

I-88

線形化有限変位解析による有効座屈長の算定方法

三菱重工 正員 鈴木 亘 東京大学 正員 堀井 秀之
 東京大学 正員 長谷川 彰夫 東京大学 正員 西野 文雄

1. まえがき 設計者に非線形構造解析を委ねる新しい安全性照査体系の可能性を考えると、特に面外問題に対して解決すべき問題点が多くあるものと考えられる。それは、例えば初期不整の与え方やその妥当性の検証方法などである。現時点においては現行の設計のように基準耐力曲線に基づく安全性照査方法が現実的であるといえる。しかし、現行の設計基準においては有効座屈長の算定方法に検討の余地がある。道路橋示方書では、有効座屈長を簡単な構造に対しその構造形式、境界条件により大まかに定めてはいるが、本来、骨組構造物の有効座屈長は荷重条件や剛性分布にも依存するため、任意の荷重条件、構造に対して設計基準において対応することは難しい。構造全体に対する固有値解析による有効座屈長の算定方法も提案されているが、軸圧縮力の小さい部材に対して特別な配慮が必要である。本研究では有効座屈長を幾何学的非線形性の程度を表すパラメータとしてとらえ、線形化有限変位解析により求まる付加曲げモーメントを用いて有効座屈長を算定する方法を提案する。

2. 有効座屈長の意味 幾何学的非線形性に起因する現象としては付加曲げモーメントや曲げ座屈などがあるが、曲げ座屈も初期不整によって生じる曲げモーメントが軸力によって増加することにより限界状態に至るものと考えれば、幾何学的非線形性とは軸力による曲げモーメントの増加のことであると理解される。現行の設計において用いられている有効座屈長は、単体の柱に対してはその物理的意味が明確であるが、一般の骨組構造物においては必ずしも明確ではない。ここでは有効座屈長を各断面における幾何学的非線形性、即ち付加曲げモーメントの程度を表すパラメータと考え、付加曲げモーメントの大きさから各断面における有効座屈長を算定することを考える。その付加曲げモーメントを算定するために線形化有限変位解析(LFDA)を用いることとする。

3. 線形化有限変位解析による有効座屈長の算定方法 両端単純支持の等断面梁-柱に一樣な曲げモーメントと軸方向圧縮力が作用する場合、部材中央部における曲げモーメントは式(1)のように与えられる。

$$M_{NL} = M_{LIN} / (1 - N/P_E) \quad (1)$$

ここに、 M_{NL} = LFDAによる曲げモーメント； M_{LIN} = 微小変位解析による曲げモーメント； N = 作用する軸力； P_E = 弾性座屈荷重を表す。

ここで、一般的な骨組構造物のある断面について着目して P_E を付加曲げモーメント、即ち幾何学的非線形性の程度を表すパラメータ P^* に置き換えて式(2)を導入する。

$$M_{NL} = M_{LIN} / (1 - N/P^*) \quad (2)$$

線形化有限変位解析による M_{NL} 、微小変位解析による N および M_{LIN} を用いることによって P^* が各断面に対して値が定まる。この値が小さいほど付加曲げモーメントが大きいことを表すことになる。この P^* を用いて有効座屈長を式(3)のように定義する。

$$L^* = \pi^2 EI / P^* \quad (3)$$

ここに L^* は有効座屈長を表す。この式により付加曲げモーメントの効果から有効座屈長を算定することができる。たとえば、両端単純支持の等断面梁-柱の中央点では P^* および L^* は P および $kL = L$ と等しくなる。

・計算例 図1-aに示すL型ラーメンの垂直部材の長さを変えて線形化有限変位解析により有効座屈長を求めた。また比較のため道路橋示方書の表及び全体固有値解析により有効座屈長を求め、これらの有効座屈長を用いて道路橋示方書の基準に基づき耐力を算定した。また、線形化有限変位解析によ

り直接照査する方法によっても耐荷力を算定した(図1-b)。これによると、線形化有限変位解析により有効座屈長を求める方法による耐荷力は線形化有限変位解析により直接算定した耐荷力とよく一致している。道路橋示方書の表の有効座屈長による耐荷力は $L/r > 170$ の範囲で大きく低下している。また、全体固有値解析により有効座屈長を定めた結果は $L/r > 70$ で低い耐荷力を与えている。この範囲では線形化有限変位解析に基づく2つの方法では梁部分が限界状態に至っている。

4. 軸圧縮力部材について 軸圧縮力のみが作用する部材に対しては付加曲げモーメントが発生しないため式(2)をただちに適用することはできない。このような部材に対しては小さな初期不整(横方向分布力)を与えることにより付加曲げモーメントを発生させればよい。この際、初期不整の大きさが問題となるが、さまざまな初期不整に対し有効座屈長を与えたところ初期不整の大きさによる影響はみられなかった。

・計算例 図2-aに示す軸方向圧縮力のみを受ける部材を含むT型ラーメンの垂直部材の長さを変えて線形化有限変位解析により有効座屈長を求めた。この場合垂直部材には初期不整を与えて曲げモーメントを発生させて計算することとなるが、初期不整の大きさにより有効座屈長が影響されないことを確かめるために $qL/P = 1/62.5$ および $qL/P = 1/250$ の初期不整を与えて有効座屈長を算定した。また比較のため道路橋示方書の表及び全体固有値解析により有効座屈長を求め、これらの有効座屈長を用いて耐荷力を算定した。さらに線形化有限変位解析により直接照査する方法によっても耐荷力を算定した(図2-b)。これによると、線形化有限変位解析により有効座屈長を求める方法による耐荷力は、固有値解析より求まる有効座屈長に基づく耐荷力、及び線形化有限変位解析により直接算定した耐荷力と良く一致している。また、解析の際に加える初期不整の大きさの影響はほとんど見られなかった。

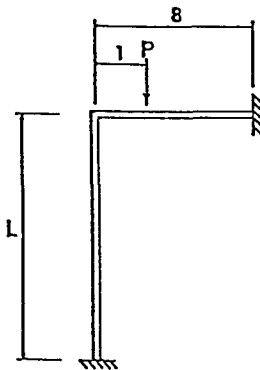


図1-a

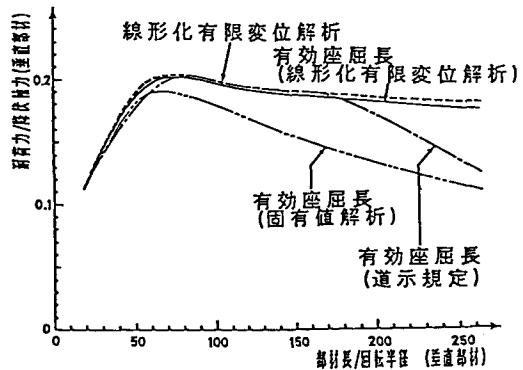


図1-b

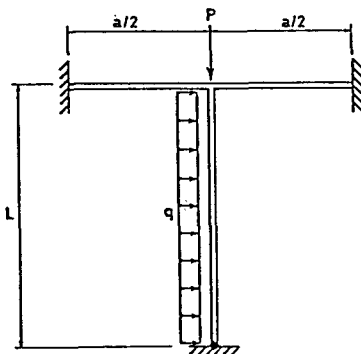


図2-a

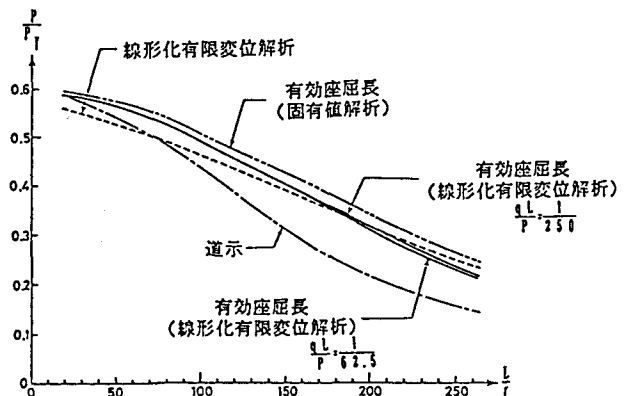


図2-b