

# 電氣的等価回路による建物の振動解析

仲 威 雄\*  
 加 藤 勉\*\*  
 湯 浅 丹\*\*\*

## 1. 序

計算機として電気回路を用いることは今日においては一般化したか、構造物の動的解析のために直接的電気回路を用いた例は極めて少ない。電氣的等価回路による解析は次に述べるような利点がある。

1.1 可変電磁コイル，可変抵抗，コンデンサーによって建物の周期および減衰常数を容易にかつ自由に選び得ること。

1.2 構造物と電気回路間の時間係数を任意選ぶことによって与えた振動に対する応答結果を得る時間が単縮され，多くのデータを比較的短時間で得ることができる。

## 2. 等 価 化

図-1に示す構造物の振動方程式は

$$-m\ddot{y}_1 - C_s \dot{y}_1 - R(\dot{y}_1 - D_0) = 0 \quad \dots\dots\dots (1) \left\{ \frac{d^2}{dt^2} : \frac{d}{dt} : 1 \right\}$$

一方図-2に示す電気回路の電圧に関する式は

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = E_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$\int i dt = Q$  (クーロン)であるから(2)式は

$$L \ddot{Q} + R \dot{Q} + \frac{1}{C} (Q - CE_0) = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

(3)式が(1)式と相似であり  $m$  が  $L$  に、 $C_s$  が  $R$  に  $R$  が  $\frac{1}{C}$  に、 $Y$  が  $Q$  にそれぞれ対応している。(1)(3)式を更にかき直して、

$$\ddot{y}_1 + \frac{4\pi}{T} \left( \frac{C}{C_s} \right) \dot{y}_1 + \frac{4\pi^2}{T^2} y_1 = \frac{4\pi^2}{T^2} D_0 f(t) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\ddot{Q} + \frac{4\pi}{T} \left( \frac{C}{C_s} \right) \dot{Q} + \frac{4\pi^2}{T^2} Q = \frac{E_0}{LN^2} f(t) \quad \dots\dots\dots (5)$$

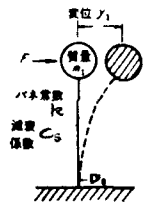


図 - 1

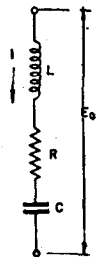


図 - 2

\* 東京大学工学部  
 \*\* 東京大学工学部  
 \*\*\* 東京大学大型構造物試験室

(4)(5) 式は両式とも実時間(t)の函数であるから両式間の相似関係は直接対応できる。変位については

$$\frac{y_1}{Q} = \frac{\frac{4\pi^2}{T^2} D_0 f(t)}{\frac{E_0}{LN^2} f(t)} \dots\dots\dots (6)$$

(6)式は  $T^2 = 4\pi^2 N^2 LC$ ,  $E_c = \frac{Q}{C}$  であることから変形すると

$$y_1 = \frac{D_0}{E_0} E_c \dots\dots\dots (7)$$

同様に速度および加速度について

$$\dot{y}_1 = \frac{D_0}{E_0} \frac{E_R}{R} \frac{2\pi}{T} \sqrt{\frac{L}{C}} \dots\dots\dots (8)$$

$$\ddot{y}_1 = \frac{4\pi^2}{T^2} \frac{D_0}{E_0} E_L \dots\dots\dots (9)$$

上記(8)(9) 式が成立する。一質点系のとときと全く同様の方法で図-3 に示すような多質点系について等価回路が成立する。これを図-4 に示す。(10)式を多質点系の構造物の振動方程式としてこれに対応する回路の方程式を(11)(12)式に示す。

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + C_{s1} \dot{y}_1 + R_1 (y_1 - D_0) + R_2 (y_1 - y_2) &= 0 \\ m_2 \ddot{y}_2 + C_{s2} (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + C_{s3} (\dot{y}_2 - \dot{y}_3) + K_2 (y_2 - y_1) + R_3 (y_2 - y_3) &= 0 \\ m_i \ddot{y}_i + C_{si} (\dot{y}_i - \dot{y}_{i-1}) + C_{si+1} (\dot{y}_i - \dot{y}_{i+1}) + R_i (y_i - y_{i-1}) + \\ &R_{i+1} (y_i - y_{i+1}) = 0 \\ m_n \ddot{y}_n + C_{sn} (\dot{y}_n - \dot{y}_{n-1}) + R_n (y_n - y_{n-1}) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots(10)$$

$$\left. \begin{aligned} L_1 \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 + R_2 (i_1 - i_2) + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + \frac{1}{C_2} \int (i_1 - i_2) dt - E_0 &= 0 \\ L_2 \frac{di_2}{dt} + R_2 (i_2 - i_1) + R_3 (i_2 - i_3) + \frac{1}{C_2} \int (i_2 - i_1) dt + \frac{1}{C_3} \int \\ &(i_2 - i_3) dt = 0 \\ L_i \frac{di_i}{dt} + R_i (i_i - i_{i-1}) + R_{i+1} (i_i - i_{i+1}) + \frac{1}{C_i} \int (i_i - i_{i-1}) dt \\ &+ \frac{1}{C_{i+1}} \int (i_i - i_{i+1}) dt = 0 \\ L_n \frac{di_n}{dt} + R_n (i_n - i_{n-1}) + \frac{1}{C_n} \int (i_n - i_{n-1}) dt &= 0 \end{aligned} \right\} \dots(11)$$

$$\begin{aligned}
 L_1 \ddot{Q}_1 + R_1 \dot{Q}_1 + R_2 (\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2) + \frac{1}{C_1} (Q_1 - C_1 E_0) + \frac{1}{C_2} (Q_1 - Q_2) &= 0 \\
 L_2 \ddot{Q}_2 + R_2 (\dot{Q}_2 - \dot{Q}_1) + R_3 (\dot{Q}_2 - \dot{Q}_3) + \frac{1}{C_2} (Q_2 - Q_1) + \frac{1}{C_3} (Q_2 - Q_3) &= 0 \\
 L_i \ddot{Q}_i + R_i (\dot{Q}_i - \dot{Q}_{i-1}) + R_{i+1} (\dot{Q}_i - \dot{Q}_{i+1}) + \frac{1}{C_i} (Q_i - Q_{i-1}) + & \\
 \frac{1}{C_{i+1}} (Q_i - Q_{i+1}) &= 0 \\
 L_n \ddot{Q}_n + R_n (\dot{Q}_n - \dot{Q}_{n-1}) + \frac{1}{C_m} (Q_n - Q_{n-1}) &= 0
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

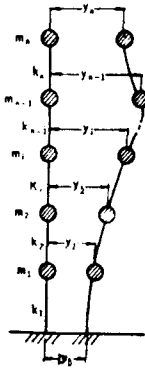


図 - 3

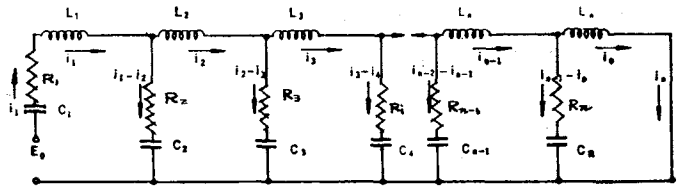


図 - 4

以上(1)~(12)式は構造材が弾性域内にあるときに成立する式であるが次の段階として構造材が塑性域に達して復元力が弾性域内のときKであったものが $K_p$ に変化した場合について考えてみる。構造物に関しては以下(13)(14)式が成立する。図-5を参考にして

$$y_{p+} + \varepsilon \left(1 + \frac{K_p}{K}\right) \geq y - y_0 \geq y_{p-} + \varepsilon \left(1 + \frac{K_p}{K}\right) \text{ のとき } \dots (13)$$

$$m\ddot{y} + C_s \dot{y} + K(y - y_0 - \varepsilon) = 0$$

$$y_{p+} + \varepsilon \left(1 + \frac{K_p}{K}\right) < y - y_0 < \frac{d(y - y_0)}{dt} > 0 \text{ のとき }$$

$$m\ddot{y} + C_s \dot{y} + R y_{p+} + R_p (y - y_0 - y_{p+}) = 0$$

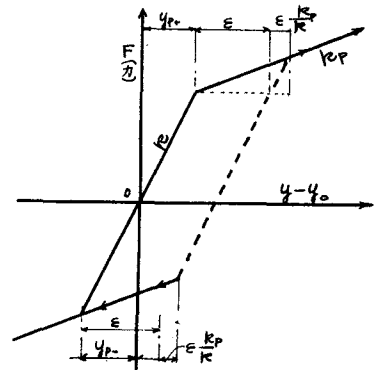


図 - 5

$$y_{p+} + \epsilon \left(1 + \frac{K_p}{K}\right) > y - y_0, \quad \frac{d(y - y_0)}{dt} < 0 \text{ とき} \dots\dots\dots (14)$$

$$m \ddot{y} - C_s \dot{y} + K y_{p-} + K_p (y - y_0 - y_{p-}) = 0$$

一方図-6に示す電気回路について

$$Q_{p+} + q \left(1 + \frac{C}{C_p}\right) \geq Q \geq Q_{p-} + q \left(1 + \frac{C}{C_p}\right) \text{ のとき} \dots\dots\dots (15)$$

$$L \ddot{Q} + R \dot{Q} + \frac{1}{C} (Q - q) = E_0$$

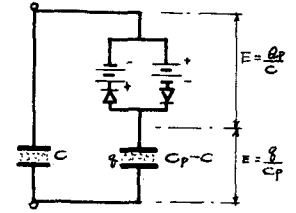


図 - 6

$$Q_{p+} + q \left(1 + \frac{C}{C_p}\right) < Q \text{ かつ } \frac{dQ}{dt} \rightarrow i \geq 0 \text{ とき}$$

$$L \ddot{Q} + R \dot{Q} + \frac{Q_{p+}}{C} + \frac{1}{C_p} (Q - Q_{p+}) = E_0$$

$$Q_{p-} + q \left(1 + \frac{C}{C_p}\right) > Q \text{ かつ } i \leq 0 \text{ とき} \dots\dots\dots (16)$$

$$L \ddot{Q} + R \dot{Q} + \frac{Q_{p-}}{C} + \frac{1}{C_p} (Q - Q_{p-}) = E_0$$

以上(15)(16)式が成立する。これら(13)(15)(14)(16)式はたがいに全く相似する式であることがわかる。ただし電気回路の場合検出するのは電圧であって電気量ではないから線型の振動のときのように直ちにこの電気量に対応する変位を求めることができない。電圧に対応する“力”を求めることはできるから復元力特性にしたがってその力に相当する変位を求めるのであるが変形の方法が判らない限り解は1つに定まらない。変形が確定できるのは結局変形最大の点のみとなる。

地震動の等価化には以下一連の仮定を用いた。

2.1 震央においては特に卓越周期はなく各周期が均一に分散した振動が発生する。電気回路においては白色雑音がこれに対応する。

2.2 地震動の強さ(単位時間当りのエネルギー)は次に示すごとく指数函数的に減衰する。

$$I = I_0 e^{-\lambda t}$$

電気回路においてはCR回路に対応して  $E_a = E_{a0} e^{-C_a R_a t}$  となる。

2.3 建物に加わる地震力の周期スペクトラムはその建物のある付近の地盤条件によって4種類に分類する。

(I)山地は 7 図の I に属してその卓越周期は 0.05 ~ 0.2 秒

(II)台地は 7 図の II に属してその卓越周期は 0.2 ~ 0.4 秒

(III)平地は 7 図の III に属して I II に比べて常時微動頻度の山は鋭くないが大體 0.4 ~ 0.8 秒のところ

に最大値がある。

(Ⅳ) 非常に軟弱な地盤が 7 図のⅣに属しているがその他に砂丘地、新鮮な露頭上もⅣに属する

この他地盤と地震動周期に関して以下 4 ケの説を用いる。

2.4 常時微動頻度曲線に一つの山ができる地盤上の地震動はその山にあたる周期の波が卓越する。

2.5 常時微動の頻度一周期曲線に二つ以上の山ができる地盤上の地震動は、その中の一つの山または二つ以上の山にあたる周期の波が卓越する。そして震央距離が比較的近い(100 Km 位以下)地震では短周期の方に属し、比較的遠い地震では長周期の方に属する。

2.6 常時微動の頻度一周期曲線に特に鋭い山ができず、短周期から 1 秒以上の広範囲にわたる分布をしている地盤上の地震動は常時微動と同様な分布の場合とある周期の波が特に卓越することがある。この場合はもともときた地震動の性質がそのまま現われたものとする。

2.7 地震動の地盤による増巾度は、平均すると常時微動の増巾度にほぼ等しい。以上 7 項目は強震の場合にもあてはまるのである。3 項から 7 項までの条件は電気回路においては LCR の共振回路を種々組合わせることによって実現する。

### 3. 具体化

3.1 震源(白色雑音発生回路)：白色雑音はサイラトロン 2 D 2 1 を用いプレート雑音を周波数特性が平坦になるように補償して増巾する。

3.2 地震動の強さ調節と減衰比の調節：マルチバイブレーターを用いて矩形波を形成した。この矩形波の正側の時間が地震動の全エネルギーと対応し負側の時間が地震動の全時間間隔に対応するのであるが両者共 CR 回路で調節するようにした。

3.3 基礎地盤：前述 2 の条件 2.3 ~ 2.7 のように CL フィルター回路と抵抗器で種々の周期特性を作った。

3.4 構造物：可変インダクタンスコイル、可変抵抗、コンデンサー各容量数種を用いて共振回路を作り各質点の波形合成用に高インピーダンスを入力端子に有する増巾器も用意した。また非線型振動解析用に各々独立した一對の正負定圧電源と一對の小型シリコンダイオードを用いた。

3.5 結果測定：ブラウン管オシログラフと写真機を使用して波形および瞬間の電圧を測定した。この他に定電圧電源回路を用い電圧変動の誤差を除去した。

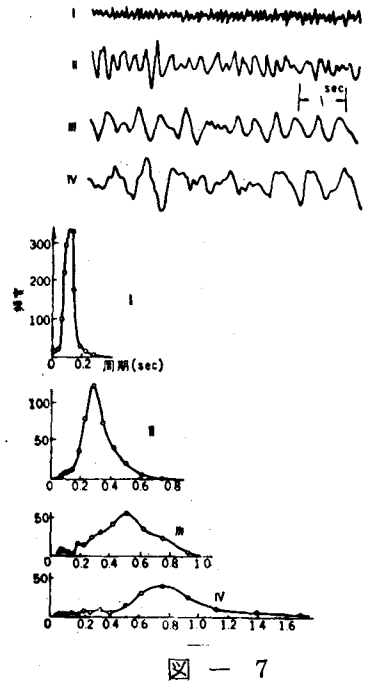


図 - 7

#### 4. 一質点系振動解析

構造物の固有周期として0.25秒, 0.5秒, 1.0秒, 1.5秒を選んだ。構造物と等価回路の時間係数として $N = 250$ と定めた。構造物と等価回路の関係を定める場合この $N$ 以外もう1つ係数を任意に選ぶ自由がある。質量 $m$ とインダクタンス $L$ の間を決める係数を $\alpha$  ( $L = m\alpha$ )と定めると、復元力 $K$ とキャパシタンス $C$ の間の係数 $\beta$  ( $KC = \beta$ )は自動的に定まる。

$$\alpha\beta = \frac{1}{N^2}$$

$$\therefore \frac{T^2}{N^2} = 4\pi^2 LC \quad T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{K} \quad \frac{1}{N^2} = \frac{L}{m} CK = \alpha\beta$$

この報告では $\alpha = 40 \text{ H (ヘンリー)} \cdot \text{cm}/\text{t} \cdot \text{sec}^2$   $\beta = 4.0 \times 10^{-7} \text{ F (ファラッド)} \cdot \text{t}/\text{cm}$ とした。地盤条件を2の条件2.3項の(I)として共振周期を0.2秒, (II)として共振周期を0.313秒, (III)として共振周期を0.5秒, (IV)として共振周期0.8秒の白色雑音と無周期性の白色雑音を20% (電圧で)加えたものとした。更に共振周期0.8秒のものと白色雑音のみのもの計6種の地動系を作った。またサイクロンより発生した白色雑音を変調して直接地盤回路に加えると白色雑音の性質上全く同じ波形のものを再び作ることにはできないからあまりにもデーターが分散し過ぎてしまう。それであらかじめ6個の白色雑音のデーターをテープレコーダーで記録してこの6個のデーターを常に加えることとした。解析用プログラムを表-1に示す。

No	T SEC	F I sec	m Tsec <sup>2</sup> cm	k t cm	$\alpha$ Hcm Tsec <sup>2</sup>	$\beta$ Ft cm	L H	C X10 <sup>-9</sup> F	f 1 sec	h	R KΩ	y (D) cm Eρ	y (V) cm Eosec	y (A) g Eo
1	0.25	4	0.5	3.2	40	4.0 ×10 <sup>-7</sup>	20	1.25	1000	0.05	12.7	$\frac{Ec}{E}$	256	0.645
2				0.025						6.35	"	512	"	
3	0.5	2	0.5	0.8	40	4.0 ×10 <sup>-7</sup>	20	5	500	0.05	6.35	"	126	0.162
4				0.025						3.18	"	256	"	
5	1.0	1	0.5	0.2	40	4.0 ×10 <sup>-7</sup>	20	20	250	0.05	4.25	"	63	0.048
6				0.025						2.13	"	126	"	
7	1.5	0.67	1	0.178	40	4.0 ×10 <sup>-7</sup>	40	22.4	167	0.05	3.18	"	42	0.018
8										0.025	1.59	"	8	"

ブラウン管オシロの横軸掃引速度を速く(1 cm/60 mm sec)するとオシロ上に解析している構造物の応答波形が画かれる。また掃引速度を遅く(1 cm/100 mm sec)すると応答波形の色路線に近いものがオシロ上に画かれる。写真-2に示すものは建物周期1.0秒 減衰常数0.025 地動卓越周期0.8秒のときの変位応答の図である。結果を図-8, 9, 10に示す。ただし地動最大片側振巾を1 cmとし $K$ と $K_p$ の比を10:1,  $y_{p\pm}$ を±3 cmとし6ケのデーターの平均値を結果とした。図-8の

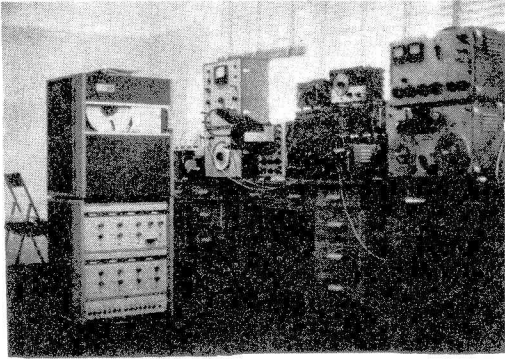


写真 - 1

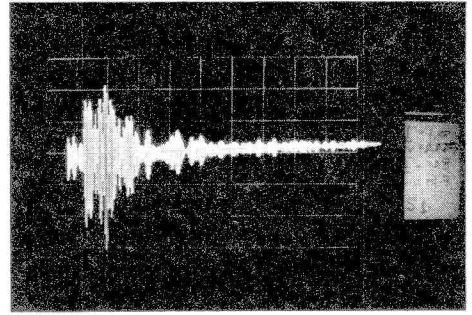


写真 - 2

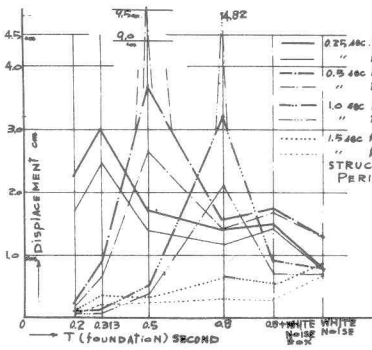


図 - 8

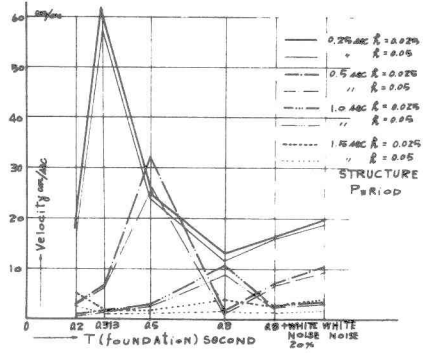


図 - 9

2ヶのピークは塑性域に達したときの変位を示すものである。図-9で周期が大になると速度が小となる傾向がわかると思う。この関係が純粋の正弦波ならば逆比例関係となるわけであるが図-9はこの関係に極めて近い傾向を示している。図-10は各地動周期についての建物の加速度の百分率を示したものである。

正弦波を建物に加えるとその周期と建物の加速度の関係は周期の2乗に逆比例するはずである。これに迎い傾向を図-10は示している。使用した部品、電圧変動、測定時の読みとり誤差等を考慮すると全回路の誤差は相対誤差にして10%以下

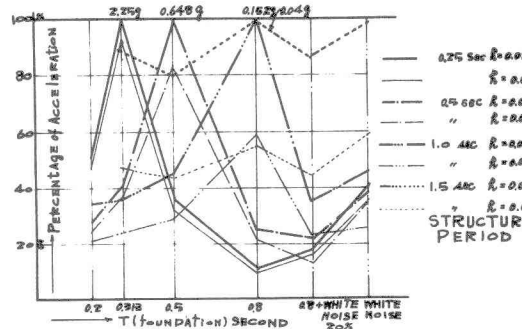


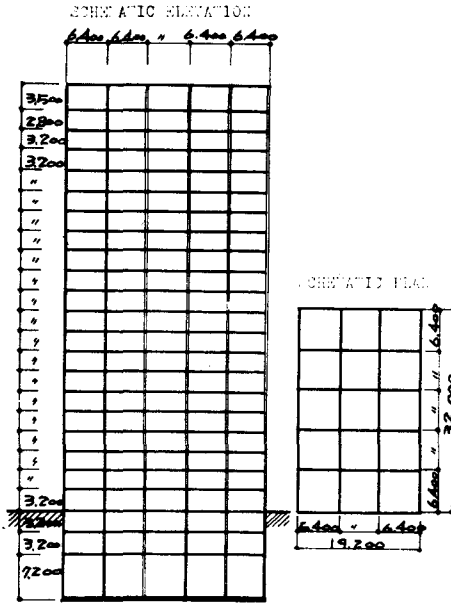
図 - 10

と考えられる。ただし、この誤差は弾性域内についてである。塑性域内の誤差は明確に予知する事が今のところできない。

### 5. 5 質点系の振動解析

図-11に略平面および立面を示した鉄骨造21階の建物について(1)デジタル計算機を用い Runge-Kutta の Third order procedure によって解いたもの(2)modal analysis によって解いたもの(3)電気等価回路によって解いたもの、以上3種の方法でそれぞれ結果を出してみた。荷重に震度を割じて水平荷重とし応力を算出して断面を決定した柱梁断面の復元力係数を質点の質量と共に表-3に示す。なお減衰常数は0.05とした。

図 - 1 1



5.1 せん断型の振動のみと仮定して完全弾塑性材とすると  $i$  番目の質点の力の均合式は

$$m_i \ddot{Y}_i + C_{si} (\dot{Y}_i - \dot{Y}_{i-1}) + C_{s,i+1} (\dot{Y}_{i+1} - \dot{Y}_i) + K_i (Y_i - Y_{i-1} - \epsilon_i) - K_{i+1} (Y_{i+1} - Y_i - \epsilon_{i+1}) + F_i - F_{i+1} = -m_i \alpha (\tau_i)$$

$$F_i: F_i = Q_{yi} \quad (K_i = 0 \text{ とき})$$

$$F_i = 0 \quad (K_i = 0 \text{ とき})$$

時間々隔 ( $\tau_i$ ) は 0.01 秒、地動加速度には  $\epsilon \ell$  Centra 地震 (1940 年 N.S. 最大加速度 330 gal) の記録を使用した。表-2 が結果である。

5.2 21 質点を 5 質点系に代表させ (表-3 参照) modal analysis 法を用いて各質点間変位お

よびせん断力を求め結果を表-4に示す。

表 - 2

STORY	$\delta_i \max$	time(sec)	$\delta_Y$	$\frac{\delta_{\max}}{\delta_Y} = \mu$
21	0.96	6.45	5.25	0.183
20	1.53	6.51	3.32	0.461
19	2.05	"	"	0.617
18	2.52	"	"	0.758
17	2.92	"	"	0.878
16	2.73	6.56	2.98	0.915
15	2.33	"	"	0.782
14	2.50	6.61	2.91	0.858
13	2.36	"	2.53	0.933
12	2.19	6.66	2.84	0.770
11	2.31	"	2.74	0.842
10	2.15	5.61	2.48	0.866
9	1.83	"	2.53	0.719
8	1.93	5.56	2.41	0.809
7	1.97	"	2.19	0.899
6	1.88	"	2.52	0.745
5	1.95	"	2.30	0.847
4	1.78	"	2.09	0.851
3	2.02	"	2.84	0.710
2	2.05	5.51	2.60	0.788
1	1.95	"	2.42	0.805

$\delta_i \max$ : relative maximum deflection

time: the time when  $\delta_{\max}$  comes

$\delta_Y$ : the maximum elastic deflection

表 - 3

STORY	$i'$	$m_i$	$m_{i'}$	$K_i$	$K_{i'}$
21		0.317		117	
20		0.563	0.88	196	
19		0.330		"	
18	5	"		"	41.9
17		0.330		196	
16		"	1.32	234	
15		"		300	
14	4	"		"	62.4
13		0.330		340	
12		"	1.32	376	
11		"		"	
10	3	"		421	85.8
9		0.330		553	
8		"	1.32	"	
7		"		572	
6	2	"		630	143.7
5		0.330		630	
4		"		718	
3		"	1.51	641	
2		0.382		"	
1	1	"		699	132.9

5.3 前項の modal analysis のときと同じ 5 質点系を用いて電気等価回路を作成した。この時の所要各係数を表 - 5 に示す。加える地動として i) フィルターを通さない白色雑音そのままのもの ii) 0.8 秒の卓越周期をもつ白色雑音, iii) 0.5 秒の卓越周期をもつ白色雑音, iv) 0.313 秒の卓越周期をもつ白色雑音, v) 0.2 秒の卓越周期をもつ白色雑音, 以上 5 種とした。地動の最大片側巾を 5 cm と仮定した。白色雑音源としてテープレコーダーに記録した 3 個の白色雑音を用い, 何度となく再現させて各質点間の変位を記録した。図 - 12 は 3 ケのデータの各最大値を平均したものである。0.8 秒の卓越周期をもつ白色雑音に対応する地動に対してこの構造物は各層間変位が最大となっている。このときの地動の換算加速度は 0.32 g であった。

表 - 4

$i'$ (mass)	$\delta_i$	shear force at $i$ th mass(ton)
5	9.3	390
4	11.6	723
3	9.8	952
2	7.8	1158
1	9.5	1295

表 - 5

$i$ th mass	$m$ tsec <sup>2</sup> cm	$k$ t cm	T sec	$\alpha$ Hcm tsec <sup>2</sup>	$\beta$ Ft cm	L H	C $\times 10^{-9}$ F	$f$ I sec	R K $\Omega$
5	0.88	41.9	0.912	20		17.6	19	274	3.04
4	1.32	62.4	0.915	20	"	26.4	12.8	273	4.55
3	1.32	85.8	0.78	20	"	26.4	9.35	321	5.3
2	1.32	143.7	0.603	20	"	26.4	5.56	415	6.76
1	1.51	132.9	0.67	20	"	30.2	6.0	374	7.1

$h = 0.05$

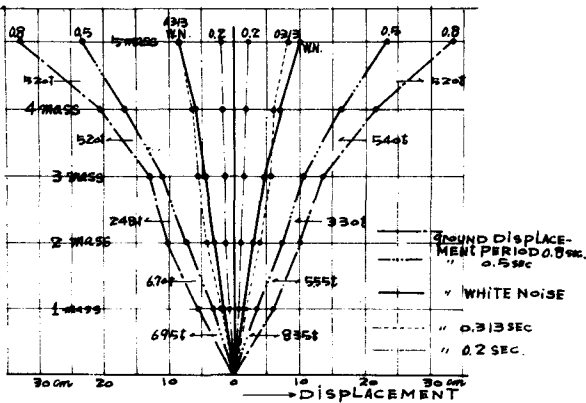


図 - 12

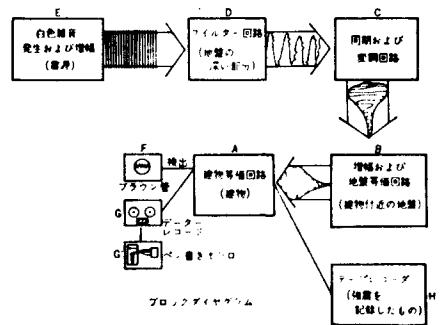


図 - 13 等価回路のブロックダイヤグラム

略 記 号 説 明

$m$ : 質量	$C_{si}$ : $i$ 質点目の減衰係数
$y$ : 構造物の絶対変位	$L_i, R_i, C_i$ : 図 - 4 に示したもの
$C_s$ : 減衰係数	$Q_i$ : $i$ 番目の回路の電気量
$t$ : 時間	$y_{p+(-)}$ : 図 - 5 に示すもので弾性限界の変形量
$K$ : 構造物復元力係数	$\epsilon$ : 図 - 5 に示すもので残留変形量
$D_0$ : 地動絶対変位	$K_p$ : 構造物が塑性域に達したときの復元力係数
$L$ : 電磁コイルのインダクタンス	$Q_{p+(-)}$ : 塑性域用の回路が動く寸前の臨界電気量
$R$ : 直流抵抗	$y_{p+(-)}$ に対応するもの
$i$ : 電流	$q$ : 残留電気量 $\epsilon$ に対応するもの
$C$ : コンデンサの容量	$C_p$ : $K_p$ に対応するコンデンサの容量
$E_0$ : 外部印加電圧	$\lambda$ : 減衰比
$Q$ : 電気量クーロン	$I$ : 地震の強さ(単位時間当りのエネルギー)
$T$ : 構造物の周期	$I_0$ : 初期の地震強さ
$(\frac{C}{C_s})$ : 減衰常数	$E_a$ : 白色雑音と変調する電圧
$N$ : 構造物と電気等価回路間の時間係数	$E_{a0}$ : 初期の $E_a$
$E_c$ : コンデンサー端子間の電位差	$C_a R_a$ : 変調回路のコンデンサ容量と抵抗値
$E_R$ : 抵抗端子間の電位差	$\alpha$ : 質量 $m$ とインダクタンス $L$ を結びつける係数
$E_L$ : 電磁コイル端子間の電位差	$\beta$ : 復元力 $K$ とキャパシタンスを結びつける係数
$m_i$ : $i$ 質点目の質量	$Y_i$ : $i$ 質点目の地面に対する相対変位
$y_i$ : $i$ 質点目の絶対変位	$\alpha(\tau_i)$ : 微少時における地動加速度
$K_i$ : $i$ 質点目の復元力係数	

参 考 文 献

1. 大築志夫, 金井清, 耐震設計 P 59, コロナ社
2. T. K. Caughey, D. E. Hudson The C. I. T. merk II response spectrum analyzer for earthquake. II WCEE 1960年
3. Harry, D. Huskey, Computer handbook Mac qraw Bill book company. P9 - 49 ~ 50