

## 粗骨材種類が機械インピーダンスに与える影響に関する実験的検討

東海大学大学院 学生会員 ○渡邊 圭太  
日東建設(株) 正会員 久保 元樹

東海大学大学院 学生会員 市村 千佳  
(株)八洋コンサルタント 井川 倫宏  
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として規格化されている。強度推定の原理は、コンクリートの強度と弾性係数に正の相関関係があり、さらに機械インピーダンス値と弾性係数にも比例関係があることによる。また、コンクリートの弾性係数は、使用粗骨材の弾性係数の影響を受ける。そこで本研究では、コンクリートを構成する粗骨材の岩種(弾性係数)が本手法による強度推定に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、3種の粗骨材を用いた条件で実験的検討を行った。

## 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。また、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。

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

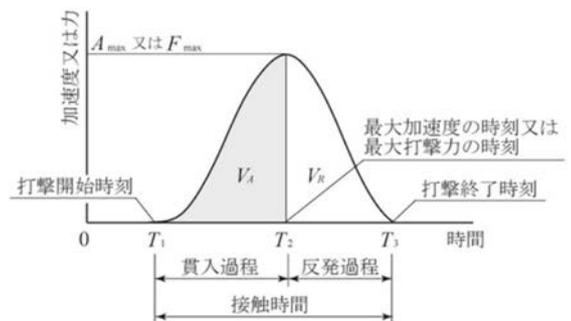


図1 打撃力の時間波形

## 3. 実験の概要

評価対象としたコンクリートの配合は粗骨材として甲州碎石(表乾密度:2.63g/cm<sup>3</sup>, 吸水率:2.00%), 青梅産碎石(表乾密度:2.65g/cm<sup>3</sup>, 吸水率:0.53%), 石灰石碎石(表乾密度:2.70g/cm<sup>3</sup>, 吸水率:0.38%)の3種類を用い、W/Cは35%, 50%とした。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は大井川水系陸砂(表乾密度:2.59g/cm<sup>3</sup>, 吸水率:1.71%)を使用した。混和剤は、W/C35%でポリカルボン酸系高性能AE減水剤を、W/C50%でリグニン系AE減水剤、AE助剤(変性ロジン酸化合物系)を使用した。円柱供試体の寸法はφ150mm×300mmとし、各配合および各粗骨材種類で9本ずつの合計54本を作製し、試験材齢を7, 28, 91日として各配合条件の試験供試体本数を3本とした。また、粗骨材の弾性係数を推定するため、各配合でφ100mm×200mmのコンクリート供試体および、これをウェットクリーニングして、寸法がφ100mm×200mmのモルタル供試体各3本作製した。

キーワード 機械インピーダンス, 圧縮強度, 非破壊検査, 粗骨材

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 TEL0463-58-1211

4. 結果および考察

4.1 静的試験結果

図2にW/C35%および50%の弾性係数と材齢の関係を示す。W/C35%では、石灰石を用いたコンクリートで最も弾性係数が大きくなった。W/C50%では、石灰石を用いたコンクリートの材齢91日で弾性係数が小さくなっているが、材齢7日、および28日時点においては、石灰石を用いたコンクリートの弾性係数が最も大きくなる結果となった。

4.2 粗骨材の弾性係数の推定

式(5)に示す Hashin-Hansen モデル式<sup>2)</sup>を用いコンクリートをモルタルと粗骨材の複合材料と考え、粗骨材の弾性係数の推定を試みた。ここに、

$E_c$  : コンクリートの弾性係数,  $E_m$  : モルタルの弾性係数,  
 $E_a$  : 粗骨材の弾性係数,  $V_m$  : モルタルの体積含有率,  $V_a$  : 粗骨材の体積含有率である。コンクリートとモルタルの弾性係数は材齢28日の値を用いた。本計算に用いた具体的な数値は、表1に示すとおりである。

$$E_c = \frac{V_m E_m + (1 + V_a) E_a}{(1 + V_a) E_m + V_m E_a} E_m \quad \dots(5)$$

粗骨材の弾性係数の計算結果は、石灰岩(68.9kN/mm<sup>2</sup>), 青梅産(52.5kN/mm<sup>2</sup>), 甲州産(51.9kN/mm<sup>2</sup>)となった。以後、粗骨材の弾性係数は、本章で算出した平均値であることを前提に議論を進める。

4.3 機械インピーダンスの測定結果

図3に材齢91日時点における、機械インピーダンスとコンクリートの弾性係数の関係を、図4に機械インピーダンスと粗骨材の弾性係数の関係を示す。W/C35%においては、特にコンクリートの弾性係数との相関性が高い。一方、W/C50%においては、粗骨材の弾性係数との相関性が高く、決定係数(R<sup>2</sup>)はほぼ1に近い。これは、機械インピーダンスは、W/C35%とW/C50%ともに粗骨材の弾性係数の影響を受けるものの、W/Cが小さくモルタルの弾性係数が大きくなるほど、その値はモルタルの弾性係数が支配的になり、W/Cが大きくとモルタルの弾性係数が小さいほど、粗骨材の弾性係数が支配的要因になっているものと示唆される。

5. まとめ

材齢91日時点に測定した機械インピーダンスとコンクリートの弾性係数の関係は、W/C35%で比較的高い相関関係が高く、W/C50%では、ほとんど相関関係が見られなかったが、機械インピーダンスと粗骨材の弾性係数の関係は、W/Cに関わらず、比較的良好な相関関係が得られた。これは、機械インピーダンスは粗骨材の弾性係数の影響を受けるが、W/Cが大きくとモルタルの弾性係数が小さいほど、粗骨材の影響を受けやすく、モルタルの弾性係数が大きいほど、粗骨材の影響度合いが小さくなることが判明した。

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.44, No.5, pp41~44, 2006.5
- 2) 川上英男: コンクリートの弾性係数と複合理論の適用: コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No. 2, 1999

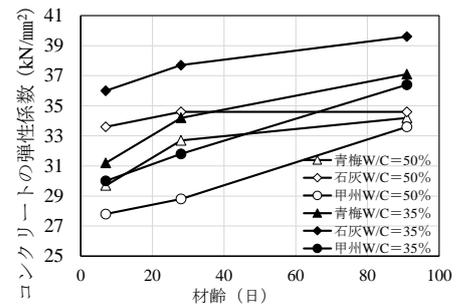


図2 各種配合および粗骨材毎の弾性係数と材齢の関係

表1 計算に使用したパラメータ

| 骨材の種類 | W/C (%) | Ec (kN/mm <sup>2</sup> ) | Em (kN/mm <sup>2</sup> ) | Va     | Vm     |
|-------|---------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|
| 甲州産   | 50      | 28.8                     | 23.9                     | 0.3749 | 0.6251 |
| 青梅産   | 50      | 32.7                     | 23.9                     | 0.3758 | 0.6242 |
| 石灰石   | 50      | 34.6                     | 23.9                     | 0.3752 | 0.6248 |
| 甲州産   | 35      | 31.8                     | 28.7                     | 0.3749 | 0.6251 |
| 青梅産   | 35      | 34.2                     | 28.7                     | 0.3758 | 0.6242 |
| 石灰石   | 35      | 37.7                     | 28.7                     | 0.3752 | 0.6248 |

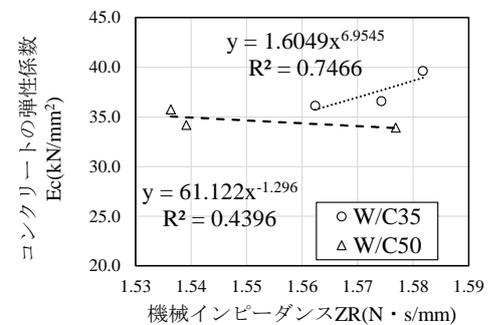


図3 機械インピーダンスとコンクリートの弾性係数の関係

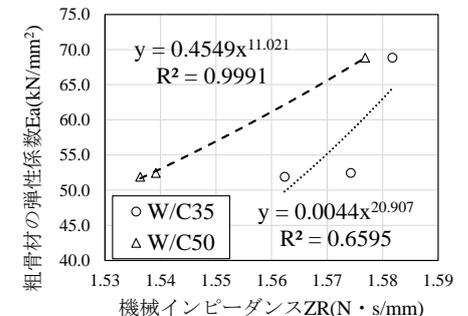


図4 機械インピーダンスと粗骨材の弾性係数の関係