

# 硫酸劣化の侵食速度にセメント硬化体の細孔構造が及ぼす影響

広島大学大学院工学研究科

学生会員 ○山口佳紀

広島大学大学院工学研究科

学生会員 波多野裕侍

広島大学大学院工学研究院社会環境空間部門

フェロー会員 河合研至

## 1. はじめに

西暦 1875 年に日本でポルトランドセメントの製造が開始されて以来、現在までの社会資本整備において、コンクリートは頻繁に利用されてきた。しかしながらコンクリートは様々な劣化因子によりその性能を損なう場合がある。その中で硫酸によるコンクリートの劣化は温泉地帯や下水処理関連施設において深刻な問題となっている。したがって、コンクリートの硫酸劣化に対する予測体系の構築および、維持管理の手法の確立が求められているが、劣化の進行予測手法はまだ確立していないというのが現状である。そのため劣化のメカニズムの把握を行い、劣化の予測式が確立されることが急務である。

既往の研究<sup>1)</sup>において、セメント粉末試料を用いた簡易試験法により、セメント硬化体の耐硫酸性を評価することで、ある程度劣化予測を行うことが出来る事が示唆された。しかしながら、上記の研究ではセメント中の化学組成から耐硫酸性については評価することが出来ている一方で、セメント硬化体の物理的性質である細孔構造が硫酸による劣化に及ぼす影響については十分に評価が出来ていないため、実構造物に適用できるかは不明確である。後者の影響を把握する事はより正確な耐硫酸性の評価において不可欠である。そこで本研究ではセメント硬化体の細孔構造と硫酸劣化が進行する速度である侵食速度との関係に着目し、セメント硬化体の細孔構造が硫酸劣化の侵食速度に及ぼす影響を検討し把握することを目的とする。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体概要

本研究では硫酸の劣化進行抑制に有効であると考えられている混和材を組み合わせ普通ポルトランドセメントに質量置換したものを結合材としたコンク

リート供試体を使用した。寸法が 100mm×100mm×400mm の角柱コンクリート供試体 (W/B=0.55) を作製し、打設後 24 時間で脱型し、脱型後はただちに材齢 28 日まで 20℃で水中養生を行った。その後、湿式カッターで 3 つに切断した。また硫酸の侵食方向を一方向のみとするため、側面を耐酸エポキシ樹脂でコーティングした。供試体に使用した結合材の組み合わせと含有比率を表 1 に示す。

## 2.2 用語の定義

### 2.2.1 侵食深さ

侵食深さは初期供試体の長さから一定期間浸せき後までに欠損した供試体の厚さとし、ノギスを用いて測定を行った。侵食深さの定義を概念図として図 1 に示す。

### 2.2.2 侵食速度

一定期間浸せきした供試体の剥落開始後からの侵食深さの時間変化を侵食速度と定義した。単位は、mm/day となる。

表 1 コンクリートの結合材組合せと含有比率 (%)

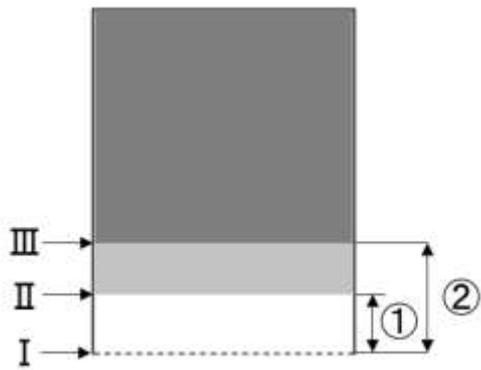
供試体名	OPC	BFS	FA	SF
NC	100	-	-	-
BFS30	70	30	-	-
FA30	70	-	30	-
SF20	80	-	-	20
BFS30FA30	40	30	30	-
BFS30SF20	50	30	-	20
FA30SF20	50	-	30	20
BFS30FA30SF20	20	30	30	20

OPC : 普通ポルトランドセメント

BFS : 高炉スラグ微粉末

FA : フライアッシュ

SF : シリカフューム



I : 初期表面            ① : 侵食深さ  
 II : 侵食後表面        ② : 中性化深さ  
 III : フェノールフタレインによる呈色域の境  
 図1 侵食深さの定義概念図

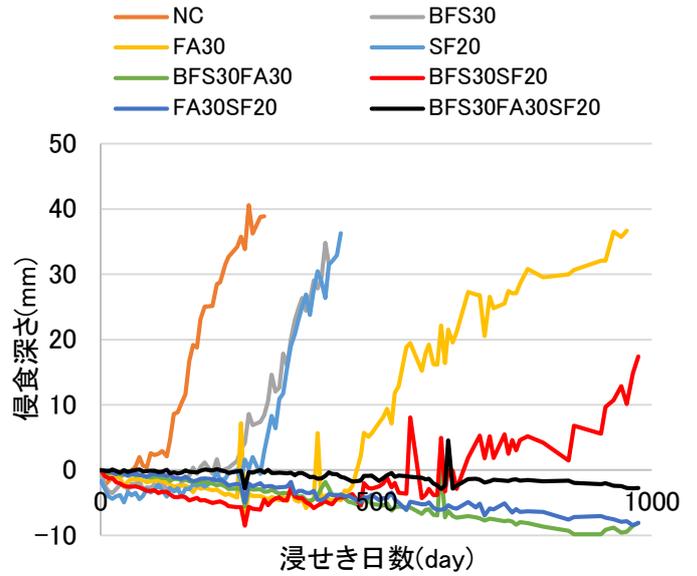


図2 硫酸濃度 1.0mol/L 浸せき試験

### 2.3 浸せき試験

濃度の異なる硫酸溶液にコンクリート供試体を浸せきし、一定期間ごとに侵食深さを測定した。また浸せき前に水銀圧入式ポロシメーターを用いて細孔径分布を測定した。得られた侵食深さおよび細孔径分布の関係を考察することにより、細孔構造が硫酸劣化の侵食速度に及ぼす影響について検討した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 浸せき試験結果

図2にコンクリート供試体の硫酸溶液 1.0mol/L の浸せき試験における日数と侵食深さの関係を示す。また図3に、図2より求めた各供試体の侵食速度と総細孔量の関係を示す。

図3より、総細孔量と侵食速度の関係において概ね線形的に評価することが可能であり、総細孔量が増加すると侵食速度が低下することがわかる。この原因として、腐食生成物の生成による体積膨張に対する空間的な余裕が大きいということが考えられる。コンクリートが硫酸と反応し腐食が起こる際に腐食生成物が生成される。腐食生成物の生成時に体積膨張が起こるが、総細孔量が多いということはこの体積膨張に対する空間的な余裕が大きいいため侵食速度が小さくなり、劣化の進行が抑制されていると考えられる。

### 3.2 解析値との比較

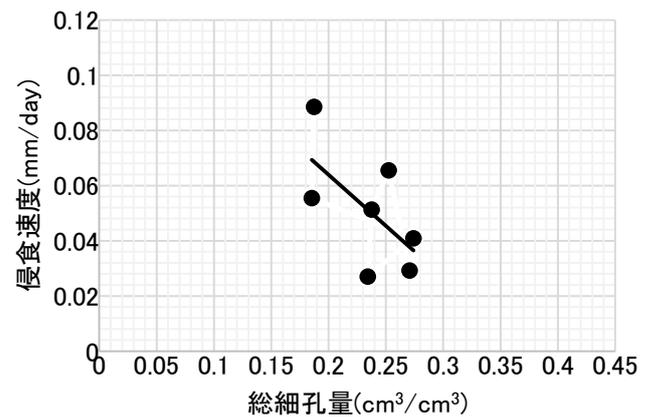


図3 侵食速度-総細孔量関係

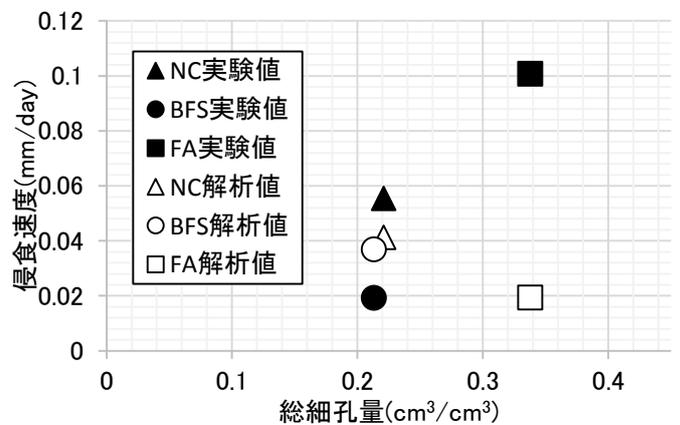


図4 実験値-解析値比較

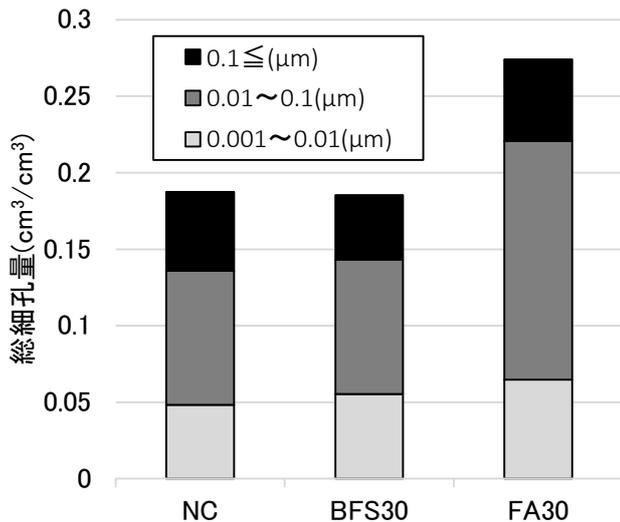


図5 細孔径分布

図4において、既往の研究で行われた浸せき試験の侵食速度と総細孔量の実験値と、化学成分の影響を考慮し算出した侵食速度の解析値との比較を行う。図4よりNC, BFS 供試体は実験値と解析値の差が小さいが、FA 供試体は実験値と解析値の差が大きく、解析値の侵食速度が過小評価されていることがわかる。FA 供試体の実験値と解析値の差が大きい原因として、供試体中の細孔径分布が影響していると考えられる。

図5に各供試体の細孔径分布を示す。図5より、NC, BFS 供試体と比較して、FA 供試体は0.1 μm以下の細孔径の割合が多いことから上記のような腐食生成物の体積膨張に対する空間的な余裕として影響する空隙は、ある一定値以上の大きさを有する空隙であることが考えられる。FA 供試体は内部でポズラン反応が起き、内部の構造が緻密になり化学抵抗性は向上するが高濃度硫酸溶液に対しては許容量が低下する為、他の供試体と比較して劣化が促進されることが考えられる。

以上より図6に0.5 μm以上の細孔径の細孔量の総和と侵食速度の関係を示す。図6より、1点を除き、0.5 μm以上の細孔径の細孔量の総和と侵食速度の関係は線形的に評価することができることがわかる。また相関性がないと考えられる供試体に関しては、細孔構造の影響と比較し、化学的な要因の影響が卓

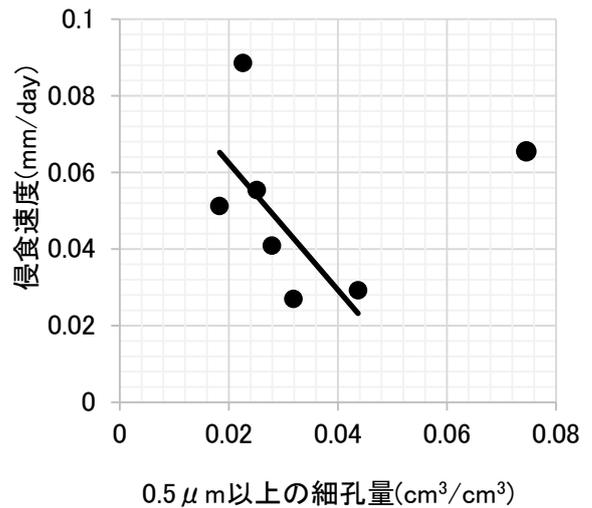


図6 0.5 μm以上の細孔量と侵食速度の関係

越していることが考えられるため、セメント硬化体の硫酸劣化を把握するには、細孔構造といった物理的要因と化学成分といった化学的要因を考慮した解析を行う必要があると考えられる。

#### 4. 結論

- ・1.0mol/Lの硫酸溶液にコンクリート供試体を浸せきした場合、総細孔量が多いほど侵食速度は小さくなり、劣化の進行は抑制される。
- ・腐食生成物の体積膨張に対する空間的な余裕として働く空隙は一定値以上の大きさを有する空隙であると考えられる。

#### 5. 参考文献

- 1) 河合研至ほか:簡易試験法を用いたセメント系材料の耐硫酸性評価,セメント・コンクリート論文集, Vol.65, No1, pp.368-375, 2011