

## CaO・2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と膨張材を併用した低熱ポルトランドセメントの塩分浸透抑制評価

芝浦工業大学 工学部  
電気化学工業(株) セメント・特混研究部  
芝浦工業大学

○伊藤孝文  
伊藤慎也  
盛岡実  
伊代田岳史

### 1. 研究背景および目的

マスコンクリートは温度ひび割れが生じやすいため、低熱ポルトランドセメント（以下 L と称す）などの温度ひび割れ抑制効果のあるセメントが使用されることが多い。L の発熱抑制効果は C<sub>3</sub>S 及び C<sub>3</sub>A を減少させているため発揮される。しかし、固定塩化物として知られるフリーデル氏塩を生成するエトリンガイトやモノサルフェートは C<sub>3</sub>A より生成される。したがって、L は他のセメントに比べ塩化物イオンに対する抵抗性が低いことが知られており、港湾などの塩害環境下での使用実績は少ない。

近年、塩害対策用の混和材であるカルシウムアルミネート的一种 CaO・2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（以下 CA<sub>2</sub> と称す）が着目されている。この物質は、セメント水和物である Ca(OH)<sub>2</sub>（以下 CH と称す）と反応して、ハイドロカルマイト（以下 HC と称す）を生成する。この HC が塩化物イオンをフリーデル氏塩として化学的に固定化し、可溶性塩化物イオンを減少させるのが塩分遮蔽効果のメカニズムである<sup>1,2)</sup>。

本研究では塩害環境下での L の適用性を確認することを目的として、L に CA<sub>2</sub> を混和することを考えた。しかし、L では生成する CH が少ないと考え、CH を生成する物質として膨張材を併用したコンクリートの塩化物イオン抵抗性を塩水浸せき試験で検証した。また、水和生成物を調べるため示唆熱重量分析と粉末 X 線回折を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体諸元

表-1 に本研究で使用したコンクリートの配合を示す。水結合材比、細骨材比、単位水量を一定、セメント種は L を使用し、CA<sub>2</sub> 及び膨張材は添加量を変動させた。打込みしたコンクリートは翌日脱型をし、材齢 28 日まで水中養生を行った。塩水浸せき試験に

表-1 コンクリートの計画配合

	セメント種	W/B (%)	s/a (%)	W	C	CA <sub>2</sub>	膨張材	S	G
L	L	50	48	163	326	-	-	876	974
L(0-20)					306	-	20		
L(10-10)					306	10	10		
L(10-20)					296	10	20		
L(15-15)					296	15	15		
L(30-0)					296	30	-		
L(30-20)					276	30	20		

は 100mm×100mm×400mm の供試体を使用した。

### 2.2 塩水浸せき試験

養生終了後、側面の 1 面を除き、エポキシ樹脂でコーティングした供試体を塩化物イオン濃度 10% の塩水に浸せきさせ、材齢 1,2,4,8,13 週で割裂した。割裂面に硝酸銀溶液 (0.1N) を噴霧し、白色に呈色した部分を 7 点測定し、その平均値を塩化物イオン浸透深さとした。

### 2.3 示唆熱重量分析

20°C 封緘養生を行ったペースト供試体を使用してセメント水和物である CH の生成量を熱分析 (TG-DTA) により定量し比較した。これは、CA<sub>2</sub> の添加による CH の消費、及び膨張材の添加による CH 量の生成を確認するためである。

### 2.4 粉末 X 線回折

20°C 封緘養生を行ったセメントペーストの供試体を使用して粉末 X 線回折 (XRD) で定性分析を行い、AFm, AFt, CH, HC などの水和生成物を同定した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 塩水浸せき試験

図-1 に材齢 8 週目の塩水浸せき試験の結果を示す。CA<sub>2</sub> の添加量の増加に伴い、塩化物イオン浸透深さが減少しているのが確認できる。これは、CA<sub>2</sub> が HC を生成し、塩化物イオンを固定化したためと考えられる。しかし、CA<sub>2</sub> を 10,30[kg/m<sup>3</sup>] 添加した配合の塩

化物イオン浸透深さを見ると、膨張材の添加量の増加に伴い、塩化物イオン浸透深さが増加しているのが確認できた。

### 3.2 示唆熱重量分析

図-2 に封緘養生 7 日後の TG-DTA の結果を示す。CA<sub>2</sub> のみを 30[kg/m<sup>3</sup>] 添加した配合では、セメントペースト中の CH 量の減少が確認できた。これは、CH が CA<sub>2</sub> と反応したことにより、HC を生成したためと考えられる。一方、CA<sub>2</sub> と膨張材の両方を 30[kg/m<sup>3</sup>] 添加した配合では、CA<sub>2</sub> のみを添加した配合よりも CH 量が多くなった。これは、膨張材が CH を生成したためと考えられる。

### 3.3 X線粉末回折

図-3 に封緘養生 7 日後の XRD パターンを示す。CA<sub>2</sub> のみを 30[kg/m<sup>3</sup>] 添加した配合では、10.9° 付近に HC のピークが確認できた。また、AFt (エトリンガイト) のピークの減少も確認できた。一方、CA<sub>2</sub> と膨張材の両方を 30[kg/m<sup>3</sup>] 添加した配合では、HC のピークが減少し 9.9° 付近に AFm (モノサルフェート) のピークが確認できた。これは、膨張材に含まれている石こうが遊離して CA<sub>2</sub> と反応したためと考えられる。

このことから、3.2 で膨張材を添加した配合で CH の残存量が増加したのは膨張材が CH を生成しただけではなく、CH が CA<sub>2</sub> と反応しなかったという要因も含まれていると考えられる。

## 4. まとめ

- 1) L+CA<sub>2</sub> では、L と比べ塩化物イオン浸透深さが減少した。
- 2) L+CA<sub>2</sub> と L+CA<sub>2</sub>+膨張材では、L+CA<sub>2</sub> の方が浸透深さが減少した。これは、生成される水和物が異なるためと考えられる。
- 3) L+CA<sub>2</sub> と L+CA<sub>2</sub>+膨張材では、L+CA<sub>2</sub>+膨張材の方が CH の量が多くなった。これは、CH と反応する目的で添加した CA<sub>2</sub> が膨張材に含まれている石こうと反応し AFm を生成したため、CH が残存したと考えられる。

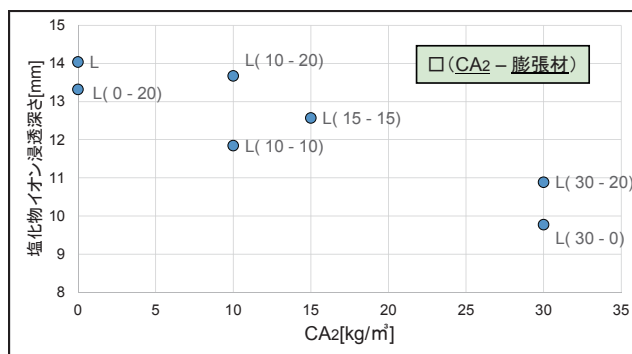


図-1 塩水浸せき試験結果  
(水中養生 28 日-材齢 8 週目)

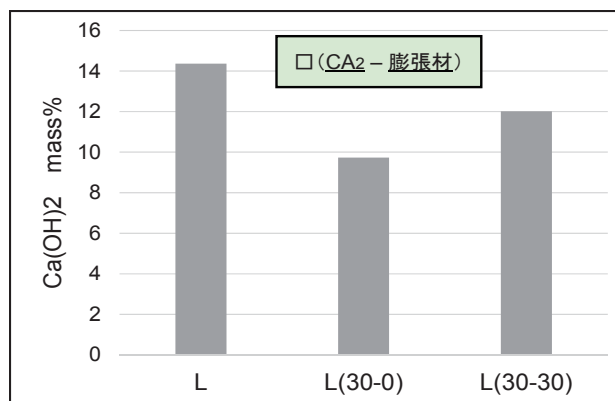


図-2 TG-DTA 結果 (封緘養生 7 日)

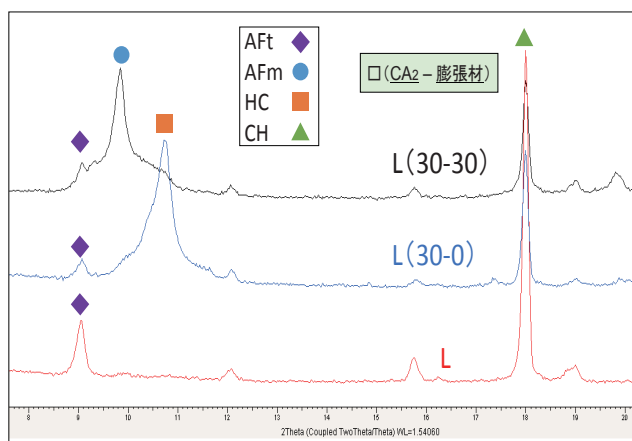


図-3 粉末 XRD パターン (封緘養生 7 日)

## 参考文献

- 1) 田原和人, 山本賢司, 芦田公伸, 盛岡実: CaO・2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を混和したセメント硬化体の塩化物イオン固定化能力; Cement Science and Concrete Technology, No.64, 2010
- 2) 田原和人, 宮口克一, 盛岡実, 武若耕司: CaO・2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を混和した種類の異なるセメント硬化体の水和挙動及び塩化物イオン固定化能力; Cement Science and Concrete Technology, No.65, 2011