

中間階免震建物の簡易設計方法に関する基礎的研究

その 1. 中間階免震建物の免震階設定指標について

Fundamental research on the simple design method of intermediate story seismic isolation building

Part 1, The design index to set story isolated building of intermediate story seismic isolation building

○黒瀬梨加¹, 秦一平², 青柳智¹

*Rika Kurose¹, Ippei Hata², Satoshi Aoyagi¹

This study targets is the construction of the simple design method of intermediate story seismic isolation building utilizing ”Seismic Performance Design Diagram”. This paper shows the design index which can easily decide the seismic isolation floor.

1.1. はじめに

中間階免震建物の設計は、どの階に免震階を設定するのか、または免震階の上部、下部構造の影響をどの程度になるのかが設計におけるパラメータとなる。そのため、時刻歴応答解析による設計では、目標クライテリアに対して免震層性能を適宜変更し、かつ上部、下部構造の応答も考慮しなければならないため、多大な時間と労力が必要となる。そこで本研究では、簡易に免震階を設定できる指標を作成し、その設定指標を利用して「応答性能設計図表を用いた中間階免震逆設計方法」へと展開することを目的としている。

「応答性能設計図表を用いた免震設計方法」⁽¹⁾では 1 質点系の弾塑性モデルを対象としているため上部構造と下部構造の影響を受けない免震層の周期比が必要となる。上部構造の影響を受けない免震層の等価周期 (T_{iso}) は、上部構造周期 (T_u) に対して 2.5 倍以上であることが既往の研究により示されている⁽¹⁾。そこで、本報では免震建物の下部構造を剛体として適応可能な範囲を、周期比と質量比から関係指標図を作成する。

1.2. 下部構造剛体範囲について

1.2.1. 検討モデルの設定

下部構造の影響を受けない周期比を算出するため、Figure 1.1 に示す下部構造と免震層の 2 質点系モデル(左側)と上部構造を剛体とした 1 質点系モデル(右側)の時刻歴応答解析を行った。入力地震動は Table 1.2 に示す地震波を用いて、最大速度 75kine に基準化した。

2 質点系の免震層の層変位 ($2D_{max,iso}$) と 1 質点系の免震層の層変位 ($1D_{max,iso}$) を (1.1) 式の比で求め、求めた値が 1 に近い範囲で下部構造が剛体であるといえる。下部構造の粘性減衰定数 h_0 は 0.02 で剛性比例型とする。免震層の設定は Table 1.1 に示し、質量比 \bar{m} は (1.2) 式より算出する。

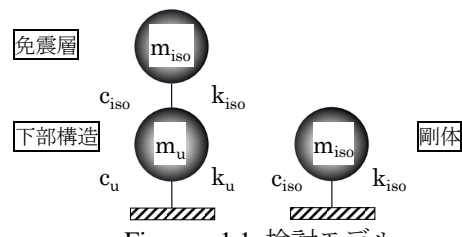


Figure 1.1 検討モデル

$$\frac{2D_{max,iso}}{1D_{max,iso}} \tag{1.1}$$

$$\bar{m} = \frac{m_{iso}}{m_u + m_{iso}} \tag{1.2}$$

Table 1.1 検討パラメーター

粘性減衰定数 h_0	周期 T_{iso}	質量比 \bar{m}	周期比 T_{iso}/T_u
0.05~0.3	2~5	0.2~0.9	4~10

Table 1.2 検討に用いた地震波

地震波 (75kine 基準化)			
EI Centro-NS	TAFT-EW	TAKATORI-NS	C2-Hachinohe
EI Centro-EW	JMAKOBE-NS	TAKATORI-EW	C3-Hachinohe
Hachinohe-NS	JMAKOBE-EW	C2-EI Centro	C4-Hachinohe
Hachinohe-EW	BCJ-L2	C3-EI Centro	
TAFT-NS	BCJ-L1	C4-EICentr	

1.2.2. 解析結果

周期比と層変位比の関係を粘性減衰定数 h_0 ごとに Figure 1.2 に示す。なお、各項目はすべて \bar{m} に対する平均値を示している。また Figure 1.2 に平均値に対する標準偏差の範囲も示す。

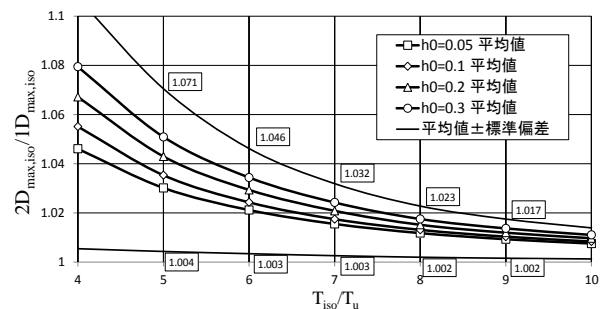


Figure 1.2 周期比と層変位比の関係

Figure 1.2 より周期比 8 以上で約 2% の誤差で 1 に近い

1 : 日大理工学・学部・建築 2 : 日大理工・教員・建築

値を示すことから、免震層等価周期(T_{iso})を下部構造周期(T_u)の 8 倍以上に設定することで剛体として取り扱える。

1.3. 中間階免震可能な範囲

中間階免震構造における免震階の設定は、上部構造と下部構造の影響をどの程度にするかで設計方法が異なる。前節で示したように、下部構造の影響を受けない免震層等価周期は、下部構造の 1 次固有周期の 8 倍以上にすることで可能となる。また既往の研究より、上部構造の影響を受けない免震層の等価周期は、上部構造の 1 次固有周期の 2.5 倍以上にすることで可能となる。

そこで本節では免震階の設定指標を作成する。ここでは、15, 27, 41 層モデルを用いて検討した結果を示す。

1.3.1. 検討モデル

Table1.3~1.5 に示す各モデル諸元により、免震階の設定指標となるグラフを作成する。各モデルの 1 次固有周期は、Table1.6 である。免震階位置は、15 層モデルで 2, 4, 5, 6, 8, 10, 12 層, 27 層モデルで 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 層, 41 層モデルで 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33 層とした。

Table1.3 15 層モデル

層	質量 (ton)	初期剛性 (kN/m)	減衰係数 (kNs/m)
15	745.1	1293200	10220.16
14	749.8	1217800	9624.271
13	752.5	1512000	11949.33
12	755.3	1544600	12206.97
11	760	1547000	12225.94
10	762.7	1560300	12331.05
9	770.2	1594600	12602.12
8	770.2	1616700	12776.78
7	772.9	1640200	12962.5
6	775.7	1693300	13382.15
5	775.7	1689200	13349.74
4	778.4	1732400	13691.15
3	781.2	1805800	14271.23
2	781.2	2271800	17954.03
1	986.8	5607700	44317.64

Table1.4 27 層モデル

層	質量 (ton)	初期剛性 (kN/m)	減衰係数 (kNs/m)
27	1510	994642	12780.69
26	1261	1644992	21137.38
25	1261	2264168	29093.5
24	1261	2553414	32810.18
23	1261	2738799	35192.29
22	1263	2863986	36800.88
21	1265	2954544	37964.51
20	1265	3044614	39121.87
19	1265	3131255	40235.17
18	1265	3181287	40878.05
17	1265	3279567	42140.91
16	1265	3331040	42802.31
15	1265	3395322	43628.3
14	1270	3498215	44950.43
13	1270	3583287	46043.57
12	1270	3639762	46769.24
11	1270	3709128	47660.56
10	1270	3761360	48331.72
9	1270	3800762	48838.02
8	1270	3876354	49809.34
7	1270	3943518	50672.37
6	1272	4039216	51902.04
5	1274	4251108	54624.75
4	1274	4409138	56655.37
3	1274	4758427	61143.57
2	1679	6519601	83773.83
1	2732	3138755	40331.54

Table1.5 41 層モデル

層	質量 (ton)	初期剛性 (kN/m)	減衰係数 (kNs/m)
41	2442	4699218	83217.76
40	1680	3442738	60966.94
39	1667	3676548	65107.45
38	1670	3828384	67796.29
37	1670	3944804	69857.95
36	1670	4078090	72218.29
35	1670	4220556	74741.2
34	1670	4295956	76076.45
33	1670	4359750	77206.17
32	1670	4425347	78367.82
31	1670	4476918	79281.08
30	1670	4556320	80687.2
29	1668	4759333	84282.32
28	1670	5046587	89369.26
27	1670	5121408	90694.26
26	1670	5124860	90755.39
25	1670	5038931	89233.68
24	1686	4971471	88039.05
23	1686	4995263	88460.37
22	1686	5075805	89886.68
21	1698	5304005	93927.84
20	1688	5596451	99106.72
19	1688	5698134	100907.4
18	1688	5754268	101901.5
17	1688	5792971	102586.9
16	1688	5829705	103237.4
15	1688	5859665	103767.9
14	1688	5902802	104531.8
13	1688	5967194	105672.2
12	1688	6072795	107542.2
11	1688	6126004	108484.5
10	1688	6188349	109588.6
9	1688	6308723	111720.2
8	1688	6460031	114399.7
7	1688	6607640	117013.7
6	1685	6711904	118860.1
5	1688	6892579	122059.7
4	1688	7246250	128322.8
3	1688	8476744	150113.4
2	1874	7627268	135070.2
1	1794	10435281	184796.8

Table 1.6 複素固有値解析結果

	15層モデル	27層モデル	41層モデル
1次(T_0)	1.241	2.018	2.782

1.3.2. 免震階設定指標の作成

上部構造と下部構造の固有値解析結果より上部構造を剛体として扱える 2.5 倍の免震層等価周期と、下部構造を剛体として扱える 8 倍の免震層等価周期をそれぞれ計算し、(1.3) 式から各モデルの質量比と免震層等価周期を Table1.6 で示した 1 次固有周期で除し比率に変換した結果を Figure1.3 に示す。

$$\hat{m} = \frac{m_s + m_{iso}}{m_s + m_u + m_{iso}} \quad (1.3)$$

Figure 1.3 より、各モデルの違いによる免震層等価周期の関係はほぼ一定であることから、モデルの違いによる中間階免震の設定階はほぼ同一の関係があることがわかる。また、上部、下部構造の免震層への影響範囲を考慮することができるため、Figure1.3 に示すように、免震層の等価周期と免震層のない 1 次固有周期の関係と質量比の関係がわかれば、設計上で留意すべき事項がこの指標からわかることになる。

なおこの指標では、免震階を上階に設定した場合の下部構造の高次モードの影響を考慮していないため、その影響についてはその 2 で報告する。

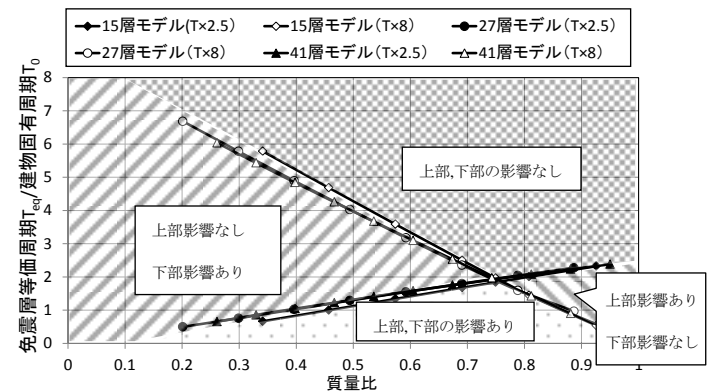


Figure 1.3 中間階免震設定指標

1.4. まとめ

中間階免震の免震階を設定する設計指標を提案した。その 2 では、下部構造の高次モードを考慮した場合の設計指標の改善と、図を利用し設計手順及び設計例を示し設計上での有効性を示す。

1.5. 参考文献

[1] 中山勝仁, 秦一平他:「応答性能設計図表による免震層逆設計法に関する基礎的研究その 1, その 2」, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, B-2, pp.447-450, 2012.9