

衝撃弾性波法によるポーラスコンクリート部材の空隙率推定手法の検討

三井住友建設(株)正会員 ○野内彩可
徳島大学大学院正会員 渡辺 健
徳島大学大学院フェロー会員 橋本親典
徳島大学技術支援部正会員 石丸啓輔

1. はじめに

ポーラスコンクリートの品質は施工方法に大きく依存する。特に空隙率は、圧縮強度や透水係数などの品質評価指標との相関が高いことが報告されている¹⁾。

著者らの既往の研究では、人工空隙を有する試験体とポーラスコンクリート円柱試験体（以降、POC 円柱試験体と称す）を対象に、衝撃弾性波法の多重反射法により検討を行い、空隙率の増加に伴い弾性波伝搬速度（以降、弾性波速度）が減少する傾向を確認した²⁾。

そこで本研究では、衝撃弾性波法によるポーラスコンクリート製品の空隙分布の評価および空隙率推定手法の確立を目的に、平板型のポーラスコンクリートブロック試験体（以降、POC 平板試験体）を対象に検討を行った。

2. 実験概要

試験体の配合および設計空隙率を表-1に示す。試験体は、空隙を抑えた河川護岸用ポーラス平板型ブロック（1000 mm×1000 mm×120 mm）であり、6号砕石を使用したPOC6平板試験体と7号砕石を使用したPOC7平板試験体の2体である（図-1）。本試験体は、衝撃弾性波法による試験後、1試験体当たりφ100 mmのコア試験体を24本採取した。コア試験体はJCI旧試験案（JCI-SPO2-1）の容積法に準拠して式(1)よりの全空隙率を算出した。

$$A_t = \left(1 - \frac{(W_2 - W_1)/\rho_w}{V_1} \right) \times 100 \quad (1)$$

ここで、 A_t はポーラスコンクリートの全空隙率(%), W_1 :試験体の水中質量(g), W_2 :24時間気中放置後の気中質量(g), V_1 :供試体の容積(cm^3), ρ_w :水の密度(g/cm^3)（ただし、1.0として計算した。）である。

衝撃弾性波法による測定は多重反射法により行い、コア採取前のPOC平板試験体の全面およびコア試験体を測定対象とした。打撃の入力にはφ10 mmの鋼球ハンマを用い、打撃により生じた応答信号の取得には、小型の加速度センサ（周波数範囲4 Hz~20 kHz）を用い

表-1 POC 平板試験体の配合および設計空隙率

試験体名	粗骨材種類	設計空隙率 (%)	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m^3)			
				水	セメント	混和材	砕石
POC6平板試験体	6号砕石	22	23.0	56	224	20	244
POC7平板試験体	7号砕石	15	25.0	88	350	—	1562

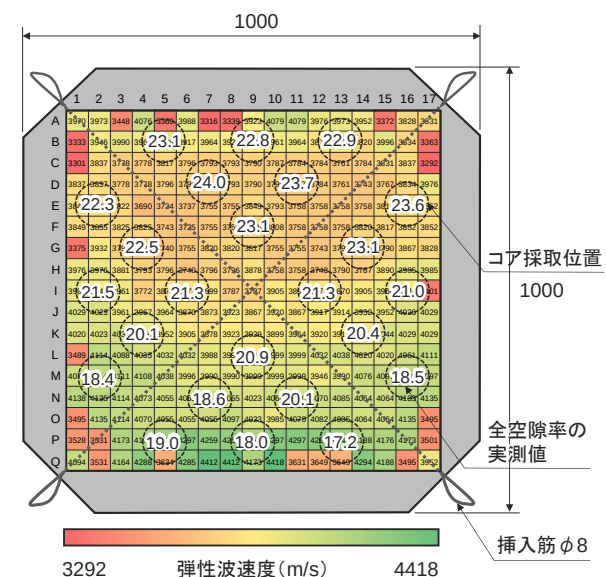


図-1 試験体概要および弾性波速度のコンター図（POC7 平板試験体）

た。POC 平板試験体の打撃点は 50 mm 間隔の各格子の交点とし、例えば試験体中心部の打撃点は I9 である。コア試験体の打撃点は試験体の中心部とした。打撃は各点 5 回行い、加速度センサは打撃点近傍に両面テープを用いて固定した。なお、POC 平板試験体は、コンクリート製の床の上に設置して測定した。また、式(2)より弾性波速度を算出した。

$$V_p = 2 \cdot f_0 \cdot L \quad (2)$$

ここで、 V_p は弾性波速度 (m/s), f_0 は一次ピーク周波数 (Hz), L は試験体高さ (m) である。

3. 弾性波速度による空隙分布の評価に関する検討

図-1 に評価結果の一例として POC7 平板試験体の衝撃弾性波法の多重反射法により得られた弾性波速度

キーワード ポーラスコンクリート, 空隙率, 非破壊試験, 衝撃弾性波法, 打撃応答特性

連絡先 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島 2 丁目 1 番地 E-mail : t_watanabe@tokushima-u.ac.jp

のコンター図を示す。図にはコア採取位置およびコア試験体の全空隙率の実測値を併せて示している。

コンター図の上部から下部にかけて弾性波速度は段階的に変化しており、上部の方が弾性波速度が小さい傾向が確認できる。各打撃点におけるコア試験体の全空隙率の実測値は、弾性波速度が小さい打撃点ほど大きくなり、コンター図上部の打撃点 F9 と下部の打撃点 P9 では、打撃点 F9 の方が空隙率は 5.1% 大きくなった。

以上より、弾性波速度を測定することで試験体平面における空隙分布の違いを相対的に評価可能であった。

4. 空隙率の推定に関する検討

図-2 に先行研究の文献 2 で使用した POC 円柱試験体の衝撃弾性波法の多重反射法により得られた弾性波速度と全空隙率の関係を示す。なお、POC 円柱試験体と POC 平板試験体の締固め時間は異なるが、水結合材比は 25% 前後で同程度である。空隙率の推定は、図-2 に示す弾性波速度と全空隙率の関係より得られた近似式を用い、この式に POC 平板試験体において測定した弾性波速度を代入することで全空隙率の推定を行った。

図-3 に一例として POC7 平板試験体のコア採取位置における全空隙率の実測値と推定値の比較を示す。なお、横軸は打撃点名により昇順に並べている。実測値と推定値を比較すると、コア試験体では 4% 程度、POC 平板試験体では 10% 程度、実測値と比較して推定値が小さくなる傾向にあった。コア試験体よりも POC 平板試験体での全空隙率の推定値が小さくなった主要因の一つとしては、境界条件の違いが要因と推察される。一方で、各打撃点における空隙率の傾向は一致した。

そこで補正として、図-3 に示す各打撃点データを用いて式 (3) より誤差率を算出し、各試験体での誤差率の最大値と最小値の平均値を係数として推定値に乘じることで補正を行った。

$$E_r = \frac{A_e - A_t}{A_t} \times 100 \quad (3)$$

ここで、 E_r は誤差率(%), A_e は全空隙率の推定値(%), A_t は全空隙率の実測値 (%) である。

図-4 に補正後の全空隙率の推定値を示す。コア試験体および POC 平板試験体より算出した全空隙率の推定値は補正係数を乗じることで実測値と概ね一致した。

5. まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) 衝撃弾性波法の多重反射法により得られた弾性波速度を用いて作成したコンター図により試験体平面における空隙分布を相対的に評価可能であった。
- (2) POC 円柱試験体により得られた弾性波速度と全空

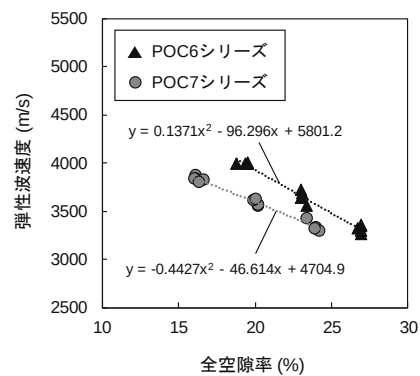


図-2 POC 円柱試験体²⁾による空隙率の推定式

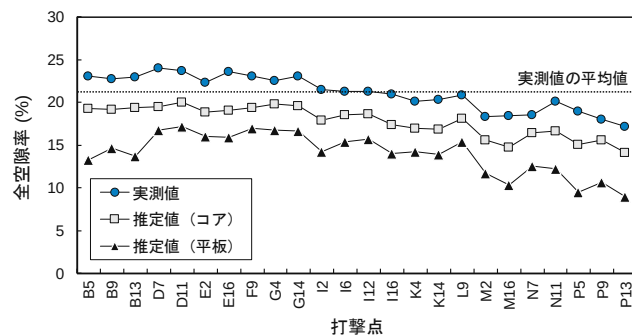


図-3 全空隙率の実測値と推定値の比較
(POC7 平板試験体)

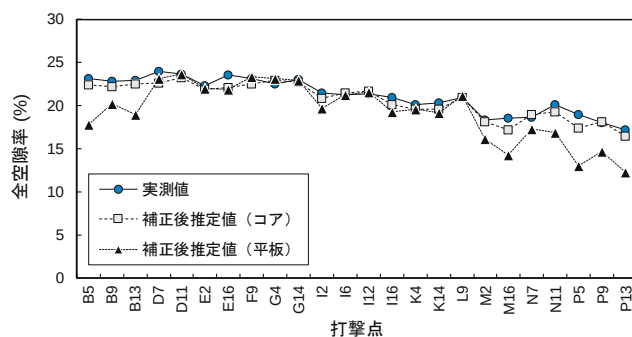


図-4 補正後の全空隙率の推定値 (POC7 平板試験体)

隙率の関係を示す近似式に POC 平板試験体より得られた弾性波速度を代入し、コア試験体を用いて算出した補正係数を乗じることで、POC 平板試験体の空隙率の推定が可能であった。

謝辞 本研究で使用した POC 円柱試験体および POC 平板試験体は株式会社総合開発様からご提供いただいた。ここに示して謝辞を表す。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：性能設計対応型ポーラスコンクリートの施工標準と品質保証体制の確立研究委員会報告書，2015.7
- 2) 野内彩可，渡辺健，圓藤将司，橋本親典：衝撃弾性波法を用いたポーラスコンクリートの空隙率推定に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，2019.7