

1. まえがき 道路橋示方書の許容軸方向圧縮応力度に関する規定は、昭和55年に改定され、従来の局部座屈を許さないで全体座屈強度から求める方法を改め、幅厚比の制限を緩めて局部座屈を許し、全体座屈との連成で許容応力度を求める方法を採用している¹⁾。これは、小さな圧縮力が作用する鋼柱の設計を経済的にするためと説明されている²⁾。

その後、最適化手法の一つである最大荷重設計法を用いて鋼柱の最適設計を行い、局部座屈を許すことでより経済的な設計は行えないとの提言がなされている³⁾。

本報告は、軸方向圧縮力を受ける鋼柱の断面を、最小重量設計法を用いて設計することにより、局部座屈を考慮することの効果とを調べることを第一の目的とし、最大荷重設計法では考慮されていなかった細長比の制約条件の影響を含めて検討することにより、前述の提言を検討することも試みている。

断面形状は、正方形箱形、H形の他に円管も検討している。

2. 記号および設計モデル 本報告で計算の対象とした鋼柱およびその断面形状を図-1に示した。左より、正方形箱形断面柱、H形断面柱および円管断面柱である。

本報告で用いる記号は、以下の通りである。

σ_{ca} : 許容軸方向圧縮応力度、 σ_{cag} : 局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度、 σ_{cal} : 局部座屈に対応する許容応力度、 σ_{cao} : σ_{cag} の上限値、 L : 部材長、 P : 荷重、 A : 部材断面積、 r : 断面二次半径、 $(L/r)_{\max}$: 細長比の最大値、 $R = L^2/A$ 。

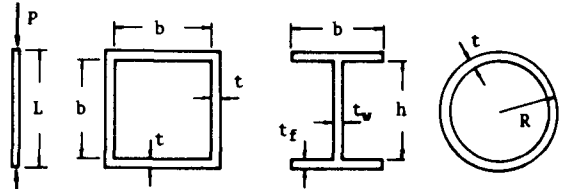


図-1 設計モデル

3. 許容軸方向圧縮応力度の考察 最小重量設計法を用いる前に、断面積一定のもとでの許容軸方向圧縮応力度と板厚の関係を、正方形箱形と円管の場合について検討した。 $L = 10\text{m}$ 、SM58の場合の結果を、図-2(正方形箱形)、図-3(円管)に示した。図中、○に対応する板厚が、局部座屈を考慮する必要のない最小の板厚(t_0)である。

図-2より、正方形箱形断面柱の場合は、 t_0 で最大許容応力度になっており、局部座屈を許すことで、最適設計のできる可能性のないことを示している。

一方、図-3の円管断面柱の場合は、 t_0 の左側で最大許容応力度になる場合もあり、局部座屈を考慮する範囲で最小重量設計が得られる可能性を示している。他の鋼種、部材長でも、同様の結果が得られている。

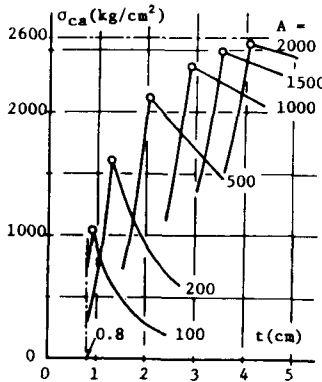


図-2 $\sigma_{ca} - t$ (正方形)

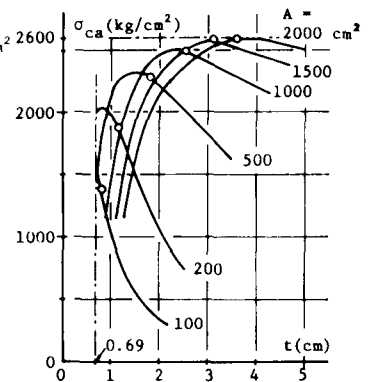


図-3 $\sigma_{ca} - t$ (円管)

4. 最小重量設計法 本報告で解いた最適化問題は、以下のように定義される。

目的関数 : 部材断面積 $\longrightarrow$ 最小。

制約条件式 : 各断面形状毎に、例えば鋼種がSS41の場合は、次のようになる。

$$\begin{aligned} (1) \text{ 正方形箱形断面柱 } & g_1 = P/A - \sigma_{ca} \leq 0, \\ & g_2 = b/t - 56 \leq 0, \quad g_3 = L/r - (L/r)_{\max} \leq 0. \end{aligned}$$

ただし、 $t \geq 0.8 \text{ cm}$ 。

$$(2) \text{ H形断面柱 } g_1 = P/A - \sigma_{ca} \leq 0, \quad g_2 = (b - t_w)/2/t_f - 16 \leq 0,$$

$$g_3 = h/t_w - 56 \leq 0, \quad g_4 = L/r - (L/r)_{\max} \leq 0。$$

ただし、 t_w 、 $t_f \geq 0.8 \text{ cm}$ 。

$$(3) \text{ 円管断面柱} \quad g_1 = P/A - \sigma_{ca} \leq 0, \quad g_2 = R/t - 200 \leq 0,$$

$$g_3 = L/r - (L/r)_{\max} \leq 0。$$

ただし、 $R \geq 40 \text{ cm}$ 、 $t \geq 0.69 \text{ cm}$ 。

設計変数：図- / に示す各断面寸法を設計変数とする。

以上の最適化問題を本報告では、最適化にBFGSを用いる拡張ラグランジ係数法⁴⁾を用いた。

5. 計算結果 本報告のために、鋼種、部材長および荷重の多数の組み合わせの計算を行ったが、その結果の一部を、図- 4、5および6に示した。

図- 4は、正方形箱形断面柱、 $L = 10 \text{ m}$ 、 $(L/r)_{\max} = 120$ の場合の、断面積と荷重の関係を示した図である。荷重が約40 t(鋼種により若干異なる)より少ない範囲では、 g_3 (細長比の制限)がクリテカルになり、大きい範囲では、 g_1 (応力)がクリテカルになった。最適幅厚比は、応力の制約条件式がクリテカルになる荷重の範囲はもとより、細長比の制約条件がクリテカルになる範囲でも、常に局部座屈を考慮する必要のない値となった。他の部材長でも、同様の結果が得られている。

H形断面柱の最小重量設計の結果は、正方形箱形断面柱とは異なり、細長比の制約条件がクリテカルになる範囲では、最適幅厚比が局部座屈を考慮する必要のある値になる場合もあった。一例を図- 5に示した。これは、SM50、 $L = 10 \text{ m}$ の場合の結果である。 σ_{ca}/σ_{cao} あるいは $\sigma_{cal}/\sigma_{cao}$ を縦軸にとり R を横軸にとっている。実線が $(L/r)_{\max} = 120$ の場合の結果であり、図に示すように、 R が約1.0より大きい範囲では、局部座屈応力度は低減している。しかし、 $(L/r)_{\max} = \infty$ とした場合は、点線で示したように、 σ_{ca} は σ_{cao} に常に等しい。H形断面柱の設計において、局部座屈を許すことにより鋼重が減るのは、細長比の制限がクリテカルになる場合のみであるといえる。

円管断面柱の最小重量設計の結果、図- 3からも予想されるように、局部座屈を考慮する範囲で最適解が得られる場合もあった。

図- 6は、3種類の断面形状のSS41、 $L = 10 \text{ m}$ の場合の、断面積と荷重の関係を示したものである。H形断面柱の点線の部分は、旧示方書に従って設計した結果である。図より、荷重が約190 tより小さい範囲では、正方形箱形断面が、大きい範囲では円管断面が最適となり、H形断面が両者に勝つことはなかった。

6. まとめ (1) 正方形箱形断面では、局部座屈を許すことで、より経済的な設計はできない。(2) H形断面では、細長比の制約条件がクリテカルになる範囲で、局部座屈を許すことで、図- 6 3種類の断面のA-Pの比較より経済的な設計が可能になる。ただし、その範囲では、正方形箱形断面を用いる方が鋼重は少ない。

(3) 円管断面では、局部座屈を許すことで、より経済的な設計が可能になる。

長方形箱形断面柱、旧示方書による設計の考察等は、省略した。当日発表の予定である。

参考文献 1) 「道路橋示方書・同解説」、1979,2. 2) 榎波義幸、「道路橋示方書の改定について」、橋梁、1979,8. 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」、土木学会第38回全国大会、1983. 4) 今野、山下、「非線形計画法」、日科技連、1978.

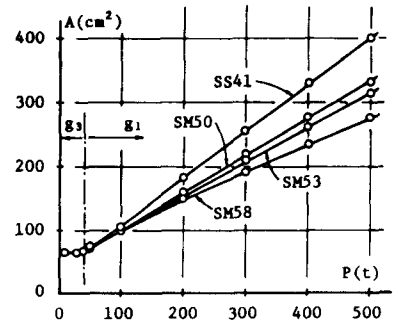


図- 4 A - P (正方形)

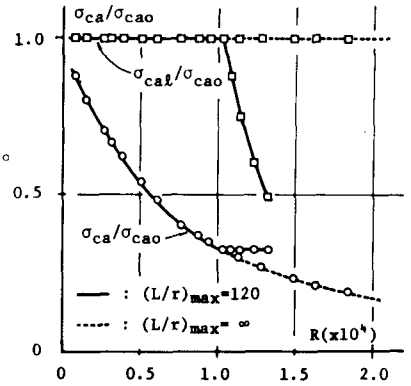


図- 5 $\sigma_{ca} / \sigma_{cao} - R$ (H)

