

制震ダンパーによる橋梁の地震応答低減効果に関する解析

岡田太賀雄* 運上茂樹**

1. はじめに

近年、建築分野を中心に地震時の耐震性能を高める手法としてダンパー等を活用する制震構造が開発されてきているが、橋梁においても主として既設橋の耐震補強に対して地震時の応答変位の低減を目的に採用される事例も出てきているところである¹⁾。こうした制震構造については、現状では、個別の橋の条件やダンパーの特性に応じて個々に検討されているものの、材料やメカニズム等によって様々な力学的特性を有する制震ダンパーが開発されつつあり、その性能検証方法や各種の制震ダンパーを用いた橋梁の設計方法としてはまだ十分確立されていない。

このような背景のもとで、土木研究所では、橋梁の耐震性能の向上に資する構造の開発を目的として、ダンパー等の制震構造を用いた橋梁の設計法に関する研究を実施している²⁾。制震構造の特徴を活かした効率的な設計を行うためには、ダンパーの特性に応じて地震時挙動がどう変化するか把握することが重要である。本文では多径間連続橋を対象とし、橋脚毎にダンパーを設置する場合を想定し、解析的にダンパーの地震応答低減効果を検討した結果を報告する。

2. 解析概要

2.1 解析対象橋のモデル化

解析対象とした橋は文献³⁾を参考に、地震時水平力分散構造を用いた連続橋とし、各橋脚にダンパーを設置した場合を想定し、そのうちの一橋脚のみを取り出しモデル化を行った。解析モデルとしてダンパーによる影響をできるだけシンプルに評価するため、図-1に示すように、ゴム支承を線形ばね要素、橋脚をバイリニアばね要素(Takeda型)でモデル化した2質点系モデルとした。橋脚の降伏耐力比 $P_y/W=0.61$ 、降伏変位は34.9mm、固有周期は1.1秒である。

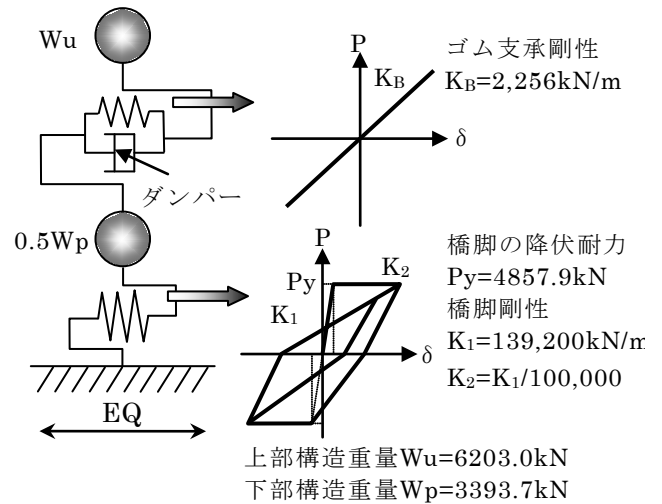


図-1 解析対象橋脚のモデル化

このようにモデル化した単柱橋脚に対して各種ダンパーを設置し、ダンパーによる地震応答の低減効果について確認する。物理特性の異なるダンパーの効果を比較するために、ここでは地震動を入力した際に生じるダンパーの最大荷重 P_{max} が同一になるように各ダンパーをモデル化した。また、ダンパーにより生じる最大荷重 P_{max} については、各橋脚の降伏耐力に対して0.1,0.3,0.5,0.7,0.9 P_y となるように変更し、ダンパーの減衰力をパラメータとし、地震応答低減効果に及ぼす影響について整理した。

2.2 ダンパーのモデル化

対象としたダンパーは代表的なダンパーとし、速度によらず一定の減衰力を保つ摩擦履歴型、減衰力が速度に比例して増加する速度比例型、鋼材の履歴減衰によるエネルギー吸収を見込む変位依存型の鋼材履歴型のダンパーとした。それぞれの荷重-速度関係及び荷重-変位関係を図-2に示す。摩擦履歴型ダンパーについては荷重-変位関係を剛塑性型とし、バイリニアばね要素でモデル化した。解析ではダンパーの降伏荷重が設定したダンパーの最大荷重 P_{max} になるように設定し、初期剛性 $K_1= P_{max}/0.0025$ 、 $K_2=K_1/100,000$ としてモデル化した。速度比例型ダンパーについては減衰要素によりモデル化した。解析では設定したダンパーの最大荷重 P_{max} になるように減衰係数 C につ

Analytical study on the effectiveness to decrease the seismic response of bridges using structural response control devices

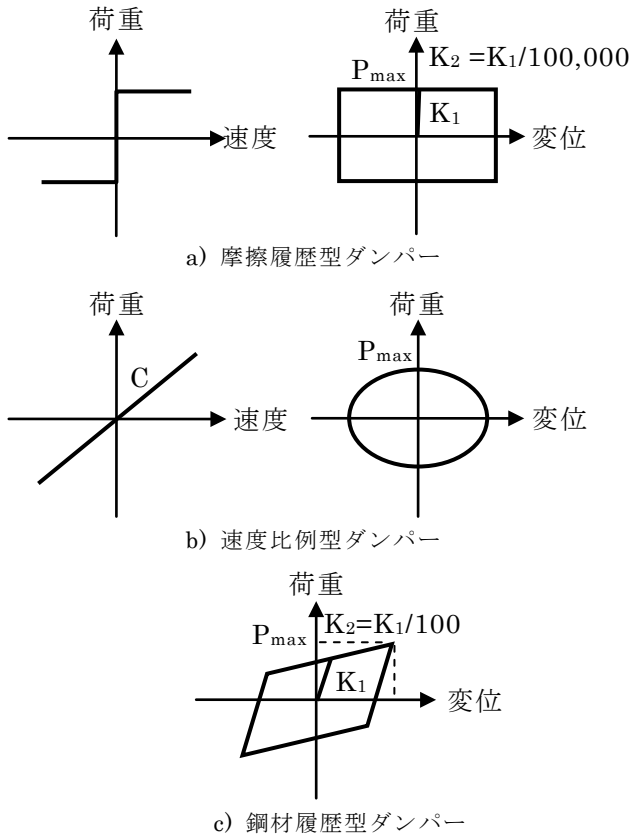


図-2 各ダンパーのモデル化

いて繰り返し変更を行った。鋼材履歴型ダンパーについては、低降伏点鋼材を用いたダンパーを想定し、荷重-変位関係によりバイリニアばね要素でモデル化し、 $K_2=K_1/100$ とした。解析では設定したダンパーの最大荷重 P_{max} になるように K_1 について繰り返し変更を行った。

2.3 解析条件

時刻歴応答解析における数値積分法にはニューマークβ法 ($\beta=1/4$) を用い、積分時間間隔を1/500秒とした。入力地震動については道路橋示方書⁴⁾に示されている標準波形のうち、レベル2地震動タイプIIの波形を用いることとした。

各部材に与えた減衰定数については、支承3%、橋脚2%とし、ダンパーに対する減衰定数をいずれのダンパーを用いた場合でもゼロとするために、減衰マトリックスについてはダンパーを除く橋梁部分に対する1次の固有振動数で設定した要素剛性比例減衰によりモデル化した。

3. 解析結果

3.1 各ダンパーの地震応答低減効果

図-3～図-5にII種地盤における各ダンパーを用いた場合の各応答値の時刻歴及び履歴図を示す。

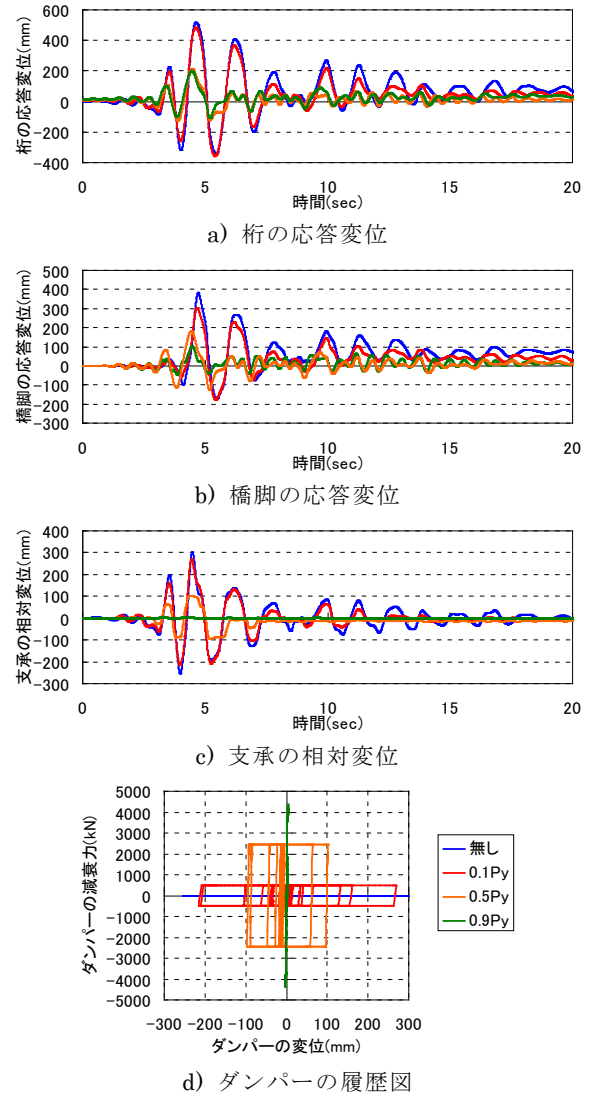


図-3 摩擦履歴型ダンパーを用いた場合の時刻歴及びダンパーの履歴図

いずれのダンパーについてもダンパーを設置しないケースと比較すると、ダンパーの減衰力を大きくするにつれ、支承の相対変位は低減されており、橋脚の応答変位についても低減されている事がわかる。橋脚の応答変位の時刻歴をみると、ダンパーの減衰力が大きくなるにつれ橋脚の塑性化が進展しなくなり、変位の周期特性が変化し、橋脚が弾性範囲で振動している事がわかる。また、摩擦履歴型ダンパーの支承の相対変位時刻歴によると、ダンパーの減衰力が0.9Pyの場合にはほとんど支承の相対変位そのものが生じず、系として固定のように挙動している事がわかる。鋼材履歴型ダンパーについてもダンパーの減衰力が大きくなると支承部の相対変位が変化せず同様に固定のような挙動を示している。

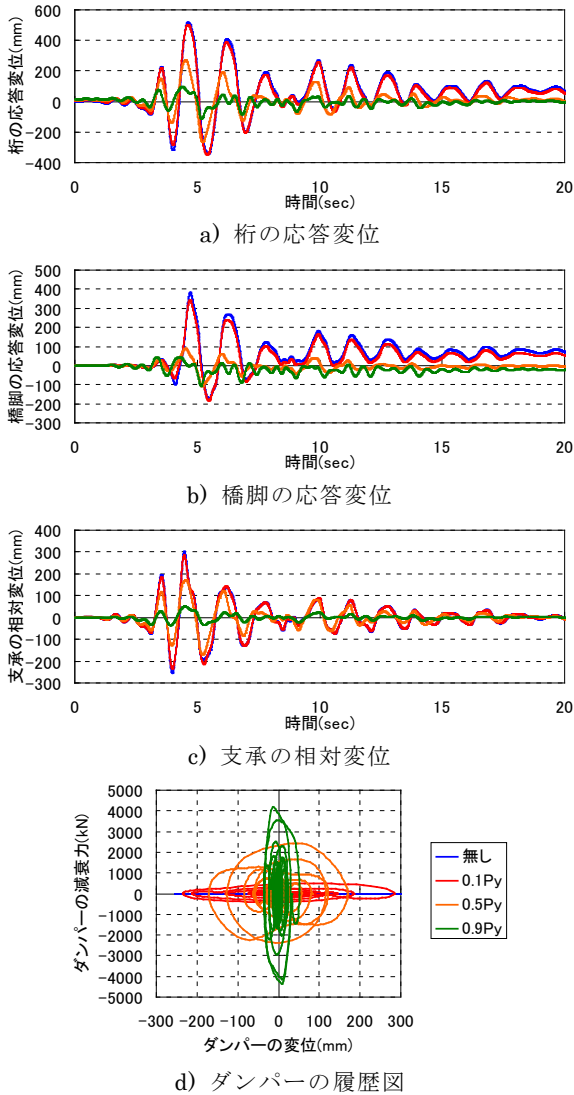


図-4 速度比例型ダンパーを用いた場合の時刻歴及びダンパーの履歴図

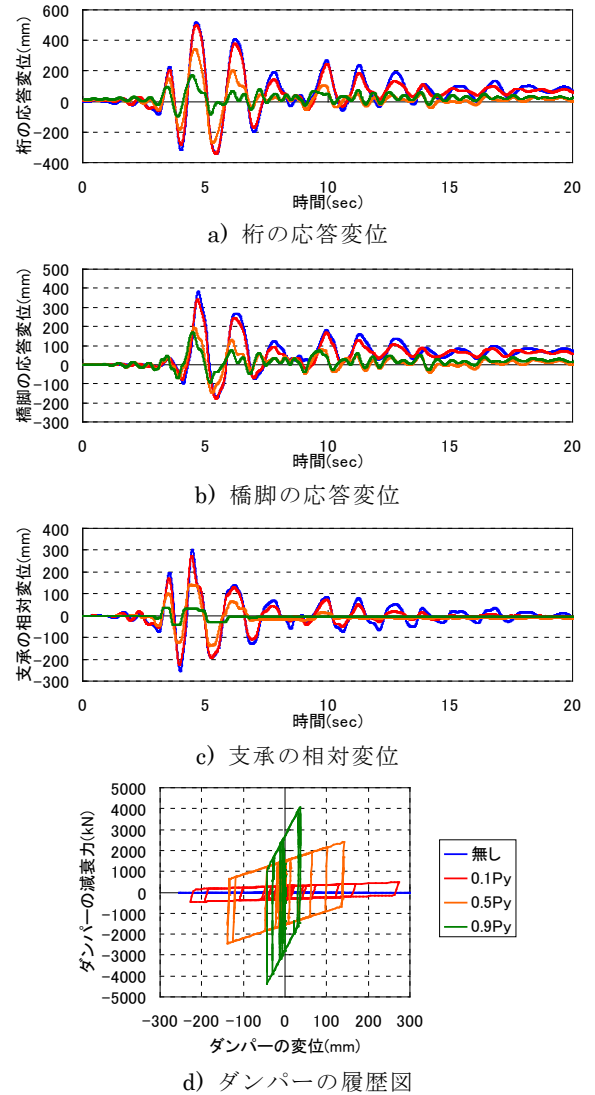


図-5 鋼材履歴型ダンパーを用いた場合の時刻歴及びダンパーの履歴図

3.2 地盤種毎の最大応答値の比較

図-6に各ダンパーを用いた場合の各地盤種別の桁の応答変位、支承の相対変位及び橋脚の応答変位の最大応答値を示す。系の固有周期が1.1秒であるため、I種地盤での結果は他の地盤種よりもそれぞれの応答値が小さくなっている。

いずれの地盤種別・いずれのダンパーにおいても前節で示したようにダンパーの減衰力を大きくすると支承の相対変位が小さくなり橋脚の応答変位も低減し、ダンパーによる地震応答の低減効果が確認できる。ただし、I種地盤については、ダンパーの減衰力が0.3~0.5Pyの場合に、II種地盤についてはダンパーの減衰力が0.7~0.9Pyの場合に、III種地盤についてはダンパーの減衰力が0.5~0.7Pyの場合に橋脚の応答変位が最も低減され、ダンパーの減衰力をこれより大きくすると塑性化

が進展する。このようにダンパーの効果については、地盤種別毎にダンパーの特性によって変化することが確認できる。また、ダンパーによる最大荷重 P_{max} が同じであれば、概ね同様の効果が見込める事がわかる。

橋脚に作用する荷重としては、ダンパーにより生じる荷重、ゴム支承による復元力、橋脚自重による慣性力及び粘性減衰である。本解析ではいずれのダンパーについても、ダンパーによる減衰力を増加させていくと、程度は異なるが支承の相対変位と橋脚の応答変位が低減した。これはダンパーによる減衰力が増加するものの、相対的にゴム支承の復元力が低減することによる影響が大きいためと考えられる。しかしながら、さらにダンパーの減衰力を増加させていくと、支承の相対変位はさらに低減するが、橋脚の応答変位は増加し

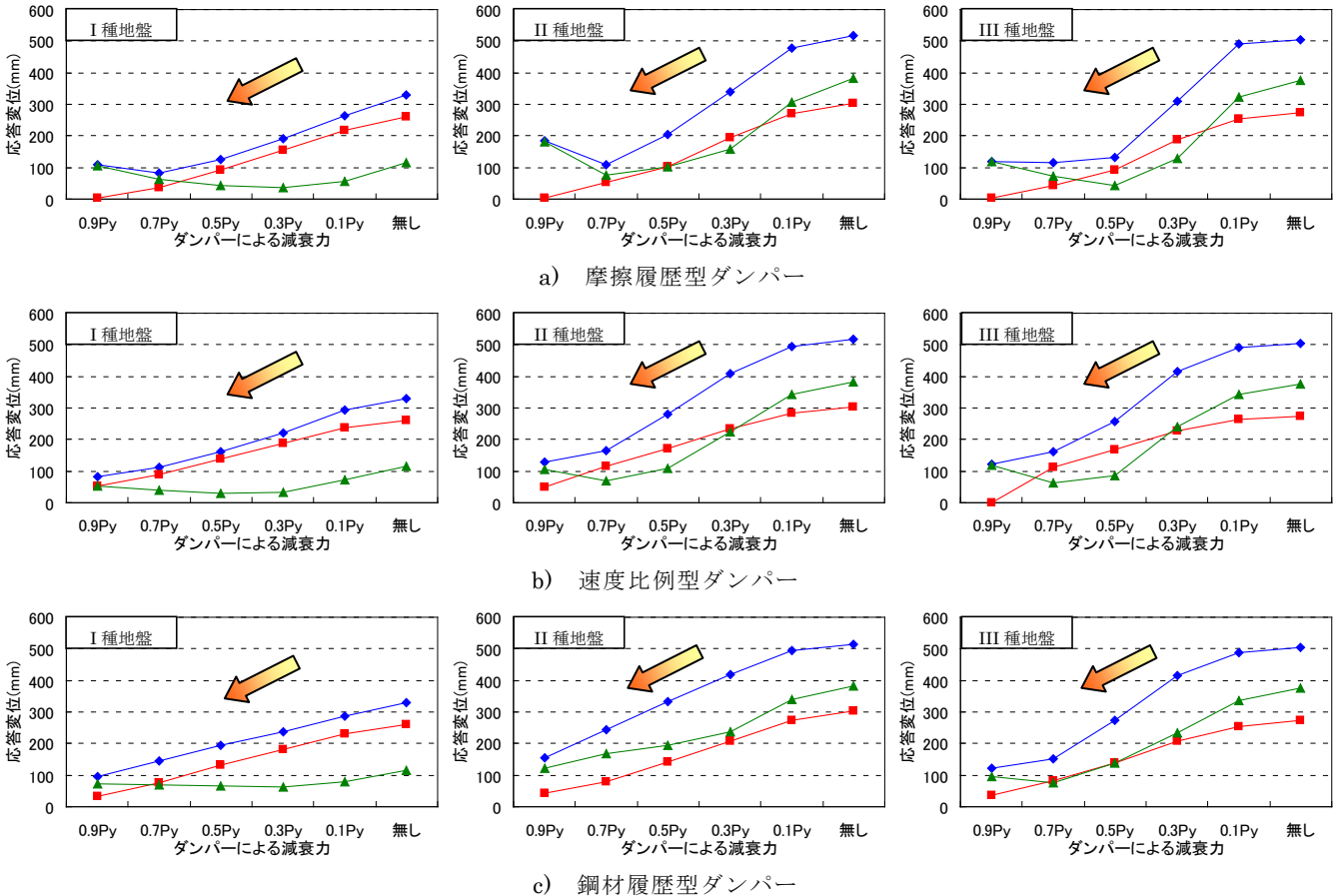


図-6 各地盤種別での最大応答値比較 (◆：桁、■：支承の相対変位、▲：橋脚)

ている。これはゴム支承の復元力が低減するが、相対的にダンパーにより生じる荷重の占める割合の増加とともに、支承による変位が生じにくくなるため系の固有周期が固定時の固有周期に近づき、上部構造と橋脚による慣性力も増加した影響が考えられる。

4. まとめ

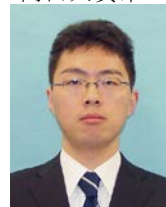
本文では、地震時水平力分散構造を用いた橋梁を対象として異なる減衰特性を有するダンパーによる地震応答低減効果を解析的に検討した。その結果、ダンパーが地震応答の低減に効果があること、また、ダンパーの有する特性とダンパーの減衰力の大きさに応じてその効果が変わることがわかった。

今後こうしたダンパーの効果について実験的に検証するとともに、異なる構造特性・周期特性を有する橋梁への適用性等を検討し、ダンパーを用いた橋梁の耐震設計法を取りまとめる予定である。

参考文献

- 1) (財)海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集、2005
- 2) 岡田太賀雄、運上茂樹：橋梁に対するダンパーの制震効果に関する振動台実験と解析的研究、土木技術資料Vol.50、No.5、pp.20-24、2008
- 3) (社)日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料、pp.2-1～2-139、1997
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、2002

岡田太賀雄*



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター橋梁構造研究グ
ループ 研究員
Takao OKADA

運上茂樹**



国土交通省国土技術政策
総合研究所危機管理技術
研究センター 地震災害
研究官、工博（前独立行政
法人土木研究所構造物
メンテナンス研究セン
ター橋梁構造研究グ
ループ 上席研究員）
Dr. Shigeki UNJOH