

水分移動を考慮した RBSM によるコンクリートの体積変化の影響評価

名古屋大学

長崎 了

名古屋大学大学院 正会員

上田 尚史, 中村 光, 国枝 稔

1. はじめに

コンクリートの初期ひび割れの主な原因の一つとして乾燥収縮が挙げられる。実構造物ではしばしば乾燥収縮に伴うひび割れが観察されるが、ひび割れ発生以降の挙動についてはほとんど検討されていないのが現状である。そこで本研究では、ひび割れを直接表現できる剛体バネモデルと物質移動を直接考慮可能なトラスモデルとを統合した解析手法¹⁾を用い、水分移動を考慮することで乾燥収縮によるひび割れ進展解析を行った。

2. 解析概要

2.1 剛性バネモデル (RBSM)

本研究では、コンクリートの構造解析手法として、ひび割れ進展等の不連続現象を直接表現できる 2 次元 RBSM を用いた。また、ひび割れ進展の要素依存性軽減のため図-1 に示す Voronoi 分割を用いた。

2.2 トラスモデル

物質移動解析は、トラスモデルにより行なった。Voronoi 分割を行なった RBSM 解析では、一次元のパネを Voronoi 多角形上に配置することでマクロの挙動を追っている。これと同様の着想で、図-2 に示すように、各 Voronoi の母点を結ぶトラスネットワークを考え、Voronoi 要素の辺長に対応した面積を各トラスが持つとした。またひび割れを模擬する Voronoi 要素辺上にひび割れ幅に従った断面を持つトラスを配置することで、ひび割れ間における物質移動も考慮している。トラスモデルは、一次元の拡散方程式を考えるだけでよく、簡易に物質移動解析を行なうことが可能となる。

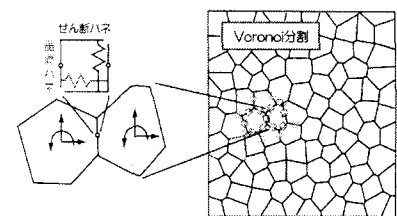


図-1 バネとボロノイ分割

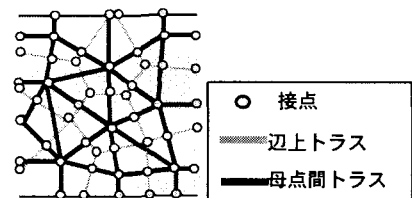


図-2 トラスモデル

2.3 拡散方程式

水分拡散問題は、式(1)に示す水分拡散の基礎方程式を、初期条件と式(2)の境界条件式のもとに解けばよい。

$$\frac{\partial R}{\partial t} = \nabla(D \nabla R) \quad \cdots(1)$$

$$D \frac{\partial R}{\partial t} + \alpha_1 (H_s - H_o) + \alpha_2 (H_s - H_o) = 0 \quad \cdots(2)$$

ここで、 R は相対含水率、 t は時間、 D は水分伝導率で、本解析では含水率に抛らず一定とした。 H_s, H_o は乾燥表面および大気の相対湿度、 α_1, α_2 は水分伝達率である。ここで式(2)の第二項はトラス表面からの水分伝達を、第三項はトラス断面からの水分伝達を表す項である。本解析は二次元解析のため、一般的には平面内の水分拡散のみが対象となる。しかし、実構造物では三次元的な乾燥条件を考慮する必要が生じる。そこで、第二項のトラス表面からの水分伝達を考えることで、面外方向への水分伝達を簡易的に考えた。なお、その際にはトラス表面積の 1/2 を表面からの伝達面としている。ただし、この場合には部材厚さ方向の相対湿度は一樣と仮定することになる。トラスモデルでは式(1)の偏微分方程式を式(2)の境界条件で離散化すると式(3)のようになる。

$$\left\{ \frac{AD}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} + \frac{A'\alpha'L}{6\pi\pi} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \right\} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix} + \frac{1}{\pi} \frac{AL}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{R}_1 \\ \bar{R}_2 \end{Bmatrix} + \frac{A'\alpha'L}{2\pi\pi} \begin{Bmatrix} R_0 \\ R_0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \cdots(3)$$

ここで、 R_1, R_2 : 時間 t でのトラス節点の含水率、 $\bar{R}_1, \bar{R}_2$ は時間 $t + \Delta t$ でのトラス節点の含水率、 A : トラス要素の断面積、 L : トラス要素の長さ、 A' : トラス要素の表面積、 α' : 水分伝達係数である。なお、式(3)中の容量換算係数 ω は各トラス断面の重なりを考慮するもので、2次元トラス配置では原則的に2となる。

3. 解析対象

本研究では、図-3 に示すドッグボーン型の一軸拘束ひび割れ試験供試体を対象として解析を行い、実験値²⁾との比較を行った。コンクリートの材料定数は 28 日強度からヤング係数を 23.4GPa、圧縮強度を 29.42MPa とした。一方、鋼材はヤング係数 200.0GPa、断面積 3530mm² とした。雰囲気相対湿度の経時変化は図-4 に示すように考えた。水分拡散解析に用いた解析パラメータの値を表-1 に示す。ここで、供試体表面からの水分伝達率および収縮係数は自由収縮試験結果を再現するように決定した。またコンクリートおよびひび割れ内の水分伝達率は、既往の文献を参考に^{3), 4)} 決定した。

4. 解析結果および考察

4. 1 拘束試験体のひずみ

図-5 に実験で得られたコンクリートひずみの経時変化ならびに解析値を示す。解析結果はひずみの履歴とひび割れの発生時期を概ね再現できている。また、貫通ひびわれ発生後急激に収縮応力が開放されている事が分かる。図-6 に図-5 中の 60 日および 80 日（貫通ひび割れ発生前後）でのひび割れ状況を示す。貫通ひび割れ発生前の 60 日では、相対湿度の分布による内部拘束と鋼材による外部拘束の影響で、供試体側面に複数の微細ひび割れが発生している。一方、80 日では明確に貫通ひび割れが生じていることが示されている。

4. 2 拘束試験体のひび割れ幅

図-7 に貫通ひび割れのひび割れ幅変化を示す。ひび割れ幅の解析値は実験値よりも小さい値を示しているが、急激にひび割れ幅が増加し、その後徐々にひび割れが拡大していく性状を概ね捉えていることが分かる。

参考文献

1) 野城 良祐ほか：塩分浸透による鋼材腐食を考慮した RBMS 解析、コンクリート工学年次論文集、第 26 巻、第 1 号、2004

2) 古島 正博ほか：高性能 AE 減水剤を用いた早強セメントコンクリートの収縮ひび割れ抵抗性能、コンクリート工学年次論文集、第 15 巻、第 1 号、1993

3) 阪田 憲次ほか：乾燥に伴うコンクリート中の水分の逸散と乾燥収縮に関する研究、土木学会論文報告集、第 16 号、pp.145-152

4) 塚原 絵万ほか：ひび割れを有するコンクリート中の塩化物イオン移動評価手法の提案、土木学会論文集、No.732、V-59、pp.109-120、2003

表-1 解析パラメータ

水分伝達率D	30(mm ² /day)
トラス表面からの水分伝達率a1	0.09(mm/day)
トラス断面からの水分伝達率a2	0.5(mm/day)
収縮係数ash	0.00022

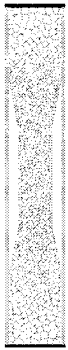


図-3 解析モデル

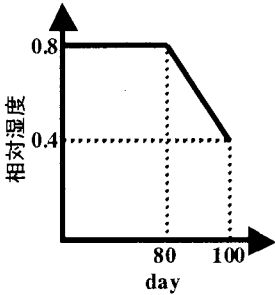


図-4 外気条件

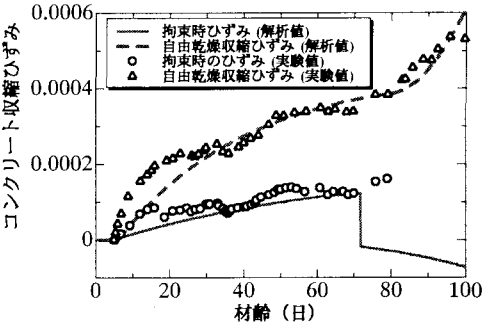


図-5 ひずみの経時変化

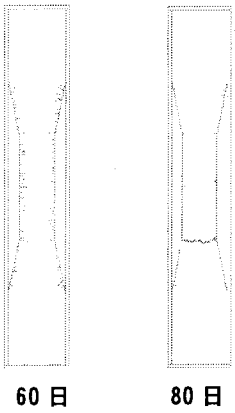


図-6 ひび割れ図

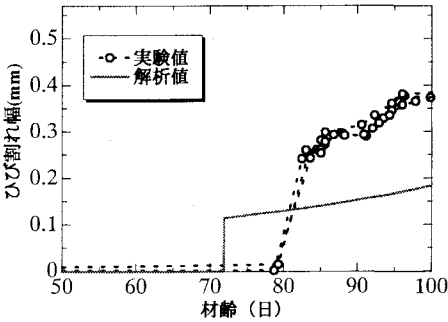


図-7 ひび割れ幅変化