

円柱供試体の弾性波速度測定に及ぼす供試体の細長比の影響

(株) 東洋計測リサーチ 正会員 ○山下健太郎
アプライドリサーチ (株) 正会員 境 友昭
日本大学 学生会員 池端 宏太

1. はじめに

現在、衝撃弾性波法を使用した、新設・既設建造物のコンクリートの圧縮強度推定の場面では、同一配合で作製した円柱供試体や、建造物から抜きとったコア試験体を利用して、予め弾性波速度と圧縮強度の関係を調べて、推定精度の向上を図る方法がある^{*1)}。後者による場合、建造物の部材厚さや、配筋状況といった要因により、様々な細長比をもつ試験体が存在する状況である。本論では、波動の多重反射から求めた弾性波速度と供試体の細長比の関係について、レイトレースによる数値計算、および樹脂製、コンクリート製の円柱試験体を用いて検証を行った結果を報告する。

2. 円柱供試体の細長比と見かけの弾性波速度の関係の検証

2.1 数値計算による検証

コンクリートの圧縮試験に使用される円柱供試体は、有限の円形断面を持つ柱状体であるが、衝撃弾性波法では、円柱体内を軸方向に多重反射する波動が、最終的には定在波となり円柱体の高さの2倍の長さを波長とする固有振動数を持つとされている。この場合の円柱体は1次元の棒としてモデル化されており、高さとの直径の比が異なっても、軸方向の固有振動数に違いはない。しかし、鋼球などの打撃によって発生した円柱体の頂部に入力された波動には、対向面（底面）に向かって直進する経路だけでなく、3次的に広がりを持ちながら、円柱の側面で複数回反射を繰り返して対向面に到達する経路もあるはずである。この場合、円柱体を伝搬する波動は、複数の経路を辿った波動が合成されたものと考えて良い。合成された波動は、式(1)のインパルス応答の畳み込み積分によって得られる。

$$y(t) = \int_0^{\infty} x(t-\tau)h(\tau)d\tau \quad (1)$$

ここで、 τ は遅れ時間、 h はインパルス応答である。インパルス応答は、遅れ時間とその時の振幅を持つ。遅れ時間は、波動の伝搬距離と波動の位相速度によって得られる。振幅は、材料がコンクリートであることを考慮すると、伝搬中での内部摩擦による減衰、円柱体の側面で波動が反射する

ときの反射率、また波動の測定を円柱体の軸方向に対する振動の鉛直成分として捉えることから、波動の進行方向に対する補正を考慮する必要がある。図2は、インパルス応答をレイトレースによって先験的に求め、合成された波形の周波数と入力した振動の周波数の比を計算したものである。多重反射の周波数から弾性波速度を求める場合、周波数の低下は、直ちに弾性波速度の低下を意味する。計算では、減衰の有無についても検討

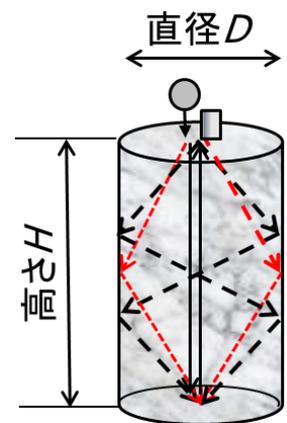


図1 波動の伝搬イメージ

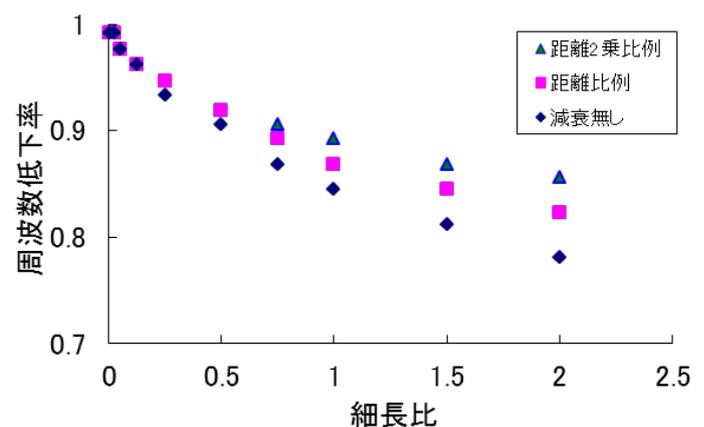


図2 柱状体の細長比と周波数の低下(数値計算)

したが、図に示すとおり、減衰が大きいほど、細長比による周波数の低下が小さいことがわかった。

2.2 供試体実験による検証

理想的な弾性体に近いと見なせるポリプロピレン樹脂製（以降PP）の円柱（φ102mm, H1000mm）、および、コンクリート製の円柱（φ100mm, H1000mm）試験体を準備し、切断して長さを変えることによって細長比を変化させた条件で、細長比と弾性波速度（波動の多重反射の周期と試験体の実長より計算した）の関係を実験的に検証した。波動の入力には、直径30mm, 16mm, 10mm, 4mmの鋼球を使用し、打撃点付近に設置した加速度計（感度100mV/G, 周波数0.5~15kHz）により、加速度応答波形を測定した。AD変換速度は10μs, 測定時間長は10msとし、鋼球径ごとに5回ずつ測定した結果を平均して細長比毎の弾性波速度とした。図3に実験結果を示す。なお、PPとコンクリートの弾性波速度が大きく異なることから、最も細長比の小さい（細長い）条件での弾性波速度を1とした際、速度比で表した。

数値計算による結果と同様に、実験においても、細長比が大きくなると、見かけの弾性波速度が低下する傾向が示された。

ここで、試験体（330mm）を挟み込んで測定を行い、透過した波動の観測波形から、それぞれ、打撃波形のピーク値及び応答波形の第一波のピーク値を読み取り、(2)式によってパワー伝送比（減衰比）の計算を行った。

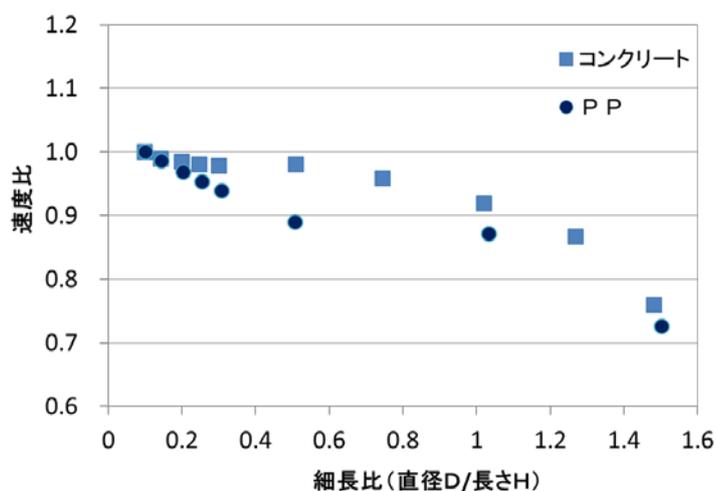


図3 柱状体の細長比と見かけの弾性波速度

$$H = -20 \log \frac{A_{input}}{A_{output}} \quad (2)$$

A_{input} は入力の加速度振幅、 A_{output} は受振波の加速度振幅を示し、値が大きいほど減衰が大きいことを意味する。計算の結果、PPの減衰比は4.6dB程度であるのに対し、コンクリートでは、13.9dB程度であり、それぞれの材料の減衰傾向の違いが確認された。数値計算結果と同様に、減衰傾向の違いにより、見かけの弾性波速度の低下度合いが異なる傾向も見られた。実験結果ではその差異は比較的小さいものとなったが、試験体の細長比のみならず、波動の伝搬経路上の減衰等の影響も受けるという仮定に対する裏付けも得られたと言えよう。

3. まとめ

衝撃弾性波法による波動の多重反射の周波数を利用した円柱供試体の弾性波速度測定法について、レイトレースによるインパルス応答の数値解法および、複数の材質の試験体を用いての検証実験を行った結果、試験体の細長比や波動の伝搬経路上の内部減衰がこれに影響を及ぼすことが分かった。数値計算での細長比に対する弾性波速度変化の傾向と実際の傾向には違いがあり、数値計算モデルの精度向上が今後の課題となる。また、円柱供試体の弾性波速度を多重反射の固有振動数から求める場合、細長比の影響を受けることは明かであるため、今後、その影響を定量的に把握し、弾性波速度の補正方法の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 岩野聡史 他 衝撃弾性波法と微破壊試験の併用による構造体コンクリートの圧縮強度推定方法の提案 土木学会論文集E2 vol.69, No2, 2013
- 2) 山下健太郎 他 多重反射によるコンクリート構造物内部欠陥検知の理論的検討, 日本非破壊検査協会平成25年度秋季講演大会講演概要集 2013年11月