

塩素固定化材と膨張材を併用したコンクリートの耐塩性評価

デンカ株式会社 青海工場 セメント・特混研究部

○伊藤慎也

保利彰宏

芝浦工業大学 工学部 土木工学科

浴陸真

伊代田岳史

1. はじめに

寒冷地においては、冬季の凍結防止剤散布などに起因するコンクリート構造物の塩害劣化が深刻化している。近年ではカルシウムアルミネートの一種 $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (以下 CA_2 と称す) をセメントに混和することにより、セメント水和物である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (以下 CH と称す) と反応して、ヒドロカルマイト (以下 HC と称す) を生成し、その 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ことが報告されている¹⁾。また、膨張材は、セメントの水和初期に積極的に CH もしくはエトリンガイトを生成することでコンクリートに膨張ひずみを導入し、乾燥収縮を低減することで発生するひび割れの本数やひび割れ幅の抑制効果をもたらす。従って、ひび割れを浸透経路とする塩化物イオンのコンクリート内部への拡散を抑制できる。これら塩素固定化材と膨張材を各々単独で混和材として用いた場合の性能評価に関する報告はあるものの、両者を併用した場合の効果に関する報告は少ない。

そこで本研究では、塩素固定化材 CA_2 と膨張材とを併用したコンクリートの基本性能評価を行なうことを目的とし、両者の併用がコンクリートの基礎物性および耐塩性に与える影響について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本研究におけるセメントは、普通ポルトランドセメント (以下、 OPC) および高炉セメント B 種 (以下、 BB) を用いた。 CA_2 は、工業原料の炭酸カルシウムと酸化アルミニウムを用いて $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比が 0.5 となるように焼成したクリンカーを粉砕して使用した。膨張材は、石灰・エトリンガイト複合系のものを使用した。 CA_2 および膨張材の化学成分値および密度を表-1 に示す。また、本試験におけるコンクリート配合を表-2 に示す。細骨材には千葉県君津市法木産の山砂 (密度 2.62 g/cm^3) を、粗骨材には大分県津久見市青江胡麻柄山系の石灰石碎石 (密度 2.70 g/cm^3) を用いた。

2.2 コンクリートの基礎物性試験

コンクリートの基礎物性として、JIS A 1108 に準拠し

表-1 化学成分および物理的性質

	化学成分 (%)					密度 (g/cm^3)
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	
CA_2	24.0	0.6	67.7	0.01	7.1	2.96
Ex	70.6	1.0	7.2	18.5	0.8	3.10

表-2 コンクリート配合

No.	W/C (%)	単位量 (kg/m^3)					
		W	C	CA_2	Ex	S	G
N	55	170	309	-	-	864	965
BB			310			859	959
NC			289	20	-	864	964
NE			287	-	22		
NCE55			267	20	22		
NCE45			45		336	20	22

た圧縮強度の測定を行った。供試体の養生方法は 20°C 封緘養生とし、測定材齢は 28 日とした。膨張材を用いた配合に関しては、日本コンクリート工学会規準「円筒型枠を用いた膨張コンクリートの拘束膨張試験方法 (JCI-S-009-2012)」に準拠して膨張率を測定した。

2.3 耐塩性評価

コンクリートの耐塩性評価として、塩水浸漬試験と非定常状態の電気泳動試験を行なった。塩水浸漬試験は、 $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を材齢 28 日まで 20°C 水中養生した後、1 面曝露とした状態で 20°C 10% 濃度の NaCl 水溶液に 8 週間浸漬した。材齢毎に供試体を割裂し、割裂面に硝酸銀溶液 (0.1N) を噴霧することで、曝露表面から呈色部までの深さを測定した。非定常状態における電気泳動試験は、既往の研究²⁾を参考に、従来の電気泳動試験と同じ装置を用いて実施した。供試体は材齢 7 日まで水中養生を施した後、飽和水酸化カルシウムを用いて真空飽水処理を行ったものを使用した。試験装置の陽極側に NaOH 水溶液 (0.3N)、陰極側に NaCl 水溶液 (3%) を注入し、印加電圧は 30V 一定とした。所定の通電時間における塩化物イオン浸透深さの測定を行い、NT BUILD 492 に示される下式[1]により拡散係数を算出

した。

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t} \left(X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273+T)LX_d}{U-2}} \right) \quad [1]$$

ここに、 D_{nssm} : 拡散係数 ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)、 U : 印加電圧 (V)、 T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 L : 供試体厚さ (mm)、 X_d : 塩化物イオン浸透深さ (mm)、 t : 試験時間 (hr)

3. 実験結果および考察

3. 1 コンクリートの基礎物性

図-1 に W/B55%の配合における圧縮強度の測定結果を、図-2 に膨張材混和配合における材齢 7 日の膨張率を示す。圧縮強度に関してはいずれの配合も同程度であり、 CA_2 、膨張材および両者の併用による影響は認められなかった。また、膨張特性に関しては、W/B によらず CA_2 との併用により 15%程度膨張率が低下する傾向が認められ、膨張材の反応によって生成された CH の一部が CA_2 の反応により消費されたことが示唆された。

3. 2 耐塩性

図-3 に CA_2 を配合した W/B55%配合における塩水浸漬試験結果を示す。比較の N 配合に対し、 CA_2 を混和した配合では塩化物イオンの浸透深さが小さい結果となっており、膨張材と併用した場合でもその効果に差は認められない。なお、浸漬 8 週目時点で BB 配合との浸透深さの差は 1mm 程度と概ね同等な結果となっているが、5 週目以降はグラフの傾きがやや変わってきている傾向が認められるため、より長期間での評価が必要と考える。図-4 に、非定常状態の電気泳動試験によって得られた通電 24 時間時点における拡散係数を示す。N 配合と比較して CA_2 を混和した配合の拡散係数は 30~40%程度小さい結果となっており、浸透抑制効果が認められる。また、膨張材と併用した場合でもその効果に変化は認められない。一方で、W/B が低い NCE 配合も拡散係数が同程度となっていることや、BB 配合の拡散係数に対する差異が大きく、塩水浸漬試験の結果と傾向が異なっている。これについては、硬化体の空隙構造などを含め、今後検証を行う必要がある。

4. まとめ

本研究の成果をまとめると以下の通りとなる。

- (1) CA_2 を混和したコンクリートは、無混和の場合と比較して耐塩性が向上する。また、膨張材との併用が物性および耐塩性に与える影響はほとんどない。
- (2) CA_2 を混和したコンクリートは、無混和のコンクリートと比較して塩化物イオンの拡散係数が 30~40%程度小さくなる。

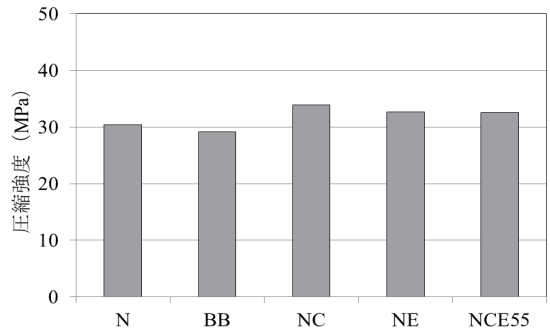


図-1 圧縮強度

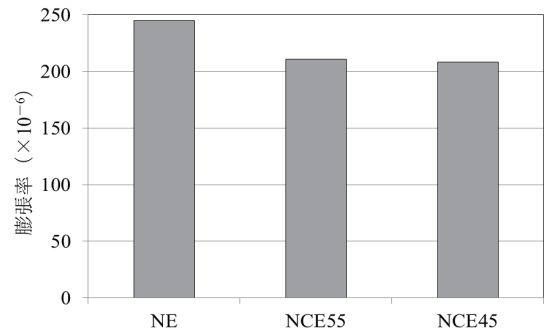


図-2 膨張率

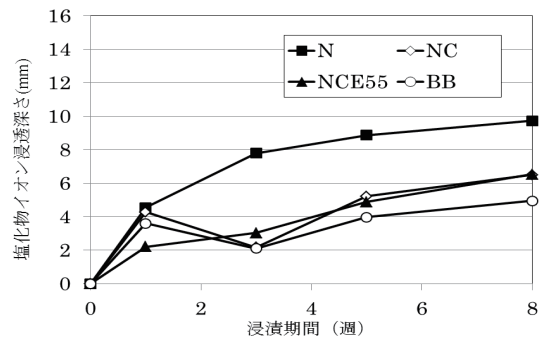


図-3 塩水浸漬試験

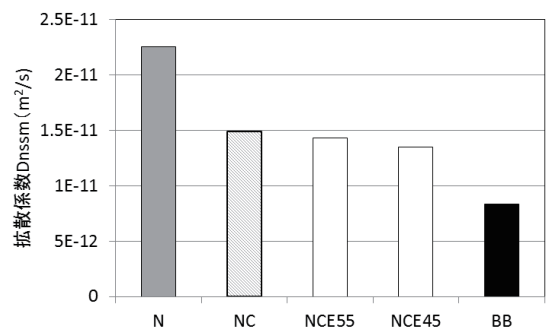


図-4 拡散係数

【参考文献】

- 1) 田原和人ほか: $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ を混和したセメント硬化体の塩化物イオン固定化挙動、セメント・コンクリート論文集, No. 64, pp. 428-434(2010)
- 2) 伊代田岳史ほか: 非定常状態電気泳動試験を用いた高炉コンクリートの養生影響評価、セメント・コンクリート論文集, No. 68, pp. 275-282(2014)