

東京大学大学院 学生会員 鈴木 篤
 東京大学工学部 正会員 三木千寿
 東京大学工学部 正会員 西野文雄

1 はじめに 鋼構造物の解析は、有限変位解析と微小変位解析、非弾性解析と弾性解析に大別できる。鋼構造物について、現在でも大部分が従来通り弾性微小変位解析を用いて設計されている。しかし近年の計算機の目覚ましい発達と普及、今後も予想される進歩により、解析費用は低減になりつつあり、がむりの規模の構造物の解析が経済的に可能になってきたことを考えるならば、現行よりも高度の解析理論を設計に用いることが、信頼性が高くひいとは経済的な設計につながる時点にきていると考えられる。構造物の設計にあつた非弾性有限変位解析を行えば、設計は断面力の安全率の検討で済まされ得る可能性もあるが、現状の計算機の程度では計算費用が膨大となり、必ずしも設計には適さない。そこで次善の解析法としては、弾性有限変位解析と非弾性微小変位解析のどちらかを選択することになる。有限変位の影響は構造物毎の幾何学的形状に大きく依存するのに対し、非弾性の影響は許容応力度の中を含めることで比較的統一して考慮できるので、この2つの解析法のうちでは、弾性有限変位解析の方がより適当であり、この解析法を用いて設計することを提案する。

2 固有値解析を用いた設計法 荷重の作用する面内へのみ変位する問題を対象とし、圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の安定照査式を取り上げる。現行設計の照査式は次の通りである。¹⁾

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_b / (1 - \sigma_c / \sigma_{ey})}{\sigma_{bao}} \leq 1 \quad (1)$$

ここに、 σ_c と σ_b は弾性微小変位解析で求められた圧縮応力度と曲げ圧縮応力度、 σ_{ey} は許容オイラー座屈応力度、 σ_{ca} は許容軸圧縮応力度、 σ_{bao} は許容曲げ圧縮応力度の上限値である。現行設計では、設計解析で無視している有限変位と非弾性の影響を許容応力の中を含め、さらに部材間の有限変位の影響を付加モーメントの補正項 $(1 - \sigma_c / \sigma_{ey})$ で考慮している。許容圧縮応力度は、いわゆる座屈長の関数として規定されている。現行設計では、種々の構造物について座屈長が与えられているが、一般的な構造物の座屈長の決め方は明確に規定されていない。そこでここでは断面応力を有限変位解析で求める上に、固有値解析を用いて構造物座屈時の各部材の圧縮力 N_{cr} を各部材のオイラー座屈荷重と見なすことで²⁾全体座屈も考慮した座屈長 l_e を提案する。すなわち、

$$l_e = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}} \quad (2)$$

ここに、 E と I は部材の弾性定数と断面2次モーメントである。この N_{cr} は各部材の形状特性のみによるのではなく、構造物全体の形状と荷重の載荷位置に左右され、これらの影響因子を考慮した結果としての座屈長が式(2)から求まる。現行の付加モーメントの補正式はsecant 公式の近似式で、両端で等曲げモーメントを受ける部材については有効であるが、不等曲げモーメントを受ける部材については曲げモーメントを大きく評価しすぎているので、式(1)に用いられている付加モーメントの補正項を除き、部材端の内力を応力境界条件として梁-柱の式 $EI\theta'' + Pw = 0$ を解いて、部材間の有限変位の影響を直接評価する。梁-柱の式の解法は手計算では困難としても、計算量的には現行の補正法を用いて照査するのと差はないと考えこよい。このような解析を行えば、安定照査式は応力照査式を兼ねて次のように表わされる。

$$\frac{\sigma'_c}{\sigma'_{ca}} + \frac{\sigma'_b}{\sigma_{bao}} \leq 1 \quad (3)$$

ここに、 σ'_c は弾性有限変位解析で求められた圧縮応力度、 σ'_b は弾性有限変位解析で求められた部材端の圧縮力と

曲げモーメントを応力境界条件として梁-柱の式を解いて得られた部材間の最大曲げ圧縮応力度、 σ_m は固有値解析で求められた座屈長と現行の基準耐力曲線に適用して得られた許容軸圧縮応力度、 σ_{b0} は許容曲げ圧縮応力度の上限値である。以上の解析を行い応力照査する設計では、有限変位の影響を解析で考慮し、非弾性の影響を許容応力度で考慮したことになる。

3 計算例

現行設計では変断面材について、座屈長を一定として便宜的に(1)式が全ての断面で満足することを規定している。ここで提案している設計法では変断面材を直接解き(計算機で具体的に解く場合には変断面材をいくつかの等断面材に近似して解くことになる)、変断面材の各断面で(2)式を満足することを照査する。階段上に断面形が変化する部材として解くものとすると、(2)式より提案設計では、近似した等断面材の数だけ座屈長が求まり、これよりその部分の許容応力が決まる。図1に示す変断面材を10個の等断面材に近似し、長手方向の許容圧縮応力度を求めた結果を図2に示す。現行設計の許容圧縮応力度は断面2次モーメントの大きい断面ほど大きくなるのに対し、提案設計では逆の傾向を示す結果となる。降伏応力は断面に係らず一定であるが、安定を考えるとある座屈荷重のもとで、変断面材全体が破壊し、座屈荷重は断面に係らず一定であるから、安定限界時の応力の分布状態の傾向は提案設計と一致する。従って現行設計より提案設計が合理的であることがわかる。提案設計では固有値解析という形で、変断面材全体の安定を考慮しているにもかかわらず、許容圧縮応力度を用いて安定の照査をする必要があるのは、部材中に含まれる残留応力や初期不整の影響を無視して弾性解析を行っているためであり、これらの影響を許容圧縮応力度の形で考慮している。この変断面材に、圧縮力1000

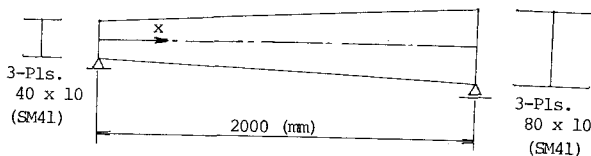


FIG.1. - Simply Supported Beam with Variable Section

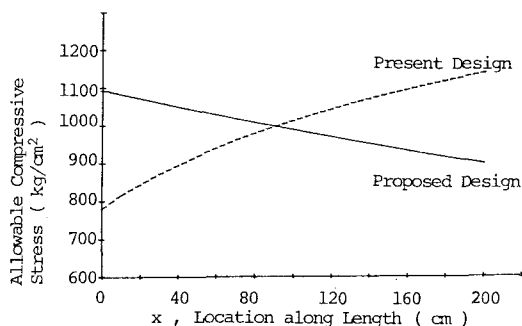


FIG.2. - Allowable Compressive Stress of Simply Supported Beam with Variable Section

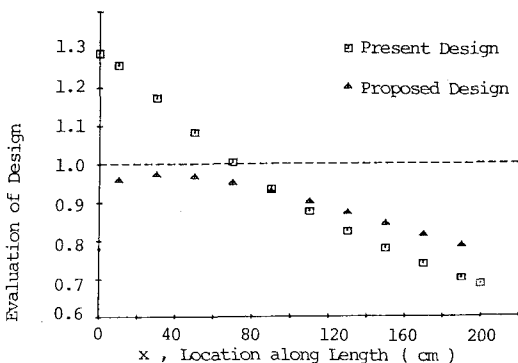


FIG.3. - Evaluation of Present and Proposed Design along the Length

kg, 曲げモーメントを右端に26000 kg·cm, 左端に1000 kg·cm 作用させ、設計照査を行った結果が図3である。現行設計では照査を満足しないが、提案設計では照査を満足する。この例では、許容圧縮応力度の違いに加えて、付加モーメントの補正の違いもかなり影響している。

4 まとめ 3の計算例から明らかのように、この提案設計により変断面材については、現行設計よりも合理的で経済的な設計ができる。また、ここでは例を上げただけだが、全体座屈の恐れのある構造物や座屈長が明確でない構造物については、固有値解析を行うことで現行設計よりも信頼性の高い設計になると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，丸善，昭和55年
- 2) 本州四国連絡橋公団：吊橋主橋設計要領・同解説，昭和55年