

軸変形に高次要素を用いた RC 柱部材のファイバーモデル解析

名古屋大学工学部	学生会員	諏訪俊輔
名古屋大学大学院	正会員	中村光
名古屋大学大学院	フェロー会員	田邊忠顕

1. はじめに

ファイバーモデルを用いた RC 構造の解析は、簡便性と実用性を兼ね備えていることから、性能照査手法として幅広い利用が期待されている。ファイバーモデルに用いられるはり要素は、一般に曲げ変形に対し三次式、軸変形に対し一次式の補間関数が仮定される。しかし、RC 構造のように非線形挙動が卓越する部材では、変形が大きくなると、ある程度要素分割を細かくしないと変形を正確に補間できず、要素内で力の釣り合いが保証されない問題が生じる¹⁾。そこで本研究では、ファイバーモデルに軸変形に対する高次要素を適用することで、RC 部材の非線形解析の信頼性向上の可能性を検討した。

2. 高次要素

軸変形に対する高次要素として、図 1 に示すような各節点に軸変位 u と軸変位勾配 (軸ひずみ) u' を自由度として持つ 4 自由度のトラス要素を用いた²⁾。これにより変位関数が三次式と仮定でき、変位-ひずみマトリクス $[B]$ は式 (1) となり、軸ひずみ $\varepsilon(x)$ は二次式で表せる。

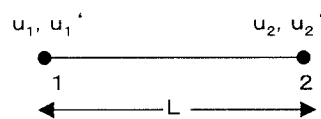


図 1 トラス要素モデル

$$\varepsilon(x) = [B][r] \quad [r]^T = [u_1 \ u_1' \ u_2 \ u_2']$$

$$[B] = \left[-\frac{6x}{L^2} + \frac{6x^2}{L^3}, 1 - \frac{4x}{L} + \frac{3x^2}{L^2}, \frac{6x}{L^2} - \frac{6x^2}{L^3}, -\frac{2x}{L} + \frac{3x^2}{L^2} \right] \quad (1)$$

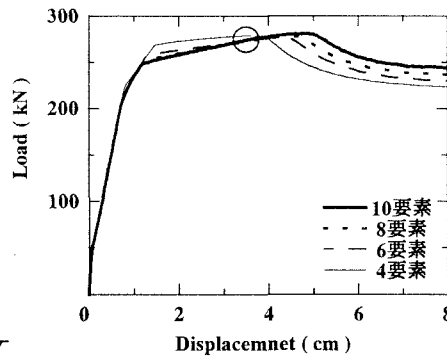
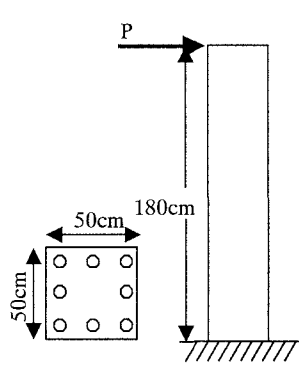
用いた高次要素は変位勾配 (軸ひずみ) を自由度に持つことから要素節点での軸ひずみの連続性が考慮されることに特徴がある。

3. 解析概要

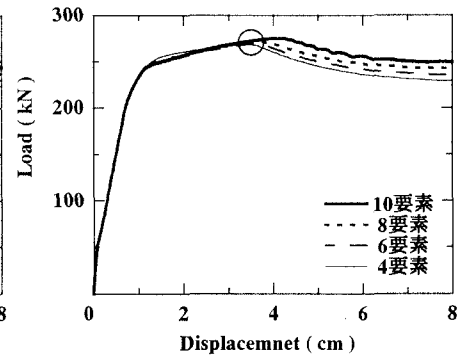
図 2 に示す矩形断面を有する RC 柱の単調荷重解析を、断面を 40 等分割、一要素に 10 個の積分断面を設け、変位制御で行った。解析は、部材軸方向に 4, 6, 8, 10 要素に等分割した 4 ケースに対し、一般に用いられる一次要素と高次要素を用いた場合について検討した。また断面解析によりモーメント-曲率関係ならびにモーメント-軸ひずみ関係を計算し、部材軸方向のモーメント分布に対応する、部材軸方向の曲率、軸ひずみ分布を正解値としてファイバーモデルとの比較を行った。

4. 解析結果

図 3 に、要素分割を変化させた時の荷重変位曲線を示す。図 3(a) に示す一次要素を用いた解析では、要素分割により鉄筋降伏後の荷重変位関係にばらつきが見られ、そのばらつきは要素寸法が大きくなるほど顕著になることが分かる。一方、図 3(b) に示す高次要素を用いた解析では、ピークに達するまでは要素分割数によらずほぼ同じ曲線となり、要素寸法依存性が軽減され解の信頼性が向上したことが伺える。また、最大荷重時の変位についても高次要素を用いることで、そのばらつきが低減できることが分かる。鉄筋降伏後、変位が 3.5cm の時点 (図 3 の○の時点) における、8 要素分割したケースの各積分断面から得られた軸ひずみ、曲率分布および断面力分布を図 4 に示す。図中、点線が一次要素を用いた解析、実線が高次要素を用いた解析で、破線は断面解析より得られた正解値である。また、断面力分布中の○印は節点での断面力の値を示している。軸ひずみ分布



(a)一次要素の場合



(b)高次要素の場合

図2 解析概要

については、断面解析より得られた正解値によれば、連続的に変化することが分かる。一次要素を用いた場合には、軸ひずみの節点における連続性が考慮されていないため要素間で不連続な分布性状となり、また、一次要素の仮定より要素内では一様な値を示し、明らかに正解値と異なる分布性状を表すことが分かる。それに対し、高次要素を用いた場合には、軸変位勾配を自由度に加えたことにより連続的に分布し、正解値とほぼ等しい性状を示すことが分かる。曲率については、一次要素、高次要素とも、節点における連続性を考慮していないが、高次要素を用いた場合には連続的に変化するようになり、正解値と同様の分布になることが分かる。軸力については、軸方向には荷重を加えていないため、正解値は0である。一次要素、高次要素ともに力の釣り合い条件を満足するために節点では0となるが、要素内では力の釣り合い条件を満足せず、その値のばらつきがみられる。しかし、高次要素を用いることによってこのばらつきを低減できることが分かる。モーメントに関して、正解値は直線分布を示す。高次要素を用いた場合は、節点での力の釣り合いは満足しているが、要素内で若干のばらつきがみられた。

5. まとめ

軸変形に対する高次要素を用いたことにより、ピークまでの荷重変位関係の要素寸法依存性を排除でき、ある程度大きめの要素寸法も適用可能であることが明らかになったといえる。また、軸ひずみ、曲率分布についても、正解値とほぼ同様の傾向を示すことが分かり、ひずみを用いた材料の損傷度評価をより適切に行うことができる可能性が示された。また、軸力の要素内の値のばらつきを抑えることができた。

6. 参考文献

- 1) コンクリート標準示方書〔耐震性能照査編〕改訂資料, 土木学会, 2002
- 2) 鷲津久一郎ら: 有限要素法の基礎と応用, 培風館, 1979

図3 荷重変位曲線

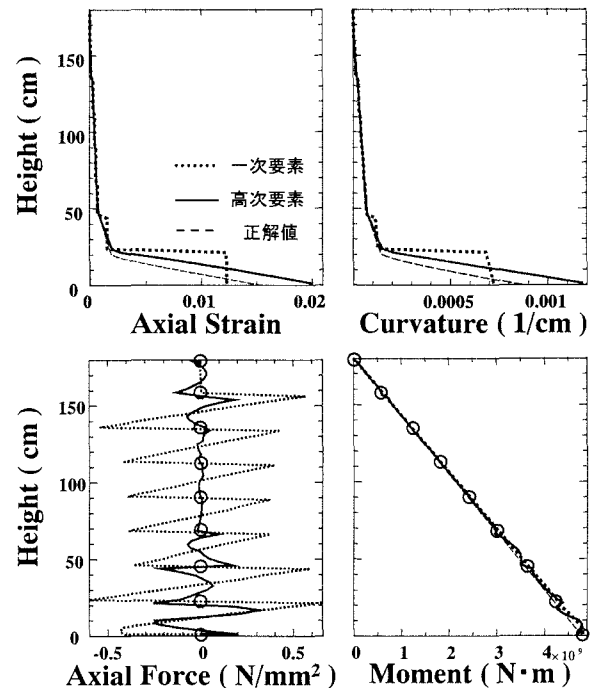


図4 8要素分割した場合の断面力および軸ひずみ、曲率分布