

パイルベント橋脚における耐震補強設計について

関東地方整備局 千葉国道事務所 管理第二課 緑川雄大

1. はじめに

一般国道 357 号に位置する弁天橋, 境川橋, 美浜大橋は, 昭和 50 年から 55 年竣工の 2 ~ 3 径間連続の鈹桁および単純 PC 中空床版からなる橋梁である。下部工形式は, 3 橋とも支持地盤が深いこともあり施工性, 経済性等の優位性から当時よく用いられた, 鋼管矢板パイルベント形式(以下, パイルベント橋脚)が採用されている。

本報告は, これらの橋梁の耐震性能のうち, 特にパイルベント橋脚の耐震性能に着目した照査概要および照査結果について述べるものである。



写真 - 1 パイルベント橋脚の現況(左: 弁天橋, 右: 境川橋)

2. 橋梁概要

2.1 橋梁諸元

橋梁諸元を表 - 1 に示す。また, 弁天橋を代表として全体一般図および構造図を図 - 1 に示す。なお, 3 橋とも同一地域に位置し, 杭長, 鋼管厚等の細部諸元を除き概ね同一形状である。

表 - 1 橋梁諸元

| | 弁天橋 | 境川橋 | 美浜大橋 |
|--------|--|--|-----------------------------------|
| 架設年度 | 上り: 昭和 55 年 下り: 昭和 55 年 | 上り: 昭和 52 年 下り: 昭和 52 年 | 上り: 昭和 52 年 下り: 昭和 50 年 |
| 上部工形式 | 単純 PC 中空床版 × 2 2 径間連続鋼 I 桁 × 2 3 径間連続鋼 I 桁 × 1 | 単純 PC 中空床版 × 2 3 径間連続鋼 I 桁 × 2 2 径間連続鋼 × 1 | 単純 PC 中空床版 × 2 3 径間連続鋼 I 桁 × 2 |
| 橋長 | 248.9 m | 262.3 m | 262.9 m |
| 斜角 | 68° ~ 86° | 90° | 90° |
| 下部工形式 | 鋼管矢板パイルベント形式 | | |
| 耐震設計指針 | 昭和 47 年耐震設計指針 | | |
| 設計水平震度 | Kh = 0.24 | | |
| 鋼管杭材質 | STK41 (SKK400) | | |

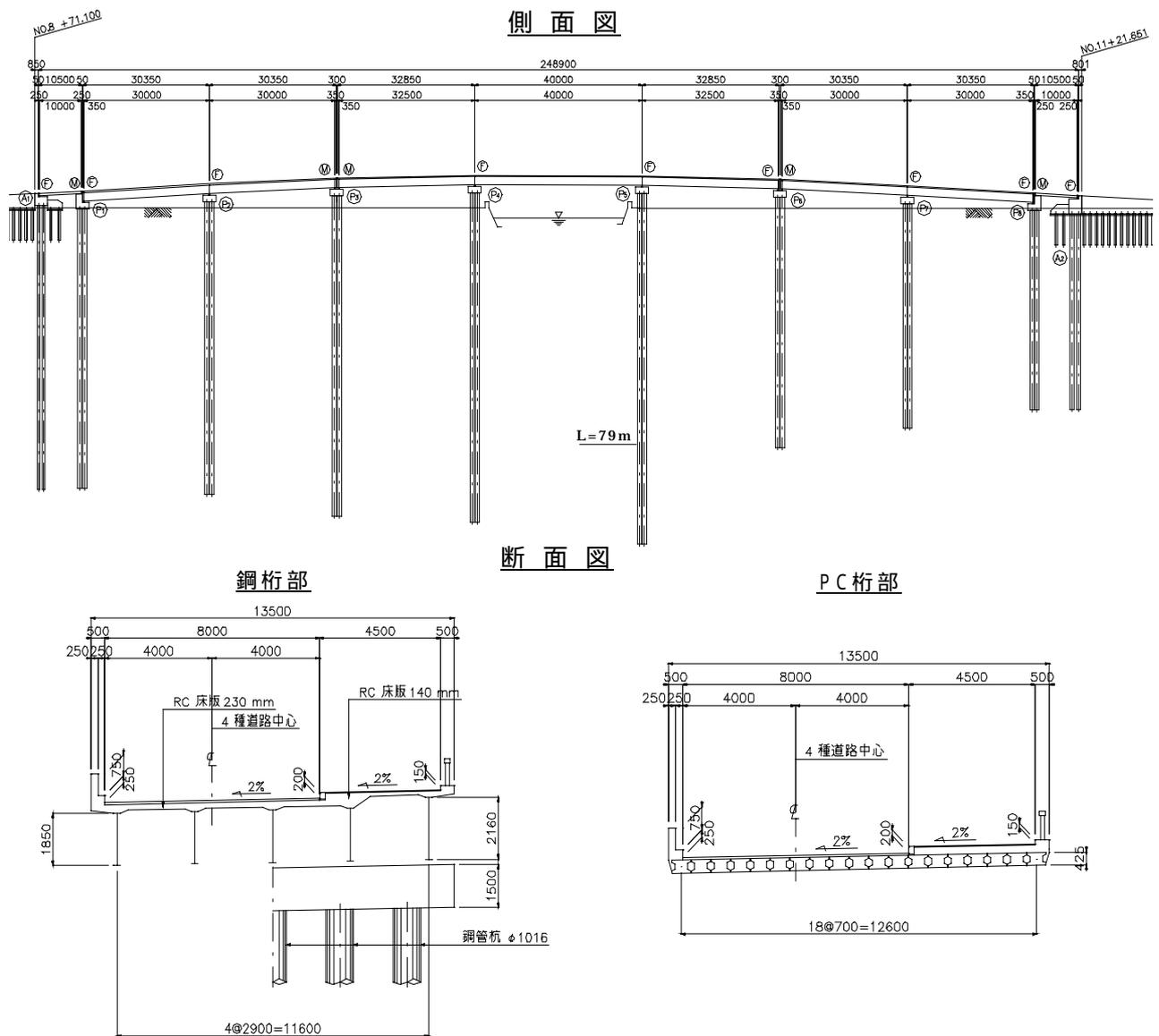


図 - 1 全体一般図(弁天橋)

2.2 パイルベント橋脚の概要

パイルベント橋脚とは、基礎杭をそのまま所定の高さまで立ち上げ、頭部を鉄筋コンクリート等の横梁で結合した形式であり、締め切り等の仮設工事が不要となることから、これまで数多く採用されてきた。ただし、非常にフレキシブルな構造であるため、地震時の応答変位が大きく、耐震性能に劣る場合が多いため、現在はほとんど採用されていない。

今回対象とするパイルベント橋脚は、一般によく見られる橋軸方向に1列の杭配置ではなく、図 - 2に示すような2本の鋼管杭を継手により組合わせた2列の杭配置である。

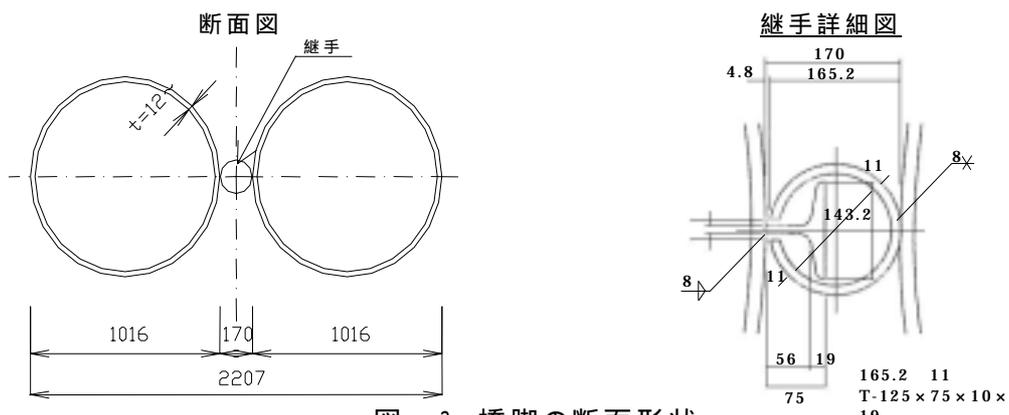


図 - 2 橋脚の断面形状

3. 耐震性能の照査手法

3.1 照査方針

本橋脚は、橋脚と基礎の一体構造であり、橋脚の断面形状は、2本の鋼管杭を継手により組合わせた形状である。このような形状のパイルベント橋脚の耐震補強設計はこれまで前例がなく、解析モデルの設定方法や補強要否の判定等、不明な部分もある。よって、今回の照査は、主要な段階において土木研究所に相談を行い、方針を決定した。照査の流れを図-3に示す。

また、支持層までの深さが40~50m近くあり、上層および中間層に非常に軟弱な層を有する。この軟弱層のうち、表層より20mまでにある砂質土は、液状化層を有することが確認された。よって、今回の照査においては液状化による影響を考慮することとした。なお、液状化に伴う流動化に対しては、照査結果より問題ないことを確認した。

3.2 照査手法

照査は、パイルベント橋脚単体に着目した静的照査法と、多点固定であるため橋軸方向の挙動、特に落橋に対する安全性に着目した橋梁全体系の動きを見る動的照査法によることとした。

静的照査法は、パイルベント橋脚の枕梁をフーチングと仮定し、突出した2列の杭として地震時保有水平耐力法により行った。なお、対象橋梁の周辺地盤は液状化層を含むため、耐震性の判定は、基礎の塑性化を許容することとし、応答塑性率により行った。

動的照査法は、橋梁全体系をモデル化し、動的解析(時刻歴応答解析法)により行った。モデル化においては、上部構造を線形梁要素とし、パイルベント橋脚については、設計地盤面より上方を橋脚、下方を杭基礎と見なし、杭基礎は設計地盤面に非線形性を有する集約バネを設けて評価した(図-4参照)。なお、耐震性の判定は、落橋に対する安全性の観点から、橋脚天端での応答変位、可動支承の相対変位、上部工桁遊間の変動等に着目して行った。



図-3 照査の流れ

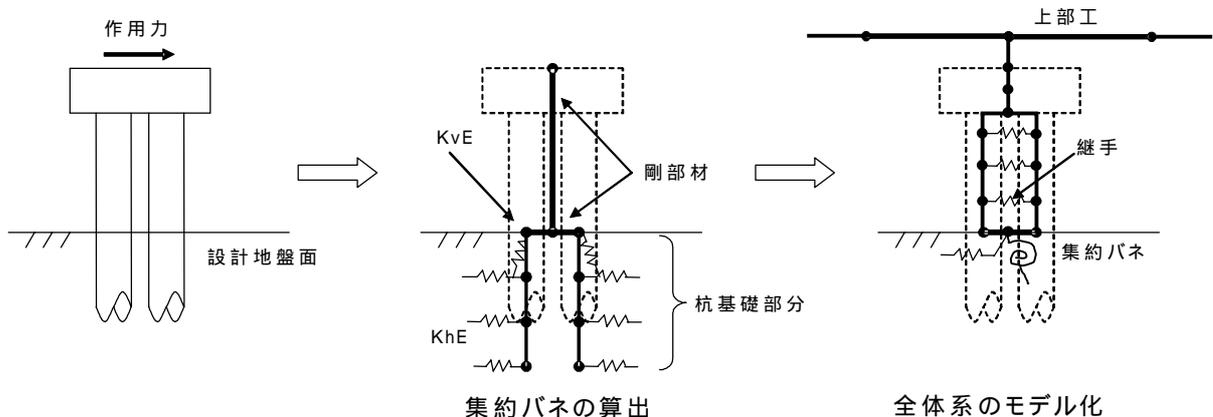


図-4 パイルベント橋脚のモデル化

4. 照査結果

4.1 静的照査法

照査の結果、応答塑性率は、1.01～3.02 と全て許容塑性率4以下であり許容値を満足し、橋脚によっては降伏に達しないものも確認された。

4.2 動的照査法

今回の橋梁全体系モデルによる解析は、継手の鉛直方向の剛性および橋軸方向2列の杭間の地盤バネの評価を変えた数ケースについて実施した。なお、耐震性の判定は、最も安全側の評価となる、継手の鉛直方向の剛性無視、橋軸方向2列の杭間の地盤バネ無視のケースとした。

解析の結果、変位の最大値は、境川橋の可動支承の相対変位の約76cmであり、その他の橋梁も含め応答変位は、概ね50～70cmであった。ただし、今回の橋軸方向2列の杭間の地盤バネを無視するという条件は、かなり安全側の評価であり、実際にはある程度の地盤バネは期待できるものと思われる。また、現在、3橋とも現行道示を満足する落橋防止システムが構築されており、変位制限構造および落橋防止構造による変位の抑制効果や桁の衝突による減衰等も十分期待できる。さらに、桁かかり長も約140cm確保されているため、今回の応答変位は、特に落橋等を生じる危険な値ではないと言える。弁天橋を代表として解析結果を表-2に示す。

なお、非線形性を有する集約バネとして評価した基礎の応答塑性率は、0.69～3.42 と全て許容塑性率4以下であり許容値を満足した。

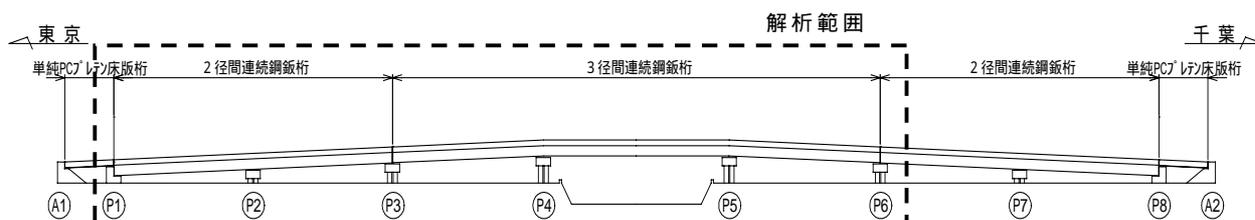


図-5 橋梁全体系モデルの解析範囲(弁天橋)

表-2 解析結果(タイプ および 地震動3波平均値の最大値) 単位:cm

| 橋脚 | | P 1 | | P 2 | P 3 | | P 4 | P 5 | P 6 | |
|------|------------|------|---|------|------|------|------|------|------|---|
| 支承条件 | | M | F | F | M | M | F | F | F | M |
| 解析結果 | 橋脚天端の応答変位 | 53.9 | | 55.1 | 26.7 | | 69.0 | 68.5 | 68.3 | |
| | 可動支承の相対変位 | - | | - | 61.2 | 73.8 | - | - | - | |
| | 上部工桁間隔の変動量 | - | | - | 72.5 | | - | - | - | |

5. まとめ

静的および動的照査法を用いパイルベント橋脚の耐震性能照査を行った結果、本橋脚の応答塑性率は全て4以下であり、上下部工間の相対変位も落橋等を生じることのない十分な範囲内であることから、現行基準を満足する耐震性能を有することが確認された。

一般にパイルベント橋脚は、耐震性能に劣るとされているが、今回対象とした橋脚のように2本の鋼管杭を継手により組合わせた2列の杭配置のものは、一般的な1列の配置よりも比較的剛性があり、高い耐震性能を有する場合もあることが確認された。

本報告が既設パイルベント橋脚の耐震性能照査の参考になれば幸いである。