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)	ブレースを有する中低層免震建物の骨組特性値を用いた設計手法 その2 実効変形比を用いた最小面圧の予測
Title(English)	Design method for low to mid-rise base-isolated buildings with braces considering frame parameters Part 2 : Prediction of minimum axial stress on natural rubber bearings based on effective brace deformation ratio
著者(和文)	長谷川愛理, 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)	Airi Hasegawa, Yudai Arai, Daiki Sato, Alex Shegay, Ryota Tobari, Jumpei Yasunaga, Takuya Ueki, Yosuke Kaneshiro
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, II, , pp. 785-786
Citation(English)	, II, , pp. 785-786
発行日 / Pub. date	2022, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

日本建築学会大会学術講演梗概集
（北海道） 2022 年 9 月

ブレースを有する中低層免震建物の骨組特性値を用いた設計手法
その 2　実効変形比を用いた最小面圧の予測

正会員　○長谷川 愛理*1　正会員　新井 雄大*1
同　佐藤 大樹*1　同　Alex Shegay*1
同　戸張 涼太*2　同　安永 隼平*3
同　植木 卓也*3　同　金城 陽介*3

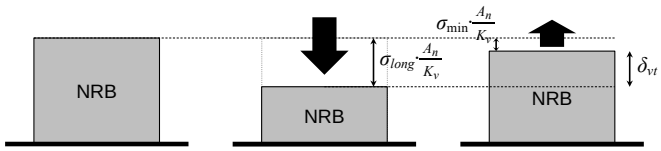
免震物流倉庫　鋼構造建物　ブレース配置
状態 NR 解析　実効変形比　引抜き

1. はじめに

本報その 1 では，上部構造の層剛性の目標値を満たすブレース剛性と配置を，実効変形比を用いて設計する手法を提案した。しかし，免震層に着目すると，ブレースの剛性や配置によっては，水平変形時に免震部材の軸方向に大きな引張力が発生し引抜きが生じる可能性がある。本報その 2 では，実効変形比を用いた免震部材の最小面圧の予測手法を提案し，その予測精度を検証する。

2. 実効変形比から予測する層間変形と最小面圧

本報では，左右対称のブレース配置で，引張剛性が圧縮剛性と等しいと仮定した天然ゴム系積層ゴム支承 NRB を用いたモデルを対象に，最小面圧の予測式を提案する。Fig.1 に各鉛直荷重が NRB に作用した時の鉛直変形を示す。



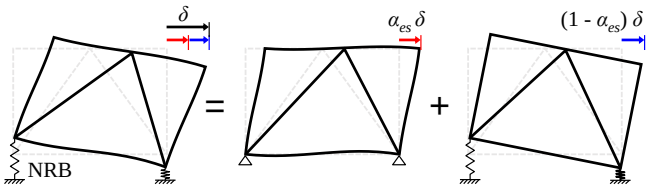
荷重なし　長期荷重時　引張力作用時

Fig.1　各荷重が作用した時の NRB の鉛直変形

Fig.1 より，架構が水平変形した時に NRB に生じる長期荷重時からの引張変形 δ_{vt} は式(1)により求められる。

$$\delta_{vt} = (\sigma_{long} - \sigma_{\min}) \cdot \frac{A_n}{K_v} \tag{1}$$

ここで，σ_{long}：長期面圧，$\sigma_{\min}$：架構水平変形時の最小面圧（圧縮時に正），A_n：NRB 1 基あたりの有効断面積，K_v：NRB 1 基あたりの鉛直剛性（線形）である。Fig.2(a)～(c)には第 1 層の架構変形のメカニズムを示す。状態 NR 解析より算出できる実効変形比 α_{es}，架構の層間変形 δ を用いると，免震部材の鉛直変形による層間変形は Fig.2(c)のように表せる。この変形の幾何学的な関係は Fig.3 のように表せる。第 1 層の実効変形比 $\alpha_{es,1}$，層間変形 δ_1，階高 H，NRB の鉛直変形による層間変形角 θ，$\delta_{vt} = 0$ の点から最小面圧となる NRB までの水平長さ L_{eq} を用いると，Fig.3 より式(2)が得られる。



(a) 第 1 層の架構の変形　(b) 架構のせん断変形　(c) 転倒による水平変形

Fig.2　第 1 層の架構変形のメカニズム

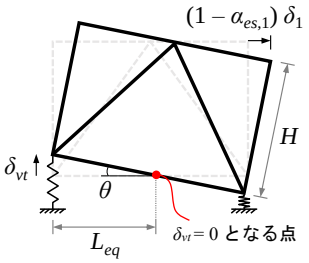


Fig.3 第 1 層の免震部材の鉛直変形と層間変形の関係

$$(1 - \alpha_{es,1}) \cdot \delta_1 = H \cdot \theta = H \cdot \frac{\delta_{vt}}{L_{eq}} \tag{2}$$

式(2)で δ_1/H は第 1 層の層間変形角 R_1 を意味することから，式(1)を用いると式(2)は式(3)のように式変形できる。

$$R_1 = \frac{1}{(1 - \alpha_{es,1}) \cdot L_{eq}} \cdot \frac{A_n}{K_v} \cdot (\sigma_{long} - \sigma_{\min}) \tag{3}$$

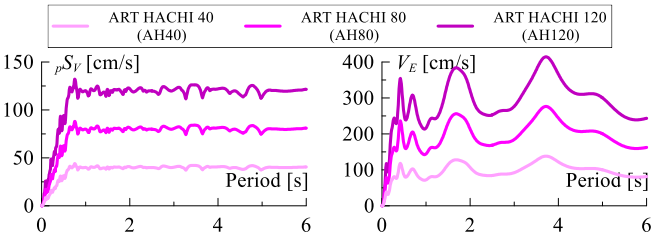
L_{eq} は状態 R 解析により算出できる。状態 R 時の第 1 層の層間変形角 $R_1^{(R)}$，最小面圧 $\sigma_{\min}^{(R)}$ を用いると L_{eq} は式(4)のように算出できる。

$$L_{eq} = \frac{1}{R_1^{(R)}} \cdot \frac{A_n}{K_v} \cdot (\sigma_{long} - \sigma_{\min}^{(R)}) \tag{4}$$

3. 時刻歴応答解析

3.1 入力地震動概要

入力地震動は，Hachinohe（1968）EW 成分を位相特性とし，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。これを ART HACHI と呼び，0.5, 1.0, 1.5 倍波を用い，それぞれ AH40，AH80，AH120 と呼ぶこととする。Fig.4(a)に擬似速度応答スペクトル ${}_pS_v$（h = 5 %），Fig.4(b)にエネルギースペクトル V_E（h = 10 %）を示す。



(a) 擬似速度応答スペクトル ${}_pS_v$（h = 5 %）　(b) エネルギースペクトル V_E（h = 10 %）

Fig.4　入力地震動スペクトル

Design method for low to mid-rise base-isolated buildings with braces considering frame parameters
Part 2 : Prediction of minimum axial stress on natural rubber bearings based on effective brace deformation ratio

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

3.2 予測精度の検証

Fig.5 に長期荷重時の面圧を示す。外縁部の NRB は ϕ 850，それ以外は ϕ 950 である。Fig.5 より隅角部の σ_{long} は 3.6 N/mm^2，それ以外の外縁部の σ_{long} は 7.0 N/mm^2 程度であった。

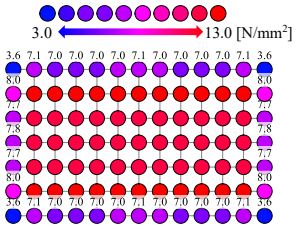


Fig.5　長期面圧

本報その 1 で作成したモデルを対象に，式(3)より求めた R_1 と σ_{min} の関係を Fig.6 に示す。なお，同図には時刻歴応答解析結果（THA）をプロットしており，σ_{min} の時刻歴応答解析結果を Table 1 に示す。Fig.6 より，いずれのモデルも予測式と解析値が良い対応となっており，式(3)による予測の妥当性が確認できる。また，Fig.6 の灰色線で示すように，擬似ダンパー剛性 K_{ds} を変更した時も新たな解析を行わずに式(3)より最小面圧を予測できる点で有用な手法であるといえる。

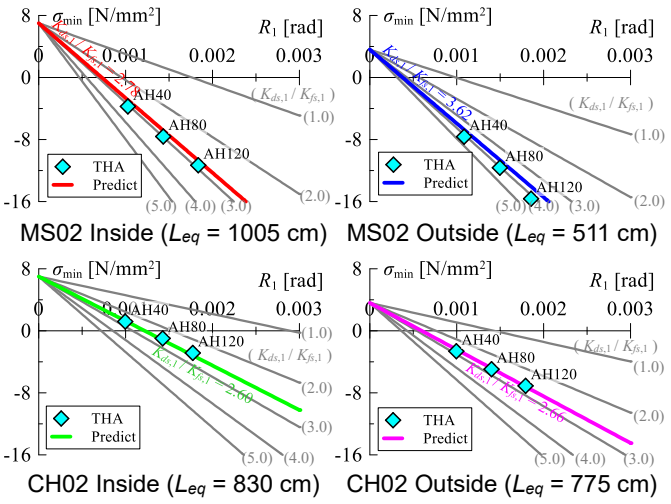


Fig.6　第 1 層の層間変形角と最小面圧の関係
（ϕ 850 : A_n = 5671 cm^2，K_v = 27500 kN/cm）

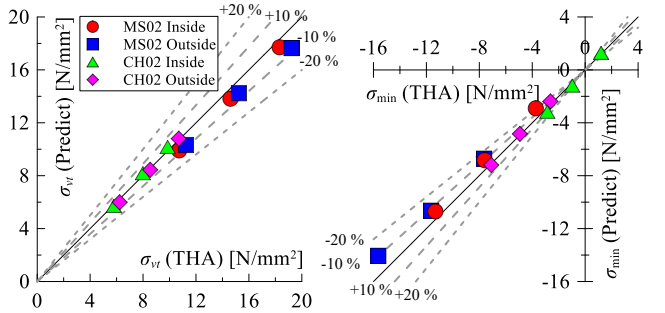
Fig.7(a)(b)には時刻歴応答解析結果の R_1 から算出する面圧変動 σ_{vt}，最小面圧 σ_{min} の予測値（Predict）の精度を示す。地震動の入力レベルによらず，いずれのモデルも 10 %以内の誤差であった。

3.3 引張限界強度に達する時の層間変形角

引張限界強度（σ_{min} = -1.0 N/mm^2）[5]に達する時の第 1 層の層間変形角は，式(3)に σ_{min} = -1.0 N/mm^2 を代入することで算出することができる。Fig.8 に引張限界強度となる R_1 を時刻歴応答解析結果とともに示す。Table 1 の解析値で引張限界強度に達しなかった CH02 Inside の AH40,80 では引張限界強度となる R_1 よりも解析結果の方が小さくなっており，良い対応となっていることがわかる。引張限界強度に達する時の層間変形角を用いることでせん断モデルのみで免震部材の引抜きの検討ができると考えられる。

Table 1　時刻歴応答解析結果 σ_{min} [N/mm^2]

	MS02 Inside	MS02 Outside	CH02 Inside	CH02 Outside
AH40	-3.73	-7.64	1.20	-2.63
AH80	-7.60	-11.64	-0.98	-4.94
AH120	-11.33	-15.63	-2.86	-7.10



(a)　σ_{vt} の予測精度　　(b)　σ_{min} の予測精度

Fig.7　最小面圧の予測精度（AH40 ~ 120 の R_1 から予測）

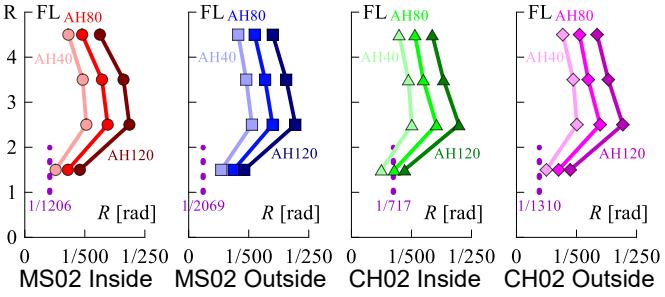


Fig.8　σ_{min} = -1.0 N/mm^2 となる時の層間変形角

4. まとめ

ブレース配置が左右対称で，NRB の引張剛性が圧縮剛性と等しいと仮定した場合を対象に，状態 NR 解析を行うことで，層間変形角から最小面圧を予測する手法を提案した。ブレースの剛性を変更した時も，新たな解析を行わずに層間変形角と最小面圧の関係を予測できる点で有用であると考えられる。NRB の引張剛性が圧縮剛性に対して低下する場合の検討は今後の課題である。

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) 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
2) 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
3) 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
4) 戸張涼太，佐藤大樹，古谷慶，北村春幸，石井正人，吉江慶祐，宮崎充，佐々木和彦，岩崎雄一：骨組特性値を用いた履歴ダンパーを有する建物の制振性能評価，構造工学論文集，Vol.59B，pp.321-327，2013.3
5) 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

*1 東京工業大学
*2 JFE シビル株式会社
*3 JFE スチール株式会社

*1 Tokyo Institute of Technology
*2 JFE Civil Engineering & Construction Corporation
*3 JFE Steel Corporation