

I-87

線形化有限変位解析に基づく骨組構造物の安全性照査体系(面外問題)

J R 東日本 正員 奥野 剛司 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

1. まえがき 現行の設計における安全性、経済性を等価に保つという前提にたつて設計に非線形構造解析を用いることを考えれば、用いるべき構造解析法は線形化有限変位解析(LFDA)である。分岐座屈が問題となる部材に対しては初期不整を与えて解析を行なうことが必要となる。初期不整を合理的に与えることが重要な課題となるが、面内問題のみを考えるとときには軸圧縮力の卓越した部材の曲げ座屈に対して配慮すればよく、与える初期不整の妥当性の検証や与える方向などについての検討が必要とはいうものの、設計方法における大きな問題は見あたらない。しかし、実際の設計では曲げ座屈だけでなく、横倒れ座屈及びそれらの連成座屈に対する安全性を照査する必要がある。面内問題についてはLFDAを行い、面外座屈については強度を低減するという方法は整合しにくい。必然的に面外問題に対する初期不整を与え、LFDAにより立体解析を行なうこととなる。面外に対する初期不整を与えるのか、その妥当性をどのように検証するのか等考えるべき問題点は数多い。また、対傾構等の二次部材の取扱いも問題となる。ここでは面外問題に焦点をあて、LFDAによる設計方法の問題点、可能性、研究すべき課題などを検討する。

2. 面外問題に対する初期不整 面内に対する初期不整は、横方向の外乱力を加えるだけでよいが、面外座屈に対しては面外方向力とねじれの二通りが考えられ、どのように初期不整を与えるかが問題である。ここでは初期不整のパラメータとしてねじれの大きさを表す $\beta = cL/M$ 及び横方向荷重の大きさを表す $\gamma = qL/c$ の値を様々に変えて等曲げを受ける両端単純支持梁の耐荷力解析を行ない、その結果を現行の基準耐荷力曲線と比較した(図1-a, b, c)。これを見ると面外の初期不整として与える横方向荷重(γ)の影響はねじれモーメント(β)の影響と比較して小さいといえる。従って面外初期不整としてはねじれのみを考え、基準耐荷力曲線とはば一致する $\beta = 0.01$ を用いることとした。この初期不整は、横倒れ座屈が問題となるような桁高の大きい断面に対して定めたものであるが、他の断面についてもこの $\beta = 0.01$ を用いて耐荷力を計算した(図2)。道路橋示方書の基準耐荷力曲線は横倒れ座屈の実験に直接基づくものではなく、St. Venant のねじれを無視し、反りねじれの影響のみを考慮して算定されたものである。St. Venant のねじれが無視できない、このような桁高の小さい断面の部材に対して基準耐荷力曲線は有効であるとは考えられず、このように大きな差が現われたのは当然である。比較する対象が少ないため、面外に対する不整の選択とその妥当性の検証は必ずしも容易ではない。

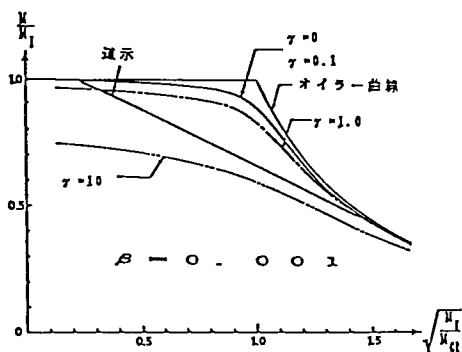
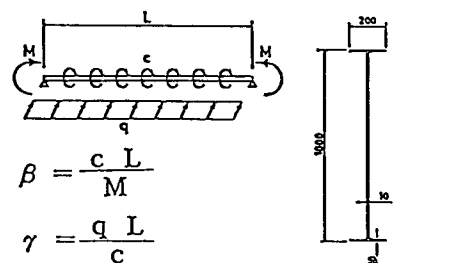


図1-a

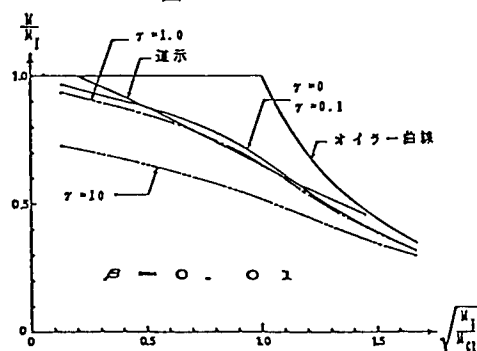


図1-b

3. 計算例 この面外の初期不整が妥当なものであるかどうかは分からないが、この初期不整を用いて簡単な骨組構造物を解析した。図3-a に示すような二本の主桁がその中央で二次部材によって連結されている構造を考える。この二次部材の剛性を変えて耐荷力の解析を行なった。初期不整をかける方向としてはさまざまな方向が考えられるが、そのそれぞれについて解析を行なった(図3-b)。道路橋示方書ではこのような構造の場合二次部材の剛性を0または無限大として照査することとなるが、線形化有限変位解析よれば二次部材の剛性を考慮しながら解析することができる。得られた耐荷力は二次部材の剛性によって変化し、また初期不整をかける方向により構造物の耐荷力は異なる。

4. まとめ 線形化有限変位解析による設計を確立するためには面外において解決しなければならない問題が多い。ここでは、横倒れ座屈が問題となるような桁高の大きな断面に対して初期不整を定めたが、その初期不整の妥当性を検証することは容易ではない。また、構造物の耐荷力は、初期不整の大きさだけでなく与える方向にも大きく依存する。この線形化有限変位解析に基づく設計方法によれば二次部材の影響により結果が異なり、解析には二次部材をすべて含めて立体解析を行なうこととなる。この他にも、非線形解析を行なう当然の帰結として重ね合わせの原理が適用できないため、組合せ荷重、移動荷重を考える場合、必要となる計算量は膨大になる。これらのことを考えると、現時点では現行の設計方法のように基準耐荷力曲線に基づく設計方法が現実的であることがよくわかる。しかし、現行の設計方法においては有効座屈長の算定方法が必ずしも明確ではなく、改善すべき点として残っている。

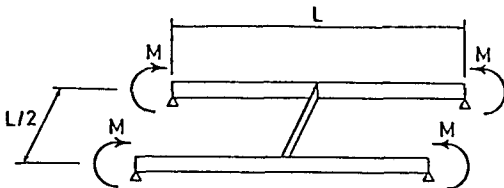


図3-a

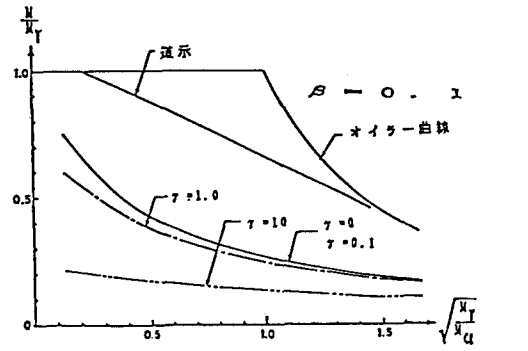


図1-c

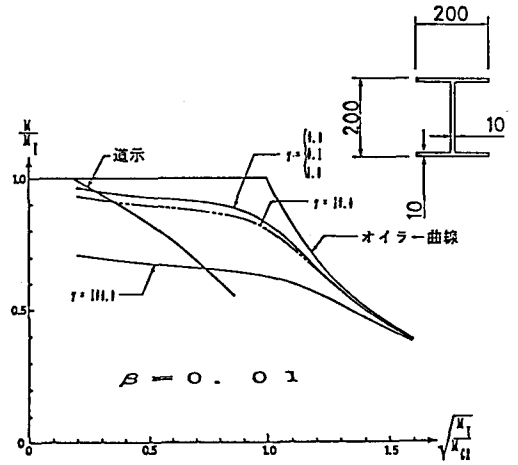


図2

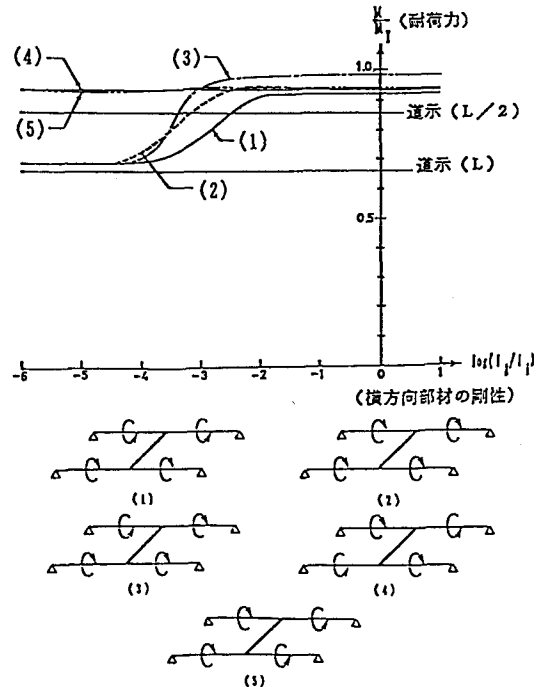


図3-b