

動的解析による鋼製補剛箱形断面橋脚の延性き裂発生時変位の評価式の妥当性に関する検討

名城大学大学院  
大日本コンサルタント

学生会員    ○池尾 光慶  
田口 実季

藤江建築総合事務所  
名城大学

正会員    藤江 渉  
フェロー 葛 漢彬

1. 緒言

1995 年兵庫県南部地震において、鋼製橋脚の基部や隅角部などのひずみ集中部に低サイクル疲労により生じた脆性的な破壊が確認された。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する観点から、延性き裂発生に着目する検討が多くされてきている。しかし、延性き裂発生時変位に関する簡易の評価法の検討は少ないのが現状である。そこで、鋼製補剛箱形断面橋脚を対象とした shell 解析を行い、橋脚頂部の変位に着目し、shell 解析の結果を用いて延性き裂発生時変位と構造パラメータとの関係から延性き裂発生時変位の近似式が提案された<sup>1)</sup>。そして、本研究では動的解析を実施し、その近似式の妥当性を検討する。

2. 解析概要

汎用解析プログラム ABAQUS を用いて、beam 要素モデルを用いた動的解析を行う。解析モデル、断面図および解析モデル例の諸元をそれぞれ図-1、図-2 および表-1 に示す。紙面の都合上、表-1 には  $\bar{\lambda} = 0.40$ ,  $R_f = 0.35$ ,  $t = 30\text{mm}$  の場合のみ示す。図-1 に示すように、柱頂部に上部構造質量を模した集中質量を設定し、基部を完全固定とした。柱頂部の集中質量により柱に導入される軸力比は  $P/P_y = 0.1, 0.15$  の場合を考えた。メッシュ分割は、既往の研究<sup>2)</sup>より橋脚全体を 20 分割し、有効破壊長領域  $0.5b$  (ダイアフラム間隔  $a = 0.5b$  なので) を 5 分割した。断面は図-2 の補剛断面を等価な無補剛断面に置換している<sup>2)</sup>。入力地震波は、道路橋示方書に示されている地震波の例のうち、兵庫県南部地震で観測されたレベル 2-タイプ 2-II 種地盤地震動の 3 波(Fukiai, JRT-NS-M, JRT-EW-M)を用いた。 $P/P_y = 0.1, 0.15$  のそれぞれに対して、上記 3 波を 1 回ずつ入力した。また、材料定数を表-2 に示す。

3. 延性き裂発生時変位に関する近似式の提案<sup>1)</sup>

延性き裂発生時変位を  $\delta_{dci,shell}$  とし、構造パラメータとの関係から近似式を得た。その近似式を式(1)に、標準偏差 ( $S=0.357$ ) を減じた近似式を式(2)に示す。式(1)、式(2)は、板厚  $t$  を無次元化するために  $t_0 = 1\text{mm}$  としている。

$$\frac{\delta_{dci,shell}}{\delta_y} = (4.06 \times \bar{\lambda} \times R_f \times \frac{t}{t_0})^{-0.297}$$

(M)    (1)

$$\frac{\delta_{dci,shell}}{\delta_y} = (4.06 \times \bar{\lambda} \times R_f \times \frac{t}{t_0})^{-0.297} - 0.357$$

(M-S)    (2)

ただし、適応範囲は、 $0.20 \leq \bar{\lambda} \leq 0.50$ ,  $0.25 \leq R_f \leq 0.45$ ,  $4\text{mm} \leq t \leq 30\text{mm}$  である。

4. 動的解析による妥当性の検討

ここでは紙面の都合上、40-35-30 の  $P/P_y = 0.1$  の場合の解析結果につ

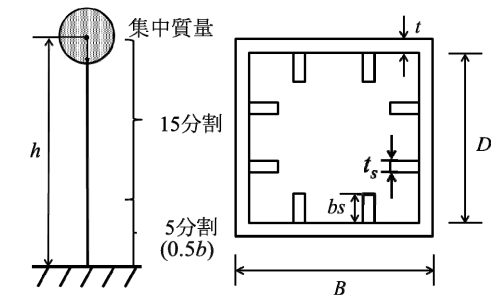


図-1 解析モデル      図-2 補剛断面

表-1 解析モデル例の諸元

| モデル名<br>$\bar{\lambda} - R_f - t$ | $P/P_y$ | $h$<br>(mm) | $B$<br>(mm) | $\bar{t}_f$<br>(mm) | $\bar{t}_w$<br>(mm) | $t, t_s$<br>(mm) | $b_s$<br>(mm) | $H_y$<br>(kN)      | $\delta_y$<br>(mm) | $T$<br>(s) | $\alpha$ | $M$<br>(kg)      |
|-----------------------------------|---------|-------------|-------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------|--------------------|--------------------|------------|----------|------------------|
| 40-35-30                          | 0.1     | 8644        | 1473        | 40                  | 40                  | 30               | 154           | $3.44 \times 10^6$ | 52.45              | 0.860      | 0.146    | 765              |
|                                   | 0.15    | 8644        | 1473        | 40                  | 40                  | 30               | 154           | $3.25 \times 10^6$ | 49.54              | 0.860      | 0.146    | $1.15 \times 10$ |

Note :  $P/P_y$  = 軸力比,  $h$  = 橋脚高さ,  $B$  = フランジ幅,  $\bar{t}_f$  = 等価断面のフランジの板厚,  $\bar{t}_w$  = 等価断面のウェブの板厚,  $t_s$  = 補剛材の板厚,  $b_s$  = 補剛材幅,  $H_y$  = 降伏水平荷重,  $\delta_y$  = 降伏水平変位,  $T$  = 固有周期,  $\alpha$  = 質量比例減衰定数,  $M$  = 上部構造質量

キーワード    延性き裂, 動的解析, 延性き裂発生時変位, 鋼製橋脚, 補剛断面

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

表-2 材料定数

| $t$ (mm)    | $E$ (GPa) | $\nu$ | $\sigma_y$ (MPa) | $\varepsilon_y$ (%) | $E_{st}$ (GPa) | $\varepsilon_{st}$ (%) | $\sigma_u$ (MPa) | $\varepsilon_u$ (%) |
|-------------|-----------|-------|------------------|---------------------|----------------|------------------------|------------------|---------------------|
| $t \geq 16$ | 206       | 0.3   | 355              | 0.17                | 6.86           | 1.2                    | 490              | 25                  |

Note :  $E$  = ヤング率,  $\nu$  = ポアソン比,  $\sigma_y$  = 降伏応力,  $\varepsilon_y$  = 降伏ひずみ,  $E_{st}$  = ひずみ硬化開始時の硬化係数,  $\varepsilon_{st}$  = ひずみ硬化開始時ひずみ,  $\sigma_u$  = 引張強さ,  $\varepsilon_u$  = 破断ひずみ,

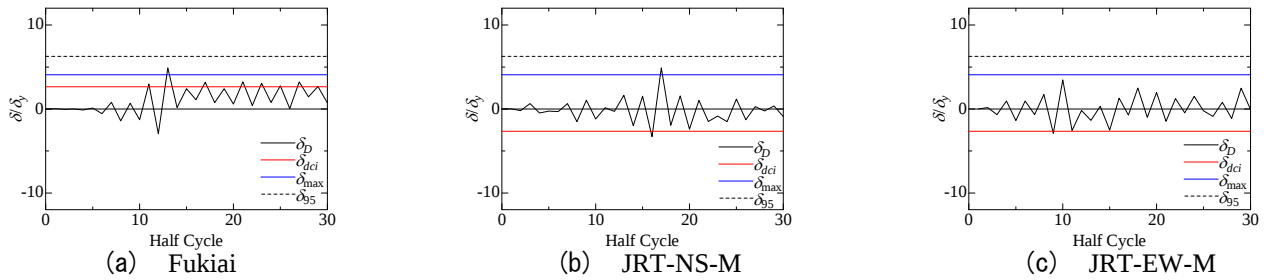


図-3 40-35-30 モデルの応答変位

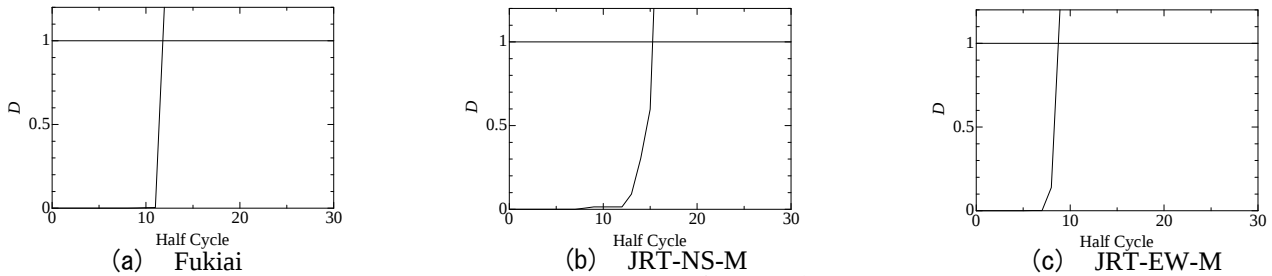


図-4 40-35-30 モデルの損傷度

いて、図-3 には、動的解析から得られた応答変位  $\delta_D$  を示し、式(1)から得た延性き裂発生時変位の値を赤線で表すことで延性き裂発生を評価した。また、最大荷重時変位  $\delta_{max}$  を青線、95%荷重時変位  $\delta_{95}$  を点線で示し、それぞれ延性き裂発生の時との関係性を評価した。ここで、最大荷重時変位・95%荷重時変位は補剛箱形断面橋脚に対する推定式<sup>3), 4)</sup>を用い、それぞれ式(3)、式(4)で表される。

$$\frac{\delta_{max}}{\delta_y} = \frac{0.00759}{\left\{ R_f \sqrt{\lambda} \right\}^{3.5}} + 2.59 \quad (3)$$

$$\frac{\delta_{95}}{\delta_y} = \frac{0.0147}{\left\{ (1 + P/P_y) R_f \sqrt{\lambda} \right\}^{3.5}} + 4.20 \quad (4)$$

また、図-4 には損傷度<sup>2), 3)</sup>を示す。既往の研究より、損傷度  $D=1$  に達した際を延性き裂発生とみなす。そして、図-3 の延性き裂発生時と比較を行った。図-3 (a) は、11Half Cycle、図-4 (a) は、12Half Cycle で延性き裂発生とみなすことができる。(b) は、図-3、図-4 とともに 16Half Cycle で、(c) は、図-3、図-4 とともに 9Half Cycle で延性き裂発生とみなすことができた。この結果から、式(1)による延性き裂発生は、概ね精度よく照査できているといえる。また、図-3 のすべてのケースにおいて最大荷重よりも延性き裂発生が先に起きることがわかった。

## 5. 結言

本研究では、延性き裂発生時変位を簡易的に評価するため、shell 解析の結果を用いて提案された近似式について、動的解析を実施し、その妥当性を検討した。その結果、いずれの地震動においても応答変位と損傷度による延性き裂発生時の誤差は少なく、延性き裂発生時変位の近似式による延性き裂発生は概ね評価できているといえる。

参考文献：1) 池尾ら：鋼製補剛箱形断面橋脚の延性き裂発生時変位の評価に関する検討，令和2年度土木学会中部支部研究発表会，I-25，2021. 2) 田口ら：鋼製補剛箱形断面橋脚における延性き裂発生時の Pushover 解析による評価に関する一検討，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.76, No.4, pp.I\_337-I\_350, 2020. 3) 土木学会：2018 年制定鋼・合成構造標準示方書，耐震設計編，2018. 4) 土木学会：2008 年制定鋼・合成構造標準示方書，耐震設計編，2008.