

1. 序

本来、構造物は三次元的広がりを持ち、かつ三次元的に挙動するのであるから、その解析にあたり何らかの形で次元の問題として扱う必要がある。三次元の構造物を解析する手法は種々様々であるが、大きくは二つに分けられよう。一つは、一般によく用いられる方法で、構造物をその主軸方向別に分けて考え、二次元の問題にするのと、もう一つは、そのまゝ三次元解析する方法である。前者は、手軽に用いる事ができるという利点を持つが、これは構造物が対称である場合に限り、非対称な場合にはこの様に分けて考える事は不合理である。又、対称な場合でも構造物には捩れ変形も生ずるという事を考慮すれば、適当ではない。一方、後者を考えてみると、例えば計算機を用いて行なうとすれば莫大な容量を必要とし、全体としての構造特性（荷重—変位関係、固有周期、固有モード等）を知ろうという場合には不適当と言わざるを得ない。解析の目的に応じ、それに対して最も効果的な手法を検討する事は重要な事と考えられる。

三次元問題の効率的解析という課題に対し、W. Weaverらは、柱と梁（ともに線材）から成る架構構造物の床版の面内剛性を無限大と置くことにより系全体の自由度数を半分近くまで減らす方法を用いた。即ち、一つの床レベルにN個の節点（柱・梁の接点）が存在すれば、その層では本来6N個の自由度を持つのであるが、上の様に仮定する事により床版は水平方向に剛体運動をすると考えられ、層当りの自由度は（3+N）個に縮小されるわけである。この考え方は以下、A. Winokur & J. Glucke や M. C. Stamato & B. S. Smith にも用いており、彼らは柱や壁体がこれらの相対的位置は変化することなく一体となって変位するとしているが、それらを結びつける梁等の影響については考慮していない。A. C. Heidelbrecht & R. D. Smith は二つの壁体を床梁で結びつけた Coupled Shear Wall の三次元解析を上記の仮定とともに壁体に対して Vlasov の理論を適用し、有限要素法で解いている。又、谷・梅井らは壁体と柱が混在する構造物を、梁に床の有効中を含めて、静的・動的な場合を扱っている。いずれの場合も、梁の影響を考慮すれば、層当りの自由度を縮小する事はかなり難しい問題である。同じ床版の仮定を用いて、本来不連続系である架構構造を等価な連続体に置換して解析するという手法は、J. Glucke が壁体と柱からなる構造物に Tso & Bawar は非平面の Coupled Shear Wall に用いている。均一な線材架構を等価な異方性板に置換し、これらを三次元に組み立てて解く手法もあるが、一般に連続体置換による方法は、断面特性が層で異なる様な場合には適切な方法ではない様に思われる。

本論文は、一般の耐震壁を含む層により特性の変化する三次元架構構造物の解析の一手法をあげ、特に構造物全体としての特性を効率的に得ようとするものである。その方法としてここでは、構造物を不連続的に断面特性の変化する片持梁と考え、解くのであるが、この梁の断面特性は、構造物の断面特性により決定される。耐震壁はこれを差込断面材と見做してこれに Vlasov の理論を適用し、曲げ変形、軸変形、捩れ変形の他にねり (warping) の変形も考慮する。柱、梁はこれを線材と考えて曲げ、軸、捩れ変形を考慮する。

ス。対象とする構造系と仮定。

対象とする構造系は、壁体・柱・梁(床)から成るものとし、壁体と柱とを総称して鉛直要素とする。構造断面の特性は、層により異なってよいとし、層の厚みでは変化しないとする。構造系を構成する部材はすべて弾性範囲内で挙動するものとする。個々の部材要素(壁体・柱・梁)は、曲げ・捻り・軸変形をするものとしさらに壁体については、断面のねり(warping)を考慮しこれにVlasovの薄肉断面の理論を適用する。又、構造系の基礎は固定とする。床版の面内剛性は無限大として構造断面は変形しないとする。

N層からなる構造物を1本の片持梁と考え、これを有限要素法を用いて解く。この時、構造の1層分を梁の1有限要素に対応させる。構造の断面が変化すれば、この要素の特性も変化する事になる。この有限要素はその上下端に1つずつ合計2つの節点を持ち、それぞれについて7つの自由度を持つとする。

3. 部材要素(壁体・柱・梁)の剛性マトリックス

3.1 部材座標系における剛性マトリックス

部材座標系は、x, y 軸を部材断面の主軸に、z 軸を部材の重心軸にとる。又、要素としての節点は材端断面の重心の点にとる。

— 壁要素の剛性マトリックス —

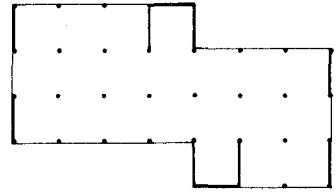
壁はこれを薄肉断面材と見なして Vlasov の理論を適用する。即ち、断面はその面内では変形しないが、面外には (x, y 軸まわりの) 曲げによって生じ平面保持の法則に従う変形と、曲げ捻りモーメントによって生じ平面保持の法則に従わないねり変形が生ずる考えとする。従って1つの節点について図に示した6つの自由度の他に、z 軸まわりの捻り角 θ の正方向の変化率 θ' を含めて計7つの自由度を持つことになる。この剛性方程式は次の様になる。

$$\begin{Bmatrix} F_{w1} \\ F_{w2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{w11} & K_{w12} \\ K_{w21} & K_{w22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{w1} \\ d_{w2} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

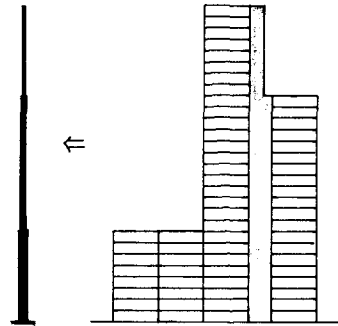
但し、 $\{F_{w1}\} = [F_{xt} \ F_{yt} \ T_t \ F_{xb} \ F_{yb} \ T_b]^T$, $\{d_{w1}\} = [u_t \ v_t \ \theta_t \ u_b \ v_b \ \theta_b]^T$ 3図

$\{F_{w2}\} = [M_{yt} \ M_{xt} \ F_{zt} \ B_t \ M_{yb} \ M_{xb} \ F_{zb} \ B_b]^T$, $\{d_{w2}\} = [\varphi_{yt} \ \varphi_{xt} \ w_t \ \theta_t' \ \varphi_{yb} \ \varphi_{xb} \ w_b \ \theta_b']^T$

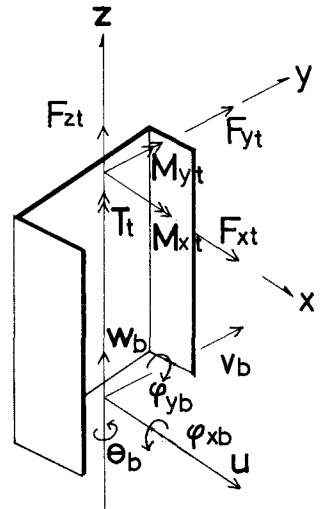
$$[K_{w11}] = \begin{bmatrix} K_a & -K_a^T \\ -K_a & K_a \end{bmatrix}, [K_{w12}] = [K_{w12}]^T = \begin{bmatrix} K_b & -K_b \\ K_b & -K_b \end{bmatrix}, [K_{w22}] = \begin{bmatrix} K_c & K_d \\ K_d & K_c \end{bmatrix}$$



1図 壁体を含む架構構造の例



2図 実際の構造と片持梁



3図

$$[K_a] = \begin{bmatrix} \frac{12EI_{yy}}{l^3} & 0 & -\frac{12EI_{yy}}{l^3}e_y \\ 0 & \frac{12EI_{xx}}{l^3} & -\frac{12EI_{xx}}{l^3}e_x \\ -\frac{12EI_{yy}}{l^3}e_y & -\frac{12EI_{xx}}{l^3}e_x & \frac{EI_w K^3 \sinh k}{\Phi l^3} + \frac{2}{l^2} \{ e_y^2 I_{yy} + e_x^2 I_{xx} \} \end{bmatrix} \quad \text{sym.}, \quad [K_b] = \begin{bmatrix} -\frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 & \frac{6EI_{yy}}{l^2}e_y \\ 0 & \frac{6EI_{xx}}{l^2} & \frac{6EI_{xx}}{l^2}e_x \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{EI_w K^2 (1 - \cosh k)}{\Phi l^2} \end{bmatrix}$$

$$[K_c] = \begin{bmatrix} \frac{4EI_{yy}}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{4EI_{xx}}{l} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{EA}{l} \\ 0 & 0 & \frac{EI_w K (\cosh k - \sinh k)}{\Phi l} \end{bmatrix}, \quad [K_d] = \begin{bmatrix} \frac{2EI_{yy}}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2EI_{xx}}{l} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{EA}{l} \\ 0 & 0 & \frac{EI_w K (\sinh k - k)}{\Phi l} \end{bmatrix}$$

$$K^2 = \frac{GK}{EI_w} \cdot l^2, \quad \Phi = 2(1 - \cosh k) + k \sinh k$$

E: ヤング係数 G: セン断弾性係数 I_{yy}, I_{xx} : y, x 軸まわりの慣性モーメント I_w : 扇形慣性モーメント K: 捻り定数 A: 断面積 l: 材長 (壁・柱では階高に等しい) e_x, e_y : セン断中心の座標 重心軸とセン断中心軸が一致する場合には $e_x = e_y = 0$ となり, $[K_a] \sim [K_d]$ はすべて対角行列となる。

— 柱要素の剛性マトリックス —

柱の場合は壁と異ってこれを線材と見なすため, 壁において考えた断面のやり, バイモーメントは考える必要はなく, 又重心とセン断中心とはいつも一致している。この剛性方程式は,

$$\begin{Bmatrix} F_{c1} \\ F_{c2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{c11} & K_{c12} \\ K_{c21} & K_{c22} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d_{c1} \\ d_{c2} \end{Bmatrix} \quad \text{--- (2)}$$

但し, $\{F_{c1}\} = \{F_{w1}\}$, $\{d_{c1}\} = \{d_{w1}\}$, $\{F_{c2}\} = [M_{y1} \ M_{x1} \ F_{z1} \ M_{y2} \ M_{x2} \ F_{z2}]^T$, $\{d_{c2}\} = [\varphi_{y1} \ \varphi_{x1} \ w_1 \ \varphi_{y2} \ \varphi_{x2} \ w_2]^T$

$$[K_{c11}] = \begin{bmatrix} K'_a & -K'_a \\ -K'_a & K'_a \end{bmatrix}, \quad [K_{c21}] = [K_{c12}]^T = \begin{bmatrix} K'_b & -K'_b \\ K'_b & -K'_b \end{bmatrix}, \quad [K_{c22}] = \begin{bmatrix} K'_c & -K'_d \\ K'_d & -K'_c \end{bmatrix}$$

$$[K'_a] = \begin{bmatrix} \frac{12EI_{yy}}{l^3} & 0 \\ 0 & \frac{12EI_{xx}}{l^3} \\ 0 & \frac{GK}{l} \end{bmatrix}, \quad [K'_b] = \begin{bmatrix} -\frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_{xx}}{l^2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad [K'_c] = \begin{bmatrix} \frac{4EI_{yy}}{l} & 0 \\ 0 & \frac{4EI_{xx}}{l} \\ 0 & \frac{EA}{l} \end{bmatrix}$$

柱要素の剛性マトリックスは 壁の場合に比べて自由度が 2 つ少ないために 12 × 12 の大きさになっている。

$$[K'_d] = \begin{bmatrix} \frac{2EI_{yy}}{l} & 0 \\ 0 & \frac{2EI_{xx}}{l} \\ 0 & -\frac{EA}{l} \end{bmatrix}$$

— 梁要素の剛性マトリックス —

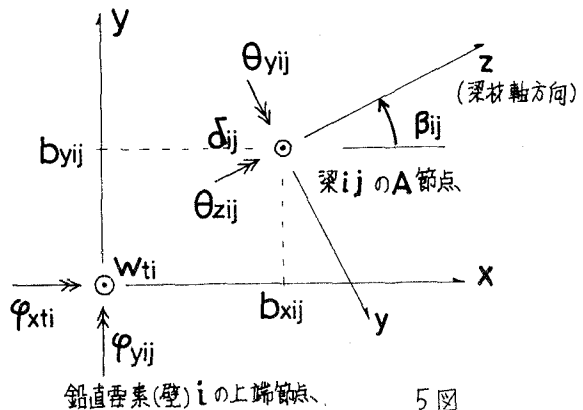
梁の場合も柱と同様にこれを線材と考えるのであるが, 床版の面内剛性無限大とする仮定から, この場合 1 節点について x 軸方向と y, z 軸まわりの 3 つの自由度を持つにすぎないと考えられる。梁は其の両端の節点 A, B で鉛直要素 (壁又は柱) に接するのであるが, 節点 A が鉛直要素 i と, 節

$$\begin{Bmatrix} q_A \\ q_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{B11} & K_{B12} \\ K_{B21} & K_{B22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_A \\ \phi_B \end{Bmatrix} \quad \text{--- (3)}$$

$$\text{但}, \begin{cases} \{g_A\} = [m_{zji} \ m_{yji} \ f_{xji}]^T \\ \{g_B\} = [m_{zji} \ m_{yji} \ f_{xji}]^T \end{cases}, \begin{cases} \{e_A\} = [\theta_{zji} \ \theta_{yji} \ \delta_{xji}]^T \\ \{e_B\} = [\theta_{zji} \ \theta_{yji} \ \delta_{xji}]^T \end{cases}$$

$$[K_{B11}] = [K_{B22}] = \begin{bmatrix} \frac{GK}{l} & & \\ 0 & \frac{4EI_{zz}}{l} & \\ 0 & \frac{6EI_{zz}}{l^2} & \frac{12EI_{zz}}{l^3} \end{bmatrix} \quad \text{sym.}, \quad [K_{B21}] = [K_{B12}]^T = \begin{bmatrix} -\frac{GK}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2EI_{zz}}{l} & \frac{4EI_{zz}}{l} \\ 0 & -\frac{4EI_{zz}}{l} & -\frac{12EI_{zz}}{l^3} \end{bmatrix}$$

この梁要素が柱要素と接する場合には両者とも線材としているので、少くとも両者の節点は一致する。(座標軸は普通傾いている)しかし、壁要素に接する場合には、壁の節点がその重心線上にあるのに対し、梁は一般にその真まひは違っていないために両者の節点が一致しない。この結果、梁のせん断力が壁の曲げモーメントやバイモーメントに、又梁の曲げモーメントがバイモーメントに影響を及ぼすことになる。このことを考えると、先に示し



た梁要素の剛性マトリックス（梁の両端の節点 A, B で定義されている）を、それに接する鉛直要素の節点について定義し直す方が有用である。壁要素の節点について定義し直す場合の変換マトリックスを $[T_{ij}]$ または $[T_{ji}]$ とし、柱要素の場合には $[T_{ij}'], [T_{ji}']$ とする。ここで T_{ij}, j_i は、鉛直要素が梁のどちらの節点に接しているかを示し 例えば $[T_{ij}']$ ならば柱要素が節点 A に接している事を示す。梁要素 ij が 壁要素 i と柱要素 j に接する場合の変換マトリックスは、

$$[T_{ij}] = \begin{bmatrix} \sin \beta_{ij} & \cos \beta_{ij} & 0 & -w_{ijy} \\ -\cos \beta_{ij} & \sin \beta_{ij} & 0 & w_{ijx} \\ -b_{xij} & b_{yij} & 1 & -w_{ij} \end{bmatrix}, [T_{ji}'] = \begin{bmatrix} \sin \beta_{ji} & \cos \beta_{ji} & 0 \\ -\cos \beta_{ji} & \sin \beta_{ji} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

但し、 w_{ij} : 壁要素 i の 梁要素 j の節点 A における扇形面積

$\dot{w}_{ij}^k$: " " の梁要素 i 軸方向の変化率.

Witz: " " の梁要素主軸方向の変化率.

bx_{ij}, by_{ij} : 節段Aの壁要素iの座標系における座標.

β_{ij}, β_{ji} : 梁要素 i, j の x 軸 (材軸) と鉛直要素 i, j の x 軸のなす角。
結局、鉛直要素 i, j の節点で定義される梁要素 ij の剛性マトリックスは次の様になる。(この場合鉛直要素 i は壁, j は柱とする)

$$\begin{bmatrix} K'_{B11} & K'_{B12} \\ K'_{B21} & K'_{B22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{ij} & 0 \\ 0 & T_{ji} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} K_{B11} & K_{B12} \\ K_{B21} & K_{B22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{ij} & 0 \\ 0 & T_{ji} \end{bmatrix} \quad \text{--- (4)}$$

3.2 全体座標系における剛性マトリックス

全体座標系は $\bar{x}$ 軸を鉛直方向上向きに, $\bar{y}$ 軸を水平方向にとる。さて仮定において構造の断面形は変化しないとしたが, この事から断面上の任意点 (具体的には鉛直要素の節点) の水平変位 (x 方向 u , y 方向 v) と鉛直軸まわりの回転角 θ 及びその変化率 θ' は, その点の座標 (a_x, a_y) と, 原点における変位 ($\bar{u}, \bar{v}, \bar{\theta}, \bar{\theta}'$) で次の様に表わされる。

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \\ \theta' \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -a_y & 0 \\ 0 & 1 & a_x & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u} \\ \bar{v} \\ \bar{\theta} \\ \bar{\theta}' \end{Bmatrix} \quad \text{--- (5)}$$

一方、各鉛直要素の節点で定義される $\bar{x} = a_x, \bar{y} = a_y$ 軸まわりの節点の回転角, 鉛直変位は, その節点に集まる部材の剛性等により著しく異なる。そこで、これらの節点回転角が, その節点に集まる部材の剛性から求められる一種の重み係数 (k_{xi}, k_{yi}) を用いて次の様に表わすことができると仮定する。

$$\varphi_{xi} = k_{xi} \cdot (\bar{\varphi}_x - a_x \bar{\theta}'), \quad \varphi_{yi} = k_{yi} (\bar{\varphi}_y - a_y \bar{\theta}') \quad \text{--- (6)}$$

但し $\varphi_{xi}, \varphi_{yi}$: 節点 i の $\bar{x} = a_x, \bar{y} = a_y$ 軸まわりの回転角。

$\bar{\varphi}_x, \bar{\varphi}_y$: 原点で定義された $\bar{x}, \bar{y}$ 軸まわりの回転角。

又、節点 i での鉛直変位 w_i はその節点の座標と原点で定義された鉛直変位 $\bar{w}$, と $\bar{\varphi}_x, \bar{\varphi}_y$ で次の様に決定する。

$$w_i = \bar{w} + a_y \bar{\varphi}_x - a_x \bar{\varphi}_y \quad \text{--- (7)}$$

これらを考慮して 次の様な変換マトリックスを作る。

$$\begin{aligned} \text{但し} \quad [iT] &= \begin{bmatrix} iT_0 & 0 \\ 0 & iT_b \end{bmatrix}, \quad [iT_w] = \begin{bmatrix} iT_t & 0 \\ 0 & iT_b \end{bmatrix}, \quad [iT_c] = \begin{bmatrix} iT_t' & 0 \\ 0 & iT_b \end{bmatrix} \\ [iT_0] &= \begin{bmatrix} \cos \alpha_i + \sin \alpha_i & a_{xi} \sin \alpha_i - a_{yi} \cos \alpha_i \\ -\sin \alpha_i & \cos \alpha_i & a_{xi} \cos \alpha_i + a_{yi} \sin \alpha_i \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad [iT_t] = \begin{bmatrix} k_{yi} \cos \alpha_i & k_{xi} \sin \alpha_i & 0 + k_{xi} a_{xi} \sin \alpha_i - k_{yi} a_{yi} \cos \alpha_i \\ -k_{yi} \sin \alpha_i & k_{xi} \cos \alpha_i & 0 - k_{xi} a_{xi} \cos \alpha_i - k_{yi} a_{yi} \sin \alpha_i \\ -a_{xi} & a_{yi} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$[iT_i] = \begin{bmatrix} K_{gi} a_{xi} c_{xi} & K_{xi} a_{xi} d_i & 0 & -K_{gi} a_{gi} c_{xi} + K_{xi} a_{xi} d_i \\ -K_{xi} a_{xi} d_i & K_{xi} c_{xi} & 0 & -K_{gi} a_{gi} d_i - K_{xi} a_{xi} c_{xi} \\ -a_{xi} & a_{gi} & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad iT_i, iT_b \text{ 等の添字 } i, b \text{ は、そのマトリックス中の } K_{xi}, K_{gi} \text{ が鉛直要素 } i \text{ の上端、下端で定義される事を示す。}$$

この変換マトリックスを用いて全体座標系における要素の剛性マトリックスは、次の要素について

壁要素 i

$$\begin{bmatrix} i\bar{K}_{w11} & i\bar{K}_{w12} \\ i\bar{K}_{w21} & i\bar{K}_{w22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} iT & 0 \\ 0 & iT_w \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} iK_{w11} & iK_{w12} \\ iK_{w21} & iK_{w22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} iT & 0 \\ 0 & iT_w \end{bmatrix} \quad \text{--- (8)}$$

柱要素 i

$$\begin{bmatrix} i\bar{K}_{c11} & i\bar{K}_{c12} \\ i\bar{K}_{c21} & i\bar{K}_{c22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} iT & 0 \\ 0 & iT_c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} iK_{c11} & iK_{c12} \\ iK_{c21} & iK_{c22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} iT & 0 \\ 0 & iT_c \end{bmatrix} \quad \text{--- (9)}$$

梁要素 ij

$$[ij\bar{K}_B] = \begin{bmatrix} iT_w & iT_c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} ijK'_{B11} & ijK'_{B12} \\ ijK'_{B21} & ijK'_{B22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} iT_w \\ iT_c \end{bmatrix} \quad \text{--- (10)}$$

梁の式の右辺の変換マトリックス中の添字 w, c は 鉛直要素 i が壁、 j が柱であることを示している。

4. 層マトリックスと全体剛性マトリックス・水平剛性マトリックス

上の式(8), (9), (10) で求められた全体座標系における各要素の剛性マトリックスを重ね合わせる事により層マトリックス(片持梁有限要素の剛性マトリックス)が求められる。

$$\begin{bmatrix} \bar{K}_{11} & \bar{K}_{12} \\ \bar{K}_{21} & \bar{K}_{22} \end{bmatrix} = \sum \begin{bmatrix} i\bar{K}_{w11} & i\bar{K}_{w12} \\ i\bar{K}_{w21} & i\bar{K}_{w22} \end{bmatrix} + \sum \begin{bmatrix} i\bar{K}_{c11} & i\bar{K}_{c12} \\ i\bar{K}_{c21} & i\bar{K}_{c22} \end{bmatrix} + \sum \begin{bmatrix} ij\bar{K}_B & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{--- (11)}$$

相当する節点力ベクトル・節点変位ベクトルは、

$$\begin{bmatrix} \bar{F}_{xt} & \bar{F}_{yt} & \bar{T}_t & \bar{F}_{xb} & \bar{F}_{yb} & \bar{T}_b & \bar{M}_{yt} & \bar{M}_{xt} & \bar{F}_{zt} & \bar{B}_t & \bar{M}_{yb} & \bar{M}_{xb} & \bar{F}_{zb} & \bar{B}_b \end{bmatrix}^T$$

$$\begin{bmatrix} \bar{u}_t & \bar{v}_t & \bar{\theta}_t & \bar{u}_b & \bar{v}_b & \bar{\theta}_b & \bar{\varphi}_{yt} & \bar{\varphi}_{xt} & \bar{w}_t & \bar{\theta}_t & \bar{\varphi}_{yb} & \bar{\varphi}_{xb} & \bar{w}_b & \bar{\theta}_b \end{bmatrix}^T$$

変位ベクトルの成分のうち、 $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\theta}, \bar{\theta}'$ は原座における実際の値を示している。

次に層に関する層マトリックスの小マトリックス $n\bar{K}_{11}, n\bar{K}_{12}, n\bar{K}_{21}, n\bar{K}_{22}$ を、全体剛性マトリックスの小マトリックス $\tau\bar{K}_{11}, \tau\bar{K}_{12}, \tau\bar{K}_{21}, \tau\bar{K}_{22}$ に組み込む。(6 図) この結果得られる系全体の剛性方程式は

$$\begin{bmatrix} \bar{F}_1 \\ \bar{F}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau\bar{K}_{11} & \tau\bar{K}_{12} \\ \tau\bar{K}_{21} & \tau\bar{K}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{\delta}_1 \\ \bar{\delta}_2 \end{bmatrix} \quad \text{--- (12)}$$

但し $\{\bar{F}_1\} = [\bar{F}_{xN}, \bar{F}_{yN}, \bar{T}_N, \bar{F}_{xN-1}, \dots, \bar{F}_{x1}, \bar{F}_{y1}, \bar{T}_1, \bar{F}_{x0}, \bar{F}_{y0}, \bar{T}_0]^T$

$$\{\bar{F}_2\} = [\bar{M}_{yN} \bar{M}_{xN} \bar{F}_{zN} \bar{B}_N \dots \bar{F}_{z1} \bar{B}_1 \bar{M}_{y0} \bar{M}_{x0} \bar{F}_{z0} \bar{B}_0]^T$$

$$\{\bar{\delta}_1\} = [\bar{u}_N \bar{v}_N \bar{\theta}_N \dots \bar{u}_1 \bar{v}_1 \bar{\theta}_1 \bar{u}_0 \bar{v}_0 \bar{\theta}_0]^T$$

$$\{\bar{\delta}_2\} = [\bar{\varphi}_{yN} \bar{\varphi}_{xN} \bar{w}_N \bar{\theta}_N \dots \bar{w}_{z1} \bar{\theta}_1 \bar{\varphi}_{y0} \bar{\varphi}_{x0} \bar{w}_0 \bar{\theta}_0]^T$$

水平剛性マトリックスは $\{\bar{F}_2\} = \{0\}$ と置く（水平荷重以外は働かないと考える）ことにより

$$[\tau \bar{K}_L] = [\tau \bar{K}_{11}] - [\tau \bar{K}_{12}] [\tau \bar{K}_{22}]^{-1} [\tau \bar{K}_{21}] \quad (13)$$

なる演算を実行して得られる。 $[\tau \bar{K}_L]$ は層数を N とすれば $(N+1) \times 3$ 次元の正対称マトリックスとなる。

ら。静的及び動的解析。

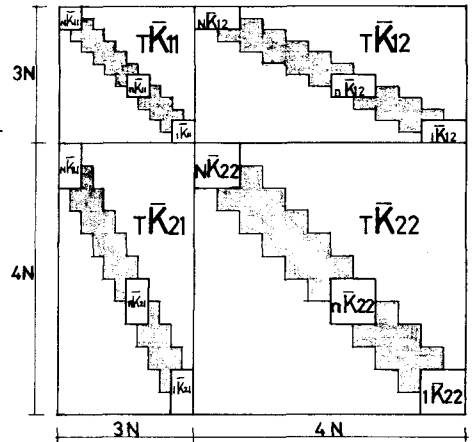
構造物に実際に加わる水平荷重は分布しているのが普通であるが、これを一般的に行なわれている様に床レベルに集中させ、さらに床版での原長に作用する集中水平荷重 $\bar{F}_x$ $\bar{F}_y$ と集中撓りモーメントに置きかえる。水平剛性マトリックスを用いて各層の水平変位 $\bar{u}$ $\bar{v}$ $\bar{\theta}$ を求める。これらから $\bar{\varphi}_y$ $\bar{\varphi}_x$ $\bar{w}$ $\bar{\theta}$ が求まりさらに部材要素の剛性マトリックスを用いてその層内の部材応力が求まる。又、動的解析は、上で行なったのと同様に今度は質量を床の原長に集中させ、構造物の断面形状等から回転慣性モーメントを求め、静的解析における水平荷重項 $\bar{F}_x$ $\bar{F}_y$ を慣性項に置きかえて、自由振動の運動方程式を得る。これらから振動数方程式を導き、固有周期、固有モード等の動的特性を求める。

6. 計算例

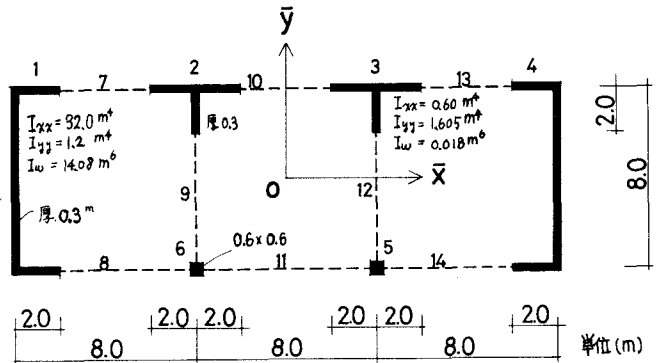
例としては右図の様な壁体と柱が混在し、 $\bar{x}$ 軸に宛して非対称な層構造物を扱った。断面特性は、各層とも等しいとし、各層に等しく水平荷重を与えた。 $\bar{y}$ 方向の荷重に対する変位、壁体・柱部材のモーメント図を(8図)に、 $\bar{x}$ 方向荷重に対しては(9図)に示す。又、二の場合、各節点で定義される剛性に関する重み係数はすべて等しく1とした。なお荷重は 38.4 ton 、 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ (t/m}^2\text{)}$ $G = 0.9 \times 10^6 \text{ (t/m}^2\text{)}$ である。

7. 考察

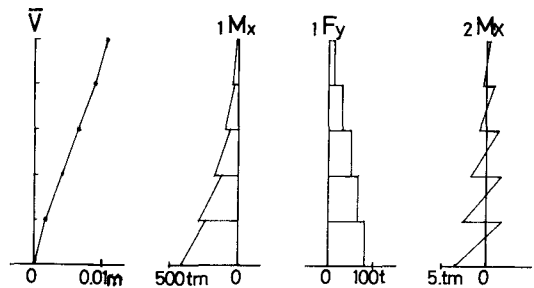
(8図)、(9図)から二の構造物がその方向により変形特性に差異のある



6図 全体剛性マトリックスの組立



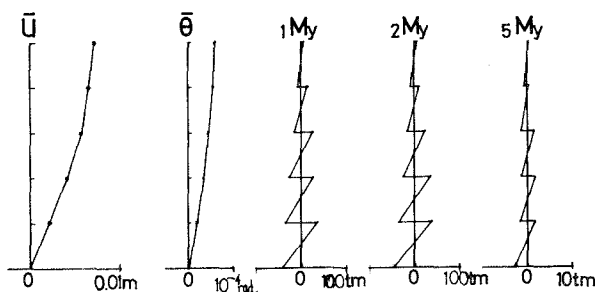
7図



8図 $\bar{y}$ 方向荷重 38.4 ton/層

事がわかる。即ち、構造断面の特性（特に壁体の）によりせん断変形が卓越したり、曲げ変形が卓越する傾向がよく分る。又、前者は対称軸に沿って荷重が加わっている為に捻り変形は生じていない。

この例では、層内の各節点で定数とされる重み係数をすべて等しくしているために、他の鉛直要素に比べて剛性の高い



9図. 反方向荷重38.4 ton/m.

壁要素の応力が過大に評価されている様である。剛性の極端に異なる部材要素が共存する場合には、重み係数を特に慎重に検討する必要がある。

層によりあまり断面特性の変化しない構造物に対しては、それを連続体に置換し解析的に解く手法も有効であるが、高層部と中・低層部から成る様な構造物や、断面特性が著しく変化する構造物に対しては、ここで用いた様に、層ごとに分けて考える方が良いと思われる。本論で述べた手法は、層ごとに特性の変化する一般の構造物に適用できるが、非常に多くの自由度を持つ系を、自由度の極めて少い系に縮小するわけであるから、その過程で何らかの誤差が生じて来る。このため、構造物の全体としての特性を把握する上には、この手法は有効といえるが、再び99自由度系に戻って行なわれる個々の部材応力の算定には疑問を感ずるし、これらの値をそのまま構造設計に用いる事は危険であろう。しかし、それらの部材の挙動の傾向を知る上では有効といえる。

参考文献

- 1) W. Weaver Jr. and M. F. Nelson "Three dimensional analysis of tier buildings" proc. ASCE vol. 92 No. ST6 (1966.12) pp. 385~404.
- 2) J. Glick "Lateral-load analysis of asymmetric multistory structures" proc. ASCE vol. 96 No. ST2 (1970.2) pp. 317~333
- 3) A. C. Heidebrecht and R. D. Swift "Analysis of asymmetrical coupled shear walls" proc. ASCE vol. 97 No. ST5 (1971.5) pp. 1407~1422
- 4) 佐・梅井・井口・原「連層耐震壁を有する三次元構造物の解析」日本鋼構造協会第7回大会研究集会、2トリックス構造解析法研究発表論文集(昭.48.6) pp. 217~224
- 5) V. Z. Vlasov 「梁肉弾性梁の理論」(奥村他訳) 技報堂.
- 6) 成岡、阪部、加藤、後藤、上田「骨組構造解析」コンピュータによる構造工学講座Ⅱ-1B 培風館
- 7) 川井忠彦「2トリックス法振動および応答」コンピュータによる構造工学講座Ⅰ-4B 培風館.