

疑似粘弾塑性モデルを用いた RBSM による RC はりの疲労挙動解析

関西大学 正会員 小野 洋樹

関西大学 正会員 ○上田 尚史

1. はじめに

コンクリートの疲労に関する研究はこれまで多くの研究者によって実験的に行われてきた。しかし実験ではコンクリートの損傷進展状況の把握が困難であることから、解析的な検討が望まれる。そこで本研究では、コンクリート内部のひび割れ進展を捉えることができる剛体バネモデル (RBSM) を用いて繰返し荷重を受ける RC はりの疲労損傷進展挙動を解析的に評価することを試みた。

2. 解析手法

本研究では、3次元 RBSM¹⁾を用いた。3次元 RBSM では、各要素は並進・回転の6自由度を持つ剛体で表現され、要素の境界面において表面力を評価する。応力評価点 (積分点) では、垂直バネ1つとせん断バネ2つのみを配置するが、複数の積分点を設定することで、要素の並進・回転に対する抵抗力を表現することが可能となる。

構成則には、疲労挙動を評価可能な疑似粘弾塑性モデル²⁾を適用した。疑似粘弾塑性モデルは、粘弾塑性挙動を直接モデル化した際の応答を、静的な応力-ひずみ関係の再載荷時の剛性を低下させることにより疑似的に表現したものである。RBSM では、せん断バネに対して疑似粘弾塑性モデルを適用することで、疲労挙動を評価できることが確認されている。なお、既往の研究²⁾では、一定の剛性低下率を与えていたが、低応力における疲労

寿命を過小評価していたため、本研究では最大ひずみの大きさに従って剛性が低下するようにモデルの修正を行った。図-1に、一軸圧縮疲労解析の結果として、上限応力比と疲労寿命 N_f の関係を示すが、低応力下の疲労寿命の評価を改善できていることが確認できる。

3. 解析対象

解析は井上による RC はりの疲労実験⁴⁾を対象とした。図-2に供試体の概要を示す。曲げ破壊型供試体は、引張鉄筋比が4.91%、せん断スパン比が3.03であり、せん断補強鉄筋比が2.04%の RC はりである。実験では、圧縮域のコンクリートが疲労破壊することが想定されている。一方、せん断破壊型供試体は、引張鉄筋比が2.78%、せん断スパン比が2.0であり、せん断補強鉄筋の無い RC はりである。コンクリートの圧縮強度は曲げ破壊型供試体、せん断破壊型供試体それぞれに対して、 54.5N/mm^2 、 56.7N/mm^2 である。

解析は荷重制御法により行った。解析における疲労載荷は、下限荷重を全ての解析ケースで静的な最大荷重の10%とし、上限荷重を最大荷重 F_u の90, 80, 70%の3通りの荷重レベルとした。なお、上限荷重時において内力のノルムに対する不平衡力 (内力と外力の差) のノルムの比が2.0%を超えた時を、解析における疲労破壊と定義した。

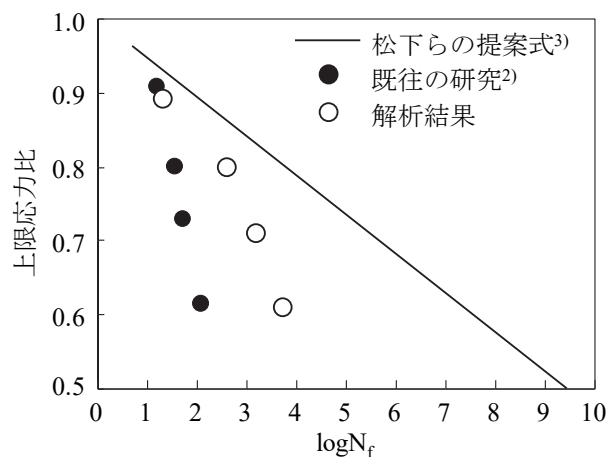


図-1 一軸圧縮疲労寿命の比較

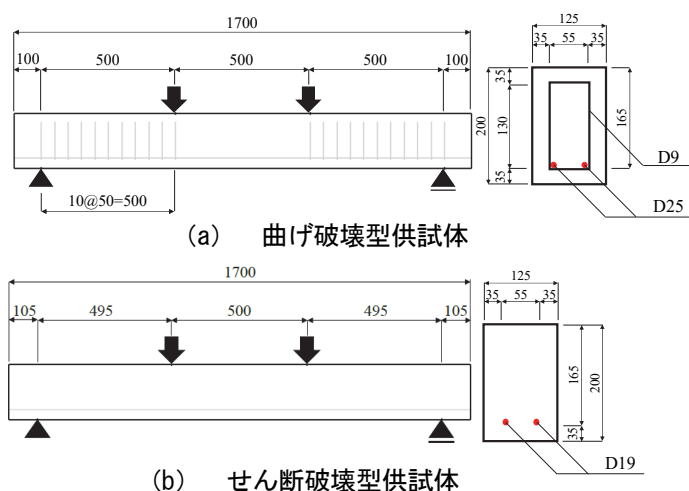


図-2 解析対象 (右: 概要図, 左: 断面図)

キーワード 疲労, RC はり, 疑似粘弾塑性モデル, 3次元 RBSM

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 関西大学 環境都市工学部 TEL 06-6368-1653

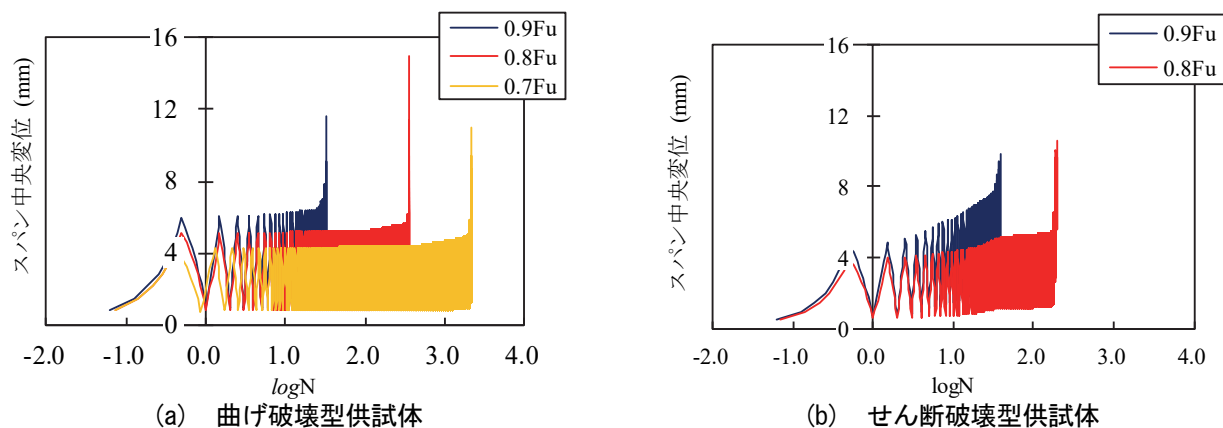
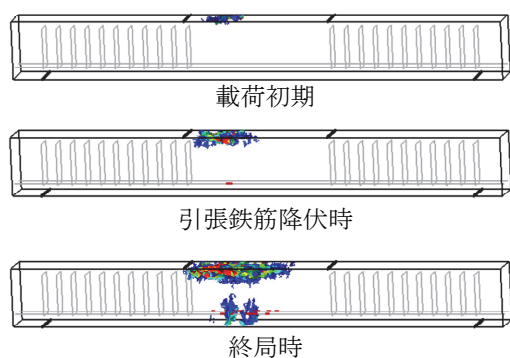
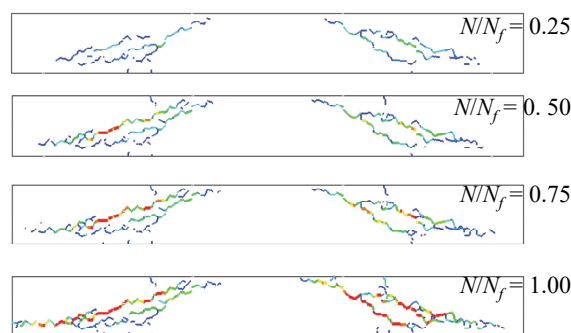


図-3 荷重回数とスパン中央変位の関係



(a) 曲げ破壊型供試体



(b) せん断破壊型供試体

図-4 下限荷重時のひび割れ状況 (いずれも 0.9Fu のケース)

4. 解析結果

図-3 に、解析より得られた繰返し回数 N とスパン中央変位の関係を示す。縦軸はスパン中央のはり下端における変位を、横軸は繰返し回数を対数表示したものである。図-3(a) より、曲げ破壊型供試体では、上限荷重の大きさにかかわらず、荷重を通して振幅の変化は見られず、破壊直前にスパン中央変位が増大する傾向が得られた。一方、図-3(b) より、せん断破壊型供試体では、荷重回数が増加するに従いスパン中央変位が大きくなる結果となった。この傾向は、上限荷重が大きいほどより顕著であった。これは、斜めひび割れでの損傷が蓄積されることに伴い、せん断変形の影響が卓越したためであると考えられる。

図-4 に、上限荷重を $0.9F_u$ とした場合の下限荷重時のひび割れ状況を示す。図-4(a) より、曲げ破壊型供試体では、曲げ圧縮域において損傷が蓄積されていくことを確認することができる。また、部材下縁の引張域では、荷重初期では残留ひび割れは見られないが、繰返し荷重に伴い引張鉄筋が降伏し、残留ひび割れが大きくなる結果が得られた。終局時には、曲げ圧縮部のコンクリートが破壊した。一方、図-4(b) より、せん断破壊型供試体では、せん断スパン内に生じた斜めひび割れにおいて、損傷が蓄積されていくことが確認できる。荷重回数の増加に伴

いひび割れ幅が増大し、最終的にはそのひび割れが開口することで破壊に至ったものと考えられる。

5. まとめ

本研究では疑似粘弾塑性モデルを適用した 3 次元 RBSM により、RC はりの疲労破壊解析を行った。その結果、曲げ破壊型、せん断破壊型ともに、疲労破壊を解析的に評価できることが確認できた。また、本解析手法を用いることで、繰返し荷重による損傷の蓄積等の損傷進展挙動を評価することが可能であることが示された。

参考文献

- 1) 山本佳士, 中村光, 黒田一郎, 古屋信明: 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破壊解析, 土木学会論文集 E, Vol.64, No.4, pp.612-630, 2008.
- 2) 小西麻央, 上田尚史: 疑似粘弾塑性モデルを用いたコンクリートの圧縮疲労解析に関する基礎的研究, 第 21 回応用力学シンポジウム講演概要集, C000142, 2018.
- 3) 松下博通, 徳光善治: 生存確率を考慮したコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究, 土木学会論文報告集, 第 284 号, pp. 127-138, 1979.
- 4) 井上正一: コンクリートの圧縮疲労特性と部材設計への適用に関する基礎的研究, 京都大学博士論文, 1985.