

高炉スラグ超微粉末および高炉水砕スラグ砂を用いたモルタルの耐酸性

(株)デイ・シイ 正会員 ○小菅 太朗
同上 正会員 築地 優
同上 正会員 藤原 了
同上 正会員 ニ戸 信和

1. はじめに

セメント硬化体の化学的腐食として代表的なものに、セメント中の水酸化カルシウムと硫酸が反応し、表面に脆弱な二水セッコウの膜が形成される硫酸劣化がある。具体的な対策として、高炉スラグ微粉末(以下、BFS)やシリカフューム(以下、SF)を結合材に使用し、硬化体中の水酸化カルシウムを減らし、二水セッコウの生成を抑制する方法¹⁾がある。しかし、薬品・食品工場等では硫酸以外の酸にも耐久性を持つ材料が求められている。そのため本実験では、既往の研究^{1, 2)}で耐硫酸性効果が確認されている耐酸性セメント材料と細骨材を用いて、塩酸、硝酸、ギ酸および、酢酸に対する耐酸性を確認した。

2. 実験概要

(1) 使用材料

本実験で使用した材料を表1に示す。なお、表1のD₅₀は50%累積体積通過径である。普通ポルトランドセメント(以下、OPC)を母体セメントとし、高炉スラグ微粉末は、高炉スラグ微粉末 4000(以下、BF1)と、既往の研究²⁾で初期強度発現性が確認されている D₅₀=1.8μm の高炉スラグ超微粉末(以下、BF2)を使用した。また、耐硫酸性ポゾラン系材料としてシリカフュームを使用¹⁾した。結合材の粒度は、レーザー回折式粒度分布測定器(Microtrac MT3300EX II)によって測定した。細骨材には乾燥珪砂 S1 と乾燥高炉水砕スラグ砂 S2 を使用した。

表 1 使用材料

名称	材料名	記号	密度 (g/cm ³)	D ₅₀ (μm)
結合材	普通ポルトランドセメント	OPC	3.16	16.6
	高炉スラグ微粉末4000 (ブレン比表面積4,450cm ² /g)	BF1	2.90	14.2
	高炉スラグ超微粉末 (ブレン比表面積21,600cm ² /g)	BF2	2.91	1.81
	シリカフューム (BET比表面積18.5m ² /g)	SF	2.25	0.39
細骨材	乾燥珪砂(粗粒率2.95)	S1	2.63	-
	乾燥高炉水砕スラグ砂(粗粒率2.55)	S2	2.72	-
混練水	上水道水	W	1.00	-

表 2 実験水準

配合No.	W/B (%)	Nf/(B+S) (%)	結合材(B)割合(%)				細骨材 種類
			OPC	BF1	BF2	SF	
OPC	30	0.1	100				S1
TCS			36	48		16	S1
TCB			36	48	16		S1
TCB-S			36	48	16		S2

(2) 実験水準および練混ぜ

本実験で比較した水準を表2に示す。OPC100%を基準として、過去の研究¹⁾で耐硫酸性が優れていた TCS、初期強度改善効果のある TCS の SF を BF2 に代替えした TCB、TCB の細骨材を S1 から S2 に変更した TCB-S の計 4 水準について実験を行った。モルタルの配合は、結合材と細骨材の割合を質量比で B : S=1 : 0.9 とし、水以外の材料は事前にプレミックスした。練混ぜは回転数 600rpm のハンドミキサーを使用し、混練水を計量した容器に、プレミックス材料を投入し、投入完了後に 3 分間練混ぜを行った。なお、JIS R 5201 に準拠した 15 打フローで 165±10mm となるように SP 添加量の調整を行った。

(3) 実験項目および測定方法

耐酸性試験は、材齢 7 日まで標準水中養生した φ50×100mm 円柱供試体を、質量濃度 5%の各種酸水溶液に 28 日間浸せきにより、耐酸性の評価をした。なお、各種酸水溶液は供試体 1 本に対して 1.3L とし、7 日ごとに各種酸水溶液を取替えた。質量変化率は、浸せき後の供試体を水で洗浄し、水をふき取った後の供試体の質量を浸せき前の

質量の変化から質量変化率を算出した。中性化深さは、質量測定後の供試体を乾式カッターで半分に切断した面に、フェノールフタレイン 1%溶液により赤く呈色した部分の直径を、浸漬前の直径から差し引いた値の 1/2 を中性化深さとした。

3. 実験結果および考察

各種酸水溶液ごとの質量変化率結果を図 1 に、中性化深さ結果を図 2 に示す。今回使用した酸は、塩酸、硝酸、ギ酸および、酢酸の順に強酸であり、各酸の酸解離定数 pK_a は、-8.0、-1.4、3.75、4.76 である。質量変化率の TCS の水準を除き、質量変化率、中性化深さともに酸の強さの順に劣化が大きい結果であった。BF2 を用いた TCB より SF を用いた TCS の方が質量変化率は低減された。OPC、TCB は、硬化体中の水和物と酸との中和反応により生成されたカルシウム塩が溶解することにより質量が減少した。TCS は硬化体中の水酸化カルシウムが少ないことにより、各種酸との反応で生成されるカルシウム塩が減少したためと推測される。一方、中性化深さは、SF の代わりに BF2 を用いた TCB の方が TCS より低減された。さらに、TCB の S1 を S2 の代替により質量変化率、中性化深さが改善できた。写真 1 は劣化が大きかった塩酸浸せき後の各水準中性化層の写真である。TCS および TCB-S は供試体表面に厚い層が残存している。TCS は水和反応で生成した C-S-H の C/S が小さく、カルシウム塩と SiO_2 の多いゲルが生成したと推測される。また、TCB-S で用いた S2 が酸と反応してカルシウム塩と SiO_2 の多いゲルが生成されたと推測される。図 3 に示す塩酸浸漬後の TCS と TCB-S の中性化層の回折 X 線分析結果から、TCS が S1 に起因するピーク、TCB-S が非晶質によるハローがみられた。しかし、ハローのピーク位置が TCB-S と S2 で異なるため、S2 が酸と反応したと裏づけられる。TCB-S 中の S2 は結合材と比較して量が多く、 SiO_2 の多いゲルの生成量が多いため、酸の浸透が抑制されたと推測される。

4. まとめ

耐硫酸性が確認されている耐酸性セメント材料と細骨材を用いたモルタルの塩酸、硝酸、ギ酸および、酢酸に対する耐酸性を確認し、以下のことが分かった。

- (1) 酸の違いによる劣化の違いは、酸解離定数における酸の強さの順に劣化が大きくなることが分かった。
- (2) 質量変化率は、今回の実験で浸漬した各種酸の場合、CaO 量の低い混和材料を用いた結合材が質量変化率は低減できた。
- (3) 中性化深さは、質量変化率とは異なる傾向を示し、高炉スラグ超微粉末および高炉水砕スラグ砂との組み合わせにより改善できた。

【参考文献】

- 1) 大澤友宏ほか：耐酸性セメント系材料の化学成分による細孔構造と耐硫酸性への影響、コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.883-888 (2009)
- 2) 藤原了ほか：微粉末による耐硫酸性セメント系材料の初期強度および耐硫酸性の改善、セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp.87-94 (2019)

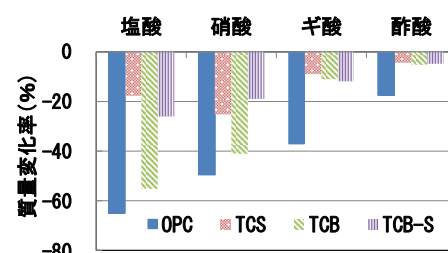


図 1 各種酸水溶液ごとの質量変化率

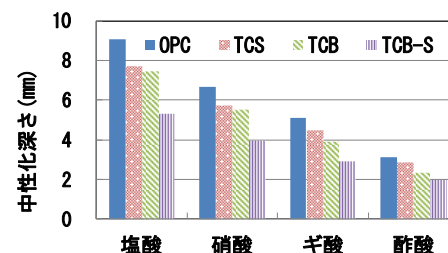


図 2 各種酸水溶液ごとの中性化深さ

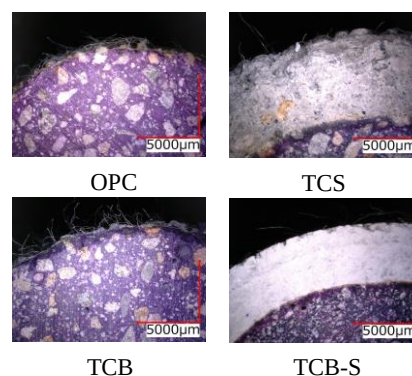


写真 1 塩酸浸漬後の各水準中性化層

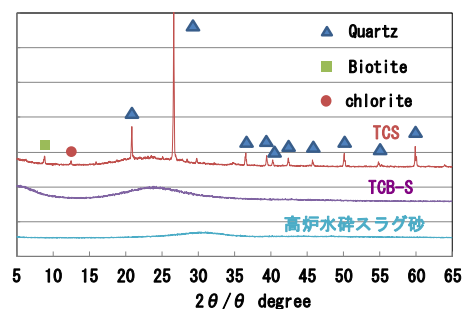


図 3 塩酸浸漬後の中性化層
および S2 の X 線回折