# 鉄道鋼ラーメン高架橋の耐震性能評価について

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)\* 正員 ○垣内辰雄,名城大学 フェロー会員 宇佐美勉 名古屋大学 正員 葛西 昭, (株)長大 正員 藤田将之,ヤマト設計(株) 正員 野中哲也

### 1. はじめに

近年の耐震検討においては、対象橋梁をはり要素のファイバーモデルでモデル化し、部材セグメント(例えば、柱基部の有効破壊長領域)が1箇所でも終局に至れば、構造物全体が終局とみなすのが一般的である。今回の対象構造物が立体ラーメン構造物であることから、ひとつの部材セグメントが終局を迎えても構造物全体としては、まだ十分に安全であることも考えられる。本研究では、解析モデルの精度を上げて、部材セグメントが終局を迎えた後の挙動を正確に評価し、構造物全体での耐震性能評価を行うことにした。

#### 2. シェル要素を用いた Pushover 解析

## 2.1 解析モデル

対象橋梁は、線路縦断の制約条件から、橋脚と主桁が一体化された複線 2 柱式 4 径間の鋼ラーメン高架橋(L = 39.3+40.0+52.5+51.8m、H=11 m)である。図-2.1 にシェル要素を用いた解析モデルの全体図を示す。はり要素を用いた Pushover 解析より、局部座屈を生じると考えられるラーメン橋脚の基部と梁の一部、また、隅角部の一部をシェル要素とした。

## 2.2 Pushover 解析と水平荷重-水平変位関係

図-2.2 に Pushover 解析から得られた水平荷重-水平変位関係と, はり要素を用いた場合の Pushover 解析結果との比較を

示す. **表-2.1** に最大荷重  $H_{max}$ ,終局変位  $\delta_u$ , 95%強度  $H_{95}$ , 95%強度 時変位  $\delta_{95}$ を示す. ただし,最大荷重時を終局状態と見なし,最大荷重 時の変位を $\delta_u$  とした. これは,対象橋梁のような複雑構造物の場合, 耐力が落ち始める時点では何箇所にも塑性ヒンジが形成されており, 耐力低下後の水平荷重-水平変位関係の信頼性が不明であるため,安  $H_{15}$  50000 全性を確保するという観点から,最大荷重時を終局状態と見なした.

シェル要素と、はり要素を用いた場合の Pushover 解析の結果を比較する.シェル要素を用いて構造物全体での終局状態を考えることで得た終局変位は、各セグメントの照査結果から得られた終局変位の 5 倍にもなっている.また、はり要素を用いた Pushover 解析では、終局状態と判断されても、シェル要素を用いた Pushover 解析結果は、

共に荷重が上昇し続けている状態にある. 以上より, 各セグメントの照査を行うことで得られた終局変位を用いると, 上下部一体構造の耐震性能を過小に評価することとなり, 非合理的で不経済な設計となることがわかる.

これは、対象橋梁のような複雑構造物ではあるセグメントが耐力を失っても、そのセグメントが塑性ヒンジと同様の役割を果たすだけであり、構造物全体の耐力は低下しないことを表している。そのため、シェル要素を用いた Pushover 解析から土木構造物の、終局状態を評価することは、合理的な方法であることがわかる。

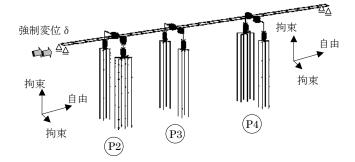


図-2.1 シェル要素を用いた解析モデルの全体図

表-2.1  $H_{max}$ ,  $\delta_u$ ,  $H_{95}$ ,  $\delta_{95}$ 

$H_{max}$ [kN]	$\delta_u$ [mm]	<i>H</i> 95 [kN]	δ 95 [mm]
$7.73 \times 10^{4}$	1008	$7.34 \times 10^{4}$	1650

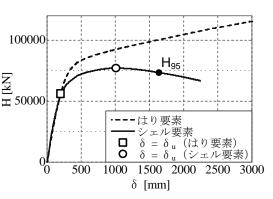


図-2.2 Pushover 解析結果の比較

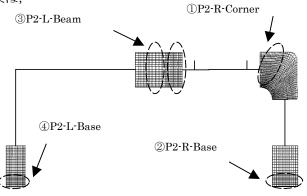


図-2.3 局部座屈を生じる位置と順番

キーワード:鉄道鋼ラーメン高架橋,耐震性能,静的・動的解析併用法,シェルモデル,ファイバーモデル \*〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島 5-4-20 TEL. 06-6303-1453 FAX. 06-6390-9629

K

### 2.3 局部座屈を生じる位置と順番

P2.P3.P4 橋脚の中で最も局部座屈を生じやすい P2 橋脚について, 図 -2.3 に局部座屈が生じた位置を ( ) で示し、局部座屈が生じる順番① ~④とセグメントの略称を示した. 図-2.4 に Pushover 解析から得られた 荷重変位関係に、各セグメントが局部座屈を生じ始めたおおよその位置 を示す. 右柱の隅角部である要素①P2-R-Corner に最も早く局部座屈が 生じ始め、次いで右柱の基部である②P2-R-Base に局部座屈が生じ始め たことがわかる. その後, 反対側の橋脚である左柱の③P2-L-Beam, ④ P2-L-Base の順に局部座屈が生じ始めた. P2 橋脚は上部工に近い右柱側 の橋脚と基部に局部座屈が生じやすい傾向があった. ま た,基部よりも梁に局部座屈が生じやすい傾向もあった. これは、上部工と P2 橋脚の隅角部が隣接していることで、 隅角部に生じるねじりモーメントが卓越しやすいために, 局部座屈が生じやすいことが考えられる.

#### 3. 静的•動的解析併用法

土木学会(2000)より,有効質量比が75%を超える場 合に静的・動的解析併用法を用いることができる. 今回 の固有値解析の結果では、橋軸方向の卓越モードの有効

質量比は 72% である. しかし, 固有値解析では両端の P1.P5 橋脚も 考慮しているが、Pushover解析や地震応答解析では考慮しない、そ こで、P1.P5 橋脚の有効質量比がそれぞれ 13%であることを考慮に 入れれば、静的・動的解析併用法が適用可能であると考えられる.

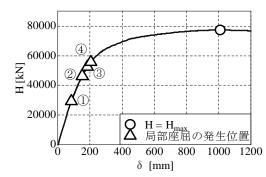
全体系での Pushover 解析から得られた水平荷重-水平変位関係, 及び破壊基準より、等価 1 自由度モデルに用いる復元力特性を図 -3.2, 表-3.1 に示す.

入力地震動は L2 地震動スペクトルII を用いた。 図-3.4 に等価 1 自由度モデルの荷重-変位関係を示す. 等価1自由度系の地震応答 解析より最大応答変位 $\delta_{max}$ は 430mm となった. また, Pushover 解析から得られた終局変位  $\delta_u$ は 1008mm であり、最大応答変位は 終局変位の 0.43 倍であることがわかる. よって, 対象橋梁は耐震 性能を満足していると言える.

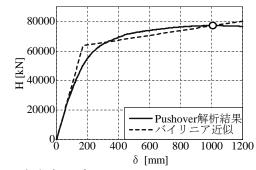
### 4. まとめ

本研究は、地震時の挙動が複雑な鋼ラーメン高架橋の耐震検討に おいて、セグメントごとのひずみ照査や断面照査は構造物の耐力を 過小に評価してしまう点に着目し、構造物全体での耐震性能を評価 した. さらに、シェル要素を用いて局部座屈による影響を考慮した Pushover 解析から、構造物全体としての終局状態を把握し、耐震性 能を照査する新しい評価方法を提案した. 本研究で得られた成果は 以下の通りである.

- (1) シェル要素を用いた Pushover 解析により, 構造物全体としての 終局変位を得た.
- (2) 等価 1 自由度モデルによる地震応答解析より、最大応答変位を 得た.



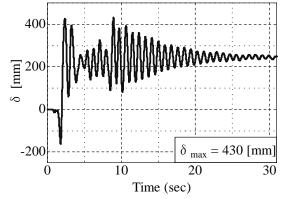
局部座屈を生じ始める位置



等価1自由度モデル 図-3.1 図-3.2 復元力特性

表-3.1 復元力特性のパラメータ

K[kN/m]	$\zeta K[\mathrm{kN/m}]$	$H_y[kN]$
$3.72 \times 10^{8}$	$1.62 \times 10^{7}$	$6.37 \times 10^{4}$
$\delta_y$ [mm]	$H_u$ [kN]	$\delta_u$ [mm]
171	$7.73 \times 10^{4}$	1008



変位の時刻歴 図-3.3

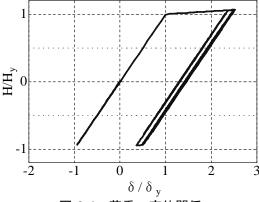


図-3.4 荷重一変位関係

(3) 最大応答変位は終局変位より小さいため、対象橋梁は耐震性能を満たしていると言える.