

鉄道ラーメン高架橋の杭・地中梁の鉛直支持に関する一考察

四国旅客鉄道株式会社 正会員 光中 博彦、○池原 亮介
鉄道総合技術研究所 正会員 神田 政幸、出羽 利行

1. はじめに

高知駅付近連続立体交差化事業(以下、「高知高架」と呼ぶ)は、2008年2月に高架への線路切替が完了し、現在、道路整備や区画整理が進められており、今後の都市機能の向上が期待されている。高知高架の基礎杭として、JR四国内で初めて鋼管ソイルセメント杭を採用¹⁾することから、施工管理・品質確認を目的として、建設時に生じる構造物の沈下計測および杭と柱のひずみ計測を実施してきた。

一方、鉄道ラーメン高架橋では地中梁を有する場合が多く、設計においてはその地盤抵抗を無視して取り扱うのが一般的である。しかしながら、性能照査型設計へ移行しつつあることや既設構造物の評価を行うことが今後は益々増加すると予測されることから、上部構造はもちろんのこと、基礎の支持特性を精度よくモデル化することが求められている。地中梁は、実構造物の調査で不同沈下に対し有利に機能することが報告されているが²³⁾、その効果を定量的に設計に導入するには未解明な部分も多い。本報告では、ラーメン高架橋の地中梁の鉛直地盤抵抗を明らかにするため、高知高架の計測データを用い実ラーメン高架橋の杭と地中梁の死荷重に対する分担率を算定することを試みた。

2. 沈下・ひずみ計測の概要

沈下・ひずみ計測は9構造物(ラーメン高架橋6、橋脚3)を対象とした。これらの構造物は杭が鋼管ソイルセメント杭で、柱はRC構造である。ひずみゲージはラーメン高架橋の杭・柱4～8本と橋脚の杭・柱の全数(計測総数:柱・杭各44本)について、杭頭部と柱下部の1断面4箇所(図1)に設置した。沈下は各構造物1箇所を、杭頭部に設置したターゲットをレベル測量で計測した。これら計測の実施タイミングは、杭の中詰めコンクリート打設後を初期値とし、以後施工途中で大きく死荷重が増加する、地中梁コンクリート打設前・後、柱コンクリート打設前・後、地盤埋戻し後、梁スラブコンクリート打設前・後、梁スラブ支保工撤去後、当該構造物に架かる桁のコンクリート打設前・後などとした。

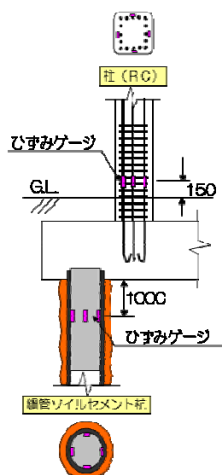


図1 ひずみゲージ
設置位置

3. 沈下計測の結果

対象構造物の沈下量は全計測時において初期値から0～2mmの範囲内にあり、測量精度を±1mmと考えても、沈下量は最大で3mmと考えられる。一方、鉄道構造物等設計標準⁴⁾では、長期使用限界状態の地盤抵抗係数(f_{ft} , f_{tp} ≒安全係数)は、杭頭沈下量で20mmに対して非超過確率95%となるように載荷試験結果の統計処理により設定され、これを杭の最大周面支持力・基準先端支持力に乘じて設計鉛直支持力としている。したがって、杭頭反力が設計鉛直支持力相当であれば5%の確率で20mm以上の沈下が生じる可能性があるが、本調査では最大3mmであり良好な基礎杭が施工されたと考えられる。

4. ひずみ値を用いた地中梁の死荷重分担率の推定

ラーメン高架橋のひずみ値を用いて、死荷重に対する杭と地中梁の分担割合を試算した。なお、ひずみ値が明らかに不整合である場合は統計処理から排除したが、完全に分離できない長期的変化(ドリフト)や温度の影響などは含んでいる。

(1) 地盤埋戻し以降の地中梁の分担率: 最初に、地盤埋戻し以降の施工工程に対する地中梁の鉛直荷重分担を求める。柱下部軸力に対する杭頭部軸力の割合は、フックの法則を用いて式(1)で表すことができる。ここで、柱下部軸力が地中構造物
$$\frac{N_p}{N_c} = \alpha \cdot \beta \frac{E_s A_s}{E_c A_c} \times 100 (\%) \quad \cdots \text{式(1)}$$
 (杭と杭以外(≒地中梁))に入力される作用荷重であると考え、杭が全ての作用荷重を負担している場合は、式(1)が100%となる。逆に、100%から式(1)で得られた値を減じたものが、杭以外(≒地中梁)の鉛直荷重の分担率であると考えることができる(図2)。ここで、 N_p は

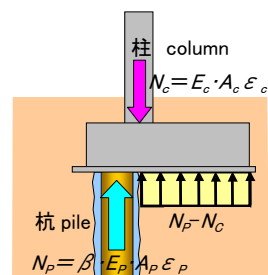


図2 鉛直荷重分担

杭頭部軸力、 N_c は柱下部軸力、 α は杭頭部と柱下部の軸ひずみ比($\alpha = \epsilon_p / \epsilon_c$)、 β は杭の軸剛性の補正係数、 E_s は鋼管ソイルセメント杭の鋼管のヤング係数、 A_s は鋼管ソイルセメント杭の鋼管の断面積、 E_c は柱のヤング係数、 A_c は柱の断面積である。鋼管ソイルセメント杭の軸剛性は、鋼管とソイルセメント体の複合体であり未知であるため、既知

キーワード 地中梁、ラーメン高架橋、鋼管ソイルセメント杭、施工時ひずみ、施工時沈下

連絡先 〒760-8580 香川県高松市浜ノ町8番33号 四国旅客鉄道株式会社工務部工事課 TEL 087-825-1642

の鋼管単独の軸剛性($E_s A_s$)を用い、補正係数 β を乗じる形で求めた。杭頭部の軸力($\beta E_s A_s \varepsilon$)と作用荷重が等しくなるように β を定めた。作用荷重は上載分のコンクリートや埋戻し土の重量とした。杭頭部軸力と作用荷重との関係を調べ、 $\beta=1.59$ (平均値)を得た。

杭と柱の軸ひずみ比 α は概ね正規分布を示したことから、平均値 $\mu=0.59$ 、標準偏差 $\sigma=0.34$ 、非超過確率95% $\mu+1.6\sigma=1.14$ を得た。

これらを用いて、計測対象構造物2グループ(条件1、2)の柱軸力に対する杭の分担率を求めた(図3)。図3には実測値も併記した。柱断面は条件1が正方形(0.9m×0.9m)、条件2は円形(直径0.9m)で、杭断面は条件1と2で同一(鋼管外径1.0m、鋼管肉厚14mm)である。柱軸力に対する杭軸力の割合は、平均値で37.6~47.6%(≒40~50%)であり、残りの60~50%が杭以外(≒地中梁)の分担である。非超過確率95%で示すと、杭は72.6~91.9%(≒70~90%)で、残りの10~30%が地中梁の分担となる。

(2) 地盤埋戻し以前の地中梁の分担率:次に地盤埋戻し以前の施工工程における分担率を求める。しかしながら、埋戻し以前は柱の構築前であり柱のひずみ値が存在せず、(1)と同様な算定ができない。そこで、埋戻し以前・以降の杭の軸力増加の感度を比較し、分担率を概略で推測した。

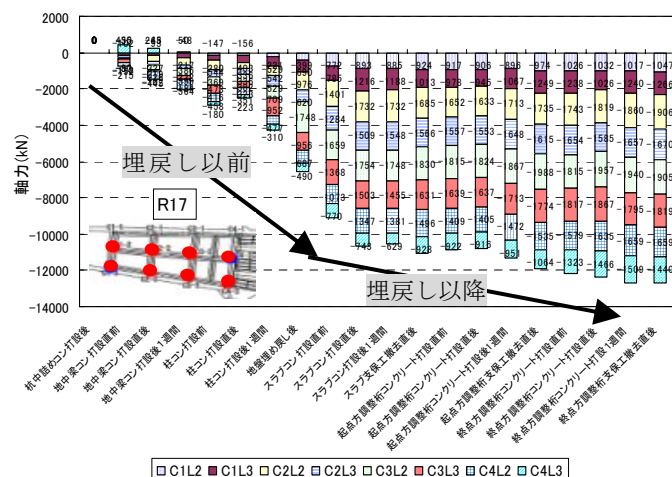


図4 施工工程ごとの杭頭部軸力

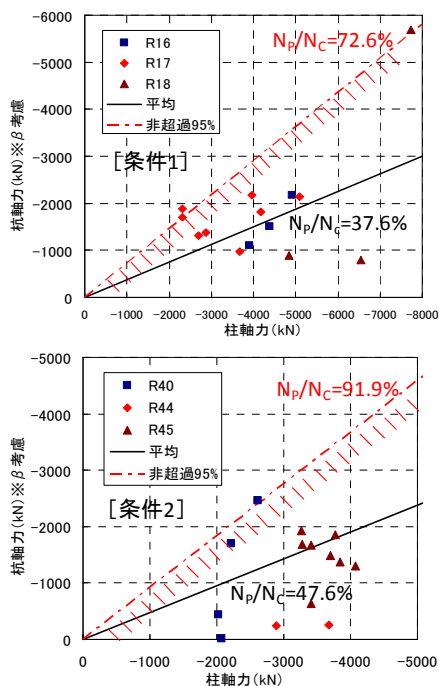


図3 柱軸力と杭軸力(埋戻し以降)

図4は杭頭部で計測された施工工程毎の軸力の一例である。概観すれば、埋戻し以降の軸力増加に比べて、埋戻し以前の軸力増加が大きいことが確認できる。したがって、埋戻し以前の杭の分担率は、少なくとも埋戻し以降(分担率50%)よりも大きな値であると考えられる。

地盤埋戻しを境に杭の軸力分担が変化する理由を次のように推察する。埋戻し以前は、上載土による拘束がない状態であり、応力緩和等により地中梁底面の地盤反力はさほど発揮されない。一方、埋戻し以降は、上載土による拘束効果により地中梁底面の地盤反力が発揮し易い状態にあり、底面反力が応力緩和を生じたとしても上載土が追従し地中梁を押さえつけ、地中梁底面の地盤反力が発揮できる状態が維持されるものと考えられる。

(3) 構造物の全死荷重に対する地中梁の分担率:埋戻し以前は杭が100%分担しているものと仮定して、施工工程毎に杭と地中梁の死荷重の分担率を示した(表1)。さらに、この分担率に施工工程毎の死荷重(割合)を乗じ、その総和を求めることで、構造物の全死荷重に対する分担率を示した。構造物の全死荷重に対して杭は平均値で概ね70~75%を分担し、地中梁は25~30%を分担している結果を得た。また、非超過確率95%の値を用いた場合、地中梁の鉛直荷重分担は10%弱であった。

表1 杭と杭以外(≒地中梁)の死荷重分担率

施工工程	死荷重(割合)	杭	杭以外(地中梁)
地盤埋戻し以前	地中梁、柱、埋戻し土(50%)	100%	0%
地盤埋戻し以降	梁・スラブ、起終点の桁、高欄(50%)	37.6~47.6%	52.4~62.4%
合計		70~75%	25~30%

5. まとめ

建設中の鉄道構造物の沈下および杭・柱のひずみ計測を実施し、ラーメン高架橋の杭と地中梁の鉛直荷重分担の割合を検討した。施工中の構造物の実測沈下量は0~2mmであった。杭と地中梁の鉛直荷重分担は、地盤埋戻し前後で異なり、地中梁の分担は埋戻し以前は小さく、埋戻し以降で50~60%程度と考えられる。埋戻し以前の分担をゼロと考えた場合、構造物全体の死荷重のうち25~30%を地中梁が負担している結果を得た。

参考文献 1) 松本任雄、中谷泰幸:高知高架における鋼管ソールセメント杭の設計と施工、日本鉄道施設協会誌、2003.10

2) 地盤工学会:「基礎の沈下予測と実際」、pp.331-341、2000.2

3) 地盤工学会 新潟県中越地震災害調査委員会:「新潟県中越地震災害調査委員会報告書」、pp.371-376、2007.5

4) 国土交通省監修 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎・抗土圧構造物)