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
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 Tobari, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

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

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

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 [1]，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 [1]。提案式は，上下方向の静的震度 C_v や実効変形比 α_{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。

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

ここで，σ_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値 $\alpha_{es,u1}$ が次式により得られる。

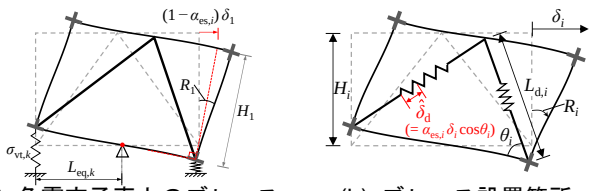
$$\alpha_{es,u1} = 1 + \frac{(1 - C_v)\sigma_{0,k}}{L_{eq,k}R_1}\cdot\frac{A_{N,k}}{K_{vc,k}} \qquad (2)$$

また，図 1(b)に示す関係より，ブレース軸変形 $\hat{\delta}_d$ がブレースの軸方向の降伏変形 $\hat{\delta}_{dy}$（式(3)，σ_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。

$$\hat{\delta}_{dy,i} = \frac{\sigma_y}{E}\cdot L_{d,j}\,, \qquad \alpha_{es,dyi} = \frac{\sigma_y}{E}\cdot\frac{2}{\sin 2\theta_i}\cdot\frac{1}{R_i} \qquad (3),(4)$$

同様に，両端ピンのブレースがオイラー座屈する軸変形 $\hat{\delta}_{dcr}$（式(5)，i_d：断面 2 次半径）と $\hat{\delta}_d$ 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。

$$\hat{\delta}_{dcr,i} = \frac{\pi^2 i_{d,i}^2}{L_{d,i}}\,, \qquad \alpha_{es,dcri} = \left(\frac{\pi i_{d,i}}{H_i}\right)^2\cdot\frac{\tan\theta_i}{R_i} \qquad (5),(6)$$



(a) 免震支承真上のブレース　(b) ブレース設置箇所

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，α_{es}：実効変形比，$\hat{\delta}_d$：ブレースの軸方向変形，δ_i：層間変位，θ_i：ブレース取付け角度，σ_{vt}：水平地震時の引張面圧

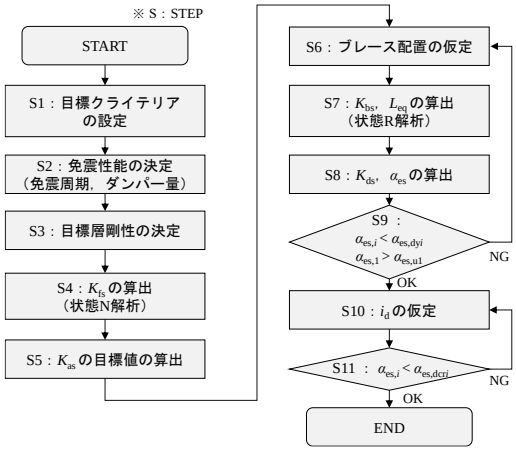


図 2　降伏・座屈および引抜きを考慮した設計フロー

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 [2]によりバネ系（図 4，後述）へと置換すると，α_{es} は任意のブレース剛性に対して定式化できる[例えば 3]。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 [1),3)]。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 ϕ850，それ以外には ϕ950 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 [3)]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

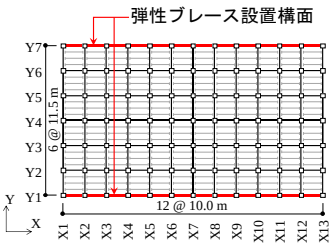


図 3　基準階伏図

表 1　主架構の建物諸元

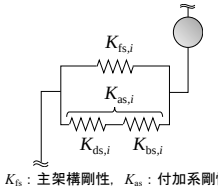
柱	4F	H-300×300×10×15
	1-3F	□-500×500×16×16 ~ □-500×500×22×22
大梁	RF	H-369×199×7×11 ~ H-400×200×9×16
	2-4F	H-700×300×12×19 ~ H-900×350×16×32
建物重量		469,099 kN
固有周期		2.01 s（1 次）
免震層 (γ = 100%)		免震周期：4.50 s ダンパー量：0.030

表 2　目標クライテリアの設定（S1）

入力地震動	ART HACHI（$_pS_{V,h=5\%}$ = 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	δ < 20 cm，引抜きが生じない（上下動 0.3G）

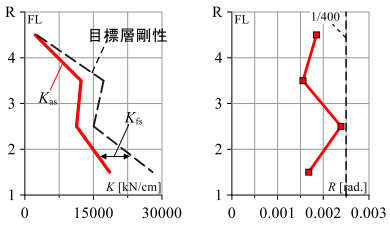
Design method of brace placement for base-isolated steel buildings based on effective brace deformation ratio

ARAI Yudai，*SATO Daiki*，*Alex SHEGAY*，*TOBARI Ryota*，*YASUNAGA Jumpei*，*UEKI Takuya*，*MORIOKA Hiromitsu*



K_{fs}：主架構剛性，K_{as}：付加系剛性，K_{ds}：ブレース剛性，K_{bs}：ブレース設置箇所の架構剛性

図 4　バネ系モデルの概要



(a) 目標剛性　(b) 最大層間変形角

図 5　上部構造の目標性能（S4,5）

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 [4]（図 6）。

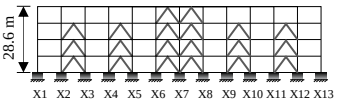
3 ケースの α_{es} に基づいた判定を図 9 に示す。MS では引抜きで NG となり，CH1 では座屈 NG となることが読み取れる。一方 CH2 では設計可能と判定されることがわかる。

3.2 判定結果と解析結果の比較

R と σ_{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。

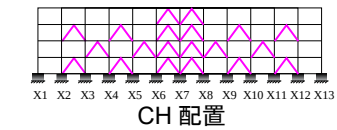
4. まとめ

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。



MS 配置

ケース	配置	部材断面	i_d [cm]
MS	MS 配置	□-250×250×6~12	9.59~9.90



CH 配置

ケース	配置	部材断面	i_d [cm]
CH1	CH 配置	□-200×200×6~12	7.55~7.86
CH2		□-250×250×6 ~□-300×300×8	9.90 ~11.90

図 6　ブレース配置の仮定（S6）

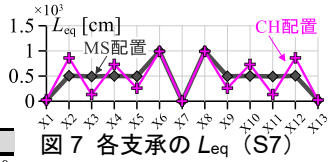
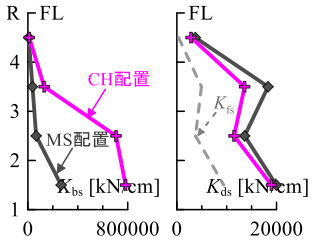
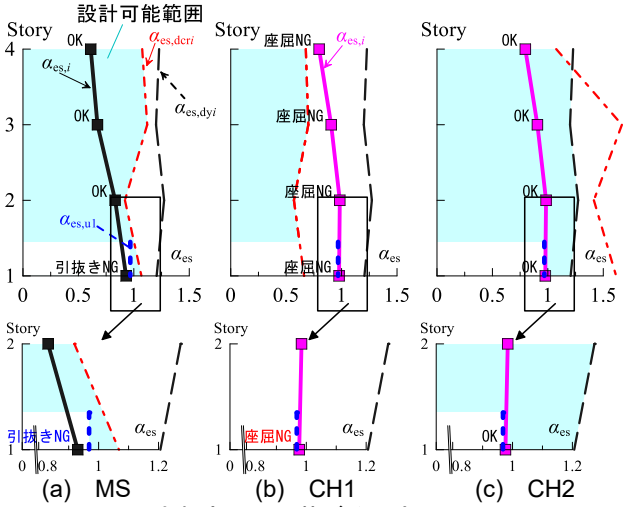


図 7　各支承の L_{eq}（S7）



(a) K_{bs} 分布　(b) K_{ds} 分布

図 8　バネ系の剛性（S7,8）



(a) MS　(b) CH1　(c) CH2

図 9　実効変形比に基づく判定（S9,11）

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

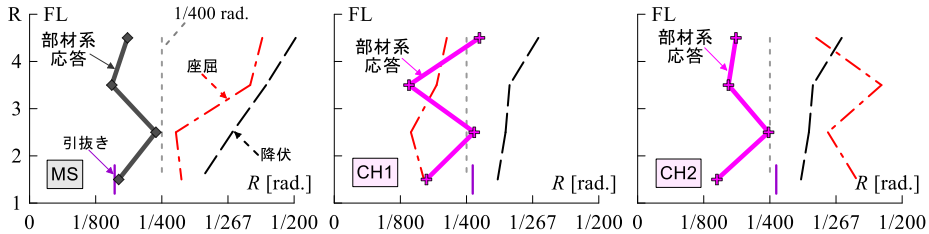


図 10　地震入力時の最大層間変形角と降伏・座屈および引抜き発生時の R の比較

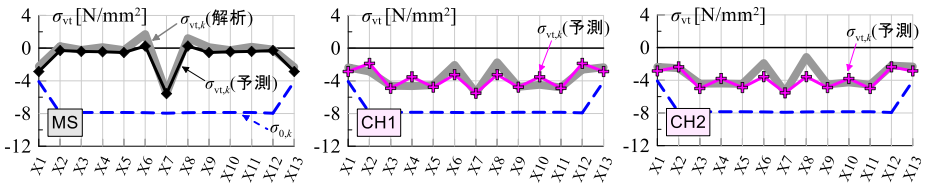


図 11　地震入力時の Y1 構面の最大引張面圧（上下動を 0.3G として考慮）

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