自己修復特性を有するユニット型ダンパーの提案と骨組構造への適用性

農林水産省　正会員○廣中　渉太　名古屋工業大学　フェロー会員　後藤　芳顯
名古屋工業大学　正会員　奥村　徹　名古屋工業大学　正会員　海老澤　健正

1. 背景と目的： 現行の耐震基準を満たさない橋梁構造物に対する制震化には，座屈拘束ブレースをはじめとした履歴型の金属ダンパーの設置[1)]が一般的である．しかしながら，このようなダンパーは部材の履歴特性によって地震エネルギーを吸収する構造であるため，地震後にはダンパー自体に残留変形が生じ，本体構造にも残留変位が生じてしまう恐れがある．また，多くの制震構造ではレベル 1 地震動に対してはダンパー部材を弾性範囲内に留める設計を行っており，ダンパーの効率的な設計を困難にしている．著者らは，地震時の構造本体への損傷を低減させるだけでなく，地震後の残留変形を解消する事で継続利用が可能な制震構造を目指して，各種自己修復ダンパー[2)]の検討を行っている．ここでは新たな自己修復特性を有するユニット型ダンパー[3)]を提案しその特性を検討した結果を報告する．レベル 1 地震動により設計された既設上路式アーチ橋端柱をもとにモデル化した多層骨組構造を検討対象に，現行の耐震設計基準を満足するように従来の座屈拘束型の金属ダンパーを設置した場合と，本ダンパーを設置した場合とで比較し，本ダンパーの適用性について検討する．

2. 提案するユニット型ダンパー： ここで提案したユニット型ダンパーは自己修復特性を有するフレーム構造に従来の軸降伏型金属ダンパーを設置した構造（**図-1**）である．フレーム構造はプレストレスを導入した PC 鋼棒を 2 本の柱部に沿って配置し，梁の外面で柱と梁を接合したものである．水平力がこのフレーム構造に作用すると柱が梁部表面から浮き上がり，フレーム全体がせん断変形することで金属ダンパーが機能する．**図-2** のように，地震後において，フレーム構造に荷重が作用しなくなると PC 鋼棒自身が弾性的に元に戻る際の力で金属ダンパーの塑性残留変形が除去される．本ダンパーのコンセプトは過去に提示した門型ラーメン橋脚を対象とした自己復元型制震機構[4)]から発展させたものである．

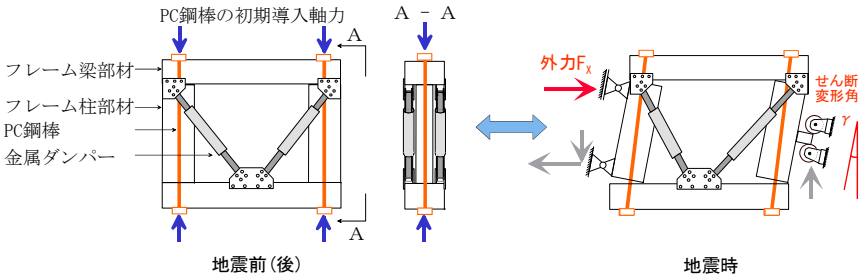


図-1 ユニット型ダンパーとその変形挙動

3. 検討方法：

(1) 検討対象とする骨組構造

レベル 1 地震動により設計された上路式アーチ橋の端柱部分を対象として，**図-3** に示すような多層骨組構造としてモデル化する．柱基部は固定モデルと不動ヒンジモデルの 2 種類を考える．構造を単純化するため 1 質点（M_H）系とし，構造本体には質量や減衰を与えていない．

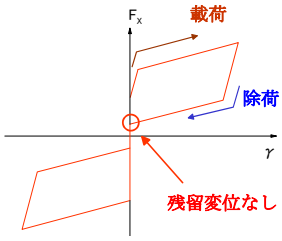


図-2 履歴挙動

(2) 比較検討する制震構造

(1) の骨組構造（基本構造）の斜材を取り除き，自己修復特性を有するユニット型ダンパーを取り付けた構造（以下ユニット型制震構造）と比較対象として低降伏点鋼である LYP225 を芯材とした座屈拘束ブレースに置き換えた構造（BRB 制震構造）を設定する．各制震構造の最適設計を行い，レベル 2 地震動に対する応答について比較検討を行う．

(3) 各制震構造の最適設計

制震構造としての構造本体の損傷を抑え，使用鋼材重量が最小となるように各制震構造を設計する．地盤は II 種地盤とする．レベル 1 地震動に対して，BRB ダンパー制震構造では残留変位が生じないようにダンパー部材も本体構造と同様に弾性設計を行う．一方，ユニット型制震構造は自己修復機能により残留変位が生じないためダンパー部材の降伏を許容する．レベル 2 地震動に対しては TYPE I，TYPE II の応答値の 3 波平均値を用い，構造本体に関しては 1 次部材である柱は弾性設計，2 次部材である梁は損傷を許容

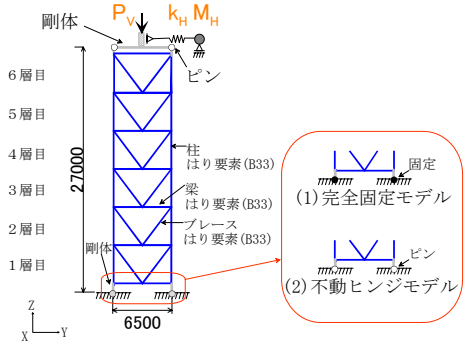


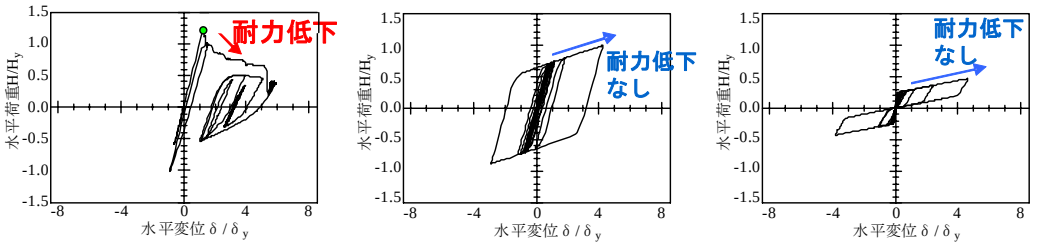
図-3 解析対象とする骨組構造

キーワード：　ダンパー，自己修復，制震
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　052-735-5563　FAX　052-735-5563

する． BRB 制震構造とユニット型制震構造に用いる金属ダンパーの限界値として最大ひずみ 3%，限界累積塑性ひずみ 70%とする [5]．最適設計された制震構造における梁の損傷を最大応とひずみで表すと BRB 制震構造では$4.2\varepsilon_y$，ユニット型制震構造では$6.6\varepsilon_y$となる．

4. 各制震構造の応答特性

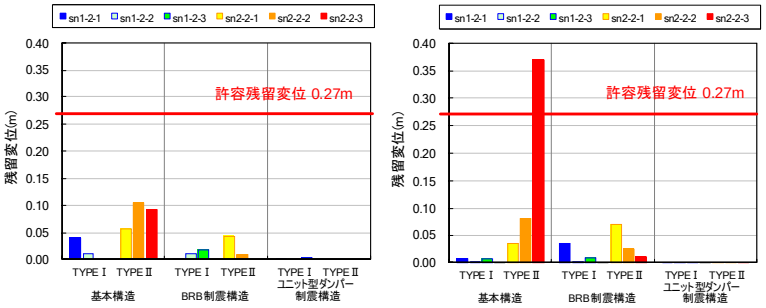
・水平荷重−変位関係：構造頂部の水平荷重と変位の関係を**図−4** に示す．a) 基本構造ではブレース材の座屈により終局限界に到達し，水平耐力が低下している．一方，b) BRB，c) ユニット型制震構造ではいずれも水平耐力の低下は生じていない．さらにユニット型制震構造は原点指向型の履歴特性を示す．



a) 基本構造　　b) BRB 制震構造　　c) ユニット型ダンパー制震構造

図−4 水平荷重・変位関係（地震波 2-2-3，不動ヒンジモデル）

・残留変位：各地震波での残留変位を**図−5** に示す．基本構造では地震波によって許容残留変位を超える事がある．従来の BRB 制震構造では残留変位は全て許容値以下に抑えられているが，地震波によって値にばらつきが見られる．一方，ユニット型制震構造では全ての設計地震波に対して残留変位はほぼゼロに抑えられている．

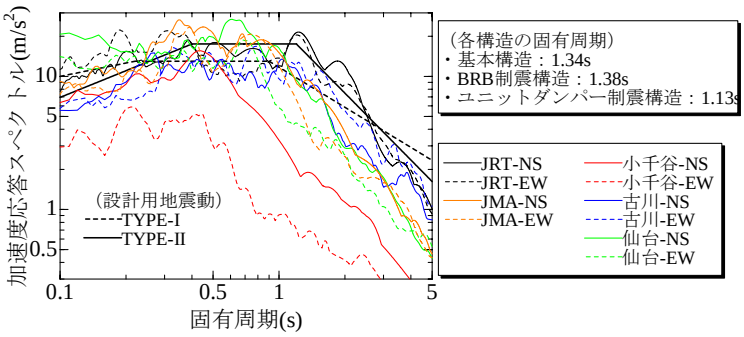


a) 完全固定モデル　　b) 不動ヒンジモデル

図−5 頂部の残留変位（設計地震波）

5. 設計地震波以外の地震に対する応答：

最適設計した制震構造のロバスト性を確認するため，設計地震動以外の代表的な観測波を入力し，発生した残留変位を**表−1** に示す．入力した地震動の加速度応答スペクトルを**図−6** に示す．これより，設計地震動以外の地震波に対してもユニット型制震構造はほぼ 0 に抑えることを確認できる．



図−6 加速度応答スペクトル

表−1 各地震動に対する頂部の残留変位(m)(不動ヒンジモデル)

各制震構造		基本構造		BRB 制震構造		ユニット ダンパー 制震構造	
設計地震波	sn2-2-1	0.035	(0.13)	0.071	(0.26)	0.001	(0.00)
	sn2-2-2	0.082	(0.30)	0.025	(0.09)	0.000	(0.00)
	sn2-2-3	0.371	(1.37)	0.011	(0.04)	0.001	(0.00)
JRT	EW	0.375	(1.39)	0.020	(0.07)	0.001	(0.00)
	NS	0.372	(1.38)	0.009	(0.03)	0.001	(0.00)
JMA	EW	0.000	(0.00)	0.024	(0.09)	0.001	(0.00)
	NS	0.025	(0.09)	0.071	(0.26)	0.001	(0.00)
新潟県中越地震（小千谷）	EW	0.063	(0.23)	0.005	(0.02)	0.001	(0.00)
	NS	0.059	(0.22)	0.033	(0.12)	0.001	(0.00)
東北地方太平洋沖地震（古川）	EW	0.069	(0.26)	0.026	(0.10)	0.001	(0.00)
	NS	0.051	(0.19)	0.008	(0.03)	0.001	(0.00)
東北地方太平洋沖地震（仙台）	EW	0.022	(0.08)	0.031	(0.11)	0.001	(0.00)
	NS	0.070	(0.26)	0.021	(0.08)	0.001	(0.00)

※）カッコ内の値は許容値に対する比をあらわす．

6. まとめ：

従来のダンパーで生じる残留変位の除去を目的とした自己修復特性を有するユニット型ダンパーを新たに提案し，多層骨組構造への適用性について従来の BRB と比較して検討を行った．従来の BRB 制震構造では残留変位は許容値に対して 30%以内に収まるが，地震波によってばらつきが生じた．一方，ユニット型制震構造は設計地震波だけでなく，その他の地震波においても残留変位をほぼゼロに抑えうることを確認した．しかしながら，今回の検討モデルでは BRB 制震構造の残留変位は許容値に較べ小さく，ユニット型ダンパーを用いる意義は必ずしも大きくはない．このような傾向は BRB を高架橋の上部工へ適用した場合 [2] にも生じた． 今後は BRB 制震構造で残留変位を許容値以内に収められないケースが有るのか否かという点をより広い対象について調査し，許容値以内に収められない場合に対してユニット型ダンパーの適用性を検討したい．

参考文献　1) 土木研究センター：道路橋の免震・制震設計法マニュアル（案），2011.　2) 後藤芳顯，海老澤健正，和田廣人，松澤陽：超弾性合金と超塑性合金からなる自己修復型複合構造ダンパー，構造工学論文集 Vol59A，540-551，2013.　3) 後藤芳顯，海老澤健正，ゴーシュ ポロセンジト クマール，奥村徹，自己復元ダンパーユニット，特願2011-62309　4) 後藤 芳顯，Amjad Al HELWANI，奥村 徹：無損傷で自己復元特性を有する鋼製門型ラーメン橋脚を目標とした免震・制震機構の提案，土木学会論文集 A，Vol.63，No.4，811-827，2007.　5) 日本鋼構造協会：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，技術堂出版，2006.