

東京都立大学 学生員 小林岳彦

東京都立大学 正 員 野上邦榮

東京都立大学 正 員 成田信之

1. まえがき 骨組構造物の耐荷力を算出するには数々の解法¹⁾²⁾があるが、構造物の構成部材数が増加するにつれ特性方程式が複雑になり数値解を得るのに多大な労力が必要になる。本研究では、現在のところ最も厳密であるとされる弾塑性有限変位解析³⁾を用いず、実務設計に適用する観点から柱の非弾性を考慮した構造物全体系の固有値解析により耐荷力を求める簡易法について検討した。

2. 簡易耐荷力算出法 接線弾性係数 E_t ⁴⁾を素材に固有の値ではなく、部材断面を包括的にみたパラメータであって初期不整や溶接残留応力にも依存するものと仮定し、 E_t とヤング率 E の比を

$$\xi = E_t / E \quad \dots \quad (1)$$

と置くと、細長比 L/r_c の柱の非弾性座屈荷重は

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E \xi}{(L/r_c)^2} \quad \dots \quad (2)$$

のように応力表示することができる。いま推定座屈応力とEuler応力の比 σ_{es}/σ_e は

$$\frac{\sigma_{es}}{\sigma_e} = \frac{[\sigma \text{ における } \xi]}{[\text{弾性状態の } \xi = 1]} = \xi (\sigma/\sigma_y) \quad (3)$$

と与えることができる。ここに σ_y は降伏応力。

最近の耐荷力解析の整理方法として、細長比に

$$\lambda^2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_e} = \frac{1}{\pi^2} \frac{\sigma_y}{E} \left[\frac{L}{r} \right]^2 \quad \dots \quad (4)$$

を用いることが多い。このパラメータ λ を用いると、任意の応力とEuler応力の比 (σ/σ_e) は

$$\frac{\sigma}{\sigma_e} = \lambda^2 \frac{\sigma}{\sigma_y} \quad \dots \quad (5)$$

と表わすことができる。したがって、図-1のように横軸に σ/σ_y をとり、縦軸に同じスケールで σ/σ_e と σ_{es}/σ_e ($=\xi$)をとって同じ図上に式(3)式(5)の関係を表わす曲線を描くものとする、現実の座屈応力 σ_{cr} は2曲線の交点として得られ、また剛性低下率 ξ も ξ_{min} として得られることになる。

このことから、柱の耐荷力曲線などを変形して $\xi \sim \sigma/\sigma_y$ 関係を予め設定しておくことができれば、上記の関係を利用

して骨組構造物の耐荷力を比較的簡略な方法で近似的に求めることが可能になる。以上のような考えをもとにした本解析の手順を図-2に示す。まず想定荷重に対して構造物の弾性解析を実行し、各部材の軸力を求める。求められた各部材の軸力と断面積からそれぞれの部材の軸応力度を求める。この軸応力度から各部材の剛性低下率 ξ を求め、部材の曲げ剛性率 EI に ξ を掛け見かけ上の曲げ剛性 EI を決める。各部材はそれぞれ曲げ剛性 EI を持つものとして、固有値解法⁵⁾により構造物の耐荷力を求める。

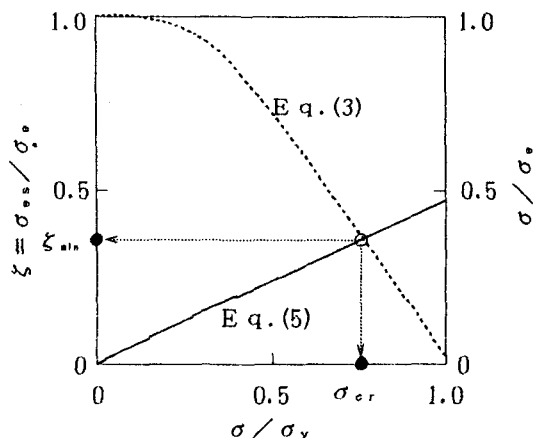


図-1 簡易法の基本的考え方

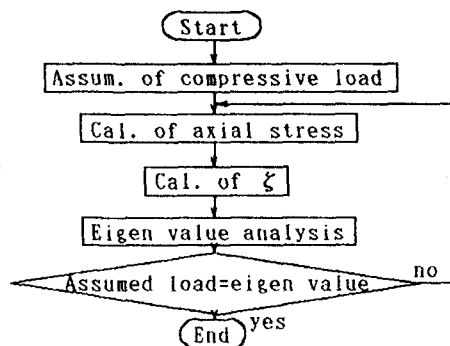


図-2 簡易法の流れ図

3. 解析結果 骨組構造物の耐荷力解析

の具体的計算例として端部が固定の門形ラーメンを取り上げて数値計算を行った。はりとの剛性比 $\alpha (= I_b L / I_c B) = 1$ における弾性固有値解析、弾塑性有限変位解析、そして道路橋示方書⁶⁾ (以下JSHB) およびSSRC curve-1⁷⁾ (以下SSRC) の柱の基準耐荷力曲線を用いた本解析の結果を示したのが図-3である。縦軸には降伏荷重に対する耐荷力の無次元量、横軸には柱の細長比 L/r_c をとった。

JSHBによる本解析は弾塑性有限変位解析

に比べて最大で10%程度低めの値を与えている。逆にSSRCによる結果は最大10%ほど高めになっている。

次にラーメン構造物の代表的なものとして実橋の主塔について解析を行った。まず図-4は本州四国連絡橋下津井瀬戸大橋塔をとりあげたものである、縦軸には耐荷力を横軸には水平材剛性パラメータ $f (=1$: 実橋) をとっている。図-3同様、弾塑性有限変位解析に比べて本解析解はJSHBで低めにSSRCで高めにあらわれたが、この条件の場合にはSSRCの曲線を用いた場合の解の精度がたいへん良い。次に大島大橋の耐荷力解析を行ってみた結果

を図-5に示す。この場合もJSHBの耐荷力曲線を使用したものがやや安全側すぎる結果をもたらしている。

図-3~5から明らかに、本解析法では使用する耐荷力曲線の選択により求められる耐荷力が大きく変化することがわかる。

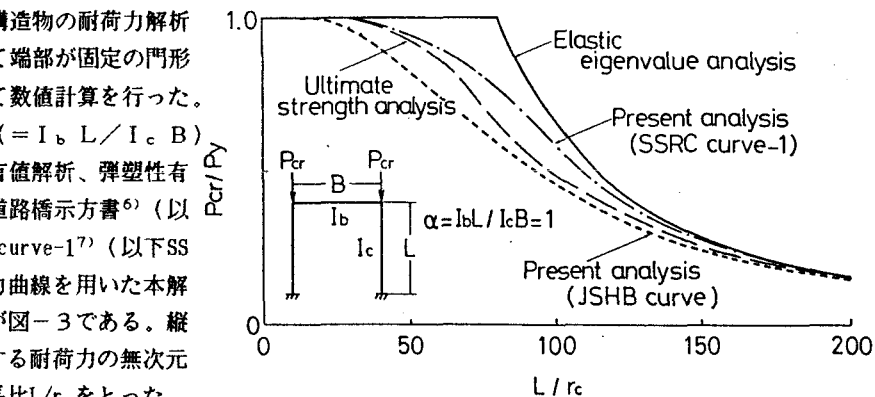


図-3 門形ラーメンにおける耐荷力曲線の比較

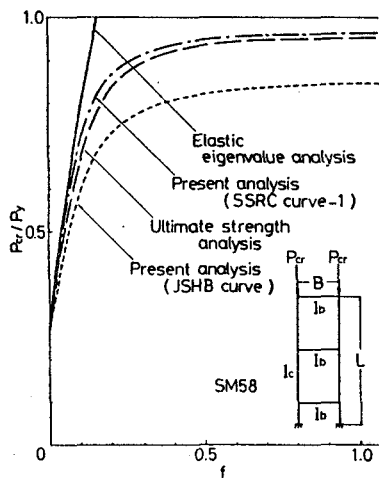


図-4 下津井瀬戸大橋耐荷力解析

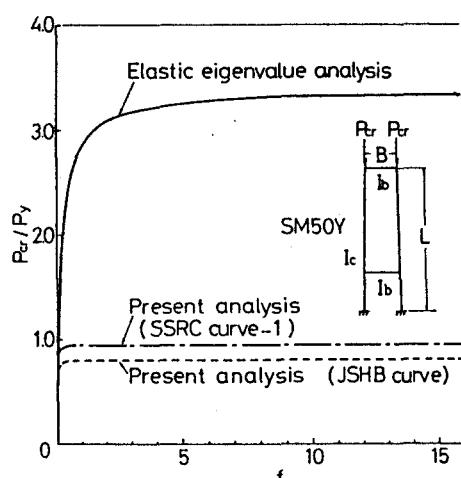


図-5 大島大橋耐荷力解析

¹⁾ 土木学会・本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員会：本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書、別冊1、主塔設計方法に関する検討、1980.3

²⁾ Yura, J.A. : Effective Length of Columns in Unbraced Frames, AISC Engineering Journal, Vol.8 No. 2, April, 1971

³⁾ 伊藤文人・野上邦榮・田中充夫：ラーメン形式吊橋主塔の耐荷力解析、構造工学論文集、Vol.34A、1988

⁴⁾ Hans H. Bleich : Buckling Strength of Metal Structures, McGRAW-HILL, 1952

⁵⁾ 小林岳彦・野上邦榮・伊藤文人：平面ラーメン構造物の実用的耐荷力算出法について、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集第12巻、日本鋼構造協会、1988,7

⁶⁾ 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (I 共通編 II 鋼橋編)、1980

⁷⁾ B.G. Johnston : Structural Stability Research Council. Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 3rd Ed. John Wiley & Sons, 1976