

## 円柱供試体の圧縮強度と弾性波速度、機械インピーダンスおよび弾性係数の相関関係

東海大学工学研究科	学生員	久保	元樹
東海大学土木工学科	正会員	極檀	邦夫
アプライドリサーチ(株)	正会員	境	友昭
日東建設(株)	正会員	久保	元

### 1. まえがき

コンクリート強度の非破壊試験法として、シュミットハンマー法が広く普及しているが、コンクリートのような不均質材料の場合、シュミットハンマーの反発度は、衝突点の骨材の有無、表面の風化、乾湿などによって異なるため、強度を推定する方法としては問題があるとされている。そこで、直径 150mm 高さ 300mm の円柱供試体を用いて、種々の非破壊試験法を比較するために、三軸加速度計による縦弾性波速度、横弾性波速度と機械インピーダンスおよびシュミットハンマーの反発度を測定し、圧縮強度と比較した。

圧縮強度と弾性波速度の相関がもっとも良く、次に打撃応答波形の後半波形から求めた機械インピーダンスとの相関が良かった。

### 2. 供試体と測定方法

供試体は、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、早強セメントの 3 種類で設計強度を 15MPa から 36MPa まで、3MPa ごとに 8 段階変化させた円柱供試体をセメント別で 3 本ずつ、計 72 本を製作した。スランプ 80mm、最大骨材寸法 25mm である。測定は円柱供試体の中心点を通る 15mm メッシュを記し、その交点を加速度計が内蔵されたインパルスハンマー（ハンマー質量 190g、打撃力補正機能付き）で打撃して機械インピーダンスを求めた。

縦弾性波速度と横弾性波速度は、3 軸加速度計 PCB U356A11 を打撃面に押し付け、約 4cm 離れた対称点を直径 15mm の鋼球で軽打し、2 つの速度を同時に測定した。測定装置は、2ch 同時測定、サンプリングクロック 1 $\mu$ s、サンプリングデータ数 8000 である。

### 3. 測定結果および考察

#### 3.1 圧縮強度 と縦弾性波速度 $V_P$

図-1 に圧縮強度 と縦弾性波速度  $V_P$  の関係を示す。縦弾性波速度は円柱供試体を数十回往復した多重反射

振動から計算しているため、供試体全体の平均的な物性を反映するものと考えられる。圧縮強度と弾性波速度は相関係数 0.94 と良好な関係がある。

普通ポルトランドセメント、高炉セメント、早強セメントは、回帰式上にほぼ均等に分布しているため、セメント種類が違う影響は見られなかった。

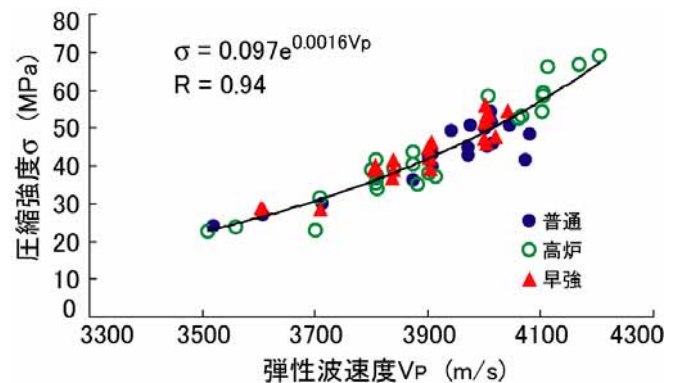


図-1 圧縮強度と弾性波速度

#### 3.2 圧縮強度 と機械インピーダンス $Z_R$

圧縮強度 と機械インピーダンス  $Z_R$  の関係を図-2 に示す。両者は相関係数 0.90 と良好な関係がある。

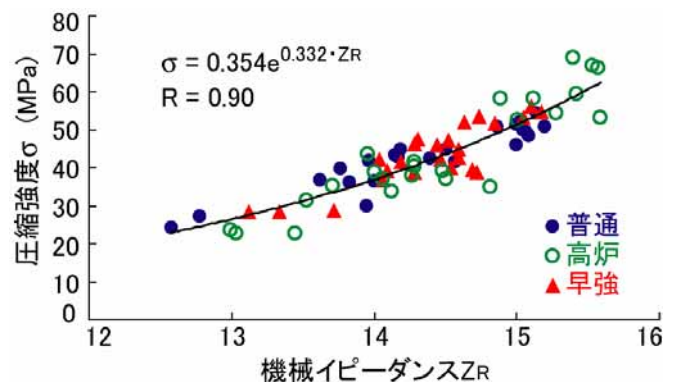


図-2 圧縮強度と機械インピーダンス

機械インピーダンスと圧縮強度の相関は、弾性波速度の場合よりも少し劣るが、これは測定面の影響によ

キーワード：弾性波速度，機械インピーダンス，圧縮強度

連絡先：神奈川県平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL：0463-58-1211 E-mail：gokudan@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

るものと考えられる。機械インピーダンスはコンクリートを打撃したときのひずみが高さ方向に一様に生じると仮定して求めているが、実際は、ひずみは一様に生じるのではなく、表面近傍の影響を強く受けていると推測される。つまり機械インピーダンスはコンクリートの表面近傍の物性を反映した指標である。これに対し、弾性波速度は円柱供試体内部を往復する多重反射振動から算出しているため、供試体全体の平均的な物性を反映した値であると考えられる。

### 3.3 圧縮強度 と反発値 R

圧縮強度 とシュミットハンマー反発値 R の関係を図-3 に示す。普通セメントでは全体的に、高炉セメントでは反発値 25~28 の間でバラツキが大きくなっており、相関関係は良くないが、早強セメントは良好である。回帰式の相関係数は 0.76 となり、機械インピーダンスと圧縮強度の相関関係より劣っている。シュミットハンマーは、コンクリート表面に打撃用の重錘を一定速度で衝突させ、その反発率から強度を推定する方法であるが、コンクリート内部全体の強度を反映するものではなく、表面のレイタンス、気泡、骨材などの影響を受けるといわれている。一方、後半機械インピーダンスは、表面の影響を強く受ける前半ではなく、コンクリートの弾性によって、コンクリートがハンマーを押し戻す時間帯の強度指標を算出するため、コンクリートの表面状態の影響が軽減されている。

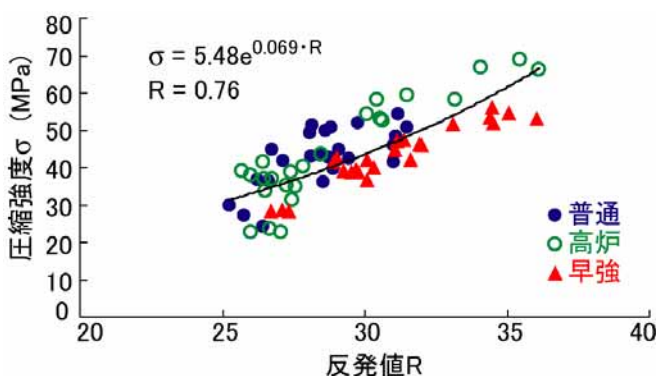


図-3 圧縮強度とシュミットハンマー反発値

### 3.4 圧縮強度 と動弾性係数 E

円柱供試体を伝わる縦波速度  $V_p$  と横波速度  $V_s$  と動弾性係数  $E_d$  とは次式の関係があり、密度 と弾性波速度がわかれば算出することができる。

$$E_d = \frac{\rho(3V_p^2 - 4V_s^2)V_s^2}{(V_p^2 - V_s^2)}$$

図-4 に圧縮強度 と動弾性係数  $E_d$  の関係を示す。

セメントの種類が異なっても、相関係数は 0.94 と圧縮強度と機械インピーダンスの相関関係より良好であり、弾性波速度の相関関係と同等である。

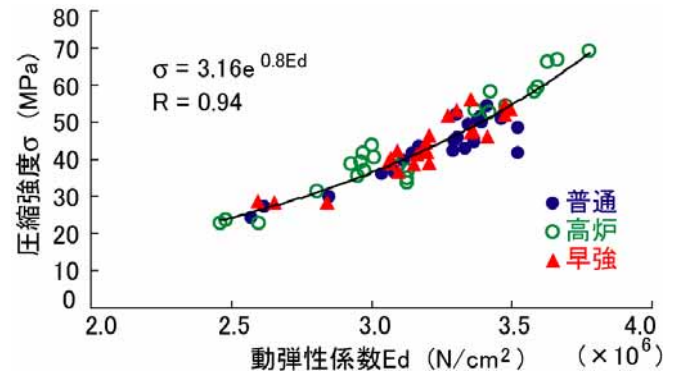


図-4 圧縮強度と動弾性係数

これは、動弾性係数と機械インピーダンスおよび弾性波速度は理論的に直接関係があるため、圧縮強度はその他も影響する。動弾性係数を非破壊試験により得られれば圧縮強度のみならず、変形について検討することの可能になるので、現場で実験式を求めておけば施工管理に活用できると思われる。

## 4. まとめ

今回実施した実験をまとめると次のとおりである。

1. 圧縮強度と弾性波速度の相関が最も高く、次に機械インピーダンスの相関が良かった。セメントの種類による影響は見られなかった。
2. 圧縮強度とシュミットハンマー反発値の関係は、弾性波速度と機械インピーダンスよりもバラつきが大きく、良好な相関関係は得られなかった。
3. 圧縮強度と動弾性係数には良好な相関関係があるので、非破壊試験により動弾性係数を求めて、現場の施工管理に活用が期待される。

## 参考文献

- 1) 久保元樹他、打撃応答波形によるコンクリート強度の推定、土木学会、第 58 回年次学術講演会講演概要集、2003 . 9 .
- 2) 久保元樹他、コンクリートの機械インピーダンスと弾性係数の測定、土木学会、第 32 回関東支部技術研究発表会、2005 .