

無補剛平板よりなる圧縮柱の設計について

ON THE DESIGN OF COMPRESSION COLUMNS COMPOSED OF UNSTIFFENED PLATES

杉本 博之*

By Hiroyuki Sugimoto

Some articles in the current specification for the design of highway bridges are studied by the method of minimum weight design. Four types of compression columns composed of unstiffened plates are optimum-designed. They are square box section, H-shape section, H-shape section with fixed outside width and rectangular box section with fixed inside width. The designs based on the current(1980) and the former specification(1973) are compared with each other. It is showed that the consideration for the local buckling do not generally lead to the more economical design except for the case where the constraint for the slenderness ratio is critical. A formulation is proposed. It is also showed, by the evidence and some numerical examples, that this will lead to the more economical design as same as the design based on the current specification without being conscious of the local buckling.

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程は、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¹⁾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²⁾。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³⁾が、常に局部座屈の影響を意識する必要がある、鋼柱の設計を若干複雑なものにした。

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、無補剛平板よりなる正方形箱形断面およびH形断面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できないとの提言がなされている⁴⁾。この研究では、細長比に関する制約条件を考慮していない。耐荷力に関する制約条件に対して、細長比に関する制約条件は二次的なものである、局部座屈を考慮する必要のない範囲に最適設計はあるというこの研究の結果は貴重であるが、小さな圧縮力が作用する鋼柱の設計においては、細長比に関する制約条件がアクティブになる事が多いので、細長比に関する制約条件を考慮した検討も必要であると思われる。

本研究は、新(昭和55年)、旧(昭和48年)両示方書に従って、軸方向圧縮力を受ける無補剛平板よりなる鋼柱の種々の断面(正方形箱形、H形、外幅が拘束されたH形および内幅が拘束された長方形箱形)を、細長比および幅厚比の制約条件を考慮した最小重量設計法で決定し、両示方書による設計の結果を比較することにより、局部座屈を考慮することの効果を調べている。最大荷重設計法は、最小重量設計法の対偶の関係にある⁵⁾ので、部分的に前述の提言の追試にもなっている。さらに、旧示方書は、その一部を改良するこ

* 工博 室蘭工業大学助教授 工学部土木工学科 (〒050 室蘭市水元町27-1)

とにより、新示方書を含むことが指摘され、許容軸方向圧縮応力度に関して旧示方書の改良案が提案され、計算例により改良案による設計と新示方書による設計が同一であることが示されている。

2. 記号の定義

本文で用いる記号は、以下の通りである。

- σ_{ca} : 許容軸方向圧縮応力度
 σ_{ca9} : 局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度
 σ_{ca0} : 局部座屈に対応する許容応力度
 σ_{ca0} : σ_{ca9} の最大値
 σ_c : 軸方向圧縮力による作用応力度
 k_i ($i=1,8$) : 道路橋示方書に定められている各定数

(Table 1)

- g_1 : 最小重量設計における制約条件式

- t_0 : 局部座屈を考慮する必要のない最小板厚

- L : 部材長

- A : 部材断面積

- b' : 断面の自由突出幅 = $(b - t_w) / 2$

- t : 断面の板厚

- t_w : 断面の腹板厚

- I_x : 水平軸に関する断面二次モーメント

- R : 無次元量 = L^2 / A

Table 1 Values of k_i

steel	SS41	SM50	SM53	SM58
k_1	1400	1900	2100	2600
k_2	8.4	13	15	22
k_3	20	15	14	18
k_4	93	80	76	67
k_5	6700	5000	4500	3500
k_6	56	48	46	40
k_7	39.6	34.0	32.4	29.1
k_8	13.1	11.2	10.7	9.6

- t_x : 新示方書に定められている最小板厚

- P : 荷重(軸方向圧縮力)

- b : 断面のフランジ幅

- h : 断面の腹板高

- t_f, t_l, t_a : 断面のフランジ板厚

- r : 断面二次半径

- I_y : 垂直軸に関する断面二次モーメント

3. 新、旧示方書の比較

昭和48年と昭和55年の示方書の、無補剛平板よりなる柱の許容軸方向圧縮応力度およびそれに関連する幅厚比の規程を、以下に簡単に説明する。

(1) 旧示方書

- a) 許容軸方向圧縮応力度 一般の構造用鋼材の許容軸方向圧縮応力度は、次式で定義される。

$$\sigma_{ca} = \sigma_{ca9} \quad (1)$$

ここで σ_{ca9} は、

$$\begin{aligned} L/r &\leq k_3 & \sigma_{ca9} &= k_1 \\ k_3 &\leq L/r \leq k_4 & \sigma_{ca9} &= k_1 - k_2 (L/r - k_3) \\ k_4 &\leq L/r & \sigma_{ca9} &= 12000000 / [k_5 + (L/r)^2] \end{aligned} \quad (2)$$

- b) 圧縮力を受ける板の最小板厚

$$\cdot \text{両縁支持板} : t \geq b / (\sqrt{k} \cdot k_7) \quad (3)$$

$$\cdot \text{自由突出板} : t \geq b' / (\sqrt{k} \cdot k_8) \quad (4)$$

上式において、 $\sqrt{k}$ は普通は1であり、応力的に余裕のある場合のみ次式で計算される。

$$\sqrt{k} = \sqrt{\sigma_{ca} / \sigma_c} \quad (5-1)$$

ただし、

$$1 \leq \sqrt{k} \leq 1.2 \quad (5-2)$$

以上において、 k_7 、 k_8 およびSM58に対する k_2 、 k_3 、 k_5 の値は、新、旧両示方書間で異なっている。Table

1のこれらの値は、新示方書に定められている値であるが、本論文では旧示方書に従う設計の場合もTable 1の値を用いる。これは、本論文の目的と矛盾しない。

(2) 新示方書

a) 許容軸方向圧縮応力度 一般の構造用鋼材の許容軸方向圧縮応力度は、次式で定義される。

$$\sigma_{ca} = \sigma_{ca9} \cdot \sigma_{ca2} / \sigma_{ca0} \quad (6)$$

ここで、 σ_{ca9} は式(2)であり、 σ_{ca2} は次式で定義される。

・ 両縁支持板

$$b/k_7 \leq t \quad : \quad \sigma_{ca2} = k_1 \quad (7-1)$$

$$b/80 \leq t \leq b/k_7 \quad : \quad \sigma_{ca2} = 2200000 (t/b)^2 \quad (7-2)$$

・ 自由突出板

$$b'/k_8 \leq t \quad : \quad \sigma_{ca2} = k_1 \quad (8-1)$$

$$b'/16 \leq t \leq b'/k_8 \quad : \quad \sigma_{ca2} = 240000 (t/b')^2 \quad (8-2)$$

b) 圧縮力を受ける板の最小板厚

$$\cdot \text{両縁支持板} \quad : \quad t \geq b/k_6 \quad (9)$$

$$\cdot \text{自由突出板} \quad : \quad t \geq b'/16 \quad (10)$$

以上のように、旧示方書では式(3)、(4)で局部座屈の生じない範囲に板厚を制限し、式(2)のように全体座屈強度から許容応力度を求めている。細長比の制約条件がアクティブになる場合等、応力的に余裕のある場合のみ、式(5-1)の $\sqrt{k}$ を考慮して板厚制限を緩めている。ただし、 $\sqrt{k}$ の意味およびその上限値1.2の根拠は明確でなかった。

一方、新示方書では、板厚制限を式(9)、(10)のように緩めて、その範囲の局部座屈の影響は、局部座屈に対する許容応力度、式(7-1)～(8-2)を式(6)の形で考慮することにより、全体座屈との連成で許容応力度を求めている。旧示方書に比べて、各式の物理的意味は明確になったが、常に局部座屈の影響を意識しなければならないので、設計作業は若干複雑になった。

4. 各断面の最小重量設計およびその結果

ここでは、無補剛断面柱として、正方形箱形断面柱、H形断面柱、外幅が拘束されたH形断面柱および内幅が拘束された箱形断面柱の4種類の柱の最小重量設計を行い、局部座屈を考慮することの効果を検討している。H形、外幅が拘束されたH形および内幅が拘束された箱形断面柱では、新、旧両示方書による設計の結果を比較し、正方形箱形断面柱では、部材断面積一定のもとでの板厚と許容応力度との関係も調べる。

最適化手法としては、拡張ラグランジ係数法⁶⁾あるいは二次拡張内点ペナルティー関数法⁷⁾を用い、それらの非制約の最適化にはBFGS⁸⁾を使った。他にも、SLP法⁹⁾あるいはSQP法¹⁰⁾を応用したが、本報告の問題には上記の二法が、信頼性の点ですぐれていた。

以下に、各断面形状毎に最小重量設計の定式、計算結果および若干の考察を説明する。

(1) 正方形箱形断面柱

Fig. 1に示すような幾何学的諸元を持つ、正方形箱形断面柱を検討する。

最小重量設計の前に、断面積一定のもとでの新示方書の許容軸方向圧縮応力度と板厚の関係を検討した。4種類の鋼種、種々の部材長の計算を行ったが、その内S453、 $L=10\text{m}$ の場合の結果をFig. 2に示し

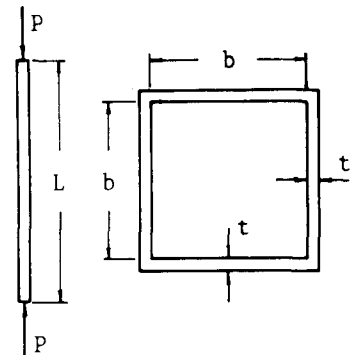


Fig. 1 Square box section.

た。図中、○が局部座屈を考慮する必要のない最小の板厚 t_0 に対応する。図では、常に t_0 で最大許容応力度になっている。これは、他の鋼種、部材長でも同じであった。

次に、Fig. 1の断面を、新示方書に従って最小重量設計により決定した。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

$$\text{制約条件式} : g_1 = \sigma_c - \sigma_{ca} \leq 0 \quad (11-1)$$

$$g_2 = b/t - k_b \leq 0 \quad (11-2)$$

$$g_3 = L/r - 120 \leq 0 \quad (11-3)$$

$$\text{設計制約条件式} : t \geq 0.8 \text{ cm} \quad (12)$$

設計変数 : b, t

種々のケースについてこの最適化問題を解いた結果、最適幅厚比は、応力度の制約条件〔式(11-1)〕がアクティブになる荷重の範囲はもとより、細長比の制約条件〔式(11-3)〕がアクティブになる場合でも、常に局部座屈を考慮する必要のない値となった。一例として、SM50, $L=10\text{m}$ の場合の無次元化した許容応力度と R の関係⁴⁾をFig. 3に示した。設計上可能なすべての R の値の範囲において、 $\sigma_{cal}/\sigma_{cao}$ は1となっている。

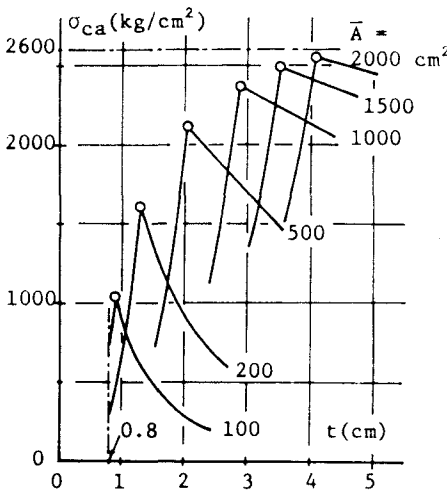


Fig. 2 $\sigma_{ca} - t$ curve of square box section (SM58, $L=10\text{m}$).

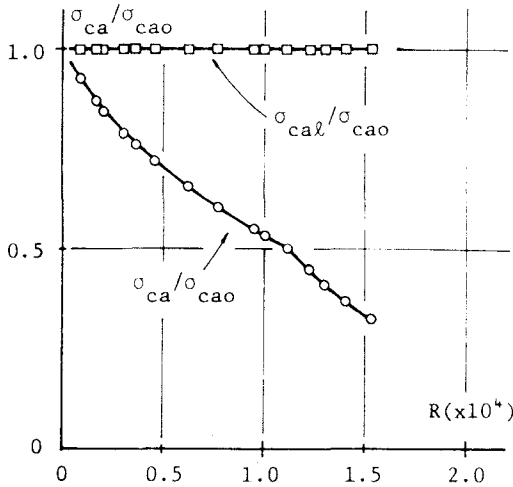


Fig. 3 $\sigma_{ca}/\sigma_{cao} - R$ curve of square box section (SM50, $L=10\text{m}$).

(2) H形断面柱

Fig. 4に示すような幾何学的諸元を持つ、H形断面柱を検討する。

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

$$\text{制約条件式} : g_1 = \sigma_c - \sigma_{ca} \leq 0 \quad (13-1)$$

$$g_2 = b/t_f - 16 \leq 0 \quad (13-2)$$

$$g_3 = h/t_w - k_b \leq 0 \quad (13-3)$$

$$g_4 = L/r - 120 \leq 0 \quad (13-4)$$

$$\text{設計制約条件式} : t_w, t_f \geq 0.8 \text{ cm} \quad (14)$$

設計変数 : b, t_f, h, t_w

種々のケースについてこの最適化問題を解いた。その結果、正方形箱形断面柱とは異なり、細長比の制約条件〔式(13-4)〕がアクティブになる範囲では、最適幅厚比が局部座屈を考慮する必要のある値となった。一例として、SM58、 $L=10\text{m}$ の場合の無次元化した許容応力度と R の関係をFig. 5に示した。実線が上記の問題を計算した結果であるが、 R が約 10^4 より大きい範囲では、 σ_{ca}/σ_{cao} が1より急速に低減している。この範囲は、細長比の制約条件がアクティブになる設計に対応している。新、旧両示方書による最小重量設計の結果を比較すると、一般には両者は同一であるが、Fig. 5からも予想されるように、細長比の制約条件がアクティブになる部材長 L と荷重 P の組合せによっては、新示方書による方が部材断面積が少ないことがある。その範囲を示したのが、Fig. 6である。横軸が部材長であり、縦軸が新示方書による設計の方が部材断面積が少なくなる荷重の最大値 P_0 を示している。実線より下方が新示方書による設計の方が経済的になる範囲である。図より、かなり小さな荷重でなければ両示方書による設計に差が出ないし、例えば、SM50では、部材長が7mより短い範囲では、両示方書による設計は同じである。また、SS41では、部材長に関係なく両示方書による設計に差はない。

Fig. 5において、点線は細長比の制約条件を無視した場合の結果である。 R のすべての範囲において σ_{ca}/σ_{cao} は1になっており、文献4)の結果と一致している。

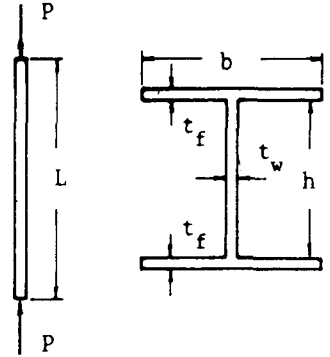


Fig. 4 H-shape section.

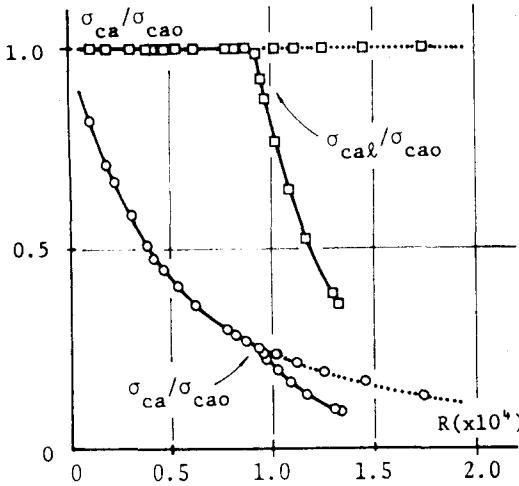


Fig. 5 σ_{ca}/σ_{cao} - R curve of H-shape section (SM58, $L=10\text{m}$).

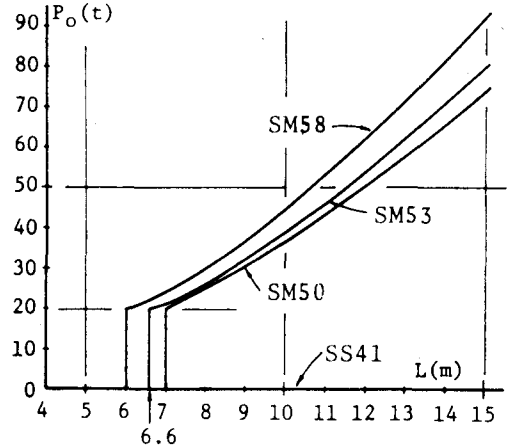


Fig. 6 Region where the design by current spec. is better than the design by former spec..

(3) 外幅が拘束されたH形断面柱

トラス橋の設計において、腹材などにH形鋼を使用する場合、断面の外幅が拘束されることがある。そこで、Fig. 7に示す幾何学的諸元を持つH形断面柱を検討した。

最適化問題の内、目的関数、制約条件式および設計制約条件式はH形断面柱の場合と同じであるので、詳細は省略する。設計変数は、 b 、 t_f 、 t_w の三つとなる。 B が拘束されている外幅である。

SM50、 $L=10\text{m}$ の場合について、新、旧両示方書による最小重量設計を行い、 B をパラメーターにして部

材断面積と荷重の関係を示したのがFig. 8である。実線が新示方書、点線が旧示方書による結果である。細長比の制約条件がアクティブになる場合に両者に差が生じ、拘束幅が大きくなるに従って、その差は大きくなる。例えば、 $B=80\text{cm}$ 、 $P=50\text{t}$ であれば、その差は 40cm^2 にもなる。この断面については、拘束幅として $B=80\text{cm}$ は適当な選択ではないが、とにかく新示方書により経済的な設計が可能になった一例である。

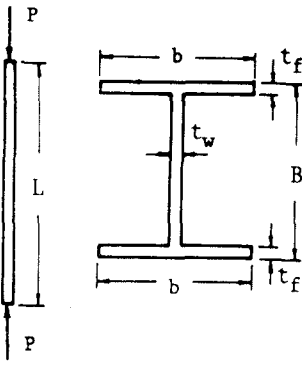


Fig. 7 H-shape section with fixed outside width.

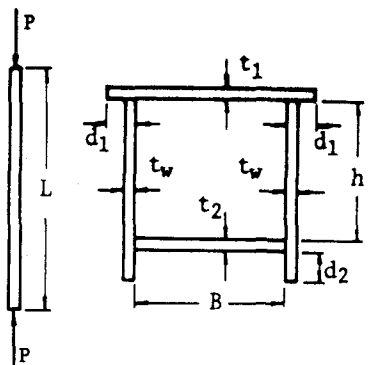


Fig. 9 Rectangular box section with fixed inside width.

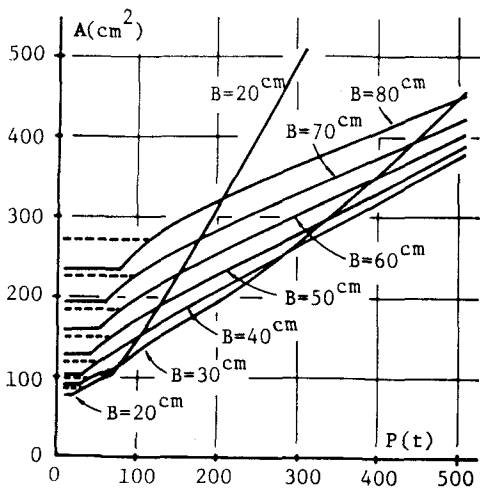


Fig. 8 Relation between sectional area and axial force for H-shape section (SM50, $L=10\text{m}$).

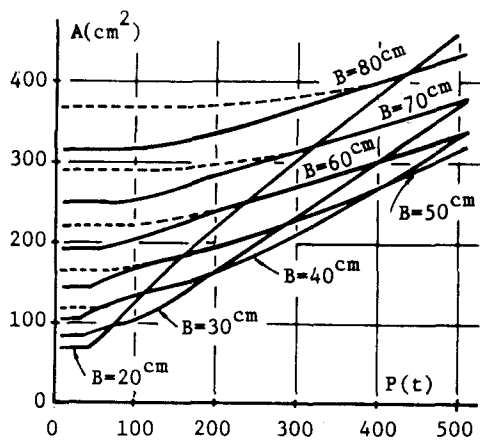


Fig. 10 Relation between sectional area and axial force for rectangular box section (SM53, $L=10\text{m}$).

(4) 内幅が拘束された箱形断面柱

ここでは、トラス橋の弦材などに用いられる、Fig. 9の幾何学的諸元を持つ、長方形箱形断面柱を検討する。トラス橋の弦材は、その内幅 B が拘束されるのが一般的であるので、 B の値はあらかじめ与えられるものとする。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 :
$$g_1 = \sigma_c - \sigma_{ca} \leq 0 \quad (15-1)$$

$$g_2 = B/t_1 - k_6 \leq 0 \quad (15-2)$$

$$g_3 = B/t_2 - k_6 \leq 0 \quad (15-3)$$

$$g_4 = h/t_w - k_6 \leq 0 \quad (15-4)$$

$$g_5 = I_x - I_y \leq 0 \quad (15-5)$$

$$g_6 = L/r - 120 \leq 0 \quad (15-6)$$

$$\text{設計制約条件式} : t_1, t_2, t_w \geq 0.8 \text{ cm} \quad (16)$$

$$\text{設計変数} : h, t_1, t_2, t_w$$

SM53, $L=10\text{m}$ の場合について, 新, 旧両示方書に従って上の最適化問題を解き, B をパラメーターとして部材断面積と荷重の関係を示したのが Fig. 10 である。実線が新示方書, 点線が旧示方書による結果である。外幅が拘束された H 形断面柱と同様に, 拘束幅が大きくなるに従って両者の差は大きくなり, また差が生じる範囲も広がっている。例えば, $B=80\text{cm}$ では, P が約 400 t まで新示方書による設計の方が経済的になり, $P=100$ t では, 両者の差は約 50cm^2 である。ただし, Fig. 10 より, この構造物の各部材に作用する軸力がすべて 500 t 以下であれば, $B=80\text{cm}$ とすることはあり得ず, 40cm あるいは 50cm とするのが妥当であろう。 $B=40\text{cm}$ であれば, 両者の差は少ない。なお, $d_1=1\text{cm}$, $d_2=2\text{cm}$ としている。

5. 考察および一提案

以上, 4 種類の断面形状を有する柱の最小重量設計を, 種々のケースについて行いその結果をまとめた。ここでは, まずそれらに考察を加え, 道路橋示方書の無補剛平板よりなる柱の許容応力度関連規程に関して一提案を行い, 計算例でその妥当性を示す。

(1) 考察

応力度の制約条件がアクティブになる場合は, 断面形状に関係なく, 新旧両示方書による設計に差はないが, 細長比あるいは幅厚比の制約条件が効いてくると, 断面形状に応じて応答が異なってくる。個々に検討すると以下ようになる。

正方形箱形断面柱では, 細長比および幅厚比の制約条件を考慮しても, 局部座屈を考慮する必要のある範囲に最適解はない。これは, 許容応力度の定め方と設計における柔軟性が高いためと思われる。

H 形断面柱では, Fig. 6 に示す荷重と部材長の範囲で, 新示方書による設計の方が経済的となる。しかし, 細長比の制約条件がアクティブになる部材の鋼材は, 41k 級を使うのが適当と思われる。SS41 では, 両示方書による設計に差はないので, 実際的には, 局部座屈を考慮することでより経済的な設計が可能になることはない。一方, 外幅が拘束された場合は, Fig. 8 に見られるように, 細長比の制約条件がアクティブになる荷重の範囲で, 新示方書による設計の方が経済的となる。

同様な結果が, 内幅が拘束された箱形断面柱でもみられた。この場合は, 細長比の制約条件だけでなく, 旧示方書による設計において, 幅厚比の制約条件のみがアクティブになる荷重と内幅の範囲でも, 新示方書による設計の方が経済的となった。その範囲とは, Fig. 10 の点線が傾いている部分である。

これらの結果は, 鋼種により差はなくそれぞれ同様の傾向を示す。

以上より, 常に局部座屈を意識しなければならない煩わしさはあるにせよ, 新示方書により無補剛平板よりなる柱の設計をより経済的に行なうことが可能となったといえる。しかし, 新示方書を参考にして旧示方書の一部を修正することにより, 局部座屈を意識しなくとも新示方書による設計と全く同一の設計が可能になる。それを以下に説明する。

(2) 許容応力度関連規程に関する一提案

細長比あるいは幅厚比の制約条件がアクティブになる荷重の範囲において, 新示方書と旧示方書による設計を詳細に検討してみると, 前者がより部材断面積が少ない直接の理由は, 許される幅厚比の上限値が, 新

示方書の方が大きいことによる。旧示方書でも、作用応力度が許容応力度に比べて少ない場合には、式(3)、(4)により幅厚比を k_7 あるいは k_8 より大きくとれる。しかし、式(5-2)により、許される幅厚比の上限値を個々に計算すると、Table 2に示すようになり、新示方書に比べて小さい。

そこで、旧示方書の改良案として、許容応力度はそのまま、式(5-2)を次式に改め、許される幅厚比の最大値を新示方書と同じにすることを提案する。

$$\cdot \text{両縁支持板} : 1 \leq \sqrt{k} \leq k_8/k_7 \quad (17)$$

$$\cdot \text{自由突出板} : 1 \leq \sqrt{k} \leq 16/k_8 \quad (18)$$

旧示方書では、局部座屈に対する検討は行わないが、細長比の制約条件がアクティブになる等の理由により応力的に余裕があり、式(3)あるいは式(4)により板厚を薄くした断面でも、新示方書の、局部座屈を考慮した許容応力度の制約条件を満足していることは、以下のように証明される。

今、H形断面柱の設計を考える。断面が細長比により決定され応力的に余裕があったので、フランジ板厚を式(4)を考慮して求めた。板厚の変化に伴い、 σ_c および σ_{cag} も変わるので、この板厚の計算は繰り返し収束計算になる。3、4回の繰り返し計算で収束するが、この時の作用応力度を σ_c 、旧示方書による許容応力度を $\sigma_{ca}^{(0)}$ 、新示方書による許容応力度を $\sigma_{ca}^{(2)}$ とする。

当然、フランジ板厚 t_f は次式を満足している。

$$t_f \geq b/(\sqrt{k} \cdot k_8) \quad (19)$$

よって、 $\alpha (\geq 1)$ を考慮すると、

$$(t_f/b) = \alpha/(\sqrt{k} \cdot k_8) \quad (20)$$

となる。 $\sigma_{ca}^{(0)}$ は、式(1)より次式で計算される。

$$\sigma_{ca}^{(0)} = \sigma_{cag} \quad (21)$$

σ_{cal} は、式(8-2)に式(20)を代入して、

$$\sigma_{cal} = (\alpha/\sqrt{k})^2 \cdot (240000/k_8^2) \quad (22)$$

となる。ここで、 $(240000/k_8^2)$ は σ_{ca0} であり、また、

$$\sqrt{k} = \sqrt{\sigma_{ca}^{(0)}/\sigma_c} = \sqrt{\sigma_{cag}/\sigma_c}$$

であるので、式(22)は、

$$\sigma_{cal} = \alpha^2 \cdot \sigma_{ca0} \cdot \sigma_c/\sigma_{cag} \quad (23)$$

となる。よって、 $\sigma_{ca}^{(2)}$ は、式(23)を式(6)に代入して、

$$\sigma_{ca}^{(2)} = \alpha^2 \cdot \sigma_c \quad (24)$$

となる。

α は1より大きいので、結局、

$$\sigma_{ca}^{(2)} \geq \sigma_c \quad (25)$$

となり、式(3)あるいは式(4)を考慮して板厚を低減する限り、その断面の応力度は、新示方書の局部座屈を考慮する許容応力度以内になる。

提案式およびそれに関連する新、旧両示方書の規程をまとめてTable 3に示した。提案式は、旧示方書の許される最小板厚を新示方書と同じにただけであるが、それによる設計は局部座屈を意識する必要はなく細長比の制約条件がアクティブになる場合でも、新示方書と同じ経済的な設計ができる。

次に、新、旧両示方書および提案式により設計した計算例を説明する。

Table 2 Comparison of maximum width-thickness ratio of current and former spec..

condition				
spec.	current	former	current	former
SS41	56	47.5	16	15.7
SM50	48	40.8	16	13.4
SM53	46	38.9	16	12.5
SM58	40	34.9	16	11.5

Table 3 Comparison of articles of former and current spec. and proposed equations.

		former spec.	current spec.	proposal
allowable stress		σ_{cag}	$\sigma_{cag} \cdot \sigma_{cal} / \sigma_{cao}$	σ_{cag}
minimum plate thickness	stress constraint is critical	t_o	t_*	t_o
	stress constraint is free	$t_o / \sqrt{k}$ $(\frac{t_o}{\sqrt{k}} \geq \frac{t_o}{1.2})$		$t_o / \sqrt{k}$ $(\frac{t_o}{\sqrt{k}} \geq t_*)$

t_o : minimum plate thickness calculated by Eq. (3) or (4) for $\sqrt{k} = 1$.

t_x : minimum plate thickness calculated by Eq. (9) or (10).

(3) 計算例

提案式による設計が、新示方書によるものと同じになることは、上記の証明より明らかであるが、数値計算でも確かめた。その内、二つの例を説明する。2例とも4.で触れた例である。

最小重量設計の結果を、Table 4 に示した。(a) は、外幅が拘束されたH形断面柱で、SM50, $L = 10\text{m}$, $P = 50\text{t}$, $B = 80\text{cm}$ の場合、(b) は、内幅が拘束された箱形断面柱で、SM53, $L = 10\text{m}$, $P = 100\text{t}$, $B = 80\text{cm}$ の場合である。2例とも、提案式と新示方書による設計は同じになっている。

提案式による設計は、幅厚比に関する制約条件あるいは設計制約条件がアクティブになっている。

Table 4 Comparison of the optimum designs by former and current spec. and proposed equations ($L = 10\text{m}$, $B = 80\text{cm}$).

(a) H-shape section with fixed outside width (SM50, $P = 50\text{t}$).

spec.	former spec.	current spec.	proposal
b (cm)	42.3	42.4	42.4
t_f (cm)	1.5	1.3	1.3
t_w (cm)	1.9	1.6	1.6
A (cm ²)	271.85	232.94	232.98

(b) Box section with fixed inner width (SM53, $P = 100\text{t}$).

spec.	former spec.	current spec.	proposal
h (cm)	15.0	15.5	15.5
t_1 (cm)	2.1	1.7	1.7
t_w (cm)	0.8	0.8	0.8
t_2 (cm)	2.1	1.7	1.7
A (cm ²)	271.85	232.94	232.98

6. 結論およびあとがき

無補剛平板よりなる柱の設計において、局部座屈を考慮することでより経済的な設計が可能かどうかを調べるために、正方形箱形、H形、外幅が拘束されたH形および内幅が拘束された箱形の4種類の断面を有する柱の設計を、主に最小重量設計により行い結果を検討し、新、旧両示方書による設計が同一の場合、新示方書による設計がより経済的になる場合を明らかにした。さらに、新示方書を参考にして旧示方書の一部を修正することで、局部座屈の影響を意識することなしに、新示方書と同じ経済的な設計が可能であることを示した。

本論文より得られた結論を箇条書にすると、以下のようになる。

1) 正方形箱形断面柱、および応力度の制約条件がアクティブになる場合は断面形状にかかわらず、新、旧両示方書による設計は同じであり、最適幅厚比は、局部座屈を考慮する必要の無い値の上限値となる。

2) H形断面柱, 外幅が拘束されたH形断面柱および内幅が拘束された箱形断面柱においては, 細長比あるいは幅厚比の制約条件がアクティブになる場合のみ, 新示方書による設計の方が経済的となる。ただし, この場合も拘束幅の選択を最適に行なうとその差は少ない。これらの傾向は, 鋼種により差はない。

以上より, 実際の設計では何等かの最適決定がなされていると思われるので, 局部座屈の影響を考慮してより薄い板の使用を可能にすることにより, より経済的な設計が可能になるのは特殊な場合であると思われる。その特殊な場合も, 旧示方書の一部を修正することにより, 旧示方書と同じ手順で経済的な設計ができる。つまり,

3) 旧示方書において, 許される幅厚比の最大値を新示方書と同じにすることにより, 新示方書と同じ効果を期待できる。これによる設計は, 新示方書の, 局部座屈を考慮する許容応力度に関する制約条件を, 自動的に満足している。

4) この結果, 無補剛平板よりなる柱の設計において, 応力度の制約条件がアクティブになる一般的な場合は, 局部座屈の影響を意識しないで設計することができ, 細長比の制約条件がアクティブになっても, 容易に新示方書と同じ経済的な設計が可能になる。

5) 現在, トラス構造物の最小重量設計は, 多段階決定でなされるのが一般的である^{11) 12)}が, その断面寸法の決定は, 何等かの数理計画法を用いるか, 理想化された断面で行なうのが通例である。本報告の結果は, そのような断面の最適化にも参考になる¹⁴⁾と思われる。

なお, 円管断面の場合を検討したものが, 文献13)にある。

本論文の計算例は, 室蘭工業大学 情報処理教育センターのFACOM M-170を使用した。

参考文献

- 1) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説, 1973.
- 2) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説, 1980.
- 3) 榎波義幸 : 道路橋示方書の改訂について, 橋梁, Vol. 15, No. 8, 1979.
- 4) 安保秀範, 長谷川彰夫, 西野文雄 : 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回年次学術講演会講演概要集, 1983.
- 5) 石川信隆, 杉本博之 : 長谷川彰夫・阪上精希・松浦聖共著 "最大荷重設計による骨組構造の最適化" への討議および解答, 土木学会論文報告集, No. 333, 1983.
- 6) 今野浩, 山下浩 : 非線形計画法, 日科技連, pp.237~251, 1978.
- 7) Haftka, R. T. and Starnes, J. H., Jr. : Applications of a Quadratic Extended Interior Penalty Function for Structural optimization, AIAA Journal, Vol. 14, pp.718~724, 1976.
- 8) 今野浩, 山下浩 : 非線形計画法, 日科技連, pp.196~211, 1978.
- 9) Moses, F. : Optimum Structural Design Using Linear Programming, ASCE Journal of the Structural Division, Vol. 90, No. ST6, pp.89~104, 1964.
- 10) Powell, M.J.D. : A Fast Algorithm for Nonlinearly Constrained Optimization Calculations, Report DAMTP77/NA2, University of Cambridge, England, 1977.
- 11) 小林一郎, 杉野朗, 三池亮次 : Two level Method を用いたトラス橋の最小重量設計, 熊本大学工学部研究報告, 第33巻, pp.31~36, 1984.
- 12) Konisi, Y. and Maeda, Y. : Optimum Design of trusses Using Suboptimization, Proc. of JSCE, Vol. 333, pp.173~181, 1983.
- 13) 杉本博之 : 道路橋示方書の許容軸方向圧縮応力度について, 室蘭工業大学研究報告, 第34号, 1984.
- 14) 杉本博之, 橋本克己 : 断面最適化に最大荷重設計法を用いる骨組構造物の最小重量設計について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第41号, 1985.