コンクリート打設統合管理システムの開発と現場適用

Development of a Concrete Placement Management System and Use at a Construction Site

廣中哲也*　齋藤隆弘**　今泉克彦**　高尾篤志***

要　旨

コンクリート構造物の品質管理の適正化および打設管理業務の効率化を目的に、レディーミクストコンクリート工場、打設場所および現場事務所等のあらゆる場所において、コンクリートの打設計画から出荷・運搬、打込み・打重ね作業までの施工情報を、CIM モデル、モニタリング技術およびクラウドにより管理できるコンクリート打設統合管理システムを開発した。本システムの適用により、コンクリート工事における運搬、打込み・打重ねに関する品質の確保と、打設計画の立案、運搬・打込み・打重ねに関する時間管理および書類作成等の打設管理業務の効率化が実現され、あわせて一連の施工情報の電子化によるトレーサビリティへの展開が可能となった。

キーワード：CIM、モニタリング技術、クラウド、運行管理、打設管理

1．まえがき

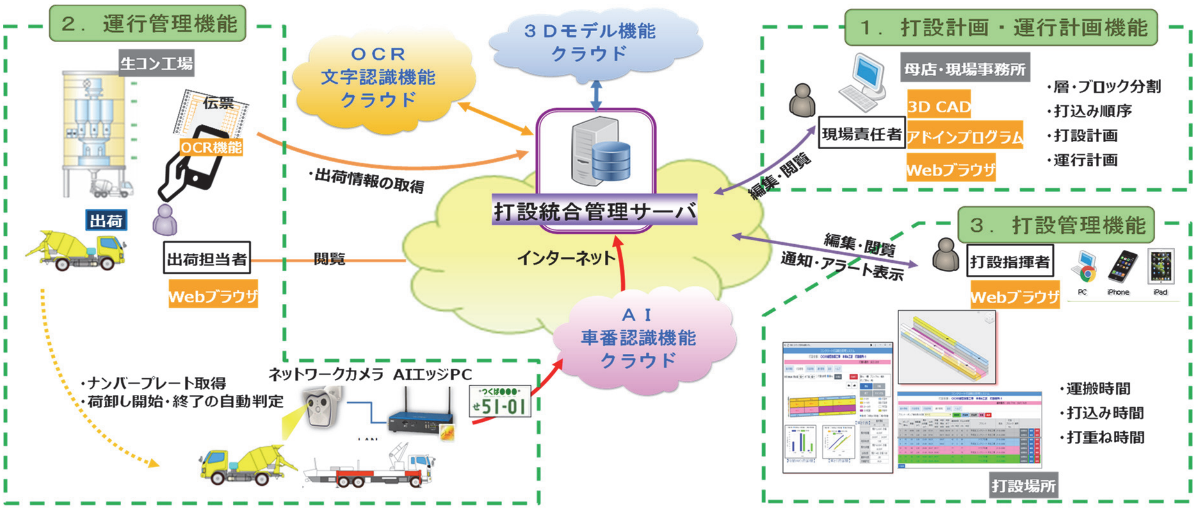
コンクリート構造物の品質を確保するために、施工管理者は、打設計画の立案や、施工時のコンクリートの出荷・運搬情報とその時間経過、下層のコンクリートに上層のコンクリートを打ち込むまでの打重ね時間間隔等の情報を収集、分析し、適切に管理する必要があり、多くの時間と労力を費やしている。そのため、施工情報を連続的に共有し、早期に施工にフィードバックすることにより、適正な品質管理を実現すること、および打設管理業務を低減することが望まれている。

そこで、コンクリート構造物の品質管理の適正化および打設管理業務の効率化を目的に、3D モデルにコンクリートの運搬・打込み・打重ね等の情報を付与したモデル（以下、CIM モデル）、モニタリング技術およびクラウドの活用により、計画から施工までのあらゆる情報をリアルタイムに共有するとともに見える化して一元管理するコンクリート打設統合管理システムを開発した。本報では、コンクリート打設統合管理システムの概要および同システムの現場適用結果について述べる。

2．コンクリート打設統合管理システムの概要と特徴

2.1　システムの概要

図－１にコンクリート打設統合管理システムの概要を示す。本システムは、打設・運行計画、運行管理および



図－１　コンクリート打設統合管理システムの概要

*技術本部技術研究所　**技術本部技術研究所土木研究グループ　***ＩＣＴ統括センターイノベーション部

打設管理の 3 つの機能から構成され、将来の発展性、汎用性を考慮した自由度の高いシステムとするため、クラウド上のコア機能を有する打設統合管理サーバと必要機能を有する外部クラウドを組み合わせた。また、CIM モデル、モニタリング技術およびクラウドを活用したネットワークを構築し、レディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場）、打設場所、現場事務所等で計画から施工までの情報をリアルタイムに共有するとともに見える化して一元管理するシステムとした。外部クラウドとして、3D モデル機能、OCR 光学的文字認識機能および AI 車番認識機能を、通信端末として、スマートフォン、タブレットおよび PC を使用している。

2.2　打設・運行計画機能

打設・運行計画機能は、3D モデルを用いてコンクリートの打込み位置を水平方向と鉛直方向に分割（以下、ブロック分割）した図の作成、打設条件設定や下層のコンクリートを打ち込んでから下層のコンクリートが固まり始める前に上層のコンクリートを打ち重ねることで、下層と上層の一体性を保つことができる時間間隔 [1]（以下、打重ね時間）の照査等の打設計画の作成を管理している。また、コンクリートの配合、総出荷台数等の運行計画の作成も管理している。以下に打設・運行計画機能の特徴を示す。

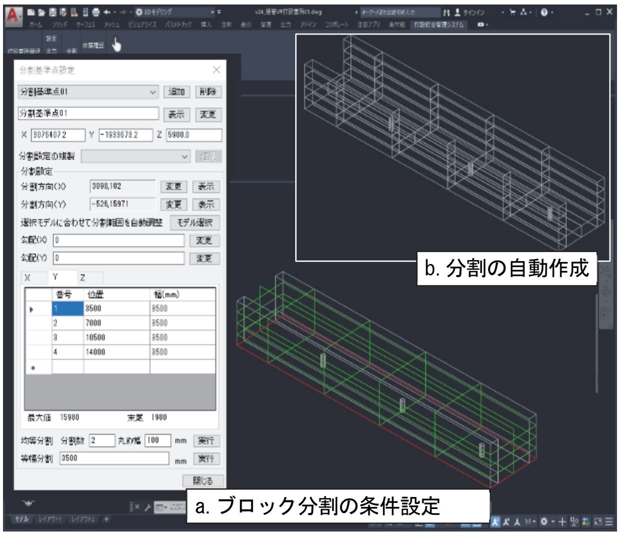
図－２に 3D モデルのブロック分割例を示す。3D CAD ソフトの追加機能により、水平・鉛直方向の分割条件を入力することで、各ブロック接点の 3 次元座標からなるブロック分割の 3D CAD データが作成される。次に、この 3D CAD データを打設統合管理サーバに登録することで、3D モデルクラウドサービスを利用して、3D モデルが自動作成される。これにより、3D モデルが 3 次元座標を持つブロックで管理でき、一連の計画業務を短時間で行える。

図－３に打込み順序の入力と打重ね時間の照査例を示す。打設量、打設速度、ブロック分割番号、打込み順序等の打設計画条件の入力により、打重ね時間表、平面と立体図の打重ね時間マップが自動作成される。これらを確認することで、計画の修正が容易かつ確実となり、最適な打設計画の立案を可能にした。

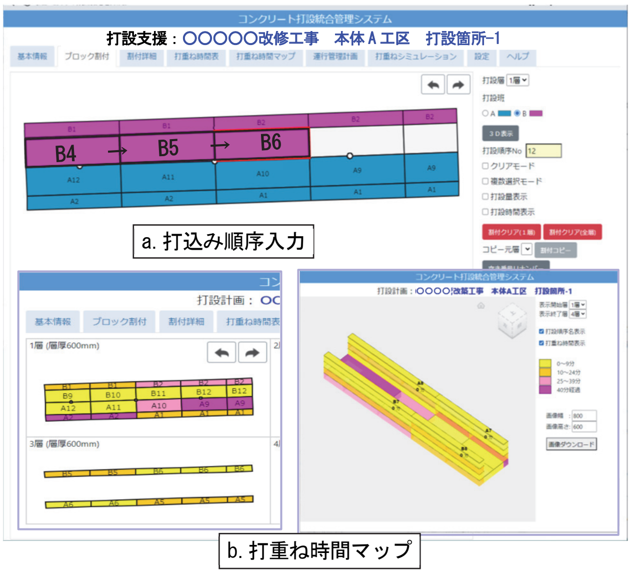
2.3　運行管理機能

運行管理機能は、コンクリートの種類、出荷時刻、トラックアジテータ（以下、アジテータ車）の車番や積載量等のコンクリート納入書（以下、生コン伝票）、受入れ場所のコンクリートの荷卸し開始・終了時刻等の情報を管理している。以下に運行管理機能の特徴を示す。

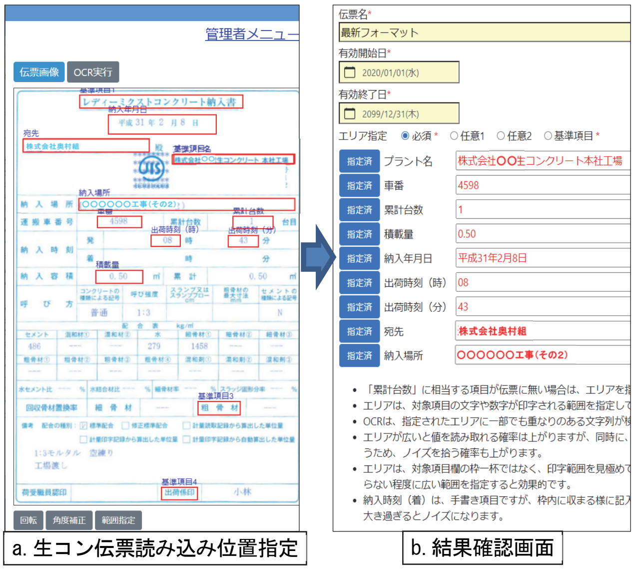
図－４に OCR クラウドサービスを利用した生コン伝票情報の読み込み例を示す。生コン伝票の初期登録として、通信端末カメラで読み取った生コン伝票の画像データに検出範囲を指定する。これにより、生コン工場でのコンクリート出荷時に、通信端末カメラで生コン伝票を



図－２　3D モデルのブロック分割例



図－３　打込み順序の入力と打重ね時間の照査例



図－４　ＯＣＲによる生コン伝票情報の読み込み例

読み取るごとに、情報が文字コードに電子化され、打設統合管理サーバに登録、共有化される。

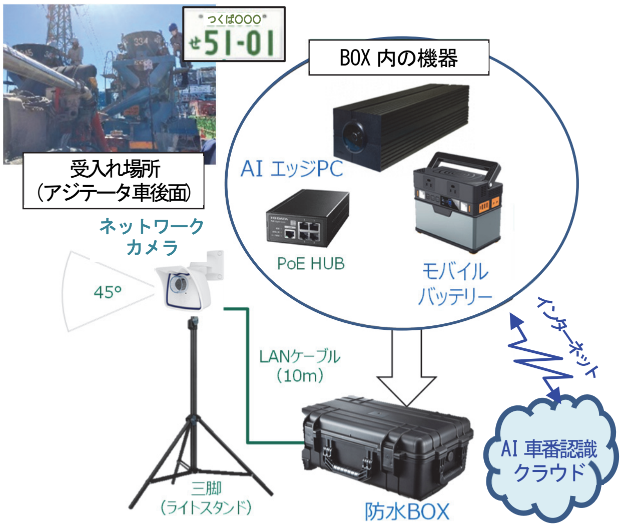
受入れ場所の荷卸し開始・終了時刻の検出には、使用機器の故障、システム不具合、操作ミスなどに対する保守性、信頼性を向上するために、「タブレット画面上の開始・終了ボタンをタップする単純な方法」と、「タップ忘れの人為的ミスを排除できる AI 処理による車番認識方法」の 2 種類の方法を併用した。図－５にネットワークカメラ映像の AI 処理によるアジテータ車の車番認識機能の構成を示す。AI クラウドサービスを利用して、現地でネットワークカメラ映像を AI 処理できる AI 処理端末（以下、AI エッジ PC）を用いて、受入れ場所での荷卸し時のアジテータ車の後面の車番と時刻を一定の間隔で検出している。検出した車番の有無と時刻のデータをもとに、打設統合管理サーバにて、コンクリートの荷卸し開始・終了時刻が算出され、登録、共有化される。なお、通信環境が悪い建設現場でも AI 処理を有効に利用するため、クラウド AI に比べて、送信するデータ量を少なく抑えられる AI エッジ PC を使用した。

図－６にタブレットの運行管理画面例を示す。既開発の 2D モデル版の画面表示と同様に [2]、打設統合管理サーバに登録された生コン伝票およびコンクリート荷卸し開始・終了時刻等の情報から、コンクリートの運搬の進捗情報（出荷済み、運搬中、荷卸し中、荷卸し終了等）を通信端末の画面上に数値、色分け表示および警告バナー・メール通知等で見える化してリアルタイムに表示する。運搬情報を生コン工場と打設現場の両方で視覚的に確認することにより、コンクリートの出荷調整が容易になったため、アジテータ車の待機時間が短縮され、コンクリートの経時変化による品質低下を防止できる。また、コンクリートの運搬時間と打込み時間を自動計算して見える化することで、時間管理を確実に行えるため、JIS 規格等の規定時間の超過を防止できる [1),3)]。さらに、打設場所ごとに、生コン伝票の情報、運搬時刻および打込み時刻等の運行情報が打設統合管理サーバに登録、電子化されることで、運行実績等の書類作成が容易になる。

2.4　打設管理機能

打設管理機能は、打設計画、コンクリート打込み位置・順序と時刻の打込み状況および打重ね時間の情報を管理している。以下に打設管理機能の特徴を示す。

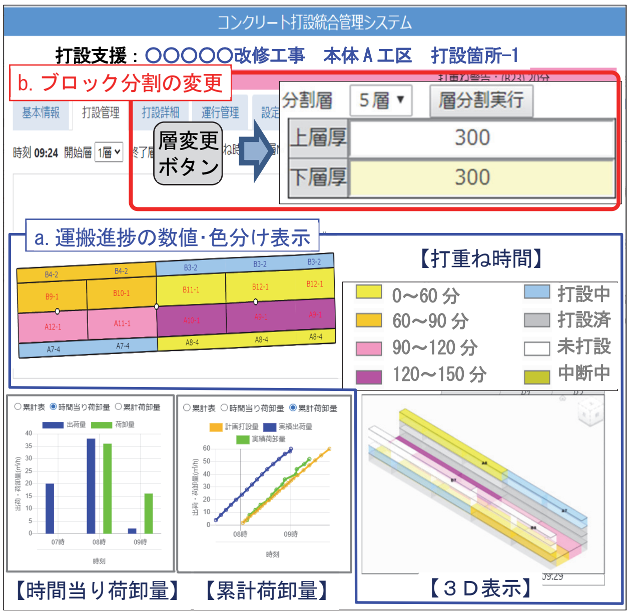
図－７にタブレットの打設管理画面例を示す。図－７ a.に示すように、打設統合管理サーバに登録された打設・運行計画と、タブレット画面上で打設指揮者による各ブロックの打込み開始・終了の位置指定の情報によりコンクリート打込み後からの経過時間を自動計算して平面と立体図で色分け表示することができる。煩雑な打重ね時間の計算を自動化し、視覚的に確認することにより、打重ね時間の管理を確実に行えるため、土木学会コンクリート標準示方書施工編（以下、示方書）の許容打重ね



図－５　映像による AI 車番認識機能の構成

No.	ポンプ車No.	車番	積載量 (m³)	累計出荷量 (m³)	出荷時刻	到着予想時刻	荷卸開始時刻	荷卸終了時刻	運搬時間 (分)	運搬時間 判定	打込み時間 (分)	打込み時間 判定
1	P1	4598	2.80	2.80	07:31	-	08:02	08:14	31	○	43	○
2	P1	176	2.80	5.60	07:41	-	08:11	08:23	30	○	42	○
8	P2	83	3.00	23.00	08:25	-	09:07		42	○	89	
9	P1	233	2.80	25.80	08:25	-	09:02		37	○	89	
10	P2	89	3.00	28.80	08:37	09:17			77		77	
11	P1	567	2.80	31.60	08:38	09:08			76		76	
12	P2	34	3.00	34.60	08:51	09:31			63		63	
13	P2	47	3.00	37.60	09:04	09:44			50		50	

図－６　タブレットの運行管理画面例



図－７　タブレットの打設管理画面例

時間間隔（以下、制限時間）を遵守し、コンクリートのコールドジョイントを防止できる [3]。また、**図－７b.**に示すようにコンクリート打設中に計画変更が生じた場合でも、層分割の厚さを入力するだけで、3D モデル機能クラウドによりブロック分割の変更を自動作成後、打設統合管理サーバにより打重ね層厚・層数および打込み順序を自動作成することで、計画変更が容易になる。これら一連の機能と操作により、打設管理業務を効率的に行える。そのうえ、打設場所ごとに計画から打設・運行実績の施工情報が打設統合管理サーバに電子化されることで、書類作成業務の効率化や施工情報のトレーサビリティによる維持管理業務への活用が可能になる。

３．適用事例

3.1　適用概要

表－１に本システムを適用したコンクリート堰堤の概要、**図－８**にコンクリート堰堤の概要図を示す。施工期間は 2022 年 4 月から 2023 年 3 月とし、堤体積 7,200m^3、堤長 74.5m、堤高 17.9m のコンクリート堰堤を適用対象とした。打設場所 1 回あたりのコンクリートの高さ（リフト高さ）を標準 1.5m、水平方向に 6 ブロック 8.2～13.5m、1 回あたりの打設量 50～170m^3、打設速度 16～20m^3/h として、総打設回数 60 回にて施工した。コンクリートの打込みは、コンクリートの受入れ場所と打設場所の高低差が大きいことや、打設場所ごとに打込みの移動範囲が広いことを考慮して、いずれにも対応できる、つり上げ重量 100t ラフテレーンクレーン 1 台と、容量 2m^3 コンクリートホッパ 2 基を組み合わせて行った。

今回の適用システムは、**図－１**に示したコンクリート打設統合管理システムの中で AI 車番認識機能以外とし、運行管理機能の受入れ場所でのコンクリートの荷卸し開始・終了の検出と登録については、タブレット画面をタップする方法を使用した。

図－９にシステムの使用機器の概要を示す。すべてのデータを打設統合管理サーバに一元化し、打設・運行計画機能では、現場事務所に打設・運行計画管理用の PC 端末を設けた。また、運行管理機能では、生コン工場出荷用と受入れ場所荷卸し用のタブレット端末を、打設管理機能では、打設指揮用のタブレット端末を使用した。

3.2　適用結果

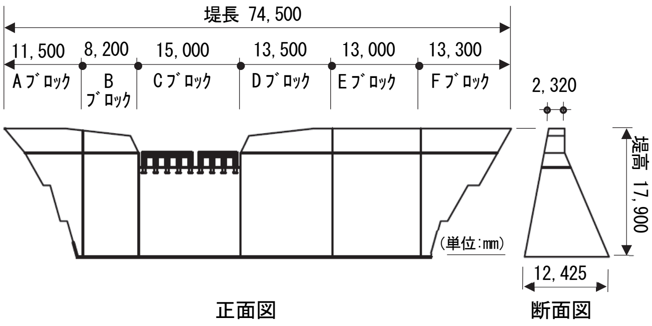
ａ．打設・運行計画

打設・運行計画の手順として、3D CAD 機能により打設場所ごとに層・ブロック分割の自動作成を行い、打設統合管理サーバにデータをアップロードした。その後、打設・運行計画機能により、打設情報（打設日時、打設場所、打設量、打設速度、コンリート配合種類等）、出荷情報（アジテータ車の出荷台数、積載量、出荷速度等）の計画条件および打込み順序を入力し、自動作成された打重ね時間表、平面と立体図の打重ね時間マップにて、打重ね時間の照査、打込み順序やブロック分割の変更を行った。

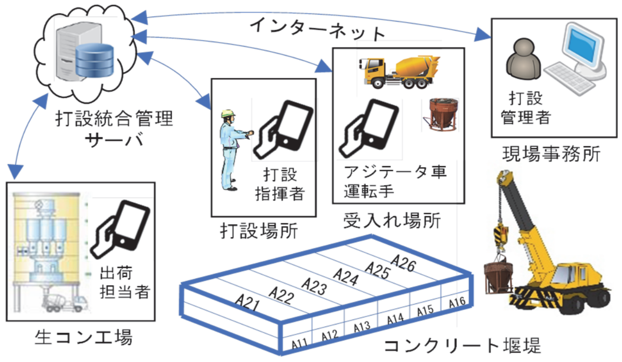
図－10 に幅 12.4m、長さ 13.0m および高さ 1.5m の打設場所を 1 層の厚さ 0.5m の 3 層で打ち重ねる打設計画の PC 表示画面を示す。水平方向にコンクリートを打ち込む「層打ち」では示方書の制限時間（気温 25℃未満

表－１　適用対象の概要

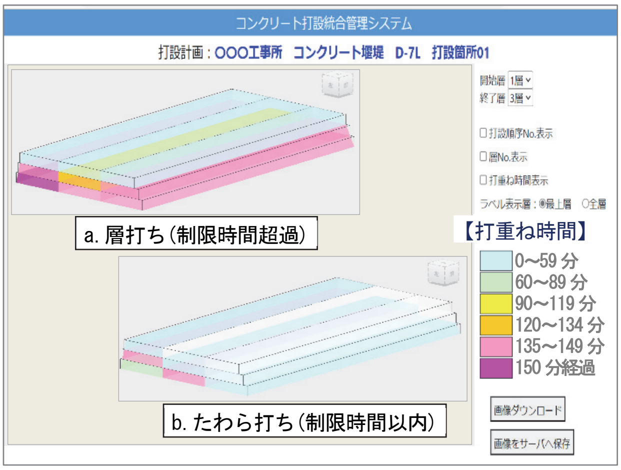
適用対象	コンクリート堰堤
施工期間	2022 年 4 月～2023 年 3 月
構造物諸元	堤長 74.5m、堤高 17.9m、堤体積 約 7,200m^3
打設概要	リフト高さ 1.5m(標準)、打設回数 60 回 1 回あたり打設量 50～170m^3、打設速度 16～20m^3/h
打込み方法	コンクリートホッパによる打込み ・つり上げ重量 100t ラフテレーンクレーン１台 ・コンクリートホッパ２基



図－８　コンクリート堰堤の概要図



図－９　システム使用機器



図－10　打重ね時間計画の PC 画面

で 150 分以内の場合）を超過するため [1]、階段状の順序でコンクリートを打ち込む「たわら打ち」に変更することにより、打重ね時間を短縮し、制限時間内での打重ねとなるように計画した。これにより、1 回の打設面積が比較的広く、制限時間の確保が困難な場合には、コールドジョイントの発生のリスクを低減するため、たわら打ちでコンクリートを打ち込むことが有効であることがわかる。また、打設・運行計画機能を使用することで、打設場所ごとの計画作成時間が、従来の平面図と表計算ソフトを組み合わせた方法の 2 時間程度に比べて、1/4 の 30 分程度に短縮できた。

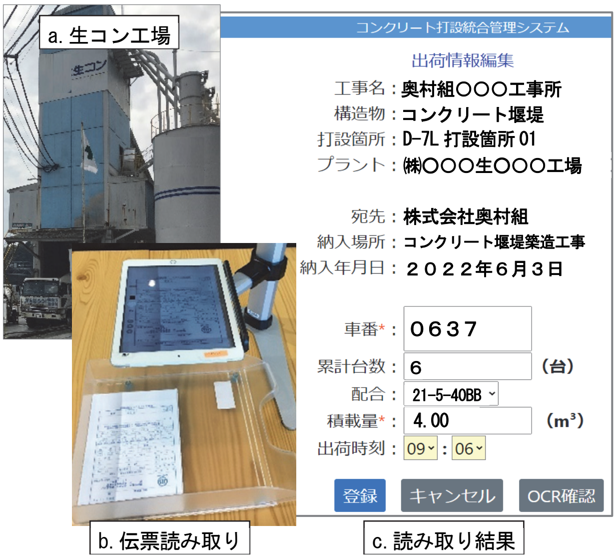
ｂ．運行管理

図－11 に生コン工場での OCR 文字認識機能による生コン伝票の読み取り状況、**写真－１** にコンクリート受入れ場所および荷卸し開始・終了のタブレット画面を示す。生コン工場の出荷担当者は、コンクリート出荷時にタブレットのカメラ機能で各アジテータ車の生コン伝票を撮影する。受入れ場所のアジテータ車の運転手は、荷卸し開始時と荷卸し終了時にタブレット画面の開始・終了ボタンをタップする。これにより、コンクリートの配合、出荷時刻、アジテータ車番、積載量、出荷台数や受入れ場所での荷卸し開始と終了時刻等の出荷・荷卸し情報が打設統合管理サーバに登録、共有化される。

図－12 に生コン工場の出荷担当者と打設場所の打設指揮者のタブレットの運行管理画面を示す。運搬中、打設中（荷卸し開始）および打設済み（荷卸し終了）等のアジテータ車の進捗状況や、コンクリートの運搬および打込みの経過時間を、生コン工場と打設場所の両方のタブレット画面上で、数値と色分け表示により視覚的に確認できた。これにより、コンクリートの出荷調整を適切かつ円滑に行えたため、アジテータ車の現場待機時間が減少した。また、アジテータ車の運搬および打込み時間管理についても、JIS 規格等の規定時間の合否判定を短時間で確実に行うことができた。運行管理機能を使用することで、従来の生コン伝票の内容確認作業と経過時間の計算作業が不要となったため、出荷調整、運搬および打込み時間管理業務の効率化が図れた。

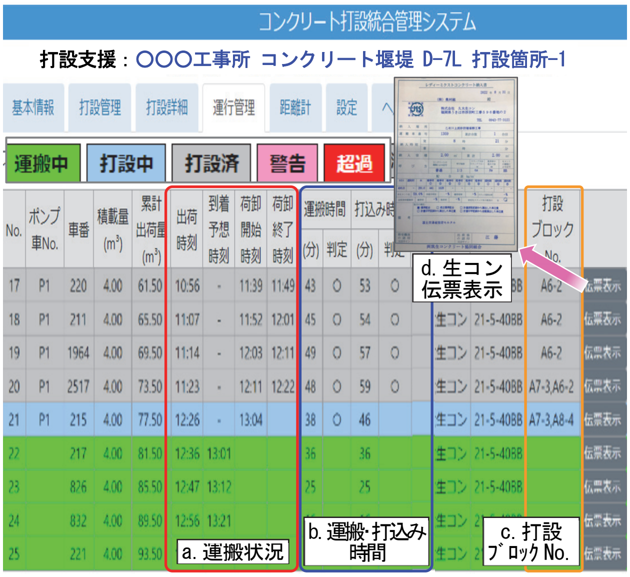
ｃ．打設管理

図－13 に打設管理状況および打設指揮者のタブレットの打設管理画面を示す。打設指揮者は、打込み位置の各ブロックの打込み開始時と終了時に、タブレット画面の該当ブロックをタップする。これにより、各ブロックの打込み開始・終了時刻等の打込み情報が打設統合管理サーバに登録、共有化される。各ブロックの打込み後の経過時間が数値と色分け表示されるため、制限時間内でのコンクリートの打重ね時間管理が容易となり、コンクリートのコールドジョイントの発生リスクを低減したことで、硬化品質の確保ができた。打設管理機能を使用することで、従来の経過時間の計測、計画表の記入と計算

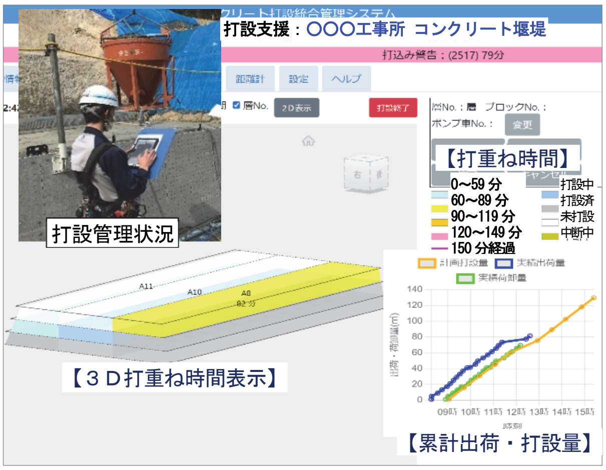


図－11　OCR による生コン伝票の読み取り状況

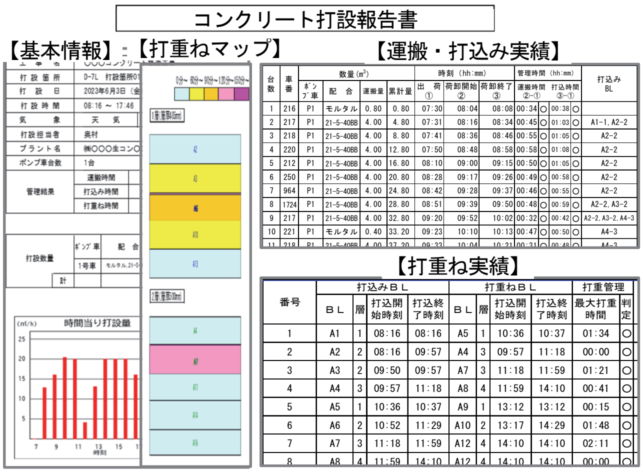
写真－１　受入れ場所と荷卸し開始・終了画面



図－12　生コン工場・打設場所の運行管理画面



図−13　打設管理状況および打設管理画面


コンクリート打設報告書

【基本情報】

打設箇所	D-7L　打設箇所01
打設日	2023年6月3日（金
打設時間	08:16 ～ 17:46
気象	天気
打設担当者	奥村
プラント名	㈱○○○生コン○
ポンプ車台数	1台

【打重ねマップ】

【運搬・打込み実績】

台数	車番	数量(m³) ポンプ車	配合	運搬量	累計量	時刻（hh:mm） 出荷①	荷卸開始②	荷卸終了③	管理時間（hh:mm） 運搬時間②-①		打込時間③-①		打込みBL
1	216	P1	モルタル	0.80	0.80	07:30	08:04	08:08	00:34	○	00:38	○	
2	217	P1	21-5-40BB	4.00	4.80	07:31	08:16	08:34	00:45	○	01:03	○	A1-1, A2-2
3	218	P1	21-5-40BB	4.00	8.80	07:41	08:36	08:46	00:55	○	01:05	○	A2-2
4	220	P1	21-5-40BB	4.00	12.80	07:50	08:48	08:58	00:58	○	01:08	○	A2-2
5	212	P1	21-5-40BB	4.00	16.80	08:10	09:00	09:15	00:50	○	01:05	○	A2-2
6	250	P1	21-5-40BB	4.00	20.80	08:28	09:17	09:26	00:49	○	00:58	○	A2-2
7	964	P1	21-5-40BB	4.00	24.80	08:42	09:28	09:37	00:46	○	00:55	○	A2-2
8	1724	P1	21-5-40BB	4.00	28.80	08:51	09:39	09:50	00:48	○	00:59	○	A2-2, A3-2
9	217	P1	21-5-40BB	4.00	32.80	09:20	09:52	10:02	00:32	○	00:42	○	A2-2, A3-2, A4-3
10	221	P1	モルタル	0.40	33.20	09:23	10:10	10:13	00:47	○	00:50	○	A4-3
11	218	P1	21-5-40BB	4.00	37.20	09:33	10:04	10:21	00:31	○	00:48	○	A4-3

【打重ね実績】

番号	打込みＢＬ ＢＬ	層	打込開始時刻	打込終了時刻	打重ねＢＬ ＢＬ	層	打込開始時刻	打込終了時刻	打重管理 最大打重時間	判定
1	A1	1	08:16	08:16	A5	1	10:36	10:37	01:34	○
2	A2	2	08:16	09:57	A4	3	09:57	11:18	00:00	○
3	A3	2	09:50	09:57	A7	3	11:18	11:59	01:21	○
4	A4	3	09:57	11:18	A8	4	11:59	14:10	00:41	○
5	A5	1	10:36	10:37	A9	1	13:12	13:12	00:15	○
6	A6	2	10:52	11:29	A10	2	13:17	14:29	01:48	○
7	A7	3	11:18	11:59	A12	4	14:10	14:10	02:11	○
8	A8	4	11:59	14:10	A12	4	14:10	14:10	00:00	○

図−14　コンクリート打設報告書の出力例

作業が不要となったため、打重ね管理業務の効率化が図れた。また、打設統合管理サーバで 3D モデル、出荷・荷卸し情報および打重ね情報が関連付けられるため、どのアジテータ車のコンクリートが、どのブロックに打ち込まれたかを判別できたことから、施工情報のトレーサビリティに活用できると考える。

図−14 にコンクリート打設管理報告書の出力例を示す。本システムでは、打設作業完了後の書類として、打設統合管理サーバで関連付けられた各種情報からコンクリート打設管理報告書を自動作成することができる。出力項目は、基本情報、打設数量・時間、打重ねマップ、運搬・打込み実績および打重ね実績である。書類作成機能を使用することで、打設場所ごとのコンクリート打設報告書作成時間が、従来の各種情報を PC に手入力する方法の 1～2 時間程度に比べて、数分程度となり大幅に短縮できた。

４．まとめ

コンクリート構造物の品質管理の適正化および打設管理業務の効率化を目的に開発したコンクリート打設統合管理システムを現場に適用し、以下の結果を得た。

ⅰ．打設・運行計画機能では、ブロック分割、打重ね時間表やマップ等の自動作成により、打設場所ごとの計画作成時間を従来の 1/4 の 30 分程度に短縮でき、計画作成業務の効率化が図れた

ⅱ．運行管理機能では、出荷、運搬、荷卸し、および打込みの進捗をリアルタイムに把握することで、コンクリートの出荷調整が容易になり、アジテータ車の待機時間が短縮され、コンクリートの経時変化による品質低下を防止できた。また、従来の生コン伝票の内容確認作業や経過時間の計算作業が不要となるため、出荷調整、運搬および打込み時間管理業務の効率化が図れた

ⅲ．打設管理機能では、煩雑な打重ね時間の計算を自動化し、各ブロックの打込み後の経過時間を数値と色分け表示により視覚的に確認することで、打重ね制限時間の遵守やコールドジョイントの防止等のコンクリートの品質確保が可能となった。また、従来の打重ね時間の計測や計算作業が不要となるため、打重ね管理業務の効率化が図れた

ⅳ．3D モデル、出荷・荷卸し情報および打重ね情報が電子データとして関連付けられるため、コンクリート打設報告等の書類作成時間を従来の 1～2 時間から数分程度に短縮でき、書類作成業務の効率化が図れた。また、施工情報のトレーサビリティが可能となり、維持管理業務に活用できる

５．あとがき

CIM モデル、モニタリング技術およびクラウドを活用したコンクリート打設統合管理システムを導入し、コンクリート工事における運搬、打込み、および打重ねに関する品質確保、また、打設計画の立案、運搬・打込み・打重ねに関する時間管理、および書類作成等の打設管理業務の効率化を確認した。今後も現場への適用が予定されており、現場適用を通じて使用性、適用効果および運用方法を検証し、システムの利便性の向上を図るとともに、コンクリート工事の施工と品質に役立つ技術として、土木・建築の両分野に展開していきたい。

【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」、pp.108-109、pp.118-120、2017.3
2) 廣中哲也、石井敏之、「ICT を活用したコンクリート打設支援システムの開発とその適用」、電力土木、No.348、pp.76-78、2010.7
3) 日本規格協会、「JIS A 5308:2019　レディーミクストコンクリート」、JIS ハンドブック　10　生コンクリート、pp. 17-95、2022.7