

PC ウェル工法 (PPRC 構造) の硬質地盤での施工

－志賀島橋 P1 橋脚基礎－

大阪支店	土木工事部	樋田正治
大阪支店	土木工事部	藤本喜久
大阪支店	土木工事部	猿渡邦広
大阪支店	設計センター	白水祐一

概要：PC ウェル工法はグラウンドアンカーを反力として円筒形の PC ウェルブロックを積み重ねながら圧入沈設していくもので、1969 年に技術導入され橋梁基礎や立坑に採用されてきた。今回、平成 17 年の福岡西方沖地震により早急な架け替えが必要となった志賀島橋における橋梁基礎の工法選定にあたり、現場の諸条件に対応できる工法として PC ウェル工法 (PPRC 構造) が採用された。

Key Words：PC ウェル, PPRC 構造, 拡翼掘削, 硬質地盤

1. はじめに

博多湾の北部に位置する志賀島を本土と繋ぐ志賀島橋は、昭和 7 年に建設後、昭和 49 年に拡幅工事がなされ、建設後 75 年～33 年が経過していた。その間、塩害による鉄筋の腐食膨張が原因のひび割れが発生し、数回の補修工事がなされてきたが、平成 17 年の福岡県西方沖地震によりさらに損傷が進行したため、今回、架け替え工事が計画された。

新橋の橋脚構造、および工法の選定にあたり以下のような施工条件があった。①志賀島周辺は漁業が盛んであるため周辺環境への影響を最小限に抑えること、②支持層の N 値が 50 以上であるため、硬質地盤に基礎の構築が可能な工法であること、③旧橋の基礎杭が地中に残存しているため施工範囲が限られること、この 3 つの条件を満たす工法として、拡翼式先行掘削機 (マルチアーム) を用いた PC ウェル工法 (PPRC 構造) が採用された。

しかし、当社においてはこれまでに同種の工事においていくつかのトラブルが発生しており、工法の信頼性が低下していた。そこで当作業所では、過去の事例を参考に徹底したリスク管理を実施し、施工を行った。

本稿ではマルチアームを用いた PC ウェル工法の施工方法、及び過去の同工法で発生したトラブルに対する改善点について報告する。

2. 工事概要

工 事 名：県道志賀島和白線 (志賀島橋) P1 橋脚築造工事

工事場所：福岡市東区大字志賀島、大字西戸崎地内

発 注 者：福岡市東区地域整備部地域整備課

工 期：平成 20 年 7 月 24 日～平成 21 年 6 月 30 日

基礎形式：PC ウェル基礎 (PPRC 構造) 外径 ϕ 5.0m, L=20.0m 9 ブロック

柱 形 式：円形中空 RC 橋脚 梁 形 式：張出し式 PC 梁



樋田正治



藤本喜久



猿渡邦広



白水祐一



図-1 志賀島橋完成予想図

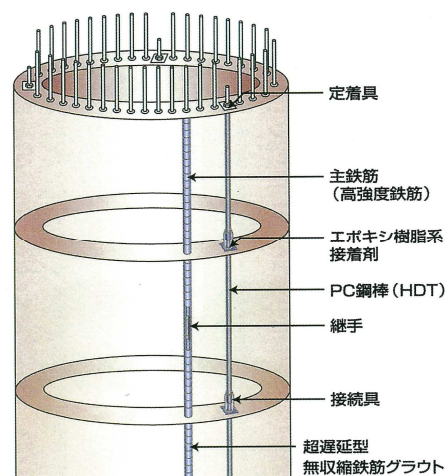


図-2 PC ウェル (PPRC 構造) 概要図

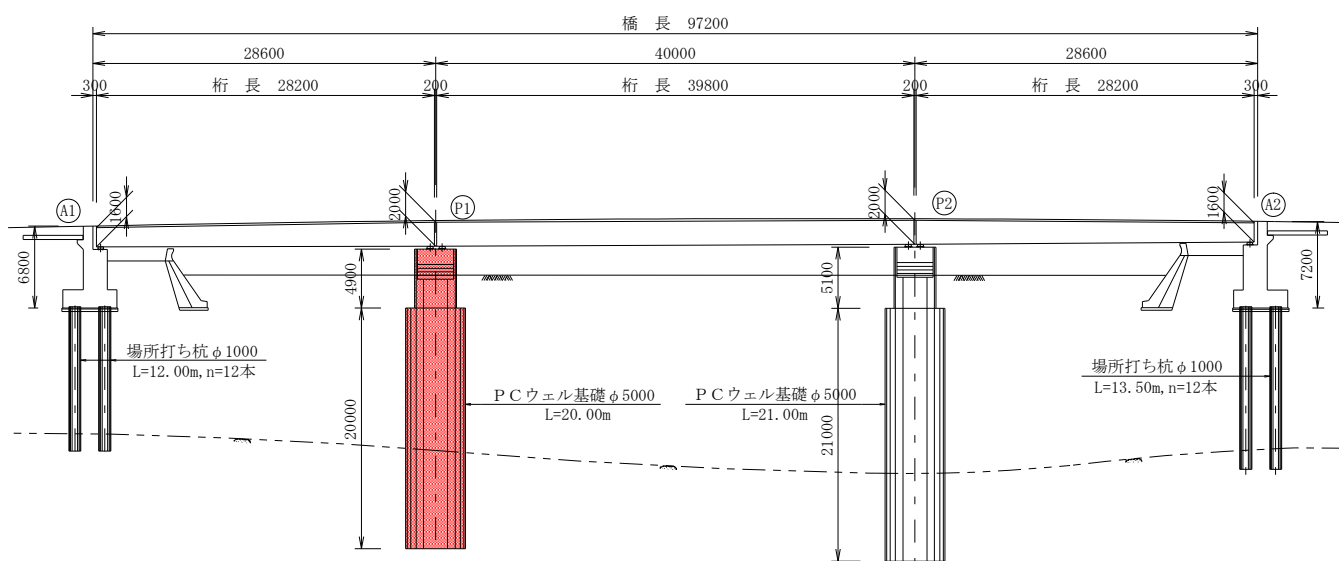


図-3 志賀島橋全体側面図

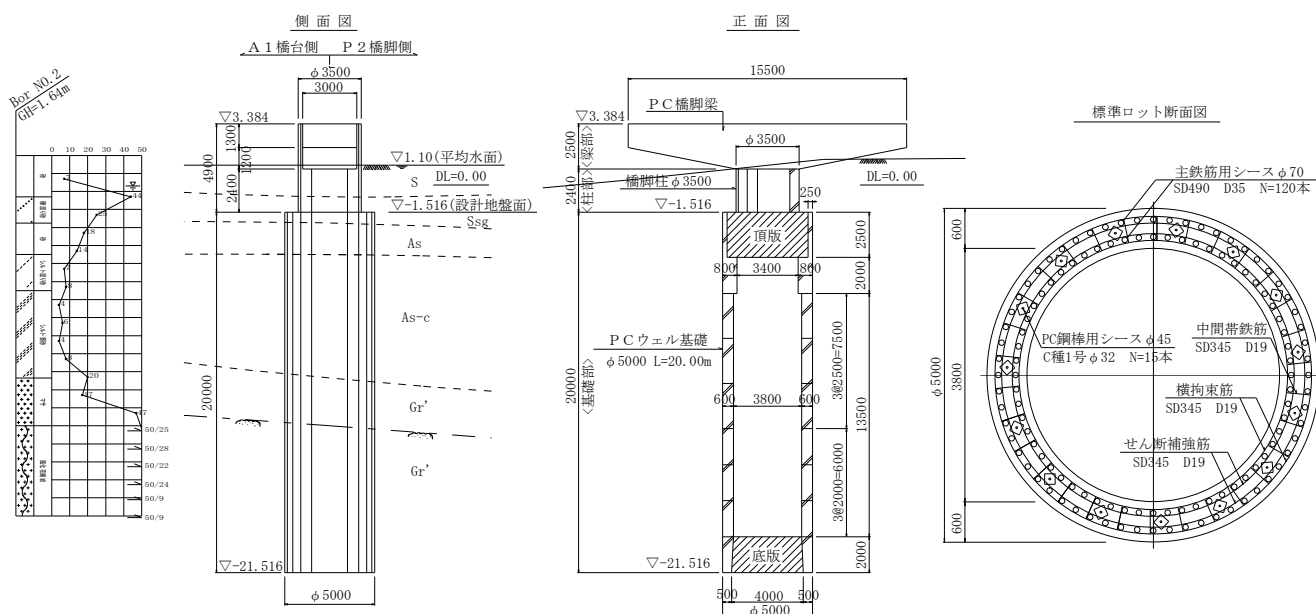


図-4 P1 橋脚構造図

表-1 土質条件

地層名	記号	層厚 (m)	設計N値 (回)	単位体積重量 γ t(kN/m ³)	粘着力 C(kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (度)	変形係数 E _o (kN/m ²)	低減係数 D _E	
								レベル1 地震時	レベル2 地震時
砂質土層 (海砂)	S	2.30	7	17	0	25	4900	—	—
沖積礫質土層 (礫混り砂)	Asg	1.45	25	20	0	32	5500	—	—
上部沖積砂質土層 (砂)	As	1.75	16	19	0	28	3600	1	2/3
下部沖積砂質土層 (シルト混り砂)	As-c	6.85	7	17	0	25	1300	2/3 (1)	1/3 (2/3)
マサ層 (細粒～粗粒砂状)	Gr'	2.65	32	18	0	34	4900	—	—
風化花崗岩層 (軟岩 I・D級)	Gr'	5.00	50	19	61	32	51000	—	—

3. 施工概要

3.1 PC ウェルブロック製作

今回の PC ウェルは外径が $\phi 5,000$ あり, 工場製作した場合には, 分割しなければ陸上輸送が不可能である。そのため, 写真-1 に示す製作ヤードを現場内に設け, 単体ブロックの現場製作を行った。単体ブロックの長さは, 施工性を考慮し, 2.0m～2.5m とした。製作方法は, 接合面の水密性と軸方向鉄筋用シースの鉛直性を確保するために, 既設ブロック上で新設ブロックを製作するマッチキャスト方式とした。

PC ウェルの単体ブロック製作フローを図-5 に示す。

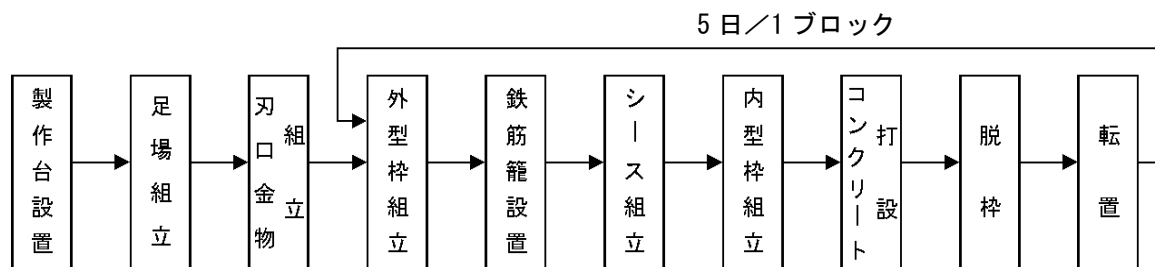


図-5 単体ブロック製作フロー

(1) 製作台設置

製作台は, 架設位置への運搬及び作業重機の配置を考慮し, A1 橋台後方に設置した。製作設備は, マッチキャストによる製作をスムーズに行えるように, 単体ブロック製作用 2 基+鉄筋籠組立用 1 基とした。図-6 に製作ヤード平面図を示す。

また, 高さ調整用のサンドル材を用いて型枠下面の平坦性を確保した。



写真-1 単体ブロック製作ヤード

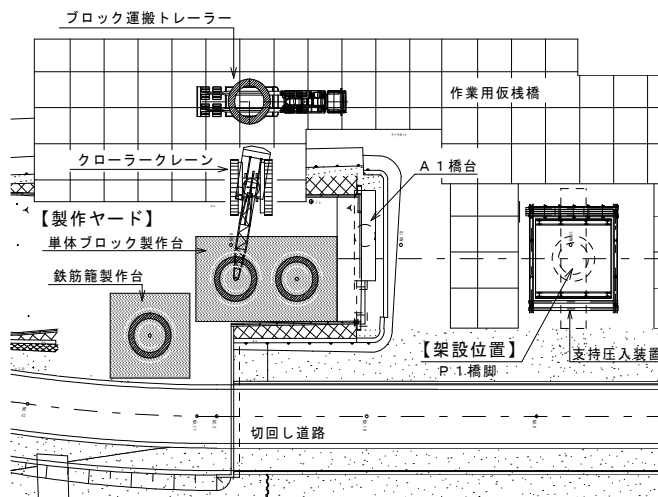


図-6 製作ヤード平面図

(2)足場工

足場は型枠の組立いや転置の際の作業性と安全性を考慮して、型枠に専用の歩廊を取り付け、さらに側面の作業足場、及び昇降設備としてローリングタワーを使用した。内部足場についても専用の円形ステージを設置し、開口部ができないようにした。

(3)刃口金物

刃口金物の組立は、その後の PC ウェルブロックの製作精度に大きく影響する。そのため刃口金物を仮組みした時点で外周にウェル側枠を組み立て、レバーブロックにより円形寸法の精度を調整しながら刃口金物の溶接を行った。刃口金物の内空は無収縮モルタルを空隙ができないように充填し、剛性を高めた。刃口付 RC ロット概要図を図-7に示す。

(4)鉄筋籠組立・設置

単体ブロック鉄筋の組立は、鉄筋籠を別ヤードで組み立て、型枠内に一括吊り込みする方法で施工した。鉄筋籠の質量は最大で 3.6ton あり、吊り込み時に鉄筋の変形が生じると、軸方向鉄筋用シースの配置と鉛直精度の確保が困難となるため、組立・吊り込み専用架台を使用して組立を行った。

また、組立位置底面にシースゲージを設置することで、鉄筋組立時にシースとの交錯がないか確認を行えるようにした。

(5)型枠工

型枠は、鋼製型枠を標準とするが、刃口、拡幅、頭部、ヤットコの各ロットの内枠については、使用頻度が少ないため木製型枠を使用した。鋼製型枠は、マッチキャスト方式で施工するため、PC ウェルブロック 1 ロット分と既設ブロックの上部にガイドとして残置しておく型枠 (H=500mm) が必要となる(図-8)。

(6)コンクリート工

コンクリート配合は、単体ブロックの吊上げ時圧縮強度 ($\sigma=25\text{N/mm}^2$) と、構築可能強度 ($\sigma=40\text{N/mm}^2$) の早期発現性と、鋼材過密配置空間での充填性を考慮して 40-18-20H を使用した。打設にはコンクリートポンプ車を使用した。鉄筋及びシースの配置が過密であるため、筒先を型枠内に十分に挿入することが困難であった。型枠上からの打設は、コンクリートの材料分離や空洞、ジャンカといった構造的欠陥の発生や、シース内にコンクリートが流入する恐れがあるため、筒先に小径のダクト管を取り付け、ダクト管を型枠内に挿入してコンクリート打設(写真-3)を行った。

脱枠後は、コンクリート表面に被覆養生剤を塗布し、ビニールシートを巻き付ける方法で初期クラック防止を図った。

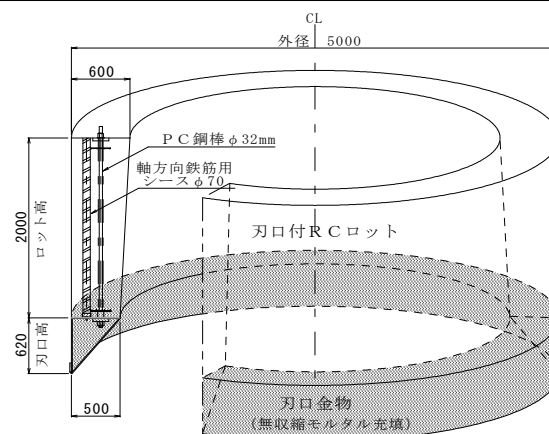


図-7 刃口付 RC ロット概要図



写真-2 鉄筋籠吊り込み状況

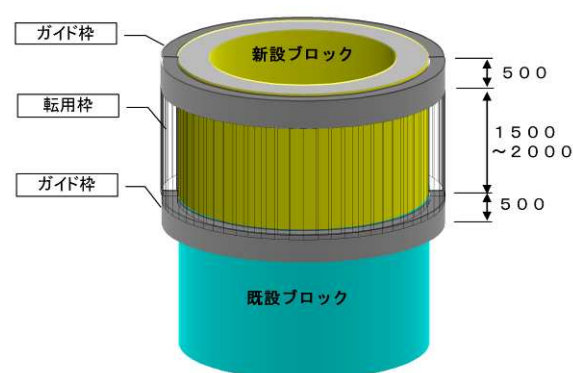


図-8 型枠工概要



写真-3 コンクリート打設状況

(7)単体ブロック転置・運搬

コンクリート打設後、材令2日で圧縮強度試験を行い、吊上げ時圧縮強度($\sigma=25\text{N/mm}^2$)を確認した後、新設ブロックを既設ブロックから切り離し移動させた(写真-4)。

製品の吊り上げには、吊った際のバランス保持と安全性を考慮して専用の吊金具を使用した。単体ブロックに埋め込んだ総ネジPC鋼棒($\phi 32\text{mm} \times 4$ 本)をカップラーで吊金具に固定し、150t吊クローラクレーンを使用して吊り上げ作業を行った。

PCウェルブロックの製作場所から架設場所への運搬には低床トレーラーを使用した。

PCウェルブロック製作工の実施工程を図-9に示す。



写真-4 単体ブロック転置状況

名 称	数量	10月	11月	12月	1月	2月
準備、後片付け	1式	■ 3日				■ 2日
刃口金物	1ロット	■ 4日				
刃口ロット	1ロット		■ 12日			
標準ロットA(H=2.0m)	3ロット		■ 15日			
標準ロットB(H=2.5m)	3ロット			■ 16日		
拡幅ロット	1ロット			■ 10日		
頭部ロット	1ロット				■ 9日	
ヤットコA(H=1.5m)	3ロット					■ 14日
ヤットコB(H=2.5m)	1ロット					■ 6日

図-9 製作工実施工程

3.2 PCウェル基礎の構築

PCウェル基礎構築のフローを図-10に示す。

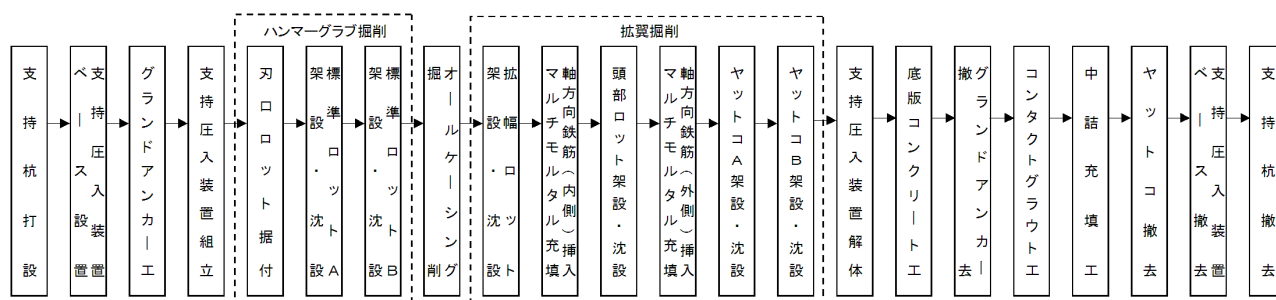


図-10 基礎構築フロー

(1)支持圧入装置

今回、構築するPCウェルの支持地盤がN値50以上の硬質地盤であることから、PCウェルの刃先下を拡翼式掘削機で先行掘削していく工法が採用されている。刃先下を先行掘削した場合には計算上PCウェルの自重により自沈するため、PCウェルを懸吊支持できる支持圧入装置が必要となる。

今回使用するマルチアームと呼ばれる拡翼式先行掘削機は当社で開発された油圧駆動の拡翼ビットで、ケーシングの先端に取り付け、場所打ち杭で通常使用される全周回転掘削機を用い、そのトルクにより掘削する機械である。そのため支持圧入装置も専用のものを使用した(写真-5)。



写真-5 PSM式支持圧入装置

(2) グランドアンカー工

PC ウェルを圧入する際の反力材として、グラウンドアンカーが必要となるが、PC ウェルの圧入時反力を算出し、本工事では除去式のグラウンドアンカー (10×SWPR7Bφ12.7, 設計アンカー力 900kN) を4箇所設置した。アンカーは、支持圧入装置に緊張・定着するため、装置のベースを設置した時点で施工を行った。施工完了後、品質保証試験として多サイクル試験及び1サイクル試験を実施し、アンカー耐力を確認した。(写真-6)



写真-6 グラウンドアンカー施工状況

(3) PC ウェルブロック架設・緊張・グラウト

PC ウェルブロックの架設は、下部のブロックを所定の高さまで沈設し、ブロックに取り付けた仮受けブラケットを仮受けジャッキ (コンパクトロックジャッキ 100t・30mm×8 台) で受けた後に(写真-7)、接着剤を塗布し、上部のブロックを乗せ、PC 鋼棒 (C 種 1 号φ32, B 種 1 号φ23) で一体化させる手順となる。

PPRC 構造における PC 鋼材は、単体ブロックの接合が目的である。ただし、設計上主鉄筋が降伏する前に PC 鋼材が降伏・破断することを避けるため、導入プレストレスには主鉄筋の降伏強度以上の余裕を残すこととしている。本工事での有効プレストレス量は上記の条件により、表-2 の通り設定した。

PC 鋼棒は、3 本を 1 つのグループとして順次緊張していき、均等にプレストレスを導入していった。

表-2 プレストレス量の設定

《 条件 》	
接合面に必要なコンクリート圧縮応力度	$\sigma_c \geq 0.5 \text{ N/mm}^2$
PC 鋼材に残す余裕量から決まる有効導入応力度 (PC 鋼材の降伏強度 1080) - (鉄筋降伏強度 490)	$\sigma_p \leq 590 \text{ N/mm}^2$
《 設定プレストレス量 》	
使用鋼材	SBPR1080/1230 φ 32mm
PC 鋼材本数	N = 15 本
PC 鋼材の有効引張応力度	$\sigma_{pe} = 588 \text{ N/mm}^2$
接合面に作用するコンクリート圧縮応力度	$\sigma_{ce} = 0.9 \text{ N/mm}^2$

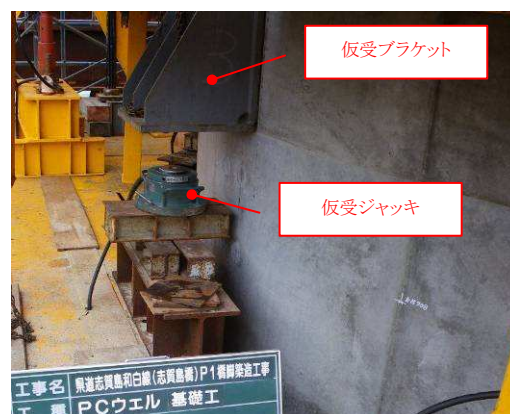


写真-7 仮受け状況

(4) 掘削・沈設

本工法における掘削方法を図-11に示す。掘削はハンマーグラブ掘削、オールケーシング掘削、拡翼掘削の3段階となる。

ハンマーグラブ掘削は、刃先付近をハンマーグラブで掘削し、圧入ジャッキで PC ウェルを圧入・沈設する方法で、N 値が 4~20 程度の地盤 (GL~GL-12.0m) をこの方法で掘削した。PC ウェルの偏心や傾斜の精度は沈設の初期段階である程度決まってしまうため、最初の数ロットについてはとくに慎重な管理及び圧入作業を行った。沈設作業を圧入ジャッキのみで行う場合には、地盤状況により PC ウェルが不安定な挙動をすることがあるが、懸吊支持できる支持圧入装置を使用しているため、常に PC ウェルを吊った状態を保つことが可能であり、PC ウェルの姿勢制御を高精度で行うことができた。

また、PC ウェル圧入のためのジャッキは、油圧ユニットによる集中管理システムを使用し、圧入精度の向上に努めた。

オールケーシング掘削は、拡翼掘削のための先行掘削の位置づけであり、硬質地盤掘削時に拡翼式先行掘削機により掘削された土砂を集積する目的と、拡翼式先行掘削機先端を支持する掘削先端のガイドとしての

機能がある。GL-12.0m から GL-25.0m までの深さをこの方法で掘削した。オールケーシング掘削には、外径 ϕ 2.0m のケーシングを用い、全周回転掘削機の位置から約 40m 下の掘削を行うため、偏心・傾斜の管理には細心の注意を払い施工を行った。

支持層の土質は、オールケーシング掘削時に採取し、ボーリングデータとの比較・確認を行った。

拡翼掘削(写真-8)は、ケーシングの先端に取付けた拡翼式先行掘削機(写真-9)を PC ウェル刃先下で拡翼し、全周回転掘削機でケーシングを回転させることにより、硬質地盤の掘削を行うものである。PC ウェルの沈設時には、拡翼式先行掘削機のマルチアームを縮翼した状態で PC ウェルの圧入作業をおこなう。拡翼式先行掘削機による掘削を先行させすぎると、掘削壁が崩壊し周辺地盤に影響を及ぼすことが懸念される。そのため、事前のボーリングデータ、ウェル圧入力、全周回転掘削機のトルク、掘削排土の性状より判断し、図-12の⑤に示す様に、1 サイクルにおける掘削量を 700mm として掘削・圧入を繰り返し GL-12.0m から GL-23.0m までの約 11m の硬質地盤掘削を行った。

以上のように、本施工における掘削は、PC ウェルの内部及び先端の掘削を行いながら PC ウェルを圧入していく施工方法であるため、周辺地盤環境への影響を最小限に抑えることが可能である。

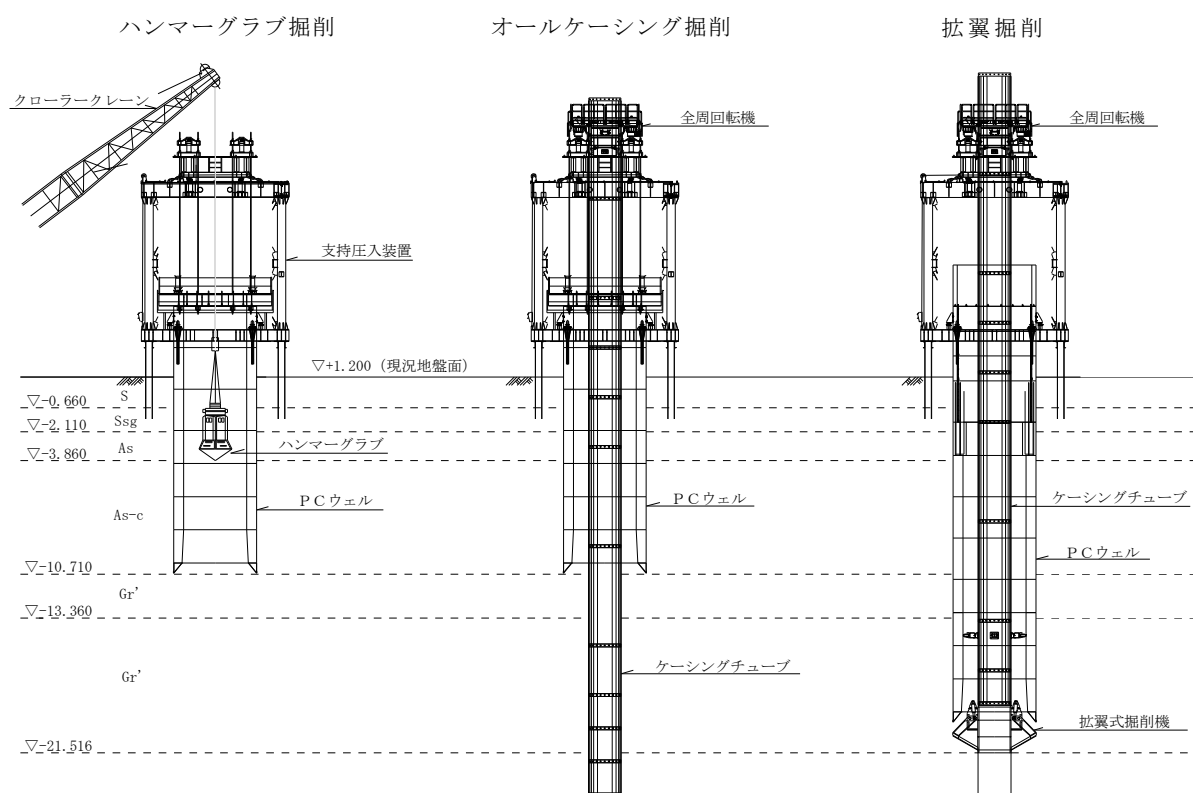


図-11 掘削方法

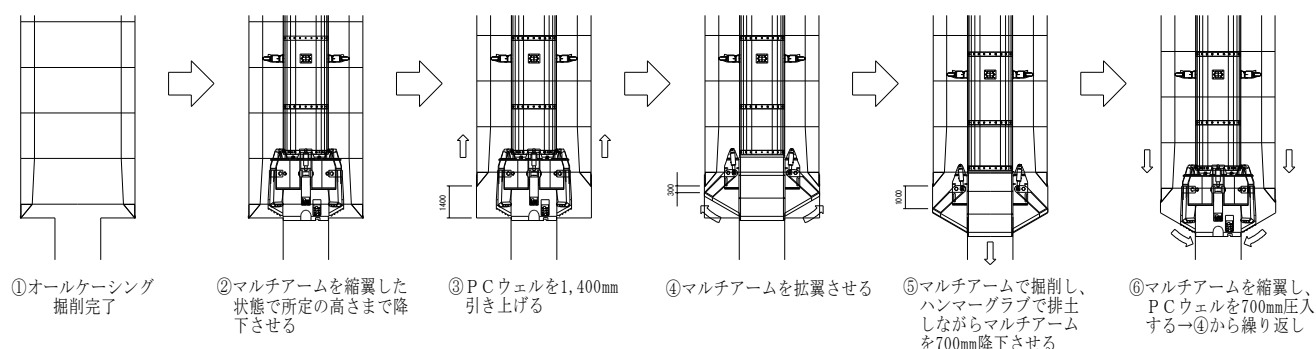


図-12 拡翼掘削サイクル



写真-8 拡翼掘削状況



写真-9 拡翼式先行掘削機

(5)軸方向鉄筋挿入

PPRC 構造において重要な役割を持つ軸方向鉄筋は、ウェル本体の接合完了後に長尺鉄筋(L=17.8m, 19.8m)を一括挿入した。(写真-10)本構造では SD490, D35 高強度軸方向鉄筋 120 本を配置した。

軸方向鉄筋は、PC ウェルに設けたダクト(φ70)にプレミックスタイプのマルチモルタルを充填した後に挿入する。マルチモルタルの充填にはグラウトホースを使用し、マルチモルタルが材料分離しないようにグラウトホースをダクト先端まで十分に挿入し、モルタルの注入量に合わせ段階的に引き上げていった。



写真-10 軸方向鉄筋挿入

(6)コンタクトグラウト工

コンタクトグラウトは、刃先下を先行掘削した場合にできるウェル側壁と地山(支持層)との間の空隙を埋め、PC ウェルと地山とを一体化させることを目的として施工するもので、潜水士による水中施工となる。注入管理は流量計による注入量管理と、グラウトポンプの圧力管理で行い、理論注入量を満足し、かつ注入不能圧力に達した時点で完了とした。

(7)中詰充填工

底版コンクリート及びコンタクトグラウトの施工完了後、ウェル内を発生土で充填するが、底版コンクリートを水中コンクリートで施工しているため、ウェル内に滞留した濁水をそのまま海に流すことはできない。本工事では濁水処理機(処理能力 60m³/h)を設置して、ウェル内の濁水を処理し、濁度及び pH を基準値以下に下げた後に海へ放流した。処理後に発生した汚泥は産業廃棄物として適正処理した。

4. 過去のトラブルに対する改善点

4.1 重点管理項目の決定

過去の施工事例をもとにリスクマネジメントを実施した結果、本工事における重点管理項目を以下の2点とした。

- 1)軸方向鉄筋用シースへの海水の流入防止
- 2)PC ウェル仮受時の躯体の破損防止

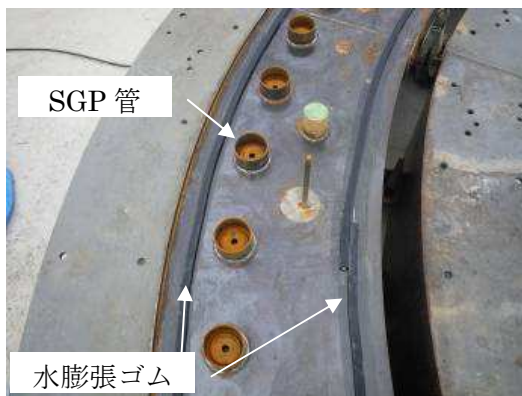
4.2 重点管理項目への対応策

1)軸方向鉄筋用シースへの海水の流入防止について

軸方向鉄筋用シースへの海水の流入は、①塩分濃度の増加による主鉄筋の腐食、②マルチモルタルの材料分離による軸方向鉄筋の高止まり等の問題が発生するため、海水が流入した場合には、シース内の水を抜くか、それができない場合には、シース内の海水を清水に置き換える措置が必要となり、工程、原価に大きな影響を与える結果となる。

海水の流入が考えられる場所は刃口金物と刃口ロットとの接続部及び各 RC ロットの接続部であるため、以下の対策を実施した。

- ① 刃口金物の内縁及び外縁に水膨張性ゴム弾性シール材を貼り付けた(写真－11)。
- ② 刃口金物に SGP 管を全溶接で設置し、シースを SGP 管に差し込む構造とした(写真－11)。
- ③ 各 RC ロット接続部の止水パッキン(20mm)設置部のバックアップ効果を期待するため、厚さ 10mm のゴム型枠をシースに取り付け、下側のロットに溝を設けた(写真－12, 13, 14)。
- ④ 各ロット接続部において、接着剤の混練不足による硬化不良を防止するため、1 液性エポキシ樹脂接着剤を使用した。



写真－11 刃口金物



写真－12 ゴム型枠



写真－13 溝(10mm)



写真－14 止水パッキン設置

2)PC ウェル仮受け時の躯体の破損防止について

過去の工事において、PC ウェルの仮受け時に 1 箇所のブラケットに荷重が集中し、PC ウェルのコンクリートが破損するトラブルが発生している。コンクリートが破損した場合には、その破損状況により、補修や交換等が考えられるが、いずれも工事に与える影響は甚大である。そこで今回、以下の対策で PC ウェルブロックの破損防止を図った。

- ① 頭部ロットは壁厚が他のロット(壁厚 500～800mm)に比べ 250mm と薄く、また、仮受けブラケットに作用する荷重が大きいため、押抜きせん断力を照査し、仮受けインサートのプレートを他のロットのプレート面積(100×100mm)に対して 225% (150×150mm) とした(写真－15)。
- ② 頭部ロットにおけるコンクリートの縁端破壊耐力を照査し、補強鉄筋を配置することで、部材のせん断耐力を増強した。補強鉄筋によるコンクリートのひび割れ対策として、鉄筋の負担する耐力を 180N/mm²以下とした(図－13, 14)。
- ③ 8 台の仮受けジャッキを使用する際、油圧ポンプを 3 系統に分離し、3 点支持を確保することで、荷重集中を低減した(図－15)。
- ④ 仮受けジャッキは、ストロークが 30mm と少ないため、仮受け時の PC ウェルの圧入は、仮受けブラケットと仮受けジャッキとの離隔を確認しながら慎重に行う必要がある。仮受け時の人為的なトラブルを未然に防ぐために、仮受け作業マニュアルを作成し、作業員への周知徹底を図った。



写真-15 仮受インサート

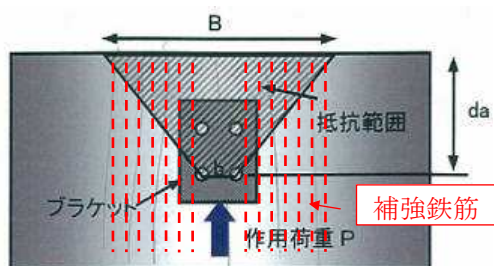


図-13 仮受け時のコンクリートの抵抗範囲

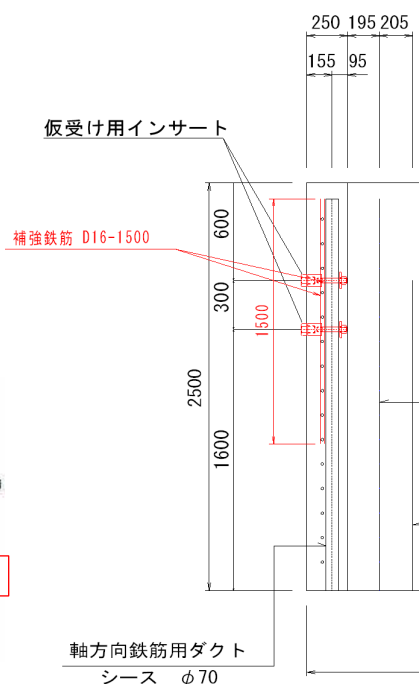


図-14 補強鉄筋配置図

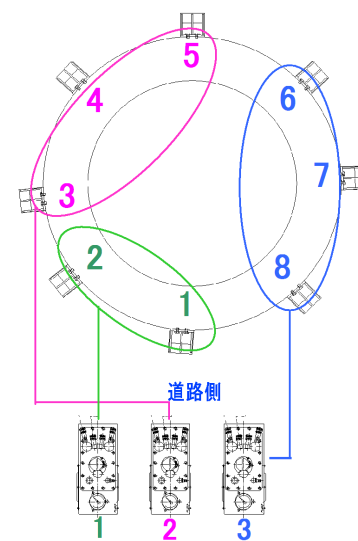


図-15 ジャッキ配置図

4.3 対応策に対する効果

1) 軸方向鉄筋用シースへの海水の流入防止について

水位測定器を用いてシース内の水位を施工中及び軸方向鉄筋挿入前に測定した結果、シース内への海水の流入は確認されなかった。

2) PC ウェル仮受時の躯体の破損防止について

前記の施策により躯体の破損は発生しなかった。仮受け時、マノメーター示度によりブラケット1箇所当たり作用する荷重を事前に検討し、計測施工を行ったが、実際のマノメーター示度は0であった。これは周面摩擦力が計算値より大きく働き、ウェル自重を上回っていたと判断できる。

5. まとめ

当社において拡翼式掘削機を用いたPCウェル工法の基礎工事は4件目である。これまでの工事で発生した問題点を解決していくことで、本工事は大きなトラブルも無く順調にPCウェル工事を完了することができた。また、発注者からの要求事項であった、周辺環境への影響も最小限に抑えることができた。

今後はPCウェルの市場拡大のために、様々な土質条件に対応できるノウハウを身に付け信頼性を高めること。また、施工体制の確立と作業の高効率化を図ることによって、より一層の工期短縮とコスト削減を実現し、競争力を高めることが必要であると考え。

本報告が、今後のPCウェル(PPRC構造)の施工に際しての一助となれば幸いである。



写真-16 PCウェル完了



写真-17 橋脚工完了