高炉スラグ細骨材の簡易品質試験に関する基礎的検討

東北大学　学生会員　○何東栗　　藤田亮
東北大学　正会員　　皆川浩　宮本慎太郎　久田真

1. はじめに

急冷スラグから製造された高炉スラグ細骨材（以下，BFS）は反応性を有し，空隙構造を緻密化する．そのため，コンクリートの凍結融解に対する抵抗性を向上させることが指摘されており，BFS を使用して作製した小片試験体を凍結融解試験に供する方法が，BFS の簡易品質試験として提案されている[1]．しかし，BFS を使用したモルタルはブリーディングが生じやすく，簡易品質試験の結果にも影響を及ぼす恐れがある．

そこで本研究では，モルタルの製造方法と試料採取位置が簡易品質試験の結果に及ぼす影響を評価した．

2. 実験概要

2.1　実験水準

モルタルの製造方法として練混ぜ後のモルタルの「練返し」の有無（二水準）を，小片試験体（1×1×1 cm の立方体）の採取位置として，4×4×16 cm 供試体の上部（打込み面を含み，残り 5 面は切断面）・中部（6 面全て切断面）・下部（打込み底面を含み，残り 5 面は切断面）の三水準を設定した．

「練返し」とは，ミキサでモルタルを練り混ぜた後，過度な材料分離を抑制するために，手練りでモルタルを練直すことである．本研究では，「練返し有り」の水準では，練混ぜ終了後から 30 分程度，断続的に手練りを行った後に，型枠にモルタルを打ち込んだ．

2.2　小片試験体による凍結融解試験（簡易品質試験）

2.2.1　使用材料と配合

研究用普通ポルトランドセメントと BFS を用いて $W/C = 50$ %，S/C = 2.25 のモルタルを作製した．なお，BFS の他に ISO 標準砂も比較用として使用した．BFS は日本国内の 6 工場で製造されたもの[2]であり，吸水率は 0.32～0.71%である．なお，BFS や ISO 標準砂の粒度は**表-1** に示すように調整している．

表-1　細骨材の粒度分布（上段：ふるいの寸法，下段：質量分率）

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

2.2.2　小片試験体の採取位置と採取方法

JIS A 1146 に準拠してモルタルを練り混ぜ，内寸法 40×40×160 mm の鋼製三連型枠に打込んだ（以下，供試体）．打込み後，供試体は 20 °C 湿潤環境に保管し，24± 2 時間経過後に脱型した．脱型後の供試体は 20°C の水道水中で養生し，材齢 7 日・28 日の時点で，精密カッタで 1 cm 角に切断し，小片試験体とした．

2.2.3　凍結融解試験

小片試験体 6 個と NaCl 3.0%水溶液を液固比 10 でプラスチック製容器に入れ，それを凍結融解試験装置内に設置する．凍結工程では試験装置の温度が-18±2°C で 12 時間以上保ち，融解工程では最高温度は 20±2°C とし，5 時間以上この温度を保つ．温度上昇（下降）速度は，7～15 °C/h とした．サイクル数は 7，10，14 サイクルとした．試験開始材齢は 7 日と 28 日である．

所定のサイクル凍結融解を行った後，公称目開き 4.75 mm のふるいに留まるモルタル塊状部のみをピンセットでプラスチック製容器から取り出し，表面の水分を拭き取り，モルタル塊状部の質量を測定する．試験の評価は式(1)に示す質量残存率で行った．

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

ここで，$R_n(t)$：試験開始材齢 t（本研究では 7 or 28 days）まで水中養生した試験体の凍結融解 n サイクルでの質量残存率（%），$m_n(t)$：試験開始材齢 t まで水中養生した試験体の凍結融解 n 時点で塊状として残存する試験体の質量（g），$m_0(t)$：試験開始材齢 t まで水中養生した試験体の凍結融解作用を与える前の試料の質量（g）．

2.3　凍結融解試験以外の試験項目

空隙率を，材齢 28 日にて，供試体を 4×4×1cm に切断して，アルキメデス法により測定した．乾燥条件は 105°C・7 日間である．電気抵抗率は供試体に対して材齢 6・27 日で電極間隔が 3 cm の 4 プローブ法にて測定した．電気抵抗率の計算は，供試体の形状・寸法，電極間隔を考慮したセル定数を用いて行った[3]．

キーワード　高炉スラグ細骨材　凍結融解試験　電気抵抗率
連絡先　〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院土木工学専攻　Tel　022-795-7427

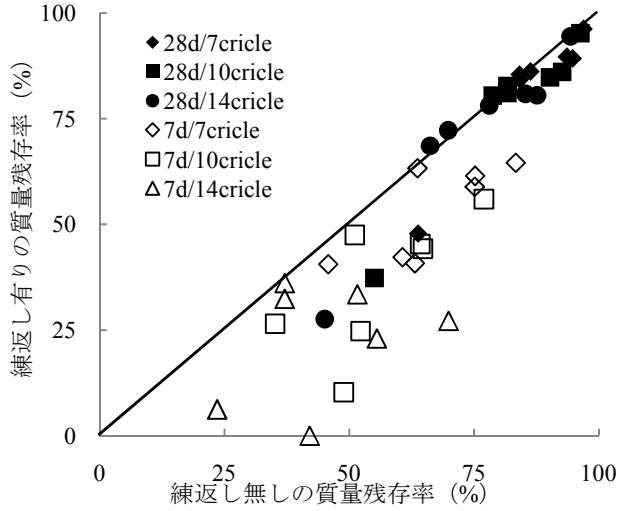

図-1　質量残存率に及ぼす練返しの有無の影響

3. 実験結果および考察

3.1　質量残存率に及ぼす練返しの有無の影響

図-1 より，全体的な傾向として，練返し有りの方が無しよりも質量残存率が小さくなった．空隙率の測定結果は，全てのケースにおいて練返し有りの方がおおよそ 1 %程度大きかった．練返し有りのケースでは，ブリーディングの影響が小さくなることよりも，練返し時の空気泡の巻込みによるエントラップトエアーの増加の方が，耐凍害性に顕著な影響を及ぼしたためと考えられる．なお，練返しの有無が質量残存率に及ぼす影響は，試験開始材齢が 7 日では顕著であるが，試験開始材齢が 28 日になると，BFS を使用したケースでは緩和されることが確認された．これは，BFS の表面で何らかの反応が生じ，材齢の経過と共に組織を緻密化させ，練返しにより増加したエントラップトエアーの負の影響を緩和した結果だと考えられる．

3.2　質量残存率に及ぼす採取位置の影響

図-2 より，採取位置によって，質量残存率が異なることが確認される．特に打込み面を含む小片試験体の場合，結果のバラツキが大きい．この結果より，BFS の品質を本研究で検討した凍結融解試験で評価する際には，小片試験体の採取位置を限定する方が安定した試験結果を得られると考えられる．

3.3　質量残存率と電気抵抗率の関係

図-3 より，質量残存率と電気抵抗率の相関性は，試験材齢が 7 日のケースでは不明確であるが，28 日のケースでは強くなる傾向が得られた．耐久性に関する BFS の品質評価を簡易試験で実施する場合には，試験項目によって試験材齢を適切に設定する必要がある．

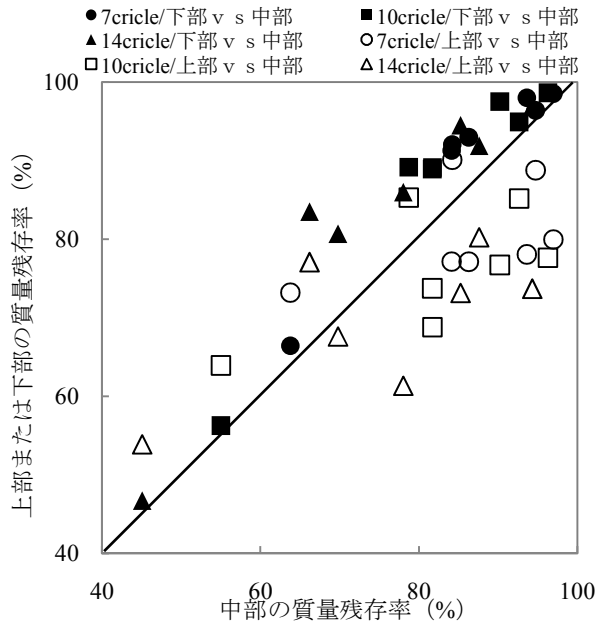

図-2　質量残存率（試験開始材齢 28 日）に及ぼす小片試料採取位置の影響

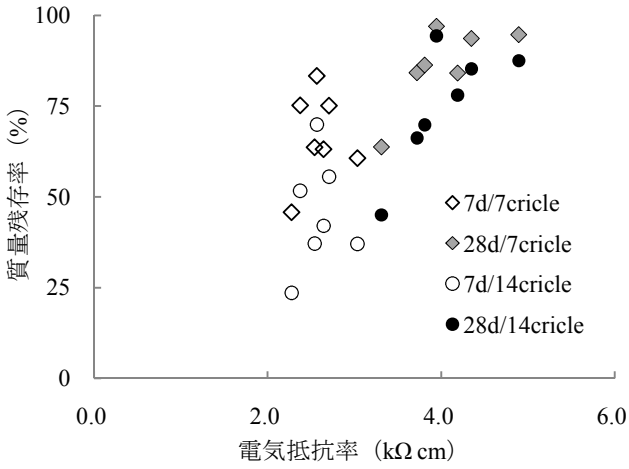

図-3　質量残存率と電気抵抗率の関係

4. 結論

モルタルの小片試験体で BFS の凍結融解抵抗性を評価する場合，小片試験体の採取箇所を限定する必要がある．また，供試体作製時には過度に巻き込み空気泡が混入しないように配慮する必要があるが，試験開始材齢が 28 日であれば，大きな差異は生じない．

参考文献

1) 羽原ら：コンクリートのスケーリング劣化に及ぼす凍結防止剤の影響, Cement Science and Concrete Technology, Vol.67, pp. 95-101，2013
2) 藤田ら：高炉スラグ細骨材の物性が硬化後のモルタルの基礎物性に及ぼす影響，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.17，pp.345-350，2017
3) 皆川ら：4 プローブ法をコンクリート供試体に適用した時のセル定数の数値解析による算定とその検証, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.17, pp.447-452 ，2017