

蛇腹折り構造を用いた支承の挙動

秋田大学 学生会員 ○柴田 勝也
秋田大学 正会員 後藤 文彦
秋田大学 正会員 長谷部 薫

1. はじめに

近年、薄い 1 枚の板を折り曲げて様々な機能を持たせることのできる折り紙工学を利用した構造が注目されている。折り紙構造は、薄い板材料に折り目をつけて剛性や強度を高めるだけでなく、折りたためる機構や、バネの機構を付加することで自動車のエアバック、建築物、医療として心不全の患者に用いられるなど様々な分野で利用され、より広い領域での応用が期待されている。

本研究では、蛇腹折り円筒が持つバネ特性とせん断による弾塑性特性を橋梁の機能分離型支承のように利用することを想定している。具体的には、蛇腹折り円筒の鉛直方向、せん断方向のバネは、通常時のバネ支承として期待し、地震時の水平振動のエネルギーをせん断による塑性変形で吸収する機能について、有限要素モデルに交番载荷を行うことで検討する。

2. 解析手法

解析方法として、オープンソースの有限要素解析ツール CalculiX を用いて、蛇腹折り円筒をモデル化する方法について説明する。円筒に近い構造に互い違いの台形の折り目を交互に配置したシェル構造を構成し、要素は 6 節点 3 角形シェル要素を用いて 1 つの台形の折り目に対して 12 の要素で構成させる。周方向の角数 (周方向の 1 枚の台形の折り目) を周方向パターン数、高さ方向の段数 (高さ方向の 1 枚の台形の折り目) を高さ方向パターン数と称する。

今回は橋の支承として利用することを想定しているので周方向の円周 $s = 400\text{mm}$ 、折り畳む前の高さを $h = 200\text{mm}$ 、厚さ $t = 3\text{mm}$ 、鋼板のヤング率 206GPa とする。加工方法は、プレス加工を想定しているが、一枚の板を折り曲げてから溶接で接合した場合、溶接

箇所が欠点になるため、溶接せずに、切れ目のある状態で用いることも想定して、円筒が閉じたモデルと切れ目のあるモデルとを考える。

また周方向分割数は図-1 に示す 4 角 6 角で解析を行っていった。初期高さは図-2 に示すように 1 枚の板に折り目をつけたときの高さのことを表す。境界条件は、水平方向荷重の場合、下端開口部を完全拘束し上端開口部の各節点の载荷方向変位以外を拘束し回転方向も拘束する。

また、蛇腹折り円筒を支承に利用にする場合、今回は、せん断による塑性変形で蛇腹折り円筒がどれくらい地震エネルギーを吸収するのかを解析するため正負交番载荷解析を行う。鉛直方向荷重にもある程度強い初期高さが 0.9 ぐらいの蛇腹折りと初期高さ 0.6 のもので交番载荷の解析の比較を行う。

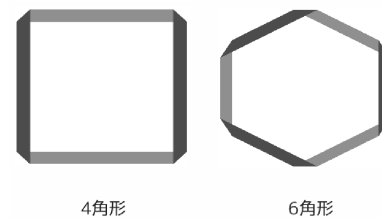


図-1 周方向パターン数

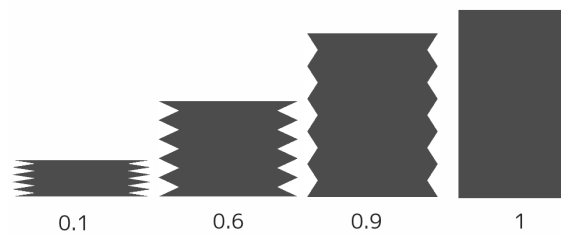


図-2 初期高さ

3. 解析結果

弾塑性モデルは、 $E\epsilon = \sigma + \alpha\left(\frac{|\sigma|}{\sigma_0}\right)^{n-1}\sigma$ で表される Ramberg-Osgood 則を用い、収束性が落ちない範囲で完全弾塑性に近くなるように、 $n = 8$ を用いる。この式を用いて、完全弾塑性に近いモデルを作成し交番载荷の解析を行う。交番载荷は、上端開口部各節点に水平方向外力を荷重制御で与えることで円筒にせん断を与える。解析では、初期高さの異なる 2 つの蛇腹折り円筒を比較するが、最初の正荷重の载荷の際に、より低い荷重で塑性化が認められた蛇腹折り円筒の除荷開始荷重を正負交番荷重の折り返し点の目安として、制御可能な範囲で、なるべく（絶対値が）その荷重付近で除荷、再载荷を行い、ほぼ同じ交番区間でのエネルギー吸収量を比較する。交番载荷の繰り返しは 2 周目まで行う。蛇腹折りの初期高さを変化させた結果を図-3 から図-4 に示す。初期高さは 0.9 と 0.6 で比較を行なったが、どの角数での蛇腹折り円筒でも初期高さ 0.6 と 0.9 で大きな変化は見られなかった。

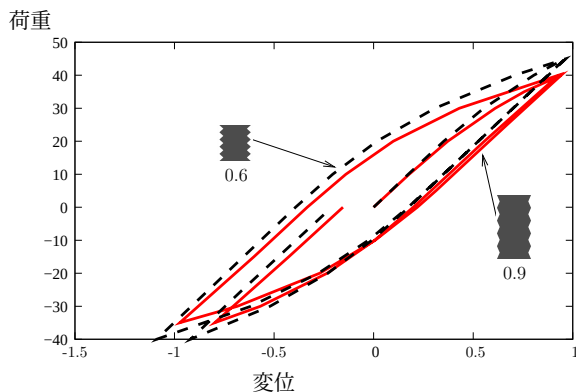


図-3 初期高さ変化 (4 角)

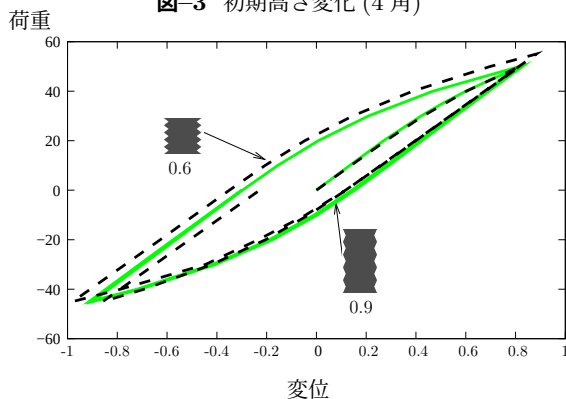


図-4 初期高さ変化 (6 角)

切れ目のある蛇腹折り円筒でも同様に初期高さを変

化させた結果を図-5 から図-6 に示す。切れ目のある蛇腹折り円筒の場合は、切れ目がないものと違い、初期高さが違うことによる結果の違いが大きくなるという結果が得られた。

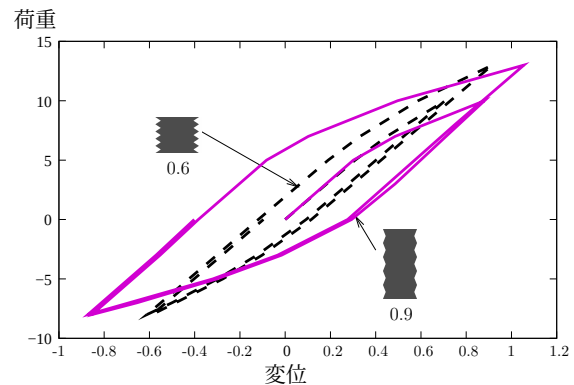


図-5 初期高さ変化 (4 角, 切れ目あり)

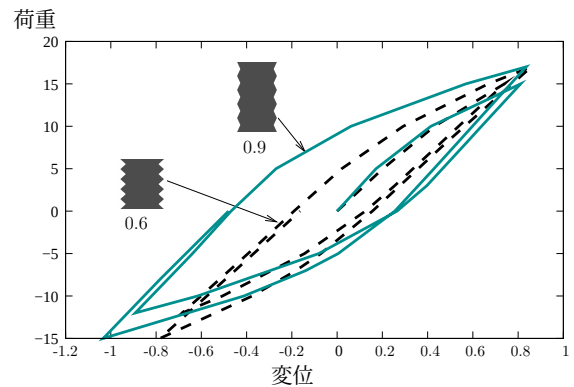


図-6 初期高さ変化 (6 角, 切れ目あり)

4. まとめ

蛇腹折り円筒に切れ目がない場合は、初期高さの違いによって、せん断を受けた場合の塑性変形によるエネルギー吸収量に大きな差は認められないが、切れ目がある場合は、初期高さの高い方が、エネルギー吸収量が明らかに大きくなることがわかった。

参考文献

- 1) <http://www.calculix.de/>
- 2) 石崎 博之 後藤 文彦 : 伸縮できる円筒折り紙構造の弾塑性挙動, 平成 22 年度 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), 2011