

配合条件の異なる CA₂膨張材併用コンクリートの遮塩性能評価

芝浦工業大学 学生会員 ○宮脇 正嗣

デンカ株式会社 正会員 伊藤慎也 芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

日本では、海からの飛来塩分や降雪地域での凍結防止剤の使用によって鉄筋コンクリート構造物の塩害劣化が多く報告されている。汎用的な対策としては高炉セメントの使用やフライアッシュ等の混和材の使用、かぶりを大きくするなどがあるが、コストや施工性の観点からすべての構造物に適用することは難しい。そこで近年ではカルシウムアルミネート系混和材 CaO・2Al₂O₃ (以下 CA₂) をセメントに混和することで塩化物イオン固定化機能を持つ水和物、ハイドロカルマイト (以下 HC) を生成する混和材が開発されている¹⁾。また、コンクリート構造物に過大なひび割れが生じるとひび割れから浸透した塩化物イオンが鉄筋に到達し、早期の劣化につながる恐れがある。そこで膨張材 (以下 Ex) を混和することにより、収縮低減効果やケミカルプレストレスを導入し、過大なひび割れの抑制することが可能である。これらよりコンクリートに CA₂ と Ex を併用することで、塩化物イオンが浸入する経路を最小化し、硬化体内部において固定化機能によって塩化物イオンの浸透速度を抑制することが期待できる。既往の研究において、普通ポルトランドセメントを用いた W/B=55% のコンクリートにおいて少ない添加量で高炉セメント B 種相当の塩害抵抗性を有することが確認されている²⁾。そこで CA₂ と Ex を併用するコンクリートの適応範囲をさらに拡張するために、低熱ポルトランドセメント (以下 LPC)、早強ポルトランドセメント (以下 HPC)、さらに W/B が 35%、45%、55%、65% の普通ポルトランドセメントに CA₂ と Ex を混和したコンクリートにおいて、混和による塩害抵抗性向上効果と塩化物イオンの浸透挙動について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 配合計画

本研究におけるコンクリート計画配合を表-1に示す。なお、CA₂およびExは結合材(表中はBと表記)とみなしセメントに置換した。

表-1 コンクリート配合計画

No.	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	B			S	G
				C	CA ₂	Ex		
N35	35	44	170	486	—	—	722	955
NCE35				444	20	22	722	954
N45	45	46		378	—	—	796	970
NCE45				336	20	22	795	969
N55	55	48		309	—	—	858	965
NCE55				267	20	22	857	964
N65	65	50		262	—	—	913	948
NCE65				220	20	22	912	947
H45	45	46		309	—	—	860	967
HCE45				267	20	22	859	966
L55	55	48		378	—	—	795	969
LCE55				336	20	22	794	968

2.2 実施試験

(1) 非定常電気泳動試験

φ100×50mmの円盤供試体を作製した。脱型後材齢28日まで水中養生した後電気泳動装置の陽極側に水酸化ナトリウム水溶液(0.3mol/L)、陰極側に塩化ナトリウム水溶液(0.5mol/L)をそれぞれ注入し、30Vの直流電流を通電した。その後所定の時間で割裂し、硝酸銀水溶液(0.1N)を噴霧することで塩分浸透面から変色境界までの長さを測定し、塩分浸透深さとした。

(2) 空隙率試験

飽水状態の水中重量、表面乾燥飽水重量、絶乾重量よりアルキメデス法を用いて空隙率を算出した。

3. 試験結果および考察

3.1 非定常電気泳動試験結果

非定常電気泳動試験で求めた浸透深さより、土研法³⁾を用いて拡散係数を算出した。拡散係数を図-1に示す。いずれの配合においても、CA₂とExを混和した配合の方が拡散係数が小さい結果となった。これよりCA₂とExを併用することによりLPC、HPCを用いた場合においても塩害抵抗性が向上することが確認され、OPCを用いた場合、混和有の配合はW/Bが10%低い混和無の配合とほぼ同等の拡散係数であることがわかった。またW/B=35%に比べて65%の方が拡散係数の抑制効果が大きいことがわかった。

キーワード 塩害、遮塩性能、カルシウムアルミネート系混和材、膨張材、塩化物イオンの固定化

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学土木工学科 TEL:03-5859-8356 E-mail:ah17092@shibaura-it.ac.jp

3.2 空隙率と拡散係数の関係

W/B=35%と65%の配合の拡散係数抑制効果の差が生じる原因が空隙率にあると考えた。求めた空隙率と拡散係数の関係を図-2に示す。W/B=35%の配合に対してW/B=65%の配合はCA₂とExを混和することによる空隙率の減少量は同程度であるのに対して拡散係数抑制効果は、はるかに大きいことがわかる。これよりW/Bの高い配合と低い配合とでは、空隙率の減少量に対する拡散係数の抑制効果が異なることがわかる。

3.3 粉末X線回折

W/Bの違いによって空隙率の減少量に対する拡散係数の抑制効果が異なる原因としてHC生成量に違いがあると考えた。そこでW/B=35%と65%の違いによるHC生成量の差を確認するため、ペーストにて供試体を作製し、粉末X線回折(XRD)による化学分析を行った。XRDの結果から、HCの生成量を塩化物イオン固定化能力とみなし、その合計量を算出した。N35の塩化物イオン固定化能力を100%として表現したものが図-3である。これより、いずれのW/Bにおいても混和有の配合が混和無の配合より固定化能力が高いことがわかる。また、W/B=35%の配合は混和有の配合の固定化能力が混和無の配合の約1.15倍であったのに対して、W/B=65%の配合においては約2倍となった。これはW/Bが大きい方が水和物を生成できる空間が多く存在するためCHとCA₂の反応率が高くなり、HCが多く生成されたためと考えられる。また、W/Bが高い場合、空隙率が高く硬化体内部への塩化物イオン浸透量が多くなるが、HC生成量も多いため、固定化能力を最大限に発揮したと推察される。これらより塩化物イオンの浸透挙動について空隙と拡散係数だけでは説明できない可能性が示唆された。

4. まとめ

- (1) 低熱ポルトランドセメント, 早強ポルトランドセメントにCA₂と膨張材を併用した場合においても塩害抵抗性の向上が確認できた。
- (2) 普通ポルトランドセメントにおいてCA₂と膨張材を併用することは、W/Cを10%低下させるのと同程度の塩害抵抗性向上効果があることがわかった。
- (3) セメントペーストを用いた試験により、W/Bが高い方が hidroカルマイトの生成量が多く、塩化物イオンの固定化能力が高いことがわかった。
- (4) 空隙率と拡散係数の関係から、W/Bが高い場合塩化

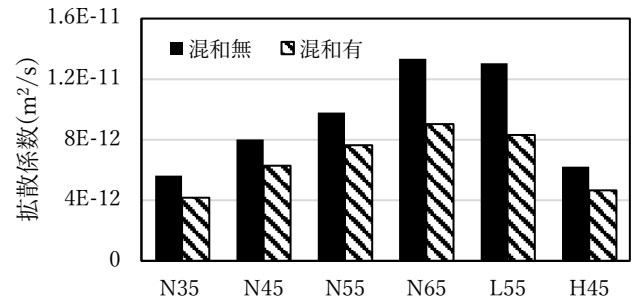


図-1 土研法より求めた拡散係数

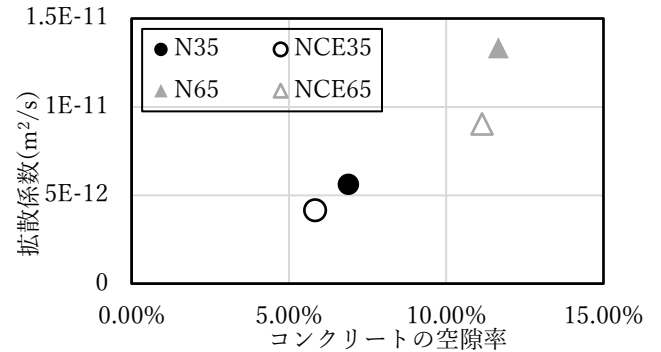


図-2 空隙率と拡散係数の関係

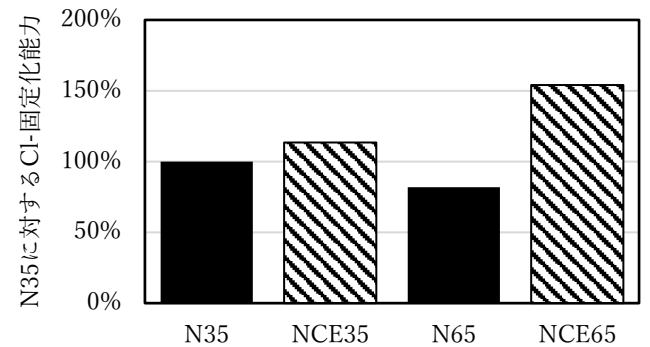


図-3 Cl-固定化能力

物イオンの供給量も多く、また固定化能力も高いため、CA₂と膨張材を混和することによる遮塩性向上効果が大きいと考えられる。

- (5) 塩化物イオンの浸透挙動について空隙と拡散係数だけでは説明できない可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 田原和人, 山本賢司, 芦田公伸, 盛岡実: CaO・2Al₂O₃を混和したセメント硬化体の塩化物イオン固定化能力, セメント・コンクリート論文集, No.64, pp.428-434, 2010
- 2) 伊藤慎也, 荒木昭俊, 伊代田岳史: 膨張材とカルシウムアルミネート系混和材を併用したコンクリートの材料的特性と塩化物イオンの浸透挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol42, No.1, 2020
- 3) 土木学会: コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と規準化が望まれる試験方法の動向, コンクリート技術シリーズ 55, 2003