

大阪市立大学

正員 倉田栄章

大阪工業大学

〃 岡村宏一

本州四国連絡橋公団

〃 〇多田浩彦

大阪設計コンサルタンツ

〃 進藤泰男

1) まえがき: さきに, 本州四国連絡橋下部工の1形式として提案されている多柱基礎の立体振動につき報告した。しかし実際の構造物はFIG.1.に示すように, さらにこの基礎上に吊橋塔柱が結合した系であり, 塔柱の影響は無視できない。よって本文では塔柱をも含めた連成系として剛体傾斜, ねじれ振動をも含めて立体振動解析を試みた。

2) 基本仮定: 構造はFIG.1.に示すように, 脚柱, 塔柱および頂板よりなるものとし, 脚柱, 塔柱は若干個の *lumped mass* に分割し, 頂板は単一 *mass* とみなす。ケーブル, 橋面および地盤の構造物に与える作用はすべて集中バネで置換する。塔柱はFIG.1.(a)に示すような不連続断面よりなる梁と仮定する。また地震方向はFIG.1.(b)に示すように X 軸と角 $\bar{\theta}$ をなすものとする。この系の振動性状は構造物全体の剛体運動(並進運動および回転運動)と脚柱, 塔柱の構造要素として弾性振動(せん断振動およびねじれ振動)以上の2系の運動が連成されたものである。

3) 水平運動方程式: 運動方程式は脚柱部, 塔柱部, 頂板部の各 *lumped mass* について表わす。

3-1) 脚柱部 *lumped mass* について: j 番柱 l 番 *mass* の X , Y 方向の水平運動方程式は

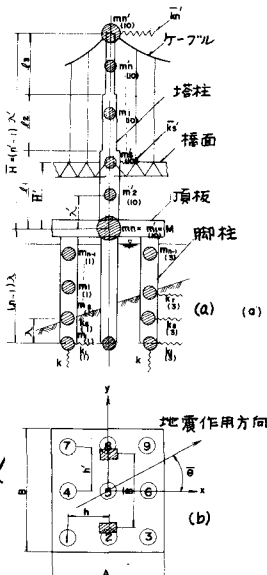


FIG.1. 構造一般図

$$\left. \begin{aligned} m_{lj}(\ddot{u}_{lj} + \ddot{\varphi}_x p_{lj}) + \sum_{i=1}^n p_{xi}^{xl} \ddot{u}_{li} + p_{\omega}^{xl} \ddot{\omega} + C_{lj}(\dot{u}_{lj} + \dot{\varphi}_x p_{lj}) &= -m_{lj} \ddot{u}_0 \cos \bar{\theta} \\ m_{lj}(\ddot{v}_{lj} + \ddot{\varphi}_y p_{lj}) + \sum_{i=1}^n p_{yi}^{yl} \ddot{v}_{li} + p_{\omega}^{yl} \ddot{\omega} + C_{lj}(\dot{v}_{lj} + \dot{\varphi}_y p_{lj}) &= -m_{lj} \ddot{u}_0 \sin \bar{\theta} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$(j=1, 2, 3, \dots, 9, \quad l=1, 2, 3, \dots, n-1)$$

ただし上式中 n =柱の質点個数, n は頂板質点番号に該当する。 $u_{lj}, v_{lj}=X, Y$ 方向水平せん断変位, ω =頂板重心を通る鉛直軸を軸とする水平ねじれ回転角, $\varphi_x, \varphi_y=X, Y$ 方向剛体傾斜角, $\ddot{u}_0$ =地動加速度, $\bar{\theta}=X$ 軸に対する地動入射角, $m_{lj}=j$ 番柱 l 番 *mass* の質量, $C_{lj}=j$ 番柱 l 番 *mass* のせん断運動減衰係数, p_{lj} =頂板の X 方向傾斜にともない, j 番柱柱頭に発生する曲げによって l 番 *mass* 位置に生ずる変位を剛体傾斜角 θ で表わしたときの係数, $p_{lj}^y=y$ 方向における同上の係数, $p_{xi}^{xl}=p_{yi}^{yl}$ =force influence coefficients, すなわち各質点位置に交差を仮想した連続バリアにおいて, i 番 *mass* のみを単位変位させるとき l 番 *mass* に働くべき X 方向反力。柱は円形であるため Y 方向についても同値, p_{ω}^{xl} =頂板に単位角ねじれが生じたとき j 番柱の l 番 *mass* に働く X 方向水平反力

3-2) 塔柱の lumped mass について:

$$\left. \begin{aligned} m_{(0)} (\ddot{u}_{(0)} + \ddot{\varphi}_x p_{(0)}) + \sum_{i=1}^{n'} p_{x i}^{x(0)} u_{(i)} + \bar{C}_{(0)} (\dot{u}_{(0)} + \dot{\varphi}_x p_{(0)}) &= -m_{(0)} \ddot{u}_0 \cos \bar{\theta} \\ m_{(0)} (\ddot{v}_{(0)} + \ddot{\varphi}_y p'_{(0)}) + \sum_{i=1}^{n'} p_{y i}^{y(0)} v_{(i)} + \bar{C}'_{(0)} (\dot{v}_{(0)} + \dot{\varphi}_y p'_{(0)}) &= -m_{(0)} \ddot{u}_0 \sin \bar{\theta} \\ I_{(0)} \ddot{w}_{(0)} + \sum_{i=1}^{n'} p_{\theta i}^{\theta(0)} w_{(i)} + \bar{C}_{(0)} \dot{w}_{(0)} &= 0 \quad (k=2, 3, 4, \dots, n') \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

n' = 塔柱の質点個数, i' は頂板質点番号, $I_{(0)}$ = 塔柱の k 番 mass のねじれ回転慣性モーメント, $w_{(0)}$ = 塔柱の k 番 mass のねじれ回転角, $\bar{C}_{(0)}$ = 塔柱の k 番 mass のねじれ運動減衰係数, $p_{\theta i}^{\theta(0)}$ = 塔柱の i 番 mass のみの単位角ねじれたときの k 番 mass に働く反力モーメント, その他の notation は脚柱の場合と同様である. subscript (0) は塔柱部であることを示す.

3-3) 頂板の lumped mass について:

$$\left. \begin{aligned} M (\ddot{u}_n + \ddot{\varphi}_x p_n) + \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^n p_{x i}^{x(n)} u_{(j)} + \sum_{i=1}^{n'} p_{x i}^{x(n)} u_{(i)} + C_n (\dot{u}_n + \dot{\varphi}_x p_n) &= -M \ddot{u}_0 \cos \bar{\theta} \\ M (\ddot{v}_n + \ddot{\varphi}_y p'_n) + \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^n p_{y i}^{y(n)} v_{(j)} + \sum_{i=1}^{n'} p_{y i}^{y(n)} v_{(i)} + C'_n (\dot{v}_n + \dot{\varphi}_y p'_n) &= -M \ddot{u}_0 \sin \bar{\theta} \\ I \ddot{w} + \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^{n-1} (p_{x i}^{\theta(n)} u_{(j)} + p_{y i}^{\theta(n)} v_{(j)}) + p_{\theta n}^{\theta(n)} w + \sum_{i=2}^{n'} p_{\theta i}^{\theta(n)} w_{(i)} + \bar{C} \dot{w} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

M = 頂板質量, I = 頂板のねじれ回転慣性, C_n, C'_n = 頂板の x, y 方向のせん断運動減衰係数

4) 転動運動方程式: 構造下端に原点を持つ x 軸, y 軸につき, 慣性力による外力モーメントと復元モーメントとの釣合式を求める. 慣性力はすでに(1)(2)(3)により与えられているので結局モーメント釣合式は次式となる.

$$\left. \begin{aligned} x \text{ 方向: } \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n p_{x i}^{x(k)} u_{(j)} (k-1) \lambda + \sum_{k=1}^{n'} \sum_{i=1}^{n'} p_{x i}^{x(k)} u_{(i)} \{ (n-1) \lambda + (k-1) X \} - \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^{n-1} p_{\theta j}^{\theta(k)} w (k-1) \lambda \\ - \bar{C}_x \dot{\varphi}_x - M \varphi_x - \sum_{j=1}^q M_{\varphi j} - \bar{M} &= 0 \\ y \text{ 方向: } \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n p_{y i}^{y(k)} v_{(j)} (k-1) \lambda + \sum_{k=1}^{n'} \sum_{i=1}^{n'} p_{y i}^{y(k)} v_{(i)} \{ (n-1) \lambda + (k-1) X \} - \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^{n-1} p_{\theta j}^{\theta(k)} w (k-1) \lambda \\ - \bar{C}_y \dot{\varphi}_y - M \varphi_y - \sum_{j=1}^q M_{\varphi j} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

上式中 $\bar{C}_x, \bar{C}_y$ = x, y 方向の転動減衰係数, λ, X = 脚柱, 塔柱の質点間距離, $M_{\varphi x}, M_{\varphi y}$ = 鉛直地盤反力による y 軸, x 軸まわりの復元モーメントで FIG. 1. の柱配置を参照して, 次式で与えられる.

$$M_{\varphi x} = 2(M_{\varphi x} + M_{\varphi x} + M_{\varphi x}) = 6k R^2 \varphi_x, \quad M_{\varphi y} = 2(M_{\varphi y} + M_{\varphi y} + M_{\varphi y}) = 6k R^2 \varphi_y \quad (5)$$

ここに k = 鉛直バネ係数, $k, k' = x, y$ 方向の柱間距離 (FIG. 1. 参照) $\sum_{j=1}^q M_{\varphi j}, \sum_{j=1}^q M_{\varphi j}$ = 水平地盤反力による x 軸, y 軸まわりの復元モーメントで次式により表わされる. Y_j は地中部の質点数.

$$\sum_{j=1}^q M_{\varphi j} = \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^n p_{x i}^{x(k)} (u_{(j)} + \varphi_x p'_{(j)}) (i-1) \lambda, \quad \sum_{j=1}^q M_{\varphi j} = \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^n p_{y i}^{y(k)} (v_{(j)} + \varphi_y p'_{(j)}) (i-1) \lambda \quad (6)$$

$\bar{M}$ = ケーブルおよび橋面のバネ作用による復元モーメント. すなわち,

$$\bar{M} = \bar{k}_n \{ u_{(0)} + \varphi_x p_{(0)} \} \{ (n-1) \lambda + \bar{H} \} + \bar{k}_s \{ u_{(0)} + \varphi_x p_{(0)} \} \{ (n-1) \lambda + \bar{H} \} \quad (7)$$

$\bar{k}_n$ = ケーブルを集中バネとみなしたときのバネ定数, $\bar{k}_s$ = 橋面を集中バネとみなしたときのバネ定数, $\bar{H}, \bar{H}'$ = 頂板重心より塔頂, 橋面までの高さ.

5) 解法: 弾性変形量を次のように表わす. 脚柱について, $z_{(i)} = u_{(i)} + \varphi_x p_{(i)}, \quad \bar{z}_{(i)} = v_{(i)} + \varphi_y p'_{(i)}$ 塔柱について, $z_{(0)} = u_{(0)} + \varphi_x p_{(0)}, \quad \bar{z}_{(0)} = v_{(0)} + \varphi_y p'_{(0)}$ 頂板について, $z_n = u_n + \varphi_x p_n, \quad \bar{z}_n = v_n + \varphi_y p'_n$ (8)

相反作用の定理より $p_{x i}^{x(k)} = p_{x i}^{x(k)}, \quad p_{x i}^{\theta(n)} = p_{x i}^{\theta(n)}, \quad p_{\theta j}^{\theta(n)} = p_{\theta j}^{\theta(n)}$ (9)

(8)(9)を(1)(2)(3)に代入して整理すれば、次に示すような連立微分方程式群となる。

$$\left. \begin{aligned} m_{(j)} \ddot{z}_{(j)} + \sum_{i=1}^n p_{xi}^{xk} z_{(i)} + p_{yi}^{yk} y_{(i)} \omega + C_{(j)} \dot{z}_{(j)} &= -m_{(j)} \ddot{u}_0 \cos \bar{\theta} + \varphi_x \sum_{i=1}^n p_{xi}^{xk} p_{(i)}' \\ m_{(j)} \ddot{e}_{(j)} + \sum_{i=1}^n p_{xi}^{xk} e_{(i)} - p_{xi}^{xk} x_{(i)} \omega + C_{(j)} \dot{e}_{(j)} &= -m_{(j)} \ddot{u}_0 \sin \bar{\theta} + \varphi_y \sum_{i=1}^n p_{xi}^{xk} p_{(i)}' \\ (j=1, 2, 3, \dots, 9, \quad k=1, 2, 3, \dots, n-1) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} m_{(0)} \ddot{z}_{(0)} + \sum_{i=2}^n p_{xi}^{xk} z_{(i)} + p_{xi}^{xk} z_n + C_{(0)} \dot{z}_{(0)} &= -m_{(0)} \ddot{u}_0 \cos \bar{\theta} + \varphi_x \left(p_{xi}^{xk} p_n + \sum_{i=2}^n p_{xi}^{xk} p_{(i)}' \right) \\ m_{(0)} \ddot{e}_{(0)} + \sum_{i=2}^n p_{xi}^{xk} e_{(i)} + p_{xi}^{xk} e_n + C_{(0)} \dot{e}_{(0)} &= -m_{(0)} \ddot{u}_0 \sin \bar{\theta} + \varphi_y \left(p_{xi}^{xk} p_n' + \sum_{i=2}^n p_{xi}^{xk} p_{(i)}' \right) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$I_{(0)} \ddot{\omega}_{(0)} + \sum_{i=1}^n p_{\theta i}^{\theta k} \omega_{(i)} + \bar{C}_{(0)} \dot{\omega}_{(0)} = 0 \quad (k=2, 3, 4, \dots, n')$$

$$\left. \begin{aligned} M \ddot{z}_n + \sum_{j=1}^9 p_{xi}^{xk} z_{(j)} + \sum_{i=2}^n p_{xi}^{xk} z_{(i)} + \left(\sum_{j=1}^9 p_{xi}^{xk} + p_{xi}^{xk} \right) z_n + C_n \dot{z}_n \\ = -M \ddot{u}_0 \cos \bar{\theta} + \varphi_x \left\{ \sum_{j=1}^9 p_{xi}^{xk} p_{(j)}' + \sum_{i=2}^n p_{xi}^{xk} p_{(i)}' + \left(\sum_{j=1}^9 p_{xi}^{xk} + p_{xi}^{xk} \right) p_n \right\} \\ M \ddot{e}_n + \sum_{j=1}^9 p_{xi}^{xk} e_{(j)} + \sum_{i=2}^n p_{xi}^{xk} e_{(i)} + \left(\sum_{j=1}^9 p_{xi}^{xk} + p_{xi}^{xk} \right) e_n + C_n' \dot{e}_n \\ = -M \ddot{u}_0 \sin \bar{\theta} + \varphi_y \left\{ \sum_{j=1}^9 p_{xi}^{xk} p_{(j)}' + \sum_{i=2}^n p_{xi}^{xk} p_{(i)}' + \left(\sum_{j=1}^9 p_{xi}^{xk} + p_{xi}^{xk} \right) p_n' \right\} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} I \ddot{\omega} + \sum_{j=1}^9 p_{\theta i}^{\theta k} y_{(j)} z_{(j)} - \sum_{j=1}^9 p_{xi}^{xk} x_{(j)} e_{(j)} + p_{\theta n}^{\theta k} \omega + \sum_{i=2}^n p_{\theta i}^{\theta k} \omega_{(i)} + \bar{C} \dot{\omega} \\ = \varphi_x \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^n p_{xi}^{xk} p_{(i)} y_{(j)} - \varphi_y \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^n p_{xi}^{xk} p_{(i)}' x_{(j)} \end{aligned}$$

式中、 $x_{(j)}, y_{(j)} = j$ 番柱の x, y 座標

上記連立方程式群は弾性振動を表わしている。これらを matrix form で表示すれば次式となる。

$$M \ddot{Z} + P Z + C \dot{Z} = -M \ddot{X} + P \varphi \bar{P} \quad (13) \quad \text{式中 } M, P, C, \varphi \text{ は行列, } \ddot{Z}, \dot{Z}, Z$$

$\ddot{X}, \bar{P}$ は列ベクトル (各要素の詳細は省略)。(13)の特性方程式より固有値 p_i^2 とそれに対応する modal matrix $\Phi = [e_{ij}]$ が求まる。いま $Z = \Phi Z'$ (14) なる新たな座標 Z' を考え、(13)に代入して直交性の条件を用いて整理すれば、 $\ddot{Z}' + \Lambda Z' + \mu Z' = -\Phi' M \ddot{X} + \Phi' P \varphi \bar{P}$ (15)

式中 $\Lambda = p_i^2$ を要素とある diagonal matrix, $\Phi' = \Phi$ の転置行列である。(15)式は基準座標系についての記述式となっている。よって、上式を j 次の基準振動につき書き表わせば次式となる。

$$\ddot{z}_j' + \mu \dot{z}_j' + p_j^2 z_j' = -\ddot{u}_0 \cos \bar{\theta} \sum_{i=1}^{9(n-1)+n'} e_{ij} m_i - \ddot{u}_0 \sin \bar{\theta} \sum_{i=1}^{18(n-1)+2n'} e_{ij} m_i + \varphi_x \bar{y}_j + \varphi_y \bar{y}_j' \quad (16)$$

($j=1, 2, 3, \dots, 3\{6(n-1)+n'\}$) ここで $\bar{y}_j, \bar{y}_j'$ は数値で与えられる係数である。

(16)に精度を高めるのに有効な1つの数値積分法¹⁾を適用して次の漸化式をうる。

$$Z_{m+1} = 2Z_m - Z_{m-1} - \alpha_j A_m + \left[\frac{(\Delta t)^2}{2}, \frac{(\Delta t)^4}{12} \right] \left\{ -p_j^2 \begin{bmatrix} Z_m \\ \dot{Z}_m \\ \ddot{Z}_m \end{bmatrix} - \mu \begin{bmatrix} \dot{Z}_m \\ Z_m \\ 0 \end{bmatrix} + \bar{y}_j \begin{bmatrix} \varphi_x \\ \dot{\varphi}_x \\ \ddot{\varphi}_x \end{bmatrix} + \bar{y}_j' \begin{bmatrix} \varphi_y \\ \dot{\varphi}_y \\ \ddot{\varphi}_y \end{bmatrix} \right\} \quad (17)$$

$$(\Delta t) \dot{Z}_{m+1} = Z_{m+1} - Z_m - \alpha_j A_{m+1, m} + \left[\frac{(\Delta t)^2}{2}, \frac{(\Delta t)^3}{3}, \frac{(\Delta t)^4}{8} \right] \left\{ -p_j^2 \begin{bmatrix} Z_m \\ \dot{Z}_m \\ \ddot{Z}_m \end{bmatrix} - \mu \begin{bmatrix} \dot{Z}_m \\ Z_m \\ 0 \end{bmatrix} + \bar{y}_j \begin{bmatrix} \varphi_x \\ \dot{\varphi}_x \\ \ddot{\varphi}_x \end{bmatrix} + \bar{y}_j' \begin{bmatrix} \varphi_y \\ \dot{\varphi}_y \\ \ddot{\varphi}_y \end{bmatrix} \right\} \quad (18)$$

$$\text{式中 } A_m = A_{m, m-1} + A_{m, m+1} = \frac{(\Delta t)^2}{3} \{ \ddot{u}_{m-0.5} + \ddot{u}_m + \ddot{u}_{m+0.5} \}, \quad A_{m+1, m} = \frac{(\Delta t)^2}{6} \{ 2\ddot{u}_{m+0.5} + \ddot{u}_{m+1} \} \quad (19)$$

一方向運動方程式(4)の微分項 φ_x, φ_y を差分化するに次式を用る。

1) Adnan Çakiroğlu & Günay Özmen, "Numerical Integration of Forced-Vibration Equations" Proc. of the A.S.C.E. Vol 94 NO. EM3 June 1968

$$\begin{aligned} \varphi_{m+1}^x &= \frac{\Delta t}{C_x} \left\{ \left[\frac{C_x}{\Delta t} - Q \right] \varphi_m^x + \sum_{j=1}^9 \left\{ Q_{(j)}(Z_m) - \sum_{i=1}^{r_j} p_{e_i}(i-1) \lambda Z_{(j)}^i \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sum_{k=1}^{n-1} p_{g_{kn}}^x (k-1) \lambda \omega_m + Q_{(10)}(Z_m) - \bar{p}_{e_n} \left\{ (n-1) \lambda + H \right\} - \bar{p}_{e_s} \left\{ (n-1) \lambda + H \right\} \right\} \right\} \\ &= F(\varphi_m^x, Z_{(j)}^i, Z_{(10)}^i, \omega_m), \quad \dot{\varphi}_{m+1}^x = \dot{F}, \quad \ddot{\varphi}_{m+1}^x = \ddot{F} \quad (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_{m+1}^y &= \frac{\Delta t}{C_y} \left\{ \left[\frac{C_y}{\Delta t} - \bar{Q} \right] \varphi_m^y + \sum_{j=1}^9 \left\{ \bar{Q}_{(j)}(Z_m) - \sum_{i=1}^{r_j} \bar{p}_{e_i}(i-1) \lambda Z_{(j)}^i \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sum_{k=1}^{n-1} \bar{p}_{g_{kn}}^y (k-1) \lambda \omega_m + \bar{Q}_{(10)}(Z_m) \right\} \right\} \\ &= \bar{F}(\varphi_m^y, Z_{(j)}^i, Z_{(10)}^i, \omega_m), \quad \dot{\varphi}_{m+1}^y = \dot{\bar{F}}, \quad \ddot{\varphi}_{m+1}^y = \ddot{\bar{F}} \quad (21) \end{aligned}$$

ただし $Q = \sum_{j=1}^9 Q_{(j)}(P) + Q_{(10)}(P) + b p_e R^2$, $Q_{(j)}(Z) = \sum_{i=1}^{r_j} \sum_{k=1}^{n-1} p_{g_{kn}}^x (k-1) \lambda Z_{(j)}^i$
 $Q_{(j)}(P) = \sum_{i=1}^{r_j} \sum_{k=1}^{n-1} p_{g_{kn}}^x (k-1) \lambda P_{(j)}^i$, $Q_{(10)}(Z) = \sum_{i=1}^{r_{10}} \sum_{k=1}^{n-1} p_{g_{kn}}^x \left\{ (n-1) \lambda + (k-1) \lambda \right\} Z_{(10)}^i$
 $Q_{(10)}(P) = \sum_{i=1}^{r_{10}} \sum_{k=1}^{n-1} p_{g_{kn}}^x \left\{ (n-1) \lambda + (k-1) \lambda \right\} P_{(10)}^i$ (22)
 $\bar{Q}$, $\bar{Q}_{(j)}(Z)$, $\bar{Q}_{(j)}(P)$, $\bar{Q}_{(10)}(Z)$, $\bar{Q}_{(10)}(P)$ は上式と同形で与えられる。

6) 数値計算例: FIG.1.2を参照して, 脚柱の $EI = 1.292 \times 10^6$

kg cm^2 鉛直バネ $k = 3.927 \times 10^6 \text{ kg/cm}$, 各質点の水平バネ $k_{(j)}$, 質量 $m_{(j)}$ は

$k_{(1,2,3 \dots 9)} = 2.376 \times 10^7 \text{ kg/cm}$, $k_{(1.4.7)} = 3.984 \times 10^6$, $k_{(2.5.8)} = 1.102 \times 10^7$, $k_{(3.6.9)} = 1.805 \times 10^6$

$m_{(1,2,3 \dots 9)} = 1.256 \times 10^4 \text{ kg}$, $m_{(2)} = 1.076 \times 10^4$, $m_{(3)} = 1.331 \times 10^4$, $m_{(4)} = 1.586 \times 10^4$

$m_{(5)} = m_{(6)} = m_{(7)} = 1.045 \times 10^5$, $m_{(8)} = 2.465 \times 10^3$, $m_{(9)} = 2.029 \times 10^3$, $m_{(10)} = 1.363 \times 10^3$, $m_{(11)} = 1.858 \times 10^3$, $m_{(12)} = 8.015 \times 10^3$

7) 結論: 質点の配置, 個数, 数値積分に於ける微小時間間隔等を変化させて検討した結果, 本解は良好な収束値を与えているものと判断された。本計算例題であつた構造については, ねじれ振動性状は当初に配した程でなかったが, 本文に提示した立体振動解法は, この種の構造の振動性状の忠実な評価を与え得る実用なものである。

地震波 data:

地震波; ELCENTRO—NS

最大加速度; 200gal

減衰率; $\nu = 0.05$

入射角; $\theta = 45^\circ$

数値積分時間間隔;

$\Delta t = 1/200 \text{ SEC}$

(a) y方向塔頂変位

(b) " 頂板変位

(c) " 剛体傾斜角

(d) 頂板ねじれ回転角

FIG.3 応答曲線図

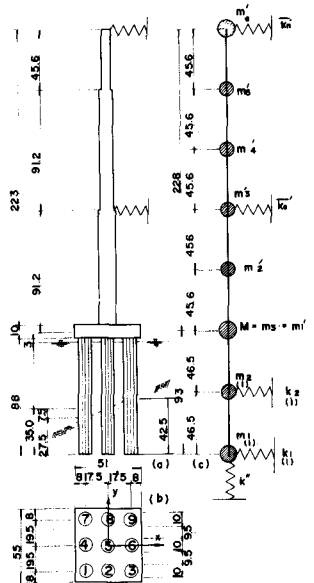


FIG.2. 構造諸元

