

鋼製橋脚の延性き裂簡易照査法に関する解析的研究

名城大学大学院 学生会員 萩野 勝哉
名城大学 川島 一輝
名城大学 正会員 葛 漢彬

1. まえがき

1995年1月の兵庫県南部地震の過大な繰り返し荷重の影響により一部の鋼製橋脚の基部及び隅角部等の形状不連続部において、ひずみが集中して低サイクル疲労あるいは極低サイクル疲労による脆性的な破壊モードの第一段階に相当する延性き裂が発生することが知られている¹⁾。同地震以前では、国内の土木鋼構造物においては、ひずみ集中部において、比較的薄肉断面が多用されていたため、その主要な破壊形式は局部座屈であった。そのため、耐震設計において、局部座屈の影響を考慮した研究は数多く行われてきた。しかし、同地震を契機として、これらのひずみ集中部における局部座屈発生を防止し変形性能を向上させるという目的から同地震以後は、厚肉断面が多用されるようになった。ところが、厚肉断面における主要な破壊形式は、延性き裂を起因とする脆性的な破壊が考えられる²⁾。

同地震以前は、耐震設計において、鋼構造物のひずみ集中部における局部座屈の発生を考慮した研究は精力的に行われてきたが、同地震以後は、延性破壊の影響を考慮した研究がそれ程多く行われていないのが現状である。

そこで、本研究では、繰り返し荷重の影響により発生するひずみ集中部の延性き裂を予測するという観点において、厚肉断面を有する無補剛箱形断面鋼製橋脚を対象として、有限要素解析を実施する。実務の耐震設計において、多く用いられている、はり要素を用いた解析によりこれまでのシェル要素解析に基づく解析手法と同等の延性き裂発生評価を可能にする手法を提案することを目的とする。

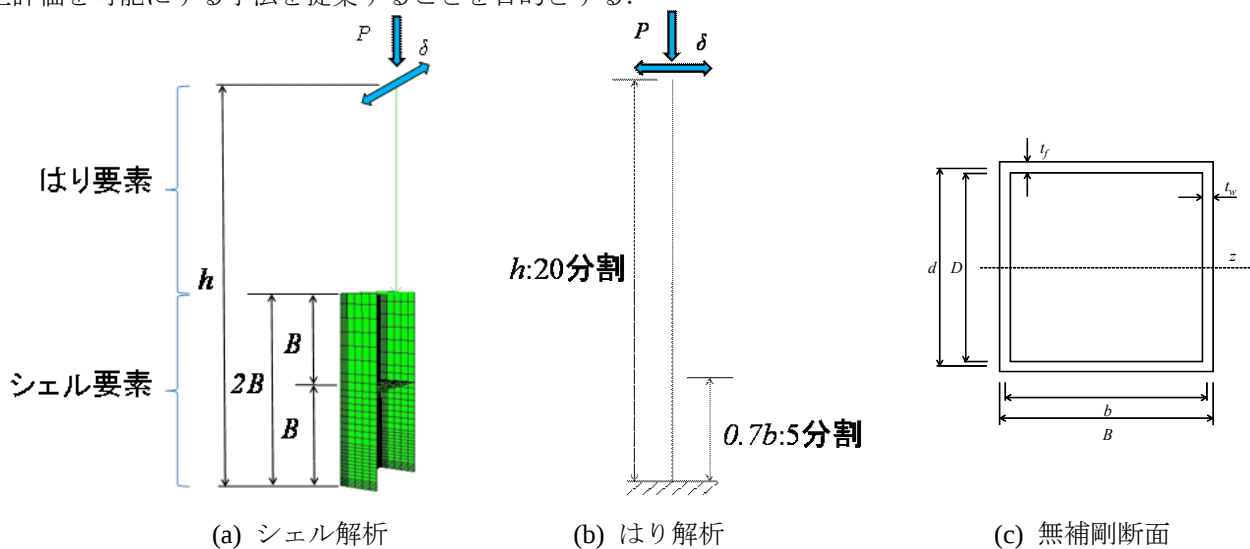


図-1 解析モデル

2. 解析手法

2.1 解析モデル

解析は、汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS を用い、柱頂部に一定軸圧縮力 P を与えた状態で水平方向に繰り返し変位履歴を与えた。解析モデルは、図-1(a),(b)にそれぞれ示した。図-1(c)に無補剛断面を示した。シェル解析は、図-1(a)に示すように、き裂が発生しうるコーナー部を 2mm 四方に細かく分割し、局部座屈が鋼製橋脚の基部や隅角部において発生する可能性が最も高いことから基部から $2B$ までの高さを shell 要素、それより上は、beam 要素とした。はり解析においても図-1(b)に示すように、同様の理由から基部から $0.7b$ までを細かく 5 分割し、それより上は 15 分割し、全体で 20 分割してある。

表-1 材料定数

鋼種	E(GPa)	ν	$\sigma_y(\text{MPa})$
SM490Y	206	0.3	365

2.2 shell 解析による延性き裂発生の評価方法

無補剛断面を有する鋼製橋脚を shell 要素を用いてモデル化し解析を行い、延性き裂発生箇所近傍のひずみ挙動を検討する。以下に示す既往損傷度評価式により延性き裂発生の評価が可能か検証する。

$$D = C \sum (\varepsilon_{pr})^m$$

基部のひずみ集中を模擬できる shell 解析において、既往損傷度評価式が 1 を超えた時点を延性き裂が発生したと評価する。

2.3 はり解析による延性き裂発生の評価方法

既往損傷度評価式は、shell 解析には適用が可能であるが、はり解析には適用できない。そこで、はり解析においても、延性き裂発生の評価を可能にするため、既往損傷度評価式にひずみ集中を模擬できる係数 β を導入する必要がある。

ここに β の算出方法を示す。シェル解析とはり解析を行い、シェル解析でき裂が発生したとされる半サイクル数までのそれぞれの解析より得られた各半サイクル数の塑性ひずみ範囲比を求め合計を算出する。合計をデータの個数で割り平均を求めた値がひずみ集中補正係数 β である。

以下に β の提案式、併せて β を導入した損傷度評価式を示す。

$$\beta = 8.162R_f^{1.02} + 149.564\left(\frac{t}{t_0}\right)^{0.015} - 5.852\bar{\lambda} - 146.048 \quad (\text{ここに } t_0=9\text{mm})$$

$$D = C \sum (\beta \cdot \varepsilon_{pr})^m$$

shell 解析と同様にはり解析においても損傷度が 1 を超えた時点を延性き裂が発生したと評価する。

図-2、図-3、図-4 に β と R_f 、 t/t_0 、 $\bar{\lambda}$ のそれぞれのパラメータとの関係を示す。図-2 及び図-3 はパラメータが大きくなると β が大きくなっていることがわかる。

図-2 では、幅厚比が 0.25 から 0.4 の厚肉断面では、座屈よりもき裂の発生が先行するパターンで、板厚が一定で幅厚比が大きくなると板幅が大きくなり、板中央部のひずみが小さくなるのに対してコーナー部のひずみが比較的に大きくなる傾向がある。そのため、ひずみ集中係数は増大している。図-3 では、同様な理由で同じ幅厚比でも板厚が大きくなるとコーナー部でのひずみが比較的に大きくなるためひずみ集中係数は大きくなる。図-4 では細長比が大きくなると β が小さくなっている。これは、柱頂部での水平変位と曲げの増大により $P-\delta$ 効果の影響によりひずみ集中が緩和されるためであると考えられる。

2.4 損傷度評価式(本手法)の妥当性

shell 解析と本手法で得られた損傷度と半サイクル数との関係を図-5 に示す。これらの図をみると、本手法は、shell 解析で得られた損傷度とほぼ同様の曲線を描いていることがわかる。これは、既往損傷度評価式に β を導入することではり解析においても基部のひずみ集中現象を模擬できると考えられるからである。

3. あとがき

本研究で既往損傷度評価式に β を導入することでシェル解析と同等の延性き裂発生評価を行えることがわかった。

参考文献：1) 葛・大橋・田島：鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂の発生とその進展に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.53A，pp.493-502，2007.3. 2) 葛・津村：鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂発生の評価に関する実験的および解析的研究，構造工学論文集，Vol.55A，pp.605-616，2009.3.

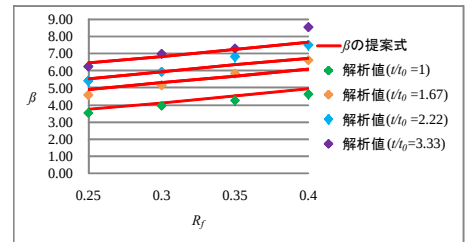


図-2 異なる幅厚比が β に及ぼす影響

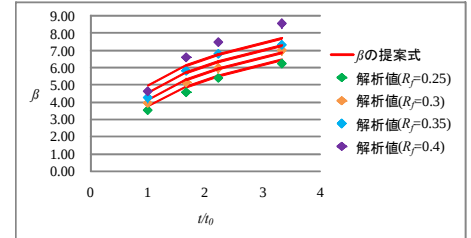


図-3 異なる板厚が β に及ぼす影響

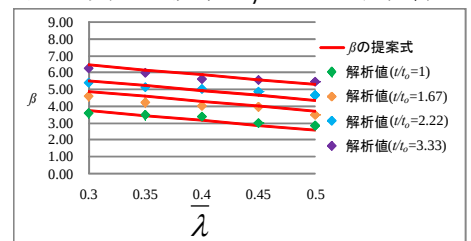


図-4 異なる細長比が β に及ぼす影響

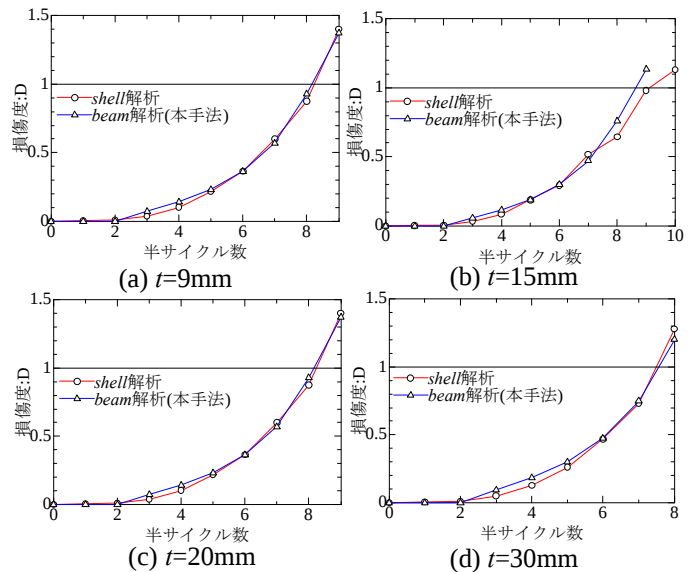


図-5 本提案の妥当性(R_f が0.25の場合)