B-43

偏心建築物に対するダイナミック・マスを用いた応答制御手法の確立
２自由度を持つ１層モデルにおける応答制御手法の確立
Establishment of the response control method using D.M. to the building which has eccentricity
Establishment of the response control method for one layer model which has two degree of freedom.

○土田尭章 [3], 古橋剛 [2], 石丸辰治 [1], 弓削貴史 [3]
Takaaki Tsuchida[3] , Takeshi Furuhashi[2] ,Shinji Ishimaru[1],Takafumi Yuge[3]

This research proposes the method of controlling the twist response of the building that has eccentricity by using Dynamic Mass. Moreover, the formula which calculates the quantity of suitable Dynamic Mass was derived.

１．はじめに

建築物は，設計計画上，建物の質量や剛性に偏りが生じる場合がある．このような偏心建築物は，地震時に建物全体がねじれるような挙動（ねじれ応答）を示す可能性がある．ねじれ応答が発生した場合，建物は予期せぬ損傷を受ける恐れがあり，最悪の場合，崩壊に至る危険性もある．

現在の設計法では，偏心率に応じて必要保有水平耐力の割増しを行い，偏心建築物の安全性の確保を行っている．しかし，これは静的な設計法であり，動的な挙動に対する考慮が十分であるかは不明確である．

既往の研究において，ねじれ応答の制御手法を提案しているものがあるが，いずれもオイルダンパー等を設置するなどして応答値を低減させたものが多く(1)，ねじれ応答を起こさせない制御方法を提案しているものはない．

そこで，本研究の目的は，ダイナミック・マス(以下 D.M.)という制震装置を用いてねじれ応答を制御することである．D.M.には振動方程式における質量項を調整し刺激関数を 0 にすることが出来るという利点が有り(2)，先に述べた目的を達成できると考えた為である．

本論では，2 自由度を持つ偏心した 1 層モデルに対して，D.M.を用いたねじれ応答の制御が可能であるか検討する．

２．検討モデル概要

本論では，偏心建築物を Figure-1 に示すようにモデル化し，質点を結ぶ梁材は剛体と仮定したものを用いる．各質点の固有周期の短い方を A 通り，長い方を B 通りとする．剛梁に対して垂直方向に外力を加えると，2 つの質点の重心 G の水平移動と，重心 G を中心とした回転運動が生じるようなモデルである．このモデルに D.M.を付加するが，取付け方法は直付けとし，A 通りに付加するものとする．

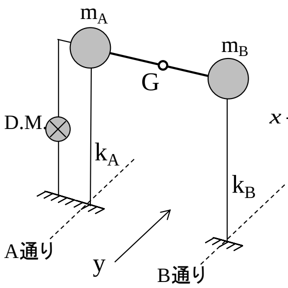

Figure-1 Frame model

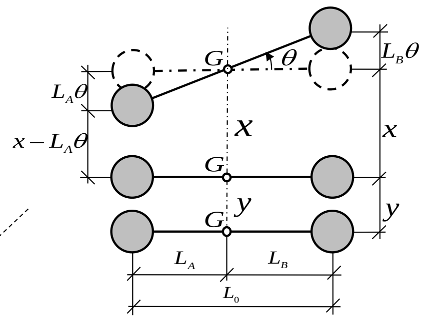

Figure-2 Amount of displacement

３．振動方程式の誘導

先に示した検討モデルの振動方程式を誘導する．入力はモデルに垂直方向のみの 1 方向入力とする．各質点の変位量は Figure-2 に示す．各質点の回転による変位量は，質点ごとの重心までの距離 L_A，L_B を用いて表すことができる．

$$L_B\theta = \frac{(m_A + m')\times L_0}{m_A + m_B + m'}\times\theta \qquad L_A\theta = \frac{m_B \times L_0}{m_A + m_B + m'}\times\theta \tag{1}$$

これより振動方程式は次のようになる．尚，変位ベクトルの x は並進を，θ は重心を中心とした回転量 θ を表す．また，外力の η は D.M.の入力低減効果を表している．

$$M\begin{Bmatrix}\ddot{x}\\ \ddot{\theta}\end{Bmatrix} + K\begin{Bmatrix}x\\ \theta\end{Bmatrix} = -M\eta\ddot{y} \tag{2}$$

$$M = \begin{bmatrix}(m_A + m') + m_B & -(m_A + m')L_A + m_B L_B\\ -(m_A + m')L_A + m_B L_B & (m_A + m')L_A{}^2 + m_B L_B{}^2\end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix}(m_A + m') + m_B & 0\\ 0 & (m_A + m')L_A{}^2 + m_B L_B{}^2\end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix}k_A + k_B & -k_A L_A + k_B L_B\\ -k_A L_A + k_B L_B & k_A L_A{}^2 + k_B L_B{}^2\end{bmatrix}$$

$$\eta = \begin{bmatrix}(m_A + m') + m_B & 0\\ 0 & (m_A + m')L_A{}^2 + m_B L_B{}^2\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}m_A + m_B\\ -m_A L_A + m_B L_B\end{bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix}\dfrac{m_A + m_B}{(m_A + m') + m_B}\\ \dfrac{-m_A L_A + m_B L_B}{(m_A + m')L_A{}^2 + m_B L_B{}^2}\end{Bmatrix} \qquad M\eta = \begin{bmatrix}m_A + m_B\\ -m_A L_A + m_B L_B\end{bmatrix}$$

1. 株式会社 i2S2　　2.日大理工・教員・建築　　3.日大理工・学部・建築

４．ねじれ応答制御

本論では，各通りの質量と剛性が偏心している場合のモデルを対象に手法を解説する．対象モデルは Figure-1 に示す 1 層のモデルである．剛梁の長さ L_0 は 5m であり，モデルの諸元を Table-3 に示す．質量と剛性は A 通りの固有周期が 0.60s，B 通りの固有周期が 0.80s となるように設定し，部材減衰は考慮していない．A 通りの質点を原点とすると重心位置は 3.00m，剛心位置は 2.28m となる．また，D.M.を付加する前の刺激関数を Table-4 に示す．

Table-3　Model parameter

	A通り	B通り
質量[ton]	10	15
剛性[kN/m]	1100	925
固有周期[s]	0.60	0.80

Table-4　Modal participation function（D.M. 0ton）

		1次（ねじれ卓越）	2次（併進卓越）
固有周期[s]		1.01	0.67
刺激関数	併進成分 x	0.135	0.865
	ねじれ成分 $L_0\theta$	0.494	−0.494

このモデルに対し D.M.を付加していき，刺激関数の傾向を調べると下の図の様になる．

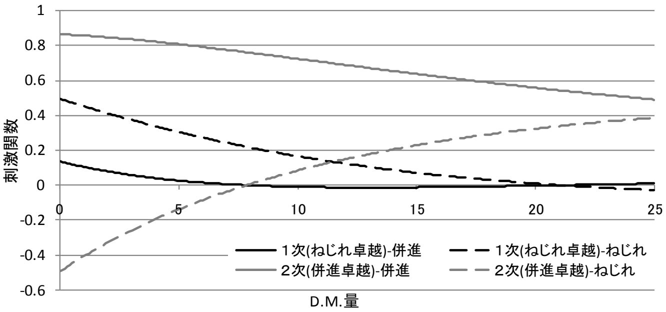

Figure-5　Modal participation function

この検討モデルは質点とバネが 2 つあるため，振動モードは 2 次モードまである．各モードには併進とねじれの成分が含まれている．併進成分とは重心の水平移動量の成分であり，ねじれ成分とは重心を中心とした回転により生じる変位量の成分である．併進成分が変位ベクトルの x，ねじれ成分は部材長 L_0 を用い $L_0\theta$ で表わされている．ここでは各モードの併進成分が大きい方を併進卓越のモードと定義する．今回のモデルでは 1 次モードがねじれ卓越のモード，２次モードが併進卓越のモードとなっている．

上のグラフを見ると，刺激関数の値が 0 で交わっている D.M.量がある．これはパラメーターを変更しても同じ現象が発生する．この点について調べてみると，A 通りと B 通りの固有周期が 0.80s で一致し，更に，重心と剛心が 2.28m の位置で一致している事が分かる．

このことから，A 通りと B 通りの固有周期，もしくは，重心と剛心を一致させるような D.M.を付加すれば，ねじれのモードを制御できると考えられる．固有周期，もしくは重心と剛心の位置を求める式から適切な D.M. 量 m' を求める式が導ける．

$$\frac{m_B}{m_A + m_B + m'} \times L_0 = \frac{k_B}{k_A + k_B} \times L_0$$

$$m' = \frac{m_B k_A - m_A k_B}{k_B} \tag{3}$$

尚，式から求めた D.M.量が負だった場合は，事実上設計不可能となる為，A 通りと B 通りのパラメーターを入れ替えてから再度計算すれば良い．

この式からモデルの適切な D.M.量を求めると 7.84ton となり，グラフの刺激関数の値が 0 で交わる点と一致する．Table-6 に D.M.を 7.84ton 付加した場合の刺激関数を示す．

Table-6　Modal participation function（D.M. 7.84ton）

		1次（ねじれ卓越）	2次（併進卓越）
固有周期[s]		1.13	0.8
刺激関数	併進成分 x	0.000	0.761
	ねじれ成分 $L_0\theta$	0.220	0.000

Table-4，Table-6 を比較すると主に制御の対象となるのがねじれ卓越のモード及び併進卓越のモードのねじれ成分である．しかし，ねじれ卓越のモードのねじれ成分が制御しきれていない．これは運動方程式右辺に垂直方向入力のみでもねじれ運動を励起する項が存在する為である．つまり，ねじれ応答を完全に制御することができないということであるが，D.M.の効果により刺激関数の値は小さく抑えられている．

建物本体の重量を増やす，柱の剛性を高くするなどして偏心を無くしても，地震力の入力が増加するなど建物の負担が大きくなる．だが，D.M.を用いたならば建物に大きな負担をかけることなくねじれ応答を大幅に抑制し，併進成分の応答も抑制している．

結論として, (3)式より求めた D.M.を設置することで,偏心によるねじれ応答のモード制御が十分に可能であると判断することができる．

５．まとめ

本論では、偏心した 1 層モデルに対し，D.M.を用いたねじれ応答の制御が可能であることを示した．また,ねじれ応答を制御できる D.M.量の算出式を示した．

今後の課題として，減衰装置の設置や 2 方向入力への対応，多層モデルへの応用などが挙げられる．

参考文献

(1) 渡辺征晃，早部安弘：ねじれ応答の制御に関する提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東北), pp263-264, 2009.8

(2) 古橋剛, 石丸辰治：慣性接続要素によるモード分離, 日本建築学会構造系論文集　第 576 号，pp.55-62，2004.2