

コンクリート板とコア供試体の弾性波速度と機械インピーダンスの比較

東海大学 学生員 ○山下 大樹
東海大学 正会員 極檀 邦夫
東海大学 学生員 伊藤 雅浩
東海大学 学生員 久保 元樹

1. まえがき

コンクリート板とコア抜きした円柱供試体では、圧縮力による変形に対して境界面の拘束が異なる。板とコア供試体では、弾性波速度、機械インピーダンスおよびシュミットハンマーが、どのように変化するか実験した。弾性波速度は、透過波と多重反射波の2種類測定した。次に、圧縮試験により得られた圧縮強度と、弾性波速度、機械インピーダンス、シュミットハンマーとの相関を調べた。

2. 供試体と測定方法

供試体の大きさは、900×900×210mmの板で、設計強度は、21, 27, 33, 40Mpaである。測定は、各板について4箇所とし、1箇所につき、1.5cmメッシュで25点の測点を設けて、機械インピーダンスと弾性波速度およびシュミットハンマーを測定した。

同一箇所からコア供試体を採取し、円柱供試体についても機械インピーダンス、弾性波速度、シュミットハンマーを測定してから、圧縮試験により圧縮強度を求めた。

機械インピーダンスの測定には、自作インパルスハンマーと市販品のダイトラン 5850A を用い、15mmメッシュを25点記してその交点をほぼ一定の強さで打撃した。弾性波速度の測定は、加速度計を打撃面に設置し、多重反射する共振周波数より求めた。次に、インパルスハンマーと加速度計で挟み透過法で測定した。

縦弾性波と横弾性波は、三軸加速度計を用いて、約4cm離れた点を直径15mmの鋼球で軽打して同時に測定した。測定装置は、2ch仕様、サンプリングクロック1μs、サンプリングデータ数8000である。

3. 測定結果および解析

3.1 板とコアの弾性波速度の比較

現地構造物は床版、壁面など板状の形態が一般的である。非破壊試験により弾性波速度を測定し、換算式に当てはめてコンクリートの圧縮強度を推定することが

しばしばある。圧縮強度は、コア採取した円柱供試体を圧縮試験して求めている。

そこで、板と板からのコア供試体の弾性波速度を測定して比較した。板とコアの縦弾性波速度(P波)は、衝撃による弾性波が伝搬する経路の周囲の境界面が拘束されているか否かで速度が異なる。周囲拘束の無いコア供試体の縦弾性波速度 V_p は式(1)で、境界面の拘束がある板の場合は式(2)が適用される。

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots\dots (1)$$

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \dots\dots (2)$$

ここに、 E は弾性係数、 ρ は密度、 μ はポアソン比である。

板とコアの弾性波速度の測定結果を図-1に示した。

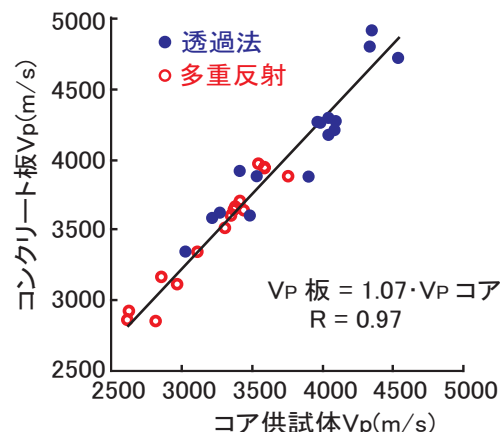


図-1 板とコアの弾性波速度

図の黒丸は透過法による弾性波速度、白丸は多重反射による弾性波速度である。両者を総合した回帰直線の傾きは1.07となり、板の弾性波速度はコアと比較すると、107%と速くなっている。縦弾性波速度(P波)と横弾性波速度(S波)から算出した平均的な動弾性係数とポアソン比0.22を式(2)に代入すると板の弾性波速度はコアの弾性波速度の107%となるので測定値とよく一致している。

3.2 板とコアの反発値と機械インピーダンス

弾性波速度と機械インピーダンスの関係を図-2に示す。

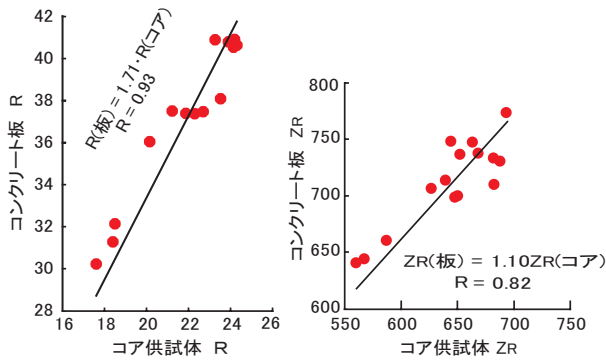


図-2 板とコアの R 値と Z_R

応力はひずみに弾性係数を乗じて得られる。強度指標である機械インピーダンス Z_R は、コンクリートの抵抗力とも考えられる。コア供試体の場合は、 $F = Z_R = E\epsilon$ となり、板の場合は弾性波速度と同様にポアソン比が付加されて、 $Z_R = E\epsilon \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}$ となる。実測したポアソン比 0.22 を板に当てはめると理論値は 114% となる。実験では、板とコアの比は 110% となりとほぼ一致している。

シュミットハンマーの反発度 R は各供試体でばらつきが大きく、板とコアの比は 171% と異常に大きな相違を示した。なお、ハンマー打撃によるコア供試体の移動を防止するため、約 400kg のコンクリート板を載荷し固定した。これほど大きな相違が生じる根拠を弾性波動論や FEM 解析によって検討する必要があると思われる。

3.3 圧縮強度と弾性波速度

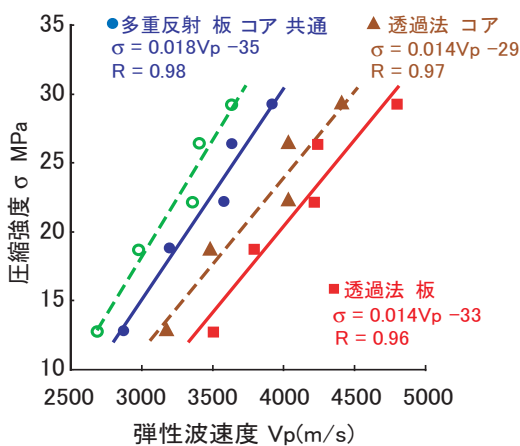


図-3 弾性波速度と圧縮強度

図-3 は、コンクリート板とコア供試体での弾性波速度を、多重反射から計算した値と、表面から裏面へ弾性波が透過する時間差から計算した値との圧縮強度の関係を示す。測定方法が異なっても、相関係数 0.98 と良好な結果が得られた。コンクリート板とコア供試

体では、境界面の拘束の有無に関係なく透過法の速度が多重反射波よりも十数 % 大きい値となった。多重反射は、反射を繰り返すたびに微少な気泡などによって速度が低下するものと推測される。

3.4 圧縮強度と反発値と機械インピーダンス

図-4 の左図に、圧縮強度とシュミットハンマーの反発値 R の実験値を示す。相関関係は認められるが、回帰式に圧縮強度 25MPa を代入すると、反発値は、コアでは 22.9、板では 33.9 となり、比率 (33.9/22.9) は 170% となる。この相違は異常に大きいと思われる。一方、同一のコア供試体での圧縮強度と機械インピーダンスの関係は図-4 の右図のとおりである。

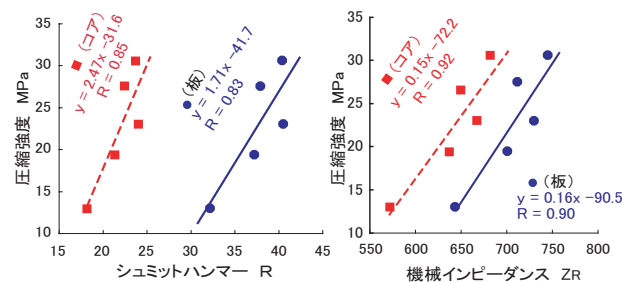


図-4 圧縮強度と機械インピーダンスと弾性波速度

圧縮強度 25MPa のときの機械インピーダンス Z_R は、コアでは 648、板では 721 となり、比 (721/648) は 111% となる。この値は、境界面の拘束の有無による強度変化と一致している。シュミットハンマーとインパルスハンマー打撃による機械インピーダンスは、コンクリートに鋼棒が衝突する点では同等のように見えるが、機械インピーダンスは、コンクリートを押す前半 Z_A と弾性により復元する後半 Z_R とに分離していること、打撃力を衝突速度で除して値を算出していることによって理論値と適合する結果が得られたものと推量される。

5. まとめ

実験を総括すると次のとおりである。

1. 板とコア供試体の弾性波速度は、板の速度とコアの速度の比率は 107% となり理論式と一致した。
2. 板とコア供試体の機械インピーダンスは、板とコアとの比率が 110% となり、理論式の 114% とほぼ一致した。
3. 圧縮強度 25MPa のとき、板とコア供試体のシュミットハンマー R 値を比較すると、板 39.0:コア 22.9 となり比率は 170% と大きく異なったが、機械インピーダンス Z_R では、板 721:コア 648 となり比率は 111% と理論値と一致した。