

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                               |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 論題(和文)            | 免震鋼構造における実効変形比に基づくブレース配置の設計法                                                                                  |
| Title(English)    | Design method of brace placement for base-isolated steel buildings based on effective brace deformation ratio |
| 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, 森岡宙光                                                               |
| Authors(English)  | Yudai Arai, Daiki Sato, Alex Shegay, Ryota Tobar, Jumpei Yasunaga, Takuya Ueki, Hiromitsu Morioka             |
| 出典(和文)            | 日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 571-572                                                                                |
| Citation(English) | , , , pp. 571-572                                                                                             |
| 発行日 / Pub. date   | 2023, 9                                                                                                       |
| 権利情報              | 一般社団法人 日本建築学会                                                                                                 |

免震鋼構造における実効変形比に基づくブレース配置の設計法

ロングスパン鉄骨造 免震構造 ブレース配置  
免震支承の引抜き 降伏耐力 座屈耐力

1. はじめに

大型物流倉庫のようなロングスパン鉄骨造に免震構造を採用する場合、ブレース付加により上部構造の剛性を大きくすることで、免震層による応答低減効果が得られる。しかしながら、ブレース配置によっては、①免震支承に引抜きが生じるケースや、②ブレースに降伏もしくは座屈が発生するケースがある。筆者らはブレース設置箇所の変形時の幾何学的関係に着目することで免震支承の引抜きを推定する判定手法を提案しており<sup>1)</sup>、本報はその拡張という位置づけとして、実効変形比（層間変位に対するブレースの水平変形の比率）に基づいて①②を考慮した設計法を提案し、例題建物を用いた設計例を示す。

2. 免震支承の引抜きおよびブレースの降伏・座屈の実効変形比に基づく判定手法および設計フローの提案

筆者らは、図 1(a)のような架構変形の幾何学的な関係より、線形範囲の面圧の予測式を提案している<sup>1)</sup>。提案式は、上下方向の静的震度  $C_v$  や実効変形比  $\alpha_{es}$  を考慮すると式(1)のように変換できる。なお各変数の定義は図 1 下に示す。

$$\sigma_{vt,k} = (1 - C_v)\sigma_{0,k} + (1 - \alpha_{es,1k}) \cdot L_{eq,k} \cdot \frac{K_{vc,k}}{A_{N,k}} \cdot R_1 \tag{1}$$

ここで、 $\sigma_0$ ：長期荷重時の面圧、 $K_{vc}$ ：免震支承の圧縮剛性、 $A_N$ ：免震支承の断面積である。式(1)に対して  $\sigma_{vt} < 0$  となる条件より、引抜きが生じないための第 1 層の実効変形比の下限值  $\alpha_{es,ul}$  が次式により得られる。

$$\alpha_{es,ul} = 1 + \frac{(1 - C_v)\sigma_{0,k}}{L_{eq,k}R_1} \cdot \frac{A_{N,k}}{K_{vc,k}} \tag{2}$$

また、図 1(b)に示す関係より、ブレース軸変形  $\delta_d$  がブレースの軸方向の降伏変形  $\delta_{dy}$ （式(3)、 $\sigma_y$ ：降伏応力度、 $E$ ：ヤング係数）以内となる条件から、ブレースが降伏しないための実効変形比の上限値  $\alpha_{es,dy}$  が式(4)により得られる。

$$\delta_{dy,i} = \frac{\sigma_y}{E} \cdot L_{d,i}, \quad \alpha_{es,dy,i} = \frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{2}{\sin 2\theta_i} \cdot \frac{1}{R_i} \tag{3}, (4)$$

同様に、両端ピンのブレースがオイラー座屈する軸変形  $\delta_{dcr}$ （式(5)、 $i_d$ ：断面 2 次半径）と  $\delta_d$  の関係から、ブレースが全体座屈しないための実効変形比の上限値  $\alpha_{es,dcr}$  が式(6)のように導出できる。

正会員 ○新井 雄大\*1 正会員 佐藤 大樹\*2  
同 Alex Shegay\*2 同 戸張 涼太\*3  
同 安永 隼平\*4 同 植木 卓也\*4  
同 森岡 宙光\*4

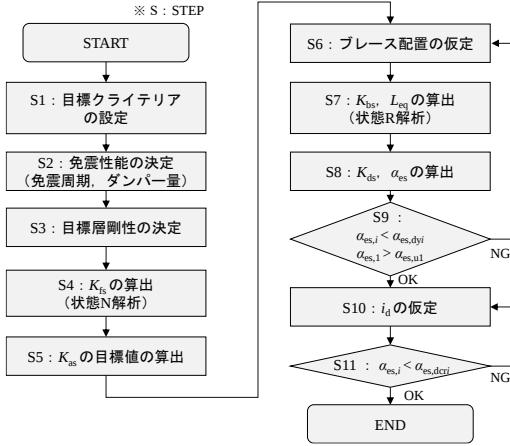


図 2 降伏・座屈および引抜きを考慮した設計フロー

ス全体座屈しないための実効変形比の上限値  $\alpha_{es,dcr}$  が式(6)のように導出できる。

$$\delta_{dcr,i} = \frac{\pi^2 i_{d,i}^2}{L_{d,i}}, \quad \alpha_{es,dcr,i} = \left( \frac{\pi i_{d,i}}{H_i} \right)^2 \cdot \frac{\tan \theta_i}{R_i} \tag{5}, (6)$$

式(2),(4),(6)を踏まえ、提案する設計フローを図 2 に示す。状態 NR 解析<sup>2)</sup>によりバネ系（図 4、後述）へと置換すると、 $\alpha_{es}$  は任意のブレース剛性に対して定式化できる<sup>例えば 3)</sup>。本報では S2,3 の目標性能は事前解析により決定することとし、3 章では S4 以降のブレース配置の設計例を示す。

3. 例題建物を用いた設計例

3.1 検討モデルの概要および設計例

例題建物は図 3、表 1 に示す大型物流倉庫とし、階高 6.7 ~ 7.9 m の 4 階建て免震鋼構造である<sup>1),3)</sup>。図 2 S1 の目標クライテリアは表 2 のように設定し、免震層は表 1 の性能を満たすように外縁部に  $\phi 850$ 、それ以外には  $\phi 950$  の HDR を設置する。なお免震支承の鉛直剛性は線形を仮定する。

上部構造はブレース配置毎にバネ系<sup>3)</sup>を作成し（図 4）、付加系剛性  $K_{as}$  は図 5(a)のように目標値を定める。このと

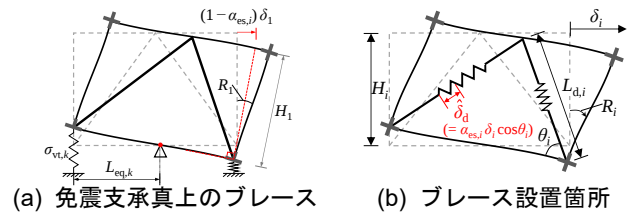
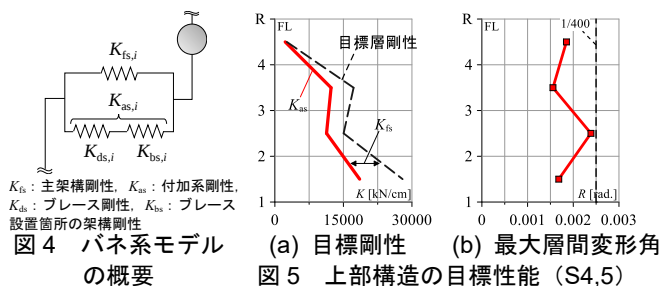


図 1 ブレース設置箇所の架構変形

$i$ ：層番号、 $k$ ：支承番号、 $H_i$ ：階高、 $L_d$ ：ブレース軸長さ、 $L_{eq}$ ：大梁の回転中心から支承までの水平長さ、 $R_i$ ：層間変形角、 $\alpha_{es}$ ：実効変形比、 $\delta_d$ ：ブレースの軸方向変形、 $\delta_i$ ：層間変位、 $\theta_i$ ：ブレース取付け角度、 $\sigma_{vt}$ ：水平地震時の引張面圧

| 表 1 主架構の建物諸元                |      |                                      |
|-----------------------------|------|--------------------------------------|
| 柱                           | 4F   | H-300×300×10×15                      |
|                             | 1-3F | □-500×500×16×16<br>~ □-500×500×22×22 |
|                             | RF   | H-369×199×7×11<br>~ H-400×200×9×16   |
|                             | 2-4F | H-700×300×12×19<br>~ H-900×350×16×32 |
| 建物重量                        |      | 469,099 kN                           |
| 固有周期                        |      | 2.01 s (1 次)                         |
| 免震層<br>( $\gamma = 100\%$ ) |      | 免震周期：4.50 s<br>ダンパー量：0.030           |

| 表 2 目標クライテリアの設定 (S1) |                                      |
|----------------------|--------------------------------------|
| 入力地震動                | ART HACHI ( $pS_{vh}=5\%$ = 80 cm/s) |
| 上部構造                 | $R < 1/400$ rad.、ブレースに降伏・座屈が生じない     |
| 免震層                  | $\delta < 20$ cm、引抜きが生じない（上下動 0.3G）  |



き、 $R < 1/400$  rad.となることを確認している (図5(b))。

ブレース配置は図6の2種類を仮定し、各配置における  $L_{eq}$  および  $K_{bs}$  は状態 R 解析により図7,図8(a)のように得られる。 $K_{bs}$ に着目すると、CH配置 > MS配置となっており、CH配置の方がブレースの変形ロスが小さくなるといえる。 $K_{as}$ の目標値 (図5(a))に基づき  $K_{ds}$ を図8(b)のように決定する。この  $K_{ds}$ を踏まえて、ブレースの配置や断面の異なる3ケース (MS, CH1, CH2)を設定した<sup>4)</sup> (図6)。

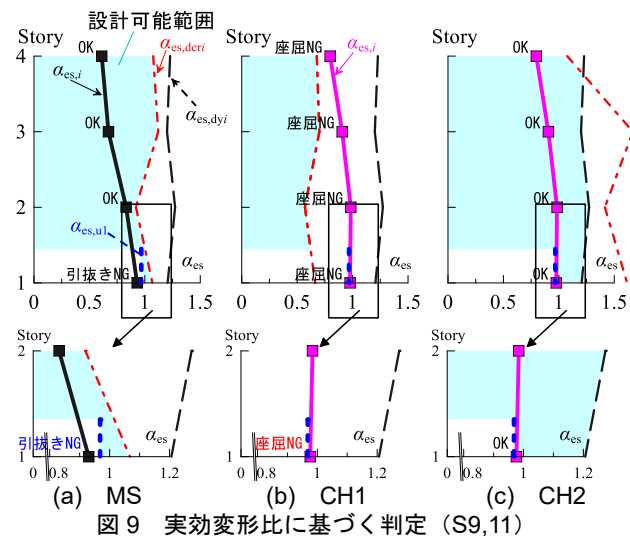
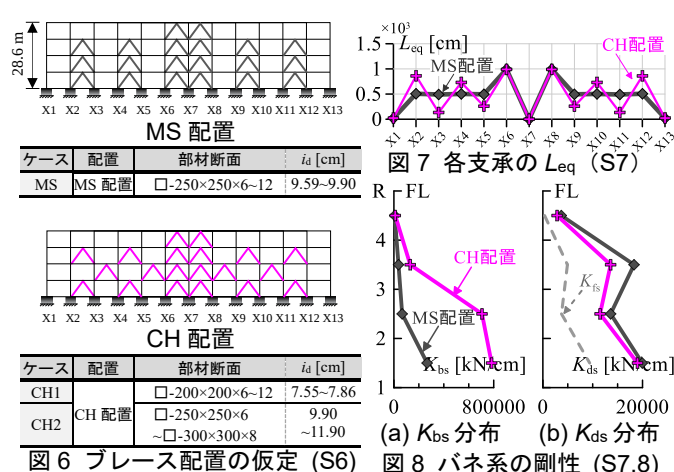
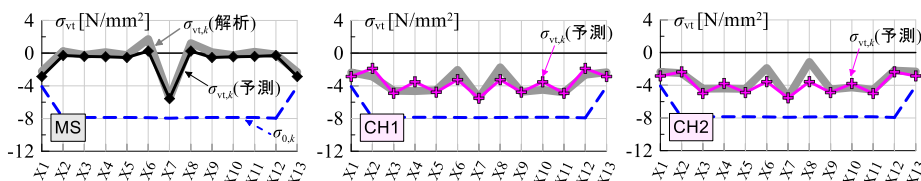
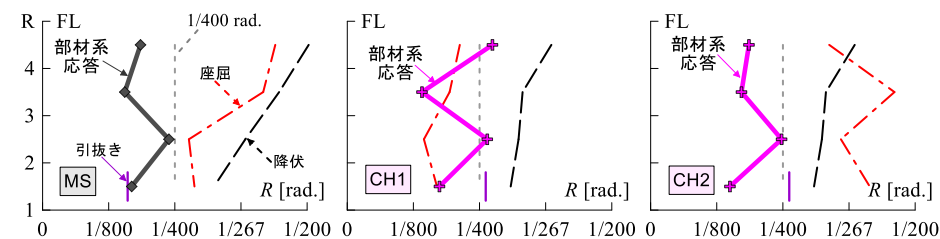
3ケースの  $\alpha_{es}$ に基づいた判定を図9に示す。MSでは引抜きでNGとなり、CH1では座屈NGとなることが読み取れる。一方CH2では設計可能と判定されることがわかる。

### 3.2 判定結果と解析結果の比較

$R$  と  $\alpha_{vt}$ の時刻歴応答解析結果を図10,図11, 判定結果との対応を表3に示す。なお、図10には降伏、座屈および引抜き発生時の  $R$ を併記している。時刻歴解析時にMSはX6,8通りの支承で引抜きが発生し、CH1では第2,4層で座屈が生じている。一方、CH2では表2を全て満足しており、図9での判定結果と一致する。したがって、本提案手法により、設計可能なブレース配置を少ない検討回数で決定できることが示された。

### 4. まとめ

本報では、実効変形比を共通の指標として、降伏・座屈および引抜きを考慮した設計法を提案し、設計例を示した。提案手法は設計可能なブレース配置の決定時に有用であることが示唆された。



### 参考文献

- 1) 新井雄大, 他6名: ブレースを有する中低層免震建物における免震支承の引抜き判定手法, 日本建築学会構造系論文集, Vol.88, No.806, 2023.4
- 2) 石井正人, 他: 多層制振構造の時刻歴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
- 3) 新井雄大, 他6名: 中低層免震建物の実効変形比に着目したブレース配置の評価, 日本建築学会技術報告集, Vol.29, No.72, 2023.6
- 4) 新井雄大, 他6名: 中低層免震建物における実効変形比に基づくブレース配置の検討, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2023.2

表3 設計時の判定と解析結果

| (a) MS |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|
|        | 降伏    | 座屈    | 引抜き   |
| 4F     | ○ (○) | ○ (○) | -     |
| 3F     | ○ (○) | ○ (○) | -     |
| 2F     | ○ (○) | ○ (○) | -     |
| 1F     | ○ (○) | ○ (○) | × (×) |

| (b) CH1 |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|
|         | 降伏    | 座屈    | 引抜き   |
| 4F      | ○ (○) | × (×) | -     |
| 3F      | ○ (○) | × (×) | -     |
| 2F      | ○ (○) | × (×) | -     |
| 1F      | ○ (○) | × (×) | ○ (○) |

| (c) CH2 |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|
|         | 降伏    | 座屈    | 引抜き   |
| 4F      | ○ (○) | ○ (○) | -     |
| 3F      | ○ (○) | ○ (○) | -     |
| 2F      | ○ (○) | ○ (○) | -     |
| 1F      | ○ (○) | ○ (○) | ○ (○) |

※ ○ 外は設計時の判定、○ 内は解析結果を示す

\*1 三井住友建設 (元東京工業大学)

\*2 東京工業大学

\*3 JFE シビル

\*4 JFE スチール

\*1 Sumitomo Mitsui Construction (Former Tokyo Institute of Technology)

\*2 Tokyo Institute of Technology

\*3 JFE Civil Engineering & Construction

\*4 JFE Steel