壁体が付加された部材の弾性変形，応力分布に及ぼす各種パラメータの影響の評価

皆川洋一・長曽我部誠*・中西利晴**

（受理　昭和59年5月31日）

ELASTIC ANALYSES OF FRAMES WITH SPANDREL WALLS AND WING WALLS

Youichi MINAKAWA, Makoto CHOSOKABE and Toshiharu NAKANISHI

The purpose of this paper is to examine the influence of wall length and wall thickness ratios on the elastic deformations and stress distributions of the spandrel and wing walls in reinforced concrete structures. A procedure to analyze the composite structures is presented. In this analysis, the beam theory considering searing deformation is applied to beams and columns, and walls are assumed to be two dimensional elastic materials, where Airy's stress function expressed in a Fourier series is introduced.

The numerical results are shown in figures and tables.

1．序

鉄筋コンクリート造建物が水平力（地震力）によって被害をうける原因の１つとして，はり・柱で構成されるフレームに付加された腰壁，垂壁が柱の変形を拘束し，短柱化させ，柱のせん断破壊を誘発させることが，十勝沖地震による被害報告に示されている。[1] それ以後，これら腰壁，垂壁の影響を如何に評価するかに関して数多くの研究がなされてきている。また袖壁が付加されたフレームに関しても，同様な研究がなされてきている。例えば，構造体を線材置換する際，これら壁体の影響を線材に剛域を仮定することにより部材剛性を評価するという方法が提案されている。[5] しかしながら，この壁体を線材へ置換するための適用範囲，条件等を明確にした研究や，壁板が付加された構造体の腰壁上端と柱の節点付近における応力集中の状態，壁体内部の応力状態を調べた研究は少ない。これらを検討するためには，これら壁体が付加された構造体の一体的な挙動を明らかにしなければならない。

そこで本解析は，壁体を二次元弾性体とし，はり・柱にはせん断変形を考慮した初等曲げ理論を適用し[3]，壁体に Fourier 級数で表わされた応力関数を導入し，壁体付フレームの弾性解析を行い，付加された壁体が，構造体に及ぼす形状パラメータの影響を定量的，定性的に検討することを目的とする。

2．解析モデル

図１に示されるような水平上下方向に連続し，壁

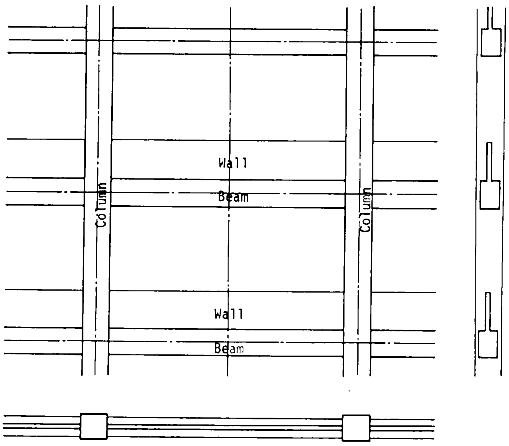

図１　腰壁付フレーム

*鹿児島大学大学院建築学専攻　**㈱青木建設・工修

板と付帯ラーメンが一体的に作られ，柱と壁板のそれぞれの中心を通る縦軸に関して対称な形状及び断面を有する腰壁付フレームに，既知の節点外力が作用した場合を解析する。一般的な外力は，次の 4 つにわけることができ，それぞれ Type Ⅰ)，Ⅱ)，Ⅲ)，Ⅳ) とする。

Ⅰ)壁板及び柱のそれぞれの中心を通る縦軸に関して逆対称な外力。

Ⅱ)壁板及び柱のそれぞれの中心を通る縦軸に関して対称な外力。

Ⅲ)壁板の中心を通る縦軸に関して対称，柱の中心を通る縦軸に関して逆対称な外力。

Ⅳ)壁板の中心を通る縦軸に関して逆対称，柱の中心を通る縦軸に関して対称な外力。

解析は，Type Ⅰ)，Ⅱ)，Ⅳ) について行った。付帯ラーメンの節点 $D_c \times D_b$ (図 2 中の斜線部分) は剛域と見なし，また Type Ⅳ) のモデルは，右に 90° 回転させ片側袖壁付柱として解析を進める。

この場合外力は任意に与えられず系の釣り合いを満足しなければならない。

$$\sum M=0,\ \sum X=0,\ \sum Y=0 \tag{1}$$

Type Ⅰ) に関しては，$\sum X=0$，$\sum Y=0$ は自動的に満足している。Type Ⅱ) に関しては，(1) 式をすべて満足している。Type Ⅳ) に関しては，$\sum M=0$，$\sum X=0$ は自動的に満足している。このことは，後に述べる剛域部分についても同じである。

次に外力との釣り合いより次式を得る。

Type Ⅰ)　$Q_c(b/2)=Q_{11}$，$M_c(b/2)=M_{11}$　　(2 a)

Type Ⅱ)　$N_c(b/2)=N_{21}$　　(2 b)

Type Ⅳ)　$N_c(b/2)=N_{41}$　　(2 c)

ここで解析モデルの挙動を把握するため次のような形状パラメータを導入する。

$$\alpha_c=\frac{D_c}{a},\ \beta_c=\frac{B_c}{t},\ \alpha_b=\frac{D_b}{a},\ \beta_b=\frac{B_b}{t},\ \gamma=\frac{a}{b} \tag{3}$$

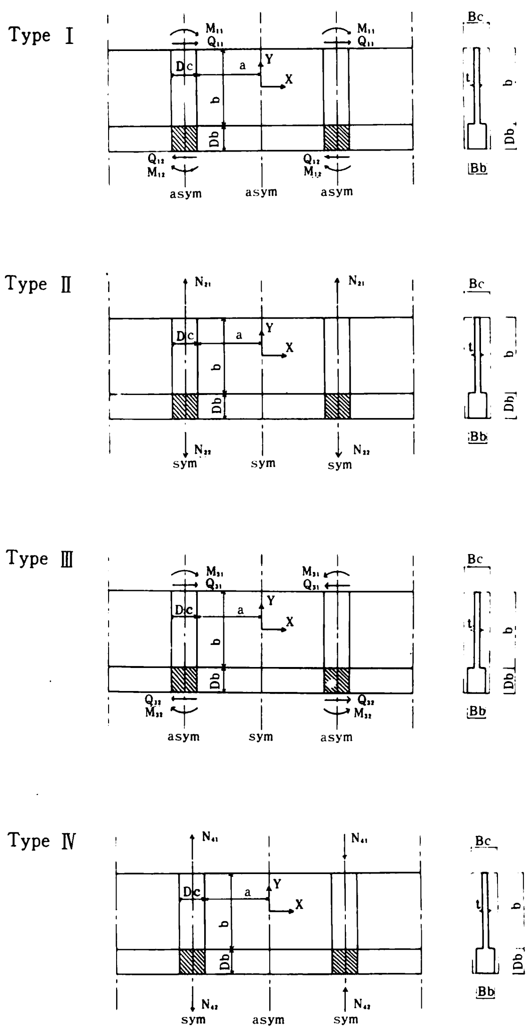

図 2

3. 応力関数の設定

壁板の応力の対称性，逆対称性を考慮し次式のような応力関数を導入する。Fourier 級数展開の際 Gibbs 現象が生じることを防ぐためと，壁板の (a，$-b/2$) におけるせん断力を表わすため，また未知数と条件式の数を一致させるため代数関数を付加する。

Type Ⅰ)，Ⅳ)の場合

$$F_1=a^2\Big[\sum_{m(0)}\frac{4}{m^2\pi^2\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}(A_1^m\cosh\alpha_m y+A_2^m\sinh\alpha_m y+A_3^m\alpha_m y\cosh\alpha_m y+A_4^m\alpha_m y\sinh\alpha_m y)\sin\alpha_m x$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\cosh n\pi\gamma}(C_2^n\sinh\beta_n x+C_3^n\beta_n x\cosh\beta_n x)\sin\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{1}{m^2\pi^2\gamma^2\cosh n\pi\gamma}(D_2^n\sinh\beta_n x$$

$$+D_3^n\beta_n x\cosh\beta_n x)\cos\beta_n y+\frac{F_1}{6a^3}x^3+\frac{F_2}{2a^3}(y^2-by)x+\frac{F_3}{a^3b}\left(\frac{y^3}{3}-\frac{b}{4}y^2\right)x\Big] \quad (4a)$$

Type II)の場合

$$F_2=a^2\Big[\sum_{m(e)}\frac{4}{m^2\pi^2\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}(B_1^m\cosh\alpha_m y+B_2^m\sinh\alpha_m y+B_3^m\alpha_m y\cosh\alpha_m y+B_4^m\alpha_m y\sinh\alpha_m y)\cos\alpha_m x$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\cosh n\pi\gamma}(C_1^n\cosh\beta_n x+C_4^n\beta_n x\sinh\beta_n x)\sin\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\cosh n\pi\gamma}(D_1^n\cosh\beta_n x$$

$$+D_4^n\beta_n x\sinh\beta_n x)\cos\beta_n y+\frac{F_1}{a^2}x^2+\frac{F_2}{a^4}(x^4+3bx^2y-3x^2y^2)+\frac{F_3}{a^2}y^2+\frac{F_4}{a^2b}y^3+\frac{F_5}{a^4}(3bx^2y-3x^2y^2+y^4)$$

$$+\frac{F_6}{a^4b}\left\{\left(10a^2-\frac{15}{2}b^2\right)x^2y-5x^4y+10x^2y^2-y^5\right\}\Big] \quad (4b)$$

ここで $\alpha_m=\frac{m\pi}{2a}$，$\beta_n=\frac{n\pi}{b}$，$m(o)$，$n(o)=1, 3, 5, \cdots$，$m(e)$，$n(e)=2, 4, 6, \cdots$

4．壁板の応力，変位

壁板の応力，変位は次式より求まる。

$$\sigma_x=\frac{\partial^2 F}{\partial y^2},\ \sigma_y=\frac{\partial^2 F}{\partial x^2},\ \tau_{xy}=-\frac{\partial^2 F}{\partial x\partial y} \quad (5, 6, 7)$$

$$u=\frac{1}{E}\int(\sigma_x-\nu\sigma_y)dx+f_u(y) \quad (8)$$

$$v=\frac{1}{E}\int(\sigma_y-\nu\sigma_x)dy+f_v(x) \quad (9)$$

$f_u(y)$，$f_v(x)$ は多項式で $\partial u/\partial y+\partial v/\partial x=\tau_{xy}/G$ より求まる。ここで E は Young 係数，ν はPoisson 比，$G=E/2(1+\nu)$。

Type I)，IV)の場合

$$\sigma_x(x, y)=\sum_{m(0)}\frac{1}{\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\{A_1^m\cosh\alpha_m y+A_2^m\sinh\alpha_m y+A_3^m(\alpha_m y\cosh\alpha_m y+2\sinh\alpha_m y)+A_4^m(\alpha_m y\sinh\alpha_m y$$

$$+2\cosh\alpha_m y)\}\sin\alpha_m x+\sum_{n(0)}\frac{-1}{\cosh n\pi\gamma}(C_2^n\sinh\beta_n x+C_3^n\beta_n x\cosh\beta_n x)\sin\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{-1}{\cosh n\pi\gamma}(D_2^n\sinh\beta_n x$$

$$+D_3^n\beta_n x\cosh\beta_n x)\cos\beta_n y+\frac{F_2}{a}x+\frac{F_3}{ab}\left(2y-\frac{b}{2}\right)x \quad (10a)$$

$$\sigma_y(x, y)=\sum_{m(0)}-\frac{1}{\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}(A_1^m\cosh\alpha_m y+A_2^m\sinh\alpha_m y+A_3^m\alpha_m y\cosh\alpha_m y+A_4^m\alpha_m y\sinh\alpha_m y)\sin\alpha_m x$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{C_2^n\sinh\beta_n x+C_3^n(\beta_n x\cosh\beta_n x+2\sinh\beta_n x)\}\sin\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{D_2^n\sinh\beta_n x$$

$$+D_3^n(\beta_n x\cosh\beta_n x+2\sinh\beta_n x)\}\cos\beta_n y+\frac{F_1}{a}x \quad (11a)$$

（11a）式に $y=\frac{b}{2}$ を代入して次式を得る。

$$\sigma_y(x,b/2)=\sum_{m(0)}\left(-A_1{}^m-A_4{}^m\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_2{}^n\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_3{}^m\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\sin\alpha_m x$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{C_2{}^n\sinh\beta_n x+C_3{}^n(\beta_n x\cosh\beta_n x+2\sinh\beta_n x)\}\left\{-(-1)^{\frac{n+1}{2}}\right\}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{D_2{}^n\sinh\beta_n x+D_3{}^n(\beta_n x\cosh\beta_n x+2\sinh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{F_1}{a}x \qquad (12\,a)$$

(11 a)式に $x=a$, $y=\frac{b}{2}$ を代入して次式を得る。

$$\sigma_y(a,b/2)=\sum_{m(0)}\left(-A_1{}^m-A_4{}^m\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_2{}^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_3{}^m\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\left\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\right\}$$

$$+\sum_{n(0)}\{C_2{}^n+\tanh n\pi\gamma+C_3{}^n(n\pi\gamma+2\tanh n\pi\gamma)\}\left\{-(-1)^{\frac{n+1}{2}}\right\}$$

$$+\sum_{n(e)}\{C_2{}^n+\tanh n\pi\gamma+C_3{}^n(n\pi\gamma+2\tanh n\pi\gamma)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+F_1 \qquad (13\,a)$$

$$\tau_{xy}(x,y)=\sum_{m(0)}\frac{-1}{\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\{A_1{}^m\sinh\alpha_m y+A_2{}^m\cosh\alpha_m y+A_3{}^m(\alpha_m y\sinh\alpha_m y+\cosh\alpha_m y)+A_4{}^m(\alpha_m y\cosh\alpha_m y$$

$$+\sinh\alpha_m y)\}\cos\alpha_m x+\sum_{n(0)}\frac{-1}{\cosh n\pi\gamma}\{C_2{}^n\cosh\beta_n x+C_3{}^n(\beta_n x\sinh\beta_n x+\cosh\beta_n x)\}\cos\beta_n y$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{D_2{}^n\cosh\beta_n x+D_3{}^n(\beta_n x\sinh\beta_n x+\cosh\beta_n x)\}\sin\beta_n y-\frac{F_2}{a}\left(y-\frac{b}{2}\right)-\frac{F_3}{ab}\left(y^2-\frac{b}{2}y\right) \qquad (14\,a)$$

(14 a)式に $y=\frac{b}{2}$ を代入して次式を得る。

$$\tau_{xy}(x,b/2)=\sum_{m(0)}\left[-A_1{}^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_4{}^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)-A_2{}^m-A_3{}^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right]\cos\alpha_m x$$

$$+\frac{b}{2a}(2F_2-F_3) \qquad (15\,a)$$

(14 a)式に $x=a$, $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$\tau_{xy}(a,-b/2)=\frac{b}{2a}(2F_2-F_3) \qquad (16\,a)$$

$$u(x,y)=\frac{a}{E}\left[\sum_{m(0)}\frac{2}{m\pi\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\left[-A_1{}^m(1+\nu)\cosh\alpha_m y-A_4{}^m\{(1+\nu)\alpha_m y\sinh\alpha_m y+2\cosh\alpha_m y\}\right.\right.$$

$$\left.-A_2{}^m(1+\nu)\sinh\alpha_m y-A_3{}^m\{(1+\nu)\alpha_m y\cosh\alpha_m y+2\sinh\alpha_m y\}\right]\cos\alpha_m x$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}[-C_2{}^n(1+\nu)\cosh\beta_n x-C_3{}^n\{(1+\nu)\beta_n x\sinh\beta_n x-(1-\nu)\cosh\beta_n x\}]\sin\beta_n y$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}[-D_2{}^n(1+\nu)\cosh\beta_n x-D_3{}^n\{(1+\nu)\beta_n x\sinh\beta_n x-(1-\nu)\cosh\beta_n x\}]\cos\beta_n y$$

$$\left.-(y^2-\nu x^2)\frac{F_1}{2a^2}+\{x^2-(2+\nu)y^2+(1+\nu)by\}\frac{F_2}{2a^2}+\left\{\left(y-\frac{b}{4}\right)x^2-(2+\nu)\left(\frac{y^3}{3}-\frac{b}{4}y^2\right)\right\}\frac{F_3}{a^2b}\right]+\theta_0 y+u_0 \qquad (17\,a)$$

(17 a)式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$u(x,-b/2)=\frac{a}{E}\left[\sum_{m(0)}\frac{2}{m\pi}\left[-A_1{}^m(1+\nu)-A_4{}^m\left\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+2\right\}+A_2{}^m(1+\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right.\right.$$

$$\left.+A_3{}^m\left\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}+2\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right\}\right]\cos\alpha_m x+\sum_{n(0)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}\left[-C_2{}^n(1+\nu)\cosh\beta_n x-C_3{}^n\left\{(1+\nu)\beta_n x\sinh\beta_n x\right.\right.$$

$$\left.\left.-(1-\nu)\cosh\beta_n x\right\}\right](-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}\left[-D_2{}^n(1+\nu)\cosh\beta_n x-D_3{}^n\{(1+\nu)\beta_n x\sinh\beta_n x\right.$$

$$-(1-\nu)\cosh\beta_{n'}x\}\Big](-1)^{\frac{n}{2}}-\left(\frac{b^2}{4}-\nu x^2\right)\frac{F_1}{2a^2}+\{4a^2-(4+3\nu)b^2\}\frac{F_5}{8a^2}-\left\{\frac{3x^2}{4}-(2+\nu)\frac{5b^2}{48}\right\}\frac{F_3}{a^2}\Big]-\frac{b}{2}\theta_0+u_0 \qquad (18\,\mathrm{a})$$

(17 a)式に $x=a$，$y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$u(a,-b/2)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{n(0)}\frac{1}{n\pi\gamma}[-C_2^n(1+\nu)-C_3^n\{(1+\nu)n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma-(1-\nu)\}](-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma}[-D_2^n(1+\nu)$$

$$-D_3^n\{(1+\nu)n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma-(1-\nu)\}](-1)^{\frac{n}{2}}-\left(\frac{1}{8\gamma^2}-\frac{\nu}{2}\right)F_1+\left\{\frac{1}{2}-(4+3\nu)\frac{1}{8\gamma^2}\right\}F_2$$

$$+\left\{-\frac{3}{4}+(2+\nu)\frac{5}{48\gamma^2}\right\}F_3\Big]-\frac{b}{2}\theta_0+u_0 \qquad (19\,\mathrm{a})$$

$$v(x,y)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(0)}\frac{2}{m\pi\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}[-A_1^m(1+\nu)\sinh\alpha_m y-A_4^m\{(1+\nu)\alpha_m y\cosh\alpha_m y-(1-\nu)\sinh\alpha_m y)$$

$$-A_2^m(1+\nu)\cosh\alpha_m y-A_3^m(1+\nu)\alpha_m y\sinh\alpha_m y-(1-\nu)\cosh\alpha_m y\}]\sin\alpha_m x+\sum_{n(0)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}$$

$$[-C_2^n(1+\nu)\sinh\beta_n x-C_3^n\{(1+\nu)\beta_n x\cosh\beta_n x+2\sinh\beta_n x)\}]\cos\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}[D_2^n(1+\nu)\sinh\beta_n x$$

$$+D_3^n\{(1+\nu)\beta_n x\cosh\beta_n x+2\sinh\beta_n x)\}]\sin\beta_n y+\frac{xy}{a^2}(F_1-\nu F_2)+(1+\nu)\frac{bx}{2a^2}F_2$$

$$-\left\{\nu x\left(y^2-\frac{b}{2}y\right)+\frac{x^3}{3}\right\}\frac{F_3}{a^2 b}\Big]-\theta_0 x \qquad (20\,\mathrm{a})$$

(20 a)式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$v(x,-b/2)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(0)}\frac{2}{m\pi}\Big[-A_1^m(1+\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_4^m\left\{-(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}+(1-\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right\}-A_2^m(1+\nu)$$

$$-A_3^m\left\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-(1-\nu)\right\}\Big]\sin\alpha_m x-\frac{x}{2a\gamma}F_1+(1+2\nu)\frac{x}{2a\gamma}F_2-\left(\frac{\nu x}{2a\gamma}+\frac{x^3}{3a^2 b}\right)F_3\Big]-\theta_0 x \qquad (21\,\mathrm{a})$$

(20 a)式に $x=a$，$y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$v(a,-b/2)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(0)}\frac{2}{m\pi}\Big[A_1^m(1+\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+A_4^m\left\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}-(1-\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right\}-A_2^m(1+\nu)$$

$$-A_3^m\left\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-(1+\nu)\right\}\Big]\left\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\right\}-\frac{F_1}{2\gamma}+(1+2\nu)\frac{F_2}{2\gamma}-\left(\frac{\nu}{2\gamma}+\frac{\gamma}{3}\right)F_3\Big]-\theta_0 a \qquad (22\,\mathrm{a})$$

Type Ⅱ)の場合

$$\sigma_x(x,y)=\sum_{m(e)}\frac{1}{\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\{B_1^m\cosh\alpha_m y+B_2^m\sinh\alpha_m y+B_3^m(2\sinh\alpha_m y+\alpha_m y\cosh\alpha_m y)+B_4^m(2\cosh\alpha_m y$$

$$+\alpha_m y\sinh\alpha_m y)\}\cos\alpha_m x+\sum_{n(0)}\frac{-1}{\cosh n\pi\gamma}(C_1^n\cosh\beta_n x+C_4^n\beta_n x\sinh\beta_n x)\sin\beta_n y+\sum_{n'(e)}\frac{-1}{\cosh n\pi\gamma}(D_1^{n'}\cosh\beta_{n'}x$$

$$+D_4^{n'}\beta_{n'}x\sinh\beta_{n'}x)\cos\beta_{n'}y-\frac{6F_2}{a^2}x^2+2F_3+\frac{6F_4}{b}y+\frac{F_5}{a^2}(-6x^2+12y^2)+\frac{F_6}{a^2 b}(60x^2y-20y^3) \qquad (10\,\mathrm{b})$$

$$\sigma_y(x,y)=\sum_{m(e)}\frac{-1}{\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}(B_1^m\cosh\alpha_m y+B_2^m\sinh\alpha_m y+B_3^m\alpha_m y\cosh\alpha_m y+B_4^m\alpha_m y\sinh\alpha_m y)\cos\alpha_m x$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{C_1^n\cosh\beta_n x+C_4^n(2\cosh\beta_n x+\beta_n x\sinh\beta_n x)\}\sin\beta_n y$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{D_1^n\cosh\beta_{n'}x+D_4^n(2\cosh\beta_n x+\beta_n x\sinh\beta_n x)\}\cos\beta_n y$$

$$+2F_1+\frac{F_2}{a^2}(12x^2+6by-6y^2)+\frac{F_5}{a^2}(6by-6y^2)+\frac{F_6}{a^2b}\{(20a^2-15b^2))y-60x^2y+20y^3\} \qquad (11\ b)$$

（11 b）式に $y=b/2$ を代入して次式を得る。

$$\sigma_y(x,\ b/2)=\sum_{m(e)}\left(-B_1^m-B_2^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-B_3^m\frac{m\pi}{4\gamma}-B_4^m\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\cos\alpha_m x$$

$$+\sum_{n(o)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{C_1^n\cosh\beta_n x+C_4^n(2\cosh\beta_n x+\beta_n x\sinh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{D_1^n\cosh\beta_n x$$

$$+D_4^n(2\cosh\beta_n x+\beta_n x\sinh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+2F_1+(12x^2+\frac{3}{2}b^2)\frac{F_2}{a^2}+\frac{3}{2\gamma^2}F_5+(10a^2-5b^2-30x^2)\frac{F_6}{a^2} \qquad (12\ b)$$

（11 b）式に $x=a$，$y=b/2$ を代入して次式を得る。

$$\sigma_y(a,\ b/2)=\sum_{m(e)}\left(-B_1^m-B_2^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-B_3^m\frac{m\pi}{4\gamma}-B_4^m\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)(-1)^{\frac{m}{2}}$$

$$+\sum_{n(o)}\{C_1^n+C_4^n(2+n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma)\}\left\{-(-1)^{\frac{n+1}{2}}\right\}+\sum_{n'(e)}\{D_1+D_4(2+n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma)\}(-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$+2F_1+\left(12+\frac{3}{2\gamma^2}\right)F_2+\frac{3}{2\gamma^2}F_5+\left(-20-\frac{5}{\gamma^2}\right)F_6 \qquad (13\ b)$$

$$\tau_{xy}(x,\ y)=\sum_{m(e)}\frac{1}{\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\{B_1^m\sinh\alpha_m y+B_2^m\cosh\alpha_m y+B_3^m(\cosh\alpha_m y+\alpha_m y\sinh\alpha_m y)+B_4^m(\sinh\alpha_m y$$

$$+\alpha_m y\cosh y)\}\sin\alpha_m x+\sum_{n(o)}\frac{-1}{\cosh n\pi\gamma}\{C_1^n\sinh\beta_n x+C_4^n(\sinh\beta_n x+\beta_n x\cosh\beta_n x)\}\cos\beta_n y$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{\cosh n\pi\gamma}\{D_1^n\sinh\beta_n x+D_4^n(\sinh\beta_n x+\beta_n x\cosh\beta_n x)\}\sin\beta_n y$$

$$+(6bx-12xy)\frac{(F_2+F_5)}{a^2}+\frac{F_6}{a^2b}\{(20a^2-15b^2)x-20x^3+60xy^2\} \qquad (14\ b)$$

（14 b）式に $y=b/2$ を代入して次式を得る。

$$\tau_{xy}(x,\ b/2)=\sum_{m(e)}\left\{B_1^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+B_2^m+B_3^m\left(1+\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)+B_4^m\left(\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\right\}\sin\alpha_m x$$

$$+(20a^2x-20x^3)\frac{F_6}{a^2b} \qquad (15\ b)$$

（14 b）式に $x=a$，$y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$\tau_{xy}(a,\ -b/2)=\frac{12}{\gamma}(F_2+F_5) \qquad (16\ b)$$

$$u(x,\ y)=\frac{a}{E}\left[\sum_{m(e)}\frac{2}{m\pi\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}[B_1^m(1+\nu)\cosh\alpha_m y+B_4^m\{(1+\nu)\alpha_m y\sinh\alpha_m y+2\cosh\alpha_m y\}\right.$$

$$+B_2^m(1+\nu)\sinh\alpha_m y+B_3^m\{(1+\nu)\alpha_m y\cosh\alpha_m y+2\sinh\alpha_m y\}]\sin\alpha_m x+\sum_{n(o)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}[-C_1^n(1+\nu)\sinh\beta_n x$$

$$-C_4^n\{(1+\nu)\beta_n x\cosh\beta_n x-(1-\nu)\sinh\beta_n x\}]\sin\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}[-D_1^n(1+\nu)\sinh\beta_n x$$

$$-D_4^n\{(1+\nu)\beta_n x\cosh\beta_n x-(1-\nu)\sinh\beta_n x\}]\cos\beta_n y-\frac{2\nu xF_1}{a}-\{2x^3+\nu(4x^3+6bxy-6xy^2)\}\frac{F_2}{a^3}+\frac{2x}{a}F_3+\frac{6xy}{ab}F_4$$

$$\left.+\{-2x^3+12xy^2-\nu(6bxy-6xy^2)\}\frac{F_5}{a^3}+\{(1+\nu)(20x^2-20y^2)-\nu(20a^2-15b^2)\}\frac{xy}{a^3b}F_6\right] \qquad (17\ b)$$

（17 b）式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$u(x,\ -b/2)=\frac{a}{E}\left[\sum_{m(e)}\frac{2}{m\pi}\left[B_1^m(1+\nu)+B_4^m\left\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+2\right\}-B_2^m(1+\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-B_3^m\left\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}\right.\right.\right.$$

$$+2\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big\}\Big]\sin\alpha_m x+\sum_{n(o)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}[-C_1{}^n(1+\nu)\sinh\beta_n x-C_4{}^n\{(1+\nu)\beta_n x\cosh\beta_n x-(1-\nu)\sinh\beta_n x\}](-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}[-D_1{}^n(1+\nu)\sinh\beta_n x-D_4{}^n\{(1+\nu)\beta_n x\cosh\beta_n x-(1-\nu)\sinh\beta_n x\}](-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$-\frac{2\nu x}{a}F_1-\Big\{2x^3+\nu\Big(4x^3-\frac{9}{2}b^2x\Big)\Big\}\frac{F_2}{a^3}+\frac{2x}{a}F_3-\frac{3x}{a}F_4+\Big(-2x^3+3b^2x+\frac{9}{2}\nu b^2x\Big)\frac{F_5}{a^3}+\Big\{(1+\nu)\Big(-10x^3+\frac{5}{2}b^2x\Big)$$

$$+\nu\Big(10a^2-\frac{15}{2}b^2\Big)x\Big\}\frac{F_6}{a^3}\Big] \qquad (18\,b)$$

（17 b）式に $x=a$，$y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$u(a,-b/2)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{n(o)}\frac{1}{n\pi\gamma}[-C_1{}^n(1+\nu)\tanh n\pi\gamma-C_4{}^n\{(1+\nu)n\pi\gamma-(1-\nu)\tanh n\pi\gamma\}](-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma}[-D_1{}^n(1+\nu)\tanh n\pi\gamma-D_4{}^n\{(1+\nu)n\pi\gamma-(1-\nu)\tanh n\pi\gamma\}]-2\nu F_1-\Big\{2+\nu\Big(4-\frac{9}{2\gamma^2}\Big)\Big\}F_2+2F_3-3F_4$$

$$+\Big(-2+\frac{3}{\gamma^2}+\frac{9\nu}{2\gamma^2}\Big)F_5+\Big(-10+\frac{5}{2\gamma^2}-\frac{5\nu}{\gamma^2}\Big)F_6\Big] \qquad (19\,b)$$

$$v(x,y)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(e)}\frac{2}{m\pi\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}[-B_1{}^m(1+\nu)\sinh\alpha_m y-B_4{}^m\{(1+\nu)\alpha_m y\cosh\alpha_m y-(1-\nu)\sinh\alpha_m y\}$$

$$-B_2{}^m(1+\nu)\cosh\alpha_m y-B_3{}^m\{(1+\nu)\alpha_m y\sinh\alpha_m y-(1-\nu)\cosh\alpha_m y\}]\cos\alpha_m x+\sum_{n(o)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}$$

$$[-C_1{}^n(1+\nu)\cosh\beta_n x-C_4{}^n\{(1+\nu)\beta_n x\sinh\beta_n x+2\cosh\beta_n x\}]\cos\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}[D_1{}^n(1+\nu)\cosh\beta_n x$$

$$+D_4{}^n\{(1+\nu)\beta_n x\sinh\beta_n x+2\cosh\beta_n x\}]\sin\beta_n y+\frac{2y}{a}F_1+\{(2+\nu)(6y-3b)x^2+(3b-2y)y^2\}\frac{F_2}{a^3}-\frac{2\nu y}{a}F_3$$

$$-(\nu y^2+x^2)\frac{3F_4}{ab}+\{(3b-2y)y^2+2\nu y(3x^2-2y)-3(2+\nu)bx^2\}\frac{F_5}{a^3}+\Big[\Big(10a^2-\frac{15}{2}b^2\Big)y^2-30x^2y^2+5y^4$$

$$-\nu(30x^2y^2-5y^4)-5x^4-(2+\nu)\Big\{\Big(10a^2-\frac{15}{2}b^2\Big)x^2-5x^4\Big\}\Big]\frac{F_6}{a^3b}\Big]+v_0 \qquad (20\,b)$$

（20 b）式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$v(x,-b/2)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(e)}\frac{2}{m\pi}\Big[B_1{}^m(1+\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+B_4{}^m\Big\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}-(1-\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big\}$$

$$-B_2{}^m(1+\nu)-B_3{}^m\Big\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1-\nu\Big\}\Big](-1)^{\frac{m}{2}}-\frac{F_1}{\gamma}+\{-6ax^2(2+\nu)+b^3\}\frac{F_2}{a^3}+\frac{\nu}{\gamma}F_3$$

$$-\Big(\frac{\nu b^2}{4}+x^2\Big)\frac{3F_4}{ab}+\Big\{\frac{b^2}{2}(2+\nu)-6x^2(1+\nu)\Big\}\frac{F_5}{a^2\gamma}+\Big[\Big(a^2-\frac{5}{8}y^2-x^2\Big)\frac{5b^2}{2}-\nu\Big(\frac{15}{2}b^2x^2-\frac{5}{16}b^4\Big)-5x^4$$

$$-(2+\nu)\Big\{(10a^2-15b^2\Big)x^2-5x^4\Big\}\Big]\frac{F_6}{a^3b}\Big]+v_0 \qquad (21\,b)$$

（20 b）式に $x=a$，$y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$v(a,-b/2)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(e)}\frac{2}{m\pi}\Big[B_1{}^m(1+\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}B_4{}^m\Big\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}-(1-\nu)\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big\}-B_2{}^m(1+\nu)$$

$$-B_3{}^m\Big\{(1+\nu)\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-1+\nu\Big\}\Big](-1)^{\frac{m}{2}}-\frac{F_1}{\gamma}+\frac{-6\gamma^3(2+\nu)+\gamma^3}{\gamma^3}F_2+\frac{\nu}{\gamma}F_3-\frac{3\nu+12\gamma^2}{4\gamma}F_4+\frac{(2+\nu)-12\gamma^2(1+\nu)}{2\gamma^3}F_5$$

$$+\Big\{-\frac{5}{\gamma}-\frac{25}{16\gamma^2}-\frac{\nu}{\gamma}\Big(\frac{15}{2}-\frac{5}{16\gamma^2}\Big)-5\gamma-(2+\nu)\Big(\frac{5}{\gamma}-\frac{15}{2\gamma^2}\Big)\Big\}F_6\Big]+v_0 \qquad (22\,b)$$

5．はり・柱の応力，変位等

はり・柱に壁板の応力（σ_x, σ_y, τ_{xy}）を与え，はり・柱のモーメント M，軸力 N，せん断力 Q，x 方向変位 u，y 方向変位 v，曲げによる回転角 θ^B，せん断による傾斜角 θ^S を求める。添字の b，c は，はり・柱を表し，積分定数も同時に示す。

Type Ⅰ)の場合

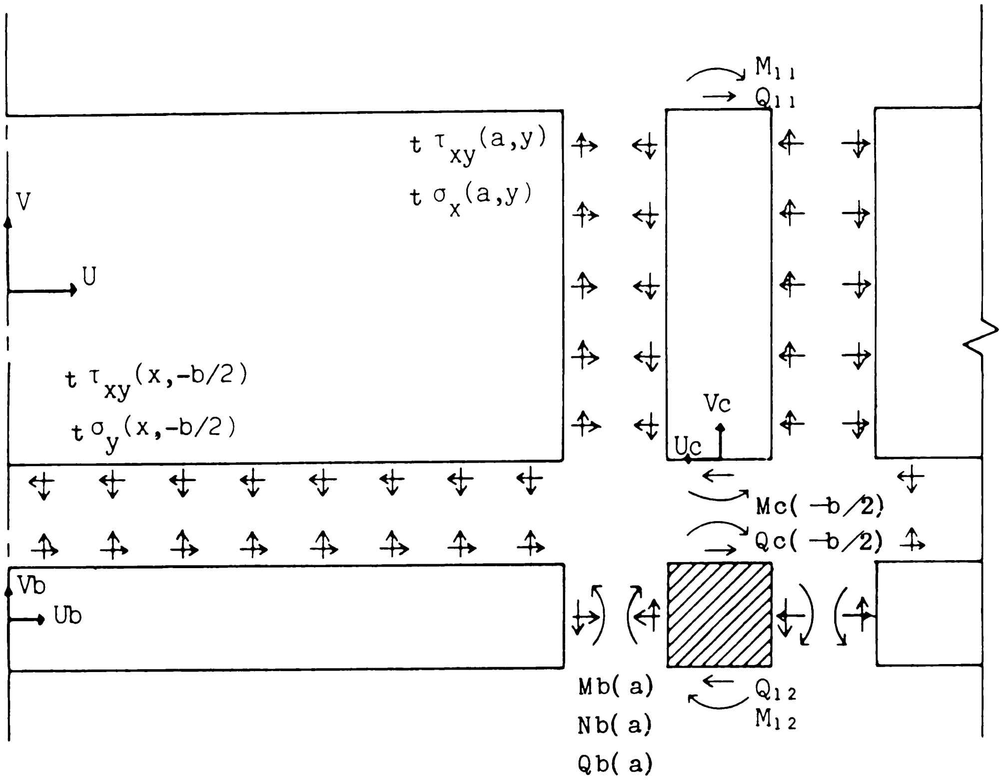

図3　はり―壁板，柱―壁板の境界での応力状態（Type Ⅰ）

$$M_b(x)=\int\int t\sigma_y(x,-b/2)dxdx+\frac{D_b}{2}\int t\tau_{xy}(x,-b/2)dx+C_b{}^1x$$

$$=a^2t\Big[\sum_{m(0)}\frac{4}{m^2\pi^2}\Big[A_1{}^m\Big(1+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)+A_4{}^m\Big\{\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)\Big\}$$

$$-A_2{}^m\Big(\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\Big)-A_3{}^m\Big\{\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\Big)\Big\}\Big]\sin\alpha_m x+\sum_{n(0)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\cosh n\pi\gamma}(C_2{}^n\sinh\beta_n x$$

$$+C_3{}^n\beta_n x\cosh\beta_n x)(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\cosh n\pi\gamma}(D_2{}^n\sinh\beta_n x+D_3{}^n\beta_n x\cosh\beta_n x)(-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$+\frac{F_1}{6a^3}x^3+\frac{\alpha_b b}{2}\Big(F_2x-\frac{F_3}{2}x\Big)\Big]+C_b{}^1x \qquad (23\text{a})$$

（23 a）式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$M_b(a)=a^2t\Big[\sum_{m(0)}\frac{4}{m^2\pi^2}\Big[A_1^m\Big(1+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)+A_4^m\Big\{\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)\Big\}$$
$$-A_2^m\Big(\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\Big)-A_3^m\Big\{\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\Big)\Big\}\Big]\Big\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\Big\}+\sum_{n(0)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2}(C_2^n\tanh n\pi\gamma$$
$$+C_3^n n\pi\gamma)(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2}(D_2\tanh n\pi\gamma+D_3 n\pi\gamma)(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{F_1}{6}+\frac{\alpha_b}{2\gamma}\Big(F_2-\frac{F_3}{2}\Big)\Big]+aC_b^1 \tag{24 a}$$

$$N_b(x)=-\int t\tau_{xy}(x,-b/2)dx+C_b^3$$
$$=at\Big[\sum_{m(0)}\frac{2}{m\pi}\Big\{-A_1^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_4^m\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)+A_2^m+A_3^m\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\Big)\Big\}\sin\alpha_m x$$
$$-\frac{F_2}{a\gamma}x+\frac{F_3}{2a\gamma}x\Big]+C_b^3 \tag{25 a}$$

（25 a）式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$N_b(a)=at\Big[\sum_{m(0)}\frac{2}{m\pi}\Big\{-A_1^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_4^m\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)+A_2^m+A_3^m\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\Big\}\Big\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\Big\}$$
$$+\frac{1}{\gamma}\Big(\frac{F_3}{2}-F_2\Big)\Big]+C_b^3 \tag{26 a}$$

$$Q_b(x)=\int t\sigma_y(x,-b/2)dx+C_b^1$$
$$=at\Big[\sum_{m(0)}\frac{2}{m\pi}\Big(A_1^m+A_4\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_2^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_3^m\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)\cos\alpha_m x$$
$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}\{C_2^n\cosh\beta_n x+C_3^n(\beta_n x\sinh\beta_n x+\cosh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$
$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}\{D_2^{n'}\cosh\beta_{n'}x+D_3^{n'}(\beta_{n'}x\sinh\beta_{n'}x+\cosh\beta_{n'}x)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{F_1}{2a^2}x^2\Big]+C_b^1 \tag{27 a}$$

（27 a）式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$Q_b(a)=at\Big[\sum_{n(0)}\frac{1}{n\pi\gamma}\{C_2^n+C_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n'(e)}\frac{1}{n\pi\gamma}\{D_2^{n'}+D_3^{n'}(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{F_1}{2}\Big]+C_b^1 \tag{28 a}$$

$$u_b(x)=-\frac{1}{EZ_b}\iiint t\sigma_y(x,-b/2)dxdxdx-\frac{D_b}{2EZ_b}\iint t\tau_{xy}(x,-b/2)dxdx$$
$$-\frac{1}{EA_b}\iint t\tau_{xy}(x,-b/2)dxdx-\frac{C_b^1}{2EZ_b}x^2+C_b^6$$
$$=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(0)}\frac{8}{m^3\pi^3}\Big[A_1^m\Big\{\frac{6}{\alpha_b^2\beta_b}+\frac{2m\pi}{\alpha_b\beta_b}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big\}+A_4^m\Big\{\frac{3m\pi}{2\alpha_b^2\beta_b\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{2m\pi}{\alpha_b\beta_b}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)\Big\}$$
$$-A_2^m\Big\{\frac{6}{\alpha_b^2\beta_b}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{2m\pi}{\alpha_b\beta_b}\Big\}-A_3^m\Big\{\frac{3m\pi}{2\alpha_b^2\beta_b\gamma}+\frac{2m\pi}{\alpha_b\beta_b}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\Big)\Big\}\Big]\cos\alpha_m x$$
$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{n^3\pi^3\gamma^3\cosh n\pi\gamma}\Big\{-\frac{6}{\alpha_b^2\beta_b}C_2^n\cosh\beta_n x-\frac{6}{\alpha_b^2\beta_b}C_3^n(\beta_n x\sinh\beta_n x-\cosh\beta_n x)\Big\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$
$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^3\pi^3\gamma^3\cosh n\pi\gamma}\Big\{-\frac{6}{\alpha_b^2\beta_b}D_2^n\cosh\beta_n x-\frac{6}{\alpha_b^2\beta_b}D_3^n(\beta_n x\sinh\beta_n x-\cosh\beta_n x)\Big\}(-1)^{\frac{n}{2}}$$
$$-\frac{F_1}{4\alpha_b^2\beta_b a^4}x^4-\frac{1}{\gamma\alpha_b\beta_b a^2}(2F_2-F_3)x^2\Big]-\frac{C_b^1x^2}{2EZ_b}+C_b^6 \tag{29 a}$$

（29 a）式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$u_b(a)=\frac{a}{\mathrm{E}}\Big[\sum_{n(o)}\frac{1}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b{}^2\beta_b}\{-\mathrm{C}_2{}^n-\mathrm{C}_3{}^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma-1)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b{}^2\beta_b}\{-\mathrm{D}_2{}^{n}$$
$$-\mathrm{D}_3{}^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma-1)\}(-1)^{\frac{n}{2}}-\frac{\mathrm{F}_1}{4\alpha_b{}^2\beta_b}-\frac{1}{\alpha_b\beta_b\gamma}(2\mathrm{F}_2-\mathrm{F}_3)\Big]-\frac{a^2\mathrm{C}_b{}^1}{2\mathrm{EZ}_b}+\mathrm{C}_b{}^6 \qquad (30\,\mathrm{a})$$

$$v_b(x)=\frac{1}{\mathrm{EI}_b}\iiiint t\sigma_y(x,-b/2)dxdxdxdx+\frac{\mathrm{D}_b}{2\mathrm{EI}_b}\iiint t\tau_{xy}(x,-b/2)dxdxdx-\frac{6}{5\mathrm{GA}_b}\iint t\sigma_y(x,-b/2)dxdx$$
$$-\frac{\mathrm{D}_b}{10\mathrm{GA}_b}\int t\tau_{xy}(x,-b/2)dx+\frac{\mathrm{C}_b{}^1}{6\mathrm{EI}_b}x^3+\mathrm{C}_b{}^4x$$
$$=\frac{a}{\mathrm{E}}\Big[\sum_{m(o)}\frac{16}{m^4\pi^4}\Big[-\mathrm{A}_1{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\cdot\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big]$$
$$-\mathrm{A}_4{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4}\Big)\Big]$$
$$+\mathrm{A}_2{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\Big]+\mathrm{A}_3{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\frac{m\pi}{4\gamma}$$
$$+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\Big)\Big]\Big]\sin\alpha_mx+\sum_{n(o)}\frac{1}{n^4\pi^4\gamma^4\cosh n\pi\gamma}\Big[\mathrm{C}_2{}^n\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}$$
$$+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\sinh\beta_nx+\mathrm{C}_3{}^n\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}(\beta_nx\cosh\beta_nx-2\sinh\beta_nx)-\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\beta_nx\cosh\beta_nx\Big\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$
$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^4\pi^4\gamma^4\cosh n\pi\gamma}\Big[\mathrm{D}_2{}^n\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\sinh\beta_nx+\mathrm{D}_3{}^n\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}(\beta_nx\cosh\beta_nx-2\sinh\beta_nx)$$
$$-\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\beta_nx\cosh\beta_nx\Big\}\Big](-1)^{\frac{n}{2}}+\Big(\frac{x^5}{10a^2\alpha_b{}^3\beta_b}-\frac{2(1+\nu)x^3}{5\alpha_b\beta_b}\Big)\frac{1}{a^3}\mathrm{F}_1+\Big(\frac{x^3}{a^3\alpha_b{}^2\beta_b}-\frac{(1+\nu)x}{a\beta_b}\Big)\gamma\mathrm{F}_2$$
$$+\Big(-\frac{x^3}{12a^3\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)x}{10a\beta_b}\Big)\gamma\mathrm{F}_3\Big]+\frac{\mathrm{C}_b{}^1}{6\mathrm{EI}_b}x^3+\mathrm{C}_b{}^4x \qquad (31\,\mathrm{a})$$

(31 a)式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$v_b(a)=\frac{a}{\mathrm{E}}\Big[\sum_{m(o)}\frac{16}{m^4\pi^4}\Big[-\mathrm{A}_1{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big]$$
$$-\mathrm{A}_4{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)\Big]$$
$$+\mathrm{A}_2{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\Big]+\mathrm{A}_3{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\frac{m\pi}{4\gamma}$$
$$+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\Big)\Big]\Big]\Big\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\Big\}+\sum_{n(o)}\frac{1}{n^4\pi^4\gamma^4}\Big[\mathrm{C}_2{}^n\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\tanh n\pi\gamma$$
$$+\mathrm{C}_3{}^n\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}n\pi\gamma-\frac{24}{\alpha_b{}^3\beta_b}\tanh n\pi\gamma\Big]\Big](-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^4\pi^4\gamma^4}\Big[\mathrm{D}_2{}^n\Big\{\frac{12}{\alpha^3{}_b\beta_b}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\tanh n\pi\gamma$$
$$+\mathrm{D}_3{}^n\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}n\pi\gamma-\frac{24}{\alpha_b{}^3\beta_b}\tanh n\pi\gamma\Big]\Big](-1)^{\frac{n}{2}}+\Big\{\frac{1}{10\alpha_b{}^3\beta_b}-\frac{2(1+\nu)}{\alpha_b\beta_b}\Big\}\mathrm{F}_1+\Big\{\frac{1}{\alpha_b{}^3\beta_b}-\frac{2(1+\nu)}{10\alpha_b\beta_b}\Big\}\frac{\alpha_b}{\gamma}\mathrm{F}_2$$
$$+\Big\{-\frac{12}{24\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{2(1+\nu)}{20\alpha_b\beta_b}\Big\}\frac{\alpha_b}{\gamma}\mathrm{F}_3\Big]+\frac{a^3\mathrm{C}_b{}^1}{6\mathrm{EI}_b}+a\mathrm{C}_b{}^4 \qquad (32\,\mathrm{a})$$

$$\theta_b{}^{\mathrm{B}}(x)=\frac{1}{\mathrm{EI}_b}\iiint t\sigma_y(x,-b/2)dxdxdx+\frac{\mathrm{D}_b}{2\mathrm{EI}_b}\iint t\tau_{xy}(x,-b/2)dxdx+\frac{\mathrm{C}_b{}^1}{2\mathrm{EI}_b}x^2+\mathrm{C}_b{}^4+\frac{6\mathrm{C}_b{}^1}{5\mathrm{GA}_b}$$
$$=\frac{1}{\mathrm{E}}\Big[\sum_{m(o)}\frac{96}{m^3\pi^3\alpha_b{}^3\beta_b}\Big[-\mathrm{A}_1{}^m\Big(1+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)-\mathrm{A}_4{}^m\Big\{\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)\Big\}$$

$$+A_2^m\left(\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi}{4}\alpha_b\right)+A_3^m\left\{\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4}+1\right)\right\}\Big]\cos\alpha_m x+\sum_{n(o)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b^3\beta_b\cosh n\pi\gamma}$$

$$\{C_2^n\cosh\beta_n x+C_3^n(\beta_n x\sinh\beta_n x-\cosh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b^3\beta_b\cosh n\pi\gamma}\{D_2^n\cosh\beta_n x$$

$$+D_3^n(\beta_n x\sinh\beta_n x-\cosh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{F_1}{2a^4\alpha_b^3\beta_b}x_4+\frac{3}{a^2\alpha_b^2\beta_b\gamma}\left(F_2x^2-\frac{F_3}{2}x^2\right)\Big]$$

$$+\left(\frac{x^2}{2EI_b}+\frac{6}{5GA_b}\right)C_b^1+C_b^4 \tag{33 a}$$

（33 a）式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$\theta_b^B(a)=\frac{1}{E}\Big[\sum_{n(o)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b^3\beta_b}\{C_2^n+C_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma-1)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b^3\beta_b}\{D_2^n+D_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma$$

$$-1)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{F_1}{2\alpha_b^3\beta_b}+\frac{3}{2\alpha_b^2\beta_b\gamma}(2F_2-F_3)\Big]+\left(\frac{a^2}{2EI_b}+\frac{6}{5GA_b}\right)C_b^1+C_b^4 \tag{34 a}$$

$$\theta_b^S(x)=-\frac{6}{5GA_b}\int t\sigma_y(x,-b/2)dx-\frac{D_b}{10GA_b}t\tau_{xy}(x,-b/2)-\frac{6C_b^1}{5GA_b}$$

$$=\frac{1}{E}\Big[\sum_{m(o)}\frac{4(1+\nu)}{m\pi\alpha_b\beta_b}\Big[-A_1^m\left(\frac{6}{5}+\frac{m\pi\alpha_b}{20}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)-A_4^m\left\{\frac{3m\pi}{10\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{20}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\right\}$$

$$+A_2^m\left(\frac{6}{5}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{20}\right)+A_3^m\left\{\frac{3m\pi}{10\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{20}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right\}\Big]\cos\alpha_m x+\sum_{n(o)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_b\beta_b\cosh n\pi\gamma}$$

$$\left\{-\frac{6C_2^n}{5}\cosh\beta_n x-\frac{6C_3^n}{5}(\beta_n x\sinh\beta_n x+\cosh\beta_n x)\right\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_b\beta\alpha\cosh n\pi\gamma}\left\{-\frac{6D_2^n}{5}\cosh\beta_n x\right.$$

$$\left.-\frac{6D_3^n}{5}(\beta_n x\sinh\beta_n x+\cosh\beta_n x)\right\}(-1)^{\frac{n}{2}}-\frac{6(1+\nu)}{5a^2\alpha_b\beta_b}x^2-\frac{1}{20\beta_b\gamma}(2F_2-F_3)\Big]-\frac{6C_b^1}{5GA_b} \tag{35 a}$$

（35 a）式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$\theta_b^S(a)=\frac{1}{E}\Big[\sum_{n(o)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_b\beta_b}\left\{-\frac{6C_2^n}{5}-\frac{6C_3^n}{5}(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\right\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_b\beta_b}\left\{-\frac{6D_2^n}{5}-\frac{6D_3^n}{5}\right.$$

$$\left.(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\right\}(-1)^{\frac{n}{2}}-\frac{6(1+\nu)}{5\alpha_b\beta_b}F_1-\frac{1}{20\beta_b\gamma}(2F_2-F_3)\Big]-\frac{6C_b^1}{5GA_b} \tag{36 a}$$

$$M_c(y)=2\int\int t\sigma_x(a,y)dydy-D_c\int t\tau_{xy}(a,y)dy+C_c^1y+C_c^2$$

$$=a^2t\Big[\sum_{m(o)}\frac{8}{m^2\pi^2\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}(A_1^m\cosh\alpha_m y+A_4^m\alpha_m y\sinh\alpha_m y+A_2^m\sinh\alpha_m y+A_3^m\alpha_m y\cosh\alpha_m y)\left\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\right\}$$

$$+\sum_{n(o)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2}[C_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)+C_3^n\{n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}]\sin\beta_n y$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2}[D_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)+D_3^n\{n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}]\cos\beta_n y$$

$$+\alpha_c\left\{\frac{F_2}{a^2}\left(\frac{y^2}{2}-\frac{by}{2}\right)+\frac{F_3}{a^2b}\left(\frac{y^3}{3}-\frac{by^2}{4}\right)\right\}\Big]+C_c^1y+C_c^2 \tag{37 a}$$

（37 a）式に $y=b/2$ を代入して次式を得る。

$$M_c(b/2)=a^2t\Big[\sum_{m(o)}\frac{8}{m^2\pi^2}\left(A_1^m+A_4^m\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+A_2^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+A_3^m\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\left\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\right\}$$

$$+\sum_{n(o)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2}\Big[C_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)+C_3^n\{2n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\Big]\left\{-(-1)^{\frac{n+1}{2}}\right\}$$

$$+\sum_{ne}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2}\Big[D_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)+D_3^n\{2n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\Big](-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$-\frac{\alpha_c}{\gamma^2}\left(\frac{F_2}{8}+\frac{F_3}{48}\right)\Big]+\frac{b}{2}C_c^1+C_c^2 \qquad (38\,a)$$

(37 a) 式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$M_c(-b/2)=a^2t\Big[\sum_{m0}\frac{8}{m^2\pi^2}\left(A_1^m+A_4^m\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_2^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_3^m\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\left\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\right\}$$

$$+\sum_{n0}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2}\Big[C_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)+C_3^n\{n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\Big](-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{ne}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2}\Big[D_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)+D_3^n\{n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\Big](-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$+\frac{\alpha_c}{\gamma^2}\left(\frac{3}{8}F_2-\frac{5}{48}F_3\right)\Big]-\frac{b}{2}C_c^1+C_c^2 \qquad (39\,a)$$

柱の中心を通る縦軸に関して逆対称な外力を与えているので，

$$N_c(y)=0 \qquad (40\,a)$$

$$Q_c(y)=2\int t\sigma_x(a\ ,\ y)dy+C_c^1$$

$$=at\Big[\sum_{m0}\frac{4}{m\pi\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\Big\{A_1^m\sinh\alpha_m y+A_4^m(\alpha_m y\cosh\alpha_m y+\sinh\alpha_m y)+A_2^m\cosh\alpha_m y$$

$$+A_3^m(\alpha_m y\sinh\alpha_m y+\cosh\alpha_m y)\Big\}\left\{-(-1)^{\frac{n+1}{2}}\right\}+\sum_{n0}\frac{2}{n\pi\gamma}(-C_2^n\tanh n\pi\gamma-C_3^n n\pi\gamma)\cos\beta_n y$$

$$+\sum_{ne}\frac{2}{n\pi\gamma}(-D_2^n\tanh n\pi\gamma-D_3^n n\pi\gamma)\sin\beta_n y+2\left\{\frac{F_2}{a}y+\frac{F_3}{ab}\left(y^2-\frac{b}{2}y\right)\right\}\Big]+C_c^1 \qquad (41\,a)$$

(41 a) 式に $y=b/2$ を代入して次式を得る。

$$Q_c(b/2)=at\Big[\sum_{m0}\frac{4}{m\pi}\left\{A_1^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+A_4^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)+A_2^m+A_3^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right\}\left\{(-1)^{\frac{m+1}{2}}\right\}$$

$$+\frac{(F_3-F_2)}{\gamma}\Big]+C_c^1 \qquad (42\,a)$$

(41 a) 式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$Q_c(-b/2)=at\Big[\sum_{m0}\frac{2}{m\pi}\left\{-A_1^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_4\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)+A_2^n+A_3^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right\}\left\{(-1)^{\frac{m+1}{2}}\right\}$$

$$+(F_3-F_2)\frac{1}{\gamma}\Big]+C_c^1 \qquad (43\,a)$$

$$u_c(y)=\frac{2}{EI_c}\int\!\!\int\!\!\int\!\!\int t\sigma_x(a\ ,\ y)dydydydy-\frac{D_c}{EI_c}\int\!\!\int\!\!\int t\tau_{xy}(a\ ,\ y)dydydy-\frac{12}{5GA_c}\int\!\!\int t\sigma_x(a\ ,\ y)dydy$$

$$+\frac{D_c}{5GA_c}\int t\tau_{xy}(a\ ,\ y)dy+\frac{1}{EI_c}\left(\frac{C_c^1}{6}y^3+\frac{C_c^2}{2}y^2\right)+C_c^4 y+C_c^5$$

$$=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m0}\frac{96}{m^4\pi^4\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\Big[A_1^m\left\{\frac{4}{\alpha_c^3\beta_c}-\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_c\beta_c}\right\}\cosh\alpha_m y+A_4^m\Big[\left\{\frac{4}{\alpha_c^3\beta_c}-\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_c\beta_c}\right\}\alpha_m y\sinh\alpha_m y$$

$$-\frac{8}{\alpha_c^3\beta_c}\cosh\alpha_m y\Big]+A_2^m\left\{\frac{4}{\alpha_c^3\beta_c}-\frac{(1+\gamma)m^2\pi^2}{5\alpha_c\beta_c}\right\}\sinh\alpha_m y+A_3^m\Big[\left\{\frac{4}{\alpha_c^3\beta_c}-\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_c\beta_c}\right\}\alpha_m y\cosh\alpha_m y$$

$$-\frac{8}{\alpha_c^3\beta_c}\sinh\alpha_m y\Big]\Big]\left\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\right\}+\sum_{n0}\frac{2}{n^4\pi^4\gamma^4}\Big[-C_2^n\Big[n\pi\gamma\left\{\frac{6}{\alpha_c^2\beta_c}+\frac{(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\beta_c}\right\}$$

$$+\left\{\frac{12}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\right\}\tanh n\pi\gamma\Big]-C_3^n\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}n\pi\gamma+n\pi\gamma\Big\{\frac{6}{\alpha_c^2\beta_c}+\frac{(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\beta_c}\Big\}\cdot$$

$$(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\Big]\Big]\sin\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{2}{n^4\pi^4\gamma^4}\Big[-D_2^n\Big[n\pi\gamma\Big\{\frac{6}{\alpha_c^2\beta_c}+\frac{(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\beta_c}\Big\}+\Big\{\frac{12}{\alpha_c^3\beta_c}$$

$$+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}\tanh n\pi\gamma\Big]-D_3^n\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}n\pi\gamma+n\pi\gamma\Big\{\frac{6}{\alpha_c^2\beta_c}+\frac{(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\beta_c}\Big\}$$

$$(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\Big]\Big]\cos\beta_n y+\Big\{\frac{y^4}{a^4\alpha_c^3\beta_c}+\frac{1}{a^4\alpha_c^2\beta_c}\Big(\frac{y^4}{2}-by^3\Big)-\frac{12(1+\nu)}{a^2\alpha_c\beta_c}y^2-\frac{1}{a^2\beta_c}\Big(\frac{y^2}{2}-\frac{b}{2}y\Big)\Big\}F_2$$

$$+a^4b\Big\{\frac{(2+\alpha_c)}{\alpha_c^3\beta_c}\Big(\frac{y^5}{5}-\frac{b}{4}y^4\Big)-\frac{2(1+\nu)}{a^2b\alpha_c\beta_c}\Big(\frac{12}{5}+\alpha_c\Big)\Big(\frac{y^3}{3}-\frac{b}{4}y^2\Big)\Big\}F_3\Big]+\frac{1}{EI_c}\Big(\frac{C_c^1}{6}y^3+\frac{C_c^2}{2}y^2\Big)+C_c^4y+C_c^5 \qquad (44a)$$

(44a)式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$u_c(-b/2)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(o)}\frac{96}{m^4\pi^4}\Big[A_1^m\Big\{\frac{4}{\alpha_c^3\beta_c}-\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}+A_4^m\Big[\Big\{\frac{4}{\alpha_c^3\beta_c}-\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-\frac{8}{\alpha_c^3\beta_c}\Big]$$

$$-A_2^m\Big\{\frac{4}{\alpha_c^3\beta_c}-\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_3^m\Big[\Big\{\frac{4}{\alpha_c^3\beta_c}-\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}\frac{m\pi}{4\gamma}-\frac{8}{\alpha_c^3\beta_c}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big]\Big]\Big\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\Big\}$$

$$+\sum_{n(o)}\frac{2}{n^2\pi^2\gamma^2}\Big[-C_2^n\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma\Big\{\frac{6}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}\Big]$$

$$-C_3^n\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma\Big\{\frac{6}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\Big]\Big](-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{2}{n^2\pi^2\gamma^2}\Big[-D_2^n\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma\Big\{\frac{6}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}\Big]$$

$$-D_3^n\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_c}\Big\}n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma\Big\{\frac{6}{\alpha_c^3\beta_c}+\frac{(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_c\beta_2}\Big\}(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\Big]\Big](-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$+\Big\{\frac{1}{\alpha_c^3\beta_c\gamma^4}\Big(\frac{1}{16}+\frac{5\alpha_c}{32}\Big)-\frac{3(1+\nu)}{\alpha_c\beta_c\gamma^2}\Big(\frac{1}{5}-\frac{\alpha_c}{20}\Big)\Big\}F_2+\Big\{-\frac{7}{\alpha_c^3\beta_c\gamma^4}\Big(\frac{1}{160}+\frac{\alpha_c}{320}\Big)+\frac{(1+\nu)}{\alpha_c\beta_c\gamma^2}\Big(\frac{1}{2}+\frac{\alpha_c}{24}\Big)\Big\}F_3\Big]$$

$$+\frac{1}{EI_c}\Big(-\frac{b^3}{48}C_c^1+\frac{b^2}{8}C_c^2\Big)-\frac{b}{2}C_c^4+C_c^5 \qquad (45a)$$

$$v_c(y)=-\frac{2}{EZ_c}\iiint t\sigma_x(a,\ y)dydydy+\frac{D_c}{EZ_c}\iint t\tau_{xy}(a,\ y)dydy-\frac{1}{EZ_c}\Big(\frac{C_c^1}{2}y^2+C_c^2y\Big)+C_c^6$$

$$=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(o)}\frac{96}{m^3\pi^3\alpha_c^2\beta_c\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\Big\{-A_1^m\sinh\alpha_m y-A_4^m(\alpha_m y\cosh\alpha_m y-\sinh\alpha_m y)-A_2^m\cosh\alpha_m y$$

$$-A_3^m(\alpha_m y\sinh\alpha_m y-\cosh\alpha_m y)\Big\}\Big\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\Big\}+\sum_{n(o)}\frac{6}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_c^2\beta_c}\Big[C_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)$$

$$+C_3^n\Big\{2n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\Big\}\Big]\cos\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{6}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_c^3\beta_c}\Big[-D_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)$$

$$-D_3^n\{2n\pi\gamma+n\pi\alpha_c(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\Big]\sin\beta_n y+\Big\{-\frac{y^3}{3}-\alpha_c\Big(\frac{y^3}{6}-\frac{b}{4}y^2\Big)\Big\}\frac{6}{a^3\alpha_c^2\beta_c}F_2$$

$$-(2+\alpha_c)\Big(\frac{y^4}{12}-\frac{b}{12}y^3\Big)\frac{6}{a^3b\alpha_c^2\beta_c}F_3\Big]-\frac{1}{EZ_c}\Big(\frac{C_c^1}{2}y^2+C_c^2y\Big)+C_c^6 \qquad (46a)$$

(46a)式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$v_c(-b/2)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(o)}\frac{96}{m^3\pi^3\alpha_c^2\beta_c}\Big\{A_1^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+A_4^m\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}-\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)-A_2^m-A_3^m\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-1\Big)\Big\}$$

$$\Big\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\Big\}+\Big(\frac{1}{4}+\frac{\alpha_c}{2}\Big)\frac{F_2}{\alpha_c^2\beta_c\gamma^3}-\Big(\frac{1}{16}+\frac{\alpha_c}{32}\Big)\frac{3}{\alpha_c\beta_c\gamma^3}F_3\Big]-\frac{1}{EZ_c}\Big(\frac{b^2}{8}C_c^1-\frac{b}{2}C_c^2\Big)+C_c^6 \qquad (47a)$$

$$\theta_c^B(y)=\frac{2}{EI_c}\int\int\int t\sigma_x(a\,,\,y)dydydy-\frac{D_c}{EI_c}\int\int t\tau_{xy}(a\,,\,y)dydy+\frac{1}{EI_c}\left(\frac{C_c^1}{2}y^2+C_c^2y\right)+C_c^4+\frac{6}{5GA_c}C_c^1$$

$$=\frac{1}{E}\Bigg[\sum_{m(0)}\frac{192}{m^3\pi^3\alpha_c^3\beta_c\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\Big\{A_1^m\sinh\alpha_m y+A_4^m(\alpha_m y\cosh\alpha_m y-\sinh\alpha_m y)$$

$$+A_2^m\cosh\alpha_m y+A_3^m(\alpha_m y\sinh\alpha_m y-\cosh\alpha_m y)\Big\}\Big\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\Big\}$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_c^3\beta_c}\Big[-C_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)-C_3^n\{2n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\Big]\cos\beta_n y$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_c^3\beta_c}\Big[D_2^n(2\tanh n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma)+D_3^n\{2n\pi\gamma+n\pi\alpha_c\gamma(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\Big]\sin\beta_n y$$

$$+\left\{\frac{y^3}{3}+\alpha_c\left(\frac{y^3}{6}-\frac{b}{4}y^2\right)\right\}\frac{12}{a^3\alpha_c^3\beta_c}F_2+(2+\alpha_c)(y^4-by^3)\frac{F_3}{a^3b\alpha_c^3\beta_c}\Bigg]+\frac{1}{EI_c}\left(\frac{C_c^1}{2}y^2+C_c^2y\right)+C_c^4+\frac{6}{5GA_c}C_c^1 \qquad (48\,a)$$

(48 a)式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$\theta_c^B(-b/2)=\frac{1}{E}\Bigg[\sum_{m(0)}\frac{192}{m^3\pi^3\alpha_c^3\beta_c}\Big\{-A_1^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-A_4^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}-\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)+A_2^m$$

$$+A_3^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-1\right)\Big\}\Big\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\Big\}-\left(\frac{1}{2}+\alpha_c\right)\frac{F_2}{\alpha_c^3\beta_c\gamma^3}+\left(\frac{1}{8}+\frac{\alpha_c}{16}\right)\frac{3F_3}{\alpha_c^3\beta_c\gamma^3}\Bigg]$$

$$+\frac{1}{EI_c}\left(\frac{b^3}{8}C_{c1}-\frac{b}{2}C_c^2\right)+C_c^4+\frac{6}{5GA_c}C_c^1 \qquad (49\,a)$$

$$\theta_c^S(y)=-\frac{12}{5GA_c}\int t\sigma_x(a\,,\,y)dy+\frac{D_ct}{5GA_c}\tau_{xy}(a\,,\,y)-\frac{6}{5GA_c}C_c^1$$

$$=\frac{1}{E}\Bigg[\sum_{m(0)}\frac{4(1+\nu)}{m\pi\alpha_c\beta_c\cosh\frac{m\pi}{4\gamma}}\Big\{-\frac{12}{5}A_1^m\sinh\alpha_m y-\frac{12}{5}A_4^m(\alpha_m y\cosh\alpha_m y+\sinh\alpha_m y)$$

$$-\frac{12}{5}A_2^m\cosh\alpha_m y-\frac{12}{5}A_4^m(\alpha_m y\sinh\alpha_m y+\cosh\alpha_m y)\Big\}\Big\{-(-1)^{\frac{m+1}{2}}\Big\}$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_c\beta_c}\Big[-C_2^n\left(\frac{12}{5}\tanh n\pi\gamma+\frac{n\pi\alpha_c\gamma}{5}\right)-C_3^n\Big\{\frac{12}{5}n\pi\gamma+\frac{n\pi\alpha_c\gamma}{5}(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\Big\}\Big]\cos\beta_n y$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_c\beta_c}\Big[D_2^n\left(\frac{12}{5}\tanh n\pi\gamma+\frac{n\pi\alpha_c\gamma}{5}\right)+D_3^n\Big\{\frac{12}{5}n\pi\gamma+\frac{n\pi\alpha_c\gamma}{5}(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\Big\}\Big]\sin\beta_n y$$

$$-\left\{\frac{12}{5}y+\frac{\alpha_c}{5}(y-b/2)\right\}\frac{2(1+\nu)}{a\alpha_c\beta_c}F_2-\left(\frac{12}{5}+\frac{\alpha_c}{5}\right)\left(y^2-\frac{b}{2}y\right)\frac{2(1+\nu)}{ab\alpha_c\beta_c}F_3\Bigg]-\frac{6}{5GA_c}C_c^1 \qquad (50\,a)$$

(50 a)式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$\theta_c^S(-b/2)=\frac{1}{E}\Bigg[\sum_{m(0)}\frac{2(1+\nu)}{m\pi\alpha_c\beta_c}\Big\{\frac{12}{5}A_1^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{12}{5}A_4^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)-\frac{12}{5}A_2^m$$

$$-\frac{12}{5}A_3^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\Big\}\Big\{-(-1)^{\frac{(m+1)}{2}}\Big\}+\left(\frac{6}{5}+\frac{\alpha_c}{5}\right)\frac{2(1+\nu)}{\alpha_c\beta_c\gamma}F_2$$

$$-\left(\frac{6}{5}-\frac{\alpha_c}{10}\right)\frac{1}{\alpha_c\beta_c\gamma}F_3\Bigg]-\frac{6}{5GA_c}C_c^1 \qquad (51\,a)$$

Type Ⅱ)の場合

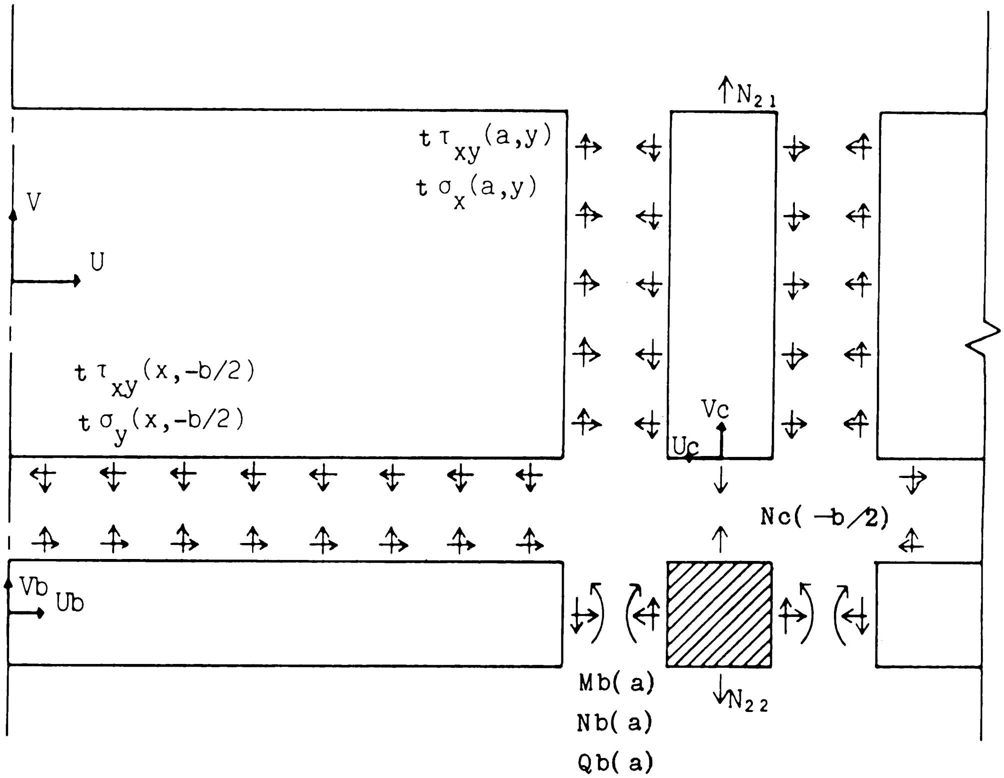

図４　はり一壁板，柱一壁板の境界での応力状態（Type Ⅱ）

$$
\begin{aligned}
M_b(x)&=\iint t\sigma_y(x\,,\,-b/2)dxdx+\frac{D_b}{2}\int t\tau_{xy}(x\,,\,-b/2)dx+C_b^2\\
&=a^2t\Bigg[\sum_{m(e)}\frac{4}{m^2\pi^2}\Bigg[B_1^m\left(1+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)+B_4^m\left\{\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\right\}\\
&\quad-B_2^m\left(\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\right)-B_3^m\left\{\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right\}\Bigg]\cos\alpha_m x\\
&\quad+\sum_{n(0)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\cosh n\pi\gamma}\left(C_1^n\cosh\beta_n x+C_4^n\beta_n x\sinh\beta_n x\right)(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\cosh n\pi\gamma}(D_1^n\cosh\beta_n x\\
&\quad+D_4^n\beta_n x\sinh\beta_n x)(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{x^2F_1}{a^2}+\left(x^4-\frac{9b^2x^2}{4}-3\alpha_b abx^2\right)\frac{F_2}{a^4}-\left(\frac{9}{4\gamma}+3\alpha_b\right)\frac{x^2}{a^2\gamma}F_5\\
&\quad+\left\{-5a^2x^2+\frac{5}{2}b^2x^2+\frac{5}{2}x^4-\frac{\alpha_b\gamma}{2}(10a^2x^2-5x^4)\right\}\frac{1}{a^4}F_6\Bigg]+C_b^2
\end{aligned}
\tag{23 b}
$$

$$
\begin{aligned}
N_b(x)&=-\int t\tau_{xy}(x\,,\,-b/2)dx+C_b^3\\
&=at\Bigg[\sum_{m(e)}\frac{2}{m\pi}\left\{-B_1^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}-B_4^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)+B_2^m+B_3^m\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right\}\cos\alpha_m x\\
&\quad+\frac{1}{a^4}\left\{6bx^2(F_2-F_5)+(10a^2x^2-5x^4)\frac{F_6}{b}\right\}\Bigg]+C_b^3
\end{aligned}
\tag{24 b}
$$

$$Q_b(x)=\int t\sigma_y(x\ ,\ -b/2)dx$$

$$=at\Big[\sum_{m(e)}\frac{2}{m\pi}\Big(-B_1{}^m-B_4{}^m\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+B_2{}^m\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+B_3{}^m\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)\sin\alpha_m x$$

$$+\sum_{n0}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}\{C_1{}^n\sinh\beta_n x+C_4{}^n(\beta_n x\cosh\beta_n x+\sinh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{ne}\frac{1}{n\pi\gamma\cosh n\pi\gamma}\{D_1{}^n\sinh\beta_n x+D_4{}^n(\beta_n x\cosh\beta_n x+\sinh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{2xF_1}{a}$$

$$+\Big(4x^3-\frac{9}{2}b^2x\Big)\frac{F_2}{a^3}-\frac{9x}{2\gamma^2 a}F_5+\{(-10a^2+5b^2)x+10x^3\}\frac{1}{a^3}F_6\Big] \qquad (25\,b)$$

$$u_b(x)=-\frac{1}{EZ_b}\iiint t\sigma_y(x\ ,\ -b/2)dxdxdx-\frac{D_b}{2EZ_b}\iint t\tau_{xy}(x\ ,\ -b/2)dxdx$$

$$-\frac{1}{EA_b}\iint t\tau_{xy}(x\ ,\ -b/2)dxdx-\frac{C_b{}^2}{EZ_b}x+\frac{C_b{}^3}{EA_b}x$$

$$=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(e)}\frac{16}{m^3\pi^3}\Big[-B_1{}^m\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{m\pi}{\alpha_b\beta_b}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big\}-B_4{}^m\Big\{\frac{3m\pi}{4\alpha_b{}^2\beta_b\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi}{\alpha_b\beta_b}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)\Big\}$$

$$+B_2{}^m\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi}{\alpha_b\beta_b}\Big\}+B_3{}^m\Big\{\frac{3m\pi}{4\alpha_b{}^2\beta_b\gamma}+\frac{m\pi}{\alpha_b\beta_b}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\Big)\Big\}\Big]\sin\alpha_n x$$

$$+\sum_{n0}\frac{6}{n^3\pi^3\gamma^3\cosh n\pi\gamma}\Big\{-\frac{1}{\alpha_b{}^2\beta_b}C_1{}^n\sinh\beta_n x-\frac{1}{\alpha_b{}^2\beta_b}C_4{}^n(\beta_n x\cosh\beta_n x-\sinh\beta_n x)\Big\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{ne}\frac{6}{n^3\pi^3\gamma^3\cosh n\pi\gamma}\Big\{-\frac{1}{\alpha_b{}^2\beta_b}D_1{}^n\sinh\beta_n x-\frac{1}{\alpha_b{}^2\beta_b}D_4{}^n(\beta_n x\cosh\beta_n x-\sinh\beta_n x\Big\}(-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$-\frac{2x^3}{a^3\alpha_b{}^2\beta_b}F_1+\Big\{-\frac{6}{a^5\alpha_b{}^2\beta_b}\Big(\frac{x^5}{5}-\frac{3}{4}b^2x^3\Big)+\frac{8x^3}{a^3\gamma\alpha_b\beta_b}\Big\}F_2+\Big\{\frac{9bx^3}{2a^4\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{8x^3}{a^3\alpha_b\beta_b}\Big\}$$

$$+\frac{1}{\gamma}F_5+\Big[-\frac{6}{a^5\alpha_b{}^2\beta_b}\Big\{\Big(-\frac{5}{3}a^2+\frac{5}{6}b^2\Big)x^3+\frac{x^5}{2}\Big\}+\frac{4}{a^4b\alpha_b\beta_b}\Big(\frac{10}{3}a^2x^3-x^5\Big)\Big]F_6\Big]-\frac{C_b{}^2x}{EZ_b}+\frac{C_b{}^3x}{EA_b} \qquad (26\,b)$$

（26 b）式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$u_b(a)=\frac{a}{E}\Big[\sum_{n0}\frac{6}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha^2{}_b\beta_b}\Big\{-C_1{}^n\tanh n\pi\gamma-C_4{}^n(n\pi\gamma-\tanh n\pi\gamma)\Big\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{6}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha^2{}_b\beta_b}\Big\{-D_1{}^n\tanh n\pi\gamma-D_4{}^n(n\pi\gamma-\tanh n\pi\gamma)\Big\}(-1)^{\frac{n}{2}}-\frac{2}{\alpha_b{}^2\beta_b}F_1$$

$$+\Big\{-\frac{6}{\alpha_b{}^2\beta_b}\Big(\frac{1}{5}-\frac{31}{4\gamma^2}\Big)+\frac{4}{\gamma\alpha_b\beta_b}\Big\}F_2+\Big\{\cdot\frac{9}{2\alpha_b{}^2\beta_b\gamma^2}+\frac{8}{\gamma\alpha_b\beta_b}\Big\}F_5$$

$$+\Big\{\frac{6}{\alpha_b{}^2\beta_b}\Big(\frac{7}{6}-\frac{5}{6}\frac{1}{\gamma^2}\Big)+\frac{28}{3\alpha_b\beta_b}\Big\}F_6\Big]-\frac{aC_b{}^2}{EZ_b}+\frac{aC_b{}^3}{EA_b} \qquad (27\,b)$$

$$v_b(x)=\frac{1}{EI_b}\iiiint t\sigma_y(x\ ,\ -b/2)dxdxdxdx+\frac{D_b}{2EI_b}\iiint t\tau_{xy}(x\ ,\ -b/2)dxdxdx$$

$$-\frac{6}{5GA_b}\iint t\sigma_y(x\ ,\ -b/2)dxdx-\frac{D_b}{10GA_b}\int t\tau_{xy}(x\ ,\ -b/2)dx+\frac{C_b{}^2}{2EI_b}x^2+C_b{}^5$$

$$=\frac{a}{E}\Big[\sum_{m(e)}\frac{16}{m^4\pi^4}\Big[-B_1{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big]\Big]$$

$$-B_4{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\Big(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\Big)\Big]$$

$$+B_2{}^m\Big[\Big\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\Big\}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+m\pi\Big\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\Big\}\Big]$$

$$+B_3{}^m\left[\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}\frac{m\pi}{4\gamma}+m\pi\left\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\beta_b}\right\}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right]\Bigg]\cos\alpha_m x$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{n^4\pi^4\gamma^4\cosh n\pi\gamma}\left[C_1{}^n\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}\cosh\beta_n x+C_4{}^n\left[\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}\beta_n x\sinh\beta_n x\right.\right.$$

$$\left.\left.-\frac{24}{\alpha_b{}^3\beta_b}\cosh\beta_n x\right]\right](-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^4\pi^4\gamma^4\cosh n\pi\gamma}\left[D_1{}^n\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}\cosh\beta_n x\right.$$

$$\left.+D_4{}^n\left[\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)n^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}\beta_n x\sinh\beta_n x-\frac{24}{\alpha_b{}^3\beta_b}\cosh\beta_n x\right]\right](-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$+\left\{\frac{x^4}{a^4\alpha_b{}^3\beta_b}-\frac{12(1+\nu)x^2}{5a^2\alpha_b\beta_b}\right\}F_1+\left\{\frac{6}{a^6\alpha_b{}^3\beta_b}\left(\frac{x^6}{15}-\frac{3b^2x^4}{8}\right)-\frac{12\alpha\beta}{a^4\alpha_b{}^3\beta_b\gamma}-\frac{12(1+\nu)}{5a^4\alpha_b{}^3\beta_b}\left(x^4-\frac{9b^2x^2}{4}\right)+\frac{3\alpha_b x^2}{5a^2\alpha_b\beta_b\gamma}\right\}F_2$$

$$-\left\{\frac{9x^4}{4a^4\alpha_b{}^3\beta_b\gamma}+\frac{3x^4}{a^4\alpha_b{}^3\beta_b}-\frac{27(1+\nu)x^2}{5a^2\alpha_b\beta_b\gamma}-\frac{6(1+\nu)x^2}{5a^2\beta_b}\right\}\frac{1}{\gamma}F_5+\left[\frac{1}{a^6\alpha_b{}^3\beta_b}\left\{\left(-5a^2+\frac{5}{12}b^2\right)x^4+\frac{x^6}{12}\right\}\right.$$

$$\left.-\frac{1}{a^5b\alpha_b{}^2\beta_b}(5a^2x^4-x^6)-\frac{12(1+\nu)}{5a^4\alpha_b\beta_b}\left(-a^2x^2+\frac{5}{2}b^2x^2+\frac{5}{2}x^4\right)+\frac{1}{2a^3b\beta_b}(2a^2x^2-x^4)\right]F_6\Bigg]+\frac{C_b{}^2}{2EI_b}x^2+C_b{}^5 \qquad (28\,b)$$

（28 b）式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$v_b(a)=\frac{a}{E}\left[\sum_{m(e)}\frac{16}{m^4\pi^4}\left[-B_1{}^m\left\{\frac{12}{\alpha_b\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}+m\pi\left\{\frac{3}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\alpha_b\beta_b}\right\}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right]\right.$$

$$-B_4{}^m\left[\left\{\frac{12}{\alpha_b\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+m\tau\left\{\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\alpha_b\beta_b}\right\}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\right]$$

$$+B_2{}^m\left[\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+m\pi\left\{\frac{3}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\alpha_b\beta_b}\right\}\right]+B_3{}^m\left[\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{3(1+\nu)m^2\pi^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}\frac{m\pi}{4\gamma}\right.$$

$$\left.+m\pi\left\{\frac{3}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{(1+\nu)m^2\pi^2}{40\alpha_b\beta_b}\right\}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right]\Bigg](-1)^{\frac{m}{2}}$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{1}{n^4\pi^4\gamma^4}\left[C_1{}^n\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)m^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}+C_4{}^n\left[\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)m^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma-\frac{24}{\alpha_b{}^3\beta_b}\right]\right](-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n^4\pi^4\gamma^4}\left[D_1{}^n\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)m^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}+D_4{}^n\left[\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}-\frac{12(1+\nu)m^2\pi^2\gamma^2}{5\alpha_b\beta_b}\right\}n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma-\frac{24}{\alpha_b{}^3\beta_b}\right]\right](-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$+\left(\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}+\frac{12(1+\nu)}{5\alpha_b{}^2\beta_b}\right)F_1+\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}\left(\frac{1}{30}-\frac{3}{16\gamma^2}\right)-\frac{3}{\alpha_b{}^2\beta_b\gamma}-\frac{12(1+\nu)}{5\alpha_b\beta_b}\left(1-\frac{9}{4\gamma^2}\right)+\frac{6(1+\nu)}{5\beta_b\gamma}\right\}F_2$$

$$+\left\{-\frac{9}{4\alpha_b{}^3\beta_b\gamma^2}-\frac{6}{\alpha_b{}^2\beta_b\gamma}+\frac{27(1+\nu)}{5\alpha_b\beta_b\gamma^2}+\frac{6(1+\nu)}{5\beta_b\gamma}\right\}F_5$$

$$\left.+\left\{\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b}\left(-\frac{1}{3}+\frac{5}{24\gamma^2}\right)-\frac{\alpha_b\gamma}{3}-\frac{6(1+\nu)}{\alpha_b\beta_b}\left(-1+\frac{1}{\gamma^2}\right)+\frac{\alpha_b}{2\beta_b\gamma}\right\}F_6\right]+\frac{a^2}{2EI_b}C_b{}^2+C_b{}^5 \qquad (29\,b)$$

$$\theta_b{}^B(x)=\frac{1}{EI_b}\iiint t\sigma_y(x\,,-b/2)dxdxdx+\frac{D_b}{2EI_b}\iint t\tau_{xy}(x\,,-b/2)dxdx+\frac{C_b{}^2}{EI_b}x$$

$$=\frac{1}{E}\left[\sum_{m(e)}\frac{96}{m^3\pi^3\alpha_b{}^3\beta_b}\left[B_1{}^m\left(1+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)+B_4{}^m\left\{\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\right\}\right.\right.$$

$$\left.-B_2{}^m\left(\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\right)-B_3{}^m\left\{\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{4}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right\}\right]\sin\alpha_m x$$

$$+\sum_{n(0)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b{}^3\beta_b\cosh n\pi\gamma}\{C_1{}^n\sinh\beta_n x+C_4{}^n(\beta_n x\cosh\beta_n x-\sinh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b{}^3\beta_b\cosh n\pi\gamma}\{D_1{}^n\sinh\beta_n x+D_4{}^n(\beta_n x\cosh\beta_n x-\sinh\beta_n x)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{x^3}{3a^3\alpha_b{}^3\beta_b}F_1$$

$$+\left(\frac{x^5}{5a^5}-\frac{3x^3}{4\gamma^2a^3}-\frac{\alpha_bx^3}{\gamma a^3}\right)\frac{1}{\alpha_b{}^3\beta_b}F_2+\left(-\frac{3}{4\gamma}+\alpha_b\right)\frac{x^3}{a^3\alpha_b{}^3\beta_b\gamma^2}F_5$$

$$+\left[\frac{1}{\gamma}\left\{\left(-\frac{5}{3}a^2+\frac{5}{6}b^2\right)x^3+\frac{x^5}{2}\right\}-\frac{\alpha_b}{2}\left(\frac{10}{3}a^2x^3-x^5\right)\right]\frac{1}{a^5b\alpha_b{}^3\beta_b}F_6\Bigg]+\frac{C_b{}^2}{EI_b}x \tag{30 b}$$

(30 b)式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$\theta_b{}^B(a)=\frac{1}{E}\Bigg[\sum_{n(o)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b{}^3\beta_b}\{C_1{}^n\tanh n\pi\gamma+C_4{}^n(n\pi\gamma-\tanh n\pi\gamma)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{12}{n^3\pi^3\gamma^3\alpha_b{}^3\beta_b}\{D_1\tanh n\pi\gamma+C_4{}^n(n\pi\gamma-\tanh n\pi\gamma)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{4}{\alpha_b{}^3\beta_b}F_1+\left(\frac{1}{5}-\frac{3}{4\gamma^2}-\frac{\alpha_b}{\gamma}\right)\frac{12}{\alpha_b\beta_b}F_2$$

$$+\left(-\frac{3}{4\gamma}+\alpha_b\right)\frac{12}{\alpha_b{}^3\beta_b\gamma}F_5+\left(-\frac{7}{6}+\frac{5}{6\gamma^2}-\frac{7\alpha_b\gamma}{6}\right)\frac{1}{\alpha_b\beta_b}F_6\Bigg]+\frac{a}{EI_b}C_b{}^2 \tag{31 b}$$

$$\theta_b{}^S(x)=-\frac{6}{5GA_b}\int t\sigma_y(x\,,\,-b/2)dx-\frac{D_b}{10GA_b}t\tau_{xy}(x\,,\,-b/2)$$

$$=\frac{1}{E}\Bigg[\sum_{m(e)}\frac{4(1+\nu)}{m\pi\alpha_b\beta_b}\Bigg[B_1{}^m\left(\frac{6}{5}+\frac{m\pi\alpha_b}{20}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)+B_4{}^m\left\{\frac{3m\pi}{10\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{20}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}+\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}\right)\right\}$$

$$-B_2{}^m\left(\frac{6}{5}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{20}\right)-B_3{}^m\left\{\frac{3m\pi}{10\gamma}+\frac{m\pi\alpha_b}{20}\left(\frac{m\pi}{4\gamma}\tanh\frac{m\pi}{4\gamma}+1\right)\right\}\Bigg]\sin\alpha_mx$$

$$-\sum_{n(o)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_b\beta_b\cosh n\pi\gamma}\left\{-C_1{}^n\frac{6}{5}\sinh\beta_nx-C_4{}^n\frac{6}{5}\left(\beta_nx\cosh\beta_nx+\sinh\beta_nx\right)\right\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_b\beta_b\cosh n\pi\gamma}\left\{-D_1{}^n\frac{6}{5}\sinh\beta_nx-D_4{}^n\frac{6}{5}\beta_nx\cosh\beta_nx+\sinh\beta_nx)\right\}(-1)^{\frac{n}{2}}-\frac{24(1+\nu)x}{5a\alpha_b\beta_b}F_1$$

$$+\left(-\frac{4x^3}{a^2}+\frac{9}{2\gamma^2}x+\frac{\alpha_b}{\gamma}x\right)\frac{6}{5a\alpha_b\beta_b}F_2+\left(\frac{9}{2\gamma}+\alpha_b\right)\frac{12(1+\nu)x}{5a\alpha_b\beta_b\gamma}F_5$$

$$+\left[-\frac{6}{5a^3}\{(-10a^2+5b^2)x+10x^3\}+\frac{2\alpha_b}{a^2b}(20a^2x-20x^3)\right]\frac{1}{\alpha_b\beta_b}F_6\Bigg] \tag{32 b}$$

(32 b)式に $x=a$ を代入して次式を得る。

$$\theta_b{}^S(a)=\frac{1}{E}\Bigg[\sum_{n(o)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_b\beta_b}\left\{-C_1{}^n\frac{6}{5}\tanh n\pi\gamma-C_4{}^n\frac{6}{5}(n\pi\gamma+\tanh n\pi\gamma)\right\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{2(1+\nu)}{n\pi\gamma\alpha_b\beta_b}\left\{-D_1{}^n\frac{6}{5}\tanh n\pi\gamma-D_4{}^n\frac{6}{5}(n\pi\gamma+\tanh n\pi\gamma)\right\}(-1)^{\frac{n}{2}}+\frac{24(1+\nu)}{5\alpha_b\beta_b}F_1$$

$$+\left(-4-\frac{9}{2\gamma}+\frac{\alpha_b}{\gamma}\right)\frac{12(1+\nu)}{5\alpha_b\beta_b}F_2+\left(\frac{9}{2\gamma}+\alpha_b\right)\frac{2(1+\nu)}{\alpha_b\beta_b\gamma}F_5-\frac{12(1+\nu)}{\alpha_b\beta_b\gamma^2}F_6\Bigg] \tag{33 b}$$

$$N_c(y)=2\int t\tau_{xy}(a\,,\,y)dy+C_c{}^3$$

$$=at\Bigg[\sum_{n(o)}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2C_1{}^n\tanh n\pi\gamma-2C_4{}^n(n\pi\gamma-\tanh n\pi\gamma)\}\sin\beta_ny$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2D_1{}^n\tanh n\pi\gamma-2D_4{}^n(n\pi\gamma-\tanh n\pi\gamma)\}\cos\beta_ny$$

$$+2\left\{\frac{F_2}{a^2}(6by-6y^2)+\frac{F_5}{a^2}(6by-6y^2)+\frac{F_6}{a^2b}(-15b^2y+20y^3)\right\}\Bigg]+C_c{}^3 \tag{34 b}$$

(34 b)式に $y=b/2$ を代入して次式を得る。

$$N_c(b/2)=at\Bigg[\sum_{n(o)}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2C_1{}^n\tanh n\pi\gamma-2C_4{}^n(n\pi\gamma-\tanh n\pi\gamma)\}\left\{-(-1)^{\frac{n+1}{2}}\right\}$$

$$+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2D_1{}^n\tanh n\pi\gamma-2D_4{}^n(n\pi\gamma-\tanh n\pi\gamma)\}(-1)^{\frac{n}{2}}+(3F_2+3F_5-10F_6)\frac{1}{\gamma^2}\Bigg]+C_c{}^3 \tag{35 b}$$

$$v_c(y)=\frac{2}{EA_c}\int\int t\tau_{xy}(a\ ,\ y)dydy+\frac{C_c^3}{EA_c}y+C_c^6$$

$$=\frac{a}{E}\Big[\sum_{n(o)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\alpha_c\beta_c}\{2C_1^n\tanh n\pi\gamma+2C_4^n(n\pi\gamma+\tanh n\pi\gamma)\}\cos\beta_n y$$

$$\sum_{n(e)}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\alpha_c\beta_c}\{2D_1^n\tanh n\pi\gamma+2D_4^n(n\pi\gamma+\tanh n\pi\gamma)\}\sin\beta_n y+\frac{2}{\alpha_c\beta_c}\Big\{\frac{1}{a^3}(3by^2-2y^3)(F_2+F_5)$$

$$+\frac{F_6}{a^3b}\Big(-\frac{15}{2}b^2y^2+5y^4\Big)\Big\}\Big]+\frac{C_c^3}{EA_c}y+C_c^6 \qquad (36\,b)$$

（36 b）式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$v_c(-b/2)=\frac{a}{E}\Big\{\frac{2}{\alpha_c\beta_c\gamma^3}\Big(F_2+F_5-\frac{25}{16}F_6\Big)\Big\}-\frac{bC_c^3}{2EA_c}+C_c^6 \qquad (37\,b)$$

柱の中心を通る縦軸に関して対称な外力を与えているので，

$$M_c(y)=Q_c(y)=u_c(y)=\theta_c^B(y)=\theta_c^S(y)=0 \qquad (38\,b)$$

Type Ⅳ）の場合

$M_b(x)$, $N_b(x)$, $Q_b(x)$, $u_b(x)$, $v_b(x)$, $\theta_b^B(x)$, $\theta_b^S(x)$ は，Type Ⅰ）の場合と同じである。

$$N_c(y)=2\int t\tau_{xy}(a\ ,\ y)dy+C_c^3$$

$$=at\Big[\sum_{n(o)}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2C_2^n-2C_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\sin\beta_n y+\sum_{n(e)}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2D_2^n-2D_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\cos\beta_n y$$

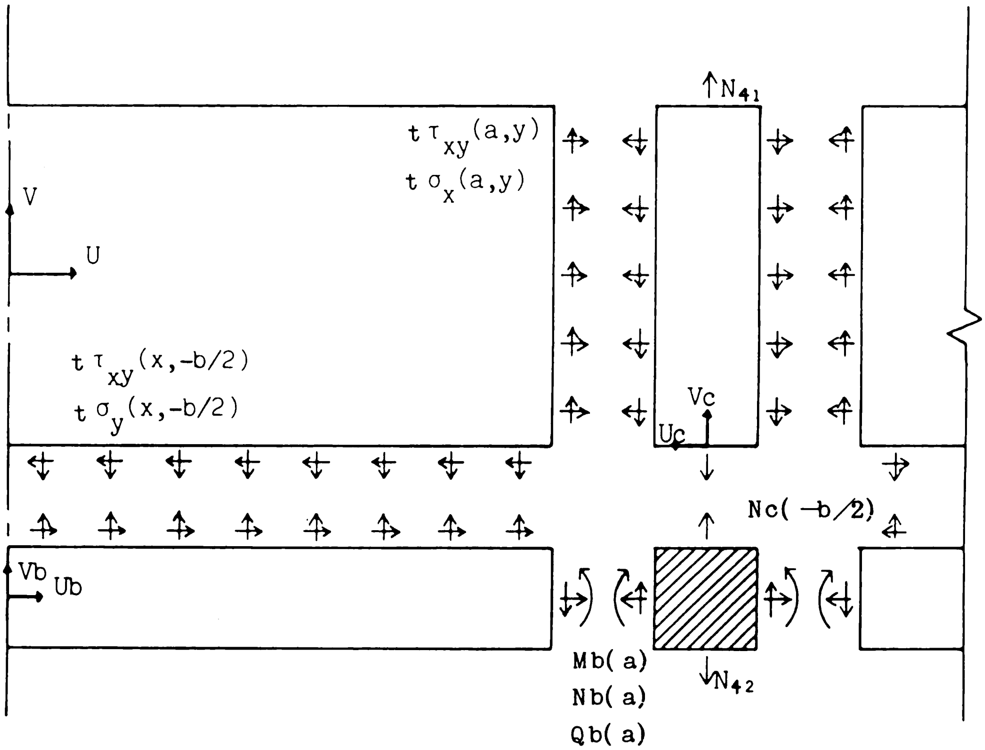

図５　はり—壁板，柱—壁板の境界での応力状態（Type Ⅳ）

$$+(y^2-by)\frac{F_2}{2a^2}+\left(\frac{y^3}{3}-\frac{b}{4}y^2\right)\frac{F_3}{a^2b}\Bigg]+C_c^3 \qquad (23\,c)$$

(23 c) 式に $y=b/2$ を代入して次式を得る。

$$N_c(b/2)=at\Bigg[\sum_{n0}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2C_2^n-2C_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\left\{-(-1)^{\frac{n+1}{2}}\right\}+\sum_{ne}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2D_2^n-2D_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}(-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$+\left(\frac{F_2}{4}+\frac{F_3}{24}\right)\frac{1}{\gamma^2}\Bigg]+C_c^3 \qquad (24\,c)$$

(24 c) 式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$N_c(-b/2)=at\Bigg[\sum_{n0}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2C_2^n-2C_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}(-1)^{\frac{n+1}{2}}+\sum_{ne}\frac{1}{n\pi\gamma}\{-2D_2^n-2D_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}(-1)^{\frac{n}{2}}$$

$$-\left(\frac{3}{4}F_2-\frac{5}{24}F_3\right)\frac{1}{\gamma^2}\Bigg]+C_c^3 \qquad (25\,c)$$

$$v_c(y)=\frac{2}{EA_c}\iint t\tau_{xy}(a\,,\,y)dydy+\frac{C_c^3}{EA_c}y+C_c^6$$

$$=\frac{a}{E}\Bigg[\sum_{n0}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\alpha_c\beta_c}\{2C_2^n+2C_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\cos\beta_n y$$

$$+\sum_{ne}\frac{1}{n^2\pi^2\gamma^2\alpha_c\beta_c}\{-2D_2^n-2D_3^n(n\pi\gamma\tanh n\pi\gamma+1)\}\sin\beta_n y-\frac{2}{a^2\alpha_c\beta_c}\Bigg\{\left(\frac{y^3}{3}-\frac{b}{2}y^2\right)\frac{F_2}{2a}$$

$$+\left(\frac{y^4}{12}-\frac{b}{12}y^3\right)\frac{F_3}{ab}\Bigg\}\Bigg]+\frac{C_c^3}{EA_c}y+C_c^6 \qquad (26\,c)$$

(26 c) 式に $y=-b/2$ を代入して次式を得る。

$$v_c(-b/2)=\frac{a}{E}\left\{\frac{1}{\alpha_c\beta_c\gamma^3}\left(\frac{F_2}{6}-\frac{F_3}{32}\right)\right\}-\frac{bC_c^3}{2EA_c}+C_c^6 \qquad (27\,c)$$

柱の中心を通る縦軸に関して対称な外力を与えているので，

$$M_c(y)=Q_c(y)=u_c(y)=\theta_c^B(y)=\theta_c^S(y)=0 \qquad (28\,c)$$

6．はり，柱の接合部（剛域部分）

剛域の中心は，動かないものとし時計回りに θ_R 回転するものとする。すると $(a\,,\,-b/2)$ におけるはりと柱の曲げによる回転角は等しく，さらに θ_R にも等しい。

$$\theta_R=-\theta_b^B(a)=-\theta_c^B(-b/2) \qquad (52)$$

$(a\,,\,-b/2)$ における壁板のせん断応力度は，はり・柱のせん断による傾きを用いて次のように表せる。

$$\frac{\tau_{xy}(a\,,\,-b/2)}{G}=\theta_b^S(a)-\theta_c^S(-b/2) \qquad (53)$$

壁板，はり，柱の $(a\,,\,-b/2)$ における x, y 方向変位は，θ_R を用いて次のように表せる。

$$u\,(a\,,\,-b/2)=u_b(a)=-u_c(-b/2)=\theta_R\cdot D_b/2 \qquad (54)$$

$$v\,(a\,,\,-b/2)=v_b(a)=v_b(-b/2)=\theta_R\cdot D_c/2 \qquad (55)$$

剛域部分の力の釣り合いより次式を得る。

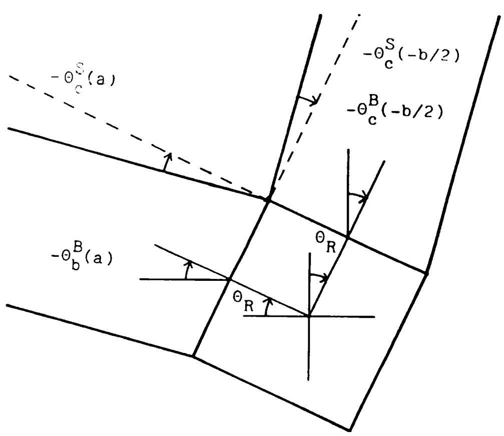

図 6　剛域の回転状態

Type Ⅰ)

$$Q_c(-b/2)\cdot D_b+Q_b(a)\cdot D_c-N_b(a)\cdot D_b-M_c(-b/2)+2M_b(a)+M_{12}=0 \quad (56\ \mathrm{a})$$

Type Ⅳ)

$$N_{42}-2Q_b(a)-N_c(-b/2)=0 \quad (56\ \mathrm{c})$$

7．連続条件式

1） 壁板と周辺フレームとの連続条件式

壁板と周辺フレームのその境界上で満足しなければならない 4 つの要素があり，このうち 2 要素を周辺フレームに与え周辺フレームに関する残りの 2 要素を算定し，これらと壁板との要素の間に連続条件式をたてる。本解析では，周辺フレームに垂直応力度とせん断応力度を与えて，境界線に沿う変位と境界線に垂直な方向の変位で連続条件式をたてる。これら条件式を Fourier 級数に展開した形で表すと，

Type Ⅰ)，Ⅳ)

$$u(x,-b/2)\doteqdot\sum_{m(0)}u^m\cos\alpha_m x\equiv\sum_{m(0)}u_b{}^m\cos\alpha_m x\doteqdot u_b(x) \quad (57\ \mathrm{a})$$

$$v(x,-b/2)\doteqdot\sum_{m(0)}v^m\sin\alpha_m x\equiv\sum_{m(0)}v_b{}^m\cos\alpha_m x\doteqdot u_b(x) \quad (58\ \mathrm{a})$$

Type Ⅱ)

$$u(x,-b/2)\doteqdot\sum_{m'(e)}u^{m'}\sin\alpha_{m'}x\equiv\sum_{m'(e)}u_b{}^{m'}\sin\alpha_{m'}x\doteqdot u_b(x) \quad (57\ \mathrm{b})$$

$$v(x,-b/2)\doteqdot\sum_{m'(e)}v^{m'}\cos\alpha_{m'}x+v^0\equiv\sum_{m'(e)}v_b{}^{m'}\cos\alpha_{m'}x+v_b{}^0\doteqdot u_b(x) \quad (58\ \mathrm{b})$$

Type Ⅰ)，Ⅱ)，Ⅳ)ともに

$$u(a,y)\doteqdot\sum_{n(0)}u^n\sin\beta_n y+\sum_{n'(e)}u^{n'}\cos\beta_{n'}y+u^0\equiv-\Big(\sum_{n(0)}u_c{}^n\sin\beta_n y+\sum_{n'(e)}u_c{}^{n'}\cos\beta_{n'}y+u_c{}^0\Big)\doteqdot u_c(y) \quad (59)$$

$$v(a,y)\doteqdot\sum_{n(0)}v^n\cos\beta_n y+\sum_{n'(e)}v^{n'}\sin\beta_{n'}y\equiv\sum_{n(0)}v_c{}^{n'}\cos\beta_n y+\sum_{n'(e)}v_c{}^{n'}\sin\beta_{n'}y\doteqdot v_c(y) \quad (60)$$

2） 壁板の上端が自由端であるので

Type Ⅰ)，Ⅳ)

$$\sigma_y(x,-b/2)\doteqdot\sum_{m(0)}\sigma_y{}^m\sin\alpha_m x\equiv0 \quad (61\ \mathrm{a})$$

$$\tau_{xy}(x,-b/2)\doteqdot\sum_{m(0)}\tau_{xy}{}^m\cos\alpha_m x\equiv0 \quad (62\ \mathrm{a})$$

Type Ⅱ)

$$\sigma_y(x,-b/2)\doteqdot\sum_{m'(e)}\sigma_y{}^{m'}\cos\alpha_{m'}x+\sigma_y{}^0\equiv0 \quad (61\ \mathrm{b})$$

$$\tau_{xy}(x,-b/2)\doteqdot\sum_{m'(e)}\tau_{xy}{}^{m'}\sin\alpha_{m'}x\equiv0 \quad (62\ \mathrm{b})$$

これらの式の級数の m，m'，n，n' をそれぞれ r_m，$r_{m'}$，r_n，$r_{n'}$ 個採用しそれぞれ両者の係数を等しくする。

3） Fourier 級数展開が閉区間で一様収束させるために，もとの関数の端部の値を決めてやると収束が早くなる。

$$\sigma_y(a,-b/2)=0 \quad (63)$$

τ_{xy} は，応力関数の設定の際考慮されており，その他は，6．はり・柱の接合部 で考慮されている。

以上の章より未知数と条件式を整理すると Type Ⅰ)の場合 $4r_{m(0)}+2r_{n(0)}+2r_{n'(e)}+13$ 個，Type Ⅱ)の場合 $4r_{m'(e)}+2r_{n(0)}+2r_{n'(e)}+14$ 個，Type Ⅳ)の場合 $4r_{m(0)}+2r_{n(0)}+2r_{n'(e)}+11$ 個となる。

8．解析結果

表 1 に Type Ⅰ)の場合の $(0, -b/2)$，$(a, b/2)$ における x，y 方向変位の収束状況を示す。$(0, -b/2)$ に関する変位は，収束が早く Fourier 級数の

表 1 連続条件式の収束状況

項数	Ub(0)	U(0, b/2)	Uc(b/2)	U(a, b/2)	Vc(b/2)	V(a, b/2)
4	0.1797	0.1804	1.3108	1.1978	0.6450	0.5204
5	0.1802	0.1798	1.3040	1.2106	0.6387	0.5354
6	0.1802	0.1803	1.3000	1.2199	0.6349	0.5462
7	0.1803	0.1802	1.2975	1.2271	0.6323	0.5544
8	0.1803	0.1804	1.2958	1.2328	0.6305	0.5609
9	0.1804	0.1804	1.2946	1.2374	0.6292	0.5661
10	0.1804	0.1804	1.2937	1.2412	0.6282	0.5705
11	0.1804	0.1804	1.2930	1.2445	0.6274	0.5741
12	0.1805	0.1805	1.2925	1.2473	0.6268	0.5773
13	0.1805	0.1805	1.2921	1.2497	0.6263	0.5800
14	0.1805	0.1805	1.2917	1.2519	0.6259	0.5824
15	0.1805	0.1805	1.2914	1.2537	0.6256	0.5845
FEM	0.1763		1.3287	1.2423	0.5795	

項数が 9 項で十分収束している。$(a, b/2)$ においては，応力の集中が生じているため収束が遅く，$v(a, b/2)$ の 15 項の値に対して 7 項の値は 8.2 %，同じく 10 項 2.4 %，13 項 0.8 %の差があり，$u(a, b/2)$ の場合同じく 7 項の値は 2.1 %，10 項 1.0 %，13 項 0.3 %の差がある。FEM による値は，三角形二次要素を用い，166 要素 381 節点とした。FEM との値の差は，10 項の場合で $u(0, -b/2)$ 2.3 %，$u(a, b/2)$ 0.1 %，$u_c(b/2)$ 2.6 %，$v(a, b/2)$ 1.6 %，$v_c(b/2)$ 8.4 %である。

Type Ⅳ)に関しても 10 項で十分収束しており，

以下の結果においては，フーリエ級数の項数は全て 10 項とした。

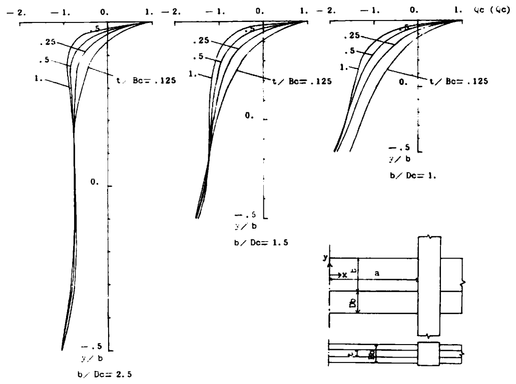

図 7　柱のせん断力

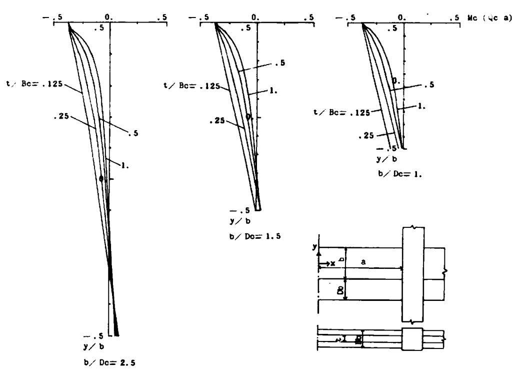

図 8　柱のモーメント

図 7，8 は，Type Ⅰ）の計算結果より腰壁付柱の腰壁高さ以下における柱のせん断力及びモーメントを壁厚比 t/B_c 及び b/D_c を変化させて示したものである。せん断力は，腰壁上端付近で急激に減少し，壁厚比 t/B_c が大きい程減少の割合が大きい。腰壁内部に入るにつれてその割合は，小さくなり，b/D_c が大きい程その傾向は見られ，値は一定値に近づいている。$y/b=-0.5$（剛域部分）におけるせん断力の値は，b/D_c が小さい程大きくなり，与えたせん断力より大きな負のせん断力を生じている。モーメントの場合，腰壁上端付近でせん断力の場合と同様急激な減少を示すが，腰壁内部に入るにつれ直線的に減少するようになる。

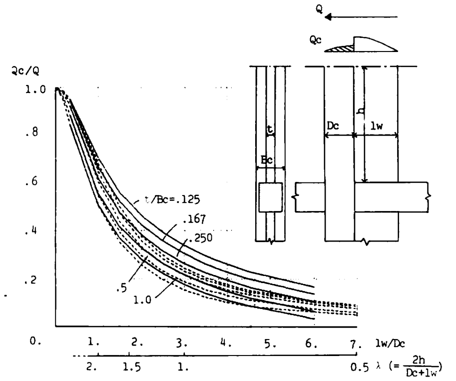

図 9　片側袖壁付柱の柱部分のせん断力負担割合

図 9 はType Ⅳ）の計算結果を利用し片側袖壁付柱の柱部分のせん断力負担割合を lw/D_c 又辺長比 $\lambda(=2h/(D_c+lw))$ を変化させ示したものである。破線は次式より柱のせん断力負担割合を求めた。

$$\tau=\frac{SQ}{bI} \qquad (63)$$

S：袖壁付柱の断面一次モーメント

Q：袖壁付柱に加わるせん断力

b：壁厚又は柱厚

I：袖壁付柱の断面二次モーメント

$lw/D_c>1(\lambda<2)$ になると曲線の傾向は似ているものの，その差は広がり，壁厚比 t/B_c が小さいものに顕著であり $t/B_c=0.125$ の場合 $lw/D_c=2\sim5$ で約 9 %の差が見られる。壁厚比 t/B_c いずれも解析値の値の方が大きいことから(63)式による値は，危険側の値を与えていることになる。$lw/D_c>3(\lambda<1)$ になると曲線の減少の割合は，解析値の方が大きい。

図 10 は片側袖壁付柱の純柱に対する水平剛性の比を示したものである。• 印は，平石[4]の結果（$t/B_c=1$）より求めたものである。袖壁は，柱の変形を拘束し直線的に剛性を高めていることがわかる。

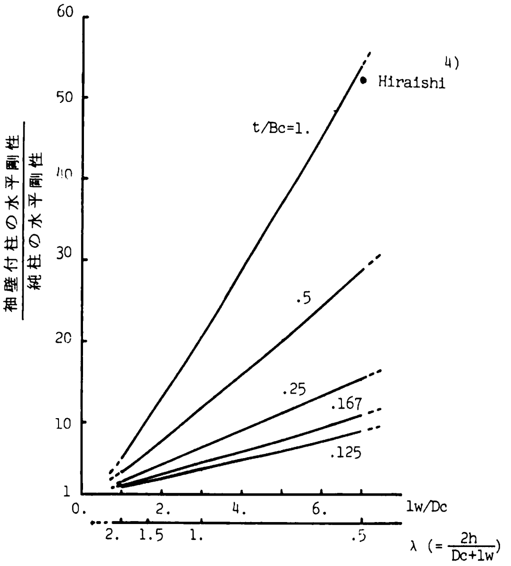

図10 片側袖壁付柱の純柱に対する水平剛性の比

参考文献

1) 東他「1968十勝沖地震による八戸工業高等専門学校校舎の被害に関する検討」日本建築学会論文報告集第168号 昭和45年2月

2) 富井「応力関数を用いた耐震壁の弾性解析法（第1報）（第2報）」日本建築学会論文報告集第154号，第155号 昭和43年12月，昭和44年1月

3) 富井，平石「付帯ラーメン部材のせん断変形を考慮した耐震壁の弾性解析（第1報）」日本建築学会報告集第273号 昭和53年11月

4) 平石「はり理論の精度に関する一考察」日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和53年9月

5) 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料 シリーズ16 （腰壁・たれ壁・そで壁付き部材の弾塑性挙動） 建築雑誌 昭和55年6月