

1. はじめに

現在のコンクリート打設における現場職員の業務は、作業計画書に従い、作業員の役割やパイプレータの挿入時間等を目視確認しながら指示している。しかし、現場職員の経験不足および施工規模等で作業員への指示に不手際があった場合は、作業効率およびコンクリートの品質が低下して、品質トラブルを引き起こす可能性がある。そこで、現場職員の業務サポートを目的に、コンクリート打設状況を定点カメラで撮影し、そのデータをAIによる画像解析によって、リアルタイムに可視化された結果を表示するコンクリート打設管理システム（以下、本システム）の開発を進めている。

本システムでは、品質トラブルの原因になる要素を解析項目とし、教師データを蓄積するために実証実験を行った。本報では、基礎実験および実証実験について報告する。

2. システム概要

(1) コンクリートの品質確保

現在、国土交通省やゼネコン各社等ではコンクリート構造物の品質確保が検討されている。従来の打設管理は目視確認が主流であり、定量的な評価を行うことが困難であった。しかし、本システムではコンクリート打設に定量的な評価を与えられるため、現場全体へ作業状況をフィードバックし、現場職員がコンクリート打設の施工順序や打ち継ぎ高さ等を把握できる。よって、打設時の品質が確保される。更に、コンクリートの締固め時間についても定量的に評価するため、締固め時間を計測する基礎実験を行った。

(2) 解析メニュー

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。その結果、**図-1**のような解析メニューを設定した。

打設済み区画
コールドジョイント警告
打設完了見込み時間
打設ペース異常警告
打設厚
ライブ映像

図-1 解析メニュー

(3) AI 解析方法およびシステムの構成

画像解析順序を**図-2**に示す。本システムはコンクリート打設状況をAIで画像解析するため、打設エリア全体が見渡せる位置に定点(Web)カメラを設置する。そして、システム内で打設エリアを設定する。その後、撮影した動画中でコンクリート打設状況の画像が判定できるように平面化が行われ、コンクリート打設箇所を分割し、区画が判定されるようになる。

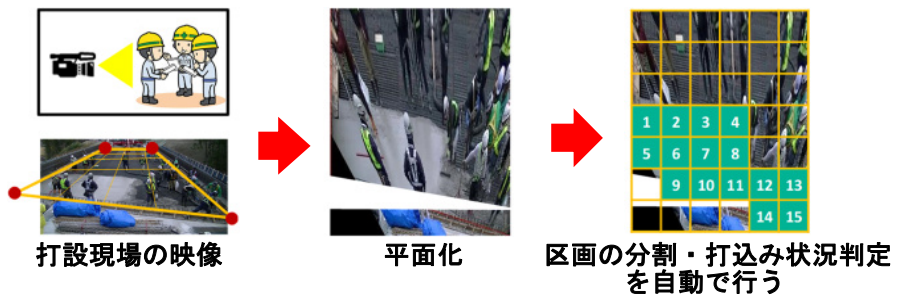
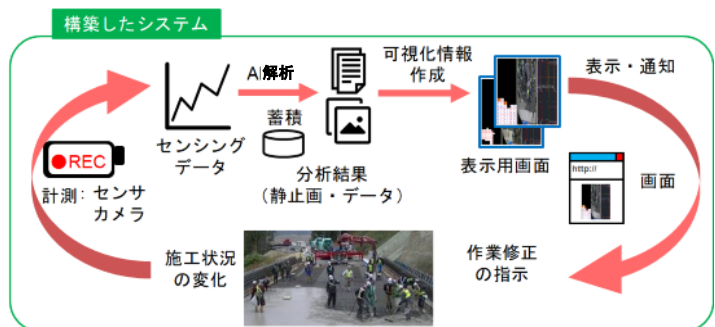


図-2 画像解析順序

表-1 システムの構成

この解析方法を用いることで**表-1**のようなシステムの構成が可能になる。その結果、リアルタイムに図や数値で示され、PCおよびスマートフォンを用いて、ブラウザ上で閲覧できる。また、警告メッ



キーワード：コンクリート打設管理システム, AI, 品質確保, 締固めセンサ

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 03-3221-2182

セージはメールで発信され、異常時に現場職員の判断、指示、対応の支援が可能となり、トラブル時の対応遅れによる品質低下を防止する。

本システムの具体的な機能を下記に示す。

a) 打設済み区画

図-3 のように打設済み区画では Web カメラで撮影された映像、ポンプ車のホースの位置およびコンクリート打設部に集まるグループから、打設箇所を特定し、多層打設の場合は打設済み区画（ブロック）を積み重ねる。

b) コールドジョイント警告

図-4 のように打設済み区画は時間ごとで色分けされるため、現場職員はコールドジョイントの危険度に合わせて、打設順序を変更する。

c) 打設完了見込み時間

図-5 のように打設完了見込み時間は打設計画を黒色の点線、打設実績を青色の実線、打設実績から算出された打設完了予測を橙色の実線で表示する。

d) 打設ペース異常警告

図-6 のように打設ペース異常警告は、打設実績を青色の実線、打設計画から想定される注意エリアが橙色、警告エリアが赤色で表示する。また、打設実績の実線が注意および警告エリアに入った際、メールが現場職員に送信される。

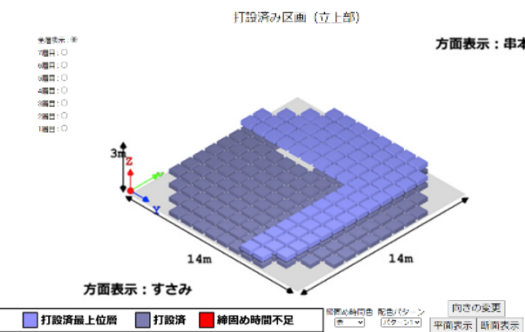


図-3 打設済み区画（多層打設：深礎杭）

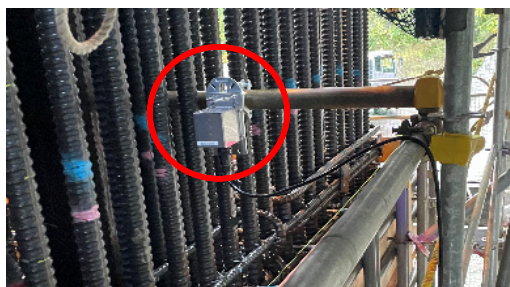


写真-1 レーザーセンサ

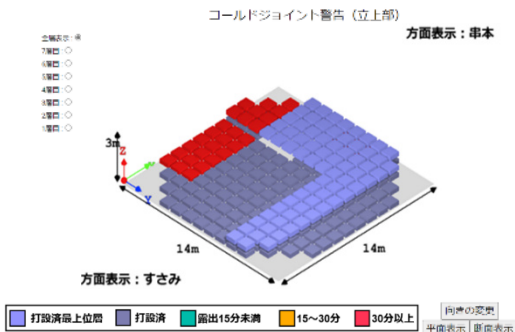
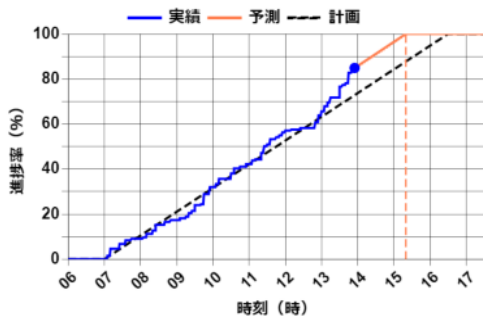


図-4 コールドジョイント警告（多層打設：深礎杭）

e) 打設厚

写真-1 のように打設厚は、レーザーセンサをコンクリート打設面に向けて設置することにより、コンクリートの打設高さを常時計測する。また、レーザーセンサの計測結果は図-7 のように表示され、コンクリート1層毎の打設高さの管理が可能となる。



打設完了見込み時間：15:15

図-5 打設完了見込み時間

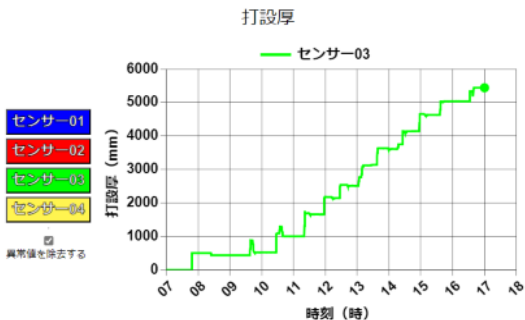


図-7 打設厚

f) ライブ映像

図-8 のようにライブ映像は、定点カ

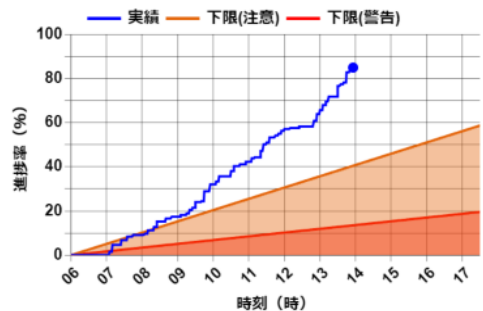


図-6 打設ペース異常警告



図-8 ライブ映像（深礎杭）

メラ（Web）で撮影しているリアルタイムの映像が表示される。コンクリート打設エリアが広く、定点カメラが1台で全エリアを見渡せない場合は、複数台の定点カメラで対応する。ライブ映像には静止画および動画の切替え、複数台のカメラの場合はカメラ切替えが可能である。また、ライブ映像を見返すこともでき、動画の早送りや巻き戻しが行える。

g) 締固め時間管理

締固め時間管理については現在開発中であり、今後解析メニューの一つとなる。締固めセンサをバイブレータに取り付け、締固め時間を計測する。その方法はコンクリートに締固めセンサが挿入された場合の反応時間を計測する。

3. 基礎実験

(1) 実験概要

本システムのメニューに締固め時間管理を追加するため、締固めセンサの挿入検知の確認を目的として基礎実験を行った。写真-2のように3Dプリンタで作製した締固めセンサをバイブレータの振動部に取り付けた。実験では円型ペール（90L）にコンクリートを入れ、写真-3のようにφ50mmのバイブレータを挿入した際、締固めセンサの反応を確認する。



写真-2 締固めセンサ（試作品）

(2) 実験結果

基礎実験で得られた結果を下記に示す。

- a) バイブレータをコンクリートへ挿入時は締固めセンサが反応し、バイブレータを抜いた際は反応が無かった。したがって、コンクリート挿入検知は正常に反応した。
- b) バイブレータを抜いた状態で維持した場合は付着したコンクリートが剥がれ落ちるため、センサの反応が徐々に小さくなった。
- c) バイブレータの振動により、ケースが破損した。

a)~c)より、締固めセンサを用いたコンクリートの締固め時間の計測が可能であることを確認できた。今後の課題は、ケースの耐久性を上げる。また、実際の施工では構造物の鉄筋等の間隔が狭い箇所への挿入も想定される。そこで、施工性向上のためにセンサの小型化が必要になる。

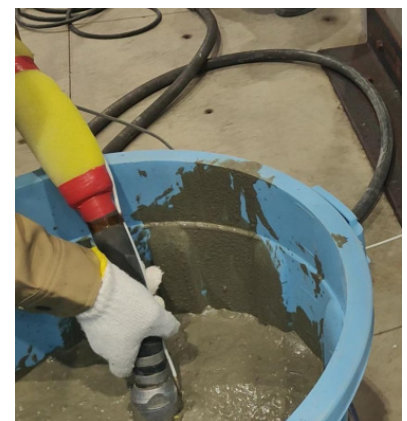


写真-3 基礎実験の状況

4. 実証実験

(1) 実験概要

図-9のような橋梁の橋脚にてコンクリート打設箇所に本システムを使用した。床板部の打設では、ポンプ車のホースの位置およびコンクリート打設部に集まるグループで打設済み区画を判定するが、本実験では多層部の打設であるため、ポンプ車のホースの位置で打設済み区画を判定する。

ホース位置



図-9 ライブ映像

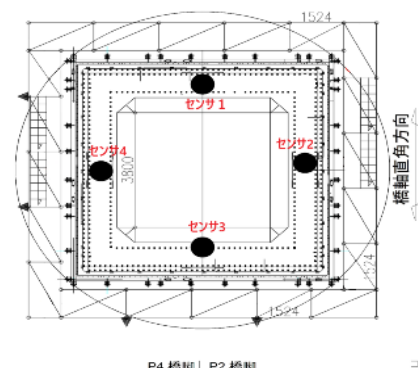


図-10 打設厚さセンサ位置

また、図-10のように打設厚センサを4箇所に設置し、打設高さを計測した。本実験では解析精度の確認を目的として、実証実験を行った。

(2) 実験結果

実証実験で得られた結果を下記に示す。

a) 図-11のように打設済み区画はポンプ車のホースの動きに従い、正しく判定が行われた。また、この判定に伴い、図-12のコールドジョイント警告は凡例のように正しく着色された。したがって、どちらも正常に動作していることが確認できた。

b) 図-13の打設完了見込み時間および図-14の打設ペース異常警告は、時間と進捗率の関係より実績が算出されている。また、両方の表の実績が同一の実線になった。したがって、どちらも正常に動作していることが確認できた。

c) 打設開始直後の打設ペースの遅れを図-14の打設ペース異常警告より、現場職員が気づき、アジテータ車の配車間隔を早めるように指示することで、打設ペースを修正できた。

d) 図-10に示した箇所に設置されている図-15の打設厚センサ1は、コンクリート打設開始から終了まで計測できた。また、図-13の打設完了見込み時間にて進捗率が悪い10時半頃を図-15の打設厚で確認した際でも反応が無かった。したがって、正常に打設厚が計測できている。そして、残り3台のセンサでも同様に計測できた。

a)~d)より、コンクリート打設に本システムを使用して、解析精度を確認した。その結果、それぞれの解析メニューにおいて正しく判定されることが確認できた。また、現場職員が本システムを使用して、打設ペースを修正できた。

5. まとめ

本システムのメニューに締固め時間管理を追加するため、基礎実験を行い、締固めセンサはコンクリートへの挿入検知で正常に反応した。実証実験に向けた課題としては、締固めセンサを収納するケースの耐久性や施工性を向上させるため、小型化が必要になり、これらの対応を進めていく。また、実証実験では各解析メニューの更なる精度を向上させる。

現在の本システムが対応可能である構造物が床板、橋脚の下部工、深礎杭の3種類であるため、来年度の現場導入および商品化に向け、今後は対応可能な構造物の種類を増やしていきたい。また、

機材の手配および設置等の現場へのサポート体制を整備する。そして、本システムを活用した生産性および品質向上を目指していきたい。

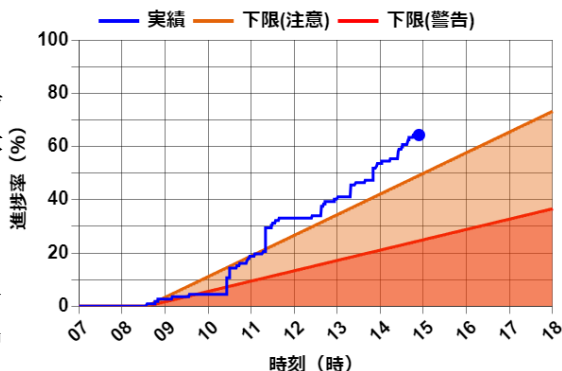


図-14 打設ペース異常警告

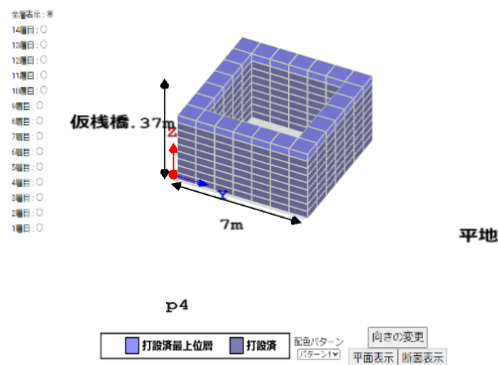


図-11 打設済み区画

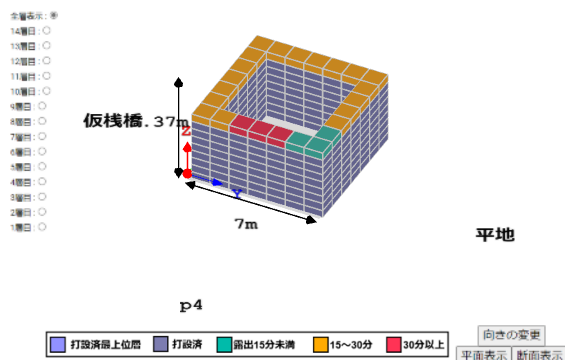


図-12 コールドジョイント警告

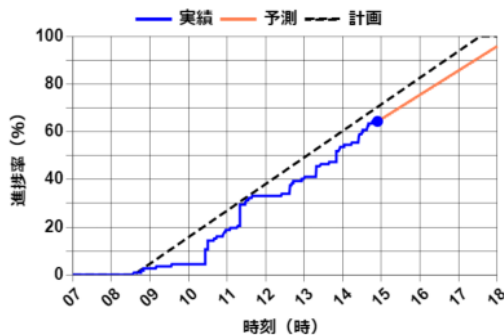


図-13 打設完了見込み時間

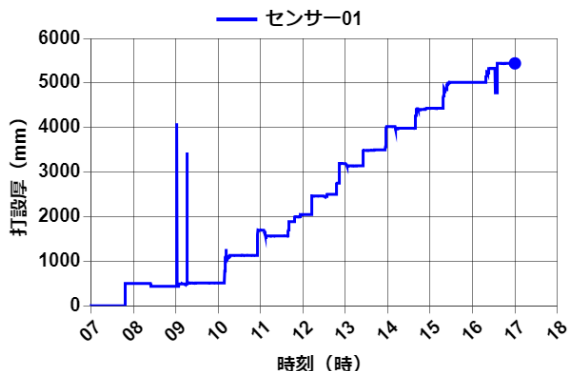


図-15 打設厚