

無機材料を添加したコンクリートにおける養生期間が塩化物イオン浸透へ与える影響

芝浦工業大学 大学院 理工学研究科 建設工学専攻
 芝浦工業大学 工学部 土木工学科
 デンカ株式会社 セメント・特混研究部
 芝浦工業大学 工学部 土木工学科

○中村絢也
 秋元勇人
 伊藤慎也
 伊代田岳史

1. はじめに

コンクリート構造物は、飛来塩分や凍結防止剤の散布により外部から塩化物イオンが供給され、塩害の被害が深刻化している。近年では、カルシウムアルミネート系材料である $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (以下: CA_2) を普通ポルトランドセメント (以下: OPC) に混和することで、水和生成物である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応し、ハイドロカルマイトが生成される。それが塩化物イオンをフリーデル氏塩として固定化することにより、塩化物イオンの拡散係数を小さくすることが報告¹⁾されている。また一般的な塩害対策として混和材の使用があげられる。混和材を使用することで普通セメント硬化体に対して、全空隙率が小さくなり、空隙の細孔径が小径側になるため、緻密化することで塩化物イオンの拡散を抑制する。また混和材は、塩化物イオンをより多く捕捉する性質があるとの報告²⁾がある。混和材を使用したコンクリートにおいては、初期における養生不足が耐久性に与える影響が大きいことは、これまでの既往の研究³⁾より分かっている。

本研究では、混和材を用いたコンクリートにおいて養生期間の影響による塩化物イオン浸透抵抗性の低下を CA_2 添加によってどの程度改善するか検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料及び供試体諸元

表1に本試験におけるコンクリートの計画配合を示す。使用したセメント種は、OPC、高炉セメントB種 (以下: B50)、フライアッシュC種 (以下: F30) である。単位水量 (W) 170kg/m^3 、水結合材比 (W/B) 55%、細骨材比 (s/a) 48%とした。また、表2に CA_2 の化学成分ならびに諸元を示し、 CA_2 の添加量は 20kg/m^3 で結合材に置換した。 $\phi 100 \times 50\text{mm}$ の円盤型供試体を作製し、翌日脱型したのち水中養生7日と28日を施した。試験の前処理として、真空飽和处理を施した。

2. 2 非定常電気泳動試験

図1に非定常電気泳動試験の概略図を示す。本研究では、定常試験に比べ迅速かつ簡便に遮塩性を評価できる非定常電気泳動試験を実施した。電気泳動セルの陽極に水酸化ナトリウム水溶液 (0.3mol/L)、陰極には塩化ナト

リウム水溶液 (0.5mol/L) を用いた。供試体の下面が塩化物イオンの浸透面となるように設置した。直流定電圧 (30V) で通電させることで塩化物イオンを浸透させた。所定の時間で供試体を割裂し、硝酸銀溶液噴霧法を用いて変色境界までの距離を塩分浸漬深さとした。通電時間と塩化物イオン浸透深さより、浸透速度を算出し、土研法の拡散係数算出式^[1]を用いて拡散係数を算出した。

$$D = k \cdot \frac{RT}{zF} \cdot \frac{L}{\Delta\phi} \quad [1]$$

表1 コンクリートの計画配合

凡例	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					
			W	B				S
				OPC	BFS	FA	CA_2	
N	55	48	170	309	-	-	-	871
N+ CA_2				289	-	-	20	870
B50				155	155	-	-	865
B50+ CA_2				145	145	-	20	859
F30				216	-	93	-	851
F30+ CA_2				202	-	87	20	851

表2 CA_2 の化学成分

凡例	化学組成(mass%)						比表面積 (cm^2/g)	密度 (g/cm^3)
	CaO	SiO_2	Al_2O_3	SO_3	Fe_2O_3	MgO		
CA_2	23.96	0.64	67.73	0.01	7.09	0.27	3,100	2.96

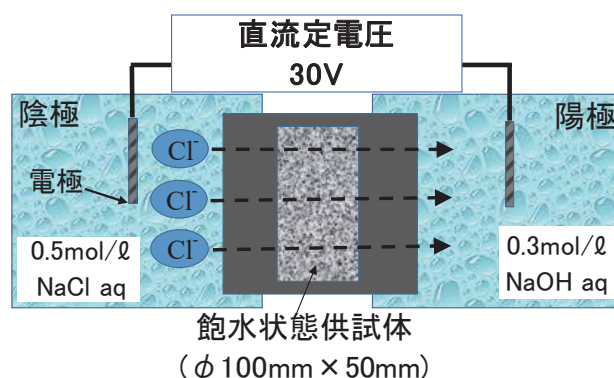


図1 非定常電気泳動試験の概略図

ここに、D：拡散係数(m^2/s)
 K：塩化物イオン浸透速度(m/s)
 R：気体定数($=8.31\text{J}/(\text{k}\cdot\text{mol})$)
 T：絶対温度(K)
 z：塩化物イオンの価数($=1$)
 F：ファラデー定数($=9.65\times 10^4\text{J}/(\text{v}\cdot\text{mol})$)
 L：試験体厚さ(mm)
 $\Delta\phi$ ：印加電圧(V)

3. 実験結果および考察

3. 1 非定常電気泳動試験

図2に水中養生7日における非定常電気泳動試験結果を示す。OPCとF30は CA_2 を添加することによって塩分浸透深さが小さくなった。またB50に関しては、ほとんど差がないことから、水中養生7日程度で混和材としての性能を発揮していることが考えられる。

図3に水中養生28日における非定常電気泳動試験結果を示す。OPCに関しては CA_2 添加によって塩分浸透深さが小さくなった。B50とF30に関しては、 CA_2 添加による改善は確認されなかった。B50において、水中養生を28日施すことで硬化体が十分に緻密化していることが考えられる。一方でF30は材齢28日ではポゾラン反応がほとんど進行しておらず、なおかつOPCの量が少なくなっているため拡散係数が高い値を示したと考えられる。

3. 2 塩化物イオン拡散係数

図4に土研法により算出した塩化物イオン拡散係数を示す。OPCに関しては、 CA_2 を添加することで拡散係数が大幅に改善されたことが分かる。一方、B50に関しては、拡散係数が小さいことから CA_2 の添加による塩化物イオンの遮塩性能より水中養生7日程度の養生を施すことで、硬化体の表面が十分に緻密になり、塩化物イオンの浸透が抑制されたことが考えられる。F30において水中養生7日と28日で CA_2 の添加による拡散係数の低下傾向が異なる。水中養生7日では、OPCに対し、フライアッシュを置換したことで拡散係数が大きくなったが、 CA_2 を添加したことでOPCと同程度まで値が小さくなっている。しかしながら水中養生28日において、値が大きく変化していないことに対し、今後検討が必要である。

4. まとめ

OPCは養生期間によらず、 CA_2 を添加することで塩分の浸透を抑えたことから遮塩性の向上が確認された。B50に関しては、 CA_2 の添加による違いが確認できないことから水中養生7日施すことで硬化体は緻密化され、塩化物イオンの拡散を抑制していることが考えられた。F30は、水中養生7日と28日で CA_2 の添加による拡散係数の低下傾向が異なるから今後検討していく。

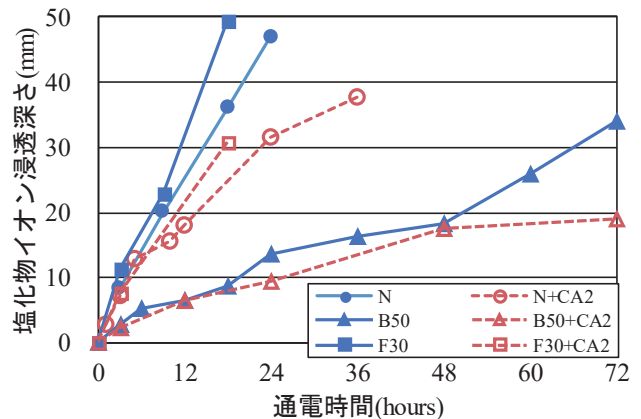


図2 非定常電気泳動試験結果（水中養生7日）

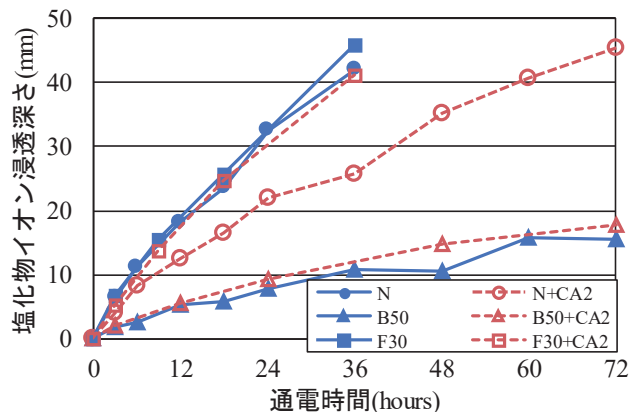


図3 非定常電気泳動試験結果（水中養生28日）

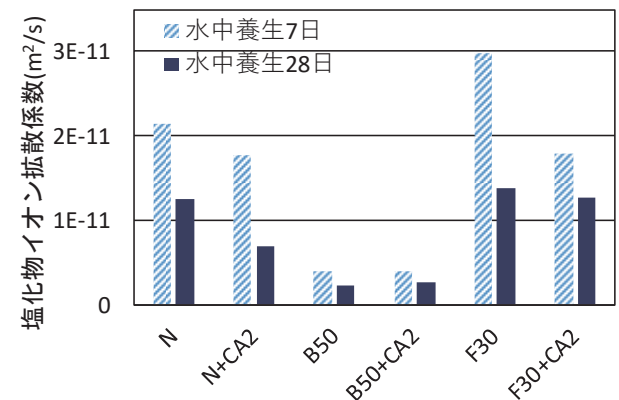


図4 土研法による塩化物イオン拡散係数

【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) 濱田秀則、Tarek Uddin Mohammed、山路徹：30年間常時海水中に暴露されたコンクリートの諸性質について、材料、Vol.54、No.8、2005
- 3) 檀康弘ほか：高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの養生条件と耐久性の関係、土木学会論文集、Vol.65、No.4、pp.431-441、2009