

平成26年度

被圧地下水環境下における 鋼管ソイルセメント杭の施工について

室蘭開発建設部 浦河道路事務所 工務課

○齋藤 大輔

小玉 孝行

寺澤 貴裕

本橋は、日高自動車道厚賀静内道路の内、厚別川に架かる橋長223.6mの橋梁であり、下部工形式は逆T式橋台および梁柱式橋脚である。施工箇所は被圧地下水層が確認されていることから、基礎工・下部工の施工に伴い被圧水対策が必要となった。本論文は、地下水低下工法を併用した鋼管ソイルセメント杭における施工事例について報告するものである。

キーワード：被圧地下水、鋼管ソイルセメント杭、地下水低下工法

1. はじめに

本橋は日高自動車道厚賀静内道路のうち、新冠町に位置する。厚賀IC（仮称）に隣接し、二級河川厚別川水系厚別川に架橋される4径間連続合成細幅箱桁橋である。当該地は標高90～110m程度の海成段丘が広く発達し、それらを浸食して厚別川が流下し形成された平坦地である。地層構成は透水性の高い砂礫層が主であるが、深度10m程度に厚さ4m程度のシルト層が存在する。実施したすべてのボーリング位置において、シルト層貫通後に地下水位が最大で孔口高さから3m自噴するなどの被圧が確認されている。

本工事の特性として、この被圧地下水に留意し、基礎構造形式に鋼管ソイルセメント杭を採用し、構造物掘削時の底面破壊（盤ぶくれ）対策として地下水低下工法を用いた。

2. 橋梁構造諸元

- ・橋梁名称：新厚別川橋（仮称）
- ・橋長：L=223.600m
- ・支間割：L'=62.0m+51.0m+50.0m+58.0m
- ・構造形式：4径間連続合成細幅箱桁
- ・有効幅員：1.75+3.50+1.50+3.50+1.75=12.00m
- ・斜角： $\theta=90^{\circ}00'00''$
- ・平面線形：R=∞（直線区間）
- ・橋脚形式：梁柱式橋脚（小半型）
- ・基礎形式：鋼管ソイルセメント杭φ1200
(鋼管径φ1000)

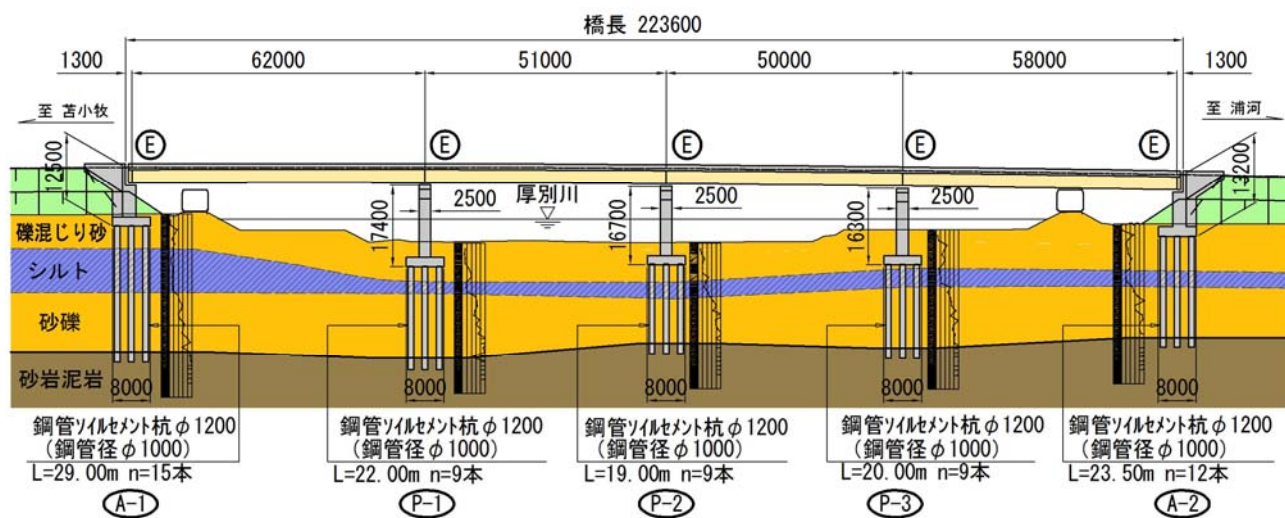


図-1 橋梁側面図

3. 地盤特性

当該地の基盤は新第三紀中新世の元神部層（泥岩、砂岩などからなる堆積岩の層）で、これを第四紀の河床堆積物や段丘堆積物、崖錐堆積物といった透水性の高い未固結堆積物が約28m被覆している。その中位の深度（GL-10m付近）に厚さ4.0m～10.0mのシルト層が存在する。

地下水位は厚別川の河川高さ付近で確認され、シルト層を貫通し砂礫層まで掘削が進むと、被圧により地下水位が上昇することが全ボーリング孔で確認された。初期水位からの水位の上昇は、0.600mから最大で3.100m（B-1）であり、B-2およびB-3では自噴（地表面から2.1m程度）が確認された。（写真-1）（表-1）



写真-1 B-2における地下水自噴状況

表-1 各孔における地下水位計測値

	孔口標高	被圧時水位
B-1 (A-1 橋台)	EL=8.47m	EL=6.07m (孔口-2.40m)
B-2 (P-1 橋脚)	EL=2.30m	EL=4.41m (孔口+2.11m) 自噴
B-3 (P-2 橋脚)	EL=2.30m	EL=4.36m (孔口+2.06m) 自噴
B-4 (P-3 橋脚)	EL=5.19m	EL=5.19m (孔口-0.00m)
B-5 (A-2 橋台)	EL=6.34m	EL=4.50m (孔口-1.84m)

表-2 基礎構造形式 コスト比率一覧表

杭種	杭径	A1 橋台	P1 橋脚	P2 橋脚	P3 橋脚	A2 橋台	合計	総合判定
鋼管ソイルセメント杭	φ1000	(1.07)	(1.07)	(1.10)	(1.09)	(1.09)	(1.08)	
	φ1200	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	◎
	φ1400	(1.13)	(1.14)	(1.22)	(1.16)	(1.08)	(1.14)	
回転杭工法	φ800	(1.63)	(1.88)	(1.95)	(1.90)	(1.80)	(1.80)	
	φ1000	(1.46)	(1.40)	(1.45)	(1.44)	(1.35)	(1.42)	
	φ1200	(1.42)	(1.56)	(1.61)	(1.57)	(1.30)	(1.46)	

※ 鋼管ソイルセメント杭の表記はソイル柱径であり、鋼管径はすべてφ200となる

4. 基礎構造形式の選定

(1) 基礎形式の比較工法抽出

基礎形式選定に際しては、被圧地下水の影響に加え、近傍する軽種馬牧場への振動騒音影響を加味し、鋼管ソイルセメント杭と回転杭工法の2案を抽出した。

各工法の特徴を以下に記す。

- a) 鋼管ソイルセメント杭：地盤にセメントミルクを攪拌して造成するソイルセメント柱にリブ付鋼管を埋設した複合構造で、高い支持力特性を有し、低騒音、低振動、低排土と環境に配慮された杭である。採用できる鋼管径はφ800～φ1300。被圧地下水での実績は豊富で、本地域の被圧水頭高を大きく上回るGL+7.6mの箇所でも問題なく施工完了している。
- b) 回転杭工法：鋼管杭の先端に回転貫入を容易にする翼を設け、この翼が大きな先端支持力を得る。耐震性能が優れた鋼管杭に、大きな支持力を有する基礎形式で、低振動低騒音、無排土施工の特長をもつ。軟岩程度まで貫入可能。採用できる鋼管径はφ400～φ1200で、羽根外径は杭径の1.5倍ないしは2.0倍となる

(2) 基礎形式の選定

比較結果を表-2に示す。すべての下部工において鋼管ソイルセメント杭φ1200（鋼管径φ1000）が経済的となった。検討結果から本橋においては以下の傾向が見られた。

- a) 杭長は20m程度であり、双方とも高い支持力を有しているため、許容支持力に差異はない
- b) 杭本数は杭体応力で決定しており、双方とも同肉厚・同材質（SKK490）であり、杭本数に差異はない
- c) リブ付鋼管杭はリブエキストラ（12千円/t加算）が必要であるが、それ以上に先端羽根が高価であるため、杭1本当りのコストは高価となった

以上より、基礎形式は被圧水に適用でき、低振動低騒音でコスト効率が高い鋼管ソイルセメント杭とした。

5. 地下水低下工法の選定

(1) 地下水低下工法の必要性

被圧地下水の影響地盤では、床堀により土砂を搬出することで、シルト層の上載荷重が減少し、基礎底面が盛り上がる盤ぶくれが発生しやすい。検討の結果、被圧地下水水位を5.0m低下させないと、盤ぶくれ安全率 $F_s=1.1$ を満足できないことから、地下水低下工法が必要となった。

(2) 地下水低下工法の比較工法抽出

当該地のように透水係数が大きい砂礫地盤では、ディープウェル工法が多用されている。これに対し、新技術新工法であるスーパーウェルポイント工法を抽出した。

各工法の特徴を以下に記す。

- a) ディープウェル工法：井戸を何本か設け、重力による自然流によって井戸に集まった水をポンプによって一斉排水する重力排水工法。地下水低下工法の中では最も安価で多用される。特に透水性の良い地盤（砂地盤～砂礫地盤）で有効である。
- b) スーパーウェルポイント工法：地中に埋設した井戸の中を真空に保つことで、大気圧の作用により集水効率を高めた工法。従来のウェルポイント工法（強制排水）、ディープウェル工法（重力排水）、バキュームディープウェル工法（重力排水+強制排水）の短所を解決して長所を兼ね備えた新しい排水工法である。適用地盤の範囲は広く、透水係数が小さい砂層・粘土層まで適用可能である。

(3) 地下水低下工法の選定

比較結果を表-3に示す。従来工法であるディープウェル工法は設置本数は5本、設置延長は30mとなる。一方、スーパーウェルポイント工法は設置本数は3本（2本減）、設置延長は25.5m（4.5m減）となりコスト縮減率は16%であった。これは、ディープウェル工法が井戸内に自然に流入してくるのを待つ「待ち受け型」に対し、スーパーウェルポイント工法は真空にすることで集水性を高める「強制排水型」の差によるものである。

以上より、地下水低下工法はスーパーウェルポイント工法を採用した。

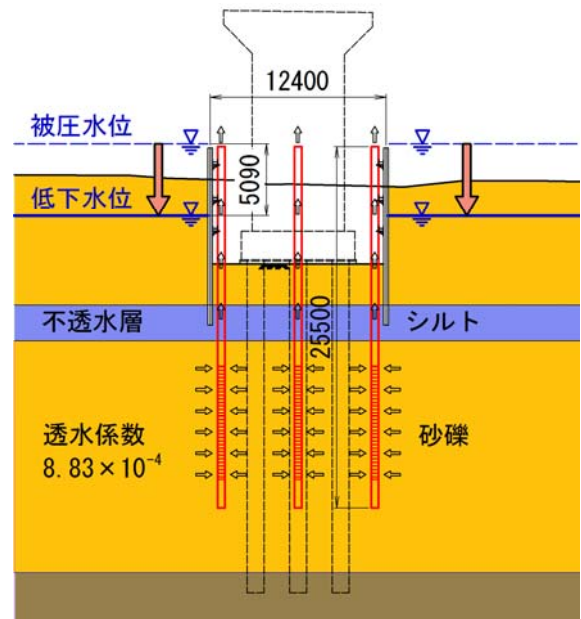


図-2 スーパーウェルポイント工法図

表-3 地下水低下工法 コスト比率一覧表

名称	ディープウェル工法	スーパーウェルポイント工法
概要図		
井戸径	φ 60cm	φ 50cm
本数/延長	5 本 / 30.00 m	3 本 / 25.50 m
コスト比率	(1.16)	(1.00)
判定		◎

6. 鋼管ソイルセメント杭の施工

鋼管ソイルセメント杭の施工手順を（図－3）に示す。この作業の前に、室内配合試験を実施しソイル柱のセメント添加量を決定しておく必要がある。

場所打ち杭など施工時に杭体部分を排土する工法では、あたかも井戸を造成するようなもので、被圧地下水環境下では周辺地盤を伴って自噴してしまう。

一方、鋼管ソイルセメント杭は、排土することなくオーガで削孔しつつ現地盤に比べ重いソイル柱へ置き換え荷重バランスを崩すことなく施工できるため、被圧水圧に対して有効である。ソイル柱造成後、リブ付鋼管杭（写真－2）を落とし込む。

施工中は打撃音などの騒音やハンマクラブ落下時に発生する振動もない。また、排土仮置き場が必要ないため、必要ヤードは大きくない。ただし、ソイルセメントの余剰土が発生するため、杭打設位置の近傍に釜場をもうけている。（写真－3）余剰土は適宜バックホウによりストック場へ集積し、ばっき後、構造物埋め戻しなどに用いた。

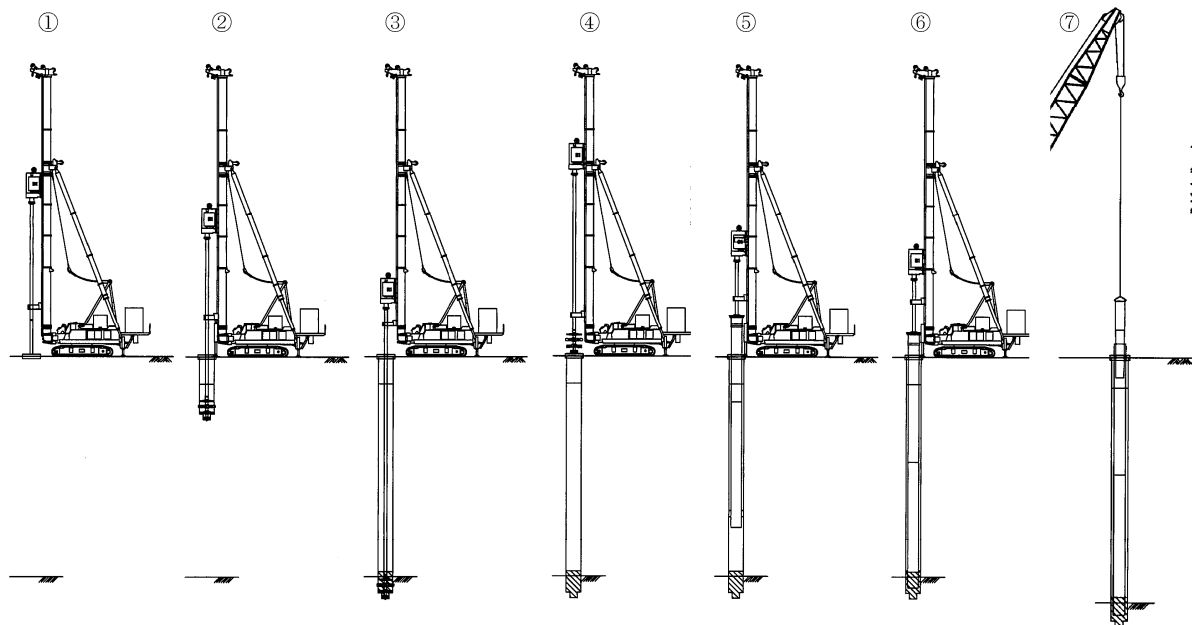
P1橋脚の鋼管ソイルセメント杭（杭長L=21.50m、3×3=9本、現場継手1箇所）の施工に要した日数は約2週間であった。



写真－2 リブ付鋼管杭



写真－3 施工状況



- | | | |
|---|----------------|---|
| ① | 口元管の設置 | 杭芯を保持するためのガイドの役割をする口元管を杭頂部の土中に埋め込む。 |
| ② | 一般部固化体築造 | 掘削攪拌翼先端部より固化材液を吐出しながら行う。W/C=100%～150%程度 |
| ③ | 先端部築造 | W/C=60%程度。支持層の確認には掘削速度、深度、電流値から判断 |
| ④ | ロッド・ヘッド引き抜き回収 | ヘッドを逆回転させながら引き抜き |
| ⑤ | 鋼管建て込み・埋設 | 頂部にソケットをかぶせ、リブ付鋼管から突起しているリブを引っ掛けて回転圧入する |
| ⑥ | 鋼管定着 | 設計深度まで鋼管杭を埋設し、先端部ソイルセメントに定着 |
| ⑦ | 鋼管内部処理・口元管引き抜き | 空堀部ソイルセメント除去後に埋め戻し、口元管を撤去。 |

図－3 鋼管ソイルセメント杭施工手順図

7. スーパーウェルポイントの施工

スーパーウェルポイント工法の施工手順を以下に示す。

- a) 掘削機械設置（全回転式掘削機）
- b) 井戸削孔（掘削径φ1000mm、掘削長25.40m）
- c) スライム処理
- d) スクリーン・鋼管建込
- e) フィルター材充填（径5～10mmの豆砂利）
- f) 揚水ポンプ設置（口径150mm）
- g) 揚水管配管、上蓋設置
- h) 真空ポンプ設備設置
- i) Hi-WAi洗浄・井戸仕上げ
- j) 効果確認試験
- k) 揚水開始

Hi-WAi洗浄とは、陸上の洗浄ポンプから大量の水を井戸内に送水し、大型コンプレッサーによる送気作業と揚水ポンプによる揚水作業を繰り返すことで、井戸能力が向上する作業である。

地下水はスクリーン部（写真－5の青い部分）から鋼管内に吸水され、鋼管内に設置されている揚水ポンプから揚水管を通して陸上に揚水される。揚水量はノッチタ

ンクで直角三角セキ越流高さを計測した。

P1橋脚に設置したスーパーウェルポイント工法の湧水量は4.07m³/min（平衡時）で、設置開始から掘削土埋め戻しまでの3.5カ月間を稼働させた。

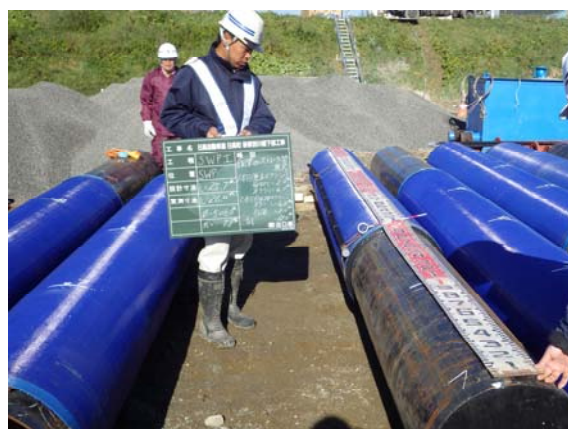
稼働中に注意した点として、矢板締め切り工の背面部から少量ではあるが細粒分を含んだ水が差し込んできていた。これにより井戸周りのフィルター材を目詰まりさせる懸念があったため、水中ポンプを設置し、揚水することでスーパーウェルポイント工法の排水効率保持に留意した。

8. おわりに

被圧水対策について計画段階から留意し、適する工法を採用することにより、施工は問題なく完了した。鋼管ソイルセメント杭およびスーパーウェルポイント工法は道内実績は多くはないが、本実績により被圧水に対して有用な工法であることを認識した。今後、類似する特殊環境下において、本件の経験を踏まえてより高品質な構造物構築に寄与したいと考えている。



写真－4 スクリーン・鋼管建込状況



写真－5 スクリーンおよび鋼管



写真－6 設置完了



写真－7 揚水状況（ノッチタンク）