

第2回 鬼怒川堤防調査委員会資料

平成27年10月5日

国土交通省 関東地方整備局

目 次

1. 第1回委員会のまとめ	p.1
(1) 第1回委員会のまとめ	p.2
(2) 堤防決壊のメカニズムについて	p.3
2. 被災メカニズムの検証(越水)	p.4
(1) 巡視員等からの聞き取り調査結果	p.5～p.6
(2) 近隣住民の方からの情報	p.7
(3) 堤防決壊状況の時系列再整理	p.8
3. 被災メカニズムの検証(浸透)	p.9
(1) 浸透(法すべり、パイピング)に関する検討の流れ	p.10
(2) 決壊区間近傍の噴砂(21.5k)	p.11
(3) 決壊区間近傍の噴砂(20.27k)	p.12
(4) 決壊区間近傍の噴砂(20.15k)	p.13
(5) 地質調査位置	p.14
(6) 地質縦断図	p.15
(7) 地質横断図(上流端部)	p.16
(8) 地質横断図(下流端部)	p.17
(9) 比高及び被覆土層厚の縦断分布	p.18
(10) 決壊区間の地質構成(推定)	p.19
(11) 浸透に対する安全性評価	p.20～p.21
4. 決壊原因の特定	p.22
(1) 決壊原因の特定	p.23～p.24
(2) 堤防決壊のプロセス	p.25～p.26
5. その他の被災箇所(前回委員会指摘事項への回答)	p.27
(1) 鬼怒川全川の被災状況	p.28
(2) 被災状況の整理	p.29～p.31
(3) エアブローの発生メカニズム	p.32
参考資料	p.33
(1) 堤防の安全性照査について	p.34

1. 第1回委員会のまとめ

(1)第1回委員会のまとめ

これまでの調査結果から分かったこと

越水

- 鬼怒川流域で記録的大雨があり、鬼怒川の水位が大きく上昇した。
- 決壊区間で越水が確認された。(越流水深約20cm(推定値))
- 決壊区間で川裏の法尻部の洗掘が確認された。
- 決壊区間の法尻から堤体直下にかけて落堀が確認された。

浸透

- 水海道雨量観測所で3日雨量約200mmの雨量を観測した。
- 決壊区間の上下流約500m離れた地点で、噴砂が複数箇所確認された。
- 堤体については、決壊区間上流端部では、緩い砂質土が粘性土で覆われた構造、下流端部では、粘性土が主体となった構造であることが確認された。
- 基礎地盤については、川裏側に粘性土が5m程度の層厚で堆積し、その下層に砂質土が存在していることが確認された。

侵食

- 決壊区間の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できない。
- 高水敷上の侵食の痕跡は確認できない。
- 高水敷上の植生は倒伏しているが、流失していない。

推定される堤防決壊の原因(案)及び追加的に確認が必要な事項

【越水による堤防決壊の可能性について】

- 越水による川裏の洗掘が決壊原因の一つであると推定される。

【浸透による堤防決壊の可能性について】

- 浸透については、堤体の一部を構成する砂質土が原因となるパイピングや法すべりの可能性も排除できないと考えられる。

(今後の調査)

- ・堤体や基礎地盤の詳細な調査や検討を実施。

【侵食による堤防決壊の可能性について】

- 侵食については、川表の侵食が確認されておらず、決壊原因の一つである可能性は小さいと推定される。

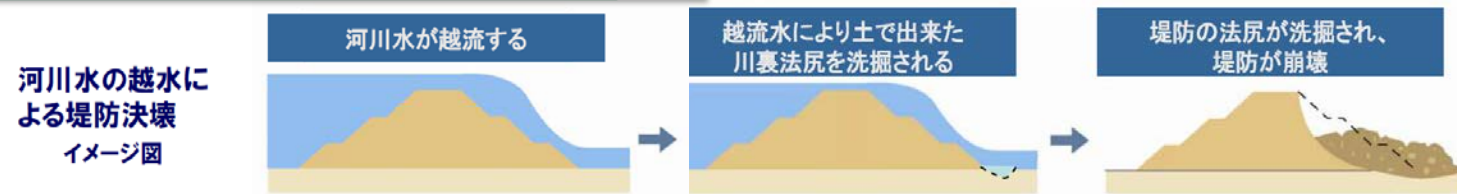
【その他】

- 全川に渡る調査や決壊のプロセスについて、資料の整理が必要。

(2)堤防決壊のメカニズムについて

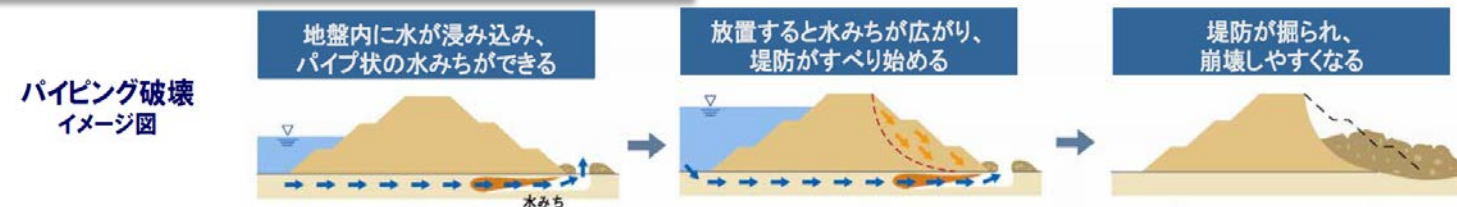
- 堤防決壊のメカニズムを大きく分類すると下記のとおりです。
- なお、複合的な要因となる場合も多いことに留意が必要です。

河川水の越水による堤防決壊



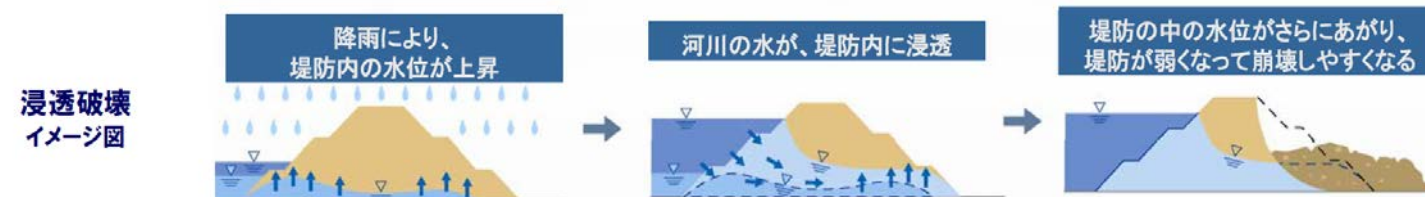
- ・河川水が堤防を越流する。
- ・越流水により土で出来た川裏(河川と反対側)の法尻が洗掘される。
- ・堤防の裏法尻や裏法が洗掘され、最終的に崩壊に至る。

河川水の浸透による堤防決壊



【パイピング破壊】

- ・高い河川水位により地盤内に水がしみ込み、川裏側まで水の圧力がかかることにより、川裏側の地盤から土砂が流出し、水みちができる。
- ・土砂の流出が続き、水みちが拡大して、堤防が落ち込み、最終的に崩壊に至る。



【浸透破壊】

- ・降雨や高い河川水位により水が浸透し、堤防内の水位が上昇する。
- ・堤防内の高い水位により、土の強さ(せん断強度)が低下し、川裏側の法面がすべり、最終的に崩壊に至る。

河川水の侵食・洗掘による堤防決壊



- ・河川水により堤防の河川側が侵食・洗掘される。
- ・河川水による侵食・洗掘が続き、最終的に崩壊に至る。

2. 被災メカニズムの検証(越水)

(1) 巡視員等からの聞き取り調査結果

■決壊前後に決壊区間周辺の河川巡視を行っていた国土交通省職員、河川巡視員、状況把握員から、当時の様子について聞き取り調査を行った。

国土交通省職員からの聞き取り①

- ・11時10分頃、内水排水ポンプ車で決壊区間の上流側から下流側へ堤防天端を走行。(通り抜け)
- ・越水を確認したため、鎌庭出張所へ立ち寄り報告。



状況把握員からの聞き取り

- ・12:00頃、決壊区間の上流側から下流側へ堤防天端を走行、越水開始直後と思っていたが、徐々に深くなり不安になった。(通り抜け)
- ・越水深は深いところで地上から車体底部までの高さと同様くらいと感じた。(後日、ライトバンの地上から車体底部までの高さを計測:約20cm)
- ・堤防裏法面は洗堀が始まった直後と感じた。



(1) 巡視員等からの聞き取り調査結果

河川巡視員からの聞き取り

- ・11:50頃 河川巡視中、県道谷和原筑西線を通過時に道路冠水の異常を発見。
- ・12:05頃 決壊区間上流の坂路から堤防天端に上がり、越水を確認。



国土交通省職員からの聞き取り②

- ・川裏から川表に削れて、この現象が上流へ広がって来た。
- ・微震動が有り、先端には近づけなかった。
- ・法面の草が堤防天端に向かって倒れており、上流も越水したと感じた。
- ・水は、けやきの木を巻いて下流側へ流れていた。
- ・現場からは木があって宅地側の状況は見えなかった。



(2)近隣住民の方からの情報

- 決壊区間の近隣住民の方から、決壊した頃に撮影された映像をご提供いただくとともに当時の様子を聞くことができた。
- ご提供いただいた映像に記録されている氾濫水の状況を比較しても、撮影開始から終了までの約20分間程度の際に決壊による氾濫水の急激な変化が確認できる。
- 21k下流付近で堤防が決壊した頃、21k上流付近の堤防天端舗装面からの越水により、川裏の堤体が流失していることが確認された。



(1階で撮影)



(2階で撮影)

①居住地側の氾濫水の状況



(1階で撮影)



(2階で撮影)

②車庫周辺の水位上昇状況



近隣住民の方からの聞き取り

- ・家屋の1階で撮影していたが、危なくなったので2階で撮影した。
- ・撮影した時間は、良く覚えていない。大変だと思ってちょうど息子に聞いたらビデオがあるというので撮影した。
(11時半頃から12時頃と思うとの回答あり)
- ・撮影時に地鳴りなどは感じなかったが、水が入ってきて、危なくなったので二階へ避難しているときに下流側が破堤したようだ。
(1階から2階へ上がり撮影するまでの時間は10～20分程度と思う)
- ・堤防の崩れ方などに、印象に残っていることはないが、最初は堤防からまっすぐ流れて1本のけやきの木は残っていた。
(その後流出)
その後上流側(家の裏のけやきの木(洪水後も残っている)の方から水が流れてきて、下流を見たら、幅が広いので少し強い状況で下流も水が流れていた。
- ・越水は自分の家の前から始まったと思っていたが、下流側の方が少し強いように思われた。家の前の道路の水がすごくて、あまり他のことは見ていない。
- ・水の流れは、家の前の道路に集まって、強い勢いで流れていた。車もダメだと思った。家の中には50cmくらい土砂がたまり、水位は1.5m位まできた。
- ・早くボランティアを呼んで片付けをしたかったが、道路が無く一番最後になった。
- ・下流側が切れた後は、自衛隊のヘリに救助された。(親子3人)



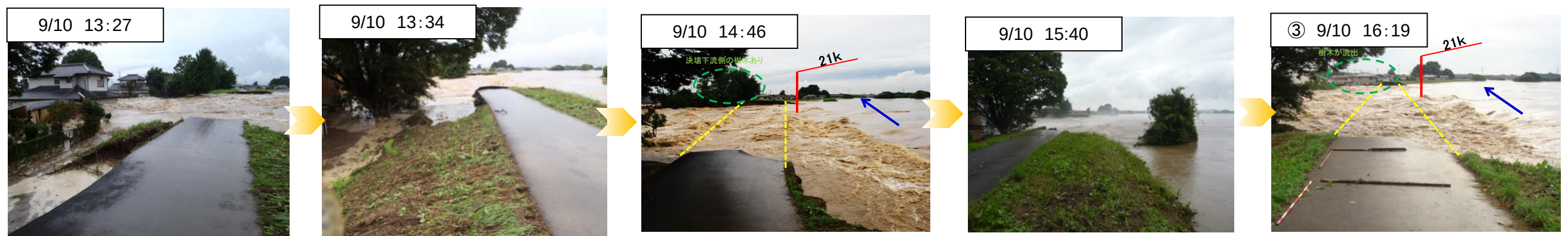
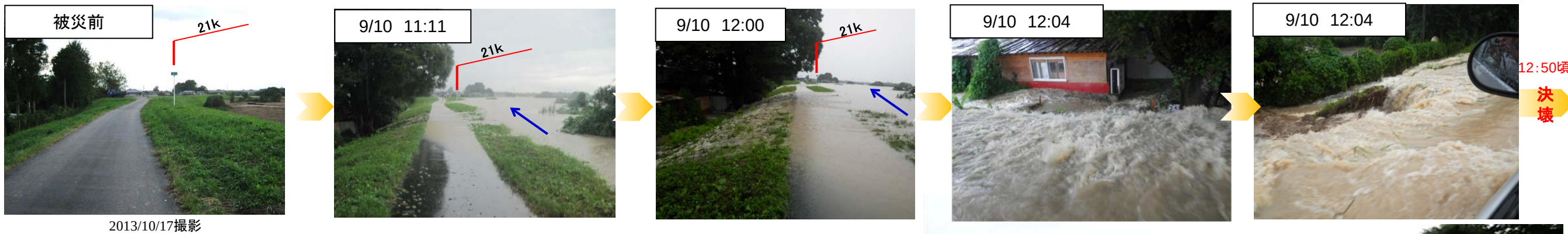
(2階で撮影)

③21k付近の堤防状況

※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となる可能性がある。

(3)堤防決壊状況の時系列再整理

■聞き取り調査等の情報を踏まえ、堤防決壊前後の時系列変化を再整理した。



※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。

3. 被災メカニズムの検証(浸透)

(1)浸透(法すべり、パイピング)に関する検討の流れ

- 噴砂、パイピングの発生に大きな影響を及ぼす比高差について、噴砂の発生が報告された箇所と決壊区間で調査した。
- 決壊区間周辺においてボーリング調査等を実施し、流失した決壊区間の地質構成を推定するとともに、浸透流解析を行い、浸透(法すべり、パイピング)による堤防決壊の可能性を調査した。

前回のまとめ

【浸透(法すべり)】

- ・ 決壊区間で、浸透によって、法面がすべった可能性は排除できない。

【浸透(パイピング)】

- ・ 決壊区間から上流約500m、下流約800m離れた地点で噴砂が確認された。
- ・ 決壊区間については、浸透によって、堤体内の一部を構成する砂質土(As1層)が原因となるパイピングが発生した可能性は排除できない。

今回の検討

- ・ 追加の地質調査を実施 (ボーリング調査13箇所、スウェーデン式サウンディング29箇所等)
- ・ 追加地質調査をもとに、決壊区間の堤体及び決壊区間周辺の基礎地盤の地質構成を推定

【浸透(法すべり)】

- ・ 追加地質調査結果に基づき、①決壊箇所上流端部、②決壊箇所下流端部、③決壊区間21k地点の3断面で、浸透の可能性について浸透流解析等を実施。

【浸透(パイピング)】

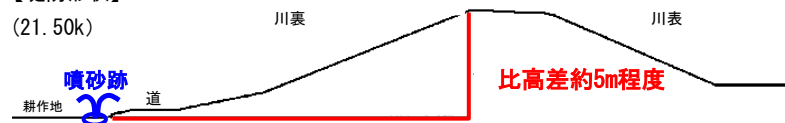
- ・ 噴砂が確認された地点、決壊区間における比高差を確認。
(※比高差:堤防天端の高さと堤内地盤高の差)
- ・ 追加地質調査結果に基づき、①決壊箇所上流端部、②決壊箇所下流端部、③決壊区間21k地点の3断面で、浸透の可能性について浸透流解析等を実施。

(2)決壊区間近傍の噴砂(21.5k)

- 決壊区間上流21.5k付近の比高差は5m程度であり、被覆土層の層厚は70cm程度であった。
- 決壊区間上流21.5k付近の噴砂跡のサンドパイプは鉛直方向に伸び基礎地盤の砂質土につながっており、サンドパイプの先端に空洞は存在していないことが確認された。
- 噴砂は、基礎地盤の砂質土層から噴出した砂と推定され、基礎地盤漏水の可能性がある。

21.5k付近の堤防形状

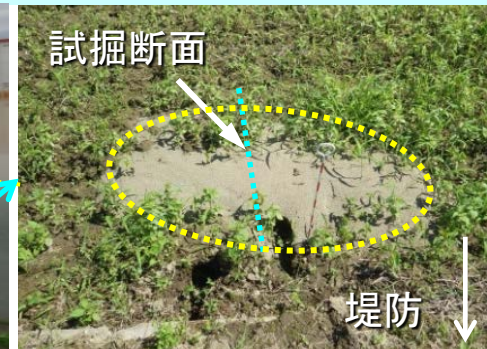
【堤防形状】
(21.50k)



21.5k付近の漏水



9/10 撮影



噴砂跡



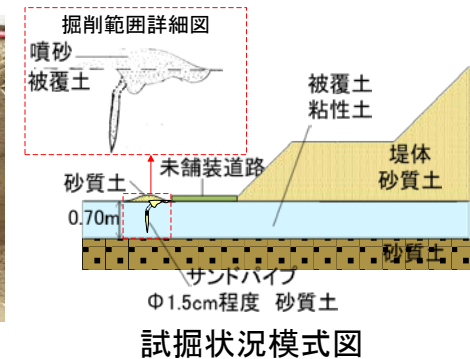
試掘調査



試掘調査



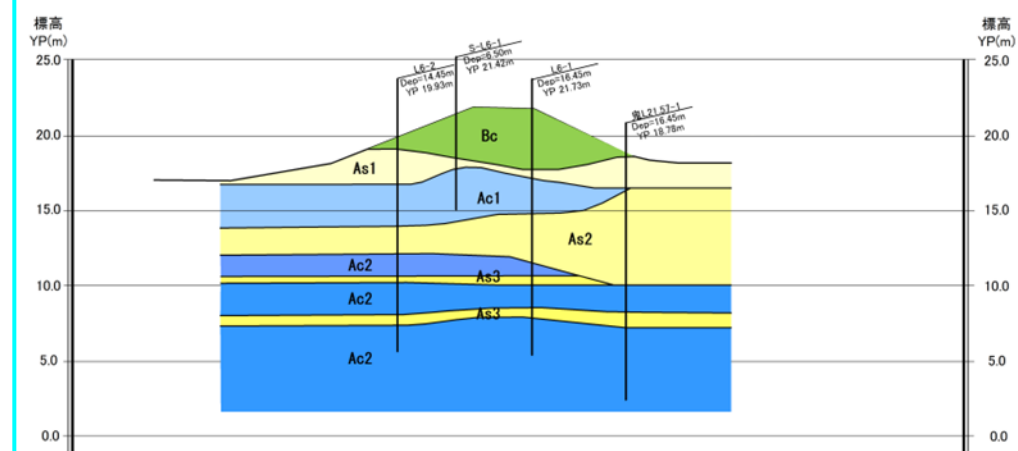
試掘調査



治水地形分類図



【参考】地質横断図(21.6k)※既往調査結果より推定

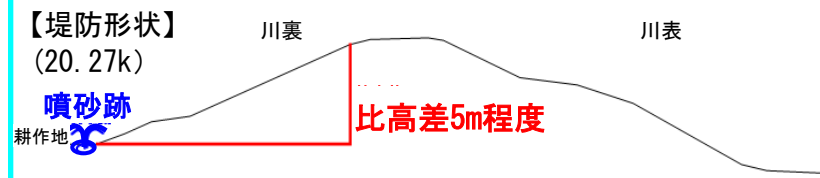


※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となる可能性がある。

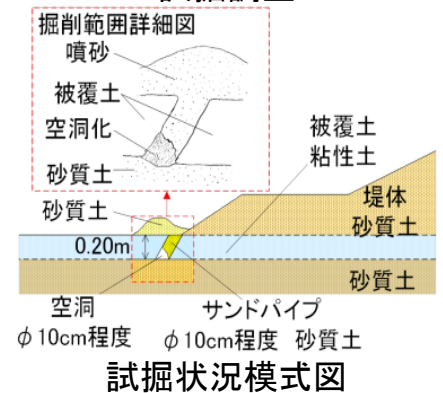
(3) 決壊区間近傍の噴砂(20.27k)

- 決壊区間下流20.27k付近の比高差は5m程度であり、被覆土層の層厚は20cm程度であった。
- 決壊区間下流20.27k付近の噴砂跡のサンドパイプは下方に伸び基礎地盤の砂質土につながっており、サンドパイプの先端は空洞化していることが確認された。
- 噴砂は、基礎地盤の砂質土層から噴出した砂と推定され、基礎地盤漏水の可能性がある。

20.27k付近の堤防形状



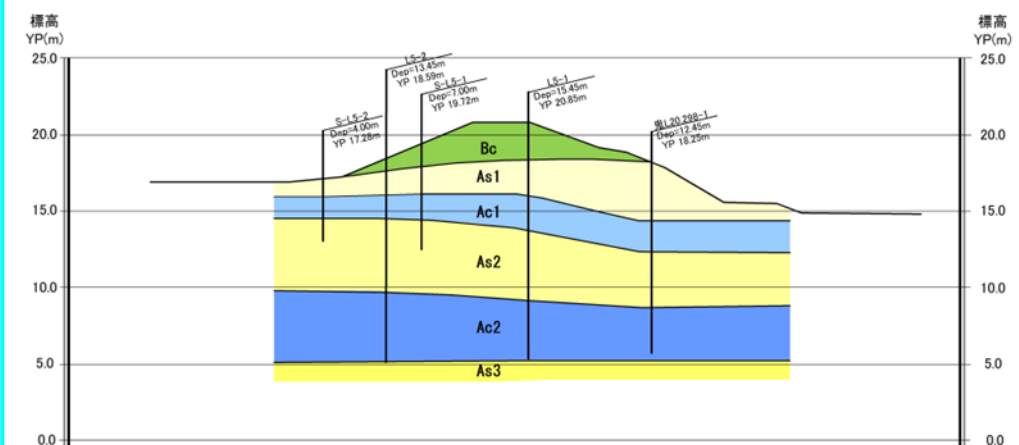
20.27k付近の漏水



治水地形分類図



【参考】地質横断図(20.3k)※既往調査結果より推定

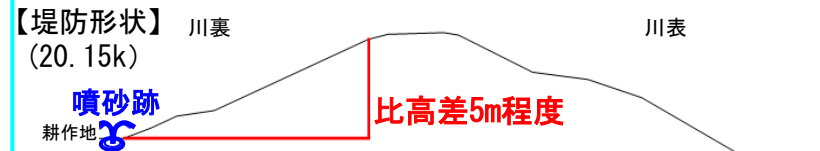


※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。

(4)決壊区間近傍の噴砂(20.15k)

- 決壊区間下流20.15k付近の比高差は5m程度である。被覆土層の層厚は2m以上であった。
- 決壊区間下流20.15k付近の噴砂跡のサンドパイプは斜め下方に伸びており、サンドパイプの先端は空洞化していることが確認された。
- 噴砂は、砂質土で構成される堤体から噴出した砂と推定される。

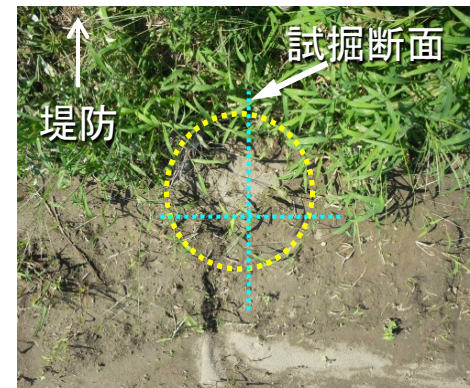
20.15k付近の堤防形状



20.15k付近の漏水



噴砂跡



噴砂跡



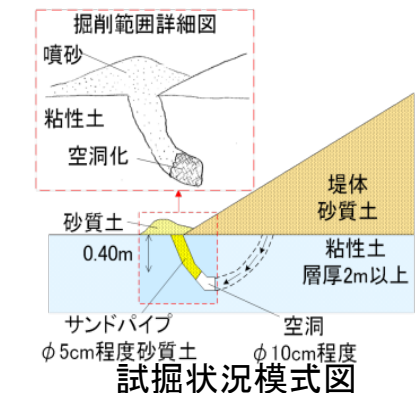
試掘調査



試掘調査



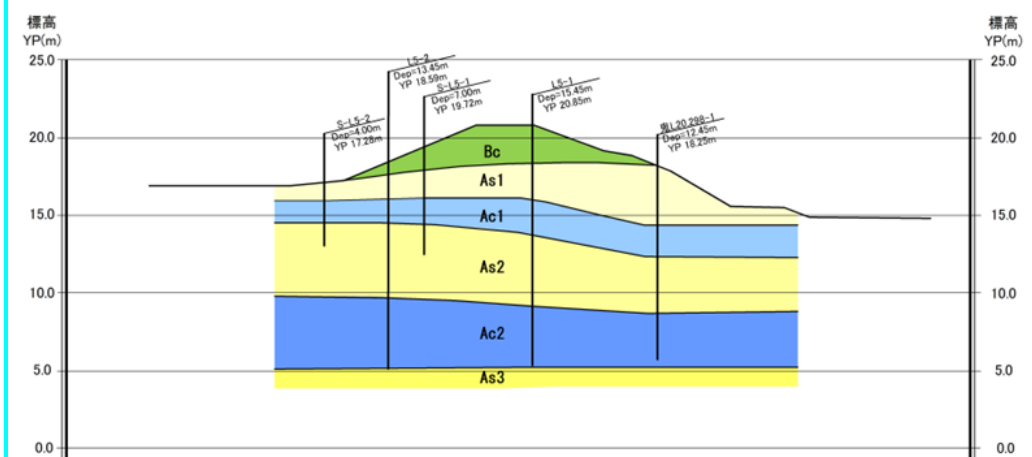
試掘調査



治水地形分類図



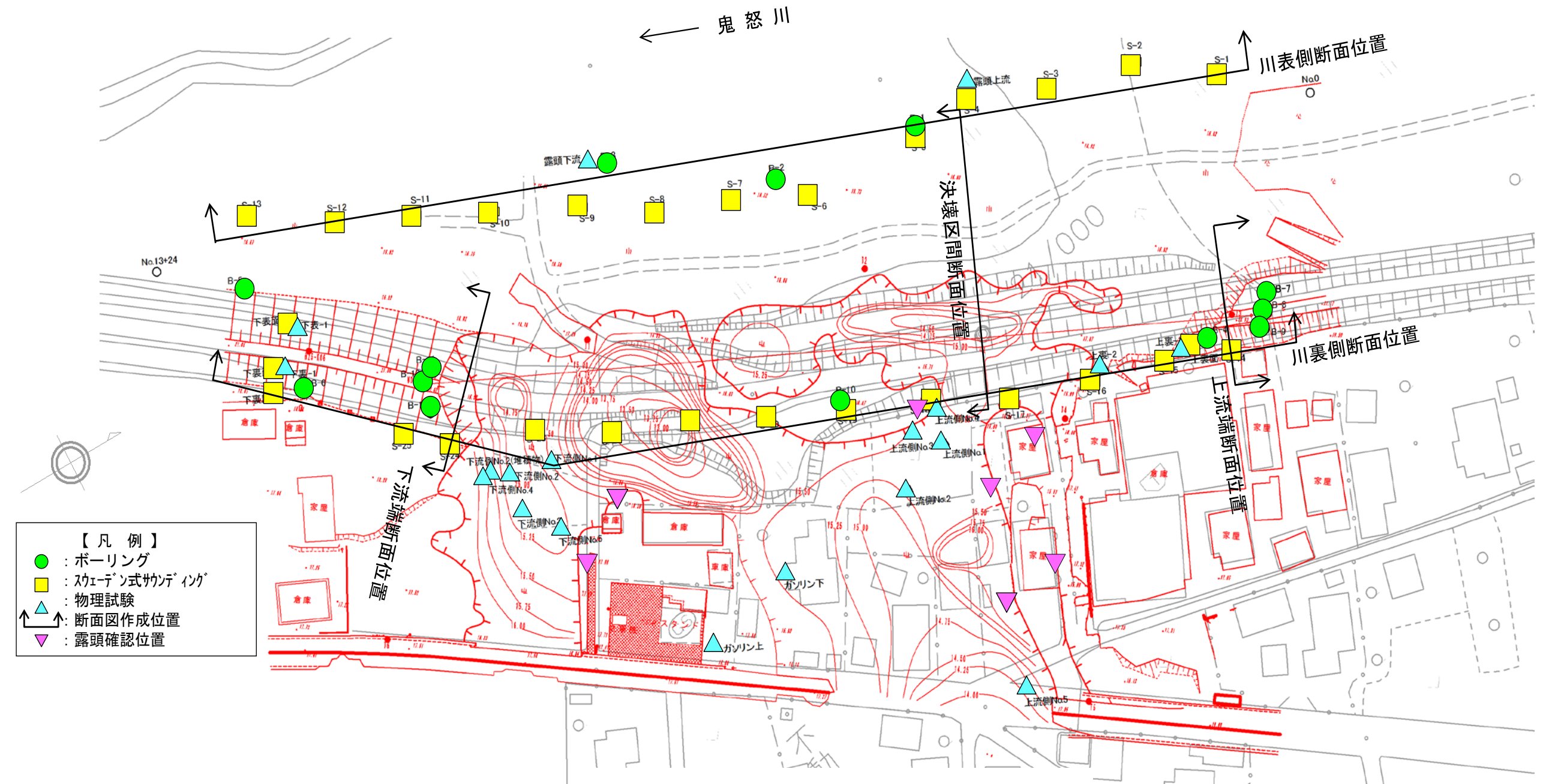
【参考】地質横断図(20.3k)※既往調査結果より推定



※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。

(5)地質調査位置

- 流失した決壊区間の基礎地盤や堤体の地質構成を推定するために、決壊区間及びその周辺の地質調査を実施した。
- 地質調査は、決壊面のスケッチ調査、ボーリング調査、サウンディング調査、室内土質試験等を実施した。

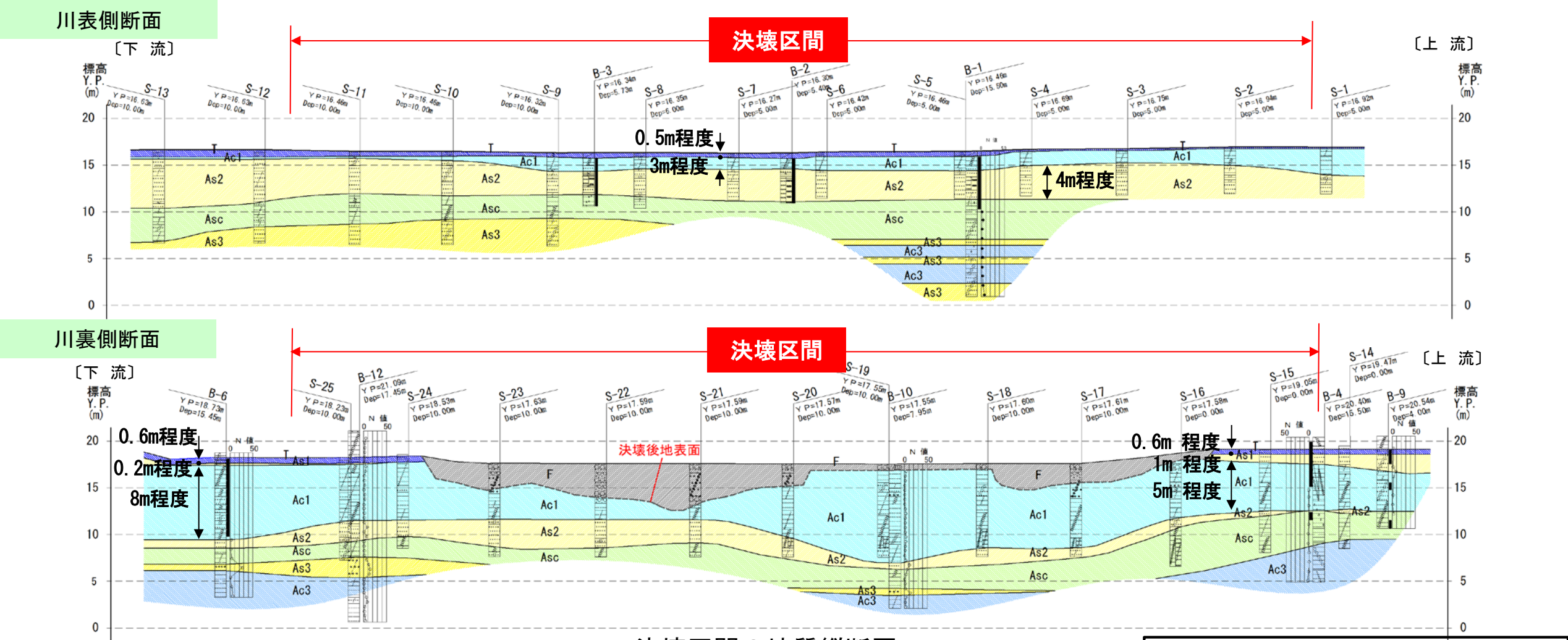


決壊区間の調査箇所平面図

※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。

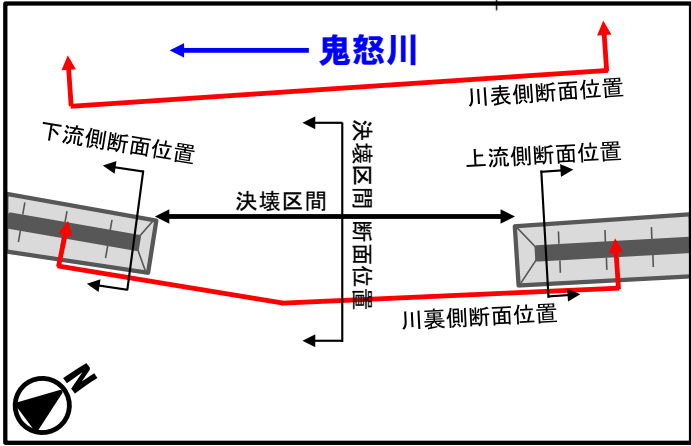
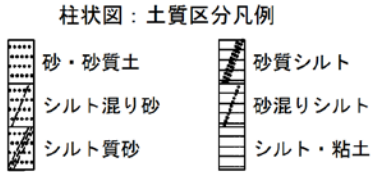
(6)地質縦断図

- 決壊区間の川表側高水敷の地質構成は、地表よりやや硬質な粘性土が0.5m程度、3m程度の粘性土層が覆い、その下位に4m程度の砂質土層が堆積し、その下位に粘性土層が確認された。
- 決壊区間の川裏側堤体法尻付近の地質構成は、上流側では地表0.6m程度を粘性土層が覆い、その下位に1m程度の砂質土層、5m程度の粘性土層が確認された。下流側では地表0.6m程度を粘性土層が覆い、その下位に0.2m程度の砂質土層、8m程度の粘性土層が確認された。その下位に砂質土層が堆積している。



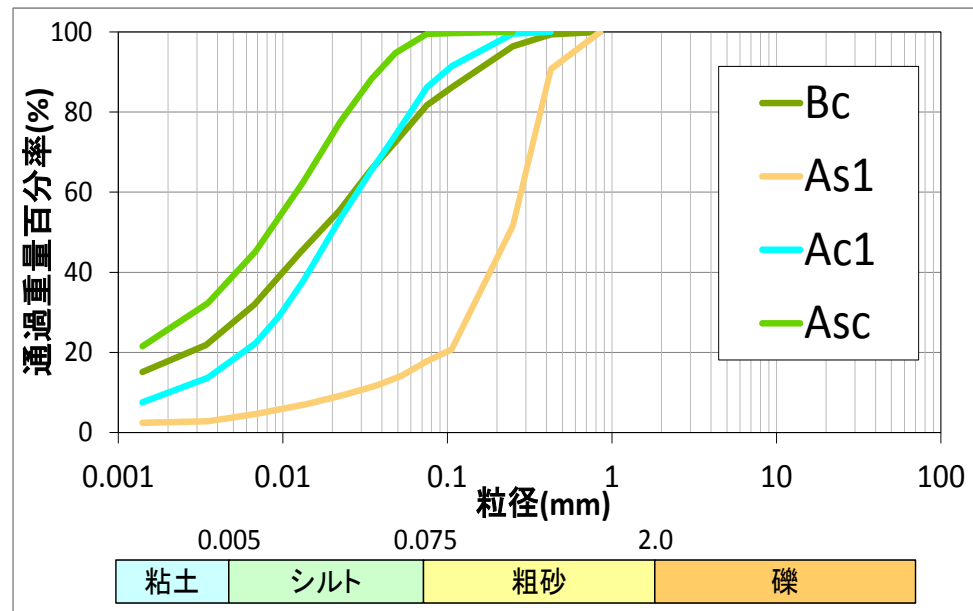
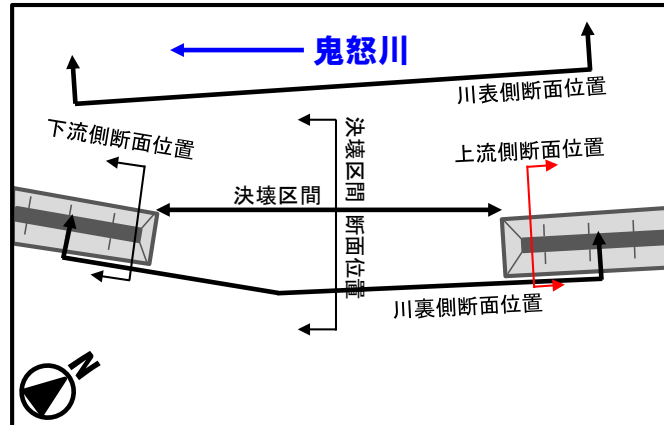
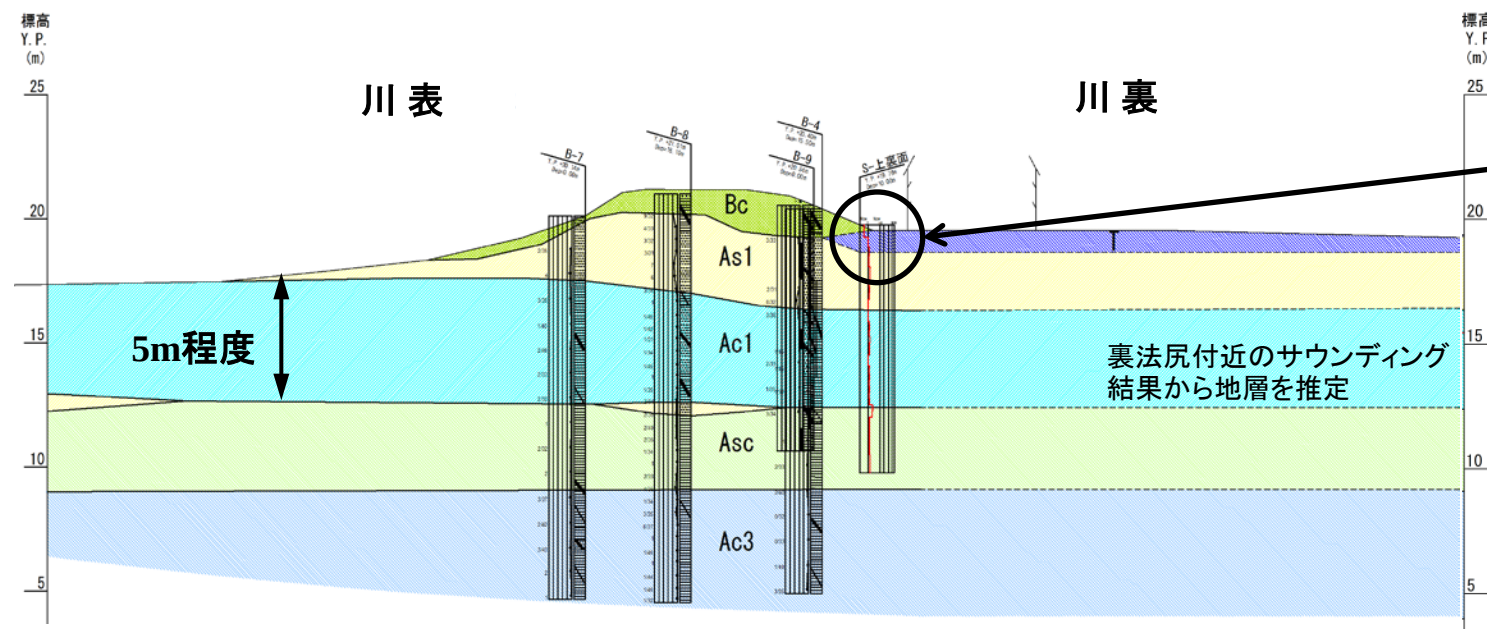
決壊区間の地質縦断図

地質層序表			
地質時代	地層名	土質名	記号
新第四紀	現世	堤体	粘性土 Bc
			砂質土 Bs
		埋戻土	礫質土 F
	完新世	表土	粘性土 T
		沖積層	砂質土 As1
			粘性土 Ac1
			砂質土 As2
			中間土 Acs
			砂質土 As3
			粘性土 Ac3



(7)地質横断図(上流端部)

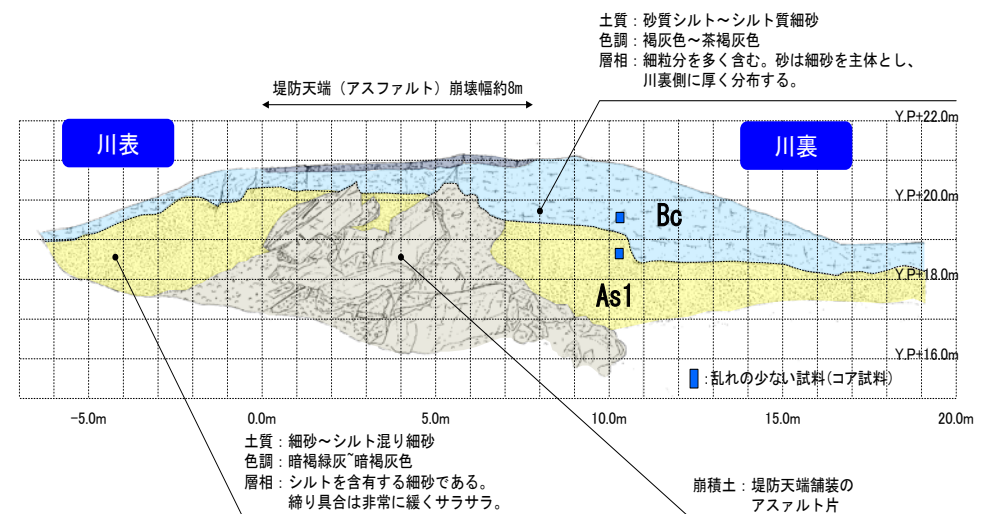
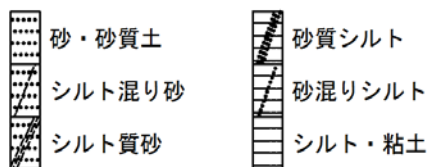
- ボーリング調査より、崩積土によって遮蔽されていた部分の地質構成が明らかとなった。また、法尻でのサウンディングにより深度1mより砂質土と推定した。
- 堤体については、緩い砂質土が粘性土で覆われた地質構成であることが確認された。また、緩い砂質土は川表側から川裏側に連続していることが確認された。
- 基礎地盤については、川表から川裏側にかけて粘性土が5m程度の層厚で堆積し、その下位に砂質土が存在していることが確認された。



粒径加積曲線図

地質層序表			
地質時代	地層名	土質名	記号
新 第 生 四 代 完 紀 新 世	堤 体	粘性土	Bc
		砂質土	Bs
		埋戻土	F
	表 土	粘性土	T
		砂質土	As1
		粘性土	Ac1
		砂質土	As2
		中間土	Acs
		砂質土	As3
		粘性土	Ac3

柱状図：土質区分凡例

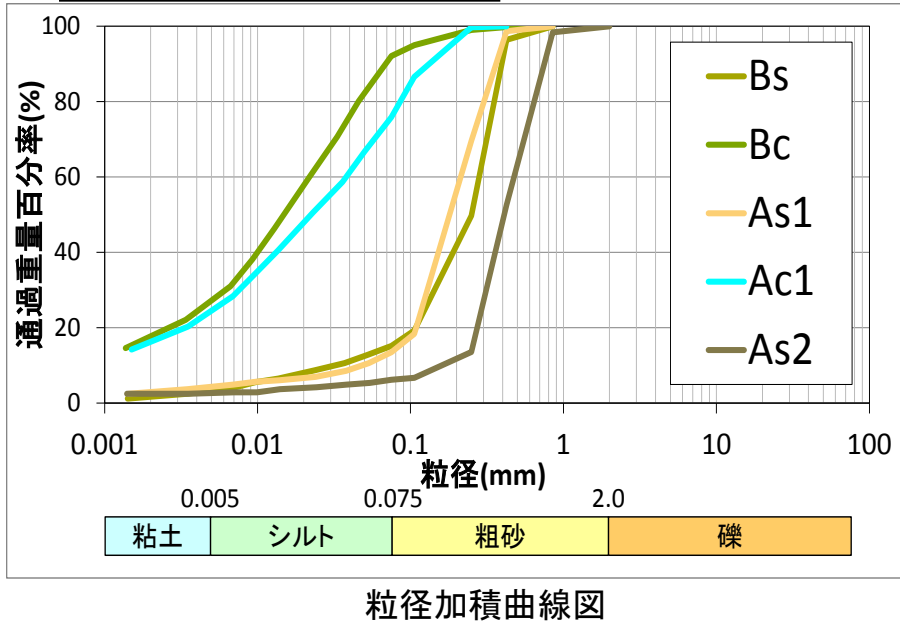
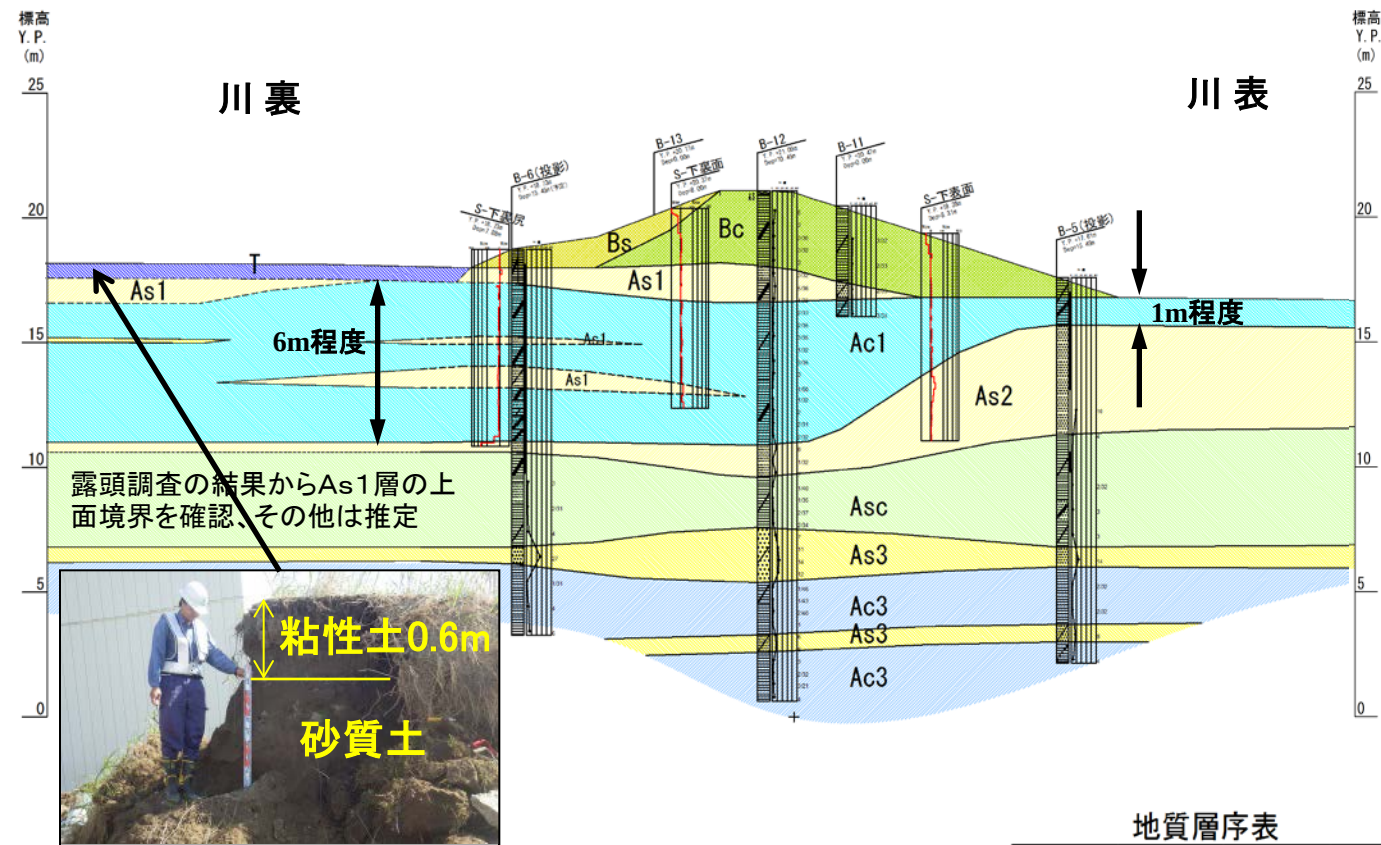


撮影日：平成27年9月11日

決壊した堤防断面調査結果

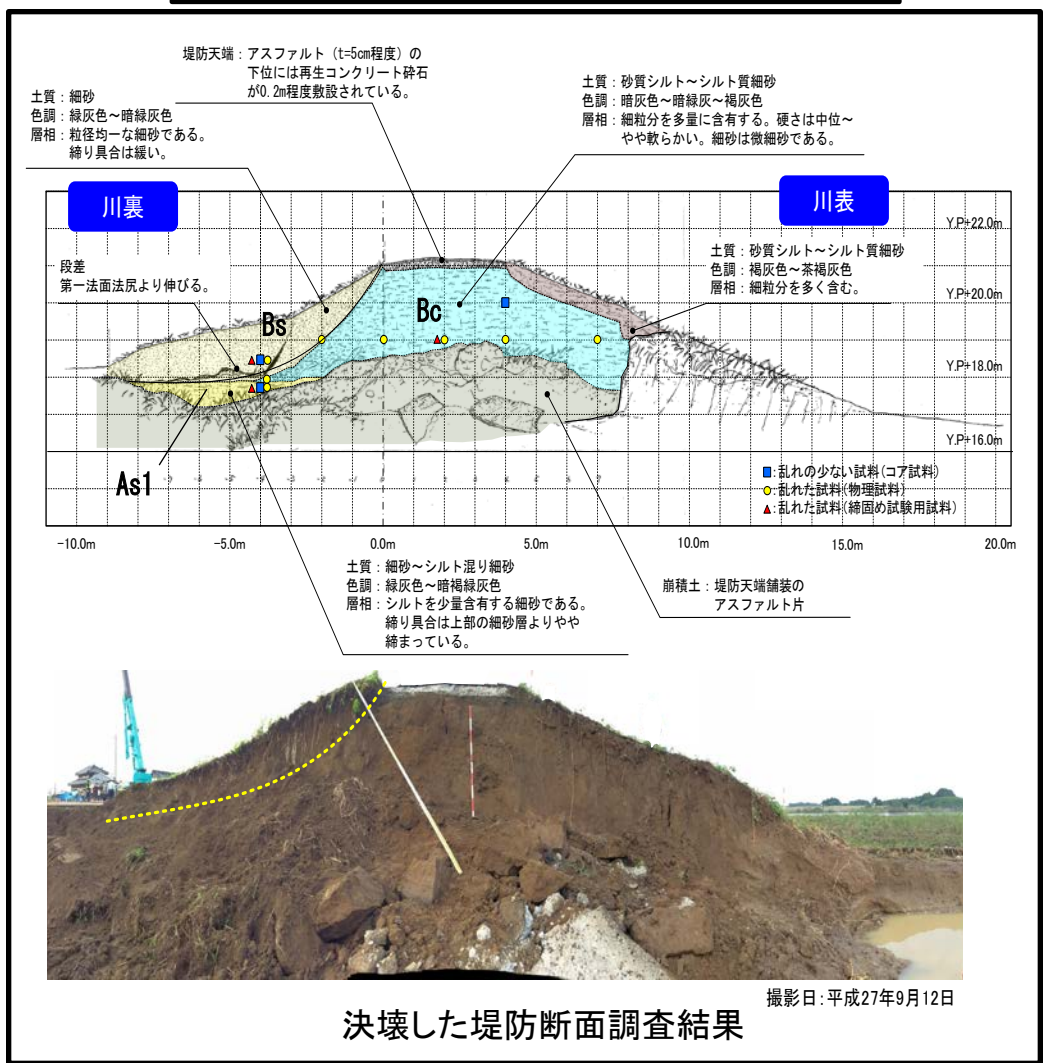
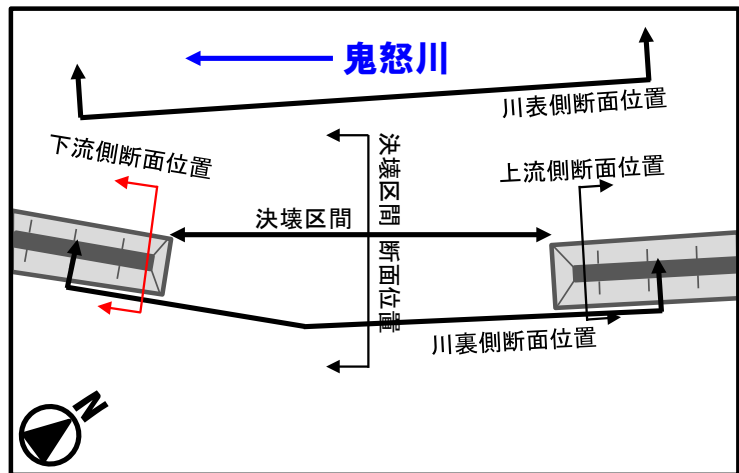
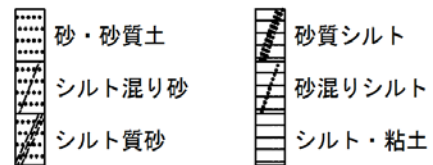
(8)地質横断図(下流端部)

- ボーリング調査により、崩積土によって遮蔽されていた部分の地質構造が明らかとなった。また、川裏側の露頭調査を実施し、表土の厚さ、As1層との境界を確認した。
- 堤体については、粘性土が主体となった地質構成であることが確認された。また、堤体中央の粘性土の下層に緩い砂質土の存在が確認された。
- 基礎地盤については、粘性土が川表側では1m程度、川裏側では6m程度の層厚で堆積していることが確認された。



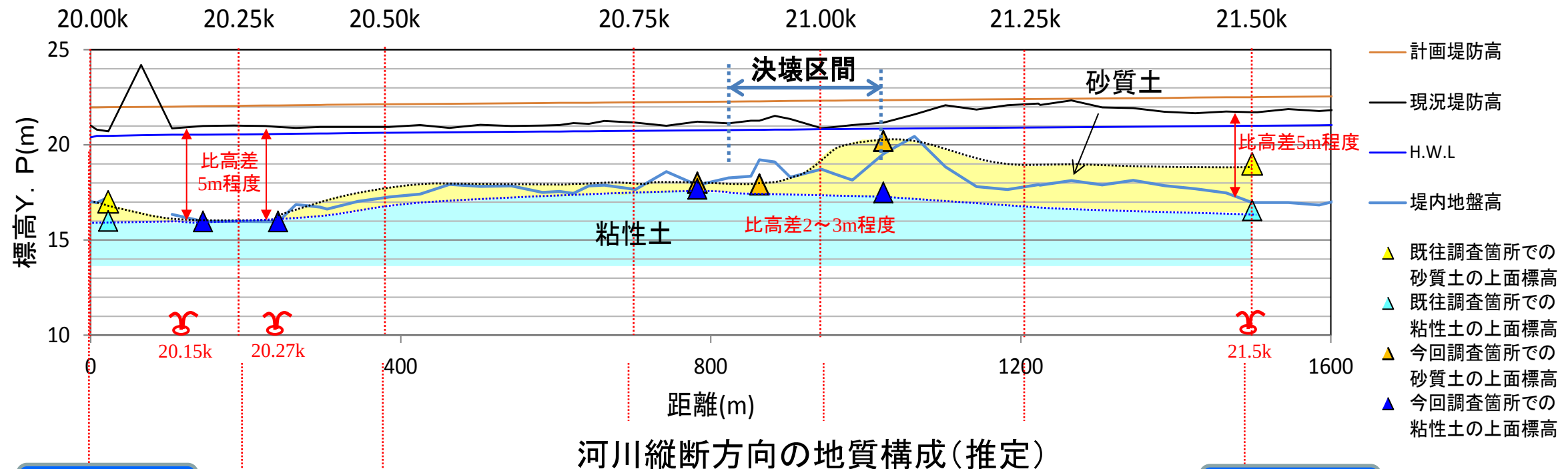
地質層序表			
地質時代	地層名	土質名	記号
新 生 代 紀	現 世	堤 体	粘性土 Bc
			砂質土 Bs
		埋戻土	礫質土 F
	完 新 世	表 土	粘性土 T
		沖積層	砂質土 As1
			粘性土 Ac1
			砂質土 As2
			中間土 Acs
			砂質土 As3
			粘性土 Ac3

柱状図：土質区分凡例

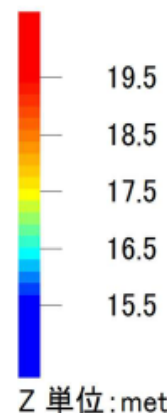


(9)比高及び被覆土層厚の縦断分布

- 地質調査結果より、決壊区間近傍の噴砂箇所の堤防高と堤内地盤高の比高差が5m程度に対し、決壊区間の比高差は2～3m程度であることが確認された。
- 緩い砂質土(As1)を被覆する粘性土(Bc及びT)の層厚は、決壊区間の周辺では0.2～1m程度であり、変化していることが確認された。
- 緩い砂質土層は、粘性土層の上位に堆積し、決壊区間を境に上流側で厚く分布していると推定され、その上面は堤内地盤高と概ね一致する傾向にある。



標高凡例(Y.P.)



出典:【標高段彩図:
平成18年関東地整全域LP】

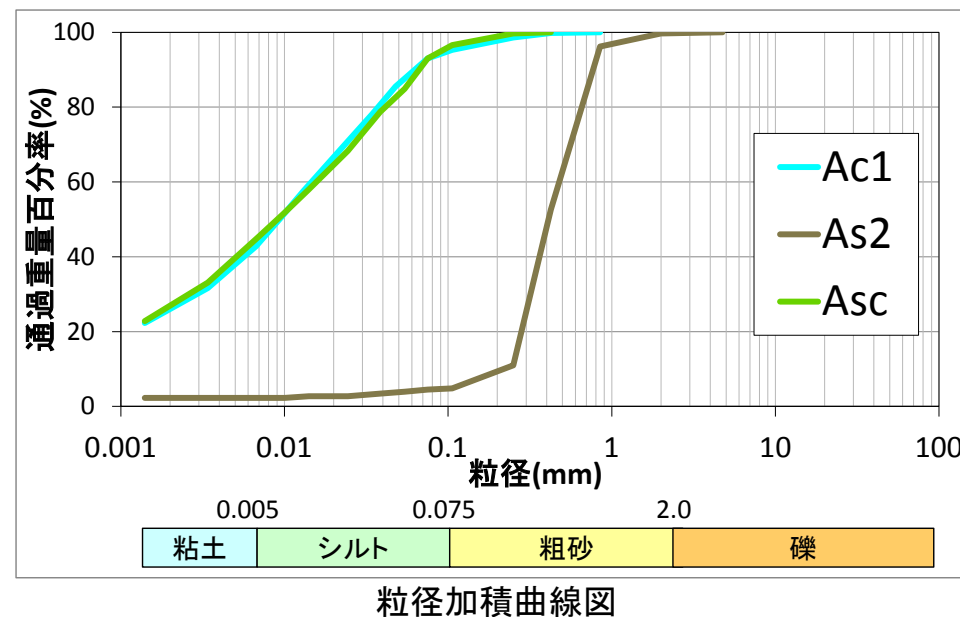
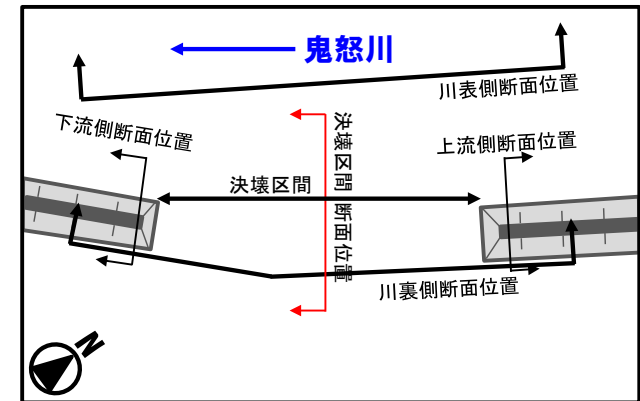
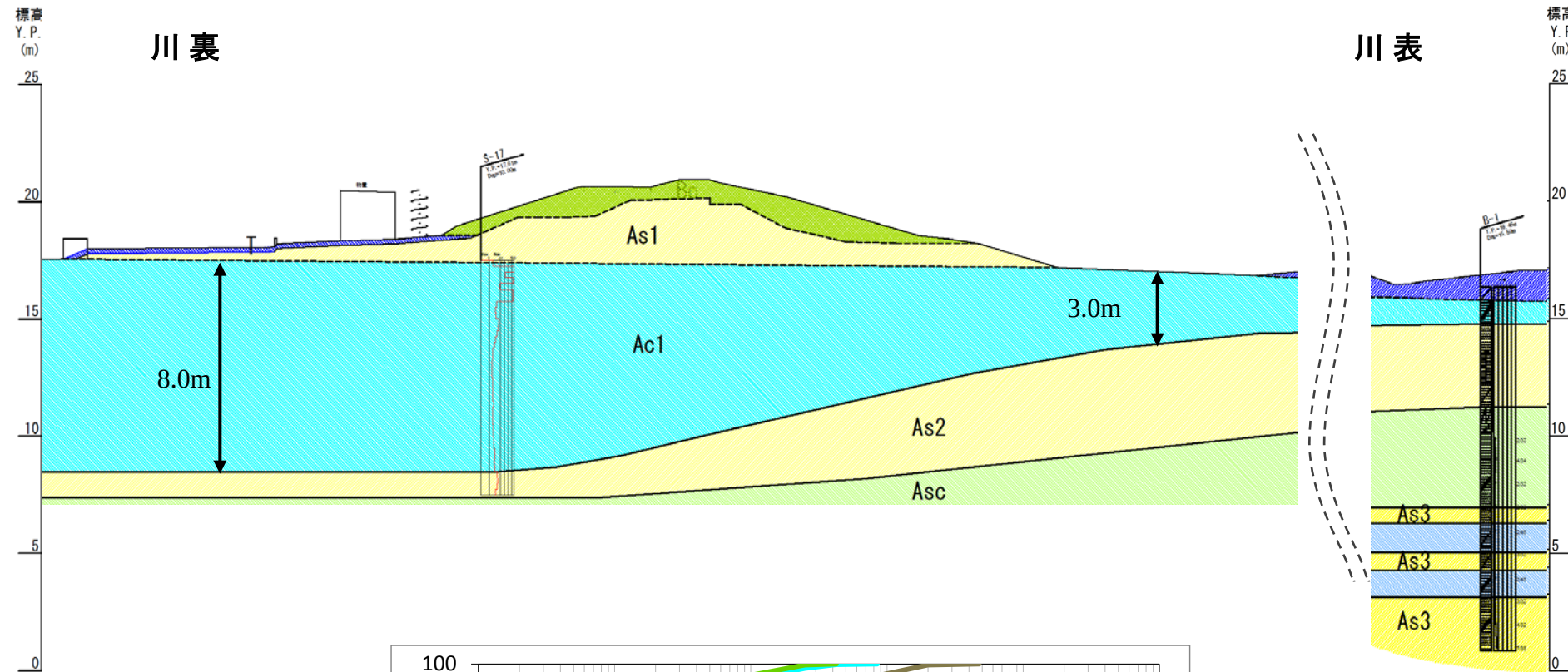


露頭調査等により砂質土層(As1層)を確認

※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となる可能性がある。

(10)決壊区間の地質構成(推定)

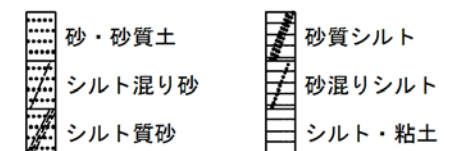
- 浸透流解析によって、浸透に対する安全性を評価するため、これまでの調査結果をもとに、決壊区間の土質構成の推定を行った。
- 堤体については、緩い砂質土が粘性土で覆われた地質構成であり、緩い砂質土は川表側から川裏側に連続しているものと推定した。
- 基礎地盤については、川表側から川裏側にかけて粘性土層が連続し、川表側から川裏側にかけて粘性土層の上に砂質土層が分布すると推定した。また、川裏側の宅地周辺には砂質土を覆う粘性土層があったものと推定した。



地質層序表

地質時代	地層名	土質名	記号
新 生 代	現 世	堤 体	粘性土 Bc
			砂質土 Bs
		埋戻土	礫質土 F
	完 新 世	表 土	粘性土 T
		沖積層	砂質土 As1
			粘性土 Ac1
			砂質土 As2
			中間土 Acs
			砂質土 As3
			粘性土 Ac3

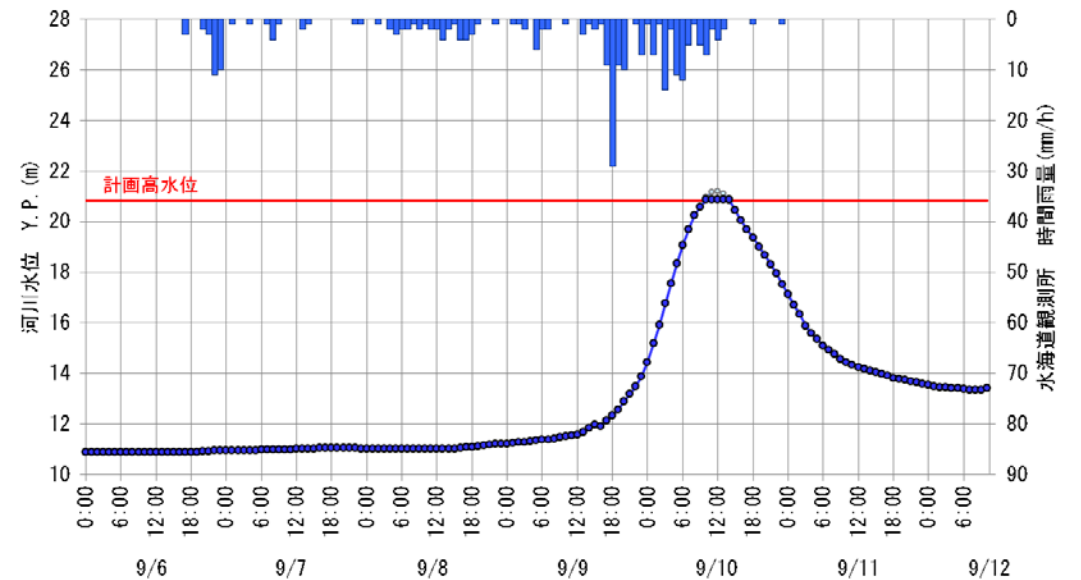
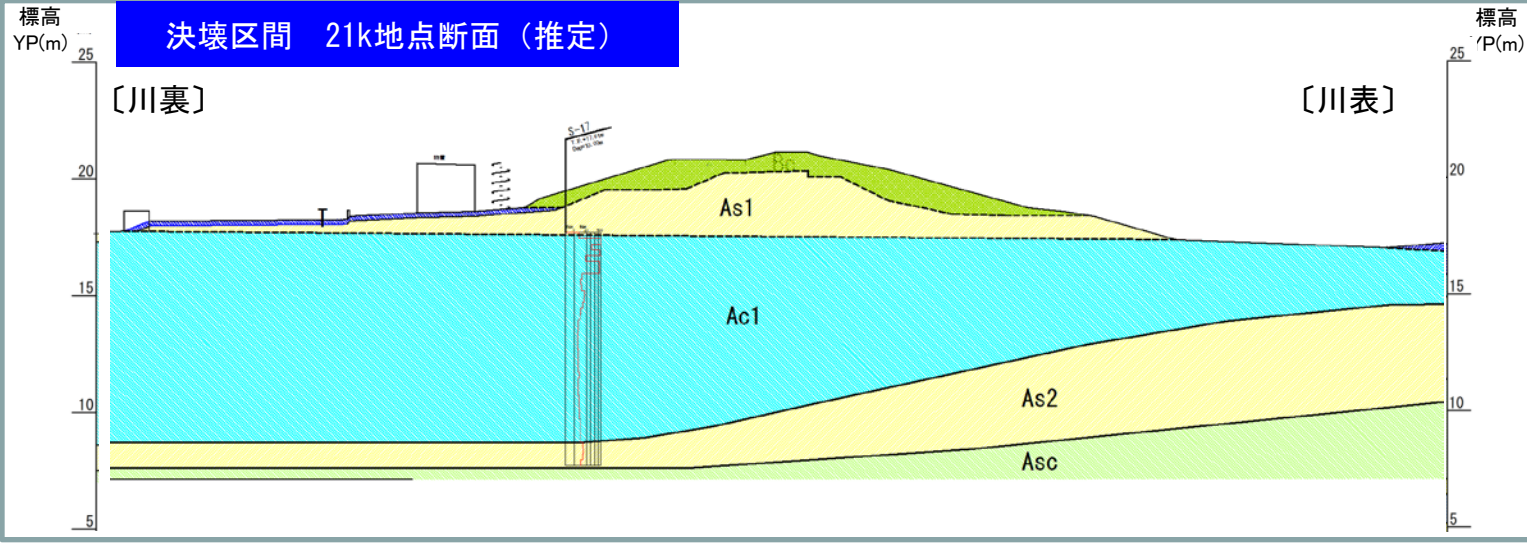
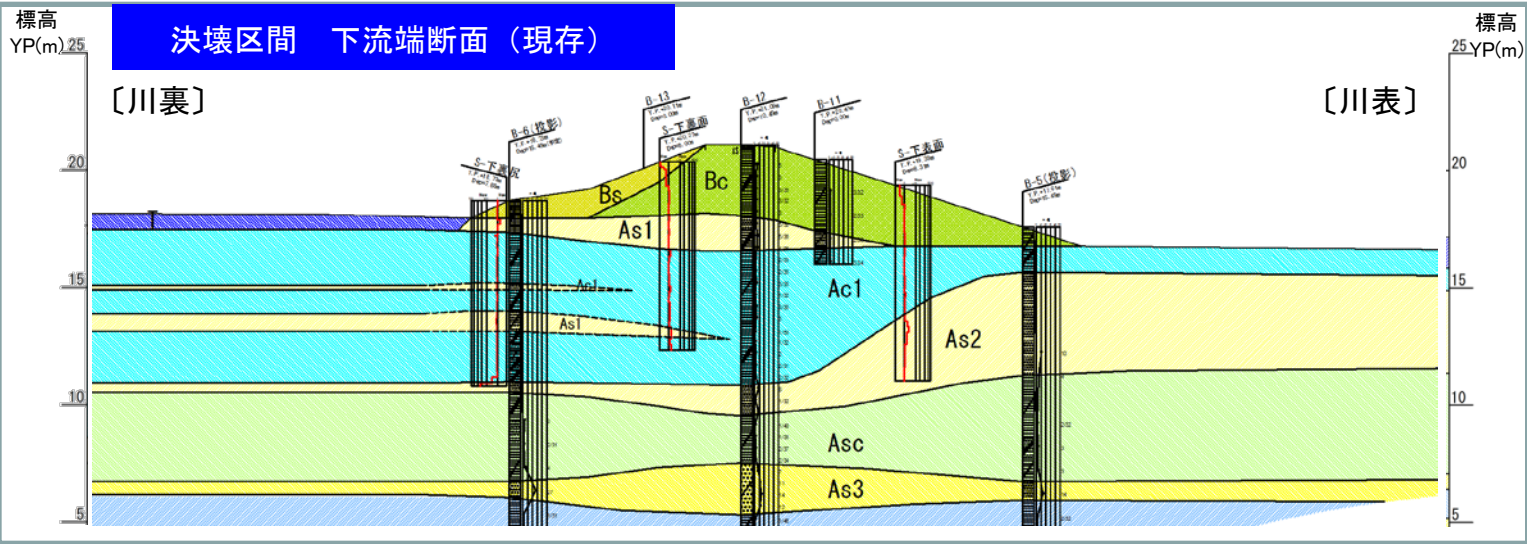
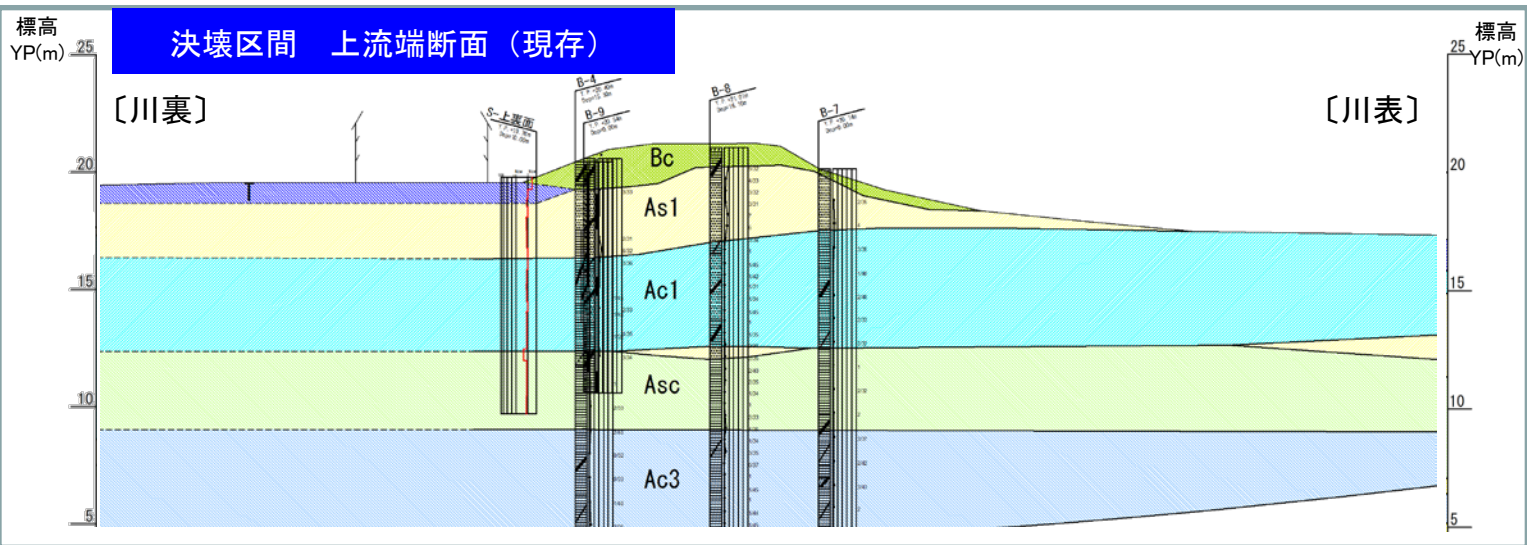
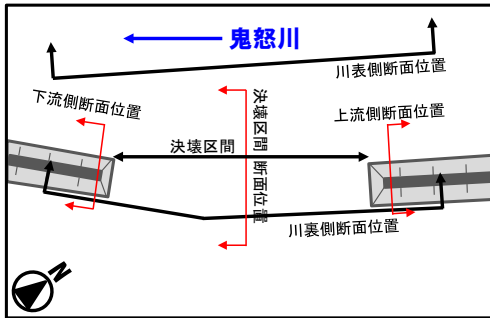
柱状図：土質区分凡例



※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。

(11)浸透に対する安全性評価 1)解析条件

- 実績洪水を外力として、浸透流解析等により、浸透に対する堤防の安全性の評価を行った。
- 検討断面は、決壊区間の上流端部断面、下流端部断面、21k地点(推定断面)の3断面とし、土質定数は調査結果を用いた。



洪水時外力図

検討に用いた土質・水理定数一覧

地層名	土質	土質記号	単位体積重量 (KN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着量 c (KN/m ²)	透水係数 k(cm/sec)	不飽和浸透特性	適用
堤体土	粘性土	Bc	18	0	20	2×10^{-4}	[M], [C]	見掛けの粘着力1KN/m ² とした。
	砂質土	Bs	18	33	1	9×10^{-3}	[S-F]	
基礎地盤	砂質土	As	17	30	0	4×10^{-3}	[S-F]	単位体積重量は、堤体土 (Bc) と同じに設定した。
	粘性土	Ac, Asc	18	0	25	1×10^{-5}	[M], [C]	

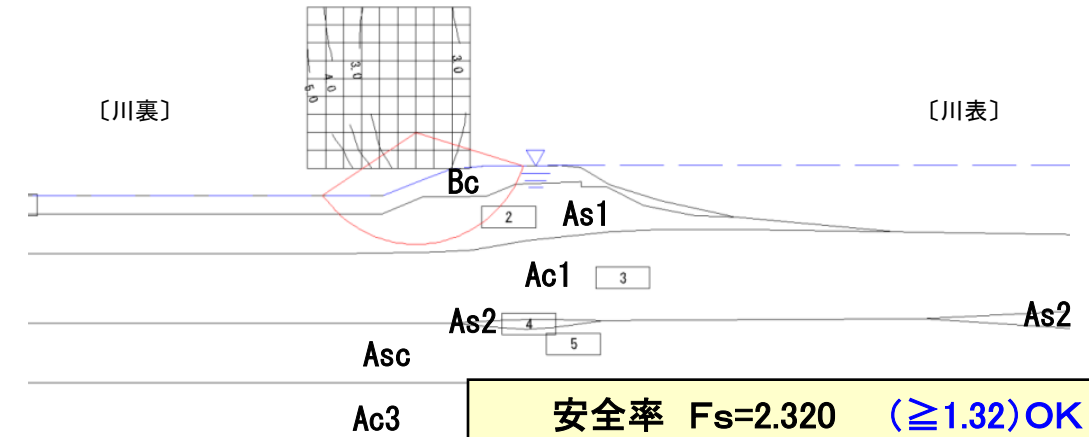
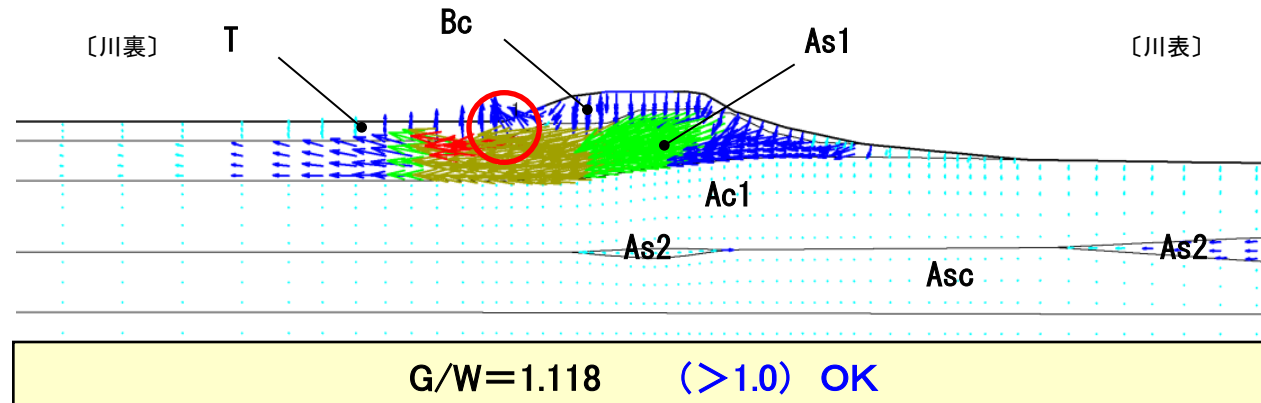
※ 土質定数は室内土質試験結果およびサウンディング結果より設定した。
※ 単位体積重量は、飽和重量である。

〔決壊区間の断面について〕
決壊区間断面は、これまでの地質調査結果をもとに推定した。
なお、堤体については、決壊区間の上流端部断面及び緩い砂質土の想定分布標高をもとに作成した。
〔検討断面について〕
川裏側の地質構成は、法尻付近の調査による地層境界を水平に延ばした。

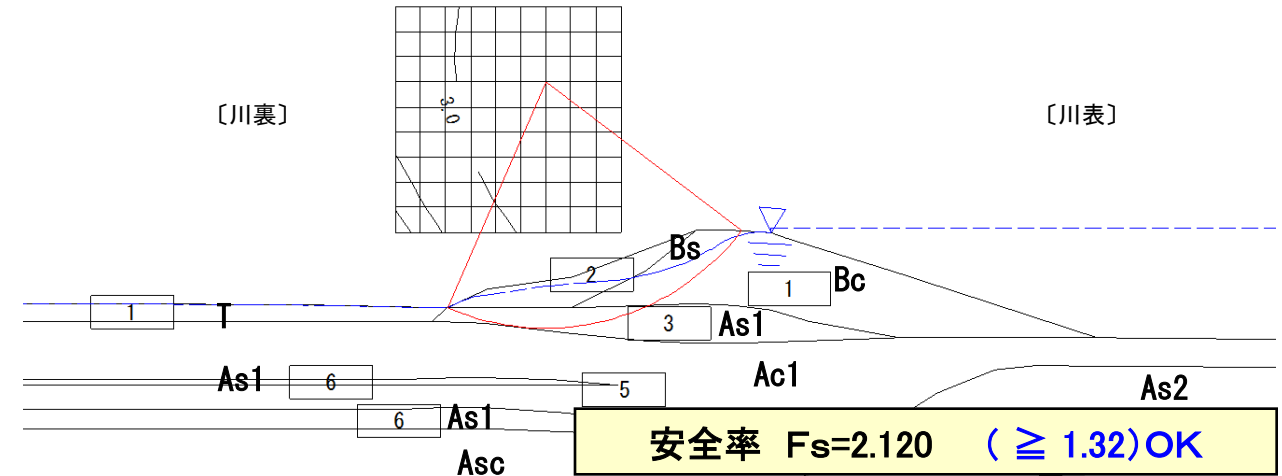
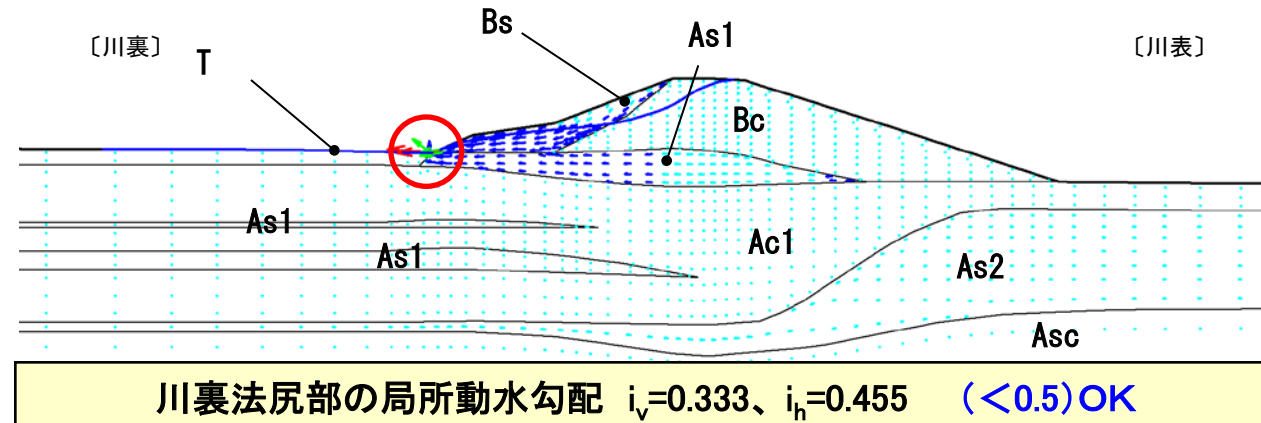
(11)浸透に対する安全性評価 2)解析結果

- 浸透流解析等の結果、上流端部、下流端部、21k地点（推定断面）の3断面ともに、パイピング、法すべりの安全性が確保されている結果となった。
- ただし、パイピングについては、被覆する粘性土（Bc及びT）の層厚により安全性が低下する。

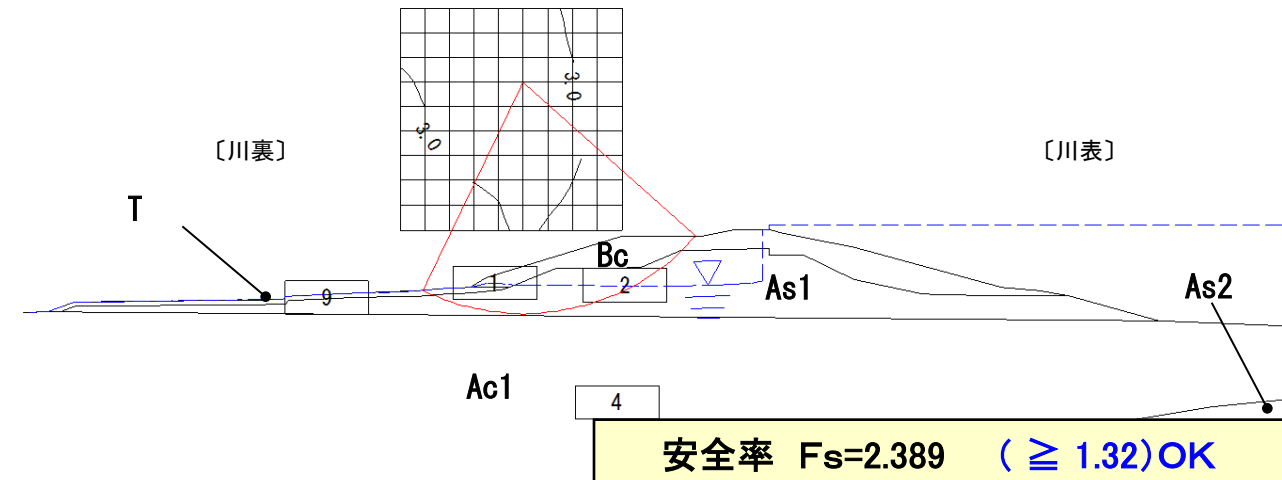
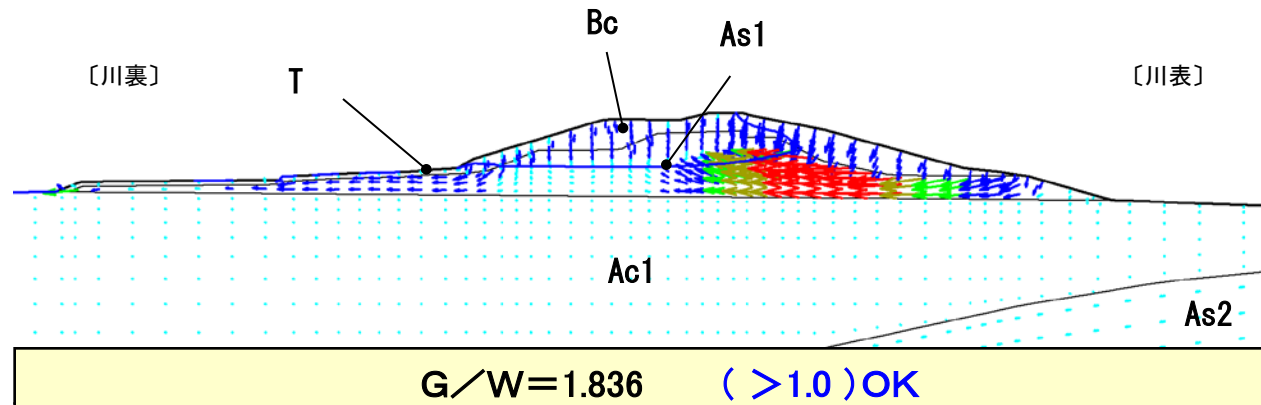
決壊区間 上流端断面（現存）



決壊区間 下流端断面（現存）



決壊区間 21k地点断面（推定）



カッコ内の値は照査基準値を示す。

※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。

4. 決壊原因の特定

(1)決壊原因の特定

これまでの調査結果から分かったこと

越水

- 鬼怒川流域で記録的大雨があり、鬼怒川の水位が大きく上昇した。
- 決壊区間で越水が確認された。(越流水深約20cm(推定値))
- 決壊区間で川裏の法尻部の洗掘が確認された。
- 決壊区間の法尻から堤体直下にかけて落堀が確認された。



推定される堤防決壊の原因

【越水による堤防決壊の可能性について】

- 越水による川裏の洗掘が決壊原因の一つであると推定される。

浸透

- 水海道雨量観測所で3日雨量約200mmの雨量を観測した。
- 決壊区間の上流約500m、下流約800m離れた地点で、噴砂が複数箇所確認されたものの、決壊区間では越水前に漏水に関する証言は無い。
- 堤体については、決壊区間上流端部では、緩い砂質土(As1)が粘性土(Bc)で覆われた構造、下流端部では、粘性土(Bc)が主体となった構造であることが確認された。また、緩い砂質土(As1)は堤内地側に連続することが確認された。
- 緩い砂質土(As1)を被覆する粘性土(Bc及びT)の層厚は、決壊区間の周辺では0.2～1m程度であり、変化していることが確認された。
- 基礎地盤については、川裏側に粘性土(Ac1)が5m～8m程度の層厚で堆積し、その下層に砂質土(As2)が存在していることが確認された。
- 決壊区間近傍の噴砂箇所の堤防高と堤内地盤高の比高差が5m程度に対し、決壊区間の比高差は2～3m程度であった。
- 調査結果をもとに、浸透流解析等により、上流端部断面(現存)、下流端部断面(現存)、21k地点断面(推定)の浸透に対する安全性の評価を行った結果、パイピング、法すべりともに安全性が確保されている結果となった。ただし、パイピングについては、被覆する粘性土(Bc及びT)の層厚により安全性が低下する。



【浸透による堤防決壊の可能性について】

- 堤体の一部を構成し堤内地側に連続する緩い砂質土(As1)に起因するパイピングは、被覆する粘性土(Bc及びT)の層厚によっては発生するおそれがあるため、越水による堤防決壊を助長した可能性は否定できない。
- 基礎地盤の粘性土層(Ac1)の下層の砂質土(As2)に起因するパイピングの発生の可能性は小さいと推定される。
- 浸透により法面がすべることが決壊原因の一つである可能性は小さいと推定される。

侵食

- 決壊区間の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できない。
- 高水敷上の侵食の痕跡は確認できない。
- 高水敷上の植生は倒伏しているが、流失していない。



【侵食による堤防決壊の可能性について】

- 川表の侵食が確認されておらず、決壊原因の一つである可能性は小さいと推定される。

まとめ(事務局案)

- 鬼怒川流域における記録的な大雨により、鬼怒川の水位が大きく上昇し、決壊区間において水位が計画高水位を超過し堤防高をも上回り、越水が発生した。
- 越水により川裏の法尻部の粘性土が洗掘され、堤体の一部を構成する緩い砂質土(As1)が流水によって流失し、決壊に至ったと考えられる。
- 浸透(パイピング)については、堤体の一部を構成し堤内地側に連続する緩い砂質土(As1)を被覆する粘性土(Bc及びT)の層厚によっては発生するおそれがあるため、越水による堤防決壊を助長した可能性は否定できない。
- 浸透(法すべり)や川表の侵食が決壊原因となった可能性も完全に排除することはできないものの、越水に比べるとその可能性は小さいと考えられる。

(2)堤防決壊のプロセス 1) 堤防決壊のプロセス

- 河川水が堤防天端を越水した後、段階を経て決壊が進行していく。
- 越水により川裏法尻、川裏法面、天端、川表法面、基礎地盤の順に洗掘が生じ、決壊に至ったと推定される。

STEP0 [漏水開始段階]		・河川水位が上昇し法尻に漏水(パイピング)が生じる。 ・粘性土(Bc及びT)の層厚によっては発生するおそれがあるため、越水による堤防決壊を助長した可能性は否定できない。	
STEP1 [漏水+越水開始段階] 9/10 12:00撮影		・河川水位が上昇し越水が生じる。	
STEP2 [川裏法尻洗掘段階] 9/10 12:04撮影		・越水により川裏法尻に洗掘が生じる。	
STEP3 [川裏法面・天端洗掘段階] 9/10 撮影時間不明		・川裏法面、天端の洗掘が生じる。 ・アスファルト舗装は、崩落していない。	
STEP4 [基礎地盤洗掘段階] 9/11 7:08撮影		・川表法面洗掘、基礎地盤の洗掘が生じる。	

(2)堤防決壊のプロセス 2)落掘進行のプロセス

- 決壊後、決壊幅は上下流に広がった。
- 決壊後、堤内外の水位差、落ち込み流により落掘が形成された。



9/10 15:18



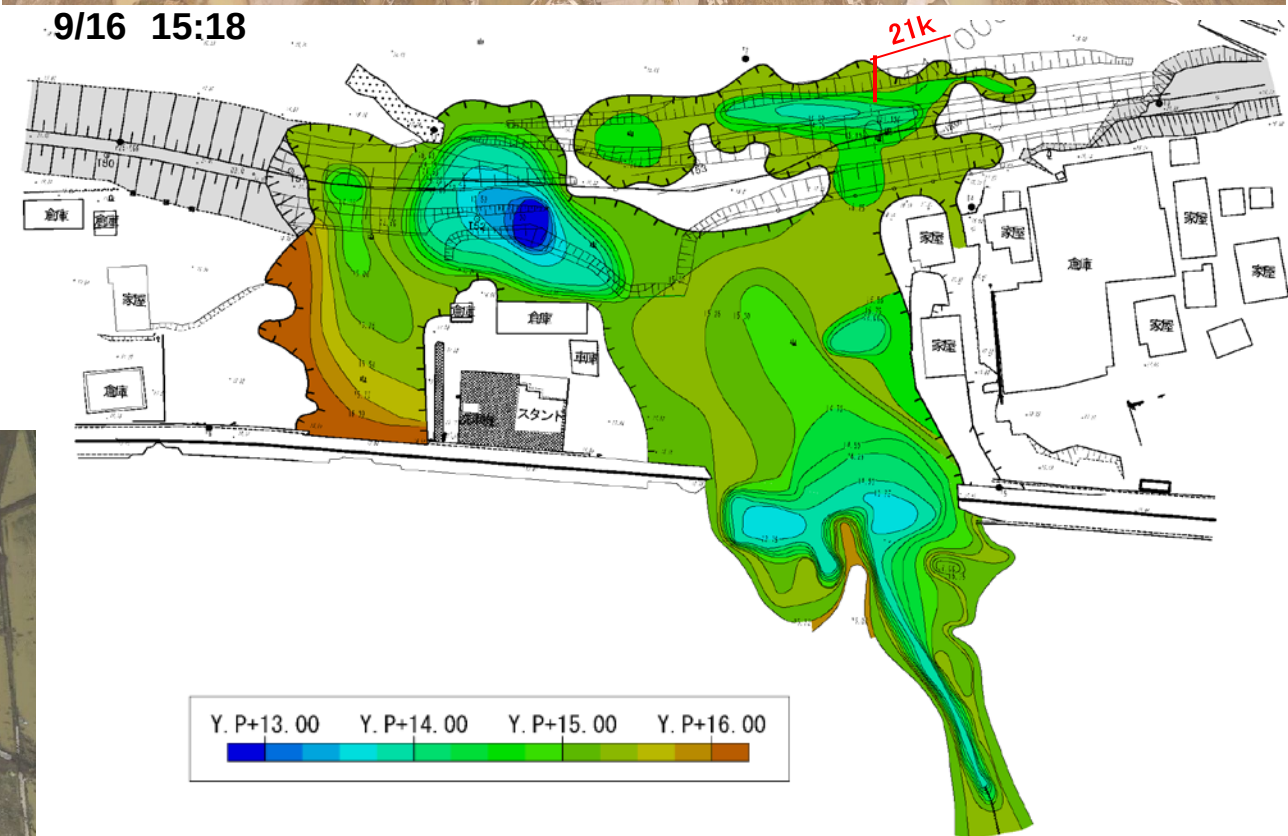
9/10 15:18



9/11



9/16 15:18



※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。

5. その他の被災箇所

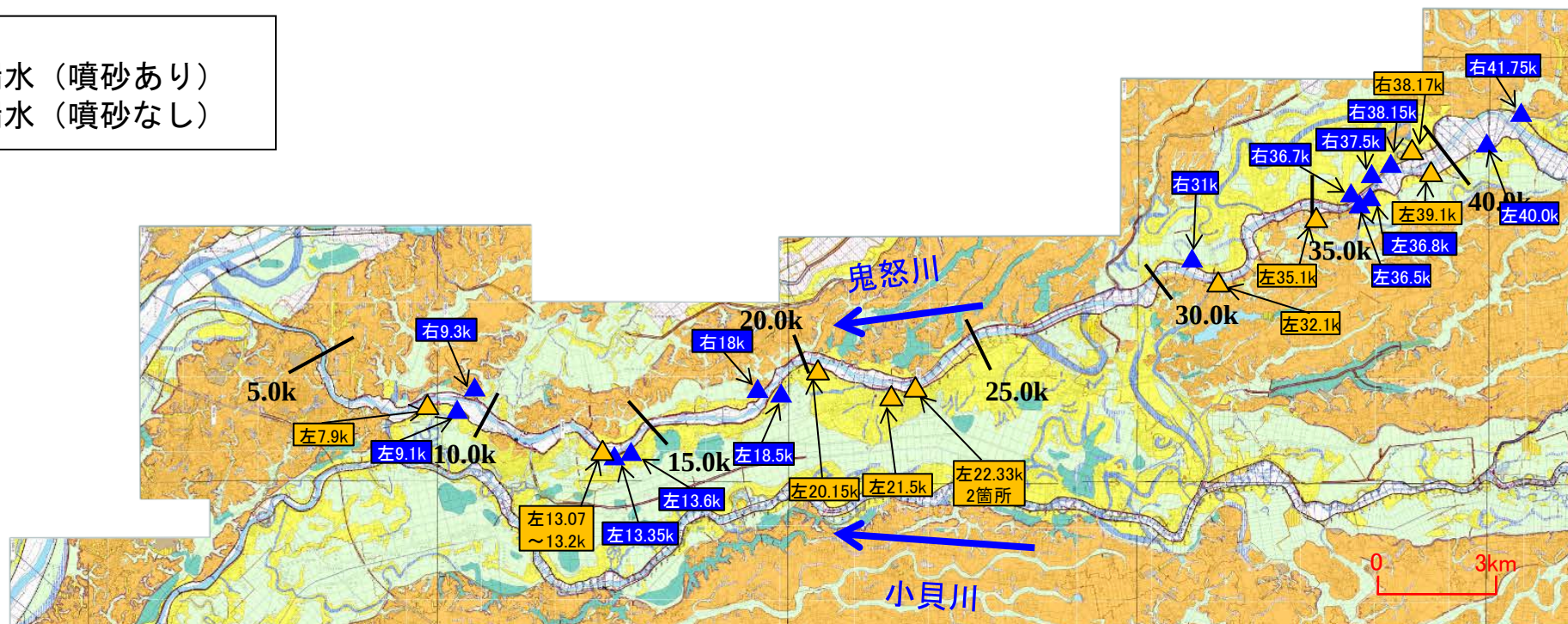
（前回委員会指摘事項への回答）

(1)鬼怒川全川の被災状況 1)漏水

- 今次出水における被災のうち、漏水箇所を治水地形分類図に示す。
- 漏水箇所は、40kより下流で発生しており、ほとんどが氾濫平野に位置する。

凡例

- ▲ : 漏水 (噴砂あり)
- ▲ : 漏水 (噴砂なし)



鬼怒川下流部 治水地形分類図(2万5000分の1) (国土地理院) より作成

凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地				
台地・段丘		段丘面		
		崖(段丘崖)		
		浅い谷		
低地		山麓堆積地形		
		扇状地		
		氾濫平野		
		微高地(自然堤防)		
		旧河道	旧河道(明瞭)	
			旧河道(不明瞭)	
		落堀		
		氾濫平野	後背湿地	
		砂州・砂丘	砂州・砂丘	
人工改変地形		人工改変地形	干拓地	
			盛土地・埋立地	
			切土地	
			連続盛土	
その他の地形等		その他の地形等	天井川の区間	
			現河道・水面	
			旧流路	
			S.30年代後半～S.40年代前半	
			S.20年代	
			T.末期～S.初期	
			M.末期～T.初期	
			M中期	
			地盤高線	
			主曲線	
			補助曲線	



鬼怒川中流部 治水地形分類図(2万5000分の1) (国土地理院) より作成

(2)被災状況の整理

1)漏水(噴砂あり)

■左岸13.07k～13.2k付近 川裏法尻箇所より漏水が8箇所、138mにわたり確認された。

被災箇所位置図



【航空写真図:平成27年9月22日撮影】

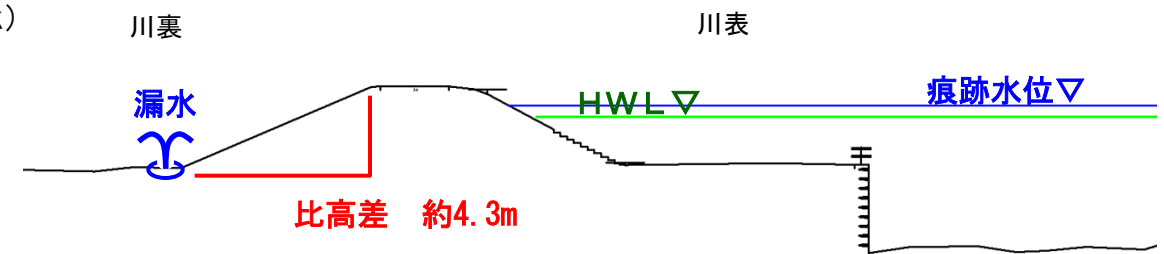
被災状況写真



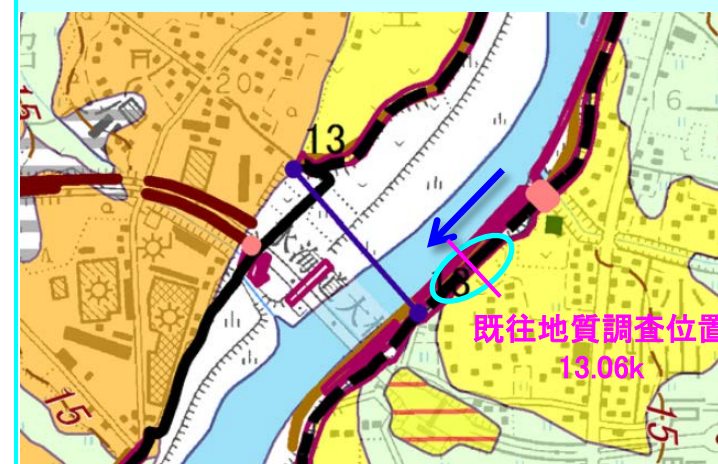
漏水(噴砂あり)

被災箇所堤防断面(13.02k～13.20k)

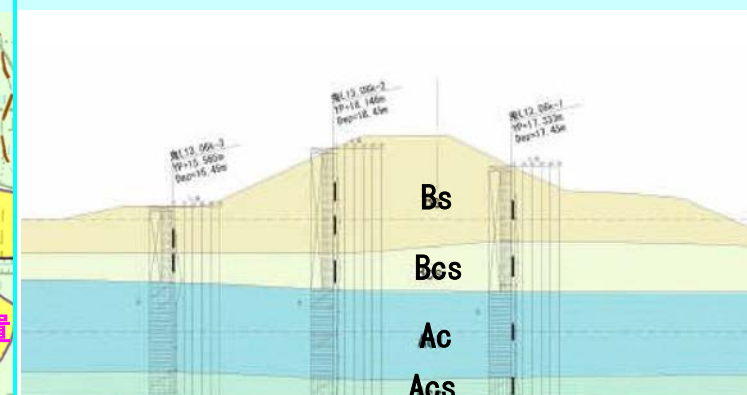
【堤防形状】
(13.25k)



治水地形分類図



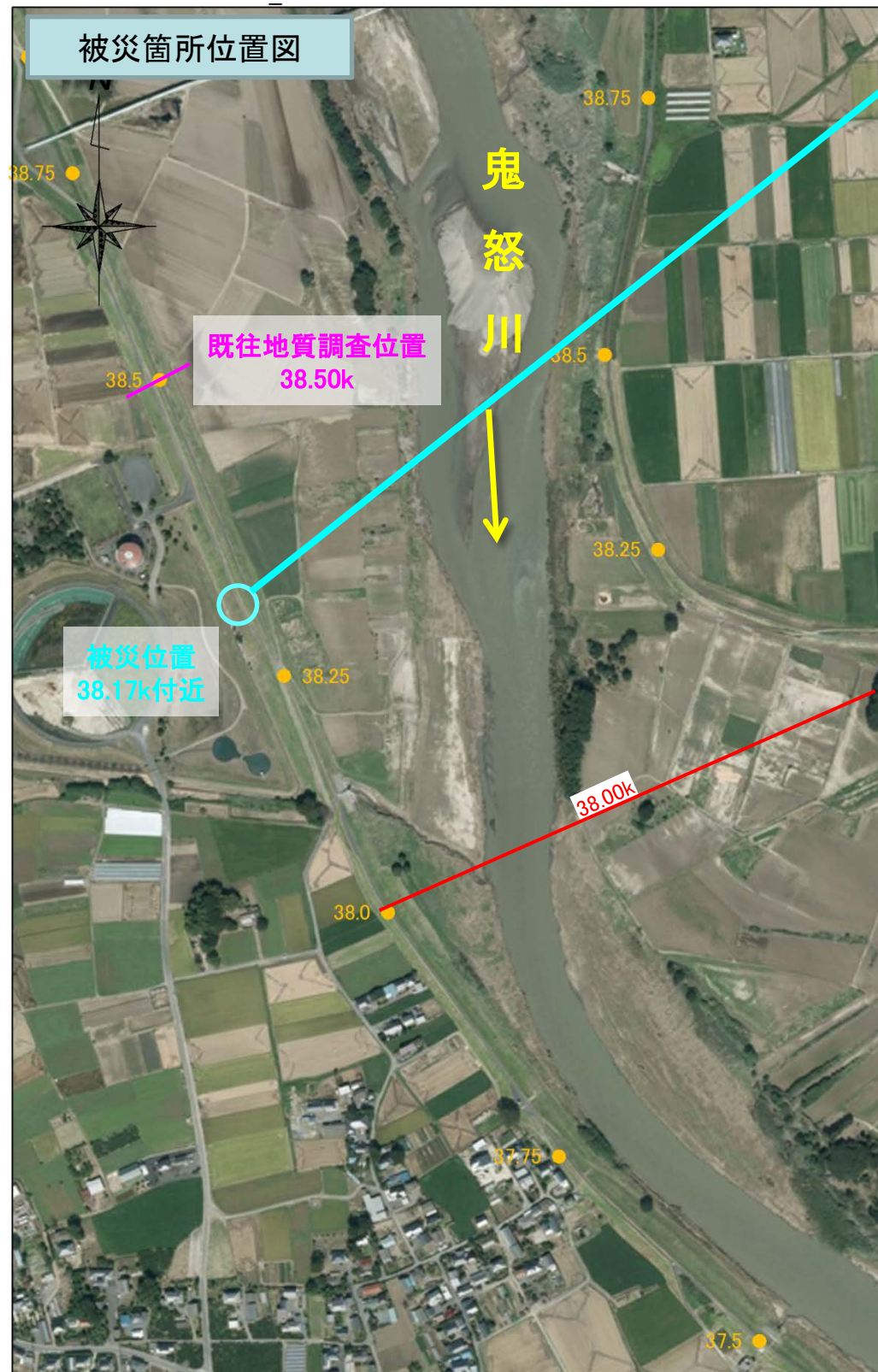
地質横断図(近傍13.06k)



(2)被災状況の整理

2)漏水(噴砂あり)

■右岸38.17k付近 川裏法尻箇所に350mにわたり、漏水跡が認められる。



被災状況写真



漏水(噴砂あり)



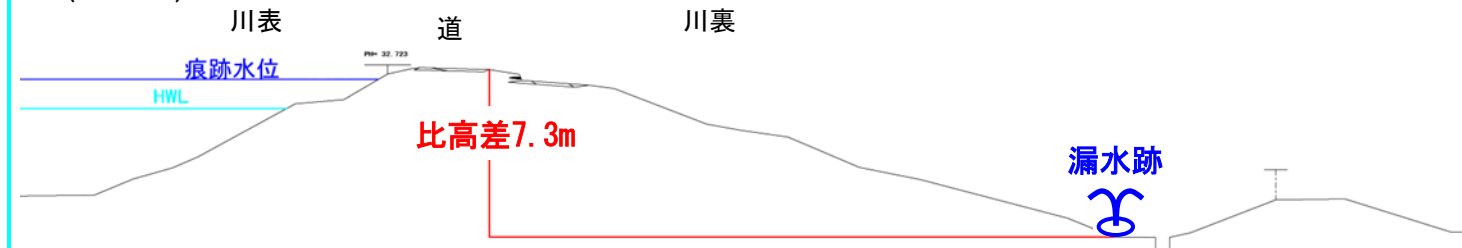
噴砂



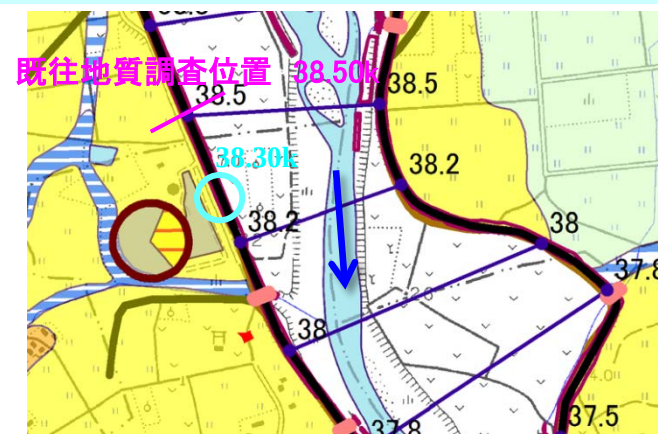
対策工

被災箇所堤防断面(38.17k)

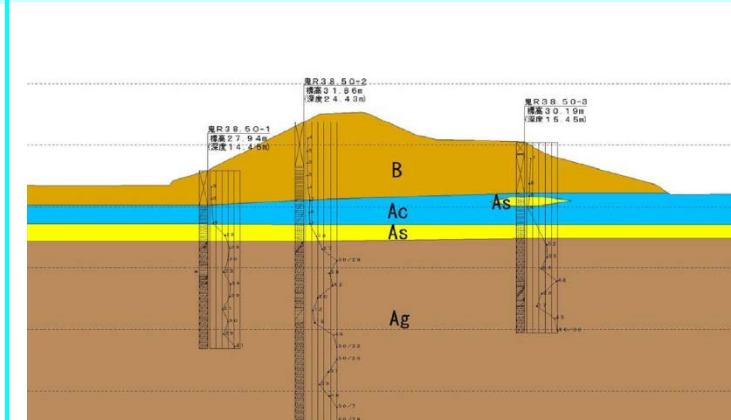
【堤防形状】
(38.25k)



治水地形分類図

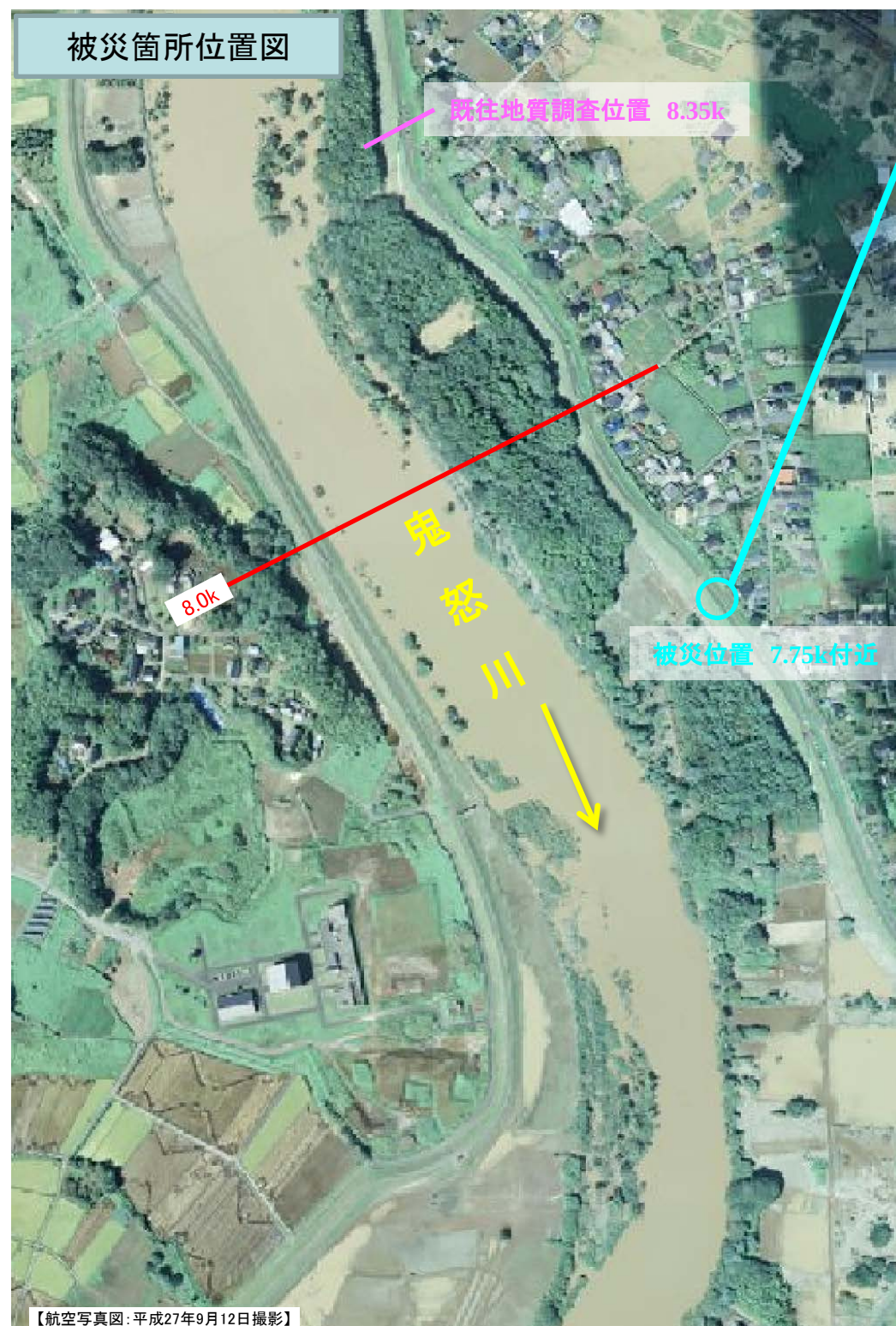


地質横断図(近傍38.50k)



(2)被災状況の整理 3) クラック(エアーク)

■: 左岸7.75k付近 天端にクラックが発生し、8mにわたりエアークが吹いている。



被災状況写真



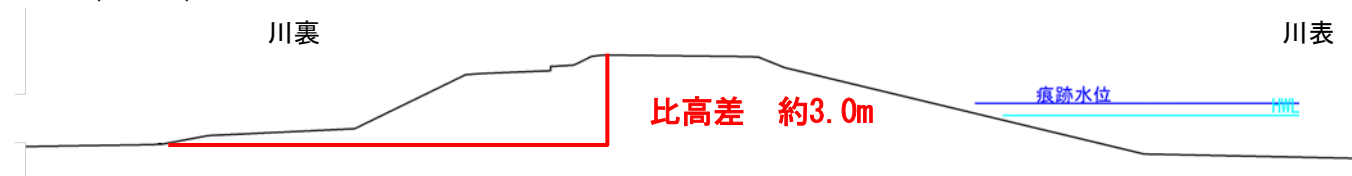
7.75k付近のクラック全景



参考: エアーク (右岸30.5k)

被災箇所堤防断面 (7.75k)

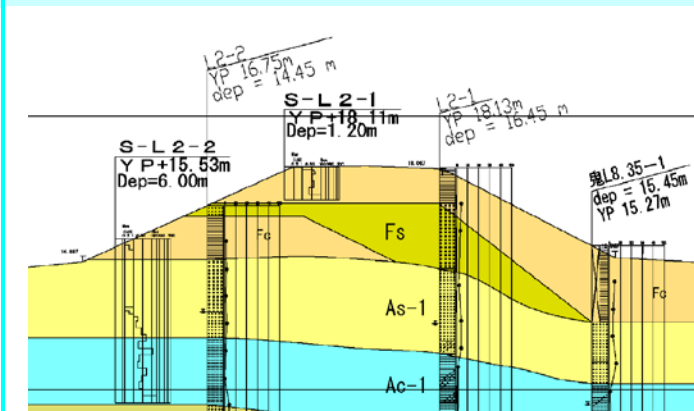
【堤防形状】
(7.75k)



治水地形分類図



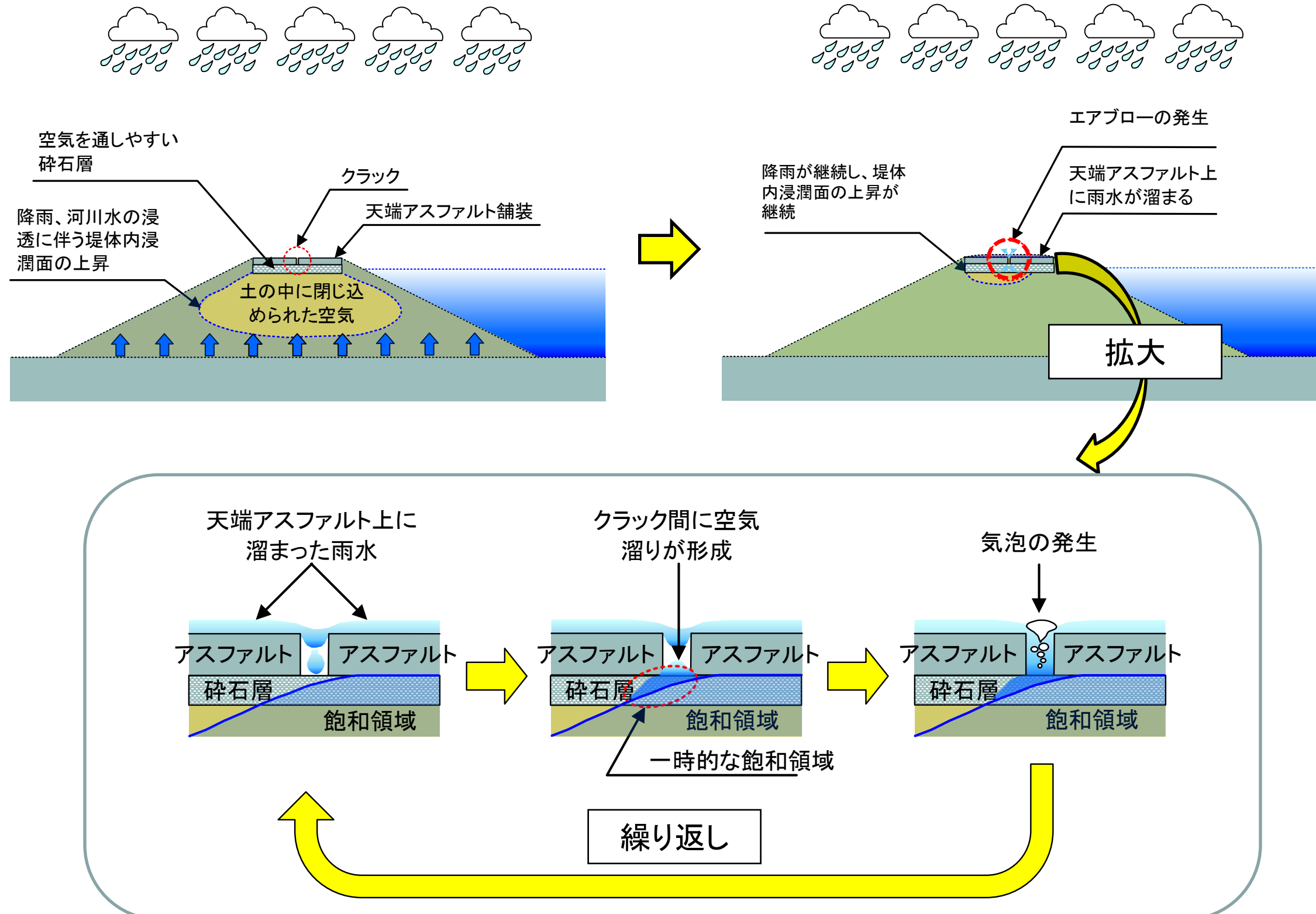
地質横断面図 (近傍8.35k)



※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。

(3)エアブローの発生メカニズム

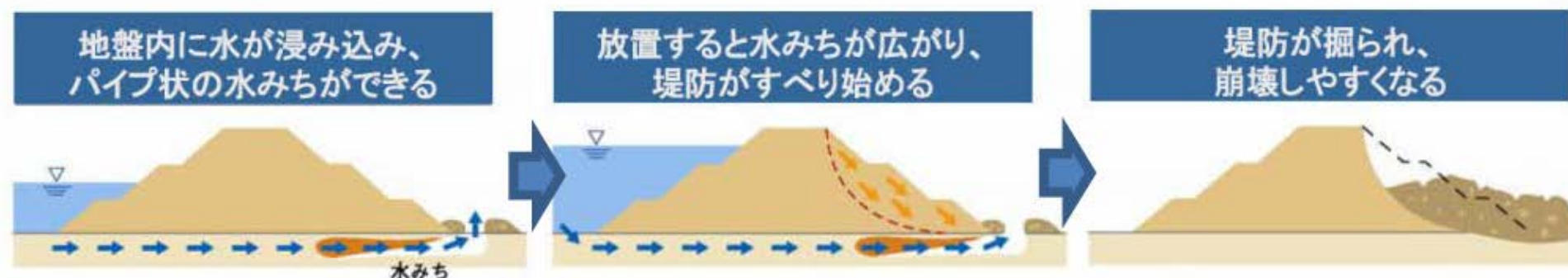
- 堤防に降雨、河川水が浸透し、土の中の空気が閉じ込められる
- 堤体内浸潤面が上昇するにつれて、閉じ込められた空気がクラックから押し出されることにより、エアブローが発生
- 一般的に水より空気の方が土の中は通りやすいため、直ちに堤防決壊につながるものではないと推定される



参考資料

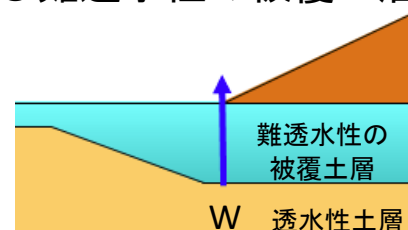
(1)堤防の安全性照査について

浸透流解析によるパイピングの照査



- ・高い河川水位により地盤内に水がしみ込み、川裏側まで水の圧力がかかることにより、川裏側の地盤から土砂が流失し、水みちができる。
- ・土砂の流失が続き、水みちが拡大して、堤防が落ち込み、最終的に崩壊に至る。

●難透水性の被覆土層がある場合(揚圧力による照査)

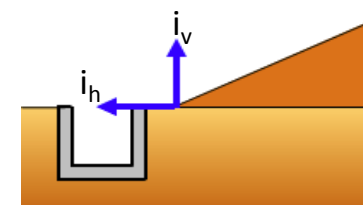


- ・難透水性の被覆土層を水圧によって持ち上げる力を揚圧力という。
- ・水圧より被覆土層の重量が重ければ、被覆土層が持ち上がることはないため、パイピングは発生しない。

$$G > W$$

※ G: 被覆土層の重量 W: 被覆土層基底面に作用する揚圧力

●難透水性の被覆土層がない場合(局所動水勾配による検討)

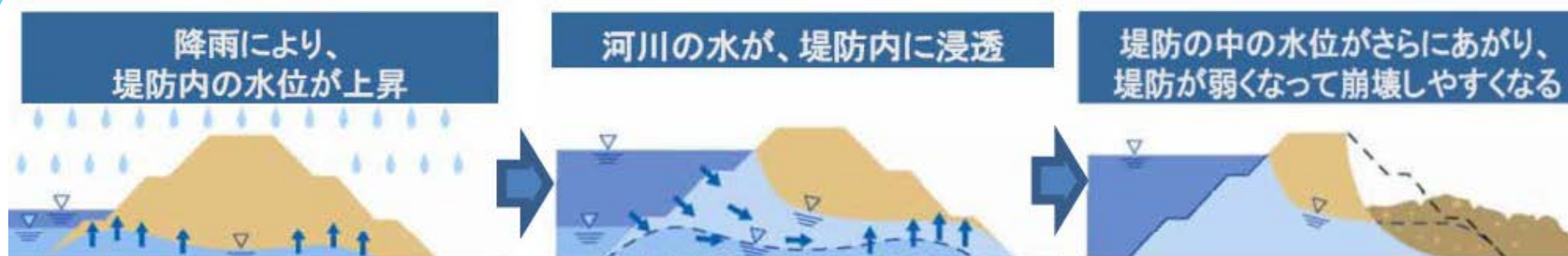


法尻部の水圧の勾配を局所動水勾配という。
局所動水勾配が0.5を下回る場合、砂が噴出する可能性がないため、パイピングが発生しない。

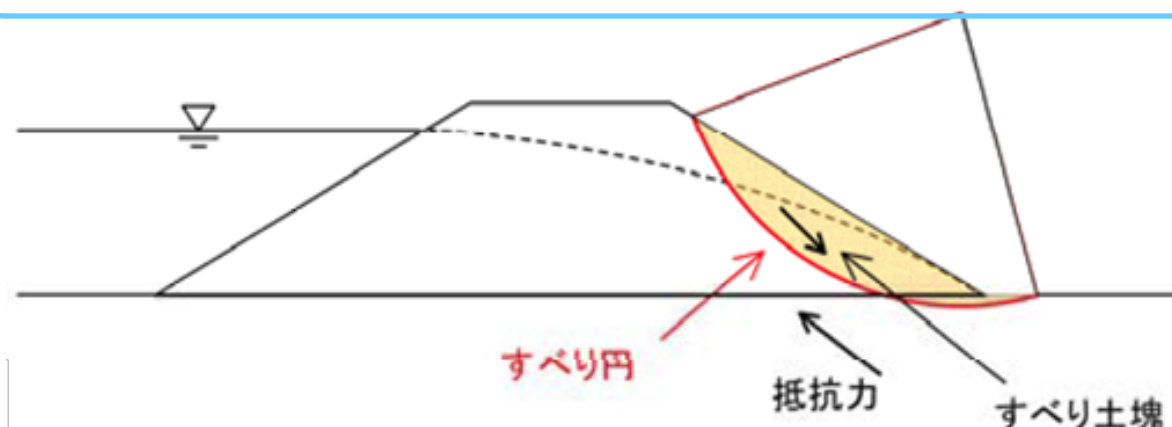
$$i < 0.5$$

i : 裏のり尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値

円弧すべり安全率による法面すべりの照査



- ・降雨や高い河川水位により水が浸透し、堤防内の水位が上昇する。
- ・堤防内の高い水位により、土の強さ(せん断強度)が低下し、川裏側の法面がすべり、最終的に崩壊に至る。



円弧すべり安全率 F_s は、すべり土塊がその重量ですべろうとする力と、すべり円上で土がその強さにより抵抗する力の比のこと。

不確定要素を考慮した値(鬼怒川の場合は1.32)より、円弧すべり安全率 F_s が大きい場合には、法面がすべることではない。

$$F_s = \text{抵抗力} / \text{すべろうとする力} \geq 1.32$$