

H型PC杭の施工

—葛西駅地下自転車駐車場整備工事—

東京土木支店	工務部	森島 修
東京土木支店	土木工事部	福島 敦
東京土木支店	PC工事部	土佐次郎
東京土木支店	開発営業部	奥谷祐介

概要：葛西駅地下自転車駐車場は、葛西駅周辺の放置自転車対策として9400台収容の地下自転車駐車場として計画され、そのプレキャスト連続地中壁材として、H型PC杭が採用された。本工事のH型PC杭は、2工区合わせて367本あり、本格的な施工としては前例がない規模であった。また、中掘り圧入施工において想定外の硬い地層が出現したため施工手順の検討、変更を行った。本稿は、H型PC杭の中掘り圧入、間詰めコンクリートの打設など施工を中心に述べるものである。

Key Words：H型PC杭，地下自転車駐車場，中掘り圧入，三点式杭打機

1. はじめに

近年、多くの都市で増加する自転車利用に対して放置自転車問題が深刻化してきており、その対策としての自転車駐車場の整備は急務の課題となっている。江戸川区では、東京メトロ葛西駅の駅前広場地下に約9400台収容の自転車駐車場を計画した。その計画の一環として工期短縮を目指したプレキャストコンクリート連続地中壁の公募が行われ、鋼矢板などの仮設材の使用を避け土留め工が本体構造として利用できる、止水性の高いH型PC杭が採用された。本工事のH型PC杭は、2工区合わせて367本あり、本格的な施工としては前例がない規模のものであった。中掘り圧入施工において想定外の地層(N>50の洪積層)が出現したため、施工手順の検討、変更が必要となった。また、地下水位の高い地層であることから間詰めコンクリートによる高い止水性が要求された。本稿は、H型PC杭の中掘り圧入、間詰めコンクリートの打設など施工を中心に述べるものである。



写真-1 東側施工前状況

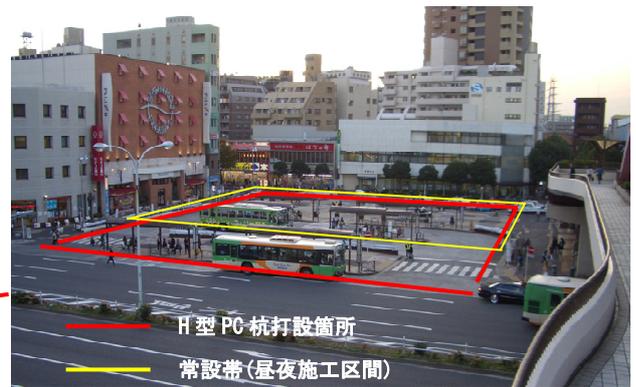


写真-2 西側施工前状況



森島 修



福島 敦



土佐次郎



奥谷祐介

2. 工事概要

本工事の工事概要を以下に示し、西側土質柱状図および東側土質柱状図を図-1および図-2に、西側平面図および東側平面図を図-3および図-4に示す。

工事名：葛西駅地下自転車駐車場(西口)整備工事(その1), (以下西側と称す)

葛西駅地下自転車駐車場(東口)整備工事(その1), (以下東側と称す)

発注者：東京都江戸川区

元請負者：(西側)大成・池田・小黑建設共同企業体

(東側)戸田・伊勢崎・市組建設共同企業体

工事場所：東京都江戸川区中葛西5丁目(西側), 東葛西6丁目(東側)

工期：(西側)平成17年10月20日～平成18年3月30日

(東側)平成17年10月20日～平成18年3月30日

工事内容：H型PC杭打設および間詰めコンクリート工

(西側) H-640 L=17.0m n=143本(うち夜間施工分 67本)

L=20.0m n= 45本 計 188本

(東側) H-640 L=17.0m n=128本(うち夜間施工分 91本)

L=19.0m n= 51本 計 179本

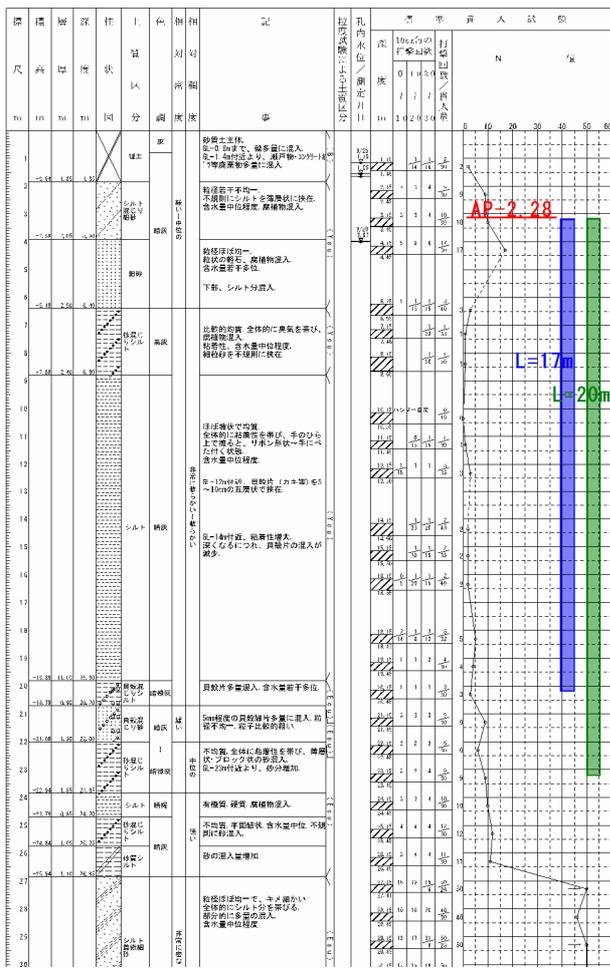


図-1 西側土質柱状図

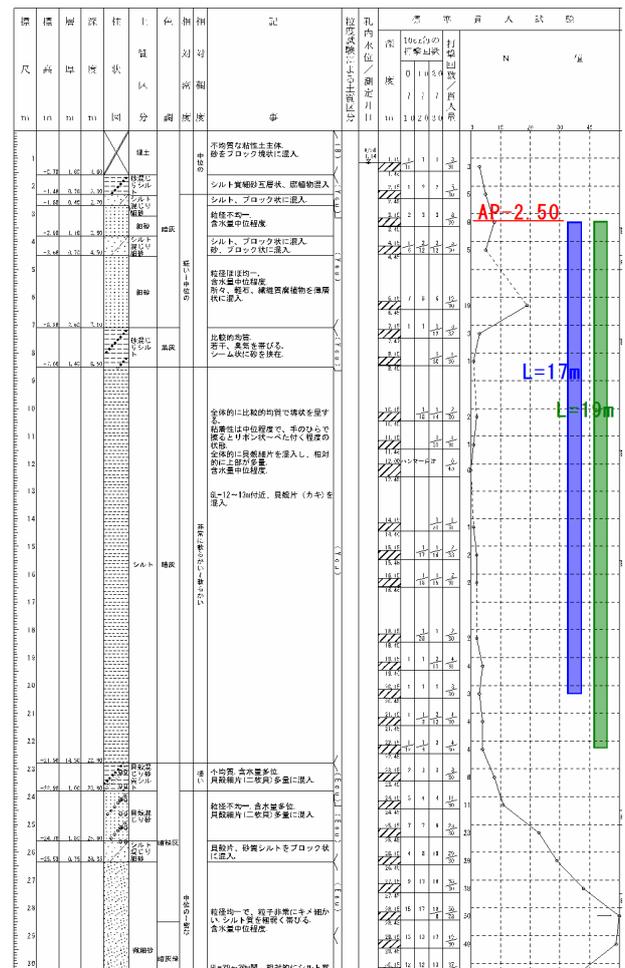


図-2 東側土質柱状図

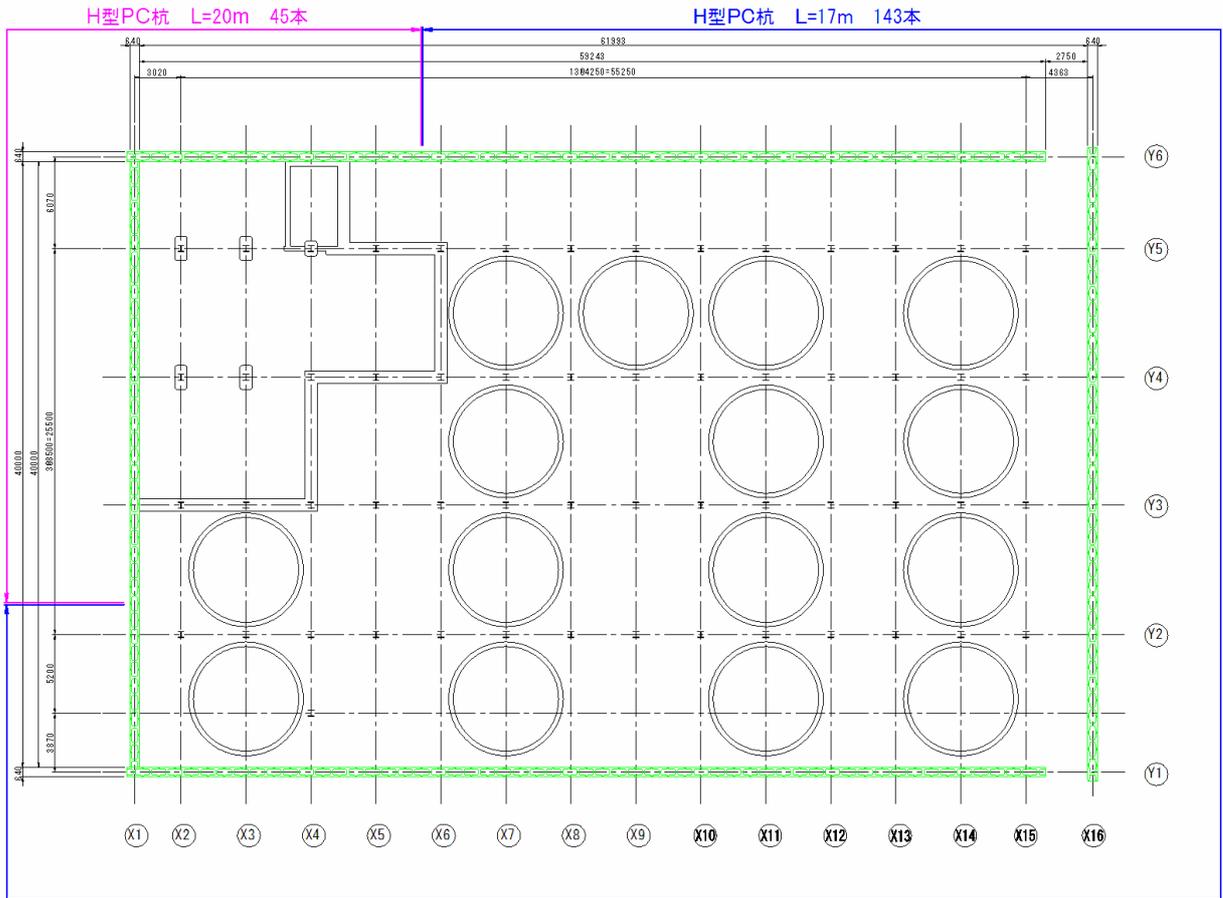


図-3 西側平面図

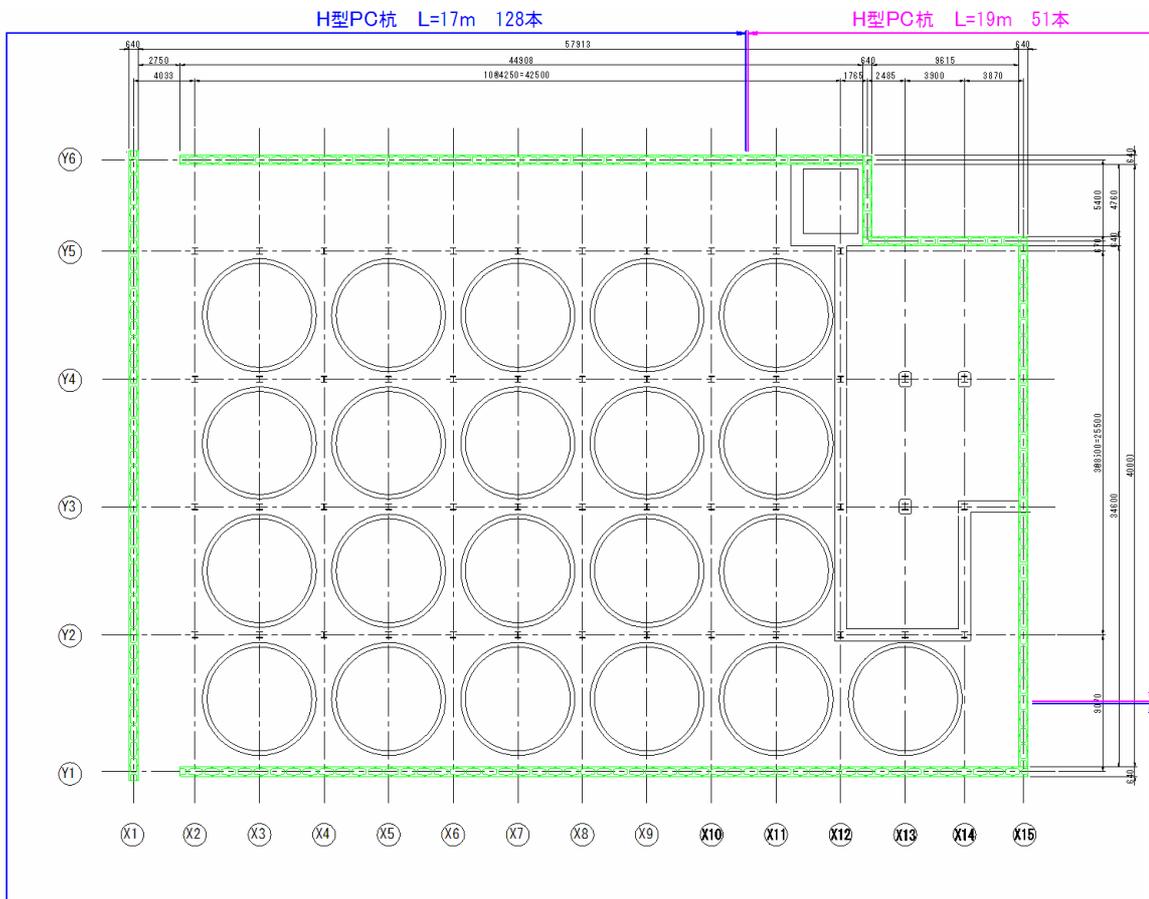


図-4 東側平面図

3. 設計概要

3.1 H型PC杭の設計

H型PC杭は、構造完成後は本体構造の側壁となるため、構造全体系での断面力で設計し、仮設時には照査を行った。構造全体系の断面力は、側壁、頂版、底板および中間床版で構成される立体フレーム構造を、南北方向の柱列(X列)と東西方向の柱列(Y列)に分解した2次元フレームモデルに置き換えて算出した。H型PC杭は、西側・東側両方のX列およびY列それぞれのモデルで得られた断面力の最大値を用いて設計し、H-640 B1タイプとした。南北方向モデル図および東西方向モデル図を図-5および図-6に、最大断面力検討結果を表-1に示す。

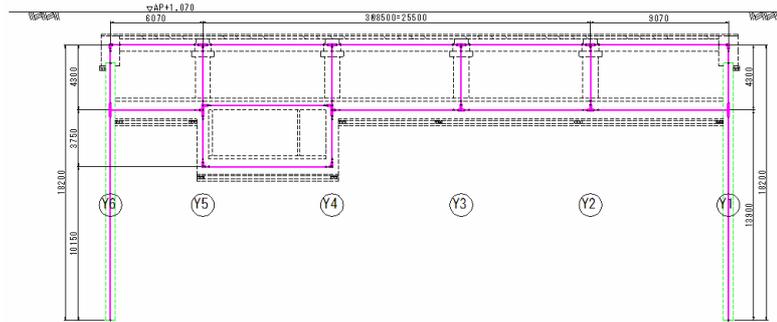


図-5 南北方向モデル図 (例：西側 X5 列)

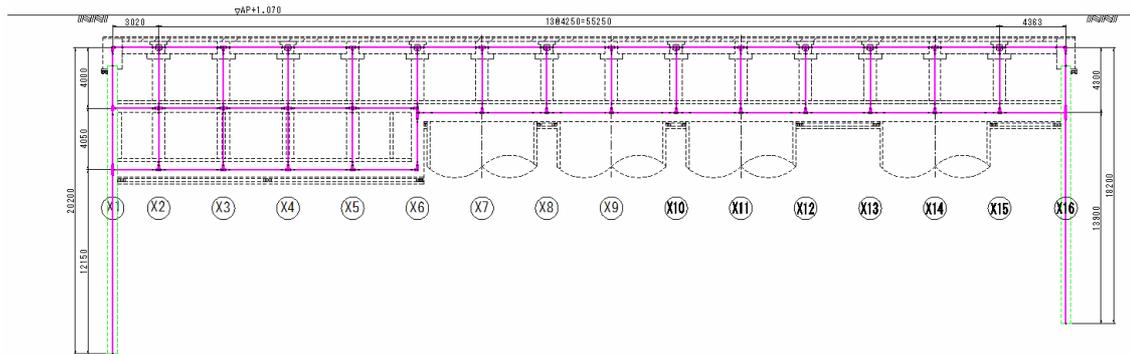


図-6 東西方向モデル図 (例：西側 Y4 列)

表-1 H型PC杭の最大断面力検討結果

検討断面	荷重種別	最大 M	N	σ_c	σ_{ca}	σ_b	σ_{ba}	ひび割れ幅	制限値
		kN・m	kN	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²		
西側 X5	常時	592.11	283.86	21.15	31.50	0.65	0.00	—	—
		402.70	232.62	17.71	31.50	3.77	0.00	—	—
	地震時	724.14	208.80	23.20	35.00	-1.87	-5.00	0.001	0.050
		597.74	136.93	20.78	35.00	0.10	-5.00	—	—

ここに、 σ_{ca} : H型PC杭コンクリートの許容圧縮応力度

σ_{ba} : H型PC杭コンクリートの許容引張応力度

3.2 底版および中間床版接合部の設計

H型PC杭と底版および中間床版接合部は剛結構造とし、その設計手法はH型PC杭の設計と同様に完成時構造全体系での断面力で照査した。H型PC杭と底版との接合構造は、H型PC杭に底版曲げモーメントを伝達する金具を埋め込み、PC鋼棒および鉄筋で抵抗するRC構造とした。なお、H型PC杭と底版との接合構造については、「技報 第3号(2005年)」にその構造詳細および開発実験が報告されているので参照されたい。最大断面力検討結果を表-2に示す。

表-2 接合部の最大断面力検討結果

検討断面			Mz	Nx	σ_c	σ_{ca}	σ_s	σ_{sa}
			kN・m	kN	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
中間床版 600mm	正曲げ	西-X3	80.01	678.40	2.72	18.00	-5.30	300.00
	負曲げ	西-Y4	-299.74	-92.14	7.01	18.00	74.89	300.00
底版 1000mm	正曲げ	西-X3	407.82	85.04	3.80	18.00	20.84	300.00
	負曲げ	西-X3	-253.17	115.56	2.36	18.00	0.78	300.00

ここに、 σ_{ca} ：接合部コンクリートの許容圧縮応力度
 σ_{sa} ：接合部鉄筋の許容引張応力度

4. 施工概要

4.1 H型PC杭の施工

本工事におけるH型PC杭打設の標準的な施工フローを図-7に示す。夜間施工では以下の作業に作業帯の設置・撤去が加わる。また、東側では施工ヤードが狭く、過半数のH型PC杭が常設作業帯の外側である。写真-3に東側の施工状況を示す。

4.1.1 準備工

準備工では三点式杭打機・クレーンの組立、導枠設置等を行った。

(1) 重機の組立

三点式杭打機は全装備重量135t級を2台ずつ使用し、リーダー長は西側では33m、東側では30mとした。相伴クレーンには100t吊り級のクローラクレーンを、補助クレーンには50t吊り級のテレスコ式クローラクレーンをそれぞれ使用した。

(2) 導枠の設置

H型PC杭打設の打ち止め高さがGL-3.5m程度であるため、土留め支保工を使用して予めGL-4m程度まで掘削した。導枠(2列のH鋼)は土留め壁に受け梁を渡してその上に設置した。設置高さは設置撤去が容易な地表面近くとした(写真-4、図-8)。

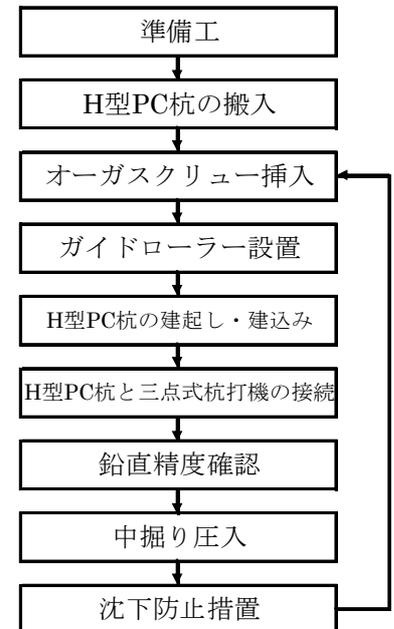


図-7 H型PC杭施工フロー



写真-3 東側施工状況



写真-4 導枠設置状況

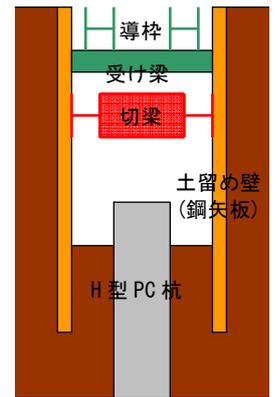


図-8 導枠と土留め支保工

4.1.2 H型PC杭の搬入

部材長の制約から、H型PC杭の搬入は夜間のみ行った(写真-5)。常設作業帯外が作業可能な時間帯とH型PC杭の搬入可能な時間帯が重なるうえ、施工ヤードが狭く、荷下ろしクレーンと三点式杭打機の相伴クレーンを共用せざるを得なかった。また、ストック可能な本数も当日施工分に限られたので、毎日搬入せざるを得なかった。特に東側は夜間施工がクリティカルパスであり、搬入は全体工程に大きく影響した。

4.1.3 オーガスクリュー挿入

オーガスクリュー挿入はH型PC杭仮置き中に行い、刃口金物に差し込むように挿入して、めがね金具で固定した。杭頭側の丸ロッドに皿板を溶接してめがね金具とのずれ止めを設けることで(写真-6)、オーガヘッドの先端部がH型PC杭の先端部より飛び出さないようにした。



写真-5 杭搬入状況



写真-6 スクリュー挿入状況

4.1.4 ガイドローラー設置

導棒とH型PC杭はガイドとなるローラーを介して接触する方式とし、施工直角方向に短尺のゲビンデ鋼棒を利用して位置が調整できるようにした(写真-7)。

東側では、施工精度を高めるために導棒のH鋼から鉄板を吊り下げて、これをジャッキやローラーで固定して、二段導棒として施工した(写真-8)。

一方、西側は路面覆工のスペンが4mあり、覆工受桁がH型PC杭の施工方向と直交していたため、覆工を撤去復旧する夜間施工範囲では、H鋼の導棒は覆工受桁と切梁の下側に設置する必要があったが、覆工受桁上に都度設置する方式のローラー枠を採用することで、施工を簡略化した(写真-9)。



写真-7 ガイドローラー



写真-8 二段導棒



写真-9 ローラー枠

4.1.5 H型PC杭の建起し・建込み

建起しは相伴クレーン(100tクローラクレーン)のみで行い、補助クレーンはオーガスクリューの引き抜き等に使用した。建込みの際の鉛直精度はH型PC杭と三点式杭打機が接続する際の安定性、杭頭部の損傷に大きく影響するので、特に慎重に行った(写真-10)。

建込みの際のH型PC杭の安定性は、約4m掘り下げた導棒内にH型PC杭を設置させ、地表面付近をガイドローラーで固定したことで確保した。

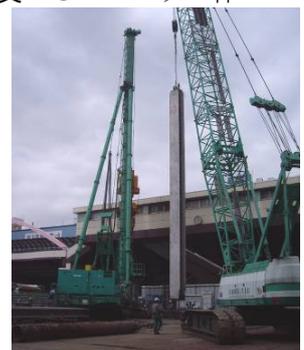


写真-10 杭の建起し・建込み状況

4.1.6 H型PC杭と三点式杭打機の接続

H型PC杭と三点式杭打機の接続は、オーガスクリュー接続、キャップ押し下げの順に行った。オーガスクリュー接続は一本ずつ行い、二本とも接続した時点でめがね金具を外し(写真-11)、次にキャップが被さるまでオーガスクリューを反転させて押し込んだ。このときスクリューを正転させるとヘッドが拡大しH型PC杭部材および刃口金物が損傷するので、慎重に施工した。



写真-11 オーガスクリュー接続



写真-12 鉛直精度確認

4.1.7 鉛直精度確認

トランシットで二方向から視準し、規格値を満足し、かつ調整できる限り鉛直精度を高めた(写真-12)。圧入施工中も鉛直精度を確認したが、施工方向へのずれが拡大する傾向が多く見られたので、施工直角方向からの視準を特に慎重に行った。

4.1.8 中掘り圧入

施工開始当初は導枠下の掘削深さがGL-1.5m程度で、長さ2mのコンクリートヤットコを使用したヤットコ打ちとしていたが(写真-13, 14)、打ち止め管理がヤットコを介して間接的にしか行えず(打ち止め高さ約GL-3.5m)、ヤットコを継ぎ足す際の作業がオーガスクリューが二軸であるが故に煩雑で、またコンクリートヤットコ脇の掘削が煩雑であることから、布掘りを予め打ち止め高さより深くし、施工機械に2mの鋼製ヤットコをつけたままにして施工する方法(写真-15)に変更し、施工時間を大幅に短縮した。写真-16にその圧入状況を示す。

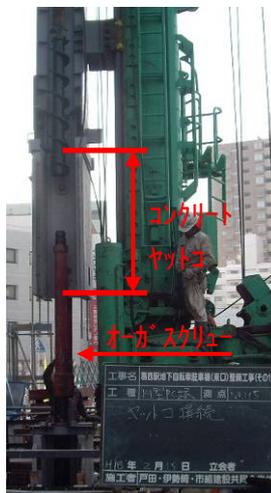
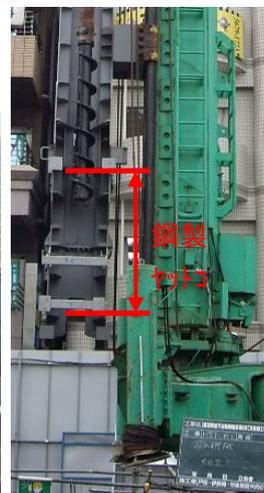
写真-13
コンクリートヤットコ(L=2m)写真-14
コンクリートヤットコ使用状況写真-15
鋼製ヤットコ使用状況

写真-16 圧入状況

また、打ち止め管理(写真-17)は、中間床版、底版と接合するときの位置関係から、 $\pm 25\text{mm}$ とした。

なお、圧入施工中の排土はバックホウにより行うものとしていたが、泥濘化が著しく、バキュームで吸引する方法に変更した(写真-18)。



写真-17 打ち止め管理状況



写真-18 排土処理状況

4.1.9 沈下防止措置

対象地盤がN値2程度の軟弱シルトであることから、H型PC杭の経時的な沈下が懸念された。そこで、杭頭にインサートを予め入れておき、地表面から長ボルトで吊り下げて、これで沈下防止することを計画していた。実際には経時的な沈下は見られなかったが、共下がり防止を目的として長ボルトを使用した(写真-19)。



写真-19 沈下防止措置

4.2 間詰めコンクリートの施工

本工事における間詰めコンクリート打設の標準的な施工フローを図-9に示す。H型PC杭L=20m, 19mの箇所では杭天端-8.5mまで、L=17mの箇所では杭天端-5.0mまで施工した。

4.2.1 間詰め部掘削清掃

H型PC杭間詰め部の掘削清掃は当初はハンマグラブ+専用ブラシで行うこととしていたが、現地の状況から掘削土砂の泥濁化によりハンマグラブによる揚土の施工能率が大幅に低下することが予想されたので、バキュームにより施工することとした。

バキュームのサクシオンホースを間詰め部に差し込み、先端にハイウォッシャーを取り付けて、側面を清掃しながら施工した。掘削清掃状況と清掃完了状況を写真-20, 21に示す。

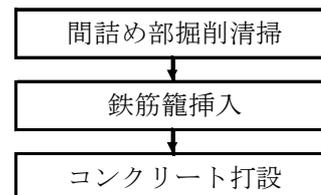


図-9 間詰めコンクリート施工フロー



写真-20 バキュームを用いた掘削清掃状況



写真-21 掘削清掃完了

4.2.2 鉄筋籠挿入

鉄筋籠の挿入状況を写真-22に示す。必要に応じて切梁を盛り替えてから施工した。

4.2.3 コンクリート打設

コンクリート打設はコンクリートポンプ車を用いて行い、常設作業帯外側の一部は場内から路面覆工下を配管して昼間に施工した。コンクリートは水中コンクリートを使用し、ポンプ車のフレキシブルホース先端をコンクリートに常に貫入させながら打設した。仕上がり高さは、東側はH型PC杭天端、西側はH型PC杭天端-0.9mとした。西側においてはコンクリート上部の排水を押し上げる途中で仕上がり高さとなるので、その打ち止め管理と、レイタンスや残滓の処理が必要となった(写真-23)。



写真-22 鉄筋籠挿入状況



写真-23 間詰めコンクリート打設状況



5. N>50の洪積層への対応

5.1 施工手順の確立

西側の杭長 $L=20\text{m}$ の範囲において、H型PC杭が約3m高止まりした(写真-24)。当工事における土質は埋土、有楽町上部層(沖積層)からなり、有楽町層の一部(砂層)がN値3~19、他はN値5以内である。

当該範囲では、他の箇所と比べて浅い位置(GL-20m程度)に江戸川上部砂質土層(洪積層)の $N>50$ となる部分が存在したと考えられる。江戸川上部層は、厚く形成された江戸川上部砂質土層(Esu)のなかにレンズ状の江戸川上部粘性土層(Ecu)が介在しており、施工中にオーガヘッドに砂質土と時折粘性土の付着が見られた現象と良く合致する。



写真-24 杭の高止まり

H型PC杭は中掘り圧入工法による施工を前提とし、当該工事は刃口を軟弱地盤向けとしている。圧入不能となる原因は中掘り掘削した部分にH型PC杭が貫入できないことおよび周辺の土砂が締まることにあると考えられたため、①プレボーリングを行い(写真-25)、②地山に貫入しやすい刃口形状に変更すること(写真-26)で対応した。



写真-25 プレボーリング



写真-26 刃口の改善

プレボーリング径を $\phi 900$ とし、刃口形状を変更して何本かは順調に施工できたが、次第に杭先端が施工進行方向に開いていく傾向が現れてきた。これは杭周囲に乱された地盤しかなく、圧入完了後の杭が拘束されないためと推測された。そこで、H型PC杭の施工順序を、先行杭のすぐ隣に次の杭を打つのではなく、一本分の間隔をあけて打つように変更した(図-10)。

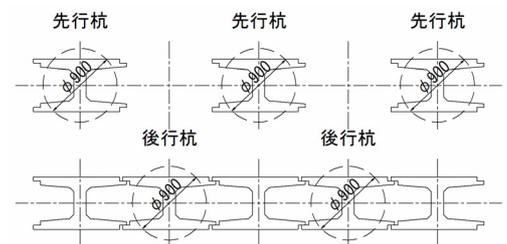


図-10 打設順序概念図

先行杭は問題なく精度良く推移したが、最初の後行杭は高止まりした。このときプレボーリング径は先行杭への干渉を避けるため $\phi 800$ としていたが、 $\phi 900$ に変更することで後行杭はその後問題なく推移した。

西側の杭長 $L=20\text{m}$ 区間の施工完了後、杭長 $L=17\text{m}$ の区間では、プレボーリングをやめ、刃口は当初の形状とし、従前の施工法に戻したが、西側の施工順序は最後まで先行杭の間に後行杭を打つものとした。

5.2 高止まり杭の処理

高止まり杭の処理はウォータージェットおよびフライングハンマにより行った(写真-27, 28)。ウォータージェットではボーリングマシンによりH型PC杭の周囲と先端をゆるめたあとに三点式杭打機で再度圧入を行ったが、三点式杭打機で施工不能な箇所については、フライングハンマにより打ち込む箇所があった。



写真-27 ウォータージェット



写真-28 フライングハンマ

6. 施工実績

写真-29に完成状況を、表-3に施工実績を示す。



写真-29 完成状況

表-3 施工実績

		西側			東側		
		数量	日数	日施工量	数量	日数	日施工量
H型PC杭 中掘り圧入 プレローリングあり	昼	36本	29日	1.2本	-	-	-
	夜	9本	8日	1.1本	-	-	-
H型PC杭 中掘り圧入	昼	56本	28日	2.0本	91本	36日	2.5本
	夜	87本	36日	2.4本	88本	35日	2.5本
間詰め部 掘削清掃	昼	100箇所	12日	8.3箇所	68箇所	14日	4.9箇所
	夜	86箇所	10日	8.6箇所	111箇所	16日	6.9箇所
間詰めコン クリート打設	昼	173本	7日	24.7箇所	140本	5日	28.0箇所
	夜	13本	1日	13.0箇所	39本	2日	14.5箇所

1班～2班で施工

7. おわりに

葛西駅地下自転車駐車場整備工事においては引き続き内部の掘削が行われ、H型PC杭のあと工程として底版、中間床版の接合が残されているので、今後の経過を確認したい。

さて、H型PC杭の施工事例はまだ少なく、工法自体が発展途上である。

例えば施工機械に係る施工手順の多さ、クレーンから三点式杭打機へ移し替えてキャップを接続させるまでの標準的な手順、H型PC杭の角欠け(写真-30)等が挙げられる。



写真-30 杭の角欠け

H型PC杭の角欠けについては、杭頭部に防護用の金具をつければ防げるほか、圧入後に溶接して隣り合うH型PC杭とつなぐことで沈下防止にもなるので、今後の改良を望むところである。

また、特に間詰めコンクリートの施工に関しては、H型PC杭の圧入施工中に削孔した部分をもう一度掘削することになる。本工事では地質がシルトであり、バキュームで掘削することが可能だったが、地質が変われば掘削により多くの施工手間を要するものと考えられる。そこで、例えば低収縮のソイルセメントをオーガスクリー引き抜き時に置き換えるなどの抜本的な施工法の改善が必要になるものと考えられる。

今後はH型PC杭製品の改良、H型PC杭・間詰めコンクリート施工法の改善が継続的に行われるものと考えているが、本報告がその一助になれば幸いである。

謝辞

本工事の施工に当たりご指導頂いた、発注者である江戸川区土木部様、元請各社様にこの場を借りて御礼申し上げます。また、厳しい条件の中で骨身を惜しまずご協力頂いた関係各位にもこの場を借りて重ねて御礼申し上げます。