

各種混和材によるコンクリートの耐硫酸性向上

東京大学 学生会員 ○畑中菜穂子
 東京大学大学院 学生会員 蔵重勲
 東京大学生産技術研究所 フェロー 魚本健人

1. はじめに

コンクリートを硫酸に浸漬すると、表面のセメント水和物が硫酸と反応して二水石膏を生成する。それに伴い体積が増加するために膨張圧が生じて表面が侵食され、より内部に反応が進行してしまう。また、同時に中性化も進行していく。コンクリートの耐硫酸性を向上するという事は、①表面の侵食防止②中性化防止の2点にあり、このためには①反応物質である水酸化カルシウム量の低減②細孔空隙の緻密化を図る事が有効である、という考えのもとに様々な配合・材料を用いて供試体を作製し、硫酸への浸漬実験を行った。

2. 実験概要

i) 供試体

Φ5×10cm円柱型枠を用いてW/B=30、40%のモルタル及びペースト供試体をそれぞれ作製した。骨材はいずれの水セメント比においても53.1%（体積割合）とし、各種混和材をセメントに対して体積置換した。使用混和材は表1に示した通りである。混和材の種類、置換率、W/Bを変化させて39通りの配合の供試体を作製した。

表1 置換混和材種類

I-a	シリカヒューム
I-b	フライアッシュ
I-c	高炉スラグ微粉末
II	高炉スラグ微粉末+ベントナイト
III	高炉スラグ微粉末+珪酸ソーダ
IV	高炉スラグ微粉末+石膏

ii) 測定項目

下記の項目について行った。

- ・ 28日水酸化カルシウム量
- ・ 28日細孔空隙量
- ・ 28日圧縮強度
- ・ 硫酸浸漬試験（pH=0.5、1.0硫酸浸漬後の重量減少率、侵食深さ、中性化深さ：図1参照）
- ・ 促進炭酸化試験（CO₂10%・湿度60%：硫酸による侵食の影響がない状態で、より速く、より中に入り込みやすいガスによる中性化を観察する事が目的）

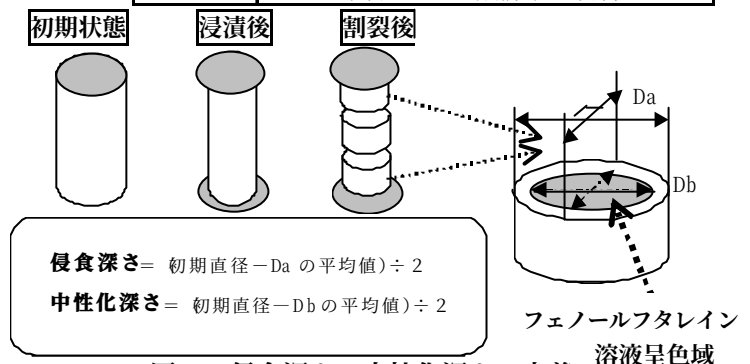
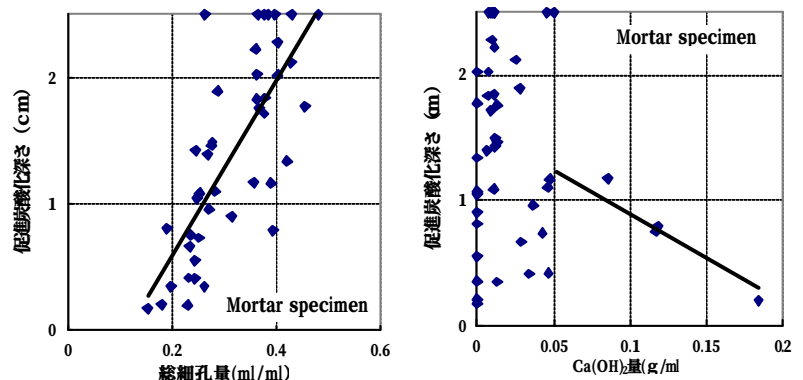


図1、侵食深さ、中性化深さの定義

3. 実験結果と考察

図2-a、図2-bは作製した供試体全データによる促進炭酸化深さと総細孔量、水酸化カルシウム量との関係を示したものである。この結果より総細孔量が少ないほど炭酸化が抑えられるのは明白だが、水酸化カルシウム量の影

図2-a、促進炭酸化2週間
モルタル結果図2-b、促進炭酸化2週間
モルタル結果

キーワード 硫酸、混和材、水酸化カルシウム量、細孔空隙量、侵食

連絡先：〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 TEL 03-5841-6146

響は 0.05 g/ml 以下の領域では見られなくなっている。また、図 3-a、図 3-b では侵食深さと総細孔量、水酸化カルシウム量の関係を示しており、総細孔量が多いほど、また水酸化カルシウム量が少ないほど侵食が抑えられている。

総細孔量に関するデータを見ると、侵食を抑えるためには総細孔量を大きく、また炭酸화를抑えるためには小さくしなければならないので、同時にこれらを抑制する事は不可能に見える。しかし、水酸化カルシウム量をゼロに近い

値まで減らした場合には、総細孔量が小さくても侵食を抑制する事ができることがわかった。つまり、侵食と炭酸化を同時に抑制するためには、水酸化カルシウム量と細孔空隙量を同時に極めて少なくする性質を持つ混和材が必要となり、この条件を満たすものが耐硫酸性を高める能力に優れているといえる。シリカフェームのみで置換した場合は、多量置換に向かないため十分に水酸化カルシウム量を減らす事ができず、大きく膨張し侵食が激しい（図 4）。また、フライアッシュを多量に置換すると細孔空隙量が増える性質があるため、反応生成物を十分収容する事ができ侵食はほぼゼロになるが中性化は大きくなり（図 5）、強度が大きく低下する（表 2）。これに対し、高炉スラグ微粉末を多量に置換したものは水酸化カルシウム量と総細孔量を同時に少なくする事が可能で、強度の低下も少ないことがわかった（表 2）。そして全 39 種類の配合で最も侵食と炭酸化を同時に抑えたのは、高炉スラグ微粉末を珪酸ソーダのアルカリ刺激で固化させたもの

（図 6：表記 K）で、水酸化カルシウム量がゼロかつ緻密であった（表 2）。しかしこれは凝結時間が大変短く現実的でなかった。

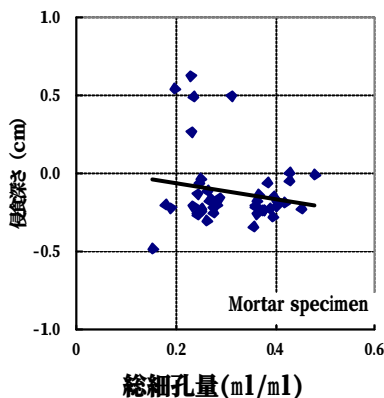


図 3-a、pH=0.5 硫酸
モルタル 2 ヶ月浸漬

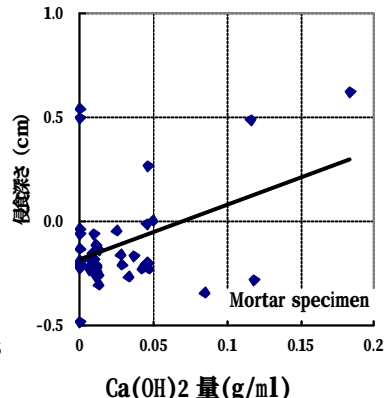


図 3-b、pH=0.5 硫酸
モルタル 2 ヶ月浸漬

表 2 配合による性質の違い

	Ca(OH) ₂ 量 (g/ml)	総細孔量(ml/ml)	強度 (N/mm ²)
普通ポルトランドセメント	0.237	0.2318	51.5
フライアッシュ7割置換	0.050	0.4294	11.4
高炉スラグ7割置換	0.034	0.2441	58.0
高炉スラグ+珪酸ソーダ	0	0.2633	34.1

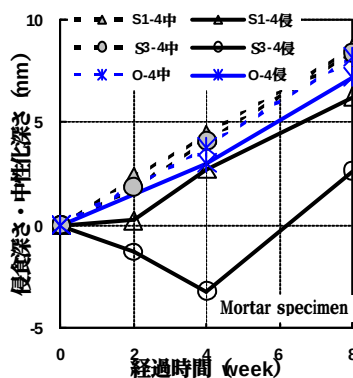


図 4、シリカフェーム 1 割・3 割置換
中性化深さ（点線）、侵食深さ（実線）

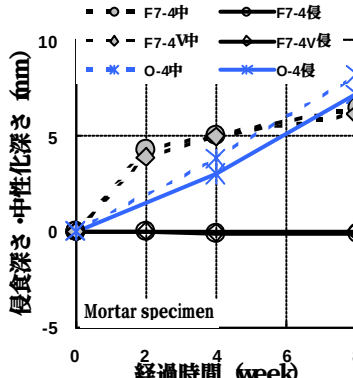


図 5、フライアッシュ 7 割置換
中性化深さ（点線）、侵食深さ（実線）

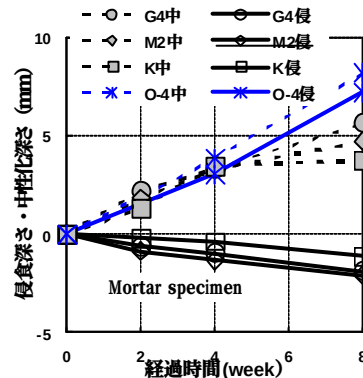


図 6、高炉スラグ多量置換
中性化深さ（点線）、侵食深さ（実線）

4. まとめ

置換した混和材による耐硫酸性効果はそれぞれ次のとおりである。

- ・ シリカフェーム：多量置換に向かず水酸化カルシウム量を十分に減らす事ができないので侵食を抑制できない。
- ・ フライアッシュ：多量に置換すると細孔空隙量が増え、中性化が大きく強度の低下も著しい。
- ・ 高炉スラグ微粉末：多量に置換すると水酸化カルシウム量と細孔空隙量を同時に減らす事が可能なので耐硫酸性を高める混和材として適している。ただし膨張して縦にひび割れる性質を持つので、その改善が必要。

謝辞：本研究は東京大学生産技術研究所 魚本・岸研究室で行われたものであり、ご協力いただいた研究室の皆様へ深く感謝いたします。