

## 第11章 薄板構造物に関する一般事項

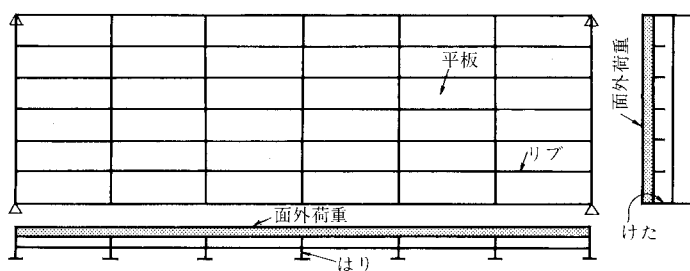
### 11.1 適用範囲

本章は、薄板平板からなる構造物の設計に適用するものとする。なお、対象とする構造物が骨組構造物と見なすことができる場合には、10章（骨組構造物に関する一般事項）により設計するものとする。

**【解 説】** 既存の鋼構造物は、薄肉の板要素から成り立っている場合が多い。本章で対象としている薄板構造物とは、プレートガーダー・鋼床版・鋼製橋脚などにみられるように、力学的に役割分担が明確な板要素の集合体として全体の構造特性が把握できるものを指す。骨組部材の集合体として全体構造特性が把握できる構造物については10章の規定に従うものとして本章の適用範囲外とする。

最近では薄肉曲線げたの腹板にみられるように、曲率を有する薄肉の板要素も利用されているが、等価な平板要素として置きかえられる場合には本章の規定を準用できる。

薄板構造物の構造解析は、力の全体的な流れを把握したうえで、各板要素の力学的役割が反映できる合理的な構造モデルに基づき行うものとする。たとえば、面外荷重を受ける薄板構造物では、平板は直接分布荷重を受け、リブは平板の一部と共働して、平板からの力をけたやはりに伝達させる役割を持つ。この場合には、平板は板曲げ理論で、リブは有効幅を考慮したはり理論で、それぞれ応力を算出することができる（解説 図 11.1 参照）。



解説 図 11.1 面外荷重を受ける薄板構造物

板理論を用いて薄板要素や薄板構造物を解析する場合には、荷重条件および支持条件に留意して合理的な方法を採用するものとする。特に有限要素法を用いて板要素を解析する場合には、精度が悪くならないようにメッシュ割り等に十分注意する必要がある。

### 11.2 平板要素の設計

(1) 平板要素の設計は、7章（限界状態の照査）、8章（部材に関する一般事項）によるものとする。

(2) 特殊な平板要素の構造解析は、合理的な荷重条件や支持条件のもとで行うものとする。

**【解 説】** (1) 本規定は補剛材を有しない平板要素, または十分剛な補剛材に囲まれた平板要素の設計に適用するものとするが, 鋼床版の板要素および主として曲げモーメントとせん断力とをうけるプレートガーダーの板要素については11.4の規定に従うものとする。また一方向圧縮力をうける平板要素については5.2.1および8.3.1の規定を用いるものとする。

引張力を受ける平板要素の幅厚比に関しては, 国内の橋梁の設計基準である道路橋示方書・同解説(日本道路協会)Ⅱ鋼橋編<sup>1)</sup>や国鉄建造物設計標準解説(土木学会)<sup>2)</sup>では不慮の外力や溶接残留ひずみの悪影響を考慮して以下のように規定している。

1) 道路橋示方書

- a) 引張フランジ自由突出部の板厚は鋼種にかかわらず自由突出幅の1/16以上とする。
- b) 箱げたの引張フランジの板厚は腹板中心間隔の1/80以上とする。

2) 国鉄建造物設計標準解説

引張フランジの最大幅厚比は, 片縁支持板の場合には16, 両縁支持板の場合には60とする。

(2) 平板内の応力度, 局所的な応力集中, 弾性座屈応力度は, 平板の形状が簡単で, 力と変位の境界条件が明らかな場合には, 図表等で算出できる。ここでは有限要素法等の解析により, これらを評価する場合の留意点について述べる。

- 1) 薄板要素に作用する荷重系として, 薄板要素に直接載荷される荷重と薄板要素の境界上から応力のかたちで伝達される荷重が考えられる。このうち後者の荷重強度とその分布が不明確な場合は, 荷重条件が明確な構造部位まで含めた系で解析するか, 平板要素に最も不利な荷重条件で平板要素を解析するものとする。
- 2) 全体構造から部分構造モデルを取り出して解析する場合には, その支持条件を合理的に定める必要がある。具体的には完全に支持されていない境界に対してはバネ支持を用いるのがよい。またバネ定数が不明確な場合は着目している部位の応力が最も不利になるように拘束条件を定めてよい。
- 3) 平板内の局所的な応力集中や個々の平板要素の局部座屈に関しては, それが構造物の全体耐荷力に影響を及ぼさないと責任技術者が判断する場合に限り, その安全性レベルを低減することができる。また平板要素は, 初期変形の影響でその耐荷力が減少することがあるので注意が必要である。

### 11.3 有効幅

曲げモーメントをうけるけたやはりの変位やせん断おくれによる応力度を計算するためのフランジの片側有効幅  $\lambda$  は, 曲げモーメント分布がけた軸に沿って放物線分布をする場合は式(11.1)より, 直線分布をする場合は式(11.2)より算出することとする。

ここに,  $l$  は等価支間長で, 着目している支間に等分布荷重が載荷される場合のたわみの変曲点間距離をとるのを原則とする。ただしゲルバーげたに関しては, 片持部の支間長の2倍をとるのが原則である。

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= b && (b/l \leq 0.05) \\ &= [1.1 - 2(b/l)] b && (0.05 < b/l < 0.30) \\ &= 0.15 l && (0.30 \leq b/l) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= b && (b/l \leq 0.02) \\ &= [1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2] b && (0.02 < b/l < 0.30) \\ &= 0.15 l && (0.30 \leq b/l) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11.2)$$

ここに、 $\lambda$ ：フランジまたは平板の片側有効幅 (cm) (図 11.1, 図 11.2)

$b$ ：腹板またはリブの間隔の 1/2 または片持部のフランジの突出幅 (cm) (図 11.1, 図 11.2)

$l$ ：等価支間長 (cm)

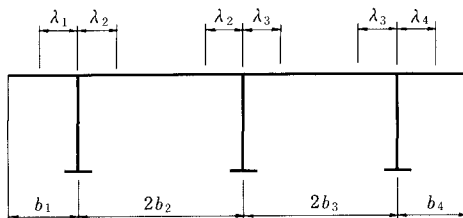


図 11.1 フランジの有効幅

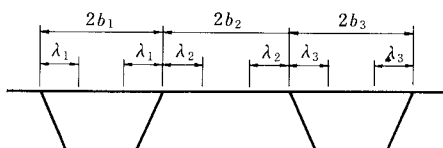


図 11.2 閉断面リブの場合の有効幅

**【解 説】** プレートガーダーまたはリブで補強された鋼床版に曲げモーメントが作用する場合、フランジまたは鋼床版に作用するけた軸方向応力は、けた軸直角方向に対して不均一に分布する。この現象はせん断おくれとよばれ、けたの変位および応力度を計算する際に煩雑な計算を必要とする。そこで、有効幅を定めることにより、その範囲内では応力がけた軸直角方向に均一に作用するものとして曲げ剛性やピーク応力度を計算することになる。ここでは道路橋示方書・同解説の 6.2.4 および 8.3.4 を参考に有効幅を定めた。解説 表 11.1 および解説 表 11.2 に道路橋示方書・同解説で規定されている等価支間長と有効幅の計算式を示す。国鉄建造物設計標準解

解説 表 11.1 フランジの片側有効幅

	区分 (箇所)	片 側 有 効 幅			摘 要
		記号	適用式	等価支間長 $l$	
単純げた	①	$\lambda_L$	(11.1)	$L$	
連続げた	①	$\lambda L_1$	(11.1)	$0.8 L_1$	
	⑤	$\lambda L_2$		$0.6 L_2$	
	③	$\lambda S_1$	(11.2)	$0.2 (L_1 + L_2)$	
	⑦	$\lambda S_2$		$0.2 (L_2 + L_3)$	
	②④ ⑥⑧	両端の有効幅を用いて、直線変化させる。			
ゲルバーげた	①	$\lambda L_1$	(11.1)	$L_1$	
	④	$\lambda L_3$		$0.8 L_3$	
	②	$\lambda S_2$	(11.2)	$2 L_2$	
	③	両端の有効幅を用いて、直線変化させる。			

解説 表 11.2 床組としての作用に対するデッキプレートの有効幅

部 材	区分 (箇所)	片 側 有 効 幅			摘 要
		記号	適用式	等価支間長 $l$	
縦 リ ブ		$\lambda_L$	(11.2)	$0.6L$	
横 リ ブ	単 純 支 持	① $\lambda_L$	(11.2)	$L$	
	連 続 支 持	①	(11.2)	$0.8L_1$	
		⑤		$0.6L_2$	
		③		$0.2(L_1 + L_2)$	
		⑦		$0.2(L_2 + L_3)$	
	②④ ⑥⑧	両端の有効幅を用いて、 直線変化させる。			
	張 出 し 部	①	$\lambda L_1$ ( $\lambda L_3$ )	(11.2)	$2L_1$ ( $2L_3$ )
③		$\lambda L_2$	$L_2$		
②		両端の有効幅を用いて、 直線変化させる。			

説にもせん断おくれを考慮した有効幅の評価方法があるが、基本的には道路橋示方書・同解説と同じ算出式によっている。

### 11.4 平板の補剛

#### 11.4.1 面内力を受ける平板の補剛

(1) 主として軸圧縮力をうける平板の補剛に関しては 8.3.1 の規定を用いるのを原則とする。

(2) 平板に作用する面内力が、主として曲げモーメントとせん断力による場合で、しかも後座屈強度をある程度期待しうるプレートガーダーの腹板に類似する平板要素に対しては、以下に示す規定を用いて安全性の照査を行うのを原則とする。

1) 腹板に垂直補剛材を設けるかどうかは次の規定による。

上下フランジの純間隔が表 11.1 の値を超える場合は、腹板には垂直補剛材を設けるのを原則とする。計算せん断応力度がせん断応力度の限界値に比べて小さい場合は、表 11.1 の値を  $\sqrt{\text{せん断応力度の限界値}/\text{計算せん断応力度}}$  倍することができる。ただし、1.2 倍をこえてはならない。

表 11.1 垂直補剛材を省略しうるフランジの純間隔の最大値 (cm)

鋼種	SS 41	SM 50	SM 50 Y	SM 58
	SM 41		SM 53	SMA 58
	SMA 41		SMA 50	
上下フランジ純間隔	70 t	60 t	57 t	50 t

ここに、 $t$  は腹板の板厚 (cm) で、せん断応力度の限界値とは鋼のせん断強度を安全率で除した値である。

2) 垂直補剛材の間隔は次式の関係を満たすようにしなければならない。ただし、 $a/b \leq 1.5$  とする。

a) 水平補剛材を使用しない場合

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma}{3650}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{810+610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} > 1\right) \dots\dots\dots(11.3)$$

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma}{3650}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{610+810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} \leq 1\right) \dots\dots\dots(11.4)$$

b) 水平補剛材を 1 段用いる場合

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma}{9500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{1270+610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} > 0.80\right) \dots\dots\dots(11.5)$$

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma}{9500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{950+810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} \leq 0.80\right) \dots\dots\dots(11.6)$$

c) 水平補剛材を 2 段用いる場合

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma}{31500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{1970+610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} > 0.64\right) \dots\dots\dots(11.7)$$

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma}{31500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{1480+810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} \leq 0.64\right) \dots\dots\dots(11.8)$$

ここに、 $a$  : 垂直補剛材間隔 (cm)

$b$  : 腹板の板幅 (cm)

$t$  : 腹板の板厚 (cm)

$\sigma$  : 腹板の縁圧縮応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 腹板のせん断応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

3) 腹板厚は表 11.2 に示す値以上とするのを原則とする。

計算曲げ圧縮応力度が曲げ圧縮強度を安全率で除した値に比べて小さい場合は、表 11.2 の分母を $\sqrt{\text{曲げ圧縮応力度の限界値}/\text{計算曲げ圧縮応力度}}$ 倍することができる。ただし、1.2 倍をこえてはならない。

表 11.2 プレートガーダーの最小腹板厚 (cm)

鋼種	SS 41	SM 50	SM 50 Y	SM 58
	SM 41 SMA 41		SM 53 SMA 50	SMA 58
水平補剛材のないとき	$\frac{b}{132}$	$\frac{b}{130}$	$\frac{b}{123}$	$\frac{b}{110}$
水平補剛材を 1 段用いるとき	$\frac{b}{256}$	$\frac{b}{220}$	$\frac{b}{209}$	$\frac{b}{188}$
水平補剛材を 2 段用いるとき	$\frac{b}{310}$	$\frac{b}{310}$	$\frac{b}{294}$	$\frac{b}{262}$

ここに、 $b$  は上下両フランジの純間隔 (cm) で、曲げ圧縮応力度の限界値とは曲げ圧縮強度の上限值を安全率で除した値である。

4) 水平補剛材の取り付け位置は、それを 1 段用いる場合は  $0.20b$  付近、2 段用いる場合は  $0.14b$  と  $0.36b$  付近とするのを原則とする (図 11.3 参照)。

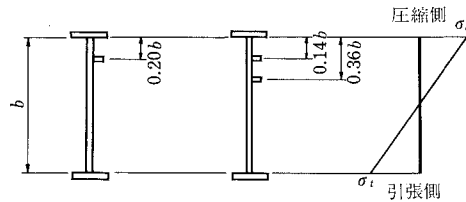


図 11.3 水平補剛材の位置

- 5) 垂直補剛材 1 本の断面二次モーメント  $I_v$  は式 (11.9) を満足し、その最小板厚と鋼種とは以下に示す a) および b) を満足するのを原則とする。

$$I_v \geq (bt^3/11)\gamma_{v.req} \dots \dots \dots (11.9)$$

ここに、 $t$ : 腹板の板厚 (cm)

$b$ : 腹板の板幅 (cm)

$\gamma_{v.req}$ : 垂直補剛材の必要剛比,  $\gamma_{v.req} = 8.0(b/a)^2$

$a$ : 垂直補剛材間隔 (cm)

- a) 垂直補剛材の幅は、腹板高の 1/30 に 50 mm を加えた値以上としなければならない。  
 b) 垂直補剛材の板厚は、その幅の 1/13 以上としなければならない。なお垂直補剛材の鋼種は SS 41 級でよい。

- 6) 水平補剛材 1 本の断面二次モーメント  $I_h$  は式 (11.10) を満足するのを原則とする。水平補剛材の鋼種と幅厚比とは、その取付位置に生じる腹板の水平補剛材方向の軸方向応力に対して設計するのを原則とする。

$$I_h \geq (bt^3/11)\gamma_{h.req} \dots \dots \dots (11.10)$$

ここに、 $t$ : 腹板の板厚 (cm)

$b$ : 腹板の板幅 (cm)

$\gamma_{h.req}$ : 水平補剛材の必要剛比,  $\gamma_{h.req} = 30(a/b)$

$a$ : 垂直補剛材の間隔 (cm)

**【解 説】** (2) 平板に作用する面内力が、主として曲げモーメントとせん断力による場合で、しかも後座屈強度をある程度期待しうるプレートガーダーの腹板のような平板要素の規定を道路橋示方書・同解説を参考に定めた。

水平補剛材が 3 段以上用いられる場合は、水平・垂直補剛材と上下フランジとで囲まれる個々の単一パネルの弾性座屈応力度が等しくなるように水平補剛材を配置するのが望ましい。以下にプレートガーダーの腹板に関する AASHTO<sup>3)</sup> および国鉄建造物設計標準解説を引用する。

1) AASHTO: 鋼材の設計強度に基づいた補剛法ではなく、パネルに実際に作用する軸方向応力度とせん断応力度に着目した補剛法をとっている。たとえば水平補剛材が不要となる腹板の最大幅厚比の規定を例にとると、最大幅厚比は圧縮フランジの軸方向圧縮応力度をパラメータにして以下の式で与えられており、使用する材料による規定とはなっていない。

$$\frac{b}{t} \leq \frac{6099}{\sqrt{\sigma}} \quad (\text{ただし } 170 \text{ 以下}) \dots \dots \dots (\text{解 } 11.1)$$

ここに、 $b$ : 腹板の板幅 (cm)

$t$  : 腹板の板厚 (cm)

$\sigma$  : 圧縮フランジの軸方向応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

2) 国鉄建造物設計標準解説

a) 腹板に垂直補剛材を設けるかどうかは次の規定による。

垂直補剛材を設ける必要がない腹板の最大幅厚比は、列車荷重の载荷条件および使用する材料に応じて解説表 11.3 の値とする。

解説表 11.3 垂直補剛材を省略しうるフランジの純間隔の最大値

材料	最大幅厚比 $D/t$	
	フランジに直接載荷される部材の腹板	フランジに直接載荷されない部材の腹板
SS 41, SM 41 SMA 41	70	$\frac{2000}{\sqrt{\tau}}$ ただし 110 以下
SM 50	60	
SM 50 Y, SM 53 SMA 50	55	
SM 58, SMA 58	50	$\frac{2000}{\sqrt{\tau}}$ ただし 100 以下

ここに、 $\tau$  : せん断応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $D$  : 腹板の高さ (cm)  
 $t$  : 腹板の板厚 (cm)

b) 垂直補剛材を設ける場合、垂直補剛材の間隔は水平補剛材の有無に応じて次のそれぞれの式によって算出した値とする。ただし、 $2D$  を超えてはならない。

(i) 水平補剛材がない場合

$$d \leq 3000 t / \sqrt{\tau} \dots\dots\dots (\text{解 11.2})$$

ただし、フランジによる腹板の固定線における曲げ圧縮応力度 ( $\sigma$ ) が解説表 11.4 の値を超える場合には、次の式によって垂直補剛材の間隔を検算する。

$\frac{d}{D} \leq 1$  の場合

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma}{3250}\right)^2 + \left[\frac{\tau}{540+720\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2 \right\} \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 11.3})$$

$1 < \frac{d}{D} \leq 2$  の場合

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma}{3250}\right)^2 + \left[\frac{\tau}{720+540\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2 \right\} \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 11.4})$$

解説表 11.4 フランジと腹板の固定線における曲げ圧縮応力度

材 料	固定線における腹板の曲げ圧縮応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
SS 41, SM 41, SMA 41	650
SM 50	850
SM 50 Y, SM 53, SMA 50	950
SM 58, SMA 58	1 350

(ii) 水平補剛材を圧縮フランジ側から  $0.2D$  付近に 1 本配置する場合

$$d \leq 2700 t / \sqrt{\tau} \dots\dots\dots (\text{解 11.5})$$

ただし、フランジによる腹板の固定線における曲げ圧縮応力度 ( $\sigma$ ) が解説表 11.5 の値を超える場

合には、次式によって垂直補剛材の間隔を検算するものとする。

$\frac{d}{D} \leq 0.8$  の場合

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma}{17500}\right)^2 + \left[\frac{\tau}{850+720\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2 \right\} \leq 1 \dots\dots\dots (解 11.6)$$

$0.8 < \frac{d}{D} \leq 2$  の場合

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma}{17500}\right)^2 + \left[\frac{\tau}{1130+540\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2 \right\} \leq 1 \dots\dots\dots (解 11.7)$$

ここに、 $d$ ：垂直補剛材の間隔 (cm) で、そのとり方は補剛材が溶接されている場合は補剛材中心間隔，ボルト結合されている場合はボルト線間隔とする。

$\tau$ ：せん断応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>) で補剛材間の平均値とする。

$\sigma$ ：腹板の縁圧縮応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>) で補剛材間の平均値とする。

$D$ ：腹板の高さ (cm)

$t$ ：腹板の板厚 (cm)

解説 表 11.5 フランジと腹板の固定線における曲げ圧縮応力度

材 料	固定線における腹板の曲げ圧縮応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
SS 41, SM 41, SMA 41	1 350
SM 50	1 200
SM 50 Y, SM 53, SMA 50	1 150
SM 58, SMA 58	1 050

- c) 垂直補剛材がある場合の腹板の最大幅厚比は使用する材料に応じて解説 表 11.6 によるものとする。水平補剛材がない場合で、作用応力度が曲げ圧縮応力度の限界値に比べて小さい部材では、解説 表 11.6 の板の最大幅厚比を  $\sqrt{\sigma_{cm}/\sigma}$  倍することができる。ただし、1.2 倍を超えてはならない。

解説 表 11.6 垂直補剛材がある場合の腹板の最大幅厚比

材料	最大幅厚比 (D/t)	
	水平補剛材がない場合	水平補剛材が 1 本ある場合
SS 41, SM 41 SMA 41	145	250
SM 50	125	250
SM 50 Y, SM 53 SMA 50	120	250
SM 58, SMA 58	105	250

ここに、 $t$ ：腹板の厚さ (cm)

$D$ ：腹板の高さ (cm)

$\sigma$ ：最大作用圧縮応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

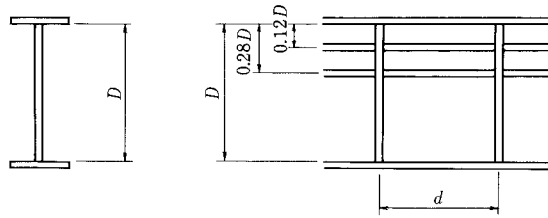
$\sigma_{cm}$ ：曲げ圧縮応力度の限界値で鋼の曲げ圧縮強度の上限値を安全率で除した値 (kgf/cm<sup>2</sup>)

- d) 水平補剛材を 1 段用いる場合、その位置は圧縮フランジ側から 0.20  $D$  付近に配置するのを原則とする。2 段配置の場合は、解説 図 11.2 に示すとおりである。

- e) 垂直補剛材の総断面の所要二次モーメントは次の式によって算出した値以上としなければならない。

$$I_v = (5/22)d_s t^3 \gamma \dots\dots\dots (解 11.8)$$





解説 図 11.2 水平補剛材 2 段用いる場合の配置

ここに、 $d_s$ ：実際の設計に採用する補剛材間隔 (cm)

$I_v$ ：垂直補剛材の総断面の二次モーメント (cm<sup>4</sup>)

$t$ ：腹板の板厚 (cm)

$\gamma$ ：次の式によって算出した剛比： $\gamma = 25(D/d)^2 - 20$

ただし、 $\gamma \geq 5$  とする。

$d$ ：設計計算上の垂直補剛材間隔 (cm)

$D$ ：腹板の高さ (cm)

なお垂直補剛材の最大幅厚比は 16 とする。

f) 水平補剛材の総断面の所要二次モーメントは次の式によって算出した値以上としなければならない。

$$I_h = 5 dt^3 \dots\dots\dots (\text{解 11.9})$$

ただし、 $d/D \geq 2$

ここに、 $I_h$ ：水平補剛材の総断面の断面二次モーメント (cm<sup>4</sup>)

$d, D, t$ ：式 (解 11.8) 参照

なお、水平補剛材の最大幅厚比は、SS 41, SM 41, SMA 41 で 12.5, SM 50 で 11, SM 50 Y, SM 53, SMA 50 で 10, SM 58, SMA 58 で 9 である。

**11.4.2 面外力または面外力と面内力とを同時に受ける平板の補剛**

(1) 面外力をうける平板を補剛する場合には、平板のたわみおよび応力度が限界値を超えないように補剛材の配置と剛度とを定めるとともに、補剛材についても安全性を照査するのを原則とする。

(2) 面外力と面内力とを同時にうける平板を補剛する場合には、それぞれの作用に対して安全性を確保するとともに、これらの二つの作用を同時に考えた場合に対しても安全となるようにするのを原則とする。

**【解 説】** (1) 面外力をうける平板を補剛する場合には、平板要素の安全性を確保するように補剛材の配置・間隔および剛度を決定するのが一般的である。補剛材自体についても平板からの力が作用し、曲げモーメントやせん断力が生じるので安全性の照査が必要である。

面外力をうける平板を設計する場合、平板要素の板曲げに起因する応力と、平板の有効幅部と補剛材とで構成されるけたとしての応力とを考慮して限界状態が照査されることになるが、板曲げ応力の評価については、責任技術者の判断によるものとする。この点に関して、道路橋示方書・同解説の鋼床版に関する規定では以下のように定めている。

「床版および床組としての作用に対しては、鋼床版を版格子構造または直交異方性板として考えてけたとして設計すればよい。この場合、デッキプレートは輪荷重を直接支持する版としての作用もある。しかしながら、一

般にデッキプレートにわずかの塑性変形が生じると、デッキプレートは版としてよりも膜としての働きをされると考えられる。したがって、デッキプレートの耐荷力は版理論に基づいて計算されたものよりはるかに大きいのが普通であり、式(解 11.10)に規定された最小厚以上のデッキプレートに対しては直接荷重を支える版としての応力度を照査する必要はない。

$$\left. \begin{array}{l} \text{車道部分: } t=0.035b, \text{ ただし } t \geq 12 \text{ mm} \\ \text{主げたの一部として作用する歩道部: } t=0.025b, \text{ ただし } t \geq 10 \text{ mm} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (解 11.10)$$

ここに、 $b$ :縦リブ間隔 (mm)

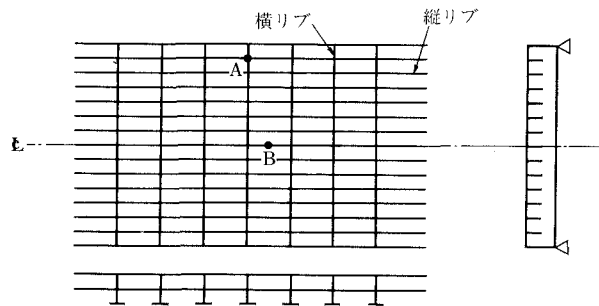
$t$ :デッキプレート厚 (mm)

一方 AASHTO では、鋼床版の設計に際して、縦リブ間に輪荷重が載荷された場合、板曲げ応力度の限界値として、 $2100 \text{ kgf/cm}^2$  (疲労限界状態) の値をとっている。この場合、版格子作用としてのけたの応力度と板曲げ応力度とをたし合わせた応力度については限界状態の照査は不要としている。

補剛板全体を、有限要素法を用いて構造解析する場合には、板曲げ応力と平面応力とが得られる。これらの応力の評価として、平面応力だけに着目するか、板曲げ作用も含めて板の表裏面の応力で評価するかは、責任技術者の判断によるものとする。

道路橋示方書・同解説では、鋼床版を版格子解析する場合について以下のように説明されている。

- 1) 縦リブを設計する場合の着目点としては解説 図 11.3 に示す A, B を考えるとよい。B は横リブの支間中央付近にある縦リブの支間中央である。この点では、横リブの弾性変形を考慮して、縦リブを版格子構造もしくは直交異方性版構造として計算を行い曲げモーメントとせん断力について検討を行う。A は横リブの支点上の縦リブに関するものである。この点では横リブの弾性変形が小さいから横リブを剛支点とみて、縦リブを連続ばりとして計算を行い、負の曲げモーメントとせん断力について検討を行う。



解説 図 11.3 縦リブを設計する際の着目点

- 2) 横リブを設計する場合には、横リブを単純支持として、版格子構造または直交異方性の理論で計算してよい。この場合の着目点は横リブの支間中央であって、正の曲げモーメントについて照査する。横リブが連続し、支点での拘束が考えられる場合は、拘束条件を考慮のうえで、たとえば単純支持として計算した正の曲げモーメントの $\pm 80\%$ をもって支間ならびに支点の曲げモーメントとしてもよい。
  - 3) 鋼床版の縦方向の連続性が絶たれる橋端の横リブは、それ自体でT荷重に耐えるような設計とするのが望ましい。
  - 4) 通常の横リブの間とくに曲げ剛度の大きい横リブを挿入する場合には、この横リブに応力が集中するから、とくに留意しなければならない。このような場合には、たとえば、単独でT荷重に耐えうるような設計にするのがよい。
- (2) 面外荷重をうける平板要素が直接面内荷重をうける場合のほかに、鋼床版げた橋のように平板構造がけ

たの一部として作用する場合が考えられる。

この場合、板の面外方向のたわみが大きくなると、幾何学的非線形の影響で重ね合せの法則が成り立たないことがあるのと同時に平板の耐荷力が減少することがあるので注意が必要である。

以下に面内力と面外力とを同時に考慮した場合の照査法を道路橋示方書・同解説に基づいて説明する。

鋼床版はけたのフランジとしての作用と版格子作用を同時に考慮した場合に対して、安全であることを照査するのを原則とする。この場合、それぞれの作用に対して、鋼床版が最も不利になる載荷状態について応力を算出し、その合計に対して安全性を評価してよいが、安全率の値は低減させた値1.2をとることができる。

これは、橋梁の設計においては面内力と面外力の作用に対して最も不利となる載荷荷重が一般的には一致しないこと、両者の載荷活荷重がそれぞれT荷重（輪荷重）とL荷重（分布荷重と線荷重）と性質が異なること等から厳密な意味で最も不利な載荷状態を再現するのが難かしいことによる。

したがって面内力と面外力の作用に対して最も不利な載荷状態が特定できれば、安全率は1.7のままにすることが望ましい。

## 11.5 連結部

平板の連結部の設計は、9章（連結に関する一般事項）によるものとする。

**【解 説】** フランジプレートと腹板とをすみ肉溶接で連結する場合は9.2.4の規定を用いることができる。すみ肉溶接ののど厚を溶接部に作用するせん断応力度から算出する場合は、以下の国鉄建造物設計標準解説（土木学会）<sup>2)</sup>に準拠することができる。

構造上厚い腹板が用いられ、腹板に作用するせん断応力度が十分小さい場合、すみ肉溶接に作用するせん断応力度は次の式によって検算するものとする。

$$\tau_n = SQ / (I \Sigma a) \dots \dots \dots \text{(解 11.11)}$$

ここに、 $\tau_n$ ：すみ肉溶接ののど厚断面に作用するせん断応力度（kgf/cm<sup>2</sup>）

S：断面に作用するせん断力（kgf）

Q：フランジの断面1次モーメント（cm<sup>3</sup>）で、プレートガーダーの総断面の中立軸に関するもの。

I：プレートガーダー中立軸に関する総断面の断面2次モーメント（cm<sup>4</sup>）

$\Sigma a$ ：のど厚の合計（cm）

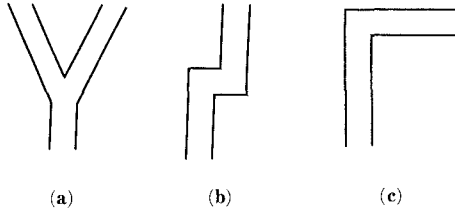
## 11.6 隅角部

ラーメン隅角部は、はりと柱の応力の流れを円滑に伝達させると同時に、隅角部内の局所的な応力集中に対して十分配慮しなければならない。

**【解 説】** ラーメン隅角部の構造例を解説 図 11.4 に、その幾何学的形状例を解説 図 11.5 にそれぞれ示す。

このように隅角部の構造や形状は多種多様である。また隅角を構成するはり、柱の断面構成についても、開断面、箱桁断面、円筒断面などがある。

これらの隅角部の設計に際し、解説 図 11.4(c) のような他の隅角部との連成がなく、かつ平面内に直角に交わる隅角部については、直線形、直線ハンチ形、円弧ハンチ形隅角構造の設計法が確立されているが<sup>4)</sup>、任意の隅角部形状を包括する設計法については未だ確立されていないのが現状である。したがって任意の隅角部の設計に際しては有限要素法によるか、文献4) に述べられた設計法を準用するかのどちらかの方法がとられる。



解説 図 11.4 ラーメン隅角部の構造例

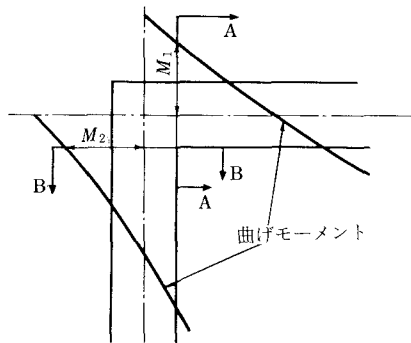


解説 図 11.5 隅角部の幾何学的形状例

ここでは文献4)を反映した設計要領第Ⅱ集(日本道路公団)<sup>5)</sup>の直線形隅角部の設計法について述べるものとする。

(1) 隅角部のモーメントについて

隅角部に作用するモーメントとして、A-A断面に対し  $M_1$ 、B-B断面に対し  $M_2$  を採用し、断面決定に用いることができる(解説 図 11.6 参照)。



解説 図 11.6 隅角部の設計断面力

(2) 隅角部応力の算出について

隅角部は、次に示す方法により設計するものとする。

- 1) フランジ断面は、曲げモーメントと軸力による軸方向応力とせん断おくれを考慮した軸方向応力の合応力により設計する。
- 2) ウェブは、はりや柱の軸方向力が隅角内のダイヤフラムによって、せん断力に変換されるものとして設計する。

この場合、隅角部内の腹板のせん断応力度は次の式を満足することとする。

$$\tau \leq \alpha_1 \alpha_2 F / \nu \dots\dots\dots (解 11.12)$$

ここに、 $\tau$ ：隅角部内の腹板の平均せん断応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\alpha_1$ ：せん断応力が腹板に沿って一様に分布しないための補正係数 (0.9)

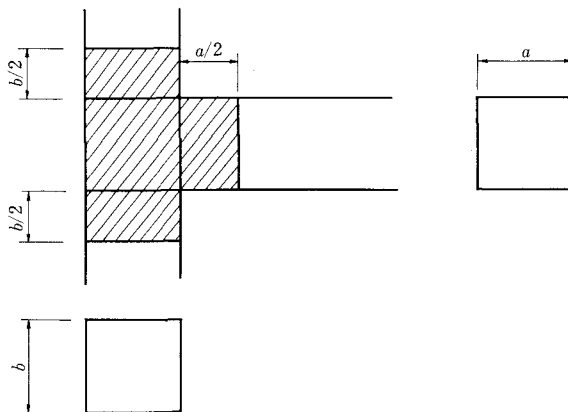
$\alpha_2$ ：トレスカの最大せん断応力説による降伏条件式のための補正係数 (0.5)

$F$ ：表 5.1 に示す設計強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\nu$ : 安全率

(3) 隅角部の範囲について

ラーメン隅角部で決定された板厚を解説 図 11.7 のように、フランジ、腹板ともフランジ幅の 1/2 を隅角部の端より延長する。



解説 図 11.7 隅角部の範囲

11.7 集中荷重に対する配慮

(1) 支承部、およびけたとリブ、ブレースの取付部などの荷重集中点には垂直補剛材またはダイヤフラム等を設けるのを原則とする。架設時などで一時的に支承部となる部位では、荷重分布長を増やすことにより集中荷重を分散することができる。

(2) 荷重集中点の垂直補剛材は、次の規定により軸方向圧縮力を受ける柱として設計するのを原則とする。

- 1) 柱としての有効断面積は、補剛材断面及び腹板のうち補剛材取付け部から両側にそれぞれ腹板厚の 12 倍までとする。ただし、全有効断面積は補剛材の断面積の 1.7 倍を超えないものとする。
- 2) 強度の算出に用いる断面二次半径は腹板またはダイヤフラムの中心線について求めるものとし、有効座屈長はけた高の 1/2 とする。

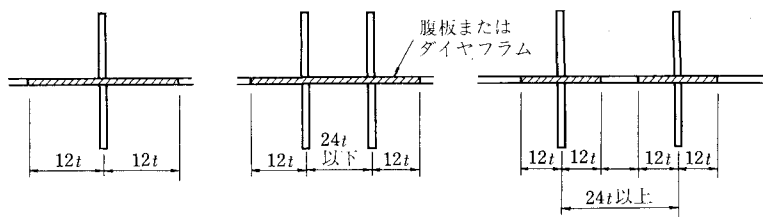


図 11.4 荷重集中点の腹板の有効幅

【解 説】 道路橋示方書・同解説を参考に定めた。道路橋示方書・同解説での解説の考え方を以下に述べる。

「溶接げた場合は腹板も下フランジに密着しているので、柱としての断面の計算には腹板の一部も有効に働くと考えてよいことにした。柱としての全有効断面積のうち、腹板の断面積の占める割合を補剛材断面積の70%以下としたのは、支承に最も近い箇所では腹板の前記有効幅がまだ働いておらず、ほとんど補剛材の断面積によって反力に耐えなければならないことを考慮したためである。なお、補剛材下端に大きなスカラップを設ける場合には、支圧強度の照査をする必要がある。」

送り出し工法等で、垂直補剛材直下に支承を設けられない場合には、できるだけ集中荷重を分散することを目的に、仮支承の幅を広げる必要がある。この場合の照査法としてDAS<sup>(6)</sup>の規定があげられる。

## 11.8 全体構造に関する注意事項

(1) 負反力をなるべく生じさせないように支点条件を定めるものとする。

(2) 開断面プレートガーダーには、断面形状の保持、剛性の確保、横荷重の支承への円滑な伝達を図るためにけた間にブレース、横げた、ラテラル等を設けることを原則とする。ブレースやラテラル部材は二次部材として設計するのを原則とするが、主荷重の荷重分配を考慮する場合や立体解析により設計する場合は、一次部材として扱うのを原則とする。

また支点上では各けた間にブレースや横げたを設けるのを原則とする。

(3) 箱げたプレートガーダーには中間ダイヤフラムを設けることを原則とする。

(4) 構造物の出来上がり形状を管理するために、必要に応じて製作そり（製作キャンバー）を付加する必要がある。

**【解説】** (1) プレートガーダーのような構造物は、横荷重や偏心荷重などをうけて支점에大きな引張力が発生する場合がある。この時支承および支承を据付ける下部工は、これらの引張力に抵抗できるように設計しなければならない。特に主荷重で支点到引張力が発生する場合は、構造の骨組線や支承の配置を変えたり、支点的ジャッキ調整等でこれらの引張力を解消することが望ましい。

(2) 道路橋示方書・同解説を参考に定めた。

1) 道路橋示方書・同解説では、ブレースや横げたの最大配置間隔は6mを標準としている。また強固な対傾構をもつ支間25m以下のプレートガーダーでは、横荷重が対傾構を介して床版に伝達されるとして下横構を省略できるとしている。

2) 開断面プレートガーダーのけたでは、曲げモーメントをうけると横倒れ座屈のため耐荷力が著しく減少する場合がある。横倒れ座屈を防止するためには十分剛なブレース、ラテラル、横げた等を設け、5.2.1、7.2.2の規定を用いて部材の終局限界状態の照査をするのを原則とする。構造全体としての横倒れ座屈に関して道路橋示方書・同解説は以下のように説明している。

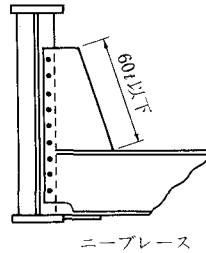
『橋全体としての横倒れ座屈を照査することが必要となる場合がある。すなわち、断面全体の水平方向の断面二次モーメントが鉛直方向の断面二次モーメントより小さく、さらに支間長が腹板間隔の18倍より大きい2主桁橋などでは、橋全体の横倒れ座屈の照査をしなければならない。』

このような場合、十分剛なラテラルを用いて開断面げたを一体化し、疑似箱げた構造になるようにし、横倒れ座屈の照査を行う必要がある。また道路橋示方書・同解説では開断面曲げたについてもラテラルを配置し構造全体のねじれ剛性をふやす必要があると説明されている。

3) けたの高さ全体に対傾構を取り付けることができない開断面プレートガーダーなどに関して、道路橋示方書・同解説では以下のように規定されている。

下路プレートガーダー橋では、床げた取付け部はニーブレース板などにより床げたと主げたの垂直補剛材を結合し、横方向の変形に対して補剛しなければならない。この場合ニーブレース板、補剛材など各部の構造は、支間中最大の圧縮フランジ軸力の1%の横力に対して安全であるよう設計しなければならない。この軸力は圧縮フランジ面内で、各床げた取付け点のフランジに直角に作用させるものとする。耐力を期待しない場合でもニーブレース板の自由辺の長さは板厚の60倍をこえてはならない。

この場合の圧縮フランジの曲げ圧縮強度の計算に用いる固定点間距離はニーブレースの中心間隔を用いるものとする。



解説 図 11.8 ニーブレースの自由辺

- (3) 断面の形状保持や、付加的な二次応力の発生を抑えるため箱げたプレートガーダーには、ダイヤフラムや対傾構を設ける必要がある。ダイヤフラム間隔と剛度とは責任技術者の判断によるものとする。
- (4) 構造物の出来あがり形状を設計値どおりに管理するため製作そりを設けるのを原則とする。製作そりには一般的に次の二つがある。
- 1) 死荷重分のそり
  - 2) 現場溶接による変形に対するそり

#### 参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋編），1980年2月。
- 2) 土木学会：国鉄構造物設計標準解説，1983年4月。
- 3) AASHTO：STANDARD SPECIFICATIONS for HIGHWAY BRIDGES，1983。
- 4) 奥村・石沢：薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について，土木学会論文報告集，1968年5月。
- 5) 日本道路公団：設計要領第Ⅱ集，1980年4月。
- 6) DAST：DAST Ri-012，1978。