

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

撰南大学 正会員 田中賢太郎 撰南大学 正会員 頭井 洋
 関東学院大学 正会員 北原 武嗣 大阪市立大学大学院 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 吉田 雅彦

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、高架橋では免震支承が多用され、減衰効果の付加などにより、耐震性能の向上が図られているが、上部構造の応答変位の増大を招き、大地震時に桁間衝突が生じる可能性もある。これまで、エネルギー吸収型の制震装置として鋼製ベローズの適用性を検討している。鋼製ベローズは、引張側と圧縮側との両方にエネルギー吸収性能を有しており、高力ボルトを用いて桁に連結するタイプの制震装置である。そのため、上部構造桁の温度変化による桁伸縮の影響が生じる。したがって、桁に連結するタイプの鋼製ベローズは、大地震時の繰り返し変形に加え、常時の温度変化による疲労損傷の検討が必要になる。

そこで本研究では、温度変化により生じる変位量に着目して、鋼製ベローズの疲労損傷について検討する。

2. 耐用期間における温度変化および疲労試験の概要
 2.1 耐用期間における温度変化について

図-1 (a) および (b) には、耐用期間の気温変化により生じる変動パターンを示す。桁に連結するタイプの制震装置は、設置する時期によって常時の桁の温度伸縮による影響が異なる。図-1 (a) は、平均的な気温(15℃~20℃程度)の時間に設置した場合、最高気温が40℃程度の真夏には塑性域にシフトした状態で弾性範囲内のひずみ ϵ_1 が生じ、さらに1年間に1回の変動ひずみ ϵ_2 が生じる。図-1 (b) には、気温が高い時刻に設置した場合、気温が低くなれば1年間に1回の変動ひずみ ϵ_3 が生じ、塑性域にシフトした状態で弾性範囲内のひずみ ϵ_4 が生じる。なお、ひずみ ϵ_1 およびひずみ ϵ_4 は、1日ごとに生じるひずみ変化を示す。

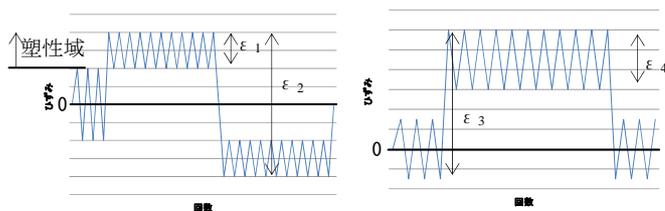
表-1 に、1年間の気温変化の回数を示す。平均的な温度変化の回数を把握するために、過去の気象データ¹⁾より、2001年から2010年までの東京、大阪、札幌、福岡の4つの都市を調べた。各都市において、日毎の最高気温と最低気温との差を、0~5℃、5~10℃、10~15℃、15~20℃の4グループに分類しその回数の10年間の平均を求めた。

2.2 鋼製ベローズ諸元の設計法

常時の桁の温度伸縮により、鋼製ベローズに大きな塑性ひずみが生じないように寸法を決定する。設計降伏変位 u_{yd} を既存の設計式により算出する。荷重-変位関係は初降伏変位 u_{yi} の2倍までほぼ線形性を保つこ

とより、設計降伏変位 u_{yd} として初降伏変位 u_{yi} の2倍を採用する²⁾。

鋼製ベローズは、自由に寸法を決定できるので、常時の温度変化の影響を小さくすることは可能であるが、設置スペースとの関係で寸法をあまり大きくすることはできない。一方、小型化した場合は、局部的に弾性範囲を超えるようなひずみが生じる。そこで、気温変化の頻度が高い10℃以内については、鋼製ベローズに塑性ひずみが生じないように、設計降伏変位 u_{yd} が桁の温度伸縮量より大きくなるように鋼製ベローズの諸元を決める。そして、年間を通じての大振幅や頻度の少ない温度変化について、疲労損傷が問題にならないかを検討する。



(a) 平均的な気温の場合 (b) 気温が高い時期に設置する場合
 図-1 耐用期間の気温変化によるひずみ変動パターン

表-1 気温変化の回数(2001~2010年の平均)

温度変化	東京	大阪	札幌	福岡
0~5℃	77	49	78	71
5~10℃	248	246	213	236
10~15℃	39	69	70	57
15~20℃	1	1	4	1

2.3 鋼製ベローズの疲労試験の概要

写真-1 には、鋼製ベローズの疲労試験の実施状況を示す。撰南大学が所有している最大荷重100kN、ストローク±50mmの疲労試験機を用いて実施した。図-1 (a) および (b) に示す1年間の気温変化により生じると想定した変位の変動パターンの繰り返し変位振幅を与える疲労試験を行った。試験では、荷重、ひずみ、および鋼製ベローズの変位量を計測した。

図-2 および表-2 に、本検討に用いた鋼製ベローズの断面図および諸元、設計降伏変位を示す。表-2 に示す本実験の鋼製ベローズは、40m程度の単純桁橋に用いられる寸法になる。

耐用期間中に日本の平均的な地域での最高気温は38℃、最低気温は-2℃の範囲内がほとんどで全振幅

キーワード 鋼製ベローズ, エネルギー吸収型制震装置, 疲労寿命, 桁伸縮, 変動振幅
 連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8 撰南大学理工学部都市環境工学科
 TEL072-800-1143 E-mail : tanaka@civ.setsunan.ac.jp

40℃となる。与えた変位の変動パターンは図-1に示すように、鋼製ペローズの設置時期の違いを考慮して設定した。図-3のように载荷パターンAとして、1日の温度変化10℃により、±2mm程度の伸縮が生じ、1年間の回数は300回程度になる。さらに、1年間に1回の頻度の片振幅20℃(全振幅40℃)による±8mmの変位が生じるとした。一方、载荷パターンBとして、気温が高い夏季設置を考慮して引張側に9mmシフトし、頻度の少ない(1年間に70回程度)15℃の温度変化による平均±3mm程度の伸縮が生じるとした。



写真-1 疲労試験の実施状況

表-2 鋼製ペローズの諸元と設計降伏変位(mm)

モデル名	鋼種	円筒部半径 R	接合部小円半径 r	板厚 t	高さ	設計降伏変位
R80t9sm400	SM400	80	20	9	100	4.0

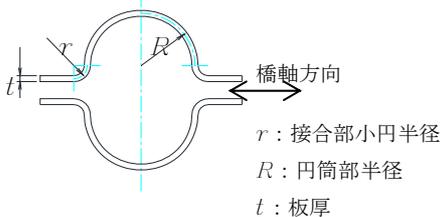


図-2 鋼製ペローズの断面図

3. 疲労試験および解析結果

3.1 疲労試験の結果

変動パターンAでは、最初変位振幅±4mm、±8mm、±2mmの変化を3回繰り返した後、平均変位6mmで±2mmの変化を破断するまで繰り返し与えた。その結果、±2mmが120664回で10%耐力低下した。変動パターンBでは、変位振幅±4mm、12mm~-3mm、±3mmの変化を3回繰り返した後、平均変位9mmで±3mmの変化を破断するまで繰り返し与えた。その結果、±3mmが27055回で10%耐力低下した。

破断箇所は、各ケースともFEM解析で最大ひずみが生じるボルト固定端側の接合部から接合部小円にさしかかる箇所であった。

破断回数(10%耐力低下時)を見ると、変動パターンAでは、鋼製ペローズの耐用年数を30年間とした場合、頻度の高い±2mmの温度伸縮について安全率は10倍となり、疲労強度としては問題ないことが確認できた。また、変動パターンBについて、塑性ひずみが生じるような1年間に数十回の±3mmの温度伸縮について安全率が10倍となり、疲労強度としては問題ないことが確認できた。

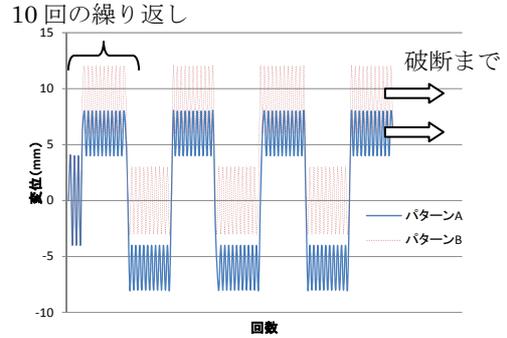


図-3 疲労試験の载荷経路

3.2 有限要素法解析(荷重-変位曲線)

汎用有限要素法解析ソフトANSYS13.0を使用し、平面ひずみ要素を用いて解析を行った。材料特性は、引張試験より求め、材料モデルの硬化則は、移動硬化則を用いて、バイリニア型の特性を仮定し、2次勾配はヤング率の1/100と仮定した。メッシュ分割は、板厚方向に対して10分割し強制変位を与えた。図-4には、縦軸に鋼製ペローズ反力(kN)、横軸に変位(mm)を示している。代表として、変動パターンAの結果を示す。履歴ループの形状、最大荷重値、荷重振幅ともにおおむね再現できていることがわかる。しかし、FEM解析には、塑性加工の影響を考慮していないために、鋼製ペローズ反力に差が生じたと考えられる。

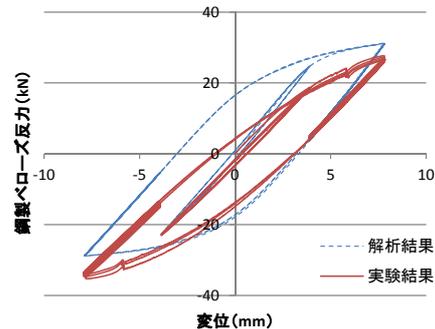


図-4 実験と解析との比較(変動パターンA)

4. まとめ

本研究では、桁に連結するタイプの鋼製ペローズについて、常時の温度変化により桁の伸縮が生じた場合、耐用期間に生じる変位量に着目して変動振幅下における疲労試験を実施した。

鋼製ペローズの耐用年数を30年間とした場合、疲労強度として安全率が10倍と十分高いことが確認できた。

謝辞: 本研究の一部は平成24年度科学研究費補助金・若手研究(B)(研究代表者: 田中賢太郎, 課題番号: 23760433)の助成を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 2) 頭井洋, 田中賢太郎, 松村政秀, 吉田雅彦, 佐合大: 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, 鋼構造論文集, Vol.19, No.75, pp.41-53, 2012.9.