

地震動に対するベローズダンパーの疲労損傷評価に関する一検討

摂南大学大学院 学生会員 ○内山昌哉
 正会員 頭井洋
 高田機工株式会社 正会員 佐合大

摂南大学 正会員 田中賢太郎
 京都大学大学院 正会員 松村政秀
 株式会社川金コアテック 正会員 姫野岳彦

1. はじめに

桁端部における地震時の変位を低減し衝突を防止する制震方法として、鋼製ベローズダンパーの実用化が検討されている¹⁾。熊本地震では複数回に渡り強地震動が発生し、東北地方太平洋沖地震では1分以上強い揺れが続いた。これらに対しても疲労損傷を生じない制震装置が必要となっている。

本研究では、20m-20mの支間長を有する単純桁2連の橋梁を対象に非線形動的解析を行い、疲労試験²⁾より得られたベローズの累積塑性変位と動的解析の結果とを用いたベローズの疲労損傷に対する安全性を検討する。

2. 解析モデルの概要

これまでの研究²⁾により、ベローズの設計降伏変位を片振幅 10℃ないし 15℃の温度変化に対する桁温度伸縮以上に設定すれば、疲労損傷は生じないことが確認されている。ここでは、より安全側に桁の温度伸縮量を片振幅 30℃で計算し、U 型鋼製ベローズ(図-1)の設計降伏変位を $\delta_y=7.2\text{mm}$ に設定する。

図-2 に解析モデル図を示す。ベローズは橋桁間あるいは桁端部と橋台間に設置する。目標最大相対変位は、ベローズの許容最大変位 $10\delta_y$ として 70mm に設定した。図-6 に示すように、安全側の設定になっている。地盤種別は I 種地盤を想定し、入力地震波はレベル 2 Type I および Type II 標準地震波を 3 波ずつ用いた。ベローズの荷重変位関係はバイリニア型の非線形ばねで表す。支承はゴム支承とした。

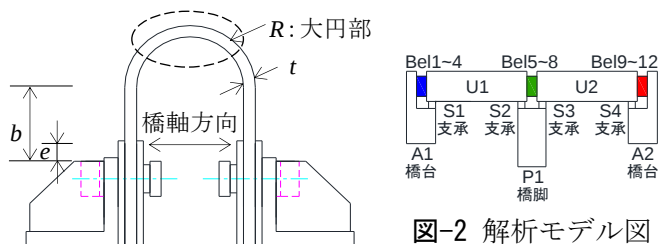


図-1 U 型鋼製ベローズの形状

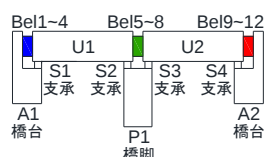


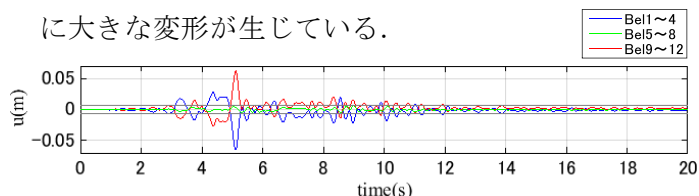
図-2 解析モデル図

3. 解析結果

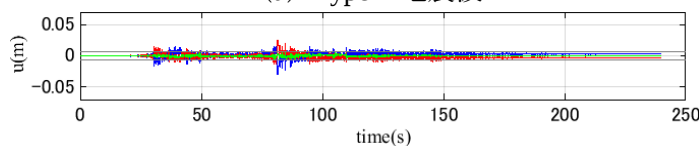
最大相対変位を 70mm に抑えるには、合計上部構造重量の 0.45 倍の降伏強度をもつベローズが必要になる³⁾。これを基にベローズの降伏強度を設定した。

図-3 にベローズの時刻歴応答波形の例 (Type II 3 波, Type I 3 波) を示す。横軸に時間を、縦軸にベローズの変位を示す。変位 0mm 近傍の 2 直線は、設計降伏変位 δ_y を示す。Type II 地震波では、桁端部と橋台間のベローズに約 70mm の変位 ($10\delta_y$ 相当) が一度生じている。Type I 地震波では、ベローズの変形はほぼ設計降伏変位 δ_y 内に収まっているが、80s 付近で約 30mm の変位 ($4\delta_y$ 相当) が生じている。

図-4 にベローズの荷重変位関係の例 (Type II 3 波) を示す。橋桁間のベローズ (Bel5~8) の変形は小さく、桁端部と橋台間のベローズ (Bel1~4, Bel9~12) に大きな変形が生じている。



(a) Type II 地震波



(b) Type I 地震波

図-3 ベローズの時刻歴応答波形の例

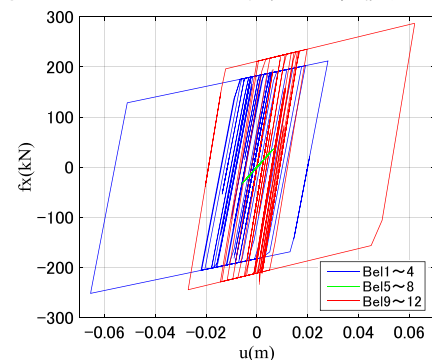


図-4 ベローズの荷重変位関係の例

キーワード 制震装置, 鋼製ベローズ, 橋軸方向, 疲労損傷評価

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

TEL : 072-800-1143 E-mail : tanaka@civ.setsunan.ac.jp

4. ベローズの疲労損傷評価

図-5 に示すように、2 次勾配（塑性域）の変位を塑性変位として抽出し、これらを合計して累積塑性変位を算出する。ベローズの R/t 値が大きいほど、剛性が小さくなり柔な挙動を示すため、塑性変位は小さくなる。一方、 R/b 値が小さいほど、塑性変位は小さくなり、 R/t 値による影響と逆の傾向を示す。一定振幅の疲労試験では、半サイクルの塑性変位成分は加振変位片振幅の 2 倍から設計降伏変位 δ_y の 2 倍を引いたものになる。これを 2 倍して 1 サイクル分とし、疲労試験より求めたエネルギー吸収量 70% 時の疲労寿命回数に乗じることにより、累積塑性変位を求めた。累積塑性変位倍率 η は、累積塑性変位を設計降伏変位 δ_y で除したものである。

図-6 に疲労試験結果より算出した累積塑性変位倍率 η と変位片振幅倍率 $(\delta_{\max}/\delta_y)$ との関係を示す。変位片振幅倍率 $(\delta_{\max}/\delta_y)$ が増加するにつれて、累積塑性変位倍率 η は減少する。

図-7 に図-4 の動的解析結果の荷重変位関係より算出した累積塑性変位倍率 η を示す。今回の解析モデルでは、累積塑性変位倍率 η は最大でも Type II 地震波の場合の $\eta=60$ 程度である。損傷評価に用いる累積塑性変位倍率 η の限界値を図-6 に示すベローズの許容最大変位 $10\delta_y$ 時の累積塑性変位倍率 $\eta=700$ を用いたとしても、安全率 11 を確保できる。今回検討したケースでは、Type I 地震波の方が Type II 地震波よりも低い累積塑性変位倍率 η を与えている。Type II 地震波に対して最大相対変位以内 ($10\delta_y$ 以内) に抑えるために、ベローズの降伏強度を高く設定したことで、Type I 地震波を入力した場合にベローズの塑性変形が小さくなるのが原因と考えられる。

5. まとめ

レベル 2 標準地震波を用いて非線形動的解析を行い、解析結果より累積塑性変位の抽出および累積塑性変位倍率 η の算出を行った。 η の限界値をベローズの許容最大変位 $10\delta_y$ 時の $\eta=700$ を用いても、安全率は 11 となり、ベローズは十分なエネルギー吸収性能を有するといえる。今回の η の限界値の設定はかなり安全側であり、 η の限界値の設定については、様々な橋梁モデルで解析を行い、ひずみや塑性変位の頻度解析とマイナー則による損傷度評価を用いて検討する必要がある。

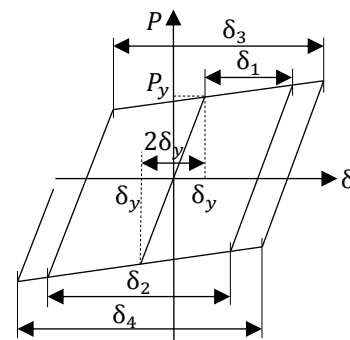


図-5 バイリニア型荷重変位履歴

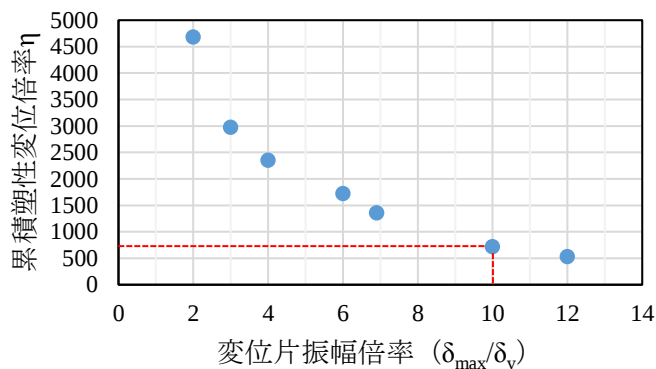


図-6 変位片振幅倍率と $(\delta_{\max}/\delta_y)$ 累積塑性変位倍率 η との関係

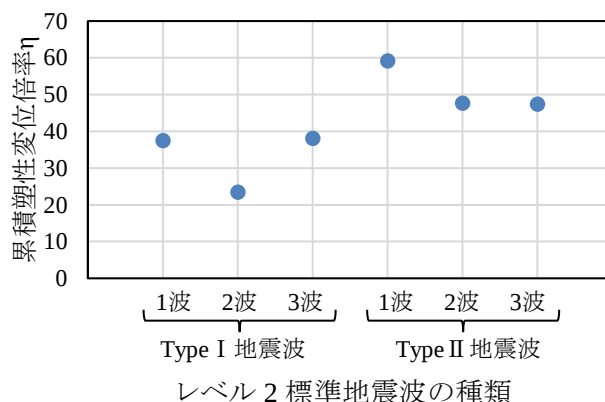


図-7 地震波ごとの累積塑性変位倍率 η

<参考文献>

- 1) 田中賢太郎, 頭井洋, 松村政秀, 佐合大, 新名裕: U 型鋼製ベローズの S-N 曲線と Miner 則の適用性, 土木学会全国大会第 73 回年次学術講演会, 2018.8.
- 2) 頭井洋, 田中賢太郎, 松村政秀, 佐合大, 姫野岳彦: 桁の温度伸縮に対するベローズダンパーの疲労損傷評価, 鋼構造論文集, Vol.25, No.97, pp.13-23, 2018.3.
- 3) 頭井洋, 田中賢太郎, 松村政秀, 吉田雅, 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.