

## 機械インピーダンス法におけるコンクリートの含水状態の影響に関する研究

東海大学大学院 学生会員 ○永田 柊人 東急建設 正会員 渡邊 圭太  
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

機械インピーダンス法<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>として規格化されている。本論では、コンクリートの含水状態が機械インピーダンス法の強度推定精度に及ぼす影響を反発高度法との比較を含め、明らかにすることを目的に、立方体の供試体を用いて、吸水過程と乾燥過程それぞれについて検討を行った。

### 2. 機械インピーダンス法の理論的枠組み

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。衝突で生じたコンクリートの変位を  $x$  とし、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  $k$  と比例関係となる。ばね係数は、縦弾性係数

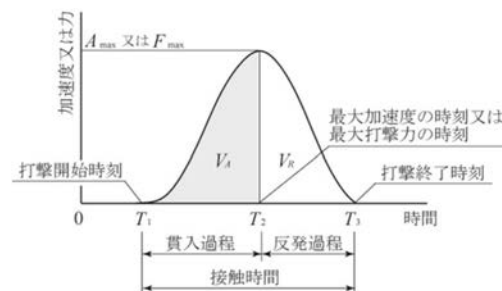


図-1 時間波形の一例

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。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-2に示す。打撃力の時間波形は、ハンマが貫入する貫入過程と、反発する反発過程で構成される。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、表層の影響を受け難い。そこで、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。

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

### 3. 供試体および測定方法

供試体の寸法は 1 辺 200mm の立方体を各配合で 2 体ずつ作成し、1 体は吸水過程とし、吸水させながら測定した。もう 1 体は乾燥過程とし、乾燥させながら測定を実施した。対象としたコンクリートの配合は W/C を 35% と 50% とし、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は菊川支流産山砂、粗骨材は青梅産硬質砂岩碎石、混和剤は W/C35% でリグニン系 AE 減水剤と変性ロジン酸化物系 AE 助剤を、W/C50% で前述の AE 助剤のみを使用した。供試体の乾湿条件を表-1 に示す。乾燥過程で使用する供試体は、材齢 135 日水中養生後、測定直前で水揚げし測定を実施し、気中(20°C, RH:60%)に静置して自然乾燥させながら測定を繰り返した(W→D)。138 日目の測定後

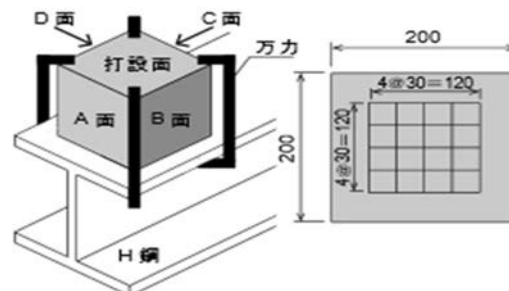


図-2 供試体の設置と測定点配置

表-1 供試体の乾湿条件

記号	138日前	測定	記号	138日後
W→D	気中養生: 138日	→	WD→W	水中養生: 142日
D→W	水中養生: 138日	→	DW→D	気中養生: 142日

キーワード 機械インピーダンス, 含水状態, 非破壊検査

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

から水中に浸漬させ、吸水過程として測定を行った(WD→W). 吸水過程では、材齢 91 日まで水中養生し、水揚げ後、電気炉(105°C)で絶乾状態にした後に測定を実施した. その後、水中に浸漬させ吸水させながら測定を実施した(D→W). 138 日目の測定後からは気中に静置し、乾燥過程として自然乾燥させながら測定を行った(DW→D). 測定は、図-2 に示すように H 鋼の上に供試体を設置し、メッシュ交点面の 25 点を打撃した. 反発度(R)の測定は A 面と C 面、機械インピーダンス値( $Z_R$ )の測定は B 面と D 面で実施した.  $Z_R$  の測定は、加速度計を内蔵したヘッド質量 380g のハンマを使用し、R は JIS A 1155 に準拠して NR 型リバウンドハンマを用いて測定を実施した.  $Z_R$  や R は 25 点の算術平均を求めた後、算術平均から±20%以上の偏差があるデータを除外後、再度求めた平均値とした.

#### 4. 実験結果および考察

##### 4.1 質量変化率と反発度 R の変化率の関係

吸水過程と乾燥過程における質量変化率と R の変化率の関係を図-3, 4 に示す. R の変化率は測定開始 138 日以前の吸水過程では、W/C35%で約 22%, W/C50%で約 17%低下した. 乾燥過程では、W/C35%で約 40%, W/C50%で約 53%増加した. 図-4の測定開始 138 日以後の吸水過程では、W/C35%, W/C50%ともに約 15%低下した. 乾燥過程では、W/C35%で約 20%, W/C50%で約 30%増加した. R の変動要因は、コンクリート表層部の水が緩衝材となり打撃によって生じる塑性変形に伴うエネルギー吸収量が増加するため、吸水過程では R が減少傾向にあると考えられる.

##### 4.2 質量変化率と機械インピーダンス $Z_R$ の変化率の関係

図-5 に 138 日以前の質量変化率と  $Z_R$  の変化率の関係を示す. 吸水過程の  $Z_R$  の変化率は、質量変化率の増加に伴い、W/C35%(○)で 1.2%低下した. 一方、W/C50%(△)では 3.7%増加した. 乾燥過程の  $Z_R$  の変化率は、質量変化率の低下に伴い、W/C35%(●)で約 5.4%, W/C50%(▲)で約 6.1%増加した. 吸水過程では水セメント比によって  $Z_R$  の増減傾向が異なる. 乾燥過程では、水セメント比に関係なく  $Z_R$  の増減傾向は一致している.

図-6 に 138 日後の質量変化率と  $Z_R$  の変化率の関係を示す. 吸水過程の  $Z_R$  の変化率は、質量変化率の増加に伴い、W/C35%(○)で約 1.7%, W/C50%(△)で約 4.7%低下した. 乾燥過程の  $Z_R$  の変化率は、質量変化率の低下に伴い W/C35%(●)で約 3.1%, W/C50%(▲)で約 3.4%低下した. 吸水過程および乾燥過程の両過程ともに  $Z_R$  は減少傾向であり、138 日以前の傾向と異なる.

#### 5. まとめ

本研究の結果、以下のことが明らかになった.

- (1) R は、コンクリートの質量変化率が増加すると低下する.
- (2) 138 日以前および以後の  $Z_R$  の変化率は、最大で 6.1%程度であり、これは R の変化率と比較すると大幅に小さい. 以上のことより、機械インピーダンス法ではコンクリートの含水状態が及ぼす影響は非常に小さい.

#### 参考文献

- 1) 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.4, No.5, pp41~44, 2006.5
- 2) 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

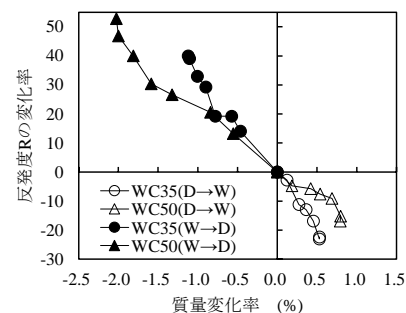


図-3 質量変化率と R の変化率の関係 (138 日以前)

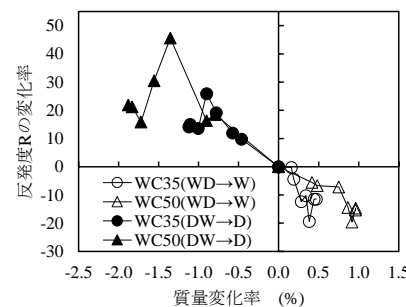


図-4 質量変化率と R の変化率の関係 (138 日以後)

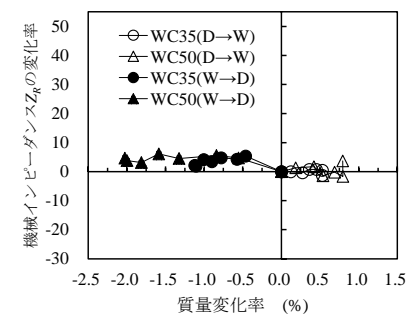


図-5 質量変化率と  $Z_R$  の変化率の関係 (138 日以前)

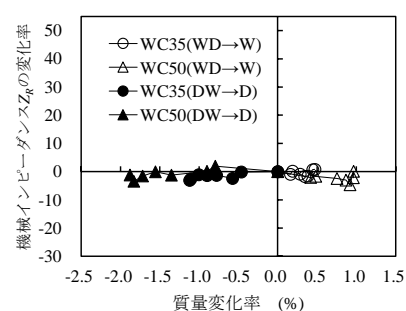


図-6 質量変化率と  $Z_R$  の変化率の関係 (138 日以後)