

機械インピーダンス法による超高強度コンクリートの圧縮強度推定に関する実験的検討

東海大学大学院 学生会員 ○市村 千佳

日東建設（株） 正会員 久保 元樹

東海大学 正会員 笠井 哲郎

1. はじめに

コンクリートの圧縮強度を非破壊で推定する方法として、反発硬度法が広く普及している。反発硬度法は、国内に導入されて 50 年以上の歴史があり、様々な技術者によって実験がなされてきた。これに対し、著者らは、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、機械インピーダンスを算出して圧縮強度を推定する方法について研究を行ってきた¹⁾。この測定方法については、NDIS3434-3 機械インピーダンス試験方法²⁾として日本非破壊検査協会規格が制定されている。本論は、W/C を変化させた供試体を対象に、機械インピーダンス法による圧縮強度推定が可能であるか既往の研究結果を確認すると共に、圧縮強度が 100N/mm² を超える超高強度コンクリートへの対応について検討を行ったものである。

2. 実験の概要

実験は、W/C を 4 段階変化させた円柱供試体を対象に実施した。コンクリートの配合を表 1 に示す。W/C35～65%では、普通ポルトランドセメントを、W/C20%では、シリカフュームプレミックスセメントを使用した。細骨材は菊川支流産山砂（表乾密度:2.59g/cm³，吸水率:2.18%），粗骨材は青梅産硬質砂岩碎石（表乾密度:2.70g/cm³，吸水率:0.61%）を使用した。また、混和剤 A は、W/C20%および W/C35%でポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を、W/C50%および W/C65%でリグニン系 AE 減水剤をそれぞれ使用した。混和剤 B は、AE 助剤（変性ロジン酸化合物系）である。円柱供試体の寸法は直径 150mm×

高さ 300mm とし、W/C20%で 3 本、W/C35%，50%で各 4 本、W/C65%で 2 本の合計 13 本を測定対象とした。なお、測定材齢は 28 日である。機械インピーダンスの測定は、円柱供試体の型枠底面に 5×5 の 20mm メッシュを印してメッシュ交点を測定点とし、25 点の単純平均値を求めた。測定は加速度計を内蔵したヘッド重量 380g のハンマを使用し、任意の速度で打撃を行った。加速度計の周波数範囲は 5Hz～25kHz で、共振周波数 35kHz のものを使用した。測定波形は、サンプリング時間間隔 0.5μs，データ数 2000 個で記録した。機械インピーダンスの測定後、JIS A 1149 および JIS A 1108 に準拠し、静弾性係数試験および圧縮強度試験を実施した。

3. 機械インピーダンスの算出

ハンマでコンクリートを打撃した際に得られる時間波形の一例を図 1 に示す。打撃力波形は、ハンマがコンクリートに貫入する貫入過程（ピークより前半）とコンクリートがハンマを押し戻す反発過程（ピークより後半）に分類できる。貫入過程は、コンクリート表面の影響を強く受けるため、本実験では、ハンマのハンマ鳴発過程に着目し、式(1)によって機械インピーダンスの算出を実施した。

$$Z_R = \frac{F_{\max}}{V_R^{1.2}} = \frac{MA_{\max}}{\left(\int_{T_2}^{T_3} A(t)dt\right)^{1.2}} \quad (1)$$

ここに、 Z_R : 反発過程の機械インピーダンス、 $F_{\max}$: 最大打撃力、 V_R : ハンマの反発速度、 M : ハンマ質量、 $A_{\max}$: 最大加速度、 $A(t)$: 加速度の時間波形、 T_2 : 最大加速度の時刻、 T_3 : 打撃終了時刻である。

表 1 コンクリートの配合

水セメント比 (%)	スランブ (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A	混和剤 B
20	66.8*	20	3.2	32	155	775	461	998	9.85	0
35	17	20	3.9	42	162	463	717	998	4.52	1.80
50	14	20	5.0	45	167	334	809	998	6.97	0.30
65	20	20	3.5	46	173	265	856	998	2.31	0.80

※スランブフロー値

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 T E L 0463-58-1211

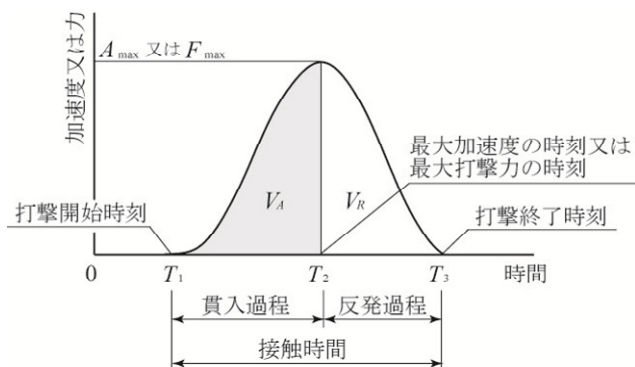


図1 時間波形の例

4. 実験結果

図2に機械インピーダンスと、圧縮強度の関係を示す。W/C65～35%の結果および回帰式を白丸と破線で、W/C20%を含めた結果および回帰式を黒丸と実線で示している。W/C65～35%の結果においては、 R^2 乗値で0.767と高い相関が確認され、機械インピーダンス法による圧縮強度推定が可能であることが改めて確認された。一方、W/C20%を含めた場合の結果では、 R^2 乗値で0.740と寄与率は高いものの、W/C65～35%の範囲では概ね回帰曲線の下側にデータのプロットがあり、W/C20%では回帰曲線の上側にデータがプロットされる結果となった。図3は、各配合における応力-ひずみ曲線（各配合2本ずつの結果）を示したものである。W/C20%の結果のみ、破壊に至る終局歪みが約3200 μ ストレインと大きくくなっている。図4に各ひずみレベルにおける弾性係数の関係（各配合2本ずつの結果）を示す。弾性係数は、その時の応力をひずみで除した値である。いずれの供試体においてもひずみが大きくなると弾性係数が低下する傾向を示しているが、W/C20%の結果では低下幅が小さく、他の配合と比較して明らかに特異な挙動を示しているのがわかる。つまり、W/C65～35%のコンクリートとW/C20%のコンクリートでは、物理的挙動が異なっており、全く別の材料として扱う必要があることを示している。

4. まとめ

W/Cを4段階変化させた円柱供試体を対象に実施した実験結果から次の事がわかった。

(1) 圧縮強度推定

W/C65～35%の範囲では、機械インピーダンスと圧縮強度には R^2 乗値で0.767と良好な相関関係が改めて確認された。

(2) 超高強度コンクリートへの適用

W/C20%のコンクリートは、終局ひずみが3200 μ ストレインとなり、W/C65～35%のコンクリートの物性とは大きく異なることがわかった。このため、測定対象のコンクリートによって適宜、圧縮強度推

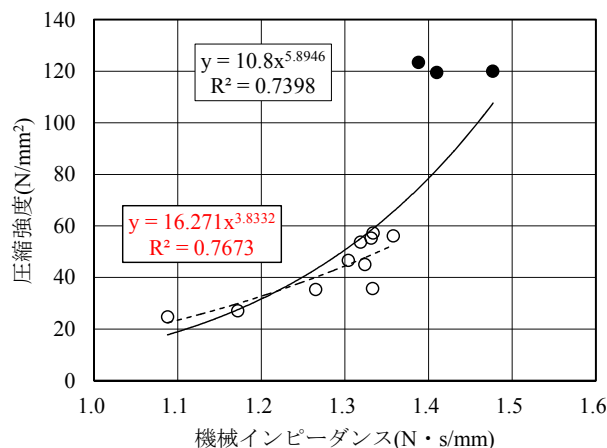


図2 機械インピーダンスと圧縮強度の関係

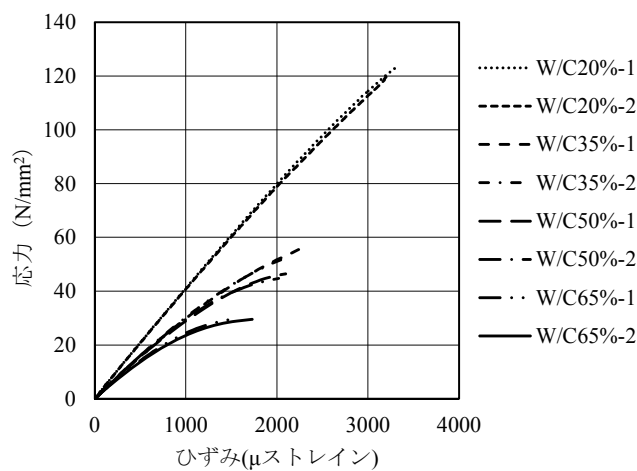


図3 応力歪み曲線

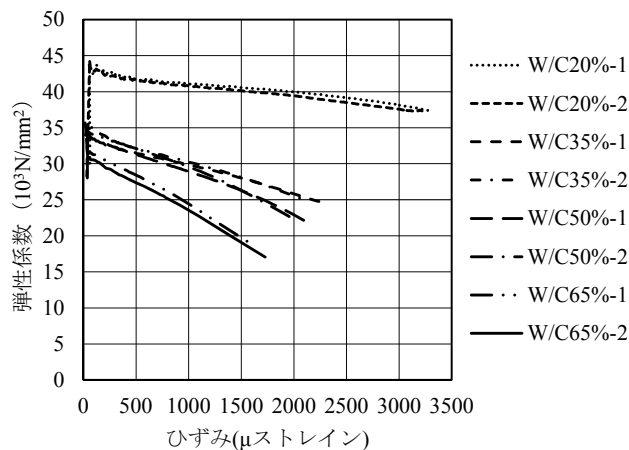


図4 ひずみと各ひずみレベルの弾性係数の関係

定式を使い分けることが必要であることがわかった。

参考文献

- 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: 会誌コンクリート工学, Vol.44, No.5, pp41~44, 2006.5
- 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 2017.5.制定