

流水速度を考慮したセメント硬化体の硫酸劣化に関する実験的検討

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○村田 元太郎
広島大学大学院工学研究科 学生会員 仁科 雅登
広島大学大学院工学研究科 学生会員 森田 寛之
広島大学大学院工学研究院 正会員 河合 研至

1. はじめに

近年、下水処理施設などにおいて、硫酸によるコンクリートの劣化が深刻になりつつある。その劣化の進行状況を予測する手法はいまだ確立されていないため早急な対策が必要である。

硫酸によるコンクリートの劣化進行を予測するための研究として、これまでに幾つものモルタル・ペーストの浸漬試験が行われてきた。それらによると、酸と反応した部分が脱離せずに残っているとすれば、反応が終了した部分は酸との未反応部分への拡散を妨げるため、酸の浸透深さは浸漬日数の平方根に比例することがわかっている。しかし、下水道関連施設などの劣化ではコンクリート表面があらわになり骨材などがむき出しとなっている場合も少なくない。これは、硫酸とコンクリートの反応で生成される二水石膏などの劣化生成物が非常に脆弱であるために、流れや飛沫水などで容易に剥離してしまうためと考えられる。従来の硫酸劣化に関する研究では、供試体を硫酸溶液中に浸漬・静置している実験が概して実施されているが、この場合に劣化生成物が供試体表面に付着・残留するため、流れや飛沫によって劣化生成物が洗い流されるような実環境を正しく評価していないおそれがある。

そこで、本研究では流水作用に注目した。過去にもわずかではあるが、流水作用を付加した研究は行われてきた。しかし、流速を制御し変化させた実験は行われていない。流速を変化させたうえでそれらの違いが劣化の進行に及ぼす影響を評価することを本研究の目的とした。

2. 供試体概要

寸法 40mm×40mm×160mm の角柱セメントペースト供試体を作製し、打設後 24 時間で脱型し、ただちに 20℃で 28 日間水中養生を行った。養生終了後オイルカッターで 10mm×10mm×10mm の立方体に切断した。そして、硫酸との接触面を一面のみとするために、侵食面以外を耐酸エポキシ樹脂でコーティングした。これは、硫酸の作用方向を限定させる事で隅角部の影響の排除を目的としており、厳密には異なるが劣化の進行を 1 次元的に捉えるためである。また、水セメント比の違いによる影響も考慮するために、W/C は 30%、40%、50%とした。

3. 実験概要

作製したセメントペースト供試体は回転子を接着させた円盤上に同配合につき 3 つずつ同心円状に配置した。硫酸による侵食面は円盤の外を向いている面である。実験装置を図 3.1 に示す。

これを実環境で最も厳しいとされる pH1、pH2 の 2 種類の硫酸溶液に浸漬

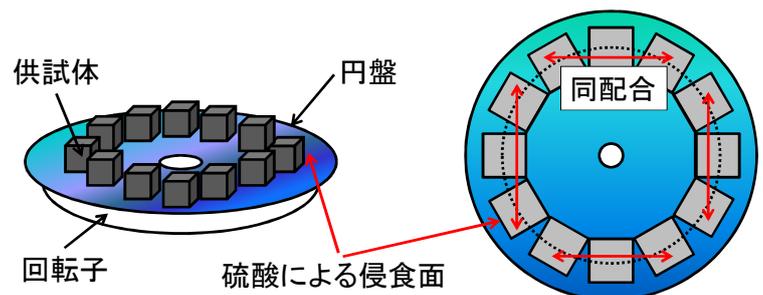


図 3.1 実験装置

し、スターラーにより回転を加えることにより流水作用を仮定した。また、スターラーによる回転速度は 200rpm、300rpm、400rpm、500rpm の 4 種類とした。そして、電磁流速計により溶液の流速を求め、スターラーの回転速度との差

を供試体表面における相対流速として、下水道関連施設の下水の流速などの流れの作用を仮定した。**表 3.1** に回転速度と相対流速の関係を示す。回転速度と相対流速はほぼ比例の関係となった。浸漬後は一定期間ごとに侵食深さを測定した。

表 3.1 回転速度と相対流速の関係

回転数(rpm)	200	300	400	500
相対流速(m/s)	0.44	0.66	0.87	1.13

4. 結果および考察

図 4.1、4.2、4.3、4.4、4.5、4.6 に pH1.0、pH2.0 の硫酸溶液に浸漬したセメントペースト供試体の侵食深さを示す。なお侵食深さについては、正の値を侵食、負の値を膨張とする。

pH1.0 硫酸溶液に浸漬した供試体については、浸漬後 1 日で全て表面が白色に変化し劣化生成物の付着が確認された。ただし、その後は 35 日程度まで侵食と膨張を繰り返すことにより、全体として侵食深さにはあまり変化がみられなかった。35 日経過後はいずれの水セメント比、流速においても急激に侵食挙動を示し始めた。

pH2.0 硫酸溶液に浸漬した供試体についても、各供試体とも浸漬後 3 日程度で表面に徐々に劣化生成物を付着させていったが、pH1.0 硫酸溶液に浸漬した供試体とは異なり劣化生成物は白色ではなく茶色の層であった。そして侵食挙動も pH1.0 硫酸溶液に浸漬したものと異なり、概ね初期より緩やかに侵食挙動を示し、膨張挙動はあまり示さなかった。

このような pH1.0 と pH2.0 の硫酸溶液での侵食挙動の違いの理由としては以下のことが考えられる。pH1.0 硫酸溶液に浸漬した場合、硫酸の濃度が高いためセメント硬化体中のセメント水和物と硫酸との反応量が多くなるので、内部でも早い段階から二水石膏が生成されており、表面では流水作用により二水石膏が剥離するものの内部より膨張が生じ結果として侵食深さにはあまり変化がみられないと考えられる。しかし、ある程度二水石膏が堆積すると流水作用と二水石膏の自重が二水石膏と健全部の境界における結合力を上回り急激に侵食が進行するのではないかと考えられる。

一方 pH2.0 硫酸溶液に浸漬した場合、硫酸濃度が低いためセメント硬化体中のセメント水和物と硫

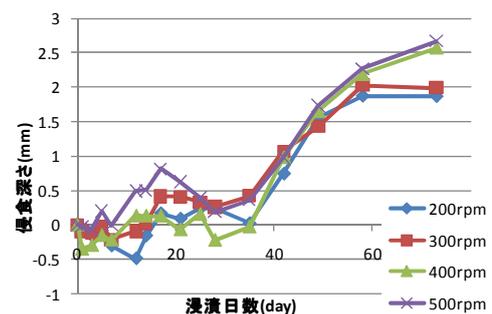


図 4.1 pH1.0 硫酸溶液の W/C30%の侵食深さ

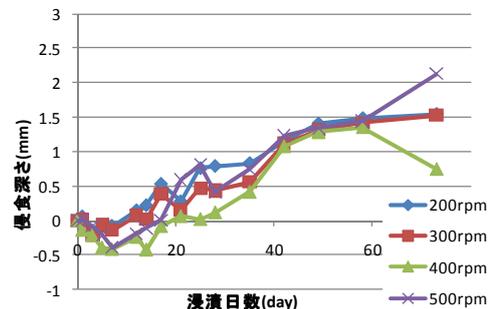


図 4.2 pH2.0 硫酸溶液の W/C30%の侵食深さ

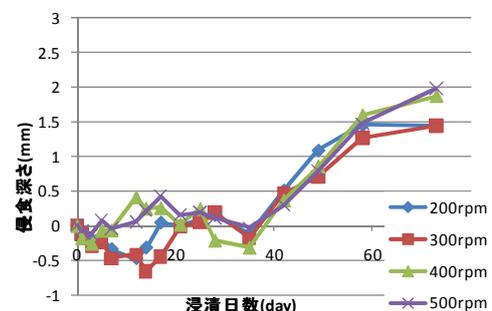


図 4.3 pH1.0 硫酸溶液の W/C40%の侵食深さ

はならないかと考えられる。

酸の反応量が少なくなり、表面のみで二水石膏が生成され内部ではほとんど硫酸との反応が起こっていないため、二水石膏が生成されて薄く層になるたびに流水作用による剥離が起き、あまり膨張せずに緩やかな侵食が起こるのではないかと考えられる。

次に水セメント比の違いによる影響をみてみると、pH1.0 硫酸溶液においては W/C30% の流速の大きい一部の供試体を除いて、浸漬後 70 日経過時点で侵食深さは 1.5~2.0mm 程度であり、pH2.0 硫酸溶液においても浸漬後 70 日経過時点で 1.5~2.0mm 程度となり、水セメント比の違いによる侵食深さの差はあまり見られなかった。これについて、pH1.0 硫酸溶液の場合は前述の通り硫酸とセメント水和物の反応量が多く、セメント硬化体内部に向かって次々と反応が起こり、セメント硬化体内部の細孔構造を緻密化する間もなく次々と内部での反応が起こっていくため、細孔構造の違いを及ぼす水セメント比の影響はあまりなく、また、pH2.0 硫酸溶液の場合には硫酸がセメント硬化体の内部まで浸透せず、水セメント比による細孔構造の違いの影響を反映することなく、各配合とも表面からの侵食を同様に受けたために、あまり差がみられなかったのではないかと考えられる。

最後に流水速度の違いによる影響であるが、今回の実験の範囲である流速 0.4m/s から 1.2m/s の範囲においては侵食深さにおいて顕著な差は見られなかった。よってある程度の流速があれば、流速の大小に関わらず侵食が促進されることが示唆された。

4. 結論

- (1) 流水作用を付加したセメントペーストについて、pH1.0 硫酸溶液に浸漬した場合は 30 日程度までは侵食せずその後急激に侵食し、pH2.0 硫酸溶液に浸漬した場合には初期より緩やかに侵食し、濃度により挙動の差があることが示された。
- (2) 水セメント比の違いによるセメントペーストの侵食挙動の差はあまりみられなかった。pH1.0 硫酸溶液の場合は劣化生成物が内部を緻密化しないためであり、pH2.0 硫酸溶液の場合は反応が表面のみで生じているためと考えられる。
- (3) 付加した流水作用における相対流速が 0.4m/s から 1.2m/s の範囲内では、セメントペーストの侵食挙動に顕著な差はみられなかった。

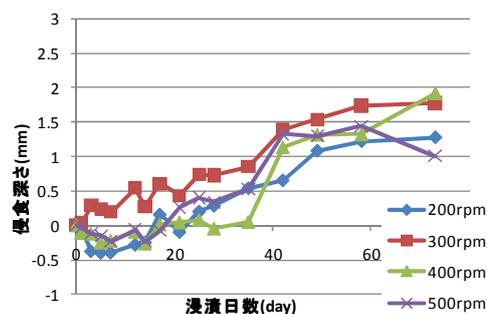


図 4.4 pH2.0 硫酸溶液の W/C40% の侵食深さ

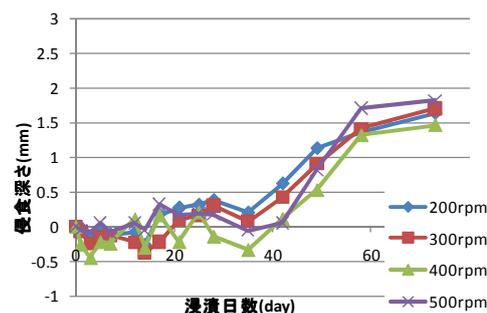


図 4.5 pH1.0 硫酸溶液の W/C50% の侵食深さ

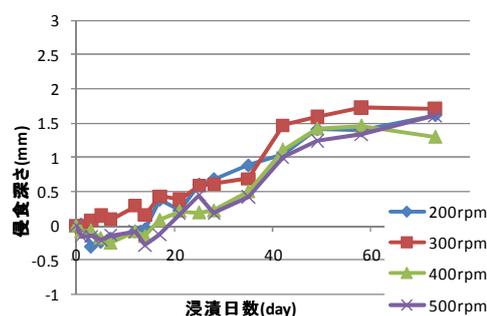


図 4.6 pH2.0 硫酸溶液の W/C50% の侵食深さ

5. 参考文献

- 1) 生田智哉：流水作用を受けたセメント硬化体の硫酸劣化に及ぼす pH の影響，セメント技術大会講演要旨, No.62, pp.252-253, 2008