

山梨大学大学院 学生員 札立 重好
 山梨大学工学部 正会員 斉藤 成彦
 山梨大学工学部 正会員 中村 光
 山梨大学工学部 正会員 檜貝 勇

1. はじめに

土木・建築構造物の設計法における仕様規定型から性能規定型への移行に伴い、コンクリート構造物の破壊挙動を精度良く予測できる数値解析手法の開発が望まれる。コンクリートのような非均質脆性材料は、引張強度が圧縮強度に比べて極端に小さく、ひび割れが発生しやすい。そのため、コンクリート構造物を合理的かつ経済的に設計するには、初期ひび割れの発生から最終破壊に至る非線形挙動を精度良く把握する必要がある。

本研究では、ランダムな要素分割を施した剛体-バネモデルを用いて、繰り返し载荷を受ける鉄筋コンクリート（以下、RC）パネルの数値解析を行い、解析手法の適用性を検証するとともにその破壊挙動を考察した。

2. 解析手法

離散型の解析手法である剛体-バネモデルをコンクリート材料の離散化に適用した。剛体-バネモデルは、対象物を有限個の要素に分割し、各要素をその境界面上に連続して分布しているバネによって連結させ、バネの変形によって内力の伝達が行われると仮定したものである（図-1）。剛体-バネモデルでは、任意形状の要素を使用できるという利点を生かし、計算幾何学の概念である Voronoi 多角形分割を用いて、コンクリートをランダムな要素に分割し、ひび割れ進展の要素分割依存性を低減した。

コンクリートの材料特性は、要素境界線上の垂直バネ（ k_n ）および、せん断バネ（ k_t ）にそれぞれ圧縮・引張挙動（図-2）、せん断すべり挙動をモデル化し、繰り返し応力下の除荷・再負荷経路を考慮した。

鉄筋のモデル化は、Saito と Hikosaka¹⁾によって開発されたコンクリートの要素分割に依存しない離散鉄筋要素を用いて行った。本鉄筋モデルは、コンクリート剛体要素内の任意の位置に配置することができるため、コンクリートの要素分割に依存せず、Voronoi 分割を利用した任意の多角形からなるランダムな要素分割に対しても適用することができる。それぞれの鉄筋は、一連のはり要素によって構成され、はり要素の節点においてリンク要素を介し、コンクリート剛体要素に結合される（図-1）。リンク要素は、鉄筋軸方向、垂直方向、回転方向のバネによって構成され、鉄筋軸方向バネを用いて鉄筋-コンクリート間の付着挙動をモデル化した。

3. 解析結果

3. 1 実験および解析概要

本論では、NUPEC によって報告されている耐震壁を解析対象とした²⁾。図-3に実験供試体の形状を示す。供試体は、厚さ 75mm の RC パネルの両側に 100×2980mm の

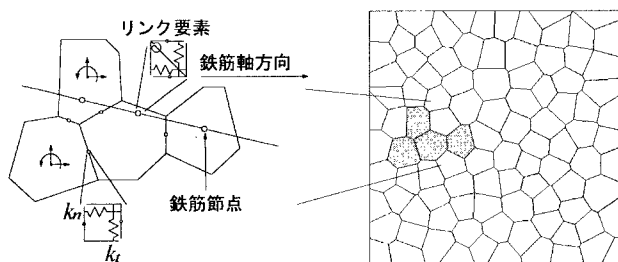


図-1 剛体-バネモデル，離散鉄筋モデル

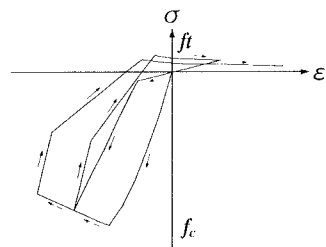


図-2 コンクリートの材料モデル

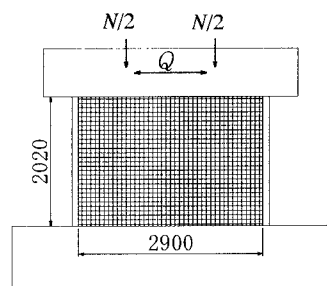


図-3 供試体概略図

キーワード： 剛体-バネモデル，離散ひび割れ，RC パネル，破壊挙動解析

連絡先： 〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11 TEL 055-220-8517 FAX 055-220-8773

フランジ壁,上部に 4000×4000mm のはりが組み合わされた一層の無開口耐震構造である。コンクリートと鉄筋の材料諸元を表-1 に示す。実験での加力方法は、一定の軸方向圧縮力 (1.47MPa) を受ける動的正負交番繰り返し载荷である。

表-1 コンクリートの材料諸元

ヤング率 (GPa)	ポアソン比	圧縮強度 f_c (MPa)	引張強度 f_t (MPa)
22.9	0.155	28.6	2.23

表-2 鉄筋の材料諸元

種類	ヤング率 (GPa)	降伏強度 f_y (MPa)	引張強度 f_u (MPa)
D6	184	383	485

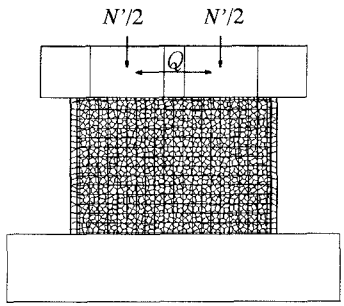


図-4 解析モデル

解析に用いた要素分割および境界条件を図-4 に示す。コンクリートパネルは 1000 要素に分割し、上部はりを载荷点として設けた。载荷は実験と同様、一定の軸方向圧縮力を受けるが、静的正負交番繰り返し载荷である。実験で付加された軸力 N は、0.91MN であるが、解析では上部はりの自重を考慮して軸力 N を 1.20MN をした。解析で用いた材料パラメータは実験と同様に表-1、表-2 の通りである。

3.2 荷重-変位関係とひび割れ性状

図-5 に上部はりにおける水平荷重-水平変位関係を示す。動的载荷による実験結果は、それぞれの载荷段階 (RUN-1~RUN-5) での最大荷重時の水平変位を示した。実験では、RUN-5 の载荷途中で急激に耐力を失い、せん断型の破壊を生じている。図-5 に見られるように、解析結果は、ひび割れ発生荷重、最大耐力ともに実験結果とよく対応しており、最大耐力後のせん断破壊による耐力の劣化も表現することができた。

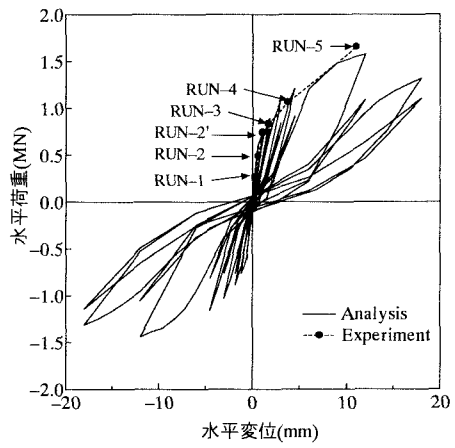


図-5 水平荷重-水平変位

図-6、図-7 にそれぞれ RUN2'直後、RUN5 直後のひび割れ状況を示す。実験、解析ともに RUN2'直後に初期ひび割れが発生し、剛性の低下が見られており、ひび割れ図を見ると実験と類似した斜めひび割れが発生していることが分かる。図-7 より、実験では多数の斜めひび割れが発生した後、コンクリートの圧壊を伴って破壊しているが、解析では斜めひび割れの進展があるものの、そのような破壊形式は確認できなかった。

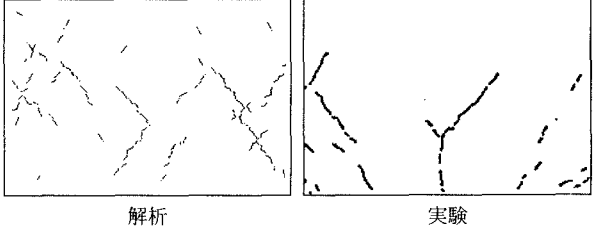


図-6 RUN2'直後におけるひび割れ状況

4. まとめ

本研究では、離散型解析手法である剛体-バネモデルを用いて、繰り返しを受ける RC パネルの解析を行い、荷重-変位関係、ひび割れ性状について考察した。荷重-変位関係については、実験の包絡線と良く対応しており、ひび割れ性状についても最終破壊段階を除いて比較的詳細に追跡できた。しかし、実験では最終破壊段階にコンクリートの圧壊を伴うせん断二次破壊のような局所的な破壊を示していたが、解析では表現することができなかった。

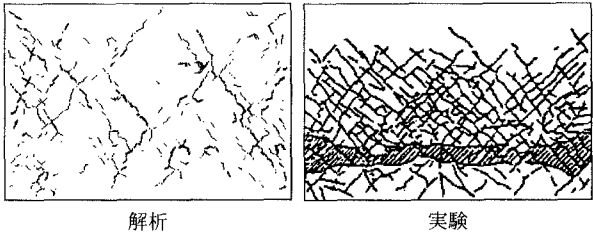


図-7 RUN5 直後におけるひび割れ状況

参考文献

- 1) Saito,S. and Hikosaka,H. :Numerical analyses of reinforced concrete structures using spring network models,J.of Materials,Conc.Struct.,Pavements,JSCE,V-44,pp.289-303,1999.
- 2) SEISMIC SHEAR WALL ISP NUPEC'S SEISMIC ULTIMATE DYNAMIC RESPONSE TEST,OECD/GD(96)188,1996