

D. 二軸応力作用下の圧縮補剛板の設計法

成果報告書

二軸応力作用下の圧縮補剛板の設計法

成 果 報 告 書

平成3年9月

鋼橋技術研究会設計部会

W/G (Dグループ)

目次

1, はじめに	1
2, 2方向圧縮補剛板の設計法	2
3, アンケート調査	17
4. おわりに	25

1. はじめに

最近、都市空間の中に計画される橋梁において、景観性及び空間上の制約等から、桁と脚横梁等が剛結された一体構造型式横梁が増えつつある。

このような橋梁の横梁の高力ボルト継手部では、添接板が主桁縦リブで分断されるため、主桁縦リブを横梁内に配置できなくなる場合がある。このため一体構造部では2方向面内力が作用するにもかかわらず横梁の補剛リブは横梁方向一方向に限定されることとなる。

本報告は2章に分かれ、第1章では2方向圧縮応力をうける1方向に補剛された圧縮補剛板の設計法を道路橋示方書- 同解説を基に許容応力度設計法の立場から論じ、第2章では一体構造の既設の設計例をアンケート調査結果を基にまとめる。

2. 2方向圧縮補剛板の設計法

(1) 補剛板の理想座屈応力度とその近似式

一方向に補剛された圧縮補剛板の構造を鋼床版箱桁橋のデッキを例にとり図-1に示す。

本構造の部分パネル部“a”部を設計的に安全側に考え、その構造解析モデルを図-2に示す。

座屈波形の連成を考慮して

$$W = \sum \sum W_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$$

—(1)と仮定すれば、

Timoshenkoのエネルギー法を

用いて、弾性座屈、係数 K_x とは、

以下の固有値問題を解くことに

より決定される。

$$[W_{mn}(m^2 + \alpha^2 n^2)^2 + 2\sum (1) \gamma l m^4$$

$$\sin(n\pi b/b) \sum (P) W_{mp}$$

$$\sin(P\pi b/b)$$

$$- \alpha^2 K_x [m^2 W_{mn} + \rho \alpha^2 n^2 W_{mn} + 2\sum (1)$$

$$\delta l m^2 \sin(n\pi b/b) \sum (P) W_{mp} \sin$$

$$(P\pi b/b) = 0 \quad \text{--- (2)}$$

ここに、

$$D : \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)}$$

t : 補剛板の板厚

m : 座屈波形の x 方向の半波数

n : 座屈波形の y 方向の半波数

α : アスペクト比 a/b

ρ : 応力比 σ_y/σ_x

γ_i : 縦補剛材一本あたりの板パネルに対する剛比 (EI_i/bD)

δ_i : 縦補剛材一本あたりの板パネルに対する面積比 (A_i/ab)

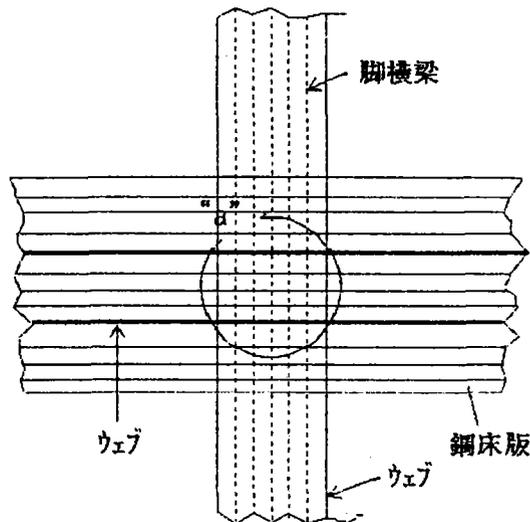


図-1 一体構造モデル図

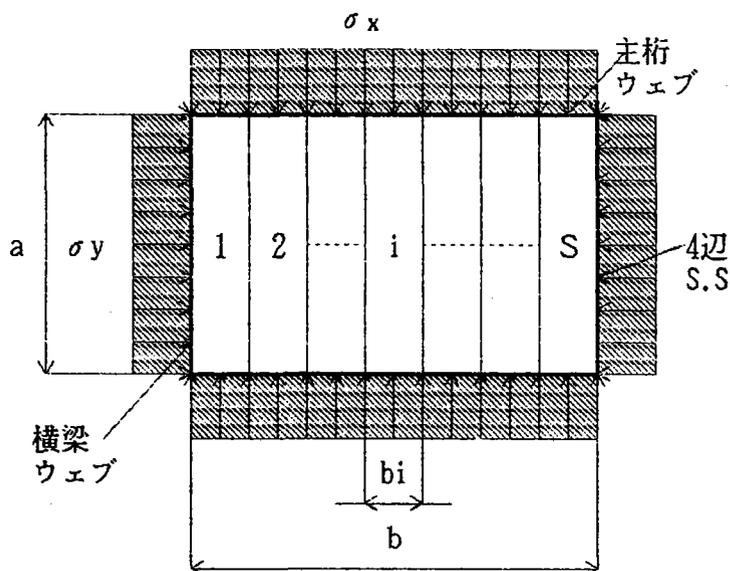


図-2 構造解析モデル (“a”部)

$$\sigma_x^{cr} = K_x D^*$$

$$\sigma_y^{cr} = K_y D^*$$

$$K_y = \rho K_x$$

$$D^* = \Pi^2 D / (b^2 t)$$

一方座屈変形のモード間連成を無視し、縦リブ剛度及び縦リブ断面積が部分パネル内で一定と仮定すれば ($r = r_i, \delta = \delta_i$) K_x は文献 (1) により以下の式で求まる。

$$K_x = n^2 \left\{ (m/\alpha n + \alpha n/m)^2 + (m/\alpha n)^2 S r \right\} / (1 + S \delta + \rho (\alpha n/m)^2) \quad (3)$$

式 (2) のモード間連成を考慮した場合の固有値問題としての座屈係数と、連成なしの場合の座屈係数とを比較してまとめると表-1を得る。

表-1 座屈係数の収束状況

($\alpha = 1, r = 2, \delta = 0$)

S = 2					S = 5				
ρ	m	n = 1	n = 1, 3	n = 1, 3, 5	ρ	m	n = 1	n = 1, 3	n = 1, 3, 5
1	1	4,000	3,877	3,865	1	1	7,000	6,998	6,998
0	1	8,000	7,834	7,812	0	1	14,000	13,997	13,997
-0.7	2	26.970	21.615	21.965	-1	2	61.667	61.6654	61.6654

これより、連成を考慮すると、座屈荷重は低下することがわかる。

しかしながら部分パネル内にリブが4本以上配置されれば連成の影響はほとんど無視してよく、実構造物では梁幅の関係から、4本以上のリブが配置される場合がほとんどのため以降 (3) 式で照査するものとする。

$k_1^1 = Kx \mid m=1, n=1$ $k_1^2 = Kx \mid m=2, n=1$ とする。

ここで k_1^2 と k_1^1 との差を調べる。

$$k_1^2 - k_1^1 = \frac{3(1+S\gamma i)(1+S\delta i) + 15\rho\alpha^2(1+S\gamma i)/4 + 3\alpha^4[2\rho - (1+S\delta i)]/4}{(1+S\delta i + \rho\alpha^2)(1+S\delta i + \rho\alpha^2/4)}$$

----- (4)

よって $\rho \geq (1+S\delta i)/2$ ならば、常に $k_1^2 \geq k_1^1$

$m=1$ の時、 Kx は最小となる。

(i) $\rho \geq (1+S\delta i)/2$ の時

$\sigma_x^{cr} = Kx^* D^{**}$ とおく。

ここに $Kx^* = Kx\alpha^2$, $D^{**} = \Pi^2 D/a^2 t$ である。

Kx^* において、 $m=1$ とおくと、

$$Kx^* = \frac{(1+x)^2 + S\gamma i}{1+S\delta i + \alpha x}, \quad x = (\alpha n)^2$$

ここで Kx^* の最小値を与える X を X_0 とおくと

$$X_0 = \frac{-(1+S\delta i) + \sqrt{(1+S\delta i)^2 + \rho \left\{ \rho(1+S\gamma i) - 2(1+S\delta i) \right\}}}{\rho} \quad \text{--- (5)}$$

ただし

$\rho \geq 2(1+S\delta i)/(1+S\gamma i)$ である。

ここで $S\gamma i \geq 3$ となるように、 γi を規定すれば、常に

$\rho \geq (1+S\delta i)/2 \geq 2(1+S\delta i)/(1+S\gamma i)$ となるため、

$X=X_0$ で Kx^* は最小値をとる。

$X = (\alpha n)^2 \geq \alpha^2$ より,

$\alpha \geq \sqrt{X_0}$ の時, $X = \alpha^2$ で K_x は最小値をとり, 最小値は

$$K_x = \frac{(1 + \alpha^2)^2 + S \gamma i}{\alpha^2 (1 + S \delta i + \rho \alpha^2)} \quad \text{----- (6)}$$

となる。

$\alpha < \sqrt{X_0}$ の時, $X = X_0$ で, 最小値は次の値としても安全側である。

$$K_x = \frac{(1 + X_0)^2 + S \gamma i}{\alpha^2 (1 + S \delta i + \rho X_0)} \quad \text{----- (7)}$$

$$(ii) \quad \frac{1 + S \delta i}{2} > \rho \geq \frac{2(1 + S \delta i)}{1 + S \gamma i} \quad \text{の時}$$

(4) 式から, この範囲内では, α が小さい時に $m = 1$ が K_x の最小値を与え, α が大きくなると, $n = 1$ が K_x の最小値を与える。

そこで K_x において $n = 1$ とおき, 以下の式を考える。

$$K_x = \frac{(1 + X)^2 + S \gamma i}{(1 + S \delta i)X + \rho X^2}, \quad X = \left\{ \frac{\alpha}{m} \right\}^2$$

ここで K_x の最小値を与える X を X_1 とおくと,

$$X_1 = \frac{\rho (1 + S \delta i) + \sqrt{\rho^2 (1 + S \gamma i)^2 + (1 + S \gamma i - 2 \rho) (1 + S \delta i) (1 + S \gamma i)}}{1 + S \delta i - 2 \rho} \quad \text{----- (8)}$$

それゆえ, $n = 1$ の時は以下のように K_x の最小値を与える X を近似する。

(i) と同様に $\alpha \geq \sqrt{X_1}$ の時は,

$$X = X_1 \quad \text{----- (9)}$$

$\alpha < \sqrt{X_1}$ の時は,

$$X = \alpha^2 \quad \text{----- (10)}$$

ここで X_1 と X_0 の大小関係を調べると、

よって、 $\frac{1+S\delta i}{2} > \rho \geq \frac{2(1+S\delta i)}{1+S\gamma i}$ の範囲内では、 K_x の最小値は以下のように近似

できる。

$$\alpha \geq \sqrt{X_1} \quad K_x = \frac{(1+X_1)^2 + S\gamma i}{(1+S\delta i)X_1 + \rho X_1^2} \quad \text{----- (11)}$$

$$\sqrt{X_0} \leq \alpha < \sqrt{X_1} \quad K_x = \frac{(1+\alpha^2)^2 + S\gamma i}{\alpha^2 (1+S\delta i + \rho \alpha^2)} \quad \text{----- (12)}$$

$$\alpha < \sqrt{X_0} \quad K_x = \frac{(1+X_0)^2 + S\gamma i}{\alpha^2 (1+S\delta i + \rho X_0)} \quad \text{----- (13)}$$

ただし $S\gamma i \geq 3$ とする。

(iii) $\rho < \frac{2(1+S\gamma i)}{1+S\gamma i}$ の時

$$K_1^1 = K_x \mid m=1, n=1,$$

$$K_1^2 = K_x \mid m=1, n=2$$

$$K_1^1 = \frac{(1+\alpha^2)^2 + S\gamma i}{\alpha^2 (1+S\delta i + \rho \alpha^2)}, \quad K_1^2 = \frac{(1+4\alpha^2)^2 + S\gamma i}{\alpha^2 (1+S\delta i + 4\rho \alpha^2)} \quad \text{----- (14)}$$

$$K_1^1 > 0, \quad K_1^2 > 0 \text{ より } \rho > \frac{-(1+S\delta i)}{4\alpha^2} \text{ となる。}$$

$$\text{そこで } K_1^2 - K_1^1 = \frac{4\rho \alpha^4 + 5(1+S\delta i)\alpha^2 + 2(1+S\delta i) - \rho(1+S\gamma i)}{\alpha^2 (1+S\delta i + \rho \alpha^2)(1+S\delta i + 4\rho \alpha^2)} \quad \text{----- (15)}$$

となり $K_1^2 - K_1^1 > 0$ となり K_x の最小値は $n=1$ の時に生じる。

よって K_x の最小値は以下のように近似される。

$$\alpha > \sqrt{X_1} \text{ の時} \\ K_x = \frac{(1+X_1)^2 + S\gamma i}{(1+S\delta i)X_1 + \rho X_1^2} \quad \text{----- (16)}$$

$$\alpha < \sqrt{X_1} \text{ の時} \\ K_x = \frac{(1+\alpha^2)^2 + S\gamma i}{\alpha^2 (1+S\delta i + \rho \alpha^2)} \quad \text{----- (17)}$$

(iv) ま と め

(a) $\rho \geq \frac{1+S\delta i}{2}$ の時

$$\alpha \geq \sqrt{X_0} \text{ ならば } K_x = \frac{(1+\alpha^2)^2 + S\gamma i}{\alpha^2 (1+S\delta i + \rho \alpha^2)} \quad (18)$$

$$\alpha < \sqrt{X_0} \text{ ならば } K_x = \frac{(1+X_0)^2 + S\gamma i}{\alpha^2 (1+S\delta i + \rho X_0)} \quad (19)$$

(b) $\frac{1+S\delta i}{2} > \rho \geq \frac{2(1+S\delta i)}{1+S\delta i}$

$$\alpha \geq \sqrt{X_1} \text{ ならば } K_x = \frac{(1+X_1)^2 + S\gamma i}{(1+S\delta i)X_1 + \rho X_1^2} \quad (20)$$

$$\sqrt{X_0} \leq \alpha < \sqrt{X_1} \text{ ならば } K_x = \frac{(1+\alpha^2)^2 + S\gamma i}{\alpha^2 (1+S\delta i + \rho \alpha^2)} \quad (21)$$

$$\alpha < \sqrt{X_0} \text{ ならば } K_x = \frac{(1+X_0)^2 + S\gamma i}{\alpha^2 (1+S\delta i + \rho X_0)} \quad (22)$$

ただし

$$X_0 = \frac{-(1+S\delta i) + \sqrt{(1+S\delta i)^2 + \rho^2(1+S\gamma i) - 2\rho(1+S\delta i)}}{\rho} \quad (23)$$

$$X_1 = \frac{\rho(1+S\gamma i) + \sqrt{\rho^2(1+S\gamma i)^2 + (1+S\delta i - 2\rho)(1+S\delta i)(1+S\gamma i)}}{1+S\delta i - 2\rho} \quad (24)$$

なお

$$S\gamma i \geq 3 \text{ とする} \quad (25)$$

(18) 式～(22) 式で定まる K_x の最小値を図-3の破線で示す。

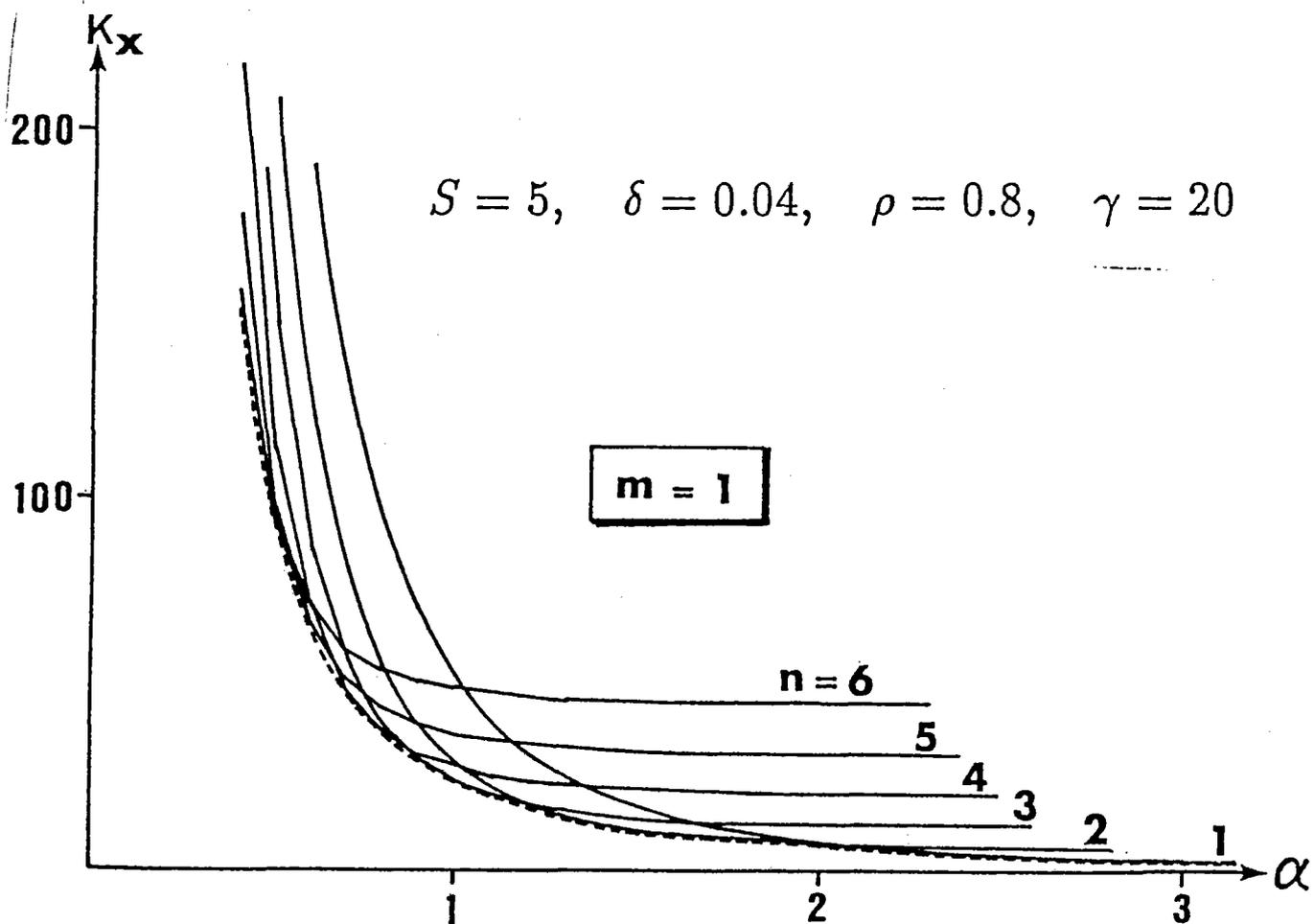
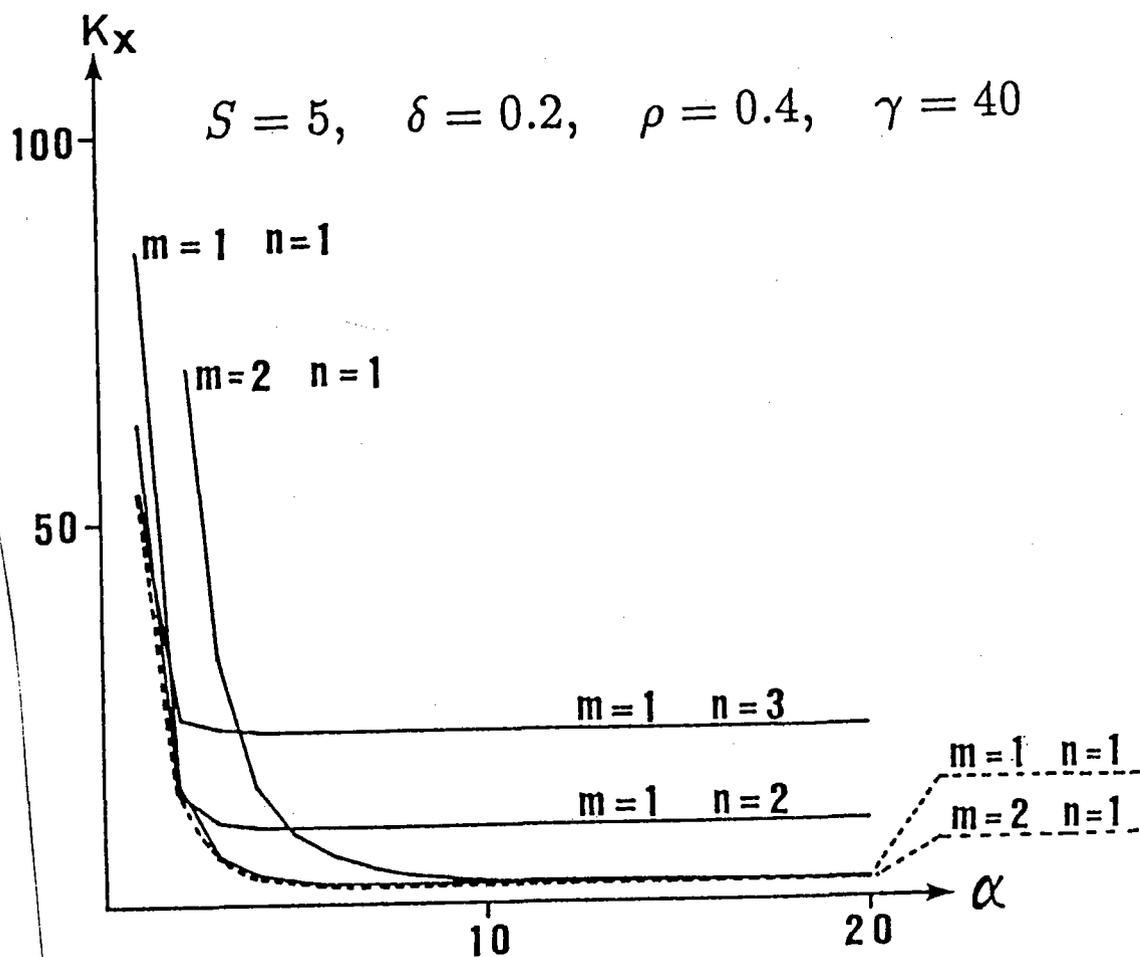


図 - 3 K_x の近似式
D. 8

(2) 単一パネルの理想座屈応力度とその近似式

単一パネルの理想座屈係数係数 f_x は、モード間の連成を無視し、式(3)を利用することにより以下のように定まる。

$$f_x = (m/\alpha S + \alpha S/m)^2 / (1 + \rho (\alpha S/m)^2) \quad \text{-----} \quad (26)$$

また理想座屈垂直応力度 τ_x^{cr} は以下の式から定まる。

$$\tau_x^{cr} = F_x D S^2, \quad \tau_y^{cr} = \rho \tau_x^{cr}, \quad f_x = (m/\alpha + \alpha/m)^2 / (1 + \rho (\alpha/m)^2) \quad \text{-----} \quad (27)$$

$x = \alpha S/m$ とおくことにより、(26)式は以下の式のようなになる。

$$f_x = (1+x^2)^2 / \left\{ (1 + \rho x^2) x^2 \right\}$$

f_x は $\rho \leq 1/2$ の範囲内では $x^2 = 1/(1-2\rho)$ で最小値をとり、この時 f_x は次の値となる。

$$f_x = 4(1-\rho) \quad (\rho < 1/2 \text{ の時}) \quad \text{-----} \quad (28)$$

一方、 $\rho > 1/2$ の時 f_x を以下のように定める。

$$f_x = \frac{1}{\rho} \frac{(1+(1/x)^2)^2}{(1+(1/x)^2/\rho)} \quad \text{とおく。}$$

$x = \alpha S/m \gg 1$ なので

$$(1/x)^2 \ll 1$$

$$\text{したがって } f_x = \frac{1}{\rho} \quad \text{となる} \quad \text{-----} \quad (29)$$

なお、 f_x のより厳密な近似式として以下の式を提案する。

(i) $\rho \leq 1/2$ の範囲内では

$$S\alpha \leq \frac{1}{\sqrt{1-2\rho}} \text{ の時} \quad f_x = \frac{(1+S^2\alpha^2)^2}{S^2\alpha^2(1+\rho S^2\alpha^2)} \quad \text{-----} \quad (30)$$

$$S\alpha \geq \frac{1}{\sqrt{1-2\rho}} \text{ の時} \quad f_x = 4(1-\rho) \quad \text{-----} \quad (31)$$

(ii) $\rho < 1/2$ の時

$$f_x = \frac{(1+S^2\alpha^2)^2}{S^2\alpha^2(1+\rho S^2\alpha^2)} \quad \text{-----} \quad (32)$$

なお、参考として(28)、(29)式の近似解を図-4に示す。

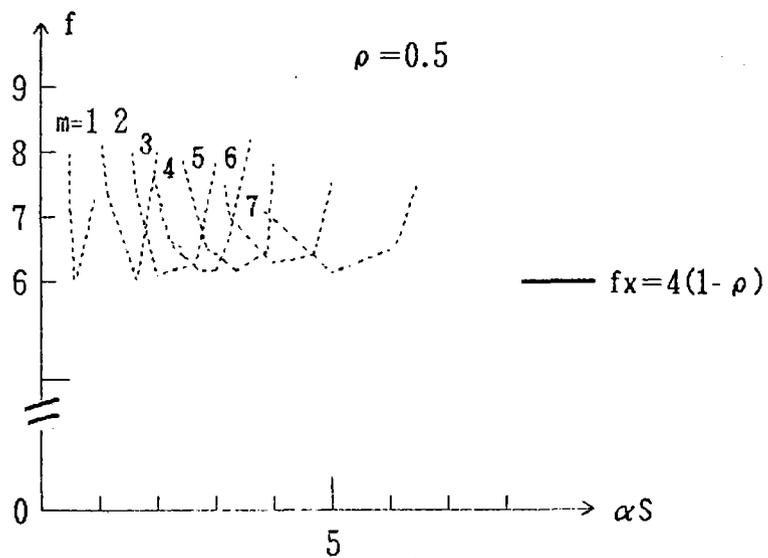
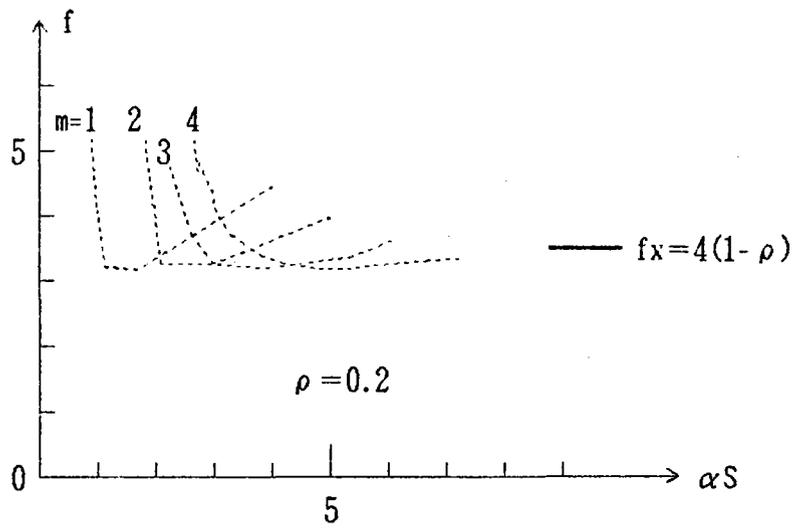
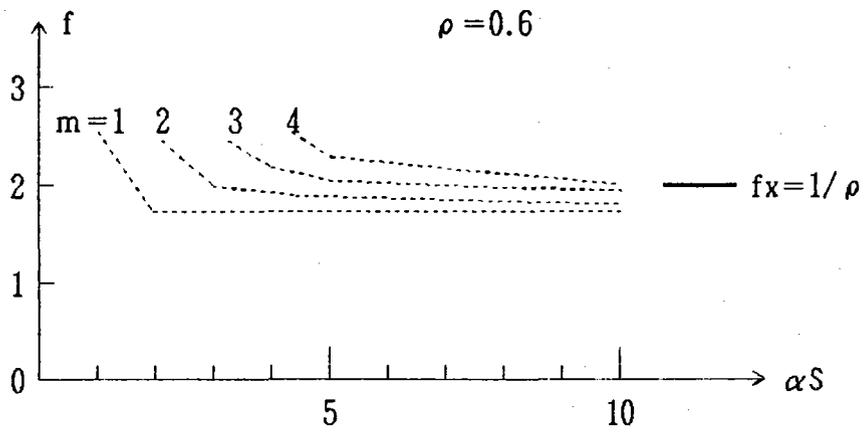


図 - 4 f_x の近似式

(3) 設計公式の導入

(i) 単一パネルの許容応力度

一方圧縮補剛板に適用される道路橋示方書・同解説の耐荷力曲線を用い、その曲線は次のように定義される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_a / \sigma_y &= 1.0 / \nu \\ \sigma_a / \sigma_y &= (1.5 - R_R) / \nu \\ \sigma_a / \sigma_y &= 0.5 / R^2 / \nu \end{aligned} \right\} \text{----- (33)}$$

ここに、

σ_a : 許容応力度

ν : 安全率 (1.7)

f_x : 単一パネルの座屈係数

R_R : 単一パネルの等価幅厚比 (≤ 1.4)

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(\sigma_y / \sigma_{cr})} = \sqrt{(\sigma_y / \{E \Pi^2 f_x / 12(1 - \mu)^2 \cdot (t / (b/s)^2)\})} \\ &= b / St \cdot \sqrt{(\sigma_y / E) \cdot 12(1 - \mu^2) / (\Pi^2 f_x)} \end{aligned} \text{----- (34)}$$

σ_y : 鋼の最低保証降伏応力

(34)式を(33)式に代入し整理すると許容応力度は表-2で示すようになる。

ただし、次表では応力勾配は1とし、 $f = f_x / 4$ とおいている。

表-2 単一パネルの許容応力度

鋼 種	局部座屈に対する許容応力度 (kgf/cm ²)	
SS41 SM41 SMA41W	1400 1400-25 (b/(St√f)-28) 2200000 (St/b) ² f	: [$\frac{b}{28S\sqrt{f}} \leq t$] : [b/(56S√f) ≤ t < b/(28S√f)] : [b/(80S√f) ≤ t < b/(56S√f)]
SM50	1900 1900-39 (b/(St√f)-24) 2200000 (St/b) ² f	: [$\frac{b}{24S\sqrt{f}} \leq t$] : [b/(48S√f) ≤ t < b/(24S√f)] : [b/(80S√f) ≤ t < b/(48S√f)]
SS50Y SM53 SMA50W	2100 2100-45 (b/(St√f)-22) 2200000 (St/b) ² f	: [$\frac{b}{22S\sqrt{f}} \leq t$] : [b/(46S√f) ≤ t < b/(22S√f)] : [b/(80S√f) ≤ t < b/(46S√f)]
SS58 SMA58W	2600 2600-67 (b/(St√f)-22) 2200000 (St/b) ² f	: [$\frac{b}{22S\sqrt{f}} \leq t$] : [b/(40S√f) ≤ t < b/(22S√f)] : [b/(80S√f) ≤ t < b/(40S√f)]

(ii) 縦リブ所要剛度

道路橋示方書・同解説に基き、次の式を満足させるように縦リブ所要剛度を決定する。

$$\left. \begin{array}{l} R_F \geq 0.5 \quad (R_R \leq 0.5) \\ R_F \geq R_R \quad (R_R > 0.5) \end{array} \right\} \text{-----} \quad (35)$$

ここに、 R_F : 部分パネルの等価幅厚比

$$= b/t \sqrt{(\sigma_y \cdot 12 (1-\mu^2) / (\Pi^2 E K_F))} \text{-----} \quad (36)$$

$R_R = 0.5$ となる場合の板厚 t_0 は以下のようになる。

表-3 t_0 の値

鋼種	SS41, SM41, SMA41W	SM50	SM50Y, SM53, SMA50W	SM58, SMA58W
板厚	$\frac{b}{56S\sqrt{f}}$	$\frac{b}{48S\sqrt{f}}$	$\frac{b}{46S\sqrt{f}}$	$\frac{b}{40S\sqrt{f}}$

前述した K_F 及び f_x を (35) 式に代入して補剛材一本あたりの所要剛比は以下の式から定まる。

ただし、 $t < t_0$ の時は、以下の式において $(t_0/t) = 1$ とおけばよい。

(a) $\rho \geq \frac{1+S\delta i}{2}$ の時

(a-1) $\alpha \geq \sqrt{X_0}$ ならば、

$$\tau_{req.} \geq (1+S\delta i + \rho \alpha^2) f_x \alpha^2 (t_0/t)^2 S - (1+\alpha^2)^2 / S \text{-----} \quad (37)$$

(a-2) $\alpha < \sqrt{X_0}$ ならば、

$$\tau_{req.} \geq \rho^2 / 4 \cdot f_x \alpha^4 \left(\frac{t_0}{t}\right)^4 S^3 + f_x \alpha^2 \left(\frac{t_0}{t}\right)^2 S (1+S\delta i - \rho) \text{---} \quad (38)$$

(b) $\frac{1+S\delta i}{2} > \rho \geq \frac{2(1+S\delta i)}{1+S\tau i}$ の時

(b-1) $\sqrt{X_1} \leq \alpha$ ならば,

$$\tau_{req.} \geq \frac{((1+S\delta i) f_x S^2 (\frac{t_0}{t})^2 - 2)^2}{4S (1-\rho f_x S^2 (t_0/t)^2)} - \frac{1}{S} \quad (39)$$

(b-2) $\sqrt{X_0} \leq \alpha < \sqrt{X_1}$ ならば

$$\tau_{req.} \geq ((1+S\delta i + \rho \alpha^2) f_x \alpha^2 (\frac{t_0}{t})^2 S - (1+\alpha^2)^2/S) \quad (40)$$

(b-3) $\alpha < \sqrt{X_0}$ ならば,

$$\tau_{req.} \geq \frac{\rho^2}{4} f_x \alpha^4 (\frac{t_0}{t})^4 S^3 + f_x \alpha^2 (\frac{t_0}{t})^2 S (1+S\delta i - \rho) \quad (41)$$

(c) $\rho < \frac{2(1+S\delta)}{1+S\delta i}$ の時

(c-1) $\alpha < \sqrt{X_1}$ ならば,

$$\tau_{req.} \geq ((1+S\delta i + \rho \alpha^2) f_x \alpha^2 (\frac{t_0}{t})^2 S - (1+\alpha^2)^2/S) \quad (42)$$

(c-2) $\alpha \geq \sqrt{X_1}$ ならば

$$\tau_{req.} \geq ((1+S\delta i) f_x S^2 (\frac{t_0}{t})^2 - 2)^2 / (4S (1-\rho f_x S^2 (\frac{t_0}{t})^2)) - \frac{1}{S} \quad (43)$$

実構造で用いられる部分パネルについて縦リブサイズを計算した結果を表-3及び表-4に示す。

表-3 縦リブ所要剛度 (a=2000, b=2000, t=28(SM50Y))

ρ	サイズ	式番	S	γ_l	γ_{rea}
-0.5	160×16	(42)	5	5.473	5.344
-0.4	170×16	(42)	5	6.565	6.308
-0.3	180×17	(42)	5	8.280	7.407
-0.2	180×18	(42)	5	8.767	8.386
-0.1	190×18	(42)	5	10.311	9.365
0.0	190×19	(42)	5	10.844	10.351
0.1	200×19	(41)	5	12.694	11.340
0.2	200×20	(41)	5	13.363	13.314
0.3	220×21	(41)	5	18.675	17.333
0.4	230×23	(41)	5	23.371	23.367
0.5	250×24	(41)	5	31.318	30.959
0.6	260×25	(41)	6	36.697	34.374
0.7	270×27	(41)	6	44.384	43.897
0.8	290×28	(41)	6	57.032	54.931
0.9	290×29	(41)	7	59.069	58.368
1.0	310×30	(41)	7	74.640	70.500

表-4 縦リブ所要剛度 (a=3000, b=2000, t=22(SM50Y))

o	サイズ	式番	S	γ_l	γ_{req}
-0.5	160×15	(43)	5	10.579	10.060
-0.4	170×16	(43)	5	13.534	13.290
-0.3	190×18	(43)	5	21.257	19.856
-0.2	210×20	(42)	5	31.891	29.461
-0.1	220×21	(42)	5	38.500	37.844
0.0	230×23	(42)	5	48.182	47.099
0.1	250×24	(41)	5	64.566	60.427
0.2	280×27	(41)	5	102.050	98.227
0.3	320×31	(41)	5	174.898	162.438
0.4	340×33	(41)	5	223.318	212.002
0.5	370×36	(41)	6	313.965	305.339
0.6	390×38	(41)	7	388.106	364.199
0.7	410×41	(41)	7	486.529	478.595
0.8	430×42	(41)	8	574.948	539.258
0.9	450×44	(41)	8	690.341	668.800
1.0	460×45	(41)	9	754.153	728.324

3. アンケート調査

(1) 調査内容

~~三~~ ~~体~~ ~~構造~~ ~~部~~ ~~に~~ ~~関~~ ~~する~~ ~~ア~~ ~~ン~~ ~~ケ~~ ~~ー~~ ~~ト~~ ~~実~~ ~~施~~ ~~を~~ ~~実~~ ~~施~~ ~~し~~ ~~た~~。これを内容的に大きく分けると次の4項目である。これらは共に交叉部の設計に当って十分に検討すべき重要なポイントとなるものである。

- ① 構造形式
- ② 設計断面力の評価法
- ③ 応力の算出と降伏に対する安全性の評価
- ④ 座屈に対する安全性の評価

更に発注者名についても記入していただいた。この種の構造は主として都市高速に多く用いられるため、その大多数は首都高速道路公団、阪神高速道路公団、名古屋高速道路公社、福岡北九州道路公社で占められているが、これら4公団、公社間では夫々独自の設計規準を持ち、特にこの部分の設計に当って準用する隅角部の設計に対する基準がかなり異なっているためそれぞれの差異を比較し、把握しておくことも重要と考えられるからである。

以下にアンケート実施に際して目的としたことを示す。

1) 構造形式

a. 主桁形式

鋼床版形式、RC床版形式あるいは鉄桁形式、箱桁形式等の主桁形式の違いによってデッキプレート、フランジ、ウェブの応力の大きさや、分布形状が異ると同時に、板としての変形に対する考え方や座屈安全率に対する考え方等が示方書上異っている。このため設計対象部材のそれぞれの役割がどの様なものであるかを充分認識する必要がある。

b. 横梁形式

aの形式とbの形式では主桁の支点付近における主桁の曲げモーメントの連続性に違いが発生する。このため横梁より伝わる振りモーメントにより主桁フランジの応力分布がかなり異った様相を呈すると思われる。

c. 主桁との取合い構造

骨組構造としての断面力が主桁、横梁間でどの様に伝えられるか、その機構を

明らかにする必要がある。

主桁と横桁取合構造部では評価すべき応力度をどこまで考慮するかにより極厚プレートが必要となったりすることから、主桁のウェブ部分に横梁を貫通させるなど製作上も問題となることが多い。

2) 設計断面力の評価法

構造各部材の設計断面力を評価する方法として一般的には骨組構造に置きかえて求める方法が採られるが、モデル化や荷重の同時載荷性等は設計者の裁量にゆだねられることが多い。

これは美観などの社会的要請による構造の変化や製作法の進歩に規準類が追いつかないことや、規準、規定類をいたずらに整備し設計の自由度を拘束することには問題があるためとも云える。

このような状況の中で設計法の妥当性を検討するために重要なことは設計者が設定したモデル化、有効巾の考え方、荷重の載荷状態等が応力の照査や座屈照査に対して当を得ているかどうかを明らかにすることである。

3) 応力の算出と降伏に対する安全性の評価

骨組構造としての断面力をどの様に各ポイントの応力に変換したか、また板に発生する応力の方向や、応力の種類 (σ , τ) に対してどの様に降伏に対して安全性を確保したかを尋ねたものである。

交叉部では断面が変形前と後で平面保持することが難しく応力の分布を正確に把握することが非常に難しい。従って、少なくとも支配的な応力については十分な検討をしておく必要がある。

4) 座屈に対する安全性の評価

今回調査対象とした構造部分は、従来よりあった鋼橋脚の十字型隅角部と構造的には酷似しているが、これとの大きな違いは一般的に薄板が使用されやすいことにある。これは従来橋脚の寸法諸元が橋脚の梁支間、柱高等のみで決定されるのに対して対象構造部分は主桁としての必要な桁高等が剛結部の寸法諸元決定に主要な役割を占めることによる。

従って降伏に対する安全性の確保と同様に座屈に対する安全性の評価は重要な要素

である。

座屈の照査はパネルおよび、補剛板としての座屈について検討が必要であるが一般的には2軸方向応力とせん断応力が混在した状態に対する検討となる。

また縦リブ、横リブの必要剛度がリブ問題についても示方書上の規定を直接的に適用できないことから設計者の裁量によっている。

更に、縦リブが交叉する構造となるため製作しやすさ等も構造決定の一要素となり設計者が苦勞するところである。

以上がアンケート実施の大まかな目的であるがこのような構造部分は薄板構造でありながら応力の分布が明確に把握しきれないことや、特にデッキプレートのように非常に薄い板を同時に使用することから、構造全体が不安定にならなければ線形座屈の範囲内であるならば部材によっては座屈を許しても良いといった考え方も一方にあることから、この様な部分は本来耐荷力から安全性を把握すべき箇所であると考えられるが、データも少なく、耐荷力を求めることも難しい現状では設計者の裁量に負う所が大きく何らかの設計の指針が欲しい所である。

(2) 調査結果

1)に述べた内容でアンケート調査を鋼橋製作メーカーに御協力いただき、その結果17事例を回収することができた。以下にその結果をまとめる。

1) 構造形式

① 都市高速道路比率

都市高速道路 (88.2)	その他 (11.8)
------------------	---------------

② 主桁形式

鋼床版箱桁 (52.9)	RC床版箱桁 (29.4)	RC床版 鋼桁 (11.8)	その他 (5.9)
-----------------	------------------	----------------------	--------------

③ 支持横梁形式

脚梁柱一体 (66.7)	脚梁柱分離 (33.3)
-----------------	-----------------

一体 (80.0)	分離 (20.0)
--------------	--------------

④ 主桁と横梁との取合い

上下フランジ合せ (71.4)	上フランジ合せ (28.6)
--------------------	-------------------

2) 構造のモデル化

① 骨組計算モデル

立体骨組系 (64.7)	桁梁のみ考慮 (23.5)	桁のみ (11.8)
-----------------	------------------	---------------

② 主桁としての横梁剛度評価

横梁前後の主桁剛度 (60.0)	剛 (26.7)	横梁フランジの有効幅 (13.3)
---------------------	-------------	----------------------

3) 断面設計法

① 断面照査位置

(a) 横梁位置での主桁

横梁中心位置 (67.6)	横梁ウェブ位置 (32.4)
------------------	-------------------

(a) 横梁位置での主桁

主桁中心位置 (75.0)	主桁ウェブ位置 (8.3)	その他 (16.7)
------------------	------------------	---------------

同一位置で断面照査

② 2軸応力照査

交差部応力 (47.1)	各最大応力 (17.6)	その他 (11.8)	照査せず (23.5)
-----------------	-----------------	---------------	----------------

③ 主桁・横梁の設計断面力

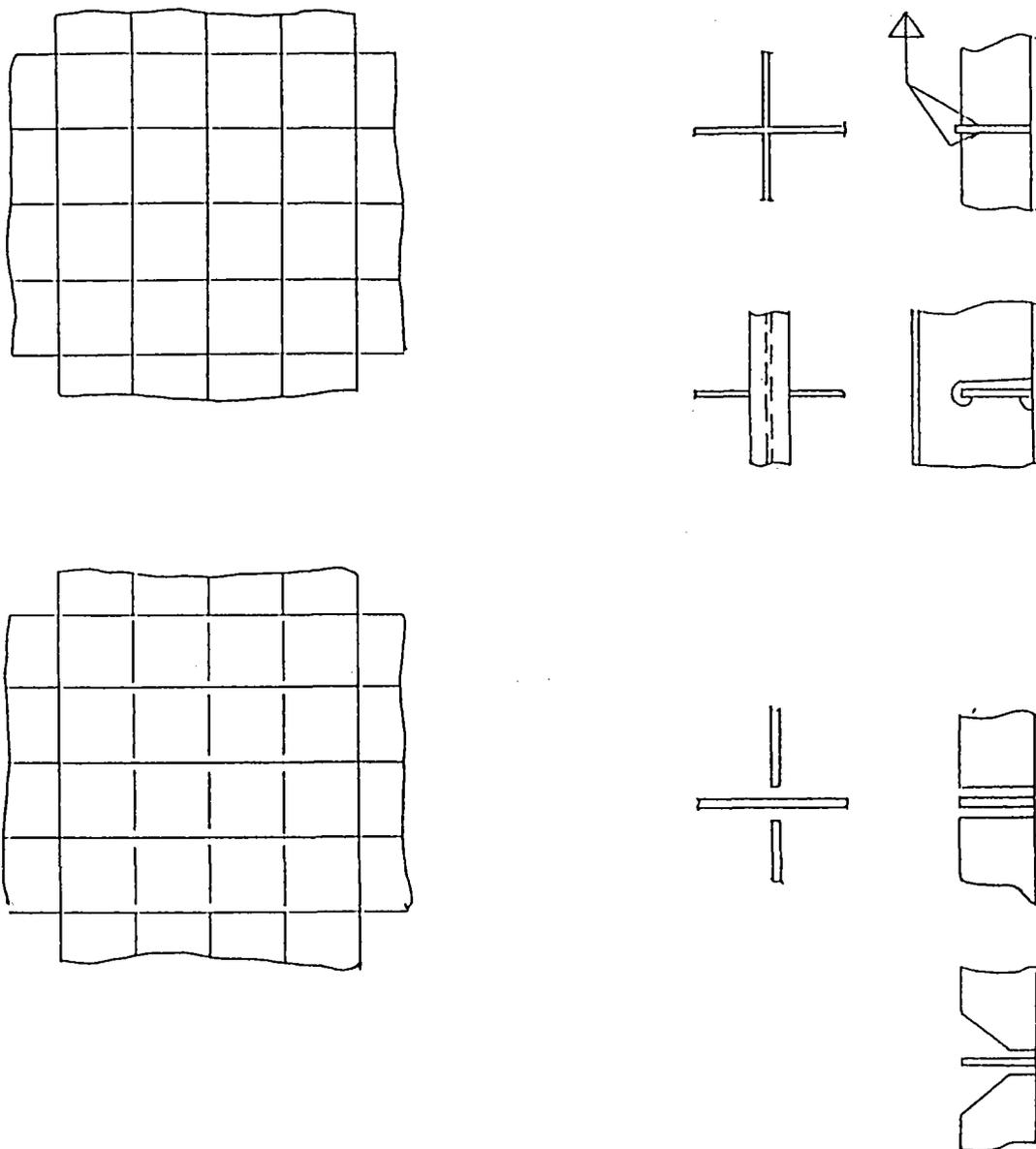
MAX・MAX (62.5)	同時荷重状態 (37.5)
-------------------	------------------

4) 補剛設計

主桁・横梁交差部下フランジが2方向圧縮板であっても、実設計の上では2方向圧縮板として設計せず、主桁・横梁の各々の方向で道示の必要幅厚比を満足させて設計する例がほとんどである。縦リブの剛度についても主桁・横梁の各々で道示を満足させるようにしている。しかしながら、主桁・横梁がともに箱断面の場合、交差部下フランジの縦リブ配置は設計者によって判断が分かれる。

- ① 主桁・横梁両方向に配置
- ② 主桁方向縦リブのみ配置
- ③ 横梁方向縦リブのみ配置

多くの場合が上記①であり、両方向縦リブの取合部は下図のようになる。

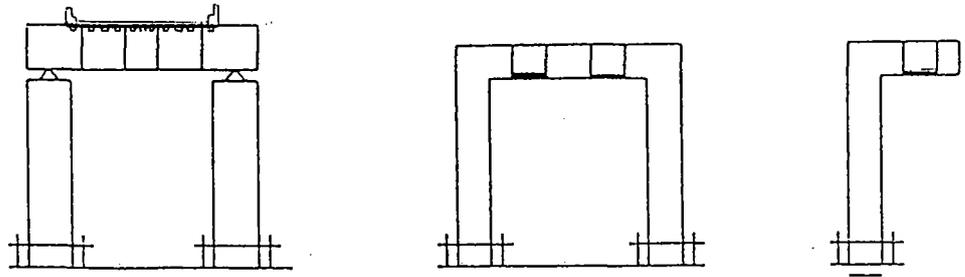


(3) 考察

1) 構造形式

2方向から圧縮力を受ける構造を有する橋梁は都市交差道路に圧倒的に多い。これは都市部の道路線形条件が厳しく、主桁と脚横梁を剛構造としなければならないケース、または景観上の配慮から主桁の視覚的連続性を確保するために積極的に主桁と脚横梁を剛構造とするケースが多いことによる。

橋梁形式は、アンケート結果の半数が鋼床版箱桁であり、支持横梁形式は（脚梁柱一体構造）：（脚梁柱分離構造）＝2:1の割合である。これは当該構造が横梁形式に関係なく鋼床版と横梁の剛結部上フランジで顕著であるためであり、他の形式の場合は剛結部が隅角部近傍に位置する場合に下フランジが当該構造となる。また、この場合の支持横梁形式は脚一体構造が大半と推定される。



2) 構造のモデル化

現状では、立体骨組モデルが実体に最も即していると考えられるため設計断面力の解析は立体解析で求められる事が多く、本アンケート結果も大半が立体骨組系を解析モデルとして採用している。

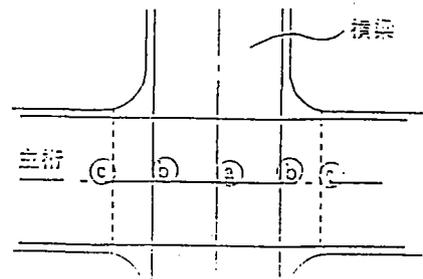
また、主桁としての横梁剛度の評価は横梁をはさむ前後の主桁剛度を用いたケースが多く、特に剛結部断面を考慮しているケースが少なかったのは、その評価方法が定まっていないためと思われる。

3) 断面設計法

(i) 剛結部断面の算定位置

横梁位置での主桁断面算定は断面力の最大となる横梁中心位置で行なったケースが約2/3ある。また横梁ウェブ位置で照査したケースが約1/3あるが、これは主桁フランジが剛結部で横梁方向に広がりを持っており、下図の㉓点で断面を決定すると過剰断面となることを考慮したためと思える。

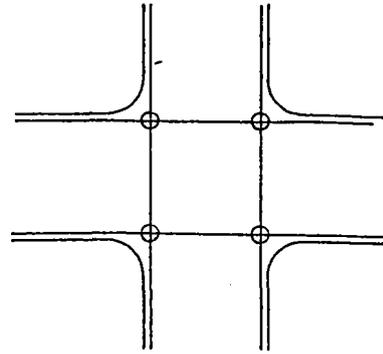
主桁位置での横梁断面算定は主桁中心位置で行なったケースが約2/3である。通常は曲げモーメントの形状を考慮して算定位置を選定しており、本アンケートは主桁中心位置で最大曲げモーメントが発生していたためと思われる。



(ii) 二軸応力照査方法

主桁・横梁の交差部の応力で評価したケースが大半を含めている。

また照査ポイントのせん断応力はせん断流理論により算出している。



(iii) 主桁・横梁の設計断面力

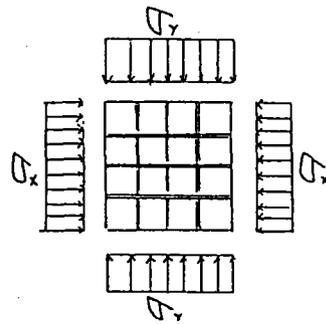
立体解析時に於ける同時載荷状態の断面力抽出が難しいことから、安全側の設計となる Max-Maxの組合せで設計したケースが約2/3である。

また 主桁断面決定荷重ケースはほとんどが常時である。

4) 圧縮板の補剛設計

2方向の圧縮力をうける部材の設計は、2方向圧縮板として設計せず、それぞれ独立した方向で補剛設計を行なっている。

これは 当該構造の設計法として確立された物がないためであり、やむおえず各方向で道示に基づき必要幅厚比を満足させ、なおかつ各方向に所要剛度を満足した縦リブを配置し対処している物と思われる。



縦リブ交差部の処理は ①両方向共に連続したケース ②主桁方向を連続とし、横梁方向は主桁方向リブ位置で切ったケース ③横梁方向を連続とし、主桁方向は横梁方向リブ位置で切ったケースと様々であった。これは応力の支配的な方向が各アンケートで異なったためとおもわれる。

但、鋼床版と横梁の剛結部では横梁方向縦リブにT形断面を用いてトラフリブと交差させたり、横梁内のトラフリブを板リブに置換して横梁方向縦リブと交差させるなどして各方向共に連続構造となるよう配慮されている。

以上 アンケート調査結果から判明したことは 剛結部に生じる2方向から圧縮力が作用する部材の設計は各方向での補剛設計を行なっており、剛度評価、応力評価等に関してもかなり安全サイドの設計になっている。

現状の構造はリブが錯綜する等かなり繁雑であることから、今後 2方向圧縮板としての設計法を確立し、構造の簡素化を図ることで、溶接残留応力や初期不整の発生を減じ 部材座屈耐荷力の向上を図ることが必要と考える。

4. おわりに

本成果は平成2年度鋼橋技術研究会設計部会WG,
Dグループの成果報告であり, その構成メンバーは
以下のとおりである。(敬称略)

早稲田大学 依田照彦

東京電機大学 井浦雅司

三菱重工業(株) 熊谷洋司

川崎重工業(株) 森本千秋

住友金属工業(株) 鈴木不二雄

住友重機械工業(株) 田口俊彦