

腐食した鋼材のじん性評価手法の検討

名古屋工業大学 学生会員 ○横井 龍也
 トピー工業株式会社 正会員 藤原 英之
 名古屋工業大学 正会員 後藤 芳顕

1. はじめに

兵庫県南部地震や中越地震では鋼構造物では脆性的な破壊が発生したが、この種の破壊は応力集中部に発生した延性き裂を起点としている場合が多い。腐食した鋼部材の幾何学的形状は往々にして局部的に応力集中が生じる形状になっており、延性き裂が発生しやすく脆性破壊の起点となる恐れがある。言い換えれば、腐食した鋼部材の延性き裂の発生を予測することが脆性的な破壊を防止する上で重要である。ここでは、腐食鋼材の延性破壊を解析的に予測することを最終的な目標として、FEM 解析で用いる延性き裂発生条件を供用 70 年以上経過し撤去された鋼桁のフランジを対象に求める。

2. 環状切欠きを有する丸鋼試験片を用いた延性き裂の確認実験

延性き裂の発生条件として、式(1)で定義されるき裂発生時の相当塑性ひずみを応力三軸度の関数で整理された報告が多く見られる¹⁾。ここでも同様の規範での整理を考え、き裂発生時の応力三軸度が変化するように切欠き半径を変えた 7 種類の環状切欠きを有する丸鋼試験片を用いた単調載荷引張試験をおこない、延性き裂の発生点の特定を試みる。

$$\varepsilon_{ep} = \alpha \exp \left(-\beta \sigma_m / \bar{\sigma} \right) + \gamma \quad (1)$$

ここに、 ε_{eq} :き裂発生時の相当塑性ひずみ、 $\sigma_m / \bar{\sigma}$:応力三軸度、 σ_m :静水圧応力、 $\bar{\sigma}$:ミーゼス応力、 α, β, γ :材料係数

(1) **実験概要**: 実験に用いた試験片形状を図-1 に示す。試験片は、供用 70 年以上経過し撤去された鋼桁のフランジから採取した。载荷は試験機ストローク変位を 0.5mm/min の一定速度で制御した。試験中の観察項目は、荷重、標点間伸び、および切欠き底のき裂とする。なお、き裂発生状況は試験中の外観観察だけでは特定しにくいので、同形状の試験片を各 5 本用意し、き裂が生じたと思われる伸びの前後で载荷を中止して回収した試験片を数本作成してマクロ観察をおこなう。

(2) **実験結果**: 実験結果として荷重-標点間伸びを図-2 に示す。図中の▽印はき裂発生時を示す。なお、今回の実験では同形状の試験片においても荷重-標点間伸び曲線に通常より大きな相違が現れる場合があった。これは使用した鋼材が昭和初期のものであり、品質が十分に安定しておらず、試験片採取位置によっては介在物が偏在していたためだと考えられる。従って、図-2 は各形状での代表例を示している。

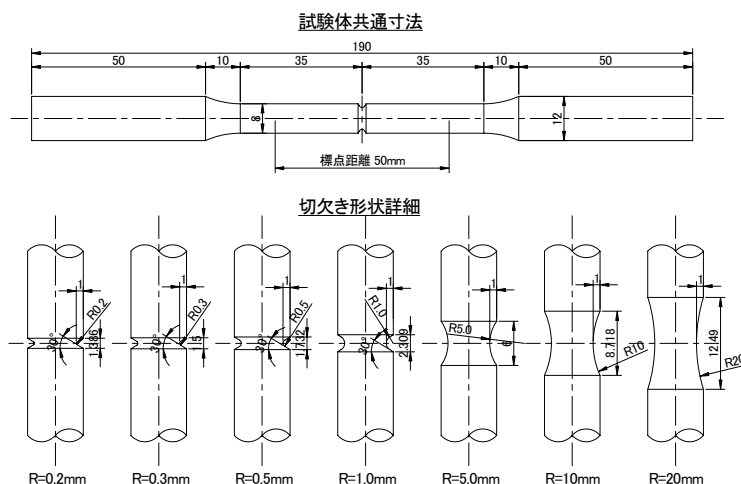


図-1 試験体形状

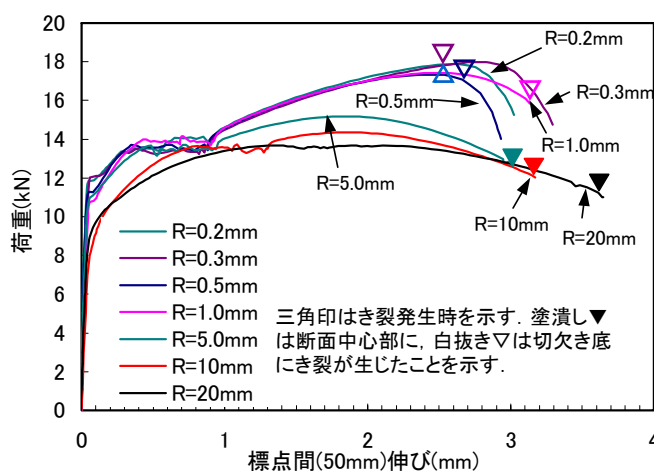


図-2 引張試験結果(荷重-標点伸び)

キーワード 延性き裂, き裂発生予測, じん性, 腐食

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 構造研究室 TEL 052-732-2111

図-2 より、荷重－標点間伸び曲線は切欠き半径 $R=1.0\text{mm}$ を境に異なる傾向を示すことがわかる。 $R=1.0\text{mm}$ 以上では、降伏以降比較的なだらかに荷重が上昇し、明確な荷重ピークを示したのち徐々に荷重が低下して破断に至る。 $R=1.0\text{mm}$ 未満では降伏挙動以降も比較的線形的に荷重は上昇し、最大荷重に到達して以降は急激に荷重が低下し破断している。マクロ観察および破断面の観察結果からは、 $R=0.5\text{mm}$ 以下では切欠き底に生じた延性き裂が内部に進行して破断に至り、 $R=1.0\text{mm}$ 以上では伸びと共に断面方向の絞りが進展し、断面中央の介在物を核としたボイドの成長、合体により生じたき裂が外周方向に進展して破断することが確認された。ただし、 $R=1.0\text{mm}$ では破断前に切欠き底にもき裂が観察されており、今回の試験体では切欠き底半径 1.0mm 前後がき裂発生箇所の遷移点となるものと思われる。

3. 延性き裂発生条件の推定

実験で確認された延性き裂発生時点での応力、ひずみ状態を再現するため有限ひずみを考慮した FEM 解析を実施する。そこで再現された応力三軸度と相当塑性ひずみ値から延性き裂発生条件を推定する。

(1) **解析モデル**：材料構成則としては塑性モデルを用いひずみ硬化領域は一般的なべき乗則で近似した等方硬化則を適用する。このモデルの材料定数は前述の実験で得た $R=20\text{mm}$ の破断までの荷重－標点間伸び曲線から逆解析で同定する。解析モデルは軸対称要素を用い、要素分割は切欠き部および断面中心部での応力、ひずみの収束性を確認して決定する。

(2) **延性き裂発生条件**：解析結果から各形状での切欠き底と断面中央部における応力三軸度-相当塑性ひずみの変化を図-3 に示す。図に示すように、各試験体とも降伏初期の範囲を除いて、切欠き底では断面中心部に比べて応力三軸度が低い範囲を維持して相当塑性ひずみが上昇するのに対して、断面中心部の応力三軸度は相当塑性ひずみとともに上昇する傾向を示す。従って、き裂発生予測には、切欠き底は相当塑性ひずみのみ、断面中心部は式(1)に示す相当塑性ひずみと応力三軸度を考慮するのが妥当であると考えられる。図-3 には今回の実験においてき裂が確認された時点から推定したき裂発生予測線を示す。ハッチング部は実験でのばらつきから算定したき裂発生確率 95%の区間推定範囲を示す。図から、上述のき裂発生予測手法は、切欠き底では若干ばらつきが見られるものの、き裂発生の一いつの規範となり得るものと思われる。

4. まとめ

腐食した鋼材のじん性評価を目的とし、腐食した鋼材から採取した試験片を用いて延性き裂の発生条件を誘導した。今後、ここで求めた延性発生条件と FEM 解析を用いて、腐食した鋼板そのものの引張荷重下でのき裂発生予測とじん性評価の可能性を検討する予定である。

参考文献

1)Machenzie, A.C., Hancock, J. W. and Brown, D. K. : On the influence of state of stress on ductile failure initiation in high strength steels” , *Engineering of Fracture Mechanics*, 9 , 00.167-178, 1977.

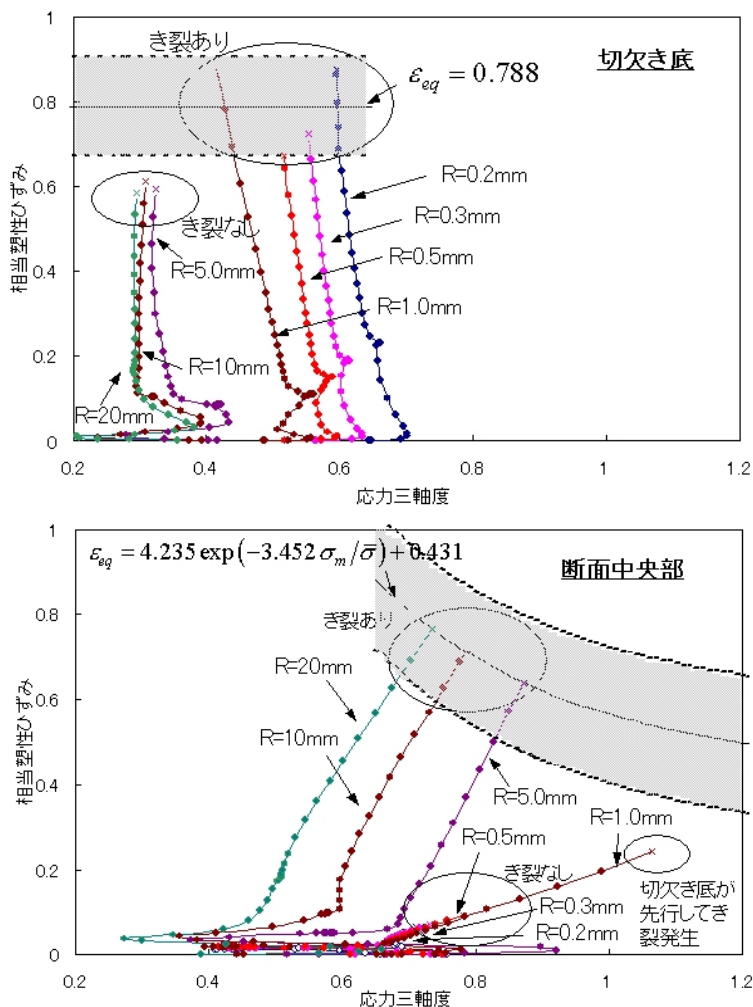


図-3 応力三軸度－相当塑性ひずみの推移(解析値)