

PC ウェル工法 (PPRC 構造) の岩盤層への適用

- 佐世保高架橋下部工 -

九州支店 土木工事統括部 PC 工事事部 岩井 久
 九州支店 土木工事統括部土木工事事部 藤本喜久
 九州支店 土木工事統括部 PC 工事事部 桑野公成
 土木本部 土木統括部機工部 金子 隆

概要:PC ウェル工法 (PPRC 構造) は、約 30 年前に技術導入された PC ウェル工法において、工期短縮、コスト縮減といった社会的ニーズと、耐震性能の向上という構造的ニーズに応えるべく、約 10 年間に渡って研究開発が進められ、現在実用化に至っている。しかし、従来の PC ウェル工法は、工場製作のプレキャスト部材を使用することが主であり、その対象地盤も軟岩までと適用範囲が限られていた。佐世保高架橋は、従来の適用範囲を超えた大口径ウェルの現場製作と中硬岩掘削を、国内初の試みとして施工したものである。

Key Words: PPRC 構造, 現場製作, 拡翼掘削

1. はじめに

本工事は、長崎県佐世保市で高規格道路の一環として整備が進められている、西九州自動車道佐世保道路において海上橋脚の基礎として採用された PC ウェル工法 (PPRC 構造) を施工したものである。現場は港内にあり、地盤が軟岩から中硬岩に相当する岩盤層となっているため、従来の PC ウェル工法では施工が困難な条件である。このことにより、当初、二重締切りによる場所打ち杭基礎で計画されていたが、近年のコスト縮減、工期短縮といった社会的ニーズに対応すべく、中硬岩掘削とプレキャスト (PCa) 部材の現場製作を条件として、本工法の採用となった。

PC ウェル工法とは、橋梁基礎や立坑に採用されてきたプレキャストオープンケーソン工法である。近年、耐震性の向上、コスト縮減を目的に PC 構造であった PC ウェルから RC 構造とした PPRC 構造 (以降 PRC ウェルと称す) が開発され、現在に至っている。これまでに、全国で 3 件の施工実績があるが、いずれも陸上で、圧入が可能な条件下で施工したものである。また、PCa 部材もすべて工場で作成している。

本稿では、PCa 部材の現場製作、中硬岩掘削という国内初の試みと、このために、新しく開発された構築掘削機械を用いた施工方法について報告する。

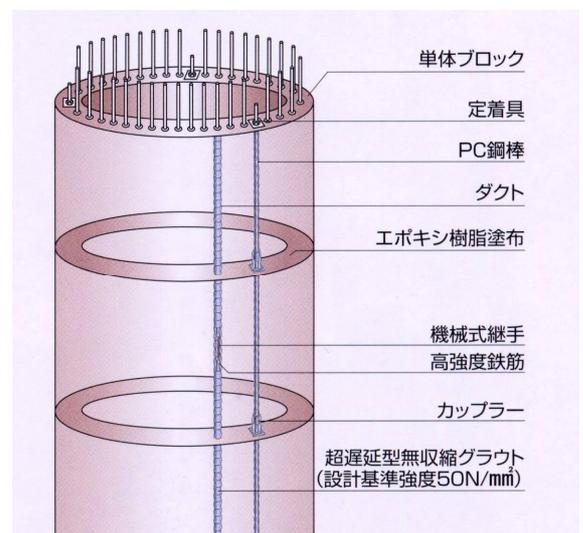


図-1 PPRC 構造



岩井 久



藤本喜久



桑野公成



金子 隆

2. 工事概要

工事名:長崎497号佐世保高架橋下部工(P8~P9)工事
 工事場所:長崎県佐世保市干尽町地内
 発注者:国土交通省九州地方整備局長崎河川国道事務所
 工期:平成16年3月6日~平成17年3月31日
 基礎形式:PCウェル基礎(PPRC構造)

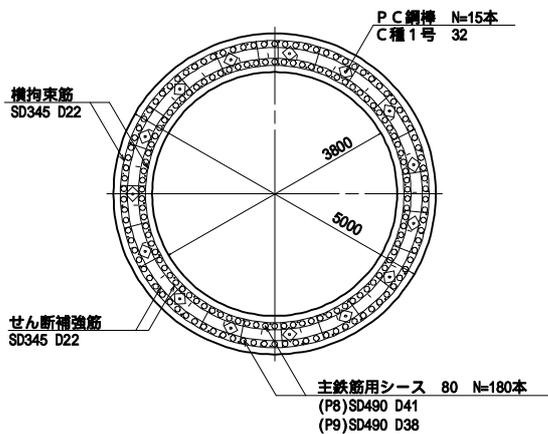


図-2 PRC ウェル標準断面図

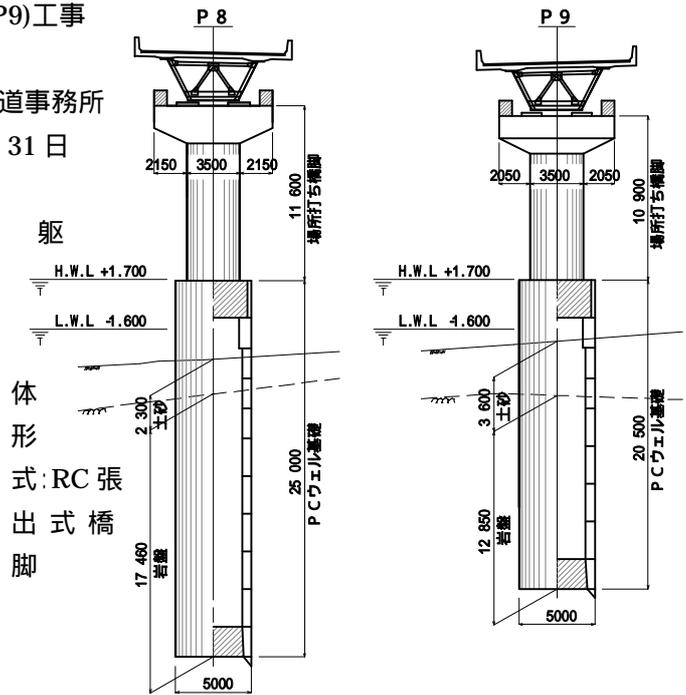


図-3 構造一般図

表-1 支持層の諸元

	岩種 区分	硬軟	コア形状	割れ目 の状態	風化	圧縮強度 (N/mm ²)	変形係数 (N/mm ²)
P8	砂質頁岩	c	I~III	b		11.6	1,960
P9	砂岩	c	I	a		39.8	5,280



写真-1 支持層コア

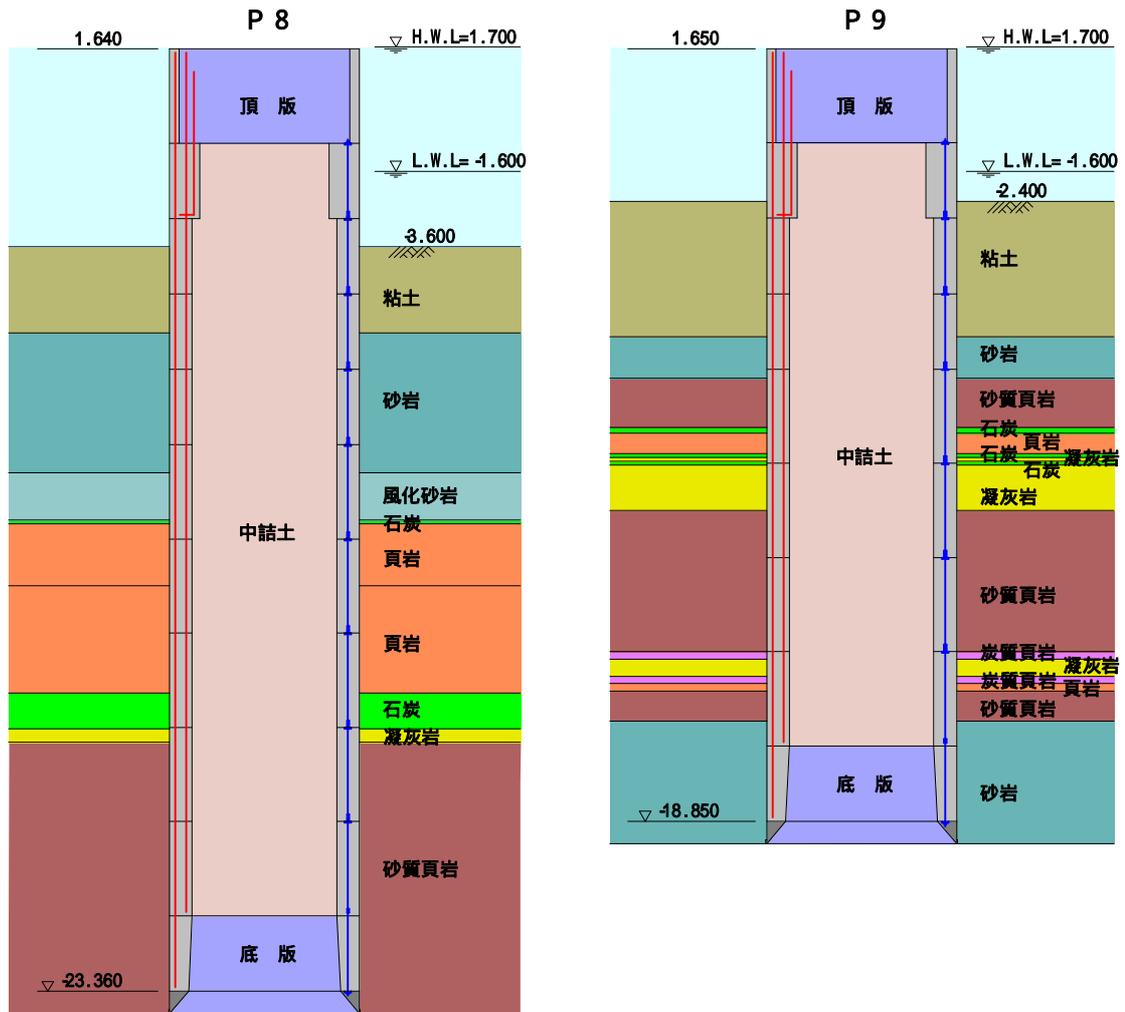


図-4 地層図

3. 施工概要

(1) PRC ウェルブロックの製作

今回、ウェル外径がφ5,000と大口径であるため、陸上運搬が出来ない。そのため、現場内に製作ヤードを設けて製作をおこなった。

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、マッチキャスト方式を採用した。

1) 鉄筋籠組立・設置

ウェルブロックの製作は、鉄筋籠を別ヤードで組み立てておき、一括吊り込みする方法が一般的であり、本工事でも同様に施工した。

ただし、今回は鉄筋籠の質量が最大で 4.2ton あり、吊り込み時に鉄筋の変形があると、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、H 形鋼で組立架台を兼ねた吊り上げ架台を製作し、安全の確保と変形防止に努めた。

鉄筋籠の組立てでは、設置後にシースを配置することを考慮して、シースゲージを底版に据えて、随時シースの位置を確認した。

鉄筋籠据付の際に設置するスペーサーは、当初、モルタルスペーサーを既設ブロック上(底部)に 4ヶ/m²、側面に 2ヶ/m²を設置していたが、鉄筋質量が大きいため、底部は 8ヶ/m²と通常の倍に増加して対応した。側面は、型枠(外枠)が先に建て込んであるため、スペーサーを設置できない。鉄筋とシースが密接しているため、鉄筋を全結束(番線使用)し、代用パイプの固定でかぶりの確保を図った。

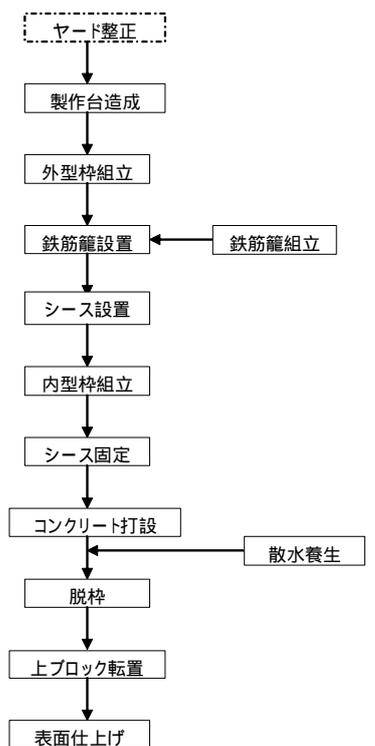


図-5 製作フロー図



写真-2 鉄筋籠組立・設置状況

2) シース設置・固定

PRC ウェルでは、ウェル構築後に軸方向鉄筋を一括挿入する施工方法であるため、製作時に軸方向鉄筋用シースの鉛直精度と配置精度を確保することが極めて重要である。そこで、既設ブロックのシースをガイドとする代用パイプを使用して、その要求精度を確保した。

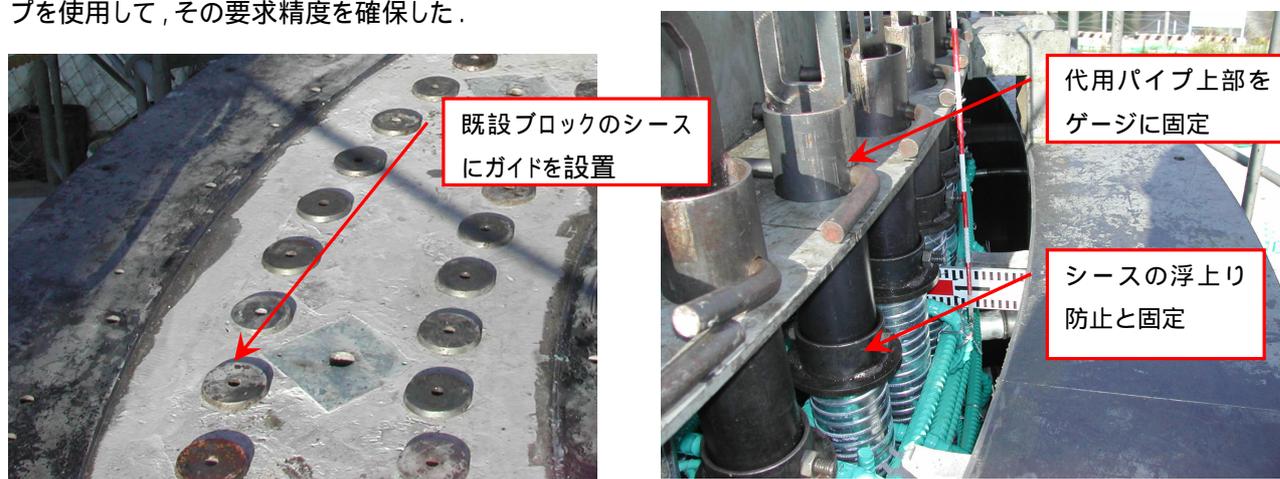


写真-3 シース固定状況

3) 型枠組立

型枠は、組立の容易さと、代用パイプ固定ゲージの基準となることから、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箇所(H=500mm)のみを残す方法を採用した。このことにより、型枠数量を軽減して、コスト縮減を実現している。

ウェルの壁厚が違う、刃口ブロック、拡幅ブロック、頭部ブロックの3種類については、製作数が少ないため、木製型枠を使用した。

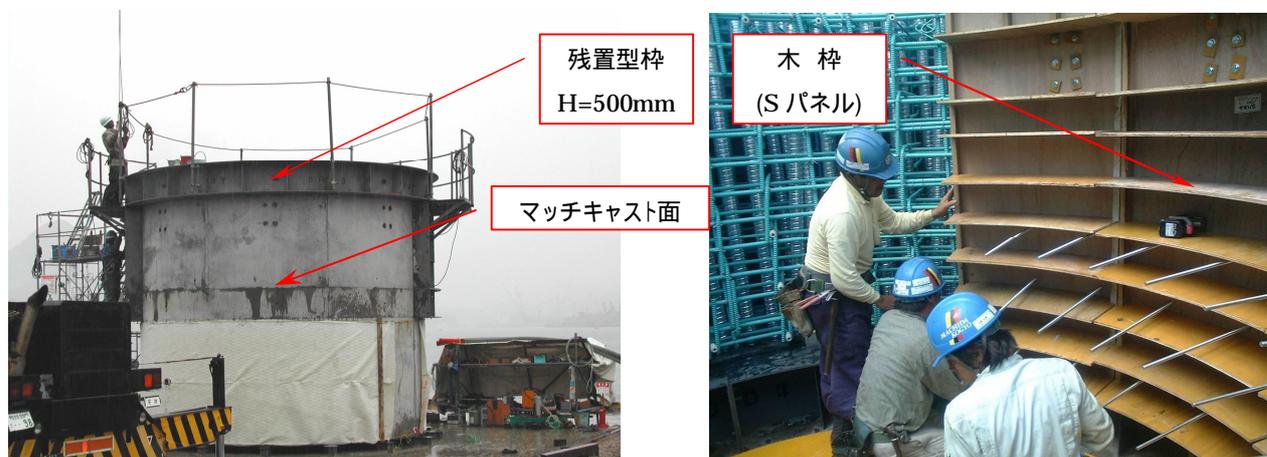


写真-4 型枠組立状況

4) 打設・養生

本工事でコンクリート配合は、ブロックの吊り上げ時強度($\sigma=25\text{N/mm}^2$)と、構築可能強度($\sigma=40\text{N/mm}^2$)の早期発現性と、高密度空間での充填性を考慮して、(40-18-20H)となっている。

打設には、コンクリートポンプ車を使用した。この際、型枠上から打設すると、材料分離、空洞、ジャンカといった構造的欠陥が発生する可能性と、シース内に生コンが流入する危険性があるため、筒先を型枠内に挿入して打設した。

養生は散水養生とし、脱枠後においても、側壁に高保水性養生マットを巻き付け、初期クラックの防止を図った。

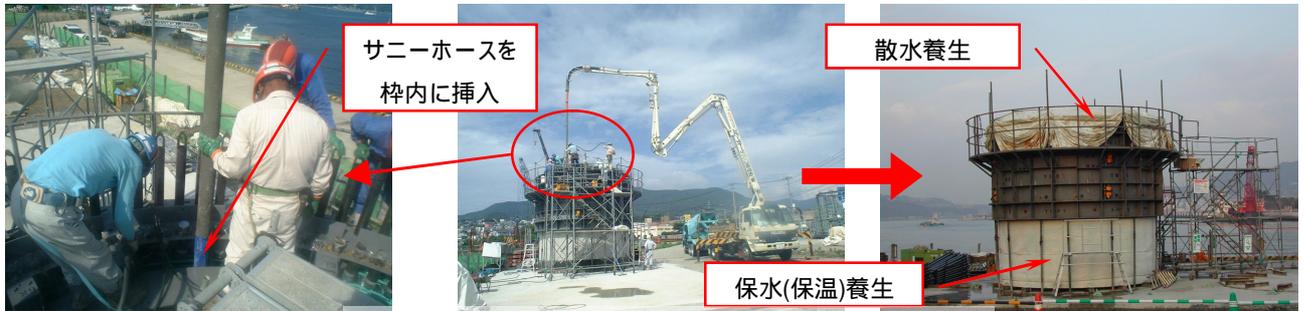


写真-5 コンクリート打設・養生状況

5) ブロック転置・小運搬

コンクリート打設後、十分な養生をおこなってから、新設ブロックを既設ブロックから切り離す。この際、必要なコンクリート強度は、 $\sigma=25\text{N/mm}^2$ 以上であるが、本工事では、夏期で材齢1日、冬季においては、同2日でこの強度を満足している。また、製品質量が約 50ton があるため、吊り材として総ネジPC鋼棒($\phi 23\text{mm}$)を使用し、ヤード内に荷役設備を常設せず、構築用のクローラークレーン(150ton 吊)を使用した。

製作ヤードから架設地点までの小運搬は、低床トレーラーを使用した。

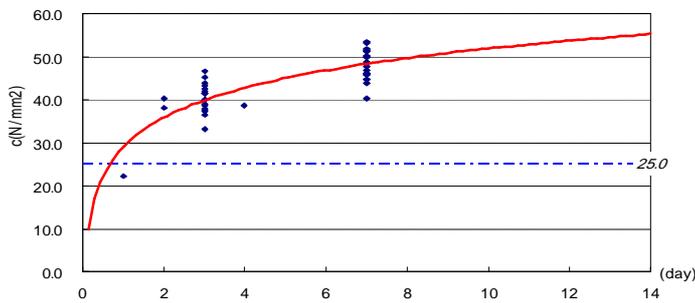


図-6 コンクリート強度



写真-6 転置状況

6) 製作サイクル

本工事での標準的な製作サイクルは、以下のとおりである。

工種	1日目				2日目				3日目				4日目							
	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15
1 鉄筋籠組立	■				■				■				■							
2 外枠組立	■																			
3 鉄筋籠据付					■															
4 シース組立					■				■											
5 添加物取付け					■															
6 内枠組立					■															
7 打設									■											
8 仕上げ													■							
9 代用パイプ撤去													■							
10 脱枠													■							
11 表面仕上げ													■							
12 転置													■							

図-7 製作サイクル

(2) PRC ウェル基礎の構築

本工事は、海上施工と岩盤層の掘削が施工上の大きな特徴である。そのことを踏まえた施工手順を図-8 に示す。

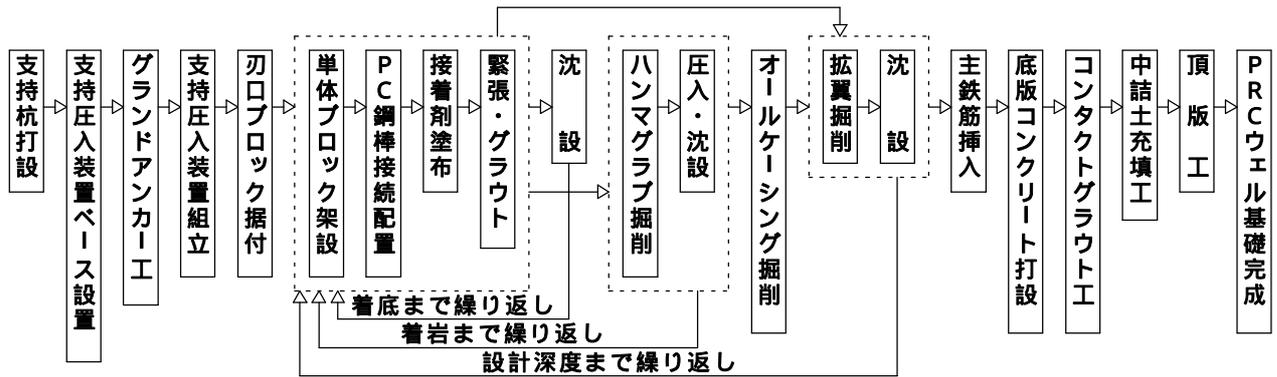


図-8 PRC ウェル基礎構築フロー図

1) 構築掘削機械

今回のような、水上施工や岩盤掘削の場合、ウェル本体を吊り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。

本工事の大きな特徴は、中硬岩までの掘削が可能な新しい掘削機械を導入したことである。この機械は、通常の場合打ち杭で使用される全周回転掘削機を動力とし、ケーシングチューブの先端に油圧駆動の拡翼式中硬岩掘削ビットを取り付けたものである。掘削塊を中央に集積してハンマグラブで揚土できることから、大規模な処理設備を必要とせず、既存の機械を利用することでコストの低減を図っている。また、この掘削機の使用に当たり、架設から掘削・沈設までの一連の作業を安全かつ合理的におこな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) を同時に開発し導入した。この新型支持圧入装置は、移動式クレーンを使用せず架設をおこなうことができるだけでなく、従来の装置のように架設のたびに“加圧梁、円形足場”等の架設が発生せず、安全性が向上している。

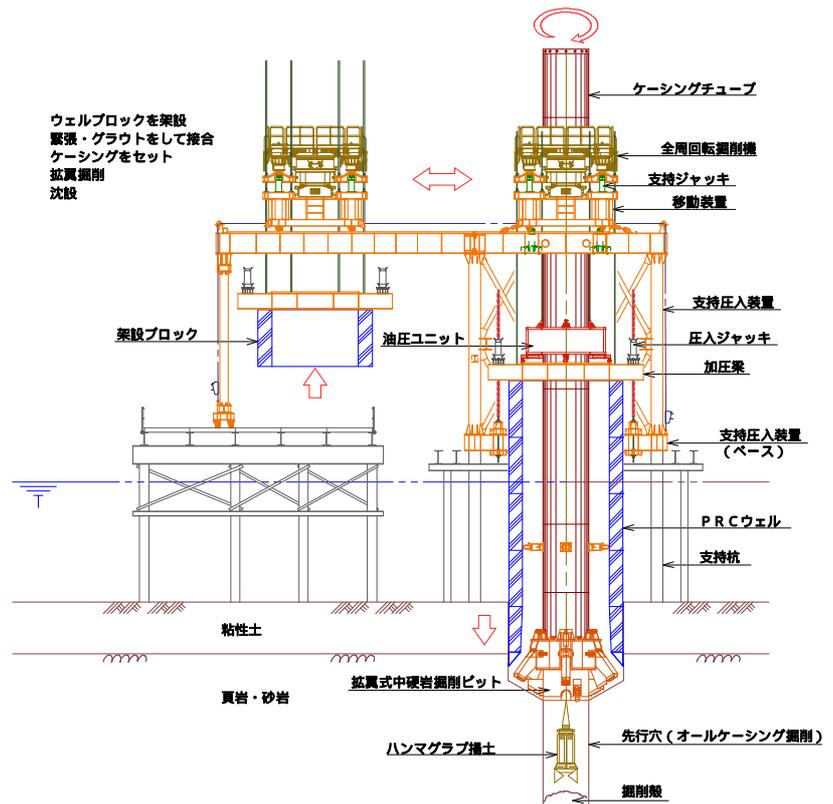


図-9 構築掘削機械概要図

2) グラウンドアンカー工

今回のような岩盤層では、刃先下を先行掘削するため、理論上、刃先先端抵抗力は発生せず、周囲摩擦力だけが圧入抵抗力として発生する。本工事においても、理論上はウェル本体が自沈する結果となっている。しかし、PCウェル工法においては、最終支持層の確認の際、揚土確認だけでなく、「円環断面荷重試験」と呼ばれる載荷試験をおこなう。そのため、PCウェル工法で用いるグラウンドアンカーは、圧入抵抗力と載荷試験荷重のいずれか大きい値で決定する。本工事では、「円環断面荷重試験」から設計アンカー力が決定されている。

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おこなった。アンカー材は、環境に配慮して、“除去式”を使用している。



写真-7 グランドアンカー施工状況

3) 刃口ブロック据付

刃口ブロックの据付は、ウェルの構築精度に大きく影響を及ぼすため慎重におこなう必要がある。位置調整は、支持圧入装置に設けられたガイドローラーでおこなった。また、ウェル側壁に設置した仮受けブラケットを介して据え付けるが、不均等荷重を避けるため、コンパクトロックジャッキで荷重バランスを図った。



写真-8 刃口ブロック据付状況

4) 架設・緊張・グラウト

刃口ブロックの据付完了後、単体ブロックを架設、緊張・グラウトして PCa ブロックの一体化を図る。接合面にはエポキシ樹脂系接着剤を塗布する。

架設は、PSM 式PCウェル支持圧入装置での架設と、クローラークレーン (150ton 吊)架設の2通りでおこなった。PSM 式PCウェル支持圧入装置での架設は、昇降にロアリング用油圧ジャッキ(支持ジャッキ)を使用するため、これに多くの時間を費やしてしまう。一方、クローラークレーン架設であれば、時間を大幅に短縮することが可能となる。しかし、今回のように大型重機が常駐していることが条件であり、掘削だけを考え、重機のランクを下げた場合は、PSM 式PCウェル支持圧入装置での架設となってくる。つまり、現場条件、工期、トータルコスト等を総合

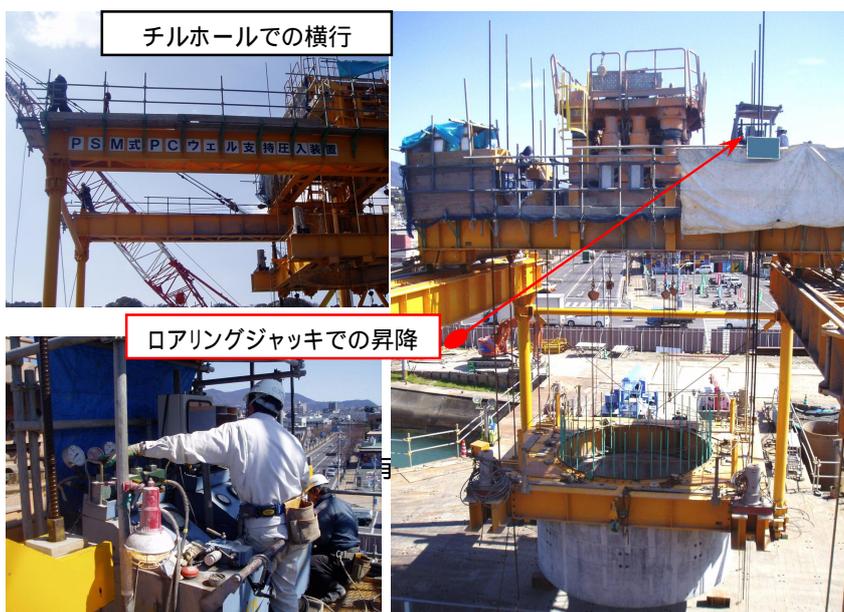


写真-9 PC ウェル架設状況

的に判断して、使い分ける必要がある。また、今回開発したPSM式PCウェル支持圧入装置も今後、その作業効率を向上させ、有効に活用できるよう機械・システムの改良が望まれる。

接合面に塗布する接着剤は、橋梁上部工で用いている材料と同規格のものであるが、有機系接着剤のため、湿潤状態(雨天時)に使用できない。本工事では水中用接着剤を併用して施工したが、材料の使用条件を確認して、材料を選定する必要がある。

PRC ウェルにおける PC 鋼材は、構造があくまで RC であることから、プレキャストブロックの接合が構造上の目的となっている。ただし、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。また、今回のように沈設を伴う場合は、吊り材としての検討も必要となってくる。本工事での有効プレストレス量は表-2 のとおりである。

条件	接合面に作用する有効プレストレスによる応力度	0.5N/mm ²
	PC 鋼材に残す余裕量から決まる有効導入応力度	590N/mm ²
	(PC 鋼材の降伏強度)-(鉄筋降伏強度) (C 種 1 号 1080) - (SD490)	
	沈設時に PC 鋼材に作用する引張応力度	460N/mm ²
使用鋼材	SBPR1080/1230 φ32, N=15 本	
PC 鋼材の有効引張応力度	ope=587N/mm ²	
部材断面に作用する有効応力度	oce=1.0N/mm ²	

緊張作業は、均等にプレストレスが導入されるよう、PCウェル作業標準に準じ、3本毎におこなった。

グラウトは、橋梁上部工に準じた配合としている。注入作業は、施工サイクルの都合上、グラウトホースを使用せず、注入孔に逆止弁を付けて施工したが、逆止弁からの漏れを否定できないため、注入後ただちに跡埋めを実施した。跡埋め材には、速硬性のポリマーセメントを使用した。

5) 岩盤層拡翼掘削

本工事の大きな特徴である拡翼式中硬岩掘削ビットは、拡翼掘削時の掘削塊を集積するための先行穴(オールケーシング掘削)を掘ることから始まる。この先行穴は、拡翼ビットのガイドを兼ねているため、その精度がウェル構築の精度を左右する非常に重要な工程である。このことから実施工においても、全周回転機据付の時点からトランシットで管理し、掘削中もケーシングの偏心、傾斜がないよう細心の注意を払った。特に、全周回転機の位置が高く、ケーシングの自由長が長いいため、着岩時には芯ブレが大きくなる。そのため、ケーシングにガイドローラー(スタビライザー)を付けてケーシング自由長を短くすることで対処した。その取り付け位置は、ウェルが吊り下げられた状態であるため、支持圧入装置ガイドローラー付近の高さになるよう留意した。

オールケーシング掘削完了後、ファーストチューブを拡翼ビットに付け替えて拡翼掘削をおこなった。ビットを拡翼する際は、ウェルを引き上げて、拡翼必要高さを確保しなければならない。この状態で掘削を開始すると、ウェルと岩盤層の間から土砂(本工事ではヘドロ)が流入してくることになる。本工事では、岩盤上のヘドロ層は仮設杭の安全性に影響を及ぼさない軟弱層であったが、安全性に影響を与えるような土砂部であ

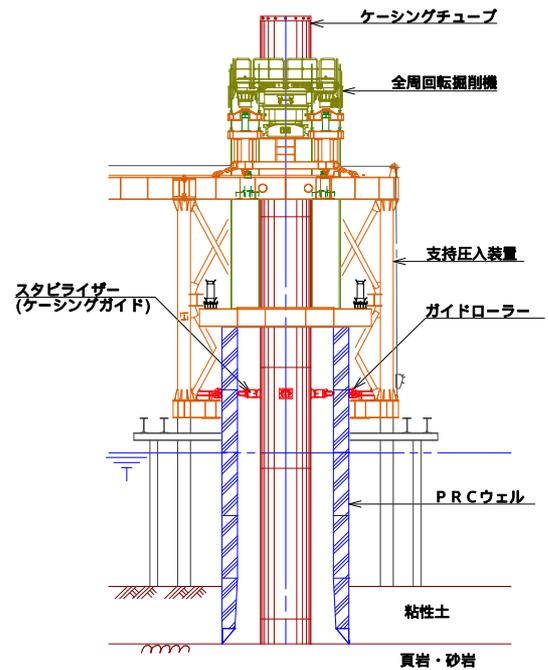


図-10 オールケーシング掘削要領図

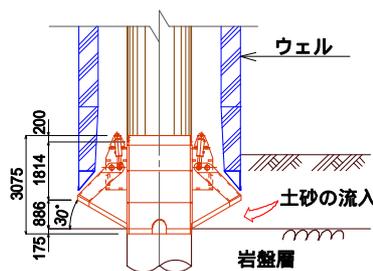


図-11 拡翼ビット拡翼状況図



写真-10 スタビライザー

る場合は、ウェルを着岩させ、土砂の緩みを防止した状態で掘削を開始しなければならないので注意を要する。しかし、現時点では、拡翼しながら掘削する構造となっていないので改良を加える必要がある。

掘削塊は先行穴に集積されハンマグラブで揚土するが、本工事では、粘性の高い頁岩層であったため、集積されず、ビット周りに堆積してビット部の閉塞を招く結果となった。閉塞の状況から次のようなことが原因と考えられる。

- ・水中掘削のため、削られて汚泥状態であった。
- ・掘削を進めていく過程で、汚泥濃度が上がり、固結していった。
- ・固結が進むにつれ、閉塞が起こり、上方に堆積していった。

現場では、この閉塞の結果、2回ビットを引き上げて閉塞土の除去とビットの交換をおこなっている。

この閉塞に対して、現場でおこなった対策は以下のとおりである。

- ・ビットの切り欠きを大きくした。
- ・固結・堆積防止のため、水中ポンプで爪先に水流を送り込んだ。
- ・濃度上昇を抑制するため、外水をウェル内に供給した。
- ・ビットを拡縮、空転させて強制的に堆積土を振り落とした。



写真-11 拡翼ビット閉塞状態

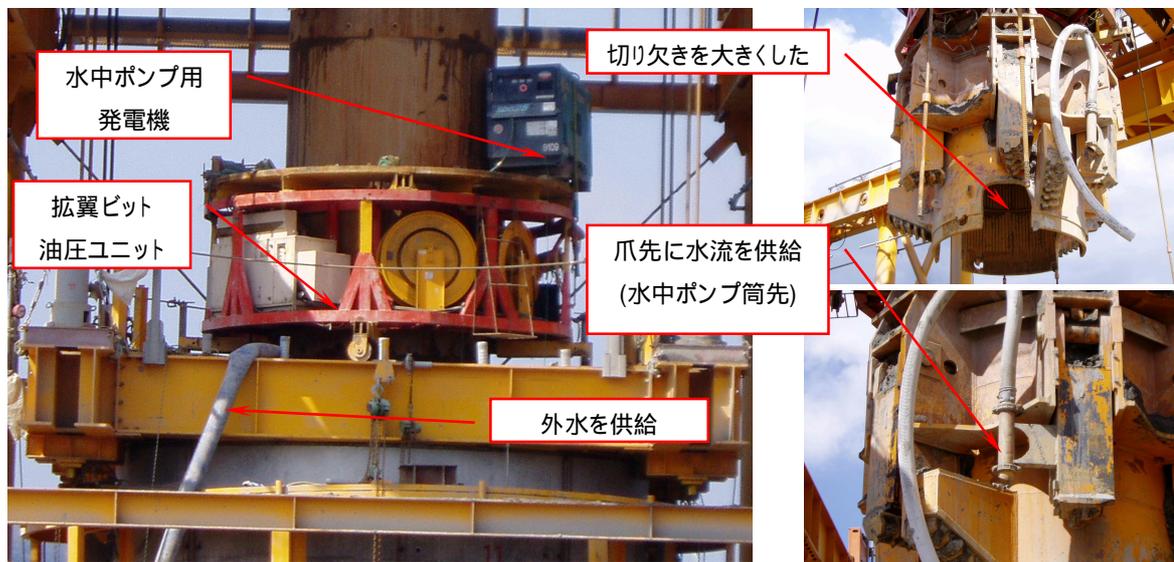


写真-12 拡翼ビット閉塞対策

その結果、掘削能力の向上を図ることができた。

また、揚土された岩塊は汚泥状態であったため、石灰で固化処理をおこなった。掘削土の約半分は、ウェル内部に中詰土として戻し、残りは他現場で盛土材等として再利用している。

今後は、本工事の経験を踏まえ、泥岩、凝灰岩、頁岩といった粘性岩の閉塞防止対策を中心とした検討を進め、さらなる掘削能力の向上を図っていく必要がある。



写真-13 拡翼掘削状況(右; 拡翼ビット)



写真-14 拡翼掘削揚土状態(頁岩)

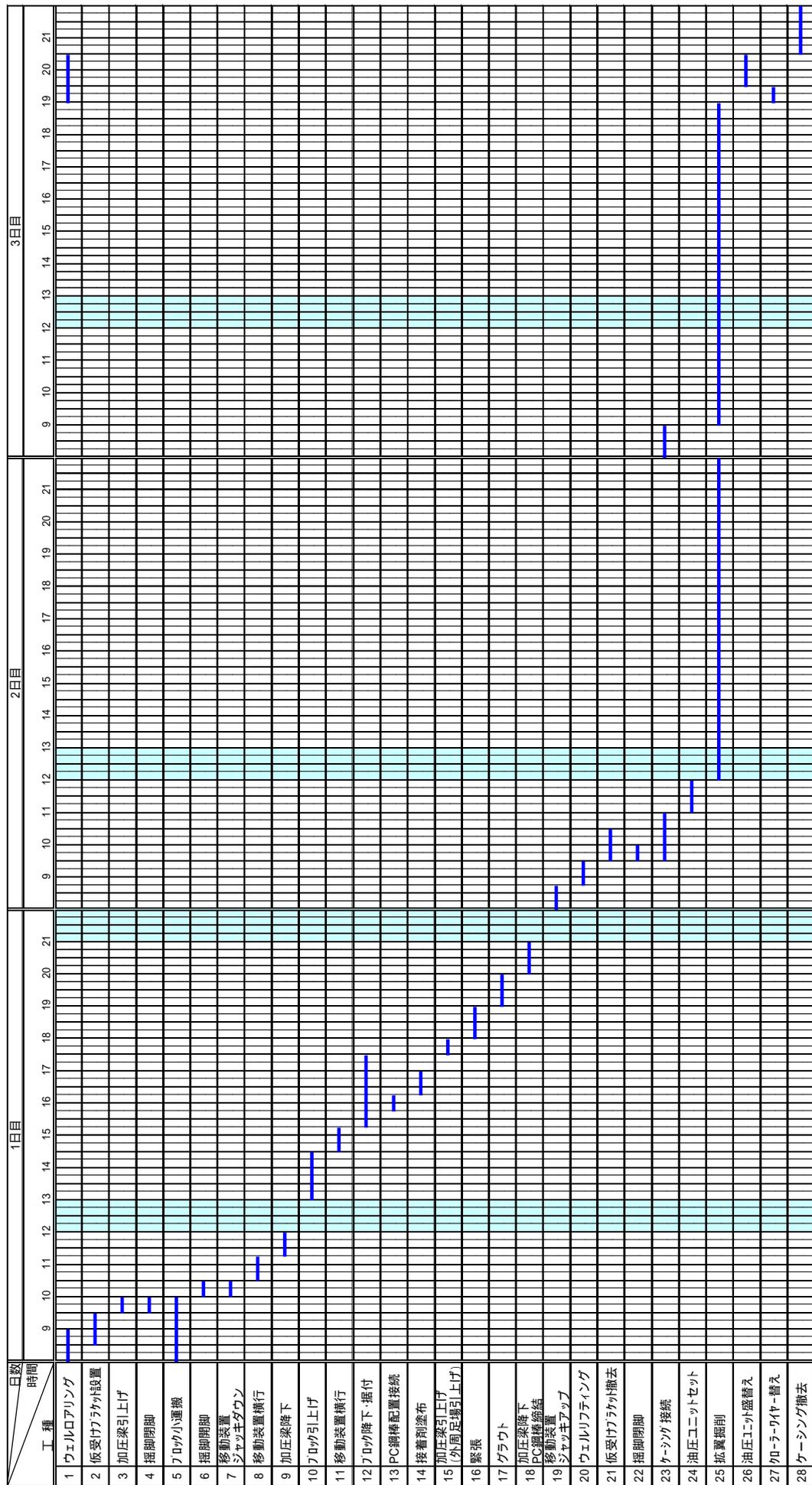


図-12 構築サイクル

6) 円環断面荷重試験

前項で述べたように、PC ウェル工法では支持層確認のため、「円環断面荷重試験」を実施する。これは、既往の試験結果をもとに算出される試験荷重と沈下量の関係から、支持層の判断をするものである。試験荷重に対する沈下量が基準値を満足した時点で、支持層に定着されたものとして沈設・圧入作業を完了する。

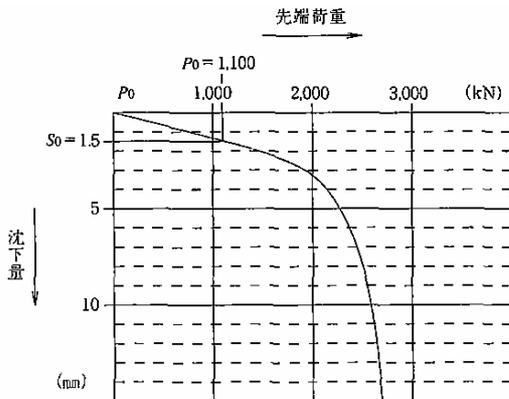


図-13 PC ウェル荷重～沈下関係図

図-13は、「PC ウェル杭の先端支持力に関する実験的研究」で行われた円環断面荷重試験の結果である。これから分かるように、沈下量が2.0mm程度までの範囲内において直線性を示しているため、この範囲内は良好な支持層と判断する。実際の現場管理においては、安全を考慮して、基準荷重1,100kN、沈下量1.5mmと設定する。1サイクルの載荷時間は、杭の載荷試験を参考に20分とし、沈下量1.5mm以下を満足するまで載荷サイクルを繰り返していく。

今回の工事では、基準荷重にウェル断面比を乗じて算出したP=3,600kN(ジャッキ4台使用)を試験荷重として実施し、沈下量は載荷1サイクル目で最大0.2mmと良好な結果であった。

7) 軸方向鉄筋挿入

PRC ウェルの構造根幹を成す軸方向鉄筋は、ウェル本体の構築完了後に長尺鉄筋を一括で挿入する。挿入に先立ち、超遅延型モルタルをシース内に注入しておくことで、モルタルの確実な充填を図っている。

モルタルの注入では、鉄筋挿入時にモルタルのオーバーフローがないよう、流量計で注入量を管理した。その際、理論注入量よりも少なめに注入するよう注意した。

モルタルには、プレミックスタイプのマルチモルタル(秦野製作所)を使用したが、収縮性があるため、翌日に追いつしをする必要がある。この追いつしには、無収縮性モルタルを使用することが望ましいと考える。実際には、速硬性ポリマーセメントモルタルを使用した。また、マルチモルタルは普通セメントを使用しているため、現在では、塩化物量の規格を満足することが難しい状況である。この件と、材料の分離傾向があったことを踏まえて、高炉セメントの使用など配合の見直しをすることを提案する。

鉄筋の挿入は、3本を同時におこなうことで施工時間の短縮を図った。1日の施工本数は、50本強であった。

表-3 マルチモルタル配合表 (1.0m³当り)

W/C (%)	水 (kg)	普通セメント (kg)	細骨材 玄海産硅砂 (kg)	混和剤 フローリックGS (kg)	遅延剤 ポリリス No89 (kg)
45.0	450.7	1001.6	601.6	10.0	2.2

注1;セメント、細骨材、混和剤がプレミックス

注2 ;J14 ロートで5～12秒、6時間経過後も同等の流動性を保つこと



写真-15 軸方向鉄筋挿入状況(右;先端キャップ)

8) コンタクトグラウト工

今回のような岩盤層で、刃先下先行掘削をおこなう施工の場合、ウェル側壁と地山(岩盤)との間に空隙ができる。そのため、地山の緩み防止と一体化を図ることを目的に、空隙にグラウトを注入するコンタクトグラウトを施工した。

本工事では、ウェル側壁に設けたグラウト注入孔(逆止弁付き)から、潜水土による直接注入方式を採用した。注入時期は、底板コンクリート打設後の養生期間におこなった。

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実施し、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。

表-4 コンタクトグラウト配合表

早強セメント (kg/m ³)	ベントナイト (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	σ ₂₈ (N/mm ²)
819	-	737	18.0

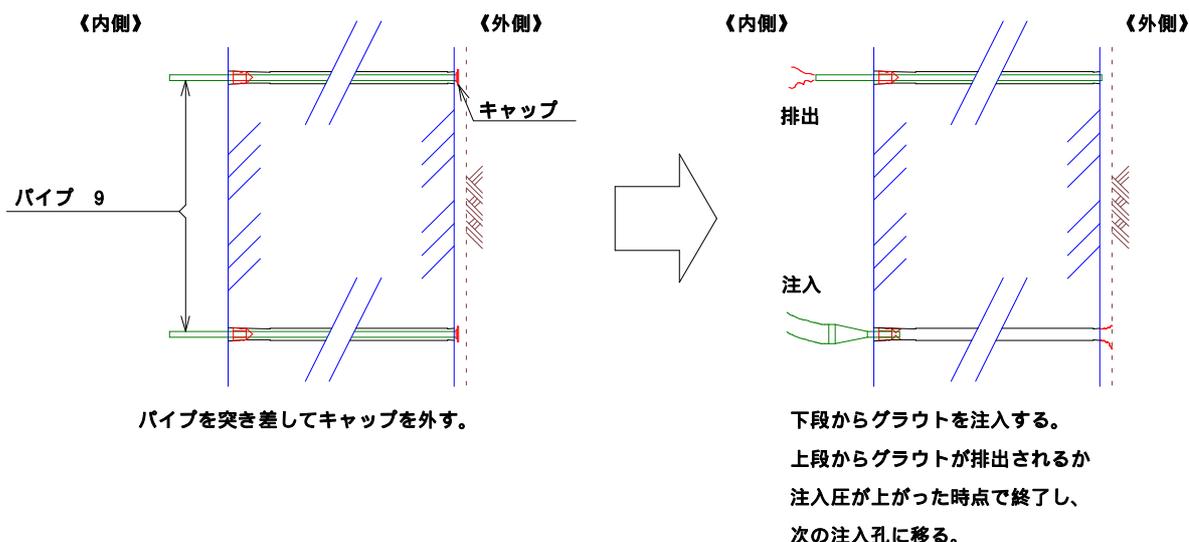


図-14 コンタクトグラウト施工要領図

4. まとめ

本工事は、PC ウェル工法の市場拡大を図るべく、従来の施工範囲を越えた新しい試みをおこなっている。橋梁基礎としては過去最大の規模を誇るだけでなく、中硬岩掘削という新しい施工方法を国内で初めて採用したものである。実施工をおこなっていく過程で、計画時には想定していなかった、いろいろな課題が明らかになった。今後、PC ウェル工法の市場を広げ、採算が取れる工事にしていくためにも、施工体制の確立、施工の効率化、コスト縮減など、今回、明らかになった課題・問題点への対応策を検討することが急務であると考える。

謝辞

本工事は、計画・設計から工事完了までに約3年間の歳月を要している。この間、御尽力、御指導頂いた関係各位に対して、この場を借りて深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 喜志恭博・濱田良幸: PC ウェル工法の品質管理と支持層確認方法, 基礎工, Vol.28, No.11, pp.41-44, 2000.11
- 2) 中井将博・濱田良幸・小暮明仁・小早川寛: リスク管理によるプレキャスト PRC ケーソンの施工例, コンクリート工学, Vol.40, No.3, pp.26-34, 2002.7



写真-16 PRC ウェル基礎完成