

# コンクリート構造物における波動伝播速度の 測定手法に関する解析的研究

東北学院大学工学部 環境建設工学科

○学生会員 日下 開斗

東北学院大学工学部 環境建設工学科

非会員 橋見 龍人

東北学院大学工学部 環境建設工学科

正会員 李 相勲

## 1. はじめに

コンクリートの弾性波速度は弾性係数と比例関係にあり、既設構造物の圧縮強度を推定するのに非常に大事なファクターである。すでに表面2点法という非破壊検査手法が存在するが、この方法では断面内部の劣化状態が反映出来ず全体を代表する材料強度として判断することが難しい。本研究では、コンクリート壁部材を想定した解析モデルを作成し、圧縮強度やコンクリートの厚さを変更して固有値解析や衝撃による時刻歴応答解析を行い、打撃点周囲およびその断面の反対側の加速度応答から弾性波速度を求める。また、その結果と実測値を比較し、最適な測定手法を検討し報告する。

## 2. 解析による弾性波速度の測定法

本研究では汎用解析プログラムのmidas FEAを用いた。プレプロセッサで解析モデルを作成し、三角型時刻歴荷重を載荷して動的弾性応答解析を行う。解析で得られた加速度波形から周波数解析より共振周波数を求め、以下に示す式(1)より、弾性波速度  $V_p$  を算出する（多重反射法）。また、打撃点から断面の反対側に振動が伝わるまでの時間を2点の加速度波形における衝撃波の到達時間差 ( $\Delta t$ ) より求め下式(2)から弾性波速度  $V_t$  を算出する（透過法）。

$$V_p = 2fD \quad (1)$$

$$V_t = D/\Delta t \quad (2)$$

ここで、 $f$ ：共振周波数、 $D$ ：測定断面の厚さ

## 3. 弾性波速度の測定対象

### 3.1 解析モデル（コンクリート円柱）

直径10cm、弾性係数  $2.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$  のコンクリート円柱を想定し、高さ  $h$ （図1）を40cm, 80cm, 120cmと変更しながら解析を行った。次に同じく直径10cm、高さ40cmの大きさを固定してコンクリート円柱を想定し、弾性係数を  $2.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ,  $2.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ,  $3.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$  と変更しながら伝播速度の変化を求めた。ポアソン比はコンクリート標準示方書の設計値を参考に0.2とした。

### 3.2 解析モデル（コンクリート橋台）

また、福島県常磐自動車道に適用されている橋台を参考にコンクリート壁部材（図2）のモデルを作成し、解析を行った。モデルは横4.0m、高さ4.0m、厚さ1.3mで弾性係数は実際に使用したコンクリートの圧縮強度から以下の推定式(3)を用いて算出<sup>2)</sup>し、 $3.08 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ で設定した。ポアソン比は円柱供試体同様0.2とした。

$$E = \left( 2.2 + \frac{f'_c - 30}{33} \right) \times 10^4 \quad (3)$$

$$(30 \leq f'_c < 40 \text{ N/mm}^2)$$

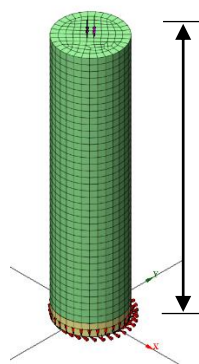


図1：円柱モデル

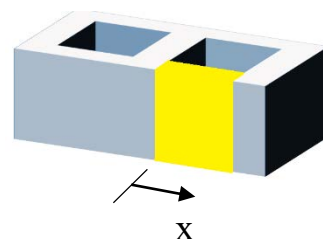


図2：橋台モデル

キーワード：弾性波速度，多重反射法，共振周波数，透過法

連絡先：〒985-8537 多賀城市中央 1-13-1 TEL022-368-1116

## 4. 解析結果

### 4.1 円柱モデル

断面寸法を固定して高さを変えながら行った円柱モデルに対する解析結果から、高さ別の弾性波速度の変化を図3に弾性係数と弾性波速度の関係を図4に示す。図3より弾性波速度はある一定の長さ以上になると高さによる影響は見られなくなることが確認された<sup>3)</sup>。また、図4より弾性係数が大きくなると弾性波速度は速くなる。

### 4.2 橋台モデル

橋台モデルに対する解析結果から弾性波速度解析値を図5に、同研究グループが実物の橋台構造物に対して行った多重反射法による弾性波速度の実測値を図6に示す。図5より透過法では弾性波速度に変化は見られなかったが、多重反射法では2.0m点で伝播速度は遅くなった。

解析の結果多重反射法を用いて求めた弾性波速度の平均と実際の橋台に多重反射法を適用し求めた実測値の平均はそれぞれ3531[m/s]、3526[m/s]でありほぼ一致していることがわかった。透過法を用いて求めた弾性波速度は3点とも3698[m/s]と同じ値になった。

本研究の解析結果では、多重反射法より透過法で得た弾性波速度のほうが値は大きくなっている。

## 5. 結論

今回の研究を経て以下の知見を得た。

- ① 円柱モデルの解析結果から、柱の高さ方向に求める弾性波速度はその形状に影響されるが断面寸法に対する高さの比が、一定以上になると弾性波速度は変化しない。
- ② 弾性係数と弾性波速度が比例関係にあることを本研究の解析で確認した。
- ③ 解析では透過法は測定場所を問わず一定値を表しているが実際の現場では適用性が乏しいので解析での参考値として、多重反射法と併用することが望ましい。
- ④ 解析結果と実測値の弾性波速度がほぼ一致していることから、解析が実測値との比較より構造物の欠陥・損傷などの判定に使える可能性を示した。

## 6. 参考文献

- 1) 2017年制定コンクリート標準示方書設計編，土木学会発行
- 2) 鉄筋コンクリート工学第2版，技報堂出版，P.22
- 3) 明石京介，加藤圭太：コンクリート供試体の弾性波速度に対する解析的検討，平成28年度土木学会東北支部技術研究発表会概要集V-5

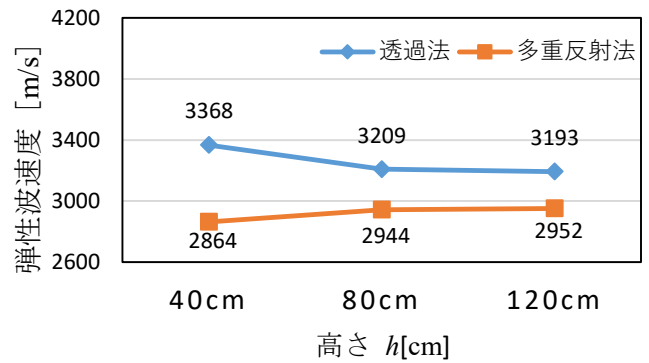


図3：高さ別の弾性波速度の変化 ( $E=2.0 \times 10^4$ )

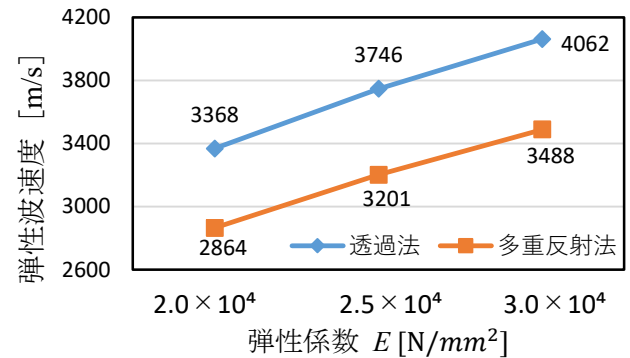


図4：弾性係数と弾性波速度の関係 ( $h=40\text{cm}$ )

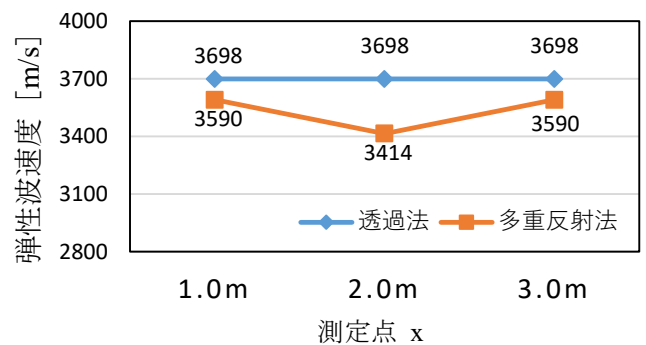


図5：弾性波速度解析値（橋台モデル）

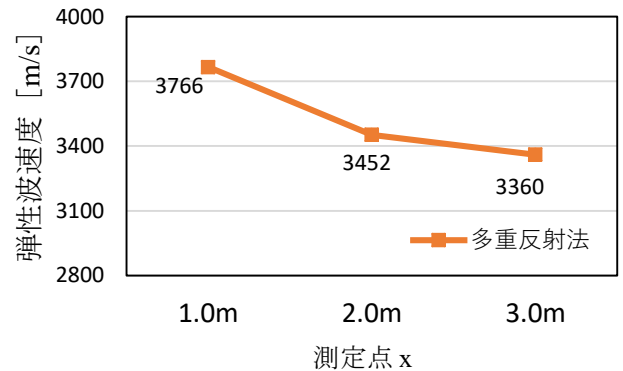


図6：多重反射法による弾性波速度の実測値（実物橋台）