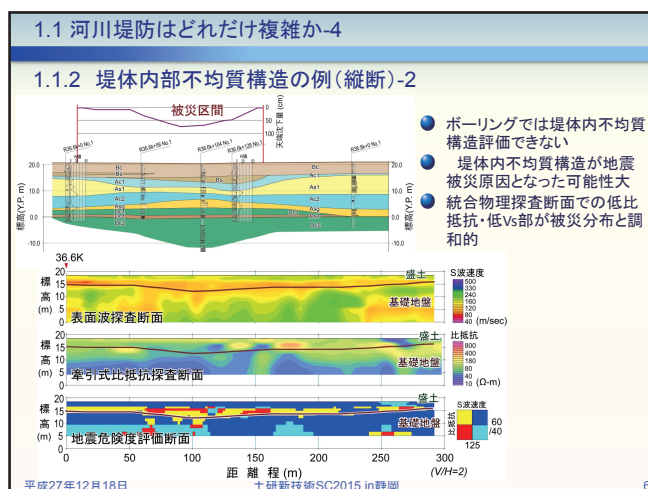
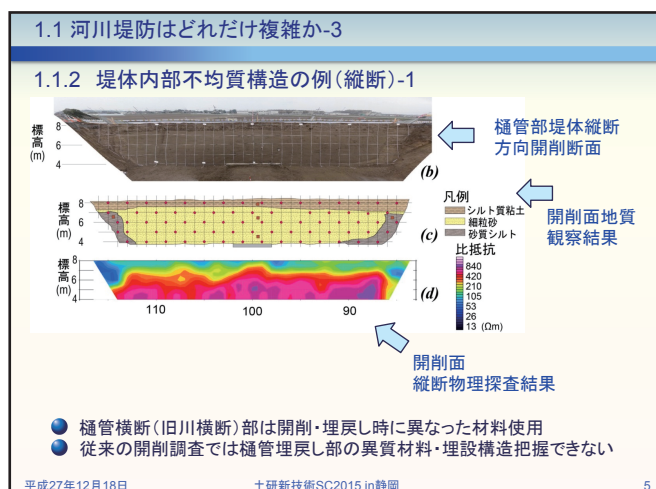
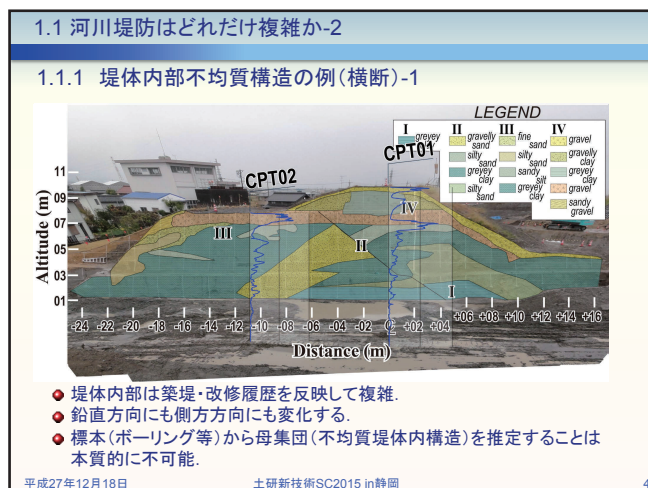
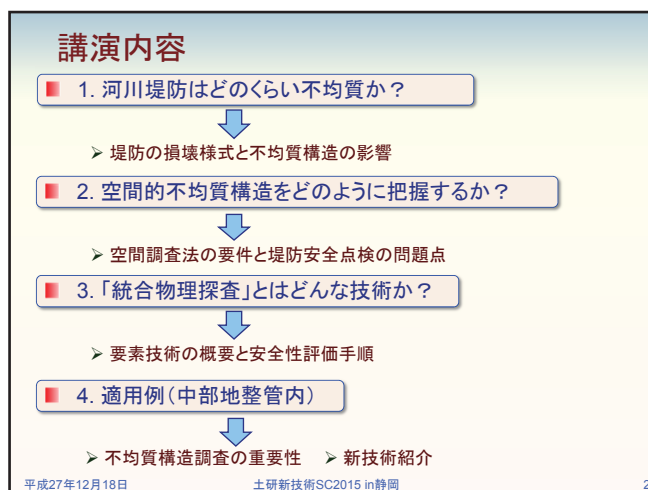
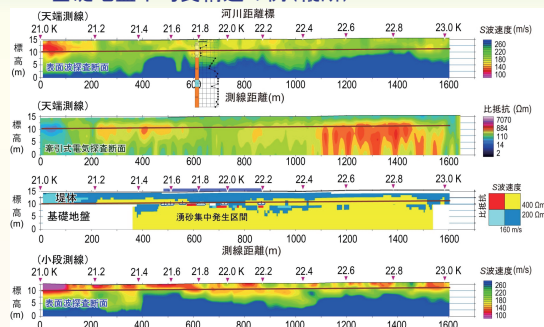




## 1.1 河川堤防はどれだけ複雑か-5

### 1.1.2 基礎地盤不均質構造の例(縦断)



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

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

7

## 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」を伴う
- ◆ 内部弱点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

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

8

## 2. 空間的不均質構造(ばらつき)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

- 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
- 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
- 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)

適切な検査法  
選択が大事!

簡便、社会インフラ点検にも採用

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. 帽子Tボルト

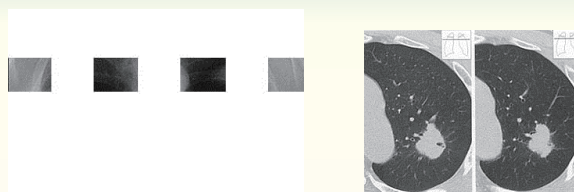
原則非侵襲的検査、事故調査では侵襲的な場合も e.g. 福島県産米全量全袋検査

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

9

## 2.2 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

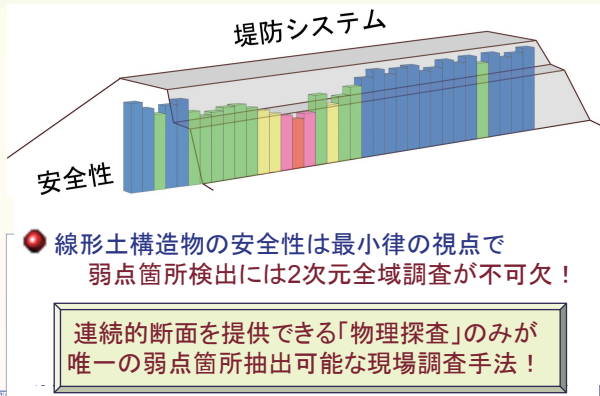
平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

10

## 2.3 地盤調査・堤防調査におけるサンプリングの実情

### ■ 標本としてのボーリング調査の「密度」



- 線形土構造物の安全性は最小律の視点で弱点箇所検出には2次元全域調査が不可欠!

連続的断面を提供できる「物理探査」のみが唯一の弱点箇所抽出可能な現場調査手法!

11

## 2.4 河川堤防の点検の性格付け:まとめ

### 「全数調査」と「標本(サンプル)調査」の比較

#### 人体(健康診断)

- 基本測定・問診
  - 身長・体重・視力・血圧
  - 既往歴・職業(ストレス)
  - 自覚症状の有無
- 装置診断
  - 心電図検査
  - 胸部X線検査
- サンプル検査
  - 異常所見者精密検査
  - 特定年齢検診

#### 土構造物(堤防)

- 概略点検(目視主体)
  - 堤体・基礎地盤の土質特性
  - 外力・被災履歴
  - 変状の有無
- 統合物理探査
  - ランドストリーマー表面波探査
  - 牽引型比抵抗探査
  - スリングラム電磁探査
- 詳細点検(離散的)
  - ボーリング・土質試験
  - すべり・パイピング検討

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

12



### 3. 統合物理探査の概要

#### 3.1 「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

弾性波探査

重力探査

放射能探査

電気探査

超音波探査

磁気探査

電磁探査

地温探査

微動探査

地中レーダー

検層・サウンディング

- 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

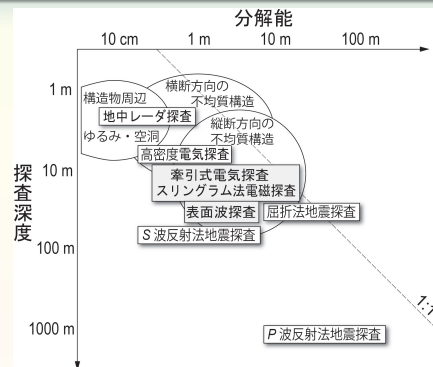
- 河川堤防調査としての各種要件を考慮して手法を選択する必要がある。

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

13

### 3.2 「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を受けやすくなる

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

14

### 3.3 「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・締固め度  
比抵抗/電磁探査 → 比抵抗 → 透水性・粒度(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

- 直交性期待パラメータ組み合わせによって区別・ランキングが容易になる(「2次元」平面上での識別)

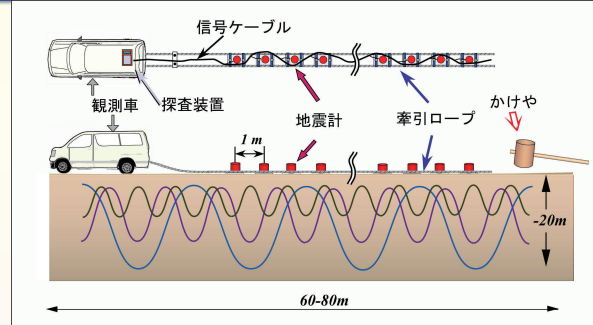
平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

15

### 3.4 統合物理探査の構成手法

#### 3.4.1 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12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

16

#### 3.4.1 表面波探査(続き)



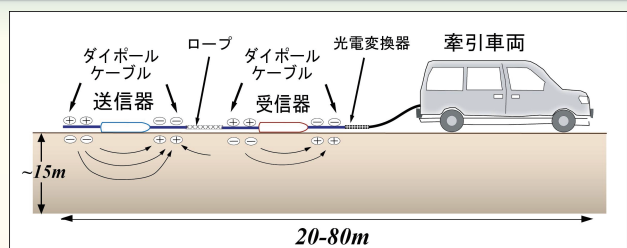
- 土研で開発した「ランドストリーマー」を順次牽引移動させ、かけ矢で表面を起振した波動を測定

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

17

#### 3.4.2 牽引式電気探査



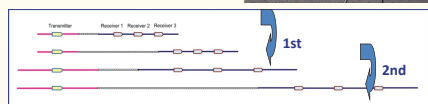
- 送信部の2つのキャパシター電極に逆の電荷を与えると、地盤との間にコンデンサーが形成され地盤に電流が流れる。これにより受信部側付近の地盤にも電流が流れるので、受信部のキャパシター電極と地盤の間にもコンデンサーが形成され、受振部の2つの電極間に電位差が発生する。この電位差から比抵抗分布を求める。

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

18

### 3.4.2 牽引式電気探査(続き)



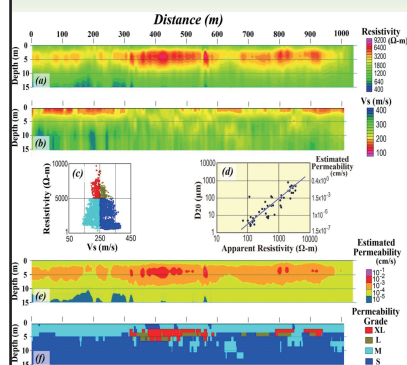
- ツールを組み立て、車両あるいは人力で牽引してデータを取得する。
- 電極配置間隔を多数確保するために往復測定が必要だが、2km程度の区間を3人・半日程度で測定可能。

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

19

### 3.5 統合物理探査による弱点箇所抽出・評価の流れ



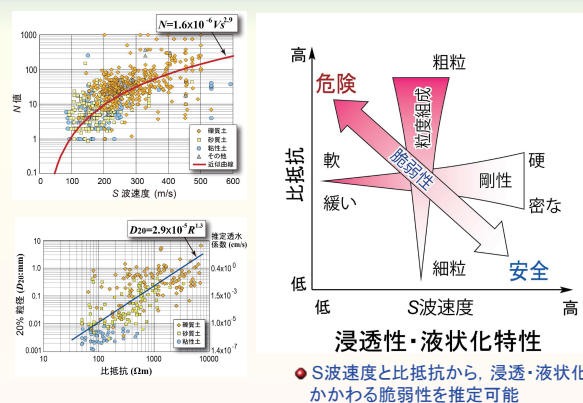
- 1) 測定データを解析してS波速度構造(b)と比抵抗構造(a)を描画
- 2) S波速度と比抵抗との関係をクロスプロット図で解析(c)
- 3) S波速度、比抵抗と物性値(浸透特性等)との関係の検討(d)
- 4) 物性分布図の描画(e)
- 5) 安全評価断面図の作成解析(f)

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

20

### 3.6 計測物性と土質特性との関係:安全評価の根拠



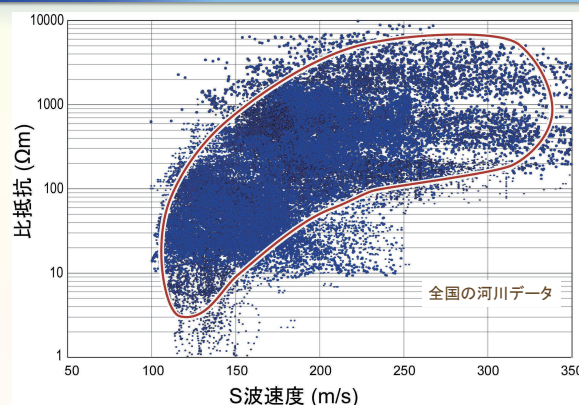
- S波速度と比抵抗から、浸透・液状化にかかわる脆弱性を推定可能

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

21

### 3.7 クロスプロットでの特徴的傾向-1

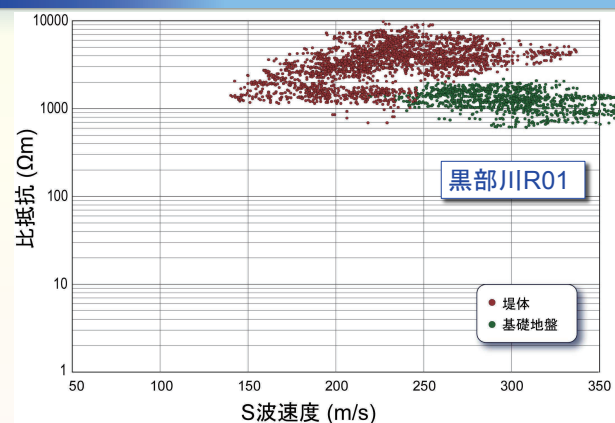


平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

22

### 3.7 クロスプロットでの特徴的傾向-2



平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

23

### 4. 土研独自実施 堤防物理探査適用調査研究箇所(中部地整管内)





#### 4. 統合物理探査の適用事例

##### 4.1 基礎地盤不均質構造把握事例(丹野川左岸1.3K付近)

現地探査時期: 2012年10月25-27日(開削前調査)

2012年12月21日(開削後調査)

2014年2月21-22日(CPT/SCPT)

探査適用手法: ランドストリーマー表面波探査(開削前縦断)  
直流比抵抗探査(開削前縦断・横断)  
補足比抵抗探査(開削前縦断)  
比抵抗マッピング(開削後開削面)  
堤体試料採取・粒度試験(開削後開削面)  
高密度表面波探査(開削後開削面)



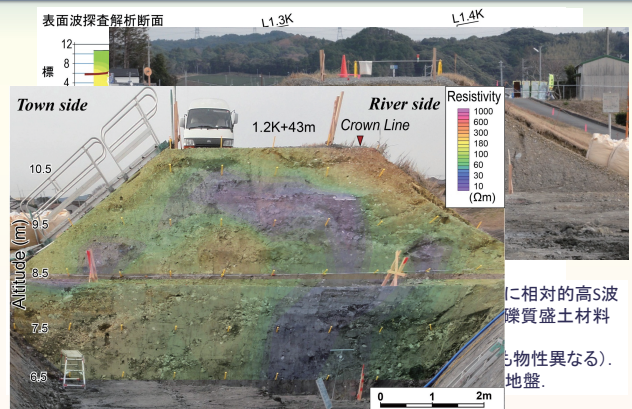
- 新赤土橋左岸橋台新設工事に伴い堤防開削予定
- 探査時点で右岸側地盤改良工事が施工中であり左岸側でも取付け部工事中
- 測線は天端川裏側のリ屑部に設置
- 本測線長約220m
- 補足探査として2種類の比抵抗探査を下流側200m追加実施
- 現地形では平坦な氾濫原
- 現河道は地形面より-1m以上掘込み
- ボーリング調査、基礎杭施工実績から基礎地盤の急変部であることが判明

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in静岡

25

##### 4.1.1 統合物理探査結果

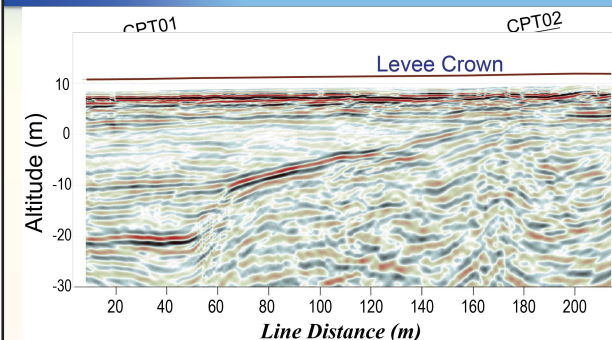


平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in静岡

26

##### 4.1.2 基礎地盤傾斜構造のイメージング結果



- 特殊処理解析にて急傾斜(V10m/H10m)基礎構造をイメージング
- 独自実施CPT/SCPTでも確認
- 橋台設置工事に伴うボーリング調査結果とも整合的
- 地盤改良杭/橋台基礎杭底深さとも概ね調和

平成

27

##### 4.2 開削断面詳細計測検証事例(牧田川江ノ橋樋管)

現地探査時期: 2012年9月24-27日(開削前調査)

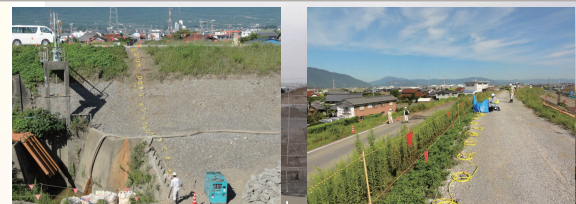
2012年11月15-16日(開削後調査)

探査適用手法: ランドストリーマー表面波探査(開削前縦断)

直流比抵抗探査(開削前縦断・横断)

比抵抗マッピング(開削後開削面)

小間隔表面波探査(開削後開削面)

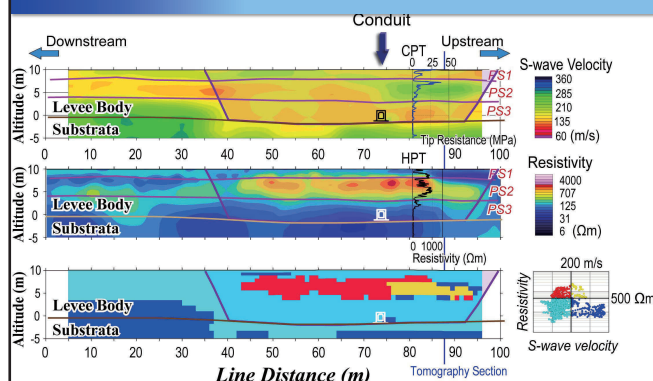


- 樋管開削に先立ち、縦断・横断で詳細統合物理探査実施
- 開削後に開削面で堤体内部構造観察調査、開削面物理探査、構成材料採取試験を実施

平成

28

##### 4.2.1 縦断探査結果概要



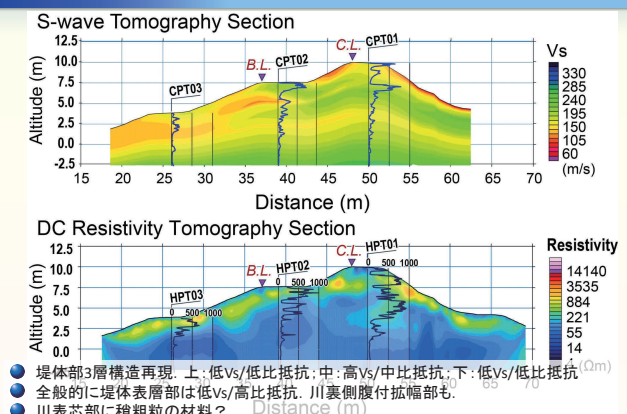
- 堤体部は3層に細分可能。上: 低Vs/低比抵抗; 中: 高Vs/高比抵抗; 下: 低Vs/低比抵抗
- 樋管埋戻し部堤体は特異な構造。異質(低Vs/高比抵抗=緩い砂)材料使用を示唆

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in静岡

29

##### 4.2.2 横断探査結果(トモグラフィほか) 概要



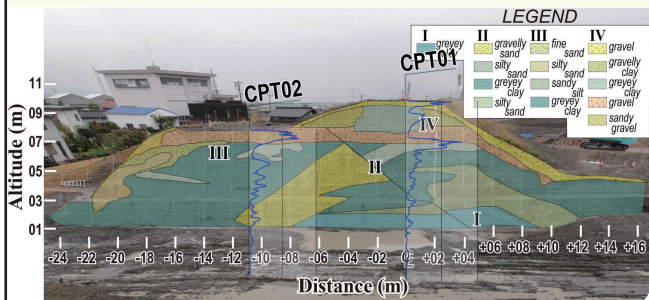
- 堤体部3層構造再現。上: 低Vs/低比抵抗; 中: 高Vs/中比抵抗; 下: 低Vs/低比抵抗
- 全般的に堤体表層部は低Vs/高比抵抗。川裏側腹付拡幅部も
- 川表芯部に稍粗粒の材料?

平成27年11月

30



#### 4.2.3 開削断面調査計測結果概要



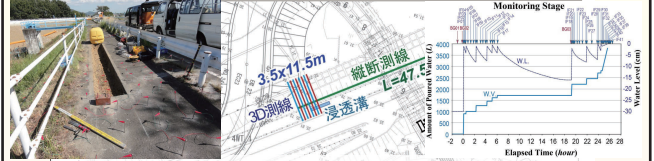
平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

31

#### 4.3 堤体内不飽和浸透モニタリング例(木曾川宮田導水路)

現地調査時期: 2014年10月17-18日(開削前現地調査)  
 探査適用手法: 縦断測線表面波探査(固定展開式)  
 高密度電気探査  
 横断測線S波トモグラフィ探査  
 比抵抗トモグラフィ探査  
 浸透モニタリング(4D比抵抗トモグラフィ探査)



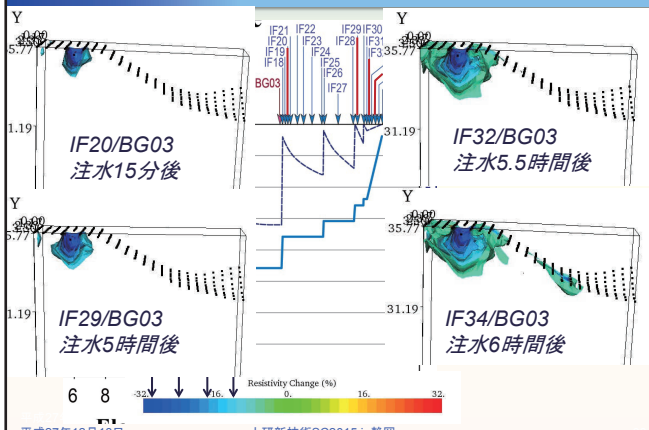
- 木曾川左岸54.6K附近二線堤分岐部宮田導水路横断箇所
- 導水路の通水流量増大のため既存導水路撤去、拡大断面樋管新設
- 既存導水路樋管と交差するように縦断測線設定
- 上流側開削区間端部に横断測線設定
- 下流川表側に浸透溝を開削し、水を断続的に注入して堤体不飽和帯への非定常浸透過程を比抵抗探査でモニタリング

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

32

#### 4.3.1 堤体内不飽和浸透モニタリング結果概要



平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

#### お問い合わせ ほか

##### まずは活用を

- H25 ● 土研独自: 3区間  
● 中部地整連携: 2区間
- H26 ● 土研独自: 2区間  
● 中部地整連携: 2区間
- H27 ● 土研独自: 2区間  
● 北陸地整連携: 1区間

##### 他の開発技術も

- 道路盛土健全度調査: 統合物理探査
- 道路盛土変状調査: 3DGPR+稠密物理探査
- 舗装物性構造調査: 3DGPR+非接触舗装探査
- 軟弱地盤調査: ハイブリッド表面波探査 (支持杭深さ) +PSV変換波探査
- 3D地盤構造評価: 地下空間情報統合CIM

##### 問い合わせ先ほか

地質・地盤研究グループ 物理探査技術担当 特任研究員 (TEL: 029-879-0884)

URL: <http://www.pwri.go.jp/team/geosearch/>

平成27年12月18日

土研新技術SC2015 in 静岡

34

##### 「手引き」本も活用を



● 特別割引実施中!  
 定価2,800円(税込3,024円)のところ、**2,700円(税・送料込み)**で