

V-326

耐硫酸抵抗性に優れたモルタル配合に関する基礎実験

(株) 熊谷組	技術研究所	正会員	小山秀紀
(株) 熊谷組	北関東支店	正会員	加来謙一
(株) 熊谷組	技術研究所		石田良平
(株) 熊谷組	環境事業プロジェクト室		戸上郁英
(株) 熊谷組	土木本部	正会員	松田 敏

1. はじめに

下水処理施設や温泉地の構造物では、硫酸によるコンクリートの劣化が問題となる。従来このような構造物の補修は、劣化した部分をはり取ったのちモルタルにより断面を修復し、防食性の高い塗布材により表面を被覆する方法が行われている。筆者らは、断面修復モルタルに高い硫酸抵抗性を保持させることで、表面被覆工が省略でき、補修工事の工期短縮、低コスト化が図れるものと考え、耐硫酸抵抗性に優れたモルタル配合に関する基礎実験を行った。本稿は、その基礎実験の結果について報告するものである。

2. 実験概要

表-1に実験ケース一覧を示す。実験シリーズⅠでは、フライアッシュをセメントに対し0,20,40,60,80wt%置換させることで、耐硫酸抵抗性を高める混和材の置換割合を検討した。

実験シリーズⅡでは、混和材の置換割合をセメントの80wt%に固定し、フライアッシュとシリカフェューム、フライアッシュと高炉スラグ微粉末の2種類の混和材を組み合わせることに効果を検討した。

実験シリーズⅢでは、シリーズⅠおよびⅡの結果を踏まえ、断面修復材としての実用強度レベル($\sigma=28=30\text{N/mm}^2$)の配合を選定し、耐硫酸抵抗性を検討した。表-2にセメントおよび混和材料の物性値、表-3に細骨材の物性値、表-4に試験項目および試験方法を示す。

表-1 実験ケース一覧

		W/B (%)	C/B (%)	FA/B (%)	BS/B (%)	SF/B (%)	単位量 (kg/m ³)						混和剤					
							W	C	FA	BS	SF	Sand	A1 ¹⁾	A2 ²⁾				
Ⅰ	F-0	55	100	-	-	-	270	490	-	-	-	1316	150ml	-				
	F-20		80	20	-	-		392	98	-	-	1287						
	F-40		60	40	-	-		294	196	-	-	1257						
	F-60		40	60	-	-		196	294	-	-	1229						
	F-80		20	80	-	-		98	392	-	-	1199						
Ⅱ	Ⅱ-1	55	20	50	-	30	270	98	246	-	147	1189	150ml	0.6				
	Ⅱ-2			60	-	20		98	295	-	98	1191						
	Ⅱ-3			70	-	10		98	344	-	49	1193						
	Ⅱ-4			20	60	-		98	98	295	-	1266						
	Ⅱ-5			40	40	-		98	197	197	-	1242						
	Ⅱ-6			60	20	-		98	295	98	-	1219						
Ⅲ	Ⅲ-1	25	20	50	20	10	270	216	540	216	108	620	-	1.7				
	Ⅲ-2	35						154	386	154	77	933		1.3				
	Ⅲ-3	45						120	300	120	60	1107		1.0				
	Ⅲ-4	35						100	-	-	-	771		-	-	-	1086	0.5
	市販品							プラスチック短繊維混入の断面修復用特殊セメント系モルタル										

備考) 混和剤 A1: AE減水剤(リグニンスルホン酸系) A2: 高性能AE減水剤(メラミン系)

3. 実験結果

1) シリーズⅠ

表-5に実験結果一覧を示す。F-0、F-20は、硫酸溶液浸漬1週で細骨材の露出が認められ、浸漬13週で消失した。F-40は、浸漬4週で細骨材の露出が認められた。一方、F-60は、浸漬4週で0.05mm程度のひび割れが認められ、浸漬8週で浮きが認められた。F-80は、浸漬8週まで変化が認められず、浸漬13週で0.05mm程度のひび割れが認められた。なおF-60およびF-80のいずれも細骨材の露出は認められなかった。

図-1に浸漬開始前(材齢28日)の水酸化カルシウム量と浸漬後の重量変化率の関係を示す。F-0、F-20、F-40(水酸化カルシウム量として4.65, 3.79, 2.51wt%)の場合は、材齢とともに重量変化が大きくなる傾向を示したが、F-60、F-80(水酸化カルシウム量として1.60, 0.29wt%)の場合は、重量変化がほとんど認められなかった。これらのことから、耐硫酸抵抗性を向上させるためには、混和材(フライアッシュ)置換割合を60~80wt%以上とし、また水酸化カルシウム量として0.30~1.60wt%程度以下とすることが効果的と推測される。

表-2 セメントおよび

混和材料の物性値

材料名	比重	比表面積 (cm ² /g)
早強セメント C	3.14	4,520
高炉スラグ微粉末 BS	2.91	8,350
フライアッシュ FA	2.29	3,380
シリカフェューム SF	2.20	228,800

表-3 細骨材の物性

産地	つくば市田中
最大寸法	5mm
比重	2.56
吸水率	1.65%
単位容積質量	1.63kg/ℓ
粗粒率	2.84

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度試験	JIS A 1108 に準拠し、材齢1, 4, 13週で実施。 供試体寸法: $\phi 5 \times 10\text{cm}$
硫酸溶液浸漬試験	4週間の標準水中養生を行ったのち、硫酸濃度20%溶液に浸漬し、重量変化を測定。供試体寸法: $4 \times 4 \times 8\text{cm}$
中性化試験 (硫酸溶液浸漬後)	4週間の標準水中養生を行ったのち、硫酸濃度20%溶液に浸漬し、所定期間浸漬後、割取断面に1%フェノールフタレイン溶液を噴霧し、供試体の赤褐色部分までの深さを測定。供試体寸法: $4 \times 4 \times 8\text{cm}$
示差熱重量分析	材齢28日間標準水中養生を行ったのち、供試体($4 \times 4 \times 8\text{cm}$)を全量微粉砕し、以下の条件で測定を実施。 試料乾燥条件: アセトン中に3時間浸漬し、その後1日風乾 測定条件: 測定材齢: 4週/昇温速度: $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 雰囲気: 窒素雰囲気(50ml/min)

キーワード: モルタル、硫酸、混和材量、水酸化カルシウム、断面修復

連絡先: 〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪1043 TEL 0298-47-7505 FAX 0298-47-7480

2) シリーズII

表-5より、セメントの一部をフライアッシュとシリカフェームで置換したII-1, II-2, II-3は、浸漬8週まで変化が認められず、浸漬13週で0.05mm程度のひび割れが認められ、耐硫酸抵抗性は比較的良好であることを確認した。一方、セメントの一部をフライアッシュと高炉スラグ微粉末で置換したII-4, II-5は、浸漬1週で0.05mm程度のひび割れが認められ、浸漬4週以降で浮きが認められた。またII-6は、浸漬4週で0.05mm程度のひび割れが認められ、浸漬8週以降で浮きが認められた。なおII-1~6のいずれも細骨材の露出は認められなかった。II-1~6の水酸化カルシウム量は0.21~0.70wt%であり、シリーズIにおいて、良好な耐硫酸抵抗性が認められた範囲であった。圧縮強度は、材齢13週におけるF-80に対する比率が、II-1で3.5、II-2で2.6、II-3で1.0、II-4で9.0、II-5で8.5、II-6で5.0であり、高炉スラグ微粉末を混入（II-4,5,6）することによる強度発現の改善効果が認められた。

これらのことから、混和材置換率を80%とし、その全量をフライアッシュとした配合と比較すると、フライアッシュとシリカフェームを組み合わせた場合は、耐硫酸抵抗性に優れており、フライアッシュと高炉スラグ微粉末を組み合わせた場合は、強度発現の改善を期待できるものと考えられる。

3) シリーズIII

シリーズIおよびIIの結果から、材齢28日で30N/mm²以上の強度が発現し、耐硫酸抵抗性に優れた配合とするため、シリーズIIIは、混和材料の置換割合をセメントに対して、フライアッシュ：高炉スラグ微粉末：シリカフェーム＝50：20：10（wt%）とし、水結合材比を25~45%に変化させた配合を選定した。表-5より、III-1、III-2、III-3は、III-4、市販品と比較して、浸漬13週においても細骨材の露出が認められず、良好な耐硫酸抵抗性が認められた。

図-2に重量変化率の経時変化を示す。III-1、III-2、III-3の重量変化率は大きな変化が認められなかったが、III-4、市販品の重量変化率は、浸漬4週で約20%となり、浸漬10週で0%となった。

図-3に硫酸溶液浸漬後の中性化深さの経時変化を示す。III-1、III-2、III-3は組織内部に硫酸イオンが浸透することによる中性化が認められたが、中性化深さは、比較対象のIII-4あるいは市販品の約1/2程度に抑制できていることが認められた。

なお、III-1、III-2、III-3の圧縮強度は、材齢28日で30N/mm²以上を満足しており、断面修復材としての実用強度レベルを有していることを確認した。

以上から、混和材料を適切に組み合わせることによって、耐硫酸抵抗性に優れたモルタルの配合設計が可能であるものと考えられる。

4. まとめ

本実験の結果をまとめると以下の通りである。

- 1) モルタルの耐硫酸抵抗性は、混和材置換割合を60~80wt%以上とし、その結果として水酸化カルシウム量を0.30~1.60wt%程度以下とすることで向上する。
- 2) 混和材料を適切に組み合わせることにより、実用レベルの断面修復モルタルの配合設計が可能である。

表-5 実験結果一覧

	圧縮強度(N/mm ²)			Ca(OH) ₂ (wt%)	硫酸浸漬試験後 外観観察結果(週)				
	1週	4週	13週		1	4	8	13	
I	F-0	36.0	42.4	44.4	4.65	×	×	×	—
	F-20	30.2	38.5	45.3	3.79	×	×	×	—
	F-40	18.4	25.3	34.9	2.51	○	×	×	×
	F-60	11.0	16.1	22.5	1.80	◎	○	△	△
	F-80	3.2	4.2	5.7	0.29	◎	◎	◎	○
II	II-1	6.2	14.8	19.7	0.53	◎	◎	◎	○
	II-2	4.5	8.2	15.0	0.70	◎	◎	◎	○
	II-3	2.8	3.6	5.8	0.21	◎	◎	◎	○
	II-4	24.0	41.3	51.4	0.37	○	△	△	△
	II-5	19.0	37.2	48.6	0.45	○	△	△	△
	II-6	9.4	19.3	28.6	0.49	◎	○	△	△
III	III-1	46.2	61.3	66.6		○	△	△	△
	III-2	29.7	46.2	60.9		○	○	△	△
	III-3	20.3	34.6	47.9		◎	○	△	△
	III-4	64.0	72.4	77.3		×	×	×	—
	市販品	61.8	81.7	91.2		×	×	×	—

◎：変化が認められない。 ×：細骨材の露出が認められる。
○：0.05mm程度のひび割れが認められる。 —：全て消失
△：浮きが認められる。

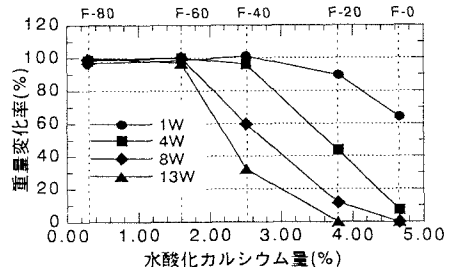


図-1 水酸化カルシウム量と重量変化（シリーズI）

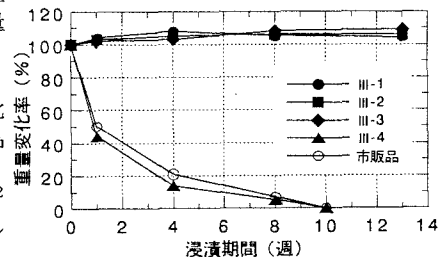


図-2 重量変化率の経時変化（シリーズIII）

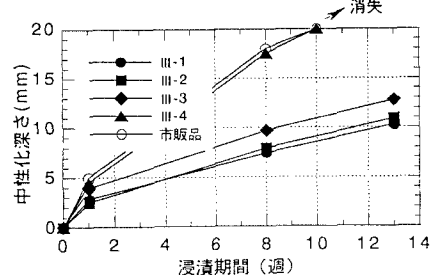


図-3 中性化深さの経時変化（シリーズIII）