

# コンクリート打設管理システムの開発

鉄建建設(株) 正会員 ○福岡 瑛莉奈 正会員 石田 靖

## 1. はじめに

コンクリートの打込み作業は約 50 年間ほぼ変わらず、監督職員が作業計画に従い、作業員の役割、パイプレータの挿入時間、アジテータ車の配車間隔等、目視確認しながら指示している。しかし、監督職員の経験や施工規模などによって、対応ミスおよび指示連絡の遅れが生じることで作業効率や品質の低下が発生し、品質トラブルを引き起こす原因となる。

これらの問題を解決することを目的に、コンクリートの打設状況を高精細カメラによる画像や充填センサ、加速度センサなどでセンシングを行い、AI による分析結果を値や図によってリアルタイムに可視化して、施工管理や作業指示をサポートするシステムの開発を行った。本報では、現場活用に向けた実証試験により、本システムの課題と改善点および 5G 通信環境下での有用性を報告する。

## 2. システム概要

### (1) 従来型の施工における課題への対処

コンクリート打設の品質向上施策については、国土交通省をはじめ、ゼネコン各社や研究機関で多くの検討がされている。例えば「東北地方におけるコンクリート構造物 設計・施工ガイドライン (案)」<sup>1)</sup>や「コンクリート構造物の品質確保・向上の手引き (案)」<sup>2)</sup>では、コンクリートの打込み順序や高さ、締固め時間などについて定量的な基準が示されている。

一方で従来は、コンクリート打設に関する作業の定量的な評価は困難であった。基準を満たした施工が行われたかを十分に確認できず、それ故に作業員に十分なフィードバックがされなかった。開発したシステムでは、作業状況をセンシングし、定量的な評価を与え、適切に現場へフィードバックすることでコンクリート打設の品質向上を目指した。

### (2) システムの開発方針

コンクリートの品質に影響を及ぼす可能性が高い要素の推定および評価を行う仕組みを検討した。図-1 のような解析メニューにおいて、品質低下が懸念される場合は施工関係者にリアルタイムで通知することで、品質低下を未然に防止する方針となり、指示伝達の遅延による手戻りの阻止が可能になった。

- a) 打設済み区画の表示
- b) 締固め時間の表示
- c) コールドジョイント警告
- d) 打設完了見込み時間の計算
- e) 打設ペース異常の警告

図-1 解析メニュー

### (3) システムの構成

図-2 のように定点カメラで撮影されているコンクリート打設状況の動画および作業員に装着したウェアブルセンサから得られるデータを、AI により分析した結果をリアルタイムで数値化や図化を行う。また、警告メッセージなどの情報を発信することで監督職員の判断、指示、対応を支援するものである。これによりトラブル時の対応遅れや指示ミスなどによる品質低下を防



図-2 システムの構成

キーワード：コンクリート打設管理システム、AI、5G 通信、多層打込み、遠隔臨場

連絡先：〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町二丁目 5 番 3 号 鉄建建設株式会社 TEL 03-3221-2163

止する。

システムの具体的な機能を下記に示す。

#### a) 打設済み区画の表示

高精細カメラによる画像から、打設完了エリアや打設ホースの位置を判断し、打設完了エリアを区画（2m×2m のマスを表示し着色する。区画の大きさは、施工規模に合わせて変更可能である。

#### b) 締固め時間の表示

バイブレータ担当者が装着している加速度センサから締固めの動きを判断し、時間を色で表示する。図-3 のように朱色が濃いほど締固め時間が長いと判断されるため、色が薄い箇所については、締固め不足と判断し、このエリアに対して追加締固め指示を行う。

#### c) コールドジョイント警告

打設完了エリアにて、コールドジョイントが発生する恐れのある箇所は図-3 のように青線にて警告が表示され、打設順序の変更指示を行う。

#### d) 打設完了見込み時間の計算

打設計画から作業開始および終了予定時刻を入力し、打設完了エリア等から算出される実績との比較と完了予想時刻をグラフで表示する。

#### e) 打設ペースの異常警告

打設完了予想時刻に対して、打設ペースの遅れを警告メッセージとして表示する。

### 3. 実証実験－1

本システムの現場活用に向けた課題抽出を目的に実証実験－1を行った。実施箇所の工事概要はPC 上部工工事で、コンクリート打設対象範囲は床版部である。

#### (1) 実施計画

実験対象箇所のコンクリート打設方法は、2 台のポンプ車を利用して、2 主桁の桁部分を 4~5 層、床版部を 2 層で打設する計画である。

図-4 に示す床版（L=52.0m, B=9.55m, t=0.45m）の着色部分を対象としてセンシングを行い、打設状況の動画から左システムによる解析ができていることを確認した。なお、実験で使用するカメラおよびPCは、図-5 のように打設範囲の両端である P3 上および P5 上に配置した。

#### (2) 実施結果および考察

機材の配置状況を写真-1 に、現場での動作確認状況を写真-2 に示す。また、実証実験－1 から得られた結果を以下に示す。

- 施工当日は施工資材配置等の影響により、前日から若干のカメラ設置位置およびシステム設定の修正を行ったが、正常に動作していることを確認した。
- 今回使用したカメラポールの場合、強風時の揺れが大きいため、手振れ補正などの対策が必要である。
- 今回のように多層打設を行う桁部分の場合、カメラから打設状況が判別できないので、システムを再検討する必要がある。
- 作業員の服装が空の色やバリケードのスタンドの色と同系色であっ

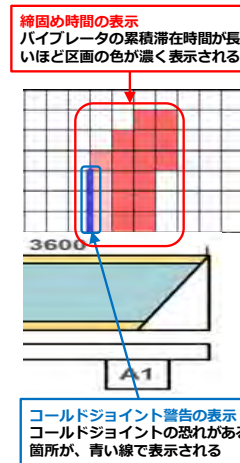


図-3 締固め時間およびコールドジョイント警告の表示

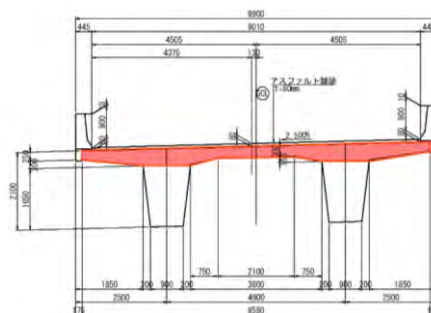


図-4 センシング対象範囲

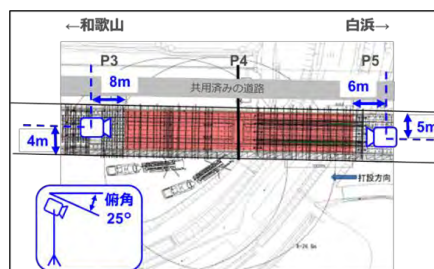


図-5 実証実験の計画図面



写真-1 機材の配置状況



写真-2 現場での動作確認状況

たり、真っ黒や真っ白に近い色などは背景と同化するため、本システムの判定が困難になることが多かった。検出精度が悪い時の条件を整理し、分析方式の再検討が必要である。

#### 4. 実証実験－2

実証実験－1では現場に配置したPCで解析を実施していたが、**図-6**のように本システムの最終イメージは、リアルタイム情報共有機能を活かした遠隔地も含めた活用を想定している。そこで、高速大容量、低遅延の5G通信技術（以下、5Gとする）による有用性を確認した。

実施箇所の工事概要は老朽化に伴う発電設備取替え工事で、コンクリート打設対象範囲は、発電機取替後の地上部床版である。

##### (1) 概要および課題の対策

実験対象箇所は厚さ3.5mの地上部床版の中央に直径6.6mの機械設置用の円柱をくり抜いた形状をしている。コンクリート打設は上下2回になるので、1回目（下部：厚さ2.0m）は事前調整、2回目（上部：厚さ1.5m）は実証実験とした。

実証実験－1で課題となったカメラの揺れ対策として、今回はネットワークカメラを単管に取り付けて対策を行った。多層打設についてはコンクリート充填センサを打設計画に合わせて平面および深さ方向に設置し、各打設エリアでの状況を計測した。

また、コンクリートの締固め確認用に加速度センサをバイブレータ担当者に装備し、締固め時間の確認を行った。

**図-7**のようにそれぞれのデータは、5G通信環境を経由してクラウド上の解析サーバに転送し、関係者のPCおよびタブレットにて情報共有した。

##### (2) 実施結果および考察

デジタルサイネージでの情報共有状況を**写真-3**、計測難易度の高い撮影環境例を**図-8**に示す。実証実験－2から得られた結果を以下に示す。

- a) データの転送・表示遅延に関して、従来の通信方式である4Gと比較した結果、5G回線を利用した場合の方が5倍ほど早く、高精細なカメラ画像や多数のセンシングデータをリアルタイムに転送する場合の有用性が確認できた。
- b) 日照条件によっては、影や反射などの影響により、カメラの映像だけでは十分な分析ができなかった。
- c) 利活用シーンとして、PCやタブレット、デジタルサイネージでの情報共有が可能となった。今後はスマートフォン等の小さな端末での閲覧を想定した画面レイアウトの対応が必要である。

#### 5. 実証実験－3

コンクリート打設時の多層打設部に対応したシステムの検証を目的とした。実施箇所の工事概要は新幹線高架橋の新設工事で、コンクリート打設対象範囲はフーチングである。

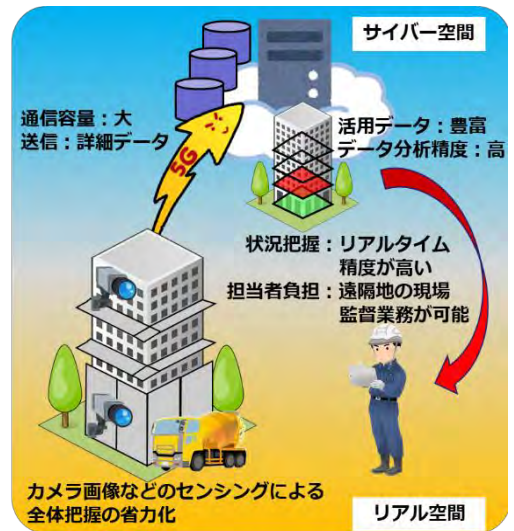


図-6 本システムの最終イメージ

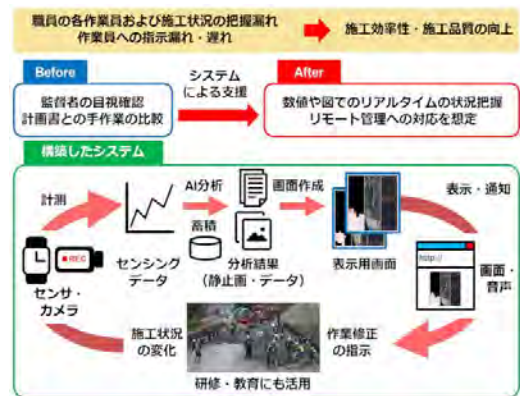


図-7 システムの概要



写真-3 デジタルサイネージでの状況



図-8 難易度の高い撮影環境例

## (1) 概要および課題の対策

実験対象箇所は図-9 のように打上げ高さを 4 層目まで 400mm, 5 層目を 200mm に分割して、コンクリート打設を行ったフーチングである。

これまでの解析メニュー画面から図-10 のように打設エリアは平面 (7.0m×5.5m) を 9 分割, 高さ方向 (1.8m) を 5 分割の多層として立体表示に改良した。そして, 現状最上層以外の打設状況は画像から判定ができないため, ホース筒先やバイブレータによる打設チームの各エリアの移動をもって打設済みと判定し, その結果から施工の進捗を確認できるようにした。

また, 解析結果の一括管理およびブラウザでの確認ができるように, 本システムをクラウドへ移行した。実証実験-2 ではスマートフォン等の閲覧対応が課題であった。そこで, 本システムの操作画面レイアウトの見直しを行い, 写真-4 のようにスマートフォン用にプルダウンやポップアップによってメニューが表示されるようにした。さらに, ライブ映像だけでなく, 静止画も選択可能とすることで端末の通信量を抑えるようにした。さらに, 同日, 同時刻に別々の現場で打設が行われる場合にも, クラウド内のシステムで各現場を追加・設定ができるようにした。

## (2) 実施結果および考察

実証実験-3 から得られた結果を以下に示す。

- 今回は打設チームの移動から打設判定を行ったが橋脚用の鉄筋などの遮蔽物により, 判定が難しい場合があった。
- 監督職員は iPhone や iPad, 事務所等離れた場所にいる所長などは PC 等で状況確認が可能となった。

## 6. まとめ

コンクリート打設品質管理システムを, 床版部および多層部において適用し, 実証実験を通じて運用時の課題および改善点を抽出した。さらに, 5G 実証実験により, 高速通信を活かした利活用の可能性についての検討を行った。今後は現場導入に向けて, コンクリート打設表面への天候等による影響に対しては自動露出補正の機能を追加し, 多層部の打設判定については, センサ等も使用して精度を向上させていきたい。さらにバイブレータの締固め良否判定についても, 映像から作業員の動きや加速度センサなどによる解析を進めて, システムに組み込んで行きたいと考える。そして, クラウドサービスへシステム移行をしたことによって, 施工履歴がデータベースに残り, トレーサビリティの確保が可能になった。それにより, 類似工事前のシミュレーションおよび社員教育のツールとして活用していきたい。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所: 東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン (案), 2009.3
- 2) 国土交通省 中国地方整備局 中国技術事務所: コンクリート構造物の品質確保・向上の手引き (案), 2015.3



図-9 コンクリート打設箇所

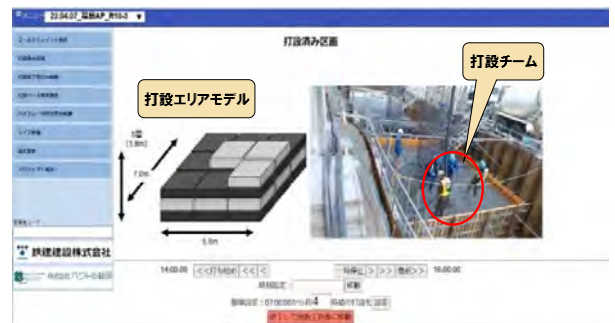


図-10 フーチングの解析画面



写真-4 スマートフォン画面