

Pushover 解析を用いた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 森 翔吾
 藤コンサル株式会社 正会員 萩野 勝哉
 名城大学 正会員 葛 漢彬

1. まえがき

著者らは、はり解析による無補剛箱形断面鋼製橋脚の延性き裂発生を予測するため、シェルモデルに基づく損傷度評価式に後述するひずみ集中補正係数 β を導入した損傷度評価式を提案してきた¹⁾。この β を導入した損傷度評価式を用いることで、はり解析においても延性き裂発生を精度よく予測できることが明らかになっている。

そこで本研究では、更に評価を簡易なものとするため、提案した β を用いて Pushover 解析を行い、シェル解析との結果と比較することで延性き裂発生の予測が可能であるかを検討する。

2. 解析モデル

解析モデルは図-1、図-2 にそれぞれ示した。また、断面は図-3 のような無補剛箱形断面としている。シェル解析は、図-1 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 $2B$ までの高さをシェル要素、それより上は、はり要素とした。はり解析においても図-2 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。

載荷方法はシェル解析では柱頂部に一定の鉛直軸圧縮荷重と水平方向に漸増変位振幅載荷をし、はり解析についても柱頂部に一定の鉛直軸圧縮荷重と水平方向に単調載荷を行った。

解析モデルは細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を 0.3 とし、幅厚比パラメータ R_f と板厚 t をそれぞれ変更して作成したものについて比較した。

3. シェル解析による延性き裂発生の評価方法

無補剛箱形断面を有する鋼製橋脚をシェル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を行う。

$$D = C \sum (\varepsilon_{pr})^m \quad (1)$$

ここで、 C 、 m は単柱式鋼製橋脚の実験結果をもとに得られたもので、SM490YA 鋼材で製作された供試体の場合 $C=9.69$ 、 $m=1.86$ となっている。 ε_{pr} は塑性ひずみ範囲である。なお、塑性ひずみの抽出法にはレンジ法を用いた。 $D=1$ となった時点での Half Cycle を解析による予測延性き裂発生点とする。

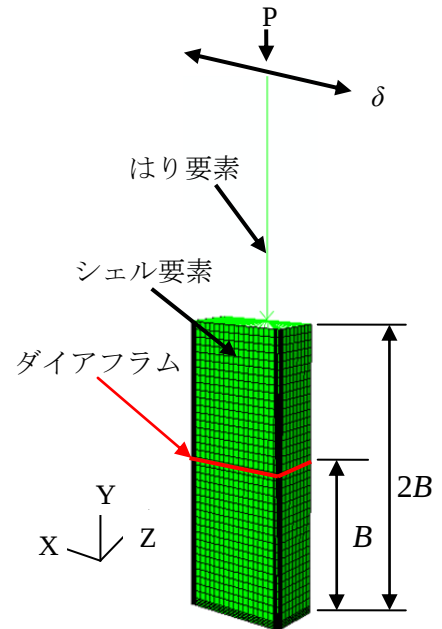


図-1 シェル解析

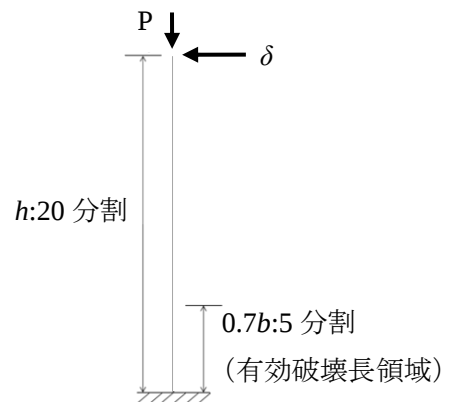


図-2 はり解析

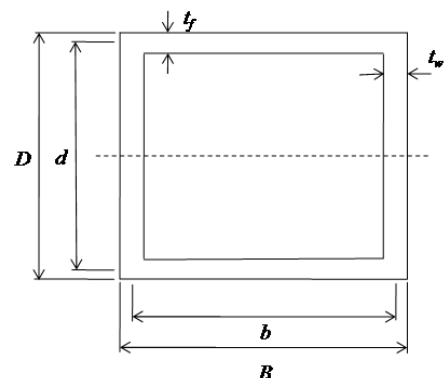


図-3 無補剛箱形断面

キーワード 鋼製橋脚, 延性き裂, シェル要素, はり要素

連絡先: 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部建設システム工学科 TEL 052-838-2342

4. Pushover 解析による延性き裂発生評価

前節に記した損傷度を用いた延性き裂発生評価法は繰り返し荷重を載荷させるシェル解析を行う際に有効であり, *Pushover* 解析にはそのまま適用できない. そのため, *Pushover* 解析を行うには何らかの延性き裂発生条件が必要となる. 今回の *Pushover* 解析には葛ら(2005)が提案した以下の延性き裂発生限界ひずみ ε_f を用いてき裂の発生を評価する.

$$\varepsilon_f = 7.7\% \quad (\text{SM490 鋼材の場合}) \quad (2)$$

また, き裂の発生は *Pushover* 解析を行い, 解析モデルの頂部における水平変位と基部の要素の引張ひずみ ε の相関関係を得て, 引張ひずみが延性き裂発生限界ひずみ 7.7% となった水平変位を予測延性き裂発生点とし延性き裂の発生を評価する. また, 本研究では汎用性を考慮し, (2)式を以下のひずみ集中補正係数 $\beta^{(1)}$ で除することで, 近似的に無補剛箱形断面を有する鋼製橋脚の構造レベルでの延性き裂発生限界ひずみ $\varepsilon_{f,struct}$ とする.

なお, ひずみ集中補正係数 β はシェル解析とはり解析を行い, 各半サイクル数の塑性ひずみ範囲比を平均した値である.

$$\beta = 11.1R_f + 1.18\left(\frac{t}{t_0}\right)^0 - 1.34\bar{\lambda} - 0.0751 \quad (\text{ここに } t_0=9\text{mm}) \quad (3)$$

$$\varepsilon_{f,struct} = \frac{\varepsilon_f}{\beta} \quad (4)$$

5. 局部座屈と延性き裂発生の統一的照査法

局部座屈と延性き裂発生の評価を統一的に行い, 局部座屈に対する照査に加え, 延性破壊を考慮した照査法の提案を試みる. ファイバーモデルによる *Pushover* 解析により限界値である終局変位を算定するには, 終局圧縮ひずみが必要となる. 終局圧縮ひずみ³⁾は以下の式(5)の算定式から得られるが, 単調増大荷重のもとでの解析から得られる, 有効破壊長領域での平均圧縮ひずみから導かれたものである.

式(5)から終局圧縮ひずみを求めた結果, 幅厚比が 0.3 のモデルにおいて, 板厚が 15mm 以下の場合 $\varepsilon_u=0.354$, 板厚が 16mm 以上の場合 $\varepsilon_u=0.344$ である.

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{0.24}{(R_f - 0.2)^{2.8}(1 + N/N_y)^{2.4}} + \frac{2.8}{(1 + N/N_y)^{0.6}} \leq 20 \quad (\text{適用範囲: } 0.2 \leq R_f \leq 0.7, 0.0 \leq N/N_y \leq 1.0) \quad (5)$$

各解析モデルの結果を表-2 に示す. この表からわかるように, *Pushover* 解析による延性き裂発生は, シェル解析による延性き裂発生よりも安全側に評価できていることがわかる. また, 縦軸にシェル解析による延性き裂発生点, 横軸に *Pushover* 解析による延性き裂発生点をプロットしたものを図-4 に示す. この図からわかるように *Pushover* 解析による延性き裂発生は, シェル解析による延性き裂発生を $\pm 30\%$ 程度の誤差で本手法によりシェル解析での延性き裂発生を安全側に評価できていることがわかる.

6. あとがき

ひずみ集中補正係数 β を導入した $\varepsilon_{f,struct}$ を用いることで, *Pushover* 解析において延性き裂を安全側に評価できた.

参考文献: 1) 萩野勝哉, 川島一輝, 葛漢彬: 鋼製橋脚の延性き裂簡易照査法に関する解析的研究, 平成 23 年度土木学会中部支部研究発表会, I-12, pp.23-24, 2012 年 3 月 2) 葛漢彬, 川人麻紀夫, 大橋正稔: 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, Vol.28, 論文番号 No.190, 2005 年 8 月. 3) 土木学会: 鋼・合成構造標準設計方書[耐震設計編], 2008 年 2 月.

表-1 材料定数

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

表-2 各解析モデルの比較

$\bar{\lambda}$	R_f	板厚 (mm)	Pushover 解析 予測延性き裂発生点 (δ/δ_y)	シェル解析
0.3	0.25	9	6	6
		15	5	5
		20	4	5
		30	3	4
	0.3	9	5	6
		15	4	5
		20	3	4
		30	3	4
	0.35	9	5	6
		15	4	5
		20	4	4
		30	3	4
	0.4	9	4	6
		15	4	4
		20	3	4
		30	3	4

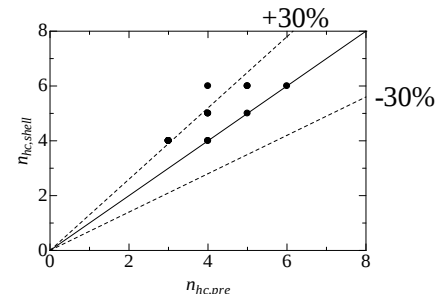


図-4 各解析モデルの比較