

層間速度の高次モード成分についての研究 The Study about Higher Mode Component of Interlayer Velocity

○7015 韓 維宜², 古橋 剛¹

*Weiyi Han², Takeshi Furuhashi¹

Abstract: In structural designs, the first mode seems always dominant in the building's response, but the response values of the high-rise building with a long period are greatly influenced by higher modes. In this study, we clarify the influence of higher modes from the participation vector of the interlayer velocity and obtain useful knowledge for designing damping devices like as oil dampers.

1. はじめ

一般的な設計において、建物の応答は 1 次モードが支配的であることが多い。層間速度が入力となるオイルダンパーの設計においても 1 次モードの応答が支配的として検討されることが多い。

しかしながら、層間の応答値(変位,速度など)は高次モードの大きな影響を受ける。特に周期が長い高層建物ではその影響は著しく大きい。

本研究では層間速度の刺激関数とスペクトル・モーダル解析から高次モードの影響を明らかにし、オイルダンパーなどの設計に役立つ知見を得るものである。

2. 検討概要

2.1 研究主旨

i 次の変位の刺激関数を ${}_i\beta \cdot {}_i\mathbf{r}, {}_i\mathbf{r}^T = ({}_i\mathbf{r}_n, {}_i\mathbf{r}_{n-1}, \dots, {}_i\mathbf{r}_1)$ と表して、基準座標を ${}_i\mathbf{q}$ として、応答を ${}_i\beta \cdot {}_i\mathbf{r}; {}_i\mathbf{q}$ とする。

層間の刺激関数は ${}_i\beta \cdot \hat{\mathbf{r}}, \hat{\mathbf{r}}^T = ({}_i\mathbf{r}_n - {}_i\mathbf{r}_{n-1}, {}_i\mathbf{r}_{n-2} - {}_i\mathbf{r}_{n-3}, \dots, {}_i\mathbf{r}_2 - {}_i\mathbf{r}_1)$ 速度の基準座標を ${}_i\hat{\mathbf{q}}$ として、応答層間速度の刺激関数の応答は ${}_i\beta \cdot {}_i\hat{\mathbf{r}}; {}_i\hat{\mathbf{q}}$ である。

2.2 検討モデル

本研究の検討モデルは 10 質点の周期が 1s から 5s までの六個モデルを用いる。



Table 1 Models Parameter

Model A (T=1.0s) Model B (T=1.5s)

質量		剛性		質量		剛性	
m[ton]	ki[kN/m]	m[ton]	ki[kN/m]	m[ton]	ki[kN/m]	m[ton]	ki[kN/m]
1000	1882665	1000	836740.2	1000	818145.9	1000	799551.7
1000	1840828	1000	818145.9	1000	780957.5	1000	762363.2
1000	1798991	1000	799551.7	1000	743769.0	1000	725174.8
1000	1757154	1000	780957.5	1000	706580.6	1000	687986.3
1000	1715317	1000	762363.2	1000	669392.1	1000	651191.8
1000	1673480	1000	743769.0	1000	632207.9	1000	613997.5
1000	1631643	1000	725174.8	1000	595023.7	1000	576803.2
1000	1589806	1000	706580.6	1000	557749.5	1000	539608.9
1000	1547969	1000	687986.3	1000	520475.3	1000	502414.6
1000	1506132	1000	669392.1	1000	483201.1	1000	465220.3

Model C (T=2.0s) Model D (T=3.0s)

質量		剛性		質量		剛性	
m[ton]	ki[kN/m]	m[ton]	ki[kN/m]	m[ton]	ki[kN/m]	m[ton]	ki[kN/m]
1000	470666.3	1000	209185.0	1000	185942.3	1000	181293.7
1000	460207.1	1000	204536.5	1000	176645.1	1000	171996.6
1000	449747.8	1000	199887.9	1000	167348.0	1000	162700.0
1000	439288.6	1000	195239.4	1000	158050.4	1000	153403.4
1000	428829.3	1000	190590.8	1000	148752.8	1000	144106.8
1000	418370.1	1000	185942.3	1000	139455.2	1000	134810.2
1000	407910.8	1000	181293.7	1000	130157.6	1000	125513.6
1000	397451.6	1000	176645.1	1000	120860.0	1000	116217.0
1000	386992.3	1000	171996.6	1000	111562.4	1000	106920.4
1000	376533.1	1000	167348.0	1000	102264.8	1000	97623.8

Model E (T=4.0s) Model F (T=5.0s)

質量		剛性		質量		剛性	
m[ton]	ki[kN/m]	m[ton]	ki[kN/m]	m[ton]	ki[kN/m]	m[ton]	ki[kN/m]
1000	117666.6	1000	75306.6	1000	73633.1	1000	65265.7
1000	115051.8	1000	73633.1	1000	65265.7	1000	63592.3
1000	112437.0	1000	71959.7	1000	56922.3	1000	51918.8
1000	109822.1	1000	70286.2	1000	48552.5	1000	43843.3
1000	107207.3	1000	68612.7	1000	40182.7	1000	35473.5
1000	104592.5	1000	66939.2	1000	31812.9	1000	27103.7
1000	101977.7	1000	65265.7	1000	23443.1	1000	18733.9
1000	99362.9	1000	63592.3	1000	15073.3	1000	10364.1
1000	96748.1	1000	61918.8	1000	6703.5	1000	1914.3
1000	94133.3	1000	60245.3				

Figure 3 Study Model Image

質量は各層一律 1000ton であり、剛性はせん断型モデルを用いるので全体曲げ変形を考慮して 10 : 8 の台形分布となるように設定している。

2.3 検討手順

- ① 各モデルの刺激関数を求めて、1 種地盤(告示)と参考文献[1]の 2 種地盤のスペクトルより求める各次の最大応答速度を乗じて、各次の応答層間速度を求める。
- ② 各次の応答層間速度を二乗和平方根法 (SRSS 法) で最大応答推定値を決める。
- ③ 実際の告示波 (BCJ-L2 位相) を入力して、時刻歴応答解析で各階の層間速度を求めて、SRSS 法で求めた推定値と比較する。
- ④ 1 次モードの値を 1 として、SRSS 値の倍率 α を求める、建物の層数と倍率の関係を求めて、新たな設計手段を提案する。

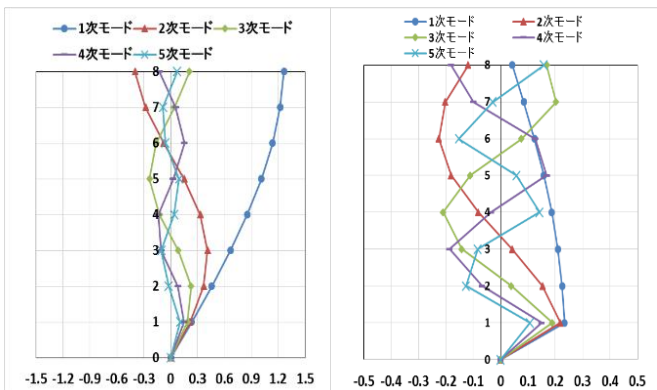


Figure 1 Participation Vector of Stories **Figure 2 Participation Vector of interlayers**

Fig.1,2 に示すように 10 質点の刺激関数 Fig.を見ると、層間速度の刺激関数が変位の刺激関数との違いは 1 次モードには常に卓越じゃなく、高次の成分も十分な大きな値を持っていることが分かる。したがって、本研究は層間速度の刺激関数に基づいて、オイルダンパーなどの設計方法を検討する。

3. 解析結果

3.1 各次の応答層間速度と SRSS 値

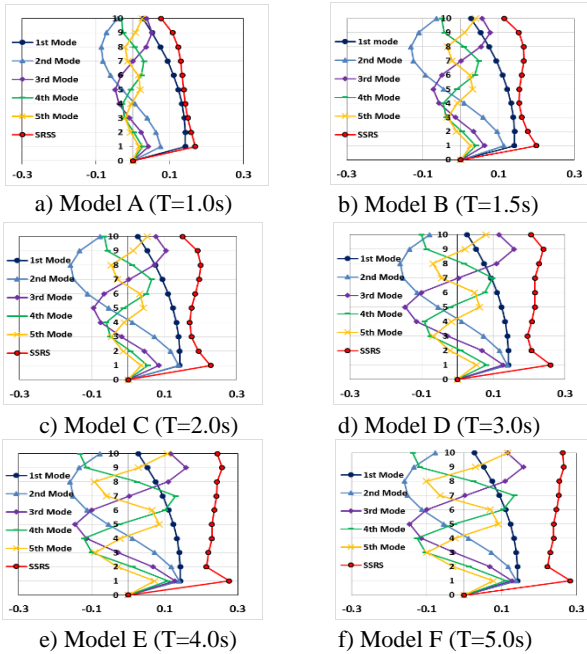


Figure 4 Interlayer Velocity Response and SRSS Value in Case of Type 1 Ground

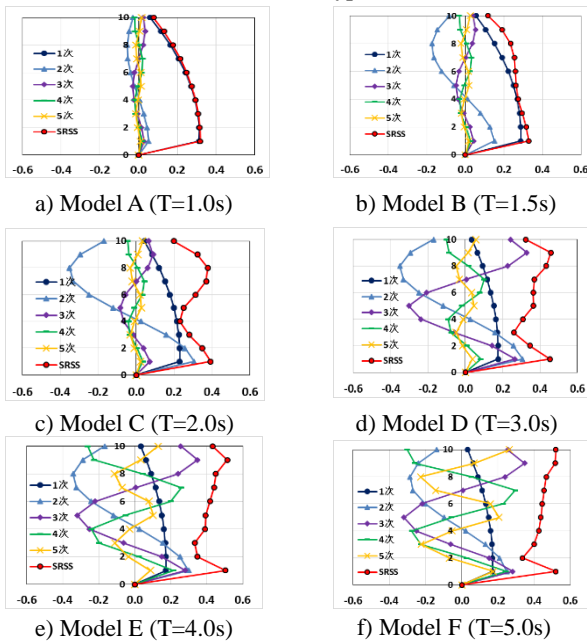


Figure 5 Interlayer Velocity Response and SRSS Value in Case of Type 2 Ground

Fig.4,5 を見ると,5 次モードでも 1 次モードでも数値があまり小さくなってない. 建物周期が長いほど高次モードの方が大きくなった. 2 種地盤の場合はこの傾向は顕著である. そして,各次の応答速度の大きさが層位置によって違う. 周期が 2 秒以上になると,1 層では 1 次,2 次モードが同じ程度に大きく,5 層目から 10 層目までの上半分では 2 次モード以降の高次モードが大きくなっていることがわかる. SRSS 法で算出した最大値にもこの結論を表している.

4. 1 次モードとの比較

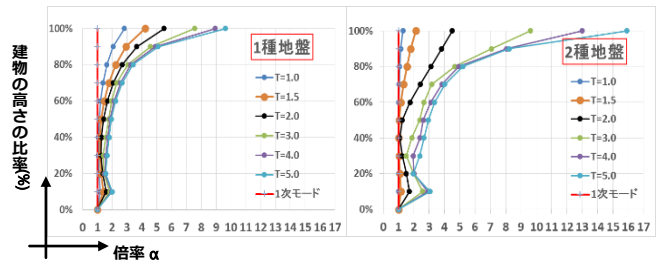


Figure 7 Relationship between Height Ratio and Magnification of First Mode and SRSS Value

Fig.7 は剛性比例型 1 次モードが 1 の場合,SRSS 法で算出した各周期の最大推定値との倍率 α と建物の高さの比率の関係図である. 図を示すように,地盤の種類に関わらず,周期が長いほど倍率が大きくなり,建物の上層が下部分より 1 次モードとの倍率がもっと大きくなっている.

これによって,構造設計にはオイルダンパーの入力最大速度の推定や,オイルダンパーの取り付け部の設計には,高次モードによる割増を考慮する必要がある.

5. 時刻歴応答値との比較

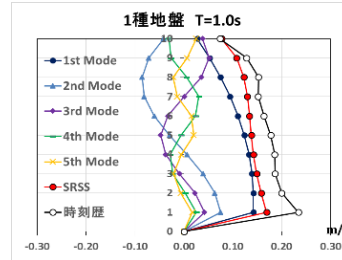


Figure 6 Time History Response Value, Interlayer Velocity and SRSS Value

Fig.6 が実際の告示波 (BCJ-L2 位相) を入力して時刻歴応答解析で求めた各階の層間速度値と SRSS 値の比較である. 構造減衰はレーリー減衰で $h1=h2=5\%$ を付与した. 図を示すように時刻歴応答解析の値と SRSS 法で算出した最大値がよい近似となっている. 本研究の有効性が確認できた.

6. まとめ

本研究では,層間速度の刺激関数とスペクトル・モーダル解析を用いて,二種類の地盤で調べて,高次モードが 1 次モードより影響が大きいことを示した. 周期によって,各次の層間速度の刺激関数の最大推定値と 1 次モードの倍率と建物の高さの比率の関係を表して,オイルダンパーの取り付け部の設計には,高次モードによる割増を考慮する必要がある. 今後の構造設計に,オイルダンパーなどの設計に役立つ知見を得るものである.

7. 参考文献

[1] 社団法人 日本免震構造協会 「免震建築物の耐震性能評価表示指針及び性能評価例」 2005.11