

表面波探査を用いた堤体のゆるみ把握に向けた検討と課題

九州大学 学○笠 修平

九州大学 大学院 F 安福 規之 九州大学 大学院 正 石蔵 良平

建設技術研究所 松下 俊樹 福味 尊

1. はじめに

堤防は、歴史的特徴があり、複雑な断面構成となっていることが多い。また、昔は使用材料（運搬）や締固めの技術等が充実しておらず、現在の堤防に求められるような材料・締固めに至っていないことが多い。多様な地形・地質上に築堤されてきていることより、堤防縦断方向・断面と、三次元的に、不均一性が形成されている。

また、照査・設計手法は地質を一次元的でしかおさえられないボーリング土質調査が主流である。しかし近年、締固めが十分でないのり面上でのすべり破壊、矢部川などに見る浸透決壊などが発生してきており、ボーリングによる調査ではおさえきれなかった局所的弱部（＝ゆるみ部：透水性の高い、間隙比が大きいなど）が決壊にいたる懸念部分となることがある。

上記のことから、局所的に存在する弱部を事前に把握し、対策するために、堤防内部のゆるみ部を高精度でかつ簡便に探し出せる技術の開発が求められている。これまでに、剛性と透水性に着目し、既往物理探査手法でどこまで精度よく、また基地盤に対してどれほどの剛性と透水性の違いを把握できるのかを確認するための実験を行なった。

2. 現場実験概要

写真2で示すように地盤内にゆるみ体（基地盤より低い剛性、高い透水性）を人工的に設け、その範囲を対象に各物理探査手法<sup>2),3)</sup>（表面波探査、電気探査、レーダー探査）を用いて測定を行なった。現場実験で用いる試料の基本的性質（基本的性質、粒度分布、剛性、透水性）は室内実験により求めた。結果を図2と表1にまとめている。剛性はベンダーエレメント法、透水係数は定水位透水試験からの結果である。以下では表面波探査と電気探査の結果を中心にまとめた。現場実験の寸法は、ゆるみ体：一辺0.5mの立方体、設置深さ：0.5m、幅：4.0m、ゆるみ体間隔：1.0mである。ゆるみ部として用いた熊本珪砂（K-2, K-3, K-4）を設置した密度は、1.4 (g/cm<sup>3</sup>) である。

3. 現場実験解析結果と考察

下記の図3と図4に物理探査から得られた結果を示す。図中には、設置したゆるみ部の位置を示している。（両図におけるゆるみ部の位置関係は、左からK-2, K-3, K-4。）解析結果より、現場に設けた局所は捉えられていないが、現場地盤の内の特性の違いや埋め戻し範囲は概ね把握できていることが分かる。しかし、どちらの物理探査手法もゆるみ部を精度よく捉えられてなく、ゆるみ部の性質の違いが十分に認識できていないことが読み取れる。

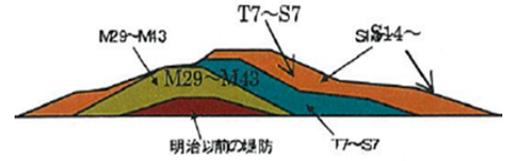


図1: 実際の築堤履歴<sup>1)</sup>



写真1: 平成24年九州北部豪雨(矢部川決壊)



写真2: 地盤内にゆるみ部を設置

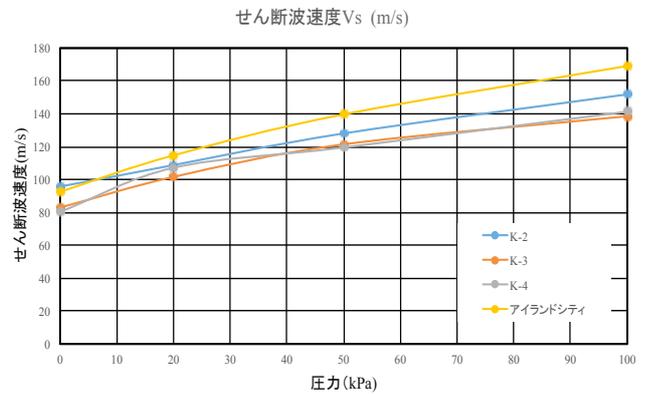


図2: せん断波速度の違い

表1. 透水係数

	K-2	K-3	K-4	地盤
透水係数 (m/s)	$7.74 \times 10^{-3}$	$5.09 \times 10^{-3}$	$2.09 \times 10^{-3}$	$1.23 \times 10^{-4}$

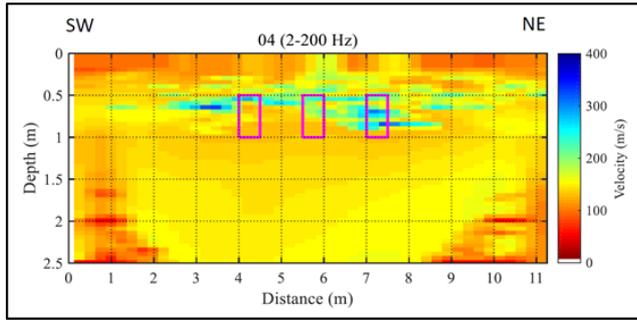


図3：表面波探査による結果

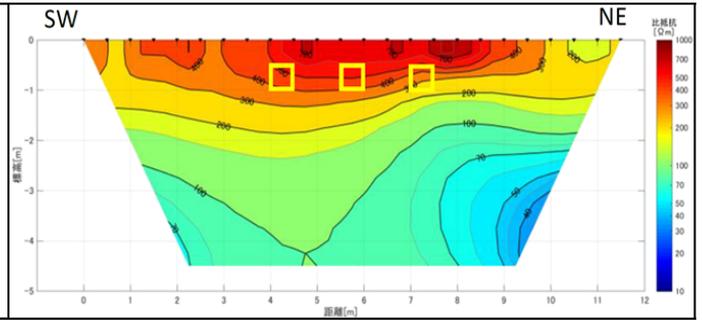


図4：電気探査による結果

上記の結果より、本研究で目指した設定条件下でのゆるみ部を精度よく捉えられてなく、ゆるみ部の性質の違いが十分に認識できていないことが分かった。これからは要素実験により物理探査手法の高度化に向けた検討を行う。初めは、表面波探査の高度化を考えていく。要素実験には、表面波（S波）について要素的実験を行なうことができるベンダーエレメント法（図5,6）を用いる。（ベンダーエレメント法<sup>4)</sup>=せん断波を供試体端で送信、他端で伝播したせん断波を受信することでせん断波速度  $V_s$  を求める）

4.まとめと今後の取り組み

本研究では、物理探査法を用いた現場実験を行い、「物理探査では、現場地盤の内の特性の違いや埋め戻し範囲は概ね把握できているが、本研究で目指した設定条件下でのゆるみ部を精度よく把握できていない。」という課題が明らかになった。

今後は、表面波探査で得られるせん断波速度  $V_s$  だけでなく、波の減衰に着目し、1波長の sin 波にて検討及び考察を行っていく。室内実験から各試料（珪砂：K-0、K-4、K-7）においてせん断波がどれだけ減衰しているのかを確認する。その結果より、減衰と土質特性の関係性を理解し、減衰から情報（土質の違い等）を得られる可能性を調べる。最終的には、せん断波速度  $V_s$  による土質の分からない状態でのせん断剛性（力学特性）と減衰による情報（土質材料特性）を一度の測定で同時に得ることによって、より精度良く簡便に地盤のゆるみ域の把握できることを期待している。減衰については、減衰特性を表す係数として、対数減衰率  $\delta$  を用いる予定である。{  $\delta$  = 波形（図7）の隣り合う振幅の比の対数をとると、常に一定の値となる。この振幅の比の自然対数のこと } また、対数減衰率  $\delta$  より減衰比  $\zeta$  及び損失係数  $\eta$  を次式より求めることができる。（式(1)、(2)、(3)を参照。）

$$\delta = \frac{1}{m} \times \ln \frac{a_n}{a_{n+m}} \quad (1) \quad \zeta = \frac{\delta}{2\pi} \quad (2) \quad \eta = 2\zeta = \frac{\delta}{n} \quad (3)$$

これらの指標を用いてゆるみ域がどの程度同定できるのか実験的な検討を進めていく予定である。

謝辞：本研究の一部は、気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）の支援を得て実施した。

（参考文献）1)河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント、2)防災・維持管理分野における物理探査の適用報告書（平成19年8月・社会法人全国地質調査業協会連合会）、3)地盤工学会ガイドブック pp376~383（物理検層・探査）、4)ベンダーエレメント法による土のせん断波速度測定方法〔地盤工学会基準（案）〕

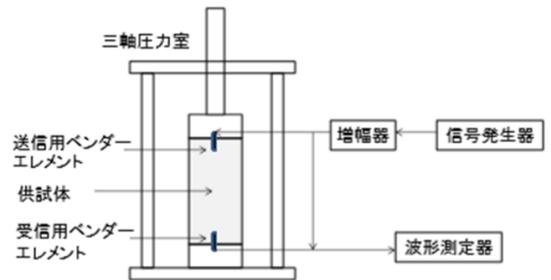


図5：せん断波速度測定装置

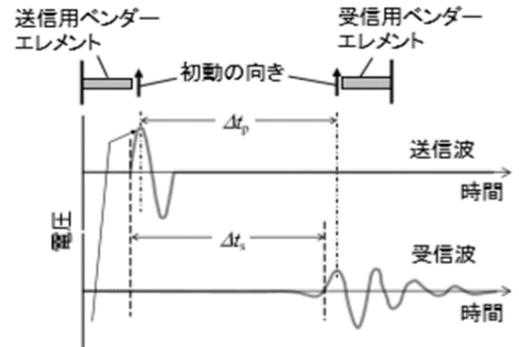


図6：せん断波の求め方

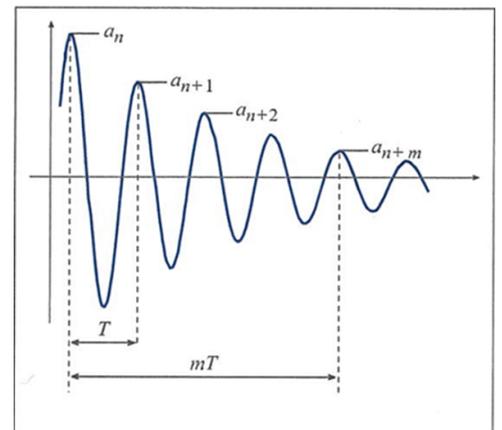


図7：減衰自由振動波形