

10. 表面波探査の河川堤防への適用事例

Case Study of Surface Wave Method to River Embankment Survey

長友 美香（香川大学工学部）

山中 稔（香川大学工学部）

長谷川修一（香川大学工学部）

1. はじめに

近年、南海地震を想定した地震動対策が急務となっており、道路盛土や河川堤防の安定性評価の必要性が高まっている。一方で、土構造物の地盤調査には、従来からボーリングによる N 値が広く利用されているが、時間や費用が掛かり、得られる情報も一次的であるという欠点を持っている。また、非破壊調査技術としての地中レーダも深度 2m 程度しか探査できないという欠点を持っている。そこで、従来のボーリング調査に代わる新しい土構造物の調査技術として、地表からの探査により簡便に地盤の S 波速度分布を把握することが可能な人工振源を用いた表面波探査により、著者らはこれまで宅地造成地やため池堤体に適用してきた¹⁾⁻³⁾。

ある中小河川に沿った堤防道路で、路面の陥没事故がたびたび発生している。検討地で起こった変状原因として、締め固め不足による堤体の不均質性に伴う陥没、旧河道による支持地盤の凹凸、護岸背面の空洞化などが考えられている。これら堤体下の地盤内の異常を把握するために人工震源を用いた表面波探査を実施した。探査した S 波分布から N 値を推定することで、堤体基盤の不陸が確認でき、陥没現象との相関がみられた。また、地中レーダ探査も実施し、両探査方法の適用性を評価した。

本論文は、今回、中小河川堤防などへ高精度表面波探査を適用したので、報告するものである。

2. 調査地点の地形・地質概要

図-1 に探査測線を示す。調査地点は、物部川流域の香長平野であり、神母木を扇頂とした扇状地に位置し、海岸線には砂丘が発達している。また検討地は扇状地の末端部に近く、上部から砂礫を中心とした沖積層が厚く分布している。大部分が砂礫主体であるが、表層部や部分的には軟弱粘性土層の分布も想定される。

航空写真、地形図により、体育館の建設や河道改修にあたって、原地形が北寄りに蛇行していた流路を、線形に改修した経緯が推察された。つまり、左岸下部には伏流するような水みちが、道路の陥没を引き起こしているといったメカニズム、あるいは誘因としての可能性が考えられる。

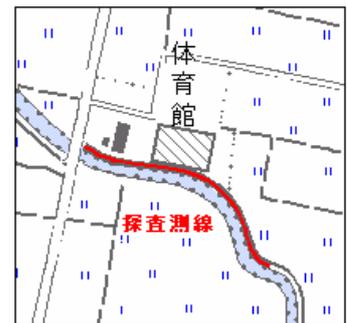


図-1 調査位置図

3. 表面波探査

(1)特徴

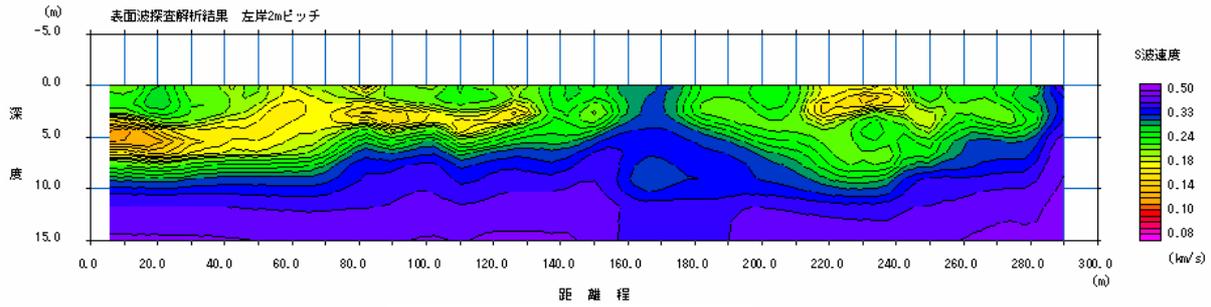
地盤の S 波速度構造の把握には、従来からボーリング孔を用いた PS 検層などが行われてきたが、時間と費用がかかる問題がある。一方、表面波探査は、地盤の地表付近を伝わる表面波(レイリー波)を測定・解析することにより、深さ 20m 程度までの地盤の S 波速度分布を簡便に求める方法である。表面波探査は、従来のボーリング調査と比較して測定精度や速度が向上し、かつ二次元・三次元的な S 波速度分布が視覚的に表現できる利点がある。



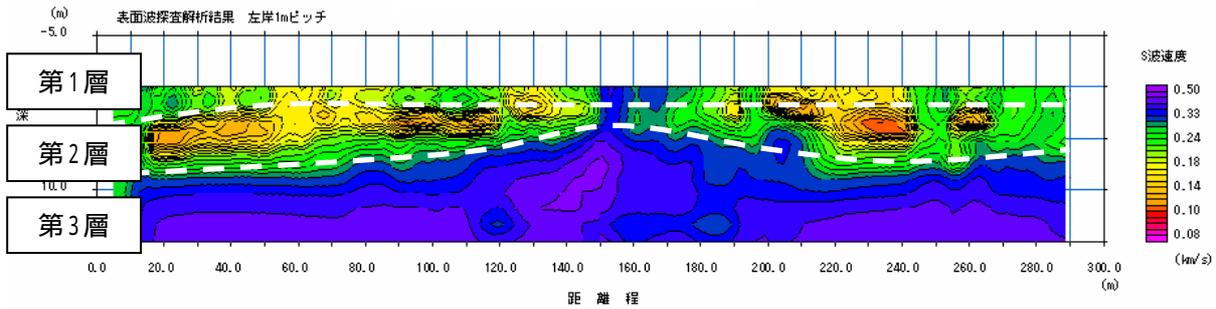
写真-1 表面波探査実施状況

(2)測定方法

写真-1 に表面波探査の実施状況を示す。探査区間は河川左岸堤防 300m と設定した。起振はカケヤで行い、必要に応じて複数回の起振を加算した。受振器には固有振動数 4.5Hz の速度型地震計 24 個を用い、受振器の設置・交換や移動を効率的に行えるランドストリーマケーブルを使用した。間隔の違いによる探査結果を比較するために、受振点および起振点間隔は 1m, 2m の両方で調査を行った。



(a) 受振点間隔: 2m ピッチ



(b) 受振点間隔: 1m ピッチ

図-2 表面波探査による S 波速度構造図

4. 表面波探査結果

図-2 (a), (b)に表面波探査 2m 及び 1m ピッチの S 波速度構造図をそれぞれ示す。2 m, 1 m ピッチとも左岸の S 波速度構造は概ね 3 層に分けられる。第 1 層の厚さは 2~3m、第 2 層の厚さは 5~7m、S 波速度は 150~290m/s で、160m 付近で 300m/s と高くなっている。受振点間隔の違いによる S 波速度の解析結果に大きな違いは見られない。

図-3 に、S 波速度から求めた推定 N 値を示す。推定 N 値は 5~35 で、既往のボーリング結果とも概ね一致している。

表-1 に、表面波探査での S 波速度と推定地質構造をまとめた。S 波速度構造 0~150m までは、第 1 層に 180m/s 以上の S 波速度が分布しており、その下の第 2 層には第 1 層よりも低い S 波速度が分布している。このことから、沖積砂礫質土層である第 2 層は地盤が緩いと考えられる。また、第 1 層にも S 波速度の低い部分が多々見られる。これらの地点は軟弱な第 2 層の影響を受けた可能性が考えられる。これまでに何らかの変状があった箇所も、この第 2 層の影響を反映したものとと言えるだろう。

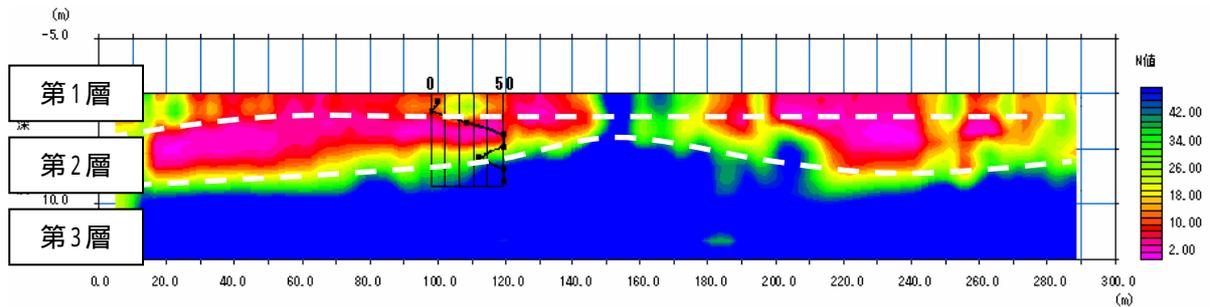


図-3 推定 N 値構造

表-1 S 波速度と推定地質構造

	S 波速度 (m/s)	層厚 (m)	推定 N 値	推定地質
第 1 層	150 ~ 290	2 ~ 3	10 ~ 35	堤体盛土 (砂質土)
第 2 層	100 ~ 180	5 ~ 7	5 ~ 10	沖積砂礫質土層
第 3 層	300 ~ 450	—	35 ~ 50	基盤層

5. 表面波探査と地中レーダの適用性の評価

(1)地中レーダ

写真-2 に地中レーダでの探査状況を示す。用いた地中レーダ（アイレック技建製）は、地中における電磁波の反射・屈折・透過などの物理的現象を利用して地下構造を探査する方法であり、探査深度は約 2～3m である。探査区間は表面波探査と同じく、鯖野川左岸堤防約 300m と設定し、堤防端から 1m, 2m, 3m それぞれ堤内側に離して測定した。

地中レーダには探査深度が浅く、深部の状況を把握できない欠点を有することはすでに述べたが、表層部においては詳細な情報を得ることができる。そこで、地中レーダを表面波探査と併用することで、より細かな探査結果と両探査方法の適用性を評価した。



写真-2 地中レーダ探査状況

(2)S 波速度構造と地中レーダの比較

図-3 に左岸 150～210m 地点の表面波探査と地中レーダの解析結果を示す。地中レーダ結果より、160～170m 地点ではカルバートが検出された。表面波探査でも同地点では S 波速度が高くなっている。S 波速度は物質の硬さなど工学的な目安となる剛性率に直接関係する値である。そのため硬い(密な)地盤ならば速度は速く、反対に軟らかい(緩い)地盤ならば速度が遅くなる性質を持っている。図-3 に示した地点では、カルバートに反応して S 波速度が高くなったと考えられる。

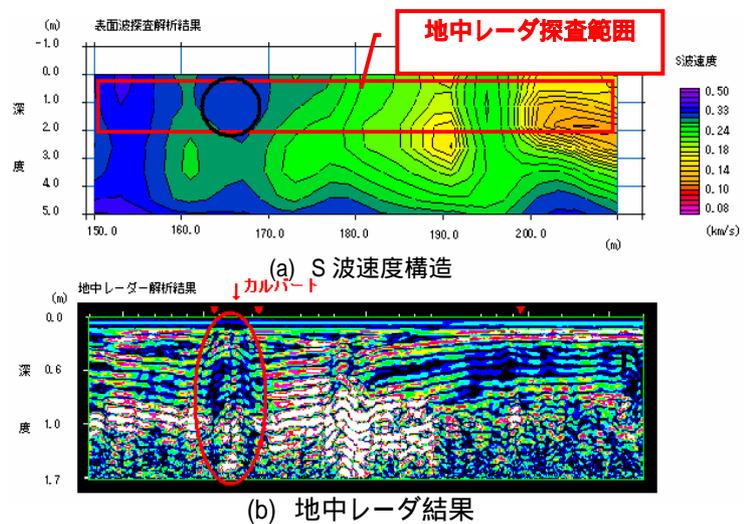


図-3 カルバート箇所における比較

図-4 に左岸 190～250m 地点での両探査の解析結果を示す。地中レーダの 200～210m の間で見られる影は、水分を含んだ地層が存在する可能性を探知したものである。また同探査で 210m 地点から地層の変化点を探知している。S 波速度構造でも 200m 付近で速度が低下しており、以下 240m まで低速度層になっている。このことから、他点よりも地盤が緩んでいる可能性がある。これらの結果から、左岸 200～250m 地点は旧河道の影響を受けた軟弱な地盤であると考えられる。

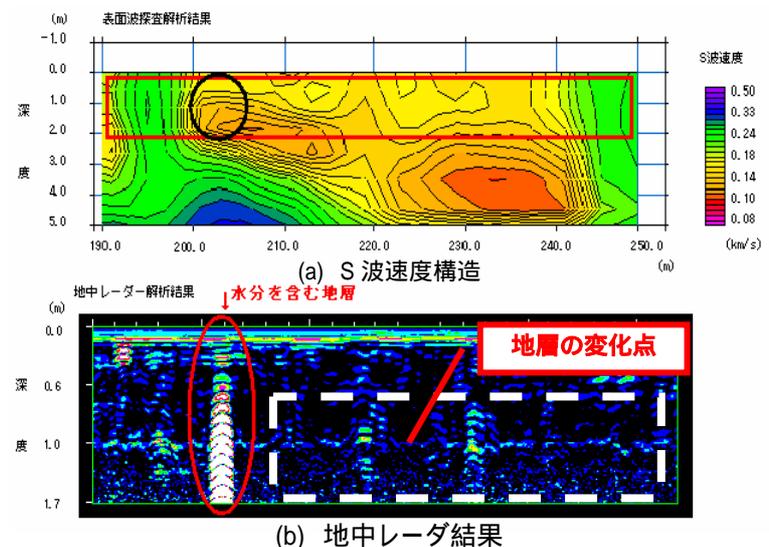


図-4 水分を含んだ箇所における比較

図-5 に左岸 230～290m 地点での両探査の解析結果を示す。地中レーダで見られる影は鉄筋とカルバートを探知したものである。同地点での S 波速度構造に、深度 2～5m の所に速度の低い地盤が現れている。表面波探査では、地中レーダで捉えられなかった下部の異変を捉えることができると言える。2mピッチ同地点での S 波速度構造では、この低速度層を捉えてはいるもののはっきりとは分かりにくい。1mピッチの方がより詳細に結果を求めることができるので、このような結果になったと考えられる。

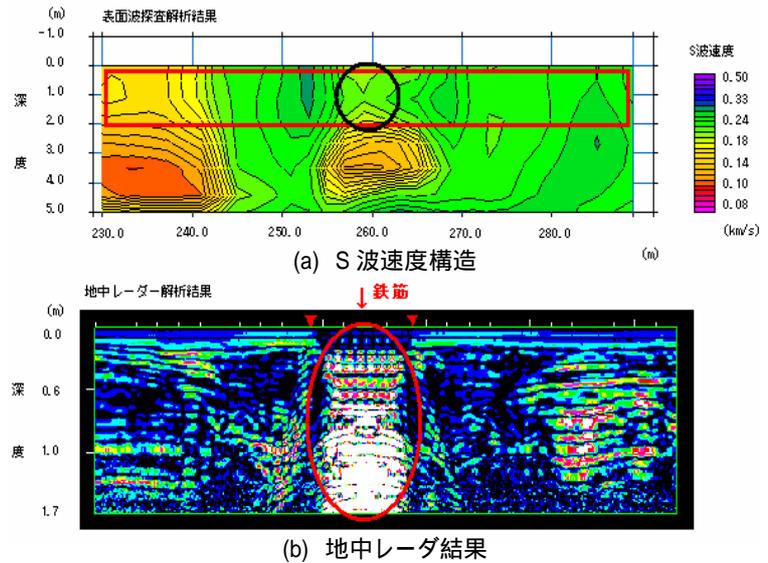


図-5 鉄筋部分の比較

6. まとめ

以上の結果より、表面波探査から得られた S 波速度構造では、堤体盛土、沖積砂礫質土層と基礎地盤の区分を確認することができ、堤防の地質構造と良い対応を示した。堤体盛土の S 波速度は概ね 200～290m/s の値を示したが、地表近くの一部、および第 2 層では S 波速度 200m/s の低速度層になっている。また、N 値と S 波速度の関係は、既往のボーリングデータと矛盾しなかった。このことから、調査地の堤体は概ね N 値 10～20 と低く、砂礫質であるため、緩い地盤だと言える。また、N 値 10 以下の粘性土層の挟在する可能性のある箇所も見られた。これら N 値の低い地点では S 波速度も低く、旧河道の影響を受けた軟弱な地盤である可能性があり、今後路面陥没などの変状が起こる恐れも考えられる。

また、表面波探査による S 波速度構造では、地中レーダ探査結果では捉えきれなかった深部の地盤情報を確認することができた。表面波探査は、地盤の二次元的な S 波速度を把握することができるが、空洞や埋設管などを直接把握することは困難である。地中レーダでこれら空洞などの地盤中の異物を把握し、S 波速度構造と照らし合わせることで、さらに詳細に地盤構造を捉えることができたと言える。

謝辞

本研究の実施において、調査箇所および貴重な資料をご提供いただいた高知県南国土木事務所および、調査に際し協力して下さった基礎地盤コンサルタント(株)、アイレック技建(株)の関係各位に感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) 山中 稔, 長谷川修一, 斎藤章彦, 向谷光彦, 林 宏一, 市原 健: 人工振源による表面波探査法を用いた宅地造成地盤の振動特性評価, 平成 16 年度研究発表会講演論文集, 日本応用地質学会, pp.219-222, 2004.
- 2) 山中 稔, 長谷川修一, 斎藤章彦, 向谷光彦, 林 宏一, 市原 健: 人工振源を用いた表面波探査によるため池堤体の強度推定の試み, 第 59 回農業土木学会中国四国支部講演会講演要旨集, pp.82-84, 2004.
- 3) 山中 稔, 長谷川修一, 斎藤章彦, 市原 健: 人工振源を用いた表面波探査の土木地質調査への適用, 四国建設弘済会第 8 回建設事業の技術開発に関する助成事業成果報告書, pp.139-170, 2005.