

鋼製橋脚基部の簡易な低サイクル疲労照査法と地震時の損傷度評価への適用

名古屋大学 ○学生会員 本田 直也 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、き裂発生点での局所的な塑性ひずみ履歴により照査できる。しかし、局部ひずみを求める解析を設計実務で行うのは困難であり、簡易な照査法の確立が望まれる。本研究では、鋼製橋脚を例にとり、簡易な骨組解析のひずみを用いた低サイクル疲労照査法を示し、それによる地震時の損傷度評価を試みた。

2. 低サイクル疲労照査法の提案までの流れ

照査法提案の流れを図-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¹⁾ため、それと骨組解析のひずみを関連づければよい。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三者の関係を求め、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。これにより、骨組解析のひずみを用いた低サイクル疲労照査が可能になる。

3. 詳細モデルと簡易モデルのひずみ範囲の関連付け

詳細モデルと簡易モデルの関連づけは過去にも試みられている²⁾が、本研究では検討パラメータを増やし、関係式の再構築を図った。実橋で代表的な十字継手、T字継手、面外ガセット継手を対象とした。解析方法は文献2)、3)を参考にした。各継手に対して詳細モデルと簡易モデルを作成し、主板や付加板の寸法、溶接止端半径、荷重方法(引張荷重と曲げ荷重)を変化させて解析を行った。

その結果、局部ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_l$ と参照要素のひずみ範囲 $\Delta\epsilon_{el}$ の関係は溶接止端半径 r のみに影響を受けることが示され、関係式①: $\Delta\epsilon_l = 2.14r^{-0.369}\Delta\epsilon_{el}$ を得た。これにより推定した局部ひずみ範囲と解析値の比較を図-2 に例示する。図中には主板や付加板寸法の異なる結果が含まれているが、継手形式や荷重方法によらず、局部ひずみを精度よく推定できている。

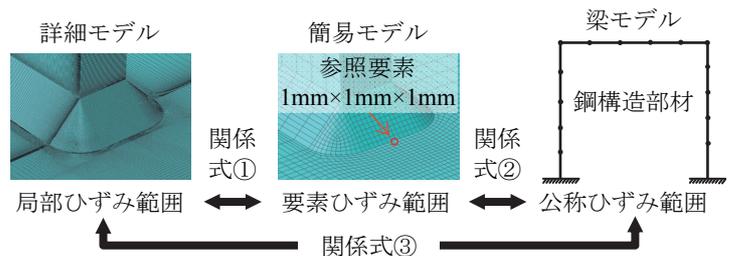


図-1 鋼構造部材の低サイクル疲労照査法の提案までの流れ

4. 詳細モデルと梁モデルのひずみ範囲の関連付け

矩形断面を有する鋼製橋脚基部の柱とベースプレート溶接部を例にとり検討する。細長比パラメータ(0.20~0.80)と幅厚比パラメータ(0.16~0.52)を変化させた鋼製橋脚に対して簡易モデルと梁モデルを作成し、同じ変位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。簡易モデルの例を図-3 に示す。角部の柱側溶接止端部周辺に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。解析方法の詳細は文献4)を参照されたい。すべての解析結果を図-4 に示す。参照要素のひずみ範囲 $\Delta\epsilon_{el}$ と公称ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_n$ の関係は各パラメータの影響を受けず、関係式②:

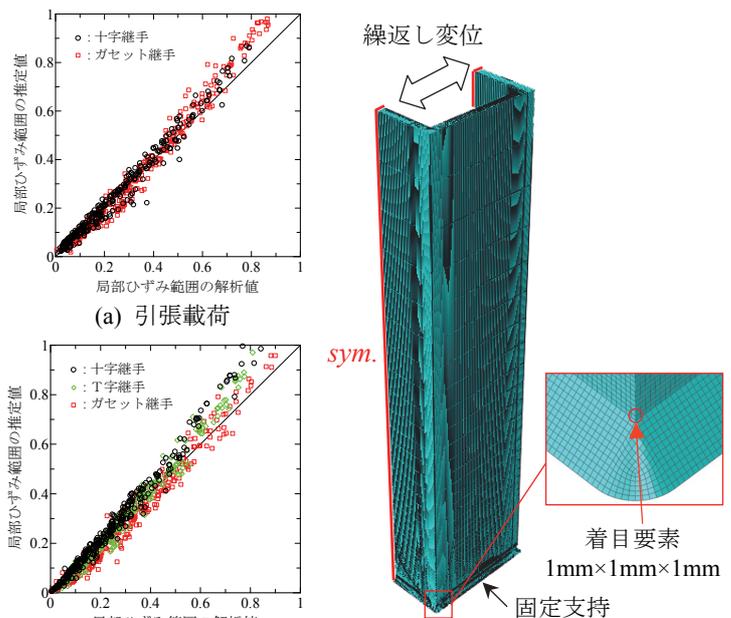


図-2 関係式①の精度検討

図-3 鋼製橋脚の簡易モデルの例

キーワード 低サイクル疲労, 公称ひずみ振幅, 局部ひずみ振幅, 簡易照査法, 長時間継続地震動

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社会基盤工学専攻 TEL: 052-789-4620

$\Delta\epsilon_{el} = 3.80\Delta\epsilon_n^{0.942}$ により与えられる。よって、関係式①と②より、局部ひずみ推定式である関係式③： $\Delta\epsilon_f = 8.13r^{-0.369}\Delta\epsilon_n^{0.942}$ が得られる。

5. 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③と溶接金属に対する局部ひずみ基準の疲労強度曲線¹⁾を組み合わせ、次に示す公称ひずみ基準の疲労強度曲線を導出した。

$$\epsilon_n \cdot N^{0.623} = 0.0271r^{0.392} \quad (1)$$

ここで、 ϵ_n は公称ひずみ振幅(範囲の半分)、 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。過去の一定や変動振幅の実験結果^{5,6)}と比較し、式(1)の妥当性を検証した。その結果を図-5に示す。一部の試験体の止端形状をもとに、止端半径を1.0mmとして強度曲線を設定した。試験での寿命はき裂発見時(き裂長約2~10mm)の繰返し数であるため、曲線は試験結果のやや左方にあるが、傾きは試験とよく一致しており、概ね妥当な評価を与えていると考える。

6. 地震動を受ける鋼製橋脚の低サイクル疲労照査

地震応答解析を行い、地震動を受ける鋼製脚の低サイクル疲労照査を行った。対象は単柱式鋼製橋脚の基部であり、構造諸元は文献7)を参考にしたが、今回は基礎も考慮した。基礎形式は杭基礎とし、地盤種別ごとに基礎の長さを変化させた。上部構造とフーチングは剛体要素とし、その中心に質点を設けた。フーチング下端には水平、鉛直、回転の地盤ばねを設置し、地盤との連成効果を考慮した。地盤ばねのばね定数は道路橋示方書に基づき決定した。モデル全体に重力加速度を作用させ、フーチング底面に水平方向の地震加速度を与えた。地震動はレベル2地震動タイプIとタイプIIである。鋼材のヤング係数Eは200kN/mm²、ポアソン比は0.3、降伏応力は380N/mm²、密度は7.85g/cm³とした。構成則は二次勾配E/100のバイリニア型とし、硬化則は移動硬化則とした。減衰はレイリー減衰とし、減衰定数は道路橋示方書に準じて設定した。

照査の流れは文献7)と同様であるが、損傷度Dの計算には式(1)の強度曲線を用いた。止端半径は小さめの0.5mmとした。照査結果を図-6に示す。なお、現行の道路橋示方書の耐震照査を満足しない結果は除外した。損傷度が1以上でき裂発生と判定されるが、今回は止端半径を厳しめに設定したこともあり、損傷度が1を超える結果が多い。また、タイプIのような継続時間の長い地震動ではタイプIIに比べて繰返し回数が多くなり、低サイクル疲労破壊の可能性が高くなる。図中には止端半径を4.0mmとした結果も示しているが、止端を滑らかにすることにより、損傷度を大幅に低減できることがわかる。

7. 他の鋼部材への応用

今回は鋼製橋脚基部を例にとり、骨組解析による簡易な低サイクル疲労照査法を提案したが、他の鋼部材に対しては、関係式①が継手形式や載荷方法によらないため、関係式②を対象部材にあわせて再構築すればよい。

謝辞 本研究の一部は公益社団法人高速道路調査会 平成28年度研究助成および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) 舘石ら:構造工学論文集 Vol.51A, pp.1275-1281, 2005. 2) Tateishi K, et al.:JSSC Steel Construction Engineering, Vol.13, No.52, pp.73-81, 2006. 3) 判治ら:第63回年次学術講演概要集, 部門I, pp.491-492. 4) 判治ら:鋼構造論文集, Vol.16, No.64, pp.21-30, 2009. 5) Tateishi K, et al.:Doboku Gakkai Ronbunshuu A, Vol.64, No.2, pp.288-296, 2008. 6) 葛ら:構造工学論文集 Vol.55A, pp.605-616, 2009., Vol.56A, pp.342-355, 2010. 7) 判治ら:第68回年次学術講演概要集, 部門I, pp.115-116, 2013.

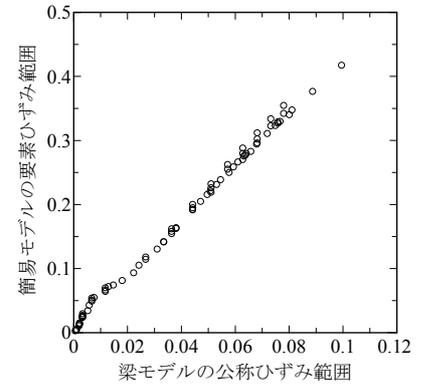


図-4 要素ひずみと公称ひずみの関係

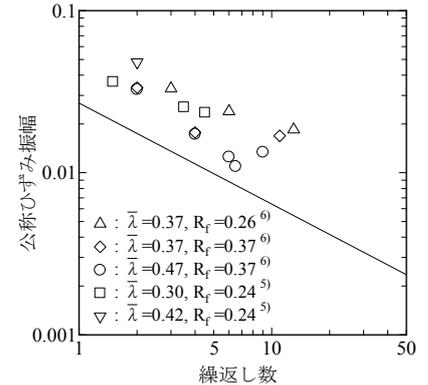
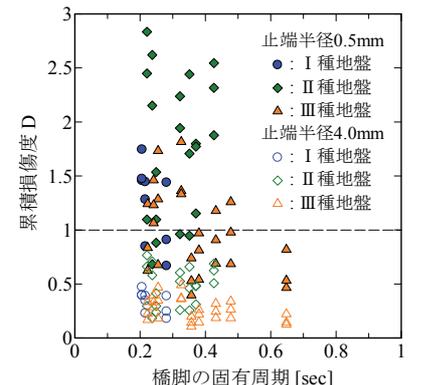
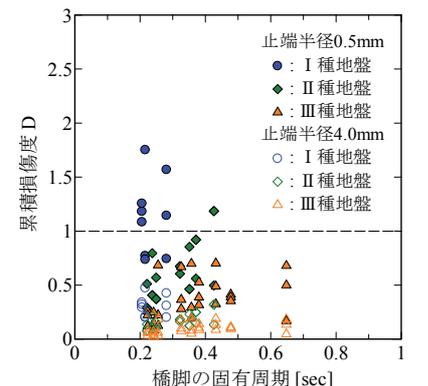


図-5 提案曲線の検証



(a) レベル2地震動タイプI



(b) レベル2地震動タイプII

図-6 地震時の損傷度評価の例