

並進とねじれの連成振動モードに関する基礎的研究  
その2 振動モードの連成の解析及び検討

Basic Study on Coupled Vibration Mode of Lateral Vibration and Torsional Vibration

Part2 Analysis and study of coupled vibration mode

○加瀬友貴<sup>2</sup>, 染谷勝太<sup>2</sup>, 増澤拓也<sup>3</sup>, 古橋剛<sup>1</sup>

\*Yuki Kase<sup>2</sup>, Syouta Someya<sup>2</sup>, Takuya Masuzawa<sup>3</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>1</sup>

In this paper, we show the general form for eigenvector of eccentric building. And biaxial-eccentricity-building-model is analyzed by an time history response analysis

2. 1. はじめに

本研究では偏心建物の振動モードで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傾向があることより振動モードの連成に着目し解析及び検討を行う。

2. 2. 検討例による数値計算

例として Figure 6 及び Table3 に示した条件のモデルにおいて検討を行う。固有値計算の結果を Table 7 及び Figure 4 に示す。

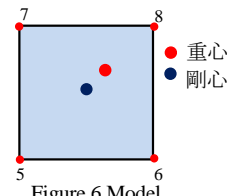


Figure 6 Model

Table 3 Specifications of analytical model

	方向	単位	値
質量	-	[ton]	100
剛性	x方向	[kN/m]	2000
	y方向	[kN/m]	2400
偏心距離	x方向	[m]	1.0
	y方向	[m]	1.0

Table 4 Eigenvalue analysis results

モード番号	1	2	3	
固有値	18.26	22.72	76.35	
固有周期[s]	1.47	1.32	0.72	
固有ベクトル	rx	1.00	0.39	0.14
	ry	-0.36	1.00	-0.19
	tz	-0.21	0.13	1.00

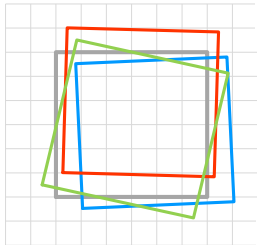


Figure 7 Mode Figure



Figure 7 のモード図にはモード 1~3 までの 3 種類の振動モードを示している。元の位置から x,y 方向に移動している状態が並進,重心を中心に回転している状態がねじれである。Figure 7 より本検討モデルでは全てのモードが並進とねじれの連成モードになることがわかる。固有周期はモード 1,2,3 の順に 1 次,2 次,3 次モードとなっている。式(4)を用いて算出したモードの振動方向  $\theta_1 \sim \theta_3$  は以下に示す通りである。

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{-0.36}{1.00}\right) = -0.35[\text{rad}] = -20.0[^\circ]$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{1.00}{0.39}\right) = 1.20[\text{rad}] = 68.6[^\circ]$$

$$\theta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{-0.19}{-0.14}\right) = -0.9[\text{rad}] = -52.3[^\circ]$$

モード 1,2 の軸方向は概ね直交関係にあることがわかる。続いて式(6)より算出した,各モードの刺激関数を

Figure 8~10 及び Table 5~7 に示す。なお,ここでは振動方向の刺激関数を示す。

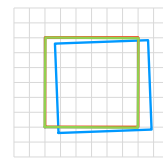


Figure 8 Participation functions of figure (-20.0 degrees direction)

Table 5 Participation coefficient and participation functions (-20.0 degrees direction)

モード番号	1	2	3	
刺激係数	0.76	0.02	0.03	
刺激関数	$\beta_{rx}$	0.76	0.01	0.00
	$\beta_{ry}$	-0.28	0.02	-0.01
	$\beta_{tz}$	-0.16	0.00	0.03

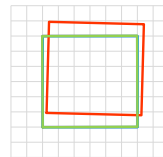


Figure 9 Participation functions of figure (68.6 degrees direction)

Table 6 Participation coefficient and participation functions (68.6 degrees direction)

モード番号	1	2	3	
刺激係数	0.02	0.86	-0.02	
刺激関数	$\beta_{rx}$	0.02	0.33	0.00
	$\beta_{ry}$	-0.01	0.86	0.00
	$\beta_{tz}$	0.00	0.11	-0.02

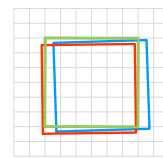


Figure 10 Participation functions of figure (-52.3 degrees direction)

Table 7 Participation coefficient and participation functions (-52.3 degrees direction)

モード番号	1	2	3	
刺激係数	0.64	-0.44	0.04	
刺激関数	$\beta_{rx}$	0.64	-0.17	0.01
	$\beta_{ry}$	-0.23	-0.44	-0.01
	$\beta_{tz}$	-0.14	-0.06	0.04

Figure 8,9 及び Table 5,6 より,モード 1,2 の振動方向に対してはそれぞれのモードが大きく励起していることがわかる。また他のモードは 0 に近い値をとっている。また,Figure 10 及び Table 7 に示すモード 1,2 はねじれ成分も生じている。本検討モデルにおいてはモード 1,2 の振動方向で地震動入力時に応答が大きくなってねじれ成分が両モードにあるため最大値をとる方向が異なる可能性がある。

本検討モデルを用いて時刻歴応答解析を行う。地震動の入力方向は x 方向とのなす角で-90~90 度方向まで 5 度刻みとし,入力地震動には JMAKOB E NS を使用する。入力方向ごとの x,y 変位,回転角,時刻毎の変位のベクトル和の最大値を Figure 11~14 に示す。

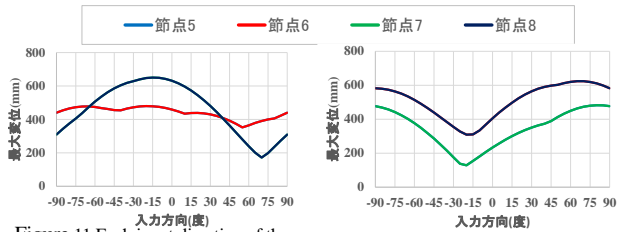


Figure 11 Each input direction of the analysis results (x displacement) Figure 12 Each input direction of analysis results (y displacement)

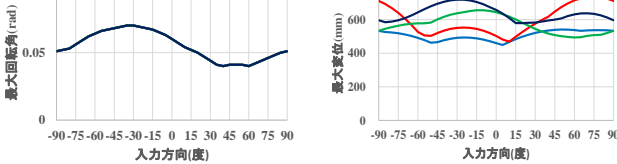


Figure 13 Each input direction of the analysis results (rotation angle) Figure 14 Each input direction of the analysis results (vector sum)

Figure 11,12 より,各方向の変位の最大値はモード 1,2 各々の振動方向付近で最大値又は最小値となることがわかる。Figure 13 も見るとどの方向から入力があった場合でも回転角が生じており x,y 変位が 0 になる入力方向は存在しない。Figure 14 に示す各時刻の変位のベクトル和の最大値も x,y 変位と同じくモード 1,2 の振動方向付近で最大値となる。入力地震動の周期の影響があるため 2 次モードの振動方向付近が最大値であり,必ず 1 次モードの振動方向に最大値が生じるわけではない。モード 3 は応答変位に影響しないことがわかる。以上が x 方向と y 方向の剛性が近いモデルでの検討であり注意すべき点を以下に挙げる。

最大変位は振動モードをみて振動方向を判断する必要がある。モード 1,2 のいずれの方向でも応答が大きくなる。モード 1,2 共に並進とねじれが連成されているためいずれの方向でもねじれが生じ,またモード 1 とモード 2 は完全には平面的な直交関係にないため,振動方向以外でも変位が大きくなる可能性がある。

1.4.節で示した振動モードの推移の傾向から x,y 方向の剛性が近い建物に対して片側にブレースを付加した場合, Figure 4 よりモード 1 のねじれ成分は小さく,モード 2 のねじれ成分は大きいモードに分離することがわかる。また, Figure 5 より,モード 1 の刺激係数が増大,モード 2 の刺激係数が減少する。Figure 6 より,y 方向の周期が短周期化することもわかる,そのため,y 方向にブレースを付加した場合,モード 1 が並進のモード,モード 2 が短周期で励起されにくい並進とねじれの連成モードに推移すると考えられる。D.M.を x 方向のみに付加し,D.M.量を  $m'$  とすると(1)の運動方程式は式(8)のようになる。

$$\begin{bmatrix} m & & & \\ & m+m' & & \\ & & I & \\ & & & I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_x & 0 & K_x e_y \\ 0 & K_y & -K_y e_x \\ K_y e_y & -K_y e_x & K_\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} m \\ m \\ I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_g \\ \ddot{y}_g \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (8)$$

式(8)においても固有値計算を行った際の解は 1.4.節で示した一般形で示すことが可能である。よって本検討モデルに対して剛性を増大させた時と D.M.を付加した時の  $a \sim c$  の推移を Figure 15 i) 及び ii) に示す。なお D.M.に関しては  $b, c$  の値は一部分のみ表記とする。

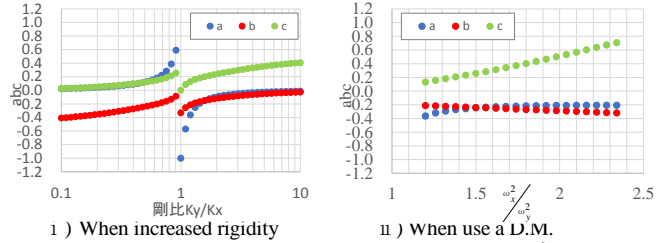


Figure 15 Of each variable when changing the  $\omega_y^2$

y 方向の剛性を増大させた時より x 方向に D.M.を付加した時の方が固有ベクトルのねじれ成分の絶対値が上昇しやすい。これは慣性質量の増加が影響していると考えられる。次に検討例の y 方向に D.M.を 100ton 付加した時の固有値解析結果及び時刻歴応答解析結果を Figure 16,17 に示し D.M.の付加によっても応答の抑制につながることを示す。

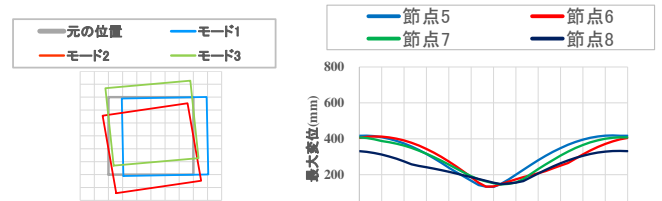


Figure 16 Eigenvalue analysis results (When use a D.M.) Figure 17 The vector sum of the response (When use a D.M.)

### 2. 3. まとめ

特に x 方向と y 方向の剛性の大きさが近い時には,振動方向が x,y 方向から大きく離れる点,モード 1 とモード 2 の周期が近く,刺激関数も両モードの振動方向で大きい点,両モードが完全な平面的直交関係ではない点,両モードで並進とねじれの連成が起きている点に注意する必要がある。

また,D.M.によるモード制御でねじれ振動を抑制できる可能性があるため,具体的な手法に関しては今後の研究課題としたい。

### 2. 4. 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の固有値問題」現代工学社 2002.07