

PC ウェル (PPRC 構造) の硬質地盤での施工

— 志賀島橋 P1 橋脚基礎 —

樋田 正治 *1・猿渡 邦広 *2・砂子 洋一 *3・白水 祐一 *4

志賀島橋は、博多湾北部に位置する志賀島と、九州本土からの陸繋砂州である海の中道を繋ぐ橋梁である。旧橋は昭和7年に建設後、補修を繰り返しながら供用されてきたが、平成17年3月の福岡県西方沖地震により被災し架替えが必要となった。新橋の架替え工事に際しては、環境への影響の低減、N値50の硬質地盤での掘削作業、制限された施工範囲での工事等が施工における要求事項であった。そこで、新橋の基礎を構築するにあたり、構造および工法面での検討の結果、PCウェル工法(PPRC構造)が選定された。本報告では、P1橋脚PCウェル基礎の拡翼式先行掘削機を用いた施工について報告する。

キーワード：PCウェル、PPRC構造、拡翼式先行掘削機、硬質地盤、環境負荷低減

1. はじめに

志賀島橋は、博多湾北部に位置する志賀島と、九州本土から伸びる陸繋砂州である海の中道を繋ぐ橋梁である。旧橋は昭和7年に建設後、昭和49年拡幅工事が施され建設から75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、数回の補修工事が行われている。また、福岡市防災計画書においては平成12年に危険橋の指定を受け、さらには平成17年の3月に発生した福岡県西方沖地震により拡幅橋に段差が発生し、橋梁表面コンクリートのはく落増加等により早急な架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。

本稿では、志賀島橋P1橋脚のPCウェル基礎における拡翼式先行掘削機を用いた施工について報告する。

2. PCウェル工法(PPRC構造)概要

PCウェル工法とは、外径1.6mから8.0m程度までの構造物基礎や内空利用の立坑構築に利用されている地中構造物構築工法であり、施工法は圧入式オープンケーソンに分類される。工場または現場で製作されたプレキャストコンクリートブロック(以下、単体ブロック)を施工地点で緊張結合(ポストテンション方式)して一体とした躯体を、中掘り圧入方式や、地盤を機械掘削する支持圧入方式で築造する柱状体基礎である¹⁾。

このPCウェル工法は、近年、耐震性の向上、コスト縮減を目的に、PPRC構造(プレキャストプレストレスト鉄



図-1 志賀島橋完成予想図

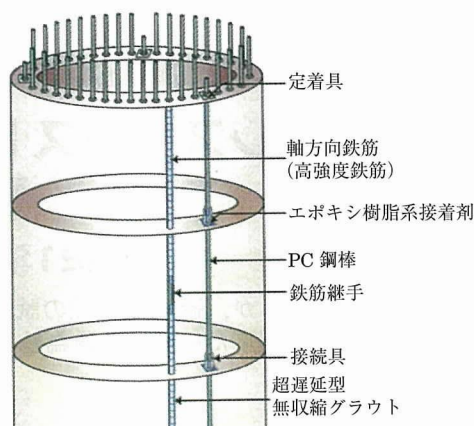


図-2 PCウェル(PPRC構造)概要図

*1 Masaharu HIDA : (株)ピーエス三菱 九州支店 土木工部 工事長

*2 Kunihiro SARUWATARI : (株)ピーエス三菱 九州支店 土木工部 主任

*3 Youichi SUNAKO : (株)ピーエス三菱 土木本部 基礎部 基礎グループリーダー

*4 Yuichi SHIRAMIZU : (株)ピーエス三菱 九州支店 設計センター

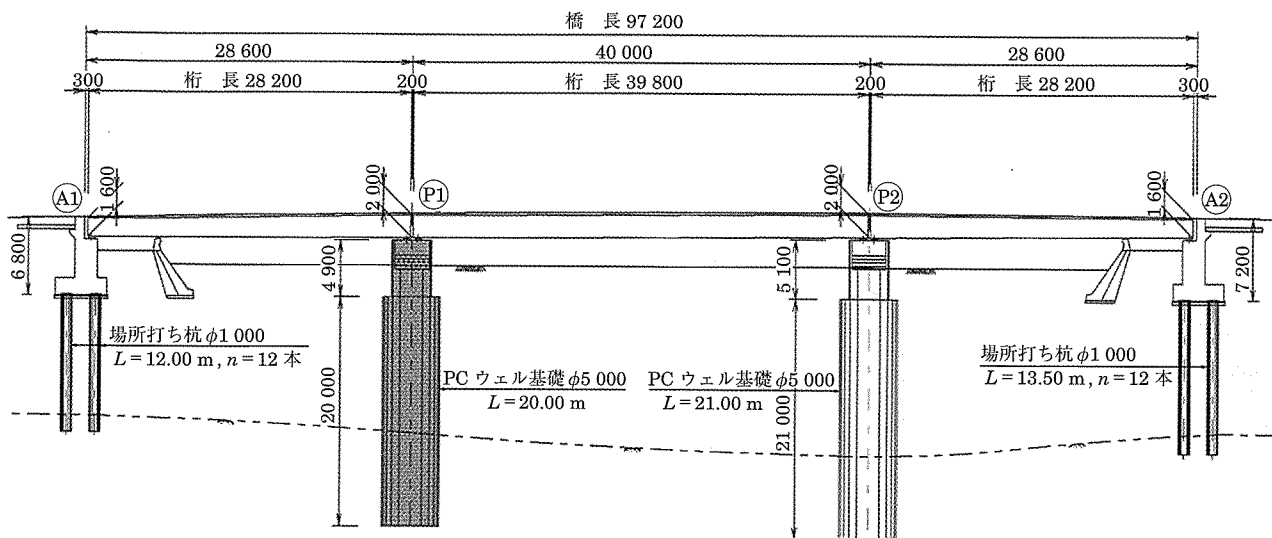


図 - 3 志賀島橋全体側面図

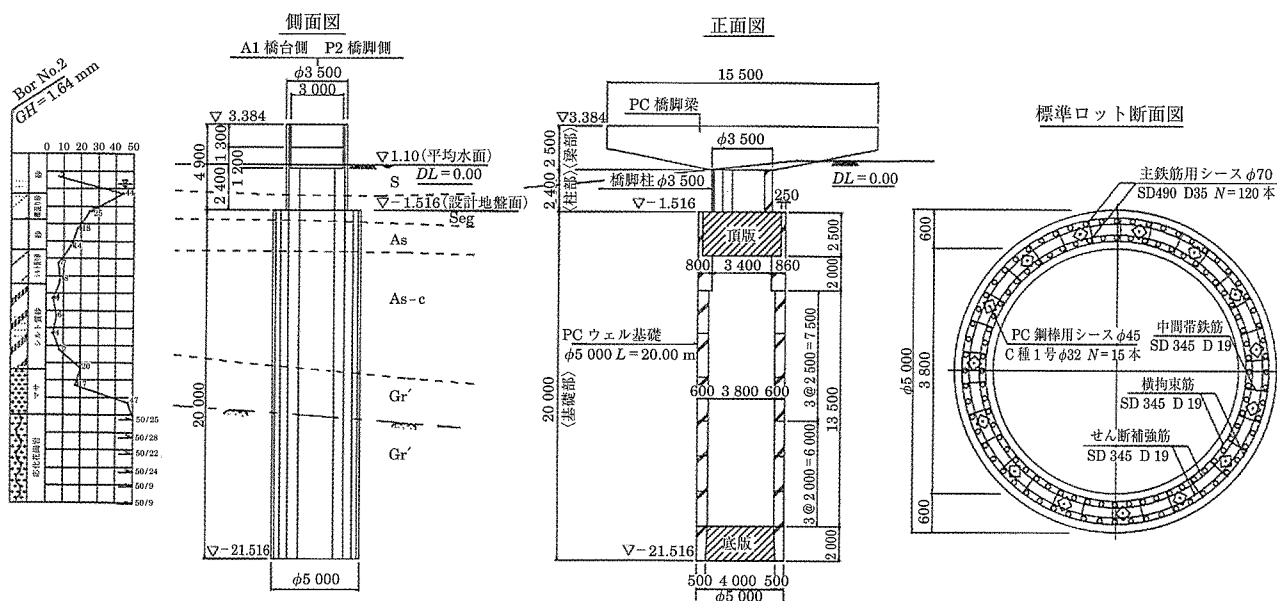


図 - 4 P1 橋脚構造図

筋コンクリート構造)が開発された。本構造はRC構造に近いPRC構造であり、構築時0.5 N/mm²程度のプレストレスを接合面に導入しながら単体ブロックを緊結して組立て、構築終了後、単体ブロックにあらかじめ設けられていた孔に高強度・超遅延性・ノンブリージングのモルタルを充てんし、最後に構造物全長にわたって連続した軸方向鉄筋を一括・挿入するものである。PPRC構造の特徴として接合部を単体ブロック内と同量の鉄筋・PC鋼材が貫通しており、コンクリートの引張強度を無視するRC構造の場合と同様に設計することができ、接合部を特別照査する必要がないという点があげられる²⁾。図 - 2にPCウェル工法(PPRC構造)の構造概要図を示す。

3. 工事概要、および構造概要

本工事の諸元および構造形式を以下に示す。また、志賀島橋全体側面図を図 - 3に、P1橋脚構造図を図 - 4に示す。

工事名：平成20年度県道志賀島和白線(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φ5.0m，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

4. 施工概要

4.1 単体ブロック製作

単体ブロックの製作は、その外径がφ5.0mであるため、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、単体ブロックの製作を行った。単体ブロックの高さは、施工性により2.0～2.5mとした。

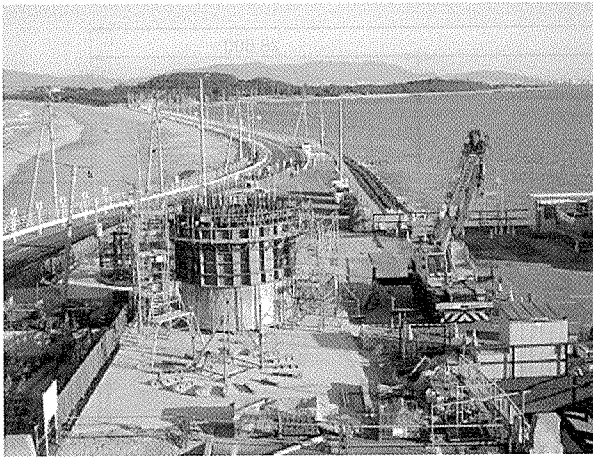


写真 - 1 単体ブロック製作ヤード

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打設するマッチキャスト方式とした。新設ブロックのコンクリート強度発現後、新設ブロックを転置し（吊降し）、その上で次の新設ブロックを製作する手順で全ブロックの製作を行った。単体ブロックの製作フローを図-5に示す。

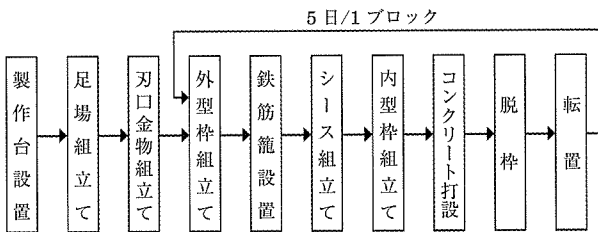


図 - 5 単体ブロック製作フロー

(1) 製作台設置

製作台の位置は、架設位置への運搬およ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+鉄筋籠組立て用1基とした。図-6に、製作ヤードの平面図を示す。

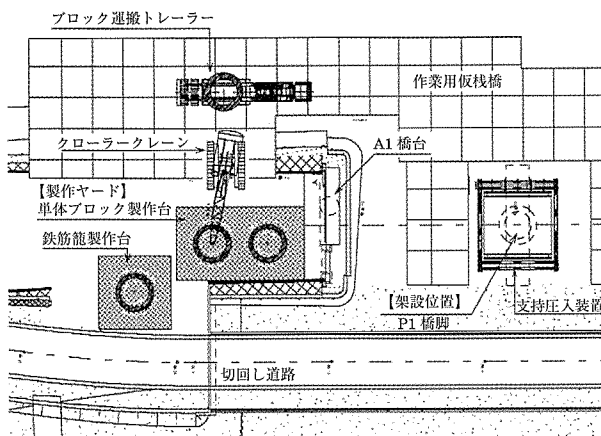


図 - 6 製作ヤード平面図

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。

(2) 刃口金物組立て

刃口金物は、PCウェル先端に設置する鋼製の刃口である。この刃口金物と単体ブロックを一体接合した刃口付きRCロットは、PCウェルを施工する際の基準部材となるばかりでなく、躯体の沈下精度にも重要な影響を与えるものである（図-7）。そのため、刃口金物の製作は厳正に管理された環境や施工方法に基づき行う必要がある。本工事においては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。さらに、金物の内空には無収縮モルタルを充てんし剛性を高めた。

また、刃口金物と単体ブロックの接合にあたっては整合性や接合面の止水性について留意することが重要である。そこで、刃口金物上面とコンクリートとの継目の止水対策として写真-2に示す2つの措置を施した。1つ目は、刃口金物上面の外周および内周に水膨張ゴムを設置した。2つ目は、金物上面の軸方向鉄筋用シース固定部1箇所ごとにガス管を全周溶接し、シース先端をカバーすることで止水効果を高めた。

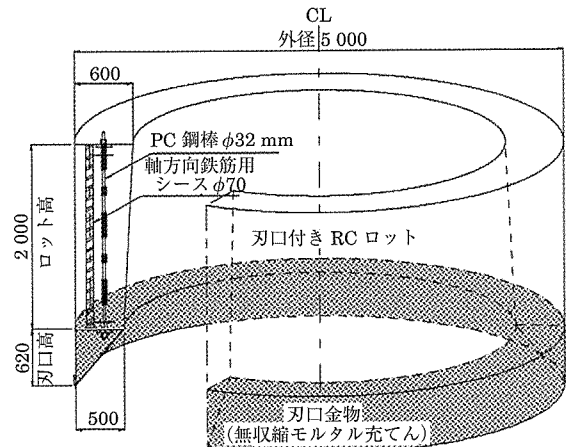


図 - 7 刃口付きRCロット概要図

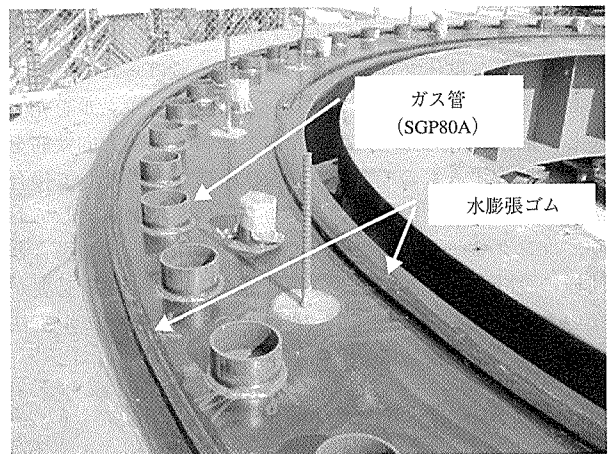


写真 - 2 刃口金物上面の防水対策

(3) 鉄筋籠組立て

単体ブロック鉄筋の組立ては、鉄筋籠を別ヤードで組み立てたあと、型枠内に一括吊込みする方法で施工した。また、鉄筋籠の質量が最大で3.6 tあり、吊込み時に鉄筋の変形を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、組立て・吊込み専用治具を使用した(写真-3)。

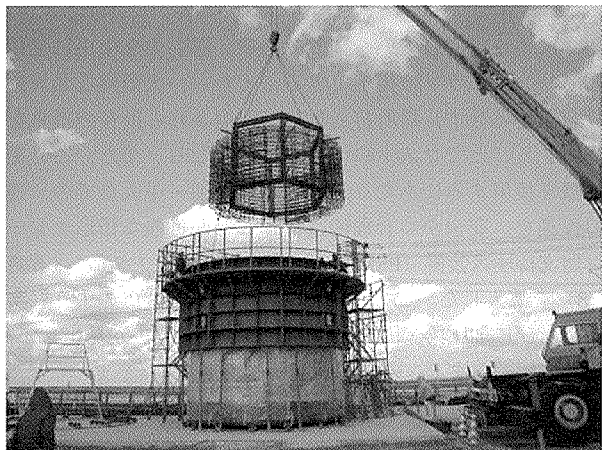


写真-3 鉄筋籠吊込み

(4) シース組立て

PPRC 構造では、単体ブロックの沈設後に軸方向鉄筋を一括挿入するため、ブロック製作時に軸方向鉄筋用シースの鉛直精度と配置精度がきわめて重要である。そこで、既設ブロックのシースをガイドする鋼製代用パイプを使用して精度の確保に努めた。

また、シースダクト継目の防水対策として、シースパッキン材を使用した。さらに、ブロック接合時のパッキン材のずれ防止対策として、ブロック上面のシース周りに溝を製作した(写真-4)。溝内にパッキン材を設置することで、パッキン材が確実に上下ブロックに支圧されるため、十分な防水効果を得ることができる。このような対策により、ブロック接合面からシース内への水の浸入は生じなかった。

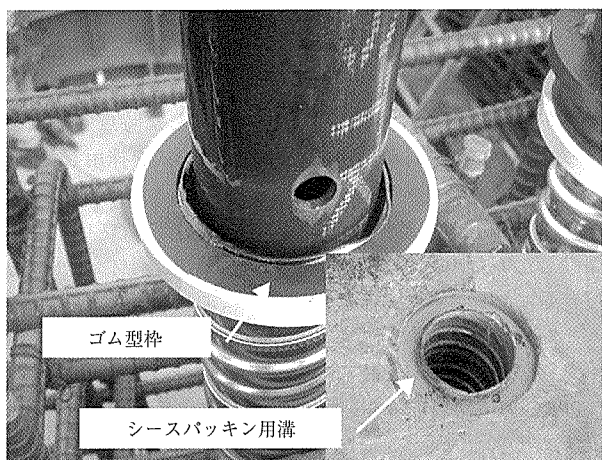


写真-4 シースパッキン用溝の製作

(5) 型枠工

型枠は、組込みの容易さと、代用パイプ固定ゲージの規準となることから、鋼製型枠の使用を標準とした。この際、従来の工場製作のように、既設ブロックと新設ブロックの2セットを用意するのではなく、既設ブロックにガイドとなる型枠 ($H = 500 \text{ mm}$) を残す構造を採用した(図-8)。このことにより型枠数量が軽減され、コスト縮減が可能となった。

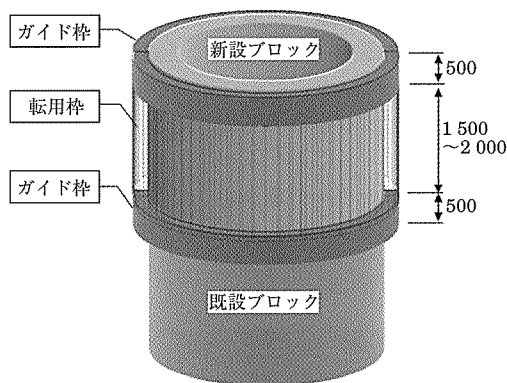


図-8 型枠工概要

(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てん性を考慮して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。鉄筋およ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。そのため、型枠上から打設を行うと材料分離、空洞、ジャンカといった構造的欠陥が発生し、また、シース内に生コンが流入する危険性が考えられた。そこで、筒先に小径のダクト管を接続し、ダクト管を型枠内に挿入することによりコンクリート打設(写真-5)を行った。



写真-5 コンクリート打設

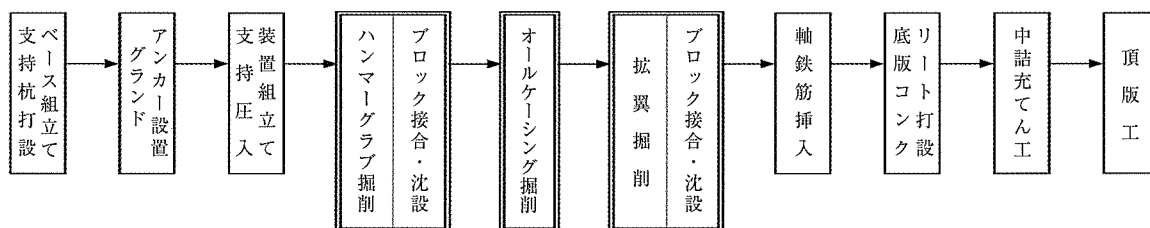


図-9 基礎構築フロー図

(7) 単体ブロック転置・運搬

コンクリート打設後、材齢2日で圧縮強度試験を行い、吊上げ時圧縮強度 ($\sigma = 25 \text{ N/mm}^2$) を確認したのち、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-6)。

なお、単体ブロックの外型枠組立てから転置までが1ブロックの製作工程であり、1ブロックの製作日数は約5日であった。



写真-6 単体ブロック吊上げ

4.2 PC ウェル基礎の構築

PC ウェル基礎構築フローを図-9に示す。

(1) 掘削装置

岩盤掘削の場合においては、ウェル本体を吊下げて施工する必要があるため、通常の圧入機構に支持機構を加えた支持圧入装置を使用することがPCウェル工法での標準施工である³⁾。

本工事は、支持地盤がN値50以上の硬質地盤であるため、中硬岩までの掘削が可能な掘削機械を使用する必要があり、拡翼式先行掘削機(マルチアーム)(写真-7)を選定した。本掘削機は油圧駆動の掘削装置であり、ケーシング先端に取り付け、全周回転機の中

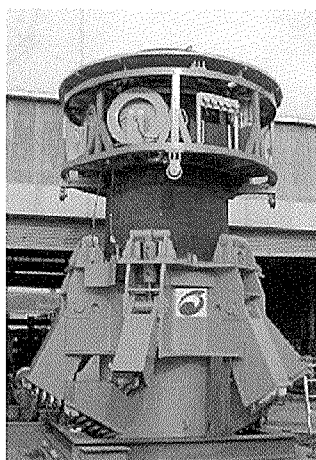


写真-7 拡翼式掘削機

ルにより掘削していく装置である。掘削土を中央に集積してハンマグラブで揚土できることから、大規模な処理施設を必要とせず、場所打ち杭等で使用される既存の機械を利用することでコストの低減が可能となる。また、この掘削機を使用するにあたり、架設から掘削・圧入までの一連の作業を、安全かつ合理的に行うことが可能な橋形クレーン型支持圧入装置(PSM式PCウェル支持圧入装置)(写真-8)を導入した。この装置により、従来の装置のように架設のたびに加圧梁・円形足場などの設置・撤去が発生せず、工期の短縮および、安全性が向上した。



写真-8 PSM式支持圧入装置

(2) グラウンドアンカー工

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を設置する。PCウェルの圧入時反力を算出し、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。アンカー材は環境に配慮して除去式を採用した。

(3) 架設・緊張・グラウト

単体ブロックの接合は、下部ブロック上に新ブロックを架設したのち、上下ブロックを貫通するPC鋼材を緊張し、接合面にプレストレスを与えることにより行った。

また、接合面には強度および水密性を確保するため、エポキシ樹脂系接着材を塗布した。

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、設計上軸方向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軸方向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-1のように設定した。

表-1 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	SBPR 1080/1230 $\phi 32 \text{ mm}$
PC鋼材本数	$N = 15 \text{ 本}$
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	$\sigma_{cc} = 0.9 \text{ N/mm}^2$

(4) 掘削・圧入

本施工にともなう掘削方法を図-10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、とくに慎重な管理およ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示すことがあるが、懸吊支持できる支持圧入装置を使用しているため、つねに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、圧入精度管理の向上に努めた。

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。外径 $\phi 2.0 \text{ m}$ のケーシングを用い、全周回転機位置から約40m下の掘削を行うため、偏心・傾斜の管理には細心の注

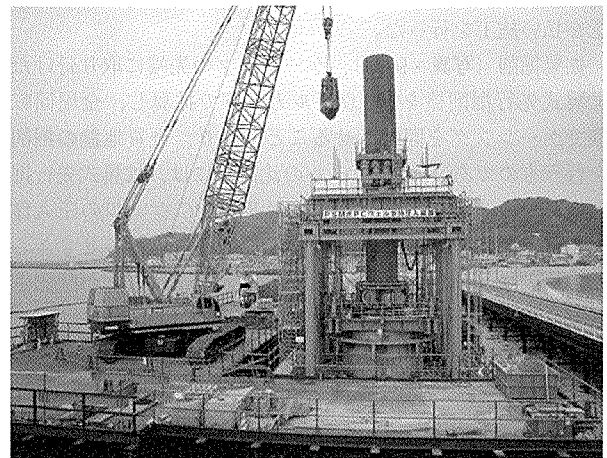


写真-9 拡翼掘削状況

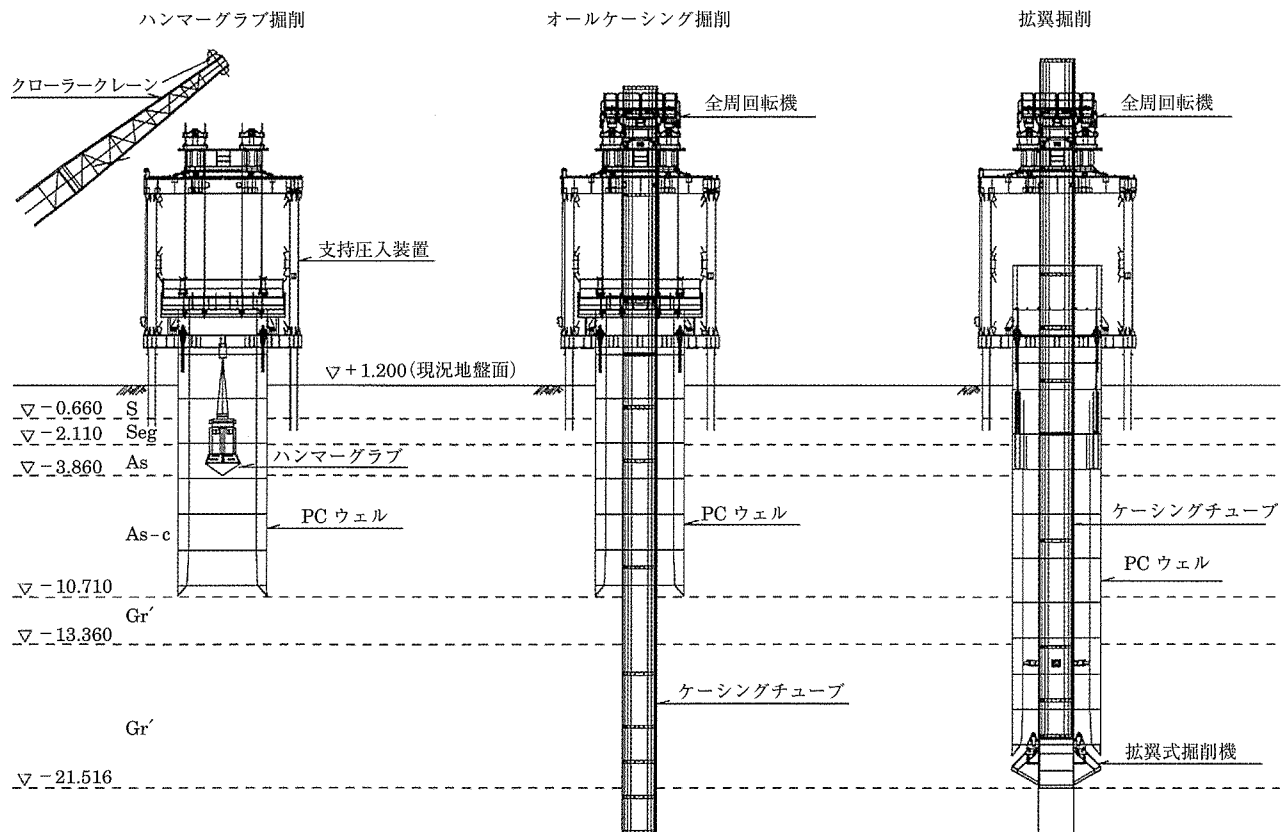


図-10 掘削方法

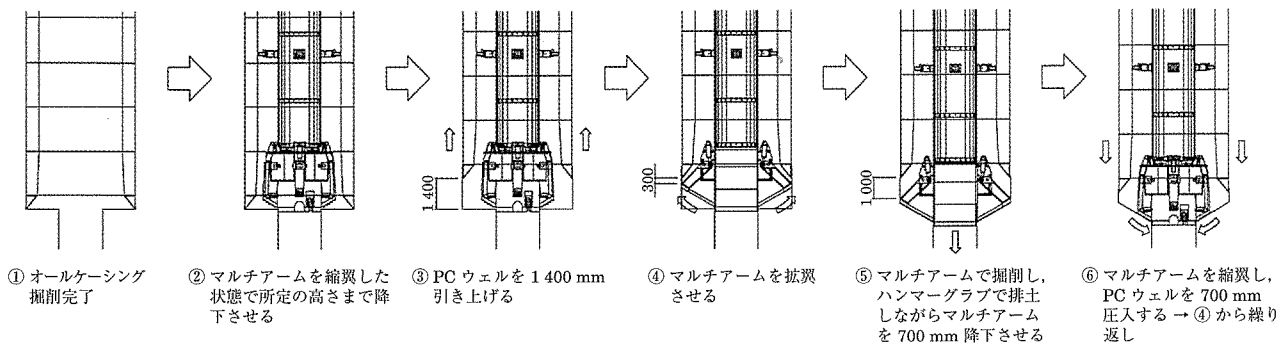


図 - 11 拡張掘削サイクル

意を払い施工を行った。

拡張掘削（写真 - 9）は、ケーシングの先端に取り付けた拡張式先行掘削機を PC ウェル刃先下で拡張し、全周回転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、拡張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行う。拡張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、全周回転機のトルク、掘削排土の性状より判断し、図 - 11 の ⑤ に示すように、1 サイクルにおける掘削量を 700 mm として掘削・圧入を繰り返し GL-12.0 m から GL-23.0 m までの約 11 m 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 ウェルの内部およ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。

(5) 軸方向鉄筋挿入

PPRC 構造において重要な役割をもつ軸方向鉄筋は、ウェル本体の接合完了後に長尺鉄筋を一括挿入した（写真 - 10）。本構造では、SD 490、D 35 の高強度軸方向鉄筋 120 本の挿入を行った。挿入に先立ち、高強度・超遅延性・ノンブリージング型モルタルをシース内にあらかじめ注入しておくことで、モルタルの確実な充てんを図った。



写真 - 10 軸方向鉄筋挿入

モルタル注入前には、シースダクト 1 本ごとに水位測定器を挿入して、すべてのダクト内に海水の流入が無いことを確認した。

(6) 基礎ウェル構築完了

PC ウェル基礎の構築に関する管理値および完成出来形を表 - 2 に示す。

表 - 2 構築に関する管理値および完成出来形

〈 管理値 〉	
基準高	± 50 mm 以下
偏心量	100 mm 以下
傾斜	1 / 300 以下
〈 管理値 〉	
基準高	+ 15 mm
偏心量	18 mm
傾斜	1 / 714

これより、本工事の施工は硬質地盤という施工条件にもかかわらず、非常に高精度での構築ができた。

PC ウェル構築完了写真を写真 - 11 に示す。こののち、橋脚および PC 橋脚梁を施工し工事を完了した（写真 - 12）。

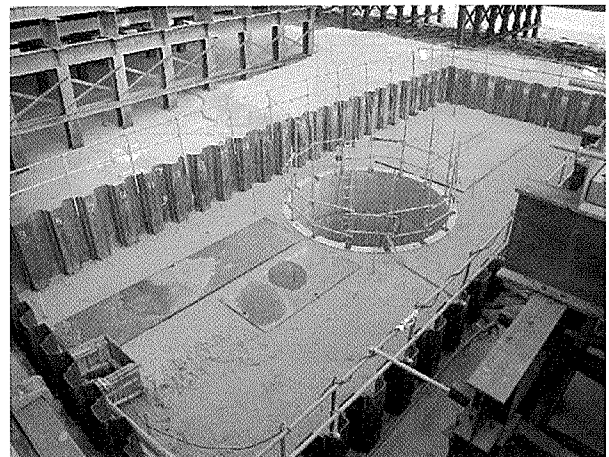


写真 - 11 ウェル構築完了



写真 - 12 橋脚工完了

5. おわりに

本報告は、硬質地盤における PC ウェル構築方法の 1 例を紹介したものである。以下に、本工事の要求事項に対する結果を示す。

① 周辺環境への影響

本工事の PC ウェル基礎の構築方法は、ウェル内部および先端を掘削してすぐにウェル躯体を圧入していく工法であり、また、構築後の作業もウェル内部での作業となるため、周辺環境への影響を最小限に抑えることができた。梁部の施工においても、鋼矢板による仮締切りを行うことで、周辺環境への影響を低減し工事を完了することができた。

② 硬質地盤での基礎構造物の構築

掘削設備を支持圧入装置＋翼式先行掘削機を用いて施工を実施した。本装置は、中硬岩までの掘削が可能な装置であり、本工事の地盤である N 値 50 以上の硬質地盤においても高精度で PC ウェルを構築することができた。

③ 施工範囲が限られた中での工事の遂行

PC ウェル工法は、大規模な処理施設を必要とせず、既存の機械を利用し、小スペースでの施工が可能な工法である。本工事においてもこの利点を活かして、旧橋の既設構造物に干渉することなく工事を遂行することができた。

また、そのほかとして、前述のように既存の機械を使用することや単体ブロック制作時の型枠数量を軽減しコスト縮減が図れたこともあげられる。

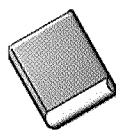
今後は、PC ウェル工法がさまざまな土質条件に対応できる実績を積み、更なる施工性・安全性の向上と、コスト縮減により、適応範囲を広げていくことが必要であると考えられる。

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。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：杭基礎設計便覧 平成 18 年度改訂版 平成 19 年 1 月
- 2) 中井将博, 塩井幸武, 長谷川明, 津田和義：プレキャスト部材の一接合法に関する耐震性能試験 コンクリート工学 Vol.38 No.8. 2000.8 pp.33 - 39
- 3) PC ウェル工法協会：PC ウェル工法 設計・施工マニュアル 一施工編一 平成 18 年 3 月

【2009 年 7 月 24 日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

複合橋設計施工規準

定 価 6,825 円／送料 500 円

会員特価 6,000 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版