

インピーダンス法によるコンクリート強度推定・原理と誤差

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

1. まえがき

機械インピーダンス法及びリバウンドハンマ法は、ハンマでコンクリート表面を打撃するという類似の測定手法に基づいており、いずれも非破壊(微破壊)によるコンクリート強度の測定方法である。しかし、両者には基本的な測定原理の違いがある。リバウンドハンマではコンクリートの反発度を測定するが、この測定原理では、打撃によってコンクリート表面に塑性変形が生じ、その過程で吸収されるエネルギーによって反発度が低下するとされている。塑性変形には、コンクリートの許容体積圧縮応力が関与し、この応力とコンクリートの圧縮強度が対応関係にあることから、結果的に圧縮強度が推定できる、という考えである。これに対し、インピーダンス法では、ハンマとコンクリートの接触面での機械インピーダンスを計測している。コンクリートの圧縮強度は、実験的に求めた較正係数を用いてインピーダンス値を圧縮強度に換算する手法を用いている。本論では、インピーダンス法によるコンクリート強度推定の基本原理を考察し、その原理から導き出される適用性、測定誤差について高強度コンクリートの強度推定方法を念頭に置き、考察する。

2. コンクリートの破壊時のひずみ

弾性係数が破壊に至るまで一定であれば、許容歪み量 ϵ_u と弾性係数 E の積によって破壊時の許容応力が推定されることになる。

$$\sigma_u = E\epsilon_u \quad (1)$$

しかし、図1に示すようにコンクリートはその強度とひずみ量によって見掛けの弾性係数が変わることが知られている。また、最大許容ひずみ量もコンクリートによって一定ではないことがわかる。すなわち、式(1)を用いて弾性係数からコンクリート強度を推定する方法では、弾性係数及び

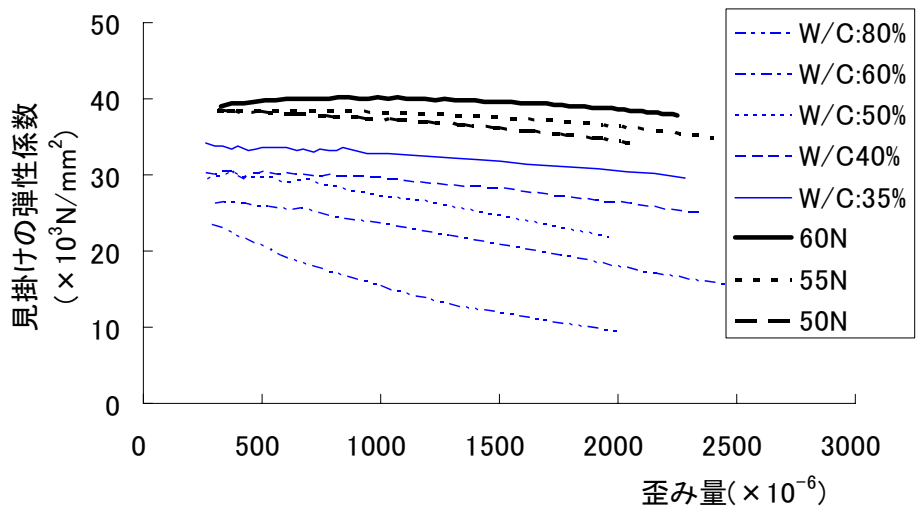


図1 コンクリートのひずみと見掛けの弾性係数の関係

許容ひずみ量の2つの変数が誤差要因となることがわかる。しかしながら、図1に示したコンクリートでは、大凡 2000 μ ストレインから 2500 μ ストレインの間で破壊に至っており、最大ひずみ量を、例えば 2250 μ ストレインとした場合、弾性係数から推定した圧縮強度の誤差は、約 $\pm 12\%$ となる。つまり、弾性係数の推定精度が十分に高いと仮定すれば、その誤差の範囲で圧縮強度の推定が可能であることが示されることになる。

3. 弾性係数

動的な変形を受けている状態のコンクリート内の応力 σ は、コンクリートの音響インピーダンスを $z = \rho c$ (ρ : 密度, c : 音速) とすると、 $\sigma = zv$ である。ここで、 v は、打撃によって生じたコンクリート内の振動速度であり、衝突面では、ハンマの速度に等しい。式(1)の関係を考慮すると、ひずみとハンマ速度の間

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雄武 1344-5 日東建設 (株) TEL0158-84-2715

には,

$$\varepsilon = \frac{v}{c} \tag{2}$$

の関係式が成立する。つまり、ハンマの打撃速度が大きい程、発生するひずみ量が大い、という常識的な結論に至る。しかしながら、インピーダンス法では、ハンマに内蔵した加速度計で打撃力を測定し、その信号レベルを測定時のトリガーとして利用している。すなわち、どのようなコンクリートに対しても打撃力がほぼ一定となるように設計されていることになる。これに対し、リバウンドハンマは、ハンマを駆動する力が一定となるように設計されているから、打撃速度がほぼ一定となる、という違いがある。図2は、図1に示している8種の供試体を対象に、一定応力(10N/mm²)時の見掛けの弾性係数と圧縮強度試験結果の関係を図化したものである。弾性係数と圧縮強度は比例関係にあり、相関係数も有意に高いことがわかる。つまり、弾性係数が測定されれば、これをもとに圧縮強度を推定しても、実用的な誤差は小さいとすることができよう。図3は、測定した機械インピーダンス(反発側)と見掛けの弾性係数の関係を示すものである。両者には高い相関関係があり、機械インピーダンスを計測して、弾性係数を媒介として圧縮強度推定にいたる過程では大きな誤差は生じないことが示される。

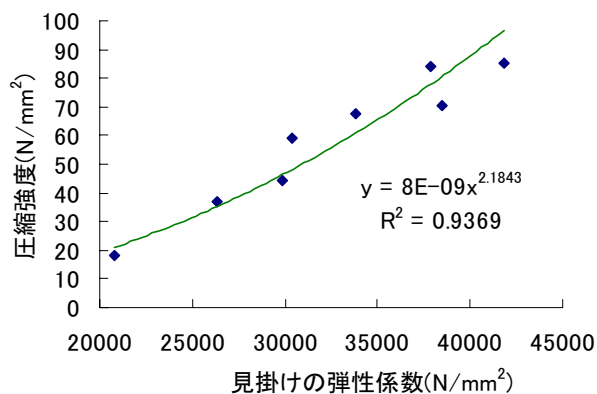


図2 見掛けの弾性係数と圧縮強度の関係

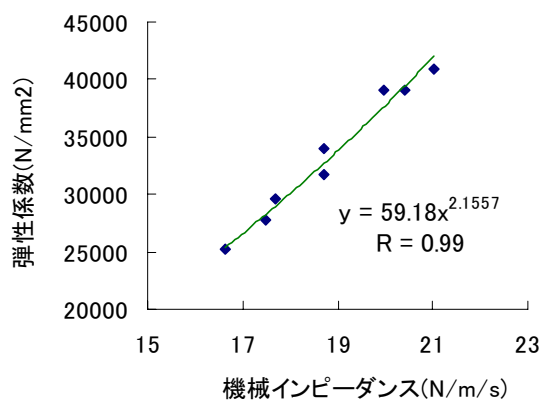


図3 機械インピーダンスと弾性係数の関係

4. 高強度コンクリートへの対応

図4には、試験に使用した8種のコンクリートについて機械インピーダンス値と圧縮強度の関係を示している。累乗近似しているが、ベキの値は5.8乗である。これは、図3及び図2で、弾性係数が機械インピーダンスの2.2乗、更に圧縮強度が弾性係数の2.2乗となっているためである。このような大きいベキ係数となるのは、圧縮強度が小さい程、弾性係数の歪み依存率が高いためである。図1に示されるように、高強度コンクリートでは、弾性係数のひずみ依存率が小さく、機械インピーダンスから圧縮強度を推定する場合のベキ係数が小さくなることが伺える。

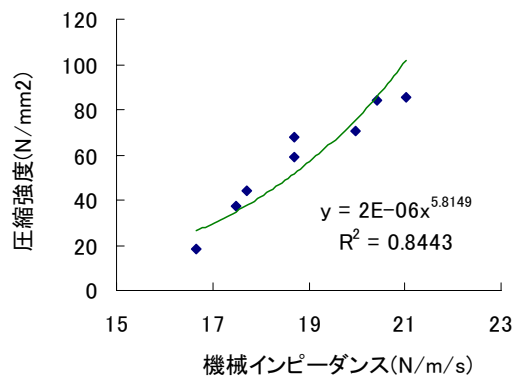


図4 機械インピーダンスと圧縮強度の関係

5. まとめ

コンクリートの破壊ひずみが強度に依らずほぼ一定であることから、弾性係数を測定することによって強度推定を行う論理が成立することがわかった。しかし、特に低強度のコンクリートの弾性係数はひずみ依存性が高く、測定した弾性係数から強度推定を行う場合には、コンクリートに作用する応力あるいはひずみ量を一定とするような測定方法が必要である。一方、高強度コンクリートでは、弾性係数のひずみ依存性が小さいため、弾性係数から強度推定する場合の誤差が小さく、機械インピーダンス法の適用性が高いと考えられる。ただし、圧縮強度を直接測定している訳ではないため15%程度の推定誤差は避けられないものと思われる。