

大阪市立大学工学部 正員 酒造 敏廣

大阪市立大学工学部 正員 中井 博

大阪市立大学工学部 正員 北田 俊行

1. まえがき 本研究は、曲げに対して十分剛な縦リブ・横リブを有する圧縮補剛板を板パネルと縦リブの連成を考慮のもとに、弾塑性有限変位理論を用いて解析し、補剛板の極限強度特性を明らかにするものである。

そのために、まず補剛板の初期たわみモード、残留応力が極限強度に及ぼす影響を明らかにし、次に、現行の道路橋示方書^{1),2)}(以下、道示という)の補剛板の設計規準について考察する。

2. 解析モデル 図-1に示すように、板パネル及び縦リブのたわみ波形の逆対称性を考慮し、補剛板から同図(a)の斜線部分のパネルを取り出して解析する。そして、図-1(b)のように板パネル及び縦リブとも三角形板要素の集合体としてモデル化する。縦リブとしてバルブプレート及び丁型断面リブを用いる場合、その先端補剛リブはねじり剛性を無視した柱要素にモデル化する。ただし、本解析で用いる補剛板では、縦・横リブは十分剛な曲げ剛度を有しており、それらの取付位置において板パネルにたわみは生じず、横リブ位置で縦リブはねじり変形を生じないものとする。また、縦リブのみが板パネルと連成し、横リブと板パネルの連成は考慮しないものとする。

本解析には、載荷端に一樣な圧縮相対変位を漸増していく圧縮変位増分法を用い、非線形解析には修正増分法とニュートン・ラプソン法の混用法を用いている。³⁾

3. 補剛板の寸法諸元 数値解析では、縦リブ間隔を $b = 48.0\text{ cm}$ に固定し、使用鋼材は板パネル及び縦リブともにSM50材(降伏点 $\sigma_y = 3200\text{ kg/cm}^2$)としている。板パネル及び縦リブの寸法は式(1)に示す幅厚比 ρ_a ・ ρ_r ・ R_1 ・ R_2 を変化させて決定した。

$$R_1 = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{k_1 E \pi^2}}, \quad R_2 = \frac{h}{t_r} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{k_2 E \pi^2}} \quad \dots (1)_{1,2}$$

ここで、 $k_1 = 4.0$ 、 $k_2 = 0.425$ 、 $E = 2.1 \times 10^6\text{ kg/cm}^2$ 、 $\nu = 0.3$ である。

また、縦リブがバルブプレート又は、丁型断面リブの場合、実橋で使用頻度の多い⁴⁾寸法、 $h = 20.0\text{ cm}$ 、 $t_r = 1.0\text{ cm}$ とし、丁型断面リブの先端補剛リブは旧道示²⁾の参考資料にしたがって設計した。

残留応力は図-2のものを用い、補剛板全体で自己平衡の分布をするように分布幅を決定している。初期たわみモードとしては、表-1に示すような7種類のを考え、圧縮方向には $\cos \pi x/a$ の波形を仮定している。

4. 解析結果

(a) 初期たわみモードと極限強度の関係: 7種類の初期

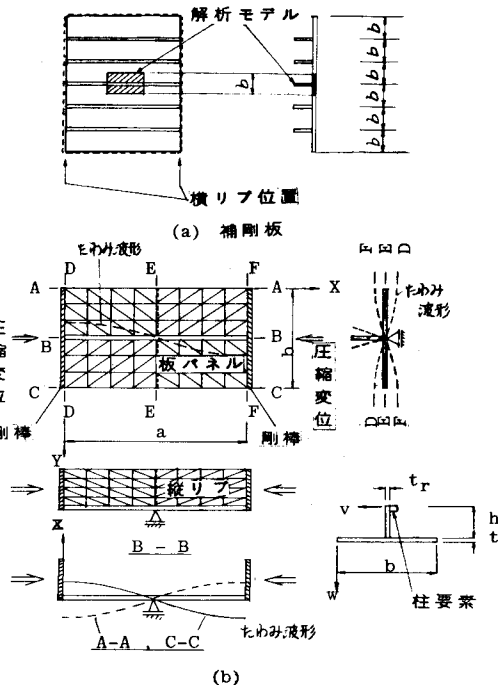


図-1 補剛板のモデル化

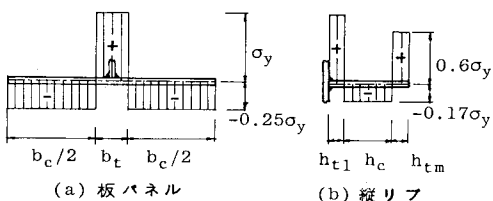


図-2 残留応力分布

たわみモードについて解析した結果を表-1に示す。表-1のType-2とType-3の解析結果から、補剛板の極限状態における平均軸圧縮応力度 $\bar{\sigma}_m$ （以下、極限応力度という）は、縦リブの初期たわみにはほとんど影響をうけず、板パネルの初期たわみによって $\bar{\sigma}_m$ は著しく低下することがわかる。また、板パネル、縦リブの初期たわみモードをType-4のように組み合わせた場合、 $\bar{\sigma}_m$ は最も低くなることがわかる。以下では、Type-4の初期たわみモードを用いている。

(b) 残留応力と極限強度の関係。残留応力が、①補剛板全体で自己平衡（図-2(a),(b)）、②板パネル、縦リブそれぞれで自己平衡（図-2(a)、図-3）、③縦リブの残留応力なし、板パネル内で自己平衡（図-2(a)）という3つのケースについて解析した結果を表-2に示す。ただし、補剛板の極限応力度 $\bar{\sigma}_m^*$ は次式で算定したものである。

$$\bar{\sigma}_m^* = (\bar{\sigma}_{m1} A_1 + \bar{\sigma}_{m2} A_2) / (A_1 + A_2) \quad \text{--- (2)}$$

ここで、 $\bar{\sigma}_{m1}$ は、板パネルを補剛板の極限応力度 $\bar{\sigma}_m$ が最小になるアスペクト比 $\alpha_1 = a/b$ で取り出し、周辺単純支持板にモデル化した場合の極限応力度であり、 $\bar{\sigma}_{m2}$ は、縦リブをアスペクト比 $\alpha_2 = a/h = \alpha_1 \cdot \alpha_1$ なる3辺単純支持1辺自由板にモデル化した場合の極限応力度である。また、 A_1 及び A_2 は、それぞれ板パネル及び縦リブの断面積である。 $\bar{\sigma}_m^*$ が、板パネルと縦リブの建組を考慮した補剛板の極限応力度 $\bar{\sigma}_m$ の良好な近似値となることは、文献5)で確認している。

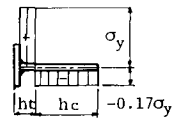
表-1 初期たわみモードと極限強度の関係

	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
初期たわみモード				
	$w=0$ $v=0$	$w=0$ $v=h/100$	$w=b/100$ $v=0$	$w=b/100$ $v=h/100$
$\frac{\bar{\sigma}_m}{\sigma_y}$	0.9981	0.9985	0.8606	0.8454

	Type-5	Type-6	Type-7
初期たわみモード			
	$w=b/100$ $v=-h/100$	$w=b/100$ $v=h/100$	$w=b/100$ $v=h/150$
$\frac{\bar{\sigma}_m}{\sigma_y}$	0.8752	0.9132	0.8503

表-2 残留応力と極限応力度の関係 ($\alpha_1 = a/b = 0.60$)

No.	残留応力	$\frac{\bar{\sigma}_m^*}{\sigma_y}$
①	補剛板全体で自己平衡	0.8655
②	板パネル、縦リブそれぞれで自己平衡	0.8613
③	縦リブ内の残留応力なし、板パネル内で自己平衡	0.8651



No.②の縦リブの残留応力分布 図-3

表-2より、上の①、②、③のいずれの場合も、極限応力度 $\bar{\sigma}_m^*$ は、ほとんど一致していることがわかる。

(c) 補剛板の極限応力度と道示の実安全率計算値

$\bar{\sigma}_m^*$ と許容応力度の比) R_1 を0.7、0.5とし、矩形、T型断面リブ及びバルブプレートに有する補剛板 (No.1~6) の極限応力度 $\bar{\sigma}_m^*$ を求め、旧道示及び現行の道示で定められる $\bar{\sigma}_m$ と比較した結果を表-3に示す。 $R_1=0.7$ 、0.5の場合、ともに $\bar{\sigma}_m^*$ は旧道示の規準を満足することができず、降伏点からの低下量は安全率1.7の中に含まれることがわかる。また、現行の道示では、 $R_1=0.7$ の場合 (No.1~3)、安全率1.7は確保されているが、 $R_1=0.5$ の場合 (No.4~6)、No.4~6はそれぞれ4%、5%、10%程度、 $\bar{\sigma}_m^*$ は降伏点から低下していることがわかる。しかし、これらの低下量は安全率の中に含まれ、最も $\bar{\sigma}_m^*$ が低いNo.6の場合で、実安全率 $v^*=1.54$ である。

参考文献1)道路橋示方書 同解説 1973 2)道路橋示方書 1980.2 3)小松・北田・岡田・土木学会31周年次学術講演観覧集 4)中井・北田・塚本・橋梁と基礎 1979.11 5)中井・北田・酒造・土木学会関西支部、昭55.6。

参考文献 1)道路橋示方書 同解説 1973 2)道路橋示方書 1980.2 3)小松・北田・岡田・土木学会31周年次学術講演観覧集 4)中井・北田・塚本・橋梁と基礎 1979.11 5)中井・北田・酒造・土木学会関西支部、昭55.6。

表-3 解析結果と道示との比較

No	R_1 の値 (R_2 の値)	板パネル $\frac{\bar{\sigma}_{m1}}{\sigma_y}$	縦リブ $\frac{\bar{\sigma}_{m2}}{\sigma_y}$	式(2)による 算定結果 $\bar{\sigma}_m^*/\sigma_y$	道示 (1980)		旧道示 (1973)	
					$\frac{\bar{\sigma}_m}{\sigma_y}$	実安全率 v^*	$\frac{\bar{\sigma}_m}{\sigma_y}$	実安全率 v^*
1	0.7 (0.7)	0.7737	1.1105	0.8655	0.8	1.841	1.0	1.471
2	0.7 [T]	0.7837	0.9808	0.8513	0.8	1.810	1.0	1.447
3	0.7 [B]	0.7837	0.8471	0.8009	0.8	1.703	1.0	1.362
4	0.5 (0.5)	0.8974	1.1408	0.9632	1.0	1.637	1.0	1.637
5	0.5 [T]	0.9196	0.9788	0.9357	1.0	1.591	1.0	1.591
6	0.5 [B]	0.9196	0.8437	0.9036	1.0	1.536	1.0	1.536

(注) [B]: バルブプレート, [T]: T型断面リブ, $\alpha_1 = a/b = 0.60$ 。

初期たわみモードは Type4 を用いた ($w_0=b/150$
 $v_0=h/100$)