

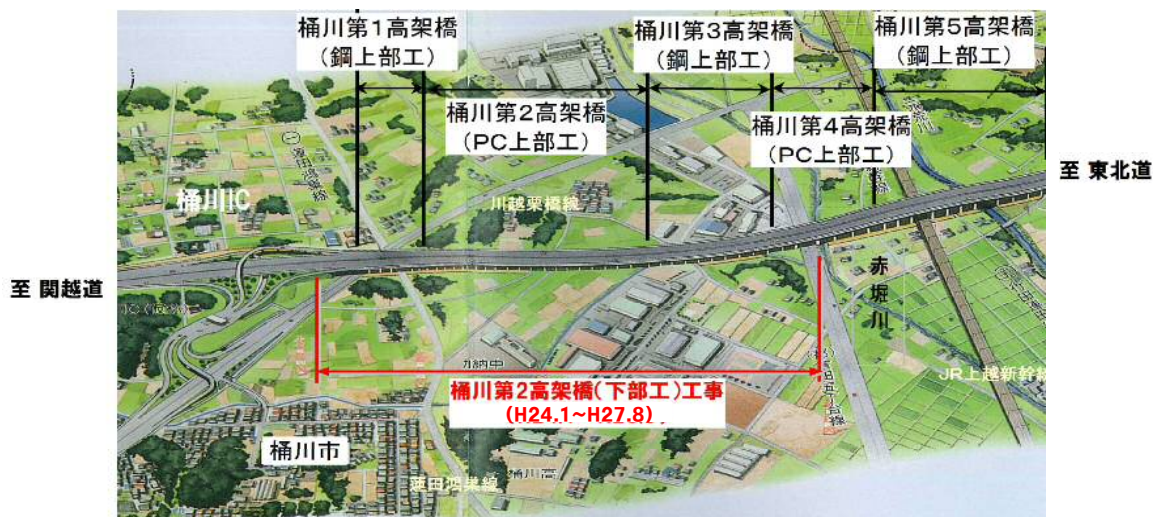
鋼管矢板井筒基礎のウォータージェット併用圧入施工と試験杭の載荷試験

西松建設(株) 正会員 ○藤原 基博 正会員 谷川 潤
正会員 堀井 隆弘 正会員 土屋 光弘

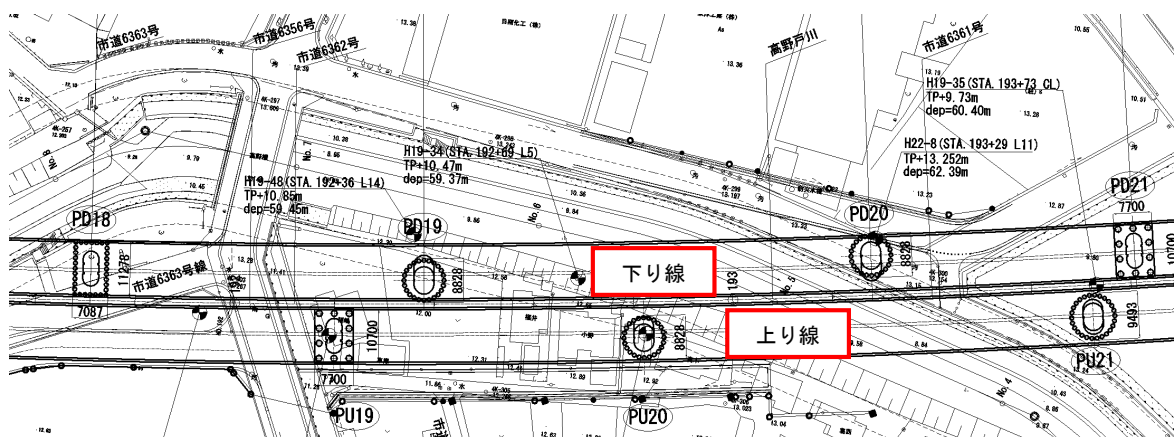
1. はじめに

本工事は、首都圏中央連絡自動車道（圏央道）における未開通区間（桶川北本 IC～白岡菖蒲 IC）10.8km のうち、延長 1,241m 間の橋梁下部工（橋脚 47 基、橋台 2 基）および側道等附帯工の施工を行う土木工事である（図－1）。橋脚の基礎形式は鋼管ソイルセメント杭（ $\phi 1,200$ L=10.0m～42.5m）、鋼管矢板井筒基礎（ $\phi 800$ L=15.5m～51.0m）であり（図－2）、本報告では、鋼管矢板井筒基礎工の変更と実績について報告するものである。

本工事のうち、河川、市道、宅地および精密機械工場に近接した狭隘な 8 橋脚（P17、P18 の鋼管矢板長 L=15.5m、P19～P21 の鋼管矢板長 L=47.5～51.0m）については、鋼管矢板井筒基礎（仮締切り兼用方式）が採用されていた（図－3）。

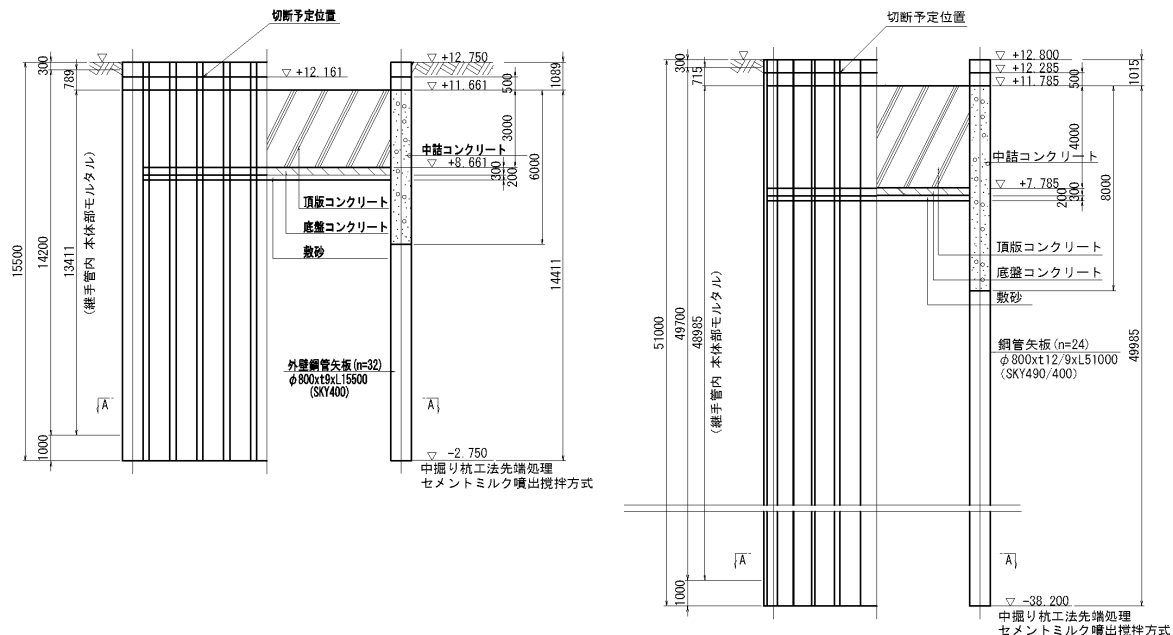


図－1 工事範囲



図－2 鋼管矢板基礎 平面位置図

キーワード ウォータージェット併用圧入工法, 杭の鉛直・水平載荷試験, 周面摩擦, 恒久グラウト
連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-1-18 西松建設(株) 関東土木支社 TEL 03-3502-7556



図－３ 鋼管矢板基礎 断面図（左：PD18 橋脚基礎（L=15.5m），右：PU20 橋脚基礎（L=51.0m））

２．鋼管矢板の高止まり

鋼管矢板の打設作業は、３点式杭打機（圧入力 800kN）による中掘り圧入工法（中掘り先端拡大根固め工法）にて施工を開始し、鋼管矢板長 L=15.5m の P17, P18 の上下線 4 橋脚の施工を完了後、鋼管矢板長 L=51.0m の P20 橋脚上り線の基礎（PU20 橋脚基礎）の施工に着手した（図－３）。しかし PU20 橋脚基礎の 2 本目で、所定深度までの圧入が不能となり、鋼管矢板の高止まりが発生した（表－１）。

表－１ 数量表（橋脚別）

橋脚	鋼管長(m)	数量(本)
PU17	15.5	30
PD17	"	32
PU18	"	32
PD18	"	32
PD19	49.5	24
PU20	51.0	24
PD20	49.5	24
PU21	47.5	26

施工済

高止まり

高止まりの原因としては、鋼管矢板長が長く、洪積粘性土層と洪積砂質土層の周面摩擦力の増大によるものと推定された。油圧式可変超高周波バイブロ SR45（起振力：473kN）および電動式可変モーメントバイブロ VR120（起振力：568kN）を使用して所定深度への貫入を試みたが、所定深度に達することはなく、P19～P21 橋脚基礎の施工完了を目的に、鋼管矢板の施工方法の比較検討を実施した。

なお、これら 4 橋脚は上部工反力が大きく、レベル 2 地震時に基礎が降伏しないよう所定深度までの施工が求められるとともに、経済性、工程面からも慎重な比較検討が求められた。

３．工法選定と施工方法

（１）工法比較検討

所定深度まで確実に施工完了できる工法の選定条件として下記項目を満足する必要があった。

①施工箇所は、宅地および精密機械工場に隣接しており、騒音・振動等の周辺環境への負荷がないこと。

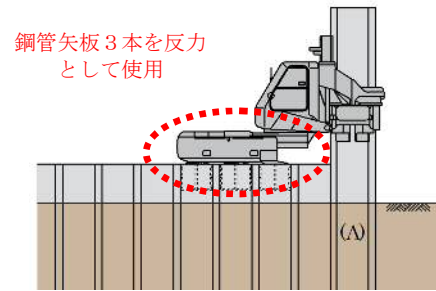
②本路線の供用期限に猶予がなく、杭基礎やケーソン基礎への基礎形式の変更に伴う修正設計の時間が確保できないことから、基礎形式は鋼管矢板井筒基礎とすること。

以上を満たし、３点式杭打機の圧入力 800kN を上回る鋼管パイラー（圧入力 2600kN）を使用したウォータージェット併用鋼管矢板圧入工法（以下、WJ 併用圧入工法とする）が採用された。また、本工事における鋼管矢板長と同等の鋼管矢板の施工実績があったことも、本工法を採用した大きな要因であった。WJ 併用圧入工法における

鋼管パイラーおよび施工姿図を写真－１，図－４に示す。



写真－１ 鋼管パイラー



図－４ 施工姿図

(2) ジェット機構

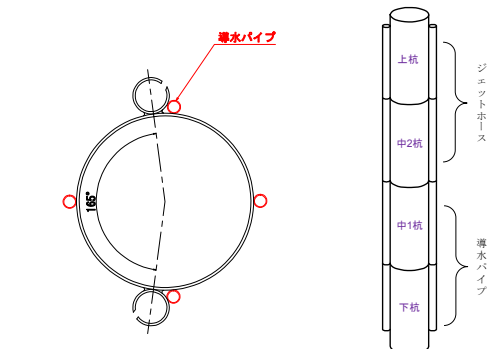
鋼管矢板の高止まりの原因と考えられる地盤の周面摩擦に対しては，鋼管矢板に導水パイプとジェットホースを4箇所設置し，高圧のウォータージェットによって周面摩擦を低下させることとした（図－５）。

(3) 給排水設備

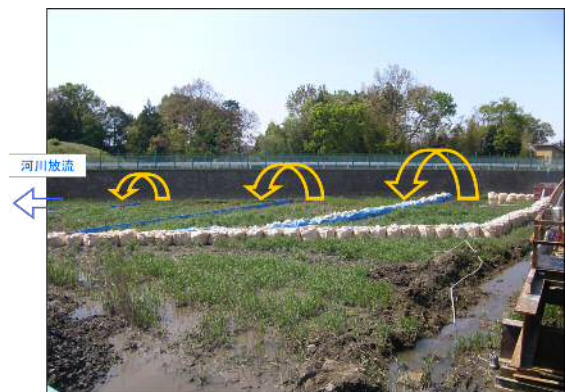
WJ 併用圧入工法ではジェットカッターAT330ES・V（最大吐出量 900ℓ/min）を4台使用するため，1日当り 240m³の給水が必要であり，施工箇所近傍の河川より3インチの水中ポンプ4台を使用して給水を行った．また，施工時に発生する泥水（粘性土・砂質土と水）の処理については，機械的な濁水処理設備は使用せず，施工箇所より約 200m 離れた調整池まで8インチのサンドポンプにて送水し，調整池を貯留設備として利用することを提案し，了承を得た．調整池内には大型土嚢による堰を設け，堰を越流した上澄水のみ河川へ自然放流することとした（写真－２）。

(4) 載荷試験

WJ 併用圧入工法は，鋼管矢板に設置した導水パイプの先端より高圧水を吐出し，鋼管矢板周辺の地盤を乱しながら所定深度まで鋼管矢板を圧入する工法であり，道路橋示方書¹⁾の支持力算定式の適用範囲から除外されている工法のため，基礎の鉛直抵抗特性（先端支持力，周面摩擦力）と水平抵抗特性（水平方向地盤反力係数）について載荷試験を実施し，工法変更に対する基礎の性能確認が必要とされた。



図－５ 導水パイプとジェットホース



写真－２ 調整池の越流構造

4. WJ 併用圧入工法

WJ併用圧入工法による鋼管矢板施工中は，周辺環境への負荷も少なく，調整池より河川へ自然放流した泥水のSS（浮遊物質）濃度も規制値以下であった．工程の面においても鋼管矢板長L=47.5～51.0mの4橋脚について当初の中掘り圧入工法と同程度で施工できたため，本路線の供用期限に対しても問題なく施工を進めることができた．写真－３は本工事における実際の施工状況である．

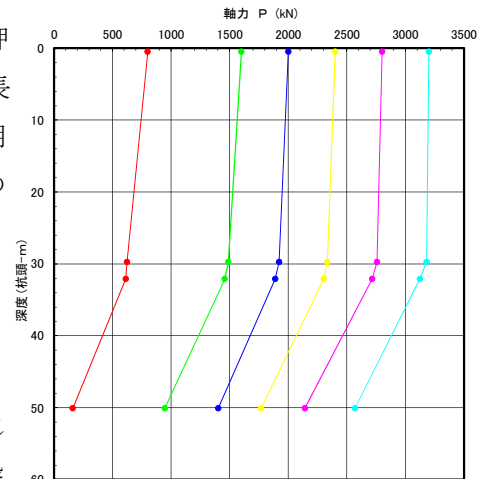


写真－３ 鋼管矢板施工状況

5. 載荷試験

(1) 地盤改良前

鉛直載荷試験は、地盤工学会「杭の鉛直載荷試験方法・同解説杭の押し込み試験」²⁾に基づく多サイクル方式にて実施した。試験杭（鋼管矢板長 $L=51.0\text{m}$ ）にはひずみ計、先端変位計、多段式傾斜計を設置し、WJ 併用工法にて支持層まで圧入した。なお、試験杭はPU20 鋼管矢板井筒基礎の中央に施工し、反力杭（鋼管矢板井筒基礎）と試験杭の平面位置関係は地盤工学会基準²⁾を満足する配置としている。WJ 併用工法による施工後、周辺抵抗力の回復期間として14 日の放置期間²⁾を経て鉛直載荷試験を実施した結果（図－6），計画最大荷重 $P_{\text{max}}=8000\text{kN}$ まで到達せず、 $P=3200\text{kN}$ で鉛直載荷試験を終了した。杭径の10%に相当する沈下が生じた際の先端支持力は1767kN であり、道路橋示方書の中掘り工法最終打撃方式による先端支持力と同程度となった。ただし、周面摩擦力は632kN



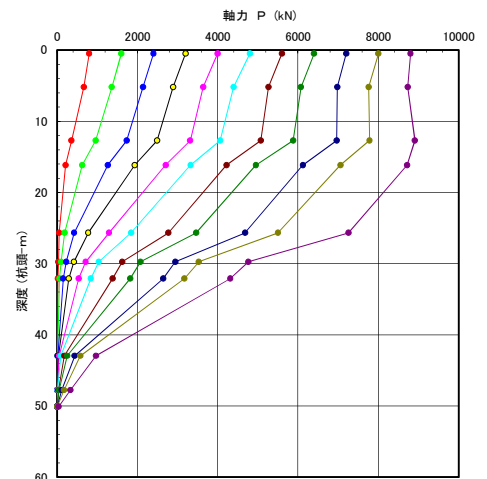
図－6 軸力分布図（薬液注入前）

と小さく、試設計で算定したレベル2地震時に基礎が降伏に到達しない周面摩擦力2470kN 以下であった。このため、橋脚基礎として必要な周面摩擦力を確保する対策工として、恒久グラウトによる薬液注入工を採用し、地盤改良を行った。

(2) 地盤改良後

(i) 鉛直載荷試験²⁾

ウォータージェットによる乱れの影響範囲として杭から50cm程度との文献⁴⁾があるものの、地質条件によって乱れの範囲が変化することも考えられ、薬液注入工の平面範囲をより合理的に設定するためWJ併用工法で施工した鋼管矢板近傍の4箇所について追加ボーリングを実施した。当初設計ボーリングに対し、土層構成およびN値分布を定量的に比較した結果、薬液注入工の平面範囲は、鋼管矢板外面より30cm外側の部分とした。試験杭に恒久グラウトを注入し、グラウトの養生期間28日を経て、薬液注入後の鉛直載荷試験を実施した（図－7）。薬液注入後は $P_u=8800\text{kN}$ の極限支持力が確認され、当初設計の極限支持力7819kNを満足する結果が得られた。また、薬液注入後の周面摩擦抵抗は道路橋示方書における中掘り圧入工法以上であることが確認できた。



図－7 軸力分布図（薬液注入後）

(ii) 水平載荷試験³⁾

水平載荷試験は、地盤工学会「杭の水平載荷試験方法・同解説」³⁾に基づく多サイクル方式にて実施した。

水平載荷試験装置は、目標水平変位量 $\delta=15\text{mm}$ 以上に対して計画し、鋼管矢板井筒基礎内を掘削・床付した後、水平載荷試験を実施している（写真－4、図－8）。試験後は、試験杭に設置したひずみ計から曲げひずみを計算し、数値微分、数値積分により水平方向地盤反力係数を算定した。薬液注入後の水平載荷試験によって得られた水平方向地盤反力係数は当初設計と同程度であり、水平載荷試験結果を反映して鋼管矢板井筒基礎の設計計算を実施



写真－4 水平載荷試験装置

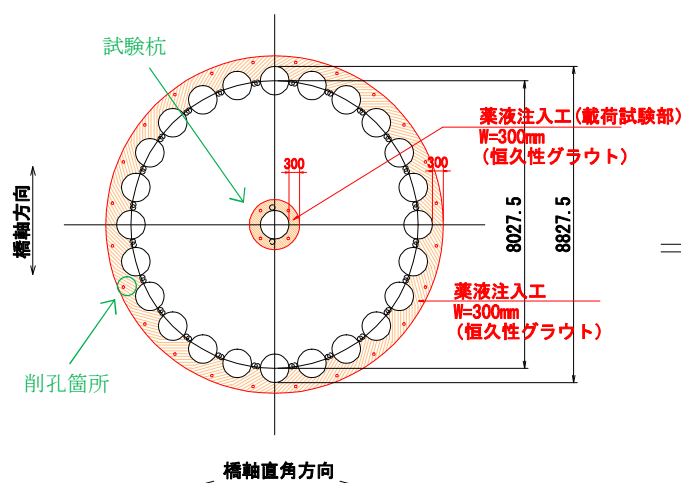
した結果、応力上最も厳しいレベル2地震時において、鋼管矢板先端は極限支持力に到達せず、鋼管矢板の応力度も許容値以下であり、基礎の構造安全性に問題ないことを確認した。

地盤改良後の鉛直荷重試験および水平荷重試験から、WJ併用圧入工法にて施工した鋼管矢板井筒基礎に薬液注入を追加することで、橋脚基礎としての構造性能を満足させることが確認できた。

6. 地盤改良（薬液注入）

(i) 削孔

鋼管矢板より0.3m外側を地盤改良するために、削孔位置は鋼管矢板より0.15m外側とし、ロータリーパーカッションドリル（クローラ搭載型）2台で鋼管矢板本数と同数を削孔した（図－9、写真－7）。



図－9 薬液注入工の施工範囲

(ii) 注入

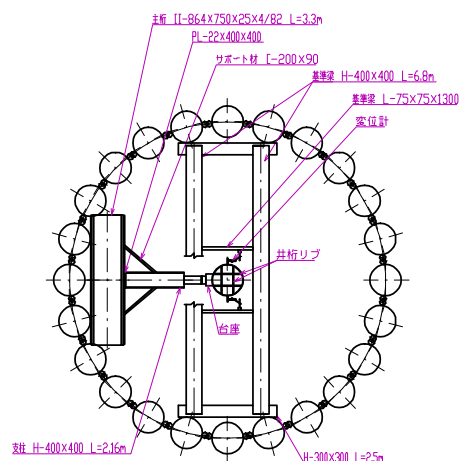
鋼管矢板井筒基礎を均等かつ全体的に注入を行うため、基礎外周平面を8区分（3本/区分）し、各区分を隣接して注入を行わないよう2本分の間隔をおいて千鳥配置状に注入した。基礎深度方向の注入に関しては、平面上隣接する注入ではないことから注入圧力の急上昇等に伴う薬液の逸走は回避できると考え、注入ポンプ8台で同時に8本注入した（写真－8）。



写真－7 削孔状況（PD19 橋脚）



写真－8 注入状況（PU20 橋脚）



図－8 水平荷重試験装置詳細図

7. まとめ

WJ併用圧入工法は、杭周辺の地盤を乱すことで周面摩擦抵抗を低下させることが鉛直載荷試験により確認された。地盤の乱れの影響範囲をN値により評価した結果、鋼管矢板外面より30cmと設定し、恒久グラウトによる薬液注入を実施した。その後の鉛直載荷試験の結果、当初設計以上の極限支持力が確認され、薬液注入後の周面摩擦抵抗は、中掘圧入工法以上であることが確認できた。また、水平載荷試験により得られた水平地盤反力係数は当初設計と同程度であり、現地盤に相当する試験結果であった。

鉛直及び水平載荷試験結果に基づく鋼管矢板井筒基礎の設計結果は、レベル2地震時において鋼管矢板先端は極限支持力に到達せず、応力度等も許容値以下であり、基礎の構造安全性を確認することができた。

参考文献.

- 1) 社団法人 日本道路協会, 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説, 2012
- 2) 社団法人 地盤工学会, 杭の鉛直載荷試験方法・同解説[JGS1811-2002], 2004
- 3) 社団法人 地盤工学会, 杭の水平載荷試験方法・同解説[JGS1831-2010], 2010
- 4) パイプロハンマ技術研究会, パイプロハンマ設計施工便覧, 2003