製造工場の異なる高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの強度および耐久性に関する研究

岡山大学大学院　正会員　○藤井　隆史
JFE スチール(株)　正会員　　高橋　克則
岡山大学大学院　フェロー　綾野　克紀

１．はじめに

高炉スラグ細骨材をコンクリートの細骨材として用いることで，塩化物イオンの浸透が抑制される[1]ことや，AE 剤を用いることなく凍結融解抵抗性が得られる[2]等，コンクリート構造物を長寿命化することが可能なことが示されている．本研究では，6 カ所の製鉄所で製造された高炉スラグ細骨材を用い，製造工場の違いがコンクリートの強度，塩化物イオン浸透性および凍結融解抵抗性に与える影響を調べた．

２．実験概要

実験に用いた細骨材の物性を**表１**に示す．高炉スラグ細骨材は，6 カ所の製鉄所の工場で製造されたものを用いた．なお，F 工場製のものについては，主にセメント向けに出荷されているガラス化率の高い軟質スラグも実験に用いた．比較用として，硬質砂岩砕砂を用いた．粗骨材は硬質砂岩砕石（最大寸法：20mm，表乾密度：2.73g/cm^3，吸水率：0.49%）を，セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.15g/cm^3，ブレーン値：3,350cm^2/g）を用いた．混和剤は，高性能減水剤を用い，AE 剤は用いていない．コンクリートの配合は，水セメント比，単位水量および細骨材率をそれぞれ 35%，155kg/m^3，42.0%で一定として配合を決定した．塩化物イオン浸透性試験は JSCE-G 572-2013 に，凍結融解試験は JIS A 1148: 2010 に規定される水中凍結融解試験方法（A 法）に準拠して行った．ただし，凍結水には，質量パーセント濃度で 10%の塩化ナトリウム水溶液を用いた．モルタル小片を用いた凍結融解試験は，材齢 28 日まで水中養生を行った一辺が 1cm のモルタル小片 6 個を 3%の塩化ナトリウム水溶液中で，-20℃で 16 時間凍結をさせた後，20℃で 8 時間融解させる工程を 14 回繰り返した後，モルタル小片を取り出し，崩れ落ちた部分を取り除いて質量を測定し，試験開始前からの質量残存率を算出した．モルタルの配合は，水セメント比 50%，砂セメント比 2.25 として配合を決定した．

３．実験結果および考察

図１に材齢 28 日における圧縮強度を示す．吸水率の大きい F 工場製の高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートは，他のものと比べて圧縮強度が小さいことがわかる．一方，**図２**に材齢 28 日における静弾性係数を示す．高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの静弾性係数は，いずれの工場製のものも砕砂に比べて大きいことがわかる．**図３**に，1 年間塩化ナトリウム水溶液に浸漬させたコンクリートの塩化物イオン分布から求めた塩化物イオンの見かけの拡散係数を示す．いずれの製造工場の高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの見かけの拡散係数は，砕砂を用いたものに比べて小さいことがわかる．**図４**に，凍結融解試験を耐久性指数で示す．いずれのコンクリートにも AE 剤は用いていない．材齢 28 日で試験を開始した場合，高炉スラグ細骨材の製造工場によって，凍結融解抵抗性に差があることがわかる．一方，材齢 71 日まで水中養生を行うことで，いずれの製造工場のものも，凍結融解抵抗性が向上していることがわかる．**図５**は，材齢 28 日に試験を開始したコンクリートの耐久性指数とモルタル小片を用いた凍結融解試験結果との関係を示したものである．モルタル小片の質量残存率が大きいものほど，耐久性指

表１　細骨材の物性

製造工場	表乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	粗粒率
A	2.73	0.66	2.20
B	2.70	1.42	2.35
C	2.74	0.86	2.37
D	2.78	0.57	2.61
E	2.78	1.10	3.24
F	2.66	3.17	3.64
F(軟質 1)	2.65	1.05	2.58
F(軟質 2)	2.64	0.54	2.45
砕砂	2.64	2.00	2.83

キーワード　高炉スラグ細骨材，製造工場，圧縮強度，静弾性係数，塩化物イオン浸透性，凍結融解抵抗性
連絡先　〒700-8530　岡山市北区津島中 3-1-1　岡山大学大学院環境生命科学研究科　TEL&FAX 086-251-8155

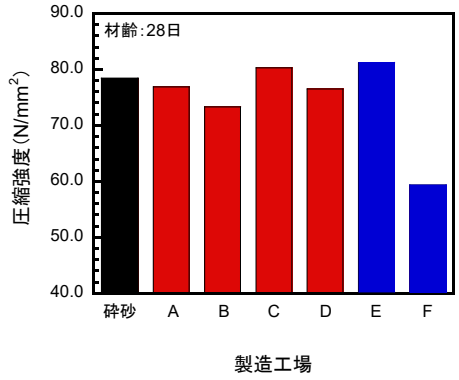

図１　圧縮強度試験の結果

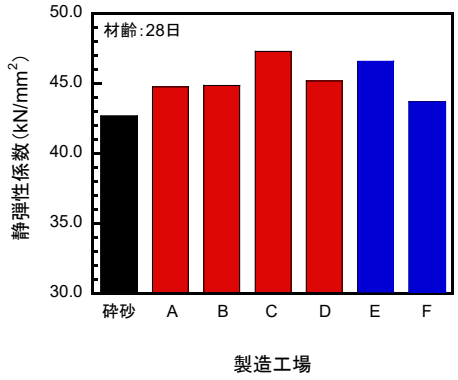

図２　静弾性係数試験の結果

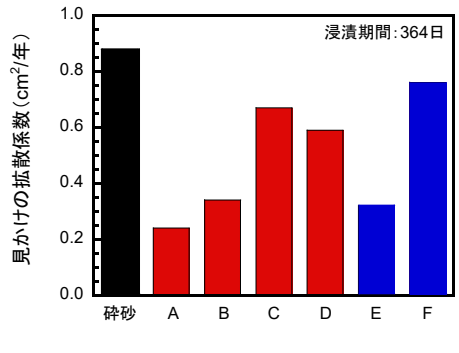

図３　塩化物イオン浸透性試験の結果

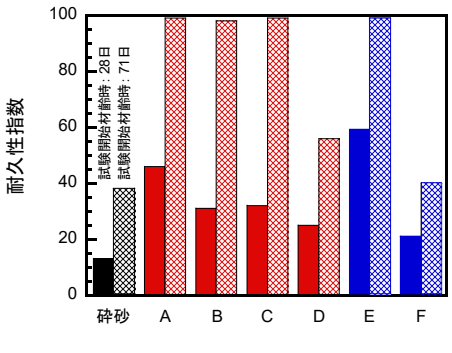

図４　凍結融解試験の結果

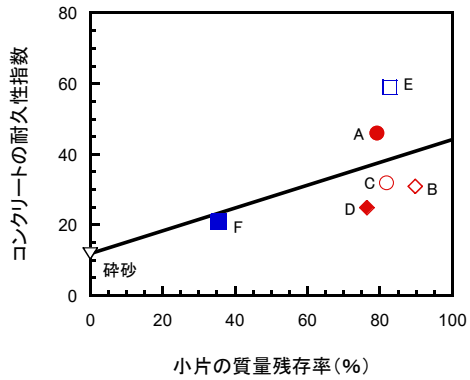

図５　耐久性指数と小片凍結融解試験結果との関係

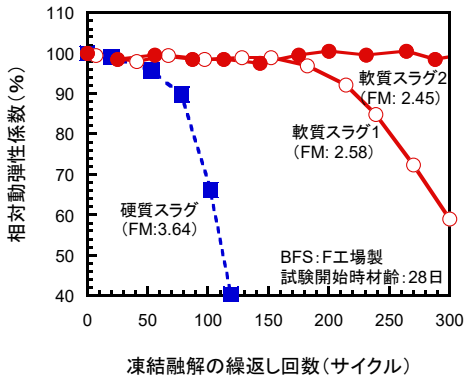

図６　軟質スラグを用いた凍結融解試験結果

数が大きいことがわかる．図６は，F 工場の軟質スラグを用いたコンクリートの凍結融解試験結果である．他の工場のものと比べて凍結融解抵抗性が低かった F 工場の高炉スラグでも，セメント向けに製造されている軟質スラグを用いれば，他の工場と同様に AE 剤を用いなくても凍結融解抵抗性が得られることがわかる．

４．まとめ

製造工場によって差はあるが，いずれの製造工場の高炉スラグ細骨材も静弾性係数は砕砂を用いたものに比べて大きくなり，塩化物イオンの見かけの拡散係数は小さくなる．一方，凍結融解抵抗性は，軟質のスラグを用い，十分な水中養生を行うことで，いずれの工場のものも，AE 剤を用いずに凍結融解抵抗性が得られる．

謝辞　本研究は，内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」（管理法人：NEDO）によって実施した．ここに謝意を表する．

参考文献

1) 藤原斉，堀水紀，細谷多慶，藤木昭宏：高炉スラグがコンクリートの塩分浸透性に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.19，No.1，pp.757-762，2017

2) 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