

## γ-C<sub>2</sub>S を混和しオートクレーブ養生したセメント系材料の耐硫酸性に関する研究

東京工業大学大学院 学生会員 ○圓谷 百合子  
 東京工業大学大学院 正会員 斎藤 豪  
 東京工業大学大学院 非会員 Khamhou Saphouvong  
 東京工業大学大学院 フェロー 大即 信明

### 1. はじめに

近年、地下コンクリート構造物における硫酸劣化が多数報告されており<sup>1)</sup>、硫酸劣化環境下で使用できる耐久性の高いコンクリートが求められている。一方、常温では水硬性を示さないγ-2CaO・SiO<sub>2</sub>(γ-C<sub>2</sub>S)を用いて、コンクリートに高い耐久性を付与する研究がなされている<sup>2)</sup>。斎藤らは、γ-C<sub>2</sub>Sをセメント系材料に混和しオートクレーブ養生を行うことで、溶脱や中性化に対する抵抗性が向上することを報告している<sup>3)</sup>。通常、オートクレーブ養生は高強度化を早期に実現させるための促進養生として利用されることが多いが、普通ポルトランドセメント(OPC)にケイ石微粉末やγ-C<sub>2</sub>Sを混和しオートクレーブ養生を行い、化学的に安定な結晶性のトバモライトを硬化体内部に生成させることが、耐化学的劣化においては重要であることを報告している<sup>3)</sup>。しかしながら、現在までにこれらの材料の耐硫酸性を実験的に検討した事例はなく、モルタルやコンクリートによる検討は未だなされていない。

そこで本研究ではγ-C<sub>2</sub>S-OPC-ケイ石微粉末系の180℃オートクレーブ養生において作製したモルタルの耐硫酸性を検討し、耐硫酸性に適した配合設計の提案を目的とした。

### 2. 実験概要

#### (1)実験材料及び供試体作製

表1に使用した OPC および γ-C<sub>2</sub>S の化学組成を示

す。また本材料設計の基本物性として、地中コンクリートとして広く利用されている遠心成形コンクリートを作製し、養生後の圧縮強度を測定した。供試体名及びコンクリートの配合、養生条件を表2に示す。供試体名の数字は結合材におけるケイ石微粉末の割合(Q/OPC+γ-C<sub>2</sub>S+Q)及びγ-C<sub>2</sub>S(γ-C<sub>2</sub>S+OPC)を示している。練り混ぜた後、φ20cm×30cm厚さ4cmの遠心成形用型枠に打設し、締め固めを行った。

耐硫酸試験用モルタル供試体はコンクリートの配合から粗骨材を取り除いた配合で行った。練り混ぜ後、4×4×16cmの型枠に打設し、前養生として65℃、RH100%の湿空条件下で4時間の蒸気養生を行った。その後、速やかに180℃、1MPaの条件下にて8時間のオートクレーブ養生を行った。

#### (2)試験方法

圧縮強度試験はオートクレーブ養生後、「JIS A 1136 遠心力締め固めコンクリートの圧縮試験方法」に準拠した。Refの供試体は脱型後の強度を示した。耐硫酸試験は、4×4×16cmのモルタル供試体を20℃、pH1の硫酸水溶液に浸漬し、外観観察と質量変化の測定を浸漬140日まで行った。

表1, 各結合材の化学組成式

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	f.CaO	※
OPC	21.6	5.08	2.93	64.5	1.95	0.4	3310
γ-C <sub>2</sub> S	35.0	1.7	0.10	61.9			3060
Quartz	93.3	1.6	1.4				3870

表2, 供試体名及び示方配合, 養生条件

供試体名	水結合材比 B/W (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )							養生条件 AC養生の有無	
		水 W	セメント OPC	γ-C <sub>2</sub> S	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 Q	混和剤 MT150		
Ref	32.9	148	450	0	924	907	0	0.00	100:00:00	無
Ref+AC		148	450	0	924	907	0	0.00	100:00:00	有
50-0		148	225	0	906	889	225	3.37	50:00:50	有
50-40		148	135	90	904	887	225	2.88	30:20:50	有
50-60		148	90	135	903	886	225	2.68	20:30:50	有
50-80		148	45	180	902	886	225	2.56	10:40:50	有
40-0		148	270	0	910	893	180	3.37	60:00:40	有
40-60		148	108	162	906	889	180	2.59	24:36:40	有
30-0		148	315	0	913	896	135	4.27	70:00:30	有
30-60		148	126	189	909	892	135	3.00	28:42:30	有

キーワード 耐硫酸, γ-C<sub>2</sub>S, ケイ石微粉末, オートクレーブ養生,

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 S6-11 大即研究室 TEL03-5734-2594 FAX03-5734-2585

### 3. 実験結果

#### (1) 圧縮強度

図1に養生後の圧縮強度を示す。γ-C<sub>2</sub>Sの置換率が増加し、OPC量が大きく減少しても、圧縮強度に大きな差はなかった。これはオートクレーブ養生よりγ-C<sub>2</sub>Sが反応し、圧縮強度が低下しなかったものと考えられる。

#### (2) 耐硫酸試験

140日間の硫酸浸漬による質量変化を図2及び3に示す。図2はOPCに対するγ-C<sub>2</sub>Sの置換率を0%及び60%と固定し、ケイ石微粉末の置換率を30, 40, 50%と変化させた結果を示し、図3はケイ石微粉末の置換率を50%に固定した場合を示している。図2よりケイ石微粉末の置換率が減少すると、硫酸浸漬による質量減少が大きくなることが確認された。またケイ石微粉末を50%置換した供試体では、γ-C<sub>2</sub>S置換率を60%とすることで、更に耐硫酸性を向上させることが確認できた。一方、ケイ石微粉末の割合を40%及び30%と減少させた場合には、γ-C<sub>2</sub>Sの置換率における顕著な差は確認できなかった。これは、ケイ石微粉末やγ-C<sub>2</sub>Sの置換率により、トバモライトをはじめとした硬化体内部の水和生成物が変わったことに起因するものと考えられる。

また図3より、ケイ石微粉末やγ-C<sub>2</sub>Sを置換置換していないRef及びRef+ACの供試体は著しく劣化し、浸漬21日頃から急激に質量減少していることが確認された。また、OPCに対しγ-C<sub>2</sub>Sの置換率が40%以下場合は浸漬35日頃から質量減少が確認されるのに対し、置換率60%以上の場合は浸漬140日の段階においても質量減少が確認されず、耐硫酸性が非常に高いことが示唆された。これは、硬化体内部のトバモライト生成量やオートクレーブ養生後に未反応で残存したγ-C<sub>2</sub>Sが影響しているものと推測される<sup>3,4)</sup>が、今後詳細な検討が必要である。

#### 4. 結論

- (1) γ-C<sub>2</sub>Sを混和しオートクレーブ養生を行うことで、OPC量が大きく減少しても、圧縮強度の低下は見られなかった。
- (2) OPCをケイ石微粉末で50%置換し、オートクレーブ養生することで耐硫酸性が向上し、OPCに対するγ-C<sub>2</sub>Sの置換率を60%以上とすることで、更に

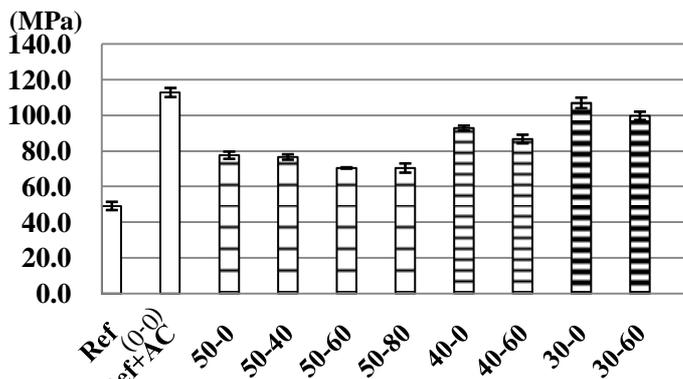


図1, 圧縮強度

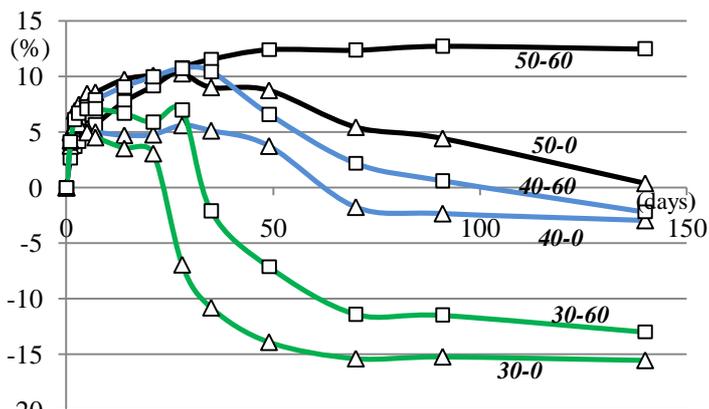


図2, 質量変化 (ケイ石微粉末置換率変化)

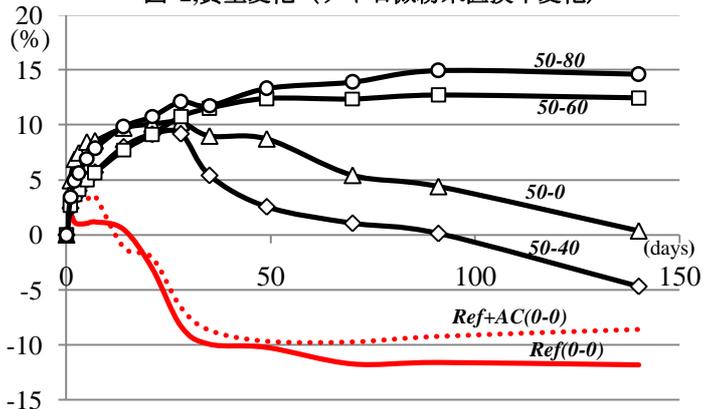


図3, 質量変化 (ケイ石微粉末置換率50%固定)

耐硫酸性が向上した。

#### 参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会化学的浸食・溶脱研究小委員会: コンクリートの化学的浸食・溶脱に関する研究の現状, コンクリート技術シリーズ, 2003, 6
- 2) 渡辺賢三ほか: γ-2CaO・SiO<sub>2</sub>を用いたコンクリートの力学特性と耐久性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.811-816 (2006)
- 3) 斎藤豪: 水熱反応を利用したケイ酸カルシウム水和物の低温合成と炭酸化反応, 東京工業大学博士論文 (2007)
- 4) 斎藤豪ほか: γ-2CaO・SiO<sub>2</sub>を混和しオートクレーブ養生および促進炭酸化養生したセメント系材料の硫酸塩浸透性状に関する研究, Journal of the Society of Materials Science, Vol.60, No.4, pp.332-338 (2011)