

鵜住居川水門 PC カーテンウォールの施工 ～ 早期復興まちづくりに向けた工程短縮への取組 ～

伊藤 駿*1・柴田 真*2・緒方 徹*3・佐伯 英敬*4

本工事は東日本大震災の災害復旧工事であり、被災した岩手県釜石市鵜住居地区の鵜住居川河口部に津波対策として5径間の水門を新規に構築する工事である。施工箇所は鵜住居川河口部のため瀬替え工事が必要であり、全5径間を一期右岸側2径間、二期左岸側3径間の2回に分けて施工する計画であった。早期の復興まちづくりが求められるなか、水門の大部分を占めているカーテンウォール工の施工では工程の短縮が課題となった。この課題に対し、一期施工では当初の施工方法を見直し、カーテンウォール内空部の床版にPCaPC板を用いることで、内部支保工の削減、支保工材の回収と仮設開口のあと埋め作業の削減を図った。二期施工では、更なる工程短縮を目的とし、埋設型枠と大型鋼製型枠を使用して3径間並行施工を行った。前例の少ない埋設型枠を使用するにあたり、安全、品質、出来形の確保を前提条件として、施工管理方法を検討した。

本稿は、カーテンウォール工において埋設型枠を使用した施工結果に加え、早期復興まちづくりに向け、工程短縮を行い、施工を完了したカーテンウォール工事の概要を報告するものである。

キーワード：災害復旧工事、PCカーテンウォール、工程短縮、埋設型枠工法

1. はじめに

本工事で施工を行ったカーテンウォールとは、津波時および高潮時に鋼製ゲートと一体となり津波防護の機能を果たすために設置されるPC構造物である。津波時には水門の下部に位置するゲート部分が稼働し、津波の浸水を防ぐ構造となっている。カーテンウォール部分の構造形式は、ポストテンション方式PC5径間箱桁構造である。現場位置

置図を図-1に、完成時の鳥瞰を写真-1に示す。

鵜住居川水門は鵜住居川河口部に位置しており、河川の流れを確保しつつ、河川内に堰柱およびカーテンウォールを構築する必要があった。そこで、河川の流れを付け替える瀬替え工事を行い、一期施工では河川の左岸側で水流を確保して右岸側の2径間のカーテンウォールを施工し、二期施工では右岸側で水流を確保して左岸側の3径間のカーテンウォールを施工する計画とした。



図-1 現場位置図¹⁾



写真-1 鵜住居水門完成鳥瞰写真



*1 Shun ITO

(株)日本ピーエス
東北支店



*2 Makoto SHIBATA

(株)日本ピーエス
東北支店



*3 Toru OGATA

前田建設工業(株)
東京土木支店



*4 Hidetaka SAEKI

前田建設工業(株)
東北支店

本工事は、早期の「復興まちづくり」の実現のため、2019年8月までに津波防護機能を確保することがロードマップに示され、進められた。そのため、津波防護機能の確保に必須となるカーテンウォール工の工期は厳守すべき事項であり、工程の短縮が大きな課題となった。

当初の施工計画では、カーテンウォールの内空部は、一般的な場所打ち工法のPC箱桁橋と同様に、内部支保工を設置し、コンクリート硬化後に仮設開口から材料を回収するという施工方法であった。しかし、この施工方法では、内部支保工の組立・解体作業が作業工数の大部分を占めることになる。そこで、作業の効率化を図るため、一期施工ではプレキャストプレストレストコンクリート板（以下、PCaPC板）を床版部の底板埋設枠として活用し、工程の短縮を図った。二期施工では、一期施工の問題点を抽出し、更なる工程短縮に向けて内空部の成形に大型発砲スチロールブロック（以下、ブロック）を組み合わせた埋設型枠（以下、ブロック埋設型枠）を採用し、さらにウェブの外側型枠には大型鋼製型枠（以下、鋼製枠）を使用した。

本稿では、カーテンウォール工の一期施工と、ブロック埋設型枠を活用し、大幅な工程短縮を実現した二期施工での施工概要について報告する。

2. 工事概要

正面図を図-2に、断面図を図-3に、全体工事の概要とカーテンウォール工の概要を2.1および、2.2に示す。水門は堰柱、ゲート、カーテンウォールで構成されている。カーテンウォールの構造は1径間あたり10室の内空部を有するが、内空部が横方向に並ぶ橋梁の多室箱桁構造とは異なり、縦方向に二段の内空部を有している。そのため内部支保工、型枠の組立における材料撤去の工数がかかること、カーテンウォールの高さは約12mであるため内部支保工組立時の安全管理が必要であることが工程短縮においての懸念事項であった。またコンクリート打込み高さも考慮した品質管理も課題としてあげられた。

2.1 全体工事の概要

工事名：二級河川鶴住居川筋鶴住居地区河川災害復旧（23災647号）水門土木工事

発注者：岩手県

工期：平成26年3月6日～令和3年3月19日

工事内容：水門工、管理橋工、堤防・護岸工、取付擁壁工、道路改良工、道路護岸工他

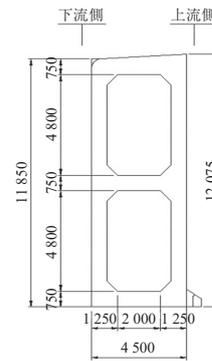


図-3 カーテンウォール断面図

請負者：前田建設(株)・あおみ建設(株)・(株)小田島組特定共同企業体

2.2 カーテンウォール工の構造概要

施工者：(株)日本ピーエス

構造形式：ポストテンション方式PC5径間箱桁構造

延長：185.050 m、幅：4.500 m

桁長：36.950 m × 5径間、桁高：11.850 m/12.075 m

3. カーテンウォールの施工方法の検討

3.1 当初計画の施工方法

当初は、内空部に内部支保工を設置し、床版コンクリート打込み後に事前に設置した仮設開口から支保工の回収を行う方法で施工する計画であった。しかし、この方法では内部支保工材の組払い作業、また仮設開口の後埋め作業の必要があり、これらの作業が全体の工程の約30%を占める見込みであったため、一期施工および二期施工の各段階で施工方法を見直し、工程の短縮を図った。

3.2 PCaPC板を用いた施工方法（一期施工）

一期施工では、内部支保工、中空枠の組立に要する工数の削減を図るため、カーテンウォール内空部の床版部に埋設型枠としてPCaPC板を設置する計画とした（写真-2）。その結果、中床版・頂版コンクリート打込み後の解体・回収作業が無くなるため、直ちに次工程に移行でき、工程短縮に寄与することができた。ただし、この施工方法の問題点としては、PCaPC板を設置するまでのあいだ、内空部に開口部が生じるため、その都度墜落防止設備が必要になることに加え、写真-3のようにハンチ部の鉄筋が斜めに突出しているため、一度PCaPC板を入れ込むた

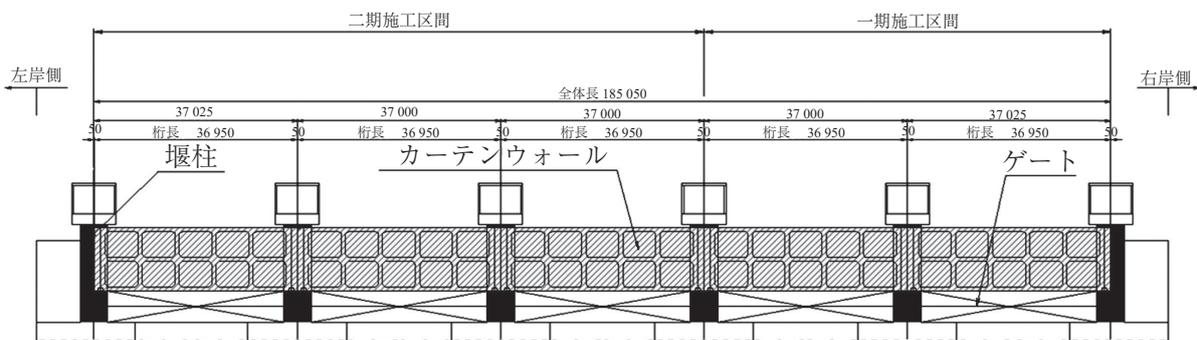


図-2 水門正面図



写真 - 2 PCaPC 板設置状況

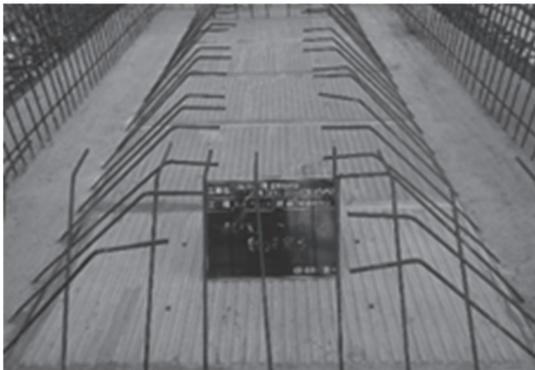


写真 - 3 ハンチ部鉄筋

めに鉄筋をかわす必要があった。

3.3 ブロック埋設型枠を用いた施工方法（二期施工）

二期施工では、一期施工よりも更に2.5カ月程度の工程短縮を目標として新たな施工方法を検討した。一期施工では、内空部上面の開口部の安全対策と、ハンチ部の鉄筋の成形が課題となった。この対応として、カーテンウォールの内空部にブロック埋設型枠を設置するEPS工法（以下、埋設型枠工法）を採用し、さらに3径間の並行施工を計画した。

ブロック埋設型枠を写真 - 4 に示す。埋設型枠工法は、耐水性、耐圧縮性を有する軽量なブロック埋設型枠を積み重ねる工法であり、軟弱地盤上の盛り土などに採用されている。簡易な施工で自立した中空空間が構築できるため、現場作業の省力化が期待できる。ブロック埋設型枠は、素材が合成樹脂材料であり、撥水性を有し、水との結合が無



写真 - 4 ブロック埋設型枠

い。また、アルカリに対する抵抗性を有し、劣化や分解のおそれがないため、コンクリート部材の埋設型枠として使用できる。二期施工では、ブロック埋設型枠を採用し、内部支保工および内型枠の組みの削減を図った。

4. 二期施工の詳細

4.1 ブロック埋設型枠の施工方法

ブロック埋設型枠は、図 - 4 に示すように、一層につき9個のブロックを組み合わせて、これを10層（9個×10層 = 90個）積み重ねることで一室の内空部を形成した。ブロック埋設型枠は自立性と耐圧縮性を有している。そこで、鉄筋工の施工状況と合せて積み重ねることで、一期施工での課題であった開口部を閉塞し、足場として活用したことで作業時の安全を確保した。

躯体の内空出来形や鉄筋かぶり厚の確保のためブロックの厚さと幅は、現場において管理基準値である±5mm以内の範囲で電熱線により切断調整し設置した（写真 - 5）。

また、木枠の場合、ウェブ外側部分の側面型枠開き止め用の通しセパレータは、通常600mm程度の間隔で設置するが、内空部を貫通するためブロックの加工費が増大する。そのため外側型枠には、加工費の削減と工程短縮を図る目的で鋼製枠を使用し、セパレータの径を10mmから16mmに、ピッチを600mmから1200mmへ変更する計画とした。一期施工と二期施工の施工断面図を図 - 5 に示す。

作業は、ブロック組立、鉄筋組立、PCケーブル配置、鋼製枠組立、コンクリート打込み、次ロット施工へと流れ、内部支保工の組立解体や内部型枠脱型等の中断工程がなくなることで、3径間並行施工における労務の低減と平準化、

（断面図）

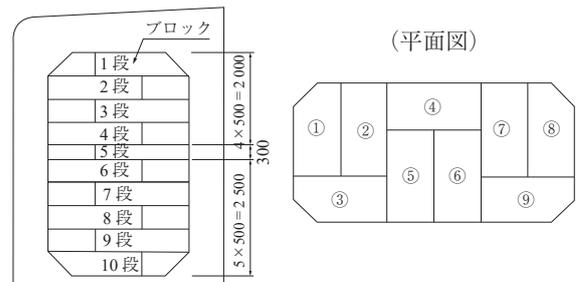


図 - 4 ブロック埋設型枠配置図

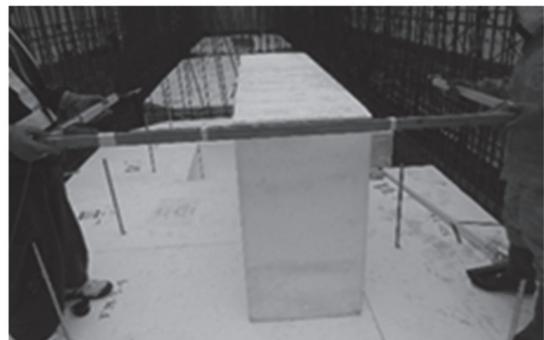


写真 - 5 切断調整状況

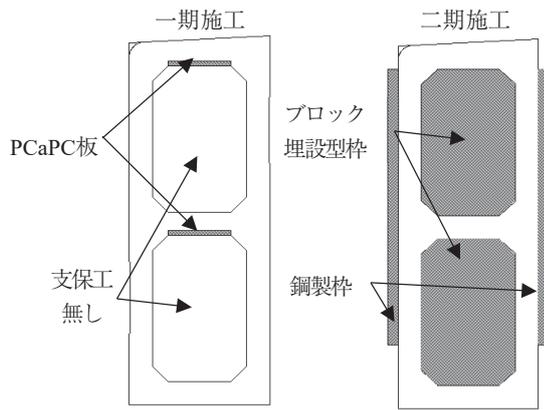


図 - 5 施工断面図

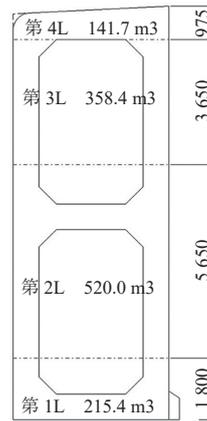


図 - 6 リフト割図

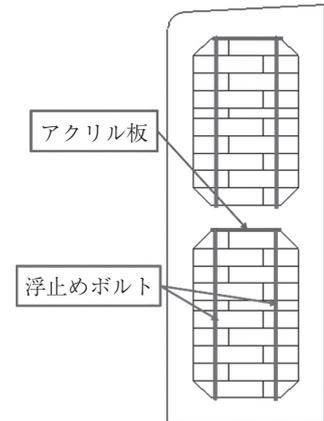


図 - 7 浮き上がり防止

工程短縮が可能となった。

4.2 ブロック埋設型枠の施工における課題と対策

ブロック埋設型枠の設置にあたり、以下の課題への対応が求められた。

- 1) コンクリート打込み時のブロックの浮き上がりの防止（出来形の精度確保）
- 2) コンクリート打込み時の側圧による、ブロックの横方向への移動の防止（出来形の精度確保）
- 3) ブロックのずれ、グラつき、倒壊の防止（出来形の精度確保）
- 4) コンクリートの品質確保

以下に各課題への対応策を示す。

(1) ブロックの浮き上がり対策

コンクリート打込みのリフト割図を図 - 6 に示す。ブロックの浮き上がり対策として、図 - 7 および写真 - 6 に示すように、内空部の下床版にアンカーボルトを打込み、下床版から最上段まで浮き止め用全ねじボルトで接続することで、アクリル板と浮止めボルトで抑え込むように固定した。

第1リフトのコンクリート打込み後、ブロックとコンクリート面の隙間に、雨水やノロが入り込むと、第2リフト以降のコンクリート打込み時にブロックに浮力が働くため、図 - 8 に示すように、第1リフトのU形断面のコンクリートに水抜き孔を設置し、雨水が溜まらないようにした後、ブロックとコンクリートの隙間に無収縮モルタルを充填し、水みちを排除した。コンクリート打込み中は最上段のブロックの高さをレベルにて計測し、浮き上がりが無いことを監視した。

(2) コンクリート打込み時の横方向への変位対策

コンクリートポンプ車の台数は、総打込み量と、ブロックの移動の防止の観点から3台とした。

コンクリート打込み中は、側圧によるブロックの横方向移動の軽減と、ウェブコンクリートのはらみ防止のため、図 - 9 に示すように、横桁のみを打込む1台（第1ポンプ）と左右のウェブを同時進行で打込む2台（第2、第3ポンプ）に分けて施工を行い、コンクリートが全て均等の高さで打込めるように管理した。また、コンクリート打込み中は、写真 - 7 に示す、鋼製枠に設置した開閉可能なバイブレ

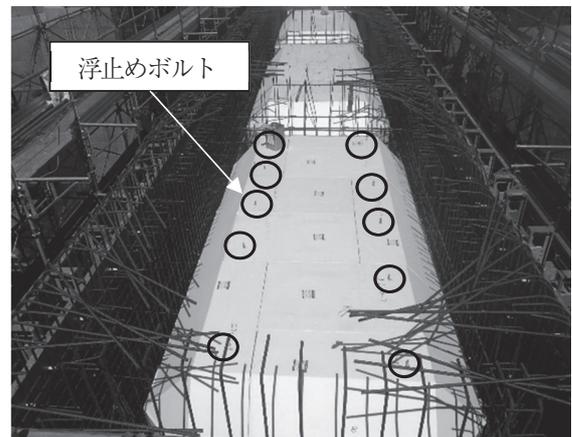


写真 - 6 浮止めボルト

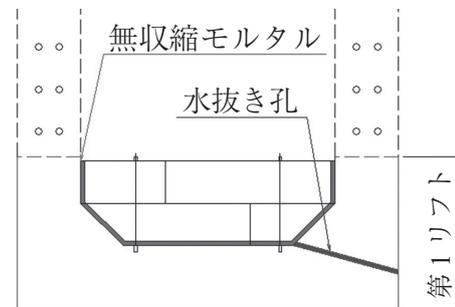


図 - 8 浮き上がり防止対策の概要

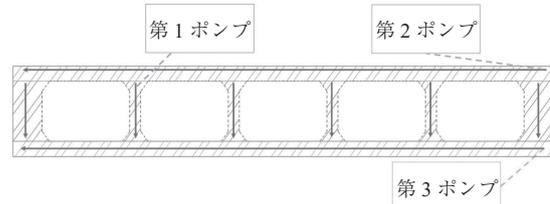


図 - 9 コンクリート打込み要領（平面図）

ーター挿入孔から計測器を入れ、ブロックまでの距離を計測し、コンクリートの側圧による移動変位がないかを常時確認しながら施工を行った。



写真 - 7 バイブレーター挿入孔

(3) ブロック埋設型枠のずれ対策

ブロックの目地が重なることで、不陸の発生やそれに伴うグラつきが懸念された。この対応として、前出の図 - 4 に示すように、奇数段と偶数段を互い違いに配置し、継目位置の重複を防ぐことでブロックの安定性を高めた。また、ブロック同士のずれの防止のため外側から 500 mm の平面部と側面部に樹脂製の接着剤を塗布し（写真 - 8）、隣り合うブロックの目地には爪付きの連結金具（写真 - 9）を設置してずれ防止対策を行った。



写真 - 8 接着剤塗布

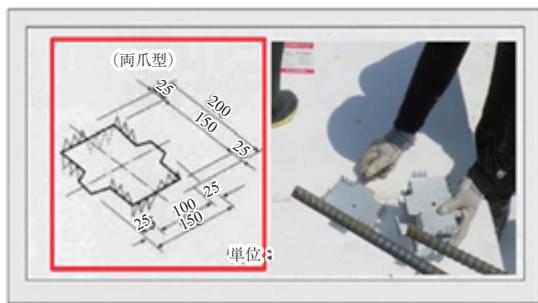


写真 - 9 連結金具

(4) コンクリートの品質確保

コンクリートは、ワーカビリティの向上のため当初設計配合のスランブを 8 cm から 12 cm とした。これにより単位水量が 175 kg/m³ 上回る結果となったため、コンクリートの材料分離が懸念された。施工中にコンクリートの材料分離が生じるかどうかは、コンクリートの性質だけではな

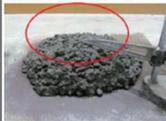
分類	通常	全くずれ	片くずれ
くずれ方の特徴	・試料がスランブコン中の形状（円錐台）を概ね維持しながら下方または横方向に変形し、くずれは生じない。	・試料が下方にくずれながら変形する。スランブコン中の形状が維持されず、山状になる。	・試料が下方に変形すると同時に、その一部が外側に割れるようにくずれ。くずれない箇所が、スランブコン中での形状を維持することもある。
事例		 ※試料上面に平面が見られない。	 ※資料の一部が外側に割れるようにくずれた。
材料分離抵抗性の評価	良	可	不可

図 - 10 スランブ試験時の試料の観察による分類²⁾



写真 - 10 コンクリート打込み状況

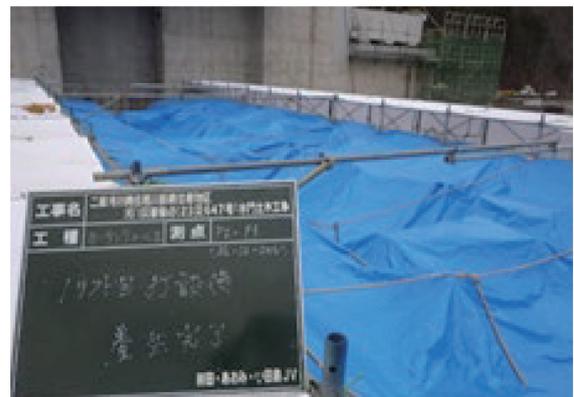


写真 - 11 打込み後養生状況



写真 - 12 給熱養生状況

く、運搬、打込み、締固めなどの施工条件に大きく影響されることから、スランプ試験中に試料形状を観察し、観察結果から図 - 10 を参考にして、材料分離抵抗性を確認した。現場にてスランプ試験時に材料分離による崩れが生じないことを確認し、評価を良と判定した。その後コンクリートの打込みを開始した。

各リフトのコンクリートの高さが最大 5.65 m であるため、打込み面までの高さが大きくなる。そのため、コンクリート打込み時はコンクリートポンプ車のホースの先端を下方に挿入し（写真 - 10）、コンクリートの落下高さ 1.5 m 以内を確保しながら打込みを行い、高さ管理の目印としてシースの棚筋に着色を施した。更にバイブレーター挿入孔からの締固めや、バイブレーター挿入深さのマーキングを行い、コンクリートの充填性の向上に努め、豆板の発生を防いだ。

冬季の寒中コンクリートの打込み作業は、前日から打込み箇所を全面シート養生し、雪や雨の侵入を防いだ。打込み後の養生は、ジェットファーンネスにて養生空間が 5℃ 以上となるように給熱養生を実施した（写真 - 11, 12）。

以上の品質管理により、耐久性上有害と考えられるひび割れや、豆板は生じなかった。

5. ブロック埋設型枠の適用性の評価

一期施工、二期施工の 1 径間あたりの歩掛り比較表を表 - 1 に示す。ブロック埋設型枠、鋼製枠を使用して型枠工の労務を低減した。カーテンウォール躯体部分においては、一期施工と比較して 1 径間あたり約 14 日間の工程を短縮することができ、さらに 3 径間並行施工を行い、カーテンウォール工全体で約 2.5 カ月の工程を短縮することができた。その結果、目標の期限までに津波防護機能の確保が可能となった。コンクリート工の労務が低減している理由としては、コンクリート打込み回数の低減と、ブロック埋設型枠の設置により、P コン等の後埋め処理工数が削減されたためである。一期施工時の問題点であった開口部の閉塞機能も果たしており安全性も確保することができた。

出来形管理については、コンクリート打込み中のブロッ

クの浮き上がり量を最大で 3 mm に収めることができ、横方向の移動もコンクリートポンプ車 2 台を同時進行させることで、管理基準値である ±5 mm 以内に収めることができた。また、コンクリート打込み中もブロックに隙間ができることはなく、ずれは発生していないと考えられる。

ブロックは軽量であるため施工性も良く、出来形の調整も可能であり、所定の品質を確保できる工法と考えられる。ただし、部材が軽量であるため、雨水の浸入防止やコンクリート打込み時の浮き上がり防止、ずれ防止などの対策が必要である。

6. おわりに

本稿では、カーテンウォールの施工において課題であった工程短縮に対して、ブロック埋設型枠を用いた施工結果を報告した。この工法は本工事のような特殊な環境下において、内空部の点検の必要が無い工事の工程短縮に対しては、有効な施工方法であると思われる。

本工事では、東日本大震災により被災した方々の早期復興に対する思いを励みに、数々の課題を乗り越えることができ、令和 3 年 3 月に鶴住居水門全体の施工を完了した（写真 - 13）。鶴住居地区では、三陸鉄道リアス線の鶴住居駅を中心に、もともとの市街地に建築規制を取り入れて復興まちづくりを進めている。この地域において鶴住居水門が防災拠点の一役を担い、地域の復興ひいては安全安心な街づくりに貢献できることを祈念したい。

本工事の施工により得られた知見が、今後同種工事の参考となれば幸いである。



写真 - 13 完成写真

表 - 1 歩掛り比較表

単位：人、日

1 径間当り比較表		一期施工		二期施工		差	
		人員	稼働日数	人員	稼働日数	人員	稼働日数
カーテンウォール	型枠	667	83	256	57	-411	-25.5
	EPS	—	—	101	21	101	21
	鉄筋	216	35	199	41	-17	6
	PC	114	32	136	40	22	8.5
	CON	294	32	75	8	-219	-24
合計		1291	181	767	167	-524	-14

参考文献

- 1) 国土地理院図：https://www.gsi.go.jp/, 2021.8.17
- 2) 流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会：流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン, pp.17-18, 2017.3

【2021 年 8 月 31 日受付】