

## コンクリートの表面気泡が透気係数に及ぼす影響

(株) I H I 正会員 ○聶 菁 正会員 吉田 有希 正会員 木作 友亮  
 (株) I H I 建材工業 正会員 黒澤 隆 正会員 武藤 香穂 正会員 伊藤 祐二  
 横浜国立大学大学院 正会員 藤山 知加子

### 1. はじめに

コンクリートの表層品質は、構造物の耐久性に影響を与える<sup>1)</sup>。同様に、コンクリート表面の気泡も耐久性に影響すると考えられる。著者らはこれまでに、表面気泡が透水試験の拡散係数へ与える影響を報告した<sup>2)</sup>。本研究では、表面気泡がコンクリートの透気係数に及ぼす影響について検討する。

### 2. 試験方法

本研究では、表層透気試験として国内外の研究事例が豊富なトレント法<sup>3)</sup>を採用した。対象とするコンクリートの示方配合を表1に示す。スランプ12cmの普通コンクリート(OC)およびスランプフロー400mmの中流動コンクリート(MFC)に加えて、細骨材の一部を下水汚泥焼却灰に置換した配合(MFC-A)を対象とした。コンクリートに与える加速度によって、表面気泡の量をコントロールできることが判明したため<sup>4)</sup>、同様の手法で全辺が約150mmの供試体を電磁式加振機で作製した(図-1)。OCは材料分離が生じやすいため、加速度1.2G~4.5Gの範囲で5ケースとした。また、MFCは1.2G~7.3G内の8ケース、MFC-Aは1.2G~5.0G内の5ケースとした。供試体は、封緘後に20°C、60%RHの恒温恒湿槽で保管した。材齢28日以降に、供試体4側面の含水率が5.5%以下であることを確認して表層透気試験を行った。試験状況を図-2に示す。チャンバー内の空気をポンプで抜き、インナーチャンバー内の圧力変化から透気係数 $kT$ を算出した<sup>5)</sup>。インナーチャンバー内の気泡を分析するため、アウターチャンバーの外周位置を記録後、供試体側面に油性インキを塗布し、気泡に高炉スラグ微粉末を詰めて4側面を撮影した。

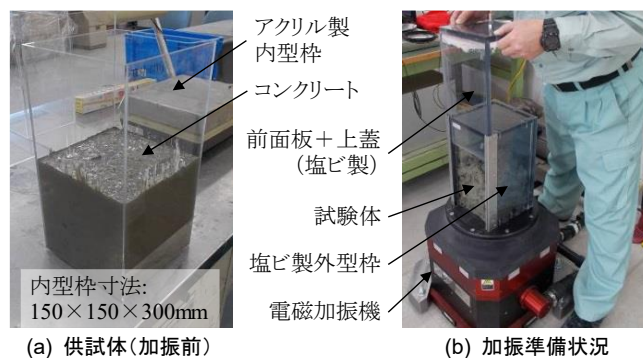


図-1 加振前の供試体および加振準備状況

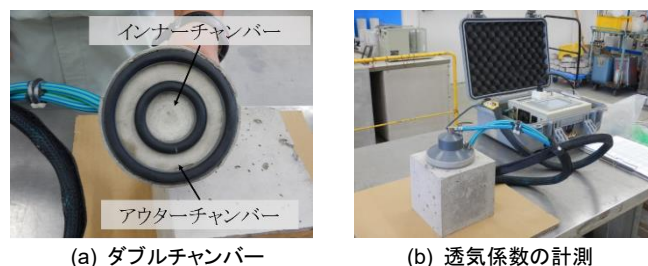


図-2 トレント法による試験状況

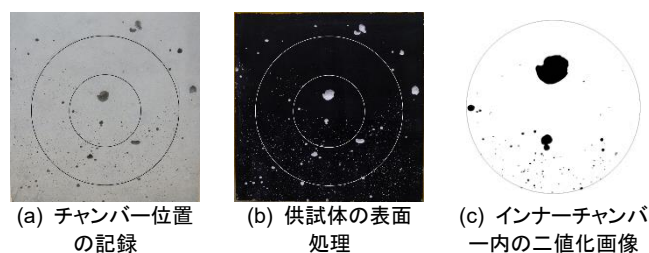


図-3 画像解析の例

表-1 コンクリートの示方配合

配合	スランプ/ スランプフロー	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
				水	セメント	焼却灰	細骨材	粗骨材	減水剤*	AE 剤
OC	12.0±2.5 cm	54	47.5	175	324	---	846	942	3.241	---
MFC	400±60 mm	46	49.0	175	380	---	850	891	2.092	0.0304
MFC-A						38	793		3.272	0.0761

\* OCはAE減水剤(リグニン系)、MFCおよびMFC-Aは高性能減水剤(ポリカルボン酸系)を使用

キーワード 表面気泡, 表層透気試験, 透気係数, 下水汚泥焼却灰, 気泡面積率, 最大気泡径

連絡先 〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町1番地 (株) I H I 技術基盤センター TEL 045-759-2864

その後、インナーチャンバー内の直径 1.0mm 以上の表面気泡を画像解析ソフトウェア ImageJ で分析した。表面積に占める総気泡面積の割合を気泡面積率  $SVAR$  と定義し、気泡面積から真円換算で直径を算定して、その最大値を最大気泡径  $D_{max}$  と定義した。

### 3. 試験結果

透気係数  $kT$  により、コンクリートの表層品質は表 2 に示す 5 段階で評価できる<sup>5)</sup>。本試験で計測された  $kT$  は、 $0.008 \times 10^{-16} \text{ m}^2 \sim 2.000 \times 10^{-16} \text{ m}^2$  の広範囲に分布したが、全体の 95~100% が「一般」以上と評価された (表 3)。そのうち、OC の  $kT$  が最もばらついた。また、 $kT$  は MFC, OC, MFC-A の順に増加する傾向が見られた。MFC に比べて焼却灰を混和した MFC-A は透気性評価が低かった。こうした違いが生じる原因の解明は、今後の検討課題である。

$kT$  と  $SVAR$  や  $D_{max}$  の関係を図-4 および図-5 に示す。 $SVAR$  または  $D_{max}$  の増加に伴い、 $kT$  も増加する傾向が見られた。比較的良好な相関を示す  $kT$  と  $D_{max}$  の関係は指数関数で回帰した。 $kT$  と物質移動抵抗性に相関があることが報告されているため<sup>6)</sup>、コンクリートの表面気泡は耐久性に影響を及ぼすものと判断される。式(1)~(3)により、 $D_{max}$  が 1mm から 7mm に変化した場合、MFC は  $kT$  の増加が 1.78 倍に留まるが、OC は表面気泡の影響がより大きく、 $kT$  が 3.89 倍増加することが明らかとなった。

$$\text{OC} : kT = 0.0334 \cdot \exp(0.2264 \cdot D_{max}) \quad (1)$$

$$\text{MFC} : kT = 0.0204 \cdot \exp(0.0960 \cdot D_{max}) \quad (2)$$

$$\text{MFC-A} : kT = 0.0959 \cdot \exp(0.0253 \cdot D_{max}) \quad (3)$$

### 4. まとめ

- 1) 本研究で得られた透気係数  $kT$  は、広範囲に分布し、MFC, OC, MFC-A の順に増加した。
- 2) コンクリートの種類ごとに、 $kT$  と  $D_{max}$  の関係を指数関数で定量的に表現した。表面気泡が  $kT$  に及ぼす影響は、MFC に比べて OC がより大きかった。

### 参考文献

- 1) 坂田ら：コンクリート構造物の品質向上と表層品質評価手法、コンクリート工学, Vol.50, No.7, pp.601-606, 2012.
- 2) 吉田ら：コンクリート表面の気泡が透水試験の拡散係数に与える影響の評価、土木学会第 76 回年次講演概要集, 2021.
- 3) Torrent, R. *et al.*: A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the “covercrete”, International

表-2 透気性の評価基準<sup>5)</sup>

$kT$ ( $\times 10^{-16} \text{ m}^2$ )	0.001 ~0.01	0.01 ~0.1	0.1 ~1	1 ~10	10 ~100
グレード	1	2	3	4	5
透気性評価	優	良	一般	劣	極劣

表-3 透気性の評価結果

透気性評価	優	良	一般	劣	極劣
OC	0%	80%	15%	5%	0%
MFC	3%	94%	3%	0%	0%
MFC-A	0%	30%	70%	0%	0%

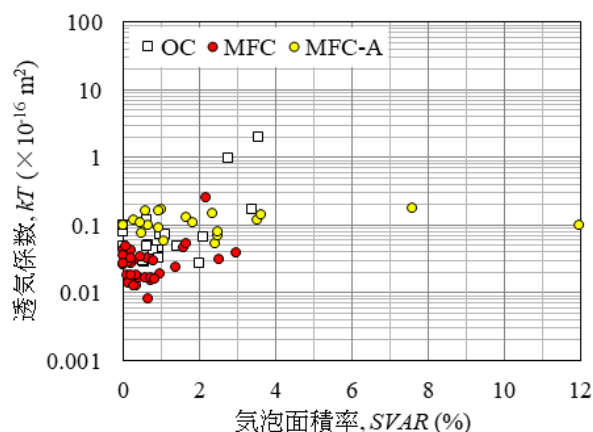


図-4 透気係数  $kT$  と気泡面積率  $SVAR$  の関係

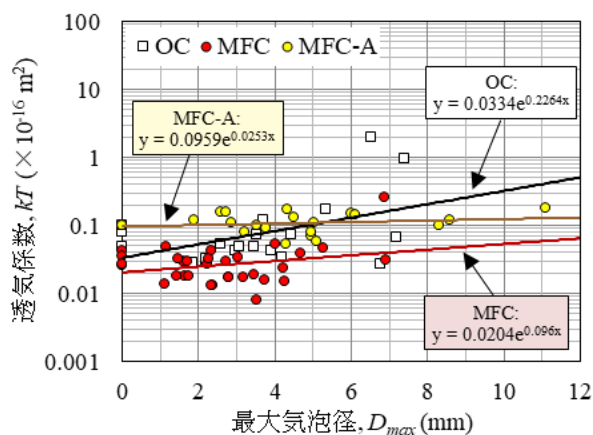


図-5 透気係数  $kT$  と最大気泡径  $D_{max}$  の関係

Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Vol. 26, No. 28, pp. 985-992, 1995.

4) Kisaku, T. *et al.*: Prediction of effective vibration condition under air void reduction using mortar rheological constant, Engineering Reports, e12484, 2022.

5) 土木学会：構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会 (335 委員会) 成果報告書およびシンポジウム講演概要集、コンクリート技術シリーズ 80, 2008.

6) 林亮太ら：透気係数による各種コンクリートの物質移動抵抗性評価方法に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, 2013.