

無人化施工工事における施工過程を可視化した一元管理システムの構築

(株)熊谷組 土木事業本部 正会員 ○神崎 恵三 (株)熊谷組 土木事業本部 正会員 北原 成郎
(株)熊谷組 土木事業本部 正会員 坂西 孝仁 (株)熊谷組 九州支店 岡本 仁
(株)熊谷組 九州支店 江良 耕一 (株)熊谷組 土木事業本部 正会員 天下井哲生
(株)熊谷組 土木事業本部 正会員 飛鳥馬 翼

1. はじめに

ICT 技術が日々進化している中で土木業界においても近年、ICT 技術を導入した施工管理システムが構築されてきている。少子化や若者の建設業界離れといった問題から、土木業界においても従事者の高齢化、減少による労働者不足が発生しており、ICT 技術を導入した施工管理の効率化、生産性の向上を図る必要がある。また、自然災害の多いわが国では、安全な場所から建設機械を遠隔操作する無人化施工を利用した災害復旧工事が数多く行われている。

赤松谷川 11 号床固工工事は、情報通信技術(ICT : Information and Communication Technology)を用いた無人化施工工事で、施工管理ツールとして 3 次元モデルを作成し、施工過程の可視化システムの構築や、CIM の運用を実施した。

国土交通省が普及推進する CIM は、計画から維持管理までを 3 次元モデルを中心に管理するシステムであるが、施工時の CIM 活用が課題とされている。明確な定義はなされていないが、維持管理をしていく中での施工時の情報は重要視されており、施工過程の情報を可視化し共有、活用していく必要がある。

本報文で、本工事の無人化施工技術、リアルタイムモニタリングシステム、CIM モデルについて記述する。

2. 工事概要

赤松谷川 11 号床固工は、雲仙普賢岳の火山活動に伴う火砕流や土石流災害から地域の安全を確保するとともに、災害に強いまちづくりを基本方針とする「水無川砂防基本構想」に基づいた砂防施設である。床固工の施工方法については、作業員の安全を確保するため、数百m以上離れた安全な場所から複数の建設機械をリモートコントロールする「無人化施工」で実施した。工事概要を表-1 に、平面位置図を図-1 に示す。

表-1 工事概要

工事名	: 赤松谷川11号床固工工事	主要工事	: 砂防土工	249,100m ³
発注者	: 国土交通省 九州地方整備局		: 作業土工(床堀)	一式
住 所	: 長崎県南島原市深江町上大野木場地先		: RCCコンクリート	48,592m ³
工 期	: 平成24年12月11日～平成27年3月30日		: 無人化施工設備・仮設工	一式



図-1 平面位置図

キーワード 無人化施工, 情報化施工, ICT, CIM

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組 土木事業本部 プロジェクト技術部 TEL03-3235-8649

3. 無人化施工の概要

3.1 無人化施工の変遷

無人化施工は、人間が立ち入ることができない危険な作業現場において、遠隔操作が可能な建設機械を使用し、作業を行うものである。

当社は、雲仙普賢岳の除石工事、砂防えん堤工事を皮切りに有珠山復旧工事、荒砥沢治山工事、北股川北股地区河道閉塞緊急対策工事等の無人化施工に従事してきた。こうした中で無人化施工技術は徐々にブラッシュアップしており、発達の歴史は第1世代から第4世代に分類できる¹⁾ (表-2 参照)。

表-2 無人化施工技術分類

第1世代	建設機械への遠隔操作の導入	操作無線リモコンを使用して30m程度の範囲から目視によりバックホウ等を遠隔操作する
第2世代	長距離遠隔操作技術の確立	特定小電力では届かない300m以上の距離を中継機器等を使用し、操作室のモニター画面を見ながら重機を遠隔操作する技術を確立
第3世代	情報化施工の導入	RCCコンクリート転圧管理やブルドーザ排土板制御等のICT技術を取り込み、施工精度の向上とオペレータの負担の軽減や施工効率の向上を可能とした
第4世代	ネットワーク技術の導入	今まで別々の無線機でデータの送信を行ってきた操作系、映像系、情報系（情報化施工データ）の三つのデータを全てデジタル化し、光ファイバーケーブル等の通信網にも対応できるようにして、長距離からの遠隔操作を可能とした

3.2 ネットワーク型無人化施工システム

本工事は、当社の無人化施工技術を結集した第4世代ネットワーク技術を導入して施工を行った。無線システムは、遠隔操作室から無線基地局までの400m間は光ファイバーケーブルを敷設した。無線基地局から施工箇所までは最大400m程度あるため、間に無線の確実な配信のため無線中継局（クローラダンプをベースとした移動式無線中継局）を配置し、データ伝送量も大きく、長距離通信が可能である25GHz帯の高速無線アクセスシステムを使用した。無線中継局と重機間は5GHz帯の無線LANを使用し、20台の重機を稼働させた(図-2, 3, 表-3 参照)。

無線LANのメリットは、現場に適した無線機やアンテナを自由に選定できることや、ローミング機能により、無線基地局を複数用意し長距離無人化施工に対応できることが挙げられる。また、1つの無線親機で複数の重機を遠隔操作可能であるため、多くの重機を使用する工事においては、無線周波数の干渉回避やコスト削減といった面でも有効なシステムである。

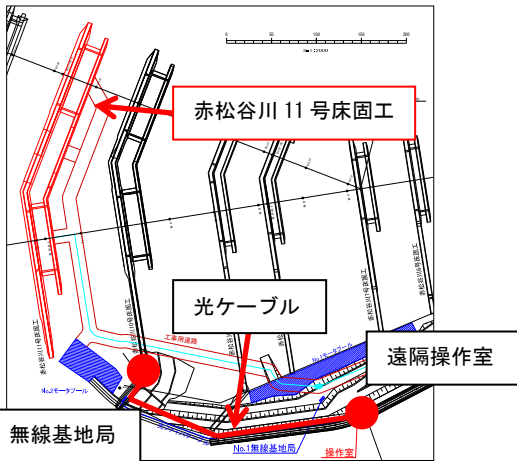


図-2 無線システム平面図

表-3 使用機械一覧

使用機械	用途
16t級ブルドーザ	コンクリート敷均し
68t級ブルドーザ	土砂掘削・敷均し
0.45m ³ 級バックホウ	測量車
0.8m ³ 級バックホウ	多目的車
1.4m ³ 級バックホウ	施工盛土・土砂整形
3.5m ³ 級バックホウ	土砂掘削
45t積ダンブトラック×3	土砂運搬
40t積ダンブトラック×2	コンクリート運搬
11t級振動ローラ	コンクリート締固め
0.45m ³ 級トラックローダ	コンクリート打継ぎ目清掃
10t積クローラダンプ	散水車・移動無線中継車
路面清掃車	コンクリート打継ぎ目レイタンス吸引
0.45m ³ 級バックホウ	カメラ車
9.9m級高所作業車	カメラ車
6m級高所作業車	カメラ車

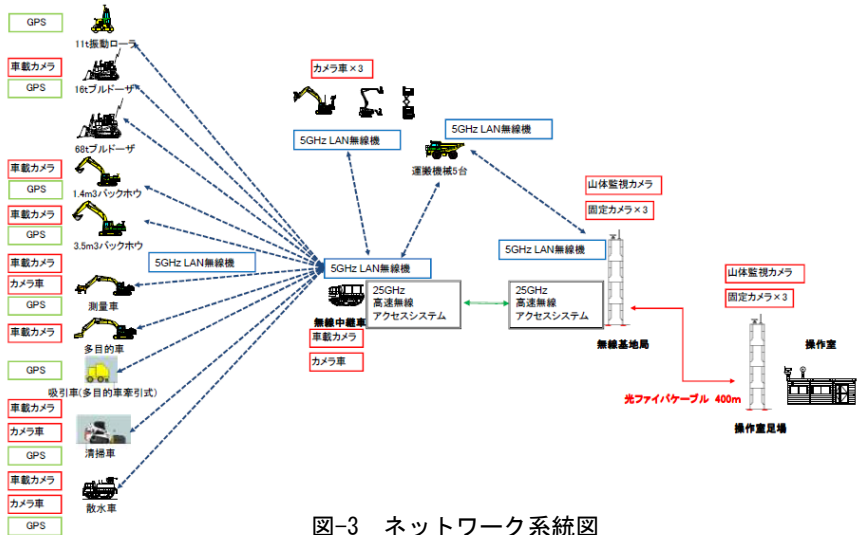


図-3 ネットワーク系統図

4. 施工方法

床固本体工は、RCC 工法によりコンクリートを打設した。コンクリート製造工場から 10t ダンプトラックで積換え設備まで運搬し（有人化施工区域）、36t 重ダンプトラックに積替えた後、無人化施工区域を走行し、打設場所へ運搬、ブルドーザで敷均し、振動ローラで締固めを行った。無人化施工区域での重機作業は、全て操作室から遠隔操作で行った（図-4、写真-1 参照）。

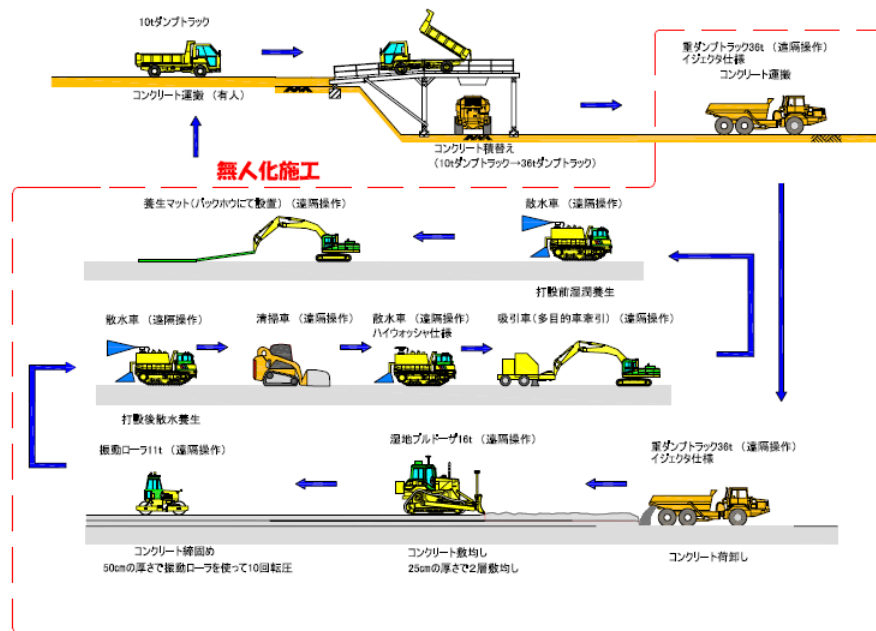


図-4 施工フロー図

4.1 コンクリート運搬・荷卸し

コンクリートの運搬、荷卸し作業は、イジェクター式ダンプを使用した。通常のダンプアップ方式ではなく、プレートの押し出しにより撒きだすように荷卸しができる。これにより、大きな山を作ることなく、概ね 50cm 以下の高さで一様に RCC コンクリートを撒きだすことが可能となり、材料分離を防止することができた（写真-2 参照）。

4.2 コンクリート敷均し・締固め

荷卸ししたコンクリートは、16t 級ブルドーザにて 25cm の厚さで 2 層毎に敷均しを行った。作業は、ブルドーザの排土板の左右両端上に搭載した 2 台の高精度 GPS 受信機とチルトセンサにより排土板の 3 次元位置を測定する「排土板制御システム」を使用した（写真-3 参照）。

締固め管理は、11t 級振動ローラを使用し、50cm の厚さで 10 回転圧を行った。作業は、振動ローラに高精度 GPS 受信機を搭載し、車両位置を高精度に測位することで転圧工事（範囲、回数、高さ）をリアルタイムに管理する「転圧管理システム」を使用した。さらに、ローラ部に加速度計を搭載し、CCV 値を締固め指標として相対的な締固め状況を管理した（写真-4 参照）。



写真-1 操作室



写真-2 イジェクター式ダンプ



写真-3 敷均し・締固め作業状況



写真-4 加速度計設置状況

4.3 清掃・打継ぎ目処理

コンクリート打設完了後、打継ぎ目の清掃を清掃車、打継ぎ目処理を高圧洗浄車、処理水の吸引作業を牽引式吸引車の順番で施工を行った（写真-5~7 参照）。



写真-5 清掃車



写真-6 高圧洗浄車



写真-7 牽引式吸引車

4.4 養生

コンクリート打設間隔が3日以上空く場合は、湿潤養生としてコンクリート養生シートを設置した。養生シートの設置は、グラップルを改造した0.8m³級バックホウにて行った（写真-8 参照）。



写真-8 コンクリート養生シート

5. 施工過程のリアルタイムモニタリングシステム

本工事では、各重機、車両に計測機器として加速度計、GPS、IC タグを搭載し ICT を活用して情報の取得を行い、施工過程の情報を可視化し、リアルタイムで一元管理し情報の共有、活用を可能にするリアルタイムモニタリングシステムを構築した。システムの構成イメージを図-5 に示す。インターネット、サーバーを使用して情報の収集、分析をおこなうことから、インターネット環境が整備されている場所であれば、施工情報をリアルタイムに把握することを可能にした。

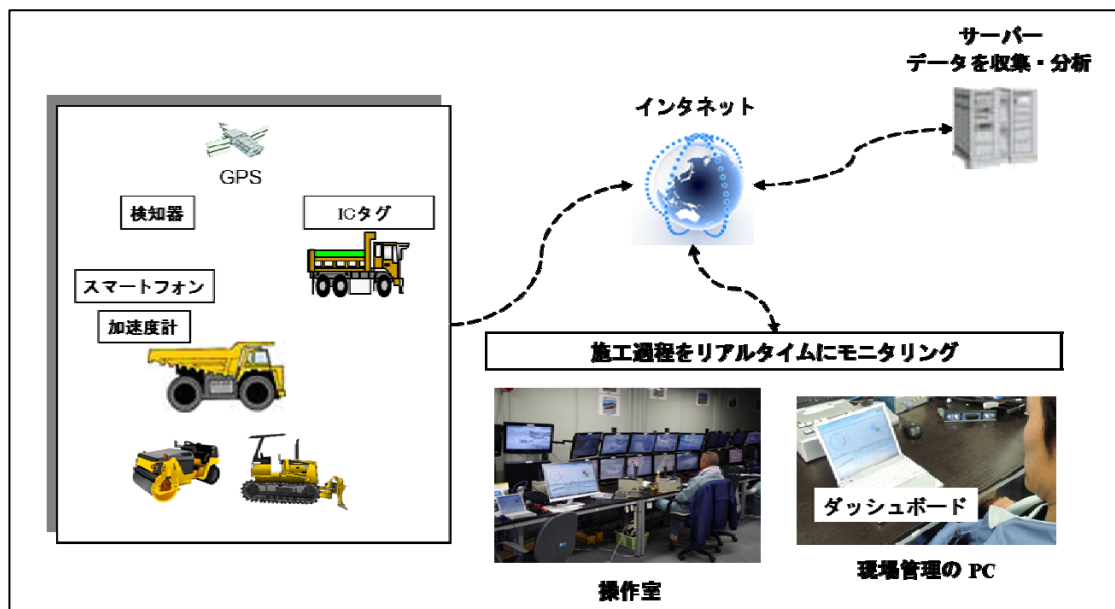


図-5 リアルタイムモニタリングシステムの構成イメージ

5.1 RCCコンクリート打設管理システム

RCC コンクリート打設管理システムの管理画面を図-6 に示す。リアルタイムで進捗状況を把握するとともに、コンクリートの練混開始から転圧完了までの時間管理（トレーサビリティ）を行うことで品質管理を実施した。通常の現場であれば、リアルタイムでの品質管理を行うことは労力を要するが、システムを構築し情報を一括管理することで容易に労力を削減することができた。

5.2 土工事の運行管理システム

土工事の運行管理システムの管理画面を図-7に、各重機・車両の走行軌跡，土量を図-8に示す。重ダンプにGPSを搭載していることから積み込み場所から荷卸場所までを1台1台管理することができ、測量作業をすることなくトレーサビリティを定量的かつ明確にすることを可能にした。また、その情報をリアルタイムで得られることから、進捗状況に合わせた指示や施工条件の相違による土運搬量の評価をした。

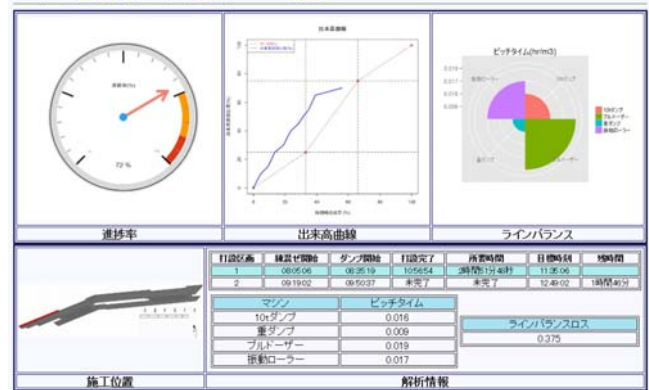


図-6 RCC コンクリート打設管理システム

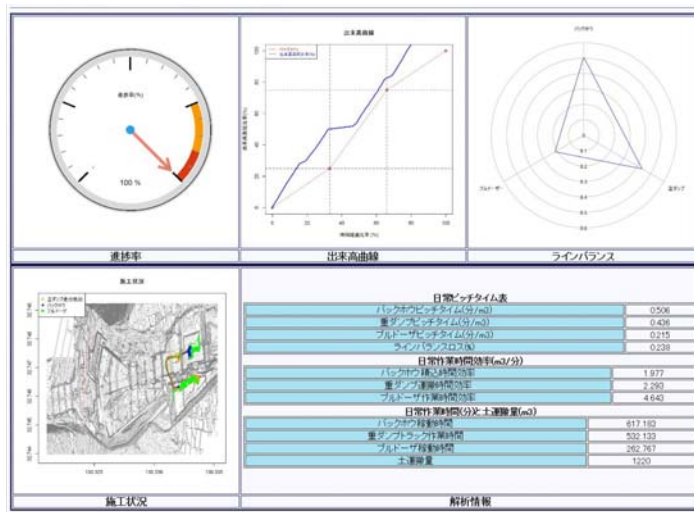


図-7 土工事の運行管理システム

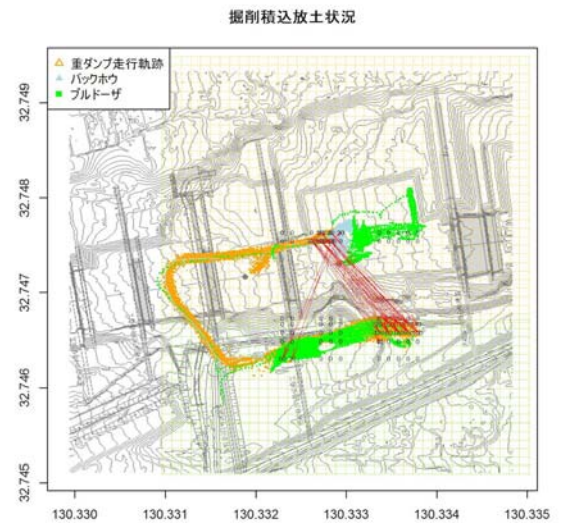


図-8 各重機，車両の走行軌跡，土量

5.3 安全管理システム

重機・車両の配置をリアルタイムに管理した。接近警告として、バックホウの中心から半径 70m 以内に他の重機が進入すると警告が発生されるシステムや、加速度計を使用しての工事用道路の劣化具合を評価したハザードマップの導入を行い、安全管理の向上を図った。ハザードマップを図-9に示す。左右、前後、上下方向の3軸の加速度応答値を解析することで、縦滑り、横滑り、不陸のハザードを検出する。この数値は道路の損傷の状態を表しており、同じ場所に連続して発生することにより道路補修の時期を示す1つの指標となった。また、危険である場所をリアルタイムに把握しながら操作ができオペレータ支援に有効であることが解った。

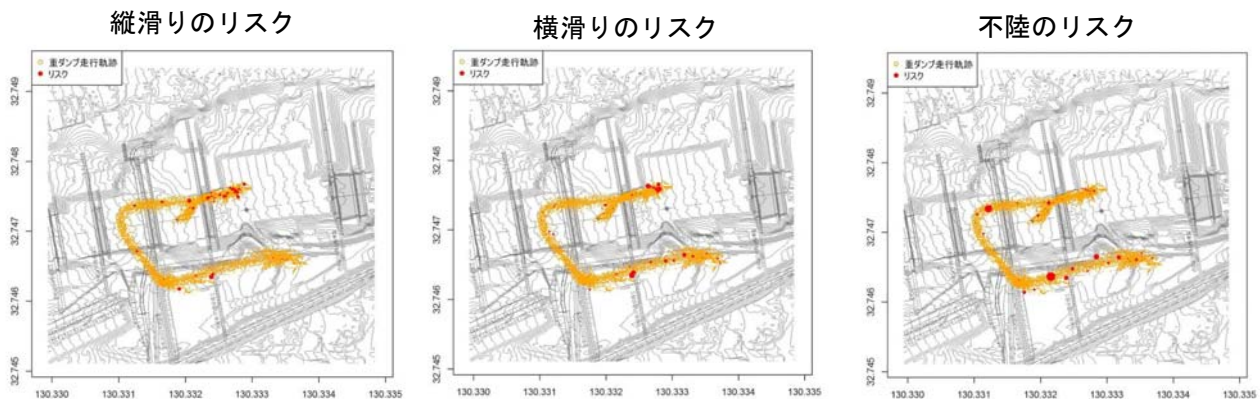


図-9 ハザードマップ

6. CIMモデルの構築

CIM は調査から維持・管理までを3次元モデルを軸に管理するシステムである。現場においては施工部分があてはまり、施工前・施工中・完了時に分けることができる（図-10 参照）。

6.1 施工前

施工前に航空測量を行い、3次元モデルを作成した。3次元モデルにより任意の側線での断面表示が可能となり、施工図や施工ステップ図、型枠の割付け、仮設設備の計画立案もしくは策定などに利用した（図-11~13 参照）。

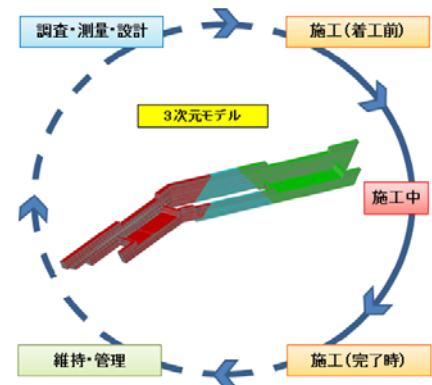


図-10 CIM概念図



図-11 航空測量データ

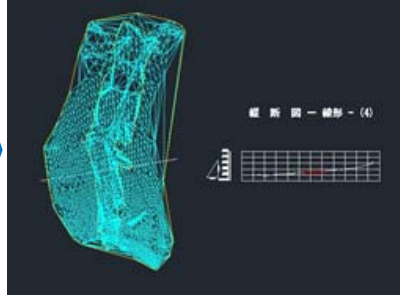


図-12 任意の側線での断面表示

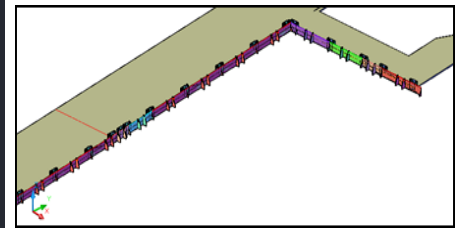


図-13 3次元モデル（鋼製型枠検討図）

6.2 施工中

3次元データを基に、マシンガイダンスシステムや転圧管理システムを使用し、得られた施工記録や、5章の施工過程のリアルタイムモニタリングシステムのデータを保存した。

6.3 完了時

既存ソフトを使用し、3次元モデルに施工データ（品質・出来形・写真等）を集約することで、データの一元管理を行った。3次元モデルの打設ブロックをクリックすることで、施工管理記録（品質・出来形）を瞬時に表示することができ、しゅん工図書および維持管理用データとして使用できる（図-14, 15 参照）。

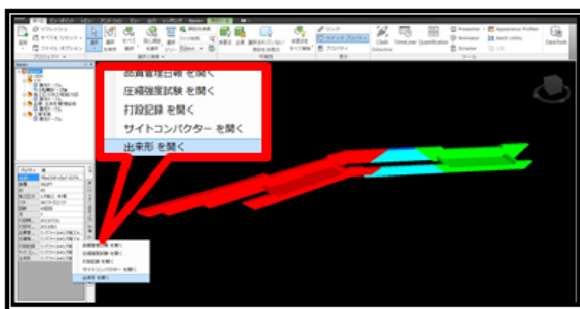


図-14 3次元モデル

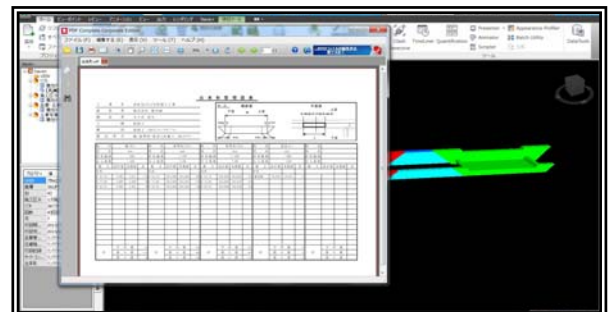


図-15 出来形管理データの呼び出し

7. おわりに

本工事において、ネットワーク型施工システムを導入することで長距離遠隔操作による無人化施工を行うことができた。また、最新の情報通信技術を使用し、施工過程におけるリアルタイムモニタリングシステムを構築することで、施工管理の効率化が図ることができた。今後、CIM がますます普及していくなかで、さらなるシステムの構築、発展をしていき施工、及び施工管理の支援につなげていきたいと考える。

【参考文献】

- 1) 北原成郎, 坂西孝仁: 北股地区河道閉塞緊急対策工無人化施工 ネットワーク型無人化施工と情報化施工の導入, 建設機械施工 Vol.66.p46~52 No.4 April 2014