

酸性雨を想定した超高性能コンクリートの酸性溶液への浸漬試験の評価について

飛鳥建設 正会員 槇島 修  
 飛鳥建設 田中 斉  
 飛鳥建設 津崎淳一  
 飛鳥建設 加藤淳司

1. はじめに

S.Q.C 構造物開発・普及協会では、コンクリート構造物の高強度化および高耐久化により、経済的なコンクリート構造物の設計、施工、維持管理に伴うランニングコストの低減を目指したコンクリートの調査・研究を行っている<sup>1)</sup>。本研究では、酸性雨による劣化に対する抵抗性の評価を目的に行った超高性能コンクリートの酸性溶液への浸漬試験結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 使用したコンクリート

使用材料およびコンクリートの配合を表 - 1 と表 - 2 に示す。

2.2 酸性溶液への浸漬方法

酸性溶液と浸漬試験条件を表 - 3 に示す。使用した酸性溶液は、環境庁の報告<sup>2)</sup>による国内の平均的な酸性雨の成分組成と同様に硫酸 2 : 硝酸 1 の混合とし、促進のために pH の小さな範囲も条件に加えた。浸漬条件は、常に浸漬状態とする「常時浸漬」と期間の異なる乾湿繰返しを組み合わせた「短期乾燥」と「長期乾燥」の合計 3 条件を設定した。

2.3 試験項目および試験方法

コンクリートの試験項目および試験方法を表 - 4 に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 質量測定

試験期間 12 ヶ月における浸漬条件が異なる場合の質量減少量と材齢 56 日の圧縮強度の結果を図 - 1 に示す。常時浸漬の質量減少が乾湿繰返しに比べて大きく、かつ、強度が高いほど質量減少が小さい傾向であった。

また、3 種の浸漬条件のうち乾燥期間を省いた期間、すなわち酸性溶液に浸漬された期間のみを対象とし、酸性溶液との接触した期間 1 日あたりに換算した質量減少量を図 - 2 に示す。

試験条件に乾湿繰返しを組み合わせたものは、常時浸漬に比べて質量減少量が 2 倍程度大きく、酸との接触による連続的な劣化だけではなく、乾燥によって劣化の進行が大きくなる傾向であった。また、緻密なコンクリート硬化体が得られる超高性能コンクリートは、酸劣化の抵抗性に優れるものであった。

3.2 総細孔容積

キーワード：高強度コンクリート、高流動コンクリート、耐久性、酸性雨、耐酸性、

連絡先：〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472 tel.0471-98-7559 fax.0471-98-7586

表 - 1 使用材料

種別	材料名および物性
セメント	普通ポルトランドセメント [OPC]
	低熱ポルトランドセメント [LC]
	高流動・高強度用ビーライトセメント [BL]
混和材	フライアッシュ [FA] (比表面積 3,480cm <sup>2</sup> /g)
	高炉スラグ微粉末[BS1] (比表面積 5,830cm <sup>2</sup> /g)
	高炉スラグ微粉末[BS2] (比表面積15,000cm <sup>2</sup> /g)
	シリカフェューム [SF] (比表面積200,000cm <sup>2</sup> /g)
細骨材	川砂:表乾密度2.54,吸水率2.70%,粗粒率2.61
粗骨材	硬質砂岩2005碎石 :表乾密度2.65,粗粒率6.52,実績率60.1%
混和剤	高性能 A E 減水剤 (ホリカホ <sup>®</sup> ン酸系) A E 減水剤 (リグニル <sup>®</sup> 酸系)

表 - 2 コンクリートの配合

配合名	結合材種別	配合強度 N/mm <sup>2</sup>	水結合材比 %	スラブ厚 cm	単位量 kg/m <sup>3</sup>			*1 混和剤種別
					水	セメント	混和材	
LC72	LC	72	38.6	60	165	427	-	A
FA72	OPC+FA	72	34.9	60	165	378	95	A
BS72	OPC+BS1	72	41.5	60	165	199	199	A
BL96	BL	96	32.6	60	165	506	-	A
SF120	BL+SF	120	25.7	65	165	578	64	A
BS120	BL+BS2	120	22.0	65	165	675	75	A
OPC29	OPC	29	59.9	12 <sup>*2</sup>	160	267	-	B

\*1混和剤種別 A:ホリカホ<sup>®</sup>ン酸系高性能AE減水剤

B:AE減水剤

\*2配合名OPC29のみスラブ値

表 - 3 浸漬試験条件

区分	方法
常時浸漬	常に浸漬(20 ), pH:3,7(比較用水道水) 浸漬期間:12ヶ月
乾湿繰返し	短期乾燥 浸漬期間:1日(20 ) 乾燥期間:6日(20 ,60%)を48サイクル繰返し pH:2,3,4,7(比較用水道水)
	長期乾燥 浸漬期間:1日(20 ) 乾燥期間:20日(20 ,60%)を16サイクル繰返し pH:2,3,4,7(比較用水道水)

注)定期的(常時浸漬:1ヶ月毎,乾湿繰返し:浸漬する毎)に化繊のブラシによる軽微なこすりと水洗により供試体表面に生じた脆弱層を取除いている

表 - 4 試験項目および試験方法

試験項目	試験および測定方法
質量測定	10×20cm供試体の質量を測定した
総細孔容積	水銀圧入式ポロシメータによった
E P M A 分析	EPMA(電子線マイクロアナリシス)による面分析,測定材齢は12ヶ月
X線回折分析	粉末X線回折法による水酸化カルシウムの定量,測定材齢は12ヶ月

注)総細孔容積、X線回折分析については、表層から 0~15mm(表層部),15~30mm(境界部),30~50mm(内部)の位置からサブリングした試料を対象とした

乾湿繰返し条件(短期乾燥・pH3・12ヶ月間)における深さ方向の硬化体中の総細孔容積を図 - 3 に示す。配合強度の高いものほど総細孔容積が少なく、組織が緻密であることを示しているが、深さ方向の総細孔容積に差異は見られず、酸性溶液への浸漬による影響は認められなかった。今回の酸性雨を想定した試験の場合、細孔容積変化は酸劣化の抵抗性の評価に適さないものと考えられる。

### 3.3 E P M A分析

乾湿繰返し条件(短期乾燥・pH3・12ヶ月間)におけるE P M A分析結果を表 - 5 に示す。分析の対象とした窒素(N)、炭素(C)、アルミニウム(Al)についてはコンクリート内部と表層に違いはみられなかったが、硫黄(S)、カルシウム(Ca)については表層付近に濃度の高い層(以下濃縮層と呼ぶ)が確認された。このことは、浸透した硫酸成分の存在および硫酸との反応によって生成された硫黄(S)を含む化合物がコンクリート内部に存在していることを示している。また、濃縮層の存在は、強度レベルの低い配合ほど顕著であり、より内部に存在している傾向が見られる。これは、緻密なコンクリートほど酸の浸透が少なく、コンクリート内部劣化の進行が小さいものであった。また、E P M A分析による硫黄およびカルシウムの濃縮層の程度や位置の測定は、酸劣化の抵抗性の評価に有効と考えられる。

### 3.4 X線回折分析

乾湿繰返し条件(短期乾燥・pH3・12ヶ月間)におけるX線回折分析結果を図 - 4 に示す。水酸化カルシウムの生成量は、配合(結合材種別)により差異が見られた。ただし、深さ方向の違いは明確に見られず、酸によるコンクリート硬化体内部に変化は認められなかった。水酸化カルシウムの生成量を指標とした酸劣化の抵抗性を評価することは必ずしも適さないものとする。

## 4.まとめ

酸性雨を想定した酸性溶液への浸漬試験によってコンクリートの酸劣化の抵抗性を比較し、下記の結果が得られた。

高強度ほど酸劣化の抵抗性が高く、乾燥を伴う場合にはより顕著な傾向であり、実構造物の場合に、超高性能コンクリートによる向上が期待できる。

E P M A分析による硫黄およびカルシウムの濃縮層の程度や位置の測定は、酸劣化の抵抗性の評価に有効であると考えられる。

### [謝辞]

本研究の計画、実施に当たっては、高知工科大学岡村甫教授、東京大学前川宏一教授、小澤一雅助教授および(財)鉄道総合技術研究所のご指導をいただきましたことを付記し、謝辞といたします。

### [参考文献]

- 岡沢智, 鬼頭誠, 壇康弘, 城国省二, 加藤淳司: 超高性能コンクリートに及ぼす酸性雨の影響について, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, pp.92 ~ 93, 1999.9
- 環境庁地球環境部監修: 酸性雨-地球環境の行方-, 中央法規出版, 1997.11

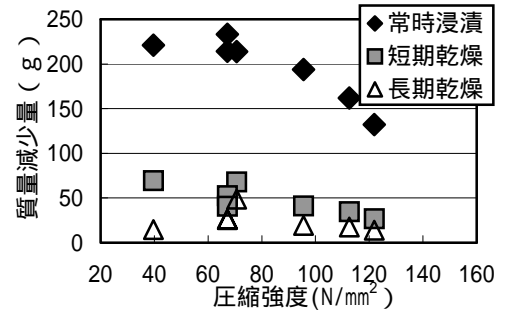


図 - 1 質量測定結果(12ヶ月, pH3)

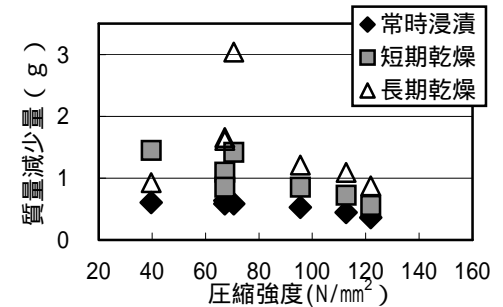


図 - 2 酸の接触期間1日当たりの質量減少量

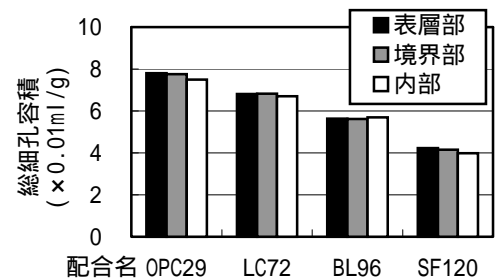


図 - 3 総細孔容積(短期乾燥, 12ヶ月)

表 - 5 E P M A分析結果

分析成分	各成分の濃縮層深さ(mm)			
	OPC29	LC72	BL96	SF120
N	-	-	-	-
C	-	-	-	-
Al	-	-	-	-
Ca	1.0	1.0	0.5	-
S	2.0	1.0	0.2	-

注) - : 濃縮層の存在が確認できなかったもの

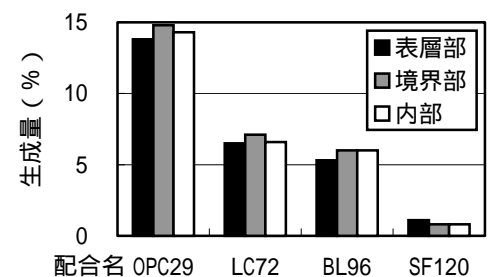


図 - 4 水酸化カルシウム生成量(短期乾燥, 12ヶ月)