

河川堤防の調査と対策

国土技術政策総合研究所

河川研究室 森啓年

1. 被災原因調査と結果の活用
蓄積し、改善につなげるには？
2. 強化工法のあり方
堤防の特性を踏まえた強化とは？

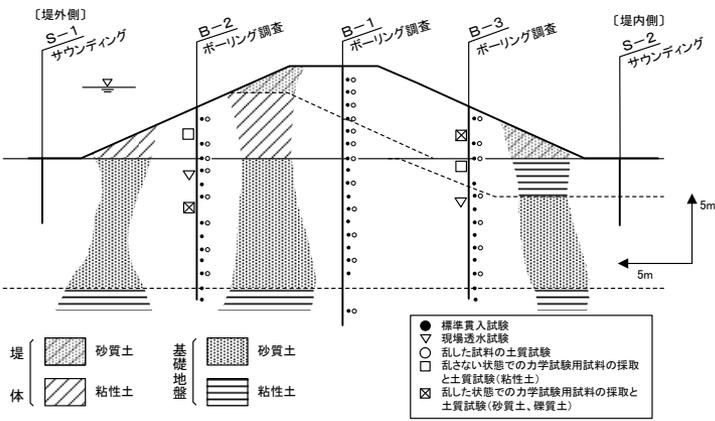
1. 被災原因調査と結果の活用

1. 被災原因調査と結果の活用

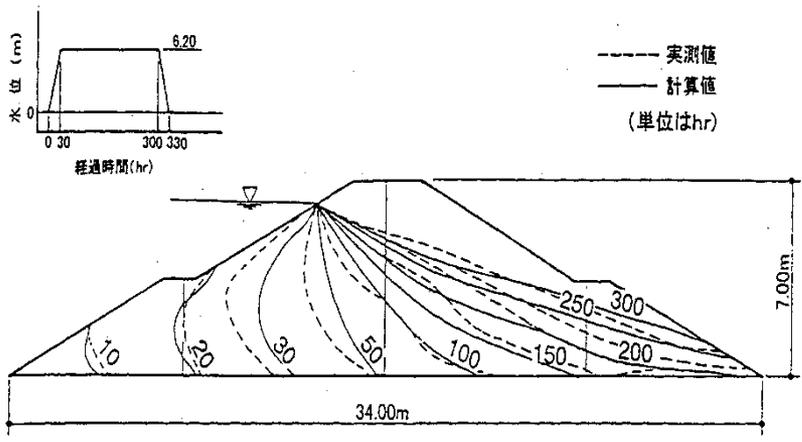
なぜ被災原因調査が必要か？

堤防の安全照査

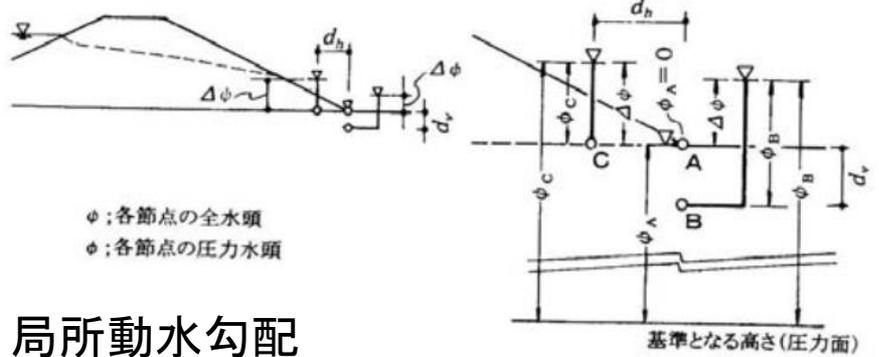
現状：数百m～数km間隔のボーリングにより地盤条件を把握。
 調査結果をもとに、すべり・パイピングに関する安全照査実施。



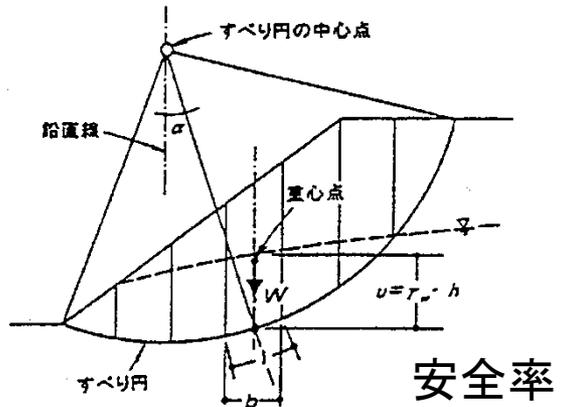
土質調査



浸透流解析



局所動水勾配



安全率

安全照査の結果

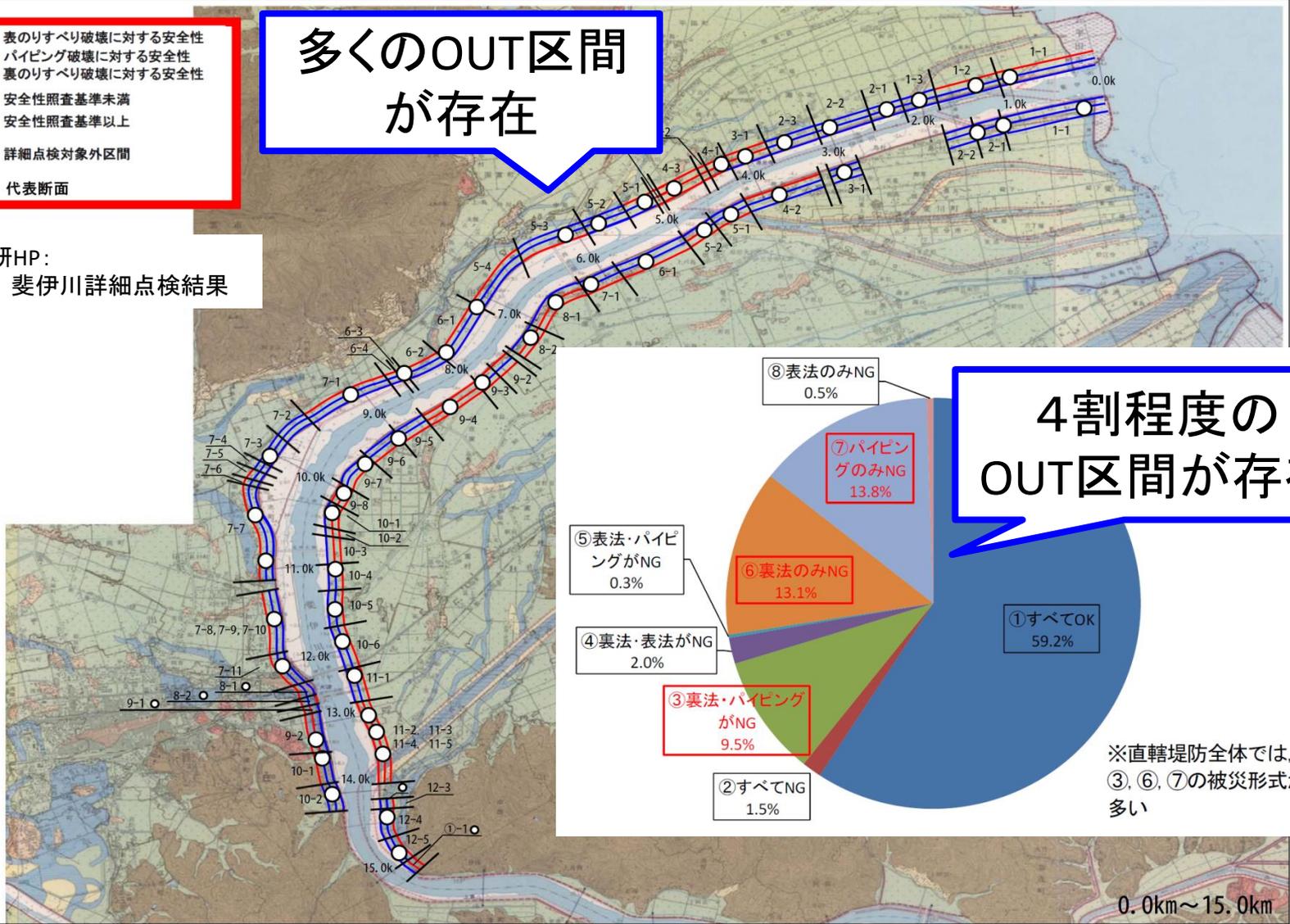
課題：長大な対策の必要区間
対策の優先順位をつけるのが困難

(堤防の川側) : 表のりすべり破壊に対する安全性
 (中央側) : パイピング破壊に対する安全性
 (堤防の居住側) : 裏のりすべり破壊に対する安全性

■ : 安全性照査基準未満
■ : 安全性照査基準以上
 未表示 : 詳細点検対象外区間
 ○ : 代表断面

多くのOUT区間
 が存在

国総研河川研HP:
 斐伊川詳細点検結果



決壊までの進行過程

課題: 被災の進行過程を定量的に評価することができない

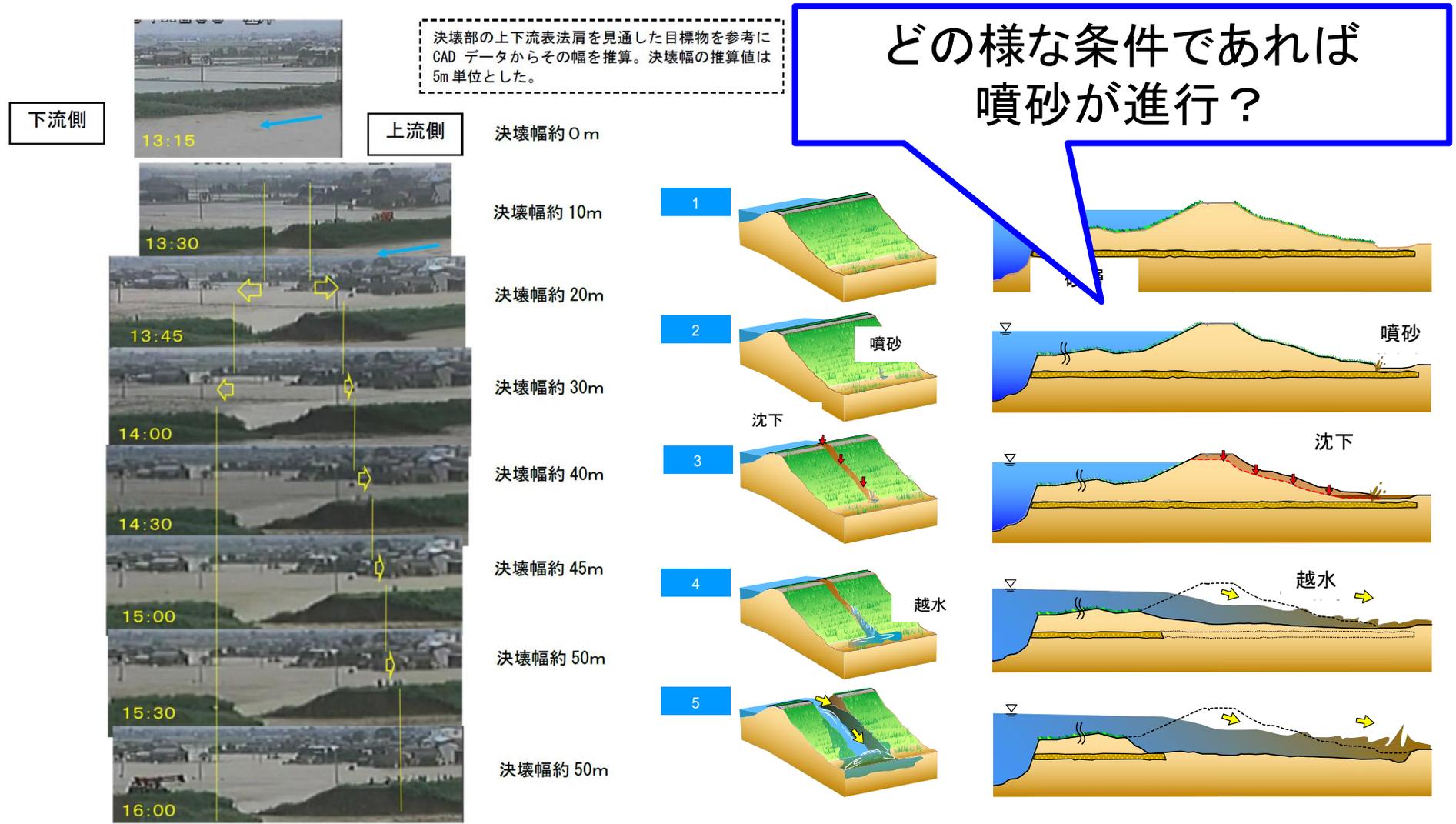


図 矢部川堤防被災における推定メカニズム

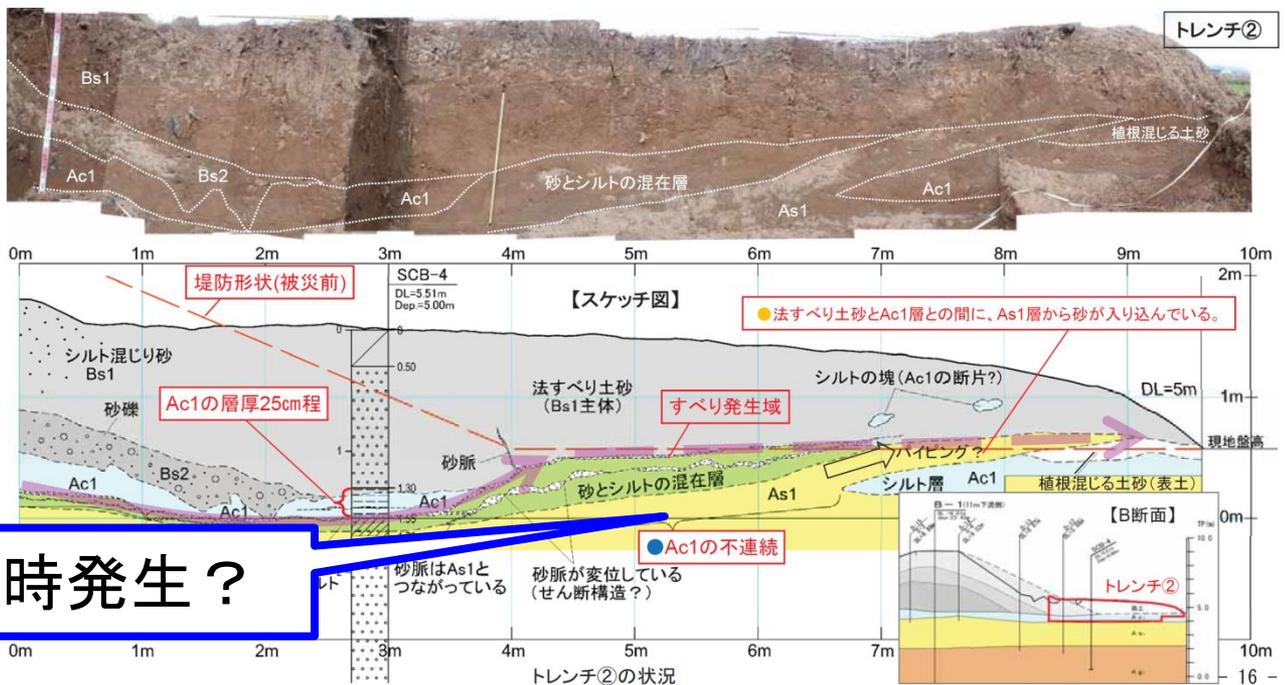
決壊までの進行過程

課題: 被災の進行過程を定量的に評価することができない



図 子吉川堤防被災状況(東北地方整備局提供)

被災後の開削調査では、難透水性の被覆土層を破って基礎地盤の砂質土が噴出し、その上に堤体の法すべりによって移動した砂質土が覆っている様子を観察



すべりと噴砂の同時発生？

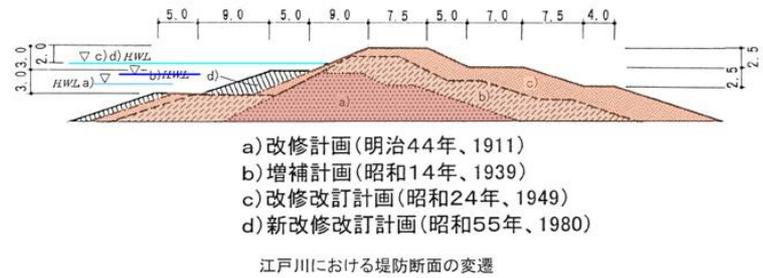
図 子吉川堤防被災における開削調査結果(東北地方整備局提供)

堤防の構造物としての特徴

堤防は、歴史的な経緯の中で、土質の複雑さに加え**不確実性の多い構造物**

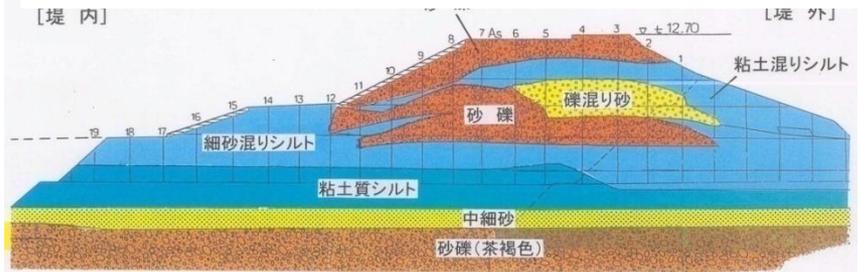
歴史的な構造物である堤防

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、現在の姿に至っている。



堤防の堤体材料の複雑さ

堤体材料は現場発生材料を主体としてきたが、その時代に合わせて、土質(堤防材料)や施工法(締固め方法等)は様々である。



浸透による破堤(木曾川水系長良川 昭和51年)



浸食による破堤(阿武隈川水系荒川 平成10年)



実際の被災箇所

課題: **局所的な弱部**が被災原因, 従来調査技術の適用困難

矢部川堤防調査委員会報告書



決壊箇所130mの範囲に砂層が存在

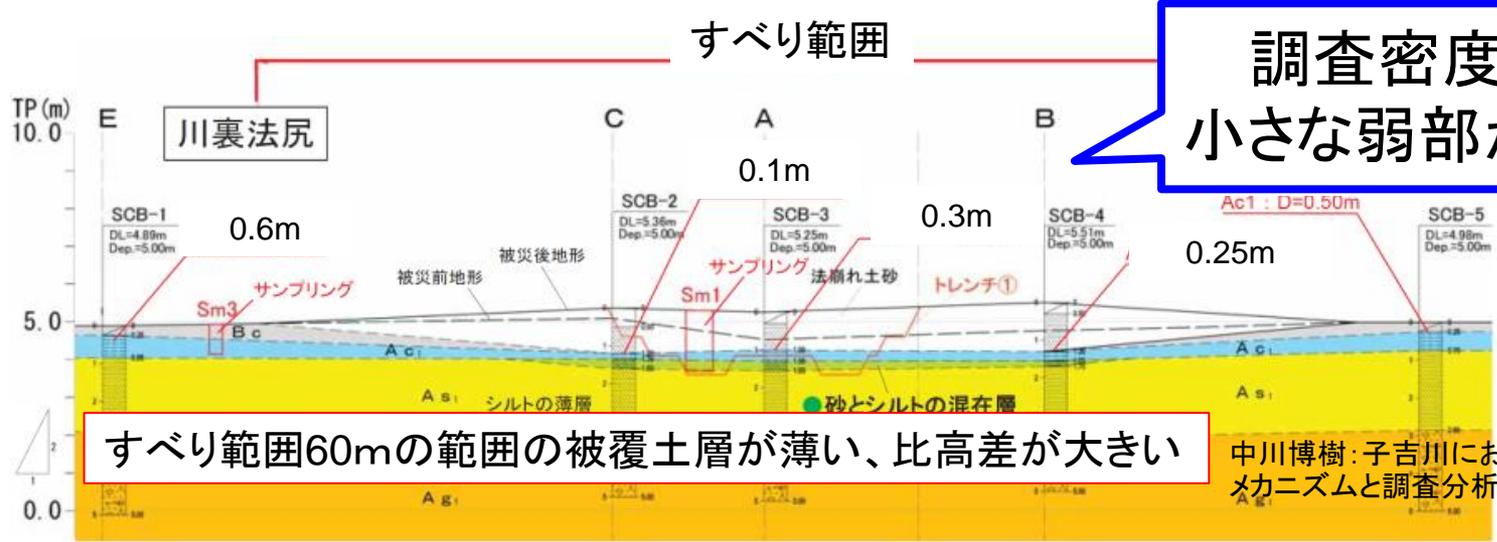
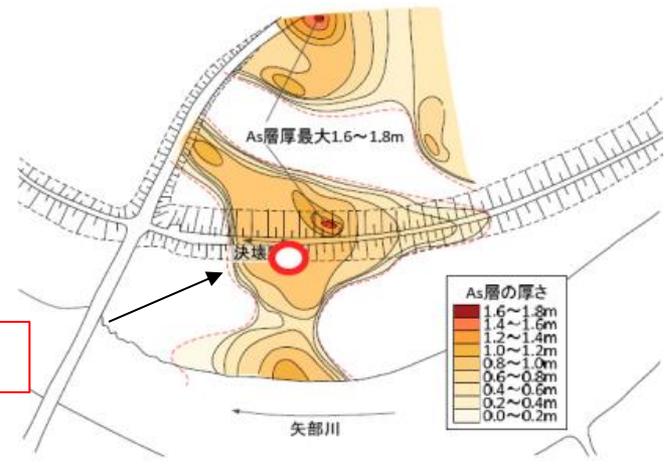


図 基礎地盤の縦断方向のバラツキ 上: 矢部川(H24)、下: 子吉川(H25)

通常時の変状と被災の関係

課題: 常時の点検結果をもとに, 被災を予測するのは困難

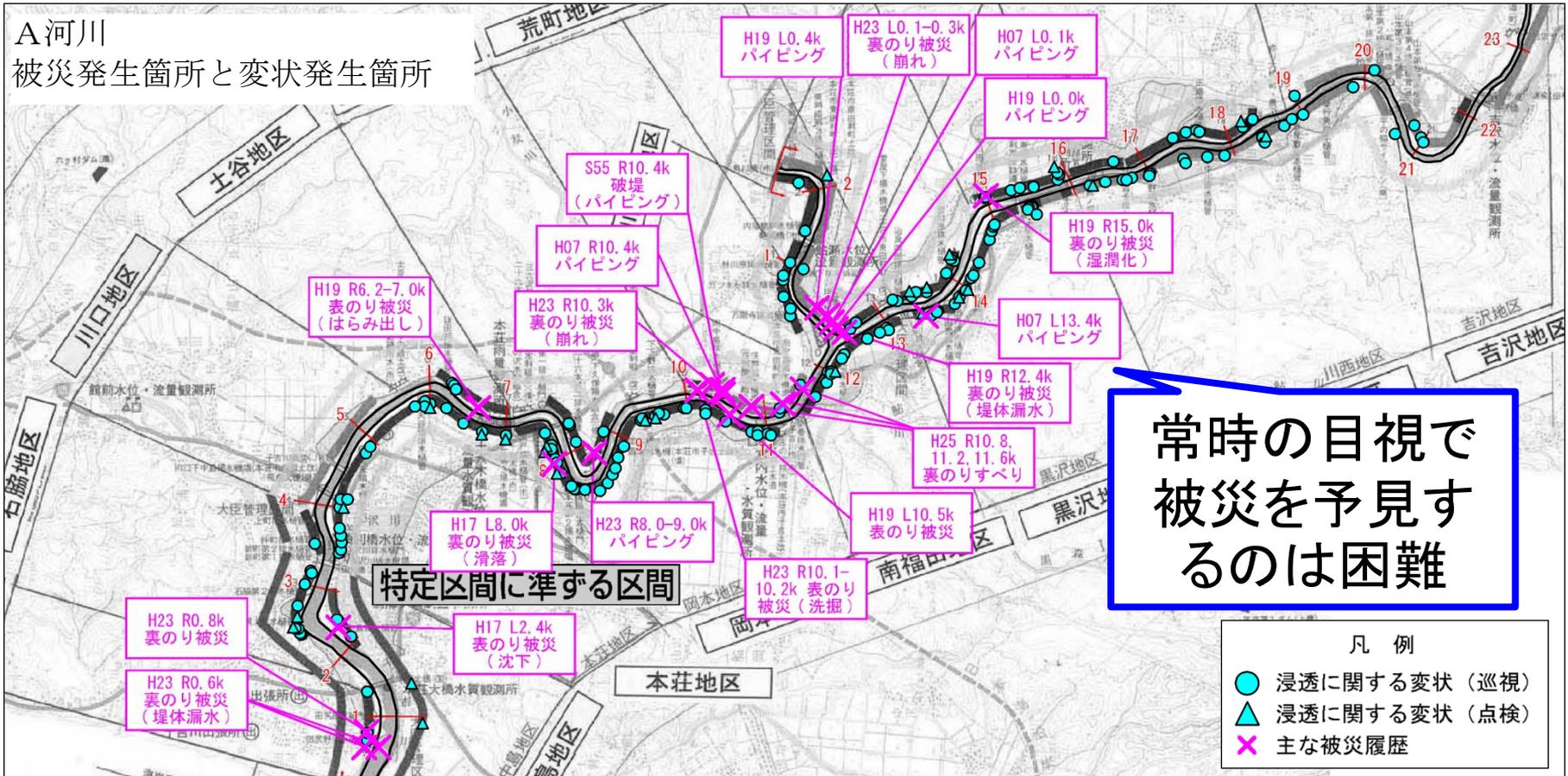


図 被災履歴と巡視点検により発見される変状の位置

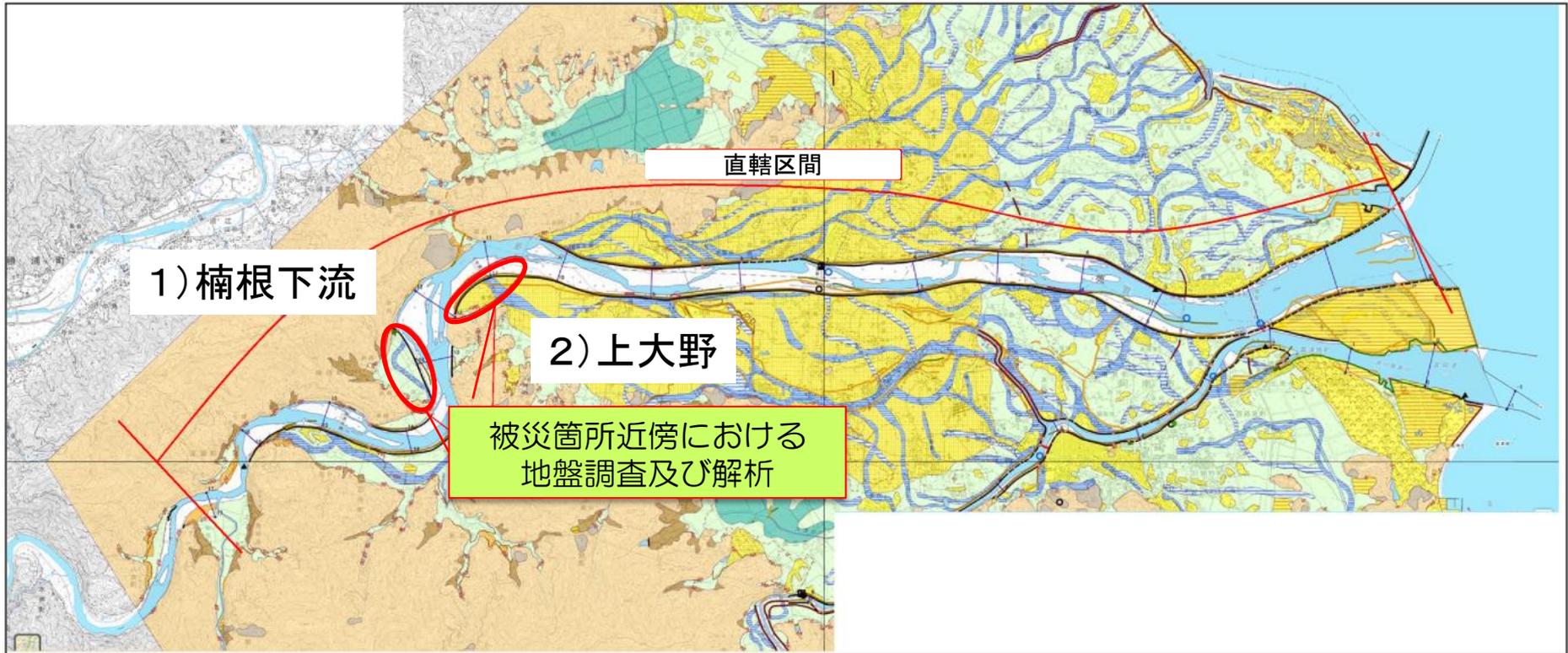
下川ら: 変状と被災の統計的解析による堤防の点検及び巡視の合理化に関する一考察

1. 被災原因調査と結果の活用

被災原因調査事例Ⅰ（那賀川）

調査位置

目的: 被災箇所近傍の無被災箇所を調査及び解析、被災の有無の要因を推定



1) 楠根下流 (H27)

2) 上大野 (左: H16、右: H21)

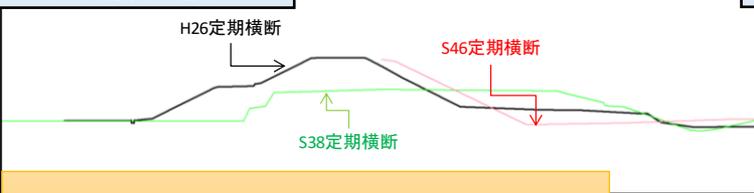
1) 楠根下流: 地形の変遷、築堤履歴

漏水箇所は旧河道

(1) 地形の変遷

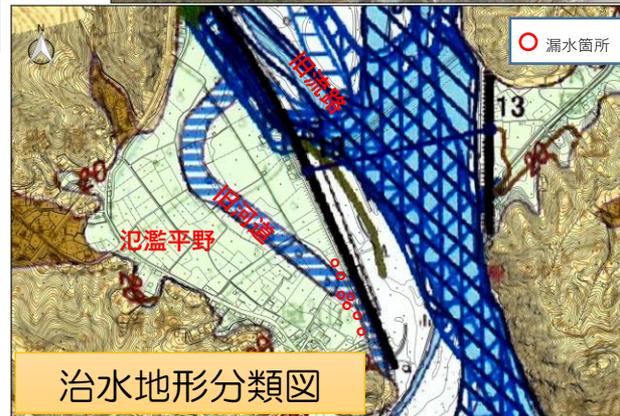


(3) 築堤履歴



築堤履歴図 (那賀川左岸13.0k)

(2) 治水地形分類

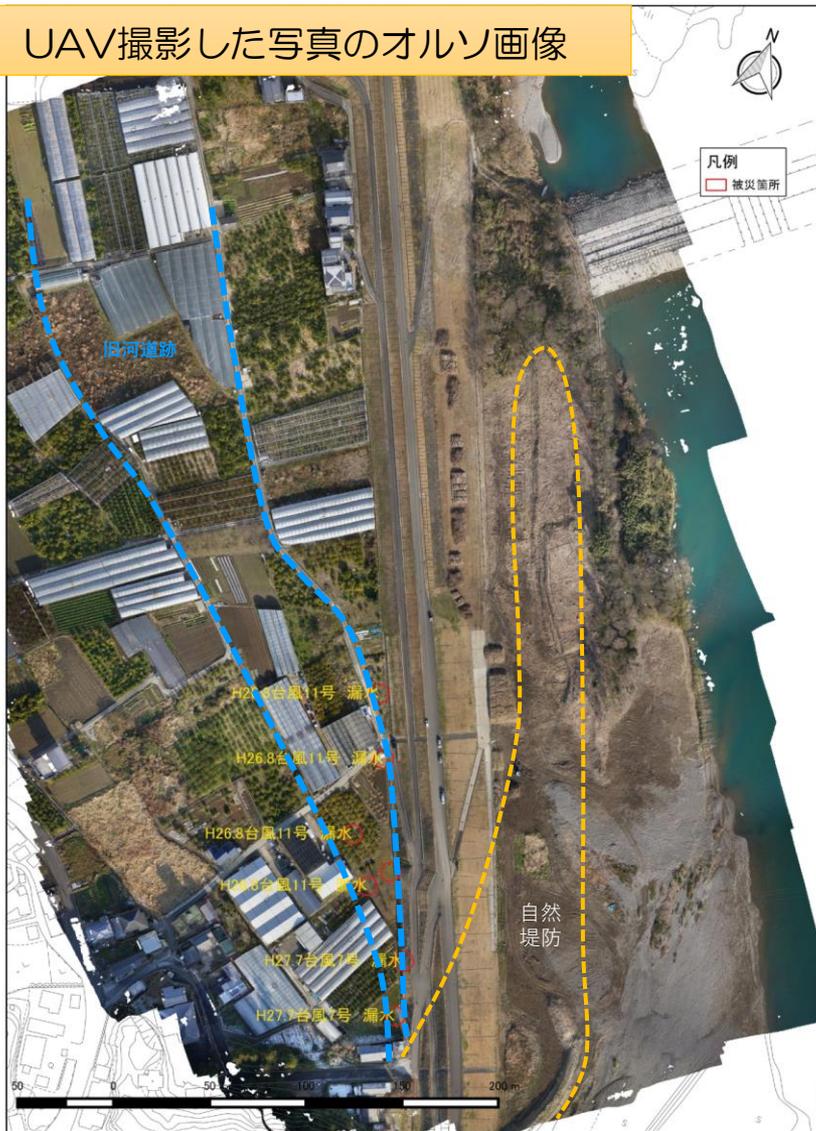


治水地形分類図

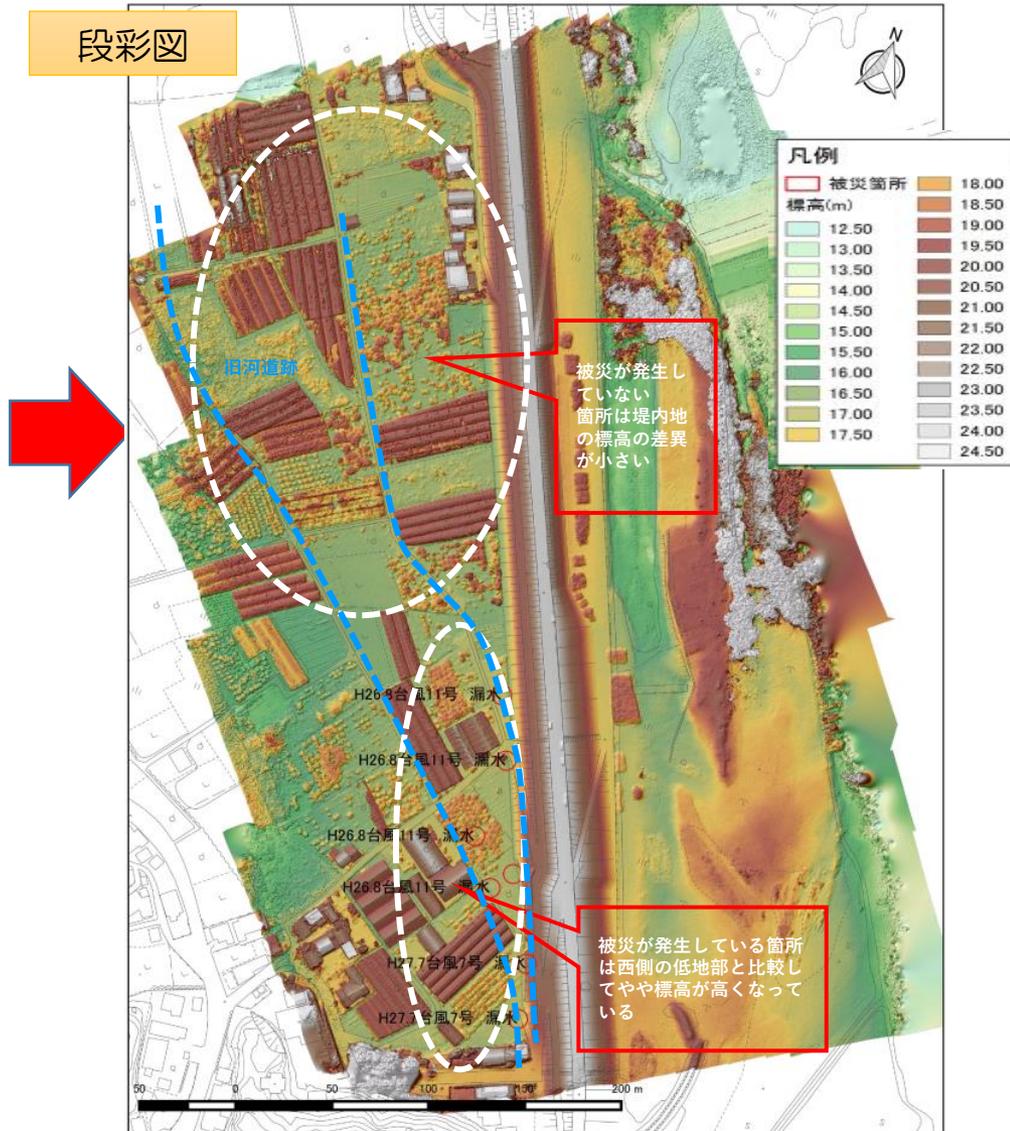
1) 楠根下流: UAV撮影による微地形の把握

被災箇所と無被災箇所を比較して、大きな差はみられない

UAV撮影した写真のオルソ画像

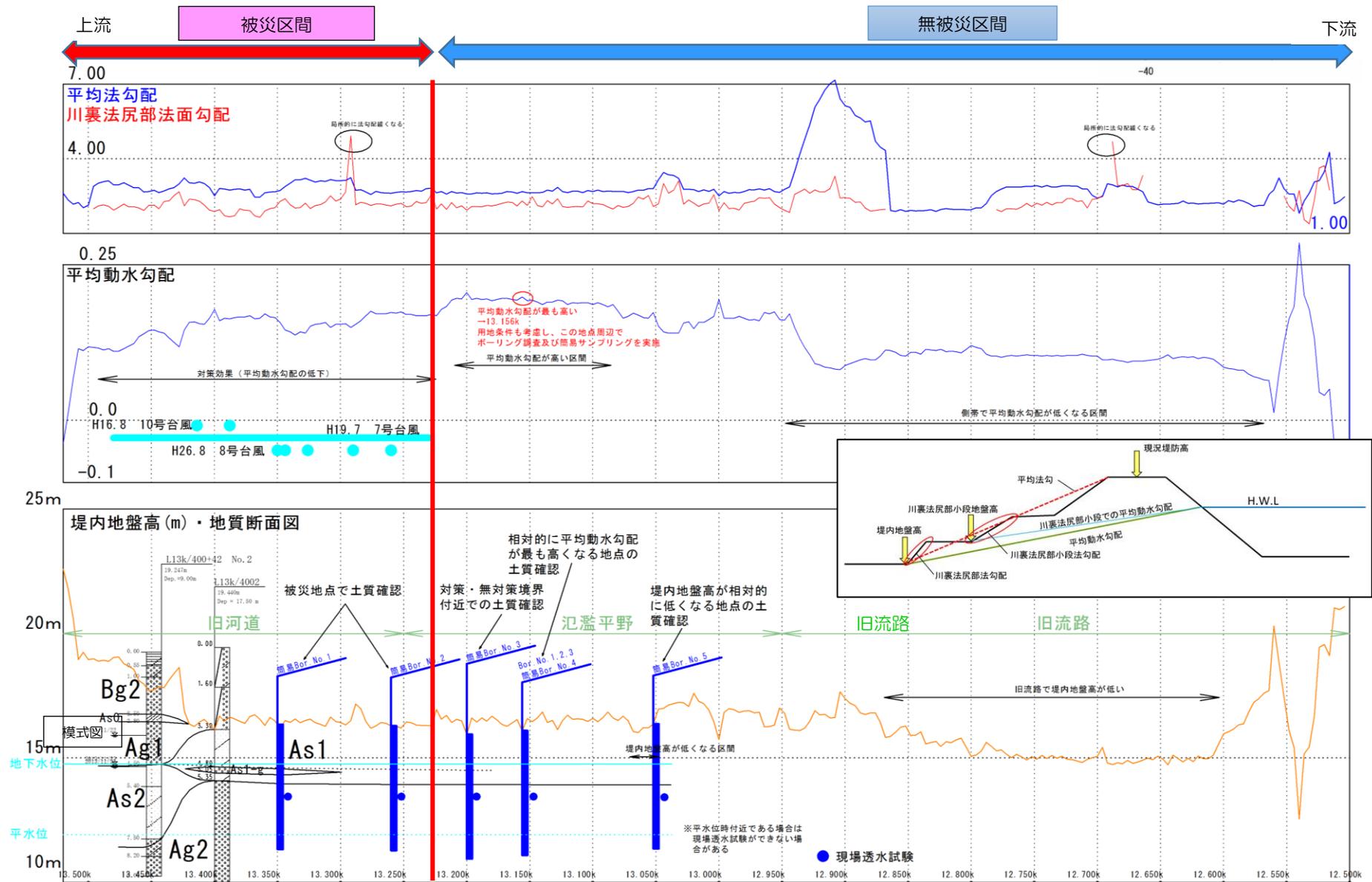


段彩図



1) 楠根下流: LPデータによる堤防形状の把握

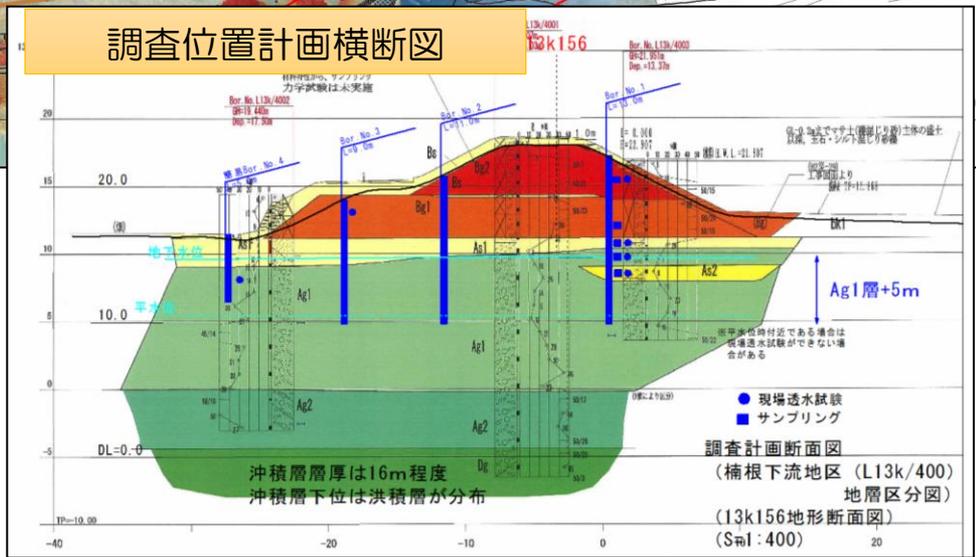
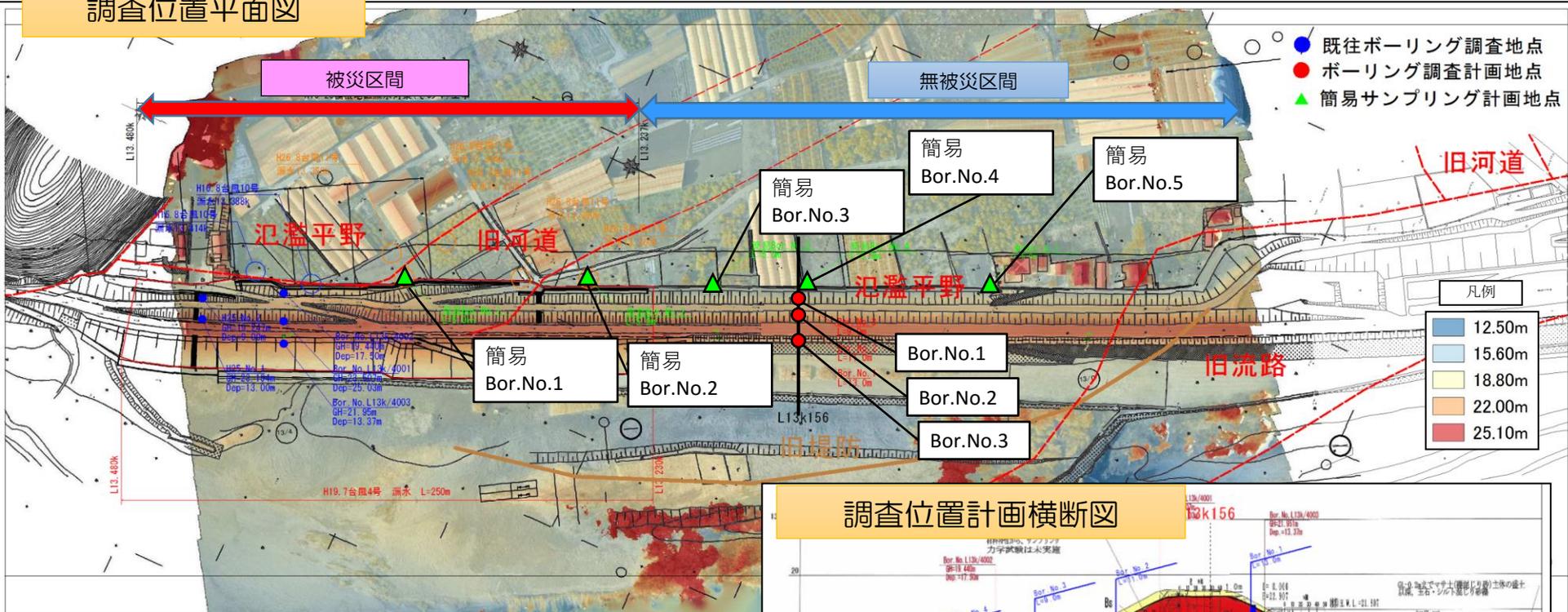
平均動水勾配は無被災区間の方が高くなる



1) 楠根下流：調査地点の選定

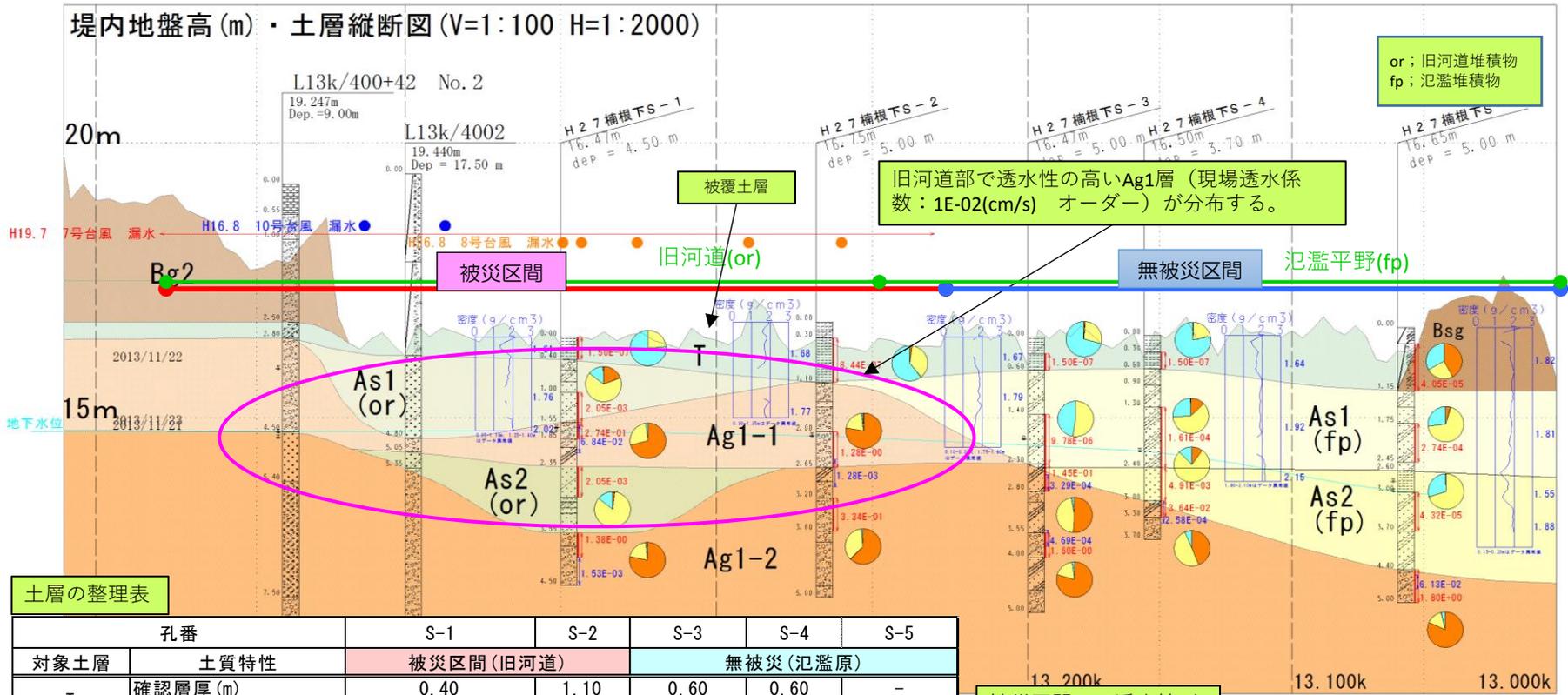
縦断方向に簡易サンプリング、無被災区間の中で形状が厳しい箇所にはボーリング実施

調査位置平面図



1) 楠根下流: 簡易サンプリングによる裏法基盤の縦断図

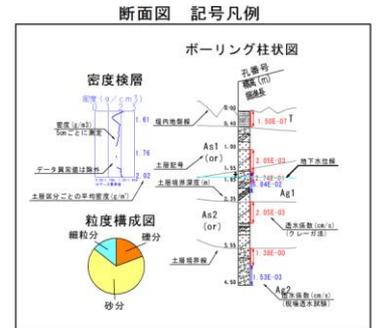
被災区間の裏法尻付近基盤には高い透水性の礫質土層、砂質土層が存在



土層の整理表

孔番		S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
対象土層	土質特性	被災区間(旧河道)		無被災(氾濫原)		
T 被覆土層	確認層厚(m)	0.40	1.10	0.60	0.60	-
	D20透水係数 (cm/s)	1.50E-07	8.44E-07	1.50E-07	1.50E-07	-
	現場密度※2 (g/m ³)	1.61	1.68	1.67	1.64	-
As1・Ag1-1 (TP+14.4~16.0m)	確認層厚(m)	As1 (or)	Ag1-1	Ag1-1	As1 (fp)	As1 (fp)
	D20透水係数 (cm/s)	2.05E-03	2.74E-01	1.28E+00	9.78E-06	1.61E-04
	現場透水係数 (cm/s)	-	6.84E-02	-	-	-
As2	D20透水係数 (cm/s)	2.05E-03	-	-	4.91E-03	4.32E-05
Ag1-2	D20透水係数 (cm/s)	1.38E+00	3.34E-01	1.45E-01 ~1.60E+00	3.64E-02	1.80E-02
	現場透水係数 (cm/s)	1.53E-03	1.28E-03	3.29E-04 ~4.69E-04	2.58E-04	6.13E-02

被災区間には透水性が高い礫質土が分布する



□ : 優位な差があると考えらる箇所

1) 楠根下流: 地盤定数

室内試験、現場試験結果を反映

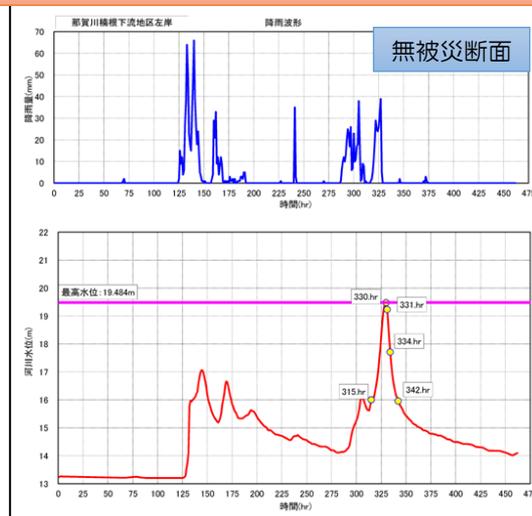
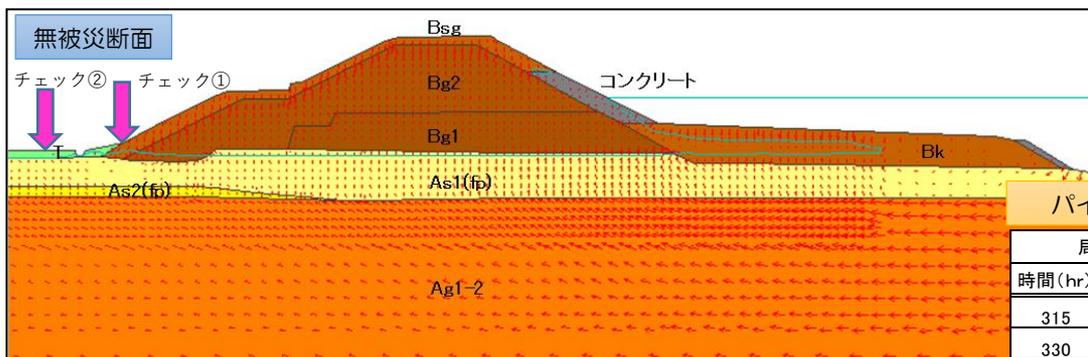
地質時代	土層名	記号	設計用土質	湿潤単位体積重量 (kN/m ³) (飽和)					透水係数k (cm/s)					比貯留係数 (1/m)	
				一般値	室内土質試験値 (湿潤密度)	密度検層平均密度	設定値	設定値	推定値 (D20)	室内土質試験値 (変水位)	現場透水試験値	手引き	設定値		
現世	耕作土	T	粘性土 (シルト主体) 軟らかいもの	16	-	14.5	14.5	14.5	1.50E-07	-	-	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-03	
	盛土	Bk	Bg2参照	-	-	-	21.4	23.4	-	-	-	-	2.14E-05	1.00E-04	
		コンクリートブロック2	Bg2参照	-	-	-	21.4	23.4	-	-	-	-	2.14E-05	1.00E-04	
		コンクリートブロック1	Bsg参照	19	-	13.1	19	19	8.59E-05	-	-	-	8.59E-05	1.00E-04	
		Bsg	砂質土	19	-	13.1	19	19	8.59E-05	-	-	-	8.59E-05	1.00E-04	
		Bg2	礫および礫まじり砂	20	21.4	19.3	21.4	23.4	4.18E-01	2.76E-05	2.14E-04 8.06E-05	-	2.14E-04	1.00E-04	
		Bg1	礫および礫まじり砂	20	20.4	19	20.4	21.9	1.36E-01	2.10E-06 1.11E-03	-	-	1.11E-03	1.00E-04	
完新世	氾濫原	第1砂質土層	As1(fp)	砂質土 (密実でないもの)	17	17.1	17.8	17.1	18.6	3.00E-04	1.71E-03	-	-	2.14E-04	1.00E-04
		第2砂質土層	As2(fp)	砂質土 (密実でないもの)	17	-	-	17.1	18.6	-	-	-	-	2.14E-04	1.00E-04
	扇状地	第1礫質土層	Ag1-2	礫 (粒径幅の広いもの)	20	21.2	19.7	21.2	22.1	3.32E-03	2.85E-05	3.63E-03	-	3.63E-03	1.00E-04

1) 楠根下流: 再現解析結果

浸透流解析に利用した実績外力 (H26年8月出水)

被災の有無を解析で再現可能

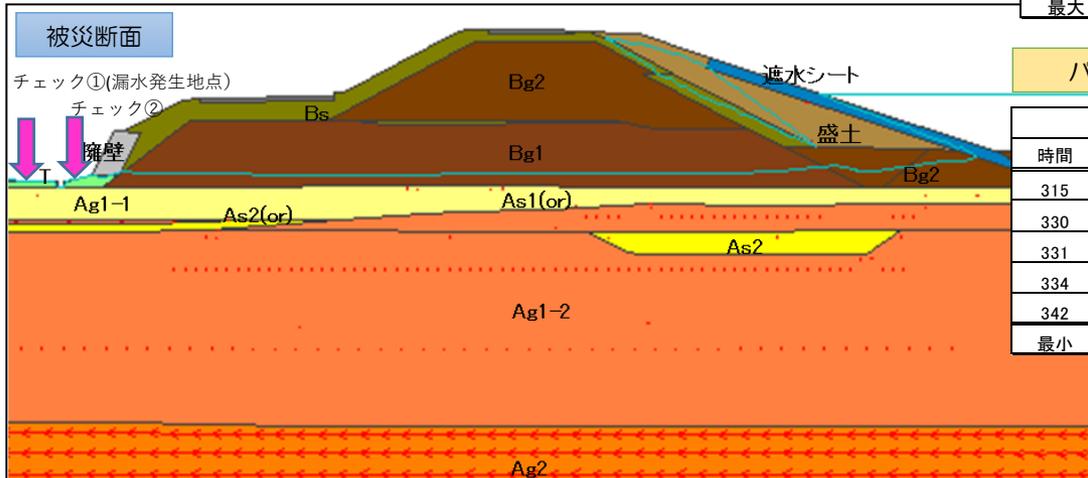
無被災断面 浸透流解析結果図 (330時間)



パイピング破壊検討結果 (無被災断面)

局所動水勾配チェック箇所①				揚圧力チェック箇所②				
時間 (hr)	水平	鉛直	判定	時間	G	W	G/W	判定
315	水位上昇しない		○	315	水位上昇しない			○
330	水位上昇しない		○	330	5.879	0.102	57.91	○
331	水位上昇しない		○	331	5.879	0.955	6.16	○
334	水位上昇しない		○	334	5.879	1.754	3.35	○
342	水位上昇しない		○	342	5.879	1.067	5.51	○
最大	水位上昇しない		○	最小	-	-	3.35	○

被災断面 浸透流解析結果図 (330時間)



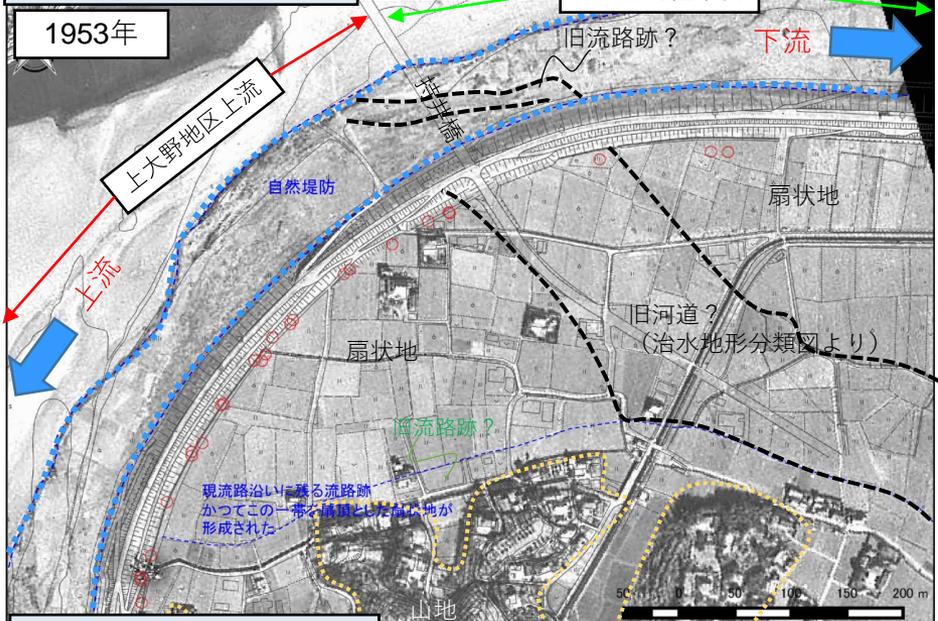
パイピング破壊検討結果 (被災断面)

揚圧力チェック箇所①					揚圧力チェック箇所②				
時間	G	W	G/W	判定	時間	G	W	G/W	判定
315	5.517	1.157	4.77	○	315	6.41	1.02	6.32	○
330	5.517	9.576	0.58	×	330	6.41	9.28	0.69	×
331	5.517	9.299	0.59	×	331	6.41	9.07	0.71	×
334	5.517	6.878	0.80	×	334	6.41	6.90	0.93	×
342	5.517	3.463	1.59	○	342	6.41	3.64	1.76	○
最小	-	-	0.58	×	最小	-	-	0.69	×

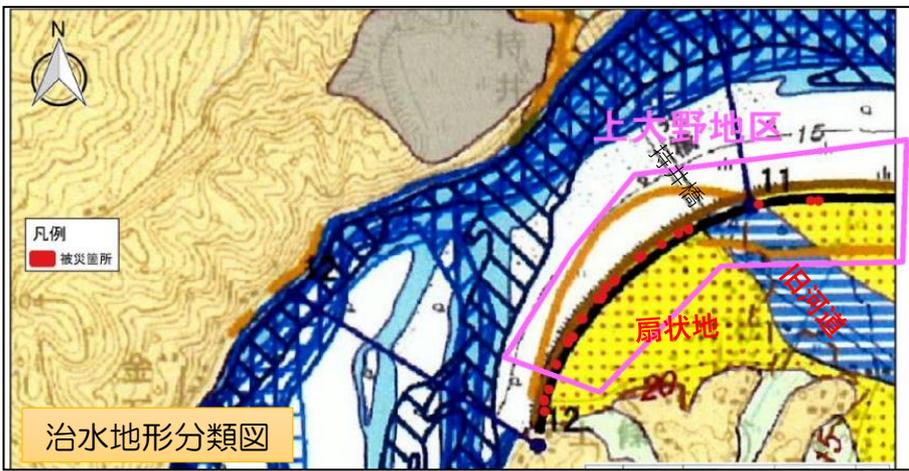
2) 上大野: 地形の変遷、築堤履歴

漏水箇所は旧河道・扇状地

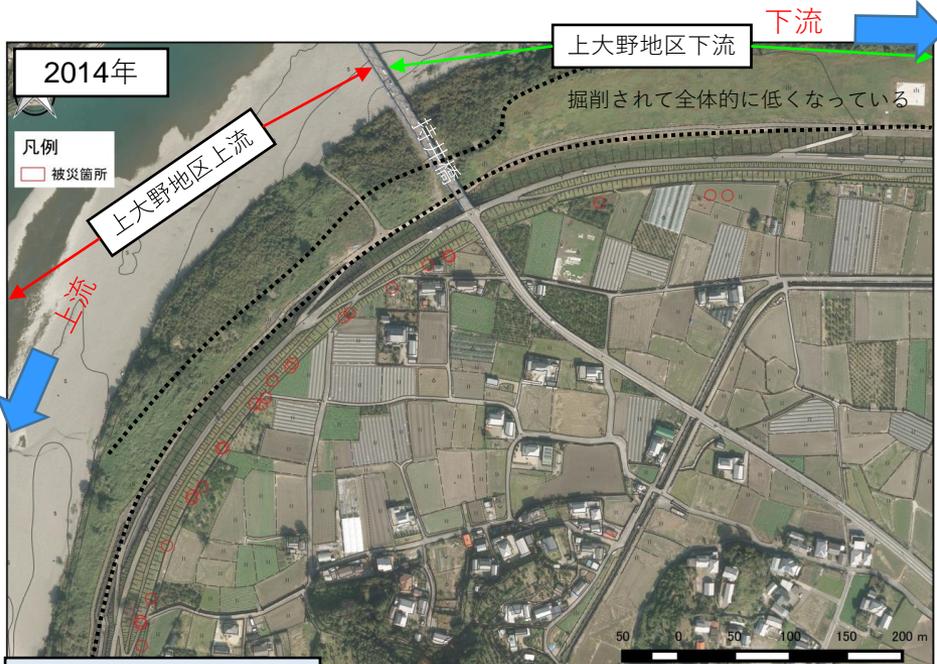
(1) 地形の変遷



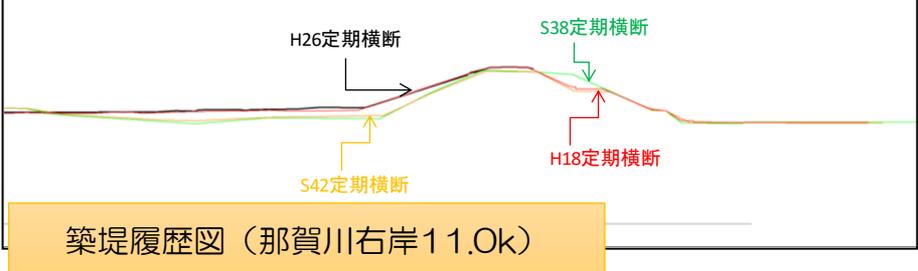
(2) 治水地形分類



治水地形分類図



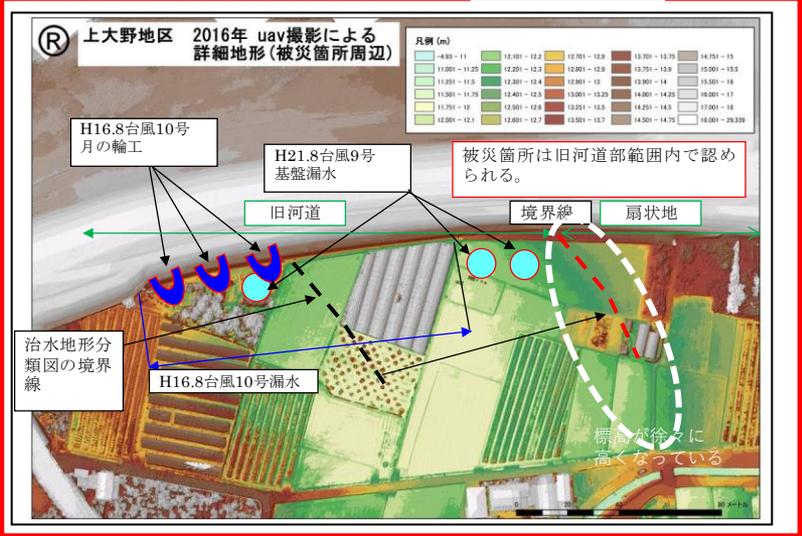
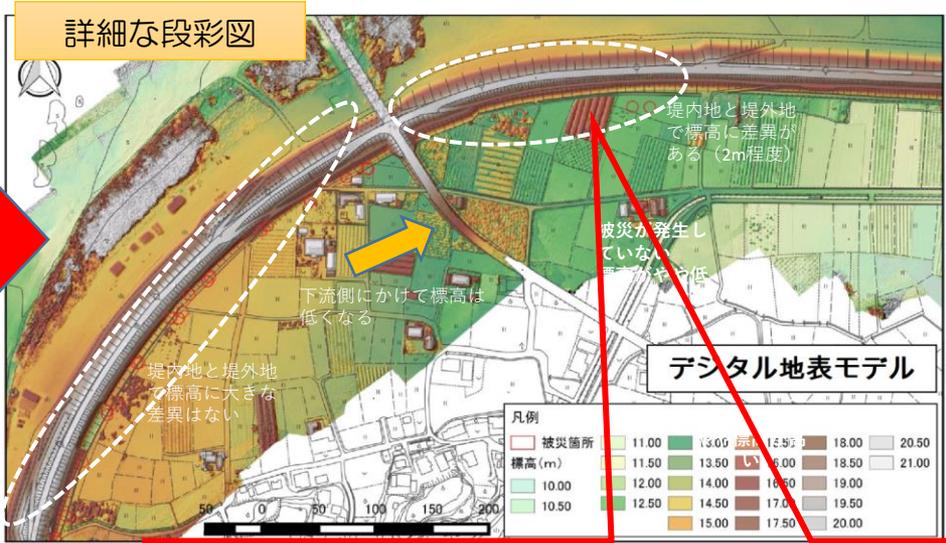
(3) 築堤履歴



築堤履歴図 (那賀川右岸11.0k)

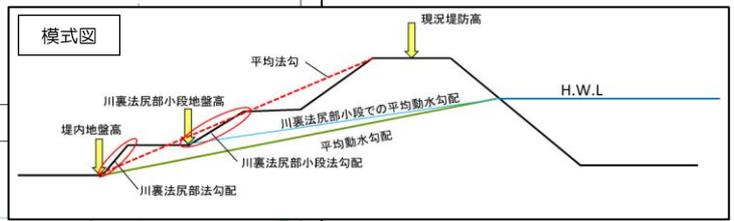
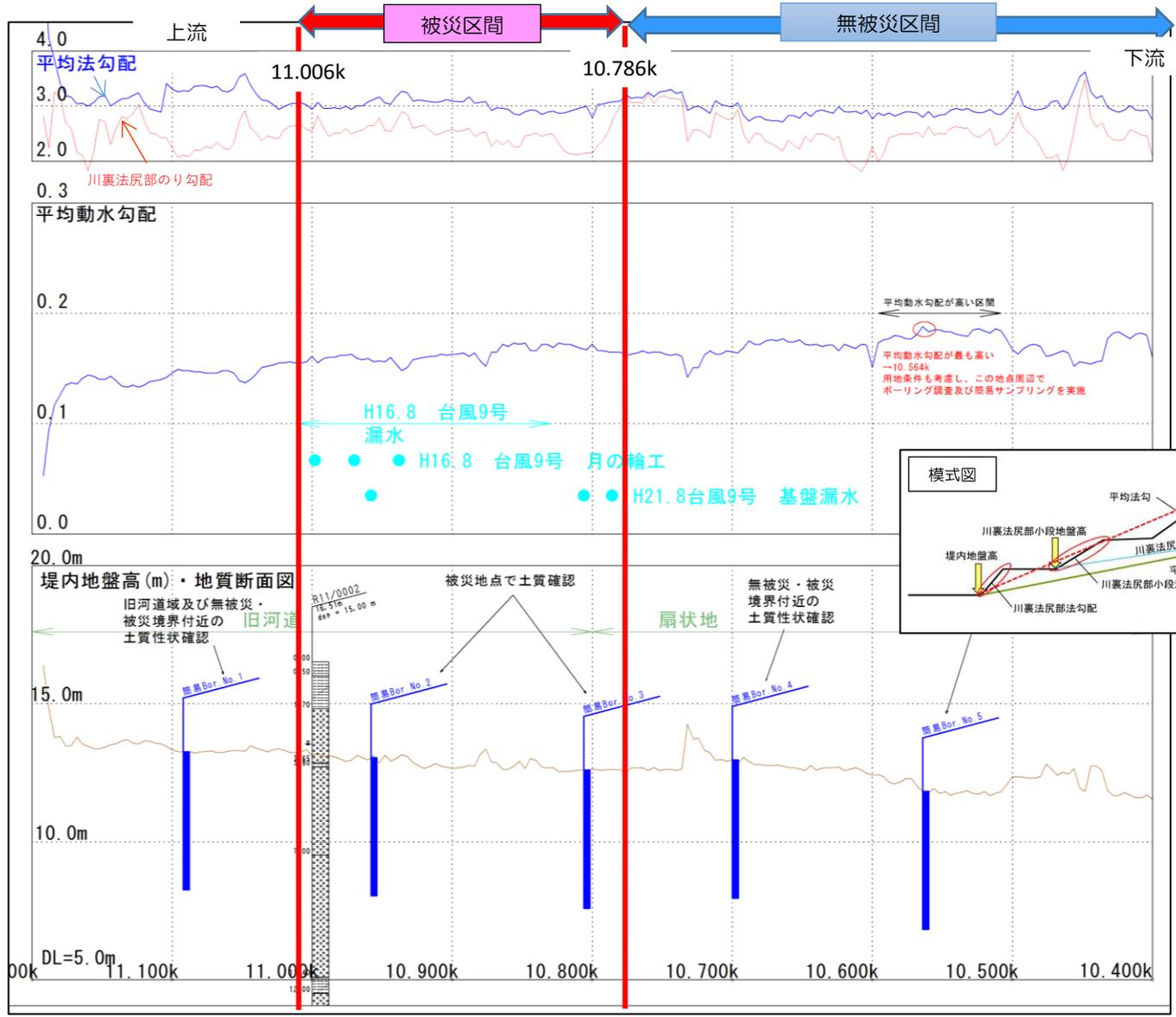
2) 上大野: UAV撮影による微地形の把握

旧河道の範囲を把握可能。漏水範囲とも一致。



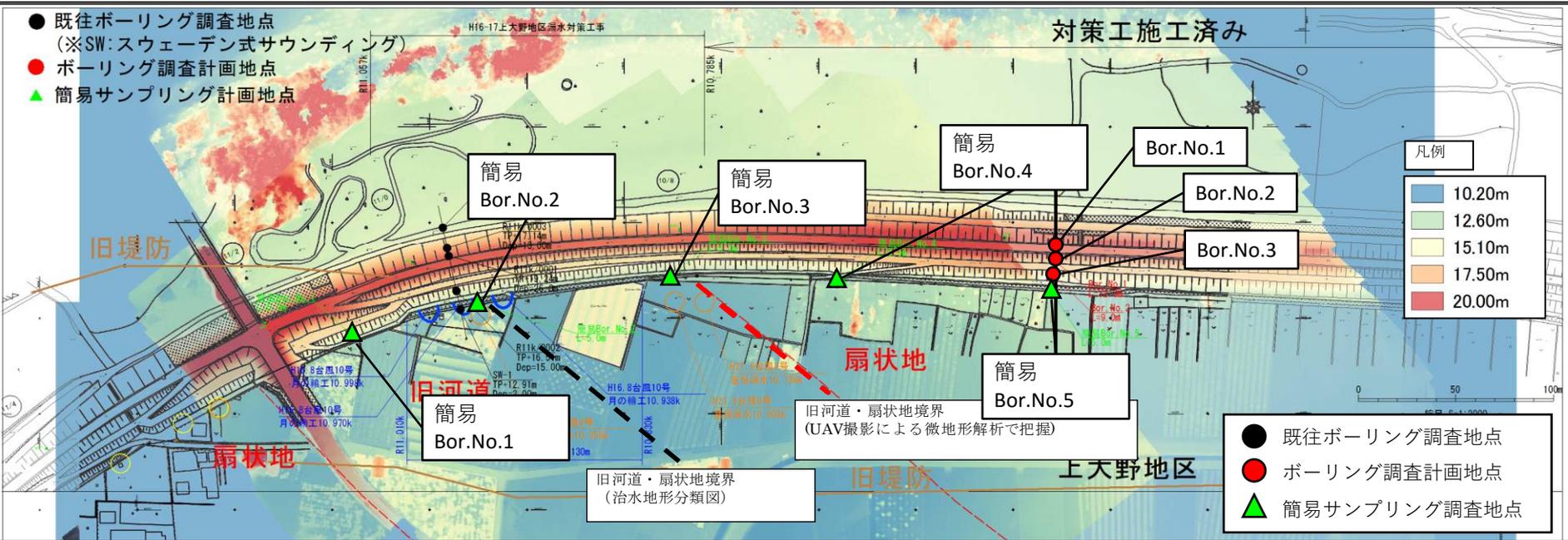
2) 上大野: LPデータによる堤防形状の把握

平均動水勾配の顕著な差はなし

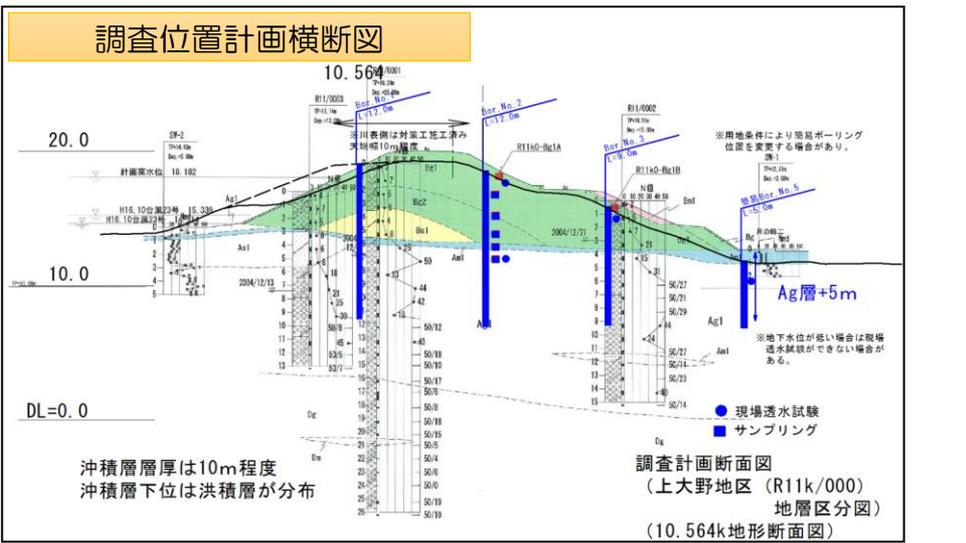


2) 上大野: 調査地点の選定

縦断方向に簡易サンプリング、無被災区間の中で形状が厳しい箇所にボーリング実施

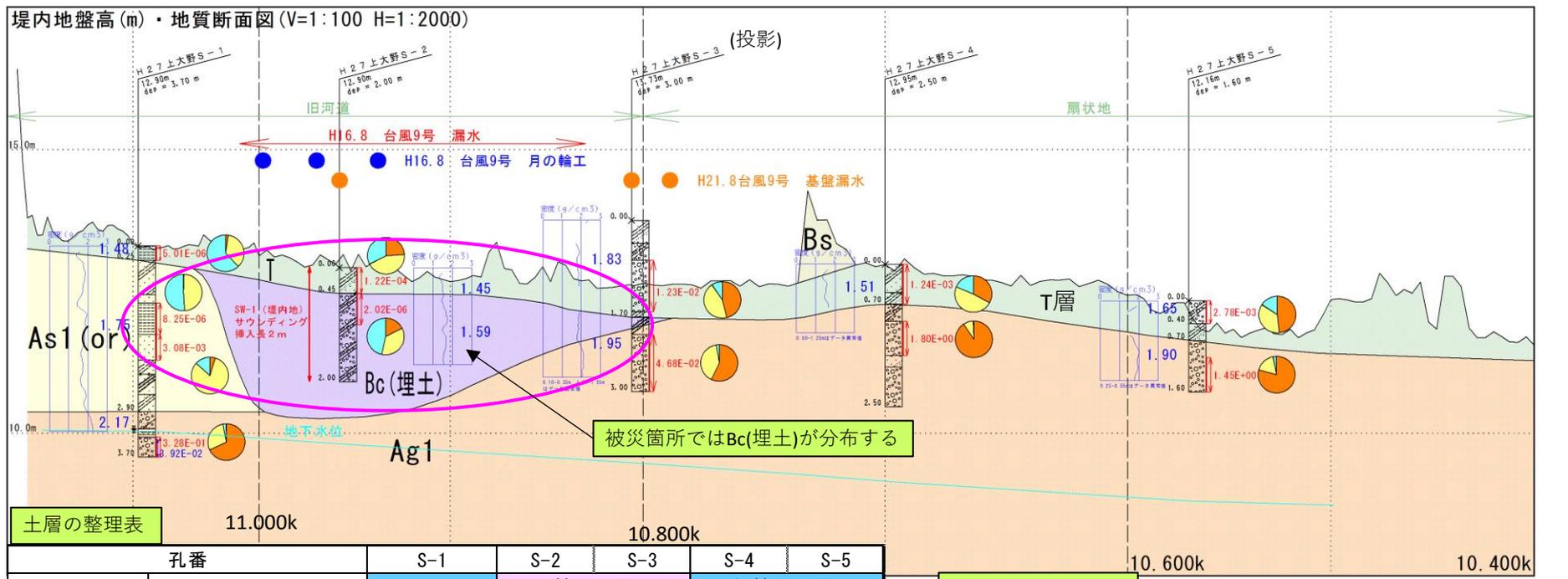


調査位置平面図



2) 上大野: 簡易サンプリングによる裏法基盤の縦断図

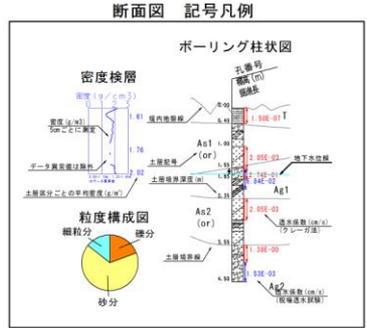
被災区間には法尻に低い透水性の埋土層が存在



被災箇所ではBc(埋土)が分布する

扇状地に位置する土層は相対的に透水性が高い

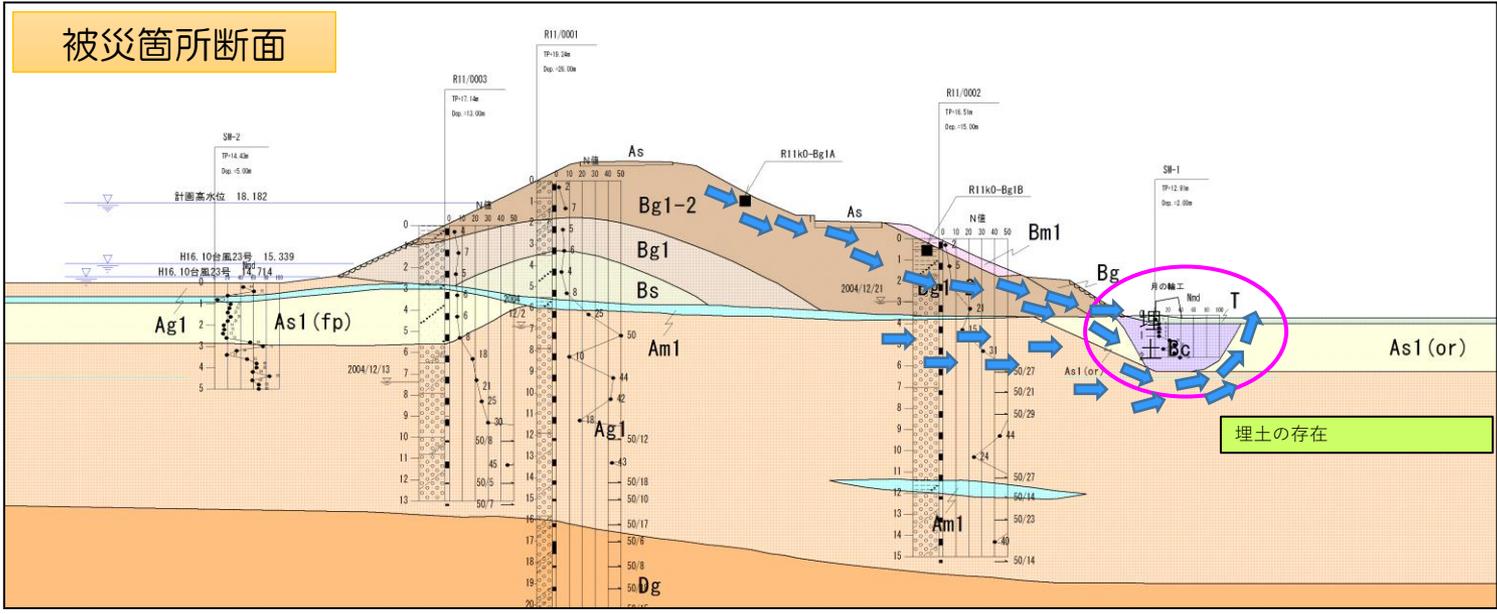
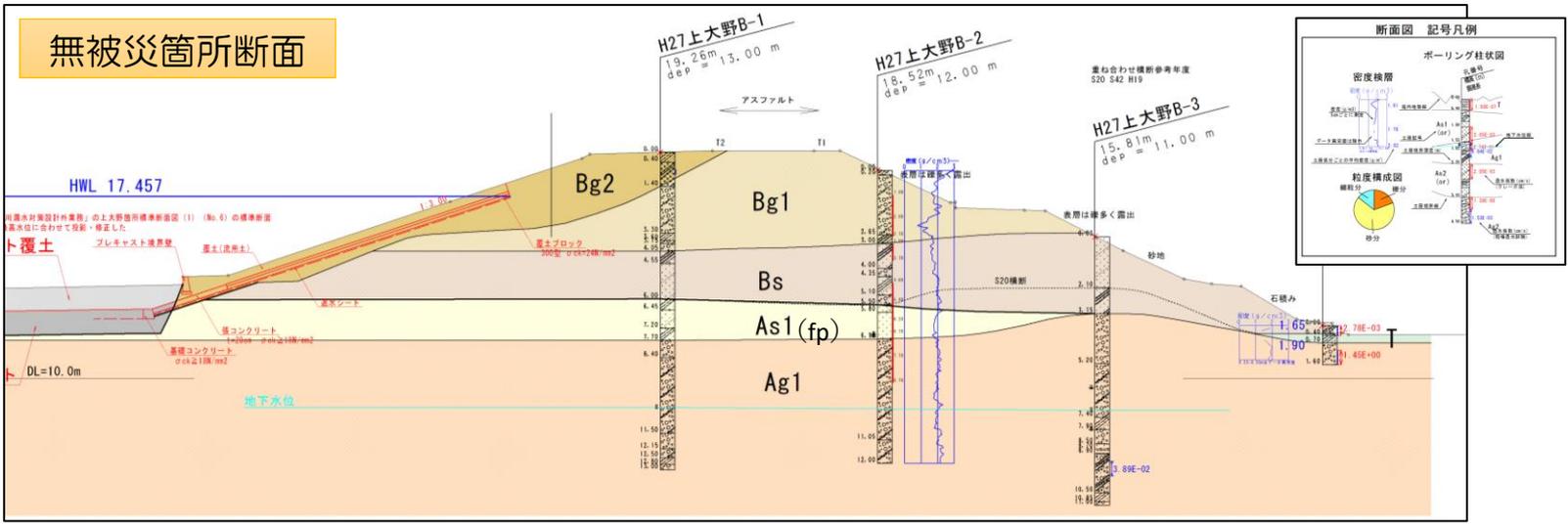
土層の整理表		11.000k			10.800k	
孔番		S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
対象土層	土質特性	無被災区間1	被災区間	被災区間	無被災区間2	無被災区間2
T	確認層厚 (m)	0.25	0.45	-	0.70	0.70
	D20透水係数 (cm/s)	5.01E-06	1.22E-04	-	1.24E-03	2.78E-03
	現場密度 (g/m ³)	1.48	1.45	-	1.51	1.65
As1・Bc・Ag1 (TP+10.4~13.3m)	確認層厚 (m)	As1 2.65	Bc 2.00	Ag1 1.30	Ag1 1.80	Ag1 0.9
	D20透水係数 (cm/s)	8.25E-06 ~3.08E-03	2.02E-06	4.68E-02	1.80E+00	1.45E+00
	現場密度 (g/m ³)	1.75	1.59	1.95	-	1.9
Ag1 (TP+10.4m以下)	D20透水係数 (cm/s)	3.28E-01	-	-	-	-
	現場透水係数 cm/s	3.92E-02	-	-	-	-



優位な差があると考えらる箇所

2) 上大野: 無被災・被災箇所との横断図

調査結果を反映させて横断図を作成



2) 上大野: 地盤定数

室内試験、現場試験結果を反映

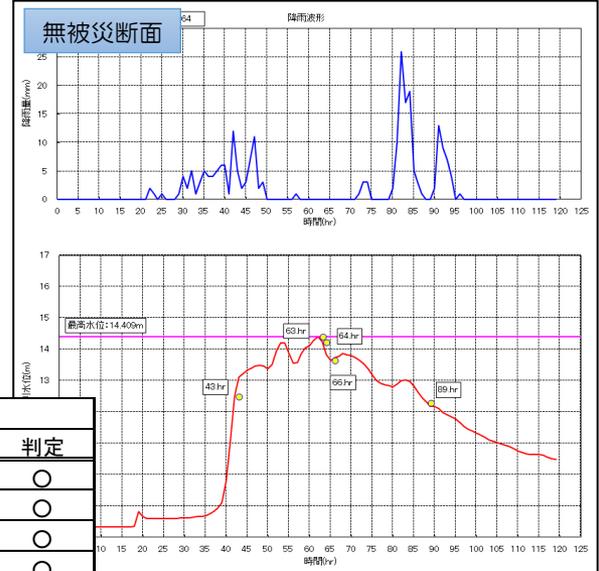
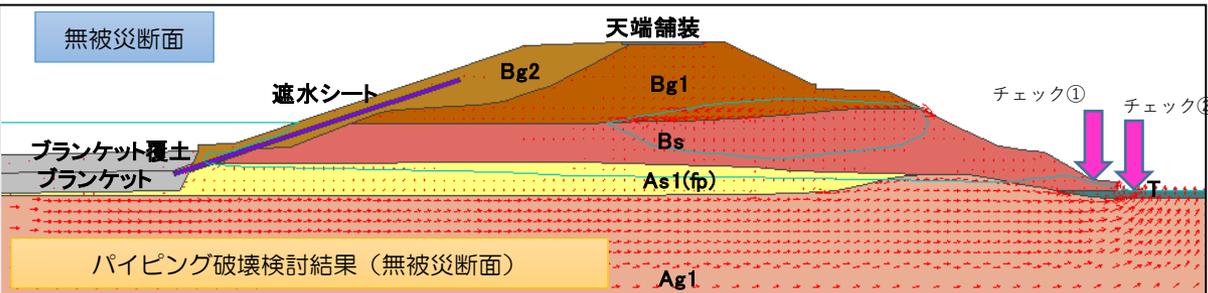
地質時代	土層名	記号	設計用土質	単位体積重量 (kN/m ³)				(飽和)	透水係数k (cm/s)				比貯留係数 (1/m)	
				一般値	室内土質試験値 (湿潤密度)	密度検層平均密度	設定値	設定値	推定値 (D20)	室内土質試験値 (変水位)	現場透水試験値	提案値		
現世	耕作土	T	砂質土	17	-	16.2	16.2	16.2	2.78E-03	-	-	2.78E-03	1.00E-04	
	盛土	ブランケット覆土	既往調査参考	-	-	-	19	19	-	-	-	1.00E-02	1.00E-04	
		ブランケット	既往調査参考	-	-	-	18	18	-	-	-	1.00E-05	1.00E-03	
		遮水シート	既往調査参考	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00E-06	1.00E-03	
		Bg2	礫および礫まじり砂	20	-	-	20	20	6.21E-06	-	-	6.21E-06	1.00E-04	
		Bg1	礫および礫まじり砂	20	-	18.4	18.4	18.4	8.49E-03	3.06E-05	-	8.49E-03	1.00E-04	
	Bs	礫および礫まじり砂	20	19.6	18.3	19.6	20.7	3.50E-03	1.40E-04	1.26E-04	1.26E-04	1.00E-04		
完新世	沖積層 扇状地	第1砂質土層	As1 (fp)	砂質土 密実でないもの	17	18.5	18.5	18.5	19.9	4.84E-03	7.99E-04	-	7.99E-04	1.00E-04
		第1礫質土層	Ag1	礫 粒径幅の広いもの	20	21.4	19.9	21.4	22.5	2.29E-01	1.48E-04	2.65E-02	2.65E-02	1.00E-04

2) 上大野: 再現解析結果

被災の有無を解析で再現可能

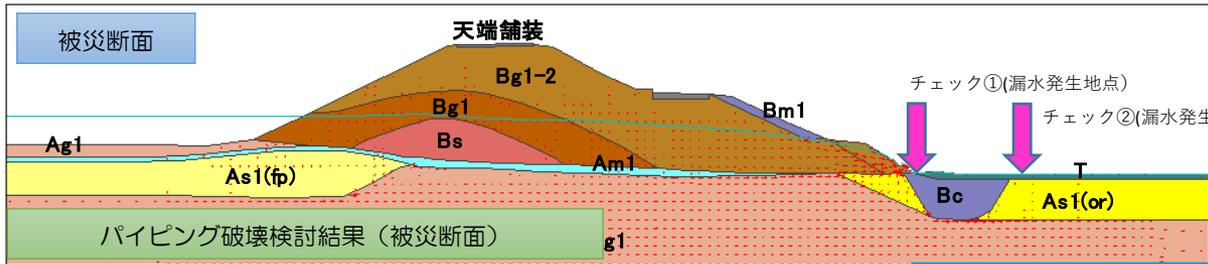
浸透流解析に利用した実績外力 (H16年8月出水)

無被災断面 浸透流解析結果図 (330時間)



局所動水勾配チェック箇所①			局所動水勾配チェック箇所②			揚圧力チェック箇所②						
時間(hr)	水平	鉛直	判定	時間(hr)	水平	鉛直	判定	時間	G	W	G/W	判定
303	水位上昇しない		○	303	水位上昇しない		○	303	5.44	-7.83	-	○
330	水位上昇しない		○	330	水位上昇しない		○	330	5.44	2.21	2.46	○
331	水位上昇しない		○	331	水位上昇しない		○	331	5.44	2.28	2.39	○
333	水位上昇しない		○	333	水位上昇しない		○	333	5.44	1.96	2.78	○
346	水位上昇しない		○	346	水位上昇しない		○	346	5.44	-1.56	-	○
最大	水位上昇しない		○	最大	水位上昇しない		○	最小	-	-	2.39	○

被災断面 浸透流解析結果図 (330時間)



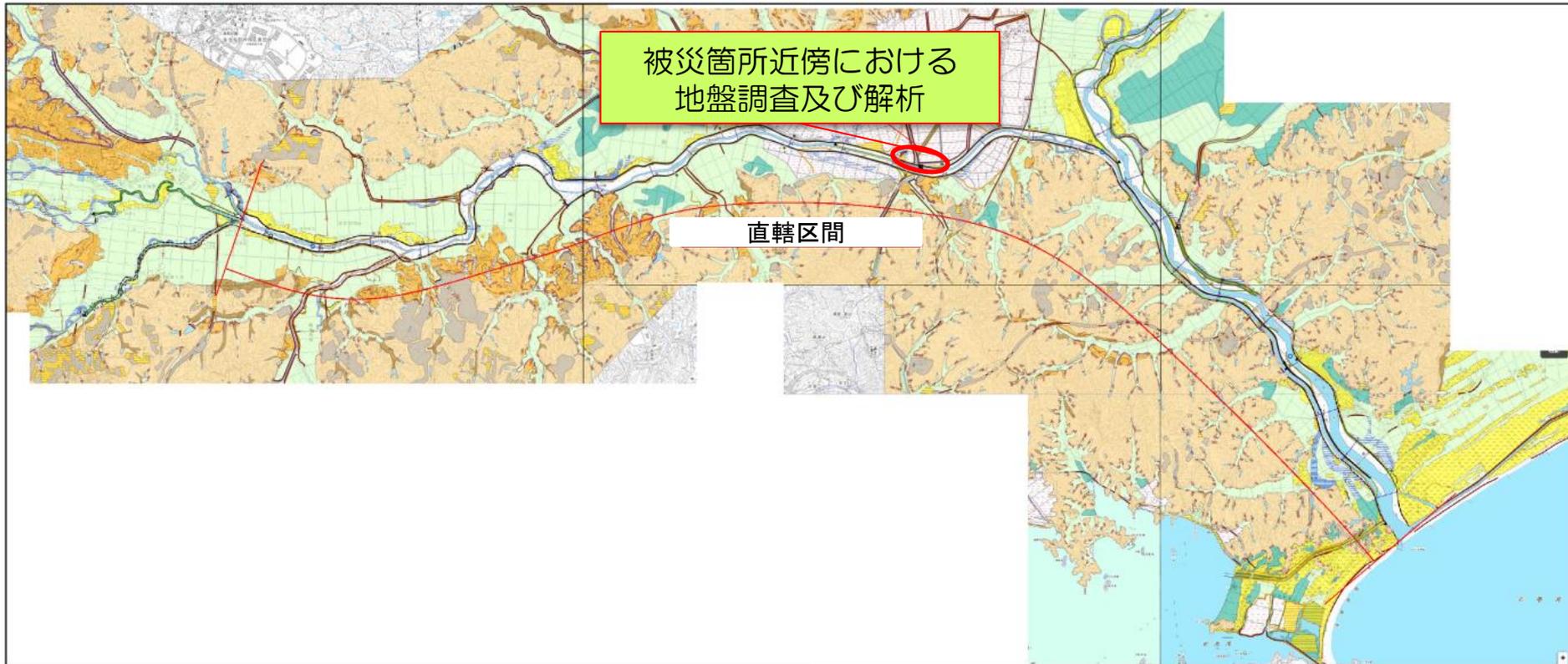
局所動水勾配チェック箇所①			揚圧力チェック箇所①				揚圧力チェック箇所②						
時間(hr)	水平	鉛直	判定	時間	G	W	G/W	判定	時間	G	W	G/W	判定
303	0.683	1.23	×	303	11.01	1.31	0.86	×	303.0	4.590	0.322	1.454	○
330	0.749	1.941	×	330	11.01	1.73	0.65	×	330.0	4.590	0.565	0.829	×
331	0.743	1.872	×	331	11.01	1.69	0.67	×	331.0	4.590	0.544	0.860	×
333	0.719	1.606	×	333	11.01	1.53	0.73	×	333.0	4.590	0.462	1.014	×
346	0.679	1.243	×	346	11.01	1.32	0.85	×	346.0	4.590	0.327	1.432	○
最大	0.749	1.941	×	最小	-	-	0.65	×	最小	-	-	0.829	×

1. 被災原因調査と結果の活用

被災調査事例Ⅱ（吉田川）

調査位置

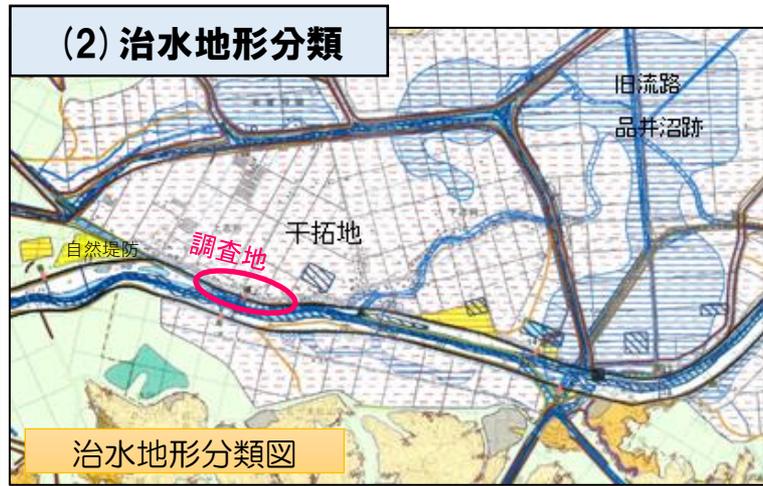
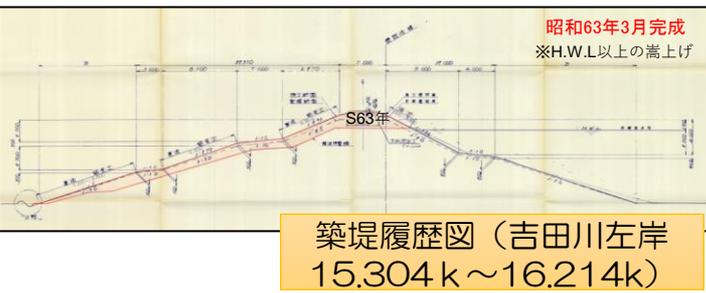
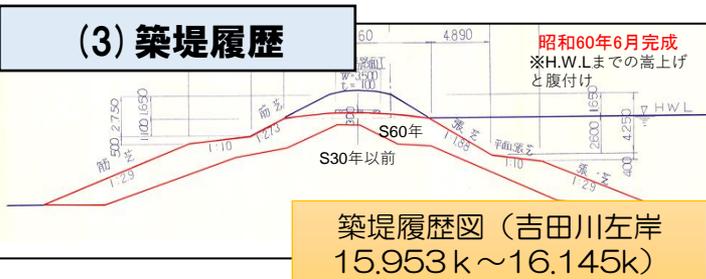
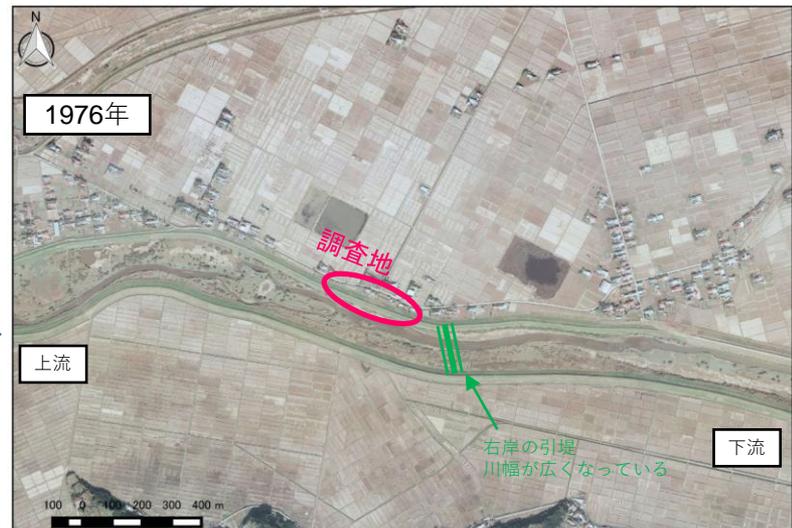
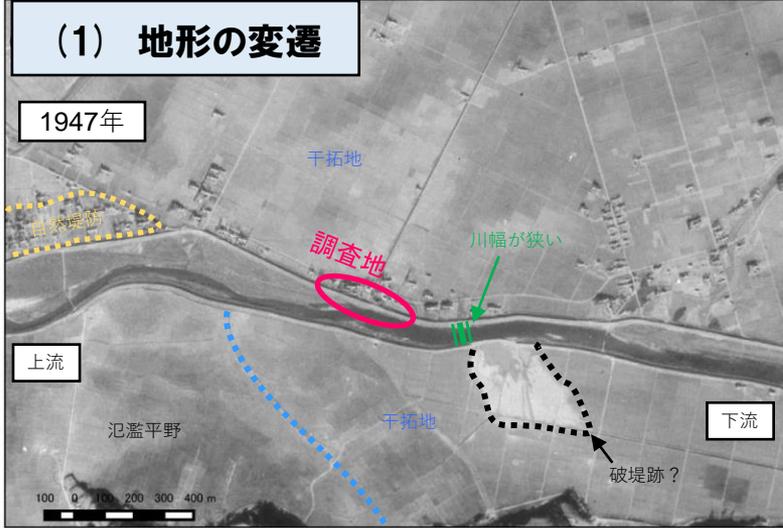
目的: 被災箇所近傍の無被災箇所を調査及び解析、被災の有無の要因を把握



鹿島台 (H27)

地形の変遷、築堤履歴

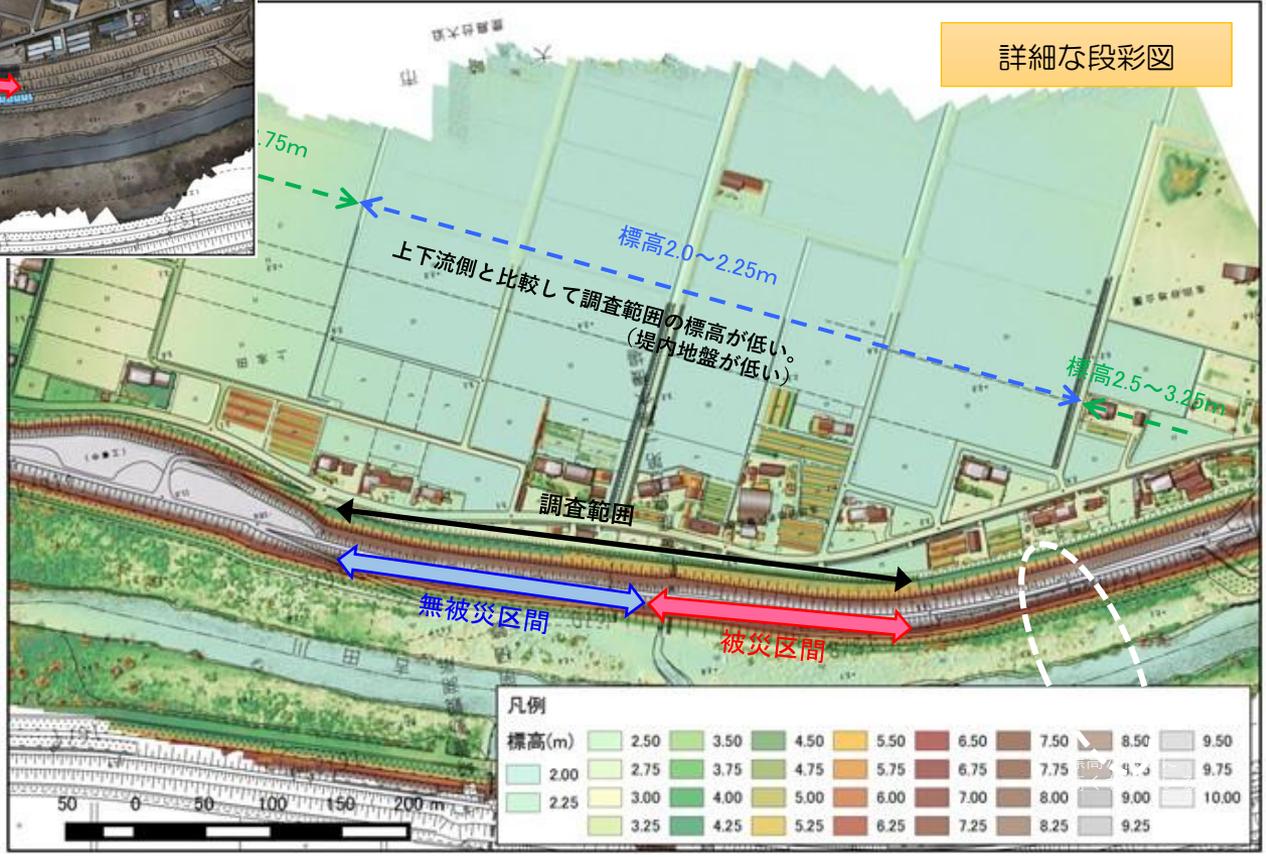
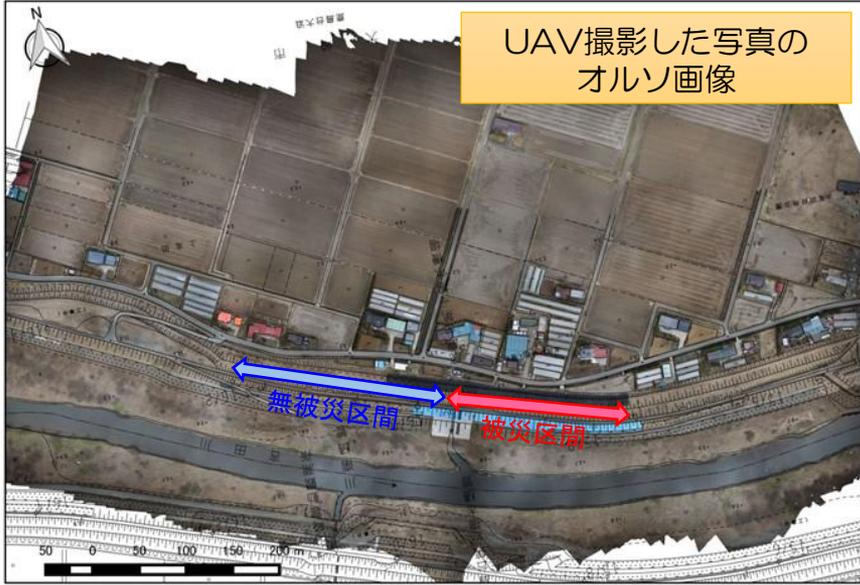
漏水箇所は干拓地



地形	山麓堆積地形	
地	氾濫地	
	氾濫平野	
	氾濫平野	後背湿地
	氾濫平野	側背湿地
	氾濫平野	側背地(自然堤防)
	氾濫平野	旧河溝(明線)
	氾濫平野	旧河溝(不明線)
	氾濫平野	溝
	砂州・砂丘	
	人工改修地形	干拓地
掘之地・埋立地		
切土地		
連続盛土		

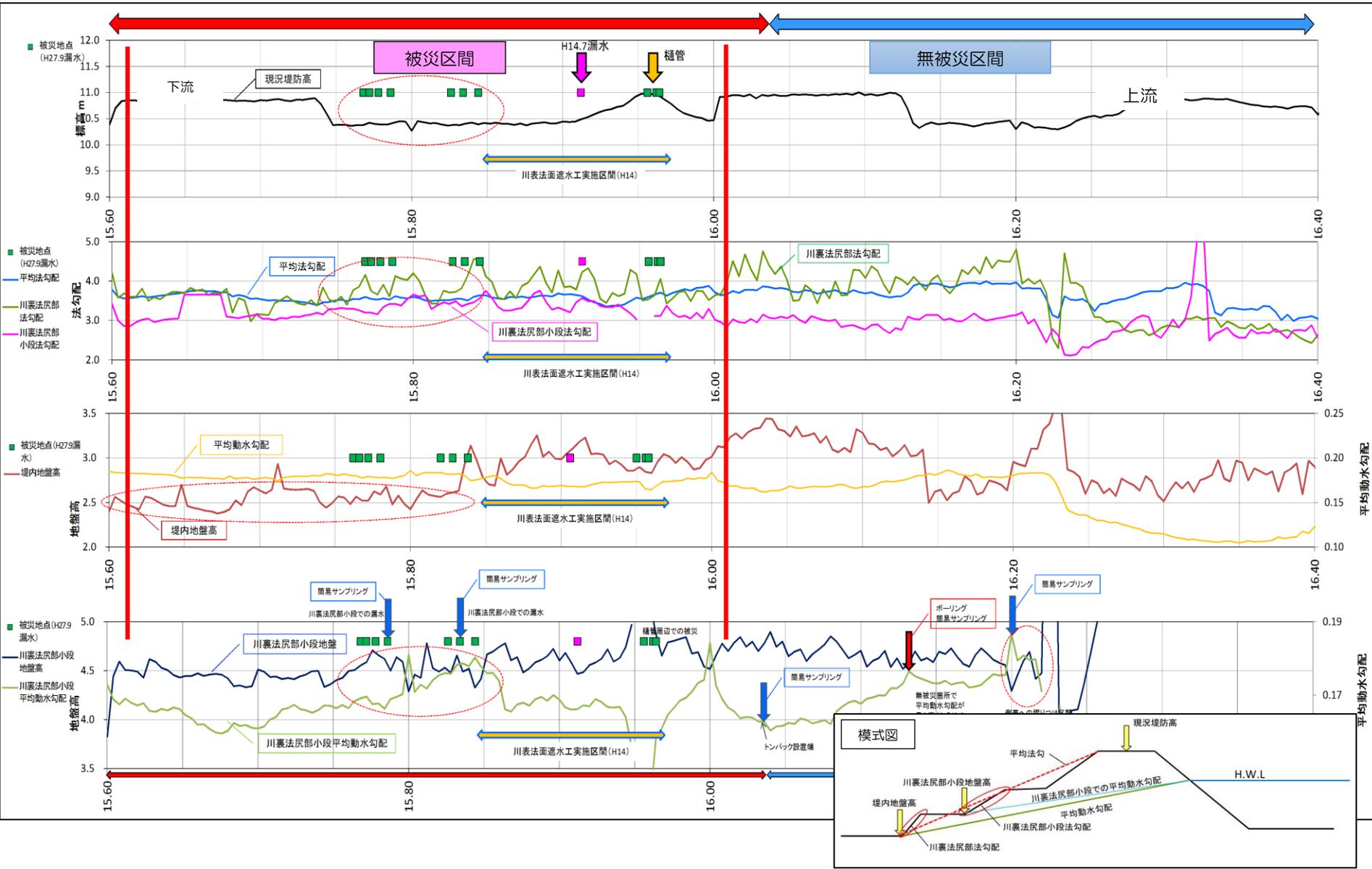
UAV撮影による微地形の把握

被災箇所と無被災箇所を比較して、大きな差はみられない



LPデータによる堤防形状の把握

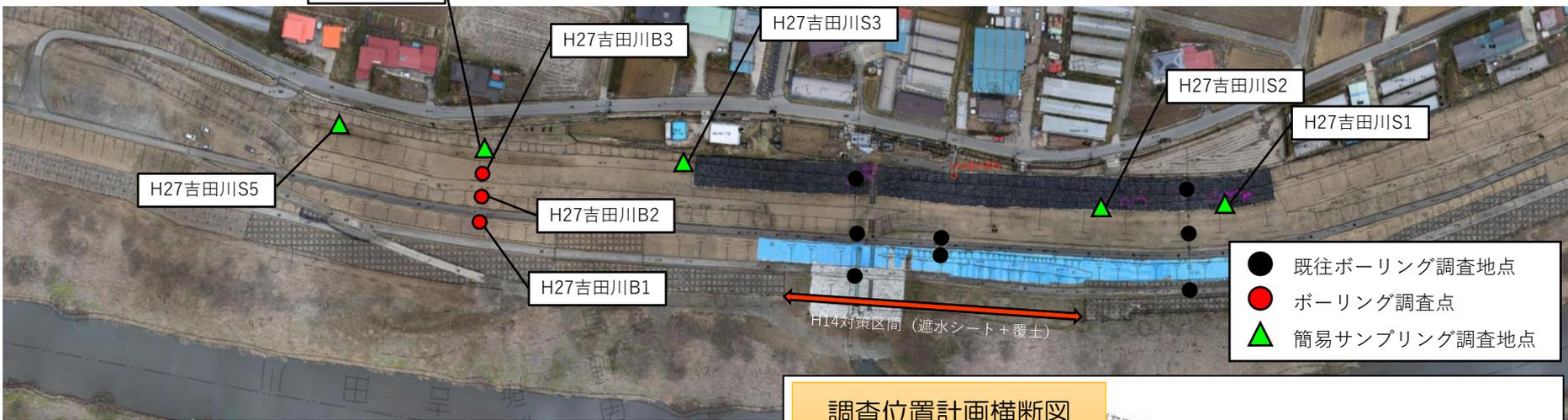
平均動水勾配の顕著な差はなし



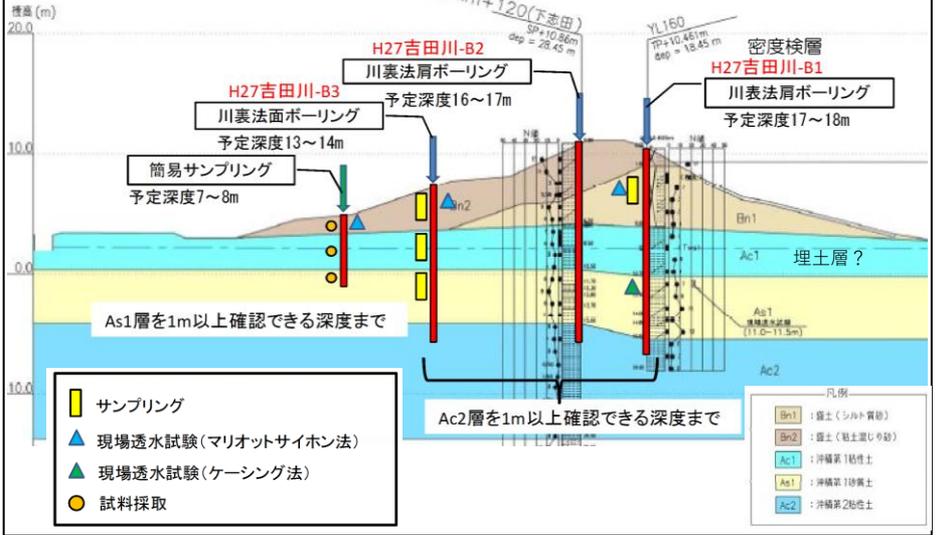
調査地点の選定

縦断方向に簡易サンプリング、無被災区間の中で形状が厳しい箇所にボーリング実施

調査位置平面図

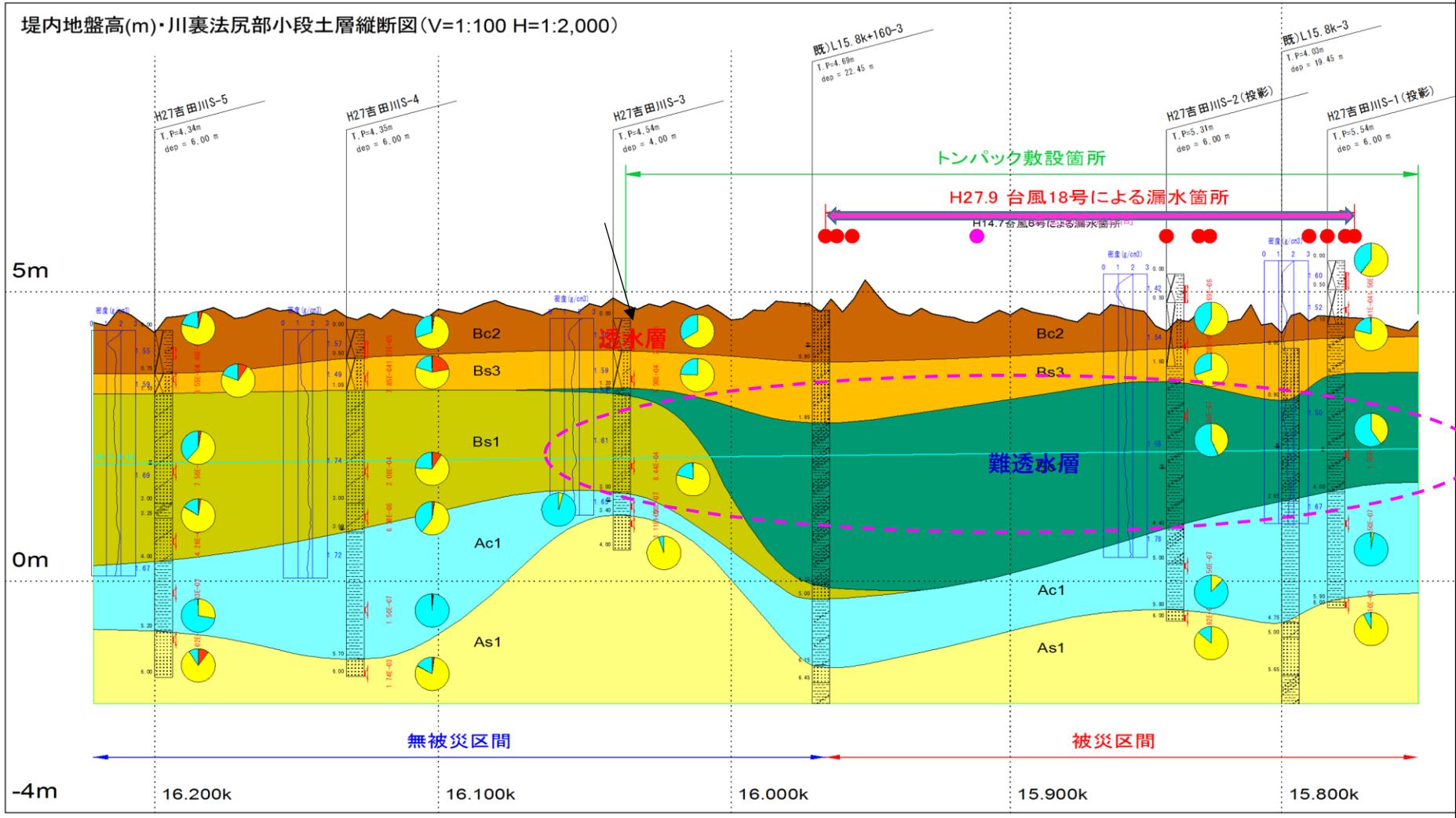


調査位置計画横断面図



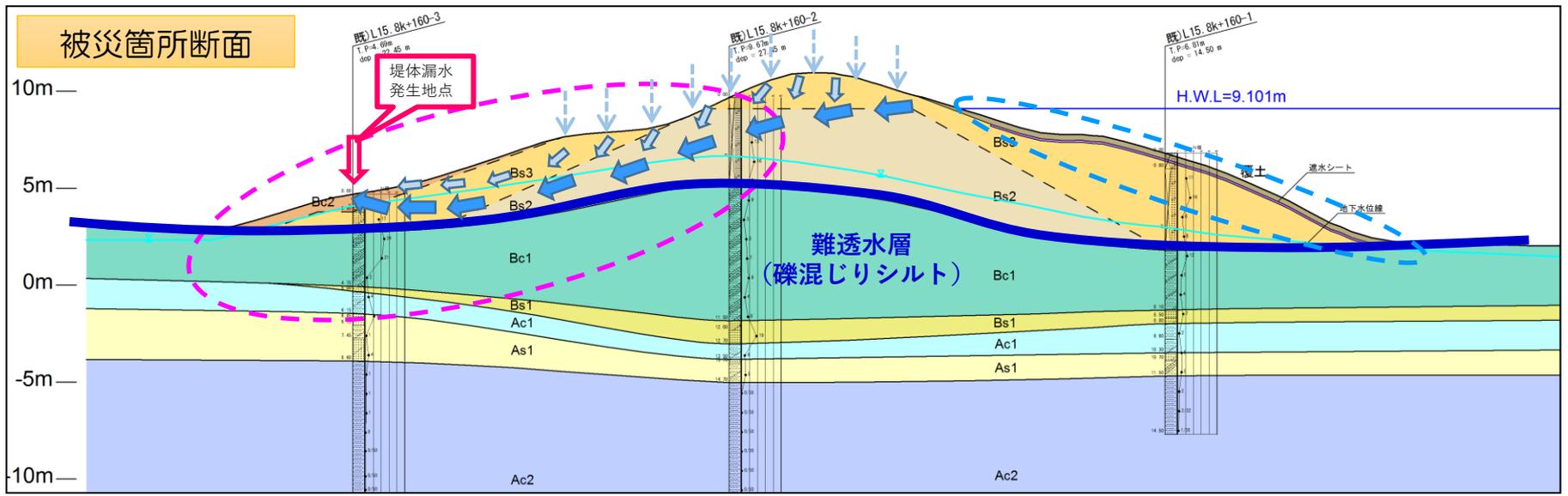
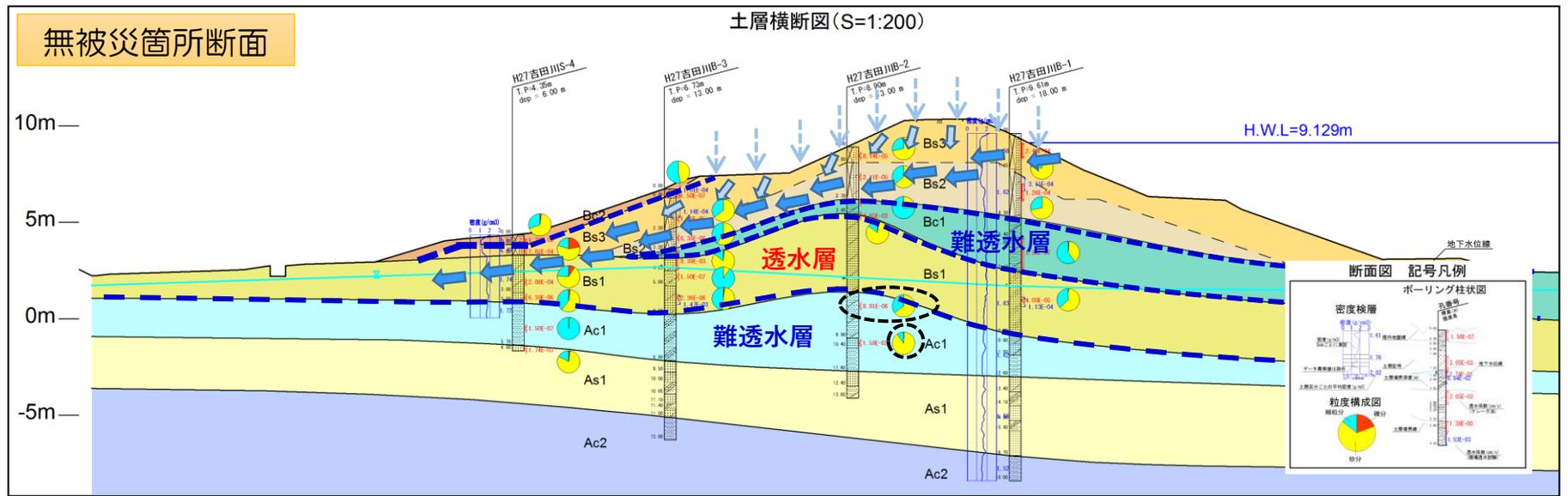
簡易サンプリングによる裏法基盤の縦断図

被災区間の裏法尻付近基盤表層には低い透水性の細粒分層が存在



無被災・被災箇所横断図

調査結果を反映させて横断図を作成



地盤定数

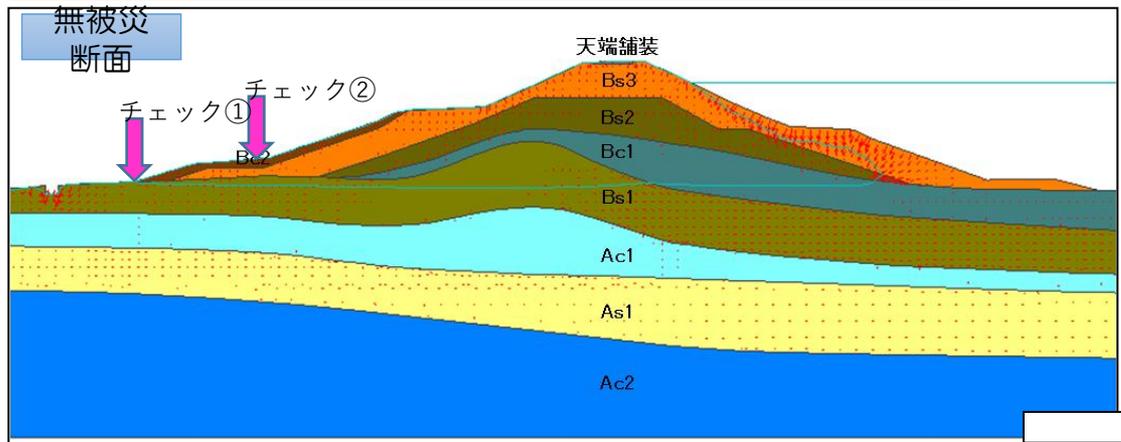
室内試験、現場試験結果を反映

地質時代	土層名	記号	設計用土質	単位体積重量 (kN/m ³) (飽和)						透水係数k (cm/s)						比貯留係数 ⁱ (1/m)	備考
				一般値	既往値	室内土質試験値 (湿潤密度)	密度検層平均密度	設定値	設定値	既往値	手引き	推定値 (D20)	室内土質試験値 (変水位)	現場透水試験値	設定値		
現世	盛土	Bc2	粘性土 (締固めたもの)	18	17	-	15.3	15.3	15.3	1.00E-04	1.00E-06	3.42E-06	-	-	3.42E-06	1.00E-03	被災区間
		Bs3	砂質土 (締固めたもの)	19	17	18.0	15.3	18.0	18.9	1.00E-04	-	3.94E-04	8.67E-04	1.14E-04	1.14E-04	1.00E-03	無被災区間
		Bs2	砂質土 (締固めたもの)	19	17	15.6	15.9	15.6	16.5	1.00E-04	-	2.11E-05	3.12E-06	3.15E-04	3.15E-04	1.00E-04	-
	埋土	Bc1	粘性土 (固いもの)	18	17	17.8	16.0	17.8	17.8	1.00E-06	1.00E-06	1.50E-07	5.63E-06	-	5.63E-06	1.00E-03	-
		Bs1	砂質土 (密実でないもの)	17	17	16.2	17.0	16.2	17.5	1.00E-03	-	1.24E-04	5.05E-04	7.92E-04	7.92E-04	1.00E-04	-
	完新世	第1粘性土層	Ac1	粘性土 (軟らかいもの)	16	17	-	16.4	16.4	16.4	1.00E-06	1.00E-06	4.48E-06	-	-	4.48E-06	1.00E-03
第1砂質土層		As1	砂質土 (密実でないもの)	17	17	-	16.3	16.3	16.3	1.00E-03	-	1.10E-02	-	-	1.10E-02	1.00E-04	-
第2粘性土層		Ac2	粘性土 (軟らかいもの)	16	16	-	14.9	14.9	14.9	1.00E-06	1.00E-06	-	-	-	1.00E-06	1.00E-03	-

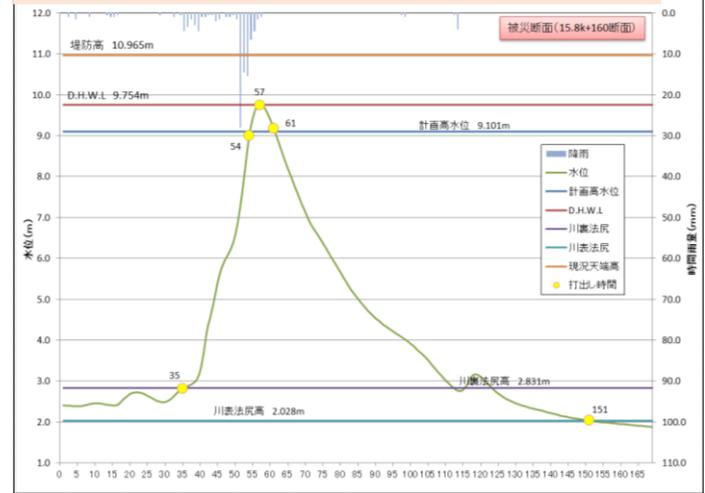
再現解析結果

被災の有無を解析で再現可能

無被災断面 初期水位を川裏法尻-0.5mとした場合の浸透流解析結果 (61時間)



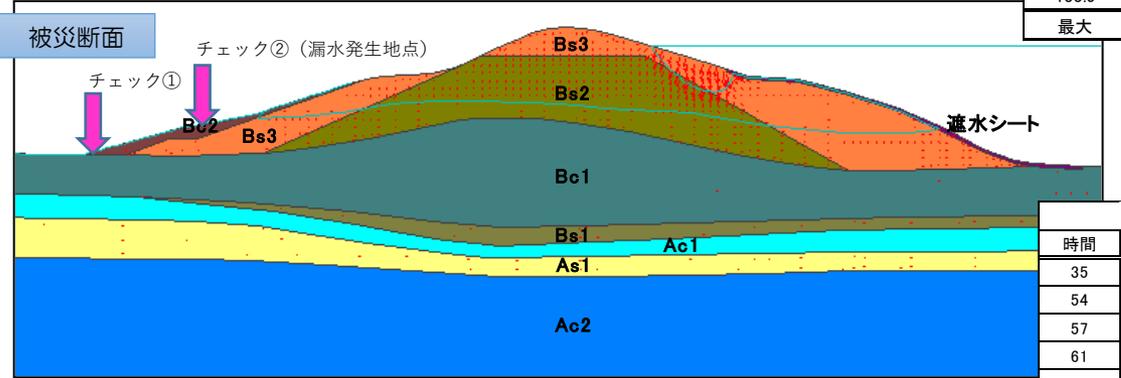
浸透流解析に利用した実績外力 (H27年9月出水)



パイピング破壊検討結果 (初期水位を川裏法尻-0.5m)

局所動水勾配チェック箇所①				揚圧力チェック箇所②			
時間 (hr)	水平	鉛直	判定	時間 (hr)	水平	鉛直	判定
35.0	水位上昇しない		○	35.0	水位上昇しない		○
54.0			○	54.0			○
57.0			○	57.0			○
61.0			○	61.0			○
133.0			○	133.0			○
最大	水位上昇しない		○	最大	水位上昇しない		○

被災断面 (61時間)



パイピング破壊検討結果

揚圧力チェック箇所①					揚圧力チェック箇所②				
時間	G	W	G/W	判定	時間	G	W	G/W	判定
35	71.59	44.15	1.62	○	35	13.16	7.89	1.67	○
54	71.59	56.17	1.27	○	54	13.16	11.96	1.10	○
57	71.59	57.62	1.24	○	57	13.16	12.64	1.04	○
61	71.59	58.02	1.23	○	61	13.16	13.88	0.95	×
151	71.59	50.04	1.43	○	151	13.16	17.54	0.75	×
最小	-	-	1.23	○	最小	-	-	0.75	×

1. 被災原因調査と結果の活用

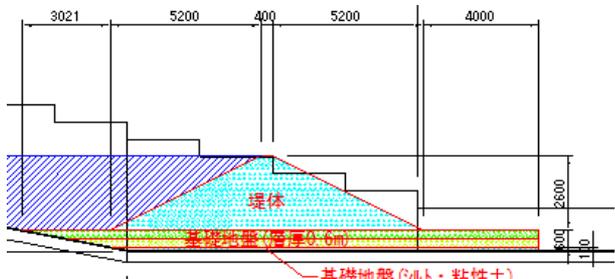
結果の活用のために

堤防の進行的なパイピングに関する研究 (H26~29)

既存データを整理し、進行的な被災メカニズムも考慮して、**弱点箇所を把握する手法**を検討

① 堤防の進行的な被災メカニズム

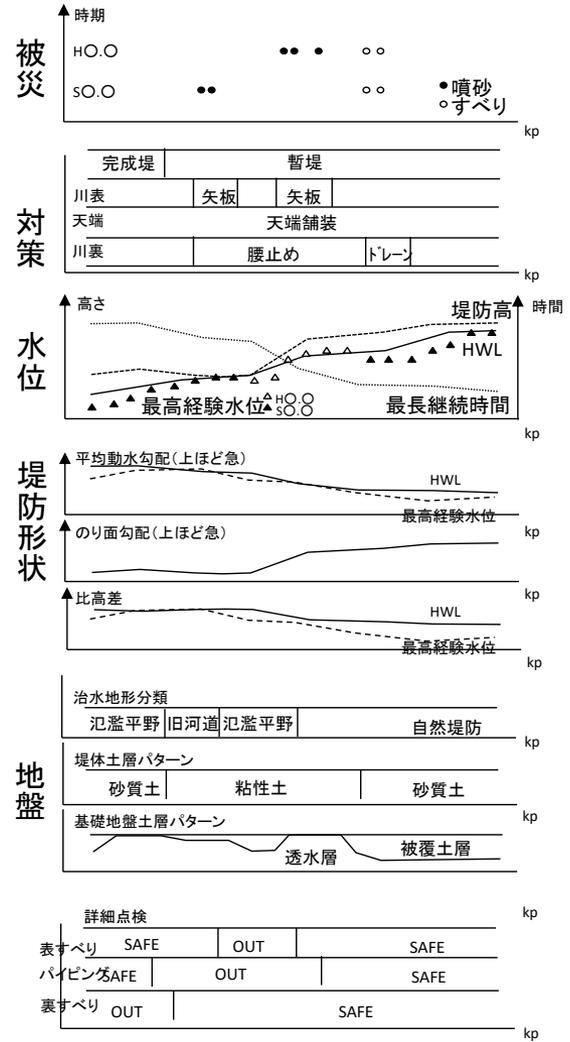
② 堤防情報の「見える化」



大型模型実験 (堤高2.6m、基盤0.7m)

決壊までの過程とそれが発生する地盤及び外力条件を定量的に説明

〇〇水系〇〇川右岸



堤防の進行的なパイピングに関する研究 (H26~29)

進行性のパイピングの発生条件(土層及び外力)を把握するため、実験を実施

H28・29年度 大規模実験



スケール1/4倍

スケール同一
法尻部のみモデル化

堤防高3.2m、基礎地盤厚0.8m、幅5m

H27~29年度

小規模実験



- ・堤防高0.8m、基礎地盤厚0.2m、幅1.8m
- ・肉眼で観察可能

H26~29年度

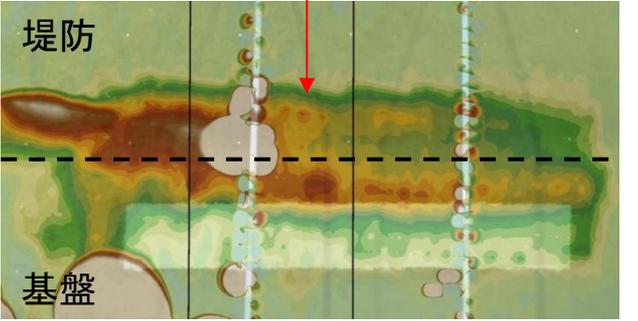
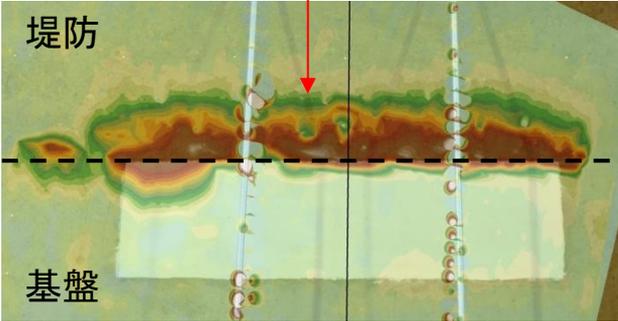
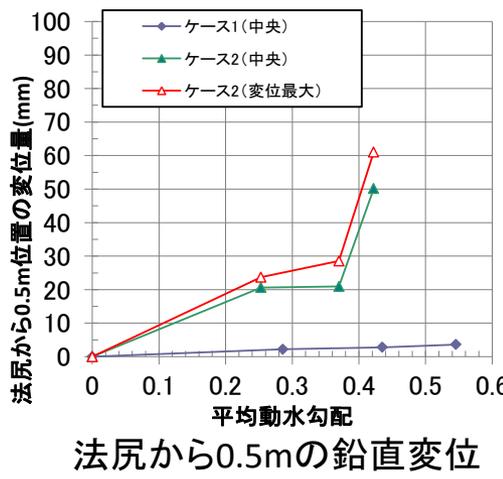
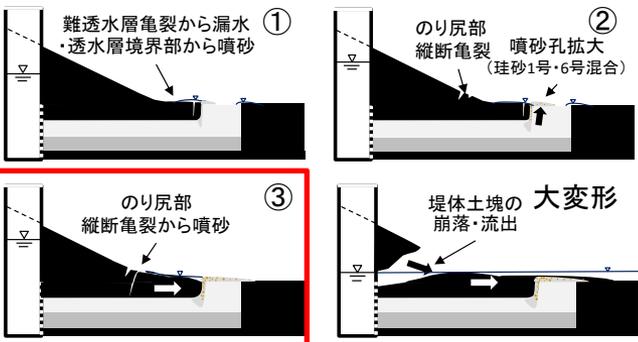
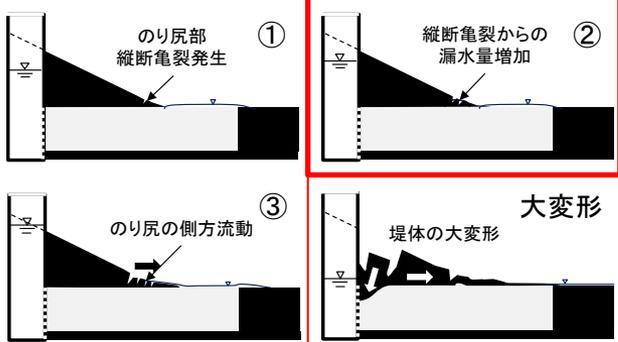
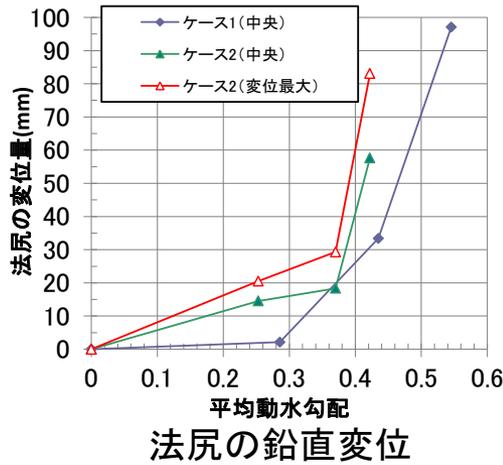
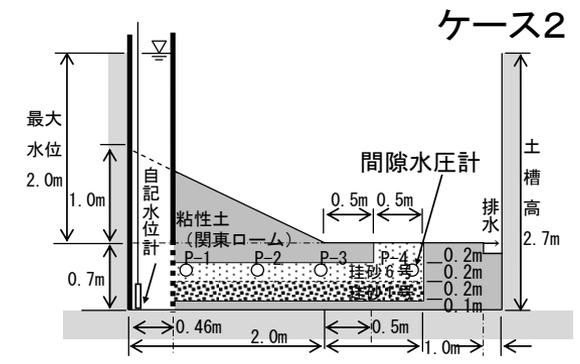
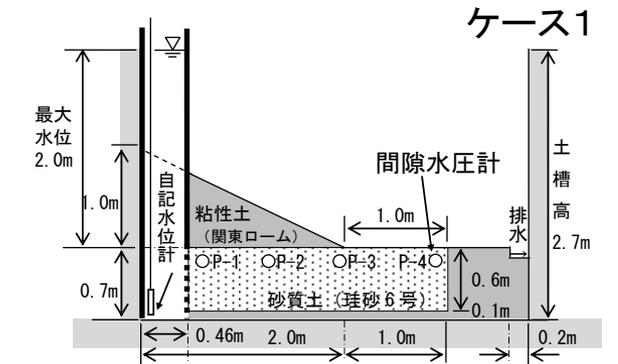
中規模実験



- ・堤防高1m、基礎地盤厚0.8m、幅8m

堤防の進行的なパイピングに関する研究 (H26~29)

成果: ・単層は複層より**進行性の噴砂が生じにくい傾向を把握**
 ・進行的なパイピングの**予兆となる地盤表層変位の特性を把握**

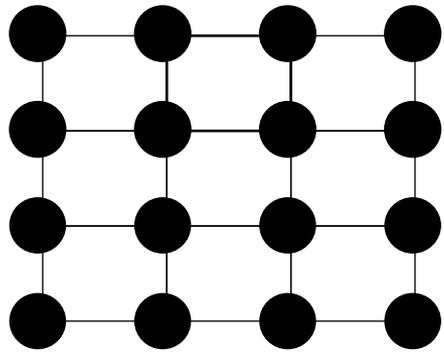


堤防の進行的なパイピングに関する研究 (H26~29)

- ・天文学物理学の分野で1960年代末に開発、流体解析にも適用
- ・地盤材料への適用は2000年代から研究が開始

FEM

メッシュ
+ ノード



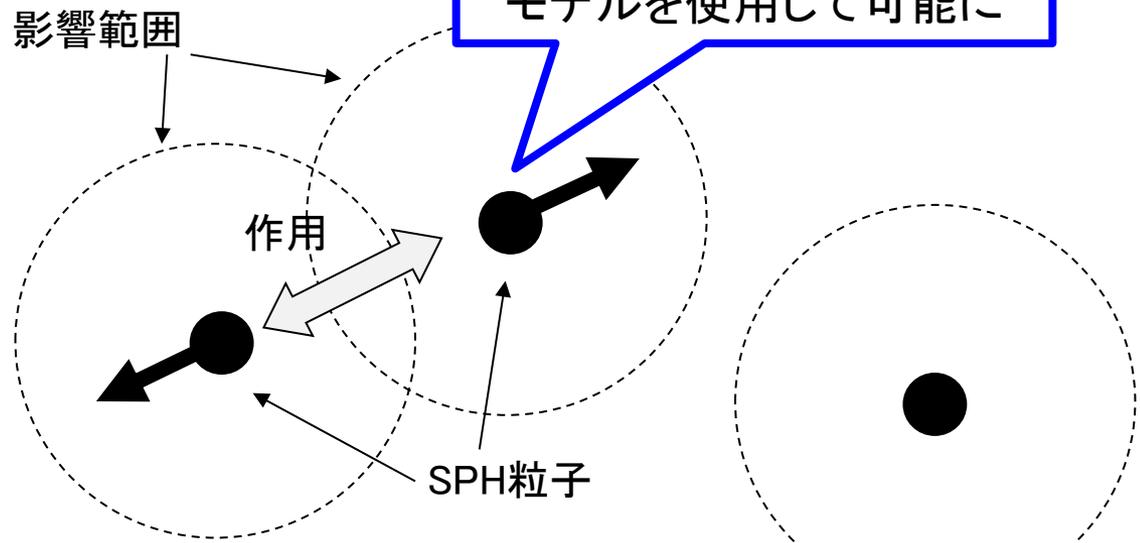
SPH

影響範囲

作用

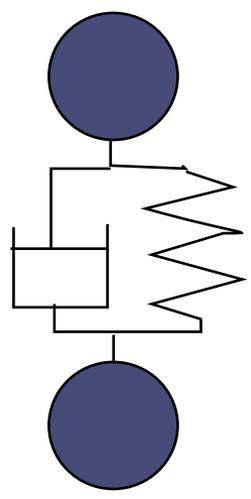
SPH粒子

大変形の解析が、連続体モデルを使用して可能に



DEM

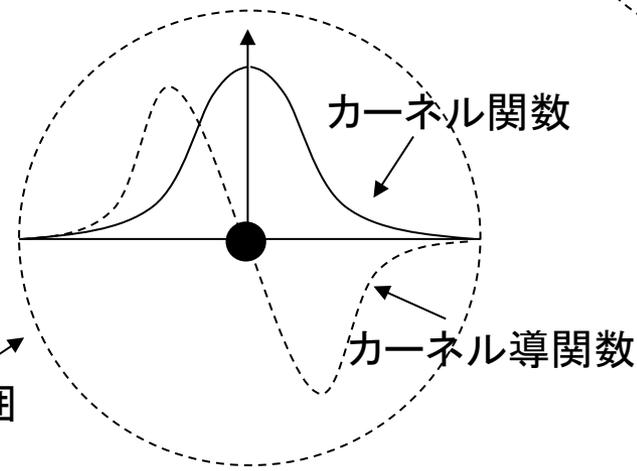
ばね
+ ダッシュ
ポッド



カーネル関数

カーネル導関数

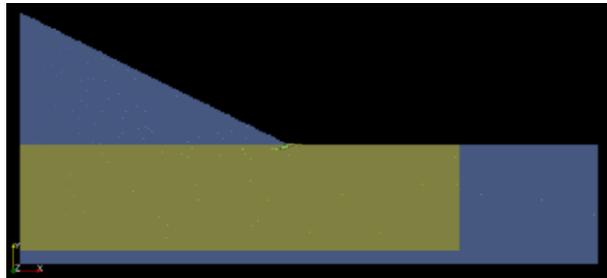
影響範囲



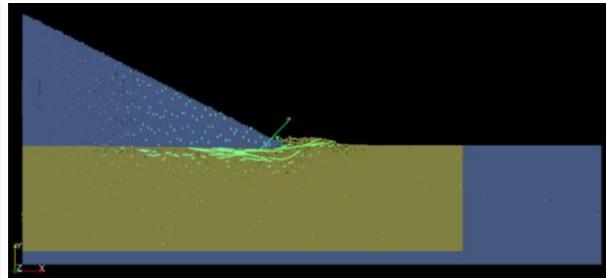
堤防の進行的なパイピングに関する研究 (H26~29)

土層の違いによる土粒子の移動量、移動範囲を推定

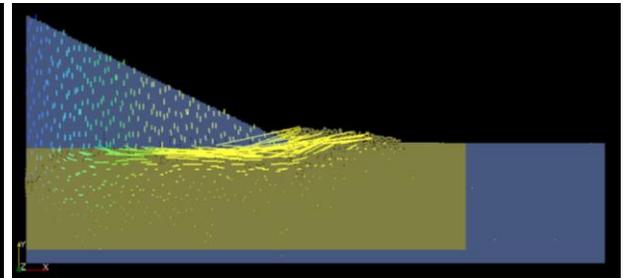
ケース1



STEP1

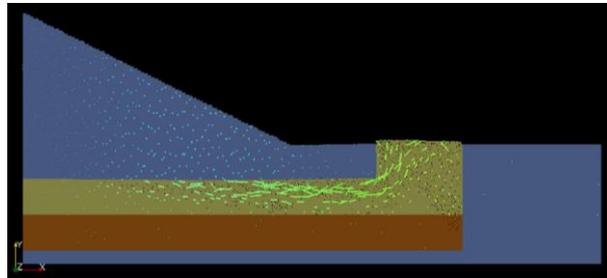


STEP2

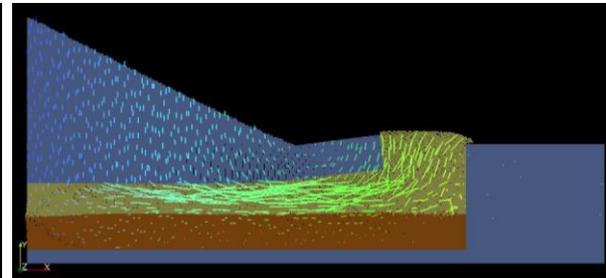


STEP3

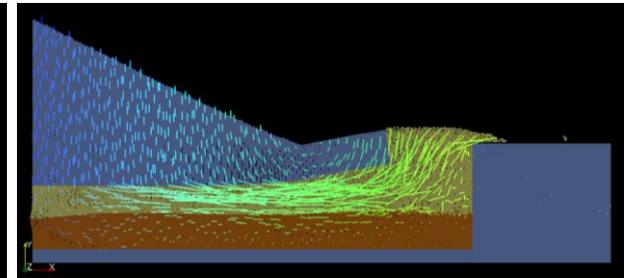
ケース2



STEP1



STEP2



STEP3

堤防の進行的なパイピングに関する研究(H26~29)

平成25年7月子吉川堤防において、裏法肩に至るすべりと多数の噴砂が発生



図 子吉川堤防被災状況(東北地方整備局提供)

被災後の開削調査では、難透水性の被覆土層を破って基礎地盤の砂質土が噴出し、その上に堤体の法すべりによって移動した砂質土が覆っている様子を観察

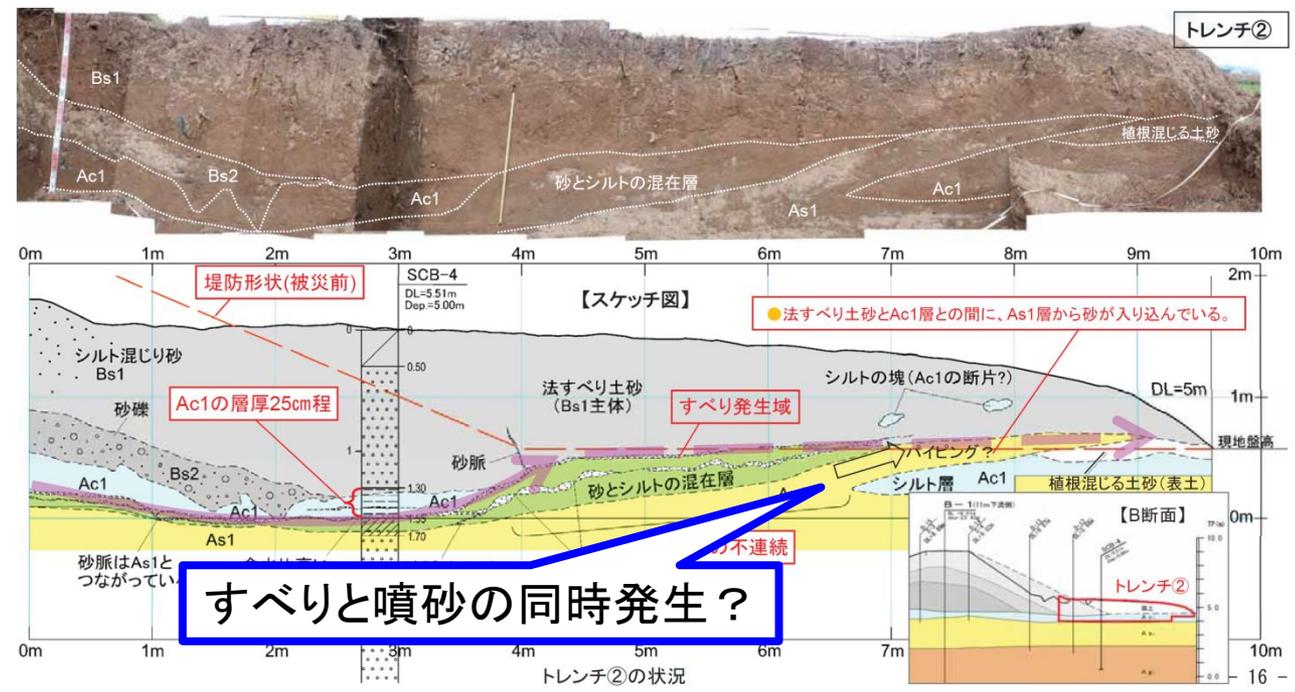


図 子吉川堤防被災における開削調査結果(東北地方整備局提供)

堤防の進行的なパイピングに関する研究 (H26~29)

現象をよく再現。これまで、詳細が不明だった決壊までの進行性破壊の過程を明らかにし始める。

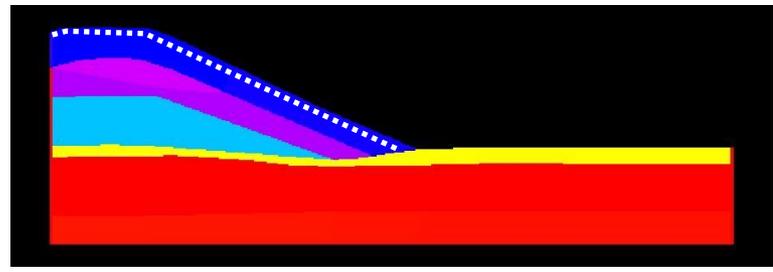


図 初期状態

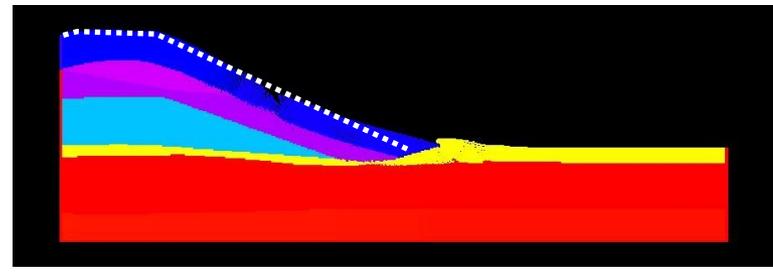


図 1.97s

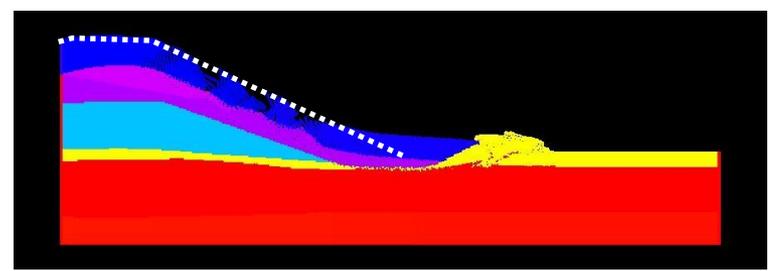


図 3.81s

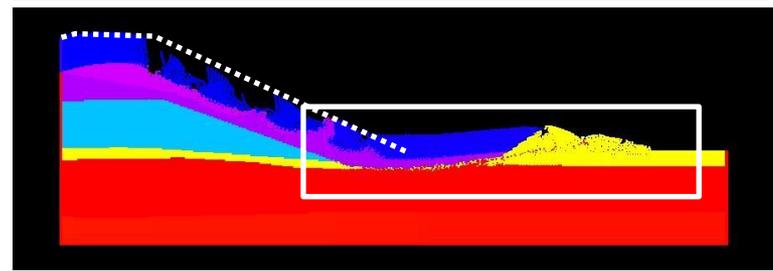


図 10.19s

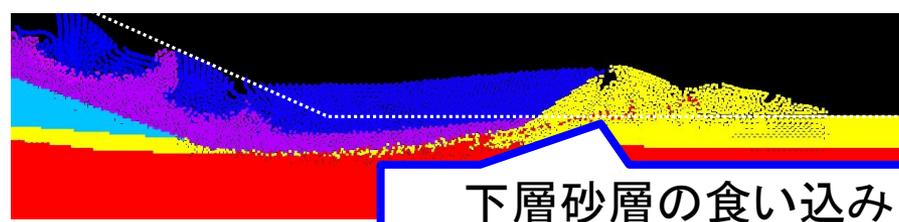


表 材料物性(東北地方整備局提供)

材料 番号-色	湿潤密度 kg/m ³	飽和密度 kg/m ³	粘着力 kPa	内部摩擦角 度
1-青 Bc	1,680	1,720	21.0	0.0
2-紫 Bs1	1,830	1,930	0.0	36.0
3-水 Bs2	1,850	2,000	6.0	33.7
4-黄 Ac1	1,600	1,700	20.0	0.0
5-赤 As1	1,800	1,900	5.1	31.7

↓
30.0
4.0
0.0
に変更

下層砂層の食い込み

堤防の進行的なパイピングに関する研究 (H26~29)

成果: 被災と堤防特性の間には関係あり

すべり 平均法面勾配・平均動水勾配が急なほど被災可能性高 パイピング・漏水

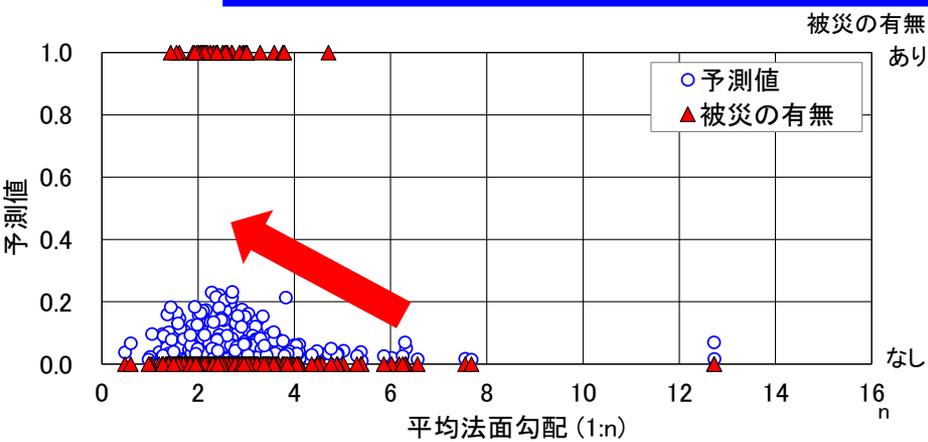


図 平均法面勾配とすべりの関係

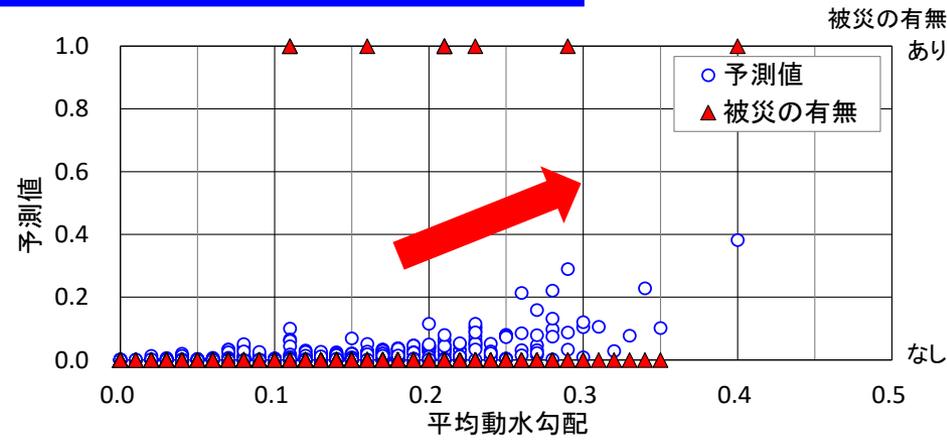


図 平均動水勾配とパイピング・漏水の関係

堤体・基盤土質により明確な傾向なし

表 土質構成別のすべりの予測値

堤体土 \ 基礎地盤	粘性土	砂質土	礫質土
粘性土	0.18	0.12	0.04
砂質土	0.17	0.18	0.11
礫質土	0.23	0.18	0.09

基盤礫質もしくは堤体砂質が被災可能性高

表 土質構成別のパイピング・漏水の予測値

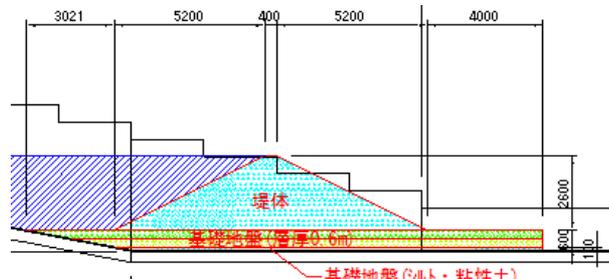
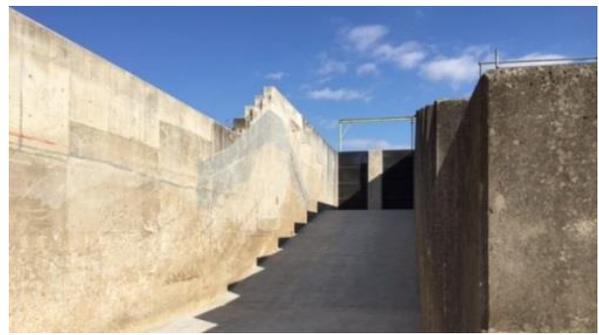
堤体土 \ 基礎地盤	粘性土	砂質土	礫質土
粘性土	0.03	0.10	0.01
砂質土	0.04	0.29	0.07
礫質土	0.38	0.12	0.08

堤防の進行的なパイピングに関する研究 (H26~29)

既存データを整理し、進行的な被災メカニズムも考慮して、**弱点箇所を把握する手法**を検討

① 堤防の進行的な被災メカニズム

② 堤防情報の「見える化」

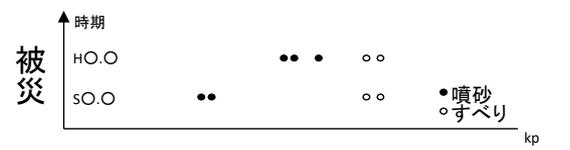


大型模型実験 (堤高2.6m、基盤0.7m)

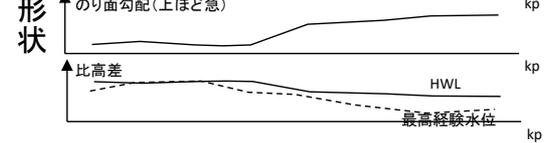
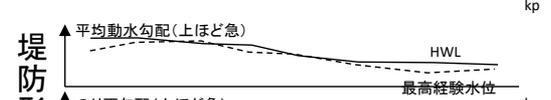
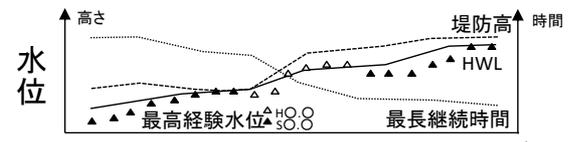
決壊までの過程とそれが発生する地盤及び外力条件を定量的に解明



〇〇水系〇〇川右岸



完成堤	暫堤		
川表	矢板	矢板	
天端	天端舗装		
川裏	腰止め	ドレーン	



地盤

治水地形分類	氾濫平野	旧河道	氾濫平野	自然堤防
堤体土層パターン	砂質土	粘性土	砂質土	
基礎地盤土層パターン	透水層		被覆土層	

詳細点検

表すべり	SAFE	OUT	SAFE
パイピング	SAFE	OUT	SAFE
裏すべり	OUT	SAFE	