

流水作用がコンクリートの硫酸劣化に与える影響の評価

広島大学工学部第四類社会基盤環境工学課程	学生会員	○梶智恵
広島大学大学院工学研究科社会基盤環境工学専攻	学生会員	大亀寛
広島大学工学部第四類社会基盤環境工学課程	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

硫酸によるコンクリートの化学的腐食は、例えば下水道関連施設等で問題となっており、様々な研究がなされている。現在においては、既往の研究にて劣化進行予測手法として、侵食深さが浸せき日数 t に比例もしくは平方根に比例関係にあるという t 則、 $\sqrt{t}$ 則¹⁾等が提起されている。しかし、これらの予測式はモルタル・ペースト供試体を硫酸溶液中に浸せき・静置した試験から得られた実験値により算定されている。このように既往の研究の多くは、流れや飛沫によって劣化生成物が洗い流されるような環境を正しく評価しておらず、現場に適用できるとは言い難い。

そこで本研究では、耐硫酸性コンクリートを想定した混和材を置換したコンクリート供試体を作製し、硫酸濃度別に静水と流水条件に分けて浸せきした後、侵食深さと質量減少量を測定した。その後、得られた測定値を t 則、 $\sqrt{t}$ 則に関連づけて考察することで、混和材の使用・硫酸濃度の違いによって、コンクリートの硫酸劣化に流水作用が与える影響が、どのように変化するかを検討した。更に剥落についても流水作用による影響の有無を考察した。

2. 実験概要

本実験に用いたコンクリートの配合を表1に示す。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時間で脱型しただちに材齢28日ま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。結合材の種類による違いを考察する為、普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフュームを用い、それぞれNC、BFS、FA、SFと略記し、各混和材の置換率とともに示すことにより供試体名を表すこととし、作製した供試体の略記ならびに各混和材の置換率を表2に示す。

作製したコンクリート供試体は硫酸濃度が0.006mol/L (pH2.0)、0.09mol/L (pH1.0)、1mol/L (5%)、2mol/L (10%)の静水と流速のある溶液にそれぞれ浸せきした。流速は下水道の実環境を想定し0.7~0.9m/sとした。浸せき開始後、硫酸との反応により初期表面から剥落、欠損した深さを侵食深さとし、劣化生成物が供試体表面に残存している場合はこれを供試体の一部とし除去せずに測定した。侵食深さの測定には最小測定値0.05mmのノギスを用い、浸せき後の供試体寸法を同一供試体につき3ヶ所測定し、その平均値を浸せき前からひいたものの1/2とした。質量減少量は小数点以下を四捨五入し、浸せき前の質量から測定した質量を引いたものとした。

表1 コンクリート配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水結合材比 W/B	単位量 (kg/m ³)				高性能 AE 減水剤 (cc/m ³)
				水 W	結合材 B	細骨材 S	粗骨材 G	
20	10	5.0	0.55	174	316	795	958	316

表2 結合材の組み合わせと含有比率 (%)

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

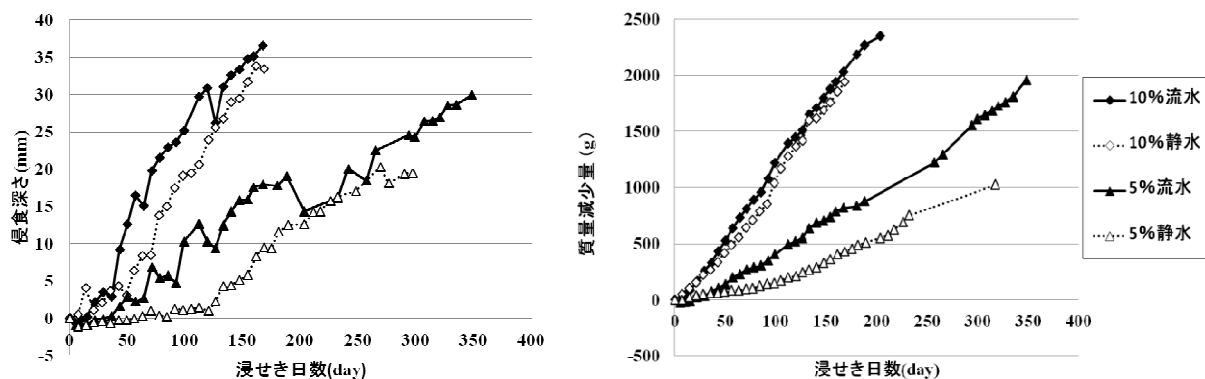


図1 硫酸濃度 10%と 5%の流水・静水溶液に浸せきした NC 供試体の侵食深さ (左) と質量減少量 (右)

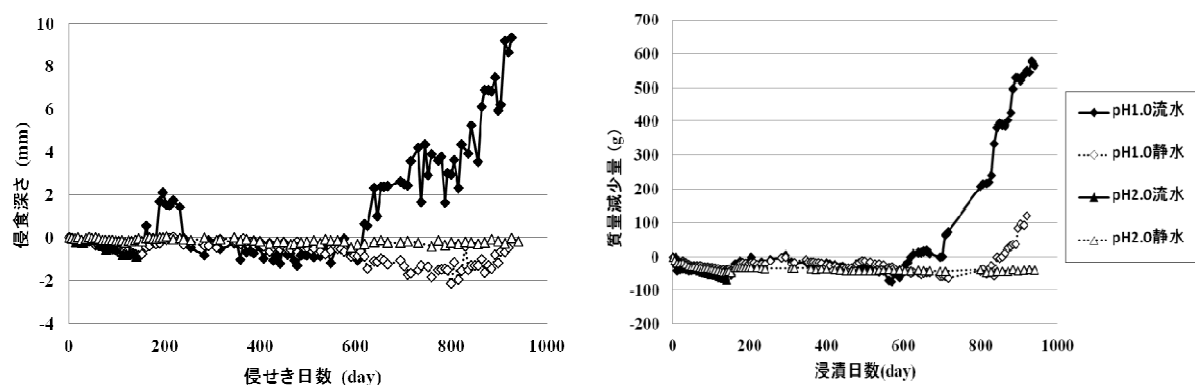


図2 硫酸濃度 pH1.0 と pH2.0 の流水・静水溶液に浸せきした NC 供試体の侵食深さ (左) と質量減少量 (右)

3. 実験結果及び考察

本実験で得られた侵食深さと質量減少量の測定結果を、NC を一例として図 1、図 2 に示す。図 1 より巨視的にみると、侵食深さは浸せき日数に対し線形性がみられる。また図 1、2 より各濃度の硫酸溶液に浸せきした供試体において侵食深さと質量減少量の傾向は一致していると言える。よって、図 1、2 の質量減少量のグラフを侵食深さに対応させてみると、流水・静水間において、硫酸濃度 10%に浸せきした供試体では、あまり差がみられず、流水作用による影響は確認できなかったが、硫酸濃度 5%、pH1.0 に浸せきした供試体では浸せき日数が進むにつれ、両者の差が大きくなっていることが分かった。硫酸濃度 10%ではコンクリートの硫酸劣化に硫酸濃度が及ぼす影響力が、流水作用が硫酸劣化を促進させる影響力を上回っており、硫酸濃度が低くなるにつれて相対的に流水作用が与える影響力が大きくなったためにこのような結果になったと考察した。

また単調な質量減少が始まった時期を目視により設定し剥落の伴う侵食が始まった時期とし、これをみかけの剥落開始日数 (以降、剥落開始日数とする) とすると、図 1、2 の質量減少量のグラフより、硫酸濃度 5%と pH1.0 において流水・静水間で剥落開始日数が異なっており、流水作用が剥落開始日数を早めることが分かる。硫酸濃度 10%において差がみられないのは、硫酸によって生成された腐食生成物である二水石膏の膨張量が多く、膨張量を許容する総細孔空隙量を越えたため、流水・静水条件に関わらず剥落してしまったと考察した。

更に、剥落開始日数を迎えている供試体の剥落開始後の侵食深さについて線形近似を行い、予測式 t 則と対応させることで比例係数 c を算出した。本研究では、各濃度における侵食深さが浸せき日数に対して線形性をとっており t 則に当てはまるとした。以降、その比例係数を侵食速度 c とし、流水・静水条件において c と CaO 含有量との関係、剥落開始後からの質量減少量の傾きと CaO 含有量との関係を図 3 に示し、混和材の使用がコンクリートの硫酸劣化における流水作用の影響をどのように変化させるかを調べた。

図 3 より、静水、流水条件ともに線形性がみられ、CaO 含有量が多くなるほど侵食速度は大きくなることが分かる。更に得られた結果を線形で近似してみると CaO 含有量が小さくなるほど比例係数 c の差が開いており、CaO 含有量が小さくなるほど硫酸劣化に流水作用が与える影響は大きくなるという傾向が認められた。これは CaO 含有量が減少す

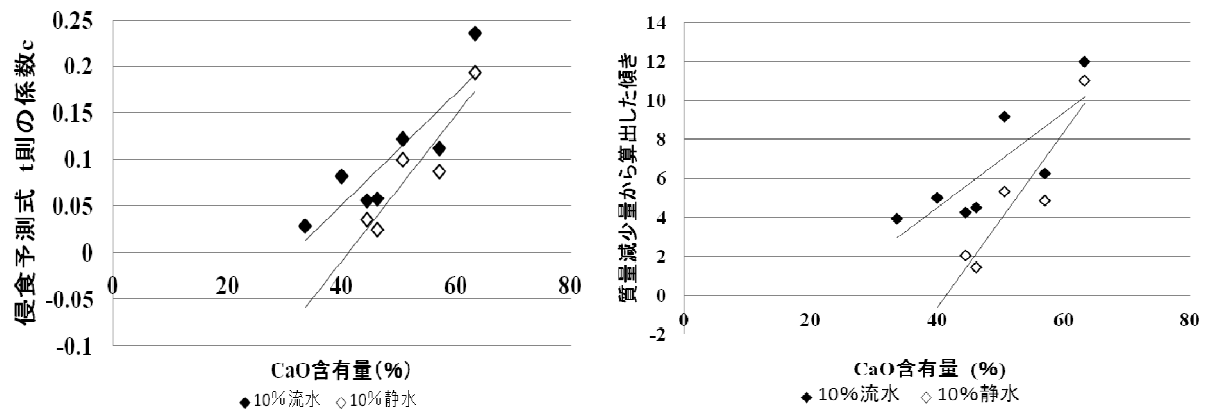


図3 CaO含有量と係数 c (左), 質量減少量から算出した傾き (右) の関係

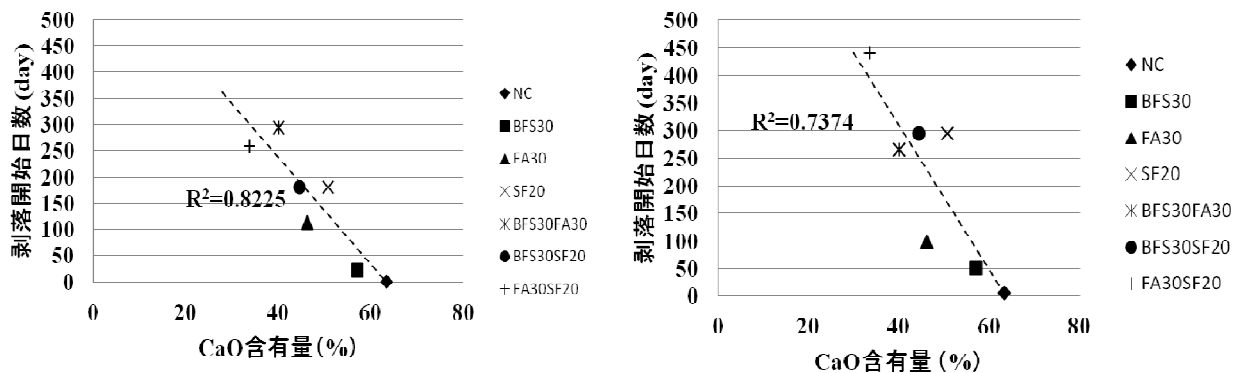


図4 10%流水 (左) と 5%流水 (右) における CaO 含有量と剥落開始日数の関係

ることで、硫酸と反応し劣化生成物である二水石膏の発生が抑えられるため膨張量が少なくなり、硫酸劣化に対して流水作用が与える影響が相対的に大きくなるためと考えた。ただし、現時点では、10%静水での侵食深さにおいて BFS30FA30, FA30SF20, 10%の流水・静水での侵食深さにおいて BFS30FA30SF20 はいまだ剥落開始時期を迎えておらず、係数 c あるいは質量減少量の傾きが出ていない。よって、今後とも計測を続け、これらの関係がどのように変化してゆくかを確認する必要がある。

次に、硫酸濃度10%と5%の流水条件における混和材の置換による CaO 含有量の減少と剥落開始日数との関係を図4に示す。図4より、流水条件下の硫酸濃度10%と5%の溶液に浸せきした供試体では、剥落開始日数は結合材中の CaO 含有量に対して線形性があると認められた。つまり流水環境下で高濃度の硫酸溶液に浸せきした供試体では、混和材の置換率が高くなるほど CaO 含有量の減少し、剥落開始日数が長くなることが分かる。コンクリート中のセメント水和物に含まれる CaO が硫酸と反応し、その反応生成物が膨張した後、コンクリートの剥落が起こるので、CaO 含有量が高くなるほど剥落しやすく剥落開始日数が早まるため、このような結果になったと考察する。ただし、BFS30FA30SF20の供試体は未だ剥落開始日数を迎えていないので、今後も計測を続け、これらの関係がどのように変化してゆくかを確認する必要がある。

4. 結論

- 1) 流水作用が硫酸劣化による侵食に及ぼす影響は、硫酸濃度条件によって変化し、硫酸濃度が低くなる程、流水作用による影響が大きくなる傾向が認められた。
- 2) CaO 含有量が低い程、硫酸との反応による膨張性反応物の量が減少する為、相対的に流水作用が侵食劣化の侵食に及ぼす影響は大きくなる。よって混和材の置換率が高くなる程、流水作用による影響が大きくなる傾向が認められた。
- 3) 濃度10%, 5%の硫酸溶液に浸せきし流水作用を付加させた場合、剥落開始日数は CaO 含有量に対し線形性があることが認められた。ただし、未だ剥落開始日数を迎えていない供試体も存在する為、今後も計測を続け変化をみる

必要がある.

参考文献

- 1)土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，2007