

I-63

鋼ラーメン構造物の安定照査について

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、最近諸外国で側方拘束のないラーメン構造物の設計方法の見直しが進められており、この有効座屈長に基づく設計方法に異論を唱える論文^{1) 3)}も数多く見受けられ、それに代わる方法として、従来の許容応力度設計法における有効座屈長を用いずに側方変形の影響を考慮したP- Δ 法²⁾や線形化有限変位理論³⁾による解法が提案されている。ここの目的は、有効接線弾性係数法(Ef-法)を用いる吊橋主塔設計要領・同解説[HSBA]⁴⁾と、変形の影響を考慮したP- Δ 法についてラーメン形式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- δ 効果と節点移動のある場合のP- Δ 効果に分けることができ、側方拘束のない骨組構造物ではP- δ 効果およびP- Δ 効果の両方を考慮する必要がある。

現在、規定に導入されている骨組構造物の座屈設計法は、

- (I) 有効座屈長法 (II) P- Δ 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。

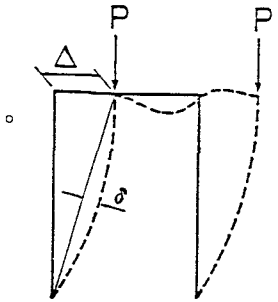


図-1 付加曲げモーメント

(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一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- Δ 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- Δ を発生させる。P- Δ 法は、このP- Δ 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_i を求め、 $V_i = \Sigma P_i / h_i (\Delta_{i+1} - \Delta_i) = (\Sigma P_i) \phi_i$ により増分せん断力を求める。③水平力を $H_i' = V_{i+1} - V_i$ により求める。④水平荷重 H_i に付加モーメントによる換算水平力 H_i' を加えた全水平力 $Q_i [= H_i + H_i']$ 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、 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. 解析を行うにあたり、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。

まず、SSRCに従ったP- Δ 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-Δ法と、本四規程〔H S B A〕および耐荷力に対して検討を行った。

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。

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

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

ここに、P、P_{cr}およびP_eは各々作用軸荷重、限界軸圧縮力および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限界曲げモーメント、C_mは換算モーメント係数を意味する。まず(1)の有効座屈長法では、H S B Aの規程を採用し表-1にその要因パラメータをまとめた。

他の規程との違いは、断面力を有限変位理論により算出し、(1)式のP_{cr}に用いる有効座屈長を有効接線弾性係数法〔E f -法〕で決め、P_eには有効座屈長にκ=1

を用いている。また、M_u=M_{cr}=M_yを、C_mにはAustin式を用いていることである。

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-Δ法では、有効座屈長はすべて1として設計を行い、C_m=Austin式、M_u=1.18M_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-Δ法の精度について数値計算を行った結果が図-2である。この図から水平荷重が大きい領域以外は非常に正しい耐荷力評価をしている。次に、文献6)の3層ラーメン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-Δ法の曲線は、ほぼ厳密解である非弾性有限変位解析の曲線と、有効座屈長を用いるH S B A規程の曲線の間にあり、モーメントの影響が大きい領域ではH S B Aの規程よりさらに正確に耐荷力を評価している。

〔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，1988 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，1988 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の一提案，土木学会論文集，第404，1989 6)野上邦榮・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

P, M	有限変位
P _{cr} のκ	E f -法
P _e のκ	1
M _{cr}	M _y
M _u	M _y
C _m	Austin式
P-Δ効果	P, Mに考慮
P-δ効果	考慮

表-1 H S B Aの要因パラメータ

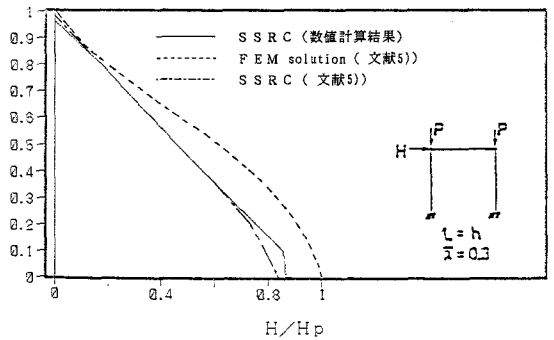


図-2 門形ラーメンの限界相関曲線

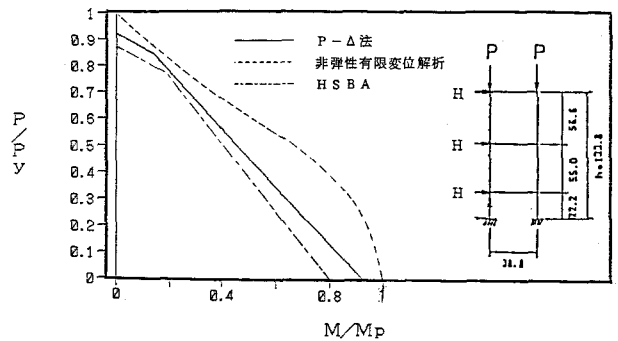


図-3 3層ラーメンの限界相関曲線