



土研新技術ショーケース2013 in 仙台

- 河川堤防の特徴と点検調査の課題
 - 防災構造物としての河川堤防の特徴
 - 「安全」検査の視点と方法
 - 不均質性のオーダーと検出の要件
 - 河川堤防における安全点検調査の現況と課題
- 統合物理探査とは
 - 「物理探査」とは
 - 物理探査の種類
 - 河川堤防適用物理探査の要件
 - 河川堤防調査における物理探査の位置づけ
 - 「統合」の意義と目的
 - 河川堤防の統合物理探査構成手法
 - 統合物理探査による弱点箇所抽出・評価の流れ
- 統合物理探査の適用事例
 - 浸透被災堤防調査事例
 - 地震被災堤防調査例
 - 開削部調査例

平成25年11月22日 土研新技術SC in 仙台 2

1. 河川堤防の特徴と点検調査の課題

外見は同様でも中身は...

基礎地盤も変化

近年の嵩上げ部
古い堤防

内部は極めて不均質

平成25年11月22日 土研新技術SC in 仙台 3

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)

● 開削断面の詳細観察によって不均質構造・築堤履歴把握可能。
● 堤体内部には高透水性材料使用。表面からは想定困難。

平成25年11月22日 土研新技術SC in 仙台 4

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(縦断)

(a) 開削前樋管部縦断物理探査結果
(b) 樋管部堤体縦断方向開削断面
(c) 開削面地質観察結果
(d) 開削面縦断物理探査結果

● 開削前比抵抗探査で樋管直上部にのみ高比抵抗砂層分布を把握。
● 開削によって対応砂層(盛土)を確認
● 開削面で比抵抗測定し、整合的な比抵抗構造を確認

平成25年11月22日 土研新技術SC in 仙台 5

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・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

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

平成25年11月22日 土研新技術SC in 仙台 6

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)** → 簡便, 社会インフラ点検にも採用
 - 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** → 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
 - 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)** → 原則非侵襲的検査. 事故調査では侵襲的な場合も e.g. 笹子Tボルト, B787バッテリー
 - 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)

1.2.2 河川堤防の安全性評価の流れ

1. 堤防概略点検 全品(区間)検査(簡易)

- 「浸透に対する安全性の概略点検」(H8)に基づいて相対的に評価
 - ① 堤防および基礎地盤の土質特性 (堤体土質、基礎地盤土質、要注意地形、築堤年次)
 - ② 外力 (平均動水勾配、高水位継続時間)
 - ③ 被災履歴 (浸透による被災の有無)

2. 堤防詳細点検 サンプル検査

- 「河川堤防設計指針」(H19改治水課), 「河川堤防の耐震性能照査指針」(H24)に基づいて実施
- 堤防に求められる機能に応じて設定
 - 耐浸透機能
 - すべり破壊
 - パイピング破壊
 - 耐震機能
 - 二次災害の防止(堤防変形による河川水の流出)
 - 耐侵食機能
 - 直接侵食破壊(表のり面、のり尻表面)
 - 側方侵食破壊(高水敷の侵食・洗堀)

1.2.3 河川堤防の点検の性格付け

「健康」診断の検査項目比較

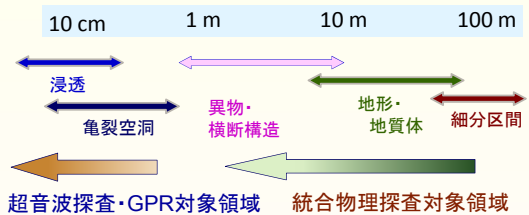
身体

河川堤防

- | | | |
|---|---|--|
| ● 基本測定・問診 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 身長・体重・視力・血圧 ➢ 既往歴・職業(ストレス) ➢ 自覚症状の有無 | ↔ | ● 概略点検 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 堤体・基礎地盤の土質特性 ➢ 外力・被災履歴 ➢ 変状の有無 |
| ● サンプル検査 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 採血・血液検査 ➢ 採尿・尿検査 | ↔ | ● 詳細点検 <ul style="list-style-type: none"> ➢ ボーリング・土質試験 ➢ すべり・パイピング検討 |
| ● 装置診断 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 心電図検査 ➢ 胸部X線検査 | ↔ | ● 点検項目にない! <ul style="list-style-type: none"> ➢ 物理探査 |

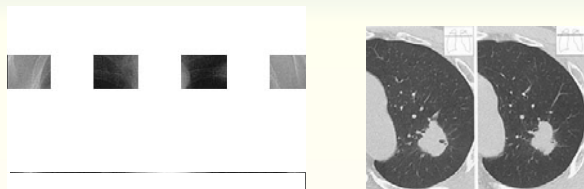
1.3 不均質性のオーダーと検出の要件

不均質構造のオーダー



- 当面は数m程度の不均質構造(異常箇所)の検出を目標
- 将来的には数cmオーダーの亀裂・空洞検出を目標

1.3.1 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

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

- 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細分区間を想定) 縦断100×深度12×2手法=2400; ¥100/1データ

2. 統合物理探査とは

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

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

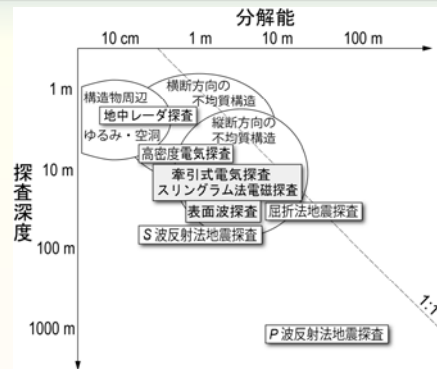
- 河川堤防調査としての各種要件を考慮して手法を選択する必要がある。

平成25年11月22日

土研新技術SC in仙台

13

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25年11月22日

土研新技術SC in仙台

14

2.3 河川堤防適用物理探査の要件

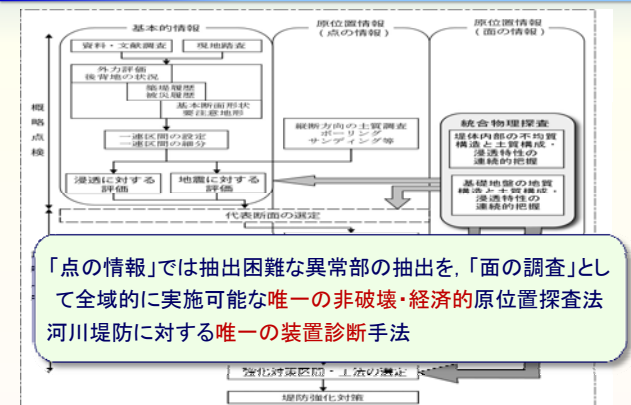
- **安全性**
非破壊あるいは低侵襲性の計測手法であり, 堤防の安全性に影響しないこと。
- **経済性**
低コストで連続的な堤防内部情報を提供できること (凡そ¥100万/km程度)。
- **作業性**
現地計測作業, 計測機器操作が容易で, データ解析処理も簡便であること。
- **探査深度**
堤防内部から基礎地盤まで, 深さ数m~20mの領域を把握できること。
- **異常部検出能**
相対的異常区間(数10m程度)を検出できること。
- **有用性**
堤防の危険度評価に必要な物性情報(特にVs, 比抵抗)を提供できること。
- **非独占性**
普及の前提として技術的ノウハ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25年11月22日

土研新技術SC in仙台

15

2.4 河川堤防調査における物理探査の位置づけ



平成25年11月22日

土研新技術SC in仙台

16

2.5 「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」)

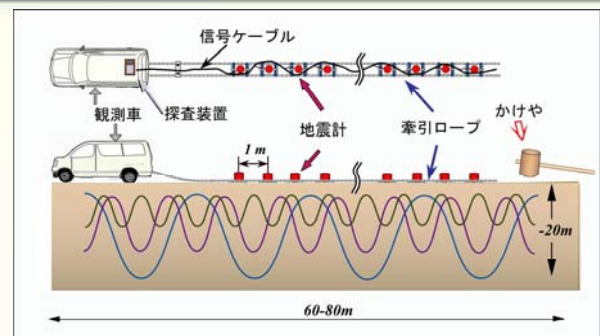
平成25年11月22日

土研新技術SC in仙台

17

2.6 統合物理探査の構成手法

2.6.1 表面波探査



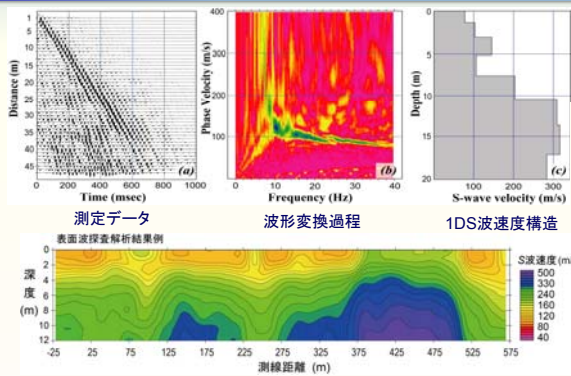
- 波長によって伝播する深さが異なり, 速度も異なるという表面波の分散特性に基づいて地下のS波速度構造を推定する手法

平成25年11月22日

土研新技術SC in仙台

18

2.6.1 表面波探査



■ 1DのS波速度構造に対して空間的な制約条件を加えて2DのS波速度構造断面を作成

平成25年11月22日

土研新技術SC in仙台

19

2.6.1 表面波探査



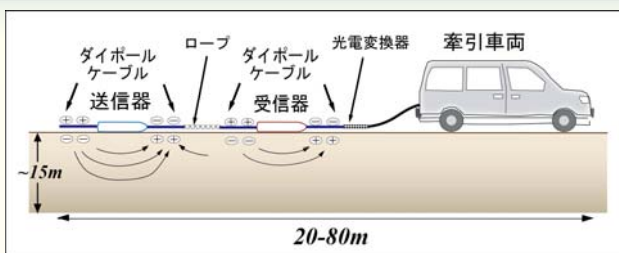
■ 土研で開発した「ランドストリーマー」を順次牽引移動させ、かけ矢起振振動を受振

平成25年11月22日

土研新技術SC in仙台

20

2.6.2 牽引式電気探査



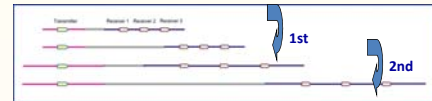
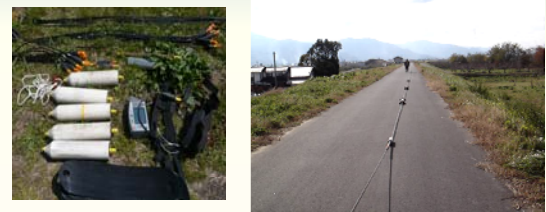
■ 送信部の2つのキャパシター電極に逆の電荷を与えると、地盤との間にコンデンサーが形成され地盤に電流が流れる。これにより受信部側付近の地盤にも電流が流れるので、受信部のキャパシター電極と地盤の間にもコンデンサーが形成され、受信部の2つの電極間に電位差が発生する。この電位差から比抵抗分布を求める。

平成25年11月22日

土研新技術SC in仙台

21

2.6.2 牽引式電気探査



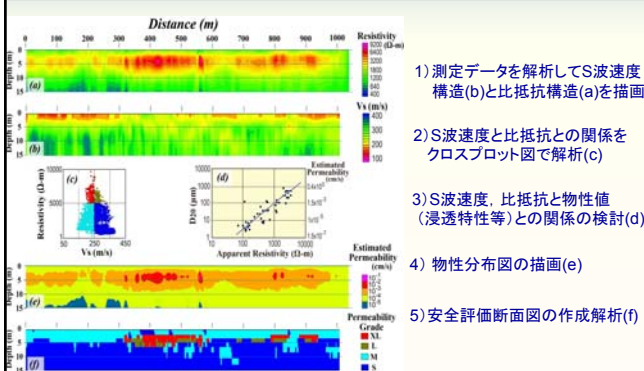
■ ツールを組み立て、車両あるいは人力で牽引してデータを取得する。
■ 電極配置間隔を多数確保するために往復測定が必要だが、2km程度の区間を3人・半日程度で測定可能。

平成25年11月22日

土研新技術SC in仙台

22

2.7 統合物理探査による弱点箇所抽出・評価の流れ



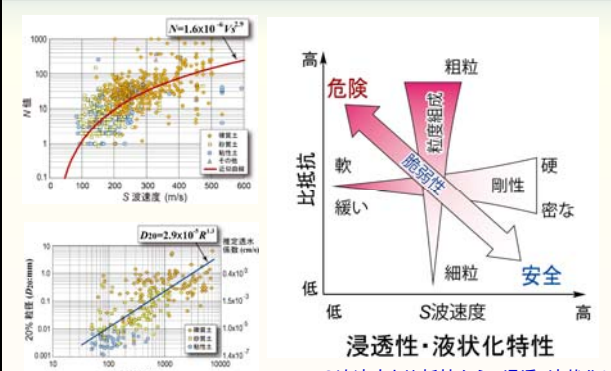
- 1) 測定データを解析してS波速度構造(b)と比抵抗構造(a)を描画
- 2) S波速度と比抵抗との関係をクロスプロット図で解析(c)
- 3) S波速度、比抵抗と物性値(浸透特性等)との関係の検討(d)
- 4) 物性分布図の描画(e)
- 5) 安全評価断面図の作成解析(f)

平成25年11月22日

土研新技術SC in仙台

23

2.7.2 計測物性と土質特性との関係:安全評価の根拠



浸透性・液状化特性

● 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25年11月22日

土研新技術SC in仙台

24

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)

立ヶ花秩苅部 (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。

平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

25

3.1.2 現地での統合物理探査実施概要



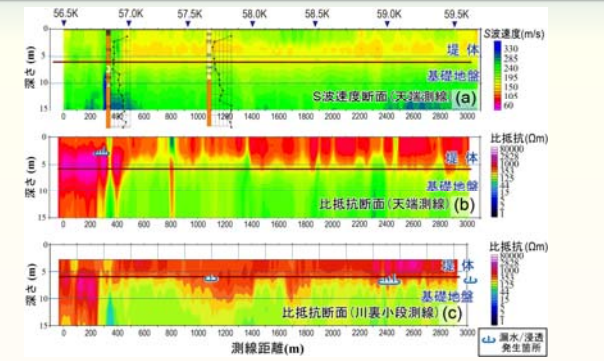
- 天端・川裏小段約3kmで統合物理探査実施。
- 地元相之島は江戸中期からの集落。

平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

26

3.1.3 統合物理探査結果(堤防縦断面)



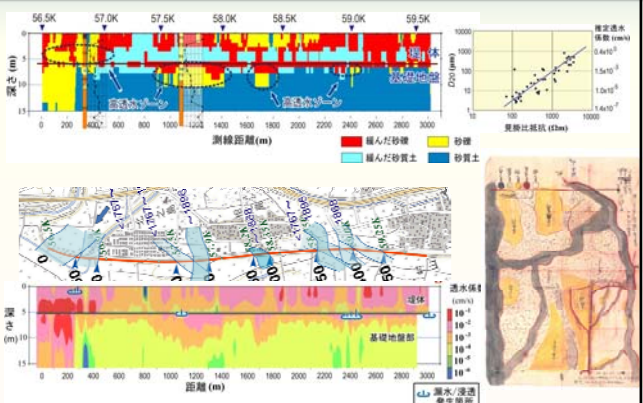
- 堤体部は極めて高比抵抗。基礎地盤も部分的に高比抵抗。
- 堤体のs波速度は2段構造。下半部が低い。

平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

27

3.1.5 統合物理探査結果(基礎地盤の構造)



平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

28

3.2 地震被災堤防調査事例(小貝川左岸35K付近)

3.2.1 地震被害の概要



左岸35K付近60m区間が被災

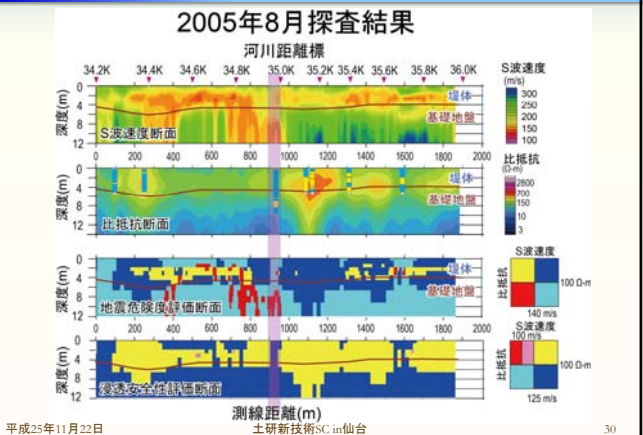
- 被災は川表のり肩から堤内地にかけて発生
- 灌川表のり面では、のり面下部に開口クラック
- 堤防天端、川裏側のり面で開口あるいは落差のある縦断方向のクラックが連続し、のり尻付近ではらみ出し・隆起や噴砂が認められた。
- 堤内地側では旧流路の池に向かって水平変位を生じている。

平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

29

3.2.2 地震前の探査結果



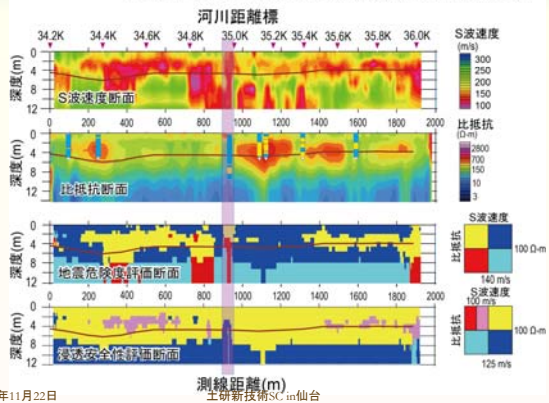
平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

30

3.2.3 地震後の探査結果

2011年7月探査結果(緊急対策後)

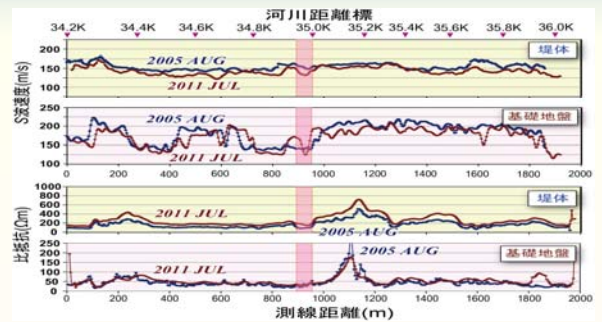


平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

31

3.2.4 地震前後の物性変動



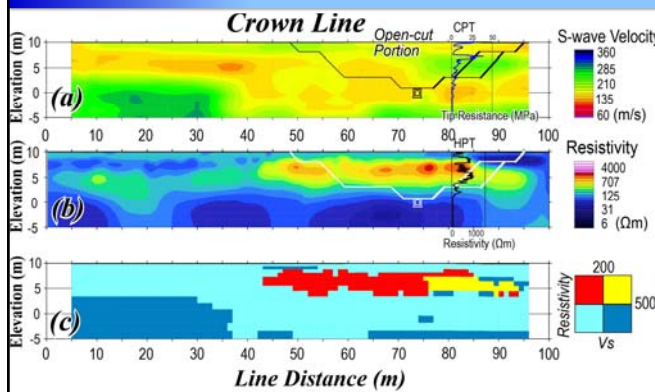
- ▶ 堤体・基礎地盤とも低S波速度・低比抵抗の部分で堤防損壊。
- ▶ 基礎の比抵抗はほとんど変わらず。堤体部や地震後に全般的に高比抵抗に。
- ▶ S波速度140m/s、比抵抗100/60Ωmが脆弱区間抽出の目安となる。
- ▶ 地震後の全般的なS波速度低下は大ひずみ軟化継続を示唆。

平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

32

3.3 堤防開削部調査例-1

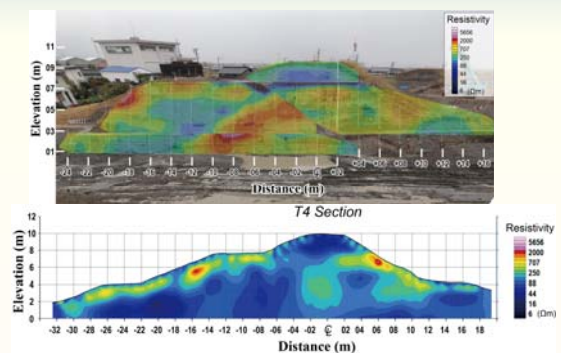


平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

33

3.3 堤防開削部調査例-2



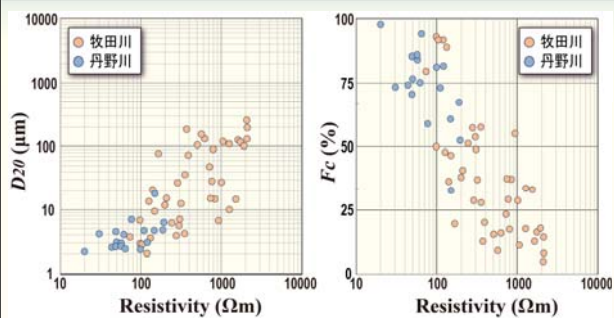
- ▶ 開削面比抵抗マップ(上図)は嵩上げ履歴と調和的。
- ▶ 開削前の横断比抵抗トモグラフィ断面はおおむね整合的。

平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

34

3.4 探査結果解釈・対比(材料特性と比抵抗):浸透性の推定



- 開削面測定比抵抗と粒度特性(D20, Fc)とはよい相関がある。
- 牧田川(養老町)堤防開削部と比べると、丹野川開削面は相対的に低比抵抗かつ細粒材料使用で特徴づけられる。

平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

35

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: 2区間 | ● 地整連携: 2区間 | |

「手引き」を参考に

- 河川管理者・実務者向け
- 2013年3月刊行



平成25年11月22日

土研新技術SC in 仙台

36