

九年橋新設歩道橋下部工の施工

— PPRC ウェルを使用した急速施工 —

砂子 洋一*1・杉澤 康友*2・大沼 興*3・植村 典生*4

九年橋歩道橋下部工工事は、新設される歩道橋下部工による河川の阻害率が問題となるため、本線既設橋脚に近接して構築する必要がある。また、河川内の施工となるため、施工期間は渇水期の11月～3月の5ヵ月間に限定される。そこで、プレキャスト部材を用いた急速施工・近接施工が可能なPPRCウェル工法およびプレキャスト橋脚が採用された。本工事の主要工事は、橋梁下部工6基（基礎部φ3000mm、橋脚部φ2000mm、梁部現場打ち）、仮設工（φ1500mmケーシング回転掘削工法、除去式アンカー工、他）である。本稿では、これまでのPPRCウェル工法の施工実績を分析し、事前に実施したリスクアセスメントによる施工リスクへの対応策とその効果、および本工事の特徴などについて報告する。

キーワード：プレキャスト部材、急速施工、PPRCウェル、プレキャスト橋脚、リスクアセスメント

1. はじめに

北上市は、近年、180社以上の企業が進出し、東北有数の流通・工業集積地に成長してきた。市の活性化のために進めてきた道路整備も一定の成果を上げてきたが、高度経済成長期に建設された橋梁をはじめとする道路構造物の老朽化およびそれに伴う維持管理コストの増大が新たな社会問題となっている。北上川の支川にあたる一級河川の和賀川に架かる九年橋も、昭和8年2月にコンクリート製の永久橋として整備され、以来市民の市街地への重要な交通網として活用されてきたが、建設後80年が経過し、交通量が多く市民生活を支える重要な橋梁であることから、修繕工事の実施が必要となった。九年橋の既設橋梁を写真-1に示す。工事は北上市の長寿命化修繕計画に基づき、本線橋の補修工事と歩道橋の新設工事が計画された。歩道橋の新設工事は、急速施工・近接施工が可能なPPRCウェル工法とプレキャスト橋脚が採用された。本稿では、プレキャスト部材を用いた下部工工事の概要および事前に実施したリスクアセスメントによる対応策とその効果について報告する。



写真 - 1 九年橋の既設橋梁

2. 工事概要

本工事の概要を以下に示す。また、位置図を図-1に、橋梁一般図を図-2に、構造一般図を図-3に示す。

工事名：九年橋歩道橋下部工工事

工事場所：岩手県北上市下鬼柳四地割地内

基礎：6基（PPRCウェルφ3000mm、 $h = 12.05 \sim 14.55$ m、各橋脚6～7ロット、仮設ロット含む）



*1 Youichi SUNAKO

(株)ピーエス三菱 土木本部
土木部 基礎グループ



*2 Yasutomo SUGISAWA

北上市 都市整備部
道路環境課 係長



*3 Kou OONUMA

北上市 都市整備部
道路環境課 主任



*4 Norio UEMURA

(株)ピーエス三菱 技術本部
技術部 開発技術グループ

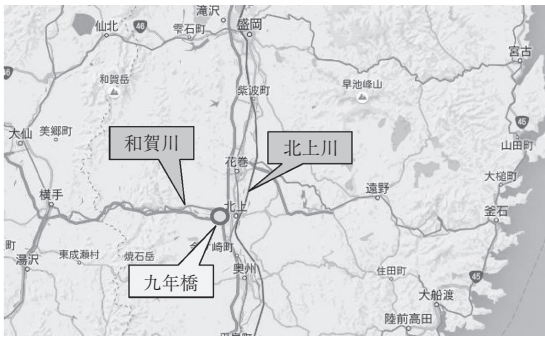


図 - 1 位置図

先行削孔工：18本（ケーシング回転掘削工法 $\phi 1500 \sim 2000 \text{ mm}$, $h = 9.08 \sim 11.80 \text{ m}$ ）
 仮設工：18箇所（グラウンドアンカー設置工・除去工 $\phi 12.7 \text{ mm} \times 10$, $h = 17.0 \sim 20.0 \text{ m}$, 他）

3. PPRC ウェル工法の概要

3.1 工法の概要

PPRC ウェル工法は、マッチキャスト工法により工場で製作されたプレキャストブロックを接着剤およびプレストレスによって緊結し、内部をハンマーグラブなどで掘削しながら、グラウンドアンカーの反力により圧入沈設する工法である。施工状況を写真 - 2 に示す。構造は、PC 構造体と PPRC 構造体（プレキャストプレストレスト鉄筋コンクリート構造）がある。PC 構造体は、部材接合面に導入された $2.0 \sim 8.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 程度のプレストレスと PC 鋼材によって外力に抵抗する構造のため、施工スピードが速く、コストが低減できる。しかし PC 構造は、ひび割れが生じるまでは、全断面が有効に働くが、一端ひび割れが発生してしまうと圧縮側と引張側との応力分布が急変し、PC 鋼材へ大きな引張荷重が発生してしまうため近年橋梁への適用は控えられ、主に、下水道の立坑や上水道の集水井戸などに適用されている。阪神大震災以降の耐震設計では、大地震に対し構造物の降伏以降のじん性が重要な

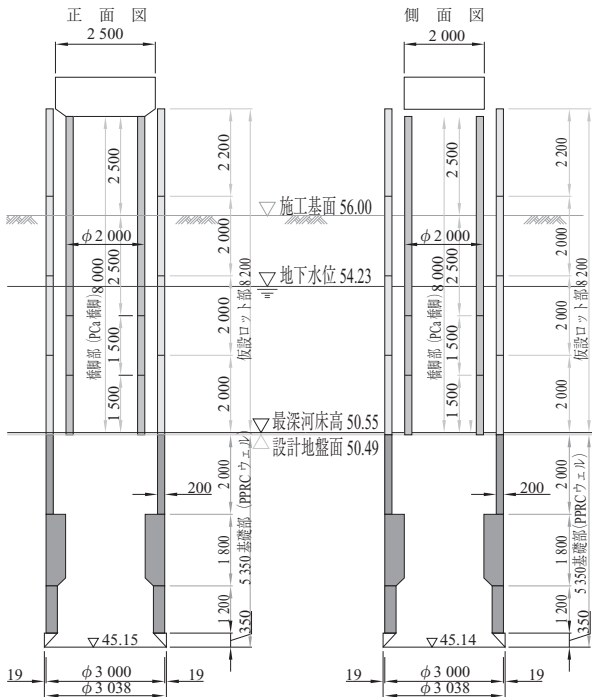


図 - 3 構造一般図



写真 - 2 施工状況

橋脚：6基（プレキャスト橋脚 $\phi 2000 \text{ mm}$, $h = 7.8 \sim 8.2 \text{ m}$, 各橋脚4ロット）

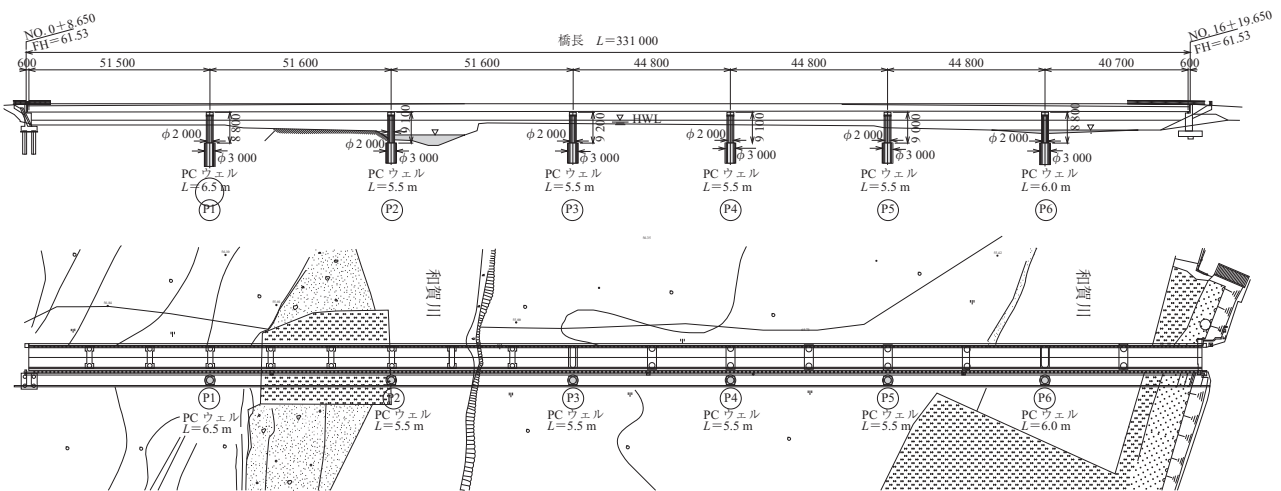


図 - 2 橋梁一般図

り、終局状態に至るまでの高い変形性能が要求されるようになった。そこで圧入完了後、スパイラルシースで形成された側壁部のダクト内に異形棒鋼や高強度鉄筋を配置し、超遅延型無収縮鉄筋グラウト（以下、マルチモルタル）で定着することによりRC構造としての設計が可能となるPPRC構造が橋梁基礎で適用されるようになった。マルチモルタルは、軸方向鉄筋の挿入が可能な時間を確保するため、超遅延型としている。部材接合面のプレストレスは、軸方向鉄筋挿入による定着までの仮の接合となるため0.5～1.0 (N/mm²)程度導入する。PPRC ウェル工法の概要図を図-4に示す。また、近年の耐震設計に基づき、曲げ耐力の差を明確にするため、基礎本体と橋脚躯体の断面形状をφ3000mmからφ2000mmに変化させている。本工事では、設計地盤が施工基面より5m程度低いため、基礎部の構築にあたっては、仮設ロットを使用して所定の深度まで掘削圧入を行い、沈設完了後に仮設ロット内部に橋脚躯体を構築した。仮設ロットは、橋脚躯体構築後に撤去し、他橋脚へ転用するため、接合面にはコンクリート接着剤を使用せず、PC鋼棒によるプレストレスの導入のみで接合した。仮設ロットの接合に使用するPC鋼棒は、施工性を考慮し、ネジ山の間隔が大きいディビダーク鋼棒を使用した。

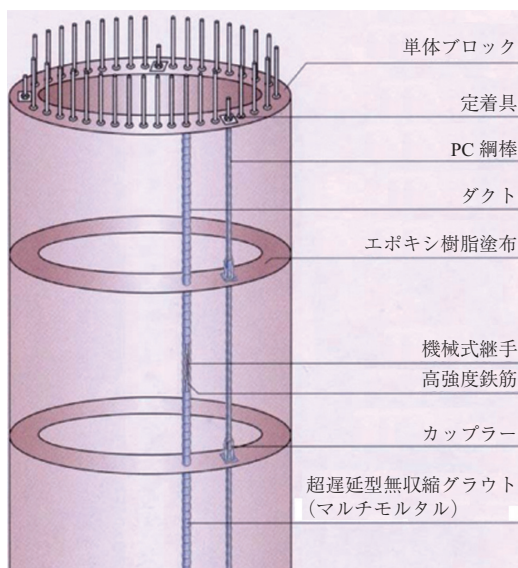


図 - 4 PPRC ウェル工法概要図

3.2 施工フロー

本工事における施工フローを図-5に、主要な工種の施工状況を写真-3に示す。



写真 - 3 主要な工種の施工状況

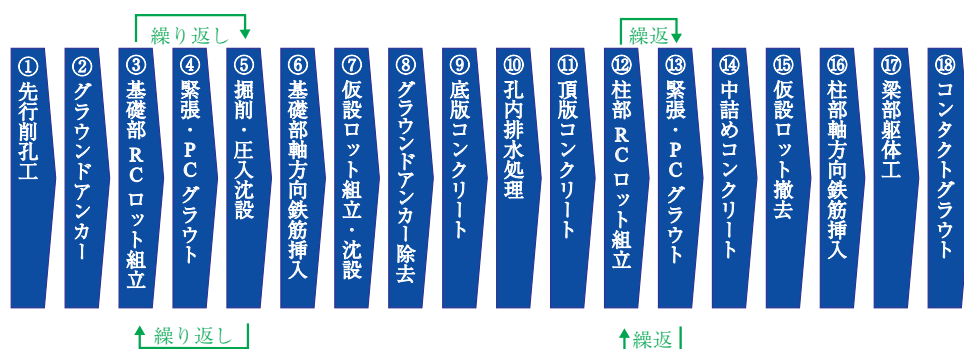


図 - 5 施工フロー

4. リスクアセスメントの実施

PPRC ウェル工法では、これまでの実績で得られた経験やノウハウを整理・蓄積してきた。本工事では、これらのデータを活用し、事前に想定されるリスクに対し、リスクアセスメントを実施した。この結果、「軸方向鉄筋挿入時の高止まり」および「玉石や木杭等の障害物による沈設不能や精度不良」の2点を重要なリスクとして評価した。これらの事象に対し、最小の費用で効果的に処理するための対応策を以下に示す。

4.1 重要なリスクへの対応

4.1.1 軸方向鉄筋挿入時の高止まり

(1) 掘削時のシース孔への土砂の混入

掘削時は、ガムテープによりシース孔を養生していたが、ガムテープの剥がれなどで土砂の混入が多く見られたため、スパイラルシースに装着可能なゴム製の専用蓋を製作し、シース孔を養生することに変更した。これによりシース孔への土砂の混入はまったく無くなった。シース孔の養生状況を写真 - 4 に示す。

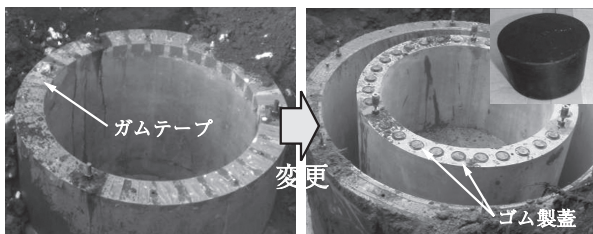


写真 - 4 シース孔の養生状況

(2) PC グラウトや接着剤のシース孔への流入

部材上端のスパイラルシース周囲に深さ 10 mm、幅 15 mm の溝を設置し、この溝内に高さ 20 mm、幅 10 mm のシースパッキンを配置した。これまでシースパッキンは、接着剤塗布完了後、シース孔の周囲に置くだけであったため、接着剤の塗布中にシース内に流入したり、部材組立て中に部材と接触することでシースパッキンがずれ、効果が発揮されていなかった。シース孔の周囲に溝を設置することで、これらの問題を解決し、シースパッキンのバックアップ効果も期待できるようになった。溝無でのシースパッキン設置状況を写真 - 5 に、溝有でのシースパッキン設置状況を写真 - 6 に示す。



写真 - 5 溝無でのシースパッキン設置状況

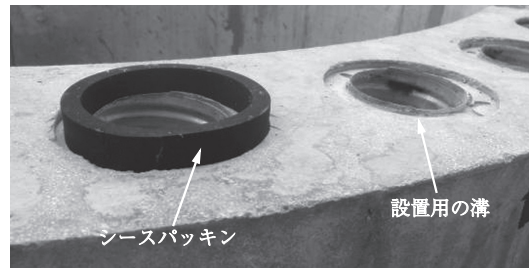


写真 - 6 溝有でのシースパッキン設置状況

(3) 部材製作時のシース孔の誤差

工場では製品出荷時、現場では組立て完了時に、硬質塩ビ管 (VU65) を用いて、シース孔全数の導通検査を実施した。シース孔の現場での導通検査状況を写真 - 7 に示す。

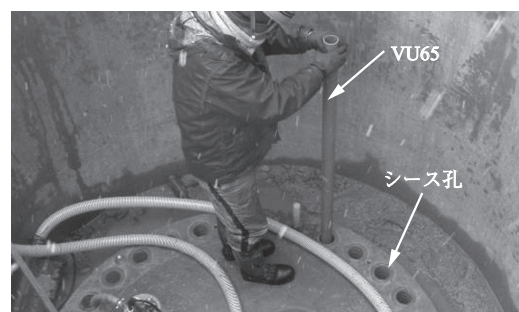


写真 - 7 現場での導通検査状況

(4) 軸方向鉄筋挿入時のシース孔の損傷

これまで、軸方向鉄筋先端に取り付ける保護キャップは、金属製を使用していたが、挿入中のシース内部の損傷を考慮し、金属製からゴム製へ変更した。先端保護キャップを写真 - 8 に示す。

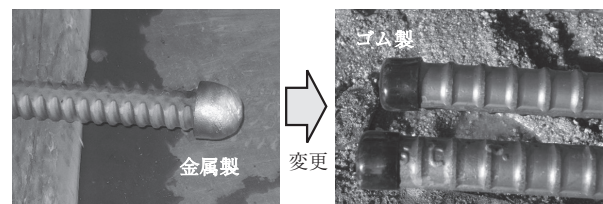


写真 - 8 先端保護キャップ

(5) 軸方向鉄筋機械継手部のシース内径とのクリアランス、機械継手部前後での鉄筋の折れ曲がり

運搬条件や施工の可否を検討し、機械継手を省略し、精密切断による長尺物の異形鉄筋に変更した。

(6) シース孔内への地下水流入によるマルチモルタルの材料分離

各部材の接合部には、壁の内面と外面に沿って水膨張ゴムを設置した。ゴムの厚みは、マッチキャスト面においては、5 mm 程度、その他の接合面においては、10 mm 程度を使用した。外観への配慮として接合面に目地を生じさせず、水膨張ゴムのバックアップ効果により止水性能を発揮

させるためには、接合面のプレストレスは、 $0.8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 程度導入する必要があるが、仮設ロットなどの部材厚が薄い箇所では、破損などの注意が必要である。また、漏水の可能性が高い鋼製刃口と RC ロットの接合部に対しては、シース内下端に 10 cm 程度のエポキシ樹脂系接着剤を充填した。さらに、軸方向鉄筋用シースの下端には、 10 cm 程度の砂溜まりの空間を設けた。部材接合面の水膨張ゴム設置状況を写真 - 9 に、鋼製刃口と RC ロットの接合部詳細図を図 - 6 に示す。

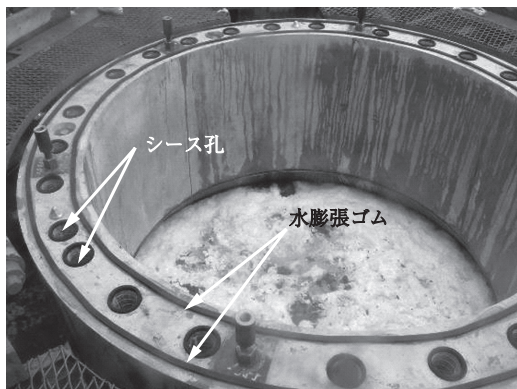


写真 - 9 水膨張ゴム設置状況

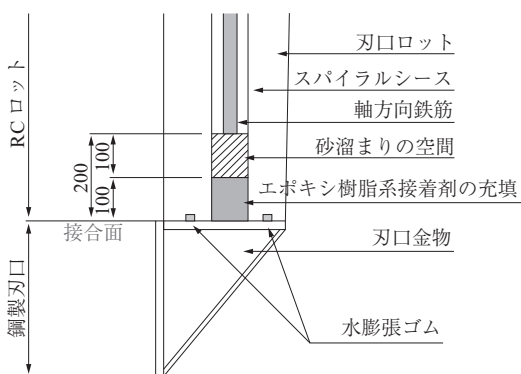


図 - 6 鋼製刃口と RC ロットの接合部詳細

4.1.2 玉石・障害物による沈設不能や精度不良

河川内施工のため、れき質土を想定し、 $\phi 800 \text{ mm}$ の二軸同軸式アースオーガによる先行削孔工が当初設計で組み込まれていたが、同工法の対応可能なれき径は、「杭基礎施工便覧」では、ケーシング径の $1/5$ ($\phi = 160 \text{ mm}$) 程度としている。これを超える径のれき、玉石、木杭等の障害物が埋設されていた場合、二軸同軸式アースオーガでは除去できないため、PPRC ウェルの沈設不能や精度不良が生じることが予想された。そこで各橋脚で、1 箇所 $\phi 1500 \text{ mm}$ のケーシング回転掘削工法により試験施工を行うこととした。試験施工は、所定の深度まで掘削を行い、れきの大きさや形状、玉石や木杭などの埋設状況を調査した。排土された玉石やれきは、 $\phi 400 \text{ mm}$ の径を超えるものが多数点在し、長さが 1.5 m を超える木材等も埋設されていた。この結果から、先行削孔工を二軸同軸式アースオーガからケーシング回転掘削工法による砂置換に変更し

た。また、先行削孔工の掘削範囲が、PPRC ウェル躯体から 10 cm 以上余掘りしているため、設計時に見込んだ基礎前面の水平方向の地盤抵抗（地盤反力係数： kH ）が低下する。このため、PPRC ウェル沈設完了後に、設計時の水平方向の地盤抵抗を満足するよう基礎前面へのコンタクトグラウトを実施した。ケーシング回転掘削工法による試験施工結果を写真 - 10 に、先行削孔工変更計画図を図 - 7 に示す。



写真 - 10 ケーシング回転掘削工法による試験施工結果

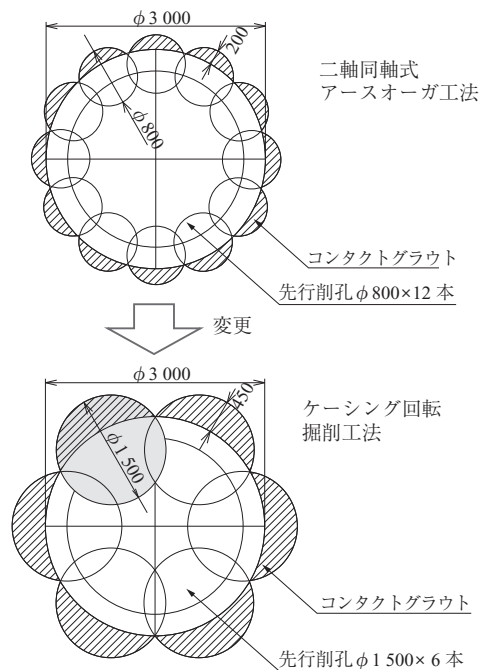


図 - 7 先行削孔工変更計画図

4.2 対応策の効果

4.2.1 軸方向鉄筋挿入時の高止まり

軸方向鉄筋挿入前に、シース孔内部の確認を行ったが、地下水の進入はまったく確認されなかった。また、各シース孔で軸方向鉄筋の挿入長を事前に計測したが、所定の挿入長が確保されていた。このような確認を実施した後、軸方向鉄筋の挿入を行い、所定の位置・深度に軸方向鉄筋の挿入を完了した。

4.2.2 玉石・障害物による沈設不能や精度不良

ケーシング回転掘削工法による砂置換を実施したため、想定を超えるれきや玉石、木杭などの障害物をPPRCウエルの沈設前に確実に除去することができた。これにより、PPRCウエル沈設時の駆体制御を容易に行うことができ、所定の位置に所要の精度で沈設を完了することができた。さらに、沈設速度は、当初より2倍程度向上し、先行削孔工も含めた沈設工程は、約20%短縮することができた。

4.3 その他のリスク対応とその効果

4.3.1 支持層への定着確認

PPRCウエル沈設完了時の確認は、「PCウエル工法 設計施工マニュアル-施工編-」の円環断面加圧地盤調査により確実に支持層に定着されたことを確認した。円環断面加圧地盤調査は、PPRCウエル沈設時に使用した沈下装置を利用してPPRCウエルの円環断面に加圧することにより「荷重～沈下関係」を求め、刃先の地盤の性状を調査するものである。この手法は、円環断面加圧地盤調査より実測される荷重～沈下関係と既往実験結果より得られた荷重～沈下関係を比較し、これが基準値を満足すれば、PPRCウエルは所定の地盤に定着されたものとして沈設作業を完了するものである。試験は、既往の試験結果より基準荷重 $P_0 = 1100 \text{ kN}$ 、沈下量 $S_0 = 1.5 \text{ mm}$ を実施工におけるPPRCウエルの周長に合わせて補正した。また、加圧時間は1サイクル20分とし、1サイクルの沈下量が $S \leq 1.5 \text{ mm}$ となった時点で試験を完了するものとする。加圧荷重の算出結果と円環断面加圧地盤調査試験結果を表-1に、試験状況を写真-11に示す。

表-1 加圧荷重の算出結果と試験結果

サイクル	荷重 (MPa)	測定時間 (Min)	沈下量 (mm)
1	48.4	1	0.0
	48.4	2	0.1
	48.8	3	0.1
	48.8	4	0.2
	48.8	5	0.2
	48.8	7	0.3
	48.8	9	0.4
	48.8	10	0.5
	48.8	12	0.6
	48.8	14	0.7
	48.8	16	0.8
	48.8	18	0.9
	48.8	20	1.0

$$P = P_0 \frac{D}{D_0} = 2051$$

$$D = \frac{Ac}{B \cdot \pi} = 2.744$$

ここに、

- P : 加圧荷重 (kN)
 - P_0 : 既往の実験結果の加圧荷重 (kN) $P_0 = 1100 \text{ (kN)}$
 - D : 刃先の図心径 (m)
 - Ac : 刃先端面積 (m²) $Ac = 2.534 \text{ (m}^2\text{)}$
 - B : 刃先の厚さ (m) $B = 0.294 \text{ (m)}$
 - D_0 : 既往の実験における刃先の図心径 (m) $D_0 = 1.472 \text{ (m)}$
- ジャッキ台数は3基なので、
 $700 \times 3 = 2100 \text{ (kN)} \geq 2051$ とする。

載荷装置使用ジャッキの受圧面積は、
 $A = 144.51 \text{ (cm}^2\text{)}$

よって、
 マノメータの示度は、
 $700 \div 144.51 = 4.844 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$
 $= 48.4 \text{ (MPa)}$



写真-11 円環断面加圧地盤調査試験状況

4.3.2 練混ぜ水の温度管理

寒冷地における冬期施工のため、グラウトに使用する練混ぜ水は、前日から1m³のポリ容器2台に電熱ヒーターを用いて加熱し、注入前のグラウト温度が15℃以上かつ30℃以下となるよう温度管理を行った。また、グラウト注入後の保温養生は、シース孔表面を養生シートで囲い、練炭などにより適切に行った。練混ぜ水の温度管理状況を

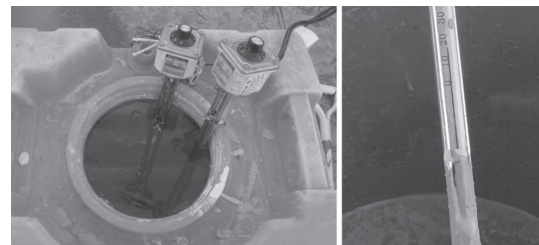


写真-12 練混ぜ水の温度管理状況

写真-12に示す。

4.3.3 PC鋼棒の接続不良防止

RCロット組立て時のPC鋼棒の接続不良を防止するため、部材接続部にワンランク大きい径のカプラーシースを使用した。これに伴い一般シースの径もランクアップさせた。これにより、カプラーとカプラーシースの間に余裕空間ができ、鋼棒接続時の誤差修正を可能とした。使用したナットの形状寸法表を表-2に、シースの形状寸法表を表-3に、部材接続部でのPC鋼棒接続不良の例を写真

表-2 ナットの形状寸法表

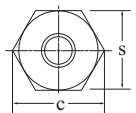
形状	鋼棒呼び名	ねじの呼び	二面幅 (s) mm	対角距離 (e) mm
	26 mm	M27×2.0	50	57.7
	29 mm	M30×2.0	54	62.4
	32 mm	M33×2.0	58	67.0

表-3 シースの形状寸法表

PC鋼棒種類	カプラーシース (mm)		一般部シース内径 (mm)
	内径	長さ	外径
φ26	60	min250	38
φ32	70 変更	min300	45 変更
φ36	80 ↓	min350	48 ↓
φ40	85	min400	52



写真 - 13 PC 鋼棒接続不良の例

- 13 に示す。

4.3.4 刃口ロット部の PC 鋼棒の鉛直精度の確保

鋼製刃口と刃口ロットは、PC 鋼棒により現場で接合されるが、刃口ロットは、PPRC ウェルの第 1 ロットであり、この部分の PC 鋼棒の鉛直精度が、その後接続される RC ロットに多大な影響を与える。場合によっては、接続不能となる。そこで、鋼製刃口製作時にあらかじめナットホルダーを鋼製刃口内部に設置し、ナットホルダー内部に PC 鋼棒のナットを配置した。また、PC 鋼棒のナットは、ナットホルダー内部でも廻りを防止する構造とした。これにより、PC 鋼棒のナットは鋼製刃口に溶接固定されていないため、刃口ロット接合時に所定の精度で PC 鋼棒の配置を容易に行う事が出来た。ナットホルダー詳細図を図 - 8 に示す。

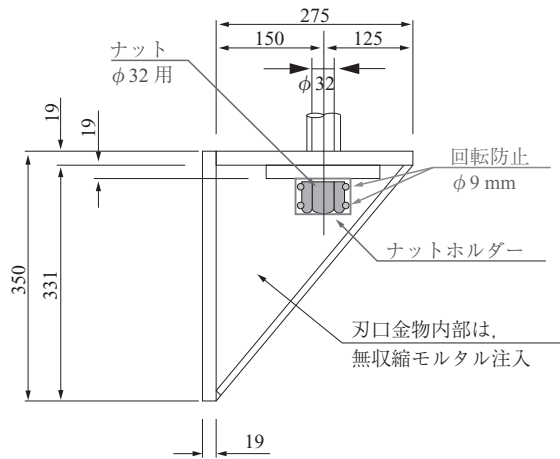


図 - 8 ナットホルダー詳細図

4.3.5 1 成分形エポキシ樹脂接着剤の使用

寒冷地における冬期施工のため、プレキャスト RC ロット接合用の接着剤は、ヒューマンエラーによる混練不足を防止するため、湿気硬化型の 1 成分形のエポキシ樹脂接着剤を使用した。

4.3.6 仮設ロット撤去時の検討

設計地盤面（設計河床高）が、施工基面から 5 m 程度低

い位置にあるため、基礎部と橋脚部の断面変化点をこの位置に設ける必要があった。そのため、仮設ロットを 4 ロット使用し、一端、PPRC ウェルを所定の位置まで沈設し、仮設ロットを土留めとして、その内部で橋脚ロットの組立てを行い、橋脚ロットの組立て完了後に仮設ロットを撤去する必要があった。しかし、最下端の仮設ロットは、地下水位以下になるため PC 鋼棒による部材の接合を解放するためのジャッキの設置は不可能であった。そこで、2 つの仮設ロット（2 m + 2 m）を地上であらかじめ PC 鋼棒で接合し、1 つのロット（4 m）の部材として、一括組立て・撤去を行った。仮設ロット（2 ロット）一括組立て状況を写真 - 14 に示す。



写真 - 14 仮設ロット（2 ロット）一括組立て状況

4.3.7 頂版鉄筋の組み立て検討

頂版コンクリートの鉄筋組立て時に PPRC ウェル孔内での施工空間の確保は困難であり、さらにスパイラルシースの配置精度と固定方法は非常に重要であった。そこで、鉄筋の組立ておよびスパイラルシースの配置は、専用の架台を製作し、地上で組立て、クレーンで所定の位置に吊り下ろすユニット施工を行った。ユニット施工状況を写真 - 15 に示す。

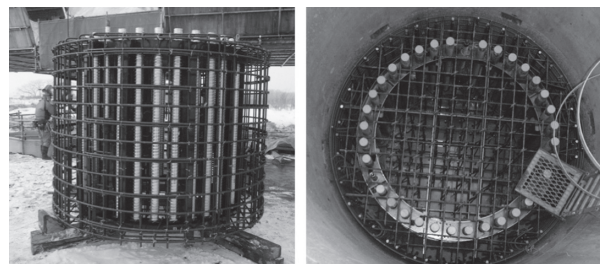


写真 - 15 ユニット施工状況

4.3.8 掘削時の部材の破損防止

掘削時のハンマーグラブの接触により、部材の破損を防止するため、ハンマーグラブの外縁部に硬質ゴム製の緩衝材を取り付けた。また、ハンマーグラブが最も接触する拡幅ロットの上端には破損防止鋼板を設置し、掘削を行うこととした。部材の破損防止対策を写真 - 16 に示す。

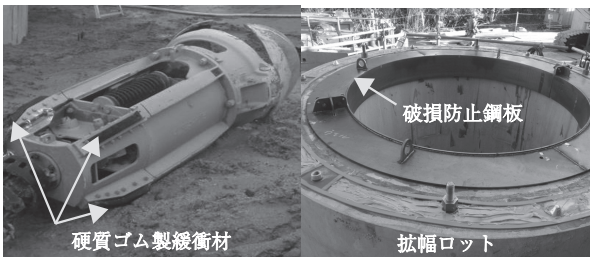


写真 - 16 部材の破損防止対策

4.3.9 グラウトミキサーの形状変更

軸方向鉄筋挿入時に使用するマルチモルタルは、骨材に珪砂を使用しているため、通常使用する角形ミキサーでは矩形の容器の中で攪拌羽が回転するため、攪拌羽の行き届かない四つ角に混練不足が発生した。このため、攪拌羽が容器内全体に及ぶように、グラウトミキサーの形状を角形から丸形に変更した。これにより、容器内の練混ぜ不良は、見られなくなった。グラウトミキサーの形状を写真 - 17 に示す。

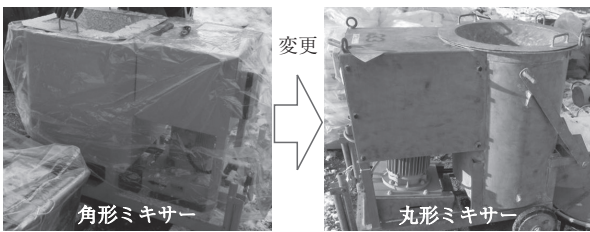


写真 - 17 グラウトミキサーの形状

5. 今後の課題

下部工の耐震設計では、地震時の設計における塑性化を考慮する領域を橋脚躯体に設ける必要があるが、PPRC ウェル工法では、施工性や経済性を重要視し、基礎と橋脚との境界面で軸方向主鉄筋の断面積のみを変化させるパイロシャフト構造をこれまで採用してきた。これらは、基礎と橋脚を同一断面とし、一部の主鉄筋は、基礎から橋脚まで貫通するものもあった。また、基礎の降伏を許容しないため、本工事では、橋脚躯体と基礎本体の断面形状を変えるとともに、それぞれの軸方向鉄筋も頂版コンクリートにより結合する構造とした。これにより基礎部と橋脚部双方の曲げ耐力の差を明確にし、塑性化を考慮する領域をより限定的なものとした。河川内の下部工は、設計地盤面が、施工地盤面よりかなり深い位置になることが多いため、塑性化を考慮する領域を上方に設けることは、修復時に非常に有効となる。しかし、仮設ロットの設置や撤去が必要となることや、狭隘な空間での頂版コンクリートや橋脚ロットの施工といった工期と工費に及ぼす影響も大きく、今後の課題である。仮設ロットを用いた橋脚部の施工状況を写真 - 18 に示す。



写真 - 18 橋脚部の施工状況

6. おわりに

本工事では、リスクアセスメントなどの管理手法によって具体的なリスクを事前に把握し、作業員を含めた関係者とのリスクコミュニケーションを通して、リスクの低減とトレードオフの最適化を行うことで、予定の利益を確保するとともに発注者の要求事項を満足することができた。また、安全・品質・工程の確保は大前提であり、コスト削減の追求は、創意工夫によって実現しなければならない。今後、PPRC ウェル工法が、市場の要求と価格競争力を両立させた工法に成長するよう本稿が参考になれば幸いである。



写真 - 19 歩道橋下部工施工完了状況

最後に本工事にあたり、ご指導・ご協力いただきました北上市都市整備部道路環境課の皆様、千代田工業株式会社の皆様、菱建基礎株式会社をはじめとする協力会社の皆様と関係各位に対し深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ 下部構造編，2012
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ 耐震設計編，2012
- 3) 日本道路協会：杭基礎施工便覧，2007
- 4) PC ウェル工法研究会：PC ウェル設計施工マニュアル・設計編，2011
- 5) PC ウェル工法研究会：PC ウェル設計施工マニュアル・施工編，2011

【2015年12月24日受付】