

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	免震等価周期と上部構造周期の比を用いた上部構造における等価変形の予測式の提案
Title(English)	Prediction Formula of Superstructure 's Equivalent Deformation by The Ratio of Base-Isolated Building 's Equivalent Period to Superstructure Period
著者(和文)	付慧鑫, 松田頼征, 北村春幸, 佐藤大樹, 宮川和明, 植木卓也, 村上行夫, 戸張涼太, 久保田航平
Authors(English)	Huixin FU, Yoriyuki MATSUDA, Haruyuki Kitamura, Daiki Sato, Kazuaki Miyagawa, Takuya Ueki, Yukio MURAKAMI, Ryota TOBARI, Kohei Kubota
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 1033-1034
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 1033-1034
発行日 / Pub. date	2017, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

免震等価周期と上部構造周期の比を用いた上部構造における等価変形の予測式の提案

正会員 ○付慧鑫*¹ 同 松田征頼*¹ 同 北村春幸*¹

同 佐藤大樹*² 同 宮川和明*³ 同 植木卓也*⁴

上部構造周期 等価周期比 同 村上行夫*⁴ 同 戸張涼太*³ 同 久保田航平*³
天然ゴム系積層ゴム支承 履歴ダンパー

1. はじめに

1995年以降、免震建物が増加し、鉄骨造建物や超高層建物にも免震構造が適用されるようになり、上部構造のみの周期が長い免震建物も設計されるようになってきた¹⁾。しかし、そのような免震建物は、上部構造の設計用せん断力が小さくなるため、大変形によって上部構造の塑性化を招き、大きな損傷を受ける可能性がある²⁾。本報では、時刻歴応答解析の免震層最大変形時に基づく等価周期(等価周期と呼ぶ)と上部構造のみの1次固有周期の比を変化させたときの、1階と中間階の最大相対変位(等価変形と呼ぶ)の変化について検討し、予測式を提案する。

2. 解析モデルと入力地震動の概要

検討は物流倉庫を想定した、平面が67.2m×41.6mの地上4階建ての建物を対象とする。階高は1~3階が7.5m、4階が6.6mである。基準階伏図と検討対象とする長辺方向のダンパー配置構面軸組図を図1に示す。各層の質量は同程度、建物重量 W は198,244kN、主架構のみの1次固有周期は3.0sである。図1に示しているように、1,5通りの全面に弾性ブレースを入れる。弾性ブレースの断面を変化させることによって、上部構造のみの1次固有周期 T_u を0.8s~2.6sの範囲で調節する(表1)。時刻歴応答解析では、上部構造を弾性とする。また、上部構造のみの1次固有周期 T_u に対して、減衰定数 $h=2\%$ となる初期剛性比例型の減衰を上部構造のみに与える。

免震層は天然ゴム系積層ゴムアイソレータと履歴ダンパーで構成する。図2に、免震層の配置図を示す。アイソレータは $\phi 800$ mm, $\phi 1000$ mmをそれぞれ20基, 15基、ダンパーは16基配置する。アイソレータのみの周期 T_s は4sと6s、ダンパーの降伏せん断力係数 a_s は0.010~0.050の範囲で変動させる(表1)。アイソレータは弾性、ダンパーは完全弾塑性型の復元力特性とする。

入力地震動は、1968年十勝沖地震のHACHINOHE EW成分と1995年兵庫県南部地震のJMA KOBE NS成分を位相特性に用い、コーナー周期以降で擬似速度応答スペクトル $\rho S_v(h=5\%)$ が80cm/sで一定となる告示波の入力レベルを0.5倍, 1.0倍, 1.5倍した地震動とする(図3)。それぞれ、ART HACHI 40, ART HACHI 80, ART HACHI 120, ART KOBE 40, ART KOBE 80, ART KOBE 120と呼ぶ。 ρS_v が同一の地震動でも V_E が明らかに違うことが分かる。

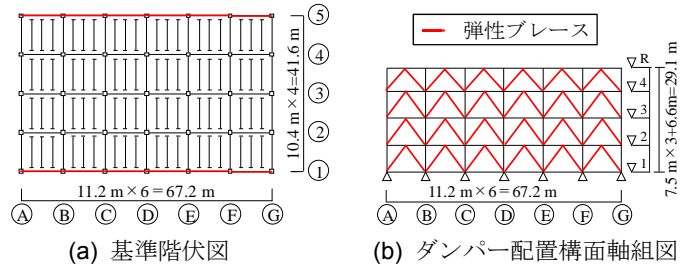


図1 伏図と軸組図

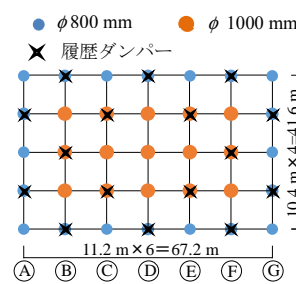


図2 免震層の配置図

表1 解析パラメータ一覧

上部構造	
固有周期 T_u	0.8~2.6秒
免震層	
アイソレータのみの周期 T_s	4.0秒
ダンパーの降伏せん断力係数 a_s	0.010, 0.015, 0.020, 0.030, 0.040, 0.050

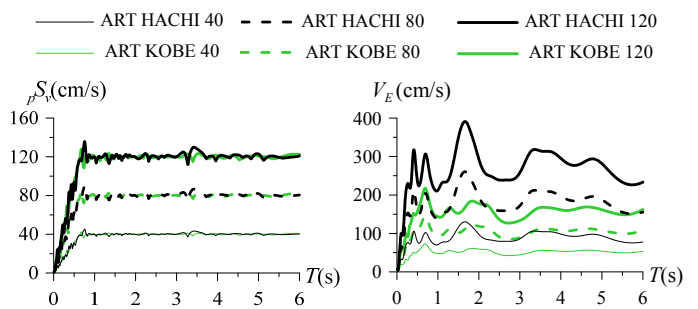


図3 解析用入力地震動

3. 等価周期比 T_{eq}/T_u と変形応答倍率 R_{eq}/δ_0 の関係

免震等価周期 T_{eq} は、応答解析から得られた、免震層が最大変形時の等価剛性 K_{eq} に基づく周期とする。ダンパーが存在せず、アイソレータが無減衰の場合の免震層の最大変位 δ_0 は式(1)で表す²⁾。1階から中間階までの高さ H_M に対する等価変形 δ_{Meq} の比を等価変形角 R_{eq} とする。変形応答倍率は δ_0 に対する等価変形角 R_{eq} の比とする。

ダンパーが存在しない場合の免震層の層せん断力係数 a_0 は式(2)で表す。式(3)で示すように、同一地震動を入力する時、 a_s/a_0 が等しい免震建物においてダンパーによる効果が同程度と考えられる。本章では表2に示している2つのケースを用いて検討する。

$$\delta_0 = \frac{T_s V_E}{2\pi} \quad (1), \quad \alpha_0 = \frac{2\pi V_E}{T_s g} \quad (2), \quad \frac{\alpha_s}{\alpha_0} = \frac{\alpha_s \cdot T_s g}{2\pi V_E} \quad (3)$$

表2 α_s/α_0 が同一なケース

	Case 1		Case 2	
	T_s	α_s	T_s	α_s
T_s	4 s	6 s	4 s	6 s
α_s	0.015	0.010	0.030	0.020
α_s/α_0	0.03g/(\pi V_E)		0.06g/(\pi V_E)	

図4には、6種類の地震動を入力した時、Case1とCase2における等価周期比 T_{eq}/T_u と変形応答倍率 R_{eq}/δ_0 の関係を示す。実線と破線は、それぞれの位相特性において、最小二乗法から求めた近似曲線である。同図より、 T_{eq}/T_u の減少に従い、 R_{eq}/δ_0 が大きくなり、 R_{eq}/δ_0 の変化率が大きくなることを確認できる。また、 R_{eq}/δ_0 は T_{eq}/T_u の概ね2乗に反比例することが分かる。しかし、位相特性による違いが大きい。これは、地震波の波形と継続時間によって、建物の揺れ方が異なるためと考えられる。

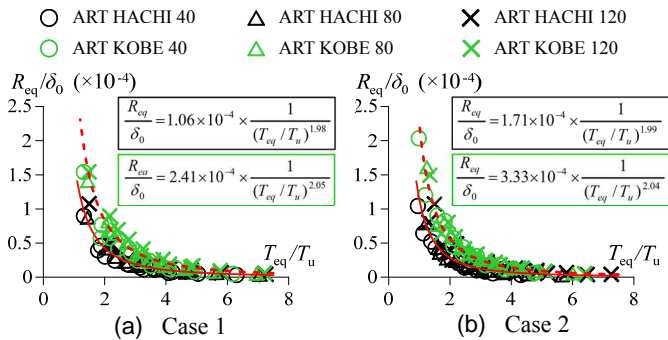


図4 $T_{eq}/T_u - R_{eq}/\delta_0$ の関係図

4. 上部構造の等価変形における予測式の提案

3章では、変形応答倍率 R_{eq}/δ_0 は等価周期比 T_{eq}/T_u の概ね2乗に反比例することが確認できた。地震波の影響を考慮するために、式(4)に示される平均エネルギースペクトル値と平均速度スペクトル値を用いた単位地震動の反復数 f 値³⁾を導入する。この f 値を用いると、等価周期比 T_{eq}/T_u と変形応答倍率 R_{eq}/δ_0 の関係は式(5)で表せる。

$$f = \left(\frac{\bar{V}_E}{S_v} \right)^2 \cdot \frac{1}{1+12\pi h} \quad (4), \quad \frac{R_{eq}}{\delta_0} = \frac{z}{\sqrt{f}} \cdot \frac{1}{(T_{eq}/T_u)^2} \quad (5)$$

ここで、 z : 免震層の剛性分配による係数である。式(5)は図4中に示す回帰式と概ね形が一致している。よって、Case 1とCase 2の違いから、係数 z は α_s/α_0 に関わる関数と考えられ、式(6)と仮定する。

すべてのパラメータによる時刻歴応答解析結果を用い、 α_s/α_0 の変化による係数 z の変化を図5に示す。同図より、入力地震動のレベルと位相特性に関わらず、 α_s/α_0 の減少に従い、係数 z は大きくなる事が分かる。最小二乗法から近似曲線の式である式(7)を求めた。式(5)、式(7)より、上部構造の等価変形 $\delta_{Meq}(=R_{eq} \cdot H_M)$ の予測式を式(8)で表す。

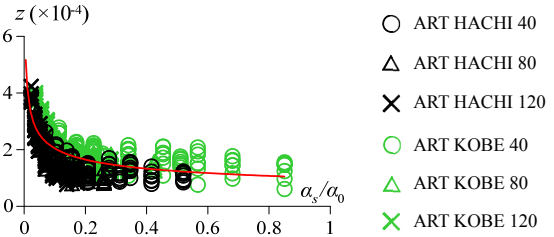


図5 $\alpha_s/\alpha_0 - z$ の関係図

$$z = A \times \left(\frac{\alpha_s}{\alpha_0} \right)^B \quad (6), \quad z = 9.48 \times 10^{-5} \times \left(\frac{\alpha_s}{\alpha_0} \right)^{-0.31} \quad (7)$$

ここで、 A 、 B は係数である。

$$\delta_{Meq} = 9.48 \times 10^{-5} \times \left(\frac{\alpha_s}{\alpha_0} \right)^{-0.31} \cdot \frac{1}{\sqrt{f}} \cdot \frac{1}{(T_{eq}/T_u)^2} \cdot \delta_0 H_M \quad (8)$$

5. 解析値と予測値の対応

上部構造における等価変形 δ_{Meq} について、時刻歴応答解析結果(解析値)と式(8)を用いた予測値の比較を図6に示す。6種類の入力地震動に対し、予測値と解析値は良い対応が見られ、等価変形 δ_{Meq} の変化傾向を捉えられることが確認できた。

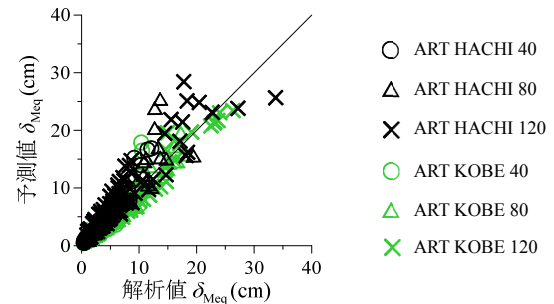


図6 解析値と予測値の対応

6. まとめ

本報では、天然ゴム系積層ゴムアイソレータと履歴ダンパーのみを使用する免震建物を用い、免震等価周期と上部構造のみの周期の比 T_{eq}/T_u 、免震層のアイソレータと履歴ダンパーの剛性分配、および入力地震動の f 値に着目し、上部構造における1階と中間階の最大相対変位 δ_{Meq} の予測式を提案した。また、予測式から求めた値は、時刻歴応答解析結果と良い対応であることが確認できた。今後は、安全側な結果になるように予測式を修正する予定である。

謝辞

本研究は、JFE スチール株式会社、JFE シビル株式会社、東京工業大学佐藤研究室、東京理科大学北村研究室の共同研究の成果の一部をまとめたものです。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 田中佑治, 福和伸夫, 飛田潤, 護雅史: 国内免震建物のデータベース構築と現状分析, 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第35号, pp.79-84, 2011.2
- 日本建築学会: 免震構造設計指針, 第4版, 2013.10
- 秋山宏, 北村春幸: エネルギースペクトルと速度応答スペクトルの対応, 日本建築学会構造系論文集, 第608号, pp.37-43, 2006.10

*1 東京理科大学 *2 東京工業大学

*3 JFE シビル *4 JFE スチール

*1 Tokyo Univ. of Science *2 Tokyo Institute of Technology

*3 JFE Civil Engineering & Construction Corp. *4 JFE Steel Corp.