

座屈拘束波形鋼板 (BRRP) 制震ダンパーのハイブリッド地震応答実験と解析

○竹中土木 正会員 森 翔吾

名城大学 フェロー 宇佐美勉

新日鉄住金エンジニアリング 野呂直以

名城大学 学生会員 加藤弘務

新日鉄住金エンジニアリング 正会員 山崎伸介

名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. まえがき

本研究は、文献1),2)で開発した BRRP 制震ダンパーを桁両端に設置した制震橋 (図-1) に、相似則を考慮したハイブリッド地震応答実験³⁾を実施し、橋軸方向の L2 地震動に対する安全性を検討したものである。

2. ハイブリッド地震応答実験および解析の概要

図-1(a)に示した桁橋両端に実物大の BRRP (文献2) の No.1 供試体を1本ずつ設置した制震橋モデル (桁は剛体) を想定し、対称性からスパンの 1/2 の図-1(b)の 1 d.o.f モデルのハイブリッド地震応答実験^{3),4)}を行った。実験では、BRRP の復元力特性を載荷実験¹⁾で逐次取得しながら地震応答を当該モデルの運動方程式を解くことにより求める³⁾。実物大の BRRP を実験しているため相似比は $S=1.0$ である。上部構造質量 M は事前解析により、最大応答変位が限界値 (40mm) 以内の $\Delta=35\text{mm}$ 程度になるように、 $M=120 \times 10^3 \text{ kg}$ とした。モデルの減衰定数は $h=0.05$ としている。地震動は道示の II-II-1 (JR 鷹取駅 NS 成分) を、高機能制震ダンパーの限界値の算定⁵⁾に倣って橋軸方向に3回連続入力した。地震応答解析は図-1(b)のモデルを用い、BRRP 復元力特性として繰り返し載荷実験から求めた包絡線をバイリニア近似し (図-2) 移動硬化則を用いた。表-1 にバイリニアモデルの定数を示す。

3. 実験および解析結果

実験と解析から得られた慣性力 (水平荷重) - 応答変位関係と時刻歴応答変位をそれぞれ図-3(a), (b)に示す。慣性力-応答変位曲線は比較しやすいように地震動の第1波を入力した際の履歴のみを用いている。表-2は、実験および解析から得られた各波での最大応答変位 Δ_{max} 、残留変位 Δ_R 、純応答変位量 $\Delta'_{max} = \Delta_{max} - \Delta_R$ 、累積塑性変形 CID を比較したものである。実験と解析の最大荷重、最大応答変位、残留変位はほぼ同程度の値であるが、 CID は実験値の方が解析値より2倍程度大きいことが分かる。これは履歴曲線の包絡線をバイリニア近似して復元力を求める際、降伏点を実験値と比較して大きくなるためである (図-2)。この点についてはより合理的な算定方法を検討する必要がある。但し、履歴曲線が囲む面積 (エネルギー吸収量) は、実験が $192\text{kN} \cdot \text{m}$ 、解析が $202\text{kN} \cdot \text{m}$ で大差はない。 Δ'_{max} および CID とも地震波入力回数にかかわらずほぼ一定であることが分かる。実験で BRRP にクラックなどは生ぜず、損傷は塑性変形のみであったことから、そのような領域では、地震波を1波入力することで複数回地震動を入力した際の CID を算出できることを示している。

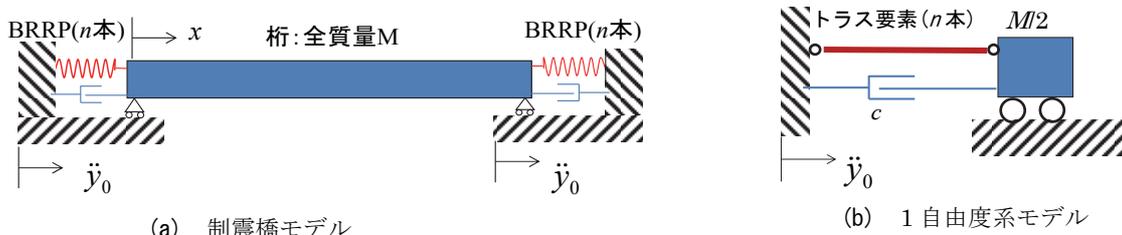


図-1 BRRP を桁両端に設置した制震橋の橋軸方向振動モデル

キーワード 制震ダンパー, 座屈拘束, 波形鋼板, ハイブリッド地震応答実験, 解析

連絡先: 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2342

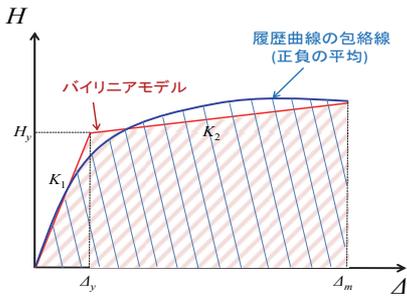
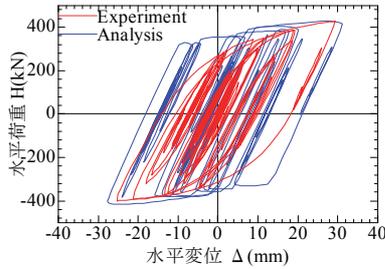


図-2 復元力のバイリニア近似

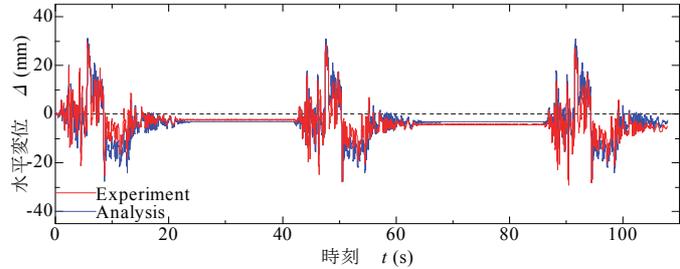
表-1 バイリニアモデルの定数 (実験供試体 No. 1²⁾)

供試体	K_1 (N/mm) $\times 10^3$	H_y (kN)	Δ_y [mm]	K_2 (N/mm) $\times 10^3$	Δ_m (mm)	H_m (kN)	Δ_m/Δ_y
No.1	39.2	355	9.05	2.59	40	435	4.42

Note: $K_1=1$ 次剛性, $K_2=2$ 次剛性, H_y =降伏荷重, Δ_y =降伏変位, H_m =最大荷重, Δ_m =最大変位



(a) 慣性力-水平変位履歴曲線



(b) 時刻歴応答変位

図-3 実験と解析の比較

表-2 実験および解析結果の比較 ($M=120 \times 10^3$ kg)

地震波 入力回数	Δ_{max}		Δ_R		Δ'_{max}		CID	
	実験	解析	実験	解析	実験	解析	実験	解析
第1波	29.3	31.2	—	—	29.3	31.2	0.51	0.26
第2波	28.3	30.8	-2.43	-3.23	30.7	34.0	0.57	0.27
第3波	-29.1	30.8	-4.36	-3.30	31.5	34.0	0.61	0.27
累計	—	—	—	—	—	—	1.69	0.80

表-3 実制震橋の応答値 ($M=280 \times 10^3$ kg)

各桁端の ダンパー 本数	応答値	
	Δ'_{max}	ΣCID
1	172	3.77
2	36.2	1.06

Note: Δ_{max} =最大応答変位, Δ_R =残留変位, $\Delta'_{max}=\Delta_{max}-\Delta_R$ =純応答変位, CID =累積塑性変形, ΣCID =累積塑性変形の総和

4. 実制震橋への適用

支間長 30m 程度の実単純桁橋 ($M=280 \times 10^3$ kg とする) を対象に, 応答値を变形限界 (40mm) 内に収めるために必要な BRRP 本数を検討した. BRRP, 地震動は 3. と同じである. 結果を表-3 に示す. 表-3 より桁端に 2 本ずつ BRRP を設置すれば, 応答変位が变形限界内に収まることが分かる.

5. あとがき

文献 1) で開発した BRRP ダンパーのハイブリッド地震応答実験および地震応答解析を行うことで, 大地震時の BRRP の安全性について検討した. その結果, 支間長 30m 程度の実単純桁橋両端に 2 個ずつ BRRP を設置することで L2 地震動に対しても安全性を確保できることを示した.

参考文献: 1) 宇佐美勉ら, 座屈拘束波形鋼板 (BRRP) ダンパーの繰返し弾塑性挙動, 構造工学論文集, Vol.60A, 2014.3.

2) 加藤弘務ら: 座屈拘束波形鋼板 (BRRP) 制震ダンパーの繰返し載荷実験と解析, 第 69 回年次講演会, 2014.9. 3) 才塚邦宏ら: 相似則を考慮したハイブリッド地震応答実験手法に関する研究, 土木学会論文集, 1995.1. 4) 渡辺孝一ら: サブストラクチャ応答実験による高機能座屈拘束ブレースの地震時応答解析, 構造工学論文集, Vol.58A, 2012.3. 5) 宇佐美勉編著, 日本鋼構造協会編: 鋼橋の耐震・制震設計法ガイドライン, 技報堂, 2006.