

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420469

研究課題名(和文) 桁橋制震装置の常時および地震時の疲労強度設計法に関する研究

研究課題名(英文) Studies on a design method for fatigue strength of seismic control devices for girder bridges at the ordinary and seismic times

研究代表者

頭井 洋 (Zui, Hiroshi)

摂南大学・理工学部・教授

研究者番号：30236062

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：鋼桁の制震装置ペローズの製品化を目指し、降伏点の上下限値が定められているSN490鋼材を用い桁の温度伸縮および大地震時の軸方向低サイクル疲労強度に関する疲労強度実験を実施し、疲労損傷評価の基礎となる疲労強度曲線SN線図を作成した。小円と大円部を有する従来型に関しては板曲げ加工により生じる残留応力除去焼鈍し(SR処理)により疲労強度の向上が図れること、小円部を無くしリブ付補強板で固定するU字型ペローズについては円筒部半径と板厚との比を5程度にすればSR処理なしでもSR処理した従来型と同等の疲労強度を有することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Fatigue experiments of steel bellows as one of seismic devices for steel girder bridges were carried out and SN curves were obtained covering a wide range from the low cycle to the very low cycle for deformations due to temperature expansions of girders and L2 earthquakes. SN490 Steel materials with the stipulated upper and lower limit points of yield strength are used aiming manufactures. Fatigue strength is improved by means of residual stress relieving (SR) regarding the conventional Omega shape bellows having a large and two small cylinders. However, the new type U shape bellows consisted only a large cylinder have the same fatigue strength even for without SR as the stress relieved Omega shape bellows if the ratio of the radius of the cylinder and thickness is over 5.

研究分野：工学 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：桁橋 制震装置 桁間衝突 低サイクル疲労強度 疲労損傷評価 桁の温度伸縮

1. 研究開始当初の背景

(1) 桁橋の耐震性を向上する手段として、桁端部の衝突や橋脚・基礎に作用する地震力の低減を図るべく、桁間あるいは桁・橋台間に制震装置鋼製ベローズを設置する制震法を開発してきた。鋼製ベローズ単体の載荷実験や解析により、桁軸方向および桁軸直角方向の荷重変位履歴特性や終局強度特性を明らかにし、鋼桁橋に鋼製ベローズを適用することにより上部構造に生じる水平変位や橋脚に作用する水平地震力を大きく低減できることなど制震デバイスとしての有効性を示してきた。材料強度とベローズ寸法より降伏強度や降伏変位を求める設計式も提案した。橋の耐用年数の間に生じる桁の温度伸縮に対する疲労強度を保証し、かつ、上部構造の地震時変位を伸縮装置の遊間内に抑え桁間衝突を生じさせない制震機能の両面から最適なベローズの寸法諸元を選択する設計法として、1次モード応答が支配的な単純桁や連続桁の橋軸方向に関し、ベローズの最適な構造諸元を求める設計法も提案した。

(2) ベローズの軸方向疲労強度実験を実施し、小円部の半径と板厚の比 r/t が小さいほど、製作時の板曲げ加工による残留ひずみが大きくなり疲労強度が低下すること、極低サイクル疲労強度は、 r/t や材料強度により異なり、一つの疲労曲線で表現できないことを明らかにしてきた。

2. 研究の目的

(1) 既設および新設桁橋を対象に、レベル2クラスの大地震に対し、橋脚・基礎に作用する地震力を低減させ、かつ上部構造に生じる地震時変位を伸縮装置の伸縮可能範囲内に抑える桁橋用制震デバイスの実用化を図る。そのため、大円部と小円部とを有する既提案のΩ型ベローズについては大円半径 R と小円半径 r の比 R/r を、小円部をなくし固定リブとインナーとアウトプレート挿入した改良U型ベローズについては直線部長さとインナーとアウトプレートの突出長を最適化した諸元を有するΩ型ベローズとU型ベローズのそれぞれについて、降伏点の上下限値が定められたSN鋼材を用いた試験体を製作し、桁軸方向の荷重変位履歴特性および低サイクル疲労強度特性を実験より明らかにする。桁軸直角方向疲労試験および曲げ疲労実験も実施し、それぞれの疲労特性を明らかにする。

(2) (1)の成果をもとに制震デバイスの実用的な設計法を確立する。そして、比較的低コストで使用実績もある伸縮装置と併用して、上部構造に生じる地震時変位を伸縮装置の伸縮可能範囲内に抑える制震デバイスの実用化を目指す。

3. 研究の方法

(1) Ω型ベローズについては大円半径 R と小円半径 r の比 R/r をパラメータとし、小円

部をなくし固定リブとインナーとアウトプレート挿入した改良U型ベローズについては直線部長さ b とインナーとアウトプレートの突出長 c をパラメータとしてFEM計算により最適形状を決定する。最適化した諸元を有するΩ型ベローズとU型ベローズのそれぞれについて、降伏点の上下限値が定められたSN鋼材を用いた試験体を製作し、桁軸方向の荷重変位履歴特性および低サイクル疲労実験を実施する。Ω型ベローズとU型ベローズのそれぞれについて板曲げ加工により生じる残留応力除去焼鈍 (SR処理) した試験体の疲労実験を実施し、疲労強度改善効果を明らかにする。ベローズの鋼材として、降伏点の上下限値が定められたSN鋼材を用いる。

(2) ベローズの軸直角方向の疲労試験と曲げ載荷疲労実験も実施し、軸直角方向や微小な鉛直変位と曲げ回転変位も生じる場合の疲労特性を明らかにする。これらの成果を反映して、ベローズの疲労強度設計法を開発する。

4. 研究成果

(1) 小円部をなくし、応力集中緩和用のインナープレートおよびアウトプレートを用いることで疲労強度向上を目的としたU型鋼製ベローズは従来のΩ型に比べ、最大発生ひずみが円筒部や直線部に分散して生じ、ひずみ値が大幅に低減できる。その効果により、疲労強度を上昇させることが可能になる。図-1にU型およびΩ型 (BE) 鋼製ベローズの疲労実験より得られた耐力低下率の例を示す。耐力低下率の定義は、実験により得られた荷重振幅の最大値からの荷重低下を示している。いずれも、焼鈍し処理はしていない。同図より、U型の耐力低下率はΩ型に比べかなり改善していることが確認できる。小円と大円部を有する従来型 (Ω型) ベローズの試験体に関しては大円半径 R と小円半径 r との比 R/r を1に近づけたベローズの軸方向疲労実験を実施し、 t/r 比が小さい場合疲労強度は大きく t/r 比が大きくなると疲労強度は低下することを明らかにした。

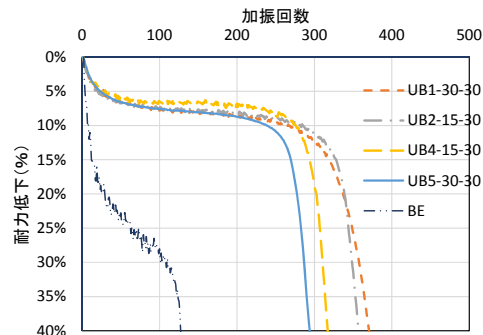


図1 耐力低下率の比較
(ともにSR処理なし)

(2) 小型化するにはベローズ板厚 t と小円半径 r の比 t/r 比を大きくする必要があり、

曲げ加工により生じる残留応力を除去するため焼鈍し(SR)処理することにより疲労強度の向上が図れることを明らかにした。図-2にΩ型ベローズのSR処理なしの場合(NSR)とSR処理あり(SR)それぞれの疲労実験より得られた耐力低下率の例を示す。同図より、SR処理ありの耐力低下率はSR処理なしの場合に比べかなり改善していることが確認できる。

小円部を無くしリブ付補強板で固定するU字型ベローズについても、インナープレートやアウタープレートの突出幅や板厚を最適化した試験体を用い、焼鈍し処理なしでも疲労強度は焼鈍し処理したΩ型ベローズと同等以上であることを明らかにした。

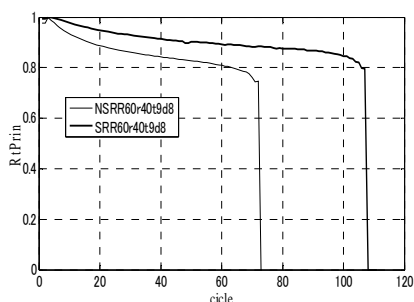


図2 耐力低下率の比較
(従来型SRありとなし)

(3) 常時の桁の温度伸縮から大地震時の極低サイクル疲労まで幅広い領域をカバーする疲労強度実験を実施し、疲労強度曲線SN線図を作成した。ベローズの材料として降伏点の上下限值が定められているSN鋼材を用いた。テーパ加工をほどこしたアルミ合金製ベローズについても疲労実験を実施して疲労強度曲線SN線図を求めた。

(4) 以上の(1)～(3)までのベローズ軸方向の基本性能実験に加え、ベローズ軸直角方向の疲労試験と曲げ載荷疲労実験も限られた実験ケースではあるが実施し、軸直角方向や微小な鉛直変位と曲げ回転変位も生じる場合の疲労特性を調べた。

(5) 得られた疲労強度曲線SN線図に基づき、常時の桁の温度伸縮に対する疲労強度評価を行い、適切なサイズを選定すれば疲労強度に問題がないことを示した。大地震時の極低サイクル疲労強度についても得られた疲労強度曲線SN線図とマイナー則を用い、地震動による変動振幅に対する疲労強度評価を行う方法を示した。

(6) 最終年度に得られた成果を公表するため論文に取り纏め途中である。製品化の基礎となる技術は確立できたので、今後品質管理で要求される性能試験に取り組む予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2件)

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型鋼製ベローズの疲労強度t

第24回鋼構造年次論文報告集, 日本鋼構造協会, 第24巻, 2016.11 査読有

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(新型鋼製ベローズ)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, 土木学会, 2015.7, 97-102

〔学会発表〕(計 5件)

1) 田中賢太郎・頭井洋・松村政秀・佐合大・新名裕

疲労試験およびFEM解析によるU型鋼製ベローズの疲労強度の検討

土木学会第72回年次学術講演会講演概要集, 2017.9

2) 内山昌哉・田中賢太郎・頭井洋・松村政秀・佐合大

土木学会第72回年次学術講演会講演概要集, 2017.9

3) Ahmed Arafat・Hiroshi Zui・Kentaro Tanaka・Masahide Matsumura・Kunitomo Sugiura

CYCLIC LOADING TEST OF U-SHAPED STEEL BELLOW DAMPERS AS ENERGY ABSORBERS FOR BRIDGES

JSCE 2017 Annual Meeting 2017.9.

4) 頭井洋・田中賢太郎・斉藤栄徳

橋桁制震ダンパーベローズへのアルミ合金の適用性

土木学会第71回年次学術講演会講演概要集 2016.9.8

5) 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とFEM解析によるU型鋼製ベローズの疲労強度

土木学会第71回年次学術講演会講演概要集 2016.9.8

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 1 件)

名称：鋼製ベローズ型ダンパー
発明者：頭井洋・田中賢太郎・松村正秀・佐合大・吉田雅彦
権利者：(学) 常翔学園・(学) 大阪市立大学・高田機工 (株)・(株) 川金コアテック
種類：特許
番号：特願 2013-264892
取得年月日：2017 年 2 月 17 日
国内外の別：国内

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者 頭井 洋

(ZUI Hiroshi)

摂南大学・理工学部・教授

研究者番号：30236062

(2) 研究分担者 松村 政秀

(MATSUMURA Masahide)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60315976

(3) 研究分担者 田中賢太郎

(TANAKA Kentaro)

摂南大学・理工学部・准教授

研究者番号：50529724

(4) 研究協力者

()