

橋脚工事における型枠の工夫による生産性向上

北陸新幹線高架橋工事の施工事例

神 崎 恵 三

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。ただ、昨今の建設業界は労働力不足や熟練技能者の高齢化の波が押し寄せており、従来の工法から脱却し、生産性向上を高めることが近々の課題である。

今回、北陸新幹線高架橋工事の一部の橋脚において、型枠とコンクリート打込み方法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立て方法、および打込みの工夫について述べるとともに、従来工法と出来栄の違いや工程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：高架橋, CF工法, 3次元シミュレーション, 高剛性型枠, 生産性向上

1. はじめに

2024年春に延伸開業予定である北陸新幹線は、金沢から敦賀間まで延長125kmであり、開業に向けて施工中である。このうち、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）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示す（表-1）。

次に、この工事で採用した3種類の工法について説明する。

2. CF（キャンバーフォーム）工法

(1) 概要と特徴

CF（キャンバーフォーム）工法（以下CF工法）は、順次専用の型枠を建て込みながらコンクリート打込みを行い、1日で5m以上のリフト高さの構造物を構築するものである。施工順序について説明する。まず、リフト高さ以上の高さまで足場およ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

表-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

ぐ。セパレータは向かい合うH形鋼どうしに設置する。

コンクリート打込み時は、1回の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、90cmピッチでコンクリートを打込む。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（図一1）。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。

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形鋼および専用せき板の剛性が高いことから、1回で打込む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することができる。

②打継ぎ部の減少と確実な締固めによる品質確保

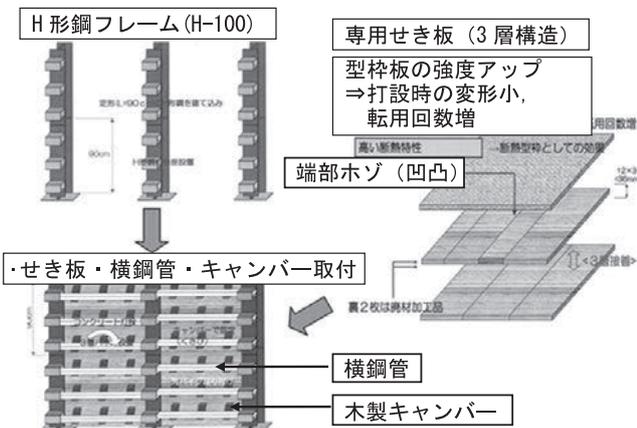
打込みリフトを高くすることで、品質上弱部になりやすい打継ぎ部を減らすことができる。また、順次専用せき板を組み立てながら、横方向からコンクリートを打込むため、打込み高さが90cm以下に制御でき、打込みにもなう材料分離を抑制できる。締固め作業は、打込み箇所から行うため、常に作業員の目線で作業を行うことが可能であり、そのため確実に締固めることが可能である（図一2）。

③普通作業員による施工が可能

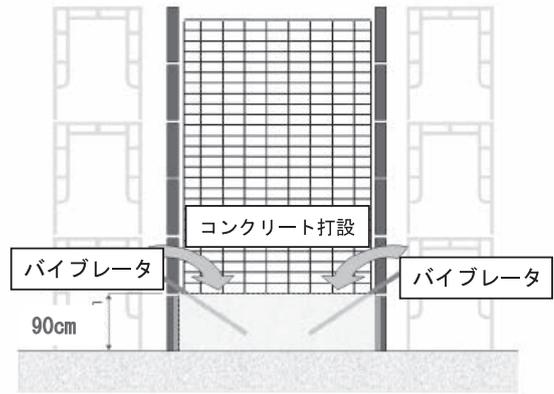
CF工法は、特別な技能や施工機械を必要としないことから、熟練の型枠工など必要なく、普通作業員で施工が可能である。

(2) 現場での適用事例

CF工法を、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。



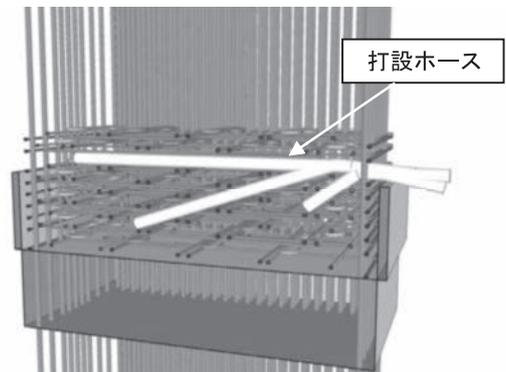
図一1 CF工法概念図



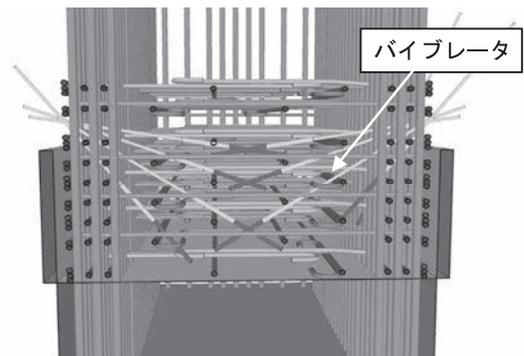
図一2 コンクリート打込みと締固めイメージ図

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、横方向から打込みと締固めを行うため、打設ホースとバイブレータ挿入時に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、3次元モデルに実際の打設ホースやバイブ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（図一3、4）。

コンクリート打込み手順は、コンクリート打込み前日に、H形鋼を建込んで固定し、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



図一3 打設ホース挿入シミュレーション図



図一4 バイブレータ挿入シミュレーション図

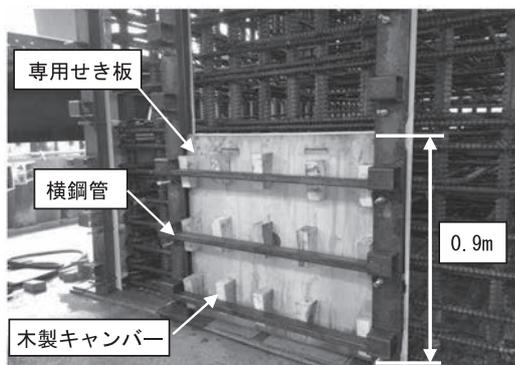
固定する(写真—1)。コンクリート打込みは、打設ホースを足場横から打込み位置まで取り込み、事前の3次元シミュレーションで検討してマーキングした打設ホース挿入位置に打設ホースを挿入して打込みを行った(写真—2)。締固め作業も同様に、事前の3次元シミュレーションで検討した位置からバイブレータを挿入し、挿入角度まで忠実に実践して締固めを行った。なお、打設ホース挿入と締固め作業にあたり支障となる鉄筋を予め上下に移動させたため、作業完了後、速やかに鉄筋を元の位置に戻したのち、型枠設置作業に取り掛かった。

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

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

(3) 品質と出来栄

CF工法の特徴として、90 cmの施工リフト高さであることから、必然的に打込み時のコンクリートの落下高さも90 cm以下となり、材料分離は生じにくい。



写真—1 型枠固定状況



写真—2 コンクリート打込み状況

また、締固め作業も打込みの真横から目視で確認できるので確実に締固めを行うことができた。特に、かぶり部はバイブ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もできた。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(8 mm)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8 mm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(図—5、写真—3)。また、支柱のH形鋼がコンクリート面に直接接するため、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。

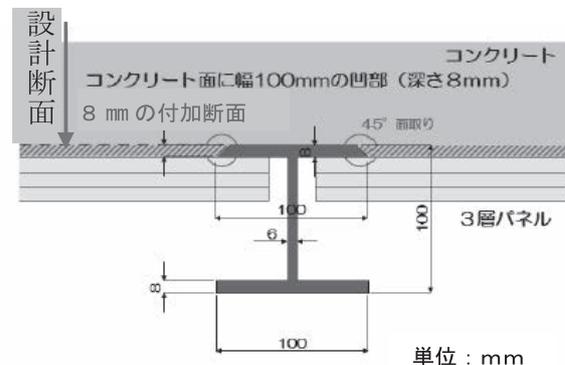
仕上がり全景を示す(写真—4)。

3. 支柱用鋼製型枠

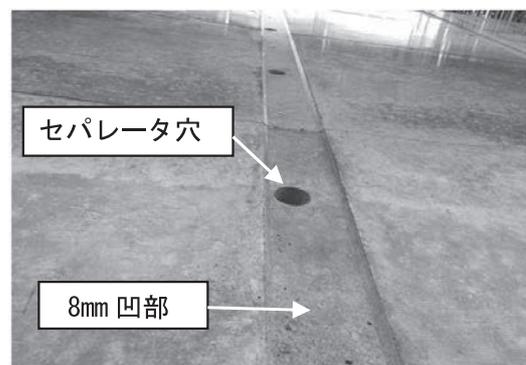
(1) 概要と特徴

支柱用鋼製型枠(ピアロック S, 以下本型枠という)は比較的小型の鋼製型枠で、幅が1,100 mm~1,600 mm、奥行が1,100 mm~1,600 mmの寸法の範囲で自由に組み合わせることができる。

構造図を示す(図—6)。



図—5 支柱H形鋼と型枠取り付け断面図



写真—3 支柱H形鋼部の仕上がり(凹部)状況



写真—4 仕上がり全景

- 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である。
- ②コーナー部はボルト・ダブリングピンのみで組立てるため、脱枠が容易である。
- ③R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する。
- ④強靱な鋼製型枠構造のため、セパレータが不要である。

(2) 現場での適用事例

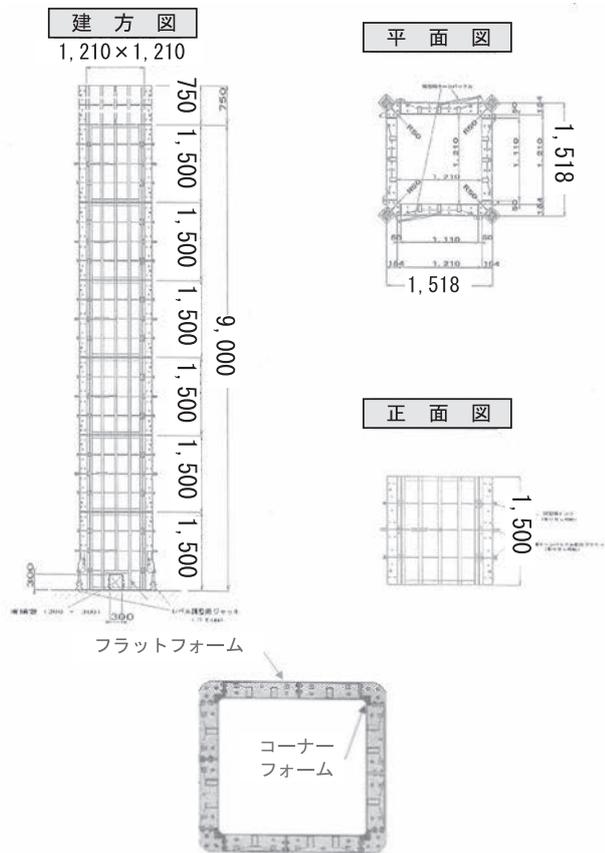
本型枠は、北陸新幹線、坂井高架橋の第1, 3長屋BL, 第1, 2河和田BL, 第1, 2宮領BLの348橋脚の柱部（高さ：5.6 m～9.2 m, 寸法 1.2 m×1.2 m）において適用した。

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、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。打込み時は、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、内部の締固めは、4本のバイブレータを鋼材で固定してクレーンで吊りながら（写真—5）、かつ表面は型枠バイブレータで表層部分の締固め作業を実施した。型枠の解体は、組立て時と同様にユニット化した状態で行った。

(3) 品質と出来栄え

本型枠は、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（写真—6）。また、Rコーナー部の仕上がりも良好である（写真—7）。打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。

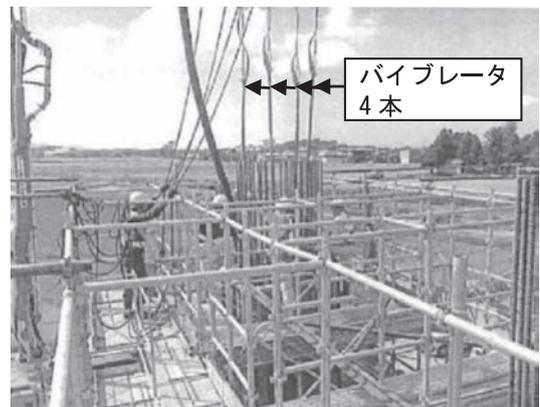
仕上がり全景を示す（写真—8）。



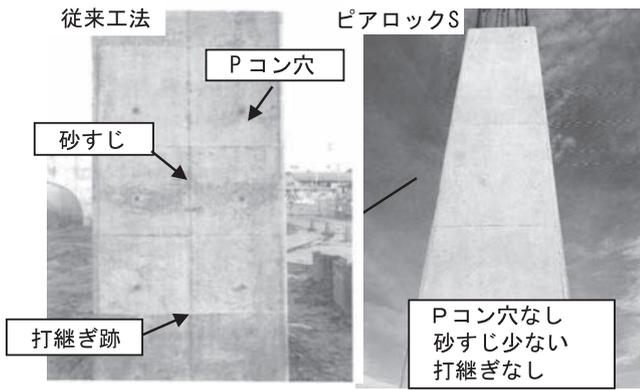
図—6 本型枠構造図 (1,200 × 1,200 サイズ)

本型枠は、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=4 mm）を使用している。3種類の高さ（H=1.5 m, 0.75 m, 0.5 m）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。

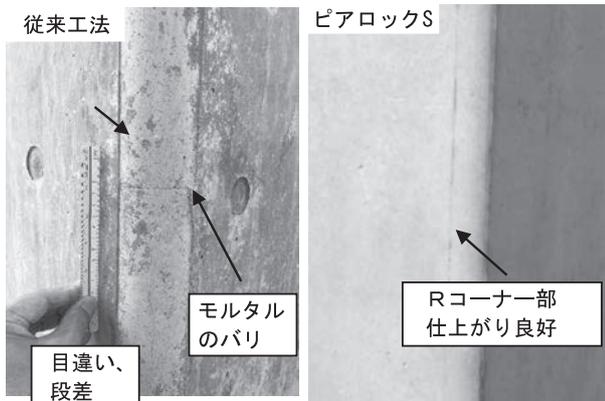
その他の特徴は以下のとおりである。



写真—5 型枠締固め状況



写真一六 支柱用鋼製型枠表面仕上がり状況



写真一七 支柱用鋼製型枠 R コーナー部仕上がり状況



写真一八 仕上がり全景

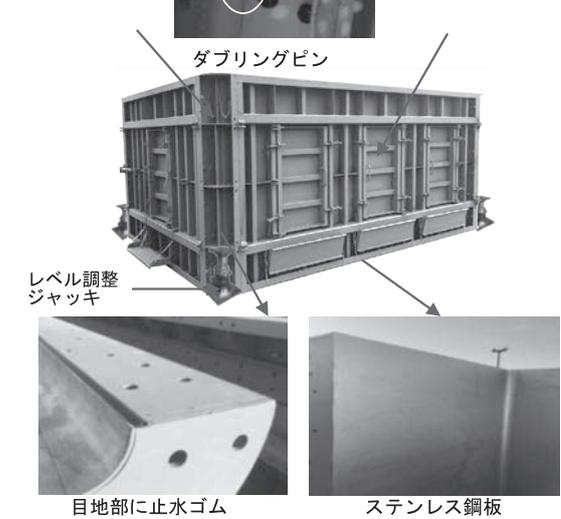
4. PRL-SW 工法

(1) 概要と特徴

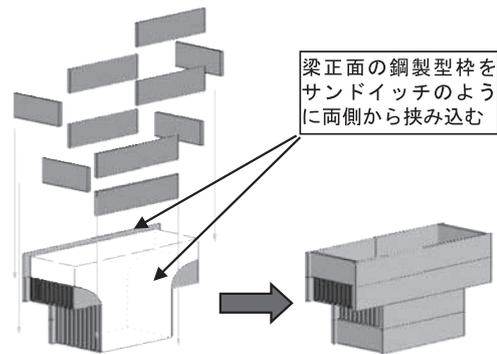
PRL-SW (ピアロック L-サンドウィッチ) 工法は、本型枠よりサイズの大きい大型鋼製型枠 (ピアロック L) (写真一九) を用いて、梁正面を両側からサンドイッチのように組み合わせて設置することにより、現場にて少人数で容易、かつ短時間で型枠の組立てができる工法として開発されたものである (図一七)。

PRL-SW 工法の特徴は以下のとおりである。

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



写真一九 大型鋼製型枠



図一七 PRL-SW 工法イメージ図

- ①従来は、柱部と梁部の境でコンクリートのリフト割りを行い、別工程としていたが、これらを同時に行うことを可能にし、工期短縮を可能にしたものである。
- ②梁曲線部は木製型枠で製作し、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。
- ③型枠の固定は、セパレータにシーボルトを取付け、ナットにて固定する (図一八)。鋼製型枠のため剛性が高いため、セパレータ本数を最小限にすることが可能である。

(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：4 m×2.5 m、梁：9.3 m×2.5 m、高さ：8.2 m、体積：110 m³) 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立て、コンクリートの打込みも1回で行った。

対象橋脚の構造図を示す (図一九)。

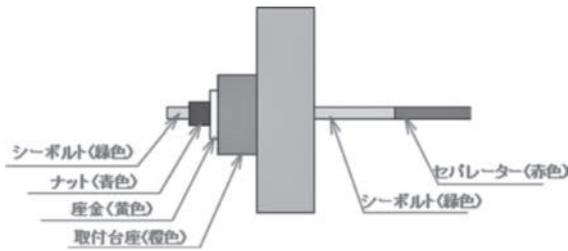


図-8 シーボルト箇所詳細図

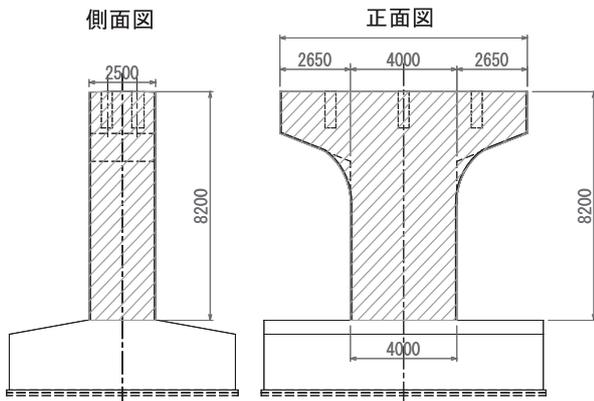


図-9 PRL-SW 工法適用橋脚構造図

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(図-10)。

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の打設速度で打込み、締固めは、型枠正面に設けた挿入扉にバイブレータを挿入して締固めを行った(写真-10)。

(3) 品質と出来栄

PRL-SW 工法の特徴として、コンクリート打設が1回だけなので打継ぎ部が発生しない。また、強靱な鋼製型枠のため、木製型枠と比較すると型枠サイズが大きくなり、型枠の継ぎ目を大幅に減少できるとともに、セパレータの本数を大幅に減少できる。コンクリー

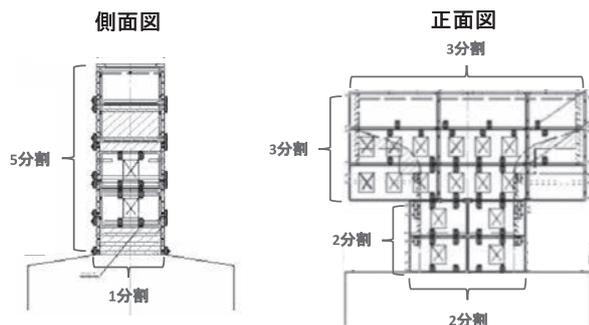


図-10 型枠割付け図

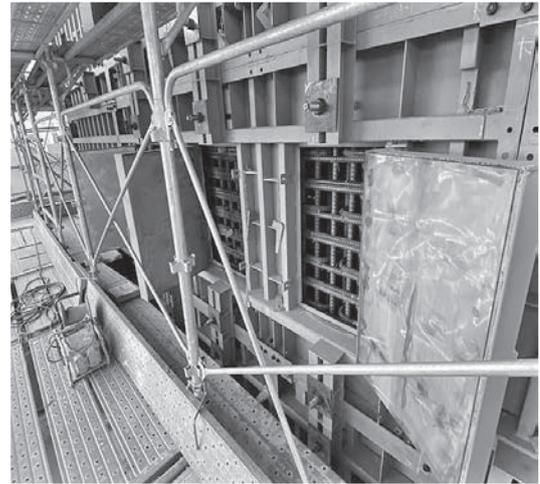


写真-10 バイブレータ挿入扉

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ことが挙げられる。

本工法(PRL-SW工法)と従来の木製型枠(同規模の橋脚)の出来栄を比較する(写真-11)。

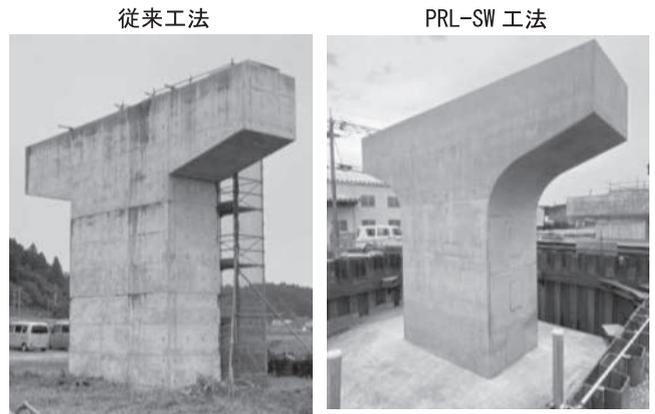


写真-11 出来栄比較

5. おわりに

3工法の型枠についてまとめたものを示す(表-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。打込みや締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その短縮日数も増えていくと考えられる。

表-2 3工法比較表

工 法	寸法・ 打設リフト高さ	打込み方法	締固め方法	品質・出来栄え	工程短縮
CF (キャンバーフォーム) 工法	柱寸法：4.0 m × 2.6 m 梁寸法：7.3 m × 2.6 m 打設リフト高さ：8.1 m	横方向から打設 ホースを取り込み 打込む	横方向からパイプ レータを挿入	打継ぎなし 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橋脚当り)
支柱用鋼製型枠	柱寸法：1.2 m × 1.2 m (1.1 m × 1.6 m ~ 1.1 m × 1.6 m までの範囲適 用可) 打設リフト高さ：12 m	上方から打設ホー スを取り込み打込 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 目地部は砂すじが極め 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、他の鋼製 型枠より2日短縮 (支柱高さ8m、 支柱本数4本当た り)
PRL-SW 工法	柱寸法：4.0 m × 2.5 m 梁寸法：9.3 m × 2.5 m 打設リフト高さ：8.2 m	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)

これらの工法が、高架橋のみならず、その他明かり
工事においても採用して施工実績を増やしていき、生
産性向上につなげていきたいと考える。

J|C|M|A



【筆者紹介】

神崎 恵三 (かなぎ きいぞう)

(株)熊谷組

土木事業本部 プロジェクト技術部

部長