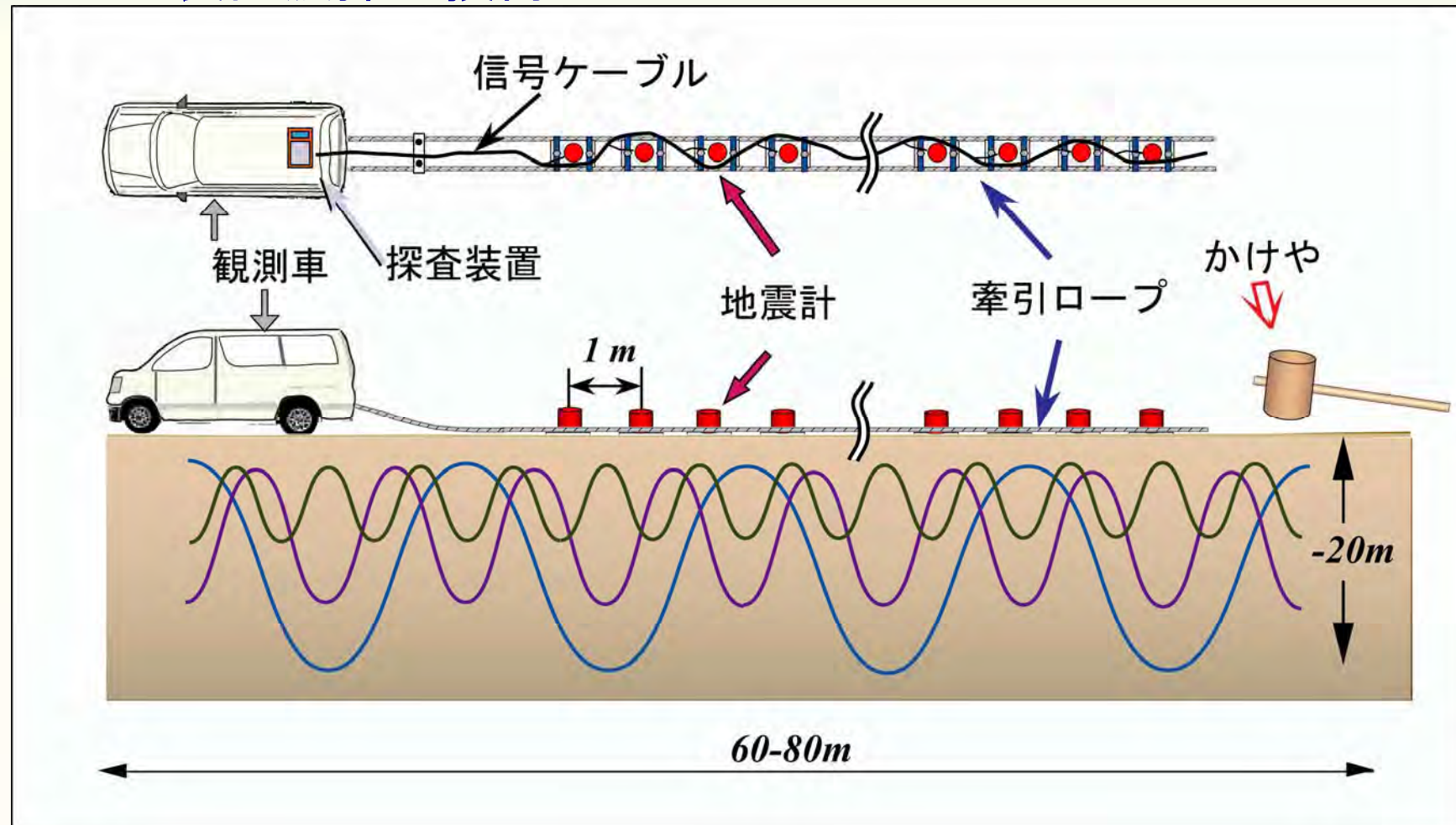


3.6 統合物理探査の特徴と構成技術

3.6.1 表面波探査技術



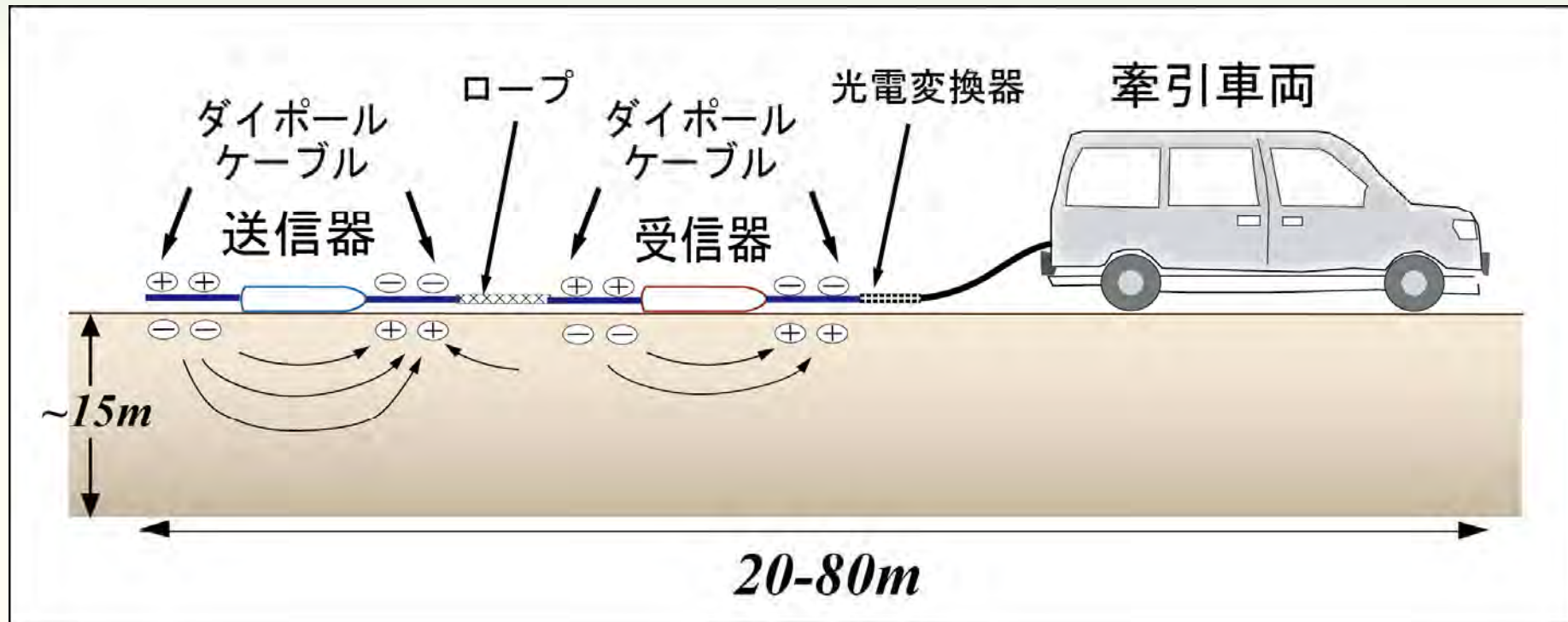
- 波長によって伝播する深さが異なり、速度も異なるという表面波の分散特性に基づいて地下のS波速度構造を推定する手法

3.6.1 表面波探査技術(続き)



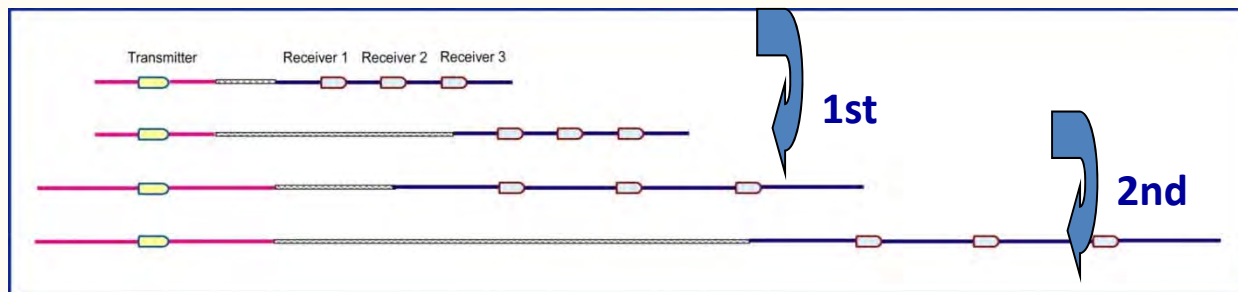
- 土研で開発した「ランドストリーマー」を順次牽引移動させ、
かけ矢で表面を起振した波動を測定

3.6.2 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。

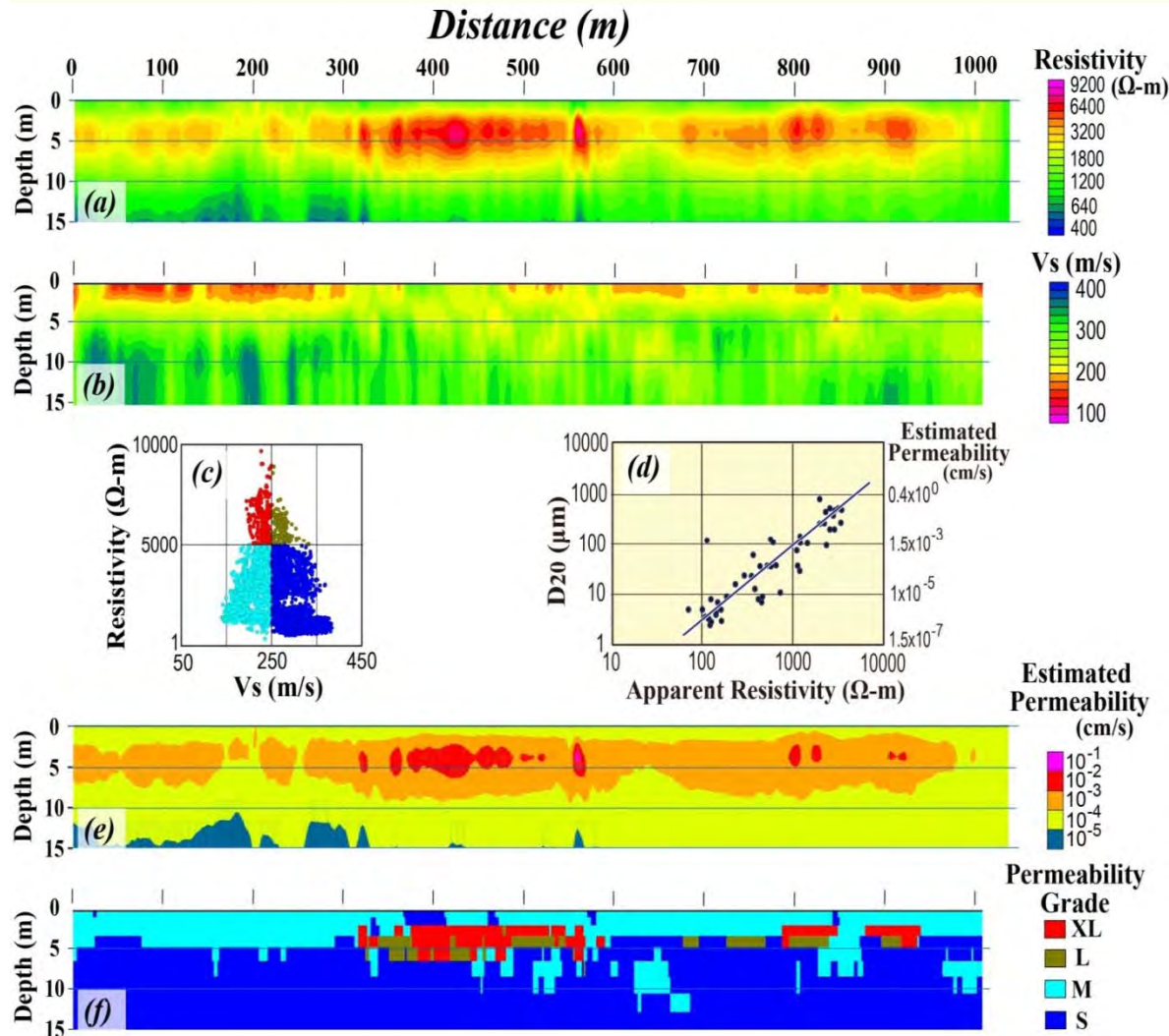
3.6.2 牽引式電気探査(続き)



- 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。

3.7 物性情報の変換と安全性評価

3.7.1 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)

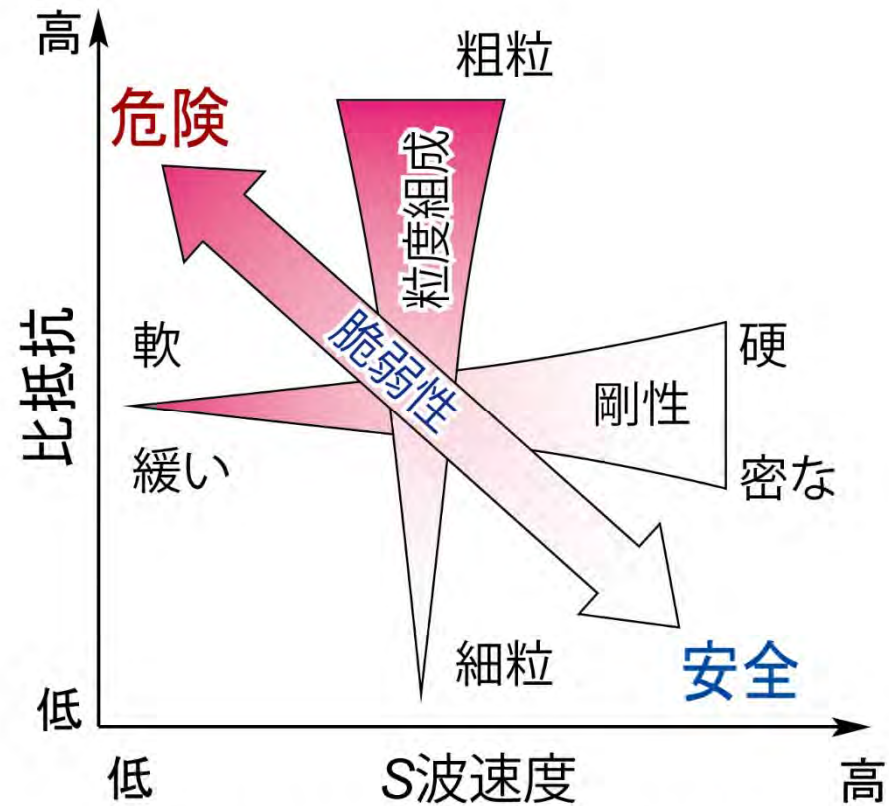
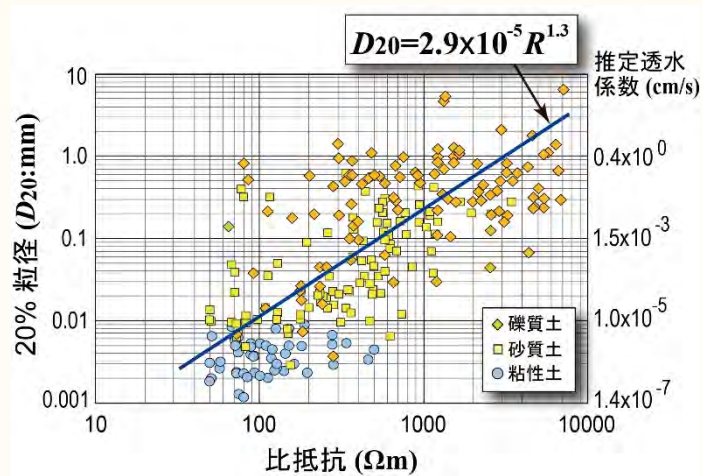
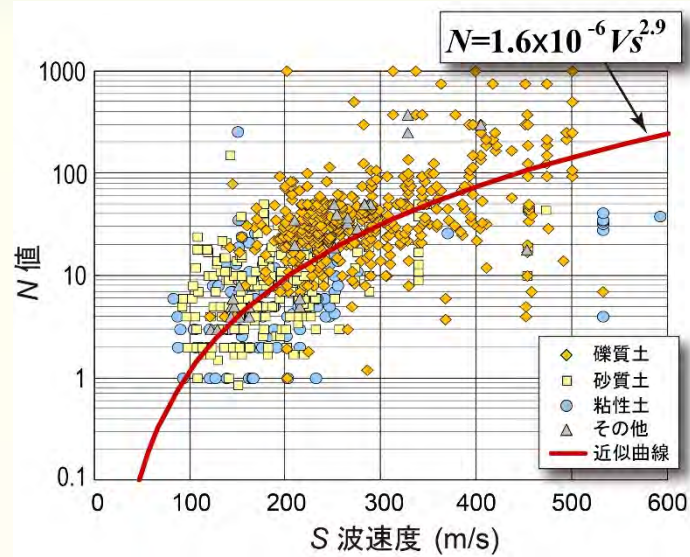
3) S波速度, 比抵抗と物性値(浸透特性等)との関係の検討(d)

4) 物性分布図の描画(e)

5) 安全評価断面図の作成解析(f)

3.7 物性情報の変換と安全性評価

3.7.2 計測物性と土質特性との関係: 安全評価の根拠

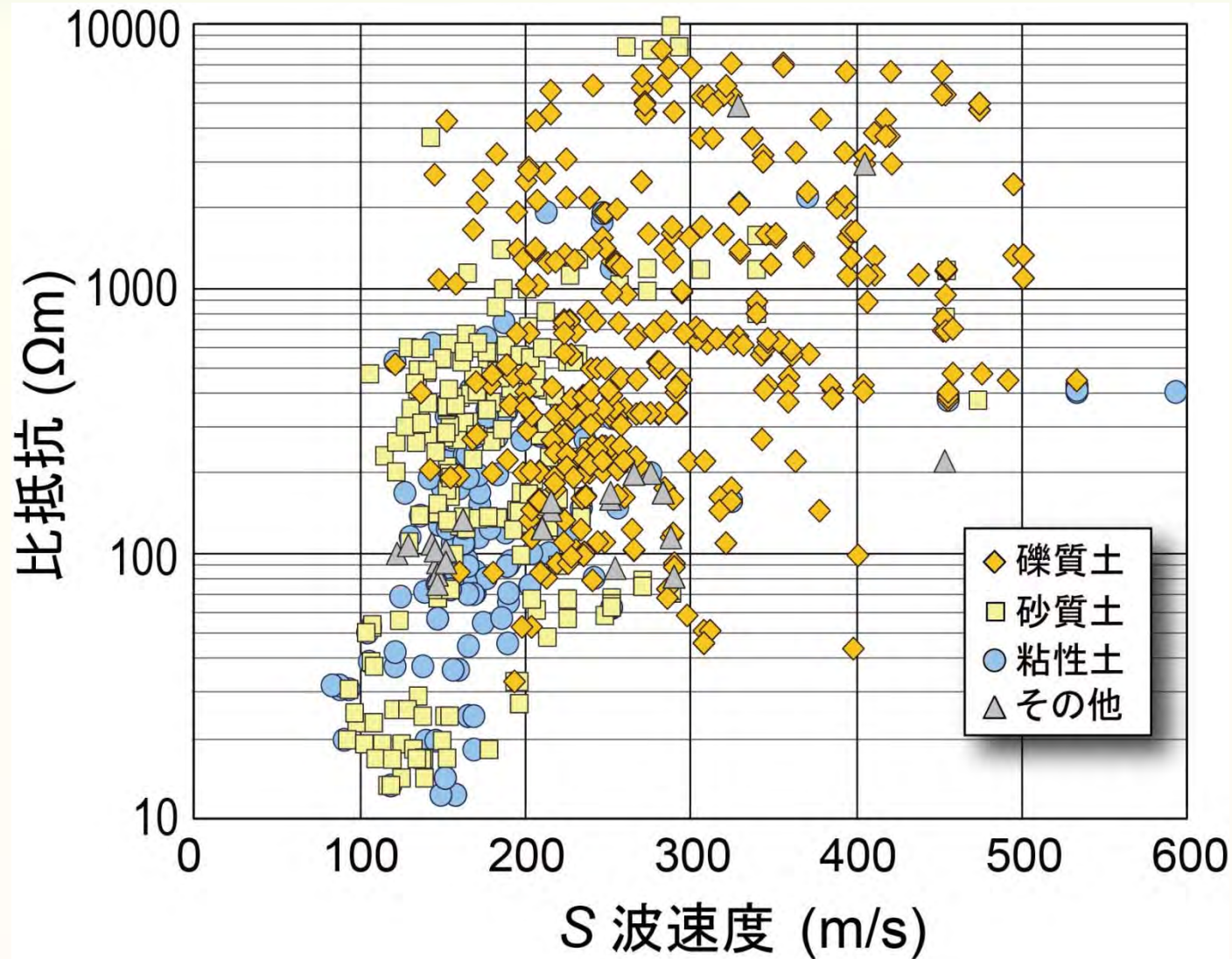


浸透性・液状化特性

- 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

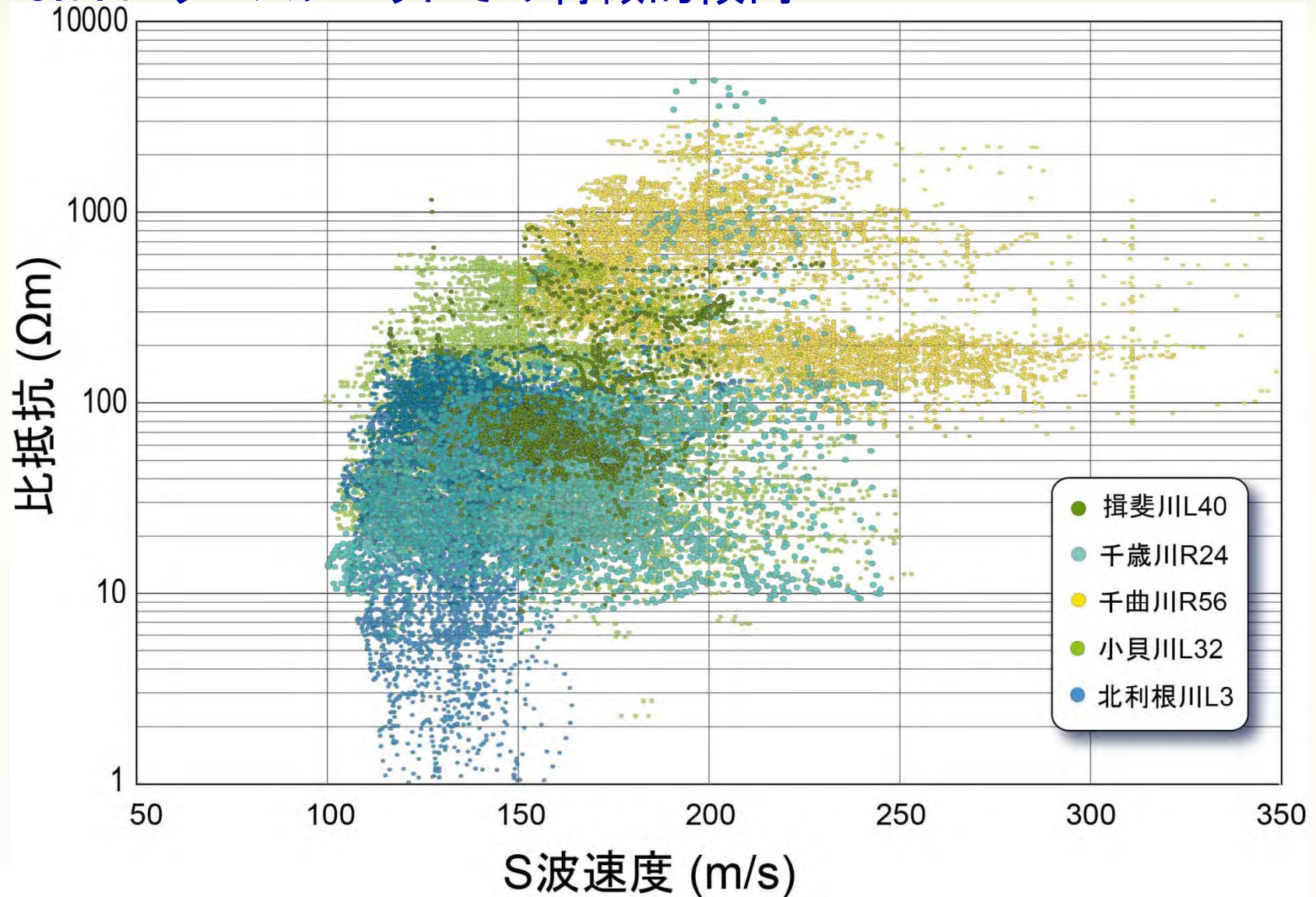
3.7 物性情報の変換と安全性評価

3.7.3 DB化と統計的解析：物理探査物性値と土質特性



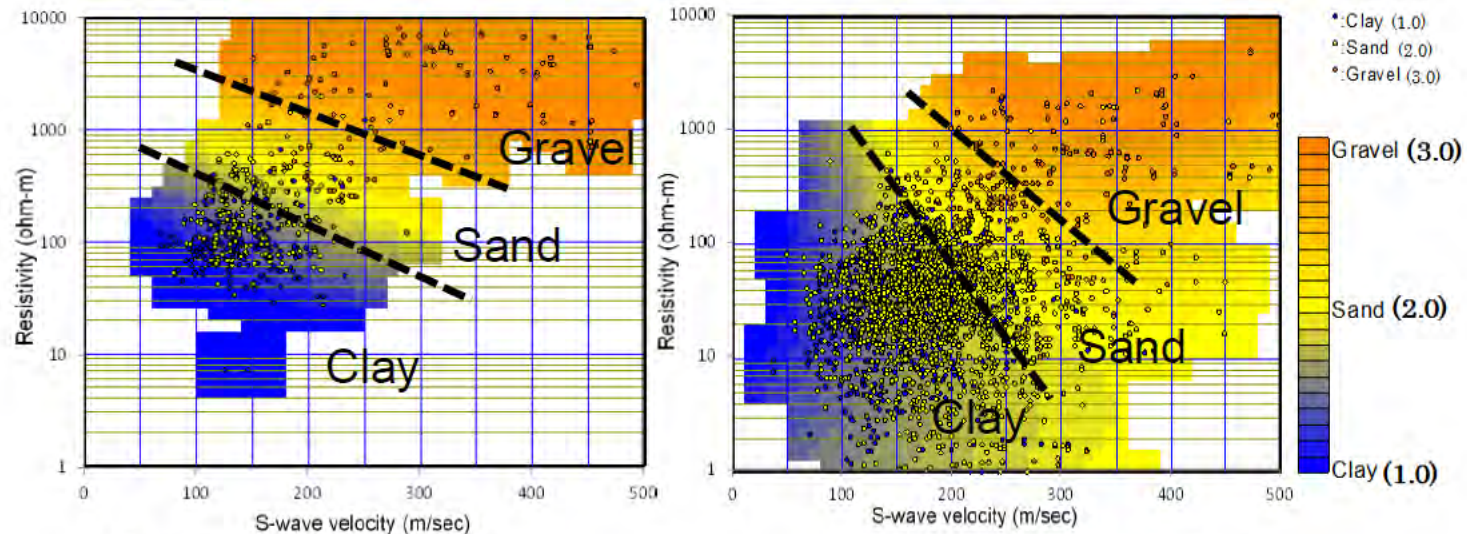
3.7 物性情報の変換と安全性評価

3.7.4 クロスプロットでの特徴的傾向



3.7 物性情報の変換と安全性評価

3.7.5 統計的解析による土質・層相の推定



a) Levee body.

b) Levee foundation.

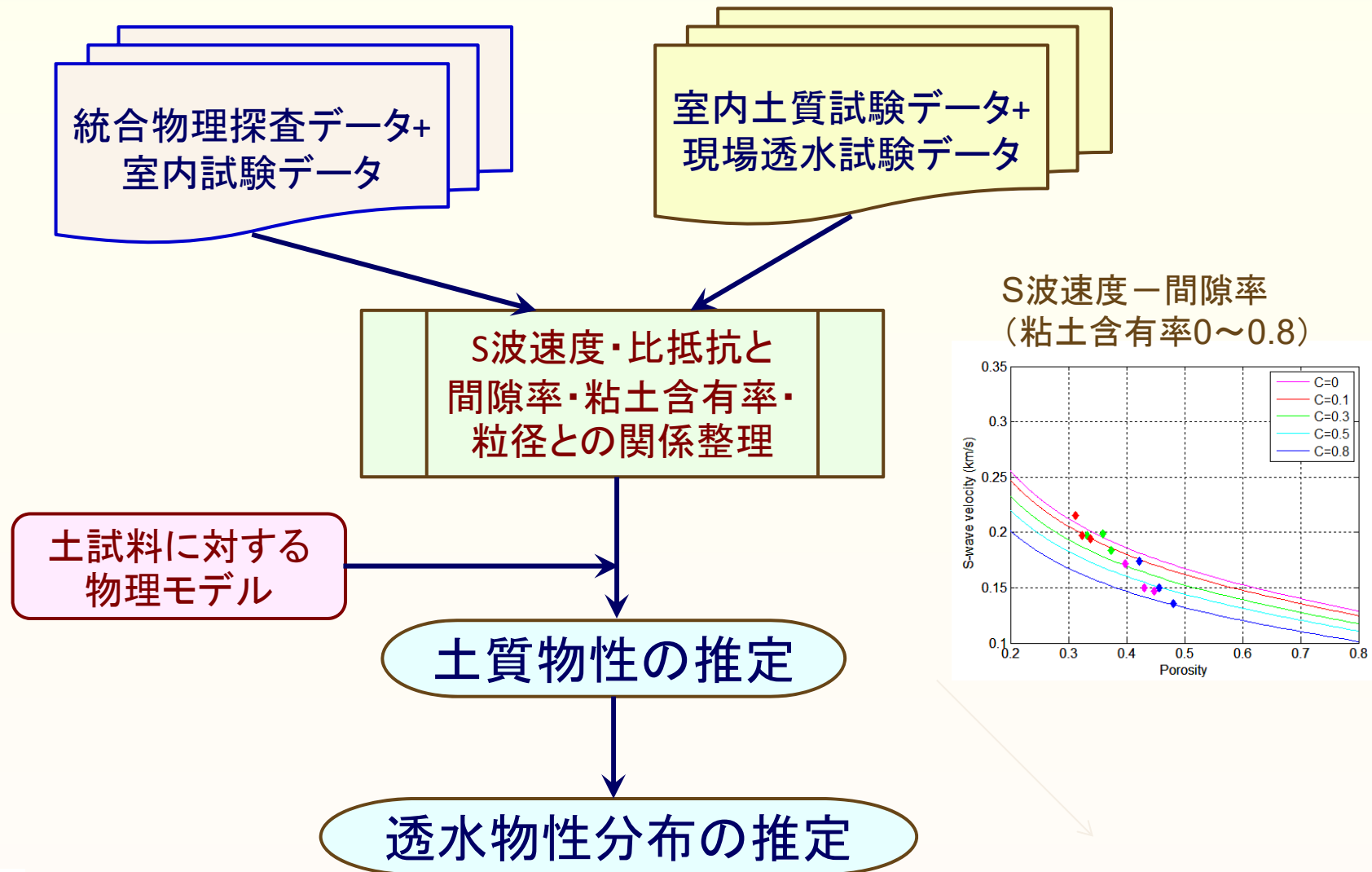
FIG.3. Distribution of soil type in levee body (a) and foundation (b) as the function of S-wave velocity and resistivity.

(Hayashi, et al., 2015)

- S波速度・比抵抗値と同一箇所で行われた土質試験データとの関係を多変量解析によって推定.
- S波速度・比抵抗値から土質(粘土/砂/礫)を定量的に推定

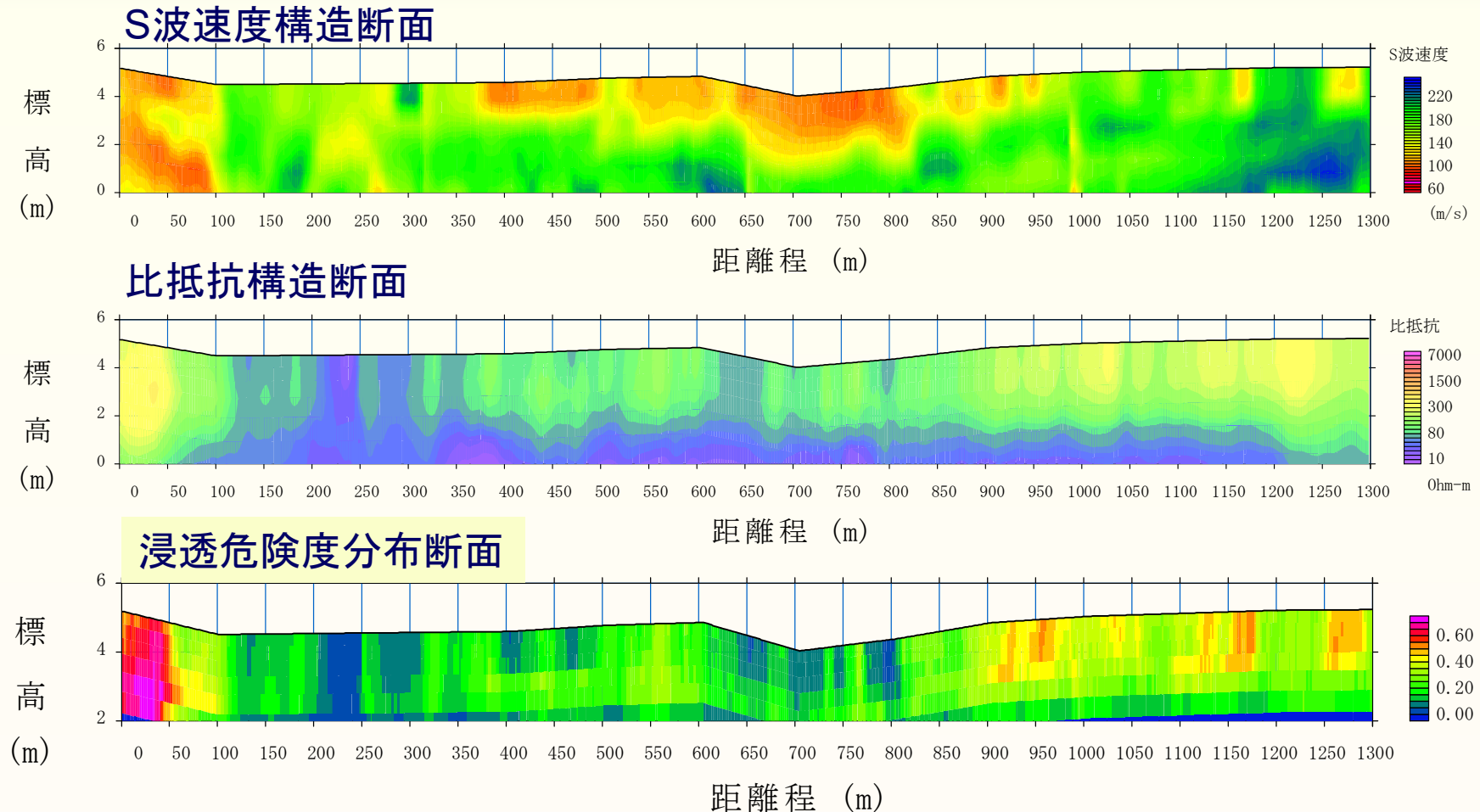
3.7 物性情報の変換と安全性評価

3.7.6 物理モデルに基づく透水特性の推定-1



3.7 物性情報の変換と安全性評価

3.7.6 物理モデルに基づく浸透危険度の推定-2



$$\text{浸透危険度} = (1 - \text{推定粘土含有率})^2 \times \text{推定間隙率}$$

(小西, 2016)

3.7 物性情報の変換と安全性評価

3.7.7 統合物理探査による河川堤防の安全性評価：まとめ

連続的物性断面の提供

- 統合物理探査は河川堤防の縦横断方向の連続的物性断面を提供することが可能な唯一の現地調査手法である。
- 統合物理探査が提供する連続物性断面から河川堤防の弱点箇所を特定することができる。

経済的・高信頼手法

- 統合物理探査は河川堤防の縦横断方向の連続的物性断面を経済的かつ高信頼度で提供することが可能な唯一の現地調査手法である。

長期モニタリング

- 繰返し測定によって地震、豪雨・出水等による損傷部位を特定可能である。

安全性評価指標の推定

- 統合物理探査結果から河川堤防の浸透に対する安全性を定量的かつ連続的に断面情報として推定することができる。

4. 新技術適用例紹介

- 4.1 電磁探査ツール(GEM-2)を用いた3D比抵抗マッピング
- 4.2 開削面での比抵抗・S波速度の直接稠密測定
- 4.3 CPT/HPT/SCPTによる比較検証データ取得
- 4.4 SV反射法(表面波探査データの多相解析法)による地盤急変構造確認
- 4.5 ハイブリッド表面波探査法
- 4.6 高速電気探査システムによる堤体内不飽和浸透過程のモニタリング
- 4.7 稠密GPR等による基盤漏水原因被覆土層厚不均質分布の3Dマッピング
- 4.8 受動的表面波Time Lapseモニタリングによる降雨時雨水浸透域・のり表層すべり危険箇所の検出
- 4.9 降雨時の基盤浸透モニタリング

4.6 堤体内不飽和浸透過程のモニタリング-1

現地探査時期：2014年10月17-18日（開削前現地調査）

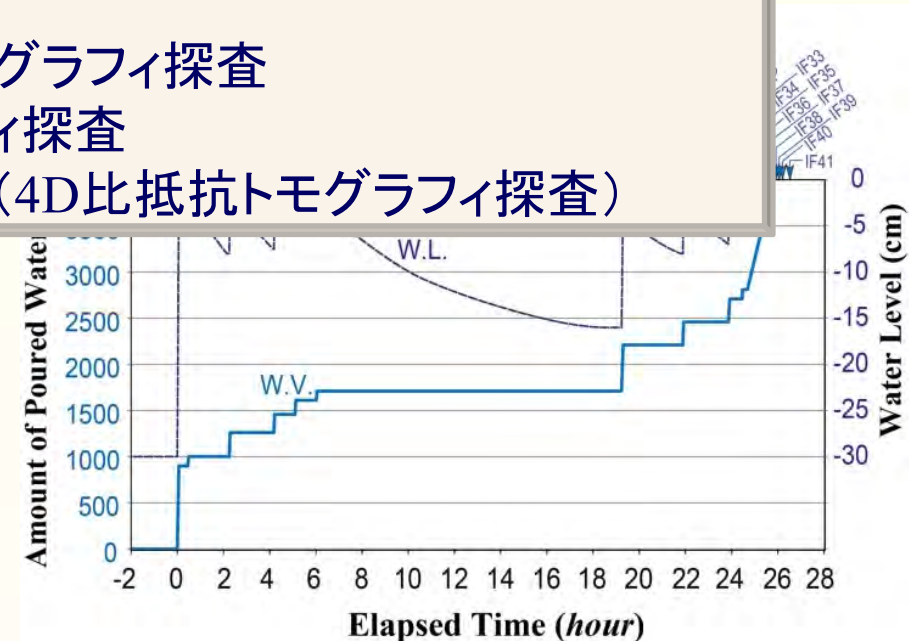
探査適用手法： 縦断測線表面波探査（固定展開式）

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

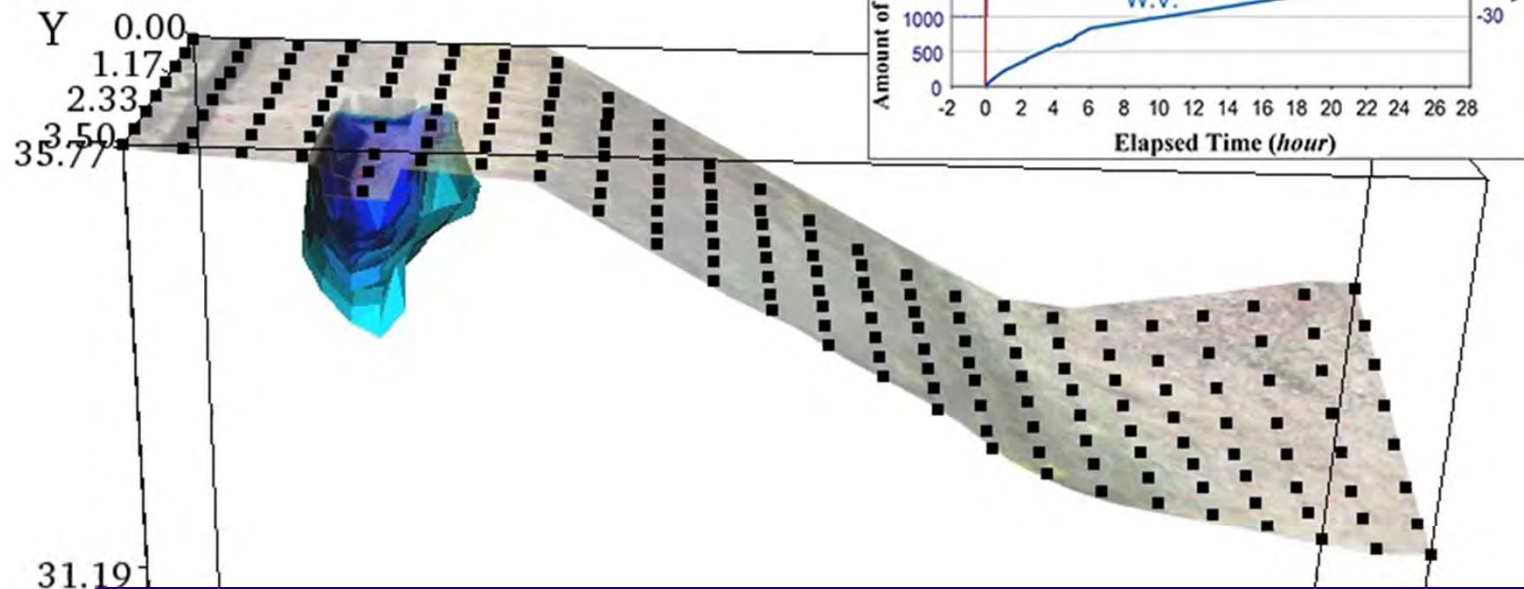
浸透モニタリング（4D比抵抗トモグラフィ探査）



- 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

4.6 堤体内不飽和浸透過程のモニタリング-2

— 堤防浸透 3D Time Lapse
比抵抗モニタリング —



- 浸潤体は収縮しながらも緩やかに拡大
- 円筒状/半球状ではなく選択方位性・層境界に沿って進展

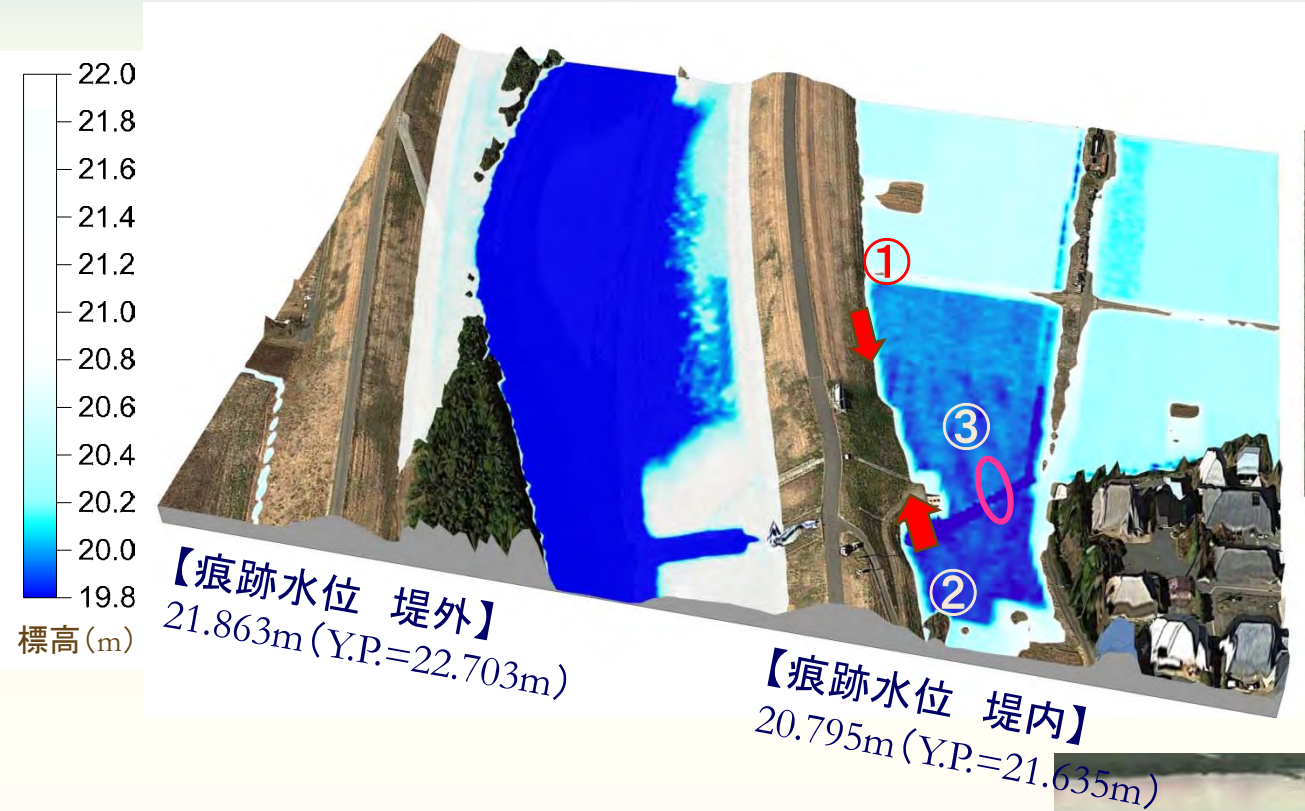
4.7 基盤漏水原因不均質構造の3Dマッピング-1

現地探査時期： 2014年10月16日(漏水被害調査)
2014年11月25-27日(稠密GPR探査)
2014年12月17-18日(統合物理探査)

探査適用手法：
稠密GPR
高密度電気探査
高密度表面波探査



4.7 基盤漏水原因不均質構造の3Dマッピング-2



① 月の輪



② 痕跡水位 (10/7)



③ (0)

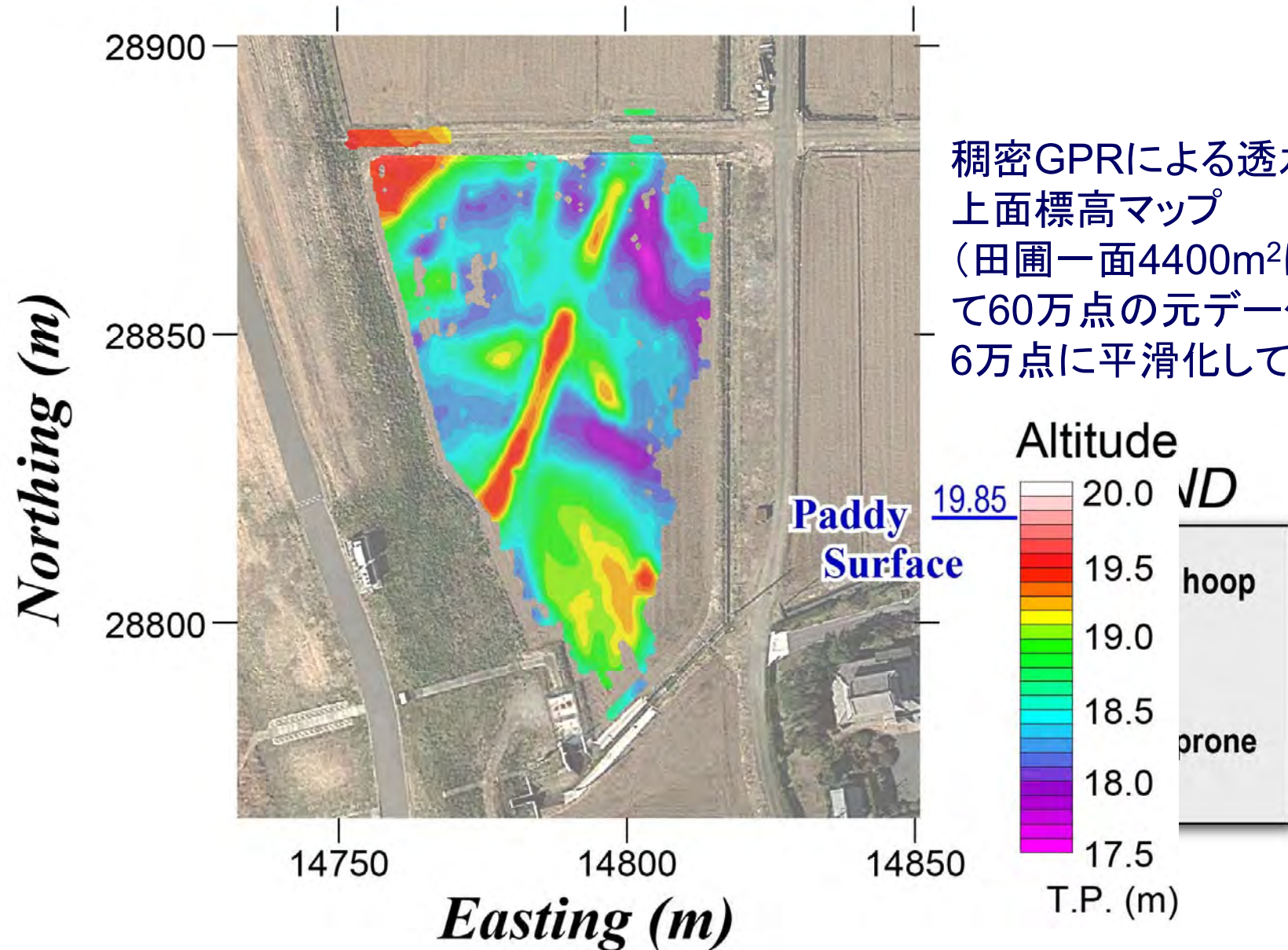
漏水湧出卓越範囲 (10/6の日没直前の監視カメラ画像)

土研新技術S(関東地方整備局WEB公開資料)

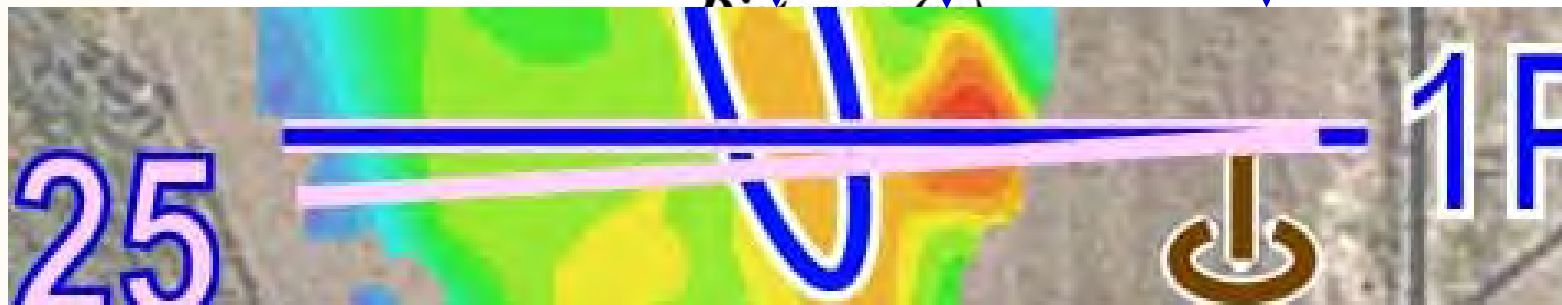
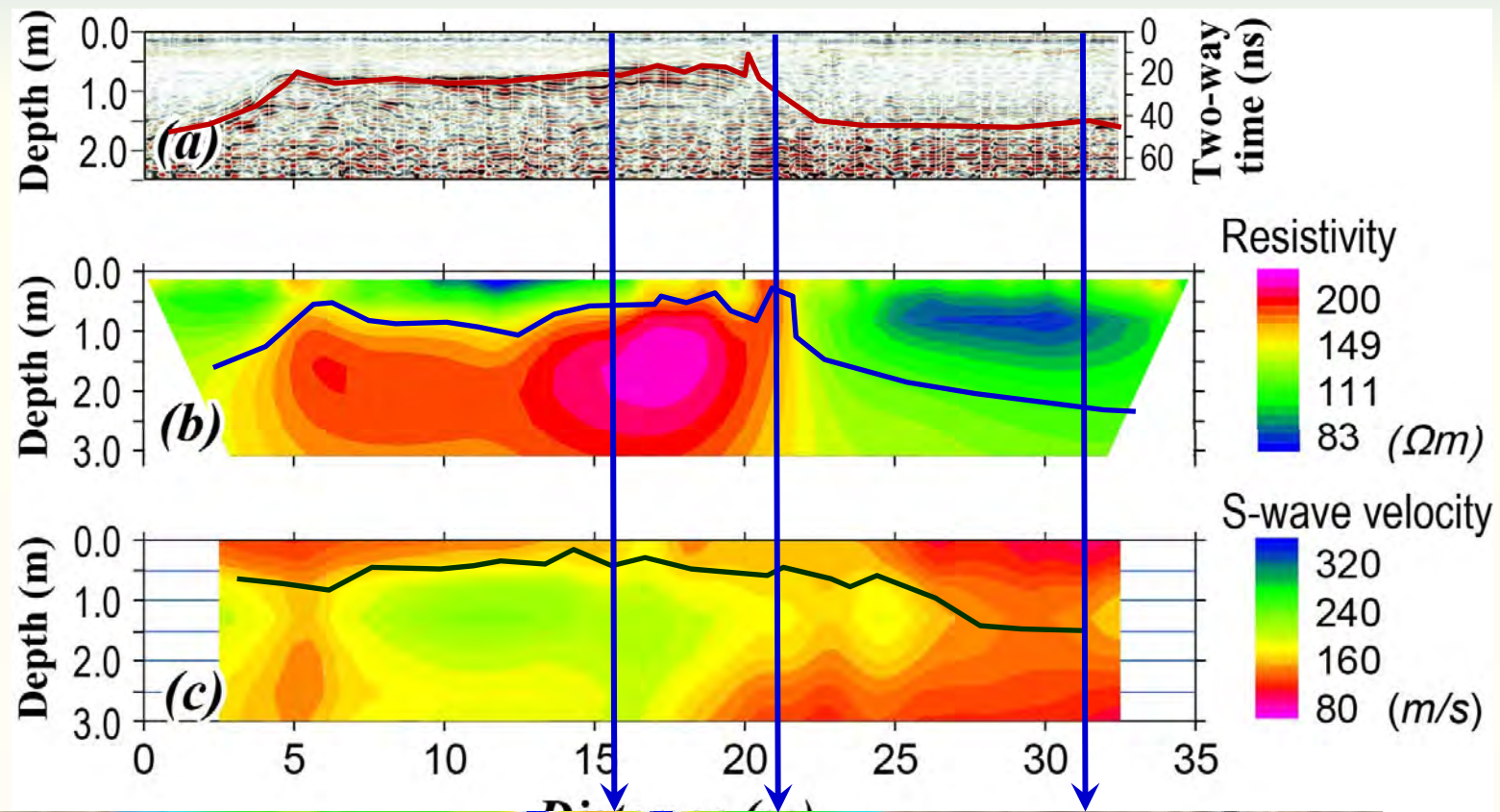


2018/06/14

4.7 基盤漏水原因不均質構造の3Dマッピング-3

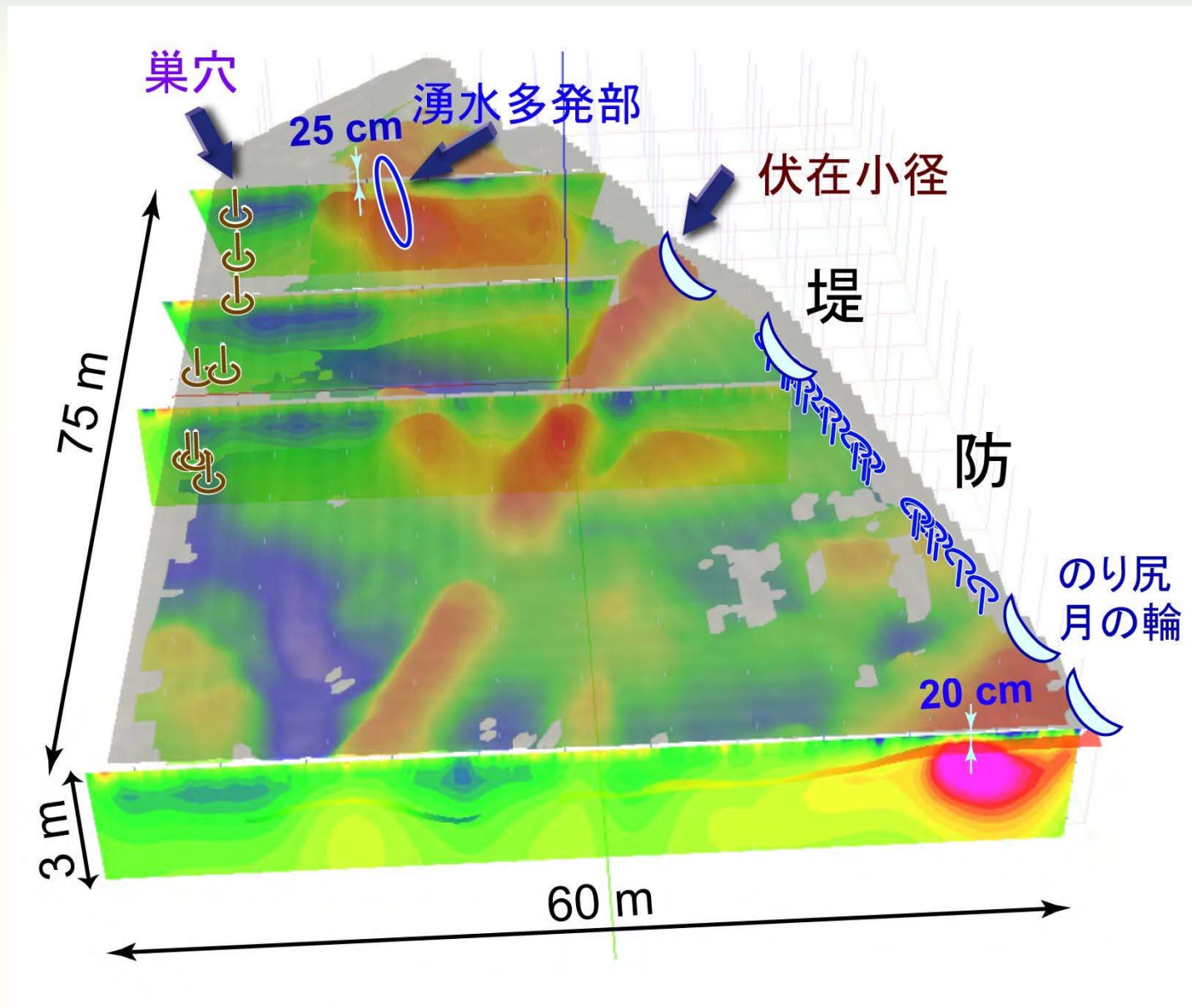


4.7 基盤漏水原因不均質構造の3Dマッピング-4

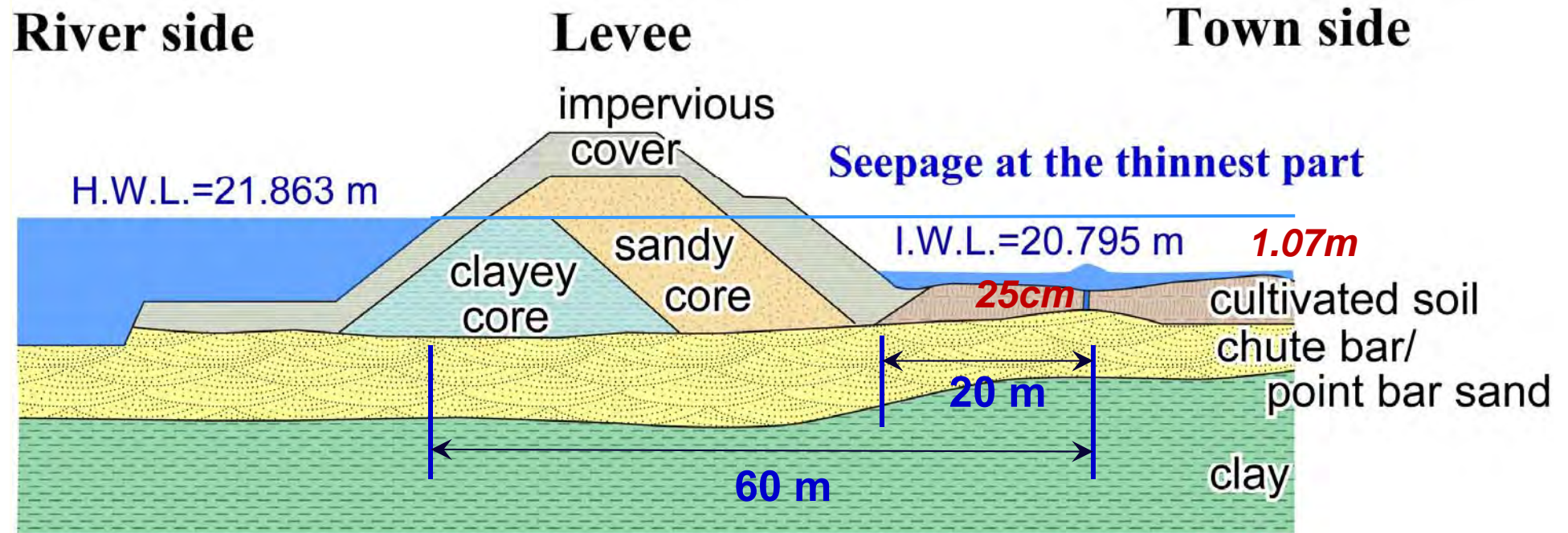


● 浅所に高比抵抗・高S波速度体伏在。GPR断面と整合的。

4.7 基盤漏水原因不均質構造の3Dマッピング-5



4.7 基盤漏水原因不均質構造の3Dマッピング-6



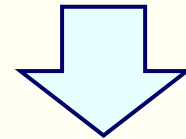
$$G/W (Fs) \approx 0.65 \text{ (OUT)}$$

- 水頭差が高々1.07m, 浸透経路長が60mに達するも被覆土層厚が25cmしかなく $G/W=0.65$ でOUT.
- 面的GPR探査+高密度統合物理探査によって最大脆弱箇所を特定できた.
- パイピング・盤ぶくれ解析には詳細・高信頼地盤調査が不可欠!

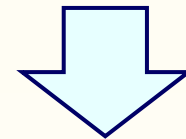
4.9 降雨浸透時の堤体内・基盤浸透過程モニタリング-1

堤体・基礎地盤の物性

- 堤防・基礎地盤の物性(浸透特性)は不変ではなく、時間的に変動する.
- 応答は負荷のパターン(e.g. ハイドログラフ, 降雨)にも影響を受ける.

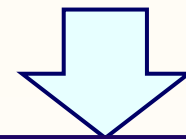


- 極限状態 (Critical state)を想定して安全性を照査する必要がある.



- 様々な極限状態 における実堤防・地盤の応答をモニタリングする.

モニタリング計測手法の開発

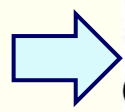


- 堤防・基礎地盤の比抵抗とS波速度の変動を長期にわたってモニタリングする自動計測システムの開発

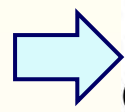
4.9 降雨浸透時の堤体内・基盤浸透過程モニタリング-2

比抵抗タイムラプスモニタリング技術

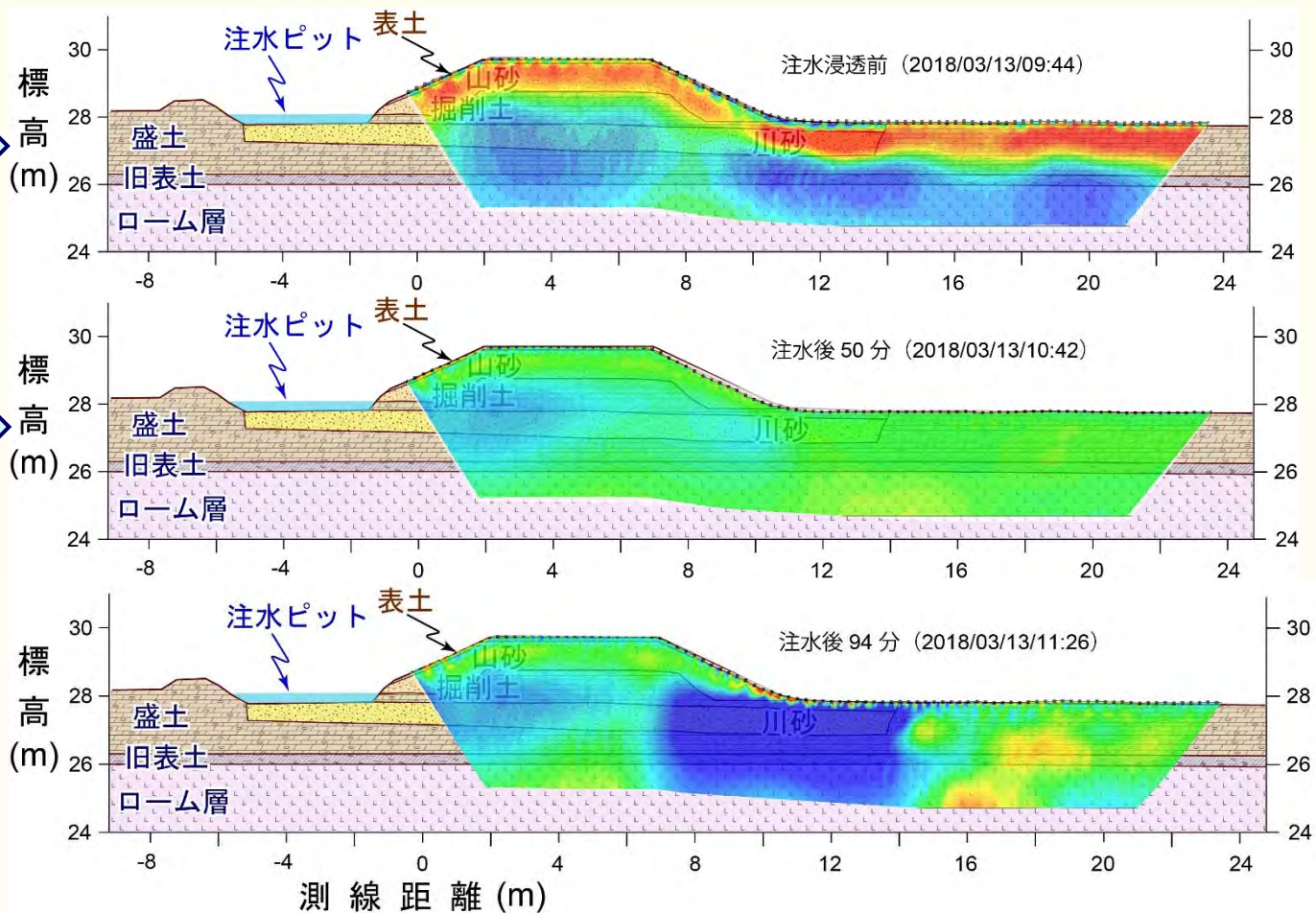
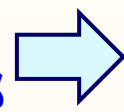
堤防下に川砂
高透水層を構築.
埋戻して1年養生.



左側のピットから
10立米を注水.
堤防下部に徐々に浸透.



短時間で川裏側
に達し, 行止り部
で滞水し地表に
湧出.



- 上: 注水前初期の比抵抗構造
- 中: 注水開始後50分時点での比抵抗変化断面
- 下: 注水開始後94分時点での比抵抗変化断面



まとめ：河川堤防の統合物理探査とその展開

- 堤防システムの複雑性・不均質性と連続的探査の重要性への理解.
- 堤防統合物理探査技術の存在と役割への理解.
- 地盤，堤防の成り立ちと劣化，負荷の増大を前提とした維持管理の重要性の理解.
- 土工構造物の空間的把握の重要性の理解.

機械的断面設定と非現実的断面モデルに基づく浸透流解析には限界がある.

まずは活用を！

- ★ 河川堤防健全度調査
- ★ 樋門樋管周辺調査
- ★ 道路盛土変状調査
- ★ 補強土壁背面空洞把握
- ★ 高速道路盛土動的
安全性調査

問い合わせ先

- 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
(TEL: 029-879-0884)
URL: <http://www.pwri.go.jp/team/geosearch>
- 寒地土木研究所 寒地技術研究室
(TEL: 011-590-4046)
- 土木研究所つくば中央研究所 技術推進本部
(TEL: 029-879-6800)