第 部門

エネルギー吸収型桁連結装置としての鋼製ベローズの強地震下における疲労寿命評価について

- 大阪市立大学大学院工学研究科 学生員 田中 賢太郎
- 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田 俊行
- 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀
  - 摂南大学工学部 正会員 頭井 洋

1.まえがき

これまでの検討によると,桁間に桁連結装置として鋼製ベローズを設置すると,制震性能の向上が期待でき,鋼製ベローズは落橋防止構造も兼ねるので,大きな低サイクルの繰返し荷重が作用する場合にも急激な破断を避けるように設計しなければならない.そこで,本研究では,極低サイクル疲労実験を実施して,一定振幅について Manson-Coffin 則の適用性を検討し,さらに,累積エネルギーによる疲労寿命の予測手法の有効性についても検討する.

## 2. 鋼製ベローズおよび実験の概要

図1には,鋼製ベローズの断面図と桁端部への設置状況を示す. 厚さ2cm 程度の鋼板を半円筒状に曲げ加工を施したもので,円 筒部の直径は20cm~60cm 程度で2枚1組にし,桁と桁とを高 力ボルト摩擦接合により連結する構造である.

鋼製ベローズの極低サイクル疲労実験は,100kN アクチュエ ーターを用いて,繰返し一定振幅が作用する場合について実施した.載荷方法は,最大ひずみ値が 5~15%となるよう,一定振幅 は,±100mm(橋軸方向,橋軸直角方向,および斜め 45°方 向)および±70mm(橋軸方向)とし,鋼製ベローズが破断する まで繰返し与えた.ただし,この変位振幅は治具の変位も含んだ 値である.表1に,実験に用いた鋼製ベローズの板厚中心におけ る寸法と板厚を示す.

3. Manson-Coffin 則および累積エネルギーに基づく疲労寿命予測

(1) Manson-Coffin 則

一定振幅下におけるき裂発生寿命の予測式には,次式を用いる.

(1)

$$\mathcal{E}_{ta} \times N_c^k = C$$

ここに, $\varepsilon_{ta}$ :全ひずみ範囲, $N_c$ :き裂発生寿命,k (=0.575), C (=0.380):材料定数

(2)累積エネルギーに基づく疲労寿命予測

文献 1), および文献 2) を参考に, 一定振幅の場合の 累積エネルギーに基づいて疲労寿命予測を行う.

$$\overline{E}_{h,n} = \alpha + (1 - \alpha)e^{\beta(1-n)}$$
(2)





(b)鋼製ベローズの橋桁への設置状況図1 鋼製ベローズの断面と設置状況

表1 鋼製ペロースの断面寸法と板厚(mm)				
円筒部	接合部	直線部	板厚	鋼製ベローズ
半径 R	小円半径 r	部さ <i>b</i>	t	の高さ

ここに, $\overline{E}_{n,n}$ :各繰返し回数のエネルギー吸収量を1回目のエネルギー吸収量で除して無次元化した各繰返し回数のエネルギー吸収量,n:繰返し回数, $\alpha$ および $\beta$ :各回のエネルギー吸収量の低下の程度を示すパラメーター

式(3)より算出され疲労損傷度 $D_n$ が1に達した場合にき裂が発生するものとする.

Kentaro TANAKA, Toshiyuki KITADA, Masahide MATSUMURA and Hiroshi ZUI

また,破断したときの塑性率とパラメーター $\alpha$ および $\beta$ との関係式として式(4)を用い,破断時の塑性率と繰返 し回数との関係式(Manson-Coffin 則)を式(5)に示す

$$D_n = \frac{\mu - 1}{\mu_u - 1} + \frac{\mu}{\mu_u - 1} \left(\frac{1}{\overline{E}_{h,n}} - 1\right)$$
(3)

$$\mu = \mu_u [\alpha + (1 - \alpha)e^{\beta(1 - n_f)}] \tag{4}$$

$$n_f = (\frac{\mu_u - l}{\mu - l})^c$$
 (5)

ここに, *n<sub>f</sub>*:破断したときの繰返し回数, c:係数(文献 1)および文献2)を参考に1.1とした)

4. 結果

図 2 および表 2 には,一定振幅が作用する場合のき裂 発生寿命とひずみ範囲との関係を示す.実線は,Manson-Coffin 則により計算した結果である.ひずみ範囲が最大に なる位置は載荷方向に関わらず図1に示した接合部小円部 である.

 一定振幅 ± 100mm で橋軸方向および斜め 45°方向は 10 回
 以内, ±70mm は,橋軸方向のみ実施し 51 回で破断に至った.図3
 橋軸直角方向の場合も±100mm で載荷を行ったが,10 回で破
 断に至らなかった.いずれの結果も,Manson-Coffin 則の実線
 を数回上回る疲労強度が得られた.き裂発生から完全に破断す
 るまでに数回の繰返しが必要なことを考えると,本実験結果は
 Manson-Coffin 則にほぼ従っている.したがって,ひずみ範囲
 を FEM 解析によって求め,Manson-Coffin 則に適用すれば, 疲労寿命予測が可能と考えられる.

図3には、繰返し回数ごとのエネルギー吸収量と繰返し

回数との関係を示す.横軸に繰返し回数,縦軸には各繰返 図4 塑性率と繰返し回数との関係(一定振幅) し回数のエネルギー吸収量を1回目のエネルギー吸収量で除して無次元化したエネルギー吸収量を示している.図3の点線が同定値を用いた式(2)の計算値を示している.橋軸方向と斜め45°方向は,エネルギー吸収量が0.8~0.85の間で破断に至っている.3ケースの実験結果より,式(2)の $\alpha$ および $\beta$ の2つのパラメーターを同定し,それぞれ0.6,0.2が得られた.図4には,塑性率と繰返し回数との関係を示す.横軸に繰返し回数を,縦軸に塑性率を示している.同図より,疲労損傷モデルとManson-Coffin則モデルとの差はかなり大きいことがわかる.これは,実験データの数が十分でないために $\alpha$ および $\beta$ の値が正確に得られていないことが考えられる.今後実験データを増やせば改善できると考えられる.

なお,本研究は,科学研究費 基礎研究 B「安全と環境と経済性との調和を考慮した都市内鋼・複合橋梁の再生と創造(代表者:北田俊行)の一環として行ったものである.

参考文献

- 1) A1tug, E. and Haluk, S. : Seismic energy dissipation in deteriorating systems through low cycle fatigue, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2004 ; 33:49-67.
- A1tug, E. and Haluk, S. : Energy-based hysteresis and damage models for deteriorating systems, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2004 ; 33:69-88.



