

高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの塩害とA S Rの複合劣化に関する研究

鹿児島大学 学生会員 ○松元 淳一 鹿児島大学 正会員 武若 耕司
 鹿児島大学 学生会員 樫原 弘貴 鹿児島大学 正会員 前田 聡

1. はじめに

近年、アルカリシリカ反応（以下、ASR と称す）による鉄筋コンクリート構造物の劣化が、多数報告されている。この ASR の抑制方法として高炉スラグ微粉末などの混和材の使用が挙げられる¹⁾。しかしながら、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、特に、海洋構造物で使用されることから、海水中の NaCl がコンクリート中へ浸透することで ASR を引き起こすだけでなく、加速させることも懸念される。そこで、本研究では、高炉スラグ微粉末を用いたモルタルに予め添加された NaCl が ASR へ及ぼす影響について、アルカリシリカ反応試験（モルタルバー法）によって検討した。

2. 試験概要

モルタルバー試験は、JIS A 1146 に従って行った。以下に実験の概要を示す。反応性骨材としては、鹿児島産の砕石を粒度調整して使用した。この骨材は、図 - 1 に示す JIS A 5308 の化学法で「無害でない」と判定されたものである。非反応性骨材としては、富士川産川砂（密度 2.65g/cm^3 、吸水率 1.93%）を用いた。セメントは等価 Na_2O が 0.55% の普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末としては、密度 2.90g/cm^3 、目標ブレン値 $4000\text{cm}^2/\text{g}$ で等価 Na_2O が 0.42% のものを用いた。

試験に用いたモルタルの配合については、高炉スラグ微粉末の置換率はセメント重量の内割として 0、30、50 および 70% の 4 水準とした。なお、以下では、スラグ置換率 0、30、50 および 70% で作製した供試体を OPC、BA、BB ならびに BC として示す。アルカリ量については、全粉体に対する等価アルカリ量 $[(\text{Na}_2\text{O})]$ が、1.2、2.4% になるよう NaOH 水溶液を混入して調整した。また、塩分がある程度浸透した場合としていない場合を想定し、NaCl を 0、2.4 および 6kg/m^3 の 3 水準で添加した。ただし、以下の表記では、この場合の NaCl 添加量は等価アルカリ量 $[(\text{Na}_2\text{O})]$ に加えていない。また、比較用として、NaOH の代わりに NaCl で等価アルカリ量 $[(\text{Na}_2\text{O})]$ を 1.2% に調整した場合も同時に行った。供試体の要因と水準をとりまとめて表 - 1 に示した。

モルタル供試体作製 1 日後に写真 - 1 に示すような温度 40°C 、湿度 99% の環境に設定された促進恒温試験槽に静置し、所定材齢に達した供試体は、乾燥させないように室温 20°C で供試体を保管して、温度が一定になったところで、ダイヤルゲージで長さ変化、重量を測定し、3 本の平均とした。ここでは、促進材齢 16 週以内の結果について報告する。

3. 試験結果および考察

一例として、アルカリ量 1.2% の NaCl 添加量 2.4kg/m^3 における反応性骨材混入率 50、100% の膨張率の経時変化を図 - 2 に示す。OPC 供試体の場合においては、試験開始 5 週目付近より膨張率が 0.1% を越え、16 週目では、反応性骨材混入率 50、100% 共に、膨張率が 0.3% と大きな膨張量となっており、供試体表面には亀

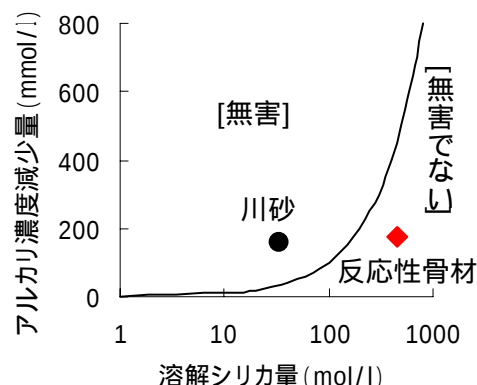


図 - 1 化学法結果

表 - 1 要因と水準

要因	水準		
スラグ置換率 (%)	50	0	30, 70
$(\text{Na}_2\text{O})_{\text{eq}} (\%)$	1.2, 2.4	1.2	
NaCl 添加量 (kg/m^3)	0, 2.4, 6		2.4
反応性骨材混入率 (%)	0, 50, 100		



写真 - 1 促進恒温試験槽

甲状のひび割れが確認できた。しかしながら、セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換した供試体は、いずれも膨張率は小さな値を示したことから、セメントの30%を高炉スラグ微粉末で置換することで、ASRを抑制する効果は十分にあると考えられる。

図-3に、アルカリ量1.2%の反応性骨材混入率50%におけるNaCl添加量の違いによる膨張率の経時変化を示す。なお、NaCl添加量 2.4kg/m^3 から Cl^- 量を算出すると 1.46kg/m^3 となり、これは、塩化物イオンが鉄筋の腐食に与える腐食発生限界量(1.2kg/m^3)に近い値である。また同様に、NaCl添加量 6kg/m^3 から Cl^- 量は 3.64kg/m^3 となる。結合材がセメントのみのOPC供試体においては、NaClの添加量が多くなるにしたがって、膨張率が大きくなる結果を示し、NaCl中のNaの影響でモルタルの等価アルカリ量 $[(\text{Na}_2\text{O})]$ 1.2%が、実際はNaCl添加量2.4, 6kg/m^3 でそれぞれ1.41, 1.73%になったためだと考えられる。しかしながら、セメントの一部を高炉スラグ微粉末で50%置換したBB供試体においても、モルタルの等価アルカリ量 $[(\text{Na}_2\text{O})]$ が、NaCl添加量によって同様に増加しているにもかかわらず、いずれのNaCl添加量でも、殆ど膨張しない結果を示した。この結果、これまでのところ、高炉スラグ微粉末をセメント重量の50%置換した場合、供試体中の全アルカリ量が1.2%程度では、塩化物イオンが腐食発生限界量やそれに近い量となる程度のNaClがモルタル中に浸透してもASRは生じないと予想された。

図-4には、試験開始より8週間経過した後の等価アルカリ量 $[(\text{Na}_2\text{O})]$ をNaOHあるいはNaClのそれぞれで1.2%に設定した場合の反応性骨材混入率と膨張率の関係を示した。これまでのところ膨張率がわずかであり、アルカリがNaOHで混入された場合とNaClで混入された場合で、その差は明確には表れていない。

4. まとめ

促進材齢16週までの範囲では、結合材がセメントのみの供試体では、NaCl添加量が多くなると膨張量も大きくなることが認められたものの、セメントの50%を高炉スラグ微粉末で置換した場合は、鉄筋腐食発生限界量に相当する程度のNaClが混入された場合でも、ASRを抑制する効果は変わらないことが確認された。ただし、外部から塩化物イオンが浸入する場合、鉄筋近傍の塩化物イオンが腐食限界量程度であっても、コンクリート表面付近ではその何倍もの塩分が蓄積されていることもあり、高炉セメント使用の場合においても、NaCl量とASR発生の関係をより明確にする必要がある。

謝辞：本研究は、平成15年度製鋼スラグ協会研究奨励金により実施した研究の一部である。関係者各位に感謝する次第である。
参考文献：1) 石井ら：高炉スラグ粉末、フライアッシュによるASR膨張抑制効果に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集，vol.8, pp.217-220, 1986

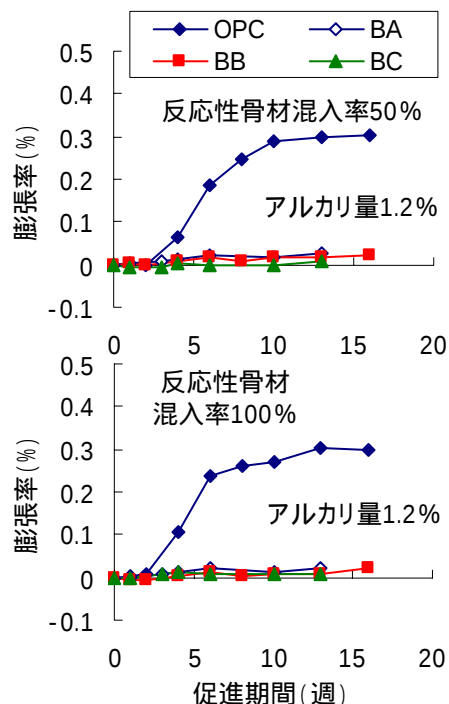


図-2 膨張率の経時変化
(NaCl添加量 2.4kg/m^3)

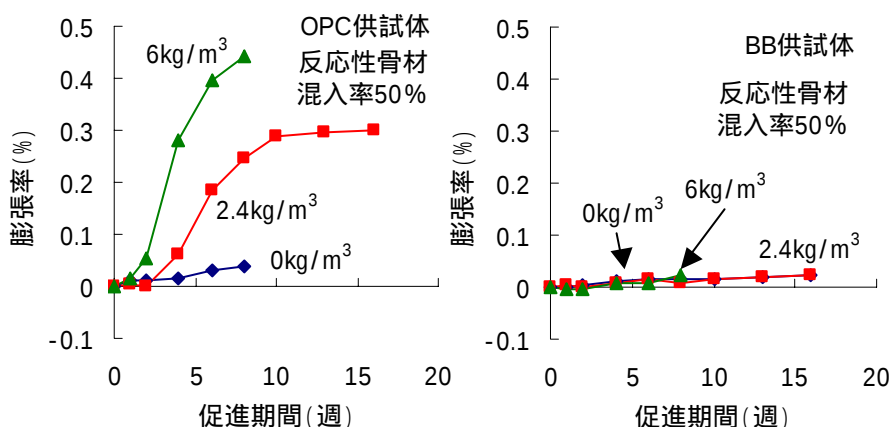


図-3 NaCl添加量による膨張率の経時変化

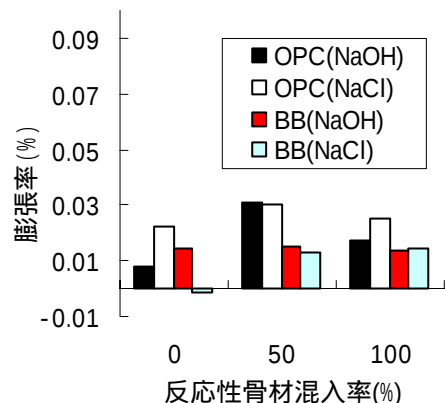


図-4 NaOHあるいはNaClで等価アルカリ量を1.2%に設定した場合の反応性骨材混入率と膨張率の関係