

面内面外荷重を受ける 鋼製ラーメン隅角部の応力計算について

Design of Steel Rigid Frame Structures
Subjected to In-Plane and Out-Plane Loads

街 道 浩*
Hiroshi KAIDO

1. はじめに

吊橋や斜張橋の主塔および高架橋の橋脚などの鋼製薄肉箱形断面部材で構成されたラーメン構造において、梁部材と柱部材との剛結合部分(以降隅角部と呼ぶ)は、一方から作用した内力を直角あるいは直角に近い角度の内力に変換する働きを持っている。

この働きのため隅角部の応力分布は、一般部に比較し次のような特徴を持っている。

- ① 梁部材の曲げモーメントが柱部材の曲げモーメントに伝達されるときに、隅角部のウェブがシアパネル(せん断応力伝達板)として働くことになる。このため、ウェブに大きなせん断応力が作用し、せん断崩壊する危険性を生ずる。
- ② 隅角部のフランジが交差する部分では、一方のフランジに作用する応力は、直交するもう一方のフランジに集中力として作用することになる。このため、せん断力が急変し、フランジの垂直応力分布におけるシアラグ(せん断遅れ)現象が顕著に現れる。

これらの応力状態は、初等梁理論により算出する応力度と著しく異なるため、隅角部の設計に際して留意すべき事項となっている。

隅角部の設計方法については、奥村・石沢の研究¹⁾が著名である。この設計方法は、隅角部を薄板の集合体として捉え、それぞれの薄板に作用する集中力を計算し、これより発生応力を算出するものである。また、シアラグの影響は、一般に用いられているように道路橋示方書²⁾などに示されたフランジの有効幅により評価するのではなく、作用曲げモーメントを級数展開³⁾し、これよりシアラグによる垂直応力を推定する方法を採用している。現

在、この研究で提案された隅角部の計算方法は、各公団・公社の設計基準^{4)~6)}に採用されている。また、いくつかの報告によりその計算方法の妥当性が示されている(例えば文献7), 8))。

最近、構造物は交通条件、立地条件などにより複雑化し、ラーメン構造物が多用されるようになってきた。それに伴い隅角部も複雑な形状のものが多くなり、作用する荷重も多様化している。前述の隅角部の設計方法は、実際の設計の便宜を考慮した簡便な計算方法ではあるが、作用断面力が隅角部面内に限られているため、最近の隅角部に見られるような複雑な作用荷重に対しては十分に対応できない場合がある。例えば、面外曲げモーメントやねじりモーメントが卓越するような隅角部には適用できない。

本報告は、このような隅角部に作用する面外断面力の処理方法について述べるものである。具体的には、奥村・石沢の応力計算方法を面外断面力に適用し、集中力によりフランジ断面に生ずるせん断応力およびウェブのシアラグ現象を評価する。なお、計算の整合性を明確にするため、面内断面力に関する計算方法についても記述する。さらに、面外荷重を受ける隅角部の有限要素解析を行い、本報告において述べる計算方法の妥当性について検証する。

2. 集中力によるせん断応力の計算

隅角部のウェブおよびフランジに生ずるせん断応力は、一般に用いられている初等梁理論により得られる結果と著しく異なることはよく知られている。ここでは、隅角部に作用するせん断応力の計算方法について述べる。

*川田工業(株)技術本部技術部設計三課

対象とする隅角部は、図-1に示すような2方向の梁部材と2方向の柱部材が結合した隅角部とする。また、作用する断面力の方向および各部材の番号を同図に示す。なお、計算に使用する断面力は文献1)および各公団・公社の設計基準^{4)~6)}に従い、図-2に示すフランジ交差位置における断面力を用いるものとする。

(1) 面内断面力によるせん断応力の計算

隅角部を薄板の集合体であると考え、力の伝達は薄板を介して行われるものとする。図-3に示すように梁部材の面内曲げモーメントはフランジに集中力として作用し、隅角部のウェブをシアパネルとして、柱部材の面内曲げモーメントに変換される。シアパネルに作用するせん断応力は、以下に示す方法により評価する。

図-4に隅角部に作用する面内断面力(面内曲げモーメント、面内せん断力、軸力)と、フランジに作用する集中力および発生するせん断応力を示す。

まず、フランジに作用する集中力を次式により求める。

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{M_1}{d_1} + \frac{N_1}{2}, & F_1' &= \frac{M_1}{d_1} - \frac{N_1}{2} \\ F_2 &= \frac{M_2}{d_2} + \frac{N_2}{2}, & F_2' &= \frac{M_2}{d_2} - \frac{N_2}{2} \\ F_3 &= \frac{M_3}{d_1} + \frac{N_3}{2}, & F_3' &= \frac{M_3}{d_1} - \frac{N_3}{2} \\ F_4 &= \frac{M_4}{d_2} + \frac{N_4}{2}, & F_4' &= \frac{M_4}{d_2} - \frac{N_4}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

M_i : 部材*i*に作用する面内曲げモーメント
[kg・cm]

S_i : 部材*i*に作用する面内せん断力[kg]

N_i : 部材*i*に作用する軸力[kg]

F_i, F_i' : 部材*i*のフランジに作用する集中力[kg]

d_1 : 梁部材のフランジ中心間隔[cm]

d_2 : 柱部材のフランジ中心間隔[cm]

フランジに作用する集中力 F_i, F_i' は、隅角部においてウェブのせん断応力に変換される。2枚のウェブ断面が集中力に対して抵抗するものとして、次式のようにせん断応力を求める。

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= \frac{S_1 - F_2 + F_4}{2d_1 \cdot t_w} \\ \tau_2 &= \frac{S_2 - F_1' + F_3'}{2d_2 \cdot t_w} \\ \tau_3 &= \frac{S_3 - F_2' + F_4'}{2d_1 \cdot t_w} \\ \tau_4 &= \frac{S_4 - F_1 + F_3}{2d_2 \cdot t_w} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、

$\tau_1 \sim \tau_4$: ウェブに作用するせん断応力[kg/cm²]

t_w : ウェブ厚[cm]

式(2)により求めたせん断応力を次式により照査する。

$$\tau_1 \sim \tau_4 \leq \tau_a = 0.45 \sigma_a \dots\dots\dots(3)$$

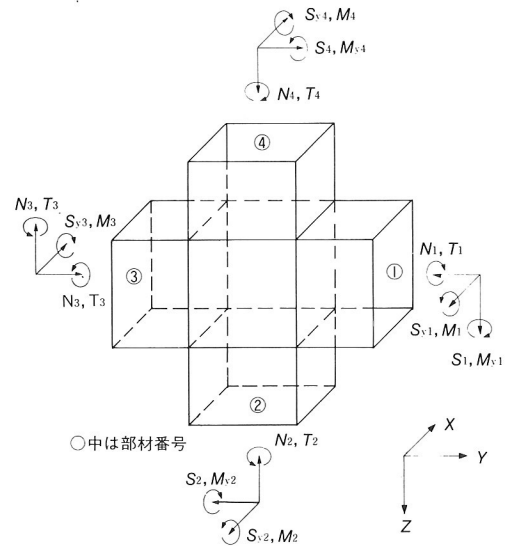


図-1 断面力の方向および部材番号

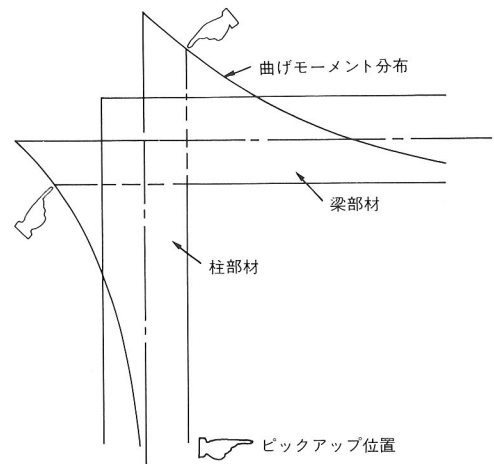


図-2 断面力ピックアップ位置

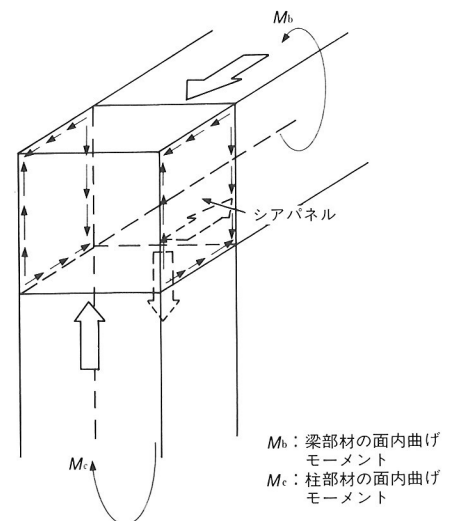


図-3 面内断面力に対するシアパネル

ここに,

σ_a : 許容引張り応力度[kg/cm²]

許容せん断応力度を一般部($\tau_a = \sigma_a/\sqrt{3}$)に比べ特に低くしているのは、式(2)においてウェブ断面内で均一としているせん断応力分布が、実際の隅角部では不均一であること、またそれが放物線分布に近いことによるものである¹⁾。

(2) 面外断面力によるせん断応力の計算

図-5に示すように、梁部材に作用する面外曲げモーメントは、梁部材のウェブに集中力として作用し、隅角部の梁部材フランジをシアパネルとして、柱部材のねじりモーメントに変換される。また、梁部材に作用するねじりモーメントは、梁部材のフランジおよびウェブに集中力として作用し、隅角部の柱部材フランジをシアパネルとして、柱部材の面外曲げモーメントに変換される。これらのシアパネルとして働くフランジに作用するせん断応力は、(1)節におけるウェブのせん断応力と同様の評価方法が必要である。

面内断面力によるせん断応力の計算と同様な考え方を面外断面力に適用すると、面外断面力(面外曲げモーメント、面外せん断力、ねじりモーメント)、フランジおよびウェブに作用する集中力、発生するせん断応力は図-6、7に示すとおりとなる。

ここで、フランジおよびウェブに作用する集中力は次式により求めることができる。

a) 隅角側面

$$\left. \begin{aligned} F_{y2} &= \frac{M_{y2}}{b_2} + \frac{N_2}{2}, & F_{y2}' &= \frac{M_{y2}}{b_2} - \frac{N_2}{2} \\ F_{y4} &= \frac{M_{y4}}{b_2} + \frac{N_4}{2}, & F_{y4}' &= \frac{M_{y4}}{b_2} - \frac{N_4}{2} \\ F_{t1} &= \frac{T_1}{2b_2}, & F_{t1}' &= \frac{T_1}{2d_1} \\ F_{t3} &= \frac{T_3}{2b_2}, & F_{t3}' &= \frac{T_3}{2d_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

b) 隅角平面

$$\left. \begin{aligned} F_{y1} &= \frac{M_{y1}}{b_1} + \frac{N_1}{2}, & F_{y1}' &= \frac{M_{y1}}{b_1} - \frac{N_1}{2} \\ F_{y3} &= \frac{M_{y3}}{b_1} + \frac{N_3}{2}, & F_{y3}' &= \frac{M_{y3}}{b_1} - \frac{N_3}{2} \\ F_{t2} &= \frac{T_2}{2b_1}, & F_{t2}' &= \frac{T_2}{2d_2} \\ F_{t4} &= \frac{T_4}{2b_1}, & F_{t4}' &= \frac{T_4}{2d_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

ここに,

M_{yi} : 部材*i*に作用する面外曲げモーメント

[kg・cm]

S_{yi} : 部材*i*に作用する面外せん断力[kg]

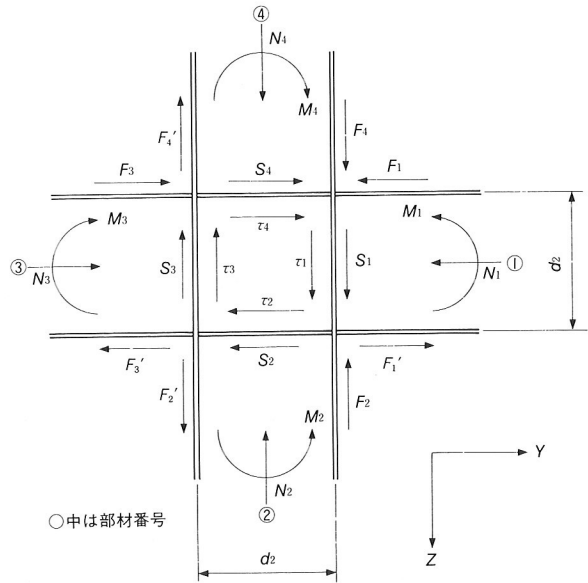


図-4 隅角面内の集中力とせん断応力

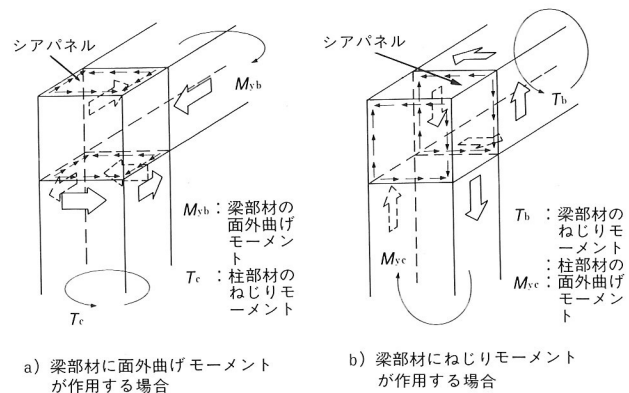


図-5 面外断面力に対するシアパネル

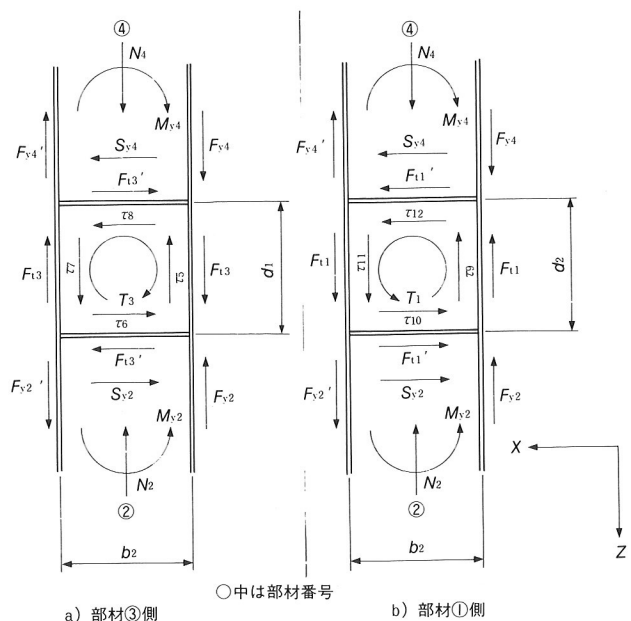


図-6 隅角側面の集中力とせん断応力

N_i : 部材 i に作用する軸力[kg]

T_i : 部材 i に作用するねじりモーメント

[kg・cm]

F_{yi}, F_{yi}' : 部材 i のウェブに作用する集中力[kg]

F_{ti}, F_{ti}' : 部材 i のフランジおよびウェブに作用する集中力[kg]

b_1 : 梁部材のウェブ中心間隔[cm]

b_2 : 柱部材のウェブ中心間隔[cm]

式(5)により得られる集中力に対し図-5に示したシアパネルが抵抗するものとする、次式により発生するせん断応力を求めることができる。

a) 隅角側面

部材③側

$$\left. \begin{aligned} \tau_5 &= \frac{F_{y2} - F_{y4}}{2d_1 \cdot t_{fc}} + \frac{S_3/2 - F_{t3}}{d_1 \cdot t_{fc}} \\ \tau_6 &= \frac{S_{y2}}{2b_2 \cdot t_{fc}} + \frac{-S_{y3}/2 - F_{t3}'}{b_2 \cdot t_{fc}} \\ \tau_7 &= \frac{F_{y2}' - F_{y4}'}{2d_1 \cdot t_{fc}} + \frac{-S_3/2 - F_{t3}}{d_1 \cdot t_{fc}} \\ \tau_8 &= \frac{S_{y4}}{2b_2 \cdot t_{fc}} + \frac{S_{y3}/2 - F_{t3}'}{b_2 \cdot t_{fc}} \end{aligned} \right\}$$

.....(6)

部材①側

$$\left. \begin{aligned} \tau_9 &= \frac{F_{y2} - F_{y4}}{2d_1 \cdot t_{fc}} + \frac{-S_1/2 + F_{t1}}{d_1 \cdot t_{fc}} \\ \tau_{10} &= \frac{S_{y2}}{2b_2 \cdot t_{fc}} + \frac{S_{y1}/2 + F_{t1}'}{b_2 \cdot t_{fc}} \\ \tau_{11} &= \frac{F_{y2}' - F_{y4}'}{2d_1 \cdot t_{fc}} + \frac{S_1/2 + F_{t1}}{d_1 \cdot t_{fc}} \\ \tau_{12} &= \frac{S_{y4}}{2b_2 \cdot t_{fc}} + \frac{-S_{y1}/2 + F_{t1}'}{b_2 \cdot t_{fc}} \end{aligned} \right\}$$

.....(7)

b) 隅角平面

部材④側

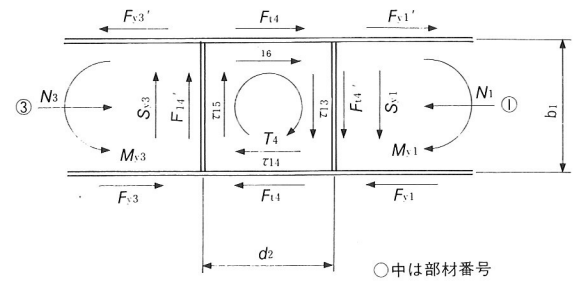
$$\left. \begin{aligned} \tau_{13} &= \frac{S_{y1}}{2b_1 \cdot t_{fb}} + \frac{-S_{y4}/2 + F_{t4}'}{b_1 \cdot t_{fb}} \\ \tau_{14} &= \frac{F_{y1} - F_{y3}}{2d_2 \cdot t_{fb}} + \frac{-S_4/2 + F_{t4}}{d_2 \cdot t_{fb}} \\ \tau_{15} &= \frac{S_{y3}}{2b_1 \cdot t_{fb}} + \frac{S_{y4}/2 + F_{t4}'}{b_1 \cdot t_{fb}} \\ \tau_{16} &= \frac{F_{y1}' - F_{y3}'}{2d_2 \cdot t_{fb}} + \frac{S_4/2 + F_{t4}}{d_2 \cdot t_{fb}} \end{aligned} \right\}$$

.....(8)

部材②側

$$\left. \begin{aligned} \tau_{17} &= \frac{S_{y1}}{2b_1 \cdot t_{fb}} + \frac{S_{y2}/2 - F_{t2}'}{b_1 \cdot t_{fb}} \\ \tau_{18} &= \frac{F_{y1} - F_{y3}}{2d_2 \cdot t_{fb}} + \frac{S_2/2 - F_{t2}}{d_2 \cdot t_{fb}} \\ \tau_{19} &= \frac{S_{y3}}{2b_1 \cdot t_{fb}} + \frac{-S_{y2}/2 - F_{t2}'}{b_1 \cdot t_{fb}} \\ \tau_{20} &= \frac{F_{y1}' - F_{y3}'}{2d_2 \cdot t_{fb}} + \frac{-S_2/2 - F_{t2}}{d_2 \cdot t_{fb}} \end{aligned} \right\}$$

.....(9)



a) 部材④側

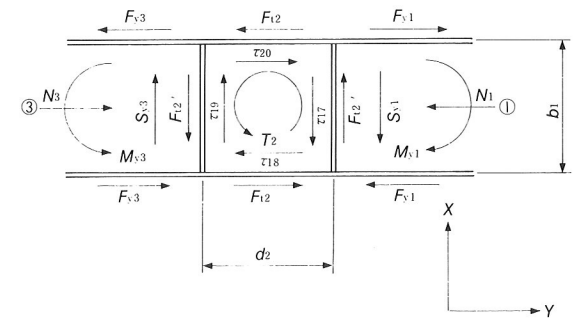


図-7 隅角平面の集中力とせん断応力

ここに、

$\tau_5 \sim \tau_{20}$: フランジに作用するせん断応力[kg/cm²]

t_{fb} : 梁部材のフランジ厚[cm]

t_{fc} : 柱部材のフランジ厚[cm]

上式により求めたせん断応力は、式(3)により照査する。

3. フランジ交差位置における断面計算

隅角部のフランジの交差位置において、各部材のフランジは直交するフランジから集中力を受けることになる。小松の研究⁹⁾では、箱桁のフランジの荷重集中点においてはシアラグの影響が著しいことが明らかにされており、隅角部のフランジ交差位置の垂直応力計算にもこの影響を正確に反映する必要があると考えられる。

奥村・石沢は文献1)において、フランジに直角に作用する集中力からシアラグによる垂直応力を推定する方法を提案している。ここでは、面内面外の集中力にこの方法を適用し、フランジおよびウェブのシアラグによる垂直応力を評価できる断面計算方法について述べる。

断面形状は図-8に示すとおりである。断面計算は、図-2に示すフランジ交差位置で行う。なお、この位置ではフランジおよびウェブの縦リブが不連続となるため、断面定数の算出に縦リブを含めないものとする¹⁰⁾。

(1) 面内断面力による垂直応力

軸力による垂直応力は次式で計算する。

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad \text{.....(10)}$$

ここに、

σ_N : 軸力による垂直応力[kg/cm²]

N : 断面に作用する軸力[kg]

A : 縦リブの断面積を含まない純断面積[cm²]

面内曲げモーメントによる垂直応力度は次式で計算する。

$$\sigma_B = \frac{M}{I} y \quad \dots\dots\dots(11)$$

ここに,

σ_B : 面内曲げモーメントによる垂直応力[kg/cm²]

M : 断面に作用する面内曲げモーメント[kg・cm]

I : 縦リブを含まない面内断面 2 次モーメント
[cm⁴]

y : 中立軸から着目点までの Y 方向の距離[cm]

フランジのシアラグによる垂直応力は次のように計算する。フランジに直角に作用する集中力 F [kg] は、次に示すとおりである (図-9 参照)。

$$\left. \begin{array}{l} \text{部材①: } F = F_4 - F_2 \\ \text{部材②: } F = F_3' - F_1' \\ \text{部材③: } F = F_4' - F_2' \\ \text{部材④: } F = F_3 - F_1 \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式(12)の集中力を次式に代入することにより、フランジのシアラグによる垂直応力を計算することができる。

$$\sigma_s = \frac{b \cdot F}{d \cdot 2A_w} S^* \quad \dots\dots\dots(13)$$

S^* は文献 1) に示されたシアラグの推定表から R によって定まる係数である。

$$R = \frac{6A_f}{2A_w} \quad \dots\dots\dots(14)$$

ここに,

σ_s : 面内のシアラグによる垂直応力[kg/cm²]

b : ウェブの中心間隔[cm]

d : フランジの中心間隔[cm]

A_f : フランジ 1 枚当たりの断面積[cm²]

A_w : ウェブ 1 枚当たりの断面積[cm²]

(2) 面外断面力による垂直応力

面外曲げモーメントによる垂直応力度は、次式で計算する。

$$\sigma_{By} = \frac{M_y}{I_y} x \quad \dots\dots\dots(15)$$

ここに,

σ_{By} : 面外曲げモーメントによる垂直応力[kg/cm²]

M_y : 断面に作用する面外曲げモーメント[kg・cm]

I_y : 縦リブを含まない面外断面 2 次モーメント
[cm⁴]

x : 中立軸から着目点までの X 方向の距離[cm]

ウェブのシアラグによる垂直応力は、次のように計算する。ウェブの直角に作用する集中力 F_y [kg] は、次に示すとおりである (図-10, 11 参照)。

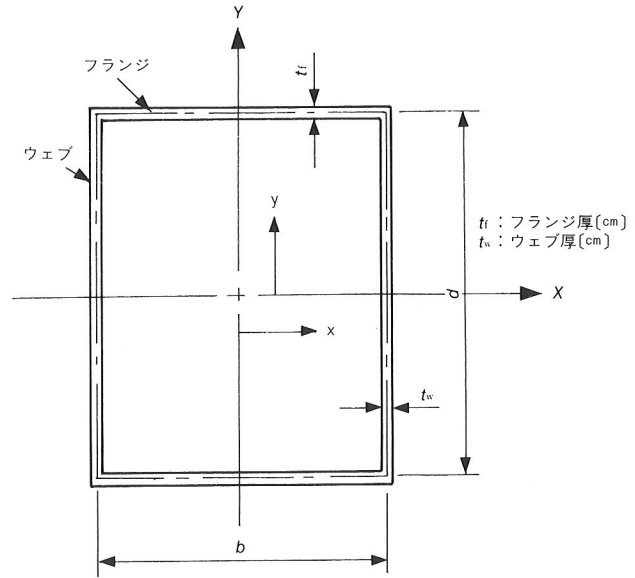


図-8 断面形状

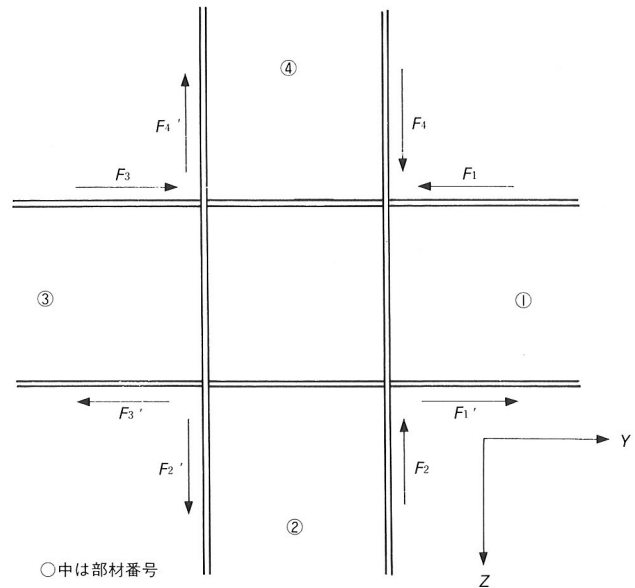


図-9 フランジに直角に作用する集中力

a) 隅角側面

部材③側

$$\text{部材②: } F_y = -F_{t3}' - S_{y3}/2$$

$$\text{部材④: } F_y = -F_{t3}' + S_{y3}/2$$

部材①側

$$\text{部材②: } F_y = F_{t1}' + S_{y1}/2$$

$$\text{部材④: } F_y = F_{t1}' - S_{y1}/2$$

b) 隅角平面

部材④側

$$\text{部材①: } F_y = F_{t4}' - S_{y4}/2$$

$$\text{部材③: } F_y = F_{t4}' + S_{y4}/2$$

部材②側

$$\text{部材①: } F_y = -F_{t2}' + S_{y2}/2$$

$$\text{部材③: } F_y = -F_{t2}' - S_{y2}/2$$

.....(16)

式(16)の集中力を次式に代入することにより、ウェブのシアラグによる垂直応力を計算することができる。

$$\sigma_{sy} = \frac{d \cdot 2F_y}{b \cdot 2A_f} S_y^* \quad \text{.....(17)}$$

S_y^* は文献1)に示されたシアラグの推定表から R_y によって定まる係数である。

$$R_y = \frac{6A_w}{2A_f} \quad \text{.....(18)}$$

ここに、

σ_{sy} ：シアラグによる垂直応力[kg/cm²]

フランジのシアラグによる垂直応力を求める式(13)と異なり、式(17)では集中力 F_y を2倍にしている。これは次のような理由によるものである。図-10, 11に示すように、ウェブに直角に作用する集中力はウェブの両側において方向および大きさが異なるため、個々の集中力についてシアラグの影響を評価する必要がある。そこで、集中力が薄板の幅方向に一樣に分布する場合のシアラグの影響と、偏って分布する場合のシアラグの影響を図-12のように関係づける。すなわち、集中力を同じ大きさとして、シアラグによる垂直応力の最大値は、端部に偏って分布する方が一樣に分布する場合の2倍となる。このため、式(17)の集中力 F_y を2倍としている。

(3) 垂直応力の合計

以上のようにして求めた垂直応力は図-13のように断面の各箇所において重ね合わせ、次式によって照査を行う。

$$\sigma_1 \sim \sigma_8 \leq \sigma_a \quad \text{.....(19)}$$

ここに、

$\sigma_1 \sim \sigma_8$ ：図-13に示す各箇所における垂直応力度

[kg/cm²]

σ_a ：許容引張り応力度[kg/cm²]

4. 計算方法の妥当性の検証

面外断面力が作用する隅角部の3次元有限要素解析を行い、この結果から得られる応力値と上述の計算方法による応力値との比較により計算方法の妥当性を検証する。

解析モデルは、図-14に示すような1本の梁部材と1本の柱部材からなるL形の隅角部である。フランジ幅を B とすると、隅角部およびフランジ交差位置から $2B$ までの梁部材および柱部材を、ラーメン構造から抽出する。文献11)ではフランジの交差位置から $0.5B$ 離れた所で応力の乱れはほぼ収まり、応力値は初等梁理論と一致してくると報告している。このため、抽出部分の寸法は十分余裕を持ったものと考えられる。

境界条件として、解析モデルの柱部材端部の並進変位

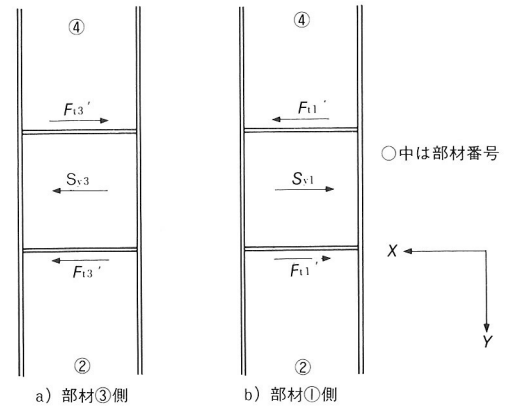


図-10 柱部材のウェブに直角に作用する集中力

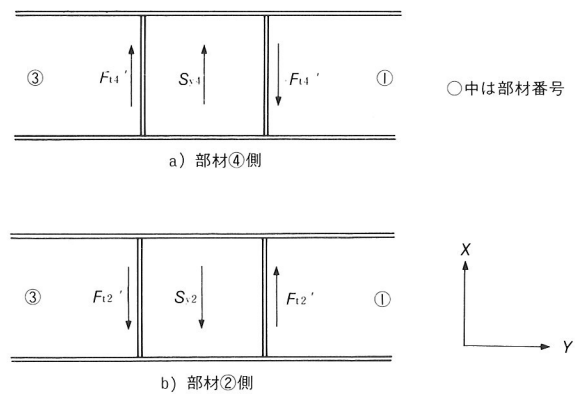


図-11 梁部材のウェブに直角に作用する集中力

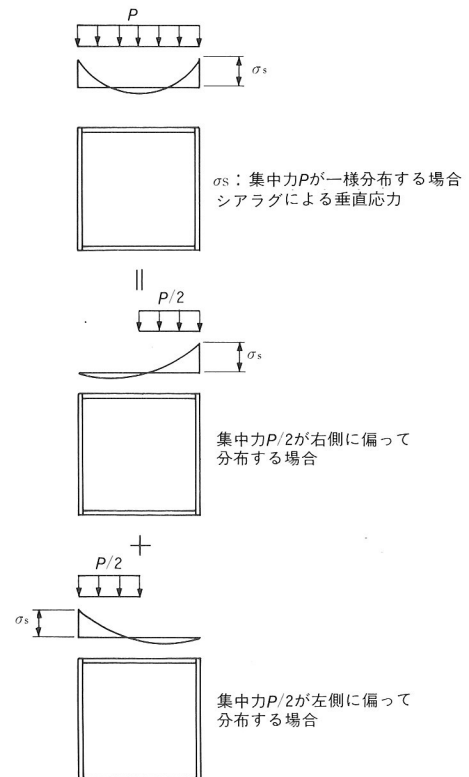


図-12 集中力が一様分布する場合と偏って分布する場合とのシアラグによる垂直応力の関係

3成分および回転変位3成分計6成分を拘束する。作用断面力は、隅角部の梁部材にねじりモーメントが卓越して作用する場合を想定したものであり、各成分の大きさは以下に示すとおりである。

面外曲げモーメント $M_y = -460.3 \text{ t}\cdot\text{m}$

面外せん断力 $S_y = 107.7 \text{ t}$

ねじりモーメント $T = 827.7 \text{ t}\cdot\text{m}$

これらの断面力をX, Y, Z方向の外力に置き換えて梁部材端部に载荷する。

各部材の主応力図を図-15~17に示す。梁部材のウェブおよびフランジは、主方向と部材方向の成す角度が40°前後であり、せん断応力が卓越している。一方柱部材では、ウェブの主方向と部材方向がほぼ一致しており、部材方向の垂直応力が卓越している。このため、図-5, b)に示すように、梁部材に作用するねじりモーメントが、隅角部を介し柱部材の面外曲げモーメントとなって伝達されていることがわかる。また、柱部材のフランジは、隅角部において主方向と部材方向がほぼ45°の角度を成し、せん断応力が卓越していることがわかる。特に、内側のフランジの主応力値が大きく、シアパネルとして働いていることが明らかである。

各部材の垂直応力分布およびせん断応力分布を、図-18~20および図-21~23に示す。シアラグの影響は、柱部材のウェブにおいてフランジ交差位置から隅角の内部方向に0.5B, 外部方向に1.0Bの範囲の垂直応力分布に顕著に見られる。文献1)および各公団・公社の基準におい

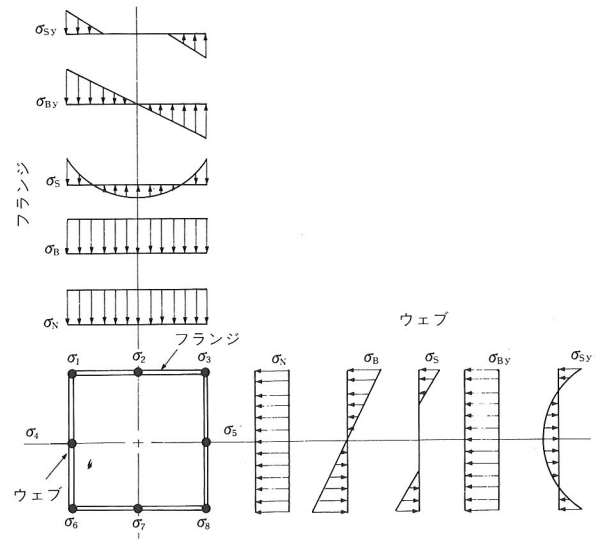


図-13 垂直応力の合計

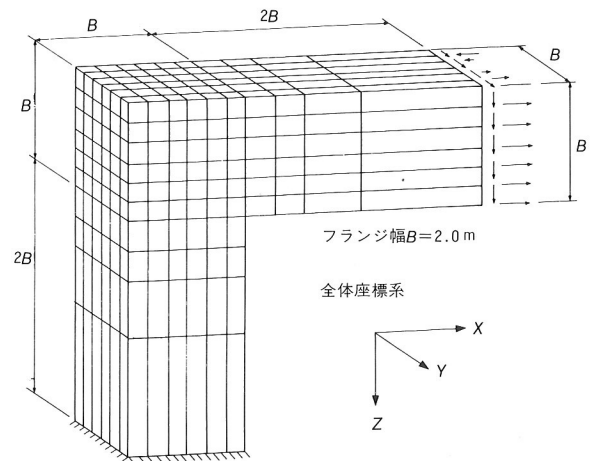


図-14 解析モデル

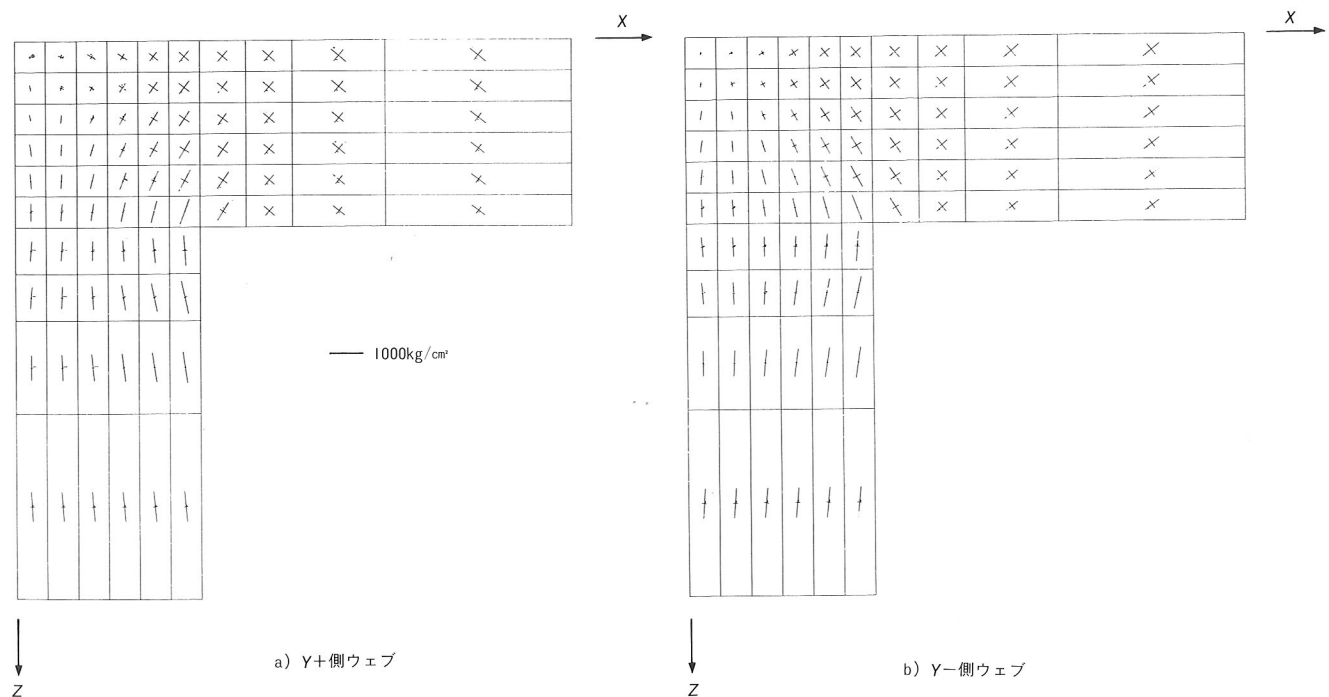


図-15 ウェブの主応力図

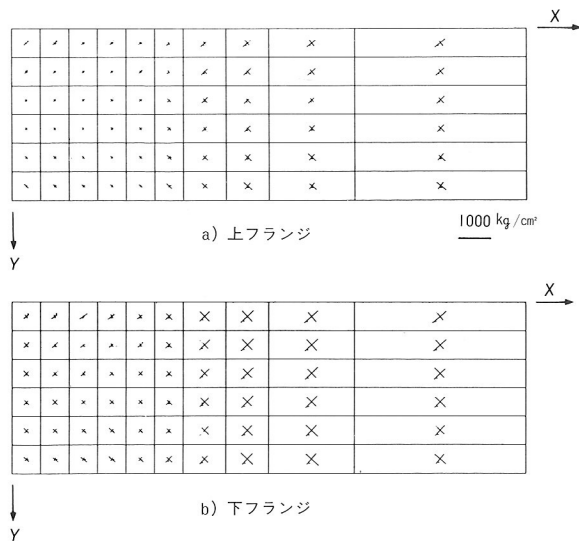


図-16 梁部材フランジの主応力図

て照査を行う断面A-A(図-18)の垂直応力分布, および式(15), (17)より求めた応力値を図-24に示す。垂直応力の最大値は解析値の方がやや大きく, 両者の差は 35 kg/cm^2 程度である。この結果より, 解析値と計算値はよく一致していることがわかる。なお, A-A断面から隅角の外部方向に $0.25B$ 離れた箇所の方が, A-A断面よりもシアラゲの影響がやや大きい。しかし, この箇所では解析上考慮していない縦リブが断面の剛性を高めるため, 実際に生ずる応力度はA-A断面より小さいものと考えられる。

隅角部のせん断応力は, シアパネルとして働く柱部材の内側のフランジにおいて大きく, フランジの板幅方向の中央で最大値を示す。最も応力値の大きい断面B-B(図

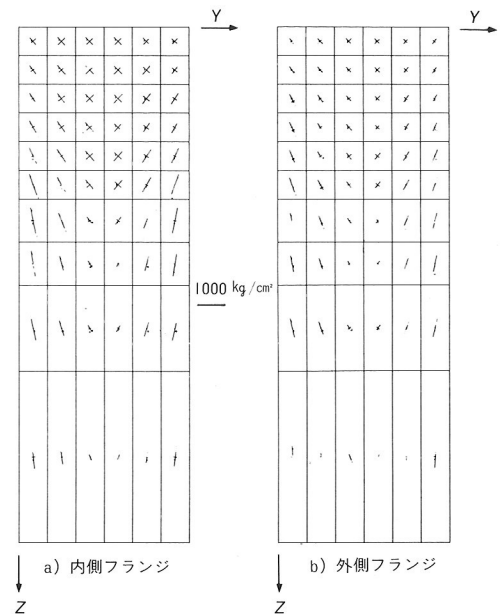


図-17 柱部材フランジの主応力図

-23)のせん断応力分布, および式(7)より求めた応力値を図-25に示す。せん断応力の最大値は解析値の方がやや大きく, 両者の差は 10 kg/cm^2 程度である。計算ではせん断応力分布を均一であると仮定していることを考慮すると, 解析値に対し計算による応力値は安全側であると考えられる。

5. おわりに

本報告は, 面外断面力を受けるラーメン隅角部の応力計算方法について述べたものである。また, この計算方法の妥当性を検討するために隅角部の有限要素解析を実施し, 計算値と解析値の比較を行った。両者の比較の結

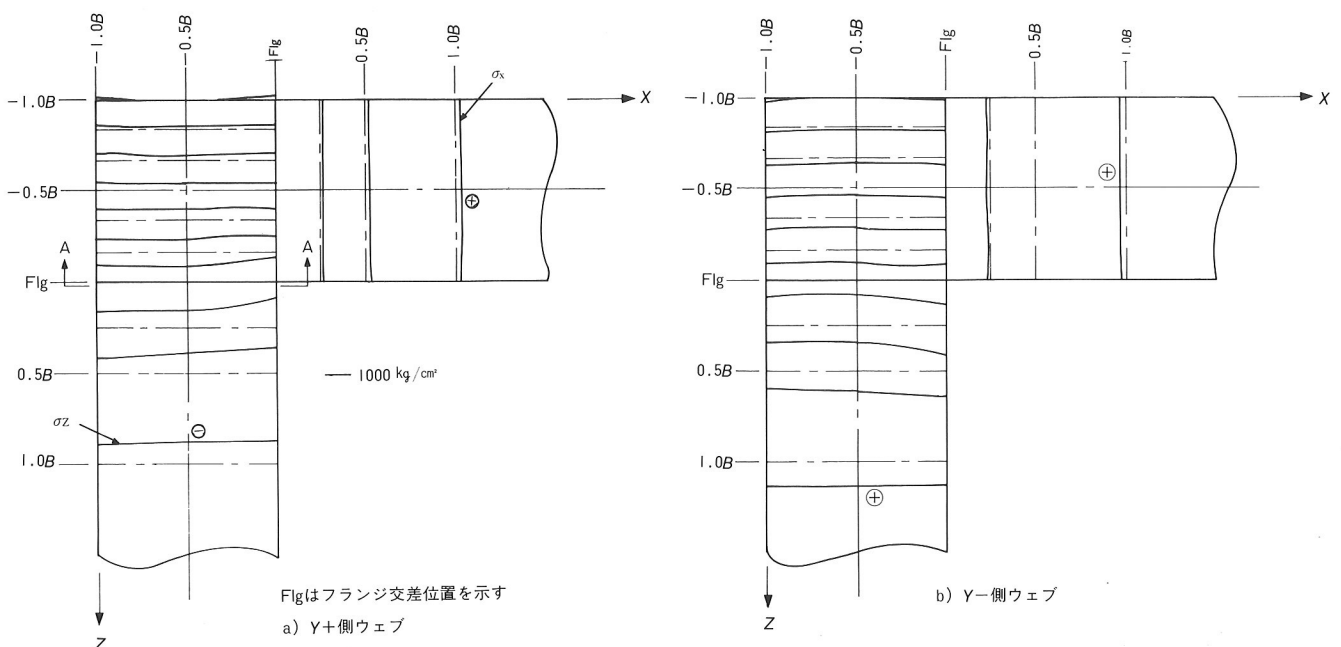


図-18 ウェブの垂直応力分布

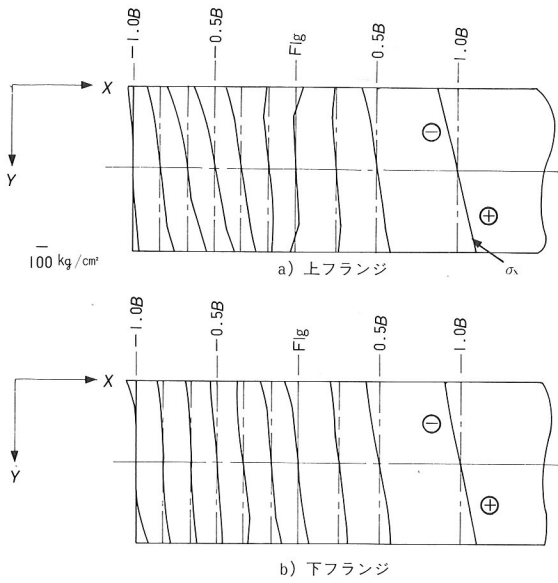


図-19 梁部材フランジの垂直応力分布

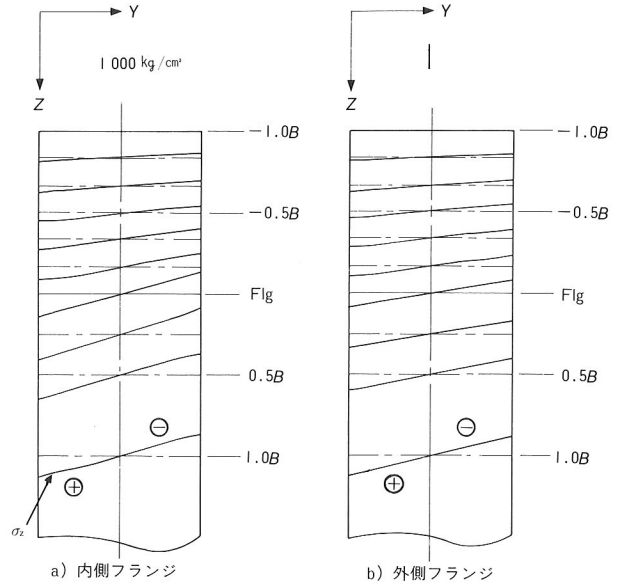


図-20 柱部材フランジの垂直応力分布

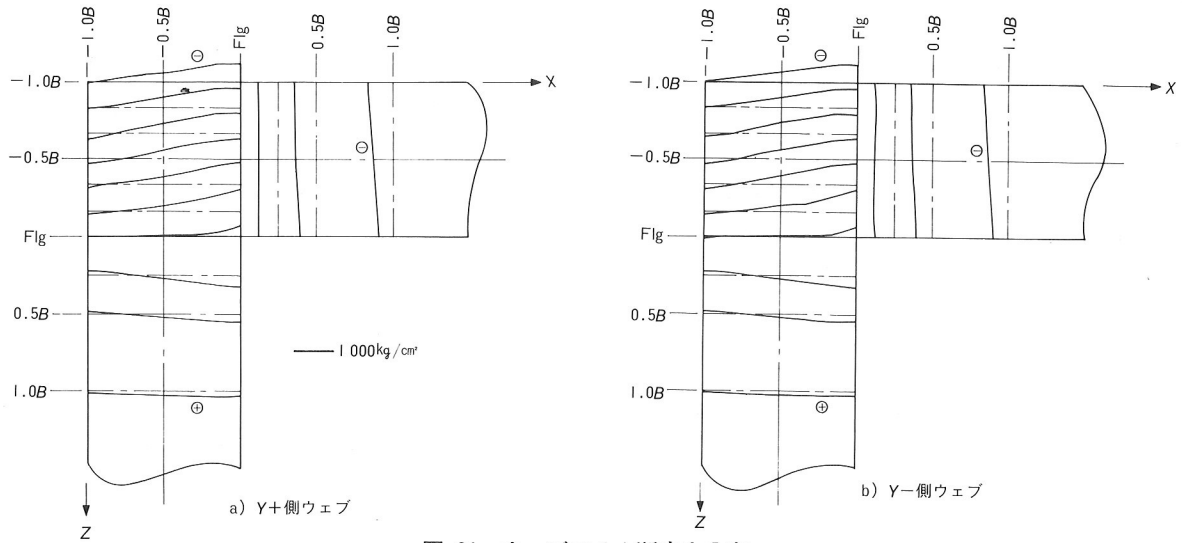


図-21 ウェブのせん断応力分布

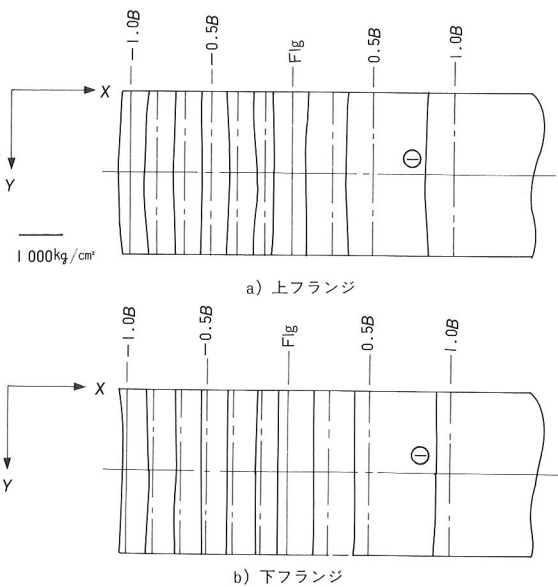


図-22 梁部材フランジのせん断応力分布

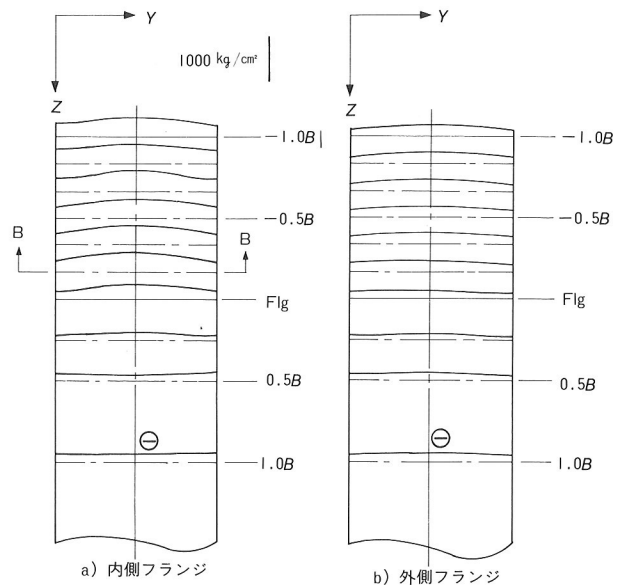


図-23 柱部材フランジのせん断応力分布

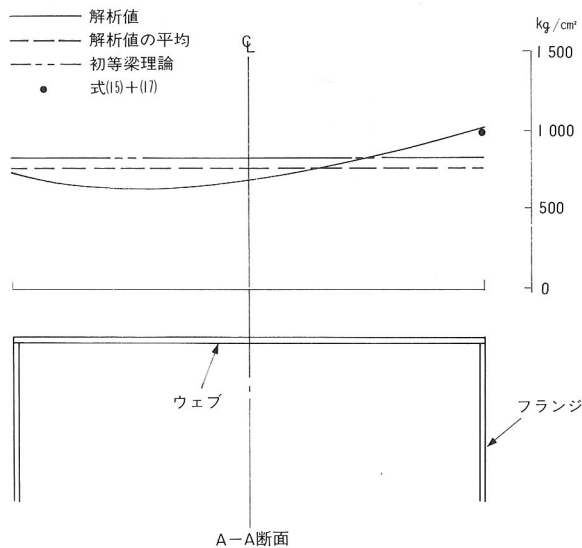


図-24 柱部材ウェブの垂直応力の比較

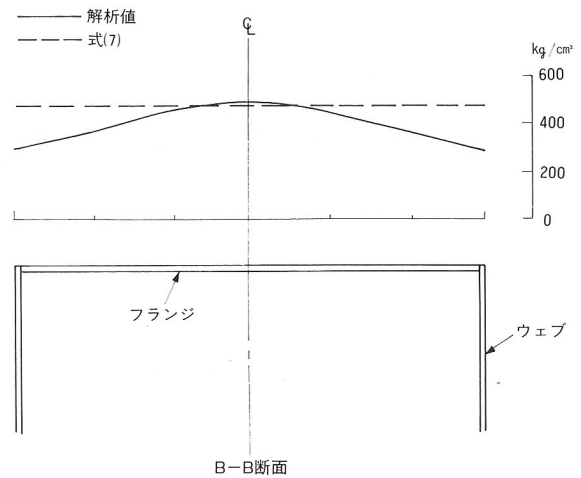


図-25 柱フランジのせん断応力の比較

果、本報告で示した計算方法は、解析値に近い応力値を与えることがわかり、計算方法の正当性を確認することができた。しかしながら、検討を行った隅角部の断面寸法および荷重ケースが1ケースのみであるため、今後パラメトリックな解析を行い、さらに詳細な検証が必要であると考えられる。

阪神高速道路公団構造物設計基準改正にあたって一、橋梁と基礎, pp.1~7, 1978年10月。

参考文献

- 1) 奥村・石沢：薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について, 土木学会論文集, 第153号, pp.1~18, 1968年5月。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説II鋼橋編, 丸善, 1980年2月。
- 3) 岡本瞬三編：鋼構造の研究, 奥村敏恵教授還暦記念会, 技報堂, pp.463~503, 1977年6月。
- 4) 首都高速道路公団：首都高速道路・鋼構造物設計基準, 1971年9月。
- 5) 阪神高速道路公団：設計基準第2部・構造物設計基準, 1980年4月。
- 6) 名古屋高速道路公社：鋼構造物設計基準, 1987年4月。
- 7) 三橋・萩原・青山・佐野・石丸：菱形柱を有するラーメン隅角部の力学的特性(上)ーラーメン隅角部の応力性状と設計への反映一, 橋梁と基礎, pp.15~20, 1983年10月。
- 8) 中井・福岡・酒造・明橋：鋼製ラーメン隅角部の Shear lagと耐力力とに関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.33A, pp.193~206, 1987年3月。
- 9) 小松：連続桁の Shear Lagについて, 土木学会論文集, 第58号, pp.1~9, 1958年9月。
- 10) 首都高速道路公団：構造物標準図集, 1983年12月。
- 11) 河井・橋本・林：鋼橋設計法についての諸検討(下)ー