

第33回水工学オンライン連続講演会

河川堤防における物理探査

2025年10月27日（月） 17：00～18：45

公益財団法人 深田地質研究所
鈴木敬一

目次

- はじめに～物理探査とは
- 物理探査手法と適用事例
- 河川堤防における物理探査
- 港湾構造物における物理探査
- 統合物理探査による河川堤防内部構造評価
- 岩石物理学によるアプローチ
- 最新の研究成果

はじめに

物理探査の手法と適用事例については、
右の書籍の内容をかいつまんで説明

物理探査学会編著



物理探査とは

見えない地下



空(宇宙空間):遠くまで見える。

アンドロメダ星雲 :220万光年

太陽:1億5千万km, 月:38万km

地下:地表下1cmも見えない。

見える:我々の眼が、光(電磁波)により
刺激を受けること



埋蔵金:見えない地下に
お金を隠した。

健康診断との比較

人体

- 測定・問診
 - 身長、体重、視力、血圧、...
 - 既往病歴、自覚症状、...
- サンプル検査
 - 採血検査
 - 採尿検査
- 装置診断
 - 胸部・胃部X線、X線CT
 - 超音波
 - 電気抵抗による体脂肪率検査
 - MRI

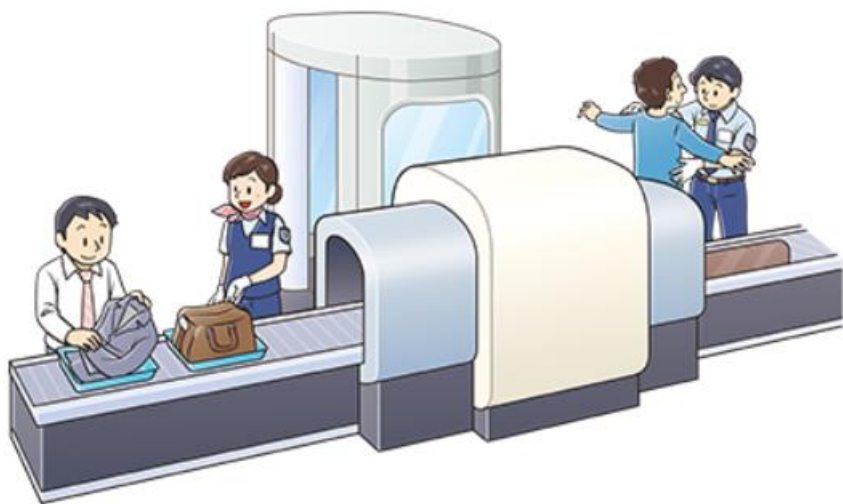
地下

- 測定・問診
 - 測量
 - 目視調査、聞き取り調査
- サンプル検査
 - ボーリング調査
 - 土質試験
- 装置診断
 - 物理探査
地震波、電気抵抗、電波
放射線、重力、磁気

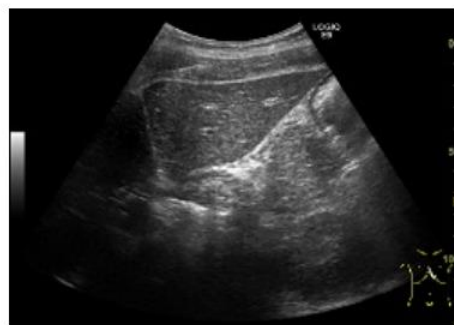
見えないところを診る

診断：何らかの異常を判断する

鞆の中を調べる
＝飛行場での保安検査



体の中を調べる＝健康診断：病気かどうか判断する
超音波検査

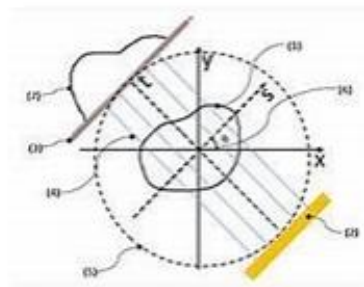


正常肝



脂肪肝

CT（コンピュータトモグラフィ）画像



物理探査とは： 物理現象（法則）を利用して地下を診る技術

主な物理現象

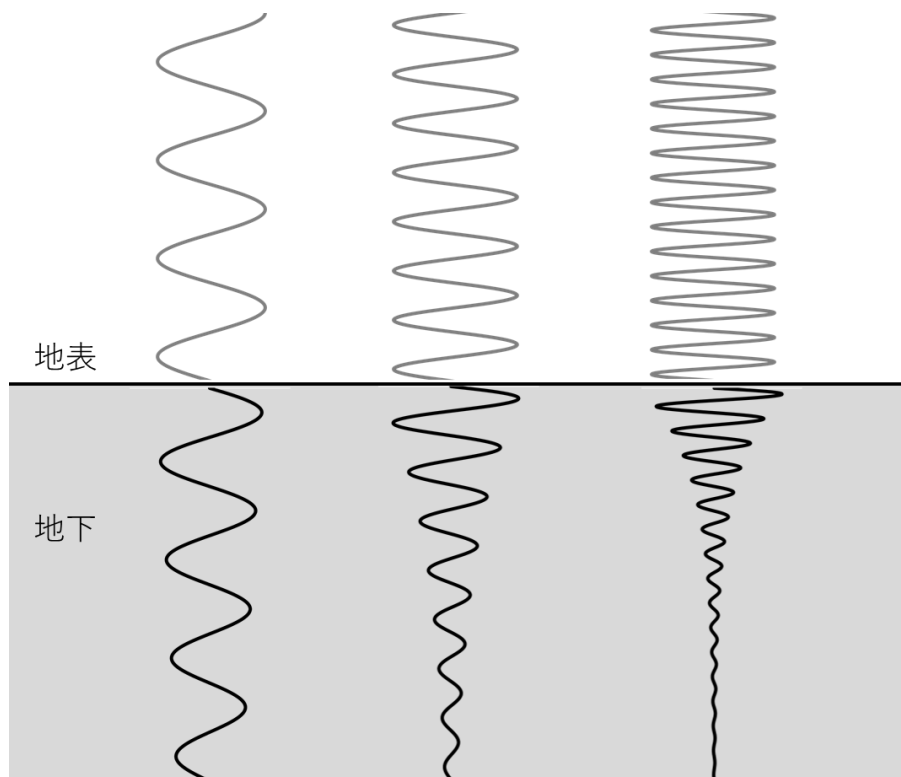
- 重力
- 地磁気
- 地震波伝播
- 電気伝導
- 電磁誘導
-

物理探査学会編(2022)

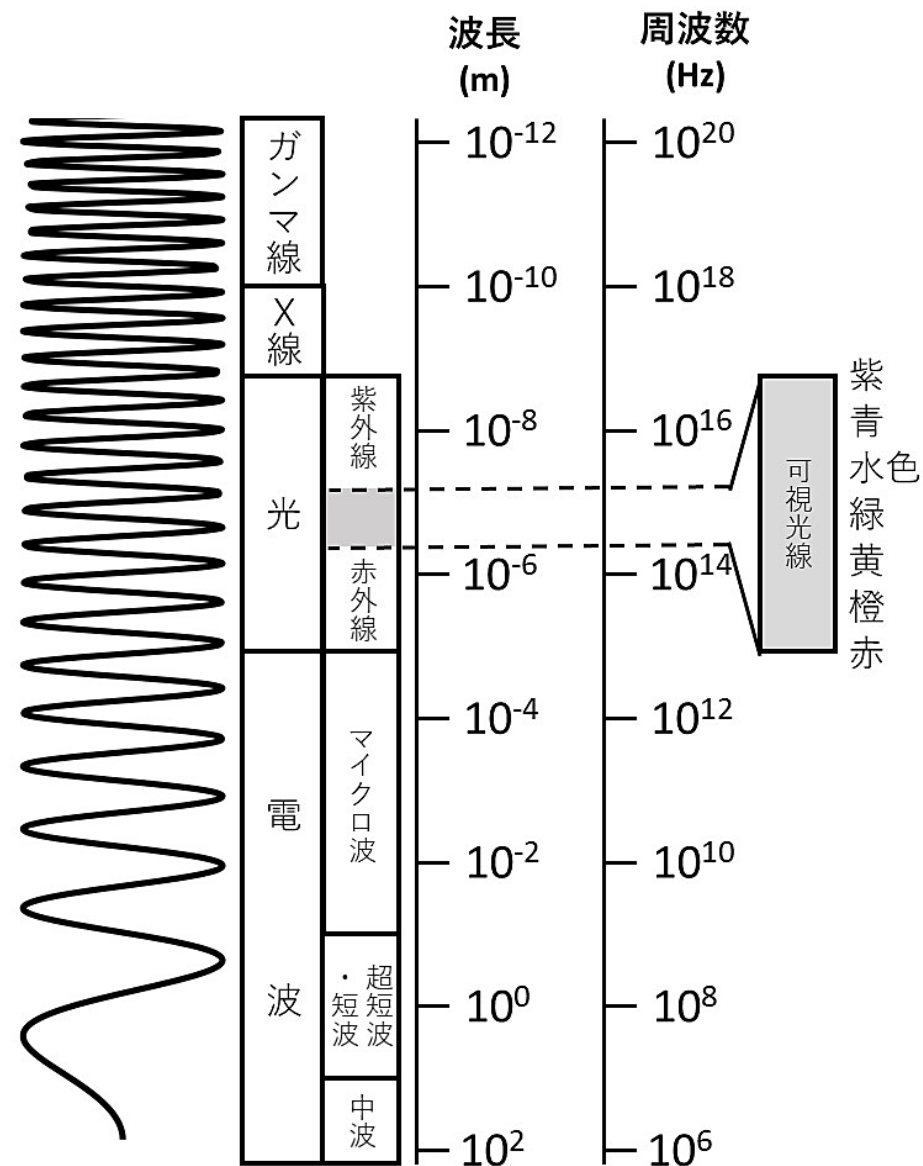
利用する物理現象	物理探査法		検出対象
	受動的方法	能動的方法	
地震波	地震探査		地震波速度
	微動探査 自然地震探査	屈折法探査 表面波探査	
	—	反射法探査	地震波速度の差
重力	重力探査	—	密度
磁気	磁気探査	—	磁化率
電流	電気探査		比抵抗 充電率
	自然電位法探査	比抵抗法探査 強制分極法探査	
電磁波 (電磁誘導)	電磁探査		比抵抗
	MT法探査 VLF法探査	CSAMT法探査法 ループ・ループ法探査 TEM法探査	
電磁波 (反射)	—	地中レーダ	誘電率の差
光学的性質	リモートセンシング		電磁波の反射率・吸収率 温度
	可視光センサ 赤外線センサ 遠赤外線熱映像法	マイクロ波センサ 合成開口レーダ	
放射能	放射能探査	—	γ線強度

なぜ地下を診ることができるのか

・なぜ地下は見えないのか？



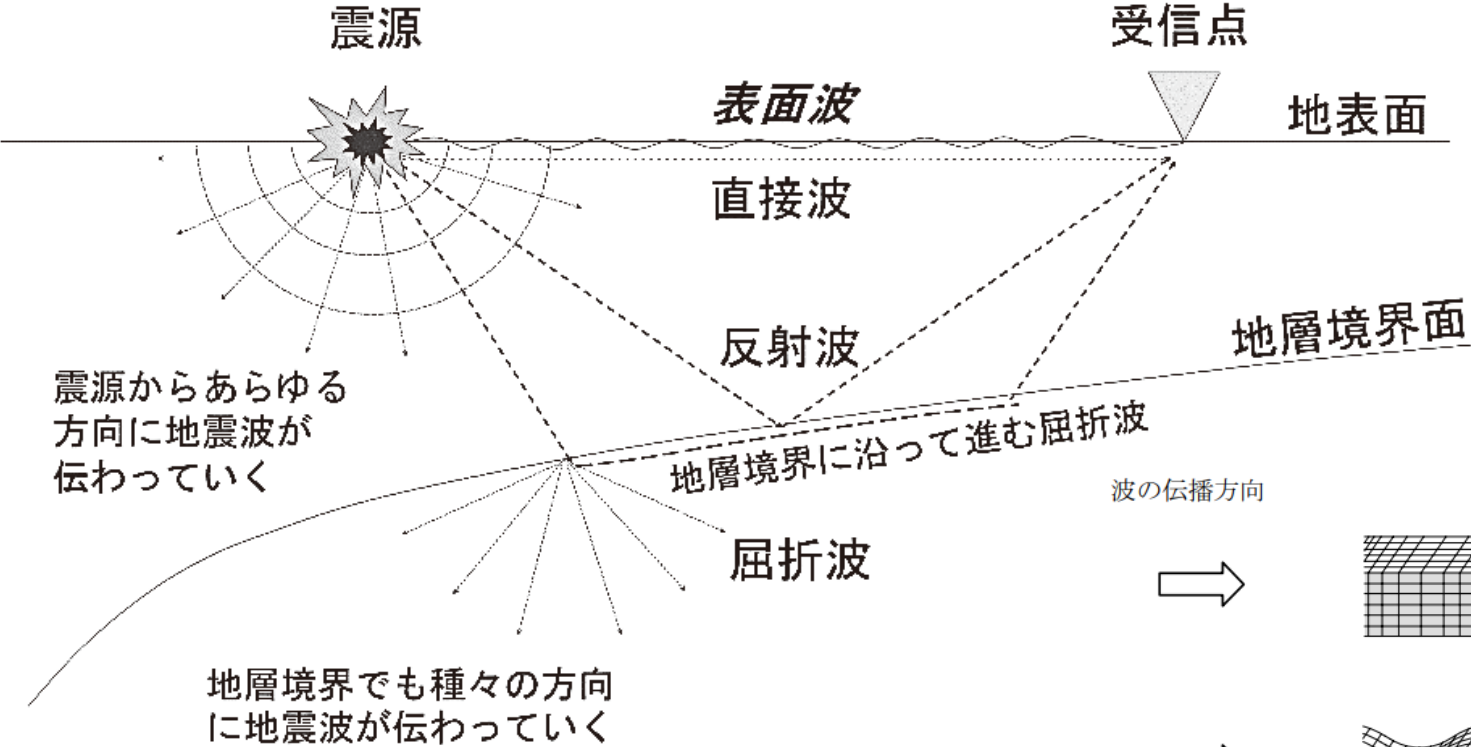
波長が長い（周波数が低い）ほど
地中深くまで伝搬する。



目次

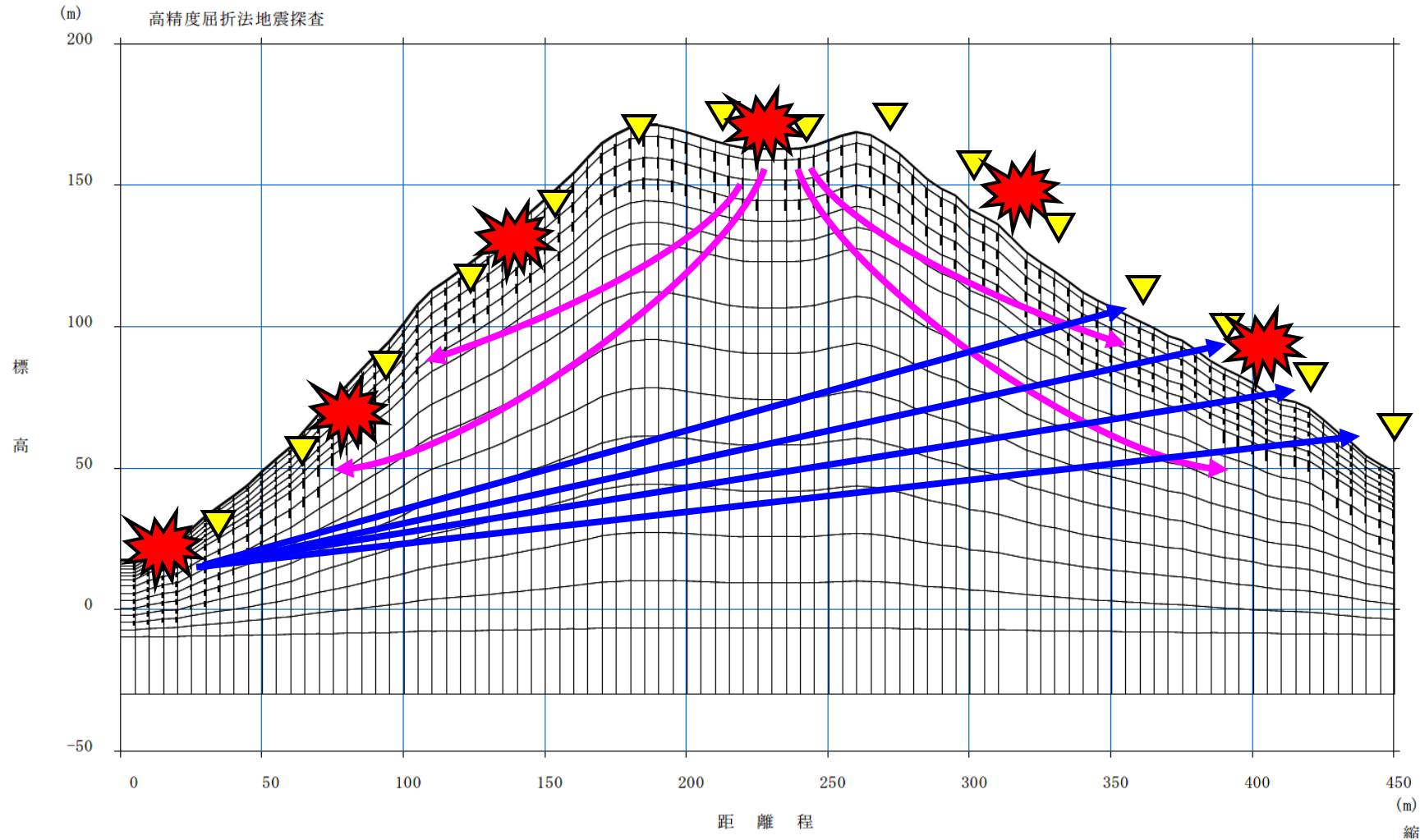
- はじめに～物理探査とは
- **物理探査手法と適用事例**
- 河川堤防における物理探査
- 港湾構造物における物理探査
- 統合物理探査による河川堤防内部構造評価
- 岩石物理学によるアプローチ
- 最新の研究成果

地震波の伝播

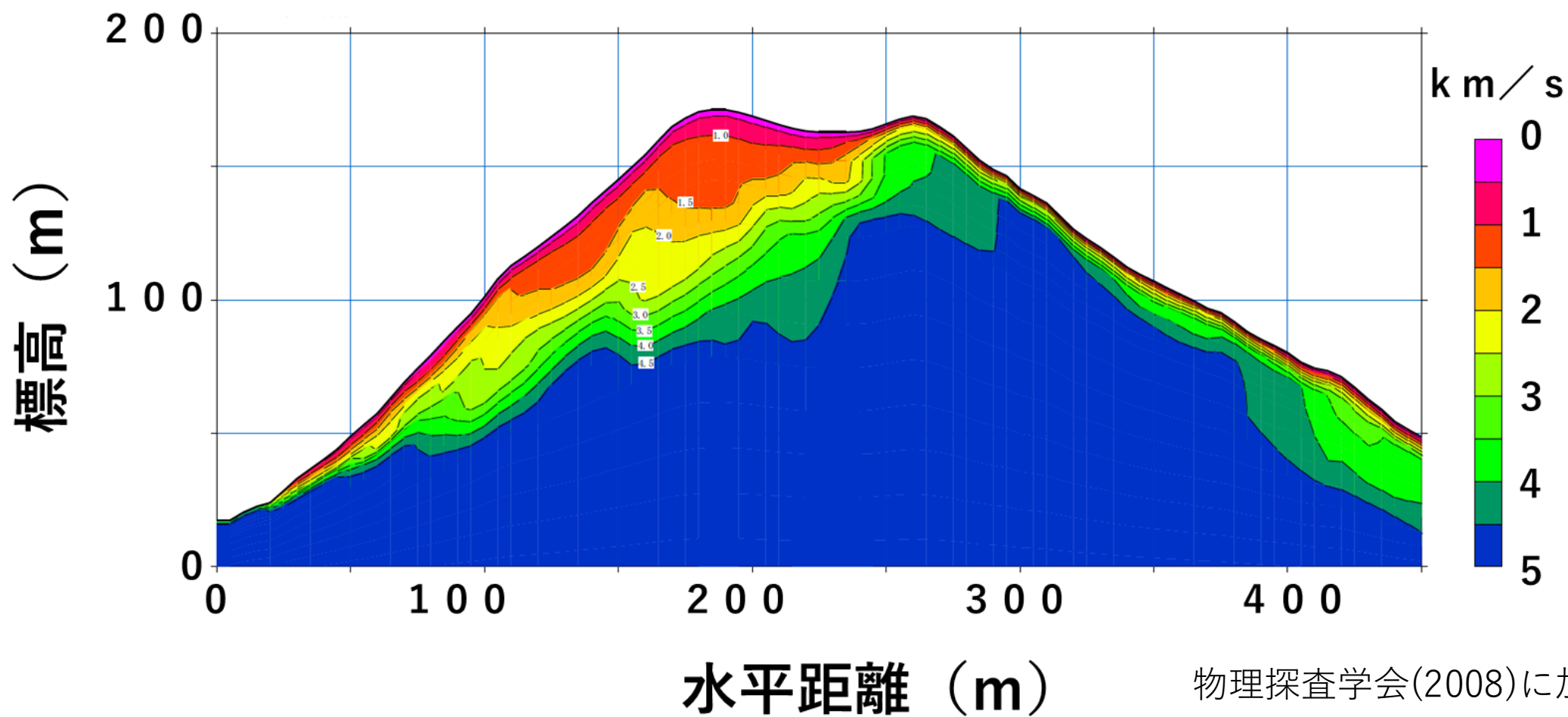


物理探査学会編(2022)

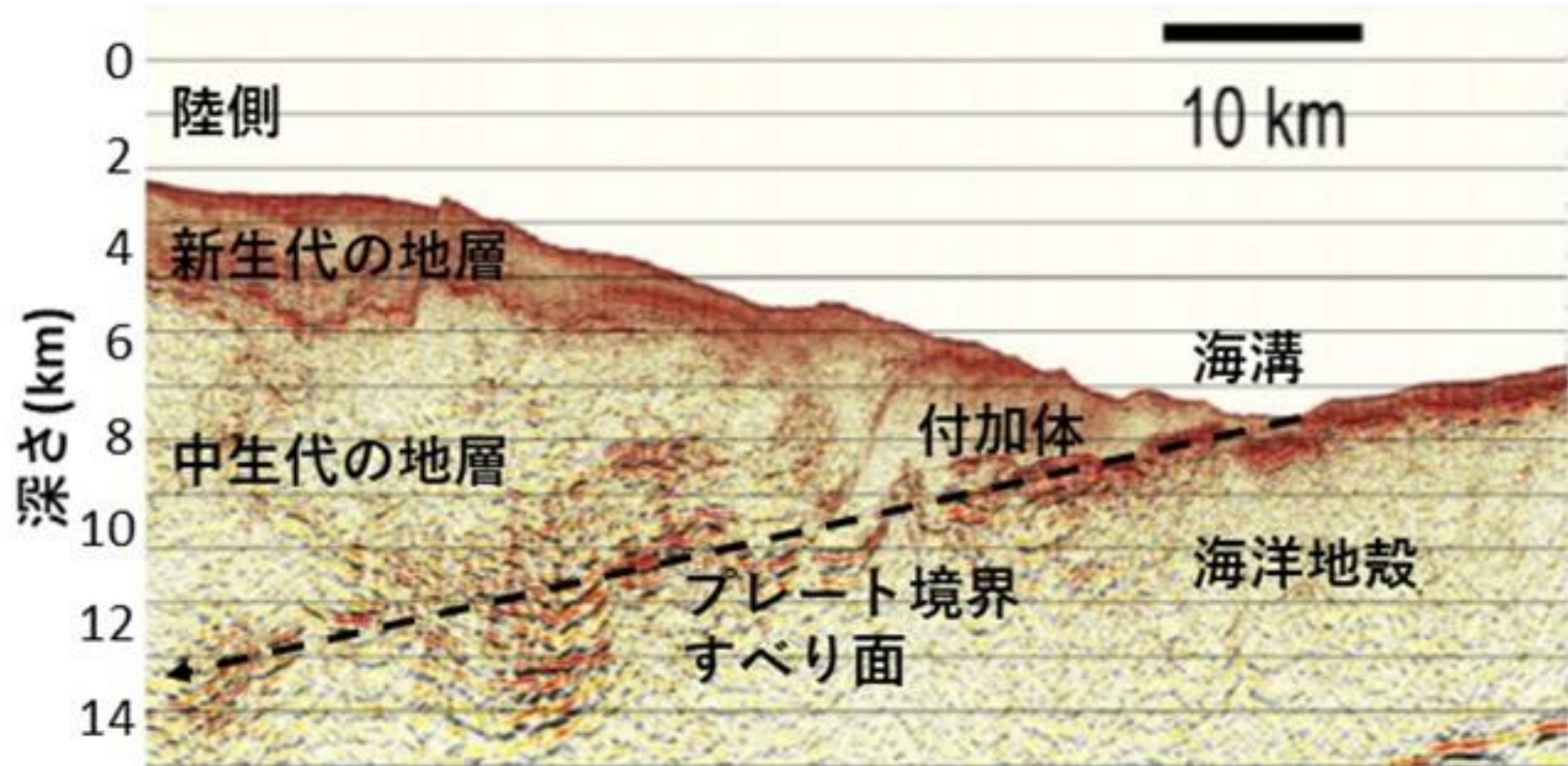
屈折法地震探査（弾性波探査）



屈折法地震探查（弹性波探查）

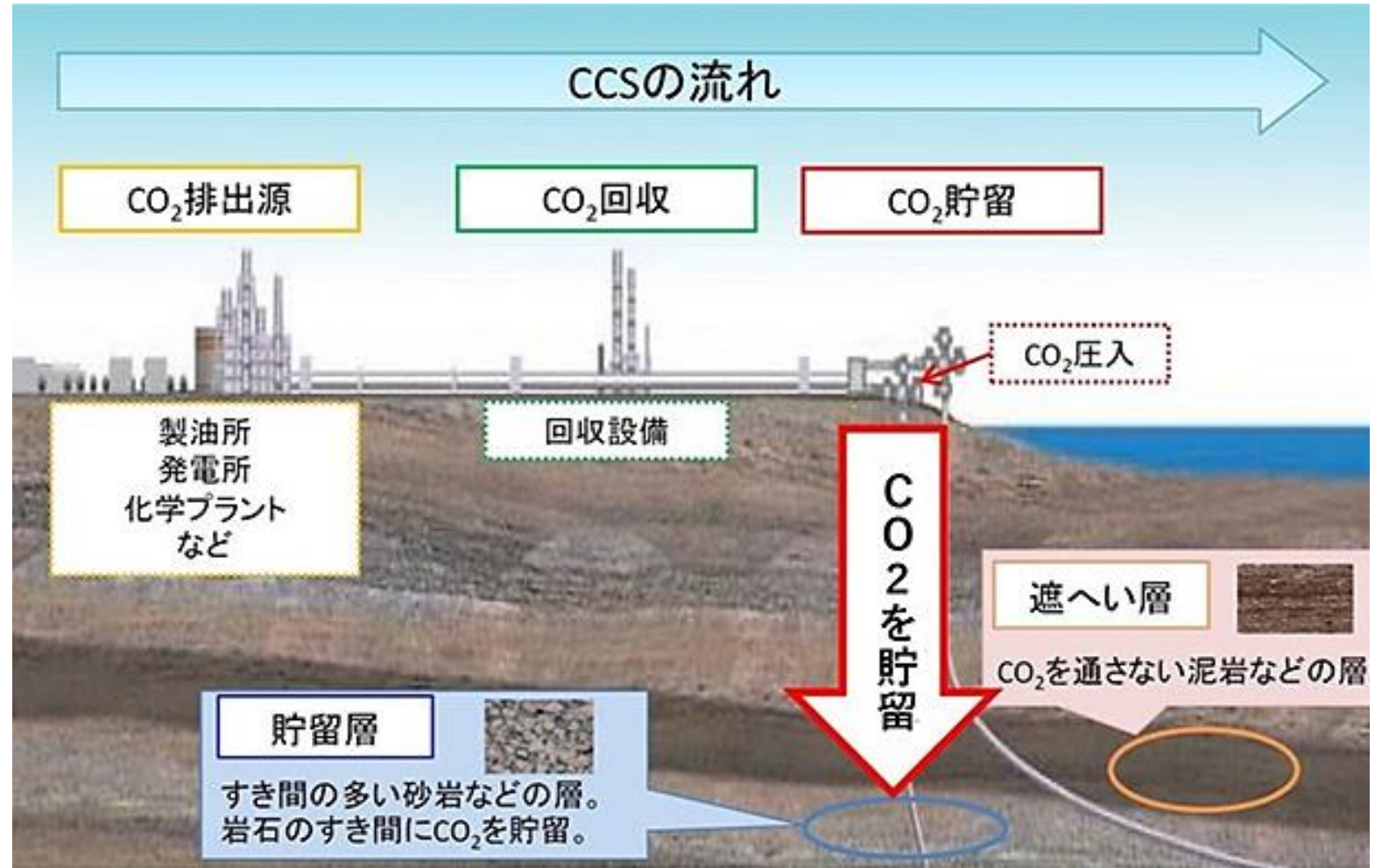


平成23年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災を引き起こした地震）
の震源域における反射法地震探査の記録

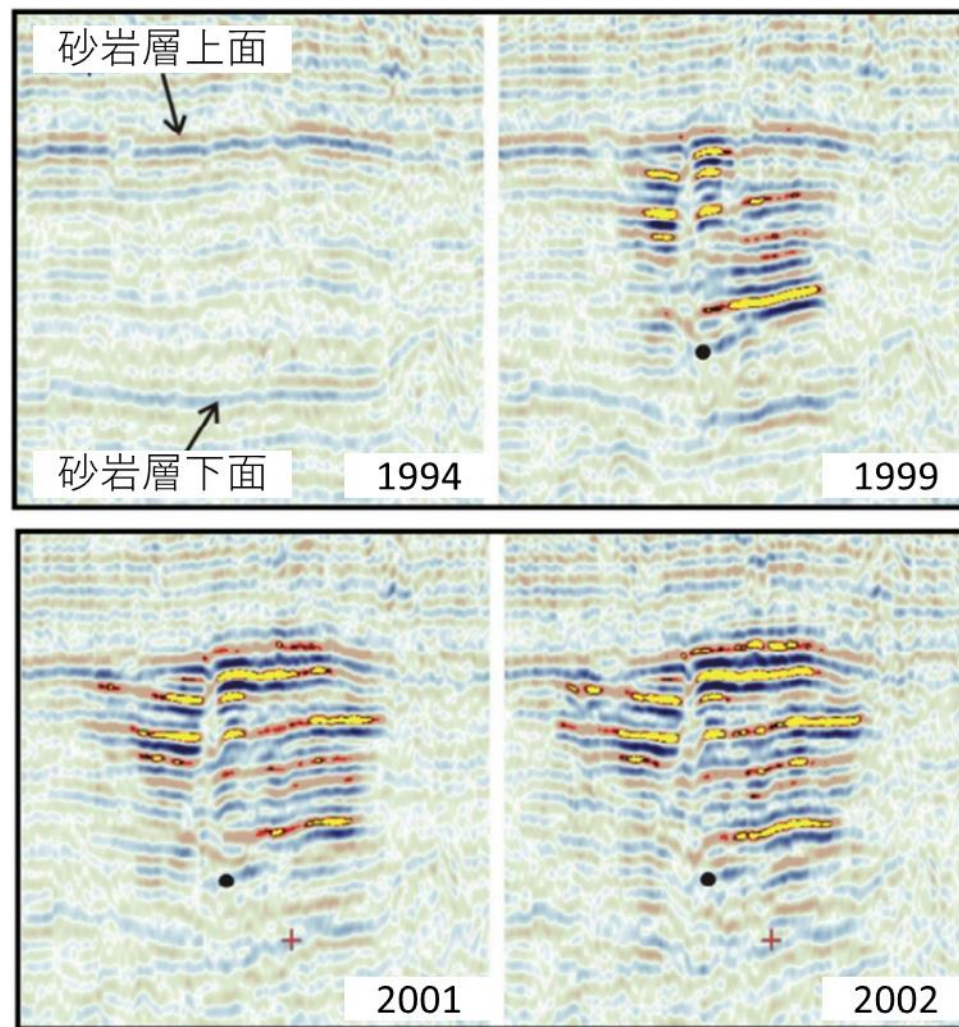


二酸化炭素の地中貯留モニタリング

- 地球温暖化の原因と考えられている二酸化炭素。
- これを地下に圧入して封じ込める技術。
- その場所の選定や注入後のモニタリングにも物理探査が使われている。



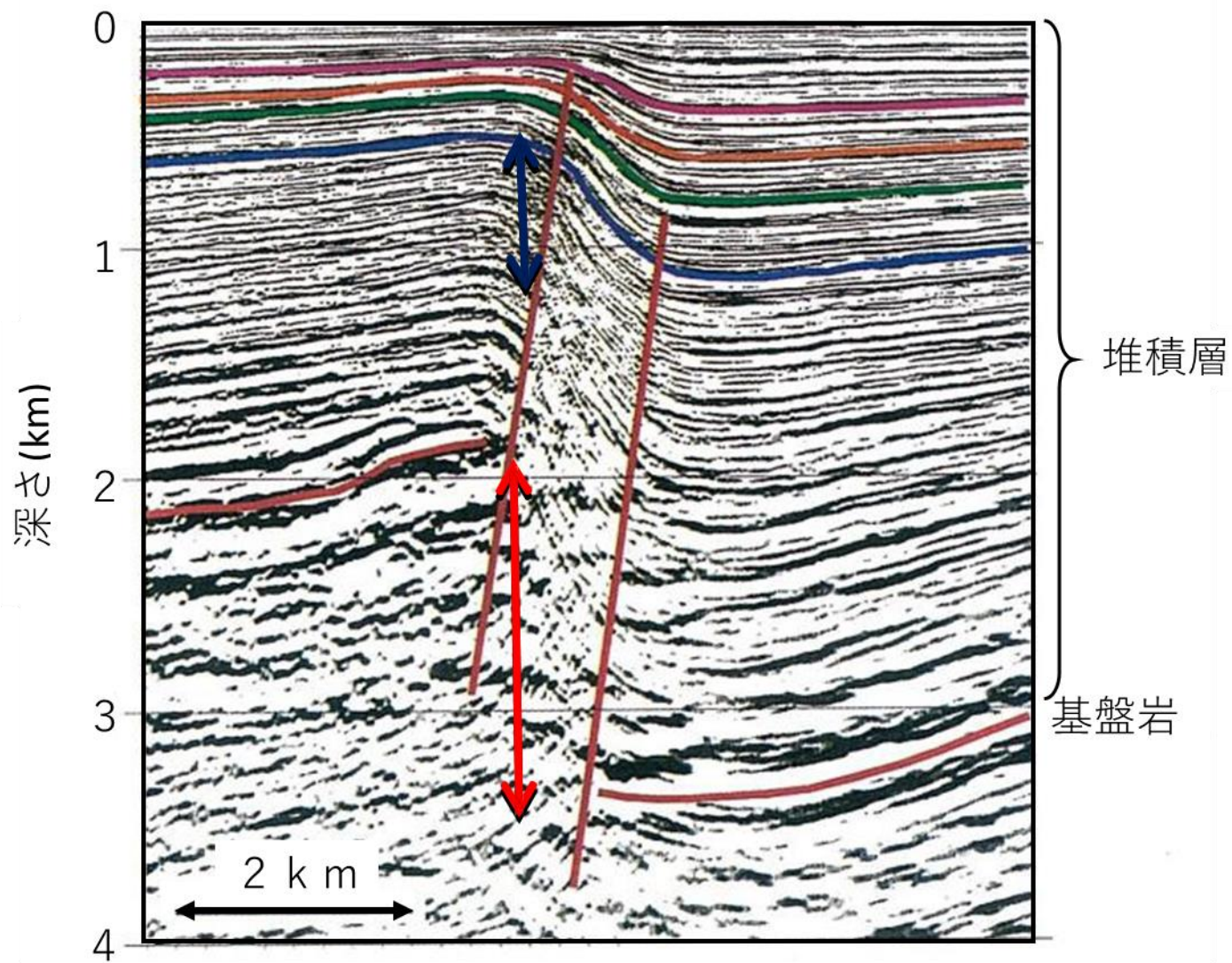
反射法地震探査による 二酸化炭素地中貯留の モニタリング



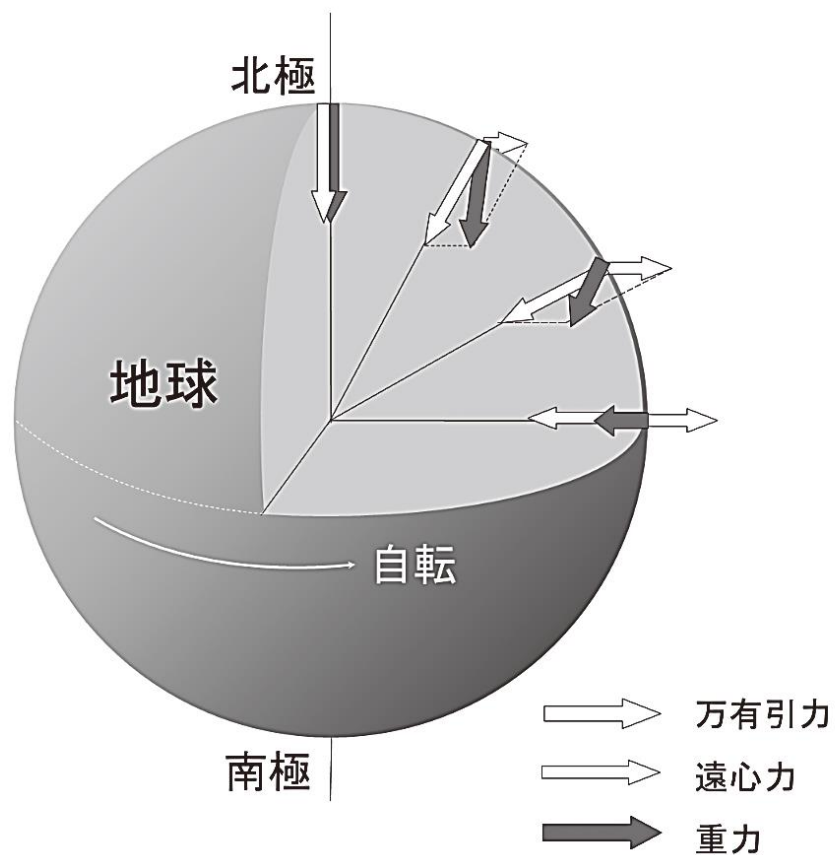
二酸化炭素の濃度により地震波の反射強度が変化する

Arts et al.(2002)

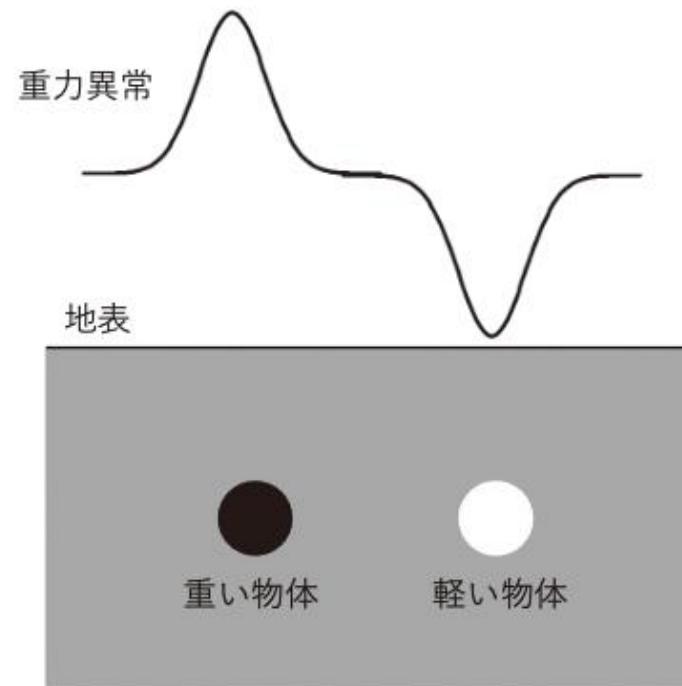
反射法地震探査による大阪湾の活断層の調査例



重力



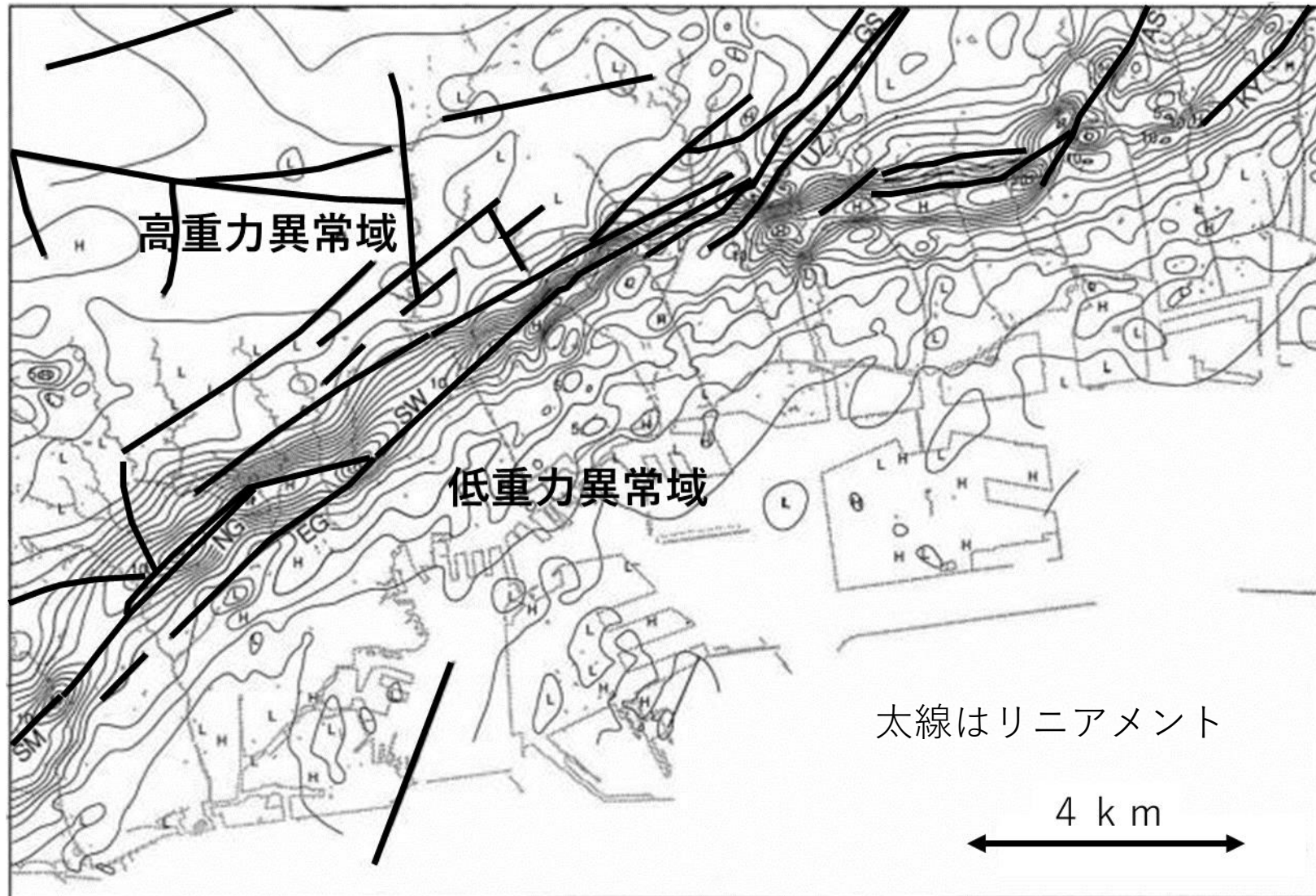
物理探査学会編(2022)



地下の密度分布と重力異常の関係。密度大きい重い物体が地下にあると重力異常は高くなり、密度の小さい軽い物体があると異常は低くなる。

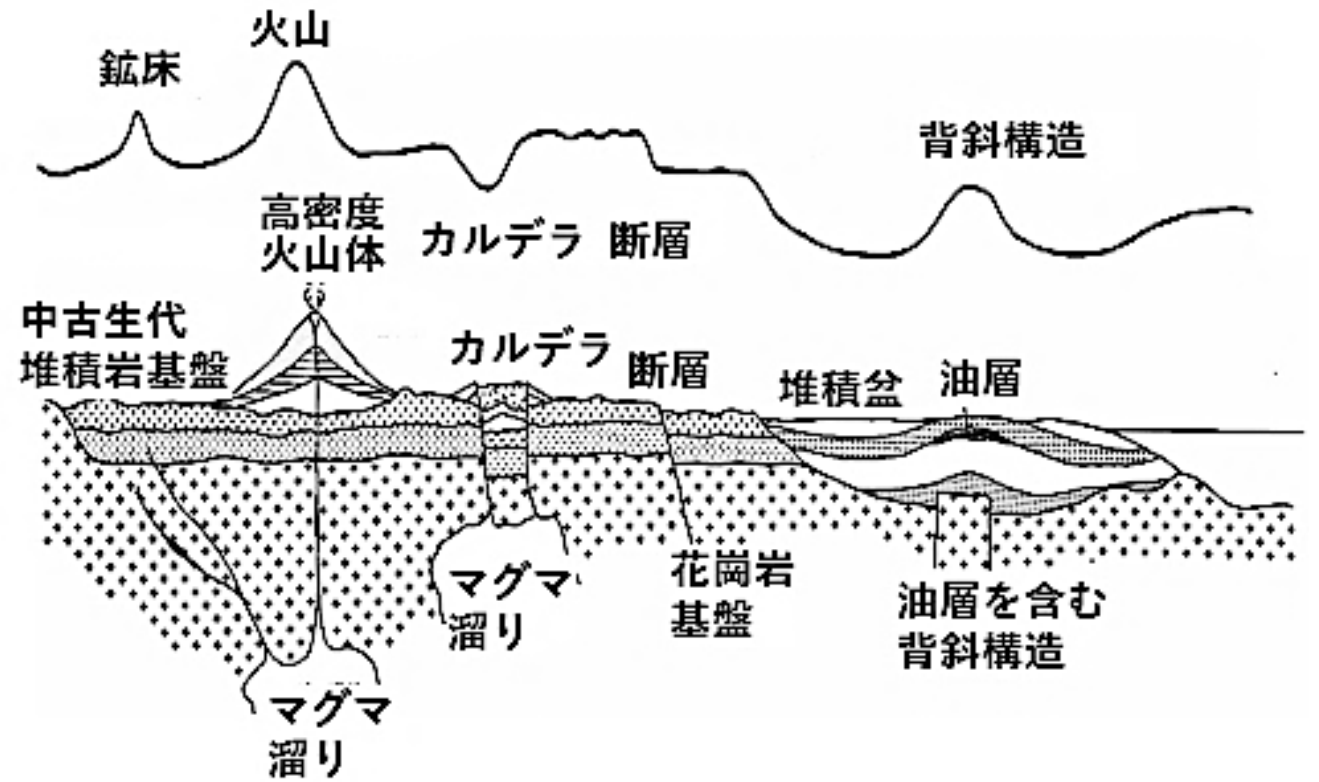
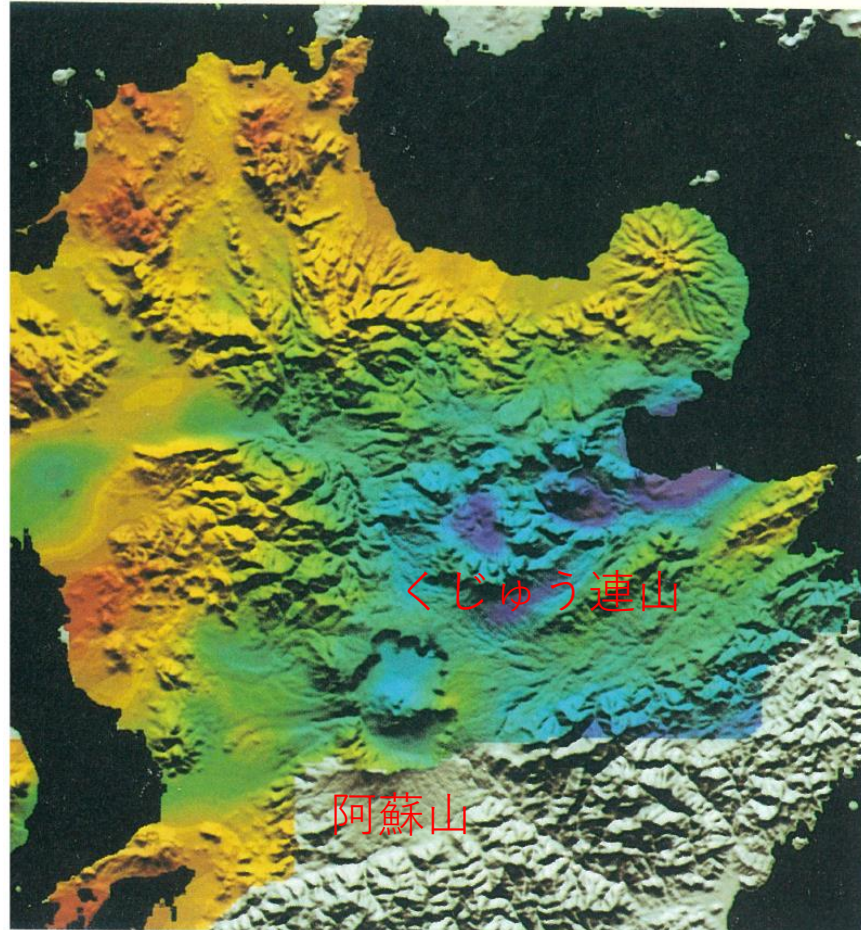
大阪湾での重力探査

駒澤ほか(1996)に加筆

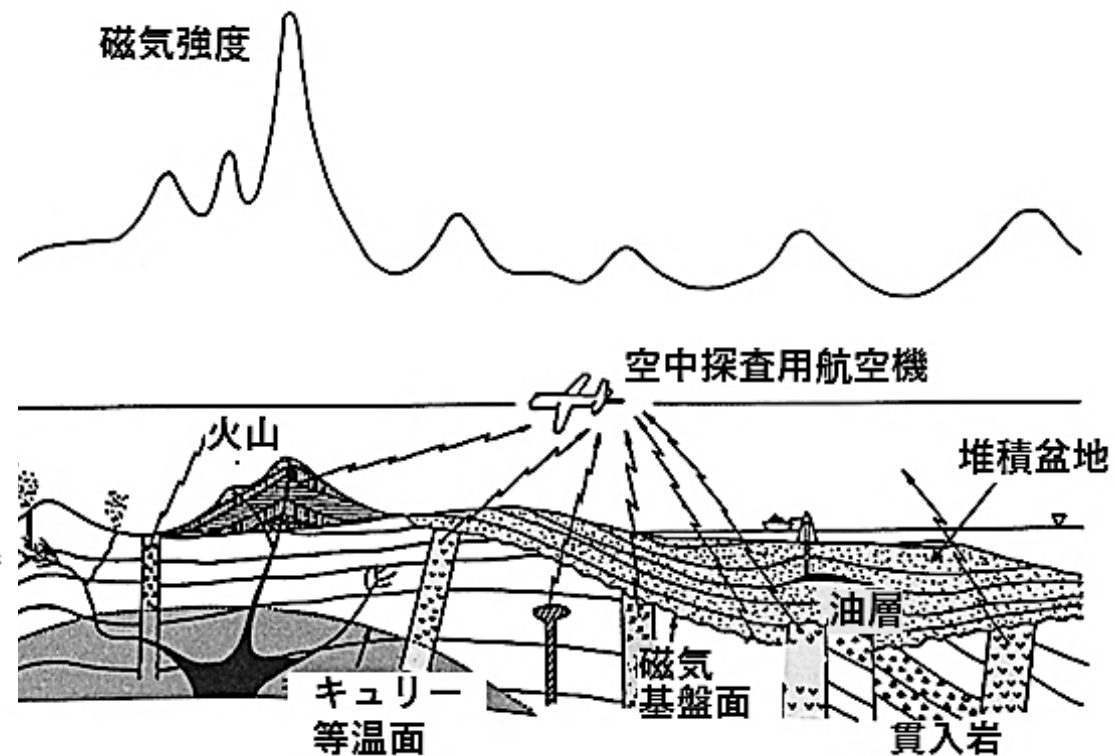
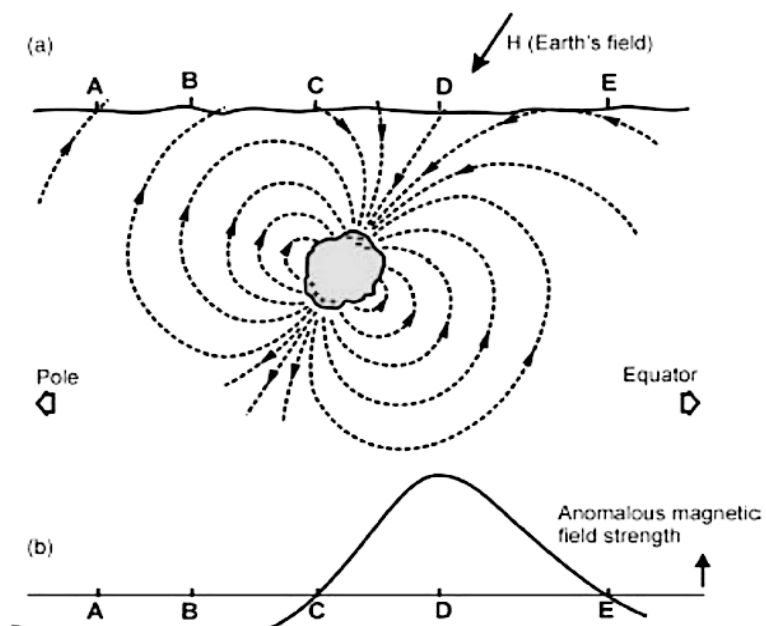
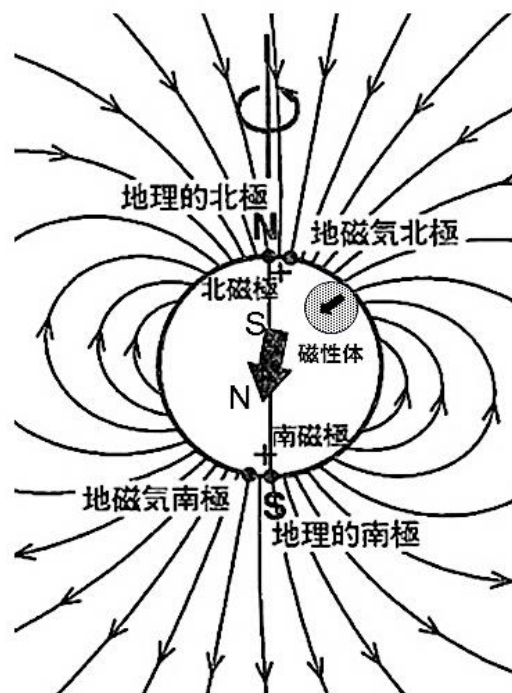


基盤のずれが重力の差としてあらわれている

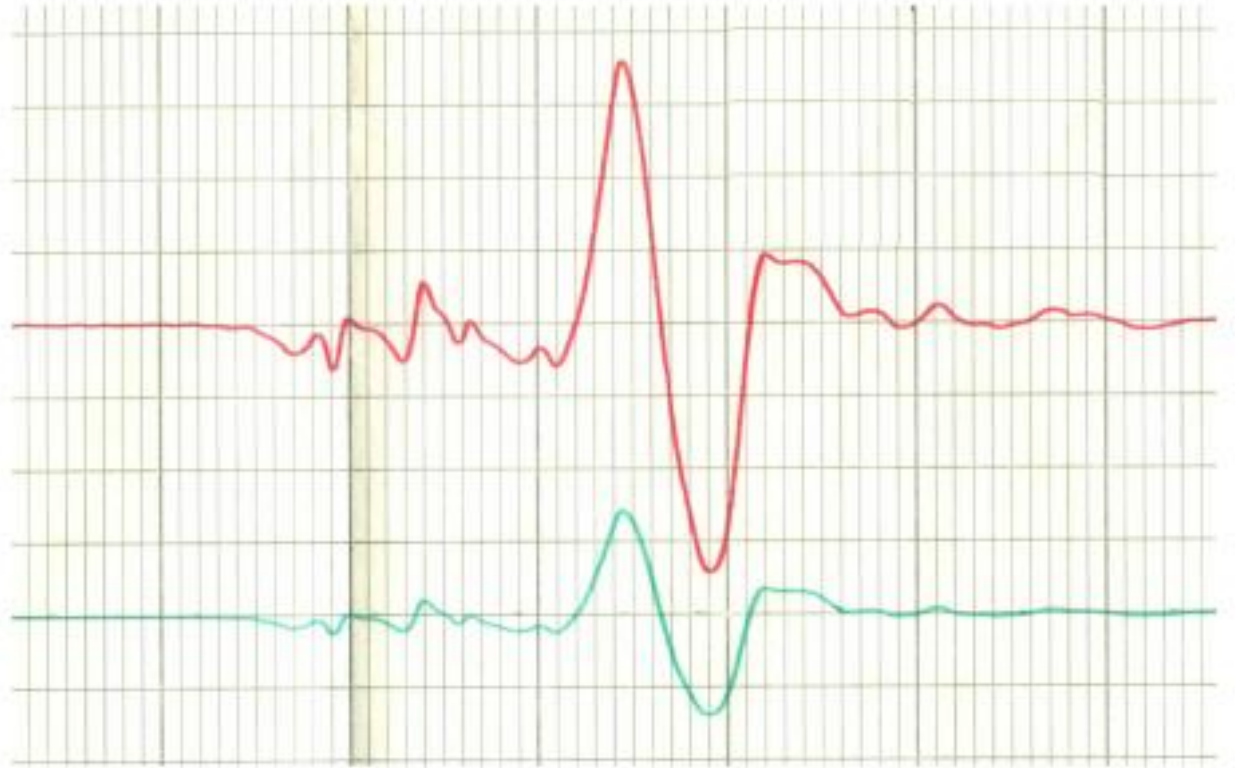
重力探査の例



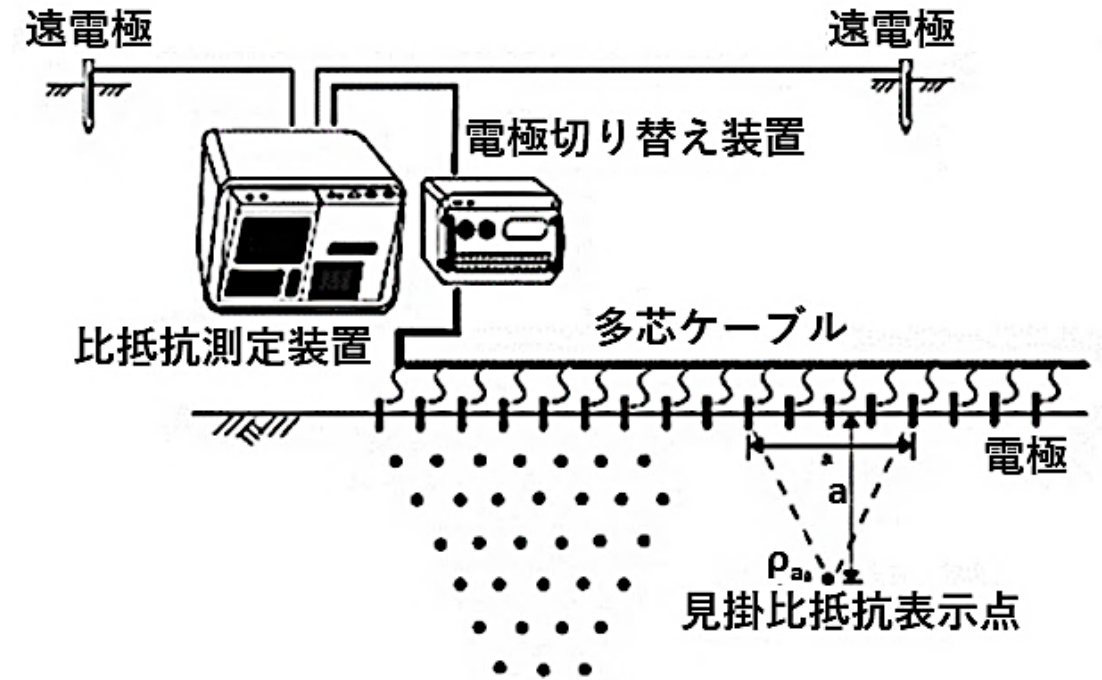
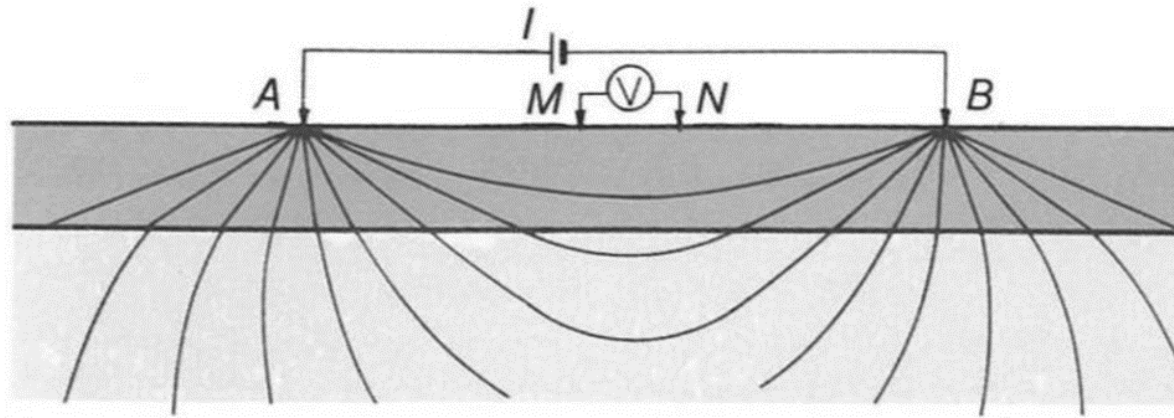
磁気探査



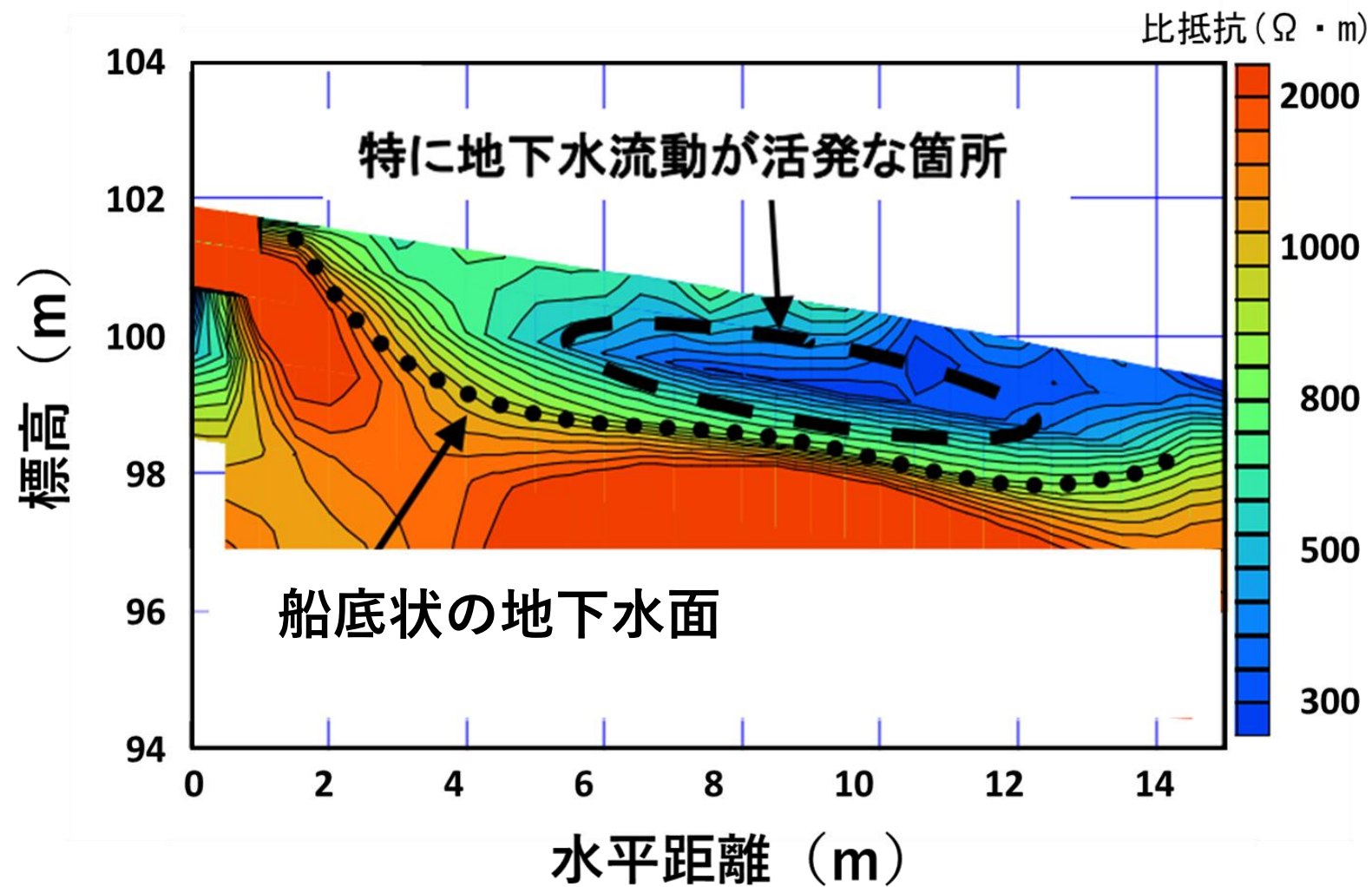
不発弾探査



電気探査



比抵抗電気探査による地下水流動の探査



砂防堰堤の下流部の漏水調査

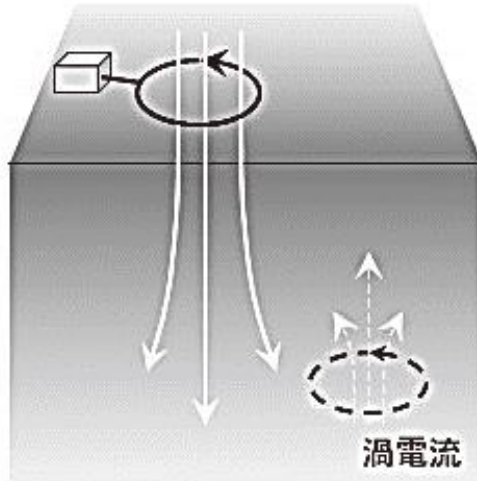
古生層の岩盤の上にある
河川堆積物

電磁探査



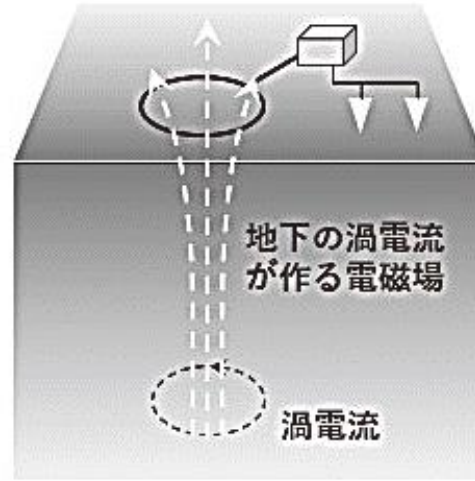
ステップ1

地表の環状電線に交流電流を流すと、垂直方向の磁場が地下に生じる。



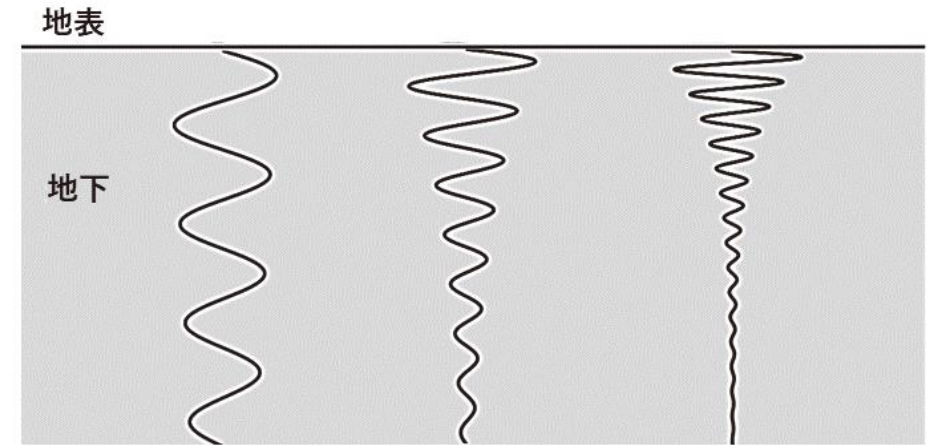
ステップ2

変動磁場に対してその強度変化を妨げるように誘導電流が流れる（渦電流）。



ステップ3

環状の渦電流によりそれを貫く方向の磁場が生じ、それが地表で測定される。また、渦電流による電場も地表で測定される。

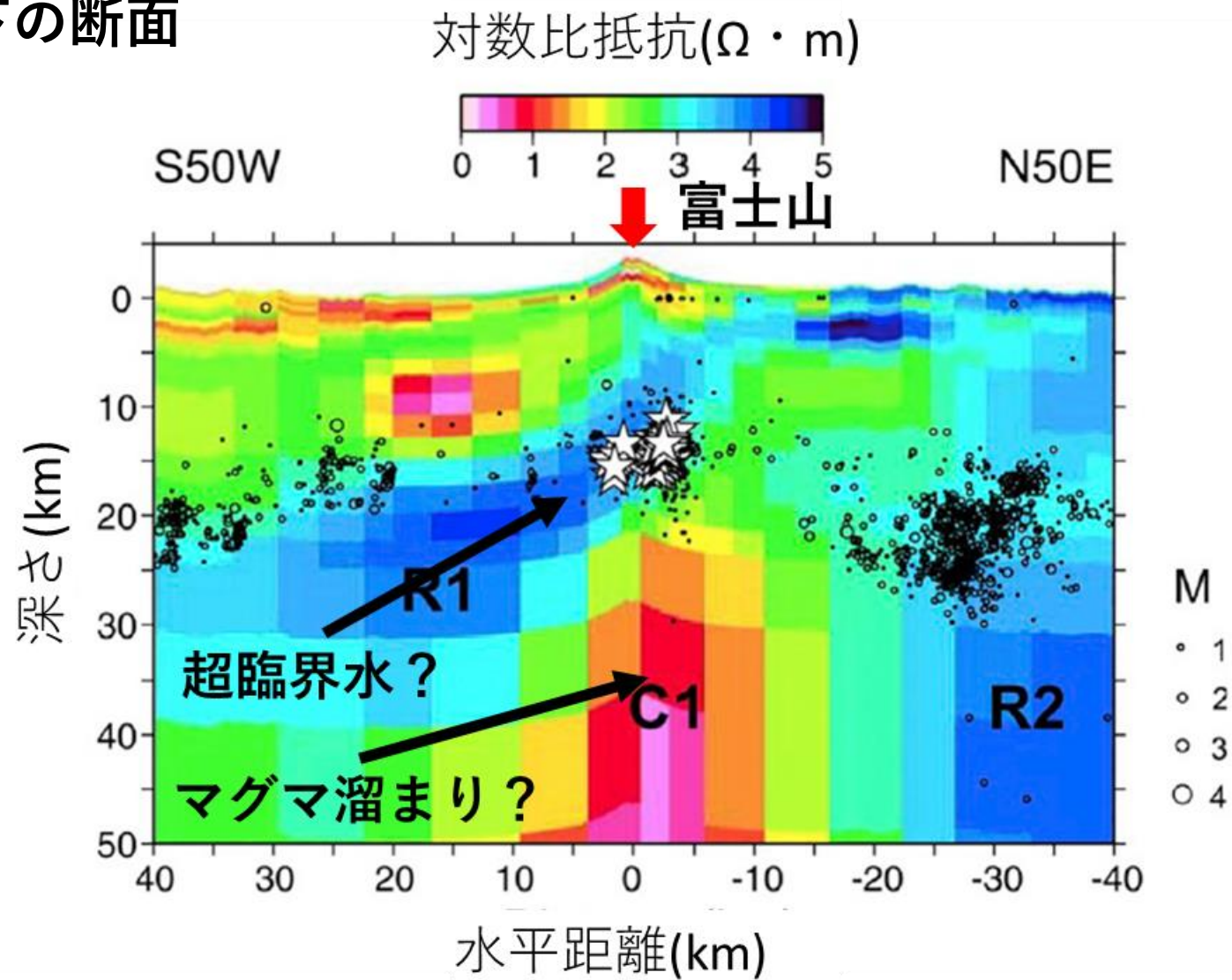


電磁波の地下での伝播

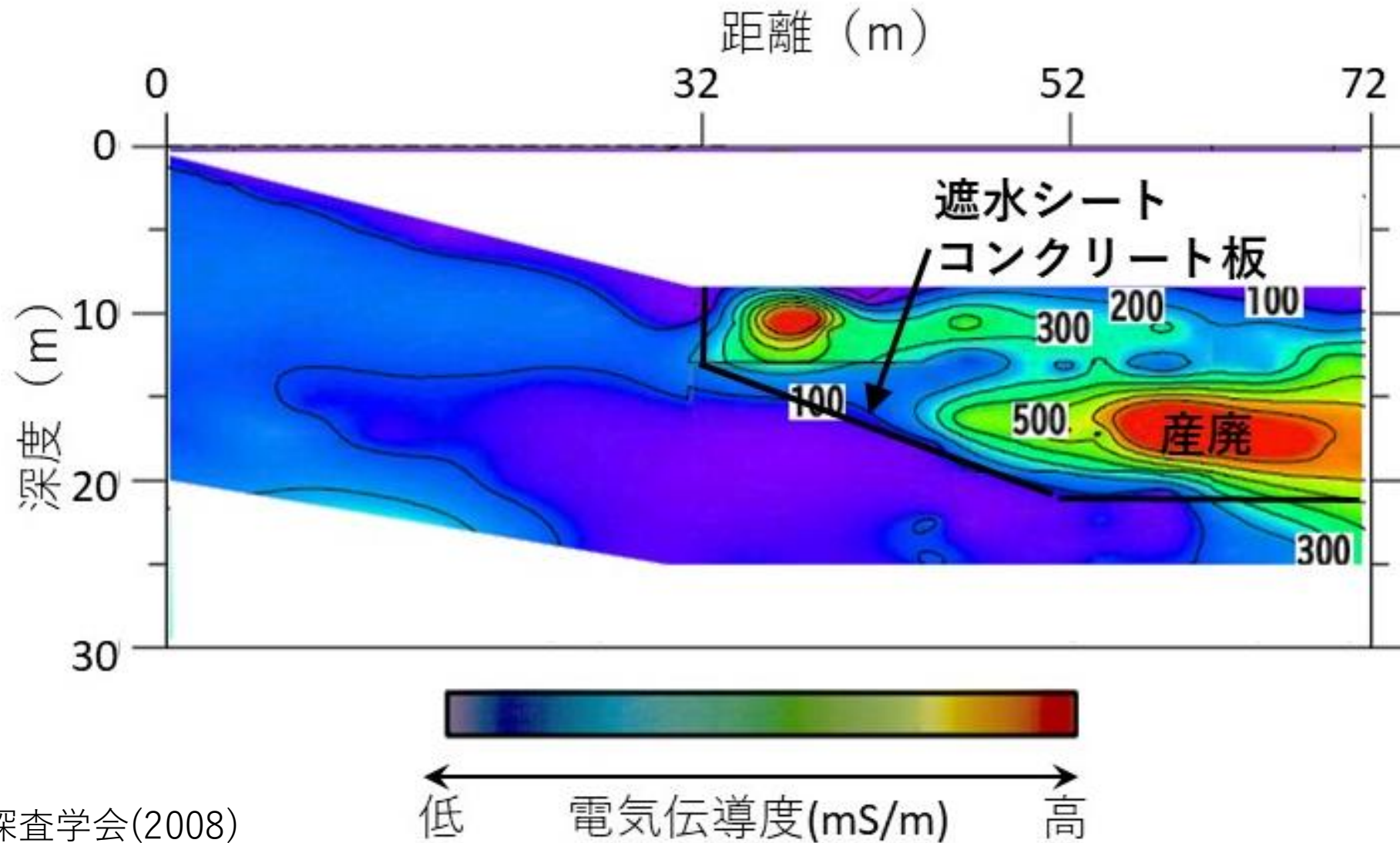
物理探査学会編(2022)

MT法電磁探査による富士山直下の断面 (比抵抗構造)

- 富士山は約10万年前から活動を開始。
- 約1万年から3000年前にかけて現在の形になった活火山。
- 過去2000年をみても868年の貞観噴火、1707年の宝永噴火。
- 高比抵抗はプレート
- ☆は低周波地震



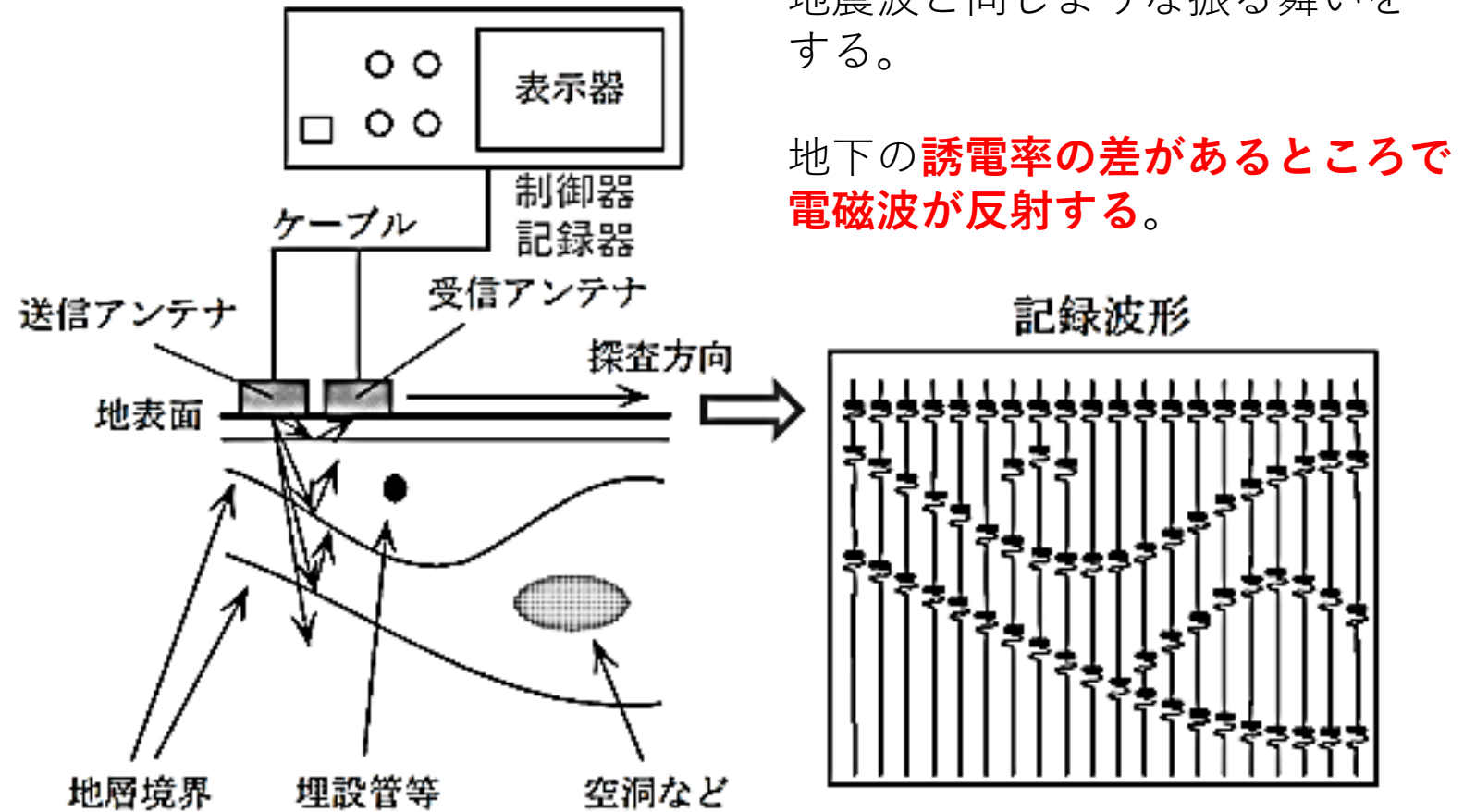
電磁探査（ループ・ループ法）による産業廃棄物処分場の探査結果



地中レーダの原理



<http://www.m-gs.co.jp/technology/technology4.html>

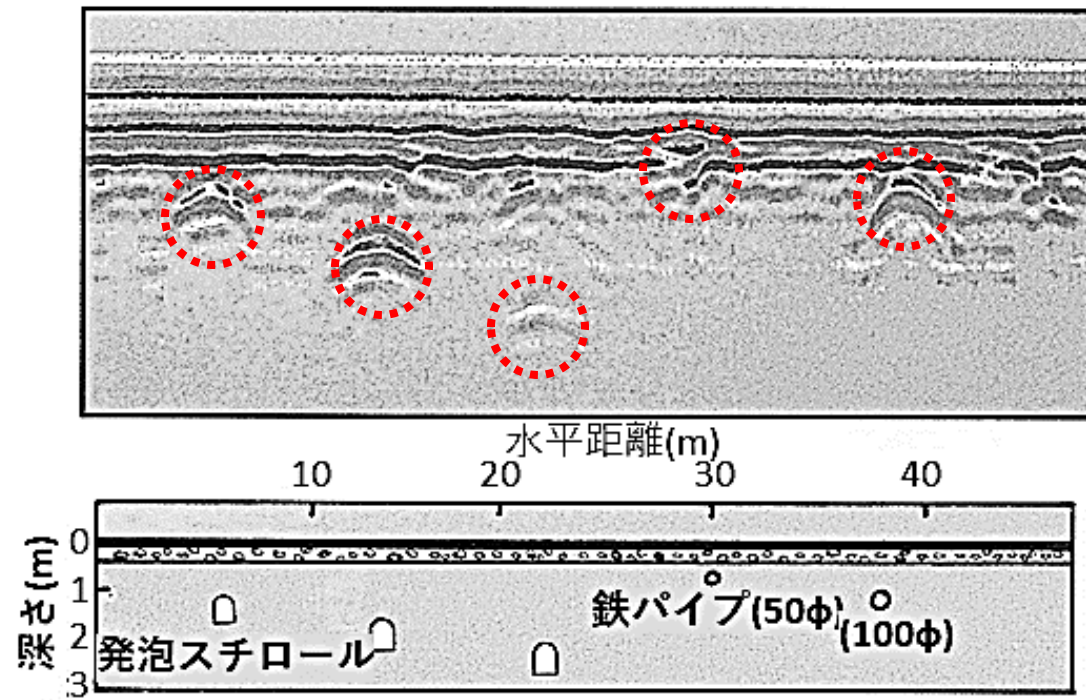


電磁波も周波数が高くなると地震波と同じような振る舞いをする。

地下の誘電率の差があるところで電磁波が反射する。

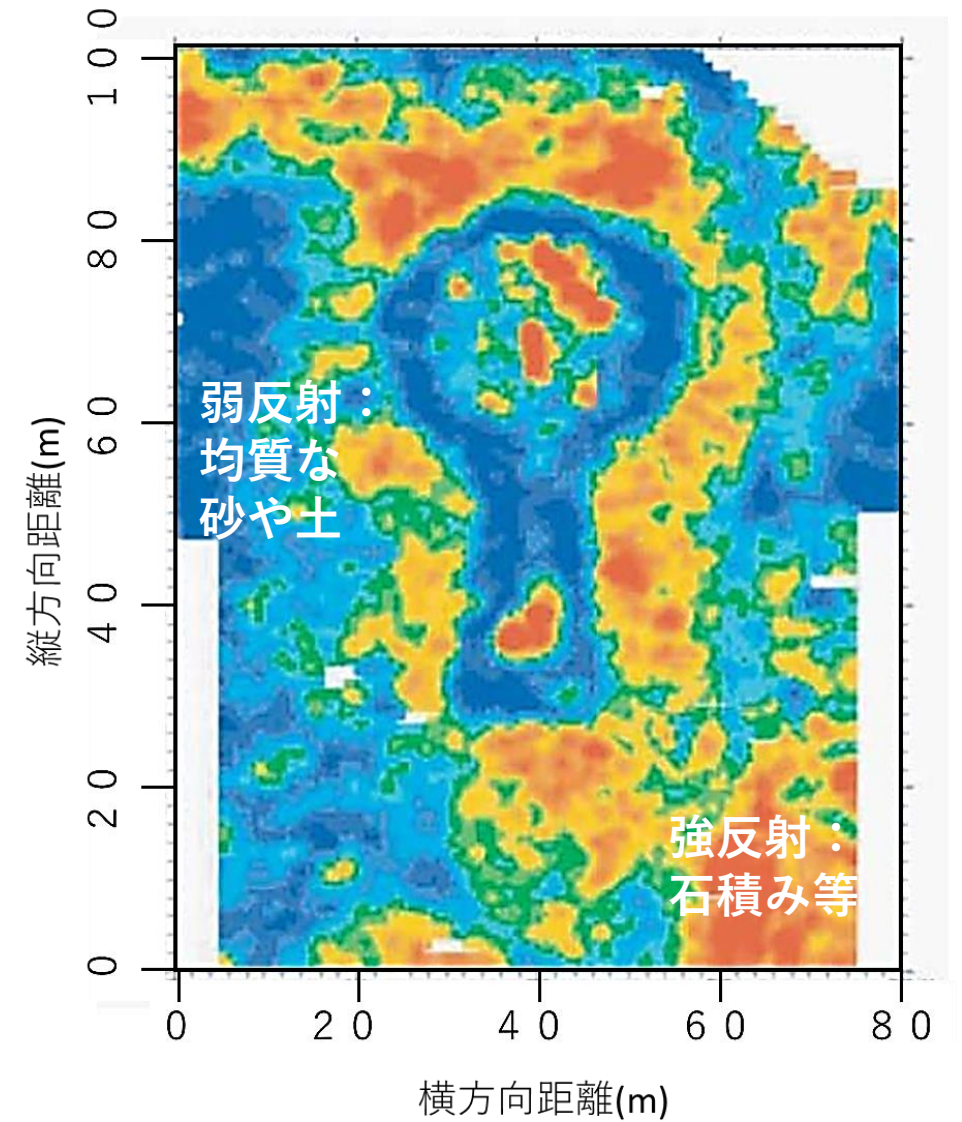
物理探査学会(2008)

地中レーダ探査例



人工埋設物の探知試験結果

物理探査学会編(2022)



地中レーダーによる前方後円墳の探査例

ここまでのまとめ

- 本章では物理探査手法の概要を利用する物理現象ごとに紹介した。
- 色々な角度から地下を診る必要がある。
- 探査の対象が周囲と区別できる物性を選び、それを扱う探査手法を採用する。
- 利用する物理現象により空間的分解能や結果の一意性に限界があることに留意。
- 物理探査結果の一意性に問題があったときにより真実に近いものを選ぶとき、物性の分布を理解するときに、鍵となるのは地質的な解釈である。

さらに勉強したい方に

テキストの巻末に参考文献を掲載しています。例えば…

- 図解物理探査（1989）

- ・ 現在は物理探査学会のHPで公開されています。

(http://www.segj.org/~kashima_admin/bookdata/04/index.html)

- 新版物理探査適用の手引き（2008）

物理探査のうち土木分野で使われる探査手法について丁寧に解説されています。

近く、ヨーロッパの物理探査学会から英語版が出版予定。

- 最新の物理探査適用事例集（2008）

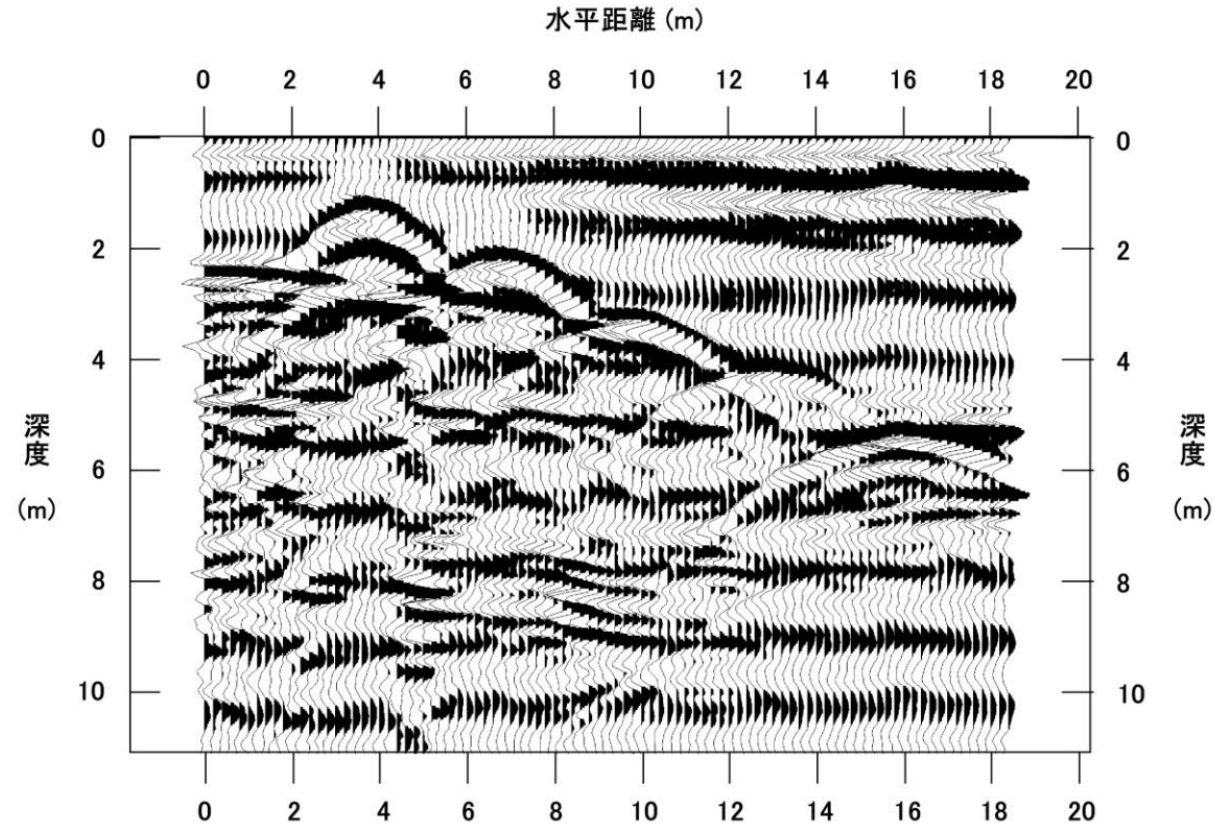
- 物理探査ハンドブック第三版（2024）

物理探査技術について歴史・原理・測定・解析など、手法ごとに詳細に解説しています。

目次

- はじめに～物理探査とは
- 物理探査手法と適用事例
- **河川堤防における物理探査**
- 港湾構造物における物理探査
- 統合物理探査による河川堤防内部構造評価
- ロックフィジックスによるアプローチ
- 最新の研究成果

ステップ周波数地中レーダ



周波数毎に送信信号と受信信号の位相差及び振幅比を取得

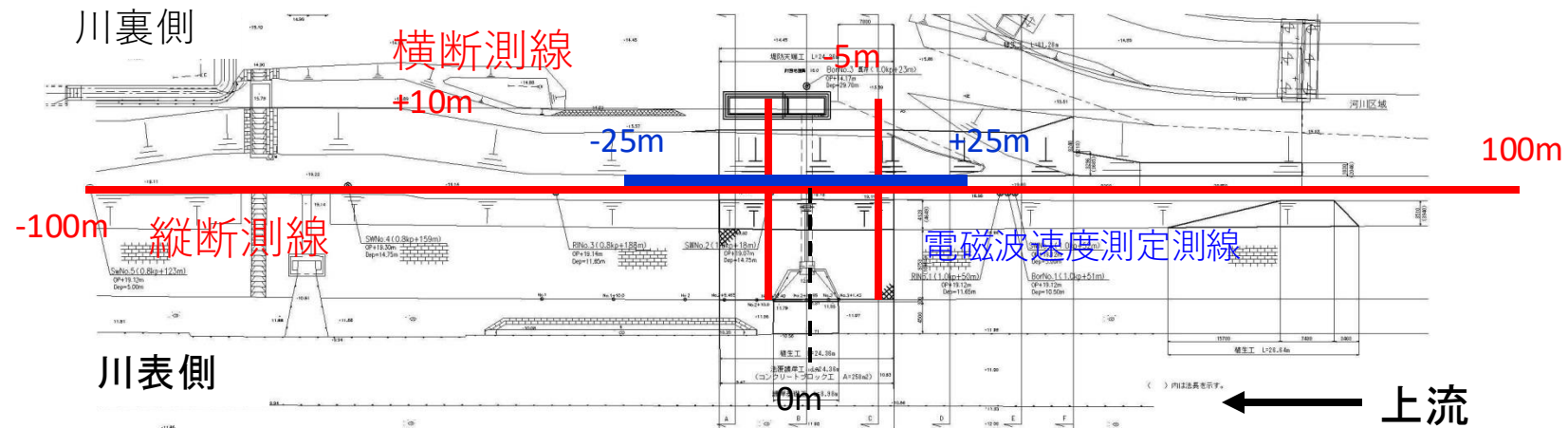
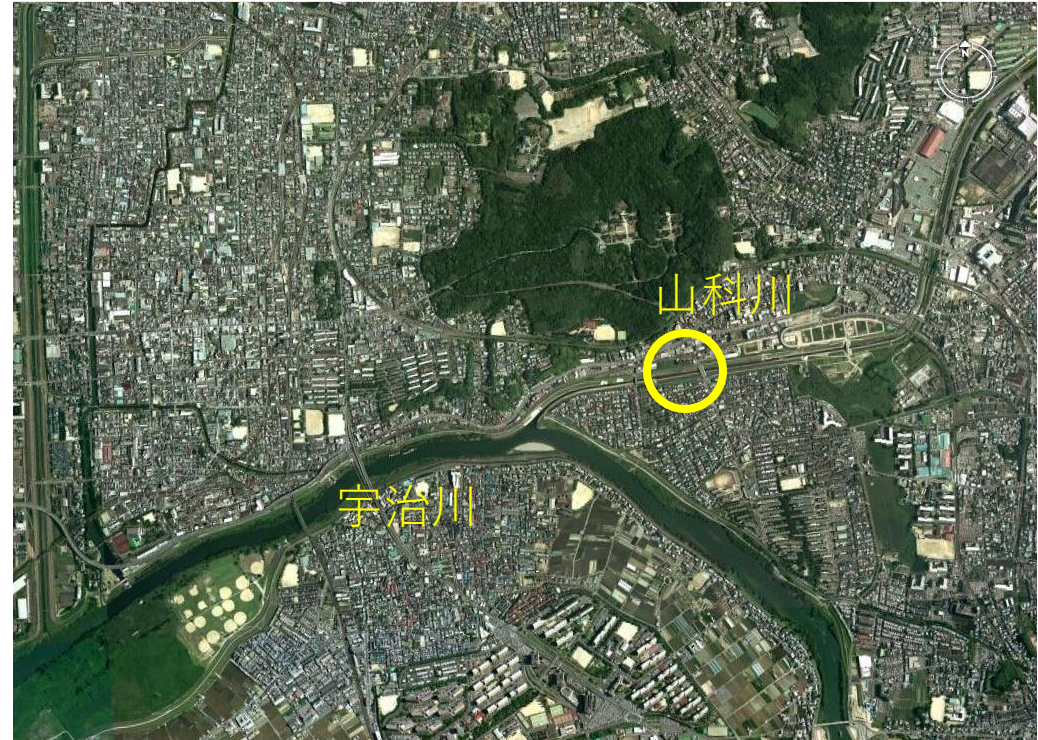
埋設管の探査事例

→ $\phi 100\text{mm}$ の鋼管，深度5mまでを検出，深度10m程度まで地層境界等を捉えている

地中レーダの河川堤防への適用

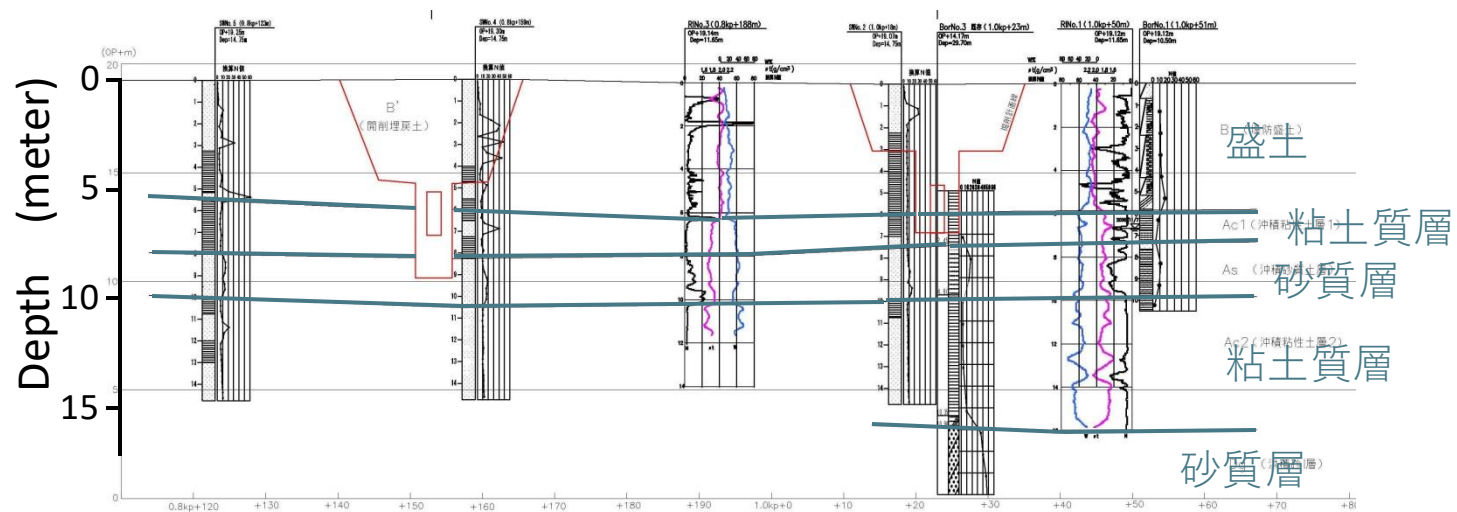
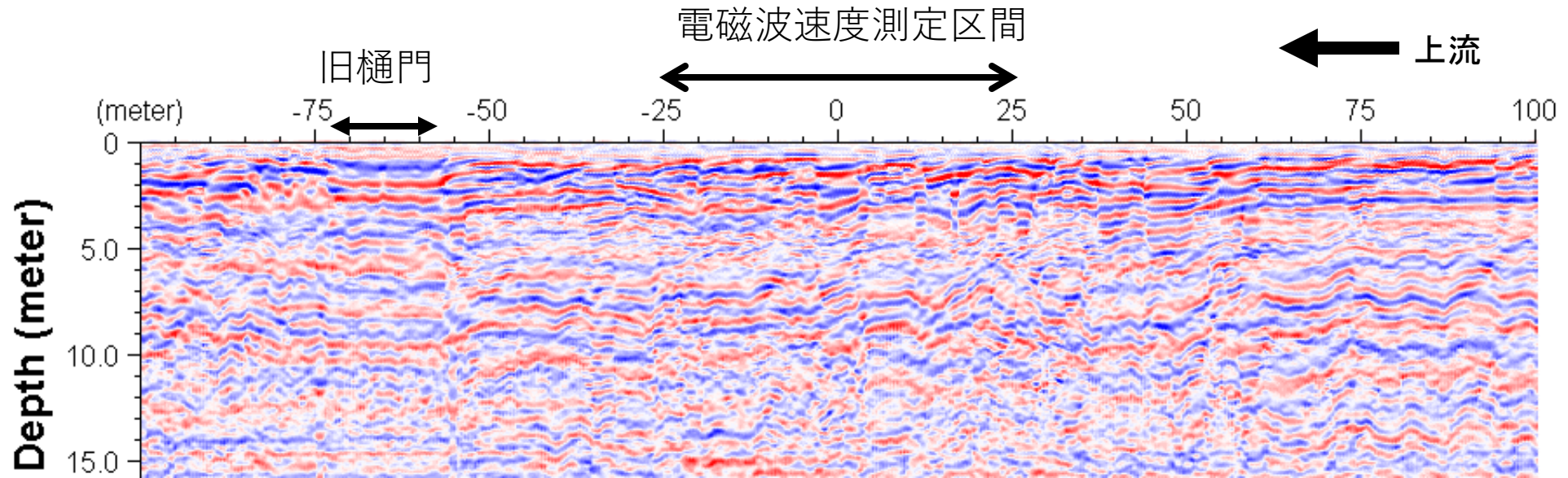
- 長大な河川堤防の内部構造を知るには物理探査が適用される
- 牽引式の電気探査や表面波探査あるいは極浅部を対象とした電磁探査などが有効である。→これらの方法は分解能などの点で課題もある。
- 本研究では、より分解能の高い手法としてステップ周波数GPRを河川堤防調査への適用性を検討するため、山科川と宇治川における現地調査を行った。
- 縦断測線のプロファイルだけでなく、速度解析を行い、堤防内部の体積含水率を推定することを試みた。
- 擬似三次元探査も実施した。

山科川における探査事例



鈴木ほか(2008)

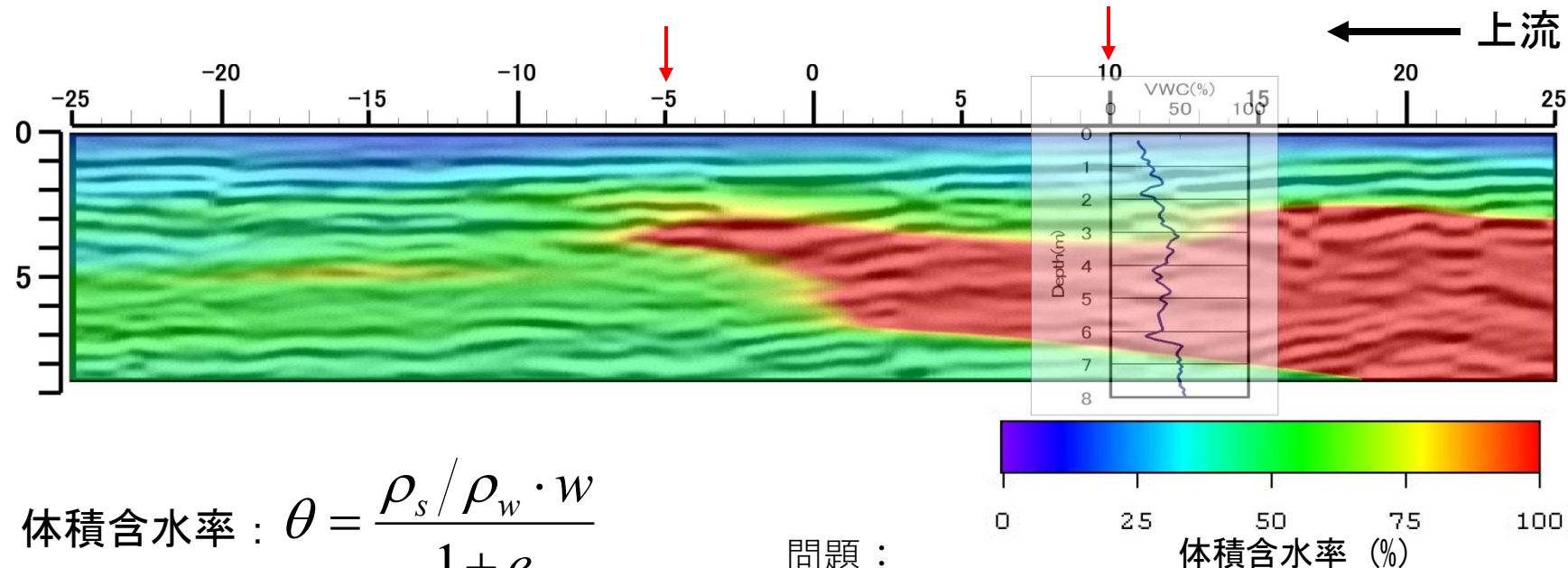
山科川における探査結果



鈴木ほか(2008)

山科川の探査結果 (体積含水率推定断面)

鈴木ほか(2008)



体積含水率 : $\theta = \frac{\rho_s / \rho_w \cdot w}{1 + e}$

含水比 : w
間隙比 : e } RIコーン

土粒子密度 : $\rho_s = 2.64 \text{ kg/cm}^3$

水の密度 : $\rho_w = 1.00 \text{ kg/cm}^3$

問題 :

①電磁波速度に周波数依存性がある→Toppの式はステップ関数の応答による高周波, 連続波レーダは

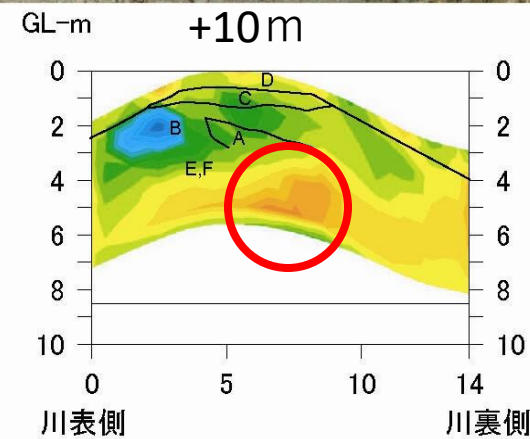
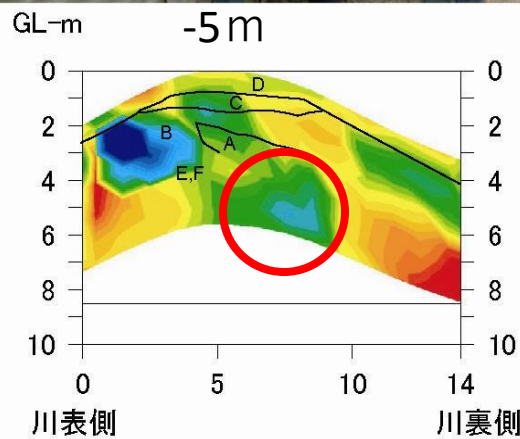
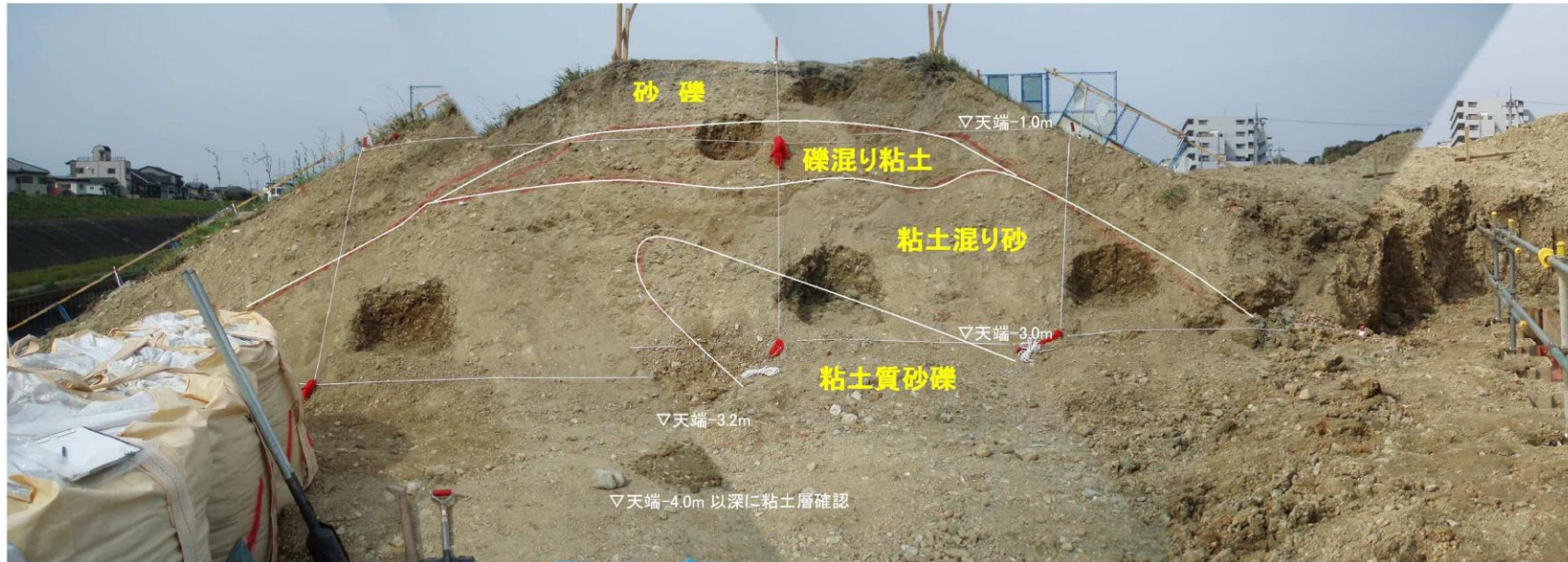
それより一桁以上低い周波数

②Toppの実験式は, 数cmのサンプルでの結果であり, 大きさの違いによる効果も値の相違に関係して

いる?

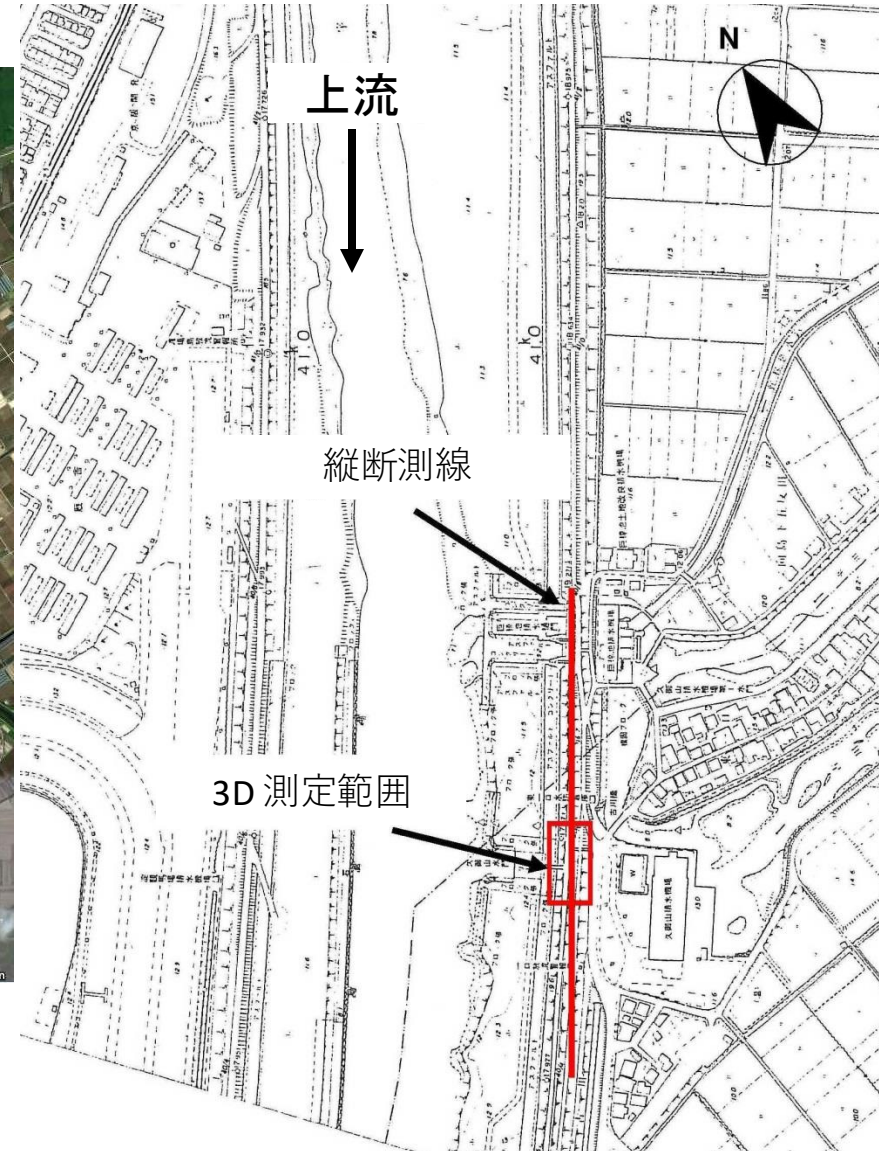
- ・電磁波速度が小さくなる（比誘電率が大きくなる）と体積含水率が大きくなる
- ・三次元電気探査（畠中ほか,2007）とも傾向は一致している

開削工事・電気探査との整合性



畠中ほか, 2007

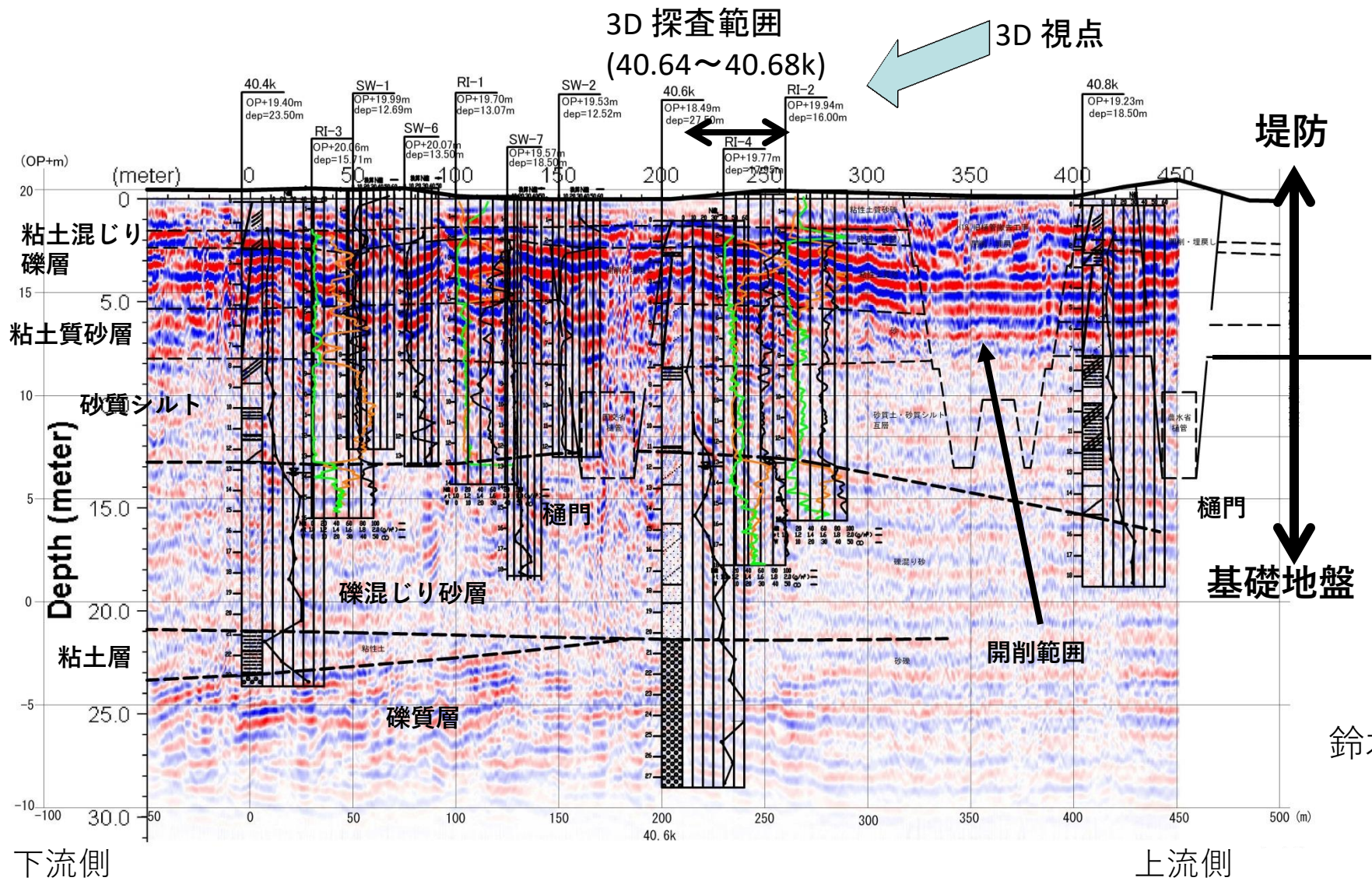
宇治川における探査事例



宇治川における探査状況

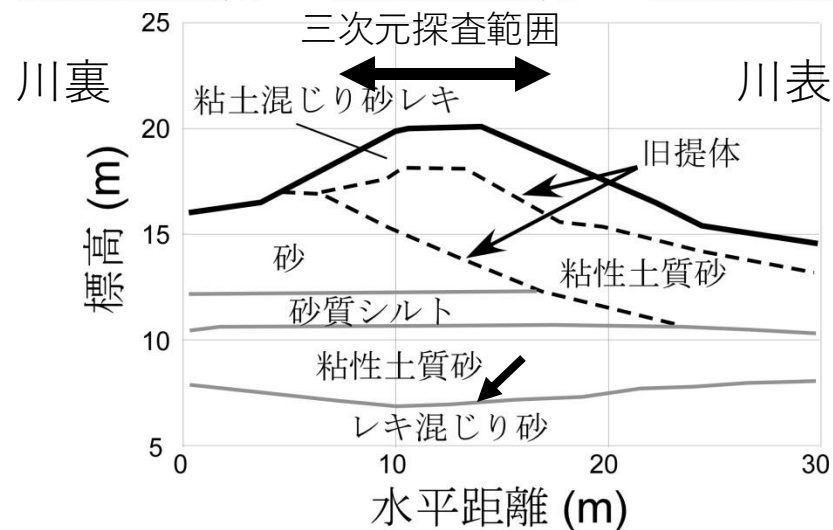
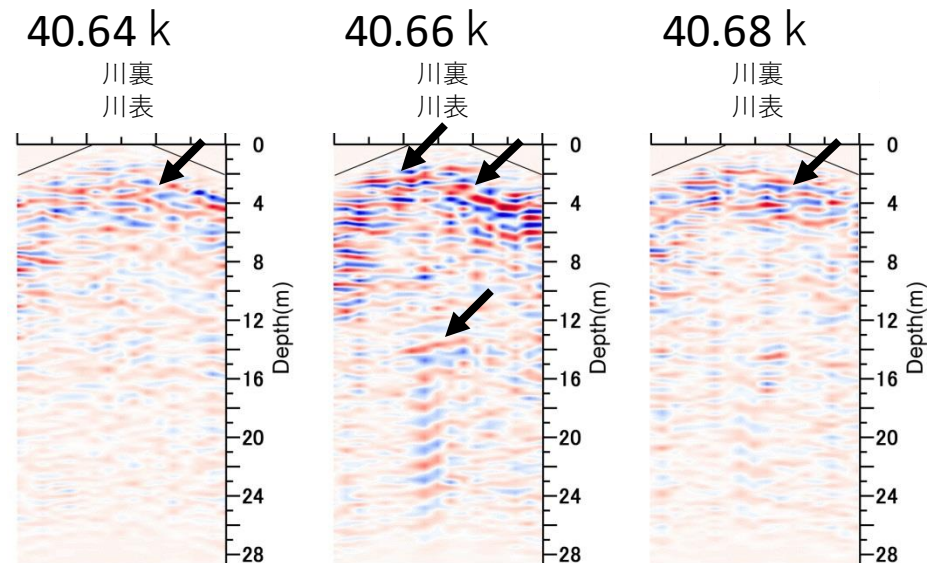
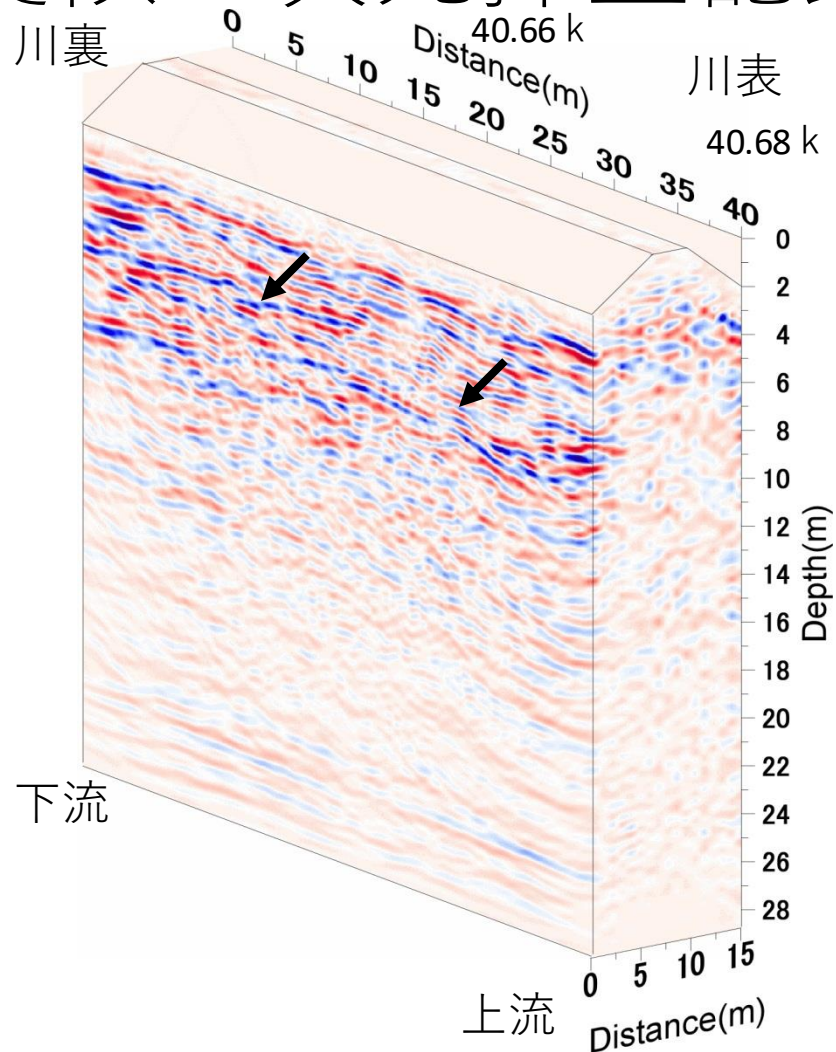


宇治川における探査結果



鈴木ほか(2008)

宇治川の試験探査結果 (疑似三次元探査記録)



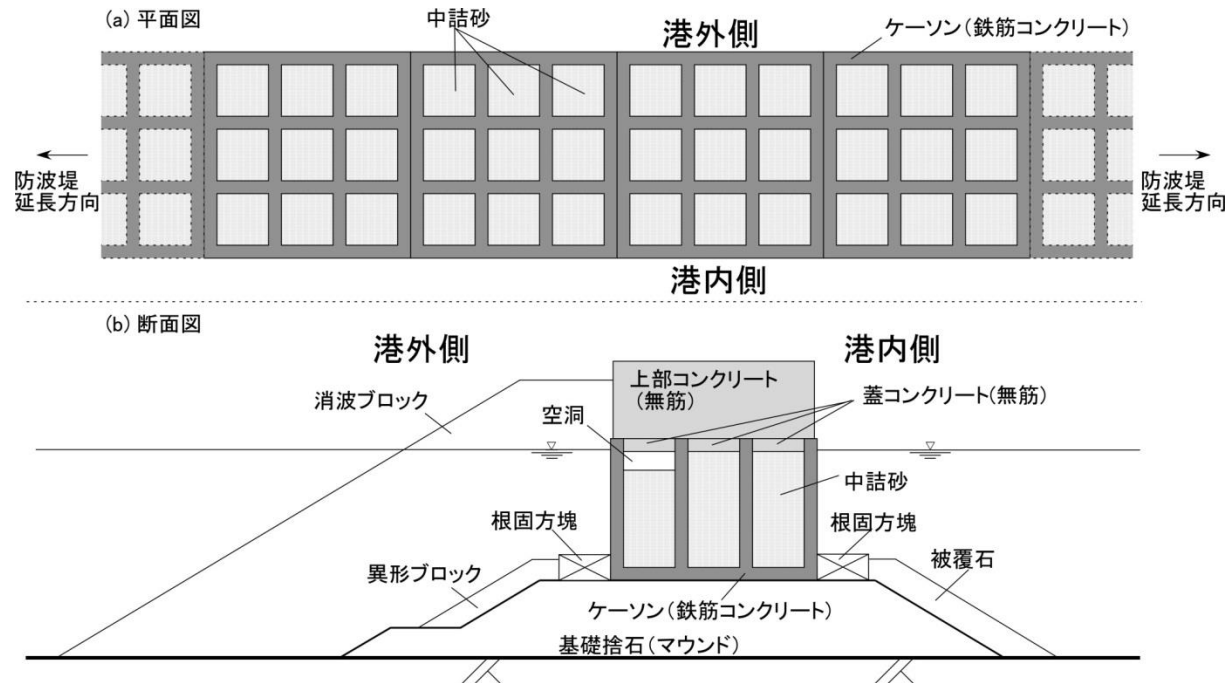
鈴木ほか(2008)

目次

- はじめに～物理探査とは
- 物理探査手法と適用事例
- 河川堤防における物理探査
- **港湾構造物における物理探査**
- 統合物理探査による河川堤防内部構造評価
- 岩石物理学によるアプローチ
- 最新の研究成果

港湾構造物診断への応用

- 防波堤（消波ブロック被覆堤）の場合，長年の波浪により消波ブロックがケーソンの側壁を削り，孔が空くことがある。マウンドの洗掘や基礎地盤の不等沈下によりケーソン自体が割れてしまうこともある。その場合中詰砂が流出し，ケーソンの上部に空洞が生じる。中詰砂の流出量によっては相対的に上部が重くなるため力学的に不安定となり，その結果ケーソン自体の移動・滑動が生じ，最悪の場合は破壊に至ることもある。



鈴木ほか(2007)

従来の技術の課題と本研究の目的

- 従来の手法
 - ①目視調査・形状測量
→ひび割れ・変形・沈下など変状を抽出
 - ②ボーリング・孔内カメラ→空洞確認
- 従来の地中レーダによる空洞の評価→解釈に個人差がある
- 厚さ数mのコンクリート直下の空洞を非破壊で効率良く探査するためにステップ周波数GPRを応用し，ケーソン内部空洞の有無を診断する「自動診断プログラム」を組み込んだ探査装置を開発し，実証実験を行った。

構造物診断装置の外観



鈴木ほか(2007)

上部コンクリートの電気特性試験



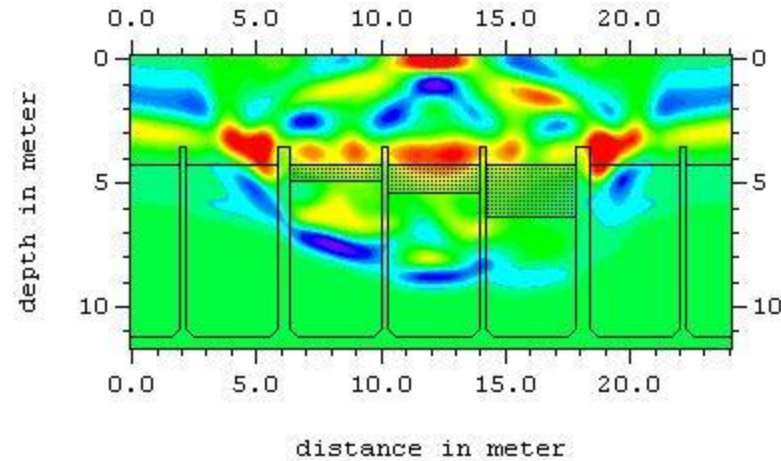
インピーダンス・ゲインフェーズ
・アナライザHP4194A



テストフィクスチャ
HP16034E

鈴木ほか(2007)

計算機シミュレーション



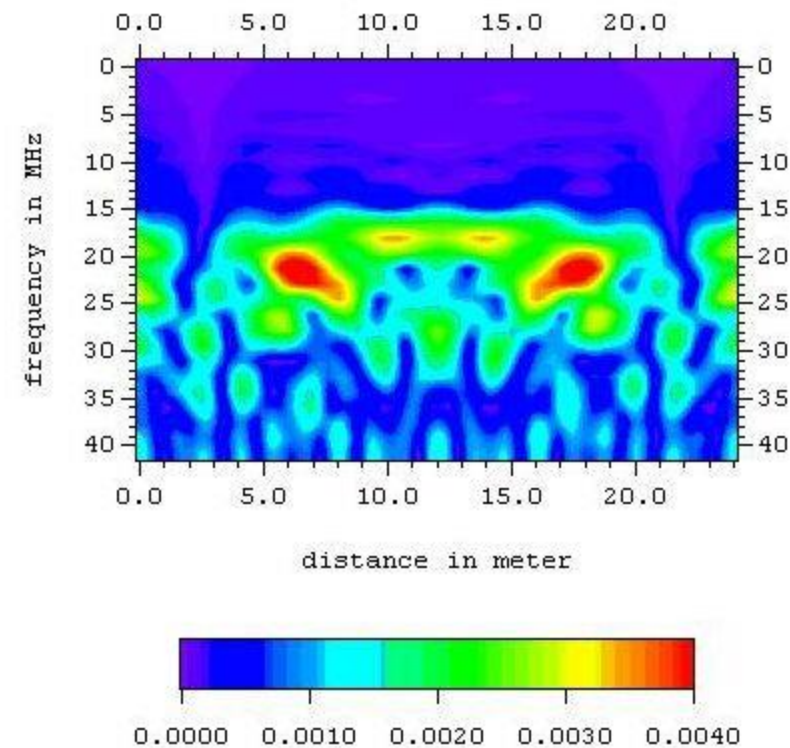
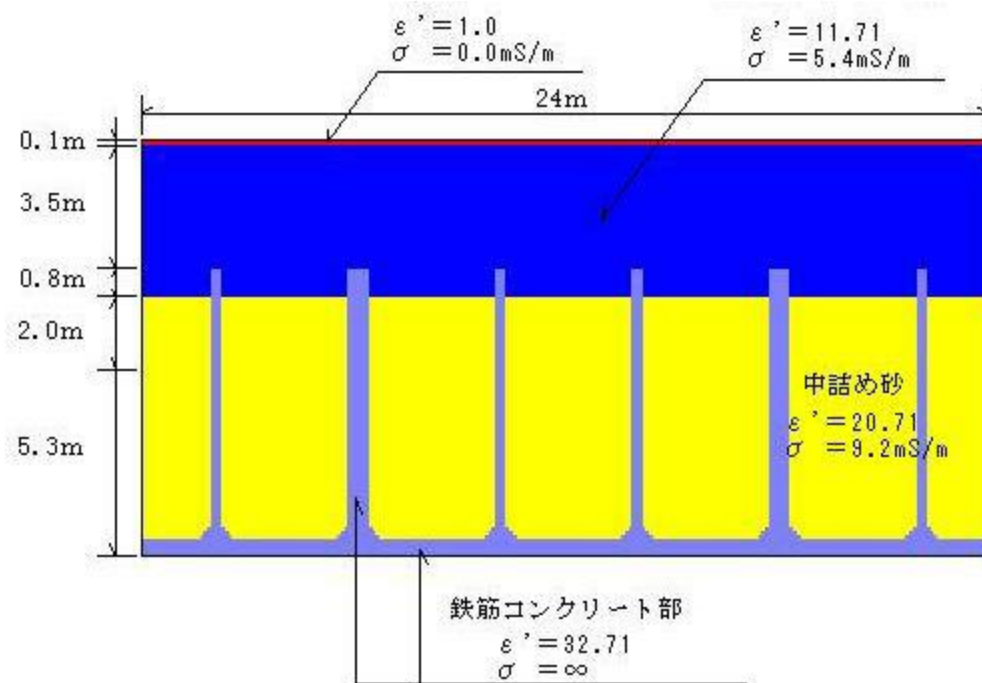
t=120.0ns

E: 電場
 ϵ : 誘電率
 σ : 導電率
 μ : 透磁率

鈴木ほか(2007)

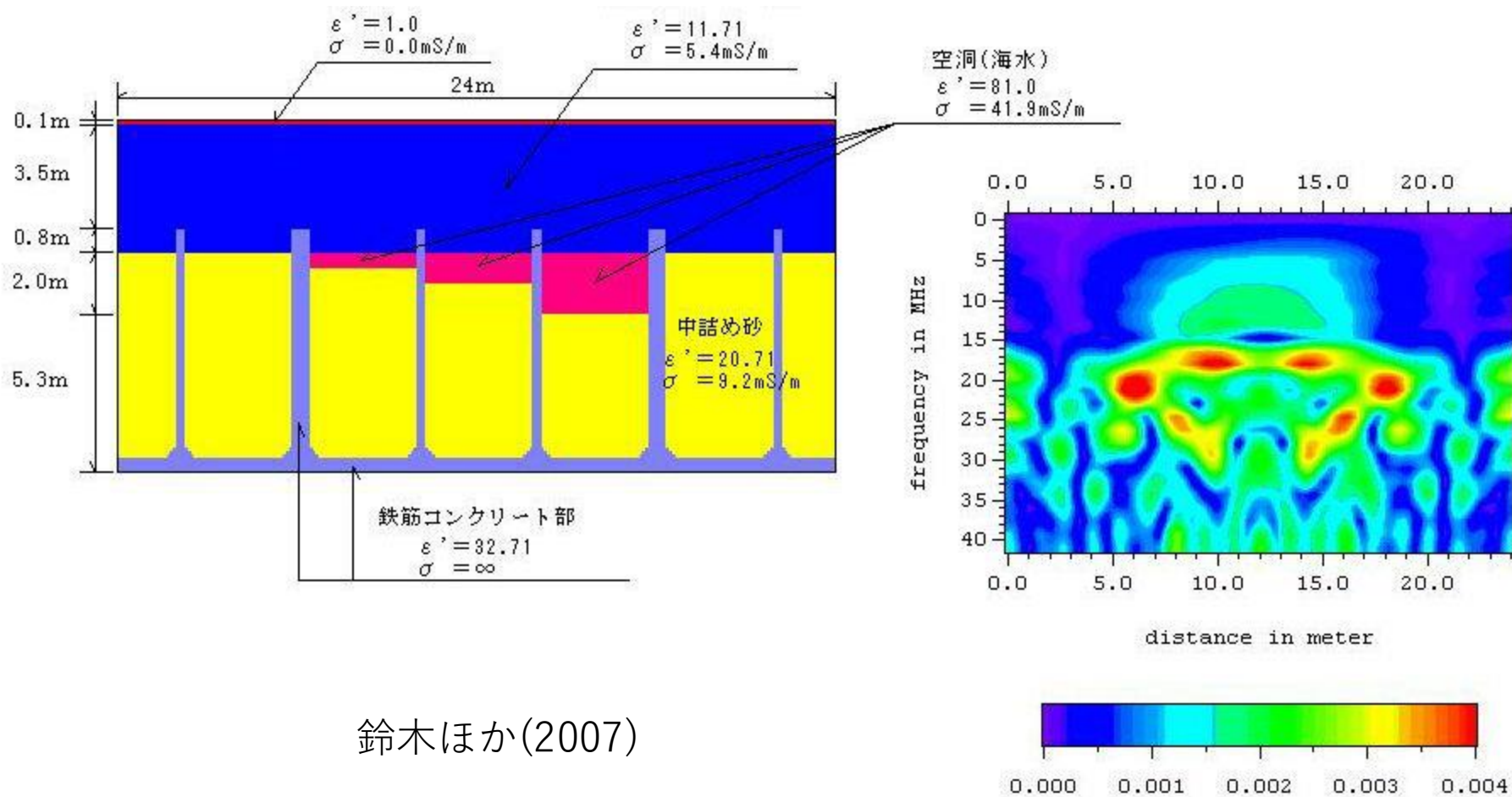
$$\nabla^2 E = \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} = \sigma \mu \frac{\partial E}{\partial t} + \epsilon \mu \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} + \mu \frac{\partial J_0}{\partial t}$$

構造モデル(空洞なし)



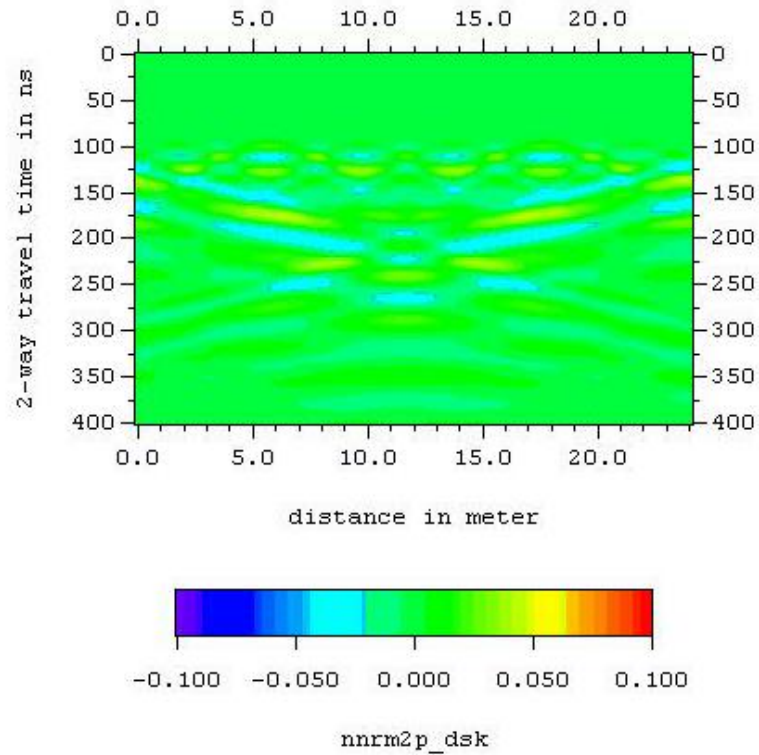
鈴木ほか(2007)

構造モデル(海水空洞)

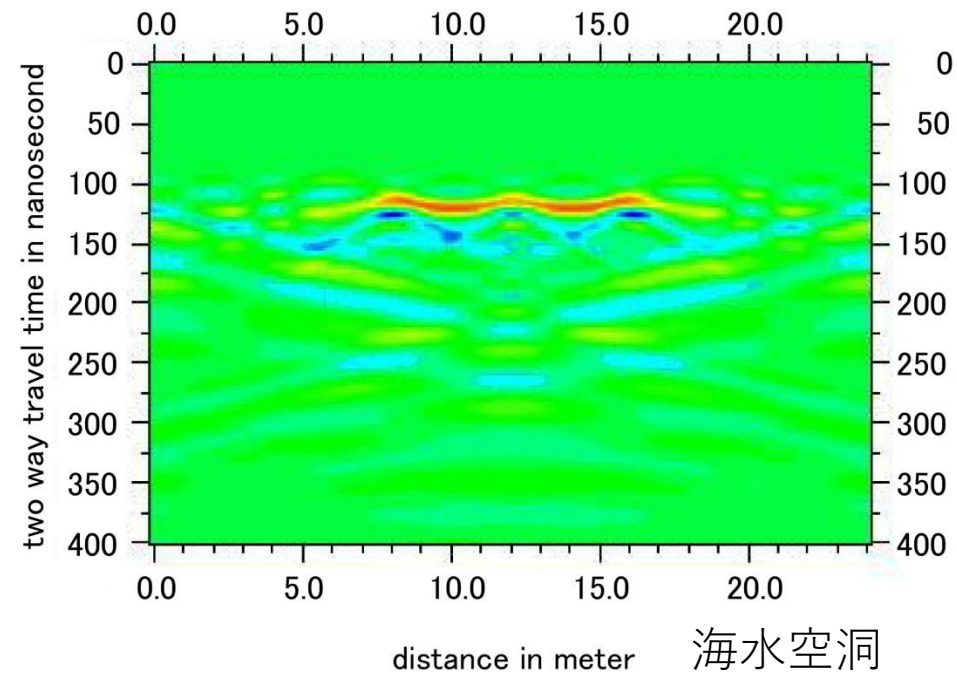
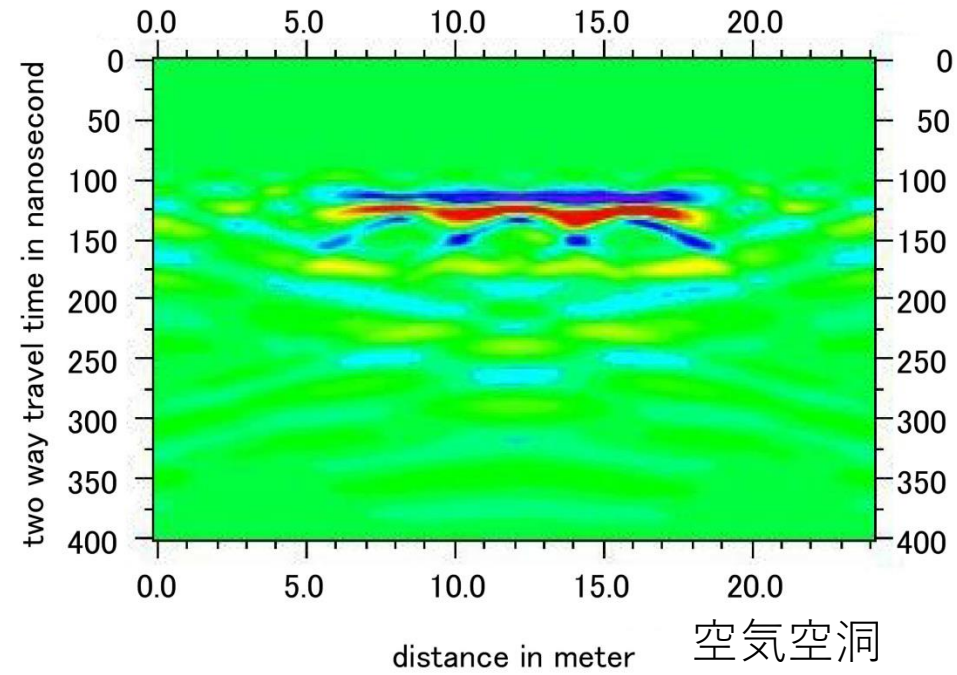


鈴木ほか(2007)

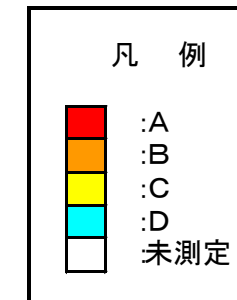
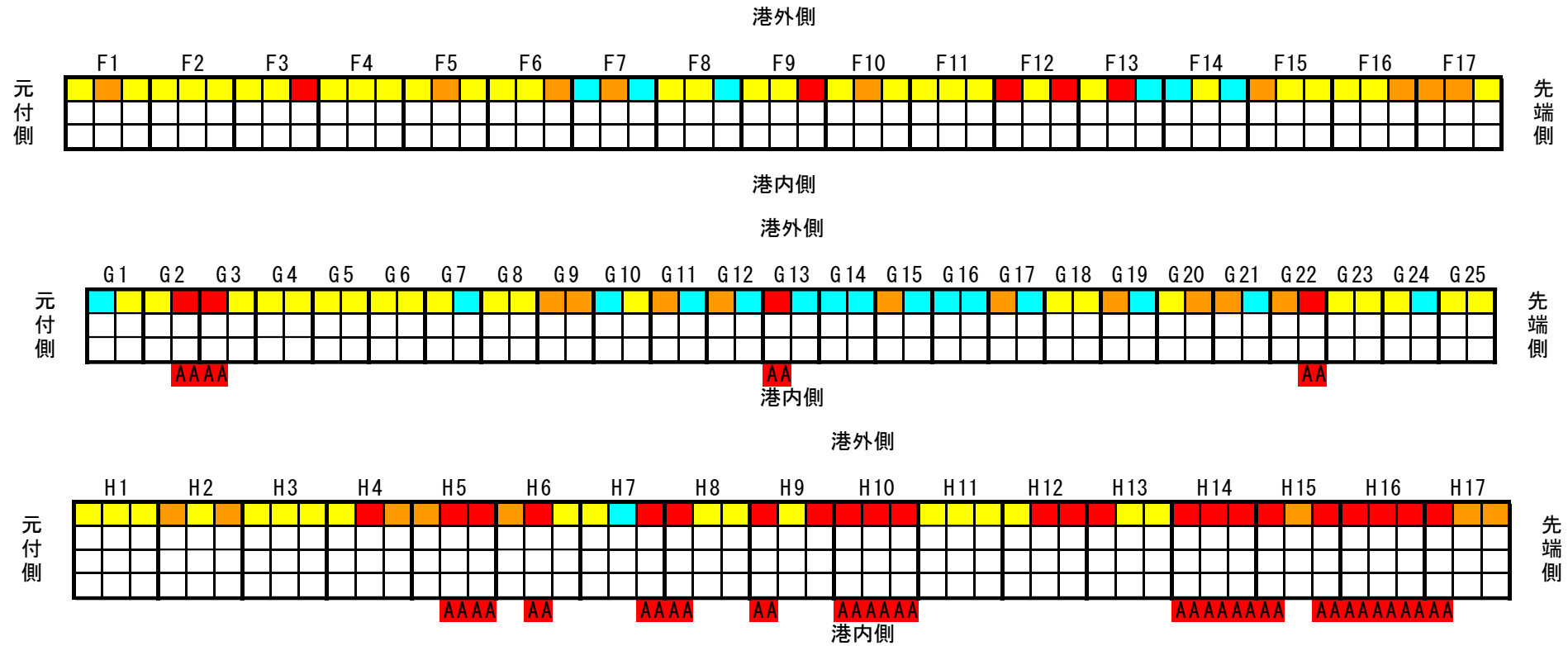
空洞内部物質による 反射波形の相違



空洞なし



平面図の作成



鈴木ほか(2007)

構造物診断装置のまとめ

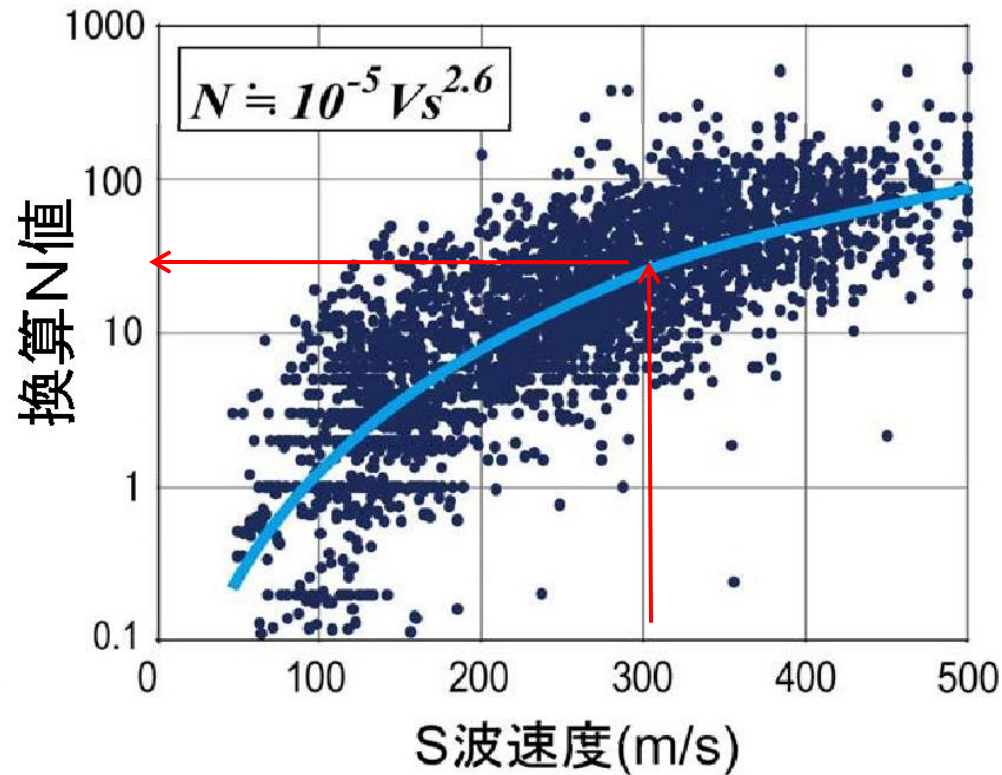
- 構造物診断装置により防波堤ケーソン内の空洞を非破壊で調査することができる。
- 自動診断プログラムにより空洞の有無を判定できる（特許取得）。
- 同じパラメータの元では誰が行っても同じ結果が得られる。
- ボーリング結果との整合性は、新潟東港で約8割、金沢港で7割であった。
- 今後は他の防波堤でも実績を重ねる必要がある。

目次

- はじめに～物理探査とは
- 物理探査手法と適用事例
- 河川堤防における物理探査
- 港湾構造物における物理探査
- **統合物理探査による河川堤防内部構造評価**
- 岩石物理学によるアプローチ
- 最新の研究成果

物性情報への変換

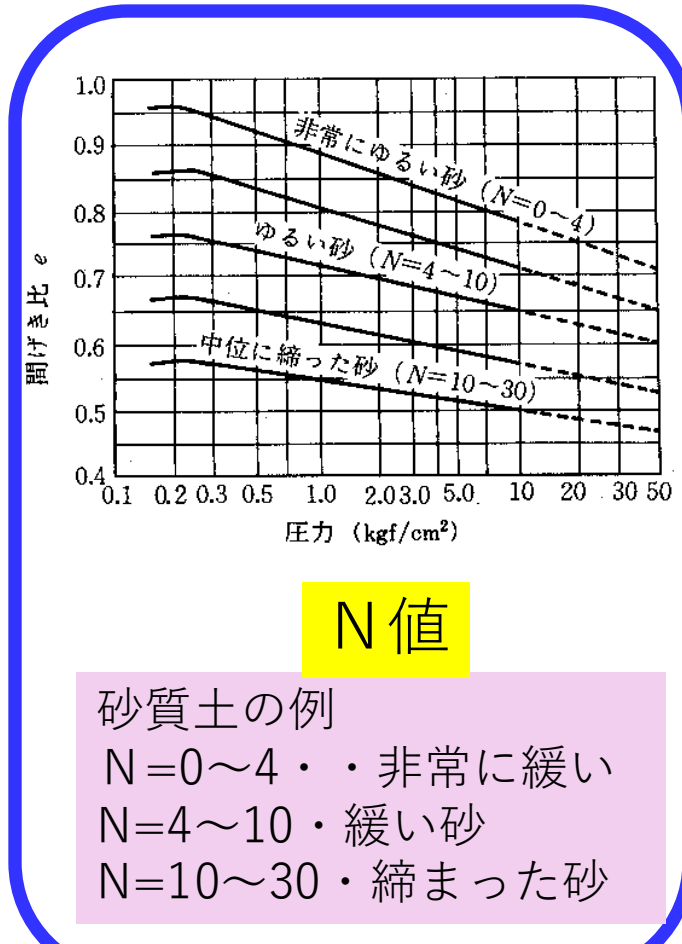
表面波探査の場合（S波速度からN値へ）



S波速度は
N値と相関



S波速度より
N値を推定可能



N 値

砂質土の例

$N=0\sim4$ ・ ・ ・ 非常に緩い

$N=4\sim10$ ・ 緩い砂

$N=10\sim30$ ・ 締まった砂

低速度：緩い

高速度：締まった

電気探査の場合 (比抵抗から土質・透水性へ)

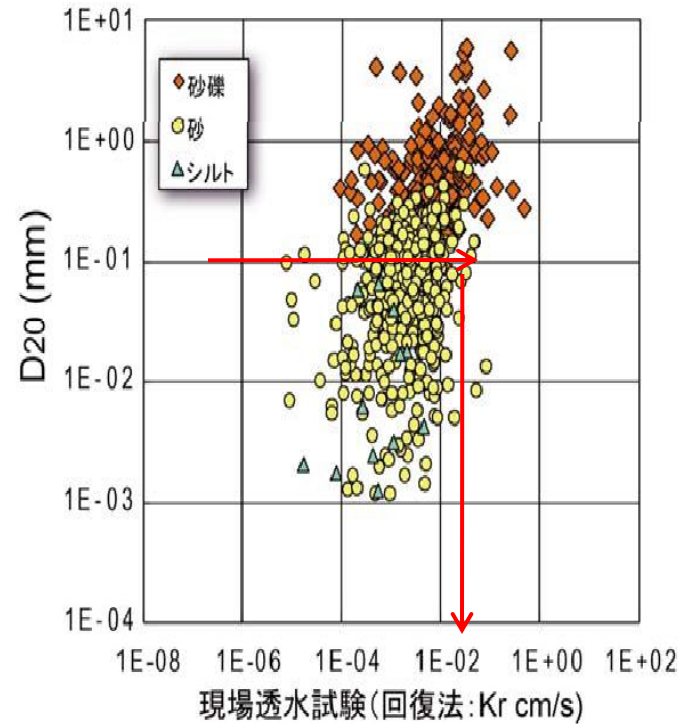
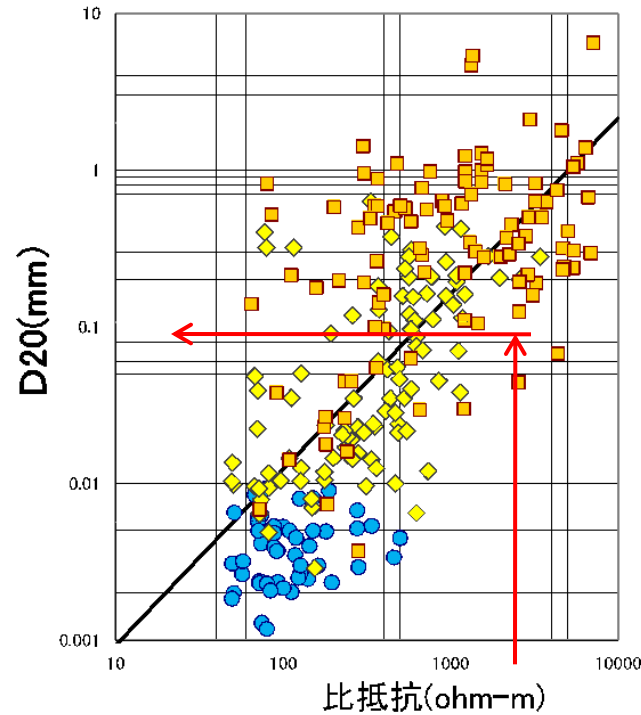


表-1 D粒径と透水係数の関係表

D ₂₀ (mm)	k(cm/sec)	土質分類
0.0010	1.50E-07	細粒粘土
0.0028	1.00E-06	粗粒粘土
0.005	3.00E-06	細粒シルト
0.010	1.05E-05	粗粒シルト
0.020	4.00E-05	粗粒シルト
0.030	8.50E-05	粗粒シルト
0.040	1.75E-04	粗粒シルト
0.050	2.80E-04	粗粒シルト
0.060	4.60E-04	粗粒シルト
0.070	6.50E-04	粗粒シルト
0.080	9.00E-04	粗粒シルト
0.090	1.40E-03	粗粒シルト
0.100	1.75E-03	粗粒シルト
0.120	2.60E-03	粗粒シルト
0.140	3.80E-03	粗粒シルト
0.160	5.10E-03	粗粒シルト
0.180	6.85E-03	粗粒シルト
0.200	8.90E-03	粗粒シルト
0.250	1.40E-02	粗粒シルト
0.300	2.20E-02	粗粒シルト
0.350	3.20E-02	粗粒シルト
0.400	4.50E-02	粗粒シルト
0.450	5.80E-02	粗粒シルト
0.500	7.50E-02	粗粒シルト
0.600	1.10E-01	粗粒シルト
0.700	1.80E-01	粗粒シルト
0.800	2.15E-01	粗粒シルト
0.900	2.80E-01	粗粒シルト
1.000	3.60E-01	粗粒シルト
2.000	1.80E+00	粗粒シルト

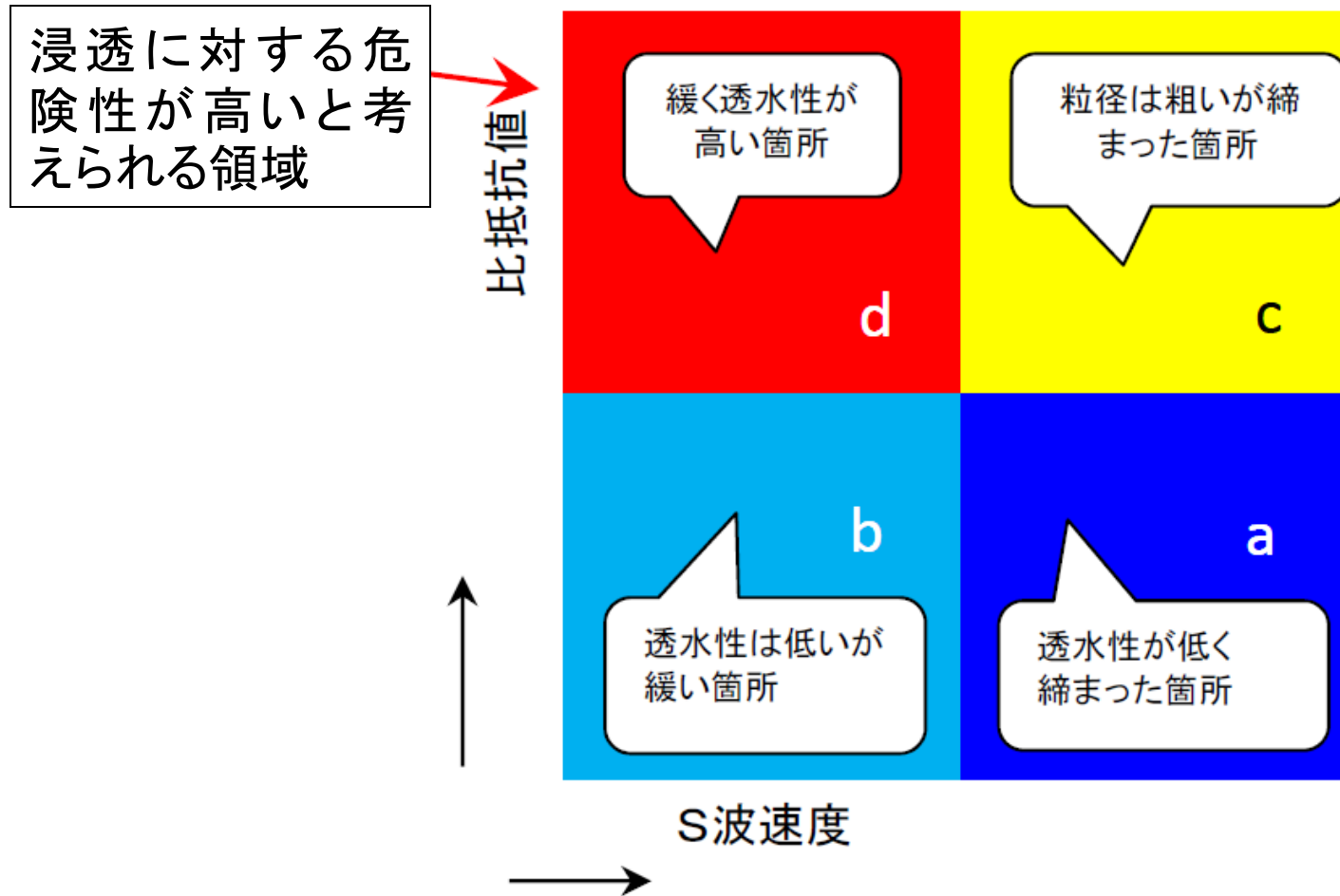
比抵抗で土質区分
比抵抗は粒度特性と相関

比抵抗から透水係数
推定可能

高比抵抗・・・砂質土, 低比抵抗・・・粘性土

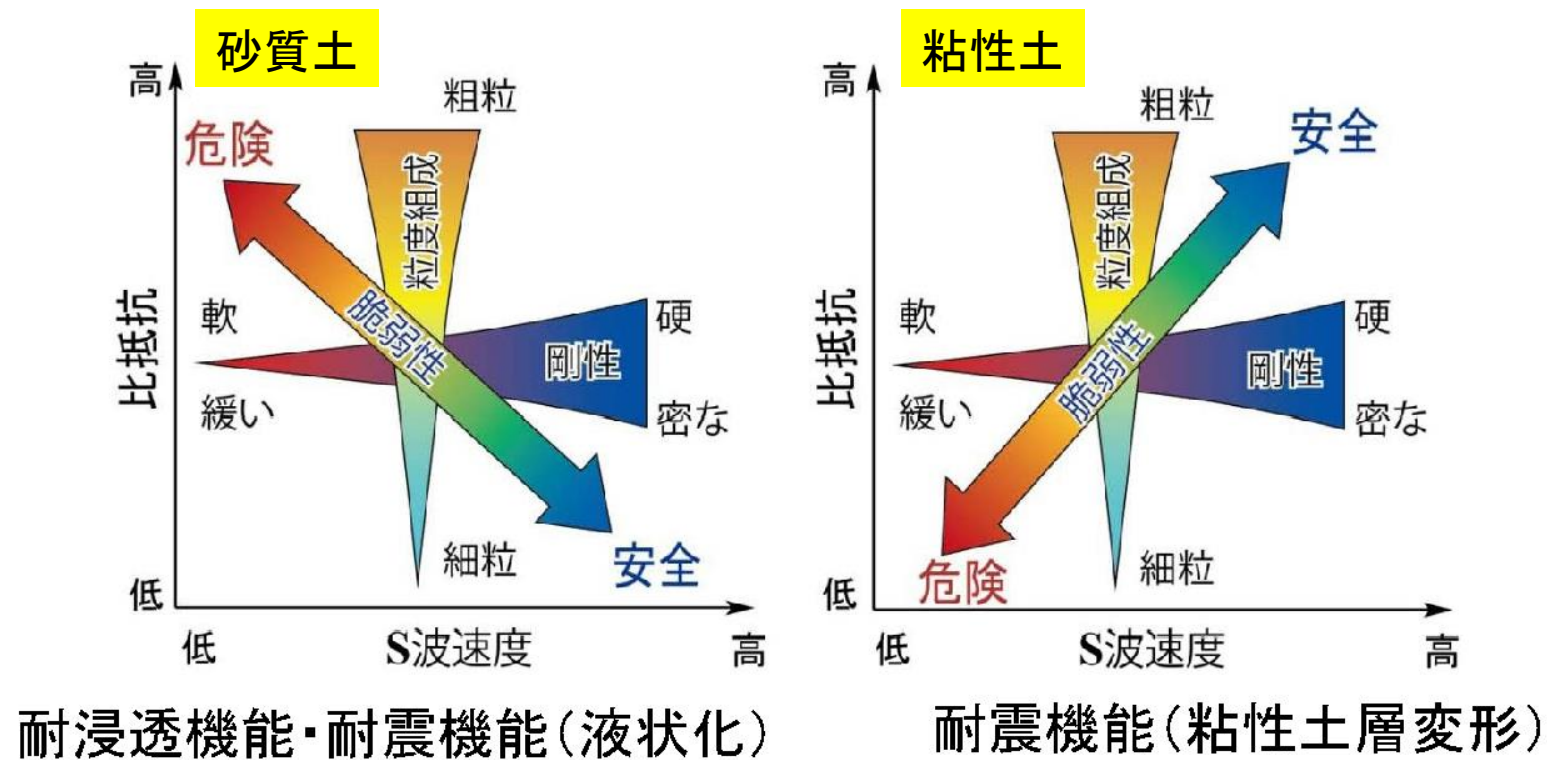
Cragerによる
D20mm粒径と
透水係数の関係

クロスプロットの考え方



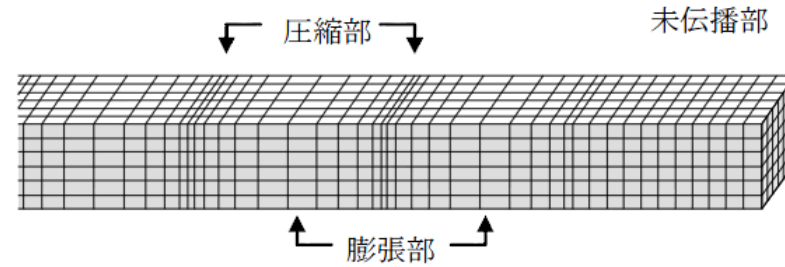
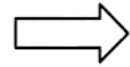
堤防内部構造の評価方法

S波速度と比抵抗値から，評価物理量である耐浸透機能・耐震機能を簡易的・統計的に求めることにより健全性を評価する。



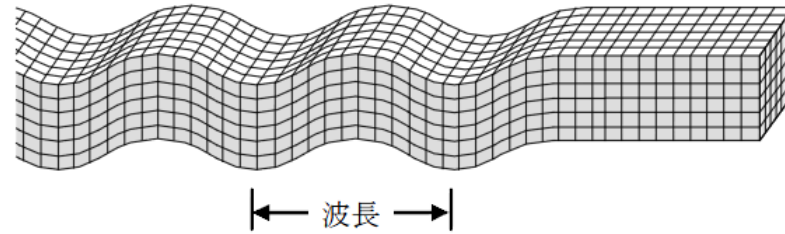
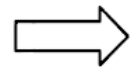
表面波とは？

波の伝播方向

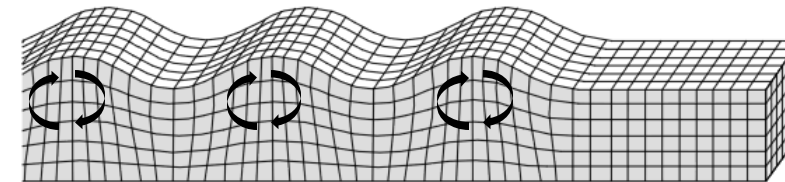
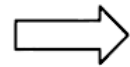


P波

実体波

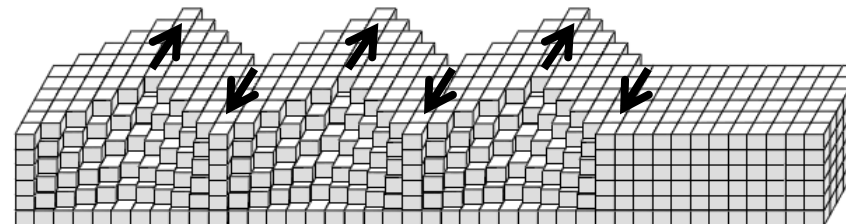
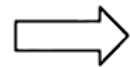


S波



レイリー波

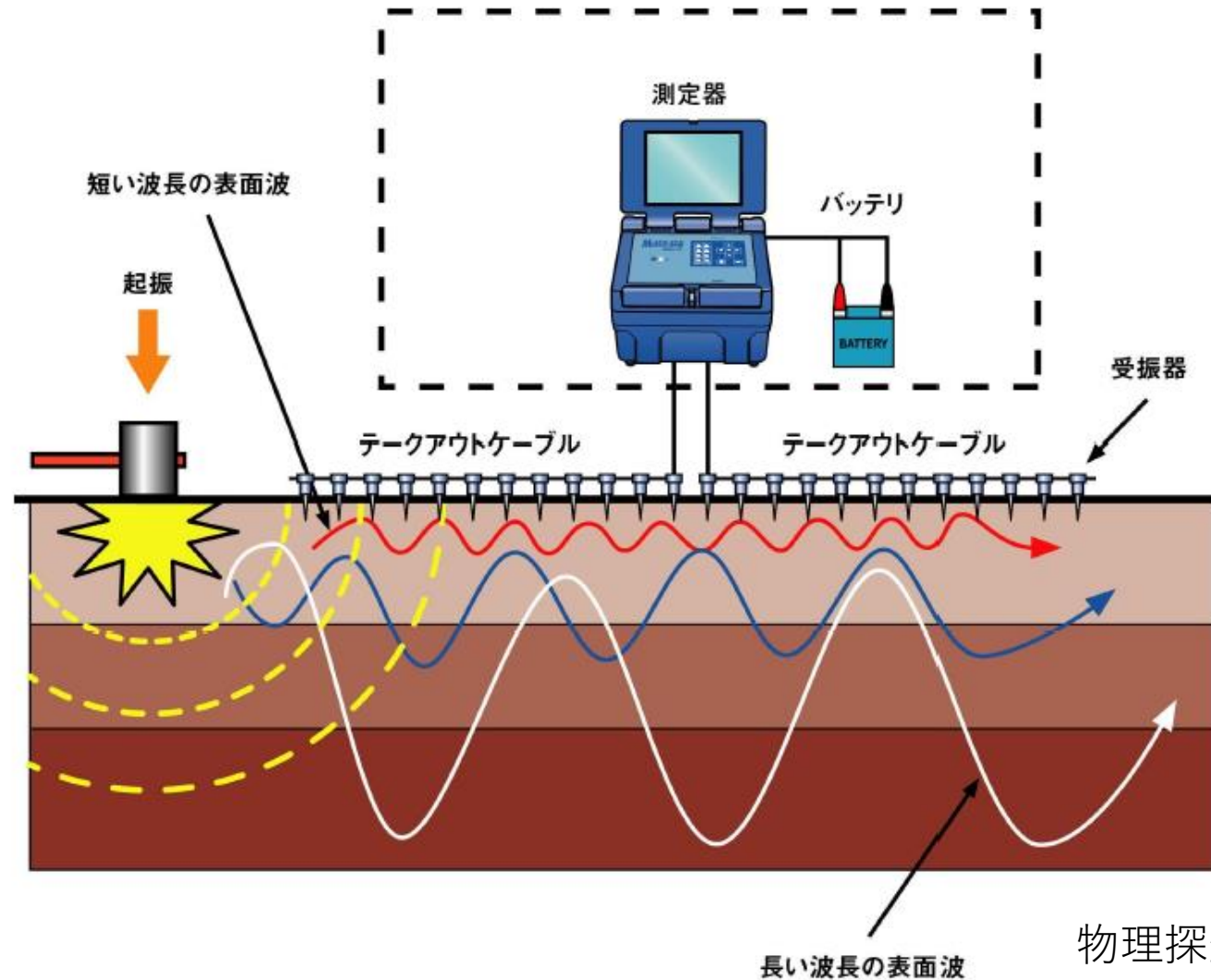
表面波



ラブ波

物理探査学会(2008)に加筆

表面波の伝わり方

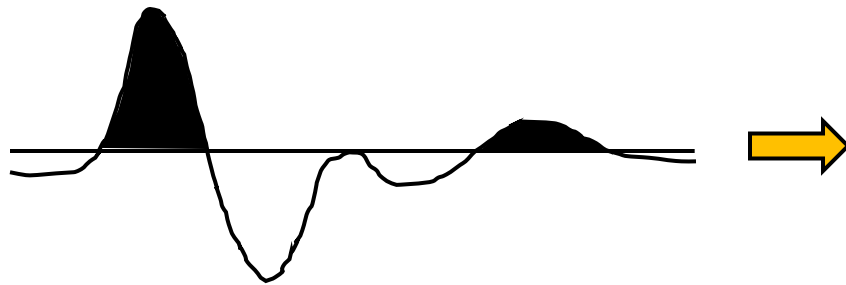


牽引式表面波探査現地測定状況

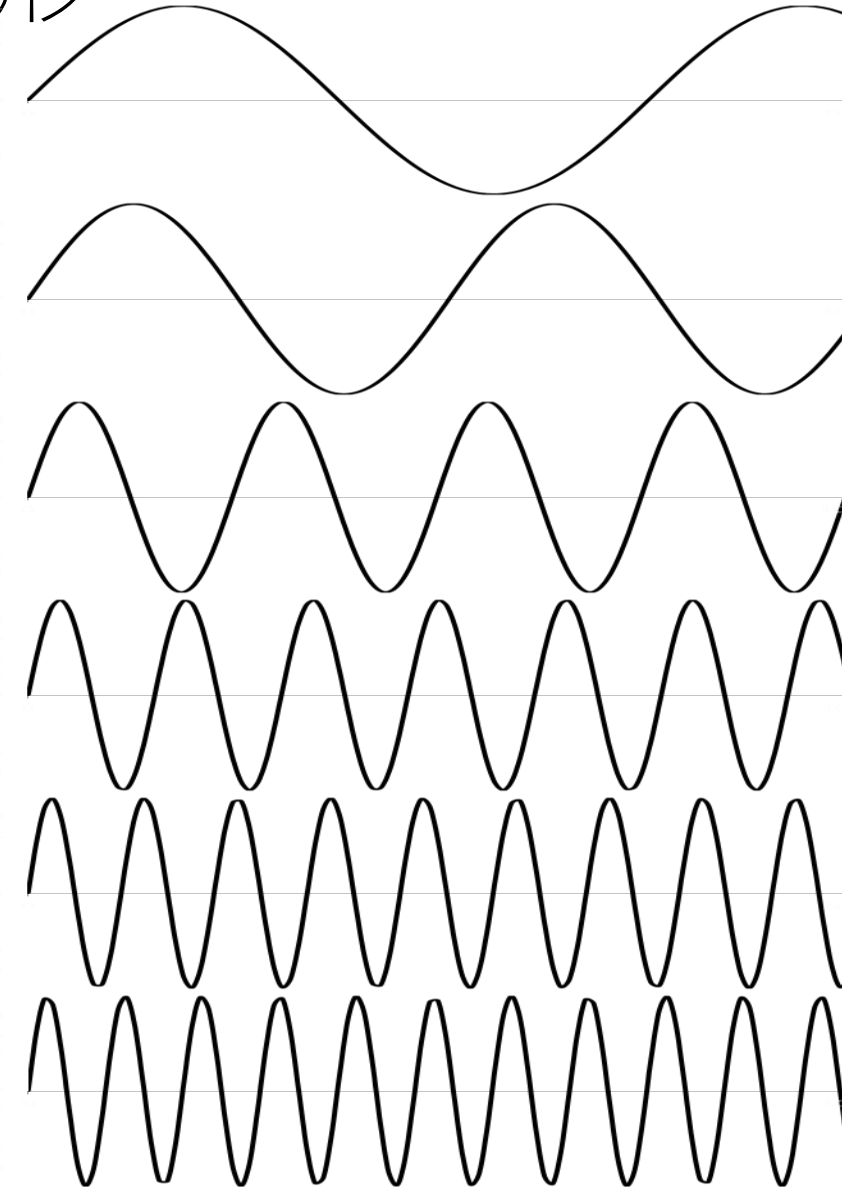


表面波探査の受振 波形

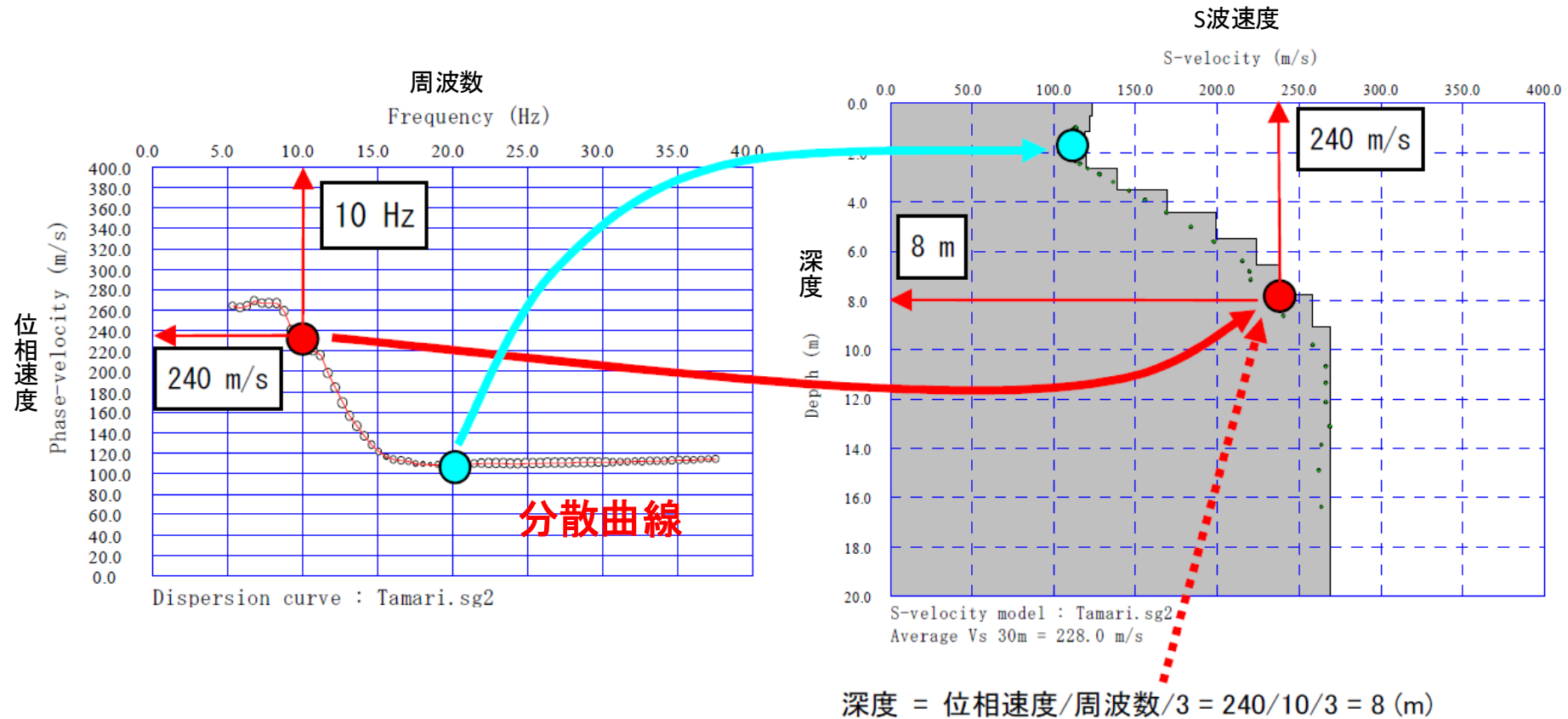
•かけやで起振した波形を地震計で受振する。



- 受振波形には様々な波長(周波数)の正弦波の重ね合わせからなっている。
- 波長ごとの表面波の伝播速度は、波長(周波数)によって異なる(→分散)。
- 地下のS波速度構造に依存する。



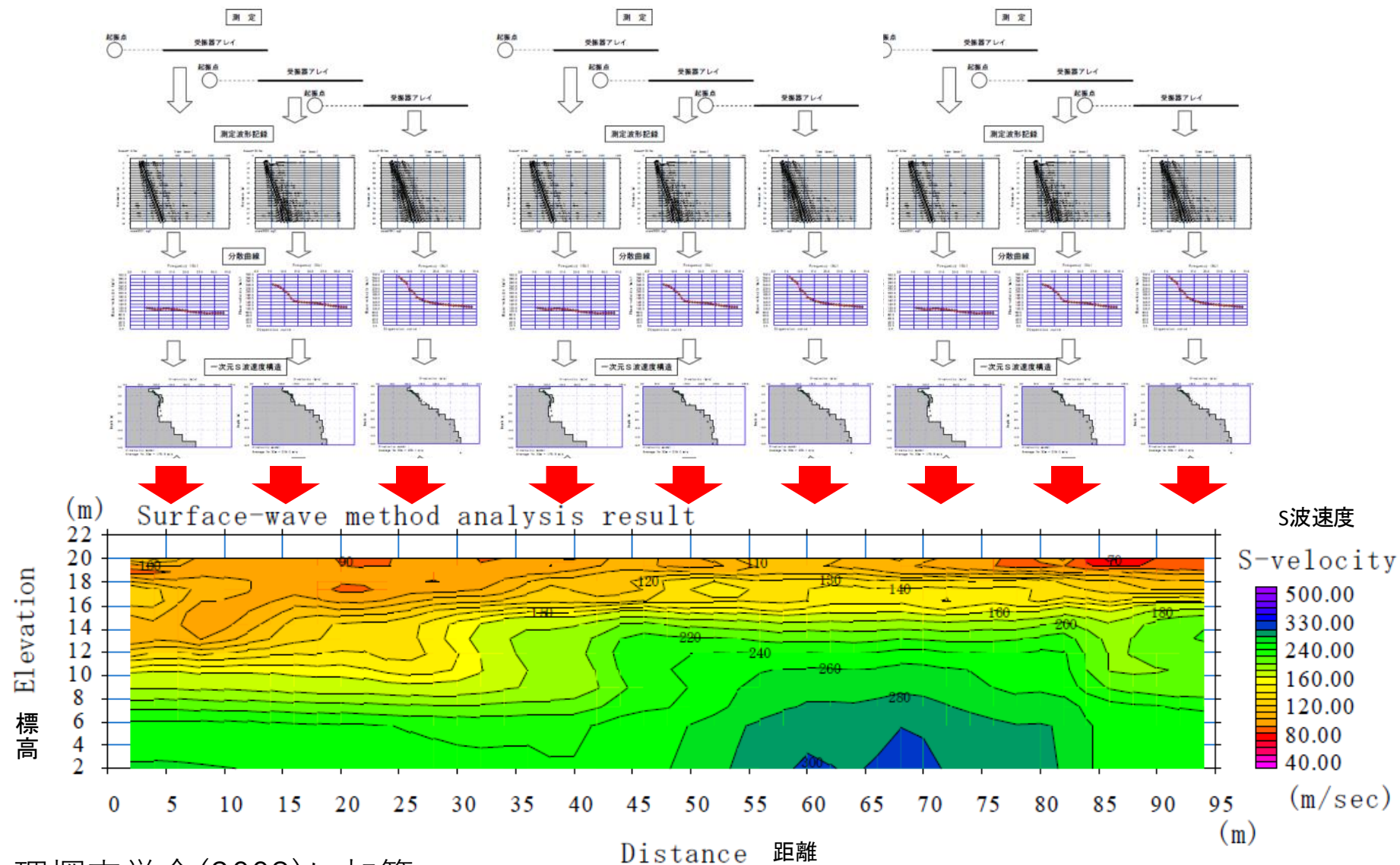
分散曲線と S 波速度構造



物理探査学会(2008)に加筆

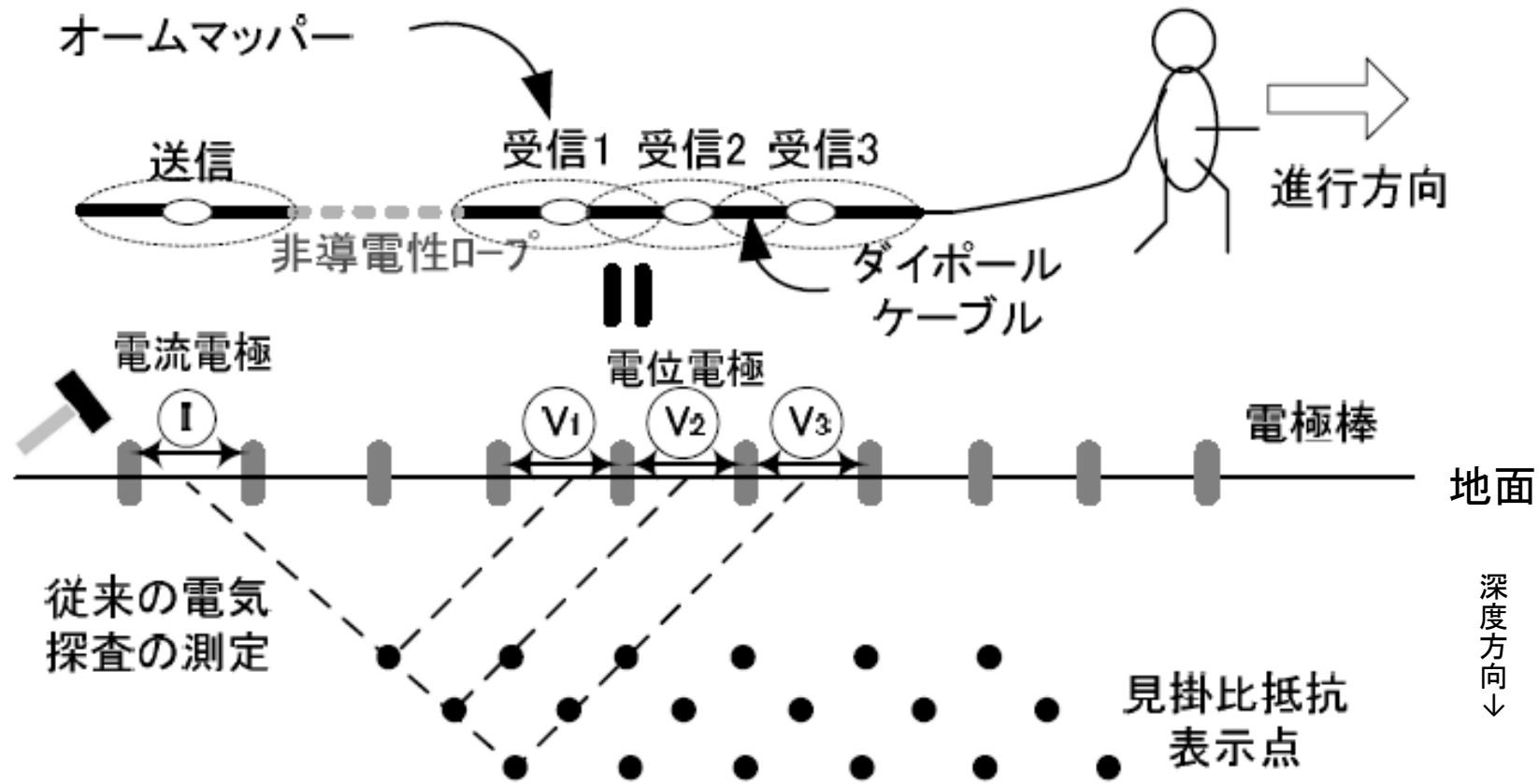
三分の一波長則

二次元 S 波速度断面図 (イメージ図)

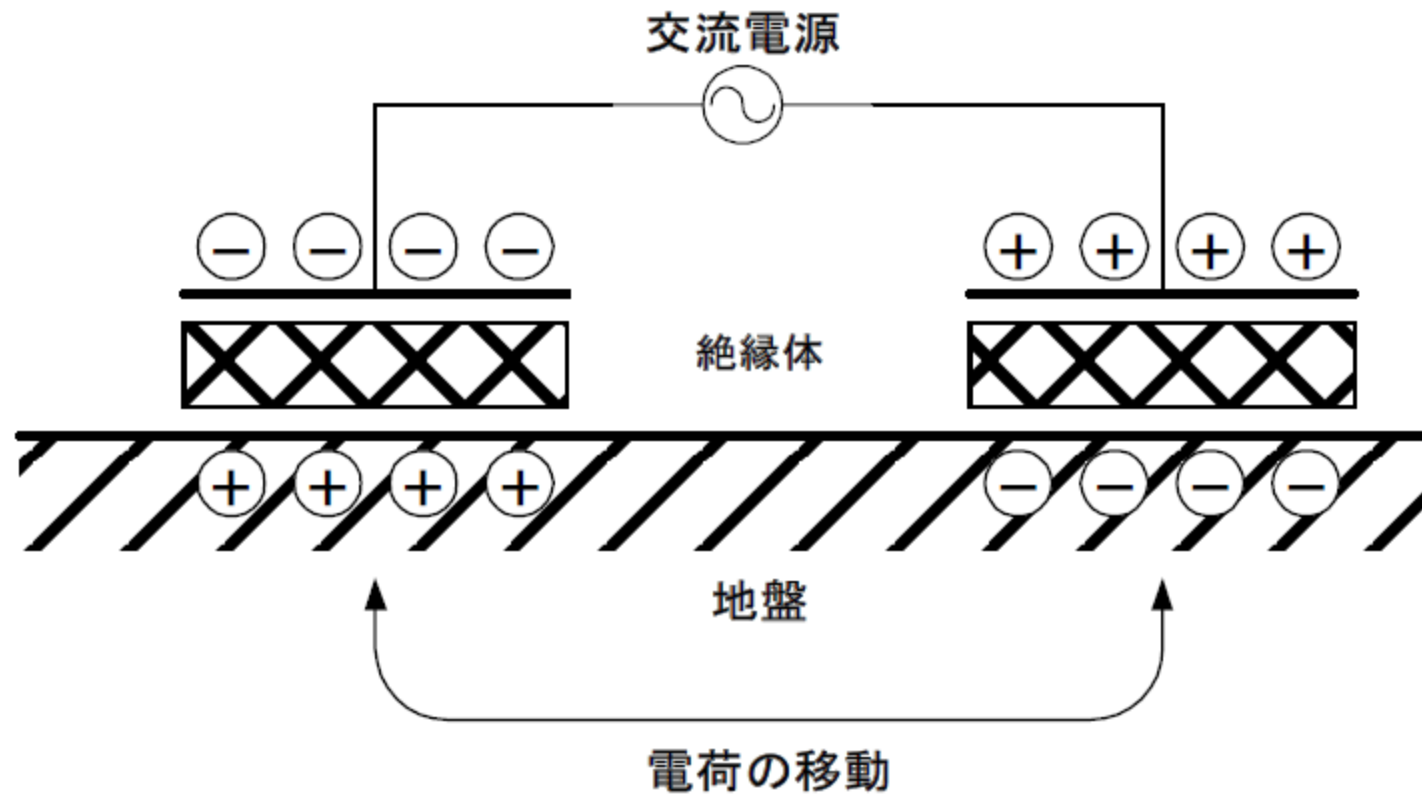


物理探査学会(2008)に加筆

牽引式電気探査



キャパシタ電極

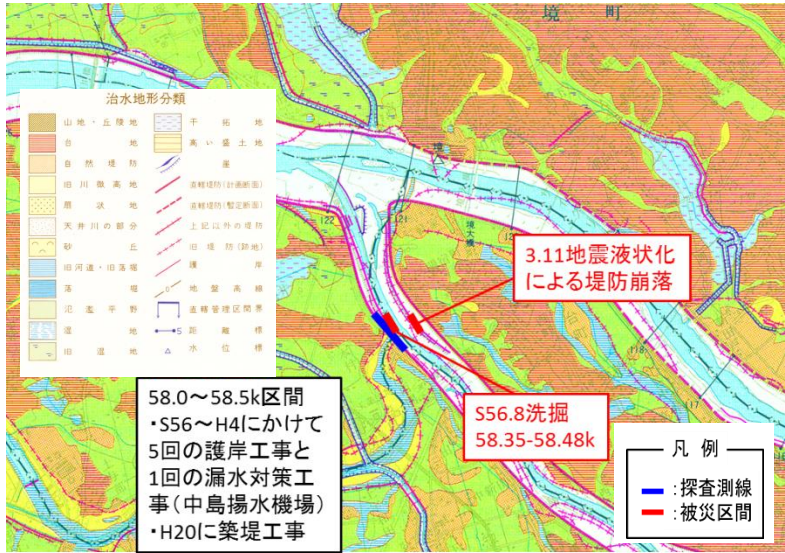


牽引式電気探査現地測定状況



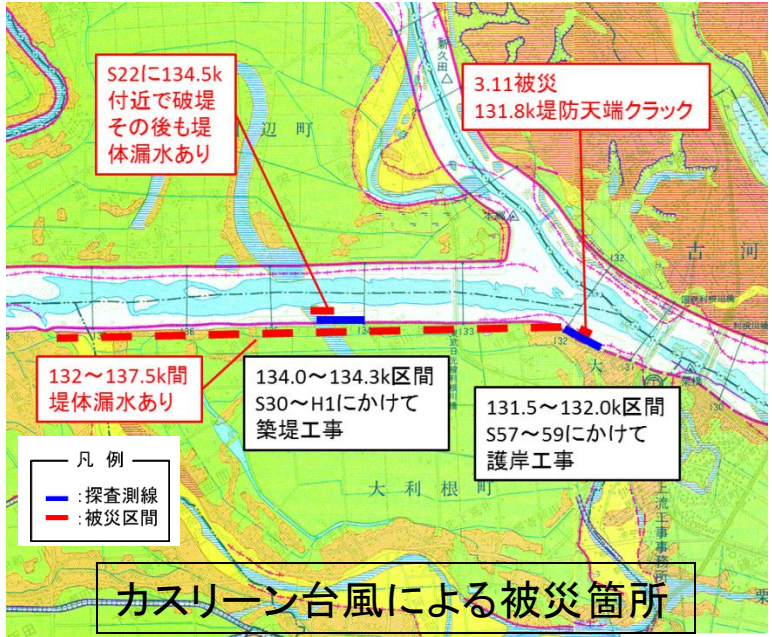
江戸川右岸58.0～58.5k (測線長L=500m)

3.11で被災した対岸、
過去に洗掘もあり



牽引式表面波探査測定状況

利根川右岸134.0～134.3k(測線長L=500m)



牽引式電気探査測定状況

鈴木ほか(2014)

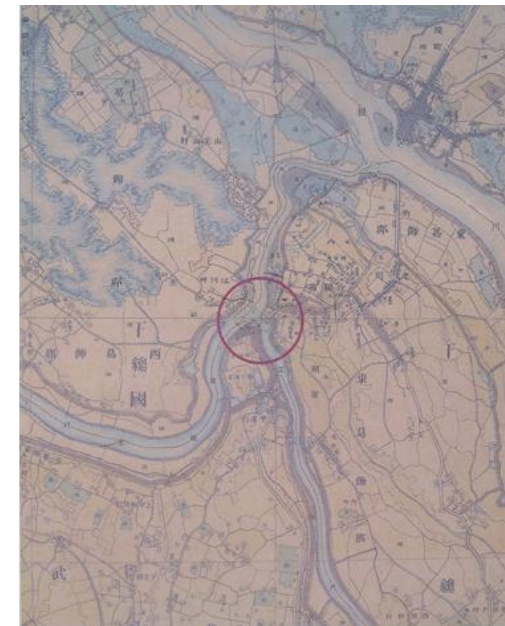
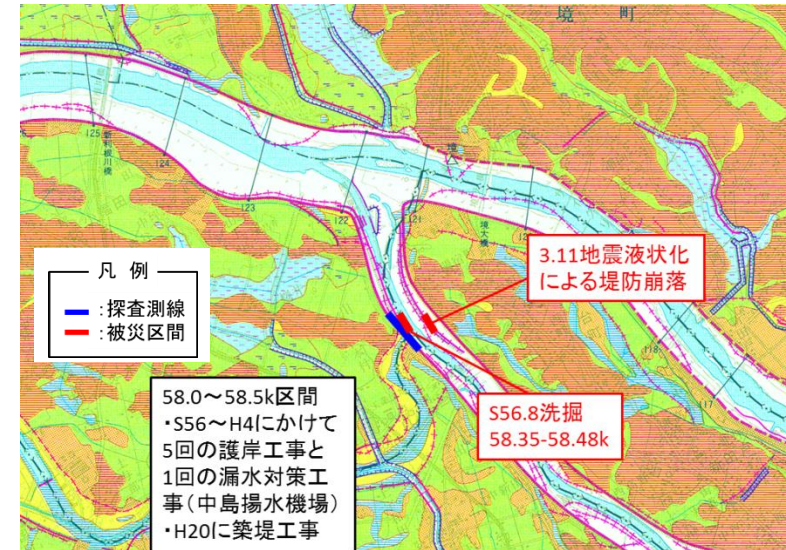
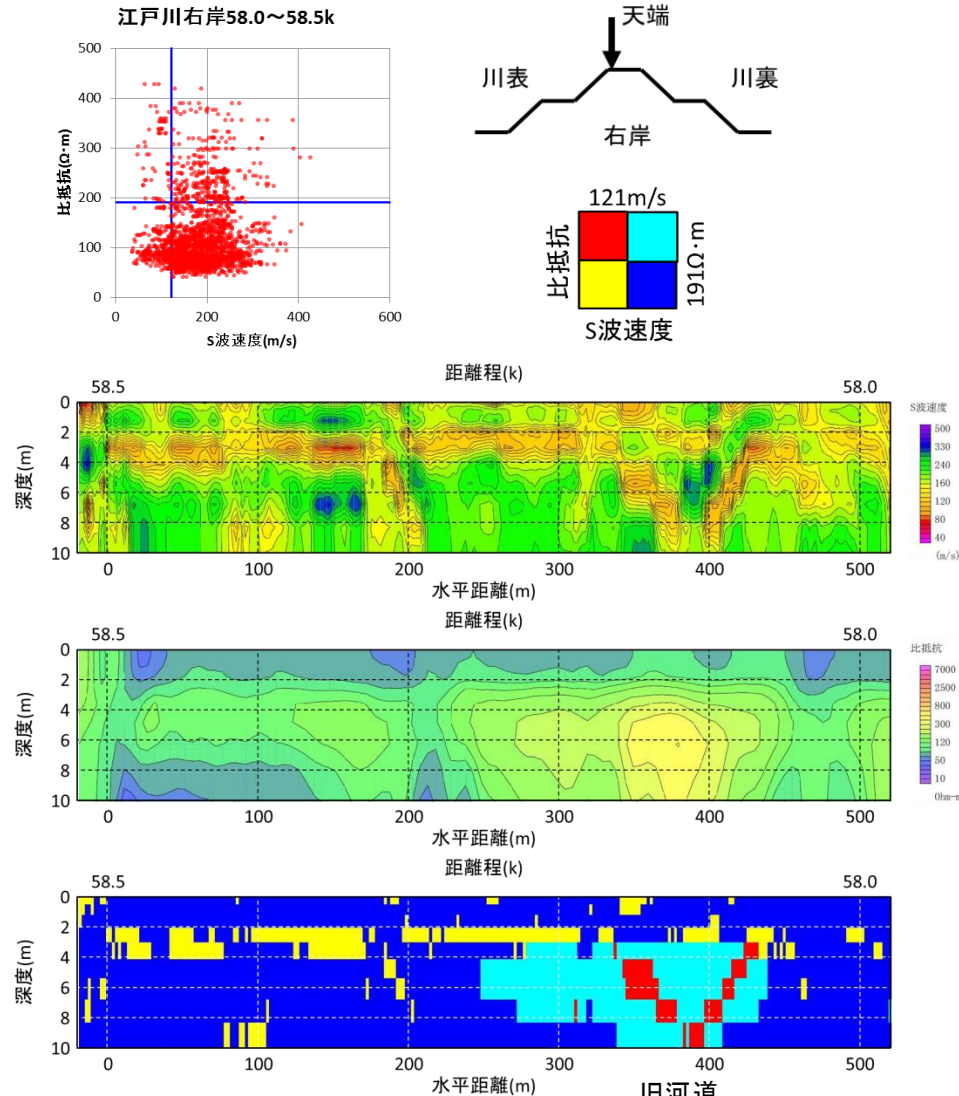
江戸川右岸58.0kp区間

(左:天端、右:法尻)

(上:表面波探査、中:電気探査、下:安全性評価)

【安全性評価】

天端：S波速度のV字型谷状構造に相当する部分と高比抵抗の部分とが重なる領域に安全性の低い領域が認められる。この部分は旧権現堂川の河道に相当している。深度2～4mの低速度帯に相当する層準は、緩い粘性土系の土質であると推定される。水平距離240～450m（距離程58k+50～260m）区間の200Ω・m以上の領域は、比較的締まった砂層、それ以外は全体的に比較的締まった粘性土層であると推定される。



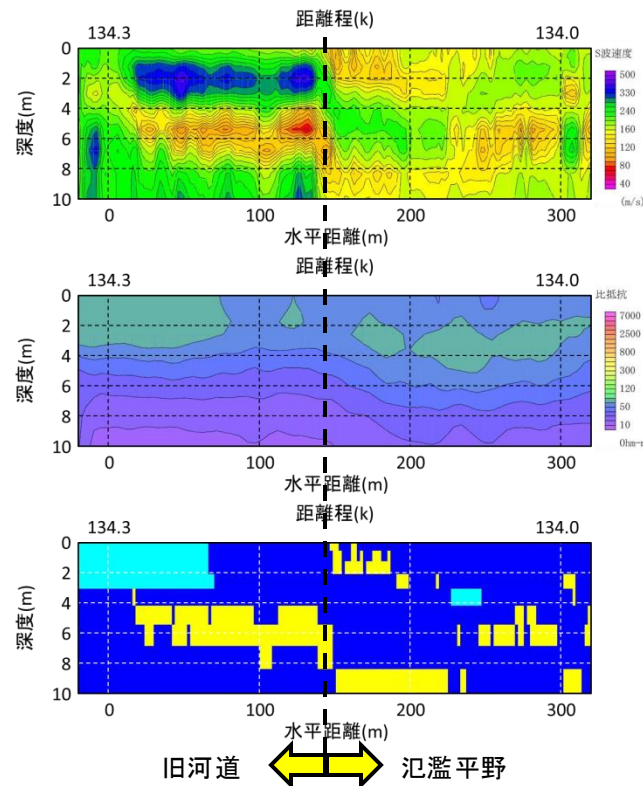
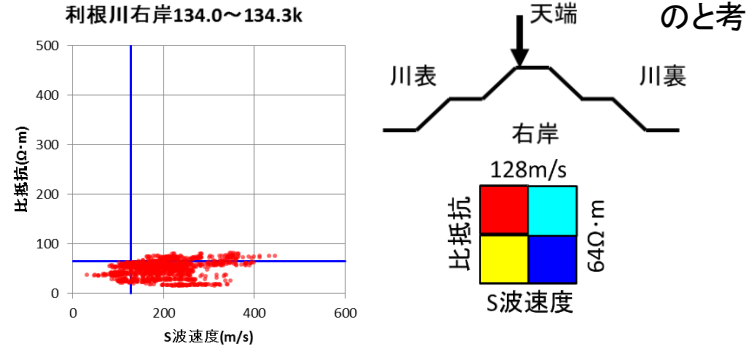
明治16年の地図

鈴木ほか(2014)

利根川右岸134.0kp区間

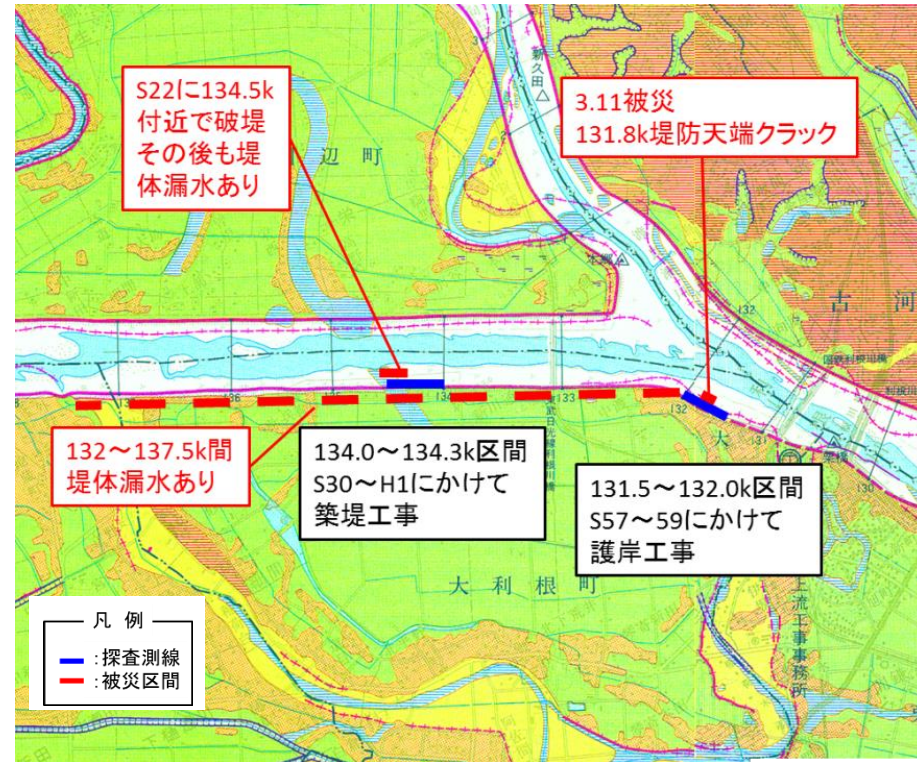
(左:天端、右:法尻)

(上:表面波探査、中:電気探査、下:安全性評価)



【安全性評価】

天端:全体的に比較的締まった粘性土層が主体であり、上流側の表層は比較的締まった砂質土層、その直ぐ下流の深度4~6mには緩い粘性土層が分布し、下流に行くに従って深くなっているように見える。この測線中央やや上流寄りの位置は、治水地形分類図を参照すると、測線の上流側の旧河道と下流側の氾濫平野の境となっている。安全性評価断面は、このような旧地形を反映した結果となっているものと考えられる。

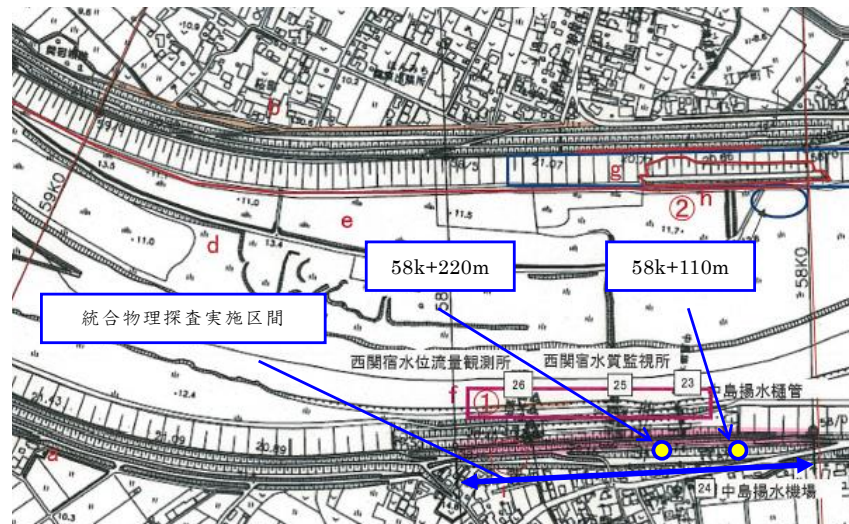


鈴木ほか(2014)

ボーリング調査(統合物理探査結果の検証のために実施)

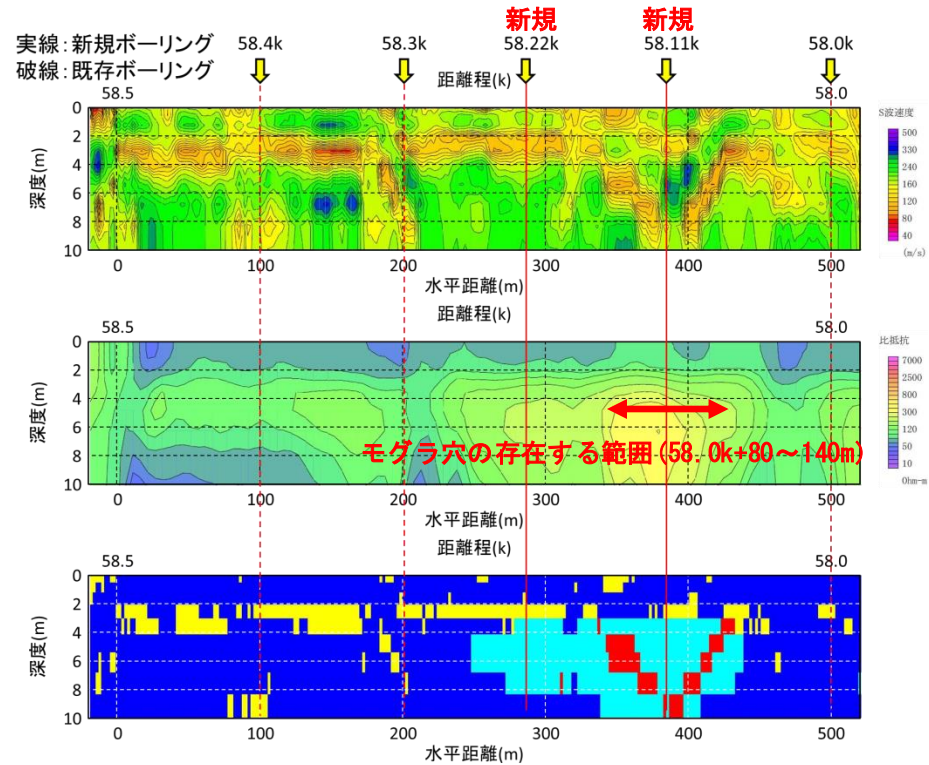
【調査位置】

統合物理探査で安全性の低いと評価された範囲を中心に、既存の3本のボーリング孔と合わせて等間隔になるように配置
→58k+110と58k+220



【結論】

安全性が低いと評価されたところでは、緩い砂質土が確認できた。
現地の観察(モグラ穴の密集地帯)と良く合っている。



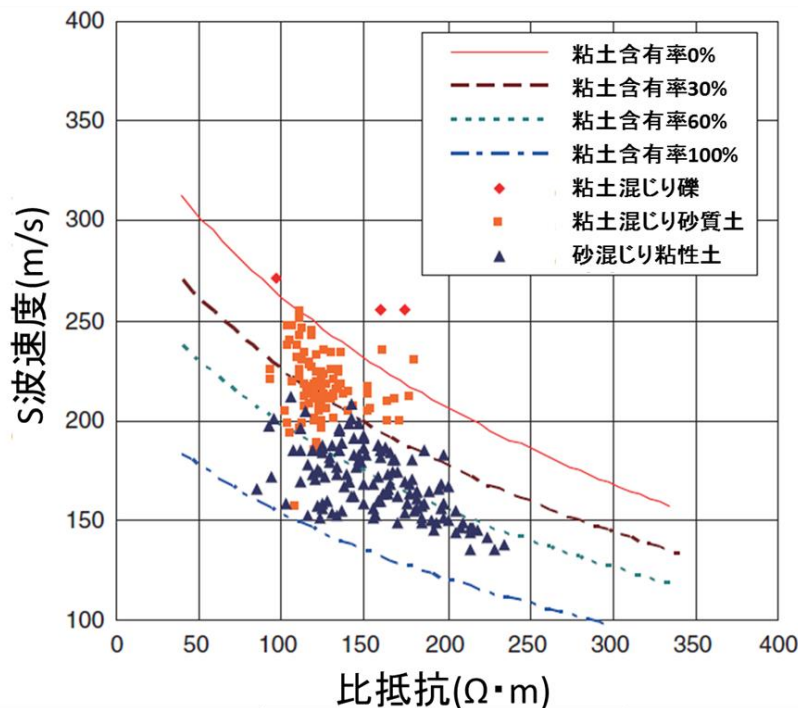
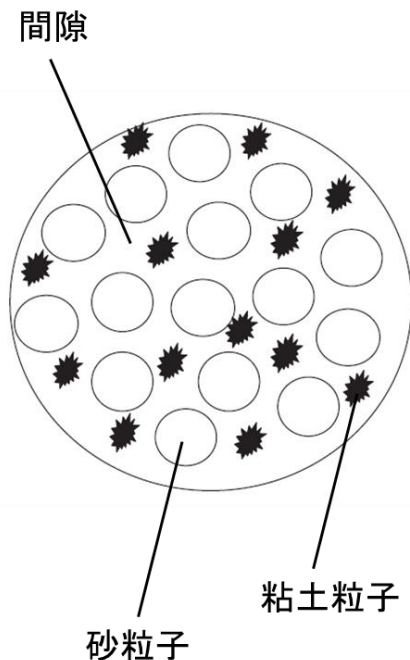
川裏側小段下法面に見られるモグラ穴の密集地帯
(ボーリング櫓は58k+110地点)

鈴木ほか(2014)

目次

- はじめに～物理探査とは
- 物理探査手法と適用事例
- 河川堤防における物理探査
- 港湾構造物における物理探査
- 統合物理探査による河川堤防内部構造評価
- **岩石物理学によるアプローチ**
- 最新の研究成果

岩石物理学的手法の適用



岩石物理学的手法による土質分類の例 (Takahashi and Yamamoto (2010) を和訳)

資源探査で使われている手法。
岩石や堆積物を「砂粒子」、「粘土粒子」、「間隙」から構成され则认为理論的にS波速度や比抵抗を計算することができる。

土の物理モデルは下記の3種類からなる

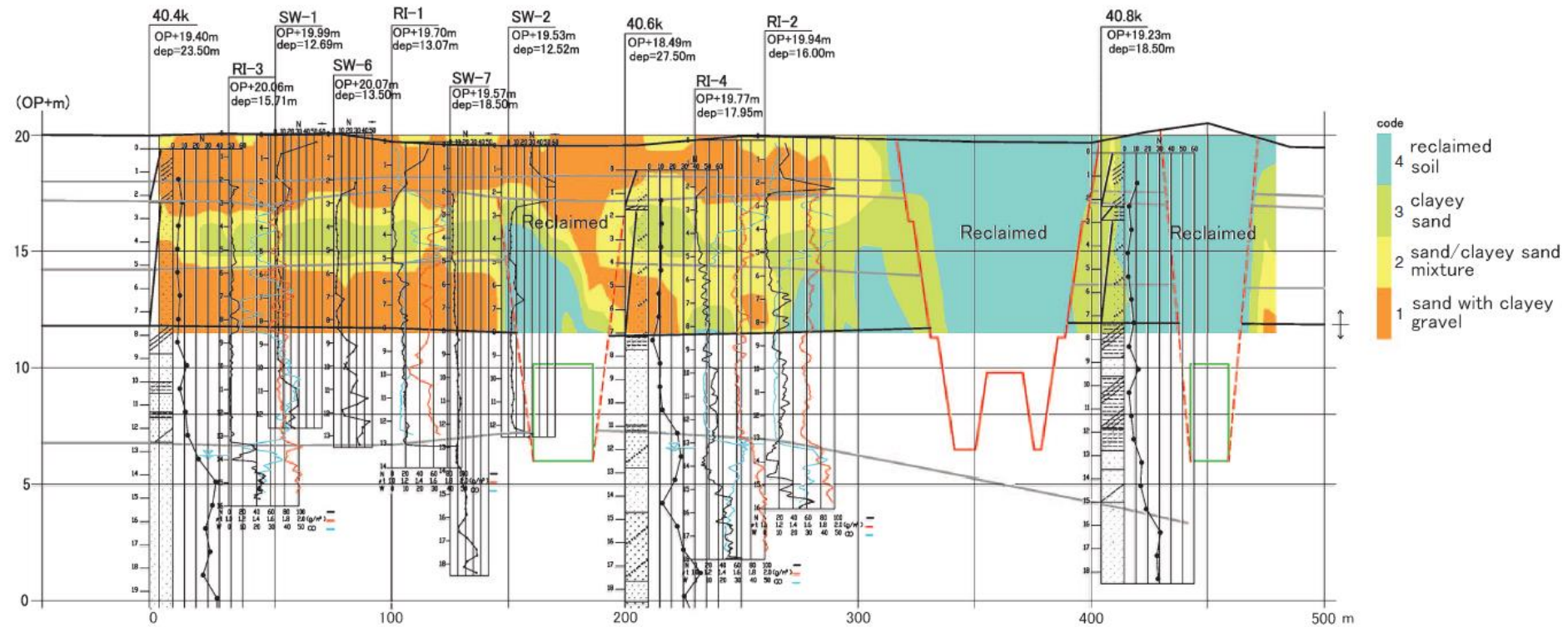
- ・ 砂粒子
- ・ 粘土粒子
- ・ 間隙

これらの3種類の割合から
「S波速度」を理論的に計算

比抵抗と間隙率に実験式を用い、
「S波速度」と「比抵抗」のクロスプロット図を作成

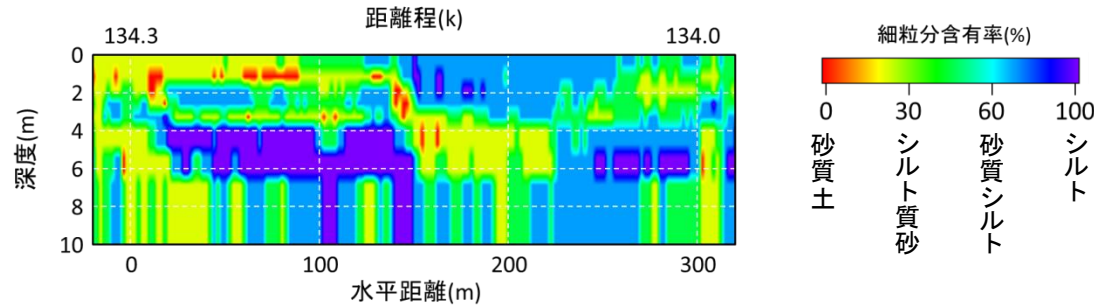
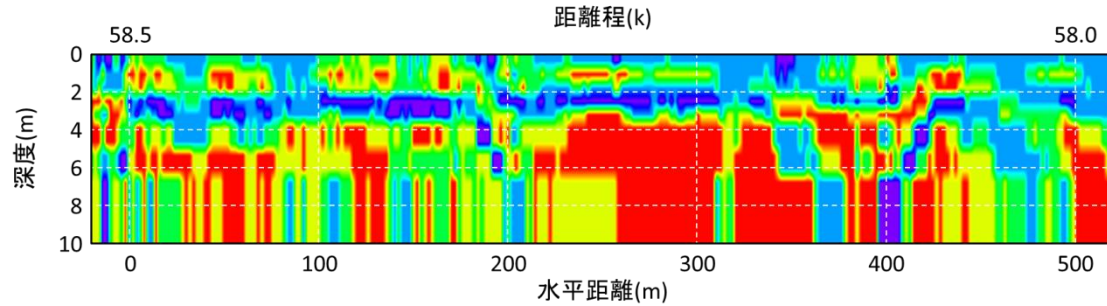
土質区分は、このクロスプロット図上で「細粒分含有率 (Fc)」により区分した曲線に基づき行う。

岩石物理学のアプローチによる堤防土質分類

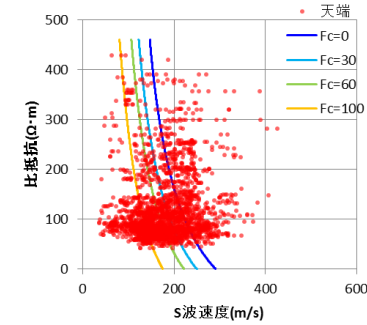


Takahashi and Yamamoto(2010)

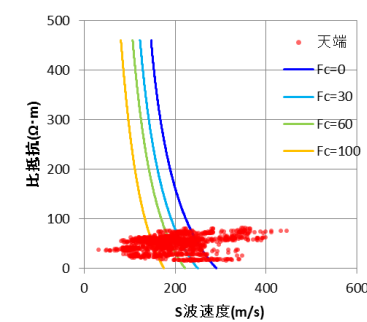
江戸川と利根川のデータへの適用



江戸川右岸58.0～58.5k



利根川右岸134.0～134.3k



【江戸川58.0k区間】

測線の中央付近(水平距離210～370m)の深度3mより深いところに砂質土が集中して分布している。その両側の同じ深度帯にも砂質土が優勢となっている。

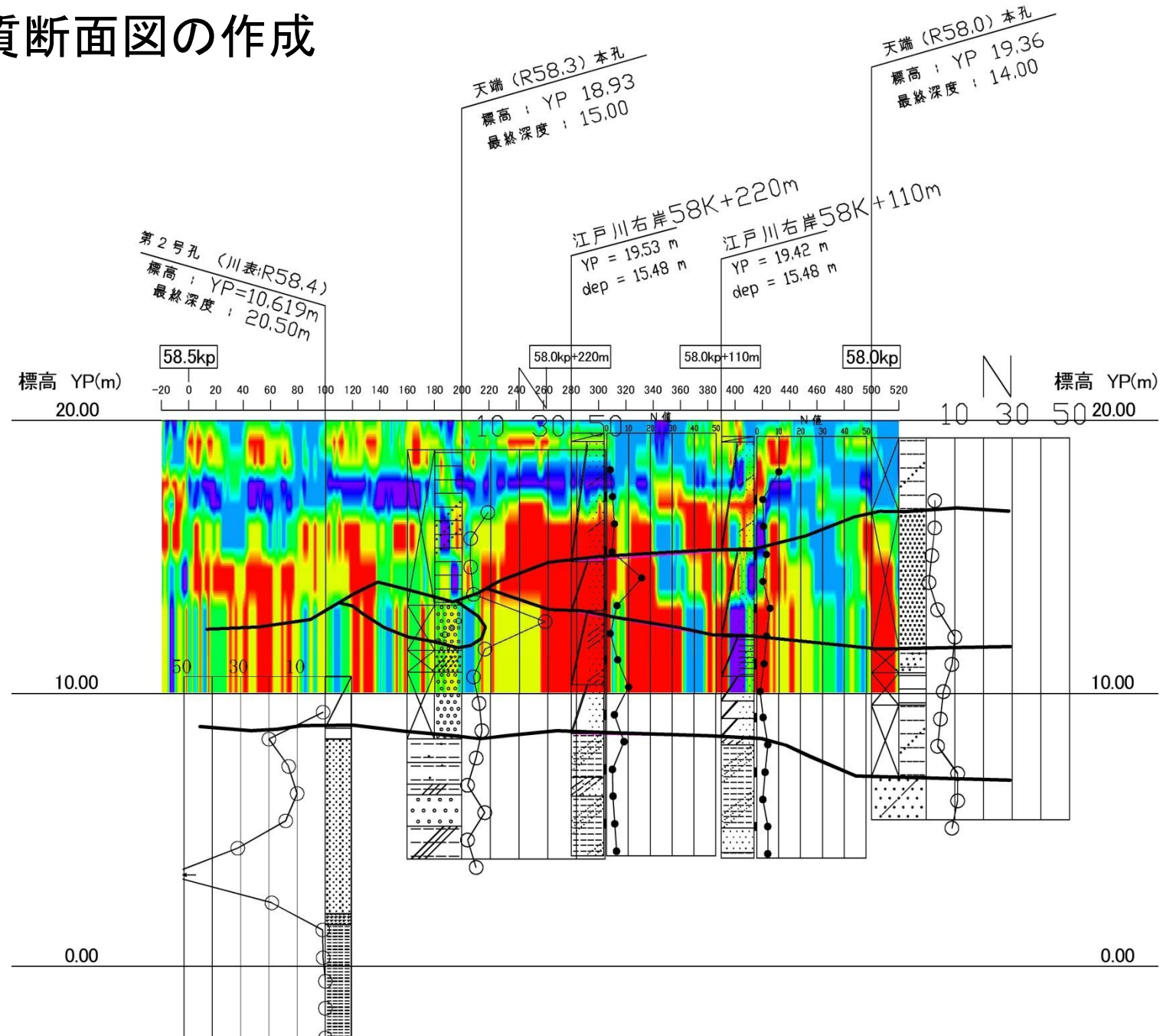
深度2～3mでは粘性土が優勢であり、表層は細粒分含有率30～60%程度となっている。

【利根川134.0k区間】

上流部の表層は砂質土系であるが、深度4～7mは粘性土系、その下部は細粒分含有率30%程度が主体である。

鈴木ほか(2014)

土質断面図の作成



鈴木ほか(2014)

横断探査から得られた物理モデルと 堤防開削調査の比較

- 横断探査方法
- 土の物理モデル
- 横断探査結果と安全性評価断面
- 安全性評価断面と物理モデルによる土質推定の比較
- 土質推定断面とボーリング柱状図との比較
- 堤防開削調査との比較



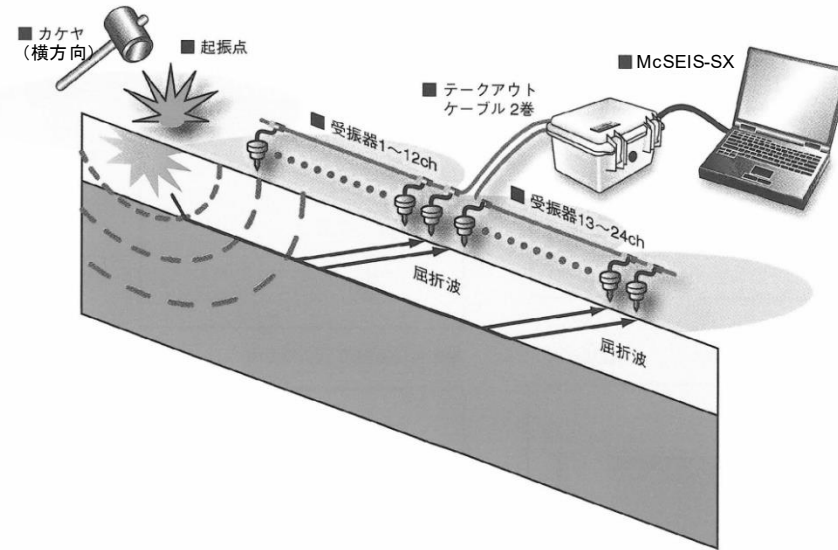
0407 平成26年1月29日 (御所沼排水樋管(上流より))



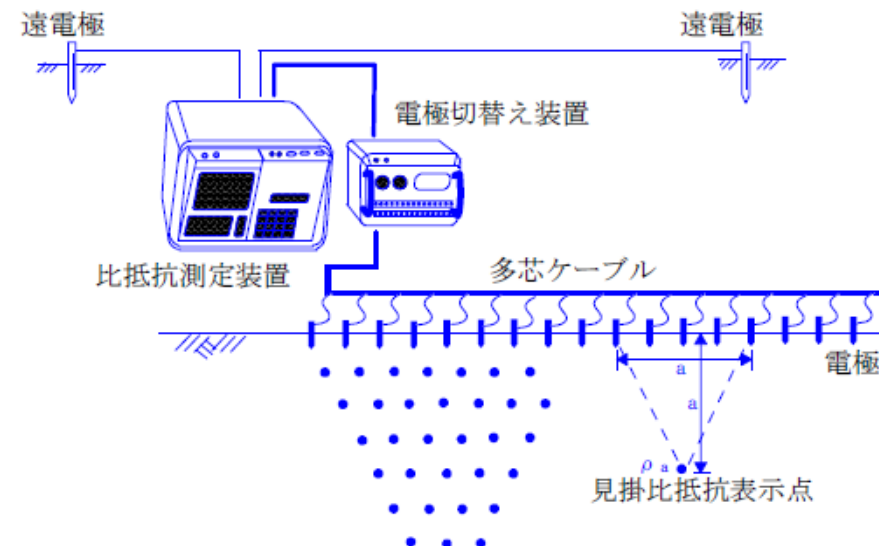
鈴木ほか(2017)

横断探査方法

S波トモグラフィ探査 (高精度 S 波屈折法弾性波探査)

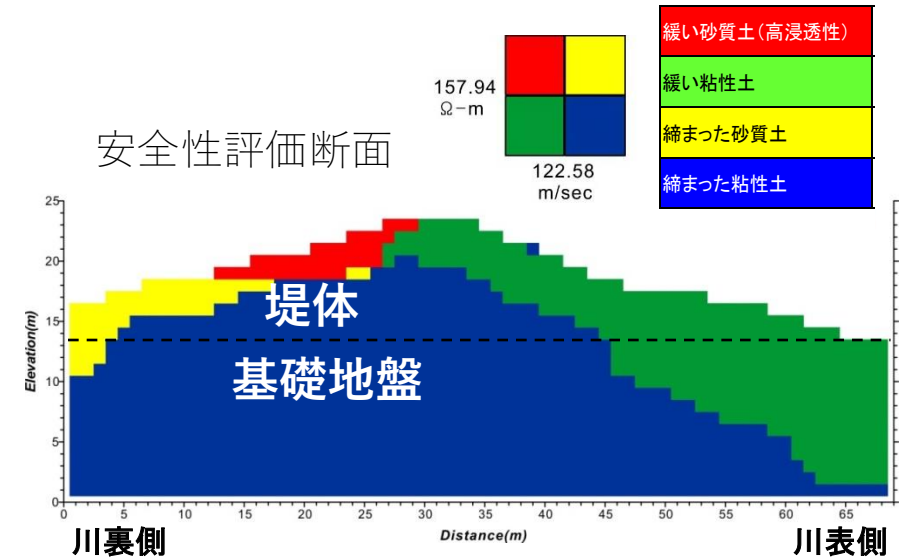
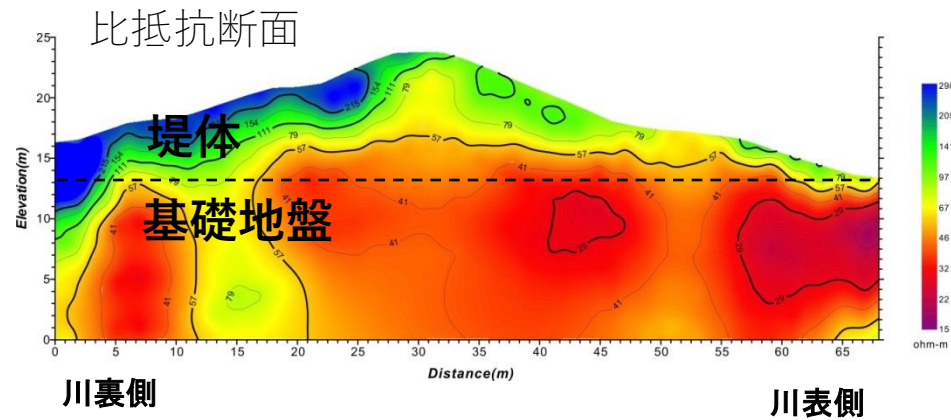
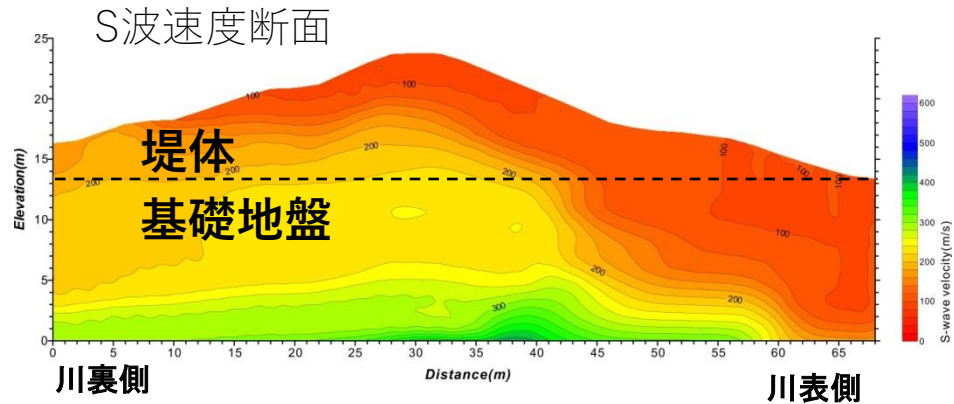


比抵抗トモグラフィ探査 (2極法)



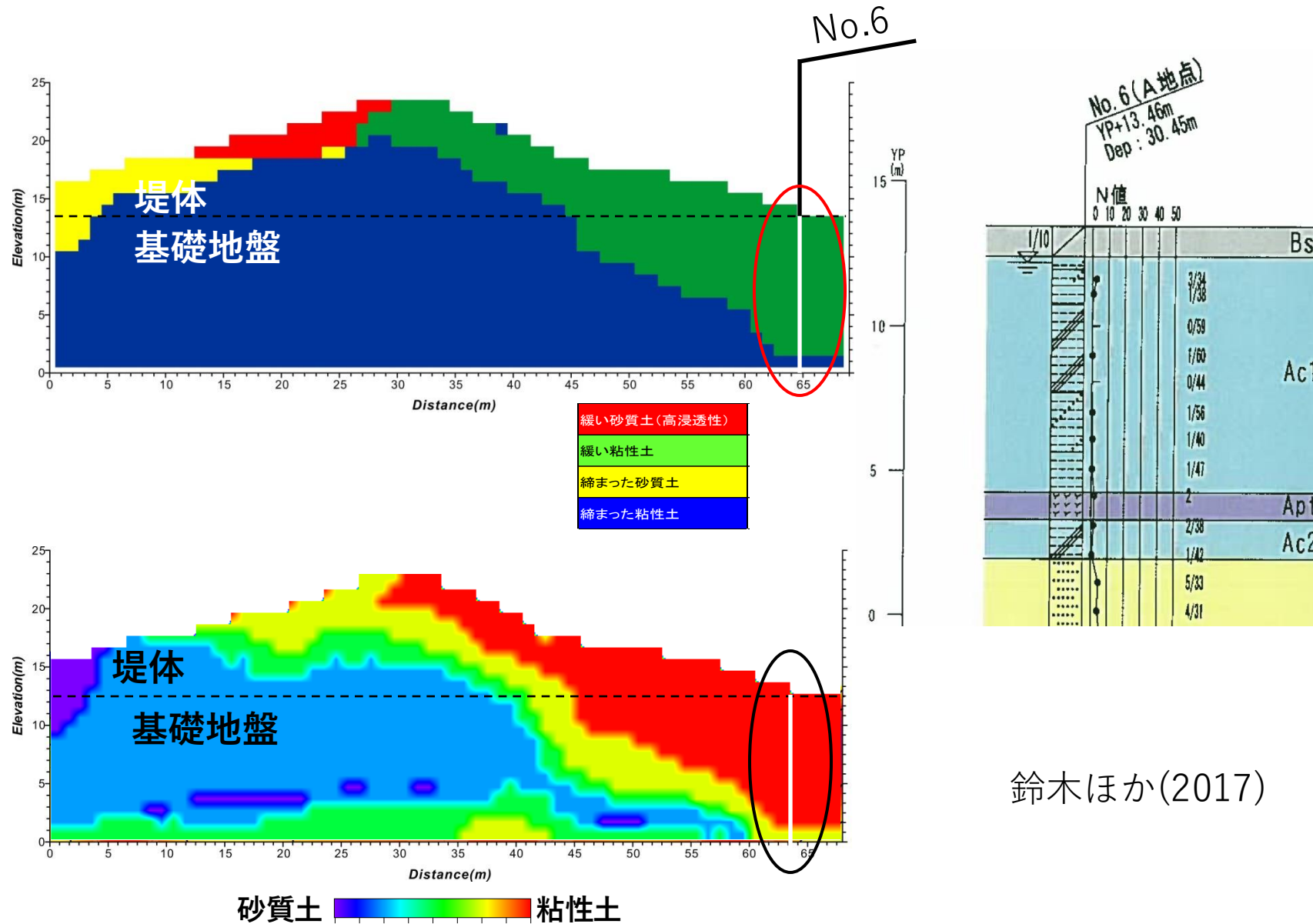
鈴木ほか(2017)

横断探查結果と安全性評価断面



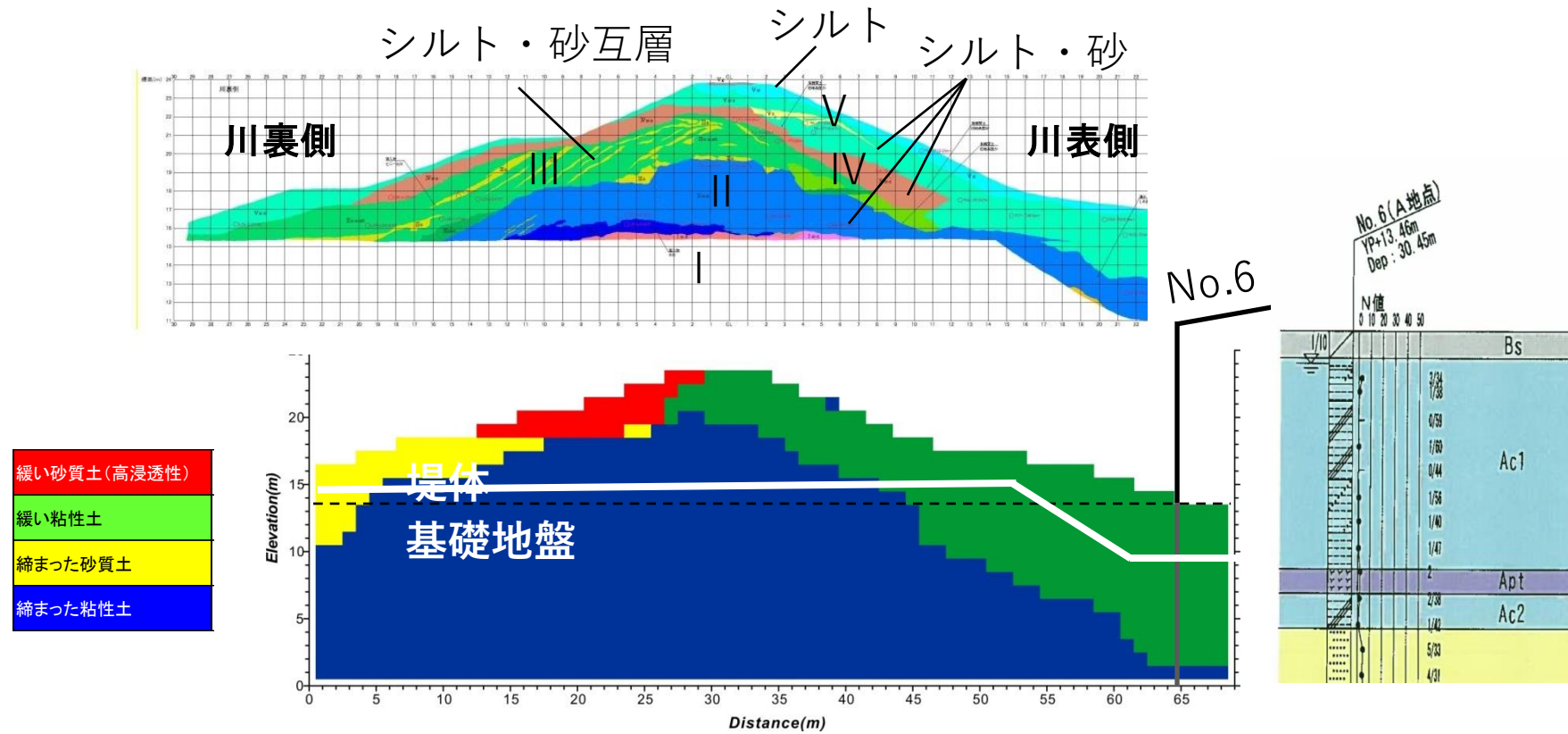
鈴木ほか(2017)

土質推定断面とボーリング柱状図との比較



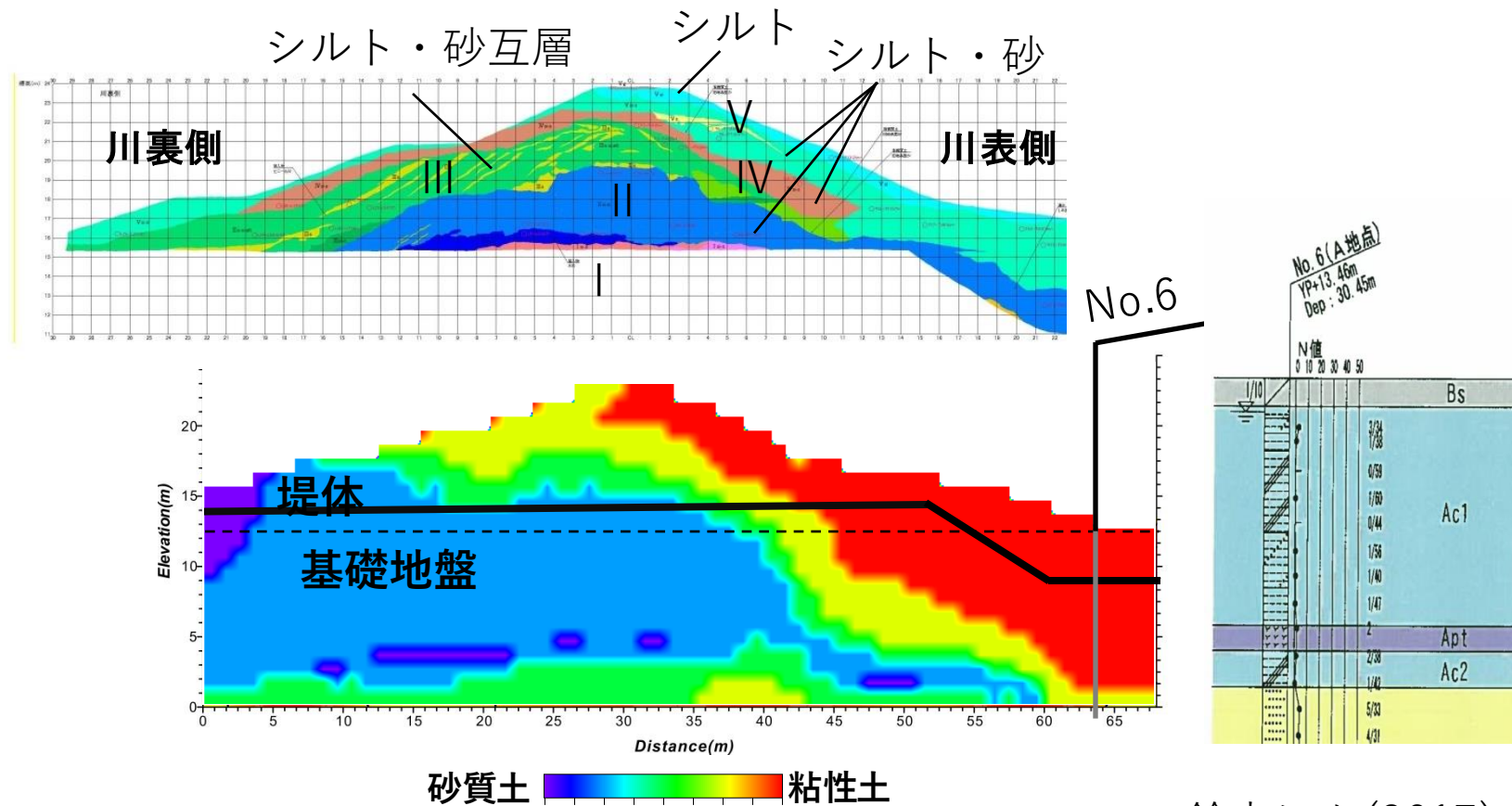
鈴木ほか(2017)

堤防開削調査結果と 安全性評価断面図の比較



鈴木ほか(2017)

堤防開削調査結果と 物理モデルによる土質推定の比較

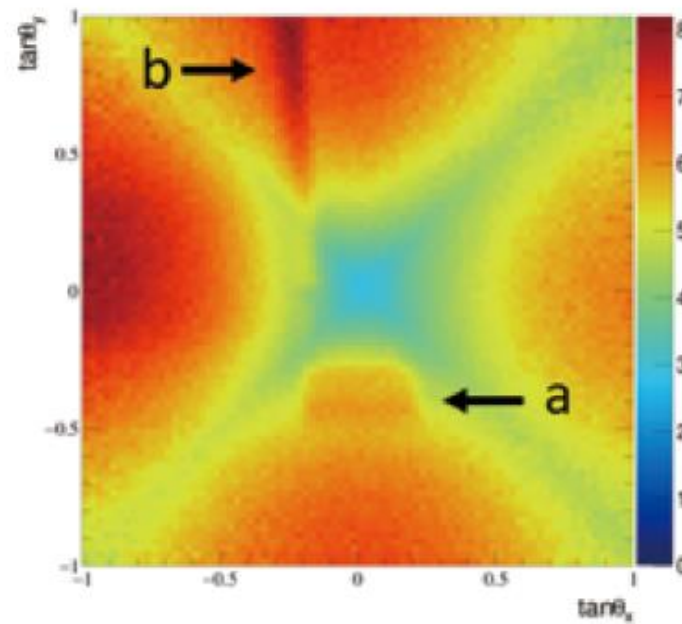
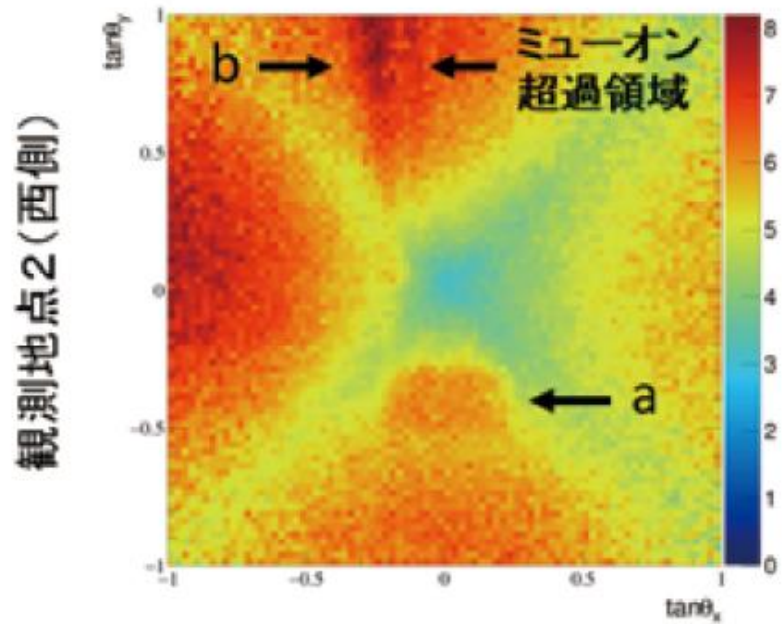
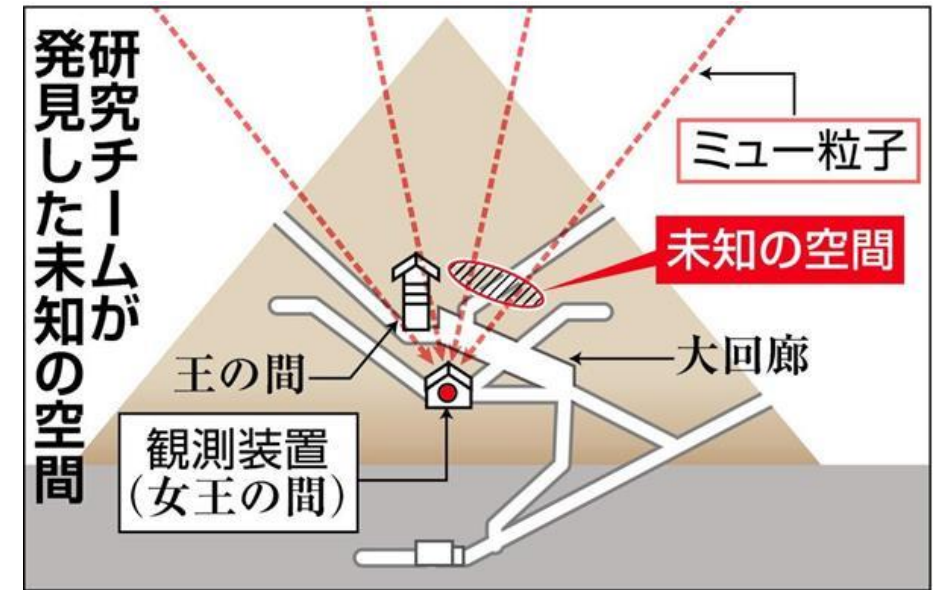


鈴木ほか(2017)

目次

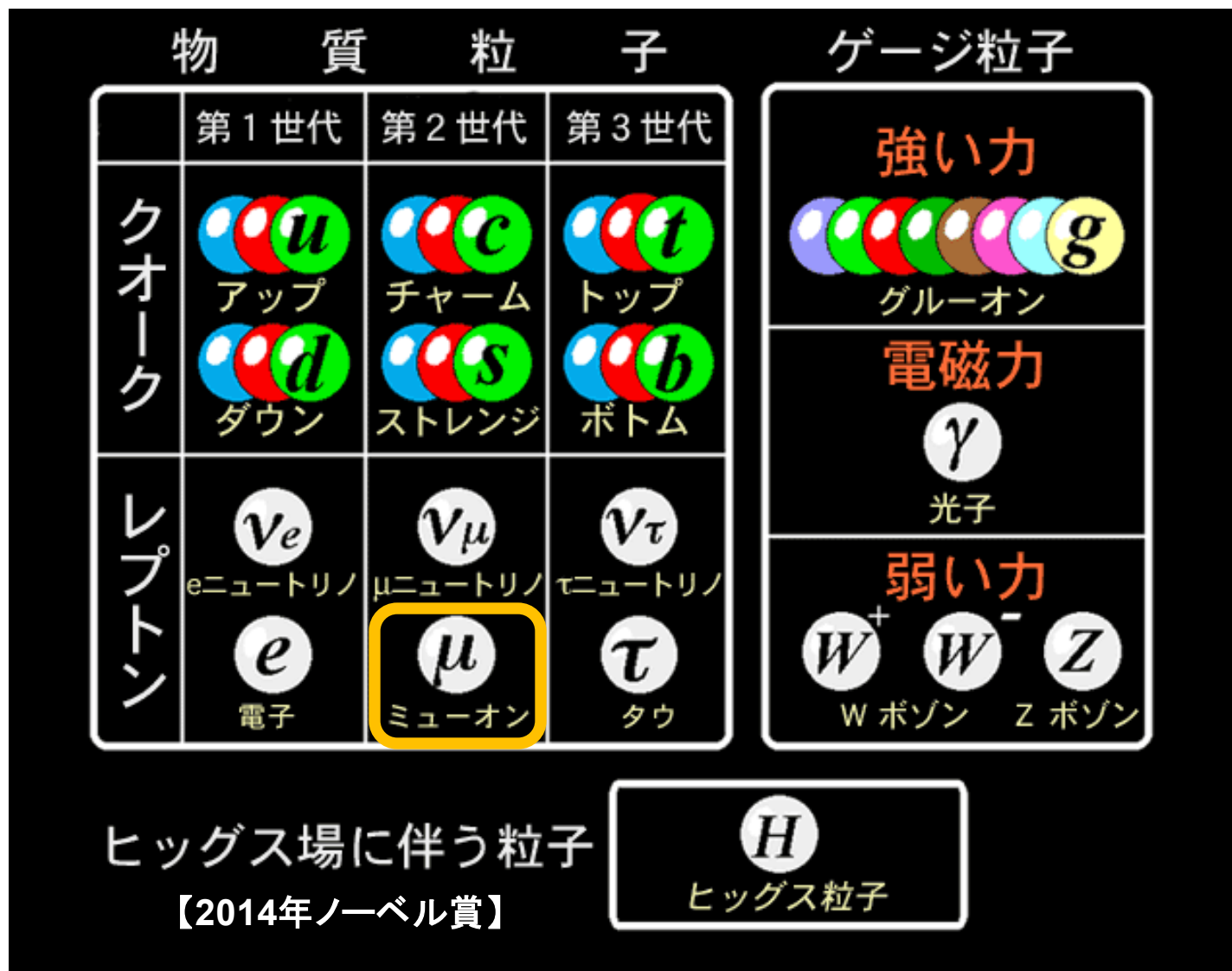
- はじめに～物理探査とは
- 物理探査手法と適用事例
- 河川堤防における物理探査
- 港湾構造物における物理探査
- 統合物理探査による河川堤防内部構造評価
- 岩石物理学よるアプローチ
- **最新の研究成果**

宇宙線ミューオン



a: 王の間, b: 大回廊

素粒子の標準理論



深度分布経験式

Miyake's formula (valid down to 9000 m.w.e.)

$$F(h, \theta) = \frac{K}{H + h} (h \sec \theta + a)^{-\alpha} \cdot \exp(-\beta h \sec \theta)$$

Minato's formula (valid down to 300 m.w.e.)

$$F(h, \theta) = I_{00} \cos^n \theta \cdot \exp\{-h / \Lambda(h)\}$$

where

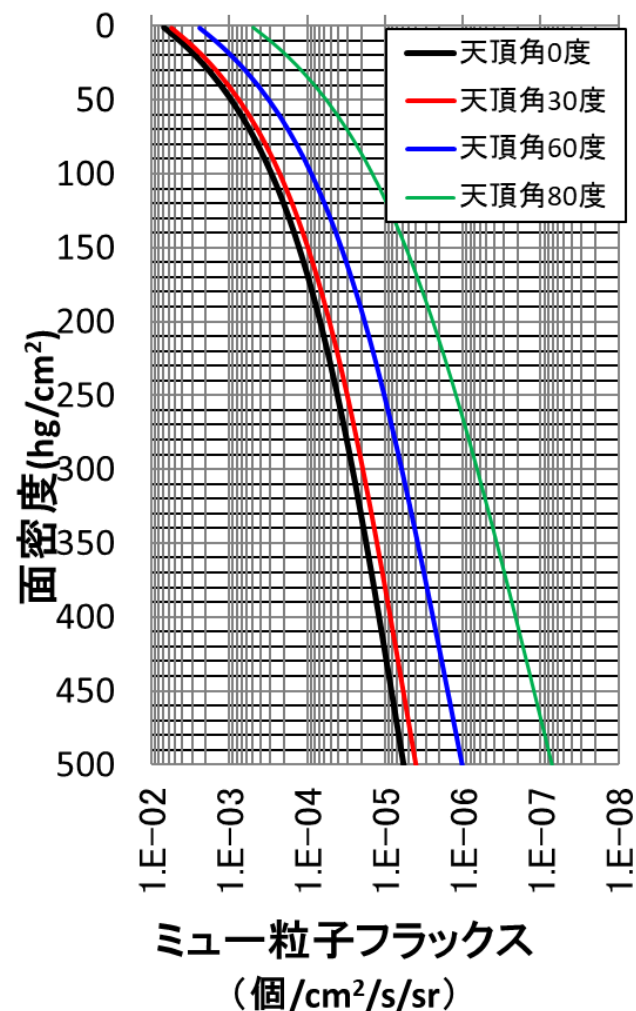
$$\Lambda(h) = A + bh + Ch^2,$$

$$n = \alpha + \beta h$$

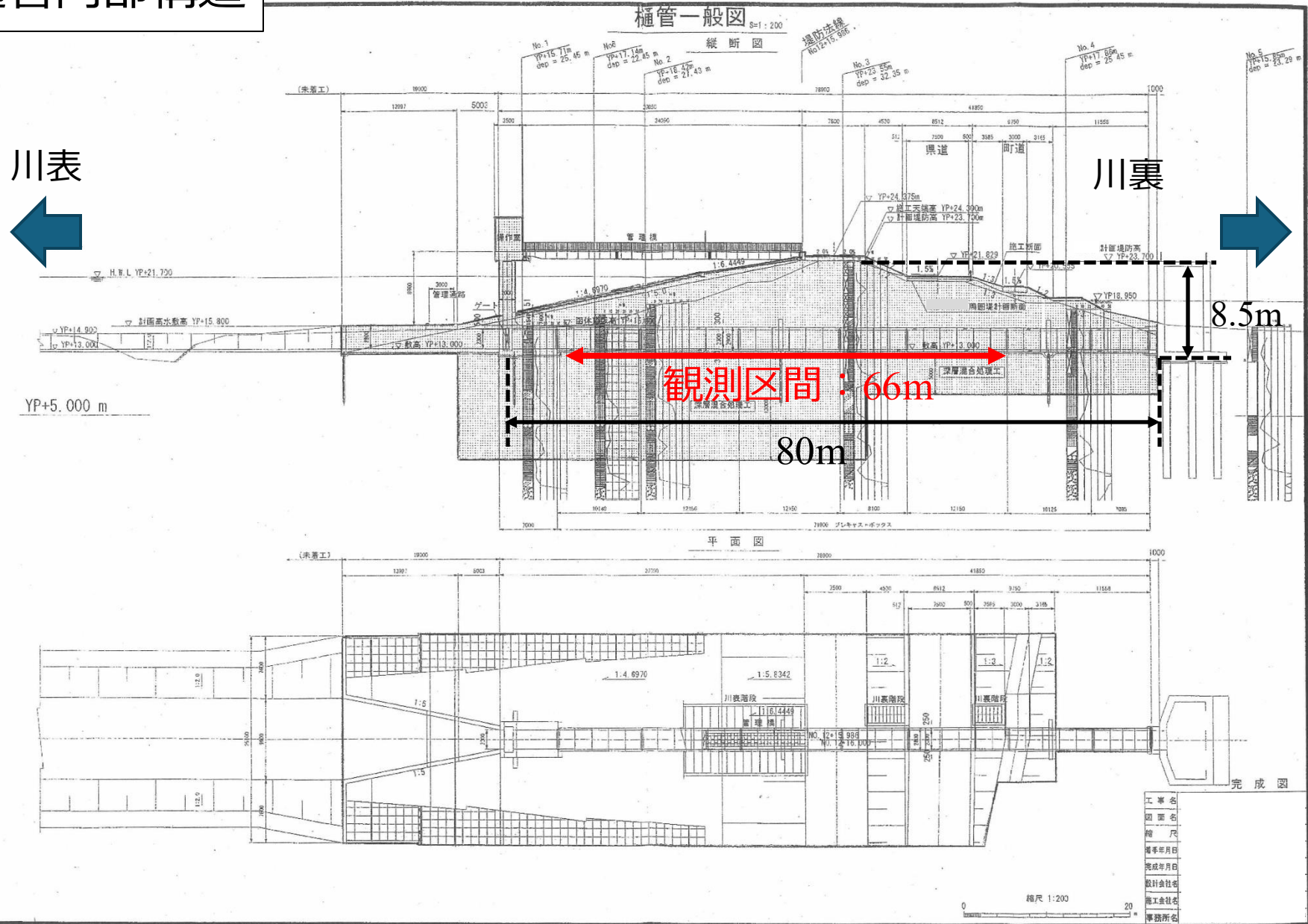
面密度 h =土被り(鉛直)(m)×かさ密度(g/cm³)

単位: hg/cm²

メートル単位の土被りで割ると密度がg/cm³で求まるので便利

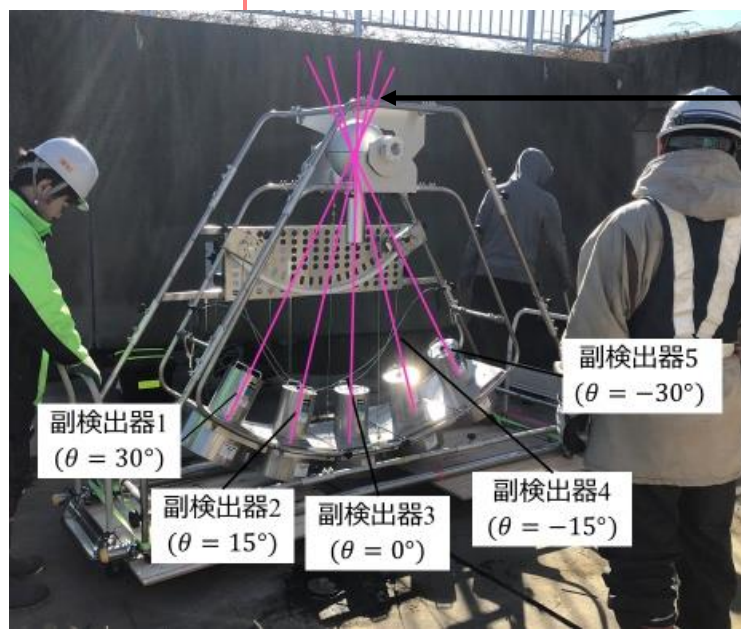
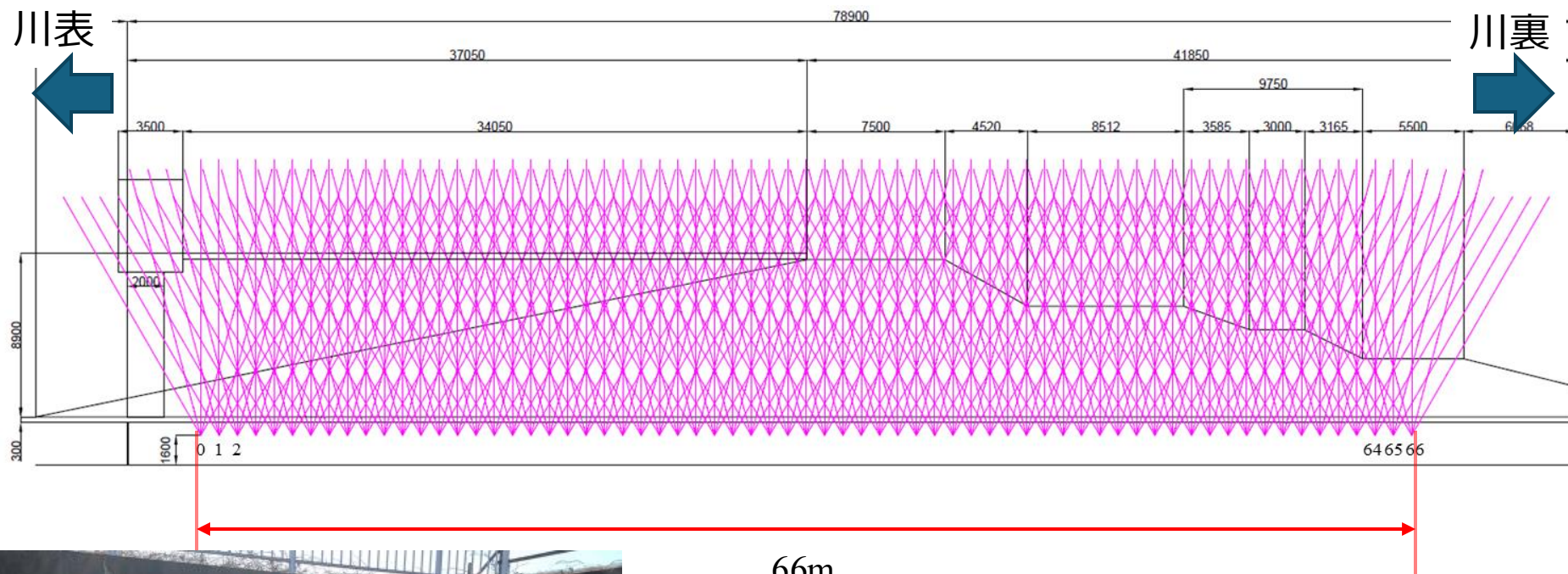


樋管内部構造



観測概要

観測測点と波線

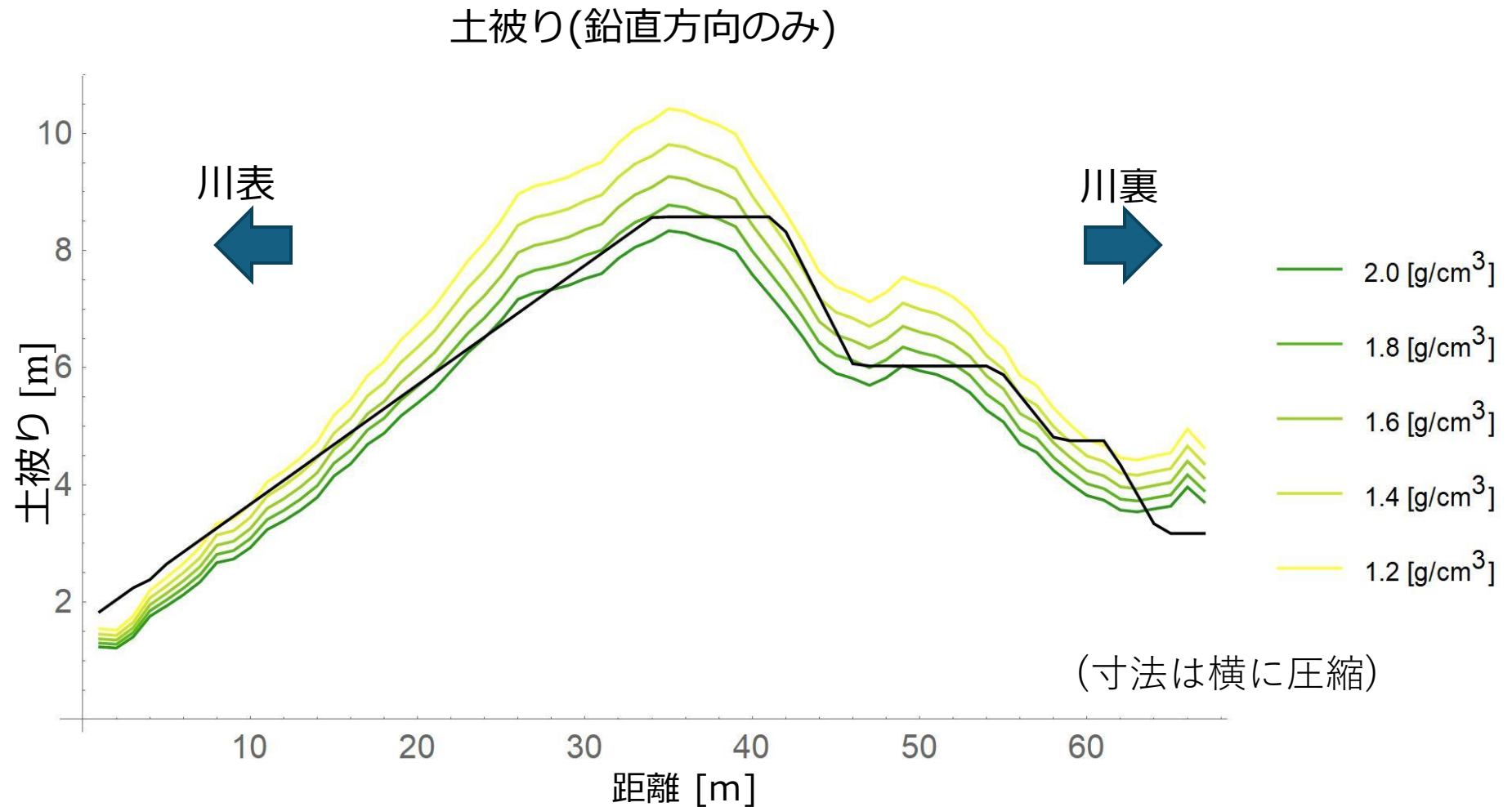


66m
波線…主検出器と副検出器の中心同士を通る直線
副検出器は5つあるため、1つの測点に5本の波線がある

観測区間	66m
測点間隔	1.0m
測点数	67点 (0番~66番)
計測時間	偶数測点：8時間 奇数測点：15時間

並河ほか(2022)

観測結果



- ・天端付近で最もよく合っているのは1.8g/cm³
- ・堤防地盤の密度は, 1.4~1.8g/cm³の範囲

並河ほか(2022)

解析結果

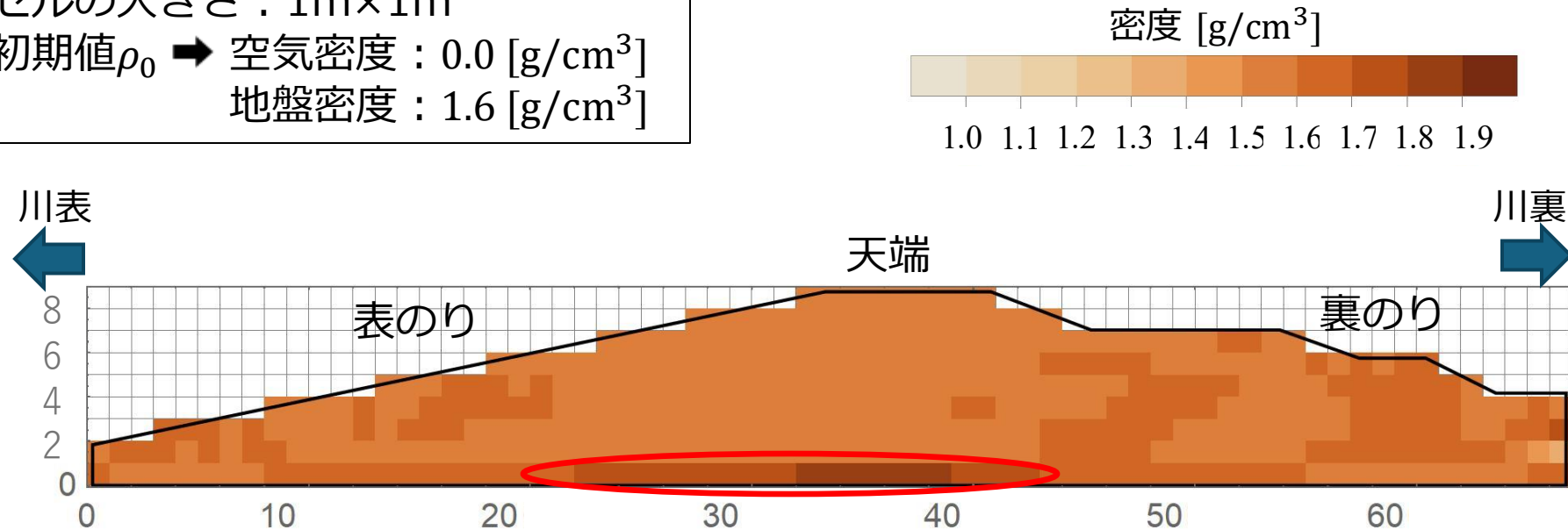
トモグラフィ解析結果

計算条件

セルの大きさ：1m×1m

初期値 $\rho_0 \rightarrow$ 空気密度：0.0 [g/cm³]

地盤密度：1.6 [g/cm³]



- ・ 全体では、密度に大きな差は出ていない(1.56~1.62g/cm³に集中している)
 - ・ 空洞のような極端に密度が小さい領域は見られない
- ➡均質な地盤であるといえる

- ・ ○部分が、周りに比べて密度が大きい(1.81g/cm³)
- ➡樋管の壁材であるコンクリートの影響と思われる

並河ほか(2022)

まとめ

- 物理探査技術全般を紹介した。
- 本講演で紹介しきれなかった事例も多数ある。
- 河川堤防における物理探査技術として統合物理探査とロックフィジックスによるアプローチを紹介した。
- 最近の話題として、宇宙線ミュオンによる探査技術を紹介した。
- 物理探査を河川堤防に適用するには、課題も多く、今後の研究が必要である。