座屈拘束波形鋼板(BRRP)制震ダンパーの性能実験

名城大学 学生会員 加藤弘務	名城大学 学生会員 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 正会員 山崎伸介
新日鉄住金エンジニアリング 正会員 野呂直以	名城大学 フェロー 葛漢彬

1. まえがき

制震ダンパーを既設橋梁内部に設置して制震化する耐震補強法に上部構造と下部構造をつなぐものがある. その場合、鋼材の弾塑性変形によって地震エネルギーを吸収・消散させる履歴型ダンパーが用いられる.多 くの場合せん断降伏型のせん断パネルダンパー(SPD)が用いられるが、本研究では図-1に示す波形鋼板を芯 材に用い、面外座屈を拘束材で防止した軸降伏型(Buckling Restrained Rippled Plate, BRRP)ダンパーを開発 する^{1,2}. 芯材を波形鋼板にすることで大きな変形が可能であるとともに、局部ひずみの集中を防止する事 が期待される. これまでの実験結果と実構造物の地震応答解析の課題¹⁾を踏まえ、本研究では主に BRRP ダ ンパーの耐力向上と履歴曲線の安定化を目的とする. 耐力を向上させる方式として(1)増厚方式と(2)波高さ 低減方式が用いられている. 以上のことを踏まえ具体的目標を変位 40mm、最大荷重 440kN とし、BRRP ダ ンパーの性能を検証する. また、ハイブリット実験を行うことで、BRRP ダンパーの要求性能を調べる.

2. 実験概要

実験供試体の概要を表-1 および図-2 に示す.材質は SS400 であり,プレス加工による残留ひずみは SR 処理によって除去されている.波高さのパラメータとして,r/t と 2A を使用している.ハイブリッド実験では JR 鷹取駅構内地盤上 NS 成分の地震波を 3 波入力しており,解析モデルは図-3 に示すような 1 自由度系モデルを用いている.BRRP ダンパーは圧縮時に芯材である波形鋼板が膨れ,詰まり現象が生じることが分かっているため,事前に数値解析 ³⁾を行い最大変位時の波板の膨らみ量を考慮した隙間量を設定した.Case2 は移動端の載荷軸直角方向の移動を制限する改良を施したため,名称が(1)や(2)などの(番号)で分けている.



図-1 拘束材を片面配置した模式図



隙間量 2A Δ_m t No. 供試体名 r/tCase d do (mm) (mm)(mm) (mm)(mm)1 BRRP-2.5-151-CY 2 BRRP-2.5-151-LC Case1 2.5 151 192 25 8 40 BRRP-2.5-151-HY 3 4 BRRP-3.9-76-CY(1) 3.9 Case2 76 119 13.5 40 16 5 BRRP-3.9-76-CY(2)

表-1 供試体一覧

Note:CY=変動変位繰り返し載荷,LC=一定振幅繰り返し載荷,HY=ハイブ リッド実験,r=波形の内径半径,t=板厚,A=波高さ, $\Delta_m=$ 設計限界変位



図-3 ハイブリッド実験における解析モデル概略図



表-2 CID および累積エネルギー吸収量

No.	供試体名	Δ_u/L_0	CID	$\Sigma E'$	ΣΕ
1	BRRP-2.5-151-CY*	0.0572	2.22	115	434
2	BRRP-2.5-151-LC	0.0572	6.42	-	1330
3	BRRP-2.5-151-HY*	0.0415	1.69	-	292
4	BRRP-3.9-76-CY(1)*	0.0533	2.17	89	276
5	BRRP-3.9-76-CY(2)*	0.0592	1.33	127	191

Note: Δ_u =最大変位, L_0 =変形部分長, Δ_u/L_0 =平均ひずみの最大値, *CID*=累積塑性変形, $\Sigma E'$ =最大変位までの累積エネルギー吸収量 (kN・m), ΣE =載荷終了までの累積エネルギー吸収量(kN・m)



図-5 No.1供試体の水平荷重-ひずみ履歴曲線

写真-1 No.4 供試体の波の詰まり現

3. 実験結果

図-4にNo.1供試体の水平荷重-水平変位履歴曲線を示す.履歴曲線は一部でボルトすべりが見られたが, 安定した紡錘型の形状をしている.図-5はNo.1供試体において水平変位を変形部分長で除した平均ひずみ と最も大きなひずみが観測できた位置の局部ひずみとの履歴曲線を比較したものである.図中ではひずみゲ ージが測定できる状態までの水平荷重-局部ひずみ履歴と,対応する水平荷重-平均ひずみをプロットした ものであるが,局部ひずみの過度な集中が無いといえる.表-2で,変形性能の尺度として平均ひずみの最大 値,低サイクル疲労性能の尺度として累積塑性ひずみ,およびエネルギー吸収量をまとめる.供試体名右肩 の*では荷重が 20%低下するまで載荷を行っていない.すべての供試体において,高機能 BRB の目標性能³⁾ である *ε*_u =0.03, *CID*)*lim* = 0.7 を遙かに超えている.また, Case1 では設計値変位と目標荷重は共に達成され, *CID* は No.2 供試体(限界値)は No.3 供試体(応答値)を超えており,JR 鷹取駅構内地盤上 NS 成分 3 波に対して 低サイクル疲労に対する要求性能³⁾を満たしているといえる.Case2 の No.4 では写真-1 のように移動端近傍 で波の詰まり現象が発生し荷重が急上昇してしまい,No.5 では平板部が長いことによる変形が問題となり目 標を達成することができなかった.

4. あとがき

Case1 では BRRP ダンパーの有効性が確認できた.しかしながら,施工性や経済性を考えるとより薄く質量の小さいダンパーが優れるといえる.よって、今後はさらに波高さ減少方式に着目し、隙間量 d の設定方法の改良が必要である.また、実験結果が少ないため他の地震動に対する応答やレベル 3 地震動(例えばレベル 2 地震動の 1.5 倍)に対する応答の検証も必要である.

参考文献 1) 宇佐美勉ら,座屈拘束波形鋼板(BRRP) ダンパーの繰り返し弾塑性挙動,構造工学論文集, Vol.60A, 2014.3(投稿中). 2) 今瀬史晃ら,座屈拘束波形鋼板(BRRP) 制震ダンパーの開発研究一解析,土木学会第 68 回年次学術講演会, pp.247-248, 2013.9. 3) 宇佐美勉ら,高機能制震ダンパーの開発研究,第 10 回地震時保有耐力シンポジウム講演論文集, pp.11-22, 2007.2