

衝撃弾性波探査(透過法)による砂防堰堤内部劣化診断に関する室内実験研究 ～材料特性と衝撃弾性波速度との関係～

一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構 大矢 幸司
株式会社ダイヤコンサルタント ○相山 奈央, 吉田 力, 梶山 國博

1 はじめに

近年、多くの砂防施設において経年劣化が顕在化しており、既存施設の有効利用を前提とした長寿命化技術の確立が急務となっている。施設の長寿命化に当たっては、外観目視を主体とした施設の現況評価や、問題のある施設に対するボーリング調査が行われているほか、その中間的な調査方法として非破壊調査技術も注目されている。非破壊調査には様々な方法が存在するが、いずれの調査手法も外観から判断できない内部状況の推定が主目的で、ボーリング調査よりも容易に調査が可能であることが特徴である。

今回は非破壊調査手法の中でも、測線間の伝搬速度で内部状況を評価する弾性波法、中でも装置が小型・軽量で測線の位置や箇所数の任意設定も容易な衝撃弾性波探査(透過法)に着目した。弾性波を用いた非破壊探査は既に実用レベルにあり、アメリカ試験材料協会からは弾性波によるコンクリート速度基準が示されており¹⁾、砂防堰堤の健全度調査にも有効であることが示されている^{2),3)}。しかし判定基準については更なる精度向上が求められている。

本検討では、材料特性と衝撃弾性波速度との関係を検証する室内実験を行い、実験結果と既存の閾値設定とを比較した。中でも、堰堤の健全度に特に問題があるとされる $V=2.00\text{km/s}$ 以下の弾性波速度値が、どのような内部材料特性を反映しているかを検討し、健全度評価のための新たな閾値設定を行ったので報告する。

2 衝撃弾性波深査と見かけ密度

単一材料による構造物において、弾性波は発信点と受信点を結ぶ最短経路を伝播した縦波が最短時間で到達する。しかしながら実際の砂防堰堤は複合材料で構成されているため伝播状態が一定ではないと考えられる。構造物を構成している材料には質量がある。但し、複数の素材を組み合わせて作られる材料では、質量を定義するには厳密な素材の配合値等が必要となる。そのため、材料名だけでは実際の質量を知ることは難しい。素材の質量を規定する用語として密度を用いるが、材料を密度で示すことは一般的には行われない。

弾性波速度を検討するには、材料の単体としての密度が重要であるが、これは複合材料からなる砂防堰堤に適用するには不向きである。そこで本検討では、実測体積と質量から算出する見かけ密度を用いることとした。調査対象を見かけ密度で定義された単一材料による部材として扱い、弾性波速度との関係を評価・整理した。

3 室内実験方法

室内実験の材料として、川砂、花崗岩礫、コンクリートで供試体を作成し、供試体別の見かけ密度と弾性波速度を計測した。試験ケースは以下の9ケースである。

- ・砂の供試体：砂① 締固めなし・密度低
砂② 締固め小・密度低
砂③ 締固め中・密度中
砂④ 締固め高・密度高
砂⑤ 締固め高・密度高
- ・花崗岩の供試体：碎石, 玉石
- ・コンクリートの供試体：10N 強度, 21N 強度

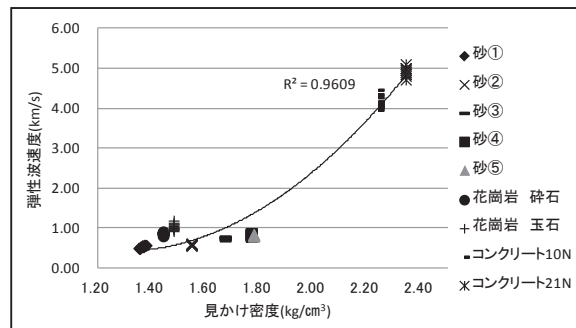


図-1 室内試験結果

ケースごとに、波形の再現性を確認した上で、10回以上の計測を実施し、最大値及び最小値を除いた結果をグラフ化した(図-1)。

4 実験結果

今回の室内実験では様々な材料で計測を行ったが、砂防堰堤に使用されるコンクリート材料では、弾性波速度は $V=4.00\sim 5.00\text{km/s}$ を示した。一方、砂や礫の単体供試体では、概ね弾性波速度は $V=1.00\text{km/s}$ 未満の結果となり、速度値の著しい違いが確認された。実験結果を以下に整理する。

- ◆ 内部が礫や砂といった粒状材料では、弾性波速度は $V=1.00\text{km/s}$ 前後が上限値であった。
- ◆ コンクリートでは、材料強度により見かけ密度・弾性波速度も異なっていたが、コンクリート強度が高いほど見かけ密度が大きく、また弾性波速度も速くなることを確認した。
- ◆ 砂、礫、コンクリートを同一グラフにプロットし評価した結果、見かけ密度と弾性波速度は相関関係にあることを確認した。

5 低速度域の健全度評価閾値の設定(案)

上述した相関性から見て、粗石コンクリートや純コンクリートなど異なる材料の砂防堰堤や、空石積の砂防堰堤についても、同一の閾値で評価できる可能性がある。

これまでも現地での計測結果やボーリング調査結果との比較・検討により様々な閾値が提案されている^{2), 3)}。これらの閾値では概ね $V=2.00\text{km/s}$ を境に問題がある施設としているが、今回の室内試験結果から、砂防堰堤での弾性波速度が $V=1.00\text{km/s}$ 未満を示した場合、内部は一体性が損なわれつつある砂や礫の粒状状態に類似している可能性があり、砂防堰堤としての機能が低下していることを示唆する。これらの検討結果を踏まえ、従来の基準の低速度域をさらに細分化した健全度評価閾値(案)を設定した(表-1)。

表-1 弾性波速度による健全度評価閾値(案)

評価対象 基準	コンクリート		砂防堰堤				今回提案する閾値	
	ASTMによる基準 ¹⁾		曾田らによる閾値 ²⁾		永井らによる閾値 ³⁾		弾性波速度 (km/s)	評価
閾値と 評価	弾性波速度 (km/s)	評価	弾性波伝搬 速度 (km/s)	健全度 評価	堰堤弾性波 速度 (km/s)	状態	弾性波速度 (km/s)	評価
	2.13 以下	不可	2.00 未満	不良	2.10 未満	不良	1.00 未満	要対策
							1.00-2.10	詳細調査
	2.13-3.05	不良	2.00-2.80	やや不良	2.10-2.80	やや不良	2.10-2.80	経過観察
	3.05-3.66	やや良	2.80-3.30	概ね良好	2.80-3.50	概ね良好	2.80 以上	通常の 施設管理
3.66-4.57	良	3.30 以上	良好	3.50 以上	良好			
4.57 以上	優							

6 今後の課題

本報告では大きく3種類の材料を用いて試験を実施したが、引き続き、異なる材料を用いた試験も検討予定である。また、室内実験結果を踏まえ、実際の堰堤における弾性波速度と見かけ密度との相関などを詳細に整理する必要がある。実堰堤での探査結果も含めて弾性波速度と見かけ密度に高い相関を確認することができれば、今後弾性波速度から見かけ密度による内部材料の推定(粗石コン、純コン、空石積などの識別)も可能と考えられる。さらに、計測波形の分析により、内部材料・劣化状況の推定精度向上も図ることも可能と考えられ、今後はこういった方向での衝撃弾性波探査の利用も視野に入れ、さらなる実験・解析を重ねる予定である。

【参考文献】

- 1) 土木学会：弾性波法によるコンクリートの非破壊検査に関する委員会報告およびシンポジウム論文集，p.31，2004
- 2) 永井哲夫ほか：弾性波速度を用いた地盤構造物の健全性評価，平成26年第59回地盤工学シンポジウム，2014
- 3) 曾田和弘：砂防施設の劣化診断と維持管理の在り方について，平成20年度 国土交通省国土技術研究会報告，p.54-57，2008