

東洋大学 正員 ○新延泰生
東京電機大学 正員 松井邦人

I. まえかき

軸方向圧縮力、曲げモーメントあるいはそれらを同時に受ける鋼構造部材では、部材全体の座屈および部材を構成する板要素の局部座屈が問題となる。昭和55年2月改訂の道路橋示方書（以下道示と記す）では、それらの部材を設計する場合の許容応力度は局部座屈を考慮した形に規定されることとなった。最適化手法によって、軸方向圧縮力を受ける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^{1), 2)}。しかしこれは無補剛な場合であって、軸方向に補剛された箱形断面柱の場合には、局部座屈が生じる領域にも最適断面が存在する場合があることが報告されている³⁾。これは板要素の局部座屈に対する許容応力度の基準面荷力曲線が無補剛板と補剛板とで相違していることに起因するものと考えられる。本文では、軸方向圧縮力と曲げモーメントを同時に受ける箱形断面のはり-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について検討したものである。なお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

図-1に示すような正方形2軸対称箱形断面を有する一様なはり-柱について、次に述べる設計条件のもとで最適断面を求めた。

1) 荷重は軸方向圧縮力 P と y 軸まわりの曲げモーメント $M_y = \phi PL$ が作用し、はり-柱の両端はピン支持とする。

2) 道示に規定されている軸方向圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の照査式と最小板厚の制限を拘束条件とする。

3) 材質は一樣とし、最適断面は断面積が最小のものとする。

2)で述べた軸方向圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の照査式は以下の式で示される⁴⁾。

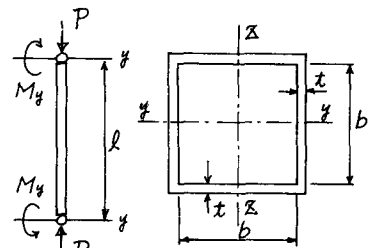


図-1 箱形断面はり-柱

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy} \left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eay}}\right)} \leq 1 \quad (1), \quad \sigma_c + \frac{\sigma_{bcy}}{\left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eay}}\right)} \leq \sigma_{cal} \quad (2)$$

ここで

σ_c : P による軸方向圧縮応力度

σ_{ca} : 許容軸方向圧縮応力度 $\sigma_{ca} = \sigma_{cag} \cdot \frac{\sigma_{cal}}{\sigma_{cao}}$

σ_{bcy} : M_y による曲げ圧縮応力度

σ_{bagy} : 局部座屈を考慮しない y 軸まわりの許容曲げ圧縮応力度

σ_{cal} : 局部座屈に対する許容応力度

σ_{eay} : y 軸まわりの許容オイラー座屈応力度

$$\sigma_{eay} = \frac{12,000,000}{(L/r_y)^2} \quad (r_y: y \text{ 軸まわりの回転半径})$$

σ_{cag} : 局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度

σ_{cao} : 局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度の上限値

σ_{bagy} , σ_{cal} , σ_{cag} 等はそれぞれ次の式で表わされるものである。

$$\sigma_{bagy} = \begin{cases} \frac{\sigma_y}{1.7} & : \alpha \leq 0.2 \\ \{1.0 - 0.412(\alpha - 0.2)\} \frac{\sigma_y}{1.7} & : 0.2 < \alpha \end{cases} \quad (3), \quad \sigma_{cal} = \begin{cases} \frac{\sigma_y}{1.7} & : R_R \leq 0.7 \\ \frac{0.5}{R_R^2} \frac{\sigma_y}{1.7} & : 0.7 < R_R \end{cases} \quad (4)$$

$$\bar{\sigma}_{cag} = \begin{cases} \frac{\bar{\sigma}_y}{1.7} & : \bar{\lambda} \leq 0.2 \\ (1.109 - 0.545\bar{\lambda}) \frac{\bar{\sigma}_y}{1.7} & : 0.2 < \bar{\lambda} \leq 1.0 \\ \frac{1}{0.773 + \bar{\lambda}^2} \frac{\bar{\sigma}_y}{1.7} & : 1.0 < \bar{\lambda} \end{cases} \quad (5)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\bar{\sigma}_y}{E}} \frac{l}{r} \quad (\text{等価細長比}) \quad (6)$$

$$R_R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\bar{\sigma}_y}{E} \frac{3(1-\mu^2)}{\pi^2}} \quad (\text{等価幅厚比}) \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{2}{\pi} \cdot K \cdot \sqrt{\frac{\bar{\sigma}_y}{E}} \frac{l}{b} \quad (8)$$

上式中の定数1.7は示す規定とよんでいる鋼構造部材の基本安全率であり、 $\bar{\sigma}_y$, 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(8)式中の K はウェブ断面積 A_w と圧縮フランジ断面積 A_c との比 A_w/A_c の関数で、本計算の場合では $K=2$ となる。照査式(1)および(2)はそれぞれ安定照査式および構成板要素の局部座屈を考慮した応力度の照査式である。

設計変数は図-1に示されている、フランジ、ウェブの固定縁間距離 b および板厚 t としているが、問題の一般性を保つために無次元化設計変数 $x_1 = l/b$, $x_2 = b/t$ を導入している。

Ⅲ. 数値計算結果とまとめ

$P/l^2 = 0.001, 0.01, 0.1, 1.0$ および $M_y = 0, 100, 200, 300, 400$ tf・m の場合の最適断面積を表-1に示す。

図-2, 3は最適断面に対する等価細長比 $\bar{\lambda}$, 等価幅厚比 R_R の一例である。なお $M_y = 0$ の場合は純圧縮の柱の最適解を示している。照査式(1), (2)で $\bar{\sigma}_{cag} = 0$ ($M_y = 0$) と置いた場合の最適解は、柱の場合の拘束条件と異なるため、柱の最適解を示さないことに注意が必要である。図-4は最適解に対してそれぞれ独立に考えた、柱の全体座屈応力度 $\bar{\sigma}_{ag}$, 板の局部座屈応力度 $\bar{\sigma}_{ul}$ およびはりとしての横倒れ座屈応力度 $\bar{\sigma}_{ub}$ と P/l^2 との関係の一例

表-1 最適断面の断面積 (x10²)

鋼種	P/l^2	曲げモーメント $M_y = 5 P l$ (tf・m)				
		0	100	200	300	400
SS41 SM41 SMA41	0.001	0.739	37.617	61.032	78.922	94.622
	0.01	2.541	40.223	61.576	79.339	95.114
	0.1	10.673	46.171	66.973	84.446	100.06
	1.0	75.247	98.966	117.45	133.86	148.57
SM50	0.001	0.787	35.960	54.891	70.539	84.420
	0.01	2.640	36.501	55.341	70.970	84.839
	0.1	10.022	41.727	59.973	75.322	89.993
	1.0	60.500	82.794	99.981	114.62	127.55
SM50Y SM53 SMA50	0.001	0.805	34.706	52.724	67.601	80.786
	0.01	2.680	35.229	53.161	68.028	81.176
	0.1	9.955	40.240	57.545	72.108	85.081
	1.0	56.700	78.046	93.417	107.40	120.24
SM58 SMA58	0.001	0.844	32.538	48.853	62.310	74.169
	0.01	2.772	33.033	49.268	62.671	74.526
	0.1	9.879	37.720	53.307	66.382	78.028
	1.0	48.035	67.977	84.917	97.665	109.35

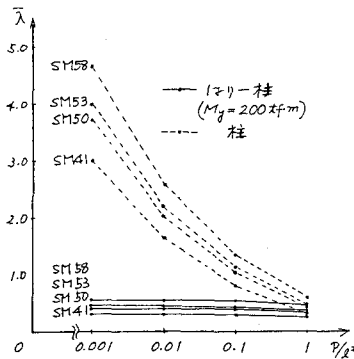


図-2 最適等価細長比 $\bar{\lambda}$

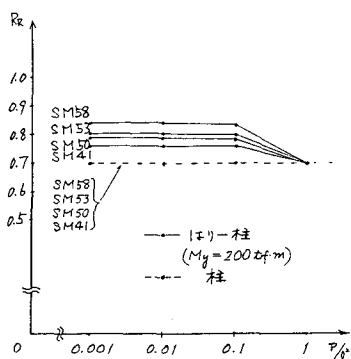


図-3 最適等価幅厚比 R_R

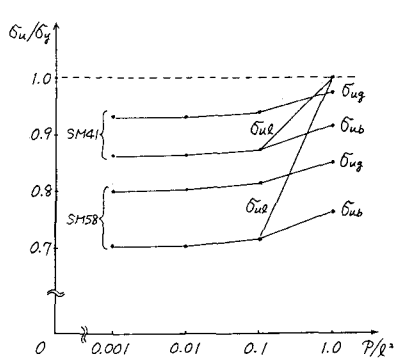


図-4 座屈応力 ($M_y = 200$ tf・m)

を示す。図-3より、 $P/l^2 < 0.1$ の場合、構成板要素が局部座屈する領域に最適解が存在することわかる。なお、いずれの最適解も、照査式(1)のみを等号とするものであった。最後に、本研究の数値計算は、柴田朋一君(東洋大学、現在長大橋設計センター)の卒業論文によるもので、ここに謝意を表します。

参考文献 1)山崎・新延・松井: 鋼道路橋示方書にそとづく柱の最適断面について、土木学会、関東支部、1982.1., 2)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., 3)新延・松井: 道路橋示方書にそとづく箱形断面柱の最適化、土木学会、関東支部、1984.1., 4)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説、1980.2.