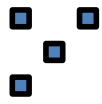


令和元年台風19号による 豪雨被害と教訓

長岡技術科学大学

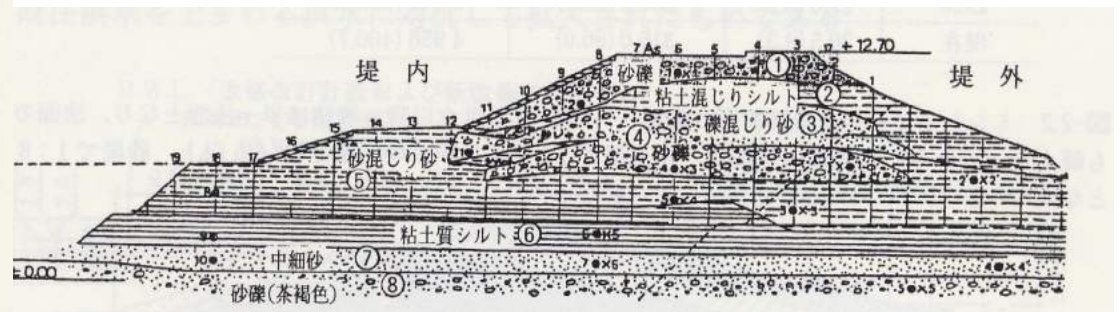
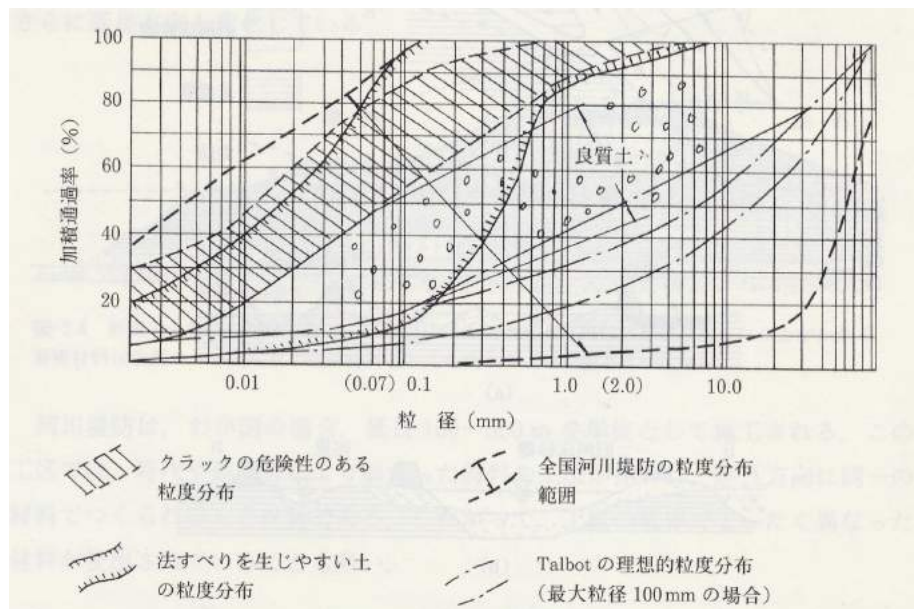
大塚 悟



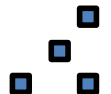
堤防の構造

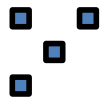
－ 堤防の構造その1

- 堤防は増改築を繰り返しており，内部構造はわからない
- 現地発生土を用いるため，良質材料とは限らない
- 日本の河川は急流河川であり，降雨によって水位が上昇するが，すぐに下降するため，湛水を目的とした遮水コア構造はない



中島秀雄：河川堤防

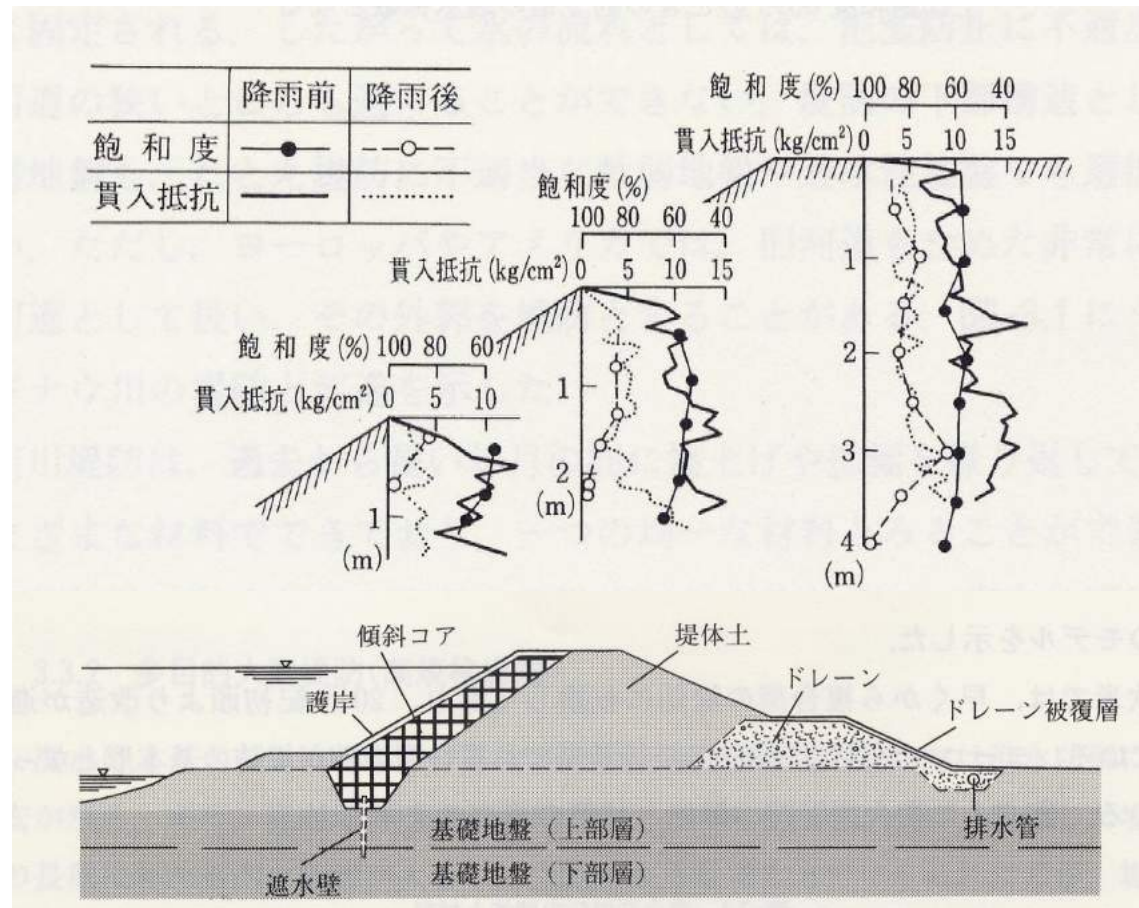




堤防の構造

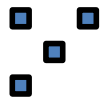
－ 堤防の構造その2

- 堤防の強度は雨水の浸透によって低下する
- 堤体の補強対策は浸透防止と排水にある



中島秀雄：河川堤防



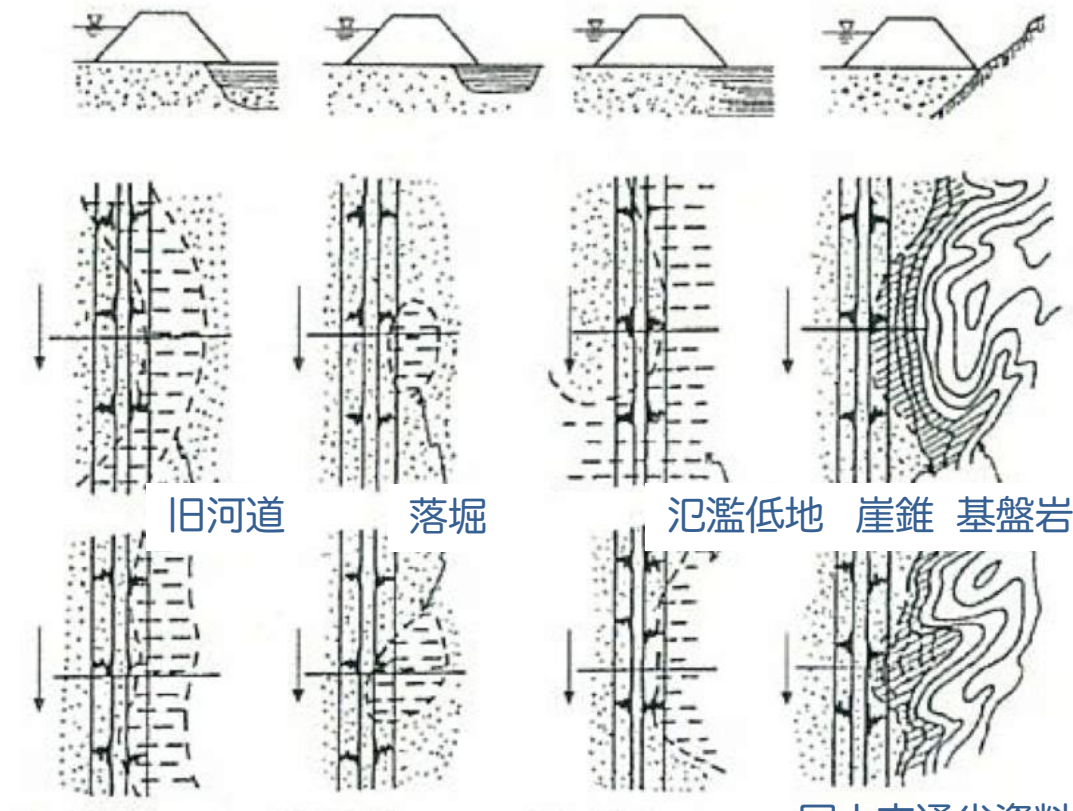


堤防の構造

中島秀雄：河川堤防

－ 堤防の構造その3

- 堤防の基礎地盤は一様ではない
- 砂礫層があると浸透破壊を生じる



旧河道

落堀

氾濫低地

崖錐

基盤岩

国土交通省資料

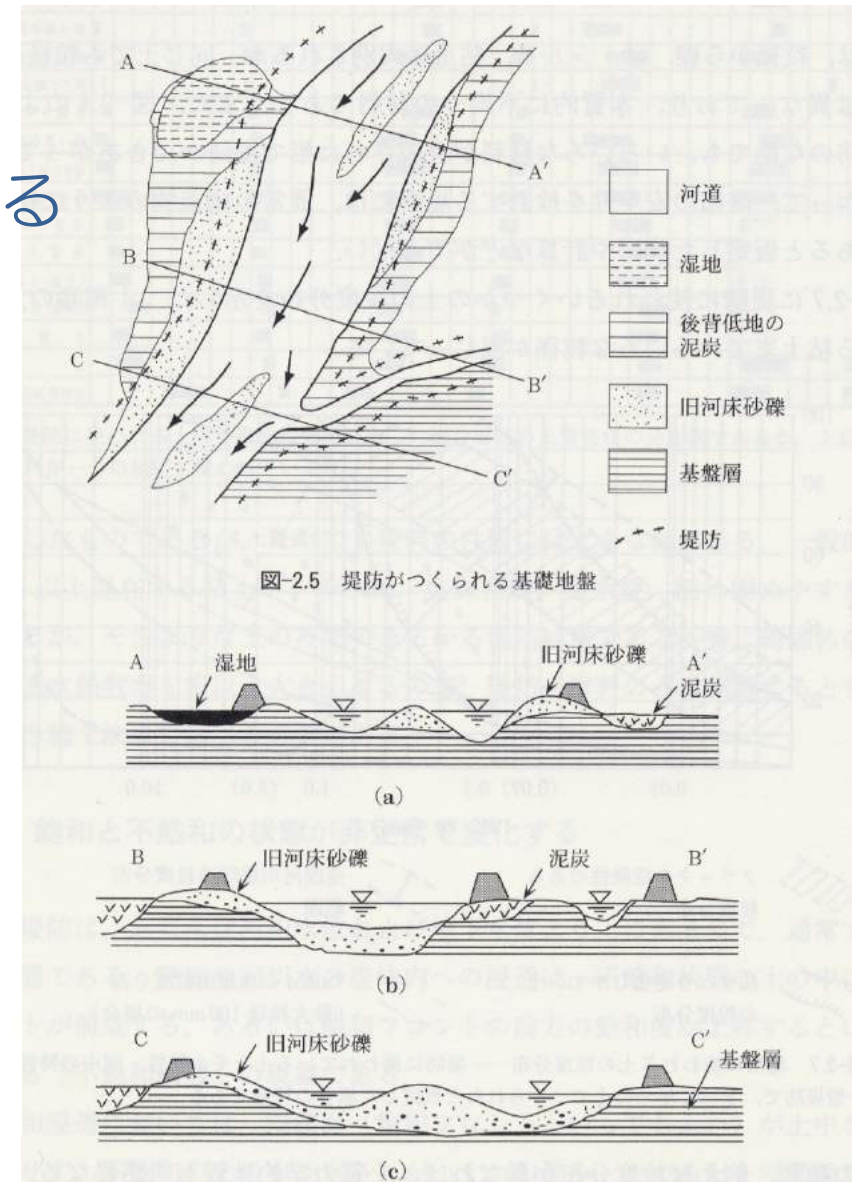
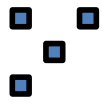


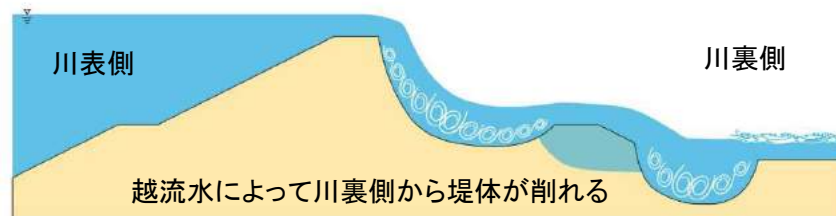
図-2.5 堤防がつくられる基礎地盤



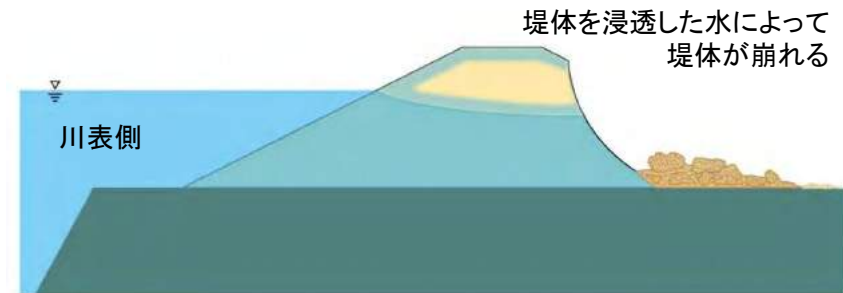


堤防の破堤原因

- 越水（裏のり面からの侵食）



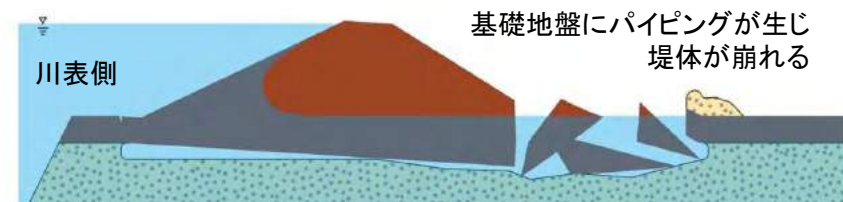
- 浸透
◆ のりすべり



- 侵食（川側からの侵食）

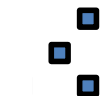


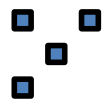
- ◆ 基盤漏水（堤体漏水）



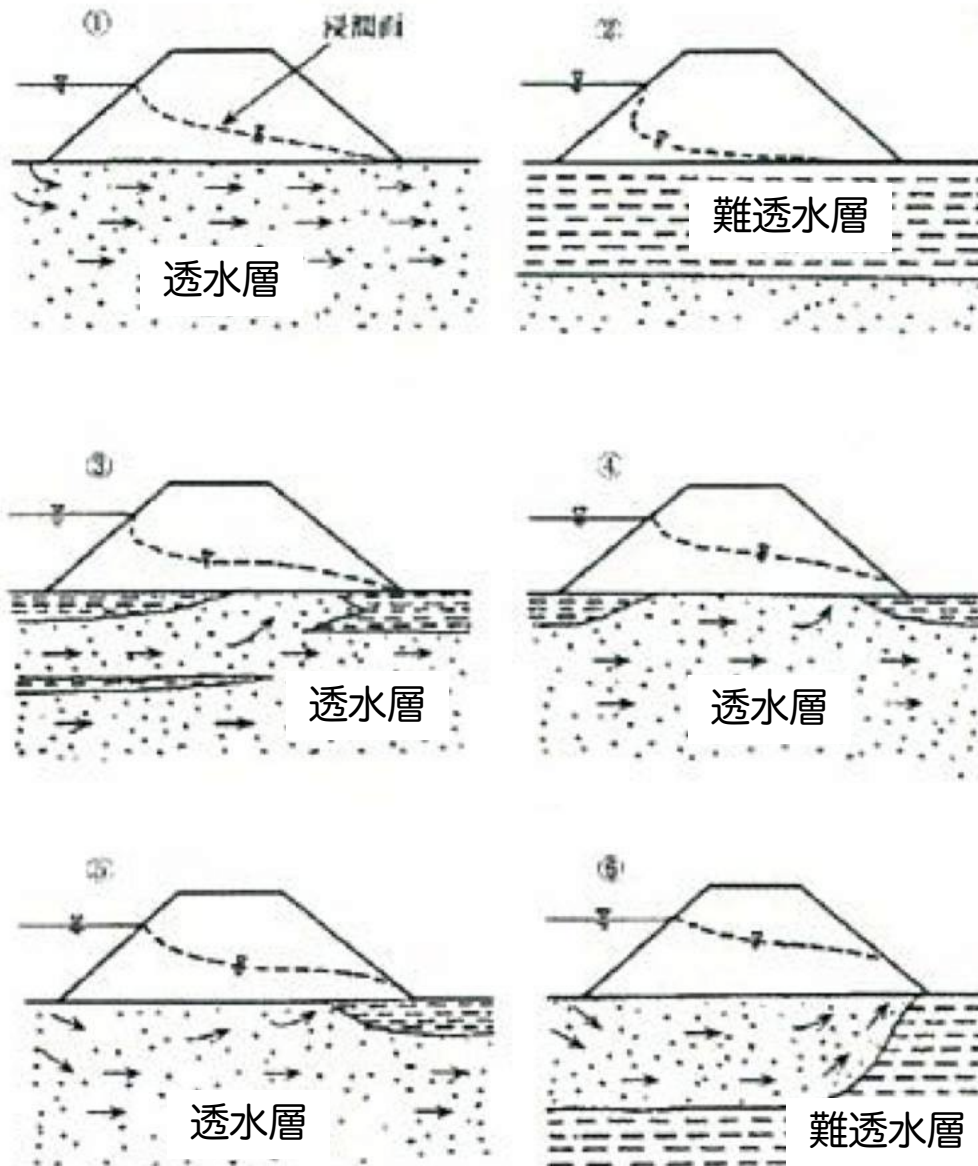
石原雅規：最近の堤防の被災事例と特徴

※堤体漏水は、設計の対象外
※設計で、すべりと漏水は独立





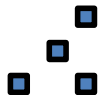
基礎地盤と浸透水による堤体水位への影響

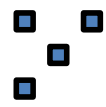


浸透水の影響

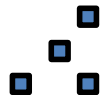
- 堤体内の地下水位の上昇（悪影響）
- 左図では③～⑥が該当し、上向き浸透力が作用する事例が多い

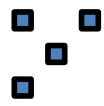
国土交通省資料





水害（溢水や堤防破堤）の発生場所





水害（溢水や堤防破堤）の発生場所

【越流・溢水】

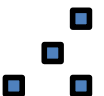
- 山地から平野部へ（河川流速が遅くなり水位の上昇）
- 平野部から山地へ（バック・ウォーターによる水位の上昇）
- 河川合流部の上流側（バック・ウォーターによる水位の上昇）
- 河道が曲線を形成（河川流速が遅くなり水位の上昇）
- 水衝部（河川の曲線部外側は水位が高い）
- 堤防高さの不足（粘性土地盤で堤体の沈下）

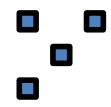
【侵食】

- 水衝部（水衝たりによる侵食の危険）

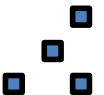
【浸透破壊】

- 基礎地盤に礫質土などの浸透層があり，粘性土などの土被りが浅い場合（扇状地，砂礫層の行き止まり）
- 堤体内に連続した礫質土が存在（堤体の飽和度が上昇）

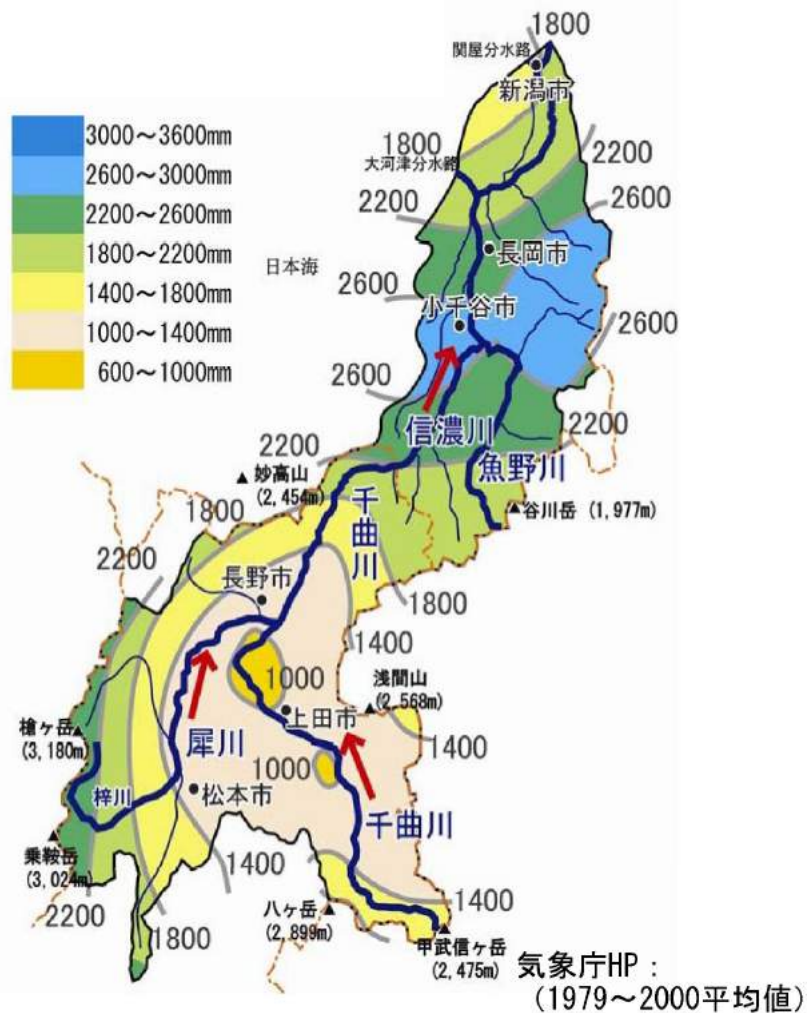




台風19号による千曲川の被災



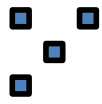
流域及び河川の概要



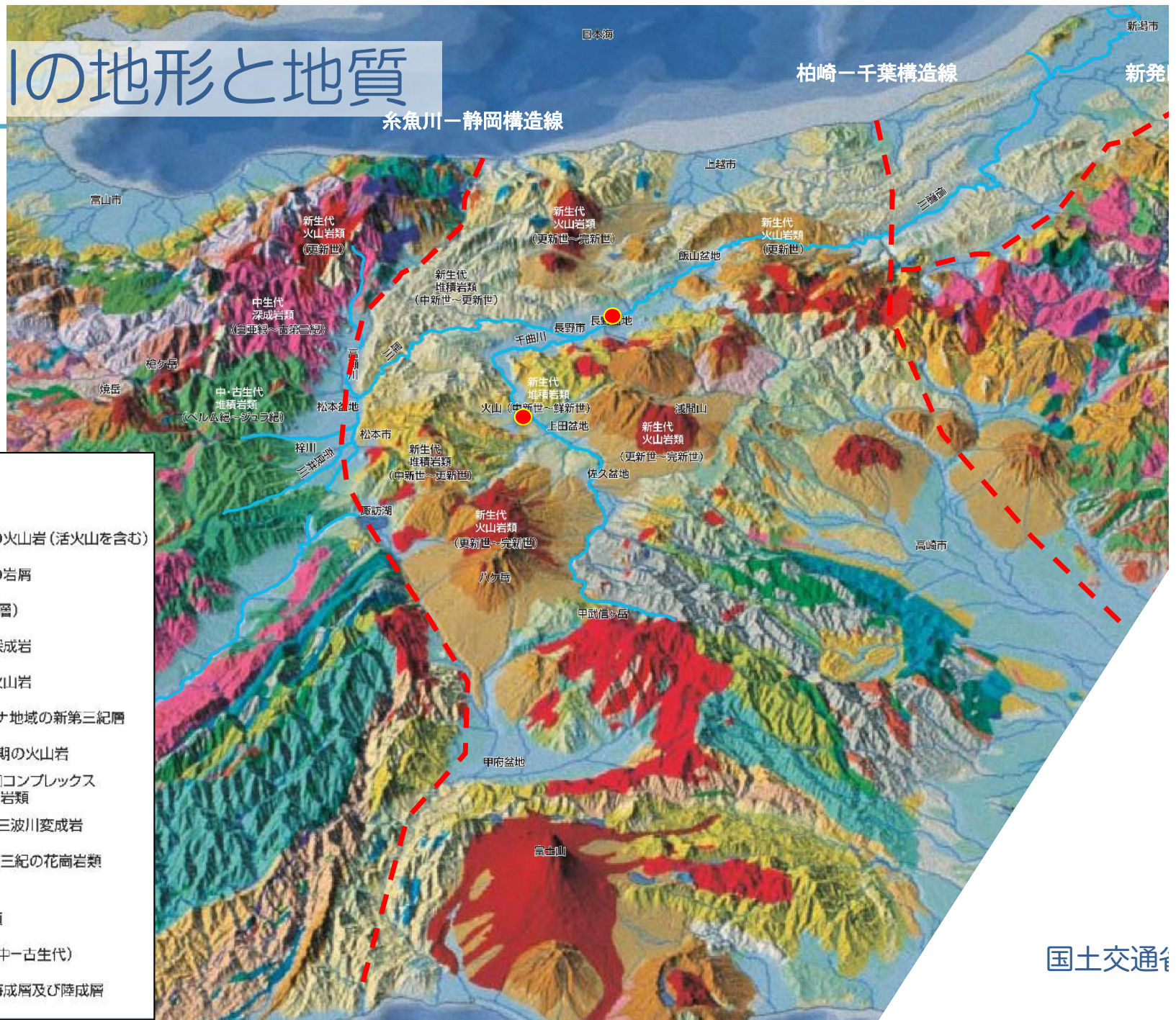
千曲川流域の年間降水量等雨量線図



信濃川水系流域図



千曲川の地形と地質

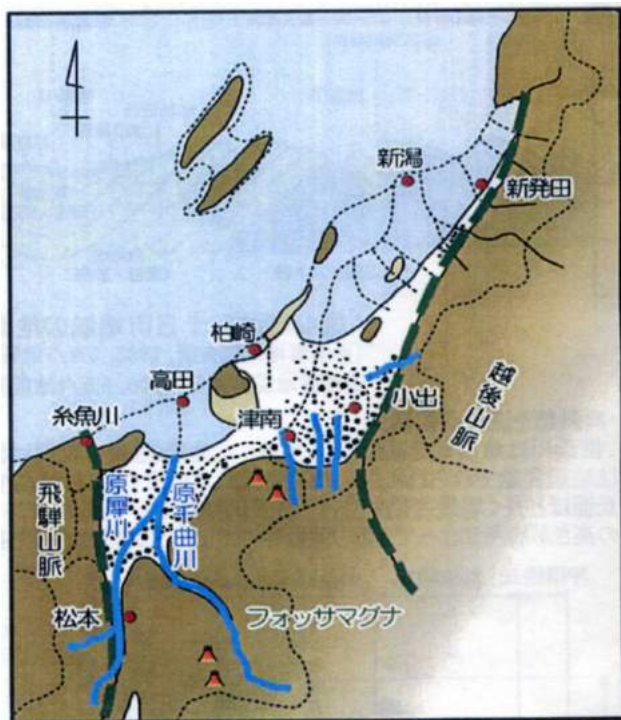


地質図凡例

第四紀	沖積層
	第四紀後期の火山岩 (活火山を含む)
	第四紀火山の岩屑
	更新統 (洪積層)
第三紀	新第三紀の深成岩
	新第三紀の火山岩
	フォッサマグナ地域の新第三紀層
	第四紀前・中期の火山岩
	中生代の付加コンプレックスからなる堆積岩類
白亜紀	領家変成岩・三波川変成岩
	白亜紀-古第三紀の花崗岩類
ジュラ紀	飛騨帯及び飛騨外縁帯の古紀岩類
	船津花崗岩類
	蛇紋岩など (中-古生代)
	中生代の浅海成層及び陸成層



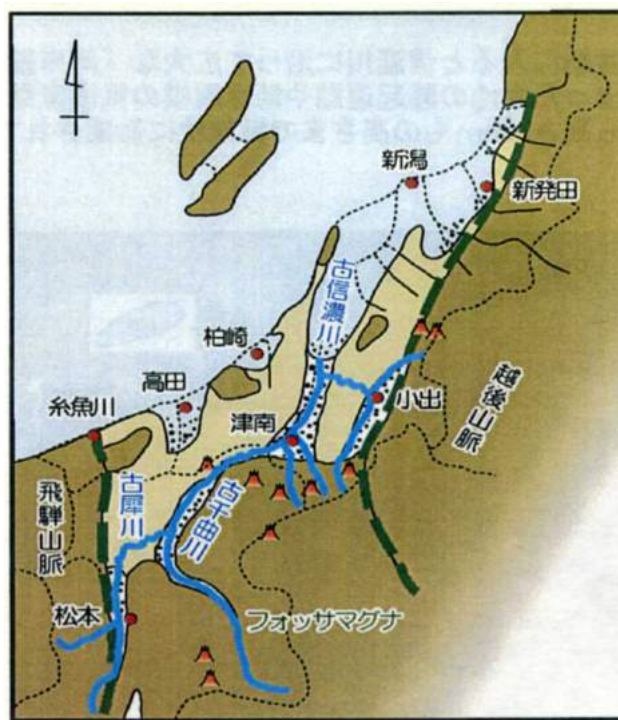
千曲川・信濃川の形成史



100万年前

大地の隆起

隆起により陸地の形成、千曲川は高田方面に流出



30~40万年前

丘陵の形成

隆起により丘陵が形成され、千曲川は長岡方面に流出



現在

越後平野の形成

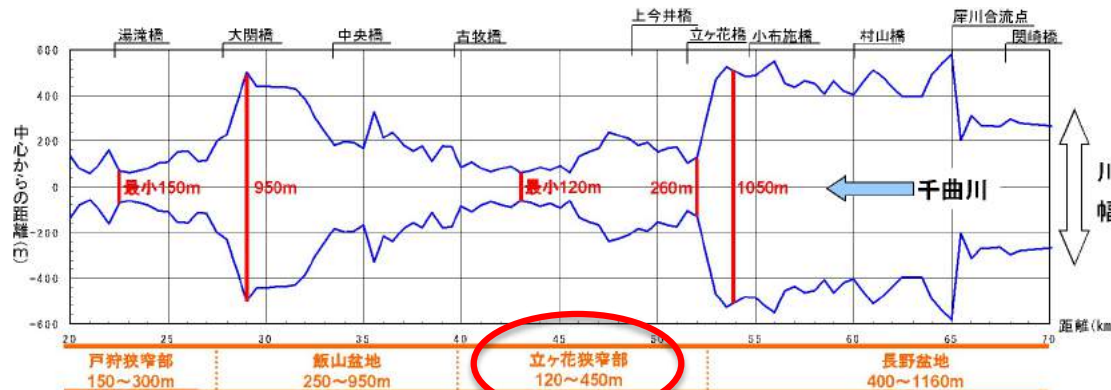
河川による土砂で平野を形成

「信濃川・越後平野の地形と地質」抜粋



河道特性（河床勾配、川幅縦断、河道状況）

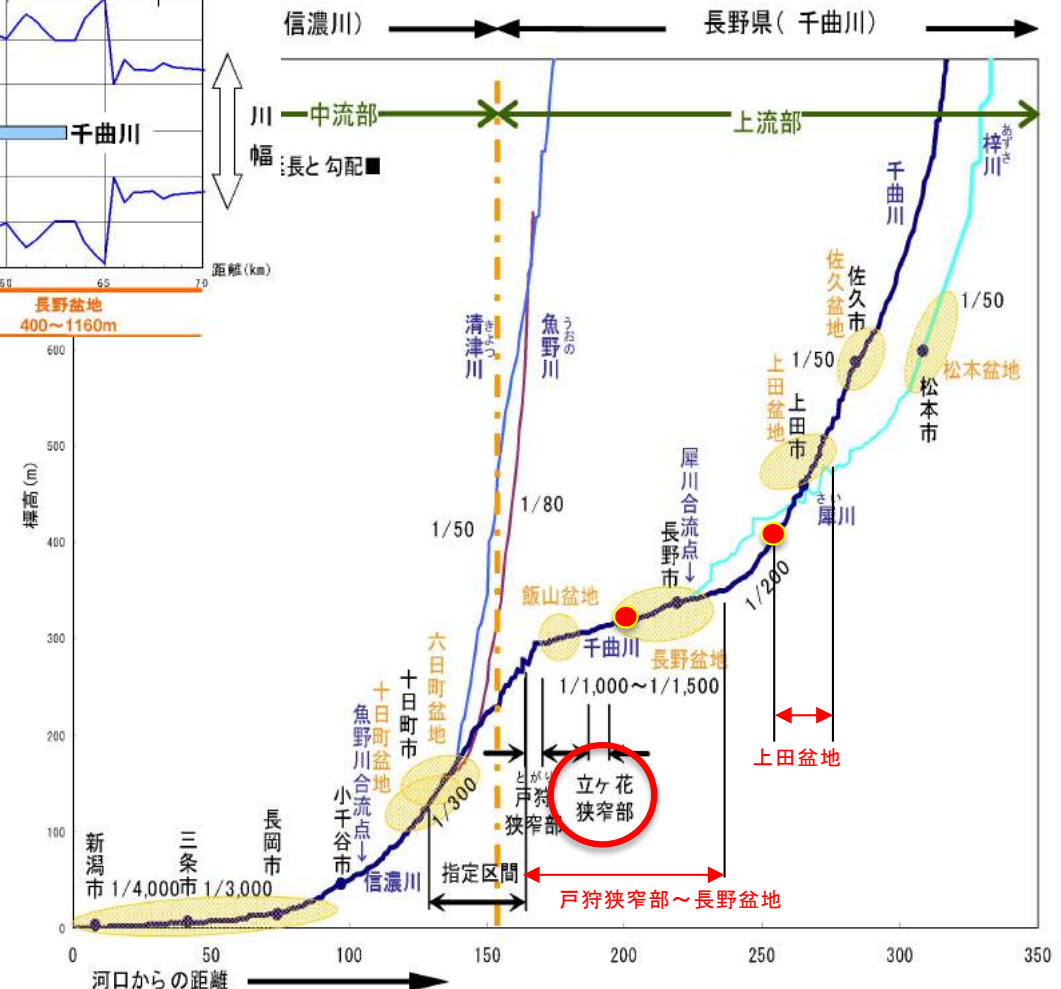
国土交通省資料



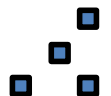
千曲川の川幅



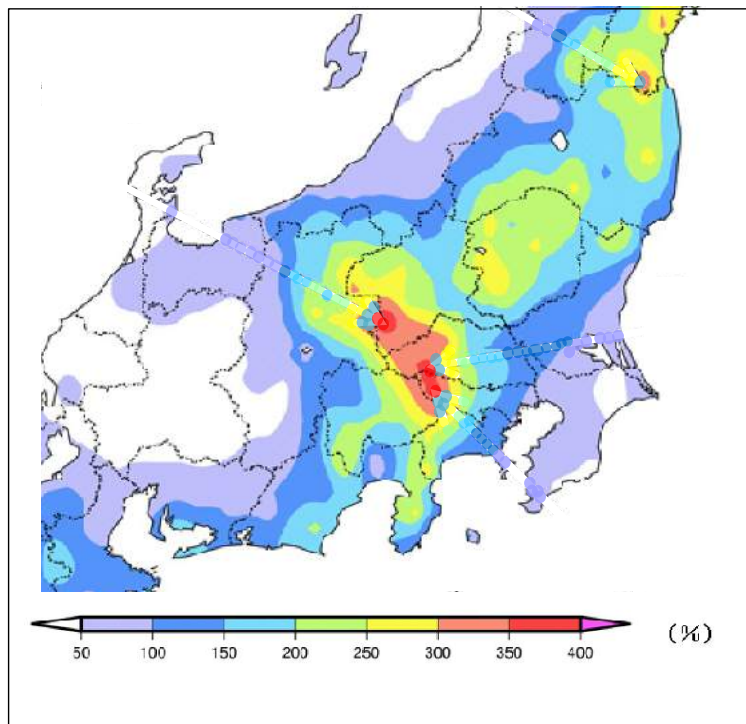
立ヶ花地区狭窄部



千曲川の縦断勾配



気象概要（降水量）



総降水量分布図（10月10日～13日）



観測所位置図

千曲川流域													
のざわおんせん 野沢温泉 野沢温泉村大字豊郷	いいやま 飯山 飯山市大字飯山	しなのまち 信濃町 信濃町柏原	かさだけ 笠岳 高山村奥山田	ながの 長野 長野市箱清水	ひじりこうげん 聖高原 麻績村嶺ヶ島三峰山	すがだら 菅平 上田市菅平高原	うえた 上田 上田市古里	かけゆ 鹿教湯 上田市鹿教湯温泉	たてしな 立科 立科町戸田	かるいざわ 軽井沢 軽井沢町大学長倉	さく 佐久 佐久市中込	きたあいき 北相木 北相木村字板置場	のべやま 野辺山 南牧村野辺山
208mm	136mm	190mm	335mm	142mm	250mm	296mm	154mm	333mm	271mm	324mm	311mm	395mm	172mm

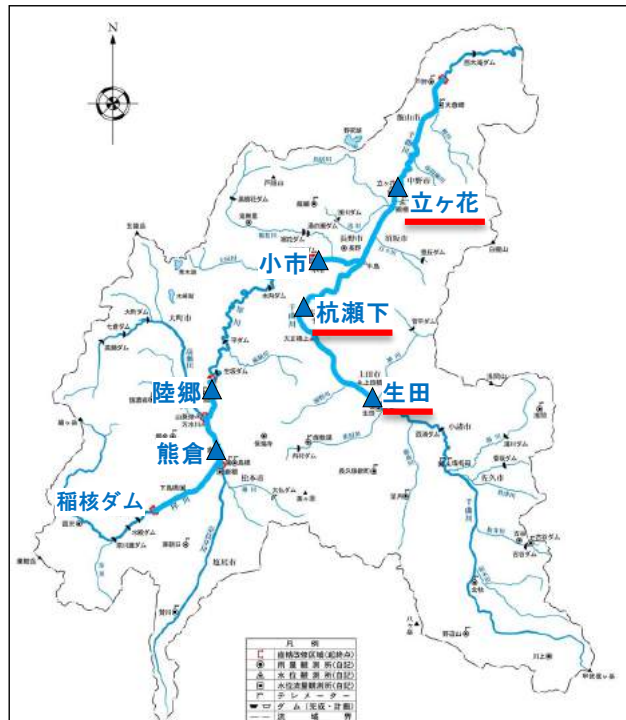
犀川流域							
きなさ 鬼無里 長野市鬼無里	しんしゅうしんまち 信州新町 長野市信州新町牧田中	おおまち 大町 大町市大町	ほたか 穂高 安曇野市穂高	まつもと 松本 松本市沢村	まつもとまい 松本今井 松本市大字空港東	ながわ 奈川 松本市奈川	かみこうち 上高地 松本市安曇上高地
157mm	157mm	98mm	102mm	149mm	130mm	150mm	95mm

国土交通省資料



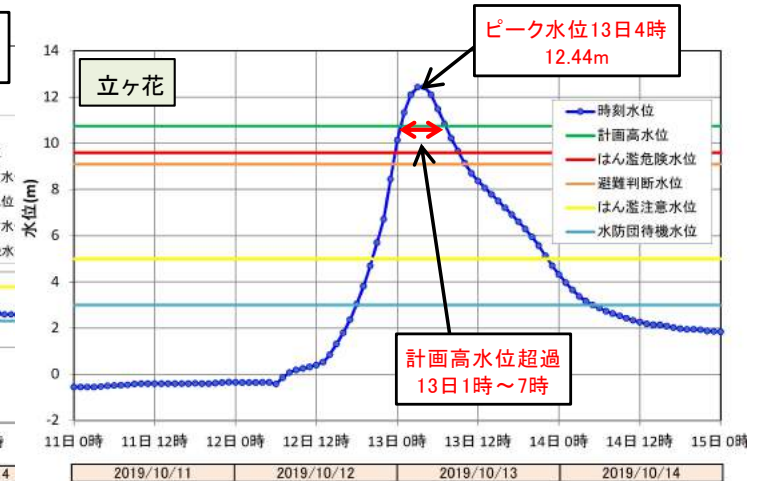
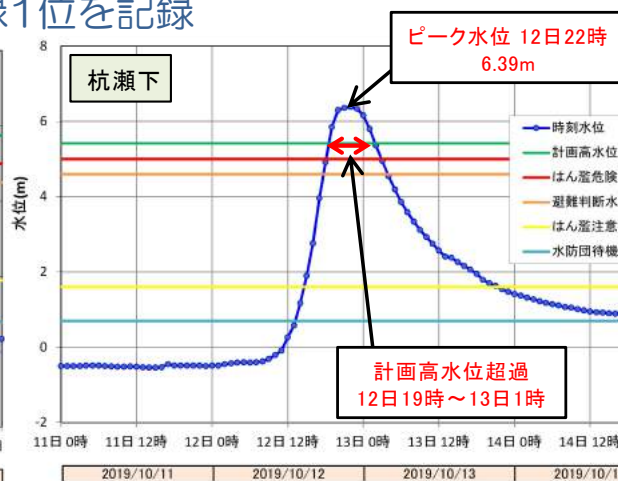
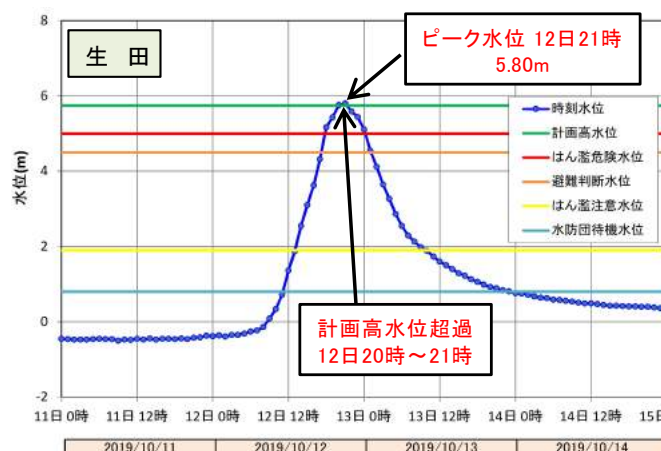
千曲川の河川水位

国土交通省資料



観測所名 (地先名)	いくた 生田 (上田市 生田)	くいせけ 杭瀬下 (千曲市 杭瀬下)	たてがはな 立ヶ花 (中野市 立ヶ花)	いねこき 稲核ダム (松本市 安曇島々)	くまくら 熊倉 (安曇野市 豊科熊倉)	りくごう 陸郷 (安曇野市 明科南陸郷)	こいち 小市 (長野市 川中島)
区分							
最高水位 毎正時 (10分)	5.80m (5.87m)	6.39m (6.40m)	12.44m (12.46m)	111m ³ /s (111m ³ /s)	3.99m (4.07m)	4.09m (4.19m)	0.03m (0.03m)
計画高水位	5.75m	5.42m	10.75m	1,800m ³ /s	7.15m	7.47m	5.03m
氾濫危険 水位	5.00m	5.00m	9.60m	780m ³ /s	6.00m	4.80m	1.80m
避難判断 水位	4.50m	4.60m	9.10m	690m ³ /s	5.80m	4.50m	1.50m
氾濫注意 水位	1.90m	1.60m	5.00m	300m ³ /s	4.00m	3.30m	0.00m
水防団待機 水位	0.80m	0.70m	3.00m	220m ³ /s	3.50m	2.50m	-0.50m

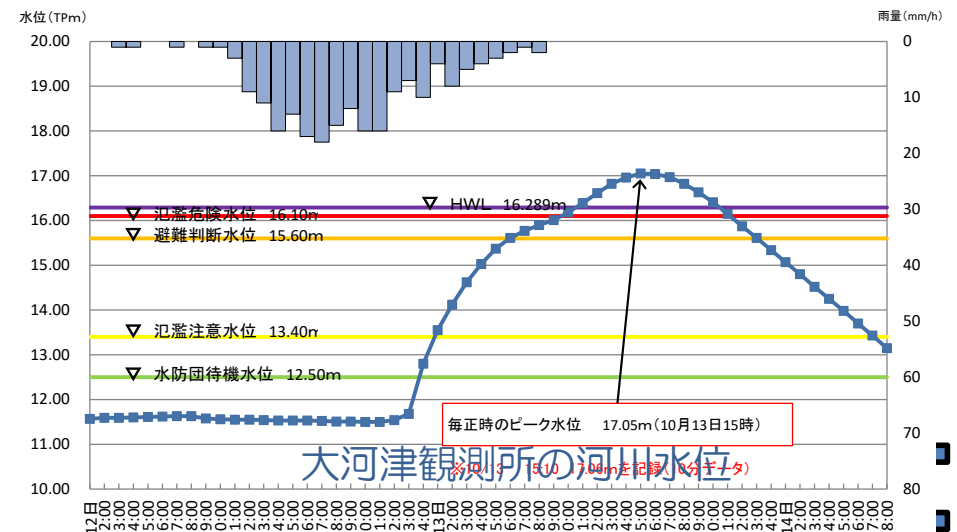
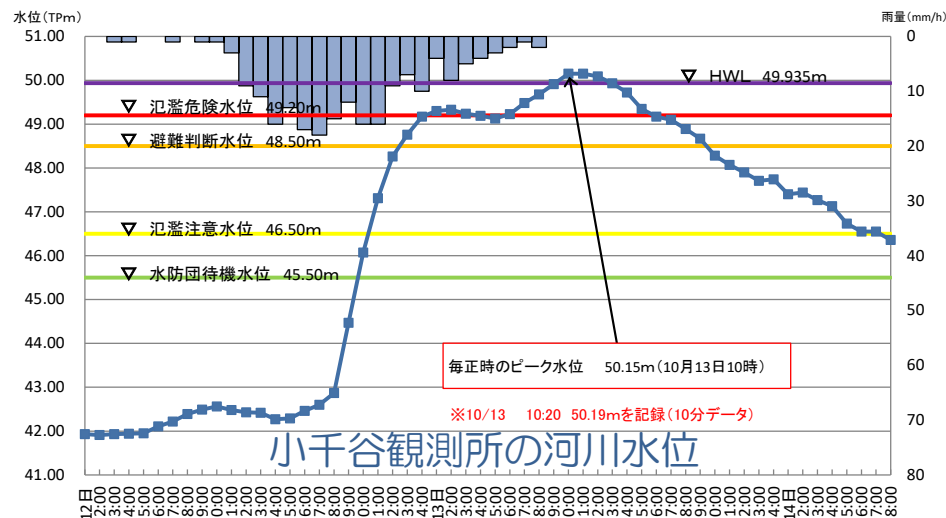
立ヶ花、杭瀬下、生田で観測記録1位を記録



信濃川の河川水位（晴天での大規模出水）

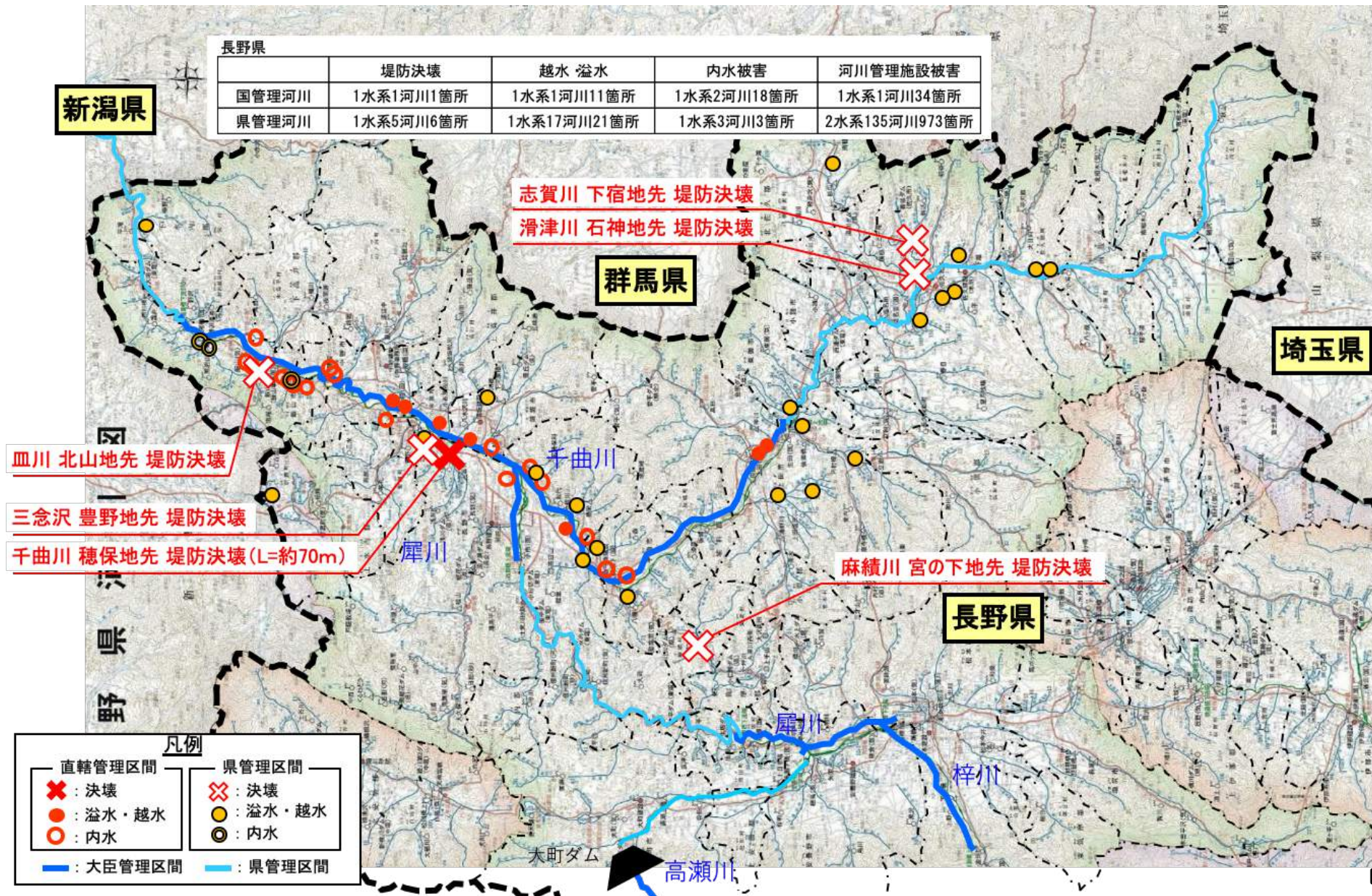


小千谷観測所、大河津観測所で観測記録1位を記録



千曲川流域の被害

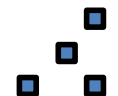
国土交通省資料



千曲川の被災状況（上流側）

国土交通省資料

※速報値のため、今後の精査等により変更する場合があります。



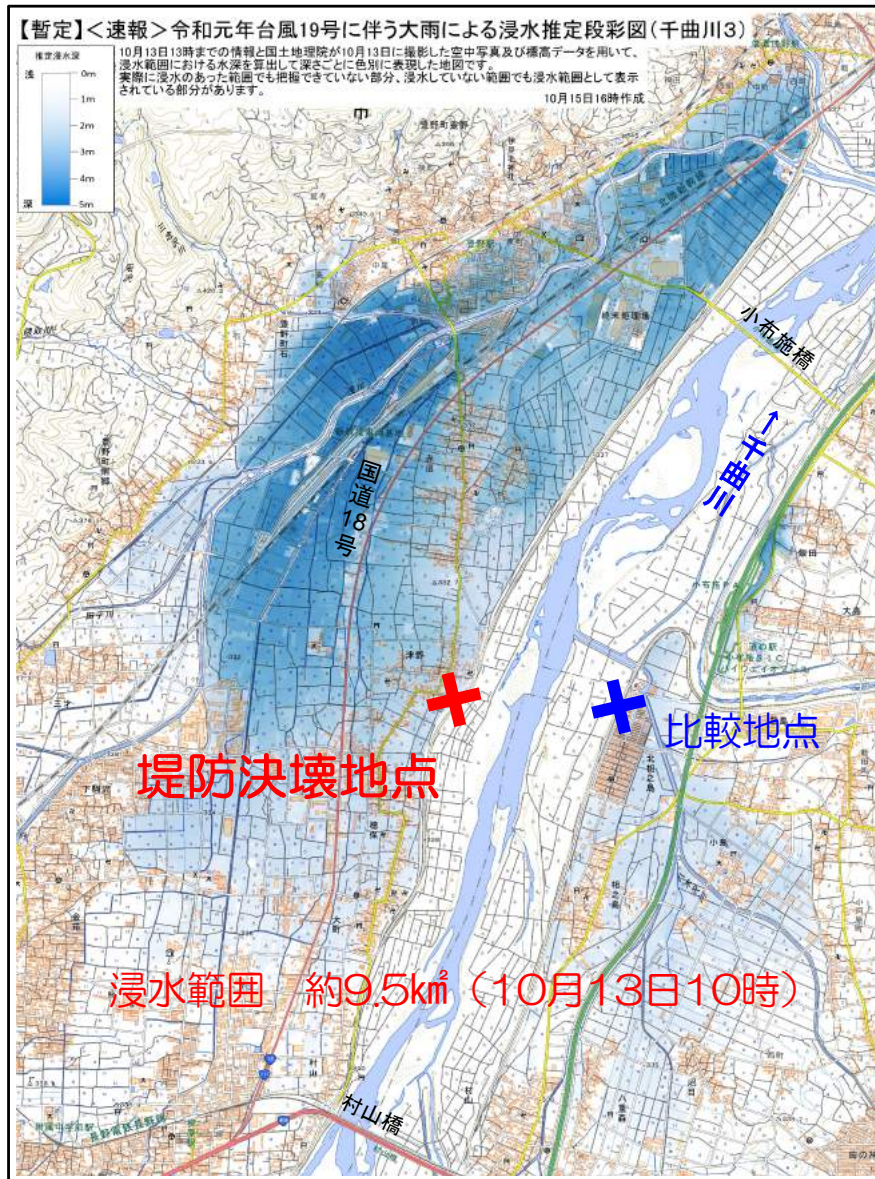
千曲川の被災状況（下流側）

国土交通省資料

※速報値のため、今後の精査等により変更する場合があります。



千曲川58K（穂保地区）の浸水範囲

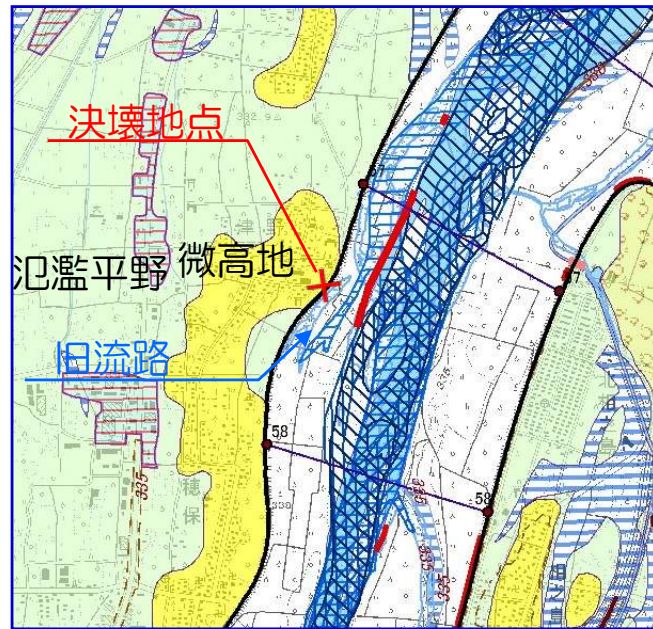


長野県の被害状況：長野県災害対策本部（11月11日10:00現在）

人的被害（人）	死者		5
	行方不明者		0
	負傷者	重傷	7
		軽傷	130
	計		142
住家被害（世帯）	全壊		863
	半壊		2,002
	一部損壊		2,522
	上記以外	床上浸水	565
		床下浸水	2,220
	計		8,172

国土交通省資料

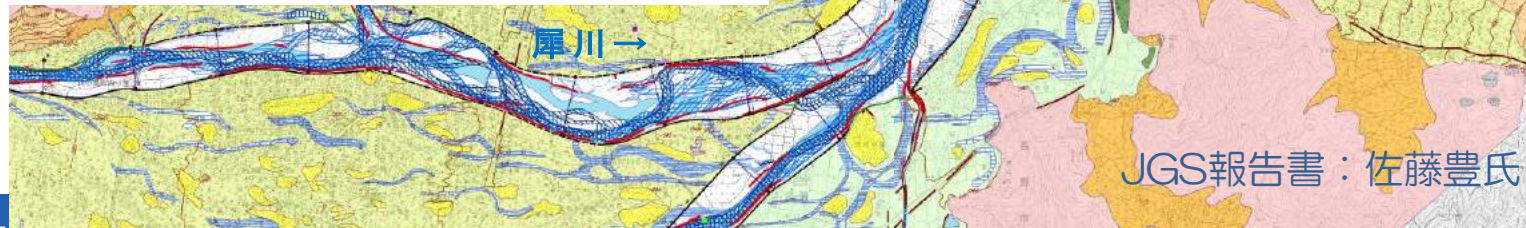
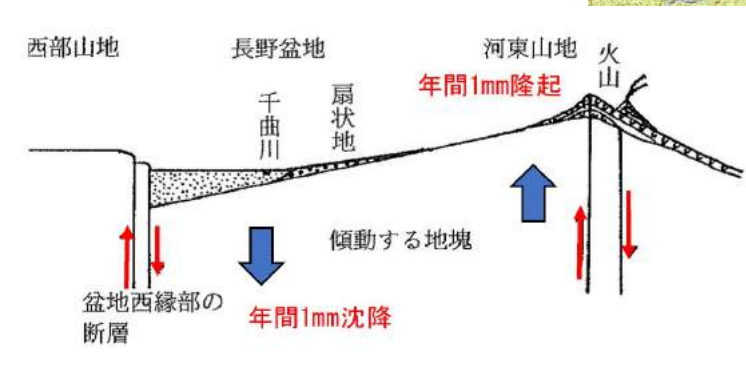
千曲川58K（穂保地区）の治水地形分類図



決壊地点

旧流路

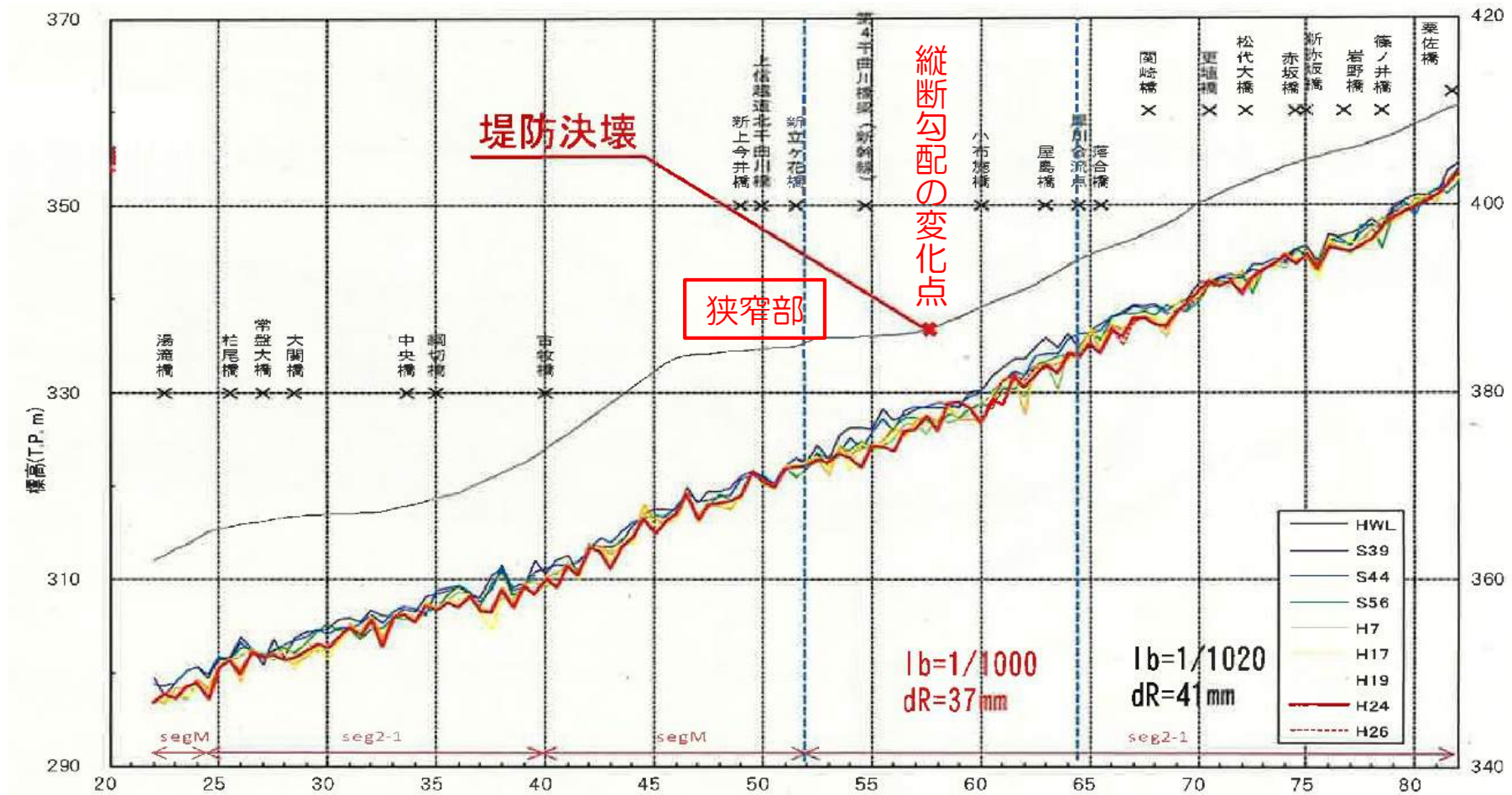
拡大



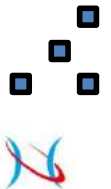
大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地				
台地・段丘		段丘面		
		崖(段丘崖)		
		浅い谷		
低地	山麓の堆積地形	山麓の堆積地形		
	扇状地	扇状地の一般面		
	氾濫平野	氾濫平野の一般面		
	扇状地	微高地		
	氾濫平野	旧河道	旧河道(明瞭)	
			旧河道(不明瞭)	
		落盤		
氾濫平野	後背湿地			
砂州・砂丘	砂州・砂丘			
人工改変地形	干拓地			
	盛土地・埋立地			
	切土地			
	連続盛土			
その他の地形等	天井川の区間			
	現河道・水面			
	旧流路	昭和37年		
		昭和27年		
		昭和04年		
		大正元年		
		明治26年		
	地盤高線	主曲線		
		補助曲線		
河川管理施設等	旧堤防	旧堤防		
	河川管理施設	堤防	完成堤防	
			暫定堤防	
			暫々定堤防	
	護岸			
	河川工作物	水位観測所		
		流量観測所		
		水質観測所		
		雨量観測所		
		樋門・樋管		
		水門・閘門		
		堰堤		
	事務所・出張所	事務所		
		出張所		
	距離標			

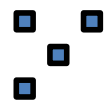
JGS報告書：佐藤豊氏

計画高水位の縦断図



JGS報告書：佐藤豊氏





千曲川58K左岸（穂保地区）の河道状況



出水前（2018.8撮影）

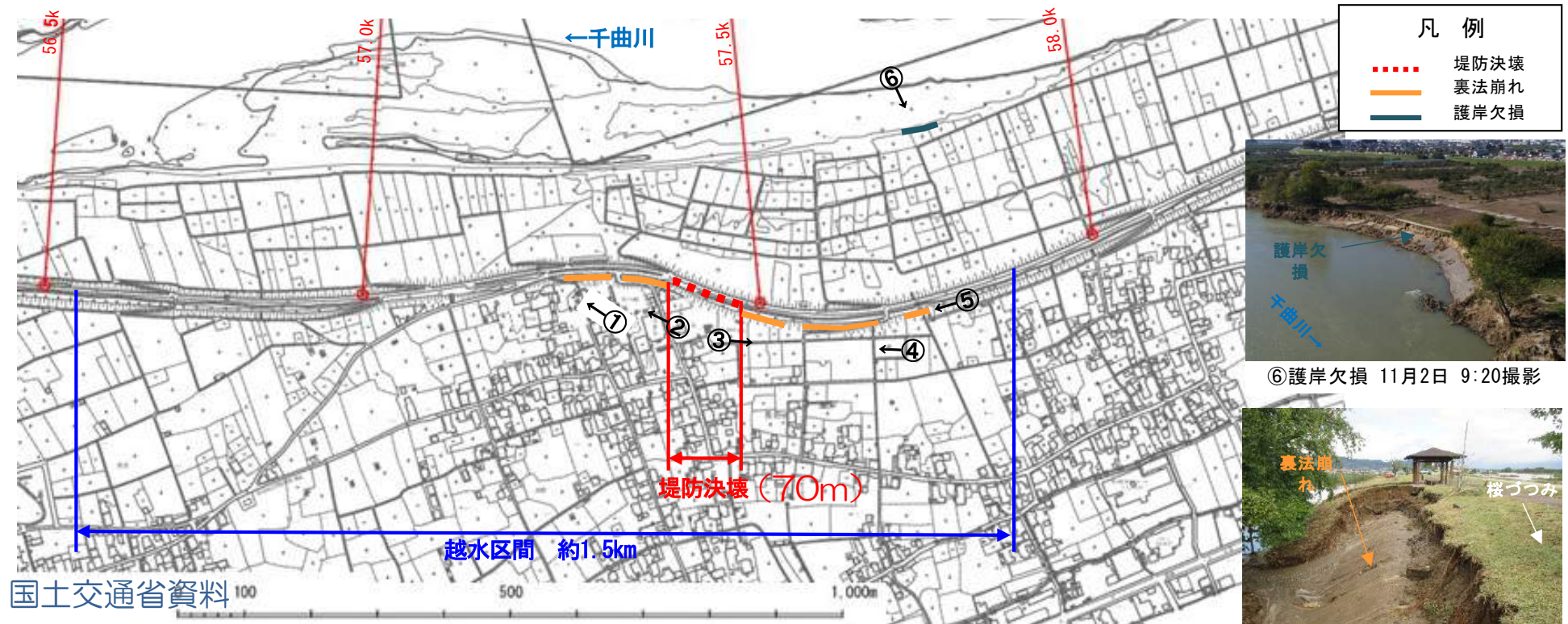


出水後（2019.10.16撮影）

国土交通省資料



千曲川58K左岸（穂保地区）の堤防被害



被災箇所周辺では漏水等による噴砂等の状況は確認されていない



⑥護岸欠損 11月2日 9:20撮影



⑤裏法崩れ 10月13日 9:50撮影



①決壊地点下流側の裏法崩れ
10月13日 14:00撮影



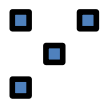
②決壊地点下流側の裏法崩れ
10月20日 16:00撮影



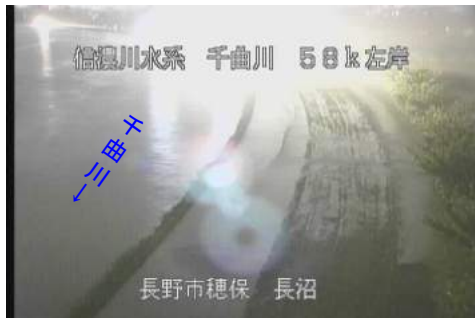
③決壊地点上流の裏法崩れ
10月13日 14:50撮影



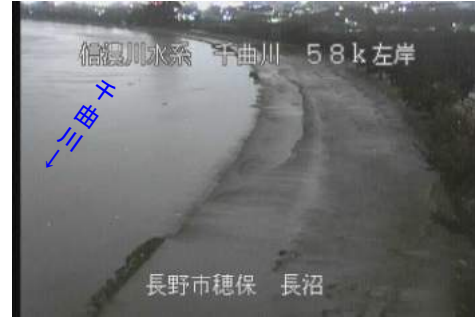
④決壊地点上流の裏法崩れ
10月31日 15:40撮影



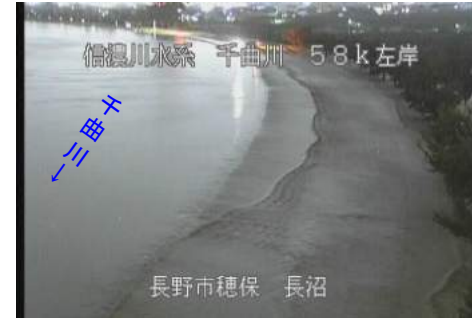
穂保地区の越流状況



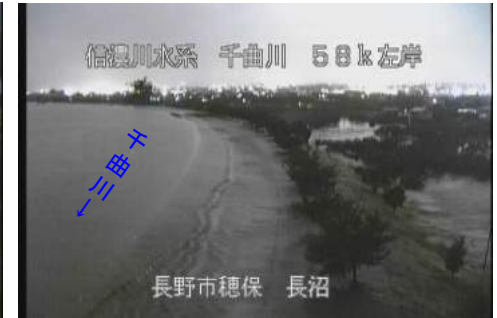
①2019.10.13 1:00 越水開始直後



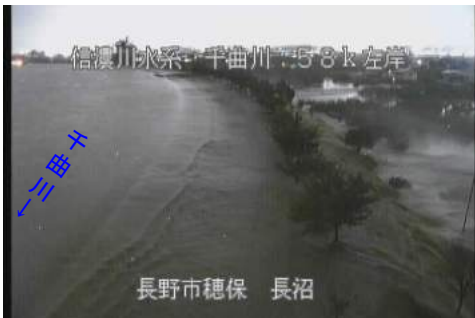
②2019.10.13 1:10



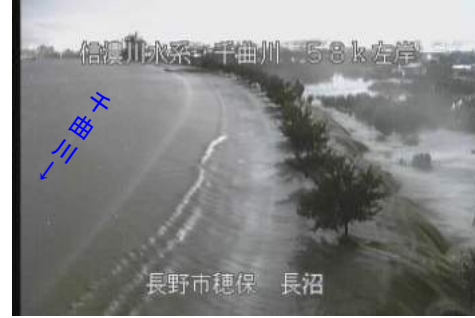
③2019.10.13 1:20



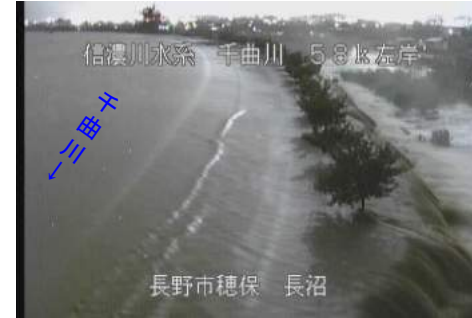
④2019.10.13 1:40



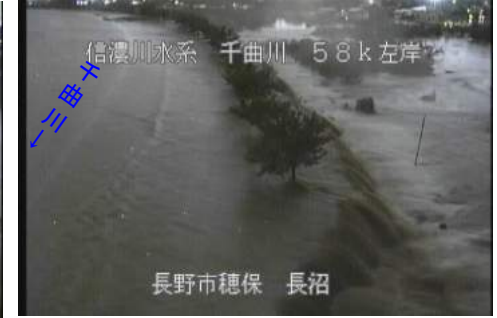
⑤2019.10.13 1:50



⑥2019.10.13 2:00



⑦2019.10.13 2:10



⑧2019.10.13 2:15



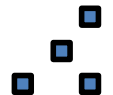
⑨カメラ倒壊

堤体内の光ケーブルの破損は4時頃

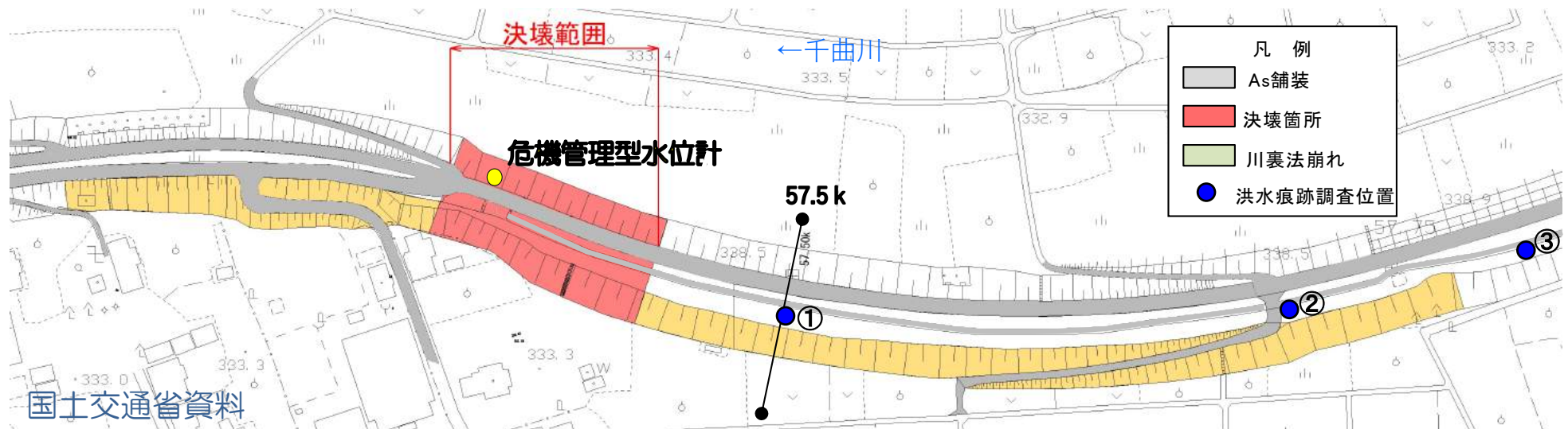
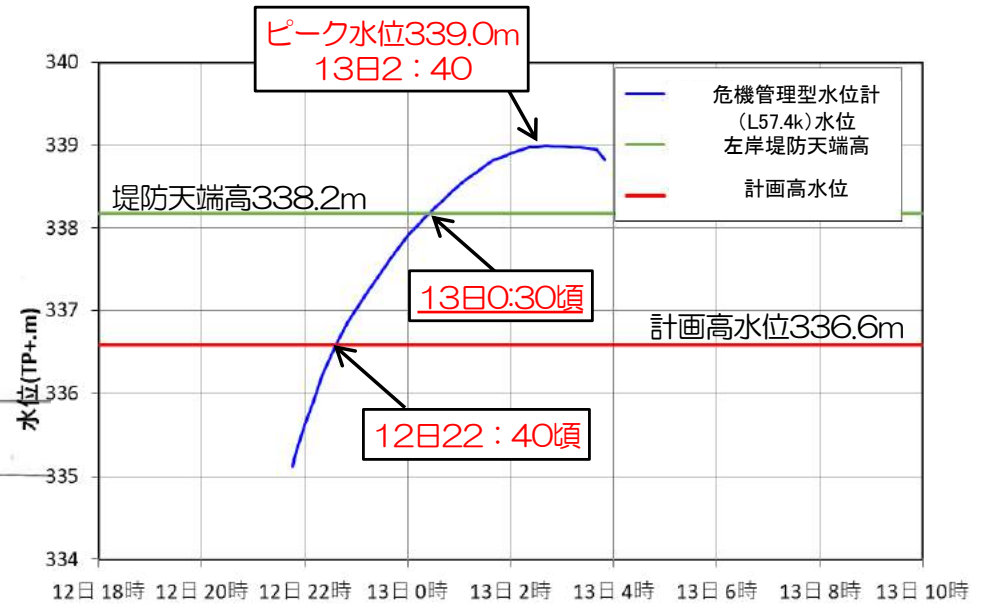
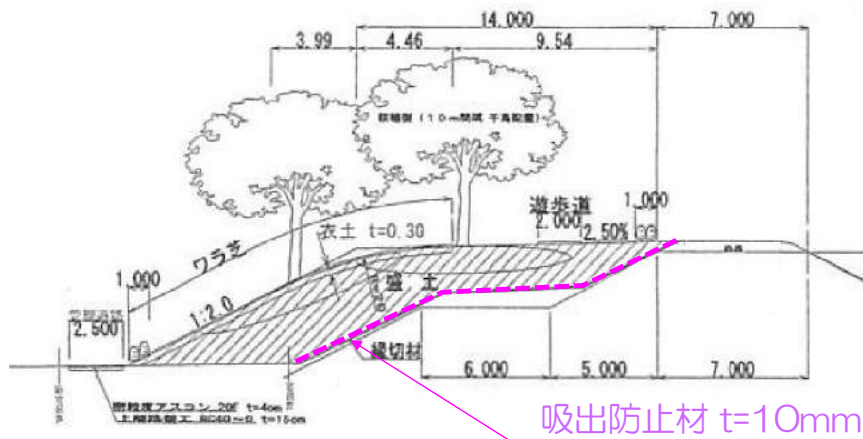


⑩2019.10.13. 13:10頃 (UAV写真)

国土交通省資料

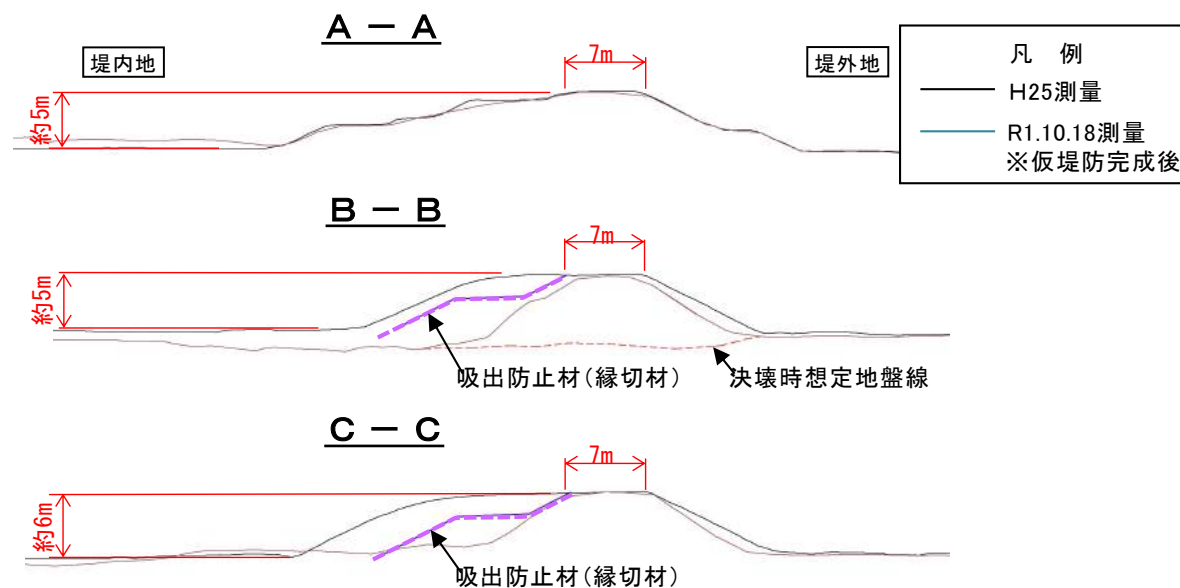
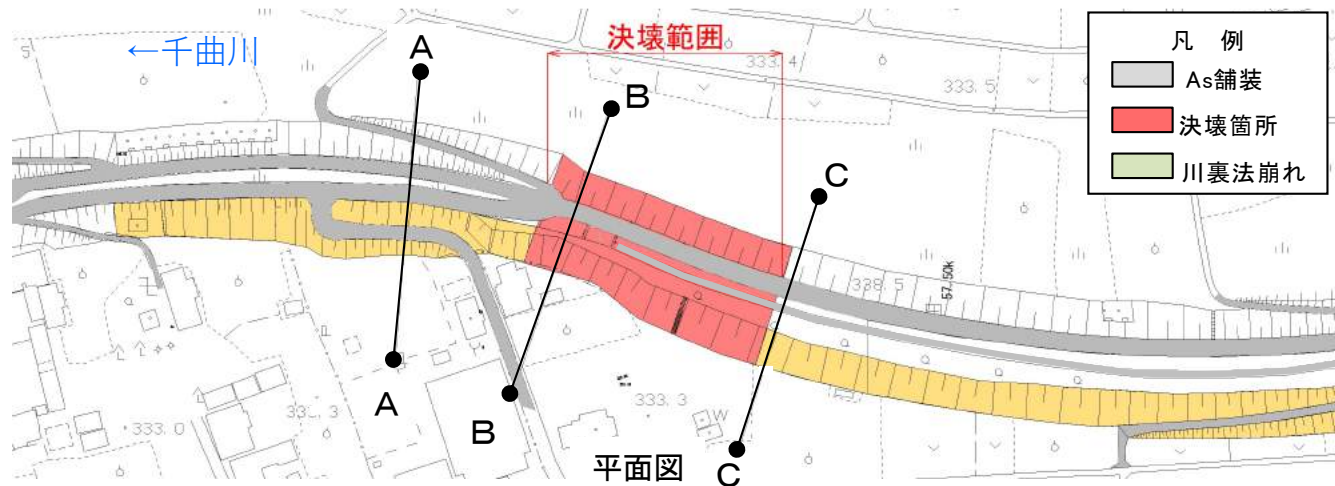


穂保地区の河川水位



堤防の平面および断面図（穂保地区）

国土交通省資料

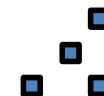


堤防横断面図(下流側、決壊箇所、上流側)



測量時空撮・仮堤防完成時
(2019. 10. 18撮影)

穂保地区の堤防被害状況



穂保地区の堤防被害状況



穂保地区の堤防被害状況

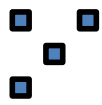


穂保地区の堤防被害状況



産経新聞WEB



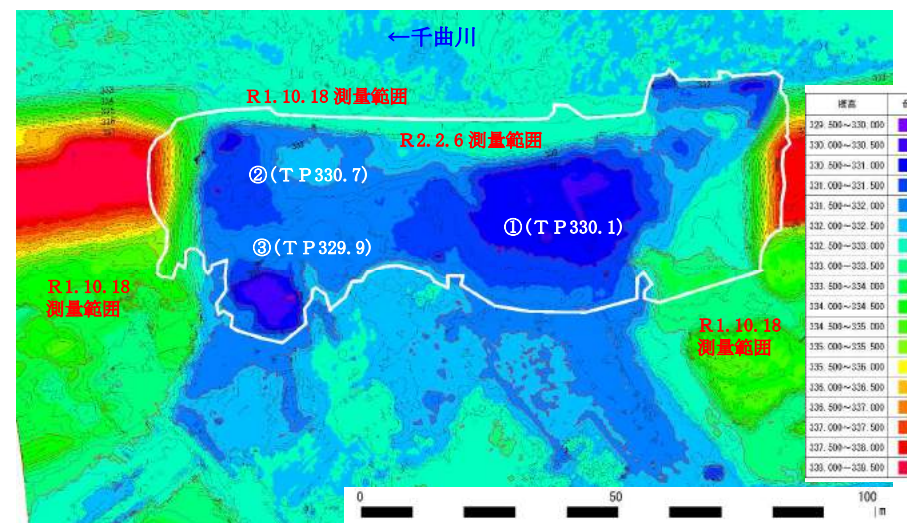


穂保地区の被災状況

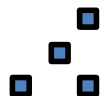


堤防破堤状況

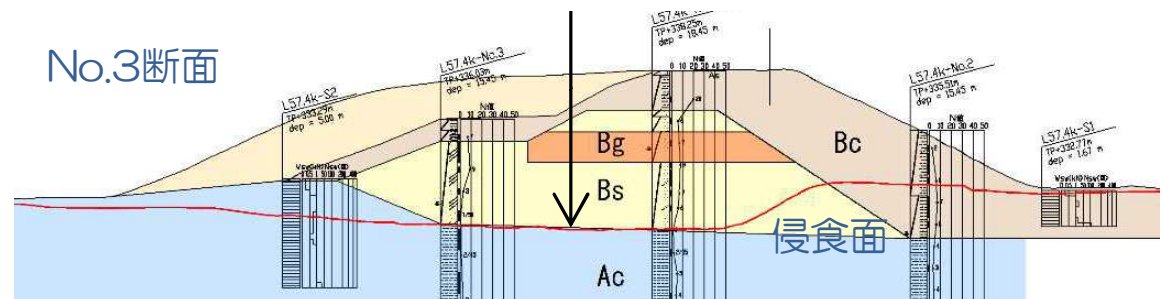
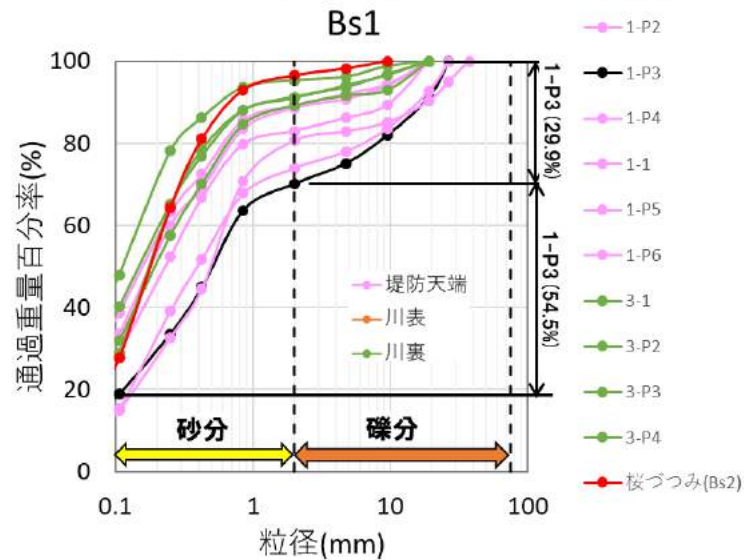
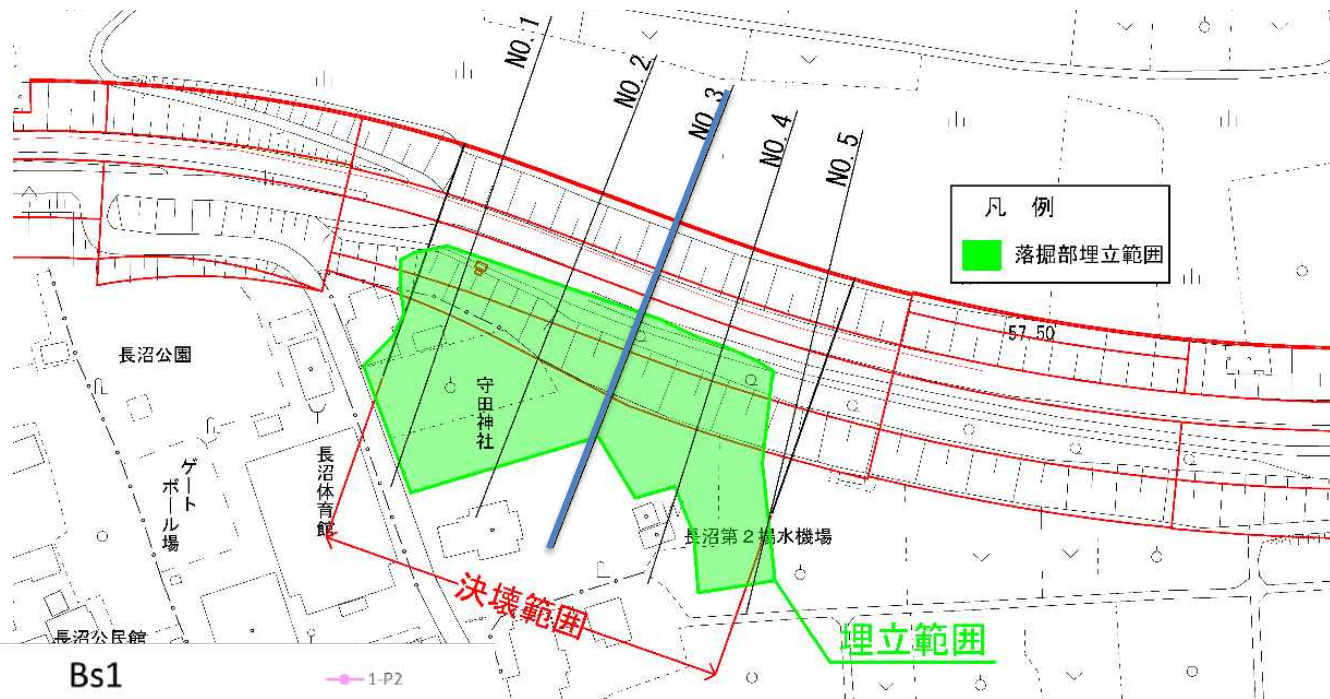
落堀の形成状況



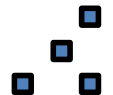
国土交通省資料



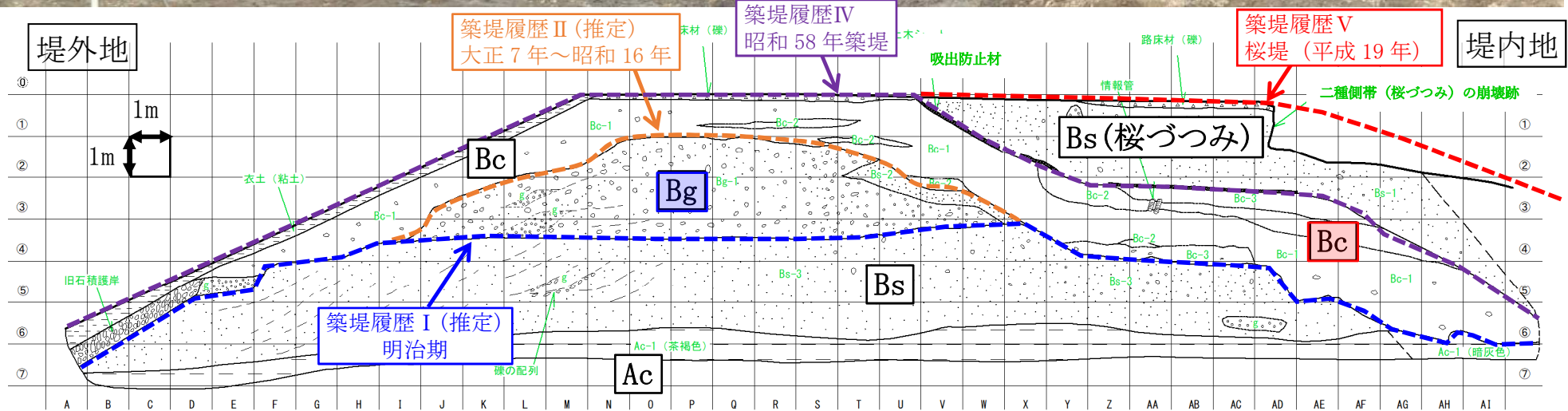
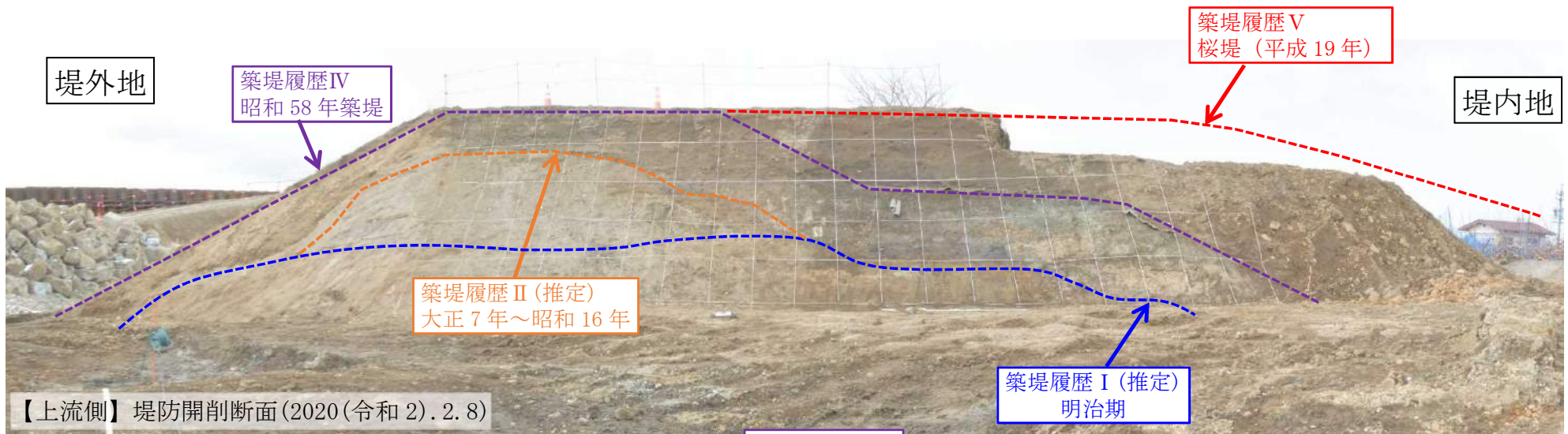
穂保地区の堤防および基礎地盤の土質



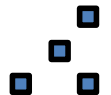
国土交通省資料



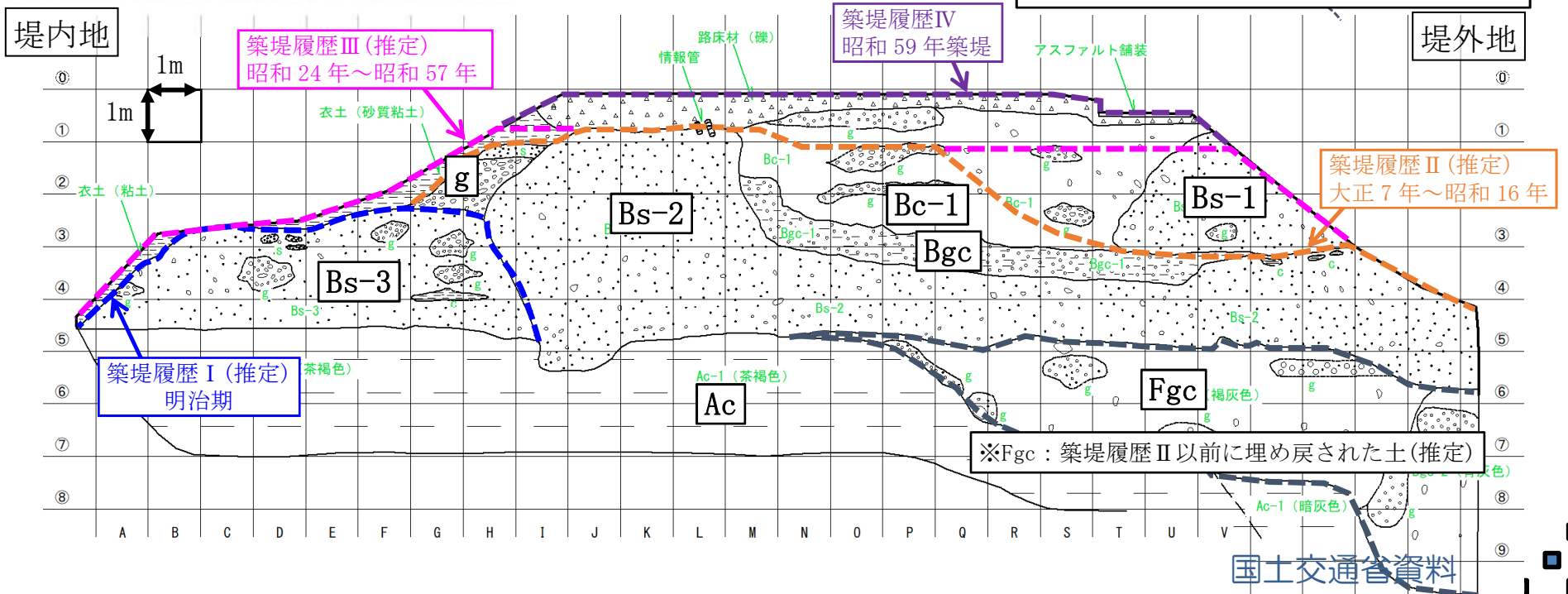
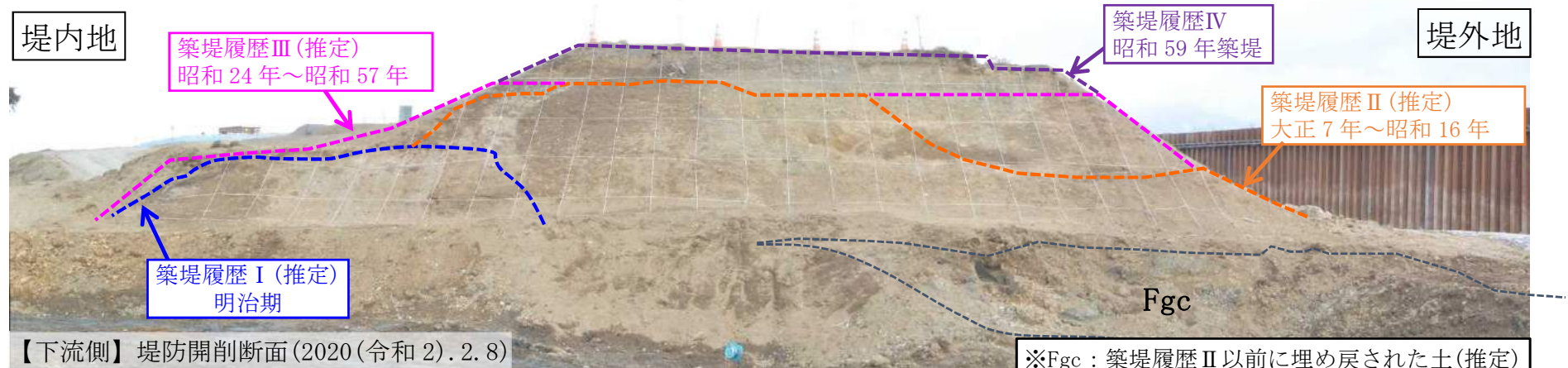
穂保地区の堤防断面（上流側）



国土交通省資料

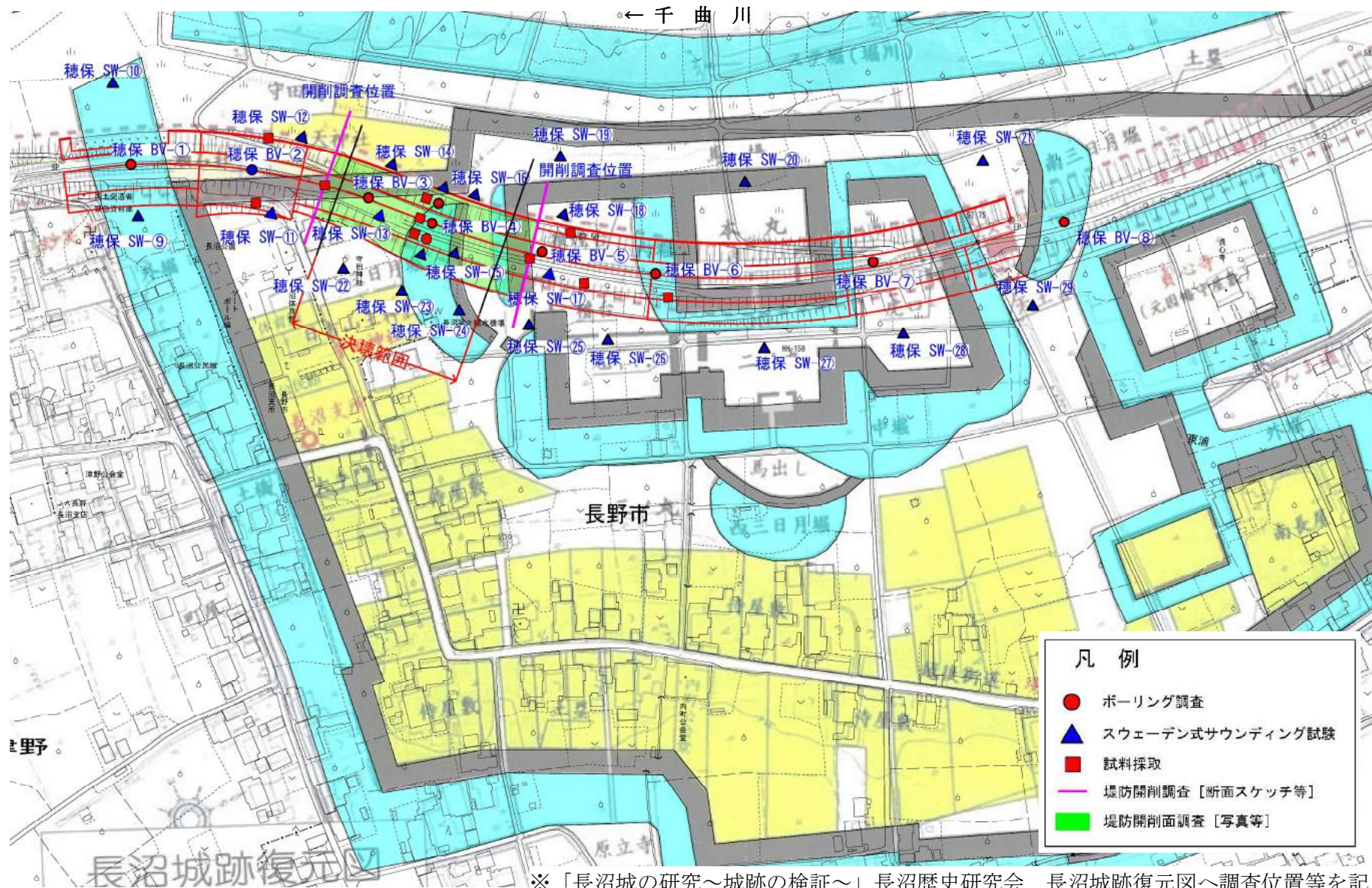


穂保地区の堤防断面（下流側）

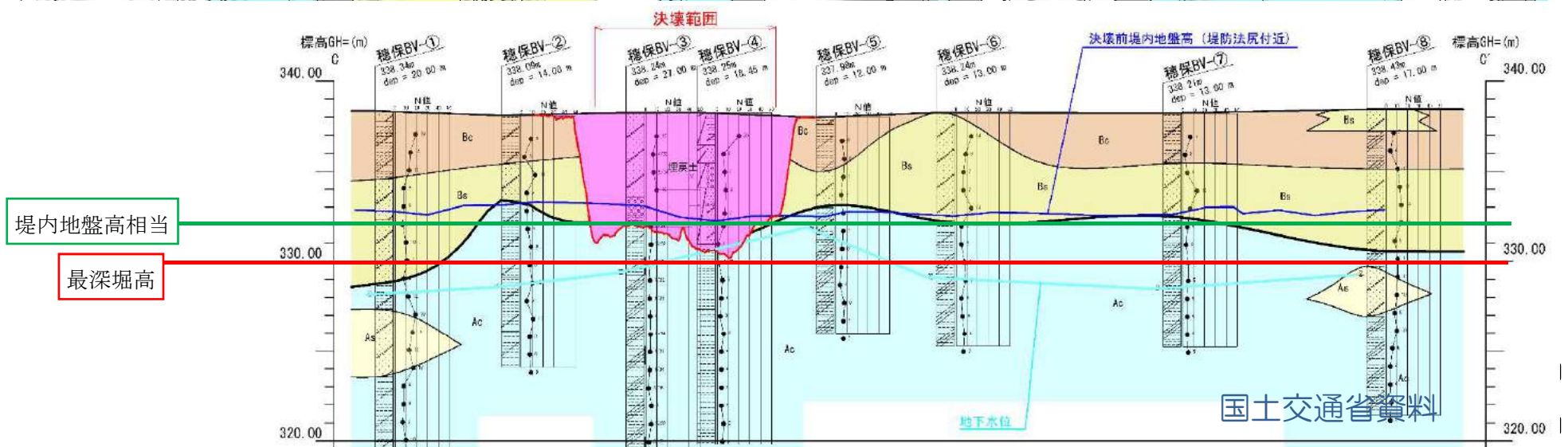
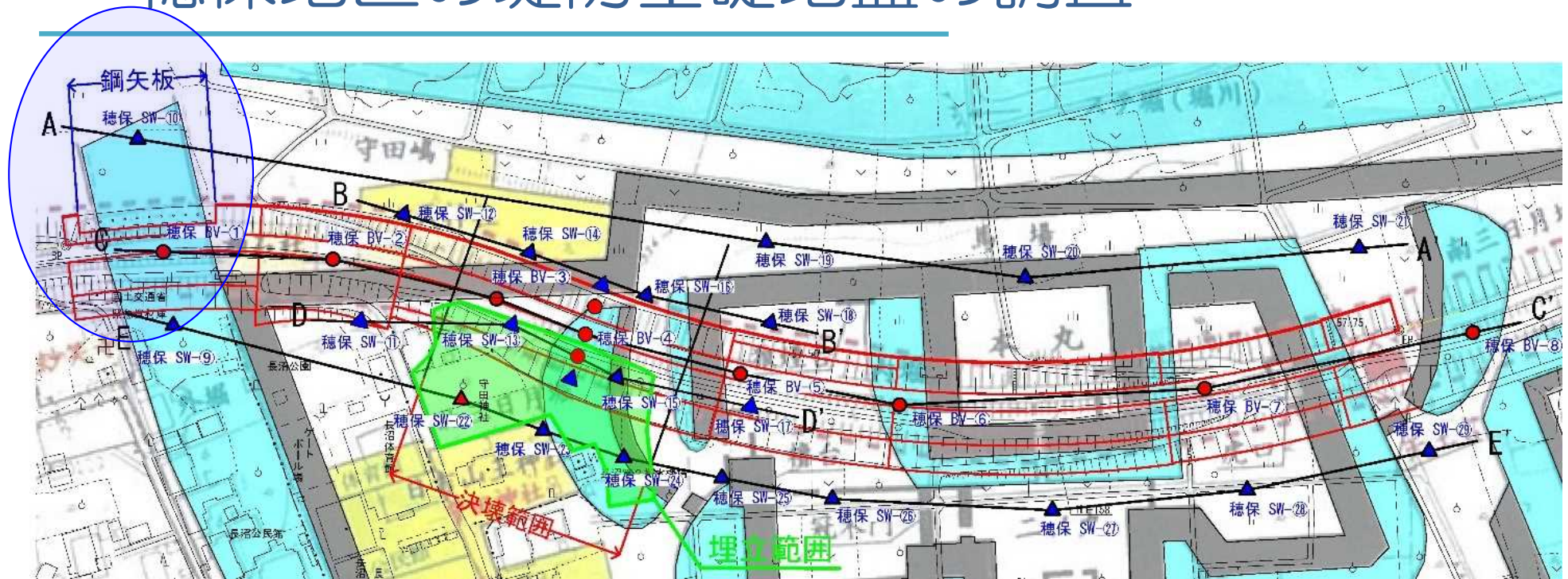


穂保地区の堤防と長沼城址

国土交通省資料

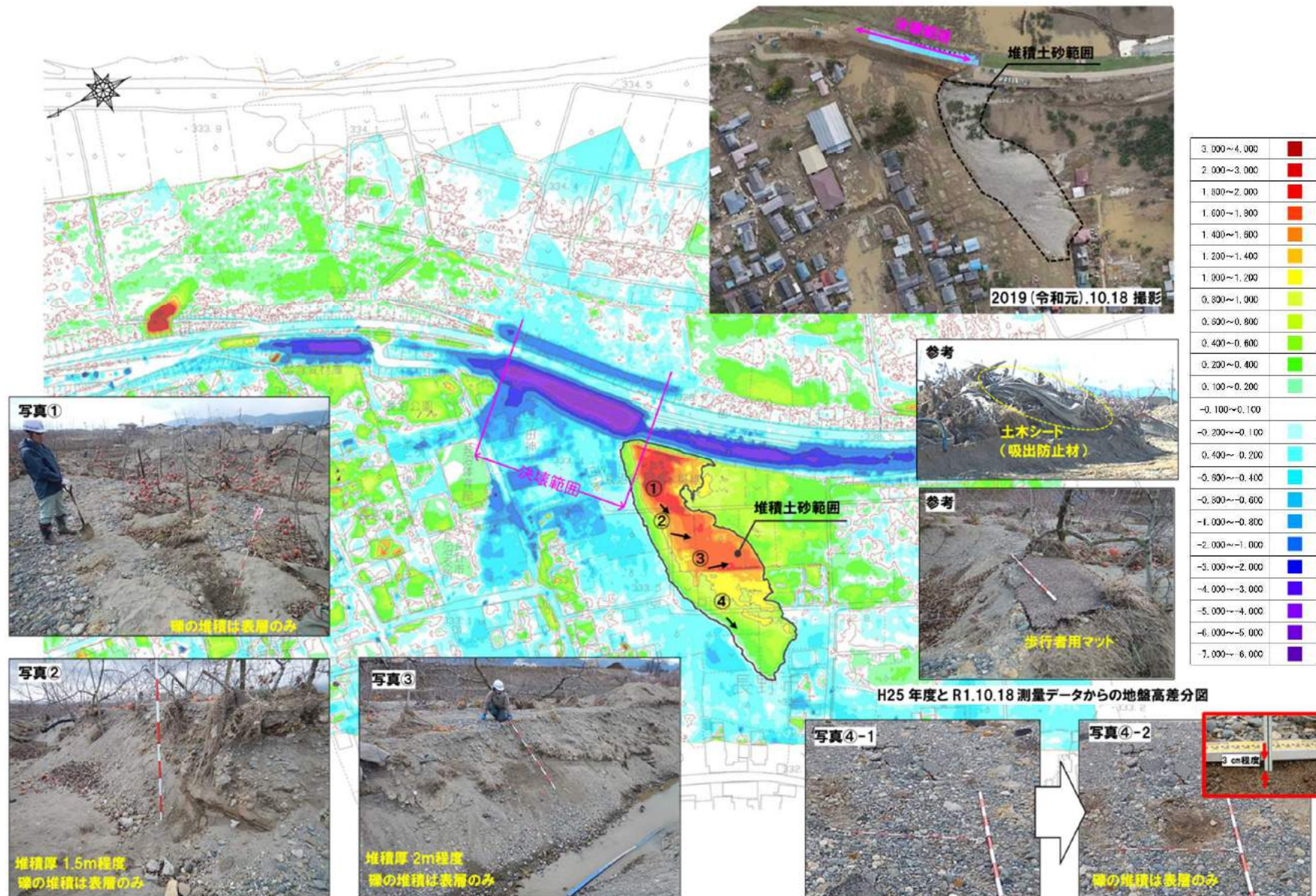


穂保地区の堤防基礎地盤の調査

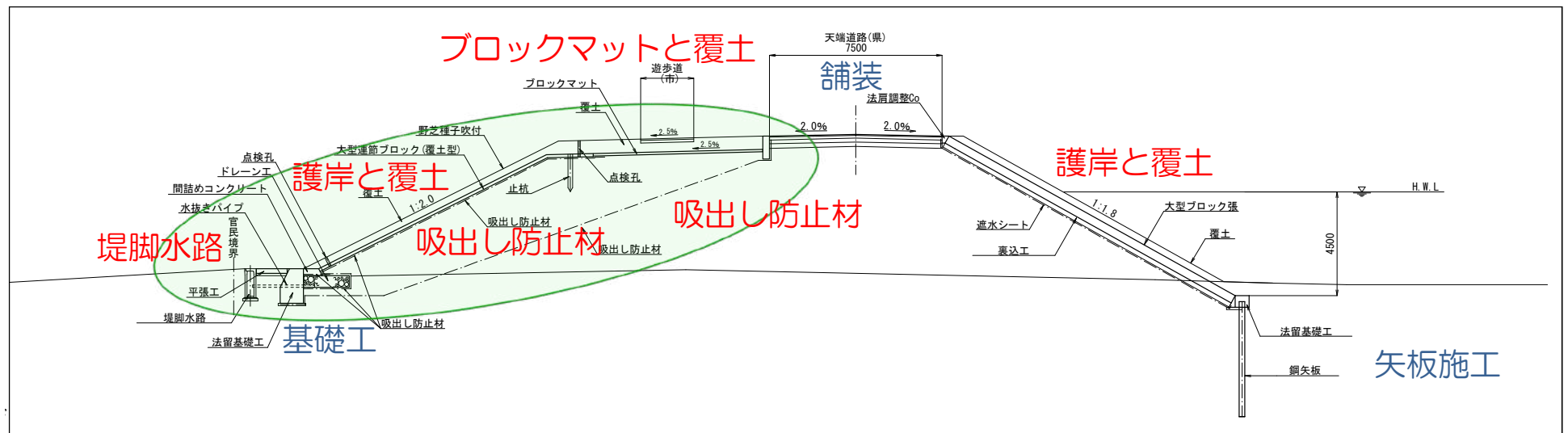


穂保地区の堤防基礎地盤の調査

国土交通省資料



穂保地区の堤防復旧



(決壊区間を含む 140m の範囲)

国土交通省資料



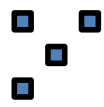
堤防復旧状況



裏法の被覆状況 (大型連節ブロック)



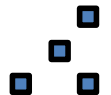
堤防復旧状況

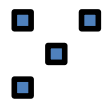


千曲川104K左岸（諏訪形地区）の堤防被害



被災箇所周辺では延長約300mにわたり欠損し、千曲川橋梁（上田電鉄）左岸側橋台が被災

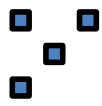




千曲川104K左岸（諏訪形地区）の堤防被害

- 千曲川左岸104k付近堤防欠損地点周辺は、出水を受け砂州の移動など河道が大きく変化した。
- 滞筋は位相が左右岸で逆転するような大きな変化となり、平成年代で水衝部ではなかった箇所が水衝部となった。





千曲川104K左岸の堤防修復履歴

国土交通省資料



①2018年12月1日撮影



①2019年12月2日撮影



②2018年8月撮影



②2019年12月2日撮影

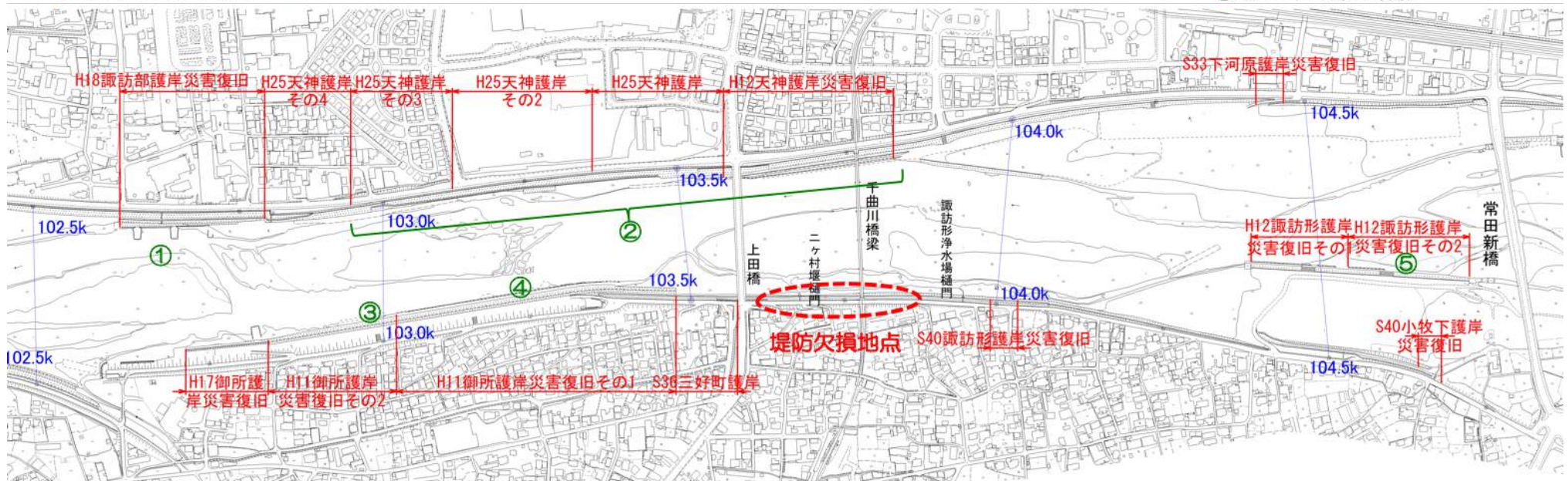


図-1 欠損地点周辺の護岸整備状況図



③2017年7月27日撮影



③2019年12月2日撮影



④2018年10月23日撮影



④2019年12月2日撮影

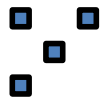


⑤2014年8月19日撮影



⑤2019年12月2日撮影





諏訪形地区の堤防被害と河川水位

国土交通省資料

※数値等は速報値のため、今後の精査等により変更する場合があります。



①2019.10.13 6:25



②2019.10.13 6:30



③2019.10.13 6:40



④2019.10.13 7:00



⑤2019.10.13 7:10



⑥2019.10.13 7:20



⑦2019.10.13 7:30

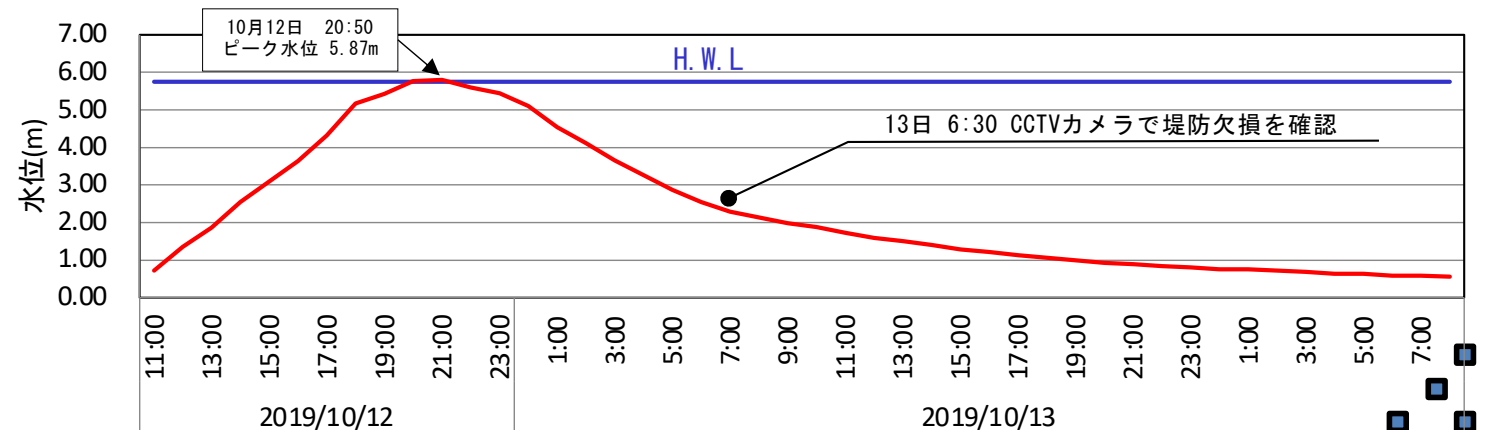


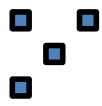
⑧2019.10.13 7:35



カメラ調整中

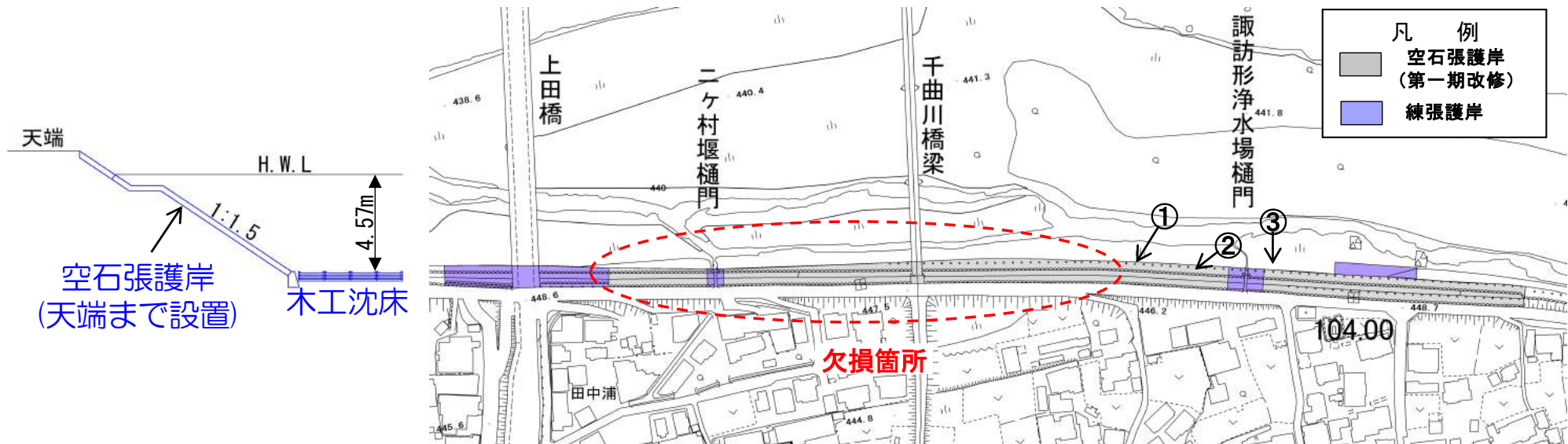
⑨2019.10.13 7:40



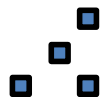


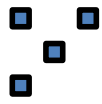
諏訪形地区の堤防被害

国土交通省資料

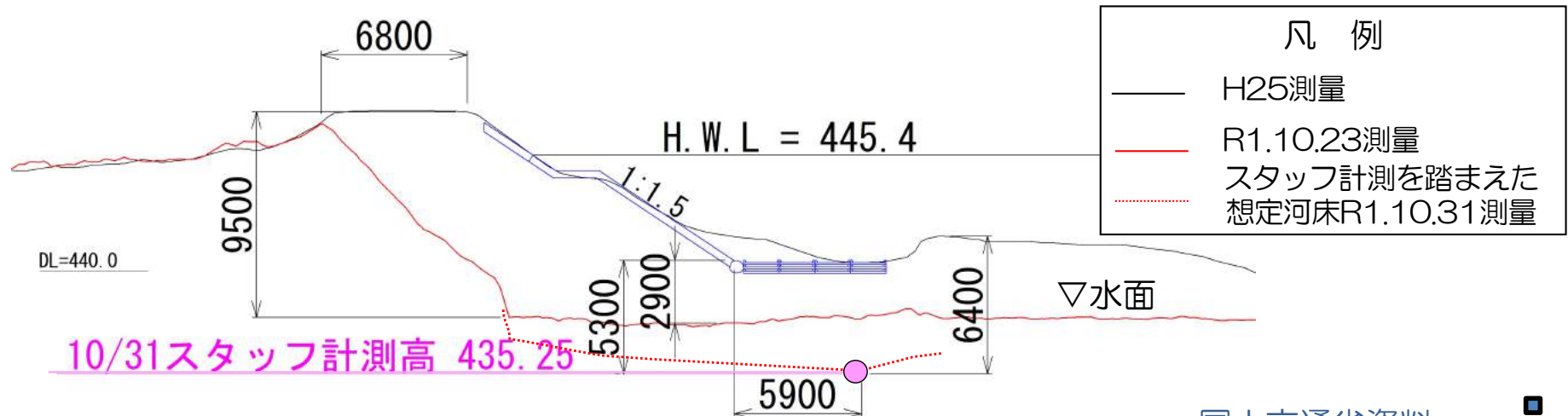
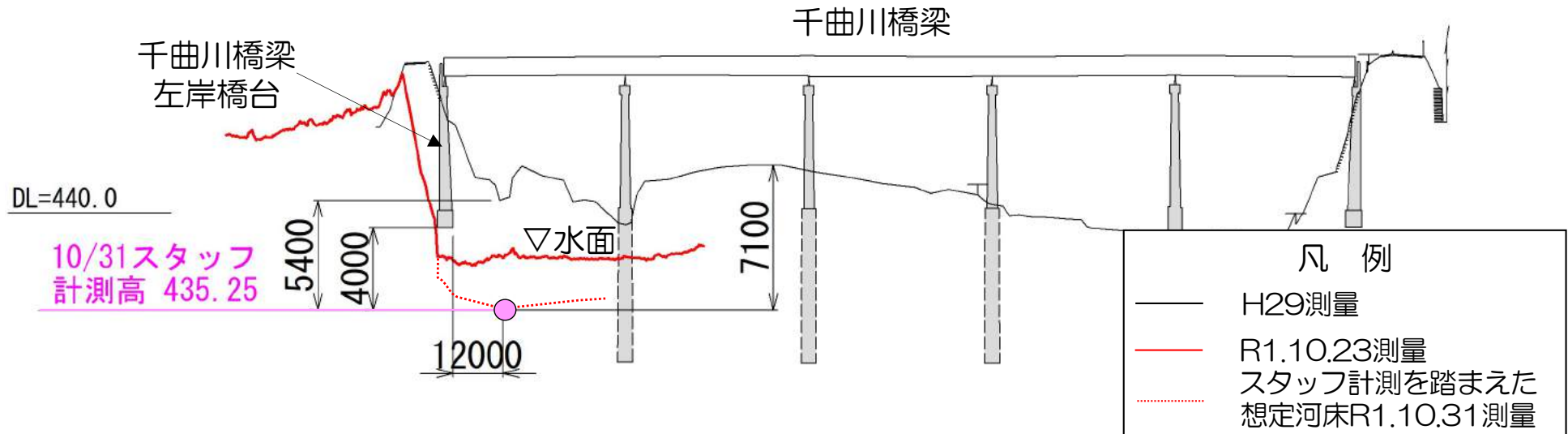


出水後、空石張護岸の
損傷はみられない

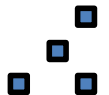


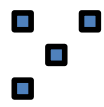


諏訪形地区の堤防被害（堤防欠損）



国土交通省資料





諏訪形地区の瀬替工の状況



2019.10.17 16時頃



2019.10.22 12時頃（増水時）

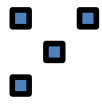


2019.10.27 12時頃



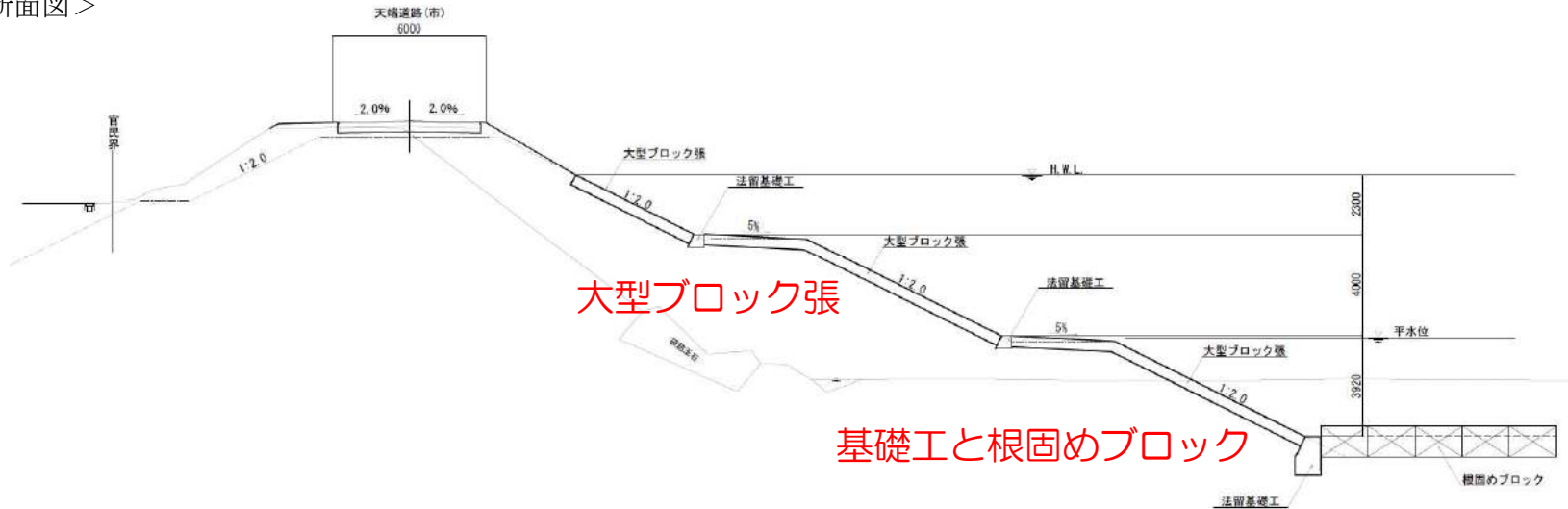
2019.11.3 16時頃





諏訪形地区の堤防復旧

<標準断面図>



2019年10月13日撮影



被災状況写真

2020年4月16日撮影



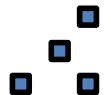
大型ブロック張の施工完了状況写真

2020年4月30日撮影



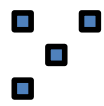
根固めブロックの施工完了写真

国土交通省資料

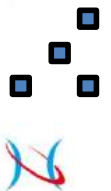
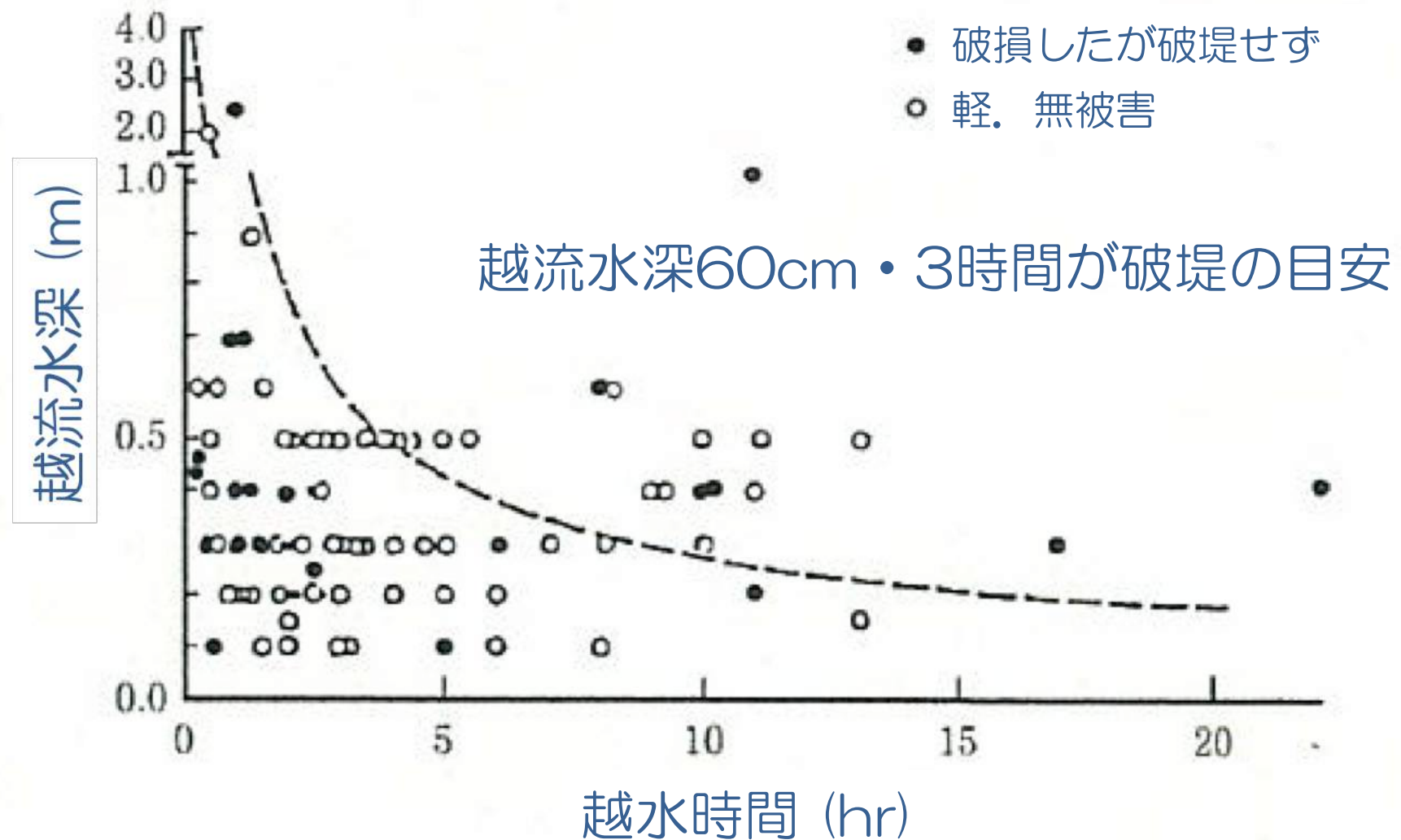


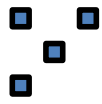
相之島地区（穂保地区対岸）の堤防被害





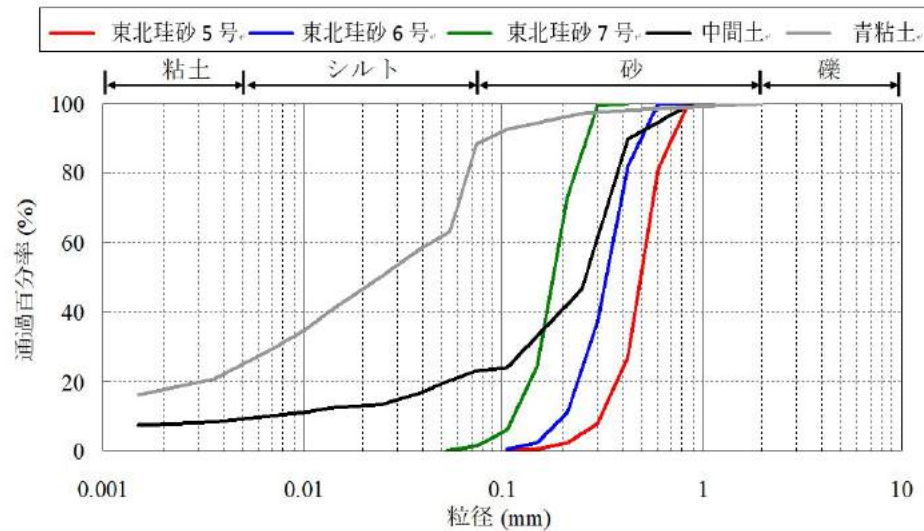
越流水深と破堤時間





模型実験

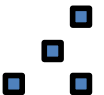
- 堤体材料
 - 青粘土＋東北珪砂6号（重量比1：3）
- フィルター・補強材
 - 砕石6号

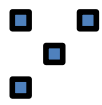


粒径加積曲線

堤体に用いた中間土の物理特性及び強度特製

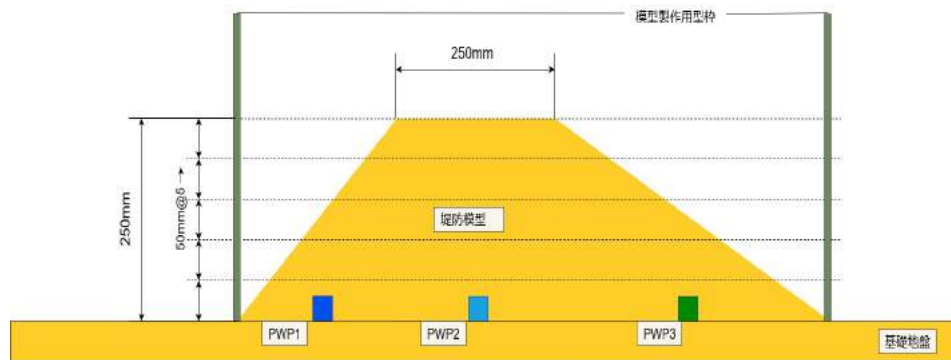
		中間土
砂分含有率	(%)	77.2
細粒分含有率	(%)	22.8
土粒子密度	(g/cm ³)	2.66
最大乾燥密度	(g/cm ³)	1.971
透水係数	(cm/s)	2.1×10^{-2}
粘着力 c		2.66
内部摩擦角 ϕ	(°)	34.0
最適含水比 w	(%)	11.1 ± 0.5



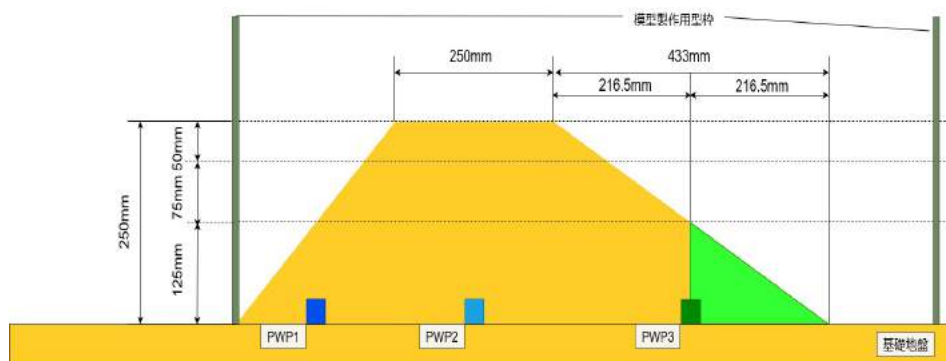


模型実験の検討事例

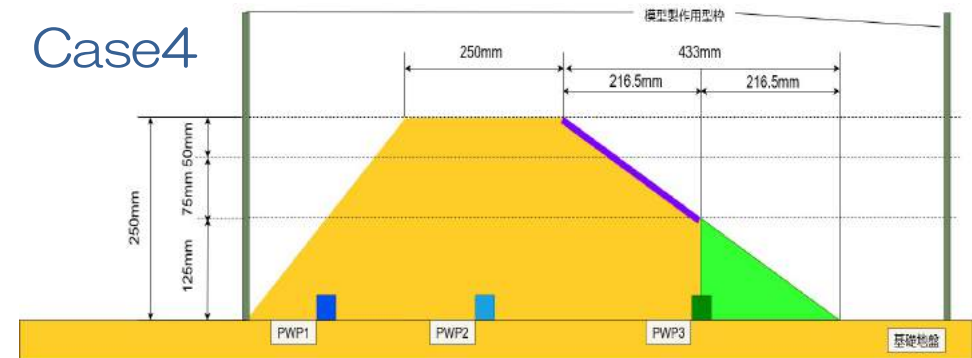
Case 1、Case2



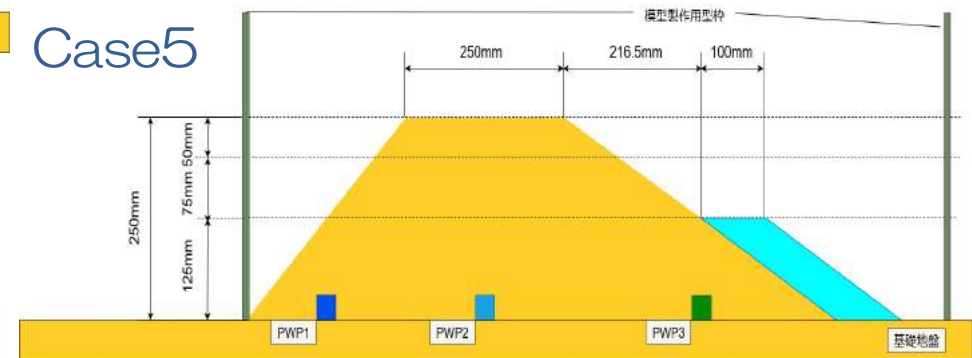
Case3



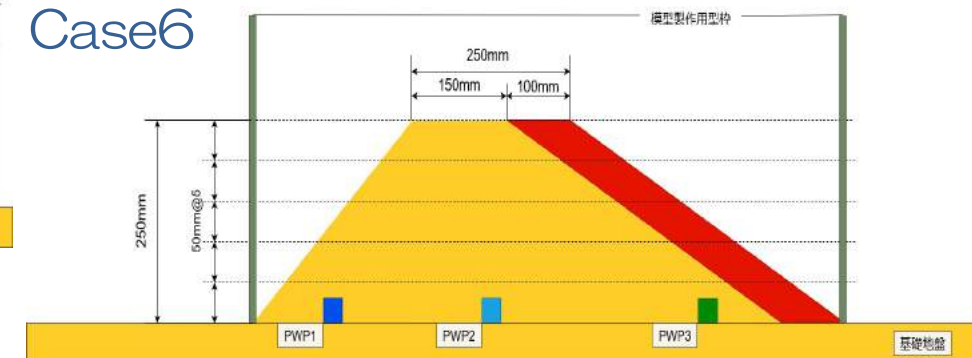
Case4

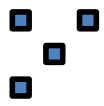


Case5



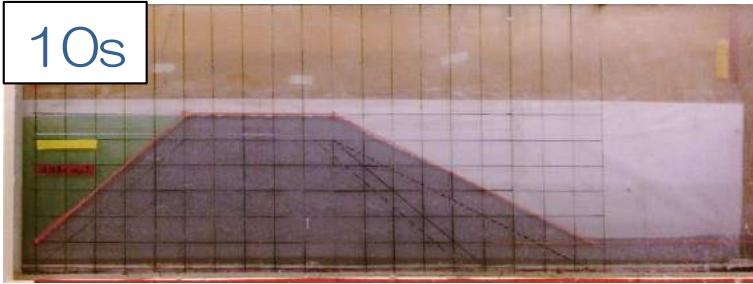
Case6



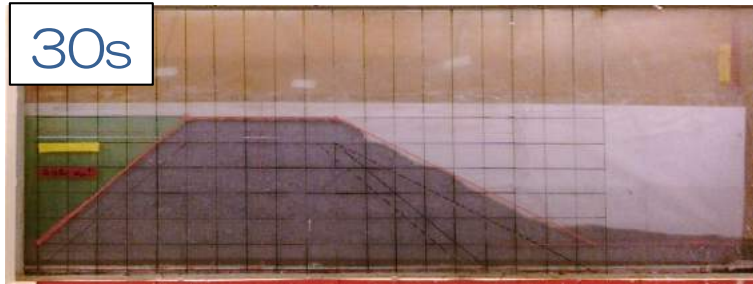


模型実験（無対策：浸透→越流）

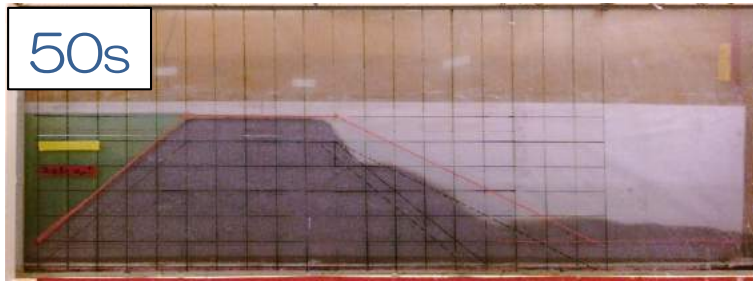
10s



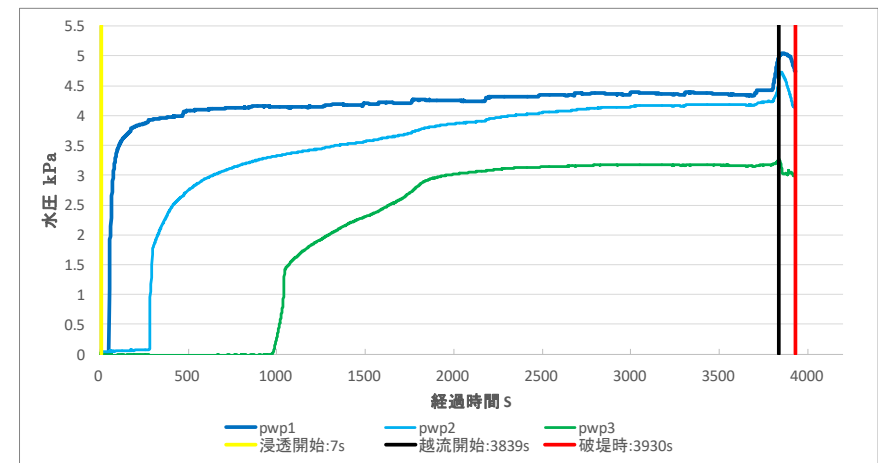
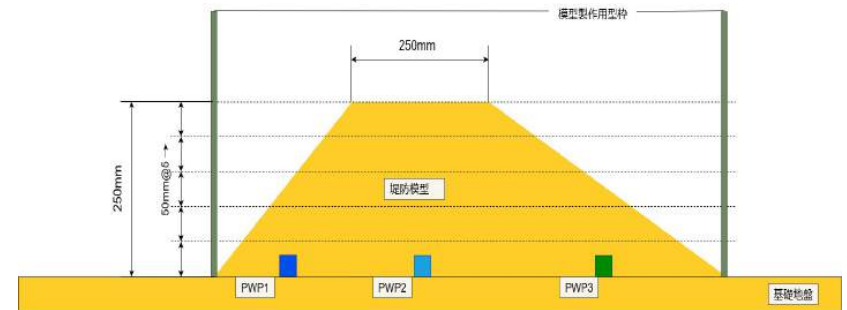
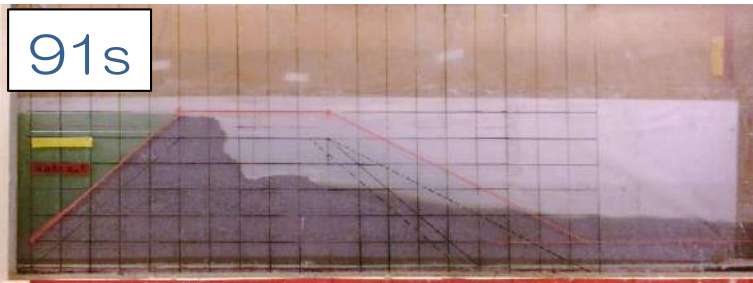
30s



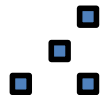
50s

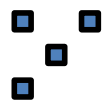


91s



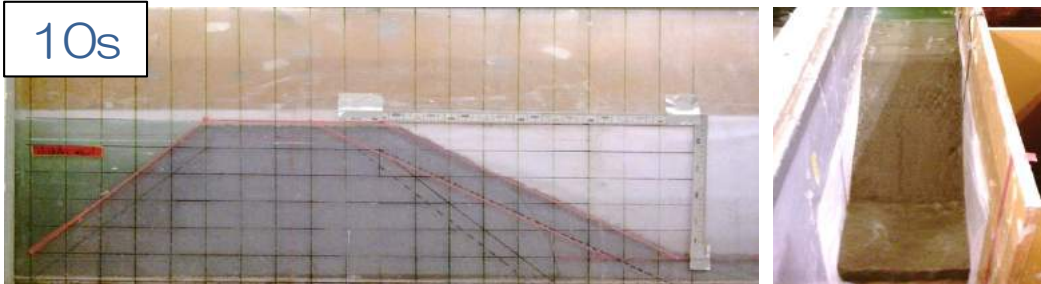
耐越流時間
91 (s)



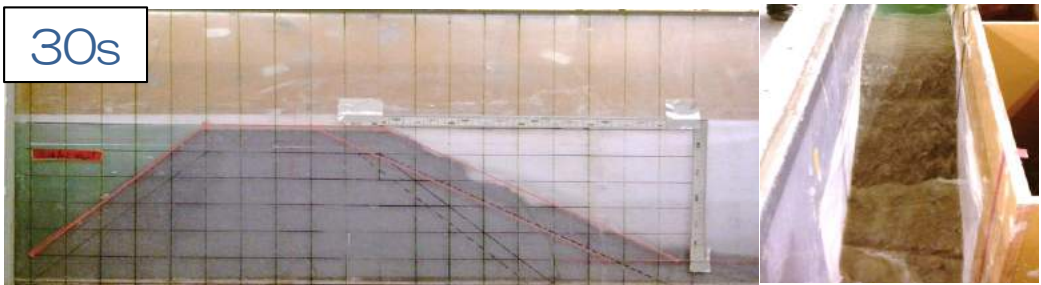


模型実験（無対策：浸透なし→越流）

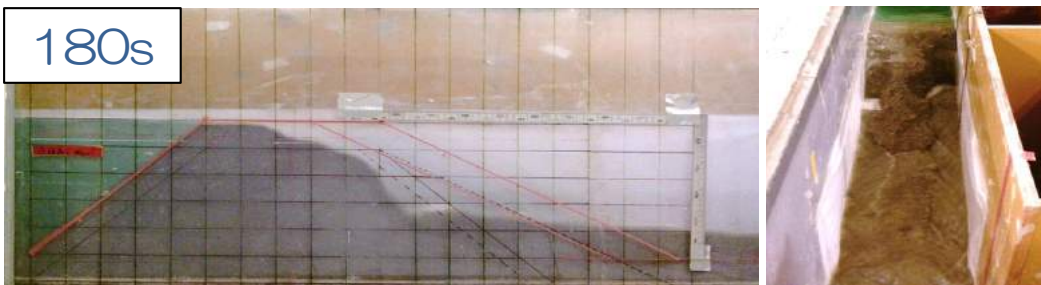
10s



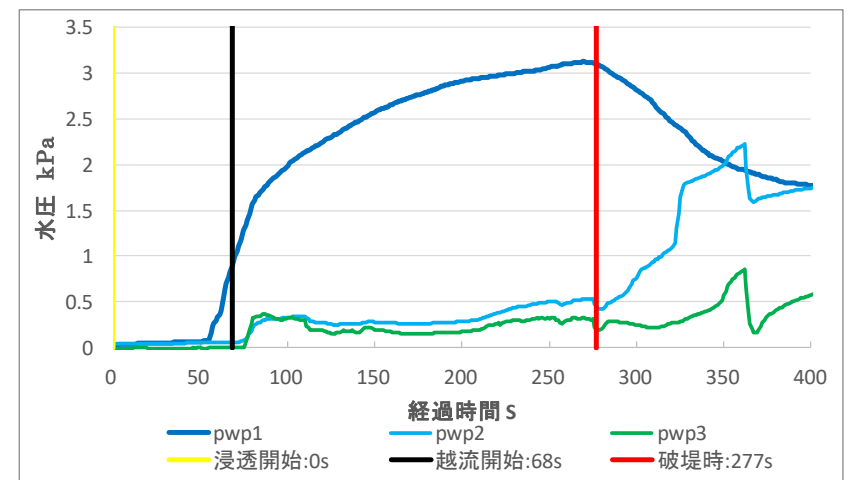
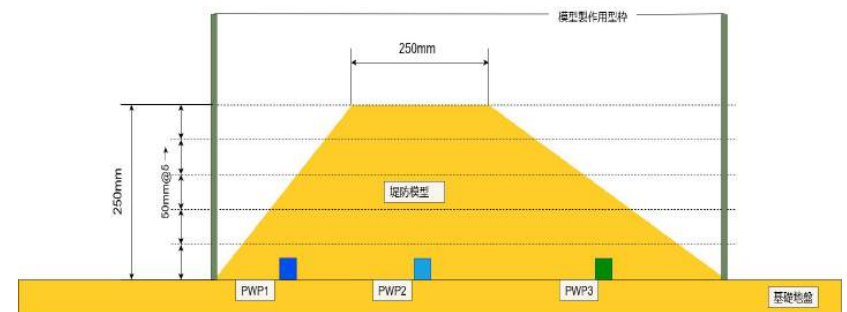
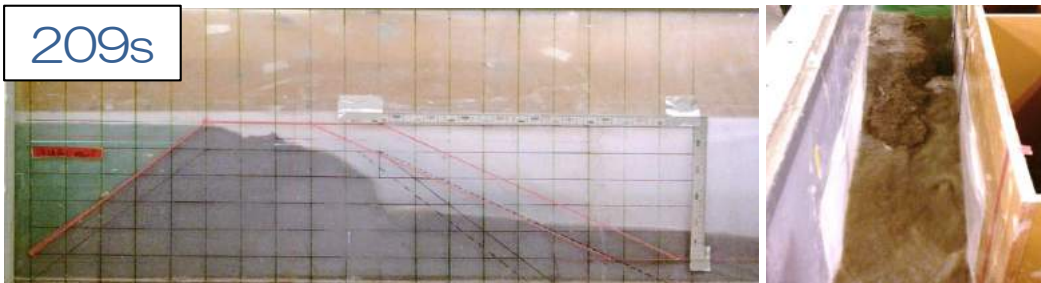
30s



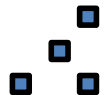
180s

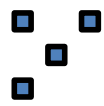


209s

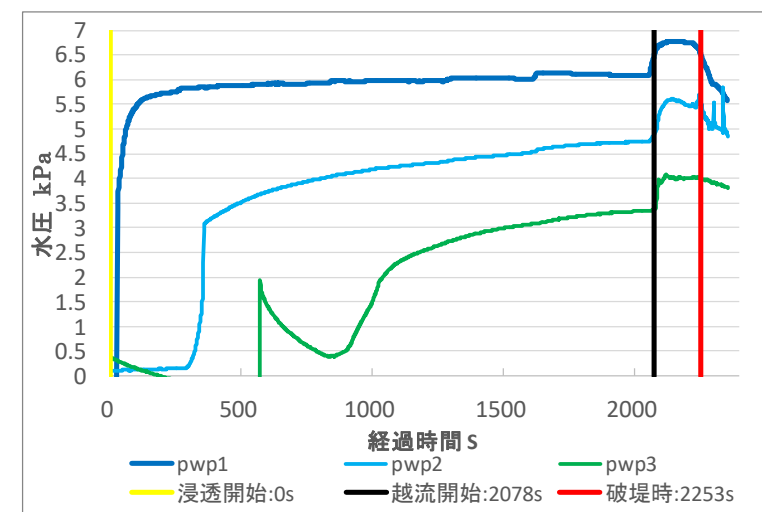
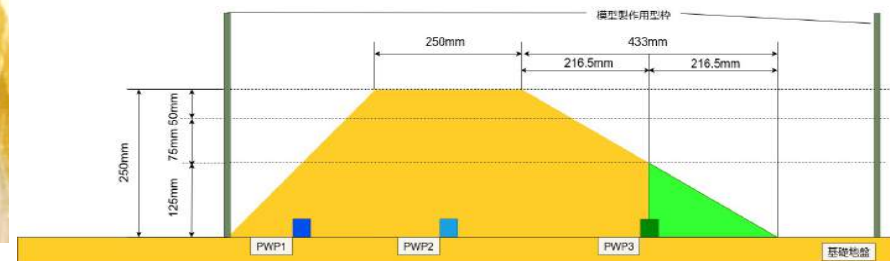
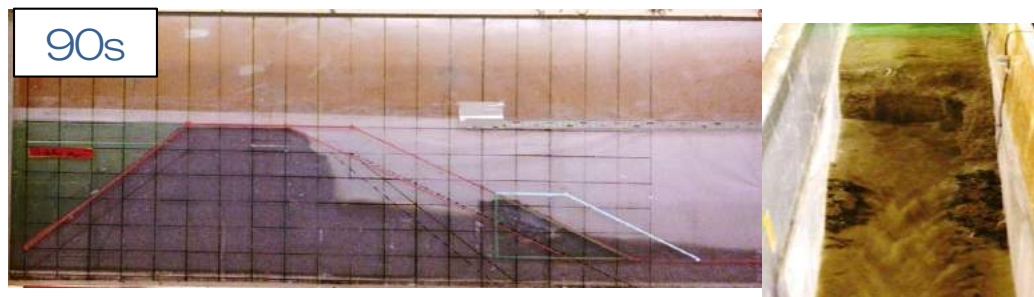
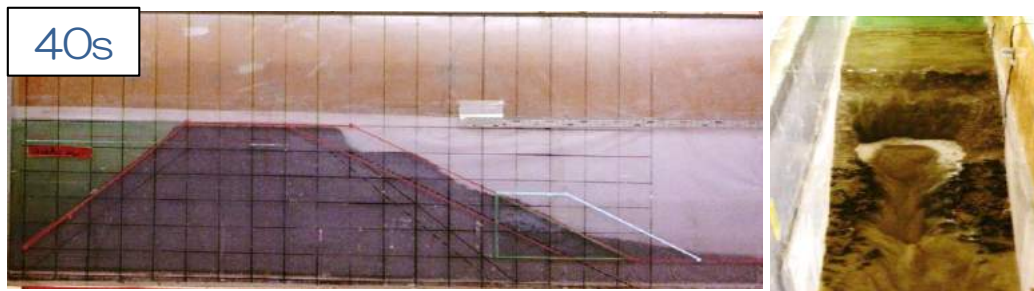
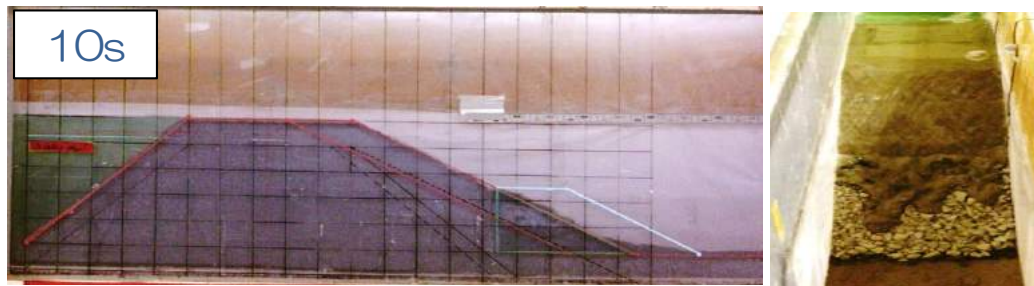


耐越流時間
209(s)

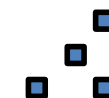


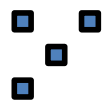


模型実験（法先碎石：浸透→越流）

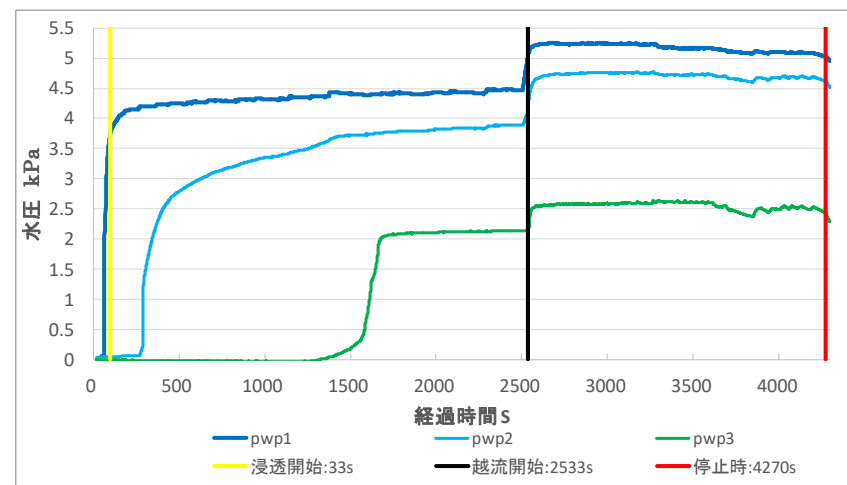
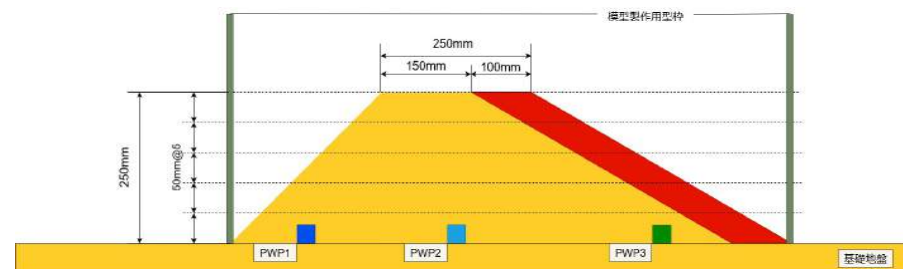
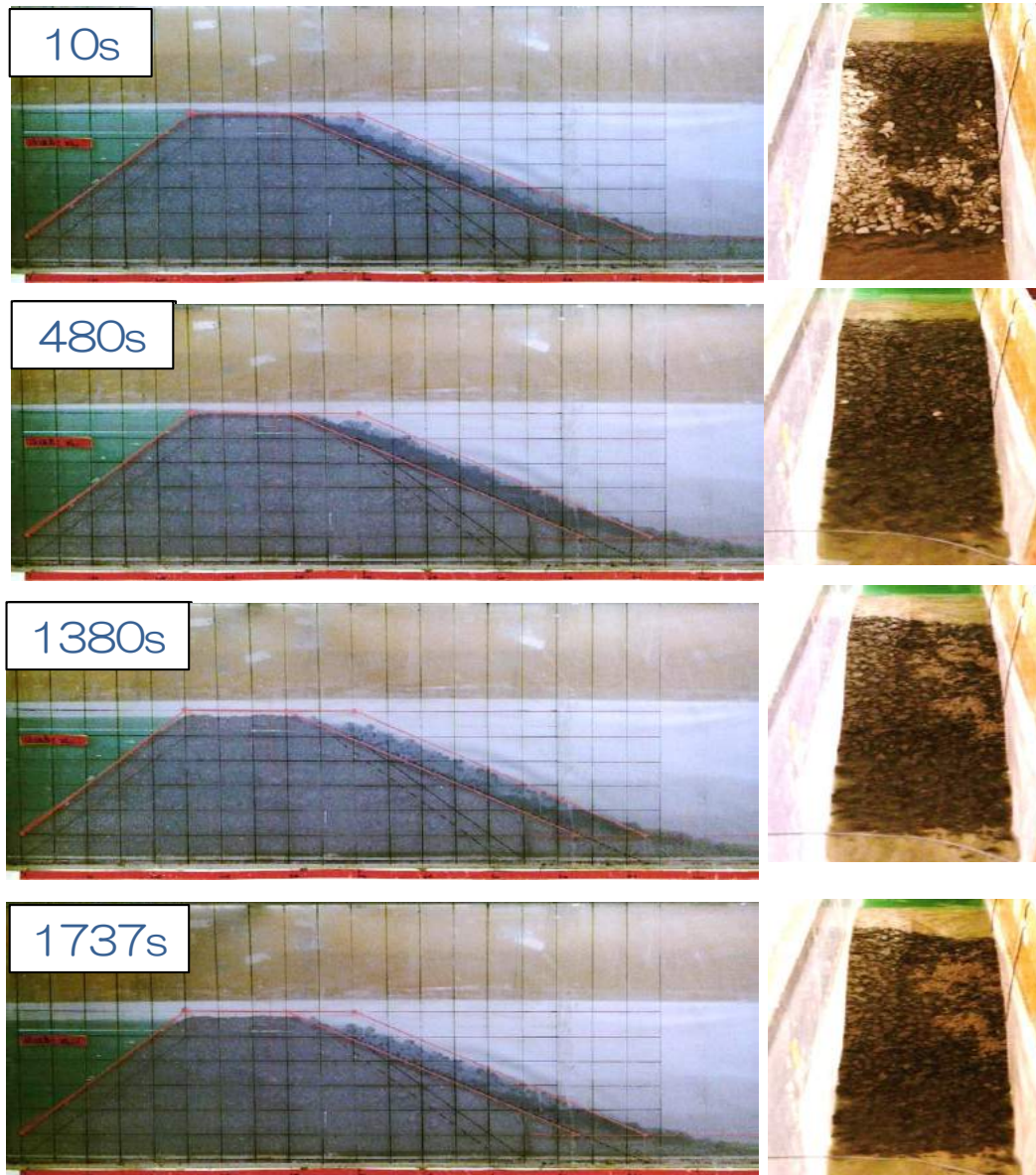


耐越流時間
175(s)

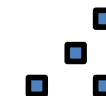




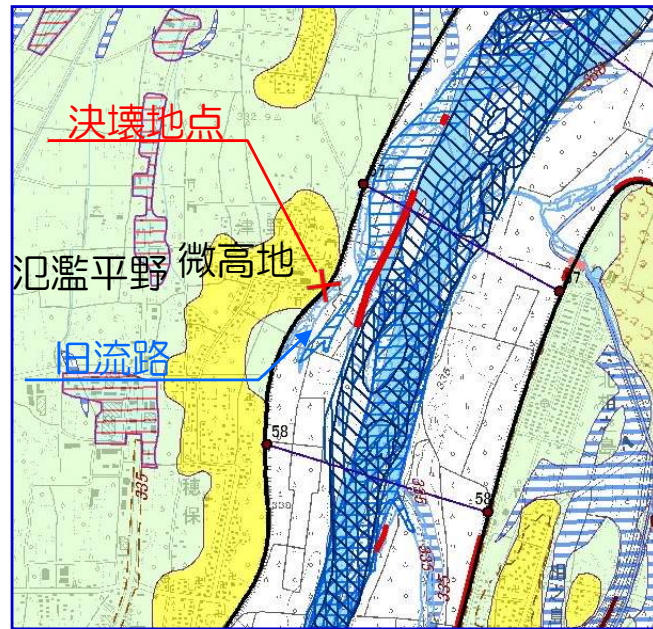
模型実験（法面碎石：浸透→越流）



耐越流時間
1737(s)

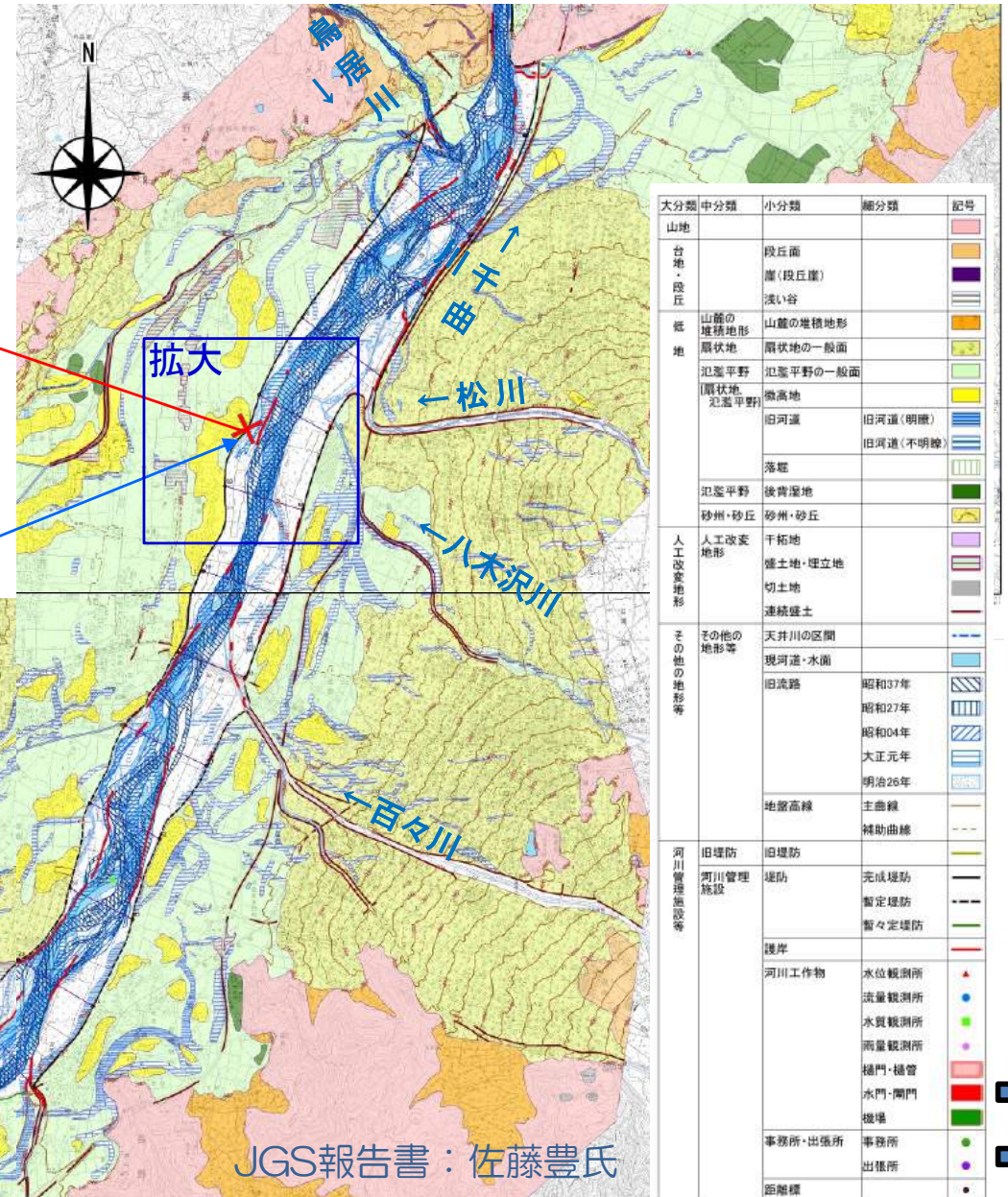


千曲川58K（穂保地区）の治水地形分類図

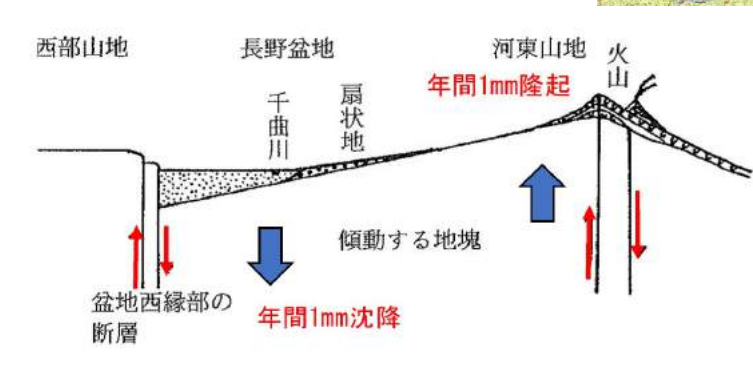


決壊地点

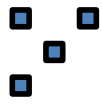
旧流路



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	山麓の堆積地形	山麓の堆積地形		
	扇状地	扇状地の一般面		
	氾濫平野	氾濫平野の一般面		
	扇状地	微高地		
	氾濫平野	旧河道	旧河道(明瞭)	
			旧河道(不明瞭)	
		落盤		
氾濫平野	後背湿地			
砂州・砂丘	砂州・砂丘			
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	天井川の区間			
	現河道・水面			
	旧流路	昭和37年		
		昭和27年		
		昭和04年		
		大正元年		
		明治26年		
	地盤高線	主曲線		
		補助曲線		
河川管理施設等	旧堤防	旧堤防		
	河川管理施設	堤防	完成堤防	
			暫定堤防	
			暫々定堤防	
	護岸			
	河川工作物	水位観測所		
		流量観測所		
		水質観測所		
		雨量観測所		
		樋門・樋管		
		水門・閘門		
		堰堤		
	事務所・出張所	事務所		
		出張所		
	距離標			

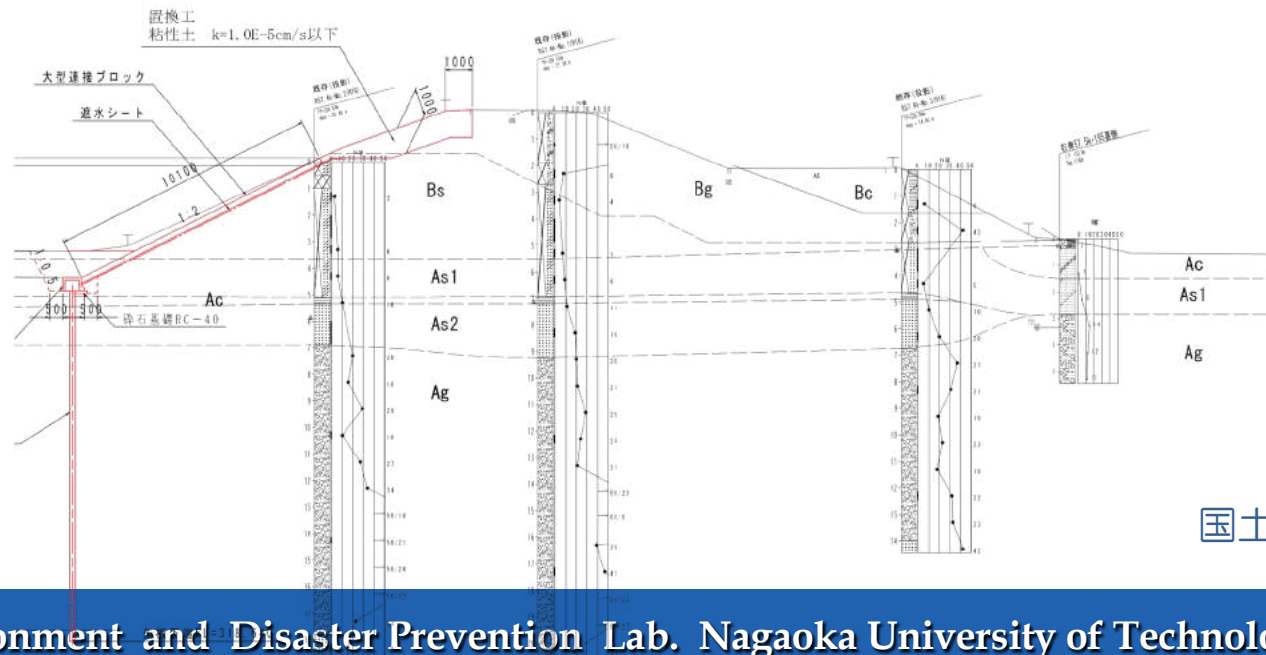


JGS報告書：佐藤豊氏

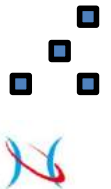


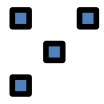
相之島地区の被害分析

- 地形の影響
 - 扇状地のために堤防と堤内地の比高差が小さい
 - 堤内地は内水被害が生じて水がクッションの役割を果たす
 - 基礎地盤は砂礫層であり，堤体の排水施設として機能
- 対策工（漏水対策：浸透破壊の防止）の影響
 - 河川水の堤体への浸入が防がれ，堤体の越流侵食に対する抵抗力が増大した2次的効果が発揮された（実験結果参照）



国土交通省資料





おわりに

－ ソフト対策

- 洪水の対策には流域全体の対応が必要（洪水の流出時間をシフトする知恵が必要）
- 今ある施設をフル活用する知恵が必要
- 避難だけでなく，土地利用を見直す長期的視点が必要

－ ハード対策

- 危機管理型ハード対策（決壊までの時間を引き延ばす）が施工された。越流が予測される場所に積極的な活用が望まれる。
- 危機管理型ハード対策は未だ課題も多い。低コストで効果の高い工法開発が期待される。

