【042】

電磁ハンマーの開発と適用例

株式会社ジオファイブ　　○鎌田　晋哉，高橋　亨，五江渕　通

1. はじめに

近年、各種社会インフラの老朽化が大きな社会問題になっている。各種構造物の健全性を調べるために人力によるハンマー打撃(打音検査)が広く用いられているが、これに替わるものとしてソレノイドを応用した小型振源を開発した。この振源は起振力が大きく、かつ高い周波数特性に加え、繰返しレートも速いのでトンネル背面の空洞調査の他、コンクリート壁の剥離や杭・鋼矢板等の根入れ深さ測定等への適用が期待できる。

今回、開発した振源の性能を評価することを目的に、重力式コンクリートダム堤体にて、弾性波の伝搬試験等を行ったので、以下、その結果について述べる。

2. 電磁ハンマーの概要

開発した電磁ハンマー（ポータブル振源と呼ぶ）の構成と動作について、以下に述べる。

(1) 電磁ハンマーの構成

ポータブル振源は、ソレノイドを駆動する高電圧パルスを生成する制御装置部と、高電圧パルスを受けて打撃を行うソレノイドハンマー振源部から構成されている。振源には、使用状況に則して、簡易かつ効果的に弾性波を発生させるため、原動力の小さいタイプ（小型と呼ぶ）と大きいタイプ（大型と呼ぶ）の2種類を用意している。制御装置は共通である。図-1に装置一式の写真を示す。

図-1　ポータブル振源の写真

(2) ポータブル振源の動作

制御装置の POWER を入れると昇圧が始まり、昇圧が完了すると READY LED が点灯する。この状態で HIT スイッチを押すと打撃が行われる。打撃は約5秒間隔で行うことができる。また、トリガー検出用に圧電素子を内蔵しており、起振時には、アナログ信号で瞬時に出力し、データ収録装置にトリガー信号として入力することが可能である。表-1に仕様を示す。

表-1　ポータブル振源の主な仕様

	仕様
制御装置	
駆動電圧、パルス幅	300V、10～80msec（可変）
繰返しレート	4～5sec
寸法・重量	151×101×200mm、2.2kg
振源（大型）	
ストローク	50mm
プランジャー重量	1kg
寸法・重量	80×90×350mm、5.1kg
振源（小型）	
ストローク	18mm
プランジャー重量	0.09kg
寸法・重量	φ80mm×300mm、1.6kg
振源共通	
トリガー検出方式	圧電素子

3. 適用性の検証

ポータブル振源の適用性の検証のため、重力式コンクリートダムの監査廊と法面を利用して弾性波の伝搬・透過試験を行った[1)]。

(1) ダム監査廊における伝搬試験

監査廊底盤上にて、ポータブル振源（小型）により表面波を発生させ、コンクリート面上での伝搬性能を確認した。比較のため、木製かけやによる起振も行った。測定条件は以下の通りである。

受振点：40cm 間隔で24個
受振器：固有周波数4.5Hz、上下動ジオフォン
振源距離：49.6-59.2m
振源：ポータブル振源、木製かけや

図－2に波形記録例を示す。卓越する波形が表面波である。この結果が示す通り、小型のポータブル振源でも、50m を超える震源距離でも十分な S/N 比が得られていることがわかる。

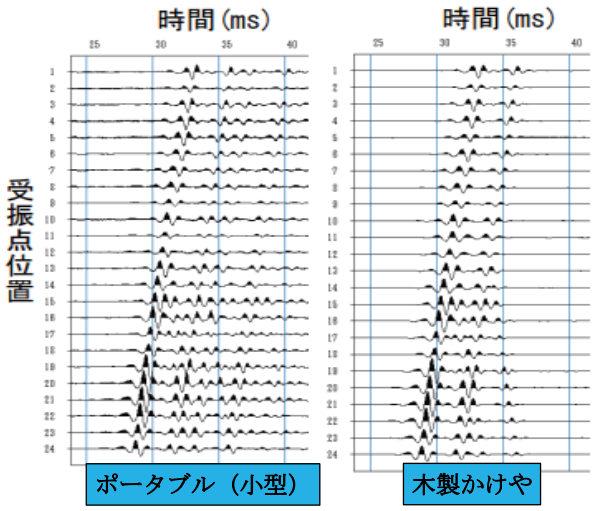

図-2　ポータブル振源と木製かけやの比較

(2) 監査廊-法面間の透過試験

透過試験は、監査廊内で起振し、対抗する下流側法面上の水平ひび割れの上下に平行に設置した測線長9.2mの2測線で受振する試験を行った。比較のため、木製かけやによる起振も行った。測定条件は以下のとおりである。

受振点：水平2測線（間隔0.8m）、40cm 間隔、24個
受振器：固有周波数40Hz、上下動ジオフォン
起振点：監査廊壁（水平打撃）
起振源：ポータブル振源（小型、大型）、木製かけや

図-3に、ポータブル振源（小、大）と木製かけやの1回の起振時の記録例を示す。距離25m の堤体を透過した弾性波（P 波、S 波）が確認できる。記録された S 波の最大振幅を比較すると、ポータブル振源（小、大）、及び木製かけやの比率は、1：3：19であった。大型では1回の起振で、木製かけや同様、P 波、S 波が確認出来、小型でも、加算をすれば検出可能であることがわかった。

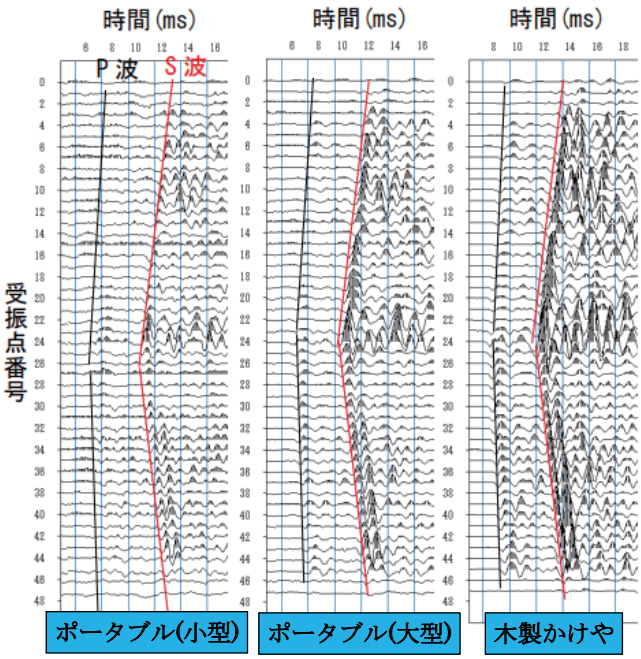

図-3 各振源の記録波形の比較

(3) ポータブル振源の周波数特性

ポータブル振源の地層分解能を決める周波数特性を確認するため、振源近傍でコンクリート面を打撃したときに発生する弾性波(表面波)を加速度センサーで受振し、スペクトル解析を行った。その結果を図-4に示す。卓越周波数は7kHz 程度であった。

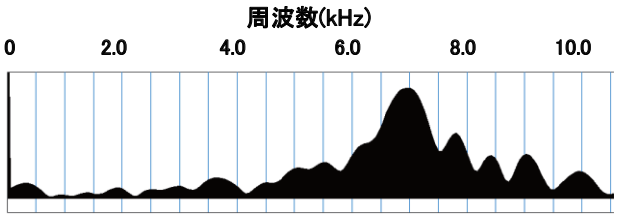

図-4 小型振源の近傍パワースペクトル

次に、大規模ダム調査での適用性を確認するため、監査廊で起振し、コンクリート堤体法面上の振源距離2-4mに設置された、固有周波数40Hz のジオフォンで弾性波(表面波)を受振してスペクトル解析を行った。比較振源は鉄ハンマーとし、それぞれの発振波の周波数特性を確認した結果を図-5に示す。卓越周波数はそれぞれ、小型2.0kHz、大型は1.1kHz、鉄ハンマーは1.5kHz 程度であった。コンクリートの場合、弾性波速度は、P 波が4.3km/s、S 波は2.6km/s 程度であるので、小型のポータブル振源を使用すれば、1m 程度以下の分解能で探査が可能であることがわかる。

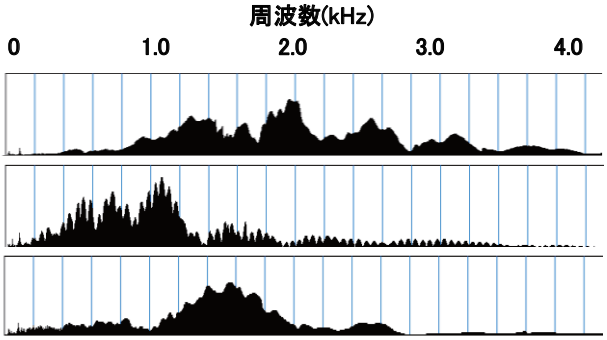

図-5 発振波形のパワースペクトルの比較
(上：ポータブル（小）、中：ポータブル（大）、下：鉄ハンマー)

4. まとめと今後の展望

コンクリートダム堤体で弾性波の伝搬・透過試験を実施した結果、発振力、周波数特性とも大規模なダムの非破壊調査でも適用可能なことが確かめられた。本振源は、小型軽量で可搬性に優れており、鋼板打撃時の卓越周波数が約50kHz というデータも別の実験で得ている。今後、トンネル覆工コンクリート背面調査の他、鋼矢板の根入れ調査等の非破壊調査での適用性についても検討を進めていく予定である。

謝辞

本稿は、国土交通省の公募研究「平成30年度河川砂防技術研究開発」における「低周波の弾性波を用いたコンクリートダムの亀裂検知および強度分布把握手法の研究開発」の成果の一部である。本研究の共同研究者である東京都立大学の小田義也教授、国立研究開発法人土木研究所の尾西恭亮博士、公益財団法人深田地質研究所の磯真一郎博士、ならびに本研究を進めるにあたりお世話になった国土交通省国土技術政策総合研究所ならびに現地ダム事務所の関係者の皆様に感謝いたします。

<<引用・参考文献>>

1) 小田義也・高橋亨・尾西恭亮：弾性波を利用したコンクリートダム堤体の亀裂および強度分布評価手法に関する研究開発－研究開発の概要－、物理探査学会第141回学術講演会論文集、35-36。(2019)