

橋脚工事における生産性向上に関する施工事例 —北陸新幹線、芦原温泉駅高架橋他 北陸新幹線、坂井高架橋—

神崎恵三* 堀田謙一** 待寺秀寿** 守田茂展*** 渡樹希也** 西行和****

橋脚下部工などの明かり構造物は、従来から施工方法があまり変わっておらず、他工種と比べて生産性が低い工種といわれている。

今回、北陸新幹線高架橋工事の一部の橋脚において、型枠を工夫することにより、1回に打設するコンクリートのリフト高さを従来の5m程度から高くすることで、生産性向上の取組みを行った。施工した3種類の型枠についての工法説明や組み立て方法、及び締固めの工夫について述べるとともに、従来工法との品質や出来栄の違い、工程短縮などについて検証を行ったので、これらを報告する。

キーワード：CF工法、高剛性型枠、生産性向上

1. はじめに

現在施工中である北陸新幹線は金沢から敦賀間まで125kmの区間であり、2024年春に延伸開業予定ある。

このうち当社の施工区間は、福井高柳高架橋他（高崎起点415km746m～418km361m, L=2,615m）、坂井高架橋（高崎起点406km952m～429km465m, L=2,513m）、芦原温泉駅高架橋（高崎起点402km380m～403km772m, L=1,269m）である。

このうち、坂井高架橋と芦原温泉駅高架橋は当初から工期が厳しく、工程短縮が求められた。そこで、施工に手間と人力がかかる橋脚下部工の一部区間において、従来の木製型枠で1回の打ち込みあたりリフト高さ5m程度の打設サイクルを、新工法や高剛性の型枠を採用して5m以上のサイクルとすることにより、工程短縮を図ることとした。

二つの工事の主な概要をTable 1に示す。この工事で採用した3種類の工法について説明する。

Table 1 工事概要

| 工事名 | 基礎型式 | 橋梁型式 |
|---------------------|--------------------------------|---|
| 北陸新幹線、坂井高架橋 | オープンケーソン基礎 5基。 場所打杭 552本 | ラーメン高架橋 33連(6~3径間)。 RC橋脚 28基。 RC連結橋脚 2基。 RC馬桁橋脚 4基。 RC場所打T桁橋 57連(L=20~8m) |
| 北陸新幹線、 芦原温泉駅高架橋他 | 場所打ち杭 (φ1.5m~1.3m) 427本 | 駅部ラーメン高架橋5連(6~4径間) 312m。 RC橋脚 33基。 RC場所打T桁橋(L=20~8m) 20基。 PCT桁 4主桁(L=30~35m) 13基。 SRC桁 埋込桁 L=25m 1基。 PC箱桁 L=56m 1基 |

- * 本社 土木事業本部 プロジェクト技術部
- ** 北陸支店 土木部 北陸新幹線工事所
- *** 名古屋支店 土木事業部 土木部
- **** 北陸支店 土木部 信濃川左岸シールド作業所

2. CF（キャンバーフォーム）工法

2.1 概要と特徴

CF（キャンバーフォーム）工法（以下CF工法）による構造物の構築順序について説明する。まず、従来工法と同様、当該リフトの施工高さまで足場及び鉄筋を組み立てる。次に、親杭横矢板のように、約90cm間隔でH形鋼（H-100）を建て込む。H形鋼は下部コンクリートに固定するとともに、上部にて横つなぎアングルで互いに固定し、壁つなぎ治具にて外周の足場とも繋ぐ。セパレータは向かい合うH形鋼どうしに設置する。

コンクリート打ち込み時は、コンクリートの打上がり高さは90cm以下を基本とし、厚さ36mm×縦90cm×横90cmの専用せき板を1段ずつ建て込み、横鋼管と木製キャンバーを設置して固定するという作業を順次繰り返していく。なお、専用せき板は、通常の合板3枚をパネル化したもので、端部にはホゾ（凹凸）が施されている。型枠の剛性が高まるとともに、せき板設置にズレが生じにくい構造となっている（Fig.1, Photo.1）。

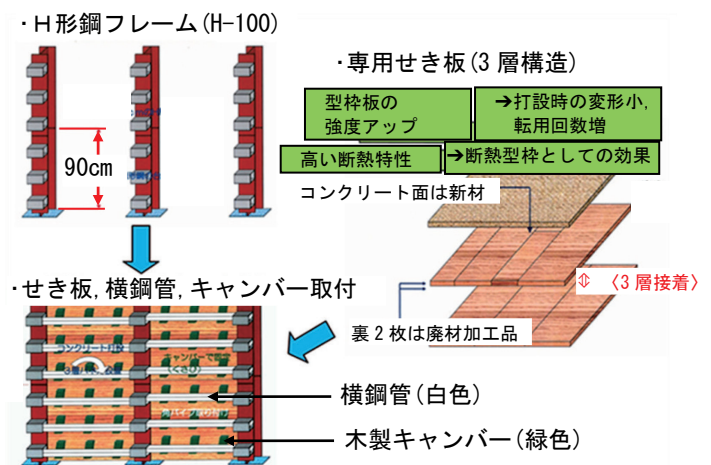


Fig.1 CF工法概念図

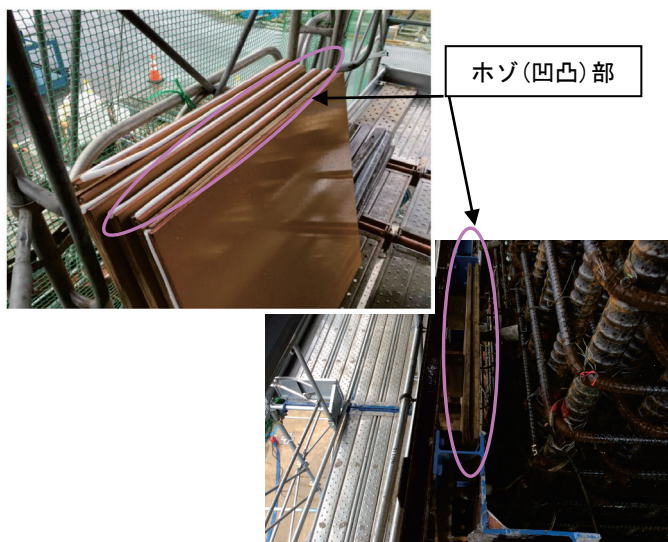


Photo. 1 専用せき板の外観とホゾ（凹凸）部

CF 工法の特徴を以下に示す。

①1 リフトの施工高さを大きくして工期短縮

H形鋼及び専用せき板の剛性が高いことから、1 リフトの施工高さを高くできるので、施工リフト数を低減し工期を短縮できる。

②打ち継ぎ部の減少と確実な締固めによる品質確保

打ち込みリフトを高くすることで、品質上弱部になりやすい打ち継ぎ部を減らすことができる。また、順次専用せき板を組み立てながら、横方向からコンクリートを打ち込むため、打ち込み高さが90cm以下に制御でき、打ち込みにもなう材料分離を抑制できる。締固め作業は、打ち込み箇所から行うため、常に作業員の目線で作業を行うことが可能であり、そのため確実に締固めることが可能である (Fig. 2)。

③普通作業員による施工が可能

CF 工法は、特別な技能や施工機械を必要としないことから、熟練の型枠工など必要なく、普通作業員で施工が可能である。

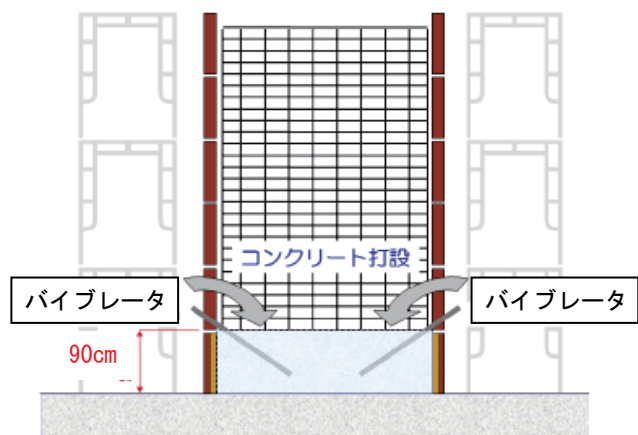


Fig. 2 コンクリート打ち込みと締固めイメージ図

2. 2 現場での適用事例

CF 工法は、北陸新幹線、芦原温泉駅高架橋の BLp6, p5 橋脚の 2 橋脚 (高さ: 柱部 9.9m, 梁部 2.0m) のうち、柱部 8.1m において適用した。

北陸新幹線高架橋の特徴として、柱鉄筋が過密に配置されていることが挙げられる。CF 工法の特徴として、横方向から打ち込みと締固めを行うため、打設ホースとパイプレータが鉄筋に支障となることが想定された。このため、事前に橋脚の 3 次元モデルを作成した (Fig. 3)。

次に、3 次元モデルに実際の打設ホースやパイプレータ挿入状況を重ね合わせてシミュレーションを行い、鉄筋との支障状況を確認することで、挿入位置を事前に検討した (Fig. 4, Fig. 5)。

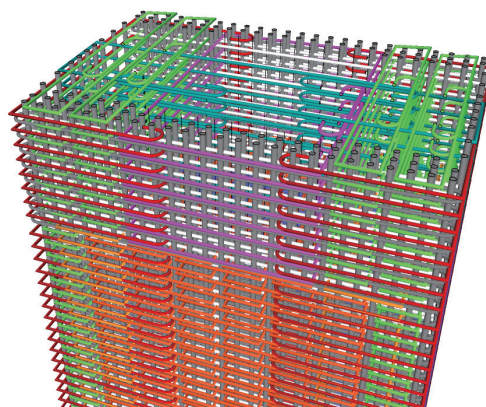


Fig. 3 橋脚鉄筋の 3 次元モデル図

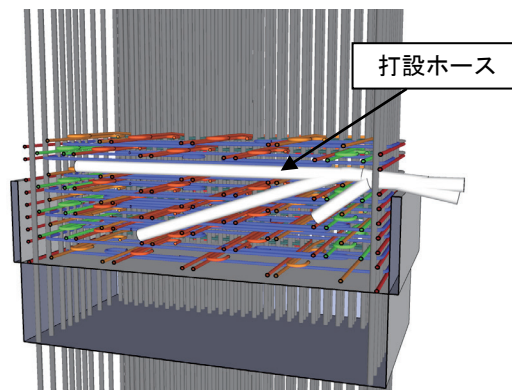


Fig. 4 打設ホース挿入シミュレーション図

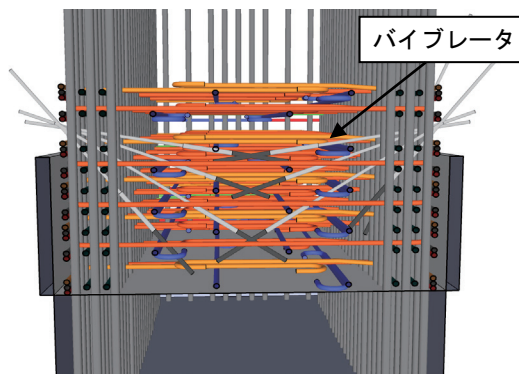


Fig. 5 パイプレータ挿入シミュレーション図

次に、コンクリート打ち込み手順について説明する。コンクリート打ち込み前日に、H形鋼を建て込んで固定し、最初の1段目（高さ90cm）の型枠を設置して横鋼管と木製キャンバーで固定した（Photo. 2）。全周型枠設置が終了したのちコンクリート打ち込みを開始した。打設ホースを足場横から打ち込み位置まで取り込み、事前の3次元シミュレーションで検討してマーキングした打設ホース挿入位置に打設ホースを挿入して打ち込みを行った（Photo. 3, Photo. 4）。締固め作業も同様に、事前の3次元シミュレーションで検討した位置からパイプレータを挿入し、挿入角度まで忠実に実践して締固めを行った（Photo. 5）。打設ホース挿入と締固め作業にあたり支障となる鉄筋を予め上下に移動させたため、作業完了後、速やかに鉄筋を元の位置に戻したのち、型枠設置作業に取り掛かった。

1段90cmの打ち込み時間は1時間を目安として打ち込み管理を行った（Photo. 6）。1段90cmの打ち込み完了後、2層目の型枠設置からコンクリート打ち込みと順次繰り返す、所定のリフト高さ（8.1m）まで打ち込みを行った。

コンクリート打ち込み中は、4隅のH形鋼の傾きを常時トランシットで計測し、コンクリート打ち込みによる型枠の傾きがないか確認を行った。

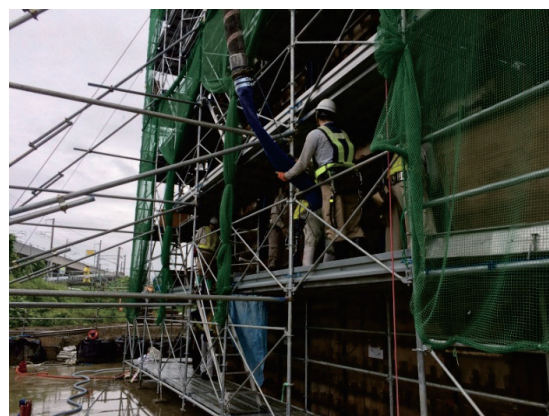


Photo. 4 コンクリート打ち込み状況

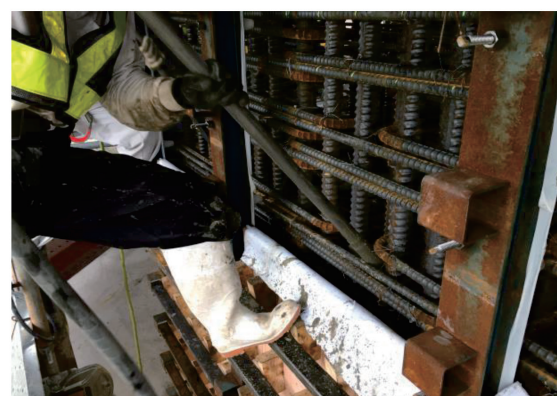


Photo. 5 締固め状況

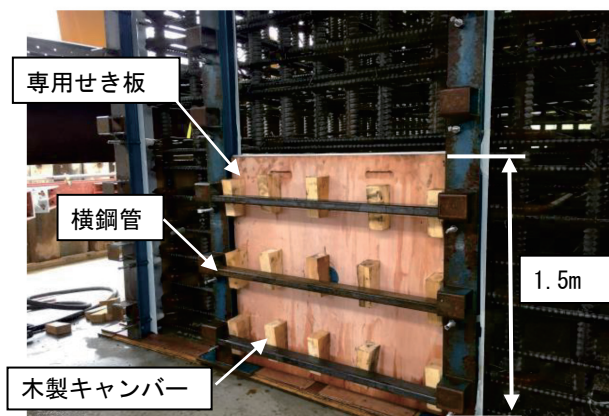


Photo. 2 型枠固定状況

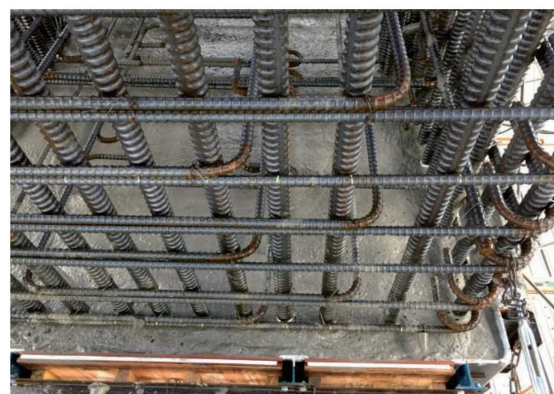


Photo. 6 1段目打ち込み完了状況

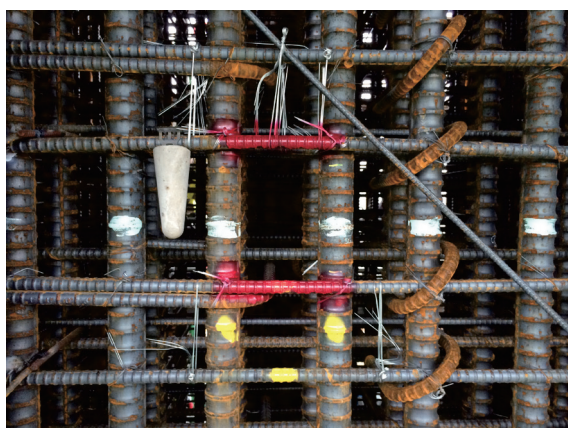


Photo. 3 打設ホース挿入位置マーキング

2. 3 品質と出来栄

CF工法の特徴として、90cmの施工リフト高さであることから、必然的に打ち込み時のコンクリートの落下高さも90cm以下となり、材料分離は生じにくい。また、締固め作業も打ち込みの真横から目視で確認できるので確実な締固めを行うことができた。特に、かぶり部はパイプレータを垂直に挿入して締固め、表層部を密実に仕上げることができた。出来栄としては、型枠の支柱として使用するH形鋼のフランジに型枠を挟み込むため、フランジの厚さ（8mm）がコンクリートに食い込んだ形となり、表面のH形鋼フランジ箇所が8mm凹んだ形状となる。セパレータ穴は支柱位置にあるため、支柱位置以外でコンクリート表面に現れることはない（Fig. 6, Photo. 7）。

また、支柱のH形鋼がコンクリート面に直接接し、H形鋼の錆などによるコンクリート表面の汚れが懸念されたため、予めH形鋼の表面にシートを貼り付け、汚れ防止対策とした (Photo. 8)。

仕上がり全景を示す (Photo. 9)。

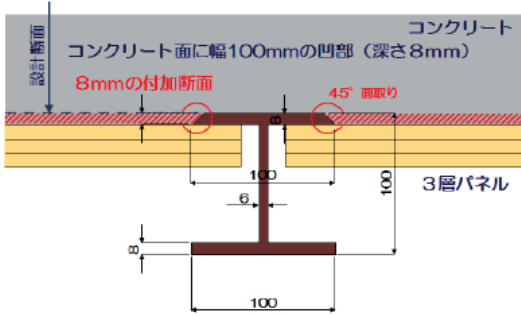


Fig. 6 支柱H形鋼と型枠取り付け断面図

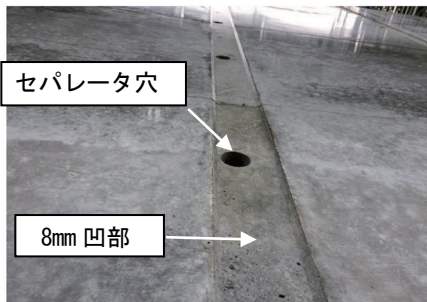


Photo. 7 支柱H形鋼部の仕上がり (凹部) 状況

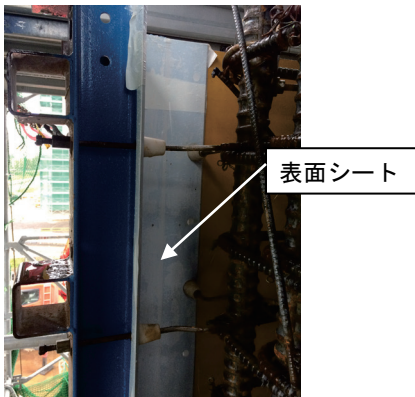


Photo. 8 H形鋼表面シート貼り付け状況



Photo. 9 仕上がり全景

3. 支柱用鋼製型枠 (商品名:ピアロック S)

3. 1 概要と特徴

支柱用鋼製型枠 (商品名:ピアロック S, 以下ピアロック S) は比較的小型の鋼製型枠で、幅が 1100~1600mm, 奥行が 1100~1600mm の寸法の範囲で自由に組み合わせることができる。

構造図を Fig. 7 に示す。

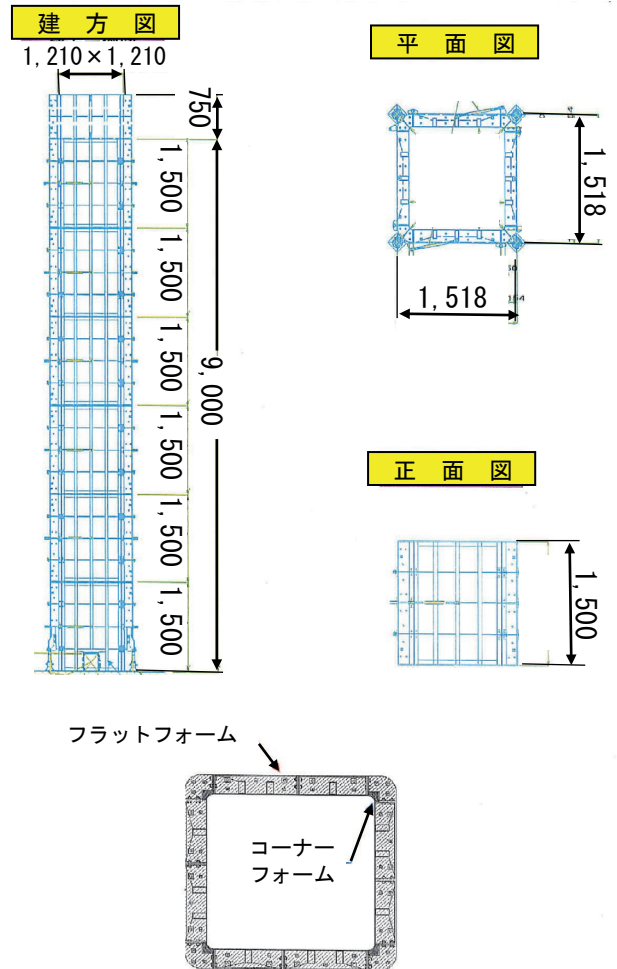


Fig. 7 ピアロック S 構造図 (1200×1200mm サイズ)

ピアロック S は、トンネルセントルの技術を生かした堅固な鋼製型枠で、コンクリートが接する面はステンレス鋼板 (t=4mm) を使用している。3 種類の高さ (H=1.5m, 0.75m, 0.5m) の型枠を製作し、組み合わせにより高さの自由度を増し、ボルトとナットを用いて組み立てる構造としている。

その他の特徴は以下のとおりである。

- ① 鋼管とリブが溶接一体型となっているため、取り扱いやメンテナンスが容易
- ② コーナー部はボルト・ダブリングピンのみで組み立てるため、脱枠が容易 (Photo. 17)
- ③ R 面木も鋼板で製作し、目地部は止水ゴムを施しノロ漏れを防止

④強靱な鋼製型枠構造のため、セパレータが不要

3. 2 現場での適用事例

ピアロック S は、北陸新幹線、坂井高架橋の第 1, 3 長屋 BL, 第 1, 2 河和田 BL, 第 1, 2 宮領 BL の 348 橋脚の柱部(高さ: 5.6m~9.2m, 寸法 1.2m×1.2m)において適用した。

剛性が高い型枠のため、型枠の組み立ては、予め 2 面(L型)を地組み(ユニット化)して吊り込み(Photo. 10), 垂直精度を確認したのち、ボルトとナットを用いて組み立てた(Photo. 11)。打ち込み時は、ポンプ車のブームを上から挿入してコンクリートを流し込み、内部の締めめは、4 本のパイプレータを鋼材で固定してクレーンで吊りながら(Photo. 12), かつ表面は型枠パイプレータで表層部分の締めめ作業を実施した(Photo. 13)。型枠の解体は、組み立て時と同様に、ユニット化した状態で行った。



Photo. 13 型枠締めめ状況(表面)



Photo. 10 地組み吊り込み状況

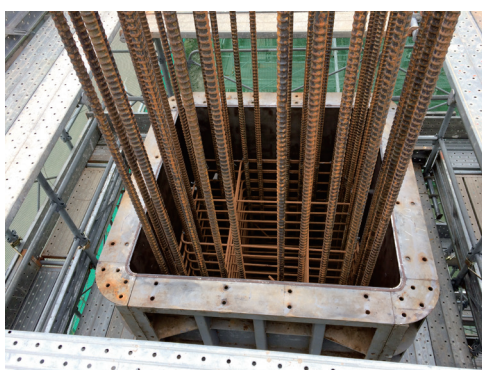


Photo. 11 型枠固定状況

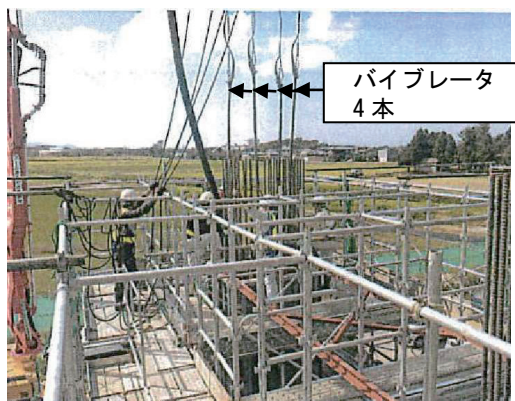


Photo. 12 型枠締めめ状況(内部)

3. 3 品質と出来栄

支柱用鋼製型枠は、セパレータを使用しなくても型枠の傾き、ねじれ、たわみが発生せず、P コン穴もない。型枠はステンレス製を使用しているため表面が良好で、目地部は止水性に優れているため砂すじが極めて少ない(Photo. 14)。また、R コーナー部の仕上がりも良好である(Photo. 15)。打ち継ぎ部がないため、一体性に優れ、耐久性に優れた構造物であるといえる。

仕上がり全景を Photo. 16 に示す。

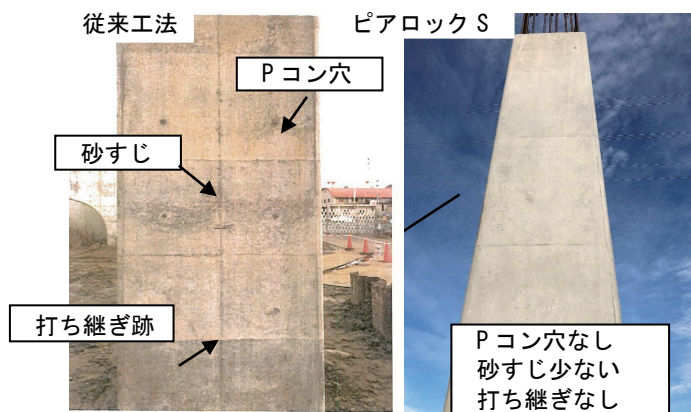


Photo. 14 支柱用鋼製型枠表面仕上がり状況

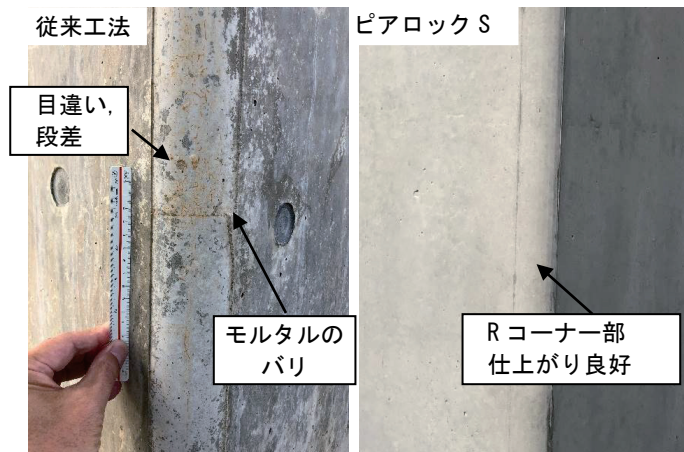


Photo. 15 支柱用鋼製型枠 R コーナー部仕上がり状況



Photo. 16 仕上がり全景

4. PRL-SW (ピアロック L-サンドウィッチ) 工法

4. 1 概要と特徴

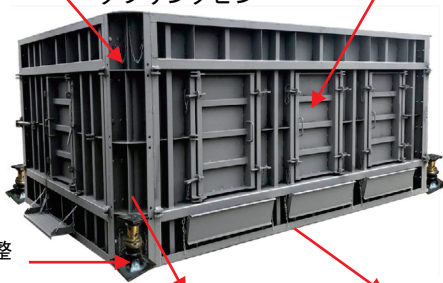
PRL-SW (ピアロック L-サンドウィッチ) 工法は、ピアロック S よりサイズの大きい大型鋼製型枠 (商品名: ピアロック L) (Photo. 17) を用いて、梁正面を両側からサンドウィッチのように組み合わせて設置することにより、現場にて少人数で容易、かつ短時間で型枠の組み立てができる工法として開発されたものである。

ボルト・ダブリングピンのみで組み立て脱枠が容易に可能



開閉式作業扉を設けて、コンクリート締固め作業が容易に可能

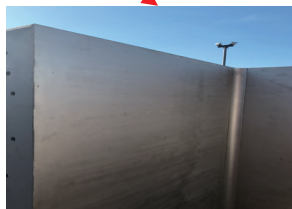
ダブリングピン



レベル調整ジャッキ



目地部に止水ゴム



ステンレス鋼板

Photo. 17 大型鋼製型枠 (ピアロック L)

PRL-SW 工法は、鋼製型枠をサンドウィッチのように両側から挟み込んで組み立てる。柱部と梁部を同時に組み立て、コンクリートも同時に打ち込む。従来は、柱部天端でコンクリートの打ち込みを止め、その後、梁部の鉄筋と型枠を組み立てたのち、梁部コンクリートを打ち込んでいたが、これら柱部と梁部の別工程を、同時に行うことを可能にした工法である。

側壁の R 部は木製で製作し、挟み込んだ正面の鋼製型枠と現地で組み合わせて固定する (Fig. 8)。

型枠の固定は、セパレータにシーボルトを取り付け、ナットにて固定する (Fig. 9, Photo. 18)。これにより型枠の剛性が高いため、セパレータ本数を最小限にすることを可能とした。

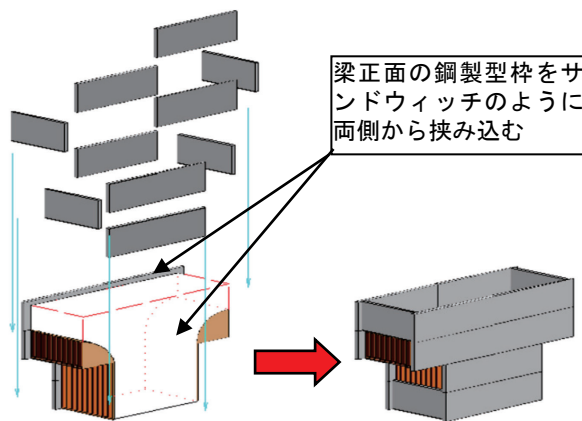


Fig. 8 PRL-SW 工法イメージ図

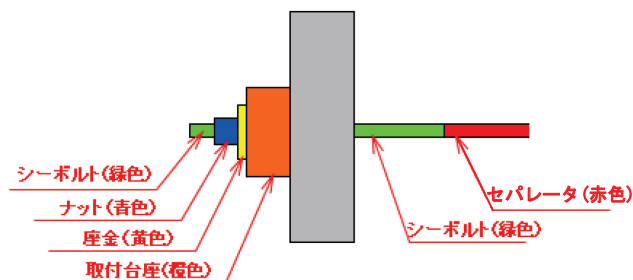


Fig. 9 シーボルト箇所詳細図



Photo. 18 シーボルト設置状況

4. 2 現場での適用事例

PRL-SW 工法は、北陸新幹線、坂井高架橋の第3宮領 BLP1 橋脚 (橋脚寸法 柱: 4000 mm × 2500 mm, 梁: 9300 mm × 2500 mm, 高さ: 8200 mm, 体積: 110m³) において適用した。これを柱部・梁部で分割することなく連続して組み立て、コンクリートの打ち込みも一回で行った。

対象橋脚の構造図を示す (Fig. 10) .

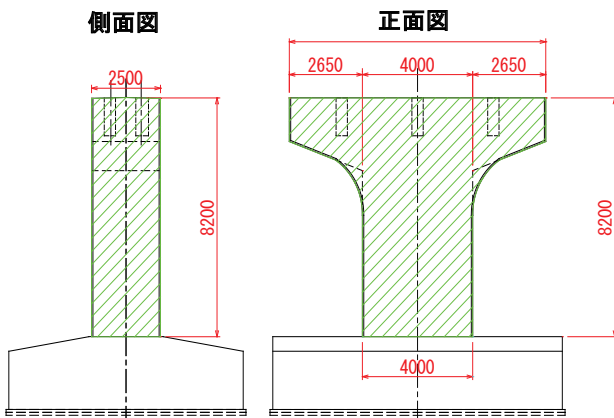


Fig. 10 PRL-SW 工法適用橋脚構造図

橋脚部は高さ方向に 2 分割した型枠をクレーンで吊り込んでボルトで固定し、梁部は 3 分割した型枠をクレーンで吊り込んで固定した. セパレータは、正面部は約 1 個/m²、側面部は約 0.2 個/m²で緊結した (Fig. 11) .

側面の R 型枠 (木製) 設置状況 (Photo. 19) と、梁天端の固定状況、及び支承部型枠設置完了状況 (Photo. 20) を示す.

コンクリートは、ポンプ車ブームを上梁天端から時間当たり 1m~1.2m の打設速度で打ち込み、締固めは、型枠正面に設けた作業扉にバイブレータを挿入して締固めを行った (Photo. 21) .

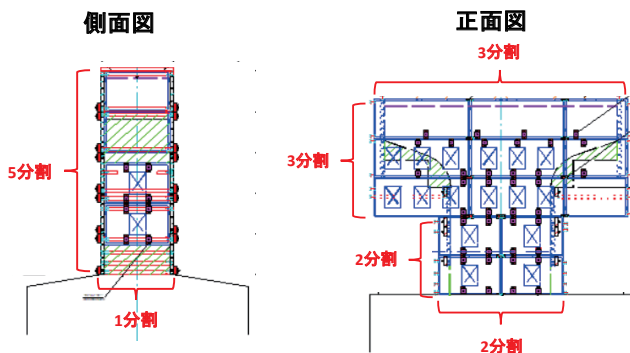


Fig. 11 型枠割付け図



Photo. 19 R 型枠設置状況



Photo. 20 梁天端型枠設置完了

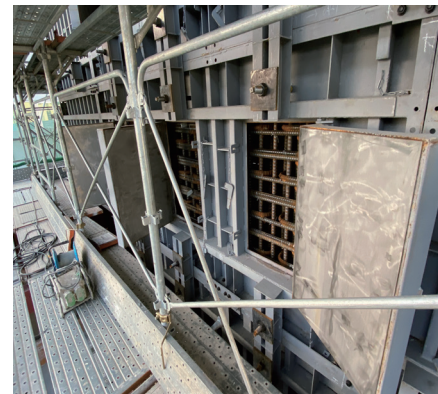


Photo. 21 バイブレータ挿入扉

4. 3 品質と出来栄

PRL-SW 工法の特長として、以下が挙げられる.

- ①コンクリート打設が 1 回だけなので打ち継ぎ部が発生しない
- ②強靱な型枠のため、木製型枠と比較するとサイズが大きくなり、型枠の継ぎ目を大幅に減少できる
- ③強靱な鋼製型枠のため、セパレータの本数を大幅に減少できる
- ④コンクリート面は厚さ 4mm のステンレスを採用しており、コンクリート表面は従来の木製型枠より色むらの無い綺麗な仕上がり面となる

本工法 (PRL-SW 工法) と従来の木製型枠 (同規模の橋脚) の出来映えを比較する (Photo. 22) .



Photo. 22 出来栄比較

5. まとめ

3工法の型枠についてまとめたものを示す (Table 2)。

どの工法も、打設リフト高さは8m以上あり、従来工法の5m程度より高くすることができた。打ち込みや締め固め方法は上方からや横方向から行うことで工夫を行っている。品質・出来栄も打ち継ぎ部やセパレータ穴の減少という点で優れており、かつコンクリート表面も密実に綺麗に仕上がっているといえる。

また、表中に工程短縮について記載した。あくまで、当該現場での従来工法との比較であるが、数日の短縮が実証された。施工数量が増えるとこの短縮日数も増えていくと考えられ、今後の施工実績につなげていきたいと考える。

謝辞

本工法を採用、施工するにあたり、鉄道・運輸機構大塚支社、及びあわら鉄道建設所の方に大変お世話になりました。ここに、深く感謝の意を表します。

Table 2 3工法比較表

| 工 法 | 開発業者 | 寸法・ 打設リフト高さ | 打ち込み方法 | 締め固め方法 | 品質・出来栄 | 工程短縮 | 特許 NETIS |
|----------------------------------|--------------|---|-----------------------------|--|---|--|-----------------------------|
| CF(キャンパフォーム) 工法 | 清都組 | 柱寸法:4.0m×2.6m 梁寸法:7.3m×2.6m 打設リフト高さ:8.1m | 横方向から打設 ホースを取り込み 打ち込む | 横方向からパイプ レータを挿入 | 打ち継ぎなし コンクリート表面良好 支柱H形鋼のフランジ 厚さ分凹が発生(発注 者に事前協議必要) | 従来工法と比較 して3日間短縮 (1橋脚当たり) | 特許取得済み NETIS:HK-180012-A |
| 支柱用鋼製型枠 (商品名:ピアロックS) | 森本工業 株式会社 | 柱寸法:1.2m×1.2m (1.1m×1.6m~1.1m ×1.6mまでの範囲適 用可) 打設リフト高さ:12m | 上方から打設 ホースを取り込み 打ち込む | 上方からパイプ レータをクレーンで 吊り下げて挿入 型枠パイプレータ 併用 | 打ち継ぎなし Pコン穴なし コンクリート表面良好 目地部は砂ずじが極め て少ない Rコーナー部の仕上が り良好 | 従来木製型枠 より12日間、他 の鋼製型枠より 2日間短縮(支 柱高さ8m、支柱 本数4本当たり) | 特許出願手続き中 |
| PRL-SW (ピアロックL-サンドウィッチ) 工法 | 森本工業 株式会社 | 柱寸法:4.0m×2.5m 梁寸法:9.3m×2.5m 打設リフト高さ:8.2m | 柱部:横方向 から 梁部:上方から | 柱部:挿入扉から 横方向にパイプ レータを挿入 梁部:上方からパ イプレータ挿入 | 打ち継ぎなし 型枠の継ぎ目を大幅に 減少 Pコン穴少ない コンクリート表面良好 | 従来工法(柱・ 梁分割施工)と 比較して8日間 短縮(1橋脚当 たり) | — |

Examples of construction for improvement of productivity in bridge pier construction: Hokuriku Shinkansen Line Awaraonsen Station Viaduct, etc. and Hokuriku Shinkansen Line Sakai Viaduct

Keizo KANZAKI, Kenichi HOTTA, Hidetoshi MACHIDERA, Shigenobu MORITA,
Jukiya WATARU, and Kazu SAIGYO

Abstract

Construction of structures in open space such as a bridge pier substructure has not changed much from conventional methods, which have low productivity compared to other types of construction. In this study, we made efforts to improve productivity in the construction of part of the piers of the elevated bridge of the Hokuriku Shinkansen. We devised the formwork by increasing the lift height of the concrete placed at one time from the conventional height of approximately 5 m. This report describes the construction and assembly methods of the three types of formwork constructed, discusses new compaction techniques, clarifies the differences in quality and workmanship from conventional construction methods, and verifies the process shortening effects.

Key words: camber form (CF) method, high rigidity formworks, productivity improvement