



講演内容

- 1. ハイブリッド表面波探査技術とは？
 - どのような技術か(特徴), 何をやる技術か(対象と方法)
- 2. 堤防・道路盛土は一樣とみなせるか？
 - 代表的土構造物の内部物性構造の状況
 - 不均質性のオーダーに適合した計測評価法の選択の重要性
- 3. 「ハイブリッド表面波探査技術」の実際
 - どのように適用するか(計測と解析評価の手順)
- 4. 適用例(道路盛土)
 - 縦断方向(2次元)の不均質構造把握の重要性

平成27年9月2日 土研新技術ショーケースin東京

1. ハイブリッド表面波探査技術とは？

1.1 ハイブリッド表面波探査技術の特徴

ハイブリッド表面波探査

能動的表面波探査

- 人工的起振振動測定
- 浅部対象
- 交通振動に弱い

+

受動的表面波探査

- 常時微動測定
- 稍深部対象
- 交通振動に強い

- 交通量の多い活線道路(路肩・中央分離帯)でも適用可能
- 同じ場所で、同じ機材を用いて連続的に測定
- 盛土表層から基礎地盤までカバー

1.2 ハイブリッド表面波探査の対象と方法

対象 ➢ 河川堤防, 道路盛土, 軟弱地盤, 宅地造成地地盤, など

方法 ➢ 表層を伝わる「表面波」の速度分散特性から2次元のS波速度構造を推定し, 危険箇所の抽出・安全率空間分布を求める。

平成27年9月2日 土研新技術ショーケースin東京

2. 堤防・道路盛土の内部構造は一樣とみなせるか？

2.1 河川堤防基礎地盤の例(縦断)

- 基礎地盤ですら縦断方向に不均質(～10m)
- 目視・地表観察だけでは不均質構造把握不可能
- 地震被災(沈下)と整合的

平成27年9月2日 土研新技術ショーケースin東京

2.1 河川堤防内部不均質構造の例(横断)

- 堤防内部は築堤・改修履歴を反映して複雑。
- 鉛直方向にも側方向にも変化する(～数m)。
- 標本(ボーリング等)から母集団不均質性を推定することは不可能。

平成27年9月2日 土研新技術ショーケースin東京

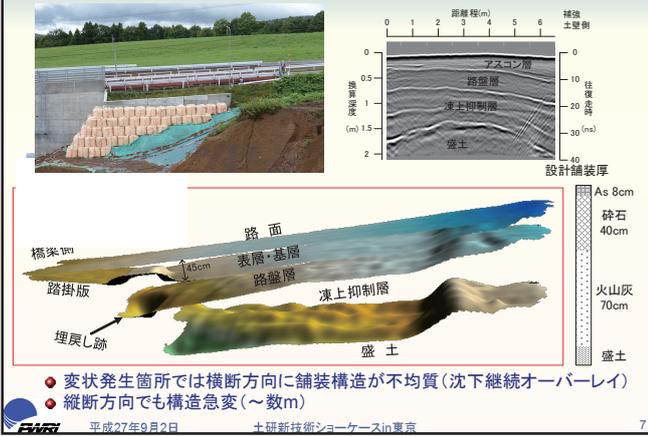
2.2 道路盛土内部・基礎地盤不均質構造の例(縦断)

- 特定の箇所で盛土被害発生
- 盛土自体は縦断方向に均質？
- 基礎地盤境界構造は不均質
- 原地形から推定できない場合あり

(NEXCO東日本HPより引用)

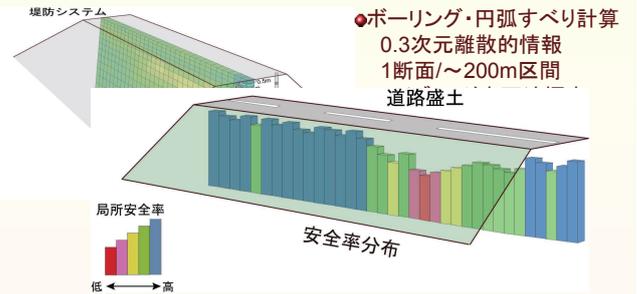
平成27年9月2日 土研新技術ショーケースin東京

2.2 道路舗装内部・不均質構造の例(縦横断)



2.3.1 線形土構造物の安全性評価の方法

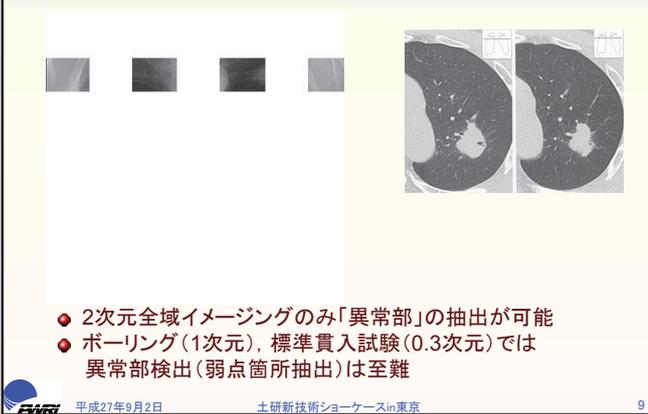
従来の安全率算定手法との比較



線形土構造物の安全性は最小律の視点で
弱点箇所検出には2次元全域調査が不可欠!

平成27年9月2日 土研新技術ショーケースin東京 8

2.3.2 異常箇所検出の要件:2次元全域イメージング



2.3.3 線形土構造物の安全点検調査の方法と課題 — サンプル調査と全数調査 —

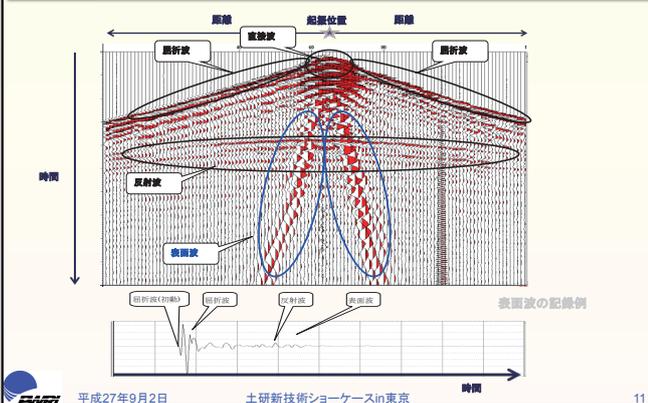
製品検査の三形態

適切な検査法 選択が大事!

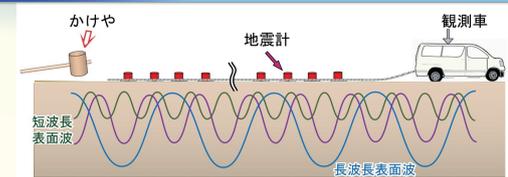
- 全品検査(目視)** → 簡便, 社会インフラ点検にも採用
 - 形状, サイズ, 表面キズ
 - 外見異常, 数量, ボルトJIS規格
 - サンプル検査** → 要明確な閾値設定, 侵襲的検査であり, 標本数限定, 分布に関する情報必須
 - 糖度, 残留農薬
 - 寸法, 規格, ボルトの引張り強度
 - 全品検査(非破壊)** → 原則非侵襲的検査. 事故調査では侵襲的な場合も e.g. 笹子Tボルト, 福島県産米 全量全袋検査
 - トレーサビリティ, 残留放射線量
 - 規格寸法(厚さ), 内部損傷(打音)
- 平成27年9月2日 土研新技術ショーケースin東京 10

3. 「ハイブリッド表面波探査」の実際

3.1 「表面波」の出現形態



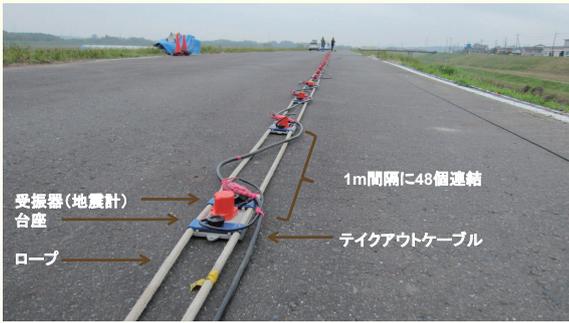
3.2 表面波の特徴



- 地表など境界面に特徴的に励起される波動。
 - かけ矢打撃などで容易に発生させることができる。
 - 交通振動や波浪によっても微弱な表面波(微動)が発生する。
 - 実体波であるP波/S波とは異なり, 地下で屈折・反射しない。
 - 波長の長い波ほど深部を, 波長の短い波は浅部を伝播する。
 - 強震動時の長周期地震動の正体。
 - 周波数によって速度が異なる「分散」という性質がある。
 - 表面波の位相速度は, 波長の1/3程度の平均的なS波速度を反映。
 - 表面波の位相速度はS波速度よりやや小さい。
 - 表面波の分散特性から, S波速度構造を推定することができる。
- 平成27年9月2日 土研新技術ショーケースin東京 12

3.3. 表面波探査の方法

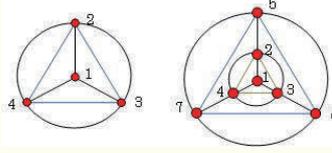
3.3.1 能動的表面波探査



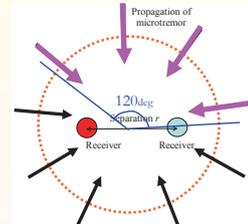
ランドストリーマー(土研開発技術)を用いた能動的表面波探査

3.3. 表面波探査の方法

3.3.2 受動的表面波探査(微動アレイ探査とリニアアレイ探査)

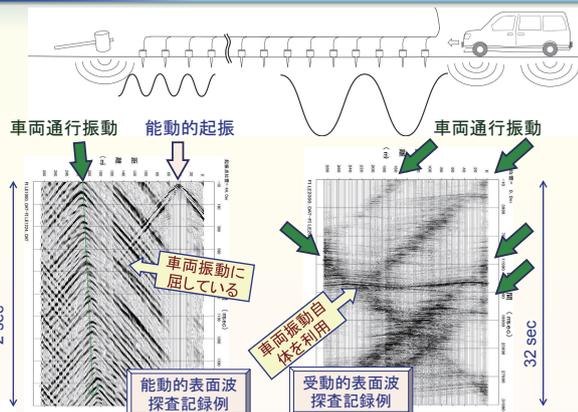


- 微動アレイ探査(冗長)**
- 4~10点の微動計を円周/三角形状にアレイ展開(数10m~数km).
 - 全方位から微動到来を仮定.
 - 空間自己相関係数を計算し、位相速度分散を求める.

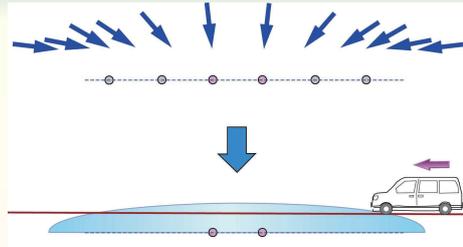


- リニアアレイ探査(スリム化)**
- 直線上に配列した地震計アレイで微動/交通振動を測定(2点でも求解可能)
 - 最も寄与するのはアレイ方向到来微動(移動線状震源).
 - 数値計算では120度程度で再現可能確認.

3.4 ハイブリッド表面波探査の概念図



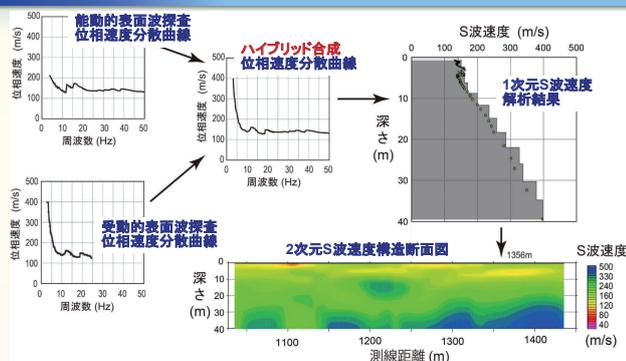
3.4.1 道路通行車両振動の特徴と積極的利用



線上等速移動点震源密度分布

- 道路上を等速で移動する車両が振動源.
- 測線上の地震計からは、通行車両は遠方に位置する時間が長い.
- 通行車両を遠方の振源と見なすことが可能.
- すべての地震計の組み合わせでも同じ条件.
- 位相速度分散曲線を正確に解析できる.

3.4.2 ハイブリッド表面波探査のデータ処理解析過程



- 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.

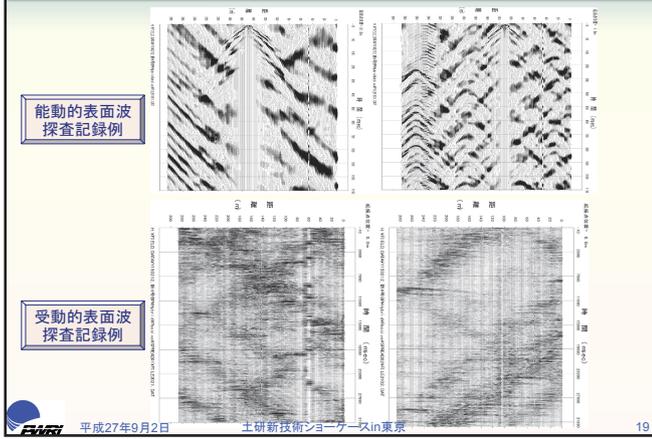
4. 活線道路での適用事例

4.1.1 測線設定・測定風景

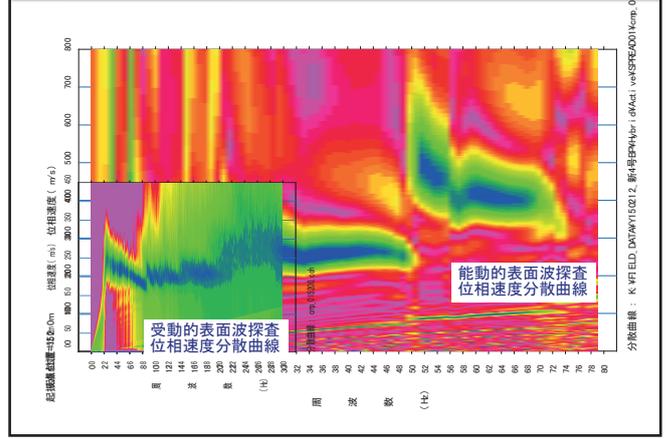


- 工事区間の路側帯に地震計設置
- 交通量1000台/h; 大型車90%程度
- 路面をかけ矢で打撃して能動的探査
- 交通車両振動を測定し受動的探査
- 約500m区間をほぼ1日でカバー

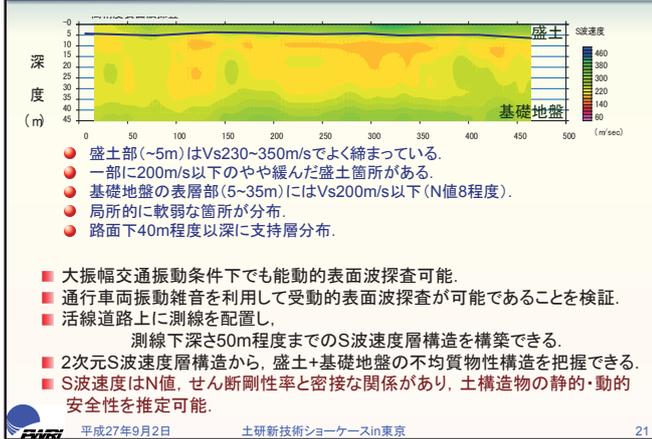
4.1.2 測定・観測データ例



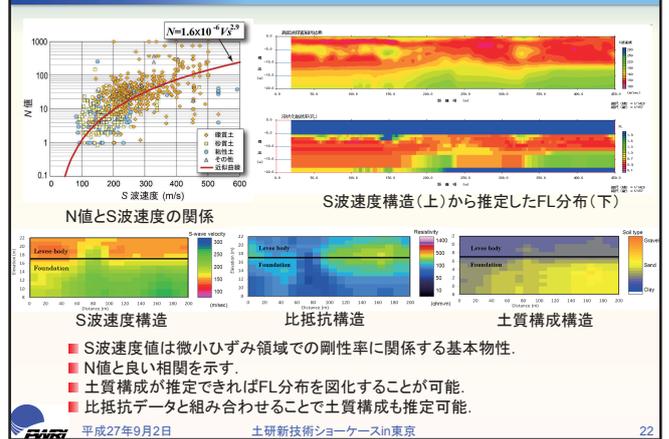
4.1.3 位相速度分散曲線のハイブリッド合成



4.1.4 探査解析断面と解釈評価



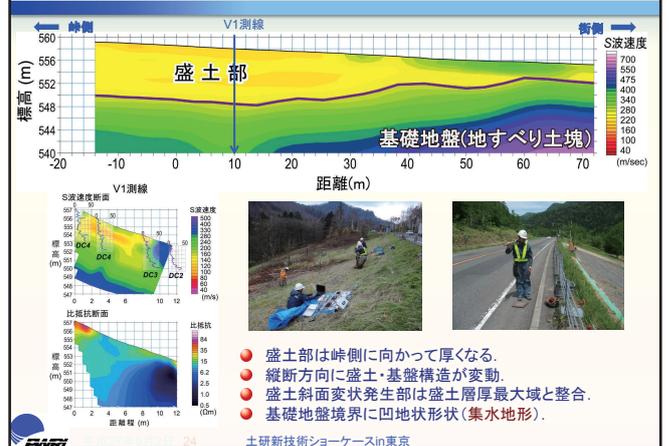
4.1.5 S波速度情報の活用



4.2 山岳道路盛土融雪崩壊多発区間での盛土調査適用例



4.2.2 探査解析断面：縦断(路肩)測線



ハイブリッド表面波探査技術の利活用に向けて

- ボーリング調査では特定地点の鉛直方向物性分布しか捉えられないが、ハイブリッド表面波探査では盛土の縦断方向の連続的物性断面情報を得ることができる。
- 活線(高速)道路においても適用可能(路側帯/中央分離帯)。
- 山岳道路切盛高盛土内の集水構造を捉えることが可能。
- 低平地盛土基礎地盤の軟弱層分布(埋没谷地形)把握可能。
- 求められる2次元S波速度層構造は、盛土材料の違い、締固め度の示標となる。
- 電気探査と組み合わせて実施し、ボーリングデータ等を参照すれば上記2つのパラメータを分離可能。
- 連続的な液状化ポテンシャル評価や地震時ののりすべりポテンシャル評価も可能。
- 独立型(収録装置一体型)地震計を利用すればより省力化・効率化可能。