

高層建築物の適正耐震設計資料について

— 弾性応答に基づく考察 —

小堀 鐸 二・南井 良 一 郎

井 上 豊・久 徳 敏 治

ON THE OPTIMUM ASEISMIC DESIGN DATA OF MULTI-STORY STRUCTURE BASED ON EARTHQUAKE ELASTIC RESPONSE

By *Takuji* KOBORI, *Ryoichiro* MINAI,
Yutaka INOUE and *Toshiharu* HISATOKU

Synopsis

In this paper, the optimum dynamical characteristics is quantitatively determined in consequence of discussion of earthquake response analyses on the usual structural models for the purpose of representation of aseismic design data in elastic domain.

A few conclusions are pointed out as follow.

1. The uniform distribution of ductility factor depends upon the distribution of strength at elastic limit, providing the fundamental period, damping value of structures and the waveforms of earthquake ground motions.
2. The optimum distribution of strength at elastic limit is determined by average distribution of shearing force response. So it is noticeable that the response of structures with the optimum dynamical characteristics includes some amount of its deviation for usual aseismic design range.
3. The optimum base shear coefficient derived from shearing force corresponding to unit ductility factor response at the lowest story is presented for standard value of optimum aseismic design data.
4. Average value of maximum displacement is determined by fundamental period, damping value of structures and the waveforms of earthquake ground motions.

1. ま え が き

耐震設計の定義に適合し、且つ経済的な動力特性を静力学的手法によって高層構造物に賦与するような適正耐震設計資料を予め得るために、概括的な構造物系モデルと耐震安全性の尺度を定め、広いパラメータ領域で地震応答解析を行い、その応答量が検討されている。建築構造物の動的耐震設計は、将来予想される地震波外乱群に対して、構造物各部の耐震安全性の尺度で測った地震応答が、各部に対応して定められる許容応答値以内に一樣且つ安定に収まるような動力特性を与えることにある。この場合、動的耐震設計における構造物系の地震応答の適正化の方法は、対象とする地震波外乱群、構造物系の規模、用途などの基本的性質、耐震安全性の尺度の選択および固有な耐震設計の基本方針によって設計法そのものが一般に異なるも

ので、一概に論ずることは出来ない。例えば普通の機能を有する靱性材料からなる典型的な高層構造物を対象とすれば、地震の発生頻度に応じて、烈ないし激震外乱群に対しては、外乱安全率を比較的大きく導入した弾塑性終局応答設計法を、中ないし強震外乱群に対しては、応答安全率を比較的大きく導入した弾性ないしは等価弾性許容応答設計法が対象となる。

本研究においては後者、弾性許容応答設計法にもとづいた適正耐震設計資料を、高層構造物の初期耐震設計に先だって、あらかじめ与えられるものとし、一般性と普遍性をもった資料について考察が行なわれている。

2. 耐震設計の基本方針と耐震安全性の尺度の設定

適正耐震設計資料は、適正な地震応答性状を示し、且つ経済的な動力学特性と考えられる。この場合、その動力学特性の適正度の判定に用いる耐震安全性の尺度と判定条件は耐震設計の基本方針にしたがって本質的に決められるべき性質のものであるが、現段階では不明確な点が多く、確定的な量で決められない場合が多い。この研究では、動的耐震設計のための応答解析において応答適正分布として、構造物の安全率分布と考えられる変位応答の最大値に対する弾性限変位の比で示される靱性率応答の最大値分布を一樣且つ安定化する分布とする。又変位応答の最大値分布については可及的一様化が望まれるが、変位応答の最大値はその許容値との比較によって、規準応答量を基にして検討されるべき性質の耐震安全性の尺度と考えられる。ここで行なわれた応答解析では、応答分布については以下各質点の最大応答量を最下層の最大応答量で除した無次元変位分布、無次元剪断力分布の性状について考察する。規準応答量としては、各質点の最大変位の平均値並びに最下層の靱性率応答が1になるべき剪断力を基準としたベースシャー係数応答が用いられている。これら規準応答量の値は地震外乱群、許容規準量に応じて与えられる性質のものであるが、ここでは地震外乱群の加速度最大振幅 0.1 g とした地震波形に対して規準応答量が論じられている。

ここで取扱われている応答量を整理すると

$$\text{変位応答の最大値分布: } \gamma_{Ri} = \frac{|Y_i - Y_{i-1}|_{max}}{|Y_1|_{max}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{剪断力応答の最大値分布: } \gamma_{Qi} = \kappa_i \cdot \gamma_{Ri} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{変位応答の平均値: } \gamma_{Rn}^m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - Y_{i-1}|_{max} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{ベースシャー係数応答: } S_1 = \frac{\bar{K} \kappa_1 |Y_1|_{max}}{Mg \sum_{i=1}^n m_i} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{靱性率応答の最大値分布: } \gamma_{Di} = \frac{\frac{|Y_i - Y_{i-1}|_{max}}{\Delta \delta_i}}{\frac{|Y_1|_{max}}{\Delta \delta_1}} = \frac{\gamma_{Qi}}{\beta_i} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに i : 下層よりの質点数, n : 全質点数, Y_i : i 層の絶対変位, m_i , κ_i , δ_i , β_i : 質量, 剛性, 弾性限変位, 弾性限強度の分布で $\kappa_i \delta_i = \beta_i$, $\bar{M}$, $\bar{K}$, $\bar{\Delta}$: 質量, 剛性, 弾性限変位の規準量, g : 重力の加速度を示す。

3. 基本方程式と解析方法

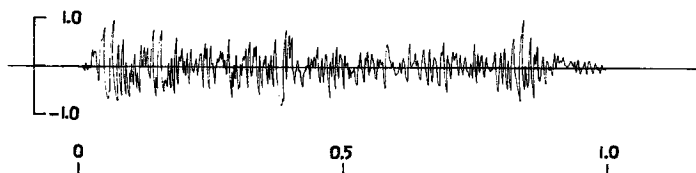
多質点弾性剪断型モデルの基礎方程式は次に示される。

$$M_i \frac{d^2 Y_i}{dT^2} + D_i \frac{d}{dT} (Y_i - Y_{i-1}) - D_{i+1} \frac{d}{dT} (Y_{i+1} - Y_i) + K_i (Y_i - Y_{i-1}) - K_{i+1} (Y_{i+1} - Y_i) = -M_i \cdot A \cdot A(T) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに T : 時間, M_i : i 層の質量 ($= \bar{M} \cdot m_i$), D_i : i 層の内部粘性減衰係数, K_i : i 層の剛性 ($\bar{K} \kappa_i$),

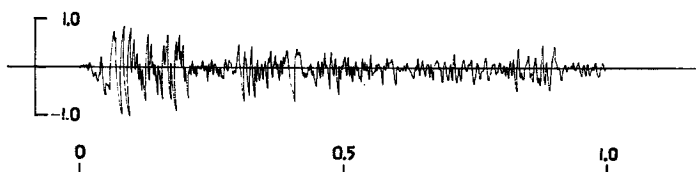
FOR EL CENTRO, CALIFORNIA:

EARTHQUAKE OF MAY 18, 1940. COMPONENT E-W



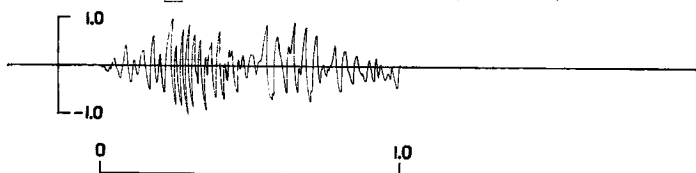
FOR EL CENTRO, CALIFORNIA:

EARTHQUAKE OF MAY 18, 1940. COMPONENT N-S



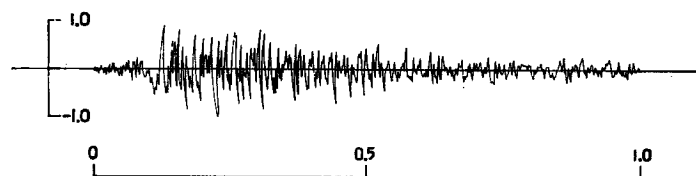
FOR OSAKA 205, OSAKA:

EARTHQUAKE OF MAY 27, 1963. COMPONENT E-W



FOR TAFT, CALIFORNIA:

EARTHQUAKE OF JUNE 21, 1952. COMPONENT E-W



FOR VERNON, CALIFORNIA:

EARTHQUAKE OF MAY 10, 1933. COMPONENT S 82°E

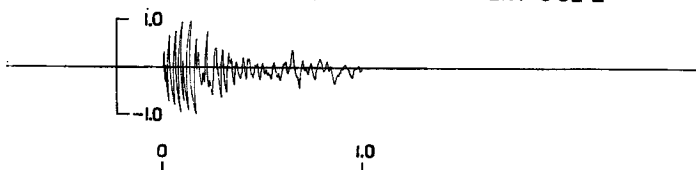


Fig. 1 Wave shape functions of ground acceleration.

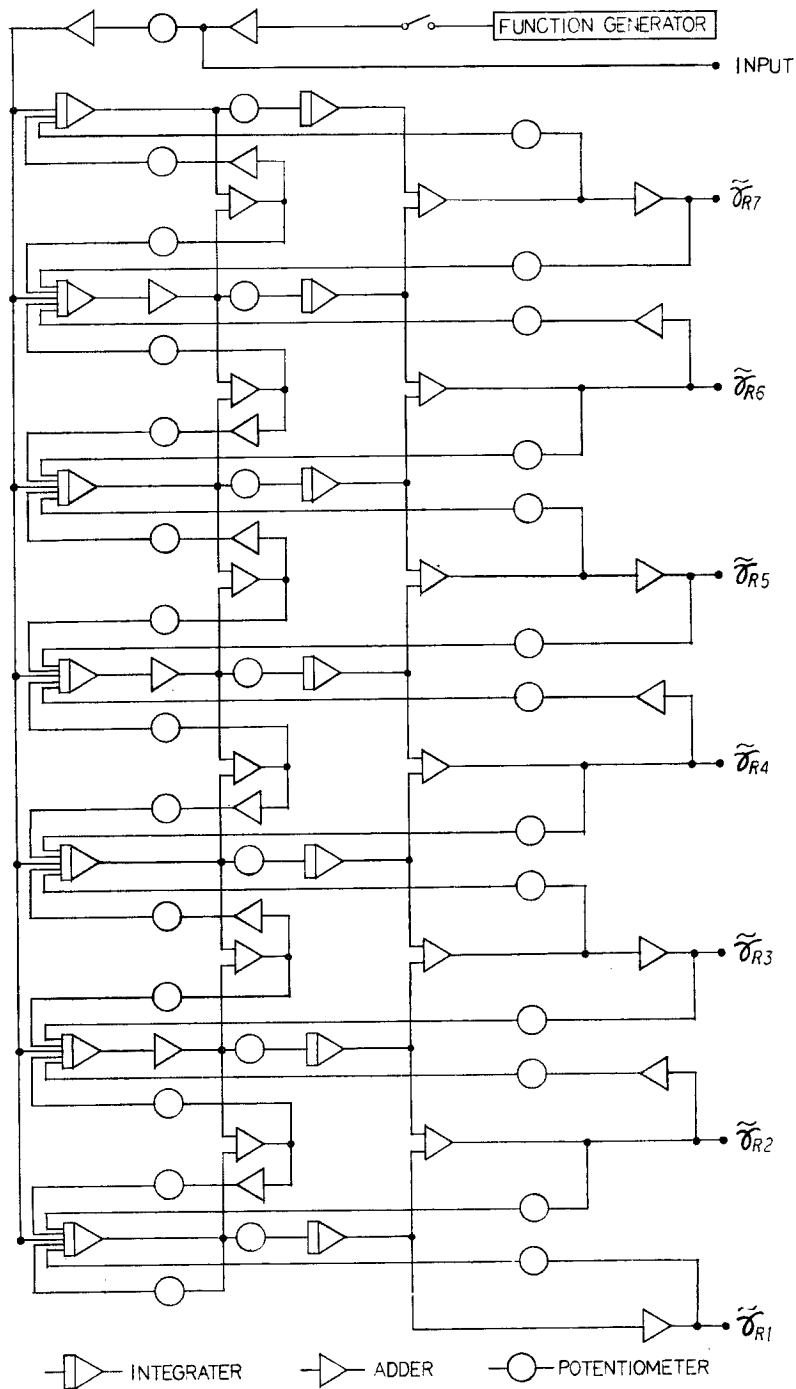


Fig. 2 Block diagram of linear shearing type of seven mass system.

A : 加速度最大振巾, $A(T)$: 地動加速度波形関数。

上記の連立線形非斉次 2 階常微分方程式を Fig. 1 に示すような複雑な波形関数をもった外乱地震波群を入力として解くには、図解法により多くの労力を要した時代もあったが、近年は電子計算機の発達により、広範囲の耐震解析領域において比較的簡単に解が求められるようになった。しかしながら尚広いパラメータ領域を対象とした解析には、演算速度、経済性から (6) 式を模擬回路に simulate して応答解析にアナログ計算機が使用される場合が多い。本研究においては、定量的な問題の把握のための応答解析に京都大学工学部建築学教室の低速間接型アナログ計算機を使用、Fig. 2 に示す演算回路のブロックダイアグラムを用いた。又定性的性質の把握のためにデジタル計算機を用いてモーダルアナリシス (root mean square 法) による近似応答解析で応答量を求めた。このデジタル計算機は株式会社 竹中工務店の OKITAC 5090 M 型を使用した。

4. 地震波外乱群の選定

地震波の特性はその強度と波形関数によって定まる。これらは地震波の発生機構、規模、伝播経路の媒体地盤の性質等により種々異なったパターンを示す。従って設計に予想すべき地震波としては、特に一般性を具備すべき耐震設計資料の誘導に用いる地震波としては、その非予測性と不規則性を確率統計的に把握し、そのような確率統計的性質をもつ模擬標準地震波が望まれる。しかしながら信頼出来る確率統計量を確定するには、地震波の性質の複雑性と激震記録の信頼出来る資料の不足から、現段階においてはそのような模擬標準地震波が確立するとも考えられない。従って本解析においては、過去に記録された数多くの地震記録の中から特徴的と考えられる数波形を採用し、地震波形群を対象として適正耐震設計資料の誘導を行った。Table 1 には本解析に使用した 5 つの原地震波の諸性質を、Fig. 1 には同様 5 つの加速度波形のパターンを示す。

Table 1 List of groupe of Earthquake waves.

Accelerometer station	Component	Earthquake	Time duration (sec)	Maximum Amplitude acceleration (gal)
EL CENTRO	EW	May 18, 1940	29.0	245.0
EL CENTRO	NS	May 18, 1940	29.0	326.0
OSAKA 205	EW	May 27, 1963	16.6	19.0
TAFT	EW	Jul. 21, 1952	30.0	154.0
VERNON	S 82° E	Oct. 8, 1933	11.0	187.0

Fig. 3 は各加速度波形のスペクトル密度が示されている。EL CENTRO EW, NS 成分は比較的継続時間の長い強震記録で EW 成分は卓越周波数に比して巾広いランダム周波数帯域をもち、NS 成分は 2 秒周辺に卓越周波数の低いパワーの領域が特徴的である。OSAKA 205 EW 成分は比較的短かい継続時間をもつ弱震記録で短周期のパワーが大きく、長周期構造物の応答に与える高次振動型の影響が大きいことが予想される。TAFT EW 成分は比較的継続時間の長い中震程度の地震で 4 秒付近までは比較的フラットな周波数のパワーを示すが長周期のところ顕著なパワーの谷が見られ、長周期構造物に対しては OSAKA 205 EW 成分と同様の傾向を示すものと考えられる。VERNON S 82° E 成分は比較的継続時間の短かい中震程度の地震で短周期成分のパワーが大きく、長周期になるにしたがってパワーが漸次低くなる傾向を示している。本解析では地震波の強度としての最大加速度振巾は弾性応答解析であることを考慮して全解析を通じて 0.1 g とする。

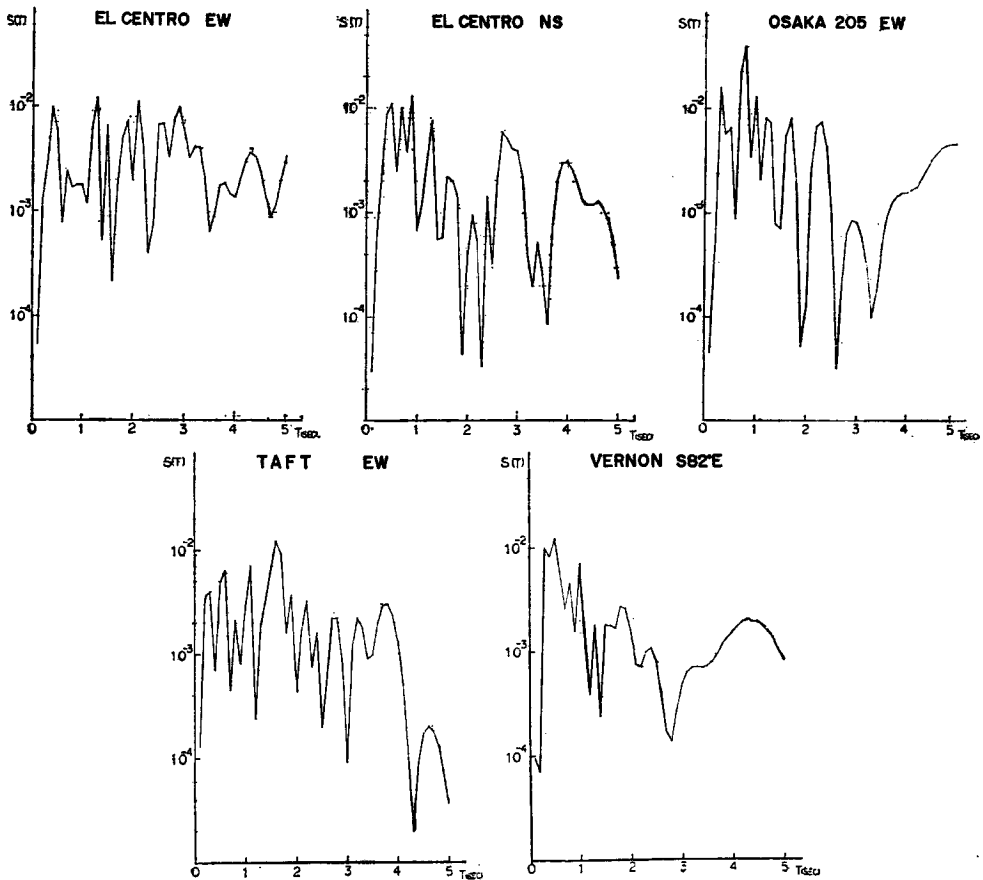


Fig. 3 Power spectral densities of wave shape function of ground acceleration.

5. アナログ計算機による地震応答解析

5.1 構造物系モデルの設定

構造物系モデルの設定には次の仮定を設ける。

1. 構造物系モデル復元力特性は線形とする。
2. 構造物系モデルは質点系として取扱う。即ち各層の質量は床位置に集中するものとする。
3. 構造物系モデルの剛性は平面的広がりをもつ層の平均的な値として与えられ、対象とする変形は剪断型変形を考え、質点間は剪断バネによって結合されているものとする。
4. 柱、梁の伸縮による効果は無視する。
5. 波動媒体地盤、および周辺地盤の連成効果は高層構造物で比較的長周期であること、高層構造物の基礎支持条件は当然良好であるべきことよりここでは考慮しない。

以上の仮定にもとづいた基礎固定の1次元剪断型モデルはアナログ計算機による質点数7の基本モデル群の応答計算に対して次のような動力学特性をもつ構造物系モデルを設定した。基本モデル動力学特性分布は通常の耐震解析領域を考え、無次元質量分布 $\{m_i\} = \{1\}$ 、無次元剛性分布は

Table 2 Distribution of stiffness and non-dimensional fundamental period of models.

λ	ν	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
0.8	7	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
	6	0.270	0.302	0.333	0.363	0.391	0.419	0.445	0.469
	5	0.347	0.410	0.467	0.518	0.564	0.606	0.634	0.679
	4	0.434	0.524	0.600	0.664	0.717	0.762	0.800	0.832
	3	0.538	0.649	0.733	0.797	0.846	0.883	0.911	0.932
	2	0.673	0.791	0.867	0.915	0.946	0.965	0.978	0.986
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	1τ	41.0	38.3	36.6	35.4	34.5	33.9	33.4	33.0
0.7	7	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
	6	0.361	0.389	0.413	0.443	0.468	0.491	0.514	0.536
	5	0.428	0.484	0.526	0.578	0.619	0.656	0.679	0.719
	4	0.505	0.584	0.650	0.706	0.752	0.792	0.825	0.853
	3	0.596	0.693	0.767	0.823	0.865	0.898	0.922	0.941
	2	0.714	0.817	0.883	0.925	0.952	0.970	0.988	0.988
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	1τ	38.3	36.3	35.3	34.1	33.4	32.9	32.6	32.2
0.6	7	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
	6	0.452	0.477	0.500	0.522	0.544	0.564	0.584	0.602
	5	0.510	0.557	0.600	0.639	0.673	0.705	0.725	0.759
	4	0.576	0.643	0.700	0.748	0.788	0.822	0.850	0.874
	3	0.654	0.737	0.800	0.848	0.884	0.912	0.933	0.949
	2	0.755	0.844	0.900	0.936	0.959	0.974	0.983	0.989
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	1τ	36.4	34.9	33.9	33.2	32.7	32.3	32.0	31.7
0.5	7	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
	6	0.544	0.564	0.583	0.602	0.620	0.637	0.653	0.668
	5	0.592	0.631	0.661	0.699	0.728	0.754	0.771	0.799
	4	0.646	0.703	0.750	0.790	0.823	0.851	0.875	0.895
	3	0.711	0.781	0.833	0.873	0.904	0.927	0.944	0.958
	2	0.796	0.870	0.916	0.947	0.966	0.978	0.986	0.991
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	1τ	34.8	33.7	33.0	32.5	32.1	31.8	31.5	31.3

Table 3 Standard values of stiffness of models. (t/cm)

λ	ν	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
0.8	1.0	1683.5	1466.6	1336.4	1250.8	1191.0	1147.0	1116.2	1088.4
	2.0	420.9	366.7	344.1	312.7	297.8	286.8	279.1	272.1
	3.0	187.1	163.0	148.5	139.0	132.3	127.4	124.0	120.9
	4.0	105.2	91.7	83.5	78.2	74.4	71.7	69.8	68.0
	5.0	67.3	58.7	53.5	50.0	47.6	45.9	44.6	43.5
0.7	1.0	1469.1	1319.4	1243.4	1162.8	1118.0	1084.2	1061.1	1039.0
	2.0	367.1	329.8	310.8	290.7	279.6	270.9	265.4	259.8
	3.0	163.3	146.7	138.1	129.3	124.3	120.6	117.9	115.4
	4.0	91.8	82.5	77.8	72.8	69.9	67.7	66.3	64.9
	5.0	58.8	52.7	49.7	46.5	44.8	43.3	42.4	41.6
0.6	1.0	1321.8	1216.4	1146.9	1101.2	1067.4	1041.7	1023.6	1007.0
	2.0	330.5	304.2	286.6	275.2	267.0	260.5	256.0	251.8
	3.0	146.9	135.3	127.5	122.3	118.6	115.8	113.6	111.9
	4.0	82.6	76.0	71.7	68.9	66.8	65.1	64.0	62.9
	5.0	52.9	48.7	45.8	44.1	42.6	41.7	41.0	40.3
0.5	1.0	1212.2	1137.4	1089.7	1053.4	1027.8	1008.8	994.9	982.1
	2.0	303.1	284.3	272.6	263.4	257.0	252.2	248.7	245.5
	3.0	134.8	126.3	121.0	117.0	114.3	112.2	110.5	109.1
	4.0	75.7	71.1	68.1	65.8	64.3	63.0	62.3	61.4
	5.0	48.4	45.6	43.6	42.1	41.1	40.3	39.8	39.3

$$\{\kappa_i\} = \left\{ 1 - \lambda \left(\frac{i-1}{n-1} \right)^\nu \right\} \dots\dots\dots (8)$$

で定義する。ここで λ , ν は剛性分布に対する構造指数で, λ は最上層と最下層の無次元剛性の比に対応する量, ν は分布の増減を示す量で, $\lambda=0.8, 0.7, 0.6, 0.5$. $\nu=0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.25$ として, λ, ν の組合せの32種のモデルを対象とする。このモデル群に対して基本一次周期 (${}_1T$) は 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 (sec) の5種とし, これに対応する $M=1$ の場合の剛性規準量 $\bar{K}$ と各モデルの無次元剛性分布 $\{\kappa_i\}$ の積として構造物系モデルの剛性分布が定まる。Tables 2, 3 には λ, ν による32種の無次元剛性分布とその無次元周期 (${}_1T$) および5種の基本一次周期に対応する剛性規準量が示されている。減衰量は内部粘性減衰として一次振動型に対して ${}_1h=0.02$, 高次振動型に対しては振動数に比例するものとする。

5.2 各分布応答量とその考察および適正動力学特性分布

ここで想定した剛性パラメータ $\lambda, \nu, \bar{K}$ で示される構造物系モデル群と5種の典型的な地震波形群に対する変位応答の最大値分布と平均値の一例として ${}_1T=3.0(\text{sec})$, $h=0.02$ の場合を Tables 4~8 に, 剪断力応答の最大値分布とベースシャー係数応答の一例として ${}_1T=3.0(\text{sec})$, ${}_1h=0.02$ の場合を Tables 9~13 に示す。Fig. 4 は変位応答の最大値分布と剪断力応答の最大値分布の上下限の一例として $\lambda=0.6$, $\lambda=0.7$, ${}_1h=0.02$, EL CENTRO EW 成分の場合が示されている。Fig. 4 および Tables 4~13 からわかるように, 各モデルの変位応答の最大値分布は, 地震波形, 基本一次周期により相対的な差異はあるが構造物系モデルの剛性分布とは反比例の関係があり, 構造指数 ν によって顕著に変化することがわかる。しか

Table 4 Distribution of maximum displacement and average displacement, for EL CENTRO EW, $T=3.0$ sec,
 $h=0.02$, $A=0.1$ g.

 γ_R^m : cm

ν		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	2.26	2.24	2.43	2.29	2.22	2.21	2.08	2.18
	6	2.59	2.19	2.01	1.67	1.52	1.38	1.20	1.20
	5	2.06	1.75	1.43	1.26	1.14	1.06	0.95	0.94
	4	1.81	1.46	1.25	1.10	1.04	0.99	0.86	0.90
	3	1.59	1.32	1.16	1.04	1.01	0.97	0.87	0.90
	2	1.41	1.18	1.10	1.01	1.01	0.99	0.96	0.97
	1	1.00	1.00	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	3.87	3.93	3.92	4.01	4.04	4.01	4.08	3.99
$\lambda=0.7$	7	1.46	1.48	1.52	1.55	1.54	1.52	1.57	1.55
	6	1.87	1.75	1.64	1.49	1.43	1.36	1.31	1.23
	5	1.79	1.57	1.44	1.25	1.20	1.12	1.11	1.00
	4	1.65	1.36	1.19	1.12	1.04	0.99	0.98	0.89
	3	1.48	1.23	1.13	1.08	0.99	0.96	0.94	0.93
	2	1.34	1.17	1.06	1.02	0.99	0.99	0.98	0.96
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	3.46	3.62	3.83	3.74	3.94	3.83	3.92	3.75
$\lambda=0.6$	7	1.06	1.02	1.01	1.01	1.06	1.05	1.06	1.00
	6	1.52	1.37	1.31	1.23	1.21	1.15	1.12	1.07
	5	1.55	1.36	1.27	1.15	1.12	1.07	1.07	0.96
	4	1.53	1.30	1.20	1.09	1.04	1.01	0.95	0.93
	3	1.39	1.17	1.08	0.99	0.99	0.96	0.94	0.88
	2	1.30	1.15	1.04	1.02	0.99	0.96	1.00	0.94
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	3.43	3.42	3.40	3.65	3.72	3.51	3.61	3.53
$\lambda=0.5$	7	0.80	0.82	0.85	0.80	0.80	0.82	0.79	0.83
	6	1.21	1.16	1.14	1.05	1.03	1.04	0.99	0.97
	5	1.29	1.21	1.21	1.07	1.06	1.04	0.98	0.95
	4	1.38	1.24	1.19	1.11	1.08	1.07	1.01	0.99
	3	1.34	1.16	1.13	1.01	1.05	1.04	0.99	0.95
	2	1.24	1.14	1.07	1.01	1.01	0.99	0.97	0.98
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	3.28	3.24	3.39	3.35	3.43	3.35	3.29	3.26

Table 5 Distribution of maximum displacement and average displacement, for EL CENTRO NS, $T=3.0$ sec, $h=0.02$, $A=0.1g$.

		γ_R^m : cm							
ν		0.50	0.75	1.00	.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	1.91	2.20	2.17	2.13	2.08	2.07	1.88	1.92
	6	2.17	1.91	1.66	1.46	1.38	1.32	1.20	1.00
	5	2.33	1.87	1.49	1.31	1.19	1.13	1.06	.98
	4	1.92	1.53	1.21	1.11	1.03	0.98	0.94	0.86
	3	1.58	1.34	1.13	1.03	0.99	0.92	0.93	0.87
	2	1.39	1.21	1.10	1.03	1.00	0.98	0.98	0.94
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	2.78	2.78	2.78	2.93	2.92	2.87	3.10	2.91
$\lambda=0.7$	7	0.99	1.34	1.18	1.26	1.15	1.22	1.24	1.21
	6	1.50	1.57	1.34	1.21	1.15	1.09	1.06	0.98
	5	1.89	1.77	1.47	1.26	1.17	1.09	1.06	0.99
	4	1.76	1.57	1.30	1.18	1.08	1.02	0.98	0.94
	3	1.49	1.30	1.10	1.07	0.98	0.93	0.91	0.89
	2	1.34	1.20	1.05	1.01	0.98	0.95	0.92	0.94
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	2.63	2.65	2.63	2.75	2.83	2.76	2.79	2.80
$\lambda=0.6$	7	0.76	0.77	0.83	0.83	0.81	0.81	0.86	0.82
	6	1.20	1.12	1.11	1.01	1.00	0.96	0.96	0.93
	5	1.59	1.39	1.37	1.23	1.20	1.13	1.09	1.03
	4	1.65	1.41	1.32	1.21	1.16	1.12	1.08	1.07
	3	1.43	1.22	1.18	1.03	1.06	1.03	0.97	0.93
	2	1.25	1.12	1.07	1.00	0.98	0.97	0.97	0.95
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	2.57	2.62	2.51	2.59	2.61	2.64	2.48	2.49
$\lambda=0.5$	7	0.60	0.62	0.55	0.57	0.58	0.55	0.59	0.58
	6	0.98	0.98	0.88	0.86	0.87	0.84	0.82	0.81
	5	1.32	1.32	1.17	1.13	1.11	1.02	1.00	0.99
	4	1.43	1.38	1.21	1.18	1.17	1.08	1.08	1.03
	3	1.33	1.25	1.12	1.07	1.08	1.02	1.00	0.99
	2	1.19	1.13	1.03	1.01	1.00	0.95	0.97	0.95
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	2.48	2.50	2.47	2.42	2.37	2.46	2.35	2.39

Table 6 Distribution of maximum displacement and average displacement, for OSAKA 205 EW, $T=3.0$ sec, $h=0.02$, $A=0.1g$.

 γ_R^m : cm

ν		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	2.18	2.06	2.17	2.17	2.01	2.10	2.00	1.92
	6	2.15	1.91	1.88	1.66	1.51	1.42	1.30	1.15
	5	2.35	1.88	1.52	1.36	1.18	1.12	1.03	0.97
	4	2.11	1.52	1.26	1.18	1.05	1.01	0.92	0.92
	3	1.75	1.33	1.12	1.07	1.01	0.99	0.93	0.92
	2	1.40	1.16	1.09	1.02	0.99	0.99	0.98	0.99
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.94	2.14	2.12	2.19	2.19	2.08	2.18	2.03
$\lambda=0.7$	7	1.55	1.88	1.58	1.54	1.52	1.54	1.56	1.53
	6	1.38	1.48	1.37	1.40	1.30	1.30	1.30	1.17
	5	1.88	1.83	1.58	1.54	1.39	1.37	1.34	1.18
	4	1.91	1.82	1.52	1.41	1.27	1.25	1.18	1.11
	3	1.72	1.50	1.38	1.26	1.11	1.11	1.10	0.97
	2	1.45	1.30	1.17	1.10	1.04	1.01	1.01	1.03
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.62	1.76	1.75	1.88	1.82	1.79	1.81	1.84
$\lambda=0.6$	7	1.00	1.05	1.04	1.14	1.14	1.11	1.10	1.15
	6	1.10	1.03	0.94	0.96	0.97	0.92	0.87	0.88
	5	1.33	1.31	1.20	1.19	1.20	1.14	1.13	1.09
	4	1.58	1.45	1.31	1.32	1.28	1.19	1.17	1.16
	3	1.52	1.37	1.24	1.19	1.19	1.16	1.13	1.07
	2	1.42	1.29	1.16	1.18	1.14	1.07	1.13	1.07
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.65	1.64	1.60	1.58	1.64	1.59	1.56	1.58
$\lambda=0.5$	7	0.69	0.74	0.76	0.81	0.70	0.71	0.68	0.68
	6	0.94	0.88	0.86	0.79	0.70	0.75	0.70	0.70
	5	1.05	1.05	1.03	1.01	0.90	0.94	0.88	0.87
	4	1.26	1.22	1.21	1.16	1.03	1.06	1.04	1.00
	3	1.28	1.24	1.19	1.10	1.13	1.10	1.05	1.05
	2	1.28	1.22	1.17	1.13	1.03	1.09	1.07	1.09
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.58	1.66	1.58	1.69	1.67	1.64	1.67	1.69

Table 7 Distribution of maximum displacement and average displacement, for TAFT EW, $T=3.0$ sec, $h=0.02$, $A=0.1g$.

ν		γ_R^m : cm							
		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	1.52	1.62	1.58	1.72	1.63	1.59	1.71	1.62
	6	1.63	1.76	1.80	1.79	1.74	1.54	1.63	1.47
	5	2.01	2.01	1.76	1.76	1.55	1.40	1.44	1.31
	4	1.62	1.46	1.28	1.29	1.15	1.05	1.11	1.04
	3	1.40	1.18	1.00	0.94	0.86	0.85	0.87	0.80
	2	1.29	1.15	1.01	0.95	0.96	0.93	0.90	0.87
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	2.12	2.21	2.29	2.30	2.32	2.30	2.39	2.30
$\lambda=0.7$	7	0.93	1.01	1.00	1.08	1.00	1.08	1.04	1.06
	6	1.20	1.22	1.11	1.22	1.08	1.18	1.04	1.05
	5	1.68	1.65	1.43	1.48	1.25	1.34	1.16	1.16
	4	1.64	1.47	1.30	1.31	1.12	1.20	1.02	1.06
	3	1.31	1.15	1.02	1.08	0.87	0.97	0.81	0.85
	2	1.21	1.12	0.99	0.95	0.91	0.92	0.87	0.89
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.97	2.01	2.03	2.09	2.11	2.12	2.06	2.04
$\lambda=0.6$	7	0.69	0.69	0.70	0.69	0.74	0.73	0.75	0.72
	6	0.99	0.95	0.90	0.83	0.85	0.83	0.84	0.73
	5	1.33	1.27	1.21	1.05	1.13	1.06	1.09	0.97
	4	1.51	1.38	1.24	1.13	1.14	1.07	1.10	1.00
	3	1.26	1.11	1.03	0.92	0.98	0.94	0.97	0.84
	2	1.13	1.07	0.97	0.91	0.93	0.90	0.95	0.90
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.94	1.96	1.90	1.91	2.00	1.91	1.94	1.88
$\lambda=0.5$	7	0.54	0.56	0.56	0.63	0.56	0.62	0.58	0.60
	6	0.78	0.78	0.74	0.76	0.69	0.73	0.67	0.89
	5	1.07	0.99	0.91	0.97	0.92	0.77	0.86	0.86
	4	1.29	1.17	1.07	1.07	1.04	0.87	0.99	0.99
	3	1.18	1.05	0.94	1.00	0.93	0.79	0.91	0.94
	2	1.11	1.00	0.91	0.98	0.93	0.88	0.92	0.96
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.79	1.80	1.76	1.80	1.85	1.77	1.83	1.80

Table 8 Distribution of maximum displacement and average displacement, for VERNON S 82°E, ${}_1T=3.0$ sec, ${}_1h=0.02$, $A=0.1g$.

ν		γ_R^m : cm							
		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	1.22	1.40	1.73	1.92	1.91	1.80	2.21	1.79
	6	1.42	1.38	1.51	1.48	1.33	1.07	1.37	0.91
	5	1.38	1.15	1.17	1.00	0.96	0.81	0.98	0.68
	4	1.42	1.06	1.13	0.98	0.96	0.86	0.80	0.72
	3	1.38	1.07	1.05	0.98	0.93	0.83	0.82	0.78
	2	1.31	1.08	1.06	1.02	0.99	0.95	0.97	0.87
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.17	1.14	1.17	1.16	1.17	1.12	1.17	1.09
$\lambda=0.7$	7	0.91	0.94	0.88	1.08	0.94	1.07	1.08	1.06
	6	1.22	1.32	1.10	1.22	1.03	1.13	1.02	1.00
	5	1.14	1.11	0.91	0.95	0.87	0.87	0.81	0.79
	4	1.10	1.12	0.91	0.98	0.91	0.90	0.83	0.85
	3	1.06	1.03	0.89	0.95	0.90	0.87	0.85	0.84
	2	1.18	1.09	0.94	0.96	0.93	0.93	0.91	0.92
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	0.99	1.06	1.04	1.06	1.08	1.04	1.07	1.12
$\lambda=0.6$	7	0.75	0.72	0.71	0.71	0.72	0.73	0.76	0.70
	6	1.05	0.99	0.91	0.97	0.91	0.85	0.92	0.71
	5	1.06	0.94	0.86	0.84	0.80	0.73	0.84	0.71
	4	1.08	0.96	0.94	0.89	0.84	0.79	0.81	0.77
	3	1.00	0.94	0.92	0.84	0.84	0.80	0.85	0.78
	2	1.69	1.03	0.99	0.93	0.93	0.90	0.92	0.90
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.01	1.01	1.02	1.04	1.03	0.97	1.00	1.06
$\lambda=0.5$	7	0.58	0.61	0.59	0.64	0.58	0.59	0.60	0.57
	6	0.85	0.82	0.79	0.78	0.67	0.70	0.67	0.65
	5	0.91	0.86	0.82	0.79	0.69	0.70	0.66	0.64
	4	0.95	0.89	0.86	0.86	0.74	0.72	0.68	0.67
	3	1.04	0.92	0.87	0.84	0.81	0.79	0.72	0.71
	2	1.11	1.03	0.93	0.92	0.83	0.86	0.86	0.82
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	γ_R^m	1.02	1.06	1.03	0.97	0.94	0.94	0.98	0.95

Table 9 Distribution of maximum shearing force and base shear coefficient, for EL CENTRO EW, $T=3.0$ sec, $h=0.02$, $A=0.1g$.

ν		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	0.45	0.46	0.48	0.45	0.44	0.44	0.41	0.43
	6	0.69	0.66	0.67	0.60	0.59	0.58	0.53	0.56
	5	0.71	0.71	0.67	0.65	0.64	0.64	0.60	0.64
	4	0.78	0.76	0.75	0.73	0.74	0.75	0.69	0.74
	3	0.85	0.85	0.85	0.82	0.85	0.85	0.79	0.84
	2	0.95	0.93	0.95	0.92	0.95	0.95	0.93	0.95
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.056	0.095	0.057	0.060	0.061	0.060	0.065	0.060
$\lambda=0.7$	7	0.43	0.44	0.46	0.46	0.46	0.45	0.47	0.46
	6	0.67	0.68	0.67	0.66	0.66	0.66	0.67	0.65
	5	0.76	0.75	0.75	0.72	0.74	0.73	0.75	0.71
	4	0.83	0.79	0.77	0.79	0.78	0.78	0.81	0.75
	3	0.88	0.85	0.86	0.88	0.86	0.85	0.87	0.87
	2	0.95	0.95	0.93	0.94	0.94	0.95	0.97	0.95
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.054	0.057	0.060	0.058	0.061	0.059	0.059	0.058
$\lambda=0.6$	7	0.42	0.40	0.40	0.40	0.42	0.42	0.42	0.40
	6	0.68	0.65	0.65	0.64	0.65	0.64	0.65	0.64
	5	0.78	0.75	0.75	0.73	0.75	0.75	0.77	0.72
	4	0.88	0.83	0.83	0.81	0.82	0.82	0.80	0.81
	3	0.91	0.86	0.86	0.83	0.87	0.87	0.88	0.83
	2	0.97	0.97	0.93	0.95	0.95	0.93	0.98	0.93
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.055	0.057	0.056	0.061	0.060	0.058	0.058	0.059
$\lambda=0.5$	7	0.39	0.41	0.42	0.40	0.40	0.40	0.39	0.41
	6	0.65	0.65	0.66	0.63	0.64	0.66	0.64	0.65
	5	0.76	0.76	0.80	0.74	0.77	0.78	0.75	0.75
	4	0.89	0.87	0.89	0.87	0.88	0.90	0.88	0.88
	3	0.95	0.90	0.93	0.87	0.95	0.96	0.93	0.90
	2	0.98	0.98	0.97	0.95	1.00	0.97	0.96	0.97
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.055	0.054	0.055	0.057	0.057	0.055	0.055	0.054

Table 10 Distribution of maximum shearing force and base shear coefficient, for EL CENTRO NS, $T=3.0$ sec, $h=0.02$, $A=0.1$ g.

ν		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	0.38	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.37	0.38
	6	0.58	0.57	0.55	0.52	0.54	0.55	0.53	0.51
	5	0.80	0.76	0.69	0.68	0.67	0.68	0.67	0.66
	4	0.82	0.80	0.72	0.73	0.74	0.74	0.75	0.71
	3	0.84	0.86	0.82	0.81	0.83	0.80	0.84	0.80
	2	0.93	0.95	0.95	0.93	0.94	0.94	0.95	0.92
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.043	0.042	0.043	0.046	0.045	0.045	0.050	0.047
$\lambda=0.7$	7	0.29	0.40	0.35	0.37	0.34	0.36	0.37	0.36
	6	0.54	0.61	0.55	0.53	0.53	0.53	0.54	0.52
	5	0.80	0.85	0.77	0.72	0.72	0.71	0.72	0.71
	4	0.89	0.91	0.84	0.83	0.81	0.81	0.81	0.80
	3	0.88	0.89	0.84	0.87	0.84	0.83	0.83	0.83
	2	0.95	0.97	0.92	0.93	0.93	0.91	0.90	0.92
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.045	0.040	0.044	0.045	0.048	0.047	0.047	0.048
$\lambda=0.6$	7	0.30	0.30	0.33	0.33	0.32	0.32	0.34	0.32
	6	0.54	0.53	0.55	0.52	0.54	0.54	0.55	0.56
	5	0.81	0.77	0.82	0.78	0.80	0.79	0.79	0.78
	4	0.94	0.90	0.92	0.90	0.91	0.92	0.91	0.93
	3	0.93	0.89	0.94	0.87	0.93	0.94	0.90	0.88
	2	0.94	0.94	0.96	0.93	0.94	0.94	0.95	0.93
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.043	0.045	0.041	0.044	0.044	0.044	0.041	0.047
$\lambda=0.5$	7	0.30	0.31	0.27	0.28	0.28	0.27	0.29	0.28
	6	0.53	0.55	0.51	0.51	0.54	0.53	0.53	0.54
	5	0.78	0.83	0.77	0.79	0.80	0.77	0.77	0.79
	4	0.92	0.97	0.90	0.92	0.96	0.92	0.94	0.92
	3	0.94	0.97	0.93	0.93	0.97	0.94	0.94	0.94
	2	0.95	0.97	0.94	0.95	0.96	0.93	0.95	0.94
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.043	0.042	0.044	0.042	0.040	0.043	0.041	0.041

Table 11 Distribution of maximum shearing force and base shear coefficient, for OSAKA 205 EW, ${}_1T=3.0$ sec, ${}_1h=0.02$, $A=0.1$ g.

ν		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	0.43	0.41	0.43	0.43	0.40	0.41	0.40	0.38
	6	0.58	0.57	0.62	0.60	0.59	0.59	0.58	0.53
	5	0.81	0.77	0.70	0.70	0.66	0.67	0.65	0.65
	4	0.91	0.79	0.75	0.78	0.75	0.77	0.73	0.76
	3	0.94	0.86	0.82	0.85	0.85	0.87	0.85	0.85
	2	0.94	0.91	0.94	0.93	0.93	0.95	0.95	0.97
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.029	0.033	0.032	0.032	0.033	0.032	0.033	0.032
$\lambda=0.7$	7	0.46	0.56	0.47	0.46	0.45	0.46	0.46	0.45
	6	0.49	0.57	0.56	0.62	0.60	0.63	0.66	0.62
	5	0.80	0.88	0.83	0.89	0.86	0.89	0.90	0.85
	4	0.96	1.06	0.99	0.99	0.95	0.99	0.97	0.94
	3	1.02	1.03	1.06	1.03	0.96	0.99	1.01	0.91
	2	1.03	1.06	1.03	1.01	0.99	0.98	1.00	1.01
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.024	0.024	0.025	0.027	0.027	0.026	0.025	0.027
$\lambda=0.6$	7	0.40	0.41	0.41	0.45	0.45	0.44	0.44	0.46
	6	0.49	0.49	0.47	0.50	0.52	0.52	0.50	0.53
	5	0.68	0.72	0.72	0.76	0.80	0.80	0.82	0.82
	4	0.91	0.93	0.92	0.99	1.05	0.97	0.99	1.01
	3	0.99	1.00	0.99	1.01	1.51	1.05	1.05	1.01
	2	1.07	1.09	1.04	1.10	1.09	1.04	1.11	1.06
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.028	0.027	0.026	0.025	0.025	0.025	0.024	0.024
$\lambda=0.5$	7	0.34	0.37	0.37	0.42	0.34	0.35	0.33	0.34
	6	0.50	0.49	0.50	0.47	0.43	0.47	0.46	0.47
	5	0.62	0.66	0.67	0.70	0.65	0.70	0.67	0.70
	4	0.81	0.86	0.90	0.91	0.85	0.90	0.90	0.89
	3	0.91	0.96	0.99	0.95	1.01	1.02	0.98	1.00
	2	1.01	1.06	1.07	1.07	0.99	1.06	1.05	1.08
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.031	0.029	0.027	0.029	0.030	0.028	0.030	0.030

Table 12 Distribution of maximum shearing force and base shear coefficient, for TAFT EW, $T=3.0$ sec, $h=0.02$, $A=0.1g$.

ν		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	0.30	0.32	0.31	0.34	0.32	0.31	0.34	0.32
	6	0.44	0.53	0.59	0.65	0.68	0.64	0.72	0.68
	5	0.69	0.82	0.82	0.91	0.87	0.85	0.91	0.88
	4	0.70	0.76	0.76	0.85	0.82	0.80	0.88	0.86
	3	0.75	0.76	0.73	0.75	0.72	0.75	0.79	0.74
	2	0.86	0.91	0.87	0.87	0.90	0.89	0.88	0.86
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.039	0.036	0.037	0.034	0.035	0.036	0.035	0.035
$\lambda=0.7$	7	0.27	0.30	0.30	0.32	0.30	0.32	0.30	0.31
	6	0.43	0.47	0.45	0.53	0.50	0.58	0.53	0.56
	5	0.71	0.79	0.75	0.85	0.77	0.87	0.79	0.83
	4	0.83	0.85	0.84	0.92	0.84	0.94	0.84	0.90
	3	0.78	0.79	0.78	0.88	0.74	0.86	0.75	0.79
	2	0.86	0.91	0.87	0.88	0.86	0.89	0.85	0.88
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.037	0.035	0.036	0.034	0.037	0.034	0.036	0.034
$\lambda=0.6$	7	0.27	0.27	0.28	0.27	0.29	0.29	0.30	0.28
	6	0.44	0.45	0.45	0.43	0.46	0.45	0.49	0.43
	5	0.67	0.70	0.72	0.67	0.76	0.75	0.78	0.73
	4	0.86	0.88	0.86	0.84	0.90	0.88	0.93	0.87
	3	0.82	0.81	0.82	0.77	0.86	0.85	0.90	0.79
	2	0.85	0.89	0.87	0.85	0.89	0.88	0.92	0.88
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.037	0.036	0.035	0.037	0.036	0.035	0.033	0.035
$\lambda=0.5$	7	0.26	0.28	0.28	0.31	0.27	0.30	0.28	0.30
	6	0.42	0.43	0.43	0.45	0.43	0.46	0.43	0.45
	5	0.63	0.62	0.60	0.67	0.66	0.57	0.66	0.68
	4	0.83	0.82	0.80	0.84	0.85	0.74	0.86	0.88
	3	0.83	0.82	0.78	0.87	0.84	0.72	0.85	0.89
	2	0.88	0.87	0.83	0.92	0.89	0.86	0.91	0.94
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.035	0.035	0.035	0.033	0.035	0.036	0.035	0.033

Table 13 Distribution of maximum shearing force and base shear coefficient, for VERNON S 82°E, $1T=3.0$ sec, $1h=0.02$, $A=0.1g$.

ν		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
$\lambda=0.8$	7	0.24	0.28	0.34	0.38	0.38	0.36	0.44	0.35
	6	0.38	0.41	0.50	0.53	0.51	0.44	0.61	0.42
	5	0.47	0.47	0.54	0.51	0.54	0.49	0.62	0.46
	4	0.61	0.55	0.67	0.65	0.68	0.65	0.63	0.59
	3	0.74	0.69	0.77	0.78	0.78	0.73	0.74	0.72
	2	0.88	0.85	0.91	0.93	0.93	0.92	0.94	0.85
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.024	0.023	0.021	0.020	0.020	0.020	0.018	0.020
$\lambda=0.7$	7	0.27	0.28	0.26	0.32	0.28	0.32	0.32	0.31
	6	0.44	0.51	0.45	0.54	0.48	0.55	0.52	0.53
	5	0.48	0.53	0.47	0.55	0.54	0.56	0.55	0.57
	4	0.55	0.65	0.58	0.69	0.68	0.71	0.68	0.72
	3	0.63	0.71	0.68	0.77	0.78	0.77	0.78	0.79
	2	0.84	0.89	0.83	0.88	0.88	0.89	0.90	0.91
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.022	0.021	0.022	0.020	0.021	0.020	0.020	0.021
$\lambda=0.6$	7	0.30	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.30	0.28
	6	0.47	0.47	0.45	0.50	0.49	0.47	0.53	0.42
	5	0.54	0.52	0.51	0.53	0.53	0.51	0.60	0.54
	4	0.62	0.61	0.65	0.66	0.66	0.65	0.68	0.67
	3	0.65	0.69	0.73	0.71	0.74	0.72	0.79	0.74
	2	0.88	0.86	0.89	0.87	0.89	0.87	0.90	0.89
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.021	0.022	0.021	0.021	0.021	0.020	0.019	0.022
$\lambda=0.5$	7	0.28	0.30	0.29	0.31	0.28	0.29	0.29	0.28
	6	0.46	0.46	0.46	0.47	0.41	0.44	0.43	0.43
	5	0.53	0.54	0.53	0.55	0.50	0.52	0.51	0.51
	4	0.61	0.62	0.64	0.67	0.60	0.61	0.59	0.60
	3	0.74	0.71	0.72	0.73	0.73	0.73	0.68	0.67
	2	0.88	0.89	0.85	0.87	0.79	0.82	0.84	0.81
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S_1	0.022	0.023	0.022	0.020	0.021	0.020	0.022	0.021

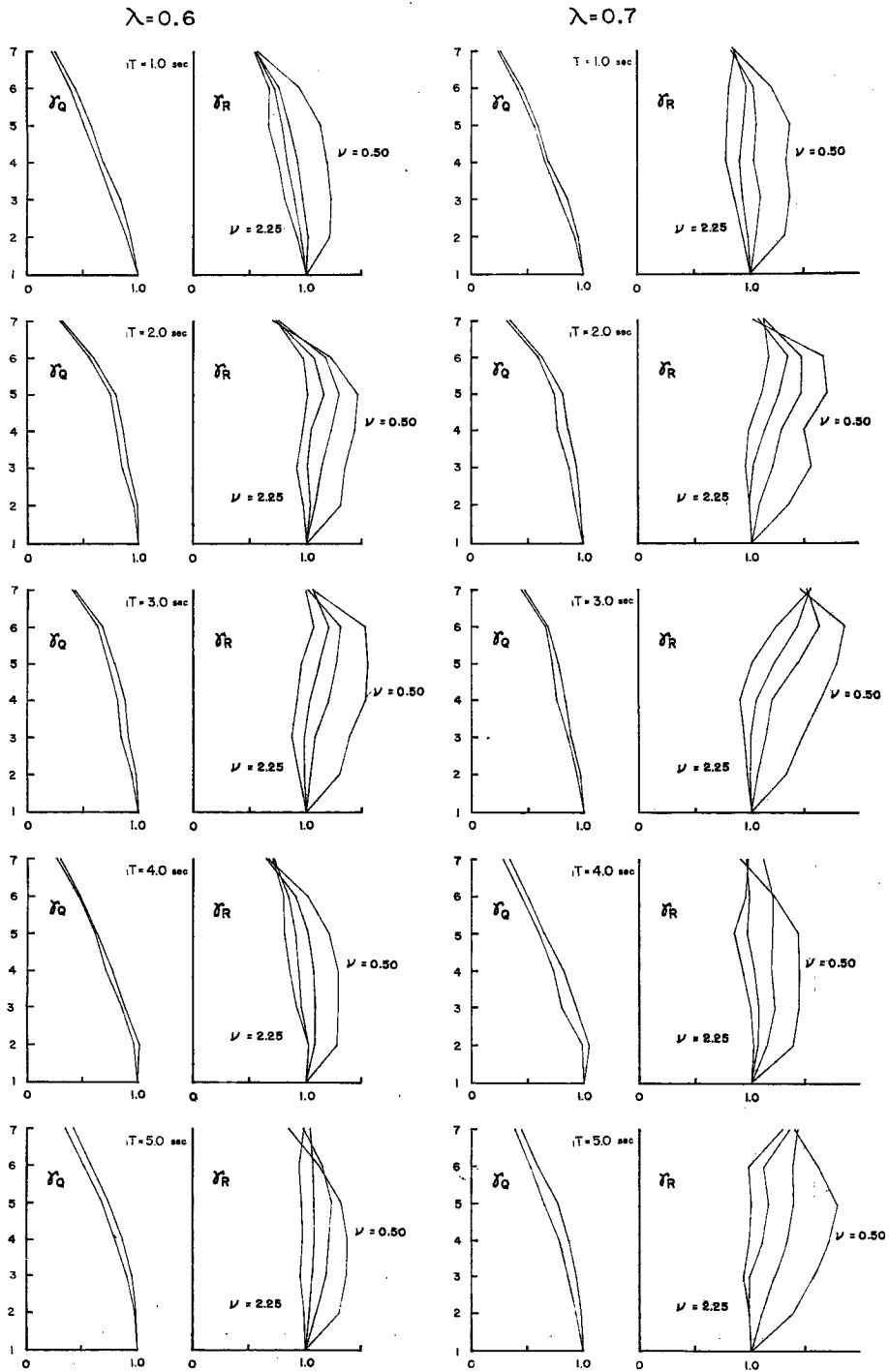


Fig. 4 Distribution of upper and lower bounds of shearing force and distribution of maximum displacement, model $\lambda=0.6, 0.7$, EL CENTRO EW, $h=0.02$.

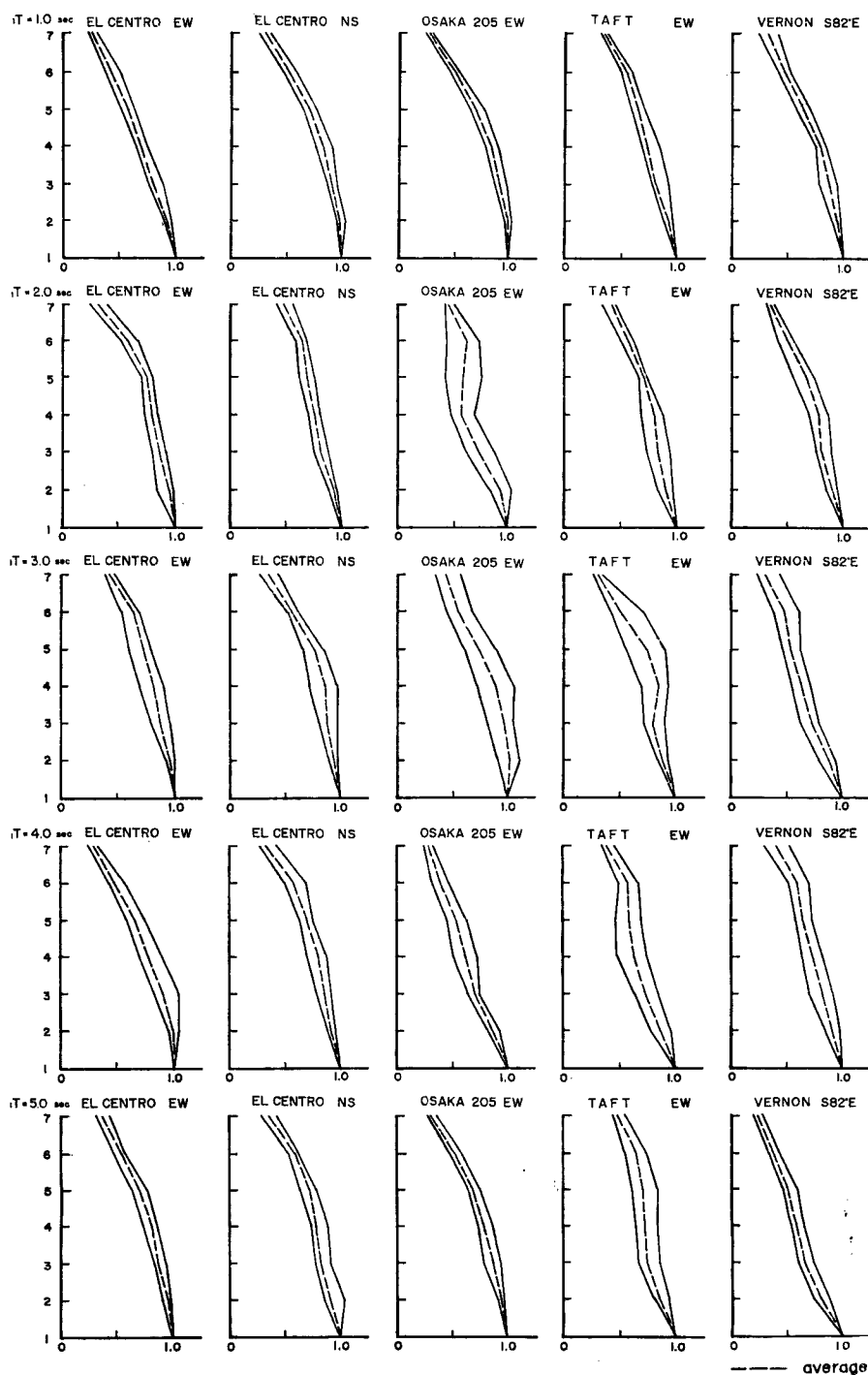


Fig. 5 Distribution of upper and lower bounds of shearing force for λ , ν and $h=0.02$.

しながら構造物系モデルの剛性分布と変位応答の最大値分布の積で表わされる剪断力応答の最大値分布は構造指数 ν に比較的關係なく殆んど同様の分布を示すものと考えてよい。

Fig. 5 は更に構造指数 λ による剪断力応答の最大値分布のパラツキをしらべるためにその上下限が各地震波形，基本一次周期について示されている。構造指数 ν に比較して多少パラツキ巾が大きくなり，地震波形，基本一次周期によってその最大巾に多少の変動は見られるが，平均値に対する最大パラツキ巾は大概ね20%程度である。以上の結果から剪断力応答の最大値分布は地震波形，構造物モデルの基本一次周期を規定すれば，剛性分布に比較的關係なく安定した分布を示すことがわかる。次に剪断力応答の最大値分布に，より多く影響を与える要素をしらべるために，剪断力応答の最大値分布の上下限を各々の地震波形，構造物モデルの基本一次周期について示したのが Fig. 6 である。Fig. 6 から地震波形群，基本一次周期群に対して剪断力応答の最大値分布の上下限の変動は平均値に対して40%程度見られるが，両要素による顕著な特徴は見られず同程度と考えられる。

構造物の弾性応答において，(5)式より靱性率応答分布は構造物の弾性限強度分布と応答剪断力の最大値分布に depend する。ある構造物の剪断力応答の最大値分布が既知の場合，その構造物の動力学特性分

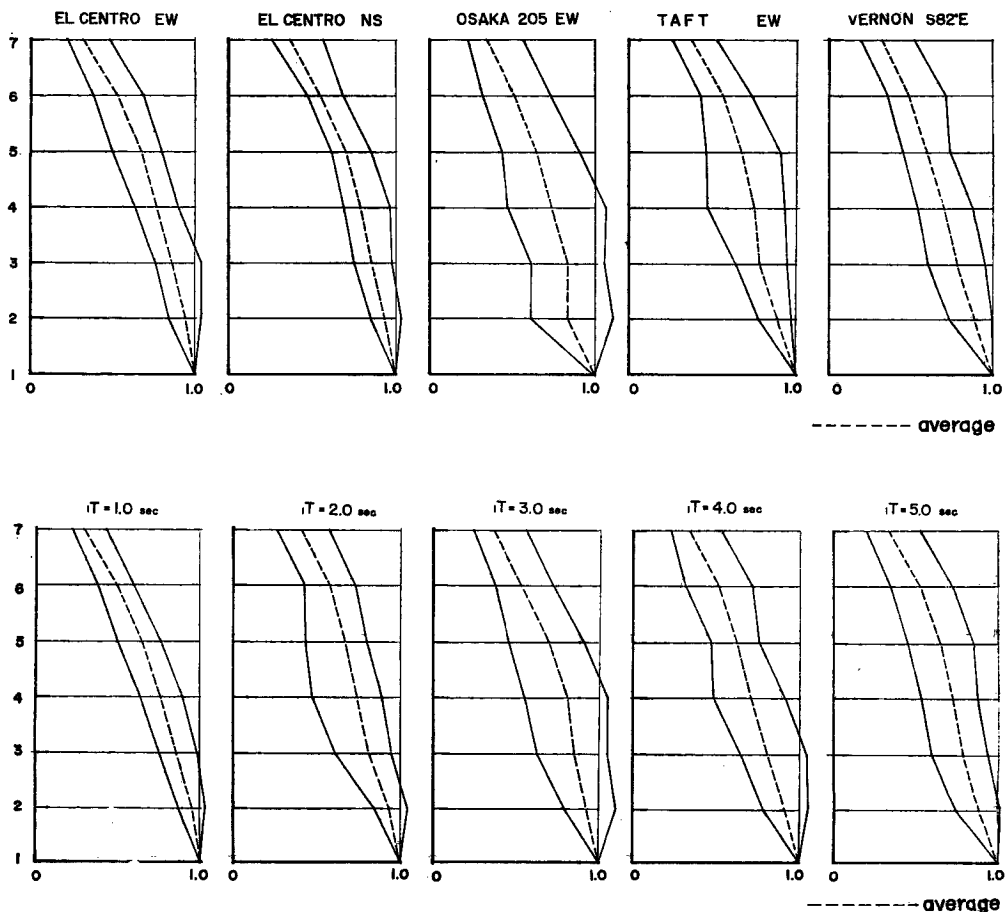


Fig. 6 Distribution of upper and lower bounds of shearing force for λ , ν and waveforms and for λ , ν and T .

布の1つである弾性限強度分布を剪断力応答の最大値分布と同じ分布を与えれば、靱性率応答は一様となることが期待出来る。前述のように剪断力応答の最大値分布は地震波形、構造物の基本一次周期を規定すれば構造物系モデルの剛性分布に比較的關係なく定まり、又設計対象の構造物系モデルの用途、規模、構造形式などから構造物の基本一次周期が予想されるなどのより多い information によりその応答剪断力の最大値分布のパラッキ巾を小さくし得るとしても、地震波外乱群の波形ならびに周波数特性の非予測性から広い耐震解析領域を対象として靱性率応答を一様化する弾性限強度分布を1つ定めた場合、やはり靱性率応答はかなりのパラッキ巾を考慮する必要がある。しかしながら靱性率応答と直接関係のある応答剪断力の最大値分布は広い耐震解析領域において比較的安定していることから、多少の応答偏差を伴った適正弾性限強度分布が定められ得ると考えられる。本研究においては対象とした領域で靱性率応答のパラッキ巾を最小にすると予想される剪断力応答の最大値分布群の平均値分布を適正弾性限強度分布と考える。

Figs. 7, 8 は32種のモデルの剪断力応答の平均最大値分布を各地震波形、各基本一次周期について示さ

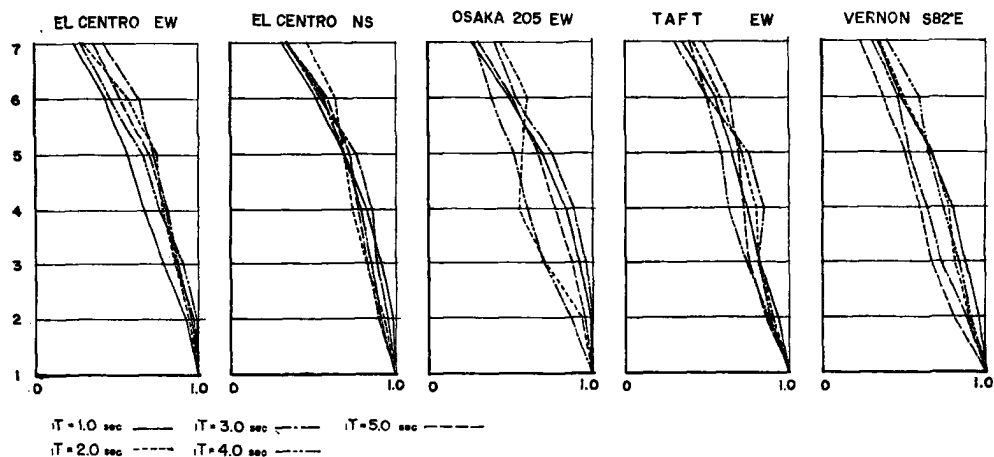


Fig. 7 Average distribution of shearing force for λ , ν and $1T$.

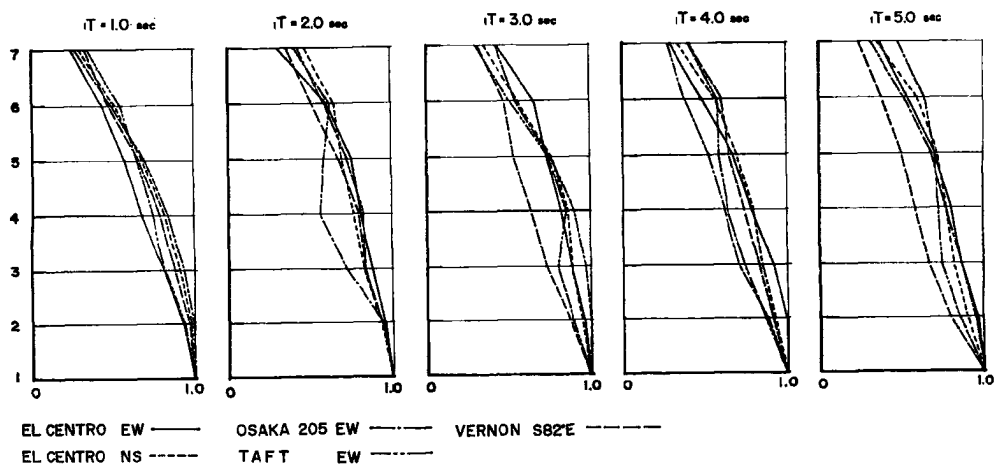


Fig. 8 Average distribution of shearing force for λ , ν and waveforms.

れている。Fig. 7 より剪断力応答の平均最大値分布は概括的に見れば同じ傾向を示すが、OSAKA 205 EW 成分、TAFT EW 成分、VERNON S 82°E 成分に見られる顕著なバラツキ巾は各スペクトル密度からも予想される一次振動形に対する高次振動型の効果の度合に起因するものと考えられる。又 Fig. 8 は Fig. 7 と同様の傾向が見られるが、特殊な場合を除き一般に長周期程バラツキが大きくなる傾向が見られる。

Fig. 9 は剛性パラメータ λ , ν , $\bar{K}$ で表わされる160の構造物モデル群の各地震波形についての剪断力応答の平均最大値分布とその平均分布が示されている。Fig. 9 より平均最大値分布は各地震波形についてあまり偏差が見られないところから、適正弾性限強度分布としてこの分布の平均値分布をもって適正分布を設定した。この場合、広範囲な地震外乱群、構造物系モデルの基本一次周期群を対象として、靱性率応答に比較的巾広い応答偏差を伴った適正弾性限強度分布が設定されたことになる。

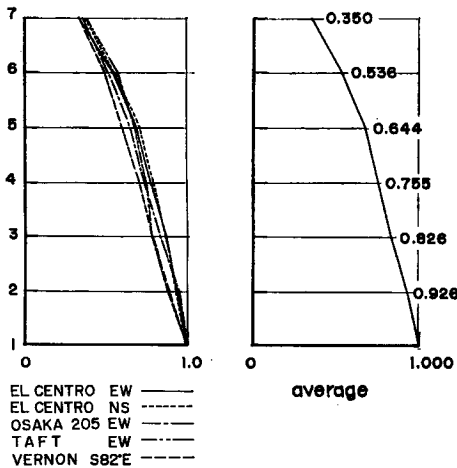


Fig. 9 Average distribution of shearing force.

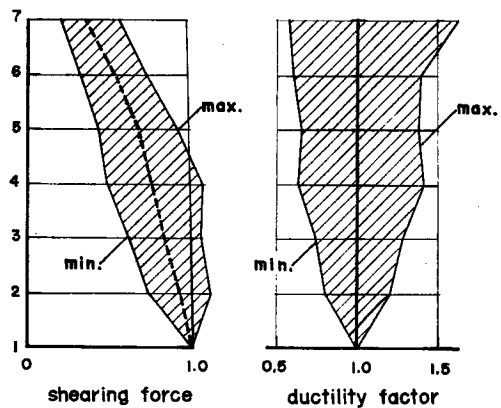


Fig. 10 Distribution of lower and upper bounds, optimum model

ここで定めた適正弾性限強度分布 $\{\beta_i\}_{opt}$ は $\{1.000, 0.926, 0.826, 0.755, 0.644, 0.536, 0.350\}$ となり、構造指数 λ , ν で表わすと $\lambda=0.65$, $\nu=1.5$ 程度となる。広い耐震解析領域を対象として靱性率応答のバラツキを最小にする適正弾性限強度分布が定められたが、更に弾性応答の重要な耐震安全性の尺度の1つと考えられる変位応答のバラツキ巾を同時に最小とする動力学特性分布が望まれる。これは適正弾性限強度分布をもつ構造物系モデルの弾性限変位分布 $\{\delta_i\}$ を $\{1\}$ にすることにより得られる。即ち $\{\beta_i\}_{opt} = \{\delta_i\}$ なる動力学特性分布をもつ構造物系モデルである。Fig. 10 はこの適正諸分布をもつ構造物系モデルの5種の地震波形、5種の基本一次周期に対する剪断力応答、靱性率応答の最大値分布の上下限を示す。Fig. 10 からわかるように、広範囲の耐震解析領域を対象として、1つの適正動力学特性分布を定めた場合、応答の一樣化、安定化にあるバラツキ巾を考慮して適正応答を考える必要があるが、この適正モデルの場合、最上層で60%、中間層で40%、下層で20%程度の偏差を考慮する必要がある。

通常の耐震設計においては、適正応答を示す動力学特性分布が設計を支配する1つの要素ではあるが、同時に経済性をも考慮して適正動力学特性分布を設定する必要がある。

5.3 規準応答量とその考察

ここでは地震波の最大加速度振巾 0.1 g に対する変位系列の規準量として変位応答の空間的平均値、剪断力系列の規準量としてベースシャ-係数応答を取扱う。

Fig. 11 は $1T=3.0(\text{sec})$, $1h=0.02$, $\lambda=0.6$ のモデル群の変位応答の平均値を、横軸に ν をとって示さ

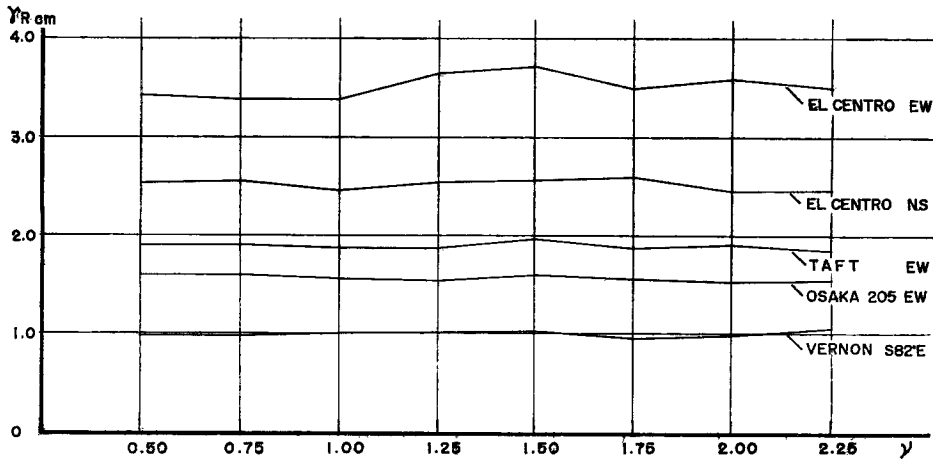


Fig. 11 Maximum displacement, model $\lambda=0.6$, $T=3.0$, EL CENTRO EW, $h=0.02$, $A=0.1$ g.

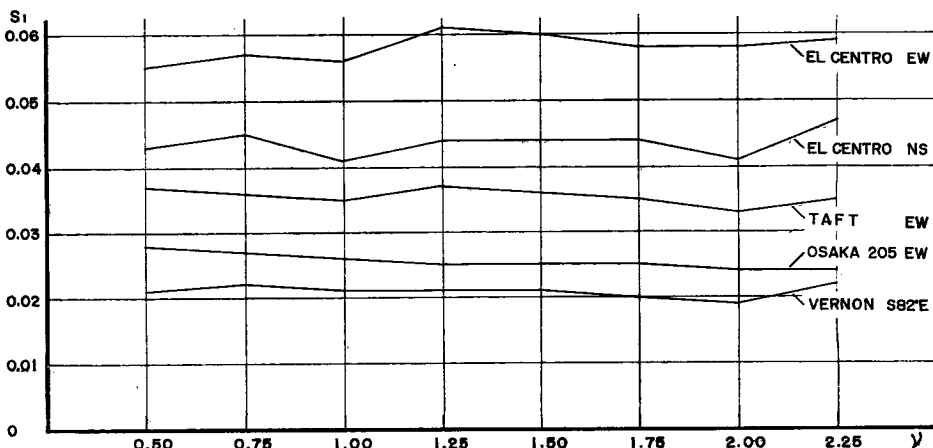


Fig. 12 Base shear coefficient, model $\lambda=0.6$, $T=3.0$, EL CENTRO EW, $h=0.02$, $A=0.1$ g.

れている。Fig. 4 より変位応答の最大、最小値の空間分布は ν によって顕著に変化することが判るが、平均値は Fig. 11 から判るように概ね一様で ν の影響をうけないと考えてよく、ただ縦軸は各地震波形によって異なった値を示す。Fig. 12 よりベースシャー係数応答についても同様の傾向が示される。Fig. 13 は λ による各応答の変動を見るために、各 ν についての平均応答が $T=3.0(\text{sec})$, $h=0.02$ のモデル群について、横軸に λ をとって示されている。Fig. 13 より、変位応答の平均値は λ の弱い関数となり、 λ の減少につれて、平均値も多少減少する傾向が見られるが、広い剛性分布の変動領域に対しては大略一様と考えられる。ベースシャー係数応答は特徴的な傾向は見られず、比較的狭い領域でランダムに変動するが、大略一様と見てよい。

以上の結果より、構造物系モデルの規準応答量は地震波形、構造物系モデルの基本一次周期ならびに減衰量に対応して、構造指数 λ , ν に比較的關係なく、狭い変動範囲で1つ定められる。

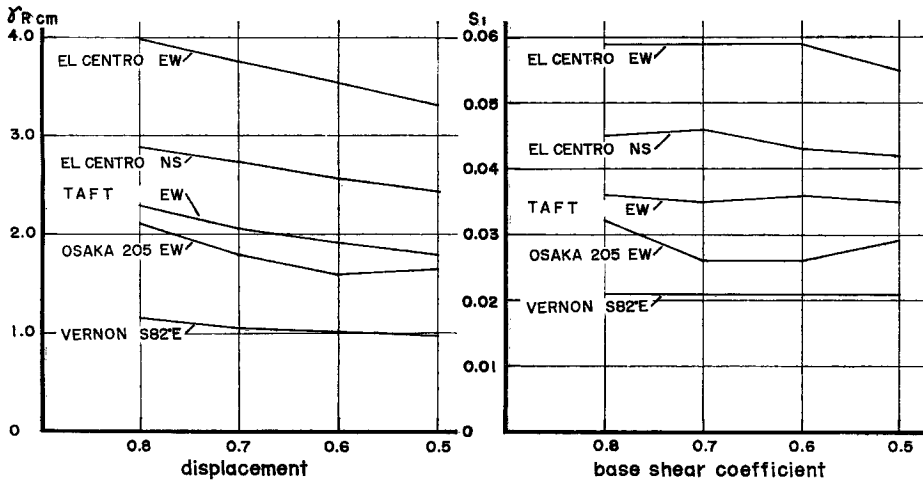


Fig. 13 Average maximum displacement and average base shear coefficient for ν , EL CENTRO EW, $A=0.1$ g, $T=3.0$ sec, $h=0.02$.

6. モーダルアナリシスによる地震応答解析

6.1 解析方法

弾性構造物系の地震応答解析は(6)式の連立方程式を解くことによって正確な応答が求められるが、応答の近似的計算に有用な手段としてモーダルアナリシス (root mean square 法) がある。

本研究ではアナログ計算機による応答解析を補う手段として、特殊な構造物系モデル、高次質点数の構造物系モデルの地震応答の定性的性質の把握と耐震設計の基礎資料の蓄積のためにモーダルアナリシスを用いる。

基礎方程式は(6)式で示されるが、一般座標で示せば

$$\ddot{Y}_t = \sum_j U_{tj} q_j \quad \dots\dots\dots (9)$$

として一般に

$$\ddot{q}_j + 2h_j \omega_j \dot{q}_j + \omega_j^2 q_j = -\beta_j \ddot{Y}_0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで j : 振動型の次数, q_j : 一般座標, h_j : j 次の減衰定数, ω_j : j 次の振動数, β_j : j 次の刺戟関数, $\ddot{Y}_0$: 地動加速度 ($= A \cdot A(T)$)

(10) 式の解は

$$Y_{tj} = U_{tj} \beta_j \frac{1}{\omega_j} \int_0^t \ddot{Y}_0 e^{-h_j \omega_j (\tau-t)} \sin \omega_j (\tau-t) d\tau \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで

$$S_{Dj}(\omega_j, h_j) = \frac{1}{\omega_j} \int_0^t \ddot{Y}_0 e^{-h_j \omega_j (\tau-t)} \sin \omega_j (\tau-t) d\tau \quad \dots\dots\dots (12)$$

とおくと、高次振動を含めて i 層の絶対変位の最大値は

$$y_{i,max} = \sum_j U_{tj} \beta_j S_{Dj}(\omega_j, h_j)_{max} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ここに $S_{Dj}(\omega_j, h_j)$ は一般に変位応答スペクトラムと呼ばれているもので、モーダルアナリシスでは $S_{Dj}(\omega_j, h_j)$ の最大値を用いる。 j 次振動型の各層の相対変位の最大値は

$$\hat{\gamma}_{Rtjmax} = |Y_{tj} - Y_{t-1j}| = |U_{tj} \beta_j - U_{t-1j} \beta_j| S_{Dj}(\omega_j, h_j)_{max} \quad \dots\dots\dots (14)$$

となる。構造物系モデルの変位応答は(11)式で示される各次の絶対変位の同時刻の sum より求めた相対

変位で、(14) 式の各次の相対変位の sum より得られる変位応答は実際の変位応答より大きい最大値を与えるから、通常は root mean square 法を用いて次式で変位応答が計算される。

$$\gamma_{Ri} = \sqrt{\sum_j (\hat{\gamma}_{Rij})^2_{max}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

本解析で振動型の次数 j は 3 を採用した。

6.2 アナログ計算機による応答量とモーダルアナリシスによる応答量の比較

モーダルアナリシスは各振動型の同時刻の sum でないこと、振動次数を 3 次で打ち切ったため、最大値分布の定量的な値には相当の差異が見られ、その差異の空間的分布も一様でない。

Table 14 は 4 種の地震波形、5 種の基本一次周期について、各モデルの平均変位応答の λ , ν に対しての平均値をアナログ計算機の結果との比として示されている。この結果から規準応答量については、地震波形、基本一次周期で多少のパラツキがあるが、両計算法による差は少なく、高々 15% 程度と考えてよい。ベースシャー係数応答についても同様なことが云い得る。このことより耐震設計資料の集収を目的とした規準応答量の計算にはモーダルアナリシスは充分実用性のある手段と考えられる。

Table 14 Ratio of average displacement by modal analysis to that by analogue computer.

Waveform	$1T=1.0$ sec	$1T=2.0$ sec	$1T=3.0$ sec	$1T=4.0$ sec	$1T=5.0$ sec
EL CENTRO EW	0.99	0.95	0.88	0.97	1.02
EL CENTRO NS	1.05	1.00	0.94	0.98	0.85
TAFT EW	0.95	0.89	0.95	0.87	0.91
VERNON S 82°E	1.09	0.93	0.87	0.87	0.90

6.3 高次質点系モデルの応答量

先に基本的な 7 質点系の構造物系モデルを設定し、その地震応答解析を通じて、その各応答量の傾向および適正動力学特性分布について論じてきた。ここでは質点数が増加することによる各応答量の変化ならびに適正動力学特性分布について考察する。ここで設定したモデルは $\lambda=0.6$, $\nu=1.00$, $n=7, 14, 21, 28, 35, 42$ の 6 種のモデルを対象とした。特に以下 $\lambda=0.6$, $\nu=1.00$, $n=7$ のモデルを標準モデルと呼ぶ。

Fig. 14 には 4 種の地震波形 (EL CENTRO EW, EL CENTRO NS, TAFT EW, VERNON S 82°E) と 5 種の基本一次周期について各モデルの変位応答の平均値が標準モデルの変位応答の平均値との比としてプロットされている。この図より判るように各ケースについてパラツキは極めて小さく、質点数 n (少なくとも $n \geq 7$) の変位応答の平均値は (16) 式で表わされると考えてよい。又ベースシャー係数応答はモデルの質点数に関係なく、地震波形、構造物周期を定めると一様な値を示す。

$$\gamma_{Rn}^m = \gamma_{R7}^m \times \frac{7}{n} \quad \dots\dots\dots (16)$$

Fig. 15 は 1 質点の変位応答と前述した適正剛性分布をもつ 7 質点系モデルの変位応答の平均値との比を各地震波形について示されている。この図より判るように両者の比は各周期でランダムで、高次振動の影響が顕著に見られる。このことは 1 質点の変位応答から高次質点系の変位応答の平均値の予想がかなり困難であることがわかる。しかしながらこの比が 0.2 より小さい値を示さないところから高次質点系の変位応答の平均値の最小値は (17) 式より予想し得る。

$$\gamma_{Rn, min}^m = \gamma_{R1} \times \frac{1.4}{n} \quad \dots\dots\dots (17)$$

質点数が増えるにしたがって先に適正弾性限強度分布あるいは適正剛性分布として示されている $\lambda=0.65$, $\nu=1.5$ 程度の構造指数 λ , ν は ν については殆んど変わらないが、 λ は質点数によって顕著に変化する。こ

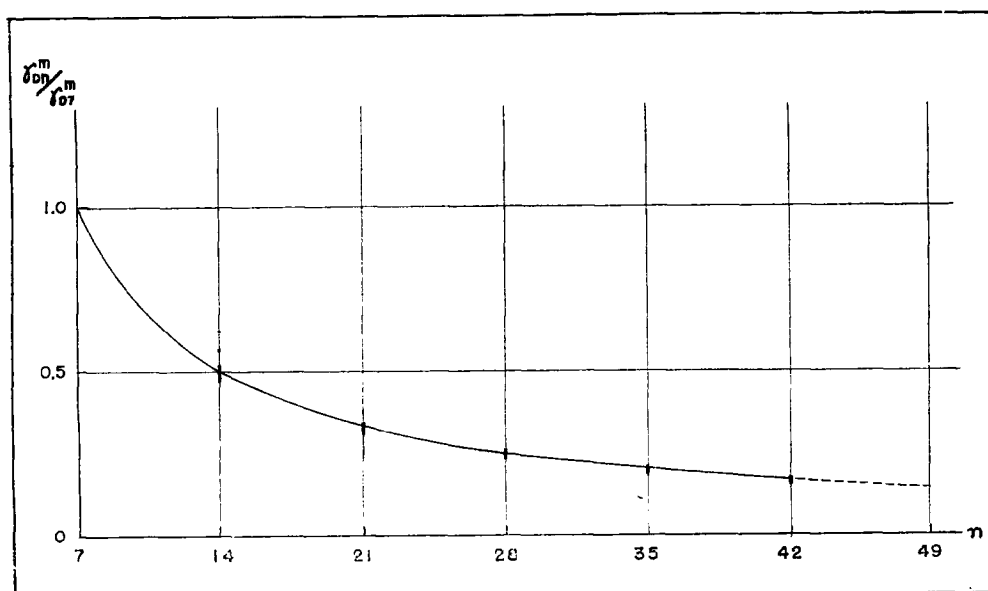


Fig. 14 Ratio of average displacement of multi-mass system to seven-mass system, model $\lambda=0.6$, $\nu=1.00$, $h=0.02$

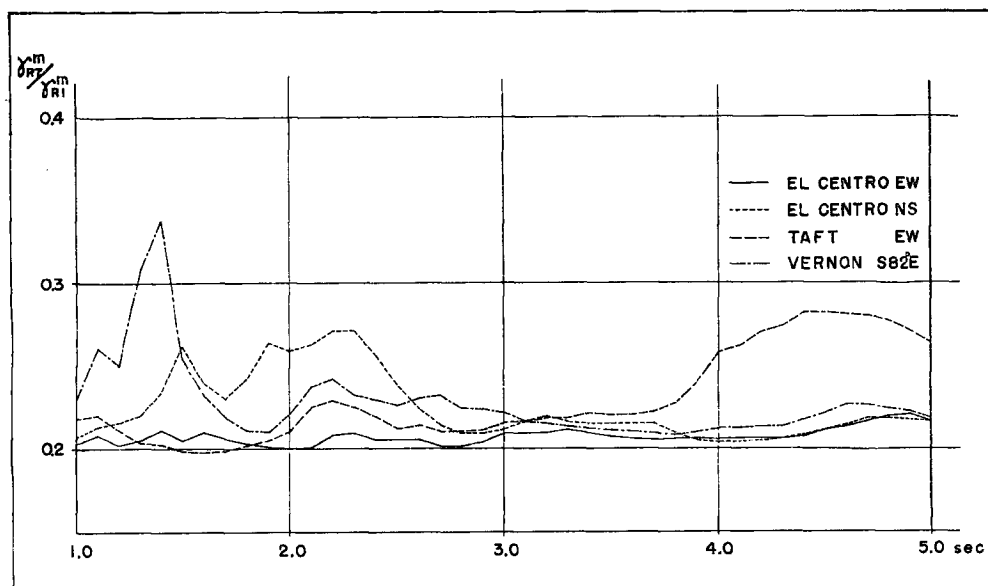


Fig. 15 Ratio between the displacement of one-mass system and average displacement of seven-mass system, model $\lambda=0.6$, $\nu=1.00$, $h=0.02$.

の λ の値は応答解析の結果から (18) 式によって大略予想される。

$$\lambda_{OPT,n} = 1 - (1 - \lambda_{OPT,7}) \times \frac{n}{7} \quad (18)$$

(ここに $\lambda_{OPT,7}$ は 7 質点系基本モデル群に対して設定された適正值で $\lambda_{OPT,7} = 0.65$ である)

6.4 質量分布の変動による応答量の影響

実際の構造物の質量分布は基本モデルに採用した質量分布 $\{m_i\} = \{1\}$ の場合は少なく、高さ方向に連続的に又不連続に変化している場合が多い。ここでは質量分布の変化による応答量への影響を見るために、モデルの剛性分布は $\lambda = 0.6$, $\nu = 1.00$, 質量分布は Table 15 に示す Mモデル群を設定した。

ここで M モデル群の各応答量は標準モデルの各応答量との比でもって検討する。Tables 16, 17 は規準応答量と考えられる変位応答の平均値比およびベースシャー係数応答比が各地震波形、各基本一次周期について示されている。Tables 16, 17 から判るように質量分布が変化してもその規準応答量は殆んど変らな

Table 15 Distribution of mass of M models.

Model		M I	M II	M III	M IV
m_i	7	1.00	1.00	1.00	0.80
	6	1.50	1.00	1.00	0.60
	5	1.00	1.00	1.00	0.60
	4	1.00	1.50	1.00	0.65
	3	1.00	1.00	1.00	0.70
	2	1.00	1.00	1.50	0.90
	1	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 16 Ratio of average displacement of M models to that of standard model.

Waveform	MODEL	$T=1.0 \text{ sec}$	$T=2.0 \text{ sec}$	$T=3.0 \text{ sec}$	$T=4.0 \text{ sec}$	$T=5.0 \text{ sec}$
EL CENTRO EW	M I	0.96	0.97	0.94	0.97	0.95
	M II	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99
	M III	1.02	1.03	1.03	1.02	1.03
	M IV	1.05	1.04	1.03	1.04	1.07
EL CENTRO NS	M I	0.94	0.93	1.05	0.98	0.97
	M II	1.00	0.98	1.00	1.01	1.01
	M III	1.02	1.10	1.02	1.03	1.02
	M IV	1.04	1.13	1.04	1.06	1.05
TAFT EW	M I	0.93	0.96	0.94	0.95	1.01
	M II	0.98	0.99	1.00	0.99	0.97
	M III	1.02	1.08	1.03	1.09	1.01
	M IV	1.03	1.10	1.06	1.18	1.05
VERNON S 82°E	M I	0.91	0.99	0.97	0.96	0.99
	M II	0.99	1.01	0.99	0.99	1.00
	M III	1.02	1.05	0.99	1.04	1.01
	M IV	1.05	1.08	1.03	1.09	1.02

Table 17 Ratio of base shear coefficient of M models to that of standard model.

Waveform	Model	${}_1T=1.0\text{sec}$	${}_1T=2.0\text{sec}$	${}_1T=3.0\text{sec}$	${}_1T=4.0\text{sec}$	${}_1T=5.0\text{sec}$
EL CENTRO EW	M I	0.99	1.00	0.98	1.00	0.97
	M II	1.01	1.02	1.00	1.00	1.00
	M III	1.00	0.99	1.00	0.97	1.00
	M IV	0.98	0.97	0.98	0.97	1.00
EL CENTRO NS	M I	0.98	0.98	1.07	1.00	1.00
	M II	1.00	0.98	1.00	1.03	1.07
	M III	1.00	1.07	1.00	1.00	1.00
	M IV	0.98	1.12	0.98	1.00	1.00
TAFT EW	M I	0.98	1.00	1.00	1.00	1.08
	M II	1.00	1.02	1.03	1.00	0.92
	M III	1.00	1.05	1.00	1.10	1.00
	M IV	1.00	1.05	1.00	1.15	1.00
VERNON S 82°E	M I	0.96	1.00	1.00	0.94	1.00
	M II	0.98	1.03	1.00	1.00	1.00
	M III	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
	M IV	1.01	1.03	1.00	1.00	1.00

いことがわかる。Tables 18, 19 は剪断力応答ならびに変位応答の最大値分布の標準モデルとの比を周群について平均して示されている。M I, M II, M III の典型的に質量変化したモデルの剪断力応答の最大値分布比は Table 18 から判るように顕著な傾向を示す。即ち質量分布が標準モデルより増加した層の下層においては最大値分布は大きくなり、上層ではこれとは逆に小さくなる傾向が見られる。Table 18 の傾向から標準モデルの剪断力応答の最大値分布を基にしてある補正係数でもって質量分布の変化に伴う最大値分布を予想し得る。この補正係数は (19) 式で示される。

$$\mu_i = \frac{n}{n+i-1} \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \dots\dots\dots (19)$$

この修正係数 μ_i でもって M IV モデルの剪断力応答の最大値分布を標準モデルの最大値分布から求めた一例として EL CENTRO EW, ${}_1T=3.0(\text{sec})$ の場合は {1.00, 0.88, 0.76, 0.66, 0.57, 0.47, 0.33} となり、M IV モデルの実際の剪断力応答の最大値分布 {1.00, 0.90, 0.78, 0.69, 0.59, 0.49, 0.34} と比べて大きな差のない所から、任意に質量分布が変化したモデルに対する剪断力応答の最大値分布は標準モデルの最大値分布と (19) 式から近似的に求められる。

以上のことより質量分布の異なる構造物系モデルの剪断力応答の最大値分布は補正係数 μ_i を中介として (20) 式が成立する。

$$\gamma_{Qi, M} = \mu_i \gamma_{Qi, S}, \quad \kappa_i \gamma_{Ri, M} = \mu_i \kappa_i \gamma_{Ri, S} \dots\dots\dots (20)$$

ここにサフィックス M , S は質量変化したモデルと標準モデルの各応答量を示す。

(20) 式より質量分布のみが変動した構造物系モデルの変位応答の最大値分布はやはり μ_i を中介として (21) 式で示される。

$$\gamma_{Ri, M} = \mu_i \gamma_{Ri, S} \dots\dots\dots (21)$$

Table 18 Average ratio of distribution of shearing force of M models to that of standard model.

Model		EL CENTRO EW	EL CENTRO NS	TAFT EW	VERNON S 82°E	average
M I	7	0.901	0.958	0.914	0.929	0.925
	6	1.088	1.098	1.061	1.080	1.081
	5	1.069	1.051	1.045	1.052	1.051
	4	1.035	1.016	1.019	1.039	1.029
	3	1.022	1.010	1.014	1.020	1.016
	2	1.010	1.006	1.010	1.010	1.009
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
M II	7	0.914	0.930	0.931	0.920	0.923
	6	0.923	0.914	0.940	0.930	0.927
	5	0.935	0.948	0.962	0.943	0.947
	4	1.028	1.040	1.049	1.040	1.040
	3	1.019	1.023	1.037	1.027	1.026
	2	1.007	1.004	1.010	1.008	1.007
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
M III	7	0.948	0.947	0.950	0.920	0.940
	6	0.965	0.974	0.978	0.969	0.971
	5	0.964	0.964	0.966	0.964	0.964
	4	0.958	0.955	0.956	0.956	0.956
	3	0.957	0.947	0.930	0.956	0.946
	2	1.002	1.002	1.002	1.007	1.003
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
M IV	7	1.126	1.099	1.090	1.084	1.100
	6	0.992	0.973	0.975	0.974	0.979
	5	0.936	0.925	0.915	0.922	0.925
	4	0.929	0.924	0.894	0.922	0.917
	3	0.933	0.919	0.887	0.932	0.918
	2	0.964	0.951	0.937	0.951	0.951
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

又 (21) 式は Table 19 より裏付けされている。

6.5 剛性の不連続分布による応答量への影響

5で構造指数 ν の変化、即ち剛性分布の連続的变化による各応答量の定量的性質について既に考察して来た。ここでは剛性の不連続分布が応答量に与える影響を見るために、質量分布 $\{m_i\}=\{1\}$ 、剛性分布は Table 20 に示す Kモデル群を設定した。

ここで Kモデル群の各応答量は 6.4 と同様標準モデルの各応答量との比でもって検討する。Tables 21, 22 は規準応答量と考えられる変位応答の平均値比 およびベースシャー係数応答比が各地震波形、各基本一次周期について示されている。Tables 21, 22 より判るように、その比が1近傍の値を示しており、剛性の不連続変化が規準応答量には殆んど影響を与えないことを示している。これらの結果より規準応答量は多少の剛性分布、質量分布の変化に関係なく、モデルの基本一次周期、減衰量および地震波形の関数として定

Table 19 Average ratio of distribution of maximum displacement of M models to that of standard model.

Model		EL CENTRO EW	EL CENTRO NS	TAFT EW	VERNON S 82°E	average
M I	7	0.89	0.97	0.91	0.93	0.93
	6	1.08	1.10	1.06	1.08	1.08
	5	1.06	1.06	1.05	1.06	1.06
	4	1.04	1.02	1.02	1.03	1.03
	3	1.02	1.01	1.02	1.02	1.02
	2	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
M II	7	0.91	0.93	0.91	0.92	0.92
	6	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93
	5	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94
	4	1.03	1.04	1.03	1.05	1.03
	3	1.01	1.03	1.02	1.02	1.02
	2	1.01	1.01	0.99	1.01	1.01
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
M III	7	0.95	0.94	0.95	0.92	0.94
	6	0.96	0.97	0.98	0.97	0.97
	5	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	4	0.96	0.95	0.94	0.96	0.95
	3	0.95	0.95	0.94	0.95	0.95
	2	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
M IV	7	1.12	1.09	1.07	1.08	1.09
	6	0.99	0.97	0.97	0.97	0.98
	5	0.94	0.93	0.92	0.93	0.93
	4	0.93	0.92	0.89	0.92	0.92
	3	0.93	0.92	0.89	0.92	0.92
	2	0.96	0.95	0.94	0.95	0.95
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 20 Distribution of stiffness of K models.

Model		K I _{1.5}	K II _{1.5}	K III _{1.5}	K II _{2.0}	K II _{2.5}
κ_4	7	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
	6	0.75	0.50	0.50	0.50	0.50
	5	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
	4	0.70	1.05	0.70	1.40	1.75
	3	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	2	0.90	0.90	1.35	0.90	0.90
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 21 Ratio of average displacement of K models to that of standard model.

Waveform	MODEL	$T=1.0$ sec	$T=2.0$ sec	$T=3.0$ sec	$T=4.0$ sec	$T=5.0$ sec
EL CENTRO EW	K I _{1.5}	0.98	0.99	0.97	0.98	0.96
	K II _{1.5}	1.01	1.08	1.01	1.00	1.01
	K III _{1.5}	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
EL CENTRO NS	K I _{1.5}	0.95	0.99	0.98	0.99	0.98
	K II _{1.5}	1.00	1.04	1.00	1.01	1.01
	K III _{1.5}	1.02	1.05	1.03	1.03	1.02
TAFT EW	K I _{1.5}	0.93	0.99	0.97	0.94	1.02
	K II _{1.5}	1.00	1.05	1.00	1.05	0.96
	K III _{1.5}	1.02	1.01	1.03	1.03	1.03
VERNON S 82°E	K I _{1.5}	0.89	0.99	0.99	0.97	0.99
	K II _{1.5}	0.98	1.01	1.00	1.02	0.99
	K III _{1.5}	1.02	1.05	1.01	1.02	1.02

Table 22 Ratio of base shear coefficient of K models to that of standard model.

Waveform	MODEL	$T=1.0$ sec	$T=2.0$ sec	$T=3.0$ sec	$T=4.0$ sec	$T=5.0$ sec
EL CENTRO EW	K I _{1.5}	1.00	1.01	1.00	1.00	0.97
	K II _{1.5}	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
	K III _{1.5}	0.99	0.99	1.00	0.97	1.00
EL CENTRO NS	K I _{1.5}	0.99	1.02	1.00	1.00	1.00
	K II _{1.5}	1.01	1.02	1.00	1.00	1.00
	K III _{1.5}	0.99	1.05	1.00	1.00	1.00
TAFT EW	K I _{1.5}	0.98	1.02	1.00	1.00	1.00
	K II _{1.5}	0.99	1.03	1.00	1.00	0.93
	K III _{1.5}	1.00	1.00	1.00	1.05	1.00
VERNON S 82°E	K I _{1.5}	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00
	K II _{1.5}	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00
	K III _{1.5}	1.01	1.03	1.00	0.94	1.00

まる。

Table 23 は剪断力応答の最大値分布比が示されている。**Table 23** から判るように剛性分布が不連続に変化しても剪断力応答の最大値分布は殆んど変らない。このことは前述の剪断力応答の最大値分布はモデルの剛性分布に比較的關係ない応答量であることを証している。

Table 24 は変位応答の最大値分布比が示されている。この比からも判るように変位応答の最大値分布は剛性分布が変化している層の近辺で、極論すれば剛性分布が変化した層のみが顕著な影響を受け他の層には殆んど影響しないことがわかる。次に剛性分布の変化の割合による変位応答の最大値分布の変化を定量的に見よう。**Table 25** は K II モデル(中間質点の剛性分布が変化したモデル) の変化率を標準モデルの 1.5,

Table 23 Average ratio of distribution of shearing force of K models to that of standard model.

Model		EL CENTRO EW	EL CENTRO NS	TAFT EW	VERNON S 82°E	average
K I _{1.5}	7	0.958	0.995	0.993	0.987	0.984
	6	0.955	1.030	0.969	0.962	0.980
	5	0.990	1.000	1.041	1.000	1.009
	4	1.002	1.000	1.051	1.006	1.014
	3	1.008	1.000	1.003	1.010	1.005
	2	1.002	1.000	0.994	1.003	1.000
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
K II _{1.5}	7	0.987	1.002	1.011	0.989	0.998
	6	0.991	1.000	1.010	0.990	0.998
	5	0.997	1.004	1.039	1.003	1.010
	4	0.990	0.987	0.991	0.995	0.992
	3	1.000	1.000	1.002	1.010	1.002
	2	1.000	1.002	1.001	1.002	1.000
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
K III _{1.5}	7	1.030	1.026	1.010	1.025	1.021
	6	1.011	1.001	0.995	1.001	1.000
	5	1.004	0.998	1.012	0.996	1.002
	4	1.002	0.994	0.983	0.994	0.995
	3	1.000	0.991	0.989	0.991	0.995
	2	0.992	0.985	0.984	0.986	0.988
	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Table 24 Average ratio of distribution of maximum displacement of K models to that of standard model.

Model		EL CENTRO EW	EL CENTRO NS	TAFT EW	VERNON S 82°E	average
K I _{1.5}	7	0.95	0.99	0.99	0.99	0.98
	6	0.64	0.64	0.65	0.64	0.64
	5	0.99	1.00	1.01	1.00	1.00
	4	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01
	3	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01
	2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
K II _{1.5}	7	0.99	1.00	1.01	0.99	1.00
	6	0.99	1.00	1.01	0.99	1.00
	5	0.99	1.01	1.01	1.01	1.01
	4	0.66	0.65	0.67	0.67	0.66
	3	0.99	1.01	1.01	1.00	1.00
	2	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
K III _{1.5}	7	1.00	1.02	1.01	1.02	1.01
	6	1.00	1.00	0.97	1.00	0.99
	5	0.98	1.00	0.98	0.99	0.99
	4	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
	3	0.97	0.99	0.98	0.99	0.98
	2	0.64	0.66	0.66	0.65	0.65
	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 25 Ratio of distribution of displacement and average displacement of MII-model to that of standard model, EL CENTRO EW, ${}_1T=3.0$ sec, ${}_1h=0.02$.

Model		K II _{1.5}	K II _{2.0}	K II _{2.5}
γ_{Rt}	7	1.03	1.05	1.03
	6	1.01	1.01	1.00
	5	0.97	0.96	0.95
	4	0.64	0.48	0.38
	3	0.99	1.01	1.01
	2	1.02	1.03	1.02
	1	1.00	1.00	1.00
γ_R^m		1.02	1.03	1.04

2.0, 2.5 倍にした場合の EL CENTRO EW, ${}_1T=3.0$ (sec) の変位応答の最大値分布比, 平均値比が示されている。

Table 25 から判るように, 変位応答の平均値比は各モデルで殆んど変わらないが, 最大値分布比は剛性分布の変化の割合と相関係が強い。即ち剛性分布が 1.5, 2.0, 2.5 倍になると, その層の変位応答比が剛性分布と反比例し, 近似的に $1/1.5$, $1/2.0$, $1/2.5$ 倍となるが上下層の若干の抑制効果により多少小さい比の応答を示すことが予想される。

7. 耐震設計資料として規準応答量

動力学特性の極端な分布が要求される構造物は別として, 通常設計される高層構造物については, 変位応答の平均値ならびにベースシャー係数応答の諸応答量は構造物系モデルの質量分布, 剛性分布と比較的独立

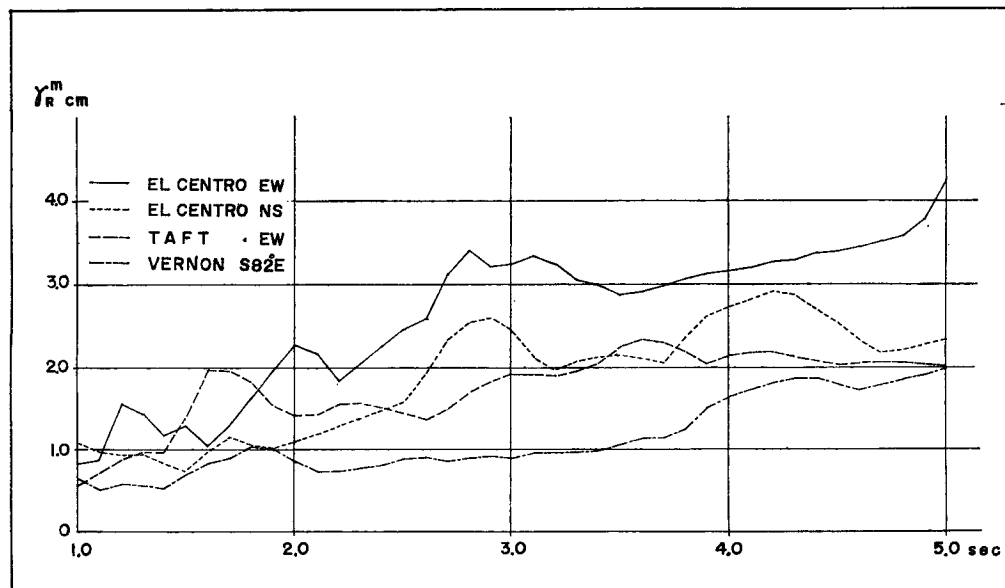


Fig. 16 Average displacement of seven-mass system, $A=0.1g$, ${}_1h=0.02$.

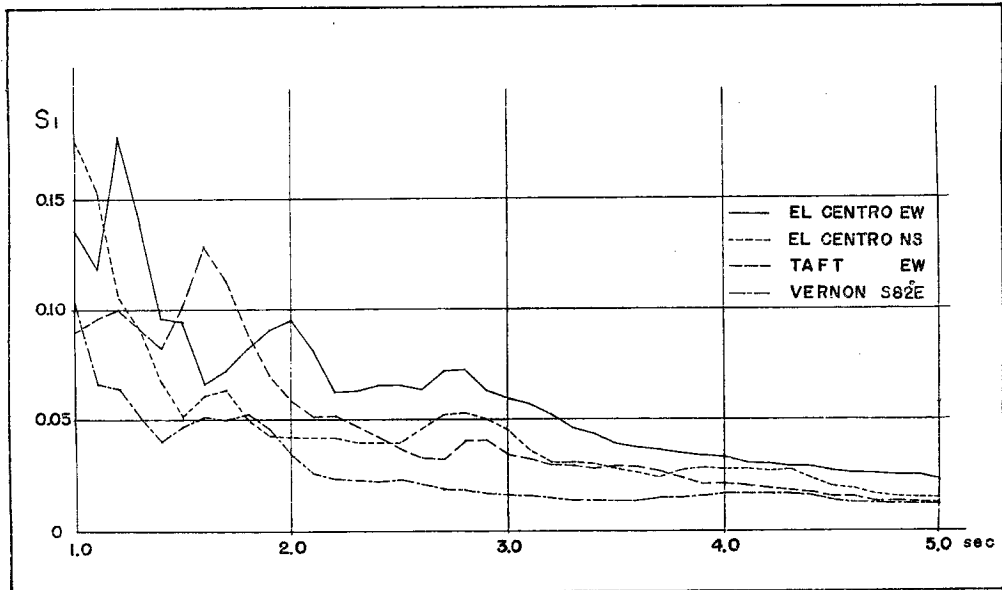


Fig. 17 Base shear coefficient of Seven mass system, $A=0.1g$, $\mu h=0.02$.

でモデルの基本一次周期，減衰量および地震波形の関数となることが示された。ここでは先に示した平均的な意味での適正動力学特性分布として $\{m_i\}=\{1\}$ ， $\{\kappa_i\}=\{1.000, 0.926, 0.826, 0.755, 0.644, 0.536, 0.350\}$ のモデルに対して耐震設計資料を集積する目的で，各地震波形について，多質点変位レスポンススペクトラに相当するものと，ベースシャー係数応答が計算されている。計算方法はモーダルアナリシスによっているが，アナログ計算機で計算された規準応答量とは Table 14 よりあまり差異のないこと，耐震設計資料の本来の目的からして，充分実用性のあるものと考えられる。Fig. 16 は各地震波形について $\mu h=0.02$ ，最大地震加速度振巾が $0.1g$ の場合に対して，横軸に 0.1sec 刻みで計算された $tT=1.0\text{sec}$ から $tT=5.0\text{sec}$ までの変位応答の平均値を縦軸にとっている。Fig. 17 は同様の領域での最下層の靱性率応答が 1 になるべき剪断力から算出されたベースシャー係数応答が縦軸に示されている。Figs. 16, 17 は規準応答量についての適正耐震設計資料が示されていると考えられる。

8. む す び

本研究は弾性許容応答設計法にもとづく適正耐震設計資料を整備する目的で，通常の耐震解析領域で予想される構造物系モデルを設定し，その弾性応答解析の応答量の検討を通じて，適正動力学特性を抽出した。この解析の範囲で得られた結果を要約すると

1. 変位応答の最大値分布は，構造物系モデルの剛性分布は勿論のこと地震波形，構造物系モデルの基本一次周期によっても顕著な影響をうける。
2. 地震波形，構造物の基本一次周期を規定した場合，構造物系モデルの靱性率応答の最大値を一様化する，あるいは任意の靱性率分布を賦与する適正弾性限強度分布を剛性分布とは比較的独立に設定することが出来る。更に変位応答の最大値分布を可及的に一様化する構造物系モデルの動力学特性分布は弾性限変位分布 $\{\delta_i\}$ を $\{1\}$ する分布として，1つ選らべる。
3. 通常の耐震解析領域において地震波形群，基本一次周期群を対象とした場合，靱性率応答の最大値分布を一様化する平均的な意味での適正動力学特性分布として1つの弾性限強度分布が選らべるが，この場合比

較的広い応答偏差を考慮する必要がある。

4. 構造物系モデルの変位応答の平均値は、構造指数 λ , ν , 多少の質量分布の変動, 剛性分布の不連続変動には比較的關係なく, 地震波形, 構造物の基本一次周期によって概ね一定値を示す。又多質点系モデル ($n \geq 7$) の変位応答の平均値は7質点系モデルの応答より近似的に予想することが出来る。

5. 構造物系モデルの規準応答量の1つと考えられるベースシャー係数応答は変位応答の平均値と同様に地震波形, 構造物の基本一次周期によって大略一定値を示す。又許容靱性率規準量および地震波の強度が与えられた場合, 適正なベースシャー係数が定めることが出来る。

6. 適正動力学特性分布としてここで与えられた弾性限強度分布は剛性分布の不連続変動によって殆んど変化しないが, 質量分布が変動する場合, 補正係数 μ_i を中介にして任意の質量分布の構造物系モデルに適用される。又質点数の増加による適正動力学特性分布の変動は殆んど λ のみに depend し, λ の適当な補正によって, ここに示された適正動力学特性分布が応用し得る。

7. アナログ計算機とモーダルアナリシスの異なった計算手法による応答量の差異は高次振動型の影響および各振動型の phase の差によって分布性状について相当の広きがあるが, 規準応答量に対しては高々10% 余りで, 適正な耐震設計資料を対象としては充分の実用性のあるものと考えられる。

今後は更に異なった構造物系を設定し, 特に適正動力学特性に与える減衰量の効果, 構造物の基本一次周期が予想される既知量としての地震波外乱群の狭域の周波数変動領域に対する適正動力学特性分布, 地震波外乱の速度強度に対する適正動力学規準量について検討して行くつもりである。

最後に本研究の応答解析および資料作製にあたって御協力戴いた京都大学小堀研究室の諸兄と株式会社竹中工務店電算センター, 開発研究部の諸兄に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 棚橋諒, 小堀鐸二, 南井良一郎: 構造物の動的耐震設計法と地震レスポンス, 京大防災研究所年報, 第5号B, 昭和37.3.
- 2) 小堀鐸二, 南井良一郎: 多層弾塑性構造物の地震レスポンス, 京大防災研究所年報, 第7号, 昭和39.3.
- 3) 小堀鐸二, 南井良一郎, 久徳敏治, 井上豊: ある種の弾塑性構造物の地震応答, 京大防災研究所年報, 第8号, 昭和40.3.
- 4) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上豊, 久徳隆大, 藤原悌三: 地震応答解析の一例, 日本建築学会近畿支部講演論文集, 昭和40.5.
- 5) Jennings, R.L. and Newmark, N.M.: Elastic Response of Multi-Story Shear Beam Type Structure Subjected to Strong Ground Motion, Proc. of the 2nd W.C.E.E., 1960
- 6) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上豊, 久徳敏治: 弾塑性多層構造物の地震応答解析と耐震設計資料の誘導, 京大防災研究所年報, 第9号, 昭和41.3.
- 7) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上豊, 久徳敏治: 建築構造物の地震応答の適正化について<その1>, <その2>, 第3回災害科学総合シンポジウム論文集, 1966. 10.
- 8) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上豊, 久徳敏治: 高層構造物の応答剪断力分布と適正動力学特性分布について, 日本建築学会論文報告集号外, 昭和42. 10.
- 9) 小堀鐸二, 南井良一郎, 井上豊, 久徳敏治: 高層建築構造物の動力学特性の適正化について, 第4回災害科学総合シンポジウム論文集, 1967.10.