

低サイクル疲労試験とFEM解析によるU型鋼製ペローズの疲労強度

摂南大学 正会員 田中賢太郎 摂南大学 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

免震化より上部構造の移動量が大きくなり地震時に桁間衝突が生じることが懸念される。そこで、著者らは地震時の桁間衝突を緩和できる制震装置として、エネルギー吸収型桁連結装置(鋼製ペローズ)を桁間に設置する方法を検討してきた。頭井・田中らは、鋼製ペローズの力学的特性を載荷実験¹⁾により明らかにするとともに高架橋への設置効果を解析的に検討し、鋼製ペローズによる桁連結が、地震時の応答変位の低減や桁間衝突の防止に有効であることを明らかにしてきた。ただし、常時の桁の温度伸縮による繰返し変形に対する疲労耐性の向上が課題に挙げられた。そこで、本研究では、桁端部への設置方法を含め従来形状から改良した新型鋼製ペローズ(以降、U型鋼製ペローズ)の疲労耐性を疲労試験により検討している。

2. 従来型およびU型鋼製ペローズ

2. 1 従来型鋼製ペローズ

図-1 に従来型鋼製ペローズの形状と各寸法の記号を示す。鋼製ペローズは、加工半径 $R=100\sim400$ mm の円筒部と $r=50\sim200$ mm の小円部を有する板厚 $t=10\sim30$ mm 程度の曲げ加工した鋼板であり、2枚1組にして摩擦接合により桁端部へ直接取り付ける。この構造では3箇所 R 加工部のいずれかで小さい変位の繰返しによる疲労破断の発生が確認された。

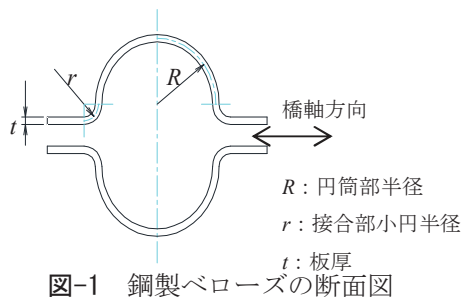
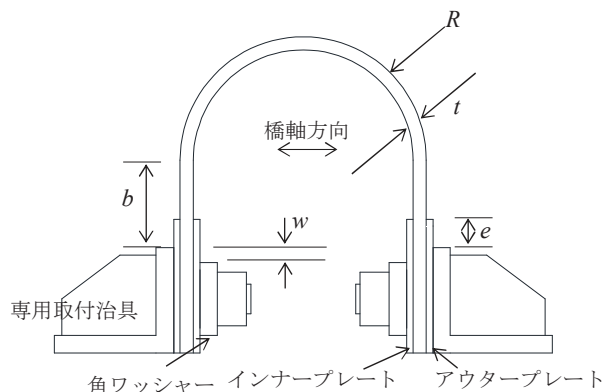


図-1 鋼製ペローズの断面図

2. 2 U型鋼製ペローズ

図-2 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、従来型(図-1)から2箇所 R 加工部を除去したU字型の形状とし、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。



R : 円筒部半径, b : 直線部の長さ, e : 突出長,

t : 板厚, w : 治具面からの距離

図-2 U型鋼製ペローズの各寸法の記号

2. 3 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。載荷には摂南大学が所有する最大荷重 100 kN, ストローク ± 50 mmの疲労試験機を用いる。表-1 および表-2 にU型鋼製ペローズの諸元と固定部のプレート条件を示す²⁾。鋼製ペローズは板厚 $t=9$ mm のLY225を高き 135 mm, $R=80$ mm, $b=65$ mmに加工し、インナー・アウタープレートの板厚は $t_p=4.5$ mmとした。プレートの材質はUB1-30-30とUB2-15-30は普通鋼板, UB4-15-30とUB5-30-30は高強度鋼板である。試験装置上側を固定側とし、下側に引張側から $\pm\delta_y$ ($\delta_y=4$ mm)強制変位を3回与えたのち、 ± 30 mmを破断に至るまで繰返し載荷する。載荷速度は、計測しているひずみ値で $1000\mu/s$ 以下となるように設定した。なお、 w は 10 mm, 角ワッシャーの板厚は 12 mm である。



写真-1 疲労試験の実施状況

キーワード エネルギー吸収型桁連結装置, 疲労強度, 低サイクル疲労試験, FEM解析

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8 摂南大学理工学部都市環境工学科

TEL072-800-1143 E-mail: tanaka@civ.setsunan.ac.jp

表-1 U型鋼製ペローズの諸元と設計降伏変位

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)	設計 降伏 変位 (mm)
R80t9LY225	LY225	80	65	9	135	4.0

表-2 U型鋼製ペローズの固定部プレート

試験ケース名	プレートの突 出長 e (mm)	プレートの材質 (板厚: 4.5 mm)
UB1-30-30	30	普通鋼板
UB2-15-30	15	普通鋼板
UB4-15-30	15	高強度鋼板
UB5-30-30	30	高強度鋼板

2. 4 U型鋼製ペローズのFEM解析

ANSYS16.0 を用いる FEM 解析では 2 次元平面ひずみを仮定し、四角形 8 節点ひずみ要素により実験供試体をモデル化し、片方に強制変位を与えた。

3. 疲労試験および FEM 解析の結果

図-3 には 1 サイクル目の荷重-変位関係を示す。新形状であっても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ることが確認できる。繰返し载荷後の破断箇所は、UB1-30-30 は直線部、UB2-15-30、UB4-15-30、UB5-30-30 は円筒部中央であった。図-4 に耐力低下率を示す。横軸が繰返し回数、縦軸が 1 サイクル目からの最大荷重の低下を表す耐力低下率である。図より、耐力低下率が 10% までは低下率がほぼ横ばいで推移しており、それ以降は耐力低下していることがわかる。今回、耐力低下率 10% の時点で比較すると、耐力低下率が 10% となる繰返し回数は、UB1-30-30 が 262 回、UB2-15-30 が 280 回、UB4-15-30 が 278 回、UB5-30-30 が 240 回となり、UB2-15-30 UB4-15-30 で振幅回数が多い結果となる。

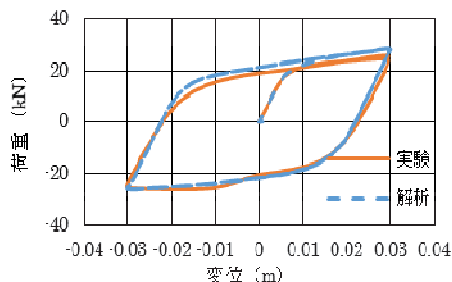


図-3 荷重-変位関係 (UB5-30-30)

図-5 に累積エネルギー吸収量を示す。UB1-30-30、UB2-15-30 が若干高い値となったが、破断箇所によらずほぼ同程度のエネルギー吸収量が期待できる。ただし、繰返し荷重に対する疲労寿命の評価がする上で、作用するひずみ振幅の算定が容易な円筒部中央に疲労損傷が生じることが望ましい。FEM 解析結果によると、直線部で破断した UB1-30-30 以外にも、固定度が高い UB2-15-30 は最大ひずみが直線部で生じた。一方、

UB5-30-30 ではインナープレートおよびアウタープレートともに変形が小さく、最大・最小塑性ひずみが円筒部中央で生じ、疲労試験においても円筒部中央で破断したと推察される。

以上より、U 型鋼製ペローズ固定部の固定方法が破断箇所の決定に影響を及ぼし、円筒中央部で確実に破断させるためには、実施範囲内では UB5-30-30 の固定条件が最良であると考えられる。

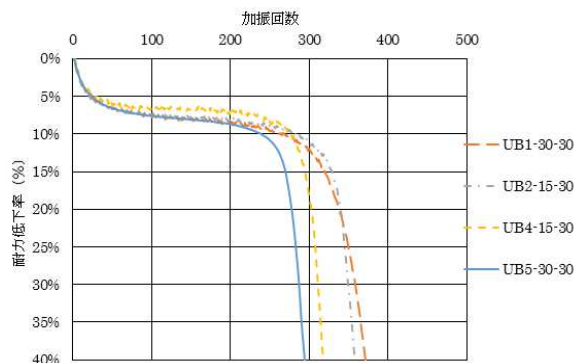


図-4 耐力低下率

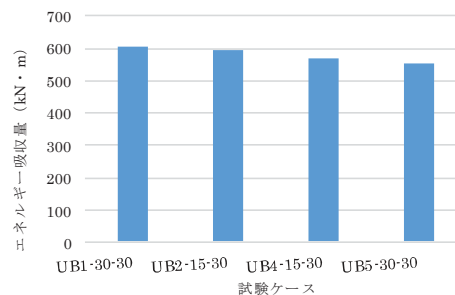


図-5 累積エネルギー吸収量

4. まとめ

本研究では、これまで検討してきた鋼製ペローズの疲労強度を上昇させることを目的に、形状を改良した U 型鋼製ペローズの疲労試験を実施した。形状を改良し、固定条件を工夫することにより、最大と最小の塑性ひずみの発生位置は直線部から円筒部中央となり、実際の破断も円筒部中央で発生した。今後の予定として、残留ひずみ除去のため焼鈍をした場合、プレートの最適な突出量 e や種々の鋼材を用いたケースも検討し、疲労損傷評価法を提案する予定である。

謝辞: 本研究は平成 27 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) 頭井 洋・大谷 修・岡本安弘: エネルギー吸収型桁連結装置としての鋼製ペローズの力学的特性, 鋼構造論文集, 第 9 巻, 第 34 号, pp. 77-86, 日本鋼構造協会, 2002. 6
- 2) 頭井 洋・田中賢太郎・松村政秀・佐合 大・新名 裕: 地震動と温度伸縮の影響を受けるエネルギー吸収型桁連結装置 (新型鋼製ペローズ) の FEM 解析による形状検討, 第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.97-102, 土木学会, 2015.7.