

## 第 10 章 板構造に関する一般事項

### 10.1 適用範囲

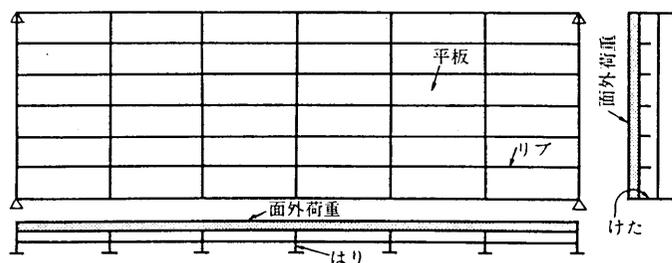
- (1) 本章は、平板からなる構造・構造物の設計に適用するものとする。なお、平板要素あるいは補剛材を有する平板要素の設計は、6章（限界状態の照査）、7章（部材に関する一般事項）によるものとする。また、対象とする構造が骨組構造と見なされる場合には、9章（骨組構造物に関する一般事項）により設計するものとする。
- (2) 本章の規定を適用できない特殊な平板要素の設計における構造解析は、合理的な荷重条件や支持条件のもとで行うものとする。

#### 【解 説】

(1) 既存の鋼構造物は、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板構造あるいは板構造物とは、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、力学的な役割分担は明かな板要素の集合体であるとしてその構造特性が把握されるものを指す。したがって、鋼床版の板要素、主として曲げモーメントとせん断力とを受けるプレートガーダーの板要素、ラーメン隅角部の板要素あるいはダイヤフラムやトラスの格点構造のような荷重集中点の板要素の設計などが本章の適用範囲である。ただし、一方向圧縮力を受ける板要素の設計においては5.4.5および7.3.1の規定を用いるものとする。また、板要素の集合体の全体構造特性が骨組部材として把握できる構造については9章の規定に従うものとして本章の適用範囲外とする。

最近では曲線げたの腹板にみられるように、曲率を有する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。

板構造の設計のための構造解析は、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、面外荷重を受ける板構造では、平板は直接分布荷重を受け、リブは平板の一部と共同して、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10.1参照）。



解説図10.1 面外荷重を受ける板構造物

- (2) 板理論を用いて板要素や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。たとえば、平板内の応力度、局部的な応力集中、弾性座屈応力度は、平板の形状が単純で、力と変位の境界条件が明かな場合には、図表等で算出できる。しかし、特殊な平板要素等を有限要素法により解析する場合には、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ほか、以下のような留意点に注意する必要がある。

- 1) 板要素に作用する荷重系として、板要素に直接載荷される荷重と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、初期変形の存在や残留応力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。

## 10.2 有効幅

曲げモーメントを受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(10.1)より、直線分布をする場合は式(10.2)より算出することとする。

ここに、 $\ell$  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。ただしゲルバーけたに関しては、片持部の支間長の2倍をとるのが原則である。

$$\begin{aligned}\lambda &= b && (b/\ell \leq 0.05) \\ &= \{1.1 - 2(b/\ell)\}b && (0.05 < b/\ell < 0.30) \\ &= 0.15\ell && (0.30 \leq b/\ell)\end{aligned} \quad (10.1)$$

$$\begin{aligned}\lambda &= b && (b/\ell \leq 0.02) \\ &= \{1.06 - 3.2(b/\ell) + 4.5(b/\ell)^2\}b && (0.02 < b/\ell < 0.30) \\ &= 0.15\ell && (0.30 \leq b/\ell)\end{aligned} \quad (10.2)$$

ここに、

$\lambda$  : フランジまたは平板の片側有効幅 (cm) (図 10.1, 図 10.2)

$b$  : 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 10.1, 図 10.2)

$\ell$  : 等価支間長 (cm)

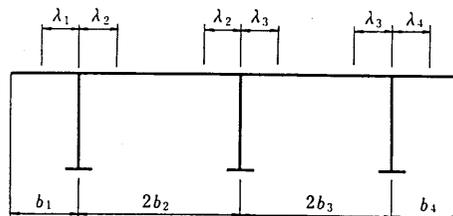


図 10.1 フランジの有効幅

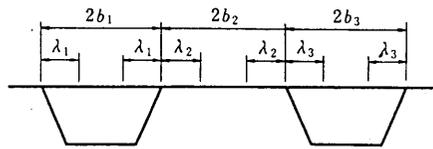


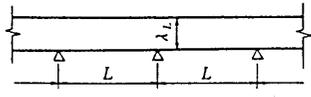
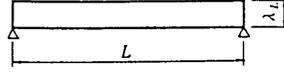
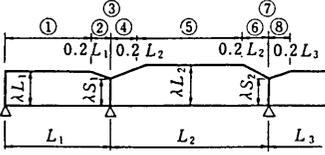
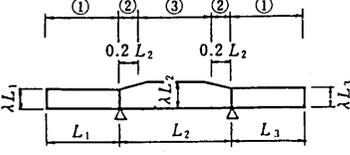
図 10.2 閉断面リブの場合の有効幅

**【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(II鋼橋編)の6.2.4項および8.3.4項を参考に有効幅を定めた。解説表 10.1 および解説表 10.2 に道路橋示方書(II鋼橋編)で規定されている等価支間長と有効幅の計算式を示す。鉄道構造物等設計標準(鋼・合成構造物)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(II鋼橋編)と同様の方法によっている。

解説表 10.1 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 $\ell$	
単純 げた	①	$\lambda_L$	(10.1)	$L$	
連続 げた	①	$\lambda L_1$	(10.1)	$0.8L_1$	
	⑤	$\lambda L_2$		$0.6L_2$	
	③	$\lambda S_1$	(10.2)	$0.2(L_1 + L_2)$	
	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	$\lambda L_1$	(10.1)	$L_1$	
	④	$\lambda L_3$		$0.8L_3$	
	②	$\lambda S_2$	(10.2)	$2L_2$	
	③	両端の有効幅を用いて、直線変化させる。			

解説表 10.2 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 $\ell$		
縦リブ		$\lambda_L$	(10.2)	$0.6L$		
横リブ	単純支持	①	$\lambda_L$	(10.2)	$L$	
	連続支持	①	$\lambda L_1$	(10.2)	$0.8L_1$	
		⑤	$\lambda L_2$		$0.6L_2$	
		③	$\lambda S_1$		$0.2(L_1 + L_2)$	
		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。				
	張出し部	①	$\lambda L_1$ ( $\lambda L_3$ )	(10.2)	$2L_1$ ( $2L_3$ )	
		③	$\lambda L_2$		$L_2$	
		②	両端の有効幅を用いて、直線変化させる。			

### 10.3 平板の補剛

#### 10.3.1 面内力を受ける平板（プレートガーダー—腹板以外）の補剛

- (1) 1方向圧縮力を受ける平板の補剛に関しては 7.3.1 の規定に従うのを原則とする。
- (2) 2方向圧縮力を受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) 鋼橋の長大化に伴って、2方向面内力を受ける補剛板としての座屈照査を必要とする構造要素がよく用いられるようになってきた。アーチ橋や斜張橋で採用される幅員の広いデッキ・プレートでは、橋軸方向の面内力はもちろんのこと、橋軸直角方向の曲げによる面内圧縮応力も無視できなくなり、2方向面内力を受ける補剛板としての座屈安定性照査が必要となる。

2方向面内力を受ける補剛板の設計法としては、現在、BS5400 Part 3 に該当指針があり、補剛板の板パネルの耐荷力相関曲線や、縦補剛材の設計法が定められている。しかし、この設計指針では、

補剛材の必要最小剛比がかなり大きな値になるなどの点が指摘されている。文献7)に提案された2方向面内力を受ける補剛板の極限強度の簡易照査法,あるいは,弾塑性有限変位解析,弾性座屈解析,実験などにより適切な評価を行う必要がある。

### 10.3.2 プレートガーダー腹板の補剛

面内曲げモーメントとせん断力が作用し,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10.1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。

作用せん断応力度 $\tau_d$ がせん断強度 $\tau_u$ より小さい場合は,表10.1の値を $\sqrt{\tau_u/\tau_d}$ 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10.1 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	SS400		SM490Y	SM570
	SM400	SM490	SM520	SMA58
	SMA400		SMA490	
上下フランジ純間隔	70t	60t	57t	50t

ここに,  $t$ は腹板の板厚 (cm) 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。

1) 水平補剛材を使用しない場合

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma_d}{3650}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau_d}{810+610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} > 1\right) \quad (10.3)$$

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma_d}{3650}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau_d}{610+810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} \leq 1\right) \quad (10.4)$$

2) 水平補剛材を1段用いる場合

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma_d}{9500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau_d}{1270+610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} > 0.80\right) \quad (10.5)$$

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma_d}{9500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau_d}{950+810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} \leq 0.80\right) \quad (10.6)$$

3) 水平補剛材を2段用いる場合

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma_d}{31500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau_d}{1970+610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} > 0.64\right) \quad (10.7)$$

$$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[ \left(\frac{\sigma_d}{31500}\right)^2 + \left\{ \frac{\tau_d}{1480+810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 : \left(\frac{a}{b} \leq 0.64\right) \quad (10.8)$$

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)

$\sigma_d$  : 腹板の作用縁圧縮応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\tau_d$  : 腹板の作用せん断応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

(3) 腹板厚は表10.2に示す値以上とするのを原則とする。

作用曲げ圧縮応力度 $\sigma_d$ が 5.2 に示す鋼材の設計基準強度 $F_u$ より小さい場合は、表 10.2 の分母を $\sqrt{F_u/\sigma_d}$  倍することができる。ただし、1.2 倍を超えてはならない。

表 10.2 プレートガーダーの最小腹板厚 (cm)

鋼種	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
水平補剛材のないとき	$b/152$	$b/130$	$b/123$	$b/110$
水平補剛材を 1 段用いるとき	$b/256$	$b/220$	$b/209$	$b/188$
水平補剛材を 2 段用いるとき	$b/310$	$b/310$	$b/294$	$b/262$

ここに、 $b$  は上下両フランジの純間隔 (cm) である。

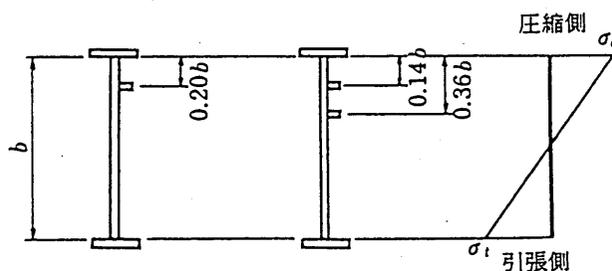


図 10.3 水平補剛材の位置

- (4) 水平補剛材の取付け位置は、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 10.3 参照)。
- (5) 垂直補剛材 1 本の断面二次モーメント  $I_v$  は式 (10.9) を満足し、その最小板厚と鋼種とは以下に示す 1) および 2) を満足するのを原則とする。

$$I_v \geq (bt^3/11)\gamma_{v.req} \quad (10.9)$$

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)

- 1) 垂直補剛材の幅は、腹板高の  $1/30$  に  $50\text{mm}$  を加えた値以上としなければならない。  
 2) 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 SS400 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 (10.10) 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、その取付け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。

$$I_v \geq (bt^3/11)\gamma_{h.req} \quad (10.10)$$

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,  $\gamma_{h.req} = 30(a/b)$
- $a$  : 垂直補剛材間隔 (cm)

【解 説】 面内曲げモーメントとせん断力が作用し、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対しては、道路橋示方書 (II 鋼橋編) <sup>1)</sup> を参考に規定した。

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> および鉄道構造物等設計標準 (鋼・合成構造物) <sup>2)</sup> を引用する。

- (1) AASHTO<sup>3)</sup> : 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。

$$b/t \leq 6099/\sqrt{\sigma_d} \text{ (ただし } 170 \text{ 以下)} \tag{解 10.1}$$

ここに、

- $b$  : 腹板の板幅 (cm)
- $t$  : 腹板の板厚 (cm)
- $\sigma_d$  : 圧縮フランジの軸方向応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

- (2) 鉄道構造物等設計標準 (鋼・合成構造物) <sup>2)</sup>

- 1) 垂直補剛材を設ける必要がない腹板の最大幅厚比は、列車荷重の載荷条件および使用する材料に応じて解説表 10.3 の値を標準とする。

解説表 10.3 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
SS400, SM400	70	$2100/\sqrt{\tau_d}$
SMA400		
SM490	60	ただし、110 以下
SM490Y, SM520	55	
SMA490		
SM570, SMA570	50	$2100/\sqrt{\tau_d}$ ただし、100 以下

ここに、

- $\tau_d$  : 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)

- 2) 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を標準とする。ただし、 $2D$  を超えてはならない。

- a) 水平補剛材がない場合

$$d \leq 3200t/\sqrt{\tau_d} \tag{解 10.2}$$

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 ( $\sigma_d$ ) が解説表 10.4 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照査するものとする。

$$d/D \leq 1 \text{ の場合} \quad \left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma_d}{3490}\right)^2 + \left[\frac{\tau_d}{580 + 780\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2 \right\} \leq 1 \quad (\text{解 10.3})$$

$$1 < d/D \leq 2 \text{ の場合} \quad \left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma_d}{3490}\right)^2 + \left[\frac{\tau_d}{780 + 580\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2 \right\} \leq 1 \quad (\text{解 10.4})$$

解説表 10.4 フランジと薄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> )
SS400, SM400, SMA400	750
SM490	1000
SM490Y, SM520, SMA490	1050
SM570, SMA570	1550

b) 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

$$d \leq 2800t/\sqrt{\tau_d} \quad (\text{解 10.5})$$

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 ( $\sigma_d$ ) が解説表 10.5 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。

$$d/D \leq 0.8 \text{ の場合} \quad \left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma_d}{18800}\right)^2 + \left[\frac{\tau_d}{910 + 780\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2 \right\} \leq 1 \quad (\text{解 10.6})$$

$$0.8 < d/D \leq 2 \text{ の場合} \quad \left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma_d}{18800}\right)^2 + \left[\frac{\tau_d}{1220 + 580\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2 \right\} \leq 1 \quad (\text{解 10.7})$$

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。

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

$\sigma_d$  : 腹板の作用縁圧縮応力度 (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 10.5 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> )
SS400, SM400, SMA400	1500
SM490	1350
SM490Y, SM520, SMA490	1250
SM570, SMA570	1150

3) 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 10.6 の値を標準とする。

水平補剛材がない場合で、作用応力度  $\sigma_d$  が  $F_u$  より小さい部材では、解説表 10.6 の板の最大幅厚比を  $\sqrt{F_u/\sigma_d}$  倍することができる。ただし、1.2 倍を超えてはならない。

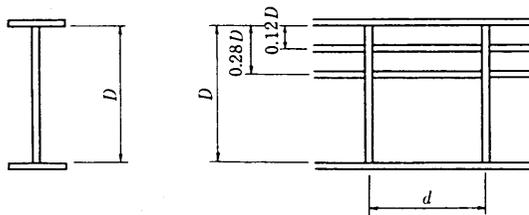
解説表 10.6 垂直補剛材がある場合の腹板の最大幅厚比

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
SS400, SM400 SMA400	145	250
SM490	125	250
SM490Y, SM520 SMA490	120	250
SM570, SMA570	105	250

ここに,

- $t$  : 腹板の板厚 (cm)
- $D$  : 腹板の高さ (cm)
- $\sigma_d$  : 作用曲げ圧縮応力度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )
- $F_u$  : 5.2 に示す鋼材の設計基準強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )

- 4) 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  $0.20D$  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 10.2 に示すとおりである.



解説図 10.2 水平補剛材を 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断面二次モーメント ( $\text{cm}^4$ )
- $t$  : 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.

- 5) 垂直補剛材の総断面の所要断面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.

$$I_v = (5/22)d_s t^3 \gamma \tag{解10.8}$$

- 6) 水平補剛材の総断面の所要断面二次モーメントは, 次の式によって算出した値以上としなければならない.

$$I_h = 5dt^3 \quad \text{ただし, } d/D \geq 2 \tag{解10.9}$$

ここに,

- $I_h$  : 水平補剛材の総断面の断面二次モーメント ( $\text{cm}^4$ )

$d, D, t$  : 式(解10.8) 参照

なお、水平補剛材の最大幅厚比は、SS400, SM400, SMA400 で 12.5, SM490 で 11, SM490Y, SM520, SMA490 で 10, SM570, SMA570 で 9 である。

### 10.3.3 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) 面外力を受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受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) 面外力を受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。

面外力を受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桁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 (II 鋼橋編) <sup>1)</sup> 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桁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すると考えられる。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10.10)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。

$$\text{車道部分} : t = 0.035b, \text{ただし}, t \geq 12\text{mm} \quad (\text{解10.10})$$

主げたの一部として作用する歩道部  $t = 0.025b$ , ただし,  $t \geq 10\text{mm}$

ここに、

$b$  : 縦リブ間隔 (mm)

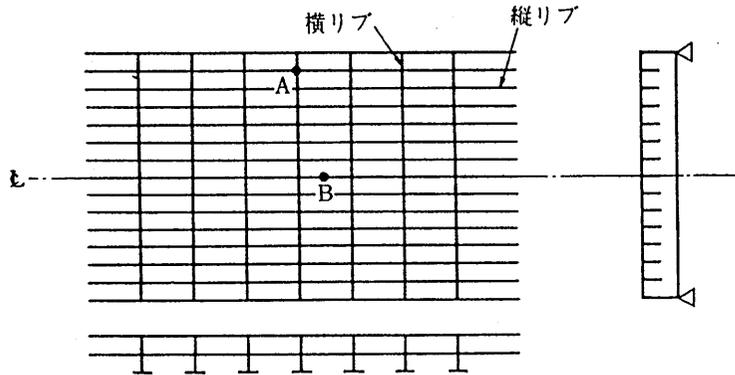
$t$  : デッキプレート厚 (mm)

一方、AASHTO<sup>2)</sup>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 (II 鋼橋編) <sup>1)</sup>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 10.3 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 10.3 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、横リブが支持桁で単純支持されているものとして、版格子構造または直交異方性版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、支間での拘束が考えられる場合は、拘束条件を考慮の上で、例えば単純支持として計算した正の曲げモーメントの±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) 通常の横リブの間に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) 面外荷重を受ける平板要素が直接面内荷重を受ける場合のほかに、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わ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 (II 鋼橋編)<sup>1)</sup> 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。

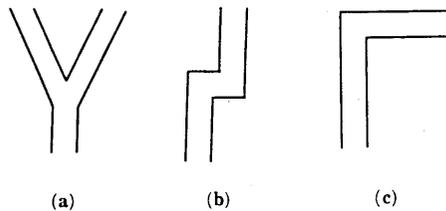
## 10.4 隅角部の補剛

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、隅角部内の局部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 10.4 に、その幾何学的形状例を解説図 10.5 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。また隅角部を構成するはり、柱の断面構成についても、開断面、箱形断面、円筒断面などがある。

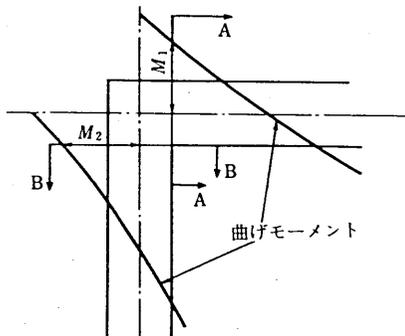
これらの隅角部の設計に際し、解説図 10.4(c) のような他の隅角部との連成がなく、かつ平面内に直角に交わる隅角部については、解説図 10.5 に示すような直線形、直線ハンチ形、円弧ハンチ形隅角構造の設計法が確立されているが<sup>4)~6)</sup>、任意の隅角部形状を包括する設計法については未だ確立されていないのが現状である。したがって任意の隅角部の設計に際しては有限要素法によるか、文献 4)~6) に述べられた設計法を準用するかのどちらかの方法がとられる。



解説図 10.4 ラーメン隅角部の構造例



解説図 10.5 隅角部の幾何学的形状例



解説図10.6 隅角部の設計断面力

ここでは、設計要領第II集（日本道路公団）<sup>4)</sup>の直線隅角部の設計法について述べる。

(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10.6）。

(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。

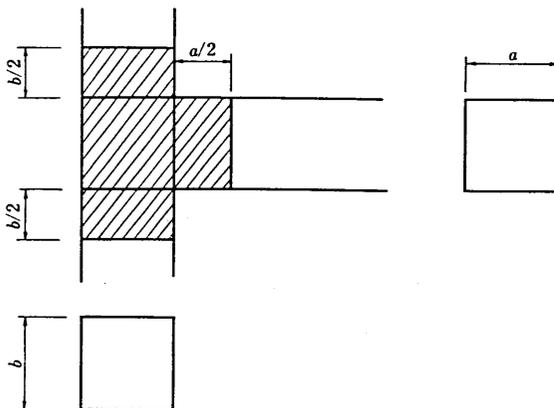
$$\frac{\tau_d}{\tau_u} \leq 1 \tag{解10.11}$$

ここに、

$\tau_d$  : 隅角部内の腹板の平均設計せん断応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\tau_u$  : 5.5.4に規定される鋼材のせん断強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

(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10.7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10.7 隅角部の範囲

一方、ラーメン隅角部およびその近傍の柱，はり部材のフランジおよびウェブの設計に対する応力解析や終局限界状態の取り扱いについて以下のような考慮点が文献7)に示されている。

- (1) ラーメン隅角部近傍のはり・柱部材に起こるせん断遅れによる応力解析と設計法
- (2) 曲げとせん断とを同時に受けるラーメン隅角部のはり・柱部材の終局強度，および終局限界状態
- (3) せん断遅れ現象が隅角部近傍のはり・柱部材の圧縮フランジプレート of の局部，および全体座屈に与える影響

## 10.5 格点構造

### 10.5.1 トラスの格点

#### (1) 一般

- 1) 格点の設計にあたってはなるべく単純な構造とし，各部材の連結が容易であり，かつ検査や排水，清掃などの維持作業が支障なく行えるように配慮するのがよい。
- 2) 部材に鋼管を用いる構造の場合，8章のほか7.5にもよるものとする。

#### (2) ガセット

- 1) 部材をガセットに連結する高力ボルトまたはリベットの配置は，部材の軸にできるかぎり対称としかつ部材とガセットとの接触面全体に行きわたらせなければならない。
- 2) トラス格点において，弦材のウェブに重ねてガセットをあてる構造で，かつ部材両面にガセットを使用する場合は，ガセットの板厚は鋼材の種類にかかわらず式(10.11)により算出した値を標準とする。

$$t = 20 \frac{P_d}{b} \quad (10.11)$$

ここに，

$t$  : ガセットの板厚 (mm)

$P_d$  : そのガセットで連結される端柱または腹材に作用する最大部材力 (tf)

$b$  : そのガセットで連結される端柱または腹材のガセット面に接する部分の幅 (mm)

- 3) ガセットと弦材または端柱のウェブとを一体とする構造では，ガセット板厚はウェブより薄くしてはならず，また式(10.11)で算出した値以上とする。この場合，フィレット半径  $r_f$  はガセットと一体となる弦材または端柱のウェブの高さ  $h$  の 1/5 以上とする (図10.4 参照)。
- 4) ガセットの最小板厚は 9mm を標準とする。

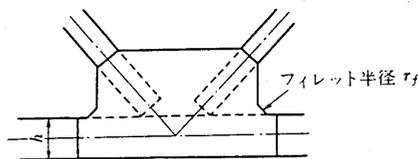


図10.4 ガセット

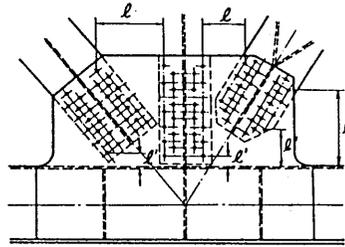


図 10.5 ガセットプレートの局部座屈に対する自由縁の長さの取り方

- 5) ガセットプレートの自由長  $l$  が  $l \geq 60t$  の場合の自由縁端部は、自由辺をリブの付いた柱として、 $l/r$  が 60 程度に入るようなリブで補強しなければならない。このとき、ガセットプレートの有効幅は  $12t$  とする。また、ガセットプレート内部において図 10.5 に示す  $l'$  が、

$$l'/t \geq \sqrt{\pi^2 E / 12 F_u} \quad (10.12)$$

となる場合は、腹材軸力による局部座屈に対して適当な補強をしなければならない。ここに、

- $t$  : ガセット厚さ (mm)
- $F_u$  : ガセット材料の設計基準強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- $r$  : ガセットプレートの自由辺を有効幅  $12t$  で、リブの付いた両端単純支持の柱と考えた場合の柱の断面二次半径 (mm)

### 10.5.2 アーチの格点

アーチの吊材または支柱を補剛げたまたはアーチリブに取り付けるにあたっては、連結部に応力集中や二次応力の発生によって欠陥が生じないように注意する必要がある。

#### 【解 説】

(1) トラスの格点については、道路橋示方書 (II 鋼橋編)<sup>1)</sup>、鉄道構造物等設計標準 (鋼・合成構造物)<sup>2)</sup> あるいは「本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書」<sup>8)</sup> に、ガセットプレートの板厚規定などが示されている。ここでは、一般に道路橋示方書 (II 鋼橋編)<sup>1)</sup> の板厚規定が安全側であることから、それに従って定めた。しかし、式 (10.11) は一般的な規模の道路橋における調査に基づくものであるため、とくに大きい部材力が加わる場合や二次応力がかなり顕著に働くような格点構造の場合は、「本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書」<sup>8)</sup> を参照して照査するのがよい。

ただし、ガセットプレートの自由縁の局部座屈については、「本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書」に示される規定に従って照査することとした。

## 10.6 集中荷重に対する補剛

- (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、図 10.6 に示すように補剛材断面及び腹板またはダイヤフラムのうち補剛材取付部から両側にそれぞれ腹板またはダイヤフラム厚の 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。

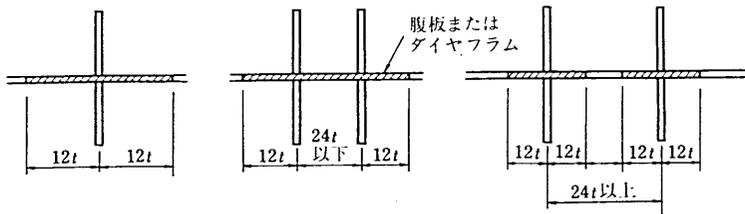


図 10.6 荷重集中点の腹板の有効幅

- 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 を原則とする。
  - 3) 補剛材下端に切り欠き等がある場合には、補剛材および腹板あるいはダイヤフラムで構成される断面の支圧強度を照査する必要がある。
- (3) 支承部において桁を切り欠く構造を用いる場合には、図 10.7 に示すように直角に切り欠く形式を標準として設計するものとする。

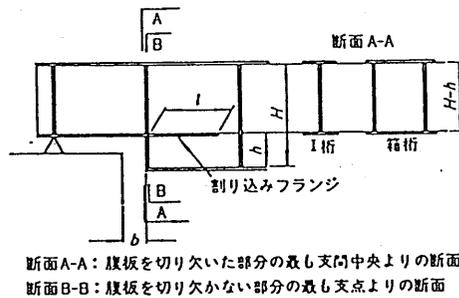


図 10.7 腹板切り欠き部の設計

### 【解説】

- (1) 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、5 章の局所荷重を受ける両縁支持板の局部座屈強度を基準として設計するか、DASt の規定<sup>9)</sup>を用いて設計することが考えられる。
- (2) おもに道路橋示方書 (II 鋼橋編)<sup>1)</sup>を参考に定めた。同示方書では、「溶接けたの場合は腹板も下フランジに密着しているので、柱としての断面積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。」などの解説が述べられている。

プレートガーダーの支点上補剛材は、解説図10.8に示すように軸方向に三角形状に変化する圧縮軸力を受ける柱部材として挙動するものと考えられる。文献7)には、以下のような、その終局限界状態の照査法が示されている。

$$\frac{R_{vd}}{R_u} \leq 1 \tag{解10.12}$$

ここに、

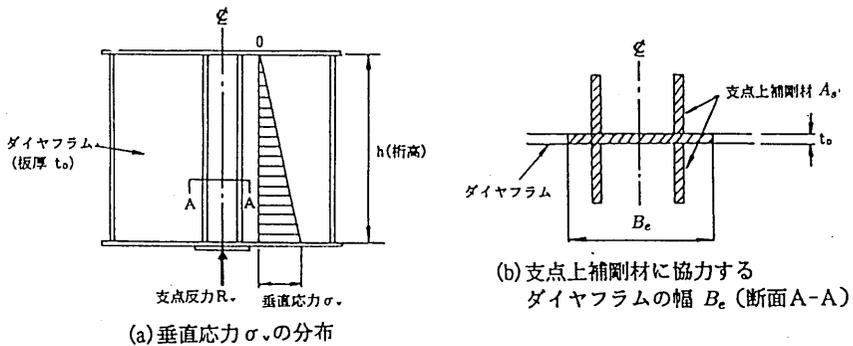
- $R_{vd}$  : 設計支点反力(kgf)
- $R_u$  : 5章で与えられる軸方向圧縮強度であり、断面二次モーメント、断面二次半径、有効座屈長として以下の値を用いる。

$$A_{eeff} = A_s + B_e t_D \tag{解10.13}$$

- $A_s$  : 支点上補剛材の断面積(cm<sup>2</sup>)
- $B_e$  : 図10.5に示す腹板またはダイヤフラムが座屈に協力する有効幅(cm)
- $t_D$  : 腹板またはダイヤフラムの板厚(cm)

$$r = \sqrt{\frac{I_Y}{A_{eeff}}} \tag{解10.14}$$

- $I_Y$  : 有効断面の弱軸回りの断面二次モーメント(cm<sup>4</sup>)
- $l = 0.5h$ : 有効座屈長(cm)
- $h$  : プレートガーダーけた高(cm)



解説図10.8 ダイヤフラムの鉛直応力度分布と支点上補剛材に協力するダイヤフラムの幅

また、座屈に対する照査のほか、プレートガーダーの支点上補剛材の支圧に対する照査が必要な場合には、以下のようにその照査を行うことができる(解説図10.9参照)7)。

$$\frac{R_{vd}}{R_b} \leq 1 \tag{解10.15}$$

ここに、

- $R_{vd}$  : 設計支点反力(kgf)

$$R_b = \sigma_u A'_{eff} (\text{cm}^2) \quad (\text{解10.16})$$

$$A'_{eff} = A'_s + B'_e t_D (\text{cm}^2) \quad (\text{解10.17})$$

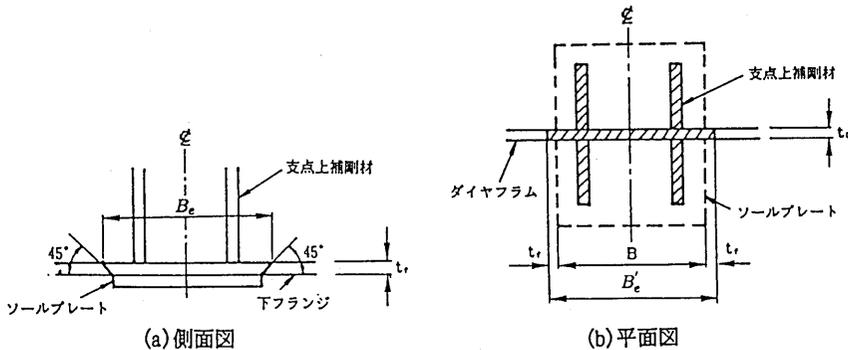
$$B'_e = B + 2t_f (\text{cm}^2) \quad (\text{解10.18})$$

$\sigma_u$  : 支点上補剛材の限界支圧強度 (kgf/cm<sup>2</sup>) (道路橋示方書 (II 鋼橋編) <sup>1)</sup>2.2.1 項参照)

$B$  : ソールプレートの幅 (cm)

$t_f$  : 下フランジの板厚 (cm)

であり、その他の記号は前述のとおりである。また、 $A'_s$  は、支点上補剛材の断面積である。ただし、支点上補剛材のプレートガーダー腹板あるいはダイヤフラムへの溶接がスカーラップを付けて行われている場合は、スカーラップによる断面の欠損を考えるものとする。



解説図 10.9 支圧に対する有効断面積

一方、プレートガーダーを終局強度に基づいて設計するとき、端腹板パネルが弾性座屈を起こしたのち張力場の発生を許すプレートガーダーにおいて、端支点上の補剛材の終局限界状態を検討する場合には、支点反力による軸方向圧縮力のほか、腹板の張力場による水平分力が横荷重として作用することが考えられる (解説図 10.10 参照)。その場合の終局限界状態の照査は 6.2.3(2) を適用して、以下のように行われる。

$$\frac{P_d}{P_u} + \frac{M_d}{M_Y \left(1 - \frac{P_d}{P_{cr}}\right)} \leq 1 \quad (\text{解10.19})$$

ここに、

$$M_Y = F_u W_{eff} \quad (\text{解10.20})$$

であり、 $P_u$  は柱としての有効断面に関する諸量を用いて、上述の支点上補剛材の場合と同様に 5 章に基づいて求められるものとする。さらに、

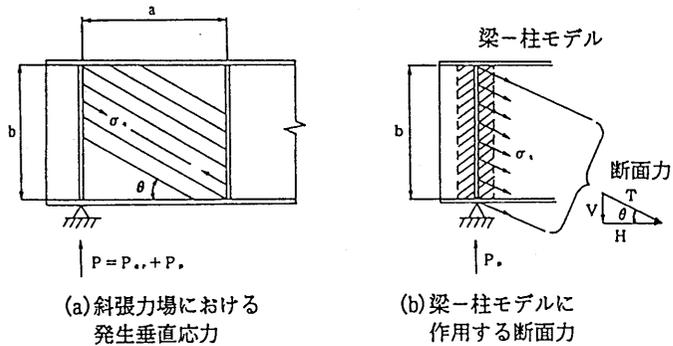
$F_u$  : 5.2 に示す鋼材の設計基準強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\ell = 0.707h$ : 有効座屈長 (cm)

$W_{eff}$  : 有効断面の弱軸に関する断面係数 (cm<sup>3</sup>)

$h$  : プレートガーダーのけた高 (cm)

である。



解説図 10.10 斜張力場における発生垂直応力度と梁-柱モデルに作用する断面力

(3) 支承部においてけたを切り欠く構造を用いる場合、けた切り欠き部の詳細は以下のように設計されることが首都高速道路公団・鋼構造物設計基準<sup>5)</sup>などに示されている。その手順を示せば以下のようである。

- 1) 主けた切り欠き部は、図 10.7 に示す割り込みフランジおよび補強材を設けた構造とする。
- 2) 腹板の最小切り欠き量は溶接の施工性を考慮して 350mm とし、最大切り欠き量は実績を加味して腹板高  $H$  の  $1/2$  を標準とする。
- 3) 割り込みフランジ長は、最小  $h$  に等しいものとし、フランジ力を十分伝達できる値とし、少なくとも次の垂直補剛材まで伸ばす。
- 4) 割り込みフランジ先端の腹板にもいくらかの応力集中が見られるので、腹板の厚さの変化位置は割り込みフランジ先端から  $H/5$  以上離し、その間は切り欠き部と同一の腹板厚さとする。
- 5) 補強材の断面積は切り欠かれた下フランジ断面の 70% 以上とする。
- 6) 切り欠き部腹板端部と下部構造端部との間隔  $b$  は、塗装および維持管理の便宜を考慮して定めるものとする。
- 7) 切り欠き前面 (A-A 断面) には横つなぎ材 (対傾構または横げた) を設ける。
- 8) 切り欠き部における断面力照査は次式による。

$$\frac{\alpha M_d}{M_u} \leq 1 \tag{解 10.21}$$

$$\frac{\alpha S_d}{S_u} \leq 1 \tag{解 10.22}$$

$$\frac{1}{1.2} \left\{ \left( \frac{\alpha M_d}{M_u} \right)^2 + \left( \frac{\alpha S_d}{S_u} \right)^2 \right\} \leq 1 \tag{解 10.23}$$

ここに、

$M_d$  : 断面 B-B 位置の設計曲げモーメント (kgf · cm)

$M_u$  : 断面 A-A 位置の曲げ強度 (kgf · cm)

$S_d$  : 断面 B-B 位置の設計せん断力 (kgf)

$S_u$  : 断面 A-A 位置のせん断耐力 (kgf)

$\alpha$  : 応力集中係数 = 1.7 (応力集中係数は疲労損傷に対する配慮から決められているものである.)

である (図 10.7 参照) .

## 10.7 ダイヤフラム・対傾構・横げた

- (1) 開断面および箱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対傾構、横げた等を設けることを原則とする。対傾構や横げた部材は二次部材として設計するのが原則とするが、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。
- (2) 箱断面プレートガーダーおよびトラス断面内の集中荷重の作用点には、集中荷重の伝達の確保および断面形状の保持のためにダイヤフラムを設けることを原則とする。

### 【解 説】

(1) 開断面および箱断面プレートガーダーでは、断面形状の保持、剛性の確保などの理由により対傾構や横げたを設けることが必要である。現在のところ合理的な剛度規定は見あたらないので、各基準等に示される対傾構および横げたの配置間隔、剛度規定を以下に示すことにする。

- 1) 道路橋示方書 (II 鋼橋編)<sup>1)</sup>では、開断面プレートガーダーの対傾構の最大配置間隔は 6m 以内で、かつフランジ幅の 30 倍を超えないこととしている。箱断面プレートガーダーでは、これに準ずるものとしている。また、荷重分配横げたの配置間隔は 20m を超えないものとしている。
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>2)</sup>では、I 断面プレートガーダーの場合の対傾構の間隔は、圧縮フランジの 20 倍以下、箱断面プレートガーダーの場合には、腹板中心間隔の 4 倍以下とし、いずれも 8m を超えないものとしている。

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のけたでは、曲げモーメントを受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対傾構、横構、横げた等を設け、5.5.3、6.2.2 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 (II 鋼橋編)<sup>1)</sup>は以下のように説明している。

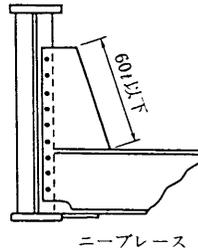
「橋全体としての横倒れ座屈を照査することが必要となる場合がある。すなわち、断面全体の水平方向の断面二次モーメントが鉛直方向の断面二次モーメントより小さく、さらに支間長が腹板間隔の 18 倍より大きい 2 主桁橋などでは、橋全体の横倒れ座屈の照査をしなければならない。」

このような場合、十分剛な対傾構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 (II 鋼橋編)<sup>1)</sup>では開断面曲線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。

さらに、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 (II 鋼橋編)<sup>1)</sup>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 10.11 ニーブレースの自由辺

(2) 箱断面プレートガーダーの中間ダイヤフラムは設計作用応力下で座屈しないように、板のせん断座屈に対して十分な剛度が必要である。首都高速道路公団・鋼構造物設計基準<sup>5)</sup>では、中間ダイヤフラムを6m前後で配置することを標準としており、その設計は鋼道路橋設計便覧<sup>10)</sup>によるものと規定している。

また、トラス支承部、横げたの取り付け部等のように集中力が作用する場所の弦材およびガセットに設けるダイヤフラムは、プレートガーダーのダイヤフラムに準じて照査を行うことが望ましい。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (II 鋼橋編), 1994年2月.
- 2) 土木学会：鉄道構造物等設計標準・同解説 (鋼・合成構造物), 1992年10月.
- 3) AASHTO: STANDARD SPECIFICATIONS for HIGHWAY BRIDGES, 1994年.
- 4) 日本道路公団：設計要領第II集, 1980年4月.
- 5) 首都高速道路公団：鋼構造物設計基準, 1992年4月.
- 6) 名古屋高速道路公社：鋼構造物設計基準, 1984年.
- 7) 土木学会：鋼構造物の終局強度と設計, 鋼構造シリーズ6, 1994年7月.
- 8) 土木学会：本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書, 1976年3月.
- 9) DAST-Richtlinie 012: Deutscher Ausschuss für Stahlbau, 1978年.
- 10) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧, 1979年2月.