

## 5. ラーメン隅角部の設計

ラーメン隅角部は、はりや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。本章ではラーメン隅角部に関するこれまでの研究成果を取りまとめて設計法とした。隅角部にはさまざまな形状が考えられるが、最も基本的である形状である箱型断面でかつL型のラーメン隅角部を対象とした。取りまとめにあたって使用限界状態の照査は文献 1)~3)、終局限界状態の照査は文献 4)~6)、必要変形能を考慮した終局限界状態の照査は文献 7)~8)、隅角部近傍の圧縮フランジの座屈照査は文献 5)~6)をそれぞれ主としてまとめた。詳しい理論的根拠、式展開等についてはこれらの参考文献を参照していただきたい。

### 5.1 隅角部およびその近傍の基本寸法と作用断面力

図 5.1 に L 形ラーメン隅角部とその近傍での断面寸法と作用断面力を示す。また、隅角部に作用するモーメントは図 5.2 に示すように描けるが、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。

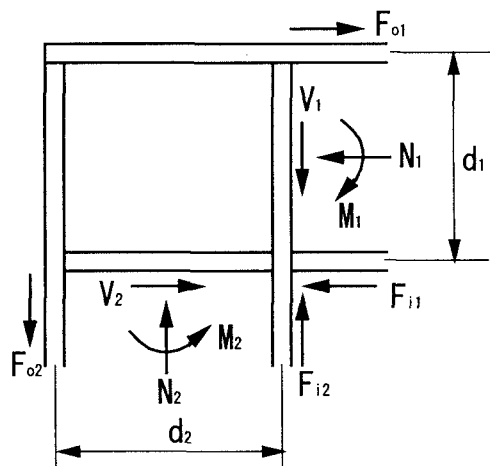


図 5.1 断面寸法と作用断面力

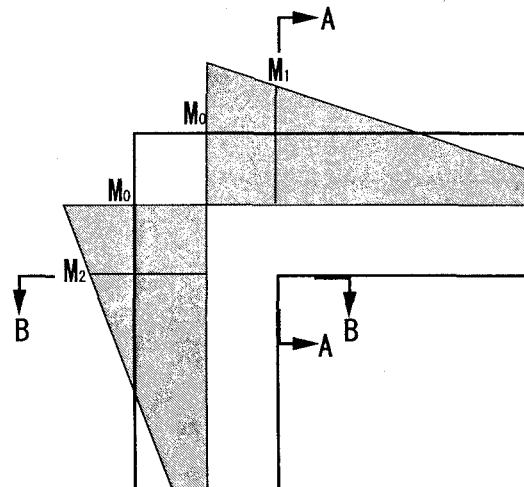


図 5.2 設計モーメント

ここに、 $M_1, M_2$  : はりおよび柱に作用する曲げモーメント

$V_1, V_2$  : はりおよび柱に作用するせん断力

$N_1, N_2$  : はりおよび柱に作用する軸力

$d_1, d_2$  : はりおよび柱のフランジ中心間隔

$A_b, A_c$  : はりおよび柱の断面積

$W_b, W_c$  : はりおよび柱の断面係数

$A_{f1}, A_{f2}$  : はりおよび柱のフランジ断面積

$A_{w1}, A_{w2}$  : はりおよび柱の腹板断面積

$b$  : はりおよび柱の腹板中心間隔

$t_{f1}, t_{f1}$  : はりおよび柱のフランジ板厚

$t_w$  : はりおよび柱の腹板の板厚

$\nu$  : 安全率  
 $\sigma_y, \tau_y$  : 降伏直応力, 降伏せん断応力

## 5.2 はり・柱部材のフランジからラーメン隅角部に伝達される集中力

L.S.Beedle<sup>9)</sup>によるとラーメン隅角部近傍のはり・柱部材に作用する断面力は、それらのフランジを通じ隅角部に集中力として伝達される。これらの集中力は次式で計算することができる。

$$\begin{array}{l}
 \text{はり部材:} \\
 F_{o1} = \frac{M_1}{d_1} - \frac{N_1}{2} \\
 F_{i1} = \frac{M_1}{d_1} + \frac{N_1}{2}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{柱部材:} \\
 F_{o2} = \frac{M_2}{d_2} - \frac{N_2}{2} \\
 F_{i2} = \frac{M_2}{d_2} + \frac{N_2}{2}
 \end{array}
 \quad (5.1)$$

## 5.3 使用限界状態の照査

### (1) 曲げモーメントと軸力によるフランジの垂直応力

はり理論によると曲げモーメントと軸力による垂直応力は以下の式で求められる。

$$\begin{array}{l}
 \text{はり部材:} \\
 \sigma_{o1} = \frac{M_1}{W_b} - \frac{N_1}{A_b} \\
 \sigma_{i1} = \frac{M_1}{W_b} + \frac{N_1}{A_b}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{柱部材:} \\
 \sigma_{o2} = \frac{M_2}{W_c} - \frac{N_2}{A_c} \\
 \sigma_{i2} = \frac{M_2}{W_c} + \frac{N_2}{A_c}
 \end{array}
 \quad (5.2)$$

### (2) せん断遅れによるフランジの垂直応力

隅角部とはり・柱の結合位置ではせん断力が著しく変化するため、フランジの垂直応力算定においてはせん断遅れを考慮しなければならない。せん断遅れによる応力は以下に示す二つの方法が提案されている。実績の多い  $1.5 < R_j < 6$  の範囲では両者の差異は少ないことが確認されている。

#### a) 奥村・石沢の方法<sup>1)</sup>

$$\begin{array}{l}
 \text{はり部材:} \\
 \sigma_{s1} = \frac{b}{d_1} \frac{F_{i2}}{A_{w1}} S_1 \\
 R_1 = \frac{6A_{f1}}{A_{w1}}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{柱部材:} \\
 \sigma_{s2} = \frac{b}{d_2} \frac{F_{i1}}{A_{w2}} S_2 \\
 R_2 = \frac{6A_{f2}}{A_{w2}}
 \end{array}
 \quad (5.3)$$

#### b) 中井・酒造の方法<sup>4)</sup>

$$\begin{array}{l}
 \text{はり部材:} \\
 \sigma_{s1} = \frac{F_{i2} b}{\sqrt{2s_1^2 + 7s_1 + 3}} \frac{1}{W_b} \\
 s_1 = \frac{A_{w1}}{2A_{f1}}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{柱部材} \\
 \sigma_{s2} = \frac{F_{i1} b}{\sqrt{2s_2^2 + 7s_2 + 3}} \frac{1}{W_c} \\
 s_2 = \frac{A_{w2}}{2A_{f2}}
 \end{array}
 \quad (5.4)$$

### (3) フランジの最大垂直応力

フランジでの最大垂直応力は上記の(1), (2)の合計として以下のように求められる。

$$\begin{array}{l} \text{はり部材: } \sigma_{m01} = \sigma_{o1} + \sigma_{s1} \\ \sigma_{mi1} = \sigma_{i1} + \sigma_{s1} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{柱部材: } \sigma_{m02} = \sigma_{o2} + \sigma_{s2} \\ \sigma_{mi2} = \sigma_{i2} + \sigma_{s2} \end{array} \quad (5.5)$$

### (4) フランジの最大せん断応力

フランジの最大せん断応力は、フランジと腹板との結合点で発生し、せん断流理論により以下のように示される。

$$\text{はり部材: } \tau_{f1} = \beta \frac{V_1 Q_1}{I_1 t_{f1}} \quad \text{柱部材: } \tau_{f2} = \beta \frac{V_2 Q_2}{I_2 t_{f2}} \quad (5.6)$$

$Q_1, Q_2$  : はりおよび柱のフランジと腹板の結合点における図心軸まわりの断面 1 次モーメント

$I_1, I_2$  : はりおよび柱の図心軸まわりの断面 2 次モーメント

### (5) 隅角部腹板のせん断応力

L.S.Beedle の方法に従い、腹板のせん断応力は以下の式で求める。

$$\begin{array}{l} \text{はり部材側: } \tau_{o1} = \frac{F_{o1}}{2d_2 t_w} \\ \tau_{i1} = \frac{F_{i1} - V_2}{2d_2 t_w} = \tau_{o1} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{柱部材側: } \tau_{o2} = \frac{F_{o2}}{2d_1 t_w} \\ \tau_{i2} = \frac{F_{i2} - V_1}{2d_1 t_w} = \tau_{o2} \end{array} \quad (5.7)$$

### (6) 使用限界状態の照査

#### a) フランジの使用限界状態の照査

フランジでは垂直応力とせん断応力とを同時に受けているので、次式によって使用限界状態を照査する。

$$\begin{array}{l} \text{はり部材: } \left( \nu \frac{\sigma_{m01}}{\sigma_y} \right)^2 + \left( \nu \frac{\tau_{f1}}{\tau_y} \right)^2 \leq 1 \\ \left( \nu \frac{\sigma_{mi1}}{\sigma_y} \right)^2 + \left( \nu \frac{\tau_{f1}}{\tau_y} \right)^2 \leq 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{柱部材: } \left( \nu \frac{\sigma_{m02}}{\sigma_y} \right)^2 + \left( \nu \frac{\tau_{f2}}{\tau_y} \right)^2 \leq 1 \\ \left( \nu \frac{\sigma_{mi2}}{\sigma_y} \right)^2 + \left( \nu \frac{\tau_{f2}}{\tau_y} \right)^2 \leq 1 \end{array} \quad (5.8)$$

#### b) 隅角部腹板の使用限界状態の照査

隅角部腹板では、せん断応力が卓越するためこれに対して使用限界状態を照査する。

$$\text{はり部材側} : \nu \frac{\tau_{o1}}{\tau_y} \leq 1 \quad \text{柱部材側} : \nu \frac{\tau_{o2}}{\tau_y} \leq 1 \quad (5.9)$$

### (7) 隅角部の範囲と断面積比

せん断遅れの影響が無くなることから、隅角部の範囲は図 5.3 に示すように隅角部の結合点から外側に奥行き幅の 1/2 離れた位置までとする。また、腹板内のせん断応力度をできるだけ均一化して平均せん断応力に近付けるためにフランジの板厚を大きくとり断面積比を小さくするほうがよい。

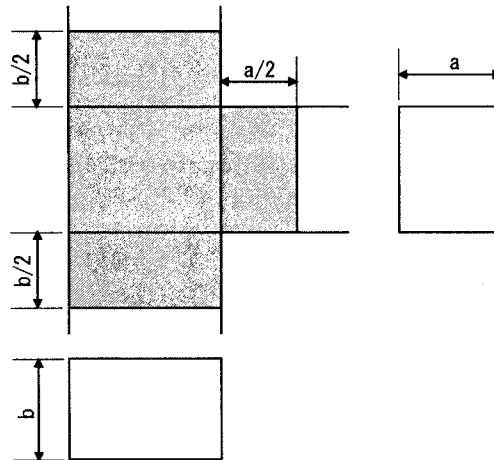


図 5.3 隅角部の範囲

## 5.4 終局限界状態の照査

### (1) フランジの平均応力

終局状態での隅角部近傍のはり・柱部材のフランジの平均応力は以下より求められる。

$$\begin{aligned} \text{はり部材} : \frac{\sigma_{av1}}{\sigma_y} &= \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{t_w}{t_{f1}} \frac{d_2}{b} = \frac{2}{\sqrt{3}} s_{u1} (s_{u1} \leq \sqrt{3}/2) \\ &= 1.0 \quad (s_{u1} > \sqrt{3}/2) \end{aligned} \quad \begin{aligned} \text{柱部材} : \frac{\sigma_{av2}}{\sigma_y} &= \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{t_w}{t_{f2}} \frac{d_1}{b} = \frac{2}{\sqrt{3}} s_{u2} (s_{u2} \leq \sqrt{3}/2) \\ &= 1.0 \quad (s_{u2} > \sqrt{3}/2) \end{aligned} \quad (5.10)$$

### (2) 終局曲げモーメント

はり・柱部材に曲げモーメントとせん断力が作用するとき、von Mises の定理を用いて腹板の応力を評価すると終局曲げモーメントは次式で算出できる。

$$\text{はり部材} : M_{u1} = \sigma_{av1} \left\{ b t_{f1} d_1 + \frac{1}{2} d_1^2 t_w \sqrt{1 - \left( \nu \frac{S_1}{S_{u1}} \right)^2} \right\} \quad (5.11)$$

$$\text{柱部材： } M_{u2} = \sigma_{av2} \left\{ bt_{f2}d_2 + \frac{1}{2}d_2^2t_w \sqrt{1 - \left( \nu \frac{S_2}{S_{u2}} \right)^2} \right\} \quad (5.12)$$

$$\text{ここで、 } S_{u1} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_y d_1 t_w, \quad S_{u2} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_y d_2 t_w \quad \text{である。}$$

### (3) はり・柱部材の終局限界状態の照査

はり・柱の曲げモーメントに対して、終局限界状態は次式で照査を行う。

$$\text{はり部材： } \nu \frac{M_1}{M_{u1}} \leq 1 \quad \text{柱部材： } \nu \frac{M_2}{M_{u2}} \leq 1 \quad (5.13)$$

### (4) 隅角部腹板の終局限界状態の照査

隅角部腹板にはせん断力が卓越して作用するので、次式によって終局限界状態の照査を行う。

$$\text{はり部材側： } \nu \frac{F_{o1}}{S_{u1}} \leq 1 \quad \text{柱部材側： } \nu \frac{F_{o2}}{S_{u2}} \leq 1 \quad (5.14)$$

## 5.5 必要変形能を考慮した終局限界状態の照査

地震時には部材に対して強度だけでなく十分な変形能を有していることが要求される。黄らは、隅角部の変形能を考慮した限界状態の照査法について提案している<sup>7),8)</sup>。

### (1) はりおよび柱部材の制限断面積比

隅角部が十分な変形能を有するためには、隅角部腹板の降伏が先行する崩壊形式でなければならない。この崩壊形式となるためのはり・柱部材の断面積比の制限値は以下の式で与えられる。

$$s_L = \frac{\sqrt{3}\eta_{crf}}{2\eta_s\eta_{crp}} \quad (5.15)$$

$$\eta_s = \sqrt{1 - (0.6\sigma_{ave} / \sigma_{ultf})^2}$$

$$\eta_{crp} = \tau_{ult} / \tau_y = 1.0 \quad : R_p \leq 0.4 \quad \eta_{crf} = \sigma_{ultf} / \sigma_y = 1.0 \quad : R_p \leq 0.4$$

$$= (0.4R_p)^{0.3} : R_p > 0.4 \quad \quad \quad = (0.4R_p)^{0.3} : R_p > 0.4 \quad (5.16)$$

さらに、はり・柱部材の断面積比が次に示す範囲内であれば隅角部の必要変形能は確保される。

$$s/s_L \leq 1 : \text{SS400, SM490 の場合} \quad (5.17)$$

$$s/s_L \leq 0.75 : \text{SM570 の場合} \quad (5.18)$$

## (2) 隅角部腹板の幅厚比パラメータの照査

隅角部腹板の必要変形能が確保される腹板の幅厚比パラメータの制限値は次式で求められる。

$$R_{pL} = 0.4 / \sqrt{\frac{3.2\mu_{req}}{\rho_{sL}(\mu_m + 40)}} \quad (5.19)$$

ただし、 $\rho_{sL}$ は $\rho_s = 1.4 - 0.8(S/S_L)$ より $S/S_L$ のかわりに必要変形能を考慮した断面積比に制限値を代入したもので次の値を用いる。

$$\rho_{sL} = 0.6 : \text{SS400, SM490 の場合} \quad (5.20)$$

$$\rho_{sL} = 0.6 : \text{SM570 の場合} \quad (5.21)$$

また、 $\mu_m, \mu_{req}$ は以下の表に示すとおり。

表 5.1 鋼材の変形能と必要変形能

鋼種	鋼材の変形能	必要変形能
	$\mu_m$	$\mu_{req}$
SS400	112.5	20.0
SM490	79.8	17.5
SM570	19.8	15.0

これより、各使用鋼材における隅角部腹板の幅厚比パラメータの制限値は次のように与えられる。

$$R_{pL} = 0.48 : \text{SS400 の場合} \quad (5.22)$$

$$R_{pL} = 0.45 : \text{SM490 の場合} \quad (5.23)$$

$$R_{pL} = 0.40 : \text{SM570 の場合} \quad (5.24)$$

よって隅角部腹板の終局限界状態は、幅厚比パラメータに対して次のような照査を行う。

$$(R_p / R_{pL}) \leq 1 \quad (5.25)$$

## 5.6 ラーメン隅角部近傍の圧縮フランジプレートにおける局部座屈と全体座屈の照査

ラーメン隅角部近傍のはり・柱部材の圧縮フランジにおける垂直応力度はせん断遅れ現象のために図に示すように分布する。すると補剛板端パネルでは、最大圧縮垂直応力度が発生し局部座屈を起こす可能性がある。また補剛板全体は、平均圧縮応力度をうけており、この応力レベルが高いと全体座屈を起こす可能性がある。これらの座屈は以下のようにして照査する。

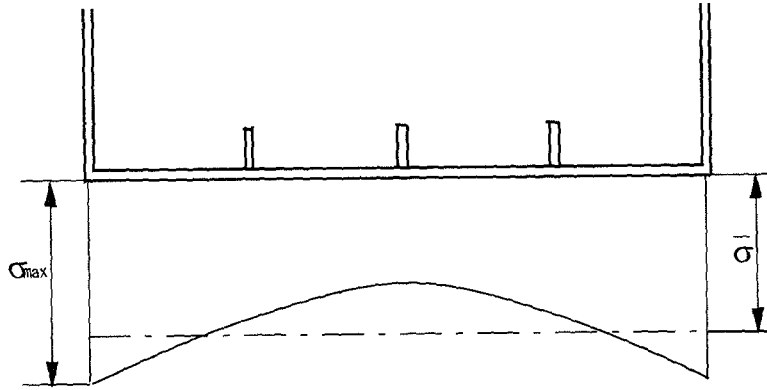


図 5.4 せん断遅れによる垂直応力分布

### (1) 局部座屈の照査

補剛板端パネルのせん断遅れに伴う圧縮応力度による局部座屈の照査は、次式によって行うことができる。

$$\nu \frac{P_e}{P_p} \leq 1 \quad (5.26)$$

ここに、 $P_e = \sigma_{\max} A_e$ 、 $P_p = \bar{\sigma}_p A_e$

$\bar{\sigma}_p$  : 板パネルの終局強度、式(5.33)  $\bar{\sigma}_{esm}$  を  $\sigma_y^*$  とおき式(5.32)によって求められる。

$A_e$  : ラーメン隅角部近傍のはり・柱部材における圧縮補剛板端パネルの断面積

### (2) 全体座屈の照査

平均圧縮応力度を受ける補剛板の全体座屈に対する照査は、次式によって行うことができる。

$$\nu \frac{P_f}{P_{su}} \leq 1 \quad (5.27)$$

ここに、 $P_f = \bar{\sigma} A_f$ 、 $P_{su} = \bar{\sigma}_{su} A_f$

$\bar{\sigma}_{su}$  : 補剛板の終局座屈強度、本節(3)で求められる

$A_e$  : ラーメン隅角部近傍のはり・柱部材における圧縮補剛板の全断面積

### (3) 補剛板の終局座屈強度および板パネルの終局座屈強度

補剛板の終局強度は縦補剛材の本数が少ないときでも、有効補剛材に柱モデルアプローチを用いると次式で与えられる。

$$\bar{\sigma}_{spm} = \frac{1 + b_{eff} t_f / A_l}{1 + b_l t_f A_l} \bar{\sigma}_{esm} \quad (5.28)$$

$$\bar{\sigma}_{su} = \frac{\bar{\sigma}_{spm} n(b_l t_f + A t_f) + \bar{\sigma}_p t_f (b_l + t_w) / 2}{n(b_l t_f + A t_f) + t_f (b_l + t_w) / 2} \quad (5.29)$$

ここに、 $\bar{\sigma}_{esm}$  : 有効補剛材の終局強度

$b_{eff}$  : 補剛板の有効幅

$A_l$  : 縦補剛材の断面積

$b_l$  : 縦補剛材の間隔

$n$  : 縦補剛材の本数

$t$  : 補剛板の板厚

したがって、有効補剛材の終局強度は次式によって求めることができる。

$$\begin{aligned} \frac{\bar{\sigma}_{esm}}{\sigma_y^*} &= 1.0 & (\lambda_{eff} \leq 0.2) \\ &= -\alpha \lambda_{eff}^3 + \beta \lambda_{eff}^2 - \gamma \lambda_{eff} + \delta & (0.2 < \lambda_{eff} \leq 1.2) \end{aligned} \quad (5.30)$$

ここで、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  は表 5.2 で与えられる。

$$\lambda_{eff} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y^*}{E}} \frac{a}{r_{eff}} \quad (5.31)$$

$\sigma_y^*$  : 公称降伏点応力度

$\sigma_{rcp}$  : 補剛板の圧縮残留応力度

表 5.2 係数  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$

鋼材	$\sigma_y^*$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{rcp}/\sigma_y^*$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
SS400	235	0.30	0.223	0.550	0.914	1.136
SM490	313	0.25	0.294	0.638	0.886	1.133
SM520	352	0.23	0.299	0.618	0.852	1.135
SM570	450	0.20	0.425	0.820	0.903	1.142

板パネルの有効幅は次式で求まる。

$$\frac{b_{eff}}{b_l} = \frac{\bar{\sigma}_p}{\sigma_y^*} = 0.702 R_p^3 - 1.640 R_p^2 + 0.645 R_p + 0.926 \quad (5.32)$$

$$R_p = \sqrt{\frac{\sigma_y^*}{\sigma_{crp}}} = 0.526 \frac{b_l}{t} \sqrt{\frac{\bar{\sigma}_{esm}}{E}} \quad (5.33)$$

ただし、 $\bar{\sigma}_p$  : 板パネルの終局強度

$\sigma_{crp}$  : 板パネルの弾性座屈強度



なお、有効補剛材の終局強度の正確な値を決定するためには、若干の繰り返し計算が必要である。最初、式(5.33)において $\bar{\sigma}_{esm}$ を $\sigma_y^*$ とおき $b_{eff}$ の計算を開始し、式(5.30)から $\bar{\sigma}_{esm}$ が求まれば、再度これを用いて $b_{eff}$ を計算して収束するようにする。

## 5.7 ラーメン隅角部に関する既往の研究

隅角部に関する研究はこれまで数多く行われているが、必ずしもそのまま設計に生かせる形にはなっていない。ここでは、そのような文献も含めてラーメン隅角部に関する既往の研究について簡単にまとめた。

L.S.BeedleらはH型断面の門形ラーメンの隅角部に関して、作用断面力と隅角部腹板でのせん断応力の関係<sup>9,10</sup>について求めており、この関係は隅角部設計の際に隅角部腹板のせん断応力算出に用いられている。この後、箱型断面のL形ラーメン隅角部の挙動としてフランジでのせん断遅れ現象が着目された。せん断遅れ現象はせん断力が大きく変動するようなはりで生じるため片持ち、単純、連続はりなどに関して理論解<sup>11-14</sup>が求められている。ラーメン隅角部に関して最初にせん断遅れの理論解を示したのは奥村・石沢<sup>11</sup>であり、その後、中井・酒造らも別途に理論解を求めて実験結果との比較を行っている<sup>4,15</sup>。現行の設計法ではこの両者のどちらかがせん断遅れを考慮したフランジの垂直応力算定式として用いられている。

隅角部の構造や形状は多種多様であるが、箱型断面のL形ラーメン隅角部の設計法をもとにはりと柱の交角が $90^\circ$ 以外の場合<sup>6</sup>、T形<sup>5</sup>や十字形隅角部<sup>16</sup>については設計例が示されている。また、円形柱の場合の隅角部についても検討<sup>11,17</sup>が行われており、現行の設計<sup>2</sup>では等価な箱型断面に置き換えて照査が行われている。その他に八角形断面柱についての研究<sup>18</sup>も行われているが設計法の提案までには至っていないようである。

隅角部近傍の圧縮フランジに対しては、せん断遅れ現象を考慮して座屈照査を行う必要があるが、中井・酒造らはこれについて局部・全体座屈に対する照査法を提案<sup>5,6</sup>している。

このように、L形ラーメン隅角部の許容応力度設計法についてはほぼ確立されていると考えてよいが、実績調査<sup>19,20</sup>や設計上の問題点についても分析<sup>21,22</sup>が行われている。

中井・酒造らは隅角部の限界状態設計法について提案<sup>4,5</sup>を行っている。また、地震時の終局限界状態の照査では変形能の評価が必要となるがこれに関する研究<sup>23,24</sup>も行われている。黄らはこれを進めて隅角部の必要変形能を考慮した隅角部の限界状態照査法<sup>7,8</sup>を提案した。

兵庫県南部地震以降は、再度、地震時に繰り返し荷重を受けるラーメン隅角部の挙動について実験的<sup>25,26</sup>、解析的<sup>27</sup>に検討が行われているが、新しい設計法としての提案には至っていないのが現状である。また、隅角部のみの挙動でなくラーメン全体の中での隅角部の挙動<sup>28,29</sup>についても研究が行われており、さらに進めてはり部材の塑性せん断変形により隅角部腹板の変形を小さくする効果<sup>30,31</sup>も報告されている。兵庫県南部地震で生じた隅角部での実被害はき裂発生によるじん性破壊であった。この被害原因は隅角部におけるひずみ集中であり<sup>32,33</sup>、Rつき補強リブを取り付けることでひずみ集中を低減できる<sup>33</sup>ことが報告されている。

ラーメン隅角部はこのように地震時における終局限界状態に対する照査について研究が進められているものの設計法が確立されておらず、これからの課題だといえる。隅角部にどの程度の変形能力を期待するのか、またそれを満たす隅角部の照査方法についての提案が急がれる。少なくとも黄らによ

って照査法が提案<sup>7),8)</sup>されているので、未検討となっている動的な荷重条件下やラーメン全体の挙動のなかで成り立つのか確認する必要がある。この他、複雑な構造や形状の隅角部に対しては多種多様で一般化が難しいと考えられるため、要求性能のみ定めておいてそのつど有限要素法で確認する手法が有効であるとされている<sup>34)</sup>。

## 参考文献

- 1) 奥村敏恵, 石沢成夫: 薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について, 土木学会論文集, pp.1-18,1968.
- 2) 阪神高速道路公団: 構造物設計基準(橋梁編), 第2編鋼構造, 1994.
- 3) 名古屋高速道路公社: 鋼構造物設計基準,1999.
- 4) 中井博, 酒造敏廣, 橋本良之: せん断遅れ現象を考慮した鋼製ラーメン隅角部の限界状態設計法について, 土木学会論文集, No.455, pp.95-104, 1992.
- 5) 中井博, 橋本良之, 酒造敏廣, 祝賢治: 鋼製ラーメン橋脚隅角部の限界状態設計法とその数値計算例, 橋梁と基礎, No.1,pp.43-52,1993.
- 6) 鋼構造物の終局強度と設計, 土木学会, 1994.
- 7) 黄元燮, 西村宣男, 西野滋博: 鋼製ラーメン隅角パネルの強度および変形能の評価法, 構造工学論文集, Vol.40A, pp.201-214, 1994.
- 8) 黄元燮: 鋼製ラーメン橋脚隅角部の弾塑性挙動と限界状態照査法に関する研究, 大阪大学学位論文 1993.
- 9) Lynn S. Beedle, A.A.Topractsoglou and Bruce G. Johnston: Connections for Welded Continuous Portal Frames part II, Welding Research Supplement, pp.397-405,1951.Aug.
- 10) A.A.Topractsoglou, Lynn S. Beedle and Bruce G. Johnston: Connections for Welded Continuous Portal Frames part I, Welding Research Supplement, pp.359-384,1951.July.
- 11) 近藤和夫, 小松定夫, 中井博: 鋼床板桁橋の有効巾に関する研究, 土木学会論文集, 第 86 号, pp.1-17,1962.
- 12) 中井博, 事口壽男: 伝達マトリックス法による鋼床版連続桁橋の有効幅の解析, 土木学会論文報告集, 第 251 号,pp.29-44,1976.
- 13) 稼農知徳, 薄木征三, 堀江保: せん断変形を考慮した薄肉断面直線ばりの理論, 土木学会論文報告集, 第 282 号,pp.1-13,1979.
- 14) 堀江保, 薄木征三, 長谷部薫, 渡辺昇: 曲げを受ける薄肉部材のせん断変形解析, 橋梁と基礎, No12,pp.27-33,1986.
- 15) 中井博, 福岡悟, 酒造敏廣, 明橋克良: 鋼製ラーメン隅角部の shear lag と耐荷力に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.33A,1987
- 16) 石橋和美, 森本千秋, 小林徳寿, 依田照彦: 鋼製橋脚隅角部の設計上の諸問題と一考察, 橋梁と基礎, Vol.24,No.4, pp.21-27,1990.
- 17) 浜島良吉, 奥村敏恵: 円筒柱形ラーメン隅角部における応力集中について, 土木学会論文報告集, 第 292 号,pp.29-40, 1979.
- 18) 山田尚之, 青木徹彦: 鋼製八角形断面柱を有するラーメン隅角部の静的および繰返し強度特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.197-205, 1996.
- 19) 中井博, 北田俊行, 河井章好, 酒造敏廣, 吉川紀: 鋼製ラーメン橋脚の実績調査(上), 橋梁と

- 基礎, Vol.16,No.6,pp.35-42,1982.
- 20) 中井博, 北田俊行, 河井章好, 酒造敏廣, 吉川紀: 鋼製ラーメン橋脚の実績調査 (下), 橋梁と基礎, Vol.16,No.7,pp.43-49,1982.
  - 21) 中井博, 河合章好, 北田俊行, 酒造敏廣, 吉川紀: 鋼製高橋脚の設計上の諸問題, 橋梁と基礎, Vol.17, No.2, pp.28-35,1983.
  - 22) 石橋和美, 小林徳寿, 森本千秋, 依田照彦: 鋼製橋脚隅角部の設計上の諸問題と一考察, 橋梁と基礎, No.4,pp.21-27,1990.
  - 23) 酒造敏廣, 事口壽男: 鋼製ラーメン隅角部の崩壊性状と変形性能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.121-134, 1991.
  - 24) 黄元燮, 西村宣男, 高津秀俊: 鋼製ラーメン橋脚隅角部の強度と変形能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.40A,pp.201-214, 1994
  - 25) 宇佐美勉, 戸谷和彦, 鈴木森晶, 是津文章: 繰り返し荷重を受ける鋼製門形ラーメンの強度と変形能に関するパイロット実験, 構造工学論文集, Vol.41A, pp.289-300, 1995.
  - 26) 青木徹彦, 長谷川桂, 山田将樹: 鋼製ラーメン橋脚隅角部モデルの曲げおよび繰り返し強度特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.43, pp.177-186, 1997.
  - 27) 池内智行, 西村宣男: 繰り返し曲げを受ける鋼製ラーメン橋脚隅角部の変形能, 鋼構造年次論文報告集, 第5巻, pp.199-206, 1997.
  - 28) 酒造敏廣, 事口壽男, 長田好夫: 鋼変断面ラーメンの非弾性地震応答性状と崩壊モードに関する研究, 構造工学論文集, Vol.43A,pp.205-216,1997.
  - 29) 西川和廣, 村越潤, 高橋実, 岡本隆, 池田茂, 森下泰光: 鋼製ラーメン橋脚の耐力と変形性能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.235-244, 1999.
  - 30) 酒造敏廣: せん断崩壊型はり部材を有する鋼門形ラーメンの非弾性地震応答性状に関する研究, 構造工学論文集, Vol.44A,pp.169-178,1998.
  - 31) 酒造敏廣, 山田幸: はり中間部腹板のせん断崩壊を伴う鋼2層門形ラーメンの非弾性地震応答解析, 構造工学論文集, Vol.45A,pp.227-234,1999.
  - 32) 岡下勝彦, 大南亮一, 道場康二, 山本晃久, 富松実, 丹治康行, 三木千壽: 兵庫県南部地震による神戸港港湾幹線道路 P75 橋脚隅角部におけるき裂損傷の原因調査・検討, 土木学会論文集, No.591/I-43,pp.243-261,1998.
  - 33) 三木千壽, 四十沢利康, 穴見健吾: 鋼製橋脚ラーメン隅角部の地震時脆性破壊, 土木学会論文集, No.591, pp.273-281, 1998.
  - 34) 鋼構造物設計指針 PART A, 土木学会,1997.