

高層ビル耐震設計プログラムの開発研究

耐震設計開発グループ

概 要

当社では構造物の形状、用途に応じて設計者が望む解析が行なえるように STEP (Structural Engineering Program) と名付けられた一連の応力変形解析プログラムを開発し、保有している。本報告は特に高層ビルを対象として新たに開発した高層ビル耐震設計汎用プログラム (STEP-05) の解析法概要と計算例について述べたものである。本プログラムは大別して建物全体の応力解析、固有値解析、弾塑性地震応答解析を一貫して処理し、また建築基準法 (改訂案) にもとづいた設計せん断力を内部発生して建物の応力解析を行なうなど、現在可能な範囲で設計者に多くの判断資料を提供しうるように配慮してある。後半は本プログラムによる計算例を示した。

1. 序

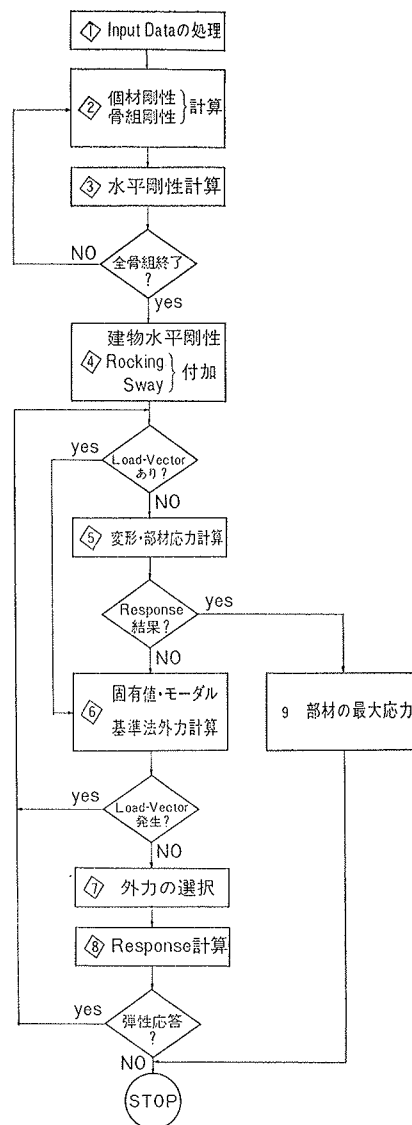
建築学の発展と施工技術の進歩に伴ってわれわれの取り扱う建築構造物も増々複雑、多様化してきた。これらの建築物を安全かつ経済的に設計するためには、それぞれに適した構造設計、解析が必要であるが、そのためには Computer の力を借りなければならない面が多い。当社では構造物の形状、用途に応じて設計者が望む解析が行なえるように、STEP と名付けた一連のプログラムを開発し、平面骨組、立体骨組、平板・折板・曲面板構造の応力変形解析など、既に発表したもの、現在継続中のものを含めて STEP-01 より STEP-04 まで保有している。

本報告は特に高層建物を対象として今回新たに開発した耐震設計汎用プログラム (STEP-05) についてである。本プログラムは2. で述べてあるように大別して、建物全体の応力解析、固有値解析、地震応答解析を一貫して処理し、必要に応じて任意の個所で計算を始動、停止できるように配慮してある。また、建築基準法 (改訂案) に基づいた設計せん断力の内部発生により、建物の応力解析を行なうことができるなど、現在可能な範囲で設計者に多くの判断資料を提供し得ることを意図した。

2. プログラムの流れと解析可能範囲

2.1. 流れ図

プログラム全体の流れを図一1に示した。①、③部分はフレームごとに各個材からフレーム迄の水平剛性の計算を行ない建物全体のフレーム数だけ繰返し行な



図一1 フローチャート

う。④では建物全体の水平剛性を算出し、Rocking Sway を考慮する場合にはそれを加える。⑤では静的水平力、あるいは弾性応答解析での変形、部材応力の計算を行なう。⑥では一般の固有値解析の他に建築基準法(改訂案)に基づいて設計せん断力を内部発生し、これによる応力計算も行なうことができる。⑦では指示にしたがって任意の地震外力を選択するが、将来風荷重、機械振動荷重も考慮する予定である。⑧では弾性応答計算、せん断降伏型弾塑性応答計算を行なう。⑨では弾性応答計算結果より各部材の最大応力を算出する。

なお、本プログラムは高層建物を対象としたので骨組の形状はブレースを含む短形ラーメンに限定したが、工場建家、原子炉コンテナのように形状の不規則なものなどはSTEP-01などで求めた柔性マトリックスあるいはD-ValueなどをInputして④で処理することも可能である。

2.2. 解析可能範囲

2.2.1. 建物規模 50層14スパンを限度とするが、Rocking Sway を両方考慮するときは48層まで、どちらか一方を考慮するときは49層までとし、またブレースを含むスパン数は5スパンまでとする。フレーム数は例えば40層8スパンなら5フレーム程度で、主として計算機の外部記憶容量に制限される。

2.2.2. 対称条件 柱対称、はり対称が扱えるので、建物を小規模にして計算できる。

2.2.3. 柱脚条件 柱脚固定、ピン、バネを自由に選択することができる。

2.2.4. 剛性要素と変形 表一に示したように現在一般に解析可能と考えられるすべての変形要素を考慮できる。

要素	変形	端部拘束	備考
柱	曲げ せん断 軸方向	剛・ピン	剛域・変断面 可能
はり	曲げ せん断	剛・ピン	同上
パネル	せん断		柱・はり接合部
ブレース	軸方向	ピン	パネルとの組合せ可能
耐震壁	曲げ せん断 軸方向		剛域による線材置換

表一

2.2.5. 動的解析 固有周期、振動モードの計算、建築基準法改訂案にもとづく外力計算と応力計算、弾性応答計算と部材の最大応力の計算、せん断降伏型弾塑性応答計算などが、必要に応じて選択し処理できる。

3. 解析方法

3.1. 建物剛性の評価

3.1.1. 部材の剛性マトリックス 建物を構成する各剛性要素は表一にも示した通り基本的には柱、はり、仕口パネルの三要素からなるものとして、これに耐震壁、ブレースを付加する。なお解析上、次の仮定をもうける。

- i) $F=K \cdot Y$ が成り立つためには、変形はすべて弾性範囲内の微小変形を考える。
- ii) 部材の材軸に垂直な平面は変形後も平面を保持する。
- iii) 材質はすべて同じで等方等質性とする。
- iv) パネルは短形とし、その周辺は剛な枠でかこまれ、その枠はピンで連結されているものとする。

以上の仮定のもとに、柱、はり、パネルの三要素についてそれぞれ表一にある変形を考慮すれば、相対変形に対して図一2のような変形図が得られるから、各要素のつり合い式は以下ようになる。なお柱についてはせん断変形用断面積と軸方向変形用断面積とを分離する。

a) 柱

$$\begin{Bmatrix} M_c^t \\ M_c^b \\ Q_c \\ N_c \end{Bmatrix}_{i,j} = 2E_c K_{i,j} \begin{bmatrix} a_c & b_c & c_c & 0 \\ b_c & a'_c & c'_c & 0 \\ c_c & c'_c & d_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_c \end{bmatrix}_{i,j} * \begin{Bmatrix} \theta_i^c \\ \theta_{i+1}^c \\ u_i \\ \epsilon_i \end{Bmatrix}_j \quad (1)$$

簡単にマトリックス表示すれば

$${}_c M_{i,j} = {}_c K_{i,j} \times {}_c D_{i,j} \quad (2)$$

b) はり

$$\begin{Bmatrix} M_G^t \\ M_G^r \\ Q_G \end{Bmatrix}_{i,j} = 2E_G K_{i,j} \begin{bmatrix} a_G & b_G & c_G \\ b_G & a'_G & c'_G \\ c_G & c'_G & d_G \end{bmatrix}_{i,j} * \begin{Bmatrix} \theta_j^G \\ \theta_{j+1}^G \\ \lambda_j \end{Bmatrix}_i \quad (3)$$

簡単にマトリックス表示すれば

$${}_G M_{i,j} = {}_G K_{i,j} \times {}_G D_{i,j} \quad (4)$$

c) パネル

$$\{M_P\}_{i,j} = [G_P]_{i,j} * \{\gamma\}_{i,j} \quad (5)$$

簡単にマトリックス表示すれば

$${}_P M_{i,j} = {}_P K_{i,j} \times {}_P D_{i,j} \quad (6)$$

式一(1), (3), (5)中の各係数、記号は通常のたわみ角法係数に従えば下記の通りとなる。

$$a = (2 + \alpha) / (1 + 2\alpha)$$

$$b = (1 - \alpha) / (1 + 2\alpha)$$

$$c = -(a + b) / l'$$

$$d = -2c / l'$$

$$l = A_N / 2I$$

ただし、 $l' = l - (D_i + D_{i+1})$ (柱)

$$= l - (B_j + B_{j+1}) \quad (\text{はり})$$

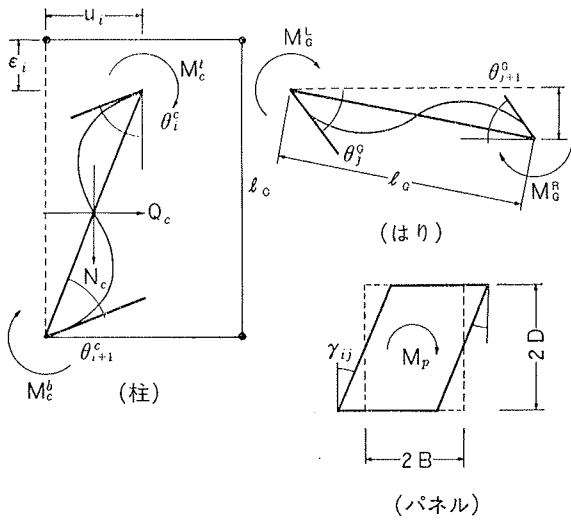


図-2 柱・はり・パネル変形図

$$\alpha = 6EI / \beta GA_s l^2$$

記号, $K = I / l'$

$$[G_P] = 4BDtG$$

E ; ヤング係数

G ; セン断弾性係数

I ; 断面二次モーメント

A_s ; 柱, はりせん断変形用断面積

A_N ; 柱の軸方向変形用断面積

B, D, t ; パネルの幅, 丈, 厚

なお一般の純ラーメンでは式(1), (3)中の $a' = a$, $c' = c$ であるが, 材の一端または両端に剛域, 変断面を考える場合には変断面たわみ角法係数²⁾に基づいて自動計算を行なう。また, 材端をピン接合とすることも可能である。

d) プレース プレースの剛性は 3.1.2 で記した各個材マトリックスを組立てる段階で付加するが, その要領は下記の通りである。ただし考慮するプレースの形状は図-3 に示す11種類とした。

まづ変形要素は軸方向のみを考えれば式(7)の釣合い式が得られる。

$$N_B = EA_N / l_B \times \{\eta\} \quad \text{---(7)}$$

ここに η は部材の伸び, l_B はプレースの長さ, これを柱, はりの部材座標系の変形で表現すれば図-4 のようになる。すなわち

$$\eta_{ij} = -[\cos \alpha_{ij} \times (\bar{U}_i - D_{ij} \cdot g \theta_{ij}) + \sin \alpha_{ij} \times (\bar{V}_{ij} - B_{ij} \cdot c \theta_{ij})] + [\cos \alpha_{ij} \times (\bar{U}_{i+1} + D_{i+1, j+1} \cdot g \theta_{i+1, j+1}) - \sin \alpha_{ij} \times (\bar{V}_{i+1, j+1} + B_{i+1, j+1} \cdot c \theta_{i+1, j+1})] \quad \text{---(8)}$$

これを全体の絶対座標系に変換して 3.1.2. で加えればよい。なお, プレース端がパネル端ではなく, 中心節点に取り付く場合は式(8)で $B = D = 0$ とする。またプレースがはりにピン接合で付く場合 (図-3 (d))

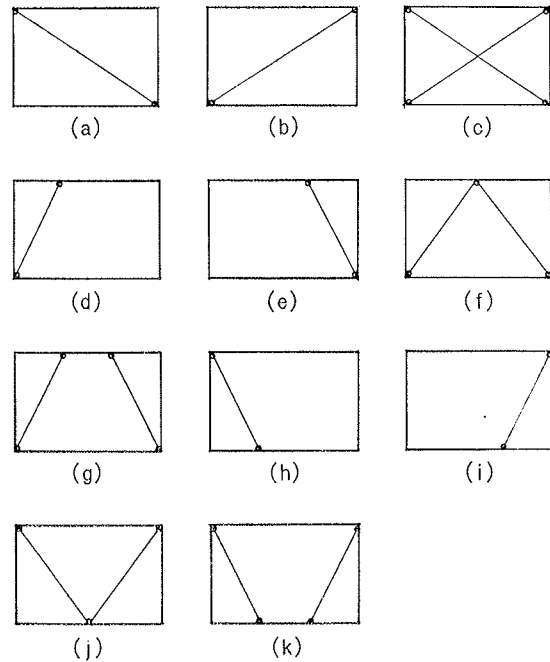


図-3 プレース形状

~(k) はその点でのパネルは考えない。

3.1.2. 層剛性マトリックス 3.1.1. で述べた柱, はり, パネルの各つり合式は各々単独の部材座標系によるものであるから, これを全体の絶対座標系に変換しなければならない。三要素の変形図は図-4 のようになるから, これより式(9), (10), (11)の変換式が導かれる。

$$\begin{pmatrix} c\theta_{i,j} \\ c\theta_{i+1,j} \\ \gamma_{i,j} \\ \varepsilon_{i,j} \end{pmatrix} = [cA] \begin{pmatrix} \theta \\ \gamma \\ \bar{V} \\ \bar{U} \end{pmatrix}_{i,j} \quad \text{---(9)}$$

$$\begin{pmatrix} g\theta_{i,j} \\ g\theta_{i,j+1} \\ \gamma_{i,j} \\ \lambda_{i,j} \end{pmatrix} = [gA] \begin{pmatrix} \theta \\ \gamma \\ \bar{V} \\ \bar{U} \end{pmatrix}_{i,j} \quad \text{---(10)}$$

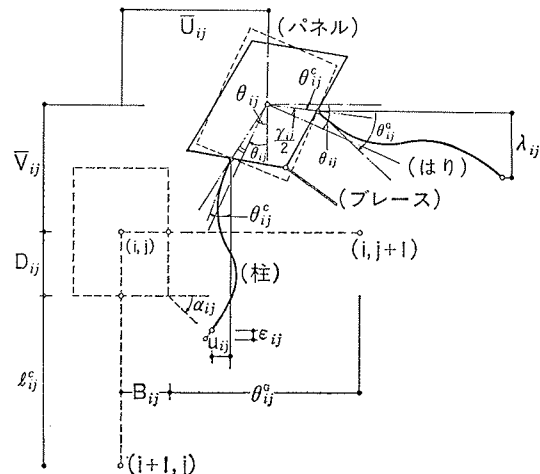


図-4 全体変形図

$$\{\gamma_{i,j}\} = [PA] \begin{pmatrix} \theta \\ \gamma \\ \bar{V} \end{pmatrix}_{i,j} \quad \text{---(11)}$$

式(2), (4), (6), (9), (10), (11)に基づいて任意層の剛性マトリックス K_i は式(12)で表わされる。

$$K_i = A^T \cdot k \cdot A = \begin{pmatrix} S_1 & S_2 & R_1 \\ \text{---} & S_3 & R_2 \\ \text{(sym.)} & \text{---} & TF \end{pmatrix} \quad \text{---(12)}$$

ここに S_1, S_2, S_3 は $6 \times 3(m+1)$, R_1, R_2 は $6 \times n$ TF は $n \times n$ のマトリックス (m はスパン数, n は層数)

3.1.3. 水平剛性の誘導 建物の架構全体の剛性マトリックスは, 5層の架構を例にとると式(13)のようになる。

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & C_1 & & & & & R_1 \\ C_1^T & A_2 & C_2 & & & & R_2 \\ & C_2^T & A_3 & C_3 & & & R_3 \\ & & C_3^T & A_4 & C_4 & & R_4 \\ & & & C_4^T & A_5 & C_5 & R_5 \\ & & & & C_5^T & A_6 & R_6 \\ R_1^T & R_2^T & R_3^T & R_4^T & R_5^T & R_6^T & E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \\ \delta_H \end{pmatrix} \quad \text{---(13)}$$

ただし $A_i = S_1^i + S_3^{i+1}$ $C_i = S_2^i$ $R_i = R_1^i + R_2^{i-1}$
 $P_i = \{M_i \ M_{Pi} \ V_i\}^T$ $\delta_H = \{H_1 \dots H_5\}^T$
 $\delta_i = \{\theta_i \ \gamma_i \ y_i\}^T$ $E = \sum_{i=1}^m TF_i$

今, 簡単にこれを次の様にかきかえれば式(14)のようになる。

$$[K_{11}] = \begin{pmatrix} A_1 & C_1 & & & & & \\ C_1^T & A_2 & C_2 & & & & \\ & C_2^T & A_3 & C_3 & & & \\ & & C_3^T & A_4 & C_4 & & \\ & & & C_4^T & A_5 & C_5 & \\ & & & & C_5^T & A_6 & \\ & & & & & & \end{pmatrix}$$

$$[K_{12}] = [R_1 \ R_2 \ R_3 \ R_4 \ R_5 \ R_6]^T$$

$$[K_{22}] = [E]$$

$$\{P\} = [P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4 \ P_5 \ P_6]^T$$

$$\{\delta\} = [\delta_1 \ \delta_2 \ \delta_3 \ \delta_4 \ \delta_5 \ \delta_6]^T$$

$$\begin{pmatrix} P \\ \dots \\ P_H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} \\ \dots & \dots \\ K_{12}^T & K_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \\ \dots \\ \delta_H \end{pmatrix} \quad \text{---(14)}$$

自由振動, 強制振動を考える場合は水平力のみを考慮し, 他の外力を全て零にする剛性マトリックスは, 式(14)で $P=0$ として,

$$\begin{aligned} \{P_H\} &= [[K_{22}] - [K_{12}]^T [K_{11}^{-1}] [K_{12}]] \{\delta_H\} \\ &= [K_T] \{\delta_H\} \end{aligned} \quad \text{---(15)}$$

以下では式(15)の $[K_T]$ を水平剛性として取り扱うことにする。

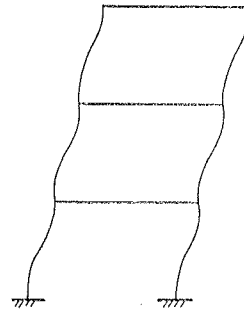


図-5 せん断変形

3.1.4. 曲げ剛性とせん断剛性の分離 せん断変形のモードを図-5のように仮定すると $\{\delta\} = 0$ より $\{P_H\} = [K_{22}]\{\delta_H\}$ であるから, $[K_S] = [K_{22}]$ が純せん断剛性となる。曲げ, せん断の分離は全体変形が曲げ変形とせん断変形の和になることから,

$$[K_T^{-1}] = [K_S^{-1}] + [K_B^{-1}] \quad \text{であることより,}$$

$$[K_B^{-1}] = [K_T^{-1}] - [K_S^{-1}]$$

すなわち曲げ剛性は

$$[K_B] = \{[K_T^{-1}] - [K_S^{-1}]\}^{-1} \quad \text{となる} \quad \text{---(16)}$$

3.2. 応答解析

式(16)より架構全体の水平剛性マトリックス $[K_T]$ ができれば, 時刻 t における任意層での振動方程式は式(17)のようになる。

$$\begin{aligned} [M]\{\ddot{y}_t\} + R_I [K_t]\{\dot{y}_t\} + [K_t]\{y_t\} - \{y_{t-1}\} \\ + \{P_{t-1}\} = -[M]\{\ddot{y}_{0t}\} \end{aligned} \quad \text{---(17)}$$

ここに $[M]$; 質量マトリックス, $[K_t]$; 時刻 t における弾力係数マトリックス $[K_T]$, $\{P_{t-1}\}$; 時刻 t-1 における復元力ベクトル, R_I ; 内部減衰項, $\{y_t\}$, $\{\dot{y}_t\}$, $\{\ddot{y}_t\}$; 時刻 t における変位, 速度, 加速度ベクトル, $\{\ddot{y}_{0t}\}$ 時刻 t における地動ベクトル。

式(17)を Newmark β -Method³⁾ により解けば、今時刻=t-1 で $\{y_{t-1}\}$, $\{\dot{y}_{t-1}\}$, $\{\ddot{y}_{t-1}\}$ が既知であるとき、時刻 t での速度、変位は

$$\{\dot{y}_t\} = \{\dot{y}_{t-1}\} + \frac{1}{2} \cdot \Delta t \cdot (\{\ddot{y}_{t-1}\} + \{\ddot{y}_t\}) \quad (18)$$

$$\{y_t\} = \{y_{t-1}\} + \Delta t \{\dot{y}_{t-1}\} + \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \Delta t^2 \{\ddot{y}_{t-1}\} + \beta \cdot \Delta t^2 \{\ddot{y}_t\} \quad (19)$$

式(17)に(18), (19)式を代入すれば

$$\{\ddot{y}_t\} = A^{-1} [-B\{\ddot{y}_{t-1}\} - C\{\dot{y}_{t-1}\} - \{P_{t-1}\} - [M]\{\ddot{y}_0\}] \quad (20)$$

$$\text{ここに } A = [[M] + \frac{\Delta t}{2} R_1 [K_t] + \frac{\Delta t^2}{4} [K_t]]$$

$$B = \left(\frac{\Delta t}{2} \cdot R_1 + \frac{\Delta t^2}{4} \right) [K_t]$$

$$C = (R_1 + \Delta t) [K_t]$$

以上は弾性応答に対する計算であるが、弾塑性応答計算を行なう場合には、図-6のような Bi-linear 型の復元力特性を、各層の層せん断力に対して仮定し、剛性に変更のある場合には $[K_t]$ を逐次変化させる。

また、Rocking Sway を考慮する場合には、図-1の流れ図(4)の部分でその影響を加味する。図-7(a)のように地盤に鉛直、水平バネ K_R , K_H を仮定すれば、図-7(b)のような変形図となることから、式(20)の基本式ができる。

$$\left. \begin{aligned} m_i \ddot{y}_i + \sum_{j=1}^n K_{ij} \cdot x_j &= 0 \\ I \ddot{\theta} + \sum_{i=1}^n m_i H_i \ddot{y}_i + K_\theta \theta &= 0 \\ y_i &= x_i + \theta H_i + y_0 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

これを変形して、式(17)のマトリックス標示にすれば、 $[M]$, $[K_t]$, $\{y_t\}$, $\{\ddot{y}_0\}$ などは以下の様になり、

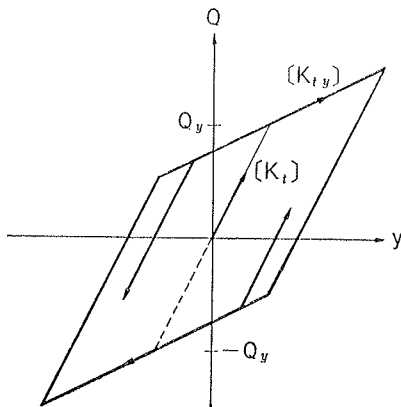


図-6 復元力特性

同様な方法で計算できる。

$$[M] = \begin{bmatrix} m_n & & & 0 & m_n H_n \\ & m_{n-1} & & 0 & m_{n-1} H_{n-1} \\ & & \ddots & & \\ & & & m_1 & m_1 H_1 \\ 0 & \dots & 0 & m_0 & 0 \\ m_n H_n & \dots & m_1 H_1 & 0 & I + \sum m_i H_i^2 \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \rightarrow \text{Sway} \\ \rightarrow \text{Rocking} \end{matrix}$$

$$[K]_t = \begin{bmatrix} \alpha_{nn} + \frac{1}{K_H} - \alpha_{1n} + \frac{1}{K_H} & & \frac{1}{K_H} & 0 \\ & \ddots & & \\ & & \alpha_{11} + \frac{1}{K_H} - \alpha_{11} + \frac{1}{K_H} & 0 \\ \frac{1}{K_H} & & \frac{1}{K_H} & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \frac{1}{K_R} \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \rightarrow \text{Sway} \\ \rightarrow \text{Rocking} \end{matrix}_t$$

$$\{y\}_t = \{y_n, y_{n-1}, \dots, y_1, y_0, \theta\}_t^T \text{変位ベクトル}$$

$$\{\ddot{y}_0\}_t = \{\ddot{y}_0, \ddot{y}_0, \dots, \ddot{y}_0, \ddot{y}_0, 0\}_t^T \text{外力ベクトル}$$

4. 計算例

以上により開発した STEP-05 により簡単な例題を解いた結果を以下に示した。(計算機 NEAC 2200-500)

4.1. 例題 1

- i) 対象骨組 10層3スパン1フレーム
- ii) 処理計算 10層に単位水平力を加えた時の変形、応力計算。
- iii) 計算結果 図-8(a)純フレームの場合、b)パネル変形を考慮した場合、c)パネル部分を剛域として

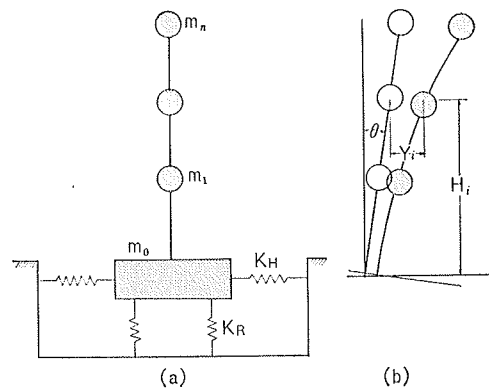


図-7

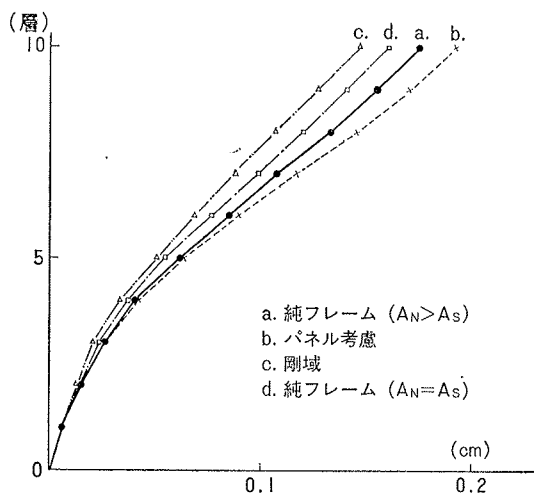


図-8

扱った場合の変形図を示した。c)を除いて柱のせん断変形用断面積と軸変形用断面積を分離したが、d)に純フレームの場合a)で両者を等しくした場合についても記入してある。d)は STEP-01 による解と全く同一である。

4.2. 例題 2

i) 対象骨組 32層18スパン2フレーム、同2スパン5フレーム、同3スパン2フレームを柱対称、はり対称条件を利用して縮小した骨組を全体架構として解く。

ii) 処理計算 設計せん断力による変形、応力計算。固有値解析。5つの代表的地震波によるモーダルアナリシス。El Centro 1940 NS 地震波による弾性応答計算。

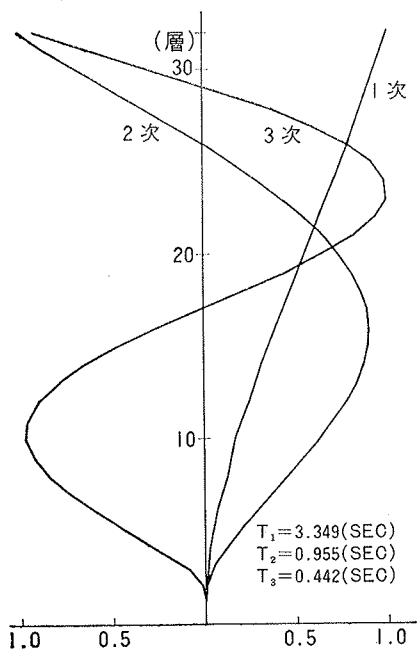


図-9

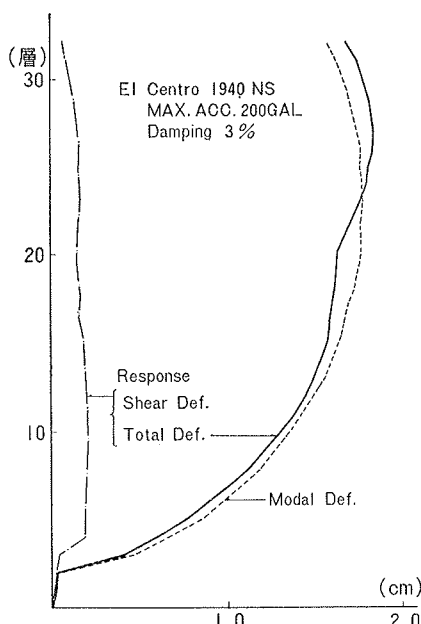


図-10

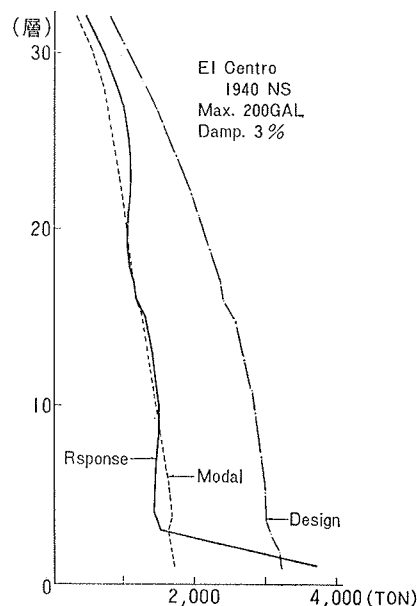


図-11

iii) 計算結果 図-9に3次までの固有周期と固有モード、図-10に応答最大層間変位、図-11に応答最大せん断力を示した。なお、図中にはモーダルアナリシスの結果もあわせて示した。また計算実例を図-12~14までに示した。

5. 結び

以上が今回新たに開発した耐震設計用プログラム (STEP-05) の概要である。今回のプログラム開発の主眼点は、

1. 準備計算段階の手間を省くこと。
2. 仕口部のせん断変形、変断面材を含めること。
3. ブレースおよび耐震壁を含む構造体を全架構、同時に解析すること。
4. 構造体のせん断変形、曲げ変形成分を分離し、変形の性状を明確にすること。
5. 強震時の挙動解析について、各部材の発生する最大応力を算出し、断面算定を行なう場合の便に資すること。
6. 最大計算処理可能階数を50層とすること。

などであった。勿論これで充分ではなく、今後の改善、改良に残した点も多く、特にねじれ振動に対する処理、有限要素法による地盤、耐震壁の解析、部材の曲げ降伏型弾塑性応答解析などがその主なものとして考えられるが、基本が完成したので、逐次現実の要求に合わせて開発することが必要である。

なお、本プログラム開発に当っては、当社設計技術改善専門委員会主査の指示に基づいて、設計部、機械計算部、技術研究所が合同して、下記のメンバーによ

耐震設計プログラム・耐震設計開発グループ

MODAL ANALYSIS

EARTHQUAKE EL-CENTRO 1940 NS MAX ACC 200 GAL

1-5 ORDER ROOT MEAN SQUARE

DISP. ONE MASS	1ST 30.360	2ND 8.072	3RD 1.763	4TH .380	5TH .205	CM			
STORY MASS	DISP	DISP	DISP	DISP	DISP	DFL. (CM)	DISP (CM)	SHEAR (TON)	SHEAR COEFF
32	1.627	43.272	3.796	0.872	0.030	1.582	45.034	323.11	2025
31	1.595	41.832	3.193	0.800	0.036	1.634	43.652	441.64	2025
30	1.595	40.328	2.565	0.719	0.018	1.668	41.818	500.39	1997
29	1.595	38.800	1.926	0.618	0.036	1.696	40.150	623.84	1865
28	1.595	37.240	1.286	0.500	0.046	1.726	38.454	829.94	1769
27	1.595	35.643	0.652	0.359	0.045	1.751	36.727	754.47	1673
26	1.595	34.010	0.036	0.267	0.055	1.768	34.976	824.88	1590
25	1.595	32.346	0.000	0.176	0.059	1.770	33.209	848.96	1499
24	1.595	30.664	1.105	0.082	0.004	1.781	31.439	890.47	1422
22	1.595	27.230	2.065	0.591	0.009	1.786	29.658	928.66	1359
21	1.597	25.490	2.456	0.516	0.028	1.776	28.086	1002.19	1251
20	1.597	23.743	2.783	0.410	0.062	1.769	26.310	1038.32	1208
19	1.597	22.003	3.045	0.290	0.036	1.755	22.541	1073.36	1169
18	1.597	20.265	3.237	0.135	0.104	1.732	20.786	1107.75	1134
17	1.648	18.544	3.357	0.017	0.108	1.694	19.054	1148.76	1101
16	1.627	16.837	3.406	0.165	0.099	1.667	17.360	1189.50	1081
15	1.404	15.196	3.392	0.303	0.080	1.640	15.693	1250.10	1025
14	1.582	13.543	3.295	0.416	0.040	1.600	14.053	1291.32	1012
13	1.582	11.974	3.137	0.505	0.007	1.551	12.453	1332.76	0998
12	1.582	10.439	2.928	0.567	0.034	1.499	10.902	1374.39	0988
11	1.608	8.940	2.676	0.601	0.074	1.443	9.403	1417.82	0978
10	1.606	7.555	2.388	0.664	0.101	1.385	7.966	1461.50	0968
9	1.606	6.228	2.072	0.580	0.120	1.282	6.401	1505.24	0959
8	1.606	4.991	1.739	0.325	0.128	1.034	4.930	1549.16	0949
7	1.606	3.847	1.399	0.456	0.124	0.941	4.123	1594.39	0939
6	1.606	2.809	1.060	0.365	0.108	0.911	3.028	1621.58	0929
5	1.606	1.892	0.733	0.263	0.083	0.855	2.098	1650.24	0926
4	1.606	1.101	0.429	0.157	0.051	0.822	1.194	1681.10	0901
3	1.799	0.485	0.176	0.041	0.019	0.804	0.520	1715.99	0801
2	1.112	0.052	0.021	0.008	0.001	0.839	0.056	1672.13	0580
1	1.606	0.016	0.007	0.003	0.001	0.818	0.018	1720.89	0501

図-12

り作業を行なった。

- リーダー 松岡進士郎 (機械計算部課長)
- 本店設計部 小菅与三一
- 東京支店設計部 久納 俊雄
- 機械計算部 内山 武司 板橋 瑩二
- 技術研究所 岡田 宏 表 佑太郎
- (執筆担当) 表 佑太郎

なお、本開発に要した期間は約3ヶ月を期限とし、人員延6000時間、計算時間延120時間である。

謝辞 本プログラム開発に当って、東京大学梅村魁教授、当社技術研究所中川恭次次長に多くの示唆を頂いたことを感謝致します。

参考文献

- 1) 表・板橋：曲げ・せん断・剛域を考慮したフレーム解析法 大林組技術研究所報 No. 3

EIGEN VALUE

PERIOD	3.34940	1.93533	1.49201	1.27645	1.19110	1.14268	1.11993	1.09973	1.08922	1.07476
OMEGA	1.87990E+01	6.87300E+00	4.18150E+00	3.2321E+00	3.2321E+00	4.4430E+00	5.2311E+02	6.8494E+02	7.1223E+02	4.1897E+02
OMEGA	1.87990E+01	6.87300E+00	4.18150E+00	3.2321E+00	3.2321E+00	4.4430E+00	5.2311E+02	6.8494E+02	7.1223E+02	4.1897E+02

MODE

MODE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
32	1.02000	1.02000	0.91372	-0.82844	-0.64141	-0.46433	-0.31870	-0.21021	-0.13972	-0.08922	-0.05476
31	0.94318	0.87375	0.81207	-0.74844	-0.56514	-0.41854	-0.29320	-0.19740	-0.13070	-0.08520	-0.05476
30	0.87375	0.81207	0.74844	-0.68481	-0.50151	-0.35491	-0.24720	-0.16850	-0.11500	-0.07650	-0.05126
29	0.81207	0.74844	0.68481	-0.62118	-0.43788	-0.29128	-0.19350	-0.13000	-0.08750	-0.05800	-0.04376
28	0.74844	0.68481	0.62118	-0.55755	-0.37425	-0.22765	-0.15000	-0.10250	-0.06750	-0.04525	-0.03476
27	0.68481	0.62118	0.55755	-0.49392	-0.31062	-0.16402	-0.10750	-0.07000	-0.04750	-0.03225	-0.02476
26	0.62118	0.55755	0.49392	-0.43029	-0.24699	-0.10039	-0.06350	-0.04250	-0.02750	-0.01925	-0.01476
25	0.55755	0.49392	0.43029	-0.36666	-0.18336	-0.03676	-0.02250	-0.01500	-0.01025	-0.00725	-0.00576
24	0.49392	0.43029	0.36666	-0.30303	-0.11973	-0.00013	-0.00750	-0.00250	-0.00175	-0.00125	-0.00076
23	0.43029	0.36666	0.30303	-0.23940	-0.05603	-0.00013	-0.00250	-0.00075	-0.00050	-0.00035	-0.00026
22	0.36666	0.30303	0.23940	-0.17577	-0.02240	-0.00013	-0.00075	-0.00025	-0.00017	-0.00012	-0.00008
21	0.30303	0.23940	0.17577	-0.11214	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
20	0.23940	0.17577	0.11214	-0.04851	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
19	0.17577	0.11214	0.04851	-0.01488	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
18	0.11214	0.04851	0.01488	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
17	0.04851	0.01488	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
16	0.01488	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
15	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
14	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
13	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
12	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
11	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
10	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
9	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
8	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
7	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
6	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
5	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
4	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
3	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
2	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004
1	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00013	-0.00009	-0.00006	-0.00004

図-13

SE RESPONSE

MAX VALUE OF NEW DYNAMIC RESPONSE

STORY	RATON	ACC (G)	DEFLECTION			DISPLACEMENT			SHEAR	SHEAR	PLASTIC	OUT.	
			Y (CM)	Z (CM)	T (CM)	Y (CM)	Z (CM)	T (CM)	(TON)	(TON)	MOMENT	(7.5M)	
32	270.65	1.4	0.21	1.462	0.6	4.233	6.03	83.056	5.0	441.52	227	1004	1589.44
31	244.04	1.4	0.18	1.185	0.4	4.230	5.02	39.424	5.0	384.47	264	900	1079.47
30	213.40	1.4	0.13	1.010	0.4	4.130	4.00	36.484	5.0	313.40	243	608	9171.08
29	183.88	1.4	0.08	0.810	0.4	3.980	3.00	32.640	5.0	243.88	213	400	7400.00
28	154.00	1.4	0.02	0.622	0.4	3.872	2.00	28.876	5.0	184.00	184	300	5789.06
27	124.00	1.4	0.02	0.434	0.4	3.764	1.00	25.112	5.0	134.00	134	200	4278.00
26	110.50	1.4	0.04	0.350	0.4	3.760	0.50	21.348	5.0	101.47	101	100	3299.09
25	97.00	1.4	0.04	0.266	0.4	3.756	0.00	17.584	5.0	68.94	69	100	2312.07
24	83.50	1.4	0.02	0.179	0.4	3.752	0.00	13.820	5.0	36.41	36	100	1125.07
23	70.00	1.4	0.02	0.095	0.4	3.748	0.00	10.056	5.0	18.88	19	100	487.00
22	56.50	1.4	0.02	0.011	0.4	3.744	0.00	6.292	5.0	0.00	0.00	100	192.00
21	43.00	1.4	0.01	0.027	0.4	3.740	0.00	2.528	5.0	0.00	0.00	100	49.00
20	29.50	1.4	0.01	0.043	0.4	3.736	0.00	0.764	5.0	0.00	0.00	100	13.00