

重心と剛心の位置及び x, y 方向の剛性の違いによる振動主軸の変化の検討
中心から重心がずれたモデルにおける振動モードの性質

Study of changes in the vibrational principal axis by position of the center of gravity and the center of rigidity and rigidity difference of the x and y directions

The characteristics of the vibration mode in the model the center of gravity shifted from the center

○守安央克¹, 古橋剛², 福田航大³

*Hirokatsu Moriyasu¹, Takeshi Furuhashi², Kodai Fukuda³

In the model in which the center of gravity shifted from the center, it is studied that how a vibrational principal axis is formed when rigidity difference of the x and y directions.

1. はじめに

過去の震災より、建物はねじれが原因で崩壊することがあるとされており、ねじれ振動を軽視できない問題である。しかし、現在の耐震設計基準における偏心率の規定は、x, y 軸の 2 方向のみでしか評価をしておらず、x, y 軸以外の変位が大きくなる場合、崩壊に至る可能性がある。そこで、ねじれ振動に関する既往の研究^[2]では、中心から斜めに剛心が位置するモデルにて、剛心の位置する方向に直交する方向が振動主軸であり、その方向による評価が必要と結論づけている。

上記の結果から、x, y 方向の剛性が等しい場合、重心と剛心の位置により振動主軸が判断できることがわかった。しかし、x, y 方向の剛性に差がある場合の検討はまだされていない。そこで本研究では、中心から重心がずれるモデルにおいて、x, y 方向の剛性に差がある場合の振動主軸の生じ方を検討する。

2. 検討モデルの作成

2.1 軸の定義

- ① 重心と剛心の位置によって生じる軸
- ② 剛性の差で生じる軸
- ③ 主軸(振動主軸)

本検討では、3つの軸を以下のように定義する。

①は x, y 方向の剛性が等しい場合、重心と剛心が一致する方向に対し、直交方向が主軸となる。

②は重心と剛心の位置が一致し、x, y 方向の各層剛性に差がある場合、剛性の小さい方向が主軸となる。

③は入力方向の中で最も変位が大きくなる軸を指し、既往の研究より 1 次モードが生じる方向である。

なお、①～③には副軸(第 2 主軸)が存在し、2 次モードとなる。また主軸に対し平面的にその軸の概ね直交方向となる。(平面的に直交しない場合がある)

2.2 基本モデル

検討モデルには Figure 1 に示す立体モデルを使用し、スラブは剛とする。また、Figure 2 に示すように各モデルとも x, y 方向で算出した剛心及び重心が中心に位置するものとし、質量は節点 5~8 に 10ton ずつ振り分け、梁の剛性は十分に大きいものとする。

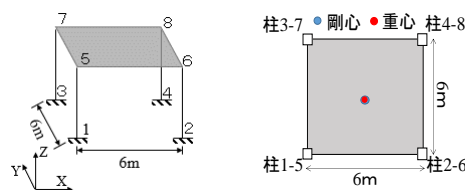


Figure 1 A three-dimensional model Figure 2 Model top view

2.3 検討モデル

層剛性及び質量は Table 1 に示し、6 種類のモデルを作成し検討を行う。各モデルの剛性はモデル 1 の x 方向の層剛性を 1.0 とし、剛心がモデルの中心に来るように剛性を比率で設定する。

Table 1 Stiffness and the mass of the pillars

層剛性の倍率(y方向/x方向)	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5	モデル6
節点5	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0
節点6	6.0	6.0	5.6	6.0	6.0	5.6
節点7	14.0	6.0	6.0	14.0	6.0	6.0
節点8	6.0	14.0	6.0	6.0	14.0	6.0
節点8	14.0	14.0	22.4	14.0	14.0	22.4
偏心距離(mm)						
x方向	1200	0	1200	1200	0	1200
y方向	0	1200	1200	0	1200	1200

Table 1 より、モデル 1~3 は①を振動主軸に持つことが予測されるモデルで、モデル 4~6 は全ての柱の y 方向剛性を 2 倍としているため、上記とは違う方向に主軸が出る可能性を持つモデルである。

3. 固有値解析結果

モデル 1~3 の固有値解析結果を Figure 3 に、モデル 4~6 の解析結果を Figure 4 に示す。

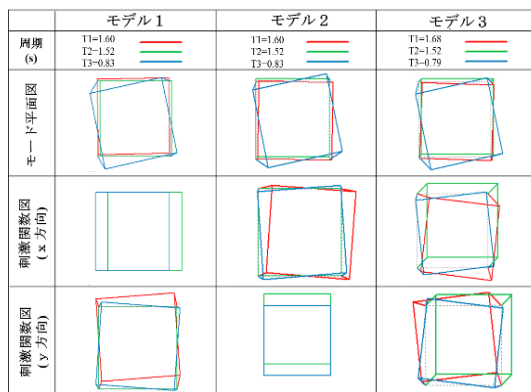


Figure 3 Vibration mode (model 1~3)

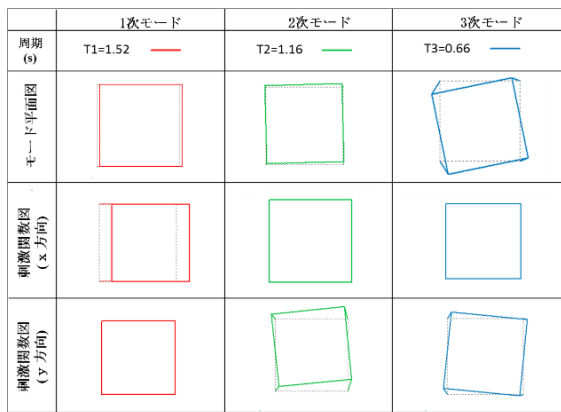


Figure 4-1 Vibration mode (model4)

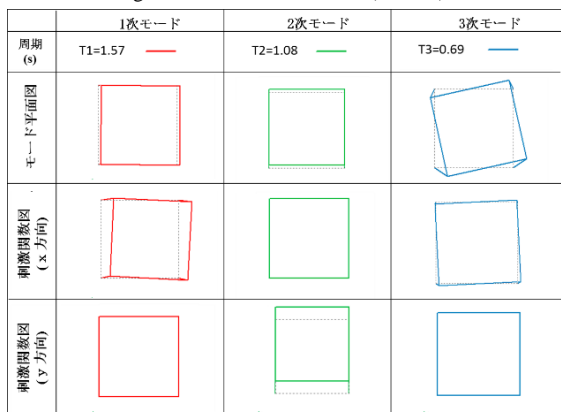


Figure 4-2 Vibration mode (model5)

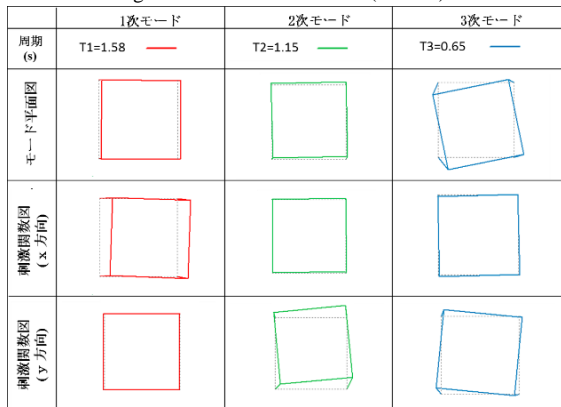


Figure 4-3 Vibration mode (model6)

Figure 3 より、モデル 1~3 における振動モードは x, y 方向の剛性が等しいため、重心と剛心の位置によって生じる軸がねじれと併進が連成された主軸となり、概ね直交方向が併進のみ励起される副軸となる。つまり、x, y 方向の剛性が等しい場合、主軸は併進とねじれが連成したモードが生じ、副軸は概ね直交方向に併進が励起されることがわかる。

しかし、Figure 4-1 及び 4-2 より、モデル 4, 5 は x 方向に併進する主軸を持ち、ねじれと併進が励起される副軸が概ね直交方向に生じる。そして Figure 4-3 のモデル 6 のモード図より、各次モードの重心が移動する方向を算出した結果、1 次モードは -7.5 度、2 次が 80.3 度、3 次が 111.4 度に軸を持ち、主軸に対して副軸が 3 次モード(第 3 主軸)を含めて直交しないため、x, y 方向のみで評価するには難しく、多方向からの入力を考慮する必要がある。

4. 時刻歴応答解析結果

モデル 1~6 に対して時刻歴応答解析を行う。入力地震動は JMA-KOBE1995NS とし、減衰は剛性比例型で 1 次モードに対して 5%付与している。入力方向は x 方向, y 方向, 45 度方向, 135 度方向の 4 種類であり、それに加え図 5-3 のモード図より各次モードの重心が移動した方向を算出し、解析を行う。

時刻歴応答解析より算出された回転角にモデルの 1 辺の長さに乗じたものを回転変位と定義し、それに加え、x 方向及び y 方向の変位をそれぞれの入力方向ごとに検討する。解析結果の一例として、モデル 3・6 の各入力方向の最大変位を table2, table3 に示す。なお、モデル 3 に関しては、重心が移動した方向が 45 度方向等と一致する。

Table2 Time history response analysis (model3)

		最大変位(mm)		
		回転方向	x方向変位	y方向変位
入力方向	x方向	191.4	436.4	195.1
	y方向	191.4	195.1	436.4
	45度方向	0.0	301.7	301.7
	135度方向	270.7	360.9	360.9

Table3 Time history response analysis (model6)

		最大変位(mm)		
		回転方向	x方向変位	y方向変位
入力方向	x方向	227.9	593.0	143.2
	y方向	307.3	260.8	430.1
	45度方向	215.2	348.9	330.5
	135度方向	258.4	422.5	278.6
モード方向	-7.5度方向	309.7	532.9	425.2
	80.3度方向	296.2	274.5	430.2
	111.4度方向	300.9	289.6	387.0

table2 より、x 方向入力の x 方向変位は y 方向入力の y 方向変位も同じ値になることが分かる。しかし table3 より先の変位を確認すると数値が一致せず各方向変位にばらつきがあるため不規則と言える。そのため時刻歴応答解析においても、モデル 6 の評価は難しい。

5. まとめ

剛心が中心にあり、その斜め方向に重心が位置するとき、x, y 方向の剛性が等しい場合、主軸は併進とねじれが連成したモードが生じ、副軸は概ね直交方向に併進が励起される。また x, y 方向の剛性が異なる場合、主軸方向に併進とねじれが連成したモードが生じる。副軸は第 2 主軸及び第 3 主軸共に直交しない方向に併進とねじれのモードが励起される。

つまり、x, y 方向の剛性が等しくない場合、主軸と副軸が直交関係ではないことから、固有値解析より算出する角度方向等を含めて検討を行う必要がある。

【参考文献】

- [1] 『建築物の構造関係技術基準解説書 2015 年度版』(全国官報販売共同組合)pp333-349
- [2] 岡部丈, 須山大地, 増澤拓也, 古橋剛(2015)「斜め方向・2 方向同時入力による建物のねじれ応答の検討」2015 年大会(関東) 学術講演梗概集