

SMA 制震ダンパーを導入した免制震橋梁の震動低減効果に関する解析的研究

東北大学 学生会員 ○田口 開斗

正会員 運上 茂樹

1. はじめに

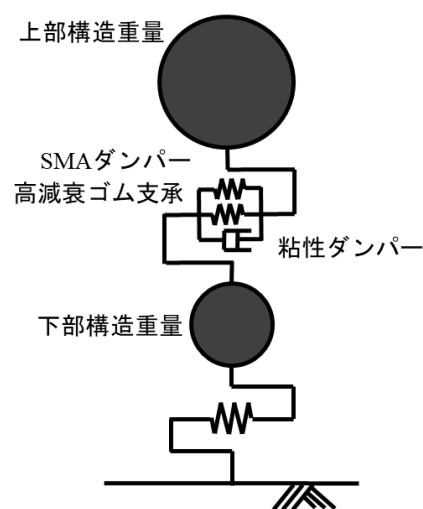
1995年兵庫県南部地震以来，新設橋や既設橋において，耐震性能の向上を図るために免震・制震構造が広く採用されてきている．免震橋の震動低減効果を高めるための制震デバイスの1つとして，履歴型鋼製ダンパーがあるが，鋼材塑性化に伴い残留変位が多く残ってしまう問題が存在する．そこで本研究では，残留変位を残さない新しい制震ダンパーとして，履歴型復元力機能を有する形状記憶合金を用いたSMA制震ダンパーの有効性について検討するものとし，橋梁を非線形材料特性を考慮した2質点系にモデル化し，非線形時刻歴応答解析を行った．ダンパーの履歴特性を変化させたパラメトリック解析に基づき鋼製ダンパーとの比較を行うとともに，さらに制震効果を高めるために粘性ダンパーと複合させた免制震構造に関して，免震橋への適用性を検討した．

2. 解析対象橋梁およびモデル化

「平成9年道路橋の耐震設計に関する資料」¹⁾における5径間連続鋼I桁橋の中間部のRC橋脚を抽出し，上部構造と下部構造からなる2質点系モデルを作成した．上部構造重量は中間橋脚が受け持つ桁重量，下部構造重量は橋脚総重量の3割を橋脚天端位置に設置し，橋脚基部は地盤と完全固定した．非線形材料特性としてRC橋脚はTakeda型モデル，高減衰ゴム支承と鋼製ダンパーはバイリニア型モデル，SMAダンパーには履歴特性はバイリニア型で原点復帰機能を有するモデル，また粘性ダンパーは速度依存型（速度の α 乗）モデルとした．

3. 解析概要

はじめに高減衰ゴム支承有する免震橋梁に，その制震効果を高める鋼製，SMAダンパーを導入した免制震橋梁モデルに対して，表—1に示すように，ダンパーの特性を降伏耐力と降伏変位をパラメータとして時刻歴応答解析を行った．得られた桁と橋脚天端の最大応答値，ダンパー残留変形量を鋼製ダンパー導入の場合と比較し，SMAダンパーで考慮すべき性能パラメータと地震動を抽出した．抽出後，高減衰ゴム支承を除いた橋梁モデルにおいて時刻歴応答解析を実施し，支承によるエネルギー吸収量，抵抗力を除いた純なダンパー性能を評価し，パラメトリックに3通りの粘性定数を与えた複合制震構造の効果を検証した．最後に，複合制震構造を，橋脚降伏震度パラメータ3通り与えた高減衰ゴム支承有する実免震橋モデルに導入して時刻歴応答解析を実施し，最適履歴効果の確認と共に橋脚の塑性化が複合免制震構造に与える影響を検証した．



図—1 SMA&粘性免制震モデル

表—1 橋脚設定パラメータ¹⁾

降伏変位 δ_y (m)	初期剛性 K_1 (kN/m)			剛性低下率 K_2/K_1
	$K_y = 0.6$	$K_y = 0.7$	$K_y = 0.8$	
0.0309	112748	133204	152233	0.001

表—2 粘性ダンパー設定パラメータ

線形域 上限速度 β (m/s)	粘性定数 C (kN/m)			速度乗数 α
	C_1	C_2	C_3	
0.01	500	1000	1500	0.22

表—3 鋼製・SMA ダンパー設定パラメータ

降伏変位 δ_y (m)	降伏耐力 P_y (kN)	初期剛性 K_1 (kN/m)	二次剛性 K_2 (kN/m)	剛性 低下率 K_2/K_1
0.005	1000	200000	200	0.001
	2000	400000	400	
	3000	600000	600	
	4000	800000	800	
0.01	1000	100000	100	
	2000	200000	200	
	3000	300000	300	
	4000	400000	400	

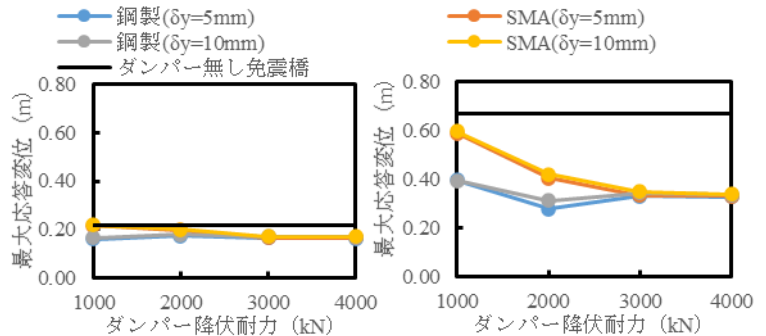
キーワード SMA ダンパー，粘性ダンパー，複合免制震構造，履歴エネルギー吸収

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学 構造設計学研究室 TEL 022-795-7449

4. 解析結果

(1) 免震橋梁へのダンパー導入による制震効果の検証

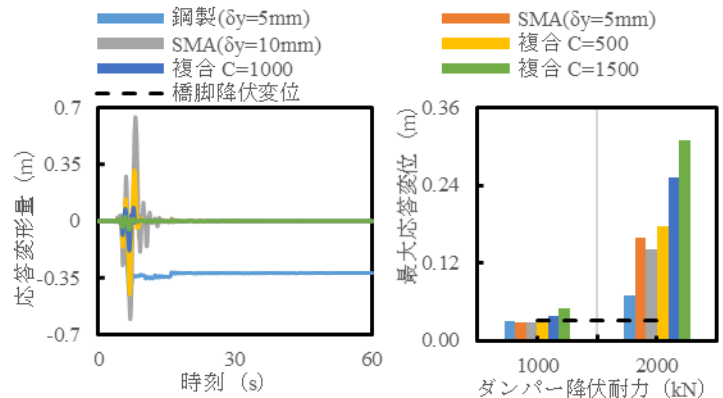
図—2 と図—3 は、それぞれタイプⅡ地震動のⅠ種地盤、Ⅲ種地盤の地震動に対する桁の最大応答変位を示したものである。鋼製ダンパーと SMA ダンパーの降伏耐力値 1000kN～4000kN の変化させたものである。これによれば、Ⅰ種地盤入力に対しては、応答変位はダンパーの降伏耐力によって差が生じず、またダンパーのない免震橋梁の応答からの低減もほとんどない。一方、Ⅲ種地盤入力に対しては、ダンパーのない免震橋梁よりも大きな変位低減効果が得られるとともに、降伏耐力が 1000kN、2000kN の場合には、ダンパーの降伏による履歴エネルギー吸収能力の差が現れ、鋼製ダンパーの方が変位低減が大きい。



図—2 Ⅰ種 桁最大応答変位 図—3 Ⅲ種 桁最大応答変位

(2) 2つのダンパーによる変位応答と残留変位の検証、粘性ダンパーを併用した複合制震構造の効果

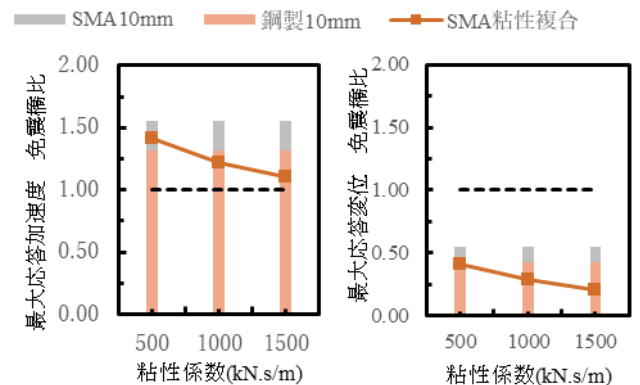
図—4 は、鋼製ダンパーと SMA ダンパー、複合制震構造を用いた場合の時刻歴応答、図—5 は橋脚天端の最大応答変位を示したものである。鋼製ダンパーの方が履歴面積が大きい変位低減効果は大きい、残留変位が大きく残ってしまう可能性があることが分かる。一方複合制震構造では、降伏耐力を 1000kN に設定することにより、橋脚天端の変位をほぼ弾性状態に保ちつつ、SMA ダンパーの原点復帰特性により残留変位量を低減できることが分かる。



図—4 ダンパー時刻歴変形量 図—5 橋脚天端最大応答変位

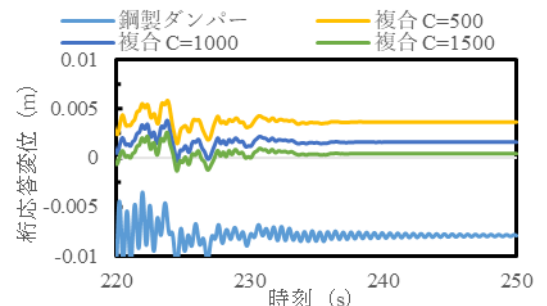
(3) 複合免制震構造における降伏震度パラメータの検討

今回の検討では、橋脚を弾性状態に保ちつつ、通常の免震橋よりも桁の応答変位を効果的に低減し、また、同時に残留変位も低減させることを目的として、SMA ダンパーと粘性ダンパーの複合制震構造を検討した。ダンパーの降伏耐力を 1000kN とし、タイプⅠの地盤種別の地震動に対して、橋脚を塑性化させないように降伏震度を 0.8 と仮定した場合のⅢ種地盤入力に対する桁最大応答変位値を図—6、橋脚天端最大応答加速度を図—7 に示す。ダンパーの複合化によって、桁変位を従来の免震橋の半分以下、橋脚加速度を免震橋と同等程度と効果的に応答低減を図れることが分かる。図—8 は桁時刻歴応答変位を示したものである。橋脚を弾性に収めた複合免制震構造では、鋼製ダンパー導入時に比較して桁残留変位と自由振動を大きく低減させることに成功した。



図—6 橋脚最大加速度

図—7 桁最大変位



図—8 桁時刻歴応答変位

5. まとめ

橋脚を弾性状態に抑えた複合免制震橋梁では、桁の残留変位に加えて SMA 単体では困難な変位と加速度応答の低減も達成し、免制震橋の免震効果と制振効果を維持、向上しながら桁残留変位低減を目指せる機構を示した。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997