

0.1 背景: 頻発する道路盛土・河川堤防等の崩壊被害-1

東名牧之原高盛土地震時崩壊(2009/8月)

(NEXCO中日本地震災害検討委員会報告より引用)

- 「水が集まりやすい地形・地質条件」: 合致箇所をどのように抽出するか?
- 「(スレーキング)しやすい材料使用可能性盛土」: 「可能性」をどのように把握するか?
- 「高盛土(H>10m)」: 原地形面, 切盛り施工実態をどのように把握するか?

由利本荘市土砂崩落技術調査委員会報告書より引用)

- 「元切盛り境界面不明」: 調査設計施工データ参照不能時に断面構造をどのように推定するか?
- 「代表断面と空間的不連続」: 限定2次元情報から実3次元空間情報をどのように構築するか?
- 「盛土・地山の不均質・高地下水位」: 言うは易し調べるは難し, どのように把握するか?

0.1 背景: 頻発する道路盛土・河川堤防等の崩壊被害-2

九州自動車道熊本地震時盛土崩壊(2016/4月)

(物理探査技術作成資料)

- 「旧河道付替え部」: 基礎地盤内不均質構造をどのように把握するか? 古い地形の把握方法
- 「橋台背面盛土の締固め不均質」: 活線現道での盛土不均質性をどのように把握するか?
- 「予防保全」: 予兆の把握と評価」: 付替え河川護岸の変状と発生箇所

宅地造成盛土崩壊(1995/1月)

(国土交通省WEB公開資料より引用)

- 宅地造成等規制法(2006)改正の契機に
- 「水が集まりやすい地形・地質条件」は人為的に形成される
- 横断形状を底面・側面に分けた2次元すべり安定計算手法が提案
- 厚い盛土層下部の状態をどのように把握するか?

0.1 背景: 頻発する道路盛土・河川堤防等の崩壊被害-3

東日本大震災時堤防崩壊(2011/3月)

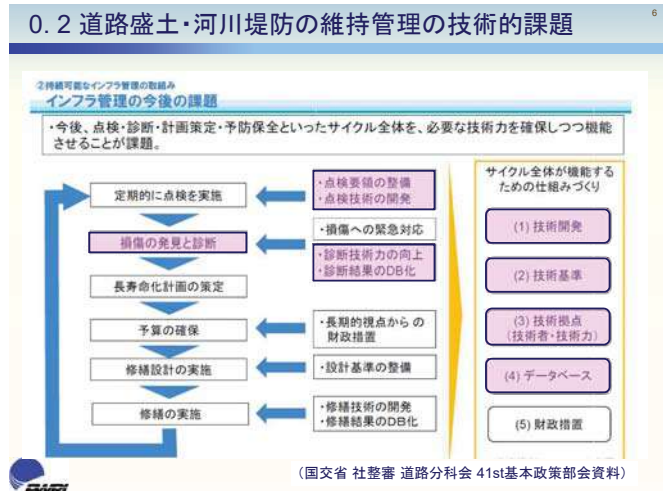
(国土交通省WEB公開資料より引用)

- 被災区間延長が長大(数100m~数km)
- 河川堤防本体盛土が集中的被害, 周辺既存構造物被害軽微
- 盛土沈下と縦断亀裂群・側方膨み出しが同時複合発生: 堤体下部・基礎地盤上部液状化を強く示唆
- 発生メカニズムの把握と好発区間の抽出法

自専道豪雨時盛土崩壊(2016/6月)

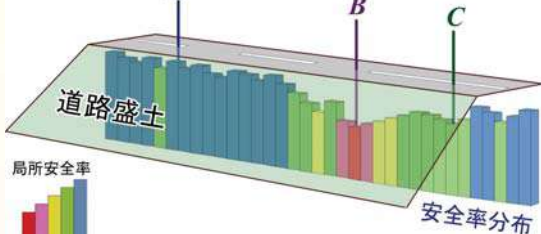
(担当作成資料)

- 熊本地震後の豪雨負荷によって自専道の盛土が部分的に崩落, 周辺地盤もヒービング
- 詳細物理探査適用結果断面を含めた3D空間情報統合表示の効果検証
- 軟弱地盤, 低改良率地盤改良, 高盛土, 強震動, 豪雨負荷複合災害



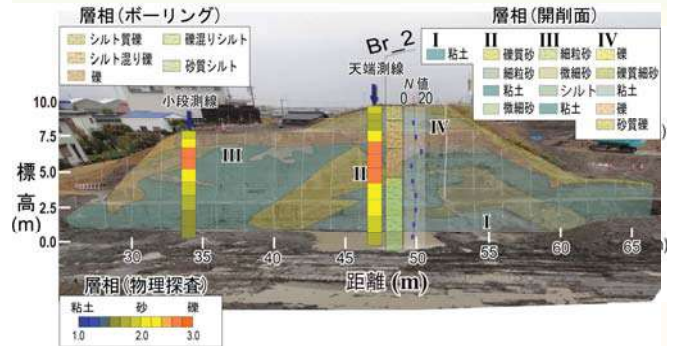
0.3 空間的不均質構造とその影響評価の重要性

- 従来の盛土安全率計算は空間的一様性を前提
- 従来のボーリングは0.3次元離散の情報。円弧すべり計算断面は「代表断面」と言えるか？



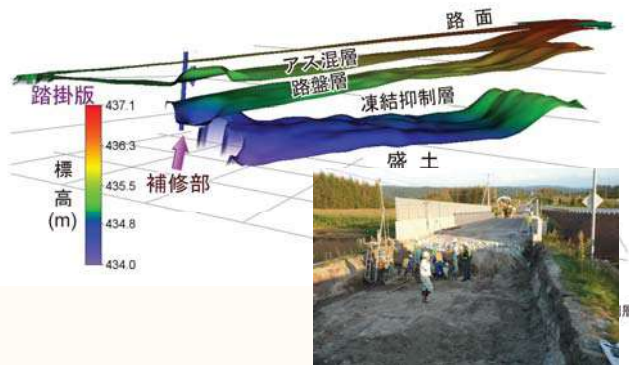
「平均律」、「代表値」ではなく「最小律」の視点で弱点箇所検出には2次元全域調査が不可欠！

0.4 空間的不均質構造の実態-1: 河川堤防



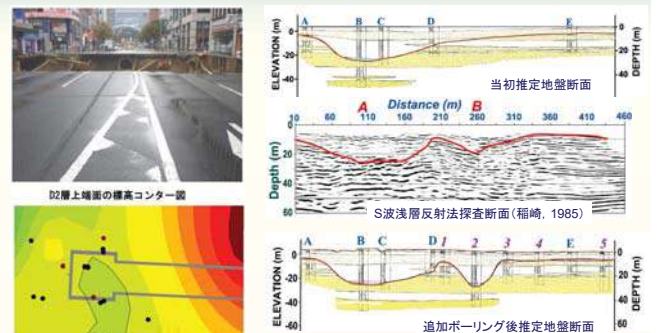
● 河川堤防は縦断方向にも横断方向にも不均質である

0.4 空間的不均質構造の実態-2: 道路盛土



● 材料・施工実態を反映して縦断方向にも横断方向にも不均質

0.4 空間的不均質構造の実態-3: 表層地盤



- 地盤の不均質構造起因地盤災害が多発
- 低コストの地盤探査で詳細2次元不均質構造把握可能

1. ハイブリッド表面波探査技術

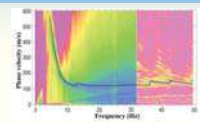
1.1 ハイブリッド表面波探査技術の概要

由来
能動的(Active)表面波探査と受動的(Passive)表面波探査を両親とし、土研で新たに生み出された表面波探査技術。両親の特長を受け継ぎ、分布域をより拡大する能力を有するF1ハイブリッド雑種であることから「ハイブリッド表面波探査」と命名。

特長
従来の探査技術は、車両通行振動ノイズの影響を受けやすく、道路盛土での適用が困難であった。当該技術は車両通行振動も信号として利用するため活線道路の盛土でも適用可能。さらに深さ50m程度までを解析できるため、従来技術では困難であった宅地盛土造成地でも適用が可能になった。

特徴的識別
二つの位相速度-周波数分散曲線を合体させ、低周波数(深い深度に対応)から高周波数(表層部に対応)帯域までの分散曲線から地盤のS波速度構造を推定する。

活動域
道路盛土、河川堤防、造成地盛土



| | |
|-----|-------------|
| 界: | 自然科学 |
| 門: | 地球科学 |
| 綱: | 地球物理学 |
| 目: | 観測・計測技術 |
| 亜目: | 物理探査 |
| 科: | 弾性波探査 |
| 属: | 表面波探査 |
| 種: | ハイブリッド表面波探査 |

学名
Passive Wave high-Resolution Interferometry measurements: PWRI 探査

登録
特開2016-079193

2017/11/10

1.1 ハイブリッド表面波探査技術の概要(続)

能動的探査(Active Survey)

- 人工振源
- MASW(CMP-CC)
- フーリエ変換→位相シフト+スタック
- 分解能が高いが、探査深度が浅い
- 交通振動に弱い
- 極表層の構造を把握

受動式探査(Passive Survey)

- 常時微動;交通振動(+歩行ノイズ)
- LAMS(CMP-SPAC)
- フーリエ変換→空間自己相関
- 分解能劣るが、探査深度は深い。
- 交通振動に強い
- 稍深部の構造を把握

ハイブリッド表面波探査

- 同一測線・同一機器を用いてほぼ同時(連続的)に測定
- 分散曲線・解析結果の結合
- 広帯域の分散曲線取得
- 高分解能でかつ探査深度深い
- 交通量の多い活線道路(路肩)でも適用可能

適用期待分野

- 高速道路盛土・山岳道路高盛土・河川堤防などの人工土構造物調査
- 舗装上での浅部の地盤構造調査
- 都市域マイクロゾーニング

既適用分野

- 盛土・河川堤防調査、
- 盛土崩落部調査

1.2 ハイブリッド表面波探査技術の計測・解析過程

13

- 従来の表面波探査法は振動を測定する手法であり車両通行などによる振動雑音には弱かった。
- 車両通行によって発生する振動雑音の大部分は表面波である。
- 振動発生源がランダム(不規則に通行, 大型車もそれなりに混在)であれば, 表面波探査の一種である受動的探査法(微動探査)を適用可能。
- 道路天端センター/路肩部に縦断方向に測線を展開して地震計を等間隔で設置。
- 重交通振動にめげず人工振源による能動的表面波探査を実施。
- 受動的表面波探査を実施: 車両通行振動を測定。
- 測線を撤収して次の箇所へ移る。
- データを解析して2次元のS波速度構造断面を作成。
- 盛土・基礎地盤内の脆弱部(低S波速度部)を抽出・アセス。



1.3 ハイブリッド表面波探査の計測風景-1

14



- 上: 地震計の近傍をかけ矢で打撃する。
- 右上: 車の通行時の振動を測定する。
- 右: 交通量が少ない場合は測線のそばを歩き回る



1.3 ハイブリッド表面波探査の計測風景-2

15

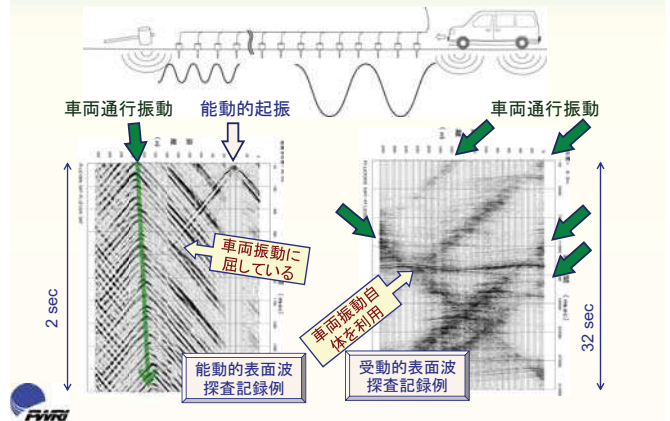


- 上: 益城町内国道443号地震被災箇所近傍での測定風景。
- 右上: 益城町内安永地区地震被害甚大箇所での測定風景。



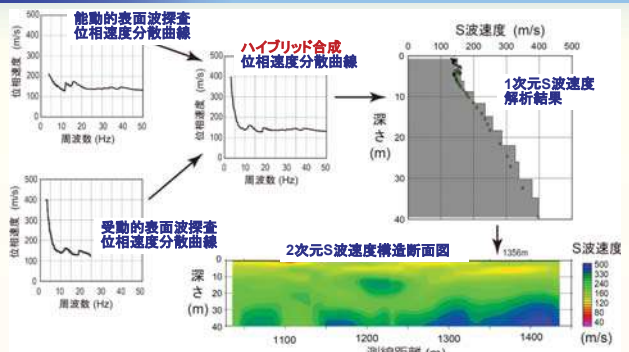
1.4 ハイブリッド表面波探査技術の測定概念図

16



1.5 ハイブリッド表面波探査のデータ処理解析過程

17



- 能動的表面波探査と受動的表面波探査の位相速度分散曲線をハイブリッド合成。
- それから2次元S波速度構造断面図を作成。



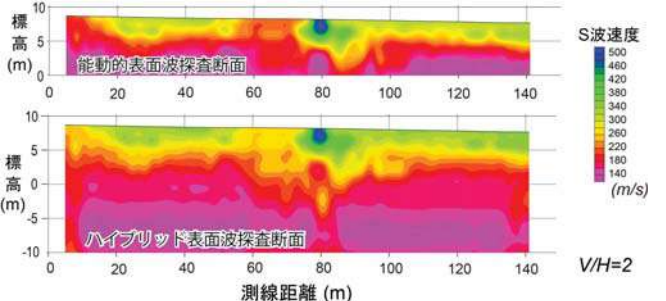
2017/11/10

土研・熊本市 技術連携セミナー

2. ハイブリッド表面波探査技術の適用事例

18

2.1 従来技術(片親)との比較事例(於道路高盛土崩壊箇所路上)

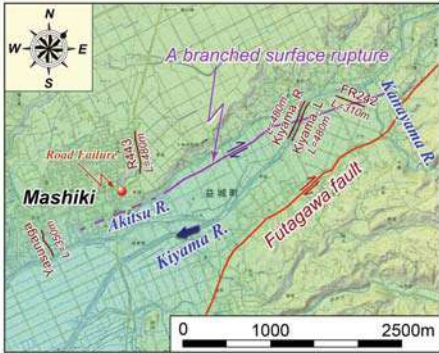


- 従来技術(能動的表面波探査)では路面下10m程度までがイメージング限界。
- ハイブリッド表面波探査では, 路面下約20m, 地盤内部の物性構造もイメージング可能。



2.2 熊本地震被災地での適用事例-1

19

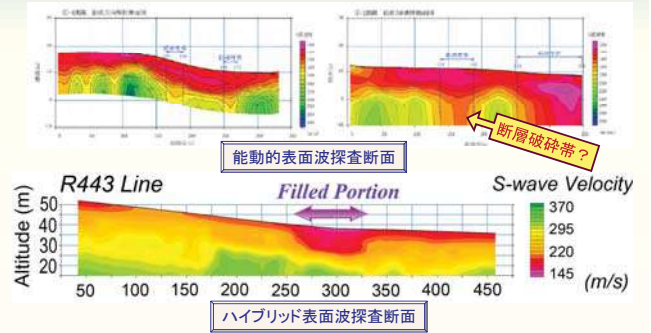


- 配置: 地表断層と交差するように5本の測線設定
- 延長上の市街地にも測線設定(安永測線)
- 道路盛土崩壊箇所近傍でも探査
- ハイブリッド表面波探査に加え、電気探査、地中レーダー探査を実施
- 物理探査担当職員総出+被災地住民にもお手伝いいただき機動調査・経費節減



2.2 熊本地震被災地での適用事例-2

20

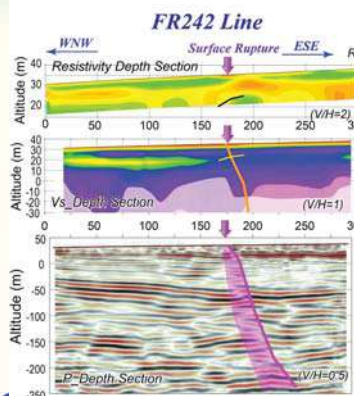


- 従来技術(能動的表面波探査)では路面下10m程度までがイメージング限界であるにもかかわらず、偽像データに引きずられて断層破砕帯を解釈
- ハイブリッド表面波探査では、路面下約30mまでイメージングし、「底」があることを確認



2.2 熊本地震被災地での適用事例-3

21

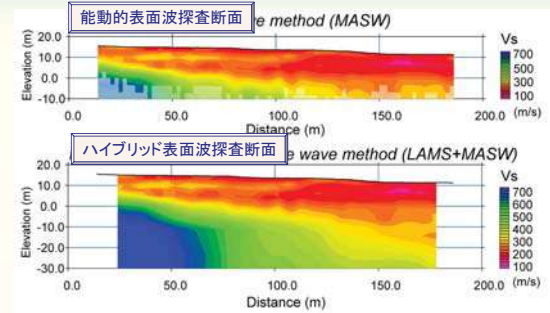


- 益城町上陳付付近に出現した地表地震断層と交差する農道242号線測線の断面
- 測定・解析を自前で実施
- 比抵抗断面(上)にもS波速度断面(中)にも、右側上がりの変形構造が明瞭に捉えられている
- 出現した地表断層が、横ずれ成分だけでなく、縦ずれ逆断層成分も有していることがわかった
- P波反射法断面(下)からは変位が累積していること、以前から活動していた断層であることが明らかになった



2.3 佐賀平野北縁断層帯構造急変部での適用事例

22

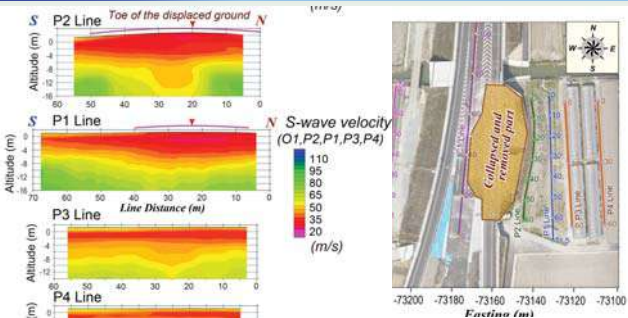


- 従来技術(能動的表面波探査)では明瞭ではなかった断層による基盤の速度急変部(測線距離70m附近)がハイブリッド表面波探査技術を適用することによって鮮明になった



2.4 道路盛土崩壊箇所前縁部軟弱地盤の探査例

23



- 盛土崩壊前縁部軟弱地盤のS波速度構造が、崩落部に近づくにつれ低速度になっている
- 地表変形が顕著ではなくても、地盤内に崩落の影響が記録されており、物理探査でそれを検出することができることを実証



3. ハイブリッド表面波探査の今後の展開

24

3.1 活動域の拡大

- 河道・ため池、水没堤体、海岸汀線などの水域
- 都市域の実振動マイクロゾーニング

3.2 省力化・作業安全性の向上

- 独立型地震計システムによるワイヤレス計測
- 光ファイバDASを用いたタイムラプス長大区間連続自動観測



(Geometrics社WEB公開資料より)



(Stanford Univ. WEB公開資料より)



(前港空研 渡部氏提供)



(Nordal Seismic社WEB公開資料より)



2017/11/10

土研・熊本市 技術連携セミナー

Appx 1.地質地盤リスク総合解析への貢献

25

■ 浅部探査要素技術の開発

- ハイブリッド表面波探査技術
- 河川堤防統合物理探査技術
- 非接触舗装物性構造探査技術
- 高速電気探査システム
- ランドストリーマー



■ 浅部地盤統合解析技術開発

- 液状化試料処理分析技術
- 高分解能粒度分析技術
- 空間情報統合処理表示技術

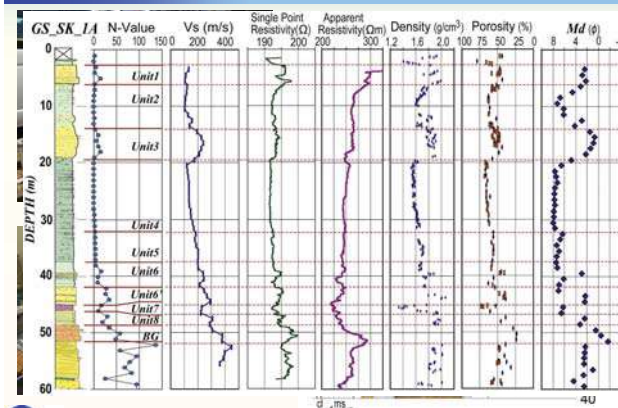


2017/11/10

土研・熊本市 技術連携セミナー

Appx 2-1.コア分析から柱状図作成まで

26

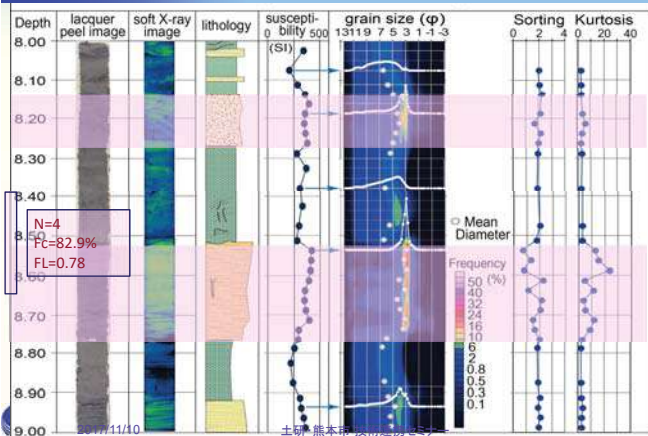


2017/11/10

土研・熊本市 技術連携セミナー

Appx 2-2.液状化試料の採取・分析

27



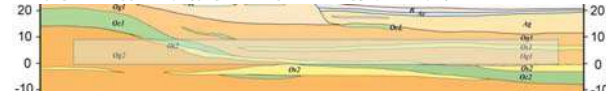
2017/11/10

土研・熊本市 技術連携セミナー

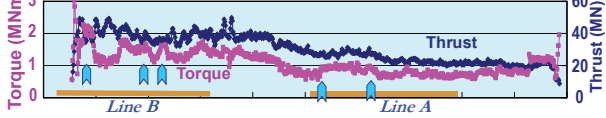
Appx 2-3. 柱状図解釈から断面作成まで

28

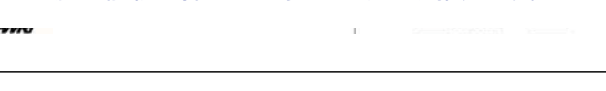
調査段階地質調査会社作成推定地質断面



シールド掘進施工実績



施工前物理探査断面参照土研作成推定地質断面

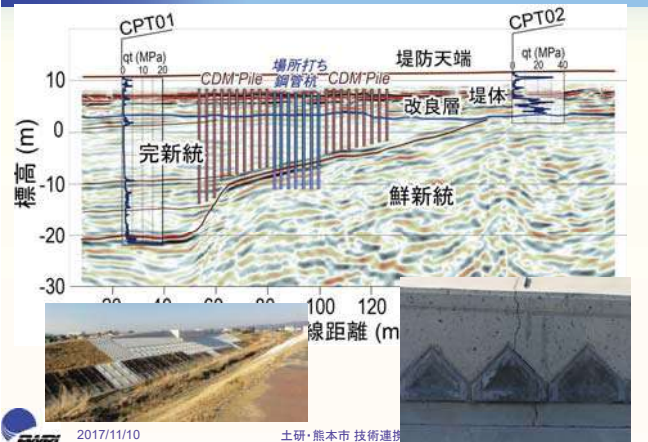


2017/11/10

土研・熊本市 技術連携セミナー

Appx 2-4. 改良体根入れ深さの検証事例

29



2017/11/10

土研・熊本市 技術連携セミナー

Appx 3. 統合空間情報解析

30

— 地表面情報と地下探査情報の結合 —



2017/11/10

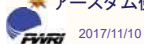
土研・熊本市 技術連携セミナー

まとめ：浅部地盤の詳細調査とその要素技術開発・適用

- **土構築物**：材料・施工時の不均質性が残りやすい。物性構造の局所的異常が安全性に大きく影響。その把握には面的・連続的イメージングが可能な**浅部物理探査**が最適。
- **舗装**：材料的には均質（層構造）で、負荷は上面からで変状は路面に出現しやすい。逆に内部欠陥（空洞・路床変形）を捉えにくい。全体としての健全度評価には内部性状把握が不可欠。**GPR**、**高周波表面波探査**が有用。
- **盛土変状**：材料・施工上の不均質性の影響を最も受けやすい土構築物。内部性状把握には**ハイブリッド表面波探査等**による連続的・面的計測を！
- **地盤**：元地形、改変地形、風化層厚、基礎地盤表面起伏の空間的把握が重要。経費的に安価で空間的分布のイメージング可能な**浅部物理探査**の活用を！

まずは相談を！

- ★ 道路盛土変状箇所詳細調査
- ★ 河川堤防浸透安全性調査
- ★ 海岸浜汀浸食調査
- ★ 補強土壁変状調査
- ★ 道路法面調査
- ★ アースダム健全性調査



2017/11/10

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>
- 土木研究所つくば中央研究所 技術推進本部
(TEL: 029-879-6800)

土研・熊本市 技術連携セミナー