波形鋼板(BRRP)制震ダンパーの低サイクル疲労実験

〇名城大学大学院	学生会員	閻 楊	大日本コンサルタント	正会員	加藤弘務
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
名城大学	フェロー	葛 漢彬			

1. まえがき

著者らは鋼板を長さ方向に円弧状の波形にプレス加工した芯材(図-1)の両面を座屈拘束した履歴型制震ダンパー(BRRP)¹⁾⁻⁴⁾の開発を行ってきた.既往の履歴型制震ダンパー(座屈拘束ブレース(BRB)あるいはせん断パネルダンパー(SPD))と比較したBRRPの最大の特徴は,適切に波形形状を設計することにより,平均ひずみ(=4/L₀,ここで Δ=移動端の変位,L₀=芯材変形部の長さ)に比べ,局部ひずみ(波頂部凹面の軸方向ひずみ)を小さくすることが可能で低サイクル疲労寿命の向上から大きな利点である.文献³⁾では,波形凹部に発生する局部ひずみが,芯材全体の平均ひずみより小さくなるような波形形状(最適波形形状と称する)の決定方法について検討している.

本論文では、そのような供試体が低サイクル疲労に対して有利になるのかを、既往の BRRP の静的および動的定振幅繰り返し載荷実験の結果に、新たに行った静的繰り返し載荷実験結果を基に検討する.

2. 低サイクル疲労実験と結果

低サイクル疲労寿命 N_f は、一定塑性ひずみの範囲(正負の塑性ひずみ振幅の和) $\Delta \varepsilon_p$ に支配されており、次式の Manson-Coffin 則が成り立つとされている ⁵⁾⁻⁷⁾.

$$N_{f} = C^{-1} \cdot (\varDelta \varepsilon_{n})^{-m} \tag{1}$$

ここで, *C*, *m* は実験から求められる定数である. 鋼素材に対しては *C*=1.51, *m*=1.70 が舘石ら⁷ により提案されている. また, 鋼平板を芯材とする BRB に対しては, *C*=18.5, *m*=1.95 が宇佐美ら⁶ により提案されている. 但し, BRB に適用する場合には,式(1)右辺の $\Delta \varepsilon_p$ を平均ひずみ範囲 $\Delta \varepsilon$ (正負の平均ひずみ振幅の和)とする.

表-1 は 7 体の実験供試体の諸元と実験結果を示したものであり、全ての供試体は最適波形形状条件³⁾を満たしている. No.5~7 が新たに実施した実験の供試体である. これらは、No.1 供試体と同一形状(ただし、波数 n が 9 から8 に減らされている)で、芯材形状を図-1 に示す. 芯材の幅は 500mmで、素材は SS400、文献 4)の手法を用いて同定した成形後の波形鋼板の材料定数は σ_y=290MPa, *E*=212GPa, 2 次勾配 *E*'=*E*/80 である. この実験供試体に拘束材を両面から設置し(図-2)、3 種類の変位振幅 Δ_{amp}の定振幅引張-圧縮繰り返し載荷実験を引張側の荷重低下が最大荷重の約 25%低下あるいは破断に至るまで行った. 図-3 に載荷中の写真を示す.

No	供試体名	R/t	A mm	t mm	п	$L_0 \ m mm$	⊿ _{amp} mm	Δε	N ₉₀	N_{f}	H _{max1} kN	文献
1	BRRP-2.4-SPAC-SR	2.92	26.2	9	9	473	±40	0.17	14	16	396	1)
2	BRRP-2.5-151-LC	3.02	75.5	25	4	710	±40	0.11	-	31	453	2)
3	BRRP-LC-0.07(1)	2.02	75.5	25	4	710	±25	0.07	43	101	88.5	3) 動的実験
4	BRRP-LC-0.07(2)	5.02					±25	0.07	40	120	87.3	
5	BRRP-LC-0.1		26.2	9	8	458	±23	0.1	19	30	193	本研究
6	BRRP-LC-0.06	2.92					±13.8	0.06	72	78	170	
7	BRRP-LC-0.04						±9.2	0.04	67	221	166	

表-1 低サイクル疲労実験供試体と実験結果

Note: R/t=波形中心線の曲率半径と芯材の厚さの比, A=芯材波高, t=芯材の厚さ, n=波の個数, $L_0=$ 変形部長, $\Delta_{amp}=$ 変位振幅, $\Delta \varepsilon = 2\Delta_{amp}/L_0=$ 平均ひずみ範囲, $N_{90}=90\%$ 荷重低下サイクル数, $N_f=$ 芯材破断時のサイクル数, $H_{max1}=$ 第1サイクルの引張側最大荷重

キーワード 制震ダンパー,座屈拘束,波形鋼板,低サイクル疲労実験

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

-196



図-4 は、すべての供試体について引張側の折り返し点での荷重 *H_{max}*の低下をサイクル数に対してプロットしたもので、縦軸は第 1 ループでの折り返し点の荷重 *H_{max}*で無次元化してある. 平均ひずみ範囲が比較的大きい No.1, 2, 5 供試体の荷重低下は急激であるが、他は荷重低下が比較的緩やかであることが分かる. 引張側の荷重低下は芯材に生ずるクラックの進展によるものと考えるのは自然⁸⁰であることから、芯材の破断に対応する低サイクル疲労寿命(*N_f*)以外に、制震ダンパーとしての機能維持の限界に対応する寿命を設定することも必要であろう. そのために本論文では、*H_{max}/H_{max}*=0.9 に対応する寿命(*N₉₀*)を使用性限界と設定する. 図-5 はこのようにして求めた 2 つの疲労寿命を平均ひずみ範囲 *A*^{*e*} に対してプロットしたものである. 全ての供試体の低サイクル疲労寿命(*N_f*)は、BRBの疲労寿命に比べ格段に向上し、素材の低サイクル疲労寿命に近くなる. また、90%荷重低下寿命(*N₉₀*) においてもBRBの疲労寿命に比べかなり向上することが分かる. 図-6 は No.7 供試体の疲労亀裂を示したものである.

3. あとがき

実験は現在継続中であり,講演当日結果を追加したい.

謝辞:本研究の一部は JSPS 科研費 15H04035(基盤研究(B),研究代表者 宇佐美勉)の助成を受けた.

参考文献

1)宇佐美勉ら:構造工学論文集, Vol.60A, pp.335-348, 2014.3. 2)加藤弘務ら:構造工学論文集, Vol.61A, pp.211-223, 2015.3. 3)山崎伸介ら:構造工学論文集, Vol.62A, pp.314-327, 2016.3. 4)山崎伸介ら:土木学会論文集(印刷中). 5)宇佐美勉編著:鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン,技報堂出版, 2006.9. 6)宇佐美勉ら:構造工学論文集, Vol.56A, pp.486-498, 2010.3. 7)舘石和雄ら:構造工学論文集, Vol.51A, pp.1275-1281, 2005.3. 8)判治剛ら:構造工学論文集, Vol.61A, pp.767-776, 2015.3.