

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

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 野呂 真以

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

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制震ダンパー(Buckling-Restrained Rippled Plate damper, **BRRP** と略称する)について実験的検討および解析的検討を行ってきた^{1), 2)}。文献 1)における地震応答解析の結果から、レベル 2 地震動を受ける橋梁に BRRP を取り付け、ダンパーの相対変位を $\pm 40\text{mm}$ 以内とする場合に必要の耐力は 440kN 程度が必要であることが分かっている。そこで本研究の目的として、(1) 芯材である波形鋼板の板厚 t を 9mm とし r/t (ここで r =波形の内径半径)と $2A$ (波板の波高)の値を変更して解析を行い、高い耐力($H=440\text{kN}$ 程度)を有するダンパーの設計方法について検討を行う。また、(2) 局部ひずみが可能な限り小さく、(3) 乱れの少ない安定した履歴曲線を有する供試体のパラメータについても検討を行う。

2. 解析モデル

解析モデルの諸元を表-1 に、解析モデルの概念図を図-1 に示す。解析は $r/t=2.5, 3.5, 4.5$ の 3 ケース、 $2A=15, 25, 35, 45$ の 4 ケースの計 12 パターンについて検討する。また、表中の芯材と拘束材の隙間量 d_0 および拘束材間の隙間量 d の算出方法の詳細については文献 2)を参照されたい。紙面の都合上、表-1 には $r/t=2.5$ のケースのみのパラメータを示している。解析モデルは図-2 のように作成している。モデル高さは実際に橋梁に設置するダンパーの 1/10 サイズを想定しており、長さについては両端の平板部分を除いた変形部分長のみとした。芯材の材料特性は表-2 の値を用いており、構成則は Bi-linear 型の移動硬化則 (2 次勾配は $E/100$) と仮定した。また、拘束材は変形を防止するために剛性を芯材の 1000 倍としている。解析は、芯材に単調軸圧縮力を作用させており、芯材表面と拘束材表面が接触した後は接触問題として扱う。

表-1 解析モデル諸元($t=9\text{mm}$)

モデル名	r/t	$2A$ (mm)	L_0 (mm)	d_0 (mm)	d (mm)	$d/(2A)$	n
PA-15-2.5	2.5	15	449	3.5	31.1	2.07	12
PA-25-2.5		25	455	3.8	41.7	1.67	10
PA-35-2.5		35	455	3.5	51.0	1.45	9
PA-45-2.5		45	426	3.2	60.4	1.34	8

Note:

- ① r =波形の内径半径、 t =芯材の板厚(9mm)、 $2A$ =波形板中心線の波高、 L_0 =変形部分長、 d_0 =波形板外表面と拘束材内面の隙間、 d =拘束材間の隙間、 n =半波長の数
② モデル名について、例)PA-○-△、PA: 予備解析、○: 芯材の波高、△: 内径半径 r を板厚 t で除した値

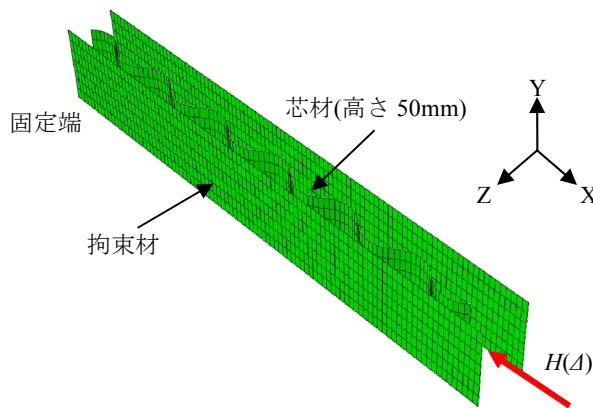


図-2 解析モデル全体図(PA-15-2.5)

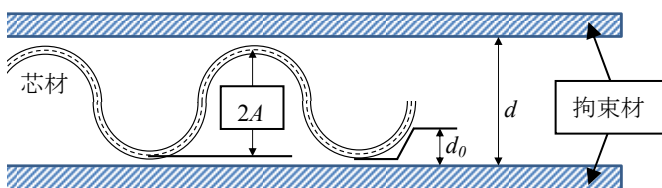


図-1 解析モデルの概念図

表-2 材料特性

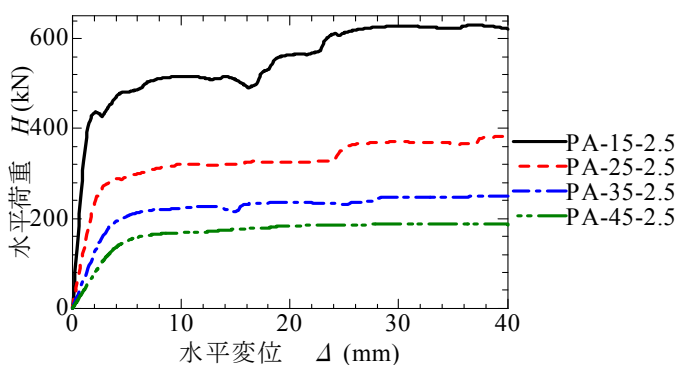
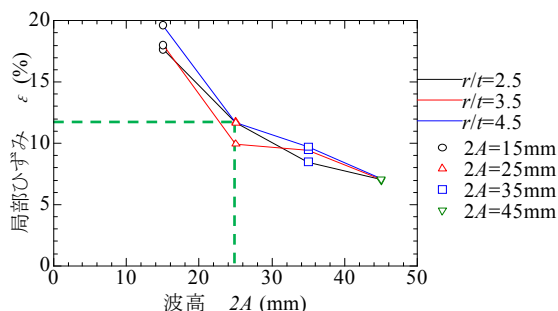
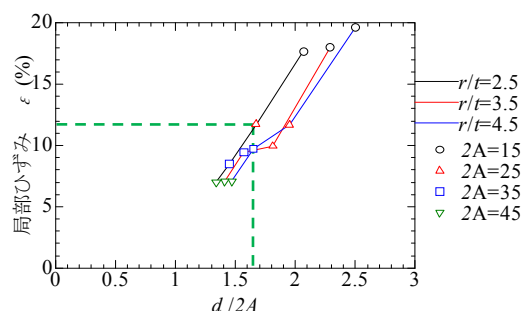
σ_y (MPa)	ε_y	E (GPa)	ν
335	0.002	191	0.3

Note:

σ_y =降伏応力、 ε_y =降伏ひずみ、 E =弾性係数、 ν =ポアソン比

表-3 解析結果一覧

モデル名	$\Delta=40\text{mm}$ での荷重 H (kN)	$\Delta=40\text{mm}$ での 局部ひずみ ε (%)	$\Delta=40\text{mm}$ での 平均圧縮ひずみ Δ_m/L_0
PA-15-2.5	622	17.7	8.91
PA-15-3.5	589	18.0	7.27
PA-15-4.5	556	19.6	8.93
PA-25-2.5	381	11.7	8.79
PA-25-3.5	498	9.94	9.17
PA-25-4.5	300	11.7	9.20
PA-35-2.5	250	8.48	8.79
PA-35-3.5	238	9.42	9.24
PA-35-4.5	213	9.72	9.39
PA-45-2.5	186	7.02	9.39
PA-45-3.5	181	7.03	8.55
PA-45-4.5	235	7.09	8.57

図-3 $H-\Delta$ 履歴曲線($r/t=2.5$)図-4 $\varepsilon-2A$ 関係図-5 $\varepsilon-d/(2A)$ 関係

3. 解析結果

解析結果一覧と $r/t=2.5$ における水平荷重－水平変位関係をそれぞれ表-3 と図-3 に示す．なお，水平荷重については，解析モデルが実際のダンパーの 1/10 を想定しているため，出力した値を 10 倍している．表-3 について， $\Delta=40\text{mm}$ における局部ひずみと変位を変形部分長で除した値である平均圧縮ひずみについて着目してみると， $2A$ を大きく設定することで局部ひずみは徐々に小さくなり，平均圧縮ひずみよりも小さくなっている解析モデルの存在が確認できる．また，図-3 では， $2A$ の値が大きくなると，履歴に安定がみられるが，耐力が減少する傾向が見られる．これらのことから，パラメータの設定次第で前述した研究目標の達成が可能だといえる．ここで，図-4，図-5 を用いて芯材のパラメータ決定方法について検討を行う．図-4，図-5 はそれぞれ，局部ひずみと $2A$ ， $d/(2A)$ の関係をプロットしたものである．ここで， $d/(2A)$ は BRB と同様³⁾ に，拘束材間の隙間と芯材の比率を表すパラメータであり，この値が増加すると，履歴が乱れることが分かっている．これらの図から， $2A=25\text{mm}$ ， $r/t=2.5$ に設定することで，局部ひずみが 10% 程度に抑えられ，平均ひずみの値と同程度となりひずみ集中を防止できていると推察できる．

以上のことから，研究目的 (1) ～ (3) を達成するために， $r/t=2.5$ ， $2A=25\text{mm}$ 程度とすることで，耐力が高く ($H=381\text{kN}$)，履歴の乱れが少なく (図-3 参照)，かつ，局部ひずみの集中を抑えた ($\varepsilon=11.7\%$) 供試体のパラメータ決定ができる．

4. あとがき

波形鋼板の $2A$ 及び $d/(2A)$ が局部ひずみに与える影響について検討し，BRRP ダンパーの適切なパラメータ決定の方法について提案を行った． $t=9\text{mm}$ 以外の結果については，講演当日述べる．

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，土木学会構造工学論文集 Vol.60A，2014.3(投稿中)，2) 宇佐美勉ら：座屈拘束された波形鋼板制震ダンパーの繰り返し弾塑性挙動に関する解析的検討，土木学会地震工学論文集(投稿中)，3) 宇佐美勉ら：制震ダンパーとしての座屈拘束ブレースの要求性能，構造工学論文集 Vol.50A，pp527-538.