

ICT と CIM を活用したコンクリート施工管理システムの導入

(株)大林組 正会員 ○末宗 利隆
正会員 田中 将希

1. はじめに

我が国では、インフラの老朽化や少子高齢化に伴う建設業就業者の減少が進み、国土交通省では平成 25 年を「社会資本メンテナンス元年」、平成 28 年を「生産性革命元年」と位置付け、「ICT の全面的な活用」、「i-Construction」を推進している¹⁾。こうした背景の中、構造物の新設工事にあっては、躯体の長寿命化に資するコンクリートの初期欠陥を無くすことの重要性がより高まっている。

本稿では、コンクリート打込みにおいて、初期欠陥(豆板・コールドジョイント等)を防止する高度な管理と、施工管理の省力化とを兼ね備えた、ICT と CIM を活用したコンクリート施工管理システムについて紹介する。

2. 現状と課題

豆板やコールドジョイントなど、コンクリートのフレッシュ性状に起因する初期欠陥を防止するためには、「練混ぜから打込み終了までの時間管理」と「打重ね時間間隔の管理」が重要である。これらの管理において指標となる数値、および現状の管理方法、課題について以下に述べる。

(1) 管理指標と現状の管理方法

a) 練混ぜから打終わりまでの時間管理

練混ぜから打終わりまでの許容時間、および参考として練混ぜから荷卸し地点到着までの到着時間を表-1 および表-2 に示す。練混ぜから打終わりまでの時間管理では、「アジテータ車全車の運行管理」を要する。現状は、アジテータ車の現場到着時に運転手から生コン伝票を受領し出荷時刻の確認、現場到着までの時間の把握、現場待機アジテータ車の数から許容時間内に打ち終えることができるかの判断、といった管理を全車に亘って行っている。

同管理では、許容時間内に打ち終えることができるよう、出荷間隔を調整するなどの対策を出来るだけ早く講じることが求められる。

b) 打重ね時間間隔管理

許容打重ね時間間隔を表-3 に示す。現状、打重ね時間間隔管理では、打込み区間や層毎にコンクリートを打ち込んだ時間を記録し、上層にコンクリートを打ち重ねるまで、時間を絶えず確認といった管理を全層全打込み区画に亘って行っている。

同管理では、次層の打込み区画の変更や 1 層あたりの打込み高さの変更などの対策を出来るだけ早く講じることが求められる。

表-1 練混ぜから打終わりまでの許容時間の標準

外気温	許容時間
25℃以下	2.0 時間
25℃を超える	1.5 時間

出典：土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕

表-2 練混ぜから荷卸し地点到着までの許容時間

外気温	許容時間
外気温によらず	1.5 時間 (ただし、生産者と購入者の協議の うえ、運搬時間の限度を変更する ことができる)

出典：JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」

表-3 許容打重ね時間間隔の標準

外気温	許容打重ね時間間隔
25℃以下	2.5 時間
25℃を超える	2.0 時間

出典：土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕

キーワード i-Construction, CIM, ICT, 運行管理, 打重ね時間間隔管理, 初期欠陥

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インクシティ B 棟 (株)大林組 生産技術本部 技術第一部 TEL03-5769-1322

(2) 課題

これら 2 つの時間管理は、複数のコンクリートポンプ車を使用した大量打設や広範囲に及ぶ打設の場合、非常に煩雑となり失念や錯誤等のヒューマンエラーが生じやすく、リアルタイムに情報を把握、作業是正指示を出すことも困難である。各時間管理には、運行管理にポンプ車毎 1 人、打重ね時間間隔管理に打設班毎 1 人を要し、それを統括管理する打込み管理者 1 人を必要とするので、複数のコンクリートポンプ車を使用する場合、多くの労力を割くこととなる(図-1)。また、時間管理情報を工事関係者で共有することも困難であった。

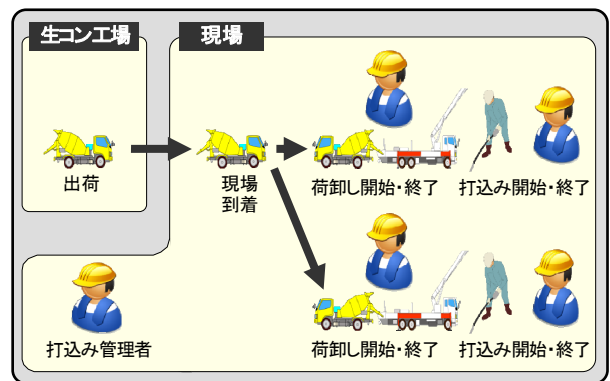


図-1 現状のコンクリート打込み体制

これらを改善する一手法として、ICT を活用し運行管理と打重ね時間間隔の管理を行える「コンクリート施工管理システム」が複数開発されているが、現場での採用率は依然低いのが現状である。これは、同システムで利用する機種が PDA 端末などの旧機種であったり、時刻登録が手入力で煩雑であったりといったことが一因と考えられる。また、これらのシステムの多くは各登録時間の一覧表閲覧が主な機能であり、打込み状況の瞬時の把握、先手の対策立案には十分とは言えなかった。くわえて、専用端末の使用や専用ソフトウェアのインストールが必要で汎用性に乏しかったり、操作が難しいといった難点もあった。

そこで、筆者らは、汎用的で、より操作が容易な「コンクリート施工管理システム」を開発し²⁾、さらに「CIM(Construction Information Modeling)と連携」させることで、「3D による時間管理の見える化」を図った。このような高度な管理により、施工管理の信頼性向上と省力化・効率化に加え、施工後の維持管理段階での打込みデータの活用も期待できる。

3. システム概要

本システムは、「運行管理」と「打重ね時間間隔管理」を統合して一元化した WEB アプリケーションを基本とする。WEB アプリケーションとは、インターネットを介して使用するアプリケーションソフトウェアのことで、PC などの端末にソフトウェアをインストールする必要が無く、インターネットに繋がりをさえすれば、PC やタブレット、スマートフォン等のような端末からでも利用できる利点を有する。また、帳票出力機能や本アプリケーションに登録された品質管理情報を CIM に自動でリアルタイムに反映するためのツールを備える。以下に本システムの主な特徴を述べる。

(1) 運行管理機能(充填不良防止)

本システムには、コンクリートの出荷時刻から荷降し完了までの時間を IC タグを用いて記録する機能がある(図-2)。具体的には、アジテータ車 1 台ごとに車番や配合等の情報を入力した IC タグを予め付与し、生コン工場および現場には IC タグ読取り機を設置する。アジテータ車の運転手は、出荷時、現場到着時、打込み開始・完了時に IC タグを読取り機にかざす(写真-1)。これで各時刻

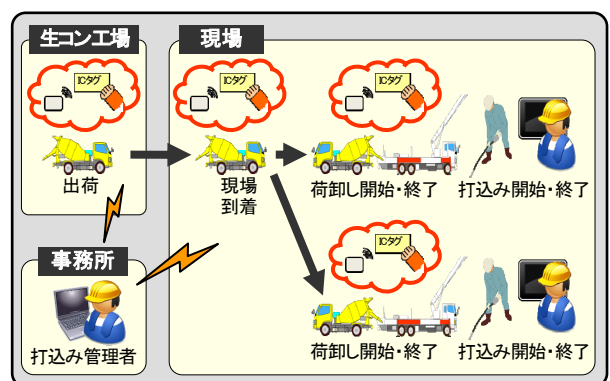


図-2 運行管理機能の概要



写真-1 IC タグ使用状況

の登録が完了する。

なお、時刻登録は、IC タグによる方法以外にも、WEB アプリケーション上で1クリック(1 タップ)登録する方法や、アジテータ車にGPS 端末を搭載し位置情報により自動登録する方法もあり、現場のニーズに応じて選択できる。

登録された各時刻はデータサーバに集約、図-3 に示す運行管理画面に一覧表示され、練混ぜから打込み終了までの管理時間が迫っている場合は自動でアラートを発する。

これにより、従来の手書きメモ等による管理と比べて格段に省力化されるほか、速やかに出荷間隔の調整等の指示・是正を行うことが可能となる。許容時間を超過したコンクリートの排除により、充填性の低下に起因し発生する豆板などの初期欠陥を防止する。

なお、GPS による情報自動登録方法を採用した場合(アジテータ車に GPS 機能付きスマートフォンを搭載した場合)には、図-4 に示すように各アジテータ車の位置表示も可能となり、渋滞時に第二ルートに変更するといった対策も立案可能となる。

(2) 打重ね時間間隔管理機能(コールドジョイント防止)

打重ね時間間隔の管理画面を図-5 に示す。予め、各層(50cm 程度毎)・打込み区画(数 m 毎)に分割したモデルをシステムに登録しておき、複数のコンクリートポンプ車を使用する場合にはポンプ車番号を選択、コンクリート打込み開始時、および打込み完了時に、現場担当者がタブレット端末やスマートフォン等で打込み区画をクリック(タップ)する。

このクリック(タップ)により時刻登録は完了である。本システムでは、同登録時刻から打重ねが可能な時刻を演算し打重ね限界時間が迫っている場合には、その区画をピンク色で表示し、自動でアラートを発する。これにより、次打設区画の変更や現場に到着したアジテータ車の配置変更等の対策を速やかに講じることが可能となる。

(3) 帳票出力機能

前述の運行管理情報と打重ね時間間隔管理情報の帳票出力が1クリックででき、コンクリート打込み後の帳票作成業務の省力化にも寄与する。

また、複数の生コン工場を使用した大量打設でも、トレーサビリティ(出荷工場の把握)が可能であり、不具合が発生した場合には、対策立案の一助となる。

出荷から80分以上経過したもの 0件											
出荷から所定の荷卸制限時間を経過したもの 0件											
出荷から105分以上経過したもの 0件											
出荷から所定の荷卸制限時間を経過したもの 0件											
ポンプ車	出荷工場	車番No.	配合コード	出荷量(m ³)	出荷量累計(m ³)	出荷時刻	現場到着	荷卸開始	荷卸終了	出荷～荷卸開始	出荷～荷卸終了
P01	A	401	27-12-20M	4.75	4.75	09:03	12:18	09:50	10:00	00:47	00:57
P02	A	403	27-12-20M	4.75	9.50	09:13	09:32	09:50	10:06	00:37	00:53
P01	A	421	27-12-20M	4.75	14.25	09:19	11:43	10:00	10:17	00:41	00:58
P02	A	407	27-12-20M	4.75	19.00	09:24	09:44	10:06	10:17	00:42	00:52
P01	A	207	27-12-20M	4.75	23.75	09:43	10:03	10:17	10:32	00:34	00:49
P02	A	205	27-								
P01	A	206	27-								
P02	A	134	27-								
P01	A	402	27-12-20M	4.75	42.75	10:08	10:22	10:42	10:46	00:34	00:38

図-3 運行管理画面例



図-4 アジテータ車位置表示画面

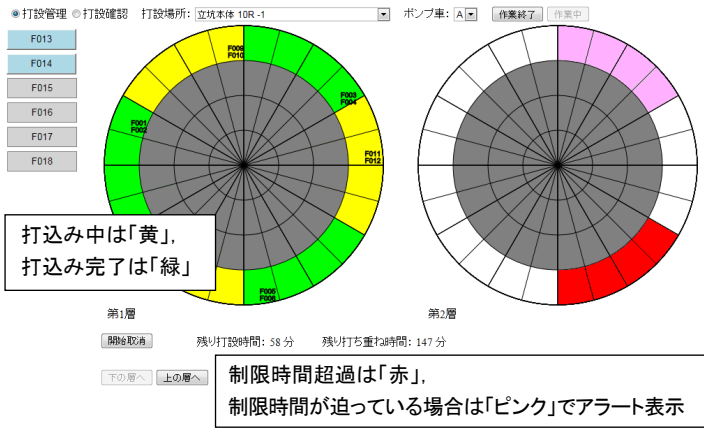


図-5 打重ね時間間隔管理画面例

(4) CIM 連携機能

本システムでは、記録した各種品質管理情報(出荷生コン工場、出荷時刻、アジテータ車番号、ポンプ車番号、各アジテータ車の荷卸し開始・完了時刻、各打込み箇所での打込み開始・完了時刻)を CIM の 3D モデルに属性情報として自動的にリアルタイムに付加(CIM 連携)できる(図-6、図-7)。情報付加までの流れは以下の通りである。

- 1) 事前準備として、3D-CAD を用いて、既にある CIM モデル(3D モデル)をコンクリート打込みリフト、各層、各区画に分割
- 2) 作成した分割モデルをコンクリート施工管理システムに登録(紐付け)
- 3) コンクリート打込み時には、コンクリート施工管理システムにて時間登録
- 4) 新たに開発した CIM ソフトデータ同期ツールにより、コンクリート施工管理システムで収集した品質管理情報を自動で CIM モデル(3D モデル)の属性情報として付加

なお、1)において、従来、CIM の全体モデルから各打込み層・打込み区画に細かく分割したモデルを作成する作業は、複雑でかつ高度な技量が求められたが、本システムではこれを容易にする 3D-CAD 作成支援ツールも備えている。

施工時には、打重ねなどの打込み状況を 3D モデルで確認できることでさらなる効率化に繋がる。すなわち、従来の 2 次元モデルでは、例えば複数箇所と同時に制限時間が迫るような場合に、打込み層の画面表示を頻繁に変える必要があったが、3D での見える化により画面操作の必要がなくなり、かつ一目で全体の打ち込み状況を把握できるようになる。

また、CIM モデル(3D モデル)に登録された属性情報は PC などでも簡単に引き出し、維持管理段階での点検記録や不具合情報の保存、共有も容易である。

4. 現場適用

(1) 適用事例 1

本システムのうち、運行管理機能と打重ね時間間隔管理機能を、地下調節池中間立坑築造工事に適用した。

a) 工事概要

工事概要を表-4 に、対象構造物を図-8 に示す。本現場は住宅密集地に位置し、周辺の道路は狭く、アジテータ車の待機場所も確保できない立地であった。対象構造物は外

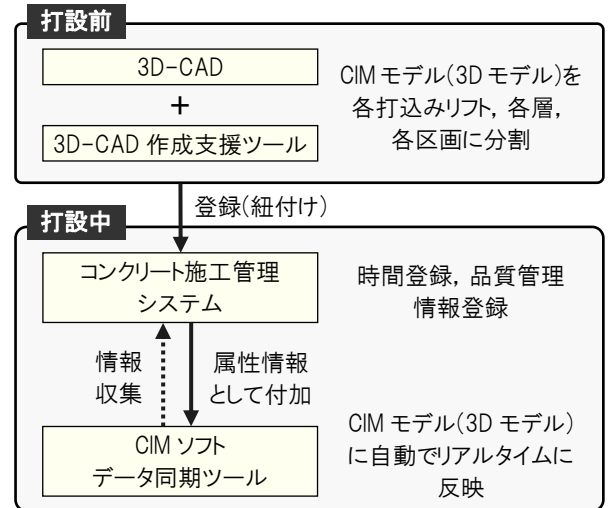


図-6 CIM 連携の流れ

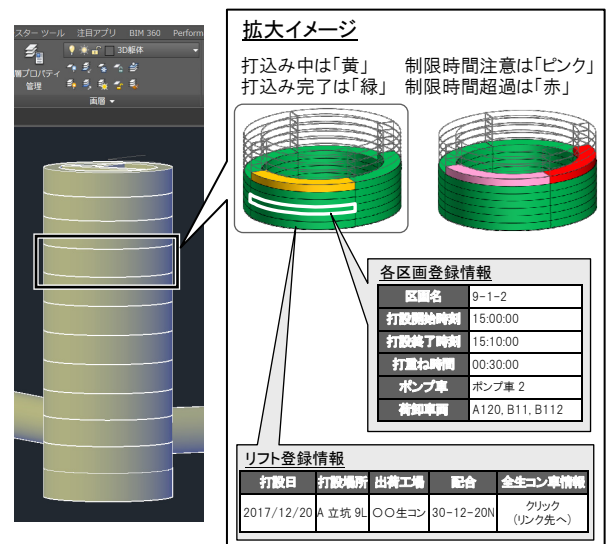


図-7 構造物全体の 3D モデルと打込みリフト、各区画の品質管理情報イメージ

表-4 地下調節池中間立坑工事概要

工事場所	神奈川県
工期	自平成 25 年 12 月 至平成 29 年 3 月
工事内容	ニューマチックケーソン工 1 式
工事数量	コンクリート:14,000m ³ 鉄筋:2,000t

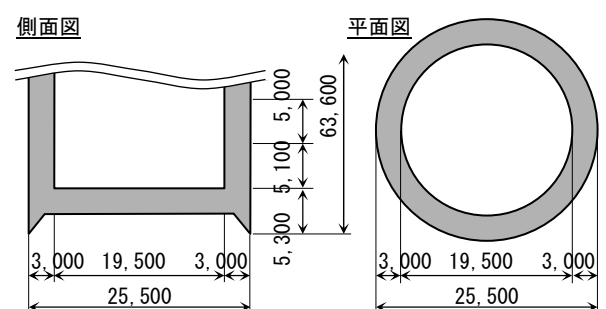


図-8 地下調節池中間立坑構造図

径 25.5m, 壁厚 3m, 高さ 63.6m の大型円形立坑であり, 壁部の 1 回の打込み高さは 5m 程度(普通コンクリート 約 1,000m³)で, 全 12 リフトの打込みを終えた。1 回の打込みで使用するアジテータ車は延べ約 240 台, ポンプ車は 3 台である。

b) コンクリート打込み時の工夫

コンクリートの打込み時に使用した管理室の状況を写真-2 に示す。当現場では, 複数のモニタを使用することで, 画面切替時の手間や時間ロスを省く工夫をしている。また, 当現場では WEB カメラも別途設置し, 2D では打込み状況を瞬時に把握できない場合もある点を補足している。

c) コンクリート打込み結果

図-9 に各打込みリフトの練混ぜから打終わりまでに掛かった時間のヒストグラムを, 図-10 に打重ね時間間隔のヒストグラムを示す。両方ともアラートは制限時間の 30 分前に発する設定としており, 1 打設あたり 0~2 回の発報であった。発報後, 速やかに生コン出荷間隔や 1 層打込み高さ, 打込み区画を調整したことで, 全て制限時間内に打込みを完了した。

また, 本現場で各時間管理に要した人数は 1~2 人であった。従来の管理方法では, アジテータ車運行管理にポンプ車台数と同じ 3 人, 打重ね間隔管理に打込み班数と同じ 3 人を要し, それを統括管理する打込み管理者 1 人を必要とする。通常 7 人必要となるところ, 本システムの導入により 1~2 人で対応できており, 省力化が十分に図れることが確認できた。

(2)適用事例 2

運行管理機能と打重ね時間間隔管理機能にくわえて, CIM 連携機能を大断面道路トンネル工事に現在適用中である。

a) 工事概要

工事概要を表-5 に, 本工事で作製した CIM モデル(3D モデル)を図-11 に示す。本工事はニューマチックケーソン工法と開削工法でトンネルを構築する工事である。

b) 3D による時間管理の見える化

CIM 連携機能を使用した, 制限時間内および制限時間超過時のコンクリート打重ね管理画面例を図-12, 図-13 に, コンクリート打込み状況(タブレット操作状況)を写真-3 に示す。

図-12①, 写真-3 に示すように, 現場担当者はタブ



写真-2 コンクリート打込み管理室

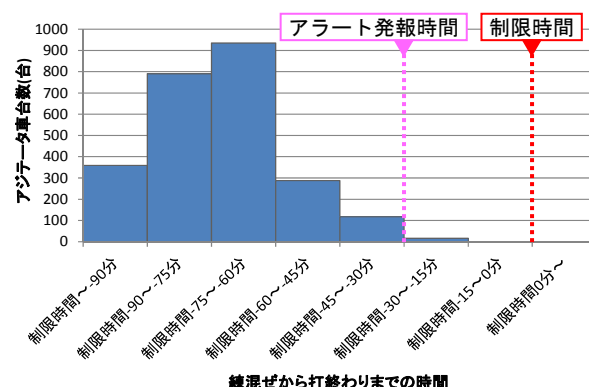


図-9 練混ぜから打終わりまでの時間

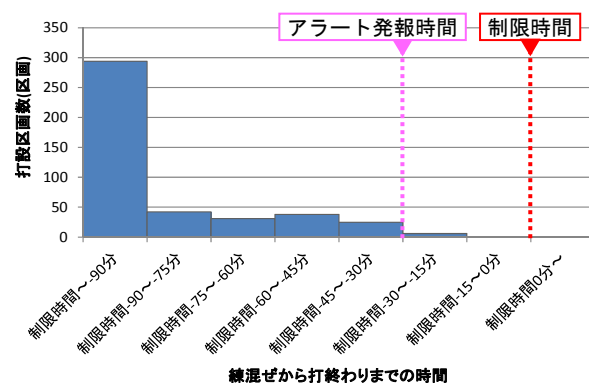


図-10 打重ね時間間隔

表-5 工事概要

工事場所	東京都
工期	自平成 27 年 3 月
工事内容	ニューマチックケーソン工 1 式 開削トンネル工 1 式
工事数量	コンクリート: 134,000m ³ 鉄筋: 18,000t

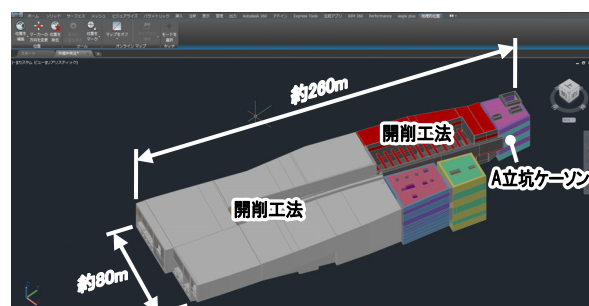
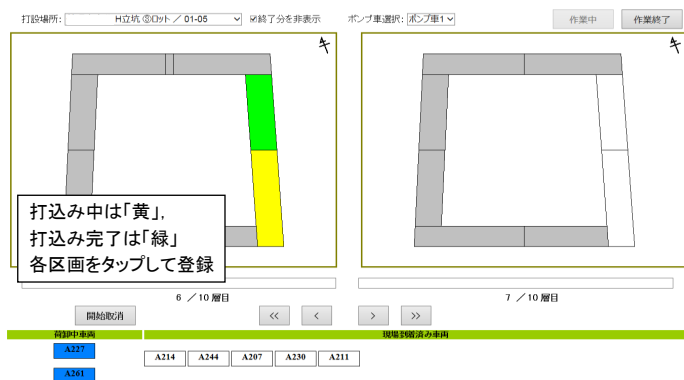
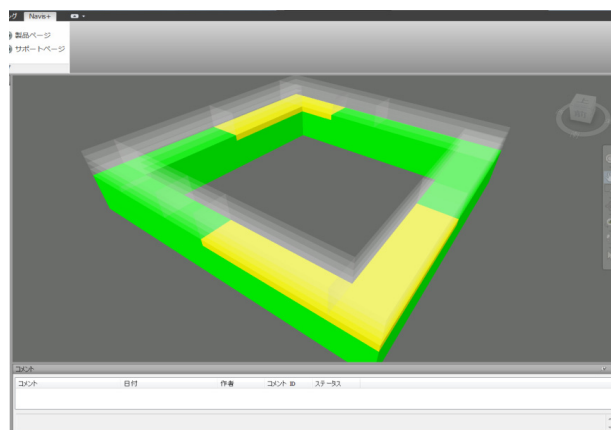


図-11 3D モデル(CIM モデル)

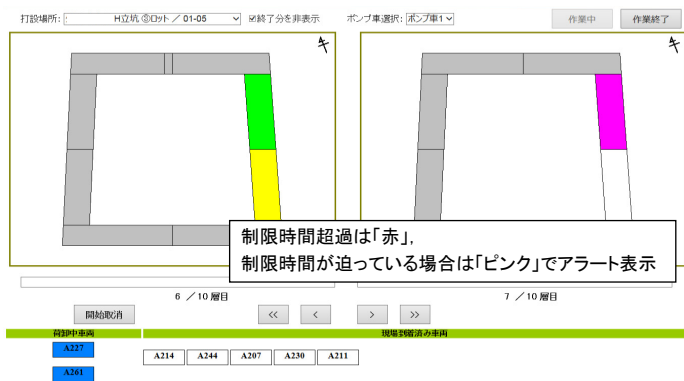


〔①現場タブレット画面〕

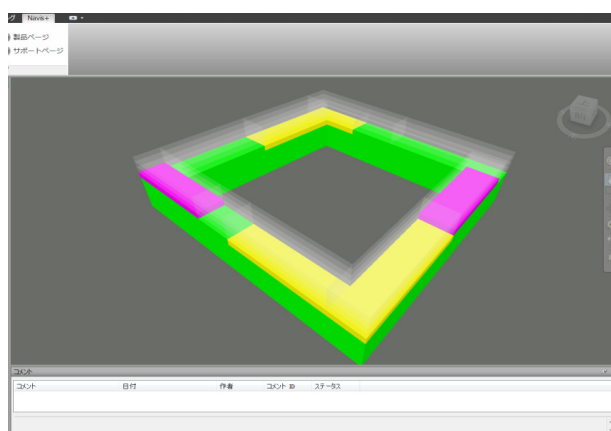


〔②CIM画面〕

図-12 CIM連携によるコンクリート打重ね管理画面例(制限時間内)



〔①現場タブレット画面〕



〔②CIM画面〕

図-13 CIM連携によるコンクリート打重ね管理画面例(制限時間超過時)

レットやスマートフォン等で各打込み区画をタップ(クリック)して、打込み開始・終了を登録する。このとき各区画の打込み時刻も自動登録され、打重ね制限時間が迫っている場合には自動でアラートを発する(図-13①)。

CIM連携機能を利用すると、これらの情報がCIMの3Dモデルに自動でリアルタイムに反映される(図-12②、図-13②)。CIM連携する以前は、打込み管理者も①の2D画面にて時間管理を行っていたが、2Dでは1台のポンプ車の打込み範囲しか見ることができず、異なるポンプ車の打込み範囲を確認するには、画面切替をする必要があった。また、異なる打込み層を確認する場合も、同様に画面切替をする必要があった。CIMと連携し②のように3D化することにより、こうした画面切替の必要がなくなり、一つの画面で情報の見える化を図ることができる。



写真-3 コンクリート打込み状況
(タブレット操作状況)

また、本工事では、CIM 連携機能によるコンクリートの打込み状況の3Dモデルを、多くの人の目に留まるよう、現場事務所にて大画面表示をする工夫を行っている(写真-4)。許容時間を超過しそうな場合の警告等は、基本的にはコンクリート打込み管理者が対応するが、大画面表示により関係者全員の目でいち早く異常の兆候に気付く体制をとっている。これは、3D ならではの瞬時に打込み状況を把握できる利点を活かしており、管理の効率化はもちろんのこと、品質管理の確実性も増している。なお、本工事は現在施工中であるが、これまでは全て制限時間内に打込みを完了している。

c) CIM 登録情報(属性情報)

図-14 に、一例として、すでにコンクリート打込み済みの A 立坑 6 リフトの CIM 画面を示す。打込み時にコンクリート施工管理システムにて収集されたリフトに関する品質管理情報が、CIM モデルの属性情報として組み込まれている。リフトに関する品質管理情報には以下がある。

- ・コンクリート打込み日、天候
- ・コンクリート打込み場所(打込みリフト名)
- ・コンクリート出荷工場
- ・コンクリート配合、フレッシュ性状試験結果
- ・当該リフト全体の打込み開始・終了時刻
- ・コンクリート打込み数量

また、図-15 に、A 立坑 6 リフトのうち、ひとつの区画を選択した画面表示を示す。こちらには以下の品質管理情報が CIM モデルの属性情報として組み込まれている。

- ・当該区画の打込み開始・終了時刻
- ・打重ね時間間隔（下層打込み完了から当該区画打込み開始までの時間間隔）
- ・当該区画打込みに使用したポンプ車の車番
- ・当該区画打込みコンクリートを運搬した全てのアジテータ車の車番

これらの属性情報は、コンクリート施工管理システムから CIM へ、特別な作業を行うことなく自動で組み込まれている。これにより、手作業による登録と比較し大幅に省力化できる。

5. おわりに

本システムでは、従来手書きメモで対応し煩雑となっていた各時間管理を WEB アプリケーションにより行い、かつ CIM との連携により、品質管理の信頼性向上、品質確保とともに省力化を実現し、また、維持管理段階での活用・省力化も期待できる。本稿が、生産性向上の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 例えば、国土交通省、i-Construction～建設現場の生産性向上の取り組みについて～、平成 27 年 12 月
- 2) 末宗利隆ら、アジテータ車運行とコンクリート打重ねの ICT 活用統合管理の取り組み、第 71 回土木学会年次学術講演会講演概要集 VI-898、平成 28 年 9 月

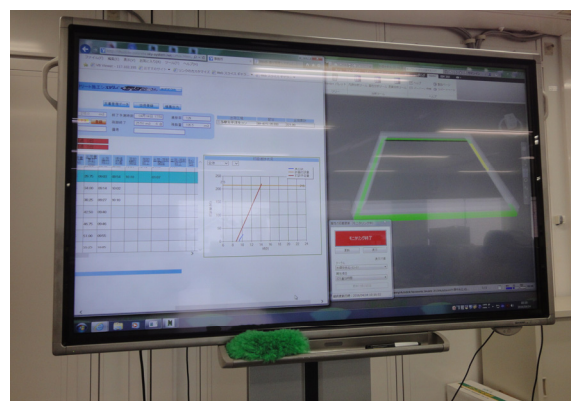


写真-4 現場事務所

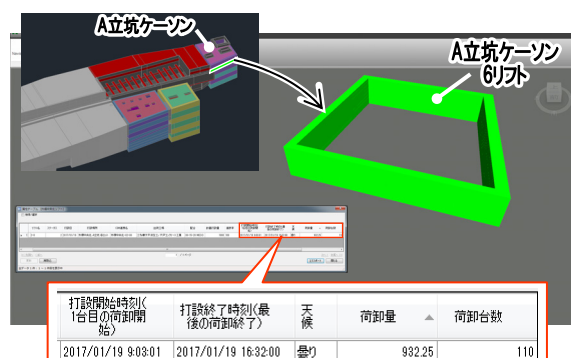


図-14 リフト属性情報

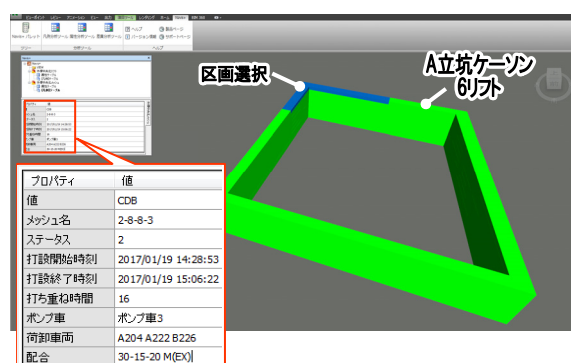


図-15 区画属性情報