

水分移動を考慮したRBSMによるコンクリートのひび割れ進展解析

名古屋大学 学生会員 ○長崎 了
 名古屋大学 正会員 上田 尚史
 名古屋大学 正会員 中村 光
 名古屋大学 正会員 国枝 稔

1. はじめに

温度応力や乾燥収縮により生じるコンクリート構造物の初期ひび割れを抑制・制御することは、耐久的な構造物を構築する上で非常に重要である。しかしながら、初期ひび割れに関してはひび割れ発生までの検討は多くなされているが、ひび割れ発生以降の挙動に関する検討は不十分であるのが現状である。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い、ひび割れ発生以降の挙動について解析的に評価を行った。

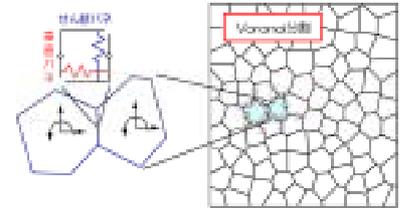


図-1 RBSM と Voronoi 図

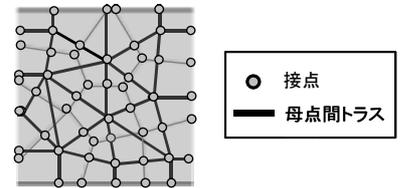


図-2 トラスモデル

2. 解析概要

図-1 に示すような voronoi 分割を用いた剛体バネモデルと、図-2 に示すような、各 voronoi の母点および辺上中点を結ぶトラスネットワークを持つトラスモデルとを統合した解析手法を用いた。

3. 応力-拡散の連成問題

トラスモデルを用いた解析では、1次元場の物質移動のみを考えればよく、簡易に拡散解析が可能である。水分拡散の基礎方程式を境界条件によって離散化した1次元の方程式は次式で表すことができる。

$$\left\{ \frac{AD}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} + \frac{\beta A' \alpha_1 L}{3\omega\pi} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \right\} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix} + \frac{1}{\omega} \frac{AL}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{R}_1 \\ \bar{R}_2 \end{Bmatrix} - \frac{\beta A' \alpha_1 L}{\omega\pi} \begin{Bmatrix} R_\infty \\ R_\infty \end{Bmatrix} + \alpha_2 A \begin{Bmatrix} 0 \\ R_2 - R_\infty \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \dots (1)$$

ここで、 R_1 、 R_2 は時間 t でのトラス節点の相対含水率、 \bar{R}_1 、 \bar{R}_2 は時間 $t + \Delta t$ でのトラス節点の相対含水率、 A はトラス要素の断面積、 L はトラス要素の長さ、 A' はトラス要素の表面積である。 α_1 、 α_2 は水分伝達率で、 α_1 はトラス表面からの水分伝達を、 α_2 はトラス断面からの水分伝達を表す係数である。なお、式(1)中の ω は各トラス断面の重なりを考慮する容量換算係数で、2次元トラス配置では原則的に2となる。 D は拡散係数であり、本研究では含水率依存性を次式²⁾により考慮した。 D_1 は初期拡散係数であり既往の文献³⁾を参考に $30(\text{mm}^2/\text{day})$ とした。

$$D/D_1 = 0.05 + 1 - 0.05 / 1 + \left(\frac{1-R}{1-0.75} \right)^{16} \quad \dots (2)$$

また本解析は二次元解析のため、平面内の水分拡散のみが対象となる。しかし、実構造物では平面外への三次元的な乾燥条件を考慮する必要がある。そこで、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 β を1/2としてトラス表面積の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律と仮定することになる。

4. 解析対象

本研究では、図-3に示す柱およびはりで固定された壁供試体の収縮ひび割れ試験⁴⁾を対象として解析を行い、実験値との比較を行った。試験体の寸法は図-3に示すとおりで、壁部は無筋コンクリートで壁厚は100mm、周辺拘束枠は鉄筋コンクリート部材で、上部の梁部、下部の基礎梁部および左右の柱部で構成されており断面高さは各々

キーワード RBSM, トラスモデル, 乾燥収縮, ひび割れ進展

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町1 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL052-789-4484

240mm, 240mm, 320mm である。解析は、外気条件を実験での計測値に従って与え、材齢 200 日まで行った。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。コンクリートの材料定数はヤング係数を 28.0GPa, 圧縮強度を 30.0MPa と一定とした。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。自由収縮試験の実験結果および解析結果を図-4 に示す。

表-1 各部位の自由乾燥収縮ひずみ

解析パラメータ	壁	梁	基礎梁	柱
α_1 (mm/day)	0.11	0.13	0.13	0.13
α_2 (mm/day)	1.3	1.6	1.7	1.5
収縮係数	0.0023	0.0008	0.00087	0.00084

5. 解析結果および考察

5. 1 壁供試体のひび割れ性状

図-5 に実験で得られた壁供試体の最終的なひび割れ性状を、図-6 および図-7 に材齢 100 日, 180 日における解析で得られたひび割れ性状を示す。解析結果は壁供試体の特徴となる隅角部における斜め方向のひび割れを概ね再現できている。また、図-6, 図-7 から、材齢が 100 日では隅角部のひび割れが進展する挙動が、180 日では縦方向のひび割れが発生し進展していく挙動が見られた。

5. 2 壁供試体のひび割れ幅の経時変化

図-5, 6, 7 に示す a ~ d (A ~ D) の位置における主な貫通ひび割れのひび割れ幅の経時変化を図-8 に示す。図中、実験値をプロットで、解析値を実線で示す。実験における主な斜め方向の貫通ひび割れの発生時期は材齢 45 日後後に集中している。一方、解析においてもひび割れ発生時期については実挙動を概ね再現できることが示されている。さらにひび割れ幅の進展挙動は、ひび割れの発生に伴ってひび割れ幅が 0.1mm 程度まで急激に拡大し、その後各々のひび割れ幅が緩やかに大きくなっていく挙動を十分捉えていることが分かる。以上の結果より、水分移動を考慮した RBSM を用いることでコンクリート試験体の乾燥収縮によるひび割れ発生、ひび割れ進展ならびにひび割れ幅の拡大挙動を概ね再現できることが示された。

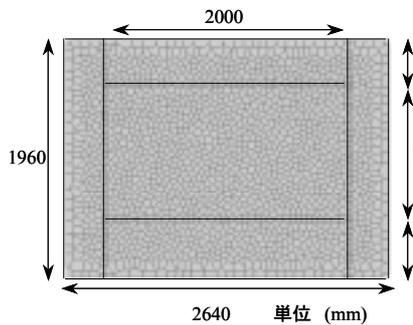


図-3 実験供試体概要

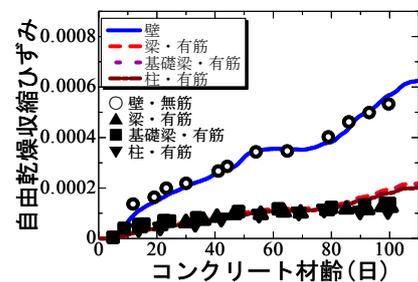


図-4 各部位の自由乾燥収縮ひずみ

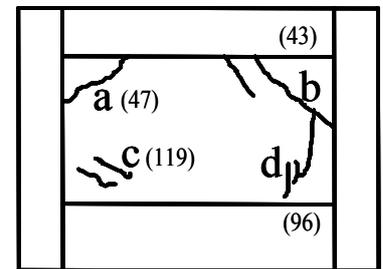


図-5 ひび割れ性状(実験結果)



図-6 ひび割れ性状(解析結果)



図-7 ひび割れ性状(解析結果)

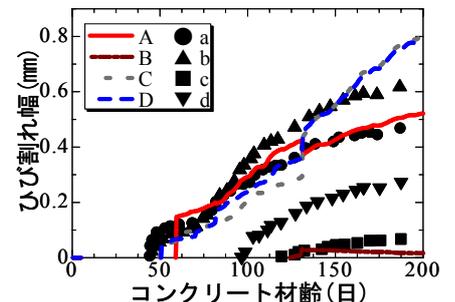


図-8 ひび割れ幅の経時変化

参考文献

- 1) Hikaru Nakamura ほか(2006) : Time-Dependent Structural Analysis Considering Mass Transfer to Evaluate Deterioration Process of RC Structures, Journal of Advanced Concrete Technology, Volume 4, No. 1, pp.147-158
- 2) Bazant, Z. P. and Najjar, L. J. (1972) : Nonlinear Water Diffusion in Nonsaturated concrete, Materiaux et Constructions, Vol.5, No.25, pp.3-20
- 3) 阪田 憲次ほか(1981) : 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, No.316, V-13, pp.145-152
- 4) 古島 正博ほか(1993) : 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, コンクリート工学論文集, Vol.5, No.1, pp.429-434