

セメント硬化体の硫酸劣化の温度依存性に関する基礎的検討

東北大学 学生会員 ○榎本 悠
東北大学 学生会員 宮本 慎太郎
東北大学 正会員 皆川 浩
東北大学 正会員 久田 真

1. はじめに

下水道施設内のコンクリートは嫌気性の微生物が発生させる硫酸により劣化を引き起こすことが知られており、コンクリート構造物の主要な劣化の中でも特に重要な劣化の1つである。近年、硫酸によるコンクリートの劣化機構の解明、劣化予測体系の確立について数多くの研究^{1) 2)} がなされてきた。しかし、それらの既往の研究では、温度一定のもとで硫酸水溶液中に供試体を浸せきさせ、配合や硫酸濃度による影響を検討したものが一般的であり、外部溶液の温度を考慮したものは少ない。

本研究では、化学的侵食の中でも代表的な、硫酸によるセメント硬化体の中性化深さの進行に着目し、溶液温度がセメント硬化体の劣化に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

本研究では、W/C が 35, 55, 65 % の 3 水準、S/C が 2.5 のモルタル供試体を使用して検討を行った。使用材料の物性と配合を表-1 に示す。供試体の作製は、まず寸法φ50×100 mm の円柱にモルタルを打設し、打設後約 24 時間後に脱型を行い、材齢 28 日まで 20 °C の水中養生を行った。そして養生終了後に、打設面と打設底面をエポキシ樹脂でシーリングした。

表-1 配合表

W/C (%)	S/C	増粘剤 (kg/m ³)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)		
				W	C	S
35	2.5	0	1.5	212	607	1518
55	2.5	0	1.5	297	540	1351
65	2.5	0	1.5	333	512	1281

結合材：普通ポルトランドセメント (密度 3.15 g/cm³, 比表面積 3340 cm²/g)、細骨材：山砂 (宮城県大和町鶴巣産, 密度 2.58 g/cm³, 吸水率 1.76 %)

供試体を浸せきさせる硫酸水溶液の濃度は重量%濃度で 0.5 %, 1.0 %, 3.0 % の 3 水準とした。また、本研究では、セメント硬化体の硫酸劣化に及ぼす外部溶液の温度の影響を検討するために、硫酸水溶液の温度を 5 °C, 20 °C, 40 °C の 3 水準とした。供試体の浸せきにはプラスチック製コンテナを使用し、5 °C, 20 °C 浸せきは恒温槽内にて管理し、40 °C 浸せきについてはコンテナ内に投込みヒーターを入れることで温度調整を行った。

供試体の浸せき期間は 4, 8, 13 週とし、浸せき終了後に供試体を軸方向に垂直に割裂し、中性化深さをノギスを用いて計測した。

3. 溶液温度が中性化深さに及ぼす影響

図-1 に浸せき期間が 13 週を経過したときの供試体の中性化深さと硫酸溶液の温度との関係を W/C 毎に示す。

図-1 より、3.0 % 硫酸浸せきにおいて、モルタルの中性化深さは W/C が低いほうが大きくなっており、高濃度硫酸が作用する場合、コンクリートの劣化は低 W/C ほど進行しやすいとする既往の研究³⁾ と同様の傾向を示した。一方、0.5% 硫酸浸せきのように、低濃度硫酸が作用する場合、高 W/C ほど劣化しやすいとする既往の研究⁴⁾ と同様の結果となった。これらの傾向は溶液温度によって変化することは無いことから、溶液温度は劣化速度のみに影響し、劣化形態への影響は小さいと思われる。また、モルタルの配合によらず、中性化深さは溶液温度の上昇とともに直線的に大きくなり、その傾向は溶液濃度が高いほど顕著であることがわかる。このことから、セメント硬化体の硫酸による中性化の進行は硫酸水溶液の温度上昇によって促進され、中性化深さは温度に比例して大きくなると考えられる。

溶液温度の上昇によって中性化が促進された原因として、硫酸とセメント水和物の反応が促進されたこと、

キーワード 硫酸劣化, 中性化深さ, 温度, アレニウス則, 化学的侵食

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL 022-795-7430

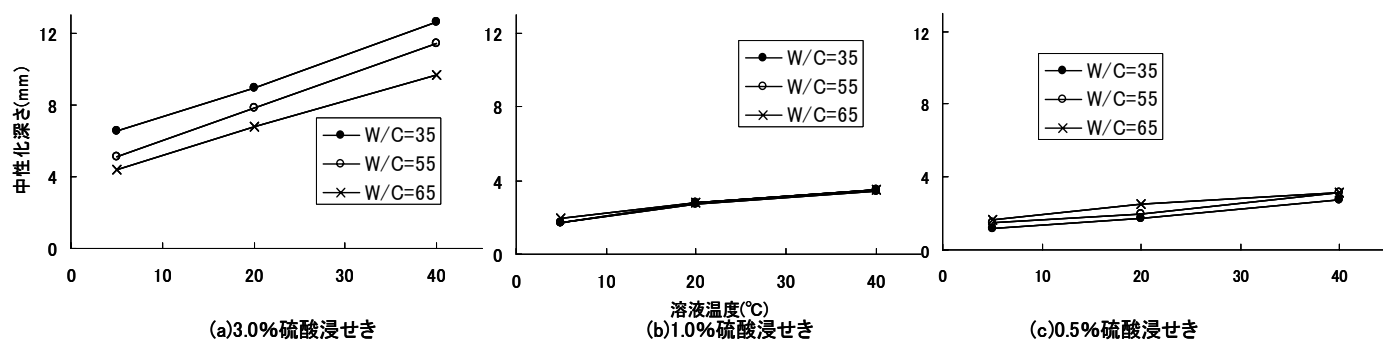


図-1 中性化深さと溶液温度の関係

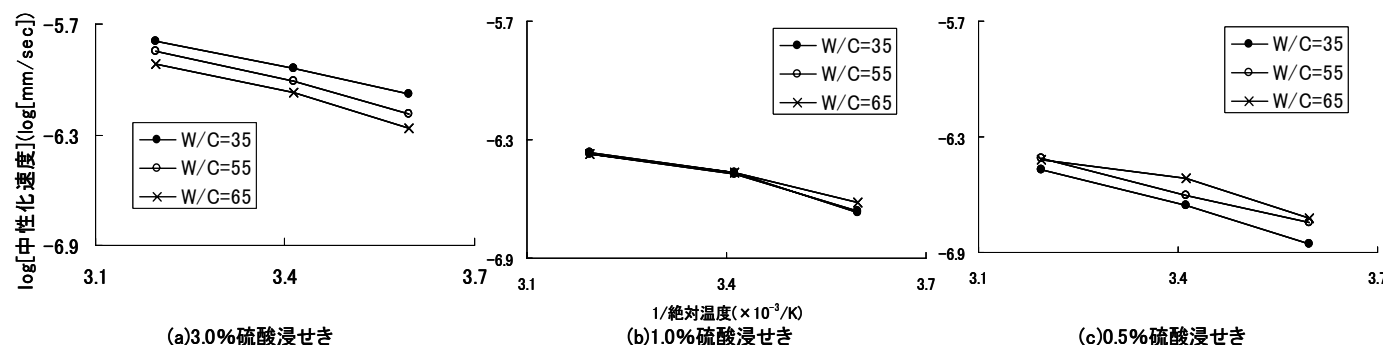


図-2 アレニウスプロット(中性化速度の対数と絶対温度の逆数の関係)

硫酸のモルタル内への拡散速度が上昇し、硫酸がより深くまで到達したこと、などが考えられる。

4. アレニウス則を用いた検討

図-2 に中性化の進行速度と温度との関係をアレニウスプロットで表現したものを示す。ここで、中性化の進行速度は、浸せき期間 4, 8, 13 週で測定した中性化深さと浸せき時間の関係を切片が 0 になるように線形回帰分析し、得られた回帰直線の傾きを求めることによって算出した。

図-2 より、すべての条件でグラフはほぼ直線となっていることから、中性化の進行速度は見かけ上アレニウス則に従うことがわかる。この結果から、硫酸による中性化の進行速度の対数値は絶対温度の逆数に比例して進むといえる。また、図-2 のアレニウスプロットにおいて、直線の傾きはモルタルの活性化エネルギーを表しており、傾きに違いが見られないことから、モルタルの各 W/C における活性化エネルギーの差異は小さいものと考えられる。

5. 結論

本研究によって得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 本研究で対象とした配合の範囲では、中性化深さは溶液温度の上昇とともに直線的に大きくなり、その傾向は溶液濃度が高いほど顕著である。
- (2) 5 °C～40 °C の範囲において中性化速度のアレニ

ウスプロットはほぼ直線となり、中性化の進行速度は見かけ上アレニウス則に従うことがわかった。

- (3) 本研究の範囲において、モルタルの活性化エネルギーは W/C によって大きな差異は無い。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート委員会化学的侵食・溶脱研究小委員会(323 委員会)報告，社団法人土木学会，2003
- 2) 日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル，財団法人下水道業務管理センター，2007
- 3) 蔵重勲：硫酸によるコンクリート劣化メカニズムと予測手法，東京大学博士論文，2002
- 4) 久田真，皆川浩，寺林明日美，納口恭太郎：硫酸が作用するセメント硬化体の劣化進行に関する研究，土木学会論文集 E, Vol.64, No.3, pp.449-459, 2008

謝辞

本研究は(財)前田記念工学振興財団平成 20 年度研究助成により行われました。また、実験を遂行するにあたり、ショーボンド建設(株)より、材料を提供して頂きました。ここに、謝意を表します。