

第 I 部門

既設ラーメン橋脚の強地震下挙動に関する解析的研究

大阪市立大学工学部 学生員 ○本谷 幸康
 阪神高速道路（株） 正会員 高田 佳彦

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田 俊行
 JIP テクノサイエンス（株） 正会員 狩野 正人

1. 研究背景および目的

従来の道路橋示方書に従う耐震設計では、ラーメン橋脚等の不静定構造物は、単柱形式の橋脚等の静定構造物に比べて高い耐荷力と変形性能を有しているため、地震時保有水平耐力の照査は省略されてきた。

しかし、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、湾岸部に建設された長大鋼橋にも甚大な被害が生じ、特徴的なものとして、阪神高速道路・湾岸線の二層門型鋼製ラーメン橋脚の下層横梁の腹板には、せん断座屈の発生が多数認められた¹⁾。これらの被害発生を受け、平成14年に改版された道路橋示方書・同解説(V. 耐震設計編)では、ラーメン橋脚等の地震時挙動が複雑な構造物の耐震性能は、動的応答解析により照査することが明記された。

そこで、本研究では、弾塑性有限変位解析プログラム EPASS/USSP²⁾を用いて、二層門型鋼製ラーメン橋脚を対象とし、下層横梁の腹板のせん断座屈の発生に着目して、静的および動的解析を行い、終局強度特性、および地震時の挙動を明確にし、今後のラーメン橋脚の合理的な設計法提案に向けての基礎的資料を得ることを目的とする。

2. 対象橋脚の概要、および被災状況

対象とする橋脚は、単純鋼床版箱桁橋を支持する二層門型鋼製ラーメン橋脚であり、その概略寸法を、兵庫県南部地震による損傷とともに、図-1に示す。

3. 解析モデルの概要

解析には、橋脚全体を弾塑性はり一柱要素でモデル化した解析モデル USSP-0(図-2(a) 参照)、および、腹板の局部座屈の影響を考慮するため、地震によりせん断座屈損傷が発生した下層横梁中央腹板の西側1パネルを、板要素でモデル化し(USSP ブロック S₁)、それ以外の部分は弾塑性はり一柱要素でモデル化した解析モデル USSP-1(図-2(b), A-B 間参照)を設定した³⁾。また、橋軸直角方向については、上部構造の慣性力の作用位置を、その重心位置とするため、剛なトラス要素とはり要素で、パンタグラフ構造(図-3 参照)を構成した。節点 C、および節点 D が、上部構造の重心位置である。これにより、支点到働く水平方向の地震力だけでなく、上部構造の重心と支点の位置のずれによるモーメント成分としての、各支承位置における鉛直方向の地震力も精度よく再現できる。

4. 静的弾塑性有限変位解析

Pushover 解析により得た、着目節点 27 における水平荷重-水平変位曲線を、図-4に示す。なお、荷重パラメータ α は、作用水平荷重を設計地震荷重 E_g で除して、無次元化し

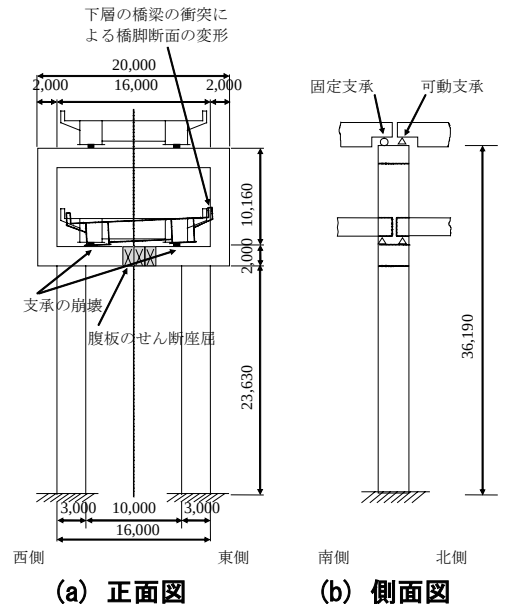


図-1 対象橋脚の概略寸法 (寸法単位: mm)

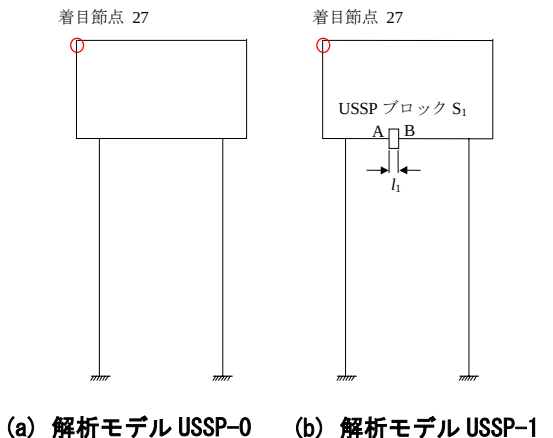
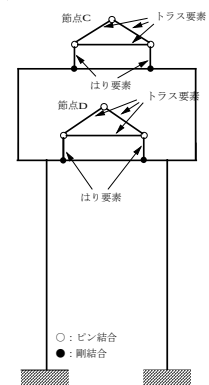
図-2 解析モデル³⁾

図-3 パンタグラフ構造

たものである。ここで、設計地震荷重 E_q は、各支承で支持する上部構造反力に、設計水平震度 0.3 を乗じたものであり、本来の支承条件、および橋軸方向・橋軸直角方向の違いは反映せず、すべての支承条件を固定としている。

図-4 によると、橋軸直角方向に载荷する場合、終局状態に達する荷重パラメータ α_u は、橋軸方向 ($\alpha_u = 1.69$) の約 1.6 倍であり、橋軸方向と橋軸直角方向とで、大きな強度差が見られた。また、解析モデル USSP-1 では、橋軸直角方向に载荷した場合、橋脚基部が降伏する前に、 $\alpha = 1.96$ で腹板にせん断座屈波形が生じ、数値計算が終了した。しかし、図-4 に示したとおり、橋軸直角方向では、腹板の座屈を考慮する/しないにより、耐力力特性に差が認められる。

5. 動的弾塑性有限変位解析

死荷重のみを作用させた状態を初期状態として、地震加速度を入力する時刻歴応答解析を行った。入力地震波は、東神戸大橋周辺で観測された、レベル 2・タイプ II の地震波 (Type II-III-1, 図-5 参照) とした。

着目節点 27 における時刻歴応答変位を、図-6 に示す。最大応答変位 δ_{max} は、橋軸方向が 72.0 [cm]、橋軸直角方向が 33.0 [cm] であった。また、時刻 $t = 50$ [s] 以降の応答変位の最大値と最小値を平均して算出した残留変位 δ_L は、橋軸方向で 26.8 [cm]、橋軸直角方向で 4.8 [cm] となり、耐力力の小さい橋軸方向の残留変形が大きい。また、図-7 より、橋軸直角方向に地震加速度を入力した場合、USSP ブロック S_1 の腹板のほぼ全域が塑性化し、腹板の水平補剛材間の板パネルが、図-1 に示した被災状況と同様に、せん断座屈を起こしていることがわかる。しかし、腹板の局部座屈を考慮できない USSP-0 と、考慮できる USSP-1 とで、顕著な差異は認められず、腹板の座屈変形による地震エネルギーの吸収量は小さいと考えられる。

6. まとめ

本研究では、二層門型鋼製橋脚を対象に、静的・動的な解析を行った。得られた主な結論は、以下の通り、まとめられる。

- 1) 下層横梁の腹板には、橋軸直角方向に作用する荷重パラメータが約 $\alpha = 1.96$ のとき、せん断座屈が発生する。また、せん断座屈波形は実橋脚の損傷状況と類似していた。
- 2) 時刻歴応答解析によると、腹板の塑性変形による地震エネルギーの吸収効果は小さいことがわかった。

なお、本研究は、科学研究費・基盤研究 B「安全と環境と経済性との調和を考慮した都市内鋼・複合橋梁の再生と創造(研究代表者: 北田俊行)」の一環として行ったものである。

参考文献 1) 阪神高速道路公団: 大震災を乗り越えて―震災復旧工事誌一, 第 7 編, 平成 9 年 9 月。 2) EPASS/USSP 研究会: ユーザーズ・マニュアル(ver1.0), 入力編, 平成 17 年 7 月。 3) 水越牧郎: 局部座屈と全体座屈との連成を考慮した薄肉骨組構造物の弾塑性有限変位解析の解析法, 大阪市立大学大学院工学研究科・前期博士課程, 修士論文, 平成 11 年 3 月。

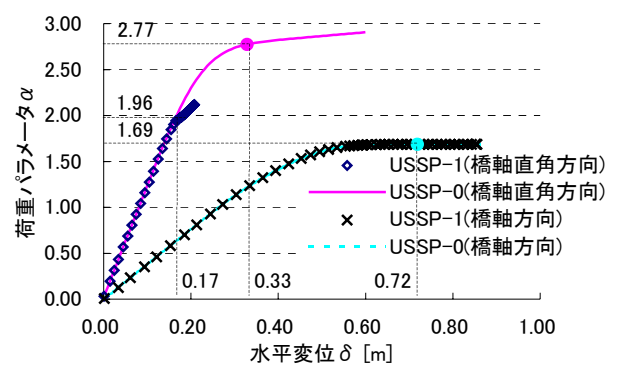


図-4 着目節点 27 の水平荷重-水平変位曲線

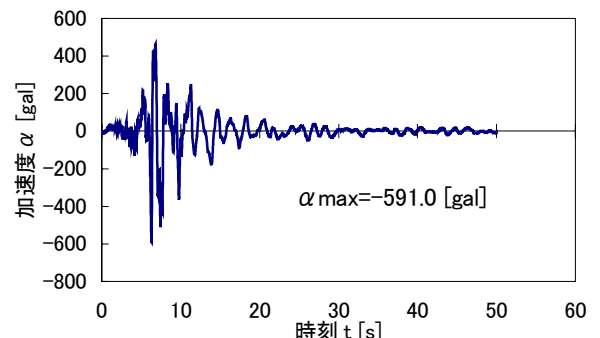


図-5 入力地震波

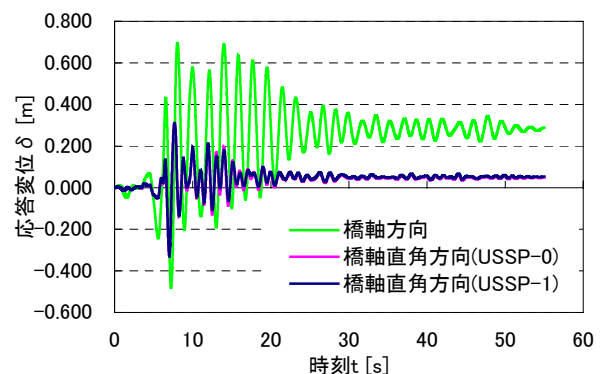


図-6 節点 27 の時刻歴応答変位

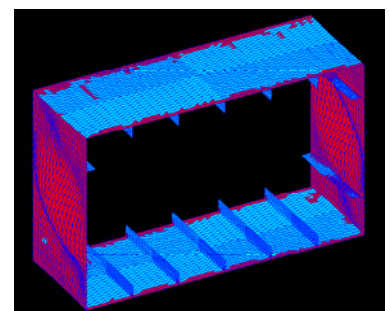


図-7 USSP ブロック S_1 の塑性域図
(時刻 $t = 7.66$ [s])