

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

鉄筋コンクリート部材が地震荷重のような繰り返し荷重を受けて曲げ破壊する場合、その終局挙動に軸方向鉄筋の座屈が大きな影響を及ぼしていると考えられる。この時、コンクリート構造物内の軸方向鉄筋は、多くの場合塑性座屈していると考えられるが、鉄筋の塑性座屈挙動は現在まで必ずしも明らかになっていない。また、軸方向鉄筋の座屈を考える場合、帯鉄筋の影響も同時に考慮する必要があると考えられる。そこで本研究では、軸方向鉄筋の塑性座屈挙動ならびに軸方向鉄筋の座屈に及ぼす帯鉄筋の影響を有限変形理論に基づく有限要素解析により評価することを試みた。

2. 解析概要

本研究では、鉄筋をはり要素でモデル化し有限変形理論に基づく有限要素解析を行うことで、鉄筋の塑性座屈挙動を解析することを試みた。ここでははり要素は、帯鉄筋が組み合わさった場合の軸方向鉄筋の座屈挙動を解析するために2節点12自由度を有する3次元要素とし、Layered Beamによりモデル化した。各Layerに対して用いる鉄筋の応力-ひずみ関係は、バイリニア型を仮定し、降伏後の第2勾配を初期剛性の1/100とした。解析はupdated lagrange法に基づいた変位制御の増分解析とし、Newton Raphson法に従い収束計算を行った。

3. 鉄筋単体の塑性座屈挙動解析

本解析手法の塑性座屈挙動への適用性を検討するために、鉄筋単体の解析と実験結果との比較を行った。解析は、長さを3通り(6φ、12φ、18φ)に変化させたD19鉄筋($f_y=3780\text{kgf/cm}^2$)に対し、両端固定条件の下で一方方向圧縮荷重をしたものである。なお、解析においては鉄筋に初期不整を与えるために、鉄筋長さ方向中央位置に微小の初期荷重を作用させた。図-1に解析値と実験値の軸方向荷重-軸方向変位関係を、図-2に軸方向荷重-最大横方向変位の関係を示す。図中、解析値を実線で、実験値を点線で示している。図によれば、鉄筋長がある程度長い場合(12φ、18φ)には、軸方向変位ならびに最大横方向変位とも解析値は実験値をよく捉えており、本解析により鉄筋単体の塑性座屈挙動を精度よく再現できることが分かる。一方、鉄筋長さが短い場合(6φ)には、解析値と実験値は一致していないが、これは本解析において鉄筋の応力-ひずみ関係にひずみ硬化の影響を正確に反映していないためと考えられる。

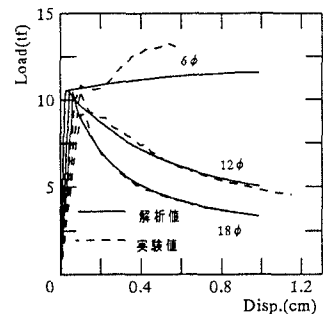


図-1 軸力-軸方向変位関係

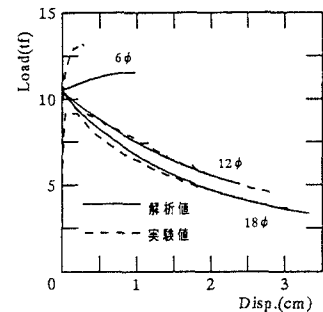


図-2 軸力-横方向変位関係

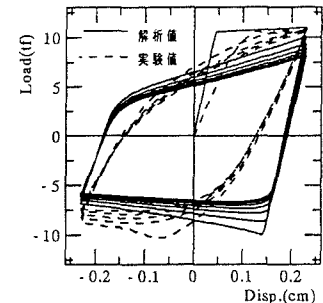
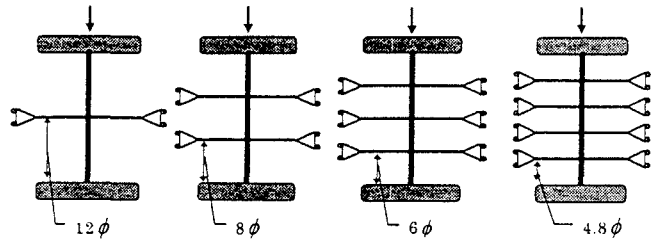


図-3 軸力-軸方向変位関係

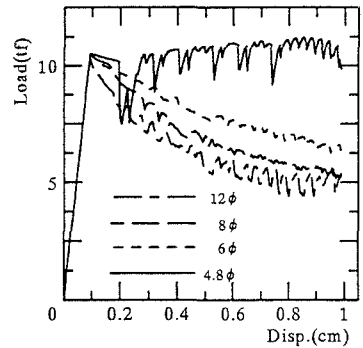
Key Words : 塑性座屈、帯鉄筋、有限変形理論、有限要素解析

〒400 甲府市武田4-3-11 TEL 0552-20-8529 FAX 0552-20-8773

つぎに、両端固定された長さ12φのD19鉄筋に対する繰返し解析と実験結果の比較を行い、繰返し荷重下の鉄筋の座屈挙動に対する適用性の検討を行った。解析値と実験値の軸方向荷重－軸方向変位関係を図－3に示す。解析値は実験値と除荷時の挙動が大きく異なるが、これは除荷時における実際の鉄筋の材料特性が解析で仮定したパイリニアモデルと相違していたためと考えられる。しかしながら定変位で繰返しを行うと座屈した鉄筋の復元力が低下する現象は捉えており、本解析に用いる鉄筋の材料モデルとしてより精密なモデルを用いれば、繰返し荷重下の座屈挙動も概ね評価可能になると考えられる。なお図－3において実験値の弾性勾配が解析値より小さくなっているのは、実験においてチャック内の鉄筋が局所的に塑性し、その部分の塑性変形も実験値に含まれたためと推測される。



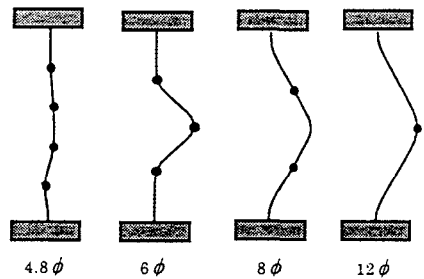
図－4 帯鉄筋を考慮した解析モデル



図－5 軸力－軸方向変位関係

4. 帯鉄筋が軸方向鉄筋の座屈に及ぼす影響

図－4に示すような帯鉄筋が組み合わされた解析モデルを仮定し、帯鉄筋が軸方向鉄筋の座屈挙動に及ぼす影響を検討した。解析は図－4に示すように、両端固定された長さ24φのD19鉄筋を軸方向鉄筋とし、帯鉄筋として長さ30cmのD13鉄筋をそれぞれ12φ、8φ、6φ、4.8φ間隔で配置したモデルにより行った。解析より得られた軸方向荷重－軸方向変位関係を図－5に示す。解析では帯鉄筋間隔を密にするほど降伏以降の鉄筋が保持する軸力の低下が緩やかになり、帯鉄筋間隔により塑性座屈挙動が大きく異なることが示されている。特に帯鉄筋間隔4.8φの場合には、荷重低下せず鉄筋の一軸圧縮挙動と同様な傾向を示している。図－6



図－6 軸方向変位1cm時の変形図

に軸方向変位1cm時の軸方向鉄筋の変形図を示す。図中●印は帯鉄筋位置を示しているが、帯鉄筋間隔が密になると帯鉄筋の座屈に対する抵抗力が大きくなるため座屈長さが短くなるとともに、ある程度の帯鉄筋間隔で軸方向鉄筋の座屈が抑制されることが本解析結果により示された。

5. 結論

- (1) 鉄筋単体の塑性座屈挙動は、有限変形理論に基づく解析により概ね評価することが可能になる。ただし、繰返し荷重下の挙動を検討する場合には精度のよい材料モデルを用いる必要があると考えられる。
- (2) 帯鉄筋の影響を考慮できる解析手法の開発を行い、帯鉄筋が軸方向鉄筋の座屈挙動に及ぼす影響を解析的に評価した。本解析によりある程度の帯鉄筋間隔を与えれば軸方向鉄筋の座屈を防止することが可能になることが示された。