

バネ・剛棒一体型要素による2次元複合非線形骨組構造解析

佐賀大学大学院 学 ○佐野翔太郎

同 正 井嶋克志, 同 正 帯屋洋之

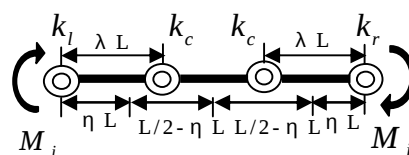
1. まえがき

骨組構造物の曲げ破壊を伴う動的現象を実用的範囲で解析を行うためのモデルとして、剛体バネモデルや一要素曲率一定とするファイバーモデルなどが使用されている。しかし、これらのモデルはそのモデル化に起因して曲げ降伏前の弾性域における解析精度に問題を有し、この解析精度が全体的非線形挙動に影響を及ぼしていると考えられる。

本研究は、剛体バネモデルが構造物全体を剛体とバネによってモデル化するのに対して、バネと剛棒によって弾性時の要素端挙動が弾性梁と等価となる一体型要素を構造物に適用するものである。本モデルは複数のバネを一要素内に配置するため、既存の非弾性解析モデルに比べ複雑に見えるが、数値計算の結果、非弾性挙動に幾何学的非線形までも加えた複合非線形解析についても安定かつ速やかな反復収束計算可能であることが判明した。

2. 4点バネ・剛棒一体型要素

図-1に示すように、一要素内部に4個の回転バネを配置した要素を使用する。各回転バネは要素内の4区間を曲率一定と仮定して定まるバネ定数を持つものである。



曲率一定区間

⊙: 回転バネ

図-1 剛棒4点バネ一体型要素

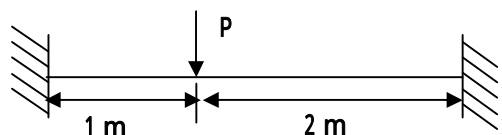
骨組構造物に曲げ破壊が生じる現象を棒要素で表すために、RC構造の解析で一般的に用いられる塑性ヒンジ長の概念を導入し、この塑性ヒンジ長間を曲率一定とする

要素を使用する。4点バネ・剛棒一体型要素において、要素端について塑性ヒンジ長区間を曲率一定することにより要素端部に設置するバネの特性が定まり、弾性時における本要素のひずみエネルギーが弾性梁と等価となるように内部バネの位置およびそのバネ定数を定めれば、弾性時の解析精度が保証された要素を使用したことになる。また、曲げ降伏後は定めた塑性ヒンジ長に従った非弾性挙動を示すものである。

3. 複合非線形解析のアルゴリズム

一要素一定曲率を用いるファイバー要素が荷重増分幅により解が変動するのに対して、この4点バネ・剛棒要素を使用した場合、荷重増分の大きさに関わらず常に同一の解を与える。この利点により、荷重増分幅に関わらず非弾性履歴特性における割線剛性を用いることが可能となる。したがって、まず、節点変位→要素端変形→要素端力→節点不平衡力の算定ループ中、一定の割線剛性を用いた幾何学的非線形解析により収束解を求める。次に、この収束解について厳密な非弾性履歴特性を用いた不平衡力の算定と収束評価を行う2段の反復手法を用いれば、安定な複合非線形解析を行うことができる。

4. 2次元非弾性解析例



伸び剛性 $EA = 10000 \text{ kN}$
 曲げ剛性 $EI = 10000 \text{ kNm}^2$
 降伏後曲げ剛性 100 kN
 塑性ヒンジ長 $\eta l = 0.1 \text{ m}$
 降伏モーメント 300 kNm

図-2 両端固定梁

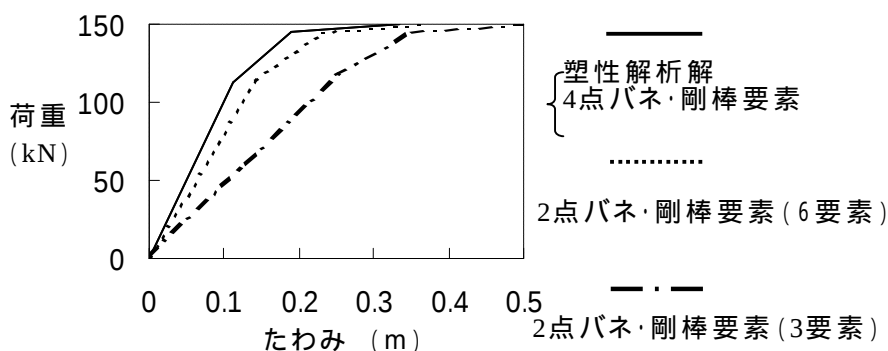


図-3 荷重-たわみ曲線

図-2 に示す両端固定梁に対して4点バネ・剛棒一体型要素を適用し、微小変位理論に基づく非弾性解析から本要素モデルの特性を示す。この数値計算例は文献 1) に示されているものであり、文献が示す塑性解析解、要素両端のみにバネを設置する2点バネ要素を使用した解と本4点バネ・剛棒要素2要素による解を比較して図-3 に示している。この梁の曲げモーメント曲率関係は完全弾塑性としているため、塑性解析が可能となる。

図-3 が示すとおり、4点バネ・剛棒要素の解は2要素の分割のみで塑性解析解と一致する。しかし、一要素として弾性時のひずみエネルギーに誤差を有する2点バネ要素の解は要素分割を増やせば塑性解析解に近づくものの、解析精度を上げるためには相当な分割を要することが判る。

5. 2次元複合非線形解析例

図-4 に示す両端固定アーチを用いて計算を行う。

下に示す図-5 は、複合非線形解析と幾何学的非線形解析の比較を行ったものである。これより、4点バネ・剛棒一体型要素を用いた複合非線形解析は、弾性梁を用いた幾何学的非線形解析と、塑性ヒンジ発生点までは完全に一致しており、弾性時の精度が保証されることが確認された。また、塑性ヒンジ発生が発生する荷重2300kNを一括荷重すると、672回の安定した反復計算回数の基に、収束解を得ることができた。

また、その時の幾何学的非線形と複合非線形の変位量の違いを、図-6 の変形図に示す。

よって、解析例からも、4点バネ・剛棒一体型要素を用いた複合非線形解析が有用であることがわかった。

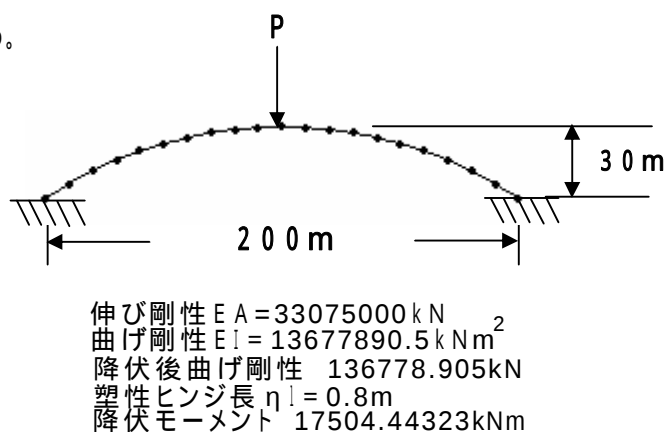


図-4 両端固定アーチ

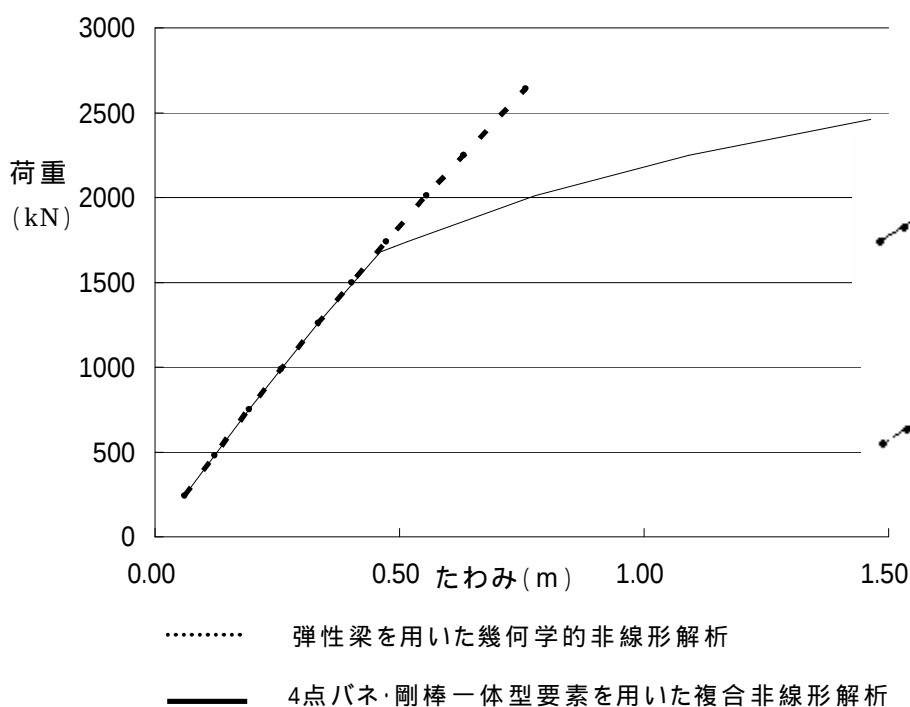


図-5 荷重-たわみ曲線

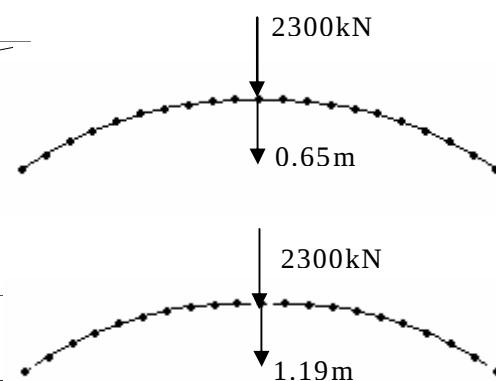


図-6 アーチ変形図
上：幾何学的非線形
下：複合非線形

参考文献

- 1) 培風館 川井忠彦：離散化極限解析法概論 平成3年6月
- 2) 岩崎、井嶋、帯屋、井口：剛棒とバネ一体型非弾性要素を用いた2次元骨組構造解析、土木学会西部支部研究発表会講演概要集