

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

(株)IHI 正会員 ○吉田 有希 正会員 木作 友亮 非会員 河野 豊
(株)IHI建材工業 正会員 黒澤 隆 正会員 武藤 香穂
リブコンエンジニアリング(株) 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

コンクリートの表面気泡は、構造物の美観だけではなく、耐久性に悪影響を与える¹⁾。これまで、提案されているコンクリート中の気泡低減メカニズム (CB 理論)²⁾に基づき、加振条件と気泡消失効果の関係を実験的に検証してきた^{3),4)}。本研究では、様々な加振条件で作製したコンクリート供試体の透水試験を実施し、表面気泡の量と耐久性の関係を評価する。CB 理論の詳細は、木作ら³⁾の研究を参照されたい。

2. 試験方法

コンクリートの耐久性は、透水試験 (インプット法) で検証した。透水試験の方法は、村田⁵⁾の研究に準じた。加振前の供試体および加振準備状況の例を図-1 に示す。24-8-20N (空気量 4.5%) の普通コンクリートを用い、全辺が約 150mm のコンクリート供試体を作製した。供試体が所定の高さとなるように、内型枠に充填するコンクリートの重量を調整した。本試験における試験条件を表-1 に示す。No.1 は、棒形バイブレータで 10 秒間振動を与えた。これまでの研究^{3),4)}から、材料分離が生じない範囲においては、加速度を大きくするほど表面気泡の量が減少することが確認されている。そこで No.2, No.3 では、2 種類の加速度 (1.21G, 6.45G) を設定し、電磁加振機で 30 秒加振した。供試体は、脱型後に 20℃の水中で 21 日間養生した。その後、供試体の側面をコア抜きし、φ100mm×40mm の円盤状に成形した。表面気泡の影響を明確にするため、No.1, No.2 では気泡が比較的多い部分を採取し、No.3 では気泡が比較的少ない部分を採取した。成型後は、20℃の恒温槽で 7 日間乾燥させた後、周方向の側面をエポキシ樹脂でシールしてゴム枠にはめ込んだ (図-2)。表面気泡の状態を確認し、割裂位置を事前にマーキングした。ゴム枠にはめ込んだ供試体を図-3 に示す透水透気試験機に設置し、元の供試体の表面であった面に 0.8MPa の水圧を 2 時間加えた。試験直後に、マーキングした位置に丸鋼をあて、圧縮試験機で供試体を割裂した。供試体の割裂面を撮影し、画像解析によって水の浸透面積を求め、平均浸透深さを同定した。

3. 試験結果

コンクリートの拡散係数 β_i^2 は、透水試験の結果を用いて次式から求められる⁵⁾。

$$\beta_i^2 = \alpha \frac{D_m^2}{4t\xi^2}$$

ここで、 D_m は平均浸透深さ、 t は水圧を加えた時間 (=2×60²s)、 α は水圧を加えた時間に関する係数

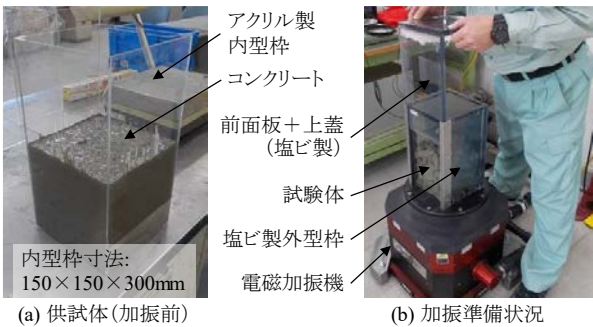


図-1 加振前の供試体および加振準備の状況

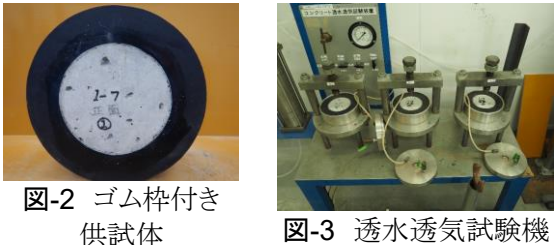


表-1 試験条件

No.	配合	締固め法	締固め条件	加振時間 [s]	ケース略称
1	普通 (N)	棒形バイブレータ (CV)	V1 (235~285Hz)	10	N-CV
2		電磁加振機 (EE)	V3 (20Hz, 1.5mm, 1.21G)	30	N-EE-1.21G
3			V5 (40Hz, 2.0mm, 6.45G)		N-EE-6.45G

キーワード CB 理論, 表面気泡, 気泡面積率, 耐久性, 透水試験, 拡散係数

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

(=45.0), ζ は水圧の大きさに関する係数 (=1.068) である。

各供試体の拡散係数および気泡面積率（透水面の面積に占める気泡面積の比率）を表-2 に整理する。ここで、供試体名を「No. -供試体番号」と表現する。気泡面積率は、6.45G の加速度を与えた N-EE-6.45G が最も小さく、次いで棒形バイブレータの N-CV が小さかった。供試体の観察例を図-4 に、透水試験で求めた拡散係数平均と気泡面積率の関係を図-5 に示す。拡散係数と気泡面積率との間には相関があり、気泡面積率が大きくなるほど、拡散係数が増加する傾向が認められた。気泡面積率の差が最も大きい例で比較すると、6.45G の加速度を与えた 3-1 ($6.311\text{cm}^2/\text{s}$) に比して、1.21G の 2-3 ($32.331\text{cm}^2/\text{s}$) の拡散係数は 5.1 倍であった。

図-6 では、本試験と村田⁵⁾の試験結果を比較する。村田の研究では、拡散係数とコンクリートの水セメント比との間に相関関係があり、また粗骨材の最大寸法 ($G_{\max}$) が拡散係数に影響することを報告している。本試験における粗骨材の最大寸法は 20mm であるが、最大寸法ごとのグラフの変化から大きな差はないと考え、ここでは最大寸法 25mm の結果と比較した。同図より、本試験の妥当性が確認されたが、同時にインプット法の透水試験が大きなばらつきを有するものであることが理解される。棒形バイブレータを使用した N-CV や加速度が 1.21G の N-EE-1.21G は、最大寸法 25mm の曲線を上回り、特に N-EE-1.21G は曲線からの乖離が顕著であった。一方、6.45G の加速度を与えた N-EE-6.45G は、全データが曲線を下回った。

4. まとめ

- 1) 6.45G の加速度を与えた N-EE-6.45G の気泡面積率が最も小さく、次いで棒形バイブレータの N-CV の気泡面積率が小さかった。
- 2) 気泡面積率と拡散係数の間には相関関係が認められ、気泡面積率の増加に伴い、拡散係数も増加した。6.45G の加速度を与えた供試体と 1.21G の供試体では、拡散係数が最大で 5.1 倍異なった。

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) 道脇 裕：生コンクリートの気泡の微細化方法，特開 2018-145089, 2017.2.27, 3) 木作ら：気泡消失理論の提案と実験的検証（その 1：中流動コンクリート），土木学会第 74 回年次講演概要集，2019, 4) 吉田ら：気泡消失理論の提案と実験的検証（その 2：普通コンクリート），土木学会第 74 回年次講演概要集，2019, 5) 村田二郎，“コンクリートの水密性の研究，”土木学会論文集，第 77, pp. 69-103, 1961.

表-2 拡散係数および気泡面積率

供試体名	ケース略称	拡散係数平均 (cm^2/s)	気泡面積率 (%)
1-1	N-CV	14.887	2.852
1-2		15.821	2.342
1-3		14.147	2.818
2-1	N-EE-1.21G	24.868	5.291
2-2		21.560	5.939
2-3		32.331	4.599
3-1	N-EE-6.45G	6.311	0.000
3-2		11.341	0.056
3-3		13.155	0.248

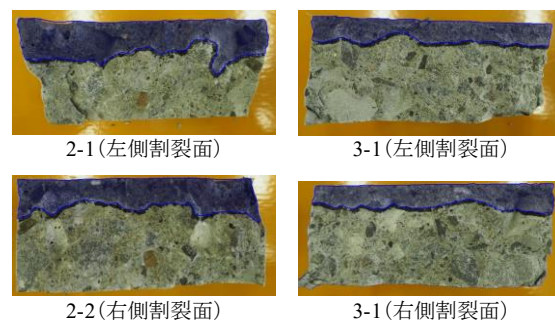


図-4 供試体の観察例

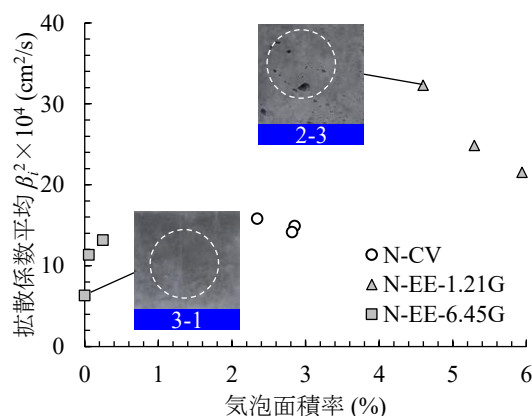


図-5 拡散係数平均と気泡面積率の関係

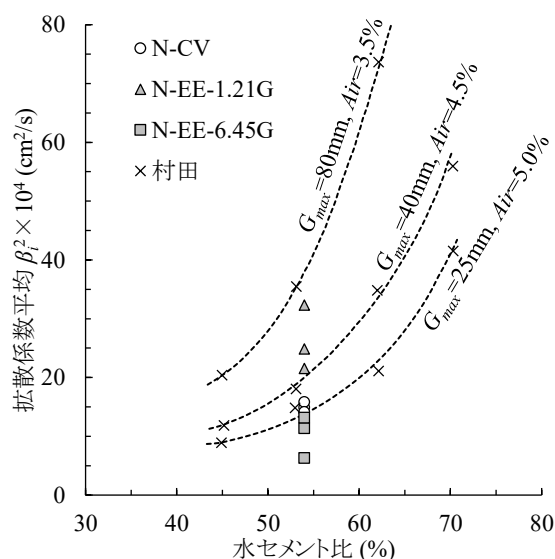


図-6 村田⁵⁾の研究との比較