

疲労試験およびFEM解析によるU型鋼製ペローズの疲労強度について

摂南大学 正会員 田中賢太郎 正会員 頭井 洋
 京都大学大学院 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 新名 裕

1. はじめに

従来から検討してきた円筒部(大円部)と小円部とを有した鋼製ペローズ(以降, 従来型鋼製ペローズという)は, エネルギー吸収性能は十分期待できるが, 小円部の固定端近傍でひずみ最大となり, 疲労強度の低下が懸念される. 従来型鋼製ペローズの形状を改良した新しいU型鋼製ペローズ¹⁾の疲労強度特性を明らかにする. 従来型鋼製ペローズのサイズを大きくすることにより, 小円部の固定端近傍の発生ひずみは緩和できるが, 大きくなりすぎると設置スペースが狭い場合設置することが難しくなるので, 所要の性能を確保できる範囲でできるだけ小型の鋼製ペローズを用いることが望ましい.

本研究では, FEM解析により疲労試験実施用のU型鋼製ペローズの形状選定を行い, 選定した形状の疲労試験およびFEM解析を実施する. 疲労試験では破断までの繰り返し回数を求める. 曲げ加工方法の相違が疲労強度に与える影響も実験で調べる.

2. U型鋼製ペローズの概要

図-1にU型鋼製ペローズ(片側)の形状と各寸法の記号を示す. U型鋼製ペローズは, 板厚 $t = 10\sim 30\text{mm}$ 程度の鋼板をU字型に曲げ加工し, 直線部に治具を取り付け2枚1組にして桁端部へ接合する. すなわち, 疲労破断の発生箇所を特定するとともに, 専用の取り付け治具には突出長 e を設けてインナープレートおよびアウタープレートを設置することによって接合部における応力集中の緩和を期待する構造となっている.

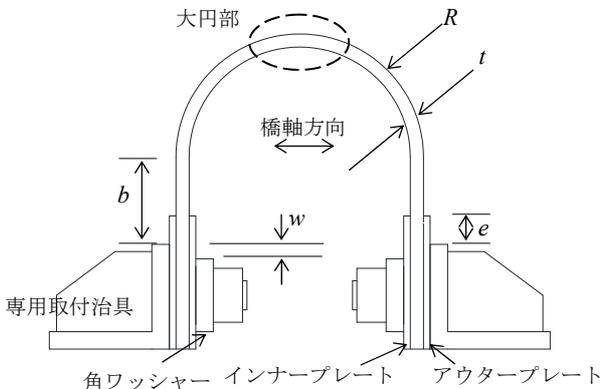


図-1 U型鋼製ペローズの各寸法の記号

3. FEM解析の概要

FEM解析では, 図-1に示すU型鋼製ペローズ(片側)を, ANSYS16.0を用い2次元平面ひずみを仮定し,

四角形4節点平面ひずみ要素を用いる. メッシュ分割状況は, U型鋼製ペローズの板厚方向には10分割, インナープレートおよびアウタープレートについては4分割した. モデル下部は, ボルト接合によって拘束されているので, 2重節点でカップリング要素による剛結とした. インナープレートおよびアウタープレートとペローズ本体間には接触要素を用いる.

4. U型鋼製ペローズの疲労試験に用いる諸元の検討

形状検討のために行った解析ケースと解析により求めた最大ひずみ振幅および発生位置を表-1に示す. 例えば解析ケース R80b60t9e30tp10は, 円筒部半径 $R = 80\text{mm}$, 直線部長さ $b = 60\text{mm}$, 鋼製ペローズの板厚 $t = 9\text{mm}$, 取付専用治具からの突出長 $e = 30\text{mm}$, インナープレートおよびアウタープレートの板厚 $tp = 10\text{mm}$ としている. 表に示す解析ケースに強制変位量 $\pm 20\text{mm}$ を与えた結果, 最大ひずみは大円部の中央に生じ, ひずみ振幅値が小さいケースは R80b100t16e21tp8.3であった. 解析ケース R80b100t16e21tp8.3は, インナープレートおよびアウタープレートの効果や突出長 e を少し短くし, インナープレートおよびアウタープレートの板厚 t を調整したことにより, 直線部 b に集中するひずみを緩和でき, さらに大円部の発生ひずみ振幅が一番小さくなったと考えられる. よって, 疲労試験に用いるU型鋼製ペローズは大円部の発生ひずみが一番小さいケースと決定した.

表-1 形状検討用解析ケースおよび解析結果

解析ケース	最大ひずみ 振幅	発生位置
R80b60t9e30tp10	0.02987	治具付近
R80b65t9e30tp10	0.02749	治具付近
R80b65t16e30tp10	0.04717	大円部中央
R80b65t16e30tp6	0.04274	大円部中央
R80b100t16e21tp8.3	0.02980	大円部中央
R80b130t16e30tp10	0.04958	大円部中央
R80b200t16e30tp6	0.03338	大円部中央
R112b65t16e30tp10	0.02578	治具付近
R95b65t19e30tp10	0.04140	大円部中央

5. U型鋼製ペローズの疲労試験

写真-1に鋼製ペローズの疲労試験の実施状況を示す. 载荷には摂南大学が所有する最大荷重100kN, ス

キーワード エネルギー吸収型桁連結装置, 疲労試験, FEM解析, 破断回数, 曲げ加工方法
 連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8 摂南大学理工学部都市環境工学科
 TEL072-800-1143 E-mail : tanaka@civ.setsunan.ac.jp

トローク ± 50 mm の疲労試験機を用いる。前章によって決めた疲労試験用の諸元と曲げ加工の違いによる疲労強度検討用の諸元を表-2 に示す。疲労試験用の U 型鋼製ペローズは、板厚 $t = 16$ mm の鋼種 SN490C を用い高さ 50 mm, $R = 80$ mm, $b = 100$ mm に加工し、インナー・アウタープレートの板厚は $t_p = 8.3$ mm とした。試験装置上側を固定側とし、下側に引張側から $\pm \delta_y$ ($\delta_y = 7.2$ mm) 強制変位を 3 回与えたのち、 $\pm 4.0\delta_y$, $\pm 6.0\delta_y$ を破断に至るまで繰返し载荷する。また、曲げ加工の違いによる疲労強度検討用としては、载荷速度は、計測ひずみ値が $1000\mu/s$ 以下となるように設定した。

曲げ加工方法が違う 2 種類の鋼製ペローズは、鋼種 SN490B で板厚 $t = 12$ mm の供試体を製作し、曲げ加工方法の相違によって疲労強度の差を調べる。方法 1 は、曲げ加工の曲げ点の間隔を大きくした場合、方法 2 は曲げ点の間隔を小さくした場合とする。この供試体寸法は、板厚 $t = 12$ mm の鋼種 SN490B を用い高さ 50 mm, $R = 60$ mm, $b = 60$ mm に加工し、インナー・アウタープレートの板厚は $t_p = 6$ mm とした。プレートの材質は高強度鋼板を用いる。载荷方法は、 $\pm \delta_y$ ($\delta_y = 5$ mm) 強制変位を 3 回与えたのち、 $\pm 4.8\delta_y$ を破断に至るまで繰返し载荷する。



写真-1 疲労試験の実施状況 (R80b100t16e21tp8.3)

表-2 U 型鋼製ペローズの諸元

モデル名	鋼種	円筒部半径 R (mm)	直線長さ b (mm)	板厚 t (mm)	高さ (mm)
R80b100t16e21tp8.3	SN490C	80	100	16	50
R60b60t12e20tp6	SN490B	60	60	12	50

6. 疲労試験結果

図-2 には、試験ケース R80b100t16e21tp8.3 の 1 サイクル目, 11 サイクル目および解析結果の荷重-変位関係を示す。安定した履歴ループを描きエネルギー吸収が期待できること、実験と解析との結果はほぼ一致し解析により実験結果を再現できた。

表-3 に U 型鋼製ペローズの疲労試験結果を示す。表には実施した実験の破断回数, 完全破断回数と耐力低下率 10%と 20%時の繰返し回数を示している。実験ケース R80b100t16e21tp8.3 の変位量 $\pm 4.0\delta_y$, $\pm 6.0\delta_y$ について、耐力低下率 10%時の回数は、 $\pm 4.0\delta_y$ の場合 309 回で、 $\pm 6.0\delta_y$ の場合 102 回であった。破断箇所は、両

ケースとも大円部であった。インナープレートおよびアウタープレートの効果により、直線部の集中ひずみが緩和でき大円部で破断した。今後、同サイズの U 型鋼製ペローズに $\pm 1\delta_y \sim \pm 10\delta_y$ までの疲労試験を実施して、S-N 曲線を作成する。つぎに、R60b60t12e20tp6.0 の方法 1 と 2 の曲げ加工方法の相違による性能差を比較する。U 型鋼製ペローズの曲げ加工方法による性能差は耐力低下率 10%時の回数で比較すると、方法 1 の場合 126 回で、方法 2 の場合 70 回であった。また、破断時回数でも比較すると、方法 1 の場合 192 回で、方法 2 の場合 162 回であった。曲げ加工方法の条件として曲げ方や曲げ回数の指針を作成し、同じ曲げ条件にすれば、曲げ加工者が変わっても、疲労強度のバラツキが小さくなると考えられる。

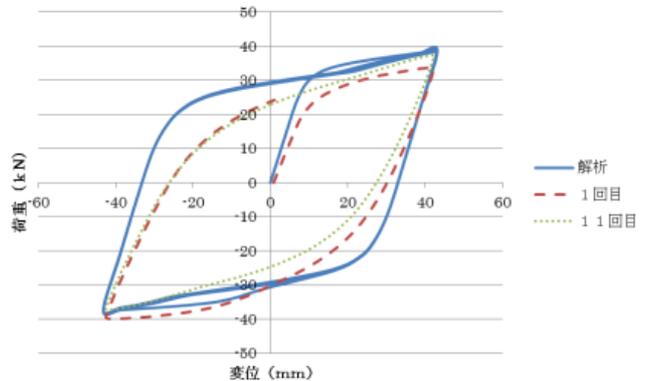


図-2 荷重-変位関係 (R80b100t16e21tp8.3 $\pm 6\delta_y$)

表-3 耐力低下率 10%と 20%時の回数と破断回数

試験ケース	耐力低下率 10%時の回数	耐力低下率 20%時の回数	破断時回数
R80b100t16e21tp8.3 $\pm 4\delta_y$	309	387	391
R80b100t16e21tp8.3 $\pm 6\delta_y$	102	—	117
R60b60t12e20tp6.0 $\pm 4.8\delta_y-1$	126	175	197
R60b60t12e20tp6.0 $\pm 4.8\delta_y-2$	70	160	162

7. まとめ

FEM 解析により疲労試験実施用の U 型鋼製ペローズの形状を決定し、決定した形状の疲労試験および FEM 解析を実施した。今後、さらに同サイズの疲労試験を実施して、S-N 曲線を作成する。曲げ加工方法の相違により疲労強度に若干の差があることがわかった。曲げ加工方法の条件として曲げ方や曲げ回数の指針を作成する予定である。

謝辞：本研究は平成 28 年度科学研究費補助金・基盤研究 (C) (研究代表者：頭井洋, 課題番号：26420469) により実施した。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 田中 賢太郎・頭井 洋・松村 政秀・佐合 大・新名 裕：低サイクル疲労試験による U 型鋼製ペローズの疲労強度, 第 24 回鋼構造年次論文報告集, 日本鋼構造協会, 第 24 巻, 6 Pages, 2016.11.