

高炉スラグ細骨材を用いたセメント硬化体の耐硫酸性に関する研究

岡山大学大学院 学生会員 ○尾関 唯
岡山大学大学院 正 会 員 藤井 隆史
ランデス（株） 正 会 員 細谷 多慶
岡山大学大学院 正 会 員 綾野 克紀

1. はじめに

下水道処理施設では下水道のコンクリートが早期劣化をする事例が起きている。その原因は、下水汚泥から発生する硫化水素ガスが細菌によって酸化され、生成された硫酸の化学的腐食によるものである。そのため長期耐久性を有し、維持管理コストを含めたライフサイクルコストを低減する耐硫酸性セメント系材料の需要が高まっている。コンクリートの耐硫酸性を向上させるため、銑鉄を製造する際に副産物として発生する高炉スラグをコンクリートの結合材や細骨材として使用することが有用であると明らかになっている¹⁾。しかし、高炉スラグ細骨材であっても、製造時期および工場により、コンクリートの耐硫酸性の品質にばらつきを生じることがある。本論文では、高炉スラグ細骨材の品質の評価試験方法を提案する。

2. 実験概要

硫酸浸漬試験には、 $\phi 75 \times 150 \text{ mm}$ の円柱モルタル供試体を用いた。結合材には、普通ポルトランドセメント（密度： 3.15 g/cm^3 ，ブレン値： $3,300 \text{ cm}^2/\text{g}$ ），細骨材には、川砂（密度： 2.61 g/cm^3 ，吸水率：1.96%，粗粒率：2.96）および高炉スラグ細骨材（密度： 2.77 g/cm^3 ，吸水率：0.72%，粗粒率：2.15）を用いた。モルタルは、打設後 24 時間で脱型し、材齢 28 日まで水中養生を行った後、硫酸浸漬試験を開始した。硫酸に 56 日間浸漬させた後、乾式カッターで切断しフェノールフタレイン溶液を噴霧し、切断面の呈色域の直径から侵食深さを算出した。細骨材の耐硫酸性判定試験に、粒度 $0.3 \sim 0.6 \text{ mm}$ の細骨材を用いた。質量 0.2 g の細骨材に対し、硫酸 4 ml を加え（液固比 $20 : 1$ ），15 分，30 分，45 分，および 60 分静置した。静置後、細骨材を取り出し蒸留水で硫酸を十分洗い流した後、乾燥させた。乾燥後、骨材表面に吸着した硫黄の固有 X 線強度を蛍光 X 線分析装置で測定した。硫酸浸漬試験および耐硫酸性判定試験には、いずれも質量パーセント濃度 5% の硫酸を用いた。

3. 実験結果および考察

写真 1 は、硫酸浸漬試験後の供試体の側面と切断面を示したものである。細骨材に川砂を用いたモルタルよりも、高炉スラグ細骨材を用いたモルタルの方が、侵食深さが 3 分の 1 程度と小さく硫酸による侵食が小さいことが分かる。高炉スラグ細骨材を用いたモルタルの表面には、強固で密実な二水石こうの膜が形成され、硫酸の浸透が抑制されるためであると考えられる。図 2 は、製造時期と工場が異なる高炉スラグ細骨材を用いたモルタルの硫酸浸漬試験の結果を示したものである。高炉スラグ細骨材の製造時期および場所によって、モルタルの耐硫酸性の品質にばらつきが生じている。図 3 は、川砂および高炉スラグ細骨材の耐硫酸性判定試験の結果とそれらを用いたモルタルの硫酸浸漬試験の結果を比較したものである。モルタルの硫酸浸漬試験においてモルタル表面に二水石こうの膜が形成されない川砂は、耐硫酸性判定試験において、硫酸浸漬後の骨材から、硫黄が確認されない。それに対し、モルタルの硫酸浸漬試験においてモルタル表面に二水石こうの膜が形成される高炉スラグ細骨材は、耐硫酸性判定試験において硫酸浸漬後の骨材から、硫黄が確認される。図 4 は、磨砕の有無および塩基度の低い高炉スラグ細骨材の耐硫酸性判定試験の結果とそれらを細骨材に用いたモルタルの硫酸浸漬試験の結果を比較したものである。耐硫酸性判定試験において、いずれの高炉スラグ細骨材からも硫酸浸漬後の骨材から、硫黄が確認される。また、それらを細骨材に用いたモルタルの表面には、硫酸により二水石こうの膜が形成されている。図 5 は、 $1,000^\circ\text{C}$ に加熱後、徐冷することで結晶化させた高炉スラグ細骨材の耐硫酸性判定試験の結果とそれを細骨材に用いたモルタルの硫酸浸漬試験の結果を比較したものである。結晶化した高炉スラグ細骨材では、耐硫酸性判定試験において、硫黄の吸着量が浸漬時間とともに、緩やかに増加している。一方、非晶質な高炉スラグ細骨材は、短い浸漬時間で硫黄の吸着量が増加している。モルタルの硫酸浸漬試験では、結晶化された高炉スラグ細骨材を用いたモルタルでは、表面に形成された二水石こうの膜がはがれ落ちている。図 6 は、銅スラグ、下水汚泥熔融スラグ、ガラス、シ

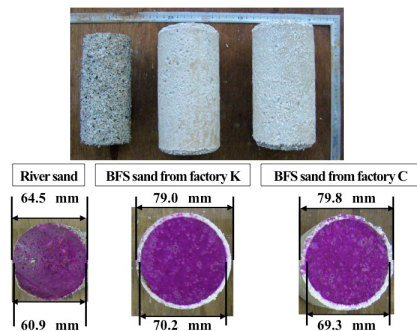


写真 1 川砂および高炉スラグ細骨材を用いたモルタルの硫酸浸漬試験の様子

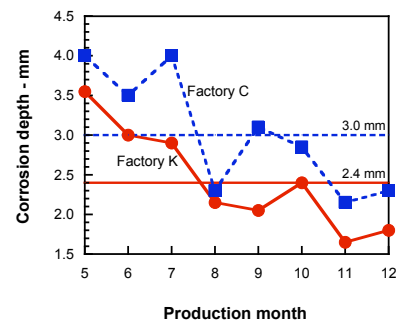


図 1 産地の異なる製鉄所の高炉スラグ細骨材を用いたモルタルの硫酸の侵食深さのばらつき

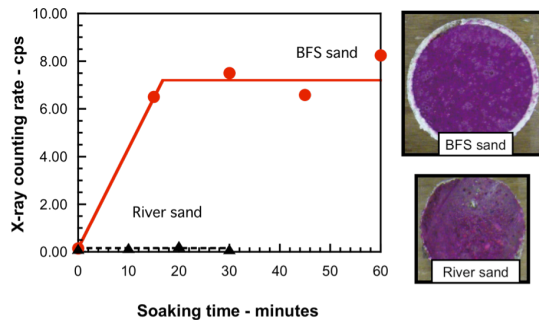


図 2 川砂と高炉スラグ細骨材を用いた耐硫酸性判定試験と硫酸浸漬試験の結果

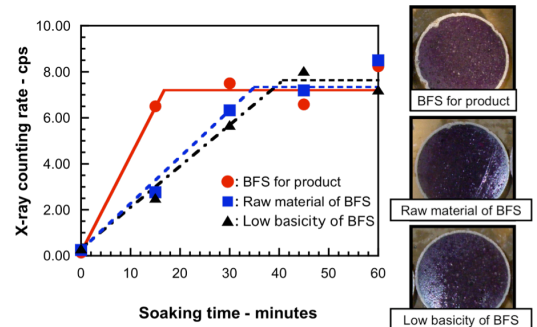


図 3 異なる種類の高炉スラグ細骨材の耐硫酸性判定試験と硫酸浸漬試験の結果

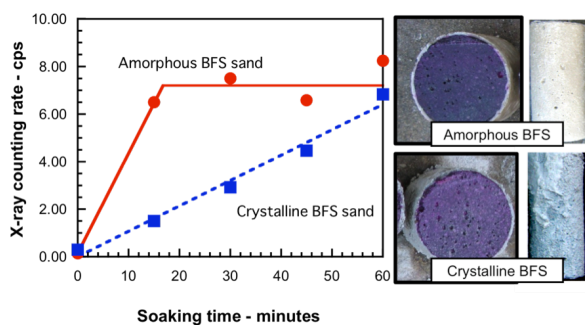


図 4 結晶化された高炉スラグ細骨材の耐硫酸性判定試験と硫酸浸漬試験の結果

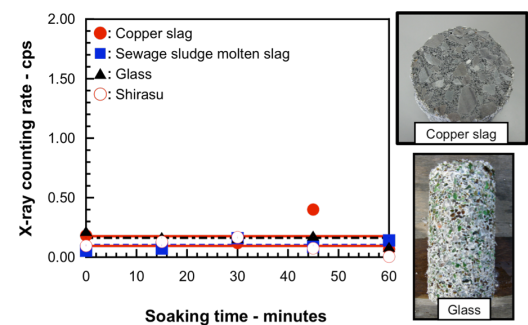


図 5 非晶質な細骨材の耐硫酸性判定試験と硫酸浸漬試験の結果

ラスの耐硫酸性判定試験の結果とそれを用いたモルタルの硫酸浸漬試験の結果を比較したものである。これらの細骨材はいずれも非晶質なものである。いずれの細骨材においても、硫酸浸漬後の骨材から硫黄は確認されない。これらの細骨材を用いたモルタルを硫酸に浸漬させても、モルタル表面には、二水石こうの膜は形成されていない。

4. まとめ

硫酸中で表面に二水石こうの膜を形成するモルタルは、二水石こうの膜が硫酸の浸透を抑制するため、高い耐硫酸性を示す。本論文で提案した耐硫酸性判定試験において硫酸浸漬後に硫黄が確認された骨材を用いたモルタルを、硫酸に浸漬させると、モルタル表面に二水石こうの膜を形成する。それに対して、耐硫酸性判定試験において硫酸浸漬後に硫黄が確認されない骨材を用いたモルタルを、硫酸に浸漬させてもモルタル表面には二水石こうの膜は形成されない。よって、耐硫酸性判定試験の結果を利用して、モルタルの表面に二水石こうの膜が形成されるか否かを判定することができる。

参考文献

- 1) 藤井隆史, 小河内誠, 綾野克紀, 阪田憲次: 高炉スラグを用いたモルタルの耐硫酸性に関する研究, 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.8, pp.65-70, 2008.10