

Wavelet 変換に基づくレイリー波速度トモグラフィ法による コンクリートダム の健全性評価

麻植 久史*, 塩谷 智基*, 小堀 俊秀**, 金銅 将史**

Soundness Evaluation of Concrete Dam Using Rayleigh Wave Tomography Method Based on Wavelet Transform

Hisafumi Asaue*, Tomoki Shiotani*, Toshihide Kobori**, Masashi Kondo**

*京都大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Kyoto University, Kyotodaigaku-Katsura,
Nishikyo-ku, Kyoto, 615-8540, Japan.

E-mail: asaue.hisafumi.7a@kyoto-u.ac.jp

**国土交通省 国土技術政策研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management

キーワード: 損傷評価, 可視化, ひび割れ

Key words : Damage evaluation, Visualization, Crack

1. はじめに

コンクリートダムには、温度応力、堤体材料、環境作用、流水作用、および偶発外力などの要因の組み合わせにより、多様な劣化損傷が生じる。その劣化損傷の発生や進展のメカニズムより、堤体内部に伸展するひび割れはコンクリートダムの安定性の観点から特に注意すべきである。しかし、ひび割れの調査には、目視調査やコアボーリング調査が主に実施されており、これらの手法では、内部に進展するひび割れ分布を把握するのは困難である。そこで、本研究では、Wavelet 変換に基づいたレイリー波速度トモグラフィ法を、コンクリートダム堤体の水平打継面に存在するひび割れに適用した結果、ひび割れの内部進展状況が把握できた。これより、コンクリートダムの劣化損傷調査には、目視で確認できたひび割れに本手法を適用して、ひび割れ伸展深度や範囲を把握した上でコアボーリング調査を実施すれば、より効率的な健全度評価が可能となる。

2. 解析手法

レイリー波速度トモグラフィでは、レイリー波のエネルギー (67%) がP波 (26%) やS波 (7%) に比べて相対的に大きいことを利用して、送信と受信で計測された波形の最大振幅の時間差から推定される伝搬時間を使用する。このとき、伝搬深度は、弾性波励起で打撃される鋼球の直径に依存して決まる¹⁾。そのため、深度毎の速度分布を把握するには直径の異なる複数の鋼球で打撃して計測する必要がある。本研究では、鋼球打撃により計測された弾性波に Wavelet 変換を適用して、2~6 kHz の周波数成分における最大振幅の伝搬時間を抽出した (図 1)。これにトモグラフィ解析²⁾を実施することで、レイリー波の速度分布が推定できる。

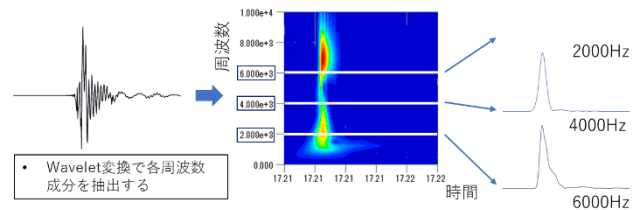


図 1 Wavelet 変換による周波数成分の抽出

3. 計測概要

計測は実コンクリートダム下流面の水平打継面を対象に行った。対象領域を図 2 に示す。ひび割れが顕在化した場所を領域 1、していない場所を領域 2 として計測対象とした。弾性波はφ75 mm (上限周波数 4 kHz 程度) の鋼球打撃で励起した。計測には、ワイドバンドレコーダー (WX-7000SYR, TEAC 製) と圧電型加速度センサ (3 Hz~20 kHz) を用いた。センサ配置と打撃点を図 3 に示す。

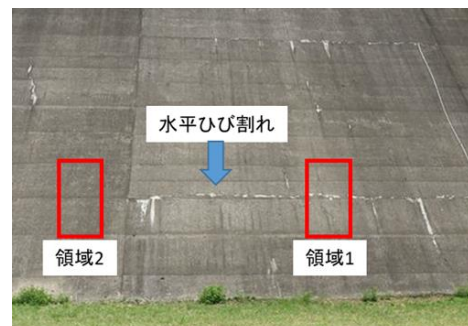


図 2 計測対象領域

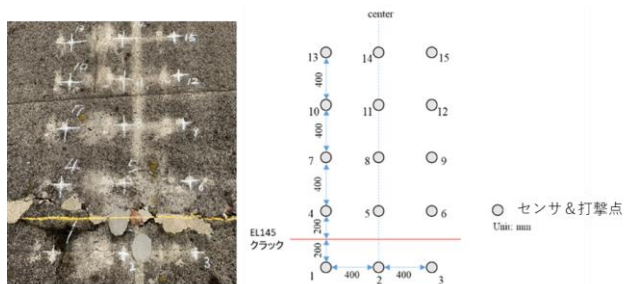


図3 センサ配置と打撃点

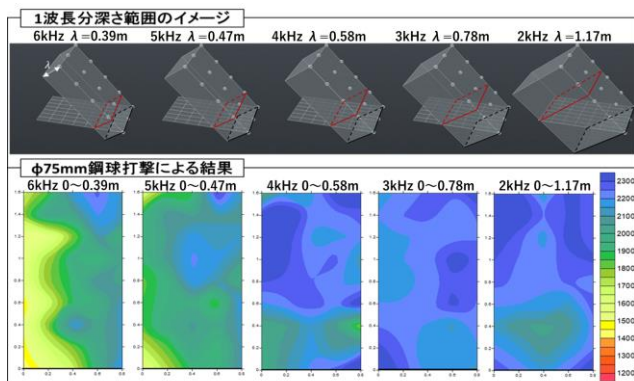


図5 領域2における解析結果

センサ間隔は 400 mm と設定し、打撃は各センサ近傍で実施した。このとき、打撃点の近傍のセンサを送信、そのほかのセンサを受信として、データを記録した。また、1 点の打撃点につき 10 回打撃してデータを取得し、スタッキングして解析に使用した。

4. 解析結果

領域 1 における解析結果を図 4 に示す。図中上図の赤線が、ひび割れの奥行延長上の位置を示している。対象領域にはひび割れが目視できており、右岸側では、ひび割れが上下に 2 本あるように見える。レイリー波速度トモグラフィ結果を見るとひび割れ延長線上において、3~6 kHz で見えている低速度帯 (1600 m/s 以下) が、2 kHz で確認できなくなっている。これは 1.17 m 付近でのひび割れ連続性が小さく (接触面積が大きくなる) なっていることを示唆している。この箇所のひび割れ深度はコアボーリング調査より 1.13 m と推定されており、これとほぼ一致している。また、領域 2 における解析結果を図 5 に示す。図より、全ての周波数において、領域 2 のレイリー波速度が基本的に 1400 m/s 以上になっており、周波数 4 kHz, 3 kHz, 2 kHz のトモグラフィ結果は主に 2000 m/s 以上になっている。これより、領域 2 は領域 1 より相対的に健全だと推定できる。また、周波数 6 kHz と 5 kHz のトモグラフィ結果には、右岸側にそれぞれ 1500 m/s, 1800 m/s の相対的に速度が低下している領域が存在している。領域 2 の P 波速度トモグラフィ解析結果 (図 6) にも、同様の位置に深さ約 40 cm の低速領域が確認でき、この位置における浅い範囲内 (40 cm 以下) に劣化が発生していることを示唆している。上記の結果より、本手法の妥当性が示された。また、ひび割れ伸展分布を可視化することが可能となり、コンクリートダム の健全性評価が効果的に

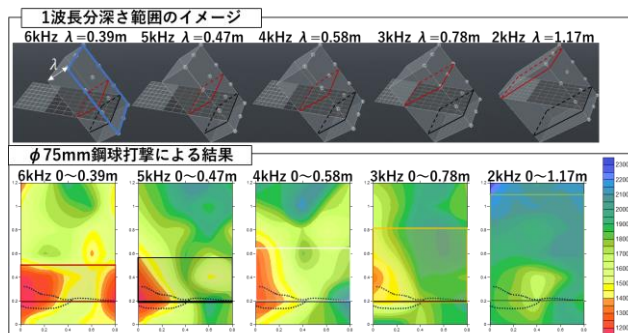


図4 領域1における解析結果

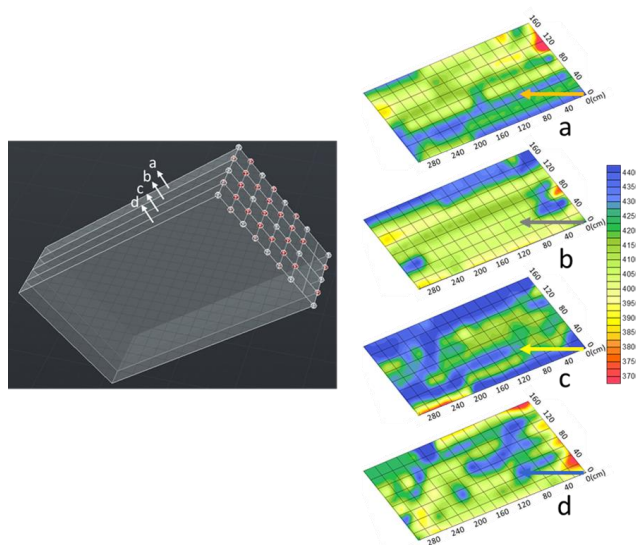


図6 領域2におけるP波速度トモグラフィ解析結果

実施できることが示された。

5. まとめ

本研究では、Wavelet 変換に基づくレイリー波速度トモグラフィにより、コンクリートダム の健全性評価を実施した。比較のため、ひび割れが目視できる場所とひび割れの無い場所を選定して本手法を適用したところ、ひび割れの分布に対応した速度分布を得ることができた。結果として、領域 1 のひび割れは右岸側で深くなっており、深度は 1 m ほどであることが示された。これはコアボーリング調査結果と調和している。本研究より、従来の調査法では困難であったひび割れの伸展分布を効果的に把握することが可能となった。

謝辞: 本研究は、国土交通省 河川砂防技術研究開発公募の支援を受けて実施された。

文献

- 1) Sansalone & Strett, 1997, Impact-Echo, Bullbrier Press.
- 2) Kobayashi, Y., T. Shiotani, D.G. Aggelis and H. Shiojiri: Three-dimensional seismic tomography for existing concrete structures, Proceedings of Second International Operational Analysis Conference, Vol. 2, pp. 595-600, 2007.