

鋼製橋脚基部に対する簡易な低サイクル疲労照査のための疲労強度等級分類の提案

名古屋大学 ○学生会員 古崎 智大 フェロー会員 舘石 和雄 正会員 判治 剛 正会員 清水 優

1. はじめに

鋼構造部材の低サイクル疲労は地震時の破壊モードの一つであり、それを防止するための設計法の確立は急務である。本研究では、兵庫県南部地震において損傷が報告された鋼製橋脚の基部を対象に、簡易な骨組解析のひずみ(公称ひずみ)に基づく低サイクル疲労強度曲線を提示し、その妥当性を種々の実験結果により検証した。

2. 公称ひずみに基づく低サイクル疲労強度曲線の提案までの流れ

検討の流れを図-1に示す。鋼部材の低サイクル疲労強度はき裂発生点の局部ひずみに支配されるため、それと骨組解析のひずみを関連づけた。ここでは、溶接止端形状を忠実に再現したモデル(詳細モデル)の局部ひずみ範囲、止端形状を再現せずにその周辺に1mmの要素を配置したモデル(簡易モデル)の参照要素のひずみ範囲、梁要素によるモデル(梁モデル)の公称ひずみ範囲の関係を求め、局部ひずみを公称ひずみに置き換えた疲労強度曲線を提案する。なお、関係式①は溶接止端半径 r の関数であり、詳細は既報²⁾を参照されたい。

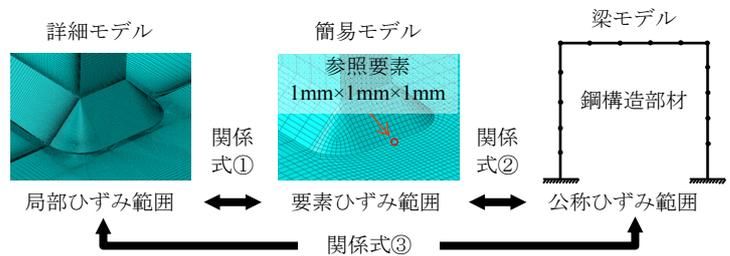


図-1 鋼部材の低サイクル疲労強度曲線の提案のための検討

3. 簡易モデルと梁モデルのひずみ範囲の関係

図-2に示す矩形断面を有する鋼製橋脚基部の柱とベースプレートの角溶接部³⁾および三角リブのまわし溶接部⁴⁾を対象とした。今回はフランジ幅が1mを超える補剛断面の橋脚も考慮し、適用範囲の拡大を図った。三角リブの設置位置は過去の研究⁵⁾を参考にした。柱高さ、フランジおよびウェブの板幅と板厚、補剛材厚、溶接脚長、三角リブ厚を変化させた橋脚に対して簡易モデルと梁モデルを作成し、同じ変位振幅を与えたときの参照要素のひずみ範囲と公称ひずみ範囲の関係を求めた。軸力比は0.1で一定とした。図-2に示すように、簡易モデルではき裂発生が予想される止端部周辺に1mmの参照要素を配置した。梁モデルの公称ひずみ範囲は柱下端に配置した要素のひずみとし、その要素寸法は柱高さの1.5%とした。なお、三角リブ溶接タイプではリブ上端からの高さを柱高さとしてモデル化している。また、補剛断面の場合は無補剛断面に置き換えて計算した⁶⁾。解析方法の詳細は文献⁴⁾を参照されたい。

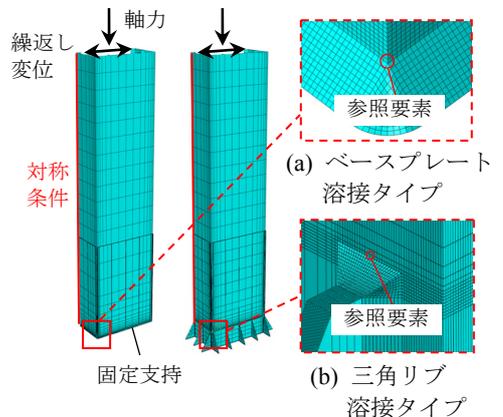


図-2 簡易モデルの例

解析結果の一例を図-3に示す。これはベースプレート溶接タイプでフランジ幅を変化させたときの結果である。詳述は紙面の都合上割愛するが、参照要素のひずみ範囲 $\Delta\epsilon_{el}$ と公称ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_n$ の関係は、フランジ幅 b が一定の場合にはフランジ厚などの他のパラメータの影響をほとんど受けないが、フランジ幅 b や三角リブ厚 t_r とフランジ厚 t_f の比 (t_r/t_f) の変化に伴って上下する。そのため、それらの影響を考慮して関係式②の構築を行った。

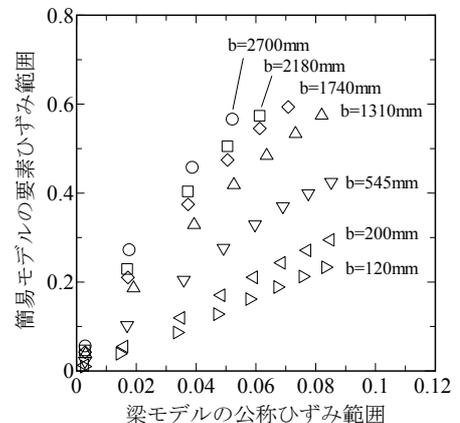


図-3 解析結果の例(フランジ幅の影響)

4. 公称ひずみを基準とした低サイクル疲労強度曲線の提案

関係式①、②から求めた関係式③を溶接金属に対する局部ひずみ基

キーワード 低サイクル疲労, 鋼製橋脚基部, 疲労強度曲線, 公称ひずみ, 疲労強度等級分類

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL: 052-789-4620

準の疲労強度曲線⁹⁾に代入することにより、継手形式ごとに公称ひずみ基準の疲労強度曲線を導出した。ただし、その過程で実設計に適用することを想定し、次のように疲労強度曲線を簡易化した。具体的には、安全側の設定となるように、溶接止端半径は0.5 mm、三角リブとフランジは同厚($t_f/t_r=1$)とした。またフランジ幅に関しては、上記の条件下で得られるフランジ幅1 mのときの疲労強度を基準強度とし、それとの比率を補正係数 C_w として考慮することにより、板幅の影響による疲労強度曲線の変化を考慮した。求めた曲線を次式に示す。なお、適用範囲は $b \leq 2.7$ mである。

$$\Delta \varepsilon_n \cdot N^{0.68} = C \cdot C_w \quad (1)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon_n$ は公称ひずみ範囲、 N は疲労寿命であり、き裂長0.5mmのときの繰返し数である。 C は継手形式によって異なり、角溶接部の場合は0.024、三角リブ溶接部の場合は0.043である。 $C_w (=b^{-0.58})$ は板幅補正係数である。

5. 低サイクル疲労実験による提案曲線の検証

一定振幅や変動振幅の過去の実験結果⁷⁻⁹⁾および今回行った実験の結果を用いて式(1)の妥当性を検証した。三角リブ溶接部を対象とした試験体を図-4に例示する。フランジ、ウェブおよび三角リブの板厚は9 mmであり、鋼種はSM490YA(降伏点: 481 N/mm², 引張強さ 548 N/mm²)である。各継手形式ともにフランジ幅120 mm, 200 mmの2種類(幅厚比パラメータ0.3, 0.5)とした。いずれも細長比パラメータが0.3となるように柱高さを変えている。試験方法は文献⁸⁾と同様であり、試験体下端を固定し、頂部に一定振幅もしくは漸増振幅の繰返し変位を与えた。軸力比は0.1とした。溶接部にき裂を発見するまでの繰返し数を疲労寿命とした。

き裂の例を図-5に示す。発見時のき裂長は1~8 mm程度であった。梁モデルの解析により求めた各試験体の公称ひずみ波形からひずみ範囲の頻度分布を求め、等価ひずみ範囲を算出し、それと疲労寿命の関係を整理した。その結果を図-6に示す。図中には式(1)の強度曲線も併記しており、色付きのプロットが本研究の結果である。各継手形式ともに、フランジ幅の異なる種々の試験結果の下限を強度曲線によって表現できているといえる。

6. まとめ

鋼製橋脚基部を対象に、継手形式ごとに公称ひずみ基準の低サイクル疲労強度曲線を提案した。これは、フランジ幅によらず適用できる比較的簡易な式である。求めた強度曲線により、種々の疲労試験によって得られた疲労寿命の下限を評価できることを示した。

謝辞 本研究の一部は学術研究助成基金助成金 若手研究(B)(課題番号: 16K18139)によるものである。ここに記して感謝します。

参考文献 1) 判治ら: 土木学会論文集 A, Vol.62, No.1, pp.101-109, 2006. 2) 清水ら: 鋼構造論文集, Vol.25, No.97, pp.61-66, 2018. 3) 本田ら: 第72回年次学術講演概要集, 部門 I, pp.1295-1296. 4) 判治ら: 鋼構造論文集, Vol.16, No.64, pp.21-30, 2009. 5) 坂野ら: 構造工学論文集 Vol.44A, pp.1281-1288, 1998. 6) 土木学会: 鋼・合成構造標準示方書, 耐震設計編, 2008. 7) 陵城ら: 構造工学論文集, Vol.48A, pp.649-655, 2002. 8) Tateishi K, et al.: Doboku Gakkai Ronbunshuu A, Vol.64, No.2, pp.288-296, 2008. 9) 葛ら: 構造工学論文集 Vol.55A, pp.605-616, 2009., Vol.56A, pp.342-355, 2010.

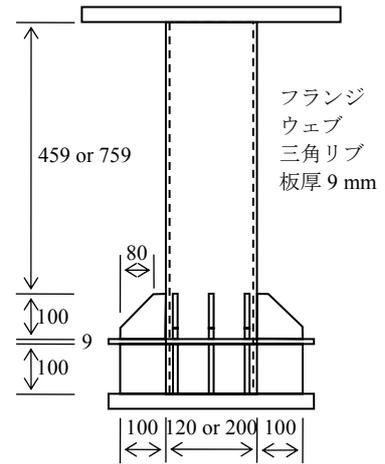
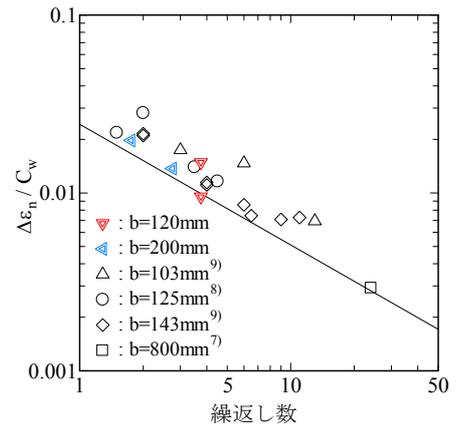


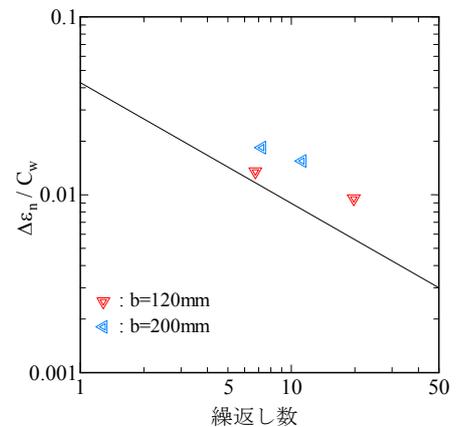
図-4 試験体(三角リブ)(単位: mm)



(a) 角溶接部 (b) 三角リブ部
図-5 疲労き裂の例



(a) ベースプレート溶接タイプ



(b) 三角リブ溶接タイプ

図-6 疲労強度曲線の検証