

AI（画像認識、文字認識）を用いたコンクリート打込み数量・時間管理システムの開発

(株) 安藤・間	正会員	○田辺 重男	(株) 安藤・間	シャリスタ	アシシ
(株) 安藤・間	正会員	赤池 考起	(株) 安藤・間	正会員	斎藤 智行
(株) 安藤・間	正会員	白岩 誠史	(株) 安藤・間	正会員	谷田貝 敦
(株) 安藤・間		山西 浩介	Avinton ジャパン	(株)	稲川 裕樹

1. はじめに

コンクリート打込みにおいて、打込み数量をリアルタイムで把握することは、打込みペースの確認と最終数量調整のために非常に重要である。また、各生コン車に対して「練り混ぜてから打ち終わるまでの時間」（以後、打込み時間）を管理することも品質確保の面で重要であり、従来は専任の管理者を配置して行ってきた。近年、一度に大量のコンクリートを打ち込む工事が増えてきた。これらの工事では、複数の生コン工場から出荷されたコンクリートを数台のポンプ車を用いて打ち込む場合が多く、各ポンプ車に専任の管理者の配置が必要であることから人的負担が増加している。そのうえ、トータル打込み数量をリアルタイムに把握するためにはさらに工夫が必要になる。

これらの課題に対し、近年、「生コン情報の電子化」^{1) 2)}を導入することにより、専任の管理者の負担を軽減している工事も見られるが、生コン工場側の理解が必要であることなどが障害となり、導入できる地域は限定されている。また、これにより、専任の管理者の負担軽減はできるが、その配置自体をなくすことはできない。

各ポンプ車に配置される専任の管理者をなくし省人化を図ること、また、その際に、生コン工場側にあらたな負担を強いることなく、施工者内で完結できることを目標とし、近年、急速に進歩しているAIを用いた画像認識技術、文字認識技術を利用したコンクリートの打込み数量・打込み時間管理システムを開発した³⁾。

本文では、システムの開発過程と現場での検証結果について述べる。

2. 必要情報の整理

打込み時間を管理するためには、各生コン車に対する練り混ぜ開始時刻と打込み終了時刻の情報が必要になる。また、打込み数量をリアルタイムに把握するためには、上記に加えて納入容量の情報が必要になる。これらの情報だけでも最低限の管理はできるが、本システムの開発にあたっては、これらに加え、到着時刻、打込み開始時刻、生コン工場名、運搬車番号、ナンバープレートの情報も得られるようにした。これは、以下の理由による。

- ・到着時刻の情報は、JISで規定される運搬時間の確認のため、および交通状況により変動する運搬時間を常時把握し、迅速に対応するためにも必要になる。
- ・打込み開始時刻の情報は、場内における待機時間、打込みに要する時間を把握し、出荷ペースを逐次、調整するために必要になる。
- ・生コン工場名、運搬車番号、ナンバープレート情報は、生コン車を識別し、データ同士を紐づけするために必要になる。

3. PoC（コンセプトの実証）

(1) 打込み開始・終了時刻および運搬車番号、ナンバープレート情報の取得

打込み開始・終了時刻の情報を取得するために、生コン車の後方にビデオカメラを設置し、ミキサーから流出するコンクリートを動画撮影し、その流出開始・終了時刻を検知することを試みた。同時に、生コン車のホッパー背面に記される運搬車番号および後部ナンバープレートの読取りも試みた。画角は写真-1に示す二つのパターンを試みた。コンクリートの流出開始終了時刻の検知は、物体の動きを認識する画像処理技術を用いて

キーワード 画像認識、文字認識、AI、省人化、ネットワークカメラ、打込み管理

連絡先 〒105-7360 東京都港区東新橋1-9-1 (株) 安藤・間 TEL 03-3575-6128

行った。運搬車番号、後部ナンバープレートの読取りはこれらの数字の読取りに特化したAIモデルにて行った。

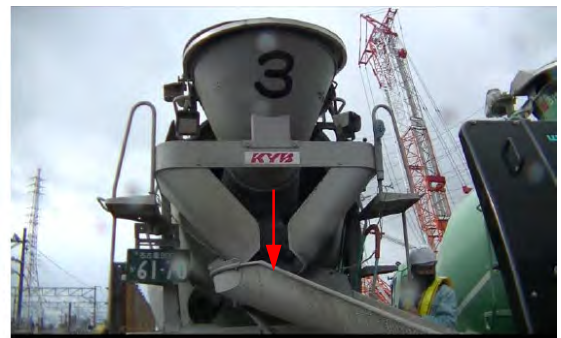
コンクリートの流出開始・終了時刻の検知結果を目視と比較した結果、正答率は両パターンともに40%以下と低く、また、流動量、流速などとの関係性も見られず、何を検知しているのかが不明であった。このことから、ミキサーから流出するコンクリートの検知を、打込み開始時刻・終了時刻の把握に用いることは困難であると判断した。また、ホッパー背面の運搬車番号および後部ナンバープレートの読取りについても、いずれも正答率60%程度と低いものであった。運搬車番号の正答率の低さの原因は、**写真-2**に示すように、文字のかすれ・汚れ、文字の歪み、逆光などであった。特に、逆光は、高い位置に配置されているポッパーに対しビデオカメラを斜め上向きにして撮影するため、回避しがたい現象であった。後部ナンバープレートの正答率の低さの原因は、**写真-3**に示すように、コンクリートによる汚れや生コン車に付属する部品による遮蔽であった。これらの原因を解消するためには、生コン工場側に新たな負担を強いる必要があった。

次に、生コン車の前方にビデオカメラを設置し、生コン車の動きを検知することを試みた。具体的には、生コン車がポンプ車に配置する時刻と、打込み後、ポンプ車から離れる時刻を画像認識技術により検知することにした。また、同時にAIモデルによる前部ナンバープレートの読取りも試みた (**写真-4**参照)。この結果、いずれも高い正答率を得た (**表-1**参照)。

これらの検証結果を踏まえ、打込み開始時刻として「生コン車がポンプ車に配置した時刻」、打込み終了時刻として「生コン車がポンプ車から離れる時刻」を検知することとした。後者については、両時刻間の差は1分以内であり、ほとんど差はない。前者については、1台のポンプ車に生コン車が2台配置される場合、両時刻間に3～6分程度の差が生じることもあるが、打込み開始時刻自体は品質管理項目ではないため利便性を優先した。なお、この検証ではビデオカメラを生コン車前方10mの位置に設置したが、安全上は好ましくない。システム運用時には、生コン車の斜め前方で少し離れた安全な箇所(20～50m遠隔)から光学望遠機能のあるネットワークカメラで撮影できると考えた。また、**表-1**に示されるように、前部ナンバープレートの読取りは高い精度で行うことができたため、ナンバープレートと運搬車番号の関係データを事前に生コン工場側から入手し、システムに入力しておくことにより、生コン車のホッパーに記された運搬車番号を読み取ることなく、運搬車番号で管理される納入書データとの紐づけはできると考えた。



写真-1 流出するコンクリートの検知および運搬車番号、後部ナンバープレートの検知



文字のかすれ・汚れ



文字の歪み(角度)



逆光

写真-2 運搬車番号の誤検知の原因



部品の陰に隠れる



チェーンに隠れる



コンクリート汚れ

写真-3 ナンバープレートの誤検知の原因



写真-4 生コン車前方においたビデオカメラの画像

(2) 練り混ぜ開始時刻、納入容量、運搬車番号、生コン工場名情報の取得

納入容量、運搬車番号、生コン工場名情報はレディミクストコンクリート納入書に記載されている。練り混ぜ開始時刻についても、従来から、納入書に示される納入時刻(発)にて代用されている。納入書に示されるこれらの印刷、印字記録を電子データ化するため、一般に普及している文字認識システムを用いて検知を行った。その結果、表-2に示すように高い正答率を得た。工場名についてはやや低い正答率であったが、これはある特定の工場の納入書において、工場名(印刷)と納入先名(印字)が重なっていることが原因であった。これについては、工場名を特定でき、管理者側でその都度、手入力できるため問題にならないと判断した。

(3) 到着時刻情報の取得

レディミクストコンクリート納入書の納入時刻(着)欄には、生コン車の運転手の手書きによる到着時刻が記載されている。(2)と同様に文字認識システムにて検知を試みたが、手書きであるため精度の良い読取りは不可能であった。そのため、納入書からの読取りは断念し、現場の入場口にビデオカメラを設置し、入場する生コン車の動画を撮影し、AIモデルにて到着時刻、ナンバープレートの読取りを行った(写真-5参照)。その結果、100%の正答率を得たため、これを到着時刻として採用することにした。

表-1 打込み開始・終了時刻検知結果(正答率)

	ポンプ車への到着 および ポンプ車からの発車 時刻の検知(*1)	ナンバープレート の検知	備考
正検知	70	71	
誤検知	2	0	
未検知	0	1 (*2)	
正答率(%)	97.2	98.6	

*1) 目視時刻との差が20秒以内のものを正検知とした。

*2) ナンバープレートの未検知はカメラ撮影の都合によるものである。

表-2 納入書の読取り結果(正答率)

	サンプル数 (個)	正答数 (個)	正答率 (%)
工場名	63	46	73.0
運搬車番号	165	165	100.0
納入時刻(発)	165	156	94.5
納入容積	165	164	99.4



写真-5 入場口に置いたビデオカメラの画像

4. 運用版システムの構築

(1) 運用版システムの構成

先に示した PoC の結果を踏まえ、打込み数量、打込み時間を人の手を介さず自動で取得し、管理できる運用版システムを構築した。システムの構成を図-1 に示す。

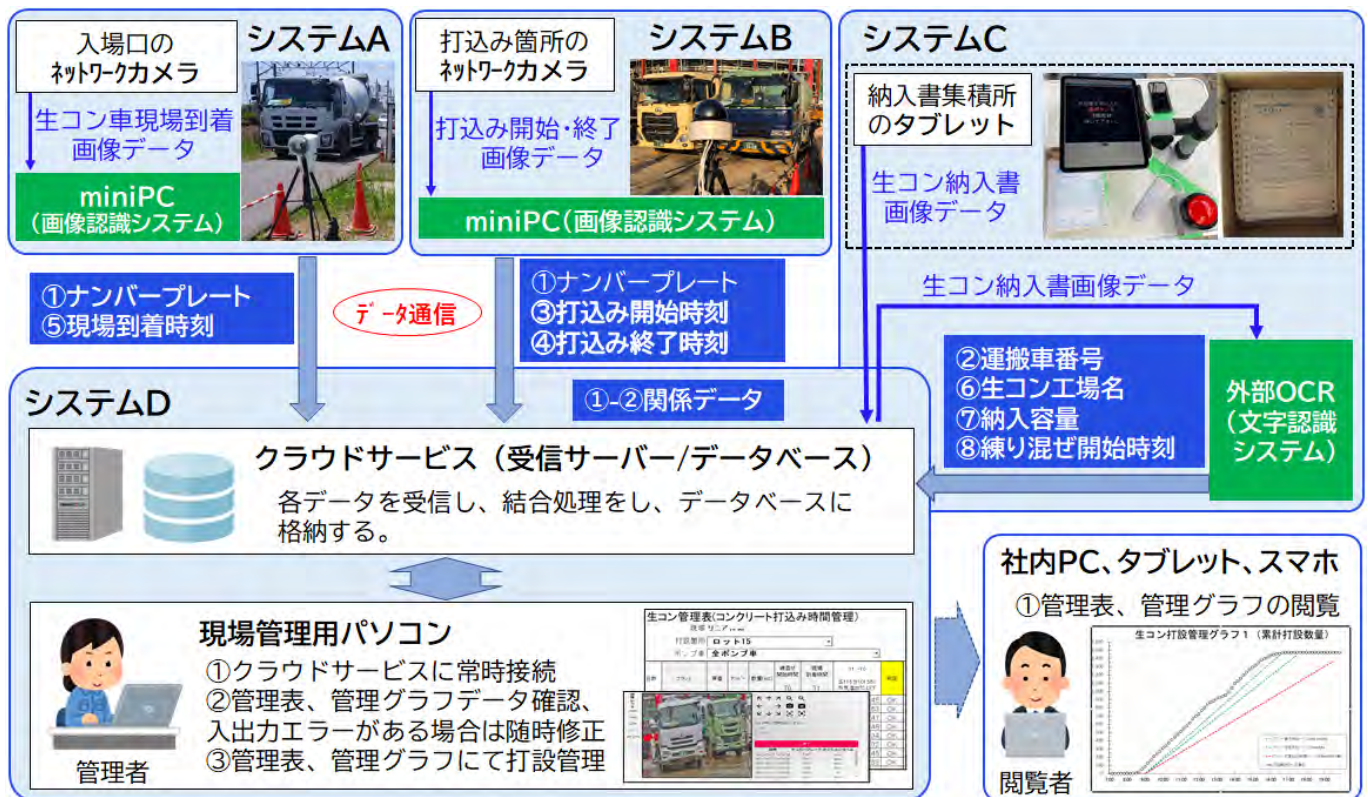


図-1 運用版システムの構成

(2) システム A

ネットワークカメラと、ナンバープレートを認識する AI モデルを搭載したミニ PC を入場口に設置し、画角内に入ってきた生コン車のナンバープレートを読み取り、その時刻ともにクラウドサーバーにデータ送信する仕組みとした。このため、生コン車以外の車や工場へ戻る生コン車の情報も読み取り、送信されるが、これらについては、システム D にて対応することにした。

(3) システム B

システム A 同様の仕組みを各ポンプ車に設置した。また、写真-6 に示されるように、1 台のポンプ車に 2 台の生コン車が配置されることが多いため、画角内に映るナンバープレートに座標情報を持たせ、二つのナンバープレートを識別した。

生コン車がポンプ車に配置された時刻、具体的には、同一のナンバープレートが同一座標上に 30 秒間連続して検知された時刻を打込み開始時刻とした。また、生コン車がポンプ車から離れた時刻、具体的には、同一のナンバープレートがその座標上から検知されなくなり 20 秒が経過した時刻を打込み終了時刻とした。このようなシステムのため、特に問題となったのが、打込み開始後の生コン車のナンバープレートの遮蔽である。カメラと生コン車のナンバープレートを結ぶ線上に誘導員や他



写真-6 ネットワークカメラでの撮影

の生コン車等が入り、その状態で 20 秒経過すると打込み終了とみなされ、その誤った時刻情報がシステム D に送信される。これについては、システム D にて対応することにした。

(4) システム C

当社の現場に普及するタブレットを用いて納入書の撮影、画像データの送信を行う仕組みとした。具体的には、生コン車の運転手が、納入書をタブレット直下の箱に入れ、赤ボタンを 1 回押すだけである（写真-7 参照）。当初タブレット画面内にタッチボタンを設けたが、慣れない運転手が多く、データ欠落が頻繁に生じたため、外付けの大きな赤ボタンを配置した。また、運転手への負担を避けるため、ボタン押しは 1 回とし、仮に入力ミスがある場合は、管理者が現場管理用パソコンで確認し、再入力することとした。



写真-7 外付けの赤ボタンでの入力

(5) システム D

a) 結合処理について

システム D は、各システムから送信されてきた同一ナンバープレートの現場到着時刻データ（システム A）、打込み開始時刻データ（システム B）、打込み終了時刻データ（システム B）がこの時刻順にそろい、かつ、現場到着時刻データ（システム A）、納入書の撮影時刻データ（システム C）がこの時刻順にそろっていることが確認できた時点で結合処理し、データレコードを完成させる仕組みとした。4 項目の時刻データがすべて所定の順にそろうまで各データは待機データとして別表で管理される。この仕組みにより、システム A および B から送信されてくる当該の生コン車以外のデータや工場へ戻る生コン車のデータは、データレコード化されず待機データとして残置される。

b) システム D における遮蔽対応

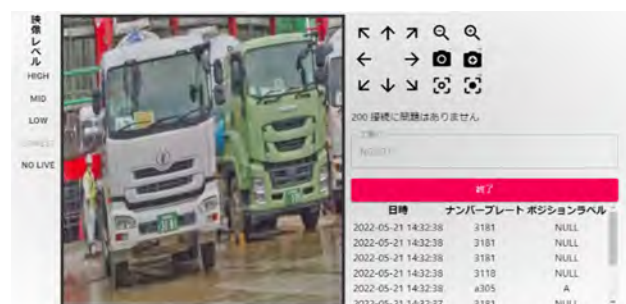
遮蔽により送信された打込み終了時刻データについては、遮蔽が解除され同一のナンバープレートが同一の座標上で 20 分以内に再検知される時に、取り消される仕組みとした。これにより、遮蔽前の状態、すなわち打込みが継続していると認識するようにした。

c) リモート機能について

ネットワークカメラは日差しの移動に伴い逆光となる時間帯があり、また、生コン車の走行振動により画角がずれることもある。また、不慮の故障も考えられる。これらの状況に迅速に対応するため、管理者が手元でカメラ画像および AI モデルの出力を随時確認し、必要に応じて画角調整（向き、ズーム、焦点）できるリモート機能を付加した（写真-8 参照）。



到着時刻検知（システム A）



打込み開始・終了時刻検知（システム B）

写真-8 リモート操作画面

5. 運用版システムでの現場検証

構築した運用版システムを実際のコンクリート打込みに適用し、検証した結果を報告する。大型ケーソン工事現場における9回のコンクリート打込みに適用し検証した。1回当たりのコンクリート打込み量は1500m³程度であり、最大7箇所を生コン工場から納入し、ポンプ車は毎回4台使用している。また、1回当たりの生コン車はのべ360台程度である。入場口側のヤードに設置した3台のポンプ車に対するネットワークカメラの配置とその画角を図-2に示す。入場車、退場車が画角内を頻繁に横切り、また、誘導員によるナンバープレートの遮蔽もしばしば起こる環境にある。

当該工事では、従来、各ポンプ車に専任の管理者が1名ずつ計4名配置されていた。専任の管理者は生コン車のシュートを流れ落ちるコンクリートを見て、打込み開始・終了時刻を判断し、また、生コン納入書から練り混ぜ開始時刻、到着時刻、納入容量、運搬車番号、生コン工場名を読み取っていた。それらの情報を、その都度、タブレットを用いて社内サーバに入力していた。入力されたデータは社内サーバ内で統合され、現場の管理テントにいる統括管理者が管理用パソコンにて確認・管理してきた。

今回構築した運用版システムの現場検証は、従来行われてきた上記管理方法と並行して行った。検証は両者の結果を比較することによって行った。練り混ぜ開始時刻、納入容量、運搬車番号、生コン工場名の情報が、従来管理の結果と完全一致する生コン車の数を全生コン車数で除したものを認識率1とした。結果を表-3に示す。第3、4回で認識率1が急激に落ち込んでいるのは、入場口に設置したシステムAのカメラ配置を変更したことにより、生コン車以外の駐車車両が新たに画角内に入り、ナンバープレートの読み込みデータ量が増大し、AI処理容量を超過したことが原因である。これについては第6回以後、AIモデルを変更し、処理性能を向上させたことにより大幅に改善できた。認識率は93~99%を確保でき、更に、欠落原因が明らかでデータ値を推定できるものを手入力追加した場合は、100%を確保できることを確認した。また、第6回以後の検証においては、打込み終了時刻の結果についても検証を行った。その際、打込み終了時刻の両システム間での差が3分以内であるものを一致とみなした。これは、従来管理システムは人が判断した時刻を入力するシステムであり、時刻データの精度はそれほど高くはないことを考慮したためである。結果を表-3の認識率2に示す。これについては、第8回以後、ほぼ100%近い認識率を得られている。

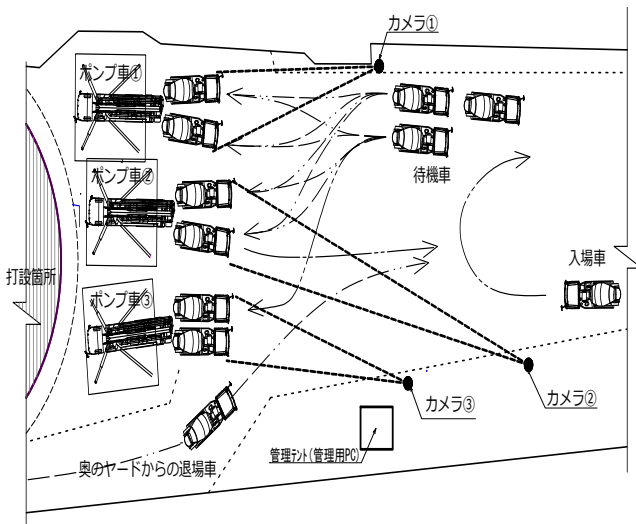


図-2 カメラの配置とその画角

表-3 検証結果（認識率）

検証回数	認識率1 ^{*1}		認識率2 ^{*2}
		手入力追加 ^{*3} を行った場合	
第1回 2021.09.29	85.9	93.2	
第2回 2021.11.19	81.3	95.6	
第3回 2021.12.10	67.3	88.9	
第4回 2022.01.07	61.7	91.7	
第5回 2022.01.27	79.3	95.8	
第6回 2022.02.15	93.1	99.4	95.6
第7回 2022.03.10	94.7	100.0	94.7
第8回 2022.03.31	99.2	100.0	99.2
第9回 2022.05.21	95.8	100.0	98.1

*1) 「下記の①~⑧のすべてのデータについて欠落がなく、そのうち②⑥⑦⑧については、従来管理データと完全一致する」生コン車の数の全生コン車数に対する比率

*2) 「上記に加え④が従来管理データと一致する」生コン車の数の全生コン車数に対する比率

①ナンバープレート、②運搬車番号、③打込み開始時刻、④打込み終了時刻、⑤現場到着時刻、⑥生コン工場名、⑦納入容積、⑧練り混ぜ開始時刻(納入時刻(発))

*3) データ欠落原因が明らかであり、入力データが推定できるものを手入力で追加

6. おわりに

現場での検証は長期に及び、その間、現場ならではの問題に直面してきた。夏季における高温によるタブレット、ミニ PC の停止、日差しの移動にともなう逆光、生コン車の走行振動によるカメラ画角のずれ、突風による資機材の転倒・飛散など、ある程度は想定していたが、現場で初めて気づくことも多くあった。これらに対し、検証を繰り返す過程で、ひとつひとつ改善してきた。

本システムは自動化システムであるが、**表-3**でも示したように自動化部分の認識率は必ずしも 100%ではない。現場ではこのシステムの自動化部分では捕捉できない生コン車の動きが発生する場合がある。例えば、ごくまれであるが、2 台の生コン車が車間距離を詰めて入場口のネットワークカメラの前を通過することにより、後方の生コン車のナンバープレートが隠れてしまう場合がある。また、1 日の打込みの最終盤において、打込み箇所ごとに不足するコンクリートを調整するため、荷下ろし途中の生コン車が他のポンプ車に移動し、荷卸しを再開することもある。他にも、多々、自動化部分では捕捉しきれない生コン車の動きは起こりうるが、そのような場合でも、その都度、管理者がその前後データから欠落したデータ、誤検知データを推定し、追加・修正できるシステムとした。

冒頭で示したが、現状、「生コン情報の電子化」を導入できる地域は限定されているが、国交省による「i-Construction」の推進もあり、今後、全国に普及するものと思われる。そのような場合でも、本システムのうちシステム A、システム B との融合は可能であると考え。それにより一層の省力化は図られると考える。

参考文献

- 1) 渡辺高也, 大友健:「生コン情報の電子化」の実証と汎用化に向けた課題の考察, 土木学会土木建設技術発表会 概要集, pp83-88. 2019.
- 2) 一般社団法人 日本建設連合会:「生コン情報の電子化」試行工事経過報告, 第 8 回コンクリート向上検討協議会 資料 4, 2019.
- 3) 安藤ハザマ プレスリリース 2022 年 6 月 30 日, <https://www.ad-hzm.co.jp/info/2022/20220630.php>