コンクリートの細孔構造に長期間の硫酸浸漬が及ぼす影響

広島大学	学生会員	○坪根	圭佑
広島大学	学生会員	山口	佳紀
広島大学	正会員	小川	由布子
広島大学	フェロー会員	河合	研至

1. はじめに

コンクリートの化学的侵食を引き起こす酸性溶液は様々であり、硫酸劣化も化学的劣化の一つである. コン クリートの硫酸劣化を評価する際、硫酸への浸漬試験は不可欠である. 既往の研究 ¹⁾²⁾ではペースト、モルタ ル、コンクリートを硫酸溶液へ浸漬させ、侵食深さ、中性化深さ等を測定することで硫酸劣化について評価し ている. また、コンクリートの硫酸侵食により未反応部との境界で赤色の Fe 層を形成することも報告³⁾され ている. しかしながら、これらの研究におけるコンクリートの硫酸への浸漬期間は比較的短く、長期間硫酸浸 漬させた場合のコンクリートの劣化メカニズムが不明確である. 本研究では、コンクリートを長期間硫酸に浸 漬させた場合の、特に Fe 層以深における劣化について検討することで、長期間硫酸侵食を受けたコンクリー トの劣化メカニズムを解明することを目的とした.

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

結合材には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,細骨材, 粗骨材にはそれぞれ石英斑岩砕砂,石英斑岩砕石を使用し,水結合材比 0.55 のコンクリート供試体を作製した.結合材および骨材の物理特性を表-1に,コンクリートの配合を表-2に示す.

2.2 実験方法

100mm×100mm×400mmのコンクリート供試体を打設後 24 時間で脱型し,材齢 28 日まで 20℃で水中養生 した.その後,寸法が 100mm×100mm×130mm となるよう,両端面も含め湿式カッターで切断した.切断面 2 面を暴露面とし,暴露面を除く4面を耐酸エポキシ樹脂で被覆した.硫酸浸漬試験では,暴露面が水槽の底面 に対して横向きになるように供試体を静置した.浸漬に用いる硫酸溶液濃度は 0.09mol/L(pH=1)とし,浸漬溶 液は1週間毎に硫酸を添加することによって濃度調節を行った.浸漬期間は 1,600 日とした.

検討項目は,侵食深さ,質量減少量,細孔空隙量である.侵食深さは,初期断面から硫酸浸漬により剥落し た長さと定義し,同一供試体において決められた3点をノギスにて測定し,その平均を測定結果として用い た.侵食深さは,侵食を正,膨張を負で表している.質量減少量については,硫酸浸漬による初期供試体質量 からの減少量と定義し,電子天秤を用いて測定を行った.質量減少量は,質量の減少を正,増加を負で表して

いる.細孔空隙量の測定で は、コンクリートが硫酸侵食 を受けた際に生じる Fe 層を 基準に試料を採取した.すな わち、Fe 層から 15mm 間隔で コンクリートを切断し、数 mm 程度のモルタル片を試料 として採取した.モルタルは 直ちにアセトンに 24 時間浸

公 I 区/时时代												
使用材	料	種類		-	記号	特性						
セメン	ŕ	普通ポルトランドセメント			OPC	密度	密度3.16g/cm³, 比表面積3,360cm²/g				²/g	
混和材		高炉スラグ微粉末		E	BFS	密度2.91g/cm³, 比表面積4,520cm²/g						
		フライアッシュ			FA	密度2.34g/cm³, 比表面積3,820cm²/g						
		シリカ	フューム		SF	密度2.25g/cm³,比表面積16.5m²/g			g			
細骨相	才	石英斑岩砕砂			S	表乾密度2.60g/cm³, 吸水率1.06%						
粗骨相	才	石英斑岩砕石			G	表乾密度2.62g/cm³, 吸水率0.69%						
表-2 コンクリート配合												
供 空気量		スランプ	水結合材比	単位量(kg/m³)								
洪武冲	(%)	(cm)	W/B	水	OPC	BFS	FA	SF	S	G	AE剤	
NC					316	I	I	I				
B30					221	87.5	I	I				
F30	5.0	10	0.55	173	221	-	70.3	-	829	997	0.316	

253

44.9

44.9

表-1 使用材料

キーワード コンクリート,硫酸劣化,Fe 層,混和材,細孔径分布

S20

B30F30S20

連絡先 〒739-8527 東広島市 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 TEL: 082-424-7819·7828





漬して水和を停止させ,真空脱気装置により脱気した後,水銀圧入式 ポロシメータにより,細孔径分布を測定した.

3. 結果および考察

侵食深さの経時変化を図-1に示す.NC,B30では1,000日以降で 脆弱部の顕著な剥落が見られ,その後1,200日以降で大きな膨張と剥 落が繰り返された.F30においても膨張,剥落の繰返しは認められる が,大きな剥落には至っていない.S20,B30F30S20では,継続的に膨 張傾向であることが分かる.各供試体の質量減少量について図-2に 示すが,侵食深さと同じような傾向が見てとれる.



図-4 劣化供試体断面図(F30)

各供試体の細孔径分布を図-3に示す. NC, B30 では劣化が激しく, NC については Fe 層から 15mm までの試料,B30 については Fe 層から 30mm までの試料しか得られなかった.また,図中の初期値とは浸漬前の 測定値である.S20 を除きほとんどの供試体で総細孔量が浸漬前と比較して減少している.これは水和反応, ポゾラン反応による硬化体の緻密化によるものと考える.また,B30F30S20 を除き硬化体内部よりも Fe 層に 近いほど総細孔量が減少しており,特に 0.01µm 以下の微小な空隙量が減少している.このことから,Fe 層以 深においても水和生成物が硫酸によって侵食を受け,空隙が粗大化したことがうかがえる.

図-4には浸漬後の劣化供試体の断面写真を示す.外観上は、劣化の進行が Fe 層までで、Fe 層以深では見かけ上は健全な状態を呈しているが、硫酸による変質を受けている可能性が本研究によって示唆された.

4. まとめ

コンクリートの硫酸劣化では、劣化部と健全部との境界に Fe 層が形成されるとされているが、pH=1 の硫酸 溶液を用いた本研究の範囲では、Fe 層以深にも硫酸劣化が及び、水和生成物の侵食が進んでいることが細孔 構造の観点から示唆された.

【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

2) 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, No.65, pp.368-375, 2011
3) 野中資博ほか: 硫酸腐食を受けたモルタルの生成物分析, 農業土木学会論文集, Vol.161, pp.25-30, 1992