

# 制震ダンパーの簡易設計法に関する基礎的研究

大成建設株式会社 正会員 伊藤雅也<sup>1</sup>  
 名古屋大学 フェロー会員 宇佐美勉<sup>2</sup>  
 名古屋大学 正会員 葛西昭<sup>2</sup>

## 1. 緒言

地震時に構造物に生じる応答を減少させる方法の一つに、構造物内にエネルギー吸収部材を導入して、構造系全体の応答を制御する制震の考え方がある。これは、制震部材の塑性変形によりエネルギー消費を図り、早期の降伏によってその制震効果が発揮されるものであり、地震時における犠牲的な部材となり得る。また、地震終了後には、主構造物には大きな損傷が生じないので、この部材を取り替えることによって、供用期間を継続させることができる。本研究では、このような制震部材のうち、履歴吸収型弾塑性ダンパーを土木構造物に取り付けることを想定し、弾塑性ダンパーの剛性と強度を簡易に設定する方法を提案することを目的としている。本提案設計法は、荷重の加わる方向に対して、副部材である制震ダンパーと主構造物が並列的に結合される構造形式であれば、様々な部材に適用可能な方法である。

## 2. 提案設計法の概要

本手法は、地震時に構造物に生じる最大応答変位を、ダンパーを取り付けることによって、定めた目標変位内に最大応答変位を収めることでまとめられる。ここでいう目標変位とは、ダンパーを取り付けた際の目標とする応答変位量のことであり、設計法はそれを達成するために必要とされるダンパー系の諸パラメータを求めるための簡易手法である。図1に本設計法のフローを示す。本設計法では、設計を簡便にするため、ダンパー系の荷重-変位関係を完全弾塑性型と仮定して取り扱う。よって、設計時の未知量は、ダンパー系の初期水平剛性  $k_D$  及び強度(降伏荷重)  $H_{Dy}$  の2つである。

図1中の の初期水平剛性推定の際には、( )エネルギー一定則及び( )変位一定則を用いた推定方法を考えた。

### ( )エネルギー一定則を用いた推定方法

この方法では、図2のように主構造物(ダンパーを取り付けない構造)の荷重-変位関係における最大応答変位点までのエネルギー吸収量と、ダンパー付き構造物の荷重-変位関係における目標変位点までのエネルギー吸収量とが等しくなるようにダンパー系の未知量を定める考え方である。

### ( )変位一定則を用いた推定方法

図3のような変位応答スペクトルを利用し、目標応答変位に対応する固有周期  $T$  を求める。そして、式(1)を用い、ダンパー付き構造物の初期剛性  $k_{F+D}$  を求める。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{F+D}}} \quad (1)$$

$$k_{F+D} = k_F + k_D \quad (2)$$

主構造とダンパー系は並列結合であるため、式(2)からダンパー系の初期水平剛性  $k_D$  が求められる。

## 3. 設計法の適用例

本提案法を門形ラーメン構造に適用し、その妥当性の検証を行う(概念図を図4に示す)。妥当性の検証には、推定されたダンパーを含む構造物の弾塑性地震応答解析による最大応答変位と目標変位との相関から判断する。以下は、図1に記載の番号にあわせて説明する。

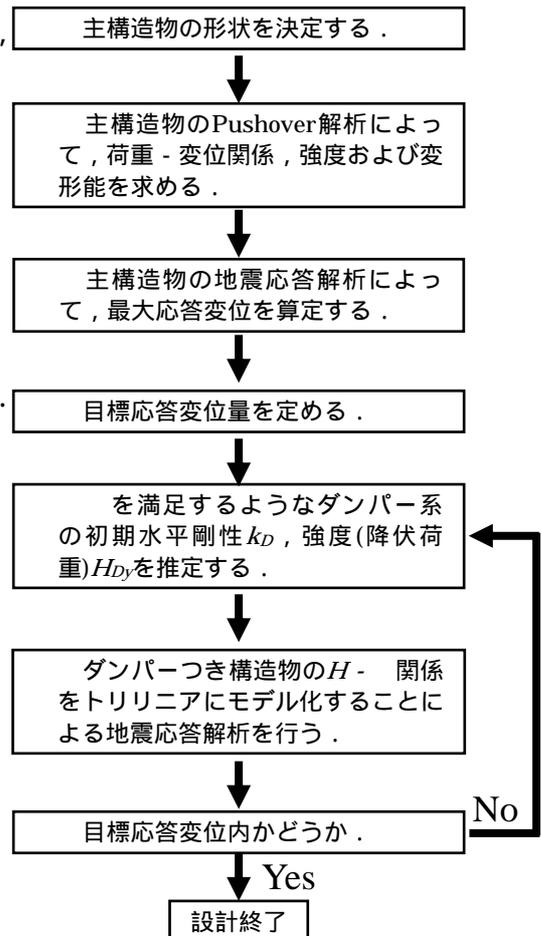


図1 履歴ダンパーの簡易設計フローチャート

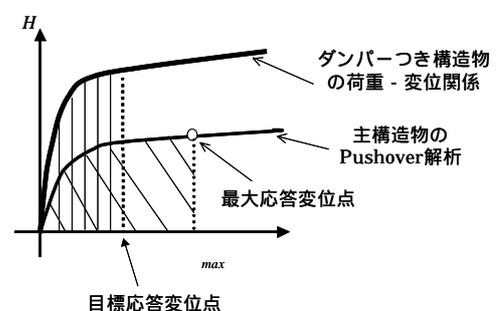


図2 エネルギー一定則適用の概念図

キーワード：履歴吸収型弾塑性ダンパー、最大応答変位、エネルギー一定則、変位一定則

<sup>1</sup>〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 新宿センタービル

<sup>2</sup>〒464-8603 名古屋市中種区不老町 TEL052-789-4617

対象とした門形ラーメンは、高さ 11m、幅 9.7m、構造パラメータとしては、幅厚比パラメータ  $R_f = 0.35$ 、補剛材剛比  $\alpha = 3.5$ 、板厚 35mm、アスペクト比  $\lambda = 0.5$  としている。使用鋼材は SM570 であり、構成則にはひずみ硬化の考慮された降伏棚のある応力 - ひずみ関係を用いる。

そのラーメン橋脚に対する Pushover 解析によって荷重 - 変位関係、強度および変形能を求める。

得られた荷重 - 変位関係をバイリニアに近似し、1 質点 1 自由度系のバネ - マスモデルによる弾塑性地震応答解析を行う。ここでは、入力地震動として JRT-NS-M を利用した。その結果、図 5 の印に示されるように橋脚頂部の最大応答変位は  $\delta_{max}/F_y = 6.63$  と求められた。またこの時、もっとも損傷が進行したセグメントに生じた圧縮ひずみは  $20.0 \epsilon_y$  となった。

次に目標応答変位を定める。主構造物の場合、損傷部材セグメントにおいて応答平均ひずみが  $20.0 \epsilon_y$  であったため、ここでは、目標変位として圧縮ひずみに換算して  $15.0 \epsilon_y$ 、 $12.0 \epsilon_y$ 、 $10.0 \epsilon_y$  に対応する変位を用意する。

その目標応答変位を満足するダンパー系の初期水平剛性  $k_D$  及び強度(降伏荷重)  $H_{Dy}$  を求める。その際には先ほど示した 2 種類の方法で行う。本推定法では、エネルギー一定則あるいは変位一定則の 1 つの条件のみであるので、ダンパー系の剛性と強度には組み合わせが考えられる。そこで、種々のパターンのパラメータをもつダンパーを取り付けた構造物に対して、地震応答解析を行った結果が図 6 のようになる。(a) はエネルギー一定則を基本としたもので縦軸に最大応答変位を、横軸にダンパー系の剛性を取っている。(b) は変位一定則を基本としたもので、縦軸に最大応答変位を、横軸にダンパー系の強度を取っている。それぞれラーメン橋脚の降伏変位、初期剛性および降伏荷重で無次元化している。また、図中の直線は目標変位であり、図中の圧縮ひずみに対応している。(a) よりエネルギー一定則を用いると最大応答変位は目標変位の 40 ~ 70% 程度に収まり、安全側の評価となった。また変位一定則を用いた(b)では、条件内において最大応答変位が目標変位に接近し精度が良いことがわかる。なお、図 5 には、目標変位を  $15 \epsilon_y$  に相当する変位 ( $5 F_y$ ) とした場合の各推定法における最適なパターンの応答時刻歴を示している(印がエネルギー一定則を適用したもの、印が変位一定則を適用したもの)。変位一定則を適用することで目標変位に非常に近くなるダンパー系の剛性および強度を選べるようになる。

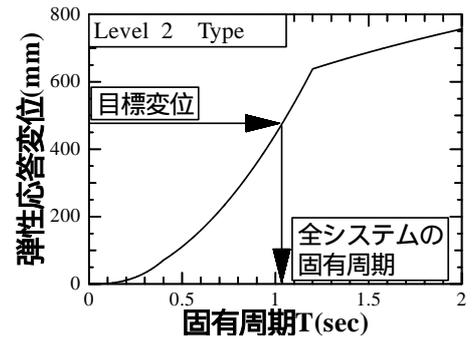


図 3 変位一定則適用の概念図

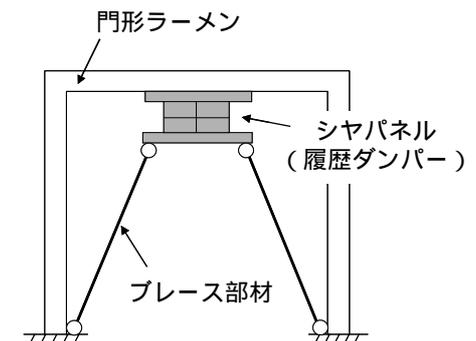


図 4 ラーメン橋脚 (ダンパーを取り付けたイメージ図)

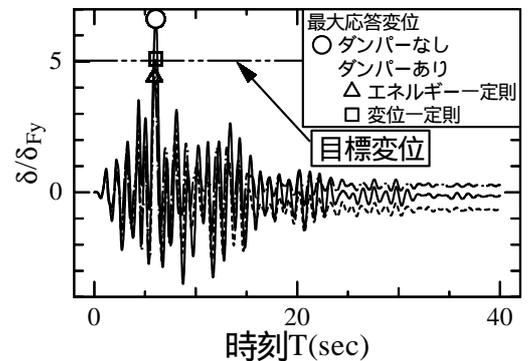


図 5 橋脚頂部の応答時刻歴

4. 結言

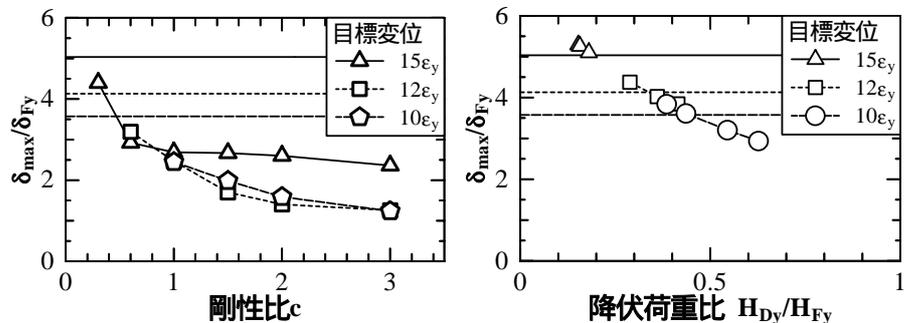
本研究の成果をまとめる。

- (1) 履歴型ダンパーの簡易初期剛性推定法を提案した。
- (2) 本研究で対象とした門形ラーメンに対しては、エネルギー一定則よりも変位一定則を適用した場合、最適なダンパーの剛性および強度を推定できる。

今後の課題として、エネルギー一定則及び変位一定則が構造物の固有周期に依存することが知られているため、固有周期に関するパラメトリックスタディが必要である。

参考文献

[1] 日本鋼構造協会、日本鋼材倶楽部：履歴型ダンパー付骨組の地震応答性状と耐震設計法，1998。  
 [2] 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会・耐震設計研究 WG：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術，1996。



(a) エネルギー一定則を適用した場合 (b) 変位一定則を適用した場合  
 図 6 最大応答変位と目標変位との比較