

機械インピーダンス法による高強度コンクリートの強度推定

日東建設（株） 正会員 ○久保 元樹
日東建設（株） 正会員 久保 元
日東建設（株） 正会員 金田 重夫
アプライドリサーチ（株） 正会員 境 友昭

1. まえがき

これまで、機械インピーダンス法(MIM)の測定装置は、普通強度のコンクリートに対応した較正曲線を使用し、速度補正を行った機械インピーダンス値(MIV)から1軸圧縮強度を推定していた。MIMが圧縮強度 40N/mm^2 を越える高強度コンクリートの強度推定についても適用可能であることは確認していたが¹⁾、較正曲線を定式化するには至っていなかった。本報告では、ハンマ打撃時の運動方程式の数値解によって、打撃速度補正を行ったMIVがコンクリート表面のバネ係数度と強い関係を持つこと、また円柱供試体の圧縮試験およびMIM試験から、MIVとコンクリートの弾性係数が比例関係にあることを示す。数値解析および試験結果から、MIMが高強度コンクリートの圧縮強度推定について高い適用性を持つことがわかった。

2. ハンマ打撃の運動方程式

先端に半径 R の球冠を持つ質量 M のハンマが、水平なコンクリート表面に衝突する現象について考察する。ハンマは、コンクリートに衝突しコンクリート表面には、変位 x が生じる。ハンマとコンクリートの接触面積は、球冠のハンマ先端を剛であると仮定すると $A = 2\pi Rx$ である。コンクリートの音響インピーダンスを z とすると、接触面に作用する応力は $\sigma = z dx/dt$ である。さらに、コンクリート面はバネ的な挙動をすると仮定し、単位面積当たりのバネ係数を k とする。これらの仮定の下ハンマの運動方程式として、式(1)が得られる。

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + 2\pi R z x \frac{dx}{dt} + 2\pi R k x^2 = 0 \quad (1)$$

左辺第1項は、ハンマの慣性力、第2項はコンクリート表面の音響インピーダンスによる抵抗力、第3項はバネ係数度による抵抗力である。運動方程式の妥当性については既に報告している²⁾。数値解を用いて、式(1)中のコンクリートパラメータが機械インピーダンスに及ぼす影響の度合いについて考察する。図1は、音響インピーダンス値と機械インピーダンス値の関係を示したものであるが、音響インピーダンスが変化しても機械インピーダンス値の変化はほとんど無く、ハンマの運動が式(1)で表現できる場合、コンクリートの音響インピーダンスは、機械インピーダンス値の測定値に影響を及ぼさないことがわかる。一方、図2のように機械インピーダンス値とコンクリート表面のバネ係数度の間には、機械インピーダンス値の3乗とバネ係数度が比例する関係があり、機械インピーダンス値がコンクリート表面のバネ係数度を測定していることがわかる。

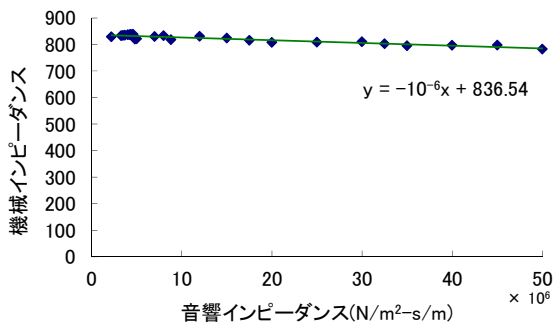


図1 音響インピーダンスの効果

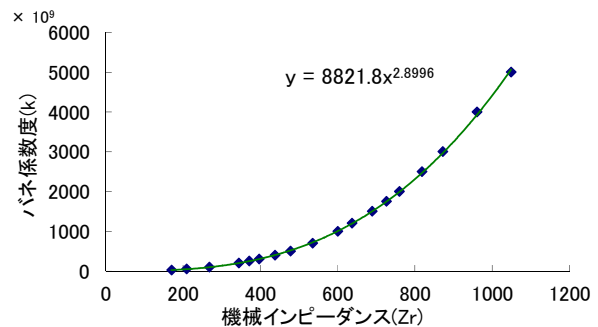


図2 バネ係数度の効果

キーワード コンクリート, 圧縮強度, 非破壊試験, 機械インピーダンス

連絡先 〒098-1702 北海道紋別郡雄武町字雄武 1344-5 日東建設(株) TEL 0158-84-2715

3. MIV と弾性係数, 圧縮強度の関係

試験に使用した供試体は、設計強度を9水準に変化させたφ150×H300mmの円柱供試体で、各2本ずつ、計18本試験を実施した。実際の圧縮強度は、50～88N/mm²であった。圧縮試験では、同時に応力ひずみ関係の測定も行っている。

図3は、供試体試験時に測定したMIV(380gハンマで打撃)とひずみ量500μストレイン時の割線弾性係数の関係である。MIVの約2乗値が弾性係数と比例関係にあることがわかる。図2に示されるMIV値の約3乗がコンクリート表面のバネ係数度に比例することを併せて考察すると、式(1)の運動方程式で考慮したバネ係数度は、弾性係数の2/3乗に比例する性質を持っている量であると考えて良い。図4は、同様にして求めた弾性係数と圧縮強度の関係である。圧縮強度は、弾性係数の約1.8乗に比例している。弾性係数が、ひずみ量に依存しない場合には、両者の関係は原理的に直線関係になるべきであるが、高強度コンクリートでのひずみ量の増加とともに弾性係数が低下するため、両者は正比例関係とはならないものと理解される。

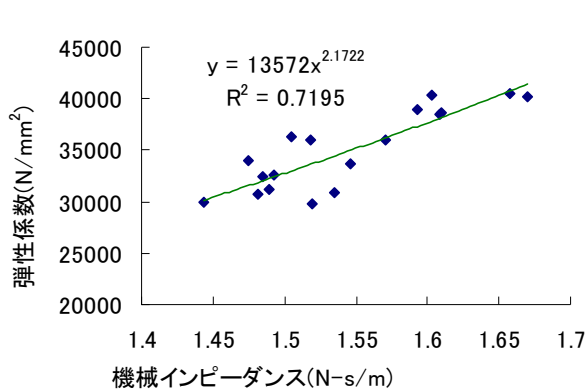


図3 機械インピーダンスと弾性係数の関係

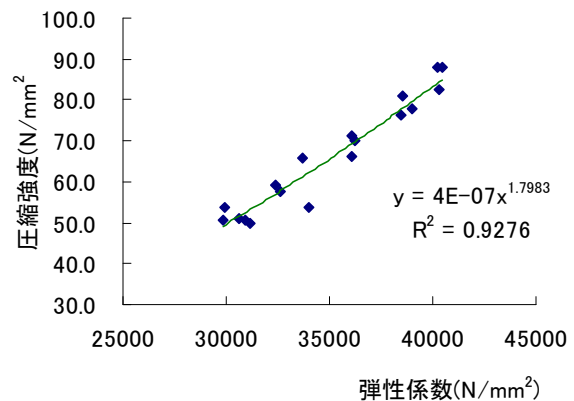


図4 弾性係数と圧縮強度の関係

4. 高強度コンクリート用の較正曲線

図5は、供試体試験によるMIV(380gハンマ)値と圧縮強度の関係を示すものである。MIVの4乗が圧縮強度に対応した値となることがわかる。なお、ここで使用しているMIVは、打撃速度による補正(打撃力の最大値が打撃速度の1.2乗に比例する)を行った後の値である。この結果から、高強度コンクリートの強度推定では、MIVの4乗値を用いることで対応可能であることがわかる。

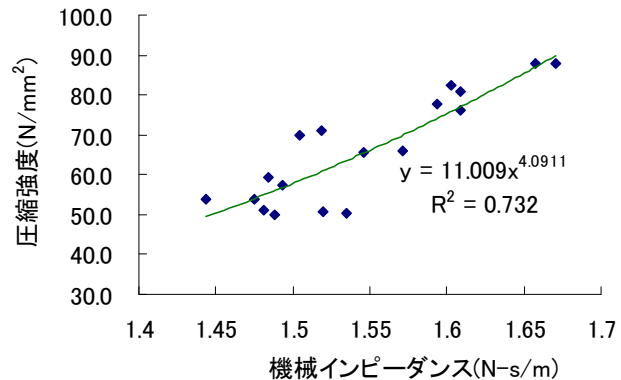


図5 機械インピーダンスと圧縮強度(高強度)

5. まとめ

機械インピーダンス値から圧縮強度を推定するという手法では、計測量がコンクリートの弾性領域の物理値であるのに対し、圧縮強度は塑性域である、という問題が残される。つまり、極限ひずみ量が、ここで想定している2200～2500μストレインから大きく外れると、そのまま圧縮強度推定誤差となる。今回の供試体の場合、極限ひずみ量の平均は2322μストレイン、変動係数は6.3%、最大最小値のレンジは、平均に対して約10%であり、この値は、MIMによる圧縮強度推定手法が持つ系統誤差の一つである。また、MIMでは、200～500μストレインのひずみ状態での弾性係数を測定しており、この状態での弾性係数から終局での弾性係数を推定する場合に誤差が生じる。このような誤差は、コンクリートの固有の性質に依存しており、今後の課題である。

参考文献

- 1) 金田重夫, 久保元, 中野泰宏, 久保元樹: 機械インピーダンス法による高強度コンクリートの強度推定について, 日本非破壊検査協会第3回シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査」 2009,8
- 2) 久保元, 金田重夫, 久保元樹, 極檀邦夫: ハンマ打撃によるコンクリート強度の推定, 日本コンクリート工学会, Vol.44, No.5, pp.41-44, 2006,5