鋼製橋脚基部に対する公称ひずみ基準の低サイクル疲労強度曲線の提案

東京工業大学 正会員 〇判治 剛 名古屋大学 正会員 舘石 和雄

1. 目的

無補剛箱型断面を有する鋼製橋脚の基部から生じる低サイクル疲労き裂に着目し,柱とベースプレートの取 り合い部における柱側溶接止端部,柱とベースプレートの間に取り付けられた三角形の補剛リブ(以下,三角 リブ)の柱側溶接止端部を対象として,これらに対する公称ひずみ基準の低サイクル疲労強度曲線を提案する.

2. 既往の研究と本研究の位置づけ

著者らはまず,疲労寿命が10回程度の領域における疲労強度曲線(式(1))を提案した(図-1中STEP1)¹⁾.

 $\varepsilon_l \cdot N^k = C \tag{1}$

この強度曲線はき裂発生点の局部ひずみ振幅 ɛ_l と疲労寿命 N の関係式であり,溶接部の疲労強度を評価する 場合は k= 0.587, C= 0.261 である.さらに,提案した局部ひずみ基準の疲労強度曲線は溶接継手にも適用でき, その際には,き裂発生点である溶接止端部の形状を忠実に表現した 0.01mm オーダーの細かい要素分割を有す る解析モデル(以下,詳細モデル)が必要になることを示した.このような詳細モデルを常に用いるのは効率が 悪く,特に,数 m から数十 m オーダーの実橋脚の溶接部を詳細にモデル化することは容易ではない.そこで, 橋脚を梁要素で表現したモデル(以下,梁モデル)により算出される公称ひずみから,柱とベースプレート溶接 部における局部ひずみを簡易に推定する手法(STEP 2)を構築した²⁾.

本研究では、柱と三角リブ溶接部に対しても既往の研究²⁾と同じように、梁モデルにおける公称ひずみから 局部ひずみを推定する手法(STEP 2)を構築する.さらに、この両者の関係式をもとに、局部ひずみ基準の疲労 強度曲線(式(1))を公称ひずみ基準のそれに変換し、ベースプレート溶接部と三角リブ溶接部に対する公称ひ ずみに基づく疲労強度曲線を提案する(STEP 3).





図-2 対象とした三角リブを有する無補剛箱型断面

3. 公称ひずみと局部ひずみの関連付け

既往の解析²⁾を参考にし、三角リブ溶接止端部の局部ひずみを梁モデルによる解析結果から推定する手法を 構築した.対象橋脚は図-2 に示すように、無補剛箱型断面の片持ち柱であり、その基部に三角リブを有する ものである.橋脚の断面や三角リブの形状は既報^{2,3)}を参考にして決定した.着目したパラメータは、幅厚比 パラメータ R_f ,細長比パラメータ $\overline{\lambda}$,軸力比 P/P_v であり、これらを変化させて解析を行った(R_f = 0.19~0.32、

キーワード 低サイクル疲労,鋼製橋脚基部,公称ひずみ,疲労強度等級分類 連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-2 東京工業大学 TEL: 03-5734-2596 $\bar{\lambda}$ = 0.30~0.55, *P*/*P*_y= 0~0.20). 今回は局部座屈が生じにくいとされる *R*_fの比較的小さい橋脚を対象とした. 荷重は柱頂部に正負交番の漸増繰り返し変位として与えた. 解析方法の詳細については既報²⁾を参照されたい. なお,詳細モデルにおける溶接止端半径は,過去に行われた計測結果を参考にし, 0.5mm と設定した.

梁モデルから得られた公称ひずみ範囲 $\Delta \varepsilon_n$ と詳細モデルにおける局部ひずみ範囲 $\Delta \varepsilon_l$ の関係を図-3 にまとめる. 公称ひずみは局部座屈に対する設計で用いられる有効破壊長領域の平均ひずみとした. 図より両者の関係は広範囲に分布していることがわかる. これは $\overline{\lambda}$ の大きさの違いによるものであり, $\overline{\lambda}$ が小さいものほど上側にプロットされた. $R_f や P/P_y$, またリブの間隔の違いによる影響はほとんどみられなかった. そこで本研究では,公称ひずみ範囲と局部ひずみ範囲の関係を次式で近似し,最小二乗法よりその係数を求めた. 柱とベースプレート溶接部に対しても,同様にして関係式を求めた. なお,次式の適用範囲は 0.30 $\leq \overline{\lambda} \leq 0.55$ である.

$$\Delta \varepsilon_{I} = \alpha \cdot \Delta \varepsilon_{0.859}^{0.859} \quad \text{where} \quad \alpha = \mathbf{A} \cdot \overline{\lambda}^{\mathrm{B}} \tag{2}$$

ここで、A,Bは係数であり、その値は表-1に示すとおりである. 図-3に式(2)より求めた近似曲線($\overline{\lambda}$ =0.30, 0.55)を示す. 提案した関係式により両者の関係をよく表現できていることがわかる.

4. 公称ひずみ基準の低サイクル疲労強度曲線の提案

式(1)に示す局部ひずみ振幅を基準とした疲労強度曲線に,式(2)をひずみ振幅(範囲の半分)に書き直したものを代入して整理すると,次式に示す公称ひずみ基準の疲労強度曲線を得ることができる.

$$\varepsilon_n \cdot N^{0.684} = C' \qquad \text{where} \quad C' = 0.235 \cdot \left(A \cdot \overline{\lambda}^B\right)^{-1.16} = A' \cdot \overline{\lambda}^{B'} \tag{3}$$

ここで、 ε_n は梁モデルにおける公称ひずみ振幅, A', B'はき裂発生点の溶接継手形状と細長比パラメータによる係数であり、その値を表-1にまとめる.提案した公称ひずみ振幅基準の疲労強度曲線を図-4に示す.図-4(a) はベースプレート溶接部に対する疲労強度曲線であり、 $\overline{\lambda}$ =0.30,0.53の場合を示している、図-4(b)は三角リ ブ溶接部に対する疲労強度曲線であり、 $\overline{\lambda}$ =0.30,0.54の場合に加え、比較のため、ベースプレート溶接部に対 する強度曲線($\overline{\lambda}$ =0.54)も併記した. 図中のプロットは無補剛箱型断面柱に対する低サイクル疲労試験結果³⁵⁾ であり、縦軸に梁モデルから算出した公称ひずみ振幅を、横軸にき裂を発見したときの繰り返し数をとって示 している. データ数は限られているが、継手形状と細長比パラメータの大きさに応じた疲労強度曲線を用いる ことで、継手形状や細長比パラメータが異なる試験体の疲労強度をそれぞれ安全側に評価できており、提案し た疲労強度曲線の妥当性を確認することができる. 今後、より多くの試験結果をもとに検証していく必要があ るが、このような公称ひずみを基準とした疲労強度曲線は、土木鋼構造物の低サイクル疲労照査法の確立のた めに有効であるといえる.



謝辞 日本鋼構造協会平成19年度「鋼構造研究助成事業」によるものであります.ここに記して感謝いたします.



- 1) 舘石ら:構造工学論文集, Vol.51A, pp.1275-1282, 2005.
- 2) K. Tateishi et al.: Journal of Structural Engineering, Vol.53A, pp.485-492, 2007.
- 3) 坂野ら:構造工学論文集, Vol.44A, pp.1281-1288, 1998.
- 4) 坂野ら:鋼構造論文集, Vol.2, No.8, pp.73-82, 1995.
- 5) K. Tateishi, et al.: Doboku Gakkai Ronbunshuu A, Vol.64, No.2, pp.288-296, 2008.

Joints	Equation (2)		Equation (3)	
	$\alpha = A \cdot \overline{\lambda}^{B}$		$C' = \mathbf{A}' \cdot \overline{\lambda}^{\mathbf{B}'}$	
	А	В	Α'	В'
Base-plate	3.79	-0.488	0.0498	0.569
Triangular-rib	4 47	-0.526	0.0411	0.613

式(2),式(3)における係数

表-1