

基部に局所欠陥を有する鋼厚肉断面柱のひずみ集中現象の数値シミュレーション

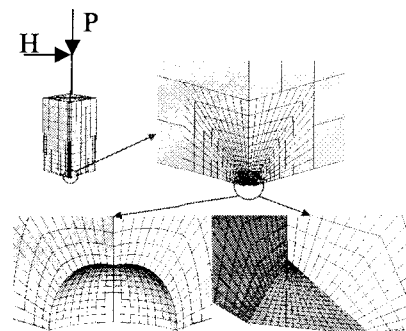
名古屋大学 〇田島 僚 豊田鉄工 (株) 上原 健太郎
名古屋大学 学生員 大橋 正稔 名古屋大学 正会員 葛 漢彬

1. まえがき

厚肉断面を有する鋼製橋脚は変形能は大きいですが、延性破壊が問題となることが予想される。そこで本研究では延性破壊の第一段階に相当する延性き裂発生に着目した。特に構造レベルでのき裂発生に関する研究は少なく、材料レベルにとどまっているのがほとんどである。本報告では Void を考慮した材料レベルにおけるき裂発生ひずみ¹⁾に関して、構造ディテールが及ぼす影響について調査した結果を報告する。

2. 解析概要

解析対象は正方形中空箱形断面を有する鋼製橋脚である。基部から2ダイヤフラム間隔にソリッド要素、それより上ははり要素を用いた。図-1に示すように、溶接部の欠陥によるひずみ集中部を模擬するためにモデル基部の角部に形状的不連続部(以降、切欠きと称する。)を設けた。構成則については大ひずみ領域の挙動を正確に評価するために、降伏棚のあるひずみ硬化型構成則とべき乗硬化則の二つを組み合わせた構成則を用いた¹⁾。载荷方法は、頂部に一定の鉛直荷重 P を与え、水平方向に荷重 H を制御して変位 δ を与える Pushover 解析を行った。



(a) 球径切欠き (b) 三角錐切欠き
図-1 形状的不連続部

切欠き形状(球形, 三角錐), 切欠きサイズ ($r=0.5\text{mm}$, 0.75mm , 1.0mm), 幅厚比パラメータ (0.322, 0.423, 0.663), 鋼種 (SS400, SM490, SM570), 軸力比 ($P/P_y=0$, 0.2, 0.4) について, 計 48 種類のパラメトリック解析を行った。

3. 解析結果および考察

延性き裂は、部材内の形状的不連続部に激しいひずみ集中が生じることに引き起こされるため、延性き裂の発生を追求するには、ひずみ集中性状を把握することが必要である。本解析ではひずみを相当塑性ひずみ ε_{eq} により評価する。また延性き裂は多軸拘束の強い部分で発生するため、多軸拘束の強さを表す指標として応力三軸度 τ を用いる。ここでき裂発生予測については Void を考慮した延性き裂発生条件式(式(1))を用いて判定を行う¹⁾。

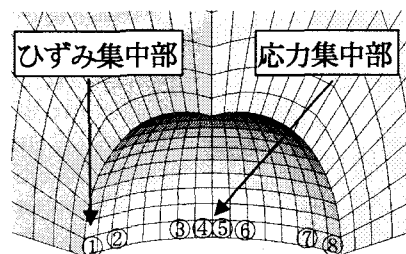


図-2 ε_{eq} と τ の出力点

$$\varepsilon' = 0.775 \cdot \exp(-1.5 \cdot \tau) + 0.422 \quad (1)$$

導入した切欠きにおける相当塑性ひずみと応力三軸度の集中状況を確認した結果、底表面で、図-2に示す点に沿って出力したがひずみ集中は切欠きの両角部、応力集中は中央部において生じたことがわかった。そこでひずみ集中性状と応力集中性状が異なるため、き裂発生予想点として切欠き中央部と角部に着目した。

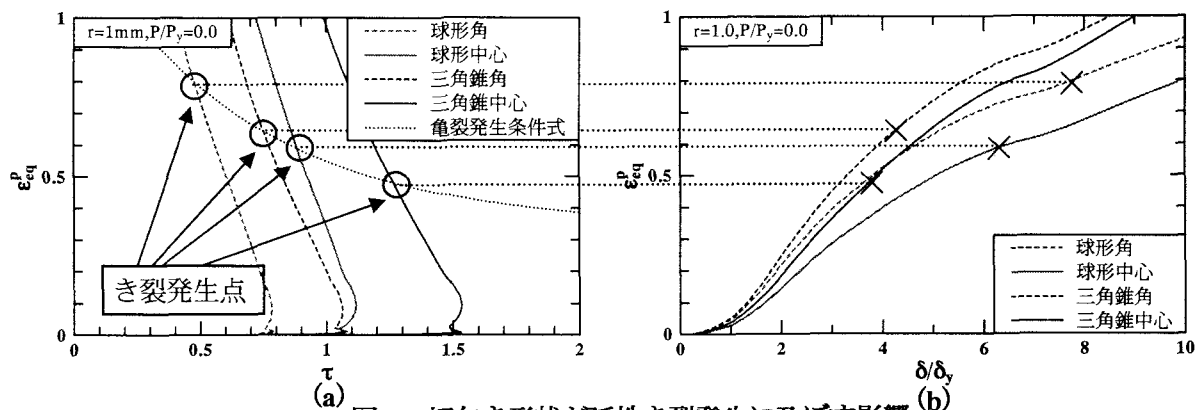


図-3 切欠き形状が延性き裂発生に及ぼす影響

図-3 は切欠きサイズ 1.0mm, 幅厚比パラメータ 0.322, 鋼種 SS400, 軸力比 $P/P_y=0$ を一定にして, 切欠き形状を変化させた結果である。(a) 図は横軸に応力三軸度 τ , 縦軸に相当塑性ひずみ ε_{eq}^p をとった図で, 同曲線と式 (1) との交点をき裂発生点とした。このときのひずみがき裂発生ひずみとなる。(b) 図は横軸に柱頂部の水平変位 δ , 縦軸に相当塑性ひずみ ε_{eq}^p をとり, それぞれ降伏水平変位 δ_y と降伏ひずみ ε_y で無次元化している。き裂発生ひずみに達したときの頂部の変位から変形能の比較を行う。つまり (b) 図の交点がグラフ左側にあるほど変形能が低い段階でき裂発生ひずみに達したことを意味する。切欠き形状を変化させた場合, 三角錐の場合変形能が最も低い結果となった。形状が同じ場合, 角部よりも切欠き中心部き裂が最も早く発生し, 小さな変形能を示す結果となった。なお, その他の解析の結果については紙面の都合上, 当日発表することにする。

次に単柱基部の延性き裂発生時のひずみが, 構造ディテールによりどのような影響を受けるかを検討する。荷重条件と構造ディテール(ここでは, 柱基部の拘束条件)を図-4 に示すように変化させた。(a) と (b) では荷重条件を変化させ, (b) と (c) では構造ディテールを変化させてある。拘束条件を変化させた場合はき裂発生ひずみの値は敏感に変化した, 荷重条件を変化させても違いはなかった。これにより荷重条件よりも構造ディテールの与える影響が大きいことを確認した。

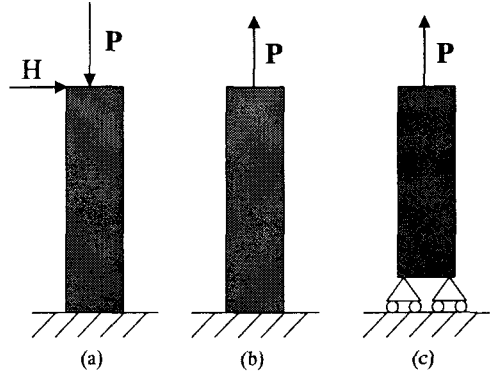


図-4 荷重条件と基部の境界条件による比較

図-5 は横軸に応力三軸度, 縦軸に相当塑性ひずみを取り, 材料レベルと構造レベルのき裂発生ひずみをまとめたものである。構造レベルの延性き裂発生時の相当塑性ひずみの値はパラメトリック解析によりばらつきを持っているので, それぞれ鋼材ごとの下限値を取り, 式 (2) で表される相当塑性ひずみ ε_{eq}^p と平均ひずみ ε_g の相関式により平均ひずみに換算した¹⁾。

$$\begin{cases} \varepsilon_g^* = 251.707 \varepsilon_{eq}^p & \text{SS400} \\ \varepsilon_g^* = 124.599 \varepsilon_{eq}^p & \text{SM490} \\ \varepsilon_g^* = 76.123 \varepsilon_{eq}^p & \text{SM570} \end{cases} \quad (2)$$

この値と, 材料レベルのき裂発生時の平均ひずみとの比がおよそ 0.87 となった(表-1 参照)。これを構造ディテール係数と称し, き裂発生ひずみを材料レベルから構造レベルに換算するときの低減係数として提案する。

表-1 構造ディテールがき裂発生ひずみに及ぼす影響

鋼種	材料レベルの き裂発生ひずみ	構造レベルの き裂発生ひずみ	構造レベル / 材料レベル
SS400	0.054	0.047	0.870
SM490	0.077	0.067	0.870
SM570	0.098	0.086	0.878

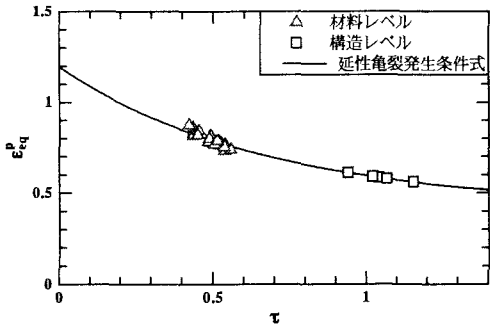


図-5 相当塑性ひずみー応力三軸度関係

4. 結言

鋼製橋脚基部の延性破壊照査の際に, 材料レベルで得られた延性き裂発生ひずみに対して構造ディテール係数 0.87 を乗ずる必要があることがわかった。但し, その他の欠陥形状や構造ディテール(隅角部など)に対してもさらなる検討が必要である。

【参考文献】

- 葛ら: Void の成長を考慮した構造用鋼材の延性き裂発生条件に関する解析的研究, 構造工学論文集(投稿中)。