

東京都立大学 学生員○安部大志

東京都立大学 正 員 野上邦栄

1. まえがき. : 許容応力度設計法を用いてラーメン構造物(特に吊橋主塔)の耐荷力に対する照査を行う場合、有効座屈長の概念を導入した方法を用いることにより設計上対処している。従って、この有効座屈長の評価が極めて重要となる。本報告では、本州四国連絡橋吊橋主塔設計要領・案(HSBA)¹⁾を中心に、アメリカ鋼構造協会(AISC)²⁾、道路橋示方書(JSHB)³⁾、鉄道橋設計標準(JR)⁴⁾の各規程を整理し、鉛直荷重と分布横荷重を受ける3層ラーメン構造物に対する、弾塑性有限変位解析による最大強度相関曲線と各規程の比較により、精度の検討を試みている。

2. 有効座屈長の算出方法: 現在、代表的な有効座屈長算出方法として次の4解法がある。

(1) 弾性固有値解法: ラーメン構造全体系の剛性行列に関する特性方程式を誘導し、境界条件のもとで自明でない解と対応する最小固有値を求め、有効座屈長を算出する方法である。

(2) 近似解法(設計公式): (1)の解法が実際にはかなりの計算を要するために提案された近似計算手法であり、(1)がラーメン構造全体系についての解法であるのに対して、この方法は各層ごとに有効座屈長を求め、その最大値を全体系の有効座屈長とする解法である。

表1 現行規程の照査式の要因比較

(3) 有効接線弾性係数法(E_r 法)

(1)、(2)が弾性状態での解法であるのに対して、この方法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、実用的観点からみ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。

	AISC	JSHB	JR	HSBA	
P, M	微小変位	微小変位	微小変位	有限変位	微小変位
P_{cr} の β	近似解法	近似解法	近似解法	E_r 法	近似解法
P_e の β	近似解法	近似解法	近似解法	1	近似解法
M_{cr}	M_p	M_y	M_y	M_y	M_y
M_u	$1.18M_p$	M_y	M_y	M_y	M_y
C_m	0.85	Austin	Austin	Austin	0.85
P- Δ 効果	C_m に考慮	無視	無視	$P_1 M_1$ に考慮	C_m に考慮
P- δ 効果	考慮	考慮	無視	考慮	考慮

(4) 非弾性有限変位解析法: 材料および幾何学的非線形性を考慮した耐荷力解析を行い、有効座屈長を算出する方法である。

3. 安定照査式: 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。

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

$$\frac{P}{P_y} + \frac{M}{M_u} \leq 1 \quad \dots \dots (2)$$

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。

各規程について式(1)、(2)の要因を比較したものが表1である。ここに、 β は有効座屈長係数、 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。また図1は付加曲げモーメントの影響を示したものである。

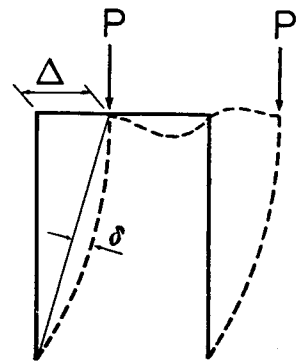


図1 付加曲げモーメント

表1から明らかなように、断面力を有限変位理論により算出するHSBAは P_{cr} の有効座屈長を有効接線弾性係数法により、 P_e のそれを部材長にとっている。その他の規程は断面力解析は微小変位理論により、有効座屈長の算出は近似解法により行っている。また、許容曲げモーメントにはAISCのみが全塑性モーメントを、その他の規程はすべて降伏モーメントを採用している。付加曲げモーメントの影響については、AISCおよびHSBAの規程が $P-\Delta$ 効果と $P-\delta$ 効果の両方を考慮している。

4. 解析結果：表1に示した各規程の特徴を踏まえ、本州四国連絡橋下津井瀬戸大橋主塔に対して検討を行った。

まず、第2節の4つの解法による有効座屈長の比較を行った。その結果が表2である。表2から明らかなように、(2)の近似解法が最も安全側の結果を与えており、(4)の非弾性有限変位解析法と比較した場合、3倍もの値となっている。また(3)の有効接線弾性係数法が(4)の解法と比較して、最も近い値となっている。

表2 4解法による有効座屈長の比較

解法	(1)	(2)	(3)	(4)
有効座屈長(m)	82.19	102.50	60.99	40.38

次に、実際に各規程が耐荷力をどのように評価しているかを、鉛直荷重と分布横荷重を受ける3層ラーメンの耐荷力解析による最大強度相関曲線と比較を行った。鉛直荷重をパラメータに横荷重と横変位の関係を示したのが図2である。図中縦軸は分布横荷重のみ($P=0$)が作用する時の限界荷重 q_u に対する横荷重比を、横軸は横変位と高さの比を表している。また比較した結果が図3である。図3に示すように軸荷重 P が大きい領域では有限変位理論を基礎にしたHSBAが、曲げモーメント M （横荷重）が大きい領域ではAISCの規程がそれぞれ耐荷力を最も妥当に評価している。この理由として、HSBAは断面力を有限変位理論により正しく求めていること、許容軸圧縮力に対する有効座屈長を有効接線弾性係数法により求めていることが、またAISCは許容曲げモーメントの値に全塑性モーメントを用いていることが挙げられる。

- 〔参考文献〕 1) 土木学会・本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員会：主塔設計に関する検討，1980
 2) AISC：Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings 1978 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編 Ⅱ鋼橋編），1980 4) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説（鋼鉄道橋），1983 5) 伊藤文人・野上邦栄・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

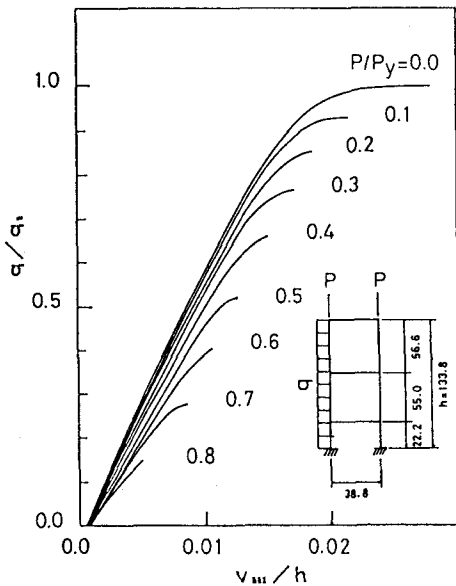


図2 横荷重と変位の関係

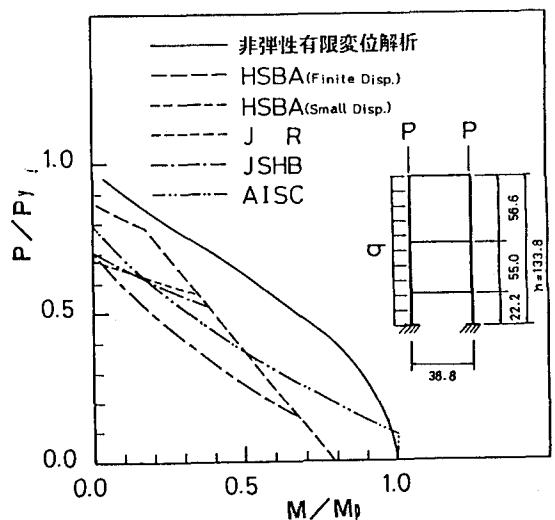


図3 現行規程の耐荷力の評価