

I-86

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(面内問題)

東京大学 正員 堀井 秀之 三菱重工 正員 鈴木 亘
J R 東日本 正員 奥野 剛司 東京大学 正員 西野 文雄

1. まえがき 現行の骨組構造物の設計における安全性の照査は、設計者に微小変位解析を委ね、本来構造解析において取り扱うべき幾何学的非線形性の効果を設計基準において規定するという方法を用いているため、設計基準が複雑で分かりにくくなっており、必ずしも常に合理的な設計になっているとはいえない。例えば有効座屈長の算定方法がこれに当たるであろう。過去の状況を考えればこのような照査体系をとったのは当然のことといえるが、計算機及び構造解析理論の進歩を考えると、将来の安全性照査体系として設計者に非線形計算を委ね設計基準を合理的なものに変えるという方向が一つの可能性として考えられる。ここでは、現行の設計における安全性や経済性を等価に保つことを前提として、非線形解析に基づく設計方法を考える。まず面内問題を対象に検討する。

2. 線形化有限変位解析による設計方法 現行の設計基準の曲げと軸力を受ける部材の照査式を基に考えれば、取り扱われている幾何学的非線形性は梁-柱の方程式程度のものであるといえる。これと同程度の幾何学的非線形性を考慮している解析法が線形化有限変位解析である。ここでいう線形化有限変位解析(LFDA)とは、初期形状において線形化された支配方程式に基づく解析方法であり、梁-柱の支配方程式を骨組構造物に対して解くことと等価である。まず安全率を除いてLFDAに基づく照査方法を考える。現行の設計において、初期降伏荷重を終局限界荷重の近似値として用いていると解釈すれば、図1(a)に示すような場合、幾何学的非線形性は構造解析で考慮されているため、設計荷重に対する発生応力 σ_{NL} をLFDAにより求め、それを材料強度 σ_Y と比較することにより照査することとなる。すなわち、照査式は式(1)のようになる。

$$\frac{\sigma_{NL}}{\sigma_Y} \leq 1 \quad (1)$$

しかし、図1(b)の場合のような分岐座屈が問題となる部材に対しては配慮が必要である。軸圧縮力のみが作用する部材に対して線形化有限変位解析を行なうと、耐荷力は降伏軸力あるいは弾性座屈荷重となるが、実際の耐荷力は初期たわみや残留応力などの不整の影響により低減する。そこで、このような部材に対しては、実際に含まれている不整を簡単に置き換えた初期不整を与えて解析する必要がある。それぞれの構造物に対して初期不整を与えて構造解析を行なうことを考えれば、実際の設計に用いる初期不整は簡単なものでなければならない。ここでは初期不整として軸方向圧縮力Pに対して一定の比率で横方向分布力qLを与えることとする。図2に示すように、両端単純支持の等断面柱の部材長を変えて様々な初期不整を与え耐荷力の解析を行なったところ、 $qL/P=1/40$ とすることにより、結果は道路橋示方書の基準耐荷力曲線とほぼ一致した。軸圧縮力の卓越した部材に対して、この初期不整を用いることとした。

3. 計算例 簡単な骨組構造物について線形化有限変位解析により耐荷力を求めた。また、比較のために道路橋示方書の規定に基づいて耐荷力も求めた。図3に示すようにL型ラーメンに荷重し、水平部材長を一定に保ち垂直部材長を変えて耐荷力を求めた。初期不整については、これをX軸の正の方向および負の方向加える場合、これを入れない場合の三通りについて計算した。これをみると、部材長が長くな

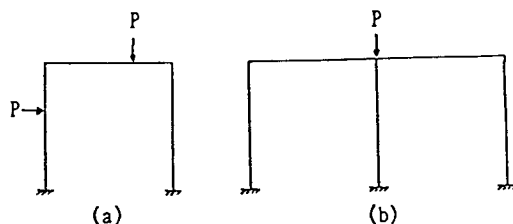
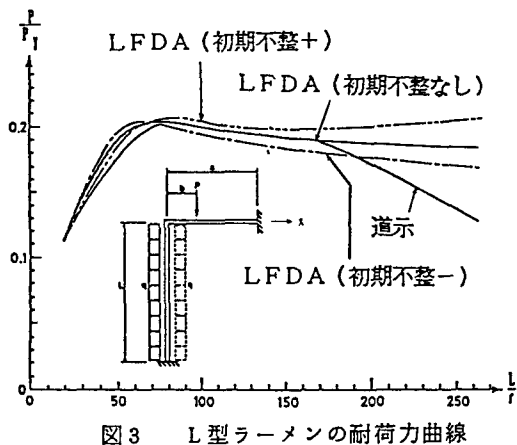
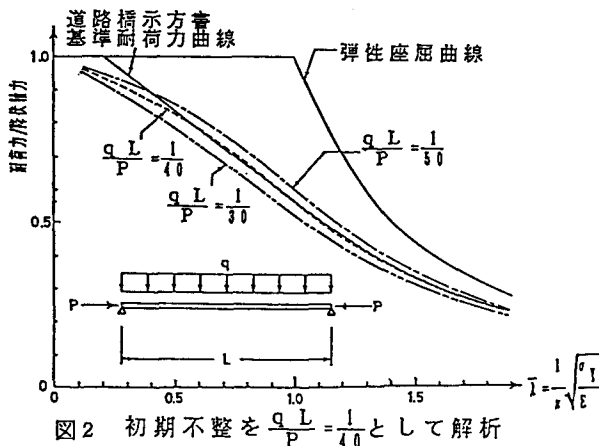


図1 一般的な骨組構造物

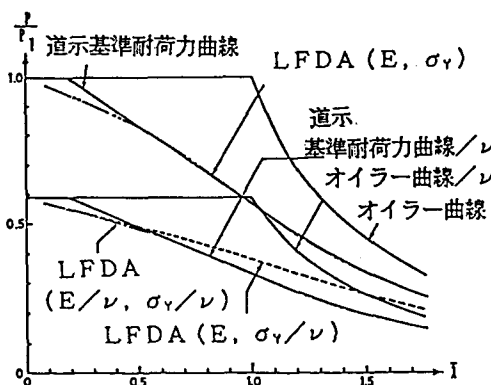
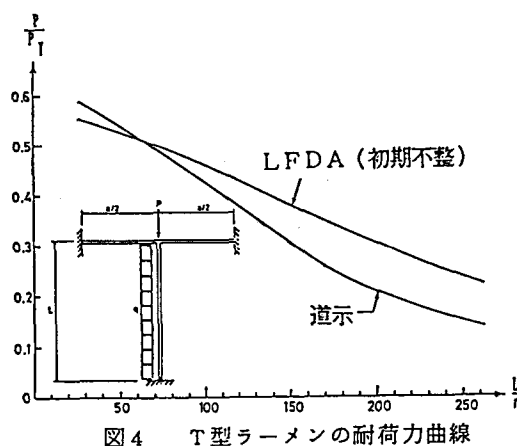


ると道路橋示方書の規定による耐荷力が他の方法の耐荷力より下回っている。これはLFDAでは梁が限界状態に達しているのに対し、道示規定では柱が限界状態に達していることによる。次に図4に示すようにT型ラーメンの水平部材長を一定にして垂直部材長を変えて耐荷力を求めた。この場合LFDAによる結果と道示による結果の違いは道示規定において表に与えられた有効座屈長を用いたことに起因するものと考えられる。

4. 安全率 安全性の照査に当たり、施工ミスや人的過誤等の不確定な要因に対する安全性を確保するために安全率 ν が用いられている。LFDAに基づく設計方法において安全性を確保する方法としては、式(2)により照査するのが自然である。

$$\nu \frac{\sigma_{NL}}{\sigma_Y} \leq 1 \quad (2)$$

しかし、これで安全性が十分に確保されるかは明らかではない。柱を例にとれば、現行の設計では基準耐荷力曲線を安全率で除し作用軸力と比較している。図5に示すように設計荷重に対しLFDAにより求める σ_{NL} と σ_Y/ν を比較するだけでは不十分である。このことは弾性座屈荷重が σ_Y に依存しないことから明らかであろう。LFDAにおいて E/ν を用いて求めた σ_{NL} と σ_Y/ν を比較した結果は基準耐荷力曲線を安全率で除したものと一致する。このことは設計荷重に対して E/ν を用いLFDAにより σ_{NL}



を求め、式(2)により照査すれば現行の設計と同じ安全性が確保されることを意味している。これは、設計荷重の ν 倍の荷重に対し、 E を用いてLFDAにより求めた σ_{NL} と σ_Y を比較することと、今考えている条件の下では等価である。しかし、このこと実際に構造物に設計荷重を載荷することは全く別のことである。混乱を避けるためには常に前者のように考える方が望ましい。