

Effective Notch Strain による溶接継手の低サイクル疲労強度評価

名古屋大学 正会員 ○判治 剛 東京工業大学 学生会員 Saiprasertkit Kawin フェロー 三木 千壽

1. 本研究の背景および目的 既存鋼製橋脚のほとんどの隅角部において未溶着部や溶接欠陥が内在していることが明らかにされている¹⁾。溶接欠陥部では高い応力集中が生じるため、地震時の低サイクル疲労き裂の発生が危惧される。このような継手の低サイクル疲労特性を検討する上で無視できない点は、未溶着部のサイズや母材と溶接金属の材料強度的な不均質、いわゆる強度マッチングである。材料強度の不均質部に欠陥などの不連続部が存在すると、均質材とは全く異なる塑性変形挙動を示し、溶接金属の強度が母材よりも低い軟質継手になったときに、欠陥部に予想もしないような高い塑性ひずみが生じて破壊につながる可能性がある。本研究では、未溶着部と軟質継手という、設計では想定していなかった特徴的な問題を含む既設の鋼製橋脚を対象に、Effective notch の概念を適用した荷重伝達型十字溶接継手の低サイクル疲労強度評価法について検討する。

2. 低サイクル疲労試験 隅角部の溶接継手部を模擬した荷重伝達型十字溶接継手を用いた。その詳細は図-1と表-1に示すとおりである。強度マッチングの度合は、母材および溶接金属から採取した丸棒試験体の材料強度から求めた。鋼種はSBHS500とし、未溶着部寸法は主板厚に対する100%、50%、25%の3種類(P100, P50, P25)、強度マッチングは25%硬質継手と25%軟質継手の2種類(O25, U25)とした。疲労試験は未溶着部を跨ぐようにして取り付けた変位計の値を制御しながら行った。なお、疲労試験に関する詳細は既報²⁾を参照されたい。

未溶着部先端からき裂が発生し、最大荷重が20%低下したときの繰り返し数を低サイクル疲労寿命と定義して疲労試験結果を整理した。疲労寿命と公称ひずみ範囲の関係を図-2に示す。公称ひずみ範囲とは、試験体に与えた変位範囲を変位計のゲージ長で除したものである。図より、未溶着部寸法や強度マッチングの違いにより明らかに疲労強度が異なっており、未溶着部寸法が大きくなる、また軟質継手になると短寿命側に位置することがわかる。

3. 局部ひずみによる低サイクル疲労強度評価 未溶着部寸法や強度マッチングの違いにより未溶着部周辺の局部的なひずみ場が変化したため疲労強度に差が生じたものと考えられる。そこで本研究では、き裂発生点のひずみ場を解析により明らかにし、局部ひずみによる疲労強度評価を試みた。溶接ルートには特異性を避けるため高サイクル疲労の分野にて提案されているEffective notch³⁾を導入し、それより得られた局部ひずみ(Effective notch strainと呼ぶ)を用いて疲労試験結果を評価した。

3. 1. 解析方法 図-3に解析モデルと境界条件を示す。解析にはABAQUSを用い、試験体の対称性を考慮

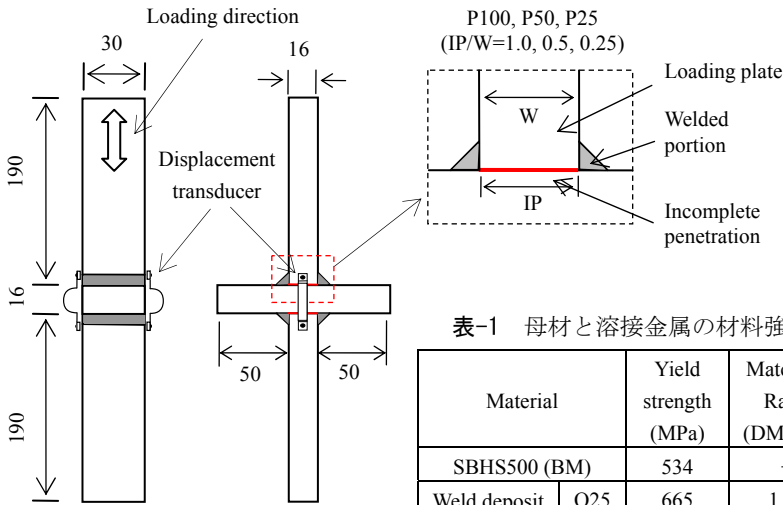


図-1 試験体 (単位: mm)

表-1 母材と溶接金属の材料強度

Material	Yield strength (MPa)	Matching Ratio (DM/BM)
SBHS500 (BM)	534	—
Weld deposit (DM)		
O25	665	1.25
U25	407	0.76

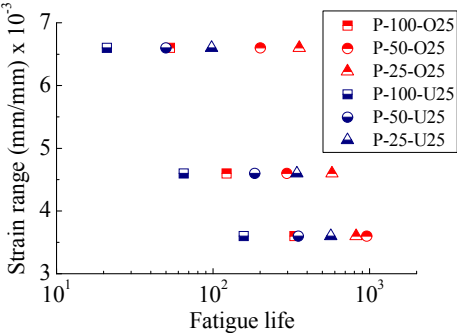


図-2 疲労試験結果

キーワード 低サイクル疲労, Effective notch, 未溶着部, 強度マッチング, 軟質継手, 硬質継手

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:052-789-4618

して 1/4 モデルで解析を行った。溶接部形状は試験体を参考にモデル化し、未溶着部先端には曲率半径 1mm の Effective notch を導入した。Effective notch に沿った要素のサイズは 0.05mm で統一した。また母材、溶接金属、熱影響部を別々に要素分割し、それぞれに異なる応力-ひずみ曲線を適用することで強度マッチングの違いを表現した。降伏関数 f は等方硬化と移動硬化を考慮した式(1)によって表現し、材料定数は母材と溶接金属から採取した丸棒型試験片による材料試験結果から同定した。得られた材料定数を表-2 にまとめる。なお熱影響部の初期降伏応力は母材の 20%増しとし、その他の材料定数は母材と同じと仮定した。ヤング係数は 200GPa, ポアソン比は 0.3 とした。主板端部に試験と同様の繰り返し変位を与えて解析を行った。

$$f = |\sigma - X| - R - \sigma_y = 0 \quad (1)$$

$$\text{where } R = R_\infty (1 - \exp(-b \cdot \epsilon_p)), \quad X = X_\infty (1 - \exp(-\gamma \cdot \epsilon_p))$$

ここで、 R は等方硬化変数、 X は移動硬化変数、 σ は後続降伏応力、 σ_y は初期降伏応力、 $R_\infty, b, X_\infty, \gamma$ は材料定数、 ϵ_p は塑性ひずみである。

3. 2. 未溶着部近傍のひずみ分布

図-4 に未溶着部近傍の相当塑性ひずみ分布の例を示す。これは最大変位時の分布である。強度マッチングの違いにより未溶着部周辺のひずみ場が異なっており、軟質継手では硬質継手に比べて大きな局部ひずみが生じている。未溶着部寸法によっても局部ひずみは変化した。ここでは省略する。

3. 3. 局部ひずみによる疲労強度評価

Effective notch に沿った要素の中で、最大ひずみが生じた要素のひずみ履歴からひずみ範囲を算出し、これを Effective notch strain として疲労試験結果を整理した。図-5 に結果を示す。曲線は 570MPa 級の鋼素材に対して過去に提案された破断寿命基準の疲労強度曲線^{4,5)}である。また図中には著者らの過去の試験結果(主板厚は 28mm と 24mm)²⁾も合わせて載せている。鋼素材に対する疲労強度曲線と比較すると、試験結果は下側に分布していることがわかる。今回は曲率半径が 1mm の仮想的なノッチ形状を想定したため、局部ひずみの絶対値を評価することは難しいといえるが、Effective notch strain により整理した試験結果は、未溶着部寸法や強度マッチング、主板厚の違いによらず一つの曲線上に分布しており、かつ鋼素材の強度曲線とほぼ同じ傾きである。よって、Effective notch strain を用いて統一的な疲労強度評価が可能であると考えられ、Effective notch の概念を低サイクル疲労領域にも適用できることが示された。

4. まとめ

本研究では、Effective notch の概念を用いた低サイクル疲労強度評価法の有効性について検討した。その結果、Effective notch strain を適用することにより未溶着部寸法や強度マッチング、主板厚の異なる試験体の疲労強度を統一的に評価できることが示された。

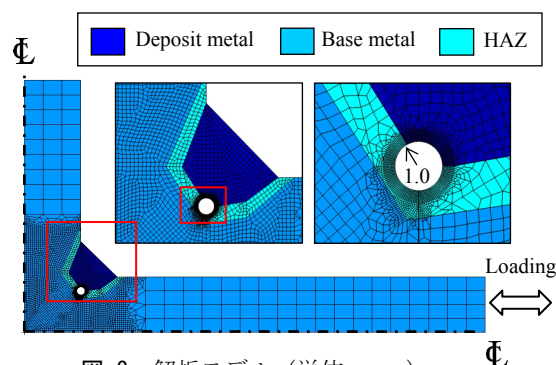


図-3 解析モデル (単位: mm)

表-2 材料定数

Material	σ_y (MPa)	R_∞ (MPa)	b	X_∞ (MPa)	γ
BM	452	143	4	190	36
WD	O25	544	285	2	168
	U25	328	113	1	215

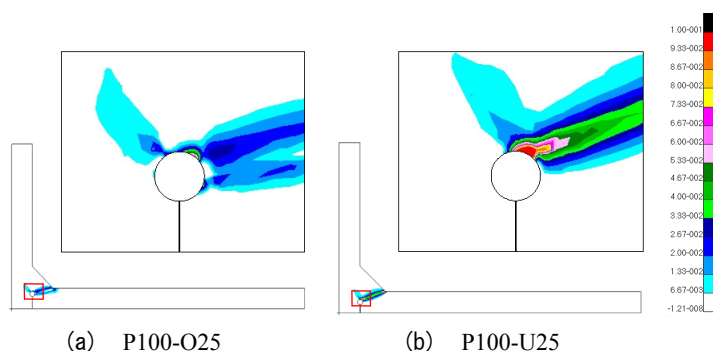


図-4 ひずみ分布

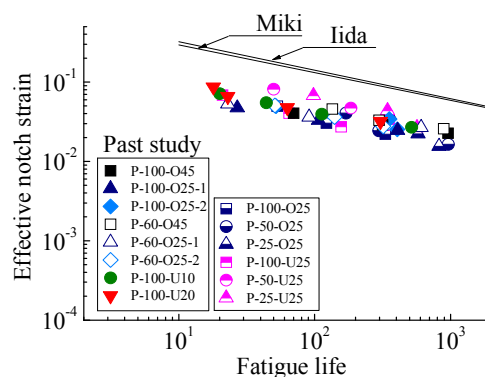


図-5 Effective notch strainによる疲労強度評価

参考文献

- 1) Miki C. and Hirabayashi Y. (2007), Doboku Gakkai Ronbunshuu A, 63-3, 518-532.
- 2) Hanji T. et.al. (2010), XIII-2330-10.
- 3) Fricke, W. (2008), XIII-2240-08/XV-1289-08.
- 4) Miki C. et.al. (1981), Proc. JSCE, 316, 153-168.
- 5) Iida K. (1971), Trans. JWS, 2-1, 86-95.