

## 当て板を用いたΩ形鋼製ベローズの小円部に生じるひずみの低減と疲労強度改善

摂南大学大学院 学生会員 ○ 柰本 好太

摂南大学 正会員 田中 賢太郎 摂南大学 正会員 頭井 洋

### 1. 背景・目的

近年、相次ぐ地震により橋梁に甚大な被害が発生し、耐震補強がなされてきた。耐震補強策として、免震化やせん断パネル、軸力降伏型のダンパーブレース等のエネルギー吸収装置の適用などの方法がある。免震支承を用いれば、地震作用力は低減できるが、上部構造の応答変位の増大により桁同士の衝突が生じる可能性は高くなる。著者らは、大地震時の桁間の衝突を防止し、かつ、橋梁全体に作用する地震エネルギーを吸収する機能を有するΩ形鋼製ベローズ(図-1)を

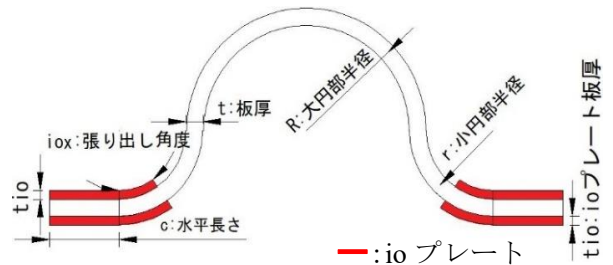


図-1 Ω形ベローズ断面図

設置する制震法をを検討してきた。桁に連結する鋼製ベローズは、常時の温度変化による繰り返し変形も生じる。文献1)では、年間を通じた桁の最大温度変化伸縮量以下になるよう降伏変位を設定し、疲労実験より求めた疲労強度曲線と年間温度変化データを用いた損傷度評価法を提案している。Ω形では、小円部の固定端付近でひずみが最大となり、疲労損傷は固定端付近に発生する。その改善策として、Ω形の小円部を無くし補強リブを有するL形の接合治具を用いるU形鋼製ベローズが開発されている。U形ベローズではL形接合治具との接合部に固定度を緩和する当て板(インナープレートとアウタープレート)を用いることにより疲労強度が向上する。その一方、U形ベローズは構成部材や接合治具の数が多く構造が複雑になり組み立てに工数や時間を要する。そこで、構成部材数が少ないΩ形鋼製ベローズの諸元や構造形状を工夫することにより、小円部のひずみを低減し、効率よく地震時のエネルギー吸収を行え、疲労強度も改善できる方法を検討する。図-1に赤線で示す当て板(以降、ioプレート)を用いたioプレート付きΩ形鋼製ベローズのFEM解析を行いioプレートの最適寸法を検討する。その結果から、ひずみの値が大きい大円部と小円部に生じる全ひずみ振幅・塑性ひずみ振幅に着目し、疲労強度の改善策を検討する。

### 2. FEM解析による最大ひずみの検討

汎用FEM解析ソフト「ANSYS2021.R1」を用いて、平面ひずみ解析を行った。ベローズは四角形4節点平面ひずみ要素、ioプレートは四角形8節点平面ひずみ要素でモデル化を行い、材料モデルについて、ひずみ硬化則は移動硬化則を設定し、バイリニア型特性を用い2次勾配はヤング率E/100とした。ベローズとioプレートの降伏強度はそれぞれ314, 450N/mm<sup>2</sup>、ベローズの寸法は、図-1に示す断面図のR=60mm, r=40mm, t=9mm, c=50mmを採用した。またioプレートの検討ケースは張り出し角度iox=20, 30°, ioプレートの板厚tioについてはベローズの板厚の1/2程度を基準とし、それよりも小さいケースと大きいケースを1ケースずつ採用した。さらにioプレートの効果をより発揮できるように固定板の水平長さを調整したモデルtio3.2iox30a10についても検討を行った。ベローズの水平部のうち、ベローズに曲げ変形が生じる区間をaとする。与えた変位量はu=±5,10,20,40,50mm

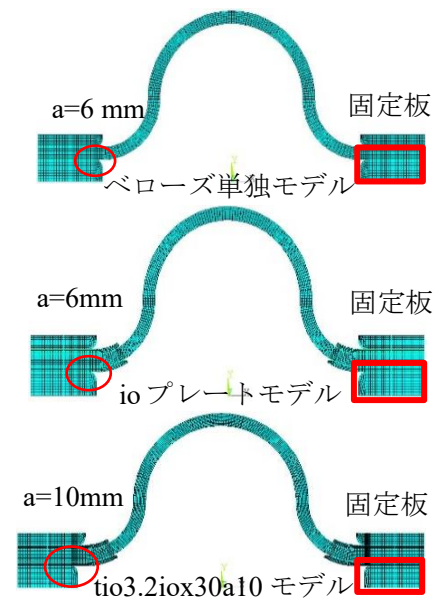


図-2 解析モデル図

キーワード Ω形ベローズ, 当て板, 全ひずみ振幅, 塑性ひずみ振幅, 疲労強度

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-18 摂南大学大学院 社会開発工学専攻 TEL 072-839-9117

である (5mm は降伏変位). io プレートをつけていないモデル(以降, ベローズ単独モデル), io プレートモデル, tio3.2iox30a10 の解析モデル図を図-2 に示す. 今回の検討ケースの検討ケース名を表-1 に示す.

### 3. 結果・考察

計算結果を図-3~5 に示す. 図-3 は x 方向に+50mm 与えた際のケース名 tio3.2iox30 のひずみコンター図である. この図より大円部に最大・最小ひずみが発生しており、大きな変位を与えた際も io プレートの効果により大円部で破断すると考えられる. 図-4 は tio3.2iox30a10 を除いた変位量と全ひずみ振幅との関係図である. ひずみの値が大きい大円部の内側と小円部の外側に着目したものである. この結果より全ひずみ振幅は, io プレートを取り付けることで小円部が大円部よりも小さくなり, 各変位でベローズ単独モデルの全ひずみ振幅と io プレートを取り付けた場合とで比較すると最大 25~32% のひずみの低減効果があった. 大円部については全ひずみ振幅の値に大きな差は見られなかった. これらの結果より io プレートの張り出し角度や板厚を大きくしすぎるとベローズの拘束効果が増し, io プレートの緩和効果が低減することがわかる. io プレートの最適寸法として張り出し角度は  $30^\circ$  程度, io プレートの板厚 tio はベローズの板厚の半分よりやや薄めにするとういとされる. また図-5 にベローズ単独モデル, tio3.2iox30, tio3.2iox30a10 の変位量(=5,10mm)と全ひずみおよび塑性ひずみ振幅との関係を示した. 塑性ひずみ振幅は○, \*等のマークで表している. 差が顕著に出た変位量 5,10mm の結果のみに着目した. ベローズの拘束を緩めた tio3.2iox30a10 (赤色) はベローズ単独モデル, tio3.2iox30 と比較すると大円部・小円部の全ひずみ振幅, 塑性ひずみ振幅ともに小さくなった. 年間を通じた桁温度伸縮量に相当する変位量  $\pm 5, 10\text{mm}$  で最大塑性ひずみ振幅が小さくなっていることから, io プレートを取り付け, ベローズに曲げ変形が生じる区間 a を少し大きくすることにより  $\Omega$  形ベローズの小円部に生じるひずみを低減でき温度伸縮による鋼製ベローズに生じる変形に対しても疲労強度の改善ができると考えられる.

### 4. 今後の課題

3次元シェル要素を用いた FEM 解析も実施し, io プレート付き  $\Omega$  形鋼製ベローズの疲労実験のケースを検討する. そして疲労実験を行い, io プレートを取り付けた際の効果の検証および疲労強度を把握する. さらに疲労実験, FEM 解析によって得られた結果と  $\Omega$  形ベローズの設計式との整合性についても確認する.

### 参考文献

- 1) 頭井洋, 田中賢太郎, 松村政秀, 佐合大: 桁の温度伸縮に対するベローズダンパーの疲労損傷評価, 鋼構造論文集, Vol25, No.97, 日本鋼構造協会, pp.13-23, 2018.3

表-1 検討ケース名

ケース名	io板厚 tio (mm)	張り出し角度 iox ( $^\circ$ )	曲げ変形が生じる区間 a (mm)
ベローズ単独	—	—	6
tio3.2ix20	3.2	20	6
tio4.5ix20	4.5	20	6
tio6ix20	6	20	6
tio3.2ix30	3.2	30	6
tio4.5ix30	4.5	30	6
tio6ix30	6	30	6
tio3.2ix30a10	3.2	30	10

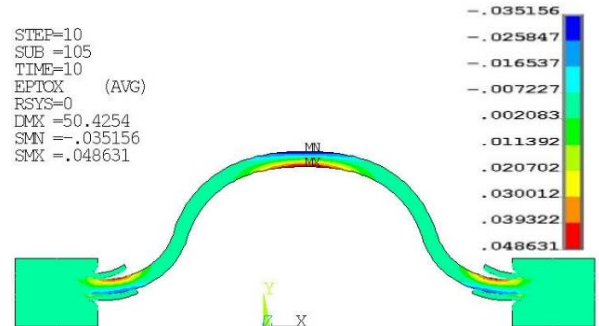


図-3 x (橋軸) 方向+50mm 時 ひずみ値

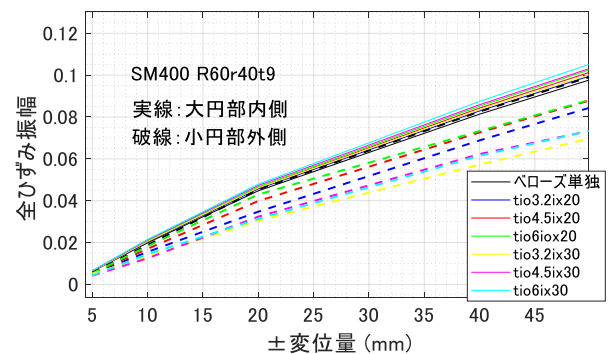


図-4 全ひずみ振幅と変位量の関係

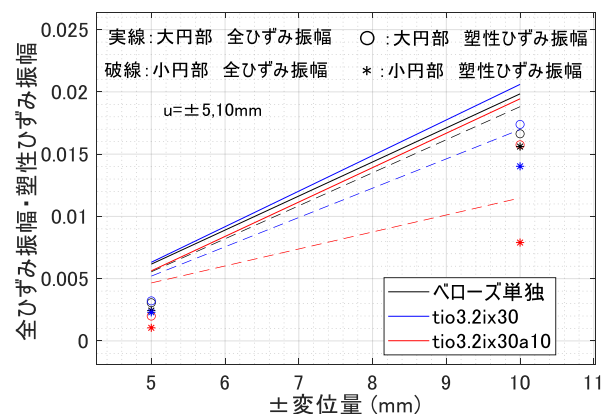


図-5 全ひずみ振幅・塑性ひずみ振幅と変位量の関係