

# オイルダンパーの配置方法によるねじれ応答の抑制についての検討 その1 2層縮約モデルを用いた並進とねじれの連成振動モードの考察 A Study on Control of Twist Response by Oil Damper Arrangement Method Part1 Study of 2-layer Contracted Model using Coupled Vibration Mode of Translation and Twist

○5147 鈴木一史<sup>2</sup>, 古橋剛<sup>1</sup>, 羽中田翔梧<sup>3</sup>

\*Kazushi Suzuki<sup>2</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>1</sup>, Syougo Hanakata<sup>3</sup>

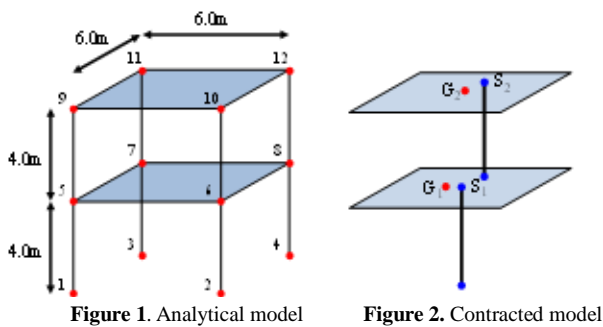
**Abstract:** In the past research, we focused on the coupled vibration mode that occurs when the translational component and the twisted component are combined with one mode, for the vibration mode of the eccentricity building with 1-layer 3-degrees-of-freedom. In addition, due to the trend of response by the modes' vibration direction and rigidity difference, and using the eigenvalue problem's equation which derived from the motion equation of 1-layer 3-degrees-of-freedom, we expanded to 2-layers 6-degrees-of-freedom based on the study obtained from it, focusing on the characteristics of the earthquake input direction which made the building twists.

### 1. はじめに

既往の研究では,1層3自由度の偏心建物の振動モードについて,並進成分とねじれ成分が1つのモードに連成して生じる連成振動モードに着目し検討を行った.また,モードの振動方向や剛性差による応答の傾向に関して,1層3自由度の運動方程式から固有値問題の方程式を用いて,そこから得た検討をもとに2層6自由度に拡張し,建物にねじれが生じる地震動の入力方向の特徴に着目して検討を行った.

### 2. 検討モデルと振動方程式

既往の研究では,Fig.1 に示す立体モデルを用い,建物の振動モードを6つの基本形に縮約して(Fig.2)検討している.スパンは縦横を6m,層間高さを4mとし,各節点番号を1~12で示し,剛性要素は8本の柱に,質量は各節点に縮約している.床を剛床仮定とし,梁の剛性を $\infty$ とする.また低層の構造物を対象とし,軸剛性を考慮しない.既往の研究で用いた2層6自由度の運動方程式を式(1)に示す.



### 3. 偏心建物の固有値問題

式(1)を整理して式(2)を得た後,  $i = \sqrt{I/m}$  (回転半径),  $z = i\theta$  と置いてさらに整理すると式(3)を得る.固有値問題の方程式は式(4)となる.

$$\begin{bmatrix} M_2 & \\ & M_1 \end{bmatrix} \{\ddot{x}_\theta\} + \begin{bmatrix} K_2 & -K_2 \\ -K_2' & K_2 + K_1 \end{bmatrix} \{x_\theta\} = - \begin{bmatrix} M_2 & \\ & M_1 \end{bmatrix} \cdot 1 \cdot \{\ddot{x}_\theta\} \quad (2)$$

$$\{\ddot{x}_z\} + M^{-1}K\{x_z\} = -1 \cdot \{\ddot{x}_z\} \quad (3)$$

$$\lambda^2 \{r\} = M^{-1}K\{r\} \quad (4)$$

$$M = \begin{bmatrix} M_2 & \\ & M_1 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} K_2 & -K_2 \\ -K_2' & K_2 + K_1 \end{bmatrix} \quad 1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$\lambda^2$ は固有値,  $r^T = \{r_{x2}, r_{y2}, r_{z2}, r_{x1}, r_{y1}, r_{z1}\}$ は固有ベクトルである.また,式(2)において  $M_2 = M_1$  のとき,式(3)における固有値を求めるマトリックス  $M^{-1}K$  が実対称マトリックスとなるため,対角化可能な対称行列は運動方程式が必ず解ける.また,固有値は実数,固有ベクトルは実ベクトルとなり,相異なる固有値に対応する固有ベクトルは直交関係になる.固有ベクトルの各成分は,各層における並進成分とねじれ成分であり,既往の研究では1つの固有ベクトルにこれらの成分を有することを,並進とねじれの連成と定義した.

### 4. 検討モデルの諸元

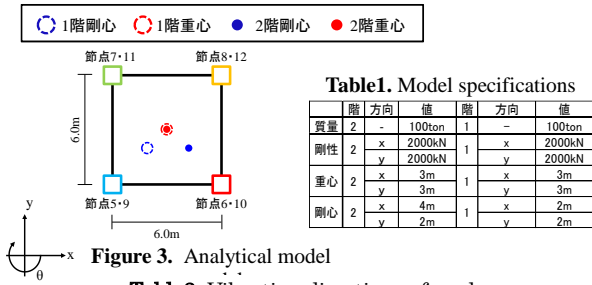
検討モデルの平面モデルを Fig.3 に示す.なお,諸元に示す距離については節点5・9を基準としている. Tab.2 にモードの振動方向を示す.

$$\begin{bmatrix} 2m & & & & & \\ & 2m & & & & \\ & & 2I & & & \\ & & & m & & \\ & & & & m & \\ & & & & & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2K_x & 0 & 2K_x 22e_y & -2K_x & 0 & -2K_x 21e_y \\ 0 & 2K_y & -2K_y 22e_x & 0 & -2K_y & 2K_y 21e_x \\ 2K_x 22e_y & -2K_y 22e_x & 2K_\theta + 2K_x 22e_y^2 + 2K_y 22e_x^2 & -2K_x 22e_y & 2K_y 22e_x & -2K_\theta - 2K_x 22e_y 21e_y - 2K_y 22e_x 21e_x \\ -2K_x & 0 & -2K_x 22e_x & 2K_x + 1K_x & 0 & 2K_x 21e_y + 1K_x 11e_x \\ 0 & -2K_y & 2K_y 22e_x & 0 & 2K_y + 1K_y & -2K_y 21e_x + 1K_y 11e_y \\ -2K_x 21e_y & 2K_y 21e_x & -2K_\theta - 2K_x 22e_y 21e_y - 2K_y 22e_x 21e_x & 2K_x 21e_y + 1K_x 11e_y & -2K_y 21e_x + 1K_y 11e_x & 2K_\theta + 2K_x 22e_y^2 + 2K_y 22e_x^2 + 1K_\theta + 1K_x 11e_y^2 + 1K_y 11e_x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \\ x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$i$ : 層質量       $K_x$ : x方向の層剛性       $(22e_x 22e_y)$ : 2階剛心  $S_2$  と 2階重心  $G_2$  の偏心距離

$I$ : 床の回転慣性       $K_y$ : y方向の層剛性       $(21e_x 21e_y)$ : 2階剛心  $S_2$  と 1階重心  $G_1$  の偏心距離

$K_\theta$ : 剛心まわりのねじれ剛性       $(11e_x 11e_y)$ : 1階剛心  $S_1$  と 1階重心  $G_1$  の偏心距離



**Table1. Model specifications**

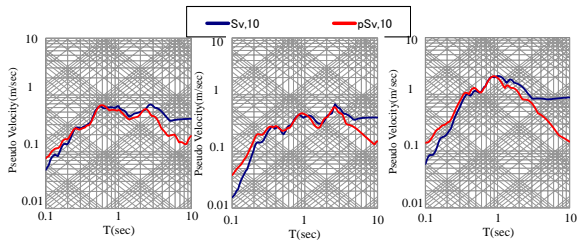
階	方向	値	階	方向	値
質量	-	100ton	1	-	100ton
剛性	x	2000kN	1	x	2000kN
	y	2000kN		y	2000kN
重心	x	3m	1	x	3m
	y	3m		y	3m
剛心	x	4m	1	x	2m
	y	2m		y	2m

**Table2. Vibration directions of modes**

モード番号	1	2	3	4	5	6	
固有周期[s]	2.41	2.32	1.34	0.91	0.86	0.49	
モードの振動方向[°]	2層目	36.85	-53.08	48.89	-12.96	72.78	-40.06
	1層目	38.66	-53.80	-51.98	-18.31	71.32	-16.63

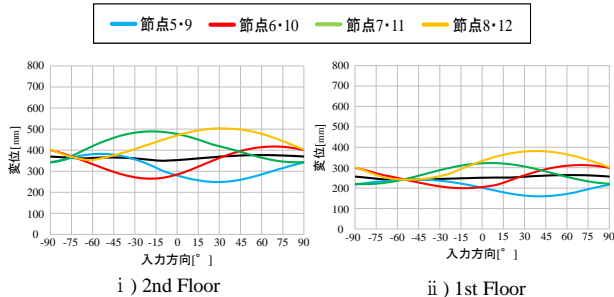
5. 検討モデルの時刻歴応答解析

時刻歴応答解析結果を比較する. 地震動の入力方向は x 方向となす角度で-90 度から 90 度まで 5 度刻みとし, 解析に使用する地震波は, El Centro1940NS, Hachinohe1968 NS, JMA KOBE 1995NS の原波を用いる. これら 3 波の地震動について, 応答スペクトル図をそれぞれ Fig.4 に示す.

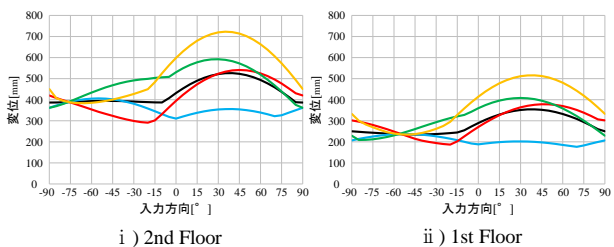


i) El Centro1940NS ii) Hachinohe 1968NS iii) JMAKOBE 1995 NS

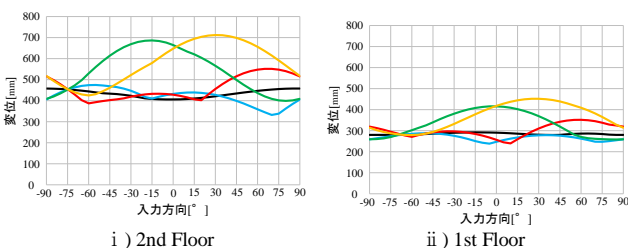
**Figure4. Response spectrum diagram**



**Figure5. Displacement vector sum (El Centro 1940NS)**



**Figure6. Displacement vector sum (Hachinohe 1968NS)**



**Figure7. Displacement vector sum (JMA KOBE 1995NS)**

Fig.5, Fig.6, Fig.7 を比べると, 地震波によって応答の大きさは異なるが, おおよその形状は近似している. いずれも全体の応答の傾向として, 節点 8・12 が 30 度方向入力時に最も大きな変位ベクトル和が表れていることがわかる. そして, 2 層目では-75 度方向付近で, 1 層目では-50 度方向付近でベクトル和の差が無くなる点についても共通している.

Hachinohe 1968 NS 入力時の応答だけ他の 2 つの形状とやや異なる応答となっている. これは検討モデルの 1 次周期 2.41s 時の地震動変位が他の波と比べて少し大きくなっているためであると考えられる. また, それぞれの解析結果の 2 層目と 1 層目について比較してみると, 各層の応答の傾向は概ね同じように表れていることがわかる.

また, 変位ベクトル和が大きい節点 7・11, 節点 8・12 について, どちらも各層の剛心から離れた節点であり, 節点 8・12 は変位ベクトル和が大きいことが挙げられる. これは, 建物自体が剛心を中心にねじれ運動を起こすため, 剛心から遠くに位置する節点はねじれの影響を大きく受ける.

以上の結果を, 時刻歴応答解析によって確認された主軸と同じであること, そして危険となると推測された節点と, 時刻歴応答解析結果から判断できる危険な節点が良い対応をしていることがわかる.

6. まとめ

本研究では, 2 質点 6 自由度の検討モデルでの運動方程式を求め, 各節点と剛心との位置関係から建物の受けるねじれ応答を明らかにした. その結果, 剛心からの距離により節点ごとの最大応答の生じる入力角度は異なるが, 概ねの応答の形状は一致しているという知見を得ている. そして, 時刻歴応答解析によりねじれ応答とモードの振動方向の関連性があることを示した.

7. 今後の検討

既往の研究の結果をふまえて本研究では, オイルダンパーを配置した 2 層 6 自由度のモデルを x 方向と y 方向に一軸偏心させた際のねじれ応答の抑制, 既往の研究で用いた 2 層 6 自由度のモデルにオイルダンパーを配置した際のねじれ応答とモードの振動方向の関連性についての検討をその 2 の続きとする.

8. 参考文献

[1] 柴田明徳「最新耐震構造解析第 2 版」森山出版 2003.05  
 [2] 石丸辰治「応答性能に基づく「対震設計」入門」彰国社 2004.03  
 [3] 吉田正廣, 小島紀男, 松森徳衛, 松浦武信, 川上泉「現代工学のためのマトリクス固有値問題」現代工学社 2002.07  
 [4] 田中佑一郎, 「並進とねじれの連成振動モードに関する基礎的研究」平成 28 年度修士論文