

橋軸直角方向への一定変位を考慮したベローズ型ダンパーの疲労試験

摂南大学 正会員 田中賢太郎

正会員 頭井 洋

熊本大学 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 姫野岳彦

1. はじめに

著者らは、地震時の最大応答変位の低減と桁間衝突を緩和する制震装置（ベローズ型ダンパー 図-1）として桁間に設置する方法を検討してきた。これまで橋軸方向について、大地震時に加え常時の活荷重や桁の温度伸縮に伴う繰り返し変形を想定した疲労試験を行い、極低サイクルおよび低サイクル領域の S-N 曲線を作成している¹⁾。橋軸方向の変位でも実際には、橋軸直角方向に対してサイドブロックの設置遊間もあり、数ミリのクリアランスが存在する。したがって、橋軸直角方向に初期変形を生じている状態に橋軸方向に繰り返し変形が生じる可能性がある。そこで本研究では、橋軸直角方向に初期変形を与え、低サイクル領域の橋軸方向の疲労試験を行い、橋軸直角方向の初期変形がベローズ型ダンパーの橋軸方向の疲労強度に及ぼす影響を実験的に検討する。

2. ベローズ型ダンパーの概要¹⁾

図-1 にベローズ型ダンパー（片側）の形状と R ：円筒部半径、 b ：直線部の長さ、 t ：板厚などの各寸法の記号を示す。板厚 $t = 10 \sim 30\text{mm}$ 程度の鋼板を U 字型に曲げ加工し、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。直線部のひずみを低減させるため、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構造となっている。曲げ半径と板厚との比 $R/t = 5$ は板曲げ加工が可能な最小比である。

3. 疲労試験の概要

実験状況を図-2 に示す。水平 2 方向変位を与えられるように、ガイドレールを用いた実験治具の作成し、摂南大学が所有する 2 機のアクチュエーター（最大荷重 $\pm 100\text{ kN}$ 、ストローク $\pm 50\text{ mm}$ ）に接続した。本実験供試体（R80b100t16e21tp9）のサイズは、円筒部半径 $R = 80\text{ mm}$ 、直線部長さ $b = 100\text{ mm}$ 、ベローズ板厚 $t = 16\text{ mm}$ 、突出長 $e = 21\text{ mm}$ 、インナー・アウタープレート板厚 $tp = 9\text{ mm}$ （ベローズ本体の板厚の約半分）の諸元を用いた。FEM 解析により 10 mm 以下の変形の影響は小さい²⁾ことから、橋軸直角方向に一定変位として初期変位 28.7 mm を与えた後、橋軸方向に $\pm 1\delta_y$ ($\delta_y = 7.2\text{ mm}$) の予備変位を与え、橋軸方向変位 ($\pm 5.7\delta_y$) を破断するまで与え続ける。

キーワード ベローズ型ダンパー、FEM 解析、橋軸直角方向の初期変形、疲労強度、水平 2 方向変位

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

4. FEM 解析の概要

FEM 解析では、ベローズ型ダンパー（片側）を、有限要素法解析ソフト ANSYS を用い 2 次元平面ひずみを仮定し、四角形 4 節点平面ひずみ要素を用いてモデル化する（図-3）。モデル下部は、ボルト接合によって拘束されているので、2 重節点でカップリング要素による剛結とした。インナープレートおよびアウタープレートとベローズ本体間には接触要素を用いている。ベローズ型ダンパー本体の板厚方向に 10 分割、インナープレートおよびアウタープレートは 4 分割した。引張試験の結果より材料特性は、鋼種 SN490C 材は降伏強度 $\sigma_y = 360\text{ N/mm}^2$ を、インナー・アウタープレートは、SS400 材とし降伏強度 $\sigma_y = 303\text{ N/mm}^2$ 、それぞれ $E/100$ の 2 次勾配を有するバイリニア移動硬化型特性を仮定した。

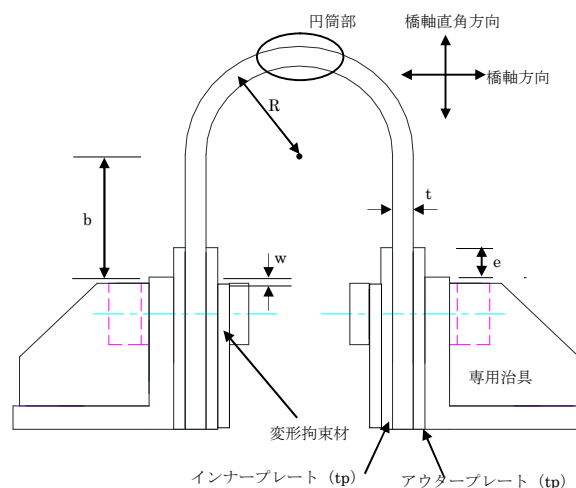


図-1 ベローズ型ダンパーの断面図

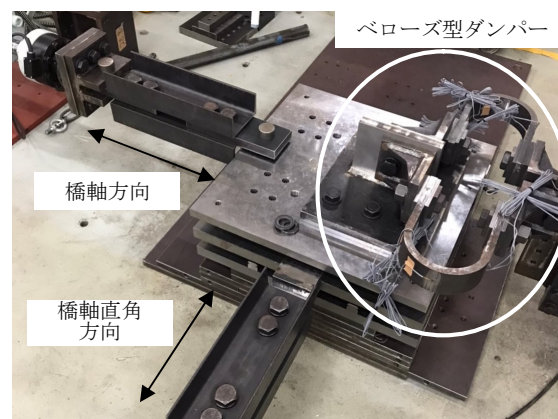


図-2 ベローズ型ダンパーの試験状況

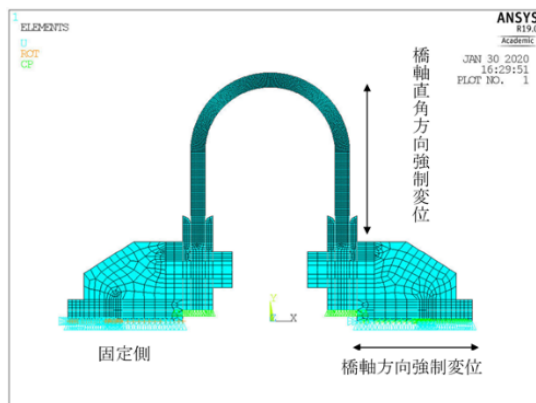


図-3 ベローズ型ダンパーの解析モデル

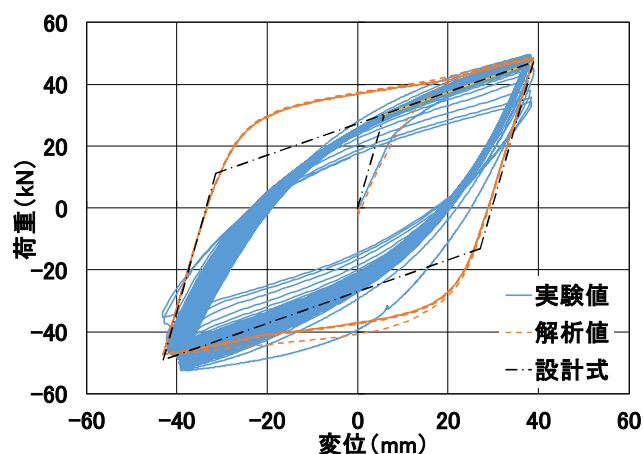


図-4 荷重－変位関係

5. 疲労試験およびFEM解析の結果

図-4に、疲労試験結果、FEM解析結果および設計式の荷重－変位関係を示す。実験値・解析値・設計式の最大荷重に大きな差は認められない。ただし、解析に比べ実験の荷重－変位曲線の履歴ループが小さいことがわかる。図-5は、表-1に示す橋軸方向のみの疲労試験 $\pm 2\delta_y$ 、 $\pm 3\delta_y$ 、 $\pm 4\delta_y$ の試験結果から、エネルギー吸収70%時回数を用いて作成したManson-Coffin型の関係式 $\varepsilon \cdot N^k = C$ による低サイクル領域のS-N曲線である。なお、エネルギー吸収70%時回数は、破断にいたるまでの総エネルギー吸収量の70%のエネルギー吸収量に達した繰返し回数である。橋軸直角方向へ大きい初期変形を与え、橋軸方向 $\pm 5.7\delta_y$ の実験を破断まで行った今回の結果のエネルギー吸収70%時回数である104回とFEM解析より求めた塑性ひずみ振幅値($\varepsilon = 0.05979$)を用い、図-5に×の記号でプロットした。なお、ひずみ振幅の算出は、引張側および圧縮側変形時に生じたひずみを足し合わせて解析値とした。今回の結果を用い、疲労損傷度をマイナー則により評価すると $D=1.019$ となり、ほぼS-N曲線上にあることがわかった。したがって、橋軸直角方向に一定変位である30mm近くの初期変形が生じても、ベローズ型ダンパーの橋軸方向の疲労強度に及ぼす影響は小さいことが確認できた。

表-1 一定変位振幅下の疲労強度回数

ケース	完全破断 回数	耐力低下率 10%時の回数	エネルギー吸収 70%時回数
$\pm 2\delta_y$ ¹⁾	1688	235	1170
$\pm 3\delta_y$ ¹⁾	531	340	372
$\pm 4\delta_y$ ¹⁾	360	292	196
$\pm 5.7\delta_y$	150	137	104

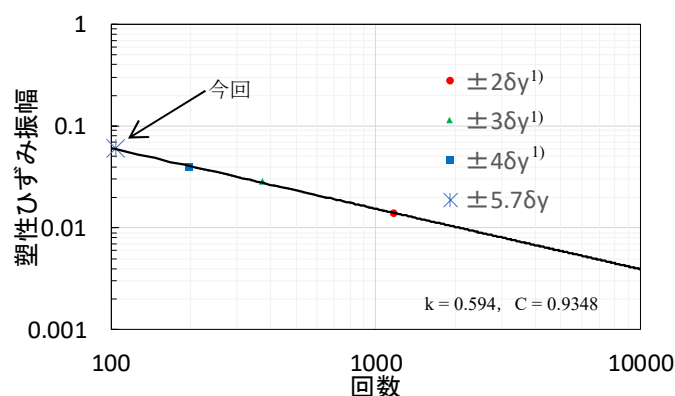


図-5 低サイクル疲労領域のS-N曲線

6. まとめ

本研究では、橋軸直角方向の初期変形がベローズ型ダンパーの橋軸方向の疲労強度に及ぼす影響をFEM解析および疲労試験により検討した。検討した結果、橋軸直角方向にやや大きい初期変形が加わったとしても、橋軸方向の疲労強度に及ぼす影響は小さく、橋軸方向の低サイクル領域のS-N曲線により評価できることがわかった。

今後、橋軸方向および橋軸直角方向ともに繰返し変位を与える疲労試験を行い、耐荷性能の検討や疲労寿命評価を行う。ベローズ型ダンパーの実用化に向けて、腐食防止剤を考慮した実験ケースも行う予定である。

参考文献

- 1) 田中 賢太郎・頭井 洋・松村 政秀・佐合 大・姫野 岳彦：U型鋼製ベローズのS-N曲線とMiner則の適用性，土木学会第73回年次学術講演会講演概要集第I部，CD-ROM（I-322），2018.8.
- 2) 田中 賢太郎・頭井 洋・松村 政秀・佐合 大・姫野 岳彦：橋軸直角方向へのずれ変形を考慮したベローズ型ダンパーの解析的検討，土木学会第74回年次学術講演会講演概要集第I部，CD-ROM（I-78），2019.9.