



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



## 道路橋示方書の許容軸方向圧縮応力度について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 杉本, 博之 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/1083">http://hdl.handle.net/10258/1083</a>

# 道路橋示方書の許容軸方向圧縮応力度について

杉 本 博 之

## On the Formulation about the Allowable Compressive Stress of the Specification for the Design of Highway Bridges

Hiroyuki SUGIMOTO

### Abstract

The specification for the design of highway bridges was revised in 1980. In the former specification, the allowable compressive stress was determined only by the global ultimate strength of columns. On the other hand, the coupled effect of the local buckling and the global buckling is considered to determine the allowable compressive stress in the current specification.

Anpo, Hasegawa and Nishino, in 1983, studied the optimum design of columns by their maximum load design method and pointed out that the consideration for local buckling would not lead to the more economical design.

This paper also studies the optimum design of the columns with square box, H and pipe sections. Minimum weight design using Augmented Lagrange Multiplier Method is applied, so the limit on the maximum value of slenderness ratio that was not considered in the former paper is included into the constraints set.

Several conclusions on the optimum design of axial members are gained and a formulation about the allowable compressive stress is proposed.

### 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<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>。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<sup>3)</sup>が、鋼柱の設計作業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、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<sup>4)</sup>。ただし、この研究では、最大荷重設計法を用いているので、幅厚比および細長比に関する制約条件式を考慮していない。

本研究は、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決定し、その結果を考察することにより、局部座屈を考慮することの効果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、細長比に関する制約条件の影響も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。さらに、新、旧両示方書による設計を比較し、旧示方書は、その一部を改良することにより、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、旧示方書の改良案を提案している。

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. 記号の定義

本報告で用いる記号は、以下の通りである。

- $\sigma_{ca}$  : 許容軸方向圧縮応力度。
- $\sigma_{cag}$  : 局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度。
- $\sigma_{cal}$  : 局部座屈に対応する許容応力度。
- $\sigma_{cao}$  :  $\sigma_{cag}$  の上限値。
- $\sigma_c$  : 軸方向圧縮力による作用応力度。
- $L$  : 部材長。
- $P$  : 荷重。
- $A$  : 部材断面積。
- $b$  : フランジ幅。
- $b'$  : H形断面の自由突出幅 ( $= (b - t_w) / 2$ )。
- $h$  : H形断面の腹板高。
- $t, t_f, t_w$  : 板厚。
- $t_0$  : 局部座屈を考慮する必要のない最小の板厚。
- $D$  : 円管の外径。
- $r$  : 断面二次半径。
- $(L/r)_{\max}$  : 細長比の上限値。
- $R$  : 無次元量 ( $= L^2 / A$ )。
- $k_i$  ( $i = 1 \sim 10$ ) : 道路橋示方書に定められている各定数 (表-1)。
- $g_j$  : 制約条件式。

表-1 各鋼種の $k_i$ の値

	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
$k_9$		50	40	35	25
$k_{10}$		4.3	6.1	6.7	8.3

### 3. 許容軸方向圧縮応力度に関する新, 旧道路橋示方書の規定

新, 旧道路橋示方書に定められている許容軸方向圧縮応力度, およびそれに関連する幅厚比に関する規定を, 以下に簡単に説明する。

#### A. 旧示方書

##### i) 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。

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

ここで,  $\sigma_{cag}$ は,

$$\begin{aligned} L/r < k_3 & ; & \sigma_{cag} = k_1 \\ k_3 < L/r < k_4 & ; & \sigma_{cag} = k_1 - k_2 (L/r - k_3) \\ k_4 < L/r & ; & \sigma_{cag} = \frac{12,000,000}{k_5 + (L/r)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

##### ii) 圧縮力を受ける板の最小板厚

###### a) 両縁支持板

$$t \geq \frac{b}{\sqrt{k} \times k_7} \quad (3)$$

###### b) 自由突出板

$$t \geq \frac{b'}{\sqrt{k} \times k_8} \quad (4)$$

式(3), (4)において,  $\sqrt{k}$  は次式で計算される。

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

ただし,

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

以上において,  $k_7$ ,  $k_8$  および SM 58 に対する  $k_2$ ,  $k_3$  および  $k_5$  の値は, 新, 旧両示方書間で異なっている。表-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, これらの方が合理的であるので, 本論文では, 旧示方書に従う設計の場合も表-1 の値を用いる。これは, 本論文の目的と矛盾しない。

##### iii) 円管の許容軸方向圧縮応力度

円管の許容軸方向圧縮応力度は, 次式で定義される。

$$\sigma_{ca} = \min(\sigma_{cag}, \sigma_{cal}) \quad (6)$$

ここで  $\sigma_{cag}$  は式(2)であり,  $\sigma_{cal}$  は次式で定義される。

$$D/t \leq k_9 ; \quad \sigma_{cal} = k_1 \quad (7-1)$$

$$k_9 < D/t \leq 200 \quad ; \quad \sigma_{cal} = k_1 - k_{10} (D/t - k_9) \quad (7-2)$$

## B. 新示方書

### i) 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。

$$\sigma_{ca} = \sigma_{cag} \cdot \sigma_{cal} / \sigma_{cao} \quad (8)$$

ここで、 $\sigma_{cag}$  は式(2)であり、 $\sigma_{cal}$  は次式で定義される。

#### a) 両縁支持板

$$b/k_7 \leq t \quad ; \quad \sigma_{cal} = k_1 \quad (9-1)$$

$$b/80 \leq t < b/k_7 \quad ; \quad \sigma_{cal} = 2,200,000 (t/b)^2 \quad (9-2)$$

#### b) 自由突出板

$$b'/k_8 \leq t \quad ; \quad \sigma_{cal} = k_1 \quad (10-1)$$

$$b'/16 \leq t < b'/k_8 \quad ; \quad \sigma_{cal} = 240,000 (t/b')^2 \quad (10-2)$$

また、 $\sigma_{cao}$  は  $k_1$  に等しい。

### ii) 圧縮力を受ける板の最小板厚

#### a) 両縁支持板

$$t \geq b/k_6 \quad (11)$$

#### b) 自由突出板

$$t \geq b'/16 \quad (12)$$

### iii) 円管の許容軸方向圧縮応力度

円管の許容軸方向圧縮応力度は、式(8)で定義される。ただし、 $\sigma_{cal}$  は式(7)である。

以上のように、旧示方書では、式(3), (4)で定義される局部座屈の生じない範囲に板厚を制限し、式(2)で定義される全体座屈強度から許容応力度を求めている。細長比がクリテカルになる場合等、応力的に余裕のある場合には、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、板厚の制限を式(11), (12)のように緩めて、その範囲の局部座屈の影響は、局部座屈に対応する許容応力度、式(9), (10)を式(8)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。前示方書に比べて、各数式の物理的意味は明確になったが、設計作業は若干複雑になった。

以下に、各断面形状毎に考察を加え、新示方書のように局部座屈を考慮することの効果を検討する。

### 4. 正方形箱形断面柱

図-1に示すような幾何学的諸元を持つ、2軸対称正方形箱形断面柱を検討した。

#### A. 断面積一定のもとでの $\sigma_{ca}$ と $t$ の関係

最小重量設計を行う前に、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検討した。断面は、 $b$  と  $t$  で決定されるが、断面積一定 ( $\bar{A}$ ) の条件を考慮すると、 $b$  は  $t$  の関数として次式で表わされる。

$$b = \frac{\bar{A} - 4t^2}{4t} \quad (13)$$

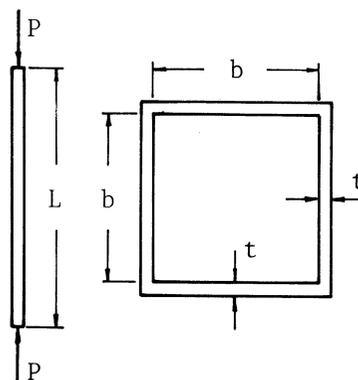


図-1 正方形箱形断面柱

式(13)を用いて、 $\sigma_{ca}$  と  $t$  の関係を、6種類の  $\bar{A}$  に対して求めたのが、図-2 (SM 50,  $L=10$  m) および図-3 (SM 58,  $L=10$  m) である。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、式(8)の  $\sigma_{ca}$  に式(9-2)を代入した場合の、 $t=t_0$  における  $\sigma_{ca}$  の  $t$  に関する微係数を求めた。それは、次式のように誘導される。

$$\frac{\partial \sigma_{ca}}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{cag}}{\partial t} \cdot \frac{\sigma_{cal}}{\sigma_{cao}} + \frac{\sigma_{cag}}{\sigma_{cao}} \cdot \frac{\partial \sigma_{cal}}{\partial t} \quad (14)$$

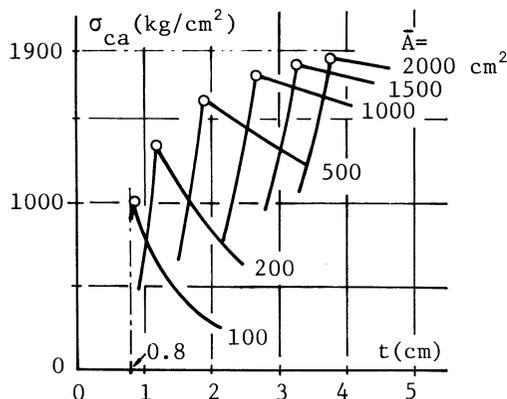


図-2 正方形箱形断面柱の  $\sigma_{ca}-t$  曲線 (SM 50,  $L=10$  m)

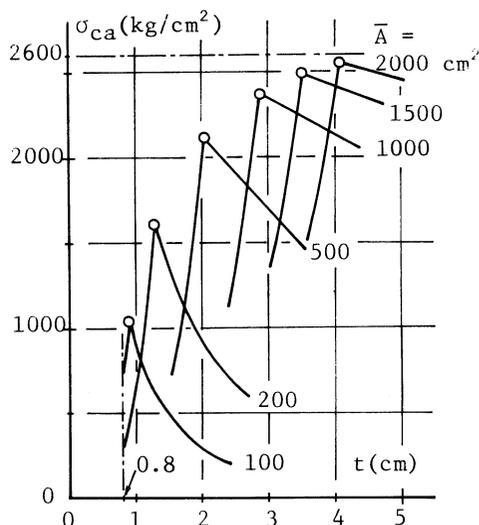


図-3 正方形箱形断面柱の  $\sigma_{ca}-t$  曲線 (SM 58,  $L=10$  m)

ここで、

$$\frac{\partial \sigma_{cal}}{\partial t} = 2,200,000 \cdot \frac{\bar{A}}{b^3} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} L/r \leq k_3 & ; \frac{\partial \sigma_{cag}}{\partial t} = 0 \\ k_3 < L/r < k_4 & ; \frac{\partial \sigma_{cag}}{\partial t} = \frac{k_2 L}{r^2} \cdot \frac{\partial r}{\partial t} \\ k_4 \leq L/r & ; \frac{\partial \sigma_{cag}}{\partial t} = \frac{\sigma_{cag}}{k_5 + (L/r)^2} \cdot \frac{2L^2}{r^3} \cdot \frac{\partial r}{\partial t} \end{aligned} \quad (16)$$

また、

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \frac{16t^4 - (\bar{A})^2}{4\sqrt{6}t^2\sqrt{(\bar{A})^2 + 16t^4}} \quad (17)$$

以上を計算した結果、すべてのケースについて微係数は正となった。

これらは、正方形箱形断面柱の設計において、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。

## B. 最小重量設計

新示方書に従って、図-1の断面を、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。

$$\begin{aligned} \text{目的関数} & : \text{部材断面積} \longrightarrow \text{最小} \\ \text{制約条件式} & : \left. \begin{aligned} g_1 &= 1 - \sigma_{ca}/\sigma_c \leq 0 \\ g_2 &= 1 - k_6 \cdot t/b \leq 0 \\ g_3 &= 1 - (L/r)_{\max} \cdot r/L \leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (18) \end{aligned}$$

$$\text{設計制約条件式} : t \geq 0.8 \text{ (cm)} \quad (19)$$

$$\text{設計変数} : b, t$$

この最適化問題を本研究では、最適化に BFGS<sup>5)</sup> を用いる拡張ラグランジ係数法<sup>5)</sup> で解いた。以下の最適化問題でも同様である。

結果の一部を、図-4および表-2(いずれも  $L=10$  m)に示した。 $(L/r)_{\max}$  は 120 である。

図-4は、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、 $g_1$ (応力度の制約条件)がクリテカルになった。最適幅厚比は、応力度の制約条件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。他の部材長でも、同様の結果が得られている。これらは、表-2においてより明確に見ることができる。

表-2 正方形箱形断面柱の最小重量設計の結果 ( $L=10\text{m}$ )

steel	SS41		SM50		SM53		SM58	
$P(\text{t})$	20	500	20	500	20	500	20	500
$A(\text{cm}^2)$	65.27	401.21	65.27	332.27	65.27	313.83	65.27	275.24
$b(\text{cm})$	19.60	62.25	19.60	52.40	19.60	49.62	19.60	43.99
$t(\text{cm})$	0.80	1.57	0.80	1.54	0.80	1.53	0.80	1.51
$b/t$	24.5	39.6	24.5	34.0	24.5	32.4	24.5	29.1
$g_1$	-0.856	0.000	-1.019	-0.000	-1.072	0.001	-1.188	0.002
$g_2$	-1.286	-0.414	-0.959	-0.411	-0.878	-0.422	-0.633	-0.375
$g_3$	-0.000	-2.127	-0.000	-1.643	0.000	-1.507	-0.000	-1.230

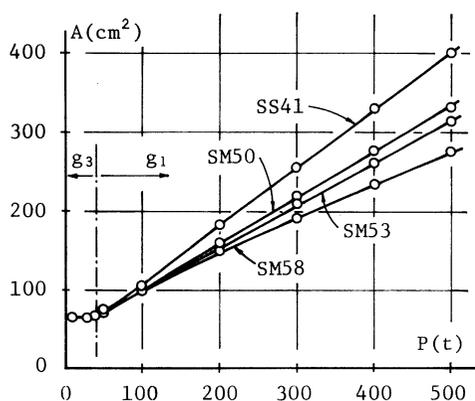


図-4 正方形箱形断面柱の  $A-P$  曲線 ( $L=10\text{m}$ )

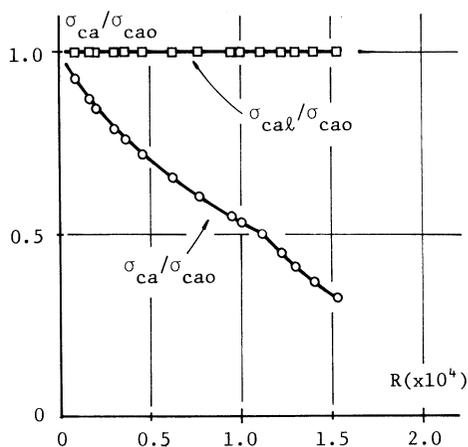


図-5 正方形箱形断面柱の許容軸方向圧縮応力度 ( $SM\ 50, L=10\text{m}$ )

表-2 は、 $p=20\text{t}$  および  $500\text{t}$  の場合の最適設計の結果を、各鋼種毎に示したものである。 $p=20\text{t}$  の場合は、 $g_3$  がクリテカルに、 $p=500\text{t}$  の場合は、 $g_1$  がクリテカルになっている。最適幅厚比  $b/t$  は、すべて局部座屈を考慮する必要がない値になっている。

次に、 $SM\ 50, L=10\text{m}$  の場合について、 $\sigma_{ca}/\sigma_{cao}$  および  $\sigma_{cal}/\sigma_{cao}$  と  $R (=L^2/A)$  の関係を図-5 に示した。他の鋼種、部材長でも全く同じであるが、設計上可能な  $R$  のすべての範囲において、 $\sigma_{cal}/\sigma_{cao}$  は 1 となっている。

### C. 正方形箱形断面柱のまとめ

以上より、正方形箱形断面柱においては、板厚は局部座屈を考慮する必要のない最小値 (旧示方書 式(3)) あるいは最小板厚 (8 mm) となり、局部座屈を考慮することで、より経済的な設計がなされることはなく、示方書の関連の規程は、改定される必要はなかったということになる。

### 5. 円管形面柱

図-6に示すような幾何学的諸元を持つ、円管断面柱を検討した。

円管断面柱に関しては、旧示方書でも局部座屈は考慮されており、また、座屈挙動も集成断面柱とは異なるので、同一に論ずることはできない。ここでは、参考として若干の考察を加えた。

#### A. 断面積一定のもとでの $\sigma_{ca}$ と $t$ の関係

正方形箱形断面柱の場合と同様に、断面積一定 ( $\bar{A}$ ) のもとでの許容軸方向圧縮応力度と板厚の関係をみる。円管断面の外径  $D$  は、板厚  $t$  の関数として次式で表わされる。

$$t = \sqrt{\frac{\bar{A}}{\pi(2k_9 - 1)}} \tag{20}$$

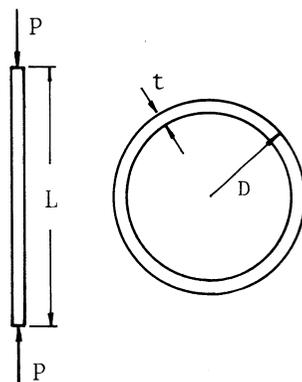


図-6 円管断面柱

式(20)を用いて、 $\sigma_{ca}$  と  $t$  の関係を、6種類の  $\bar{A}$  に対して求めたのが、図-7 (SM 50,  $L=10$  m) および図-8 (SM 58,  $L=10$  m) である。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。円管断面柱では正方形箱形断面柱とは異なり、図-8にみられるように部材断面積の小さな場合に、局部座屈を考慮する必要のある板厚の領域で許容応力度が最大になっている。

次に、式(8)の  $\sigma_{cat}$  に式(7-2)を代入した場合の、 $t=t_0$  における  $\sigma_{ca}$  の  $t$  に関する微係数を

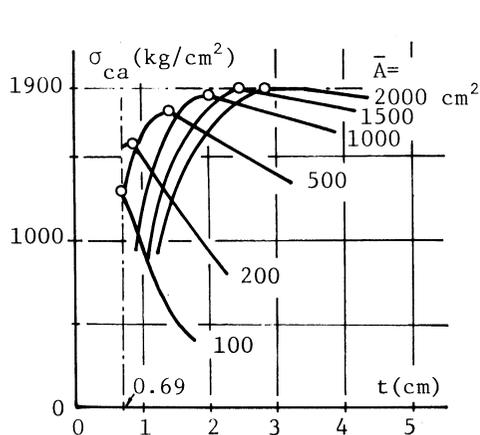


図-7 円管断面柱の  $\sigma_{ca}-t$  曲線 (SM 50,  $L=10$  m)

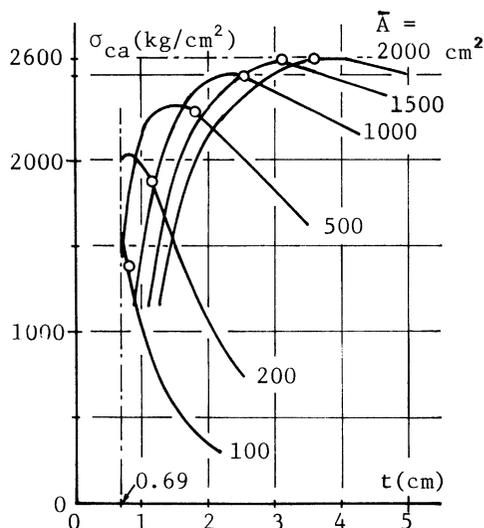


図-8 円管断面柱の  $\sigma_{ca}-t$  曲線 (SM 58,  $L=10$  m)

求めた。式(14)および式(16)は、この場合も同じである。

$\partial\sigma_{cal}/\partial t$  および  $\partial r/\partial t$  は、次のように計算される。

$$\frac{\partial\sigma_{cal}}{\partial t} = \frac{k_{10} \cdot \bar{A}}{\pi t^3} \quad (21)$$

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \frac{\pi^2 t^4 - (\bar{A})^2}{8 \pi^2 t^3 r} \quad (22)$$

式(21), (22)を、式(14), (16)に代入して計算した結果、 $\bar{A}$ の小さな範囲で微係数が負になる鋼種と部材長の組み合わせがあった。

### B. 最小重量設計

新示方書に従って、図-6の断面を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  $\rightarrow$  最小

$$\left. \begin{aligned} \text{制約条件式} : g_1 &= 1 - \sigma_{ca}/\sigma_c \leq 0 \\ g_2 &= 1 - 200 \cdot t/D \leq 0 \\ g_3 &= 1 - (L/r)_{\max} \cdot r/L \leq 0 \end{aligned} \right\} (23)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{設計制約条件式} : D &\geq 40 \text{ (cm)} \\ t &\geq 0.69 \text{ (cm)} \end{aligned} \right\} (24)$$

設計変数 :  $D, t$

詳細な結果は省略し、SM 50,  $L=10$  mの場合の  $\sigma_{ca}/\sigma_{cao}$  および  $\sigma_{cal}/\sigma_{cao}$  と  $R$  の関係を図-9に示した。図より、 $R$ の大きな範囲で、 $\sigma_{cal}/\sigma_{cao}$  が1より小さくなっている。 $(L/r)_{\max}$  は120である。

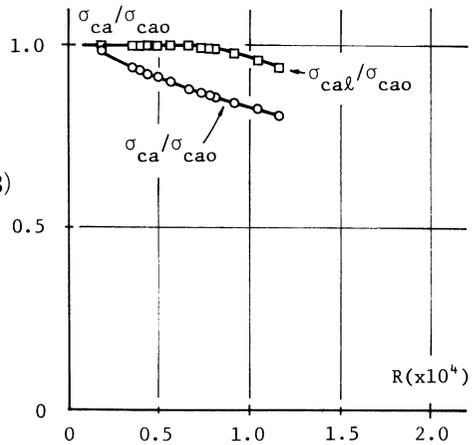


図-9 円管断面柱の許容軸方向圧縮応力度 (SM 58,  $L=10$  m)

### C. 円管断面柱のまとめ

以上より、円管断面柱においては、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。

## 6. H形断面柱

図-10に示すような幾何学的諸元を持つ、2軸対称H形断面柱を検討した。H形断面柱では、断面積一定のもとでの許容応力度と板厚の関係は求めず、最小重量設計のみを行なった。

### A. 最小重量設計

新示方書に従って、図-10の断面を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

に定義される。

$$\begin{aligned}
 \text{目的関数} & : \text{部材断面積} \longrightarrow \text{最小} \\
 \text{制約条件式} & : \left. \begin{aligned} g_1 &= 1 - \sigma_{ca}/\sigma_c \leq 0 \\ g_2 &= 1 - 16 \cdot t_f/b' \leq 0 \\ g_3 &= 1 - k_0 \cdot t_w/h \leq 0 \\ g_4 &= 1 - (L/r)_{\max} \cdot r/L \leq 0 \end{aligned} \right\} (25) \\
 \text{設計制約条件式} & : \left. \begin{aligned} t_w &\geq 0.8 \text{ (cm)} \\ t_f &\geq 0.8 \text{ (cm)} \end{aligned} \right\} (26) \\
 \text{設計変数} & : b, t_f, h, t_w
 \end{aligned}$$

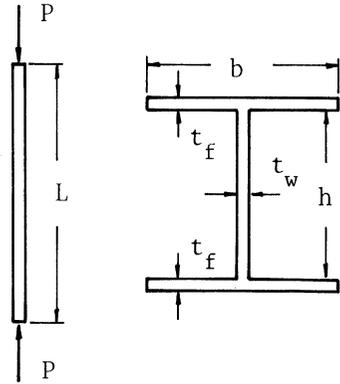


図-10 H形断面柱

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となった。結果の一部を表-3に示した。表は、 $L=10\text{ m}$ 、 $(L/r)_{\max}=120$ の場合であるが、 $p=20^t$ と $500^t$ に対する結果を示している。 $p=20^t$ の場合は、 $g_4$ （細長比の制限）および $g_2$ （フランジの幅厚比の制限）あるいは $g_1$ （応力度の制約条件）がクリテカルになり、 $p=500^t$ の場合は、 $g_1$ がクリテカルになっている。フランジの幅厚比の値に示されているように、 $p=20^t$ の場合は、局部座屈を考慮する必要のある値（式(10-2)参照）になっている。

最小重量設計の結果の内、無次元化した許容応力度と $R$ の関係を示したのが、図-11（SM 50,  $L=10\text{ m}$ ）および図-12（SM 58,  $L=10\text{ m}$ ）である。実線が、 $(L/r)_{\max}=120$ 、点線が、 $(L/r)_{\max}=\infty$ つまり細長比の制限がない場合の結果である。

表-3 H形断面柱の最小重量設計の結果（ $L=10\text{ m}$ ）

steel	SS41		SM50		SM53		SM58	
$P(t)$	20	500	20	500	20	500	20	500
$A(\text{cm}^2)$	75.27	435.71	75.29	372.99	75.27	358.53	77.09	327.66
$b(\text{cm})$	31.84	72.53	31.86	62.37	31.85	59.27	31.76	54.18
$t_f(\text{cm})$	0.97	2.74	0.97	2.74	0.97	2.77	1.00	3.77
$h(\text{cm})$	16.84	38.63	16.85	32.76	16.84	30.97	16.78	28.15
$t_w(\text{cm})$	0.80	0.97	0.80	0.96	0.80	0.96	0.80	0.98
$b/t_f$	16.0	13.1	16.0	11.2	16.0	10.5	15.5	9.6
$h/t_w$	21.0	39.8	21.1	34.1	21.0	32.3	21.0	28.7
$\sigma_{ca}$	938	1400	937	1900	940	2100	1006	2600
$g_1$	-0.434	-0.001	-0.148	0.000	-0.066	0.000	0.000	0.000
$g_2$	-0.000	-0.227	0.000	-0.426	0.000	-0.522	-0.036	-0.666
$g_3$	-1.661	-0.413	-1.279	-0.412	-1.185	-0.429	-0.907	-0.396
$g_4$	0.000	-1.402	-0.000	-1.066	0.000	-0.965	0.000	-0.796

道路橋示方書の許容軸方向圧縮応力度について

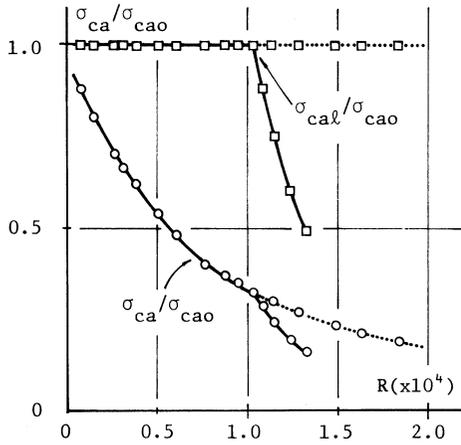


図-11 H形断面柱の許容軸方向圧縮応力度 (SM 50, L=10 m)

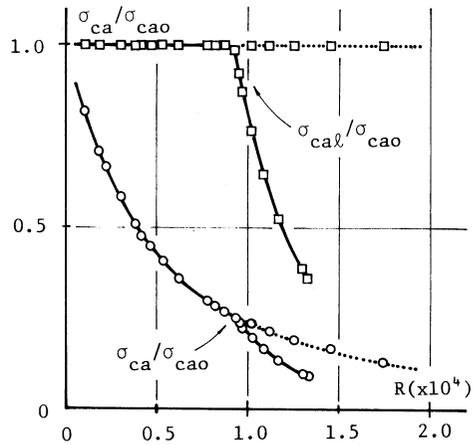


図-12 H形断面柱の許容軸方向圧縮応力度 (SM 58, L=10 m)

両図とも同様の傾向を示しているが、 $R$  が約  $10^4$  より大きい範囲では、 $\sigma_{cal}/\sigma_{cao}$  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クリテカルになっている設計に対応しているが、新示方書の改定が有効に作用している部分である。しかし、細長比の制約条件をとると、点線で示したように、 $R$  の値に関係なく  $\sigma_{cal}/\sigma_{cao}$  は 1 になっている。これは、文献 4) の結果と一致する。

B. H形断面柱のまとめ

H形断面柱の設計において、新示方書に従ってより経済的な設計が可能なのは、細長比に関する制約条件がクリテカルになる場合のみである。これは、局部座屈を考慮することの効果ではなく、幅厚比の制限を緩和したためと思われる。よって、局部座屈応力度の検討は必要でなく、旧示方書において、式(3)～式(5-2)を再検討することにより、新示方書より簡単な手順で同一の設計が可能であると推定される。

これらは、以下でさらに検討される。

7. 最適断面形状

ここまで、各断面形状毎に検討を加えてきたが、ここではある荷重に対する最小重量設計の結果を、各断面形状間で比較することにより、最適な断面形状を求める。

3種類の断面形状の部材断面積と荷重の関係を、まとめて示したのが図-13 (SS 41, L=10 m)、図-14 (SM 50, L=10 m) および図-15 (SM 53, L=10 m) である。程度の差はあるが、どの図も同様の結果を示しており、荷重が約  $200t$  より少な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小重量を示しており、H形断面が両者に同時に勝ることはなかつ

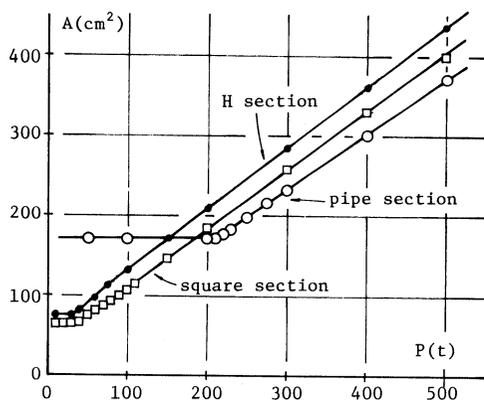


図-13 断面形状の比較 (SS 41,  $L=10$  m)

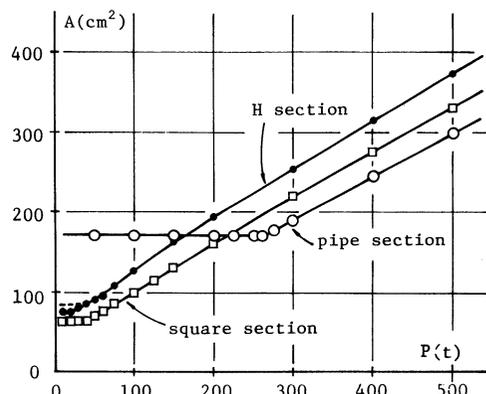


図-14 断面形状の比較 (SM 50,  $L=10$  m)

た。

これらの図において、荷重の少ない範囲に点線で示してあるのは、H形断面柱を旧示方書に従って最小重量設計をした場合の結果である。図-13では実線と一致している。これらは、前章の考察でも説明したが、荷重の少ない範囲、つまり、細長比に関する制約条件がクリテカルになる範囲での、新示方書の有効性を示しているものである。

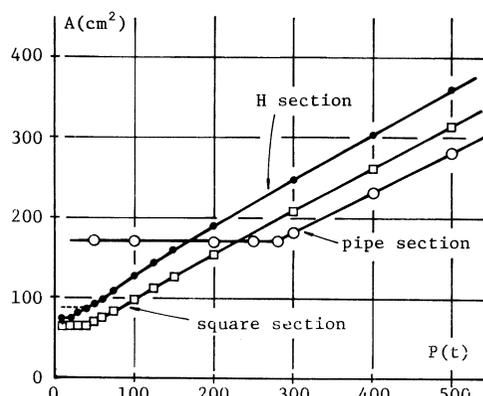


図-15 断面形状の比較 (SM 53,  $L=10$  m)

## 8. 許容軸方向圧縮応力度関連の規定の一提案

旧示方書 (S 48) と新示方書 (S 55) の許容軸方向圧縮応力度に関する規程を比較すると、新示方書の方が、設計作業をより複雑にはしているが合理的であり、理論的には改良された規程である。しかし、4章で説明したように、正方形箱形断面柱の設計においては、局部座屈を考慮する範囲に最適設計は存在しないので、旧示方書による設計で十分である。

H形断面柱でも同様の結果が得られているが、例外的に細長比の制約条件がクリテカルになる場合のみ、新示方書で設計した方が部材断面積は少なかった。昭和 55 年における、示方書の許容軸方向圧縮応力度に関する規定の改定の主な目的が、小さな荷重の範囲での柱の設計を経済的にすることにあったから、これは、改定の目的が達せられたことを示している。

しかしながら、細長比の制約条件がクリテカルになる荷重の範囲において、新示方書による設計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のは、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)～式(5-1)により、幅厚比を  $k_7$  あるいは  $k_8$  よりも大きくとれる。しかし、式(5-2)により、許される幅厚比の上限値は、表-4に示すように、新示方書に比べて小さい。

表-4 新、旧示方書の幅厚比の上限地

支持条件 spec.	両縁支持板		自由突出板	
	S55	S48	S55	S48
SS 41	56	47.5	16	15.7
SM50	48	40.8	16	13.4
SM53	46	38.9	16	12.8
SM58	40	34.9	16	11.5

そこで、旧示方書の改良案として、式(5-2)を次式のようにすることを提案する。

a) 両縁支持板 (5')

$$\sqrt{k} \leq k_6/k_7$$

b) 自由突出板

$$\sqrt{k} \leq 16/k_8 \quad (5'')$$

旧示方書では、局部座屈に対する検討は行なわないが、細長比の制約条件がクリテカルになり、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、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)により定めたとする。この時の作用応力度を  $\sigma_c$ 、旧示方書による許容応力度を  $\sigma_{ca}^{(1)}$ 、新示方書による許容応力度を  $\sigma_{ca}^{(2)}$  とする。フランジ板厚  $t$  は、次式を満足しなければならない。

$$t \geq \frac{b'}{\sqrt{k} \cdot k_8} \quad (27)$$

よって

$$\frac{t}{b'} = \alpha \cdot \frac{1}{\sqrt{k} \cdot k_8} \quad (28)$$

ここで、

$$\alpha \geq 1 \quad (29)$$

また、 $\sigma_{ca}^{(1)}$  は次式で計算される。

$$\sigma_{ca}^{(1)} = \sigma_{cag} \quad (30)$$

$\sigma_{ca}^{(2)}$  は、式(10-2)より

$$\begin{aligned} \sigma_{ca} &= 240,000 \left( \frac{t}{b'} \right)^2 \\ &= 240,000 \left( \alpha \cdot \frac{1}{\sqrt{k} \cdot k_8} \right)^2 \\ &= \alpha^2 \cdot \frac{240,000}{k_8^2} \cdot \frac{1}{k} \end{aligned} \quad (31)$$

上式において、 $240,000/k_3^2$ は $\sigma_{cao}$ であり、また、

$$k = \frac{\sigma_{ca}^{(1)}}{\sigma_c} \quad (32)$$

であるので、 $\sigma_{cal}$ は、

$$\sigma_{cal} = \alpha^2 \cdot \sigma_{cao} \cdot \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}^{(1)}} \quad (33)$$

となる。よって、 $\sigma_{ca}^{(2)}$ は、式(33)を式(8)に代入して、

$$\begin{aligned} \sigma_{ca}^{(2)} &= \sigma_{cag} \cdot \frac{\sigma_{cal}}{\sigma_{cao}} \\ &= \sigma_{cag} \cdot \alpha^2 \cdot \sigma_{cao} \cdot \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}^{(1)}} \cdot \frac{1}{\sigma_{cao}} \\ &= \alpha^2 \cdot \sigma_c \end{aligned}$$

式(29)より、結局、

$$\sigma_{ca}^{(2)} \geq \sigma_c \quad (34)$$

となり、式(3)あるいは式(4)で板厚を低減する限り、その断面の応力度は、自動的に新示方書に定められている局部座屈を考慮する許容応力度以内になる。よって、式(5-2)を式(5')あるいは(5'')とし、幅厚比の上限値を新示方書の値と同じくすることにより、局部座屈に対する応力度を検討しなくても、新示方書と同じ設計が可能となる。

新、旧示方書および本論文で提案された式(5')および(5'')を、式(5-2)の代りに用いる旧示方書による最小重量設計の結果を、表-5 (SS 41,  $L=10$  m,  $P=30^\circ$ )、表-6 (SM 50,  $L=10$  m,  $P=20^\circ$ ) および表-7 (SM 53,  $L=10$  m,  $p=20^\circ$ ) に示した。これらの結果より、本論文の提案の妥当性が説明されていると思われる。

表-5 新、旧示方書および提案された式による最小重量設計の結果  
(SS41,  $L=10$  m,  $P=30^\circ$ )

spec.	S55	S48	S48*
$A$ (cm <sup>2</sup> )	76.51	76.22	76.18
$b$ (cm)	31.79	31.81	31.81
$t_f$ (cm)	0.99	0.99	0.99
$h$ (cm)	16.80	16.81	16.83
$t_w$ (cm)	0.80	0.80	0.80
$b/t_f$	15.7	15.7	15.7
$g_1$	-0.002	-0.445	-0.444(-0.000)
$g_2$	-0.018	0.000	0.000(-0.017)
$g_3$	-1.666	-1.263	-1.265(-1.663)
$g_4$	0.001	0.000	-0.000(-0.000)

表-6 新、旧示方書および提案された式による最小重量設計の結果  
(SM50,  $L=10$  m,  $P=20^\circ$ )

spec.	S55	S48	S48*
$A$ (cm <sup>2</sup> )	75.29	84.49	75.23
$b$ (cm)	31.86	31.43	31.85
$t_f$ (cm)	0.97	1.14	0.97
$h$ (cm)	16.85	16.52	16.84
$t_w$ (cm)	0.80	0.80	0.80
$b/t_f$	16.0	13.4	16.0
$g$	-0.148	-1.620	-1.326(-0.145)
$g$	0.000	-0.002	0.001( 0.001)
$g$	-1.279	-0.977	-1.280(-1.280)
$g$	-0.000	-0.000	0.000( 0.000)

これらの表において、S48\*の( )内の値は、得られた最小重量設計の結果を、新示方書(S55)によって検討した場合の各制約条件式の値である。新示方書による設計と同一の設計が、改良された旧示方書による設計で得られている。

結局、旧示方書は、その一部を改良することにより、新示方書を完全にカバーしており、集成箱形およびH形断面柱の設計において、局部座屈応力度の検討は不用ということになった。

表-7 新、旧示方書および提案された式による最小重量設計の結果  
(SM53, L=10m, P=20t)

spec.	S55	S48	S48*
A (cm <sup>2</sup> )	75.27	87.61	75.25
b (cm)	31.85	31.31	31.84
t <sub>f</sub> (cm)	0.97	1.19	0.97
h (cm)	16.84	16.43	16.83
t <sub>w</sub> (cm)	0.80	0.83	0.80
b/t <sub>f</sub>	16.0	12.8	16.0
g <sub>1</sub>	-0.066	-1.781	-1.387(-0.066)
g <sub>2</sub>	0.000	-0.000	-0.000(-0.000)
g <sub>3</sub>	-1.185	-0.891	-1.376(-1.186)
g <sub>4</sub>	0.000	0.000	0.001( 0.001)

## 9. 結 論

正方形箱形断面柱、円管断面柱およびH形断面柱の最適設計の結果を、種々の角度から検討することにより、新、旧示方書の許容軸方向圧縮応力度に関する規定を考察し、一つの提案を試みた。

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。

- i) 集成箱形断面柱およびH形断面柱の設計において、旧示方書の許容軸方向圧縮応力度に関する規程の内、許される最大幅厚比の値を新示方書と同じ値にすることにより、新示方書より簡単に、同じ経済的な設計が可能となる。
- ii) 正方形箱形断面柱の設計においては、局部座屈を考慮する必要がある板厚の範囲に、最適設計は存在しない。
- iii) 円管断面柱の設計においては、局部座屈を考慮する必要がある板厚の範囲に、最適設計が存在することがある。
- iv) H形断面柱の設計においては、細長比の制約条件がクリテカルになる場合にのみ、局部座屈を考慮する必要がある板厚の範囲に最適設計が存在する。ただし、本論文の提案に従うと、局部座屈との連成による許容応力度を計算しなくても、経済的な設計は可能である。
- v) H形断面柱の設計において、細長比の制約条件がなければ、最適幅厚比は局部座屈を考慮する必要のない値になる。
- vi) 部材断面積のみを比較すると、荷重の少ない範囲では正方形箱形断面柱が、大きい範囲では円管断面柱が経済的となり、H形断面柱が、両者に同時に勝ることはなかった。

杉本博之

本論文の計算は、室蘭工業大学情報処理教育センターの *Facom M-170 F* を使用した。

(昭和 59 年 5 月 9 日 受理)

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1973， 2.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1980， 2.
- 3) 榎波義幸：道路橋示方書の改定について，橋梁，1979， 8.
- 4) 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 回年次学術講演会講演概要集，1983， 9.
- 5) 今野，山下：非線形計画法，日科技連，1978.