

# 地質調査と物理探査の 動向について

応用地質株式会社  
技術参事（福井営業所駐在）

高野 政志

1/107

1

## 目 次

1. 地質調査の重要性
2. 地質調査の課題
3. 物理探査技術の紹介
4. 災害復旧現場への適用例他

2/107

2

1

## 地質調査とは

地質, 土質, 基礎地盤, 地下水など地下の不可視部分について, 地質学, 地球物理学, 土質工学などの知識や理論をベースに, 地表地質踏査, 物理探査, ボーリング, 各種計測・試験などの手法を用いて, その「形」, 「質」, 「量」を明らかにすること



インフラ施設の建設、維持管理  
地盤防災および環境保全等を行う上での基礎資料

3 / 107

3

## 地質調査の重要性 地質リスク

- ・我が国は特有の多種多様な地質地盤が複雑に分布  
⇒特に福井県の地質は多種多様の「極み」
- ・地震、豪雨の頻発、地盤災害の激甚化  
⇒災害リスクの低減に向けた国土強靭化は道半ば
- ・事業費のコスト増大や進捗の遅延が目立つ  
⇒調査不足による変更増・手戻り工事の増加

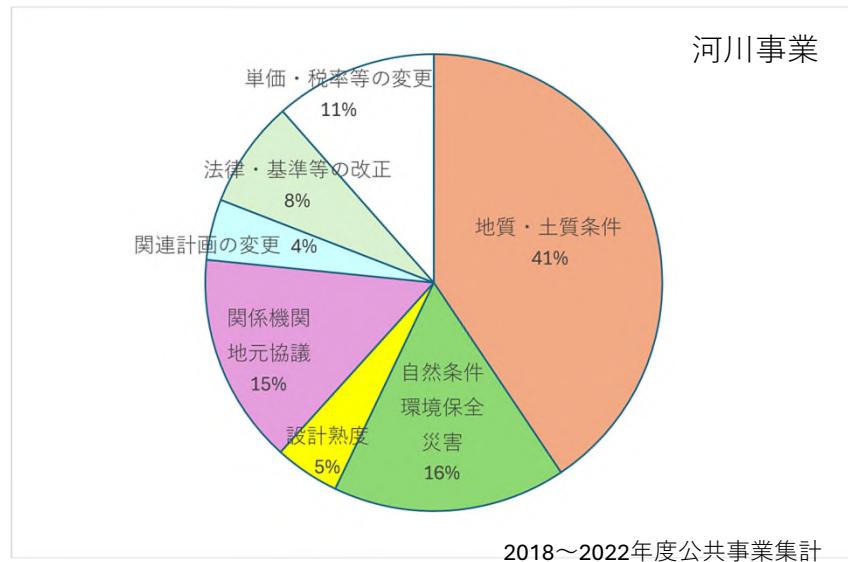
最適な対応を行うためのリスクマネジメントが必要

4 / 107

4

## 地質調査の重要性

事業費の増加の主な要因

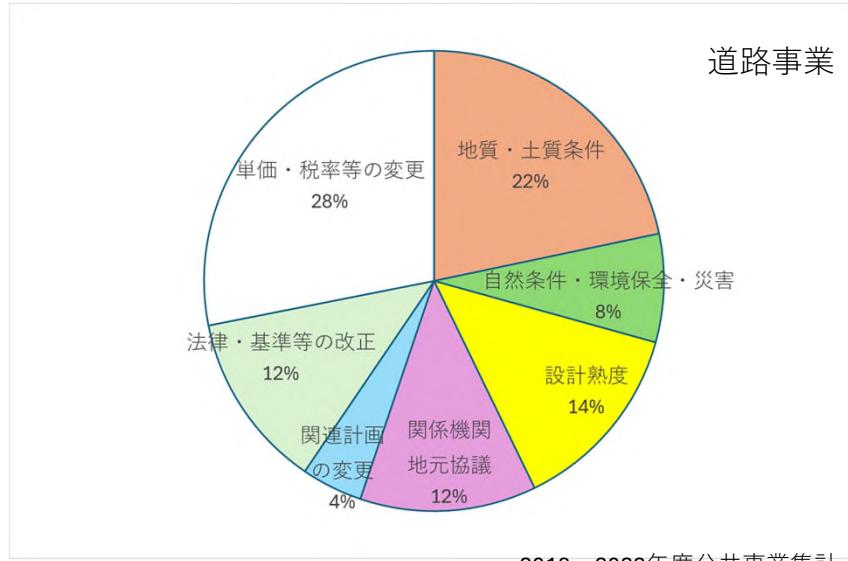


5 / 107

5

## 地質調査の重要性

事業費の増加の主な要因



6 / 107

6

# 地質調査の重要性

「地質調査 = ボーリング調査」  
と理解している人が多い？

ボーリングが精度の高い調査手法であることは事実



ボーリングですべてを把握できるか？

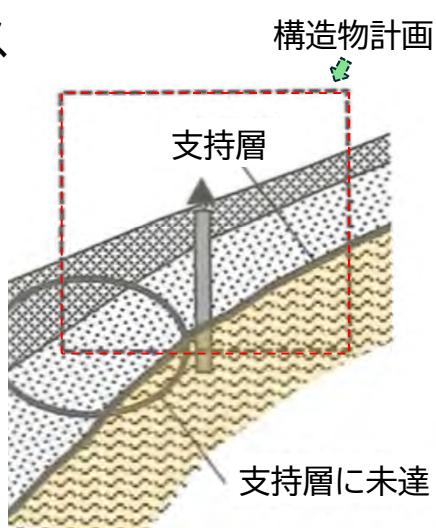
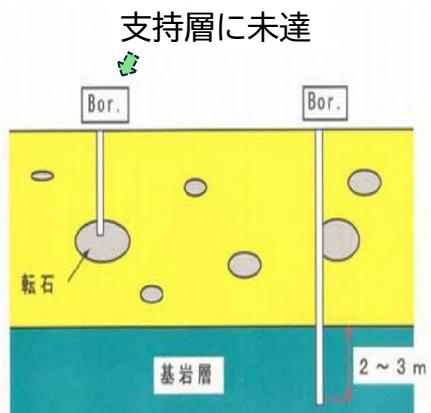
7 / 107

7

## 地質調査の課題

ボーリングだけに偏重した調査

### 支持地盤の判断ミス



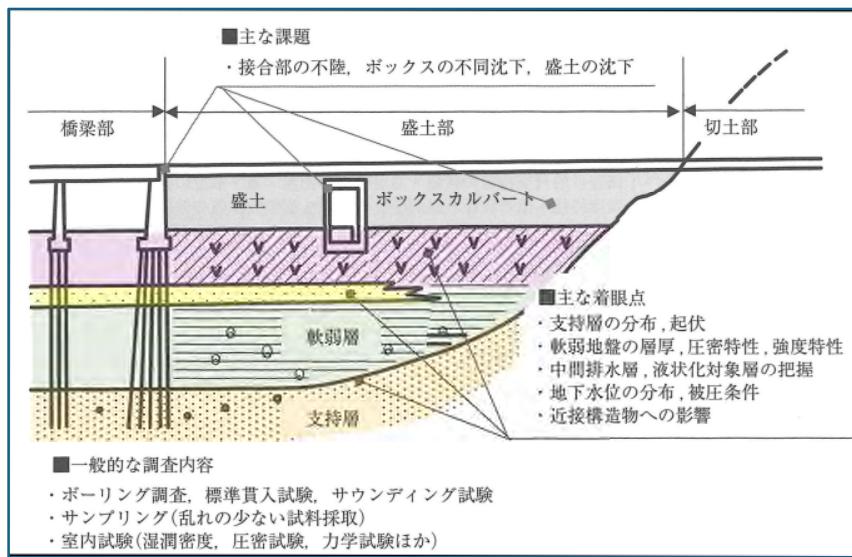
8 / 107

「木を見て森を見ず」になることも

8

## 調査の着眼例

地形、地質の成り立ちを考え、作図、数値化する



地質調査実施要領より

9/107

9

## 標準貫入試験の課題

1960年代～1980年の後半にかけての高度成長時代、多くの構造物建設に向けての調査が必要とされた。その代表が標準貫入試験（N値）である。

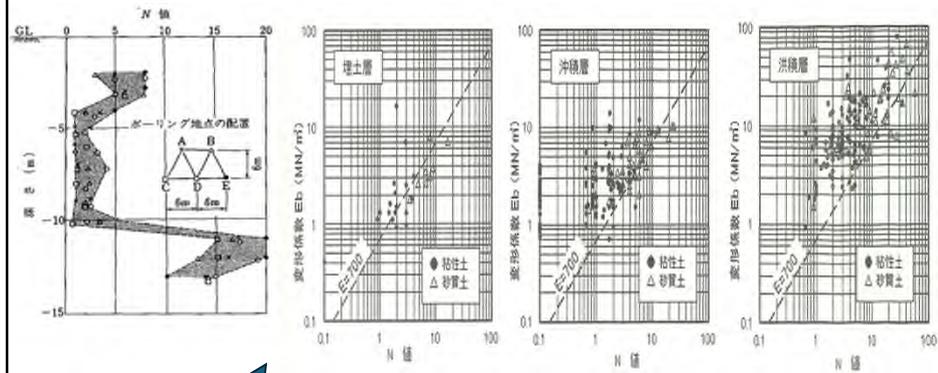
早期に多くのデータを収集し地盤評価できる最も汎用的な調査である。得られるN値は建築設計等に広く使われ、圧縮強度や弾性係数他の物性値に置換えられて利用。その結果N値さえ求めれば他の物性値の換算が可能であり、今もその手法が指針等で継続されているが**過大設計の原因**になっている（**N値万能主義**）。

10/107

10

## 地質調査の課題

実施者・地点・設置によるN値バラツキ



機長の高齢化・  
急激な減少・  
技術改訂問題

N値と変形係数の関係（建築基礎構造設計のための地盤評価Q&Aより）

11 / 107

11

## 地質調査の課題

ボーリング調査 重労働で資材も多く手間も多い

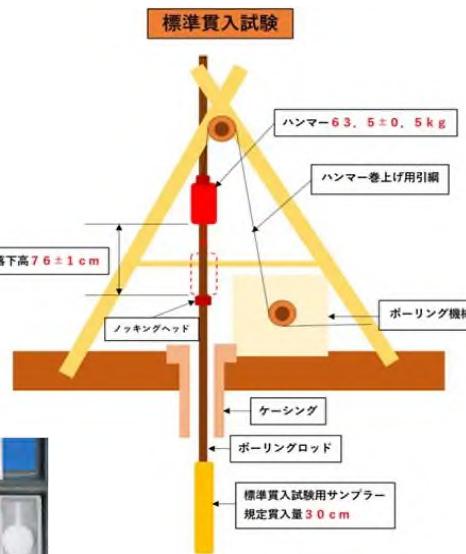
担い手不足



12

## 地質調査の課題

標準貫入試験も簡単ではない



13/107

13

## 自動ボーリングシステムの開発と実態 全自動ボーリング →省力化に向けて



削孔状況



計測状況



コアパーレル引上げ状況



採取コア(砂質土)

全自動ボーリングは、水量やコアチューブの回転数など人間のような制御が難しく、乱されることが多い。地山の状況を反映していないケースもある。

全自动ボーリングの実施状況 (YBM提供)

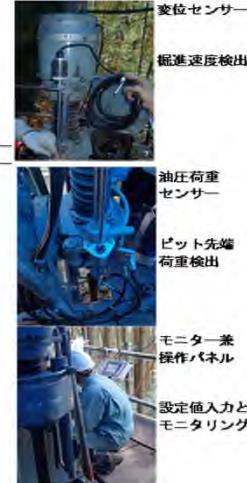
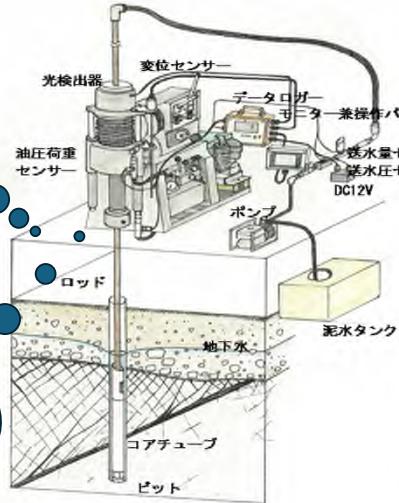
14/107

14

## 半自動ボーリングシステム

高品質コアを採取する機械の水量、回転、掘進速度を測定

様々な地質に対してデータを採取し、自動制御にする。



ハーカスの概念図

15 / 107

15

## 半自動ボーリングシステム

### 半自動ボーリングの必要性

通常のコアボーリング（アブルコアチューブ使用）と高品質ボーリングの相違

右図には同じ場所を掘削した際に採取されたコアの相違を示している。掘削水を相当量送るために、マトリックス部が流されてしまい、核となる礫だけが残存している。  
(上写真)

一方マトリックスが残存すると棒状コアのように見える。当然コア観察や実際の露頭・切羽などの状況を反映する。



無水掘りや打ち込みにより採取しているため  
人為的な亂れが著しいコア

図-1 平成6年頃の通常工法のコア写真



硬質な棒状コアを充填する粘土基質の  
崖錐堆積物を乱さず採取している

図-2 平成29年の高品質工法のコア写真

16 / 107

16

地質調査のさらなる省力化・  
精度向上に向けて何が必要か



新しい技術を取り入れる

機械化、自動化、DX推進  
⇒物理探査技術の利用もその一つ

17 / 107

17

## 物理探査技術の紹介

1. 物理探査とは？	物理探査とは？
2. 物理探査のオーバービュー	オーバービュー
3. 代表的な手法・新しい手法	代表的な新しい手法
4. 探査結果（図）には表現されないもの	表現されないもの

18 / 107

18

## 物理探査とは？

地下の潜在的地質構造と直接または間接に関連して、人為的にまたは自然的に生じている物理現象を地表において観測し、その資料を検討することによって、地下の状態を推測する方法 ⇒ 地表面での測定から地下の状態を調べる

広域にわたって調査ができる長所があり、広い範囲の地盤状況を大まかに把握することができる

- ①地層の連続性について2次元又は3次元的に把握する必要がある場合
- ②ボーリングの位置の選定（予備調査段階）
- ③非破壊での調査を必要とする場合

19/107

19

物理探査  
とは？

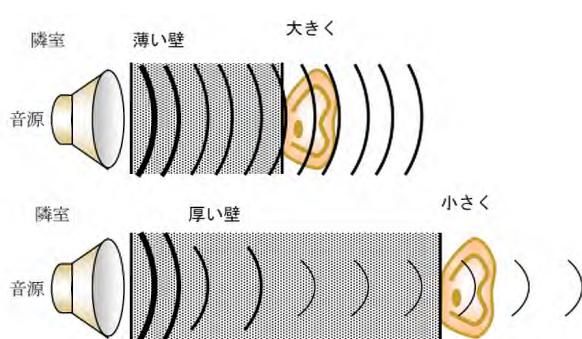
オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

## 物理探査とは？

物理探査・物理検層 物理探査適用の手引き（物理探査学会）



物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

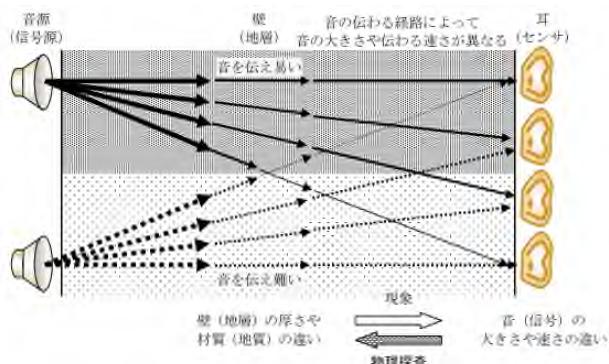
20/107

20

# 物理探査とは？

## 物理探査・物理検層

物理探査適用の手引き（物理探査学会）



物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

21／107

21

# 物理探査とは？

大別すると

地震探査(弾性波探査)、音波探査、電気探査、磁気探査

重力探査、熱的探査、放射能探査、……。

孔内探査法(検層)

目的を理解し、現場に合った手法を選ぶこと

- ①何が知りたいのか（何が課題となっているのか）
- ②そのために必要な情報として何か見落としていないか
- ③施工で手戻りにならないか（地質リスク）
- ④費用対効果（重要度に合わせた選択）

物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

22／107

22

## 物理探査とは？ 層相と物性値

### ・速度区分

地盤のP波速度 ( $v_p$ 、ポアソン比、ヤング率、剛性率、ばね定数)

S波速度 ( $v_s$ 、ポアソン比、ヤング率、剛性率、減衰比 $h$ 、せん断強度、ばね定数、卓越周期 $T_G$ 、耐震地盤種別)

### ・比抵抗区分

密度、水と空隙、亀裂等による分類

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

地下の本質的構造(層相区分)と必ずしも一致しない

23／107

23

## 物理探査とは？ 速度で探る手法

### 地震探査（弾性波探査）

人口起振源等によって生じた弾性波動は、実体波(P波・S波)と表面波に分けられる。

#### 屈折法（主にP波）

##### ・地盤の硬軟（主に岩盤）

硬いとP波速度は速くなる

岩の種別や風化度などを評価

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

反射法（P波⇒広範囲な地質構造、S波⇒詳細な地質構造）

・反射面から地層境界や地質構造を把握

断層の有無（上下変位がある場合）

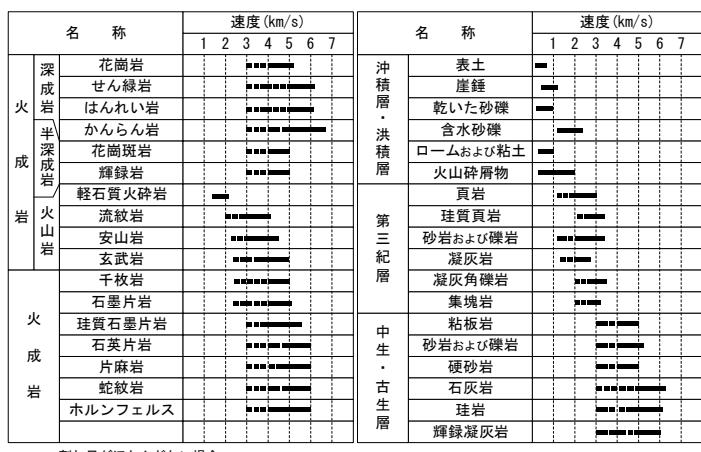
※海上の場合は、音波探査と呼ばれる

24／107

24

## 速度と地質の関係

物性値と何かの相関 · · · ·



■ 割れ目がほとんどない場合  
■■■■■ 普通程度に割れ目が多いか、または風化した場合

(※「建設・防災のための物理探査(佐々宏一ほか)」より抜粋・修正)

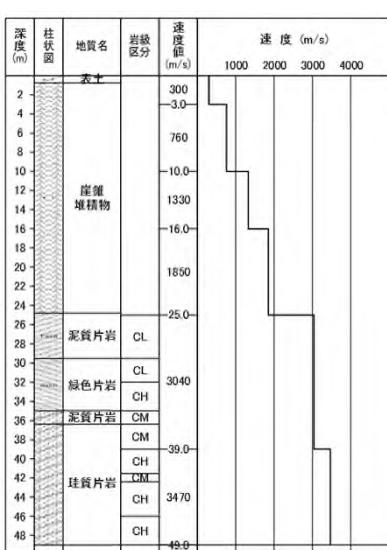
物理探査とは?  
オーバービュー  
代表的な新しい手法  
表現されないもの

25/107

25

## 速度と地質の関係

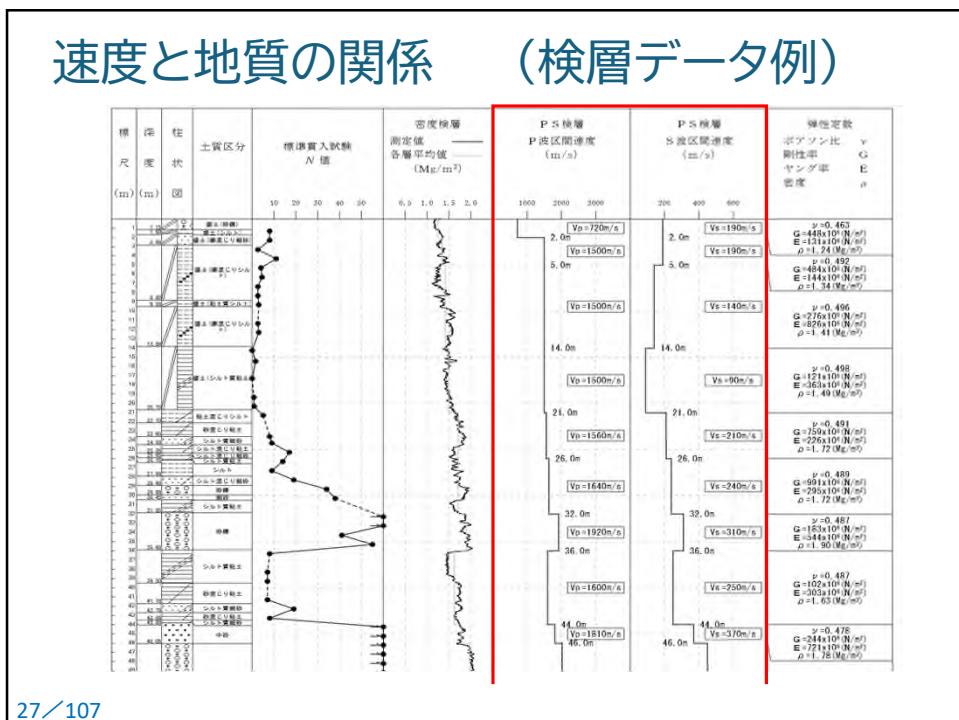
(速度値と岩級区分)



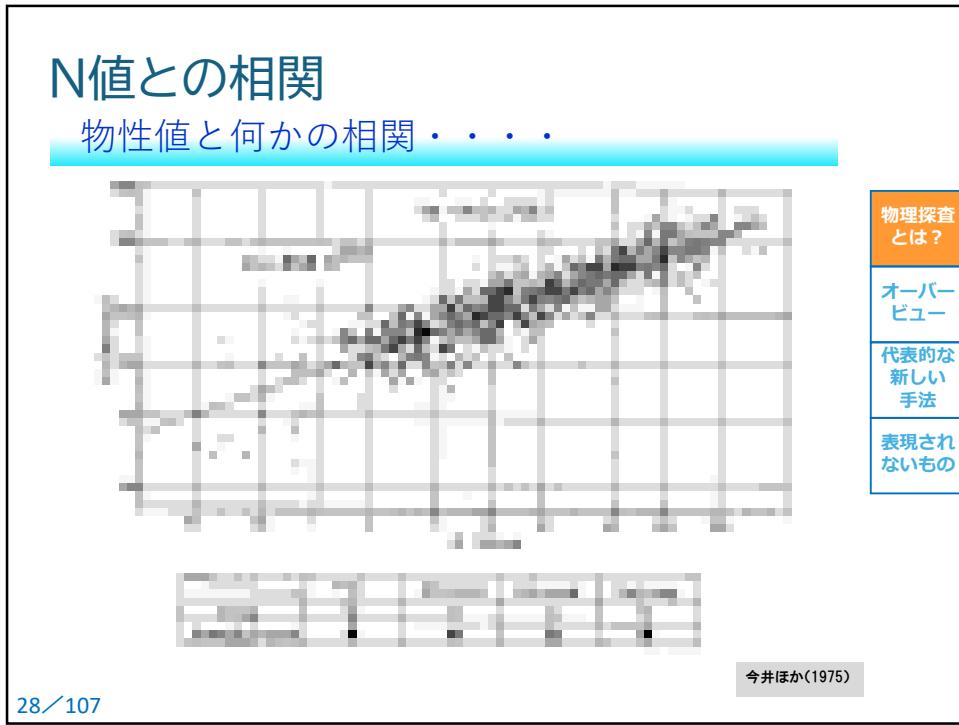
孔番号	深度	速度値 (m/s)	主な地質	主な岩級区分
No.1	0m~3m	300	表土	崖錐堆積物
	3m~10m	760		
	10m~16m	1330		
	16m~25m	1850		
	25m~39m	3040	緑色片岩	CL~CM
No.2	39m~49m	3470	珪質片岩	CH
	0m~6m	550	表土、崖錐	泥質片岩
	6m~13m	1540		
	13m~20m	2330		
	20m~28m	2730		CL~CM
	28m~35m	3510	砂質片岩	
	35m~52m	2910		
	52m~58m	3800		
No.3	58m~74m	2240		D
	74m~84m	3480		
	84m~88m	3980		
	0m~2m	300	表土、崖錐	CL~CM
	2m~4m	510		
	4m~8m	940		
	8m~10m	1720		
	10m~14m	2340		
	14m~25m	3900		CM

26/107

26



27

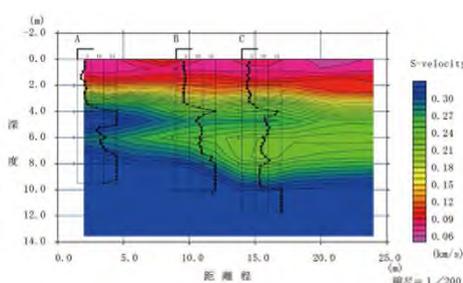


28 / 107

28

## S波速度構造とは

- S波速度構造とは、**地震の横波(S波)**が地中を伝わる速度の分布
- S波速度とは、**地盤の硬軟**を示す重要な指標
- **N値と相関**がある
  - 速度が遅い⇒地盤が軟らかい
  - 速度が速い⇒地盤が硬い



### 【Vs値とN値の関係式】

沖積粘性土の場合

$$Vs = 97.0N^{0.314}$$
 (今井の式)

Vs : せん断波速度 = S波速度(m/s)

N : 層の平均N値

S波速度構造

暖色: 速度が遅い(軟らかい)

寒色: 速度が速い(硬い)

第67回実技セミナー「物理探査入門」-表面波探査・地中レーダ探査-

2025年5月16日

物理探査  
とは?

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

29

## 地盤の比抵抗とは

### 比抵抗探査 (電気探査・電磁探査)

電気を流しやすいものが多いと、低比抵抗になる

- ・水分が多いと低比抵抗
- ・粘土が多いと低比抵抗、砂・礫が多いと高比抵抗
- ・火山岩は高比抵抗
- ・変質により粘土鉱物が生成され、低比抵抗になることがある
- ・断層付近では断層粘土により低比抵抗になることがある
- ・間隙率が大きく不飽和の場合、高比抵抗となる←空気
- ・間隙率が大きくても飽和していると、低比抵抗←水

物理探査  
とは?

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

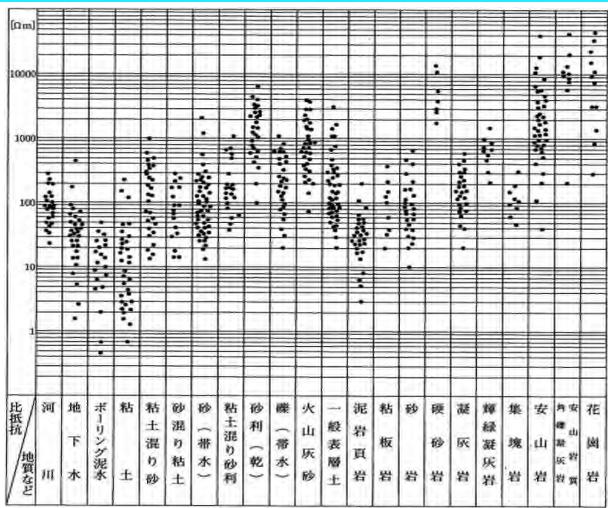
表現され  
ないもの

30/107

30

## 比抵抗値と地盤の相関

物性値と何かの相関 . . . .



物理探査とは?

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

「比抵抗映像法」  
島 裕雅ほか 古今書院

31 / 107

31

## 物理探査と物理検層の種類

物理探査(地表探査)

物理検層(地中探査)

代表的な探査手法

- 地中レーダ探査
- 電気(比抵抗)探査
- 弾性波(地震)探査屈折法
- 弾性波(地震)探査反射法
- 表面波探査
- 微動探査
- 電磁探査

など…

代表的な検層手法

- PS検層、速度検層
- 電気検層(比抵抗検層)
- 地下水検層
- 密度検層
- 孔径(キャリパー)検層
- 磁気検層(鉛直磁気探査)
- 温度検層

など…

物理探査とは?

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

32 / 107

32

# 物理探査（地表探査）

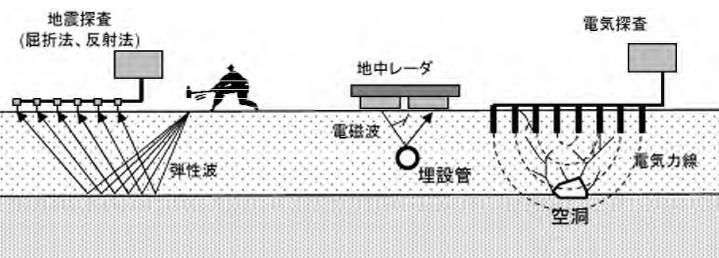
物理探査・物理検層

物理探査適用の手引き（物理探査学会）

- ◆物理探査は、弾性波・電流・電磁波・磁気・重力・放射能などのさまざまな物理現象を利用して、地表から地中を探査する技術である。
- ◆物理検層は、ボーリング内で行う物理探査である。

※物理探査は、土木・建築構造物周辺の地盤や岩盤、地下水の状況などを把握する地質調査、石油・天然ガス、金属資源、地熱、地下水、温泉、骨材などの地下資源探査に使用されている（手引き）

※地下埋設物、空洞などの調査にも使用されている



33/107

33

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

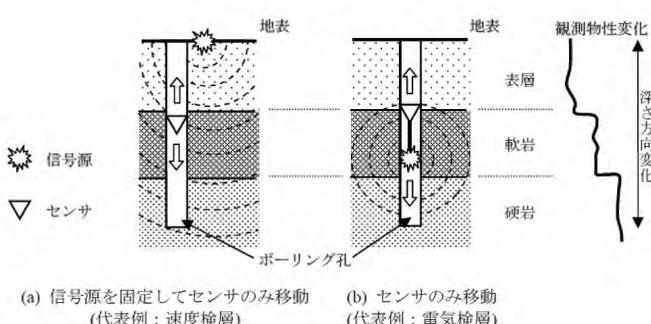
表現されないもの

# 物理検層（地中探査）

物理探査・物理検層

物理探査適用の手引き（物理探査学会）

- ◆物理探査は、弾性波・電流・電磁波・磁気・重力・放射能などのさまざまな物理現象を利用して、地表から地中を探査する技術である。
- ◆物理検層は、ボーリング内で行う物理探査である。



34/107

34

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

# 物理探査で何が分かるか

## 物理特性

- 地中レーダ探査 : 電磁波を反射する面や物体
- 電気探査 : 比抵抗分布(電気の流れにくさ)
- 電磁探査 : 比抵抗分布(電気の流れにくさ)
- 地震探査(屈折) : P波速度分布
- 地震探査(反射) : 地震波を反射する面や物体
- 表面波探査 : S波速度分布
- 重力探査 : 地盤の密度の大小、重力異常
- 常時微動 : 地盤の固有振動特性(固有周期)
- 微動アレイ : S波速度(微動=表面波)

物理探査  
とは?  
オーバー  
ビュー  
代表的な  
新しい  
手法  
表現され  
ないもの

35／107

35

# 物理探査で何が分かるか

## 主な調査目的

- 地中レーダ探査 : 地中の空洞、埋設物、地層境界
- 電気探査 } : 水探し、土質推定、地すべり
- 電磁探査 } : 地すべり面
- 地震探査(屈折) : トンネル(岩盤状況把握)、地すべり面
- 地震探査(反射) : 断層調査
- 表面波探査 : 盛土(築堤、道路盛土、宅地)  
締まり具合、改良効果
- 重力探査 : 断層調査、空洞(大規模)
- 常時微動 : 免震調査(耐震設計)
- 微動アレイ : 表面波探査では届かない深度  
(深度 数10m～数1,000m)

物理探査  
とは?  
オーバー  
ビュー  
代表的な  
新しい  
手法  
表現され  
ないもの

36／107

36

# 物理探査で何が分かるか

## 対象物の評価

- |          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 地中レーダ探査  | ：地中の空洞、埋設物、地層境界                         | 物理探査とは？   |
| 電気探査     | ：水分の多・少                                 |           |
| 電磁探査     | ：粘土が多いか、砂が多いか(概略土質)                     |           |
| 地震探査(屈折) | ：地盤の硬軟(主に岩盤)<br>硬いとP波速度は速くなる            |           |
| 地震探査(反射) | ：断層の有無etc(上下変位が有る場合)                    |           |
| 表面波探査    | ：地盤の硬軟(主に軟弱地盤)<br>硬いとS波速度は速くなる(M値と相関あり) | オーバービュー   |
| 重力探査     | ：空洞、断層の有無、基盤の深浅                         |           |
| 常時微動     | ：地盤がどの程度の周波数で揺れているか                     |           |
| 微動アレイ    | ：地盤の硬軟(軟弱・岩盤)                           | 代表的な新しい手法 |

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

37/107

37

# 物理探査の留意点

## 主な物理探査の特徴や条件の例

- |          |  |         |
|----------|--|---------|
| 地中レーダ探査  | ：深度2m程度まで<br>使用する電磁波 高周波⇒浅い 低周波⇒深い           | 物理探査とは？ |
| 電気・電磁探査  | ：地盤の硬軟は分からぬ                                  |         |
| 地震探査(屈折) | ：速度の逆転層(深い方が軟らかい)があると適用外<br>探査深度の5~10倍の測線長必要 |         |
| 表面波探査    | ：深度は15~20m程度<br>使う地震計は上下動<br>平らな箇所でのみ適用可能    |         |
| オーバービュー  |  |         |

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

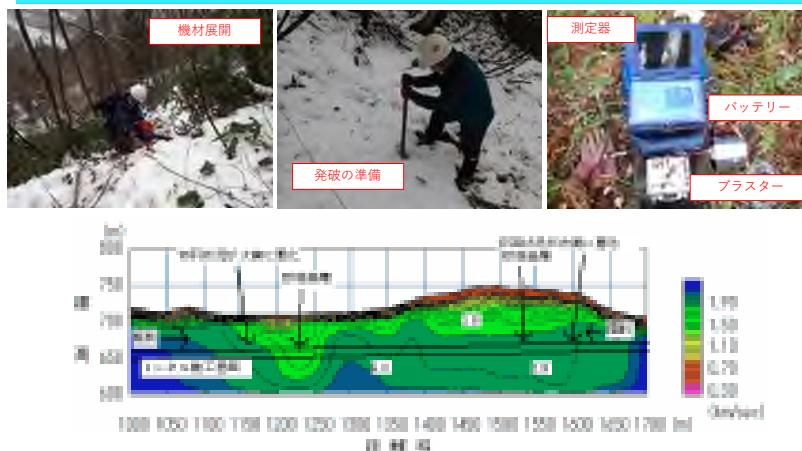
表現されないもの

38/107

38

## 代表的な手法 地震探査

### 弾性波探査（屈折法）

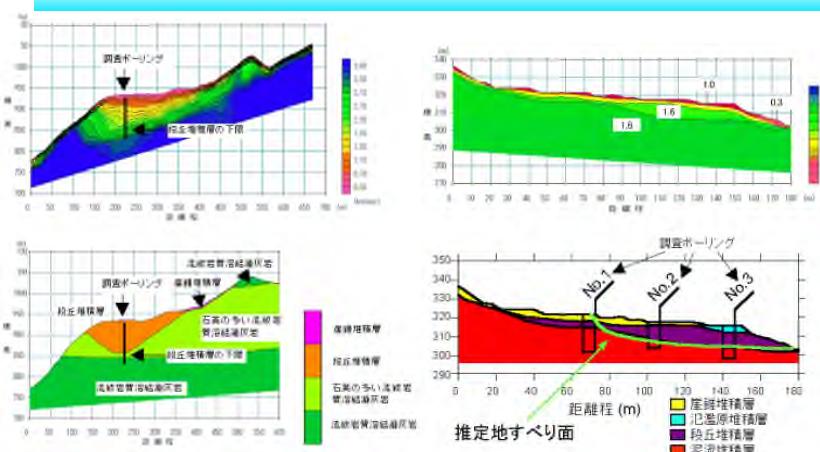


39/107

39

## 代表的な手法 地震探査

### 弾性波探査（屈折法）



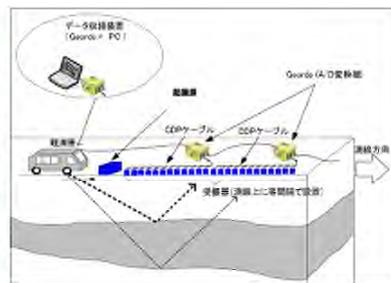
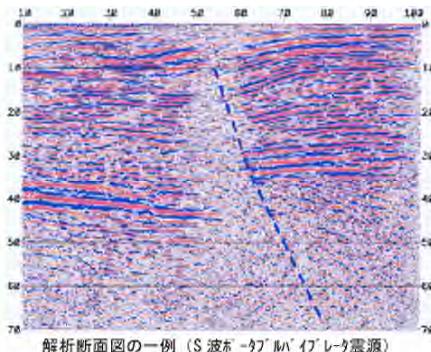
40/107

40

## 代表的な手法 地震探査

### 反射法地震探査

### 現地調査のユニット化



物理探査とは?

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

41/107

41

## 代表的な手法 地震探査

### 反射法地震探査

### 起振装置 (自動化)



物理探査とは?

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

42

## 代表的な手法 地震探査

### 弾性波探査（屈折法） 孔内起振状況



43/107

物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

43

## 代表的な手法 地中レーダ探査



物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

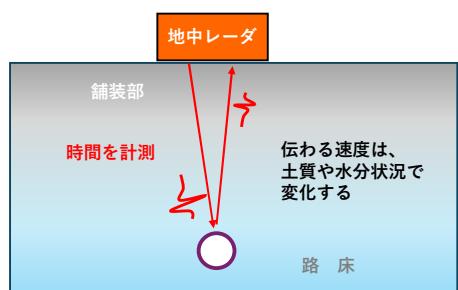
表現され  
ないもの

44/107

44

## 代表的な手法 地中レーダ探査

- 地中レーダは、地中に電波を放射し、電気特性の異なる境界からの反射波を検出して地中を探査する技術



探査できる深度が1.5~2m程度

・レーダで計測しているのは、反射波が戻ってくるまでの時間である。

・距離（深度）にするためには、レーダが地中を伝わる速度を仮定する必要がある。  
(経験的に6~10cm/ns)

深度1mと予想したのに、0.7mで埋設物が出現することが十分にあるので注意

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

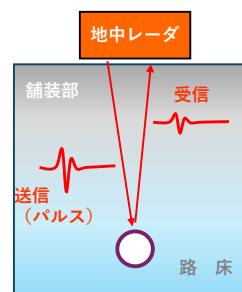
表現されないもの

45/107

45

## 代表的な手法 地中レーダ探査

波形を距離ごとに並べて着色し、画像化したもの

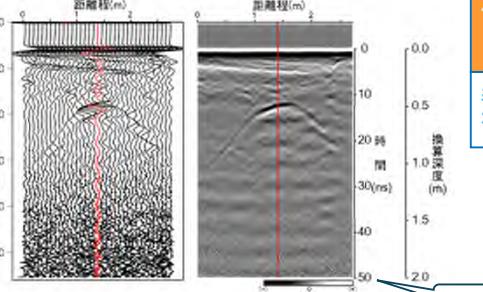


レーダの波形

距離ごとに並べる

着色表示する

人間ドックの超音波エコーみたいなもの



物理探査とは？

オーバービュー

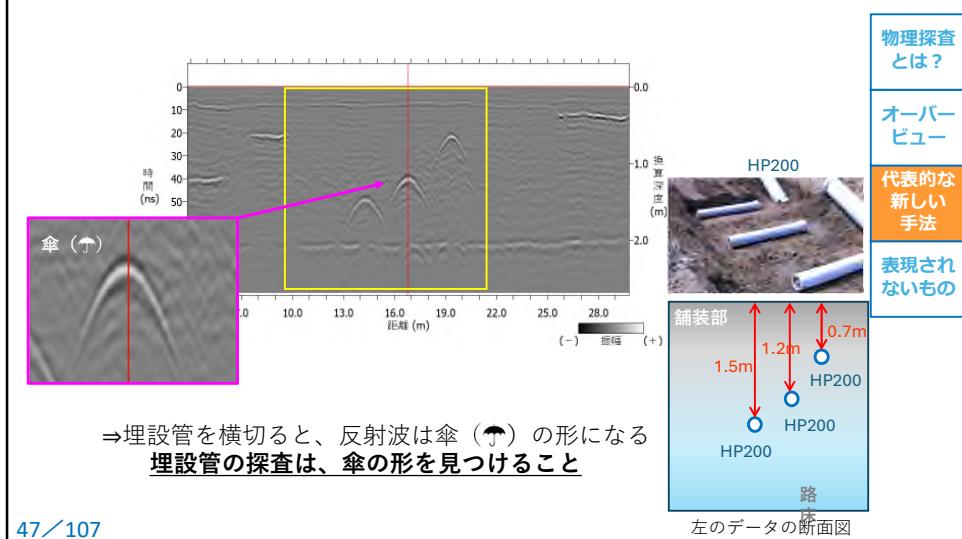
代表的な新しい手法

表現されないもの

46/107

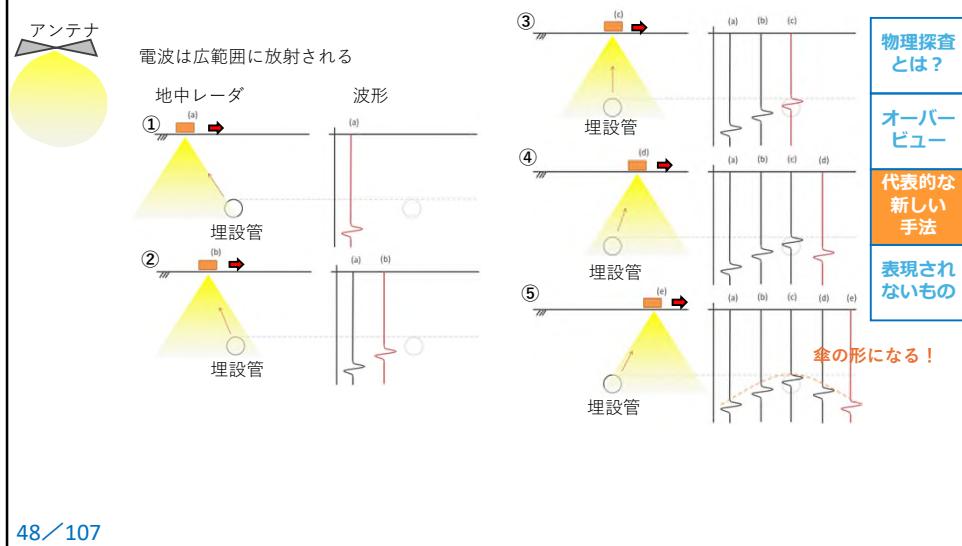
46

## 代表的な手法 地中レーダ探査



47

## 代表的な手法 地中レーダ探査



48

## 代表的な手法 地中レーダ探査

記号	①	②	③	④
反射パターン				

記号	I	II	III	IV
地盤構造				

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

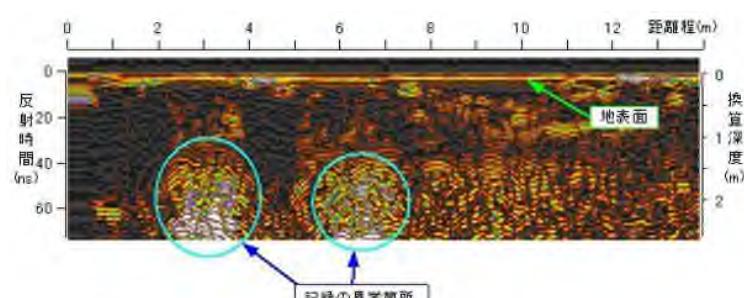
表現されないもの

49/107

49

## 代表的な手法 地中レーダ探査

### 地中レーダ探査結果例 2D



物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

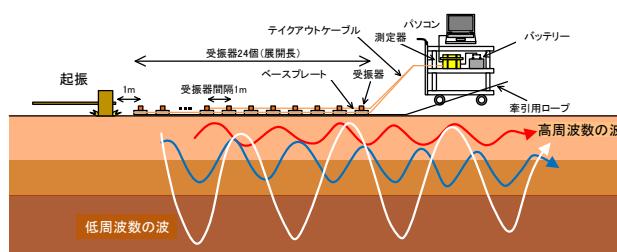
表現されないもの

50/107

50

## 代表的な手法 表面波探査

- 表面波探査とは、人工的な振動を発生させ、地盤の表面付近を伝わる表面波（レイリー波）を観測し、S波速度構造を調べる探査法
- 多数の受振器を用いて、地盤のS波速度構造を2次元断面として捉える手法を、高密度表面波探査という



第67回実技セミナー「物理探査入門」-表面波探査・地中レーダ探査 2025年5月16日

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

51/107

51

## 代表的な手法 表面波探査 - 適用概要 -

- 河川堤防、宅地地盤、埋立地等で調査が行われる  
⇒堤体が健全か、地盤の硬さは十分か等を調べる



物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

52/107

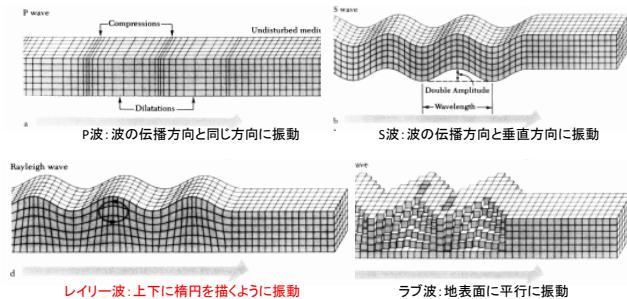
第67回実技セミナー「物理探査入門」-表面波探査・地中レーダ探査 2025年5月16日

52

## 代表的な手法 表面波探査

- 表面波探査では、表面波（レイリー波）を使用

弾性波：物体が弾性を持つことで伝わる波の総称  
- 実体波：地盤の内部を伝わる波（P波、S波）



第67回実技セミナー「物理探査入門」-表面波探査・地中レーダ探査 2025年5月16日

53/107

53

物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

## 代表的な手法 表面波探査

- 最大探査深度は10～20m程度

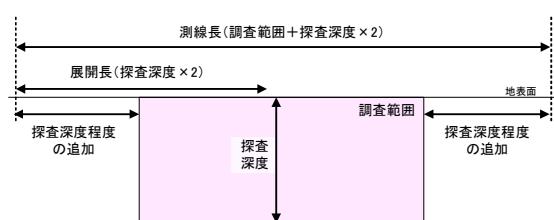
- 但し展開長や地盤のS波速度による

【展開長】設置した受振器の最大受振間隔（探査深度の2倍必要）

【測線長】調査範囲を網羅するために必要な長さ

（調査範囲 + 探査深度 × 2倍以上）

例：調査範囲が幅30m・深度10mの場合、測線長は50m以上必要



物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

第67回実技セミナー「物理探査入門」-表面波探査・地中レーダ探査 2025年5月16日

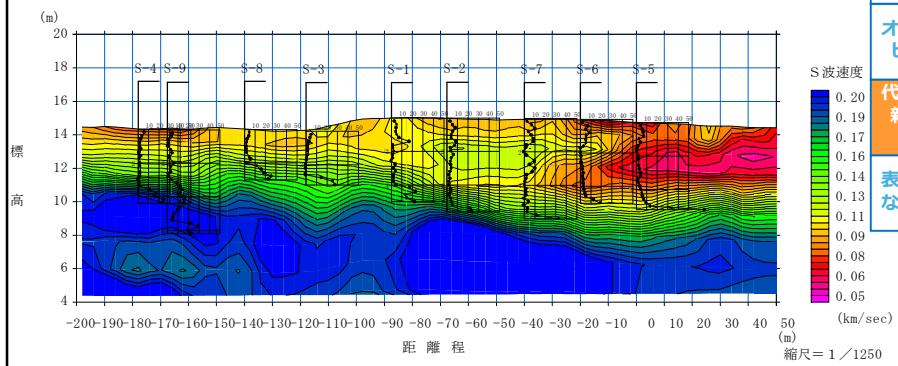
54/107

54

## 代表的な探査 表面波探査

### 4) 探査結果と解釈

#### 結果と検証

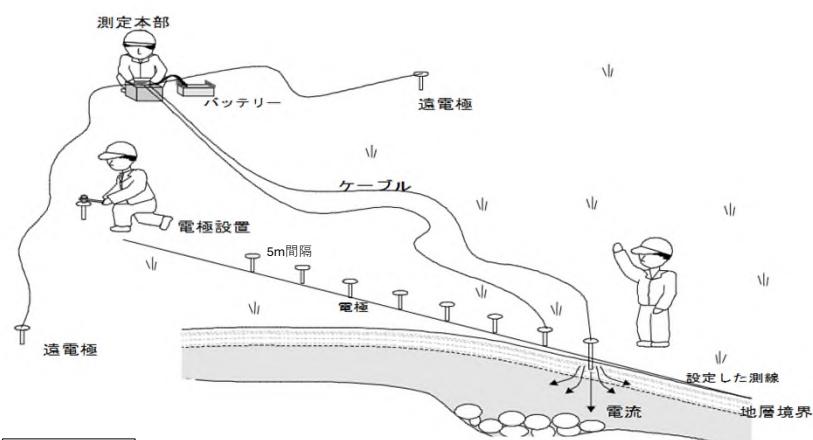


第67回実技セミナー「物理探査入門」-表面波探査・地中レーダ探査 2025年5月16日

55/107

55

## 代表的な探査 2次元電気探査

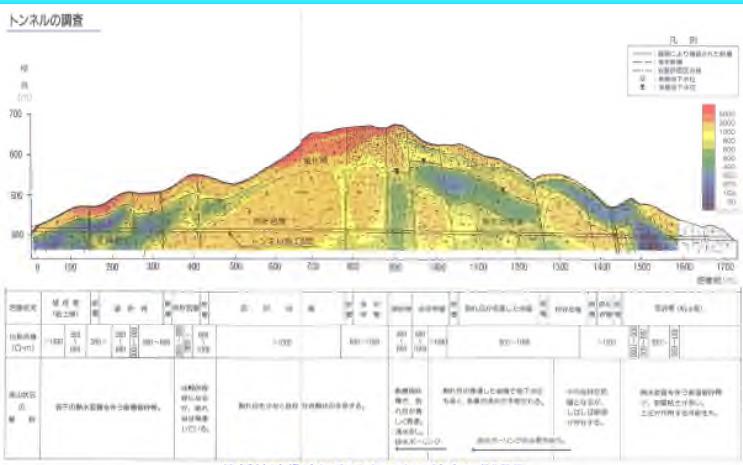


56/107

56

## 代表的な手法 (2D)

### 2次元電気探査



物理探査とは?

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

57/107

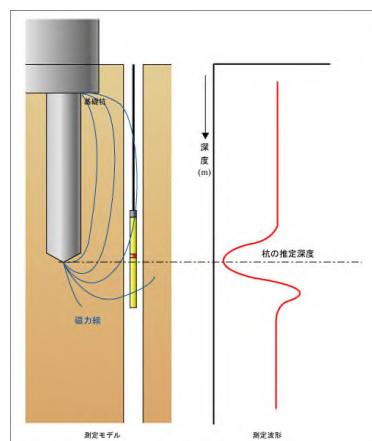
57

## 代表的な手法

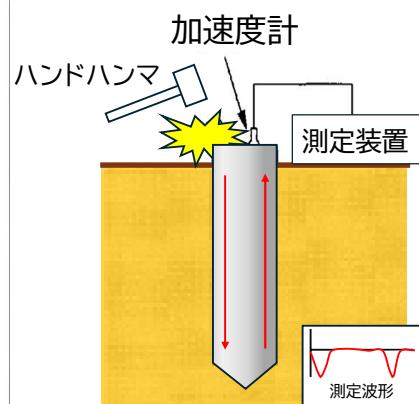
### 維持管理 検層(その他)

#### 磁気検層 (杭長・損傷調査)

##### 磁気検層イメージ



##### 簡易調査(インティグリティ試験)



物理探査とは?

オーバービュー

代表的な新しい手法

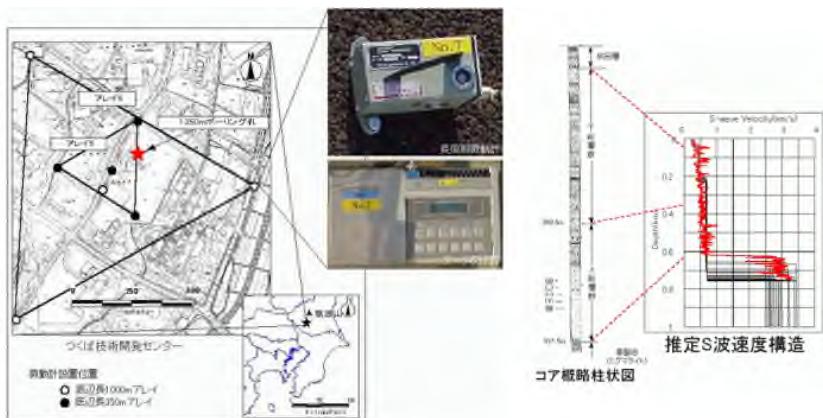
表現されないもの

58/107

58

# 新たな手法 微動探査(2D ⇒ 3Dへ)

## 微動アレイ探査



物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

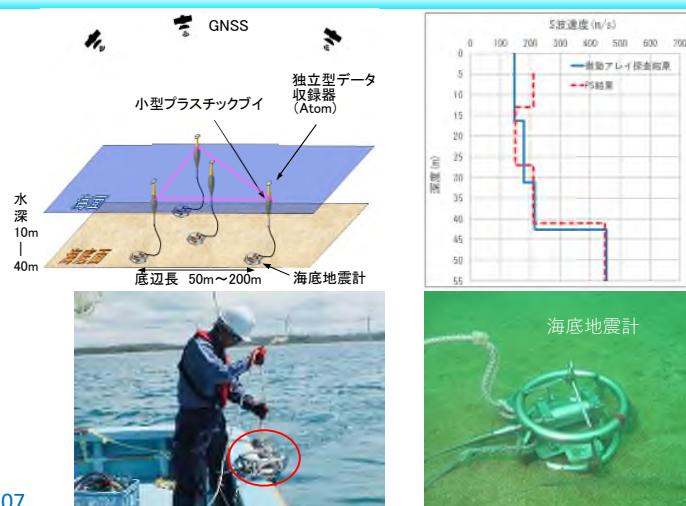
表現され  
ないもの

59／107

59

# 新たな手法 微動探査(2D ⇒ 3Dへ)

## 海底微動アレイ探査



物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

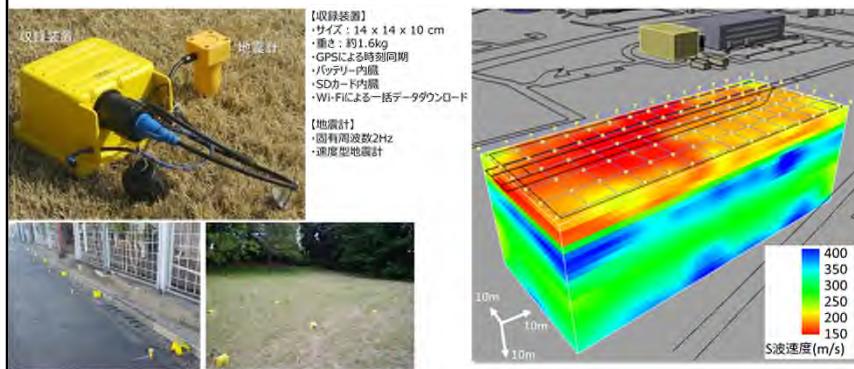
表現され  
ないもの

60／107

60

## 新たな手法 微動探査(2D ⇒ 3Dへ)

### 常時微動トモグラフィ (微動アレイ)



61／107

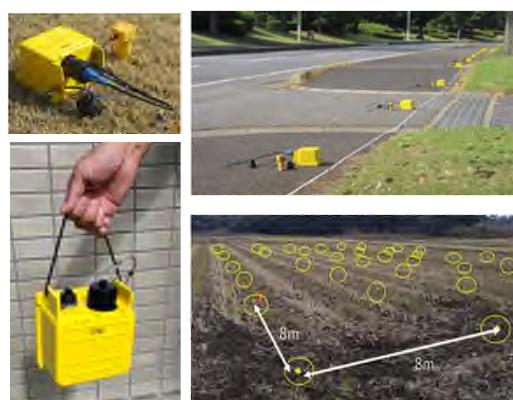
61

## 新たな手法 微動探査(2D ⇒ 3Dへ)

### 設置方法

短時間の測定が可能  
⇒地元への影響を最小限に

小型かつ軽量  
⇒高い作業効率を確保

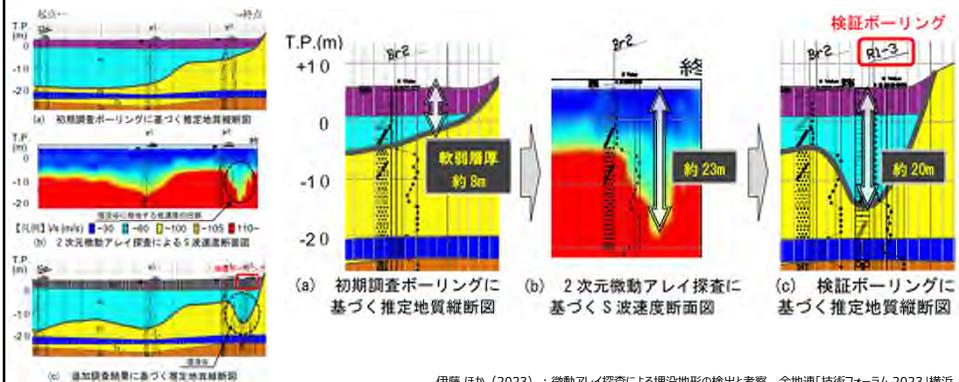


62／107

62

## 新たな手法 微動探査(2D ⇒ 3Dへ)

### 探査精度(誤差)に関する一例



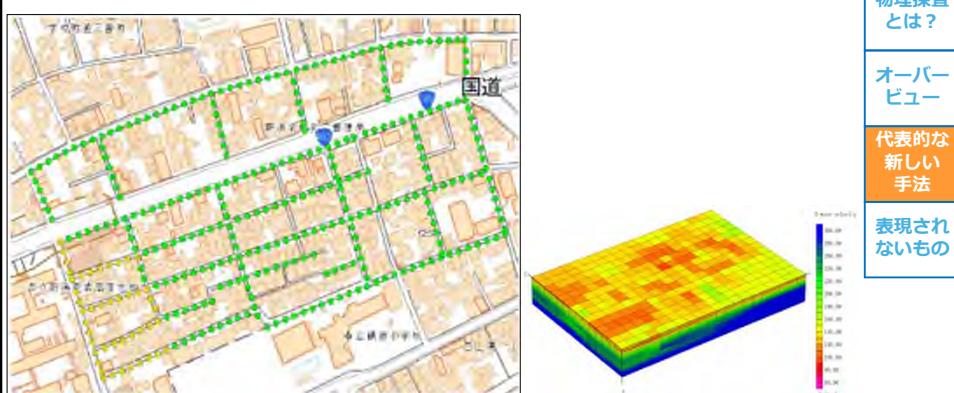
伊藤 ほか (2023) ; 微動アレイ探査による埋没地形の検出と考察, 全地連「技術フォーラム 2023」横浜

63/107

63

## 新たな手法 微動探査(3D ⇒ 4Dへ)

### 常時微動トモグラフィ(微動アレイ, 微動探査)



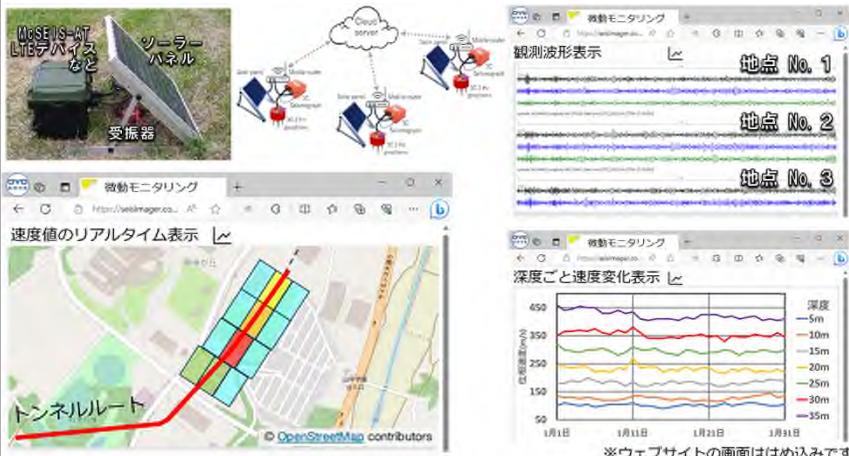
小原 ほか (2021) ; インフラ施設の液状化評価のための3次元地盤構造モデルの作成における微動探査の適用 (その3), 物理探査学会第145回学術講演会論文集 (2021), p 147-150

64/107

64

## 新たな手法 微動探査(3D ⇒ 4Dへ)

### 4D微動モニタリング(振動モニタリング)



65 / 107

65

物理探査  
とは?

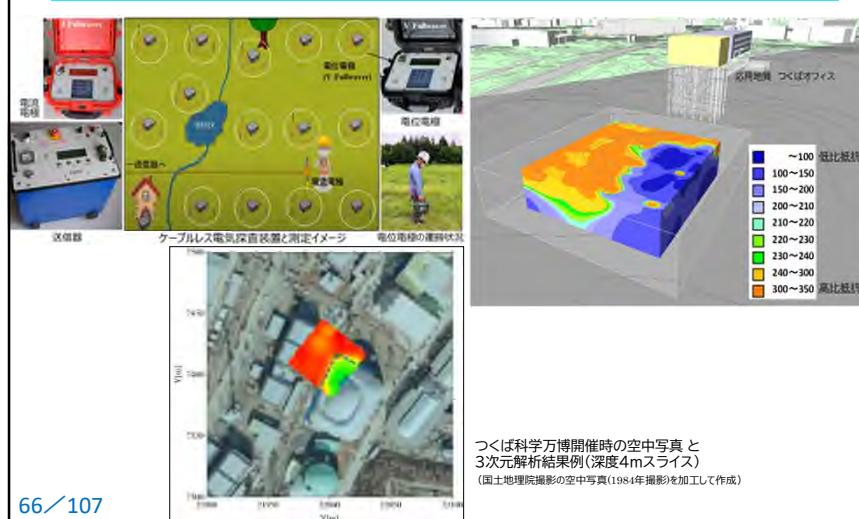
オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

## 新たな手法 (3D化)

### 3次元電気探査



66 / 107

66

物理探査  
とは?

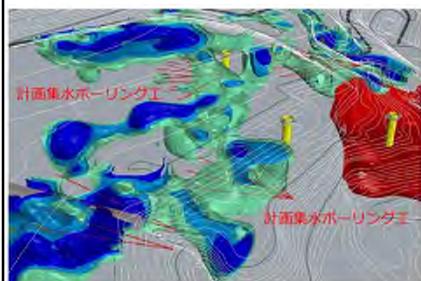
オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

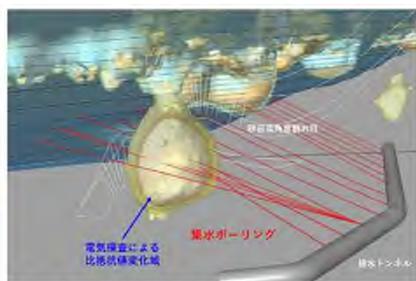
表現され  
ないもの

## 新たな手法 (3D化)

### 3次元電気探査



対策工の配置検討例  
地下水帯を狙った対策工の立体配置へ



物理探査  
とは?

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

67/107

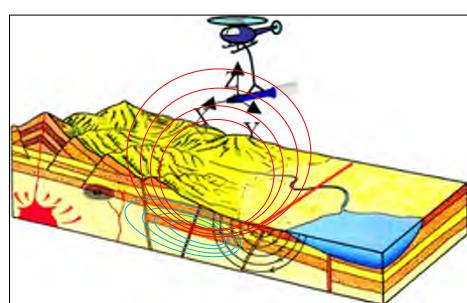
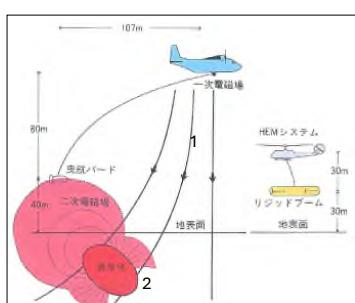
67

## 新たな手法 (省力化, 3D化)

### 空中電磁探査・ドローン空中電磁探査

#### 空中電磁探査の概要

空中や地上から発信した電磁波によって大地に誘導された磁場を空中で測定し、地下の比抵抗構造を求める探査法で、周波数領域と時間領域の探査法がある。



物理探査  
とは?

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

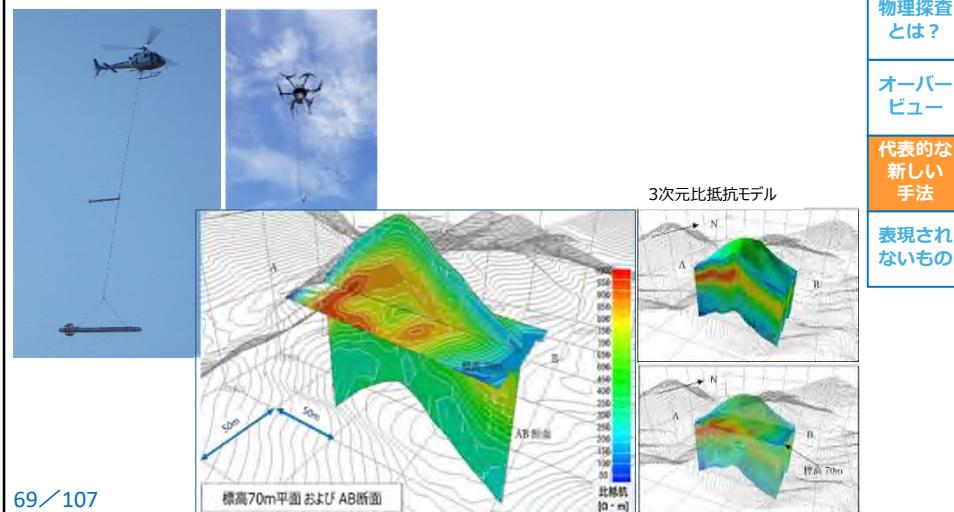
表現され  
ないもの

68/107

68

## 新たな手法 (省力化, 3D化)

### 空中電磁探査・ドローン空中電磁探査



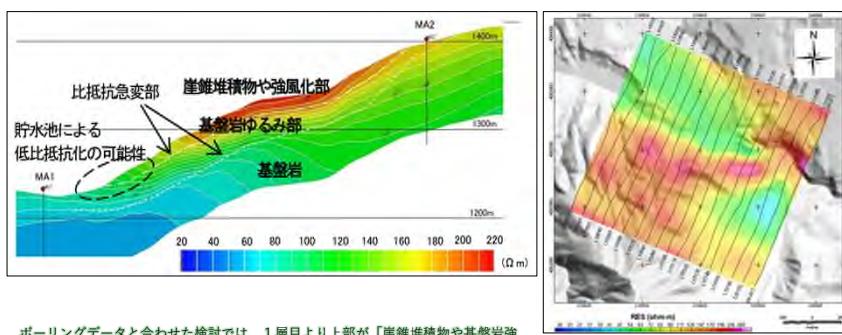
69

## 新たな手法 (省力化, 3D化)

### 空中電磁探査・ドローン空中電磁探査

#### 事例紹介

地すべり・斜面



ボーリングデータと合わせた検討では、1層目より上部が「崖縁堆積物や基盤岩強風化部」、2層目が「含水が少ない基盤岩（ゆるみ）」、3層目以深が「含水が多い基盤岩（非ゆるみ）」に相当することがわかった

70 / 107

70

## 新たな手法 (効率化)

### 複合探査 (堤防の評価)



物理探査  
とは?

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

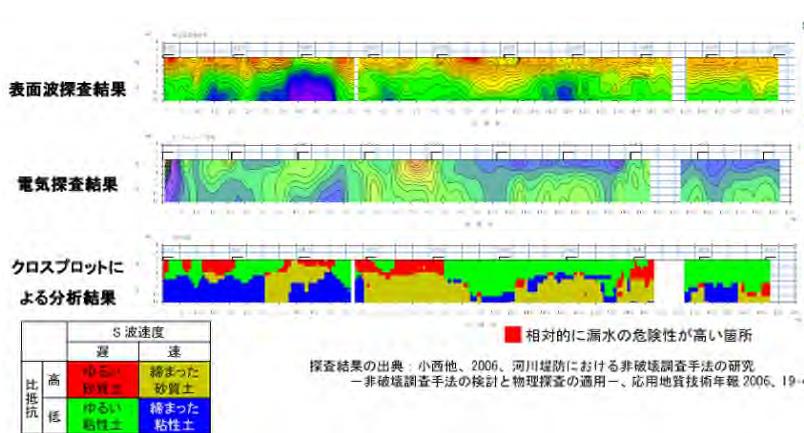
表現され  
ないもの

71 / 107

71

## 新たな手法 (効率化)

### 複合探査 (堤防の評価)



物理探査  
とは?

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

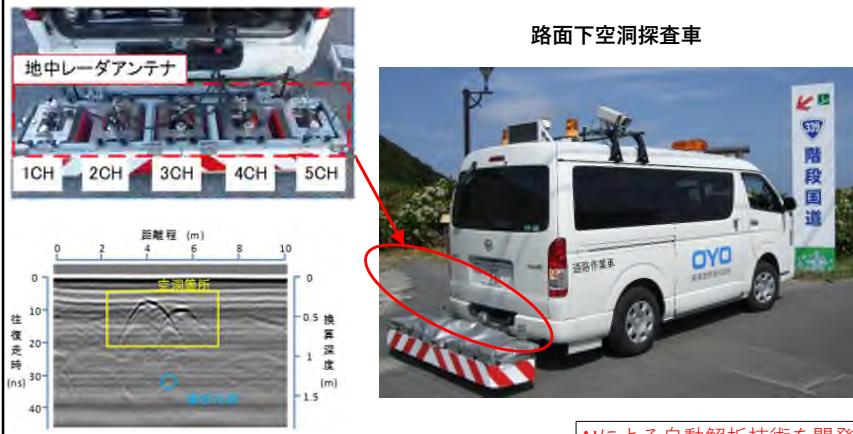
表現され  
ないもの

72 / 107

72

## 新たな手法 (効率化)

### 路面下空洞探査

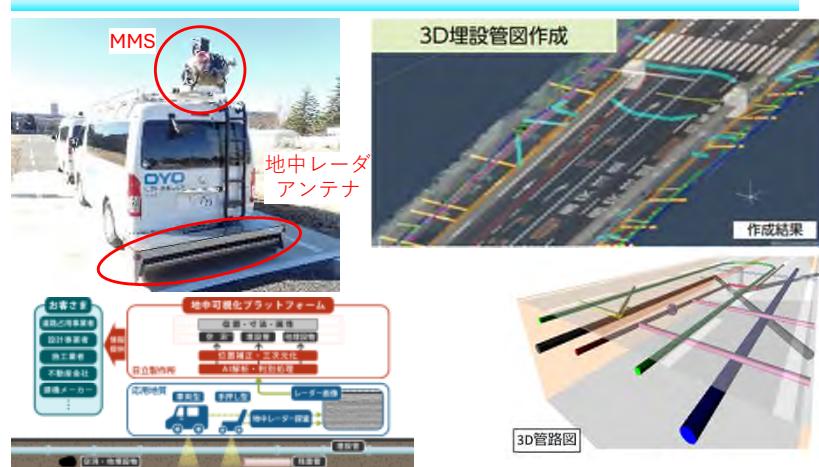


73 / 107

73

## 新たな手法 (効率化)

### 路面下空洞探査

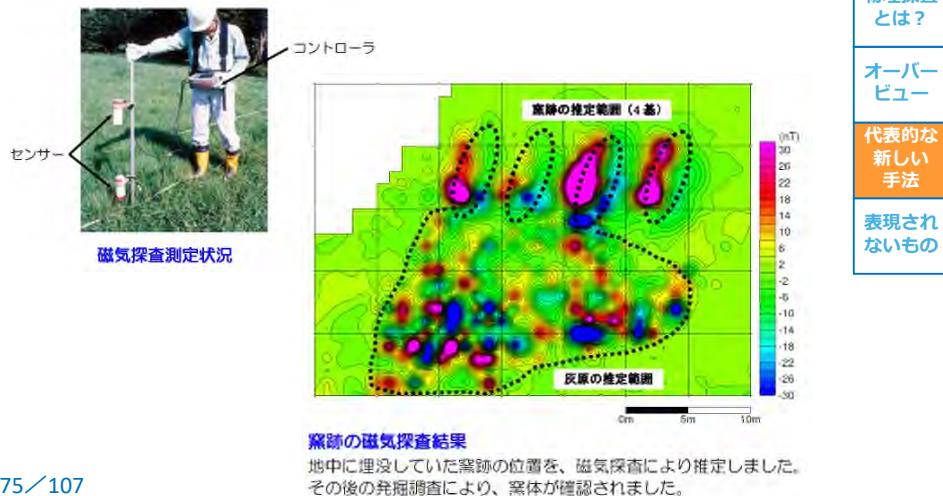


74 / 107

74

## 新たな手法 (多目的活用)

### 磁気探査 (埋蔵文化財)



75

## 新たな手法 (多目的活用)

### 文化財調査



76

## 新たな手法 最近の技術

### 光ファイバ振動計測（DAS）技術

Distributed Acoustic Sensing



物理探査  
とは？

オーバービュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

都市部に埋設されている光ファイバーケーブルを用いてその振動計測により地盤のS波構造を明らかにする。

OYOフェア2025 「光ファイバ振動計測（DAS）」 小川直人より

77/107

77

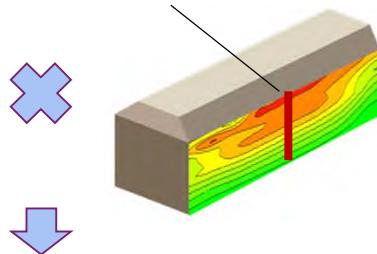
## 新たな手法 DAS技術

光ファイバセンシング技術への着目

数10kmを一度に計測可能



見つけた弱部に対し  
ボーリング等の詳細調査を実施



物理探査  
とは？

オーバービュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

光ファイバセンシング技術を地盤調査へ適用

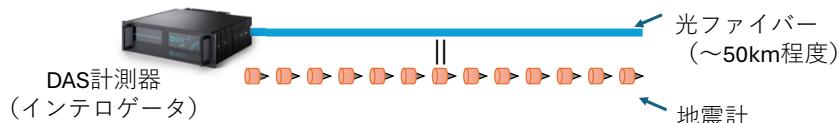
78/107

78

## 新たな手法 DAS技術

光ファイバセンシング (DAS) 技術

光ファイバ1本を多数の地震計として利用できる



例えば5m間隔で設定すると、地震計10,000個に相当



圧倒的に長距離・高密度の振動データが取得可能

79/107

79

物理探査とは?

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

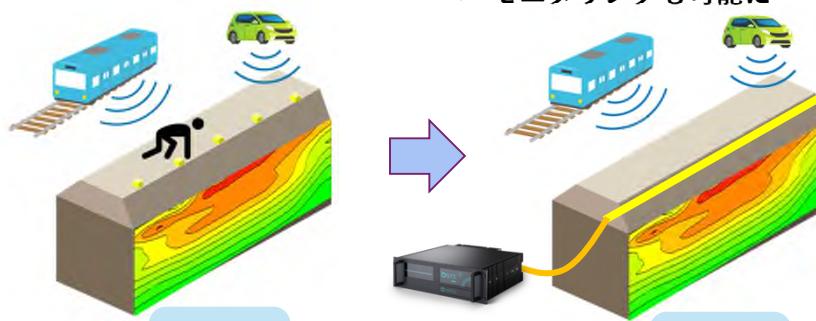
## 新たな手法 DAS技術

DAS技術を活用した微動アレイ探査

地震計による微動アレイ探査

光ファイバを用いた微動アレイ探査

- ✓ 短時間で長距離・高密度の探査
- ✓ モニタリングも可能に



物理探査とは?

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

80/107

80

## 新たな手法

## DAS技術

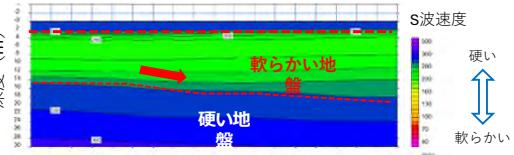
### 地震計との比較

表面波探査・微動アレイ探査を実施し、S波速度構造を比較  
(鹿島建設・UCバークレーとの協働)

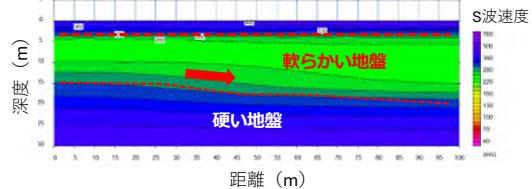


\*文献1より一部加工

#### 地震計による結果



#### DAS技術による結果



地震計による結果と同等の結果が得られることを確認

代表的な  
新しい  
手法

81/107

81

## 新たな手法

## DAS技術

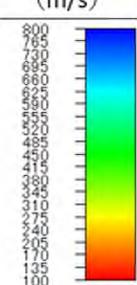
### 事例 ①河川堤防における計測

既設の光ファイバを用いたDAS計測により、地盤のS波速度構造を連続的に把握

【現地の計測期間】  
地震計：9日  
DAS技術：1日



S波速度  
(m/s)



防災科研との共同研究（協力：阿賀野川河川事務所）

\*文献2より一部加工

物理探査  
とは？

オーバー  
ビュー

代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

82/107

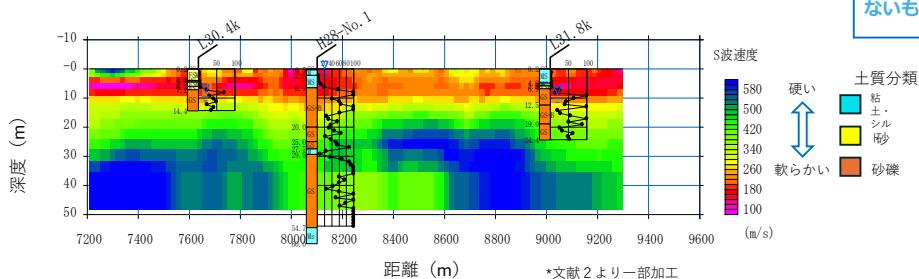
82

## 新たな手法 DAS技術

ボーリング結果との対比

物理探査とは?  
オーバービュー  
代表的な新しい手法  
表現されないもの

DAS計測で得られたS波速度構造は、  
ボーリング調査から得られたN値（地盤の硬軟）の傾向と対応



83/107

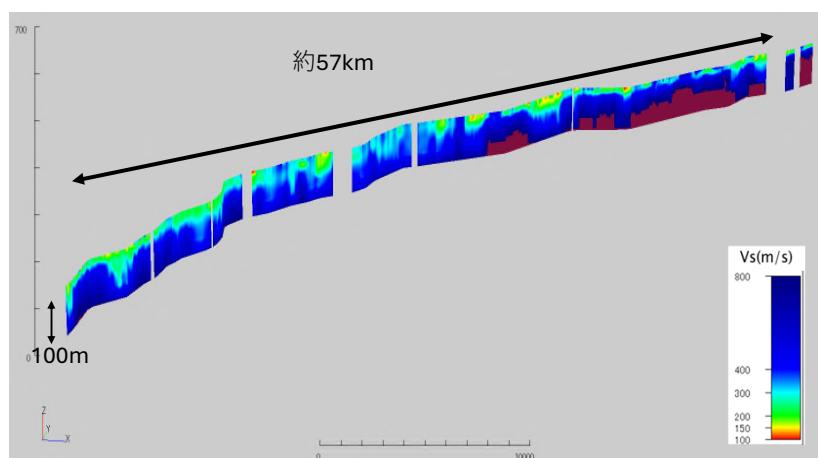
83

## 新たな手法 DAS技術

事例 ②道路における計測  
既設の光ファイバでのDAS計測により、  
50km超の地盤のS波速度構造を把握

【現地の計測期間】  
地震計：2ヶ月  
DAS技術：1日

物理探査とは?  
オーバービュー  
代表的な新しい手法  
表現されないもの



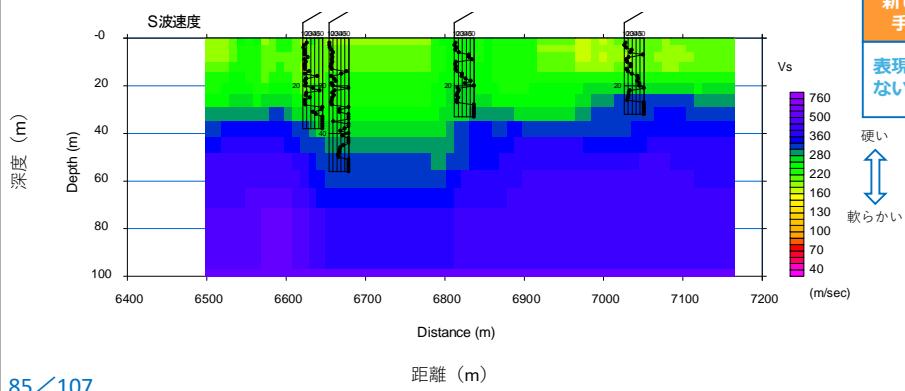
84/107

84

## 新たな手法 DAS技術

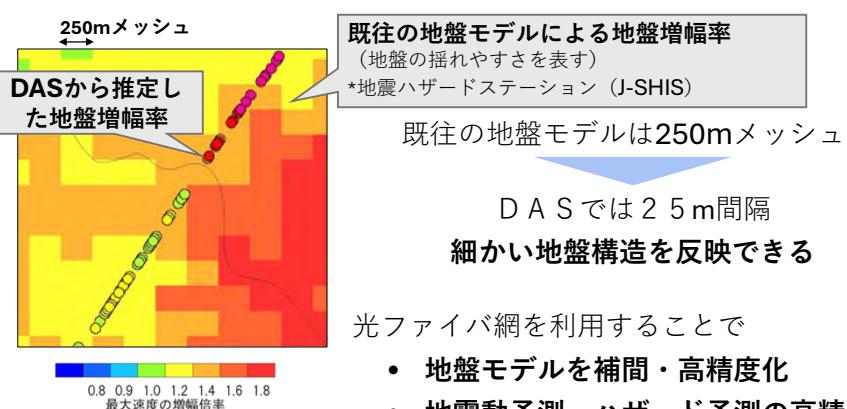
ボーリング結果との対比

- $N$ 値 50 以上を示す支持層の分布と調和的
- ボーリング間を補間することが可能



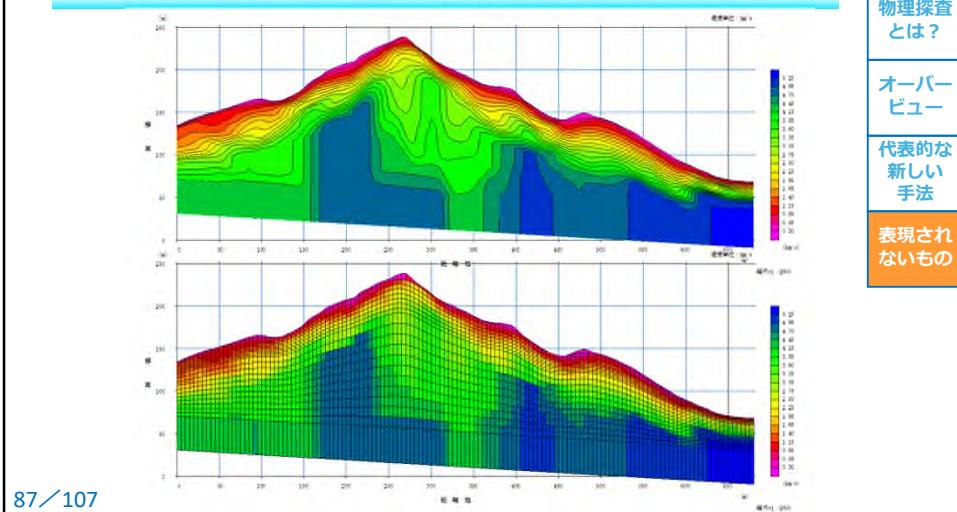
## 新たな手法 DAS技術

地震動予測の精度向上へ貢献



## 探査結果(図)には表現されないもの

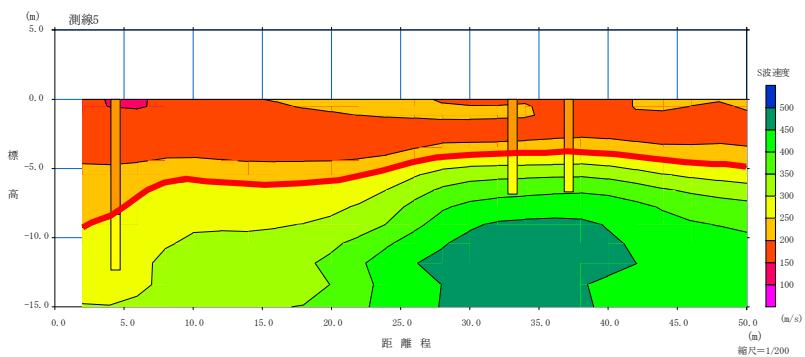
解析モデルはセル 表現はコンター



87

## 探査結果(図)には表現されないもの

解析モデルはセル 表現はコンター

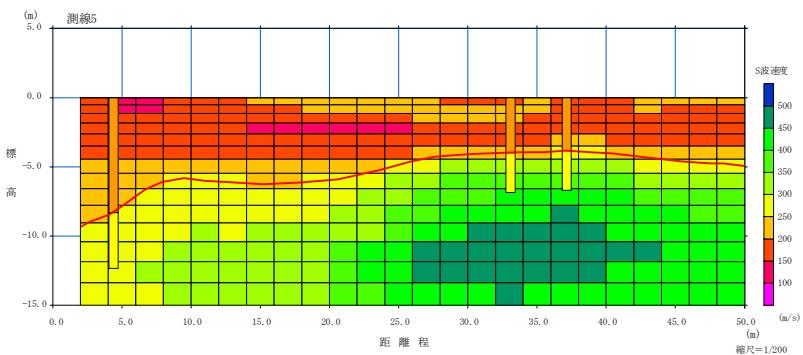


88/107

88

## 探査結果(図)には表現されないもの

解析モデルはセル 表現はコンター

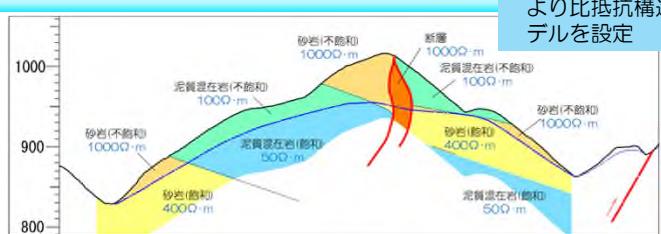


89/107

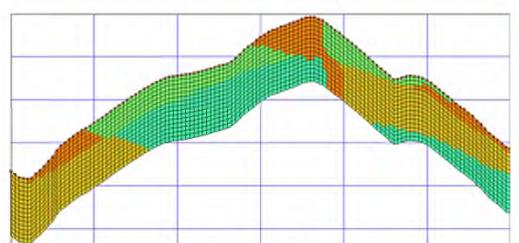
89

## 探査結果(図)には表現されないもの

複雑なモデルでは・・・



- 地質調査結果による地質構造モデルより比抵抗構造モデルを設定

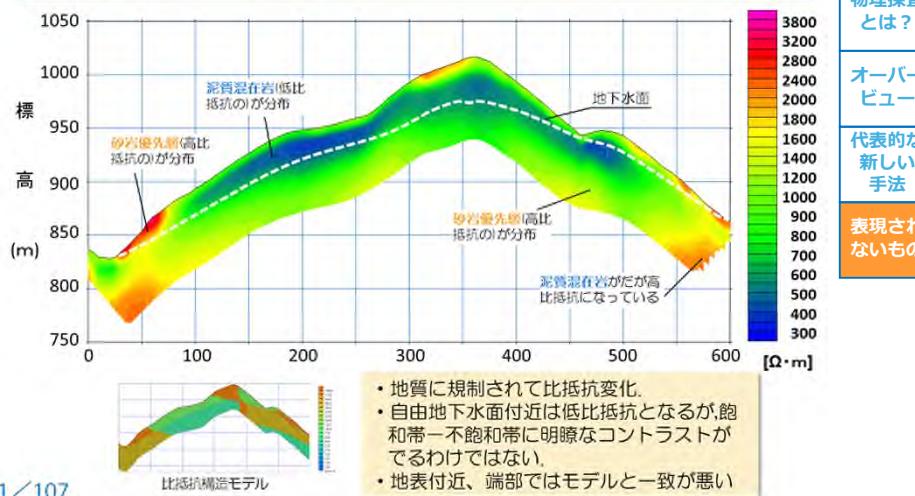


90/107

90

## 探査結果(図)には表現されないもの

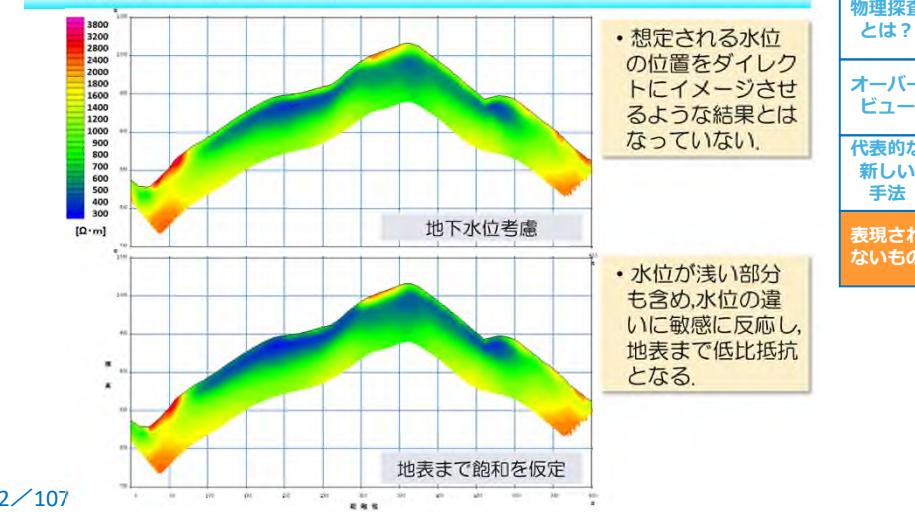
複雑なモデルでは . . . .



91

## 探査結果(図)には表現されないもの

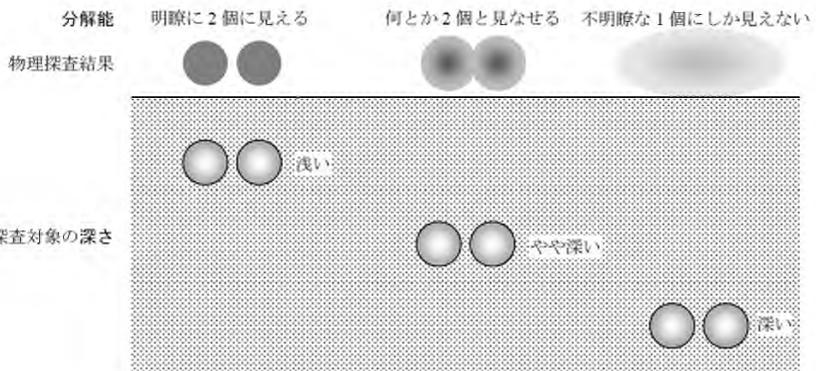
複雑なモデルでは . . . .



92

## 探査結果(図)には表現されないもの

遠くは良く見えない ⇔ 深いと良く見えない



物理探査とは?  
オーバービュー  
代表的な新しい手法  
表現されないもの

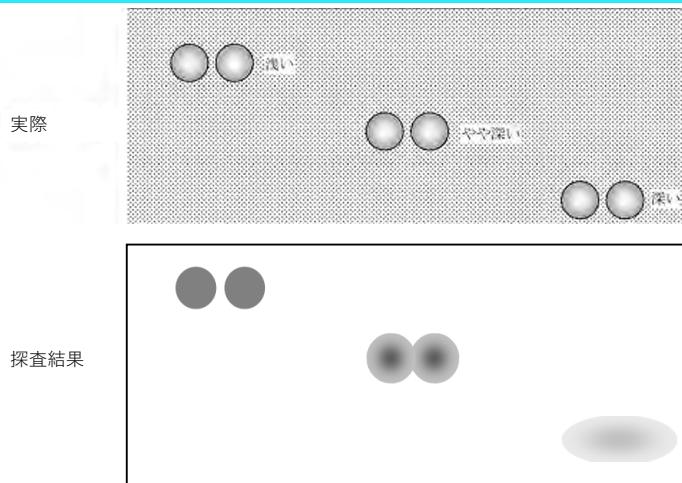
物理探査適用の手引き (物理探査学会)

93/107

93

## 探査結果(図)には表現されないもの

遠くは良く見えない ⇔ 深いと良く見えない



物理探査とは?  
オーバービュー  
代表的な新しい手法  
表現されないもの

94/107

94

## 探査結果(図)には表現されないもの

コンターで表現された断面図



物理探査  
とは?  
オーバー  
ビュー  
代表的な  
新しい  
手法  
表現され  
ないもの

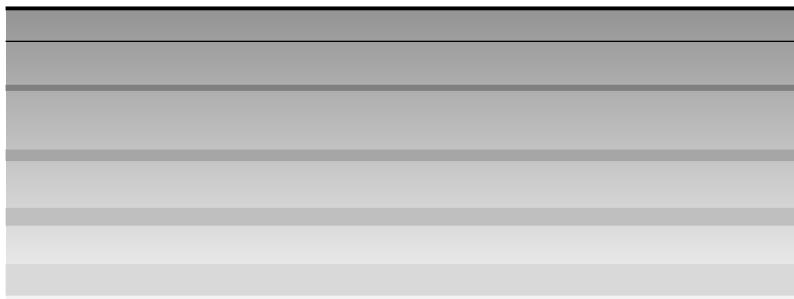
95／107

95

## 探査結果(図)には表現されないもの

コンターで表現された断面図

本当はこうかもしれません・・・

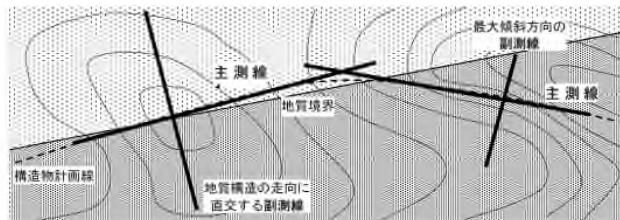


物理探査  
とは?  
オーバー  
ビュー  
代表的な  
新しい  
手法  
表現され  
ないもの

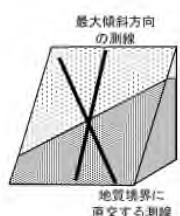
96／107

96

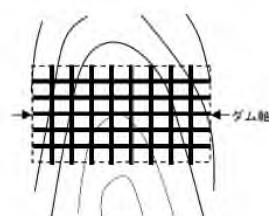
## 探査結果(図)には表現されないもの 測線計画



(a) トンネルや道路等の線状構造物の測線配置



(b) 坑口や切土のり面で  
傾斜と地質構造が異なる場合



(c) 格子状測線配置

物理探査  
とは?

オーバー  
ビュー

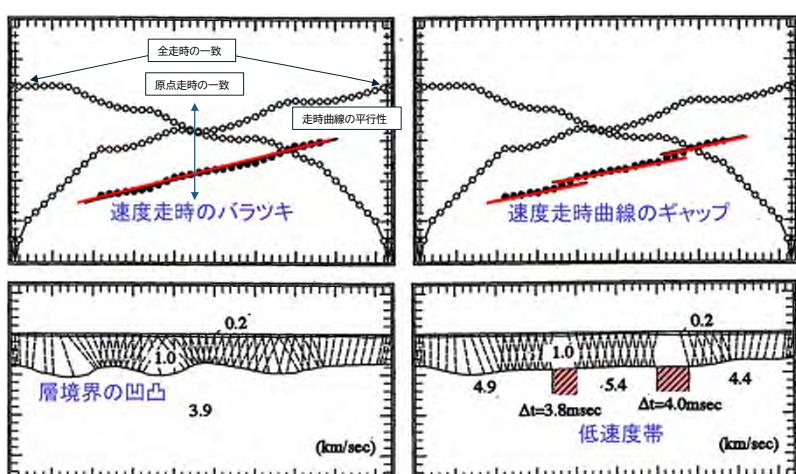
代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

97/107

97

## 探査結果(図)には表現されないもの 解析中の悩み



物理探査  
とは?

オーバー  
ビュー

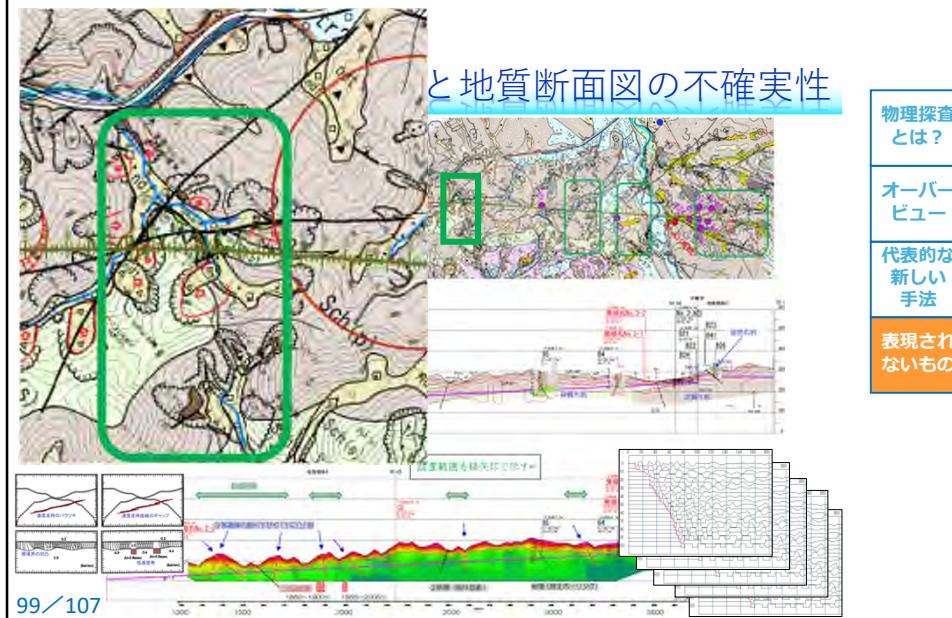
代表的な  
新しい  
手法

表現され  
ないもの

98/107

98

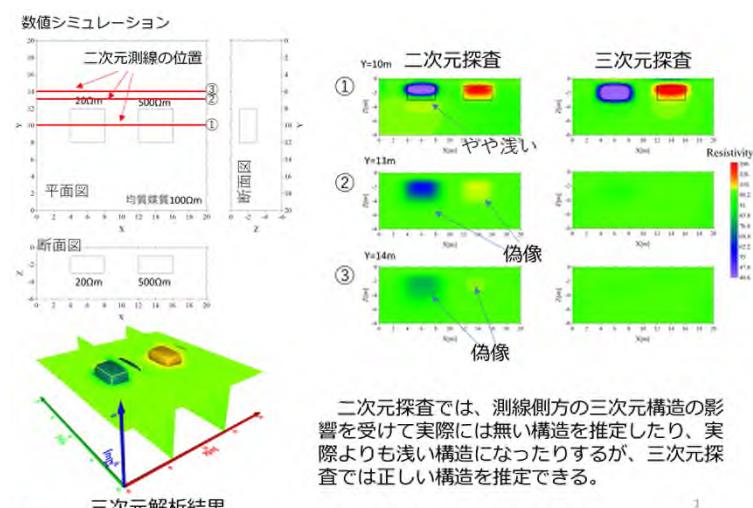
## 探査結果(図)には表現されないもの



99

## 探査結果(図)には表現されないもの

### 2次元探査は2次元断面ではない?



100

二次元探査では、測線側方の三次元構造の影響を受けて実際には無い構造を推定したり、実際よりも浅い構造になったりするが、三次元探査では正しい構造を推定できる。

## 探査結果(図)には表現されないもの

不確実性があってもデータ量が多いことの意味

掘削せずに探査でボーリングを代替する？？

ボーリング調査⇒自動車が2台?  
車種もわかりそう

明確な情報

物理探査⇒自動車が4~5台?  
車種までは無理

空間的な情報

ボーリング調査と物理探査の組み合わせ

組合せ

探査結果の解釈

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

自動車は5台と推定  
5台とも同様の車種である可能性

101／107

101

## おわりに 物理探査は有効な手法の一つ 物理探査の適用に際しての注意事項

- ◆適用にあたっての前提条件や限界などがあります。  
⇒計画にあたって、適切な検討が重要です。  
例) 探査深度、材質などによる反応の有無(大小)
- ◆測定結果には、ある程度の誤差が含まれます。
- ◆得られるのは物性値(または、物性値の変化量など)であり、地盤状況を直接的に捉えられるわけではありません。
- ◆計画段階からコンサルティングが必要なケースも多数。  
『陥没が発生したので、地中レーダの見積が欲しい』  
⇒想定される原因は何か?  
⇒調査規模ではなく、陥没の規模は?  
⇒目的は何か(現状把握? 仮復旧? 恒久対策?)  
⇒物探で良いか? 地中レーダで良いか? ⇒調査手法の選択重要

物理探査とは？

オーバービュー

代表的な新しい手法

表現されないもの

ボーリング調査を否定するものではない(精度が高く有効な手法)!

102／107

102



103／107

103

【ユースケース編】					
災害時に直面する課題に対して、Q&A形式で、役立つ地質調査技術を紹介します。					
区分	ユースケース				
災害直後調査	01 現地にアクセスできないが災害状況を把握したい。 02 災害発生直後の状況変化を把握したい。 03 広域での災害状況を把握したい。 04 被災地の詳細な地形データを取得したい。 05 地盤災害に関する二次災害リスクを評価したい。 06 災害後の法面の変状を効率的に把握したい。 07 急傾斜地等、車両の通行できない場所で地形の被災状況を把握したい。 08 淹水箇所や堆積物の範囲、岩盤の風化状況、粘土土の分布等を把握したい。 09 広域的な地盤構造を推測したい。				
	目的別調査	010 設計削に資する地盤調査としてボーリング調査を補完するための地盤データを取得したい。 011 ボーリング間の支持層や工学的基盤面の不透（谷地形）を推定したい。 012 液状化する可能性のある地層の分布を把握したい。 013 地下水や水みのの状況を調査したい。 014 災害後の水漏れ対策のための基礎情報を取得したい。 015 被災した基礎構造（柱・矢板等）の健全性を把握したい。 016 地下の空洞や建築物の位置を把握したい。 017 法面育成の空洞化状況を把握したい。 018 遊禽巣の空洞化状況を把握したい。 019 災害後の水面上の地形や構造物の周りの光沢状況を把握したい。 020 草間が入りできない箇所の地盤状況を詳細に把握したい。 021 斜面崩壊等による対策範囲や危険範囲を把握したい。 022 道路舗装面下の空洞化構造を把握したい。 023 被災地における重金屬調査を実施に行いたい。 024 精度分野を現地で早期内線測定を把握したい。			
		被災地復旧調査	025 調査・試験結果を経緯化したい。 026 地盤の物理性質を把握したい。 027 鉄筋地において地質状況を取得したい。 028 急傾斜地において地質状況を取得したい。 029 地盤の粒度方向の液状化危険度を取得したい。 030 地盤の物理性質を現地で直に確認したい。		
			被災地復旧調査	031 人命救助に係る斜面の二次災害の発現を把握したい。 032 応急対応も含めた斜面の二次災害の発現を把握したい。 033 災害後の復旧工事の動向観察をしたい。	
				共有	034 災害後の対策方針を関係者間で共有したい。

104／107

104

### 【要素技術編】

ユースケース編で紹介した災害時に役立つ30の地質調査技術を解説します。

手法区分	調査手法	頁	調査目的
センシング	1 平添SARを用いた地盤変動解析	11	災害によって変状した地形状況を迅速に把握する
	2 航空機やUAV等によるレーザ計測	13	
	3 LPデータによる地形解析	15	
	4 UAV空撮によるSfM画像解析	17	
	5 マルチスペクトルカメラ	20	
	6 車載光学カメラを用いた計測	21	
	7 ハンドドローンレーザ計測	23	
探査	8 空中物理探査	25	災害が発生した地域の地質地盤の状況を非破壊で迅速に把握する
	9 浅層反射法探査	27	
	10 微動アレイ探査	29	
	11 電気探査	31	
	12 地中レーダ	33	
	13 衝撃弾性波探査	35	
	14 音響による水面下の地形調査	37	
地盤評価	15 EM探査	39	
	16 土層強度検査棒	41	災害が発生した現場の限られた作業スペースで迅速に物性値を把握する
	17 簡易的コーン貫入試験	43	
	18 ポータブル的コーン貫入試験	45	
	19 SH型貫入試験	47	
	20 三成分コーン貫入試験(GPT)	49	
	21 ピエゾドライブコーン(PDC)	51	
分析	22 携帯型蛍光X線分析	53	災害が発生して分析に急を要する際に、室内試験の代替として各主成分などを把握する
	23 AI画像解析を用いた簡易粒度判定	55	
	24 地下水の応急利用調査	57	
	25 傾斜計(地表面)	59	災害が発生して不安定な地盤の変動状況をタイマリーに把握し、二次災害を防止する
	26 GNSS	61	
	27 土壌水分計	63	
	28 DASによる振動計測	65	
モニタリング	29 雨量計	67	
	30 地盤の3次元モデル	69	災害時の混乱した状況で取得したデータの共有を図る

105／107

105

基本事項	
No.	13
調査手法名	衝撃弾性波探査
目的	①被災した建物・橋梁などの杭基礎の根入長、あるいは健全性の確認 ②コンクリートのひび割れ深さの計測
活用時期	応急対応、復旧復興
技術の特徴	①建物や橋梁の基礎杭の根入長が不明の場合、その根入長を推定する調査手法の一つ。あるいは、基礎形式や根入長が既知の場合、地震等により破壊している可能性について、非破壊で検査できることがある。本手法は、平成11年12月、建設省土木研究所、阪神高速道路公团、(財)土木研究センター、民間12社の共同研究「橋梁基礎構造物の形状および損傷調査マニュアル(案)」の中から、インディグリティ試験としての橋梁基礎の損傷調査法マニュアル(案)としてまとめられているものである。 ②ひび割れを割れ先端を全部の走り $d = a\sqrt{t_0}$ ここで $d$ : 走時、 $t_0$ :
得られるデータ	波形記録から
活用事例	鈴木ほか：高年度農業農村

(1)新設杭の品質管理 (2)既設杭の形状調査 (3)倒設杭の検査

調査概念図

106／107

106



107 / 107

107