

I形断面桁の経済的桁高について(その3)

雄山重義

An Economical Girder Depth Of I-Section (No. 3)

Shigeyoshi OYAMA

(平成元年 7 月 24 日受理)

1. まえがき

1.1 要旨

I形プレート・ガーダー橋の経済的設計を目指す場合、これの桁高は最も重要な基本寸法の一つである。にも拘らず、これの経済的桁高算定法は、従来ややもすると、なおざりにされていたきらいが見受けられる。

以上のことに対し、筆者は、先に(その1)¹⁾として、文献²⁾(以下、標準設計と云う)を基礎資料として得た、鋼重の回帰式をもとに、非合成桁、活荷重合成桁、および死活荷重合成桁橋について、その『総鋼重』を最少とする桁高を、使用鋼種の強度に対応して、算定する方法を開発し、なお併せて、経済限度率により、主桁材質を異にする場合の、各材質相互間の経済性を比較する方法を提案した。

また、(その2)³⁾では、(その1)と同様の手法により、鋼重については、多変数回帰により、相関の高い回帰式を新たに誘導し、使用鋼種の強度、価格に対応した、橋の『総経費』を最少とするための経済的桁高算出式を提案した。

本論では、(その2)で示した経済的桁高算出式について、腹板厚を変える場合の合理的方法を新たに開発し、標準設計とも比較して、信頼出来るものであることを実証し、かつ、この算出式を、より実用的な式として、その係数表と共に示した。

なお併せて、この桁高に対応して、主桁材質を異にする場合の、各材質相互間の経済性を、(その1)と同様に、経済限度率により比較する方法を示したものである。

以下、下記前提のうで進めることとする。

1) 許容応力度、水平補剛材規定等については、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編⁴⁾(以下、示方書と云う)の規定に従うこととする。

2) I形桁の実際の使用状況より、腹板厚につい

ては、最小厚を0.9 cmとし、腹板高については、示方書の規定の水平補剛材1段までの範囲とする。

3) 主桁材質は全長にわたり同一の鋼種とし、かつ、抵抗曲げモーメントによるフランジ応力度は、断面が変化しても桁長方向で一定とする。

4) 主桁、および同継手材分を除く、その他鋼材の材質は、すべてSS41材とする。

1.2 記号の説明

K_i ; 材質SM i 、又はSS i の材料購入から架設完了までの、単位重量当り総価格、ただし、 $K_{41} = 1.00$ とする。(円/kg)

α_{Ki-j} ; 材質 i の材質 j に対する価格比
: $\alpha_{Ki-j} = K_i / K_j$

W_i ; 主桁材質 i である橋の、総桁延長当りの総鋼重(支承査、床版工、およびジベル等の鋼重は除く)(kg/m)

: $W_i = W_{gi} + W_{ei} \dots \dots \dots (1-1)$

W_{gi} ; 主桁材質 i の同じく純主桁鋼重(kg/m)

: $W_g = \rho A_g \dots \dots \dots (1-2)$

$W_{g'i}$; 主桁材質 i の同継手材(材質 i)を含む鋼重(以下、主桁材質分鋼重と云う)(kg/m)

: $W_{g'i} = W_{gi} + W_{sp} \dots \dots \dots (1-3)$

W_{sp} ; 主桁継手材分鋼重(同用高力ボルト共)(kg/m)

W_e ; 主桁以外のその他鋼重(kg/m)

$W_{e'i}$; 主桁材質 i である橋の、 W_{sp} を除くその他鋼重(SS41材とする)(kg/m)

: $W_{e'i} = W_i - W_{g'i} \dots \dots \dots (1-4)$

A_g ; 主桁平均断面積(cm^2)

ρ ; 鋼材単位体積当り重量(kg/ cm^3 /m)

: $\rho = 0.785$

B ; 橋の幅員(m)

N ; 主桁本数

H ; 桁高(腹板高)(cm)

H_e ; 経済的桁高(cm)

H_p, H_c ; 非合成, および活荷重合成桁の経済的桁高 (cm)

t_w ; 腹板厚 (cm)

M ; 各主桁の最大曲げモーメントの平均 (tm)

M_o ; 腹板高が最小腹板厚に対する規定の限度高となる M (臨界モーメント) (tm)

M_m ; 腹板厚変化位置の M (境界モーメント) (tm) : $m \geq 1$ の正整数

M_s, M_v ; 合成前, および合成後の M (tm)
 $\alpha_v = M_v / M_s \dots \dots \dots (2-1)$

$\sigma_c, \sigma_t, \sigma_{ca}, \sigma_{ta}$; 上 (圧縮), および下 (引張) フランジの応力度, および許容応力度 (kg / cm²)

σ_{uD}, σ_{lD} ; 上下フランジの合成前曲げモーメントによる応力度 (kg / cm²)

$W_{su}, W_{sl}, W_{vu}, W_{vl}$; 鋼桁の上下フランジの合成前, および合成後の断面係数

$\alpha_u = W_{su} / W_{vu}, \alpha_l = W_{sl} / W_{vl} \dots \dots \dots (2-2)$

A_c, A_t, A_w ; 上下フランジおよび腹板断面積 (cm²)

KG ; 桁長当りの総鋼重の経費 (円 / m)

$$KG_i = K_i W_{gi}' + K_{41} W_{ei}'$$

$$= (\alpha_{Ki-41} W_{gi}' + W_{ei}') K_{41}$$

..... (3-1)

K_{i-j} ; 主桁材質 i の橋が, 同じく j の橋に対して経済的となる為の, 単価比率の限度 (経済限度率)

$$K_{i-j} = \frac{K_j W_{gj}' + K_{41} (W_{ej}' - W_{ei}')}{K_j W_{gi}'}$$

..... (4)

$$R_1 = -708.25 + 25.33 \alpha_{Ki-41}$$

$$R_2 = 20.22 + 3.49 \alpha_{Ki-41}$$

$$R_3 = 0.0275 + 0.8533 \alpha_{Ki-41}$$

$$R_4 = 2.164 - 0.151 \alpha_{Ki-41}$$

$$R_5 = 61.179 - 1.353 \alpha_{Ki-41}$$

$$R_6 = 1 - 0.0221 \alpha_{Ki-41}$$

$$R_7 = 1 - 0.0698 \alpha_{Ki-41}$$

$$R_8 = 0.0021 + 0.0657 \alpha_{Ki-41}$$

$$R_9 = 2.15 \sigma_a - 650 + (0.8505 \sigma_a - 352.1) \alpha_v$$

$$R_{10} = (1.15 \sigma_a - 500) (\sigma_a - 150)$$

$$R_{11} = \sigma_a - 434.8$$

$$R_{12} = \sigma_a - 653.8 + (1.165 \sigma_a - 520.5) \alpha_v$$

$$R = R_8 \frac{\sigma_c + \sigma_t}{\sigma_c \sigma_t}, R' = R_8 \frac{\sigma_{ca} + \sigma_{ta}}{\sigma_{ca} \sigma_{ta}}$$

$$R'' = 0.0085 + 0.2629 \alpha_{Ki-41}$$

$$R_u = 1 + \alpha_u \alpha_v, R_l = 1 + \alpha_l \alpha_v$$

2. (その2)³⁾の概要

本論に関係ある(その2)の概要を以下に記す。

2・1 鋼材価格および諸鋼重の関数形

(a) 鋼材価格および比率 K_i, α_{Ki-j}

各材質ごとの単価 K_i , および比率 α_{Ki-j} は表 2・1 に示すものとし, 以下 K_i, α_{Ki-j} の数値は, この表の値を採用することとする。

表 2・1 材質の単価とその比率 ($K_{41} = 1.00$)

| 材質 i | K_i | 比率 α_{Ki-j} | | |
|--------|-------|--------------------|--------|--------|
| | | 対SS41 | 対SM50Y | 対SM50Y |
| SS 41 | 1.00 | 1.00 | — | — |
| SM50 | 1.05 | 1.05 | 1.00 | — |
| SM50Y | 1.06 | 1.06 | 1.01 | 1.00 |
| SM58 | 1.24 | 1.24 | 1.18 | 1.17 |

(b) 総鋼重 W

標準設計の鋼重を基礎資料とし, 第一段階として, これを純主桁鋼重 W_g , 桁高 H , 幅員 B , および主桁本数 N 等の回帰式として求め, 第二段階として, W_g を更に H, t_w, M, σ_c , および σ_t との関係式として, 置き換えることにより, 諸鋼重の回帰式を得た。

式 (1-1) の, その他鋼重 W_e の解析結果を表 2・2 に示す。

総鋼重 W としては, 重相関係数最大である式番号 ⑥を採用する。すなわち

$$W = -682.92 + 23.71 \frac{B}{N} + 1.122 W_g + 2.013 H$$

$$+ \frac{59,826}{H} \dots \dots \dots (1-5)$$

(c) 主桁材質分鋼重 W_g'

式 (1-3) の, W_{sp} の解析結果を表 2・3 に示す。

表 2・2 $W_e = W - W_g$ の係数表

| 式番号 | 常数項 | 変数 | | | | | 重相関係数 |
|-----|---------|--------|---------|-------|--------|----------------|--------|
| | | W_g | H | B / N | 1 / H | H ² | |
| ① | 89.00 | 0.4277 | -0.5647 | — | — | — | 0.8624 |
| ② | 24.52 | 0.2332 | -0.1414 | 17.99 | — | — | 0.8847 |
| ③ | -518.81 | 0.3843 | 1.2220 | — | 52.935 | — | 0.9247 |
| ④ | 384.16 | 0.3813 | -3.8661 | — | — | 0.009496 | 0.9238 |
| ⑤ | -682.92 | 0.1223 | 2.0126 | 23.71 | 59.826 | — | 0.9596 |

表 2・3 $W_{sp} = W_g' - W_g$ の係数表

| 式番号 | 常数項 | 変数 | | | | | 重相関係数 |
|-----|-------|--------|---------|-------|--------|----------------|--------|
| | | W_g | H | B / N | 1 / H | H ² | |
| ① | 21.92 | 0.1258 | -0.1876 | — | — | — | 0.9186 |
| ② | 21.92 | 0.1257 | -0.1874 | 0.01 | — | — | 0.9186 |
| ③ | 21.93 | 0.1258 | -0.1877 | — | -2 | — | 0.9186 |
| ④ | 21.90 | 0.1258 | -0.1875 | — | — | -0.0000 | 0.9186 |
| ⑤ | 25.33 | 0.0874 | -0.1507 | 3.49 | -1.353 | — | 0.9351 |

I 形断面桁の経済的桁高について (その3)

主桁材質分鋼重 W'_g としては, 前記と同様, 式番号 ⑥を採用する。すなわち

$$W'_g = 25.33 + 3.49 \frac{B}{N} + 1.087W_g - 0.151H - \frac{1,353}{H} \dots\dots\dots (1-6)$$

(d) W_{sp} 以外のその他鋼重 W'_e

式(1-4)に式(1-5.6)を代入して, 次式を得る。

$$W'_e = -708.25 + 20.22 \frac{B}{N} + 0.035W_g + 2.164H - \frac{61,179}{H} \dots\dots\dots (1-7)$$

(e) 純主桁鋼重 W_g

式(1-2)の A_g については, H, t_w, M, σ_c , および σ_t との関係式として, 次の近似式となる。

$$A_g = A_c + A_w + A_t \dots\dots\dots (5-1)$$

$$A_c = \frac{\alpha_n M \times 10^5}{\sigma_c H} - \frac{H t_w}{6} \cdot \frac{2\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c} \dots\dots (5-2)$$

$$A_w = H t_w$$

$$A_t = \frac{\alpha_n M \times 10^5}{\sigma_t H} - \frac{H t_w}{6} \cdot \frac{2\sigma_t - \sigma_c}{\sigma_t} \dots\dots (5-3)$$

以上より

$$A_g = \frac{\sigma_c + \sigma_t}{6\sigma_c\sigma_t} \left\{ \frac{6\alpha_n M \times 10^5}{H} + (\sigma_c + \sigma_t) H t_w \right\}$$

$\sigma_c = \sigma_t = \sigma_a$ の場合

$$A_g = \frac{2\alpha_n M \times 10^5}{\sigma_a H} + \frac{2}{3} H t_w \dots\dots\dots (5-5)$$

ここに

α_n ; 主桁断面変化数に応じて定まる係数で表 2・4 に示す。

表 2・4 α_n

| 断面変化数 | 1ヶ所 | 2ヶ所 | 3ヶ所 | 4ヶ所 |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| α_n | 0.8452 | 0.7892 | 0.7585 | 0.7347 |

2・2 総経費 KG

総経費 KG は, 式(3-1)に式(1,2)を代入して次式を得る。

$$KG_i = \left[R_1 + R_2 \frac{B}{N} + R_3 \frac{\sigma_c + \sigma_t}{6\sigma_c\sigma_t} \left\{ \frac{6\alpha_n M \times 10^5}{H} + (\sigma_c + \sigma_t) H t_w \right\} + R_4 H + R_5 \frac{1}{H} \right] K_{41} \dots\dots\dots (3-2)$$

2・3 経済的桁高 H_{ei}

経済的桁高 H_{ei} は, $\partial KG_i / \partial H = 0$ より

$$H_{ei} = 168.14 \sqrt{\frac{R_6 + 21.22 R \alpha_n M}{R_7 + R(\sigma_c + \sigma_t) t_w}} \dots\dots\dots (6)$$

2・4 非合成桁の経済的桁高 H_p

(a) M が通常の大きさの場合

M が通常の大きさの場合の非合成桁の経済的桁高 H_p は, 式(6)そのままでもよしい。 $(H_e, \sigma_c, \sigma_t \rightarrow H_p, \sigma_{ca}, \sigma_{ta})$

$$H_{pi} = 168.14 \sqrt{\frac{R_6 + 21.22 R' \alpha_n M}{R_7 + R'(\sigma_{ca} + \sigma_{ta}) t_w}} \dots\dots\dots (7-1)$$

(b) M が小さい場合

M が小さい場合には, フランジ幅は $H_p / 5$, 厚は幅の $1 / 32$ を限度とすると, フランジ断面積 A_f は, 式(8-1)となり, これと式(1-6,7)より, 式(9-1)を得る。

$$A_f \geq \frac{H_p^2}{800} \dots\dots\dots (8-1)$$

$$\left. \begin{aligned} H_{pi}^3 + \frac{400(2\sigma_c - \sigma_t)t_w}{3\sigma_c} H_{pi}^2 - \frac{8\alpha_n M \times 10^7}{\sigma_c} &\leq 0 \\ H_{pi}^3 + \frac{400(2\sigma_t - \sigma_c)t_w}{3\sigma_t} H_{pi}^2 - \frac{8\alpha_n M \times 10^7}{\sigma_t} &\leq 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9-1)$$

$\sigma_{ca} = \sigma_{ta} = \sigma_a$ の場合

$$H_{pi}^3 + \frac{400 t_w}{3} H_{pi}^2 - \frac{8\alpha_n M \times 10^7}{\sigma_a} \leq 0 \dots\dots (9-2)$$

上3式を

$$H_{pi}^3 + 3a H_{pi}^2 - 2c \leq 0$$

として H_p を求めると, 式(9-1)より, $p \geq 0$ の場合,

$$H_{pi} \leq \sqrt[3]{q + \sqrt{p}} + \sqrt[3]{q - \sqrt{p}} - a \dots\dots\dots (7-2)$$

ここに

$$q = c - a^3, p = q^2 - a^6$$

$\sigma_{ca} = \sigma_{ta} = \sigma_a$ の場合, 式(9-2)より

$$H_{pi} \leq \sqrt[3]{q_0 + \sqrt{p_0}} + \sqrt[3]{q_0 - \sqrt{p_0}} - a_0 \dots\dots\dots (7-3)$$

ここに

$$a_0 = \frac{400}{9} t_w, q_0 = \frac{4\alpha_n M \times 10^7}{\sigma_a} - a_0^3, p_0 = q_0^2 - a_0^6$$

式(7-3)は, $t_w = 0.9$ cm, $\sigma_a \leq 2,600$ kg/cm² のもとで M が約 10tm 以上では, $H_p \geq 0$ となる。

2・5 活荷重合成桁

式(2-1,2)の α_u, α_u , および α_l より, 合成前曲げモーメントによるフランジ応力度 σ_{uD}, σ_{lD} を算出し, これらより活荷重合成桁の経済的桁高を求めた。

2・5・1 合成前曲げモーメントによるフランジ応力度 σ_{uD}, σ_{lD}

(a) α_u, α_l

式(2-2)の α_u, α_l について、標準設計をもとに算出した平均値を表2・5に示す。以下 α_u, α_l の値としては、表の換算長のものを探ることとする。すなわち、 $\alpha_u = 0.0621, \alpha_l = 0.6856$

表2・5 α_u, α_l の平均

| | 全 数 | 中央断面 | 中間断面 | 換 算 長 |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| 総 数 | 9,450 | 3,472 | 5,978 | 3,472 |
| α_u | 0.0582 | 0.0756 | 0.0481 | 0.0621 |
| 標準偏差 | 0.0313 | 0.0300 | 0.0274 | 0.0319 |
| α_l | 0.6731 | 0.7174 | 0.6474 | 0.6856 |
| 標準偏差 | 0.0527 | 0.0300 | 0.0454 | 0.0512 |

(b) σ_{uD}, σ_{lD}

クリープと乾燥収縮の影響分として、上フランジについては、500、下フランジでは、150kg/cm²と見込むと、 σ_{uD}, σ_{lD} については、次式となる。

$$\sigma_{uD} = \frac{1.15\sigma_a - 500}{1 + \alpha_u \alpha_p}, \sigma_{lD} = \frac{\sigma_a - 150}{1 + \alpha_l \alpha_p} \dots (10)$$

2・5・2 フランジの最少断面積

フランジの最少断面積として、上フランジでは、示方書9・6よりスタッド取付けとして

$$A_c \geq 20.0 \times 1.0 = 20.0 \text{ cm}^2 \dots (8-2)$$

下フランジは式(8-1)と同じとし、次式とする。

$$A_t \geq H_c^2 / 800 \dots (8-3)$$

2・5・3 経済的桁高 H_c

(a) M が通常の大きさの場合

式(6)に、式(10)を代入して、次式を得る。

$$[H_{ci}, \sigma_c, \sigma_t, M \rightarrow H_{ci}, \sigma_{uD}, \sigma_{lD}, M_s]$$

$$H_{ci} = 168.14 \left\{ \frac{R_6 + \frac{21.22 R_8 R_9 \alpha_n M_s}{R_{10}}}{R_7 + \frac{R_8 R_g^2 t_w}{R_{10} R_u R_l}} \right\}^{\frac{1}{2}} \dots (11-1)$$

(b) M が小さい場合

式(1-5,6)に、式(8-2,3),(10)を代入して、次式を得る。記号は、上記(a)と同様に替える。

$$H_{cu} \leq \frac{53.08 R_l}{R_{12} t_w} \left\{ \left(R_{11}^2 + \frac{163.83 R_{12} R_u t_w \alpha_n M_s}{R_l} \right)^{\frac{1}{2}} - R_{11} \right\} \dots (11-2)$$

$$H_{cl} \leq \sqrt[3]{Q + \sqrt{P}} + \sqrt[3]{Q - \sqrt{P}} - A \dots (11-3)$$

ここに

$$Q = C - A^3, P = Q^2 - A^6$$

$$A = \frac{400 \{ 0.85 \sigma_a + 200 - (0.6642 \sigma_a - 324.2) \alpha_p \}}{9 (\sigma_a - 150) R_u}$$

$$C = \frac{\times t_w}{4 R_l \alpha_n M_s \times 10^7} \frac{1}{\sigma_a - 150}$$

なお、 $P < 0$ の場合は便宜的に $P = 0$ として H_c を算出するものとする。

3. 腹板厚変化の方法

式(6),(7-1),および(11-1)の経済的桁高算出式は、腹板厚を定値とした場合のものであり、腹板厚を変化させる場合の最適位置は、以下の方法により求める。

3・1 最適変移点

式(3-2)より、 t_w を規定による最小値とすれば、総経費 KG が最少となるが、実際上はmm単位の板厚をとるので、最小厚 $t_{w0} = 0.9$ として算出した桁高が、規定の限度高となった後は、 t_w は、 $t_{w0} + 0.1$ cmのものをとることとなるが、この場合の最適変移点は図3・1に示すものとなる。

以下、図3・1により説明する。ここに

H_0 ; 腹板厚 $t_{w0} = 0.9$ のときの腹板の限度高

$$: H_{mi} = \beta_i t_{wm} \text{ (m; 正整数)} \dots (12)$$

β_i ; 材質 i の腹板高厚比の規定による最大値

(a) 臨界モーメント M_0 の基本式

式(6)より、 H_{gi} が H_{0i} となるべき M_{0i} は

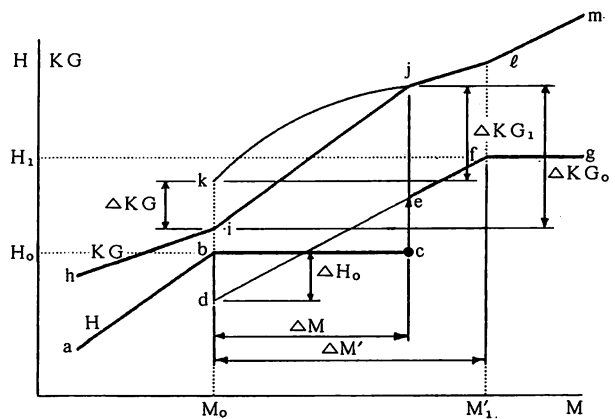


図3・1 腹板厚変更位置

I 形断面桁の経済的桁高について (その3)

$$M_{0i} = \frac{\{R_7 + R(\sigma_c + \sigma_t)t_{w0}\} \left(\frac{H_{0i}}{168.14}\right)^2 - R_6}{21.22 R \alpha_n} \dots\dots\dots(13-1)$$

(b) 各数値の算出式

M が M_0 より大きい場合は、図の ΔM の範囲までは t_{w0} , H_0 はそのまま使用する。 H は図中の abc 線となる。その間の総工費 KG_0 は図の hij 線となる。

(ij は直線)

他方、 M_0 に対して $t_{w1} = t_{w0} + 0.1$ としたときの H は、図の $defg$ 線となる。この場合の、 KG_1 は図の kj lm 線となる。(lm は直線)

この KG_0 と KG_1 の交点 j で t_w を変えれば、最も合理的な変化位置となる。従って、この時の桁高図は、腹板厚 t_{w0} のものが abc , t_{w1} のものは efg 線となる。

図3・1の中の H , KG の変化量等は式(3-2), (6)より、それぞれ次式となる。

$$\Delta H_0 = \frac{\partial H_0}{\partial t_{w0}} \times 0.1 = - \frac{0.05 H_0^3 R(\sigma_c + \sigma_t)}{168.14^2 (R_6 + 21.22 R \alpha_n M_0)} \dots\dots(14)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta KG_0 &= \beta_0 \Delta M \\ \Delta KG &= \frac{\partial KG}{\partial H} \Delta H_0 + \frac{\partial KG}{\partial t_w} \times 0.1 \\ &= \frac{R_3(\sigma_c + \sigma_t)^2 H_0 \times 0.1}{6 \sigma_c \sigma_t} \end{aligned} \right\} \dots\dots(15)$$

∴ $\partial KG / \partial H = 0$

ここに

$$\beta_0 = \frac{\partial KG}{\partial M_0} = \frac{R_3(\sigma_c + \sigma_t)^2 \alpha_n \times 10^5}{\sigma_c \sigma_t H_0}$$

(c) 概算計算

図3・1の ΔM , あるいは j 点について、一般的な場合のものとして、以下概算する。

$t_{w0} = 1.0$ cm, $\alpha_n = \alpha_2 = 0.7892$ とし、式(12~15)中の、その他の数値として、表2・1の4種のもの平均値をとることとする。すなわち

$$\alpha_{Ki-41} = 1.09, \sigma_c = \sigma_t = 2,000, \beta_i = 218$$

以上より

$$\begin{aligned} H_0 &= 218 \text{ cm}, M_0 = 874 \text{ tm}, \Delta H_0 = -2.6 \text{ cm}, \\ \beta_0 &= 0.3462, \Delta KG_0 = \beta_0 \Delta M = 0.3462 \Delta M, \\ \Delta KG &= 13.61 \end{aligned}$$

これらより、 ΔM を求めると、 $\Delta M = 600$ tmを得る。この時の $H_{t_{w1}}$ は式(6)より

$$\begin{aligned} H_{t_{w1}} &= 251.6 \text{ cm} > H_1 = \beta_i t_{w1} = 218 \times 1.1 \\ &= 239.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

すなわち、図3・1の交点 j と e は、 lm 線、 fg 線の中に入ることとなる。

また、 H_1 となるべき M' は式(13-1)を準用して求め、図の $\Delta M' = M'_1 - M_0 = 1,266 - 874 = 392$ となり、 $\Delta M = 600$ の約0.65となるものである。

(d) 境界モーメント M_m の基本式

前記(c)の概算計算で示したように、腹板厚変化の最適位置は、結局図3・1の直線 ij と lm との交点を求める問題に帰するので、以下、これの算定法を図3・2により説明する。

任意の M をとり、 $H_m = \beta t_{wm}$ の時の式(3-2)による KG_m と勾配 β_m を求めれば、腹板厚変化位置の境界モーメント M_m は、それらの交点として、次式で表される。

$$M_m = \frac{1}{\alpha_n \times 10^5} \left\{ \frac{\sigma_c \sigma_t}{R_3(\sigma_c + \sigma_t)} \left(R_4 \beta_i^2 t_{wm-1} t_{wm} - R_5 \right) + \frac{(\sigma_c + \sigma_t) \beta_i^2 (2 t_{wm} - 0.1) t_{wm-1} t_{wm}}{6} \right\} \dots\dots\dots(13-2)$$

ここに、 $m \geq 1$

この場合の桁高は、図3・2に示す H_0, H_1, H_2 となる。要は、 M が臨界モーメント M_0 以上の範囲では腹板高は規定の最大値をとることとなるので、経済的桁高を求めることは、その適用範囲である境界モーメントを求める問題となる。従って、式(6), (7), および(11)の桁高算出式は、 $t_{w0} = 0.9$ で、 M が M_0 以下の場合にのみ適用することとなる。

3・2 非合成桁

以下、上路プレート・ガーダー橋を対象として、 $\sigma_c = \sigma_t = \sigma_a$ の場合についてのみ記す。

(a) 臨界モーメント M_0

式(13-1)より

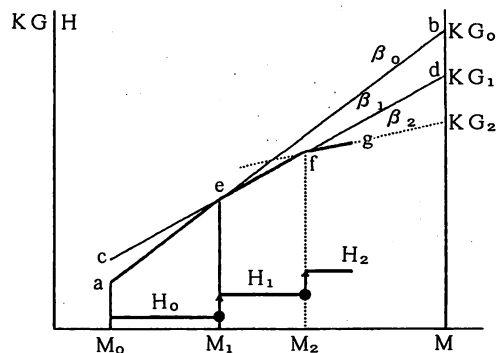


図3・2 KG, H

$$M_o = \left\{ (R_7 + R'' t_{wo}) \left(\frac{H_o}{168.14} \right)^2 - R_6 \right\} \frac{\sigma_a}{10.61 R'' \alpha_n} \dots\dots\dots (16-1)$$

Mが小さい場合の、式(9-2)より

$$M_o = \frac{\sigma_a (H_o + 120) H_o^2}{8 \alpha_n \times 10^7} \dots\dots\dots (16-2)$$

結局、 M_o としては、上2式のうちの大きいほうを、採用することとなる。

(b) 境界モーメント M_m

式(13-2)より

$$M_m = \frac{1}{\alpha_n \times 10^5} \left\{ \frac{\sigma_a}{2 R_3} (R_4 \beta_i^2 t_{wm-1} t_{wm} - R_5) + \frac{\sigma_a \beta_i^2 (2 t_{wm} - 0.1) t_{wm-1} t_{wm}}{3} \right\} \dots\dots (16-3)$$

(c) 計算結果

$t_w \geq 0.9$ cm, 断面変化数2の場合の、主桁材質S41, SM50, SM50Y, SM58に対する、式(7-1, 3), および(16)による計算結果を図3・3に示す。

図より、同一腹板厚に対し、許容応力度の高い順に臨界、境界モーメントは小さくなるが、同じ曲げモーメントに対し、桁高は低くなる。ただし、Mが1,000 および 1,500 tm付近では、局部的にSM50がSM50Yより低いものとなる。

なお、桁断面変化数の変化による影響は、式(16)で分かるように、 M_o , M_m は、 $1/\alpha_n$ に比例するので、断面変化数0に対し、2, 4は、それぞれ26.7, および36.1%の増となり、Mが M_o 以下の場合の桁高は、同じく約4おおよび6%低いものとなる。

図3・4に、主桁材質SM50Yについて、この H_p と、文献5), 6)および7)との比較図を示す。ただし、 H_p

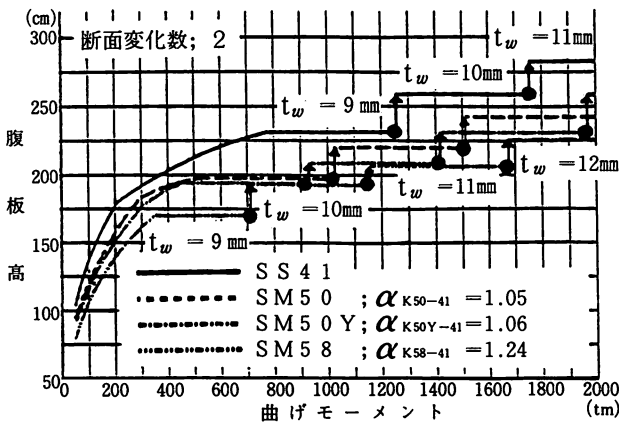


図3・3 非合成桁; 桁高図

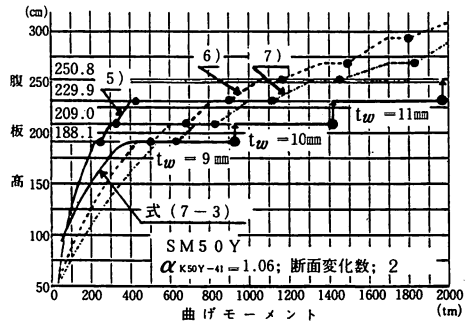


図3・4 非合成桁; 既往との比較桁高図

は断面変化数2の場合である。

図より、Mが小さい(約400 tm以下) 場合では、文献5)と6)との中間の桁高を、Mが約600 tm以上では、いずれよりも低い桁高となる。

3・3 活荷重合成桁

(a) 臨界モーメント M_{so}

式(13-1)に式(10)を代入し [M , σ_c , $\sigma_t \rightarrow M_s$, σ_{uD} , σ_{lD}]

$$M_{so} = \frac{R_{10}}{21.22 R_8 R_9 \alpha_n} \left\{ \left(R_7 + \frac{R_8 R_9^2 t_{wo}}{R_{10} R_u R_l} \right) \times \left(\frac{H_o}{168.14} \right)^2 - R_6 \right\} \dots\dots\dots (17-1)$$

Mが小さい場合の、式(11-2)より、同様にして

$$M_{sou} = \frac{H_o}{R_u \alpha_n \times 10^5} \left(\frac{0.195 R_{12}}{R_l} H_o + 23 R_{11} \right) \dots\dots\dots (17-2)$$

同様に、式(11-3)より、

$$M_{sol} = \frac{(\sigma_a - 150)(H_o + 3A) H_o^2}{8 R_l \alpha_n \times 10^7} \dots\dots (17-3)$$

結局、 M_o としては、上3式のうちの最大のものを採ることとなる。

(b) 境界モーメント M_{sm}

上記(a)と同様、式(13-2)より

$$M_{sm} = \frac{1}{\alpha_n \times 10^5} \times \left\{ \frac{R_{10} (R_4 \beta_i^2 t_{wm-1} t_{wm} - R_5)}{R_3 R_9} + \frac{R_9 \beta_i^2 (2 t_{wm} - 0.1) t_{wm-1} t_{wm}}{6 R_u R_l} \right\} \dots\dots\dots (17-4)$$

(c) 計算結果

主桁材質SS41, SM50, SM50Y, SM58のもの、 $t_w \geq 0.9$ cm, 断面変化数2, $\alpha_v = 1.0$ の場合に対する、式(11), (17)による計算結果を図3・5に示す。

I形断面桁の経済的桁高について(その3)

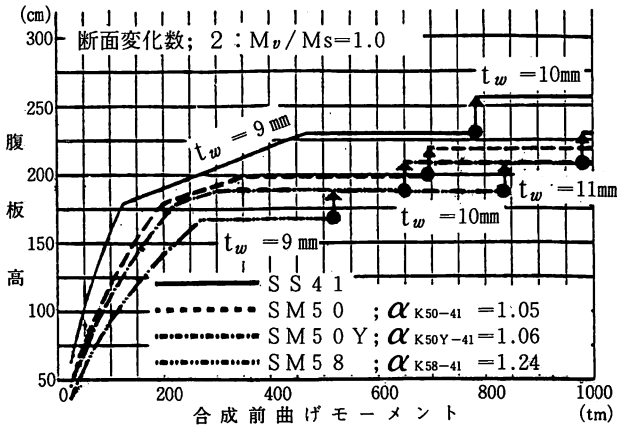


図3・5 活荷重合成桁; 桁高図

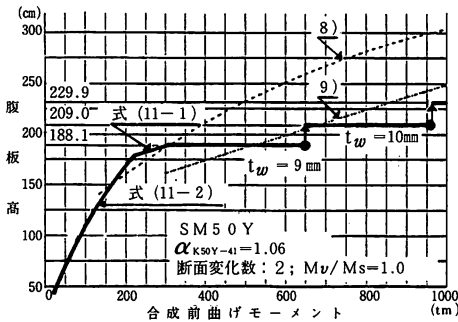


図3・6 活荷重合成桁; 既往との比較桁高図

図より、図3・3と同様、同じ腹板厚では強度の高い順に、臨界、境界モーメントは小さくなるが、同じ曲げモーメントでは、桁高は低くなる。ただし、 M_s が670および1,000 tm付近で、局部的にSM50がSM50Yより低いものとなる。また、断面変化数の変化による影響は、臨界、境界モーメントでは、非合成桁と同じく $1/\alpha_n$ に比例し、 M_o 以下の M_s についての桁高は、断面変化数0に対し、2, 4は、それぞれ約5および7%低いものとなる。

α_v の変化による臨界、および境界モーメントへの影響は、 $\alpha_v = 1.0$ に対し、0.8は約+3.9~5.1%、1.2は約-3.3~4.5%となる。

図3・6に主桁材質SM50Yについての H_c と、文献8), および9)との比較を示す。ただし、 H_c は断面変化数2, $\alpha_v = 1.0$ の場合である。

図より、 M_s が約700 tm以上では、いずれよりも低い桁高となる。

4. 異材質間の経済比較

(a) 諸鋼重算出式

主桁材質を異にする橋相互間の、経済比較をするための経済限度率算出の式(4)の、鋼重等の算出式としては、桁高は本論の経済的桁高をとり、鋼重は、表2・2、および3で、橋の幅員 B と主桁本数 N を含まない式のうちの、相関係数最大である式番号③を、ただし、これらは、 $1/H$ の項を含んでいるので、 H の小さい場合は、不適切なものとなる。そこで、 $H < 140$ cm (標準設計の最小腹板高)の場合では、同じく①により算出した。すなわち

$$H \geq 140 \text{ cm の場合}$$

$$W = -518.81 + 1.384W_g + 1.222H + \frac{52,935}{H} \dots\dots\dots (1-8)$$

$$W_g' = 21.93 + 1.126W_g - 0.1877H - \frac{2}{H} \dots\dots\dots (1-9)$$

$$W_e' = -540.74 + 0.258W_g + 1.410H + \frac{52,937}{H} \dots\dots\dots (1-10)$$

$$H < 140 \text{ cm の場合}$$

$$W = 89.00 + 1.428W_g - 0.564H \dots\dots\dots (1-11)$$

$$W_g' = 21.92 + 1.126W_g - 0.1876H \dots\dots\dots (1-12)$$

$$W_e' = 67.08 + 0.302W_g - 0.3771H \dots\dots\dots (1-13)$$

(b) 経済限度率の計算結果

表2・1に示す4種の各主桁材質の K_i と、式(1-8~13)より、式(4)の経済限度率 K_{i-j} を、断面変化数2, $t_w \geq 0.9$ cmとして、非合成桁、および、 α_v

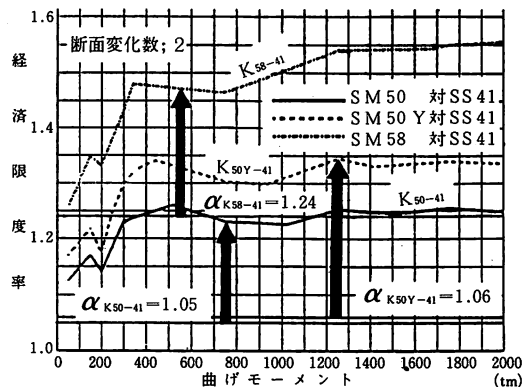


図4・1 非合成桁; SM50& SM50Y & SM58対SS41 経済限度率

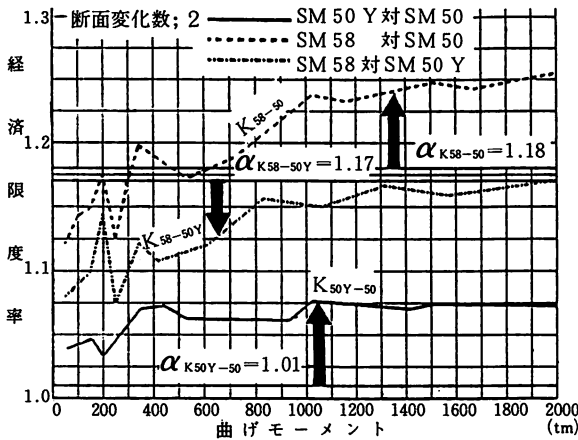


図4・2 非合成桁; SM50Y & SM58対SM50: SM58対SM50Y 経済限度率

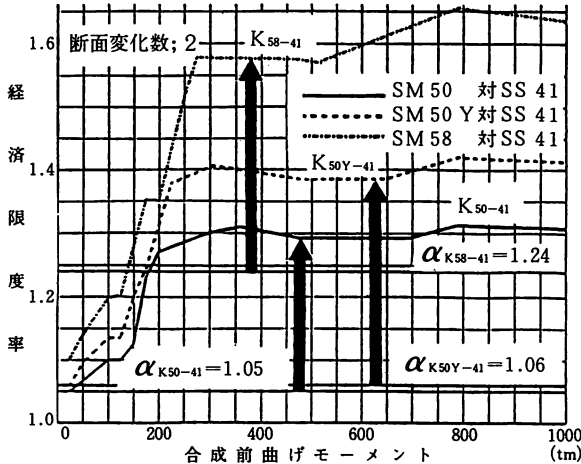


図4・3 活荷重合成桁; SM50 & SM50Y & SM58対SS41 経済限度率

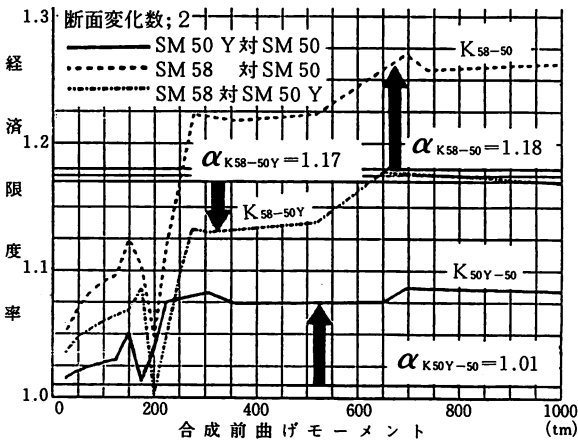


図4・4 活荷重合成桁; SM50Y & SM58対SM50: SM58対SM50Y 経済限度率

= 1.0の活荷重合成桁について、計算した結果を図4・1～4に示す。

図中の太い矢印の上向きのものは、*i*材質が*j*材質より経済的に有利であり、下向きの場合は、不利であることを示す。

図から判るように、経済限度率線は、*M*₀および*M*_gが約300tm以上では、ほぼ水平に近いものとなり、各主桁材質間の経済性の順位は、おおよそSM50Y, SM58, SM50, SS41となる。

ただし、SM58は、非合成桁で*M*_gが約300tm以下、活荷重合成桁で*M*_gが約250tm以下では、SM50より不利となり、また*M*_gが約150tm以下では、SS41より不利となる反面、*M*_gが約650tm以上では、SM50Yと優劣は無いものとなる。むしろ強度の高いことによる使用鋼重の減による曲げモーメント減少の影響、或いは桁高による取付道路費への影響等を考えれば、SM50Yより有利となるものと思われる。

5. 実用式

前記、経済的桁高、および臨界、境界モーメント等の算出式には、実用上かなり複雑なものもあるので、非合成および活荷重合成桁について、これらを、より簡単に、実用的な形式としたものを以下に示す。

ただし、 $\sigma_{ca} = \sigma_{ta} = \sigma_a$ の場合とする。

5・1 非合成桁

(a) 臨界、および境界モーメント*M*₀、*M*_m
表2・1の α_{Ki-41} 、および各材質毎の許容応力度より、式(16)の*M*_m(*m* ≥ 0の正整数)の算出式は、次式となる。

$$M_m = D_n P_m \dots\dots\dots(16-4)$$

ここに

*D*_n: 主桁片側の断面変化数に応じて定まる係数で、表5・1に示す。

*P*_m: 各材質および腹板厚に応じて定まる係数で、表5・2に示す。

なお、*M*₀の算出式としては、式(16-1, 2)があるが、(16-1)の方が大きな値となる。

(b) *M*が*M*₀以下の場合

*t*_w = 0.9cmとし、式(7-1)は次式となる。

$$H_{pi} = 168.14 \sqrt{k_1 + \frac{k_2 M}{D_n}} \dots\dots(7-4)$$

I 形断面桁の経済的桁高について (その 3)

表 5・1 D_n

| 断面変化数 | 0ヶ所 | 1ヶ所 | 2ヶ所 | 3ヶ所 | 4ヶ所 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D_n | 0.7892 | 0.9337 | 1.0000 | 1.0405 | 1.0742 |

表 5・2 P_m, H_m

| m | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|-------|---------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|---------|
| SS 41 | P_m | 756.0 | 1,255.9 | 1,754.1 | 2,327.6 | 2,981.3 | 3,719.7 |
| | $H \times t_w$ (mm) | 2,304 × 9 | 2,560 × 10 | 2,816 × 11 | 3,072 × 12 | 3,328 × 13 | |
| SM50 | P_m | 529.0 | 1,023.9 | 1,510.0 | 2,070.4 | 2,709.6 | 3,432.4 |
| | $H \times t_w$ (mm) | 1,980 × 9 | 2,200 × 10 | 2,420 × 11 | 2,640 × 12 | 2,860 × 13 | |
| SM50Y | P_m | 441.7 | 934.3 | 1,416.6 | 1,972.8 | 2,607.5 | 3,325.2 |
| | $H \times t_w$ (mm) | 1,881 × 9 | 2,090 × 10 | 2,299 × 11 | 2,508 × 12 | 2,717 × 13 | |
| SM58 | P_m | 341.0 | 715.0 | 1,159.9 | 1,674.9 | 2,264.7 | 2,933.9 |
| | $H \times t_w$ (mm) | 1,692 × 9 | 1,880 × 10 | 2,068 × 11 | 2,256 × 12 | 2,444 × 13 | |

表 5・3 k_1, k_2

| 鋼材 | SS41 | SM50 | SM50Y | SM58 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| k_1 | 0.8327 | 0.8258 | 0.8245 | 0.8008 |
| $10^3 \times k_2$ | 1.3820 | 1.0601 | 0.9667 | 0.8870 |

ここに, D_n は表 5・1 に, k_1, k_2 は表 5・3 に示す。

式 (7-3) は次式となる。

$$H_{pi} \leq 316.05 \sqrt[3]{\frac{M}{D_n \sigma_a}}$$

$$\left(\sqrt[3]{1-r+\sqrt{1-2r}} + \sqrt[3]{1-r-\sqrt{1-2r}} \right) - 40 \dots (7-5)$$

ここに

$$r = \frac{0.002027 D_n \sigma_a}{M}$$

さらに, $M \geq 100$ tm 程度では, 次の近似式となる。

$$H_{pi} \leq 398.19 \left(\frac{M}{D_n \sigma_a} \right)^{\frac{1}{3}} - 32 \dots (7-6)$$

結局, H_p としては, 式 (7-4~6) の内の小さいほうを採用することとなる。

5・2 活荷重合成桁

(a) 臨界, および境界モーメント M_{so}, M_{sm}

5・1 (a) と同様, $t_w = 0.9$ cm とし式 (17-1) は次式となる。

$$M_{so} = \frac{D_n (S_1 + S_2 V_2)}{V_1} \dots (17-5)$$

ここに, D_n は表 5・1 に, S_1, S_2, V_1, V_2 は, 各材質および α_v に応じて定まる係数で, 表 5・4 に示す。

ただし, SM58 は, 式 (17-2) より, 次の式 (17-6) で定まる。

ここに, S_3, S_4, V_3, V_4 は, 同表下段に示す。

なお, 式 (17-3) は, 上の 2 式のいずれよりも小さいものとなる。

式 (17-4) は次の式 (17-7) となる。

$$M_{sou} = \frac{D_n (S_3 + S_4 V_4)}{V_3} \dots (17-6)$$

$$M_{sm} = [-S_5 + S_6 + S_7 V_2 (2m+17)] (m+9) \times (m+8) \left] \frac{D_n}{V_1} \dots (17-7)$$

ここに, $m \geq 1$ の正整数, D_n は表 5・1 に, V_1, V_2 は表 5・4 に, S_5, S_6, S_7 は各材質に応じて定

表 5・4 $S_1, S_2, S_3, S_4, V_1, V_2, V_3, V_4$

| 鋼材 | 係数 | S | V | $\alpha_v = M_D / M_s$ | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| SS 41 | S_1 | 939.4 | V_1 | 3.031 | 3.115 | 3.199 | 3.282 | 3.366 | 3.450 |
| | S_2 | 100.91 | V_2 | 5.652 | 5.682 | 5.715 | 5.750 | 5.780 | 5.824 |
| SM50 | S_1 | 763.6 | V_1 | 4.446 | 4.572 | 4.699 | 4.825 | 4.952 | 5.078 |
| | S_2 | 74.52 | V_2 | 12.162 | 12.245 | 12.333 | 12.424 | 12.519 | 12.616 |
| SM50Y | S_1 | 566.7 | V_1 | 5.012 | 5.156 | 5.299 | 5.442 | 5.586 | 5.729 |
| | S_2 | 67.26 | V_2 | 15.456 | 15.567 | 15.684 | 15.805 | 15.930 | 16.059 |
| SM58 | S_1 | -207.5 | V_1 | 6.427 | 6.613 | 6.799 | 6.985 | 7.171 | 7.357 |
| | S_2 | 54.42 | V_2 | 25.42 | 25.62 | 25.82 | 26.04 | 26.26 | 26.48 |
| | S_3 | 106.77 | V_3 | 1.0497 | 1.0559 | 1.0621 | 1.0683 | 1.0745 | 1.0807 |
| | S_4 | 7.074 | V_4 | 25.53 | 25.99 | 26.43 | 26.83 | 27.19 | 27.53 |

注: α_v が表に示す値の中間の値となる場合は, V は直線補間してよい。

表 5・5 S_5, S_6, S_7

| 鋼材 | SS 41 | SM50 | SM50Y | SM58 |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| S_5 | 1,194.1 | 2,418 | 3,033 | 4,237 |
| S_6 | 26.33 | 39.27 | 44.44 | 49.75 |
| S_7 | 0.13840 | 0.10221 | 0.09225 | 0.07464 |

まる係数で、表5・5に示す。

M_s が M_{s0} 以上の場合の桁高 H_c は、各材質、および M_{sm} に応じて表5・2に示す $H \times t_w$ 欄と同じものとなる。

(b) M_s が M_{s0} より小さい場合

$t_w = 0.9$ cmとして、式(11-1, 2, 3)は、それぞれ次の式(11-4, 5, 6)となる。

$$H_{ci} = 168.14 \sqrt{k_3 + \frac{k_4 M_s}{D_n}} \dots\dots(11-4)$$

$$H_{cu} = 58.98 (1 + 0.6856\alpha_v) \left(\sqrt{k_5 + \frac{k_6 M_s}{D_n}} - k_5 \right) \dots\dots(11-5)$$

$$H_{cl} = k_7 \sqrt{\frac{M_s}{D_n}} \left(\sqrt[3]{1 - r_1^3} - \sqrt{1 - 2r_1^3} + \sqrt[3]{1 - r_1^3 - \sqrt{1 - 2r_1^3} - r_1} \right) \dots\dots(11-6)$$

表5・6 $k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$

| 鋼材 | 係数 k | $\alpha_v = M_v / M_s$ | | | | | |
|-------|-------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| SS 41 | k_3 | 0.8295 | 0.8286 | 0.8276 | 0.8265 | 0.8254 | 0.8242 |
| | $10^3 \times k_4$ | 2.106 | 2.161 | 2.217 | 2.272 | 2.327 | 2.382 |
| | k_5 | 0.6392 | 0.6012 | 0.5775 | 0.5373 | 0.5102 | 0.4857 |
| | $10^2 \times k_6$ | 5.224 | 4.733 | 4.311 | 3.945 | 3.626 | 3.346 |
| SM50 | k_3 | 0.8203 | 0.8191 | 0.8178 | 0.8164 | 0.8150 | 0.8136 |
| | $10^3 \times k_4$ | 1.509 | 1.549 | 1.589 | 1.629 | 1.669 | 1.709 |
| | k_5 | 0.5978 | 0.5572 | 0.5264 | 0.4989 | 0.4740 | 0.4516 |
| | $10^2 \times k_6$ | 3.186 | 2.889 | 2.634 | 2.413 | 2.219 | 2.049 |
| SM50Y | k_3 | 0.8183 | 0.8170 | 0.8156 | 0.8142 | 0.8127 | 0.8112 |
| | $10^3 \times k_4$ | 1.352 | 1.389 | 1.425 | 1.461 | 1.497 | 1.532 |
| | k_5 | 0.5818 | 0.5479 | 0.5177 | 0.4907 | 0.4664 | 0.4444 |
| | $10^2 \times k_6$ | 2.756 | 2.500 | 2.280 | 2.088 | 1.921 | 1.774 |
| SM58 | k_3 | 0.7927 | 0.7911 | 0.7895 | 0.7878 | 0.7860 | 0.7843 |
| | $10^3 \times k_4$ | 1.203 | 1.235 | 1.267 | 1.299 | 1.331 | 1.362 |
| | k_5 | 0.5656 | 0.5328 | 0.5037 | 0.4775 | 0.4540 | 0.4326 |
| | $10^2 \times k_6$ | 2.060 | 1.870 | 1.706 | 1.563 | 1.438 | 1.329 |
| SM58 | k_7 | 27.12 | 27.52 | 27.90 | 28.27 | 28.64 | 28.99 |
| | k_8 | 0.7385 | 0.6448 | 0.5550 | 0.4686 | 0.3856 | 0.3056 |

注； α_v が表に示す値の中間の値となる場合は、 k は直線補間してよい。

ここに

$$r_1 = k_8 \sqrt[3]{\frac{D_n}{M_s}}$$

D_n は表5・1に、 $k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$ は各材質および α_v に応じて定まる係数で、表5・6に示す。

なお、 $M_s \geq 50$ tm程度では、上式は次の近似式で示される。

$$H_{cl} \leq k_7 \sqrt[3]{\frac{M_s}{D_n}} \left(\sqrt[3]{2(1-r_1^3)} - r_1 \right) \dots\dots(11-7)$$

結局、式(11-4~7)の内の最小のものを、桁高として採ることとなる。

6. 標準設計等との比較

標準設計より、支間、幅員の夫々の最大、最小のもの4種と、ほぼ中間のもの1種の計5橋を選び、断面力、フランジ応力度を、標準設計とほぼ同一の条件とし、桁高を式(11)によるものとして、主桁断面を求め、式(3-2)により、両方の総工費を算出して比較した。

その概要として、腹板、経費、総鋼重の比較を表6・1に示す。

同表に示すように、標準設計と比較して、腹板高では、-12.6~+6.3%と変わり、総経費では、鋼重を式(1-6, 7)によるもので、-5.2~-1.1%、合計では-3.5%、式(1-9~13)によるもので、-5.3~+4.0%、合計で-2.4%を得た。

更に、断面力のみ同一の条件では、同じく総経費は、式(1-6, 7)によるもので、-7.9~-4.1%、合計で-6.0%、式(1-9~13)では、-7.7~-1.0%、合計で-5.4%を得た。

以上のことより、本論での経済的桁高算出法は、十分に信頼出来るものと認められる。

なお、これら5橋について、標準設計の桁高と実断面積により、式(1)により算出される総鋼重と、実橋のものとを比較した結果を表6

I形断面桁の経済的桁高について(その3)

表6・1 腹板, 経費, 鋼重比較表¹

| 設計 | 支間m 幅員m | 26.0 | | 35.0 | | 44.0 | | 合計 |
|-----------|------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--|-------------------|
| | | 5.0 | 14.0 | 10.0 | 5.0 | 14.0 | | |
| 腹板高×厚mm | 標準 | 1,450×9 | 1,450×9 | 1,750×9 | 2,050×10 | 2,150×11 | | 8,850 |
| | 比較 | 1,270×9 (-12.4) | 1,540×9 (+6.2) | 1,860×9 (+6.3) | 1,880×9 (-8.3) | 1,880×9 (-12.6) | | 8,430 (-4.7) |
| 経費 ΣKG | 標準 | 20,432 | 47,896 | 61,818 | 53,718 | 133,367 | | 317,231 |
| | ① | 20,198 (-1.1) | 46,815 (-2.3) | 61,015 (-1.3) | 51,607 (-3.9) | 126,392 (-5.2) | | 306,026 (-3.5) |
| | ② | 21,246 (+4.0) | 45,334 (-5.3) | 59,975 (-3.0) | 53,324 (-0.7) | 129,767 (-2.7) | | 309,640 (-2.4) |
| 分主鋼材重質 | 標準 | 14,283 | 33,362 | 47,017 | 40,977 | 100,078 | | 235,717 |
| | ① | 14,815 (+3.7) | 32,721 (-1.9) | 45,483 (-3.3) | 40,164 (-2.0) | 98,265 (-1.8) | | 231,448 (-1.8) |
| | ② | 14,813 (+3.7) | 32,538 (-2.5) | 45,354 (-3.5) | 40,432 (-1.3) | 98,798 (-1.3) | | 231,935 (-1.6) |
| 鋼重の重他kg | 標準 | 5,292 | 12,532 | 11,980 | 10,282 | 27,284 | | 67,370 |
| | ① | 4,494 (-15.1) | 12,131 (-3.2) | 12,803 (+6.9) | 9,033 (-12.1) | 22,231 (-18.5) | | 60,692 (-9.9) |
| | ② | 5,544 (+4.8) | 10,844 (-13.2) | 11,900 (-0.7) | 10,466 (+1.8) | 25,041 (-8.2) | | 63,795 (-5.3) |
| 合計 | 標準 | 19,575 | 45,894 | 58,997 | 51,259 | 127,362 | | 303,086 |
| | ① | 19,309 (-1.4) | 44,852 (-2.3) | 58,286 (-1.2) | 49,197 (-4.0) | 120,496 (-5.4) | | 292,140 (-3.6) |
| | ② | 20,357 (+4.0) | 43,382 (-5.5) | 57,254 (-3.0) | 50,898 (-7.0) | 123,839 (-2.8) | | 295,730 (-2.4) |

注1); ()内数字は標準設計を基準とした比較設計の増減率(%)を示す。

注2); ①は式(1-6.7)による1橋分の鋼重と、それらよりの、式(3)により算出されるΣKGを、②は同様式(1-9~13)による鋼重と、それらよりの式(3)によるΣKGを示す。

表6・3 文献10)との経費, 鋼重比較

| 区分設計 | 腹板mm H×t _w | 総経費 ΣKG | 鋼重 kg | | |
|--------|--------------------------|------------|--------|------------------|------------------|
| | | | ΣW | ΣW _{g'} | ΣW _{e'} |
| ① 文献10 | 1,650×9 | 4,278,068 | 40,892 | 31,478 | 9,414 |
| ② 比較 | 1,850×9 | 4,200,524 | 40,181 | 30,404 | 9,777 |
| 増減率 | +12.1 | -1.8 | -1.7 | -3.4 | +3.9 |

注; 増減率は①に対する②の増減率(%)である。

・2に示す。

ΣW_{g'}は、式(1-6.7)によるもので、-0.09~+0.78%, 合計で-0.17%, 式(1-9~13)では、+0.09~1.13%, 合計で+0.34%となる。同時に、ΣW_{e'}は、前者の式で-0.97~+3.59%, 合計で+0.94%と、後者で-4.04~+7.11%, 合計で+0.28%, ΣWは、同じく-0.10~+1.54, 合計で+0.35%と、-0.87~+2.75, 合計で+0.33%と

表6・2 実鋼重と計算鋼重比較

| 支間m | 幅員m | 区分 | 鋼重 kg | | |
|------|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | ΣW _{g'} | ΣW _{e'} | ΣW |
| 26.0 | 5.0 | 実橋 | 14,283 | 5,292 | 19,575 |
| | | ① | 14,349 (+0.46) | 5,342 (+0.94) | 19,691 (+0.59) |
| | | ② | 14,445 (+1.13) | 5,668 (+7.11) | 20,113 (+2.75) |
| | 14.0 | 実橋 | 33,362 | 12,532 | 45,894 |
| | | ① | 33,621 (+0.78) | 12,982 (+3.59) | 46,603 (+1.54) |
| | | ② | 33,604 (+0.73) | 12,405 (-1.01) | 46,009 (+0.25) |
| 35.0 | 10.0 | 実橋 | 47,017 | 11,980 | 58,997 |
| | | ① | 46,987 (-0.06) | 12,291 (+2.60) | 59,278 (+0.48) |
| | | ② | 47,060 (+0.09) | 12,627 (+5.40) | 59,687 (+1.17) |
| | 5.0 | 実橋 | 40,977 | 10,282 | 51,259 |
| | | ① | 40,941 (-0.09) | 10,379 (+0.94) | 51,320 (+0.12) |
| | | ② | 41,077 (+0.24) | 10,690 (+3.97) | 51,767 (+0.99) |
| 44.0 | 5.0 | 実橋 | 100,078 | 27,284 | 127,362 |
| | | ① | 100,222 (+0.14) | 27,019 (-0.97) | 127,241 (-0.10) |
| | | ② | 100,329 (+0.25) | 26,182 (-4.04) | 126,511 (-0.67) |
| | 14.0 | 実橋 | 100,078 | 27,284 | 127,362 |
| | | ① | 100,222 (+0.14) | 27,019 (-0.97) | 127,241 (-0.10) |
| | | ② | 100,329 (+0.25) | 26,182 (-4.04) | 126,511 (-0.67) |
| 合計 | 実橋 | 235,717 | 67,370 | 303,087 | |
| | ① | 236,120 (+0.17) | 68,013 (+0.94) | 304,133 (+0.35) | |
| | ② | 236,515 (+0.34) | 67,572 (+0.28) | 304,087 (+0.33) | |

注1); ()内数字は実鋼重に対する増減率(%)を示す。また①は式(1-6.7)によるもの、②は式(1-9~13)によるものを示す。

なり、以上のことより、これら鋼重の算出式は、いずれも精度の高いものと認められる。

この5橋の総経費はK₄₁=500千円とした場合、約1億6千万円となり、これに対し、-6%では、約1千万円の節減が期待出来ることとなる。

また、文献10)の計算例とも、比較した結果を表6・3に示す。これらについても、総経費で-1.8%を得た。

7. まとめ

1) 非合成、および活荷重合成桁橋の総工費を最

少とする桁高は、主桁最大曲げモーメント M が、臨界モーメント M_0 以上の範囲では、常に、夫々の板厚に対する限界高となり、結局、桁高は階段状に変化するものであることを明らかにした。

この M_0 、および境界モーメント M_m 、並びに M が M_0 以下の場合の桁高の算出式を、各材質の単価比率と強度、その他因数との関数式として、実用式と共に示したものであり、標準設計等とも比較して、妥当なものであることを実証した。

2) 各主桁材質間の経済性を比較する方法として、経済限度率による方法を、新たに提案したものであるが、従来、橋を計画する際に、個々には、これの検討は、なされていたものであるが、本方法により、この種の経済性が、それなりに全体的傾向として、把握することが出来たものである。

以上のことより、 M が2,000 tm以下の範囲で、現行の一般的な価格では、その経済性の順位は、おおよそ、SM50Y, SM58, SM50, SS41であることを明らかにした。

8. あとがき

1) 表2・1は、現行の一般的な鋼材価格比であり、個々の橋、或いは年次により夫々価格も異なることとなる。また示方書1・6より、使用板厚に応じて、同じ強度で異なる鋼種が必要であり、夫々単価も相違するが、それらの比率を見込んだ価格比をとることにより、本論は、そのまま適用出来る。

2) 活荷重合成桁である標準設計を基礎資料としたことによる、データの偏りは、鋼重を桁高と主桁断面積 A_g との関数とし、更に A_g を、 M 、 σ 、 H 、 t_w 等との関係式として算出したことにより、相当是正されたものと思われる。しかし、式(1)等の係数ないし関数形については、今後、実橋に基づくより適確な関係式が必要と考えられる。

3) 本論の手法は、鋼重等が式(1-5~7)の形式、或いは、これと類似の形式で表される橋、例えば、死活荷重合成桁、又は箱桁橋等で、上下フランジ応力度を、作用断面力に対し、適確に予測することにより、準用可能なものである。

4) 本論は、単純桁橋を対象として解析したものであるが、連続桁については、その負曲げモーメントの範囲が一般的に局在しているので、この部分による影響を考えない場合、正曲げモーメント区間の桁高算定にも、十分適用出来る。

5) 本論ではふれていないが、従来、合成桁のフ

ランジ断面積を算出する方法としては、明確なものは無かったが、合成前曲げモーメントを対象とし、式(10)および表2・5の α_u 、 α_l を使用することにより、上下フランジ断面積を相当高い精度で概算する式を、得ることが出来た。

6) 本論での、経済的桁高、および各主桁材質間の経済性比較法は、橋の設計の基本的事項であり、近來の、電子計算機による自動設計が、通常となりつつある状況であっても、これらの事を明らかにすることは、十分に意義のあることである。かつまた、これにより、これら電算機の省力化にも、十分に役立つものであると考える。(おわり)

謝 辞

本研究を行うにあたり、名古屋大学 名誉教授 成岡 昌夫先生より御懇切な助言と御指導を賜ったこと、また本解析の大量な基礎資料の整備および解析等に協力した伊藤 勝君(横河工事㈱)に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 伊藤 勝, 雄山 重義: 秋田高専研究紀要 第23号 1988, 2. p. 44~52
- 2) 全日本建設技術協会 建設省制定 土木構造物標準設計 第23~28巻(活荷重合成プレートガーダー橋) 1979, 3.
- 3) 雄山 重義: 秋田高専研究紀要 第24号 1989, 2. p. 48~55
- 4) 日本道路協会 道路橋示方書・同解説(I 共通編・II 鋼橋編) 丸善 1983, 5.
- 5) 小西 一郎編: 鋼橋 設計編I 丸善 1975, 3. p. 232
- 6) 倉西 茂: 鋼構造 技報堂 1974, 12. p. 308~311
- 7) 小池 啓吉: 橋梁工学(第一巻) 富士出版 1947, 12. p. 187, 244~245
- 8) 社団法人 日本橋梁建設協会: JASBC manual デザインデータブック 4. プレートガーダー, p. 4~6
- 9) 渡辺 正紀: 鋼道路橋の設計と施工 日刊工業新聞社 1976, 10. p. 97
- 10) 菊池 洋一, 笹戸 松二: 大学課程 橋梁設計例 オーム社 1982, 2. p. 59~104