

延性破壊時における鋼製橋脚基部のひずみ集中度に関する3次元解析

名古屋大学 学生会員 ○松井 延行
正会員 葛 漢彬

1.はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震による被害例の中に、数回程度の極低サイクル疲労により生じたと思われる脆性破壊が発見されたのを契機に、脆性破壊防止を目的とした照査法の確立が叫ばれるようになった。本研究では、脆性破壊の第一段階である延性破壊を終局状態と定義し、断面損傷理論に基づいた数値解析を行い、その破壊メカニズムの解明、および延性き裂照査法の確立を目指した基礎的な検討を行う。

2.解析概要

2.1 解析モデル

解析対象は厚肉断面を有する箱形断面鋼製橋脚であり、延性き裂発生箇所である形状的不連続部を忠実に再現するために、3次元ソリッド要素でモデル化した。さらに、ひずみ集中の詳細を得るために橋脚角部の要素寸法を他の部分より小さくした。各モデルの構造諸元を表1に、全体図および断面図を図1に示す。ここで、 R_f 、 λ 、 h 、 B 、 D 、 t はそれぞれ幅厚比パラメータ、柱としての細長比パラメータ、高さ、フランジ幅、ウェブ幅、板厚である。また、材料定数を表2に示す。

2.2 Gursonの断面損傷理論の概要

延性き裂の発生は鋼材中に存在する微小な空孔（以下ボイド）の発生、成長が主な要因となっている。本研究では、き裂の発生を解析的に求めるためにGursonの断面損傷理論を適用する。き裂発生の判定は単位体積中に含まれるボイドの体積率 f によって行い¹⁾、既往の研究²⁾により、 $f_c=0.1$ とした。

3.解析結果及び考察

3.1 解析結果

解析では、図1のように頂部に水平変位を与え、これを一定軸力のもとで漸増させるPushover解析を行った。本稿ではき裂発生箇所である基部のひずみ集中について述べる。図2は、橋脚基部におけるフランジ幅方向の部材軸方向ひずみの分布を各変位振幅で示したものである。横軸は、角部からの距離をフランジ幅方向でとったものであり、縦軸は、軸ひずみを降伏ひずみ ε_y で除したものである。尚、グラフには解析モデルと同じ諸元を有する実験供試体において1サイクルごとの繰り返し载荷試験を行った時の延性破壊変位³⁾を黒点で示してある。これを見ると軸ひずみは水平変位の増加とともに増大し、角部の最端部で最もひずみ量が大きくなり、ひずみ量の高い値は1mm程度の非常に狭い範囲に集中していることが分かる。また、3つのモデルの間に大きな違いは見られず、同変位での軸ひずみ量はほぼ同じである。以上のことから、ひずみ分布は検討した3つのモデル形状にほとんど影響しないと言える。次に、角部が周囲に比べどれほどひずみが集中しているのかを述べる。図3は、変位の増大に伴い、ひずみ集中の度合いがどのように変化していくかを示したグラフで、横軸が水平方向変位を橋脚の降伏水平変位で除したものであり、縦軸が角部最端部の軸ひずみ（ $\varepsilon_{\max}$ ）を、フランジ中央部の軸ひずみ（ $\varepsilon_{\min}$ ）で除したものをひずみ集中度として示してある。尚、解析で求めた延性破壊点を黒点でプロットしてあ

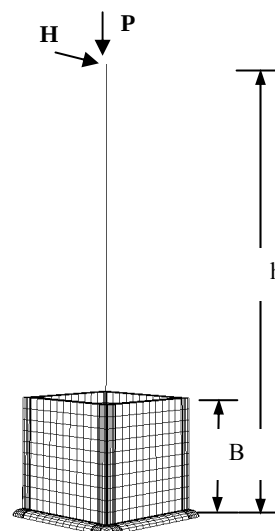


図1 解析モデル

キーワード：延性破壊，断面損傷理論，ひずみ集中

連絡先（名古屋市千種区不老町・電話 052-789-4485・FAX 052-789-5461）

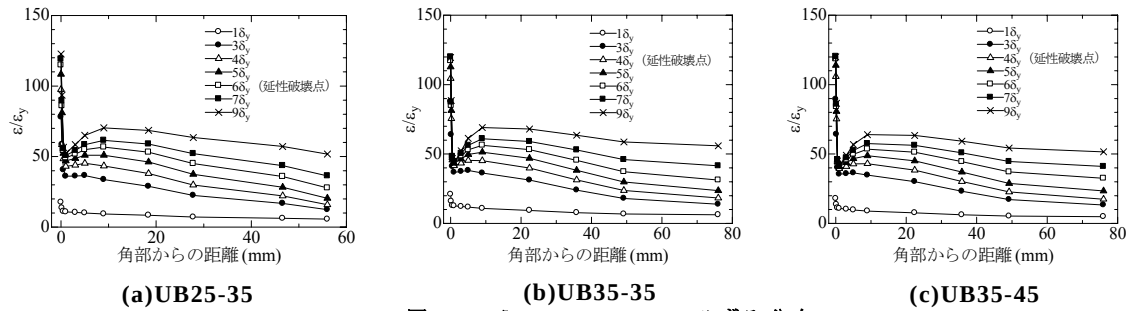


図 2 フランジ幅方向の軸ひずみ分布

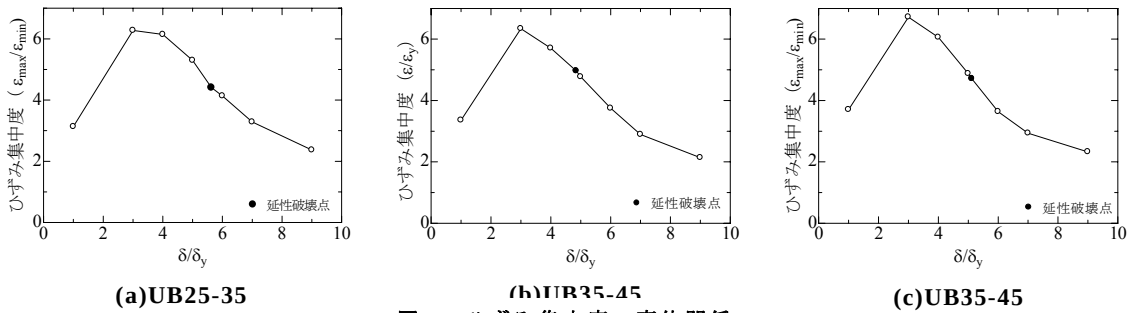


図 3 ひずみ集中度－変位関係

る．これを見ると，変位増大とともに値が増していき，角部のひずみは中央部のひずみの 6 倍以上にもなる．しかし最大点を超えると，それ以降は下降していくのが分かる．

3.2 ファイバーモデルへの適用

ここでは一般の耐震解析で用いられるファイバーモデルを用いた場合のき裂発生ひずみの推定方法に関する一考察を示す．まず，図 4 にファイバーモデルによる Pushover 解析で得られた基部の軸ひずみの結果を破線で示す．横軸は水平変位を降伏水平変位で除したものであり，縦軸は基部の軸ひずみを降伏ひずみ ϵ_y で除したものである．グラフ中の縦実線は実験のき裂発生時の変位 ($=4\delta_y$) であり，横実線は材料レベルで得られた終局ひずみ ($=50.7\epsilon_y$) である²⁾．これを見ると，軸ひずみが ϵ_f に達したときの変位は，実験値と比べかなり大きく，危険側となる．ここで，ファイバーモデル解析では考慮出来ないひずみ集中現象を考慮した補正を行う．具体的には，3 次元解析で得られた解析上のき裂発生点までのひずみ集中度を平均化したものを用いる．これを 3 モデルに対して計算するとそれぞれ 4.73, 4.85, 4.31 となり，さらに平均をとると $\alpha=4.63$ となった．これを軸ひずみに乗ずることで，ファイバーモデルに対しても近似的にひずみ集中を考慮することが可能となる (図 4 での実線)．ここで，き裂発生限界時ひずみ ϵ_f に達するときの変位が，延性き裂発生 の推定点となる．表 3 に 3 つのモデル全てに対して補正を行った結果を示す．これにより，実験における延性破壊変位を精度よく予測できたことが分かる．

4. 結言

鋼製橋脚基部におけるひずみ集中の状況について調べファイバーモデルでの判定を可能にするためのひずみ集中係数を導入し，延性破壊変位を精度よく予測した．

参考文献

1) 菊池 正紀(2002): 延性破壊解析研究の最近の動向—Gurson の構成式を用いた数値解析—, 材料, 51(8), pp.859-866.
2) 葛 漢彬, 川人 麻紀夫, 大橋 正稔 (2005): 鋼材の延性き裂発生 の限界ひずみに関する基礎的研究, 土木学会地震工学論文集.
3) 津村 康裕, 葛 漢彬, 松井 延行(2006): 延性き裂の発生を伴う鋼製厚肉断面橋脚の終局状態に関する実験的研究, 土木学会第 61 回年次学術講演集.

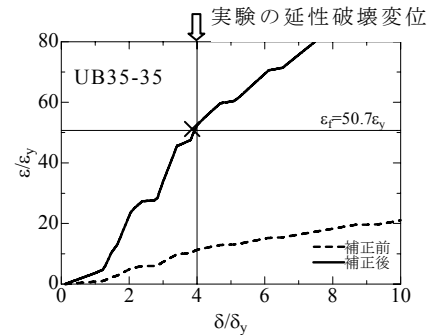


図 4 ファイバーモデルによる推定法

表 3 終局変位の予測値と実験値

モデル	実験結果	本手法
UB25-35	$6\delta_y$	$3.93\delta_y$
UB35-35	$4\delta_y$	$3.96\delta_y$
UB35-45	$4\delta_y$	$3.73\delta_y$