

ラチスモデルによるコンクリート微細構造のイメージベース水分拡散解析

茨城大学大学院 学生会員 ○田久 智行
 茨城大学 倉持 拓也
 茨城大学 正会員 車谷 麻緒

1. はじめに

コンクリートは塩害やアルカリ骨材反応、凍結融解等により劣化すると構造物の耐久性低下に影響を及ぼす。これらの現象は、コンクリートに水分が浸入することにより発生する(図-1)。兼松ら¹⁾はひび割れを有するコンクリートに中性子を照射し、水分移動の可視化を試みている。しかし、中性子を用いた実験を実施できるのは限られた場所でのみであり、全ての構造物に適用することは困難である。また、野城ら²⁾は、コンクリートのひび割れ間における水分拡散解析を行っている。しかし、野城らはコンクリートを均質体とモデル化しているため、モルタル-骨材界面である遷移帯などの影響を考慮できていない。

そこで、本研究では数値解析により、微細構造を考慮したコンクリート中の水分の拡散現象を再現し、水分移動過程および経路について考察することを目的とする。

2. モデル化と解析手法

2.1 水分移動経路のモデル化

沼尾ら³⁾は、コンクリート中の水分は細孔間を通り移動するため、水分移動を議論する場合、細孔構造の種類や大きさなどの特徴を把握しておく必要があると述べている。ここで、細孔の中での水分の状態は必ずしも液体であるわけではなく、水蒸気も含まれている。今回は細孔内の水分は液体も水蒸気も区別なく水分として扱う。

水分の通り道となりうる細孔の分布は不規則である(図-2(a))。そこで、細孔を幾何学的に不規則な形状のポロノイ分割の境界にモデル化する(図-2(b))。これにより、水みちの分布をポロノイ形状のラチスモデルで再現する。

また、コンクリートの材料不均一性を再現するためにイメージベースモデリングを採用する。イメージベースモデリングより、要素をモルタル、骨材、空隙、モルタル-骨材界面の4種類準備し、コンクリートの微細構造を再現することで、毛細管空隙等だけでなく遷移帯等における水分の移動を考慮することができる。

2.2 水分移動解析

本研究では、水が外部と内部の水分量の勾配によって移動すると考え、1次元の拡散方程式を用いる。1次元の非定常拡散方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$$

を用いて、コンクリート中の水分移動の挙動の解析を行う。

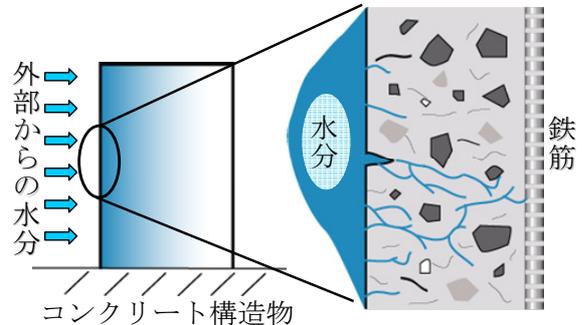
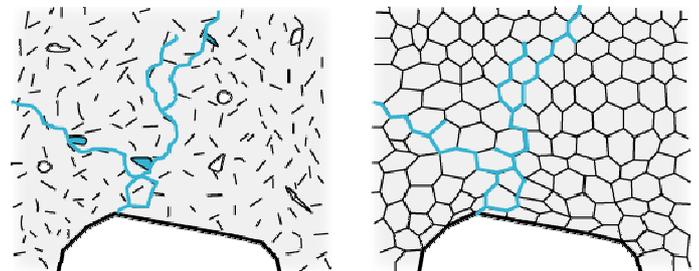


図-1 コンクリート内の水分移動



(a) 不規則に分布する水の通り道 (b) ポロノイ境界にモデル化

図-2 水の通り道のモデル化

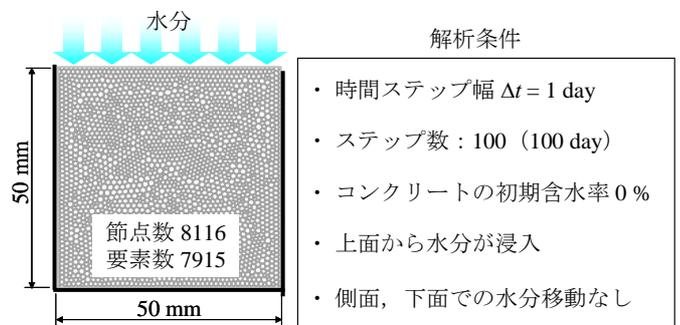


図-3 解析条件

ここで、 θ は含水率、 t は時間、 D は拡散係数である。解析では、分割で生じたポロノイ多角形の辺を1次元有限要素でモデル化しシミュレーションを行う。

3. 水分拡散解析シミュレーション

3.1 解析条件

解析条件を図-3に示す。時間ステップ幅を $\Delta t = 1 \text{ day}$ とし、100ステップ(100 day)で解析を行う。本研究では節点数が7915、1次元有限要素数が8104のラチスモデルをもとに、イメージベースモデリングで解析モデルを作成した。

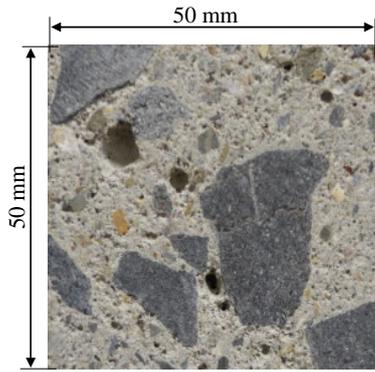


図-4 コンクリート微細構造

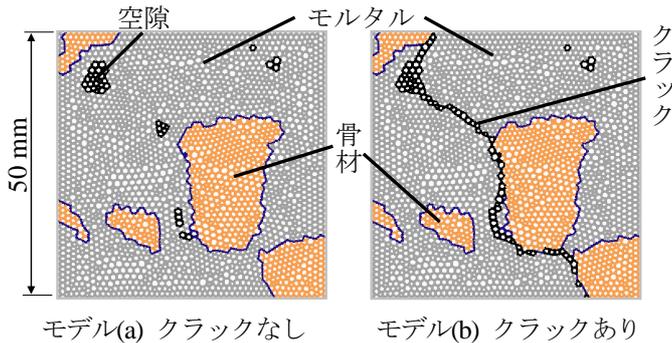


図-5 解析モデル

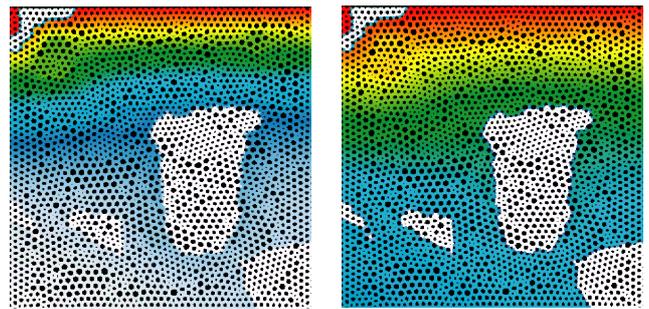
3.2 解析モデル

図-4 はコンクリート微細構造の写真である。また、図-5 に、図-4 を基に作成したコンクリートを模擬した解析モデルを示す。水分の浸透を比較するために、モルタル、骨材、空隙からなる微細構造モデル (図-5 (a))、ひび割れを有するモデル (図-5 (b)) の2種類を準備した。

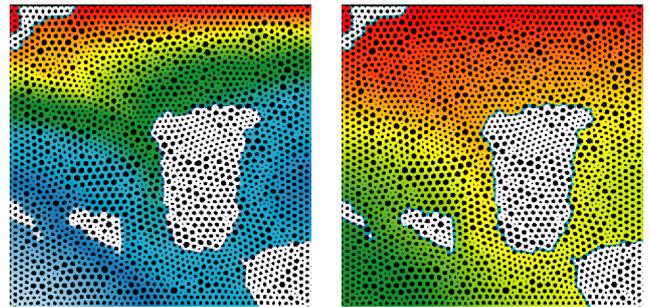
ここで、モルタルの拡散係数は、野城ら²⁾が解析で用いた値 $10 \text{ mm}^2/\text{day}$ を採用した。空隙および遷移帯での拡散係数は、参考となる値はないが、一般に水分移動が活発であると言われているため、モルタルより大きな値の $5.0 \times 10^2 \text{ mm}^2/\text{day}$ に、遷移帯より粗大な空隙は $1.0 \times 10^3 \text{ mm}^2/\text{day}$ に、ひび割れ部は、拡散係数を空隙と同じに設定した。また、本研究ではモルタル内での水分移動経路を確認するため、骨材は吸水しないものと仮定している。

3.3 解析結果と考察

図-6 に水分拡散シミュレーション結果を示す。まず、モデル(a)の結果より、モルタルよりも空隙と遷移帯の周囲で水分移動が活発に行われていることわかる。次に、モデル(b)の結果を見てみると、ひび割れ部を介して水分がモルタルへと移動していることを確認できる。また、モデル(a)とモデル(b)の結果を比較してみると、ひび割れを有するモデル(b)の方が広範囲に水分移動していることがわかる。これら水分移動の挙動は、兼松¹⁾らの実験的研究と一致している。以上の結果から、骨材や空隙などコンクリートの微細構造が、水分の移動へ与える影響を確認することができた。



step 20 / 100 day step 70 / 100 day
モデル(a) クラックなし



step 20 / 100 day step 70 / 100 day
モデル(b) クラックあり

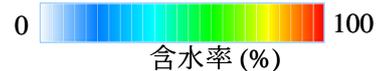


図-6 各モデルの水分挙動

4. おわりに

本研究では、コンクリートの微細構造に着目し、水みちをボロノイ形状のラチスモデル化し、水分拡散シミュレーションを行った。その結果、遷移帯における活発な水分移動を確認することができた。また、クラックを有する場合は、クラックを介し広範囲に水分が移動する既往の実験的研究と同様の結果を得ることができた。

今後は、水分の浸入によって生じる腐食やアルカリ骨材反応などによる破壊を考慮した解析を行うことで、水分浸入がコンクリート構造物の耐久性に与える影響を評価できると考える。

参考文献

- 1) 兼松学, 野口貴文, 丸山一平, 飯倉寛: 中性子ラジオグラフィによるコンクリートのひび割れ部における水分挙動の可視化および定量化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp. 981 - 986, 2007.
- 2) 野城良祐, 石川靖晃, 中村光, 田邊忠頭: 物質移動を考慮した RBSM によるひび割れ進展解析手法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, pp. 467-472, 2003.
- 3) 沼尾達弥, 三橋博三, 平井和喜: コンクリート中の微細構造と水分移動及び乾燥収縮のメカニズム, 東北大学建築学報, 第 29 号, pp. 67 - 86, 1990.