



$$a = \frac{-b\omega_y^2\bar{e}_x}{\omega_x^2 + b\omega_x^2\bar{e}_y - \omega_y^2} \quad \phi = \cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3}$$

$$b_\alpha = \left(-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{p^3}{27} + \frac{q^2}{4}}\right)^{\frac{1}{3}} + \left(-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{p^3}{27} + \frac{q^2}{4}}\right)^{\frac{1}{3}} - \frac{1}{3} \frac{2\omega_x^2 - \omega_y^2 - \omega_\theta^2}{\omega_x^2\bar{e}_y}$$

$$b_\beta = \left(-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{p^3}{27} + \frac{q^2}{4}}\right)^{\frac{1}{3}} \phi + \left(-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{p^3}{27} + \frac{q^2}{4}}\right)^{\frac{1}{3}} \phi^2 - \frac{1}{3} \frac{2\omega_x^2 - \omega_y^2 - \omega_\theta^2}{\omega_x^2\bar{e}_y}$$

$$b_\gamma = \left(-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{p^3}{27} + \frac{q^2}{4}}\right)^{\frac{1}{3}} \phi^2 + \left(-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{p^3}{27} + \frac{q^2}{4}}\right)^{\frac{1}{3}} \phi - \frac{1}{3} \frac{2\omega_x^2 - \omega_y^2 - \omega_\theta^2}{\omega_x^2\bar{e}_y}$$

$$c = \frac{1}{2\omega_y^2\bar{e}_x} \left( -(\omega_\theta^2 - \omega_y^2 - b\omega_x^2\bar{e}_y) \pm \sqrt{(\omega_\theta^2 - \omega_y^2 - b\omega_x^2\bar{e}_y)^2 + 4\omega_y^2\bar{e}_x(a\omega_x^2\bar{e}_y + \omega_y^2\bar{e}_x)} \right)$$

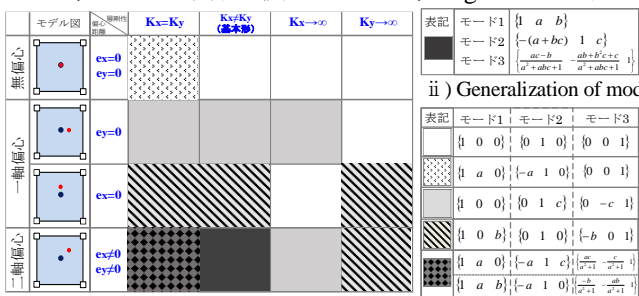
$$p = \frac{\left\{ (\omega_x^2 - \omega_\theta^2)(\omega_x^2 - \omega_y^2) - (\omega_x^2\bar{e}_y)^2 - (\omega_y^2\bar{e}_x)^2 \right\}}{(\omega_x^2\bar{e}_y)^2} - \frac{1}{3} \left( \frac{2\omega_x^2 - \omega_y^2 - \omega_\theta^2}{\omega_x^2\bar{e}_y} \right)^2$$

$$q = \frac{\omega_x^2 - \omega_y^2}{\omega_x^2\bar{e}_y} - \frac{1}{3} \frac{(2\omega_x^2 - \omega_y^2 - \omega_\theta^2)(\omega_x^2 - \omega_\theta^2)(\omega_x^2 - \omega_y^2) - (\omega_x^2\bar{e}_y)^2 - (\omega_y^2\bar{e}_x)^2}{(\omega_x^2\bar{e}_y)^3} + \frac{2}{27} \left( \frac{2\omega_x^2 - \omega_y^2 - \omega_\theta^2}{\omega_x^2\bar{e}_y} \right)^3$$

各モードの一般形は各変数の値が変化することで無偏心や一軸偏心にも対応する。式(3) に対し、一般形の固有ベクトルの  $b=0$  とすると式(7)となる。

$$\lambda^2 \begin{Bmatrix} 1 \\ a \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_x^2 & 0 & \omega_x^2\bar{e}_y \\ 0 & \omega_y^2 & -\omega_y^2\bar{e}_x \\ \omega_x^2\bar{e}_y & -\omega_y^2\bar{e}_x & \omega_\theta^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ a \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

これが成立する条件は  $\omega_x^2 = \omega_y^2$ 。また二軸偏心時に取り得る固有ベクトルの組み合わせは、一般形において  $b=0$  の時、 $c=0$  の時、 $a \neq 0$  かつ  $b \neq 0$  かつ  $c=0$  の時であるが、 $b=0$  と  $c=0$  は区別ができないため同じものとする。この固有ベクトルパターンを、偏心距離を縦方向に、剛性の条件を横方向にとり、Figure2 に示す。



ii) Generalization of mode  
iii) Classification of eigenvector

Figure2 Classification of three mode by eccentric distance and rigidity

### 1. 4. 振動モードの各成分の推移

本節では各変数の推移から二軸偏心時の挙動を確認する。重心、剛心の位置ごとに二軸偏心時の各固有ベクトルの変数  $a, b, c$  の分布を x 方向と y 方向の剛性の比率を横軸にとったグラフに示す。なお、重心と剛心の座標は Figure1 の節点 5 を原点としている。

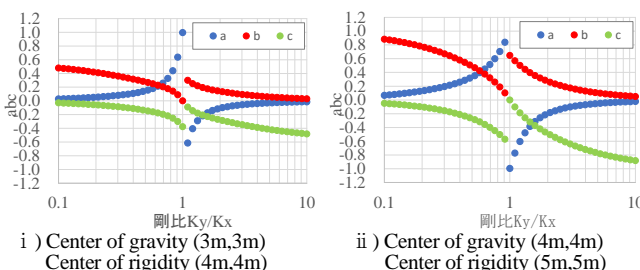


Figure3 Relation between rigidity ration and each variable of X-axis direction and Y-axis direction

Figure3 i)より  $a$  の値は x 方向と y 方向の剛性比率が 1 に近いほど大きくなり、 $b$  と  $c$  の値は x, y 方向の剛性の比率が等しい時に  $b=0$  または  $c=0$  となり、y 方向の剛性が大きくなるに従い  $c$  の絶対値が大きくなり、 $b$  の絶対値が小さくなることからわかる。また Figure3 ii)では  $a, b, c$  共に i)より絶対値が大きい。

また振動方向と刺激係数及び固有周期の推移を、x, y 方向の剛性比率を横軸にし Figure4, 5 に示す。

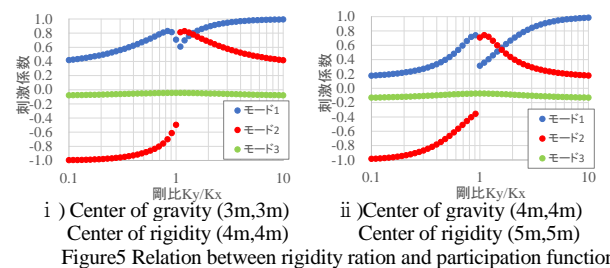
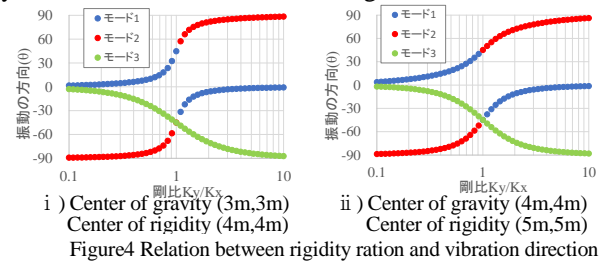


Figure4 の縦軸は振動方向を示す。剛比が 1 に近く、x, y 方向の剛性差が小さい時、振動方向は  $0^\circ, 90^\circ$  方向から大きくずれ、モード 1, 2 の振動方向は平面的に概ね直交することがわかる。またモード 3 は y 方向の剛性が相対的に大きい時にはモード 2 と同じ振動方向になり、y 方向の剛性が相対的に小さいときにはモード 1 と同じ振動方向になる。x, y 方向の剛性が等しい時にはモード 1 または 2 と振動方向が一致する。

Figure5 の縦軸は刺激係数を示す。モード 1, 2 は一方が大きくなる傾向があるが、剛比が 0.5~2 の範囲では絶対値が近くなる。モード 3 の刺激係数は 0 に近く、励起されないモードであるといえる。

以上から二軸偏心の時、x, y の一方の剛比が等しい時には最大値が生じる方向を判断することが難しい。

### 1. 5. まとめ

本研究では偏心建物の固有値計算により得られる固有ベクトルに着目し、その一般形を示した。また二軸偏心時のモデルに着目し、固有ベクトルの各成分や振動方向、刺激係数がどのように推移するのか確認した。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