# 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

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

## 1. まえがき

これまで筆者らは座屈拘束波形鋼板 (Buckling Restrained Rippled Plate, BRRP) 制震ダンパーの実験と解析によっ て波形鋼板の挙動<sup>1),2)</sup>を明らかにし,設計方法の提案<sup>3)</sup>を行ってきた.本研究では実構造物への適用を考え,変位 40mm において耐力を 400kN 程度,局部ひずみを 4~5%程度となる供試体を設計・製作して実験を行い,解析と比 較することにより設計の妥当性を検証する.

## 2. 実験概要

実験供試体の概要を表-1 および図-1 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. BRRP の支配的なパラメータとして, r/t と 2A を使用している. 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<sup>1),3)</sup>を行い最大変位時の波板の膨らみ量を考慮した拘束材の隙間量 d および拘束材と波板の隙間量 d<sub>0</sub>を設定した. 実験は No.1 で目標性能を変位 40mm, 最大荷重 400kN 程度, 局部ひずみ 4%程度とし降伏変位分の漸増変位繰返し載荷実験を, No.2 では一定変位 40mm の一定変位繰返し実験を行い BRRP の持つ性能について明らかにする.

# 3. 解析概要

解析モデルを図-2に示す.解析ソフト Abaqus によって、芯材である波形鋼板はシェル要素(S4R)、拘束材は剛な 平板とし、移動端の水平変位(高さ方向に一定)を制御する複合非線形解析を実施する.構成則は Bi-linear 移動硬 化則(2次勾配は *E*/100)を仮定し、材料定数は成形後の引張試験から得られた値を用いた(**表**-2).芯材と拘束材 の接触は、文献1)ではシェル要素の中心線の接触で判定したが、今回はシェル要素の表面の接触により判定でき るよう改良した.接触時の摩擦係数μは0.1とした.成形による残留ひずみ(予ひずみ)および初期たわみは無視 する.解析モデルの高さは実供試体の1/5とし、芯材の平板部分は短く変形は小さいため、波板部分(*L*<sub>0</sub>=699mm)の みを対象とすることができる.このことは後に解析結果にて示す.

		$\begin{array}{c} L_0 \\ (mm) \end{array}$	r/t	2 <i>A</i> (mm)	隙間量		4	4
No.	供試体名				d (mm)	$d_0$ (mm)	(mm)	(mm)
1	BRRP-2.5-151-CY	600	2.5	151	192	8	40	25
2	BRRP-2.5-151-LC	099						

**表-1** 供試体一覧

Note: r=波形の内径半径, t=板厚, A=波高さ, Δ<sub>m</sub>=設計限界変位

<b>表-2</b> 材料定数										
No.	t (mm)	E (GPa)	σ <sub>y</sub> (MPa)	(%)	$\sigma_u$ (MPa)	$\delta_u$ (%)	E <sub>st</sub> (GPa)	Est (%)		
1	25	205	361	0.176	469	23.8	3.13	0.865		
2	25	192	416	0.217	520	19.6	3.08	0.801		

Note: E=ヤング係数,  $\sigma_v=降伏応力$ ,  $\varepsilon_v=降伏ひずみ$ ,  $\sigma_u=引張強さ$ ,  $\delta_u=伸び率$ ,

図-1 供試体概略図

2A

d

拘束材

拘束材

芯材(厚さ:t)



 $arepsilon_{
m sr}$ =ひずみ硬化開始点ひずみ, $E_{
m st}$ =ひずみ硬化係数

キーワード 制震ダンパー,座屈拘束,波形鋼板,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

-066



# 4. 実験結果

図-3より,目標とする荷重 400kN,変位 40mm を達成することができたことがわかる.すべての供試体で波の 詰まり現象<sup>3</sup>と平板部分での変形は発生しなかった.ひずみは最もひずみの集中する波頂部凸面で計測し,固定端側 より①,②…とする.局部ひずみは波形鋼板の中心に近い③で最大となり No.1 では 4%程度と設計通りとなった(表 -3).図-4に No.2 供試体の実験における平均ひずみ(=変位 Δ/変形部分長 L<sub>0</sub>)と最大局部ひずみであった②の比較を 示す.局部ひずみは平均ひずみより小さく,ひずみの集中が少ないことがわかる.No.2 供試体ではラチェッティン グ現象と呼ばれるひずみ振幅の中心がサイクル数の増すほどに引張方向に進行し累積する現象が発生した.これは 圧縮側と引張側で降伏応力に違いがあったためである.これにより局部ひずみは設計による予測を超えたが,き裂 の発生は最大局部ひずみの箇所ではなくひずみ振幅の最も大きい③で発生した(図-5).表-3に、変形性能の尺度と して最大局部ひずみおよび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 一吸収量をまとめる.高機能ダンパーの目標性能 4として BRB では ε<sub>u</sub> =3%, *CID*)<sub>lim</sub>=0.7, SPD では *CID*)<sub>lim</sub>=2.8 が あるが、単純な比較はできないが高い能力をもつことがわかる.

## 5. 解析結果

図-3 では実験結果と波形部分のみの解析と平板部分を含む解析の荷重-変位曲線を示す.平板部を含まない波形部分のみの解析で実験を概ね模擬することができ設計の妥当性が証明できた.また,図-6 に示す圧縮時の応力 コンター図を見ると平板部分に応力は発生しておらず,波頂部で応力が集中することがわかる.ひずみについても 図-7より概ね模擬できたことがわかる.

# 6. あとがき

実験と解析により目標とする性能を持つ BRRP の設計が行えたことを確認した.また,限界性能の一つとしてエネルギー吸収量と CID を明らかにした.今後の課題の1つとして,地震時の要求性能を見極める必要がある.

#### 参考文献

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,2014.3.2) 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) 森翔吾ら:数値計算を用いたBRRPダンパーの芯材設計に関する一提案,土木学会中部支部平成25年度研究発表会,I-29,pp.55-57,2014.3.
 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.