

硫酸塩浸漬によるコンクリートの反応生成物に関する検討

(株)熊谷組 正会員 門倉伸行
 “ “ 柴田浩彦
 “ “ 河村彰男
 “ “ 喜多信仁

1. はじめに

地下空間を利用した構造物では、粘土土壌水や化学工場排水等に起因する硫酸塩により、コンクリートの劣化を受けることが考えられる。硫酸塩によるコンクリートの劣化は、エトリンガイト等の生成による膨張圧でひび割れが生じ、コンクリートの耐久性に著しい影響を与えると言われているが¹⁾、その反応機構や劣化の進行状況は明確ではない。本報告は、コンクリート供試体を用いた硫酸ナトリウム浸漬を行い、EDX分析等の化学分析により硫酸ナトリウムの浸透とエトリンガイト等の生成状況について検討したものである。

2. 実験概要

コンクリートの示方配合は表-1に示すとおりである。セメントは、普通ポルトランドセメントを用いた。化学分析に用いた供試体はφ10×20cmの円柱で、溶液の浸透方向が一方になるように供試体側面をエポキシ樹脂で被

表-1 示方配合

W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤	
		W	C	S	G	AE減水剤	AE補助剤
5.5	4.6	168	305	83.8	100.2	1220ml	0.5A

注1) AE補助剤 1A=C×0.003%

注2) 各材料の比重 C:3.16 S:2.64 G:2.69

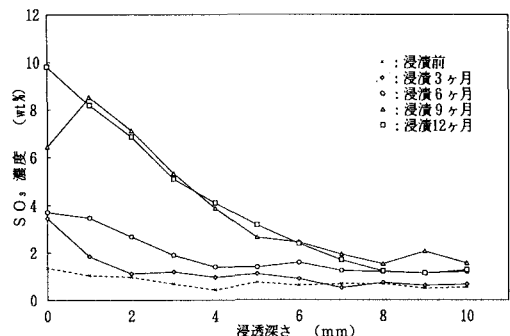
表-2 試験項目

種別	試験目的	試験項目
物理試験	物理的劣化状況	外観、質量、長さ、動弾性係数 圧縮強度、曲げ強度
	止水性能評価	透水試験 細孔径分布
化学分析	硫酸イオン浸透深さ	イオンクロマトグラフ EDX分析
	エトリンガイト生成深さ	EDX分析、電子顕微鏡観察 X線回折分析、示差熱分析

覆した。浸漬条件は、5%および10%硫酸ナトリウム溶液と水を用い、20℃、12ヶ月間浸漬した。分析は、化学分析と物理試験について表-2に示す各項目を行った。^{2) 3)} 化学分析用の試料は、イオンクロマトグラフ、X線回折分析、示差熱分析については、浸漬した供試体を表面から内部に向かって5mm間隔毎に採取し、アセトン浸漬して水和反応を停止させた後、乾燥、微粉砕し各分析に供した。EDX分析については、供試体表面から内部に向かって約3cm毎に薄片板を採取し、上記と同様に乾燥後、分析に供した。

3. 実験結果および考察

図-1に、EDX分析により各浸漬期間におけるコンクリート中へのS(SO₃に換算したときの重量濃度)の浸透状況を表した結果を示す。EDX分析による結果は、所定の浸漬期間におけるコンクリート内でのSの分布を表しているものであり、この中には浸透・拡散した硫酸イオンとしてのSのみならず、化学反応途中のSおよび反応生成物としてのSもすべて含まれる。図は10%溶液の結果であるが、浸漬前と比べ、浸漬6ヶ月までは表面部分でのSの浸透濃度は徐々に

図-1 各浸漬期間におけるSO₃浸透深さと濃度(10%溶液)

増加しているが、9ヶ月以降急激に濃度増大がみられる。硫酸イオンの浸透結果⁴⁾においても、6～9ヶ月の間でコンクリート中に浸透した硫酸イオンがセメント水和物との化学反応により消費され、他の物質に変化したことが顕著に現れている。また、物理試験の結果²⁾でも、6～7ヶ月当りに各値に変化がみられることから、これらを考え合わせると、 SO_3 濃度の急激な増大を示した浸漬6ヶ月から9ヶ月の間に、エトリンガイト等の反応生成物が生成されているものと考えられる。

広永ら⁵⁾によると、硫酸ナトリウムとセメントとの反応の機構として、表-3に示す5段階の反応を提案している。前述した試験結果は、第1～第4段階までの反応すべてが含まれていると思われる。そこで、劣化反応を評価するために硫酸ナトリウムの浸透深さの経時変化から反応領域をとらえることを試みた。図-2は、図-1をもとに各浸漬期間における SO_3 の浸透濃度ごとの深さの経時変化を示したものである。図に示す SO_3 濃度3～7%は、浸漬期間9ヶ月ではほぼ定常状態となっていることから、この濃度の領域は前述の第3段階の反応の段階を表し、エトリンガイトの生成をとらえているものと考えられる。物理試験の結果、浸漬6～7ヶ月で挙動の変化がみられることも一致する。図-2で、仮に SO_3 濃度3%以下で浸漬期間とともに領域が広がっている濃度が存在すれば、その領域が第1および第2段階の拡散や反応前の段階を示していると言える。

最後に、エトリンガイトの生成領域について、X線回折、示差熱分析、EDX分析等の化学分析から総合的に判定した結果を表-4に示す。その結果、エトリンガイトの生成深さは浸漬液濃度にはあまり関係なく、浸漬12ヶ月で4～6mm程度であった。

4. まとめ

硫酸ナトリウム浸漬によるコンクリートの反応生成物に関する検討を行った結果、以下のことが判明した。①EDX分析によるSの浸透結果から、エトリンガイト等の劣化原因物質の生成時期が確認できた。②硫酸ナトリウムによる劣化の反応段階が、Sの浸透濃度の領域で判定できることがわかった。③エトリンガイトの生成深さは、浸漬12ヶ月で4～6mm程度であった。

〔参考文献〕1)岸谷他、コンクリート構造物の耐久性シリーズ 化学的腐食、技報堂出版

2)松村他、コンクリートの硫酸ナトリウム溶液浸漬による物理的変化、第49回土木学会年次講演会

3)河村他、硫酸ナトリウム溶液濃度がコンクリートに及ぼす影響、第49回土木学会年次講演会

4)柴田他、硫酸イオンのコンクリート内部への拡散についての検討、第49回土木学会年次講演会

5)広永他、モルタルの硫酸ナトリウム反応による劣化機構に関する実験的検討、電力中央研究所報告

表-3 硫酸ナトリウムとセメントとの反応機構

第1段階：硫酸ナトリウムのセメント硬化体中への拡散
第2段階：硫酸ナトリウムとセメント水和物の反応
第3段階：エトリンガイトの生成
第4段階：生成したエトリンガイトの成長によるひびわれ誘発
第5段階：ひびわれの成長による表面剥離等

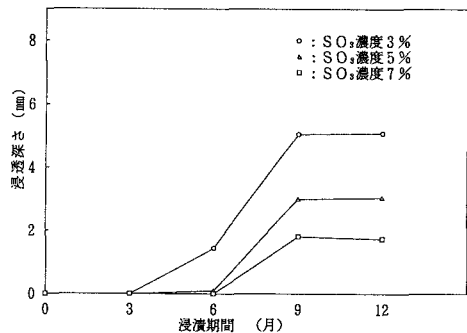


図-2 SO_3 浸透濃度毎の深さの経時変化 (10%溶液)

表-4 エトリンガイト生成深さ

浸漬期間	5%溶液	10%溶液
3ヶ月	0.00mm	0.00mm
6ヶ月	3.25	1.0
9ヶ月	3.5	3.25
12ヶ月	4.25	6.25