セメント硬化体の硫酸侵食に及ぼす流水作用の影響

広島大学大学院　正会員　　河合研至
広島大学大学院　学生会員　○新見龍男
広島大学大学院　学生会員　　吉牟田卓

1. 背景と目的

近年、硫酸による下水道管の劣化や温泉地帯におけるコンクリート構造物の劣化が深刻になっている。硫酸を含めた酸性劣化は、通常$\sqrt{t}$則に従うとされているが、これは劣化生成物が表面に残留した場合に以降の劣化因子の浸透が劣化生成物中を拡散することに伴う拡散律速となることに起因している。しかし、下水道関連施設のように下水の流れがあり、劣化生成物が表面から剥落する環境では、侵食がより促進されることが懸念される。

硫酸によるセメント硬化体の侵食は硬化体内部の空隙に生成された二水石膏による膨張圧により起こり、水セメント比が小さいほど膨張圧を許容する空隙が少ないために侵食量が大きい[1)]という報告もある。また、硫酸によるセメント硬化体の劣化は完全には解明されておらず、セメント種類の違いや混和材の置換により劣化性状が異なる可能性もある。

そこで、本研究では浸漬試験に流水作用を付加し、流れの有無、セメントの種類や混和材置換による硫酸劣化の影響を比較、検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体の作製

セメントには普通ポルトランドセメントおよびエコセメントを使用した。混和材は高炉スラグ微粉末およびシリカフュームを使用し普通ポルトランドセメントに置換して供試体を作製した。表1に示す配合に従い、40×40×160mmのモルタル角柱供試体を作製した。圧縮強度と養生期間、表記方法をあわせて表1に示す。また、硫酸との接触を両端面からのみとするため、供試体の全側面に耐酸性エポキシ樹脂を塗布した。

2.2 実験方法

2.1で作製した供試体をpH 1.0硫酸溶液に浸漬し、静流水の2種類の条件を用意した。浸漬後7日毎に91日まで侵食深さを測定した。最小測定値0.05mmのノギスを用い浸漬後の供試体寸法を同一供試体につき3ヶ所測定し、その平均値と浸漬前の供試体寸法との差の1/2の値を侵食深さとした。

3. 結果と考察

3.1 浸漬条件による侵食深さの違い

図1に、pH 1.0硫酸溶液に浸漬した各供試体の流水条件での侵食深さを、図2に、pH 1.0硫酸溶液に浸漬した各供試体の静水条件での侵食深さ示す。流水条件と静水条件に浸漬した供試体では、侵食の進行に明らかな差が見られた。流水条件では浸漬21日、静水条件では浸漬35日まで膨張し、それ以降は侵食へと移った。図3にNC35供試体の侵食深さの推移を示す。流水条件と静水条件で傾きに差はあるが、両条件とも侵食深さは$\sqrt{t}$ではなく直線的に増加した。NC50供試体では膨張から侵食へ移る挙動がより顕著に見られた。浸漬63日までは流水と静水で挙動が一致し、63日以降は流水条件で急激に侵食へと転じている。供試体表層部において硫酸がセ

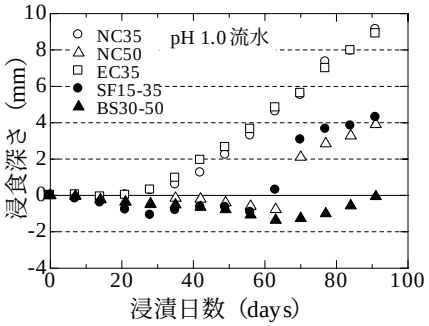

図1　pH 1.0硫酸溶液に浸漬した各供試体の侵食深さ（流水）

表1　供試体の配合および圧縮強度、養生期間、表記方法

セメント	混和材	水結合材比(%)	置換率(%)	圧縮強度(N/mm^2)	養生期間(days)	表記方法
普通ポルトランドセメント	—	35	—	47.226	28	NC35
	—	50	50	41.303	28	NC50
	シリカフューム	35	15	49.149	28	SF15-35
	高炉スラグ微粉末	50	30	54.426	28	BS30-50
エコセメント	—	35	—	49.149	42	EC35

キーワード：侵食、流水、腐食層、二水石膏
連絡先：〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1　082-424-7786

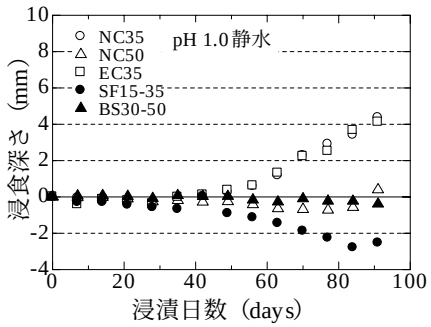

図 2　pH 1.0 硫酸溶液に浸漬した各供試体の侵食深さ（静水）

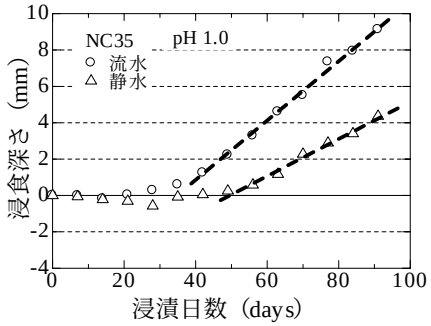

図 3　pH1.0 硫酸溶液に浸漬したNC35 供試体の侵食深さの推移

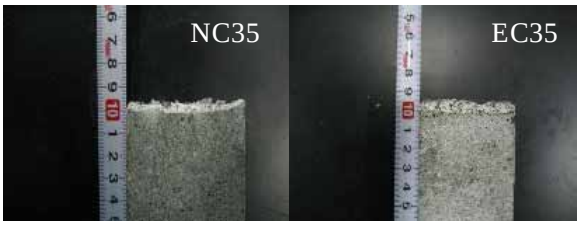

写真 1　pH 1.0 硫酸溶液に浸漬したNC35、EC35 供試体写真（浸漬 91 日、流水）

写真 2　pH1.0 硫酸溶液に浸漬したSF15-35、BS30-50 供試体写真（浸漬 91 日、流水）

メント硬化体と反応し二水石膏が生成され、この二水石膏による腐食層が形成される。硫酸とセメント硬化体の反応が進むに従って層内の結合力がなくなり、腐食層が剥離し侵食が進行する。NC50 供試体はNC35 供試体と比較して硬化体内部の空隙量の多さゆえに二水石膏の充填が遅く、水酸化カルシウム量が少ないために二水石膏の生成量も少ないためにNC35 供試体よりも腐食層の結合力が強く侵食が進まなかったと考えられる。また、流水作用を伴う環境では、腐食層にある程度結合力が残っている段階でも流れによって腐食層が剥離し、侵食が進行したと考えられる。

3.2 セメント種類による侵食深さの違い

図 1、図 2 より、流水・静水両条件においてもNC35 供試体とEC35 供試体の侵食深さはほとんど一致していることがわかる。写真 1 に浸漬 91 日経過後の流水条件のNC35、EC35 供試体写真を示すが、NC35 供試体と比較してEC35 供試体は腐食層の形成が顕著であった。このことから、両配合では劣化性状が異なることが考えられる。EC35 供試体は、NC35 供試体と比較して硫酸の浸透性が高くより深部まで硫酸との反応が進行しているが、反応生成物である二水石膏を含む腐食層の結合力はNC35 供試体と比較して高いと考えられる。

3.3 混和材置換による侵食深さの違い

図 1、2 より、静水条件に浸漬したSF15-35 供試体は浸漬開始時から継続的に膨張しているのに対し、流水条件に浸漬したSF15-35 供試体は、NC50 供試体と同様に一度膨張挙動を示してから急に侵食へと転じている。ここで、写真 2 にpH 1.0 硫酸溶液の流水条件に浸漬したSF15-35 、BS30-50 供試体の浸漬 91 日における写真を示すが、SF15-35 供試体の侵食面に厚い腐食層が形成されていることがわかる。侵食後も腐食層が残っていることから、腐食層は流れによる外力を受けてもその存在を維持できる程度に結合力を持っており、また、健全状態から腐食層への状態の変化と腐食層の剥離が同時に起こり侵食は進行していると考えられる。

BS30-50 供試体では、静水条件では侵食側へも膨張側へも挙動が見られなかったが、91 日浸漬後は厚い腐食層が確認された。流水条件に浸漬した供試体は浸漬 63 日まで膨張し、それ以降は侵食挙動を示した。これは流れによって腐食層が徐々に剥離されたためと考えられる。また、流水・静水両条件とも同一水セメント比では混和材の置換により侵食深さが抑制されている。これは、混和材置換により生成される水酸化カルシウム量が少なくなること、また、シリカフューム置換によるポゾラン反応によって水酸化カルシウム量が消費されたことが原因であると考えられる。

4.まとめ

硫酸によるモルタルの侵食はpHが低い場合は直線的に増加し、流水作用があれば腐食層にある程度結合力が残っていても層の剥離が起こり、侵食の増進につながる。EC供試体は、侵食深さではNC供試体と同じ挙動を示したが、腐食層の形成はNC供試体よりも顕著であり、このことからEC供試体はNC供試体と比較して硫酸浸透性が高く、また、腐食層の結合力も強いと考えられる。セメントに混和材を置換することによって侵食を低減することが出来る。また、硫酸との反応によって形成された腐食層は流れに抵抗できる程の結合力を保持していると考えられる。

【参考文献】1)蔵重勲、硫酸によるコンクリート劣化のメカニズムと予測手法、東京大学学位論文（2002）