

# プレボーリング工法によるモルタルH鋼杭の設計手法の検討

東海旅客鉄道株式会社

正会員 石原 匠 正会員 稲熊 弘

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 正会員 西岡英俊 正会員 神田政幸

## 1. はじめに

プレボーリング工法によるモルタルH鋼杭(以下、モルタルH鋼杭という)は、線路上空桁架設構造物のベント基礎として、既設鉄道構造物への影響の軽減、工期短縮、低騒音・低振動の観点から有効な工法である。しかし、鉄道構造物の設計基準<sup>1)</sup>においては、特殊な施工法に位置付けられ、定量化された設計手法は確立されておらず、現在、本工法を使用するにあたっては鉛直載荷試験を実施しなければならない。本稿では、著者らが実施した鉛直載荷試験および付着試験の結果<sup>2) 3) 4)</sup>を分析し、モルタルH鋼杭の定量的な設計手法を提案したので、報告する。なお、本稿では、プレボーリング時に孔壁を確実に保持するために、場所打ち杭と同等の施工管理を行うことを前提としている。

## 2. 支持力性能評価及び算定式の提案

### (1) 試験結果の分析と基準支持力算定式の提案

鉛直載荷試験<sup>2)</sup>の目的は、モルタルH鋼杭の基準支持力(杭先端沈下量が杭径の10%に到達した時点の支持力)の確認である。モルタルH鋼杭と場所打ち杭の施工方法は類似していることから、モルタルH鋼杭の算定式は、場所打ち杭の算定式を基本に検討することとした。すなわち、モルタルH鋼杭の基準支持力は、式(1)及び式(2)の場所打ち杭の支持力算定式から求めることとした。

$$R_c = R_{tk} + \sum R_{rk} = q_{tk} \pi D^2 / 4 + \sum (r_{rk} \pi D \Delta l) \quad (1)$$

$$q_{tk}=60\text{N}, r_{rk}=3\text{N} \quad (\text{砂質土の場合}) \quad (2)$$

ここで、 $R_c$ ：基準支持力、 $q_{tk}$ ：基準先端支持力度、

$r_{rk}$ ：基準周面支持力度、 $D$ ：杭径、 $\Delta l$ ：各層の層厚、 $N$ ：N値である。

次に、モルタルH鋼杭の基準支持力の実測値と算定値の関係と、既往の場所打ち杭の実測値と算定値の関係を図1に示す。モルタルH鋼杭の実測値と算定値の相関性は場所打ち杭より高い相関性を示している。

以上より、モルタルH鋼杭は、施工方法が類似している場所打ち杭と同程度の支持力特性を有しており、モルタルH鋼杭の基準先端支持力度 $q_{tk}$ および基準周面支持力度 $r_{rk}$ の算定式は、場所打ち杭の算定式を準用できることが明らかとなった。

### (2) 地盤抵抗係数の算出

鉄道構造物の設計における設計鉛直支持力 $R_{vd}$ は、式(3)に示すように、特性値に相当する基準支持力 $R_c$ に対して、各限界状態に応じた地盤抵抗係数(安全係数) $f_r$ を乗じて算出される。

$$R_{vd} = f_r R_c = f_r (R_{tk} + \sum R_{rk}) \quad (3)$$

なお、地盤抵抗係数 $f_r$ は、基準支持力 $R_c$ に対する基準先端支持力 $R_{tk}$ の比に応じて異なる値となり、データ数が少ない場合やばらつきが大きい工法では小さくなるように、信頼性解析<sup>5)</sup>に基づき工法別に算出されている。

モルタルH鋼杭に対する地盤抵抗係数 $f_r$ は、現時点では載荷試験データ数が3ケースであり、場所打ち杭よりも少ないため、信頼性解析を行いモルタルH鋼杭の地盤抵抗係数を算出した。図2に各限界状態における基準先端支持力比 $p_t$ と算出した地盤抵抗

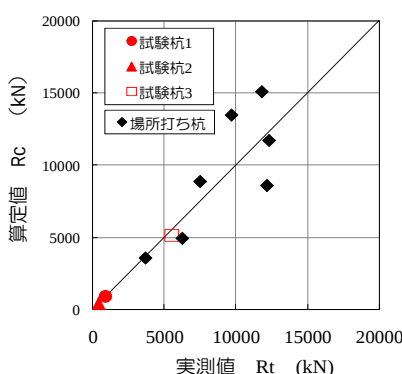


図1 基準支持力の実測値と算定値の関係

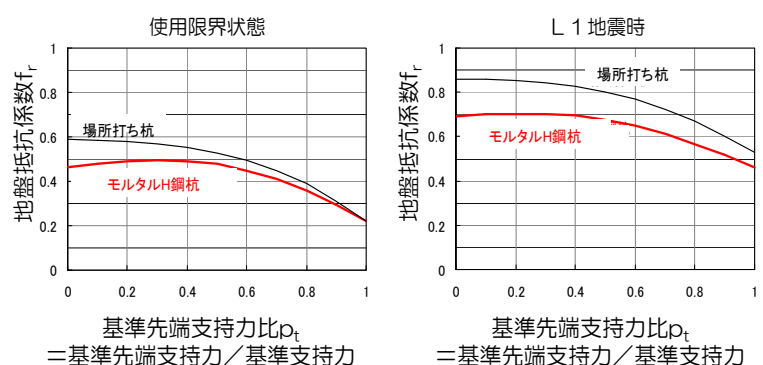


図2 基準先端支持力比 $p_t$ と地盤抵抗係数 $f_r$ の関係

係数  $f_r$  の関係を示す。モルタル H 鋼杭は場所打ち杭に比べて小さな地盤抵抗係数となっており、これにより設計鉛直支持力も小さく算定されることとなる。

### 3. 付着性能評価及び算定式の提案

#### (1) 付着試験結果の分析

付着試験<sup>3)</sup>の目的は、芯材である H 鋼と充填材であるモルタルの付着特性とそれに対する泥水の影響の確認である。試験結果から、モルタルと H 鋼の付着強度は、設計基準<sup>6)</sup>に示される普通丸鋼の付着強度 ( $f_{bo} = 0.4 \times 0.28 f'_c{}^{2/3}$ ) と同程度であり、さらにベントナイト泥水中の場合では、約 6 割に低下することが明らかとなった。よって、モルタル強度の低減係数を考慮して H 鋼の付着強度の算定式として式 (4) を提案した。

$$f_{bo} = 0.5 \times 0.4 \times 0.28 f'_c{}^{2/3} \quad (4)$$

ここで、 $f_{bo}$  : H 鋼の付着強度、 $f'_c$  : モルタルの設計基準強度である。

#### (2) 付着力照査式の提案

杭の基準支持力を確認するための鉛直載荷試験<sup>2)</sup>において、H 鋼部とモルタル部での軸ひずみが一致しておらず、部分的に付着切れが生じていると推定されるケースがあった。このケースの杭先端軸力（杭先端のモルタル及び H 鋼に設置したひずみゲージの値より算出）および杭先端のモルタル部と H 鋼部の軸ひずみの関係を図 3 に示す。また、図 3 中に式 (4) の付着強度算定式より算出した杭先端での H 鋼とモルタルの付着力（約 1500kN）を示す。H 鋼とモルタルのひずみが一致していれば杭の付着力は確保しているが、図 3 では、杭先端軸力が約 400kN のとき、モルタル部と H 鋼部の軸ひずみに乖離が生じている。これは、杭先端部の H 鋼とモルタルの付着

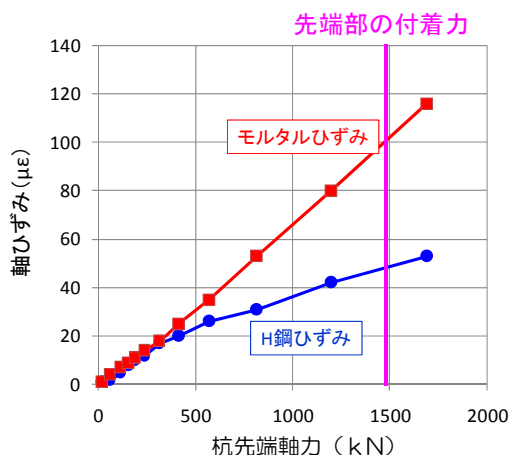


図3 杭先端軸力およびモルタル部とH鋼部の軸ひずみの関係

力に対し、1/4 程度である。杭先端部での付着切れが生じると杭体全体に付着切れが進展する恐れがあるため、これを回避する観点から、杭先端の付着力に対する安全率は 4 程度を確保する必要があると考えられる。

したがって、杭先端の付着力の安全性の照査として、支持層への根入れ長においてモルタルと H 鋼の付着力 ( $f_{bo} \times U_H \times D_{fo}$ ) が杭先端部にかかる応答値よりも大きくする必要があるため、付着力は安全率を考慮した照査式 [式(5)] を満足させることとした。

$$f_{bo} \times U_H \times D_{fo} / 4 \geq V_{td} \quad (5)$$

ここで、 $U_H$  : H 鋼の周長、 $D_{fo}$  : 根入れ長、 $V_{td}$  : 最大荷重時における杭先端部の応答値である。

### 4. まとめ

本稿では、プレボーリング工法におけるモルタル H 鋼杭の設計手法を提案した。モルタル H 鋼杭の支持力に関しては、場所打ち杭の算定式を準用することとした。ただし、安全係数（地盤抵抗係数）に関しては、載荷試験事例が少ないことから場所打ち杭と比べて安全側に設定した。モルタルと H 鋼杭の付着強度は、普通丸鋼と同程度であり、ベントナイト泥水中の場合は低減される。また、杭先端で付着切れが生じないように、照査にあたり、付着力に対して安全率を設定した。

今回の支持力算定式の提案より、鉛直載荷試験を実施しなくてもモルタル H 鋼杭の支持力評価を行えるようになった。

### 《参考文献》

- 1) (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・抗土圧構造物，1997.
- 2) 中村ら：プレボーリング H 鋼杭の支持力評価（その 1），第 65 回土木学会年次学術講演会，2010.
- 3) 猪股ら：プレボーリング H 鋼杭の支持力評価（その 2），第 65 回土木学会年次学術講演会，2010.
- 4) 磯野ら：プレボーリング H 鋼杭の支持力評価（その 3），第 65 回土木学会年次学術講演会，2010.
- 5) 西岡ら：載荷試験データの統計的処理による杭工法別の支持力算定法，鉄道総研報告，2008
- 6) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，2004.