

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	高アスペクト比の鋼板耐震壁をコア部に連層配置した心棒架構の設計手法構築 その2 設計手法の提案と模擬設計
Title(English)	Development of a Design Method for Core-Stiffened Frame Structures with High-Aspect-Ratio Steel Plate Shear Walls Arranged in Layers Part 2: Proposal of Design Methodology and Mock Design
著者(和文)	後藤広大, 佐藤大樹, 陳引力, 小野潤一郎, 木村征也, 二島冬太, 佐野航
Authors(English)	Kodai Goto, Daiki Sato, Yinli Chen, Junichiro Ono, Seiya Kimura, Tota Futashima, Wataru Sano
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Ⅰ, , pp. 537-540
Citation(English)	, Ⅰ, , pp. 537-540
発行日 / Pub. date	2026, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

高アスペクト比の鋼板耐震壁をコア部に連層配置した心棒架構の設計手法構築 その2 設計手法の提案と模擬設計

構造—振動

鋼板耐震壁 超高層建物 心棒架構
壁エレメント 設計手法

正会員 ○ 後藤 広大^{*1}// 陳引力^{*1}// 木村 征也^{*2}// 佐野 航^{*2}正会員 佐藤 大樹^{*1}// 小野 潤一郎^{*2}// 二島 冬太^{*2}

1. はじめに

本報その2では、大梁回転角の予測式を用いた損傷分布傾向早見図表を作成し、設計例を通じて工学的有用性を示す。なお、本論文では架構の損傷の分布を確認することを趣旨とするため、耐震壁は弾性として検討を行う。

2. 損傷分布傾向早見図表による模擬設計

2.1 建物および耐震壁モデル化概要

Fig. 1 に対象建物概要を示す（大梁の名称は2.3節参照）。検討対象建物はその1のT00-B0000-modelのスパン長さ L_c を1.5倍し、長期および短期荷重（標準層せん断力係数 $C_0 = 0.2$ ）に対して許容応力度設計により架構断面を選定した建物モデルである（以降、T00-B0000- $\beta 100$ -model と呼称する）。なお、断面選定に際しては、T00-B0000-modelの柱梁断面における塑性断面係数 Z_p の比率を基本として、各部材の Z_p がT00-B0000-modelに対して等倍となるように部材断面を選定した（断面選定の結果、 Z_p は1.5倍となった）。モデル化方法、復元力特性、減衰、耐震壁の板厚 t_w についてはその1と同一である。なお、モデル化には構造計算プログラムであるRESP-D ver.3.7.0を用いた。

2.2 設計フロー概要

本報その1で提案した大梁回転角の予測式(6), (11), (12)を用いて、STEP.1 損傷予測図表を作成し、STEP.2 損傷分布傾向早見図表を作成する。設計対象となる建物モデルは L_c を1.5倍したことから直交梁が心棒架構を拘束する効果大きい。したがって、内側境界梁の回転角の予測に直交梁の拘束効果を考慮し $\gamma = 0.5$ とする。なお、作成方法を以下に示す。

1. 主架構の軸組および部材断面を仮定する（Fig. 1）。
2. 建築計画の観点から耐震壁設置位置を決定する。
3. T00-B0000- $\beta 100$ -model と耐震壁がフルスパンに配置された T16-B9600- $\beta 100$ -model を対象に静的漸増解析を計2回実施する（Fig. 2）。ここで、静的荷重はAi分布に基づくものとし、層間変形角 R_i が $1/100$ radに達するまで静的荷重を漸増させる。
4. 静的漸増解析より得られた2モデルの R_i を用いて、各板幅ごとに線形で R_i を補完する（付録A参照）。
5. R_i を予測式(6), (11), (12)に代入しFig. 3, 4の損傷予測図表およびFig. 5の損傷分布傾向早見図表を得る。

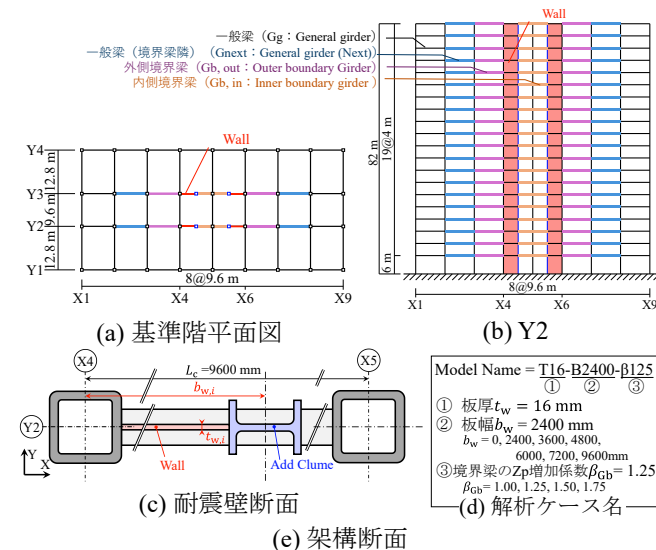


Fig. 1 対象建物概要

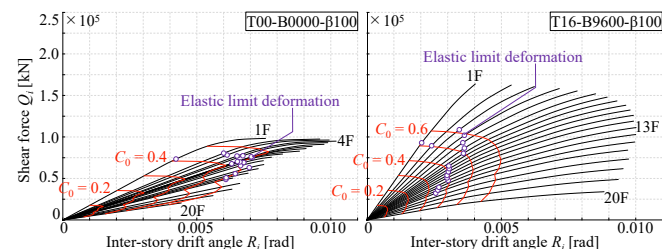


Fig. 2 静的増分解析結果

2.3 損傷分布傾向早見図表による耐震壁最適諸元の決定

Fig. 3 に $R = 1/100$ rad 時の大梁端部回転角を表す損傷予測図表を示す。ここで、大梁の位置によって損傷の傾向が大きく異なることから、大梁を以下の4種に大別して呼称することとする。

- 外側境界梁：耐震壁の外側に取り付く大梁
- 内側境界梁：耐震壁の内側に取り付く大梁
- 一般梁（境界梁隣）：外側境界梁の隣に位置する大梁
- 一般梁：上記以外の大梁

4種の大梁ごとに損傷予測図表が得られる。心棒効果において損傷の分布の評価が重要となるため、損傷予測図表の横軸を基準化した損傷予測図表（ $R = 1/100$ rad 時の大梁端部回転角比率）をFig. 4に示す。Fig. 4より最適な板幅は3600~4800 mm程度であることが示唆される。

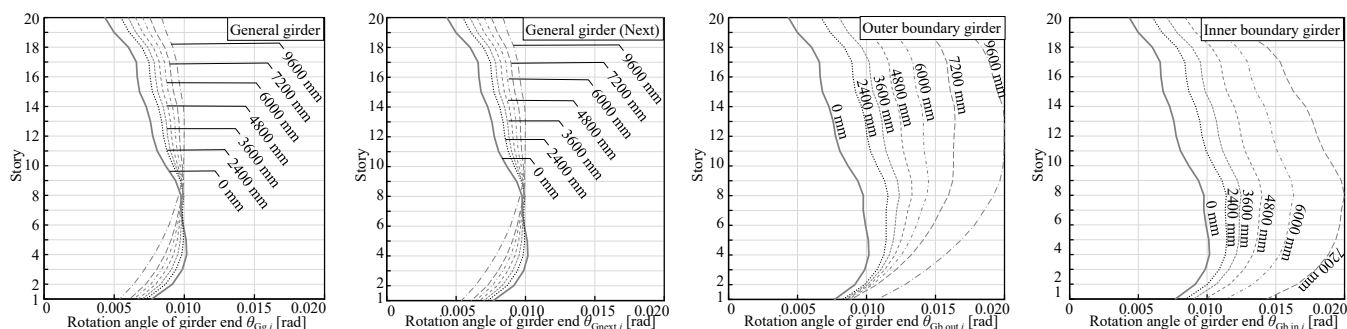


Fig. 3 損傷予測図表 ($R_{\max} = 1/100$ rad 時の大梁端部回転角)

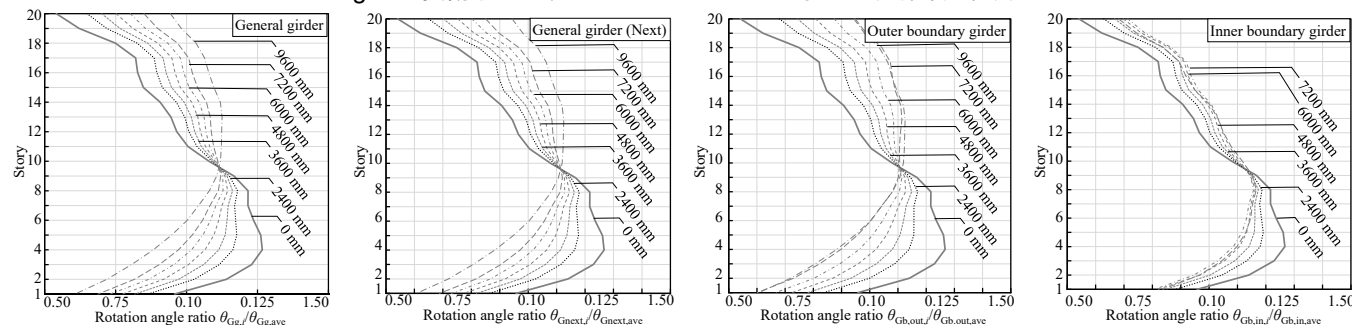


Fig. 4 損傷予測図表 ($R_{\max} = 1/100$ rad 時の大梁端部回転角比率)

続いて、Fig. 3 の損傷予測結果を用いて Fig. 5 の損傷の分布傾向早見図表を作成する。縦軸は大梁端部回転角の変動係数 $CV_{\theta G}$ であり、損傷の分散の程度を示している。耐震壁非設置構面 Y1 と耐震壁設置構面 Y2 では板幅変形に伴う損傷分布の傾向がトレードオフとなっていることがわかる。また、耐震壁設置構面 Y2 では境界梁の塑性断面係数を増加させることにより、損傷集中を低減し、損傷の分散効果を高めることが可能である。板幅 2400, 3600 mm, 境界梁の Z_p 増加係数 $\beta_{Gb} = 1.25, 1.5$ で損傷の分散効果が最も大きいことを示している。Table 1 に損傷分布傾向早見図表より得られた心棒効果に最適な耐震壁および架構諸元を示す。

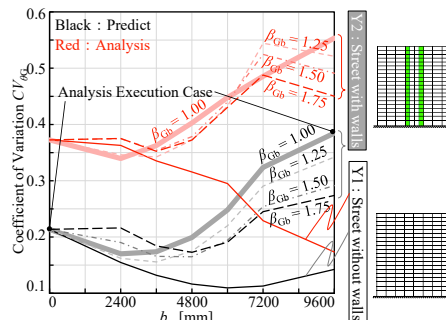


Fig. 5 損傷分布傾向早見図表

Table 1 心棒架構諸元の選定結果

	諸元	決定方法
主架構	Fig. 1(e)参照	許容応力度設計
耐震壁	16×3600 mm	損傷分布傾向早見図表
境界梁	$\beta_{Gb} = 1.5$	損傷分布傾向早見図表

3. 実損傷と予測値の比較による予測精度検証

3.1 静的漸増解析結果

Fig. 6 に静的解析結果に基づく $R_{\max} = 1/100$ rad 時の大梁端部の回転角を示す。Y2 構面において壁のない T00-B0000- $\beta 100$ -model は下層に損傷が集中しているのに対し、壁を有するモデルでは板幅の増加に伴い、損傷が建物高さ方向に分散しているのがわかる。T16-B3600- $\beta 100$ -model は上層での損傷集中も起きておらず、境界梁の損傷も軽微である。Fig. 5 に各モデルの静的漸増解析結果から得られた $CV_{\theta G}$ を併記する。すべてのモデルにおいて変動係数の値は大きく異なるものの、板幅 b_w および Z_p 増加係数 β_{Gb} の変化に伴う損傷分布の傾向は予測値と良い対応関係を示している。このことから、2 度の静的漸増解析結果から作成される損傷分布傾向早見図表は、解析未実施の耐震壁・境界梁諸元を有する建物モデルの損傷予測が可能であることがわかる。次節では各モデルに対して時刻歴応答解析を実施し、動的な入力に対する損傷分散効果の優劣と損傷予測図表との対応関係の確認を行う。

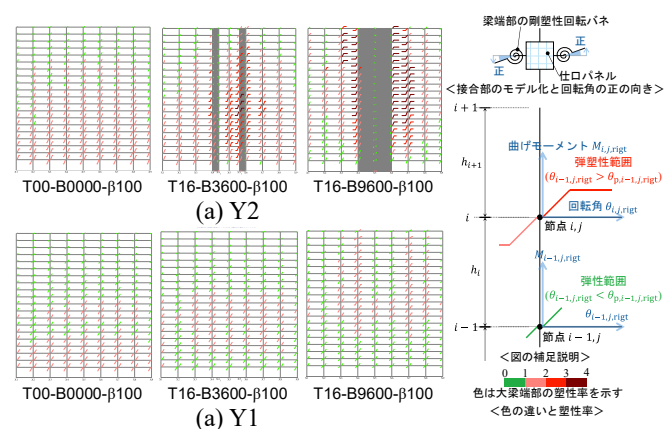


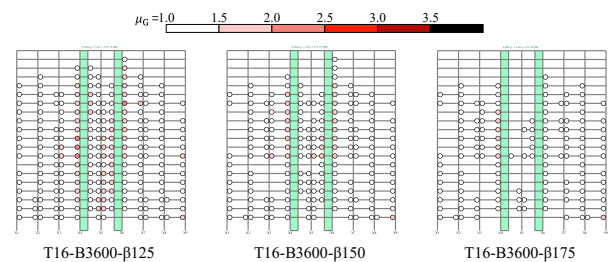
Fig. 6 $R_{\max} = 1/100$ rad 時の大梁端部の回転角

3.2 時刻歴応答解析結果

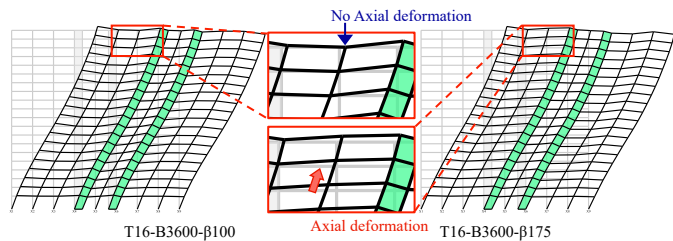
本設計対象建物に対して時刻歴応答解析を行う。本報では想定を上回る極大地震を想定し、レベル 2 地震動の 1.5 倍の最大加速度を有する入力地震動を用いる。

なお、入力地震動の詳細を付録 B に示す。Fig. 7 に板幅変化と大梁端部の最大塑性率を示す。Fig. 7(b)の各モデルにおける損傷分散効果の優劣について、壁のない T00-B0000- β 100-model では下層で損傷集中しており、壁ありのモデルでは壁幅の増加に伴って損傷の分布は上層に移動している。T16-B2400- β 100, T16-B3600- β 100-modelでは他のモデルと比較して建物全体に損傷が分配されている。一方で、同モデルは建物高さ方向に損傷が分散するものの、水平方向の損傷分布は境界梁への損傷集中により不均一になっていることがわかる。

続いて、境界梁の変化に着目する。Fig. 8(a)に境界梁の塑性断面係数変化と大梁端部の最大塑性率を示す。 β_{Gb} が増加することにより、境界梁の損傷集中が緩和され、建物全体に損傷が分散している。これは、大梁の耐力の増加に加えて、Y3, Y7 柱の左右に付帯する大梁の Z_p が異なることで柱に鉛直変形が生じ、境界梁への変形集中を緩和させたことに起因する (Fig. 8(b))。



(a) 大梁端部の最大塑性率 (ArtKobeNS)



(b) 架構変形 ※表示倍率 60 倍

Fig. 8 境界梁の塑性断面係数変化に伴う損傷と変形

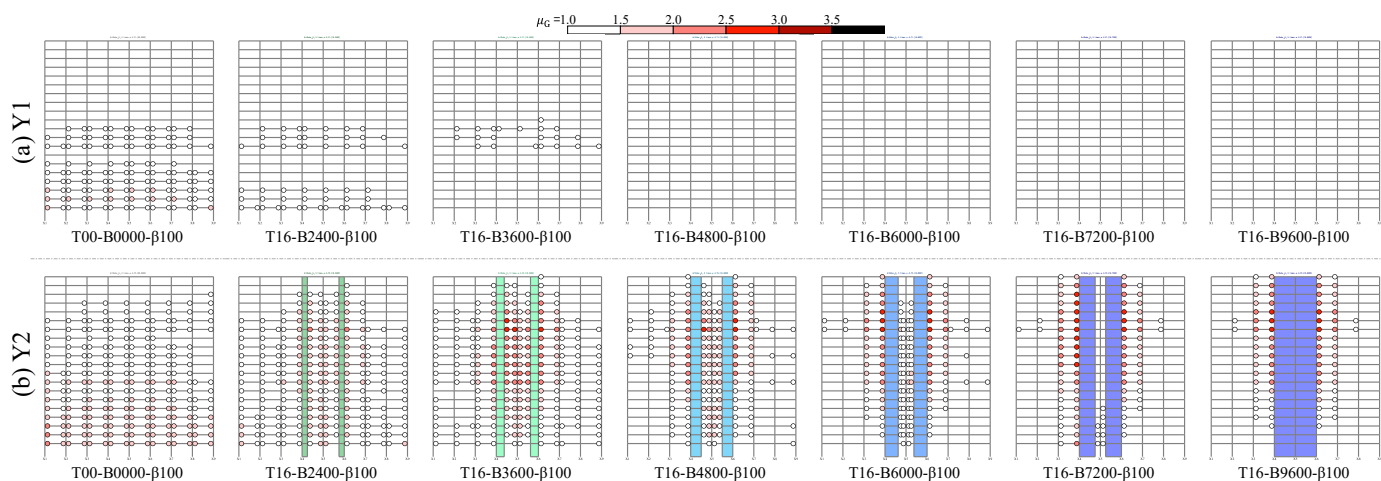


Fig. 7 板幅変化と大梁端部の最大塑性率 (ArtKobeNS)

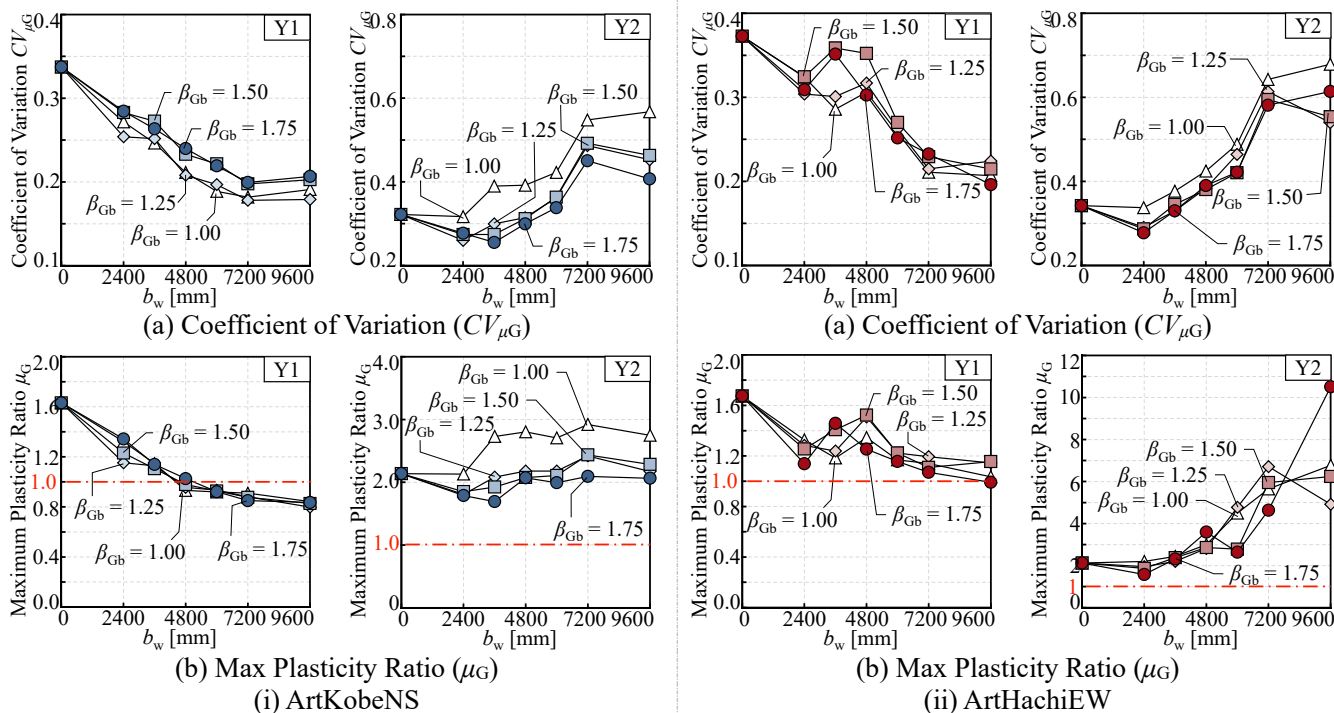


Fig. 9 動的解析結果における損傷分散効果の定量評価

Fig. 9 に動的解析結果における損傷分散効果の定量評価を示す。最大塑性率は入力地震動の違いによりモデルごとにばらつきがみられる。一方で、変動係数による損傷分散の傾向は、入力地震動の違いによる差異が軽微であり安定した評価指標として有用であることが示唆される。動的な外力に対する各モデルの損傷分散の傾向は Fig. 5 の損傷分布傾向早見図表と良い対応関係を示している。このことから、損傷分布傾向早見図表は2度の静的漸増解析から最適な耐震壁諸元と境界梁諸元を予測することができるため、工学的に有用であると示唆される。一方で、動的解析時の R_i は地震動の位相特性と建物モデルの固有周期に依存していることから予測が困難である。したがって、損傷分布傾向早見図表では最大塑性率を予測することはできない。

4. まとめ

本報その2では、大梁回転角の予測式を用いた損傷予測図表を作成し、設計例を通じて工学的な有用性について検証を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 大梁回転角の予測式と静的増分解析結果から、損傷分布傾向早見図表を作成することが可能である。
- (2) 損傷分布傾向早見図表により、静的解析を未実施の耐震壁および境界梁諸元を有する建物モデルにおいても、その損傷傾向を予測することが可能である。
- (3) 損傷分布傾向早見図表の損傷傾向は、時刻歴応答解析結果における損傷傾向と良い対応関係を示す。

本報で提案した心棒架構の設計手法は大梁端部の損傷分散傾向を予測するものである。予測式の作成に際し、境界梁が塑性化するほどの極大地震を想定しており、微小な地震動に対しては損傷を過大に評価することが推測される。この点については今後の課題とする。

謝辞

本報告は、株式会社日建設計、JFE スチール株式会社、JFE シビル株式会社および東京科学大学佐藤大樹研究室の共同研究の成果の一部をまとめたものです。本研究を進めるにあたり、JFE スチール株式会社の森岡宙光氏、JFE シビル株式会社の佐藤唯氏には御助言をいただきました。ここに記して感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 後藤広大, 佐藤大樹, 陳引力, 小野潤一郎, 木村征也, 二島冬太, 佐野航, 戸張涼太, 森岡宙光: 鋼板耐震壁の板厚と板幅の違いが超高層建物の変形と損傷に及ぼす影響 その2 動的解析に基づく検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 22763, pp.1525-1526, 2025.9
- 2) 日本建築学会: 鋼構造制振設計指針第1版, 2014.11
- 3) 国土交通省 気象庁: 強震波形(平成7年(1995年)兵庫県南部地震) https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/jishin/hyogo_nanbu/index.html (2025.1 参照)
- 4) 翠川三郎, 三浦弘之: 1968年十勝沖地震の八戸港湾での強震記録の再数値化, 日本地震工学会論文集, 第10巻, 第2号, pp.12-21, 2010.2

付録A 層間変形角の線形補完

Fig. A1 に層間変形角の線形補完予測と解析結果の比較を示す。板幅 b_w の時の線形補完による層間変形角の予測値 $R_{Pre,bw,i}$ は内分の公式を用いて次式で表される。

$$R_{Pre,bw,i} = \frac{(L_c - b_w) \cdot AnaR_{bw=0,i} + b_w \cdot AnaR_{bw=L_c,i}}{b_w + (L_c - b_w)} \quad (B.1)$$

ここで、 $AnaR_{bw=0,i}$: $b_w = 0$ mm の層間変形角の解析値、 $AnaR_{bw=L_c,i}$: $b_w = L_c$ の層間変形角の解析値である。

Fig. A1 より、予測値は解析値の層間変形角の分布と概ね一致するが上層では値にずれが生じている。本報告では簡易な損傷の予測手法の構築を目標とし、層間変形角の予測値の算出には線形補完を用いる。

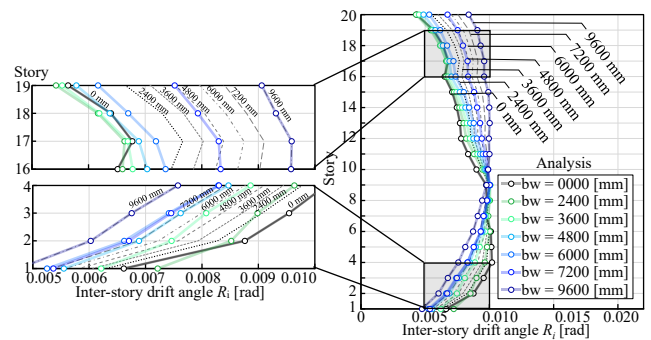


Fig. A1 層間変形角の線形補完予測と解析結果の比較

付録B 入力地震動概要

検討用入力地震動は、 $h = 5\%$ 時の速度応答スペクトルがコーナー周期 ($T_c = 0.64$ s) 以降 $S_v = 80$ cm/s で一定となる模擬地震動を用いる。位相特性は JMAKobe1995 NS³⁾および HACHINOHE1968 EW⁴⁾とし、作成した地震動をそれぞれ ArtKobeNS, ArtHachiEW と呼称する。Fig. B1 に減衰定数 $h = 5\%$ のときの速度応答スペクトル S_v , $h = 10\%$ のときのエネルギー Spektrum V_E をそれぞれ示す。設計対象建物のX方向に対して時刻歴応答解析を行う。入力地震加速度の倍率(地震動倍率)を λ_{EQ} と定義し、想定を上回る地震動を想定して $\lambda_{EQ} = 1.5$ の地震波を用いて検討を行う。

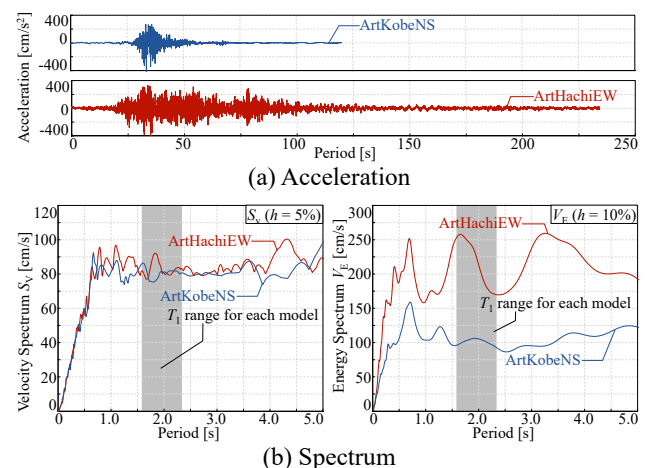


Fig. B1 入力地震動概要 ($\lambda_{EQ} = 1.0$)

*1 東京科学大学

*2 株式会社日建設計

Institute of Science Tokyo^{*1}

NIKKEN SEKKEI LTD.^{*2}