

## 制震型橋梁の最適ダンパー震度に関する パラメトリックスタディ

武田 篤史<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 株式会社大林組 技術研究所（〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640）

### 1. はじめに

耐震補強目的を中心として、ダンパーを用いた制震型橋梁の適用が広がっている<sup>1)2)</sup>。一般に、耐震補強目的の際のダンパー最大減衰力は、橋梁としての必要性能を確保できるうちで最も小さいものが選定されることが多い。ダンパーを徒に大きくすることは、ダンパー自体や取付部のコストを増加させることにつながるためである。

一方、ダンパーは耐震補強目的だけでなく、新設構造物へ適用することも検討されている。著者らは、新設構造物へダンパーを適用することによりコストの削減と応答の低減が両立できることを示している<sup>3)</sup>。新設構造物の設計においては、耐震補強目的の場合と異なり、橋脚の諸元を自由に選定できるため、橋脚とダンパーの水平力分担を適切に定める必要が生じる。この水平力分担の最適化には、総コストの観点から考慮すべきことは言うまでもないが、振動特性の観点からの最適化も議論されるべきである。

そこで、本研究では、振動特性の観点から、ダンパーの最大減衰力設定方法の最適化に関して検討を行った。検討は、1質点系モデルの地震応答解析によるパラメトリックスタディによって行った。

### 2. 最適ダンパー震度

検討に先立って、ダンパーの最大減衰力を無次元化するため、ダンパーの最大減衰力を上部構造重量で除した「ダンパー震度」を定義した。ダンパー震度の最適化が本論文の目的となる。

ダンパー震度の最適化にあたっては、最適化の基準が必要となる。本論文における最適ダンパー震度の考え方を図-1に示す。ダンパー震度を増加させる

とともに、応答変位に関しては低減させることが可能となる。しかし、ダンパー震度の増加は、ダンパー自体や取付部のコスト増大だけでなく、ダンパーを取り付けた反力側の基礎への負担が大きくなり、橋梁全体の最適化にはつながらない。

そこで、ダンパー設置の本来の目的である、ダンパーの履歴吸収エネルギーに着目し、履歴吸収エネルギーが最大となる時のダンパー震度を最適ダンパー震度とした。ダンパー震度が過小の場合は、ダンパーの変形は大きいものの荷重が小さいため、履歴吸収エネルギーは大きくならない。ダンパー震度が過大の場合は荷重は大きいものの変形が小さいため、履歴吸収エネルギーは大きくならない。ダンパー震度が適切な場合は、荷重、変形とも適度な大きさであるため、履歴吸収エネルギーが大きくなる。

### 3. 解析方法

#### (1)解析対象

対象とする橋梁は、例えば図-2に示すような橋梁

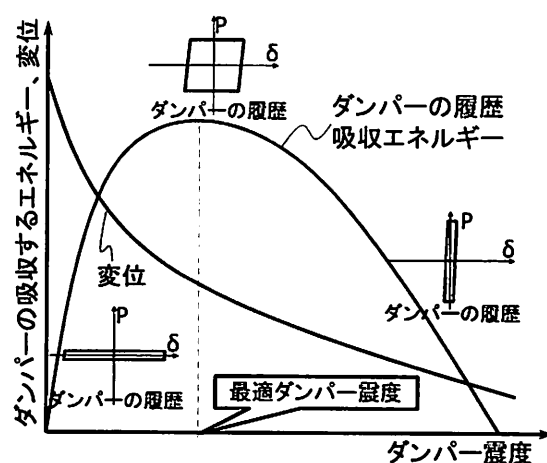


図-1 最適ダンパー震度の考え方

である。詳細については定めず、以下の条件があてはまる橋梁全体を一般化して対象とした。

- 1) 橋脚とダンパーが共同して水平力に抵抗する。
- 2) 振動特性が一質点系で概ね表現可能。
- 3) RC橋脚である。

よって、橋脚の数や、橋脚の支承条件、橋梁規模などについては限定しない。

対象とするダンパーは、完全弾塑性型のバイリニアモデルとできる履歴型のもの<sup>4)</sup>を想定した。

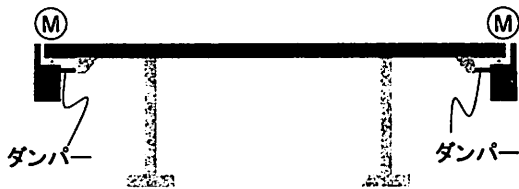


図-2 最適ダンパー震度の考え方

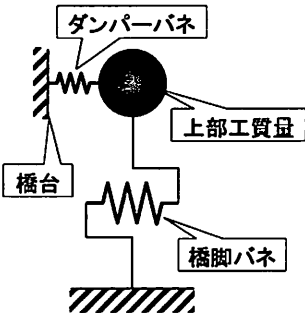


図-3 一質点系モデル

表-1 橋脚条件

| No.   | 固有周期<br>$T(s)$ | 降伏震度<br>$k_y$ |
|-------|----------------|---------------|
| I(基本) | 1.0            | 0.6           |
| 2     | 0.3            | 0.6           |
| 3     | 0.5            | 0.6           |
| 4     | 2.0            | 0.6           |
| 5     | 5.0            | 0.6           |
| 6     | 1.0            | 0.2           |
| 7     | 1.0            | 0.4           |
| 8     | 1.0            | $\infty$ (弾性) |

## (2)解析モデル

解析は図-3に示す一質点系モデルにより行った。上部工質量を橋脚バネおよびダンパーバネが共同して支持しているものである。

橋脚バネは、バイリニア型スケルトンカーブとし、ひび割れ荷重を0、降伏後剛性を弾性剛性の1/50とした。履歴モデルはTakeda型<sup>5)</sup>とした。

ダンパーバネは、降伏変位を10mmとする完全弾塑性型のバイリニアモデルとした<sup>1)</sup>。

解析は、時刻歴解析とし、時間積分にはNewmarkの $\beta$ 法( $\beta=1/4$ )を用いた。減衰は、地中への逸散減衰なども考慮して、減衰定数 $h=0.1$ とした。

## (3)解析ケース

橋脚条件は、固有周期 $T$ および降伏震度 $k_y$ をパラメーターとする表-1に示す8種類とした。固有周期 $T$ はダンパーが配置されていないときの橋脚剛性に対して計算したものである。一般性について広く議論するため、通常用いられることのない範囲までを対象としている。

入力地震波は、道路橋示方書(H24)<sup>6)</sup>に示されるL2地震動タイプIIの9波(I〜III種地盤各3波)とした。加速度応答スペクトルを図-4に示す。

ダンパー震度に関しては、各橋脚条件、各地震波に対して、最適ダンパー震度が0.02単位で求まる様に変化させて、それぞれ10ケース程度を計算している。

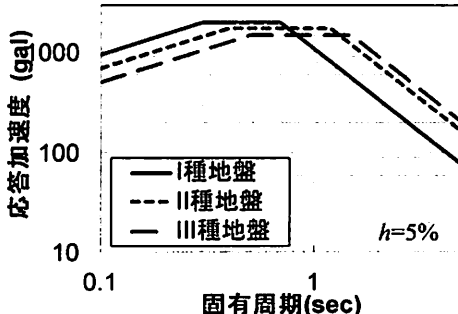
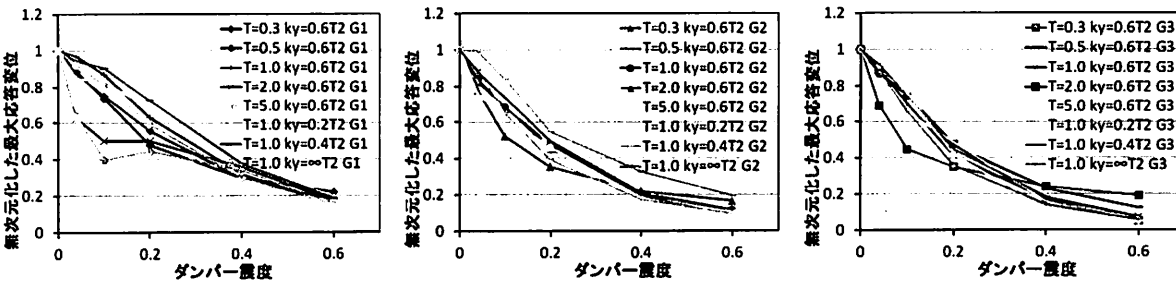


図-4 入力地震動の加速度応答スペクトル

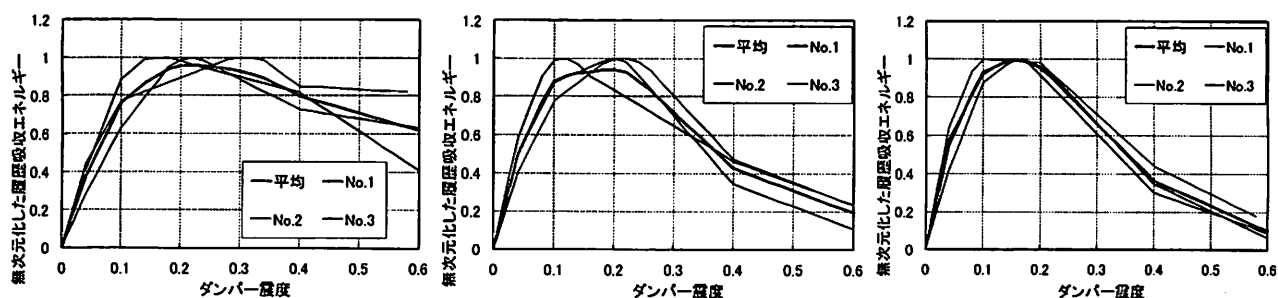


a)I種地盤

b)II種地盤

c)III種地盤

図-5 無次元化した最大応答変位とダンパー震度の関係



a)  $T=1.0(s)$ ,  $k_y=0.6$ , I種地盤

b)  $T=1.0(s)$ ,  $k_y=0.6$ , II種地盤

c)  $T=1.0(s)$ ,  $k_y=0.6$ , III種地盤

図-6 無次元化した履歴吸収エネルギーとダンパー震度の関係

## 4. 解析結果

### (1) 最大応答変位

解析の範囲において、ダンパーが効果的に働くことを確認するため、地震動の地盤種別ごとの最大応答変位とダンパー震度の関係を図-5に示す。最大応答変位は、位相特性の異なる3波について平均し、ダンパーを付けなかった場合（ダンパー震度=0）の最大応答変位により無次元化している。

I種地盤で $T=5.0(s)$ ,  $k_y=0.6$ の時に、ダンパー震度を増加させても最大変位が増大する点がある。これは、片振れによる影響であり、最大変位が増加したとしてもダンパー震度の増加は耐震性能の向上に寄与していると想定される<sup>7)</sup>。

ダンパーの効果が大きかったのは、I種地盤では固有周期の長いケースが、III種地盤では固有周期の短いケースであった。しかし、その他の条件においても、ダンパー震度を増加させることで最大変位は明確に低下しており、本検討の条件内であれば、ダンパーの適用できる条件は特に限定されないことが分かる。

### (2) 履歴吸収エネルギー

図-6に、橋脚条件を基本タイプ( $T=1.0(s)$ ,  $k_y=0.6$ )とした時の履歴吸収エネルギーとダンパー震度の関係を示す。これらの図の極値が最適ダンパー震度であり、縦軸の履歴吸収エネルギーは、最適ダンパー震度時の履歴吸収エネルギーで無次元化している。

履歴吸収エネルギーとダンパー震度の関係は、同じ橋脚条件であっても、地盤条件の違いによる地震波の違いにより異なっている。また、応答加速度スペクトルが同一で位相特性が異なる3波の間であっても、最適ダンパー震度は大きくばらついている。よって、最適ダンパー震度を評価しようとした場合、橋脚条件だけでなく、地震動やその位相特性も考慮しなければならないことがわかる。

## 5. 最適ダンパー震度の評価

### (1) 最適ダンパー震度の評価方法

新設構造物の設計において、最適なダンパー震度を選定する場合は、位相特性にかかわらずダンパーが有効であることが必要である。そこで、3波のいずれにおいても無次元化した履歴吸収エネルギーが0.8を超えるダンパー震度を、最適ダンパー震度の範囲として評価することとした。図-7に、図-6a)のケースを例にした最適ダンパー震度の範囲に関する考え方を示す。図-7における最適ダンパー震度の範囲は、0.16~0.34の範囲である。

図-8に、橋脚降伏震度 $k_y=0.6$ とした時の、橋脚固有周期と最適ダンパー震度の関係を地盤種別ごとに示す。図-9に、固有周期 $T=1.0s$ とした時の橋脚降伏震度と最適ダンパー震度の関係を地盤種別ごとに示す。いずれも、図中実線が最適ダンパー震度範囲の上限で破線が最適ダンパー震度範囲の下限である。

### (2) 地盤種別の影響

図-8, 9より、全体的にI種地盤の最適ダンパー震度のみが大きく、最適ダンパー震度範囲も広がった。これは、加速度応答スペクトルが他より小さくなる周期領域においてもあてはまるため、入力の大さきによる違いとは言えない。ダンパー自体の弾性剛性が高いため、ダンパーの弾性域に対しては高振動数成分が大きいI種地盤の入力地震動が最も応答しやすく、その結果、ダンパー震度が高くても十分エネルギー吸収可能であったものと考えられる。

### (3) 橋脚固有周期の影響

図-8より、地盤種別によらず、橋脚固有周期 $T=0.3(s)$ の時には最適ダンパー震度の範囲が非常に狭いが、橋脚固有周期 $T=0.5(s)$ 以上であれば、最適ダンパー震度の範囲は非常に広いことが分かる。橋

脚固有周期 $T=0.3(s)$ の時は、ダンパーの弾性剛性より橋脚の弾性剛性が高く、橋脚の履歴吸収エネルギーが大きい。そのため、橋脚の非線形挙動に影響を受けやすく、位相特性ごとに最適ダンパー震度が変動しやすかったことから最適ダンパー震度の範囲が狭くなったものと考えられる。

橋脚固有周期が大きくなると、全体として最適ダンパー震度は大きくなるが、その変化量は最適ダンパー震度範囲の広さに比して小さく、あまり影響を受けないものと言える。

#### (4)橋脚降伏震度の影響

最適ダンパー震度は橋脚降伏震度の影響をほとんど受けないことが分かる。これは、橋脚固有周期 $T=1.0s$ のケースでは、最適ダンパー震度に設定すれば、全吸収エネルギーのうちの60%以上をダンパーが受け持ったため、橋脚の非線形挙動の影響をほとんど受けなかったためと考えられる。

### 6. まとめ

新設の制震型橋梁におけるダンパー最大減衰力の設定に資するため、パラメトリックスタディにより最適ダンパー震度の検討を行った。その結果、地震動、橋脚固有周期、橋脚降伏震度などと最適ダンパー震度についての知見を得ることができた。

今後は、この知見をもとに、最適ダンパー震度について定量的に示すとともに、設計時に用いることができるようにする予定である。

#### 参考文献

- 1) 下前隆雄, 川端淳: 伊弉高架橋における制振装置を用いた耐震補強対策検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.61, pp.479-480, 2006.9.
- 2) 斎藤次郎, 佐藤英和, 横川英彰, 宇野裕恵, 牧口豊, 下田 郁夫: 摩擦履歴型ダンパーの適用とその実例, 地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, Vol.6, 2003.1.
- 3) 天野寿宣, 伊奈義直, 新倉一郎, 武田篤史: 皿バネボルトセットを用いた摩擦型ダンパーの橋梁への適用性の検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.64, pp.1141-1142, 2010.9.
- 4) 武田篤史, 佐野剛志: 皿バネボルトセットを用いた摩擦型ダンパーの性能評価, 構造工学論文集, Vol.58A, 2012.3
- 5) T. Takeda, M. A. Sozen, N. N. Nielsen : Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, Journal of

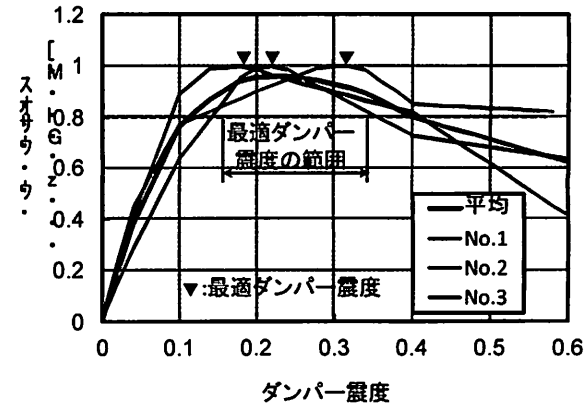


図-7 最適ダンパー震度の範囲

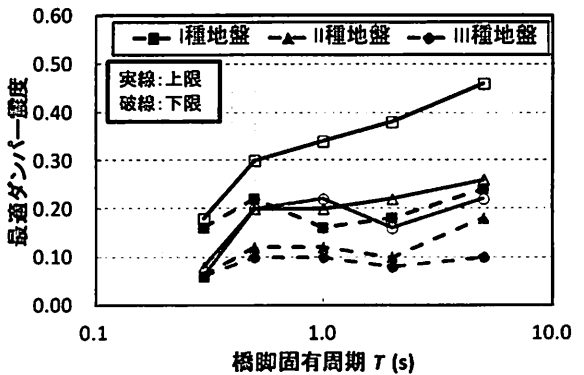


図-8 最適ダンパー震度の範囲と橋脚固有周期の関係

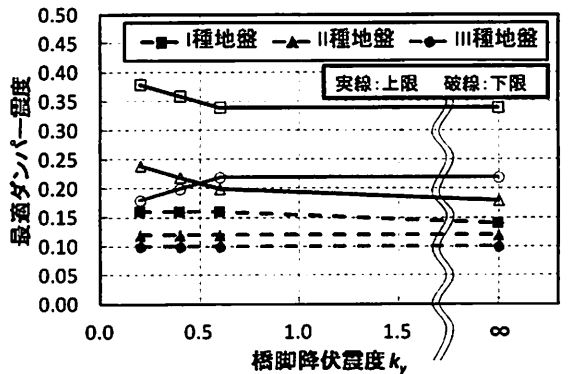


図-9 最適ダンパー震度の範囲と橋脚降伏震度の関係

the Structural Division, ASCE, Vol.96, No.ST12, pp. 2557-2573, 1970.12.

- 6) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 2012.3.
- 7) 武田篤史: 制震型橋梁におけるRC橋脚の応答に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, 第34巻, pp931-936, 2012.7.