

熊本大学工学部 正会員 友田祐一
渡邊真宏
正会員 大津政康

1. はじめに

塩分の浸透機構は、コンクリート構造物の置かれた環境やコンクリート自体の材料特性により大きく影響される。そこで、純水と塩水で練った供試体を作成し、浸せき、浸せきと乾燥の繰り返しおよび電食の実験を行い、塩化物イオンの移動における通電と乾燥の影響について実験的に検討した。そして非定常浸透理論に基づき FEM 解析し、塩分の浸透機構に関して基礎的な考察を試みた。

2. 実験概要

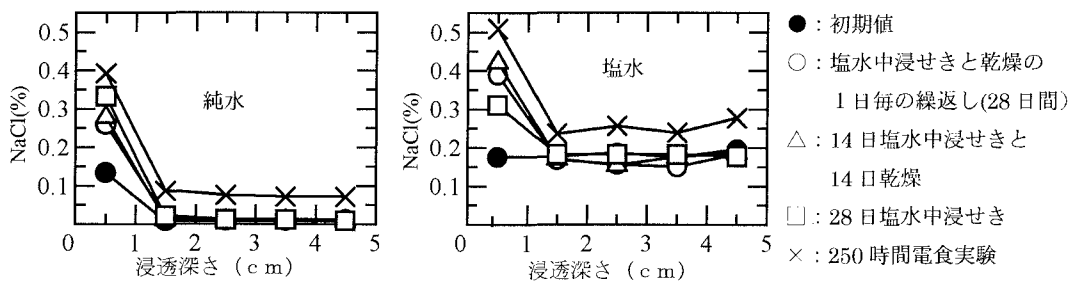
10×10×20(cm)の角柱供試体を純水と 3%NaCl 水溶液で練ったものを、それぞれ 5 本ずつ作成し 28 日間標準水中養生を行った。その配合を表-1 に示す。養生後 10×10(cm)の一面を残し他全面にエポキシ樹脂を塗布し塩分の浸透拡散を見るため、塩水中浸せき実験、塩水中浸せき乾燥繰り返し実験、電食実験を行った。各実験終了後、供試体をエポキシ樹脂を塗布していない面から 5cm の深さまで 1cm 毎に切断し、JCI の硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法（硝酸銀滴定法）案 2) に基づき全塩分量と可溶性塩分量を算出した。なお、電食実験については、鉄筋コンクリート供試体へ 100mA 通電の電食実験中の水槽に供試体を浸せきすることで実施した。

表-1 コンクリートの配合

最大 粒径 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 (cc)	スランプ (cm)	空気量 (%)
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G			
20	50	48	172	344	830	1021	104	2.8	6

3. 実験結果

28 日後における全塩分量の分析結果を図-1 に示す。純水で練り混ぜた場合には、深さ 1cm まで塩分の変動があり、それより奥へは浸透していない。この場合、乾燥の影響については大きくはなく浸せき時間の長いほうが多く浸透している。そして、電食により塩分浸透はかなり加速している。塩水を練混ぜ水とした場合には、1cm までの塩分量が増加し内部では初期値の塩分量から多少減少しているのがわかる。この場合には乾燥の影響は顕著であり、さらに 250 時間の電食は 28 日浸せきの 1.5 倍程度の塩分移動を生じている。なお、可溶性塩分量についても同様な結果が得られ、全ての場合に全塩分量の 60%程度が可溶性と認められた。



キーワード：塩分浸透、FEM、拡散方程式、輸送方程式

連絡先：〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1 tel. 096-342-3774 fax. 096-342-3507

4. 実験解析と考察

図-1に示された塩分の内部分布を乾燥の影響に着目し、非定常拡散方程式及び輸送方程式を用いて解析することにした。対象としたモデルは、実験供試体をそのまま1 cm メッシュに要素化したもので図-2に示す。乾燥を考慮しない場合には、拡散方程式

$$D_c \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (1)$$

により解析した。乾燥の影響は、速度項のある輸送方程式

$$D_c \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + V_x \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2)$$

により考慮した。拡散係数についてはレートプロセス論を用いて、次式より決定した。

$$\frac{dC}{C_0 - C} = D_c dt, \quad \frac{dC}{dt} = D_c (C_0 - C) \quad (3)$$

ここで、

C : コンクリート表面から深さ x , 浸透開始からの時間 t におけるコンクリート中の塩化物イオン濃度

D_c : 塩化物イオンの拡散係数、 V_x, V_y : 移流項の速度、 dC : 初期からの塩分増加量、 C_0 : 水溶液濃度である。

式- (3) に 28 日浸せき実験での 1cm 深さの切片で得られた値を代入すると、拡散係数として $D_c = 5.1 \times 10^{-8}$ (cm²/sec) が求められた。

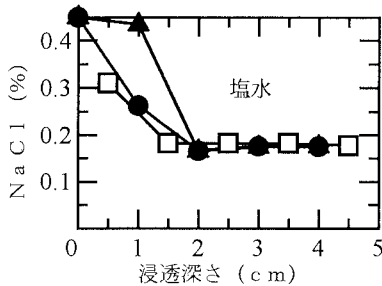


図-3 28日浸せき実験の解析

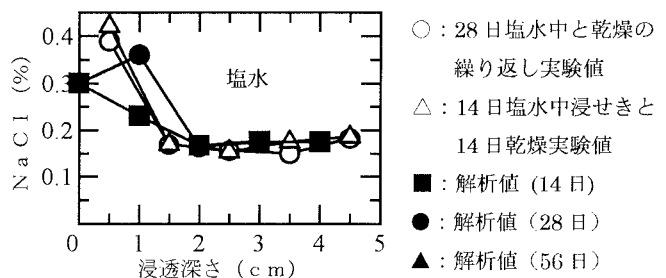


図-4 乾燥実験の解析

28日浸せきの実験結果とFEM解析（速度項を考慮しない場合）との比較を（図-3）に示す。実験では、拡散係数を 5.1×10^{-8} (cm²/sec)、3%NaCl水溶液のコンクリート表面での塩素イオン濃度の換算値を0.45%とすると、今回の拡散係数を用いた28日での解析結果と実験結果はよく一致している。乾燥実験の解析では、乾燥が塩分の浸透に及ぼす影響を調べるため、FEM解析（速度項を考慮した場合）に拡散係数 5.1×10^{-8} (cm²/sec)を用いて、各時間経過における浸透深さが最も実験結果の浸透深さと一致するように速度項 V を決定した。図-4の場合、速度項 V は 1.0×10^{-7} (cm/sec)、3%NaCl水溶液のコンクリート表面での塩素イオン濃度の換算値を0.3%、解析日数を14日毎に設定した結果である。乾燥による影響が考慮され、実験結果とよく一致していると思われる。また、速度項の影響により内部での塩分濃度の上昇が28日では、さらに1cm以上奥での塩分量の変動も導かれている。この結果は乾燥の影響が速度項として解析できる可能性を示しており、乾燥時間が推定できればかなり定量的に塩分の浸透深さを予測できるのではないかと考えられる。

参考文献

- 丸屋 剛他：コンクリート表層部における塩化物イオンの移動に関するモデル化、土木学会論文集 No.585/V-38, pp.79-95, 1998
- 船戸巳知男：硬化コンクリート中に含まれる塩分分析法、日本セメント(株)、中央研究所共同実験資料、1984