

# 砂防堰堤形状調査への極浅層反射法地震探査の適用と定速度 PSDM 処理の試み

羽佐田葉子\*, 内藤好裕, 池上浩平 (大和探査),  
福塚康三郎, 佐藤敏明, 三浦郁人 (八千代エンジニアリング)

## Very shallow seismic reflection to detect the buried base of check dam

Yoko Hasada\*, Yoshihiro Naito, Kouhei Ikegami (Daiwa Exploration and Consulting),  
Kozaburo Fukuzuka, Toshiaki Sato, Ikuto Miura (Yachiyo Engineering)

**Abstract:** Very shallow seismic reflection was adopted to investigate the shape of buried base of an existing check dam. The receivers and shot points were placed on the crown of dam. Reflection imaging of the base of dam was attempted by CMP stacking and pre-stack depth migration (PSDM) with constant velocity. Though PSDM has an advantage in dealing with irregular surface topography, it needs the correct velocity model to provide the correct image. In the case of a concrete structure whose elastic property is expected not to differ from the typical one, PSDM processing is effective. We confirm the availability of this method through the simulation using 2D synthetic waveform records. Even though the wavelength of the P wave propagating through concrete is long compared to required precision, the reflection surface can be determined with certain accuracy.

### 1. はじめに

既設砂防堰堤において、堰堤基礎部の地下埋没部分の形状を知るため、反射法地震探査を行った。堰堤の天端部分で起振・受振を行い、基礎部底面からの反射波を用いて底面のイメージングを試みた。CMP 重合処理の他、一定速度を仮定した重合前深度マイグレーション (PSDM) による処理を行い、地下埋没部分の底面からの反射を抽出した。

また、2次元弾性波の合成波形記録によるシミュレーションを行い、本手法の有効性の検証を試みた。

### 2. 測定概要

反射法探査では、砂防堰堤の天端部分に 50cm 間隔に受振点を展開した。壁面からの反射波を抑制するために、各点において 6 台の受振器を横断方向に並べてグルーピングした。起振は 50cm 間隔のハンマー打撃によって行った。測線長は 59m で、合計 4185 トレースの記録を取得した。

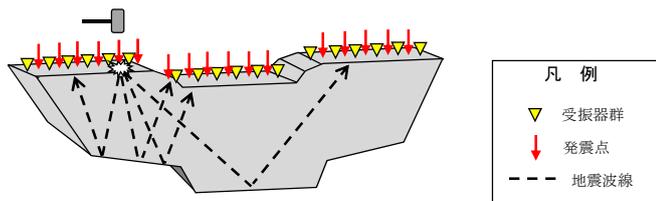


Fig. 1 反射法地震探査測定方法概念図

同堰堤では弾性波トモグラフィによる調査も行われた。天端部分に受振器を設置し、天端及び基礎地上部

下端で起振した全体トモグラフィと、壁面センサ（鳥羽、本学術講演会）を使用したスライストモグラフィにより、堤体地上部の P 波速度構造が推定されている。

### 3. 解析

堰堤全体を一様速度構造と仮定して解析を行った。トモグラフィの結果を参照し、P 波速度 3.5km/s を用いた。

まず、NMO 補正と CMP 重合を行って反射断面を作成し、標高補正と深度変換を行った。この際、全体に斜線がかかるようなノイズが目立ったため、重合後に見かけ速度フィルタを適用した。

これとは別に、一定速度での重合前深度マイグレーション (PSDM) による処理も行った。一様速度なので起振点と受振点からの距離のみから計算できる走時にしたがって測定記録の振幅を分配し、反射断面を作成した。

### 4. 結果

Fig. 2 に CMP 重合による反射断面を、Fig. 3 に定速度 PSDM による反射断面を示す。PSDM の方が全体に解像度が低いように見えるが、表面地形の影響や細かいノイズが少なく、解釈しやすい断面となっている。

距離程 48m の表面付近に不連続構造があり、そこを通過する地震波の振幅が極端に減衰していることが原記録からわかった。Fig. 2 および Fig. 3 の反射断面には

その不連続構造からの散乱波が見えており、その下の反射面を不明瞭にしている。また、P 波の波長が目標とする構造に対して長いため、反射面が明瞭でないと考えられる。

現地踏査やボーリングの結果も踏まえて解釈された堰堤基礎部の構造をFig. 5 に示す。

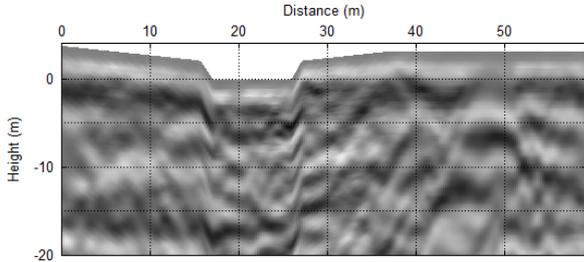


Fig. 2 NMO 補正, CMP 重合による反射断面

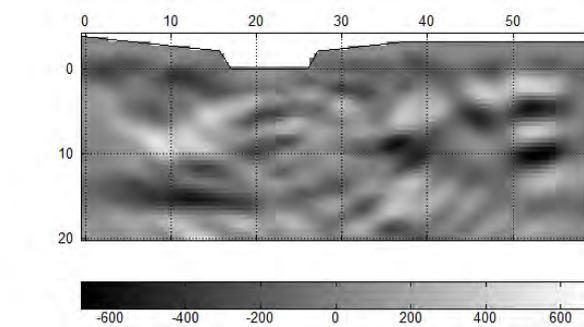


Fig. 3 定速度 PSDM による反射断面

(a)  $V_p=2.5\text{km/s}$

(b)  $V_p=3.0\text{km/s}$

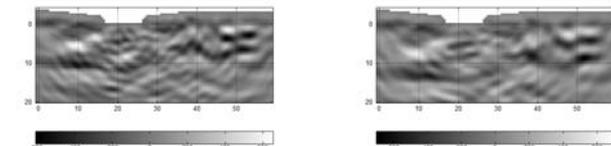


Fig. 4 速度を変えた場合の PSDM 結果

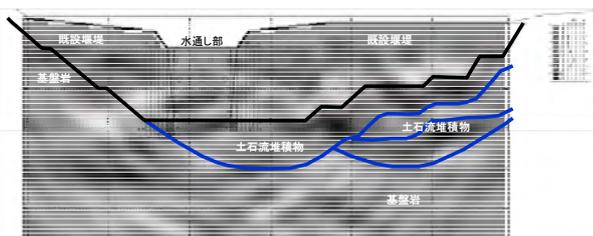


Fig. 5 定速度 PSDM による反射断面と解釈図

### 5. シミュレーションによる検討

本手法の有効性を検証するためにシミュレーションを行った。Fig. 6 に示した 2 次元モデルについて、有限差分法により 2 次元弾性波動場を計算した。1m 間隔に震源をおいて計算を繰り返し、合成波形記録を作成した。震源時間関数は中心周波数 400Hz の Ricker wavelet とした。

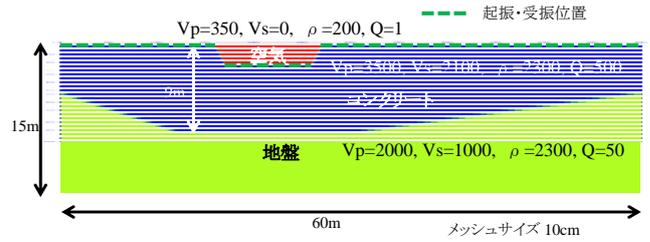


Fig. 6 シミュレーションに使用したモデル

これを実際の測定データと同じく CMP 重合と定速度 PSDM のそれぞれの方法で処理を行った結果をFig. 7 とFig. 8 に示す。点線はモデルの底面の位置である。

どちらもコンクリートの底面の反射が明瞭に表れているが、PSDM の場合表面地形（水通しの窪み）の影響がより少ない結果が得られた。10m より深い部分に見られるのは、2 度目の反射波か、S 波の反射、変換波と考えられる。

コンクリートに比べて地盤の P 波速度が遅く、底面からの反射波は位相が逆転するため、図では負の数値を表す黒色で現れている。また、震源時間関数のピークまでの時間を用いて時間をずらしてあるので、反射波の負のピークが反射面に対応する。

シミュレーションで使用した周波数 400Hz において、速度 3.5km/s のコンクリート中の P 波の波長は 8.75m であり、対象に対して長すぎるが、反射波のピーク的位置は底面の深度を正しく表している。この結果からは本手法が堰堤底面のイメージングに有効であることが示唆される。

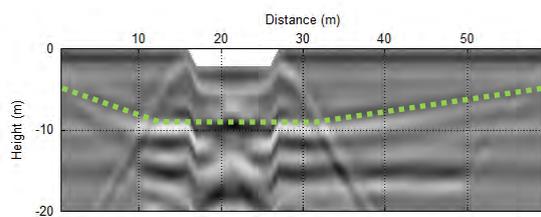


Fig. 7 シミュレーションデータの CMP 重合による処理結果

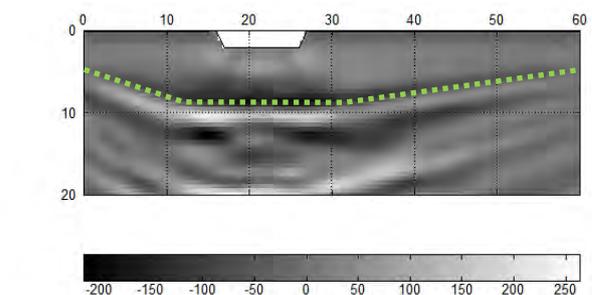


Fig. 8 シミュレーションデータの定速度 PSDM による処理結果

## 6. 考察

既設砂防堰堤で極浅層反射法地震探査を行い、CMP 重合と定速度 PSDM で解析処理した結果、基礎部底面からの反射と見られるイベントを検出し、地下埋没部分の形状を推定することができた。PSDM 処理では水通し部分などの表面地形にあまり影響を受けず、わかりやすい反射断面が得られた。

定速度 PSDM 処理において問題となる点として、速度構造の正確さ、使用する周波数帯があげられる。速度を変えて PSDM 処理をした結果 (Fig. 4) によると、速度によって見かけのイメージがかなり異なることが分かる。今回の砂防堰堤ではトモグラフィの結果を参照できたことから、速度構造に大幅な間違いはないと考える。また、コンクリート構造物の場合は、地盤に比べると速度のばらつきが少なく、結果に大きな違いを与えないと考えられる。

使用する地震波の周波数帯は、結果の解像度に影響

を及ぼす。今回の反射法探査では、100~600Hz が卓越した。600Hz の場合でコンクリート中の P 波の波長が約 5.8m となり、求める精度と比べるとかなり長い。ただ、シミュレーションからも示唆されるように、目標とする堰堤底面以外の不均質が存在しない場合には、地震波の波長よりも細かい精度で反射面の位置を求めることは可能である。フィルタやデコンボリューションを適切に適用すれば、より解釈しやすい反射断面を得られることが期待される。解析での精度の向上が今後の課題である。

## 謝辞

本研究に際し、国土交通省中部地方整備局天竜川上流河川事務所には大変お世話になった。