

# I 形断面桁の経済的桁高について (その2)

雄山重義

## An Economical Girder Depth of I-Section (No.2)

Shigeyoshi OYAMA

(昭和63年6月11日受理)

### 1. 要 旨

I形桁の経済的桁高を算出するものとしては従前より種々提案されている。これらはおおよそ支間と桁高<sup>1,2)</sup>、ないしは最大曲げモーメントと桁高<sup>1),3~8)</sup>の関係として図ないしは式として示している。

筆者は、さきに(その1)<sup>9)</sup>としてI形桁橋の総鋼重を最少とするための桁高算定法を提案したものであるが、本論は、橋の総経費を最少とするための経済的桁高算出式を、新たに誘導したものである。

I形桁橋の経済的桁高は、橋体総経費を最少とするものとして考えた場合、桁高と総経費との関係が判明すればよいことになる。従前の諸提案についてはこれらの関係が明確でない。

なお活荷重合成桁の場合の経済的桁高については、合成前と合成後の応力度の状況が大きく相違するが、これに対応した適確な算定法は余り見受けられない。<sup>1,2),10~13)</sup>

本論は、橋の総鋼重を主桁材質と同等分の鋼重(以下主桁材質分鋼重と称する)とその他鋼重(SS41材とする)とに2分し、総経費はこれらの鋼重とそれぞれの単価とにより算出されるものとし、これらの鋼重と桁高との関係より非合成桁、活荷重合成桁および死活荷重合成桁の経済的桁高計算式を誘導した。ただし、床版、支承沓等の経費は桁高とは無関係として対象外とした。

上記の鋼重については、(その1)<sup>9)</sup>と同じく建設省制定、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)<sup>10)</sup>(以下標準設計と言う)よりの鋼重(ずれ止め重量を除く)について主桁断面積および腹板高等との回帰式を導き、さらに主桁断面積については、最大曲げモーメント、上下フランジ応力度、腹板高および腹板厚等との関係式を用い、これらの変数による関数として求めた。

以下許容応力度、水平補剛材規定等については、

道路橋示方書Ⅱ鋼橋編<sup>14)</sup>(以下示方書と言う)の規定を基準として採ることとする。

また、腹板高については、I形桁の実際の使用状況より同規定の水平補剛材1段までの範囲を採ることとする。

### 2. 経済的桁高 $H_e$ の基本式

#### 2・1 総経費 $KG_i$ ;

主桁材質  $i$  である橋の、桁長当り総経費  $KG_i$  (円/m) は次式で示されるものとする。

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

ここに

$K_i$  ; 材質  $i$  の単位重量当り単価 (円/kg)

$W_{gi}'$  ; 主桁材質  $i$  である橋の桁長当り主桁材質分鋼重 (kg/m)

$W_{ei}'$  ; 同じくその他鋼重 (kg/m)

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

$W_i$  ; 同じく総鋼重 (kg/m)

$K_i = \alpha_{Ki-41} \cdot K_{41}$  とすると、上式は

$$KG_i = (\alpha_{Ki-41} \cdot W_{gi}' + W_{ei}') K_{41} \dots\dots\dots (2)$$

となる。

#### 2・2 各材質ごとの $K_i$ および $\alpha_{Ki-j}$

現在の各材質の一般的な場合の単価はSS41材の  $K_{41}$  を100とした場合、おおよそ表2・1のような単価および比率  $\alpha_{Ki-j}$  となる。なお同表では示方書1・

表2・1 材質の単価とその比率 ( $K_{41}=100$ )

材質 $i$	比率		$\alpha_{Ki-j}$		
	$K_i$	$j$	対SS41	対SM50	対SM50Y
SS 41	100		1.00	—	—
SM50	105		1.05	1.00	—
SM50Y	106		1.06	1.01	1.00
SM58	124		1.24	1.18	1.17

I 形断面桁の経済的桁高について (その 2)

6 で同じ強度の範囲で、板厚に応じてそれぞれ異なる材種の選定を定めているが、それらのうち代表的な SS41, SM50A, SM50YA, SM58 材のものを示す。

また以下、 $K_i, \alpha_{Ki-j}$  の数値はこの表の値を採ることとする。

2・3 諸鋼重の関数形

鋼重の関数形については、標準設計を基礎資料として解析した。

標準設計は活荷重合成桁であるので、これを第一段階として、鋼重  $W$  を桁高  $H$  (cm), 純主桁鋼重  $W_g$  等との回帰式として求め、第二段として  $W_g$  を  $H, t_w, M, \sigma_c, \sigma_t$  との関係式として置き換えることにより、鋼重の関数形の一般化を図ったものである。

ここに

$t_w$ ; 腹板厚 (cm)

$M$ ; 各主桁最大曲げモーメントの平均 (tm)

$\sigma_c, \sigma_t$ ; 上 (圧縮), 下 (引張) フランジの応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

なお、変数としては、相関性の向上を図るため主桁間隔に対応するものとして  $B/N$  ( $B$ : 橋の幅員 (m),  $N$ : 主桁本数) を考慮した場合のものも併せて、多変数回帰により求めた。

(a) 総鋼重  $W$

$W$  のうちの  $W_g$  以外のその他鋼重  $W_e = W - W_g$  の解析の結果を表 2・2 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

経済的桁高  $H_e$  の算出式には表中の重相関係数最大である式番号⑤を  $W$  の関数形としてとることとする。すなわち

$$W = -682.92 + 32.71 \frac{B}{N} + 1.122W_g + 2.013H + \frac{59,826}{H} \dots\dots\dots (3)$$

(b)  $W_g'$

主桁と同材質と見做せる主桁添接板等の鋼重 (同用高力ボルト共)  $W_{sp} = W_g' - W_g$  の解析結果を表 2・3 に示す。(対象橋数 871 橋)

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

前記 (a) と同様に  $H_e$  の算出式には表中の式番号⑤を採用することとする。すなわち

$$W_g' = 25.33 + 3.49 \frac{B}{N} + 1.087W_g - 0.151H - \frac{61,179}{H} \dots\dots\dots (4)$$

(c) 純主桁鋼重  $W_g$

$$W_g = \rho A_g \dots\dots\dots (5-1)$$

ここに

$\rho$ ; 鋼材単位体積当り重量

:  $\rho = 0.785$  (kg/cm<sup>3</sup>/m)

$A_g$ ; 主桁平均断面積 (cm<sup>2</sup>)

$A_g$  については、 $H, t_w, M, \sigma_c, \sigma_t$  との関係式として、次の近似式となる。

$$A_g = A_c + A_w + A_t \dots\dots\dots (5-2)$$

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

$$A_w = H t_w$$

$$A_t = \frac{\alpha_n M \times 10^5}{\sigma_t H} - \frac{H t_w}{6} \cdot \frac{2\sigma_t - \sigma_c}{\sigma_t} \dots\dots (5-4)$$

以上より

$$A_g = \frac{\sigma_c + \sigma_t}{6\sigma_c\sigma_t} \left\{ \frac{\alpha_n M \times 10^5}{H} + (\sigma_c + \sigma_t) H t_w \right\} \dots\dots\dots (6-1)$$

$\sigma_c = \sigma_t = \sigma_a$  の場合

$$A_g = \frac{2\alpha_n M \times 10^5}{\sigma_a H} + \frac{2}{3} H t_w \dots\dots\dots (6-2)$$

ここに

$A_c, A_t$ ; 上および下フラジ平均断面積 (cm<sup>2</sup>)

$A_w$ ; 腹板断面積 (cm<sup>2</sup>)

$$\alpha_n M = \frac{1}{l'} \int_0^{l'} M_x dx \dots\dots\dots (7)$$

$l'$ ; 桁長の 1/2 (m):  $l' = l + 0.3$  とし、かつ片側断面変化数 1 の場合は  $l' = 1.022l$ , 変化数 2 および 3 の場合は  $l' = 1.016l$  とする。

$l$ ; 支間長の 1/2 (m)

$M_x$ ; 主桁抵抗曲げモーメント (tm)

(d)  $\alpha_n$  について

式(7)中の  $\int_0^l M_x dx$  は実桁の抵抗曲げモーメント図面積となる。

以上より  $\alpha_n$  は、式(1, 2), (4~6) より  $KG_i$  と  $\alpha_n$   $M$  とは正の一次の関係であるので、  
 $\partial KG_i / \partial \alpha_n > 0$  より、 $\alpha_n$  を最小とするべき断面変化位置を定めることより求められる。

作用曲げモーメントが2次放物線であり、 $M_x$  が階段状に変化するものとして、その結果を示すと表2・4の通りとなる。

表2・4  $\alpha_n$

断面変化数	1ヶ所	2ヶ所	3ヶ所
$\alpha_n$	0.8452	0.7892	0.7585

2・4  $H_g$  の算出式

式(1,2), (4~6) より、 $KG_i$  は次式となる。

$$KG_i = \left[ R_1 + R_2 \frac{B}{N} + R_3 \frac{\sigma_c + \sigma_t}{6\sigma_c \sigma_t} \left\{ \frac{6\alpha_n M \times 10^5}{H} + (\sigma_c + \sigma_t) H t_w \right\} + R_4 H + R_5 \frac{1}{H} \right] K_{4i} \dots\dots\dots (8)$$

ここに

$$\begin{aligned} R_1 &= -708.25 + 25.33 \alpha_{Ki-41} \\ R_2 &= 20.22 + 3.49 \alpha_{Ki-41} \\ R_3 &= 0.0275 + 0.8533 \alpha_{Ki-41} \\ R_4 &= 2.164 - 0.151 \alpha_{Ki-41} \\ R_5 &= 61,179 - 1,353 \alpha_{Ki-41} \end{aligned}$$

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

$$H_{gi} = 168.14 \left| \frac{R_6 + 21.22 R \alpha_n M}{R_7 + R(\sigma_c + \sigma_t) t_w} \right|^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (9)$$

ここに

$$\begin{aligned} R_6 &= 1 - 0.0221 \alpha_{Ki-41} \\ R_7 &= 1 - 0.0698 \alpha_{Ki-41} \end{aligned}$$

$$R = R_8 \frac{\sigma_c + \sigma_t}{\sigma_c \sigma_t}$$

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

なお、 $\alpha_{Ki-41}$  が約50以下では

$\partial^2 KG_i / \partial H^2 > 0$  となるので式(9)の  $H_{gi}$  は  $KG_i$  の極少値を与える。

また、 $\partial KG_i / \partial t_w > 0$ 、かつ  $\sigma_c$ 、 $\sigma_t$  の相互の比率が約0.1以上の範囲で、

$$\partial KG_i / \partial \sigma_c < 0, \partial KG_i / \partial \sigma_t < 0$$

となるので、 $t_w$  については腹板厚高比の示方書の規定による最小値を採り、 $\sigma_c$ 、 $\sigma_t$  は採りうる最大値、すなわち  $\sigma_c = \sigma_{ca}$ 、 $\sigma_t = \sigma_{ta}$  とすることで宜しい。

ここに

$$\sigma_{ca}, \sigma_{ta}; \text{上下フランジの許容応力度 (kg/cm}^2\text{)}$$

3. 非合成桁の経済的桁高  $H_p$

3・1 通常の場合

通常の場合は式(9)そのままでも宜しい。 [ $H_g \rightarrow H_p$ ,  $\sigma_c, \sigma_t \rightarrow \sigma_{ca}, \sigma_{ta}$ ]

$$H_{pi} = 168.14 \left| \frac{R_6 + 21.22 R' \alpha_n M}{R_7 + R'(\sigma_{ca} + \sigma_{ta}) t_w} \right|^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (10-1)$$

ここに

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

上路プレトガードーで上フランジが鉄筋コンクリート床版で固定され、上下同材質の場合、 $\sigma_{ca} = \sigma_{ta} = \sigma_a$  とすれば式(10-1)は次式となる。

$$H_{pi} = 168.14 \left| \frac{R_6 + \frac{10.61 R'' \alpha_n M}{\sigma_a}}{R_7 + R'' t_w} \right|^{\frac{1}{2}} \dots\dots (10-2)$$

ここに

$$R'' = 0.00848 + 0.2629 \alpha_{Ki-41}$$

3・2 曲げモーメント  $M$  の小さい場合

$M$  の小さいものに対しては式(10-1, 2)は過大な桁高を与えるものとなる。

そこで  $M$  の小さい場合に対してはフランジ断面の制約より求める方法を以下に示す。

示方書 8・3・1 および運搬、架設時等の剛性確保上からフランジ幅は  $H_p/5$ 、厚は幅の  $1/32$  を限度とするとフランジ断面積  $A_f$  は

$$A_f \geq \frac{H_p^2}{800} \dots\dots\dots (11)$$

となるので、これと式(5-3, 4)より

$$\left. \begin{aligned} H_p^3 + \frac{400(2\sigma_c - \sigma_t)t_w}{3\sigma_c} H_p^2 - \frac{8\alpha_n M \times 10^7}{\sigma_c} &\leq 0 \\ H_p^3 + \frac{400(2\sigma_t - \sigma_c)t_w}{3\sigma_t} H_p^2 - \frac{8\alpha_n M \times 10^7}{\sigma_t} &\leq 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12-1)$$

$\sigma_c = \sigma_t = \sigma_a$  の場合

$$H_p^3 + \frac{400 t_w}{3\sigma_a} H_p^2 - \frac{8\alpha_n M \times 10^7}{\sigma_a} \leq 0 \dots\dots\dots (12-2)$$

上3式を

$$H_p^3 + 3aH_p^2 - 2c \leq 0$$

として  $H_p$  を求めると、式(12-1, 2)より

$$H_p \leq \sqrt[3]{q + \sqrt{p}} + \sqrt[3]{q - \sqrt{p}} - a \dots\dots\dots (13-1)$$

I形断面桁の経済的桁高について（その2）

ここに

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

ただし  $p \geq 0$  の場合。

$\sigma_c = \sigma_t = \sigma_a$  の場合、式 (12-2) より

$$H_p \leq \sqrt[3]{q_0 + \sqrt{p_0}} + \sqrt[3]{q_0 - \sqrt{p_0}} - a_0 \dots\dots (13-2)$$

ここに

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

上式は、 $t_w = 0.9\text{cm}$ 、 $\sigma_a \leq 2,600\text{kg/cm}^2$  のもとで  $M$  が約  $10\text{tm}$  以上では  $H_p \geq 0$  となる。

3・3 計算結果

$t_w \geq 0.9\text{cm}$ 、断面変化数 2 の場合の材質 SS41, S M50, SM50Y, SM58 について、式(10-2), (13-2) の計算結果を示すと図 3・1 の経済的桁高図を得る。

図 3・2 に主桁材質 SM50Y の式 (10-2), (13-2) による  $H_p$  と既往の文献 4~6) のものとの比較図を示す。(ただし  $H_p$  は断面変化数 2 の場合)

なお、図 3・3 に断面変化数 0, 2, 4 (変化数 4 の場合は表 2・4 に示していないが  $\alpha_4 = 0.7347$  となる)、主桁材質 SM50Y の場合の  $H_p$  を示す。

図 3・1 ~ 3 より経済的桁高は曲げモーメントの小さい場合、および腹板厚の変化する位置を除き曲げモーメントの増と共にほぼ直線的に増加する。

図 3・1 より、同一曲げモーメントに対し、許容応力度の高い順に腹板厚は厚くなるものの桁高は低くなり、SS41を基準としてSM50, SM50Y, SM58はそれぞれ10, 12, および16%程度の減となる。

図 3・2 より、曲げモーメントの小さい場合(約  $400\text{tm}$  以下)では文献 4) と 5) との中間、曲げモーメントが約  $900\text{tm}$  以上ではいずれよりも低い桁高を与える。

また、図 3・3 より、桁断面変化数の増と共に桁高は低いものとなるが、変化数 0 に対し、変化数 2, 4 はそれぞれ約 4, および 6% 程度低いものとなる。

4. 活荷重合桁の経済的桁高  $H_c$

4・1 通常の場合

$\alpha_u, \alpha_l$  を次の式 (14-1) で定義すると、合成前曲げモーメント  $M_s$  (tm) による上下フランジ応力度  $\sigma_{uD}, \sigma_{lD}$  は式 (14-2) となる。

$$\alpha_u = \frac{W_{Su}}{W_{vu}}, \quad \alpha_l = \frac{W_{Sl}}{W_{vl}} \dots\dots (14-1)$$

$$\sigma_{uD} = \frac{\sigma_c}{1 + \frac{\alpha_u M_v}{M_s}}, \quad \sigma_{lD} = \frac{\sigma_t}{1 + \frac{\alpha_l M_v}{M_s}} \dots (14-2)$$

ここに

$W_{Su}, W_{Sl}, W_{vu}, W_{vl}$ ; 鋼桁上下フランジの合成前および合成後の断面係数 ( $\text{cm}^4$ )  
 $M_v$ ; 合成後曲げモーメント (tm)

(a)  $\sigma_c$  について

式 (14-2) の  $\sigma_c$  については示方書 9・3・1 (4) より、一般的にクリープと乾燥収縮の影響を含めたものが許容応力度に対し比率が最大となるものと考えられるのでこれを対象とすることとする。クリープと乾燥収縮による応力分として、これを一律  $500\text{kg/cm}^2$  と見込む。

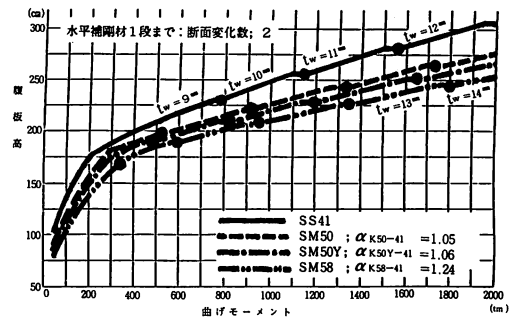


図 3・1 非合成桁；桁高図

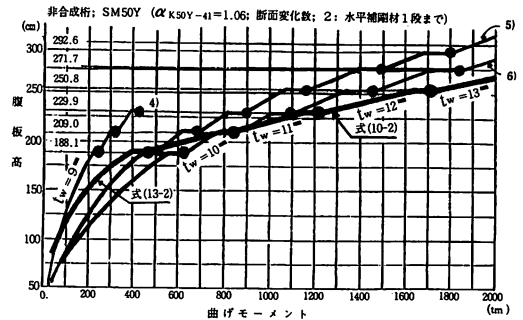


図 3・2 既往のものとの桁高比較

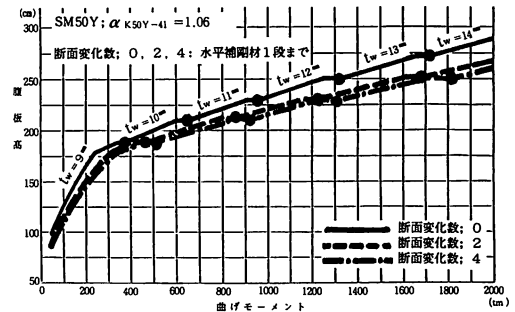


図 3・3 非合成桁；桁高図

$$\sigma_c = 1.15 \sigma_{ca} - 500 \dots\dots\dots (15-1)$$

(b)  $\sigma_t$  について

$\sigma_t$  についても同様に、クリープと乾燥収縮を含めた主荷重による応力度が、許容応力度に対し比率が最大になるものと考えられるので、これを対象とすることとする。クリープと乾燥収縮による応力分として、一律に150kg/cm<sup>2</sup>と見込む。

$$\sigma_t = \sigma_{ta} - 150 \dots\dots\dots (15-2)$$

(c)  $\alpha_u, \alpha_l$  について

標準設計の合成前、合成後曲げモーメントと応力度より、 $\alpha_u, \alpha_l$  の平均値を表4・1に示す。以下 $\alpha_u, \alpha_l$  の値としては表4・1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4・1  $\alpha_u, \alpha_l$  の平均

	全 数	中央断面	断面2.3*	換算長
総 数	9,450	3,472	5,978	3,472
$\alpha_u$	0.0582	0.0756	0.0481	<u>0.0621</u>
標準偏差	0.0313	0.0300	0.0274	0.0319
$\alpha_l$	0.6731	0.7174	0.6474	<u>0.6856</u>
標準偏差	0.0527	0.0300	0.0454	0.0512

※ 断面2.3とは桁中間の断面変化部分についてのものである。

(d)  $H_c$ 算出式

式(9)の $H_{pi}, \sigma_c, \sigma_t, M$ をそれぞれ $H_{ci}, \sigma_{uD}, \sigma_{lD}, M_s$ とし、式(14-2)および(15-1,2) [ $\sigma_{ca} = \sigma_{ta} = \sigma_a$ ] を代入して、次の合成桁の経済的桁高 $H_{ci}$ の算出式を得る。

$$H_{ci} = 168.14 \left| \frac{R_6 + \frac{21.22R_8R_9\alpha_uM_s}{R_{10}}}{R_7 + \frac{R_8R_9^2t_w}{R_{10}R_uR_l}} \right|^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (16-1)$$

ここに

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

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

$$R_u = 1 + \alpha_u \alpha_v$$

$$R_l = 1 + \alpha_l \alpha_v$$

$$\alpha_v = M_v / M_s$$

4・2 曲げモーメントMが小さい場合

3・2と同様にMが小さい場合、上下フランジ断面の最小値の制約より桁高を求める。

(a) 上フランジについて

示方書9・6よりスタッドジベル取付けとして

$$A_c \leq 20.0 \times 1.0 = 20.0 \text{ cm}^2$$

とすると、式(5-3),(7),(14-2),(15-1,2)より次式を得る。[式(5-3)の $\sigma_c, \sigma_t, H \rightarrow \sigma_{uD}, \sigma_{lD}, H_{cu}$ ]

$$H_{cu} \leq \frac{53.08R_l}{R_{12}t_w} \left( \sqrt{R_{11} + \frac{163.83R_{12}R_u t_w \alpha_u M_s}{R_l}} - R_{11} \right) \dots\dots\dots (16-2)$$

ここに

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

$$R_{12} = \sigma_a - 653.8 + (1.165\sigma_a - 520.2)\alpha_v$$

(b) 下フランジについて

式(11)と同じとし、すなわち

$$A_t \geq \frac{H_c^2}{800}$$

上記(a)と同様式(5-4),(7),(14-2),(15-1,2)より次式を得る。[ $H \rightarrow H_{cl}$ ]

$$H_{cl}^3 + 3AH_{cl}^2 - 2C \leq 0 \dots\dots\dots (17)$$

ここに

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

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

式(17)より式(13-2)と同様にして

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

ここに

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

なお、 $P < 0$  の場合は便宜的に $P = 0$  として $H_{cl}$ を算出することとする。

4・3 計算結果

式(16-1~3)で算出される桁高のうちの最小のものを経済的桁高として採り、 $t_w \geq 0.9$  cm, 断面変化数2,  $\alpha_v = 1.0$ , 主桁材質SS41, SM50, SM50Y, SM58のもの、 $M_s$ に対する計算結果を図4・1に示す。

図4・2に断面変化数2,  $\alpha_v = 1.0$ , 主桁材質SM50Yの場合の $H_c$ と既往の文献1), 2)のものとの比較図を示す。

さらに、主桁材質SM50Yについて、図4・3に $\alpha_v = 1.0$ , 断面変化数0.2, 4の場合の $H_c$ を、図4・4に断面変化数2,  $\alpha_v = 0.8, 1.0, 1.2$ の場合の $H_c$ を示す。

3・3と同様、図4・1である様に $M_s$ の小さい場合(約300tm以下)および腹板厚の変化位置を除き $H_c$ はほぼ直線的に変化し、SS41を基準にSM50, SM50Y, SM58の順で約10, 12, および17%程度低

I形断面桁の経済的桁高について（その2）

くなる。

図4・2で示す様に、 $M_s$  約300tm以下ではほぼ文献1)に近く、300~1,000tmでは1)から2)に近づくものとなる。

図4・3で断面変化数の変動による $H_c$ の変化の状況を示すが、0の場合に対し、2,4の場合は夫々約5および7%程度低くなり、図4・4に $\alpha_v$ の変化に対する $H_c$ の変化を示すが、 $\alpha_v=1.0$ に対し、0.8, 1.2は夫々約-1, および+1%程度の変化となる。

以上、フランジ断面の制約による桁高式として、式(16-2,3)を示したが、別の条件として5・4に後述する通り、 $M_v$ により鉄筋コンクリート床版部に引張応力度の生じないための桁高制限があるが、本論ではこれを対象としないこととする。

5. 死活荷重合成桁の経済的桁高 $H_c'$

5・1 フランジ断面

5・1・1 上フランジ

示方書9・3・1(1)よりコンクリート床版上縁応力度は鋼応力度に換算して $7 \times 100 = 700 \text{ kg/cm}^2$ 以下となる。床版厚（ハンチ高を含む）分を考えると鋼桁

上フランジ応力度は $500 \sim 0 \text{ kg/cm}^2$ の範囲と考えられるので、主桁鋼種に関係なく、これを一律に

$$\sigma_c = \sigma_{uv} = 300 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (18)$$

とする。

また、上フランジ断面としてはずれ止めを取付ける最小寸法であれば宜しいので、これも一律に

$$A_c = 20.0 \times 1.0 = 20.0 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots (19)$$

とする。

5・1・2 下フランジ

(a) フランジ応力度

全死荷重が合成断面に作用するので、これによるクリープによる応力度は、4・1(b)の場合よりも大きなものとなる。乾燥収縮による分も含めて、これを一律に $300 \text{ kg/cm}^2$ と見込む。

$$\sigma_t = \sigma_{lv} = \sigma_{ta} - 300 \dots\dots\dots (20)$$

(b) 合成断面のうちの鋼桁の分担率

下フランジ応力度を対象としての全曲げモーメント $M = M_v$ のうちの鋼桁分の分担率、 $\alpha_f$ を4・1(c)で示したように、表4・1の数値と同じとする。

$$\alpha_f = 0.6856 \dots\dots\dots (21)$$

(c) フランジ断面

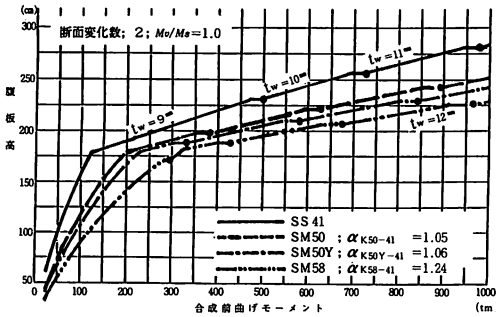


図4・1 活荷重合成桁；桁高図

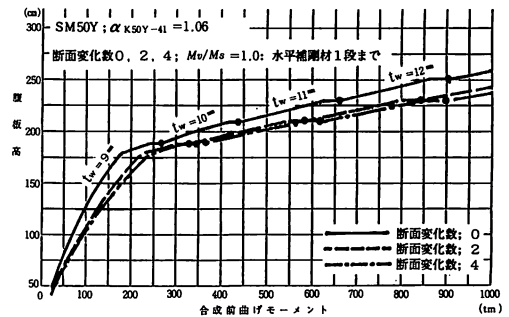


図4・3 活荷重合成桁；桁高図

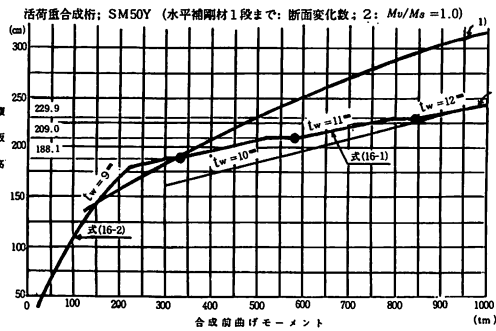


図4・2 既往のものとの桁高比較

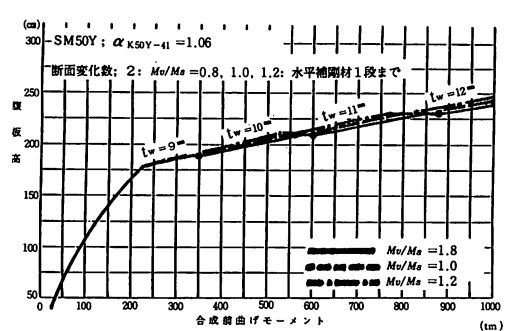


図4・4 活荷重合成桁；桁高図

式(5-4)より

$$A_t = \frac{\alpha_l \alpha_n M \times 10^5}{(\sigma_{ta} - 300)M} - \frac{Ht_w}{6} \cdot \frac{2\sigma_{ta} - 900}{\sigma_{ta} - 300} \dots (22)$$

5・2  $H_c'$ の算出式

(a) 通常の場合

$KG_i, W$ 等について式(1~4)がそのまま適用出来るものとして式(5-1,2), (19), (22) [ $H \rightarrow H_c'$ ]と、  
 $\partial KG_i / \partial H_c' = 0$ より

$$H_{ci}' = 168.14 \left| \frac{R_6 + 7.275 R_{13} \alpha_n M}{R_7 + (2\sigma_{ta} - 450) R_{13} t_w} \right|^{\frac{1}{2}} \dots (23-1)$$

ここに

$$R_{13} = \frac{0.0042 + 0.1314 \alpha_{ki-41}}{\sigma_{ta} - 300}$$

(b) 曲げモーメント  $M$  が小さい場合

3・2 および 4・2 (b) と同様に上フランジは式(19), 下フランジは式(11)と同様

$$A_t \geq \frac{H_{ci}'^2}{800}$$

として、これと式(22) [ $H \rightarrow H_{ci}'$ ]より次式を得る。

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

ここに

$$a' = \frac{400(2\sigma_{ta} - 900)t_w}{9(\sigma_{ta} - 300)}, \quad c' = \frac{274.2\alpha_n M \times 10^5}{\sigma_{ta} - 300}$$

これより

$$H_{ci}' \leq \sqrt[3]{q' + \sqrt{p'}} + \sqrt[3]{q' - \sqrt{p'}} - a' \dots (23-2)$$

ここに

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

上式は  $t_w = 0.9\text{mm}$ ,  $\sigma_{ta} \leq 2,600\text{kg/cm}^2$  では、 $M$  が約 100tm 以上で  $H_{ci}' \geq 0$  となる。

5・3 計算結果

式(23-1), (23-2)の小さい方の桁高を経済的桁高として採り、 $t_w \geq 0.9\text{cm}$ , 断面変化数 2, SS41, SM50, SM50Y, SM58 の場合についての計算結果を図 5・1 に示す。

この場合も桁高は 3・3 と同様曲げモーメントの小さい場合、および腹板厚の変化する位置を除き、ほぼ直線的に増加し、同一曲げモーメントに対しては、SS41を基準としてSM50, SM50Y, SM58 は夫々約 6, 8, および 12% 程度の減となる。

また、図 5・2 に非合成桁、活荷重合成桁、死活荷重合成桁の桁高比較を SM50Y について示す。(活荷重合成桁については  $\alpha_v = 1.0$  とし、横軸に総曲げモーメントを採る) これより非合成桁に対し活荷重合成桁、死活荷重合成桁は夫々、約 7, および 16% 程度低くなる。

5・4 鉄筋コンクリート床版部に引張応力度の生じないための桁高  $H_{ci}'$

標題の桁高制限は次式となる。

$$H_{ci}' \geq \frac{\sigma_{lv} h_c}{n' \sigma_{cuv}} \dots (16-4)$$

ここに

$n'$  ; 鋼とコンクリートとのヤング係数比  
 $: n' = 7$

$\sigma_{cuv}$ ;  $M_v$  による鉄筋コンクリート床版上縁の応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$h_c$  ; 鋼桁上フランジと床版上縁との距離 (cm)

(a)  $\sigma_{lv}$  について

死活荷重合成桁の場合は式(20)で、活荷重合成桁では式(14-1), (15-2)より

$$\sigma_{lv} = \frac{\alpha_l \alpha_v (\sigma_{ta} - 150)}{1 + \alpha_l \alpha_v}$$

(b)  $\sigma_{cuv}$  について

示方書 9・3・1(1)より

$$\sigma_{cuv} \leq 100$$

(c)  $h_c$  について

床版厚 + ハンチ高ではほぼ 25cm と見込まれる。

上記のことから式(16-4)の右辺の最小値は 50cm

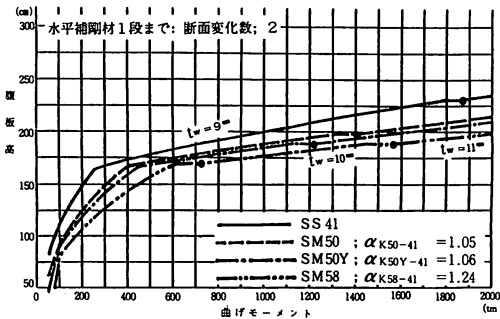


図 5・1 死活荷重合成桁; 桁高図

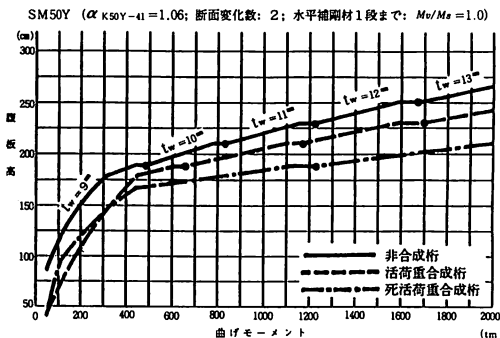


図 5・2 非合成桁, 活荷重合成桁, 死活荷重合成桁; 桁高図

I 形断面桁の経済的桁高について（その2）

程度となるが、上記各数値の変動により相当変化するものとなること、および一般的には、この条件が問題となるケースは殆どないと考えられるので、本論では式（16-4）は対象としないこととする。

6. まとめ

- 1) 非合成，活荷重合成，死活荷重合成桁橋の総経費を最少にする桁高を，主桁最大曲げモーメント，主桁断面変化数，各材質の単価比率とその許容応力度および腹板厚，活荷重合成桁については他に合成後と合成前の曲げモーメントの比を加えたもの等との関数として算出する式を示した。
- 2) 表 2・1 は現行の一般的な鋼材価格比であり，個々の橋，あるいは年次によって夫々単価も異なることとなる。また示方書 1・6 より板厚に応じて，同じ強度の範囲で異なる材種が必要であり，夫々単価も相違するが，それらの比率を見込むことにより，これらに応じた  $\alpha_{ki-j}$  を採ることで本論の式はそのまま適用出来る。
- 3) 式(1~6)，(8)その他桁高の算出式等は，橋の計画の場合，支間中央部曲げモーメントを求めることにより，総鋼重，主桁材質分鋼重，その他鋼重，工事費および桁高等の基本寸法等を概算するのに非常に有用なものと認められる。
- 4) 単純桁を対象として解析したものであるが，連続桁ないしはラーメン桁については，その負曲げモーメントの範囲が一般的に局在しており，この部分による影響を無視した場合，正曲げモーメント区間の桁高算定にも十分適用出来る。（中間正曲げモーメント部については表 2・4 の  $l'$  を  $l$  とする必要があるがその影響は些少である。）
- 5) 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  $M$ ， $\sigma$ ， $H$ ， $t_w$  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が，式(3)等の係数ないし関数形については，今後実際の橋についての，より適確な関係式が得られることが望ましい。
- 6) フランジ応力度を桁方向で一定として解析しているが，特に桁端部の曲げモーメントが小さくなる部分の圧縮フランジは，フランジ固定点間距離によるが施工時応力度により，断面が決まることが多く，かつ現行の許容曲げ圧縮縁応力度の規定より，

低強度材質に変えることも合理的となる場合もあるが，一般に桁端部のみで全体的には，これによる影響は小さいものと考えられる。

なお，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㈱）に深甚より感謝の意を表します。

本解析の使用機種は，NEC PC-9801 VMである。

参 考 文 献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 牧野 喬：鋼橋設計法 修教社 1951, 10. p.116~118
- 4) 小西 一郎編：鋼橋 設計編 I 丸善 1975, 3. p.232
- 5) 倉西 茂：鋼構造 技報堂 1974, 12. p.308~311
- 6) 小池 啓吉：橋梁工学（第一巻）富士出版 1947, 12. p.187, 244~245
- 7) フリードリッヒ・ブライヒ（奥田 秋夫他訳）：鋼橋の理論と計算（下巻）コロナ社 1954, 3. p.439
- 8) 伊藤 文人，野上 邦栄：許容応力度設計法によるプレートガーダーの最適桁高 土木学会論文集 第380号/I-8 1987, 4. p.321~330
- 9) 伊藤 勝，雄山 重義：秋田高専研究紀要 第23号 1988, 2. p.44~52
- 10) 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.
- 11) 中村 正平他：鋼合成桁の設計計算例 山海堂 1976, 7. p.19
- 12) 渡辺 昇：橋梁工学 朝倉書店 1974, 3. p.481~482
- 13) 平田 恭久，伊藤 文人：活性な制約面の選択を主眼にした最適化問題の解法 土木学会論文集 第386号/I-8 1987, 10. p.263~264
- 14) 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.