

V-232

硫酸塩によるコンクリートの劣化機構に関する実験的検討

(株)熊谷組技術本部 正会員 岩井孝幸
 (株)熊谷組技術研究所 正会員 河村彰男
 (株)熊谷組技術研究所 正会員 村田 均
 (財)電力中央研究所 正会員 廣永道彦

1. はじめに

地中構造物や海洋構造物などにおいて、コンクリートが劣化する過程は、いくつかの劣化要因が複雑に関連しているものと考えられる。この劣化要因のなかでも硫酸塩による劣化は、発生機構および劣化予測において未解明な問題が多い。

硫酸塩によるコンクリートの劣化は、膨張によるクラックの発生または進行的な強度低下のいずれか、あるいは両方の現象として捉えることは一般的に認識されている。しかし、この劣化の過程に潜在している化学的、物理的メカニズムは、これらに影響を与える種々の要因と複雑に関連しているために、劣化の予測を行うことは非常に困難である。

ここでは、コンクリートを1年間硫酸ナトリウム溶液（0%、5%、10%）に浸漬し、耐久性損失時期、硫酸イオン浸透深さおよびエトリンガイトの生成深さに関する試験を行い、劣化機構および劣化予測に関する実験的検討を行った結果について報告する。

2. 実験方法

2. 1 コンクリートの配合

浸漬試験に使用したコンクリートの配合は、設計基準強度が材齢28日で240 Kgf/cm²とし、スランブ12cm、空気量4%の条件で決定した。表-

1に配合表を示す。

表-1 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位置 (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	1220 ml	0.5 A*

*1 AE補助剤 1A = C × 0.003%

2. 2 試験方法

(1) 耐久性損失時期の評価に関する試験

①外観 ②質量 ③長さ変化 ④動弾性係数 ⑤圧縮強度 ⑥曲げ強度

(2) 硫酸イオン浸透深さに関する試験

①溶出・イオンクロマトグラフ法 ②EDX分析（エネルギー分散型X線分析）

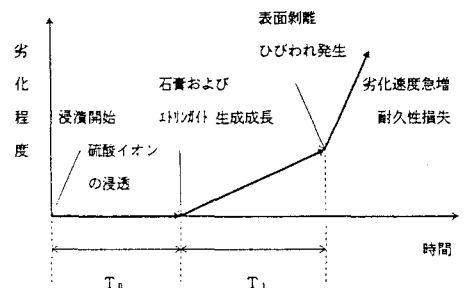
(3) エトリンガイトの生成深さに関する試験

①電子顕微鏡観察 ②X線回折 ③熱分析 ④EDX分析

3. 結果と考察

3. 1 反応機構について

試験結果に基づいて劣化の進行状況を示したのが図-1である。劣化の進行は、硫酸イオンの浸透・拡散により石膏やエトリンガイトの生成を開始するまでの期間 T_0 と生成開始から膨張破壊により表面剝離やひびわれが発生するまでの期間 T_1 にわけられる。イオンクロマトグラフ法により得られたコンクリート中の

図-1 Na_2SO_4 の反応機構と劣化程度

硫酸イオン濃度分布によると、硫酸イオンは、拡散によって内部に浸透し、ある濃度レベルに達した時点（6ヶ月）から供試体の表面部分よりエトリンガイトの生成が始まる。この時点から供試体の隅角部など強度的に弱い部分から剝離が始まり、徐々に劣化速度が速くなる。

これらの現象は、硫酸イオンが浸透深さ数mmでエトリンガイト生成濃度に達すると供にその部分が剝離し新たに露出した剝離面の硫酸イオン濃度が急増してエトリンガイトが生成される。この繰り返しにより劣化が進行して行くものと考えられる。

3. 2劣化予測

劣化深さについては、耐久性損失時期を相対動弾性係数などの低下で表すような劣化の進行度を表す明確な評価基準がない。硫酸の場合は、セメント水和物との反応速度が比較的速いため、劣化速度は酸がコンクリート中を拡散していく速度に支配されると考えられている。しかし、硫酸塩においては、硫酸イオンの浸透からエトリンガイトの生成までには、図-1に示したようにエトリンガイト生成濃度に達するまでの時間が必要である。

既往の研究で示されている予測式は、硫酸塩による劣化深さを求めるために提案されているが、各予測式の劣化深さに関する定義は定まっていない。劣化の進行状況は、隅角部や表層のモルタル部分から剝落していくため、劣化深さとして一様に評価することは困難であると考えられる。このため、劣化深さをエトリンガイトの生成深さとして予測式の検討を行う。

硫酸イオンの反応過程は、浸漬試験結果より考察すると硫酸イオンと反応した部分がT。の期間、脱離せずにそのまま残っているため、その部分が硫酸イオンの未反応部分と反応部分の境界までへの浸透・拡散を遅らせている。これは、反応部分での硫酸イオンとセメント水和物との反応が律速になっていると考えられる。試みに、図-2、3に示すように、エトリンガイトの生成深さと浸漬期間の平方根で表してみた。この結果から、硫酸ナトリウムによるエトリンガイトの生成深さは、浸漬期間の平方根と比例関係にあると思われる。

4. まとめ

結果と考察をまとめると以下になる。

- (1) 硫酸塩による劣化は、硫酸イオンが浸透・拡散して表面部分の濃度が高くなり、その後水和物と反応し表面部分から石膏・エトリンガイトの生成・成長が開始され、ひびわれ誘発および表面剝離に進行する。
- (2) 劣化の予測式は、既往の研究で幾つか提案されているが、今回の浸漬試験結果を検証すると浸漬期間の平方根が最も相関が良い。以下に、得られた予測式を示す。 $Y=0.43\sqrt{t}-3.49$ (5%溶液) Y :生成深さ(mm)

$$Y=0.65\sqrt{t}-6.80 \text{ (10%溶液) } t:\text{month}$$

【参考文献】

- 1) 廣永他、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93'7

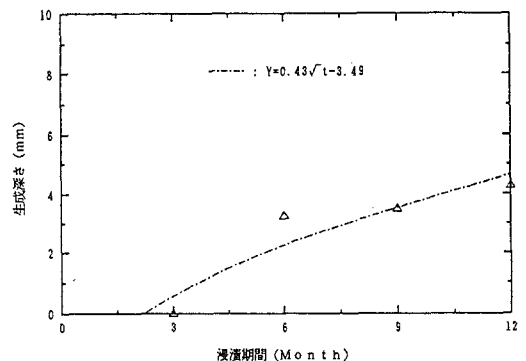


図-2 エトリンガイトの生成深さ（5%溶液）

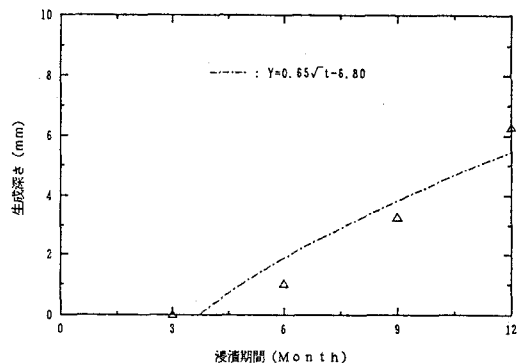


図-3 エトリンガイトの生成深さ（10%溶液）