

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 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. 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

構造一振動

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^{*1}
" Alex Shegay^{*3}
" 安永隼平^{*5}
" 金城陽介^{*5}

正会員 佐藤大樹^{*2}
" 戸張涼太^{*4}
" 植木卓也^{*5}

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。

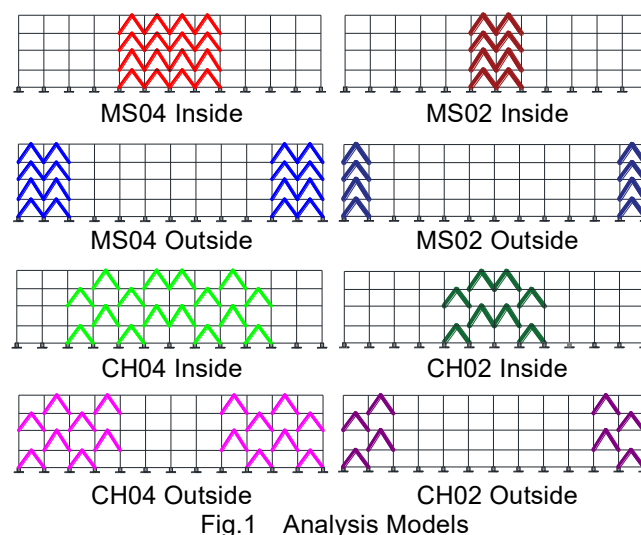


Fig.1 Analysis Models

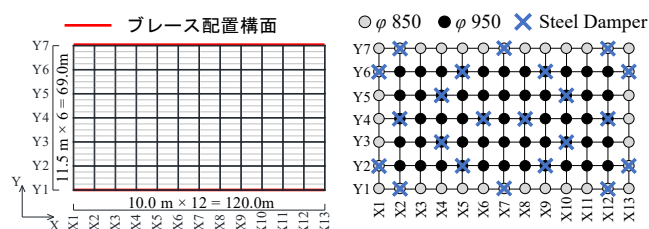


Fig.2 Typical Floor Plan

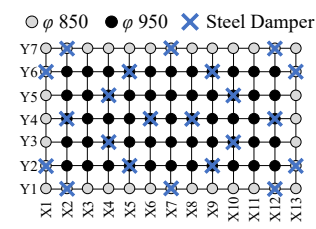


Fig.3 Isolation Layer Plan

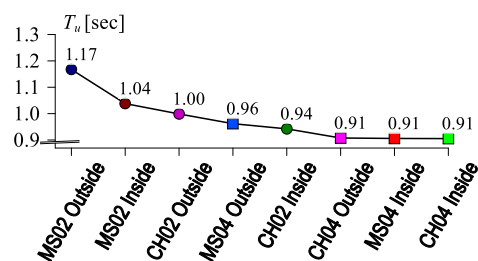


Fig.4 Natural Period of Superstructure

Seismic response of base-isolated warehouse
Part2. Influence of different stiffnesses and placements of
braces on seismic response

ARAI Yudai, SATO Daiki, Alex SHEGAY, TOBARI Ryota,
YASUNAGA Jumpei, UEKI Takuya, KANESHIRO Yosuke

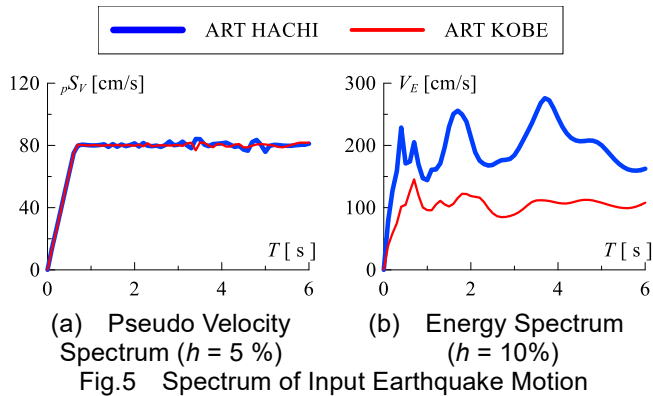
Table 1 Brace Member

	MS04, CH04		MS02, CH02	
	Member	A_b [cm ²]	Member	A_b [cm ²]
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 α_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

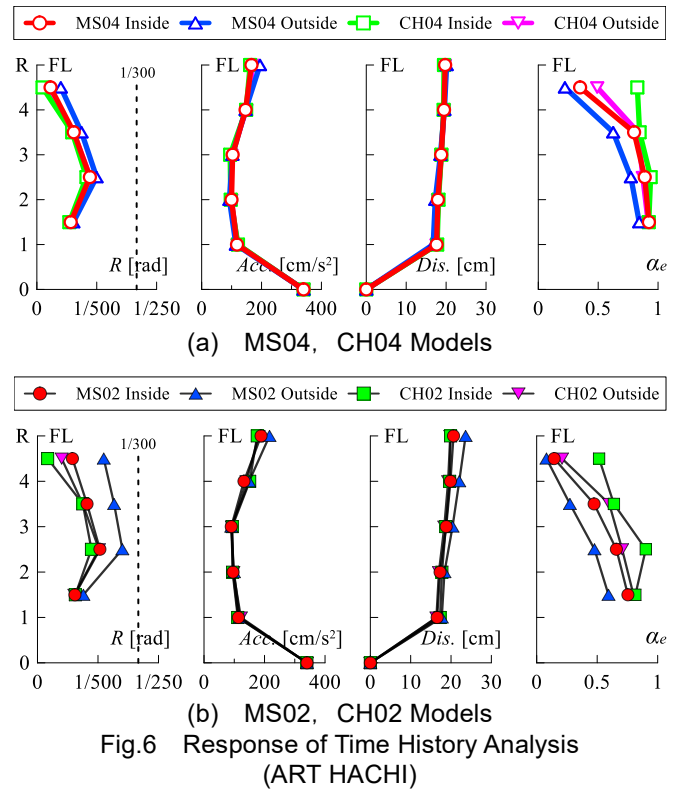


Fig.6 Response of Time History Analysis (ART HACHI)

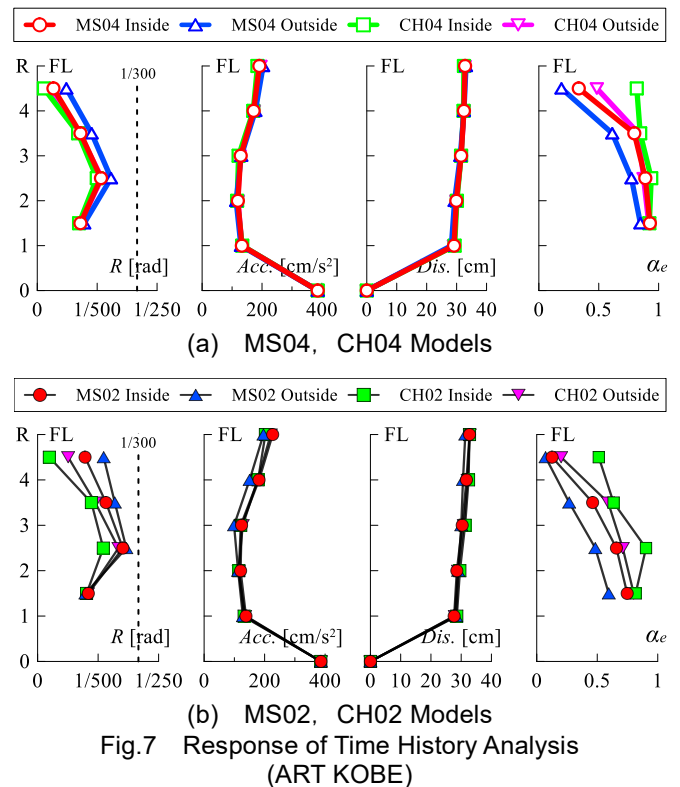


Fig.7 Response of Time History Analysis (ART KOBE)

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。

3.3 時刻歴応答解析時の免震層の面圧

本解析は、ブレースの本数や配置位置を変更したときの構造特性の影響を確認としているため、免震層の引張面圧を考慮せずにブレースを設定している。そのため、現実的な設計よりもブレースの本数や層の水平剛性を比較的低く設定しており、時刻歴応答解析時に免震層の引張限界強度（ $= 1.0 \text{ N/mm}^2$ ）⁹⁾を超過するモデルが多数存在した。なお、本解析時の免震層の鉛直方向の引張剛性は、圧縮剛性と同じ値で設定されており、鉛直剛性は $\phi 850$ で 27500 kN/cm 、 $\phi 950$ で 34500 kN/cm である。Fig.8(a)には、長期荷重時の面圧図を、Fig.8(b)には、ART HACHI 入力時の免震層の最小面圧図を示す。圧縮面圧のNRBを正とし青色で表し、引張面圧のNRBを負とし赤色で表す。また、引張限界強度を超えたNRBは、□印で表し、印の上には引張限界強度を超えた引張面圧の値を記している。CH04 Insideを除くすべてのモデルで引張面圧となり、引張限界強度 1.0 N/mm^2 を超える結果となった。いずれのモデルも、引張限界強度を超えたNRBの位置はブレース群のうち、最右端もしくは最左端の1階柱脚下部であった。

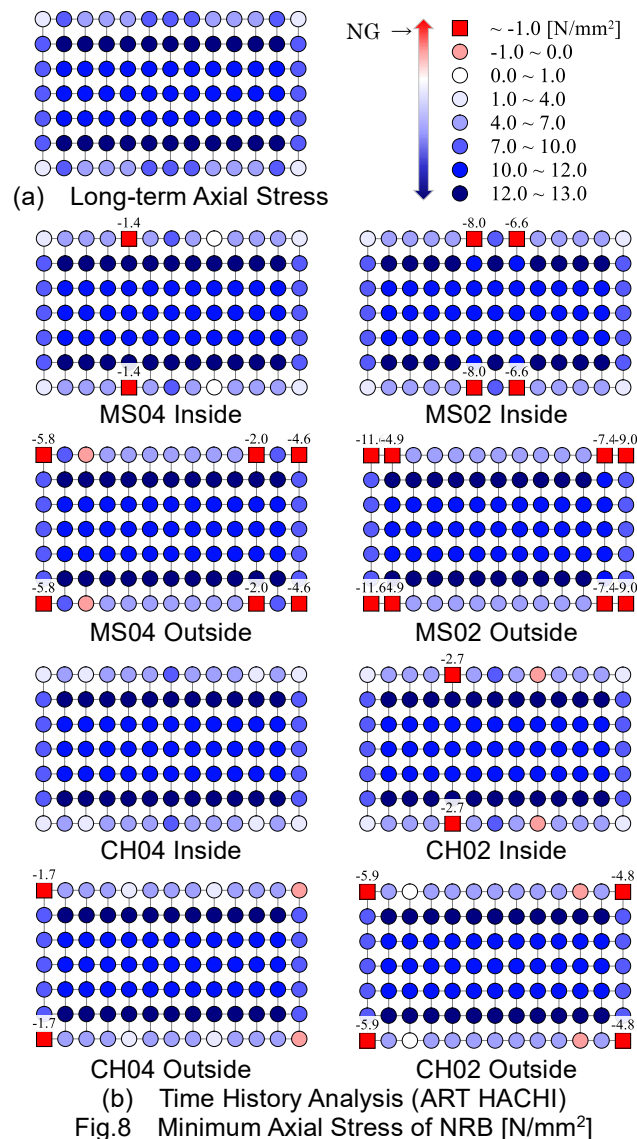
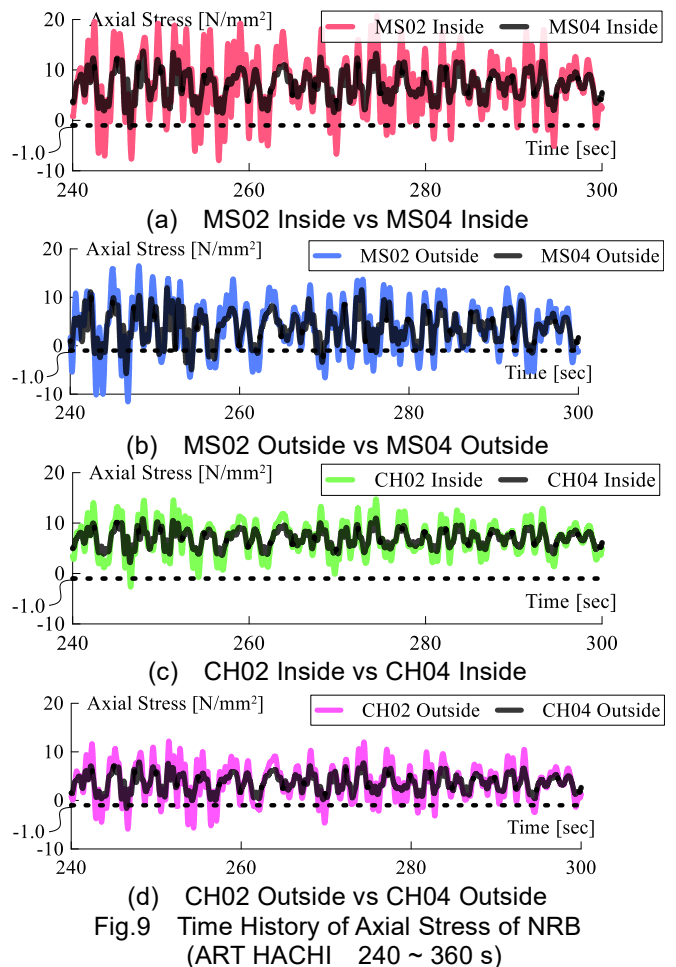


Fig.9(a)~(d)には、Fig.8(b)の各モデルで最小面圧となったNRBについて、ART HACHI 入力時の面圧の時刻歴を示す。圧縮面圧を正の値、引張面圧を負の値で示しており、引張面圧 1.0 N/mm^2 を黒の点線で示している。なお、Fig.9は面圧の変動が特に大きかった240~300 sの範囲のみを示す。最小面圧が -1.0 N/mm^2 より小さくなったのは、色付き線で示す2列モデルでは複数回であったのに対して、黒線で示す4列モデルでは、MS04 Outsideを除いて0回（CH04 Inside）もしくは247 s付近の1回（MS04 Inside・CH04 Outside）のみであった。全時刻にわたり、2列モデルより4列モデルの方が面圧の変動が少なく、さらに千鳥配置の方が面圧の変動は少なかった。



3.4 架構の水平変形時の免震層の鉛直変形

3.2での地震応答の比較で、第1層の実効変形比が1.0よりも小さくなるモデルが存在することを述べた。本節では、MS02 Insideを対象に増分解析を行い、各部材の変形を確認する。 $C_0 = 0.1$ 時の架構変形図、および第1層のブレース配置箇所の各部材の変形をFig.10に示す。層の水平変形が 0.73 cm のときに、外側の柱上端部の鉛直変形が 0.59 cm 、柱の軸変形が 0.33 cm 、ブレースの水平変形が 0.55 cm 、免震層の鉛直変形が 0.26 cm であった。すなわち、層間変形に対して1/3程度の鉛直変形が免震層に生じ、実効変形比にも影響を及ぼすことがわかる。

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¹¹⁾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。

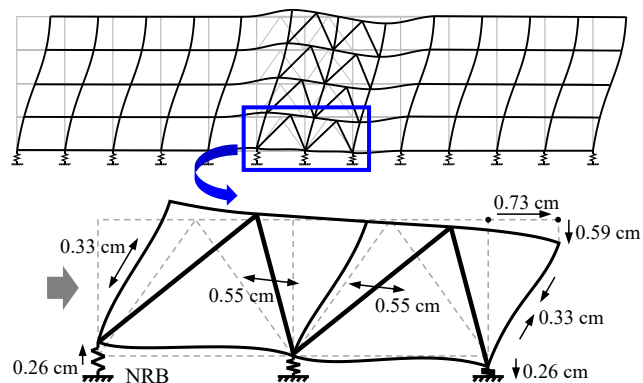


Fig.10 Deformation of Each Member ($C_0 = 0.1$)

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 δ_{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。

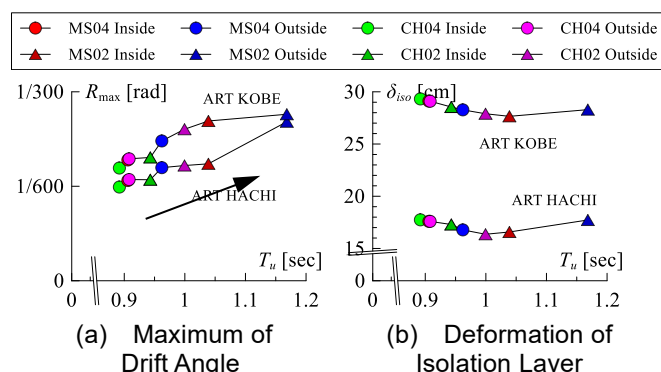


Fig.11 Relationship between T_u and Maximum Response

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がわかった。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 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がわかった。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 α_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 α_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 α_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 α_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。

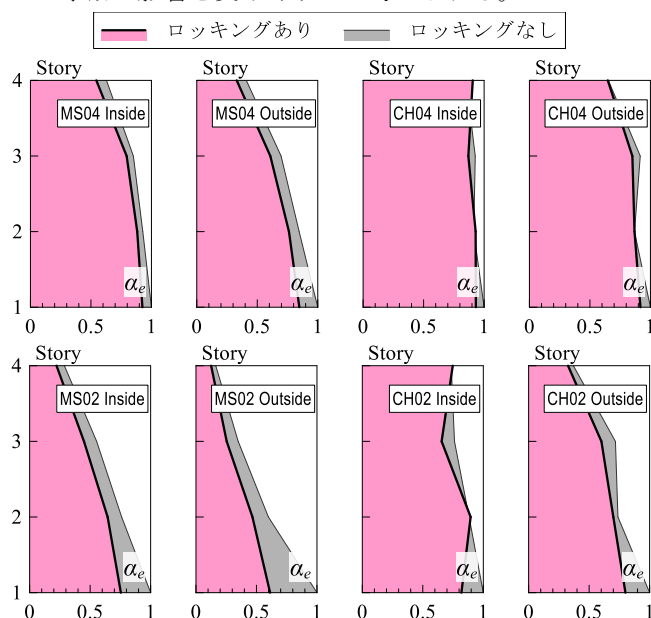


Fig.A Influence of Rocking on Effective Brace Deformation Ratio α_e

*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