ICTを活用したコンクリートの打重ね管理システム

大成建設(株)　正会員○北原　剛　　大成建設(株)　　渡邉　高也
大成建設(株)　正会員　小松　祥子　大成建設(株)　正会員　豊田　由仁
大成建設(株)　正会員　石川　麻衣

1. はじめに

昨今の我が国の建設産業を取り巻く環境は，震災の復興や国土強靭化，2020年の東京オリンピックなど「建設需要」が増大してきている．一方で高度成長期に整備された社会資本や工場施設などが老朽化してきており，インフラの再生や長寿命化について議論がされ、建設業界は「耐久性のある良い品質のコンクリート構造物」が求められてきている．さらに少子高齢化や若者の建設業離れによる担手不足による労働不足の解消，さらには働き方改革を実現するため，ICTによる建設現場の生産性向上が喫緊の課題と言われており，国土交通省は2016年，これらを解決する施策として「i-Construction」を発表した．この課題のひとつとして「サプライチェーンマネジメントの導入」が挙げられており，具体的なテーマとして「生コン情報の電子化」が掲げられている（図-1）．

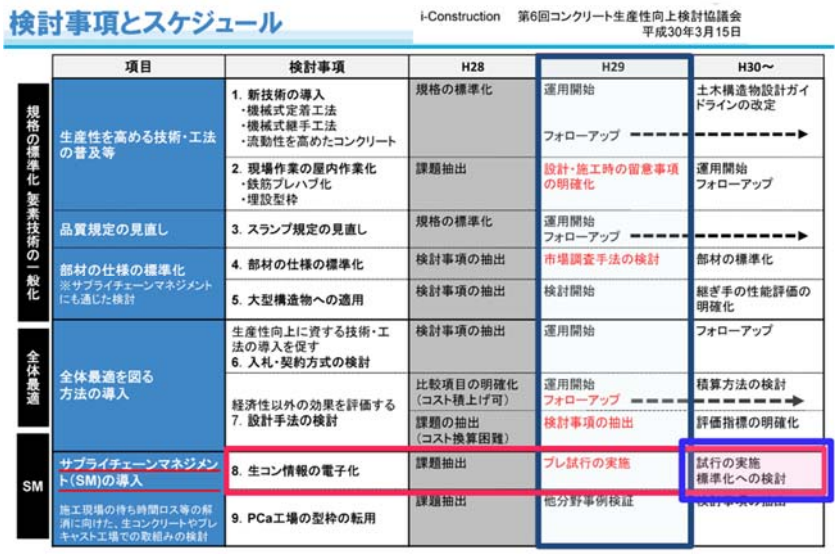


図-1 i-Construction検討事項とスケジュール
第６回コンクリート生産性向上検討協議会資料（H30.3）より

大成建設では，2014年より現場打ちコンクリート工事の品質向上と生産性向上を目指し，最新のICTを活用して生コン情報を連続してリアルタイムに管理できる「T-CIM®／Concrete」（図-2）を開発し2016年より現場運用をしてきた．さらに2017年には，その拡張版として「コンクリートの打重ね管理システム」を開発し，2018年より現場運用を開始した．本稿では，現場打ちコンクリート工事における打重ね管理の現状と課題を整理したうえで，今回新たな手法を取り入れた「打重ね管理システム」の概要を説明し，実際に運用した次項に示す2件の工事についてその結果と今後の課題について報告する．

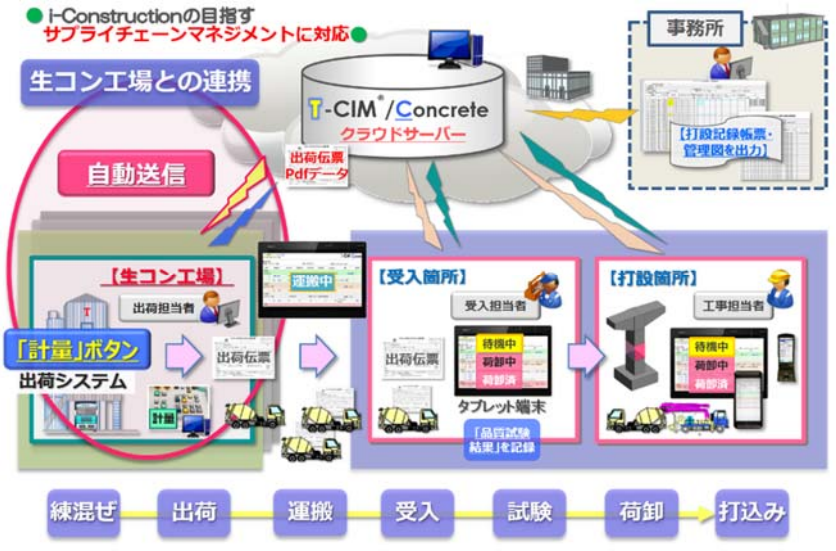


図-2 T-CIM®／Concreteのシステム概要図

キーワード：打重ね管理システム　生コン情報の電子化　i-Construction　サプライチェーンマネジメント
連絡先：〒163-0606　東京都新宿区西新宿1-25-1　大成建設株式会社 土木本部 土木技術部　TEL03-5381-5043

2. T-CIM®／Concrete について

従来，現場打ちコンクリート工事では，製造側は「生コンクリート（以下，生コンと称す）伝票」で，施工側は「野帳」で管理されている．このフローでは，生コン車が現場に到着した「受入れ時」を分界点とした「不連続な管理」になっており，生コン情報のリアルタイム情報共有はできていない（図-３）．この課題を解決するため T-CIM®／Concrete では，インターネット，クラウドサーバー，タブレット端末など最新の ICT を活用した生コン情報を連続してリアルタイムに情報管理できる環境を実現した．これにより，現場打ちコンクリート工事における生コン情報を出荷時の練混ぜ開始から電子化し，打込み完了までの打設状況情報をインターネット上で連続的に見えるので，よりフレッシュな高い品質のコンクリート打設や関連業務の生産性向上に寄与している．本システムは，すでに 47 以上の現場で運用されており，打設回数も 1100 回を超える実績がある（2018.9 時点）．また，本システムは，国土交通省が推進する「サプライチェーンマネジメント」のひとつの手法として，日建連より「コンクリート生産性向上検討協議会」に提言され，その結果，2018 年度に国土交通省直轄工事で試行されることになっている．

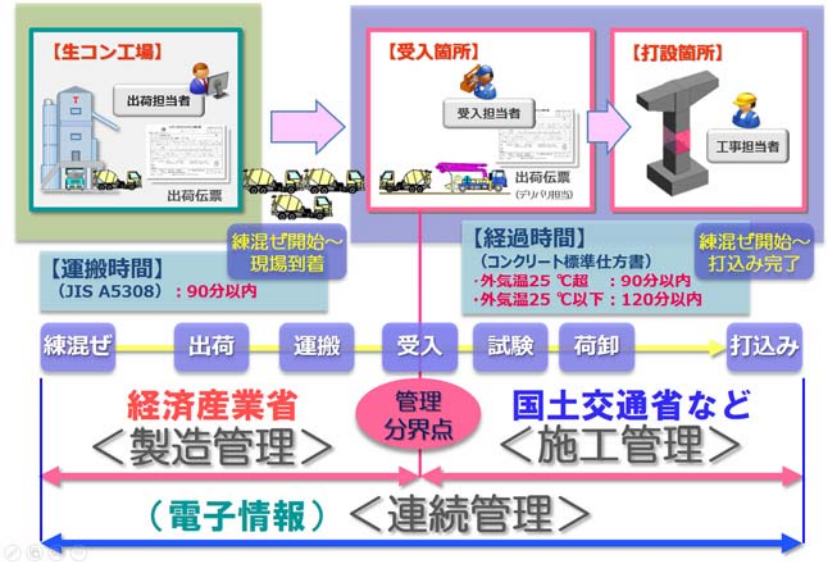


図-3 コンクリート工事フローと管理（製造・施工）

3. T-CIM®／Concrete（打重ね管理システム）導入工事の概要

(1) JR 九州 長崎駅連続立体交差事業 長崎高架長崎駅部南 Bℓ 新設他工事

本工事は，JR 長崎本線連続立体交差事業に伴い，長崎駅部南 Bℓ 区間（延長 391.4m）の内，場所打杭 160 本，ラーメン高架橋 6 連，橋脚 2 基，単版桁 6 連，PC 桁 1 連他を構築する工事である．この中で R73 部は，幅員 32m，延長 75m の梁とスラブで構成されたラーメン高架橋であり，打設数量が約 2，000m³ であった．そこで，品質確保のためこのコンクリートポンプ車 6 台（写真-１）を使用して，一括で連続打設することを計画した（図-４）．

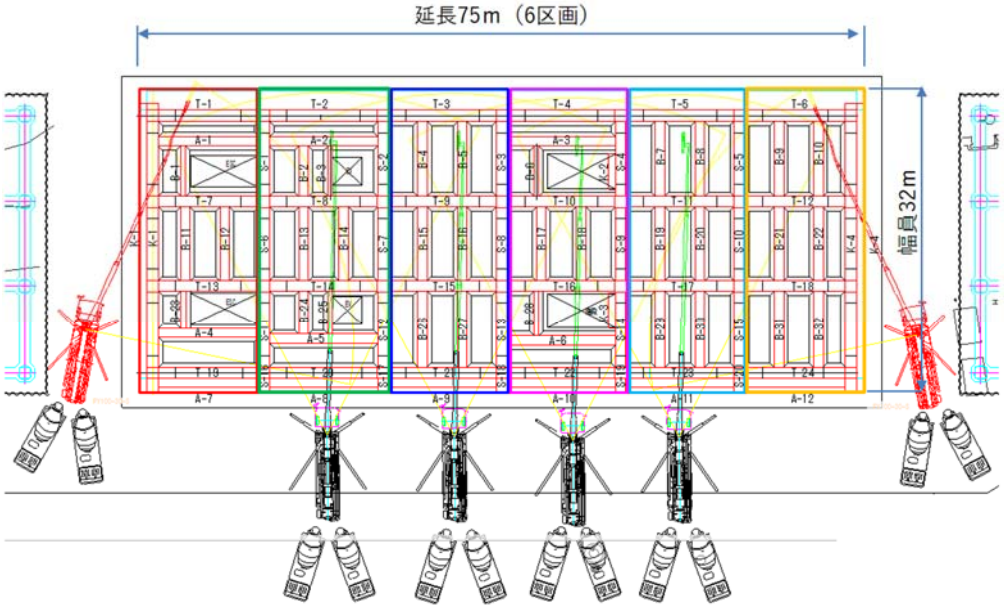


図-4 JR 長崎駅高架橋の梁スラブのコンクリート打設計画平面図

本工事では，広範囲で複雑な梁スラブ構造のコンクリートを一括して連続打設するため高度な打重ね管理が求められた．また，打設計画段階で打重ね時間のシミュレーションを行ったところ，打重ね時間間隔（以下，打重ね時間と称す．）が 3 時間を超える箇所があることが判明した．そこで発注者と協議を行い，超遅延剤を使用してコンクリートを打設することが計画された．これらの打設管理，打重ね管理を統合的に T-CIM®／Concrete により行った（写真-２）．

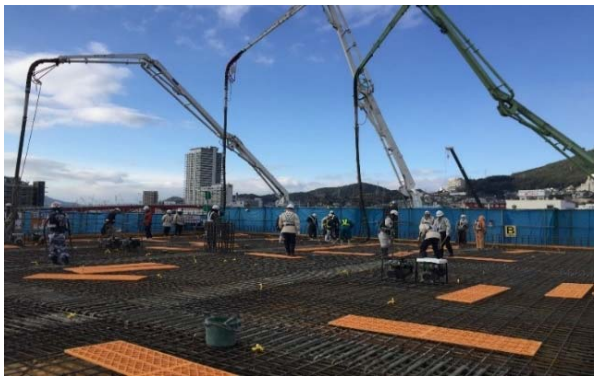
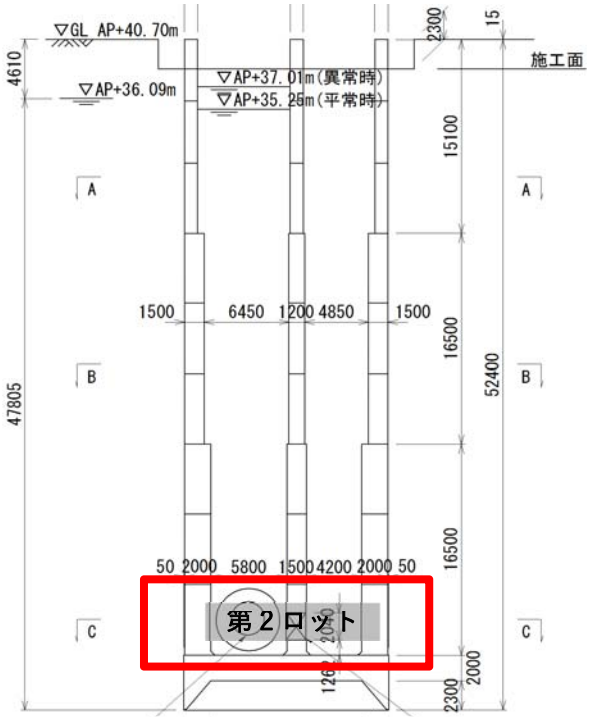


写真-1 コンクリートポンプ車６台同時打設状況

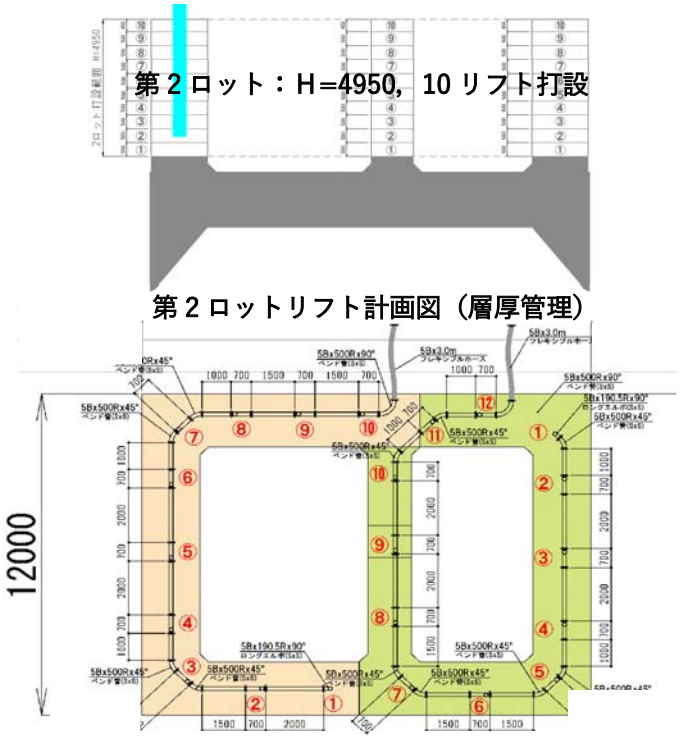
写真-2 T-CIM®／Concrete 運用状況

(2) 東京都 環状七号線地下広域調節池（石神井川区間）工事

本工事は，東京都中野区野方地内から練馬区高松地内に至る延長約 5.4ｋｍの地下調節池であり，泥水式シールド工法により構築する．発進立坑から約 1400m 上流の位置に本管の維持管理用に設ける中間立坑をニューマチックケーソン工法により構築し連絡管により調整池本管と接続する．図-５，図-6 に中間立坑（ケーソン）第２ロットの打設計画図を示す．



中間立坑（ケーソン）側面図



第２ロットリフト計画図（層厚管理）

中間立坑（ケーソン）分岐管平面配置図

図-５　環状七号線地下広域調節池（石神井川区間）工事の中間立坑ケーソン

図-６ 中間立坑（ケーソン）コンクリート打設計画図

写真-３ 分岐管工法の配管とシャッターバルブ（下）

写真-4 T-CIM®／Concrete 運用状況

この中間立坑のニューマチックケーソンのコンクリート工事は，1 ロット約 550m³ の生コンを生コン工場 2 社，コンクリートポンプ車 2 台により打設している．1 ロットの高さは約 5.0m でこれを約 10 層のリフトに分割している．生コンの打込みは分岐管工法にて行い，レーザースキャナにより各リフトの層厚を管理しながら分岐管のシャッターバルブにて生コンの投入量の調整を行っている（写真-３）．本工事では，コンクリートのトレーサビリティ情報も含めて打重ね管理（生コン工場，生コン車の情報を打設ブロックに紐付けて自動記録）をするために T-CIM®／Concrete を改良しこれらの管理を行った（写真-４）．

4. 打重ね管理における現状の課題

現場打ちコンクリート工事におけるコンクリート打設では，生コンを連続かつ均一に打込み一体化することが重要である．生コンは時間とともに水和反応が進行し性状が変化するため，２層以上にコンクリートを打ち込む場合，下層のコンクリートが固まり始めている場合にそのまま上層のコンクリートを打ち込むと上層と下層の打重ね部にいわゆるコールドジョイントが発生し構造物の弱点になるリスクがある．土木学会のコンクリート標準示方書では，コールドジョイントが発生しないように，施工区画の面積，コンクリートの供給能力，打重ね時間を計算し計画することになっている．（許容打重ね時間の標準：外気温 25℃以下：2.5 時間，25℃超：2.0 時間）．以下に現在の打重ね管理が抱えている課題を計画と施工で整理する．

(1) 打設計画段階における課題

打設計画の段階で工事担当者は，打設量等の条件を考慮して打設ブロックの区画割り（施工区画）を決め，コンクリートの供給能力（生コンの出荷ピッチおよび打設ピッチ）から打重ね時間を計算している．この計算は，一般的にエクセルなどの表計算ソフトウェアなどにより繰り返し行い，この時間が許容打重ね時

間を満足するように打設手順を決定していく（図-７）．特に複雑で複数の部材で構成されているコンクリート構造物や平面的な広がりがありかつ複数層に打重ねて打設する場合，また，生コンの打設数量が大量で複数のコンクリートポンプ車で打設する場合には，疑似的な３次元空間を２次元のシートに表現する必要があるうえに打設手順が複数通りあり，その中から最適な手順を見つけいくためには，繰り返しシミュレーションを行いながら多大な労力と時間を要して最終の打設計画を決定していた．また，複雑なモデルでは，その打重ね時間のシミュレーションを効率よく行うために設定したエクセルのセル参照を打設手順変更の度に再設定する必要があり，そこにはヒューマンエラーのリスクが存在していた．

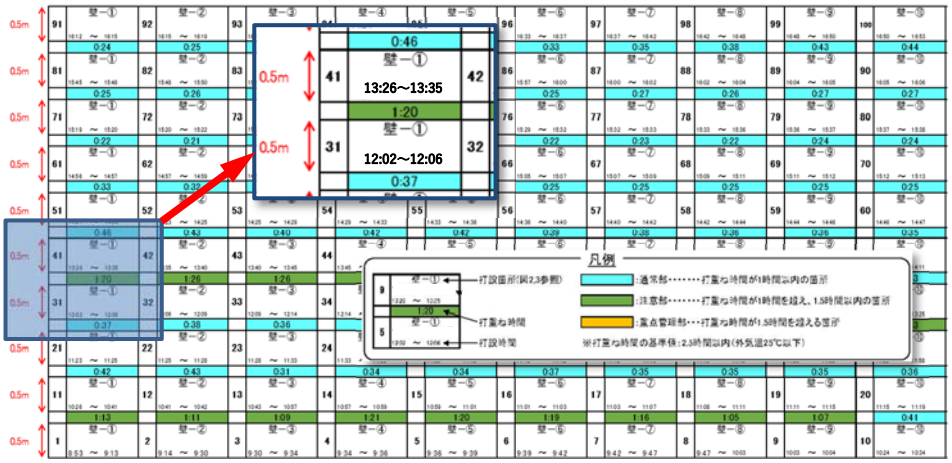


図-7 表計算ソフトによる打重ね時間のシミュレーションの例

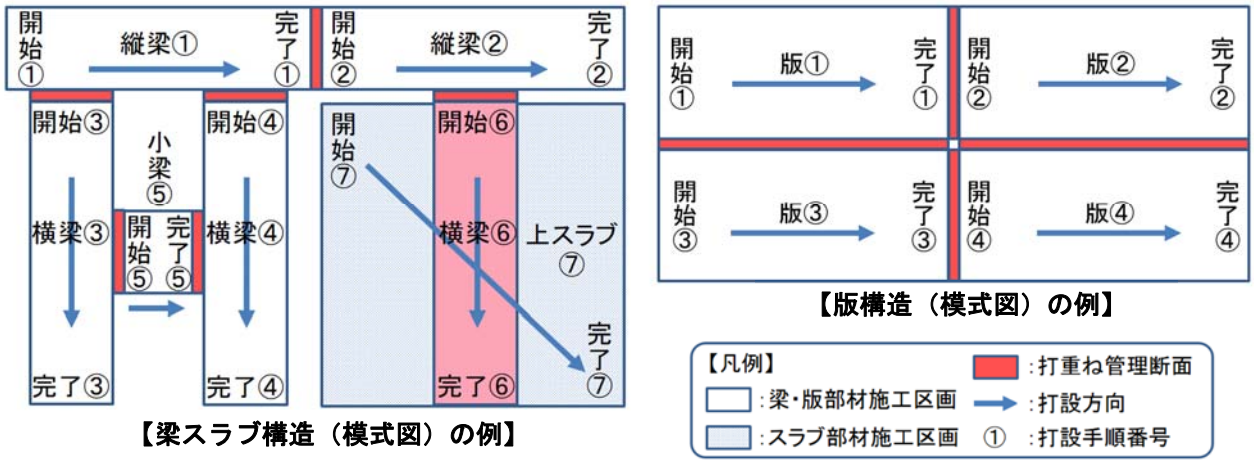


図-8 施工区画の形状特性や配置特性による打重ね管理

さらに，打重ね時間の具体的な計算方法は，一般的に，先に打設した打設ブロックの完了時刻と対象の打設ブロックの開始時刻により打重ね時間を計算し管理することが多く，この計算方法が簡便で合理的である（図-８の縦梁①/②や版①/②における「開始②−完了①」など）．しかし，次項で紹介する JR 長崎駅高架橋打設では，構造が複雑でかつ広範囲で大量の打設を複数のコンクリートポンプ車で打設することから，打重ね管理の簡素化と安全側を考慮し，完了隣接部材の開始時刻と対象部材の開始時刻で打重ね時間を計算し管理した（図-8 縦梁①②間だと「開始②−開始①」）．また，図-8 に示す横梁⑥の直上にある梁と形状寸法の異なる上スラブ⑦を打設する場合には，横梁⑥の開始時刻と完了時刻の平均時刻と上スラブ⑦の開始時刻で計算するのが合理的である（図-８の「開始⑦−(開始⑥と完了⑥の平均)」）．このように打重ねには様々なケースがあり，その計算方法によっては得られる打重ね時間の結果に大きな差があった．

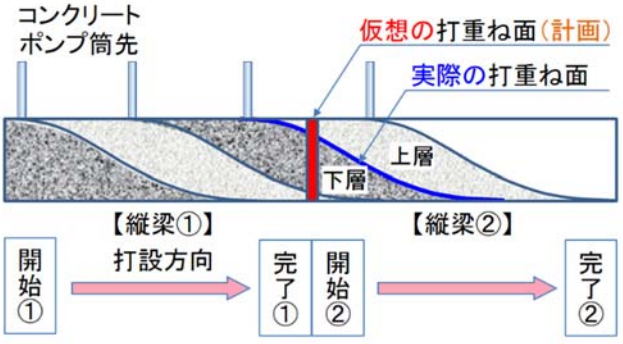


図-9 打重ね面の計画と実際

(2) 施工段階における課題

施工段階では，こうして得られた打設計画に基づき，コンクリートポンプの筒先担当者が実際の打込み開始・完了時刻をエクセルシートや野帳に記録し打重ね管理を行っていく．生コンには流動性があることから，生コンは筒先の投入地点から斜めに下りながら流れていく．これにより先に打設したコンクリートの斜面の上に後から打設されるコンクリートが被さってその境界面が打重ね面となる（図-９）．しかし，この斜めの打重ね面で打重ね管理を行うのは合理的でないので実際の打設計画では，打設ブロック（施工区画）の境界を仮想の垂直面を打重ね面としている．このようにコンクリートの打重ね面の境界が打設中にはその判定が困難であるため，コンクリートの打込み開始・完了時刻記録のタイミングは，筒先担当者の主観に依存した曖昧な記録になっている．実務的には，筒先の段取り替えや分岐管工法におけるシャッターバルブ開閉のタイミングをその時刻として記録していることが多い．以下に施工段階での課題を示す．

- 広範囲のコンクリート打設を複数のコンクリートポンプ車を使用して一括打設する場合，各筒先担当者は，隣接するコンクリートポンプ車が施工する打設情報をリアルタイムに情報共有する必要があった．しかし，打重ね記録は，工事担当の野帳記録に依存しており情報共有はできない．
- 各打設ブロックの開始完了時刻は，筒先工事担当者が手書きで野帳に記録しており，打重ね時間を電卓で計算する必要があった．これら打重ね状況は，記録している筒先担当者にしか分らず，その他の関係者は，リアルタイムに打重ね状況を把握することはできなかった．また，打設完了後には，野帳の記録をエクセルに打ち込み提出帳票を作成する必要があり，これが工事担当者の負担となっていた．
- 現場では，諸事情により当初の計画通りに打設出来ない場合があり，打重ね時間が所定の時間を超えそうになることもある．このような場合には，計画の打設手順を現場で適宜変更し許容打重ね時間が迫っている箇所にフレッシュな生コンを投入して対処する．このような場合，現場で計画を再構築することは困難であった．

5. 打重ね管理システムの概要

上記課題を解決するため，T-CIM®／Concrete のデータベースをプラットフォームとして「打重ね管理システム」を拡張開発し運用している．本システムは，インターネット上のクラウドサーバーとタブレット（スマホ）携帯端末を利用し，WEB システムにより関係者がリアルタイムに打重ね状況を一元的に情報共有できるシステムである．図-10 に本システムの概要図を示す．本システムでは，各施工区画を汎用的なエクセルのセルで XY 定義，打設層をシートで Z 定義しシステムに取り込むことで打重ね計画モデルを定義する（図-11，図-12，図-13）．こうして取り込んだモデルの全体表示画面を図-14 に示す．この全体表示（図-14）で示された各施工区画がそれぞれボタンになっており，タブレット上でこれを選択し押下することで開始完了時刻をタイムスタンプで自動記録する．また，施工区画は，その打設状況（打設前･打設中･打設

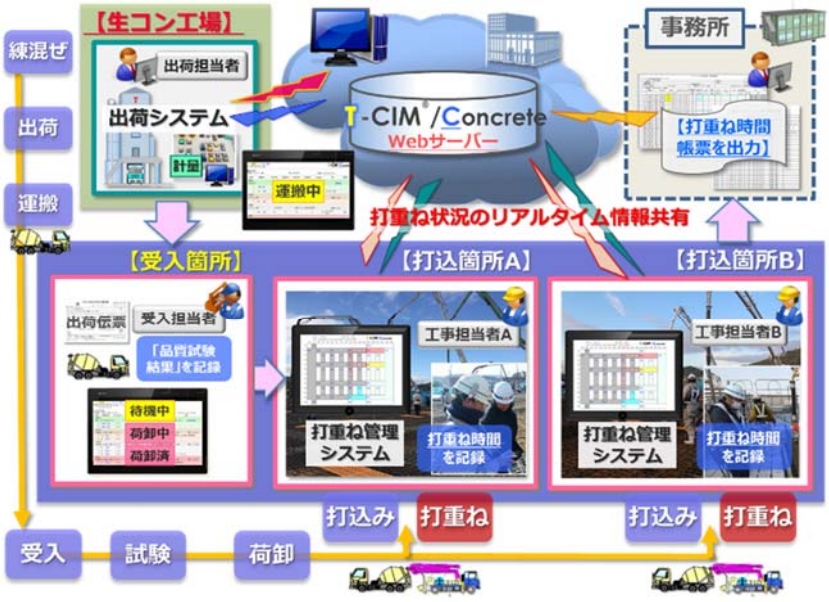


図-10 打重ね管理システムの概要図

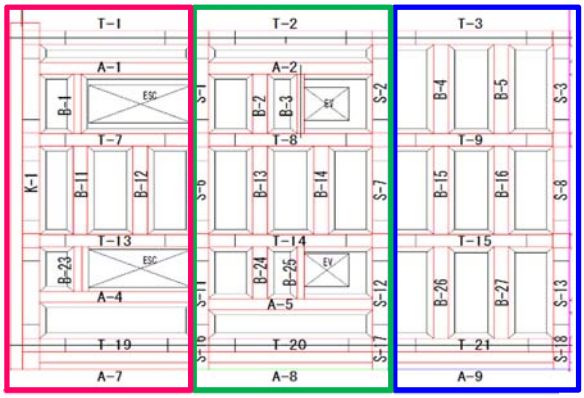


図-11　JR 長崎駅高架橋 梁構造平面図

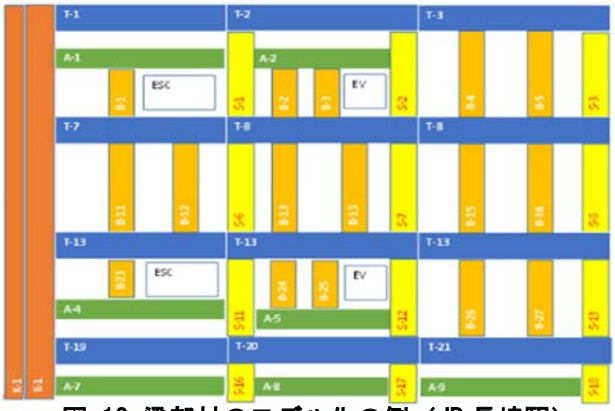


図-12 梁部材のモデル化の例（JR 長崎駅）

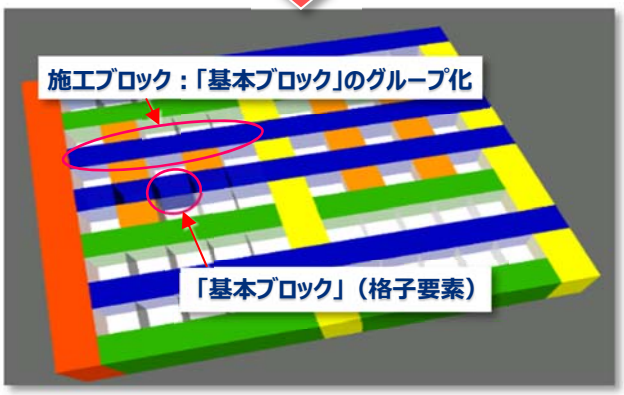


図-13 格子要素による基本ブロックと施工ブロック

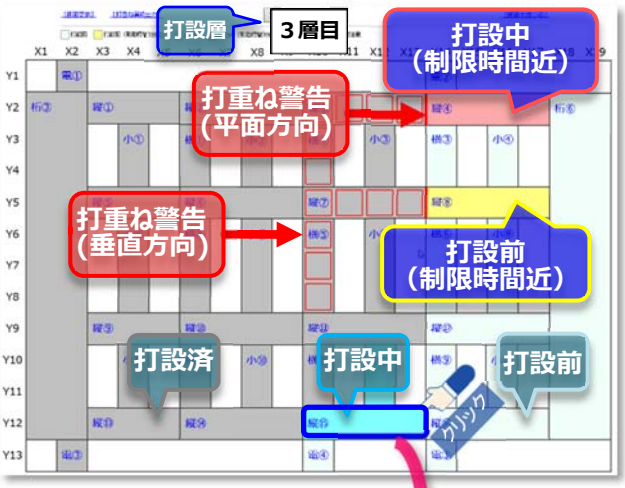


図-14 打重ね管理システム【全体表示】

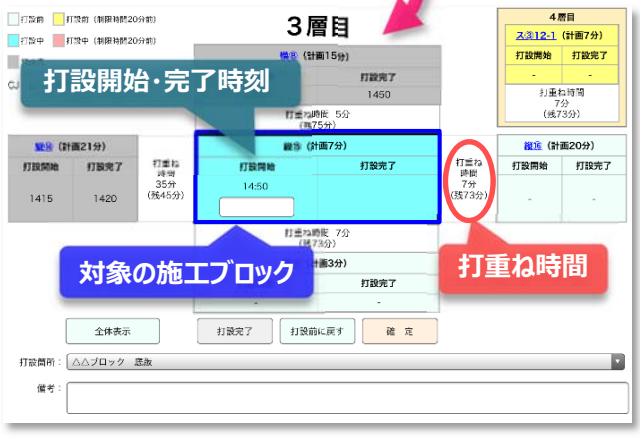


図-15 打重ね管理システム【詳細表示】

済）に合わせて色が変化する．さらに上下左右に隣接する施工区画の打込み時刻を比較し制限時間が近づくと境界線が赤くなり，工事担当者に注意を促すようになっている．施工区画をクリックして詳細画面(図-15)を開くと，隣接する施工区画との打重ね時間や打込み開始完了時刻を確認することができる．本システムの特徴は以下のとおりである．

- クラウドを使用した WEB システムなので，特別なアプリは不要でインターネットに接続できる端末から同時に何人でも操作することができる．各筒先の工事担当者が行った操作もリアルタイムに画面に反映されどこからでも状況を確認できる．工事担当者は，視覚的に打設状況，打重ね状況を記録・確認ができ迅速かつ適切な判断が可能になる．
- 打設計画や打重ね実施記録の入出力は全てエクセルデータにより取込み･書出しで可能．CAD 操作は不要．打重ね実施記録は，クラウドサーバーから「打重ね計画表」にマクロ変換したものをエクセルの帳表として出力でき現場業務の生産性が向上する．
- 打重ね構造（管理ブロック）を所謂「LEGO®」のような「格子要素」でモデル化，これをエクセルで入力定義できるので，複雑な建築構造，タンクなど円形構造また複雑な打設手順でも格子要素構成を細分化することにより梁･スラブ･壁などを汎用的に設定できる．逆にモデルを単純化し管理を簡素化することもできる．また、格子要素で設定された基本単位の管理ブロックを施工単位に合わせてグループ化することにより簡略化した施工管理が可能．この 6 面体に接する面の時間情報を計画と実施で比較し管理．境界面が型枠や露出面の場合には，隣接ブロックを「空要素」で定義する．

- 打設計画段階で打重ね時間のシミュレーションができ「打重ね計画表」を出力．複雑な打設計画でも簡単に繰返し検討ができるので，正確かつ迅速に最適な打設計画を立案することができる．
- 「俵打ち」など特殊な打設手順にも対応可能．様々な打設パターンで対応可能な汎用システム．打設中に打設手順が変更になった場合でも施工記録の入力は対応可能．また，制限時間が近づいてきた場合に一時的に少量の生コンを投入する「コールドジョイント対処」による時間リセットの機能もある．
- 生コン車情報を打設ブロックと紐付けて記録，帳票に出力（図-16）できるので，コンクリートのトレーサビリティをシステムとして実現．将来的には CIM モデルとして維持管理で活用できる．

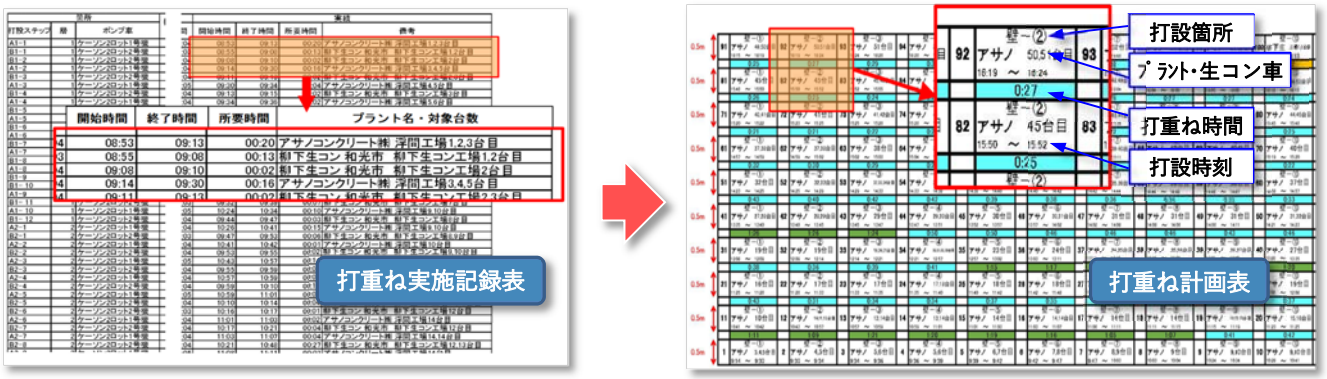


図-16 「打重ね実施記録表」から「生コン車情報付打重ね計画表」にマクロ変換：（環七調整池中間立坑の例）

6. 本システムによる効果

上記に述べた特徴の他に今回の現場運用で確認できた本システムの効果を以下に示す．

- コンクリートの打重ね管理の情報が「計画」と「実施」で比較して WEB システムで見える化．今まで曖昧だった打重ね時間の記録が自動で記録として残り，生コン車情報，打設時間情報，品質試験情報と一緒に一元的にサーバーで管理されるため，コンクリートのトレーサビリティが強化され，データの信頼性･透明性が向上．高度な品質管理を実現した．また、帳票作成業務が効率化したので残業が減った．
- 打重ね時間が超過する危険性がある箇所が，赤色で警告表示されるので，それぞれ施工区画の時刻を確認しなくても簡単に認識できた．各筒先の工事担当者同士で施工区画の打重ね時間を情報共有できるようになったので，制限時間が迫った箇所の「コールドジョイント対処」の判断が容易になった．また，隣接する施工区画において，打込開始からの打重ね時間が自動で計算されるため，打重ね時間の記録に個人差がなくなり定量的な管理を行うことができた．
- 打重ね時間の状況は，インターネットに接続できる端末を持っていればリアルタイムに閲覧できたので，品質試験などで一時的に筒先から離れた場合でも打設状況を確認することができた．

7. まとめ

コンクリートポンプ筒先の工事担当者は，現場で管理する項目も多く，打重ね管理だけに専念はできない．そのため本システムの入力は簡便でなければならない．また，実際の打設では状況により打設手順や施工区画を急遽変更することもある．今後，この様な多様なケースにも臨機応変に対応できるように更なる改良を加え拡張していく予定である．打重ね時間管理の手法ついては，打重ね時間の計算方法や記録帳票書式などまだ未確立の部分も多い．本システムが，現場打ちコンクリート工事における打重ね管理のひとつの手法として例示でき，今後，標準的な管理手法確立の一助になれば幸いである．

参考文献

1）土木学会 2017 年制定　コンクリート標準示方書【施工編】 同 改定資料 設計編・施工編
2）土木学会 コンクリートライブラリ 145　施工性能のもとづくコンクリートの配合設計・施工指針[2016 年]
3）土木学会 コンクリートライブラリ 148　コンクリート構造物における品質を確保した生産性向上に関する提案
4）土木学会 全国大会 第 72 回年次学術講演会 2017 年 9 月　VI-807 現場打ちコンクリートの新しい管理手法の提言
5）土木学会 全国大会 第 73 回年次学術講演会 2018 年 8 月　VI-648 現場打ちコンクリートの新しい打重ね管理システム