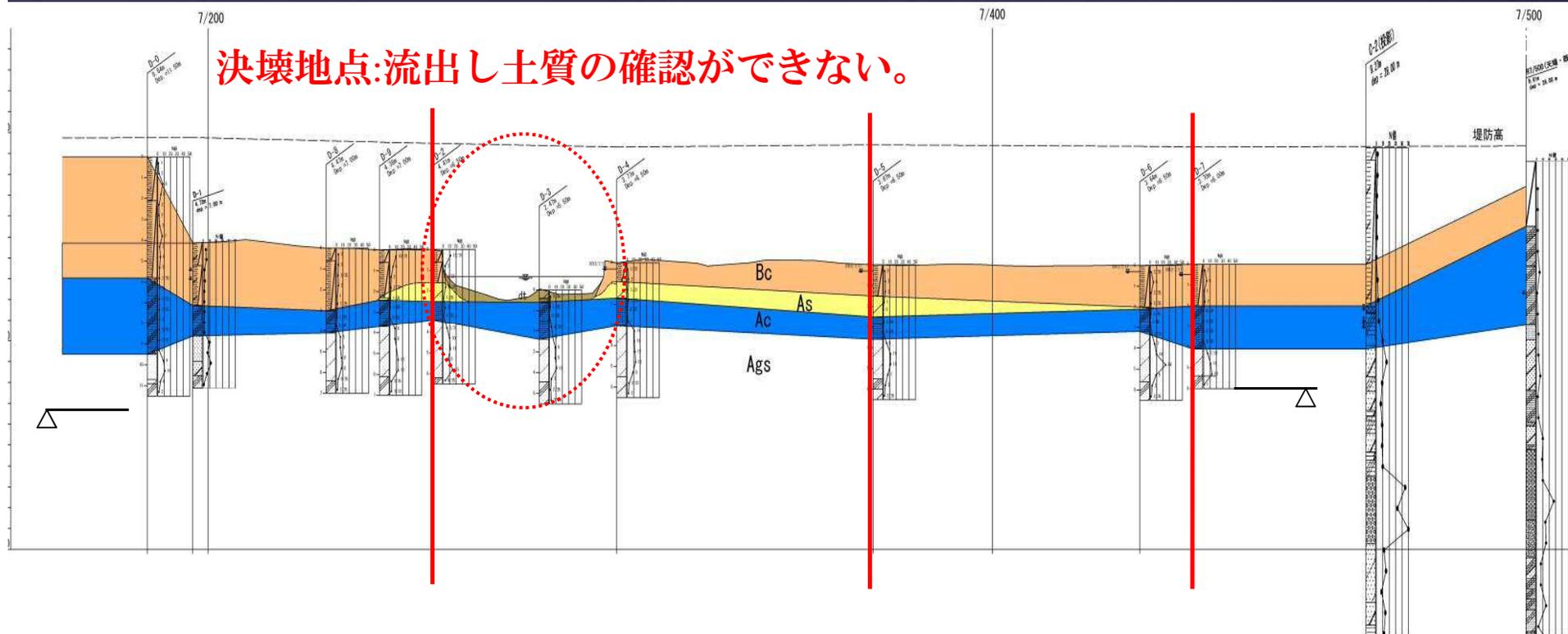
堤体土は粘性土
含水比は高くなかった。



土質調査内容と調査結果

堤防川裏のり尻部土質縦断面図（D-D断面）

出水後7月16日より、堤防の土質調査を実施。
砂層（As層）は、下流は行き止まり、上流にのびている。



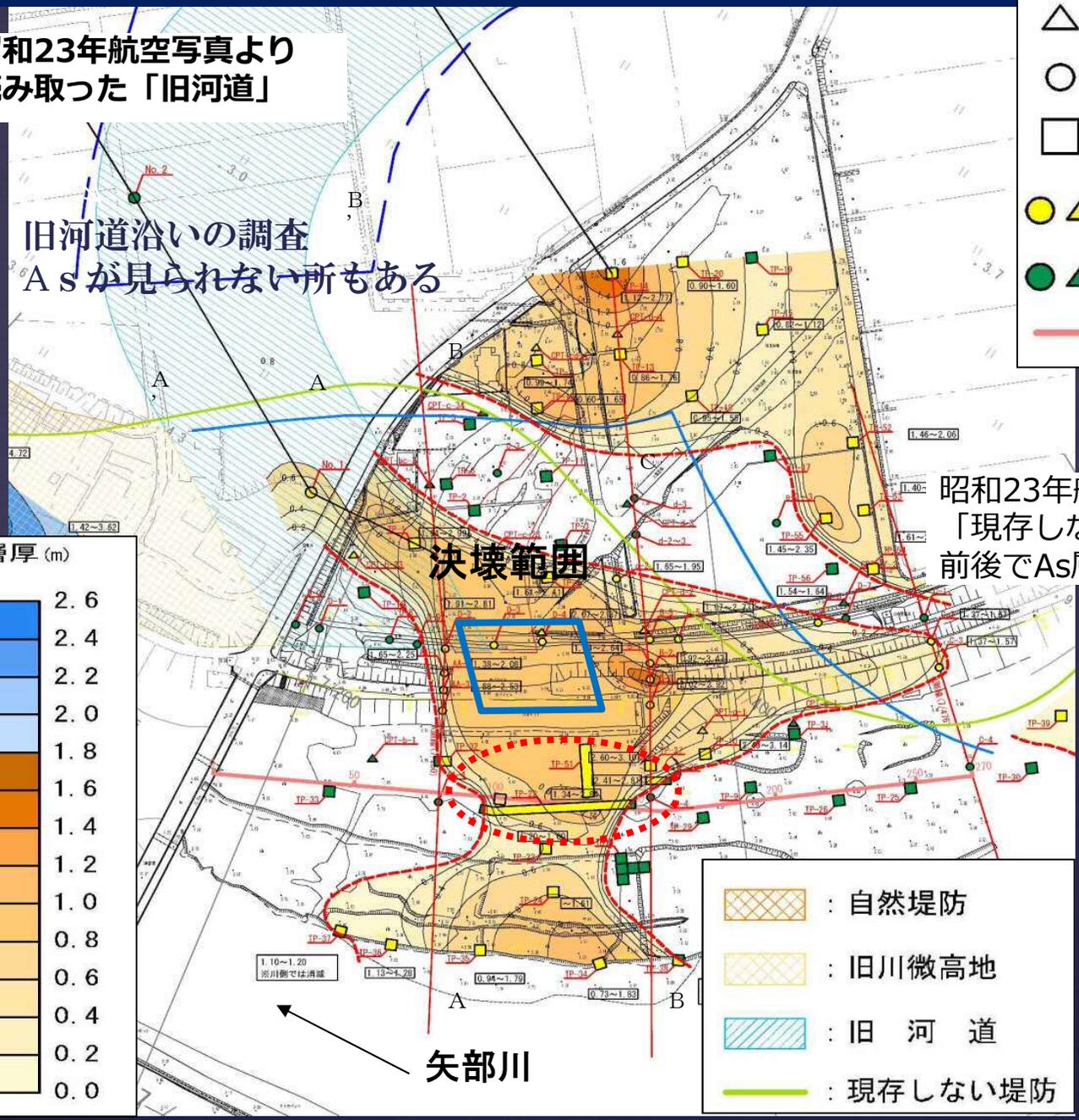
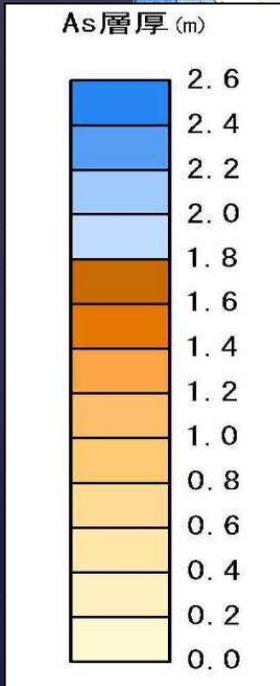
- 決壊地点の堤防周辺の土質を想定するため、
 - ①決壊地点周辺の横断ボーリング調査を実施。
 - ②決壊地点周辺でサウンディング、トレンチ調査、物理探査を実施。

土質調査内容と調査結果

昭和23年航空写真より
読み取った「旧河道」

旧河道沿いの調査
Asが見られない所もある

- △ 三成分コーン実施地点
- ボーリング実施地点
- トレンチ調査実施地点
- ▲ ■ As層あり [分布標高]
- ▲ ■ As層なし
- 物理探査測線



昭和23年航空写真より読み取った
「現存しない堤防」の
前後でAs層が分かれている。

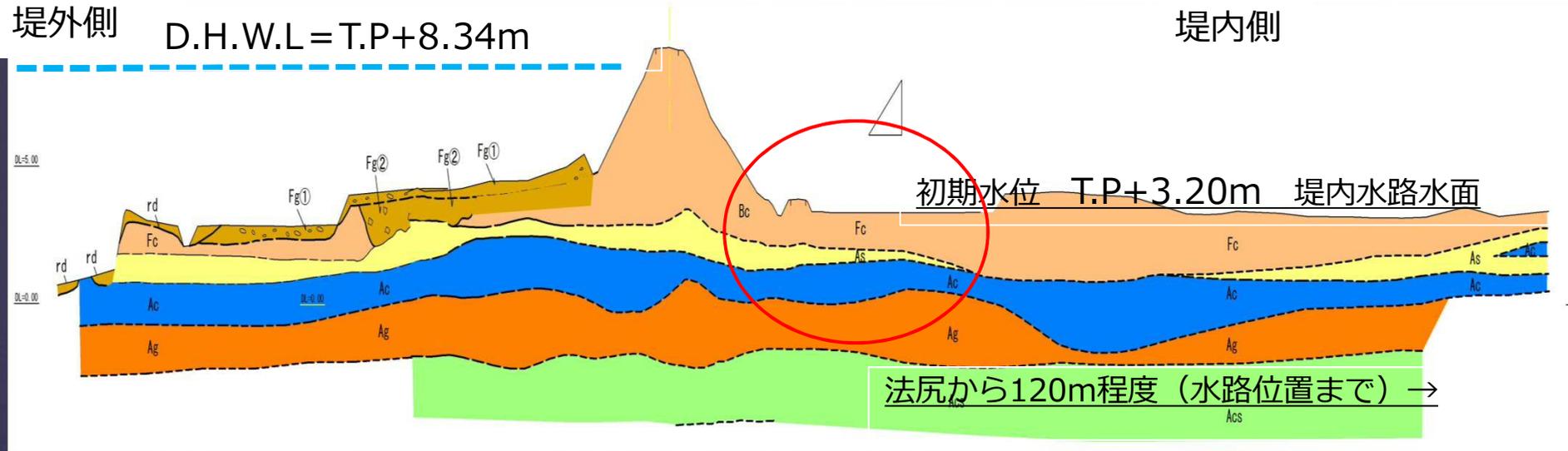


- ▨ : 自然堤防
- ▨ : 旧川微高地
- ▨ : 旧河道
- : 現存しない堤防

トレンチ調査で
確認された粒度の
粗いAs層
透水係数(最大値)
 $3.1 \times 10^{-1} \text{cm/s}$

浸透流解析による検証

調査結果によるモデルにて2次元非定常浸透流解析及び安定解析(円弧滑り)を実施。



解析に用いた各土層の透水係数は、トレンチを含む土質調査から得られた平均値。

検討断面	堤体	基礎地盤			
	Bc	Fc	As	Ac	Ag
B測線断面	1.0×10^{-5}	1.8×10^{-5}	3.4×10^{-2}	4.5×10^{-6}	8.5×10^{-3}

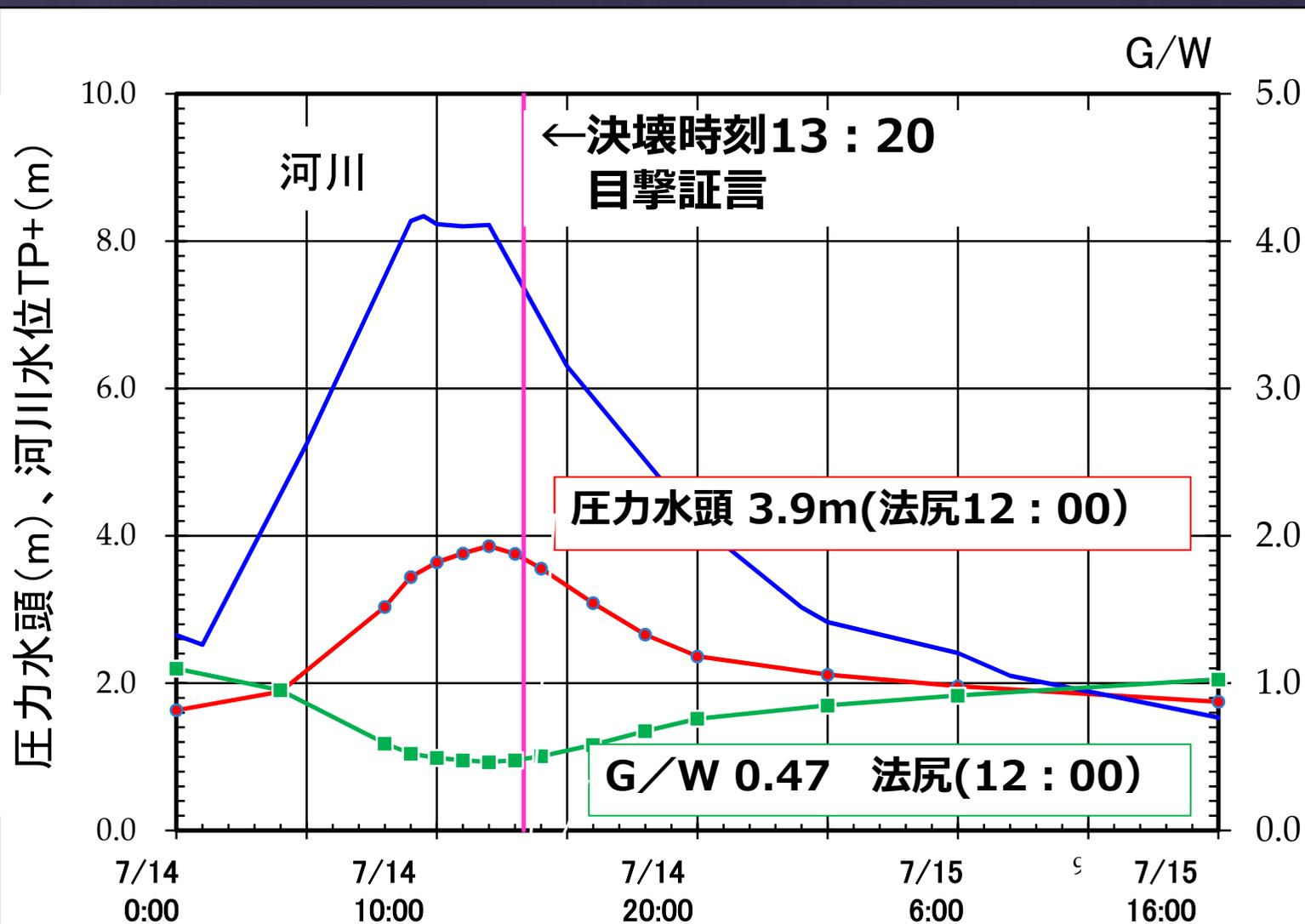
As層は、トレンチ調査で確認された粗いAs層にて設定。

解析に用いた外力

○瀬高観測所の降雨量

○不定流計算から推定した7.3k付近の水位ハイドロ

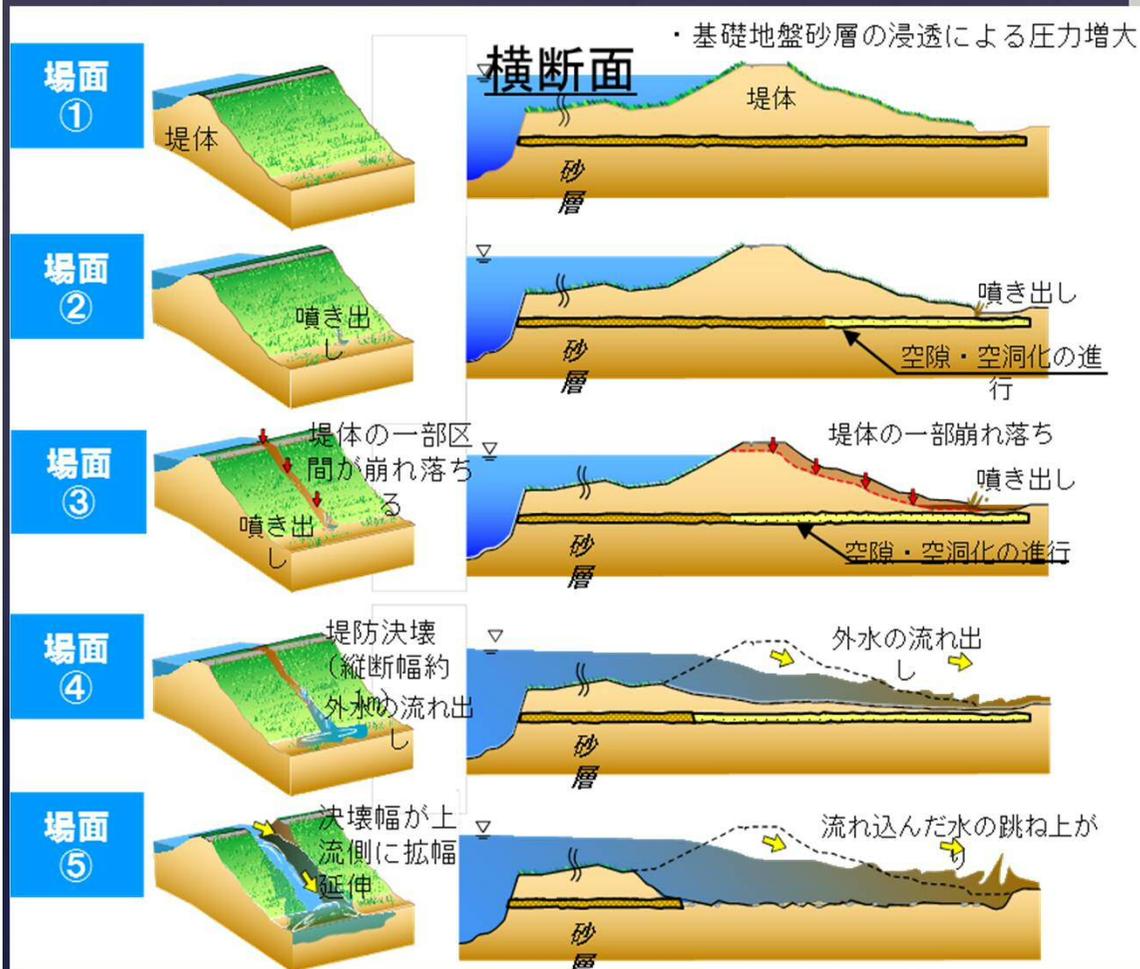
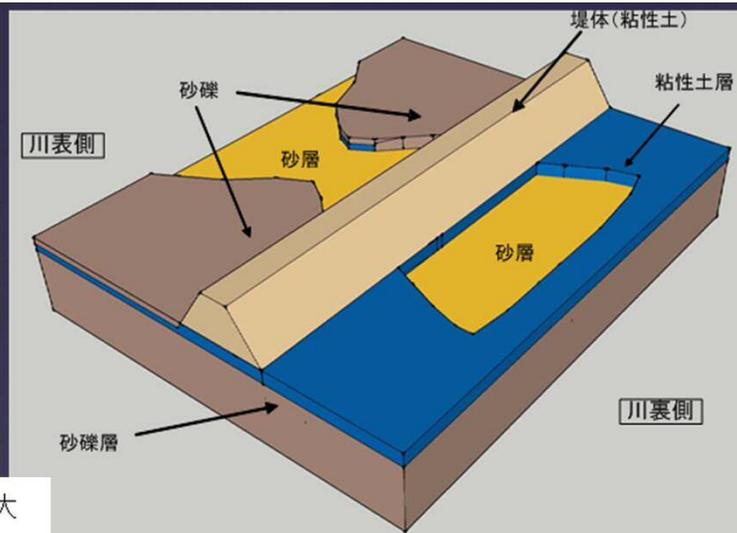
河川水位の上昇とともに、堤防を横断するAs層への浸透が促進。
 堤防裏のり尻付近で 圧力水頭は3.9m と最大となる。
 最小のG/Wは0.47盤ぶくれが生じる結果となる。(G/W < 1.0)



河川水位、圧力水頭及びG/Wの経時変化

堤防決壊のメカニズム

目撃証言から、
法尻からの水の吹き上がりの後に、
堤防が一部下がるという現象が確認され
ている。



①砂層の浸透による
圧力が増大

②パイピング (漏水発生。)
漏水口より砂 (As層)の噴出。

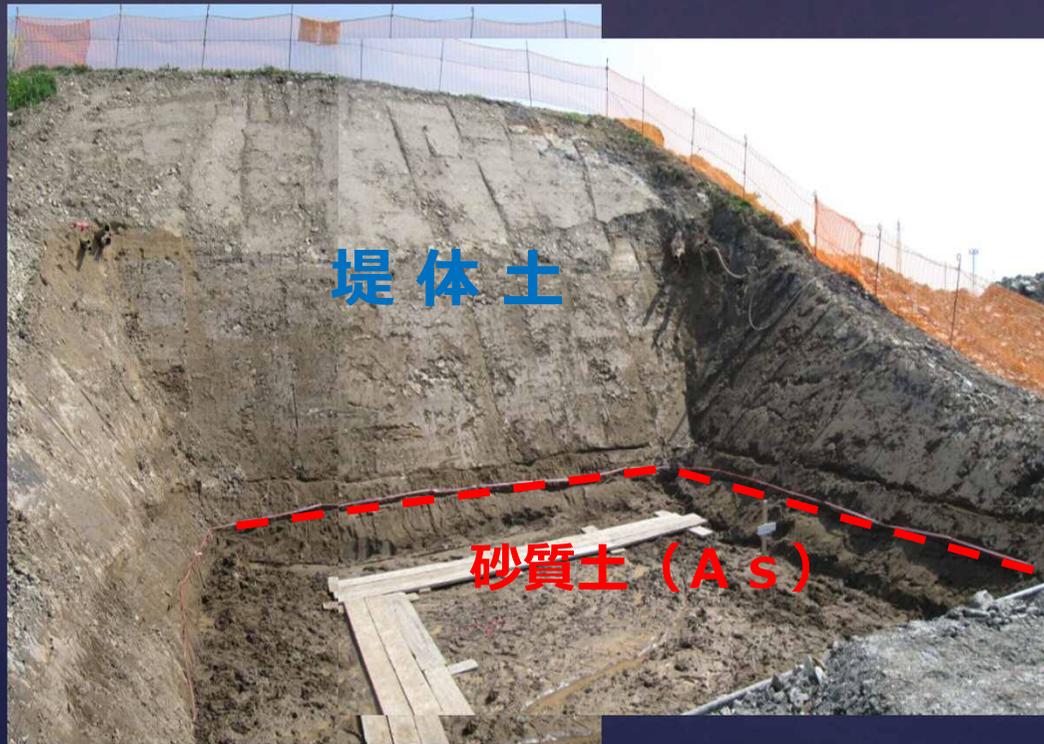
③砂の流出により砂層(As層)
に空隙ができ、

④堤体の一部が支持を失い
沈下・陥没を起こす。
外水が流れ込む

⑤決壊幅の拡幅。

決壊箇所上流堤防の開削調査

- ・ 決壊箇所上流側堤防下のトレンチ
 - Ac層の上部に1.8~1.9mの厚さでAs層確認
 - 地下水の浸み出しによる砂 (As) の流出も確認。

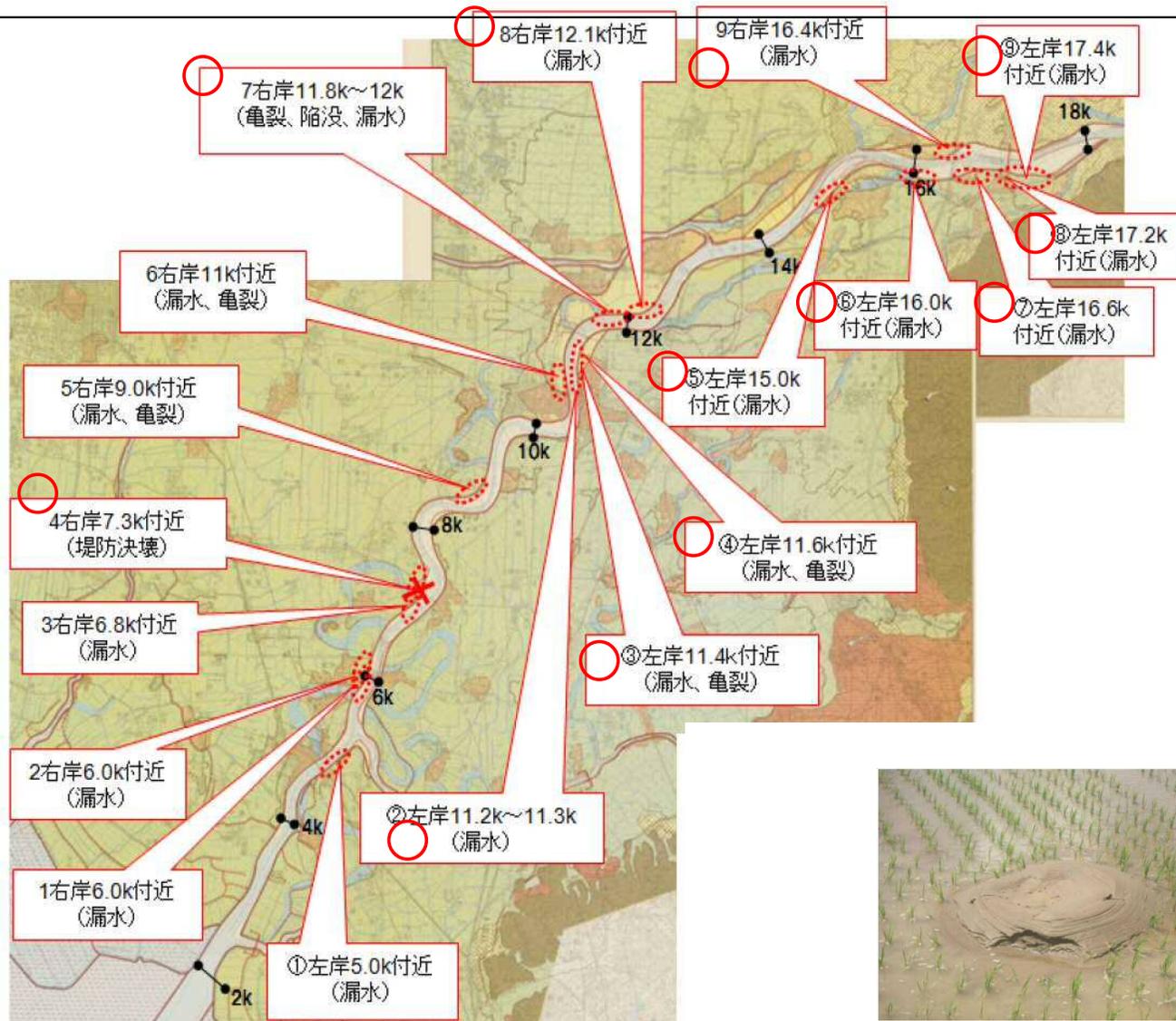


Asからの不圧地下水の浸み出しと砂の流出状況



矢部川の堤防の被災の特徴

全18箇所で、内決壊1箇所。亀裂等堤体の変状5箇所、漏水18箇所(重複あり)。



右岸 11.8k 被災状況



陥没状況



漏水状況

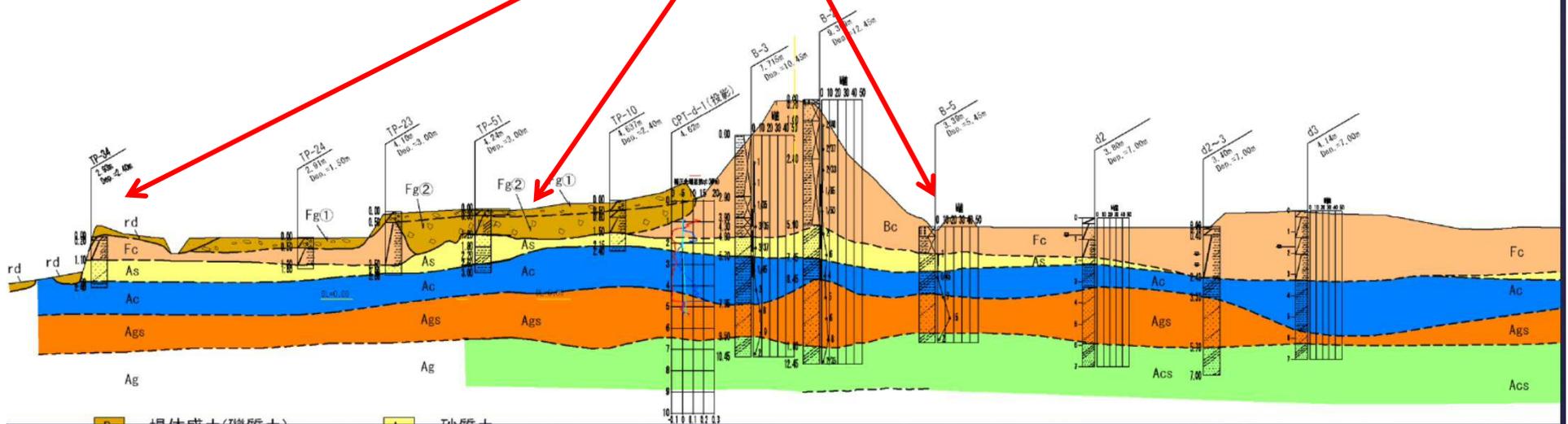
左岸 16.0k 被災状況



全18箇所で、漏水やそれに伴う噴砂等を確認。
その内基盤漏水と考えられる被災は12カ所。

矢部川堤防被災の主たる要因 1. (土質地形)

○基礎地盤の上部に水が浸透しやすい砂層 (透水層)
川表から川裏まで連続する。

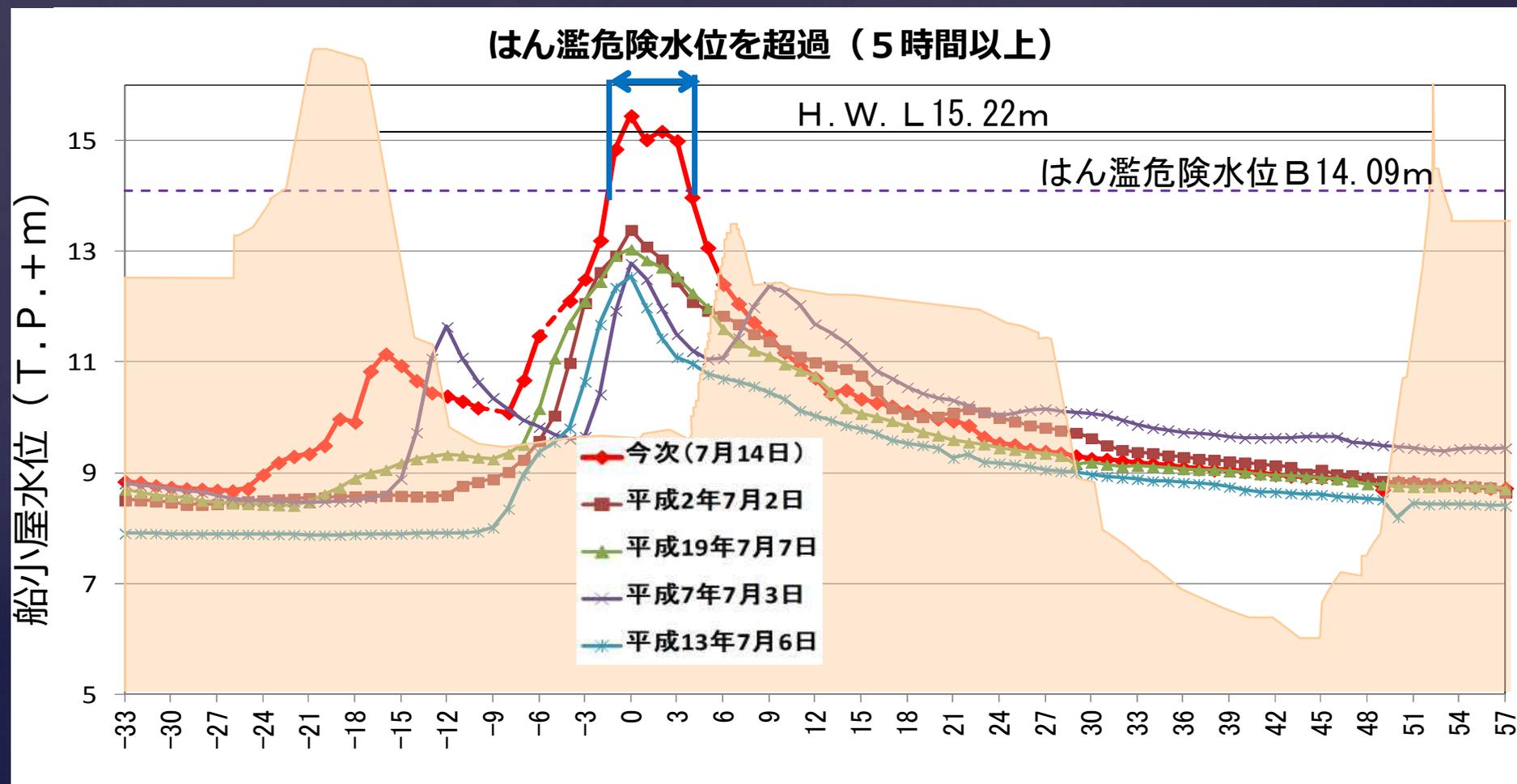


○10k上流は、ほとんどの基礎地盤が砂またはレキ層。

○10k～下流は基礎地盤の主体は粘性土、把握が難しい。

矢部川堤防被災の主たる要因 2. (水位)

- 全川において、計画高水位を超え、さらに継続時間も長く堤防の設計外力を超える外力が作用していた。
- 決壊地点は、一番高い水位・長い継続時間を示していた。



矢部川堤防詳細点検の見直しについて

見直しにおける視点 **(基盤パイピングを考慮した調査検討)**

1) HWLと基礎地盤の比高差を再整理し区間設定

(水位が高くなるところを探す。)

パイピング被害のほとんどが、

HWLと基礎地盤の高さの差が3mを超えるところで発生

① **LPデータ等を活用した区間設定の見直し**

② **照査断面の設定の仕方**

2) パイピングを起こす土層・土質の把握

川裏まで、砂層（透水層）が連続しているか？

川裏のり尻の、不透水層の厚みの把握。(盤ぶくれの照査)

③ **法尻詳細調査**

サウンディングや簡易サンプリングを活用

矢部川堤防詳細点検の見直しについて

見直しにおける視点（パイピングを考慮した調査検討）

3) 照査外力の設定について

平成24年7月実績外力と手引き外力（HWL）の
双方で、照査

①手引き外力

浸潤面が形成されやすいため安定破壊の安全度の低い
ところを抽出するのに有効。

②平成24年7月出水実績外力

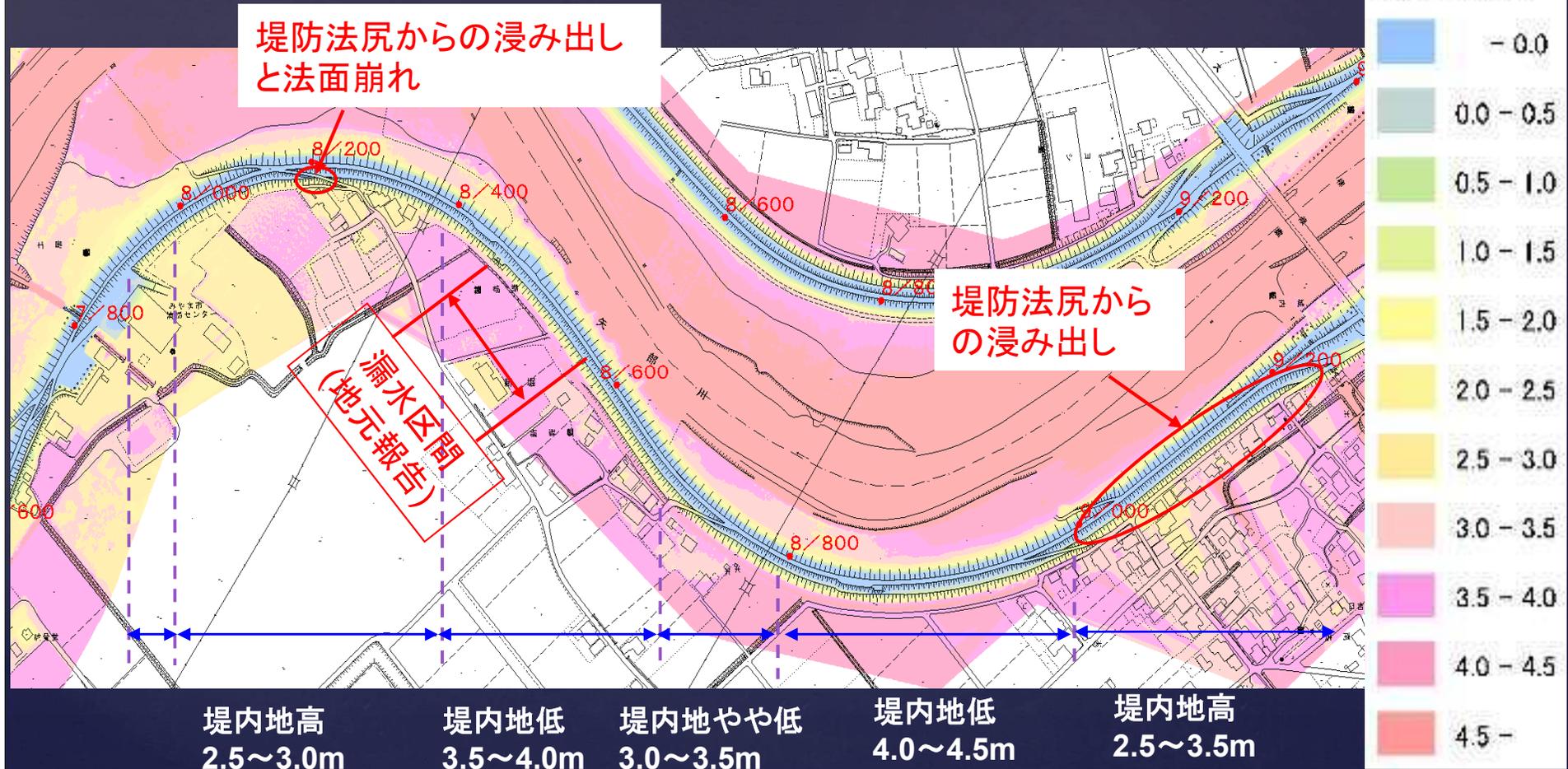
水位が高い条件で、
パイピング及びアップリフト(揚圧破壊)に対して、
安全度の低いところを抽出するのに有効。

1) LPデータ等を活用した区間設定の見直し

矢部川の特徴であるパイピング被害を受けている箇所が

HWLと堤内地の比高差3m以上が多かったため、比高差を詳細に確認。

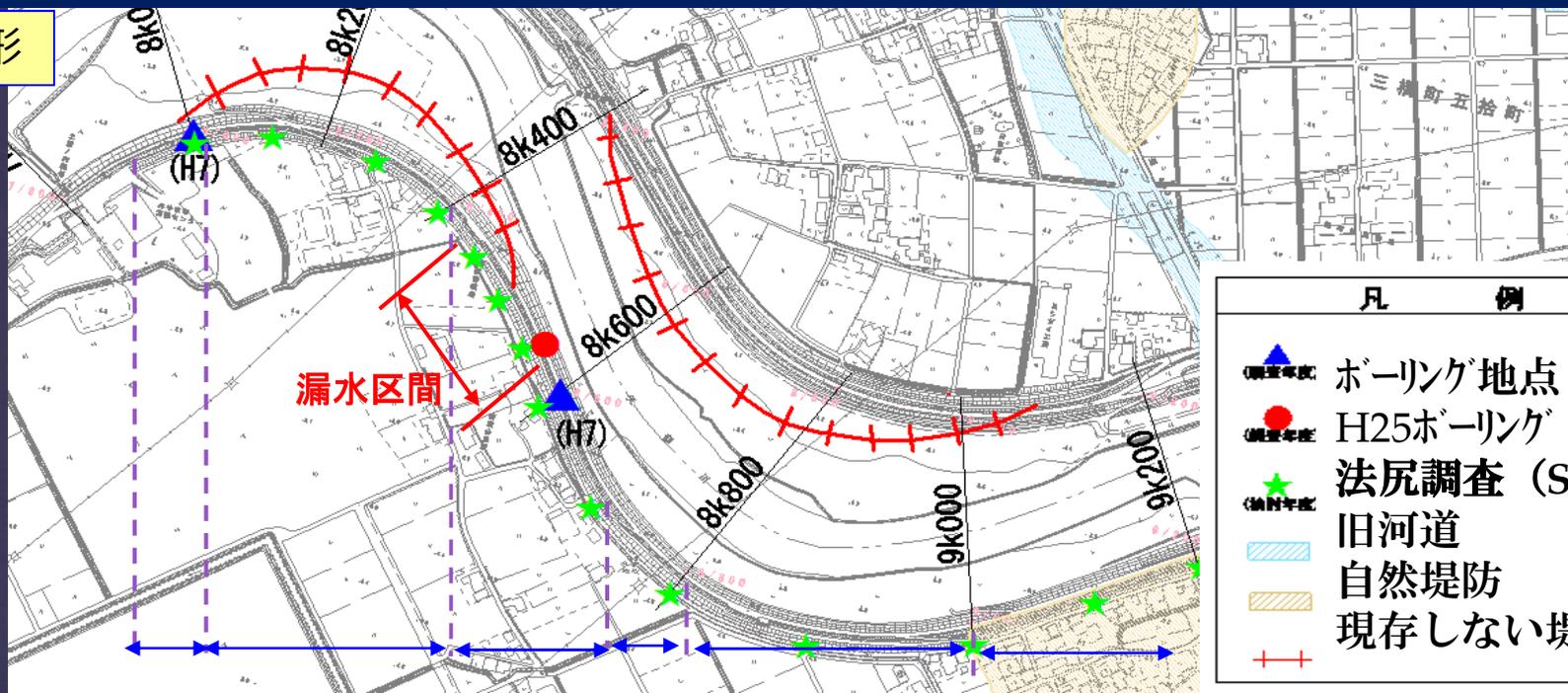
事例区間 左岸 (7/800 ~ 9/200)



堤内地盤高、HWLの比高差を整理し、点検区間へ反映。出水被害も整理。

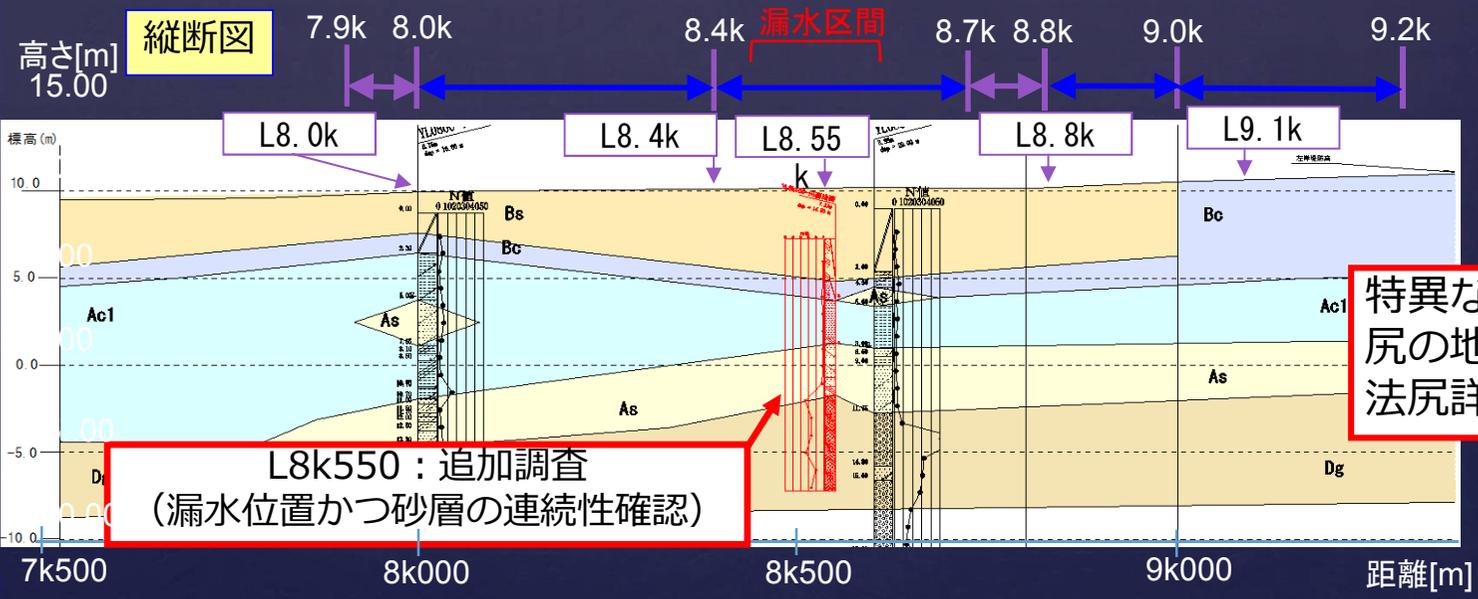
1) LPデータ等を活用した区間設定の見直し

微地形



凡 例	
	ボーリング地点
	H25ボーリング
	法尻調査 (SWS)
	旧河道
	自然堤防
	現存しない堤防

縦断面図



特異な基礎地盤の砂層法尻の地盤構成確認のため法尻詳細調査を追加調査

L8k550 : 追加調査
(漏水位置かつ砂層の連続性確認)

法尻詳細調査 (サウンディング・簡易サンプリング)

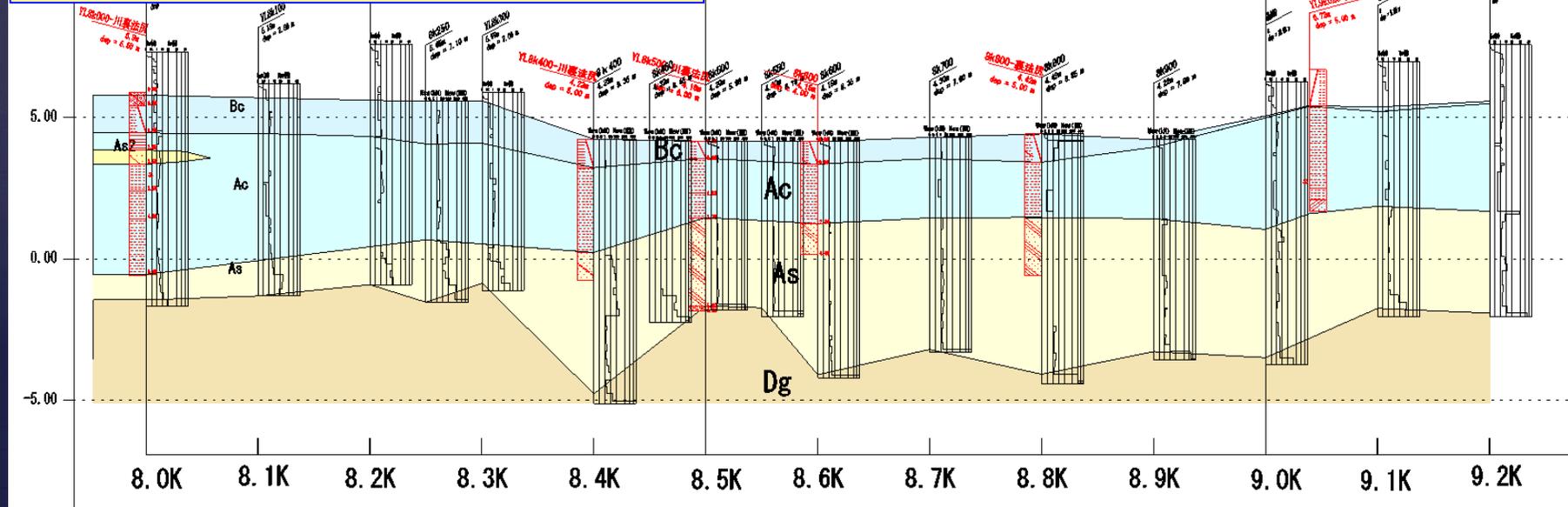
① SWS実施
砂音、貫入抵抗で確認。



② 簡易サンプリング
小型動力ハンマーで打込み
試料採取
(4~5m程度は採取可能)



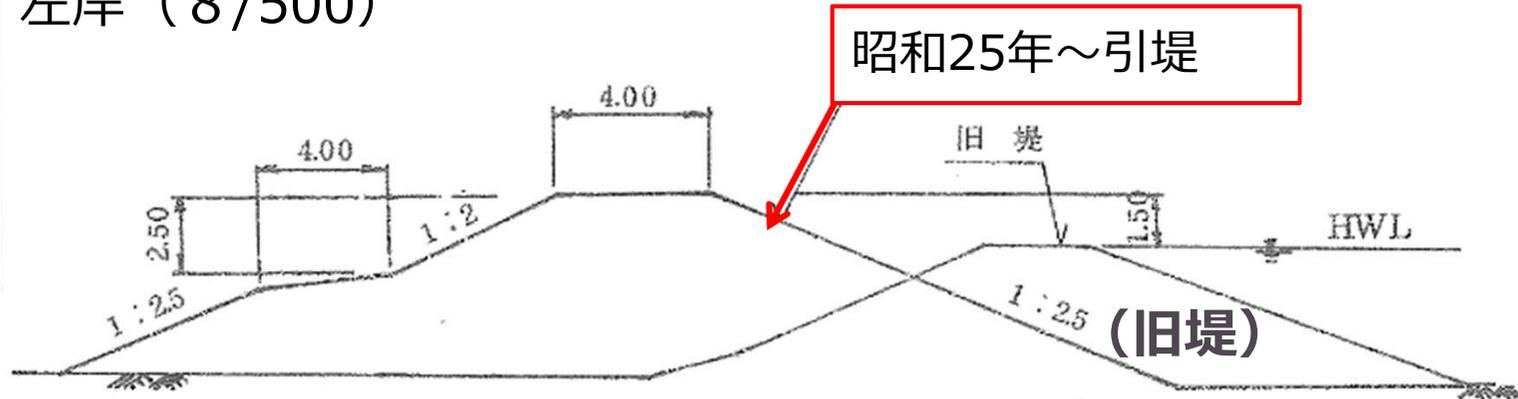
法尻縦断図 左岸8/000~9/200



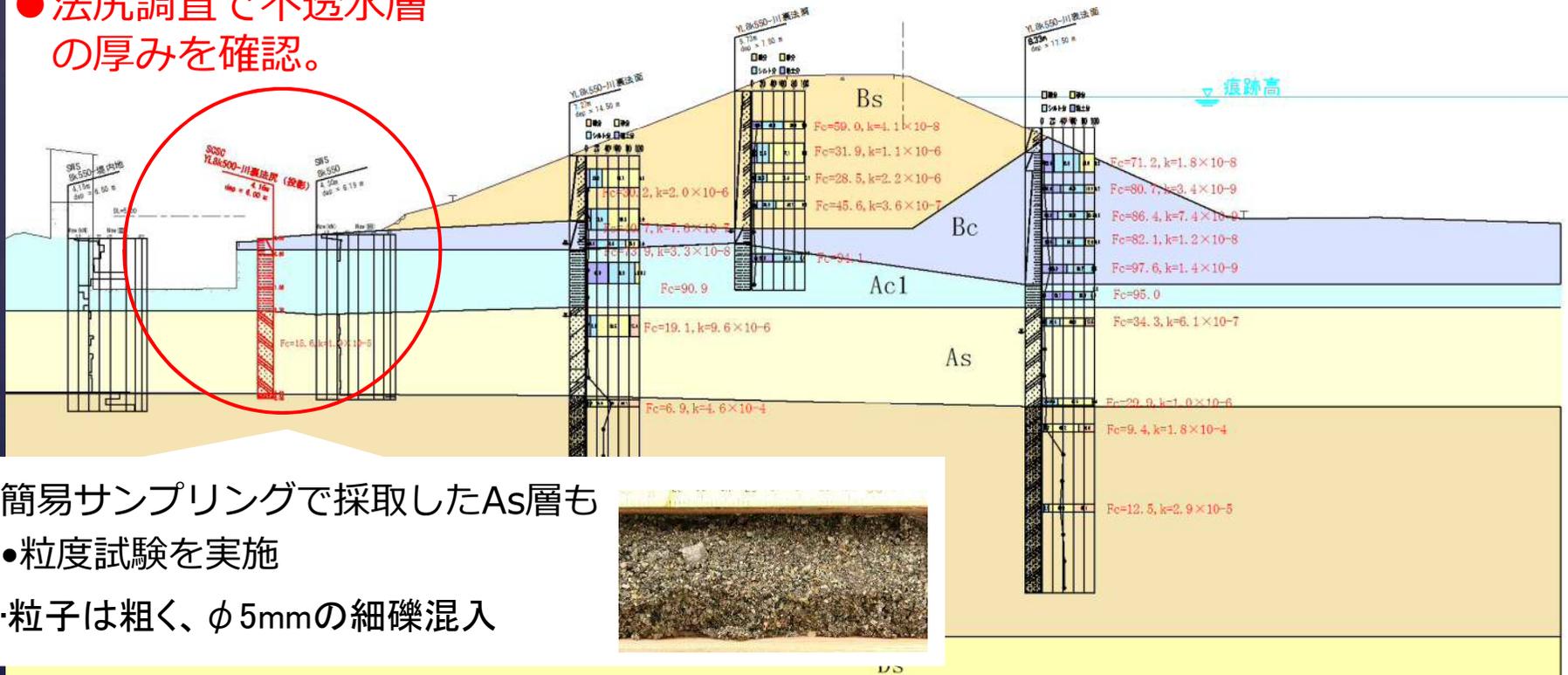
堤防のモデル化（法尻調査と築堤履歴を反映）

● 築堤履歴

左岸（8/500）

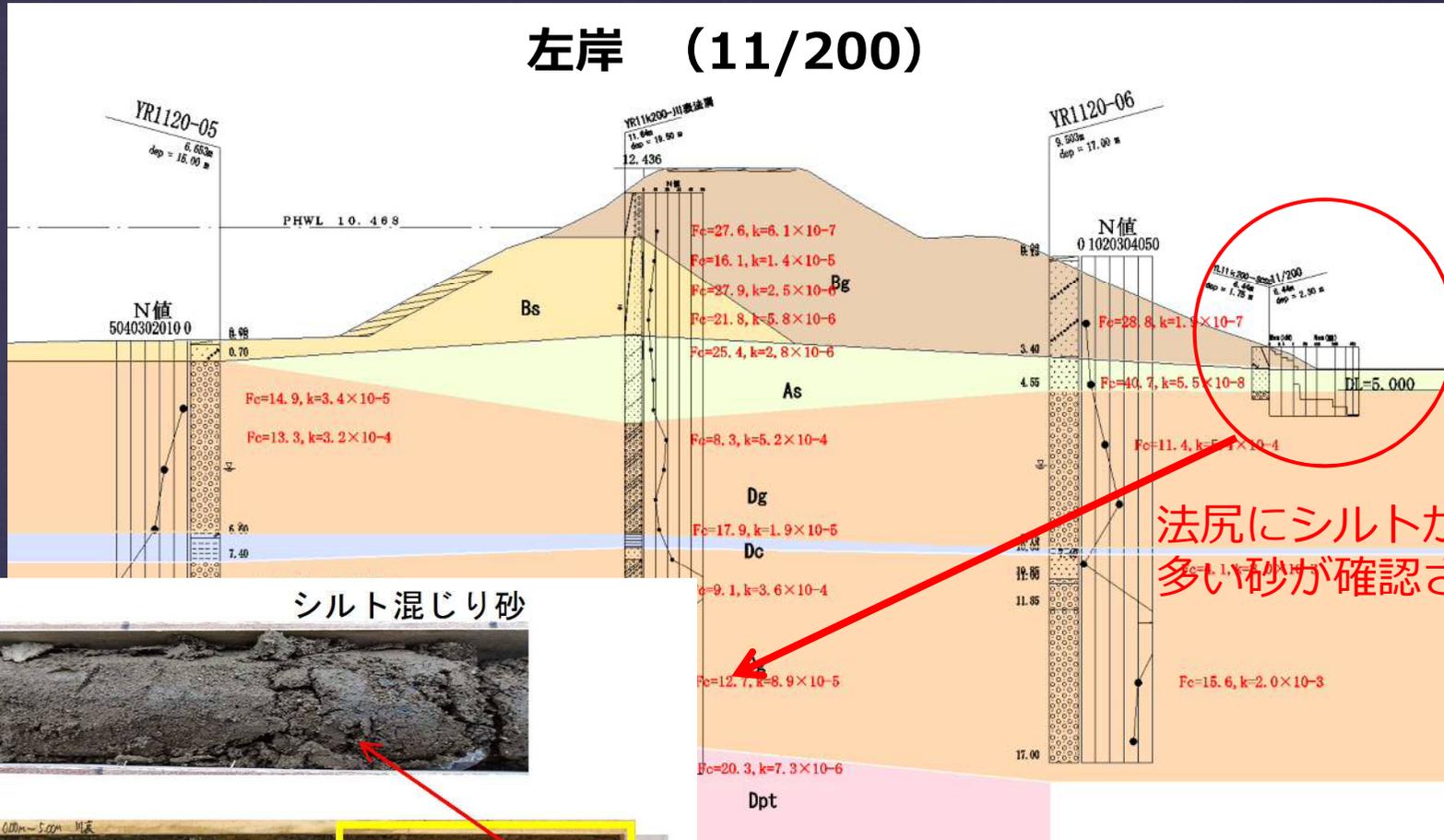


● 法尻調査で不透水層の厚みを確認。



堤防のモデル化（法尻詳細調査を反映）

左岸（11/200）



法尻にシルトが
多い砂が確認される。

シルト混じり砂

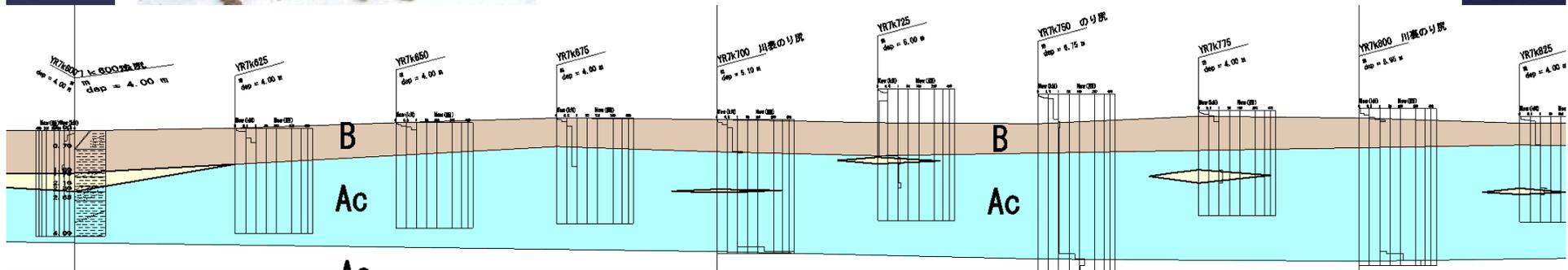
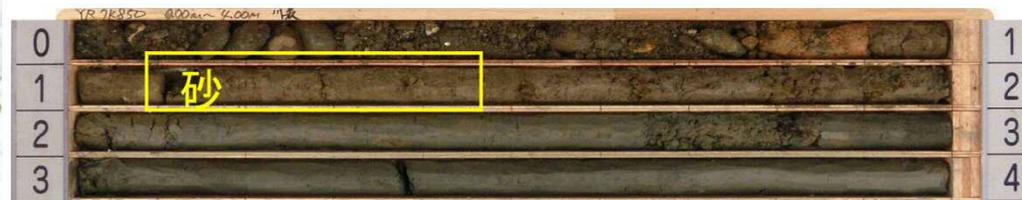
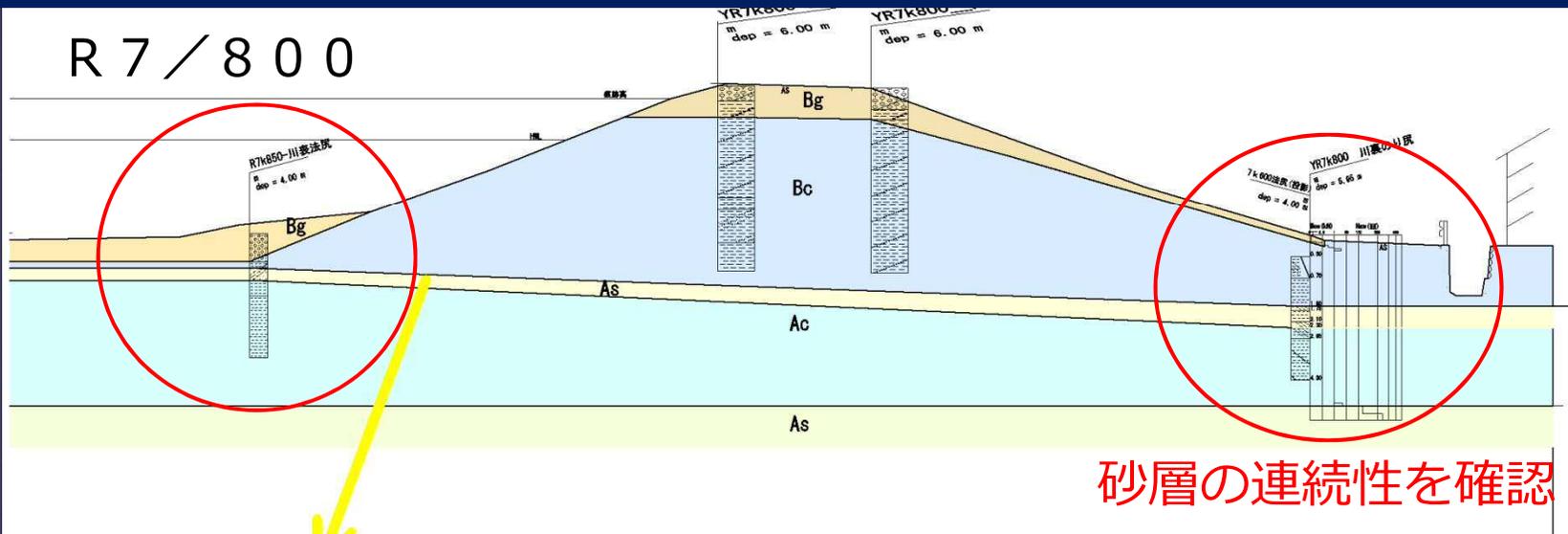


砂礫



堤防のモデル（法尻詳細調査を反映）

R 7 / 8 0 0

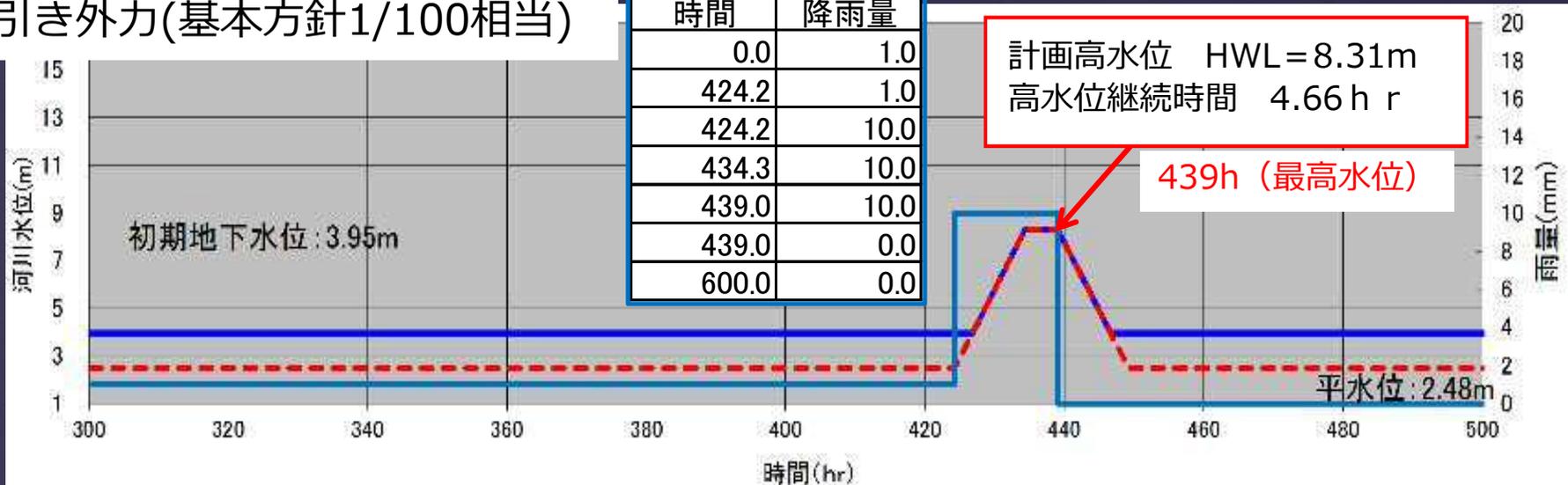


レンズ状に分布する砂層を把握

(外力条件の設定) 手引き外力とH24.7出水時外力(> HWL)

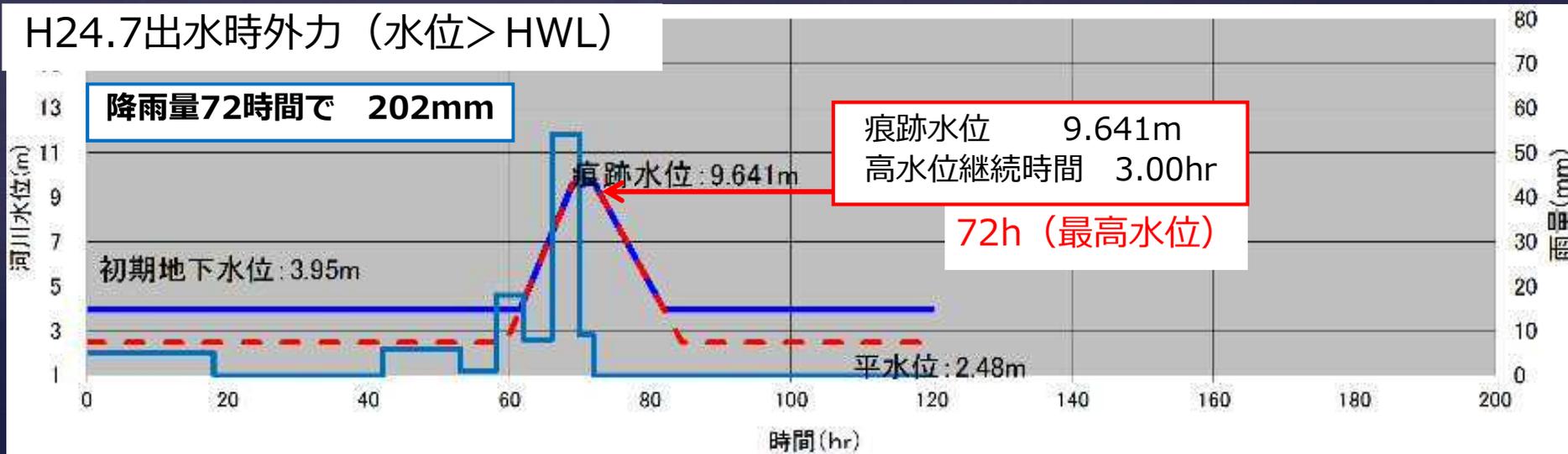
手引き外力(基本方針1/100相当)

時間	降雨量
0.0	1.0
424.2	1.0
424.2	10.0
434.3	10.0
439.0	10.0
439.0	0.0
600.0	0.0



○浸潤面が形成されやすいため安定破壊の安全度が低いところの抽出に有効。

H24.7出水時外力 (水位> HWL)

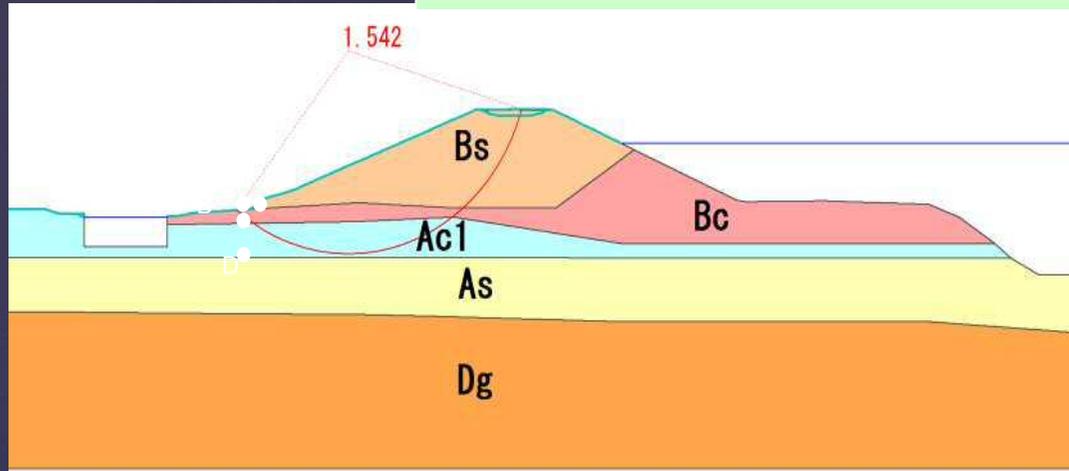


○パイピング及びアップリフト(揚圧破壊)の、安全度が低いところの抽出に有効。

(解析結果) 手引き外力とH24.7出水時外力(>HWL)

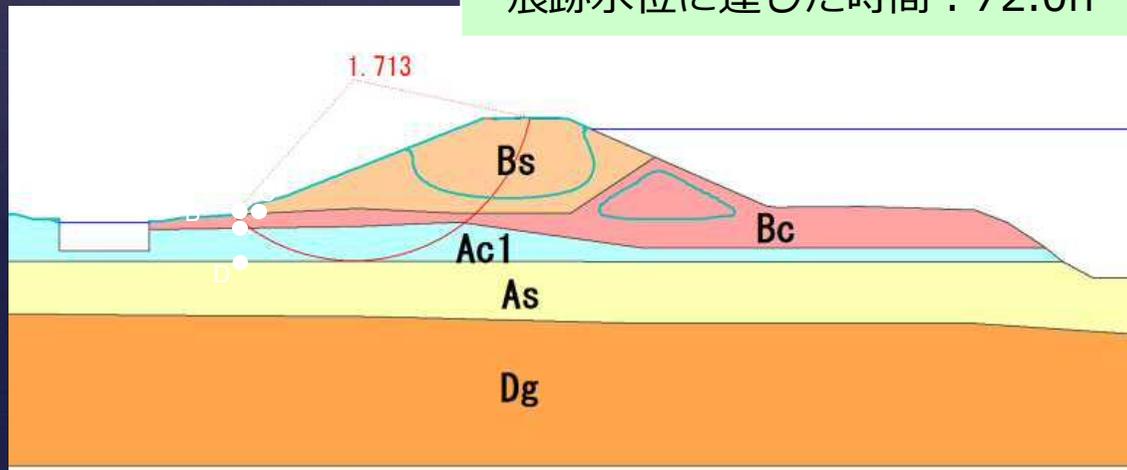
手引き外力(基本方針1/100相当)

計画高水位に達した時間 : 439.0h



H24.7出水時外力 (水位>HWL)

痕跡水位に達した時間 : 72.0h



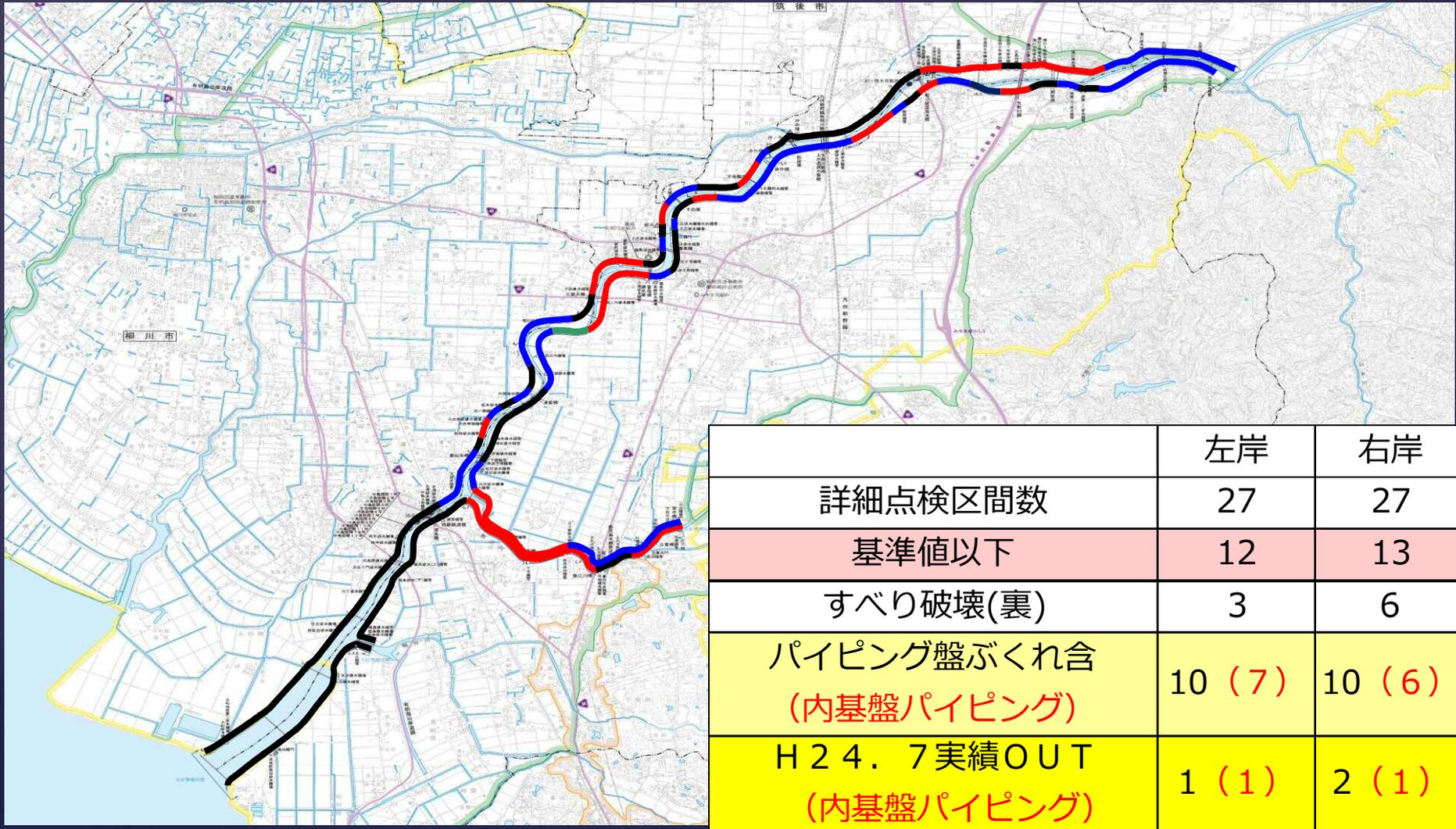
パイピング	
iv	ih
0.53	0.532
NG	NG
G/W	
1.173	
OK	
安全率	
Fs(裏)	Fs(表)
1.542	1.164
OK	OK

パイピング	
iv	ih
0.758	0.55
NG	NG
G/W	
0.998	
NG	
安全率	
Fs(裏)	Fs(表)
1.713	1.278
OK	OK

パイピング
低下

矢部川詳細点検 見直し結果 (H26.3時点)

矢部川の被災原因の多くがパイピングであったのと同様に、
今回の照査結果もパイピングについて、基準値以下のところが多かった。



子吉川における堤防被災メカニズムと 調査分析結果について

国土交通省 東北地方整備局 秋田河川国道事務所 副所長 中川 博樹

概要

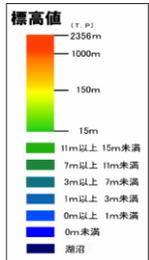
- 平成25年7月8日～13日の降雨により、子吉川右岸10.8kにおいて、裏法すべりと噴砂が発生した。
- 被災は、パイピングとそれに付随する法すべりと考えられる。
- この被災メカニズムを明らかにするために、堤防被災箇所周辺の詳細な調査を実施した。
- 被災状況、調査概要とその結果、被災メカニズムの考察について報告する。

1. 被災状況 1.1子吉川の概要

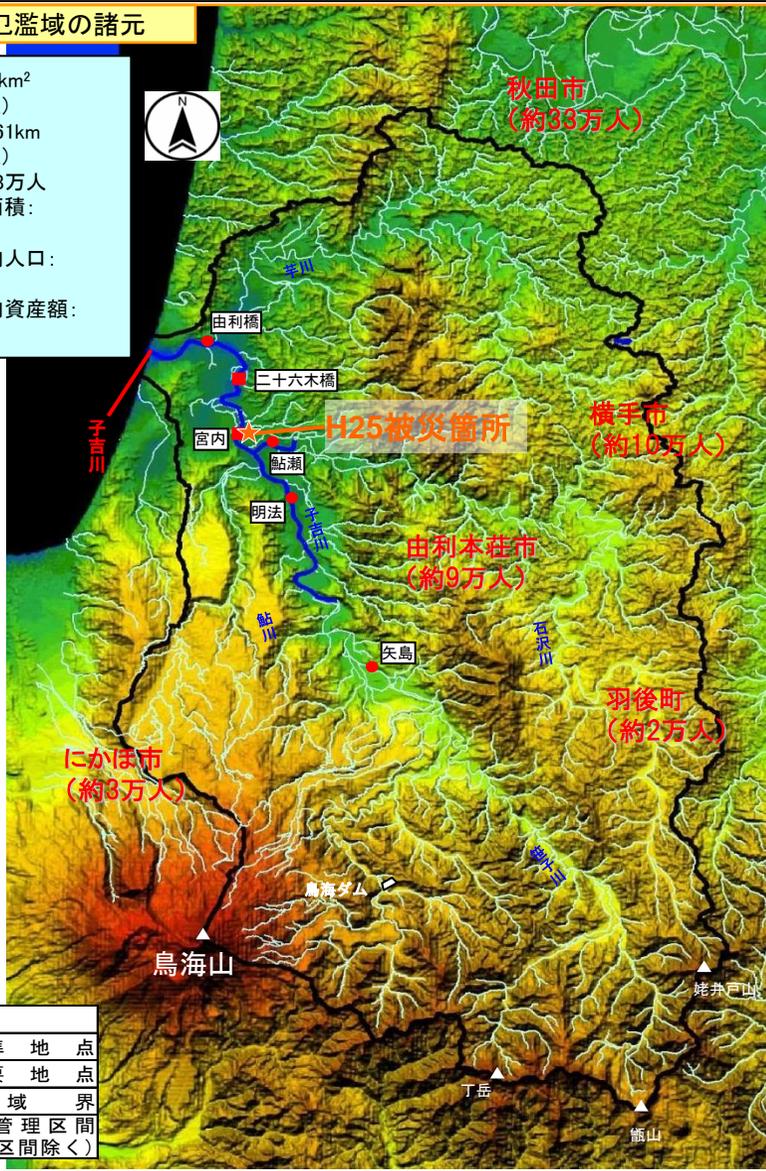
- 子吉川の流域面積1,190km²、幹川流路延長61km。源流は秋田・山形県境に位置する鳥海山で標高2,236m。
- 流域内市町村は4市1町で流域内人口は8万人、想定氾濫区域内人口は約2万人。
- 中流部から上流は河岸段丘が発達し、氾濫源が段丘の低地に限定される地形特性から、沿川地域の土地利用は標高毎に農地と宅地に住み分けられている。

流域及び氾濫域の諸元

流域面積：1,190km²
 (全国第56位)
 幹川流路延長：61km
 (全国第81位)
 流域内人口：約8万人
 想定氾濫区域面積：
 49.2km²
 想定氾濫区域内人口：
 約20,430人
 想定氾濫区域内資産額：
 約4千億円

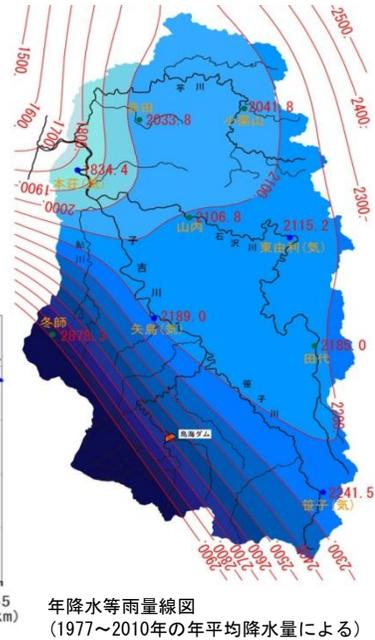
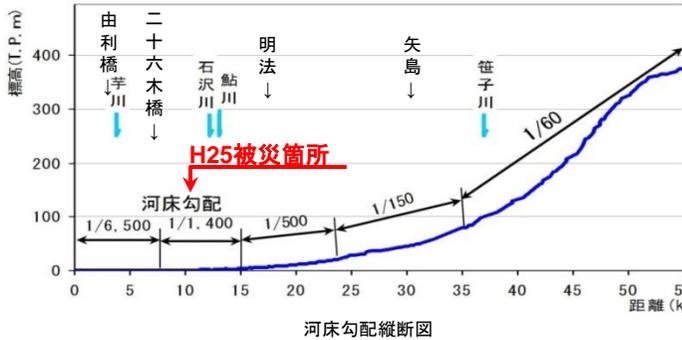


凡例	
■	基準地点
●	主要地点
—	流域界
—	大臣管理区間 (ダム区間除く)



流域の地形・気候特性

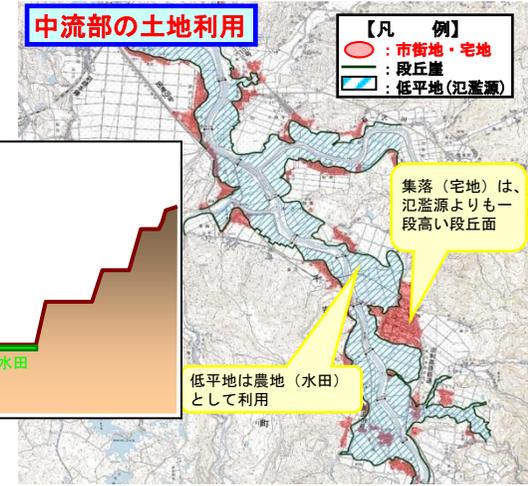
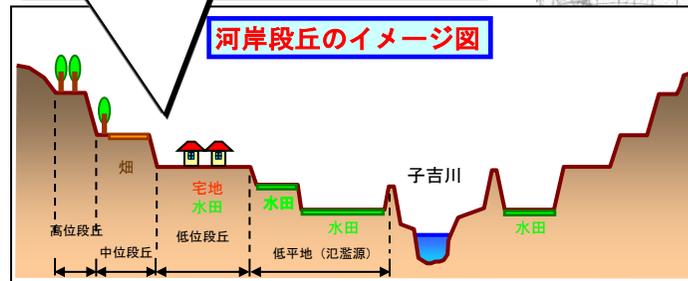
- 流域内の平均年間降水量は、約1,800~2,200mmである。地域別の平均年間降水量は、山岳部が2,400~3,600mm、平野部が1,800~2,200mm程度となっている。
- 子吉川は、上流部では勾配が急で、中流部から下流部にかけては急激に緩やかとなる。そのため鳥海山麓に降った雨は短時間で下流へ流下し、中流部で水位が上昇しやすい。
- 子吉川中流部の河岸段丘が発達しており、低平地は氾濫源となっており、主に農用地として利用されている。住宅地は氾濫源よりも一段高い面(段丘や自然堤防)上に存在している。



- 集落(宅地)は、氾濫源よりも一段高い段丘面
- 低平地は農地(水田)として利用

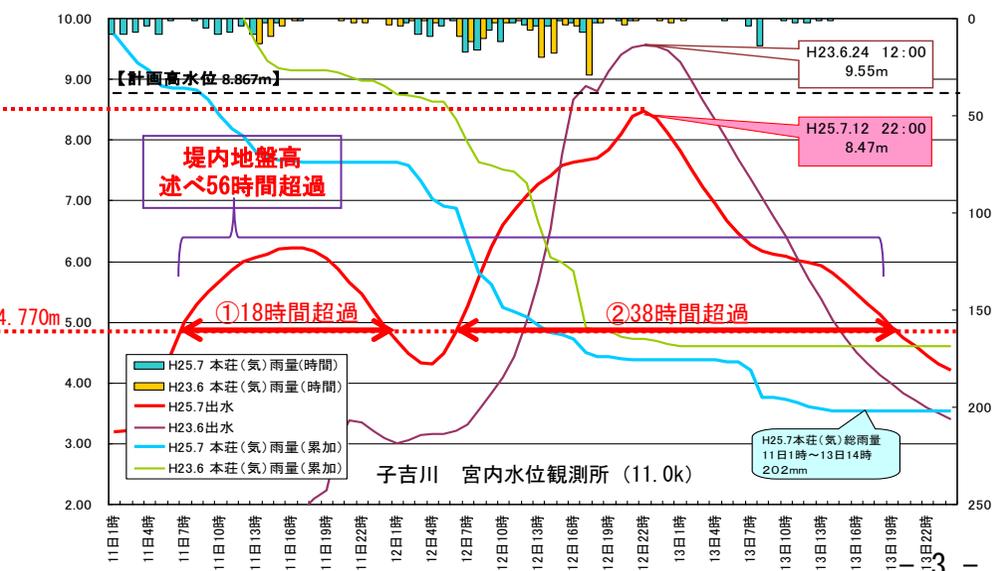
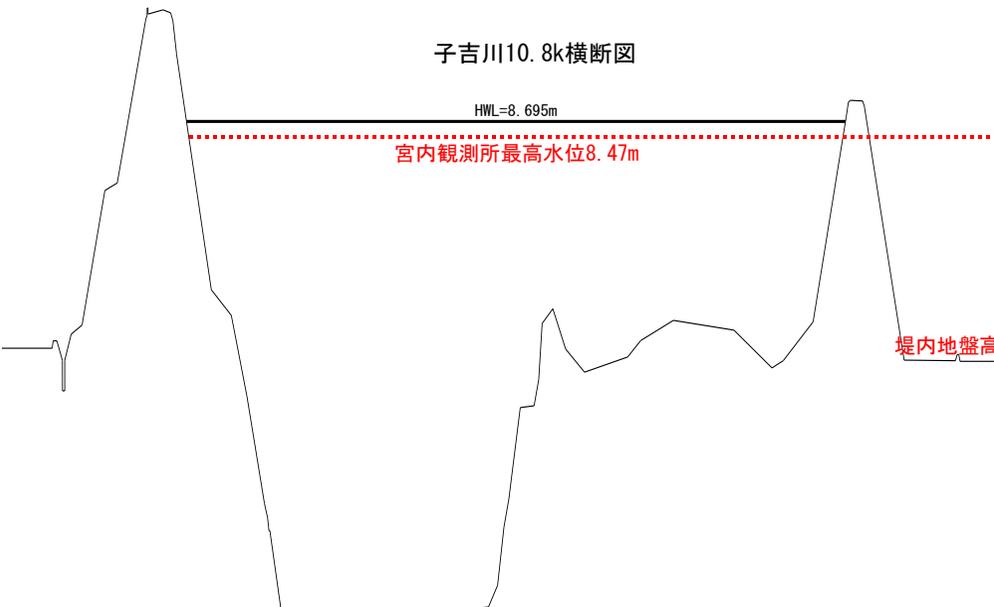
中流部の土地利用

【凡例】	
○	市街地・宅地
■	段丘崖
■	低平地(氾濫源)



1.2 被災箇所と出水概要 (平成25年7月8~13日)

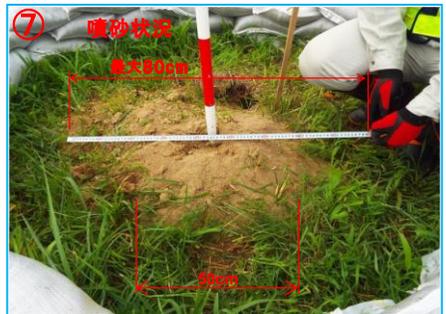
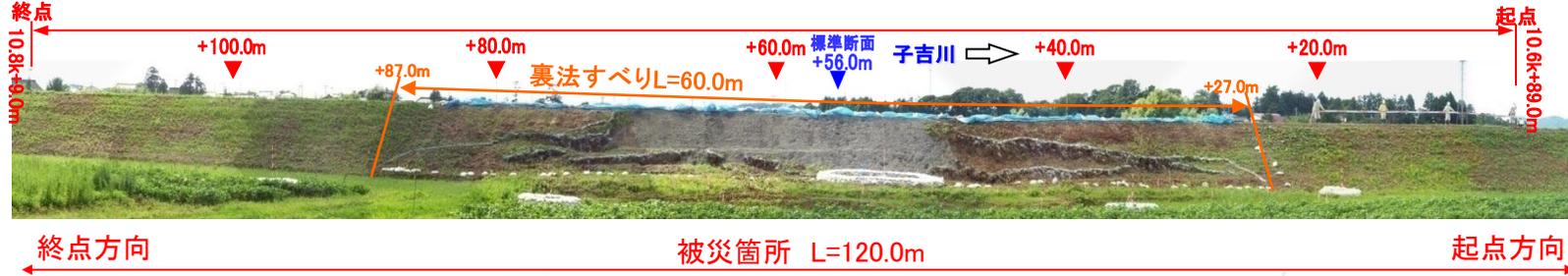
- 被災箇所は、秋田県南部を流れ日本海に注ぐ子吉川の河口から10.8k地点に位置する。
- 被災箇所は、石沢川合流部の下流に位置し、治水地形は「旧川微高地」とされている。
- 平成25年7月7日~8日および10日~13日にかけて、気圧の谷と梅雨前線の影響による降雨があり、7月期の雨量としては観測史上第1位を記録した。
- この降雨により、宮内子吉川右岸10.8k地点の堤内地盤高を述べ56時間超過した。



1.3 被災状況全景 (10.8k付近 : 荒町地区)

- 被災範囲（漏水）は、10.6k+89.0m~10.8k+9.0mの延長120m区間である。
- その内、裏法すべりは60mの区間であり、法肩からすべりが発生している。すべり土塊は、民地にまで流出した。
- 現地には水辺を好む植生であるヨシが散見され、普段から含水比が高いことが推測される。

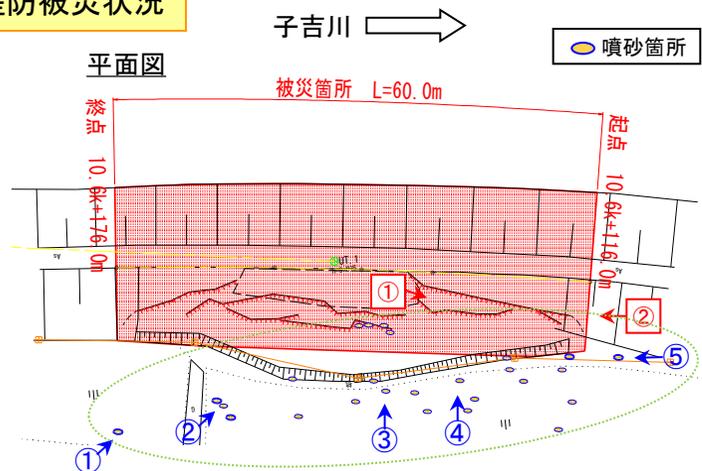
①荒町地区 被災箇所L=120.0m(裏法すべりL=60.0m・漏水)右岸 距離標10.6k+89.0m~10.8k+9.0m



1.4 川裏被災状況 (10.8k付近：荒町地区)

- 堤内地には、26箇所の噴砂が確認できた。噴砂は法すべりの中心で多数確認され、その規模はφ30cm~40cm程度が多い。
- 噴砂の材料は、砂質が主体であったが、細粒分も多く含んでいる。
- すべり破壊の頭部は、100cm程度の滑落崖(写真①)を形成している。また、滑落崖は複数確認出来る。

堤防被災状況



26箇所で噴砂痕を確認

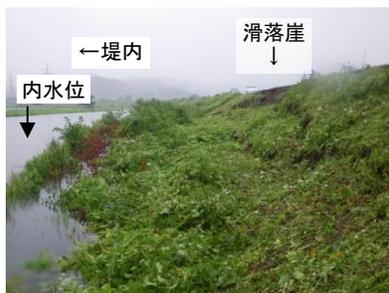
噴砂状況写真



堤防裏法すべり全景



②



下流側から見た被災直後の法すべり部状況 (下流から望む)

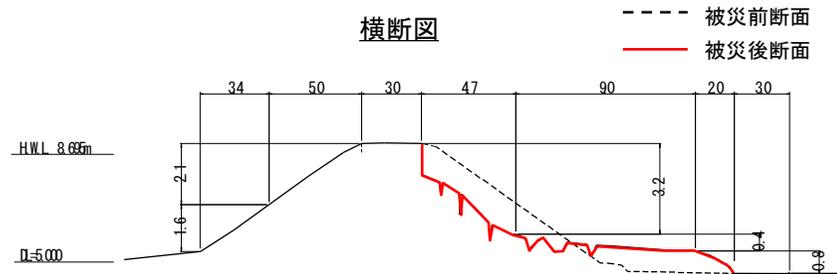


①



堤防裏法すべり H=100cm (上流から望む)

横断面図



1.5 詳細点検結果

- 詳細点検では、右岸10.4k~11.0kまでを一連区間とし評価しており、点検断面として、10.4k地点では、揚圧力の評価は基準値以上 (OUT) となっているが、法すべりの評価は基準値未満 (OK) となっている。
- 評価地点の10.4kはS55年洪水で破堤し、復旧済みの箇所であり、今回被災した10.8kとは土質構成が異なっていた。(Ac1層が薄い、堤体土質3層構成で構成)
- その要因としては、概略評価において被災履歴から、一連区間の代表地点に選定されるが、復旧の有無を考慮していなかったためである。

詳細点検結果及び堤防被災の概要

■ 概略点検結果

一連区間(10.4k~11.0k)

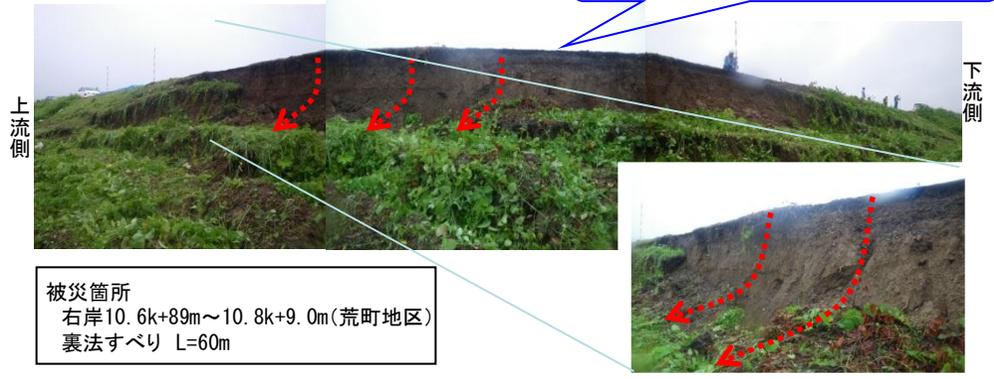
距離 (km)	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
水系名	子吉川水系		河川名		子吉川	
築堤名	二十六木地区築堤		荒町地区築堤		妻屋下地区築堤	
堤体の土質	砂質土		粘質土		砂質土	
基礎地盤の土質	粘質土		砂質土		粘質土	
要注意地形	山付		無堤		山付	
築堤年代	H9~13		無堤		T10~13	
平均動水勾配	c		d		d	
高水位継続時間	b		a		c	
被災履歴	破堤		破堤		破堤	
浸透対策工実施区間	D		D		D	
安全性評価	B		D2		D1	

右岸10.4k
被災あり

右岸10.8k
被災なし

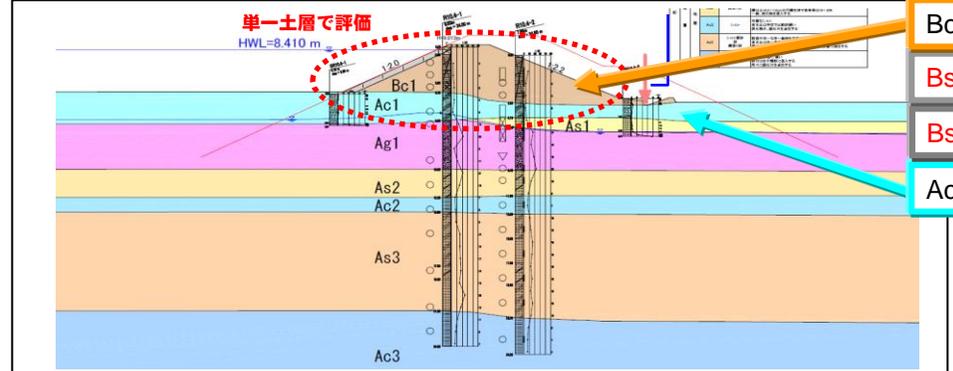
評価断面を過去の破堤箇所に設定

■ H25.7出水被害状況(右岸10.8k付近)



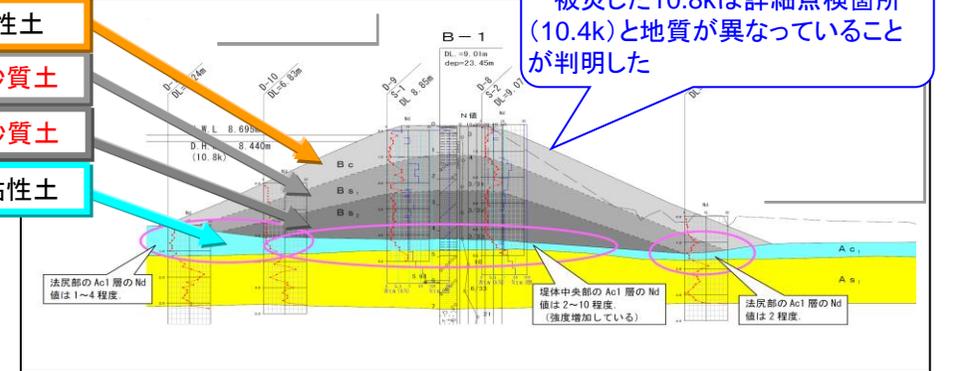
詳細点検で「法すべり」が基準値以上となっている箇所が被災

■ 詳細点検時評価断面(右岸10.4k)



- Bc層：粘性土
- Bs1層：砂質土
- Bs2層：砂質土
- Ac1層：粘性土

■ 被災箇所断面(右岸10.8k)



被災した10.8kは詳細点検箇所(10.4k)と地質が異なっていることが判明した

■ 詳細点検結果(右岸10.4k)

評価項目	局所導水勾配		揚圧力	法すべり	
	水平	鉛直		表	
	ih	iv		G/W	裏
照査基準	<0.5	<0.5	>1.0	≥1.0	≥1.452
計算結果	-	-	0.52	3.391	2.803
判定	-	-	OUT	OK	OK

詳細点検時評価断面と今回調査時の地質の違いについて

- (1)基礎地盤
 - ①10.8k地点では、表層部の粘性土層(Ac1)の層圧が薄くなっている。
- (2)堤体土質
 - ①評価断面は単一の土質(Bc層)で構成されている。
 - ②10.8k地点は、表面を粘性土(Bc層)、内部を細粒分および礫を混じる砂質土層(Bs1)、細粒分と礫を混入する砂質土層(Bs2)の3層で構成。

2.調査内容および調査結果 2.1 調査内容（概要）

- 地層の状態と強度を確認するために、機械ボーリングを法すべりの主測線で1孔実施した。
- サウンディングにより、粘性土層の分布を確認した。また、簡易動的貫入試験により、堤防横断の地層分布および強度を調査した。
- Ac1層のサンプリングを実施し、室内試験により土質特性を調査した。また、サンプリング面により噴砂の状況を確認した。
- 昨年度の調査結果から想定されや被災メカニズムを検証するために、今年度、追加調査を実施することとした。**
- トレンチ掘削を堤体および基礎地盤において実施し、パイピングやすべり破壊の痕跡を確認した。
- 被災箇所（3箇所）と被災がなかった箇所（2箇所）の5箇所においてSCSC式ボーリングにより地層分布を確認した。

H25年度実施

H26年度実施

見取り図

堤体部掘削調査(1箇所)

簡易式ボーリング(5箇所)

噴砂痕凡例

- 30cm以上
- 30cm未満

【地質調査】

実施年度	項目	記号	箇所数	備考
H25	ボーリング調査	●	1	土層構成の確認
	現場透水試験(試験区間7.0~7.5m)	○	1	Ag1を対象
	スウェーデン式サウンディング試験	⊗	6	土層構成の確認
	簡易動的コーン貫入試験	▲	23	土層構成の確認
	土層強度検査棒によるせん断試験	⊗	13	堤体土およびAc1のせん断強度の把握
H26	サンプリング	■	3	Ac1層の不攪乱試料採取
	簡易ボーリング	●	5	土層構成の確認
	基礎地盤部トレンチ調査	□	2	土層性状の確認
	堤体部掘削調査	□	1	土層性状の確認

トレンチ調査(2箇所)

Ac1層サンプリング(3箇所)

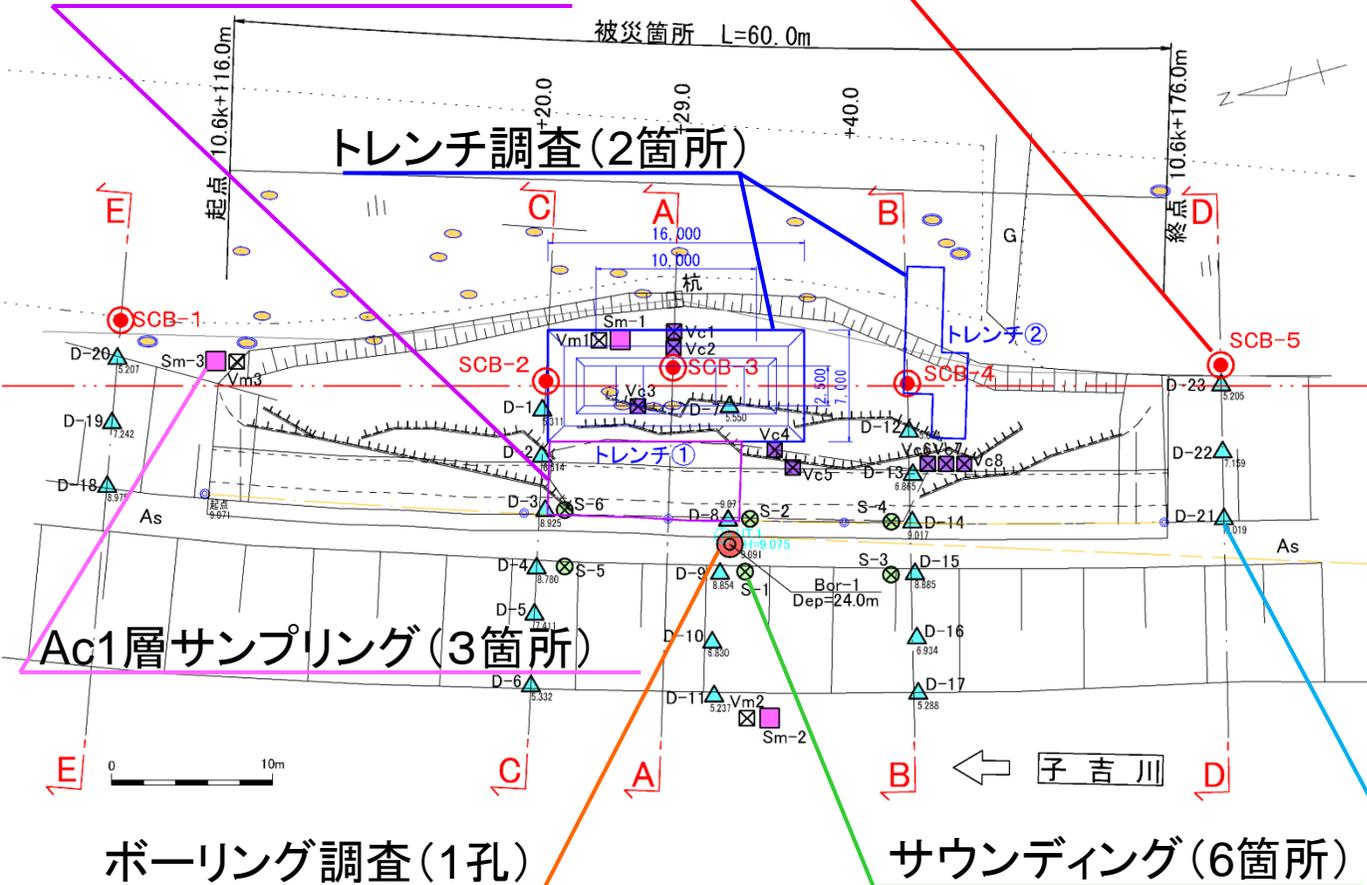
【室内土質試験】

物理試験(比重、含水、粒度:19試料)
 三軸UU試験:Bc 1箇所、Ac1 3箇所
 三軸CUB試験:Bs 2箇所

ボーリング調査(1孔)

サウンディング(6箇所)

簡易動的貫入試験(23箇所)



- 被災箇所の堤体部、基礎地盤の土層構成を把握し、対策工の検討に資するために、ボーリング調査、現場透水試験を実施した。
- 堤体部、基礎地盤の強度を把握するために、スウェーデン式サウンディング、簡易動的コーン貫入試験、土層強度検査棒によるベーンコーンせん断試験を実施した。また、室内土質試験試料を採取した。

①ボーリング調査

- 堤体部および基礎地盤の土層構成を確認するために機械ボーリングによりコアを採取した。



機械ボーリングによる掘削

②スウェーデン式サウンディング

- 土層の硬軟や締め具合、あるいは土層の構成を把握するために、静的な貫入抵抗を測定した。



貫入試験状況

③簡易動的コーン貫入

- 簡易に土層の硬軟を把握するために、動的な貫入抵抗を測定した。



貫入試験状況

④土層強度検査棒

- 土層のせん断強度を把握するために、ベーンコーンせん断試験を実施した。



土層強度検査棒による簡易せん断試験

⑤サンプリング

- 三軸圧縮試験に供する不攪乱試料を採取した。また、サンプリング箇所のスケッチを行った。



試料採取面の状況

- 足場不要のハンディタイプの簡易ボーリングマシンにより、土層のサンプリングを実施した。
- 堤体部および基礎地盤をトレンチ掘削することにより、パイピングや変状について確認した。また、室内土質試験の試料を採取した。

①簡易ボーリング

- 基礎地盤の土層の構成や厚さを確認するために、右写真に示すハンディタイプの器材を使用し、打撃によりサンプラーを地中に打ち込んで、コアを採取した。



簡易ボーリングにより採取したコア

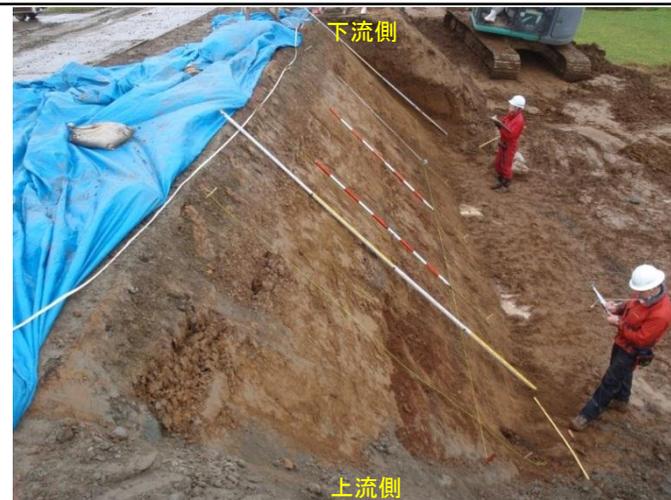


簡易ボーリングマシンによる掘削

③堤体部掘削調査

- 堤体の土質構成等を確認するために、堤体部の掘削面を観察し、室内土質試験資料を採取した。

堤体部掘削調査の状況

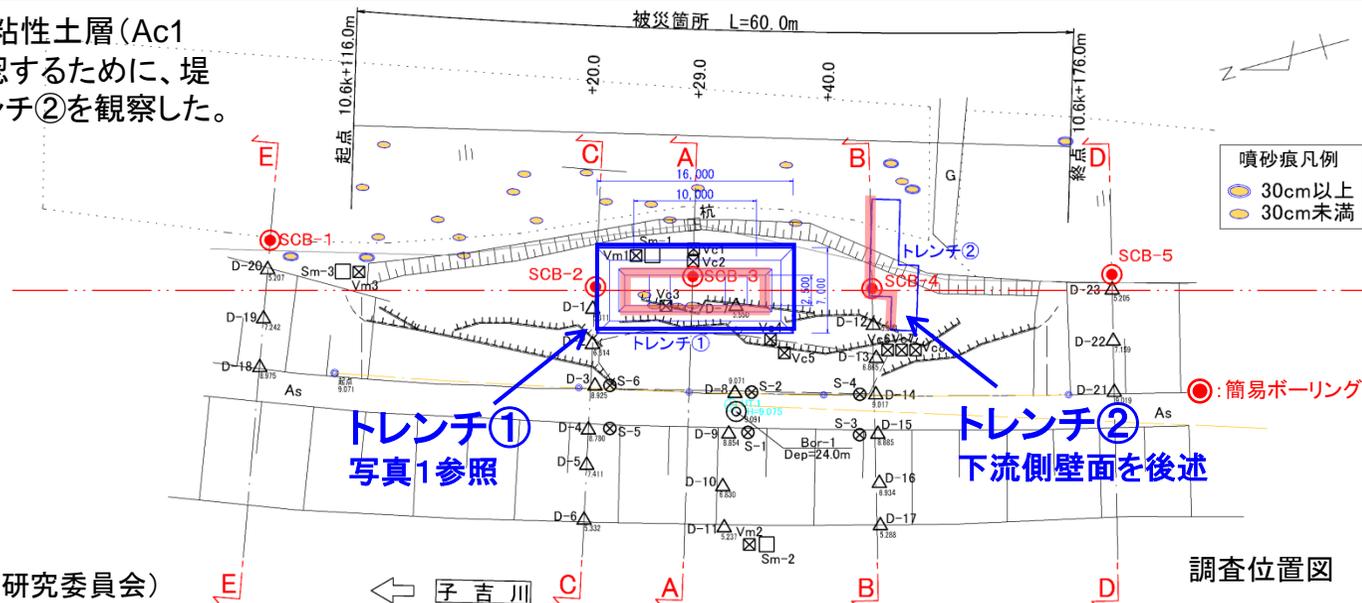


②基礎地盤トレンチ調査

- 法すべり発生箇所の基礎地盤状況、とくに粘性土層(Ac1層)におけるパイピングや変状について確認するために、堤防縦断方向のトレンチ①、横断方向のトレンチ②を観察した。また、室内土質試験試料を採取した。



写真1 トレンチ①の調査状況(10月9日:堤防技術研究委員会)

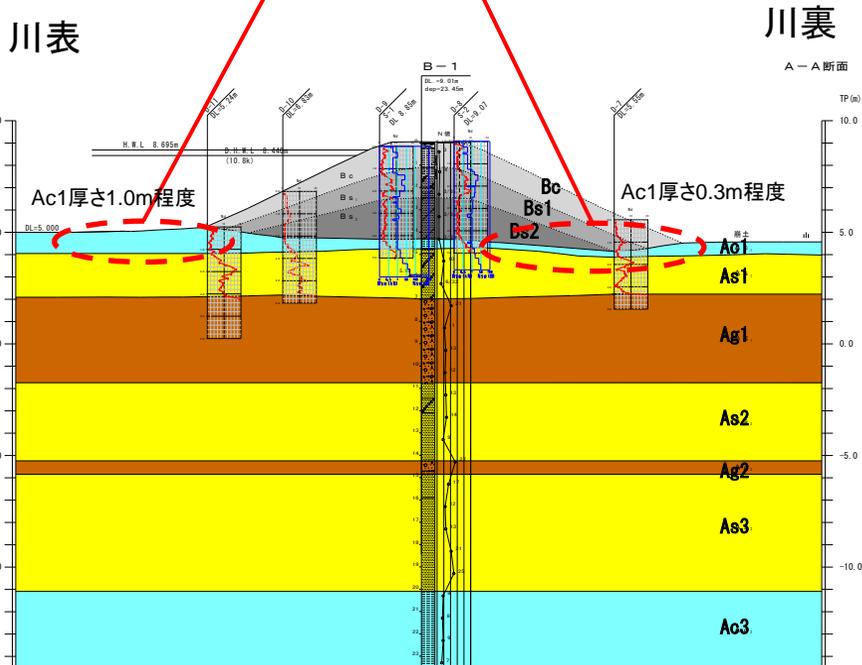


2.3 ボーリング調査結果

- ボーリング調査により、堤体盛土が3層 (Bc、Bs1、Bs2) で構成されていることがわかった。
- 基礎地盤は上位よりAc1層、As1層、Ag1層等で構成される。
- 表層に分布しているAc1層は厚さ0.3~1m程度の粘性土である。その下には、砂層が層厚2m程度、礫層が約4m程度分布している。

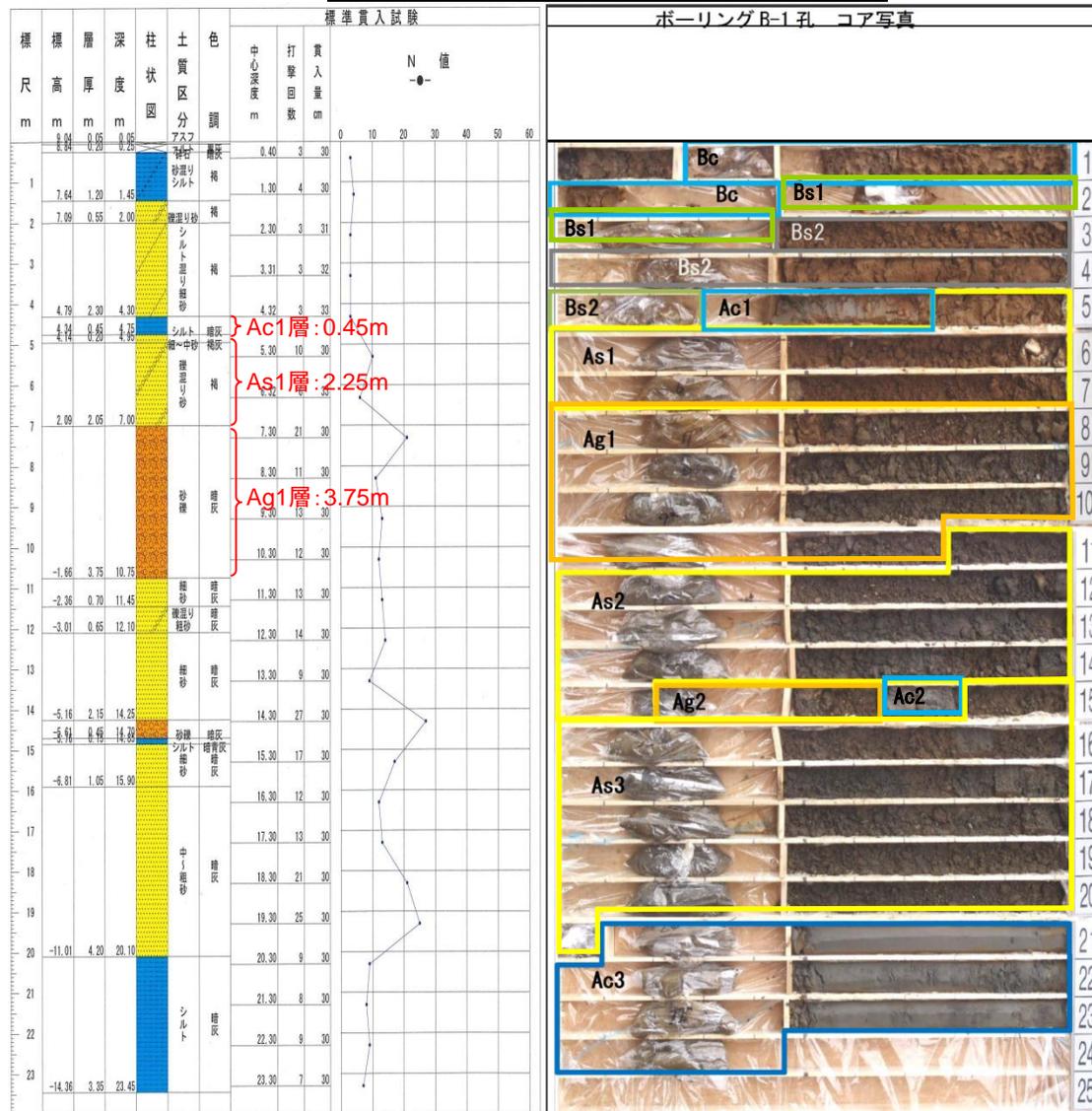
堤体盛土は、Bc層(粘性土)、Bs1層(砂)、Bs2層(砂)の3層で構成される。Bc層は砂混じりシルト、Bs1層は礫混じり砂、Bs2層はシルト混じり砂が主体である。
 盛土層のN値は3程度であり、締まりが悪いと言える。
 基礎地盤は、上位よりAc1層(粘性土)、As1層(砂)、Ag1層(礫)等で構成される
 Ac1層はシルト主体、As1層は細砂~中砂であるが、下位ほど礫の混入が多くなる。

Ac1層が川表に比べて堤防直下や川裏で薄い



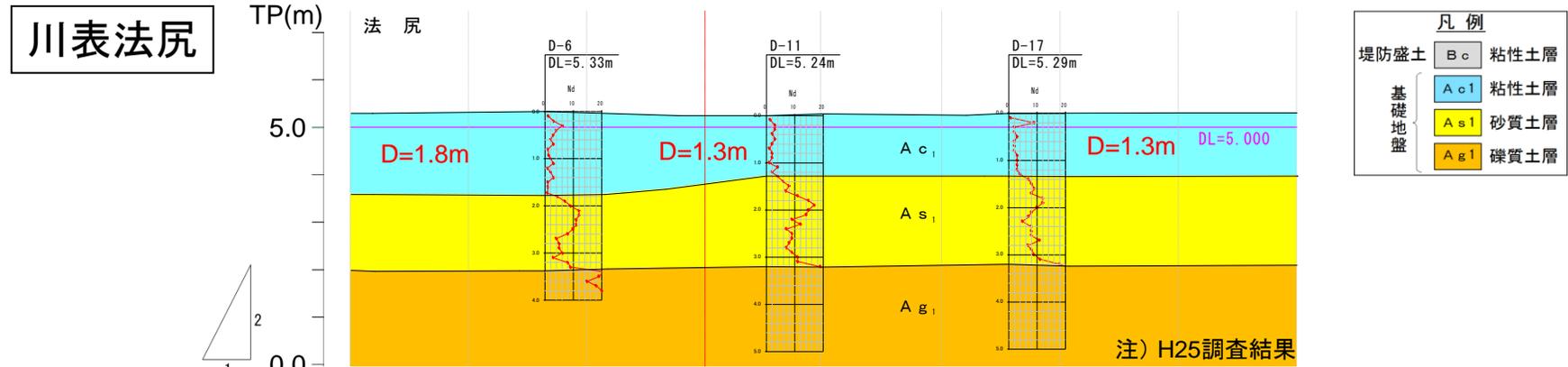
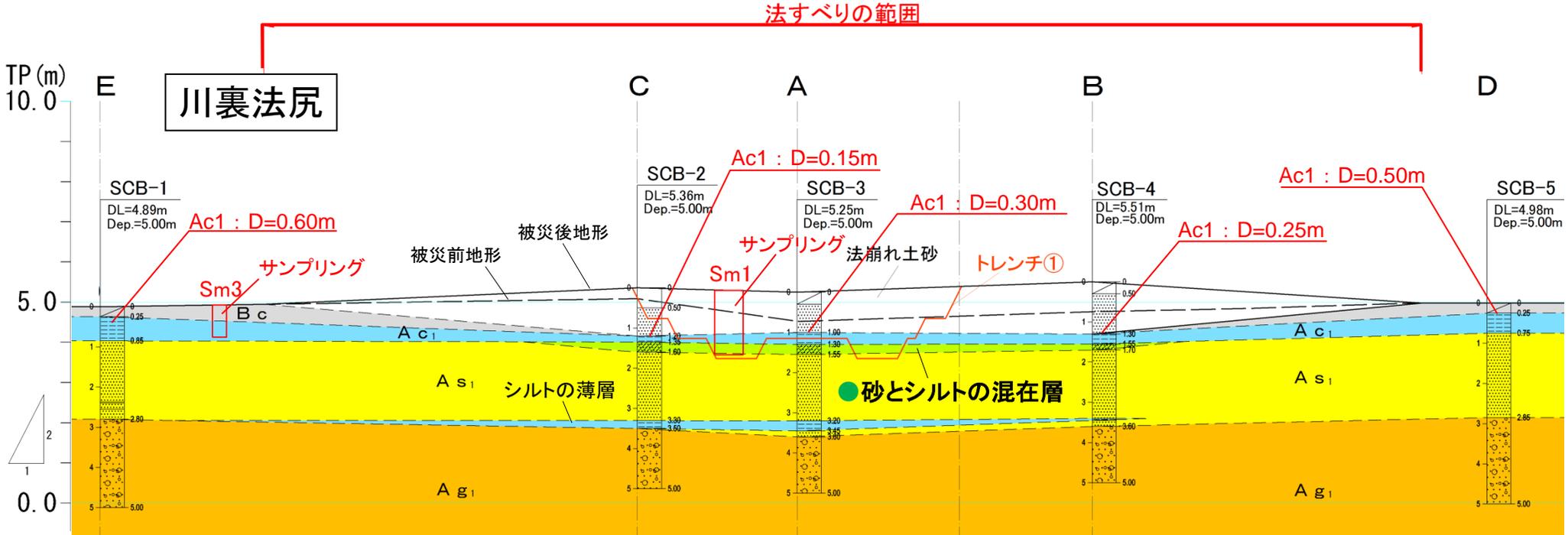
10.8k付近の地質横断図

B-1 地質柱状図及びコア写真



2.4 簡易ボーリング結果

- 簡易ボーリング調査の結果、基礎地盤の土層構造 (Ac1、As1、Ag1) が確認できた。また被災した範囲においては、川表に比べて川裏のAc1層が薄いことは確認された。
- 被災箇所法尻部では、被災箇所の外側に比べて相対的にAc1層が薄く (厚さ数10cm)、Ac1層とAs1層との境界付近には、砂とシルトの混在した層 (●) が確認された。



川裏法尻部 縦断方向断面図

2.5 簡易動的コーン貫入試験、検土杖結果

■国総研及び土研において実施した簡易動的コーン貫入試験、検土杖の結果は、下記のとおりであった。

【資料提供】

国土技術政策総合研究所 河川研究室

土木研究所 土質・振動チーム、地質チーム

簡易動的コーン貫入試験、検土杖の結果より、粘土層 (Ac1) と砂層 (As1) の境界面を整理した。

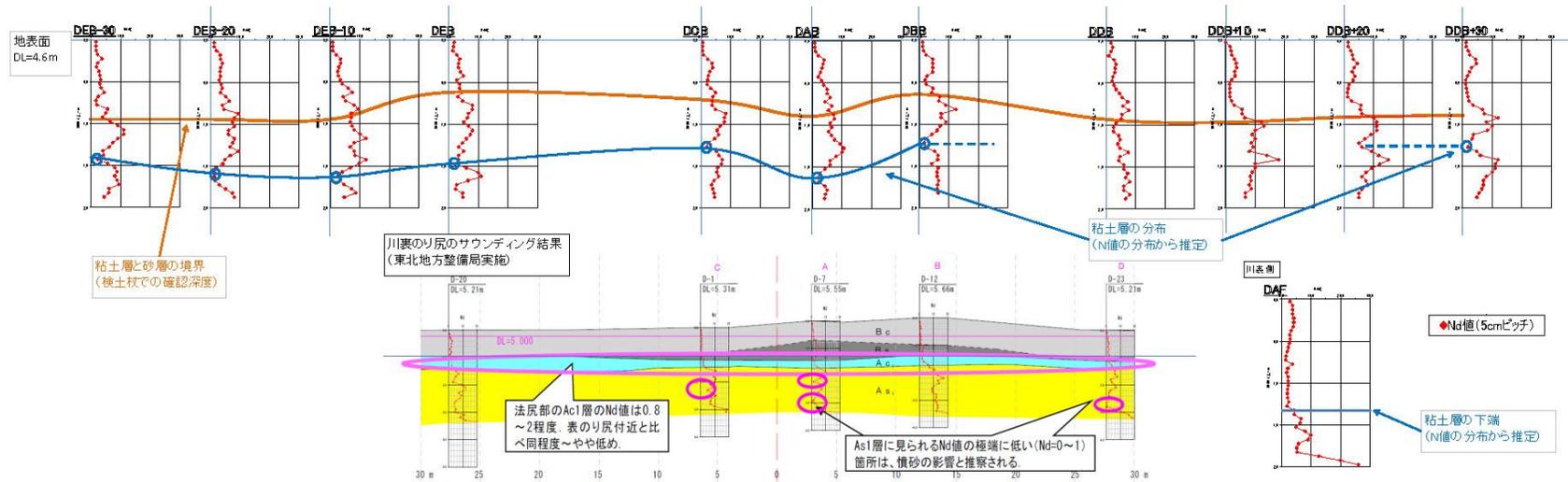


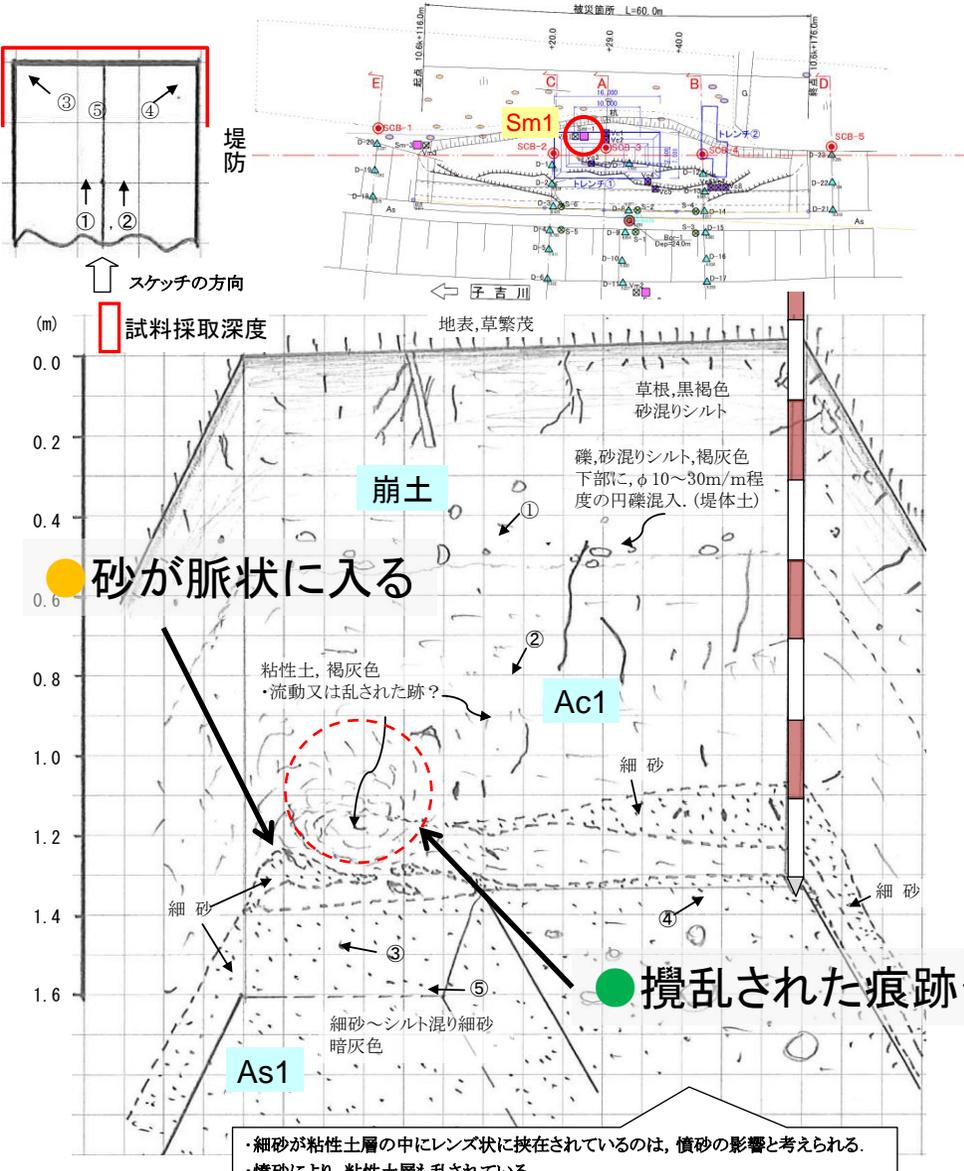
図-2 調査結果

- 被災箇所川裏のり尻の粘土層の分布について、検土杖で確認すると、A~E 測線は 0.6~0.9m 程度で、D、E 測線から 30m まで離れた範囲は、粘土層厚 0.9~1.0m 程度であった。
- B、E 測線の川裏のり尻付近は、やや周りより薄い粘土層厚となっており、30cm 以上の噴砂が確認された箇所と一致していた。
- 粘土層は、前日の降雨の影響も考えられるが、 N_d 値 1~3 と低い状態であった。
- また、砂層の下部に、 N_d 値 0~1 と低い箇所が確認され、粘土層が分布していることが推定される。これは、ボーリング調査の結果より As1 層中に介在する薄い粘性土層と考えられ、堤体~のり尻付近に分布しているものと推定される。
- 調査地点の DDB、DDB+10m の地表面から -10~15m 付近に貫入試験の結果より粘土層が分布していないことが推定される。As 層下部を浸透してきた水が被災区間に集中し、変状に影響を及ぼした可能性が考えられる。
- 川表の高水敷では、粘土層が約 1.5m 程度で、川裏側のほうが川表側より粘土層が薄く分布している状況が確認された。

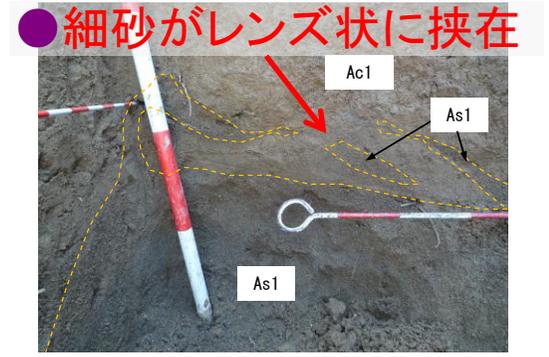
2.6 崩壊発生箇所でのAc1層の状況

- 崩壊発生箇所でのサンプリング時にAc1層の状況を確認した。
- Ac1層には砂が脈状に入る箇所(●)が認められる。また、細砂がレンズ状に挟んでいる箇所(●)も確認出来る。⇒噴砂の影響と考えられる。
- Ac1層には粘性土が乱された箇所が1箇所(●)確認出来た。流動等により乱れたものと考えられる。

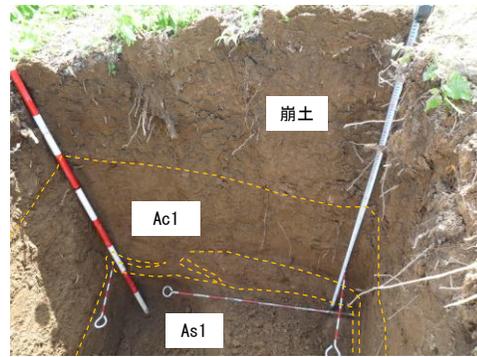
Ac1層のサンプリング箇所の状況図 Sm-1地点 スケッチ図



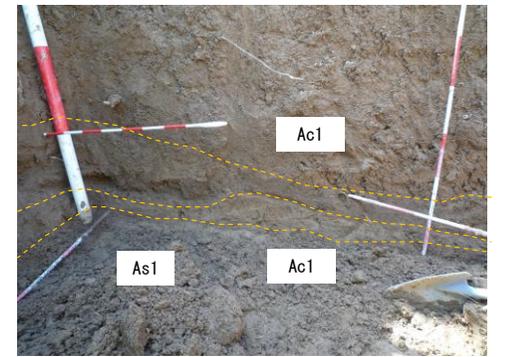
全 景 (下流側を望む)



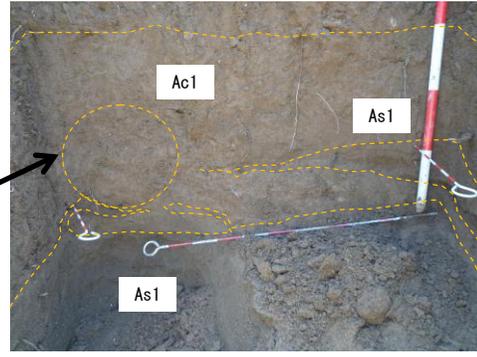
③ 堤内側 掘削隅角部を見る



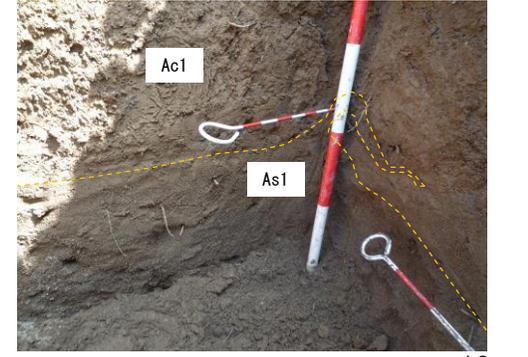
① 上流側掘削面を地上から見る (スケッチ方向)



④ 堤防側 掘削隅角部を見る



② 上流側掘削面の下部の状況 (スケッチ方向)



⑤ 堤内側 掘削面下部の状況

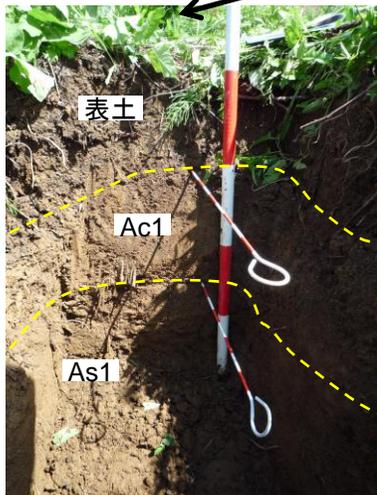
2.7 崩壊が発生していない箇所でのAc1層の状況

- 崩壊が発生していない箇所として川表、川裏の2箇所でサンプリングを実施した。これらのサンプリング時にもAc1層の状況を確認した。
- 崩壊が発生していない箇所では、地層の分布は乱れておらず、攪乱された痕跡や砂脈は認められない。

Sm-3地点 試料採取及びスケッチ図

Sm-2地点 試料採取及びスケッチ図

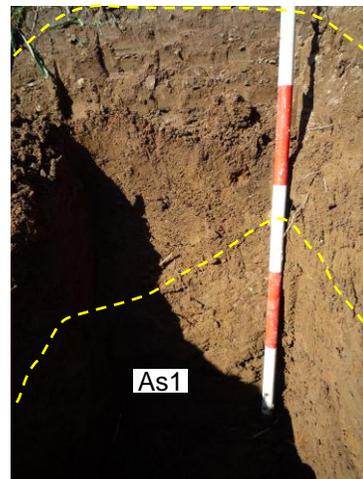
攪乱された痕跡や砂の脈は認められない



① 掘削面の状況 (スケッチ方向)



全 景 (下流側を望む)



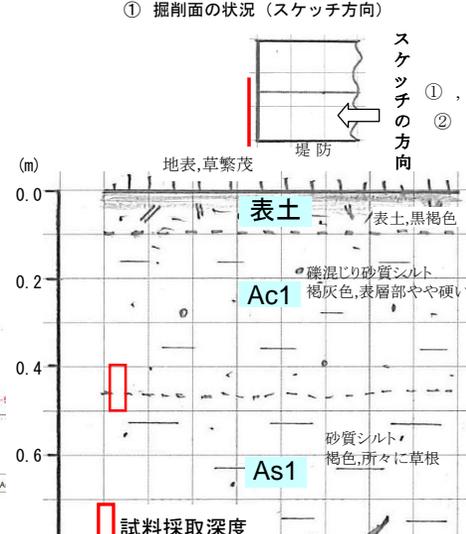
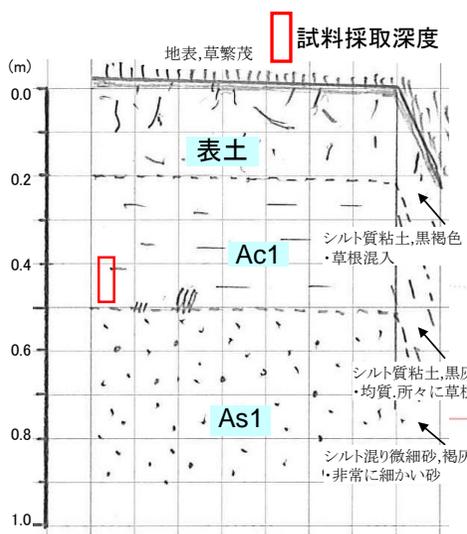
① 掘削面の状況 (スケッチ方向)



全 景 (川表、法尻付近) 凹地があり、水が溜まっている。



② 掘削面下部の状況 (スケッチ方向)

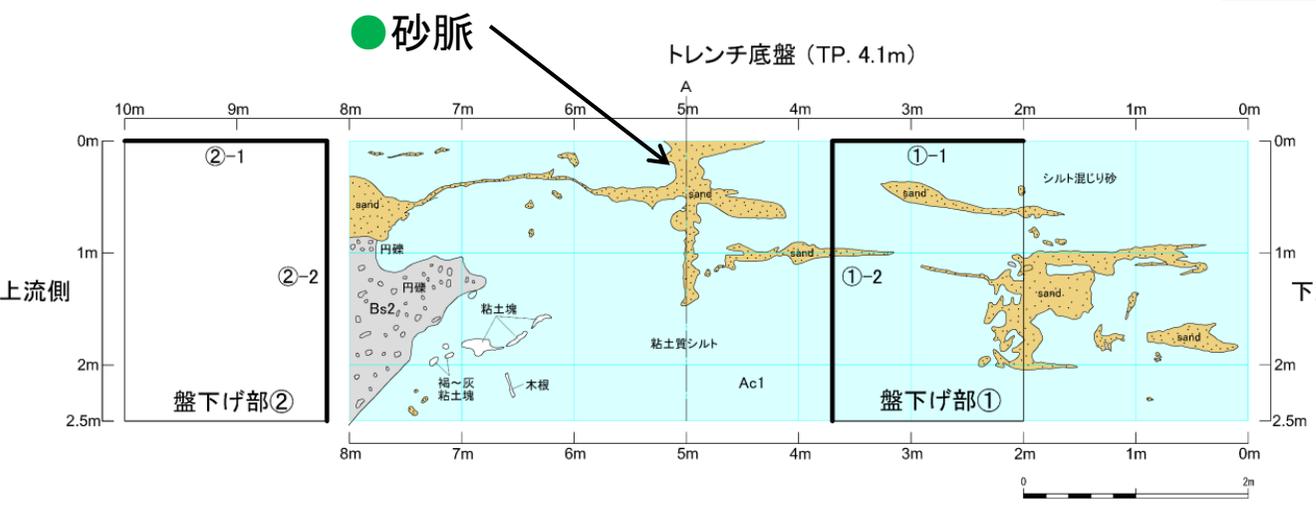


2.8 基礎地盤部トレンチ (1)トレンチ① 調査結果

- Ac1にパイピングと考えられる砂脈（●）が確認された。その方向は堤防の縦断方向だけでなく横断方向も確認された。
- また断面的に、砂脈は堤防側に緩く傾斜する構造（●）が確認された。

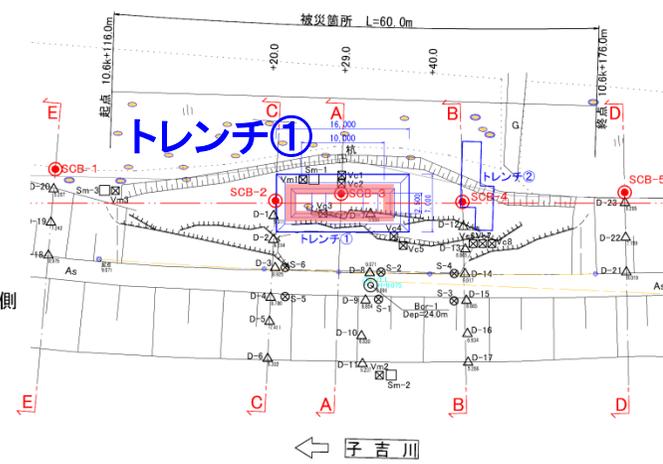
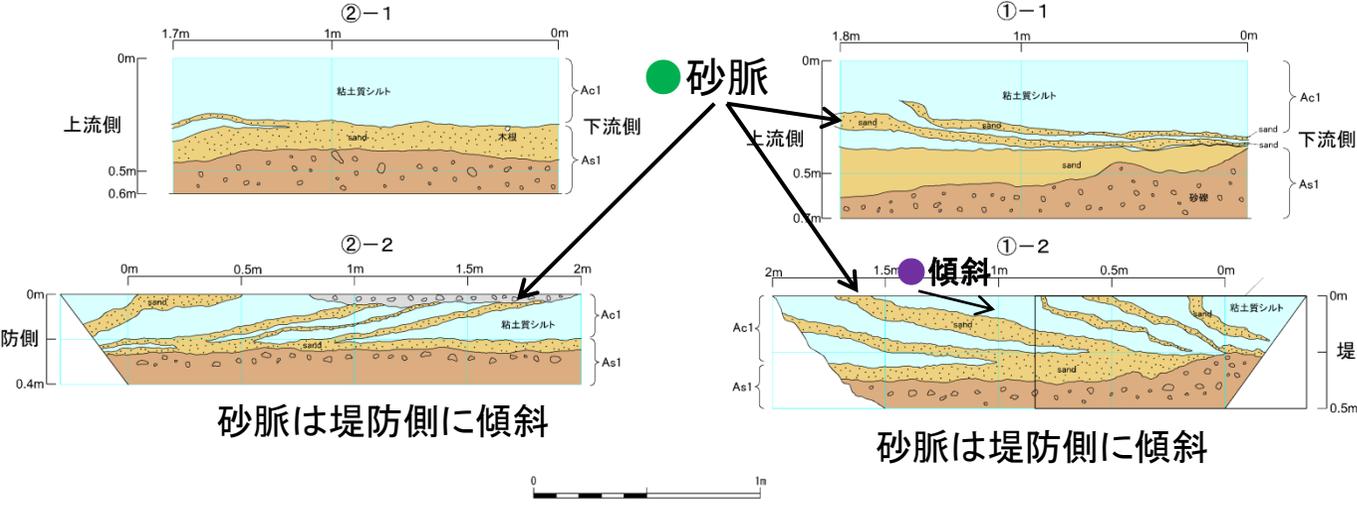
基礎地盤部トレンチ①スケッチ図

トレンチ①



盤下げ部②壁面(正面図)

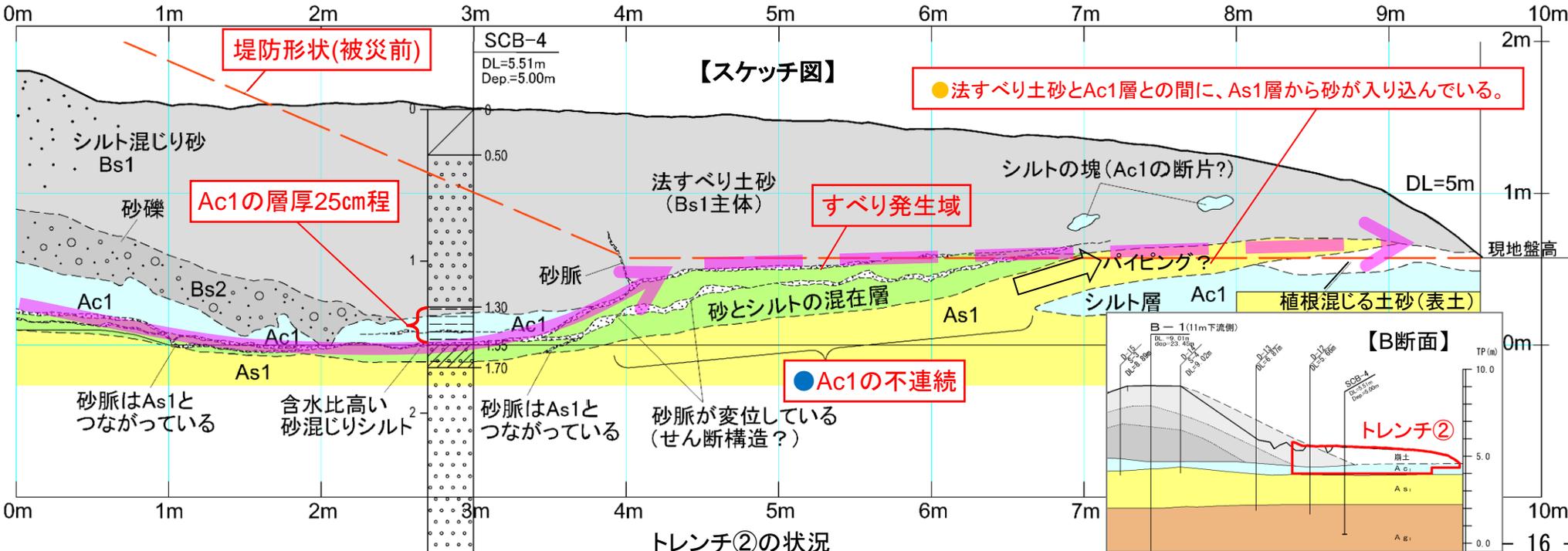
盤下げ部①壁面(正面図)



2.9 基礎地盤部トレンチ (2) トレンチ② 調査結果

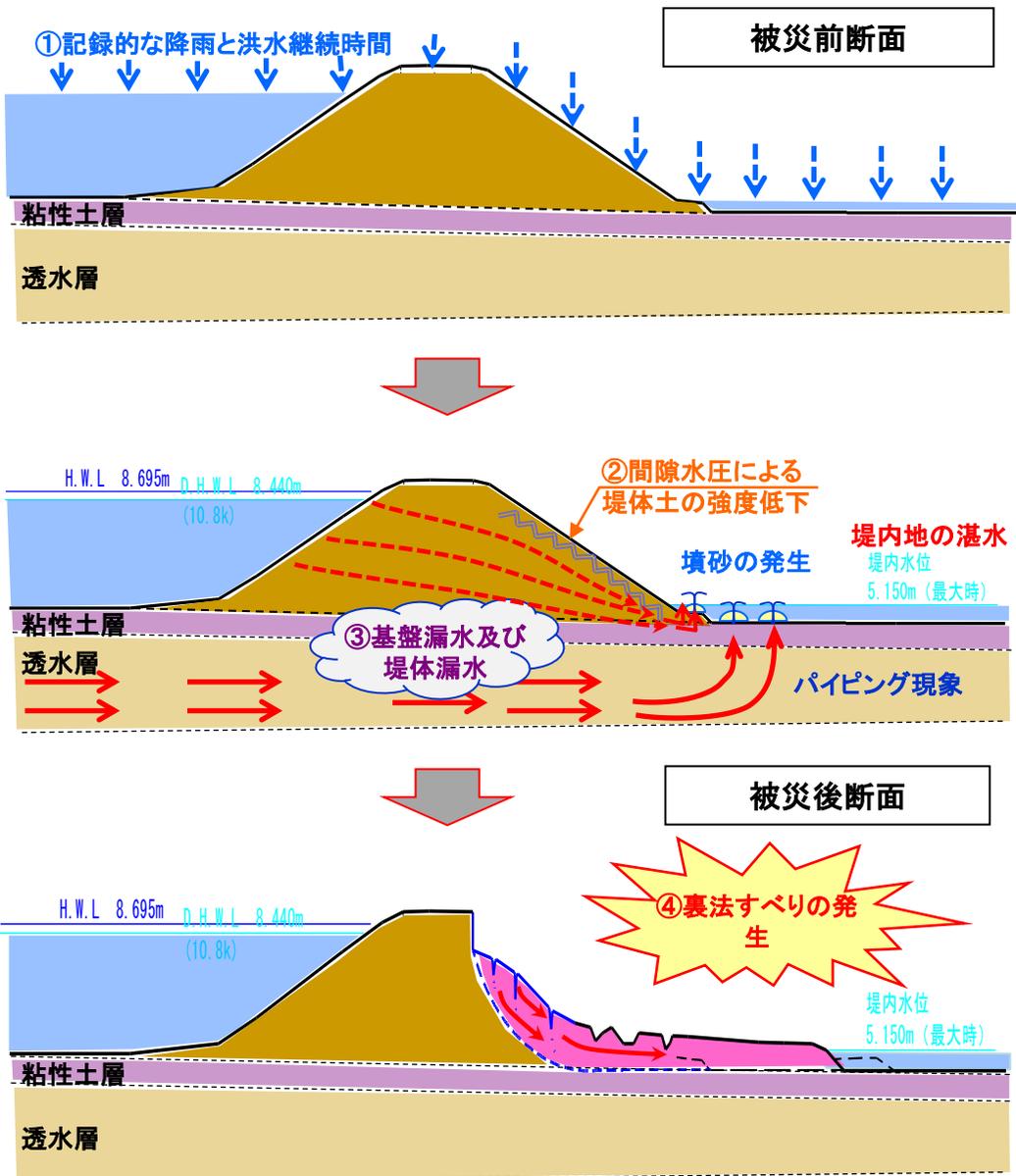
- 基礎地盤トレンチ調査により、すべり破壊がAc1層下面に達していたことが判明した。
 - ①被災箇所法尻部において、Ac1層が不連続 (●) となっており、すべりにより破断されたと解釈される。
 - ②砂とシルトの混在層 (スケッチ図中の緑色着色部) は、すべりによってAc1とAs1との境界付近が乱されて形成されたと考えられる。
- 法すべり土砂とAc1層との間にAs1層の砂が入り込んでいる (●) こと等から、被災時に基礎地盤中の間隙水圧が高かったと考えられる。
- 以上より、被災メカニズムとしては昨年度の想定どおり、パイピングや間隙水圧による土層強度の低下によるすべりの発生と考えられる。

トレンチ②



3.被災要因分析 3.1要因とメカニズムの推定

- 被災要因は、記録的な降雨量と継続時間となり、水位が高い状況が続いたことによる。
- 間隙水圧の上昇により堤体強度が低下したこと、基盤漏水や堤体漏水により法尻部の強度が低下したことによりすべりが発生した。

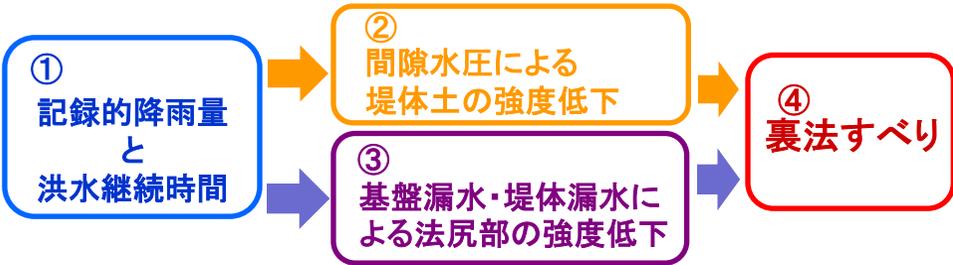


(1) 被災前の施設状況

被災箇所は、秋田県が管理していたS40年代に施工されたもので、現在暫定堤防区間となっている。堤内地は低地であり、洪水毎に湛水を繰り返している地域である。

(2) 被災メカニズム

- ①記録的な降雨量と洪水継続時間
被災発生前の7月3日～10日に約200mmの降雨があり更に11日～13日に200mmの降雨が重なった。堤内地盤より水位が高い状態が延べ56時間続いた。
- ②間隙水圧による堤体土の強度低下
水位上昇により徐々に堤体に浸透し、飽和状態になるとともに間隙水圧が発生し、徐々に堤体の強度が低下したと思われる。
- ③基盤漏水及び堤体漏水による法尻部の強度低下
法尻部及び堤内地には漏水跡・墳砂痕が散在している。
- ④裏法すべりの発生
上記①、②、③の現象により、堤体および法尻部の強度低下が生じ、延長60mの裏法すべりが発生した。



※ ③と④が連鎖しているのか、独立なのか考察が必要！

3.2安定解析

- 被災メカニズムを解明するための1手法として、安定解析を実施した。
- 調査結果より得られた土質強度で安定解析を実施した(①)が、安全率が1以上となった。
- そのため、降雨等に伴う土質強度の低下(粘着力、内部摩擦角)を想定して安定解析を実施した(②)。この場合は安全率が1を下回ったが、すべり面が深くなり現地状況とは合わなかった。
- そこで、堤体にテンションラックを設定した。この場合は安全率1を下回り、すべり面も浅く、現地状況に近づいた。

<被災メカニズムの想定>

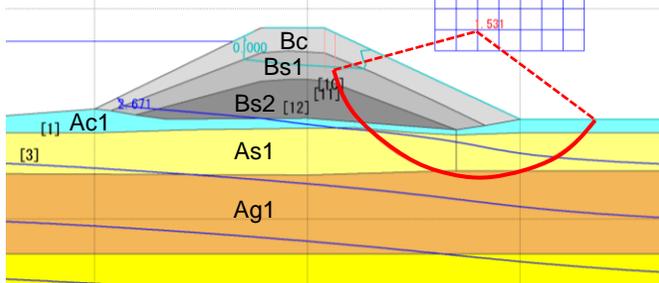
- ・降雨及び河川水の上昇により浸透流が発生。
- ・被災箇所は基礎地盤を形成するAc1層が薄くかつ強度が小さいため激しくパイピングが発生。
- ・パイピングによりすべりが誘発された可能性が高い。
- ・この現象を技術的に解明していくことが重要。

被災メカニズムの考え方については国総研、
土木研究所と相談中

■現地調査結果の反映

①調査結果の土質強度(粘着力等)の精査

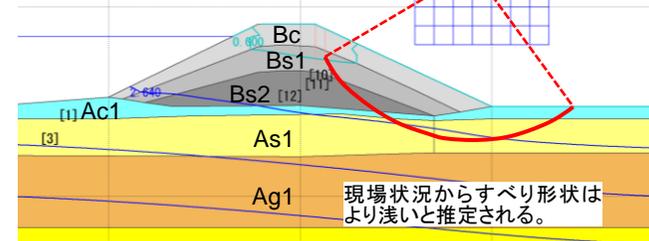
安全率:1.531 > 1.0



②土質の強度低下(粘着力、内部摩擦角)を想定

安全率:0.981 < 1.0

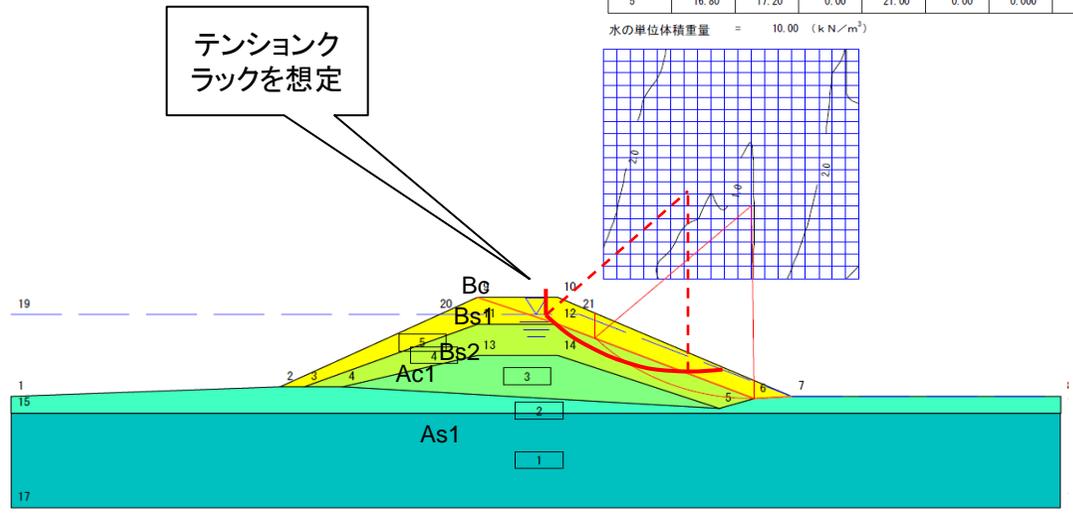
※すべりは発生するが形状が異なる



③想定される被災メカニズム
(土木研究所の指摘)

すべり形状を再現するにあたり、
堤体表層の粘性土にテンションラックを設定することで、再現性は向上する。

テンションラックを想定



最小安全率 F S MIN = 0.877

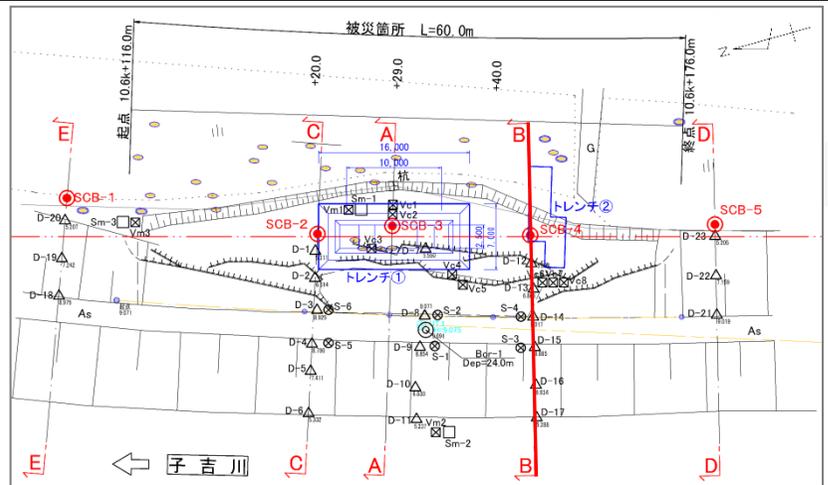
円弧の中心	X	=	17.50	(m)
	Y	=	7.50	(m)
半径	R	=	8.00	(m)
抵抗モーメント	M R	=	372.0	(k N · m)
起動モーメント	M D	=	424.1	(k N · m)

層番号	飽和重量 (k N/m³)	湿潤重量 (k N/m³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (k N/m²)	粘着力の 一次係数	水平震度	鉛直震度
1	19.00	18.00	31.70	5.10	0.00	0.000	0.000
2	16.00	17.00	0.00	20.00	0.00	0.000	0.000
3	18.50	20.00	33.70	6.00	0.00	0.000	0.000
4	18.30	19.30	36.00	0.00	0.00	0.000	0.000
5	16.80	17.20	0.00	21.00	0.00	0.000	0.000

X (m)

3.4地盤モデルの見直し

- 被災メカニズムとしては昨年度の想定どおり、パイピングや間隙水圧による土層強度の低下によるすべりの発生と考えられ、想定すべり面（●）は、昨年度安定解析結果の②（基底破壊）（●）と③（盛土内の破壊）（●）の中間的な位置であったと想定される。
- 今後、簡易ボーリングおよびサウンディング結果（土木研究所実施）による地盤モデルの見直しと、土質試験結果による土層強度の検討を行う方針である。



調査結果より想定されるすべり面

●想定すべり面

●H25 安定解析結果③
・テンションクラックを想定

●H25 安定解析結果②
・土質の強度低下(粘着力、内部摩擦角)を想定

B-B断面

B-1(11m下流側)

DL=9.01m
dep=23.45m

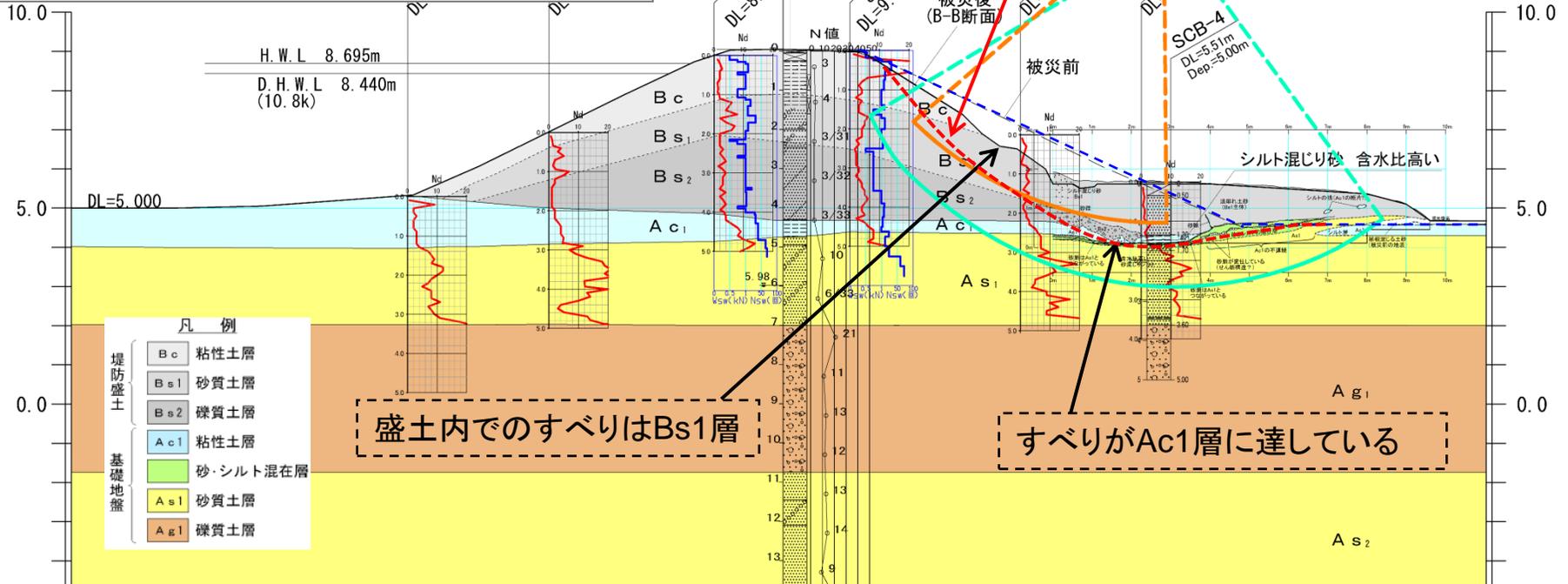
DL=8.89m
DL=6.87m
DL=9.02m

被災後
(B-B断面)

被災前

DL=5.51m
Dep=5.00m

シルト混じり砂 含水比高い



盛土内でのすべりはBs1層

すべりがAc1層に達している

凡例

堤防盛土	Bc	粘性土層
	Bs1	砂質土層
	Bs2	礫質土層
基礎地盤	Ac1	粘性土層
	As1	砂質土層
	Ag1	礫質土層
		砂・シルト混在層

4.まとめと今後の課題

- 子吉川右岸10.8k地点において、平成25年7月の降雨により、パイピングと裏法すべりが発生した。
- メカニズムを解明するために調査を実施した。その結果、被災箇所基礎地盤は、Ac1層(粘性土層)が川表より川裏の方が薄いことが確認できた。また、Ac1層に砂脈やAc1層が被災箇所では分断されていることが確認できた。
- 被災の原因は、基礎地盤の透水層からの浸透によりAc1層の強度が低下した影響やパイピングが生じることでAs1層の弱体化が考えられる。
- 「裏法すべり」および「パイピング」の被災が複合化した可能性がある。ただし、どちらが先に生じたのかについては特定に至っていない。
- 今後、地盤モデルの見直し、実施中の土質試験結果や解析によるアプローチで、メカニズム解明の精度を上げていきたい。