

## U形ベローズ型ダンパーの構造諸元の検討

摂南大学大学院 学生会員○中原汰朗 摂南大学 正会員 田中賢太郎  
 摂南大学 正会員 頭井 洋 熊本大学 正会員 松村政秀  
 高田機工株式会社 正会員 佐合 大 株式会社川金コアテック 正会員 姫野 岳彦

## 1. 背景・目的

熊本地震、大阪府北部地震と橋梁被害をもたらす地震が続き、南海トラフ地震、首都直下型地震等の発生確率が高くなってきている。橋梁の耐震補強対策として上部構造の免震化が実施されているが、作用地震力は低減できるものの変位が大きくなり桁間衝突が生じる可能性が高くなる。そこで、地震時の桁同士の衝突を防止する制震対策とし、エネルギー吸収型桁連結装置（ベローズ型ダンパー）を桁間に設置する方法が検討されている。

これまでに疲労試験、FEM解析等によりベローズ型ダンパーの制震性能や疲労寿命評価がなされてきた。ベローズ型ダンパーの制震性能は荷重変位関係の最大荷重や履歴面積などの履歴特性により、また、疲労寿命は最大ひずみ振幅により決まる。ベローズ型ダンパーを構成している部材諸元の板厚等の条件は、最大ひずみ振幅や荷重変位関係に影響する。本研究ではFEM解析により、接合治具を含むベローズ型ダンパーを構成している部材諸元の検討を行う。

図-1に、U形ベローズ型ダンパーの組み立て図と部材を示す。

## 2. FEM解析および諸元検討の概要

円筒部半径  $R=125$  (mm)、ベローズ本体板厚  $t=22$  (mm) のモデルを用い、インナー・アウタープレート（以降、ioプレート）の板厚を  $t_{in}$  (mm)、突出長を  $e$  (mm)、形状保持材の板厚を  $t_s$  (mm)、接合治具の厚さを  $tr_b$  (mm) と定義する。FEM解析には「ANSYS19.0」を用い、図-2に解析モデルを示す。四角形4節点平面ひずみ要素を用い、材料特性はバイリニア型の応力-ひずみ関係とし、ひずみ硬化則は移動硬化則を用いた。ベローズの降伏強度  $362.9$  N/mm<sup>2</sup> とし、ioプレートの降伏強度は  $699.5$  N/mm<sup>2</sup> とする。U形ベローズ型ダンパーの要素分割は板厚方向に10分割、ioプレートは4分割に設定し、橋軸方向に漸増繰り返し変位を与えた。 $1\delta y$  は設計式<sup>1)</sup>にて計算し、 $\delta y=10$ mm とする。 $(\delta y$  は荷重変位関係をバイリニア近似したときの降伏変位) 表-1に検討ケースの計算条件を示す。まずioプレートの板厚  $t_{in}$ 、突出長  $e$  を変化させFEM解析を行う。その後、全ひずみ振幅を比較し最も全ひずみ振幅の値の小さいケースを用い、形状保持材、接合治具の厚さを変化させ全ひずみ振幅の比較を行いU形ベローズ型ダンパー諸元の検討を行う。ケース名は、 $t_{in}$  のみを変化させた場合は  $t_{in}9$ 、 $t_{in}12$ 、 $t_{in}16$ 、 $e$  のみを変化させた場合は  $e20$ 、 $e25$ 、 $e30$ 、 $e35$ 、 $e40$  とする。 $t_s$  と  $tr_b$  の板厚を変化させた場合は  $t_s9$   $tr_b15$ 、 $t_s12$   $tr_b15$ 、 $t_s16$   $tr_b16$ 、 $t_s9$   $tr_b22$ 、 $t_s12$   $tr_b22$ 、 $t_s16$   $tr_b22$  をケース名とした。

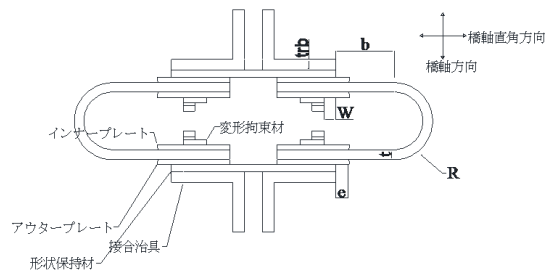


図-1 U形ベローズ型ダンパー

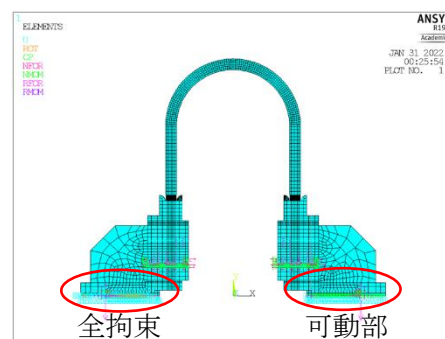


図-2 解析モデル

表-1 変化させた板厚、寸法条件

$t_{in}$ (mm)	9,12,16
$e$ (mm)	20,25,30,35,40
$t_s$ (mm)	6,9,12
$tr_b$ (mm)	15,22

キーワード U形ベローズ型ダンパー 荷重変位曲線 ひずみ 制震装置 FEM解析

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8 摂南大学 社会開発工学専攻 TEL: 072-839-9117

### 3. 解析結果

図-3 に io プレートの板厚を変化させた場合の接合部のひずみと変位の関係を示す。図-3 から io プレートの板厚が薄いほどひずみが小さくなる。io プレートの板厚を厚くすると接合部のひずみは大きくなることわかる。図-4 に io プレートの板厚 9 mm の場合の円筒頂部と接合部のひずみと変位の関係を示す。接合部のひずみは円筒部のひずみに比べて半分程度に抑えられていることがわかる。io プレートをを用いれば、U 形ベローズ型ダンパーは円筒頂部で最大ひずみが生じ過去に実施した疲労実験でも円筒頂部で破断が生じた。

図-5 に突出部  $e$  の長さを変化させた場合の接合部のひずみと変位の関係を示す。図-5 から、突出長が長くなるほど接合部のひずみが小さくなることわかる。図-6 に突出部  $e$  の長さを変化させた場合の円筒頂部でのひずみと変位の関係を示す。図-6 から突出長が大きくなるほど円筒頂部のひずみは小さくなることわかる。突出長を長くすれば接合部のひずみを小さくできるが、突出長を長くする効果は低減するので、突出長と直線長との最適比とベローズ諸元との関係を明らかにしていく。

図-7 に形状保持材及び接合治具の板厚  $trb$  を変化させた場合の接合部のひずみと変位の関係を示す。図-7 から形状保持材および接合治具の厚さを薄くすると、ひずみの値は小さくなるが影響は小さいことがわかる。形状保持材、接合治具を薄くしすぎると治具剛性が不足し、荷重変位関係にも影響するので、最適板厚を選択する必要がある。

### 4. まとめ

本研究では、エネルギー吸収桁連結装置として U 形ベローズ型ダンパーを使用し、FEM 解析により、接合治具を含む U 形ベローズ型ダンパーの構造諸元を検討した。以下にその要約と今後の課題を示す。

- 1) io プレートの板厚  $tin$  はベローズ本体の板厚  $t$  より少し薄くすることで接合部のひずみを抑えられる。
- 2) 突出長  $e$  を長くすれば接合部のひずみを小さくできる。ただ、長くするほどその効果は低減する。
- 3) 形状保持材および接合治具の厚さがひずみに及ぼす影響は小さい。
- 4) シェル要素を用いた 3 次元解析を行い、ベローズ諸元と各部材寸法の最適値との関係を明らかにする。

### 参考文献

- 1) 頭井 洋, 田中賢太郎, 松村政秀, 吉田雅彦, 佐合 大: 桁制震装置の桁温度伸縮に対する一設計法と最大応答変位予測法, 鋼構造論文集, Vol.19, No.75, pp.41-53, 日本鋼構造協会, 2012.9.

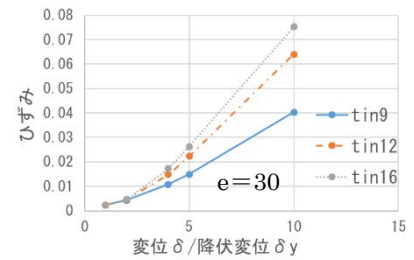


図-3 io プレート接合部ひずみ比較

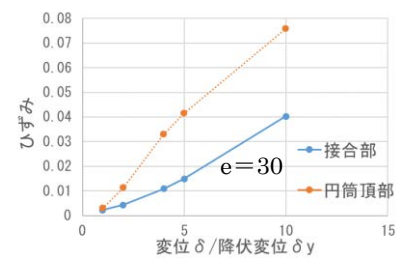


図-4 io プレート円筒頂部ひずみ比較

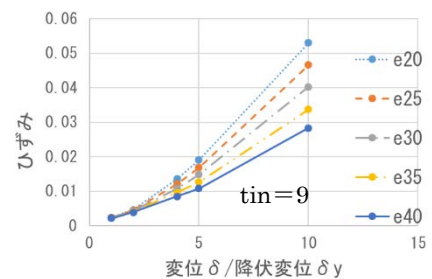


図-5 突出長直線部ひずみ比較

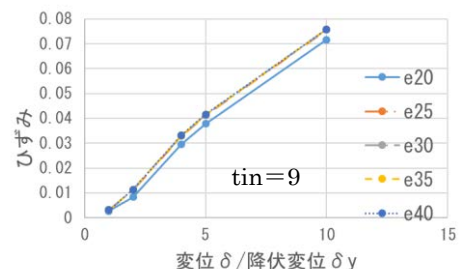


図-6 突出長と円筒頂部ひずみ比較

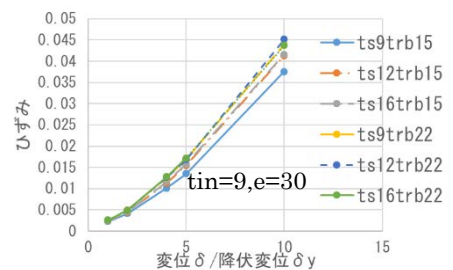


図-7 形状保持材, 接合治具接合部ひずみ比較