

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	部材モデルにおける主架構と履歴ダンパーの累積塑性歪エネルギー分担率の予測 その2 予測手法の検証
Title(English)	Applicability of prediction method of cumulative plastic strain energy sharing ratio of main frame and historical damper by energy balance-based method to stereo model
著者(和文)	中村一哉, 佐藤大樹
Authors(English)	Kazuya Nakamura, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 805-806
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , pp. 805-806
発行日 / Pub. date	2019, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

部材モデルにおける主架構と履歴ダンパーの累積塑性歪エネルギー分担率の予測

その2 予測手法の検証

正会員○中村 一哉*1 同 佐藤 大樹*1

制振構造 履歴ダンパー エネルギーの釣合
エネルギー配分 応答予測法 時刻歴応答解析

1. はじめに

その1では、等価せん断モデルを基本に構築された、主架構とダンパーの累積塑性歪エネルギー分担率 fW_p/dW_p の予測手法の部材モデルへの適用性を検討するための部材モデルについて、エネルギーに着目して時刻歴応答解析結果の分析を行った。

本報その2では、その1で応答を示した部材モデルを用いて、既に提案された等価せん断モデルで構築されたエネルギー法による fW_p/dW_p の予測手法の、部材モデルへの適用性を検討する。

2. エネルギー法による予測手法

2.1 エネルギー分担率 fW_p/dW_p

地震終了時刻 t_0 における全層の主架構の累積塑性歪エネルギー fW_p は、第 i 層の主架構の累積塑性歪エネルギー fW_{pi} と主架構の損傷分散係数 $f\gamma_i$ を用いて表される。 fW_{pi} は、主架構の降伏せん断力 fQ_{yi} と、最大変形 $\delta_{i\max}$ の1ループが消費する累積塑性歪エネルギーと主架構の等価繰返し数 n_{pi} の積で表される。

$$fW_p(t_0) = f\gamma_i \cdot fW_{pi} = 4 \cdot f n_{pi} \cdot f\gamma_i \cdot fQ_{yi} \cdot (\delta_{i\max} - f\delta_{yi}) \quad (1)$$

同様に、全層のダンパーの累積塑性歪エネルギー dW_p は次式で表される。

$$dW_p(t_0) = d\gamma_i \cdot dW_{pi} = 4 \cdot d n_{pi} \cdot d\gamma_i \cdot dQ_{yi} \cdot (\delta_{i\max} - d\delta_{yi}) \quad (2)$$

式(1)を式(2)で除すことで、エネルギー分担率 fW_p/dW_p を求めることができる。

$$\begin{aligned} \frac{fW_p}{dW_p} &= \frac{4 \cdot f n_{pi} \cdot f\gamma_i \cdot fQ_{yi} \cdot (\delta_{i\max} - f\delta_{yi})}{4 \cdot d n_{pi} \cdot d\gamma_i \cdot dQ_{yi} \cdot (\delta_{i\max} - d\delta_{yi})} \\ &= \frac{f n_{pi}}{d n_{pi}} \cdot \frac{f\gamma_i}{d\gamma_i} \cdot \frac{fQ_{yi}}{dQ_{yi}} \cdot \frac{f\delta_{pi}}{d\delta_{pi}} \\ &= \lambda_{ni} \cdot \lambda_{\gamma i} \cdot \lambda_{Qi} \cdot \lambda_{\delta i} \end{aligned} \quad (3)$$

ここに、 $f\delta_{pi}$: 第 i 層の主架構の塑性変形、 $d\delta_{pi}$: 第 i 層のダンパーの塑性変形

2.2 損傷分散係数 γ_i

主架構とダンパーの損傷分散係数 $f\gamma_i$ 、 $d\gamma_i$ は次式のように提案されている^{4), 5)}。

$$\frac{1}{f\gamma_i} = \frac{fW_{pi}}{\sum_{j=1}^N fW_{pj}} = \frac{fS_i \cdot fP_i^{-f n_i}}{\sum_{j=1}^N (fS_j \cdot fP_j^{-f n_j})} \quad (4)$$

$$fS_i = \left(\sum_{j=1}^N \frac{m_j}{M} \right)^2 \cdot \bar{\alpha}_i^2 \cdot \left(\frac{f k_i}{f k_1} \right), \quad fP_i = \left(\frac{f \alpha_{yi}}{f \alpha_{y1}} \right) / \bar{\alpha}_i \quad (5a,b)$$

$$\begin{cases} \bar{\alpha}_i = 1 + 1.5927 x_i - 11.8519 x_i^2 + 42.5833 x_i^3 \\ \quad - 59.4827 x_i^4 + 30.1586 x_i^5 & (x_i > 0.2) \\ \bar{\alpha}_i = 1 + 0.5 x_i & (x_i < 0.2) \end{cases} \quad (6)$$

$$x_i = \frac{i-1}{N} \quad (7)$$

$$\frac{1}{d\gamma_i} = \frac{dW_{pi}}{\sum_{j=1}^N dW_{pj}} = \frac{dS_i \cdot dP_i^{-d n_i}}{\sum_{j=1}^N (dS_j \cdot dP_j^{-d n_j})} \quad (8)$$

$$dS_i = \left(\sum_{j=1}^N \frac{m_j}{M} \right)^2 \cdot d\bar{\alpha}_i^2 \cdot \left(\frac{d k_i}{d k_1} \right), \quad dP_i = \left(\frac{d \alpha_{yi}}{d \alpha_{y1}} \right) / d\bar{\alpha}_i \quad (9a,b)$$

$$\frac{d\bar{\alpha}_i}{d\alpha_i} = \frac{d k_i / (f k_i + d k_i)}{d k_i / (f k_1 + d k_1)} \quad (10)$$

2.3 等価繰返し数 n_{pi}

ダンパーの等価繰返し数の低下率 β_{ni} は次式で表される¹⁾。

$$\beta_{ni} = \frac{d n_{pi}}{d n_{ei}} \quad (11)$$

ここに、 $d n_{ei}$: 主架構を弾性設定した場合の第 i 層のダンパーの等価繰返し数、 $d n_{pi}$: 第 i 層のダンパーの等価繰返し数

$d n_{pi}$ は、主架構の塑性変形倍率 $f\mu'_i$ が大きくなるにつれて小さくなる傾向がある¹⁾。主架構の塑性変形倍率 $f\mu'_i$ は次式で表される。

$$f\mu'_i = \frac{\delta_{i\max}}{f\delta_{yi}} - 1 \quad (12)$$

このとき、 $f\mu'_i$ が0以下であれば主架構が塑性化していないことが確認できる。

β_{ni} と $f\mu'_i$ の関係は次式で表される。

$$\begin{cases} \beta_{ni} = -0.2 \cdot f\mu'_i + 1 & (f\mu'_i < 3) \\ \beta_{ni} = 0.4 & (f\mu'_i \geq 3) \end{cases} \quad (13)$$

文献6)において $d n_{pi} = 1$ 、 $d n_{ei} = 2.5$ を使用しており、本報でもそれを踏襲するものとする。

3. エネルギー法による予測手法の部材モデルへの適用性

本章では、第2章で示した予測手法の部材モデルへの適用性を、時刻歴応答解析結果と比較することで検討する。図1にエネルギー法による fW_p/aW_p (予測) と、その1で示した fW_p/aW_p (解析) の比較を、第1層を代表として示す。(a)は、 λ_{p1} には2.2節で予測した f_{p1} 、 a_{p1} を用い、 λ_{n1} には解析値を用いる。(b)は、 λ_{p1} には解析値を用い、 λ_{n1} には2.3節で予測した f_{n1} 、 a_{n1} を用いる。(c)は、 λ_{p1} 、 λ_{n1} ともに予測値を用いる。 λ_{Q1} には節点振り分け法による主架構の降伏せん断力 f_{Q1} で算出した値を、 λ_{a1} には解析値を用いる。シンボルで主架構の構造減衰 γ を、色でダンパー量 $a\alpha_{y1}$ を表す。

図1(a)より、予測値と解析値の誤差は概ね10%以内におさまっており、予測精度は非常に良い。 fW_p/aW_p が小さい範囲では比較的誤差が大きい、 $fW_p/aW_p = 0.3$ 以上では10%以内におさまっている。代表として、ART HACHIによる結果をCase1、ART KOBEによる結果をCase2とし、図2に予測精度と $1/\gamma$ の関係を示す。第1層に着目すると、(i)は $1/f_{p1}$ 、 $1/a_{p1}$ 共に精度良く予測できている。(ii)は $1/a_{p1}$ の精度は良いが、 $1/f_{p1}$ については解析値よりもやや大きく予測している。 $\lambda_{pi} = f_{pi}/a_{pi}$ であるため、 $1/f_{p1}$ が解析値より大きく予測されると、 fW_p/aW_p は小さく予測される結果となる。図1(b)より、予測値は解析値よりも大きく、予測精度は良いとは言えない。 $a\alpha_{y1} = 0.04$ 以下のダンパー量が少ない場合は予測値が $fW_p/aW_p = 1.0$ 以上となっており、解析値と大きく離れている。図3に図1(a)で定義したCase1、2における予測精度と n_{pi} の関係を示す。第1層の予測値に着目すると、(i)において $f_{n_{p1}}$ は解析値よりもやや小さく、 $a_{n_{p1}}$ は非常に小さく予測されている。(ii)において $f_{n_{p1}}$ は解析値よりも非常に大きく、 $a_{n_{p1}}$ はやや大きく予測されている。 $\lambda_{ni} = f_{n_{pi}}/a_{n_{pi}}$ であるため、上記のいずれの場合においても λ_{n1} は大きくなり、 fW_p/aW_p も大きく予測される結果となる。図1(c)より、図1(a)において予測値は解析値を精度良く捉えられており、図1(b)において予測値は解析値よりも大きいため、それらの影響から予測値は解析値を上回っている。

4. まとめ

本報その2では、主架構とダンパーの累積塑性歪エネルギー分担率の予測手法の部材モデルへの適用性を検討した。

参考文献

- 1) 佐藤大樹, 岩森貴寿, 松澤祐介, 北村春幸, 山小路夫, 脇田直弥: 履歴ダンパーを有する制振構造の主架構の塑性化の程度を考慮したエネルギーの釣合に基づく応答予測手法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第83巻, 第752号, 2018.10
- 2) 中村一哉, 佐藤大樹: 主架構の塑性化の程度を考慮したエネルギーの釣合に基づく履歴ダンパーを有する制振構造の最大変形分布予測, 構造工学論文集, Vol.65B, 2019.3
- 3) 中村一哉, 佐藤大樹: エネルギーの釣合に基づく主架構と履歴ダンパーの累積塑性歪エネルギー分担率の予測法, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2019.3
- 4) 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版 1999.1
- 5) 渋谷政斗, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 北村春幸, 山小路夫, 脇田直弥, 綿貫雄太: ダンパーの損傷配分式の主架構とダンパーの剛性分布が異なる場合への拡張, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.773-774, 2015.9
- 6) 北村春幸, 財津和謙, 馬谷原伴恵: 主架構の塑性化を考慮した制振構造物のエネルギーの釣合に基づく応答評価法, 日本建築学会構造系論文集, 第599号, pp.71-78, 2006.1

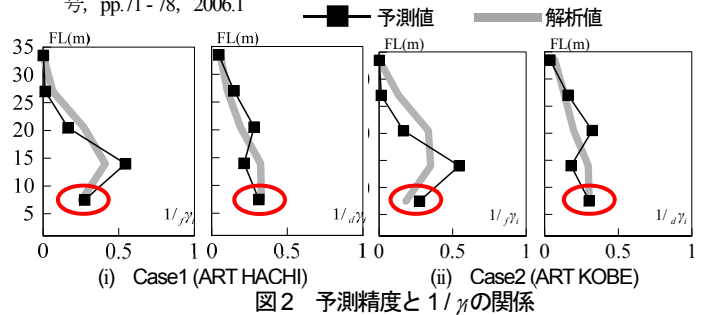


図2 予測精度と $1/\gamma$ の関係

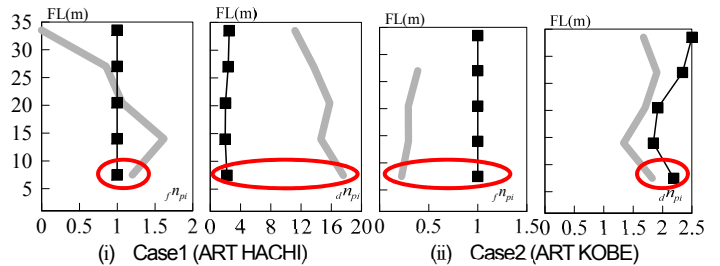


図3 予測精度と n_{pi} の関係

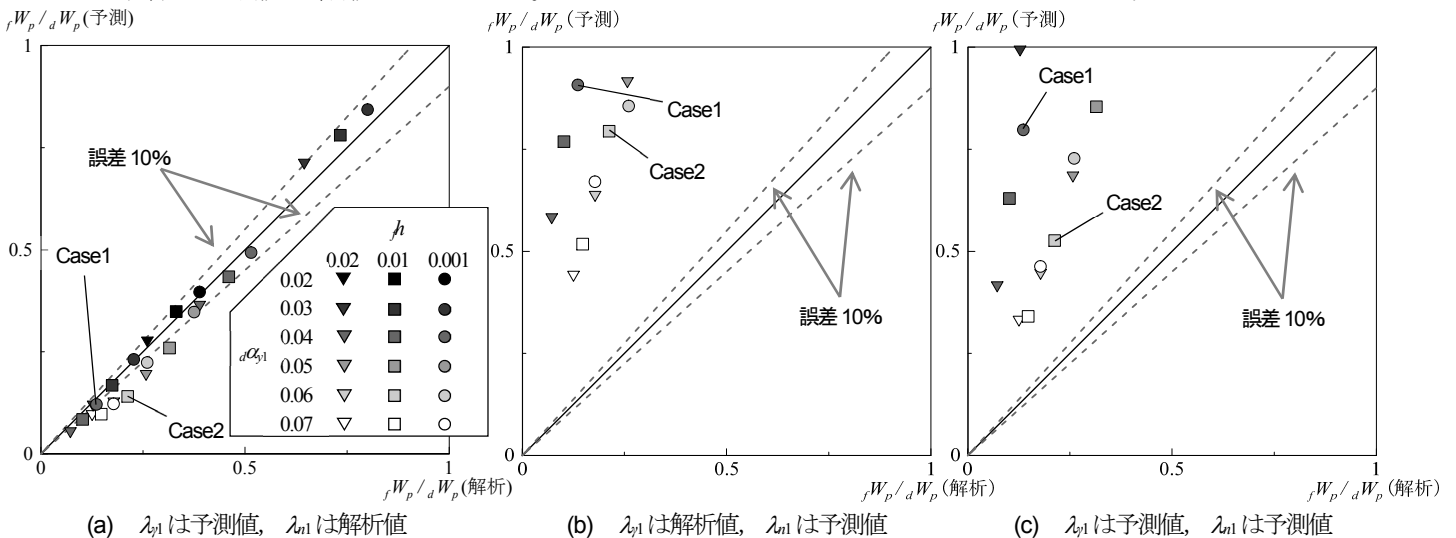


図4 fW_p/aW_p の予測値と解析値の比較

*1 東京工業大学

*1 Tokyo Institute of Technology