

**【防災・減災対応技術】**

統合物理探査技術による河川堤防の安全性評価

# 統合物理探査技術による 河川堤防の安全性評価

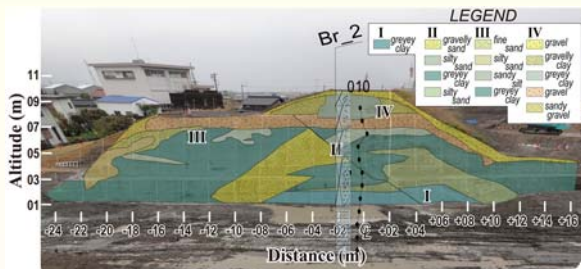


(独) 土木研究所 つくば中央研究所  
地質・地盤研究グループ  
特任研究員 稲崎 富士

1. 河川堤防の特徴と点検調査の課題
  - 1.1 防災構造物としての河川堤防の特徴
  - 1.2 「安全」検査の視点と方法
  - 1.3 不均質性のオーダーと検出の要件
2. 統合物理探査とは
  - 2.1 「物理探査」とは
  - 2.2 物理探査の種類
  - 2.3 河川堤防適用物理探査の要件
  - 2.4 「統合」の意義と目的
  - 2.5 河川堤防の統合物理探査構成手法
  - 2.6 統合物理探査による弱点箇所抽出・評価の流れ
3. 統合物理探査の適用事例ほか
  - 3.1 千曲川での浸透被災堤防探査例
  - 3.2 黒部川での堤体高浸透部探査例
  - 3.3 関連新技術紹介
    - 3.3.1 高速電気探査による堤体内不飽和浸透モニタリング例
    - 3.3.2 護岸ブロック等背面空洞探査例

## 1. 河川堤防の特徴と点検調査の課題

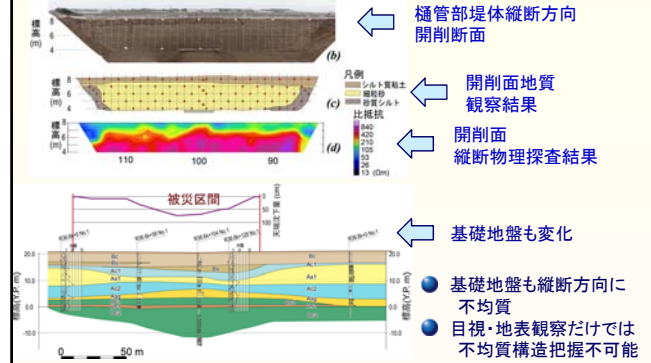
堤体内部不均質構造の例(横断)



- 堤体内部は築堤・改修履歴を反映して複雑。
- 鉛直方向にも側方方向にも変化する。
- 標本(ボーリング等)から母集団を推定することはほぼ不可能。

## 1. 河川堤防の特徴と点検調査の課題

堤体内部/基礎地盤不均質構造の例(縦断)



樋管部堤体縦断方向  
開削断面

開削面地質  
観察結果

開削面  
縦断物理探査結果

基礎地盤も変化

● 基礎地盤も縦断方向に  
不均質  
● 目視・地表観察だけでは  
不均質構造把握不可能

### 1.1 防災構造物としての河川堤防の特徴

#### ■ 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
- 長い治水の歴史の中で改築を重ね、複雑な内部構造
- 基礎地盤は大部分が低平地軟弱地盤
- 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・安全性評価が困難

● 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(平均律ではなく最小律)

#### ■ 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

### 1.2 「安全」検査の視点と方法

#### 1.2.1 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

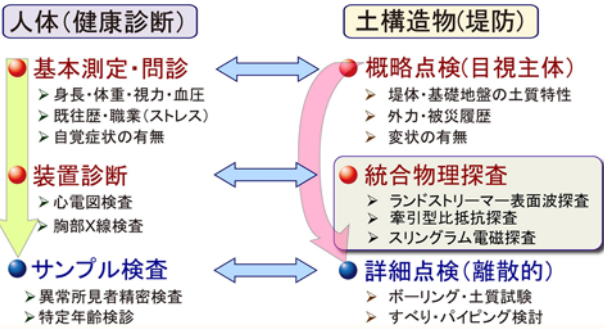
→ 簡便、社会インフラ点検にも採用
- サンプル検査
  - 糖度、残留農薬
  - 寸法、規格、ボルトの引張り強度

→ 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
- 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. 端子Tボルト、B787バッテリー

## 1.2.2 河川堤防の点検の性格付け

### 「全数調査」と「標本(サンプル)調査」の比較

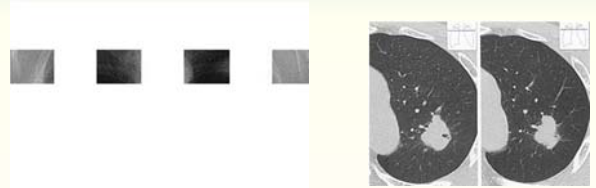


平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

7

## 1.3 検出の要件:2次元全域イメージング



- 2次元全域イメージングのみ「異常部」の抽出が可能
- ボーリング(1次元)、標準貫入試験(0.3次元)では異常部検出(弱点箇所抽出)は至難

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

8

## 1. 河川堤防の特徴と点検調査の課題:まとめ

### ● 従来の点検手法は弱点箇所物性評価も要注意

堤防システム

- N値が計測している物性は、深度方向に1m間隔、30cm×4cmφの円柱の**局所的物性**。0.3次元・**離散的**
- 室内透水試験が計測する物性は、10cm×5cmφの円柱の**局所的物性**。0次元かつ**離散的**
- 現場透水試験が計測する物性は、50cm×6cmφの円柱の周囲(難透水では数mm;高透水でも数10cmまでの領域)物性。ほぼ0次元かつ**離散的**
- 統合物理探査が計測する物性は、表層部で0.5×2.0×1.0m程度、深部では1.0×2.0×1.5m程度の直方体の平均的物性。2次元かつ**連続的**

### ● 弱点箇所検出には2次元全域調査が不可欠

N値(200m細分区分間で天端1本想定) 縦断1×深度15=15; ¥4万/1深度  
 透水試験データ(200m細分区分間で1箇所想定) 縦断1×深度3=3; ¥20万/1深度  
 統合物理探査(200m細分区分間を想定) 縦断100×深度12×2手法=2400;  
 ¥100/1データ

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

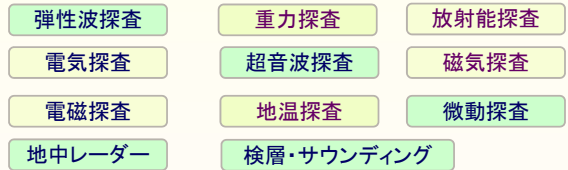
9

## 2. 統合物理探査の概要

### 2.1 「物理探査」とは

#### ■ 物理探査とは？

- レントゲン、超音波エコー、X線CT、MRIと同様な非破壊内部構造イメージング技術



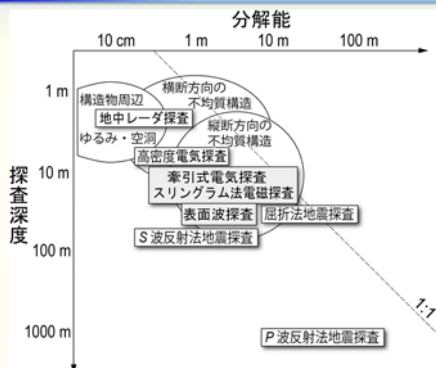
- 能動的計測と受動的計測
- 直接応答計測と場の応答(ポテンシャル)計測
- 河川堤防調査としての各種要件を考慮して手法を選択する必要がある。

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

10

## 2.2 「物理探査」の種類と適用対象領域



- 高分解能探査は浅部対象, しかし不均質性の影響受けやすくなる

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

11

## 2.3 河川堤防適用物理探査の要件

- **安全性**  
非破壊あるいは低侵襲性の計測手法であり、堤防の安全性に影響しないこと。
- **経済性**  
低コストで連続的な堤防内部情報を提供できること(凡そ¥100万/km程度)。
- **作業性**  
現地計測作業、計測機器操作が容易で、データ解析処理も簡便であること。
- **探査深度**  
堤防内部から基礎地盤まで、深さ数m~20mの領域を把握できること。
- **異常部検出能**  
相対的異常区間(数10m程度)を検出できること。
- **有用性**  
堤防の危険度評価に必要な物性情報(特にVs, 比抵抗)を提供できること。
- **非独占性**  
普及の前提として技術的ノウハウが開示されており、かつ機器利用が可能であること。

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

12

## 2.4 「統合」の意義と目的

### 1. 異手法併用による確度向上

表面波探査 → S波速度 → 硬軟・締固度  
 比抵抗/電磁探査 → 比抵抗 → 透水性・土質

### 2. 総合的解釈評価

- S波速度と比抵抗クロスプロットによる弱点部抽出
- 局所計測によるGround truth取得と概査データとの結合
- 地形地質情報・室内試験情報の活用

- かけ合わせることによって信頼性を高めることができる。  
 (「合わせ味噌」の極意)
- 異手法を組み合わせることで区別がしやすくなる。  
 (「1次元」より「2次元」)

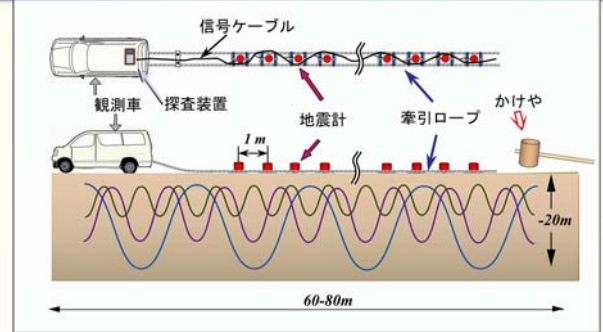
平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

13

## 2.5 統合物理探査の構成手法

### 2.5.1 表面波探査



■ 波長によって伝播する深さが異なり、速度も異なるという表面波の分散特性に基づいて地下のS波速度構造を推定する手法

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

14

### 2.5.1 表面波探査(続き)



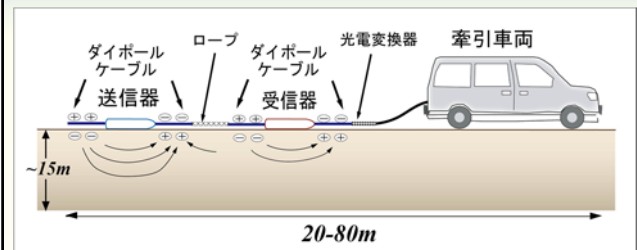
■ 土研で開発した「ランドストリーマー」を順次牽引移動させ、かけ矢で表面を起振した波動を測定

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

15

### 2.5.2 牽引式電気探査



■ 送信部の2つのキャパシター電極に逆の電荷を与えると、地盤との間にコンデンサーが形成され地盤に電流が流れる。これにより受信部側付近の地盤にも電流が流れるので、受信部のキャパシター電極と地盤の間にもコンデンサーが形成され、受振部の2つの電極間に電位差が発生する。この電位差から比抵抗分布を求める。

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

16

### 2.5.2 牽引式電気探査(続き)



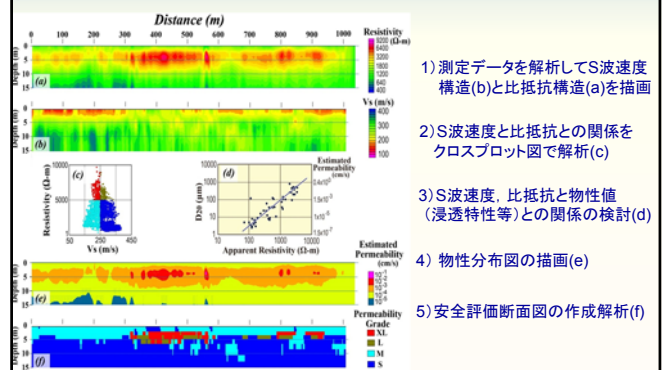
■ ツールを組み立て、車両あるいは人力で牽引してデータを取得する。  
 ■ 電極配置間隔を多数確保するために往復測定が必要だが、2km程度の区間を3人・半日程度で測定可能。

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

17

## 2.6 統合物理探査による弱点箇所抽出・評価の流れ



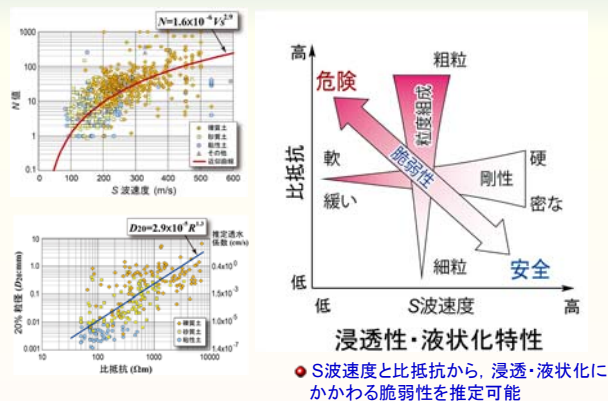
- 1) 測定データを解析してS波速度構造(b)と比抵抗構造(a)を描画
- 2) S波速度と比抵抗との関係をクロスプロット図で解析(c)
- 3) S波速度、比抵抗と物性値(浸透特性等)との関係の検討(d)
- 4) 物性分布図の描画(e)
- 5) 安全評価断面図の作成解析(f)

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

18

### 2.6.2 計測物性と土質特性との関係:安全評価の根拠



平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

19

### 3. 統合物理探査の適用事例

#### 3.1 浸透被災堤防調査事例(千曲川右岸56K付近)

立ヶ花狭き部 (H18.7豪雨の出水状況)

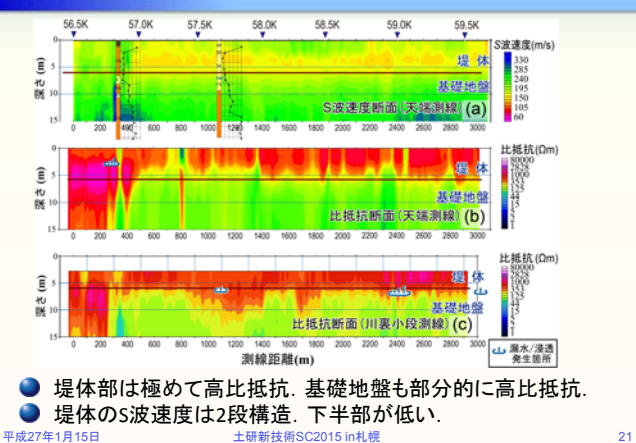
- H18.7月豪雨時に千曲川中流部で出水。
- 右岸56K付近堤防で漏水被害発生。
- H18.11月以降数次にわたって堤防探査

平成27年1月15日

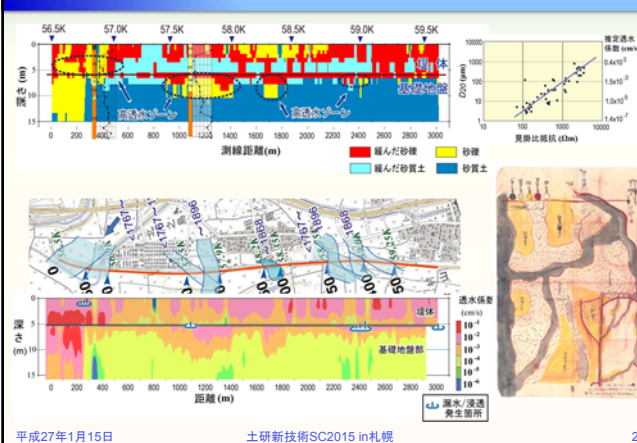
土研新技術SC2015 in札幌

20

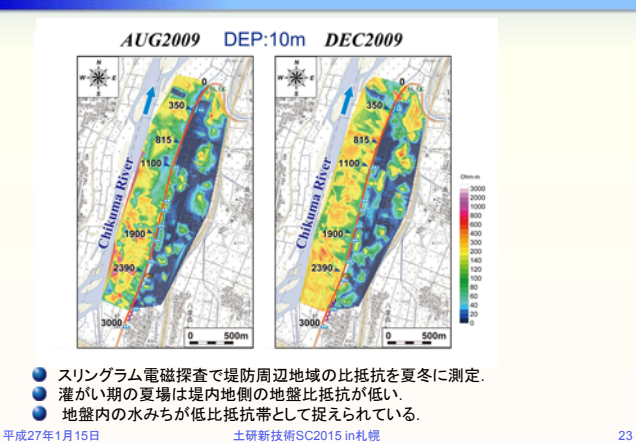
#### 3.1.2 統合物理探査結果(堤防縦断面)



#### 3.1.3 統合物理探査結果(基礎地盤の構造)



#### 3.1.4 堤防周辺構造スリングラム電磁法探査



### 3.2 堤防浸透安全性調査例(黒部川)

#### 3.2.1 探査概要

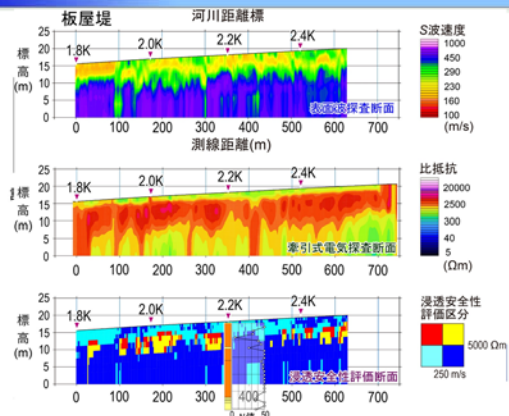
- 典型的な「露堤」。急流河川で洪水時負荷大。昭和30年以前に築堤された区間が残存。洪水時に一部で漏水や堤体陥没発生。
- 浸透安全性連続評価の重要性
- 9堤防11km区間で土研が比抵抗探査 (H18.11/H19.11)。
- 14堤防9km区間で事務所が表面波探査実施。
- 共通実施区間で統合物理探査解析実施。

平成27年1月15日

土研新技術SC2015 in札幌

24

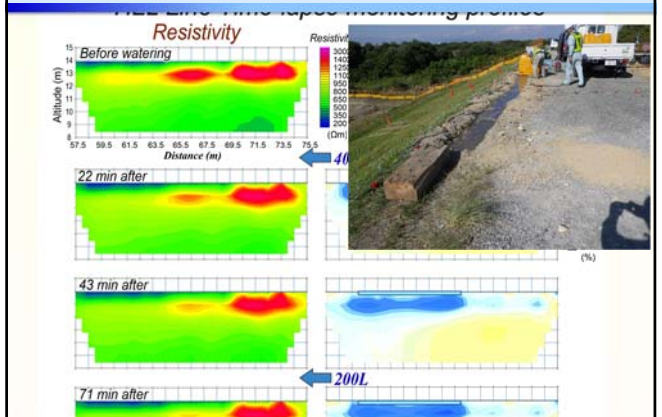
### 3.2.2 探査解析結果



平成27年1月15日 土研新技術SC2015 in札幌 25

### 3.3 関連新技術紹介

#### 3.3.1 堤体内不飽和浸透モニタリング例



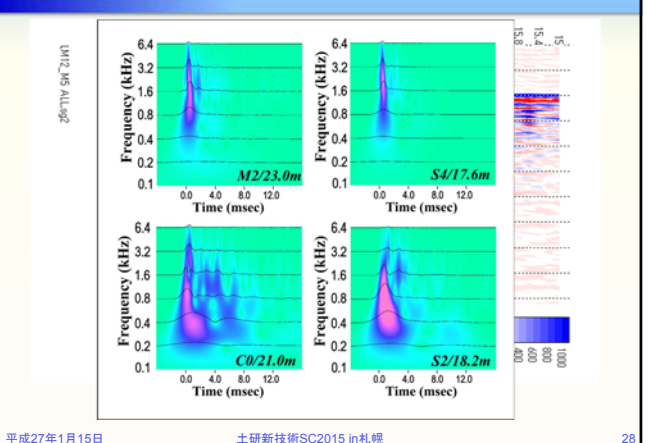
### 3.3 関連新技術紹介

#### 3.3.2 護岸ブロック等背面空洞探査例

- 不動沈下、地震外力などによる変形、吸出し、内部侵食などで護岸コンクリート・ブロック背面に空洞発生。
- 非破壊・面的にカバーできる計測技術開発・適用に期待。
- 高分解能GPR、打音ウェーブレット解析技術の適用性検証。
- 共通実施区間で統合物理探査解析実施。

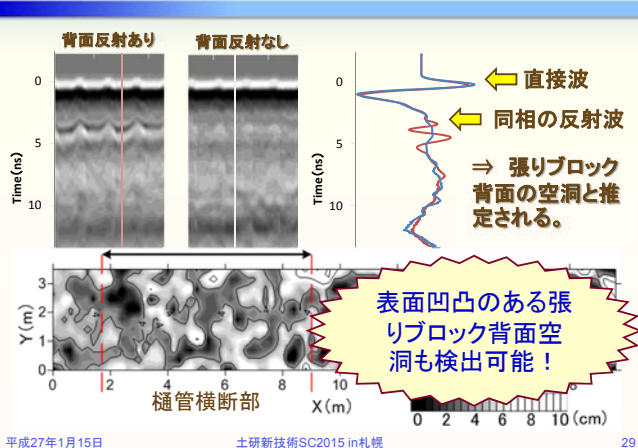
平成27年1月15日 土研新技術SC2015 in札幌 27

#### 3.3.2. 探査解析結果例-1: 打音ウェーブレット解析



平成27年1月15日 土研新技術SC2015 in札幌 28

#### 3.3.2. 探査解析結果例-2: 高精度GPR波形解析



平成27年1月15日 土研新技術SC2015 in札幌 29

### 宣伝

**まずは活用を**

- H23 ● 土研独自: 7区間 ● 地整連携: 3区間
- H24 ● 土研独自: 4区間 ● 地整連携: 3区間 ● 地整協力: 150km
- H25 ● 土研独自: 3区間 ● 地整連携: 2区間
- H26 ● 土研独自: 2区間 ● 地整連携: 2区間

**「手引き」も活用を**

- 河川管理者・実務者向け
- 2013年3月刊行

平成27年1月15日 土研新技術SC2015 in札幌 30