高炉スラグ−ポゾラン物質系混合セメントを用いたコンクリートの耐硫酸塩性に関する検討

株式会社デイ・シイ　正会員　○大澤　友宏
株式会社大林組　正会員　平田　隆祥
株式会社デイ・シイ　正会員　久家　立
株式会社大林組　正会員　人見　尚

1. はじめに

コンクリートの劣化現象に酸類、アルカリ類、塩類、油類、腐食性ガスなどによる化学的腐食がある。代表的なものとして、ナトリウム、マグネシウムなどの硫酸塩を含む無機化合物によって著しい膨張を引き起こす硫酸塩劣化が知られている。硫酸塩劣化は、硫酸塩が侵入するとセメントの水和生成物のモノサルフェートと硫酸塩が反応して生成するエトリンガイトの結晶成長圧力により膨張破壊する現象である。

高炉セメント・フライアッシュセメントなどの混合セメントは、混和材料で希釈することにより C_3A の含有量を減少させることで硫酸塩劣化を抑制している。また、耐硫酸塩ポルトランドセメント(SR)は、普通ポルトランドセメント(OPC)よりC_3Aの含有量を減少させてモノサルフェートの生成量の減少により硫酸塩劣化を抑制している。

本稿の高炉スラグ-ポゾラン物質系混合セメント(TCR)は、OPC と酸に強いポゾラン物質から構成され、耐酸性能を高めた無機材料である[1)]。TCR も混合セメントの一種であるため硫酸塩劣化が抑制される可能性があるがまだ確認されていない。そこで、本研究は、TCR を用いたコンクリートの硫酸塩に対する抵抗性を OPC および SR と比較検討した。

2. 実験概要

使用材料を表 1 に示す。セメントは TCR のほかに OPC、SR を使用した。コンクリートの配合を表 2 に示す。各種セメントを用いたコンクリートにおいて管理材齢 28 日の設計基準強度が 27N/mm^2（配合強度 32.4 N/mm^2）となるように水セメント比を変化させた。スランプは 12±2.5cm、空気量は 4.5±1.5％とし、AE 剤で空気量を調整した。今回行った試験項目を表 3 に示す。なお、10%硫酸ナトリウム溶液(Na_2SO_4)に浸漬する試験体は、材齢 28 日まで標準養生した後浸漬した。

表 1　使用材料

水	川崎市上水道水(W)
セメント	高炉スラグ-ポゾラン物質系混合セメント(TCR)：密度 2.82g/cm^3
	普通ポルトランドセメント(OPC)：密度 3.16g/cm^3
	耐硫酸塩ポルトランドセメント(SR)：密度 3.20g/cm^3
細骨材	千葉県君津市産山砂(S)：表乾密度 2.60g/cm^3
粗骨材	北海道北斗市産(G)：表乾密度 2.62g/cm^3
混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤(SP)

表 2　コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)						SP C×%
		W	TCR	OPC	SR	S	G	
47.7	42.3	160	335	－	－	744	1022	0.7
54.1	44.4	160	－	296	－	810	1022	1.0
57.7	44.9	160	－	－	277	828	1022	1.0

表 3　試験項目

浸漬種類	温度条件	項目
水道水(H_2O)	20±2℃	圧縮強度、質量変化、相対動弾性係数
10%硫酸ナトリウム溶液(Na_2SO_4)	20±2℃	圧縮強度、質量変化、相対動弾性係数

3. 試験結果

圧縮強度試験結果を図 1 に示す。全てのセメントで概ね σ28＝32.4N/mm^2 程度となった。OPC や SR は、材齢 56

キーワード　耐硫酸塩、混合セメント、高炉スラグ、ポゾラン物質、耐硫酸塩ポルトランドセメント
連絡先　〒210-0005　神奈川県川崎市川崎区東田町 8 番地　㈱デイ・シイ　セメント事業本部　TEL044-223-4753

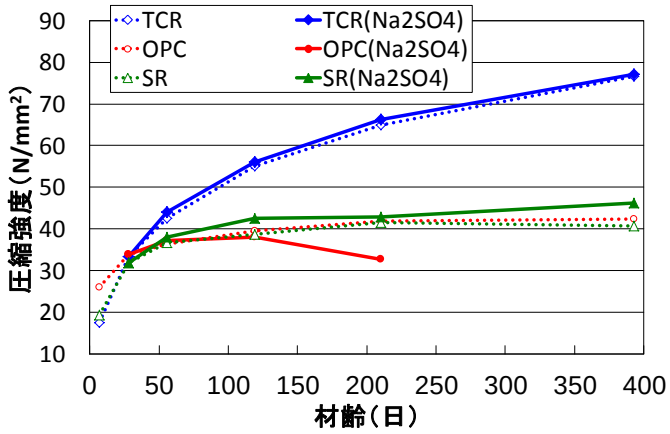

図 1　圧縮強度試験結果

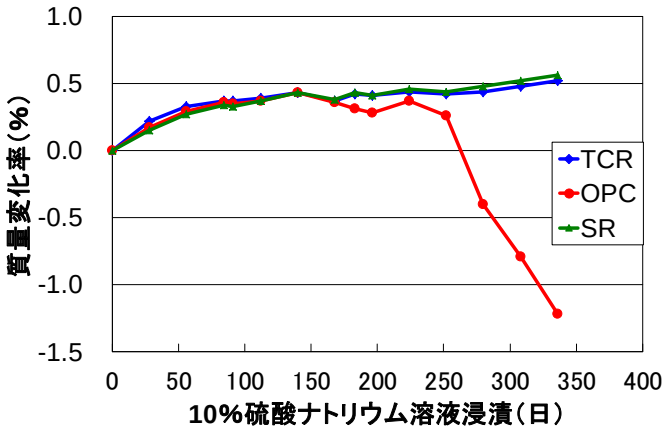

図 2　10%Na_2SO_4 溶液浸漬による質量変化

日以降における強度増進は認められない。TCR は長期にわたり強度増進が認められ、材齢 400 日程度において TCR は OPC や SR の約 1.8 倍の圧縮強度が得られた。これは高炉スラグとポゾラン物質の併用による効果と考えられる。また、OPC は 10%Na_2SO_4 溶液浸漬 200 日程度で圧縮強度の低下が認められたが、TCR および SR は圧縮強度の低下は認められなかった。

図 2 に 10% Na_2SO_4 溶液浸漬による質量変化の結果を示す。OPC は浸漬後 250 日程度で硫酸塩による膨張破壊が進行し、質量の減少が認められた。SR および TCR は吸水による質量増加が見られたものの、供試体形状、コンクリート表面の劣化は認められなかった。

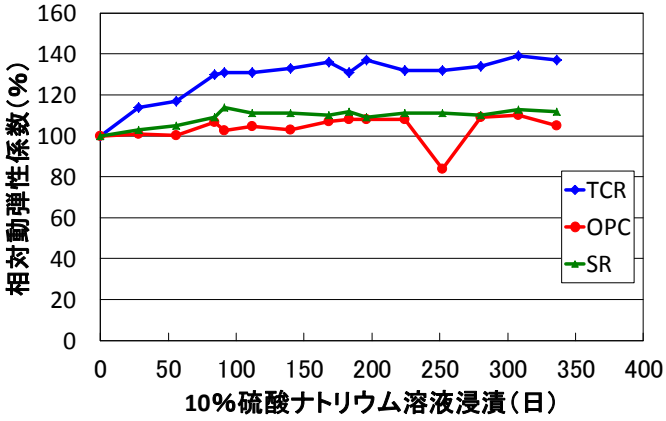

図 3 に 10% Na_2SO_4 溶液浸漬による相対動弾性係数の試験結果を示す。材齢 350 日程度まではセメント種類によらず、相対動弾性係数は 100%以上であった。相対動弾性係数はコンクリート内部を測定しているが、硫酸塩劣化は表面から発生する現象である。また、図 2 において、材齢 250 日以降で質量が減少し続けているにもかかわらず、相対動弾性係数は減少し続けてないことから、相対動弾性係数では硫酸塩による劣化の程度は評価できないと考えられる。

写真 1 に 10%Na_2SO_4 溶液に 580 日間浸漬した各種供試体の状態を示す。OPC は膨張による破壊が確認できるが、SR および TCR はいずれも健全な状態を保持していることが確認された。

写真 1　10%Na_2SO_4 溶液浸漬状況（浸漬期間 580 日 上から TCR、OPC、SR）

4. まとめ

高炉スラグ-ポゾラン物質系混合セメントと普通ポルトランドセメントおよび耐硫酸塩ポルトランドセメントを用いたコンクリートの耐硫酸塩性能を同一強度において比較検討した。その結果、高炉スラグ-ポゾラン物質系混合セメントは、強度が長期に増進するとともに、材齢 580 日では普通ポルトランドセメントより硫酸塩に対する抵抗性は高く、耐硫酸塩ポルトランドセメントと同等の性能を有することを確認した。

参考文献

1) 大澤 友宏・久保田 賢・平田 隆祥・人見 尚：耐酸性セメント系材料の化学成分による細孔構造と耐硫酸性への影響、コンクリート工学年次論文集、vol.31、No.1、pp.883-888、2009