

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560580

研究課題名(和文) 桁橋制震装置の載荷および疲労実験と設計法に関する研究

研究課題名(英文) Studies on loading and fatigue experiments, and a design method of seismic control devices for girder bridges

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) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：単純桁や連続桁の制震装置鋼製ベローズについて、桁の温度伸縮と疲労強度に配慮して大地震時最大応答変位を制御する最適な構造諸元を求める設計法を提案した。ベローズの水平2方向同時載荷実験を実施し単軸載荷時と比較して、強度低下の程度を把握した。種々鋼材から製作したベローズの軸方向疲労強度実験を実施し、基礎的な疲労強度特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A design method to decide suitable structure specifications of steel bellows was suggested for simple girders and continuous girders. This design method makes it possible to use comparatively small bellows by setting the largest response displacement caused by big earthquakes in consideration for the temperature expansion of girders and fatigue strength of bellows. Simultaneous loading experiments were carried out and degree of strength degradation is grasped in comparison with single axial loading experiments. Axial direction fatigue tests were carried out using various bellows made of different steel materials, and fundamental characteristics of fatigue strength of bellows are obtained.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：基盤研究(C) 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 2方向載荷実験 低サイクル疲労強度 桁の温度伸縮

1. 研究開始当初の背景

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-橋台間に制振装置を設置する制震法を開発してきた。それまでの研究により、桁連結装置としての鋼製ペローズ単体の載荷実験や解析により、橋軸方向載荷時の荷重変位履歴特性や終局強度特性を明らかにし、鋼桁橋に鋼製ペローズを適用することにより上部構造に生じる橋軸方向の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。橋軸方向に加え軸直角方向の荷重変位履歴特性や終局強度特性および面内曲げ変形特性を実験と解析により検討し、設計式も提案した。そして、橋軸直角方向にも橋軸方向の50%程度の制震機能を期待できることや、極低サイクル疲労強度についても検討してきた。これらの研究により、橋軸方向および橋軸直角方向それぞれのペローズ単体の荷重変位履歴特性や終局強度特性および面内曲げ変形特性を明らかにしてきた。さらに、道路伸縮装置と機能を一体化したペローズの制震機能やペローズの低サイクル疲労強度および非線形動的解析によるペローズの制震効果を中心に研究を進め、次のような知見を得ていた。伸縮装置のコストを抑えるには、上部構造の地震時変位を小さくすることが望ましい。最大応答変位を小さく抑えるには高強度・高剛性の制震装置にする必要がある。また、桁の温度伸縮に対応するため、制震装置設置側は温度固定とし、他の端側を温度可動にするため、制震装置設置側の橋台に作用する地震力が大きくなる。一方、低サイクル疲労試験の結果から、ペローズの疲労強度はかなり高く、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、制震機能の両面から最適なペローズの配置を選択する必要がある。

2. 研究の目的

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、既提案の桁端部連結装置としての利用に加え、新たに桁と橋台ないし橋脚とを連結する鋼製ペローズを制震装置として用いる方法に関し、水平1方向単軸載荷時および水平2方向同時載荷時の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こと、その数値モデルの作成、これらの成果をふまえて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low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

橋台（橋脚）および桁との連結部を含む鋼製ペローズの部分模型を用い、軸方向と軸直角方向の単軸載荷実験を実施し、単軸載荷時の荷重変位履歴特性や終局強度特性および疲労強度特性を明らかにする。載荷方向は、橋軸直角と橋軸の各方向（ペローズの軸方向および軸直角方向）のそれぞれと2方向同時載荷について、繰り返し履歴載荷実験を行う。

さらに、軸方向と軸直角方向のペローズから構成される部分模型を用い、単軸および2軸同時載荷実験を実施し、2方向のペローズから構成される制震装置の荷重変位履歴特性や終局強度特性を明らかにする。

ペローズ試験体として、上部構造変位を数10mm以内に抑える高剛性・高強度と100mm～200mm以内に抑える中剛性・中強度の2種を用いる。

載荷実験と平行して、橋台および桁との結合部を含む橋軸直角用鋼製ペローズの3次元FEMによる数値解析を行う。さらに、桁の温度伸縮と制震機能の両面から最適なペローズの配置を選択する実用的な設計法を確立する。

4. 研究成果

1次モード応答が支配的な両端が橋台で支持された単純桁や連続桁の橋軸方向に関し、常時の桁の温度伸縮に対するペローズの設計法およびペローズ設置時における桁の地震時最大応答変位推定法を提案した。提案した設計式と最大応答変位推定法に基づき、ペローズの最適な構造諸元を求めることが可能になった。そして、桁の温度伸縮と疲労強度に配慮して大地震時最大応答変位と設計降伏変位とを定めることにより比較的小型のペローズを用いることが可能になることを示した。さらに、この簡易法を用いて、桁の温度伸縮に対する所要の疲労強度と制震性能を確保するために必要なペローズ諸元と桁長との関係を整理した。そして、支間長を変化させた単純桁と連続桁数ケースについて、簡易法を用いて求めた諸元を有するペローズを適用した非線形応答解析を実施し、簡易法と比較し、その妥当性を検証した。図1にその一例を示す。推定値は地盤種別II、IIIの値が地盤種別Iの値に比べやや大きくなっているが、解析結果平均値では地盤種別による差はあまり見られない。いずれのケースでも、推定値は解析結果の平均値を上回り安全側になっている。

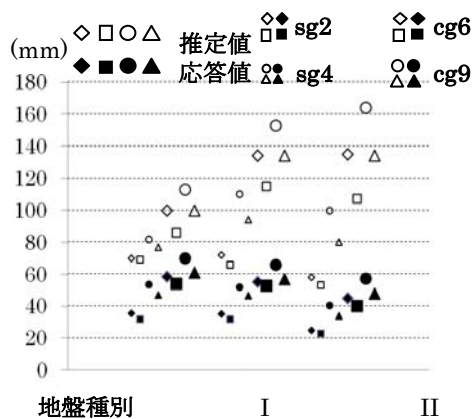


図1 ペローズ最大相対変位の推定値と応答値
(レベル2 TypeII 標準地震波3波平均)

橋台（橋脚）および桁との連結部を含む鋼製ペローズの部分模型を用い、軸方向と軸直角方向の単独載荷実験および水平2方向同時載荷実験を実施し単軸載荷時と比較して、強度低下の程度を把握した。2方向同時載荷すると、単独載荷に比べ強度低下はするがそれほど大きくはないことを確認した。また、2次元および3次元 FEM 数値解析と比較し、実験結果とほぼ対応することを確認した。さらに、極低サイクル疲労強度を明らかにするため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た。さらに、交通荷重により鋼製ペローズおよび桁に生じる応力を検討し、高剛性のペローズでは疲労損傷の可能性があることがわかった。

別途、小型鋼製ペローズを対象に、大振幅を与える静的繰返し変位載荷実験を行い、荷重変位関係、エネルギー吸収量を検討した。そして、鋼種によらず ± 50 mm程度の繰返し振幅であれば安定したエネルギー吸収が期待できること、引張側の大変位載荷時には鋼製ペローズの扁平化とそれに伴う小円部におけるひずみ硬化による荷重の上昇が顕著となること、FEM 解析により鋼製ペローズの荷重変位関係およびエネルギー吸収量を近似するには曲げ加工に伴う降伏点の上昇を考慮することが必要なことなどがわかった。

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 3件)

① 種々鋼材から製作した小型ペローズの繰返し軸方向変位載荷実験

松村 政秀・田中 賢太郎・頭井 洋・山口 隆司

第 21 回鋼構造年次論文報告集, 日本鋼構造協会, 第 21 巻, 2013.11 概要査読有

② 桁制震装置の桁温度伸縮に対する一設計法と最大応答変位予測法

頭井 洋・田中賢太郎・松村政秀・吉田雅彦・佐合 大

鋼構造論文集, 日本鋼構造協会, 第 19 巻 75 号 pp.41-53, 2012.9 査読有

③ 種々の鋼材を用いる鋼製ペローズの静的繰返し軸方向変位載荷実験

平原 慎也・田中 賢太郎・頭井 洋・松村 政秀

第 19 回鋼構造年次論文報告集, 日本鋼構造協会, 第 19 巻, pp.395-402, 2011.11 概要査読有

[学会発表] (計 6 件)

① 異なる鋼材から製作した小型鋼製ペローズの繰返し軸方向載荷実験

平原慎也 松村政秀 田中賢太郎 頭井洋 山口隆司

土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, I-094, 2013.9 9月5日

② 常時の温度変化を想定した変動振幅が生じるエネルギー吸収型制震装置の疲労寿命について

田中賢太郎・頭井 洋・北原武嗣・松村政秀・佐合 大・吉田雅彦

土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, I-115, 2013.9 9月6日

③ 上部構造桁の温度伸縮の影響を受けるエネルギー吸収型桁連結装置の疲労寿命に関する検討

倉持伸伍・平島知弥・田中賢太郎・北原武嗣・頭井 洋・松村政秀・吉田雅彦

土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集第 I-418, 2012.9

④ 橋桁用制震装置（鋼製ペローズ）の活荷重による疲労強度に関する検討

頭井 洋・大喜田好美・平坂昭人・田中賢太郎

土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, I-421, 2012.9

⑤ エネルギー吸収型桁連結装置の低サイクル疲労寿命予測についての一考察

倉持伸伍・田中賢太郎・北原 武嗣・頭井洋・松村政秀・吉田雅彦

土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, I-368 2011.9 pp.735-736

⑥ 軸方向および直角方向変位を載荷する鋼製ペローズの静的繰返し実験

平原 慎也・松村 政秀・頭井 洋・田中賢

太郎・山口 隆司

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(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
出願年月日：2013 年 12 月 24 日
国内外の別：国内

○取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

- (1) 研究代表者 **頭井 洋**
(摂南大学理工学部都市環境工学科)
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**
(大阪市立大学工学研究科)
大阪市立大学・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** 疲労
実験の
(摂南大学理工学部都市環境工学科)
摂南大学・理工学部・講師
研究者番号：50529724