

3次元RBSMによる持続荷重を受けるRC・PRCはりのひび割れ進展挙動解析

名古屋大学

学生会員 ○杉本 啓太

名古屋大学大学院 正会員

山本 佳士, 中村 光, 三浦 泰人

1. はじめに

土木構造物を適切に維持管理しながら長期間供用していくためには、コンクリート構造物の、温度応力、乾燥収縮、クリープ等に伴う時間依存性の変形・ひび割れ進展挙動、および任意の時間軸上における、使用性、安全性、耐震性を評価する手法の確立が必要である。また、例えば原子力発電施設のように、求められる機能によっては、耐衝撃性、耐火性、気密性など様々な性能を評価することが必要になる。

本研究は、最終的に、コンクリート構造物の任意の時間軸上における、上記の各種性能を評価可能な手法の確立を目的として以下のような数値解析手法の開発を行った。すなわち、ひび割れを含むコンクリート構造物の複雑な非線形力学挙動を再現可能な3次元剛体バネモデル(RBSM)¹⁾に、水分、熱、気体、その他コンクリート内の各種物質移動など、複数の拡散問題を連成させて解析可能な多重のトラスネットワークモデル²⁾を統合した解析手法の開発を試みた。ここでは、特に、任意の時間軸上の各種性能評価に重要な影響を及ぼすと考えられる、ひび割れ情報の再現性に着目して、持続荷重を受けるPRCはりの解析を行い、開発した手法の妥当性を検証する。

2. 解析手法

RBSMは、著者らが提案している、Voronoi分割を用いたランダム要素形状を適用したモデルを用いた¹⁾。本モデルは、コンクリートの引張・圧縮軟化、局所化挙動を定量的に再現することができる。鉄筋は、はり要素を用いて離散的にモデル化し、リンク要素を用いてRBSM要素に結合している。また、提案モデルは、鉄筋-コンクリート間の付着すべり挙動もモデル化している。物質移動解析は、著者らが提案している、RBSMの要素分割で用いた3次元Voronoi多面体を基に構成した1次元トラスネットワークモデル²⁾を適用した。本研究では、コンクリートの時間依存変形として、乾燥収縮およびクリープを考慮した。乾燥収縮は、本モデルを用いて水分拡散問題を解くことで評価する。すなわち、トラス

ネットワークモデルによりコンクリート中の相対湿度の移動を求め、相対湿度と乾燥による収縮ひずみは線形であると仮定して、収縮ひずみを算定した。RBSMにおいては、収縮ひずみを垂直バネの初期ひずみとして与えることで乾燥収縮をモデル化した。拡散係数は、相対湿度依存性の式を用いた。さらに、クリープは各バネの応力増分に対して、Step by step法により算出している。クリープ関数は土木学会式³⁾を利用している。

3. 持続荷重を受けるRCおよびPRCはりのひび割れ進展挙動解析

3.1 実験概要

手塚ら⁴⁾により行われたRCおよびPRCはりの実験を対象として解析を行った。供試体はすべて、断面が200×250mm、長さが2400mmである。引張鉄筋、PC鋼材および圧縮鉄筋の径をパラメータとして対象供試体を6体としている。供試体の種類を表-1に、供試体概要図を図-1に示す。材齢9日でPC鋼棒にプレストレスが導入され、材齢17日で持続荷重が載荷される。材齢1224日で持続荷重を増加させ、材齢1360日に載荷を終了している。

3.2 解析概要

解析モデルを図-2に示す。等曲げ区間のひび割れの性状を詳細に評価するとともに、計算負荷を低減するために等曲げ区間内の平均要素寸法を20mmとし、端部に向かうにつれて、要素が線形的に大きくなるモデルとした。RBSMのバネの構成モデルの材料パラメータは、参考文献¹⁾で提案されている値を用い、水分拡散解析およびクリープに関する材料パラメータは、対象実験で実施されたクリープ試験および収縮試験の再現解析を行い、試験結果に適合するようキャリブレーションして決定した。

3.3 解析結果

解析結果の一例として、NL12, NL22, NL32のケースを示す。図-3, 図-4に等曲げ区間の平均曲率、平均ひび割れの経時変化の実験値および解析値を示す。解析はPRC供試体のケースで平均曲率をやや小

さく評価しているものの、概ね実験結果を再現していることが分かる。また、平均ひび割れ幅の進展挙動も妥当な精度で再現していることが分かる。持続荷重終了後（1400 日）における NL32 のひび割れ性状を図-5 に示す。解析は、ひび割れ本数、間隔ともに実験結果を妥当に再現していることが分かる。

4. まとめ

RBSM およびトラスネットワークモデルを統合した解析手法を開発するとともに、持続荷重下の RC、PRC はりの応答実験を対象として解析を行い、提案手法の妥当性を検証した。開発した手法は、乾燥収縮およびクリープに伴う、マクロな変形情報のみならず、ひび割れ幅、間隔等の詳細情報を再現可能であることが分かった。今後は、初期材齢におけるモデルの妥当性評価を行っていくとともに、任意時間軸上における上記の各種性能を評価可能なモデルへと拡張していく予定である。

参考文献

1)山本佳士ほか(2008): 3 次元剛体バネモデルによるコンクリート供試体の圧縮試験, 土木学会論文集 E, Vol64, No.1, pp612-630
2)野城良祐(2004): 複合作用を考慮した RC 構造物の耐久性・構造的統合解析システムの開発, 修士論文
3)土木学会(2007): コンクリート標準示方書 設計編, pp32-64
4)手塚正道・佐藤良一・山本浩嗣(1999): PRC 部材の長期変形・応力に関する研究, 土木学会論文集

表-1 供試体の種類

供試体 No.	引張鉄筋	PC 鋼棒	圧縮鉄筋	プレストレス導入量(MPa)	載荷荷重(kN)	
					17 日	1224 日
NL10	D19				60	68
NL12	D19		D16		60	68
NL20	D16	φ7.1		867.7	68	77.2
NL22	Dm16	φ7.1	D16	863.9	68	77.2
NL30	D13	φ9.0		929.4	68.3	77.2
NL32	Dm13	φ9.0	D16	927.3	68.3	77.2

(引張鉄筋 Dm は溝切り加工したもの)

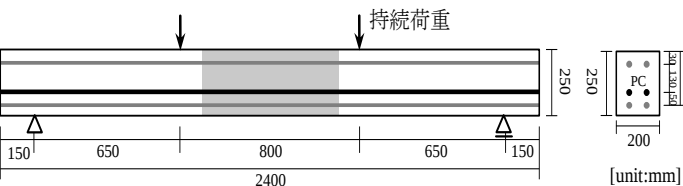


図-1 供試体概要図

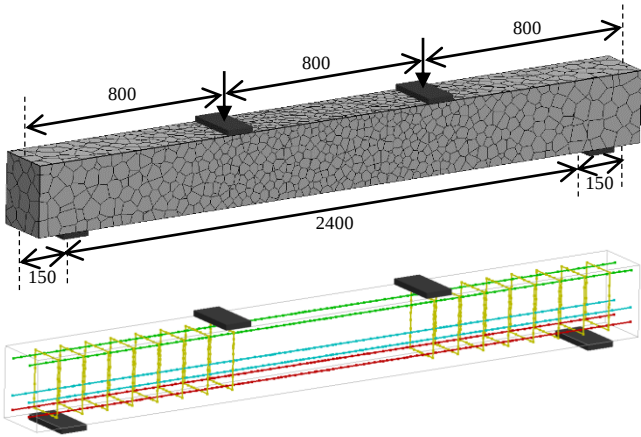


図-2 解析概要図

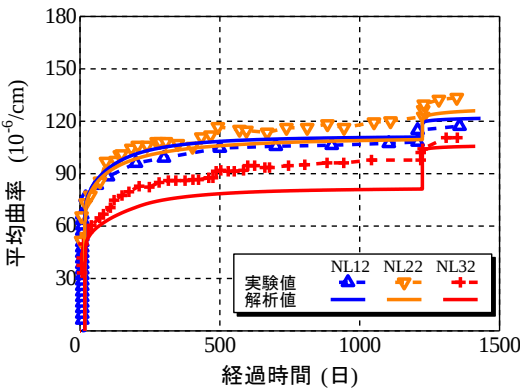


図-3 平均曲率の経時変化

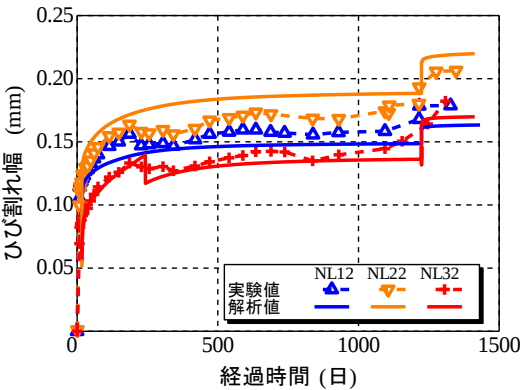


図-4 平均ひび割れ幅の経時変化

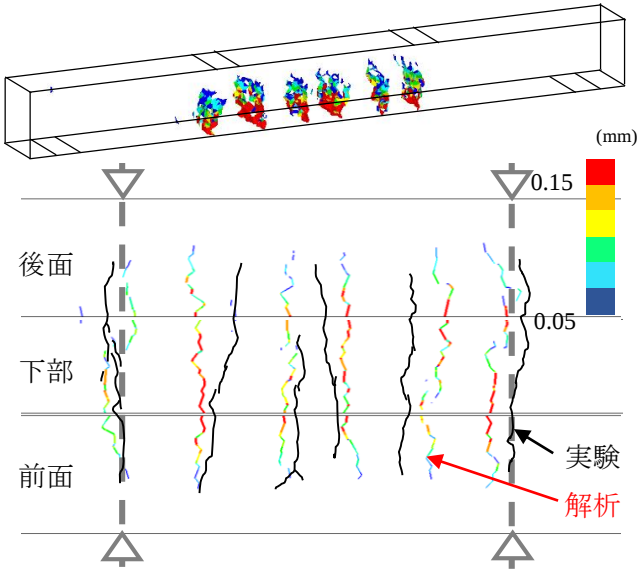


図-5 NL32 ひび割れ性状