

WG3:堤防の安定性評価

WGメンバー

リーダー	小高猛司	名城大学		
サブリーダー	李 圭太	建設技術研究所	石原雅規	土木研究所
TFリーダー	野田利弘	名古屋大学	大竹 雄	新潟大学
メンバー	岡村未対	愛媛大学	河井克之	近畿大学
	久保宜之	国土交通省	近藤 勉	川崎地質
	崔 瑛	名城大学	坂本淳一	中央開発
	杉井俊夫	中部大学	西村 聡	北海道大学
	原 忠	高知大学	肥後陽介	京都大学
	前田健一	名古屋工業大学	森 啓年	山口大学
	安原 達	河川財団	山添誠隆	秋田工業高専
	吉川高広	名古屋大学		

WG3 堤防の安定性評価

堤体変状予測(主に浸透破壊と地震時液状化による)を高精度化するための方策提案

WGリーダー:小高(名城大), WGサブリーダー 李(CTi), 石原(土研)

調査・試験法TF (TFリーダー:李(CTi))

堤体土と基礎地盤:砂質土, 粘性土, 礫質土 および それぞれの組合せ
原位置調査法(物理探査, ボーリング, サンプリング), 現地試験(透水試験),
室内試験(物理特性と力学特性の評価), 設計定数の設定法とその評価

解析・設計法TF (TFリーダー:野田(名大))

浸透破壊

堤体のすべり破壊のみならず基礎地盤も対象(砂質地盤の有効応力低下,
軟弱粘土や泥炭のクリープ変形・破壊など) 破壊に至る崩壊メカニズムの予測

地震時変形・破壊(液状化等)

動的解析や静的照査(パラメータ評価も含む)

信頼性評価法TF(TFリーダー:大竹(新潟大))

浸透破壊, 液状化変状

縦断方向に着目した危険箇所抽出

不確実性の評価, モデル化誤差の検討, 性能設計概念の導入検討

河川堤防土の地盤調査と室内土質試験

- 様々な堤防土の力学特性の把握と強度定数設定法の検討
- 室内試験用の高品質な試料の簡易な採取法の検討
- 物理探査による堤防構造の評価
- 現場透水試験による透水性の評価

○	島根県・高津川(2007.9)	礫・砂
○	島根県・江の川(2007.9)	礫・砂
○	鳥取県・小鴨川(2008.9)	礫・砂
・	大阪府・淀川(2012.2)	砂・シルト
・	高知県・仁淀川(2013.9)	礫
○	北海道・千歳川(2013.12)	砂・シルト
○	愛知県・庄内川(2014.1)	砂・シルト・粘土
○	島根県・斐伊川(2014.3)	砂
・	和歌山県・紀の川(2014.4)	礫
○	大阪府・大和川(2014.8)	砂・シルト
・	新潟県・信濃川(2014.9)	礫
○	京都府・木津川(2014.11)	砂
・	山梨県・釜無川(2014.12)	礫
○	鹿児島県・川内川(2015.1)	砂(シラス)
○	宮城県・渋井川(2015.11)	砂・シルト
○	秋田県・子吉川(2016.1)	礫・砂・シルト
○	石川県・梯川(2016.6)	砂・シルト
・	岡山県・高梁川(2016.9)	礫・砂
○	熊本県・緑川, 白川(2016.11)	砂・シルト

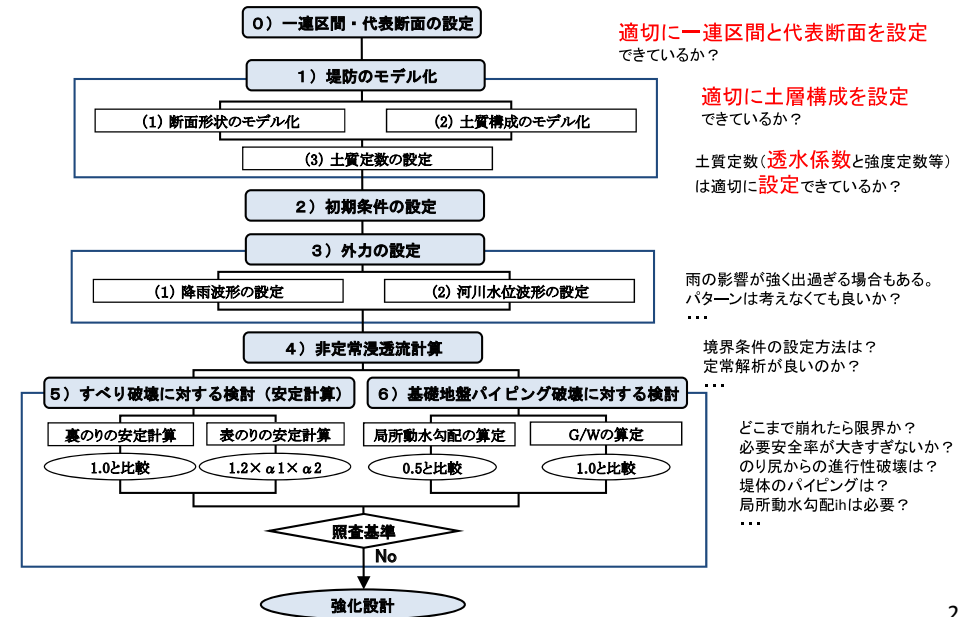


物理探査(電気探査, S波弾性波探査)
ボーリング(SPT, PS, サンプリング)
簡易サンプリング(土研式, 建技式)
現場透水試験, 室内試験



梯川旧堤で実施した現地堤防地盤調査 ～目的及び開削調査結果～

(国研) 土木研究所
地質地盤研究グループ 土質・振動チーム
主任研究員 石原 雅規



渋井川の被災事例

渋井川(宮城県管理) 2015年9月に破堤



河川水により堤体でパイピングが生じ、破堤したと考えられる。

破堤箇所周辺の基礎地盤の状況



・基礎地盤は比較的厚い粘性土で、破堤してもほとんど侵食されていない。

破堤箇所周辺の堤体の状況



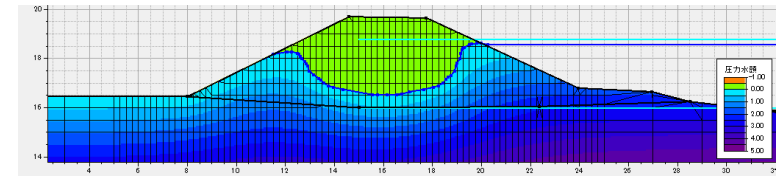
堤体においてサンプリングを実施。サンプラー端部の土の様子。粗砂が主体の部分もあることが分かる。

- ・堤体土は、非常に緩い、シルト分の多い土。
- ・所々、粗砂の部分がある。

被災事例の再現性(透水係数の設定)

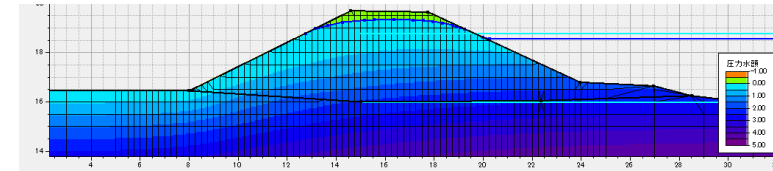


○室内透水試験結果(1.0E-04cm/sec、宮城県実施)を使った非定常浸透流解析結果



堤体内の不均質性も影響したと考えられるが、河川水と裏のり尻が繋がらない。
★再現できているとは言えない。

○水平を10倍した場合の非定常浸透流解析結果



☆河川水と裏のり尻が繋がった。

○定常浸透流解析(透水係数の絶対値ではなく、相対的な関係が意味を持つ)

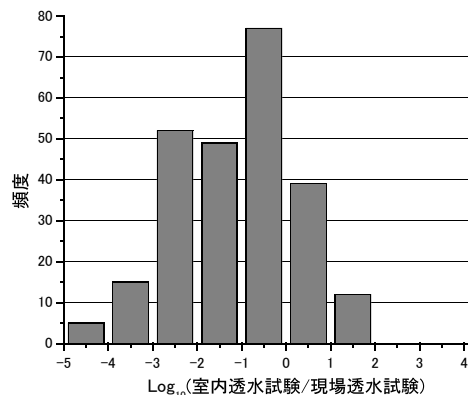
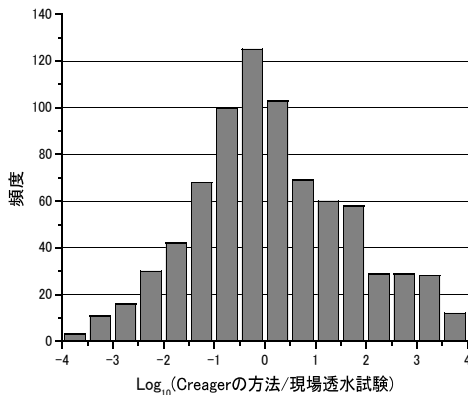
☆河川水と裏のり尻が繋がった。

各種透水係数の比較



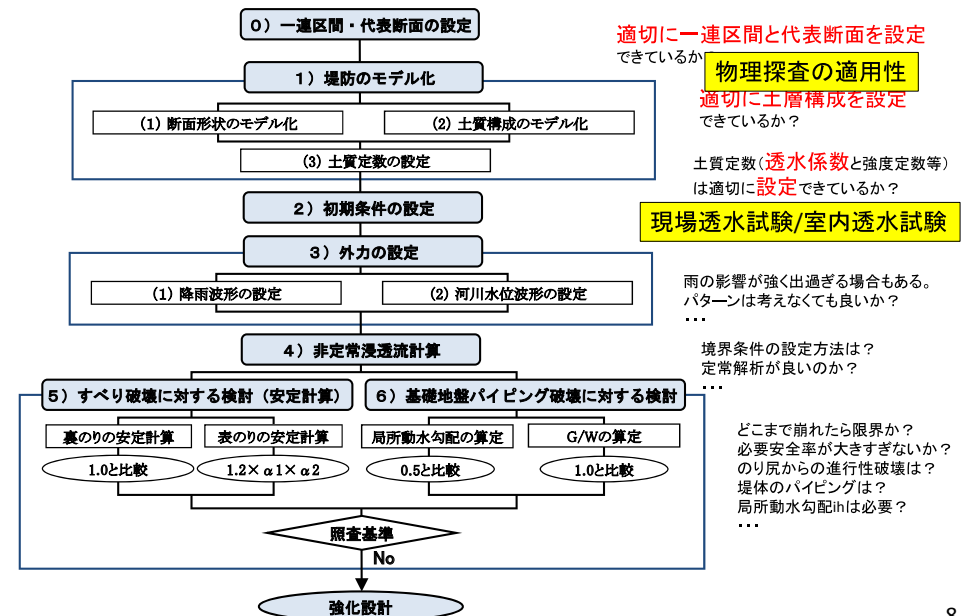
Creagerの方法／室内透水試験／現場透水試験

粒度、密度、異方性、施工時の含水比、・・・の影響



直轄の土質試験結果(国総研公開データを整理)

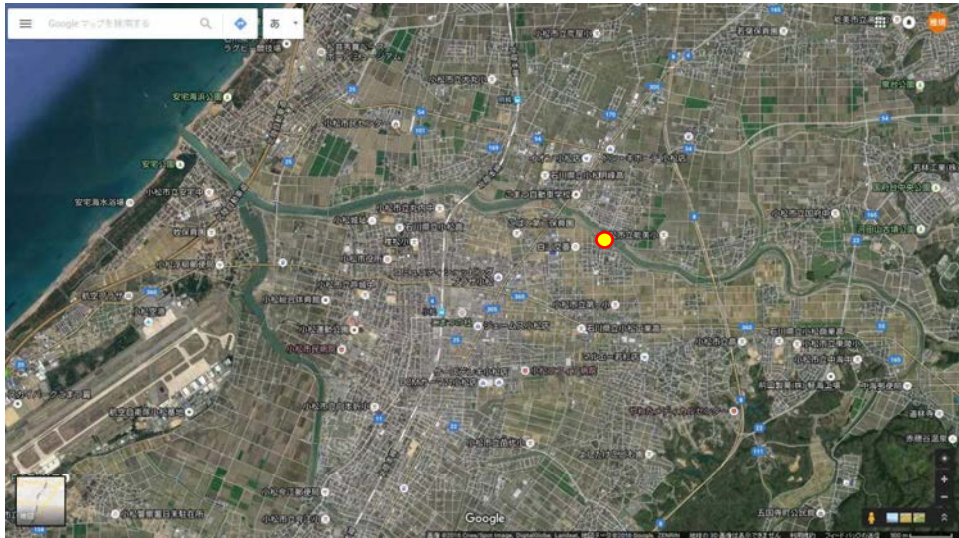
堤防の浸透に対する詳細点検と懸念



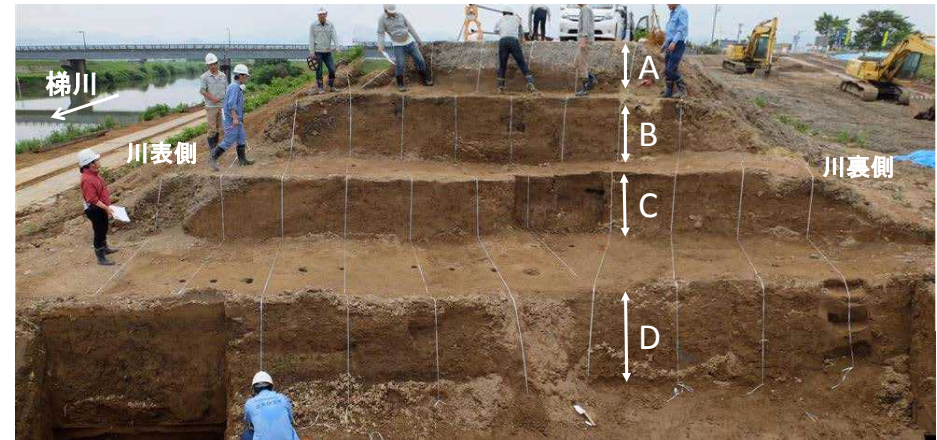
梯川開削調査位置



2016年6月 引堤事業に伴う旧堤撤去時に実施

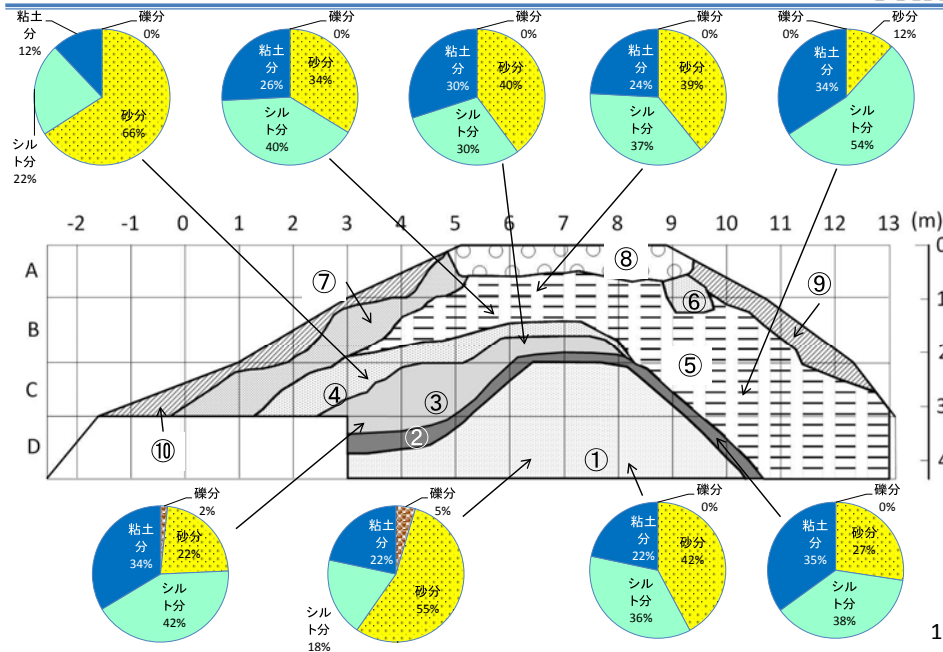


梯川開削調査



物理探査→開削→断面の観察, サンプリング(室内試験用), 現場透水試験等

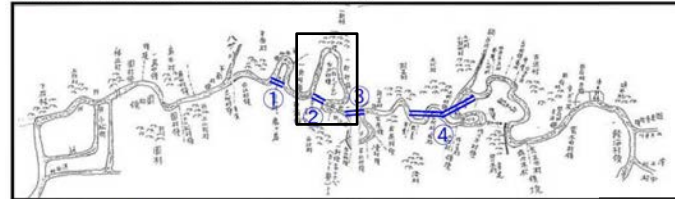
土層構成と土質



明治中期の治水事業



能美郡梯川筋分間絵図 慶応3年9月(1867)



明治21年(1880)の流水路図

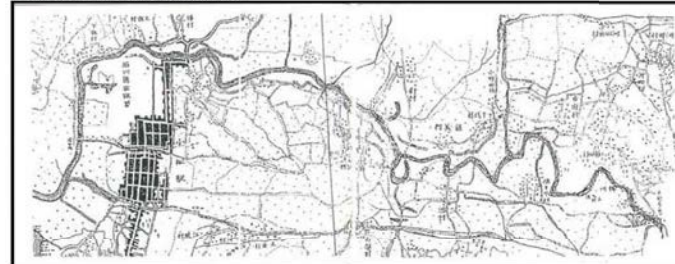


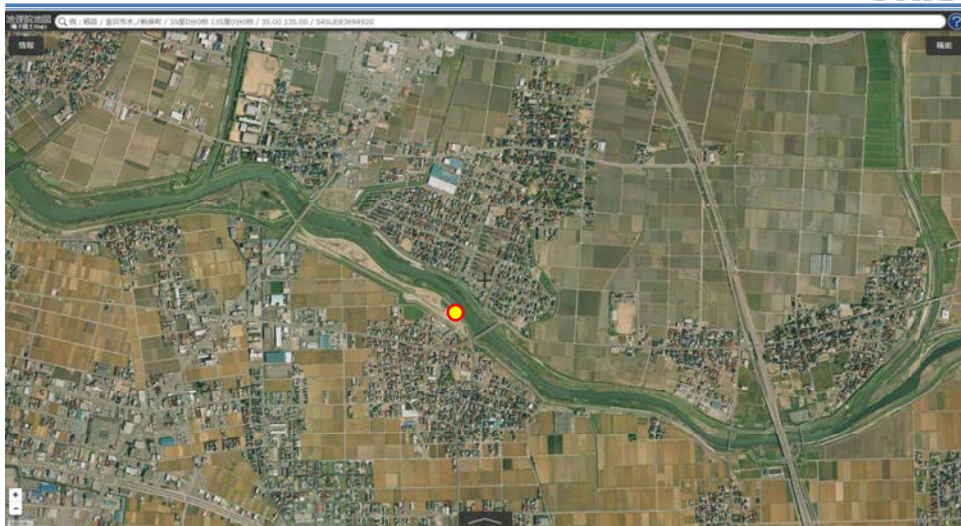
図4-1 梯川の流路変遷(江戸時代末~明治21年)

資料：軽海用水誌 小松東部土地改良区に加筆

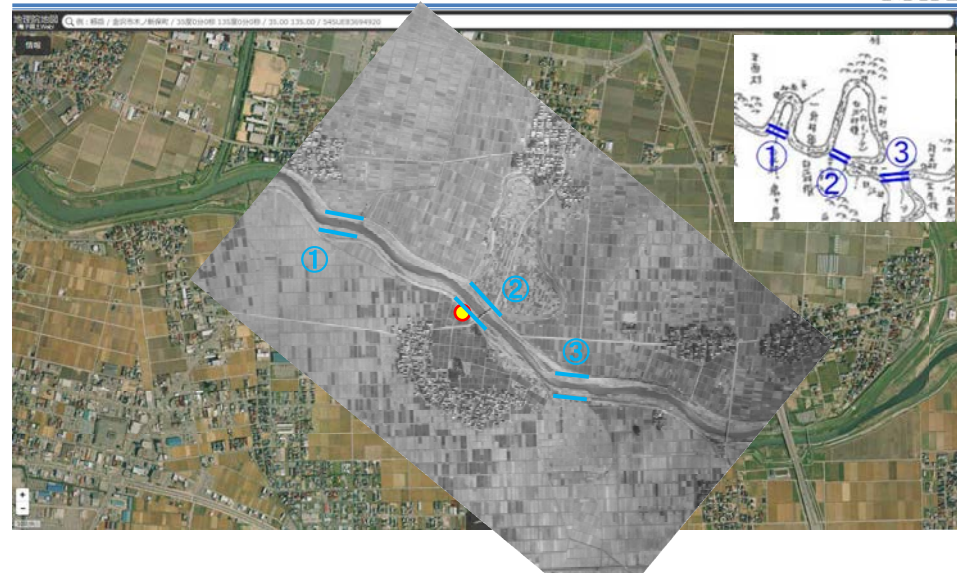
梯川水系の流域及び河川の概要より

- 【明治前中期に行われた
主な川切り】
- ①白江村と平面村の川切り (明治2年~4年)
 - ②白江村と一針村の川切り (明治2年~4年)
 - ③金屋村と白江村の川切り (明治4年)
 - ④佐々木村と千代村の川切り (明治18年~)
- ※湾曲している水路を真直ぐに陸地をきることを「川切り」と呼んだ。

開削箇所周辺の土地利用状況

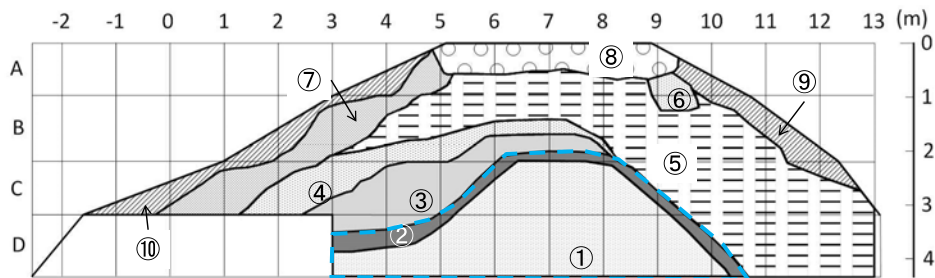


1945年の土地利用状況



開削箇所は、明治中期の川切れ(ショートカットした)区間

土層構成と土質



明治中期の川切れの際の築堤範囲(推測)

- 類似の築堤履歴を持つ区間は、類似の土層構成の可能性が高い
(堤防法線の変遷により、旧堤が川表・川裏に寄っているかも)
- 土層構成をどうモデル化すべきか？
→ 物理探査・現場透水試験結果
- 川切れ以外の区間の構造は？



梯川左岸堤防開削調査 サンプリング・原位置透水試験

- ①二種の簡易サンプリング法(建技式, 土研式)によるサンプリング
←ボーリングコアとの比較によるサンプリング試料の品質評価
- ②原位置不飽和透水試験(締めめた地盤の透水試験)およびサンプリング
ペネ管を用いてサンプリングを行い, 原位置における粒度特性および含水比を把握

名城大学 小高猛司, 崔 瑛

現場透水試験
(マリオットサイフォン)

簡易サンプリング(土研式, 建技式)
(粒度特性, 強度特性, 室内透水試験)

物理探査
(電気探査・S波弾性波探査)

ボーリング
(SPT, PS, サンプリング, ボーリング孔による原位置透水試験)

○ 簡易サンプリング方法A
● 簡易サンプリング方法B
■ 現場透水試験

簡易サンプリング手法

- **土研式:** 内径 100mm, 長さ 190mm の塩ビ管 (VU100) をし, 極力土を乱さないように丁寧に打ち込み, その後, 手掘りで周囲の土を取り除いて取り出す
- **建技式:** 塩ビ管 (VU65, 内径 71mm) を内挿したサンブラー頭部をハンマーで打撃し, 土内に貫入させ, 試料を採取する



開削調査 - 1段目



開削調査 - 1段目



開削調査 - 2段目



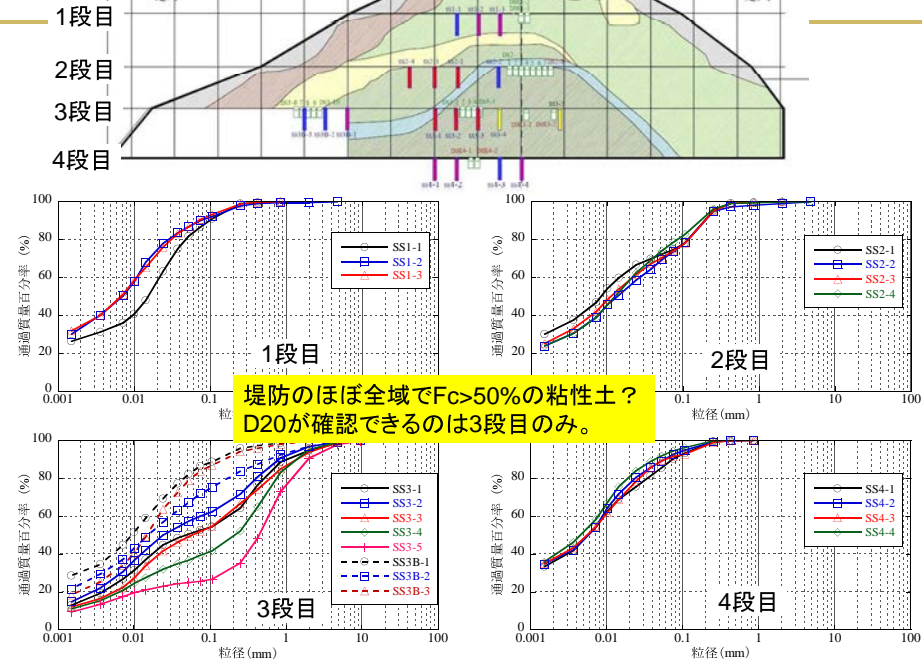
開削調査 - 3段目 & 4段目



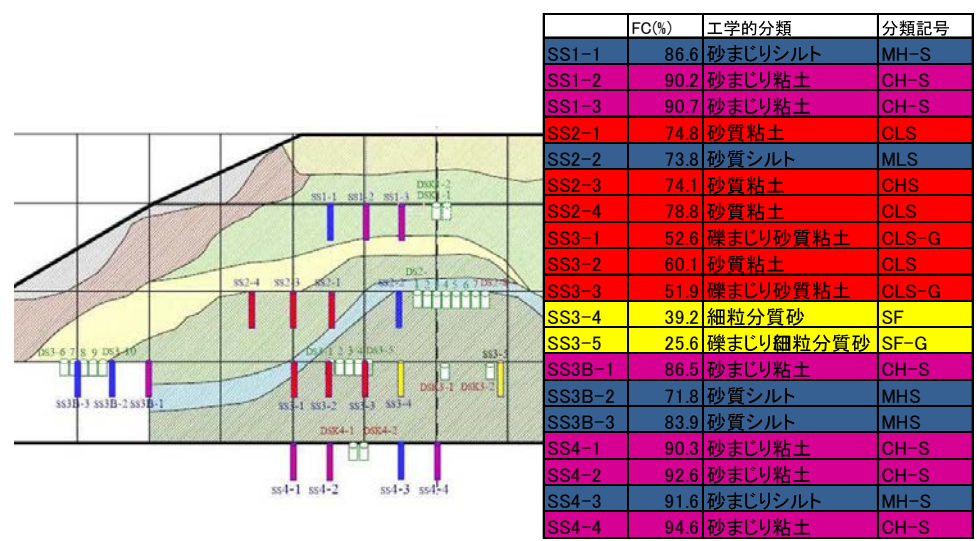
簡易サンプリング・現場透水試験



梯川



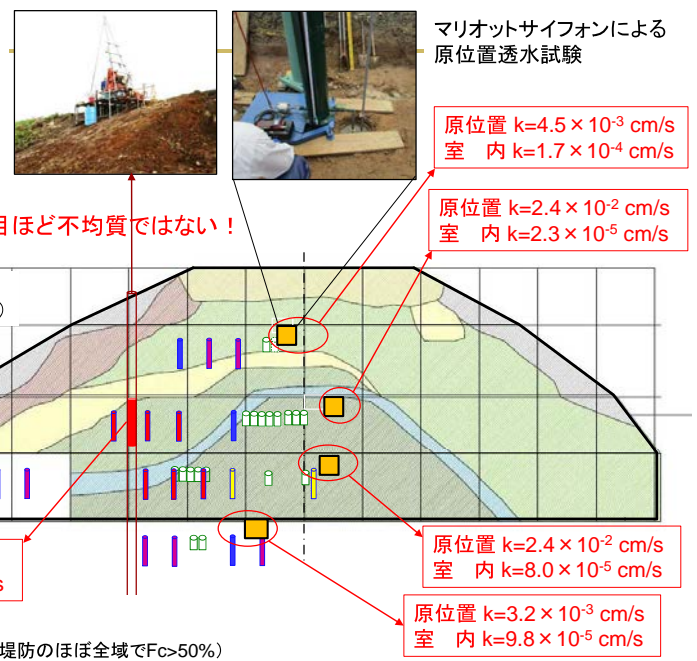
①簡易サンプリング 粒度特性



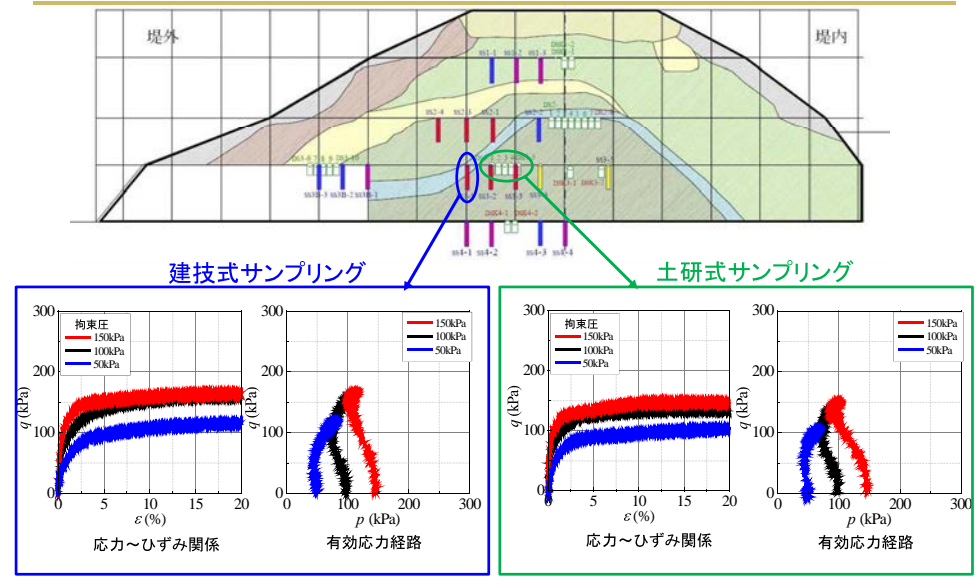
現場透水試験と
室内透水試験との
大きなギャップ??

浸透流解析に用いてきた
kは妥当か?

粒度も透水性も見た目ほど不均質ではない!

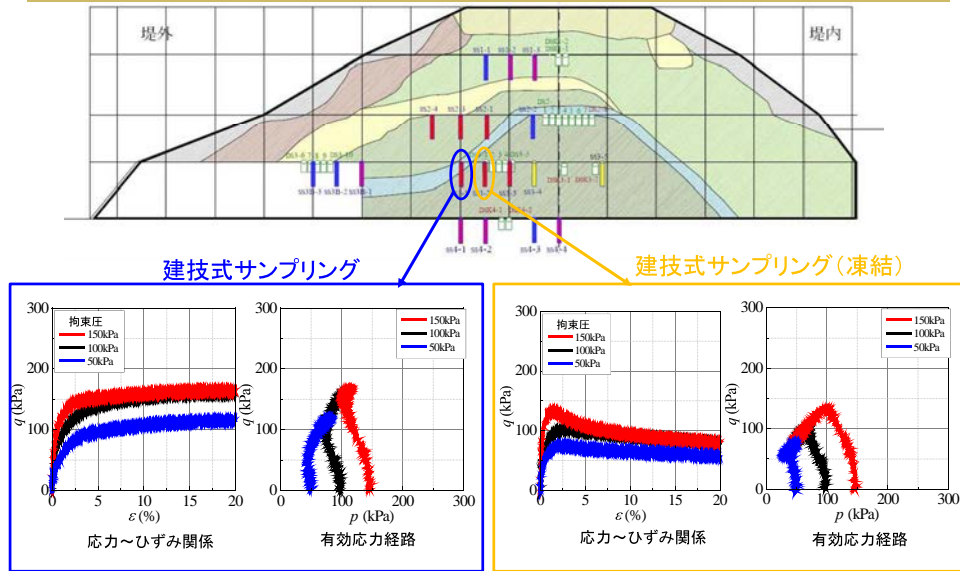


三軸試験による堤防土の力学特性の評価



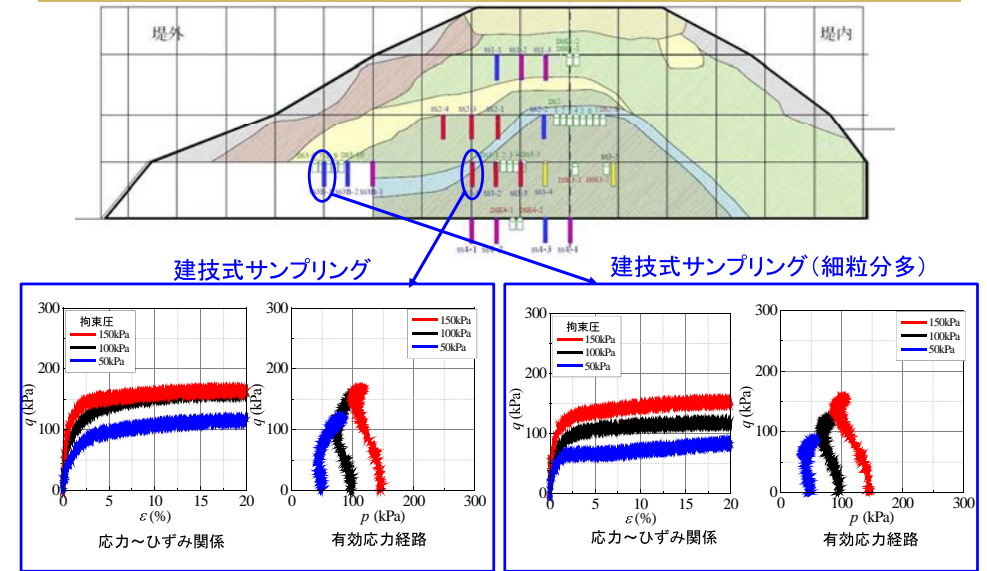
サンプリング方法の違いによって、力学特性に明確な違いは現れていない。

三軸試験による堤防土の力学特性の評価



凍結履歴によって力学特性に明確な違いが現れるが、軟化直前までは驚くほど酷似している。

三軸試験による堤防土の力学特性の評価



場所による違いは多少あるが、その違いをどのように評価すべきか。

まとめと課題

透水係数

現場試験と室内試験では透水係数に大きな差

原因の検討(異方性?)

実務での粘性土の透水性の評価

力学特性

細粒分を多く含む堤防土(粘性土)

・砂質土よりもサンプリング法による差が生じにくい

細粒分を多く含む堤防土の力学特性の評価法

— 河川堤防の地盤構造の検討 —
(堤防の安定性評価WG)

- S波弾性波探査屈折法
- 電気探査/二極法,ウエナー法,エルトラン法

(株) 建設技術研究所 大阪本社
水工部 李 圭太

S波弾性波探査/使用機器,測定条件



記録装置: GEODAS7-20DS

Sample rate 0.5ms
Recording Length 1000ms

測定幅	48m
測点間隔	2m
成分数	24
起振点数	7
	-35.0m
	0.8m
	10.8m
	21.5m
	19.5m
	40.5m
	47.5m



Geophone: 10Hz/横置き

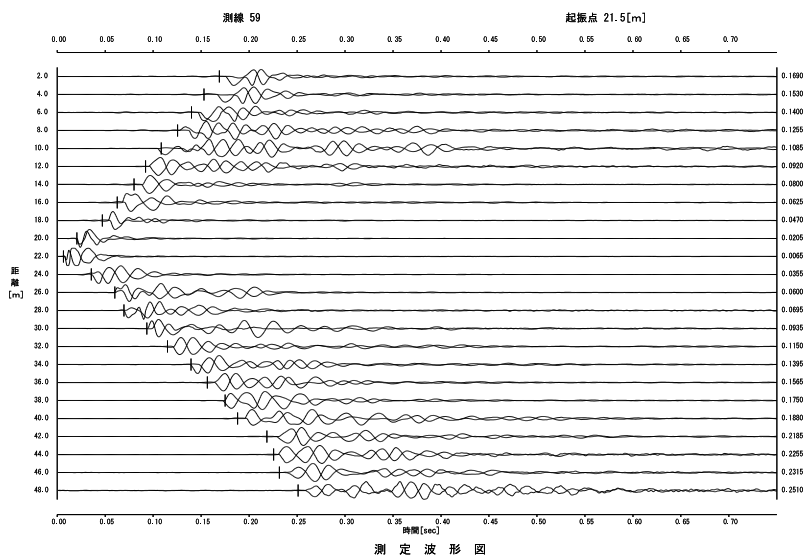


測線設置状況



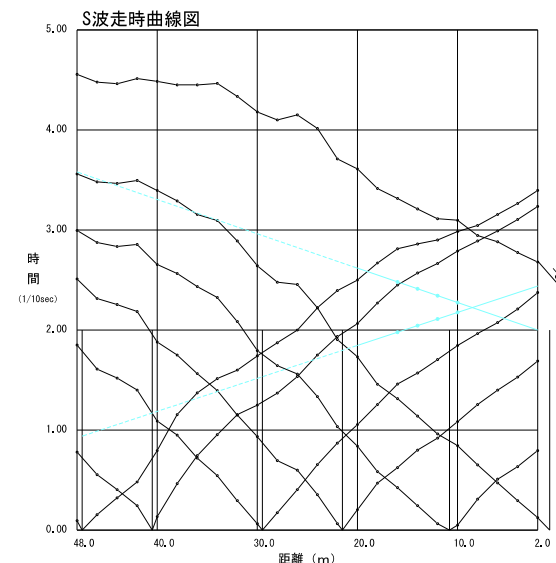
起振状況: 人力による板たたき法でS波を発生。

S波弾性波探査/測定波形図

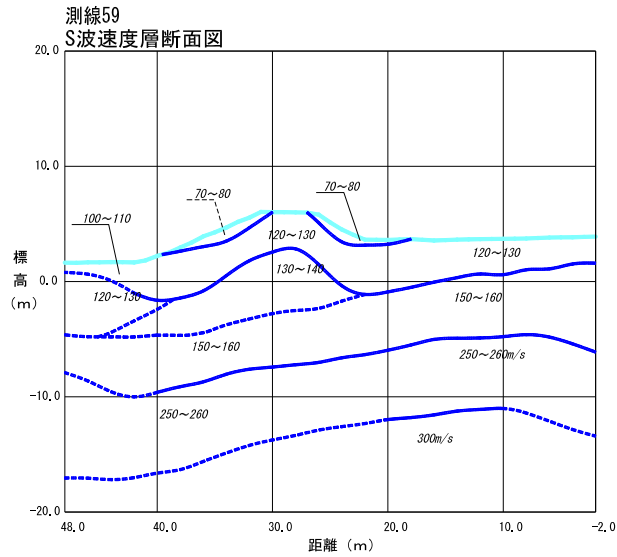


測定波形図

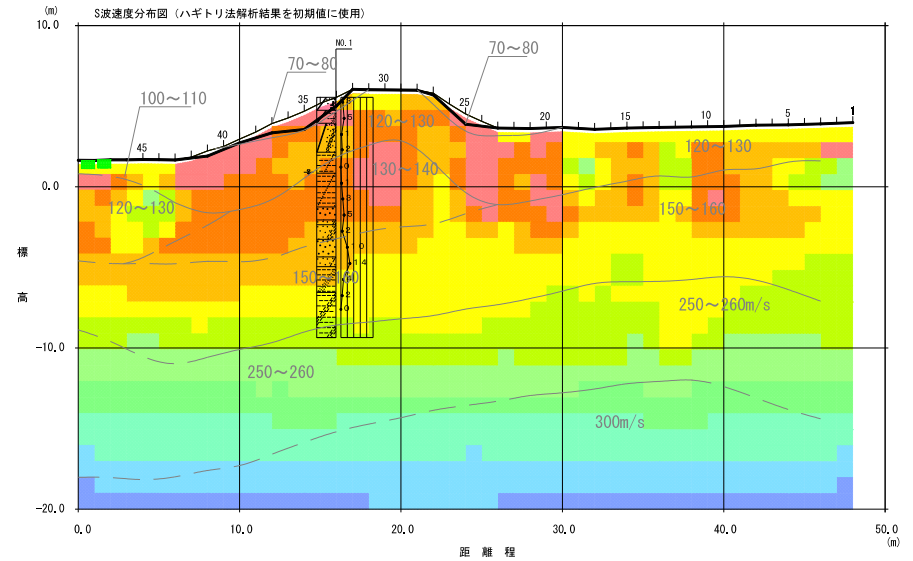
S波弾性波探査/S波弾性波走時曲線図



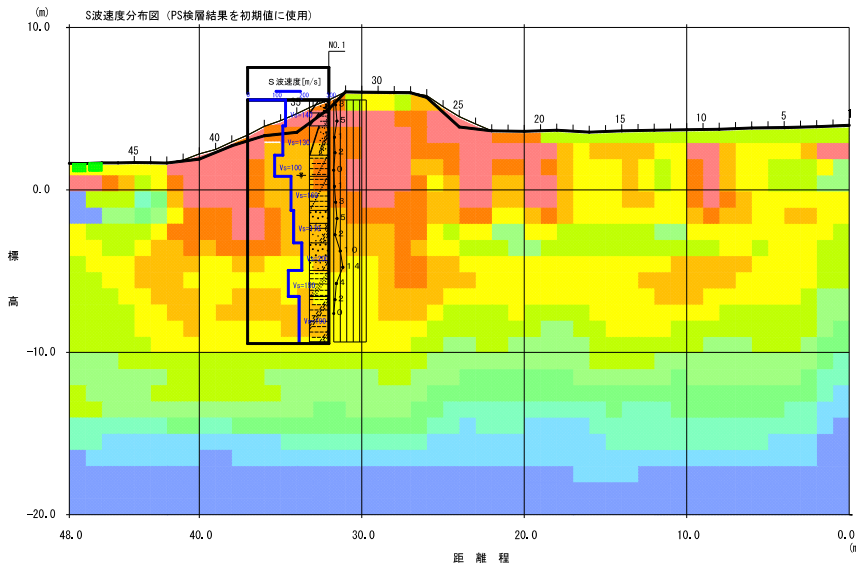
S波弾性波探査/S波弾性波速度層断面図



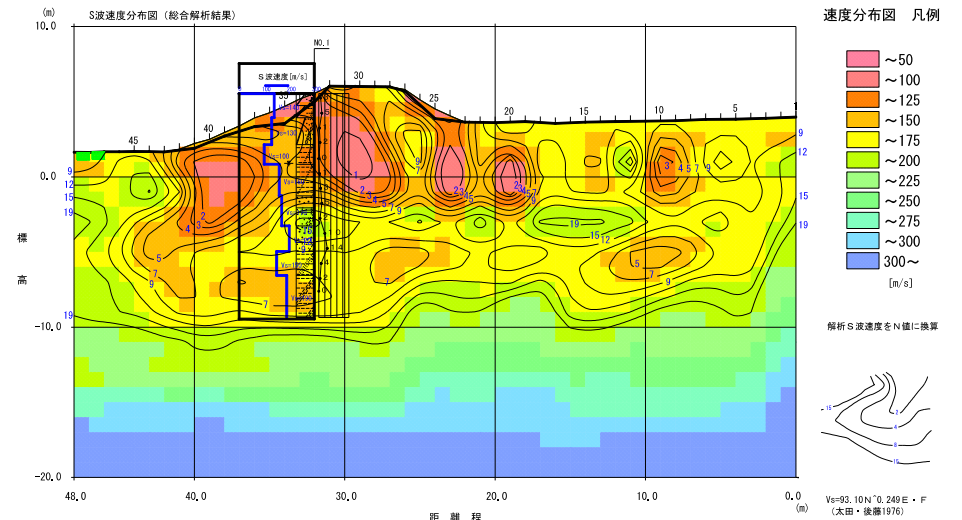
S波弾性波探査/高密度解析(ハギトリ法)



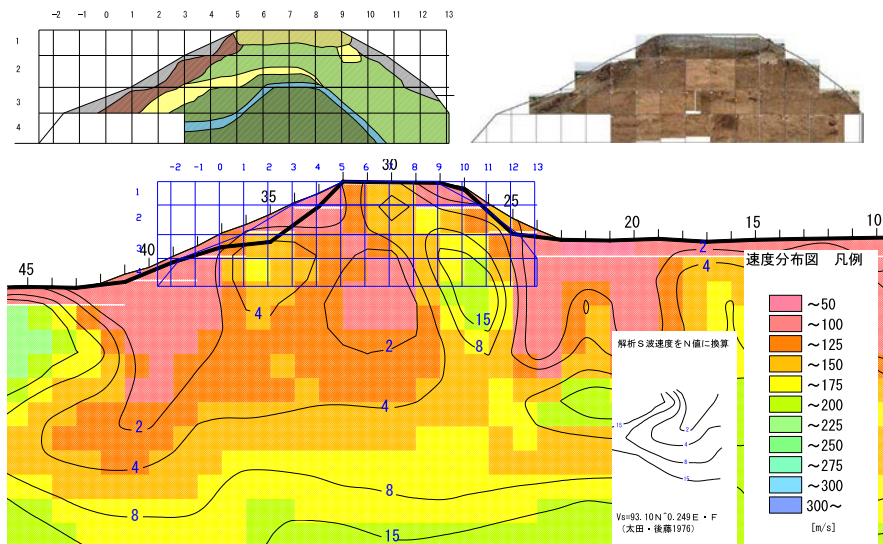
S波弾性波探査/高密度解析(PS検層)



S波弾性波探査/高密度解析(総合解析)



S波弾性波探査/高密度解析(総合解析)



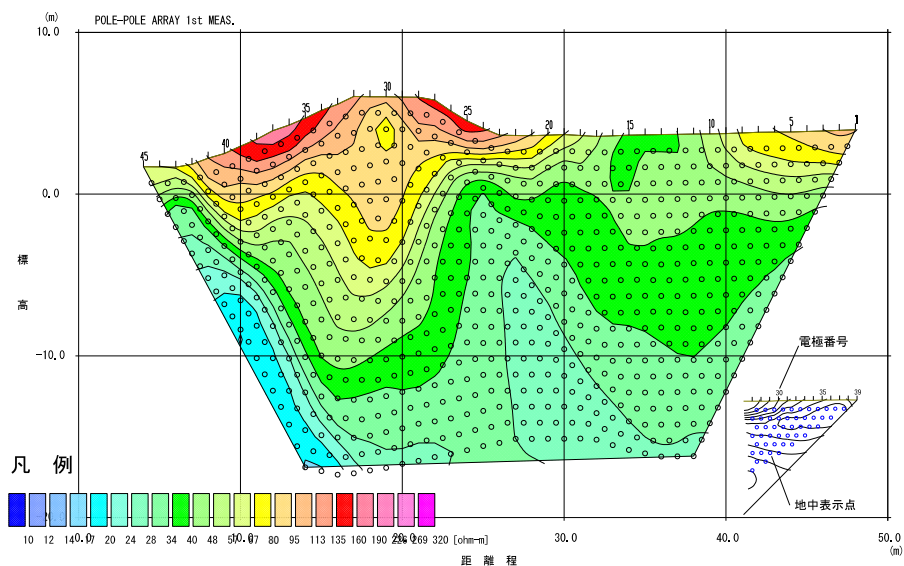
電気探査/使用機器,測定条件



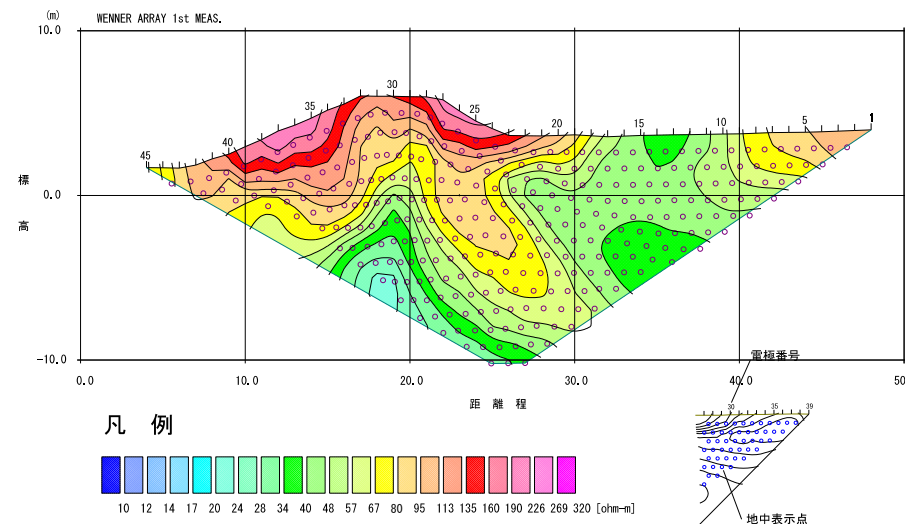
- デジタル比抵抗測定器
→ 応用地質(株)製 McOHM Profiler-4型
電極棒
→ 日動電工(株)製・丸形アース棒D種φ7,L500mm
- ①測点の設置(水平距離で1.0m)
 - ②電極・電線の設置(全ての測線に電極を設置)
 - ③測定(等間隔に電流極C,電位極Pを右に示す電極配置となるように測定器とスイッチボックスを制御。電極間隔は1.0mずつ変化させて測定)

測線	電極配置 (C, P)	電極配置 (C, P)
測線1		
測線2		
測線3		
測線4		
測線5		
測線6		
測線7		
測線8		

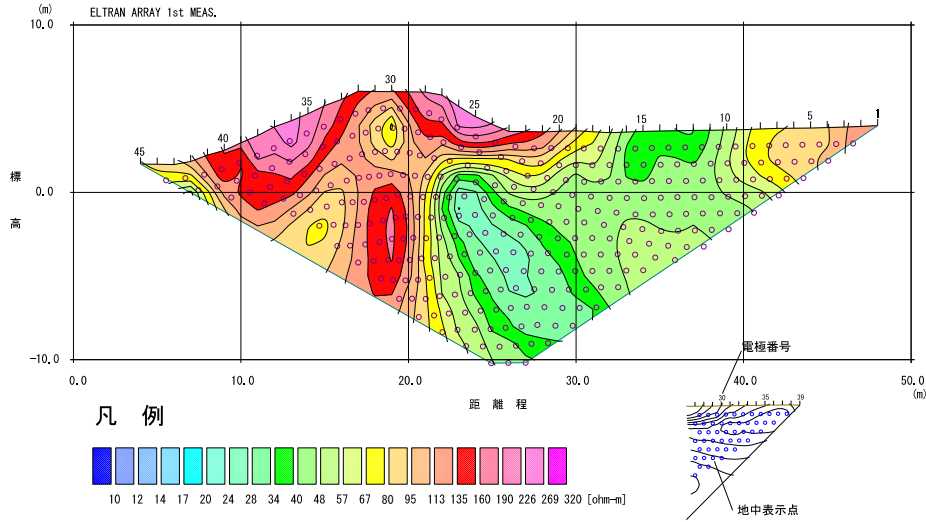
電気探査/見かけ比抵抗断面図(二極法配置)



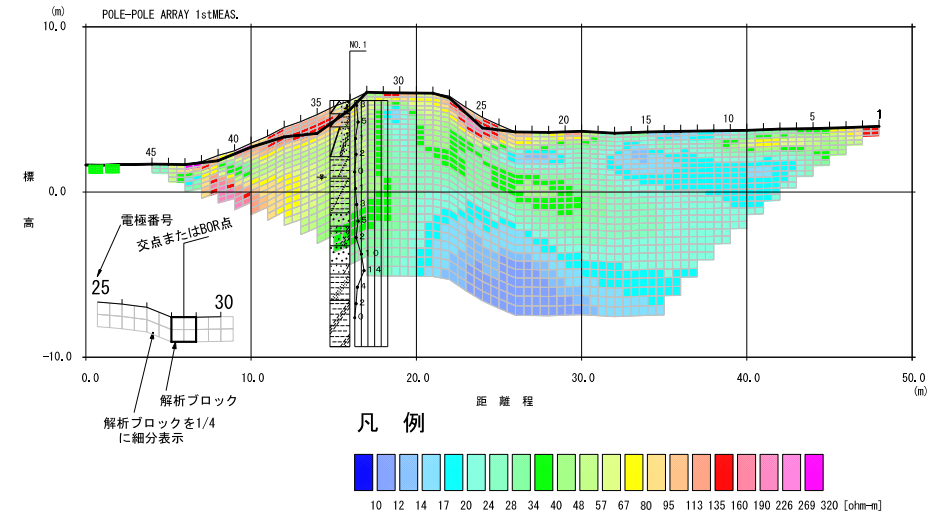
電気探査/見かけ比抵抗断面図(ウェンナー配置)



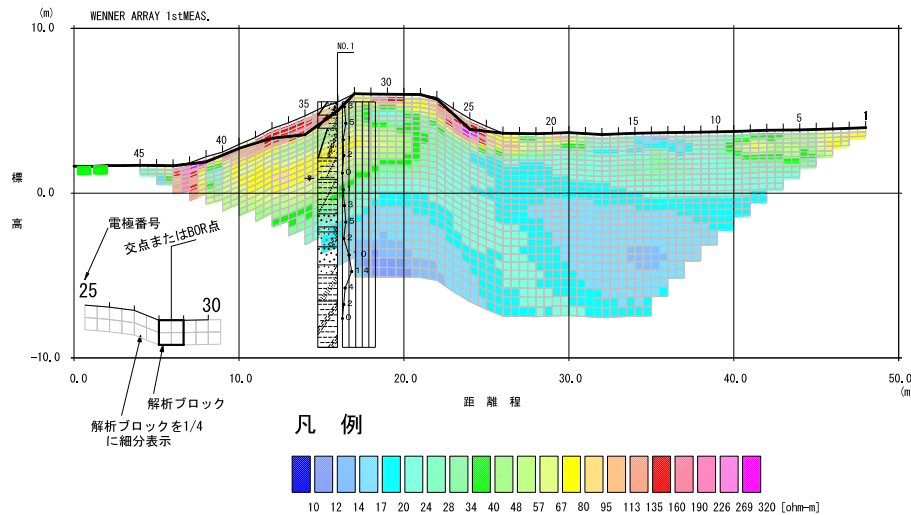
電気探査/見かけ比抵抗断面図(エルトラン配置)



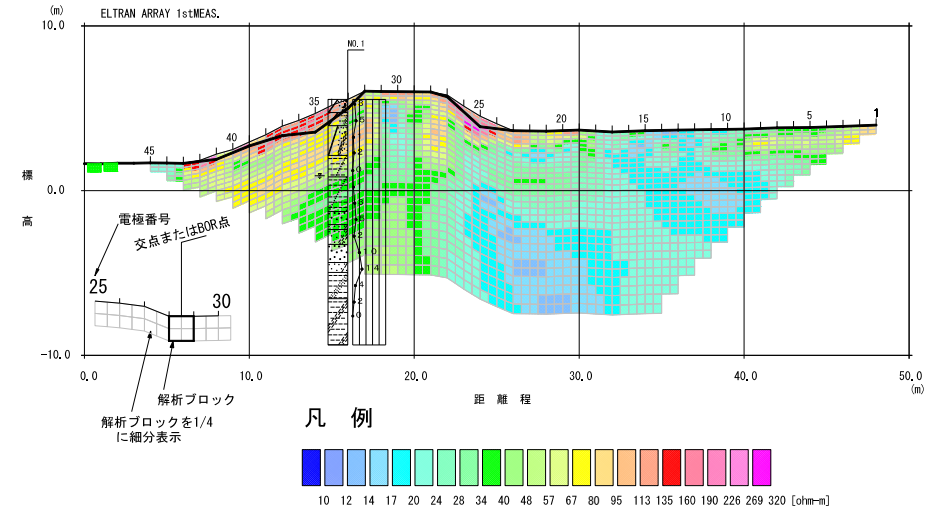
電気探査/比抵抗断面図(二極法配置)



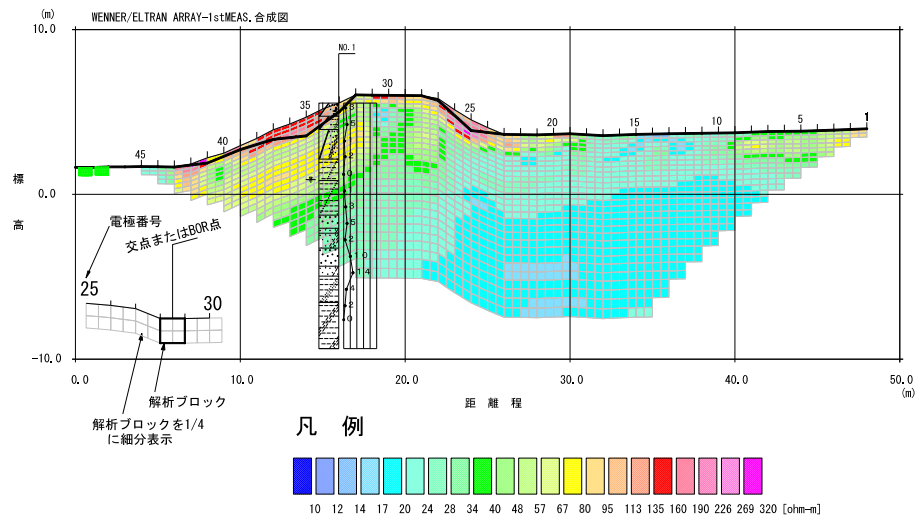
電気探査/比抵抗断面図(ウェンナー配置)



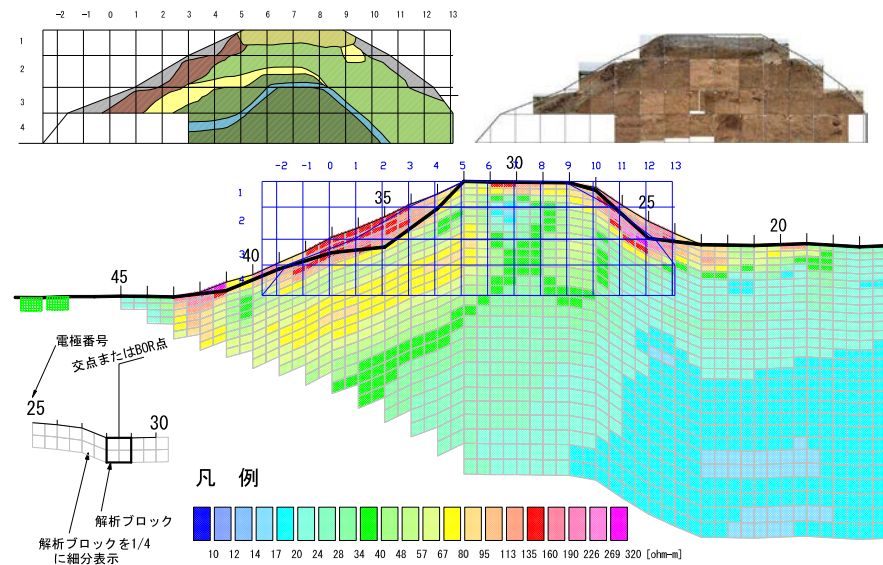
電気探査/比抵抗断面図(エルトラン配置)



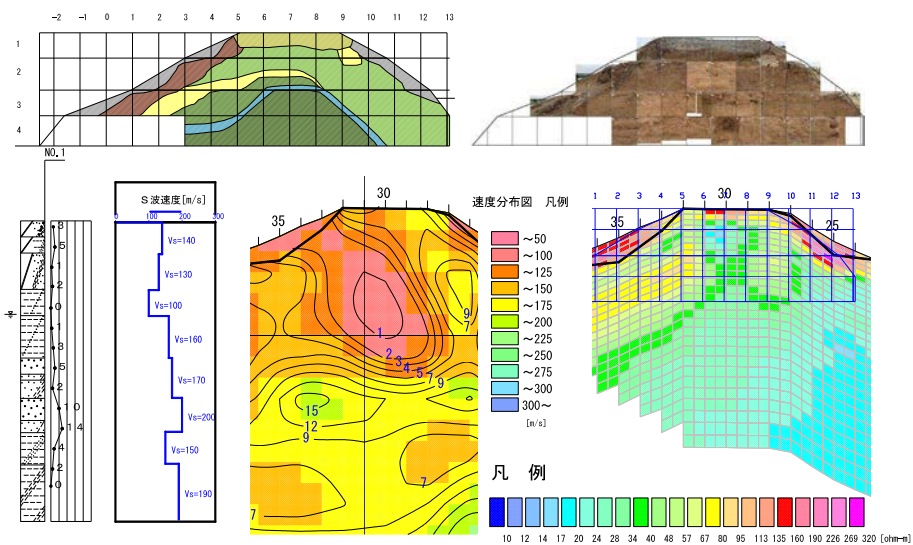
電気探査/比抵抗断面図(ウエナー・エルトラン配置)



電気探査/比抵抗断面図



各地盤調査結果の比較



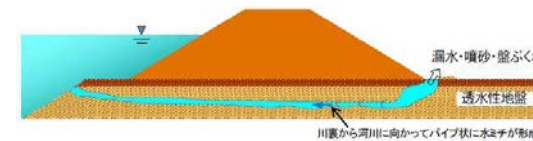
堤防の安定性評価WG 信頼性解析

河川堤防技術に関するシンポジウム

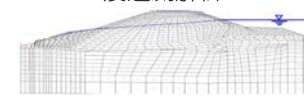
新潟大学 自然科学系 (工学部) 大竹 雄

はじめに

平成24年 矢部川



浸透流解析



$$i_v = \frac{\Delta\phi}{d} = \frac{\Delta\psi - d_v \cdot \rho_w}{d} < 0.5$$

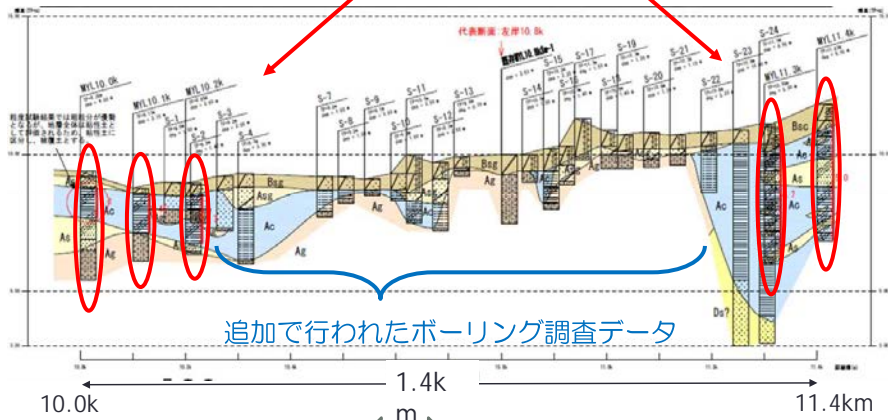
$$i_s = \frac{\Delta\phi}{d_s} = \frac{\Delta\psi}{d_s}$$

- 河川堤防は線状構造物
- 透水性地盤のパイピング破壊を対象
- オランダ照査体系に着目
- 対策優先順位の決定が困難
- 目視情報で信頼性更新の定量化

<http://mainichi.jp/graph/2012/07/14/20120714k0000e040138000c/038.html>

はじめに

初期のボーリング調査データ



追加で行われたボーリング調査データ

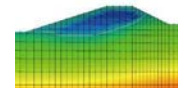
10.0k m ← 調査は数百mごと → 1.4k m 地層の変化は数十mごと → 11.4km

地層構成の把握 ⇒ 河川堤防安全管理の向上

透水性基礎地盤堤防へ信頼性解析の適用

河川堤防の信頼性解析の枠組みづくり 「不確かさ」を受け入れることによる合理的な意思決定

数値解析



模型実験



ベイズ推定

簡易評価式
応答曲面 (Response Surface)
・感度分析
・重要因子の抽出

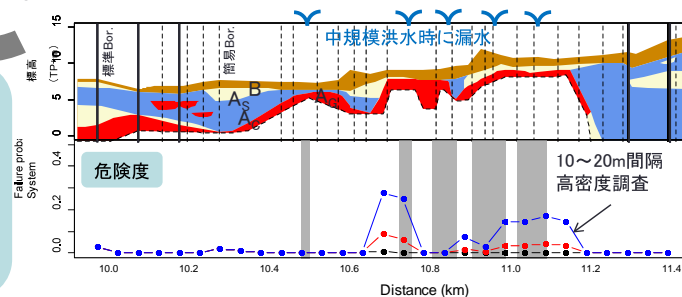
信頼性解析

1.4km@10~20m (ミクロ的視点が要求される)

- 目視現地調査
漏水, ガマ, etc
- モニタリング
- 地盤調査

追加情報による信頼性更新
●追加地盤調査
●目視現地調査(被災履歴)
“変状なし”も重要な情報

高密度調査を河川全体に適用することは困難
詳細に調査・解析すべき区間をいかに絞り込むか?



オランダにおけるパイピング照査

3要素の並列システム (基本的に独立)

A **N** **D** $F = Z_u \wedge Z_H \wedge Z_p$

Failure

Sellmeijer式 $H_c = CL = F_1 F_2 F_3 L$

抵抗項 $F_1 = \eta \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) \tan \theta$

η : Whiteの係数, θ : 砂の回転抵抗

スケール項 $F_2 = \frac{d_{70m}}{\sqrt[3]{\nu k L}} \left(\frac{d_{70}}{d_{70m}} \right)^{0.4}$

d_{70} : 70%粒径, ν : 動粘性係数
 g : 重力加速度

形状項 $F_3 = 0.91(D/L)^{\frac{0.28}{(D/L)^{2.8}-1} + 0.04}$

Sellmeijer式
Bligh, Laneの式の拡張
限界水頭差 H_c を評価する
簡便式

<Z_u>
Uplift
盤ぶくれ
⇨ 漏水, しみ出し

<Z_H>
Heave
局所動水勾配
⇨ ガマ

<Z_p>
Piping
パイピング
⇨ 堤体変状

信頼性解析

計算パラメータ

計算モデル
Failure mechanism

水位
漏水限界水位

漏水が発生する水位の分布

空間的バラツキ
統計的推定誤差

モデル化誤差
Model Error

信頼性解析+逆解析

計算パラメータ

計算モデル
Failure mechanism

水位
漏水限界水位

漏水が発生する水位の分布

ある中規模の洪水
漏水が生じた水位

空間的バラツキ
統計的推定誤差

モデル化誤差
Model Error

信頼性解析+逆解析

計算パラメータ

計算モデル
Failure mechanism

水位
漏水限界水位

漏水が発生する水位の分布

ある中規模の洪水
漏水が生じた水位

空間的バラツキ
統計的推定誤差

モデル化誤差
Model Error

大規模洪水における
パイピング危険度評価

パイピング破壊



3要素の並列システム (基本的に独立)

AND

Failure $Z = Z_u \wedge Z_H \wedge Z_p$

$\langle Z_u \rangle$ Uplift 盤ぶくれ
 \Rightarrow 漏水, しみ出し

$\langle Z_H \rangle$ Heave 浸食開始
 \Rightarrow ガマ

$\langle Z_p \rangle$ Piping パイピング
 \Rightarrow 堤体変状

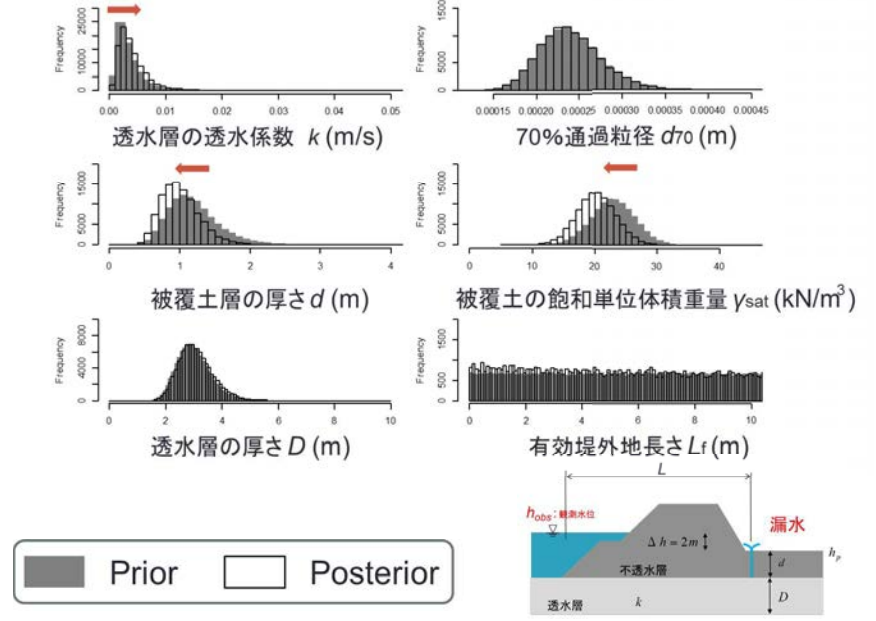
漏水 (Leakage)

ガマ (Sandboils)

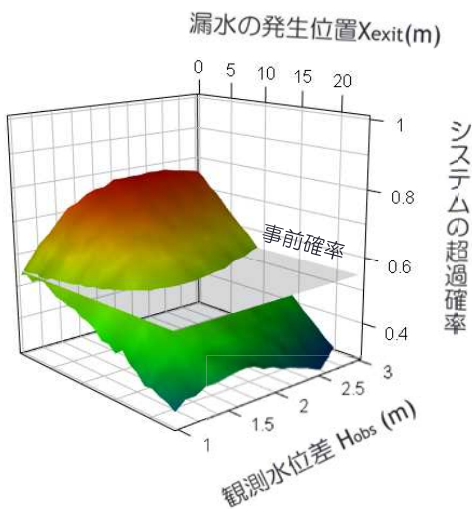
国立研究開発法人土木研究所：物理探査HPより引用
<https://www.skr.milit.go.jp/kikaku/kenkyu/h22/pdf/01.pdf>

北川 敏純：四万十川支川後川安並地区における漏水対策工事の報告より引用
<https://www.skr.milit.go.jp/kikaku/kenkyu/h22/pdf/01.pdf>

観測水位差 2.0m \Rightarrow 堤体法尻で漏水 (Seepage)



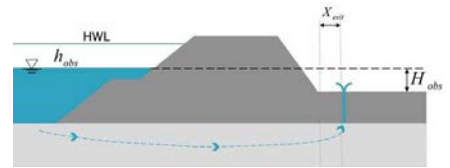
漏水 (Seepage)



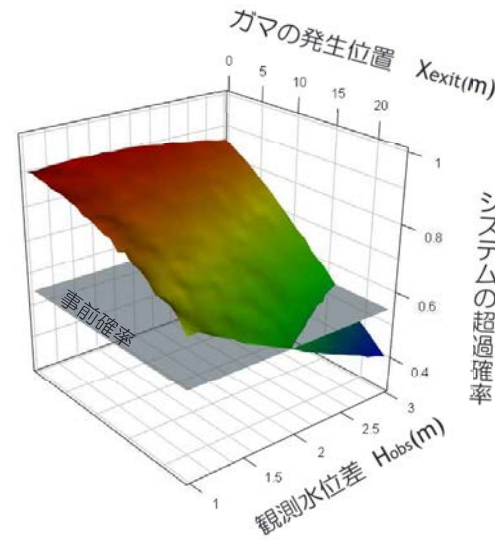
【パラメトリックスタディ】

- 漏水の発生した水位
- 漏水が発生した位置 (法尻からの距離)

\Rightarrow パイピングによる損傷確率 (システムの超過確率)



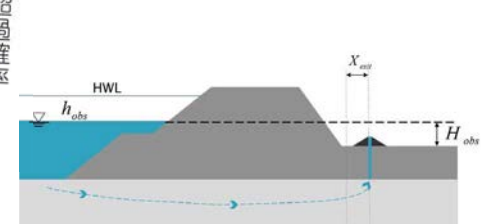
ガマ (Sandboils)



【パラメトリックスタディ】

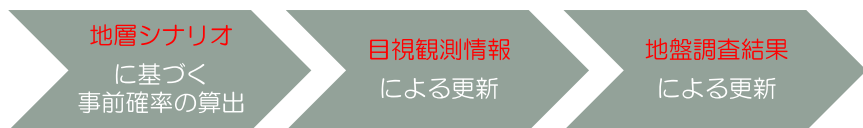
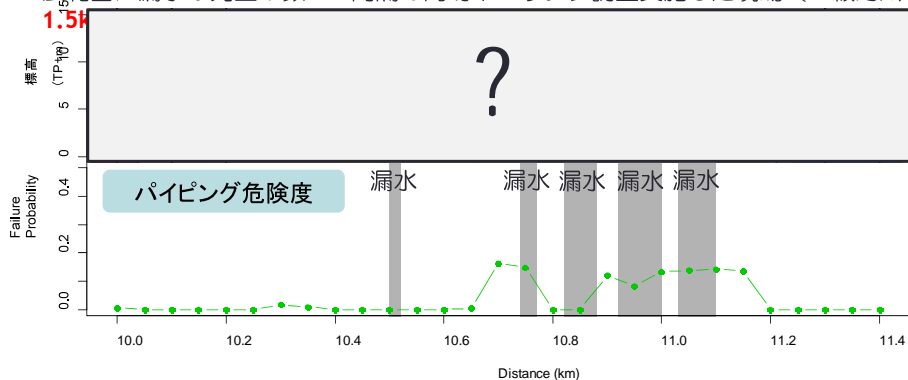
- 漏水の発生した水位
- 漏水が発生した位置 (法尻からの距離)

\Rightarrow パイピングによる損傷確率 (システムの超過確率)

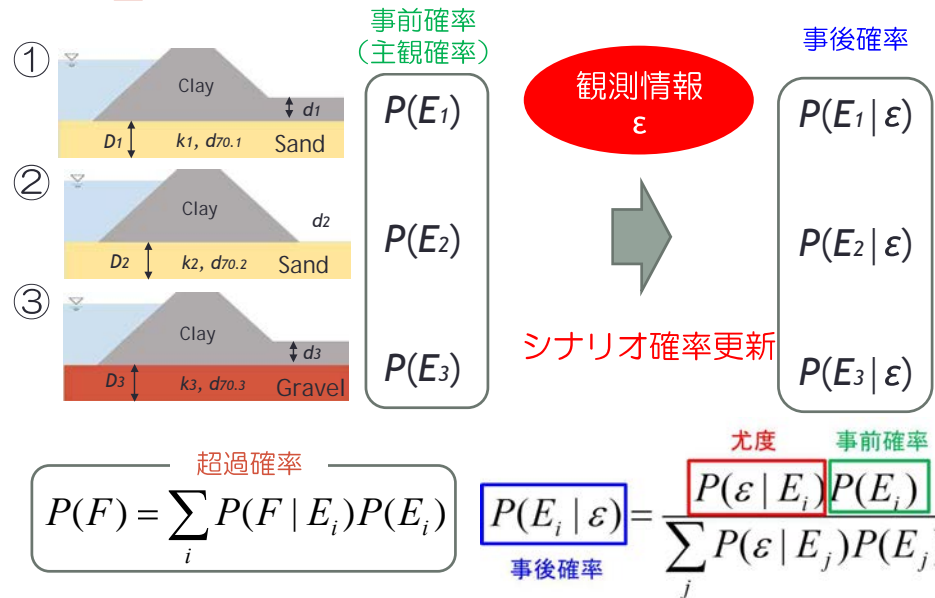


国内一級河川へ適用

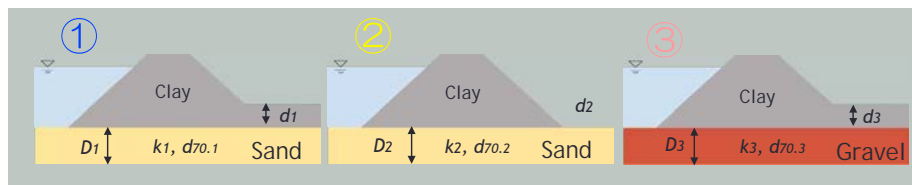
広範囲に漏水が発生+数10m間隔の簡易ボーリング調査実施した現場（一級河川）



地層シナリオ



計算条件：シナリオ①～③

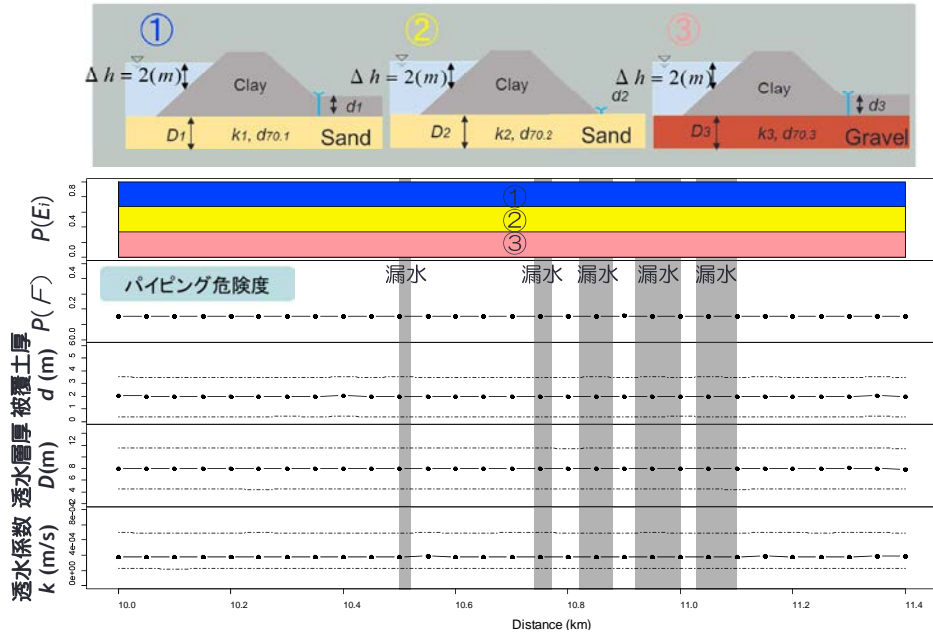


	分布	シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③
$P(E_i)$	—	1/3	1/3	1/3
被覆土層厚 d (m)	一様分布	1~5	-	1~5
透水層厚 D (m)	一様分布	1~15	1~15	1~15
透水係数 k (m/s)	対数正規分布	$\mu=0.00034$ COV=0.70	$\mu=0.00034$ COV=0.70	$\mu=0.0010$ COV=0.70
70%通過粒径 d_{70} (m)	対数正規分布	$\mu=0.00024$ COV=1.0	$\mu=0.00024$ COV=1.0	$\mu=0.001$ COV=1.0

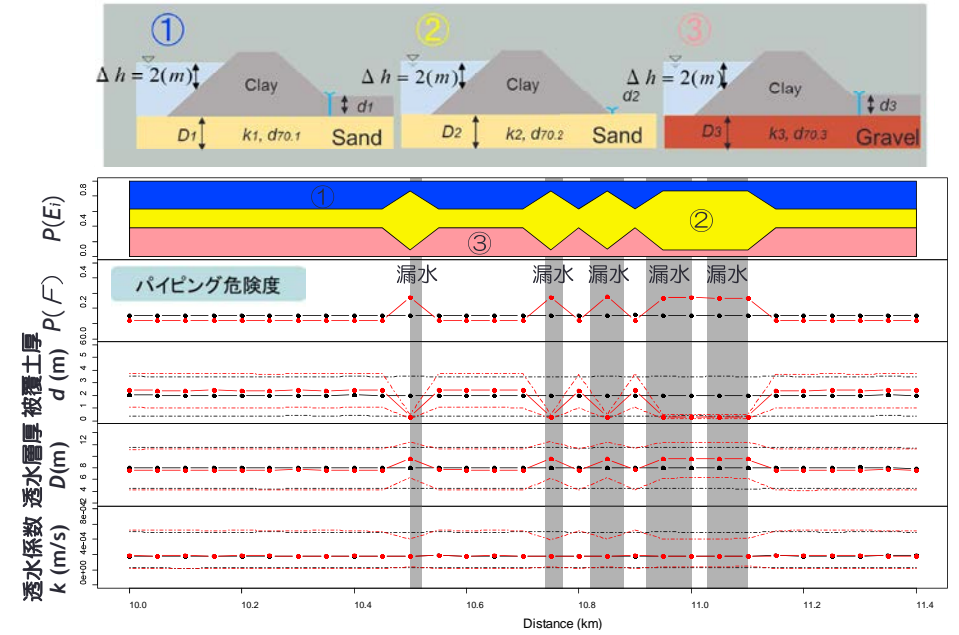
事前確率：すべての断面において同一条件で計算



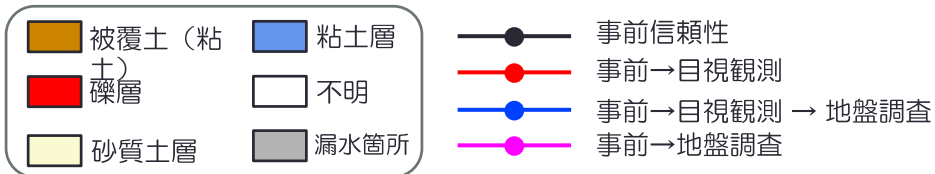
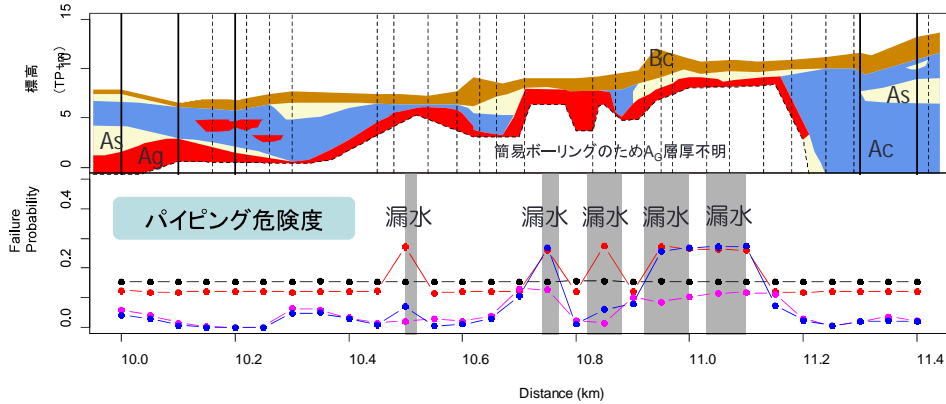
観測水位差 $\Delta h=2(m)$ の時、堤体法尻付近で漏水 or 変状なし



更新①：水位差 $\Delta h=2(m)$ の時、堤体法尻付近で漏水 or 変状なし



地盤調査による更新



更新結果

