

I-113

鋼ラーメン構造物の安定照査に関する一考察

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. 我が国では、許容応力度設計法において、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。したがって、この有効座屈長の評価が非常に重要であるが、設計者からこの有効座屈長の計算方法は、論理的・数値計算的にも不合理性を生じる場合があることが指摘されている。また、最近欧州を中心として、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、この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¹⁾や線形化有限変位理論²⁾による解法が提案されている。ここでは、まず、ラーメン構造物における有効座屈長に着目し、実橋吊橋ラーメン主塔を用いて、弾性・非弾性固有値解析の両面から様々な解析方法で算出しその精度を調べ検討した。次に、従来の有効座屈長と変形の影響を考慮したP-Δ法について、同様な吊橋主塔を具体的数値計算例に取り上げ、ラーメン構造物としての耐荷力を評価し、比較・検討した。

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、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。

(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。

ここで用いる有効座屈長の算出方法としては、次の4つの解析を利用した。

①弾性固有値解析 ②近似解法-1, 2 ③ノモグラフ ④有効接線弾性係数法(Ef法)³⁾

(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。

3. 有効座屈長の精度. まず、3層ラーメン主塔を例にとり、各々の方法で有効座屈長を計算した。数値解析において、剛性比(断面二次モーメント比) n というパラメータを用い計算を行った。この n は

$$n = \frac{I_{n1}}{I_{01}}$$

I_{01} : 試算設計時の断面二次モーメント

I_{n1} : I_{01} を n 倍したもの

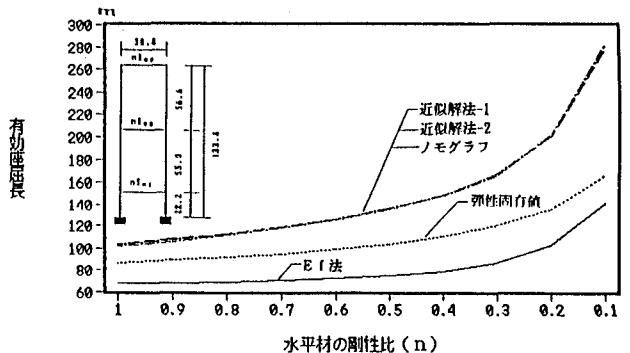


図-1 有効座屈長 - 水平材剛性比(n)の関係

と定め、この n を水平材、柱の断面二次モーメント I に作用させることにより剛性比を低下させるものである。図-1は、柱の剛性は変えずに水平材の剛性を一律に変化させた有効座屈長-剛性比の関係を表したものである。この図の $n=1.0$ の時が試算設計時の剛性である。この図を見ると $E f$ -法、弾性固有値、近似解法-1、2、ノモグラフの順に有効座屈長の値が大きくなっていることがわかる。また、 $n=0.4$ まではあまり大きい変化がみられないが、0.3以下では水平材の影響が有効座屈長に現れてきている。

4. 安定照査の検討. 現在の許容応力度設計法におけるラーメン構造物の設計は、限界状態に対する照査を構造全体系に対する照査に代え、各部材における照査という形で行われており、この場合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。

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

$$\frac{P}{P_y} + \frac{M}{M_u} \leq 1.0$$

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。表-1にここで用いた有効座屈長法と $P-\Delta$ 法の各規程の要因パラメータを示した。ここで、 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。これらの各規程に対して、耐荷力の検討を行った結果が図-2である。この図を見ると、 $P-\Delta$ 法による結果は、有効座屈長法の結果よりもさらに厳密解である非弾性有限変位解析の曲線に近い精度の良い耐荷力を表していることがわかる。また、 $P-\Delta$ 法においてはECCSのほうがSSRCよりもモーメントの影響が大きい場合では耐荷力が低いことがわかる。これはECCSは初期不整の影響を考慮しているためだと思われる。

次にパラメータ n を用いて水平材の剛性を0.3まで落とした場合の結果を示したのが図-3である。この図から有効座屈長法は厳密解よりも非常に安全側の値を示しているのに対して $P-\Delta$ 法は比較的厳密解に近い値を示した。

〔参考文献〕1)SSRC Guide, 1988 2)長谷川・西野：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 3)本四公団：吊橋主塔設計要領・同解説，1989 4)安部・野上：ラーメン形式吊橋主塔の安定照査式の検討，土木学会第43回年次学術講演会，1987

	有効座屈長法			P-Δ法		
	JSHB	HSBA		SSRC	修正SSRC	ECCS
P, M	微小変位	微小変位	有限変位	微小変位	微小変位	微小変位
P_{cr} の κ	近似解法	近似解法	E f-法	1	1	未使用
P_e の κ	近似解法	近似解法	1	1	1	未使用
M_{cr}	M_y	M_y	M_y	M_p	M_p	M_p
M_u	M_y	M_y	M_y	1.18 M_p	1.18 M_p	1.1 M_p
C_m	Austin式	0.85	Austin式	Austin式	Austin式	

表-1 各規程の要因パラメータ

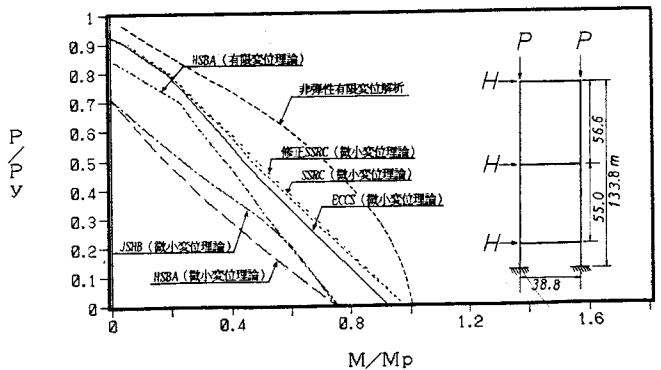


図-2 3層ラーメン構造物の限界相関曲線

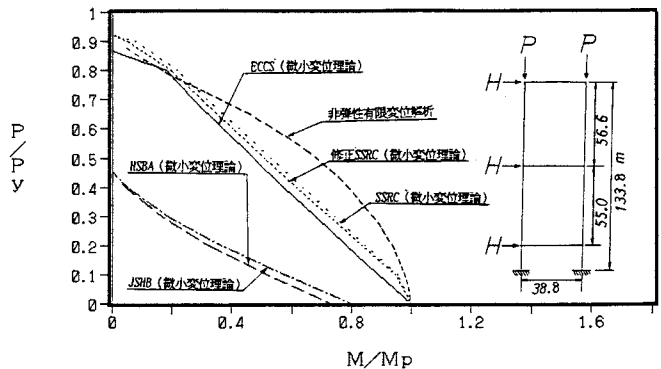


図-3 $n = 0.3$ の場合の限界相関曲線