

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	免震物流倉庫の地震応答に関する検討 その3 異なる剛性・配置のブレースを有する上部構造の骨組特性値の比較
Title(English)	Seismic response of base-isolated warehouse Part3. Comparison of frame parameters for controls between different stiffnesses and placements of braces
著者(和文)	新井雄大, 佐藤大樹, Alex Shegay, 戸張涼太, 安永隼平, 植木卓也, 金城陽介
Authors(English)	Yudai Arai, Daiki Sato, Aleksey Vadimovich Shegay, Ryota Tobari, Jumpei Yasunaga, Takuya Ueki, Yosuke Kaneshiro
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 349-352
Citation(English)	, , , pp. 349-352
発行日 / Pub. date	2022, 3

擬似ブレース剛性 K_{bs} は状態 NR 解析より算出できる。状態 R における制振部材軸力の水平成分 $F_{dR(i,j)}$ と層間変位 $\delta_{R,i}$ で剛性 $K_{dR(i,j)}$ (式(3)) を各制振部材設置箇所について計算し、第 i 層におけるダンパー総数を $N_{d,i}$ とすると、擬似ブレース剛性 $K_{bs,i}$ を得られる (式(4))。

$$K_{dR(i,j)} = F_{dR(i,j)} / \delta_{R,i} \quad (3)$$

$$K_{bs,i} = \sum_{j=1}^{N_{d,i}} \alpha_{N(i,j)} \times K_{dR(i,j)} \quad (4)$$

擬似ダンパー剛性 $K_{ds,i}$ は部材構成モデルのブレース剛性水平成分 $K_{d(i,j)}$ と式(1)を用いて算出できる (式(5))。

$$K_{ds,i} = \sum_{j=1}^{N_{d,i}} (\alpha_{N(i,j)})^2 \times K_{d(i,j)} \quad (5)$$

部材構成モデルにおける層間変形 δ はせん断モデルにおける層間変形 ($\delta_{ds} + \delta_{bs}$) に等しいことから、実効変形比の予測値 α_{es} は式(6)で算出でき、これは実効変形比の下限値を表す。

$$\alpha_{es} = \frac{\alpha_N \delta_{ds}}{\delta_{ds} + \delta_{bs}} = \frac{\alpha_N}{1 + \delta_{bs} / \delta_{ds}} \quad (6)$$

$$= \frac{\alpha_N}{1 + \alpha_N^2 \frac{K_{ds}}{K_{bs}}} = \frac{\alpha_N}{(1 - \alpha_N^2) + \alpha_N^2 \frac{K_{ds}}{K_{as}}}$$

2.2 検討モデルの骨組特性値と実効変形比

本章で検討するモデルは、本報その 2 と同じものとする。検討対象としたブレース配置形式と骨組特性値 K_{bs} , K_{as} を Fig.3 に、 α_N と K_{ds} を Fig.4(a)(b) に示す。Fig.3(a)では異なる断面積のブレースを連層配置 (MS) した時、(b)では異なる断面積のブレースを千鳥配置 (CH) した時の比較、Fig.3(c)では異なる配置形式の 4 列モデル (MS04, CH04) の比較、Fig.3(d)では異なる配置形式の 2 列モデル (MS02, CH02) の比較を示す。

Fig.4 に示すように、 α_N と K_{ds} はブレース配置や本数による差はほとんど生じなかった。 α_N はいずれのモデルも全層にわたり概ね 1.0 であった。Fig.3(a)(b)より配置位置やブレース断面により K_{bs} および K_{as} に差が生じていた。いずれの配置形式・配置位置でも、2 列モデルの K_{bs} は 4 列モデルの K_{bs} の 1/2 以下になっており、全層で K_{as} も小さくなっていた。Fig.3(c)(d)より、いずれのブレース断面においても、 K_{bs} は CH Inside が最も大きく、MS Outside が最も小さかった。 K_{as} もこの傾向がみられた。

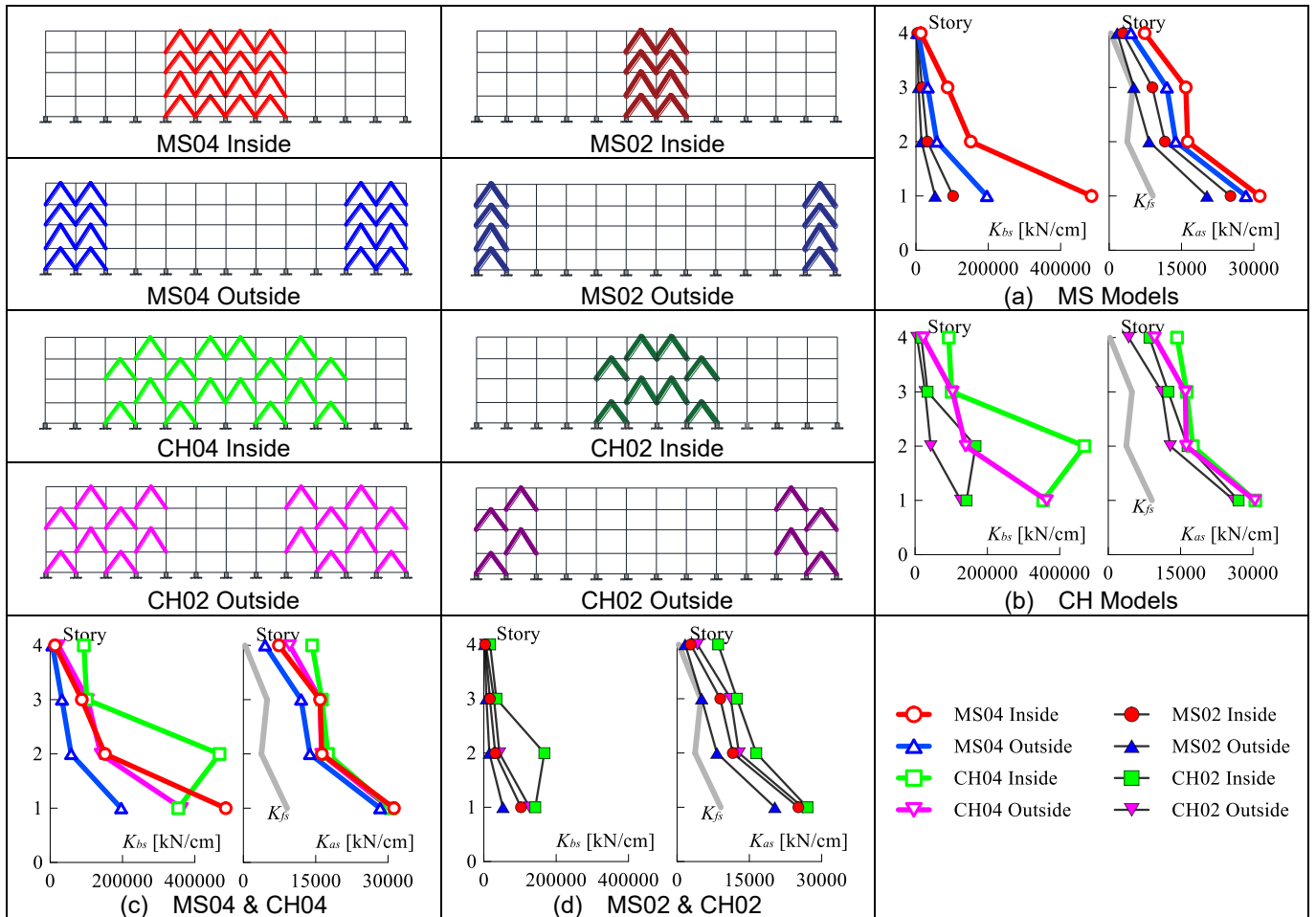
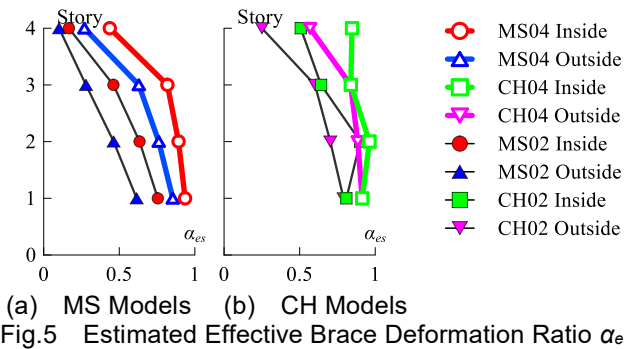
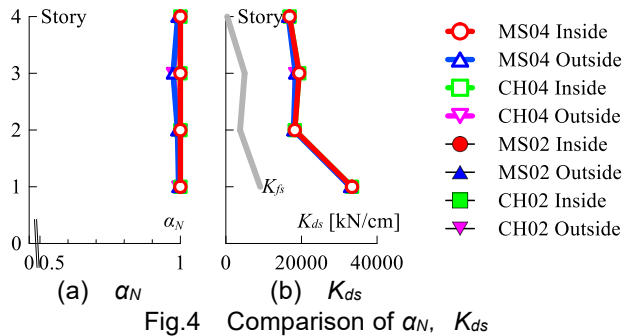


Fig.3 Comparison of Frame Parameters for Controls (K_{bs} , K_{as})

Fig.5(a)(b)には α_{es} の連層配置・千鳥配置の比較を示す。 K_{bs} や K_{as} と同様に、CH04 Inside で最も大きく、MS02 Outside で最も小さくなった。また、全てのモデルで、第1層の α_{es} は 0.5~0.9 程度と 1.0 よりも小さくなった。これは、免震層に鉛直変形が生じ上部構造全体にロッキング挙動が生じたためである。第1層の α_{es} を比較することで、免震層のロッキング挙動の影響はブレースの配置列数の少ない2列モデルで大きく、MS(連層配置)の Outside で特に大きかった。免震層のロッキング挙動についての詳細は本報その2に示している。



3. 部材構成モデルとせん断モデルの地震応答の比較

前章で算出した骨組特性値を用いたせん断モデルの応答精度を検証するために、本報その2と同じ入力地震動の時刻歴応答解析を行った際の部材構成モデルとせん断モデルの応答の比較を行う。なお、本章で対象とするのは4列モデル (MS04 Inside, MS04 Outside, CH04 Inside, CH04 Outside) のみであるが、2列モデル (MS02 Inside, MS02 Outside, CH02 Inside, CH02 Outside) でも部材構成モデルとせん断モデルの応答が精度良く一致することを確認している。

Fig.6(a)~(c)に、ART HACHI を入力地震動として4列モデルの時刻歴応答解析を行った際の、部材構成モデルとせん断モデルの地震応答 (層間変形角 R , 絶対加速度 $Acc.$, 相対変位 $Dis.$, 実効変形比 α_e) を示す。凡例は、せん断モデルを S-model, 部材構成モデルは M-model として示す。いずれのブレース配置でもせん断モデルと部材構成モデルの応答は精度良く一致したことから、免震層を有する建物モデルでも、状態 NR 解析により高い精度でせん断モデル化が可能であることがわかった。

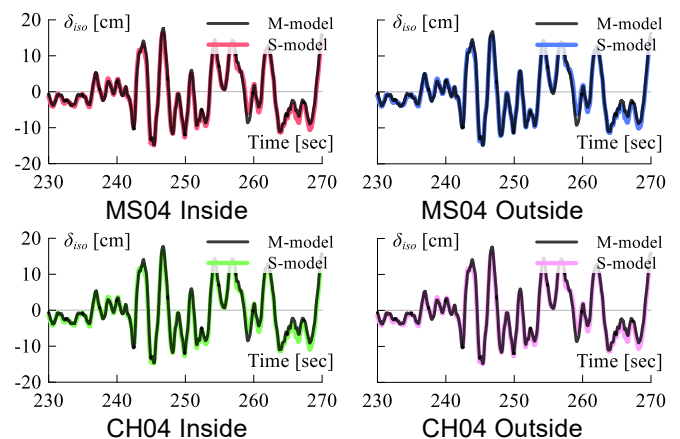
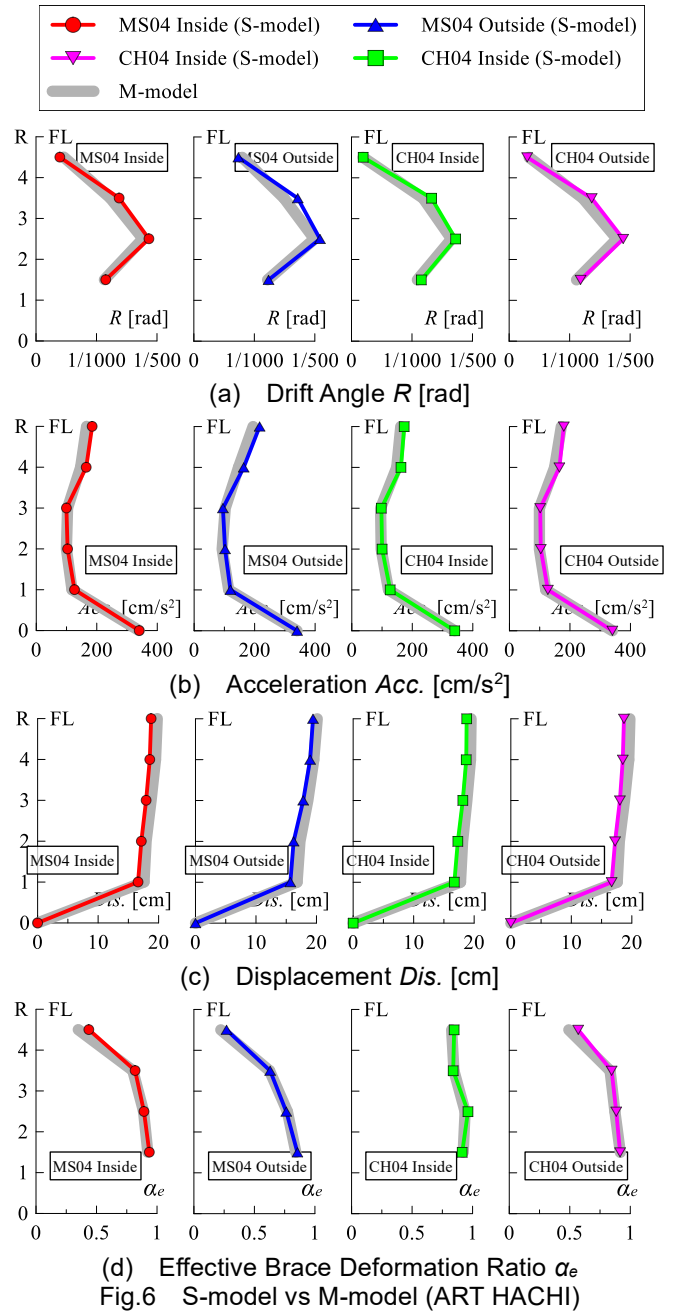


Fig.7 には、ART HACHI 入力時の特に応答の大きかつ

た 230 ~ 270 s での免震層の変形 δ_{iso} の時刻歴を示す。同図では、部材構成モデルを黒線、せん断モデルを色付き線で示し、Fig.6 と同様に 4 列モデルのみを示す。いずれのブレース配置でも、せん断モデルの δ_{iso} は部材構成モデルと精度良く一致していることが確認できる。

4. 骨組特性値と、固有周期および地震応答との関係

本章では第 2 章で算出した骨組特性値と、固有周期および地震応答との関係について考察する。ブレースの水平方向の剛性の和や配置箇所が反映された付加系剛性 K_{as} 、擬似フレーム剛性 K_{fs} の全層の平均をそれぞれ \bar{K}_{as} 、 \bar{K}_{fs} とし、 $\bar{K}_{as}/\bar{K}_{fs}$ と基礎固定時の上部構造の 1 次固有周期 T_u 、層間変形角の最大値 R_{max} との関係について考察する。

4.1 骨組特性値と T_u の関係

Fig.8 に、 $\bar{K}_{as}/\bar{K}_{fs}$ と基礎固定時の上部構造の固有周期 T_u との関係を示す。なお、同図はプロットを Fig.3 のブレースの色と同じ色で示している。 $\bar{K}_{as}/\bar{K}_{fs}$ が増大するにしたがい、 T_u が短くなる傾向があった。

4.2 骨組特性値と地震応答の関係

骨組特性値と地震応答との関係を把握することを目的とし、ブレース配置や本数で応答の差が特に大きかった層間変形角を対象に、層間変形角の最大値 R_{max} と、 $\bar{K}_{as}/\bar{K}_{fs}$ との関係を示す。ART HACHI、ART KOBE とともに Fig.9 に示す。 $\bar{K}_{as}/\bar{K}_{fs}$ が増大するにしたがい、最大層間変形角は小さくなる傾向があった。2 列モデルで、4 列モデルよりも応答に違いが見られたのは、2 列モデルではブレースの配置箇所が $\bar{K}_{as}/\bar{K}_{fs}$ の値に及ぼす影響が大きかったためだと考えられる。

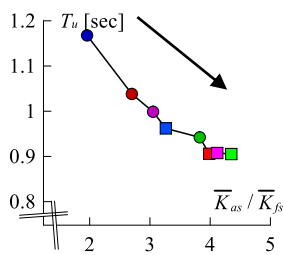


Fig.8 Relationship between $\bar{K}_{as}/\bar{K}_{fs}$ and T_u

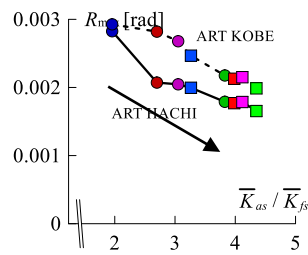


Fig.9 Relationship between $\bar{K}_{as}/\bar{K}_{fs}$ and R_{max}

5. まとめ

異なる配置や本数のブレースを上部構造に有する免震建物に対して、状態 NR 解析を行い骨組特性値の比較、せん断モデルの精度検証、および骨組特性値と上部構造の固有周期・地震応答との関係についての考察を行った。連

層配置より千鳥配置の方が、また、外側に集中配置するよりも内側に集中配置の方が付加系剛性 K_{as} の値は大きくなることがわかった。また、状態 NR 解析により算出される骨組特性値を用いたせん断モデルの地震応答は、部材構成モデルの地震応答と精度良く一致したことから、免震建物でも状態 NR 解析によるせん断モデル化が有用であることがわかった。さらに、上部構造の固有周期や地震応答は、付加系剛性 K_{as} と擬似フレーム剛性 K_{fs} を用いた $\bar{K}_{as}/\bar{K}_{fs}$ との相関関係があることがわかった。

謝辞

本報告は、JFE シビル株式会社、JFE スチール株式会社、東京工業大学佐藤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。本研究の一部は、JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (JPMJOP1723) によるものです。

参考文献

- 1) 秋山宏：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計，1999.10
- 2) 日本建築センター：エネルギーの釣合に基づく耐震計算法の技術基準解説及び計算例とその解説，日本建築センター情報事業部，2005.10
- 3) 加藤秀章，森隆浩，室田伸夫，石井建，菊地優：高減衰積層ゴムの変形履歴積分型復元力モデルに関する研究，日本建築学会構造系論文集，Vol.76，No.667，pp.1721-1728，2011.9
- 4) 笠井和彦，シムアンパン・サンラン，松田和浩：免震建物の上部構造周期を考慮した免震性能曲線の提案，日本建築学会構造系論文集，第 81 巻，第 720 号，pp.239-249，2016.2
- 5) 付慧鑫，佐藤大樹，北村春幸，松田頼征，宮川和明，植木卓也，村上行夫：上部構造と免震層の等価周期比を用いた免震建物の応答予測式，日本建築学会技術報告集，第 24 巻，第 58 号，pp.951-956，2018.10
- 6) Chen Zhengle，Daiki Sato：Design for Isolated Building Considering Stiffness Distribution for Inhomogeneous Mass，日本建築学会大会学術講演会，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.569-570，2021.9
- 7) 笠井和彦，岩崎啓介：様々な形式の制振構造における自由度縮約法と水平バネ系への変換法，日本建築学会構造系論文集，No.605，pp.37-46，2006.7
- 8) 石井正人，笠井和彦：多層制振構造の時刻歴応答解析に用いるせん断棒モデルの提案，日本建築学会構造系論文集，Vol.75，No.647，pp.103-112，2010.1
- 9) 株式会社ブリヂストン：建築免震用積層ゴム製品仕様一覧 2018 Vol.2
- 10) 翠川三郎，三浦弘之：1968 年十勝沖地震の八戸港湾での強震記録の再数値化，日本地震工学会論文集，第 10 巻，第 2 号，2010，pp.12 ~ 21
- 11) 日本建築学会：免震構造設計指針 第 3 版，2001.9

*1 学生会員 東京工業大学 大学院生

*2 東京工業大学 未来産業技術研究所 准教授・博士 (工学)

*3 東京工業大学 未来産業技術研究所 助教・Ph.D.

*4 JFE シビル株式会社

*5 JFE スチール株式会社

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology*1

Associate Professor, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng*2

Assistant Professor, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.*3

JFE Civil Engineering & Construction Corporation*4

JFE Steel Corporation*5