

繰り返し荷重を受ける無補剛箱形断面橋脚のき裂進展の評価に関する一検討

名城大学 学生会員 ○河村 佳奈
 名城大学大学院 学生会員 池尾 光慶
 名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. 緒言

1995年兵庫県南部地震において、鋼製橋脚の基部や隅角部などのひずみ集中部で低サイクル疲労による脆性的な破壊が確認された。延性き裂の発生および進展後、脆性的な破壊に至るため、き裂の進展状況を予測する解析手法の構築が必要である。これまでに、3段階2パラメータ延性破壊モデルを用いた延性破壊解析による損傷進展エネルギー G_f の簡易推定法¹⁾や損傷開始パラメータ D_{ini} 補正方法²⁾が提案され、溶接継手のき裂の発生および進展を概ね模擬することが可能となったが、対象とする構造物は非常に限定的であることから、本研究では無補剛箱形断面橋脚³⁾を対象に、損傷進展エネルギー G_f 算出方法を再検討した上で、き裂進展の評価を試みる。

2. 解析モデル

解析対象は、頂部に一定圧縮力および繰り返し水平変位を受ける無補剛箱形断面橋脚³⁾であり、図-1に解析モデルを示す。beam要素とsolid要素からなるモデルで、基部は完全固定、対称性から半断面とし対称条件を与えた。メッシュ分割は、き裂の進展が想定される橋脚基部の溶接部および橋脚基部から高さと同幅方向に12mmの領域を1mm角および0.5mm角のメッシュ分割とした。鋼種はSM490YA材であり、構成則は材料試験を基に真応力-真ひずみ関係に移動硬化則を適用した。

3. 損傷進展エネルギー算出方法の再検討

3段階2パラメータ延性破壊モデルで導入される損傷進展エネルギー G_f を以下に示す^{1), 2)}。

$$G_f = \frac{\sigma_{ini} \cdot \Delta \varepsilon_{eq}^f \cdot L_e}{2} \quad (1)$$

ここで、 σ_{ini} は損傷開始応力 ($D_{ini}=1$ に達した時のミーゼス応力)、 L_e は要素特性長さ (solid要素では体積の立方根)、 $\Delta \varepsilon_{eq}^f$ は要素破壊時の相当塑性ひずみである。以下の式から要素破壊時の相当塑性ひずみ $\Delta \varepsilon_{eq}^f$ を算出する。

$$\Delta \varepsilon_{eq}^f = 171990 \exp\left(-7.395 \frac{\sigma_{ini,c}}{\sigma_y}\right) \cdot \frac{L_{e0}}{L_{e,c}} \quad (2)$$

$$1.5 \leq \sigma_{ini,c} / \sigma_y < 2.0$$

$$0.5\text{mm} \leq L_{e,c} \leq 1.43\text{mm}$$

ここで、 $\sigma_{ini,c}$ は0.5mm角メッシュの非破壊解析から得られた損傷開始応力、 σ_y は母材の降伏応力、 $L_{e,c}$ は0.5mm角メッシュの要素特性長さ、 L_{e0} は要素特性長さの無次元化量(=0.983mm)である。文献1), 2)では、 $D_{ini}=1$ 時のHalf Cycleから損傷開始応力を算出していた。しかし、予備解析からは式(2)の適用範囲外となる場合や損傷進展エネルギーがかなり大きくなり、き裂の進展を模擬できなかつた。損傷進展エネルギーは単位面積当たりのエネルギーであるため、値が大きいほど要素が削除されにくくなる。そこで、本検討では図-2に示すように損傷開始応力を損傷開始パラメータ D_{ini} が1に達する前の折れ点から算出する方法も検討する。この方法によりき裂の進展を模擬できる損傷進展エネルギーを算出する。

4. 解析結果

損傷進展エネルギーを算出する際に必要な損傷開始応力を D_{ini} が1に達したHalf Cycleから算出した場合と D_{ini} が1に達する前の折れ点から算出した場合で、き裂進展状況の比較を行う。既往の方法^{1), 2)}により算

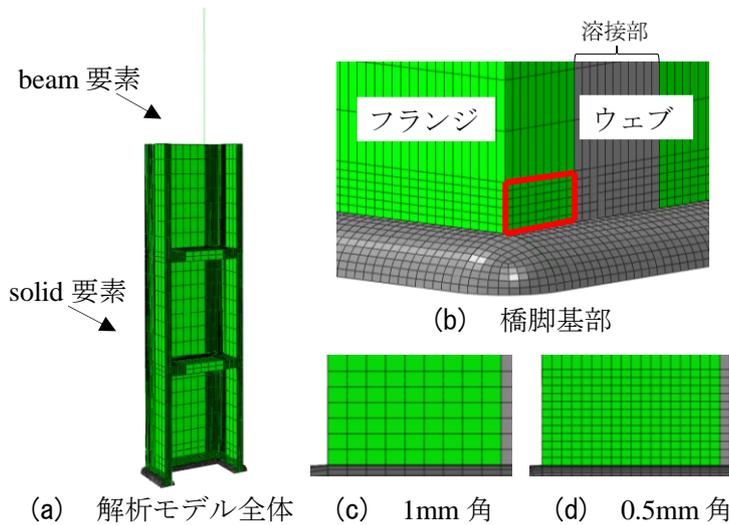


図-1 解析モデル概要

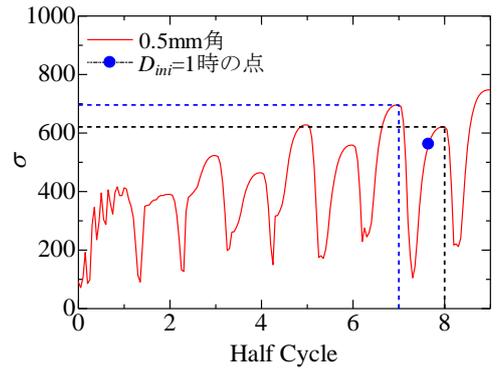


図-2 0.5mm角の損傷開始応力の算出図 (UB35-45C1P1)

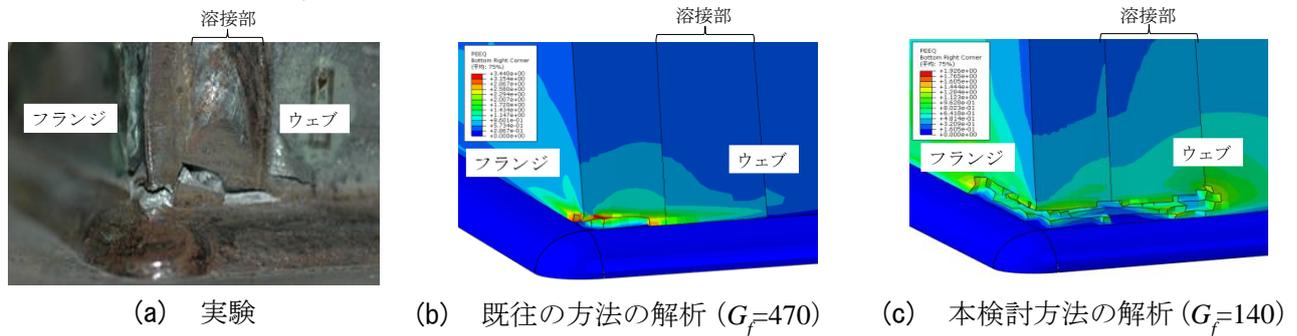


図-3 き裂進展状況の比較 (16Half Cycle)

出した場合、損傷進展エネルギー G_f は 470mJ/mm^2 である。本研究で提案した $D_{ini}=1$ 時の前の折れ点から算出した場合、損傷進展エネルギー G_f は 140mJ/mm^2 である。図-3 に実験と解析のき裂進展状況を示す。既往の方法ではき裂の進展が遅く、特にウェブ方向では溶接部までのき裂の進展が見られない。これに比べて、

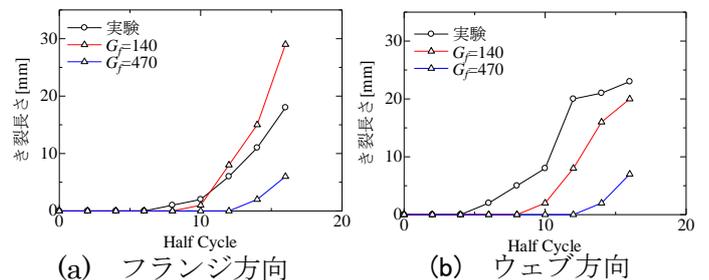


図-4 き裂長さ-Half Cycle 関係

本検討方法は溶接部から母材部へき裂が進展しており、き裂の進展状況を概ね模擬している。図-4 にき裂長さの比較を示す。特にフランジ方向のき裂長さは実験と同程度で進展している。ウェブ方向は実験より若干遅くき裂の進展を模擬しているが、実験では最角部からではなく溶接部からき裂が発生したことが確認されている。ウェブには溶接部があり³⁾、初期不整により実験のき裂進展が早まった可能性があると考えられる。

5. 結論

本研究では、無補剛箱形断面橋脚を対象にき裂進展状況を模擬するため損傷進展エネルギーの算出方法について検討した。その結果、損傷開始応力を $D_{ini}=1$ 時の前の折れ点から算出することで、実験と同程度のき裂進展状況を得られた。今後は本研究の手法の一般性を示すため、異なる構造パラメータや異なる载荷パターンについても検討する必要がある。

参考文献：1)藤江ら：繰り返し荷重を受ける溶接継手の延性破壊解析における損傷進展エネルギーの簡易算出法，土木学会論文集 A2, Vol.74, No.2, pp.I-591_I-602, 2018. 2)田口ら：繰り返し曲げを受ける溶接継手の延性破壊解析におけるメッシュ分割による影響の改善法，令和2年度土木学会中部支部研究発表会，I-24, 2021. 3)葛ら：鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂発生の評価に関する実験的および解析的研究，構造工学論文集，Vol.55A, pp.605-616, 2009.