

偏心を有する中低層建物の強震時応答性状

鈴木 哲夫 岡田 宏
武田 寿一

Inelastic Seismic Response Characteristics of Torsionally Unbalanced Medium- and Low-Rise Building Models

Tetsuo Suzuki Hiroshi Okada
Toshikazu Takeda

Abstract

It is important to know the inelastic earthquake response characteristics of buildings with eccentricity because damage concentrations during severe earthquakes are sometimes induced by eccentricity and result in degradation of aseismic capacity for such buildings. This report describes inelastic deformation characteristics of torsionally coupled buildings based on earthquake response analysis results, where single- and multi-story building models with eccentricity in one direction are used and earthquake motions are fed into one direction. From single-story response results, a simple method to evaluate the increment of the inelastic deformation caused by eccentricity is proposed, and the effectiveness of the proposed method is discussed through the response results of multi-story buildings.

概 要

偏心の存在は強震時損傷の部分的集中を招きやすく、建物の耐震性を低下させる一因となる。しかし、各種の要因から偏心を有する建物が多々存在するのが実状であり、この種の建物の地震応答性状を把握することは耐震設計上重要な課題の一つである。この報告は1軸偏心1層および多層せん断振動系モデルに1方向外力が作用した場合の弾塑性ねじれ応答解析結果を基に、偏心建物の塑性変形応答特性について考察した。1層モデルの結果から、偏心に起因する塑性変形の増大に関する推定式を提案すると共に、この推定式が多層モデルの応答予測にもほぼ有効であることを確認した。

1. 序

偏心を有する建物は地震時にねじれ振動が誘発され地震エネルギーの局部的集中を招きやすく、部分的な破壊ひいては全体的な破壊を早める一因となる。このことは過去の震害例からも指摘されており、この種の建物の損傷集中に対処して耐震性を確保することは構造設計上重要な課題の一つである。建築基準法耐震規定の改定に伴い、偏心を有する建物には保有水平耐力の割増しが義務づけられたが、耐力を高めることと耐震性向上との関係が必ずしも明確にされていない。最近では弾塑性応答解析を利用した研究が活発に行なわれるようになってきたが^{1)~3)}、弾塑性領域におけるねじれ応答特性は未だ十分に解明されておらず、耐震設計的な見地からの検討も不

充分な状況にある。

筆者らは剛性、耐力の高い連層耐震壁などが偏在する建物を主対象とし、これら建物の損傷分布の傾向および耐震性評価法について検討してきた⁴⁾。ところで、ねじれの要因は耐震要素の平面的不均一配置のみならず質量の偏心など多々存在するとともに、その応答性状は入力波によっても変化する。この報告は各種偏心パターンを有する1層および多層の1軸偏心建物モデルに実地震波を1方向入力させた弾塑性ねじれ応答解析結果から、靱性指向型の設計で重要となる強震時の塑性変形に着目し、偏心の大きさと損傷集中の程度、すなわち塑性変形の増大に関して検討したものである。

2. 解析方法の概要

2.1. 対象建物モデル

図一 (a)に示す剛な矩形平面床を有する1軸(x方向)偏心のせん断振動系モデルを対象とする。モデルは互に直交する2方向に任意の数の構面を有し、それら構面の剛性、耐力は構面ごとに独立に定義されるとし、かつその復元力特性は

Bi-Linear形 ($K_y = 0.02 \cdot K_E$; K_y, K_E : それぞれ塑性、弾性剛性) とする。層内の総剛性、総耐力は偏心の有無、大きさにかかわらず一定とし両方向で等しく、かつ層内の降伏変形

は全構面で同一(従って耐力は剛性に比例する)とする。応答解析は各層の重心に関する水平2方向変位と重心廻りの回転角とを考慮して行なう。減衰は瞬間剛性比例型とし弾性1次振動に対して5%与える。

2.2. 解析モデル

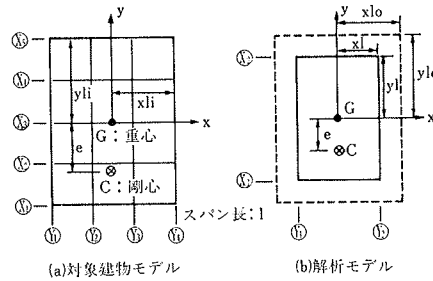
解析は多スパン対象建物モデルを図一 (b)に示す1スパン全4構面モデルに簡略化して行なう。層の総剛性、総耐力、偏心距離(e)、ねじれ剛性を対象建物モデルのそれらと等しくし、かつ重心から等距離で互に平行な位置に構面を設定する。この時x方向に関する2構面の剛性(それぞれ xk_1, xk_2 ; $xk_1 > xk_2$ とする)および構面~重心間距離 yl は次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} xk_1 &= 0.5 \Sigma K_x (1 + e/yl) \\ xk_2 &= 0.5 \Sigma K_x (1 - e/yl) \\ yl &= \sqrt{\Sigma K_{\theta x} / \Sigma K_x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

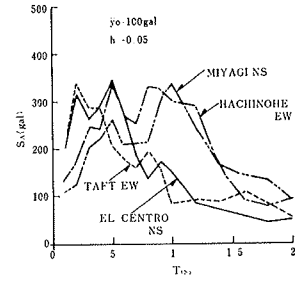
ここに、 ΣK_x : x方向総剛性

$\Sigma K_{\theta x}$: x方向構面群の重心廻りねじれ剛性
y方向に関しても同様である。また構面の耐力は剛性に比例することから求める。

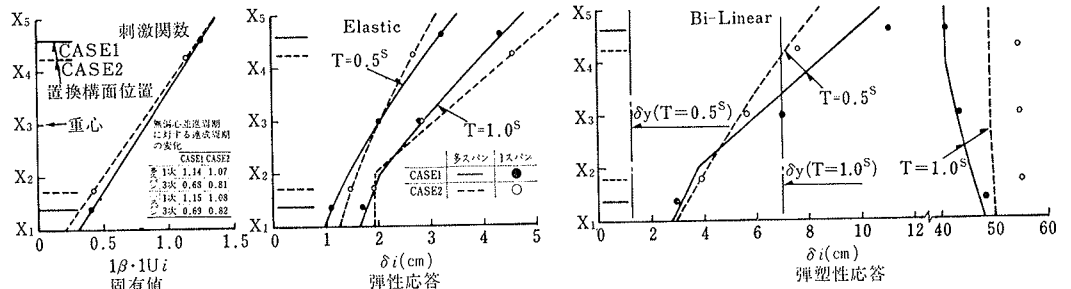
解析モデルの妥当性の検討を以下に行なう。検討モデルは1層とし、図一 (a)において X_1 (CASE1) または X_2 (CASE2) 構面の剛性、耐力が他の構面より高い偏心モデルとする。検討モデルおよび1スパンモデルに置換した結果を表一1に示す。図一2は両モデルの固有値、弾性および弾塑性応答変位分布の比較であり、同図中のTは無偏心並進弾性周期(並進弾性周期と称す)である。



図一1 対象建物モデル



図一3 入力地震波



図一2 多スパンモデルと1スパンモデルの比較

	CASE 1	CASE 2
多スパンの剛性比	$xK_1=4.0, xK_2 \sim xK_3=1.0$ $yK_1 \sim yK_4=2.0$	$xK_1=1.0, xK_2 \sim xK_3=1.0$ $xK_4=4.0, yK_1 \sim yK_4=2.0$
1スパン置換の結果	$xK_1=5.809, xK_2=2.181$ $yK_1=yK_2=4.0$ $y\ell=1.658\ell, x\ell=1.118\ell$	$xK_1=5.176, xK_2=2.824$ $yK_1=yK_2=4.0$ $y\ell=1.275\ell, x\ell=1.118\ell$

表一1 検討モデルの諸元

入力波	周期(sec) 層数	0.3 3	0.8 6	0.9 9
EL-Centro '40NS(EL)		374.	367.	563.
Taft '52EW (TA)		342.	620.	612.
Hachinohe '68EW (HA)		396.	389.	326.
Miyagi '78NS (MI)		489.	387.	289.

表一2 入力最大加速度 (gal)

応答解析は降伏震度を0.2, 入力地震波を EL-Centro 1940NSとして, T=0.5, 1.0secに対して行なった。入力最大加速度は大変形を強制させるため, T=0.5, 1.0 secでそれぞれ400, 1,150 galとした。同図から, 1スパン解析モデルの固有値, 応答変位は多スパンモデルの結果と良く一致しており, 1スパンモデルの妥当性が示された。

2.3. 入力地震波

地震波は, EL-Centro 1940NS, Taft 1952EW, 十勝沖地震(八戸港湾) 1968EW および宮城県沖地震(東北大学) 1978NSの4種類とし, それらの加速度スペクトルを図一3に示す。入力最大加速度は無偏心並進1次周期での弾性応答加速度が1.0Gになる大きさとし, 並進弾性周期および地震波に応じ表一2のように決定した。

3. 1層偏心モデルの応答性状

3.1. 偏心モデル

図一 (b)に示したような全4構面のモデルとする。モデルは6種類とし, 表一3に示すように構面位置比 $r(=xl/xl_0, yl/yl_0)$, 辺長比 $\lambda(=yl_0/xl_0, yl/xl)$ をパラメータとして変化させる。S11(O)は質量が偏在する(剛性偏心零)モデルで, 平面形状, 構面位置をK11(O)と同一とし, yl は構面~剛心間距離とする。

偏心量 $E(e/yl)$, 並進弾性周期 T および降伏耐力 Q_y をパラメータとして与える。偏心量は各モデルに対して $E=0.1, 0.3, 0.5$ の3種類とする。また, 各偏心量において $T=0.3, 0.6, 0.9 \text{ sec}$ の3種類を設定する。さらに, Q_y は無偏心並進モデルの塑性率

モデル名	λ	γ	対象パラメータ
K11(O)	1	1	基本モデル
K11(M)	1	$1/\sqrt{2}$	構面位置
K11(I)	1	1.2	構面位置
K10(O)	0.5	1	辺長比
K12(O)	2	1	辺長比
S11(O)	(1)	(1)	質量偏心

表-3 1層偏心モデル

(μ_o) で評価し, μ_o を2(平均で1.98), 4(平均で4.40) の2種類とし, 入力波および並進弾性周期ごとに μ_o の値に応じて Q_y を決定した。 Q_y と弾性応答せん断力 Q_E との比 Q_y/Q_E 値は $\mu_o=2, 4$ でそれぞれ0.40~0.75, 0.20~0.50である。

3.2. 偏心率と固有値

図-4 は偏心量と新耐震基準での偏心率 Re との関係である。 Re は辺長比 λ の大きい $K12(O)$ モデルが最も大きくなる。図-5 は偏心量と固有周期比 T_i/T (T_i : 連成周期) との関係および $E=0.5$ の時の1次モード刺激関数である。 T_i/T の値は各偏心モデルとも E の増加に伴い1次で増大し, 3次で減少する。 $K11(I)$ モデルは1, 3次, (M) モデルは3次の周期が他モデルより長周期となる。また, 刺激関数の図より, λ, γ の大きなモデル程, 柔 (X_2) 構面の刺激関数が大きくなる。

3.3. ねじれ応答モード

ねじれ応答性状を検討するため次の諸量を考える。

- ① 並進変位比: U/U_o
- ② ねじれ変位率:

$$I^*R/U$$

- ③ 最大変位比: U_{max}/U_o

ここに, U_o : 無偏心並進最大変位, U : 重心最大変位, R : 重心最大回転角, U_{max} : 平面形の最外端位置の最大変位, I : 回転半径

ところで, 図-6 は辺長比 $\lambda=1$ のモデルのねじれ応答モードを, (i) $U/U_o=1.0$, かつ, (ii) U と R の生起時刻が同一, の二つの仮定を設け示したものである。同図から最大変位比は, 次式となる。

$$U_{max}/U_o = 1 + (y_{lo}/I) * (I^*R/U) \quad \dots\dots\dots(2)$$

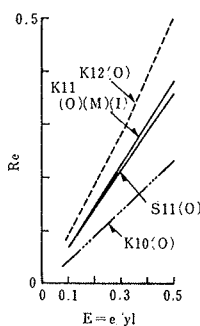


図-4 偏心率

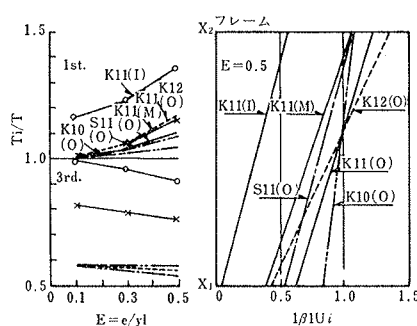


図-5 固有値

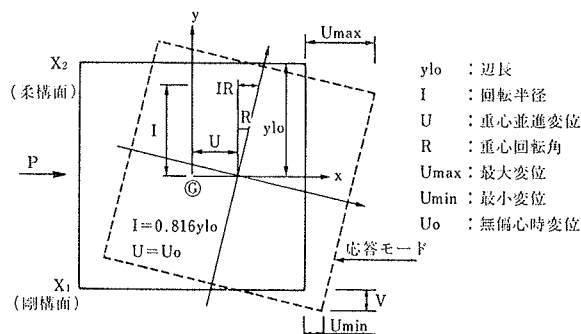


図-6 ねじれ応答モード

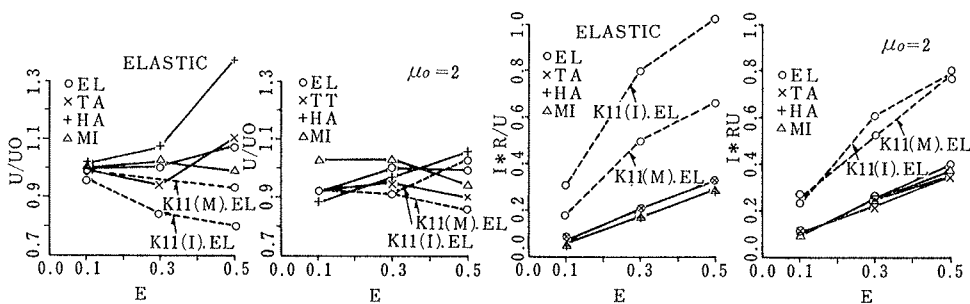


図-7 入力波の違いによるねじれ応答-K11(O)

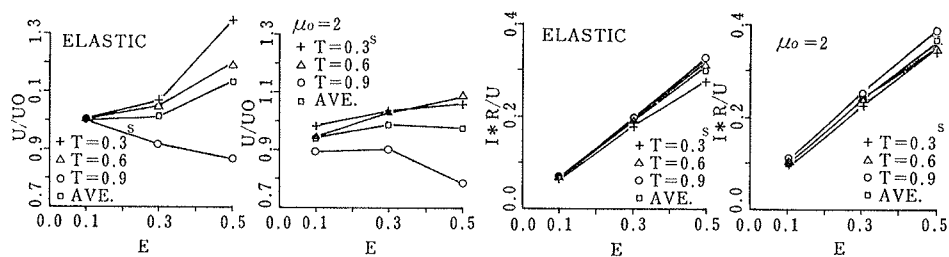


図-8 初期周期の違いによるねじれ応答-K11(O)

したがって, 偏心に起因する最大変位の増大に関しては上記二つの仮定の検討とねじれ変位率の推定が必要となる。なお, $y_{lo}/I = \sqrt{3/(1+1/\lambda^2)}$ であるから, 辺長比 λ の大きい程 y_{lo}/I も大きくなる。

3.4. 応答結果

3.4.1. 入力波と弾性周期の影響 モデル $K11(O)$ に4波が入力した場合の並進変位比およびねじれ変位率を図-7, 8に示す。図-7は地震波ごとに3個の並進弾性周期 T をもつ偏心モデルの平均値を, 図-8は並進

弾性周期ごとに4波の応答の平均値を示しており、図-8のAVEは3個のTおよび4波による計12個の応答の平均値である。両図より次の傾向がうかがえる。

①ねじれ変位率は弾性、弾塑性応答とも入力波およびTの違いによる差異が極めて小さい。②弾性時の並進変位比は入力波およびTの影響を受けやすく、特に短周期程大きくなるが、弾塑性時のそれは弾性時程両者の影響を受けず、ほぼ1.0とみなせる。なお、以下に述べる応答値はことわりの

ないかぎり、3個のTの地震波ごとのまたは4地震波入力時のTごとの平均値である。

3.4.2. 構面位置の影響 モデル K11 (M), (I) にEL-Centro 波が入力した時の応答平均値を図-7中に破線で示した。両モデルの応答はK11(O)に比べ、並進変位比はやや小さいが、ねじれ変位率は約2.5倍(特に弾性時のK11(O)では4倍)と大きな値を示す。一方、図-9にはEL-Centro 波入力に対するモデル K11(O), (M), (I) の最大変位比を示すが、3モデルの最大変位比の差は小さい。モデル K11(M), (I) では並進Uと回転Rの生起時刻に違いがあり、最大変位比を式(2)によって算定すると過大評価となる。偏心の影響を最大変位の増大として捉える観点からすると、構面位置の影響は比較的小さいといえよう。

3.4.3. 質量偏心と辺長比の影響 図-10は質量偏心および辺長比 λ を変化させたモデルの並進変位比、ねじれ変位率をEL-Centro入力時について示した。ねじれ変位率を示す図中、破線は横軸に偏心率 Re をとり再整理した結果である。モデル S11(O) の応答値は弾性、弾塑性ともモデル K11(O)と等しいかやや小さい。すなわち、質量偏心モデルのねじれ応答は同一偏心量 E を有する剛性偏心モデルのそれで評価されうる。

次に辺長比の異なる K10, K11, K12 モデルの応答を検討する。並進変位比は弾性、弾塑性とも3モデルの差異が比較的小さい。一方、弾性時のねじれ変位率は、偏心量 E の代わりに偏心率 Re を基に考察すると辺長比の影響を無視できるが、弾塑性時のそれは辺長比の影響を受けやすく、 λ の大きい程大きな値を示す。

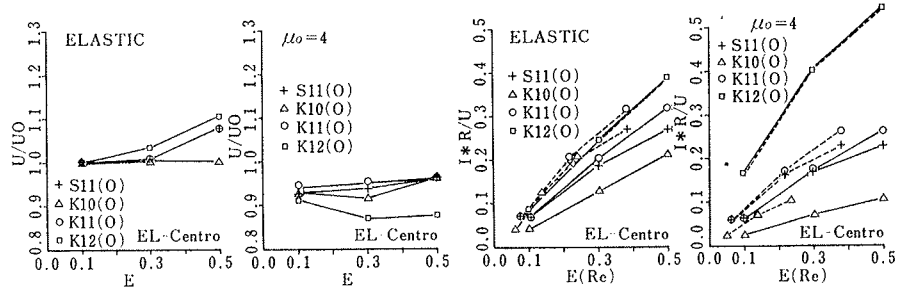


図-10 質量偏心モデルと辺長比が変化したモデルのねじれ応答

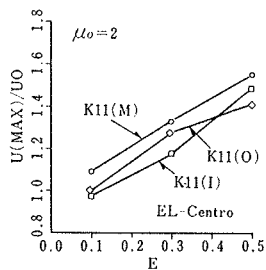


図-9 構面位置の違いによる最大変位比

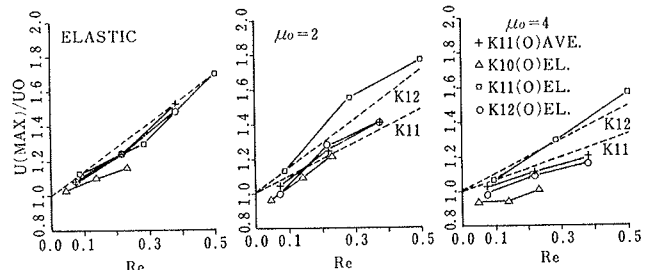


図-11 辺長比の変化に伴う最大変位比

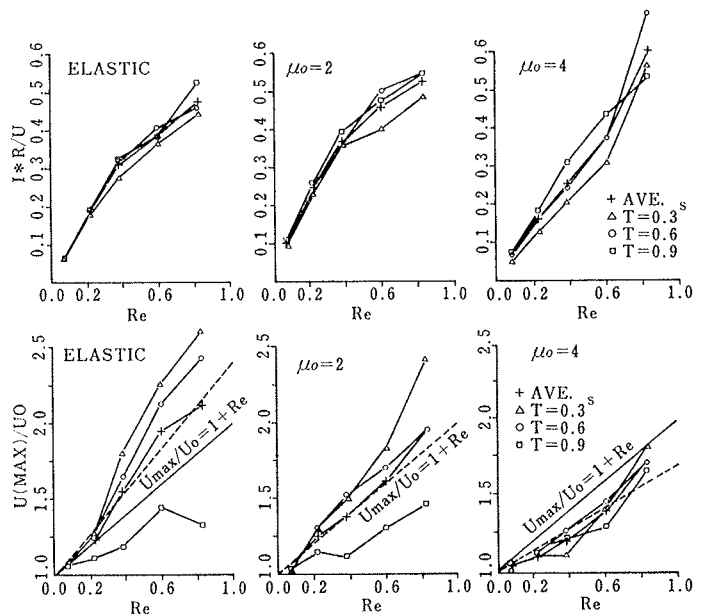


図-12 応答最大値 (K11(O)モデル)

図-11は辺長比の違いによる最大変位比を比較したものである。偏心率を指標とすることにより、弾性時の最大変位比は λ いかえれば y_0/I の影響をほぼ無視し得るが弾塑性時のそれは前述したねじれ変位率に起因して、 λ の大きな場合程大きくなっている。

3.5. 応答結果の検討

3.5.1. 最大変位 図-12は K11(O) モデルに4波が入力した時のねじれ変位率、最大変位比であり、 $E=0.7(Re=0.57)$, $E=0.9(Re=0.83)$ の結果も示している。同図のAVEは全平均値である。図-12より、ねじれ変位率は3.4.1.項と同様に弾性時と弾塑性時の値はほぼ等しく、特に $Re \leq 0.5$ の範囲では $I \cdot R/U \approx 0.8 Re$ で

近似される。一方、最大変位比は弾塑性時よりも弾性時の値の方が大きい。かつ、弾性時の最大変位比は並進弾性周期Tの影響を受け短周期程大きいが、弾塑性時のそれはTの違いによる差異が小さい。図-12に併記した $U_{max}/U_0=1+Re$ の実線は、 $I^*R/U \doteq 0.8 Re$ かつモデル 11(O) の y_{l_0}/I が 1.22であることを考慮し、式-(2)によって算定した結果である。式-(2)の結果に比べ弾性応答結果はやや大きく、弾塑性応答結果はほぼ等しいかやや小さくなるのは、3.4.1.項で述べた並進変位比 U/U_0 の応答の傾向に起因している。ここでは、図-12に示した全平均値の結果に基づき、偏心率と最大変位比との関係として式-(3)を提案する。式-(3)の結果は同図中、破線で示されている。

$$\left. \begin{aligned} U_{max}/U_0 &= 1 + Re \sqrt{2} && (\text{Elastic}) \\ U_{max}/U_0 &= 1 + Re && (\mu_0 \doteq 2) \\ U_{max}/U_0 &= 1 + Re \sqrt{1/2} && (\mu_0 \doteq 4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

次に、弾塑性領域における最大変位比に及ぼす辺長比 λ の影響について考察する。3.4.3.項で述べたように、弾塑性時には λ の増大に伴いねじれ変位率 $I \cdot R/U$ が増加する。この原因として柔構面の早期降伏が考えられる。構面が平面形外端に位置するモデル K11(O), K10(O), K12(O) などを用い、 λ をパラメータにして、偏心率と柔構面の1次モード刺激関数、 $1\beta \cdot 1U_2$ との関係を図-13(a)に示す。図-13(b)は $1\beta \cdot 1U_2 = 1 + \Delta$ と表現し、 $\lambda=1.0$ の時の値を基準として、 $\Delta/\Delta_{\lambda=1}$ と Re との関係を破線で示した。図-13(b)より、 $\lambda=0.5 \sim 4.0$ の範囲では、やや大胆ではあるが、同図中の実線のように Re 値にかかわらず次のように近似できよう。

$$\Delta_\lambda/\Delta_{\lambda=1} \doteq \sqrt{\lambda} \quad (\text{ただし、} \lambda \geq 2 \text{ の時 } \lambda=2) \dots(4)$$

ここで、辺長比による弾塑性領域での最大変位比の違いは $\Delta_\lambda = \Delta_{\lambda=1}$ に基づくと仮定し、式(3)の Re 項に(4)式の結果を乗すると次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} U_{max}/U_0 &= 1 + Re \sqrt{\lambda} && (\mu_0 \doteq 2) \\ U_{max}/U_0 &= 1 + Re \sqrt{\lambda/2} && (\mu_0 \doteq 4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

ただし、 $\lambda > 2$ の時は $\lambda=2$ とする

弾性時においては式(3)の結果を、また弾塑性時においては式(5)の結果を図-11中に破線で示した。推定結果は応答結果の傾向を概略捉えている。

3.5.2. 耐力の割増し 偏心の存在による構面塑性率 μ の増大をみかけ上の耐力低下と考え、 μ の増大を抑えるための耐力の割増しを求める。無偏心並進時の耐力および塑性率をそれぞれ、 Q_0, μ_0 、偏心時の最大塑性率を μ_{max}, μ_{max} の時の換算耐力を Q_R とし、弾性応答せん断力 Q_E は偏心の有無にかかわらず同一とする。

今、 $Q_0/Q_E = 1/\mu_0$ および $Q_R/Q_E = 1/\mu_{max}$ が成立すると考えれば、 $Q_0/Q_R = \mu_{max}/\mu_0$ となり、この値が μ_{max} を μ_0

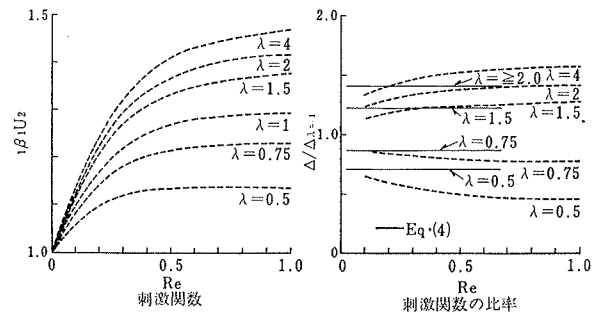


図-13 柔構面の1次モード刺激関数

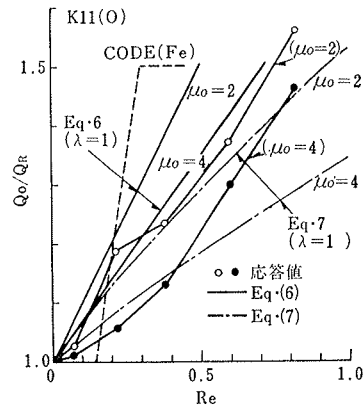


図-14 偏心率と耐力割増し率

と同等にするための耐力割増しとなる。全構面の降伏変形を同一とした時の最大変位比(式(5))を用いると、 Q_0/Q_R は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} Q_0/Q_R &= 1 + Re \sqrt{\lambda} && (\mu_0 \doteq 2) \\ Q_0/Q_R &= 1 + Re \sqrt{\lambda/2} && (\mu_0 \doteq 4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

同様に、 $Q_0/Q_E = 1/\sqrt{2\mu_0 - 1}$ 、 $Q_R/Q_E = 1/\sqrt{2\mu_{max} - 1}$ とすると、 $Q_0/Q_R = \sqrt{2\mu_{max} - 1}/\sqrt{2\mu_0 - 1}$ となる。式(5)および $\mu_0=2, 4$ を考慮すると、 Q_0/Q_R は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} Q_0/Q_R &= \sqrt{1 + 1.33Re \sqrt{\lambda}} && (\mu_0 \doteq 2) \\ Q_0/Q_R &= \sqrt{1 + 0.81Re \sqrt{\lambda}} && (\mu_0 \doteq 4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

図-14は式(6)、(7)による耐力の割増しと、応答結果とを比較したものである。応答値は3個の並進弾性周期を有するモデル K11(O) に4個の地震波が入力した場合の全平均値であり、 Q_R は、並進モデルの耐力を変化させた時の塑性率変化を3個のTおよび地震波ごとに予め求めておき、その結果と偏心モデルの μ_{max} とから算定している。同図をみると、 $Re \leq 0.5$ の範囲では応答値と式(7)の結果がほぼ一致している。また、 $Re > 0.5$ の応答値は式(6)と(7)の結果の中間的な値を示していることがわかる。なお、新耐震基準の耐力割増し率 Fe を同図中に破線で示したが、 Fe 値は応答値に比べやや大きい結果となっている。

4. 多層偏心モデルの応答性状

4.1. 偏心モデル

正方形平面 ($\lambda=1$) を有し、全4構面 ($\gamma=1$, 外端に位置する) よりなる多層偏心モデル (図-15(a)) の解析を行なう。解析モデルは偏心タイプを次の2 CASE とし、5種類のモデルとする。

- (1) 全層が一樣に偏心する場合 (EKA, EMA モデル)
- (2) ある1層のみ偏心する場合 (EKP, EMP, EKMP モデル)

ここで、EK, EM, EKM は基準軸 (平面中央) に対し、それぞれ剛心のみ、重心のみ、剛・重心ともずれる場合を表わし、A, P はそれぞれ全層偏心、部分偏心を表わす。

また、各モデルに対して、偏心量 E を 0.1, 0.3 および 0.5 の3種類とする。層剛性の分布は、層重量を一律 ($W=100t$) とし、無偏心並進1次の周期 $T_0=0.1N$ (N : 層数) で、かつ、モード形が逆三角形になるよう設定した。ここでは、3, 6, 9層モデルを扱うこととし、その剛性分布を図-15(b)に示す。耐力分布は並進時における層の塑性率がほぼ一樣になるとして定められた提案式による⁴⁾。6層の場合の降伏せん断力分布 $S(\xi_i)$ は次式となる。

$$S(\xi_i) = 0.3\xi_i^2 + 0.3\xi_i + 1.0 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\xi_i = \frac{\sum_{j=1}^i W_j}{\sum_{j=1}^N W_j}$$

なお、入力波および最大加速度は表-2に示したとおりである。層数の違いによる応答性状には顕著な差が認められなかったので、以下には6層の場合を中心に述べる。

4.2. 固有値

固有値計算結果のうち、1次振動の結果を図-16~18に示す。 T_1/T_0 は偏心モデルと並進モデルの1次周期の比、 I^*R/U は1層モデルで述べたと同様ねじれ変位率で、この場合の R, U はいずれも重心位置における上下層の層間回転量および変位である。

図-16は6層全層偏心モデルの場合で、剛心ずれと重心ずれによる周期、ねじれ変位率の差異は小さい。3, 9層も同様であり、値も6層とほぼ同一である。

図-17, 18はある1層にのみ偏心を有する6層モデルの場合で、 T_1/T_0 の値はEKPモデルの場合は下層に、EMPモデルの場合は上層に偏心がある程大きくなる。また、ねじれ変位率は次の傾向を有している。①EKPモデルでは偏心層の位置によらず偏心層のみで卓越する。②EMPモデルでは偏心層が上層にある程値が大きく、また下層に影響を与える。③EKMPモデルでは偏心層

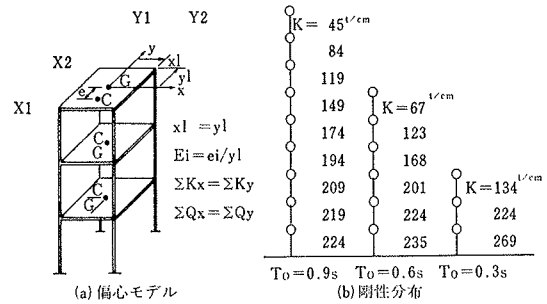


図-15 多層偏心モデル

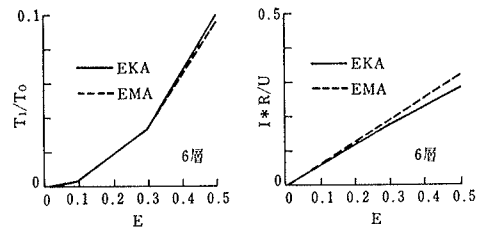


図-16 全層偏心モデルの固有値

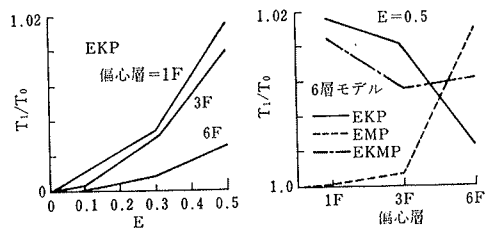


図-17 部分偏心モデルの1次周期

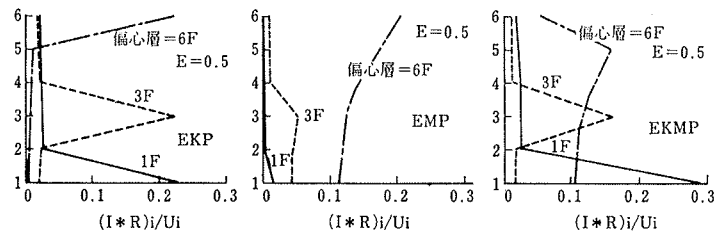


図-18 部分偏心モデルの1次モード

が下層にある時はEKPモデルと、また上層にある時はEMPモデルの性状とほぼ等しい。なお、ある1層のみ偏心を有する場合の T_1/T_0 値は低層モデル程大きくなっている。

4.3. 応答結果

弾塑性計算は降伏ベースシア係数 (D. S. と表示) が、0.3および0.5の2種類について行なった。この時、無偏心6層モデルの層の平均塑性率はそれぞれ約1.93, 3.83である。

4.3.1. 全層偏心モデル 図-19にEKAモデルのねじれ変位率および最大変位比の高さ方向分布の一例 ($E=0.3$ の場合) を示す。弾性応答では入力波によらず高さ方向分布がほぼ一樣であるが、弾塑性応答では入力波により差が生じ、特に最大変位比の分布でその傾向が著

しい。

図-20に、偏心率を横軸にして1層から6層までの層間応答の平均値を示す。ねじれ変位率の図中には図-16に示した1次モードの値を1点鎖線で示した。また、最大変位比の図中における破線は、弾性応答では式(3)の値を、弾塑性応答では式(5)の $\mu_0=2$ の値を示したものである。図をみるとねじれ変位率は弾塑性応答の方が弾性応答よりもやや大きい。一方、最大変位比は弾性応答の方が大きくなる傾向を有するが、両者の場合の最大変位比と偏心率との関係は、2, 3の点を除けば1層モデルの応答値に基づいた推定式により評価できよう。

以上から、全層にほぼ同一な偏心を有する建物のねじれ応答性状、特に最大変形の増大率の予測には、3.5.1.項の推定式が有効であるといえる。

なお、質量偏心モデル (EMA モデル) の最大変位比も EKA モデルのそれとほぼ同一であった。

4.3.2. ある1層のみ偏心するモデル

図-21は $E=0.5$ のモデルに、EL-Centro 波が入力した時の最大変位比の高さ方向分布で、偏心が1, 3, 6層のみにある場合について示している。同図をみると、弾性応答の最大変位比の分布は図-18に示した1次モードでのねじれ変位率の分布と類似している。すなわち、EKP モデルでは偏心層のみで U_{max}/U_0 が大きくなり、EMP モデルでは偏心層が上層にある時程 U_{max}/U_0 が大きく、下層にある時は小さい。また、EKMPモデルの U_{max}/U_0 は下層に偏心がある時はEKPモデルと、上層にある時はEMPモデルのそれとほぼ等しい。なお、同図中に記したPは、4.3.1.項で述べたのと同様の推定値で、偏心パターンおよび偏心位置にかかわらず U_{max}/U_0 の最大値は、3.5.1.項の推定式でほぼ推定できる。

4.3.3. ねじれ応答に及ぼす層数の影響 建物層数の違いによるねじれ応答性状の差を検討するため、弾性時のねじれ変位率分布を図-22に示す。同図はEKAモデルに4個の地震波が、また、EKMPモデルにEL-Cen-

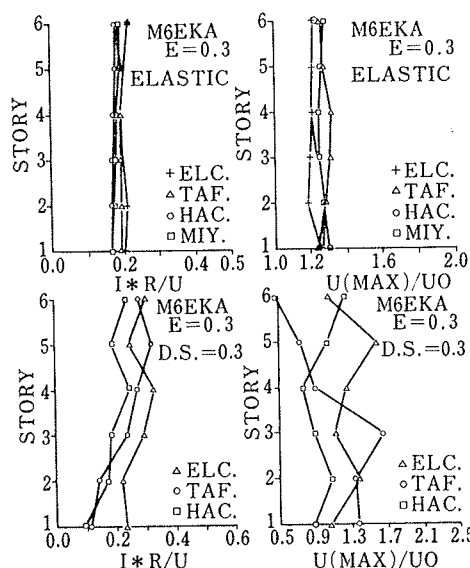


図-19 全層偏心モデル(EKA)の応答

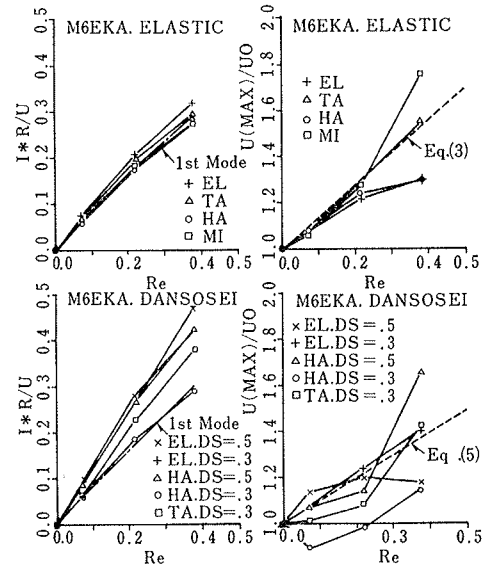


図-20 全層偏心モデル(EKA)の応答平均

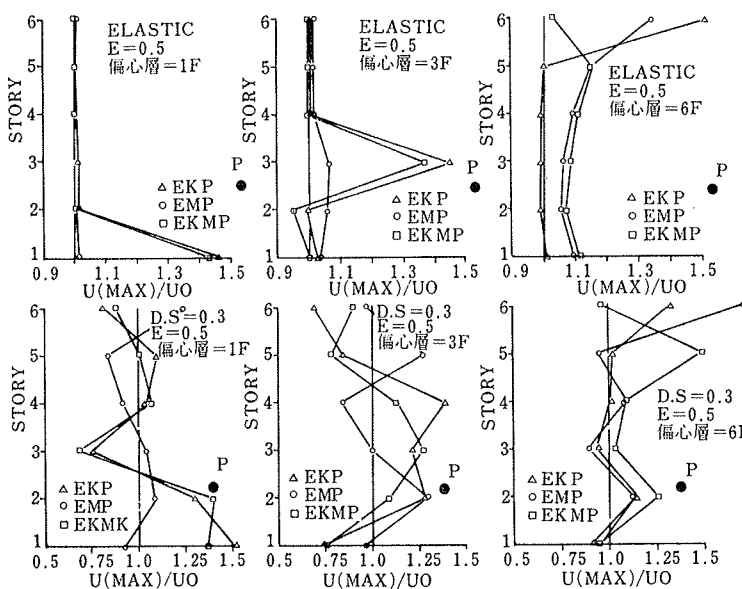


図-21 部分偏心モデルの応答 (EL-Centro 波入力)

tro 波が入力した場合の応答結果である。図-22から、全層偏心モデルのねじれ変位率は層数にかかわらずほぼ同一であり、この様な建物のねじれ応答では層数の影響が無視できると言えよう。また、ある1層のみ偏心を有するモデルのねじれ変位率は、最上層に偏心がある場合にみられる様に、低層の場合程大きくなる傾向がみうけられ、この種の建物では低層程ねじれの影響が大きいと言える。

5. まとめ

1スパン全4構面よりなる1軸偏心モデルに1方向から地震波が入力した場合の弾塑性ねじれ応答解析結果か

ら、偏心の大きさと塑性変形の増大との関係に関する基礎的な検討を行なった。得られた結果を以下に要約する。

(1) 偏心建物の最大変位 (U_{max}) は無偏心並進建物の応答変位 (U_0)、弾性時偏心率および建物形状を考慮することにより、式(5)でほぼ推定できる。また、塑性化が激しい程 U_{max}/U_0 の値は小さくなる傾向となる。

(2) 偏心建物の最大塑性変形を無偏心並進時の塑性変形と同程度に保つための耐力の割増し率は、偏心率が0.5以下であれば式(7)で算定できる。式(7)による耐力の割増し率は新耐震基準における保有水平耐力の割増し率よりもやや小さな値である。

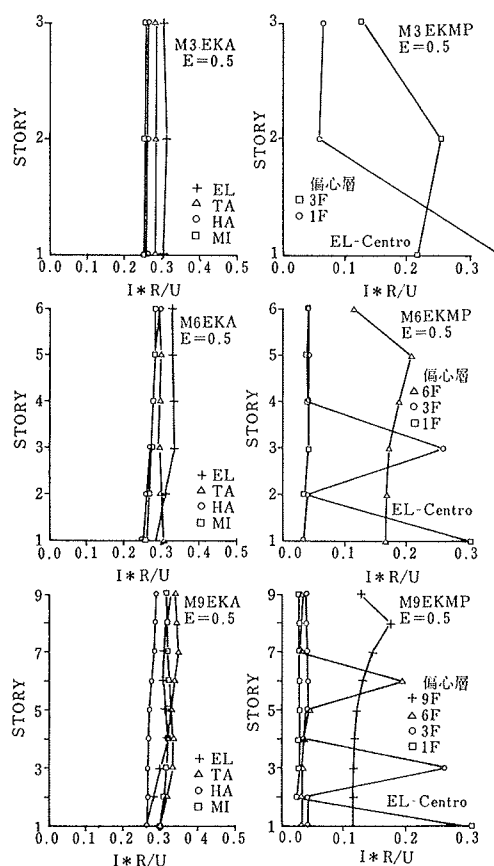
(3) 多層偏心建物の弾塑性ねじれ応答は複雑な性状を示すが、その概略は弾性応答でほぼ捉えられる。

(4) 全層一様偏心建物のねじれの影響（最大層間変形の増大）は、弾塑性領域にわたって、同量の偏心を有する1層偏心モデルの応答によってほぼ把握される。

(5) ある1層のみに偏心を有する建物のねじれの影響は剛心ずれ、重心ずれなどの偏心パターンによって異なる。剛心ずれの場合は偏心層の位置にかかわらず単に偏心層に影響を与える。一方、重心ずれの場合は偏心層が上層にある程大きな影響を与え、しかも下層にまで影響が及ぶ傾向がある。

参考文献

- 1) 山崎 裕：2方向強震動による偏心建造物の非線形応答，日本建築学会論文報告集，第310号，(昭和56.12)，pp. 61～69
- 2) 秋山，東：鋼構造多層骨組の捩れに対する F_e 値について，日本建築学会論文報告集，第339号，(昭和59.5)，pp. 57～64
- 3) 尾崎，曾田，安田，波川：1層偏心建造物の保有水平耐力と塑性変形に関する研究，日本建築学会論文報



図—22 層数の違いによるねじれ変位率の差 (弾性応答)

- 告集，第364号，(昭和61.6)，pp. 53～60
- 4) 益野，柴田，志賀：せん断型多質点系の保有水平耐力と損傷度の分布に関する考察，日本建築学会東北支部研究報告集，(昭和60.3)，pp. 291～294
- 5) 鈴木，武田：偏心のある建物の耐震性に関する研究，日本建築学会論文報告集，第354号，(昭和60.8)，pp. 23～31