

機械インピーダンス法における最大応力時のひずみ量の影響

東海大学 学生会員 ○渡邊 圭太 東海大学大学院 学生会員 市村 千佳
日東建設 正会員 久保 元樹 東海大学 正会員 笠井 哲郎

1. はじめに

機械インピーダンス法は加速度計が内蔵されたハンマでコンクリート表面を打撃することで得られる打撃力波形を解析し、コンクリート表面の機械インピーダンスを算出して非破壊で圧縮強度を推定する方法で、日本非破壊検査協会規格 NDIS3434-3 機械インピーダンス試験方法¹⁾として規格化されている。本論では、機械インピーダンス法によるコンクリートの圧縮強度の推定精度を向上させることを目的として、強度推定時に想定する最大応力時のひずみ量に関し、実験的検討を行った。実験はコンクリートの機械インピーダンス値、非線形特性、最大応力時のひずみ量などに影響を及ぼすと考えられるコンクリートの配合条件のうち、水セメント比(W/C)を変化させて行った。

2. 機械インピーダンス法の理論的枠組み

2. 1 基本原理

対象を完全弾性体と仮定し、質量 M のハンマが速度 V でばね係数 k のコンクリートに衝突する現象を考える。衝突によって生じたコンクリートの変位を x とすると、エネルギー保存の法則から式(1)が成立する。最大打撃力 F は、フックの法則から式(2)となり、式(2)を x について解き、式(1)に代入し整理すると式(3)が得られる。式(3)の $\sqrt{Mk}$ は、ばね質量系の機械インピーダンス Z であり、ハンマ質量が一定であれば、機械インピーダンスは、ばね係数 k と比例関係が成立する。

ばね係数は、縦弾性係数に相当する指標であると考えられ、コンクリートを弾性体と仮定した場合、コンクリートの縦弾性係数と機械インピーダンスにも比例関係が成立することとなる。また、ハンマでコンクリートを打撃した際に得られる打撃力の時間波形を図1に示す。打撃力の時間波形は、ハンマが貫入する貫入過程(作用)と、反発する反発過程(反作用)で構成される。反発過程においては表層の脆弱部の塑性変形が貫入過程で終了しているため、表層の影響を受けづらい。そこで、本論では式(4)によって反発過程の機械インピーダンス値 Z_R を算出した。式(4)の分母にあるべき乗値 1.2 は、ハンマの打撃速度に対する補正項である。

$$\frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}kx^2 \cdots (1), \quad F = kx \cdots (2), \quad Z = \sqrt{Mk} = \frac{F}{V} \cdots (3), \quad Z_R = \frac{F_{\max}}{V_R^{1.2}} = \frac{MA_{\max}}{\left(\int_{T_2}^{T_3} A(t)dt\right)^{1.2}} \cdots (4)$$

2. 2 圧縮強度推定式の構成

コンクリートを弾性体とみなすと、圧縮応力(σ)とひずみ(ε)の間には E を弾性係数として式(5)が成立する。

$$\sigma = E\varepsilon \cdots (5)$$

式(5)より、最大応力時のひずみが一定であれば、縦弾性係数から、圧縮強度の推定が可能となるが、実際にはコンクリートの応力-ひずみ関係は、応力レベルにより縦弾性係数は変化する。このため、式(3)の機械インピーダンス値 Z_R の2乗と縦弾性係数の比例関係は、低応力下で成立し、 Z_R は、低応力下の縦弾性係数の指標となる。以上を考慮し、 Z_R からコンクリートの圧縮強度を推定する式を以下のように構成した。

$$\sigma_{\max} = \alpha \times Z_R^\beta \times 10^4 \cdots (6)$$

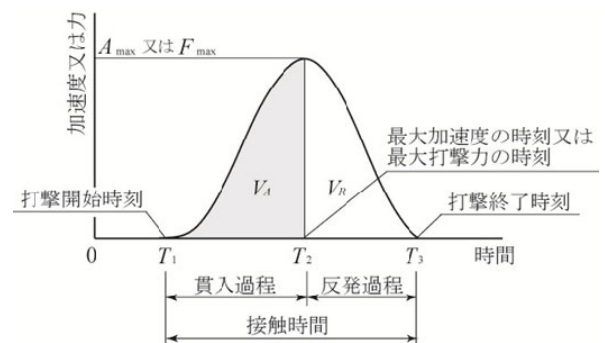


図1 打撃力の時間波形

キーワード 機械インピーダンス, 圧縮強度, 超高強度コンクリート, 非破壊検査

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学工学部土木工学科 TEL : 0463-58-1211

3. 実験の概要

供試体の寸法は直径 150mm×高さ 300mm とし、配合は単位粗骨材量を一定で W/C を 20~65% で 4 段階に変化させたものを用いた。セメントは、W/C=20% の場合のみシリカフュームプレミックスセメントを、その他は普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は菊川支流産山砂、粗骨材は青梅産硬質砂岩碎石を、混和剤は W/C=20%, 35% でポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤、その他ではリグニン系 AE 減水剤および、AE 助剤(変性ロジン酸化合物系)を使用した。全配合で供試体本数は 3 本とした。測定材齢は 28 日で、養生は 24 時間で脱型し 26 日間水中養生 (20℃) を行い、試験の前日に水中養生を終了し、1 日気中養生 (20℃, RH:60%) させた後測定を実施した。

4. 結果および考察

4. 1 最大応力時のひずみ量

図 4 に W/C=20%~65% の応力ひずみ曲線を示す。W/C が小さくなると圧縮強度、縦弾性係数および最大応力時のひずみが大きくなり最大で順に 4 倍、2.05 倍および 2.13 倍の差となった。図 5 は、W/C を変化させた場合の最大応力時のひずみ量を示したものである。W/C とひずみ量には R^2 値で 0.9 以上の高い相関性を示した。これまで、機械インピーダンス法による圧縮強度推定では、式(6)を基に、最大応力時のひずみ量を約 $2000 \sim 2500 \times 10^{-6}$ と仮定してきたが²⁾、これらの結果から、本手法による圧縮強度推定においては、最大応力時のひずみ量が対象とするコンクリートの W/C による変化を考慮することでその推定精度向上につながるものと考えられる。

4. 2 最大応力時のひずみ量が強度推定値に及ぼす影響

図 6 に、W/C を変化させた供試体の推定強度と圧縮強度を示す。最大応力時のひずみ量を 2000×10^{-6} と仮定し式(6)によって算出した場合(●)と図 5 に示す回帰式によって求めた値を用い式(6)によって算出した場合(△)では R^2 値が 0.51 から 0.93 と改善された。なお、式(6)の β は既往の研究結果²⁾から、3.29 乗を用いている。既往の研究では、普通コンクリートと高強度コンクリートで異なる推定式を用いる必要があると論じたが、本結果から、最大応力時のひずみ量を推定できる条件下では、一つの推定式で圧縮強度の推定が可能となる。また、本実験の結果は、機械インピーダンスから圧縮強度を推定する場合、最大応力時のひずみ量を適切に設定することができれば、推定精度がより向上することを示すものである。

5. まとめ

本研究の結果、以下のことがわかった。

- 1) W/C が小さくなると、圧縮強度、縦弾性係数、最大応力時のひずみ量は大きくなった。
- 2) W/C と最大応力時のひずみ量には R^2 値で 0.9 以上の強い相関性が得られた。
- 3) W/C の相違によって生じる最大応力時のひずみ量を適切に設定することで、圧縮強度の推定精度向上が期待できる。

参考文献

- 1) NDIS3434-3, コンクリートの非破壊試験-打撃試験方法-第3部:機械インピーダンス試験方法(2017 制定)。
- 2) 久保元樹, 市村千佳, 八木光, 笠井哲郎, コンクリート工学年次論文集 Vol. 41, No.1, 2019, pp.1823-1828。

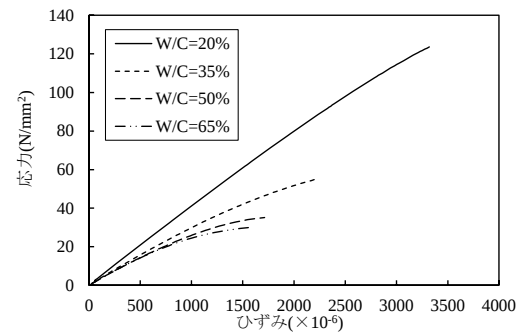


図 4 応力歪み曲線

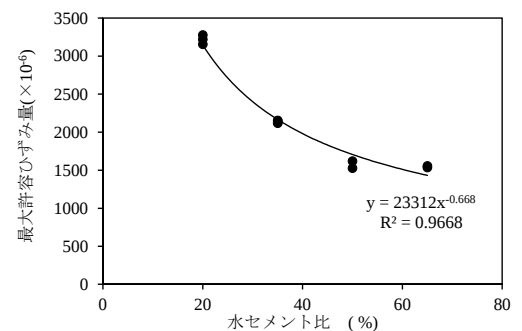


図 5 最大応力時のひずみ量の関係

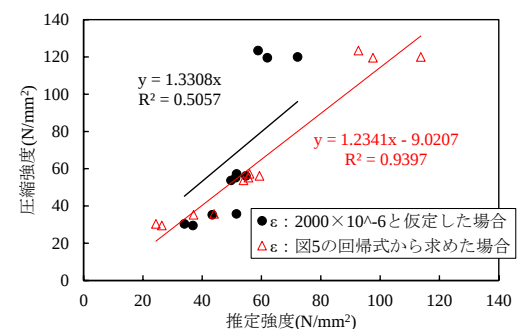


図 6 推定強度と圧縮強度の関係 W/C