

各種物理探査手法を用いた河川堤防の構造調査

京都大学大学院 フェロー 岡 二三生
 京都大学大学院 正会員 ○小高 猛司, 木元小百合
 淀川河川事務所 芝田 弘一, 服部 浩二
 川崎地質(株) 正会員 北川 義治, 山田 茂治

1. はじめに

平成16年には集中豪雨が相次ぎ、多くの堤防が破堤した。破堤の主因の多くは越水であるが、越水から破堤に至るまでの過程は、堤防の内部構造にも関係しており、それぞれの事例で異なる。河川堤防は現地発生浚渫土で構築される場合が多く、その構成材料は一様ではなく、場合によっては局所的に空洞、ゆるみ等の劣化が進行している事例も多くみられる。劣化堤防は浸透や地震に対しての安全性が低いことは当然のことながら、越水後の破壊過程においても不利であることは想像に難くない。本研究は堤防劣化の診断技術の開発を目的とし、各種物理探査手法により堤体内部の構造調査を行った結果を示す。対象とした堤防は、源流に花崗岩地帯を擁する河川にあり、主たる構成材料は砂質土である。目視調査により、堤防天端の縦断方向に亀裂が見つかり、パルスレーダによる堤防天端の浅部調査により、延長100mに渡りゆるみ領域の存在が確認された。本調査はこのゆるみ領域を含む延長150mの河川堤防を対象に、パルスレーダよりもさらに深部まで探査可能な物理探査手法を3種類用いて、堤防構造の比較調査を行った。

2. 物理探査手法

実施した物理探査手法とそれぞれの特徴を以下に示す。

- 1) **高密度表面波探査**：比較的深部までの堤防内部・基礎地盤の土層構造を概略的に把握することを期待して実施した。堤防縦断測線上に等間隔で受振器を多数設置し、一定間隔で起振した振動波形を多チャンネルで受振した。以上のデータを地点ごとの波形データ群に波形処理・編集し、鉛直方向のS波速度分布を求め、最終的に測線下の鉛直断面を逆解析し、地下構造を解釈した。
- 2) **連続波レーダ探査**：送信信号の周波数帯域幅を広く、かつ掃引時間を長くとることで、パルスレーダ探査より高分解能で地盤深部まで調査することが可能である。本調査では、プロファイル法で測線下の反射断面（時間断面）を得て、ワイド・アングル法で地中の電磁波の伝搬速度分布を求めた。プロファイル法による反射断面の時間断面をワイド・アングル法で求めた伝搬速度を用いて深度断面に変換した。
- 3) **EM探査**：本調査ではスリングラムEM探査を行い、一定間隔の送・受信コイルを持って、測線上を2m間隔で静止測定することにより、二次磁場の同相および離相成分を計測し、両成分の関係から地中の導電率あるいは比抵抗値を算出した。浅部探査には送・受信コイル一体型の装置を用いたが、深部探査ではセパレート型を用い、コイル間隔を10mおよび20mの2種類で測定することにより異なる深度の導電率情報も観測した。

なお、当該堤防では別途ボーリング調査を実施しており、いずれの調査の解析結果の解釈にも、適宜、N値と土質性状のデータを反映させている。また、地下水位は、深度6m前後であった。

3. 調査結果

1) **高密度表面波探査**：図1に解析結果を示す。図の上段は初期モデルとした計測速度値のプロット断面図、中段は初期モデルおよびボーリング地点におけるN値をパラメータとしたインバージョン解析結果、下段は中段の断面図を基にして解釈した土質構造断面図である。地下10m以深はノイズによりS波速度160m/s程度の比較的高速な領域が一様に連続しており、本探査の限界深度を示している。ボーリング地点でのS波速度はN値との相関性が比較的高かった。事前のパルスレーダ探査より確認された堤防浅部のゆるみ領域は、この探査でも明確な低速度を示しており、本探査手法はゆるみ領域の診断にも有効と考えられる。また、それ以深の地盤構造の推定にも一定の効果を挙げている。

2) **連続波レーダ探査**：図2に解析結果を示す。図の上段はプロファイル法による反射面断面図、中段はワイドアングル法による電磁波速度構造断面図、下段は上中段の両断面図の結果を総合して解釈した土質構造断面図である。電磁波速

キーワード 河川, 堤防, 劣化, 現地調査, 物理探査
 連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-753-5084

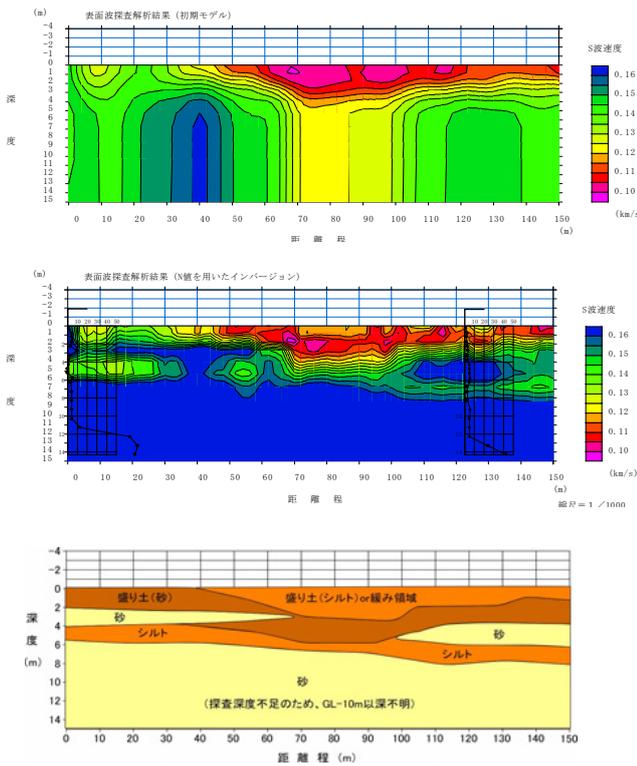


図1 高密度表面波探査結果

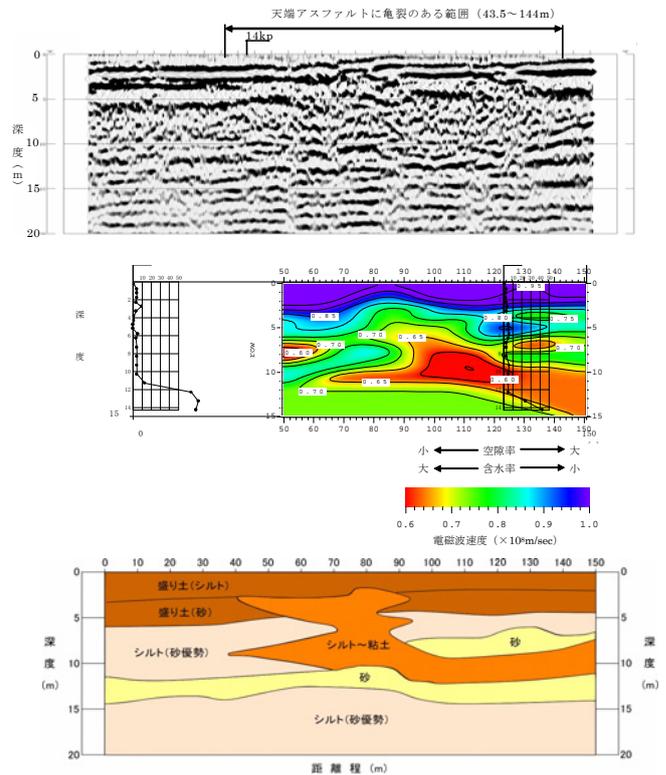


図2 連続波レーダ探査結果

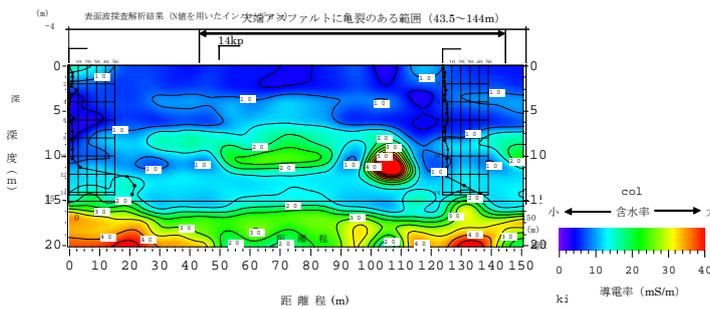


図3 スリングラム EM 探査結果

度の高低は、空隙率の高低・含水率の低高を示すが、ボーリングによる土質区分の結果と比較すると粘土が混じると速度が急激に低下する傾向が認められており、土質区分との相関性が高く、比較的深部の地盤構造の推定にも効果がある。

3) EM 探査：図3に解析結果を示す。左図は二次元導電率断面図、右図は左図の結果を基にして解釈した土質構造断面図である。ボーリング地点での比較では導電率と土質区分の間に相関性が認められており、砂で低導電率となり、粘土分が混じることに応じて高導電率となる傾向が見られた。N値との間にも概ね相関性が認められており、N値の大小と導電率の低高が対応する傾向が見られた。粘土分が混入する割合が高くなることに応じて低速度となり、土質区分の判定に役立つ。この探査が深部調査に最も有効であったが、地下水位以浅の不飽和領域での分解能は若干低い。

4. まとめ

今回の調査に用いた探査手法は、いずれも堤防内の構造調査に効果があることが確認できた。天端から比較的浅部にあるゆるみ領域などの軟弱領域を特定するには高密度表面波探査に分がある。しかし、堤防全体を対象として、浸透や地震への安定性を評価するために数値解析を実施することを想定しているが、その堤防をモデル化する際の土質プロファイルを作成するためには、ある程度土質性状を特定できる他の2手法が適している面もある。調査目的、経費などを総合して調査手法を決定する必要がある。なお、本調査は、国土交通省の建設技術研究開発助成制度の研究課題「河川堤防の調査、再生と強化法に関する研究開発（代表：岡二三生）」の一環で実施している。記して謝意を表する。

参考文献 地盤工学会編：地盤工学への物理探査技術の適用と事例，地盤工学・実務シリーズ14，2001.