

円柱を有する鋼製ラーメン橋脚の大規模地震挙動

東京工業大学 学生会員 木下 幸治

東京工業大学 フェロー 三木 千壽

1. はじめに

兵庫県南部地震において、鋼製ラーメン橋脚に多くの被害が発生した。一方、柱とはりとの接合部である隅角部において耐荷力的に耐震性能上クリティカルとなる局部座屈発生の損傷事例は無い。大規模地震時において隅角部が耐荷力的にクリティカルにならない理由は、箱形断面柱を有する鋼製ラーメン橋脚を対象とした著者らの検討より、隅角部の断面が一般部と比較して板厚が厚く、一般部よりも耐力に余裕があるためと結論付けている¹⁾。円柱を有する鋼製ラーメン橋脚の場合は、円柱の半径 (R) と板厚 (t) の比である半径対板厚比 (R/t) が、円柱一般部よりも隅角部の方が小さければ、隅角部の耐力には余裕がある可能性が高いと考えられる。

本研究では、円柱を有する鋼製ラーメン橋脚を対象として、その大規模地震時挙動について検討することを目的とし、円柱を有する鋼製ラーメン橋脚の実橋梁サイズの FEM 解析モデルを用いた地震応答解析を実施した。

2. FEM 解析モデル

本研究では、既設の4つのラーメン橋脚を選定し、解析対象とした。橋脚の選択に際して、兵庫県南部地震以前に建設された一般的な形状および寸法を有している橋脚であり、かつI字、T字、ト字の一般的な隅角部形式を網羅できるように橋脚を選定することとした。各解析モデルを図-1から図-4にそれぞれ示す。橋脚Aは、一層形式のラーメン橋脚で片側に梁が張り出しているタイプである。橋脚Bは、二層形式のラーメン橋脚である。橋脚Cは、単柱形式であり、張り出し長さが左右で異なり、鉛直荷重が偏心して作用する形式となっている。橋脚Dは、一層形式のラーメン橋脚であり、図-4中の隅角部D-2は、はりWebが円柱に差し込んでいる隅角部形式である。すべての橋脚の隅角部の板厚は、隅角部に隣接する断面よりも厚いことがわかる。各解析モデルは、構成部材すべてを3節点あるいは4節点のシェル要素を用いて作成し、対称鉛直面に対称条件、橋脚基部を完全固定と設定した。上部工の重量は、集中質量として上部工の支点位置に、支承条件を完全固定として作用させた。

3. 解析条件

解析には、汎用有限要素解析プログラム ABAQUS を用いた。地震応答解析は、直接積分法により行った。地震応答解析における減衰は、固有振動モード解析から算出された固有振動数を用いて算出した各解析モデルの形状減衰を適用した。入力地震波として、卓越する応答加速度の固有周期が異なる地震波を入力することを目的として、神戸海洋気象台観測波形および JR 鷹取駅観測波形の2種類の加速度波形の東西成分および鉛直成分を慣性力として入力した。また、地

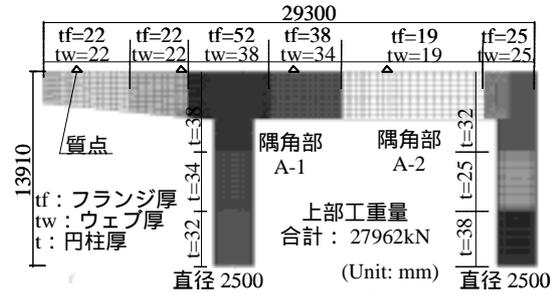


図-1 橋脚Aの形状および板厚分布状況



図-2 橋脚Bの形状および板厚分布状況

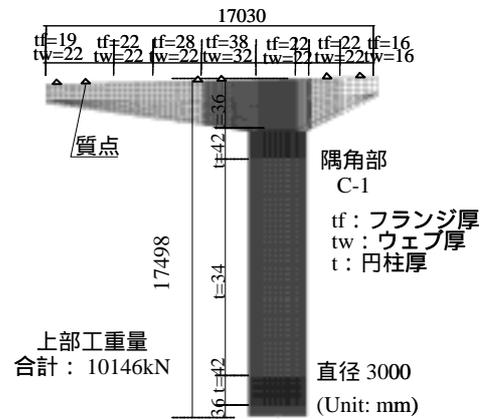


図-3 橋脚Cの形状および板厚分布状況

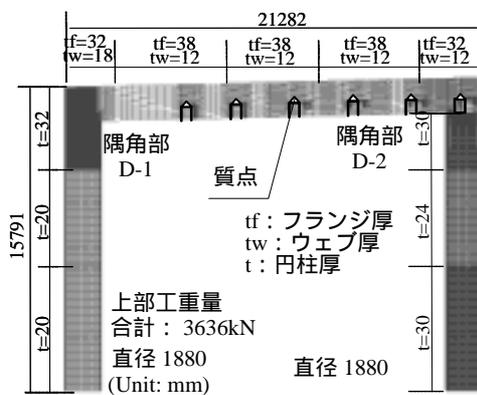


図-4 橋脚Dの形状および板厚分布状況

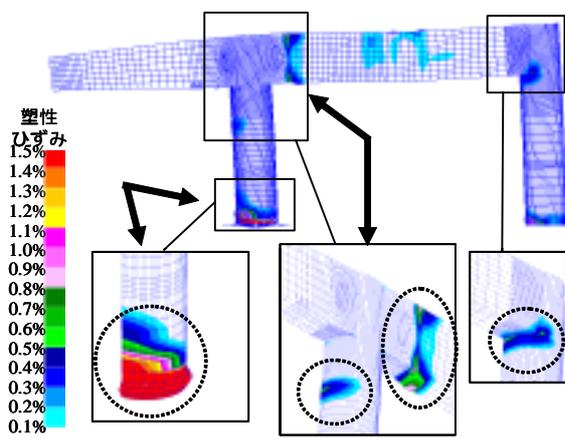


図-5 橋脚Aの神戸海洋気象台観測波形入力時の変形図および塑性ひずみ分布（解析終了時）

震応答解析では上部工および橋脚の自重を考慮するために、鉛直下方に1Gの重力加速度を慣性力として与えている。解析の時間ステップは、ABAQUSの自動時間間隔制御機能により、 $1 \times 10^{-5} \sim 0.1$ 秒の間で自動調整した。

4. 解析結果および考察

各橋脚の地震応答解析の結果として、解析終了時の変形図と塑性ひずみ分布を図-5から図-8にそれぞれ示す。すべての橋脚の解析結果から、柱の基部での塑性化が確認できる。橋脚Aおよび橋脚Cでは、塑性化が著しい（図-5中の、図-7中の）。これより、ラーメン橋脚の大規模地震時挙動は、柱の耐荷力、変形性能に大きく依存すると考えられる。

隅角部の損傷状況に着目すると、橋脚Dのパネルが円柱でない隅角部において（図-8中の）、塑性化に伴う面外変形の発生が確認できる以外は、隅角部での損傷は、非常に小さい。橋脚Aおよび橋脚Bでは、隅角部とはりまたは柱との断面変化部で塑性化が確認できる（図-5中の、図-6中の）。このように、隅角部が一般部と比較して板厚が厚く、隅角部に先行して、隅角部と一般部との断面変化部において損傷が発生することから、隅角部の損傷は小さくなると考えられる。

さらに、橋脚形式ごとの損傷の特徴は、橋脚Aは、張り出している側の橋脚の基部において損傷が集中している。（図-5中の）。また、橋脚Cにおいては、張り出している側の柱の塑性化に伴い、橋脚が傾いている（図-7）。このことから、張り出しはりを有している場合、張り出している側に損傷が集中する可能性が高いと言える。橋脚Bは、1層および2層の柱および隅角部とはりとの断面変化部において損傷が発生している（図-6中の）。1層目の柱および隅角部とはりとの断面変化部の損傷の方が、2層目のそれらよりも大きいことから、2層形式の橋脚では、2層目に先行して、1層目に損傷が集中すると考えられる。

5. 結論

- 地震応答解析により、円柱を有する鋼製ラーメン橋脚の大規模地震時挙動は、柱の耐荷力、変形性能に大きく依存すると考えられる。

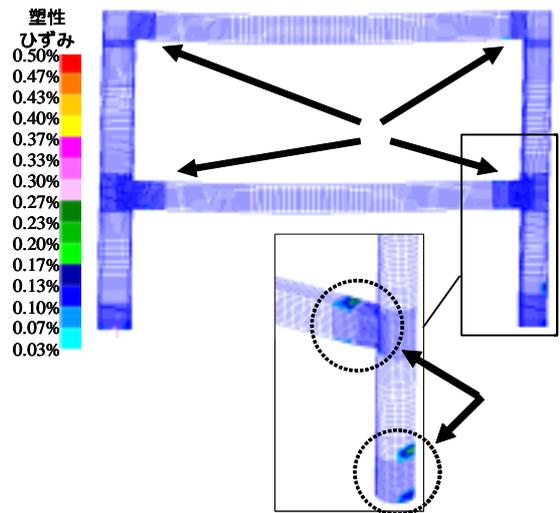


図-6 橋脚Bの神戸海洋気象台観測波形入力時の変形図および塑性ひずみ分布（解析終了時）

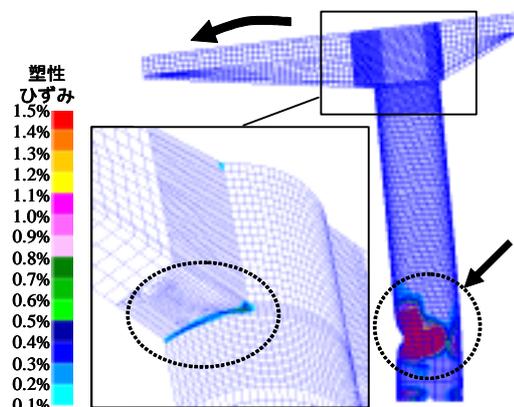


図-7 橋脚CのJR鷹取駅観測波形入力時の変形図および塑性ひずみ分布（解析終了時）

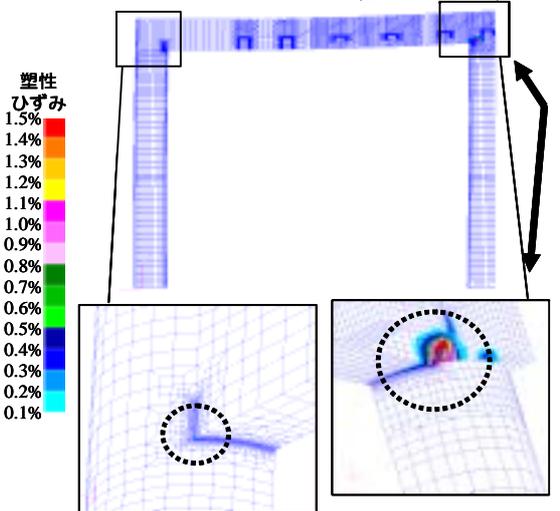


図-8 橋脚DのJR鷹取駅観測波形入力時の変形図および塑性ひずみ分布（解析終了時）

- 隅角部は、一般部よりも板厚が厚く、耐力に余裕があることから、隅角部に先行して、隅角部と一般部との断面変化部において損傷が発生する可能性がある。

参考文献

- 佐々木栄一，三木千壽，市川篤司，高橋和也：鋼製ラーメン橋脚の大規模地震時挙動，構造工学論文集，Vol.50A，pp.1467-1477，2004。