

芝浦工業大学 学生員 上田 浩章

芝浦工業大学 正会員 山本 一之

東京都立大学 正会員 野上 邦栄

1. まえがき.

現在、許容応力度設計においてラーメン構造を含む骨組構造物の耐荷力に対する照査を行う場合、有効座屈長という概念を用いることにより設計上対処している。しかし、この有効座屈長に基づく設計方法に批判的な論文⁽¹⁾⁽²⁾も数多く見受けられ、それに代わる方法として、最近欧州で有効座屈長を用いずに変形の影響を考慮した $P-\Delta$ 法や線形化有限変位理論⁽³⁾による解法が提案されている。ここでは、従来の有効座屈法を用いる方法と、変形の影響を考慮した $P-\Delta$ 法について実橋吊橋主塔を具体的数値計算例にとりあげて比較・検討する。

2. 座屈設計法.

軸方向圧縮力が卓越する部材に対しては部材が変位することによって生ずる付加的な曲げモーメントを設計に考慮しなければならない。この2次効果には、図-1に示すように節点移動のない場合の $P-\delta$ 効果と節点移動のある場合の $P-\Delta$ 効果に分けることができ、横拘束のない骨組構造物では $P-\delta$ 効果および $P-\Delta$ 効果の両方を考慮する必要がある。

現在、骨組構造物の座屈設計法は、

(I) 有効座屈長法

(II) $P-\Delta$ 法

の2法に大別される。以下、これらの設計法について概説するが、とくに①各部材は等断面である。②局部座屈は考慮しない。③横ねじれ座屈は生じない。④接合部は剛結である。⑤安全率については考えない。などの仮定が成り立つものとする。

(I) 有効座屈長法

この方法は、部材に軸荷重のみが作用する場合に対してこれを等価な単純支持の柱に置き換えるという物理的意味を持ち、座屈時における変曲点間の長さで与えられる。実際の骨組構造部材は、軸力と曲げモーメントの組み合わせ荷重を受けるはり-柱と考えられるため、有効座屈長による構造物の設計では、種々の組み合わせ荷重のもとで弾性一次解析により断面力を求め、得られた曲げモーメントと軸力が有効座屈長を考慮した照査式で与えられる条件を満足することにより設計される。

(II) $P-\Delta$ 法

水平荷重と鉛直荷重を受ける骨組構造物において、これらの荷重が分離して作用するものとする時、水平力は初期水平たわみを、鉛直荷重はこの水平たわみにより付加的モーメント $P-\Delta$ を発生させる。 $P-\Delta$ 法は、この $P-\Delta$ 効果による付加的モーメントを考えた換算水平力を各床に作用させ、弾性一次解析により各柱に生ずる軸圧縮力と曲げモーメントを求め、相関式により骨組み構造物の強度を照査する方法である。ここでは、SSRCの方法⁽²⁾を例に計算方法を説明する。まず、①各層における全柱の軸力の総和を求める。②弾性一次解析により Δ_1 を求め、 $V_1 = \sum P_1 / h_1 (\Delta_{1+1} - \Delta_1) = (\sum P_1) \phi_1$ により増分せん断力を求める。③水平力を $H_1' = V_{1+1} - V_1$ により求める。④水平荷重 H_1 に付加モーメントによる換算水平力 H_1' を加えた全水平力 $Q_1 [= H_1 + H_1']$ と鉛直荷重との組み合わせ荷重による弾性一次解析を行う。⑤第2段階で仮定したせん断力との誤差をチェックする。必要に応じて第2段階から第4段階を繰り返す。ここで、

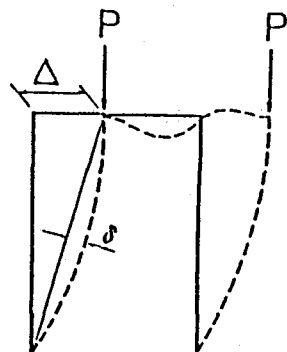


図-1

V_i : 水平力による i 層の付加せん断力、 Δ_{i+1} 、 Δ_i : 結合部 $i+1$ 、 i の変位との仮定が成り立つものとする。

3. 安定照査の検討.

まず、SSRC に従った $P-\Delta$ 法の評価法の解析プログラムを作成し文献5)の門型ラーメンを例にしてその精度を検討した。次に、実橋吊橋主塔を具体例にとりあげ $P-\Delta$ 法と、本州四国連絡橋吊橋主塔設計要領 [HSBA] ⁽⁴⁾ および耐荷力に対して検討を行った。HSBA, 耐荷力に関しては、文献7)を用いた。

現在一般的に用いられている安定照査式および強度限界式は次式である。

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{C_m M}{M_{cr} (1 - P/P_e)} \leq 1.0 \quad (1)$$

$$\frac{P}{P_y} + \frac{M}{M_u} \leq 1.0 \quad (2)$$

ここに、 P 、 P_{cr} および P_e は各々作用軸荷重、許容軸圧縮力および Euler 座屈荷重、 M 、 M_{cr} 、 M_u は各々作用曲げモーメントおよび許容曲げモーメント、 C_m は換算モーメント係数を意味する。まず (I) の有効座屈長法では、HSBA の規程により、(1) 式の P_{cr} に用いる有効座屈長を有効接線弾性係数法 [Ef-法] で決めて、 P_e には有効座屈長に $\kappa = 1$ を用い、 $M_u = M_{cr} = M_y$ 、また C_m には Austin 式を用いている。

ここで使用する有効接線弾性係数法とは、実際の柱が非弾性領域を生じることにより、結果として座屈荷重が Euler 荷重より低下するだけでなく、有効座屈長にも変化が生じることを考慮し、実用的観点から見かけの弾性係数の低下を考慮した固有値解析により有効座屈長を算出する方法である。

(II) の $P-\Delta$ 法では、有効座屈長はすべて 1 として設計を行い、 $C_m = \text{Austin 式}$ 、 $M_u = 1.18 M_p$ 、 $M_{cr} = M_p$ としている。ここに、 κ は有効座屈係数、 M_y および M_p はそれぞれ降伏モーメント、全塑性モーメントを意味する。

$P-\Delta$ 法の精度について数値計算を行った結果が図-2 である。この図から鉛直荷重が大きい領域では非常に近い値であるが水平荷重が大きい領域ではやや高めの強度をだしている。次に、文献7)の下津井瀬戸大橋主塔に対しての数値計算結果を図-3 に示す。この結果を見ると $P-\Delta$ 法の曲線は非弾性有限変位解析の曲線と HSBA の曲線の間にあり、モーメントの影響が大きい領域では HSBA の規程より耐荷力を正しく評価している。

〔参考文献〕 1) 中井博・酒造敏広・大垣賀津雄：鋼薄肉ラーメン構造物の限界強度の近似計算法，土木学会論文集，第380号，1987 2) SSRC Guide, 1976 3) 長谷川彰夫・西野文雄：線形化有限変位による構造物の設計法の提案，土木学会第44回年次学術講演会 4) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説，1989 5) 宇佐美勉・垣内辰雄・水野克彦：鋼ラーメン構造物の合理的設計式の一提案，土木学会論文集，第404，1989 6) 土木学会：座屈設計ガイドライン，1987 7) 野上邦栄・安部大志：吊橋主塔の安定照査式に関する一考案，構造工学論文集，Vol. 35A，1989 8) 阿部大志・野上邦栄：ラーメン形式吊り橋主塔の安定照査の検討，土木学会第43回年次学術講演会，1988

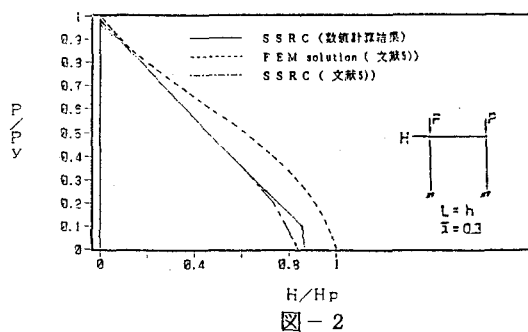


図-2

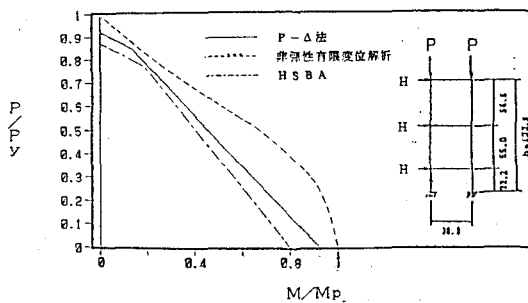


図-3