

東洋大学 正員 ○新延泰生
東京電機大学 正員 松井邦人

I. まえがき

昭和55年2月改訂の道路橋示方書では、柱の許容応力度は柱の全体座屈と構成板要素の局部座屈の連成強度をもとに規定されている。これは、局部座屈を起さないように構成板要素の幅厚比を制限し、全体座屈に対する基本強度より許容応力度を求める従来の規定と大きく相違し、改訂理由の一つとして、局部座屈に起因する幅厚比の大きな板要素を使用することによって、とくに交番応力として小さな圧縮力を受ける場合、あるいは、架設時のみに小さな圧縮力を受ける場合などでは、従来の規定によると不必要に厚い板を用いることになり不経済な設計となることかあげられている¹⁾。しかしながら、最適化手法によって、既圧縮を受ける無補剛の箱形断面柱の最適断面を求めると、板要素の最適幅厚比は局部座屈を生じない最大の幅厚比となり、局部座屈を許容する領域では最適断面は存在しないことが報告されている^{2), 3)}。本研究では、前記の無補剛の場合に対して、軸方向に補剛材を有する補剛箱形断面柱をとりあげ、最適断面に対する構成板要素の局部座屈の影響が、無補剛の場合と同様の傾向を示すのかどうかを検討した。ここで使用している最適化手法はSUMT法である。

II. 最適化問題の定式化

図-1に示すような正方形2軸対称断面を有する一様な補剛箱形断面柱の最適化を行なう。ただし、軸方向補剛材はフランジおよびウェブに等間隔にかつ同数配置されている。

道路橋示方書(以下、道示と記す)に規定されている、局部座屈を考慮した柱の許容応力度は次式で表示される¹⁾。

$$\sigma_{ca} = \sigma_{cag} \cdot \sigma_{cal} / \sigma_{cao} \quad (1)$$

ここで

$$\sigma_{cag} = \begin{cases} \sigma_y / 1.7 & : \bar{\lambda} \leq 0.2 \\ (1.109 - 0.545\bar{\lambda}) \sigma_y / 1.7 & : 0.2 < \bar{\lambda} \leq 1.0 \\ \frac{1}{0.773 + \bar{\lambda}^2} \sigma_y / 1.7 & : 1.0 < \bar{\lambda} \end{cases} \quad (2), \quad \text{ただし} \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{l}{r} \quad (3)$$

(等価細長比)

図-1 補剛箱形断面柱

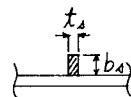


図-2 軸方向補剛材

$$\sigma_{cal} / \sigma_{cao} = \sigma_{cr} / \sigma_y = \begin{cases} 1.0 & : R_R \leq 0.5 \\ 1.5 - R_R & : 0.5 < R_R \leq 1.0 \\ 0.5 / R_R^2 & : 1.0 < R_R \end{cases} \quad (4), \quad \text{ただし} \quad R_R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k_R}} \quad (5)$$

(等価幅厚比)

(2)式中の定数1.7は道示で規定されている鋼構造部材の基本安全率であり、 σ_y 、 E 、 μ はそれぞれ降伏応力度、弾性係数、ポアソン比である。また、 k_R は両縁支持板の座屈係数で、 $k_R = 4\pi^2$ (n : パネル数)である。

図-1, 2に示されている、フランジ、ウェブの固定縁間距離 b 、板厚 t および補剛材の断面積 $A_s = b_s t_s$ を設計変数にとり、パネル数 n は与えられるものとする。補剛材は、図-1の箱形断面の断面諸量を算定するに際して、フランジおよびウェブの板厚の中心に集中して付加されているものとする。最適化問題は次のように定式化される。

目的関数；断面積 $A = 4bt + 4(n-1)A_s \rightarrow$ 最小化

拘束条件；1) 最小板厚の条件、2) 作用応力度 $\sigma = P/A$ は許容応力度 σ_{ca} 以内、3) 補剛材の断面積比 $\sigma_R = A_s / (bt)$ は $1/(1+n)$ 以上、4) 補剛材の必要剛比の条件。

問題の一般性を保つために、設計変数の無次元化を、 $x_1 = l/b$, $x_2 = b/t$, $x_3 = \delta_l = A_0/(bt)$ のように行なうと、上述の最適化問題は次のように表わせる。

$$\text{目的関数 ; } A/l^2 = 4 \{1 + (n-1)x_3\} / (x_1^2 x_2) \rightarrow \text{最小化} \quad (6)$$

$$\text{拘束条件 ; } x_2 - C \cdot n \leq 0 \quad (C \text{ は材質により定まる定数である}) \quad (7)$$

$$P/(\sigma_y \cdot l^2) \cdot x_1^2 x_2 / [4 \{1 + (n-1)x_3\}] - F(\bar{\lambda}, R_R) \leq 0 \quad (8)$$

$$1/(10n) - x_3 \leq 0 \quad (9)$$

拘束条件(8)式中の関数 $F(\bar{\lambda}, R_R)$ は、 $\bar{\lambda}$, R_R の値によって、(2), (4) 式より定めらるものである。 $\bar{\lambda}$, R_R は、 x_1, x_2, x_3 を用いて次のように表される。

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\sigma_y}{\pi^2 E}} \sqrt{\frac{48n x_1^2 \{1 + (n-1)x_3\}}{8n + (7n-2)(n-1)x_3}} \quad (10), \quad R_R = \sqrt{\frac{\sigma_y}{\pi^2 E}} \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k_R}} x_2 \quad (k_R = 4n^2) \quad (11)$$

III 数値計算結果とまとめ

$P/l^2 = 0.001 \sim 1.0$, $n = 1$ (無補剛) ～ 5 の場合の最適断面を表-1に示す。図-3, 4 は $n = 3$ に対する最適断面の $\bar{\lambda}$, R_R である。表-1, 図-3, 4 より次の事項が判明する。

1) 補剛効果 (補剛材使用による断面の減少) は、 P/l^2 が小さい領域で大きく、 P/l^2 が大きくなるとその効果は小さくなる。

2) 鋼種による差は、 P/l^2 が小さい領域では比較的小さいが、 P/l^2 が大きくなると、高張力鋼を用いる有利性が出てくる。

3) 全体座屈と局部座屈との関連は、 P/l^2 が大きい領域で、柱は弾塑性座屈 ($0.2 < \bar{\lambda} < 1.0$) をする

表-1 最適断面の A/l^2 の値 ($\times 10^{-5}$)

鋼種	P/l^2	パネル数 n				
		1(無補剛)	2	3	4	5
SS41	0.001	0.739	0.611	0.510	0.448	0.406
SM41	0.01	2.541	2.183	1.862	1.667	1.532
SMA41	1.0	10.673	9.437	9.200	8.775	8.493
		75.247	73.527	71.724	70.833	70.833
SM50	0.001	0.787	0.645	0.536	0.470	0.424
	0.01	2.640	2.228	1.883	1.673	1.528
	0.1	10.022	8.977	8.056	7.537	7.196
	1.0	60.500	58.600	56.556	55.345	54.525
SM50Y	0.001	0.805	0.661	0.548	0.480	0.433
SM53	0.01	2.680	2.256	1.900	1.684	1.535
SMA50	0.1	9.955	8.797	7.759	7.188	6.815
	1.0	56.700	53.773	51.610	50.333	49.471
SM58	0.001	0.844	0.696	0.576	0.503	0.453
	0.01	2.772	2.330	1.952	1.722	1.563
SMA58	0.1	9.879	8.670	7.475	6.749	6.283
	1.0	48.035	45.725	43.259	41.817	40.848

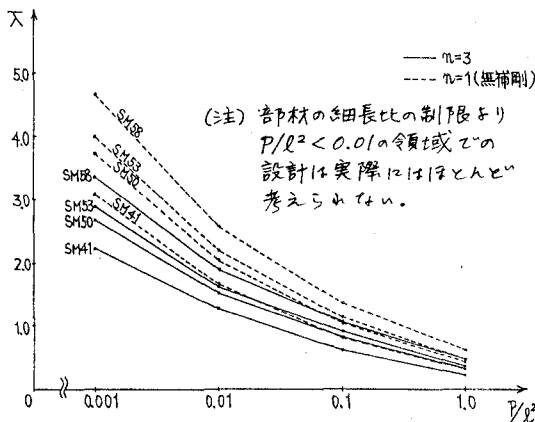


図-3 補剛箱形断面柱の最適等価細長比

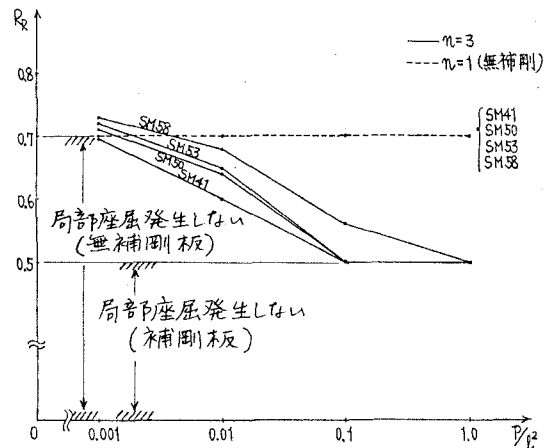


図-4 補剛箱形断面柱の最適等価幅厚比

か、板要素には局部座屈は発生しない。一方、 P/l^2 が小さくなると、柱は弾性座屈 ($1.0 < \bar{\lambda}$) をし、同時に板要素に局部座屈が発生する傾向が見られる。なお、本研究の数値計算は、東京電機大学および東洋大学の卒業生諸氏によるもので、ここに謝意を表します。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1980. 2.， 2) 山崎・新延・松井：鋼道路橋示方書にもとづく柱の最適断面について，土木学会，関東支部，1992. 1.， 3) 安保・長谷川・西野：鋼柱の設計の最適化に及ぼす局部座屈の影響，土木学会，1983. 9.