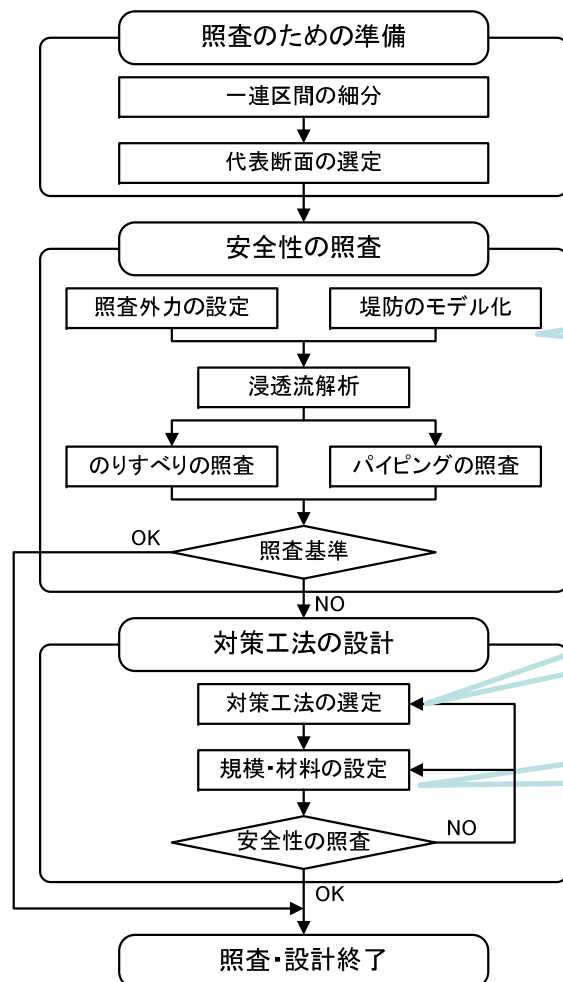


河川堤防の安全性を如何に 確保していくか —今後数百年を見据えて—

(国研)土木研究所
地質・地盤研究グループ
佐々木哲也

浸透に対する照査の手順:

浸透に関する堤防の性能照査は、代表断面の抽出、浸透流計算とそれから得られる浸潤面を用いた円弧すべり、パイピング、盤膨れによる堤防破壊に対する安全性の評価



一連区間と代表断面の設定(数百m～数km間隔のボーリングから設定)

土層構成のモデル化(3本のボーリングから設定)

照査結果と対策工の対応

適切な材料選定と施工管理

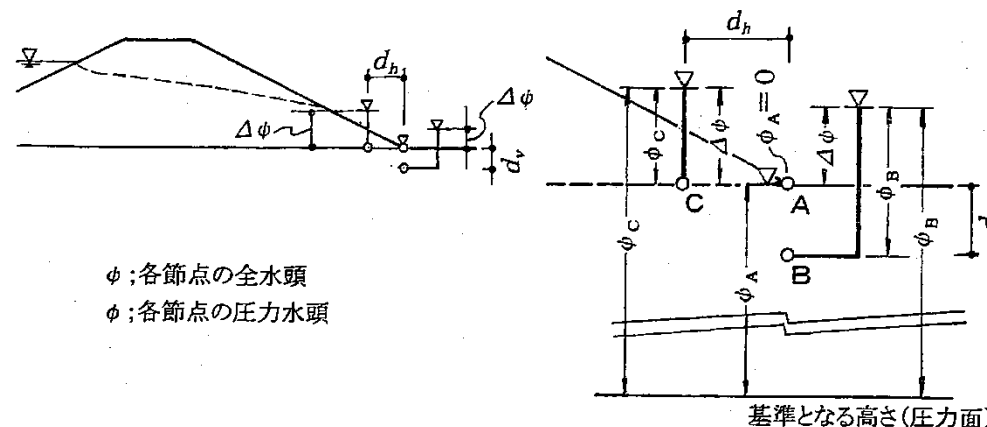
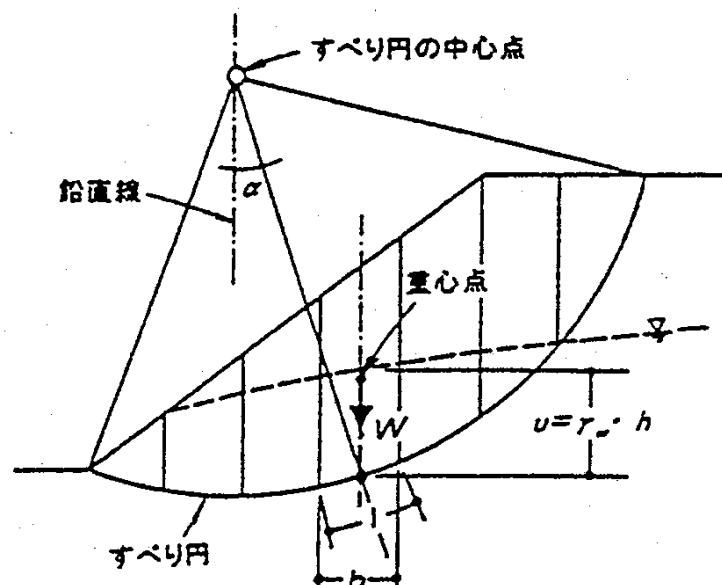
- 一連区間の細分は、基礎地盤の土質や微地形、堤防形状を考慮
- 代表断面は浸透に対して最も厳しい条件を有する箇所

厳しい条件:

- ・堤内地盤が低い
- ・堤防幅が狭い
- ・局所的な砂層が分布など

照査基準 基本断面形状を確保したうえで、以下の項目について照査

① 被覆土層なし



局所動水勾配の最大値: $i < 0.5$

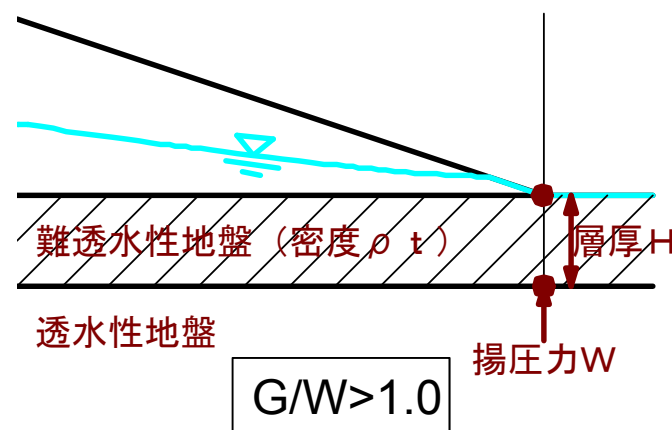
② 被覆土層あり

表のり: $F_s \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$

α_1 : 築堤履歴の複雑さに対する割増し係数

α_2 : 基礎地盤の複雑さに対する割増し係数

裏のり: $F_s \geq 1.0$

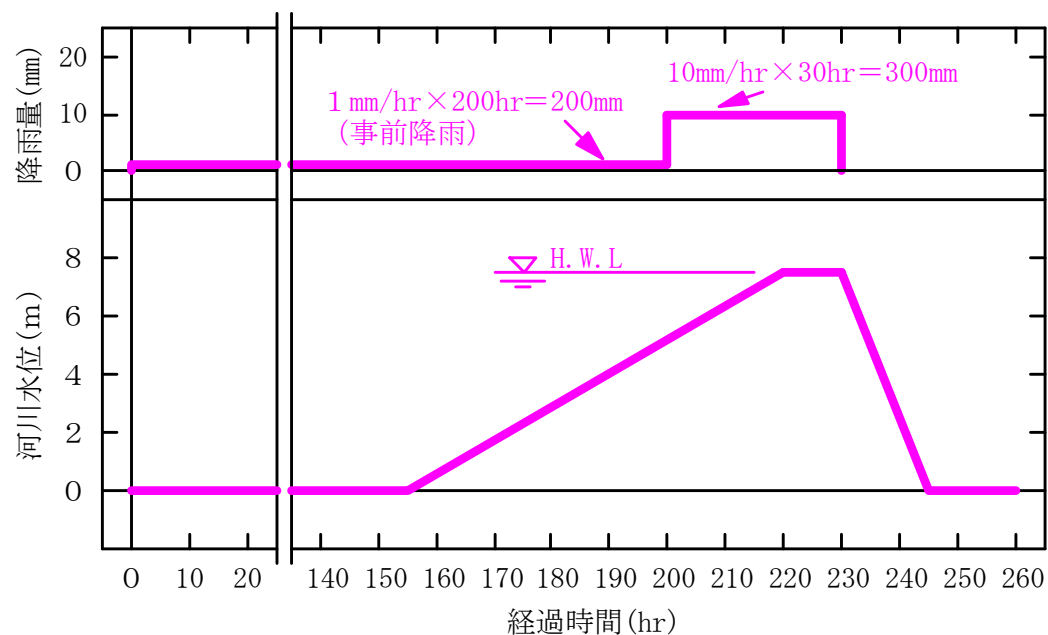


すべり破壊に対する安全性

パイピング破壊に対する安全性

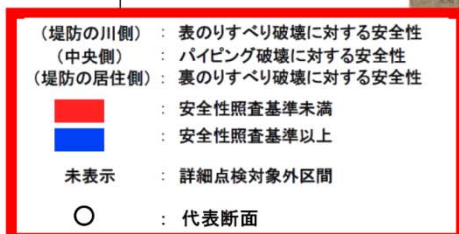
外力条件の設定

	降 雨		河 川 水 位
	総降雨量	降雨強度	
初 期	多雨時期における月降水量の平年値	1mm/hr	平 水 位
洪水時	計画降雨量	10mm/hr	複数の計画高水波形をもとに、所定の方法で求めた台形の水位波形で、計画高水位または当面の整備目標として設定する洪水時の水位をピーク水位とする波形



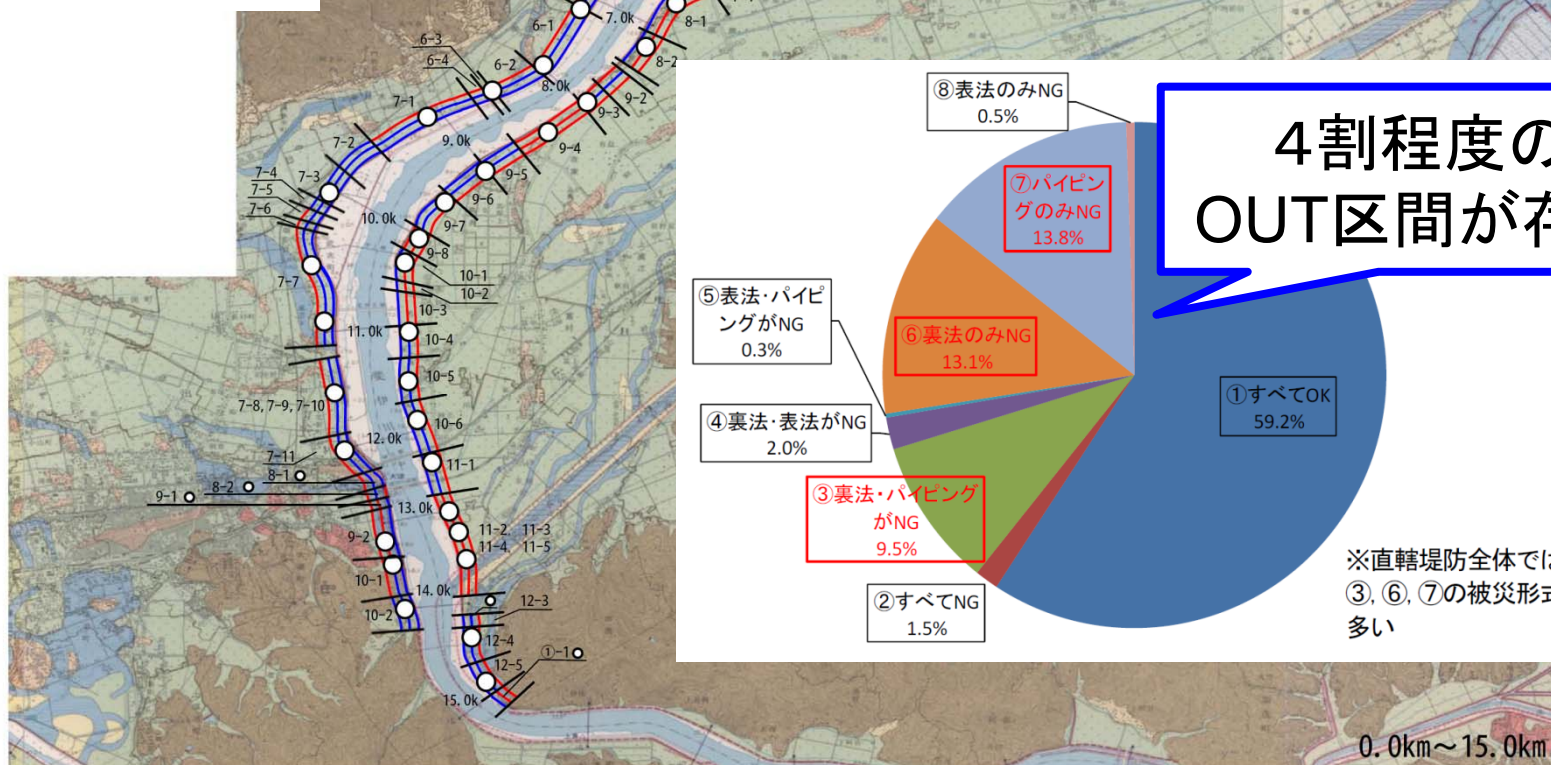
降雨と河川水位波形の組合せ

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



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

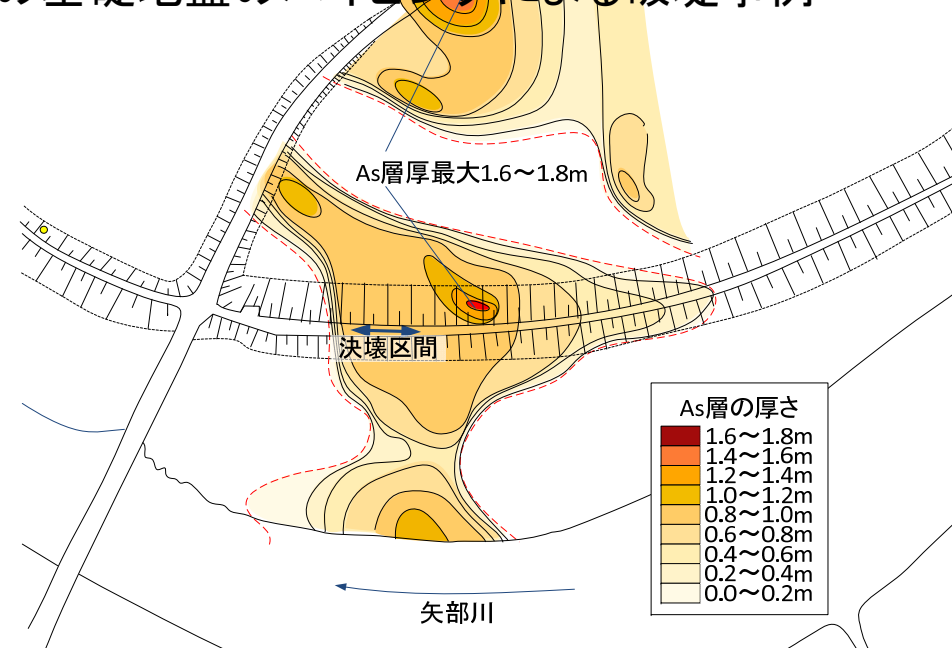


堤防の被災形態：パイピングによる破堤事例

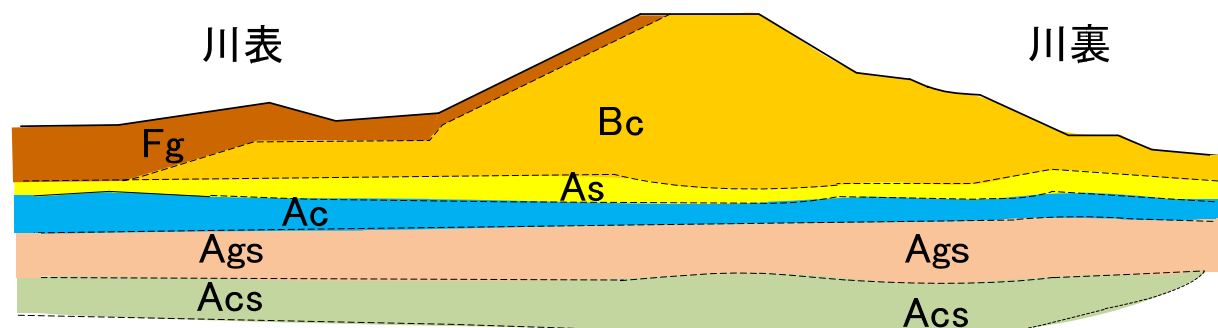
平成24年7月九州北部豪雨による矢部川の基礎地盤のパイピングによる破堤事例



矢部川右岸7.3km破堤の状況(破堤後約2時間経過)



矢部川右岸7.3km付近の基礎地盤上部の砂層厚の分布



矢部川右岸7.3km破堤箇所付近の地質横断

課題：詳細な土層構成の把握(透水層の分布、行き止まり地盤の把握等)

堤防の被災形態：パイピングによる破堤事例

課題：被災の進行過程の定量的評価

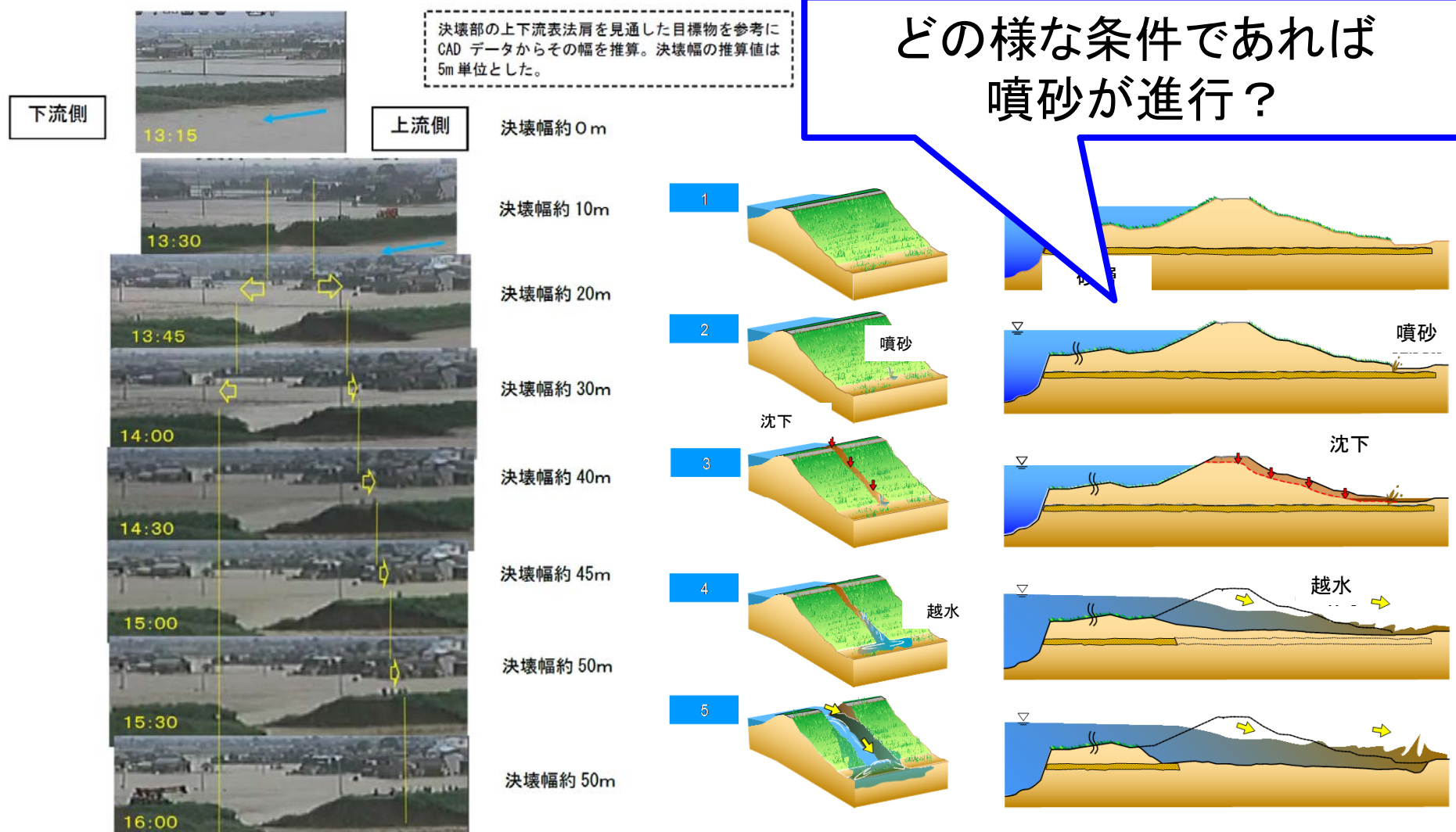


図 矢部川堤防被災における推定メカニズム

平成25年7月梅雨前線等による子吉川ののりすべりとパイピングの事例



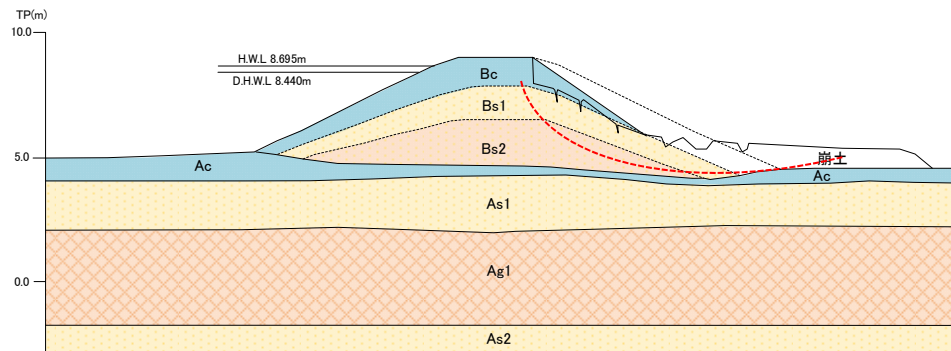
子吉川右岸10.8kmののりすべりの状況（応急復旧後で、欠損部には碎石充填済み）



子吉川右岸10.8km付近の噴砂痕

被災箇所近傍の耕作地や崩壊土砂の亀裂には、噴砂痕が多数確認

堤防の被災形態: のりすべりとパイピングの複合



子吉川右岸10.8km付近の地質横断図(東北地方整備局提供)

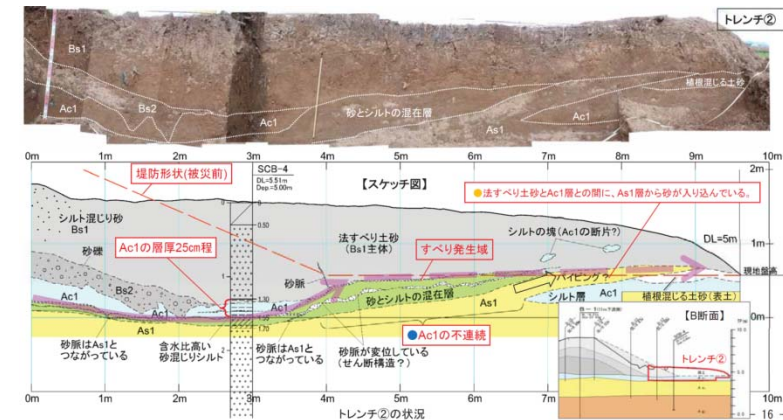
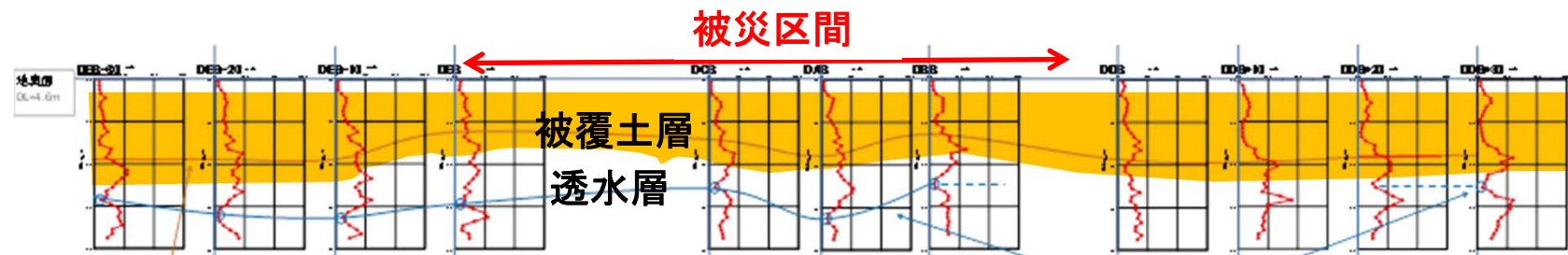


図 子吉川堤防被災における開削調査結果
(東北地方整備局提供)

基礎地盤は礫層と砂層から構成される透水層の上に薄い被覆土層が分布

開削調査で被覆土層内に透水層と崩壊土の間を斜めに結ぶ複数の筋の砂層を確認



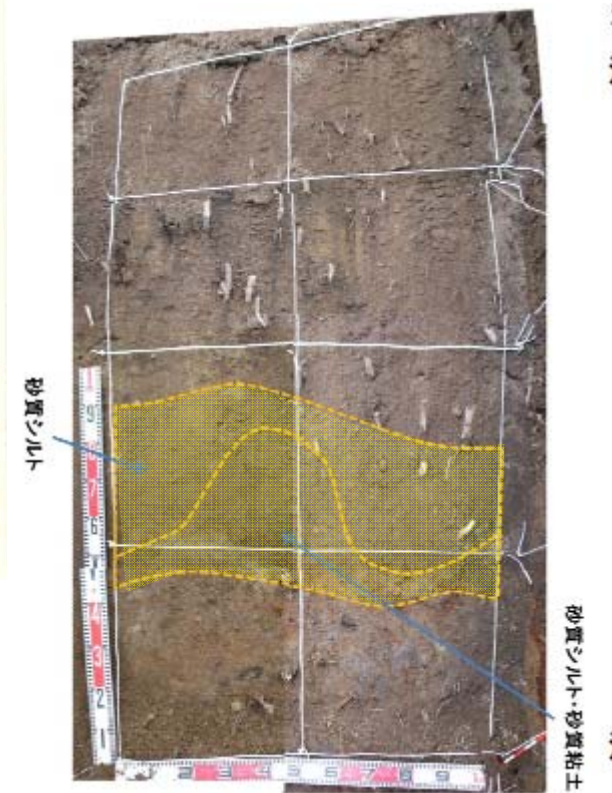
子吉川右岸10.8km付近の被覆土層厚の縦断分布

被災箇所の被覆土の厚さが50cm～1m程度で前後区間よりも薄い

透水層の被圧による有効応力の減少, あるいは噴砂による密度が低下によって,
透水層の強度低下によるすべりの可能性

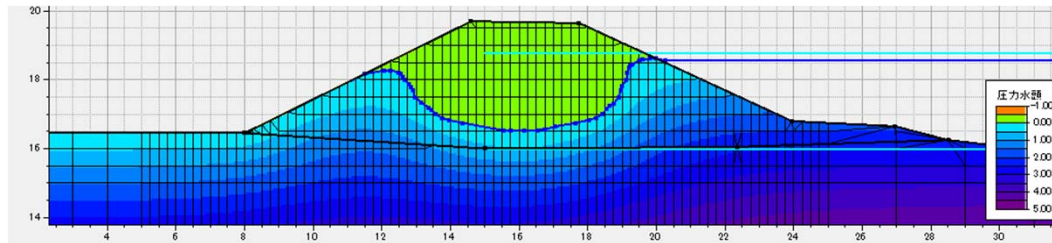
課題: 詳細な土層構成の把握(透水層の分布、被覆土層厚、行き止まり地盤の把握等)

 国立研究開発法人 **土木研究所**
 PUBLIC WORKS RESEARCH INSTITUTE

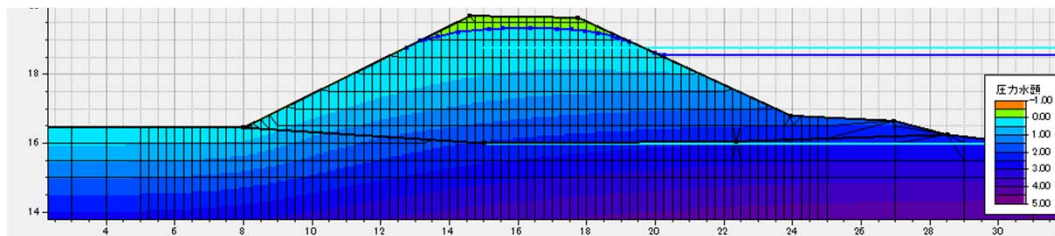


破堤箇所近傍で堤体からの噴砂痕が多数。堤体土は砂質シルト～砂質粘性土主体で所々に細砂が介在し、極めて緩い。堤体内に介在する砂層からのパイピングと推定

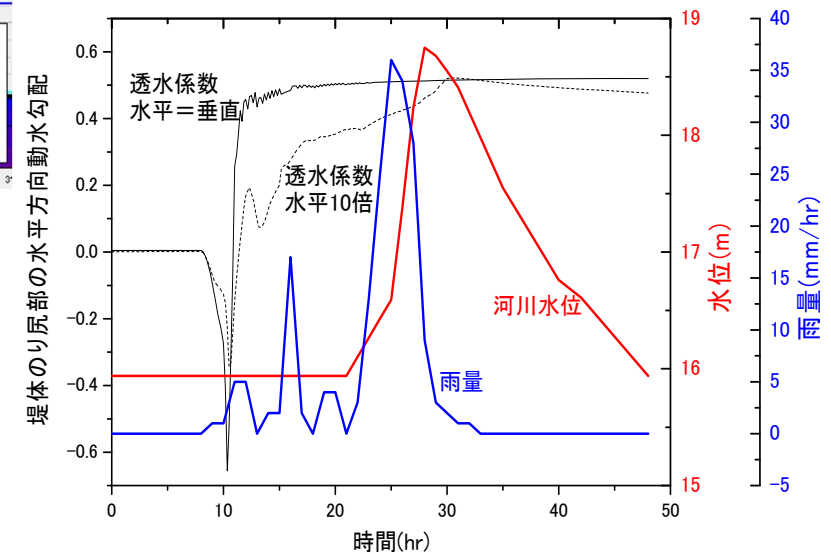
堤防の被災形態:堤体のパイピング



透水係数を等方に設定した場合 ($1.0E-04\text{cm/sec}$)
30hr時点の圧力水頭分布 (降雨が支配的で河川
水位はほとんど関係ない)



水平方向の透水係数を10倍に設定した場合 (水平
 $1.0E-03\text{cm/sec}$) 30hr時点の圧力水頭分布 (河川
水位がのり尻に影響)



浸透流解析の結果

課題: 堤体内の詳細な土層構成の把握 (堤体内に介在する砂層)、限界動水勾配の評価

- 実被害と比較して安全側の評価
- 特に降雨の影響が大きいケースが多く、被災事例との対応は必ずしも高くない（対策優先度の設定にあたっては別途検討する必要）
- 変状の進行性等の評価（破堤につながる変状とつながらない変状の区別）
- 調査の精度に依存（局所的な弱部を抽出できていない可能性）



H22-2($F_c=30\%$ $D_c=85\%$)

円弧すべり(?)

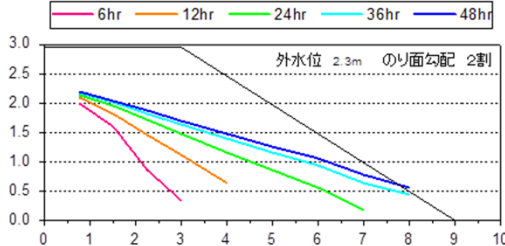
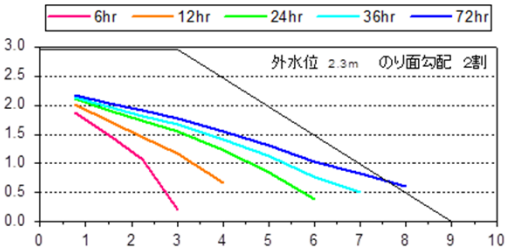
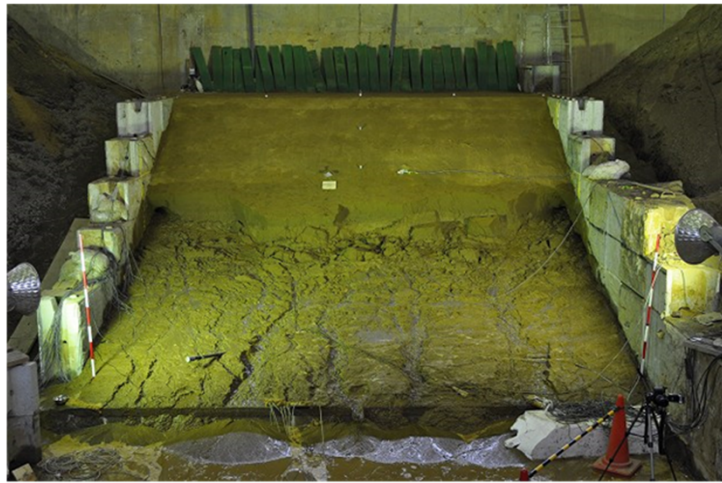


H21-3($F_c=50\%$ $D_c=90\%$)

円弧すべり

- ・のり尻付近に小さな変状(すべり)から始まり、徐々にのり面上方に変状が拡大
- ・この現象の特徴や起こりやすい条件は？
- ・詳細点検のすべり破壊(円弧すべり)や水平方向の局所動水勾配でカバーできている現象なのか？点検方法は？

大型模型実験の概要

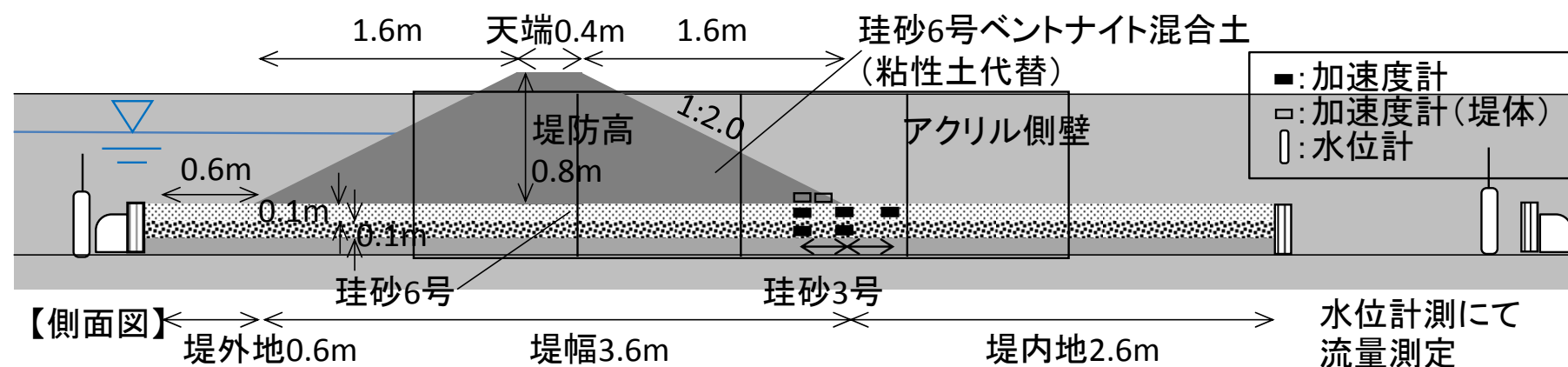
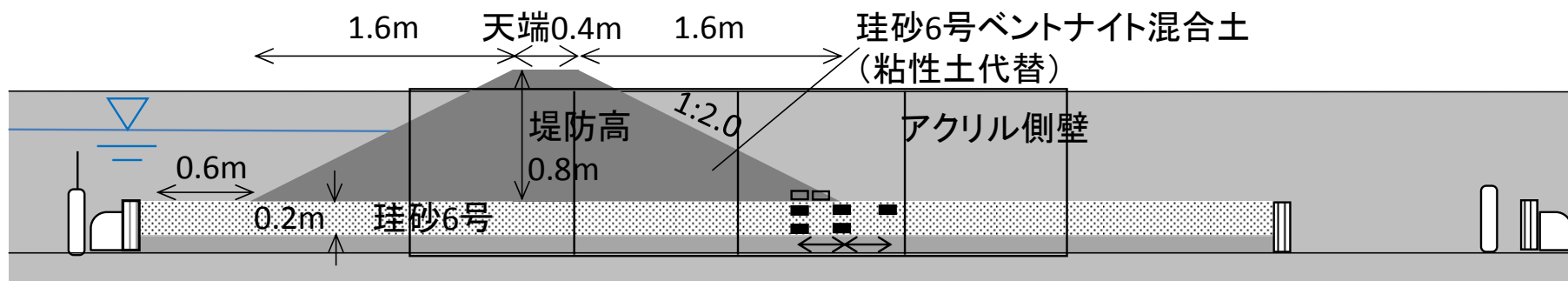
ケース	土質・締固め	のり面勾配	外水位	変状の有無	実験終了時の写真
1 H21-1 	Fc=10% Dc=85%	1:2	2.3m	・37時間経過時点で変状発生 ・実験は、48時間まで継続 	
2 H22-1 	Fc=10% Dc=90%	1:2	2.3m	・36時間経過時点で変状発生 ・実験は、72時間まで継続 	

大型模型実験の概要

3 H22-2 ◎	Fc=30% Dc=85%	1:2 ↓ 1:1.5	2.3m ↓ 2.7m	・のり面勾配1:2 では大きな変状 無し ・のり面勾配1:1.5、 外水位2.3mでは 大きな変状無し。 外水位を2.7mに 上げてから約30 時間経過時点で 大きく崩壊	
4 H21-2	Fc=30% Dc=90%	1:2 ↓ 1:1.5	2.3m ↓ 2.7m	・大きな変状無し ・のり面勾配1:1.5、 外水位2.7mで 144時間まで継続	
5 H21-3	Fc=50% Dc=90%	1:2 ↓ 1:1.5	2.3m ↓ 2.7m	・大きな変状無し ・のり面勾配1:1.5、 外水位2.7mで 1004時間まで継 続	

実験における進行性破壊(パイピング)

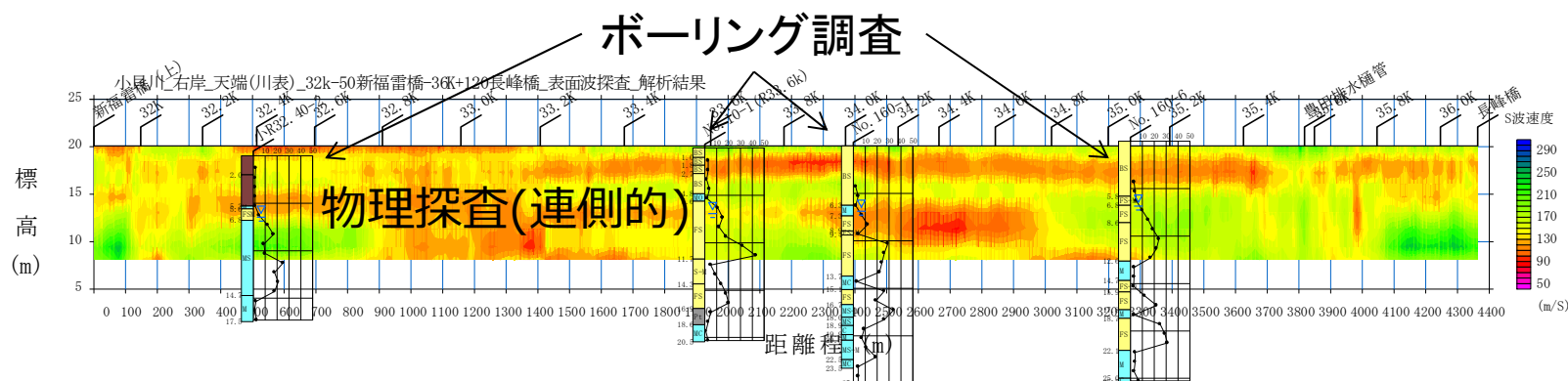
複層の場合に進行的なパイピングが発生



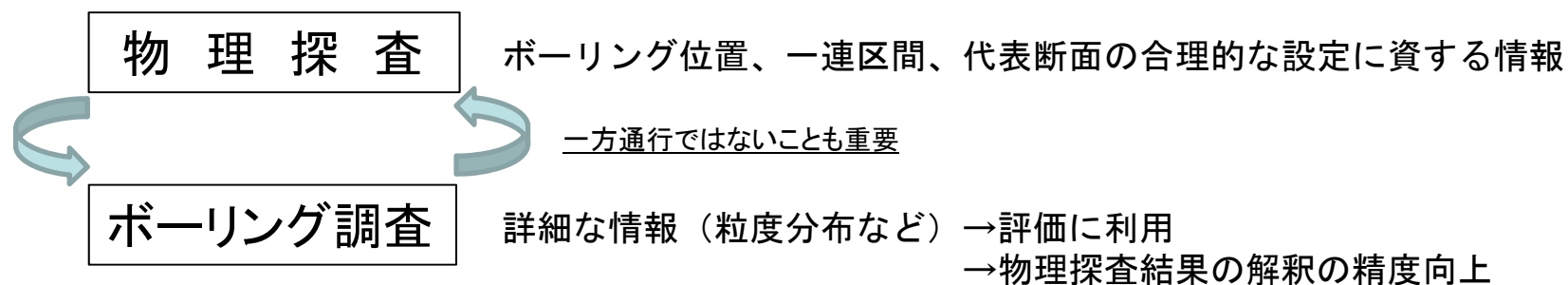
(国総研の実験)



ボーリング等による調査：点（離散的）の調査
物理探査：線（連続的）の調査

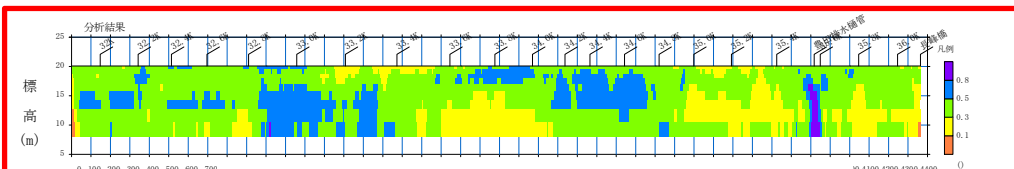
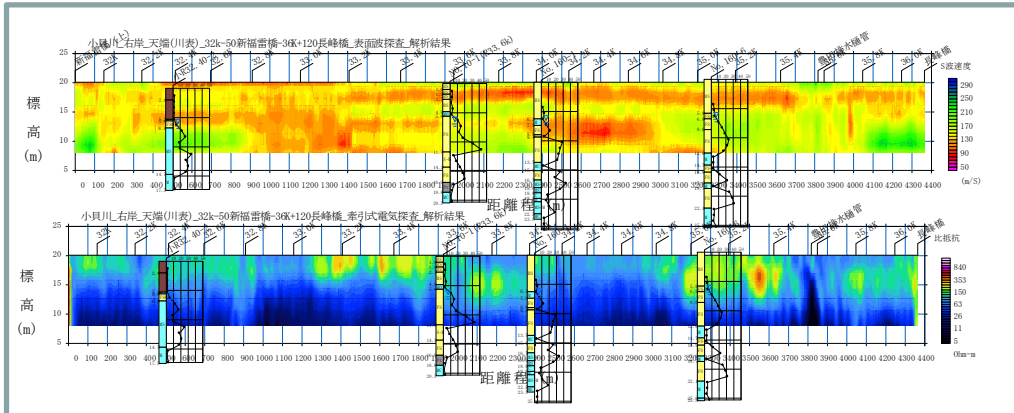


- ・堤防を縦断的に評価するには、縦断的な情報が必要
- ・それぞれの特徴を活かして、効率的、精度良く、縦断的な情報を取得できないか？
(物理探査だけで安全性を評価しようとしない)

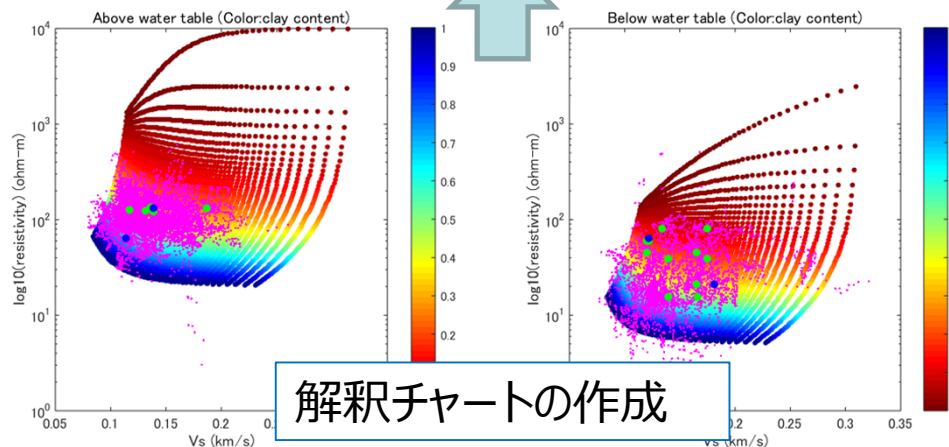


方法

物理探査結果とボーリング情報を集約



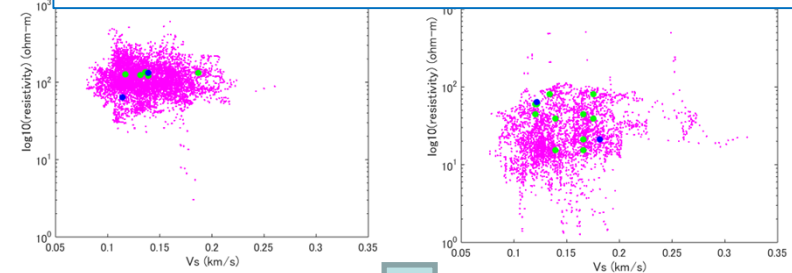
推定土質断面図(解釈結果)



解釈チャートの作成

地下水位と土質の情報を得る

地下水位以浅、以深それぞれにクロスプロット図を作成

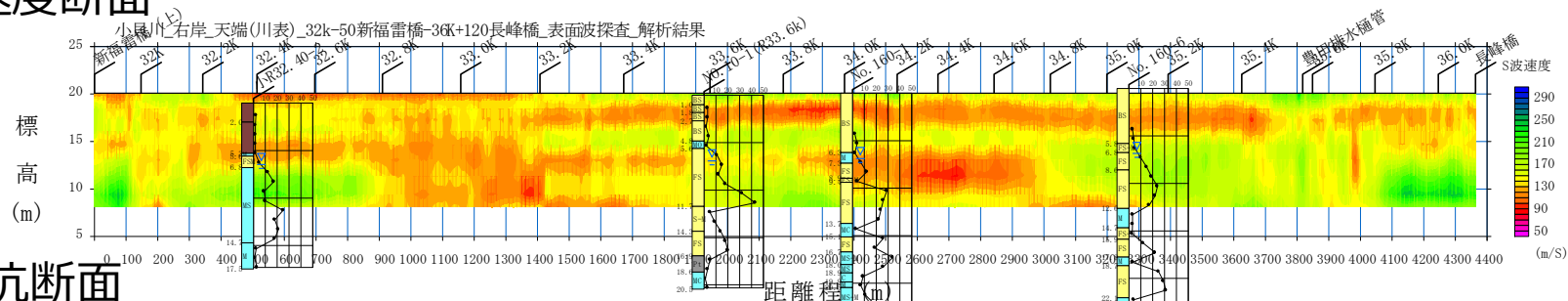


下記情報を基に物理モデルを選択

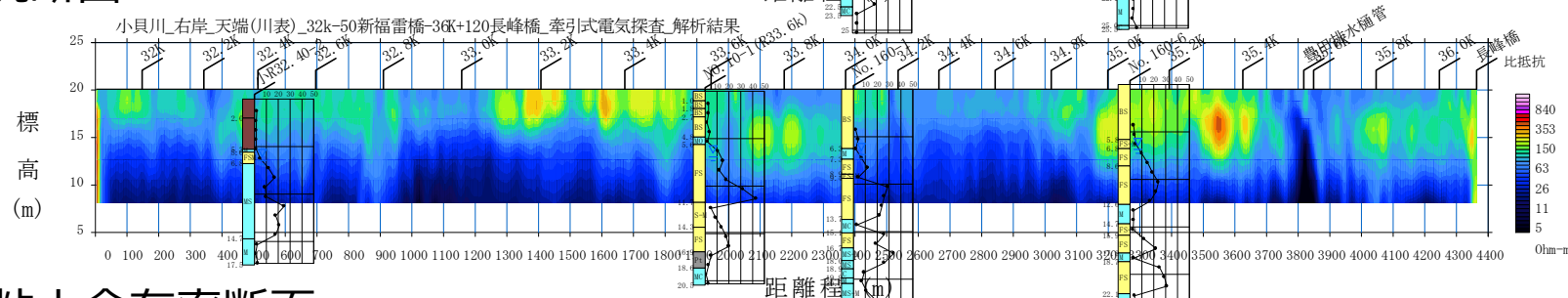
- ・ボーリング位置での土質を反映させる
- ・地下水の影響度を反映させる
- ・技術者の判断も含む

物理モデルのパラメータ入力
(地下水の比抵抗, 粘土の比抵抗,
拘束圧, 飽和度, etc.)

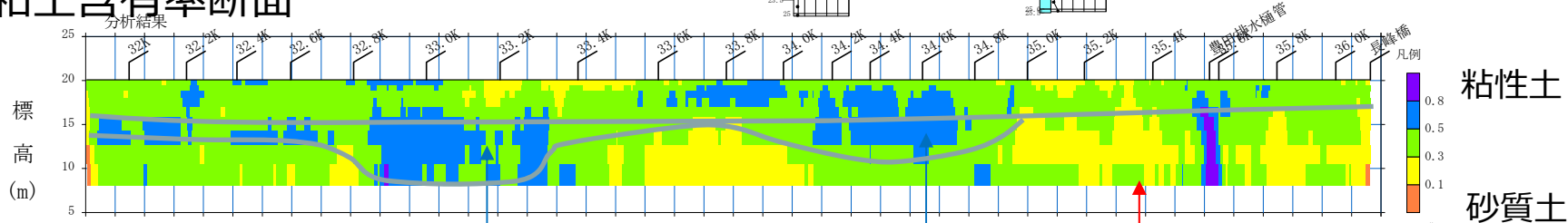
S波速度断面



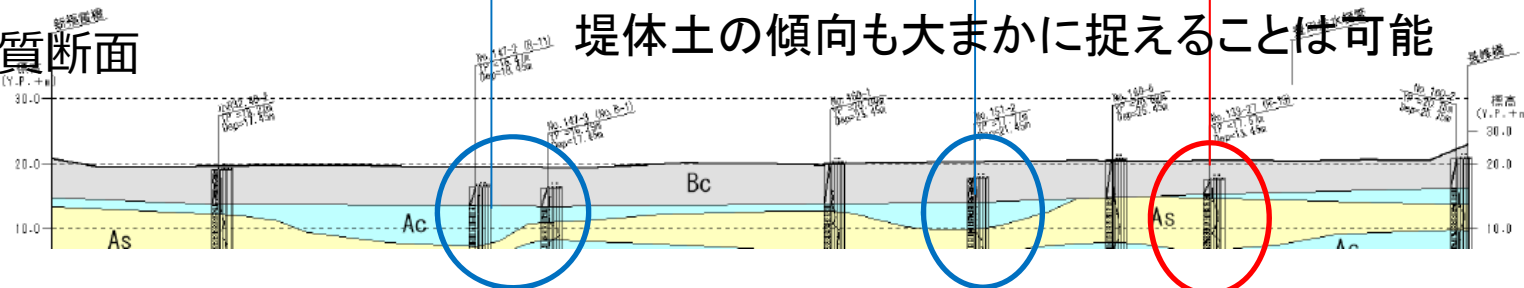
比抵抗断面



推定粘土含有率断面



既往土質断面



追加のボーリング孔で確認された粘性土・砂質土層が、物理探査結果からも示唆されていることがわかる。²⁰

- 弱点箇所抽出(調査技術)

局所的な透水層の存在、透水層の分布等を連続的に調査可能な手法の開発

- 安全性評価技術(照査手法)

変状の要因、機能への影響、進行程度を考慮可能な照査技術の開発

- 対策工法の開発

耐久性、地盤・堤体材料の不確実性、沈下等の追従性を考慮した対策(最終的には断面拡大?)