

水結合材比の異なる膨張材 CA_2 併用コンクリートの遮塩性能の評価方法の検討

芝浦工業大学 工学部土木工学科

デンカ株式会社 青海工場 セメント・特混研究部

芝浦工業大学 工学部先進国際課程 (兼任 土木工学科)

○宮脇正嗣

伊藤慎也

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。そこで近年ではカルシウムアルミネート系混和材 $CaO \cdot 2Al_2O_3$ (以下 CA_2) をセメントに混和することで塩化物イオンをフリーデル氏塩として固定化機能を持つ水和物、ハイドロカルマイト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 CA_2 と Ex を併用することにより、塩化物イオンが侵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。しかしながらコンクリート標準示方書【設計編】(以下示方書)では混和材について、高炉スラグ微粉末、シリカフェーム、フライアッシュの三種しか規定されていない。そこで CA_2 のような塩分の固定化に優れた混和材の塩害抵抗性を評価し、耐久性照査に反映できるのかを確認するため、W/B が 35%、45%、55%、65%のコンクリートにて試験を行った。

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、 CA_2 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。

2. 2 実施試験

(1) 非定常電気泳動試験

φ100×50mm の型枠を塩化ビニル管で作製し、円盤供試体を作製した。脱型後材齢 28 日まで 20℃水中養生した後、試験体の空隙に水で満たされていない部分が存在した場合、試験結果に誤差が生じるため、供試体に前処理として真空飽和处理を行った。真空飽和处理後、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

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

注入し、30V の直流電流で通電した。その後所定の時間 (3、6、18、24、48、72 時間) で通電を止め、供試体を圧縮試験機を用いて割裂し、割裂面に硝酸銀水溶液 (0.1N) を噴霧することで塩分浸透面から変色境界までの距離を測定し、塩分浸透深さとした。

(2) 塩水浸漬試験

100×100×400mm の角柱供試体を材齢 28 日まで 20℃水中養生した後、100×400mm の打設面でない 1 面のみを除いた残り 5 面をエポキシ樹脂でコーティングし、1 面曝露とした状態で 10% 濃度の塩化ナトリウム水溶液に浸漬した。その後所定の材齢で供試体を割裂し、非定常電気泳動試験と同様に割裂面に硝酸銀水溶液 (0.1N) を噴霧し曝露表面から変色境界までを塩分浸透深さとした。

3. 試験結果

3. 1 非定常電気泳動試験結果

非定常電気泳動試験における普通コンクリート (N 配合) と膨張材と CA_2 を混和した配合 (NCE 配合) の結果をそれぞれ図 1、図 2 に示す。すべての W/B において N 配合に比べ、NCE 配合が塩分の浸透を抑えていることが確認された。また、N 配合では通電時間と浸透深さの関係がほぼ直線であるのに対し、NCE 配合では通電時間が長くなるにつれて浸透速度が低下し、カーブを描くような浸透挙動であることがわかる。現在塩害に対する照査

において拡散係数が用いられているが、固定化能力が大きい材料を混和した際、塩化物イオンは供用されてから時間が経つほどその浸透速度は低下すると考えられるため、傾きから算出する拡散係数では塩害抵抗性を評価できない可能性が示唆された。

3. 2 塩水浸漬試験結果

塩水浸漬試験における N 配合、NCE 配合の結果をそれぞれ図 3、図 4 に示す。これらより非定常電気泳動試験同様 N 配合に比べて NCE 配合が塩分浸透を抑制していることがわかる。また、塩水浸漬試験では、材齢初期から固定化の効果を確認することができた。非定常電気泳動試験と塩水浸漬試験の結果より、駆動力と傾向が異なるため一概に両試験結果を比較することはできないが、どちらの試験においても固定化の効果を反映した評価ができることがわかった。これより非定常電気泳動試験によって短時間で塩害抵抗性の評価できると考えられる。これらより、現在示方書の「塩害環境下における鋼材腐食に関する照査」では拡散係数から鋼材位置での塩化物イオン濃度を求め耐用年数を算出しているが、 CA_2 のような固定化に優れた混和材を用いた場合、拡散係数で塩害抵抗性を評価するのは適当ではない可能性が示唆されたため、現在の示方書の方法では CA_2 のような固定化に優れた混和材を用いた場合、耐久性照査に反映するのは難しいと考えられる。

4. まとめ

- (1) 非定常電気泳動試験より固定化に優れた混和材を混和した場合拡散係数ではその塩害抵抗性を正しく評価できない可能性が示唆された。
- (2) 非定常電気泳動試験、塩水浸漬試験のどちらにおいても固定化の効果を反映した塩害抵抗性の評価が可能である。
- (3) CA_2 のような固定化に優れた混和材を用いた場合現在の示方書の拡散係数による評価は難しい。

【参考文献】

- 1) 田原和人、山本賢司、芦田公伸、盛岡実：CaO・ Al_2O_3 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、Vol.42、No.1、(2020)
- 3) 伊藤慎也、保利彰宏、浴陸真、伊代田岳史：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、コンクリート工学年次論文集 40、Vol.40、No.1、pp.729-734、(2018)

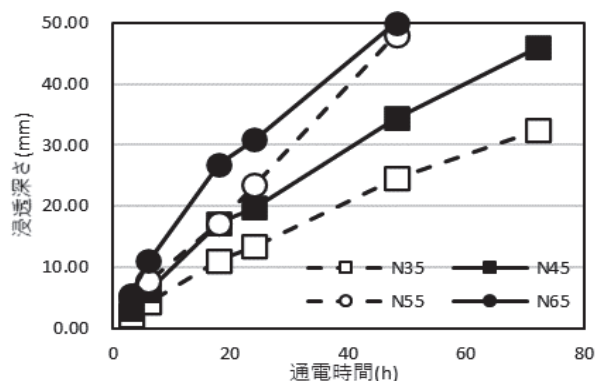


図 1 非定常電気泳動試験結果(N 配合)

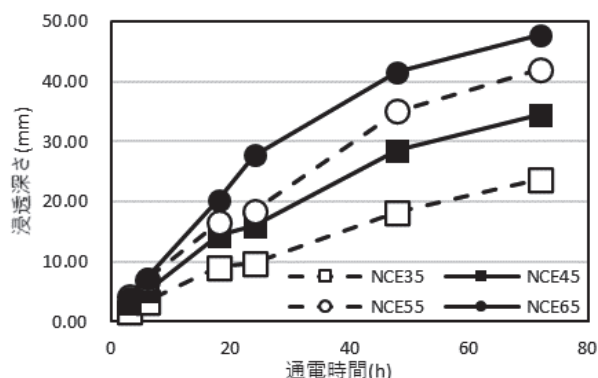


図 2 非定常電気泳動試験結果(NCE 配合)

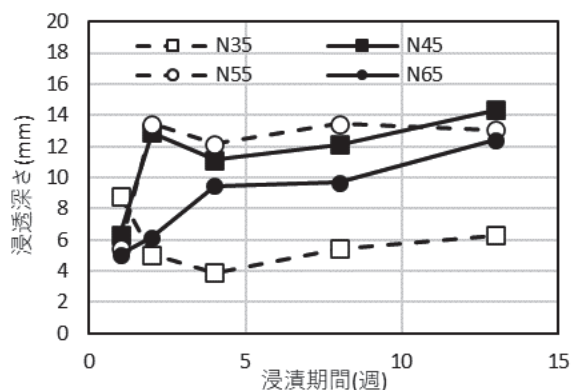


図 3 塩水浸漬試験(N 配合)

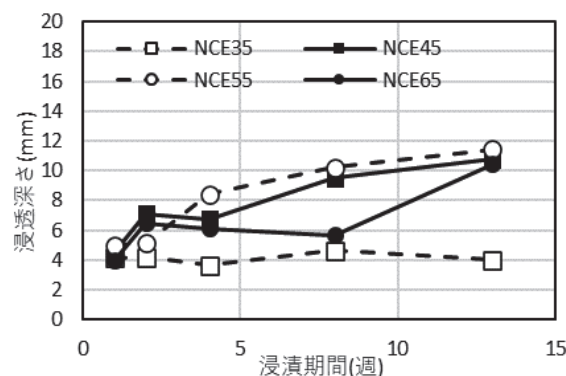


図 4 塩水浸漬試験結果(NCE 配合)