

橋桁制震ダンパーベローズへのアルミ合金の適用性

摂南大学 正会員 ○頭井 洋
 摂南大学 正会員 田中 賢太郎
 日軽金アクト(株) 斎藤 栄徳

1. 目的

制震デバイスの一つである鋼製ベローズは隣接する二つの主桁間あるいは主桁と橋脚・橋台間に設置され、中強度・中剛性から高強度・高剛性の制震デバイスとして利用できる。これまでの研究により、ベローズの材料強度や寸法より降伏強度と降伏変位を求める設計式¹⁾、1自由度近似可能な橋に対し目標の最大変位を与えれば非線形変位応答スペクトルに基づきベローズの必要降伏強度を推定する方法、桁の温度伸縮により生じるベローズ変形を弾性範囲内にする要件よりベローズの降伏変位を決定する方法などのベローズの設計法²⁾が提案されている。本文では既提案の設計式および非線形有限要素解析による数値計算により、ベローズ材料としてアルミ合金を使用した場合について、鋼を用いた場合と比較・検討し、アルミ合金製ベローズの適用性を論じる。

2. 設計式による降伏強度と降伏変位

図-1 にベローズ諸元を表す寸法変数を示す。常時の桁の温度伸縮に起因して鋼製ベローズに疲労損傷が生じないように、桁温度伸縮量以上にベローズ降伏変位を設定する。対象橋梁を両端が橋台で支持された単純桁一連あるいは連続桁一連に限定し、上部構造の地震時水平慣性力はベローズのみで負担すると仮定すれば、対象モデルを履歴型非線

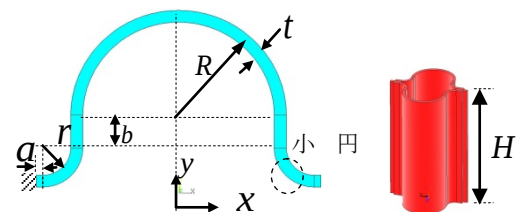


図-1 ベローズ諸元を表す寸法

形ばねで支持された1自由度で近似することができる。1自由度系では、非線形ばね系であっても、非線形ばねの降伏強度と重量比をパラメータにした最大変位応答に関する非線形変位応答スペクトルは、質量の大きさに関係なく同じ応答スペクトルが得られる²⁾。ベローズの降伏強度は地震時に生じるベローズの作用力と、隣接する桁間の相対変位を目標の値以下にする条件より決定する。アルミ合金として普通鋼と同程度の強度を持ち、鋼材と類似した応力ひずみ関係を有する6061S-T6材(降伏点288N/mm²)を用い、SM400とSM570の鋼材材料と比較する。降伏強度50~400kN/100mm、降伏変位2~10mmの範囲となるように、ベローズの大円半径と小円半径、板厚を変化させた。大円半径Rと小円半径rの和であるR+rを80, 100, 120mmと一定に保ちつつ大円半径Rを5mm間隔で変化させている。板厚は12・16・19・22・25mmの5通りに変化させた。図-1の大円部と小円部間の直線部長さbはゼロとした。降伏変位とベローズ寸法との関係を図-2に、ベローズ高さ100mm当たりの降伏強度とベローズ寸法との関係を図-3に、ベローズ高さ100mm当たりの重量とベローズ寸法との関係を図-4に示す。横軸はすべて大円半径Rを表す。材料の違いを色で表示し、赤色がアルミ合金6061S-T6材を、黒色がSM400鋼材(降伏点300N/mm²)、青色がSM570鋼材(降伏点500N/mm²)を表す。板厚は厚いほど太い線で表した。板厚が薄くなるとベローズの降伏変位は大きくなり、降伏強度は小さくなる。大円半径Rと小円半径rの和であるR+rを一定の条件のもとで大円半径Rを変化させても、ベローズの降伏変位や降伏強度の変化は小さい。図-2より、アルミ合金は、鋼材に比べ同じ降伏変位を有するベローズを一回り小さいサイズで実現できる。図-3より、アルミ合金は、鋼材に比べ同じ降伏強度を有するベローズをほぼ同じ寸法ないし一回り小さいサイズで実現できる。図-4に示すように、アルミ合金の比重は鋼材の1/3なので、同じ大きさの降伏変位や降伏強度を有するアルミ合金ベローズの重量は、鋼製ベローズ重量の1/2~1/4に軽量化できる。ベローズ一組片側当たりの重量は数kgとなるので、片手で簡単に持つことができ現場施工性に優れているといえる。アルミ合金は鋼材と比べ高価であるが、必要重量が小さいことから製作費用の面でも価格競争力があると期待できる。

キーワード 制震部材, ベローズ, アルミ合金, 押し出し加工, テーパー加工, 降伏強度, 設計式

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8 摂南大学 理工学部 TEL 072-839-9119

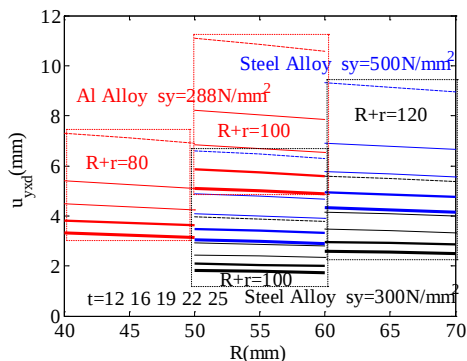


図-2 降伏変位とベローズ寸法の関係

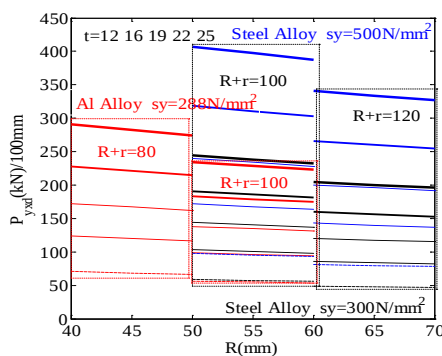


図-3 降伏強度とベローズ寸法の関係

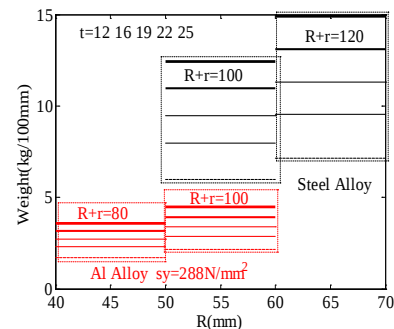


図-4 重量とベローズ寸法の関係

3. 非線形静的FEM解析によるひずみ解析

押し出し加工を用いるアルミ合金製ベローズではテーパ加工は容易である。図-5に示す二つのアルミ合金製ベローズにx軸方向に一定値の変位を与え、生じるひずみ分布を調べる。板厚を16mm一定とした板厚一定モデルと大円中央部と小円固定端部とで最大板厚16mm、直線部で最小板厚12mmと板厚を変化させ円筒部にテーパを設けた板厚変化モデルの2種のモデルを用いる。2次元平面ひずみ要素を用い、材料の降伏点を288N/mm²とする。バイリニア移動硬化則に基づく材料非線形と幾何学非線形の両方を考慮している。図-6に引っ張り変形30mm時のx方向ひずみ分布を示す。板厚一定モデルに比べ板厚変化モデルのひずみ集中領域は大きく広がっていること、最大および最小ひずみの値は30~40%程度小さくなっていることがわかる。図-7には、二つのモデルのFEM解析より得られた荷重変位履歴曲線と設計式より得られる荷重変位関係とを示す。設計式では、板厚を16mmおよび15mmとし一定板厚としている。図-7より、テーパを設けたベローズの荷重変位関係が描く履歴曲線は16mm一定板厚に比べ少し荷重は小さくなりループが描く面積もやや小さくなるもののほぼ同等のエネルギー吸収効果を有するといえる。ひずみの値が小さい部分の板厚を薄くしテーパを設けることにより、荷重変位履歴をそれほど変化させることなくより効率的にエネルギー吸収を行え、最大最小ひずみの値を大きく低減できるといえる。アルミ合金製ベローズの実用化に向け、異種金属材料接合間の接触腐食の対策に加え、テーパ付アルミ合金製ベローズを実際に製作し実験的、解析的研究を進めていく予定である。

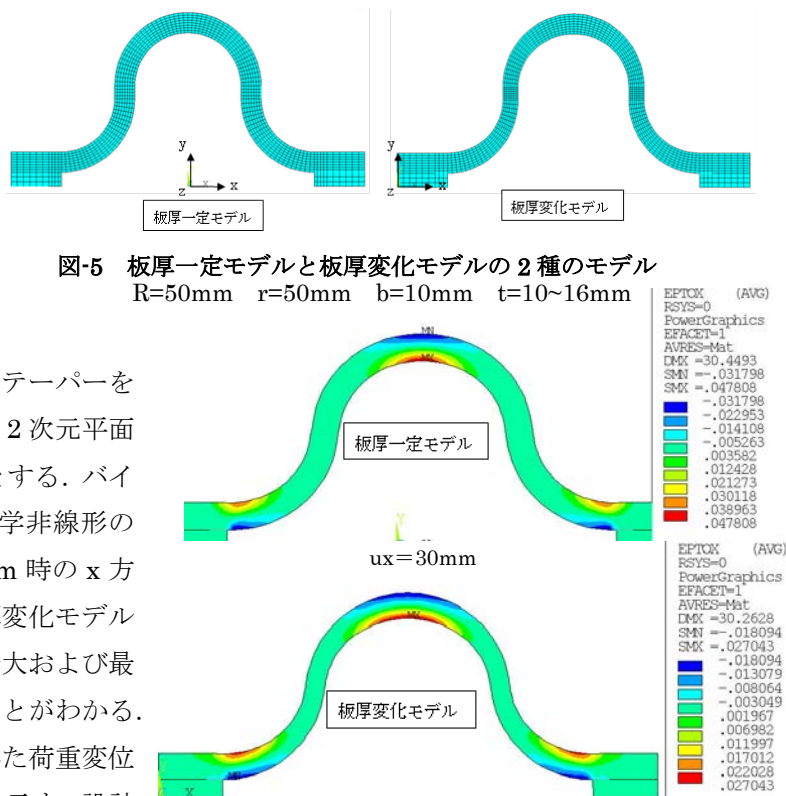
図-5 板厚一定モデルと板厚変化モデルの2種のモデル
R=50mm r=50mm b=10mm t=10~16mm

図-6 引っ張り変形30mm時のx方向ひずみ分布

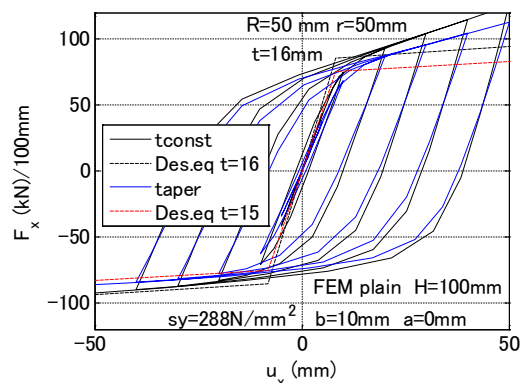


図-7 FEM解析による荷重変位履歴曲線

謝辞 本研究の一部は文部省科学研究費補助金・基盤研究(C)(研究代表者:頭井 洋), 課題番号:26420469)の助成を受けて行った。また,(社)日本アルミニウム協会土木構造委員会分科会「アルミニウム合金製制震ダンパー実用化検討小委員会(宇佐美委員長)」の活動の一部として実施した。宇佐美委員長はじめ小委員会の委員各位に感謝を表します。

参考文献 1) 頭井 洋ほか:エネルギー吸収型桁連結装置としての鋼製ベローズの力学特性, 鋼構造論文集, Vol.9, No.34, JSSC, pp.77-86, 2002.6 2) 頭井 洋ほか: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, JSSC, pp.41-53, 2012.9