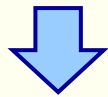


# 統合物理探査による河川堤防 の安全性評価

(国研) 土木研究所 つくば中央研究所  
地質・地盤研究グループ  
物理探査技術担当  
特任研究員 稲崎 富士

# 発表内容

## ■ 1. 河川堤防はどのくらい不均質か？



- 堤防の被災様式と不均質構造の影響

## ■ 2. 空間的不均質構造をどのように把握するか？



- 空間調査法の要件と堤防安全点検の問題点

## ■ 3. 「統合物理探査」とはどんな技術か？



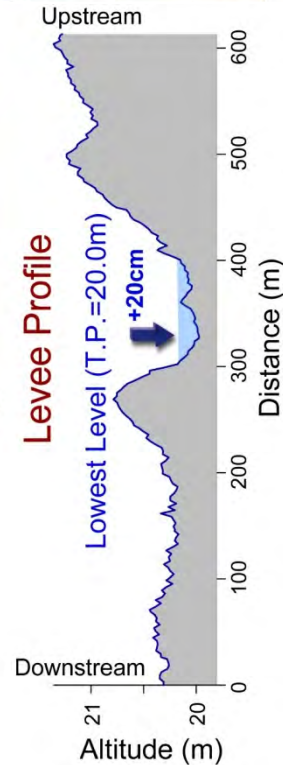
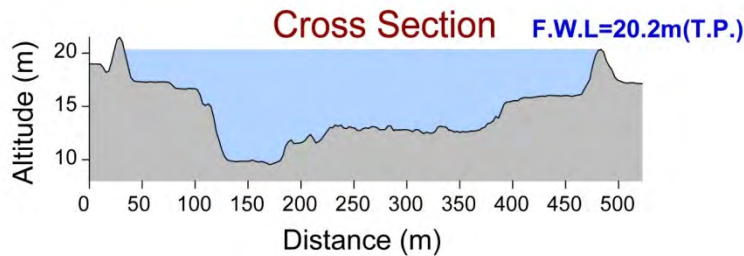
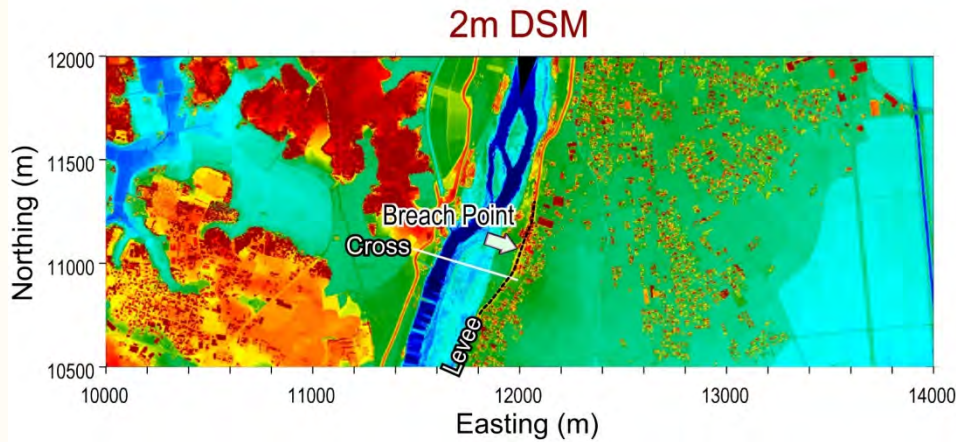
- 要素技術の概要と安全性評価手順

## ■ 4. 適用例

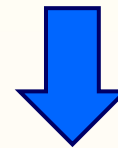


- 時空間的(面的・経時)調査の重要性

# 0.1 河川堤防の破堤事例-1: 2015年関東東北豪雨



■ 決定論的な特定・数値シミュレーションが可能



- 予防保全としての堤防整備・河道改修
- 堤防のり耐越流機能強化

## 0.1 河川堤防の破堤事例-2: 矢部川パイピング破堤



- 旧河道の直線化区間
- 越流ではなく基盤からのパイピングによる破堤
- 堤防点検では「safe」と判定された区間で発生

# 1.1 河川堤防の被災の実態のまとめと

## 堤体内部・基礎地盤構造の把握の重要性

### 堤体・基礎地盤の不均質性原因

- 表層の損壊現象では原因解明不可能
- 実験的検証と実堤防の詳細検討が重要

### 原因・メカニズム特定の危険性

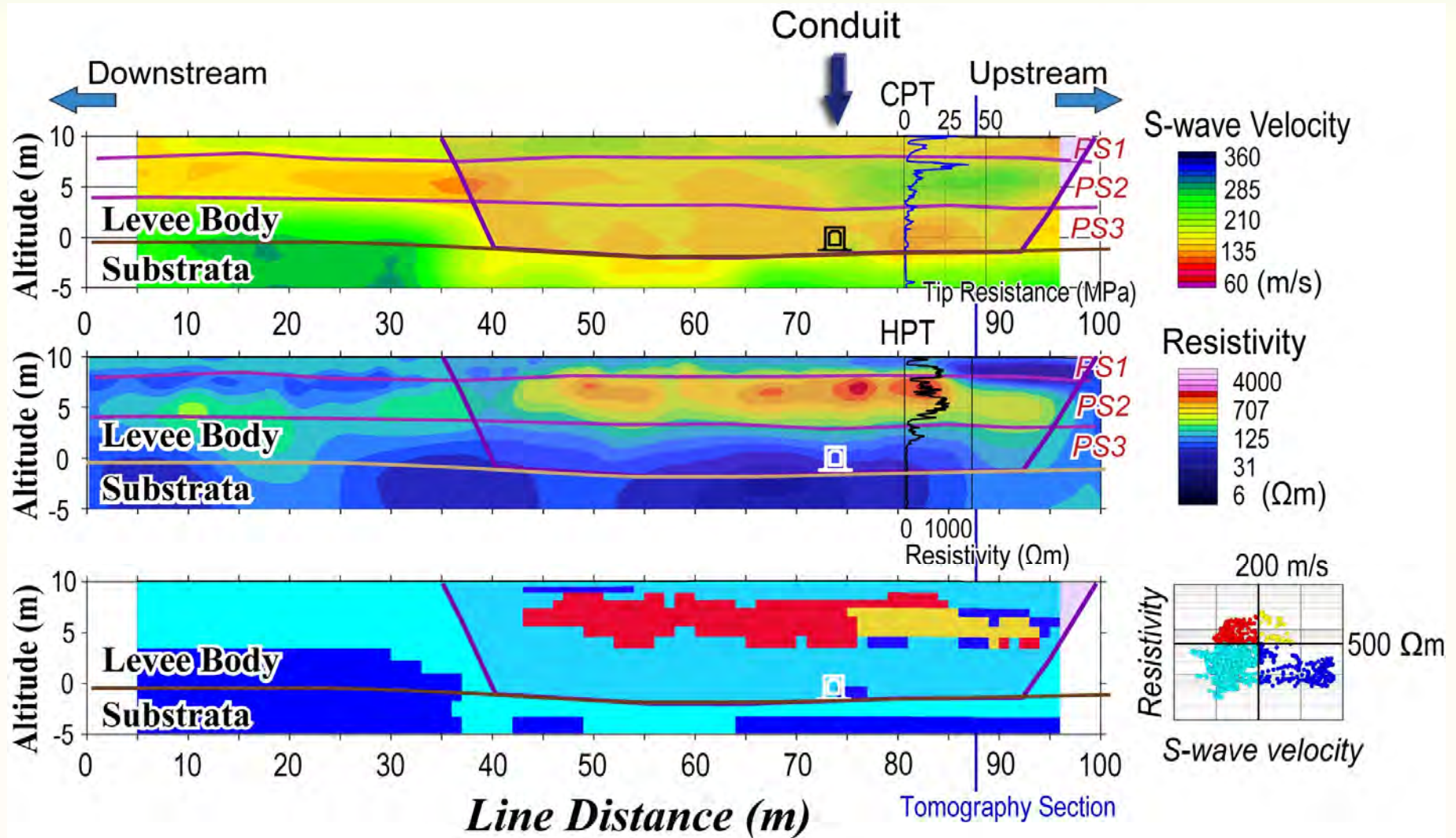
- 空間的に複雑・不均質な堤防システムに対しては「特定」は危険
- 時間的過渡的現象を静的に取り扱う危険性(ダルシー則不適合)

### 現地調査と対象の理解の重要性

- 詳細な被災地調査が不可欠
- 照査結果がどの範囲まで通用するのか？ モデルは適切か？
- 無被災部との差異・基礎地盤構造(地形・地質)の理解がベース
- DB化・比較検討解析が大事

## 1.2 河川堤防の不均質性

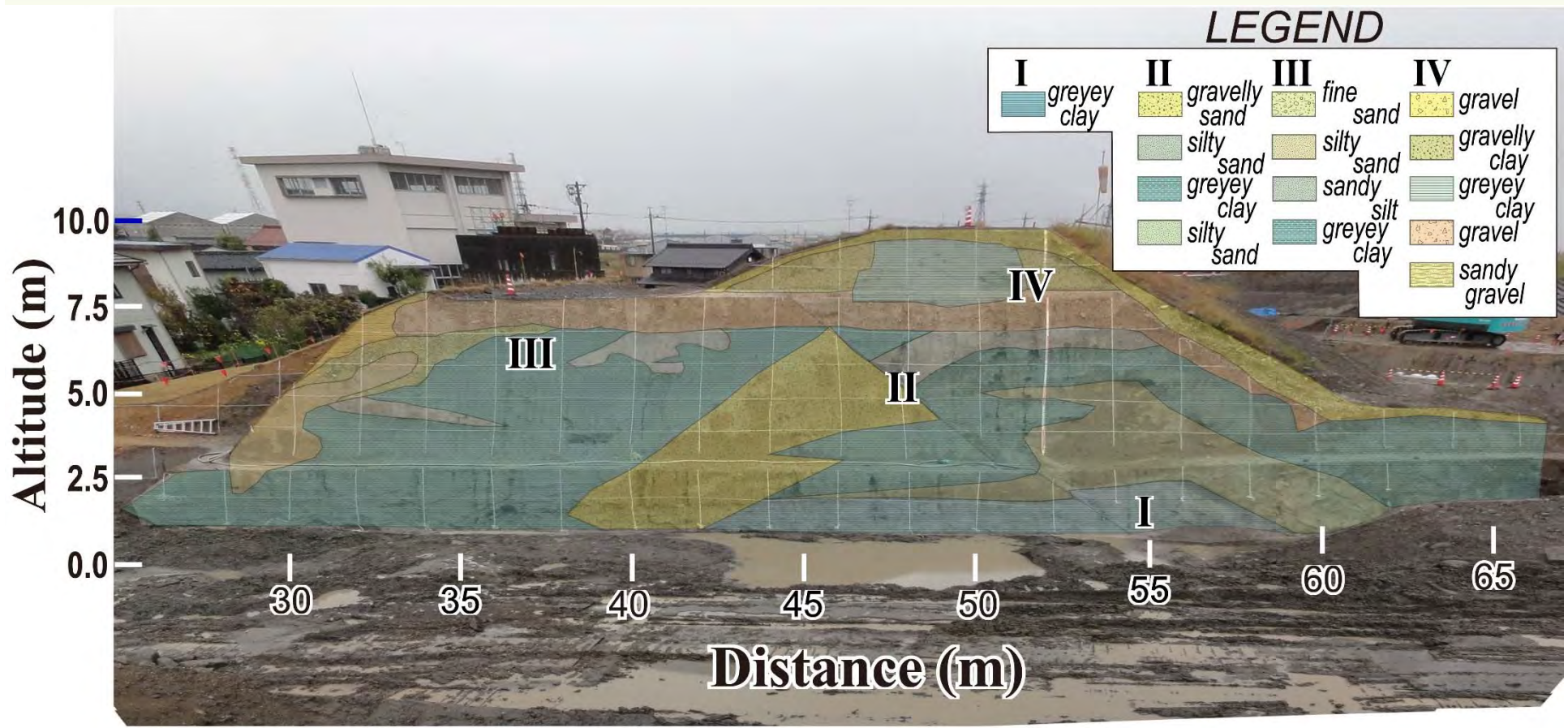
### 1.2.1 河川堤防はどれだけ複雑か：堤防縦断方向



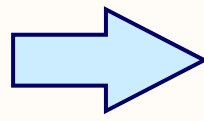
- 樋門・樋管部には異質の材料使用多し
- 施工法・施工時期による不均質構造存在

# 1.2 河川堤防の不均質性

## 1.2.2 河川堤防はどれだけ複雑か：堤防横断方向



- 同心円状築層+付加構造を呈する
- 材料自体が不均質
- 施工に伴う不均質

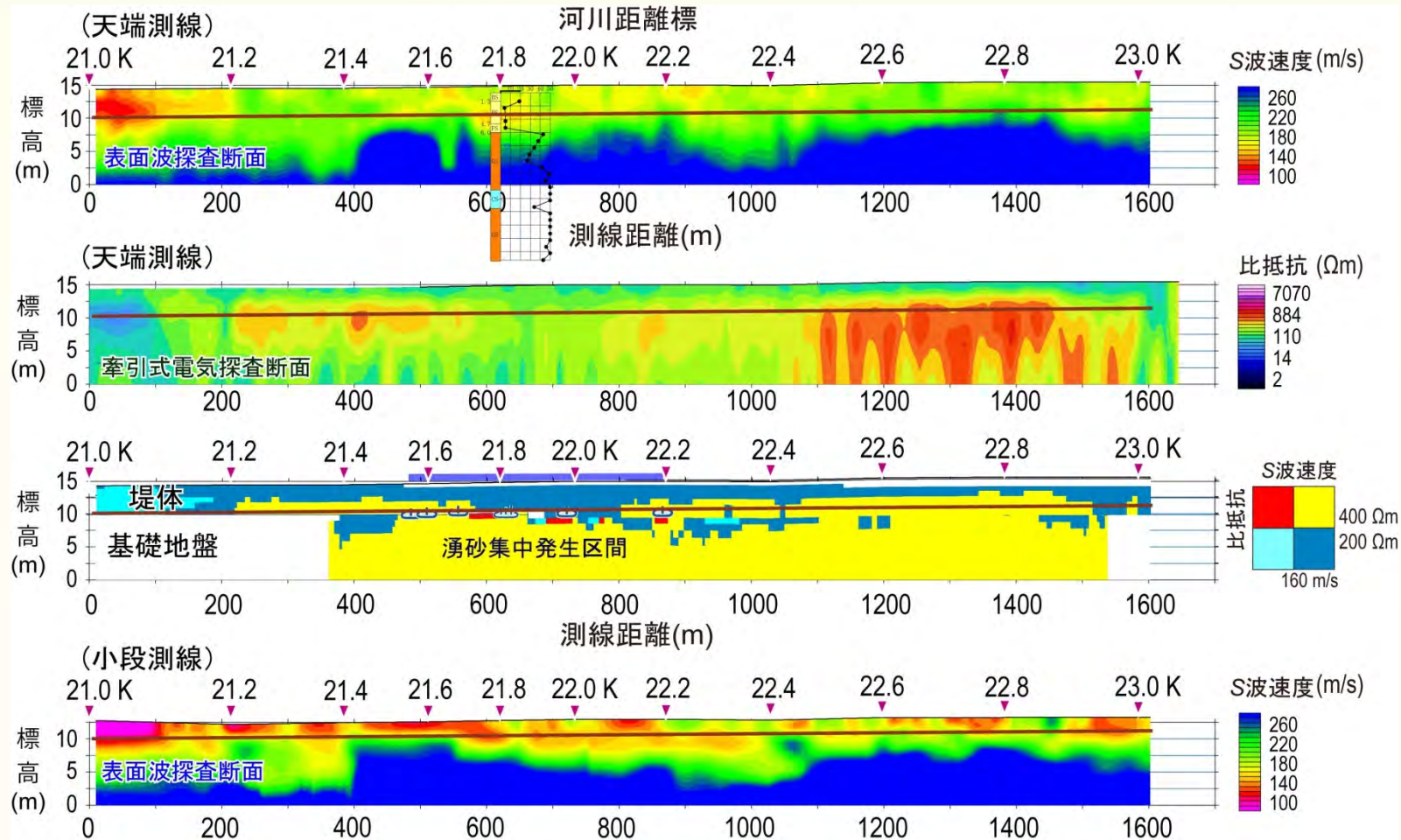


堤体の不均質構造が変形・浸透特性・経年劣化に影響



## 1.2 河川堤防の不均質性

### 1.2.3 河川堤防はどれだけ複雑か：基礎地盤縦断方向



- 基礎地盤も縦断方向に不均質
- 高比抵抗・低Vs(緩い砂)部分で基盤漏水・湧砂発生



## 1.2 防災構造物としての河川堤防の不均質性—まとめ—

### ■ 防災構造物としての河川堤防の特徴

- 人造構造物
- 連続した長大な線状の防災構造物
- 長い治水の歴史を反映して複雑な内部構造
- 複雑で変化に富んだ基礎地盤
- 樋門や水門が構造上の不連続な部分として存在

- 横断方向にも縦断方向にも極めて不均質

簡易全品検査・サンプル検査では異常部(不均質構造)の検出・健全性評価が困難

- 局所的かつ微小な不均質構造(弱点箇所)が堤防システム全体の安全性に影響

### ■ 河川堤防の設計・安全管理上の特徴

- ◆ 土を材料として使用しているため、強度・性能に「不確実性」を伴なう
- ◆ 内部弱部を表面目視では抽出できない
- ◆ 損壊の前兆現象を捉えることが困難

## 2. 空間的不均質構造をどのように把握するか？

### 2.1 サンプル調査と全数調査

#### 製品検査の三形態

適切な検査法  
選択が大事！

#### ● 全品検査(目視)

- 形状, サイズ, 表面キズ
- 外見異常, 数量, ボルトJIS規格

簡便, 社会インフラ点検にも  
広範に採用  
e.g. 農産物, のり面点検

#### ● サンプル検査

- 糖度, 残留農薬
- 寸法, 規格, ボルトの引張り強度

要明確な閾値設定, 侵襲的検査  
であり, 標本数限定. 分布に関する  
情報必須  
e.g. 笹子T板ボルト, 堤防詳細点検

#### ● 全品検査(非破壊)

- トレーサビリティ, 残留放射線量
- 規格寸法(厚さ), 内部損傷(打音)

原則非侵襲的検査.  
事故調査では侵襲的な場合も  
e.g. 福島県産米  
全量全袋検査

## 2.1 サンプル調査と全数調査

### 2.1.2 サンプル調査の陥穽-1:不均質構造の部分と全体



- 専門分野のみでは部分的な観察
- 部分的な観測では間違った判断
- 全体「象」を捉えるには多面観察の統合化が不可欠

## 2.2 空間的調査：連続断面イメージングの重要性

### 2.2.1 対象構造の空間的連続性・スケール

Horizontal Continuity / Resolution

基礎地盤

上下流方向：数10m~数100m



側方方向：数10m~数100m

堤体

縦断方向：数10m~数100m程度以下

横断方向：数m~数10m以下

浸透・水みち  
のりすべり

横断方向：数m~数10m以下

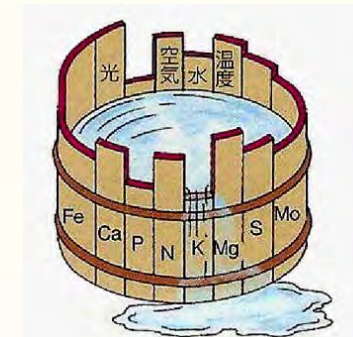
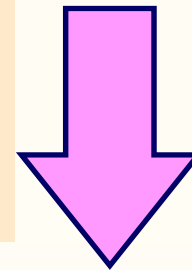
大きさ(直径)：数10cm~1m以下

## 2.3 連続的空間情報に基づいた安全性評価の重要性

### 2.3.1 安全性評価の視点:「最小律」による安全性評価

土工構造物である河川堤防システムの  
安全性を律するのは「最小律原理」

- リービッチの栄養素最小律
- 福島県産米全量全袋検査
- 福岡市営地下鉄「アリの一穴」

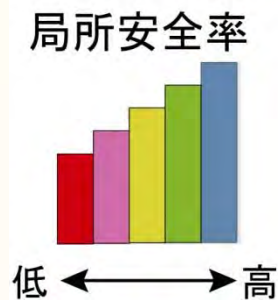
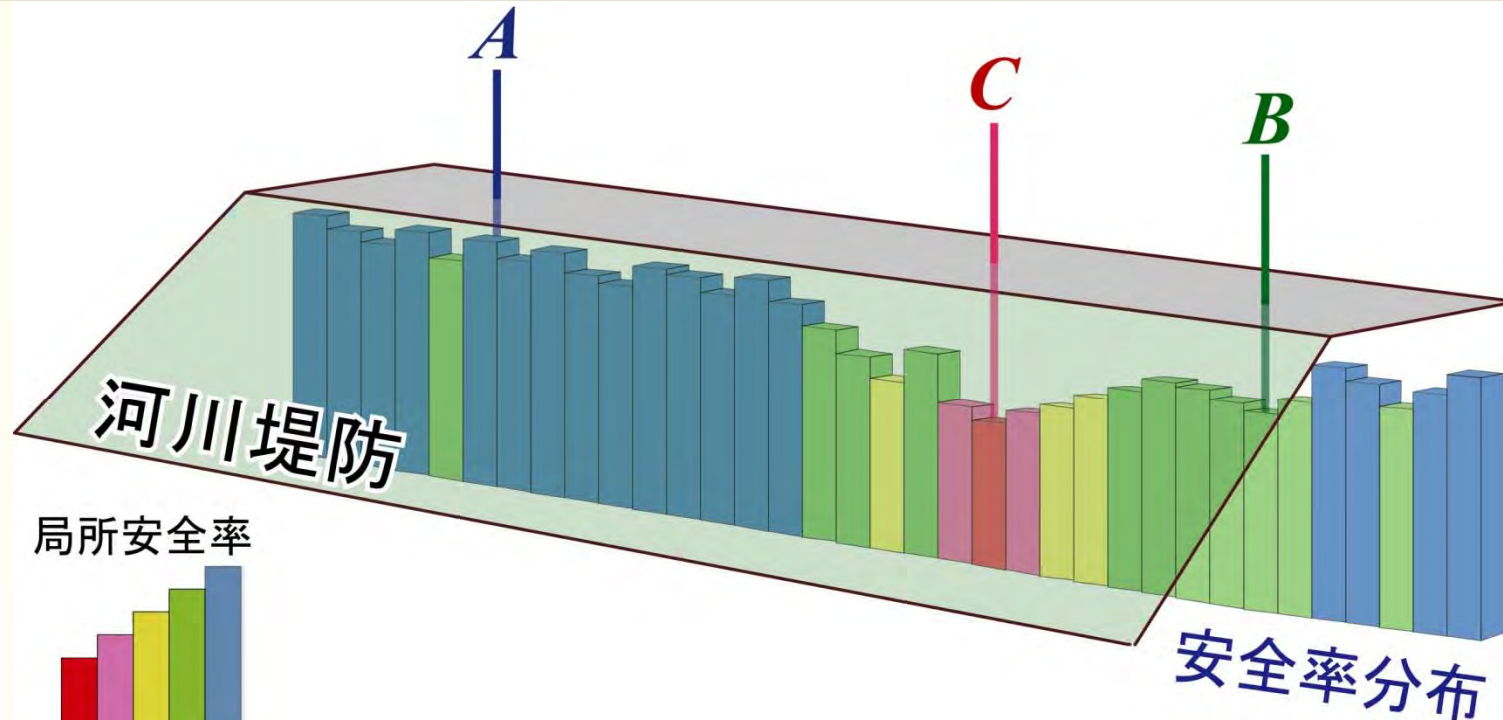


- ☀ ある照査断面がSAFE ⇒ 周辺他断面がSAFEとは限らない
- ☀ ある断面がOUT ⇒ 他設定条件では異なる結果
- ☀ ある設定値でSAFE ⇒ 設定値とその分布依存性要照査

## 2.3 連続的空間情報に基づいた安全性評価の重要性

### 2.3.2 河川堤防安全性評価における連続的空間情報の重要性

#### 河川堤防のすべり・浸透に対する局所安全率分布の模式図



- 離散的な調査(ボーリング)で最小箇所遭遇する確率はほぼゼロ
- ある地点が最小箇所であるかは離散的調査では評価不可能
- 連続的空間情報によってのみ最小箇所を特定可能

### 3. 「統合物理探査」とはどんな技術か？

#### 3.1 物理探査とは？

##### 地球物理学

- 対象： 地球内部
- 方法： 物理現象の応答観察(Passive)
- 目的： 地球内部の理解・研究

##### 地球物理学 地下探査

- 対象： 地下(社会生活の及ぶ領域)
- 方法： 物理現象を用いた測定(Active)
- 目的： 構造と物性の「探査」

#### 1.2 「探査」とは

- 「~~見~~る」, 「~~調~~る」, 「~~診~~る」, 可視化, マッピング
- 診断する: 状態とその変化過程を記述し, 異常を可視化し, 今後を予測してその空間で行なわれようとする, あるいは既に行なわれている開発・保全行為の妥当性と手順を評価する行為

## 3.2 観察と装置診断：物理探査の役割



血液検査



投薬・経過観察

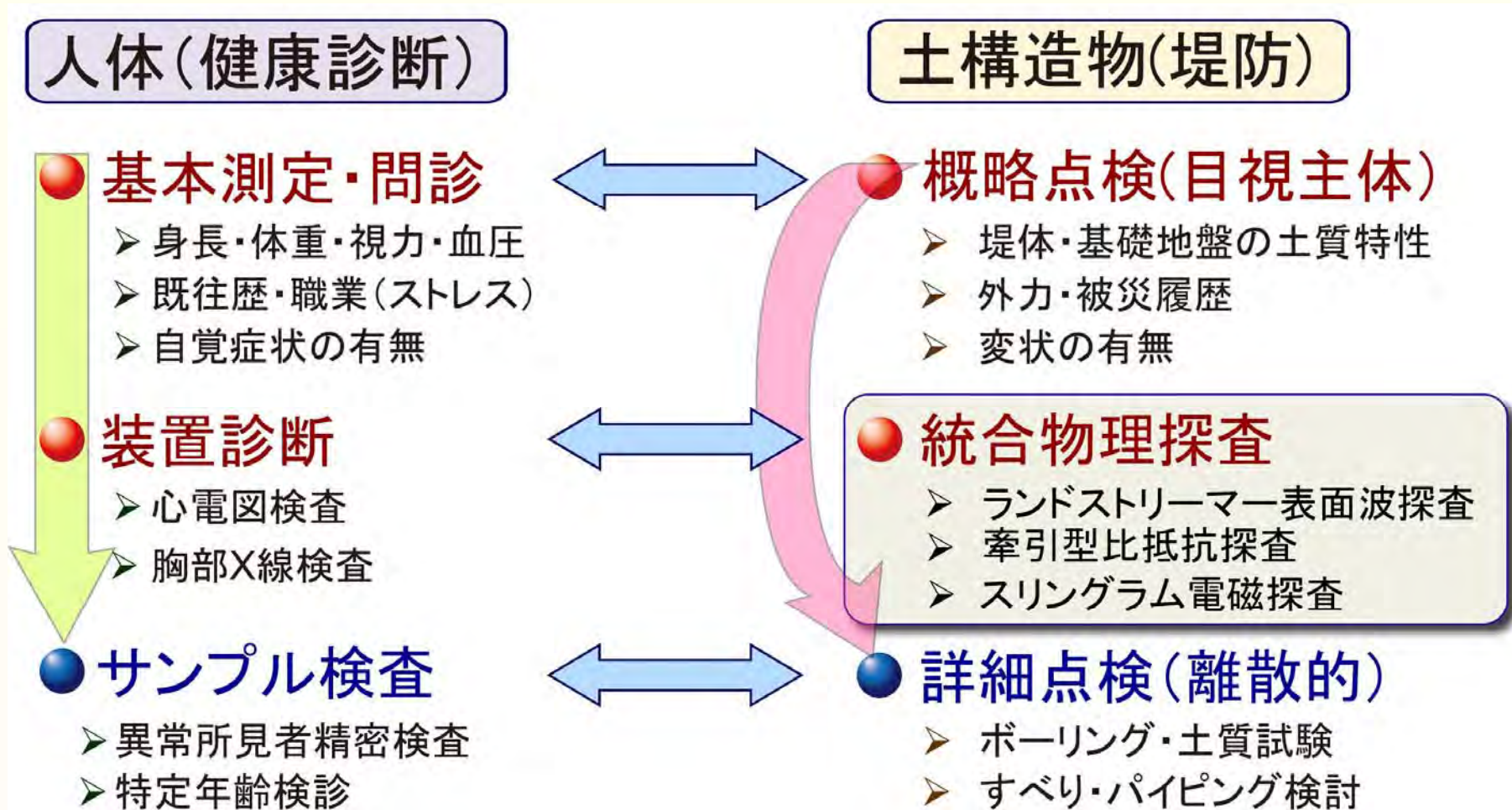


- 医療処置には装置診断が不可欠. 手術と一体的に実施.
- 浅部地盤に対しては診断(探査:地盤評価)なしで開発行為(手術)が行なわれる場合も.
- まともな診断自体が嫌がられる? 診断と手術の分離.





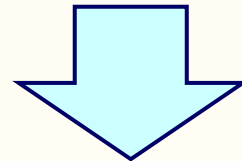
### 3.3 「統合物理探査」の堤防点検過程における位置づけ



## 3.4 統合物理探査が対象とする河川堤防・基礎地盤と

### その特徴-1

- 堤防は繰り返し改修・改築されてきた歴史的構造物である。
- 堤防は人工構造物であり，極めて不均質である（空間的変動スケールが小さく，変動規模が大きい⇒地盤に対する先験的仮定が通用しない）。
- 基礎地盤（自然地層）も流路変遷・堆積環境変動が著しく構造は極めて不均質。

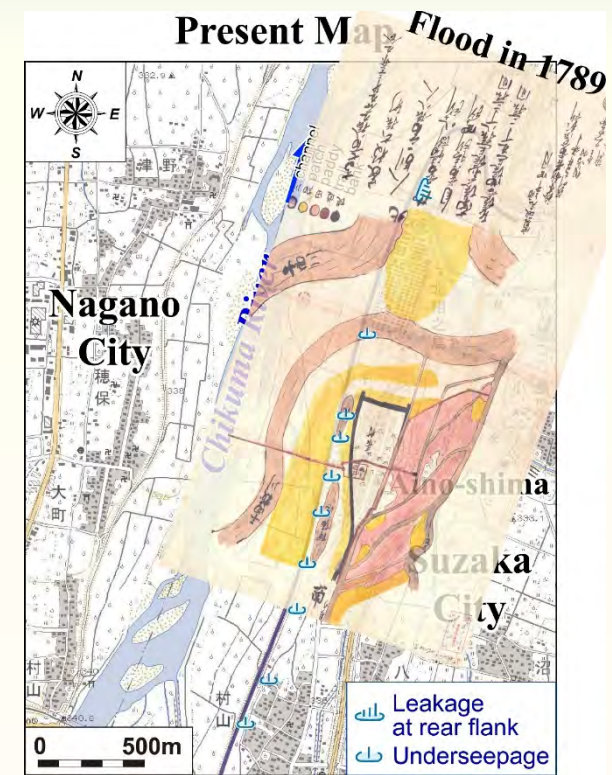
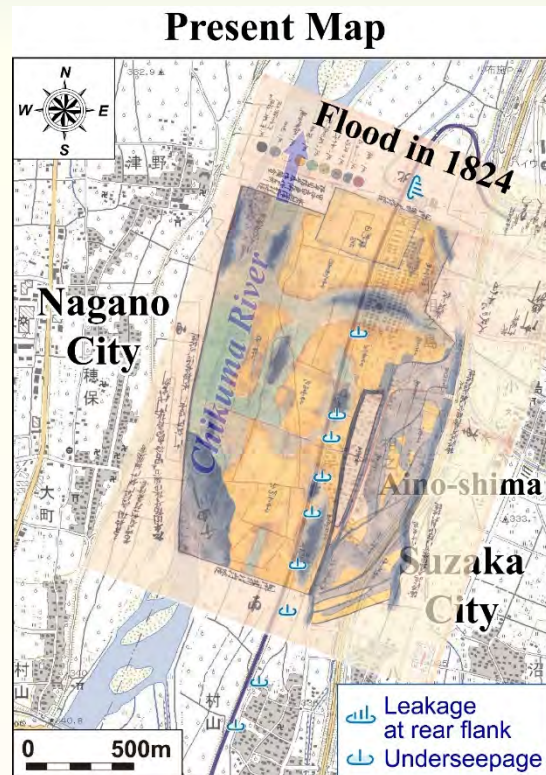
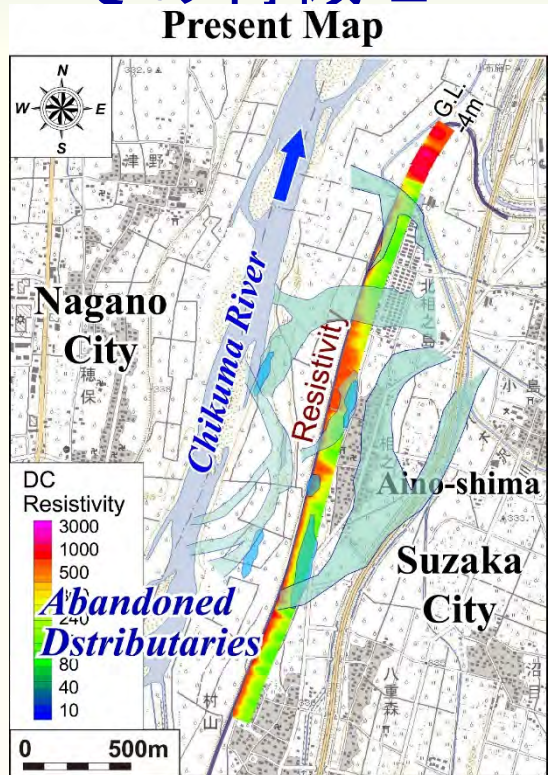


「診断」するには，**高分解能**の空間情報を提供するとともに，人工地盤の形成史（**歴史学**，**人文地理学**），人工地盤の構築法（**水工学**，**地盤工学**），浅層自然地層に対する基本的知識（**第四紀学**，**河川堆積学**）が不可欠！

多分野の  
「統合」!

## 3.4 統合物理探査が対象とする河川堤防・基礎地盤と

### その特徴-2

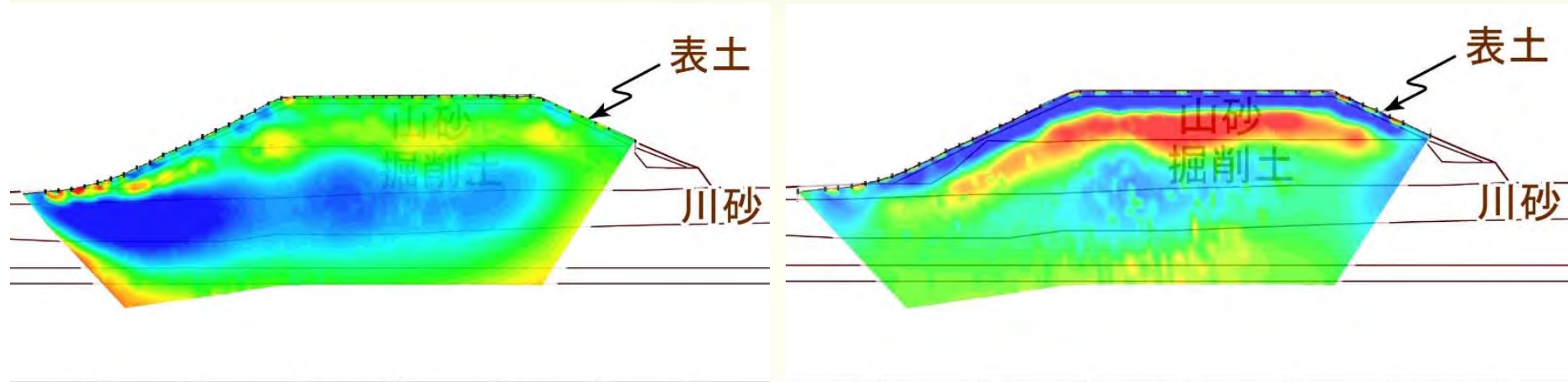


「水は地下のまわりもの」： 遮水対策によっても地下水環境が変動する。時空間的な属地情報，局所的な不均質構造を把握することが不可欠！

時空間的  
「統合」!

## 3.4 統合物理探査が対象とする河川堤防・基礎地盤と

### その特徴-3



台風時の24h変動  
(日累積雨量112mm;  
前1週間91mm)

強雨時の48h変動  
(48h累積雨量59mm;  
前1週間9mm)

「水は地下のまわりもの」： 降雨履歴・河川水位  
ハイドログラフによっても浸透応答が変動する。  
過渡的・時間的な**非線形物性変動**を把握するこ  
とも極めて重要！

物性と  
構造の  
「統合」!

## 統合物理探査

堤防縦横断方向に測線を設定し、同一測線上で複数の物理探査を実施して異なる物性断面を求め、既往資料や試験データ等を加味して総合的に解析することにより、対象区間の堤防の浸透や地震に対する安全性評価結果を連続断面情報として提供する方法。

### 1. 異手法併用による確度向上



### 2. 総合的解釈評価

- S波速度と比抵抗クロスプロット解析による安全性の定性
- 現地計測によるGround truth data取得と室内試験
- 物性モデルに基づいた土質・浸透特性の定量的推定
- 地球物理学・河川堆積学・岩石物理学・地質学・河川工

多手法・モデル実験との「統合」!