

鋼材の延性破壊に及ぼすひずみ履歴の影響

横浜国立大学大学院 学生員 ○森谷 謙一 東京工業大学大学院 正会員 佐々木 栄一
 横浜国立大学大学院 フェロー 山田 均 横浜国立大学大学院 正会員 勝地 弘
 横浜国立大学大学院 学生員 田村 洋

1. 背景と目的

1995年に我が国で発生した兵庫県南部地震では、多くの鋼構造物において被害が報告され、特に鋼製橋脚で発生した地震時脆性破壊が問題となった。後の調査により鋼材の表面から破壊起点となる延性き裂が発生していたこと、破壊起点部には予ひずみが付与されており、延性が低下していた可能性が指摘された¹⁾。そのため、予ひずみが延性き裂発生特性に及ぼす影響について検討する必要があると考えられる。そこで本研究では、既往の研究で対象とされていない最大荷重点に近いレベルの大規模な引張予ひずみ(以下「予ひずみ」)が表面からの延性き裂発生に及ぼす影響について検討を行った。さらにその考察を行うため、延性き裂の発生を支配している応力三軸度と相当塑性ひずみ(以下「影響因子」)が延性き裂発生へ与える影響について検討した。

2. 研究方法

1) 実験概要

実構造物の局所的な拘束を表現するため、表-1に示す化学成分と機械的性質を有する鋼材を用いて、円周切欠き付き丸棒供試体を作製し実験に供した。本研究では、予ひずみの付与による延性き裂発生特性の変化を把握するため、平板を対象とした引張載荷実験を実施し、所定の塑性ひずみを付与した後、切削加工を施すことで供試体を作製した。供試体寸法と切欠き部の詳細図を図-1、図-2にそれぞれ示す。丸棒供試体の引張載荷実験を行い、マイクロSCOPEによる切欠き部の高速動画撮影を行うことで延性き裂発生検知と予ひずみ材の真応力-真ひずみ関係の把握を行った。また、変位計を使用し載荷に伴う標点間変位も併せて測定した。本研究では、表面近傍から延性き裂が発生する拘束作用の高い状態を対象とするため、切欠き寸法Rには0.5mm, 1.0mm, 1.5mmの3種類を設定した。また、予ひずみ量は兵庫県南部地震で実際に脆性破壊が発生した鋼製橋脚に付与されていた量を参考とし、10%, 20%の2種類を設定した。

表-1 鋼材の機械的性質

鋼種	化学成分(%)					降伏強度 (N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	破断伸び (%)
	C	Si	Mn	P	S			
SM400A	14	17	72	0.14	0.2	283	422	34

2) 解析概要

延性き裂発生時の応力・ひずみ状態、影響因子の状況を把握するため、有限要素弾塑性解析を実施した。図-1に示す供試体を模擬した解析モデルを作製し、実験により得られた真応力-真ひずみ関係を材料特性として入力した。Misesの降伏関数を適応し、弾性係数E=200GPa, ポアソン比ν=0.3として解析を行った。図-3に荷重-標点間変位における実験値と解析値の比較を示す。延性き裂発生地点までは、両者は比較的一致しており、解析精度は良好であるといえる。

3) 影響因子が延性き裂発生へ与える影響についての検討

延性き裂の発生は微小空隙(以下「ボイド」)の発生・成長挙動により説明されることから、大規模塑性ひずみを付与した鋼材の断面を観察することでボイドの発生分布を把握し、影響因子との比較を行った。縦割りにした供試体の断面を鏡面処理した上で、走査型電子顕微鏡を用いて観察・画像撮影を行った。その後、断面中央から表面までの連続画像を作製し、切欠き底最小断面部を対象として400μm×100μmの各メッシュごとにボイド発生分布を求めた。

キーワード 延性破壊, 予ひずみ, ボイド, 応力三軸度, 相当塑性ひずみ

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 TEL045-339-4041 FAX045-348-4565

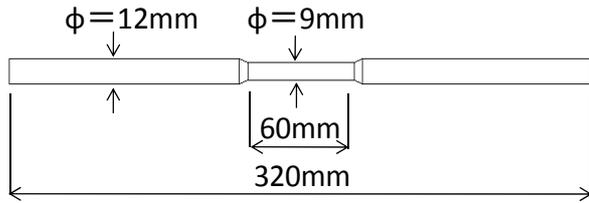


図-1 供試体寸法

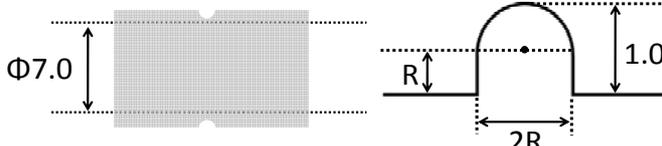


図-2 切欠き詳細図

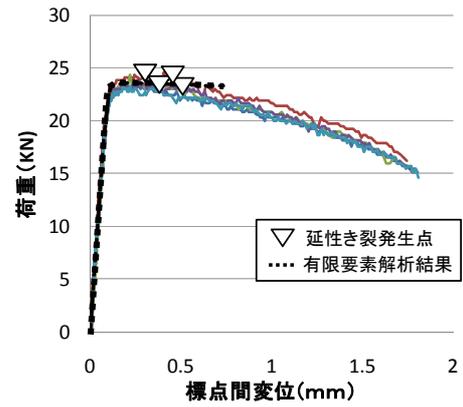


図-3 解析の再現性

3. 研究結果

図-4 に延性き裂発生時の影響因子の関係を示す。本研究で対象とした供試体のうち $R=1.5\text{mm}$ のものでは断面内部から延性き裂が発生した。そのため、応力三軸度が 0.7 以下に分布している表面から延性き裂が発生した $R=0.5\text{mm}$, 1.0mm の結果に着目すると、予ひずみの付与により限界ひずみが低下し、その低下量は予ひずみ量以上となることが判明した。また、各予ひずみ材の限界ひずみが隣接するという特徴的な分布を示すことが明らかとなった。さらに、表面から延性き裂が発生する場合は、断面中央から延性き裂が発生する場合と比較して応力三軸度の影響が小さいことが確認できた。この現象に対する考察を行うため図-5 に示す表面における影響因子の変化に着目すると、相当塑性ひずみの変化と比較して表面での応力三軸度の変化は小さいことが明らかとなった。これは、鋼材表面の要素は接している要素数が少ないため周辺からの拘束効果が小さいことに起因していると推察される。また図-6 にポイド発生分布と影響因子の関係を示す。表面から延性き裂が発生する場合のポイド分布は最大荷重発現時での応力三軸度分布とは明らかに異なった分布特性を示しており、ポイドの発生は相当塑性ひずみに大きく影響を受けることが確認された。

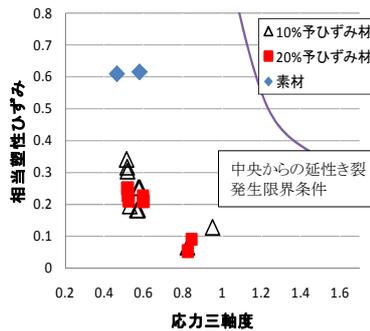


図-4 延性き裂発生への予ひずみの影響

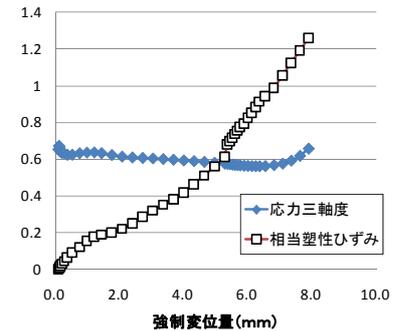


図-5 表面における影響因子の変化

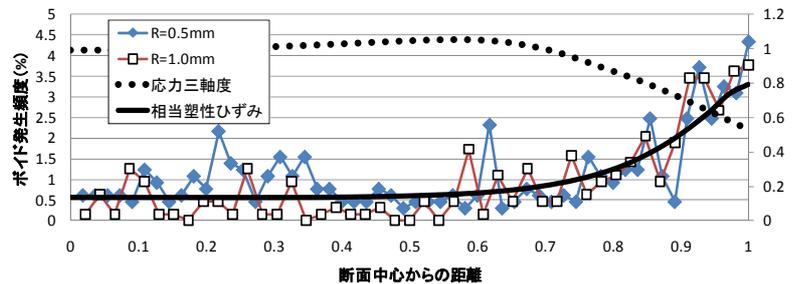


図-6 ポイド発生頻度分布と影響因子の関係

4. 結論

鋼材表面から延性き裂が発生する場合、限界ひずみの低下量は付与した予ひずみ量より著しく大きいことが確認され、全塑性ひずみの累積が延性き裂発生に寄与するといった単純な仮定が必ずしも成り立たないことが明らかとなった。また、10%予ひずみ材は、20%予ひずみ材と同程度の延性低下をもたらす可能性がある。さらに、延性き裂発生に及ぼす応力三軸度の影響は小さくなく、表面から延性き裂が発生する場合には、相当塑性ひずみが支配的に影響を与える可能性が示唆された。

参考文献

1) 岡下勝彦, 大南亮一, 道場康二, 山本晃久, 富松実, 丹治康行, 三木千壽: 兵庫県南部地震による神戸港港湾幹線道路 P75 橋脚隅角部におけるき裂損傷の原因調査・検討, 土木学会論文集, No. 591/I-43, pp. 243-261, 1998