

鋼ラーメン高架橋の局部座屈を考慮した弾塑性地震応答解析とその面外変形量について

西日本旅客鉄道(株) 正員 ○垣内辰雄
 名古屋大学 学生会員 稲垣冨城
 名古屋大学 正員 葛西 昭

1. はじめに

従来の耐震性能評価は部材セグメントごとの照査であるため、高次不静定構造物の場合、必ずしも構造物全体の耐震性能を評価することはできない。そこで垣内ら¹⁾は、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十分安全である点に着目し、シェル要素を用いた耐震照査の一手法を提案した。この手法は従来の等価1自由度系構造物に対する変位照査法²⁾を発展させたもので、静的・動的解析併用法のPushover解析時にシェル要素を用いて局部座屈を考慮する点が特徴である。

この手法は、構造物全体の耐震性能評価には有効であるが、等価1自由度系モデルによる簡易な地震応答解析を用いるため、局部座屈が地震時にどのように進展するか分からない。そこで本研究では、地震時における局部座屈の発生と進展状況を調べるために、鋼ラーメン高架橋に対してシェル要素を用いた全体系モデルで地震応答解析を実施し、部材セグメントの最大面外変形量を求め、Pushover解析時との比較検討を行う。

2. 設計条件と解析モデル

対象橋梁の設計条件は文献¹⁾を参照されたい。ただし、本研究ではシェル要素を用いた地震応答解析を行うことを目的としており、解析時間の制約等から、杭基礎部分は解析領域から除外した。

図-1に解析モデルの全体図を示す。シェル要素でモデル化したセグメントは、ラーメン橋脚の基部、上部工との剛結部付近のラーメン橋脚の梁および上部工に近い側の隅角部である。基部および梁のシェル要素には初期たわみを導入した。初期たわみ波形は全体的な初期たわみと補剛材間の局所的な初期たわみをそれぞれ1次モードの正弦波とし、それらを重ね合わせたものである。初期たわみ量の最大値については座屈設計ガイドライン³⁾を参考に決定した。また、鋼材の材料構成則としては、Pushover解析で

は、降伏棚を有するひずみ硬化型モデルであるマルチリニア型を、地震応答解析ではバイリニア型移動硬化則を用いた。

3. シェル要素を用いた全体系モデルでの弾塑性地震応答解析

入力地震動は鉄道橋で用いられているL2地震動スペクトルIIの直下型地震動を用いた。図-2にP2橋脚上の上部工の応答変位の時刻歴を示す。ここで、応答変位は上部工と基部の相対変位を求めることで算出した。また比較として、等価1自由度系モデルを用いた結果も併せて示す(最大応答変位 $\delta_{max}=272\text{mm}$)。なお、全体系モデルの結果は7秒までであり、それ以降の結果は当日発表することとする。

応答変位履歴の各折返し点における最大面外変形量 w_{max} をウェブ幅 b_w で除した値を縦軸に、水平変位 δ を横軸にとり、P2橋脚の各セグメントの値をプロットした時刻歴を図-3に示す。ここで面外変形量の算定方法は文献¹⁾の手法を用いた。なお $\delta=0\text{mm}$ における値は、初期たわみの最大値 $w_{0,max}$ である。

図-2より、両者の結果は2秒程度までは良く一致しているが、それ以降は全体系モデルの振幅が1自由度系に比べ大きくなっている。また、図-3より、2秒程度で大きな面外変形が生じていることが分かる。これより、大きな応答変位($\delta=210\text{mm}$)が生じた際に局部座屈が発生・進展し、その後の応答に影響を与えたと考えられる。

表-1に各折返し点における水平変位 δ とP2橋脚の各セグメントの最大面外変形量を示す。着目した折り返し点は図-2中における○の箇所である。また比較としてPushover解析における水平変位 $\delta=210\text{mm}$ での最大面外変形量を併せて示す。両者を比較した結果、シェル要素を用いた全体系モデルの方が、右側基部では変形量が大きく、左側基部・梁・隅角部ではほぼ同じであった。地震応答解析ではPushover解析とは局部座屈の発生・進展状況が異な

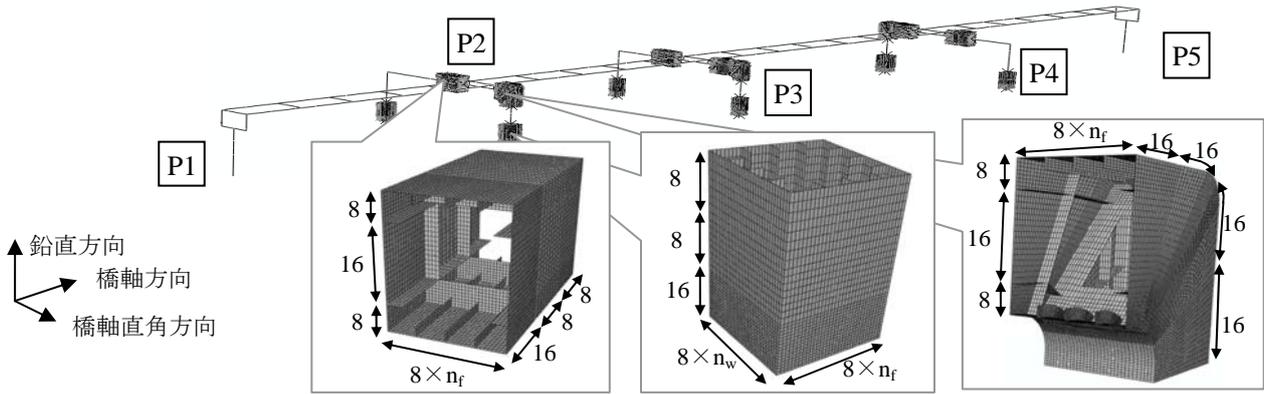


図-1 解析モデル

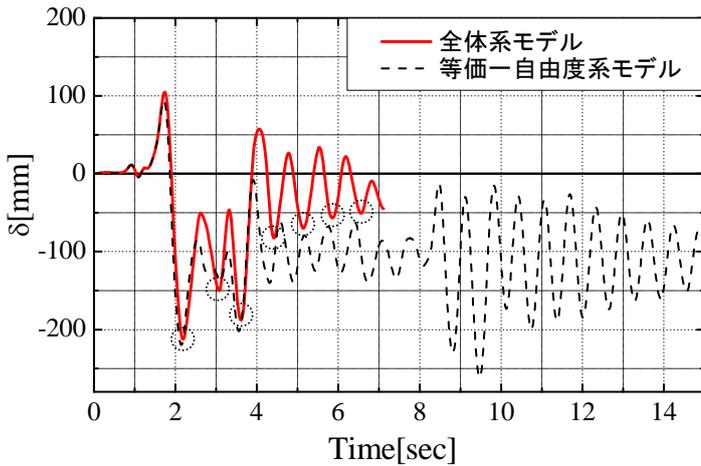


図-2 応答変位の時刻歴

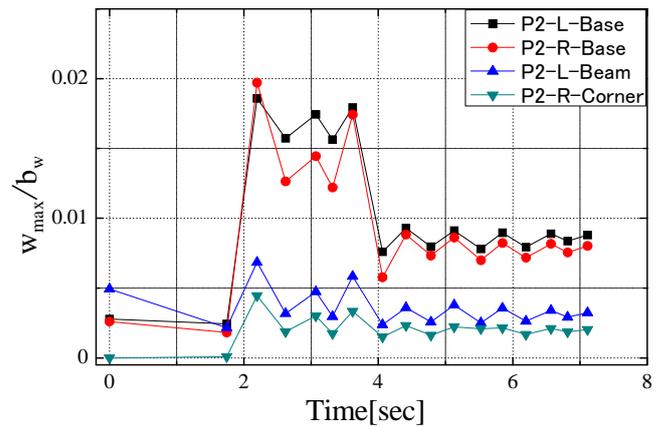


図-3 最大面外変形量の時刻歴

表-1 最大面外変形量の推移

δ [mm]	①シェル要素を用いた地震応答解析								②Pushover 解析	①/② [%]
	0	-210	-150	-188	-82	-70	-57	-51	-210	
P2-L-Base	4.2	27.9	26.2	26.9	13.9	13.7	13.4	13.3	29.8	94
P2-R-Base	5.2	39.4	28.9	34.8	17.7	17.3	16.5	16.4	31.4	125
P2-L-Beam	8.2	19.2	13.2	16.3	10.0	10.6	10.0	9.5	18.4	104
P2-R-Corner	0.0	12.5	8.4	9.4	6.5	6.2	6.0	5.9	12.9	97

り、特定のセグメントに変形が集中する可能性がある。この点については、塑性履歴を繰り返し受けた後の結果を詳細に調べる必要がある。

4. まとめ

本研究では、高次不静定の鋼ラーメン高架橋について、シェル要素を用いた全体系モデルと等価1自由度モデルで地震応答解析を実施し、応答変位と面外変形量を算定した。その結果は以下の通りである。

- (1) 前者の地震応答解析の応答変位は、後者より小さく、耐震性能照査において合理的である。
- (2) 面外変形量を比較した結果、前者の地震応答解

析の方が、右側基部では変形量が大きく、左側基部・梁・隅角部ではほぼ同じであり、地震時における局部座屈の発生と進展状況を精度良く評価できる。

(参考文献)

- 1) 垣内辰雄, 葛西 昭, 稲垣冨城, 藤原良憲, 宇佐美勉: 上下部一体鋼ラーメン高架橋の耐震性能評価, 構造工学論文集 Vol.55A, pp.564-572, 2009.
- 2) 宇佐美勉編著: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 技報堂出版, pp.103-164, 2006.9.
- 3) 土木学会: 座屈設計ガイドライン, pp.55-59, 2005.