

東電設計 正会員 金子 雄一
 東電設計 二重作 主税
 東電設計 正会員 小室 真一
 東電設計 中野内 美孝
 ユニック 中根 信一

1. まえがき

コンクリート構造物では、鉄筋位置の塩化物イオン(以下Cl⁻と記す)濃度が鉄筋の腐食発生に影響を及ぼす。本研究では、外部から浸透するCl⁻を対象とし、コンクリート中のCl⁻濃度分布の経年変化について解析により検討した。このような検討には、拡散方程式が適用されており¹⁾、コンクリート中でのCl⁻の固定化等を考慮した解析も提案されている²⁾。ここでは、構造物の形状の効果に着目し、任意の形状に対する解析法として、有限要素法(以下FEMと記す)の適用の妥当性を検証するとともに、2方向からCl⁻が浸透するモデルの解析を実施した。

2. 拡散方程式の解析方法

拡散方程式の解析は、FEMで行った。一般に、拡散方程式は、1次元の半無限体に対して適用されており、この条件での理論解に基づいて種々の検討がなされている³⁾。しかしながら、形状の効果を考えるには、任意形状における任意の位置でのCl⁻濃度を取得することが必要であり、1次元ではモデル化が困難であると考えられる。そこで、2次元または3次元の解析および任意の形状に対する適用が可能であるFEMを用いることとした。

空間的に離散化された拡散方程式は、濃度をC、Mを時間変化に関する係数マトリックス(一般の構造解析における質量マトリックスに相当する)、Kを拡散係数に関するマトリックス(剛性マトリックスに相当)とし、(1)式となる。

$$M \dot{C} + K C = 0 \quad (1)$$

また、Cの時間に関する離散化は、Crank-Nicolson法によった⁴⁾。

深さ方向の要素の大きさΔxおよび離散化された時間間隔Δtが解析結果に及ぼす影響を把握するため、図-1に示す1次元モデルを解析した。Δxは5、10、25(mm)の3通り、Δtは、1/6、1、6(ヶ月)の3通りについて、表-1に示す組み合わせで解析した。さらに、側面および下面の2方向からのCl⁻の浸透を、図-2に示す2次元モデルで解析した。2次

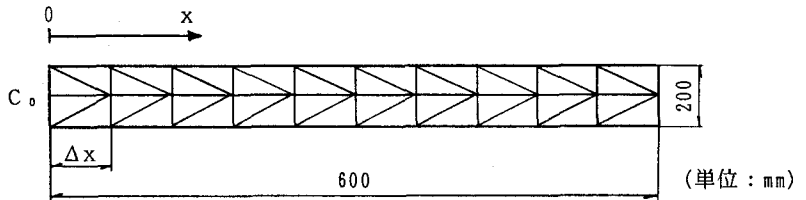


図-1 1次元モデル

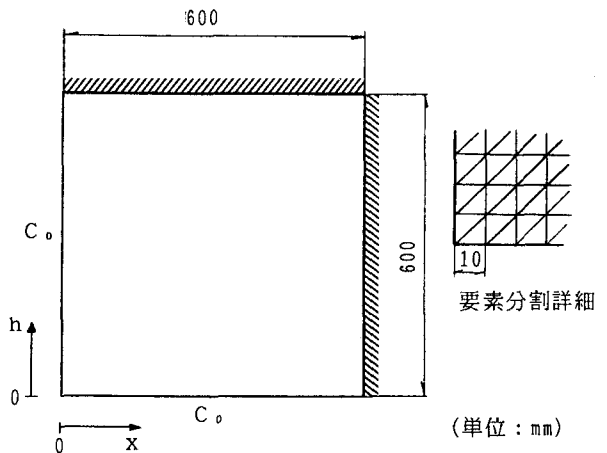


図-2 2次元モデル

表一 1次元モデル解析結果

時間 (年)	FEMによるCl ⁻ 濃度 (kg/m ³)					理論解によるCl ⁻ 濃度 (kg/m ³)
	$\Delta x = 25\text{mm}$	$\Delta x = 10\text{mm}$			$\Delta x = 5\text{mm}$	
	$\Delta t = 1\text{ヶ月}$	$\Delta t = 6\text{ヶ月}$	$\Delta t = 1\text{ヶ月}$	$\Delta t = 1/6\text{ヶ月}$	$\Delta t = 1\text{ヶ月}$	
5	-0.51	0.10	0.14	0.14	0.23	0.27
10	1.26	1.46	1.53	1.54	1.58	1.62
15	2.92	2.98	3.04	3.05	3.06	3.08
20	4.27	4.27	4.32	4.32	4.33	4.34

元モデルは、要素分割詳細に示すように、 $\Delta x = 10(\text{mm})$ とした正方形をさらに2分割した3角形要素(接点数3721、要素数7200)とした。また、 Δt は1ヶ月とした。

解析は、拡散係数 D_c を $1.3 \times 10^{-12}(\text{m}^2/\text{s})$ 、コンクリートの表面におけるCl⁻濃度 C_0 を $20(\text{kg}/\text{m}^3)$ と仮定して行った³⁾。

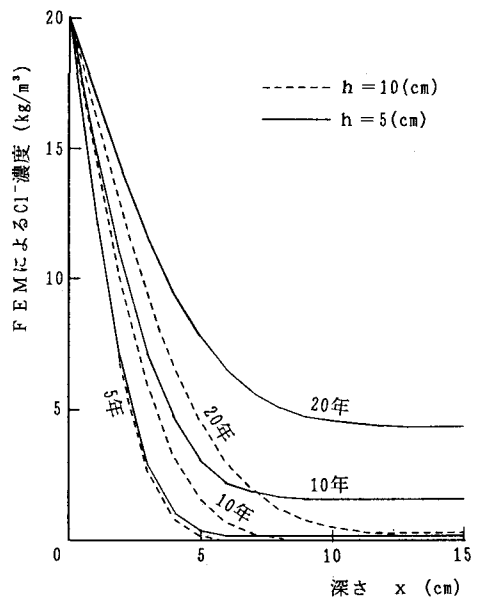
3. 解析結果

(1) 1次元モデル

深さ5cmにおけるCl⁻濃度を、解析解から求めたCl⁻濃度も併せて表一に示す。 $\Delta t = 1(\text{ヶ月})$ で比較すると、要素分割が細かい、すなわち Δx が小さいほど、得られるCl⁻濃度が解析解に近づくことが判る。また、 Δt に関しては、6ヶ月と1ヶ月では差があるが、1ヶ月と1/6ヶ月ではほとんど差がなく、時間の分割は1ヶ月程度で十分であることが判る。

(2) 2次元モデル

下面からの高さ $h = 5, 10(\text{cm})$ での、水平方向(x方向)のCl⁻濃度を図一3に示す。 $h = 10(\text{cm})$ では、下面からのCl⁻の浸透の影響は小さく、x方向の1次元の浸透とほぼ等しい濃度分布となっているのに対し、 $h = 5(\text{cm})$ では、底面からのCl⁻の浸透の影響により、Cl⁻濃度が大きくなっている。



図一3 2次元モデル解析結果

4. まとめ

以上の結果より、拡散方程式の解析に対するFEMの適用の有用性が確認できた。また、2方向からCl⁻が浸透する位置では、1次元の場合よりもCl⁻濃度が高いことが定量的に評価できた。

参考文献

- 1) Browne, R. D. : Durability of Building Materials, 1, pp.113-125, 1982.
- 2) 丸屋, Somnuk, T.、松岡 : 土木学会論文集, No. 442/V-16, pp. 81-90, 1992. 2.
- 3) 関、金子 : コンクリート工学, vol. 29 No. 8, pp. 15-23, 1991. 8.
- 4) 鷲津他編 : "有限要素法ハンドブック II 応用編", pp. 699-711, 培風館, 1983.