

鋼橋への自己復元型複合構造ダンパーの適用に関する検討

名古屋工業大学大学院 学生員 ○松澤 陽
名古屋工業大学大学院 フェロー会員 後藤芳顕
名古屋工業大学大学院 正会員 海老澤健正

1.はじめに： 現行の制震ダンパーによる制震設計では、主構造の損傷を抑えることができるもののダンパーが塑性変形することにより残留変形が生じる。そのため、地震後においてはダンパー部材の交換や原位置復帰作業を要する。その解決策として、ダンパーとして機能した後においてもその残留変形を生じさせない、超弾性合金と超塑性合金を組み合わせた自己復元型複合構造ダンパーを提案した¹⁾。ここでは、提案した自己復元型ダンパーの高架橋への適用性を数値解析により検討する。具体的には、現行の道路橋示方書²⁾のレベル1地震動に相当する地震を設計地震動とした昭和55年の道路橋示方書³⁾に基づき設計された鋼製橋脚で支持された2径間連続高架橋に対し、本ダンパーを付加することで現行のレベル2地震動に対する耐震安全基準を満足するようダンパーの最適設計を行う場合を想定する。そして、自己復元型ダンパーを用いた場合の制震性能と自己復元性能を従来型の軸降伏型金属ダンパー(BRB)を用いた場合と比較することで検討する。

2. 自己復元型複合構造ダンパー： 自己復元型複合構造ダンパー¹⁾は、エネルギー吸収能と形状回復機能を持つ超弾性合金と、エネルギー吸収能と耐劣化性に優れる超塑性合金から構成されるダンパーである。この両者を図1のように組み合わせることで自己復元機能と高いエネルギー吸収能を併せ持つ制震部材となる。

3. 解析モデル： 図2に示すように、両端を可動支承による橋台で、中央を不動支承による鋼製橋脚で支持された2径間連続橋を対象とする。地盤種別は2種地盤とする。上部構造については支間長40mで4車線のRC床板を持つ7主桁橋、中央橋脚は矩形断面鋼製橋脚として昭和55年道路橋示方書に従い設計する。そして、次に本ダンパーを両端の橋台部に1個ずつ付加することで現行示方書のレベル2地震動に対する照査を満足するようにダンパーの設計を行う。ここでは、ダンパー付加前のモデル(基本モデル)と本ダンパー付加後のモデル(自己復元モデル)に加え、従来の軸降伏型金属ダンパーを用いたモデル(BRBモデル)についても検討する。

数値解析モデルでは、上部構造は弾性はり要素、橋脚は材料構成則に三曲面モデルを用いたはり要素で離散化し、2%の質量比例減衰を与える。付加するダンパー部材はトラス要素によりモデル化を行う。ダンパーの材料構成則には、超弾性材料は図3に示す残留ひずみの回復を考慮したバイリニア構成則、超塑性材料は完全弾塑性、BRBはバイリニア移動硬化則を適用する。これらの諸元には文献1), 4)に基づき表2の値を用いる。

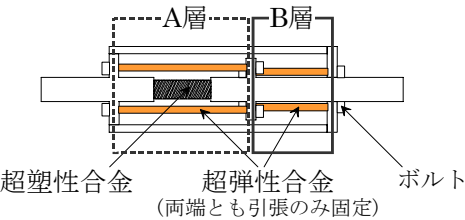


図1 自己復元型複合構造ダンパー

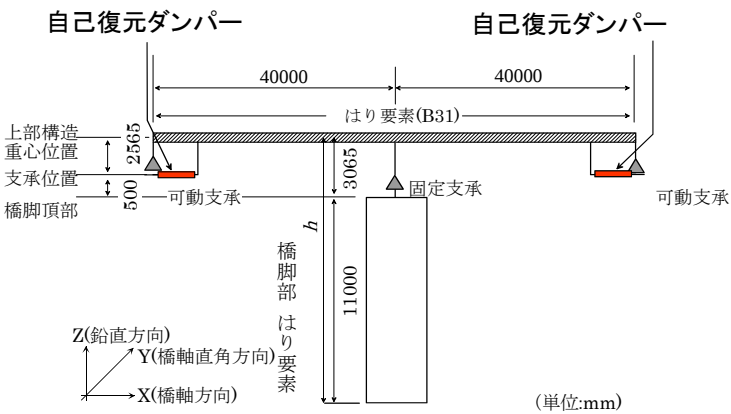


図2 解析モデル

表2 ダンパーの材料パラメータ

部材 (材料)	降伏応力 σ_y (MPa)	ヤング率 E (GPa)	2次勾配 E_2 (GPa)	回復応力 σ_1	
				a (GPa)	b (MPa)
超弾性材料	416.6	58.4	2.9	-1.7	235.8
超塑性材料	126.0	8.1	-	-	-
BRB	213.0	306.0	5.1	-	-

a, b:回復応力を算定する際の係数

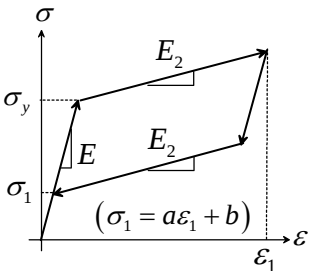


図3 超弾性合金の構成則

キーワード： 自己復元, ダンパー, 複合構造, 超弾性合金, 超塑性合金

連絡先： 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL 052-735-5021 FAX 052-735-5563

4. ダンパーの最適設計： レベル2地震動に対する照査において、応答値の3波平均が表3に示す制約条件を満たすよう最適なダンパー諸元を決定する。設計変数としては、ダンパー部材の長さおよび断面積とし、目的関数はダンパー重量最小化とする。2種類の材料を用いる自己復元ダンパーでは超弾性材料と超塑性材料の諸元をそれぞれ独立な変数とし、目的関数は価格比から定めた重み係数(超弾性材料：超塑性材料=4.625:1)を乗じて算出する。ただし、表3の制約条件のみではダンパー部材の強度と剛性とを高くすることで、地震荷重のほとんどを橋台部で負担する構造が最適解となるので、橋台に生じるダンパー反力に制約を加える。具体的には反力の上限値を徐々に低下させ設計可能なダンパーを決定する。得られたダンパー諸元を表4に示す。

5. 解析結果： 3種類のレベル2地震動下での各モデルの解析結果について検討する。

a) 橋脚残留変位：表5に示すように残留変位の許容値 140.6mm を上回る基本モデルに対して自己復元モデル、BRB モデルともダンパーを付加することにより許容値以内に収まっている。しかし BRB モデルでは許容値の 6～24%の残留変位が生じており、また地震波による差異も大きい。一方、自己復元モデルでは、残留変位は許容値の約 2%と非常に小さく、自己復元特性が得られていることがわかる。また、地震波の差異に対して敏感ではなくロバスト性を持つことがわかる。

b) エネルギー吸収：表6に示す2種類のダンパーにおけるエネルギー吸収量は地震波によるばらつきは大きいものの、自己復元モデルと BRB モデルの間に明確な優劣は生じていない。

c) ダンパー反力：設計可能なダンパー反力の制限値は、自己復元モデルが BRB モデルの約 1.3 倍となった。これは、図4に示すように自己復元型ダンパーの荷重-変位関係では自己復元特性に起因して第2, 4象限でのエネルギー吸収が期待できないため、同等のエネルギー吸収能を確保するには BRB モデルに比べダンパー反力が大きくなるを得ないからである。なお、1 履歴ループ当たりのエネルギー吸収能を等しくするには自己復元型ダンパーは BRB の約 2 倍の反力を必要とすることを考慮すると、自己復元型ダンパーを用いたことによる橋台における反力上昇は比較的小さいものと考えられる。

6. まとめ： 本研究では、鋼橋への自己復元型複合構造ダンパーの適用について 2 径間連続橋を対象に検討を行った。その結果、自己復元型ダンパーの導入により地震後の残留変位を抑制できることを確認した。自己復元挙動は地震波の差異による影響も小さく、ロバスト性を持つことも判明した。また、橋台におけるダンパー反力の上昇が懸念されたが、従来の軸降伏型ダンパーと比較して 30%程度の反力上昇にとどめることができた。

謝辞： 本研究は科研費(挑戦的萌芽研究, 21656114)の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献： 1) 和田廣人ら, 土木学会年次学術講演会講演概要集, I-361, pp.721-722, 2011. 2) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002. 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 1980. 4) 渡辺直起ら, 土木学会地震工学論文集, Vol.27, 2003.

表3 制約条件

	自己復元モデル	BRB モデル
橋脚	残留変位 ($<h/100$, h :上部構造重心の高さ) 最大応答ひずみ ($<\varepsilon_y(20-25R_F)$, ε_y :降伏ひずみ, R_F :橋脚の幅圧比パラメータ)	
ダンパー	最大応答ひずみ (超弾性: $<5\%$, 超塑性: $<10\%$) 残留ひずみ ($<0.3\%$)	最大応答ひずみ ($<3\%$) 累積塑性ひずみ ($<70\%$)

表4 ダンパーの最適諸元

部材 (材料)	断面積 (m^2)	長さ (m)
超弾性材料	0.0067	2.38
超塑性材料	0.0052	1.50
BRB	0.0083	3.74

表5 橋脚残留変位

地震波	基本 モデル	自己復元 モデル	BRB モデル
sn2-2-1	213.1	3.3	10.1
sn2-2-2	125.0	2.7	8.3
sn2-2-3	124.1	4.5	33.5
平均	154.1	3.5	17.3

単位:mm

表6 ダンパーのエネルギー吸収量

地震波	自己復元 モデル	BRB モデル
sn2-2-1	5477.5	7092.1
sn2-2-2	5734.3	5935.4
sn2-2-3	5207.8	4028.5

単位:kJ

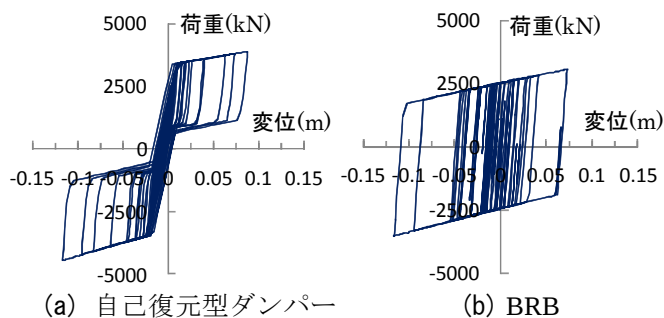


図4 ダンパーの荷重-変位関係(地震波:sn2-2-1)