

## 許容応力度設計法によるプレートガーダーの最適桁高

OPTIMUM DEPTH OF A PLATE GIRDER DESIGNED  
BY ALLOWABLE STRESS METHOD

伊藤 文人\*・野上 邦栄\*\*

By Fumihito ITOH and Kuniei NOGAMI

It seems there are too many formulations about optimum depth of a plate girder and one may wonder which is most preferable for his case. The authors studied the problem by theoretical but rather classical way taking into account every factors having effect to the depth.

The result shows the effect of specified allowable compressive stress formulation and the number of sectional changes in a girder must be considered and these factors lower the optimum depth of it. In case of rather short span, the practical limit on the compressive flange area has large effect, even that is not explicitly specified in a code.

Keywords: optimum design, plate girder, steel bridge

## 1. ま え が き

プレートガーダーの設計において、最大曲げモーメント図・最大せん断力図が得られた後、まず行わなければならないのが桁高  $h$  の選定である。その値を決定するとき何を規準にし、どのような方法で行うのがよいかということについては、すべての橋梁工学の教科書に記載されているところであって、いまさら取り上げる問題でもないと思われる。

しかし、問題を溶接プレートガーダーに限ったとしても、よく調べてみるとそれらの記載内容が意外にばらばらであって、統一性に欠けるようにみえる。それらの内容を分類してみると、大きく分けて次の3種類がある。

- (1) 桁高  $h$  とスパン  $L$  との関係を比例的に表わしたもの<sup>(2), (6), (9), (11), (12)</sup>。
- (2) 桁高  $h$  をモーメント  $M$  の平方根に比例したものと<sup>(1), (3), (5), (7)~(9), (12)</sup>。
- (3) 桁高  $h$  をモーメント  $M$  の立方根に比例したものと<sup>(3), (4), (8), (10), (11)</sup>。

教科書によっては、このうち2通りの方法を併記して

いるものもあって、いずれも実用されているものと思われるが、それぞれの間には多少の相違点が見出され、併記されているものでも、その使い分けが必ずしも明確に示されているとはいえない。

桁高とスパンの関係を比例的に表わしたものは、一般に経験式であり、表現が最も簡単であって、経験を積んだ実務家にとってはこれで十分のように思われる。しかし著書により道路橋だけでも桁高  $h$  は

$$h = L/18 \sim L/12 \dots \dots \dots (1)^{(2)}$$

$$h = L/17 \sim L/15 \dots \dots \dots (2)^{(6)}$$

$$h = L/17 \sim L/12 \dots \dots \dots (3)^{(11)}$$

$$h = L/20 \sim L/15 \dots \dots \dots (4)^{(9), (12)}$$

とされ、若干の相違がみられる。互いに矛盾しているわけではないが、明確さに欠け初学者には迷いを生じやすい。

その点でモーメントを基準にした定式化は、機械的に値を求められるだけにわかりやすい。モーメントの平方根で表現したものは応力度を  $\sigma$ 、腹板厚を  $t_w$  としたとき

$$h = 1.1 \sqrt{M/\sigma t_w} \dots \dots \dots (5)^{(1), (5), (7), (9)}$$

$$h = 1.2 \sqrt{M/\sigma t_w} \dots \dots \dots (6)^{(1)}$$

$$h = \sqrt{3 M/2 \sigma_{ba} t_w} \\ \approx 1.22 \sqrt{M/\sigma_{ba} t_w} \dots \dots \dots (7)^{(8)}$$

\* 正会員 工博 東京都立大学教授 工学部土木工学科  
(〒158 世田谷区深沢 2-1-1)

\*\* 正会員 東京都立大学助手 工学部土木工学科 (同上)

$$h = 4/3 \sqrt{M_{max}/\sigma t_w} \quad \left\{ \approx 1.33 \sqrt{M/\sigma t_w} \right\} \dots \dots \dots (8)^{12)}$$

$$h = \sqrt{6 C_1 M / C_2^2 (3 C_2 - C_1 C_3) \sigma t_w} \quad \left\{ \approx 1.26 \sqrt{M/\sigma t_w} \sim 1.51 \sqrt{M/\sigma t_w} \right\} \dots \dots \dots (9)^{3)}$$

がある。ここで、式(7)の $\sigma_{ba}$ は許容曲げ応力度である。また、式(9)の中の定数 $C_i$ は種々の条件で変化するものとされており、ここでは| |の中に溶接プレートガーダーの場合の数値を代入した値を記した。なお、文献1)には式(5)が変断面の場合、式(6)が一定断面の場合に用いられると書かれており、文献3)と文献8)は、この形式が適用されるのは腹板厚 $t_w$ が一定値(最小板厚)で設計される場合であると説明している。

これらの形式は  

$$h = \alpha \sqrt{M/\sigma t_w} \dots \dots \dots (10)$$

の形をとる点で共通性があるが、係数 $\alpha$ の値は1.1から1.5の間にばらついている。またこれらの式における応力度 $\sigma$ についても多少の問題がある。許容曲げ圧縮応力度と許容曲げ引張応力度が同じでない場合があるのでこの $\sigma$ に代入すべき値がどちらなのか、明らかにしなければならないはずである。文献9)ではその点について式(5)の中の $\sigma$ を明瞭に「許容曲げ圧縮応力度」と規定しているが、はたしてそれでよいのか、疑問の余地がないわけではない。

桁高をモーメントの立方根に比例するとしたものには

$$h = \sqrt[3]{\frac{3 \beta_w M}{2 \sigma}} \dots \dots \dots (11)^{4),8)}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{3 \beta_w M}{\sigma_{ca} + \sigma_{ta}}} \dots \dots \dots (12)^{10)}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{480 M}{\sigma_{ca} + \sigma_{ta}}} \dots \dots \dots (13)^{11)}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{3 C_1 \beta_w M}{C_2^2 (3 C_2 - C_1 C_3) \sigma}} \quad \left\{ \approx 0.81 \sqrt[3]{\frac{3 \beta_w M}{2 \sigma}} \sim 0.91 \sqrt[3]{\frac{3 \beta_w M}{2 \sigma}} \right\} \dots \dots \dots (14)^{3)}$$

がみられる。ここに $\beta_w$ ,  $\sigma_{ca}$ および $\sigma_{ta}$ はおおの腹板の幅厚比, 許容圧縮応力度および許容引張応力度である。文献3)と文献8)に明記されているようにこれらの形式は腹板厚 $t_w$ が

$$t_w = h/\beta_w \dots \dots \dots (15)$$

で与えられる場合に、理論的に導くことの可能な形であって、互いにきわめて近い関係にある。式(13)は $\beta_w \approx 160$ とみなした結果であると考え、式(14)の係数(0.81~0.91)を別途考慮すべき修正項であるとみなしてよければ、これらの式はすべて同等のものと考えられる。ただし、このときにも $\sigma_{ca}$ と $\sigma_{ta}$ が等しくない場合について疑問の余地が残されている。

そこで、以下ではこれらの疑問点を明らかにするため

の検討を試みる。なおここでは問題を簡単化するために人件費・設備費その他複雑な影響に関する考察を避け、同一断面形状の中での比較のみを問題にすることとし、水平補剛材使用本数の優劣等については考慮しない。

## 2. 断面積に関する設計変数

多くの文献の例に倣い、上下フランジの厚さの影響を無視し、桁高を $h$ 、厚さを $t_w$ 、上下フランジの断面積をそれぞれ $A_c$ ,  $A_t$ と書く。以下では上フランジが圧縮応力を受けるものと考えてことにする。このとき作用モーメントを $M$ 、フランジ応力度を $\sigma_c$ ,  $\sigma_t$ とすると、よく知られているとおり<sup>11)</sup>

$$\left. \begin{aligned} A_c &= \frac{M}{h \sigma_c} \frac{h t_w (2 \sigma_c - \sigma_t)}{6 \sigma_c} \\ A_t &= \frac{M}{h \sigma_t} \frac{h t_w (2 \sigma_t - \sigma_c)}{6 \sigma_t} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

の関係がある。

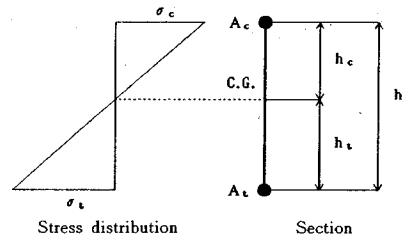


Fig. 1 Schematic section and stress distribution of a plate girder.

したがって、

$$\left. \begin{aligned} A_w &= h t_w \\ \sigma_{rs} &= \frac{6 M}{h^2 t_w} = \frac{6 M}{h A_w} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

と置けば、

$$\left. \begin{aligned} A_c &= \frac{A_w}{6 \sigma_c} (\sigma_{rs} - 2 \sigma_c + \sigma_t) \\ A_t &= \frac{A_w}{6 \sigma_t} (\sigma_{rs} - 2 \sigma_t + \sigma_c) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (18)$$

となり、全断面積 $A$ は

$$A = \frac{A_w (\sigma_c + \sigma_t)}{6 \sigma_c \sigma_t} (\sigma_{rs} + \sigma_c + \sigma_t) \dots \dots \dots (19)$$

で与えられる。ここで $M$ は与えられる量であり、設計上変更することのできないものであるから、以下では定数とみなしてよい。したがって設計において決定すべき変数は残りの4変数 $[\sigma_c, \sigma_t, h, t_w]$ である。なお、これらの変数はすべて正の実数で表わされる範囲に限定される。

また、 $\sigma_{rs}$ は同じモーメント $M$ がフランジを取り付

けない状態で問題の腹板に載荷された場合に生じる縁応力度を表わすものである。

### 3. 制約条件

#### (1) 応力度に関する制約

一般に、圧縮側、引張側ともに応力度はそれぞれ許容応力度  $\sigma_{ca}$ ,  $\sigma_{ta}$  を超えることが認められない。すなわち

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &\leq \sigma_{ca} \\ \sigma_t &\leq \sigma_{ta} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

で制約される。ただし、 $\sigma_{ta}$  は定数とみなすことができるが、許容圧縮応力度  $\sigma_{ca}$  は橋梁の場合、わが国では一般に

$$\sigma_{ca} = \sigma_{c00} - D_1(Kl/B_c - D_2) \leq \sigma_{c00} \dots\dots\dots (21)$$

の形で規定されている。ここで  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $\sigma_{c00}$  は鋼種により定められている定数、 $l$  は圧縮フランジ固定点間距離、 $B_c$  は圧縮フランジ幅であり、 $K$  はプレートガーダー断面寸法 (圧縮フランジと腹板の断面積比) によって定められる係数である。

$\sigma_{c00}$  と  $\sigma_{ta}$  は、現在のわが国の道路橋示方書<sup>13)</sup> では同じ値を規定しているが、必ずしも同じ値をもたなければならないというわけではない。いずれにせよ、問題は許容圧縮応力度が桁高を含む断面形状に支配されない ( $\sigma_{ca} = \sigma_{c00}$  となる) 場合と断面形状によって許容圧縮応力度が変化する ( $\sigma_{ca} < \sigma_{c00}$  となる) 場合に分けて考えなければならない。

#### (2) 腹板の厚さに関する制約

式 (19) によれば、他のパラメーターがすべて一定なら、断面積  $A$  は腹板厚  $t_w$  の小さいほど小さくなる。すなわち、特別な制約のない限り腹板厚は薄ければ薄いほど、断面積を小さくすることができるから、制約条件の許容範囲内で腹板厚はできる限り薄くするのが経済的によいことになる。

腹板厚を制約する目的は、その座屈強さの確保と、振動その他による付加的な悪影響の排除である。一般にこの制約は次のいずれかの条件で規定される。

$$t_w \geq t_0 \dots\dots\dots (22)$$

$$t_w \geq h/\beta_w \dots\dots\dots (23)$$

ただし、 $t_0$  は規定された最小板厚、 $\beta_w$  は同じく最大幅厚比である。

当然、 $h \leq \beta_w t_0$  の場合には式 (22) が支配することになり、 $h \geq \beta_w t_0$  の場合には式 (23) が支配することになる。したがって経済的設計を目指すのであれば、これらの制約式の等号が成り立つように設計するのが最もよい。

なお、両方の条件式の境界の状態において桁高  $h$  は

$$h_0 = \beta_w t_0 \dots\dots\dots (24)$$

になり、腹板断面積は

$$A_{w0} = \beta_w t_0^2 \dots\dots\dots (25)$$

で与えられる。このとき、 $\sigma_{RS}$  は

$$\sigma_{RS} = \sigma_{RS}(h=h_0) = 6M/A_{w0} t_0 \dots\dots\dots (26)$$

になる。また、一般に  $\sigma_{R0}$  と  $\sigma_{RS}$  の間には

$$\sigma_{RS} = \sigma_{R0} \left[ \frac{h_0}{h} \right]^2 \left[ \frac{t_0}{t_w} \right] \dots\dots\dots (27)$$

の関係がある。なお、 $\sigma_{R0}$  は与えられたモーメントを応力度の単位で表示するパラメーターである。

#### (3) フランジ断面積に関する制約

式 (18) によって計算されるフランジ断面積は、制約条件として与えられる下限値を超えていなければならない。この下限を 0 とみなしてもよいが、現実の設計においてはフランジ断面積に有限な値の制約が存在し得る。たとえば道路橋の床組では直接床版スラブを止めるために上フランジに「スラブ止め」を取り付ける必要があり、そのために必要な幅を確保しなければならない。鉄道橋においてはレールを直接載荷する上フランジについて明確な最小フランジ寸法が規定されている。

このような目的のための制約条件が規程上必ずしも完全には与えられていないが、現実の問題として存在することを認めれば、現実の設計として

$$\left. \begin{aligned} A_c &\geq A_{c0} \\ A_t &\geq A_{t0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

という制約が存在するものと思うべきであろう。ここに  $A_{c0}$ ,  $A_{t0}$  は現実に存在する上下フランジの最小断面積である。ただし、以下では簡単のため、 $A_{t0}$  は十分に小さいとみなすことにする。

### 4. 応力度の選択

いま、4 個の設計変数が互いに全く独立に選択できるものと仮定する。このような場合は式 (19) により、設計変数をそれぞれわずかに変化させたときの全断面積の変化  $\delta A$  は、

$$\begin{aligned} \delta A = \frac{A_w}{6\sigma_c\sigma_t} &\left[ (\sigma_c^2 - \sigma_t^2 - \sigma_{RS}\sigma_t) \frac{\delta\sigma_c}{\sigma_c} + (\sigma_t^2 - \sigma_c^2 - \sigma_{RS}\sigma_c) \frac{\delta\sigma_t}{\sigma_t} \right. \\ &\left. + (\sigma_c + \sigma_t)(\sigma_c + \sigma_t - \sigma_{RS}) \frac{\delta h}{h} + (\sigma_c + \sigma_t)^2 \frac{\delta t_w}{t_w} \right] \end{aligned} \dots\dots\dots (29)$$

になる。ここで  $\delta$  は各設計変数の変化量を表わす。

応力度の変化量が他の変数に左右されないものとするとき、 $\sigma_c$  を増加させるときにもし第 1 項の係数の符号が正であれば断面積が増え、この符号が負なら断面積は減少する。すなわち

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{RS}} < \sqrt{\frac{\sigma_t^2}{\sigma_{RS}^2} + \frac{\sigma_t}{\sigma_{RS}}} \dots\dots\dots (30)$$

ならば、 $\sigma_c$  を大きくするほど断面積は減少する。

同様に式 (29) の第 2 項から

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_{rs}} < \sqrt{\frac{\sigma_c^2}{\sigma_{rs}^2} + \frac{\sigma_c}{\sigma_{rs}}} \dots\dots\dots(31)$$

ならば、 $\sigma_t$ を大きくするほど断面積が減少する。したがってこの2本の曲線に囲まれた領域内では、応力度は圧縮も引張も大きいほど断面を経済的にする傾向をもつ。したがって許容応力度を表わす点がこの領域内であれば、応力度は常に許容応力度に一致させるのが最適であるといつてよい。一般に通常の橋梁設計の範囲では、この条件が成り立つから、以下では特に断らない限り応力度が許容値と一致するように設計するものと仮定する。

5.  $\sigma_{ca} = \sigma_{cob}$  の場合

(1) 腹板厚が最小板厚で規定される場合

a) 最小圧縮フランジ断面積の制約が働かない場合  
作用モーメントが小さく桁高が  $h_0$  より低い場合には腹板厚が式(22)によって制約されることになる。式(29)の第4項の係数は常に正であるから、この場合は腹板厚  $t_w$  が小さいほど断面積が小さくなる。したがってこの状態ではいつも

$$t_w = t_0 \dots\dots\dots(32)$$

が成り立つように設計されることになる。

このとき、高さ  $h$  も独立であるが、式(29)の第3項の係数の符号が断面積の変化傾向を規定する。これは  $h$  が大きいときには正の値 ( $h$  を小さくすると面積が減少) をもち、 $h$  が小さいときには負の値 ( $h$  を大きくすると面積が減少) をもつ。したがってこの係数が0になったとき、断面積は極小になっている。すなわち

$$\sigma_{rs} = \sigma_{cob} + \sigma_{ta} \dots\dots\dots(33)$$

でなければならないことから、式(27)の関係を用いることにより

$$\left[ \frac{h}{h_0} \right]^2 = \frac{\sigma_{r0}}{(\sigma_{cob} + \sigma_{ta})} \dots\dots\dots(34 \cdot a)$$

または

$$h^2 = \frac{6M}{(\sigma_{cob} + \sigma_{ta})t_0} \dots\dots\dots(34 \cdot b)$$

が最適の桁高になる。ただしこの式は、式(5)~式(9)のどれとも一致せず、それらと比べて過大な桁高を与える。

また、式(34)が使用可能な曲げモーメントの範囲は  $(h/h_0) \leq 1$  でなければならないことから

$$\sigma_{r0} \leq \sigma_{cob} + \sigma_{ta} \dots\dots\dots(35)$$

で与えられる。さらに式(33)により、式(18)は

$$\left. \begin{aligned} A_c &= \frac{A_w}{6\sigma_{cob}} (2\sigma_{ta} - \sigma_{cob}) \\ A_t &= \frac{A_w}{6\sigma_{ta}} (2\sigma_{cob} - \sigma_{ta}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(36)$$

になる。すなわちもし  $\sigma_{cob} = \sigma_{ta}$  ならば、上下フランジ断面積は腹板断面積の6分の1に等しいときに最適断面が得られることになる。このように小さいフランジ断面積は通常許容圧縮応力度の低下をもたらす、この節の前提を犯すことになるばかりでなく、実質的には最適となり得ないことが多い。

b) 最小圧縮フランジ断面積の制約が働く場合

ここでは引張フランジの制約については考えない。もし式(18)に「最適桁高」を代入して求められた上フランジ断面積がその最小値  $A_{co}$  よりも小さくなるようなら、ここで設計を変えなければならない。この場合には上フランジ断面積を式(18)によって求めることが許されないことになり、同式の右辺の設計変数  $A_w, \sigma_c, \sigma_t$  の中の1つを従属なものとしなければならなくなる。紙数の関係で誘導を省略するが、式(18)の変分をとってみればわかるように  $A_c$  の変化に対して最も大きな影響を与える設計変数は  $\sigma_c$  であるから、ここではこれが従属になるものと考えて式(18)の第1式を書き替え

$$\sigma_c = \frac{(\sigma_{rs} + \sigma_{ta})A_w}{2(A_w + 3A_{co})} \dots\dots\dots(37)$$

とする。これを式(18)の第2式に代入して全断面積  $A$  を求めると、式(19)の代わりに

$$A = A_{co} + A_w \left\{ \frac{3 \frac{A_w}{A_{co}} + 8 + \frac{\sigma_{rs}}{\sigma_{ta}} \left( \frac{A_w}{A_{co}} + 2 \right)}{4 \left( \frac{A_w}{A_{co}} + 3 \right)} \right\} \dots\dots\dots(38)$$

が得られる。この式からわかるように、全断面積  $A$  は  $\sigma_{ta}$  の大きいほど、また腹板断面積の小さいほど小さくなる傾向をもつが、腹板高さ  $h$  に対しては極小値をもつ。そこで式(38)を  $h$  に関して偏微分し、その係数を0とする条件を求めると、解くべき式は

$$\frac{\sigma_{rs}}{\sigma_{ta}} = 3 \left[ \frac{r^2 + 6r + 8}{r^2 + 4r + 6} \right] = \frac{\sigma_{r0}}{\sigma_{ta}} \left[ \frac{h_0}{h} \right]^2 \dots\dots\dots(39)$$

ただし

$$r = A_w/A_{co} \dots\dots\dots(40)$$

となる。すなわち  $h$  に関する4次式となり、解析的に解くことは簡単でない。しかしここで

$$\alpha^2 = 2 \left[ \frac{6 + 4r + r^2}{8 + 6r + r^2} \right] \dots\dots\dots(41)$$

と置けば、式(39)は

$$\left[ \frac{h}{h_0} \right]^2 = \frac{\alpha^2 \sigma_{r0}}{6\sigma_{ta}} \dots\dots\dots(42 \cdot a)$$

または

$$h^2 = \alpha^2 \frac{M}{\sigma_{ta} t_0} \dots\dots\dots(42 \cdot b)$$

と書くことができる。この形は式(5)~式(9)と同形である。特に式(7)は式(41)において  $r=0$  または  $r=2$  と置いた形と一致する。

桁高  $h$  と曲げモーメント  $M$  の関係が式 (42) で与えられるのであれば、式 (37) は

$$\sigma_c = \frac{r(6 + \alpha^2)}{2\alpha^2(3+r)} \sigma_{ta} \dots\dots\dots (43)$$

になる。圧縮応力度  $\sigma_c$  は  $\sigma_{ca}$  を超えることが許されないから、右辺の  $\sigma_{ta}$  の係数は  $(\sigma_{ca}/\sigma_{ta})$  を超える値をもつことが許されない。道路橋示方書では  $\sigma_{ca}$  の上限が  $\sigma_{ta}$  に等しいので、その限界値が 1 になる。

$r$  が十分に小さい場合にこの係数は確実に 1 より小さいが、式 (41) を用いて計算すればわかるように、 $r = 2$  の場合にこれが 1 になる。すなわち、式 (42) によって最適桁高を求めてよいのは  $r = 0 \sim 2$  の範囲に限られることになる。この範囲の  $r$  に対して  $\alpha$  および  $\sigma_c/\sigma_{ta}$  の値がどう変わるか調べてみると、Table 1 が得られる。

Table 1

$r$	$\alpha$	$\alpha^2$	$\sigma_c / \sigma_{ta}$	$r$	$\alpha$	$\alpha^2$	$\sigma_c / \sigma_{ta}$
0.0	1.225	1.500	0.0000	—	—	—	—
0.1	1.220	1.489	0.0811	1.1	1.212	1.469	0.6822
0.2	1.217	1.481	0.1579	1.2	1.213	1.471	0.7255
0.3	1.214	1.474	0.2305	1.3	1.214	1.474	0.7665
0.4	1.212	1.470	0.2990	1.4	1.215	1.477	0.8053
0.5	1.211	1.467	0.3636	1.5	1.217	1.481	0.8421
0.6	1.210	1.465	0.4247	1.6	1.218	1.484	0.8770
0.7	1.210	1.464	0.4822	1.7	1.220	1.488	0.9101
0.8	1.210	1.464	0.5366	1.8	1.221	1.492	0.9416
0.9	1.210	1.465	0.5879	1.9	1.223	1.496	0.9715
1.0	1.211	1.467	0.6364	2.0	1.225	1.500	1.0000

この結果からみると、係数  $r$  が  $0 \sim 2$  の間であれば、 $\alpha$  の値は 1.210 から 1.225 の間にあってほとんど変化しないので、実用上これを定数とみなせば式 (6) または式 (7) が近似式として妥当性をもつことになる。 $r \leq 2$  という事は腹板断面積が上フランジ断面積の 2 倍以下ということであって、これらの式が妥当性をもつのはその条件の成り立つ範囲内である。

なお、この結果において  $r$ 、ひいては所要フランジ断面積  $A_{co}$  の影響がきわめてわずかであることは興味ある事実である。ある程度以上の圧縮フランジ断面積に対して、最適桁高はほとんどそのフランジ断面積に左右されない。

引張フランジ断面積は  $\alpha^2 \approx 1.5$  とすると

$$A_t = \frac{A_w}{6} \left[ \frac{6}{\alpha^2} - 2 + \frac{\sigma_c}{\sigma_{ta}} \right] \approx \frac{A_w}{6} \left[ 2 + \frac{\sigma_c}{\sigma_{ta}} \right] \dots\dots\dots (44)$$

すなわち、引張フランジ断面積は腹板断面積の  $1/3 \sim 1/2$  になる。

$\sigma_{ca} \approx \sigma_{ta}$  ならば、モーメントの適用範囲は  $r$  の上限を  $r^*$  とすると、式 (40) によって  $h = rA_{co}/t_o$  であるから、式 (42) により

$$\sigma_{ro} \leq \frac{6 r^* A_{co}^2}{\alpha^2 A_w^2} \sigma_{ta} \dots\dots\dots (45)$$

で与えられ、これは  $A_{co}$  に支配される。

また、 $h \leq h_o$  でなければならないことから、式 (42) により

$$\sigma_{ro} \leq 6 \sigma_{ta} / \alpha^2 \approx 4 \sigma_{ta} \dots\dots\dots (46)$$

となり、この上限は式 (34) によって与えられる限界値のおおよそ 2 倍に相当する。

c) 最小圧縮フランジ断面積と許容圧縮応力度が活性な場合

モーメントが式 (46) を満足していても式 (45) の範囲を超えて大きい場合には圧縮応力度が許容値を超える状態が全断面積の最小値を与えることになるので、最適断面は圧縮応力度を許容応力度に一致させた状態で得られることになる。この場合も引張応力度は大きいほど全断面積が小さくなるので、桁高  $h$  は  $\sigma_c = \sigma_{ca}$ 、 $\sigma_t = \sigma_{ta}$ 、 $A_c = A_{co}$  の条件によって一義的に定まることになる。すなわち式 (18) の第 1 式を  $A_{co}$  に一致させるような桁高  $h$  として

$$\frac{h}{h_o} = \frac{3 \sigma_{ca} A_{co}}{(2 \sigma_{ca} - \sigma_{ta}) A_w} \left[ \sqrt{1 + \frac{A_w^2 \sigma_{ro} (2 \sigma_{ca} - \sigma_{ta})}{9 A_{co}^2 \sigma_{ca}^2}} - 1 \right] \dots\dots\dots (47)$$

が与えられる。

式 (47) の適用できる限界は  $h \leq h_o$  でなければならないことから

$$\sigma_{ro} \leq 2 \left[ 1 + 3 \frac{A_{co}}{A_w} \right] \sigma_{ca} - \sigma_{ta} \dots\dots\dots (48)$$

となる。 $A_{co}$  が  $A_w$  の半分より大きいと、この  $\sigma_{ro}$  の上限は式 (45) の上限値を下回ることになるが、それは式 (47) を適用するべき領域が存在しないことを意味する。

また、もし  $A_{co}$  が式 (36) の第 1 式の  $A_w$  に  $A_w$  を代入した結果 ( $A_w$  のほぼ  $1/6$ ) よりも小さいと、最適桁高が式 (34) で与えられる領域が現われるので、式 (47) を適用するべき桁高の上限は  $h_o$  に達しない。このときは桁高が式 (34) で与えられる値より低い範囲しか意味をもたないことから  $\sigma_{ca} = \sigma_{ca}$  ならば

$$\sigma_{ro} \leq 36 \left[ \frac{A_{co}}{A_w} \right]^2 \frac{\sigma_{ca}^2 (\sigma_{ca} + \sigma_{ta})}{(2 \sigma_{ca} - \sigma_{ta})^2} \dots\dots\dots (49)$$

が限界になる。

(2) 腹板厚が腹板の幅厚比に支配される場合

腹板高  $h$  が  $h_o$  より大きくなると、腹板厚は式 (23) に支配されることになり、桁高の従属関数となる。その結果、 $\sigma_{ca} = \sigma_{ca}$  ならば式 (29) の第 3 項と第 4 項は書き直され、 $\delta h/h$  の項にまとめられることになる。その結果は

$$\frac{\delta A}{A_w} = \frac{(\sigma_{ca} + \sigma_{ta})^2}{6 \sigma_{ca} \sigma_{ta}} \left[ 2 - \frac{\sigma_{rs}}{(\sigma_{ca} + \sigma_{ta})} \right] \frac{\delta h}{h}$$

になる。これより最適桁高は

$$\left[ \frac{h}{h_0} \right]^3 = \frac{\sigma_{R0}}{2(\sigma_{ca0} + \sigma_{ta})} = \frac{3M\beta_w}{(\sigma_{ca0} + \sigma_{ta})h_0^3} \dots\dots\dots (50)$$

で与えられることになり、これは式 (12) と完全に同形である。このときは

$$\sigma_{R0} = 2(\sigma_{ca0} + \sigma_{ta}) \dots\dots\dots (51)$$

になるから、フランジ断面積の式 (18) は

$$\left. \begin{aligned} A_c &= \frac{A_w}{2} \frac{\sigma_{ta}}{\sigma_{ca0}} \\ A_t &= \frac{A_w}{2} \frac{\sigma_{ca0}}{\sigma_{ta}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (52)$$

となり、 $\sigma_{ca0} = \sigma_{ta}$  ならば、上下フランジの断面積は腹板断面積の 1/2 に一致したとき最適断面が得られることになる。このことは古くからよく知られている事実である。

なお式 (50) によって最適桁高が得られるのは  $h \geq h_0$  の場合であるから

$$\sigma_{R0} \geq 2(\sigma_{ca0} + \sigma_{ta}) \dots\dots\dots (53)$$

でなければならない。この式の下限は式 (35) で与えられる上限値の 2 倍の大きさをもつが、その間はフランジ断面積の制約がなければ最適桁高が一定値 ( $h = h_0$ ) を保つことになる。ただし、フランジ断面積の制約がある場合、 $\sigma_{ca0} = \sigma_{ta}$  ならば式 (53) と式 (46) の等号をとったものは一致する。すなわち、この状態で式 (42) と式 (50) による桁高  $h$  が  $M$  の変化に対して連続的に変わることになる。

Fig. 2 は、本節の結果をまとめて道路橋示方書による鋼材 SM 41 を用いたプレートガーダー〔水平補鋼材なし〕の最適桁高を計算し、例示したものである。

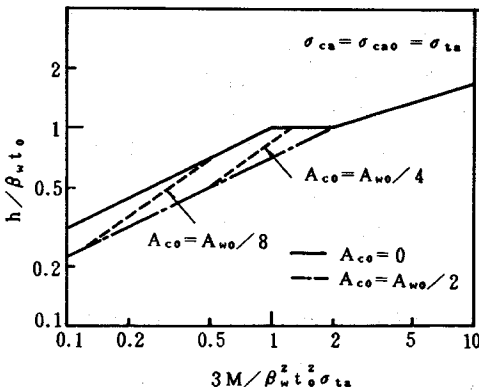


Fig. 2 Optimum depth of a plate girder with fixed allowable stresses.

6.  $\sigma_{ca} < \sigma_{ca0}$  の場合

(1) 腹板厚が腹板の幅厚比に支配される場合

プレートガーダーの上フランジの幅  $B_c$  が狭く固定点間距離  $l$  が長い場合には、許容圧縮応力度  $\sigma_{ca}$  が式 (21)

で与えられる。この許容応力度式を用いる条件は、

$$Kl/B_c \geq D_2 \dots\dots\dots (54)$$

である。ここで、フランジ自由突出脚の幅厚比を  $\beta_c$  とし、腹板厚  $t_w$  をフランジ幅  $B_c$  に対して無視すれば、

$$B_c \doteq \sqrt{2\beta_c A_c} \dots\dots\dots (55)$$

とみなされるから、条件式 (54) は

$$A_c \leq K^2 l^2 / 2\beta_c D_2^2 \dots\dots\dots (56)$$

になる。特に道路橋示方書において、 $A_w/A_c \leq 2$  の場合に  $K$  は定数 ( $=2$ ) になる。いま例として SS 41 を考えると、道路橋示方書により  $D_2 = 9$  であるから  $\beta_c = 13.1$  および  $\beta_c = 7.0$  の場合について計算すると Table 2 を得る。 $\beta_c = 13.1$  はフランジにカバープレートを付けない場合の規程上の限界値であり、 $\beta_c = 7.0$  はカバープレートの使用を前提として、適当に幅厚比を小さく選んだものである。この表からわかるように、この限界フランジ断面積は必ずしも小さいといえないので、桁高  $h$  が  $h_0$  を超える場合にも十分生じ得る。

Table 2 Limit of  $A_c$  (cm<sup>2</sup>).

$l$ (cm)	$\beta_c = 13.1$	$\beta_c = 7.0$
100	18.8	35.3
200	75.4	141.1
300	169.6	317.5
400	301.6	564.4
500	471.2	881.8
600	678.5	1269.8

すでに述べたとおり、そのようにモーメントの大きい状態で  $\sigma_c = \sigma_{ca0}$  であると仮定すると、最適断面では  $2A_c = A_w$  になる。一般に  $A_c$  が大きくなるほどフランジ幅  $B_c$  が大きくなり、その結果、式 (21) により許容応力度が大きくなる。すなわち、もし  $\sigma_{ca} < \sigma_{ca0}$  であるために許容できない断面が得られた場合、 $A_c$  を大きくすることが許容応力度を上昇させる結果になる。したがって、このときは  $2A_c > A_w$  になるであろう。その意味で  $K=2$  の状態が保たれるものと推察されるから、ここでは、終始  $K=2$  ( $A_w/A_c < 2$ ) であると仮定する。

一般に、上フランジ断面積  $A_c$  は

$$A_c = A_w (\sigma_{R0} - 2\sigma_{ca} + \sigma_{ta}) / 6\sigma_{ca} \dots\dots\dots (57)$$

で与えられる。ここで、式 (21)、式 (55) および式 (57) を使い、設計変数の微小な変化によるそれぞれの値の変化を求めると

$$\delta\sigma_{ca} = \frac{lC_1}{B_c} \frac{\delta A_c}{A_c} \dots\dots\dots (58)$$

$$\frac{\delta A_c}{A_c} = -\frac{A_w}{6A_c} \left[ \left( \frac{\sigma_{R0}}{\sigma_{ca}} + 4 - 2 \frac{\sigma_{ta}}{\sigma_{ca}} \right) \frac{\delta h}{h} + \left( \frac{\sigma_{R0}}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{ta}}{\sigma_{ca}} \right) \frac{\delta\sigma_{ca}}{\sigma_{ca}} \right] \dots\dots\dots (59)$$

が得られるから  $\delta\sigma_{ca}/\sigma_{ca}$  と  $\delta h/h$  の間の関係式は

$$\frac{\delta\sigma_{ca}}{\sigma_{ca}} = \frac{-\left[\frac{\sigma_{rs}}{\sigma_{ca}} + 4 - 2\frac{\sigma_{ta}}{\sigma_{ca}}\right]}{\left[\frac{6\sigma_{ca}B_cA_c}{C_1lA_w} + \frac{\sigma_{rs}}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{ta}}{\sigma_{ca}}\right]} \frac{\delta h}{h} \quad (60)$$

になる。すなわち、一般に桁高  $h$  を大きくすると許容応力度  $\sigma_{ca}$  は低下する傾向をもつ。全断面積の変化  $\delta A$  は式 (29) により  $\delta\sigma_t=0$ ,  $\delta t_w/t_w = \delta h/h$  とすると

$$\frac{\delta A}{A_w} = \frac{1}{6\sigma_{ca}\sigma_{ta}}(\sigma_{ca}^2 - \sigma_{ta}^2 - \sigma_{rs}\sigma_{ta}) \frac{\delta\sigma_{ca}}{\sigma_{ca}} + \frac{(\sigma_{ca} + \sigma_{ta})}{6\sigma_{ca}\sigma_{ta}} [2(\sigma_{ca} + \sigma_{ta}) - \sigma_{rs}] \frac{\delta h}{h}$$

になるから、式 (60) を

$$\frac{\delta\sigma_{ca}}{\sigma_{ca}} = -g_L \frac{\delta h}{h} \quad (61)$$

ただし、

$$g_L = \frac{4\frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{ta}} + \frac{\sigma_{rs}}{\sigma_{ta}} - 2}{6\frac{\sigma_{ca}B_cA_c}{C_1lA_w} \frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{ta}} + \frac{\sigma_{rs}}{\sigma_{ta}} + 1} \quad (62)$$

と書けば、 $\delta A=0$  になる条件が

$$\frac{\sigma_{rs}}{(\sigma_{ca} + \sigma_{ta})} = 2 + \frac{g_L(3\sigma_{ta} - \sigma_{ca})}{(\sigma_{ca} + \sigma_{ta} - \sigma_{ta}g_L)} \quad (63)$$

になる。したがって

$$\left[\frac{h}{h_0}\right]^3 = \frac{\sigma_{ro}/(\sigma_{ca} + \sigma_{ta})}{2 + \frac{g_L(3\sigma_{ca}' - \sigma_{ta})}{(1 - g_L + \sigma_{ca}'/\sigma_{ta})}} \quad (64)$$

が最適解を与える式である。係数  $g_L$  は桁高や許容応力度の関数であるからこれを解析的に解くことは面倒であって厳密には繰り返しによる収束計算が必要になり、何らかの近似が得られると具合がよい。

Table 3 は近似として式 (50) をそのまま用いた場合と式(50)の  $\sigma_{c0}$  を  $\sigma_{ca}$  に置き換えて用いる場合[式(12)]に解として得られる桁高  $h$  と  $h_0$  の比を、厳密解と比較した一例であるが、多くの場合厳密解が最も低い桁高を

Table 3 Optimum depth ratio of a girder without horizontal stiffener ( $h/h_0 \geq 1$ , SM 41).

$\frac{\sigma_{ro}}{\sigma_{ta}}$	Eq. 50	$t = 600\text{cm}$				$t = 300\text{cm}$			
		$\beta_c = 13.1$		$\beta_c = 7.0$		$\beta_c = 13.1$		$\beta_c = 7.0$	
		Eq. 64	Eq. 12	Eq. 64	Eq. 12	Eq. 64	Eq. 12	Eq. 64	Eq. 12
4.	1.00	(1.00)	1.03	(1.00)	1.04	(1.00)	1.01	(1.00)	1.02
5.	1.08	1.07	1.11	1.07	1.12	1.07	1.09	1.07	1.09
6.	1.14	1.13	1.17	1.13	1.19	1.13	1.15	1.13	1.16
8.	1.26	1.25	1.29	1.25	1.30	1.25	1.27	1.25	1.27
10.	1.36	1.34	1.38	1.34	1.40	1.34	1.36	1.34	1.37
20.	1.71	1.69	1.73	1.69	1.75	1.69	1.71	1.69	1.72
40.	2.15	2.13	2.17	2.13	2.19	適用外	2.15	2.13	2.16
60.	2.47	2.44	2.48	2.44	2.50	適用外	2.47	2.44	2.47
80.	2.71	2.68	2.73	2.68	2.74	適用外	2.71	適用外	2.71
100.	2.92	2.89	2.93	2.89	2.95	適用外	2.92	適用外	2.92

記事 (1.00) : 計算上は1以下の値になるが、式(64)の前提を犯すので最適解は1.00と見做される。

与え、式 (12) は一般的に過大な結果を与えることが知られる。式 (50) をそのまま用いた結果は、 $\sigma_{ro}/\sigma_{ta}$  が小さいときには厳密解に近く、厳密式の適用限界付近では式 (12) の結果に近くなる傾向をもつ。また  $\beta_c$  と  $l$  はその適用範囲には影響するが、最適桁高に及ぼす影響はわずかである。表に示すことをしなかったが、この結果に対しては鋼材の種別・水平補剛材の数 ( $\beta_w$  の差) による影響も小さい。したがって、実用上はそれらの影響を無視し、式 (50) をそのまま用いても誤差は 1% 程度で、2% に達することがない。

なお、関数  $g_L$  は、式 (56) を超えるフランジ断面積になっても 0 にならない。しかし、その場合に上式 (64) を適用するのは誤りである。桁高が低くなったために上フランジ断面積が大きくなり、その結果、許容圧縮応力度が  $\sigma_{c0}$  を超えてしまうので、解析の前提が崩れるからである。さりとて式 (50) による桁高まで桁高を高くすると再び許容圧縮応力度が  $\sigma_{c0}$  を下回ることになる。

このようなときは式 (56) の右辺と、 $\sigma_{ca} = \sigma_{c0}$  とした式 (57) の右辺を等置して作られる

$$\frac{2l^2}{\beta_c C_2^2} = \frac{A_w}{6\sigma_{c0}}(\sigma_{rs} - 2\sigma_{c0} + \sigma_{ta}) \quad (65)$$

から、解が求められる。

式 (65) の解は

$$\frac{h}{h_0} = \sqrt[3]{\frac{\sigma_{ro}/2}{2\sigma_{c0} - \sigma_{ta}} (\sqrt{1+H} + \sqrt{1-H})} \quad (66)$$

ただし、

$$H = \sqrt{1 + 4C_2^2 \left[\frac{\beta_w}{\beta_c}\right]^2 \left[\frac{2\sigma_{c0} - \sigma_{ta}}{\sigma_{ro}}\right]^2} \quad (67-a)$$

および

$$C_2 = 2l/C_1 h_0 \quad (67-b)$$

と表わされる。当然この解は、式 (50) による桁高と式 (64) による値の中間の結果を与えるときにだけ、意味をもつものである。

## (2) 腹板厚が最小板厚で規定される場合

$h$  が  $h_0$  より小さい場合についても、同様に議論ができる。この場合に圧縮フランジ断面積の制約を無視すれば、上フランジ断面積が腹板断面積の半分より小さくなる場合には、定数  $K$  をそれらの関数として取り扱うことにより、次のようになる。すなわち

$$\gamma_c = \frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{rs} + \sigma_{ta}}, \quad \gamma_t = \frac{\sigma_{ta}}{\sigma_{rs} + \sigma_{ta}} \quad (68)$$

と書けば、 $g_L$  に相当する係数を

$$g_s = \frac{1 + 3\gamma_c - 2\gamma_c^2 - 2\gamma_t^2}{1 + \frac{2\sigma_{ca}B_c(1 - 3\gamma_c + 2\gamma_c^2)}{KlC_1}} \quad (69)$$

とすることにより、最適桁高は

$$\left[ \frac{h}{h_0} \right]^2 = \frac{\sigma_{R0}/(\sigma_{ca} + \sigma_{ta})}{1 + \frac{g_s(2 - \sigma_{ca}/\sigma_{ta})}{1 - g_s + \sigma_{ca}/\sigma_{ta}}} \dots\dots\dots(70)$$

によって与えられる。また、上フランジ断面積が腹板断面積の半分より大きい場合には  $K=2$  (定数) として

$$g_s = \frac{1 + 2(\gamma_c - \gamma_t)}{1 + (1 - 2\gamma_c)\sigma_{ca}B_c/IC_1} \dots\dots\dots(71)$$

になる。なお、場合によっては上フランジ断面積がちょうど腹板断面積の半分に等しいときに最適桁高を与える条件が現われるので、その場合には桁高が

$$\left[ \frac{h}{h_0} \right]^2 = \frac{\sigma_{R0}}{5\sigma_{ca} - \sigma_{ta}} \dots\dots\dots(72)$$

で与えられる。

これらの式によって得られる最適桁高は式 (34) による結果よりかなり低くなることがあるが、式 (42) による結果よりはるかに高い。またこのときは、フランジ固定点間距離等の影響が  $h/h_0 > 1$  の場合より大きいが、上フランジ断面積が腹板断面積の半分より小さい場合の  $g_s$  を用いた式 (70) について、実用的な近似式を式 (10) の形で表わすと、 $\alpha$  の値はほぼ 1.5 程度になる。その意味では一般にいわれている公式は低めの桁高を与え、その範囲の桁高を含ませているのは式 (9) だけである。

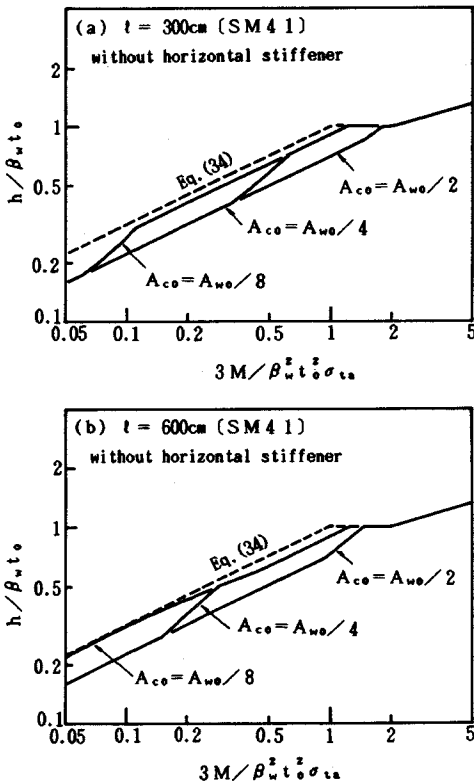


Fig. 3 Optimum depth of a short girder under effect of allowable stress reduction.

上フランジ断面積が腹板断面積の半分より大きくなる場合の  $g_s$  を式 (70) に代入して得られる結果は、さらに大きく、式 (34) の解に近い。しかし、実際には上フランジ断面積の最小限界制約が働き、その場合の許容圧縮応力度を式 (42) または式 (47) に代入して得られる桁高が最適になる状態が現われると、その場合の最適桁高は低くなる。

Fig. 3 は道路橋の規程により、SM 41 材によるプレートガーダーの最適桁高を求めたものであり、フランジ固定点間距離を二通り選び、また上フランジ最小断面積を前記の Fig. 2 と同じにしたものである。当然短支間桁として  $l=600$  cm は過大で、非現実的であるが、モーメントの小さいところで最適桁高が式 (34) による結果に近くなる場合のあることを示すために加えた。図によって上フランジ最小断面積制約の影響が明らかであろう。

7. フランジ断面の変更がある場合

ある程度以上の支間になると、プレートガーダーのフランジ断面を適宜変化させて軽量化を図ることが普通に行われる。この場合、全長にわたって桁高を一定のままとすると、最適桁高の決定にあたっては個々の断面について考えるのではなく、桁全長にわたっての判断が必要になる。

このようなフランジ断面の変更を伴う設計は、余り支間の短い桁には採用されないと思われるので、差し当たりここではフランジ断面が十分に大きく、 $\sigma_{ca} = \sigma_{ca0}$  の場合だけ考える。許容応力度その他の制約は桁全長にわたって一定であると仮定する。

いま、プレートガーダーの支点から距離  $x_{i-1}$  から距離  $x_i$  までの範囲に働く最大曲げモーメント (その区間の抵抗モーメント) を  $M_i$ 、断面積を  $A_i$  とすれば、式 (19) により

$$A_i = \frac{A_w(\sigma_{ca0} + \sigma_{ta})}{6\sigma_{ca0}\sigma_{ta}} \left[ \sigma_{ca0} + \sigma_{ta} + \frac{6M_i}{hA_w} \right]$$

が成り立つ。したがって、桁全体の体積  $V$  は、 $h$ 、 $t_w$  が一定ならば支間を  $L$  とすると

$$V = \sum_i A_i x_i = \frac{A_w(\sigma_{ca0} + \sigma_{ta})}{6\sigma_{ca0}\sigma_{ta}} \left[ \sigma_{ca0} + \sigma_{ta} + \frac{6}{hA_w} \sum_i \frac{(x_i - x_{i-1})}{L} M_i \right] L \dots\dots\dots(73)$$

になる。したがって平均曲げモーメント

$$\bar{M} = \sum_i \frac{(x_i - x_{i-1})}{L} M_i \dots\dots\dots(74)$$

と置けば

$$\frac{V}{L} = \bar{A} = A_w \frac{(\sigma_{ca0} + \sigma_{ta})}{6\sigma_{ca0}\sigma_{ta}} \left[ \sigma_{ca0} + \sigma_{ta} + \frac{6\bar{M}}{hA_w} \right] \dots\dots\dots(75)$$

を最小にする桁高を求めればよいことになる。この式は



式 (19) と全く同形であり、したがって前節までの所論は、そのままモーメントを『平均曲げモーメント』に読み換えるだけで成り立つ。したがって、桁全体を最適化する問題は「平均曲げモーメントを極小にするような断面変更点の決定」と「断面積を極小にするような桁高の選定」の問題に分かれることになる。

実際の断面変更点は、フランジに使用される板厚・板幅等の影響を受け、必ずしも互いに独立に決定できるわけではなく、また断面変更点の位置の選定が軽量化に及ぼす影響は余り敏感でないから、「最適断面変更点」のもつ工学的意味は余り重要といえないが、その理論的な位置と、最大曲げモーメントと平均曲げモーメントの関係を知っておくことは必ずしも無意味でない。

最大曲げモーメント分布曲線が最大値が  $M_0$  であるような対称放物線で与えられる場合につき、断面変更点の数を  $2m$  として最適断面変更位置を求めると、Table 4 のような結果が得られる。ただし表中の  $F$  は

$$F = \bar{M} / M_0 \dots\dots\dots (76)$$

であり、また  $\xi_i$  は  $(x_i/L)$  を表わすものとする。

したがって表に示したような断面変更点を選ぶことを前提にすれば、

$$h = \sqrt[3]{\frac{3\beta_w F M_0}{\sigma_{ca} + \sigma_{ta}}} \dots\dots\dots (77)$$

と書くことができる。もし標準的な  $m$  の数を 3~4 とすると、 $h \geq h_0$  の場合の最適桁高は  $F^{1/3}$  を用いて係数を立方根の外に出せば

$$h = 0.91 \sqrt[3]{\frac{3\beta_w M_0}{\sigma_{ca} + \sigma_{ta}}} \dots\dots\dots (78)$$

になる。式 (14) の結果はこれに近く、この式には断面変更の影響が考慮されているものと解釈できる。式 (78) のような表現は実用的であり、多くの教科書にも、最適桁高を与える公式の結果から「実際には得られる値の 90% 程度の桁高を採用する」という形で記載されている。

なお、断面積が全長にわたって式 (38) で与えられるような場合にも同様な取り扱いが可能であり、同じ Table 4 が利用できる。その意味では、文献 1) が一樣断面の場合の式 (6) の代わりに変断面の場合は式 (5)

を用いるとしていることにも妥当性がある。しかし、部分的に制約条件の変わるような場合に同じ扱いでよいという保証はできそうにない。

### 8. まとめ

以上の結果は次のようにまとめることができる。

(1) 腹板厚さが幅厚比によって規定されるような場合の最適桁高は、実用上式 (12) を用いるのがよい。ただし、この場合の  $\sigma_{ca}$  としては許容圧縮応力度がフランジ寸法によって低下する場合でも  $\sigma_{ca}$  を用いるべきである。 $\sigma_{ca} < \sigma_{ca0}$  になる場合の最適桁高は、この結果よりほんの少し低くなるが、その違いは実用上問題とするに足りない。また、プレートガーダー断面が曲げモーメント分布に従って数箇所に変更される場合には、その状態に応じて最適桁高が低くなる。特に曲げモーメント分布が放物線状であって、断面変更点の数が全長について 6~10 であるような場合にその低下率は 90% 程度である。

(2) 前記 (1) で式 (12) を適用できる曲げモーメントは

$$\sigma_{ra} = \frac{6M}{\beta_w t_0^3} \geq 2(\sigma_{ca} + \sigma_t)$$

の成立する範囲である。

(3) 曲げモーメントが前記 (2) の下限より小さく、腹板厚さが最小板厚によって規定されるような場合は問題が複雑となり、1本であらゆる場合に適用できるような公式を選ぶことができない。この場合に大きな影響をもつのは、フランジの実用的許容最小断面積と許容曲げ圧縮応力度である。

(4) 前記 (3) の結論にもかかわらず、一般的なプレートガーダー橋の主桁を対象に考えるものとする、まえばきで紹介した公式のうち、式 (7) が実用上最も広い適用性をもつ。ただし、式中の  $\sigma_{ba}$  は「許容曲げ引張応力度」とするべきであり、「圧縮」ではない。また、この場合上フランジ断面積は  $\beta_w t_0^2$  の 1/2 程度になる。

### 9. あとがき

I 桁の最適設計に関する問題はきわめて古くから扱われたものであり、また既設の橋梁に関するデータも豊富に蓄積されているので、現実に設計者がこの問題で困るような状態は何もない。まえばきで紹介したような多くの公式も実務としてはほんの目安程度の意味しかないことも事実である。

しかし単なるデータの集積は、特に重要な要因の分析が不十分なままに使われると、必ずしも適切な結果を与えないことがあり得るので、大きな影響をもつ主要な要因を明らかにすることは、それなりに意味をもつであらう

Table 4

m	1	2	3	4	5
$\xi_1$	0.167	0.109	0.081	0.065	0.054
$\xi_2$		0.239	0.172	0.136	0.112
$\xi_3$			0.281	0.215	0.175
$\xi_4$				0.310	0.246
$\xi_5$					0.330
F	0.852	0.796	0.766	0.748	0.735
$F^{1/3}$	0.948	0.927	0.915	0.908	0.902

う。モデル化の不完全さばかりでなく、実際に利用できる設計変数が離散的な数であるために、それらを連続量として扱った本論文に提示したいいくつかの式がそのままの形で実務に利用できるとは期待できないが、それぞれの影響因子の効き方とその程度を確かめることはできたものとする。

#### 引用文献

- 1) 関西橋梁鉄骨溶接研究会編：溶接道路橋の設計と施工，pp.109，共立出版，1958.
- 2) 堀井健一郎：橋梁工学演習，pp.90，学献社，1966.
- 3) Bresler, Lin & Scalzi : Design of Steel Structures, 2nd Ed., John Wiley and Sons, pp.503~506, 1963.
- 4) O'Conner : Design of Bridge Superstructures, Wiley Interscience, pp.99, 1971.
- 5) 高田孝信：最新橋梁工学，pp.178，コロナ社，1973.
- 6) 菊池洋一・笹戸松二：大学課程橋梁工学（第4版），pp.141，オーム社，1986.
- 7) 渡辺 昇：橋梁工学，pp.358，朝倉書店，1986.
- 8) 倉西 茂：鋼構造，pp.322，技報堂出版，1982.
- 9) 橋 善雄・中井 博：橋梁工学第2版，pp.95，共立出版，1985.
- 10) 小西一郎：鋼橋 設計編Ⅰ，pp.233，丸善，1975.
- 11) 成瀬勝武・鈴木俊男：橋梁工学（鋼橋編）改訂版，pp.150，森北出版，1984.
- 12) 古川一郎：橋梁工学（改訂版），pp.151，森北出版，1972.
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書（共通編・鋼橋編）・同解説，丸善，1980.

(1986.5.13・受付)