

座屈拘束波形鋼板(BRRP)制震ダンパーの動的性能確認実験

新日鉄住金エンジニアリング 正会員 ○山崎伸介 野呂直以
名城大学 フェロー 宇佐美勉

1. まえがき

筆者らはこれまでに、波形鋼板を芯材とし、拘束材で面外座屈防止した座屈拘束波形鋼板制震ダンパー (Buckling-Restrained Rippled Plate damper, 以降 **BRRP** と略称する)について検討を行ってきた^{1), 2), 3)}。これまでの検討から、従来の芯材が平板である高機能 BRB の目標性能³⁾である $\epsilon_u=0.03$, $CID_{lim}=0.7$ を大きく超えた性能を持つことが分かった。そこで本研究では、これまで実施してきた静的載荷検討に対して、動的載荷試験を実施し、速度依存性の有無について確認した。なお、試験については文献⁴⁾を参照した。

2. 試験概要

試験体は、SN400B 材を冷間加工し SR 処理後、亜鉛めっき (HDZ55) を施した。試験体形状は $r/t=2.5$ (r : 内径, t : 板厚), $d/2A=1.27$ (d : 隙間量, $2A$ 波高), 板幅 $B=90\text{mm}$ を 2 枚縦に重ね (幅 $90\text{mm}\times 2$ 枚= 180mm), 波形区間長 $L=697\text{mm}$ とした (表-1, 図-1)。

試験は、水平載荷装置フレーム内にある移動架台上に設置した **BRRP** ダンパーに対して、動的な水平載荷が可能な水平ジャッキにより繰り返し荷重を与え、その反力と変位およびひずみを測定し履歴性状の変化と静的載荷時との相違有無について把握した。動的な載荷については、載荷装置の能力から、載荷振動数を 0.2Hz, 0.3Hz, 0.6Hz (周期 5.2sec, 3.1sec, 1.6sec) とし、振幅は $\pm 40\text{mm}$ とした。試験フローを図-2 に、試験状況を写真-1 に示し、ひずみ計測位置を図-3 に示す。

表-1 波形芯材形状

No.	供試体名	r/t	$2A$ (mm)	隙間量 (mm)	$d/2A$	Δm (mm)	板厚 t (mm)	板幅 B (mm)
1	BRRP-2.5-151	2.5	151	$d=192$ $d_0=8$	1.27	40	25	180

表-2 材料特性

	上降伏点 (MPa)	下降伏点 (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	引張強度 (MPa)	破断伸び (%)	シャルピー (J)
SN400B 板材	334	275	278	448	35	226
めっき後凸部	309	302	308	460	33	171

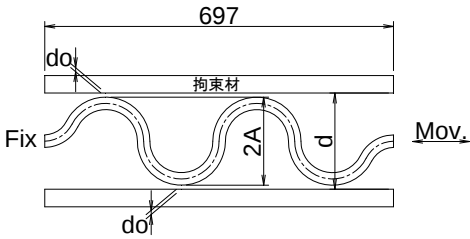


図-1 試験体形状

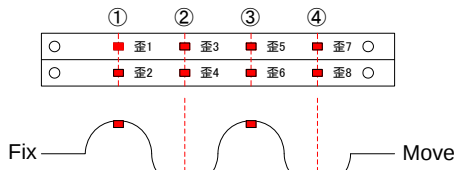


図-3 塑性ひずみゲージ貼付位置

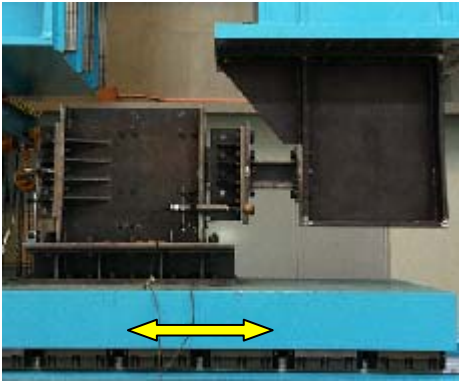


写真-1 試験状況

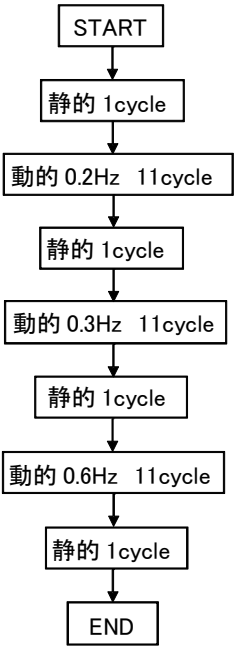


図-2 試験フロー

キーワード BRRP, 座屈拘束波形鋼板, ダンパー, 動的性能, 静的性能

連絡先 〒293-0011 千葉県富津市新富 20-1 新日鉄住金エンジニアリング(株) TEL0439-80-4435

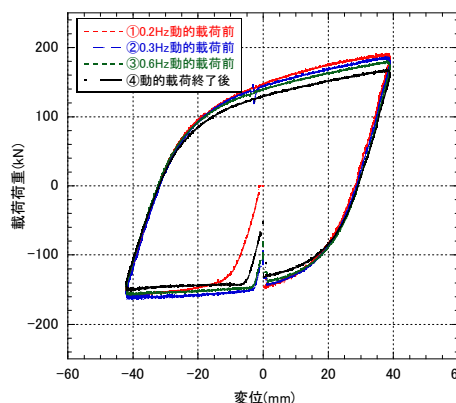


図-4 静的載荷-荷重変位履歴曲線

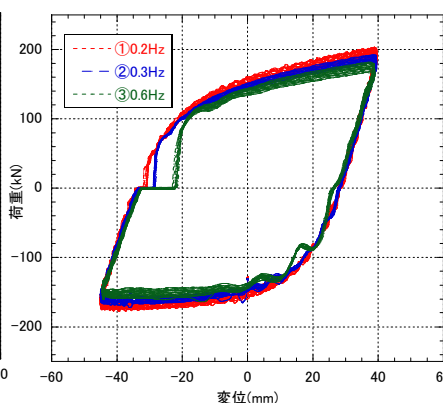


図-5 動的載荷-荷重変位履歴曲線

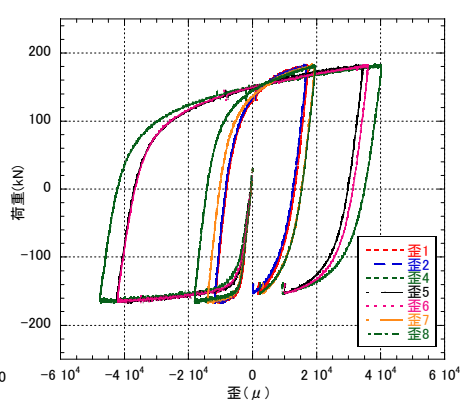


図-6 静的載荷-荷重歪履歴曲線

表-3 各載荷時における吸収エネルギー (kN・m)

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	
静的 1cycle	0.2Hz 11cycle	静的 1cycle	0.3Hz 11cycle	静的 1cycle	0.6Hz 11cycle	静的 1cycle	合計
17	210	17	199	17	180	16	656

表-4 速度依存性の確認

	0.3Hz 載荷時	0.2Hz 載荷時	0.6Hz 載荷時
平均等価剛性 (kN/m)	K_{Bm1}	K_{Bm2}	
	3870	4056	3713
①式		0.05	0.04
判定		OK	OK
平均等価減衰 定数	h_{Bm1}	h_{Bm2}	
	0.375	0.376	0.364
②式		0.00	-0.03
判定		OK	OK

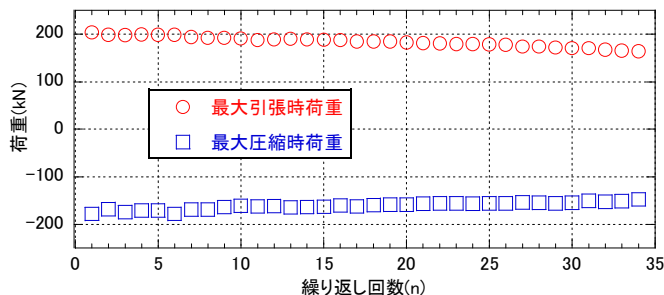


図-7 全動的載荷時最大引張圧縮変位時の荷重変化

$$R_{kf} = \frac{|K_{Bm2} - K_{Bm1}|}{K_{Bm1}} \leq 0.2 \quad \text{①式} \quad K_B = \frac{F(u_B) - F(-u_B)}{2u_B} \quad \text{③式}$$

$$R_{hf} = \frac{|h_{Bm2} - h_{Bm1}|}{h_{Bm1}} \geq -0.2 \quad \text{②式} \quad h_B = \frac{\Delta W}{2\pi W} \quad \text{④式}$$

3. 実験結果

図-4 に各動的載荷前後における静的載荷時の荷重変位履歴曲線を示し、図-5 には各動的載荷時における荷重履歴曲線を示す。図-4 より徐々にダンパー荷重が徐々に小さくなっているものの、安定した紡錘形の履歴曲線が得られていることが判る。また、図-5 より、振動数が大きくなるにつれ試験機のガタの影響と思われる圧縮側無負荷時のスリップや履歴の乱れが発生しているが、各動的載荷時において静的載荷と概ね同様な履歴曲線が得られていることが判る。図-6 には第 1 回目の静的載荷時における歪履歴を示す。この図より波形中央部 (歪 4,5,6) の歪は波形端部 (歪 1,2,7,8) の歪よりも大きい、最大 40000 μ 程度であることが判る。

図-7 には全動的載荷時における最大引張圧縮変位時のダンパー荷重値 (Peak-Valley) を示す。この図より、全 34 回の動的載荷に対して、ダンパー荷重値が徐々に減少しているものの安定したダンパー荷重を示していることが判る。また、表-3 には各静的、動的載荷時における吸収エネルギーを算出した値を示すが、全載荷に渡ってほぼ同等なエネルギー吸収が得られていることが判る。最後に表-4 に文献 4) を参照し平均等価剛性および平均等価減衰定数を求め、①, ②式に基づき速度依存性の照査を実施し依存性の無いことを確認した。

4. あとがき

BRRP について今回初めて動的載荷試験を実施したが、本試験形状においては、静的載荷と比較してほぼ同等の履歴曲線を描き、速度依存性はほとんど見られなかった。また、動的繰返し載荷に対して安定したエネルギー吸収が得られることが判った。今後、さらに一般的な形状についても検討していきたいと考える。

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) 制震ダンパーの性能実験、平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会
- 3) 宇佐美勉：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
- 4) 財) 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)、平成 23 年 12 月