

高周波衝撃弾性波探査(透過法)による砂防堰堤の健全(劣化)度評価手法の検討

(株)ダイヤコンサルタント ○西山 卓, 田村泰志, 田中慎一, 永井哲夫, 高橋 透

はじめに

既設の砂防堰堤には、昭和初期から施工された古い堰堤が多数存在し、これらの堰堤の中には亀裂、損耗、表面の劣化等、内部構造等に問題が生じていると懸念されるものが多い。こうした古い砂防堰堤の安全性や機能性については、点検確認を行い、問題があるものについては早急に補強・補修を行う等、保有すべき機能の長寿命化を図るための的確な対策の実施が重要となる。本報告は、このような古い砂防堰堤の健全(劣化)度を評価する一手法として、目視点検では判別できない内部の状態を、高周波衝撃弾性波探査(透過法)を用いたコンクリート堰堤の平均弾性波速度から評価した事例を示し、その有効性について示す。

1. 高周波衝撃弾性波探査(透過法)の特徴

高周波衝撃弾性波探査(透過法)の概念図を、図1に示す。本手法は、弾性波伝播経路を直線とみなし、堰堤の天端上流点を起振点、下流底盤側を受振点として、起振点間の平均速度を求める方法である。そのため、通常の弾性波探査法のように、走時曲線による解析を必要とせず、極めて容易に堰堤内平均伝播速度を求めることができる。今回用いた高周波衝撃弾性波探査装置(NETIS KT-990158-A)を、写真1に示す。本装置は、0.2~1000kHzの周波数帯を用いることから、水通し部での水流による振動ノイズなどによる影響がなく、S/N比の低下もなく、高い精度で直接弾性波速度を測定することができる。また、本装置は、反射法を適用することにより、亀裂位置の特定も可能である。機器構成は、システムPCと鋼製ハンマー、センサ、発電機で構成され、人力で持ち運び可能である。

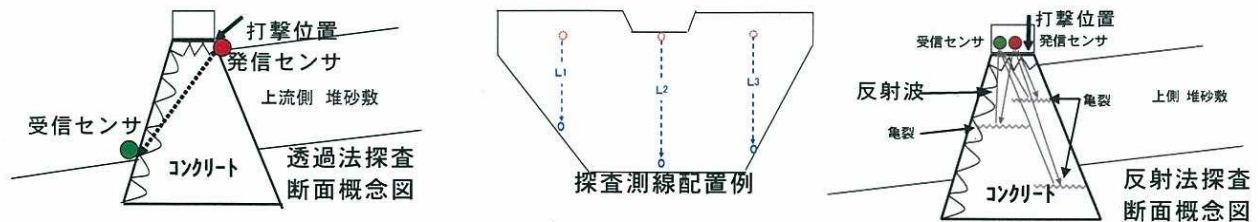


図1 高周波衝撃弾性波探査の概念図

2. 高周波衝撃弾性波探査(透過法)の有効性

図2に高周波衝撃弾性波探査(透過法)の有効性を確認するため、コンクリート堰堤で実施された弾性波トモグラフィとの比較を示す。弾性波トモグラフィは、起振、受振点を堤体天端面の他、下流側法面にも数点加え、立体的に測定することにより弾性波速度構造を面的に可視化する手法である。

弾性波トモグラフィ結果では、水通し部の弾性波速度は $V_p > 3.0 \sim 4.0 \text{ km/s}$ 、両袖部では $V_p < 3.0 \text{ km/s}$ が得られている。特に、両袖部の水通しラインの上部では、 $V_p < 2.0 \text{ km/s}$ 以下のゾーンが連続して認められる。弾性波速度からみた堰堤全体の速度分布は、水通し部は速度が速く、両袖部は速度が遅いという結果である。図3に高周波衝撃弾性波探査(透過法)による速度値を右岸側拡大図として示した。図中()付の数値は、水通しラインから下部コンクリートのみの速度値を表している。図3に示すように、弾性波トモグラフィで速度値が速い領域は、高周波衝撃弾性波探査(透過法)でもほとんど同速度値が得られている。一方、弾性波トモグラフィで速度値が遅い領域は、高周波衝撃弾性波探査(透過法)がより遅い速度値となっている。これは、高周波衝撃弾性波探査は、直接的に速度値を求めているのに対し、弾性波トモグラフィは走時曲線のはざとり法で解析していることとの差と判断される。以上高周波衝撃弾性波探査(透過法)は、弾性波トモグラフィで測定された速度値を精度よく再現しており、鉛直探査(点的調査)ではあるが、測線設定等適正に計画することにより、健全(劣化)度評価における簡易手法として期待できる。

3. 健全度係数を用いた健全(劣化)度評価手法(案)

健全度評価において、ボーリングコアを用いたコア単位体積重量、圧縮強度等から見た堰堤の平均弾性波速度は、相対的に堰堤



写真1 高周波衝撃弾性波探査装置

内の弾性波速度が速ければ、密度、圧縮強度も高く、速度値が低いものよりも相対的に良好(健全)な状態にあるとの判断はできるが、堰堤の健全性を評価する指標として、どれも適切な評価指標とはいえない。

すなわち、コンクリートの試験は、コア不良部での試験が困難であることから、相対的にコアのみでは健全部と劣化部との差が付きにくいことに起因している。

そこで、堰堤全体としてのコンクリートの健全性を示す指標として、「亀裂係数」および「ASTM 基準」にもとづく弾性波速度に着目した。

「亀裂係数」は、岩盤評価で用いられる指標で、岩盤の弾性波速度とコアの超音波速度の比をもって表している。一方、「ASTM 基準」は、米国材料協会で弾性波速度から定めたコンクリートの品質評価基準である。詳細については、各基準を参照願いたい。なお、これらの亀裂係数と ASTM 基準にもとづく弾性波速度は、極めて整合性が高い。ここで、コンクリート堰堤も人工岩盤と考えれば、コンクリート内部の亀裂、空洞、劣化等々、総合的に示す指標として亀裂係数は有用であり、健全性の評価指標として「健全度係数」と呼ぶこととした。

図 4 に健全度係数と堰堤の平均弾性波速度との関係を示す(データ数:80 箇所)。両者の関係は、二次曲線で表され、バラツキも認められるが極めて整合性が高く、相関係数は $r=0.98$ が得られている。結果を要約すると、状態評価(健全度係数)と速度評価(ASTM 基準)から、弾性波速度 $V_p < 2.1\text{km/s}$ は、コンクリート堰堤として何らかの不具合を抱えている可能性が高く、詳細調査(ボーリング等の直接的調査)が必要と判断され、対策工事等の必要性を早急に確認する必要がある。

一方、弾性波速度が $2.1 \sim 2.8\text{km/s}$ 程度は経過観察として定期点検の強化、 2.8km/s 以上は通常点検で対応できるものと考え、軽微な補修・修景、部分補強等で対応できるものと評価した。

4. まとめ

古い砂防堰堤の健全(劣化)度評価の一手法として、高周波衝撃弾性波探査(透過法)を用いた堰堤の平均弾性波速度と、この弾性波速度から求まる健全度係数および ASTM 基準を組み合わせた評価事例を示した。今後、健全(劣化)度評価を確実なものとするには、調査ボーリングや弾性波トモグラフィ等の詳細調査を実施することが望ましいが、これには多大な時間と費用を要する。今回、評価手法として提案した非破壊試験は、目視調査と併せて、精査優先順位の選定等、短時間で、効率的かつ効果的な健全(老朽)度診断となることが期待され、さらに調査データの蓄積を行い、評価手法の確立に向け検討を進めていきたい。

最後に、本検討にあたり、現場の提供、データの提供等をしていただきました、福島河川国道事務所、六甲砂防事務所、天竜川上流河川事務所に対し、ここに記し御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 土木技術者のための岩盤力学、土木学会編、1979 年版
- 2) 弾性波トモグラフィデータ;東北地方整備局、福島河川国道事務所提供
- 3) 弾性波速度値等データ;六甲砂防事務所、天竜川上流河川事務所、福島河川国道事務所提供

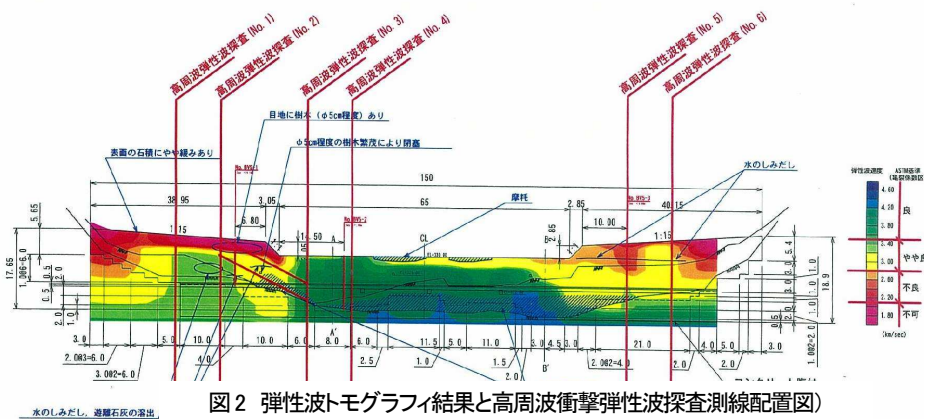


図2 弾性波トモグラフィ結果と高周波衝撃弾性波探査測線配置図)

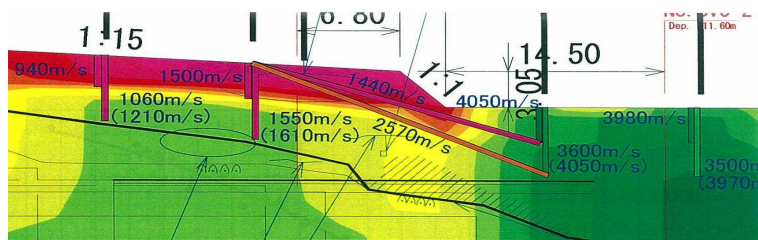


図3 弾性波トモグラフィと高周波衝撃弾性波探査結果(右岸拡大図)

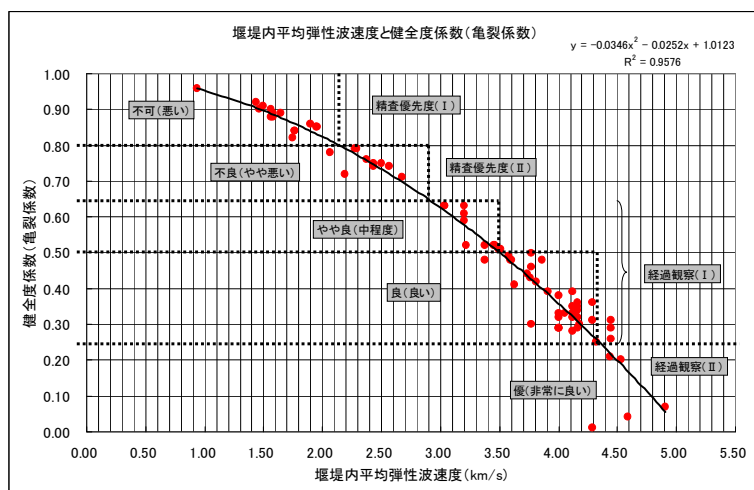


図4 堰堤の平均弾性波速度と健全度(亀裂)係数