

Pushover 解析を用いた鋼製補剛箱形断面橋脚の延性き裂発生の簡易評価法に関する再検討

名城大学大学院
名城大学

学生会員
伊藤 諒祐

○田口 実季

名城大学大学院
名城大学

正会員
フェロー

藤江 渉
葛 漢彬

1. 緒言

1995 年に発生した兵庫県南部地震において、鋼製橋脚の基部や隅角部に脆性的な破壊が確認された。そこで、脆性的な破壊の第一段階である延性き裂発生を防止を目的とし、土木学会の 2018 年制定鋼・合成構造標準方書[耐震設計編]（以降、学会示方書と略称）では、はり要素を用いた繰返し解析（以降、beam 解析と略称）から算出したひずみ履歴を基に累積疲労損傷度による照査法が示されている。しかし、この照査法では、繰返し載荷を用いる必要があり、実務レベルでの適用を考えると基本モードが卓越する構造物においては、より簡易な解析手法によっても評価できることが望ましいと考えられる。本研究では、鋼製補剛箱形断面橋脚頂部の変位に着目し、はり要素を用いた Pushover 解析による延性き裂発生の評価法を提案する。そして、シェル要素を用いた繰返し解析（以降、shell 解析と略称）の結果と比較し適用性を検討する。

2. 解析概要

汎用解析プログラムABAQUSを用いて、柱頂部に一定圧縮力 P および水平荷重 H を受けるPushover解析を行った。図-1、図-2および表-1に解析モデル、断面図および解析モデル諸元を示す。解析モデルは、紙面の都合上、 $\bar{\lambda}=0.30$, $R_f=0.35$, $t=10\text{mm}$ の1ケースを示す。メッシュ分割は、図-1に示すように、解析モデルの高さ h を20分割し、有効破壊長領域 $0.5b$ は5分割した。図-2に示すように、断面は等価な無補剛断面に換算した。鋼種はSM490Yとし、構成則は修正二曲面モデルを使用した。境界条件は、基部を完全固定し、頂部に水平荷重を単調載荷した。

3. 材料レベルの延性き裂発生限界ひずみ

学会示方書に示されている累積疲労損傷度を用いた照査法は、単調載荷である Pushover 解析に適用することができないため、延性き裂発生を終局変位を定める破壊条件が必要となる。葛ら¹⁾は、応力 3 軸度と相当塑性ひずみで表される延性き裂発生条件式とグローバルひずみー相当塑性ひずみ関係を示す近似式から、材料レベルの延性き裂発生限界ひずみ ϵ_f を式(1)のように提案している。

$$\epsilon_f=0.077$$

図-1 において、引張ひずみは最下部の要素から、水平変位は橋脚頂部から出力し、引張ひずみが破壊条件である式(1)に達した時の水平変位を延性き裂発生限界変位とする。しかし、既往の研究より、材料レベルの延性き裂発生限界ひずみでは、

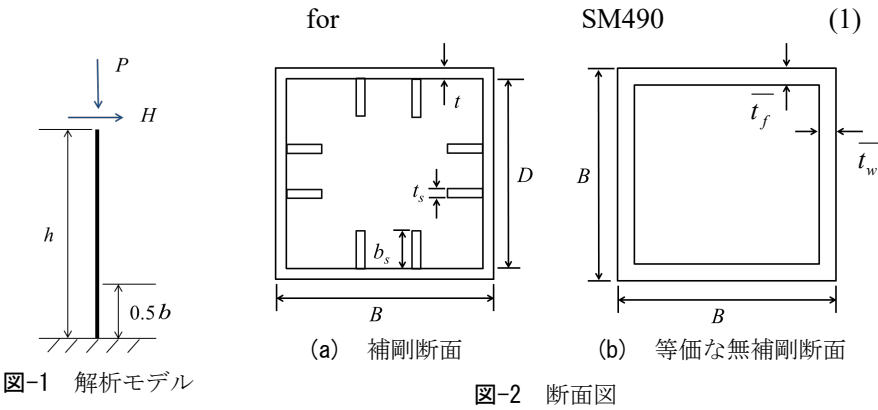


表-1 解析モデル諸元の一例

モデル名 $\bar{\lambda}-R_f-t$	$\bar{\lambda}$	R_f	$t=t_s(\text{mm})$	α	γ/γ^*	P/P_y	$H_y(\text{kN})$	$\delta_y(\text{mm})$
30-35-10	0.30	0.35	10	0.5	3.0	0.1	472	8.72

Note : $\bar{\lambda}$ =細長比パラメータ, R_f =幅厚比パラメータ, t =板厚, t_s =補剛材板厚, α =アスペクト比, γ/γ^* =補剛材剛比, P/P_y =軸力比, H_y =降伏水平荷重, δ_y =降伏変位

キーワード 延性き裂, Pushover 解析, 鋼製橋脚, 補剛断面, はり要素

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2342

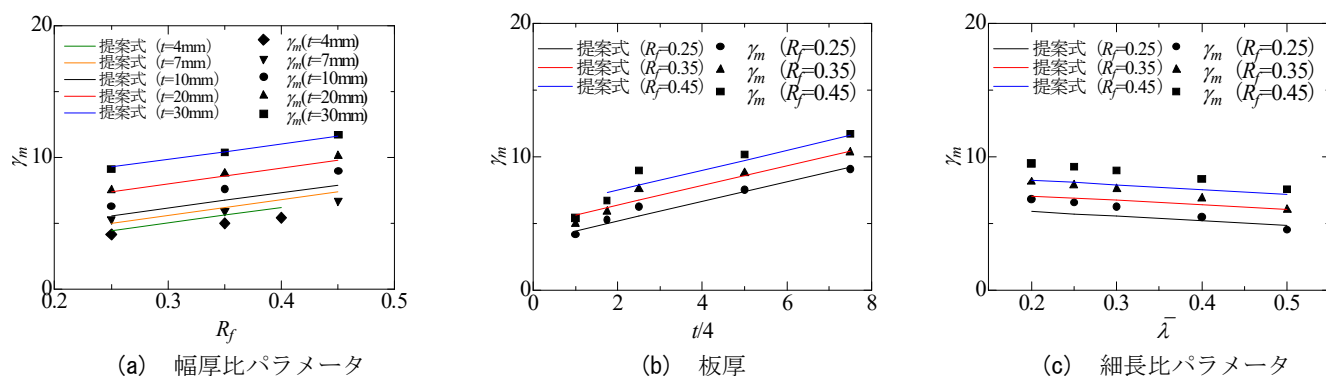


図-3 各構造パラメータが限界ひずみ補正係数に及ぼす影響

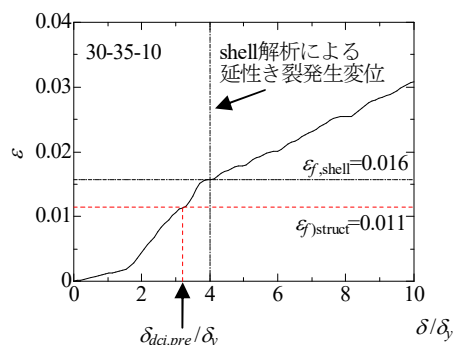
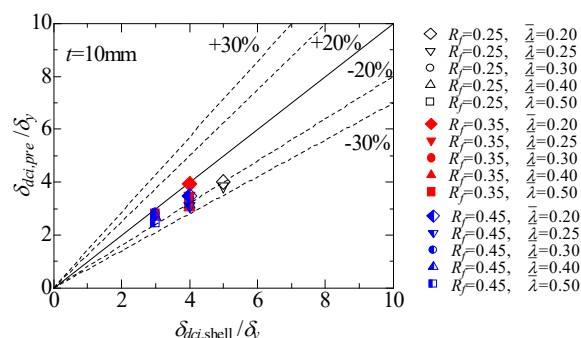


図-4 引張ひずみ-水平変位関係(30-35-10)

図-5 shell 解析結果と提案手法の比較($t=10\text{mm}$)

引張ひずみが破壊条件に達しないため、延性き裂発生を評価できないことが分かっている²⁾。

4. 限界ひずみ補正係数を用いた構造レベルの延性き裂発生限界ひずみ

構造レベルの延性き裂発生を評価するために、式(1)の材料レベルの延性き裂発生限界ひずみを限界ひずみ補正係数で除することで構造レベルの解析モデルに対応させる式(2)を提案する。

$$\varepsilon_{f,struct} = \frac{\varepsilon_f}{\gamma_m} \quad (2)$$

ここで、 ε_f は式(1)の延性き裂発生限界ひずみ、 γ_m は限界ひずみ補正係数である。 γ_m は、ひずみ集中補正係数 β と限界ひずみ比 α_{cr} を乗じたものである²⁾。図-3に各構造パラメータが限界ひずみ補正係数に及ぼす影響を示す。同図より、幅厚比パラメータ R_f および板厚 t は正の相関があり、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は負の相関があることが分かる。そこで、様々な構造パラメータに対応させるために、幅厚比パラメータ、板厚および細長比パラメータを変数にとり、重回帰分析により限界ひずみ補正係数の一般式を算出した。

$$\gamma_m = 11.7R_f + 0.74(t/4) - 3.43\bar{\lambda} + 1.81 \quad (3)$$

ここで、適用範囲は、 $0.25 \leq R_f \leq 0.45$ 、 $4\text{mm} \leq t \leq 30\text{mm}$ 、 $0.2 \leq \bar{\lambda} \leq 0.5$ とする。ただし、 $R_f = 0.45$ かつ $t = 4\text{mm}$ のケースへの適用は注意した方がよい²⁾。図-4に引張ひずみ-水平変位関係を示す。同図より、式(2)を用いたことで延性き裂発生の評価が可能となったことが分かる。また、shell解析結果から得られた変位²⁾を用いて比較すると、提案手法は安全側に評価していることが分かる。図-5に $t=10\text{mm}$ におけるshell解析結果と提案手法の比較を示す。同図より、shell解析結果と提案手法の誤差は0～30%程度となっていることが分かる。

5. 結言

本研究では、鋼製補剛箱形断面橋脚を対象に、はり要素を用いたPushover解析を行い、限界ひずみ補正係数を導入して延性き裂発生を変位により評価する手法を提案し、shell解析結果との比較より精度の検討を行った。その結果、shell解析結果と提案手法の誤差は、0～30%程度となっており、概ね評価できているといえる。

参考文献 (1) 葛ら：鋼材の延性き裂発生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，No.190，2005。(2) 田口ら：鋼製補剛箱形断面橋脚における延性き裂発生 Pushover 解析による評価に関する一検討，土木学会論文集 A1，Vol.76，No.4，2020（掲載予定）。