

鉄道高架橋の基礎形式の検討

ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社 正会員 ○清水 靖史
 ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社 正会員 友竹 幸治
 ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社 フェロー会員 栗原 啓之

1. はじめに

鉄道構造物の設計基準は主に鉄道構造物等設計標準・同解説(以降、鉄道標準)が用いられる。鉄道標準は、コンクリート構造物(以下、RC標準)、基礎構造物(以下、基礎標準)、耐震設計(以下、耐震標準)等体系的に整理されており、各分野での新たな知見を反映し数年ごとに改訂が行われている。本稿では基礎標準が平成12年6月(以下、H12年版)から平成24年1月(以下、H24年版)に改訂された影響についての試算結果を報告する。試算を実施する構造物は鉄道高架橋として多く採用されているビームスラブ式RCラーメン高架橋を対象とした。

2. 解析概要

試算を行う高架橋は、単線を支持するビームスラブ式RCラーメン高架橋とし、線路方向の柱間隔15.0m×4径間、線路直角方向は単線の高架橋として施工性および経済性から1柱2杭式の高架橋を選定した。支持力の照査は、杭径、杭長による影響、変位の照査は、杭径、線路方向の地中梁の有無による検討を実施した。

3. 杭基礎の支持力について

基礎標準改訂により、杭基礎の支持力度算定式が変更となっている。支持力度算定について長期支持力を例として下記に記載

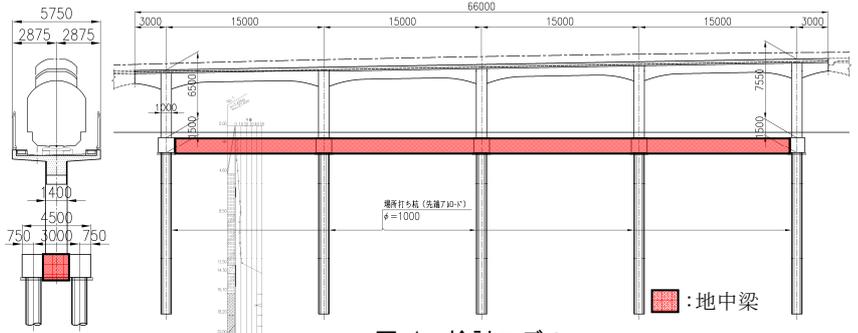


図-1 検討モデル

する。支持力の算定は、周面支持力と先端支持力を足し合わせたものであり、各要求性能の支持力は基準支持力に地盤抵抗係数を乗じることで算出する。また、H24年版の支持力式内の地盤反力係数は先端支持力に対する基準先端支持力の割合により設定を行う。(図-2)。基礎標準の支持力度算定式について表-2に記載する。

$$R_{vd} = f_{rf} \times R_f + f_{rp} \times R_p \text{ (H12年版)}$$

R_{vd} : 設計鉛直支持力 (kN), R_f : 最大周面支持力 (kN), R_p : 基準先端支持力 (kN)

f_{rf} : 周面支持力に対する地盤抵抗係数 f_{rp} : 先端支持力に対する地盤抵抗係数

$$R_{vd} = f_r \times (R_{tk} + R_{fk}) \text{ (H24年版)}$$

R_{tk} : 基準先端支持力 (kN), R_{fk} : 基準周面支持力 (kN), f_r : 地盤抵抗係数, P_t : 基準先端支持力比 $p_t = R_{tk}/R_k$

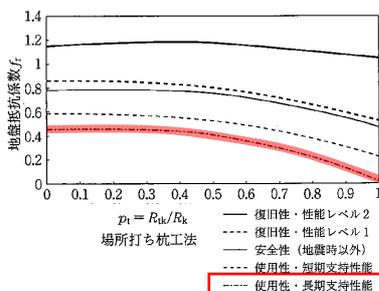


図-2 H24年版の f_r 算定グラフ

表-2 標準改訂による支持力度算定式

| | | H12年版 | H24年版 |
|---|-------------|----------------------|-------------------------|
| 周面支持力度 r_{fk} (kN/m ²) | 砂質土 | 5N ≤ 200 | 3N ≤ 150 |
| | 粘性土 | c ≤ 150 10N ≤ 150 | 0.4 c ≤ 150 6N ≤ 150 |
| 先端支持力度 q_{tk} (kN/m ²) | 砂質土 | 70N ≤ 3500 | 60N ≤ 3500 |
| | 粘性土 | 100N ≤ 3500 | 60N ≤ 3500 |
| 最小根入れ (m) | | 1.0m (砂質土, 砂礫) | 公称径 |
| 地盤抵抗係数 f_r (長期) | 周面 f_{rf} | 0.3 | 0.4程度 |
| | 先端 f_{rp} | 0.6 | |

キーワード 鉄道高架橋, 鉄道標準, RC ラーメン高架橋

連絡先 〒171-0021 東京都豊島区西池袋 1-11-1 メトロポリタンプラザ 19階

ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 技術本部 技術第一部 03-5396-7247

また、H24年版では最小根入れ範囲の周面支持は先端支持力度に含まれているとの考え方により周面支持力を考慮できない範囲となっている。試算を行った高架橋において、杭径φ1000の最小根入れ長1.0m以上支持地盤に根入れさせた場合の杭長は15.0mである。長期支持力の検討結果を表-3に示す。H12年版では杭径φ1000、L=15.0mで照査値を満足していたが、同じ杭緒元でH24年版で検討した場合、照査値1.18となり支持力を満足することが出来ず、杭長を16.0mに変更することで支持力を満足することが出来る結果となった。表-3より杭径φ1000、L=15.0mの支持力を比較した場合、H24年版で算出した支持力はH12年版で算出した支持力の約5割程度という結果となった。

表-3 支持力試算結果

| 杭径 | H12年版 | H24年版 | |
|---------------------|------------|------------|------------|
| | φ1000 | | |
| 杭長 (m) | 15.0 | 15.0 | 16.0 |
| 設計鉛直力 (kN) | 1395.5 | 1395.5 | 1395.5 |
| 周面支持力 R_{fk} (kN) | 2768.1 | 1310.5 | 2611.3 |
| 地盤抵抗係数 周面 f_{rf} | 0.3 | 0.35 | 0.38 |
| 先端支持力 R_{tk} (kN) | 2527.7 | 2166.6 | 2166.6 |
| 地盤抵抗係数先端 f_{rq} | 0.6 | 0.35 | 0.38 |
| 支持力 (kN) | 2347.1 | 1180.2 | 1486.1 |
| 照査結果 | 0.59 < 1.0 | 1.18 > 1.0 | 0.94 < 1.0 |

4. 杭基礎の変位について

H24年版基礎標準では杭基礎の性能照査項目として、安全性に関する基礎の安定、使用性に関する基礎の支持性能、復旧性に関する基礎の残留変位についての照査を行うことが記載されている。参考に復旧性の照査指標の地震時・復旧性の例を表-4に記載する。具体的には、フーチング天端（パイルベント構造の場合は杭天端）の水平変位、回転角についての照査が必要となる。そこで、杭径による影響、地中梁の有無による影響について線路方向における試算を実施した。試算結果を表-5に示す。

表-4 杭基礎の性能項目に対する照査指標の例（地震時・復旧性）

| 構造物の要求性能 | 杭基礎の性能項目 | 照査指標 | | | |
|----------|----------|-----------------|------------|---------------|---------------|
| | | 着目位置 | 設計応答値 | 設計限界値 | |
| | | | | 性能レベル1 | 性能レベル2 |
| 復旧性 | 基礎の残留変位 | 杭頭部 | 設計鉛直力 | 設計鉛直支持力 | 設計鉛直支持力 |
| | 残留水平変位 | フーチング等の天端 | 最大応答水平変位 | 2%LA ≤ 100 mm | 8%LA ≤ 100 mm |
| | 残留傾斜 | フーチング等の天端 | 最大応答回転角 | 10/1000rad | 20/1000rad |
| | 基礎部材の損傷 | 杭体・結合部 フーチング | 設計曲率・設計部材角 | 損傷レベル1 | 損傷レベル2 |
| 設計断面力 | | | 損傷レベル1 | 損傷レベル1~2 | |

表-5 残留水平変位、残留水平安定試算結果

| 復旧性の性能レベル | 検討ケース | φ1000 (地中梁無) | | | φ1800 (地中梁無) | | | φ1000 (地中梁有) | | |
|-----------|-----------------------------|--------------|-------|------|--------------|------|------|--------------|------|------|
| | | 設計限界値 | 応答値 | 照査結果 | 設計限界値 | 応答値 | 照査結果 | 設計限界値 | 応答値 | 照査結果 |
| 1 | 残留水平安定 (mm) | 28.3 | 33.5 | 1.18 | 50.9 | 11.9 | 0.23 | 28.3 | 7.1 | 0.25 |
| | 残留傾斜 (10 ⁻³ Rad) | 10.0 | 14.3 | 1.43 | 10.0 | 4.4 | 0.44 | 10.0 | 0.7 | 0.07 |
| 2 | 残留水平安定 (mm) | 113.1 | 151.4 | 1.34 | 203.6 | 58.2 | 0.29 | 113.1 | 85.3 | 0.75 |
| | 残留傾斜 (10 ⁻³ Rad) | 20.0 | 54.1 | 2.71 | 20.0 | 17.6 | 0.88 | 20.0 | 2.1 | 0.11 |

試算結果より、地中梁が無い構造においては、地中梁が有る場合と比較して杭天端の変位が大きくなり、各照査項目を満足することが出来ない結果となった。性能項目を満足させるためには、地中梁を省略する構造の場合、杭径φ1800まで大きくする必要がある。もしくは、杭径φ1000とした場合でも地中梁を設置することで、杭の性能照査を満足できるという結果となった。

5. まとめ

基礎標準の改訂により、杭基礎の支持力はH12年版と比較して小さくなった。また、変位の照査項目の追加により、パイルベント構造の高架橋の場合、杭径を大きくする、地中梁を設置する等の対応が必要となる。その場合、地中梁設置、杭径を大きくすることによる工事費の増加等の影響があると考えられる。

参考文献

- 1) 公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物），2000.6
- 2) 公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物），2012.1