杭の鉛直載荷試験結果を踏まえた長尺鋼管杭の設計

(株)ドーユー大地　正会員　○難波　正幸
(株)ドーユー大地　正会員　中谷　隆生
八千代エンジニヤリング(株)　後藤　雄一
東日本高速道路(株)　正会員　加藤　真司

1．はじめに

東北中央自動車道南陽高畠～山形上山間の白竜湖地区は，有機質土と粘性土が砂質土を挟みながら互層状に厚く堆積する地盤であり，橋梁区間は支持層深度が最大 85m と非常に深く，大きく起伏している特徴を持つ．このため，中掘鋼管杭を採用しているが，支持層は平均換算 N 値が 100 を超える軟岩であり，杭先端にセメントミルク攪拌工法は採用できない．このため最終打撃工法による支持層への根入れが必要となるが，道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編(以下，道示と称す)[1]では中掘鋼管杭で最終打撃工法により軟岩へ根入れさせた場合の先端支持力推定式は確立されていない．本稿はこのような条件下において，杭の鉛直載荷試験結果を踏まえた長尺鋼管杭の設計事例として報告するものである．

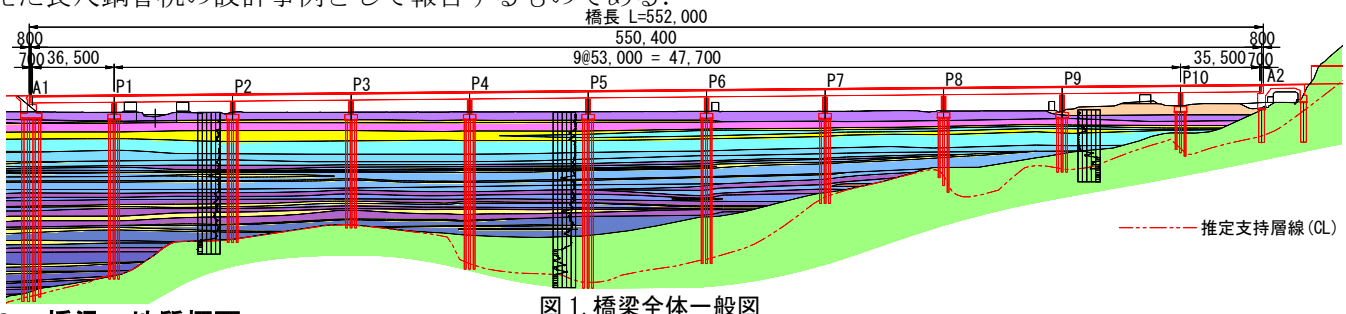


図 1. 橋梁全体一般図

2．橋梁・地質概要

本橋は，橋長 552.0m(最大支間長 53.0m)の鋼 11 径間連続合成少数鈑桁橋で，基礎形式はネガティブフリクションの影響を考慮して中掘鋼管杭(杭径は橋台：φ1000，橋脚：φ800)を選定している．

当該地盤は，米沢盆地の北東部縁部に位置する面積 1000ha の規模を有する湿地帯である[2]．表層には高有機質土層が全域に分布し，その下位には有機質土，粘性土および砂質土層が互層状に分布している．表層の高有機質土層は，層厚 3～5m，N 値=0，含水比 500～700%(最大 1100%)を示す[2]．

3．鉛直載荷試験の概要および結果

鉛直載荷試験は，地盤工学会「杭の鉛直載荷試験方法・同解説 杭の急速載荷試験方法(JGS1815-2002)」に基づき実施した[3]．試験内容および測定項目を**表 1** に，試験結果を**表 2** に示す．

表 1. 鉛直載荷試験の内容および測定項目

項　目	試　験　内　容
試験基準	地盤工学会「杭の鉛直載荷試験方法・同解説 杭の急速載荷試験方法(JGS1815-2002)」
試験回数	試験回数1回(STA28+60)
目標試験荷重	Pmax＝13,000kN/本
載荷装置	質量85t重錘落下装置，ハイブリッドナミッククッション
荷重管理	ひずみ計による荷重管理
変位管理	試験杭の変位量はPSDカメラで計測 (PSDカメラは試験杭から10m以上はなれた位置に設置)
	加速度計(2階積分から変位を算出)
計器の設置	ひずみ計：杭頭部2方向×1断面　地中部2方向×16断面 加速度計：杭頭部2方向×1断面　地中部1方向×6断面
解析方法	除荷点法，波形マッチング解析

4．杭の鉛直支持力の設定

4．1．先端支持力

中掘鋼管杭の先端支持力については，鉛直載荷試験の結果から qd×A=6,500kN/本とした．参考として，N=40 を上限とする砂質土層を対象とする打込み杭の支持力推定式(以下，道示推定式と称す)により算出した場合の杭先端支持力を**表 2** に示す．道示推定式より得られた先端支持力よりも大きな支持力を有することが確認できた．

表 2. 鉛直載荷試験結果および推定値

	試験結果	道示推定値
周面摩擦力(kN)	3,016	8,159
先端支持力(kN)	6,538	2,817
合　計	9,554	10,976

キーワード　中掘鋼管杭，軟弱地盤，鉛直載荷試験，杭先端支持力，周面摩擦力，ネガティブフリクション
連絡先　〒733-0037　広島県広島市西区西観音町 17-17　(株)ドーユー大地　TEL082-532-5120

4．2．正の周面摩擦力

周面摩擦力については,鉛直載荷試験から得られた値が道示推定式より求めた値を大幅に下回る結果となっている(**表 2**)．この要因としては，以下の 2 点が考えられる．

1)フリクションカッターの影響：杭の施工に当り，杭長が長いことから相当の摩擦力が働くものと考え，杭先端補強プレートの外側に摩擦力低減を目的に鉄筋(D22)を溶接して設置した(**図 2**)．そのため，杭と地盤に大きな間隙が生じ，地盤の摩擦抵抗が十分に働かない結果となった可能性がある．

2)地山特性(地山の自立性)：地表付近は，N=0 の軟弱な高有機質土であるにも関わらず，3m 程度であれば直切が可能である(**図 3**)．これは土中に繊維状の腐食物が混在していることにより地山の自立性が高くなったものと推察される．当該地区では構造物基礎調査 [2]により，GL-20～85m の深部においても腐食物の混入を確認している.このため杭の掘削においても孔壁が自立してしまい，地盤の回復に時間を要したため杭と地盤の付着が不十分となっている可能性がある．

これらを踏まえ，本設計では安全側の設計とし，押込支持力の許容値を算出する際の周面摩擦力はゼロと評価した(**図 4**)．

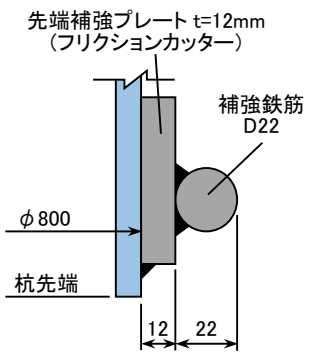


図 2. 杭先端部加工

図 3. 掘削状況

4．3．負の周面摩擦力(ネガティブフリクション：NF)

負の周面摩擦力を考慮した設計の支持力機構は，**図 5,a)**に示すとおり，中立点より上方は負の周面摩擦力を考慮し，中立点より下方は先端支持力のみを考慮した.最終的な支持力機構としては，**図 5,b)**の状態になると考えられるが，地盤が完全に回復するまでの途中段階では**図 5,a)**のような状態になることから，安全側の設定となる**図 5,a)**の支持力機構とし，この条件で支持力が不足する場合にはネガティブフリクション対策(SL 塗布)を施した．

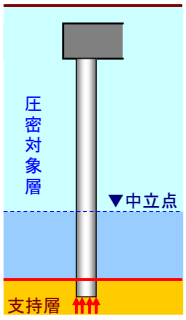
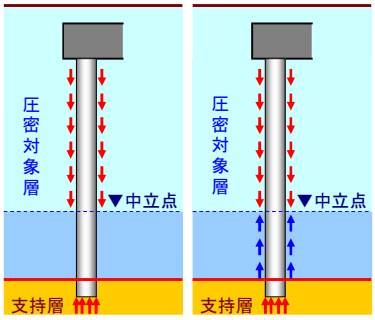


図 4. 支持力機構模式図
(押込支持力)



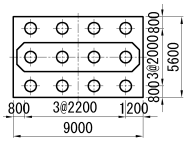
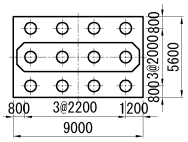
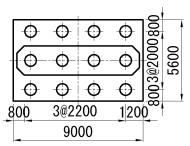
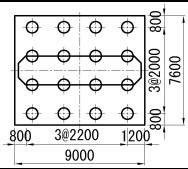
a)正の周面摩擦力無視　b)正の周面摩擦力考慮

図 5. 支持力機構模式図
(NF 作用時)

5．設計結果

代表橋脚の設計結果を**表 3** に示す.杭本数は支持力および変位で決定している．ここで，杭の鉛直載荷試験結果を踏まえた本設計に対し,道示推定式より支持力を算出した場合の仮想設計を行い，今回の設計の妥当性を確認した．杭長が長い場合は周面摩擦力の影響が大きく支持力が増加するが,変位も杭本数の決定要因となっているため，杭本数は変わらない．一方，杭長が短い場合は周面摩擦力の影響が小さいため支持力が低下し，杭本数が増加することとなる．

表 3. 計算結果

支持力		P2橋脚(L=55.0m)	P9橋脚(L=24.5m)
試験結果	概略図		
	変位(mm)	39.7 ＜ 40.0	26.6 ＜ 40.0
	支持力(kN)	2813 ＜ 3224	3163 ＜ 3246
道示推定式	概略図		
	変位(mm)	39.7 ＜ 40.0	19.9 ＜ 40.0
	支持力(kN)	2813 ＜ 4096	2346 ＜ 2426

6．まとめ

支持層が平均換算N値100を超える軟岩を有する軟弱地盤上における鋼管杭の設計において,鉛直載荷試験を実施することで適切な杭の支持力を設定し設計に反映した.試験結果を十分安全側に評価しながらも,道示推定式を用いて設計した場合と比べても妥当な設計となっていることを確認した.

参考文献

1)社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編,2012
2)東日本高速道路株式会社：東北中央自動車道 白竜湖橋構造物基礎調査 報告書,2012
3)株式会社地盤試験所：軟弱地盤下の軟岩を支持層とする長尺鋼管杭の急速載荷試験,2013