日本建築学会大会学術講演梗概集
（関東） 2011 年 8 月

剛性と減衰に偏心のあるモデルにおける減衰定数と地震応答の特徴

正会員 ○半田 潤* 正会員 吉富信太**
正会員 辻 聖晃** 正会員 竹脇 出**

連結制振 複素固有値解析 平面配置
ねじり剛性 偏心

1．序

建物のねじれ応答に対する剛性偏心の影響を取り扱った研究は多いが，減衰の平面的な配置関係の影響に着目した研究は少ない．一方，ダンパー付き建物では，付加ダンパーによる減衰力の中心が偏心することで，建物の応答に影響を与えることが考えられる．

本論文の目的は，ダンパーの平面的な配置が建物の応答に与える影響を明らかにすることである．特に，ダンパーの偏心がある特定の条件を満たす場合に，建物の固有振動特性や地震応答に特異な性質が見られることを明らかにする．

2．解析モデル

本論文では，建物と剛壁がダンパーにより連結された 1 棟 2 自由度モデル(図 1)を用いて，付加ダンパーが偏在した建物をモデル化する．図 1 の右に示すモデルの質量，慣性モーメント，並進剛性，ねじり剛性を，それぞれ m, I, K, K_r で表す．また，平面配置および構造減衰を考慮せずに評価した減衰定数を h^0 とし，付加ダンパーのダンパー量を表すパラメターとする．h^0 は次式で評価される．

$$h^0 = c' / 2\sqrt{mK} \qquad (1)$$

図 2 に示すように平面配置を考慮することで現れるパラメターについて，重心からダンパーまでの距離を e，重心から剛心までの距離を e_k とする．また $\varepsilon = e/l_1$ をダンパー偏心比，$\varepsilon_k = e_k/l_1$ を剛性偏心比とする．

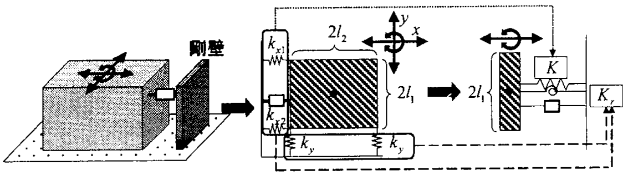


図 1　本解析における建物のモデル化

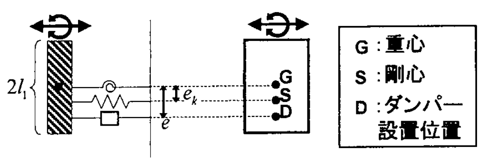


図 2　平面配置効果を表すパラメター

図 1 の中央に示すモデルの x 方向の剛性 k_{x1}，k_{x2} および y 方向の剛性 k_y と，図 1 の右に示すモデルの並進剛性 K，ねじり剛性 K_r の関係は以下のように書ける．

$$\bar{k}_x = (k_{x1}+k_{x2})/2,\ \ k_y = \alpha\times\bar{k}_x \qquad (2a,b)$$

$$K = 2\times\bar{k}_x,\ \ K_r = K\times(l_1^2+\alpha l_2^2) \qquad (2c,d)$$

ここで α は，x 方向剛性に対する y 方向剛性の比を表す．(2d)式に示すように，ねじり剛性は α の関数となる．

3．複素固有値解析による固有振動特性評価

図 1 に示すモデルの固有振動方程式は(3)式のように書ける．各ベクトル，マトリクスの中身を(4a-d)式に示す．

$$\lambda^2[M]\{u\}+\lambda[C]\{u\}+[K]\{u\}=\{0\} \qquad (3)$$

$$\{u\}=\{y\ \theta\}^T,\ [M]=diag(m\ I) \qquad (4a,b)$$

$$[C]=c\times\begin{bmatrix}1 & e\\ e & e^2\end{bmatrix},\ [K]=\begin{bmatrix}K & e_kK\\ e_kK & K_r\end{bmatrix} \qquad (4c,d)$$

減衰定数 h と固有円振動数 ω は，複素固有値 λ より計算する．

$$h=-\mathrm{Re}(\lambda/|\lambda|),\ \omega=|\lambda| \qquad (5a,b)$$

本モデルでは「並進が卓越するモード」と「回転が卓越するモード」の 2 種類のモードが存在する．ここでは，前者を 1 次モード，後者を 2 次モードと定義する．

以下の解析では α を変数として，上記の式より減衰定数及び固有振動数を求める．また構造減衰を考慮する場合には，剛性比例型減衰とする．

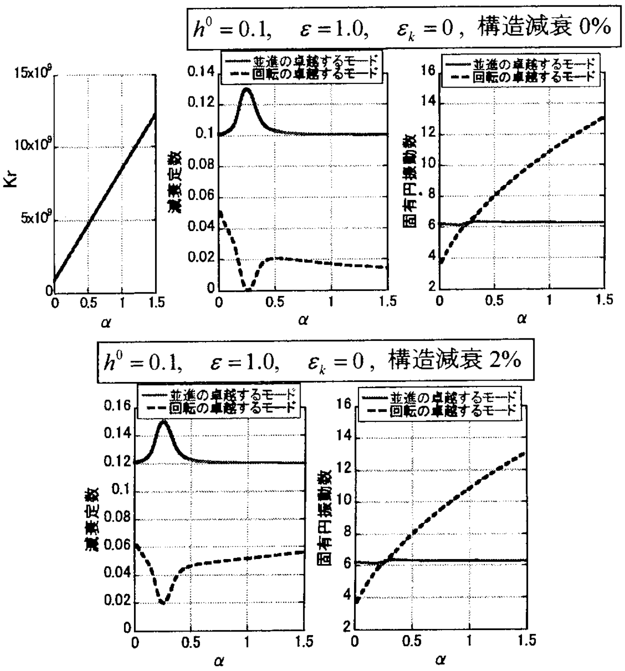


図 3　複素固有値解析による固有円振動数と減衰定数

Damping Ratio and Earthquake Response of Building with Damping Eccentricity by Additional Damper and with Stiffness Eccentricity

HANDA Jun, YOSHITOMI Shinta
TSUJI Masaaki, and TAKEWKI Izuru

解析結果の一例を図 3 に示す．ただし，$2l_1$=13m，$2l_2$=39m，質量は 1.0t/m^2 としたモデルである．この解析結果から，α の増加につれて回転卓越モードの固有円振動数は増加し，並進卓越の固有円振動数と交錯する点が存在することが分かる．この点を「モードの重複点」と称する．図 3 に示す解析結果では，α がおよそ 0.26 の点である．また，そのモードが交錯する点近傍で，回転卓越の減衰定数（付加ダンパーによるもの）が 0 となる特徴的な変化を示していることが分かる．

4．数式によるモードの重複点の考察

図 3 に示した減衰定数が 0 となる条件は，(3)式から得られる複素固有値のひとつが純虚数となることである．その条件は「(6a)式かつ(6b)式」となる．

$$\frac{K_r}{K} = \frac{me^2 e_k + I(e-e_k)}{me}, \quad e \ge e_k \qquad (6a,b)$$

剛心と重心にずれがない場合($e_k=0$)には，(6a)式は以下のように書ける．

$$K_r/I = K/m \qquad (7)$$

つまり，$e_k=0$ の場合には並進振動の固有周期と，回転振動の固有周期が等しくなると，回転卓越の減衰定数が 0 となる．(6a,b)式の条件を満足する場合には，複素固有値解析から得られる回転卓越モードの固有ベクトル $\{y\ \theta\}^T$ が $y=-e\theta$ という関係を持つ．これは，回転卓越モードによる振動では，付加ダンパーの位置に関係なく，ダンパー設置位置の変位が常に 0 となることを示している．これは，付加ダンパーによる減衰定数が 0 となる条件と物理的に同じことを表している．

5．時刻歴応答解析による検討

本節では，モードの重複が変位応答に与える影響を明らかにする．代表的なモデルとして α=0，α=0.26(モードの重複点)，α=1.0 の 3 例について，時刻歴応答解析結果を示す．代表応答量として，重心および建物の両端の変位を考え，重心からみたダンパー偏心方向の端点を A1，その反対を A2 とする．図 4(a)～(c)に構造減衰がないモデルの解析結果の一例を，図 4(d)～(f)に構造減衰が 2%のモデルの解析結果の一例を示す．

図 4 より，モードの重複点から十分に離れた点では，ねじり剛性の大きさに関わらず，ダンパーの偏心による影響はほとんど見られない．しかしながら，モードの重複点では顕著なねじれ応答が生じている．

図 5(a),(b)に，図 4 で時刻歴解析の結果を示したモデルについて，α を変数とし最大変位量を求めた結果を示す．この図より，モードの重複点付近ではねじれ応答の増大により，付加ダンパーの偏心方向とは逆方向の端点の変位が非常に大きくなることが分かる．一方，重心の最大変位は構造減衰の有無に関わらず α による影響はほとんど見られない．

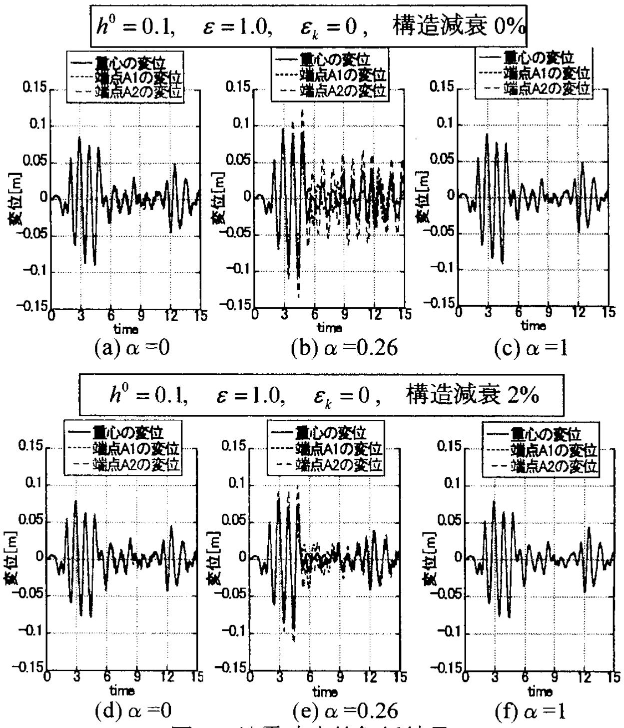
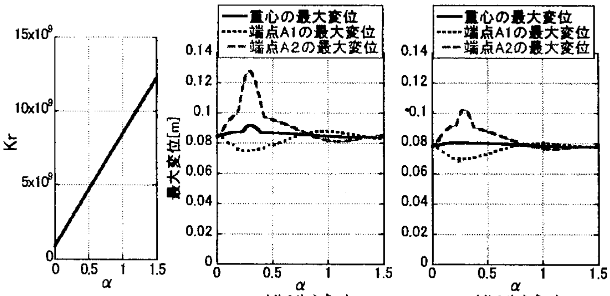


図 4　地震時応答解析結果



(a)構造減衰 0%　(b)構造減衰 2%

図 5　地震時最大変位応答（$h^0=0.1$, $\varepsilon=1.0$, $\varepsilon_k=0$）

6．結論

並進とねじれが生じる付加ダンパー付き 1 層せん断構造物モデルについて，以下のことを明らかにした．

(1)並進剛性とねじり剛性の関係がある条件を満たすと，ダンパーの付加位置に関わらず，付加減衰定数が 0 となる．その点では並進卓越モードと回転卓越モードの固有値が重複する．

(2)剛性による偏心がない場合には，モードの重複点から離れた点では，ねじり剛性の大きさに関わらずダンパーの偏心がねじれ応答に与える影響は非常に小さい．一方，重複点近傍では，ダンパーの偏心により顕著なねじれ応答の増大が見られる．

参考文献

1)篠山満，安井譲，背戸一登：連結制振の基本モデルにおける連結バネとダンパーの最適解の誘導，日本建築学会構造系論文集，第 529 号，pp.97-104，2000.3

*京都大学大学院生
**京都大学大学院

*Graduate Student, Kyoto University
** Graduate School, Kyoto University