

粗骨材分布を考慮した3次元塩分浸透解析に関する基礎的研究

琉球大学 正会員 ○富山 潤 琉球大学 正会員 伊良波 繁雄
 琉球大学 学生会員 松原 仁 琉球大学 学生会員 神田 康行
 琉球大学 学生会員 崎原康平

1. はじめに

コンクリート中の塩化物イオンの拡散性状に及ぼす粗骨材の影響を知ることは極めて重要なことである。そこで本研究は、コンクリート中の粗骨材の影響を考慮した塩分浸透を解析的に求めることを目的とするものであり、その求解法としてボクセル有限要素法¹⁾を採用した。また、コンクリートの粗骨材分布を考慮するために二相コンクリートモデル²⁾を採用した。

2. ボクセル有限要素法と二相コンクリートモデル

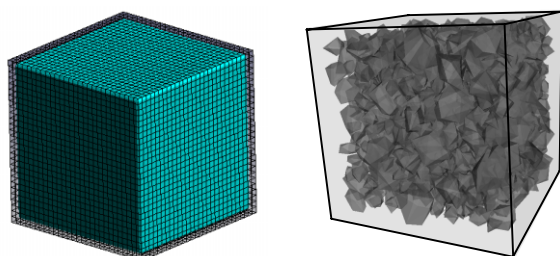
2.1 ボクセル有限要素法

ボクセル有限要素法では、解析領域を図-1(a)に示すように領域全体を包含する直方柱を考え、これを直方体要素(ボクセル要素)で分割する。本研究では、ボクセル要素としてアイソパラメトリック六面体一次要素を使用した。また、ボクセル解析では要素形状がすべて同じであるため要素係数マトリックス作成が材料数分でよく、大規模解析に有利である。

2.2 二相コンクリートモデル

本研究では、コンクリートをモルタルと粗骨材の二相複合材料と仮定し、解析モデルとして筆者らが開発した二相コンクリートモデルを解析に用いた²⁾(図-1(b)参照)。

本解析では、ボクセルデータと二相コンクリートモデル(モルタル+粗骨材)の粗骨材配置データを比較し、それぞれのボクセル要素の材料定数を決定した。なお、今回の解析ではモルタルと粗骨材の遷移体(界面)は考慮していない。



(a) ボクセル要素 (b) 二相コンクリートモデル

図-1 ボクセル有限要素法の解析領域概念図および二相コンクリートモデル

3. 塩分浸透解析

ここでは、塩分浸透解析方法について簡単に示す。

3次元非定常拡散方程式は、Fick の第一、第二法則より次式で表すことができる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここで、 C は塩化物イオン濃度(%), t は時間(年), D_x, D_y, D_z はそれぞれデカルト座標系(x - y - z)の軸方向に対する見かけの拡散係数(cm^2/year)である。また、式(1)を空間に関しては有限要素法で離散化し、時間に関してはクランク-ニコルソンの θ 法($\theta=1.0$)により離散化を行うと次式を得る。

$$\left(\theta [K] + \frac{1}{\Delta t} [C] \right) \{ \phi(t + \Delta t) \} = \left(-(1 - \theta) [K] + \frac{1}{\Delta t} [C] \right) \{ \phi(t) \} + \{ F \} \quad (2)$$

ここで、 $[K]$ は拡散項係数行列、 $[C]$ は時間項係数行列、 $\{ \phi \}$ は節点塩化物イオン濃度ベクトル、 $\{ F \}$ は境界条件による既知項で、一般に流束ベクトルと呼ばれる。

4. 数値解析

数値解析例として、沖縄県本島にある A 橋³⁾の床版を対象に解析を行った。A 橋は 1981 年竣工されて RC 床版ランガー桁橋(一連)+PC3 径間単純 T 桁橋(三連)で構成されており、海上に位置した塩害の非常に厳しい立地条件となっている。

解析は、コンクリートを均質材料としたコンクリートモデルと複合二相材料とした二相コンクリートモデルを用いて行った。なお、二相コンクリートモデルにおいては、粗骨材は塩分浸透が生じないものとして扱い、時間ステップは両モデルとも 1 年である。また、今回の解析では、二相コンクリートモデルの単位粗骨材容積量を約 200/l とした(図-3 参照)。

キーワード 塩分浸透, コンクリート, 粗骨材, 二相コンクリート, ボクセル有限要素法, 塩化物イオン

連絡先 〒903-0129 沖縄県西原町字千原 1 番地 琉球大学工学部環境建設工学科 TEL098-895-8649

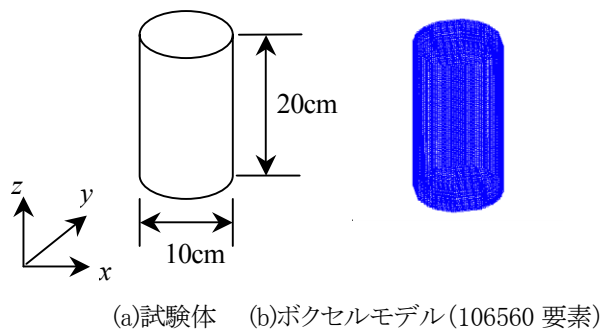


図-2 試験体とボクセルモデル

本解析では、拡散係数として建設後 17 年における実測値を用いて最小二乗法を利用して決定した値($0.13 \text{ cm}^2/\text{year}$)を両モデルに用い、粗骨材の影響について考察する。また、境界条件としての表面塩分量は、拡散係数同様に最小二乗法を利用し実測値より推測した値(7.13%)を与えた。なお、解析では、その値を時間ステップごとに一定として与えている。

図-3 に二相コンクリートモデル内部($x=5\text{cm}$ 断面)の粗骨材分布および初期条件(表面塩分量)を示す。また、図-4 にコンクリートモデルと二相コンクリートモデルの解析より得られた結果を示す。比較のために実測値も同時に示す。

二相コンクリートモデルにおける解析結果は均質材料としたコンクリートの解析結果に対して粗骨材の遮塩効果により塩分の内部浸透が抑えられていることが確認できる。

また、図-5 に建設後 17 年における両解析より得られた塩分濃度分布を示す。この図より、コンクリートモデル(a)が表面からの深さが一定の場合はほぼ一様であるのに対し、二相コンクリートモデル(b)では、粗骨材の影響により塩分濃度の分布が局所的に集中している個所が表現でき、本手法は粗骨材の分布を考慮した塩分浸透解析が可能であることがわかる。従ってモルタルの拡散係数および単位粗骨材容積量が既知であればコンクリート中の塩分浸透を精度良く予測することが可能になると考えられる。しかし、境界条件としての表面濃度の問題や粗骨材とモルタルの間に存在する遷移体の影響などが塩分浸透に大きく関与しており、解析においてもそれらの影響を考慮する必要があるが、これは今後の課題とする。

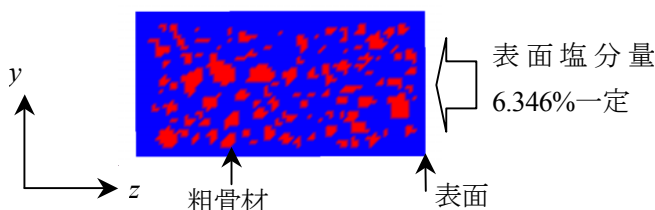


図-3 二相コンクリート断面と境界条件

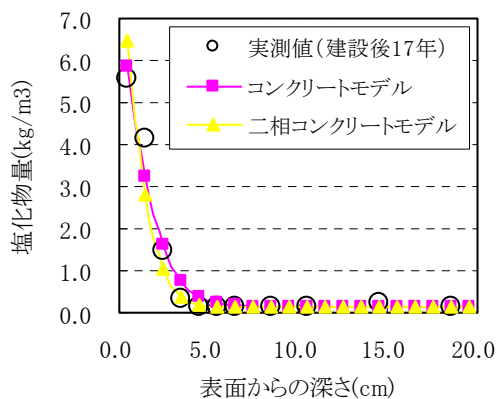
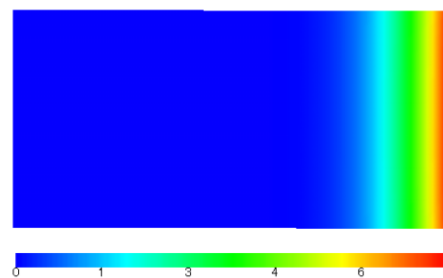
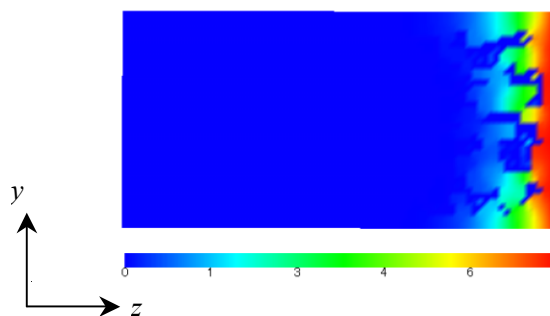


図-4 塩化物量と表面からの深さ関係(建設後 17 年)



(a) コンクリートモデル



(b) 二相コンクリートモデル

図-5 建設後 17 年における塩分濃度分布

5. まとめ

本研究では、コンクリート中の粗骨材の影響を考慮した塩分浸透解析を示し、粗骨材の影響を解析的に確認することが出来た。

参考文献:

- 1) 鈴木克幸, ほか: 多重ボクセル情報を用いたソリッド構造の解析法, 日本計算工学会論文集, 2(2), pp.395-398, 1997.
- 2) 山城建樹, ほか: 骨材とモルタルで2相モデル化したコンクリートの3次元フリーメッシュ法解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.2, pp.169-174, 2003.
- 3) 舟木理: 沖縄におけるコンクリート構造物の調査及び維持管理に関する研究, 琉球大学修士論文, 2001.