

弾性波探査の有効性に関する一考察について

国土交通省 北陸地方整備局 湯沢砂防事務所 渡邊正一 谷保和則 四十谷朋子  
 一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構 星野和彦 大矢幸司 深澤 浩 ○渡邊 尚

1. はじめに

石積み粗石コンクリート構造の砂防堰堤の中には、戦前の人力施工の時代、あるいは戦中・戦後に資材が不足する中で、十分な品質が確保されない状況で作られたものも多く、竣工後長い年月を経る中で、破損劣化が見られる施設もある。

これら現役の防災施設の機能維持のためには、施設の健全性を適切に評価することが必要不可欠である。

施設の健全性の評価は外部と内部の状況から総合的に判断を行うことが望ましい。外部については外観目視によりある程度の情報は得られるが、内部状況の把握には、ボーリング等の詳細調査を実施してかくにんするのが一般的である。

しかしながら、既存の全ての施設に詳細調査を実施することは時間や費用の面で現実的には困難なため、堤体内部の概況を簡易かつ安価に把握する手法が求められており、弾性波探査を活用した取組が試験的に行われている。

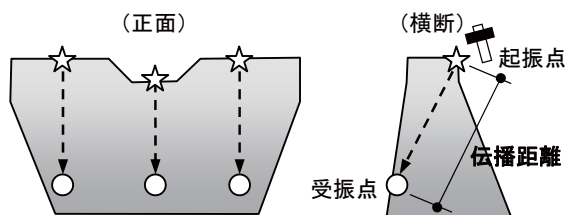
ここでは、測線沿いに弾性波を透過させて計測する調査手法（以下「測線弾性波探査」と称す）を対象に、その有効性について検討を行った結果を報告する。

2. 非破壊検査ツールとしての測線弾性波探査

2.1 測線弾性波探査の原理

弾性波を用いた調査は、これまでに湯沢砂防事務所、福島河川国道事務所、六甲砂防事務所などで試行されており、「測線弾性波探査」「トモグラフィ」あるいは「表面波探査」等、幾つかの手法がある。

「測線弾性波探査」は、堤体上流面をハンマー等で打撃して起振し、堤体下流面に設置した受振点で検出した直接波の伝播時間と距離から、伝搬速度を求める手法である（図1および図2）。



※弾性波速度 = 伝播距離 ÷ 伝播時間

図1 測線弾性波探査の調査手法

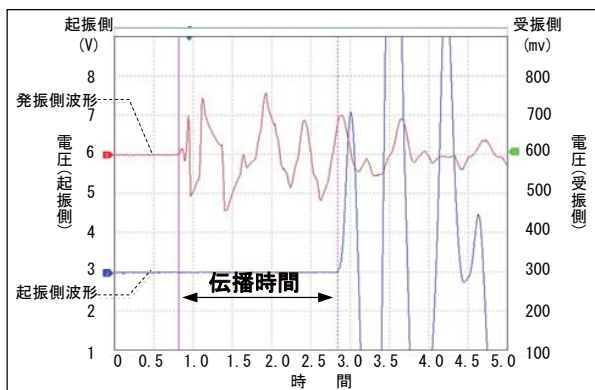


図2 弾性波探査における計測波形 (例)

2.2 測線弾性波探査の特徴

測線弾性波探査では、起振点と受振点の間が健全（密実）であれば速い速度値が計測され、不健全部（亀裂や空隙等）が介在していた場合は遅い速度値が計測される（あるいは全く計測されない）。

調査の実施に関しては、重機や大きな機材等が不要であり、ボーリング等の詳細調査に比べて比較的簡易に観測が出来るという利点がある。その一方で、水通し部分等での観測には水替えが必須となることや、水流や近傍の重機の振動等により所要のデータの収集が困難となる場合もある。

3. 測線弾性波探査における課題

3.1 測線（起振点や受振点）の設定における注意点

測線弾性波探査では堤体内部の亀裂や空隙等により速度が低下するため、適切に計測を実施すればその存在を検出することが出来る。ただし、現在試行的に行われている弾性波探査においては、起振点や受振点の設置に関して厳密な基準や規定等が無く、測線の設定（起振点や受振点の設置）によっては、堤体内部の弱部が検出されない恐れがある。

3.2 検出された速度値における注意点

測線弾性波探査において検出される速度は測線における平均値である。このため測線上の（施設内部の）どの範囲に、低速度の原因となる箇所（亀裂や空隙）が分布しているかを判断することは困難である。

4. 被災施設を活用した弾性波探査の有効性検証

4.1 検証方法

測線弾性波探査における課題を踏まえ、調査の精度の向上させるためには、図3のように弾性波探査の測線を増加させる（同一断面内において起振点と受信点を移動させて速度を計測する）必要がある。

この検証のためには内部状況が予め明らかな粗石コンクリート構造物が必要となる。湯沢砂防事務所管内では粗石コンクリート構造の櫓倉砂防堰堤が被災したことから災害復旧工事中であり、堤体の横断面が露出している箇所があったため、その断面をテストケースとして活用し、詳細な測線弾性波探査を実施した。

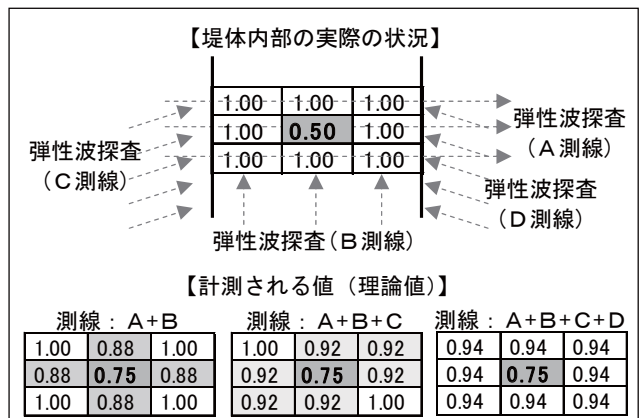


図3 測線数の増加と観測精度の向上 (理論値)

## 4.2 被災施設の概要について

檜倉砂防堰堤は魚野川流域登川に昭和17年に竣工した重力式の練石積粗石コンクリート堰堤である。この堰堤は、これまでも部分的に経年的な破損・劣化を生じていたが、平成23年7月に発生した新潟・福島豪雨により右岸袖部が流出し、破損した。

表-1 檜倉砂防堰堤の諸元

施設名称	檜倉砂防堰堤
流域名/溪流名	魚野川/登川
型式・構造	重力式・練石積粗石コンクリート
着工/竣工	S16.7.1/S17.9.15
堤高/堤長/天端幅	11m/48m/2m
上流法/下流法	1:0.4/1:0.2
堤体積/貯砂量	1,631m <sup>3</sup> /165,100m <sup>3</sup>

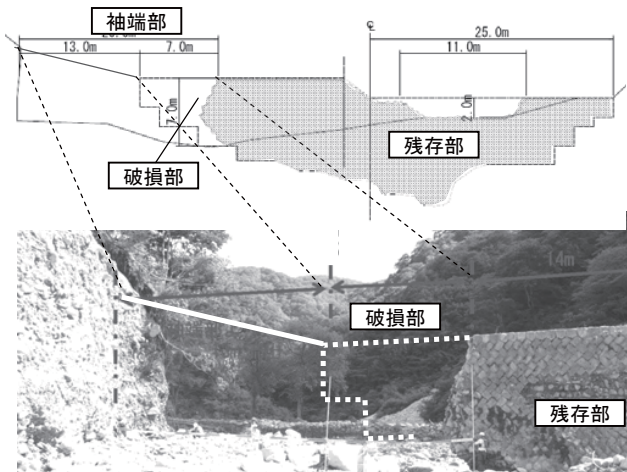


図4 檜倉砂防堰堤の右岸袖部の被災状況

## 4.3 被災施設の横断面観察による内部状況の把握

檜倉砂防堰堤の横断面は、戦前に竣工した練石積み粗石コンクリート堰堤の内部状況を知るための貴重な資料の一つであるため、断面における粗石・積石、コンクリート、砂礫、空隙等の比率を記録した。

なおコンクリートについてはセメント含有量（目視により判断）の差から、A～Cの3種類に区分した。

また観測した断面において、粗石と積石は概ね40cm内外、打設リフト1層の厚さは概ね30cm程度であった。

表-2 檜倉砂防堰堤の断面観察結果

構成材料等	面積(m <sup>2</sup> )	比率(%)
コンクリートA	1.16	13.5
コンクリートB	2.05	23.8
コンクリートC	2.10	24.4
砂 礫	0.26	3.0
粗石・積石(粗石のみ)	2.93 (2.45)	33.9 (28.4)
空 隙	0.12	1.4
合 計	8.64	100.0

昭和初期に作られた粗石コンクリート砂防堰堤では、堤体内部を構成しているコンクリートと石材との比率は6:4~7:3等が用いられていることが多い。

今回観察した檜倉砂防堰堤の横断面でも石材（粗石および積石）が約34%を占めており、施工当時の一般的な比率が用いられていると考えられる。

なお打設層上部にはセメント分が多く、良く締め固められており、下部はその逆の傾向が表れていた。

## 4.4 詳細測線弾性波探査の実施

檜倉砂防堰堤の横断面を対象に、一般的な測線弾性波探査よりも密の約50cmピッチでの速度計測を実施し、それぞれの測線における弾性波速度を計測した(図6)。

また、この結果を元に断面内のブロック別の面的な平均速度を算出(図7)するとともに、横断面の構成材料と計測速度との相関について検証した。

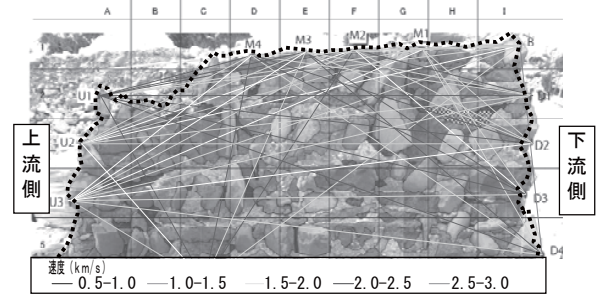


図6 探査結果(測線毎の速度)

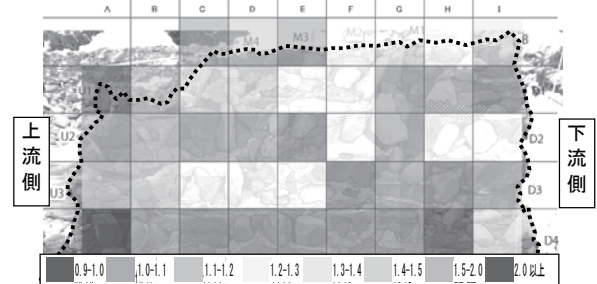


図7 探査結果(ブロック別速度分布)

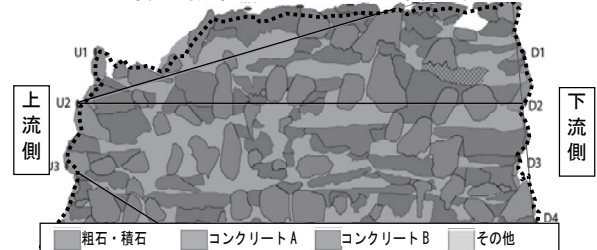


図8 探査結果(構成材料と速度の相関)

## 5. 結果および今後の課題

本検討の結果、粗石コンクリート堰堤の診断においては、施設の構造上、同一断面において複数の計測測線を設ける事が望ましいことを確認した。

また構成材料と計測速度との相関から、施設全体の速度観測については鉛直方向に、任意箇所での最大速度を計測するためには水平方向に、弾性波探査を実施することが有効である事を確認した。

今後、測線弾性波探査を内部の簡易診断ツールとして活用する場合、これら特性を踏まえて起振点、受振点を設定することが重要であると考えられる。

## 6. おわりに

湯沢砂防事務所管内では砂防事業が現在も継続中であり、粗石コンクリート構造の施設だけでなく、純コンクリート構造の施設も含め、竣工後50年以上を経過した砂防施設は今後もさらに増えてゆくことになる。

流域の社会条件の変化を受け、精度・効率の良い調査・解析・健全性評価、あるいは長寿命化対策等が、今後、より一層求められると考えられる。

今後は、今回の検討結果を踏まえ、さらなる弾性波探査の精度向上や、探査結果から健全度を評価する基準の設定等についての検討が必要であると考えられる。