改良型弾性波探査を用いた砂防堰堤の健全度評価
ー六甲砂防管内における石積堰堤を例としてー

国土交通省 近畿地方整備局 六甲砂防事務所　田中 秀基[※1]、紅粉 昭一、白髭 一磨[※2]
八千代エンジニヤリング株式会社　○福塚 康三郎、佐藤 敏明、石丸 元気、後藤 宏二
※1 現所属：国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部、※2 現所属：国土交通省 近畿地方整備局 河川部

1. はじめに

平成 30 年 7 月豪雨(西日本豪雨)では、広島県で戦後間もなく建設された石積砂防堰堤が複数被災し、一部の渓流では堆積土砂が下流域に流出した。広島県での事例を踏まえ、六甲砂防事務所においても平成 31 年度から石積砂防堰堤の健全性を確認するためのボーリング調査が開始された。しかしながら、対象施設の一部はアクセス困難な山間部に位置し、ボーリング調査の実施も困難となっている。本発表ではボーリング調査が困難な堰堤を含む延べ 4 基の石積砂防堰堤において、改良型弾性波探査等を用いて健全度評価を実施した事例について報告する。

2. 調査概要

2.1 対象施設

六甲山系に設置されている砂防堰堤のうち、戦前および戦後に完成した以下の 4 基を調査対象とした(表-1)。

対象施設のうち、ボーリング調査が困難な砂防堰堤(J 堰堤)では改良型弾性波探査のみを行い、ボーリング調査が可能な 3 基の砂防堰堤においては改良型弾性波探査とボーリング調査等を組み合わせて健全度評価を実施した。

表-1　対象施設一覧表（いずれも石積砂防堰堤）

施設名	完成年度(西暦)	完成後経過年数	改築年度(西暦)	改築後経過年数	流域面積(km^2)	堆砂状況	表流水の有無	堰堤諸元					主な調査内容	
								堤高(m)	堰堤長(m)	天端幅(m)	堰堤形式		改良型弾性波探査	ボーリング調査
J堰堤	1950	69	-	-	1.00	未満砂	有り(出水期には越流)	14.00	72.00	1.80	不透過	コンクリート	○	ー
O堰堤	1941	78	-	-	0.20	満砂	無し	5.00	30.00	2.00	不透過	コンクリート	○	○
K堰堤	1939	80	-	-	6.03	満砂	有り(常時越流)	16.00	75.00	2.70	不透過	コンクリート	○	○
U堰堤	1942	77	1977	42	0.38	未満砂	有り(出水期の越流無し)	20.00	67.00	1.60	不透過	コンクリート	○	○

2.2 改良型弾性波探査の概要

本調査では、特許技術「堰堤の弾性波探査方法および堰堤の健全度診断支援装置並びにプログラム(特許番号：第 6396074 号)」および新技術「コンクリートトモグラフィによるマスコンクリートの健全度可視化技術(NETIS 登録番号：KT-190137-A)」を用いて実施した。本技術は、複数の点で弾性波を発振および受振し、それぞれの伝播時間から構造物内部の弾性波速度分布を計算・解析することにより、弾性波速度構造の把握を可能とするものである。本調査では、対象堰堤を取り囲むように発振点および受振点を設定し、堤体コンクリート内を縦横に通過した弾性波を解析することにより、弾性波速度構造を面的に可視化し、かつ定量的に評価した(図-1、写真-1)。

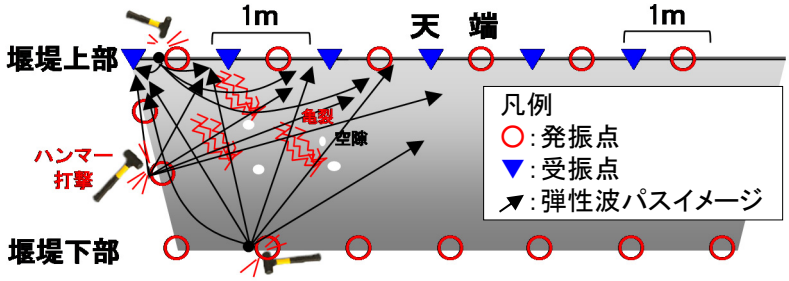


図-1　改良型弾性波探査の概念図

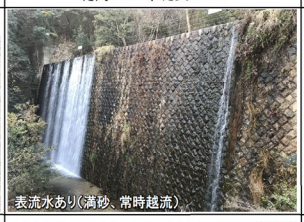
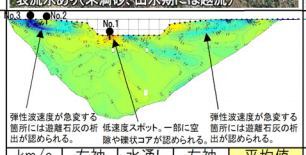
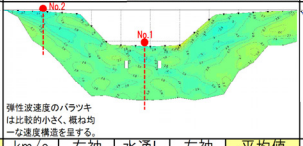
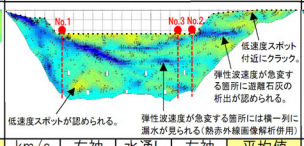
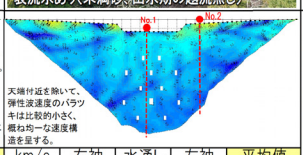
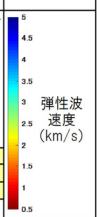
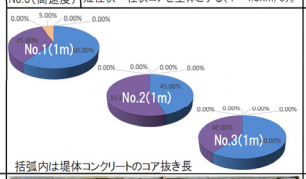
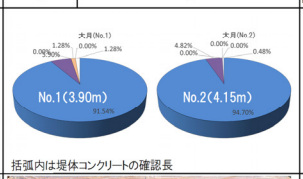
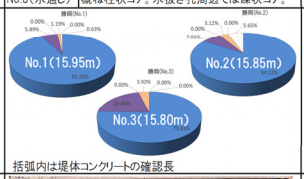
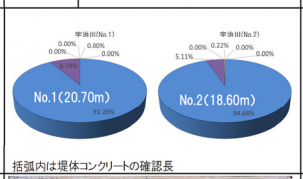
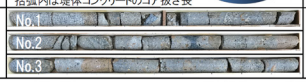
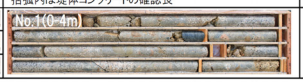
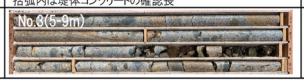
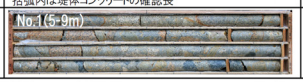
写真-1　改良型弾性波探査の実施状況例

3. 調査結果(健全度評価)

3.1 改良型弾性波探査結果

中谷ら(2014)によれば、改良型弾性波探査では構造物の劣化が進み間隙が多く存在する場合やその間隙が浸透水により満たされる場合は弾性波速度が遅くなる傾向が得られ、反対に間隙が少なく健全な構造物では弾性波速度が速くなる傾向が得られるものとされている。本調査の結果、改築(グラウトによる堤体補強)が行われた U 堰堤では全体にバラツキの少ない高速度(平均弾性波速度 3.5km/s 以上)の速度構造であることが確認された(表-2)。

表-2　改良型弾性波探査結果等一覧表

施設名	J堰堤	O堰堤	K堰堤	U堰堤	備考（凡例等）
完成年度	1950年	1941年	1939年	1942年	
経過年数	69年経過	78年経過	80年経過	77年経過※ ※1977年に堤体補強工事を実施	
施設規模	堤高:14m、堤長:72m	堤高:5m、堤長:30m	堤高:16m、堤長:75m	堤高:20m、堤長:67m	
全景写真（正面）					
改良型弾性波探査結果	 km/s　右袖　水通し　左袖　平均値 平均値　2.78　2.57　2.84　2.73 最小値　2.35　1.71　2.26　2.11 ●:コア抜き調査実施箇所(L=1m)	 km/s　右袖　水通し　左袖　平均値 平均値　2.86　2.85　2.73　2.81 最小値　2.66　2.64　2.58　2.63 ●:ボーリング調査実施箇所(本探査前に実施)	 km/s　右袖　水通し　左袖　平均値 平均値　3.50　3.08　2.93　3.17 最小値　2.72　2.00　2.19　2.30 ●:ボーリング調査実施箇所(本探査前に実施)	 km/s　右袖　水通し　左袖　平均値 平均値　3.60　3.64　3.61　3.62 最小値　2.07　3.22　2.18　2.49 ●:ボーリング調査実施箇所(本探査前に実施)	
外観目視点検結果(H30年度)	総合判定「B」 堤体全体に遊離石灰が発生し、背面の剥離・遊離石灰はコンクリートの劣化が疑われる。 ◆S26完成の練石積の堰堤で、正面・背面とも遊離石灰が目立つ。 ◆堆砂敷は平坦で開け高木が生育し、非出水期間には湛水は見られないが、出水時には水通しを越流した形跡がある。 ◆正面には複数の小規模な漏水が見られる。	総合判定「A」 目立った損傷は見られない。 ◆S16完成の練石積の小堰堤で、躯体石積は目地開き・遊離石灰等も発生せず健全。 ◆堆砂敷は満砂、下流には前庭と垂直壁が設けられている。	総合判定「A」 変状レベルbのクラック等発生するが堤体は健全。 ◆S15完成の練石積の堰堤で、遊離石灰や漏水の発生はあるが、大きな損傷はない。 ◆堆砂敷は満砂で川幅は広く、高木が生育。 ◆水通し天端は越流部を除き土砂が堆積し、樹木が繁茂している。	総合判定「A」 遊離石灰等は発生するが損傷軽微、堤体は健全。 ◆S17完成の練石積の堰堤で、遊離石灰や打ち継ぎ目の欠損等が発生する。 ◆完成後の年月のわりには堆積土砂が少ない。 ◆水抜暗渠が12箇所設けられ、下部の水抜暗渠から流出している。 ◆堆砂敷に多数の倒木(H30年7月豪雨、8月台風の影響とみられる)。	平成30年度の点検結果(抜粋)に基づく。
ボーリング調査結果(コア形状)	No.1(低速度)　一部に空隙や礫状コアあり(1.7～1.8km/s)。 No.2(中速度)　短柱状コアを主体とする(2.3～2.5km/s)。 No.3(高速度)　短柱状～柱状コアを主体とする(4～4.5km/s)。  括弧内は堤体コンクリートのコア抜き長	No.1(水通し)　概ね柱状コア。ごく一部に空隙が見られる。 No.2(右袖)　概ね柱状コア。ごく一部に空隙が見られる。 No.3　－　－  括弧内は堤体コンクリートの確認長	No.1(水通し)　概ね柱状コア。ごく一部に空隙が見られる。 No.2(水通し)　概ね柱状コア。水抜き孔周辺では空隙・礫状コア。 No.3(水通し)　概ね柱状コア。水抜き孔周辺では礫状コア。  括弧内は堤体コンクリートの確認長	No.1(水通し)　概ね柱状コア。部分的に短柱状コアを呈する。 No.2(左袖)　概ね柱状コア。部分的に短柱状コアを呈する。 －　－  括弧内は堤体コンクリートの確認長	J堰堤ではコア抜き調査を実施(L=1m)。 ■柱状 ■短柱状 ■玉石状 □礫状 ■砂 □空洞・空隙
代表的なコア写真					

これに対して、改築が未実施の砂防堰堤(J 堰堤、O 堰堤、K 堰堤)における平均弾性波速度は 2.7～3.1km/s である。特に、J 堰堤と K 堰堤では弾性波速度が急変する箇所(速度コンターが密になる箇所)が見られた。O 堰堤では弾性波速度のバラツキは小さく、概ね均質な速度構造を呈しているものの、平均弾性波速度は改築済堰堤よりも遅い。

3.2 弾性波速度構造と目視点検結果との関係

J 堰堤と K 堰堤の弾性波速度が急変する箇所には遊離石灰の顕著な析出が確認されており、速度構造と目視点検結果は概ね一致している。K 堰堤において熱赤外線画像解析を実施した結果、弾性波速度が急変する箇所において漏水が確認された。なお、速度構造にバラツキが少ない O 堰堤と U 堰堤では目視点検で健全と評価されている。

3.3 弾性波速度構造とボーリングコア形状との関係

ボーリング調査の実施が困難な J 堰堤では、改良型弾性波探査実施後に低速度・中速度・高速度の代表的な箇所においてコア抜き調査(L=1m)を実施した。その結果、低速度(1.7～1.8km/s)を示した箇所では、コアの一部にジャンカを伴う空隙や礫状コアが確認された。なお、速度構造にバラツキが少ない O 堰堤と U 堰堤のボーリングコアの 90%以上は柱状コアであるが、速度構造にバラツキの見られる K 堰堤では柱状コアの割合がやや少ない。

4. おわりに

弾性波速度構造と目視点検結果およびボーリングコア形状には有意な相関が認められた。このため、改良型弾性波探査結果により得られる平均弾性波速度と弾性波速度構造、目視点検結果およびボーリング調査結果等を組み合わせることにより、砂防堰堤の健全度を面的に可視化し、かつ定量的に評価することが可能と考えられる。

引用文献

・中谷洋明・鈴木豊・荒井良介・福塚康三郎・佐藤敏明・若林栄一・永冨大亮・小林海央・内藤好裕・羽佐田葉子(2014)： 弾性波探査(改良型)を用いた砂防堰堤コンクリートの構造変質の評価について、平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集，B-408～B-409.