

高炉スラグ細骨材を使用したモルタル小片の簡易凍結融解試験法に関する検討 ～試験開始材齢と凍結融解試験方法の影響～

九州大学大学院 学生会員 ○渡辺 総太
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
岡山大学大学院 正会員 藤井 隆史

1. はじめに

高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートは、AE 剤を用いなくても高い凍結融解抵抗性が得られることが報告されている¹⁾。本研究では、製造所の異なる高炉スラグ細骨材を用いたモルタルを作製し、モルタル小片を用いたスケーリング評価試験²⁾を行い、骨材の違いがスケーリング抵抗性に及ぼす影響について比較した。また、異なる凍結融解試験方法（プログラム式恒温装置、市販冷凍庫）で試験を行った場合の影響について考察を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントは、普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm³）を使用した。モルタルの配合は、質量比でセメント 1、水 0.5、細骨材（表乾状態）2.25 とした。細骨材は、表-1 に示す、製造所の異なる C、E、G の高炉スラグ細骨材に加えて、比較用として、JIS R 5201（セメントの物理試験方法）の標準砂（ST）を用いたモルタルも作製した。また、高炉スラグ細骨材および標準砂の粒度分布は、表-2 に示す粒度となるよう、ふるい分けて調整した。モルタルの練混ぜは、JIS R 5201 に従って行い、15 打フローを求めた。また、モルタル用エアメーターを用いて空気量の測定を行った。4×4×16cm のモルタル供試体を作製し、材齢 7 日、28 日まで水中養生（水道水）を行った 2 水準のモルタルを作製した。

2.2 スケーリング評価試験

文献²⁾を参考にして、以下の方法でスケーリング評価

試験を行った。評価試験開始の 1 日前に、4×4×16cm の角柱供試体からダイヤモンドカッターを用いて 1 辺が 10mm の立方体を切り出し、これを試験片とした。試験片を切り出す際、型枠面が 1 面以下となるようにし、試験片の数は、1 つの配合につき 6 個とした。溶液と試験片の質量割合が 10:1 となるよう、蒸留水と試験片を容量 200ml のプラスチック容器に入れた。材齢 7 日または 28 日に蒸留水と NaCl 3%溶液を入れ換え、蓋をして凍結融解試験を開始した。

温度条件に関して、凍結工程 16 時間と融解工程 8 時間を 1 サイクルとした。機関 A では、プログラム式恒温装置を用いて凍結融解サイクルを実施した。凍結工程において、20℃から（約 13℃/60 分）の温度勾配で温度を下げた後、-18℃を保持した。融解工程において、同じ温度勾配で温度を上昇させた後、20℃を保持した。機関 B では、試験片を-20℃の冷凍庫に入れて 16 時間凍結させた後、20℃の室内に移し、融解させる工程を 1 サイクルとした。

本検討では、機関 B で作製したモルタルから採取した試験片を分配し、試験を行った。凍結融解サイクルを繰返し、所定サイクル（3、7、10、14 回）毎に、5mm ふるいに留まる塊のみをピンセットで取り出し、液を

表-2 細骨材の粒度分布（質量分率）

0.15mm以下	0.15～0.3mm	0.3～0.6mm
0%	20%	40%
0.6～1.2mm	1.2～2.5mm	2.5mm以上
35%	5%	0%

表-1 高炉スラグ細骨材およびモルタルのフレッシュ性状

種類	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率(%)	骨材の単位容積質量(kg/L)	15打フロー(mm)	空気量(%)
C	2.78	0.21	1.63	202×201	6.5
E	2.72	2.16	1.54	154×147	10.5
G	2.72	0.60	1.57	186×172	7.8
ST	2.65	0.42	1.76	266×260	4.6

キーワード：高炉スラグ細骨材、凍結融解、スケーリング

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 TEL: 092-802-3387

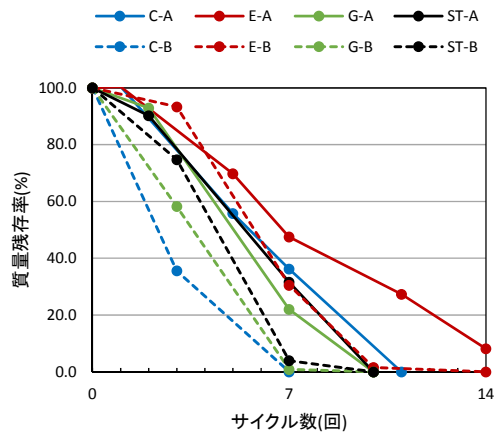


図-1 各細骨材における質量残存率の変化 (7 日)

紙製ウエスで軽くふき取った後、質量を計測した。質量残存率 R_n は、次式を用いて計算した。

$$R_n = \frac{m_n}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

R_n : n サイクルでの質量残存率 (%)

m_n : n サイクル時点で 5mm ふるいに留まる試料の質量 (g)

m_0 : 凍結融解作用を与える前の試料の質量 (g)

3. 実験結果

図-1 に、材齢 7 日の試験片を用いた場合の質量残存率を示す。図より、機関 B の質量残存率は、機関 A の値より速く低下する傾向にあることが分かる。プログラム式装置により温度昇降を繰り返した試験片は、E-A の質量残存率が大きく、C-A, G-A, ST-A はほぼ同じような結果を示した。冷凍庫を用いて温度昇降を繰り返した試験片は、3 サイクル終了時点で、細骨材種類による質量残存率に差が表れ、7 サイクル終了後には、E-B 以外の質量残存率がほぼ 0% となった。冷凍庫の方が質量残存率の低下速度が大きかった理由として、冷凍庫を用いた場合の温度変化が急激であったことが推察される。

図-2 に、材齢 28 日の試験片における質量残存率を示す。材齢 28 日の試験片では、機関 A と機関 B の測定結果が概ね一致していることが確認できた。E が最も高く、次いで C と G となり、標準砂 ST は最も低い結果であった。

既往の研究¹⁾では、高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートは、水酸化カルシウムの溶出により間隙が減少することが報告されている。材齢 7 日のモルタル試験片は、短期材齢のため高炉スラグ細骨材による潜在水硬性が十分に発揮されていないことに加えて、試験体を冷凍庫へ出し入れする場合の温度変化速度が、プ

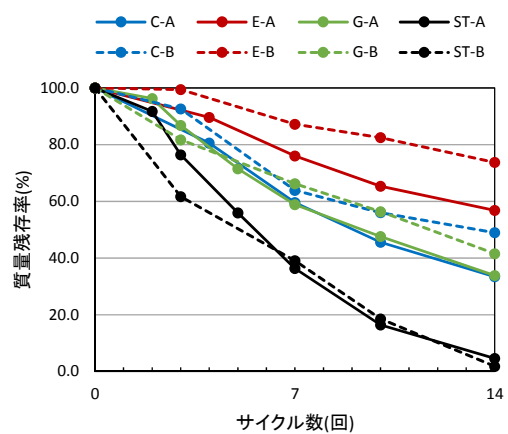


図-2 各細骨材における質量残存率の変化 (28 日)

ログラム式装置と異なるため、機関 A と機関 B での試験結果に差が生じたと考えられる。一方、材齢 28 日のモルタル試験片では、特に、高炉スラグ細骨材を用いた配合でスケーリング抵抗性の向上が確認された。また、プログラム式装置と冷凍庫の差による影響は小さくなっている。市販の冷凍庫を用いる試験方法は、簡易的にスケーリング評価を行うことができる可能性を有することが明らかとなった。しかし、養生期間が短い場合には、試験期間中の質量残存率の減少が大きく、評価の精度が低下する可能性が高い。

今後、コンクリートの凍結融解試験結果との比較、試験結果の再現性などについて検討する必要がある。

4. まとめ

- (1) 小片を用いたスケーリング試験により、材齢 28 日のモルタル供試体は、材齢 7 日のものよりも凍結融解抵抗性が向上することを確認できた。
- (2) 材齢 28 日では、プログラム式装置を使用した結果と、冷凍庫を使用した結果には、概ね相関があることが明らかとなった。

謝辞：本研究は、土木学会コンクリート委員会「高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートに関する研究小委員会」(354 委員会)の活動の一環として実施したものである。関係者各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 綾野克紀, 藤井隆史：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.70, No.4, pp.417-427, 2014
- 2) 小山田哲也, 羽原俊祐, 高橋拓真, 高橋俊介：スケーリング劣化を考慮した新しい凍結融解試験法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.935-940, 2011