新規材料を使用したコンクリートの遮塩性を判断する促進試験の比較

芝浦工業大学大学院　学生会員　○澁谷　亜香里
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．目的

日本は海に囲まれた島国であるため，鉄筋コンクリート構造物において飛来塩分の影響を受ける地域が多い．また，山間部や寒冷地においても，凍結防止剤が要因となり，塩害が多く報告されている．そのため，コンクリート材料における研究が広く行われており，塩化物イオン浸透深さや拡散係数で議論される．実構造物の調査や実環境の暴露試験における計測値は，実際の状態把握が可能であるが，結果を得るまでにかなりの時間を要し，特に新規材料の塩害抵抗性の評価は難しい．したがって現在は多くの研究において，塩水浸せき試験や乾湿繰り返し試験，電気泳動試験などの促進試験が行われている．

本研究では，新規材料におけるこれらの促進試験の妥当性の把握を目的とし，異なるメカニズムの塩害抵抗性をもつ材料を用いたコンクリートにおいて，それぞれの促進試験結果を比較した．塩害抵抗性を期待できる材料のひとつとして，塩化物イオンの固定化により浸透を抑制するカルシウムアルミネート系混和材 $CaO \cdot 2Al_2O_3$(以下 CA_2)を使用した．CA_2 は，セメント水酸化カルシウムと反応し，ハイドロカルマイトを生成する．それが自由塩化物イオンと反応してフリーデル氏塩となり，塩化物イオンを固定化することができる．また，コンクリートのひび割れ抑制効果を付与するために，膨張材(以下 Ex)を併用した配合も検討した．比較として，汎用的に用いられておりコンクリートの緻密化効果のあるとされる高炉スラグ微粉末(以下 BFS)を BB 配合となるように添加した．

２．試験概要

表－１に本研究における計画配合を示す．セメントは，普通ポルトランドセメントを使用し，水粉体比 55%，細骨材率を 48%で一定とした．**表－２**に各促進試験の条件の一覧を示す．

表－１　コンクリートの計画配合

	単位量 (kg/m³)						
	W	C	BFS	CA_2	Ex	S	G
N	170	309	-	-	-	871	968
N+CA_2		289	-	20	-	870	
N+CA_2+Ex		267	-	20	22	870	
BB		155	155	-	-	865	962

表－２　試験条件

	浸せき法	電気泳動試験		
		定常状態		非定常状態
前処理溶液	-	水道水		飽和 $Ca(OH)_2$ aq
使用溶液	10% NaCl aq	0.3mol/L NaOH aq	陽極	0.3N NaOH aq
		0.5mol/L NaCl aq	陰極	3% NaCl aq
印可電圧	-	15V		30V
駆動力	濃度勾配	電位勾配		
測定項目	浸透深さと Cl^- 量	通過した Cl^- の溶出速度		通過時間と浸透深さ

２．１　塩水浸せき試験

100×100×400mm の角柱供試体を材齢 28 日まで水中養生を行い，打設面でない 100×400mm の面以外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 NaCl 水溶液に 48 週間浸せきした．材齢毎に供試体を割裂し，硝酸銀溶液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．

２．２　電気泳動試験

φ100×50mm の円盤型供試体を作製し，28 日の水中養生を行った．**表－２**で示した各溶液で真空飽和処理を行い，陽極側に NaOH 水溶液，陰極側に NaCl 水溶液を各濃度で注入し，打設面でない面を塩分の浸透面となるように通電した．定常状態では，通電開始後 360 時間まで 24 時間ごとに，陽極側の溶液を採取し塩化物イオンの濃度測定を行った．非定常状態では，3,6,12,18,24,36,48,60,72 時間で取り出し供試体を割裂し，硝酸銀溶液の呈色部分を計測した．

キーワード　塩害，カルシウムアルミネート系混和材，電気泳動試験
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:me19047@shibaura-it.ac.jp

© Japan Society of Civil Engineers

３．試験結果

図－１に塩水浸せき試験の各材齢における塩化物イオンの浸透深さの結果を示す. N＋CA_2, N+CA_2+Ex は BB と同程度の遮塩効果がみられた．図－２に定常状態電気泳動試験において試験体を通過した塩化物イオンの濃度を示す．N と比較してすべての配合でイオンの移動が抑えられ，特に BB において大きく抑えられる結果であった．図－３に非定常状態電気泳動試験における塩化物イオン浸透深さの結果を示す．各配合で差が生じ，CA_2 と比較して，CA_2+Ex は 48 時間以降の浸透が抑えられたことから，通電時間が長くなるにつれて遮塩効果が大きいことが明らかとなった．CA_2 と Ex を併用しても，それぞれの効果を発揮し，より遮塩性能が保たれた．また，すべての試験で, 最終的な遮塩効果は N+CA_2, N+CA_2+Ex, BB の順で大きくなった.

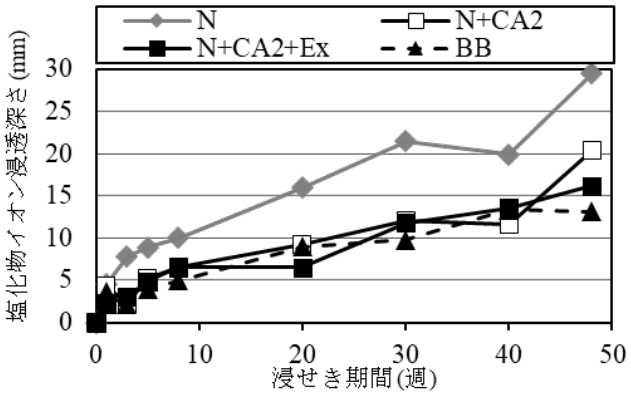
次に各試験終了時点における各配合の塩化物イオン浸透深さ，もしくは塩化物イオン濃度について N を1とした拡散係数の比を算出し, 図－４に示した．N は多くの研究において促進評価のデータがあり，妥当性があると考えられるため基準とした．定常状態電気泳動試験を着目すると，浸せき試験と比較して BB は同程度であるが, CA_2 配合において大きいことが明らかである．定常状態はイオンを通過させていることから，空隙構造を変化させて遮塩する BB では評価可能であるが，固定化の遮塩効果が卓越する CA_2 を正確に評価することはできないと考えた．一方で非定常状態は，浸せき試験と比較して BB は大幅に小さいが，CA_2 配合は同程度である．非定常状態電気泳動試験は，CA_2 配合の浸透性評価として適用の可能性が示唆された．BB は，電位勾配を駆動力とする試験で差が生じたことから，空隙構造の複雑性が関係すると考え，今後解明が必要である.

４．まとめ

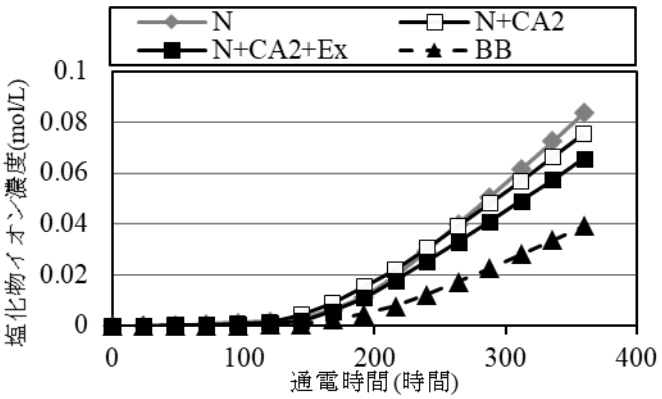
遮塩効果のメカニズムによって適した試験方法が異なる．CA_2 配合は非定常状態電気泳動試験における評価が適している.

参考文献

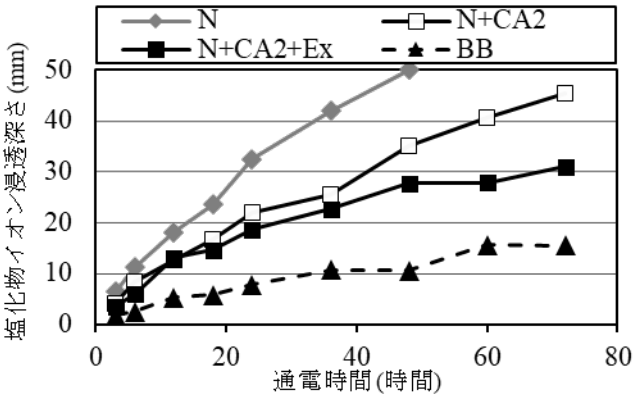
・伊藤慎也，保利彰宏，浴陸真，伊代田岳史：塩素固定化材と膨張材を併用したコンクリートの塩分浸透抵抗性評価, セメント・コンクリート論文集, Vol.72, No.1，pp.151-157 (2018)



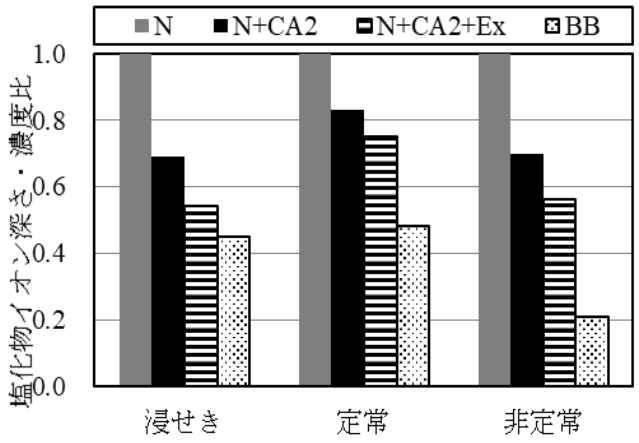
図－１　塩水浸せき試験結果



図－２　定常状態電気泳動試験結果



図－３　非定常状態電気泳動試験結果



図－４　塩化物イオン拡散係数比較

© Japan Society of Civil Engineers