B-29

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

立体モデルの検討と制震装置の取り付け部材剛性を考慮した設計法の提案

Establishment of the response control method using D.M. to the building which has eccentricity

Establishment of the response control method for multi-story model which has two degree of freedom

○弓削貴史 [1],　古橋剛 [2],
*Takafumi Yuge[3] , Takeshi Furuhashi[2]

This research proposes the method of controlling the twist response of the building that has eccentricity by Proposed design method that takes into account the mounting member stiffness of the damping device and study of three-dimensional model.

1. はじめに

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を確保している.しかしこれは静的な設計法であり,動的な挙動(ねじれ応答)に対する考慮が十分であるかは不明確である.予期せぬ地震動が入力した際に変位量に差が生じ,最悪の場合,建物が崩壊に至る危険性もある.そこで,本研究では,慣性質量効果を持つダイナミック・マス(以下 D.M.)を用いることで動的にねじれ応答を制御する. 尚,本研究の全体の流れを Table-1 に示す.前報では,簡易モデルに使用するせん断型質点系モデルの設定をし,その上で D.M.を直付けにより付加する事で多層質量偏心と単層剛性偏心を制御出来ることを示した.また,剛性偏心については完全モード制御の特性を生かした設計法により高次モードを制御する事でねじれ応答を制御出来る事を示した.そこで本報では立体モデルでの質量偏心の制御,剛性偏心モデルに対して制震装置の取り付け部材剛性考慮時の制御法の検討を行う.

Table-1 本研究の流れ

簡易モデルでの検討(制震装置直付け)
↓
立体モデルでの検討(制震装置直付け)
↓
簡易モデルでの検討(制震装置取り付け部材剛性考慮)
↓
立体モデルでの検討(制震装置取り付け部材剛性考慮)

3. 立体モデルによる検討(単層多スパンモデル)

Figure-1 にモデル図を示す.両モデルとも単層多スパンモデルとし,偏心を有していることとする.モデルの緒元は紙面の都合上省略するが,両モデルとも A 通りが他の通りよりも剛性を低く設定している.これらのモデルに対し,簡易モデルにより求めた D.M.を付加していく.

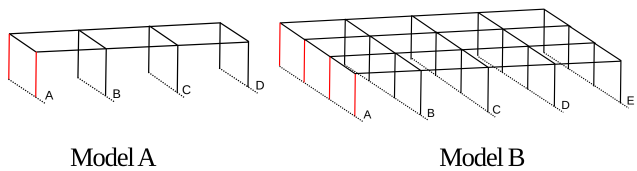


Figure-1 モデル図

尚,立体モデルを簡易モデルにマクロ化する際はモデルが短周期側と長周期側に分かれるよう境界を決め,長周期側を A 通り,短周期側を B 通りとして検討を行う事で置換することが出来る.非制震時の刺激関数図を Figure-2 に示す.

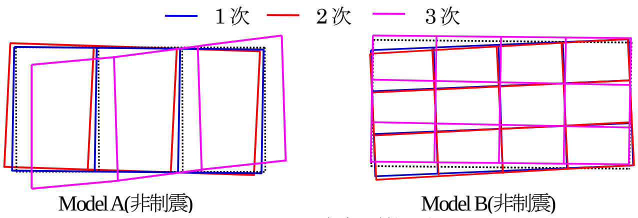


Figure-2 非制震時刺激関数図

Figure-2 からもわかるように捩れを伴い部材に大きな変形が生じる恐れがあることがわかる.制震時の刺激関数図を Figure-3 に示す.非制震時と比較すると回転による変形がなくなり併進成分のみとなっている事がわかる.これらの事からも単層多スパンモデルでも制御可能であることがわかる.

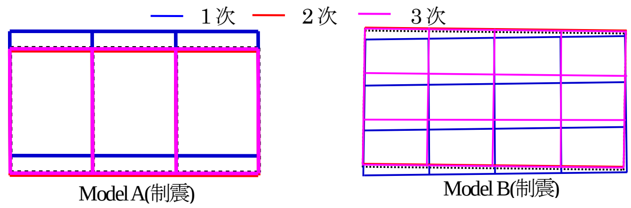


Figure-3 制震時刺激関数図

4. 立体モデルによる検討(多層多スパンモデル)

多層多スパンモデルを Figure-4 に示す.モデルは 3×4 の 3 層モデルとし,A 通りの質量を他の通りよりも大きい値とし,偏心を有したモデルである. この様な場合,偏心率を求める一般的な式(1)を用いた計算法を使用し,偏心率の値が出来るだけ低くなる様に D.M.を配置するのみでねじれの挙動を抑え併進成分のみの挙動とすることが可能である. これは D.M.が動的な質量効果を持つためである.

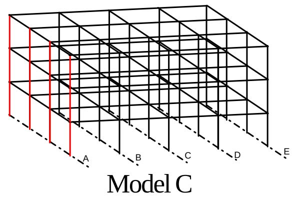


Figure-4 モデル図

1.日大理工・教員・建築　　2.日大理工・院(前)・建築

$$kgy=\frac{\sum_{i=k}^{n}\left(\sum_{j}iwj\cdot iYj\right)}{{}_{k}W}\qquad kgx=\frac{\sum_{i=k}^{n}\left(\sum_{j}iwj\cdot iXj\right)}{{}_{k}W}\tag{1}$$

$${}_{k}W=\sum_{i=k}^{n}\left(\sum_{j}iwj\right)$$

kgx　K 階の重心（剛震）x 座標　kgy　K 階の重心（剛震）y 座標

${}_{k}W$　K 階より上部の地震力算定用累積重量（剛性）

iwj　K 階の上階床の j 格子点地震力算定用等価接点

また,短周期側を長周期側の周期に合わせるという考えの基で設計する為,剛性項と減衰項のみの制御に比べ D.M.を用いる事で短周期側への設置のみで振れを抑制出来る事から,建築計画的にも非常に有効である事が分かる.

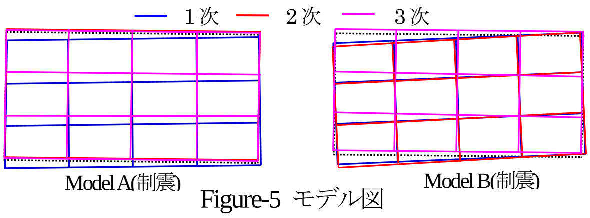


Figure-5 モデル図

4. 簡易モデル（取り付け部材剛性考慮）での検討

Figure-6 に検討モデルを示す, また,Figure-7 に変位詳細図を示す.質点を結ぶ梁材は剛と仮定したものを用いる. 2 つの質点系のうち, 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から動的な外力を加えると, 層ごとに 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となっている. 付加条件は建築計画性を考慮して短周期側である A 通りのみ付加するものと考える.

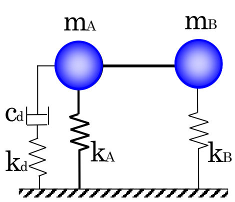


Figure-6 モデル図

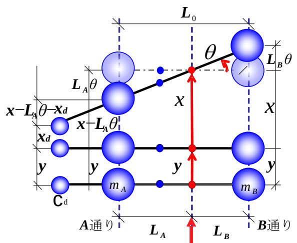


Figure-7 変位詳細図

4. 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.入力は剛梁に対し垂直方向のみの 1 方向入力とする.各質点の重心 G を中心とした回転による変位量は,層ごとの質点からの重心までの距離 L_A,L_B を用いて(2)式のように表すことができる.

$$L_A\theta=\frac{m_B\times L_0}{(m_A+m')+m_B}\times\theta\qquad L_B\theta=\frac{(m_A+m')\times L_0}{(m_A+m')+m_B}\times\theta\tag{2}$$

$$\begin{aligned}
T&=\frac{1}{2}m_A(\ddot{g}+\ddot{x}-L_A\ddot{\theta})^2+\frac{1}{2}m_B(\ddot{g}+\ddot{x}+L_B\ddot{\theta})^2+\frac{1}{2}I\ddot{\theta}^2\\
F&=\frac{1}{2}C_{dA}(\dot{x}-L_A\dot{\theta}-x_{dA})^2\\
V&=\frac{1}{2}k_A(x-L_A\theta)^2+\frac{1}{2}k_B(x+L_B\theta)^2+\frac{1}{2}k_{dA}{x_{dA}}^2\\
I&=m_A{L_A}^2+m_B{L_B}^2
\end{aligned}\tag{3}$$

これより振動方程式は(3)式のようになる.尚,変位ベクトルの x は重心 G の併進変位を, θ は重心 G を中心とした回転角を表す.

6. 定点の確認

先ほどの式から併進成分, 回転成分それぞれの伝達関数式を求め式 (4) のように変形した. 分母と分子を基準化した式 (5) が成り立つことから併進成分、回転成分ともに定点が存在し、最適設計理論を適用することが出来る.

$$\left|\frac{X}{Y}\right|=\frac{c+di}{a+bi}\qquad\left|\frac{L_0\theta}{Y}\right|=\frac{g+hi}{e+fi}\tag{4}$$

$$\frac{c}{a}=\frac{d}{b}\qquad\frac{g}{e}=\frac{h}{f}\tag{5}$$

7. 最適設計理論の検証

定点の存在を応答倍率曲線により確認する.検討モデルの諸元を Table -2 に示す.

Table -2 検討モデル諸元

通り	質量	減衰係数	初期剛性
	(ton)	(kN･s/m)	(kN/m)
A	10.0	0.0	1000.0
B	10.0	0.0	800.0

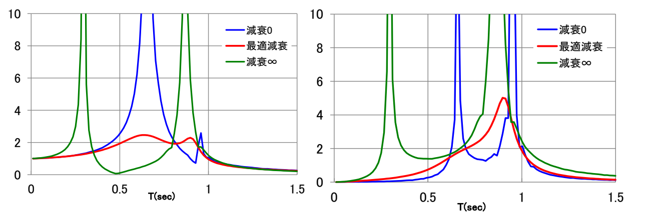
今回は部材減衰を考慮せず,付加する制震装置はオイルダンパーのみとする.このモデルに対し,解析的に最適なダンパー量の算出を行う.その際の制震装置の取り付け部材剛性は層剛性の 5 倍とする. Table -3 に求めたダンパー量と取り付け部材剛性の諸元を示す.

応答倍率曲線を Figure-8 に示す. 単層モデルの自由度は

Table -3 制震装置諸元

A通り(直列部材)		
D.M.	減衰係数	初期剛性
(ton)	(kN･s/m)	(kN/m)
0.0	100.0	5000.0

{x θ}であるので|X/Y|,|L_0 θ /Y|共に 2 つの共振域を持つ. 赤線で示した設計時の曲線が減衰 0 と∞の曲線の交点である定点を通り,最大応答倍率となっている.これにより偏心を有するモデルでも併進成分の応答に加え,ねじれを考慮し.最適設計が可能でるということを示すことが出来た.



a 併進成分　　b 回転成分

Figure-8 相対応答倍率曲線(非制震)

8. まとめ

本報では立体モデルでの検討と取り付け部材剛性を考慮したモデルでの検討について示した。前者については回転成分が消え併進成分のみの挙動になっていることから,簡易モデルの理論が立体モデルでも成り立つことを示した,後者についてはねじれに対しても最適設計理論が適用出来,剛性偏心に対しても意匠性をそぐわなくても応答を抑制することがわかった.

参考文献

1)古橋剛,石丸辰治：慣性接続要素に多質点振動系の応答制御,日本建築学会構造系論文集第 601 号,pp.83-90,2006
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.5-62,2004