

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2 ブレースの剛性・配置の違いが応答に与える影響
Title(English)	Seismic response of base-isolated warehouse Part2. Influence of different stiffnesses and placements of braces on seismic response
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 Tobar, 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. 345-348
Citation(English)	, , , pp. 345-348
発行日 / Pub. date	2022, 3

免震物流倉庫の地震応答に関する検討

その2 ブレースの剛性・配置の違いが応答に与える影響

構造—振動

免震物流倉庫      ブレース配置      上部構造周期  
実効変形比      ロッキング      引張面圧

正会員 ○ 新井雄大<sup>\*1</sup>      正会員 佐藤大樹<sup>\*2</sup>  
"      Alex Shegay<sup>\*3</sup>      "      戸張涼太<sup>\*4</sup>  
"      安永隼平<sup>\*5</sup>      "      植木卓也<sup>\*5</sup>  
"      金城陽介<sup>\*5</sup>

1. はじめに

本報その1では、HDRのエネルギー法への適用を目指した基礎研究として、HDRのみから構成される免震層の復元力特性を、NRBと鋼材ダンパーによりバイリニアモデルへと置換したときの地震応答の再現精度を入力レベルごとに検証した。

本報その2では、免震建物の上部構造のブレースに着目し、ブレースの配置や剛性が地震応答に及ぼす影響を明らかにする。具体的には、上部構造に異なる配置・剛性のブレースを有する解析モデルを作成し、地震応答の比較を行う。また、上部構造のブレースが免震層の鉛直変形の大きさに及ぼす影響をブレースの実効変形比を用いて比較する。さらに、上部構造の固有周期と時刻歴応答解析によって得られた地震応答の関係について考察する。

2. 解析概要

上部構造は、本報その1の解析モデルからブレースを取り除いたフレームに、Fig.1に示すブレース配置の解析モデルを作成する。なお、ブレースを配置する構面はFig.2の基準階図に赤線で示すY1,7構面とする。連層配置(MS: Multi-Story)・千鳥配置(CH: Chidori)の配置形式、内側に集中配置したInside、外側に集中配置したOutsideの配置位置、また、ブレースの水平方向の剛性の和が等しくなるように1構面あたりのブレース配置列数を2列および4列にしたモデルを作成する。なお、MSやCHの後に続く数字は1構面あたりのブレース配置列数を意味する。Table 1に2列モデルおよび4列モデルで設定したブレース部材と断面積 $A_b$ を示す。4列モデルに使用したブレース部材は本報その1のブレース部材符号V1と同じであり、2列モデルに使用したブレース部材は4列モデルの断面積が2倍になるように調節したものである。

免震層には本報その1で作成したNRBSDモデルと同じ部材を用いる。NRBSDモデルの免震層配置図をFig.3に再掲する。

各モデルの基礎固定時の上部構造の1次固有周期 $T_u$ を

Fig.4に長い順に左から並べて示す。 $T_u$ は2列モデルの方が4列モデルよりも長く、Outsideの方がInsideよりも長くなる傾向があった。また、MS(連層配置)の方がCH(千鳥配置)よりも長かった。

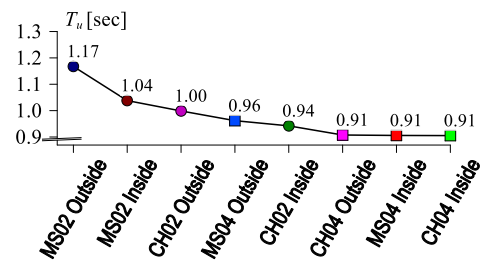
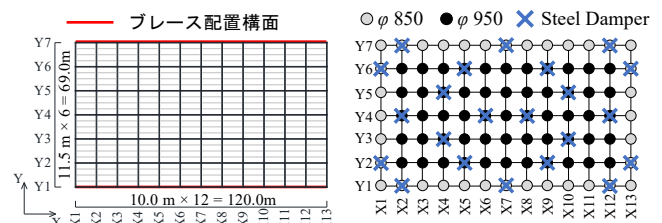
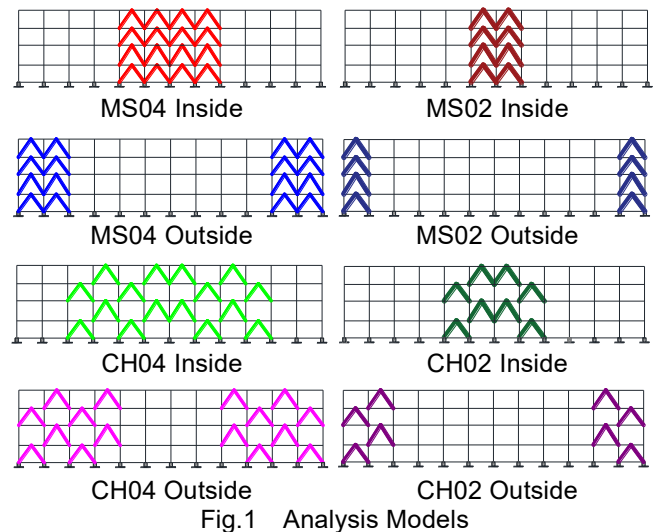


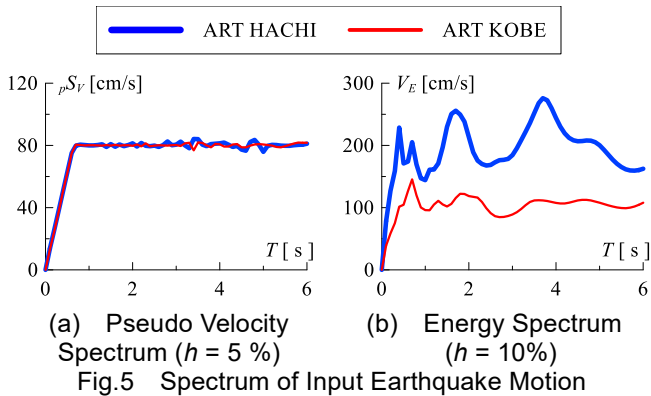
Table 1 Brace Member

	MS04, CH04		MS02, CH02	
	Member	$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]	Member	$A_b$ [cm <sup>2</sup> ]
4F	□-300×300×12×12	138.2	□-300×300×25×25	276.5
3F	□-300×300×12×12	138.2	□-300×300×25×25	276.5
2F	□-300×300×16×16	181.8	□-300×300×34×34	363.5
1F	□-300×300×22×22	244.6	□-300×300×49×49	489.3

### 3. 時刻歴応答解析

#### 3.1 入力地震動

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、コーナー周期 0.64 s 以降で擬似速度応答スペクトル  $pS_V$  ( $h = 5\%$ ) が 80 cm/s で一定となる告示波を用いる。以降、これを ART HACHI, ART KOBE と呼び、本解析では 1.0 倍波を入力する。Fig.5(a)に擬似速度応答スペクトル  $pS_V$  ( $h = 5\%$ )、Fig.5(b)にエネルギースペクトル ( $h = 10\%$ ) を示す。



#### 3.2 時刻歴応答解析結果

Fig.6(a)(b)には ART HACHI を入力したときの 4 列モデル (MS04, CH04) の応答、および 2 列モデル (MS02, CH02) の応答を示す。Fig.7(a)(b)には ART KOBE 入力時の応答を同様に示す。応答は各層の層間変形角  $R$ 、絶対加速度  $Acc.$ 、相対変位  $Dis.$ 、ブレースの実効変形比  $\alpha_e$  について示す。いずれの地震動も、4 列モデルの応答は 2 列モデルの応答に比べてモデル間での差が小さかった。特にこの傾向は層間変形角で顕著であった。4 列モデル、2 列モデルともに、層間変形角は連層配置 (MS) の Outside が大きくなる傾向があり、千鳥配置 (CH) の Inside が最も小さくなった。一方、絶対加速度と相対変位ではいずれの配置形式・配置位置でも差はあまり見られなかった。

実効変形比は千鳥配置 (CH) の Inside で全層にわたり最も大きく、連層配置 (MS) の Outside で最も小さい値となった。また、4 列モデルの方が 2 列モデルよりも実効変形比は大きな値となった。第 1 層の実効変形比に着目すると、4 列モデルでは概ね 1.0 となっているものの、2 列モデルでは 0.6~0.8 程度になっていた。第 1 層の実効

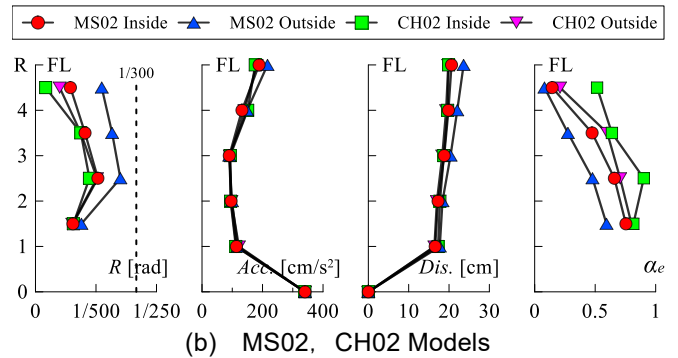
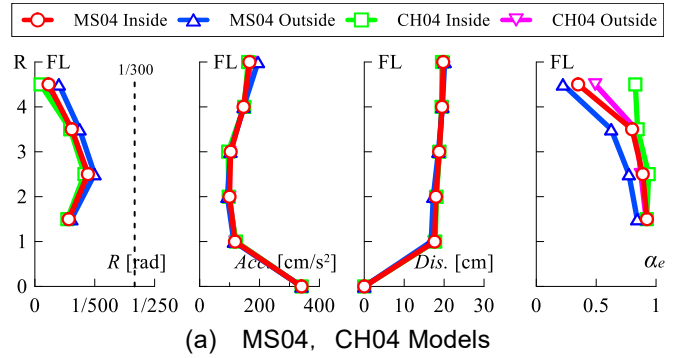


Fig.6 Response of Time History Analysis (ART HACHI)

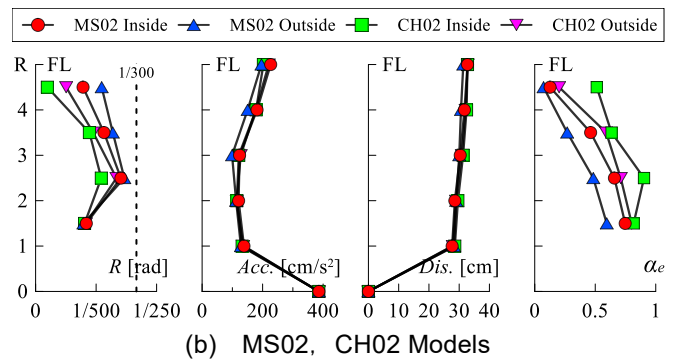
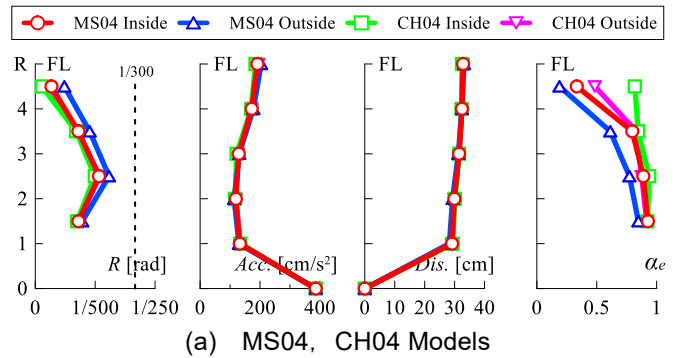


Fig.7 Response of Time History Analysis (ART KOBE)

変形比が 1.0 よりも小さくなるのは免震層の鉛直変形によりロッキング挙動が生じるためであり、MS02 Outside でその影響が大きかった。このことは 3.4 で後述する。弾性範囲では最大層間変形角はいずれのモデルも 1/300 rad 以内となることがわかった。



なお、前述のとおり本解析では引張剛性を圧縮剛性と等しい剛性としている。しかし、実際の部材は初期引張剛性が圧縮剛性の1/5~1/10程度で、せん断ひずみの増大に従い引張剛性がさらに低下する傾向がある<sup>11)</sup>ため、本解析モデルよりも免震層の鉛直変形が増大し、実効変形比がさらに小さくなることが予想される。

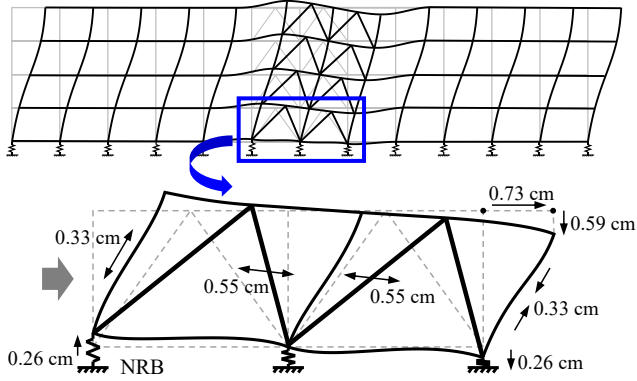


Fig.10 Deformation of Each Member ( $C_0 = 0.1$ )

### 3.5 固有周期と応答の関係

上部構造の固有周期  $T_u$  と層間変形角の最大値  $R_{max}$ 、免震層の最大変形  $\delta_{iso}$  の関係を Fig.11(a)(b)に示す。なお、プロットの色は Fig.1 に示す解析モデルのブレースの色と一致するように示している。

Fig.11(a)で示す層間変形角の最大値は、 $T_u$  が長くなるにしたがい大きくなる傾向があった。このため、ブレース配置や1本あたりの剛性による層間変形角の違いは、 $T_u$  との相関関係があることがわかる。一方、Fig.11(b)で示す免震層の最大変形は  $T_u$  が 1.0 s 程度までは小さくなったが、 $T_u$  が 1.0 s 程度より長い範囲では大きくなる傾向があった。

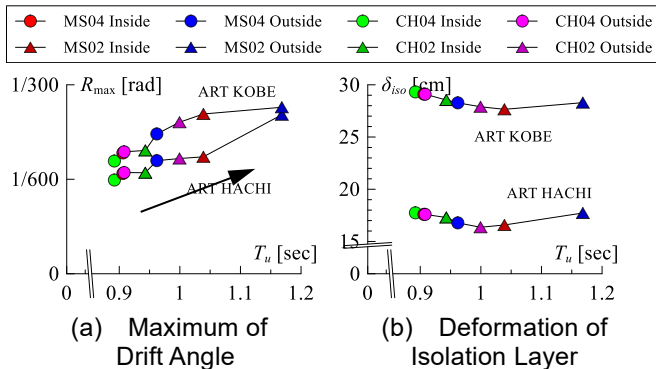


Fig.11 Relationship between  $T_u$  and Maximum Response

### 4. 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の固有周期と地震応答を比較した。ブレースを内側に集中配置する場合や、千鳥配置にする場合に、ブレース

の実効変形比は大きくなり、上部構造の固有周期が短くなることわかった。また、ブレースの配置により層間変形角に違いが生じ、この違いは固有周期との相関関係があることがわかった。

本報での検討モデルでは引張面圧が  $1.0 \text{ N/mm}^2$  を超えたモデルが存在した。また、免震層のロッキング挙動により第1層の実効変形比が 1.0 を下回るようになり、ブレースの1本あたりの剛性が高いモデルでその影響を大きく受けることがわかった。

謝辞、参考文献はその3にまとめて記す。

### 附録 免震層の鉛直変形が実効変形比に及ぼす影響

Fig.6 および Fig.7 の時刻歴応答解析結果より、免震層の鉛直変形により上部構造のロッキング挙動が生じ、第1層の実効変形比が 1.0 よりも小さくなることわかった。免震層のロッキング挙動が実効変形比に及ぼす影響を明らかにするために、免震層の鉛直変形を考慮した場合、鉛直変形を固定した場合で、それぞれ  $A_i$  分布を外力分布として増分解析を行い、算出した実効変形比  $\alpha_e$  を Fig.A に示す。全てのモデルで、免震層のロッキングをなくすことで第1層の  $\alpha_e$  は 1.0 となり、ロッキングがある場合に比べて概ね全層で  $\alpha_e$  は増大する傾向がみられた。ロッキングをなくすことで第1層の  $\alpha_e$  の増える値は、2列モデルでは 0.2~0.4 程度、4列モデルでは 0.1~0.2 程度であり、ブレース1本あたりの剛性が大きい方が免震層のロッキング挙動の影響を受けやすいと考えられる。

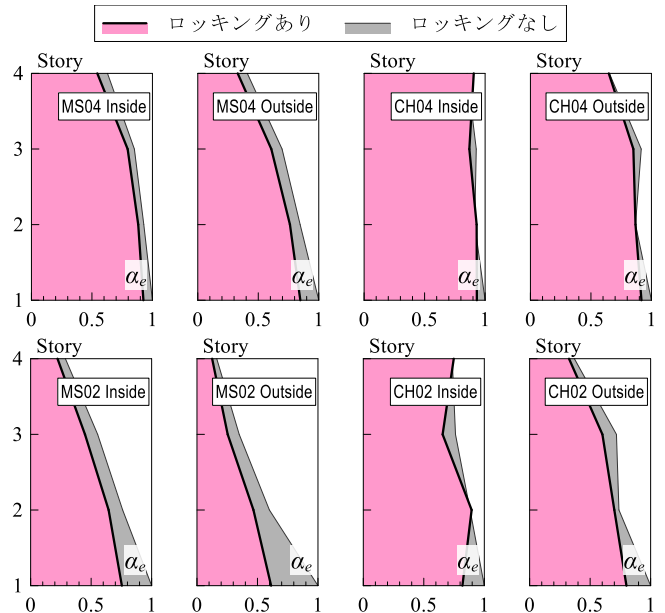


Fig.A Influence of Rocking on Effective Brace Deformation Ratio  $\alpha_e$

\*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