T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報

論題(和文)	屋上階の質量・剛性が小さい免震鉄骨造物流倉庫を用いた各種設計用 層せん断力係数分布の考察
Title(English)	CONSIDERATIONS ON THE CURRENT STORY SHEAR COEFFICIENT DISTRI-BUTIONS USING BASE-ISOLATED STEEL WAREHOUSES WITH AN INHO-MOGENEOUS MASS AND STIFFNESS
著者(和文)	
Authors(English)	Kazuaki Miyagawa, Daiki Sato, Toshiaki Sato, Haruyuki Kitamura, Takuya Ueki, Yukio MURAKAMI
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 22, No. 53, pp. 59-64
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 22, No. 53, pp. 59-64
発行日 / Pub. date	2017, 2
権利情報	日本建築学会
Relation	https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/23/53/23_59/_article/-char/ja/
Note	ーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー

屋上階の質量・剛性が小さい免 震鉄骨造物流倉庫を用いた各種 設計用層せん断力係数分布の考 察

付 慧鑫 * 1	宮川和明 ——— * 2
佐藤大樹 ——— * 3	佐藤利昭 ——— * 4
北村春幸 ——— * 5	植木卓也 ——— * 6
村上行夫 ——— *6	

キーワード:

層せん断力係数分布、免震建物、鉄骨造、物流倉庫、履歴ダンパー

Keywords:

Distributions of story shear coefficient, Base-isolated buildings, Steel structure, Warehouses, Hysteretic dampers

CONSIDERATIONS ON THE CURRENT STORY SHEAR COEFFICIENT DISTRIBUTIONS USING BASE-ISOLATED STEEL WAREHOUSES WITH AN INHOMOGENEOUS MASS AND STIFFNESS

Huixin FU * 1	Kazuaki MIYAGAWA — * 2
Daiki SATO * 3	Toshiaki SATO — * 4
Haruyuki KITAMURA – * 5	Takuya UEKI — * 6
Yukio MURAKAMI —— * 6	

With the development of internet marketing, logistics bases have been increasing recently. Under the influence of the 2011 Tohoku Earthquake, base-isolated steel warehouses are on the increase. As the roofs of most warehouses are made of steel plates and with small loads, the rooftops of most warehouses are light. However, the current story shear coefficient distributions of base-isolated buildings are based on the buildings with a homogeneous mass and stiffness. So, this report shows a verification on the story shear coefficient distributions of base-isolated steel warehouses with an inhomogeneous mass and stiffness.

1. はじめに

免震構造の設計用層せん断力係数分布については、日本建築学 会・免震構造設計指針)(指針)と 2000 年の基準法改正に伴い規定 された免震建築物に関する技術的基準²⁾(告示 2009 号)が用いられ ている。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、これまで指針で想定してき た上部構造の固有周期や剛性分布を逸脱するような免震建物も設計 されるようになってきた。そのため、上述の方法で設計用層せん断 力係数分布を設定することが適切でない場合も増えており、より広 い範囲の免震建物に適用できるように、設計用層せん断力係数分布 を見直す研究が行われ、種々の提案がなされている 3~0。そこで、 近年,インターネット通販市場の拡大と2011年東北地方太平洋沖地 震の影響で,免震構造を採用する事例が増えている鉄骨造物流倉庫 を対象に設計用層せん断力係数分布について検討する。鉄骨造物流 倉庫は、屋上階を設けず屋根に鋼板を用いる場合が主であり、屋上 階の質量と剛性が一般倉庫階に比べて極端に小さくなる。このよう に、一般の建物に比べて免震鉄骨造物流倉庫は特殊ではあるが、実施 例の多い建物であり、かつ、物流倉庫は告示 2009 号で設計される事 例もある。そのため、その建物に対して設計用層せん断力係数分布を 検討することは重要である。

本報では鉄骨造物流倉庫に代表される屋上階の質量と剛性が極端 に小さい免震建物を対象とし,時刻歴応答解析によりその応答性状 を把握する。さらに,これまで提案された設計用層せん断力係数分布

^{*4} 九州大学大学院人間環境学研究院 准教授・博士(工学)

の設定方法を適用して,応答値との比較により,それぞれの提案方法 の特徴と鉄骨造物流倉庫に対する適用性を評価する。

2. 解析条件および上部構造の応答性状

2.1 解析モデルの概要

本報では,長辺方向11.2mスパン,短辺方向10.4mスパン,平面 67.2 m × 41.6 m の整形な形状を持つ4 階建ての鉄骨造物流倉庫を対 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軸組図を図1 に示す。床の固定荷重と 地震用積載荷重の合計は,倉庫階である1階から4階は10750kN/m², 金属折板屋根の屋上階は 550 kN/m²を見込んでいる。柱部材は, 1~3 階が BCP325 材□-500×500×16~22, 4 階が SS400 材 H-250×250× 9×14 を採用し、長辺方向に強軸を向けている。梁部材は、2~4 階 が長辺方向に SN490B 材 H-900×300 ~ 350×16×28 ~ 32, 短辺方向 に SN490B 材 H-600×200 ~ 250×12×22 ~ 25, R 階が長辺方向に SS400 材 H-346×174×6×9, H-396×199×7×11, 短辺方向に SS400 材 H-400×200×8×13 を採用している。免震層は天然ゴム系積層ゴ ム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。積層 ゴムは外柱下にØ800 mm, 中柱下にØ1000 mm をそれぞれ, 20 基, 15 基,ダンパーは16 基配置する。このモデルをIHM (Inhomogeneous Mass) モデルと呼び、屋上階の質量・剛性を小さくしたことの影響を 評価するため、屋上階の柱・梁部材と屋根重量を倉庫階の3階と同 様にしたモデル⁷⁾を作成し, HM (Homogeneous Mass) モデルと呼ぶ。

^{*1}東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻大学院生 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

^{*2} JFE シビル(㈱ 博士 (工学)

^{*3} 東京工業大学未来産業技術研究所 准教授・博士(工学)

^{*5} 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

^{*6} JFE スチール(株)

^{*1} Graduate Student, Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science

^{*2} JFE Civil Engineering & Construction Corp., Dr. Eng.

^{*3} Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Inst. of Technology, Dr. Eng

^{*4} Assoc. Prof., Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu Univ., Dr. Eng.

^{*5} Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

⁶ JFE Steel Corp.

質量分布と剛性分布を図3に示す。IHM モデルの屋上階の質量はお およそ4階の1/10である。上部構造において,最初に全塑性モーメ ントに達する部材は,IHM モデルで屋上階梁,HM モデルで2階梁 である。その時のベースシア係数 C_y はIHM モデルで0.11,HM モデ ルで0.14である。上部構造のみの1次固有周期 T_0 はIHM モデルで 1.72 s,HM モデルで2.17 sである。解析にあたっては、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。減衰定数は 上部構造のみの1次固有周期 T_0 に対して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。

本報では、各モデルにおいて、上部構造剛体時のアイソレータの みの周期 T_f を 3, 4, 5, 6 s, ダンパーの降伏せん断力係数 α , を 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 と変動させ、解析時のパラメータとする。

2.2 入力地震動の概要

入力地震動は, HACHINOHE (1968) EW 成分と JMA KOBE (1995) NS 成分を位相特性に用い, 平成 12 年建設省告示第 1461 号により規 定されたスペクトル特性を有する告示波の入力レベルを 0.5 倍, 1.0 倍した地震動とする。それぞれ, ART HACHI-0.5, ART HACHI-1.0, ART KOBE-0.5, ART KOBE-1.0 と呼ぶ。図4に, 加速度応答スペク トル *S_a* (*h* = 5 %)を示す。



2.3 時刻歴応答解析結果

図5に、ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha_s \ge 0.02$ 、上部構造剛体時 のアイソレータのみの周期 $T_f \ge r^2$ ラメータとした場合、図6に、上 部構造剛体時のアイソレータのみの周期 $T_f \ge 4s$ 、ダンパーの降伏せ ん断力係数 $\alpha_s \ge r^2$ ラメータとした場合の層せん断力係数 α_i ,絶対加 速度 A の最大応答の高さ方向分布と履歴ダンパー弾性時における刺 激係数 β_i をモデル毎にそれぞれ示す。解析用入力地震動は ART HACHI-1.0 とする。

図 5 (a) ~ (c)より、上部構造剛体時のアイソレータのみの周期 T_f が 4 s 以上で層せん断力係数 α_i と絶対加速度 A は小さくなることが確認 できる。また、 T_f の変化による、層せん断力係数 α_i ,絶対加速度 A と刺激係数 β_i の変化は小さいことが分かる。一方、図 6 (a) ~ (c)より、 ダンパーの降伏せん断力係数 α_s が大きくなるに従い、層せん断力係 数 α_i ,絶対加速度 A と刺激係数 β_i は大きくなることが確認できる。 また、 α_s の変化による、層せん断力係数 α_i ,絶対加速度 A と刺激 係数 β_i の変化は T_f を変える場合に比べて大きい。

図 5 (a)と図 6 (a)より,層せん断力係数α;は両モデルとも高さ方向 により増幅するが,屋上階の質量・剛性が小さい IHM モデルは各階 の質量・剛性がほぼ一様である HM モデルより,4層の層せん断力係 数の増大が明らかに大きいことが確認できる。

図 5 (b)より, IHM モデルは, R 階の絶対加速度 A が他の階と比べ て明らかに大きいことに対して, HM モデルは, 絶対加速度 A の高 さ方向の差が小さいがこと分かる。この要因には, 免震構造の高次



 $(\alpha_s = 0.02, \text{ ART HACHI-1.0})$

図6 α_s をパラメータとした場合 (T_f =4s, ART HACHI-1.0)

振動モード⁸⁾の影響が大きくなったことが挙げられる。図6(c)より, ダンパーの降伏せん断力係数 α ,が大きいほど,高次の刺激係数 β ,の 値が大きくなり,屋上階の質量・剛性が小さいIHM モデルでは,そ の傾向が強くなることが分かる。

3. 既往の層せん断力係数算出方法

前章の検討から、屋上階の質量・剛性が小さいことで、高次モード の影響が大きくなり、上部構造の応答性状が変化することが分かっ た。本章では5種類の層せん断力係数算出方法¹⁾⁻⁰について説明し、 次章では屋上階の質量・剛性が小さい中低層鉄骨造建物に対する適 用性を検証する。既往の方法は、指針に基づく方法と告示に基づく方 法に大別できる。図7(a)、(b)に、各方法における層せん断力係数の 算出方法を示す。

3.1 指針法 1)

免震構造設計指針では、ダンパー群に対する上部構造の第1層の 水平剛性比 b_sによる免震構造の高次振動モードの影響を考慮し、各 層の層せん断力係数α_iを次式で表している。

$$\alpha_i = \alpha_f + a_i \cdot \overline{\alpha}_i \cdot \alpha_s \tag{1}$$

ここで、 α_f :弾性支承材のせん断力係数、 α_s :ダンパーの負担せん 断力係数、 $\overline{\alpha}_i$:最適降伏せん断力分布(基準法における A_i 分布)、 a_i :ダンパーによるせん断力係数の増幅係数である。 a_i は(2)式の b_s に基づいて、(3)式で求めた \overline{a} から(4)式で算出される。ここで、 k_0 : 通常の建物の第1層の水平剛性、 k_s :ダンパー群の水平剛性、N:上 部構造の層数である。この方法を以降、指針法と呼ぶ。

$$b_s = \frac{k_0}{k_s} \tag{2}$$

$$\begin{cases} \overline{a} = 3.1238 - 0.1238b_s & 1 \le b_s < 10 \\ \overline{a} = 2.0127 - 0.0127b_s & 10 \le b_s < 80 \\ \overline{a} = 1 & 80 \le b_s \end{cases}$$
(3)

$$a_i = \left(\frac{\overline{a}-1}{N-1}\right)i + \frac{N-\overline{a}}{N-1} \tag{4}$$

3.2 補正法 3)

小林らは、上部構造のみの1次固有周期 T_0 が長くなるほど、 α_s の 増加による層せん断力係数の高さ方向への増幅が大きくなる傾向を 考慮するために、免震構造設計指針で記載されているダンパーによ る層せん断力係数の増幅係数 a_i の代わりに、応答増幅 β_i を用いて、 各層の層せん断力係数 α_i を次式で評価する方法を提案している。

$$\alpha_i = \alpha_f + \beta_i \cdot A_i \cdot \alpha_s \tag{5}$$

応答増幅 β_i は免震構造設計指針と同様に直線分布が採用され,(6)式 で表される。

$$\beta_i = \left(\frac{\overline{\beta} - 1}{N - 1}\right)i + \frac{N - \overline{\beta}}{N - 1} \tag{6}$$

 $\overline{\beta}$ は免震係数 I と等価減衰 h_{eq} を用いて、(7)式 ~ (10)式で計算される。なお、 h_{eq} はパーセント表示の値である。

$$\overline{\beta} = \frac{s}{L^2} + t \quad (\overline{\beta} > u \, \text{0} \, \text{場合では} \, \overline{\beta} = u \, \text{とする}) \tag{7}$$

$$s = 0.26h_{eq} + 0.29$$
 (s > 5.0の場合ではs = 5.0とする) (8)
t = 0.60 (9)

$$u = 0.09h_{eq} + 1.28$$
 ($u > 3.0$ の場合では $u = 3.0$ とする) (10)

免震層の初期剛性に対する周期 T₁と上部構造のみの1次固有周期 T₀の比である。

$$I = \frac{T_1}{T_0} \tag{11}$$

文献 3) の建物モデルは 10 質点系せん断モデルとし,免震層を除 く上部構造 (9 質点) は弾性としている。質量は各層 1000 ton,剛性 分布は最下層に対して最上層が 0.5 となる台形分布としている。免 震層は弾性のアイソレータと完全弾塑性型の履歴ダンパーで構成し, 上部構造剛体時のアイソレータのみの周期 $T_f を 4.0 s$ としてある。解 析パラメータはダンパーの負担せん断力係数 $\alpha_s を 0.01 \sim 0.10$,ダン パーの降伏変位 $\delta_y を 0.1$ cm, 1.0 cm, 3.0 cm,上部構造のみの 1 次固 有周期 $T_0 を 0.2 s \sim 1.6 s$ の範囲で変動させている。時刻歴応答解析時 は、 T_0 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ている。入力地震動は、3 パターンの乱数位相 と ELCENTRO (1940) NS 成分,HACHINOHE (1968) EW 成分およ び JMAKOBE (1995) NS 成分を位相特性に用い、第 I 種地盤,第 II 種地盤および地盤増幅係数 Gs = 1.23とした告示適合波を使用してい る。本報では、ばらつき補正係数なしとする場合で検証する。この 方法を以降、補正法と呼ぶ。

3.3 告示法²⁾

免震建築物に関する技術的基準(告示 2009 号)では、ダンパーに よる層せん断力係数の増幅を A_i分布のみで考慮し、各層の層せん断 力係数 C_{ri}を次式で表している。

$$C_{ri} = \gamma \cdot \frac{Q_{iso}}{M \cdot g} \cdot \frac{A_i(Q_h + Q_v) + Q_e}{Q_h + Q_v + Q_e}$$
(12)

ここで、 γ :免震部材の力学特性のばらつき等の影響を考慮する係数、 M:上部構造の総質量、g:重力加速度、 A_i :建築基準法の基準せん断 力係数分布 (A_i 分布)、 Q_{iso} :免震層のせん断力、 Q_e 、 Q_h 、 Q_v :支承 材、履歴系ダンパー、流体系ダンパーが免震層の基準変位時に負担す るせん断力である。この方法を以降、告示法と呼ぶ。

3.4 増幅法,割増法^{4)~6)}の方法

飯場らは、上部構造での応答増幅が大きいほど、告示法において算 出した層せん断力係数と応答解析で求めた層せん断力係数との差が 大きい傾向を示し、層せん断力係数を2種類の方法で評価している。 最上層の層せん断力係数αRの1つの算出方法は、(13)式で示すよう に、告示法によって算出した免震層の層せん断力係数 C_{n0}に応答増幅 率 α を乗じる方法である。

飯場らは、 T_1/T_0 が小さく、非線形係数 NL が大きいほど、上部構造の増幅率が大きくなる傾向を示すことから、応答増幅率 $a \in T_1/T_0$ によって下式と提案している。

 $\alpha_R = C_{r0} \cdot a$

$$\begin{cases} 0.0 < T_1 / T_0 \le 0.5 & a = 2.19 + 3.95NL \\ 0.5 < T_1 / T_0 \le 1.5 & a = 2.31 + 3.34NL \\ 1.5 < T_1 / T_0 \le 3.0 & a = 1.66 + 2.58NL \\ 3.0 < T_1 / T_0 \le 5.0 & a = 1.04 + 1.59NL \end{cases}$$
(14)

ここで、 T_1 :上部構造剛体時の免震層の初期剛性に対する周期、NL: 免震層の最大応答変形に基づく非線形係数である(図 8 に示すよう に、最大変位 δ_{max} とその時のせん断力 Q_{max} により囲まれた長方形の 面積に対する、Bi-linear 型履歴曲線の面積の比)。この方法を以降、 増幅法と呼ぶ。 もう1つは、(15)式で示すように、告示法によって算出した最上層の層せん断力係数 C_Rに応答割増率 b を乗じる方法である。

	$0.0 < T_1 / T_0 \le 0.5$	$b = 1.61 + 0.31(T_{eq}/T_0)$	
	$0.5 < T_1/T_0 \le 1.5$	$b = 1.60 + 0.19(T_{eq}/T_0)$	(10)
<	$1.5 < T_1 / T_0 \le 3.0$	$b = 1.33 + 0.08(T_{eq}/T_0)$	(16)
	$3.0 < T_1 / T_0 \le 5.0$	$b = 0.94 + 0.02(T_{ea}/T_0)$	

ここで, T_{eq}: 免震層の最大変形に基づく等価周期である。この方法を 以降,割増法と呼ぶ。なお,免震層の応答増幅率と応答割増率を1.0 とし,高さ方向を台形分布として求めた応答増幅率分布および応答 割増率分布において,それぞれの中間層の応答増幅率または応答割 増率を用いて,中間層の層せん断力係数を算出する。

解析において上部構造を階高が 3.5 m の 7 層および 14 層を用いて いる。上部構造の質量分布は一様とし,線形弾性の復元力としている。 剛性分布は最下層に対して最上層の値が 0.4 となる台形分布として いる。上部構造のみの 1 次固有周期を $T_0 = \eta H$ より決定している。こ こで, $\eta = 0.02$, 0.03, 0.04, $H : 建物高さである。T_0$ に対して,減衰 定数 h = 2%, 3%となる初期剛性比例型の減衰を上部構造のみに与 えている。解析パラメータは、上部構造剛体時のアイソレータのみの 周期 $T_f を 2.5$ s, 4.0 s, 6.0 s, ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha_s を 0.03$, 0.0 5, 0.0 7, 0.1 0,降伏変位 δ_y を 0.1 cm, 1 cm, 3 cm である。入力地 震動は第 I 種地盤と 2 種類の第 II 種地盤および地盤増幅係数 Gs =1.23 とした告示適合波を使用している。

図 9 に,既往の層せん断力係数算出方法の検討に使用された解析 条件と本検討に使用する解析条件の比較を示す。上部構造のみの1次



固有周期 T_0 は既往研究 ³⁾⁻⁶と比べて長いが,既往研究には 1.6 s, 2.0 s のような長周期のケースも含まれている。上部構造剛体時のアイソレータのみの周期 T_f ,ダンパーの降伏せん断力係数 α_s およびダンパーの降伏変位 δ_y の解析条件においては,本検討と既往研究の解析条件は対応している。また,既往手法には各階の質量・剛性が一様であるモデルが使用されている。なお,解析条件については文献 1)~6)で明確に示されているもののみを載せている。



図10 せん断力係数の高さ方向分布 (T_f=4s, ART HACHI-1.0)

4. 設計用層せん断力係数分布の適用性の検証

本章では、屋上階の質量・剛性が小さい IHM モデルに対し、前章 で述べた各方法の適用性について検証する。4.1 節では、ダンパーの 降伏せん断力係数α、をパラメータとした際の時刻歴応答解析結果と、 各方法によって算出した層せん断力係数の高さ方向分布を比較する。 4.2 節では、全ての時刻歴応答解析による結果と比較し、各方法の適 用性を評価する。

4.1 高さ方向分布の比較

図 10 (a), (b)に, ART HACHI-1.0 入力時における各方法で算出した各層の層せん断力係数をモデル毎にそれぞれ示す。ここでは例として,上部構造剛体時のアイソレータのみの周期 T_f =4sの場合を挙げ,ダンパーの降伏せん断力係数 α ,をパラメータとした結果を示す。

図 10 (a)より、屋上階の質量・剛性が小さい IHM モデルの場合、 前述のとおり、応答結果において 4 層の層せん断力係数が増大する ことが分かる。指針法はこの傾向を評価できず、危険側となる。補 正法はダンパーの降伏せん断力係数α。が0.02以下の場合に危険側の 評価となっているが、ダンパーの降伏せん断力係数α。の増加に従い、 安全側の評価になる傾向が確認できる。告示法は4層が大きくなる という傾向を表現できているが、IHM モデルにおける最上層の応答 増幅を低めに評価している。増幅法は最上層において、 $\alpha_s = 0.01$ の 場合に安全側な評価となるが、α,が0.02以上の場合に危険側な評価 となる。これは増幅法では、上部構造の層せん断力係数分布を台形 分布と考え、IHM モデルにおける 4 層の応答増幅を評価していない ためと考えられる。それに対して、割増法は概ね安全側な評価とな った。1~3層の層せん断力係数は、指針法、補正法、告示法は、応 答結果と概ね一致している。最上層で応答結果に対して安全側に評 価していた増幅法と割増法は、応答結果に対して全般的に過大な評 価となっている。

一方,図 10 (b)より,各階の質量・剛性がほぼ一様である HM モ デルの場合,指針法と補正法における 1 層では危険側の評価となる が,免震構造の高次振動モードによる上部構造の高さ方向の応答増 幅を考慮しているため,2~4 層では安全側の評価になる傾向を示し た。それに対して,告示法の結果はダンパーの降伏せん断力係数α, が大きくなるに従い,安全側から危険側に移っていく。これは,告 示法において,ダンパーの降伏せん断力係数α,による上部構造の層 せん断力係数の増加を十分に評価できていないためと考えられる。 告示法に基づく上部構造の増幅を考慮する増幅法と割増法は,全て の値で応答結果に対して過大な評価を示し,ダンパーの降伏せん断 力係数α,が大きくなるに従い,応答結果に近づく傾向がある。

4.2 適用性の考察

図 11 (a) ~ (e)に各方法で算出した各層の層せん断力係数(算出結 果) と4種類の上部構造剛体時のアイソレータのみの周期 T_f を設定 した両モデルに対して時刻歴応答解析により得られた層せん断力係 数(応答結果)の比較をモデル毎にそれぞれ示す。ここでは、ダンパ ーの降伏せん断力係数 α_s が 0.01, 0.03, 0.05の結果を示す。なお、 本検討では地震動の位相特性、または入力レベルによる顕著な差異 が認められなかったため、図 11には全ての地震動での結果をまとめ て示している。

図 11 (a)より,指針法は IHM モデルの 1~3 層および HM モデルの 全層では良い対応が見られる。一方, IHM モデルの 4 層ではダンパ



図11 せん断力係数の応答結果と算出結果の比較

ーの降伏せん断力係数α,が大きくなるに従い,算出結果は応答結果 に多少近くなるが,危険側の評価となっている。これは上部構造の 質量・剛性分布の変化による高さ方向の応答増幅を十分に評価でき ていないためと考えられる。

図 11 (b)より,補正法は指針法と同様に,IHM モデルの 1~3 層お よび HM モデルの全層では良い対応が見られる。さらに,IHM モデ ルの 4 層では,指針法に比べて応答結果との対応が良いことと,ダ ンパーの降伏せん断力係数 α_s が大きいほど応答結果との対応が良く なり, $\alpha_s = 0.05$ では最上階で過大な評価となるが,全てのケースで 安全側の評価となることが確認できる。ダンパーの降伏せん断力係 数 α_s の増加による層せん断力係数の高さ方向への増幅が大きくなる 傾向を評価できていると考えられる。しかし,ダンパーの降伏せん 断力係数 α_s が小さい場合,IHM モデルの4層では危険側な評価が多 いことが確認できる。これは補正法がダンパーの降伏せん断力係数 α_s が小さい場合,上部構造の質量分布の変化による高さ方向の応答 増幅を, β_i によって十分に評価できていないためと考えられる。

図11(c)より,告示法は両モデルにおいてばらつきが大きいことが 分かる。また,IHM モデルの1~3 層において、ダンパーの降伏せ ん断力係数 α_s =0.01 では概ね安全側な評価となるが、ダンパーの降 伏せん断力係数 α_s が0.03 以上の場合,ばらつきが大きく危険側にな るケースが多いことが確認できる。告示法は上部構造の高次振動モ ードを考慮していないため、ダンパーの降伏せん断力係数 α_s が大き い場合,上部構造の層せん断力係数を低く評価したと考えられる。 4 層では、IHM モデルにおける算出結果が応答結果を下回る危険側 の評価となる。これは告示法が質量分布の変化による上部構造の応 答増幅を、*Ai*分布のみでは十分に評価できないためと考えられる。

図 11 (d)より,増幅法では IHM モデルの最上層においては危険側 な評価となることが多いが,HM モデルでは概ね安全側な評価とな っている。さらに,告示法と同様に,両モデルにおいてダンパーの 降伏せん断力係数α,が大きくなるに従い,危険側な評価になる傾向 が確認できる。これは増幅法においてダンパーの降伏せん断力係数 α,の増加に従い,上部構造の応答増幅を低く評価しているためと考 えられる。

図11(e)より,割増法はばらつくが,両モデルにおいては概ね安全 側の評価をしていることが確認できる。また,IHM モデルの4層に おいては、ダンパーの降伏せん断力係数*α*、が大きくなることに伴い, 安全側に評価していることが分かる。

5. まとめ

本報では,鉄骨造物流倉庫に代表される屋上階の質量・剛性が極端 に小さい免震建物を対象とし,これまで提案された5種類の設計用 層せん断力係数分布の設定方法を適用して,応答値との比較により, それぞれの提案方法の特徴と鉄骨造物流倉庫に対する適用性を評価 した。限られた範囲の検討ではあるが,得られた知見を以下に示す。

- 指針法は屋上階の質量・剛性が小さい IHM モデルの1~3 層と 各階の質量・剛性がほぼ一様である HM モデルの全層では上部 構造の応答増幅を評価できるが、質量分布の変化による上部構 造の応答増幅を十分に評価できていないため、IHM モデルの4 層では危険側な評価となった。
- 2) 補正法は上部構造のみの1次固有周期Toが長くなるほど、ダン

パーの降伏せん断力係数α,の増加による層せん断力係数の高さ 方向への増幅が大きくなる傾向を考慮しているため、指針法よ り応答結果との対応が良い。しかし、IHM モデルの4層におい ては、ダンパーの降伏せん断力係数α,が小さい場合の応答増幅 が危険側の評価となった。

- 3) 告示法は IHM モデルの1~3層と HM モデルでは、応答結果と 概ね対応しているが、免震構造の高次振動モードの影響を考慮 していないため、ダンパーの降伏せん断力係数α。が大きい場合、 危険側になることが多い。また、上部構造の質量分布の変化によ る最上層の応答増幅を Ai 分布のみでは十分に評価できないため、 IHM モデルの4層ではほぼ危険側な結果となった。
- 4) 増幅法は、IHM モデルの1~3 層とHM モデルでは応答結果に 対して全般的に過大な評価となっている。IHM モデルにおいて、 上部構造の応答増幅を低く評価しているため、4 層においては 危険側の評価が多い。なお、この傾向は、ダンパーの降伏せん断 力係数α、が大きいほど顕著であった。
- 5) 割増法は、IHM モデルの1~3 層と HM モデルでは応答結果に 対して全般的に過大な評価となっている。IHM モデルの1~3 層 においては常に安全側な評価となった。また、4 層においては応 答結果とのばらつきが少なく、概ね安全側な評価となった。
- 6) 既往の提案式のような基準を設ける場合には、質量・剛性分布に 対する適用範囲の設定が重要となる。

謝辞

本報告は, 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,感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 日本建築学会:免震構造設計指針, pp. 73-110, 1993
- 2)国土交通省住宅局建設指導課など:免震層建築物の技術基準解説及び計算例 とその解説、2001.5
- 3)小林正人,谷崎豪,松田紳吾:免震部材の多様化に対応した免震建物の設計用地震荷重分布,日本建築学会構造系論文集,第77巻,第676号, pp.859-868,2012.6
- 4) 西村拓也,田村和夫,猿田正明,森川和彦,飯場正紀:免震建築物の層せん 断力係数の評価に関する研究(その1)パラメータスタディ,日本建築学会 大会学術講演梗概集(北陸), pp.231-232, 2010.9
- 5) 森川和彦,田村和夫,猿田正明,西村拓也,飯場正紀:免震建築物の層せん 断力係数の評価に関する研究(その2)層せん断力係数評価法の提案,日本 建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp.233-234, 2010.9
- 6) 飯場正紀,田村和夫,猿田正明,西村拓也,森川和彦,北村佳久,小林正人, 石原直:免震建築物の設計用地震層せん断力係数に関する検討,建築研究所, 建築研究資料, No. 162 号, 2014.8
- 7)付慧鑫,渡辺泰成,佐藤利昭,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:鉄骨造の中低層免震建物の応答に固有 周期が与える影響,日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 425-428, 2016.3
- 8) 森川和彦,西村拓也,猿田正明,田村和夫:免震建築物の高次振動モード 評価に関する研究(その2)主成分分析によるモード分析,日本建築学会大 会学術講演梗概集(東北),pp.923-924,2009.8

[2016年5月31日原稿受理 2016年8月19日採用決定]