

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	免震建物の耐震性能評価指標の提案に関する基礎的検討（その5 限界状態クライテリアと地震入力倍率および経済性の検討）
Title(English)	Basic Study on Proposal of Seismic Performance Evaluation Index for Seismic Isolation Building Part5: Examination of Limit state criteria and Earthquake input magnification and Economics of Seismic Isolation Building
著者(和文)	清水英, 山下忠道, 犬伏徹志, 佐藤大樹, 高山峯夫
Authors(English)	Suguru Shimizu, Tadamichi Yamashita, Tetsushi Inubushi, Daiki Sato, Mineo Takayama
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 871-872
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 871-872
発行日 / Pub. date	2018, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

免震建物の耐震性能評価指標の提案に関する基礎的検討 (その5 限界状態クライテリアと地震入力倍率および経済性の検討)

免震建物 上部構造 地震入力倍率
地震動再現期間 限界状態 経済性

正会員 ○清水 英^{*1} 同 山下忠道^{*2}
同 犬伏徹志^{*3} 同 佐藤大樹^{*4}
同 高山峯夫^{*5}

1. はじめに

著者らは、建物の耐震性能を統一的に評価する方法として地震動再現期間で評価する方法を提案している^{1),2)}。

本報では、3つの免震モデルに対して同一の限界状態クライテリアを設定し、各免震建物の入力倍率および地震動再現期間を評価するとともに、耐震性能と経済性について検討した結果を報告する。

2. 解析モデル

上部構造は、既報その3²⁾の5階建て非免震モデルをベースに、免震周期と降伏せん断力係数が異なる3種類の免震層に対して、既報その4²⁾で行ったレベル2地震動による地震応答解析結果からそれぞれ設計用せん断力係数を設定し、各部材を再設計したものとした。表1に各免震モデルの諸元を示す。なお、表中の記号で、 C_B はベースシャワー係数、 W は上部構造重量、 T_f は免震周期、 C_y は免震層降伏せん断力係数をそれぞれ表す。地震応答解析に用いた入力地震波は、EL CENTRO NS、TAFT EW、HACHINOHE NSの標準3波とし、レベル2地震動としてそれぞれの最大速度を50(cm/s)に基準化して用いた。

3. 限界状態クライテリアと評価手順

本検討では上部構造の最大応答層間変形角、免震層の最大応答変形、および上部構造の最大応答加速度の3項目についてクライテリアを設定した。表2に設定した限界状態クライテリアを示す。これは損傷限界状態に相当するクライテリアで、上部構造の最大応答層間変形角については、レベル2地震時に短期許容応力度以内に留まることを目標として、1/150とした。免震層の最大応答変形については、免震部材の復元力の履歴が比較的安定している上限と考えられるせん断ひずみ $\gamma=300\%$ となる60(cm)とした。

表1 免震モデル

免震モデル	C_B	$W(kN)$	$T_f(s)$	C_y
A2	0.11	464,510	4.0	0.04
B2	0.10	455,250	5.0	0.03
C2	0.09	455,090	6.0	0.025

表2 免震モデルの限界状態クライテリア

項目	最大応答値
最大応答層間変形角(rad)	1/150
免震層の最大応答変形(cm)	60
最大応答加速度(cm/s/s)	300

また、本検討の免震モデルは物流倉庫を想定しており、レベル2地震時に倉庫内の荷物が落下しないことを目標として、床面における最大応答加速度については、300(cm/s/s)とした。なお、最大応答加速度は屋根を除いた床面の値を評価する。

本検討の評価手順は、以下の通りである。

- ① 入力地震波を用いて地震応答解析を行い、最大応答層間変形角、免震層の最大応答変形、最大応答加速度を求める。
- ② 入力地震波の地震入力倍率を漸増し、各免震モデルの最大応答値が限界状態クライテリア時に達した時の地震入力倍率 R を求める。
- ③ ②で求めた地震入力倍率 R から、地震動再現期間 r を下式により算定する。

$$R = (r/100)^{0.54} \rightarrow r = 100 \times R^{1/0.54}$$

本検討の手法では、それぞれの限界状態クライテリア時の地震入力倍率等を別々に求めることが可能であり、免震建物の損傷状態や終局状態に応じて適用できる。

4. 解析結果と評価

図1に、各モデルにおける限界状態クライテリア時の最大応答層間変形角と最大応答加速度を示す。最大応答層間変形角は2~3階で、最大応答加速度は1~2階で、それぞれクライテリアに達している。

表3に限界状態クライテリア時の地震入力倍率 R と地震動再現期間 r を示す。ここで、文献3)では地震動再現期間は400年程度を適用範囲としているため、地震動再現期間が400年を超える場合は「400年以上」と表記し、求めた再現期間を参考として下段に併記している。地震入力倍率は、最大応答層間変形角に着目した場合で1.65~4.10、最大応答加速度に着目した場合で1.27~9.31、免震層の最大応答変形に着目した場合で3.09~4.02となっている。特に、免震層の剛性・耐力が高いモデルA2では上部構造の応答値(層間変形角または加速度)が先にクライテリアに達しており、TAFT入力時で再現期間は最小で156年と、免震層の応答変形に着目した場合に比べて短くなっている。一方で、免震層の剛性・耐力が低いモデルC2では免震層の応答変形が先にクライテリアに達しているが、地震動再現期間はいずれも400年以上となっている。なお、各免震モデルの耐震性能としては、モデルA2は156年、モデルB2は400年以上(751年)、モデル

ル C2 は 400 年以上 (827 年) の再現期間の地震動に耐えられるものとなり、モデル C2 の耐震性能が最も良いと考えることができる。

表 3 の右列には、各免震モデルの最大応答層間変形角および免震層の最大応答変形に着目した場合の地震入力倍率の比を示している。この値が 1.0 に近いほど限界状態クライテリアに対する上部構造と免震層の応答の差が小さく、経済的・効率的に設計されていると考えられる。本検討では、モデル A2 では 0.41~0.77、モデル C2 では 1.23~1.27 となっており、上部構造と免震層の応答の差が大きい。一方、モデル B2 では 0.87~1.00 と、上部構造と免震層の最大応答の差は小さく、設定した限界状態クライテリアに対して最も経済的といえる。なお、上部構造と免震層が同時に限界状態に達しないよう、設計的配慮によってどちらかの限界状態に対する余裕度を大きくすることも考えられる。その場合にはモデル A2 や C2 が最も経済的となる。

表 4 に、各免震モデルの主要な躯体数量を示す。前報で用いた免震モデル（以下、前報モデル）の躯体数量も合わせて表記しており、かつこ内に前報モデルとの比率を示している。免震層に対して上部構造の応答が少ないモデル A2 では躯体数量が最も多くなっており、次いで B2、C2 となっている。この関係はベースシャー係数 C_B と対応しており、免震建物の耐震性能を考慮しつつ、上部構造と免震層をバランス良く設定することで、より経済的・効率的な設計を行うことができると考えられる。

5. まとめ

本検討では、3 つの免震モデルに対して限界状態クライテリア時における各免震建物の地震入力倍率および地震動再現期間を評価し、各免震建物の耐震性能と経済性について検討を行った。その結果、上部構造と免震層の限界状態クライテリアに対する最大応答をバランス良く設定することで、免震建物をより経済的・効率的に設計することが可能であることを示した。

参考文献

- 清水英，山下忠道，犬伏徹志，佐藤大樹，高山峯夫：免震建物の耐震性能評価指標の提案に関する基礎的検討 その 1 ~2，日本建築学会大会学術講演梗概集，2016
- 清水英，山下忠道，犬伏徹志，佐藤大樹，高山峯夫：免震建物の耐震性能評価指標の提案に関する基礎的検討 その 3 ~4，日本建築学会大会学術講演梗概集，2017
- 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，1993

表 4 各モデルの躯体数量

	免震モデル 前報	免震モデル A2	免震モデル B2	免震モデル C2
柱コンクリート (m^3)	2,400	2,400 (1.00)	2,000 (0.83)	2,000 (0.83)
柱鉄筋 (t)	600	600 (1.00)	550 (0.92)	550 (0.92)
大梁鉄骨 (t)	1,590	1,500 (0.94)	1,460 (0.92)	1,430 (0.90)

*1 大和ハウス工業(株)

*2 ダイナミックコントロールデザインオフィス

*3 神奈川大学

*4 東京工業大学

*5 福岡大学

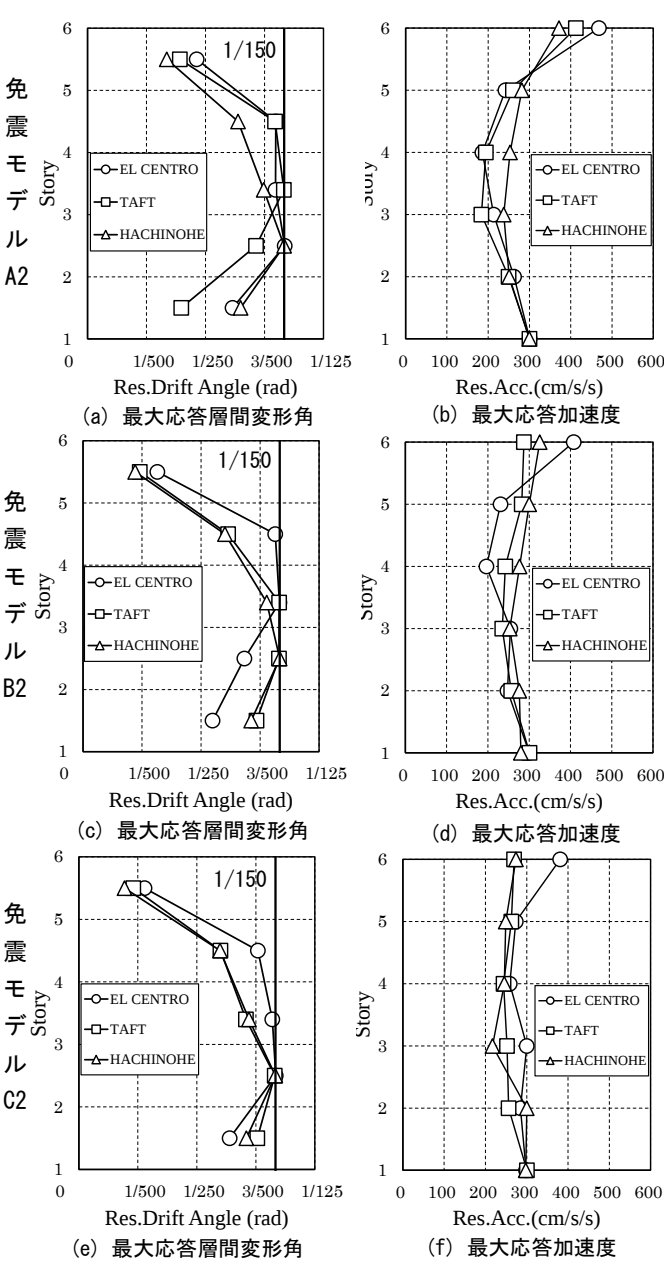


図 1 限界状態クライテリア時の最大応答

表 3 地震入力倍率 R と地震動の再現期間 r

免震モデル	地震波	応答層間変形角 (1/150)		免震層変形 (300%)		応答加速度 (300cm/s/s)		地震入力倍率の比 応答層間変形角 / 免震層応答変形
		地震入力倍率 R	再現期間 r	地震入力倍率 R	再現期間 r	地震入力倍率 R	再現期間 r	
A2	EL CENTRO	2.61	400年以上 (591)	3.53	400年以上 (1,034)	1.57	230	0.74
	TAFT	1.65	253	4.02	400年以上 (1,315)	1.27	156	0.41
	HACHINOHE	2.38	400年以上 (498)	3.09	400年以上 (808)	3.80	400年以上 (1,185)	0.77
B2	EL CENTRO	3.06	400年以上 (793)	3.52	400年以上 (1,028)	2.97	400年以上 (751)	0.87
	TAFT	3.50	400年以上 (1,017)	3.49	400年以上 (1,012)	5.92	400年以上 (2,693)	1.00
	HACHINOHE	2.97	400年以上 (751)	3.41	400年以上 (970)	6.37	400年以上 (3,084)	0.87
C2	EL CENTRO	4.10	400年以上 (1,364)	3.33	400年以上 (928)	9.11	400年以上 (5,982)	1.23
	TAFT	3.88	400年以上 (1,231)	3.15	400年以上 (837)	8.23	400年以上 (4,957)	1.23
	HACHINOHE	3.98	400年以上 (1,291)	3.13	400年以上 (827)	9.31	400年以上 (6,228)	1.27

*1 Daiwahouse Industry Co., Ltd.

*2 Dynamic Control Design Office

*3 Kanagawa University

*4 Tokyo Institute of Technology

*5 Fukuoka University