

鋼材の延性破壊解析における損傷進展エネルギー簡易推定法のメッシュ分割の影響

名城大学大学院 正会員 ○藤江 渉 名城大学大学院 学生会員 田口 実季 名城大学 石原 羽
 名城大学大学院 学生会員 吉田 聡一郎 名城大学 フェロー会員 葛 漢彬

1. はじめに

鋼製橋脚の耐震性向上のため幅厚比パラメータを制限するなどして断面の厚肉化が図られているが、局部座屈への抵抗性は増す一方、基部や隅角部といったひずみ集中部からき裂が発生する懸念がある。また、設計以上の地震荷重が作用した場合、局部座屈による変形とき裂進展による断面欠損によって荷重低下し崩壊にいたると考えられる。構造物の崩壊過程をも想定することが重要視されるようになってきており、き裂進展とそれに伴う断面欠損を考慮可能な解析手法の構築が求められる。著者らは繰り返し曲げを受ける T 型溶接継手を対象に 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を行い、損傷進展エネルギー G_f の簡易推定法を提案した¹⁾。本研究では構造レベルの適用を見据え、既往の研究¹⁾の 0.25mm, 0.5mm メッシュに加え、より簡易的な 1.0mm メッシュの解析モデルを対象として、 G_f の簡易推定法のメッシュ分割の影響を検討する。

2. 解析概要

解析対象は繰り返し曲げを受ける T 型溶接継手の試験体 No. 2 である²⁾。解析モデルの概要図を図-1 に示す。解析には ABAQUS(ver. 6.13)を使用しソリッド要素による 3 次元の半断面モデルとした。支点は Y 方向の移動を拘束し、支点の摩擦力は端部のバネ要素により簡易的にモデル化した。载荷パターンは実験と同様である²⁾。図-2 のように半断面モデルの幅 50mm を 5, 10, 20 分割したケース（以降、T5, T10, T20 とする）を作成し幅方向の分割の影響を検討した。また図-3 のように溶接止端近傍の板厚方向を概ね 0.25mm, 0.5mm, 1.0mm 角（以降、Le0.25, Le0.5, Le1.0 とする）に分割し板厚方向の分割の影響を検討した。本研究で検討した解析モデルを表-1 にまとめて示す。 G_f の簡易推定法¹⁾では、まず Le0.5 の解析モデルの非破壊解析を行い要素破壊時の相当塑性ひずみを推定式により算出する。そして、要素破壊時の相当塑性ひずみは一定であるという仮説に基づき¹⁾、任意の要素サイズにおける損傷進展エネルギー G_f を求めることとしている。すなわち本研究では、要素破壊時の相当塑性ひずみは一定とする仮説が、幅方向の分割が異なる場合、そして Le1.0 に対しても妥当であるか検証することになる。

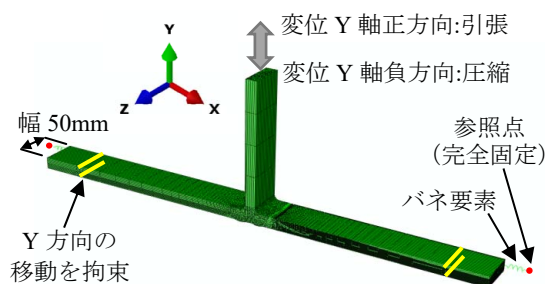


図-1 解析モデル概要図

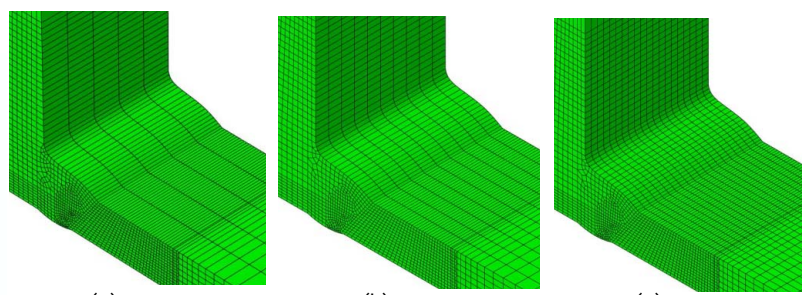


図-2 幅方向の分割

		板厚方向の分割		
		Le0.25	Le0.5	Le1.0
幅方向の分割	T5	Le0.25-T5	Le0.5-T5	Le1.0-T5
	T10		Le0.5-T10	Le1.0-T10
	T20			Le1.0-T20

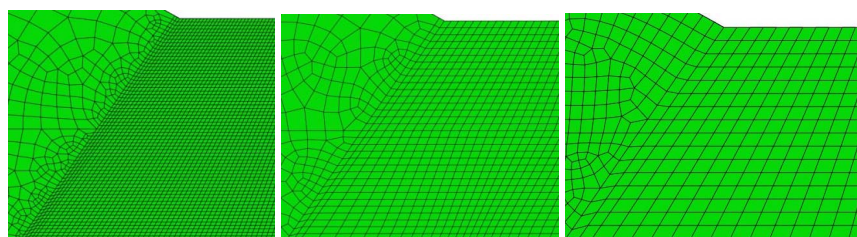


図-3 板厚方向の分割

キーワード 延性破壊解析, 損傷進展エネルギー, メッシュ分割

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2342

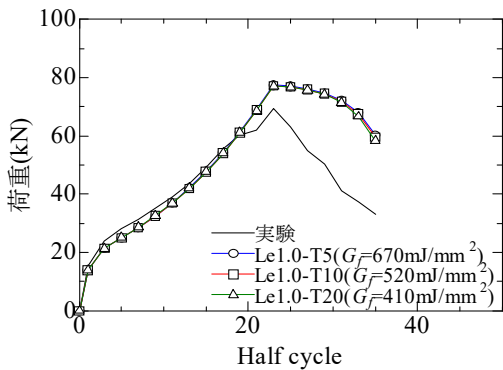


図-4 幅方向の分割が異なる場合の荷重包絡線

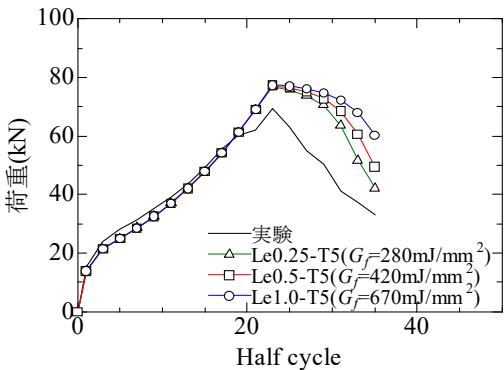


図-5 板厚方向の分割が異なる場合の荷重包絡線

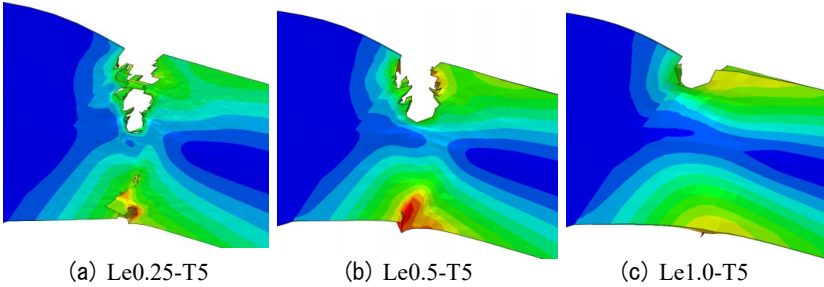


図-6 き裂進展状況 (35 Half cycle)

3. 解析結果

図-4 は Le1.0 において T5～T20 と変化させた場合の、各サイクルの引張側最大荷重の包絡線である。最大荷重から荷重低下の領域において Le1.0-T5～Le1.0-T20 はほぼ同様の履歴であることが分かる。表-2 は初めて要素削除された時の Half cycle と損傷開始パラメータ D_{ini} が 1 に達した時の Half cycle をすべての解析ケースについて示したものである。Le1.0 の場合の T5～T20 ではき裂発生時期がいずれも 27 Half cycle であることが分かる。以上より、幅方向のメッシュ分割については、要素破壊時の相当塑性ひずみは一定とする仮説は概ね妥当であると考えられる。つづいて板厚方向の分割の影響を検討する。図-5 は T5 において Le0.25～Le1.0 と変化させた場合の荷重包絡線である。最大荷重付近は各ケースで概ね同様であるが、荷重低下が進行するにつれ荷重の差異が大きくなっている。Le1.0-T5 と Le0.5-T5 を比較すると、Le1.0-T5 の方が荷重低下の度合いが小さく、荷重を大きめに評価していることが分かる。ここで図-6 に 35 Half cycle における側面からみたき裂進展状況を示す。Le1.0-T5 は Le0.5-T5 に比べてき裂進展が小さいことが分かり、これにより荷重が大きく評価されたと考えられる。また、表-2 から要素初削除時を Le1.0 と Le0.5 について比較すると、T5 および T10 いずれの場合も Le1.0 の方が 4 Half cycle 遅いことが分かる。要素初削除時をき裂発生と捉えるならば、Le1.0 は Le0.5 よりき裂発生を遅く評価していると言える。また、表-2 の $D_{ini}=1$ 時の Half cycle を見ると、Le1.0 は Le0.5 より 2 Half cycle 遅くなっている。 D_{ini} は相当塑性ひずみの累積に応じて増加していくが、Le1.0 は Le0.5 より要素が大きいためにひずみが小さく評価される傾向にあり、ひずみの累積が抑えられ、 D_{ini} の増加が抑制されたと考えられる。 $D_{ini}=1$ に達した後、軟化域に以降し要素削除されるため、 $D_{ini}=1$ に達する時期が遅れば要素削除される時期も遅れると考えられる。以上より、実用性を考えると Le1.0 におけるき裂進展の評価の精度向上を図る必要があるだろう。特に、き裂発生の評価は重要であると考えられ精度を改善する必要がある。

4. 結論

繰り返し曲げを受ける T 型溶接継手を対象に G_f の簡易推定法のメッシュ分割による影響を検討した。その結果、幅方向ではメッシュ分割による影響は小さいことが分かった。一方、板厚方向を 1.0mm 角に分割した場合、0.5mm 角の分割に比べき裂発生時期を遅く、き裂進展も小さく評価することが分かった。

参考文献 1) 藤江渉, 吉田聡一郎, 猪飼豊樹, 葛 漢彬: 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) 加藤友哉, 猪飼豊樹, 山口雄涼, 賈良玖, 葛漢彬: T 型溶接継手の延性き裂発生メカニズムの解明に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1, Vol. 72, No. 4, pp. I_634-I_645, 2016.

表-2 要素初削除時の Half cycle と $D_{ini}=1$ 時の Half cycle

要素初削除時 ($D_{ini}=1$ 時)		板厚方向の分割		
		Le0.25	Le0.5	Le1.0
幅方向の分割	T5	21 (17)	23 (19)	27 (21)
	T10		23 (19)	27 (21)
	T20			27 (21)