

機械インピーダンス法におけるモルタル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
 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¹⁾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明らかにすることを目的に、水中養生期間と W/C が異なる 4 種類のモルタル供試体を用いて、圧縮強度試験、反発硬度法、機械インピーダンス法の 3 つの方法で比較・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。衝突で生じた変位 x 、エネルギー保存の法則から式 (1) が成立する。フックの法則から式 (2) となり、式 (1) に代入し整理すると式 (3) が得られる。 $\sqrt{Mk}$ は、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、 Z は、ばね係数 k と比例関係となる。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の例を図-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 (3) 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 (3) 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。

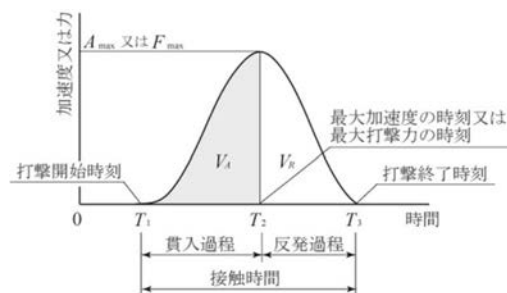


図-1 時間波形の一例

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

… (3)

3. 供試体および測定方法

供試体の寸法は直径 100mm×200mm の円柱供試体を W/C35%と 50%に関しそれぞれ 25 体ずつ作成し、5 種類の含水率ごとに 5 本を用いた。モルタルの使用材料はセメントに普通ポルトランドセメントを細骨材に菊川支流産山砂を使用した。混和剤は W/C35%でリグニン系 AE 減水剤と変性ロジン酸化合物系 AE 助剤を、W/C50%で前述の AE 助剤のみを使用した。W/C35%の供試体は材齢 28 日まで水中養生し、その後水揚げを行い、供試体各 5 本を電気炉（105℃）で各時間（0h, 8h, 17h, 30h, 145h）乾燥し、含水率を概ね 100%, 75%, 50%, 25%, 0%となるように変化させた。その後各含水率の供試体に関し、各種試験を実施した。材齢 91 日の供試体も同様の方法で実施した。W/C50%の供試体も同様に各時間（0h, 9h, 18h, 32h, 144h）乾燥後、試験を実施した。非破壊試験の測定はそれぞれの含水率の供試体 1 本を機械インピーダンス法に、もう 1 本を反発硬度法による測定に用いた。測定点はどちらも、図-2 に示すように 60 mm×60 mm の正方形を供試体の測定面に記し、その枠内で打撃

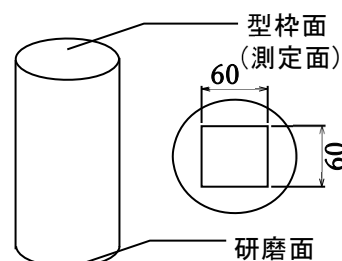


図-2 試供体と測定面

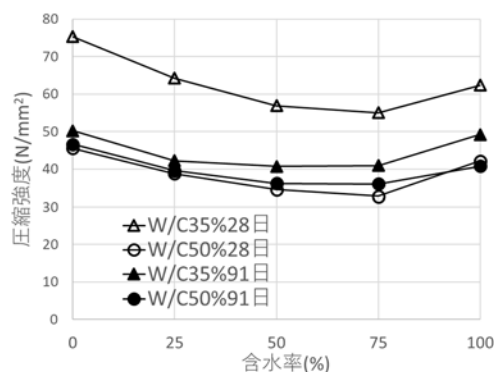


図-3 圧縮強度と含水率

キーワード 機械インピーダンス, 含水状態, 非破壊検査, 弾性係数

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

点が均等に布置するように 25 点打撃を行った。測定値は、25 点の平均を求めた後、その平均から $\pm 20\%$ 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。その他の供試体（各条件：3 本）は圧縮強度試験を行い、静弾性係数を測定した。

4. 実験結果および考察

4. 1 圧縮強度および静弾性係数と含水率の関係

圧縮強度と含水率の関係を図-3 に、静弾性係数と含水率の関係を図-4 にそれぞれ示す。既往の研究²⁾より含水率が増加に伴い、強度は低下し、静弾性係数は増加するとされている。しかし、本研究の結果から、圧縮強度は含水率が高い条件では含水率が高くなるほど大きくなり、静弾性係数は、含水率が低い条件では含水率が低いほど大きくなった。

4. 2 静弾性係数に及ぼす含水率の影響

図-5 は含水率 50%を基準とした静弾性係数と含水率の関係を示したものである。図より、水中養生期間と W/C に関わらず、含水率 50%よりも含水率 0%の弾性係数の値が大きく、含水率が 50%を超え増加するに伴い、弾性係数の値も増加した。その結果、含水率 100%で静弾性係数が最も高い値となった。水中養生 28 日・W/C35% (Δ) の含水率 75%から 100%の増加率は 22.7%で、水中養生 91 日・W/C35% ($\blacktriangle$) の含水率 75%から 100%の増加率は 25.4%となり、近い増加率となった。W/C50%の含水率 75%から 100%の増加率は、水中養生 28 日 ($\circ$)・91 日 ($\bullet$) とともに 37.2%となった。水中養生期間が異なる場合でも、W/C が同じなら増加率も近い値になると考えられる。

4. 3 反発硬度法に及ぼす含水率の影響

図-6 は含水率 50%を基準にしたリバウンドハンマの反発度の変化率を示したものである。全体的に反発度は含水率 0%から 75%にかけて減少傾向になった。反発度の最低値は、水中養生期間及び W/C に関わらず、含水率 75%時点であり、含水率が 75%から 100%に増加すると反発度も増加する傾向となった。含水率の増加に伴い、変化率が一旦減少した後、増加する傾向は静弾性係数と同様であるが、その増加率は養生期間や W/C の条件に共通した傾向はない。

4. 4 機械インピーダンス法に及ぼす含水率の影響

図-7 は含水率 50%を基準にしたインピーダンスの変化率を示したものである。水中養生 28 日は特筆する傾向は見られなかった。しかし、水中養生 91 日では含水率が増加すると機械インピーダンスは一旦減少し、その後増加する傾向が見られた。含水率 75%から 100%の増加率は W/C35% ($\blacktriangle$) で 9.2%、W/C50% ($\bullet$) で 10.4%となり近い値となった。この傾向は、弾性係数と同じ傾向であるが、その増加率は弾性係数の半分程度である。すなわち、機械インピーダンス値は静弾性係数、リバウンドハンマの反発度に比べ、含水率の影響を受け難いことが判明した。

5. まとめ

本研究の結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 圧縮強度は含水率が高い条件では含水率が高くなるほど大きくなり、静弾性係数は、含水率が低い条件では含水率が低いほど大きくなる。
- (2) 機械インピーダンス値は静弾性係数、リバウンドハンマの反発度に比べ、含水率の影響を受け難いことが判明した。

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) 岡島達雄: コンクリートの強度・ヤング係数と水分の関係: 会誌コンクリート工学, Vol.32, No9, pp20~24, 1994.9

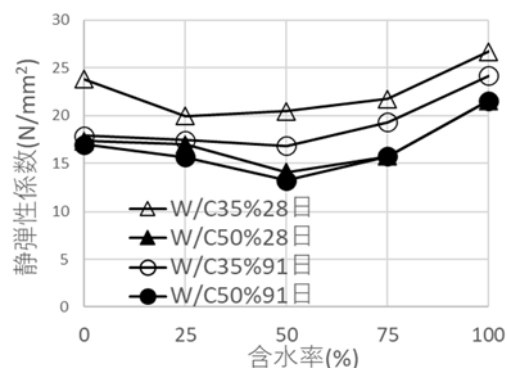


図-4 静弾性係数と含水率の関係

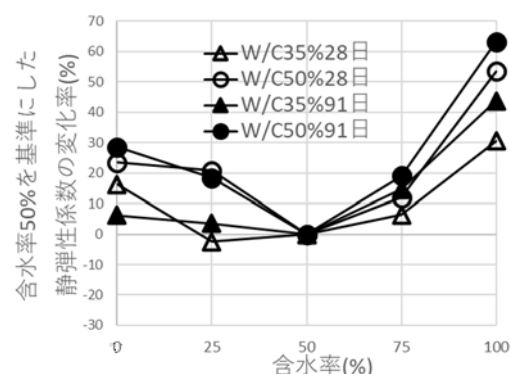


図-5 含水率 50%を基準にした
静弾性係数と含水率の関係

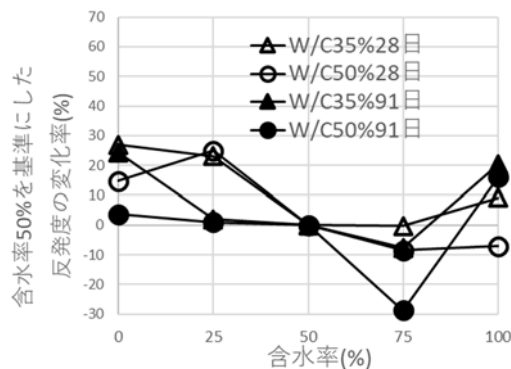


図-6 含水率 50%を基準にした
反発度と含水率の関係

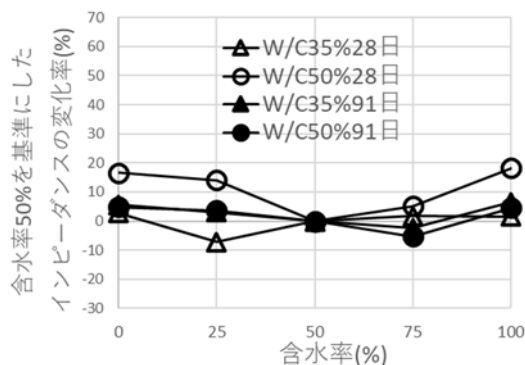


図-7 含水率 50%を基準にした
インピーダンスと含水率の関係