

耐硫酸性を付与した低炭素型コンクリートの実験的研究

宇都宮大学 学生会員 ○石塚 日和
宇都宮大学大学院 正会員 藤原 浩巳
宇都宮大学大学院 正会員 丸岡 正知
五洋建設株式会社 正会員 王 涛

1.はじめに

近年、下水道施設のコンクリート構造物の硫酸侵食による劣化が進行しており、設計供用年数に達する前に侵食を受けた構造物の補修・更新が必要となるほど劣化することが社会的に問題となっている。また、地球温暖化対策として、コンクリート分野において製造過程に二酸化炭素排出量の多いセメント使用量の削減が求められる。本研究ではこれらの状況を鑑みて産業副産物である高炉スラグ微粉末やフライアッシュを多量混和し、低炭素型でかつ高耐硫酸性を有するコンクリートの開発を試みた。

2.高炉スラグ及びフライアッシュを多量混和したコンクリートの基本性状

2.1.実験概要

コンクリートにおける硫酸腐食はセメント水和生成物である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と硫酸とが反応することで二水石膏が生成され、侵食が進行する。本研究では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を減じるため、セメントの一部を高炉スラグおよびフライアッシュで多量置換することにより、硫酸腐食を抑制することを目的とし、実験を行った。

2.2.使用材料・配合条件・計画配合

本試験で用いる使用材料を表1に、計画配合を表2に示す。予備実験結果を参考に、水結合材比30%、結合材中のセメント質量比20%一定とし、配合条件を定めた。

2.4.試験方法

(1) フレッシュ性状試験

スランプ試験は JIS A 1101 に、空気量試験は JIS A 1128 にそれぞれ準拠した。フレッシュ性状の目標値は、スランプ $15 \pm 2\text{cm}$ 、空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ とした。

(2) 圧縮強度試験

JIS A 1132:2006 に準拠した。養生は 20°C の水中養生を行い、7, 28, 91 日目に圧縮強度試験を行った。なお、圧縮強度の目標値は 60N/mm^2 とした。

表1 使用材料

材料	材料名	記号	密度 (g/cm^3)
結合材	普通ポルトランドセメント	OPC	3.16
	高炉スラグ微粉末4000	BS4	2.90
	高炉スラグ微粉末12000	BS12	2.91
	フライアッシュ	FA	2.20
細骨材	笠間産砕砂	S	2.56
	高炉スラグ細骨材	BFS	2.80
粗骨材	笠間産砕石	G	2.62
水	水道水	W	1.00
減水剤	ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤	SP	1.10
AE剤	樹脂酸系界面活性剤	AE	1.06

表2 計画配合

配合No.	単位重量 (kg/m^3)								
	W	OPC	BS4	BS12	BS20	FA	S	BFS	G
1	170	113	397	0	0	57	676	0	845
2			340			113	669		836
3			283			170	661		827
4		113	397	57	0	0	704	0	854
5			340	113			704		854
6			283	170			705		855
7		113	136	476	0	0	68	0	788
8			113	397	0	0	57		845
9			113	397	57	0	0		854

表3 フレッシュ性状試験結果

配合No.	フレッシュ性状				
	SP (%)	AE (%)	SL (cm)	Air (%)	温度 ($^\circ\text{C}$)
1	0.85	0.90	16.5	4.5	21.0
2	0.96	0.50	17.0	3.0	21.0
3	0.94	0.50	16.5	3.0	21.0
4	0.98	0.50	14.0	6.0	23.0
5	0.90	0.50	15.5	3.5	26.0
6	0.96	0.40	17.0	5.0	24.0
7	0.82	1.00	13.0	3.7	23.0
8	0.27	0.30	15.5	3.0	26.0
9	0.27	0.05	17.0	4.2	25.0

(3) 硫酸浸漬試験

日本下水道事業団規準：「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」に記載する防食被覆用耐硫酸モルタルに関する品質試験方法に基づいて試験を行い、質量変化率試験および硫酸中性化深さ試験を浸漬期間7, 28, 56 日にて行った。なお、目標値は硫酸浸漬28 日で、質量変化率が $\pm 10\%$ 以内、硫酸中性化深さが 3mm 以内とした。

3. 試験結果

3.1 フレッシュ性状試験結果

フレッシュ性状試験結果を表3に示す。いずれの配合も目標値を満たした。

3.2.圧縮強度

表4に圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度試験において、BSおよびFAをセメントに対し多量置換した場合、材齢28日での圧縮強度は目標値に満たなかった。しかし、FAによるゆるやかなポズラン反応や、BSの潜在水硬性により、材齢91日において、 50N/mm^2 を超える圧縮強度を発現した。

3.3.硫酸浸漬試験結果および考察

各配合の7, 28, 56日の質量変化率測定結果および硫酸中性化深さ測定結果をそれぞれ図1, 図2に示す。本試験では、全ての配合で目標値を満たした。

質量変化率試験において、FAを用いた配合で質量変化が抑制された。また、水結合材比の大きい配合は質量変化率を抑制しているものの、図3示すように実際の供試体を観察すると硫酸侵食による劣化が進行している。既往の研究では、一般のコンクリートでは水セメント比が高くなるほど二水石膏生成時の膨張圧が細孔で緩和されるために、耐硫酸性が向上することが報告されている¹⁾。しかし、細孔量が増加したことによる硫酸の浸透速度が大きくなることも考慮しなければならない。

硫酸中性化深さ試験において、BFSを混和した配合において硫酸中性化深さが抑制される傾向にあった。

2つの試験共に、BS4の混和割合が小さい配合において良好な結果が示される傾向にあった。これはFAの特性であるポズラン反応や、比表面積の大きいBS12は反応速度が大きいことによる早期の潜在水硬性により、硬化体内部の組織が緻密となり、硫酸の侵入を抑制したと考えられる。さらにBFSを用いた配合においても良好な結果が示される傾向にあった。これは、BFSが化学反応により強固な二水石膏の膜を形成、また硬化体内部の Ca(OH)_2 量を消費したことにより、硫酸の侵入を抑制したと考えられる。

4.まとめ

- ・BSおよびFAを多量混和することによるフレッシュ性状の大幅な差はない。
- ・圧縮強度試験において、圧縮強度の発現が遅れる傾向にあった。

表4 圧縮強度試験結果(N/mm^2)

配合No.	7日	28日	91日
1	25.7	58.1	70.4
2	34.5	57.0	71.6
3	29.6	48.2	67.2
4	31.9	47.7	55.0
5	31.9	46.5	56.7
6	32.5	49.0	53.9
7	33.7	49.3	58.0
8	28.5	48.5	56.8
9	33.4	51.4	55.9

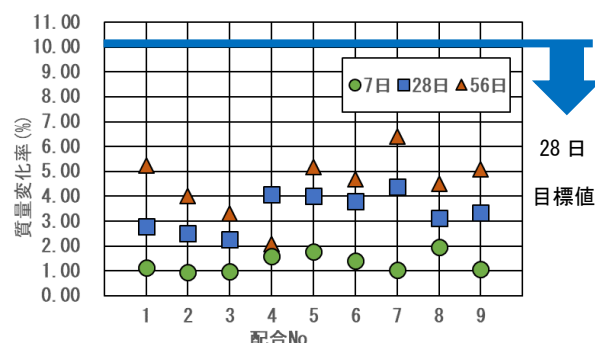


図1 質量変化率試験結果

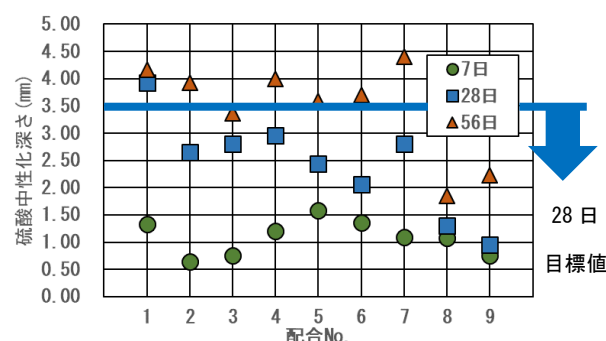


図2 硫酸中性化深さ試験結果



図3 水結合材比の違いによる供試体劣化状況
(硫酸浸漬期間28日)

- ・硫酸中性化深さ試験において、FAおよび比表面積の大きいBS12を混和することは硫酸侵食による劣化を防げる結果となった。また、BFSを用いた配合においても硫酸の侵入を抑制することが確認できた。

<参考文献>

- 1) 蔵重勲ほか: 硫酸防食によるセメント硬化体の浸食メカニズム, セメント・コンクリート論文集, No.55, pp.458-464, 2001