

## スランプ試験の画像を用いた フレッシュコンクリート診断システムの開発と実用化

岩城 圭介\*1・川又 篤\*2・車 紅升\*3・福岡 瑛莉奈\*4・國澤 博\*5

### 概 要

海外工事における自社バッチャープラントを用いて製造するレディーミクストコンクリートの品質管理を対象として、フレッシュコンクリートの診断システムを開発した。フレッシュ性状の診断では、スランプ試験画像におけるスランプ形状および表面テクスチャーを要因とした AI システムを構築し、これを WEB アプリに実装することで、現地スタッフによるスマートフォンを用いた運用を可能とした。また、レディーミクストコンクリートの品質安定化を目的に、製造管理・受入れ検査・圧縮強度試験の各段階のデータベースと上記 WEB アプリを統合し、一元管理するデスクトップシステムを開発した。

キーワード：海外工事，レディーミクストコンクリート，品質管理，スランプ試験

## DEVELOPMENT AND UTILIZATION OF A DIAGNOSTIC SYSTEM FOR FRESH CONCRETE USING SLUMP TEST IMAGES

Keisuke IWAKI \*1, Atsushi KAWAMATA \*2, Hongsheng CHE \*2,  
Erina FUKUOKA \*3, Hiroshi KUNISAWA \*4

### Abstract

We have developed a diagnostic system for fresh concrete for quality control of ready-mixed concrete which was produced at our own managed batcher plants in overseas construction projects. The diagnostic system consists of an AI system factored by slump shape and surface texture from slump test images. Implementation of the AI system in a web application enables local QC staff members in overseas projects to operate the diagnostic system with their own smartphones. Additionally, a QC database including concrete manufacturing, inspection at sites and compressive strength tests is integrated with the fresh concrete diagnostic system as a desktop system for quality stabilization of ready-mixed concrete.

Keywords: Overseas construction projects, Ready-mixed concrete, Quality control, Slump test

---

\*1 Manager, Material Group, Research & Development Center

\*2 Senior Principal Researcher, Material Group, Research & Development Center

\*3 Material Group, Research & Development Center

\*4 ICT Construction Promotion Group, i-Con Promotion Department, Civil Engineering Division

\*5 Associate General Manager, Civil Engineering Department, International Division

## スランプ試験の画像を用いたフレッシュコンクリート診断システムの開発と実用化

岩城 圭介\*1・川又 篤\*2・車 紅升\*3・福岡 瑛莉奈\*4・國澤 博\*5

### 1. はじめに

海外工事では、国内工事と比較して工事規模が大きく、あるいは施工場所が僻地であるため、現地のレディーミクストコンクリート（以下、生コン）工場のみでは生コンの供給量が不足する可能性がある。そのような場合には、施工者が当該工事のための専用の現場生コン工場を新設・保有することで、自社で使用する生コンを自らの責任で製造・供給する必要がある。

本報では、現場生コン工場で製造する生コンの品質管理ツールとして開発したフレッシュコンクリートの診断システムについて報告する。フレッシュコンクリートの診断のために、ミャンマーにおける工事で取得したスランプ試験の画像を用いて AI を構築した。この AI を WEB アプリに実装することで、現地スタッフがスマートフォンの操作により利用可能なフレッシュコンクリート診断システムとした。

また、製造管理・受入れ検査・圧縮強度試験の各段階の品質管理データのデータベースと、上記 WEB アプリを統合することで、生コン品

質安定性の一元管理を可能とする品質管理者向けデスクトップシステムについても報告する。

### 2. 海外工事における生コン品質管理の課題

ミャンマーにおける工事で使用した現場生コン工場の例を写真-1に示す。

現場生コン工場における生コン製造では、まず、製造設備（バッチャープラント（以下、BP））の新設、計量装置・練混ぜ性能等の検査、使用材料の品質確認、室内および実機での試し練りによる配合選定を行う必要がある。また日常管理では、骨材の表面水率の測定と、それにとりまなう現場配合の設定、計量・練混ぜを含む製造管理、出荷時のフレッシュコンクリートの試験、コンクリート打設現場におけるフレッシュコンクリート試験および供試体採取による受入れ検査、採取した供試体の圧縮強度試験による硬化コンクリートの検査といった一連の品質管理に加えて、定期的な製造設備のメンテナンスを行う必要がある。



写真-1 現場生コン工場の例（ミャンマーの例）

- 
- \*1 研究開発センター 材料グループ グループリーダー
  - \*2 研究開発センター 材料グループ 主幹研究員
  - \*3 研究開発センター 材料グループ
  - \*4 土木本部 i-Con 推進部 ICT 施工推進グループ
  - \*5 海外事業推進室 土木部 担当部長

また、東南アジアや南アジアの発展途上国では、供給量が不足しがちであり、さらに物流も不安定であることから、使用材料の品質確保やBPにおける在庫管理・調達を含むサプライチェーンマネジメントが重要である。

以上のような生コンの製造管理・品質管理を施工会社に所属する現地エンジニアや現地スタッフが担うこととなるが、現地では基本的に経験豊富な人材が不足しており、現地エンジニアや現地スタッフに対する教育が重要である。

生コンの品質を安定化させるためには、国内・海外問わず、骨材の品質安定化が重要であるが、海外工事では、例えば細骨材が露天掘りであるため採取場所の若干の差異による品質、特に微粒分量の変動が生じることがある。また、雨季やスコールの影響で保管中の骨材の含水が極端に高くなる場合もある。さらに東南アジアや南アジアの高温環境下では、コンクリート温度の制御を目的に保管中の粗骨材への散水が随時行われるため、粗骨材の含水が安定しない場合もある。以上のような要因により、海外工事では、細骨材・粗骨材の表面水率が変動しがちであり、結果として材料分離等、生コンのフレッシュ性状が安定しにくい傾向にある。

経験の浅い現地スタッフでは、以上のような材料分離等のフレッシュ性状を独自に判断することは難しく、スランプ等の品質管理値が規定の範囲内であれば、特に留意することなく受け

入れる可能性がある。このように生コンの品質が不安定な状況が常態化すると、やがてコンクリート構造物のひび割れ等の欠陥や強度不足が生じる懸念が高まると考えられる。よって、生コンの品質安定化は、工事の円滑な進捗に不可欠であるといえる。

そこで本検討では、現地スタッフによるフレッシュ性状判定のスキルを補完し、現場の受入れ検査においてフレッシュコンクリートの診断を行うシステムを開発することとした。

### 3. スランプ試験の画像を用いたフレッシュコンクリート診断システム

#### 3.1 従来のスランプ試験におけるフレッシュ性状の評価

スランプ試験は、国内規格として JIS A 1101: 2020「コンクリートのスランプ試験方法」に規定されている。また海外規格では、ISO 1920-2: 2016, Testing of concrete-Part 2: Properties of fresh concrete や ASTM C143/C143M-12 Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete に規定され、国際的に広く用いられる試験方法である。

スランプ試験は、各規格でほぼ共通形状のスランプコーンが使用されるため、海外工事の生コンのフレッシュ性状を評価する上で有用と考えられる。もちろん、今回対象とする東南アジアや南アジアの国々でも一般的に用いられており、現地ワーカーによる試験が可能である。ミャンマーにおけるスランプ試験状況の例を写真-2に示す。

スランプ試験によるスランプ値は、フレッシュコンクリートの変形に対する抵抗性、すなわちコンシステンシーの評価に用いられている。目標とするスランプ値とその範囲は、対象構造物の打込み難易度やその他の施工条件を考慮して設定され、生コンの主たる品質管理項目として規定される。しかし、スランプ値が規定値の範囲内であっても、材料分離や粘性過剰などのフレッシュ性状の問題を有している場合があり、



写真-2 スランプ試験結果の例  
(ミャンマーの例)

それらは技術者の経験に基づく目視評価にゆだねられている課題がある。

材料分離を評価する手法としては、スランプ試験後の外観観察の有効性が示されている<sup>1)</sup>。材料分離による特徴としては、粗骨材の偏在やコンクリート縁からのペースト分の先流れが挙げられているが、主観的であり、定量的な判断が難しい点も指摘されている。

一方、スランプ試験の画像から、フレッシュ性状を評価する手法も提案されており、親本らによる手法では、真上から撮影したスランプ試験の画像を二値化処理し、同心円状に黒画素数をカウントし、一様に分布しているかを判定する手法が提案されている<sup>2)</sup>。黒画素は、主に粗骨材の存在する場合に表れるため、粗骨材の分布の均一性を評価可能としている。

また、AIを利用して高流動コンクリートのスランプフロー試験の画像から材料分離を判定するシステムが三島らにより開発されている<sup>3)</sup>。本システムでは、WEBアプリを使用して、スランプフロー試験後試料を真上から撮影すると、数秒後に材料分離判定結果が表示される。AIエンジンには汎用エンジンを用い、目視判定結果が「正常」または「分離」となったスランプフローの画像を学習用データとして用いている。目視判定のセカンドオピニオンを得るためのツールとしての使用が期待されている。

### 3.2 スランプ試験画像を利用したAIによるフレッシュコンクリート診断<sup>4)</sup>

本検討では、上記の既往の研究を参考に、ま

ずスランプ試験の画像を分類し、それらを教師データとして機械学習することでAIを構築することとした。

#### (1) スランプ試験の画像の分類方法

スランプ試験の画像の分類方法としては、スランプ形状および表面テクスチャーの2つの要因を設定し、各要因に対し数水準のサンプルを模式図やコメントにより例示することで、分類基準を明確化できるよう工夫した。

スランプ形状のサンプル模式図を図-1および図-2に示す。スランプ形状の水準は、材料分離の激しい方から「セメントペースト先走り」(図-1)、「分離気味」、「適正」、「粘性過剰」(図-2)の4水準とした。ここで、「セメントペースト先走り」は、極端な材料分離であり、前述の外観観察の「コンクリート縁からのペースト分の先流れ」<sup>1)</sup>と同様である。また、「分離気味」は、裾が広がったスランプ形状、「粘性過剰」は、スランプ板との付着により裾が広がらず膨れたスランプ形状、「適正」は、「分離気味」と「粘性過剰」の中間であり、適度な粘性と流動性を兼ね備えるように見えるスランプ形状である。

また、表面テクスチャーのサンプル模式図を図-3に示す。表面テクスチャーの水準は、

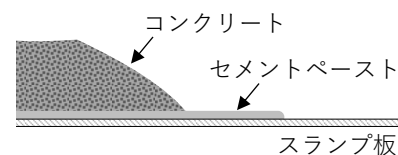


図-1 スランプ形状 (セメントペースト先走り)

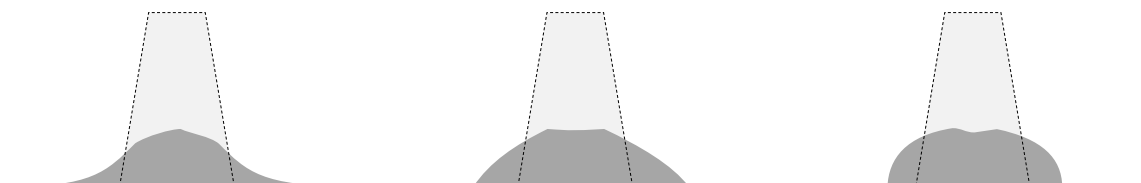


図-2 スランプ形状 (左: 分離気味, 中: 適正, 右: 粘性過剰)



図-3 表面テクスチャー評価 (左: 粗い, 中: 中間, 右: 滑らか)

「粗い」、「中間」、「滑らか」の3水準とした。ここで、「粗い」は、粗骨材を覆うペーストが薄く、粗骨材が目立ち、粗骨材の角の形が明確な表面テクスチャー、「滑らか」は、粗骨材がモルタルに覆われるため粗骨材が目立たず、スランプコーンの跡がつくような表面テクスチャー、「中間」は、「粗い」と「滑らか」の間であり、粗骨材を覆うモルタルが厚く粗骨材の形状が明確でない表面テクスチャーである。なお、海外工事の生コンは、AE コンクリートでないために表面テクスチャーが粗くなりがちであることに留意する必要がある。

上記の2つの要因の各水準に、表-1のような評価値を与えることとした。すなわち、各要因とも10が最も良い評価値である。

(2) 教師データの作成

ミャンマーにおける工事にて、現地の品質管理スタッフが各自保有のスマートフォンを使用して撮影した品質管理記録用のスランプ試験の画像570枚を対象に教師データを作成した。

まず、コンクリート主任技士相当の技術者3人が、前項に示したスランプ形状と表面テクスチャーのサンプル例を念頭に置き、スランプ試験の画像570枚を各水準に分類した。ある評価者がスランプ試験画像を分類した例を表-

2に示す。表中のスランプ試験画像でも明らかのように、各水準への分類は曖昧さを有しており、評価者によって異なる分類となることがあった。そこで、技術者3人の評価値の平均値を算出し、各スランプ試験画像にラベル付与することで教師データとした。











各要因・各水準に分類された画像の度数分布を図-4に示す。スランプ形状では、評価値5未満の激しい材料分離が散見されるとともに、表面テクスチャーでは、評価値5未満の粗めの表面テクスチャーが大半であったことが伺える。これらの結果は、画像サンプリングの影響も多少あると思われるが、ほぼ実情を反映していると考えられる。

また、各スランプ試験画像は、写真-2に示すように、試験結果を記入したホワイトボード、スランプ板や地面などの背景や温度測定用試料が入ったカップなどが写り込んでいるほか

表-1 各水準の評価値

要因	水準	評価値
スランプ形状	セメントペースト先走り	0
	分離気味	5
	適正	10
	粘性過剰	15
表面テクスチャー	粗い	0
	中間	5
	滑らか	10

表-2 各要因・各水準に対応するスランプ試験画像の例

		スランプ形状			
		セメントペースト先走り	分離気味	適正	粘性過剰
表面テクスチャー	粗い				
	中間				
	滑らか	—	—		

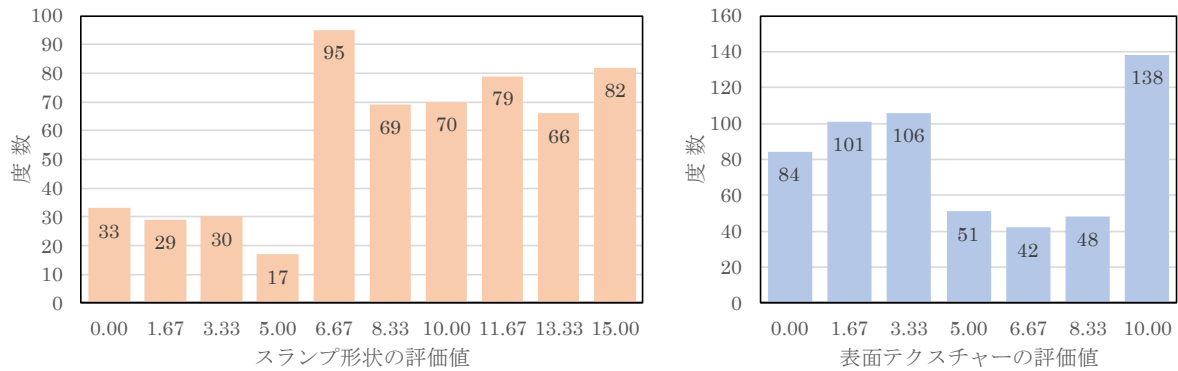


図-4 評価値度数分布 (左:スランプ形状, 右:表面テクスチャー)

りでなく、天候や時間帯に左右される明るさやコントラストも異なるため、スランプ試験画像からのスランプしたコンクリート部分の検出が困難となることが予想された。そこで、各スランプ試験画像のコンクリート部分を手作業で囲み、コンクリート検出用の教師データとした。

### (3) AI手法の検討

フレッシュコンクリート診断システムは、図-5に示すように、①スランプ試験画像からのスランプしたコンクリート部分の検出、②スランプ形状の判定、③表面テクスチャーの判定の3段階でAIを使用した。複数のアルゴリズムを試行したが、結果的には①、②、③ともに、Meta AI, Detectron2 ライブラリ<sup>5)</sup>の画像認識アルゴリズム Instance Segmentation を使用した。なお、Instance Segmentation では、画素レベルでのラベルの割り当てが可能であり、物体の輪郭に沿ったセグメンテーションができるため、写真-2のように診断対象以外の情報が多い画像にも有効である。

まず①については、Instance Segmentationの物体検出機能により、スランプしたコンクリートの検出を行った。カップに入った温度測定用試料も検出するケースがあったが、最大確率の範囲を選定することで、スランプしたコンクリートの検出が可能であった。

また②、③では、Instance Segmentationのセグメンテーション機能を利用して、スランプ形状、表面テクスチャーの各評価値に分類するとともに該当するラベルを割り当てる画像認識を行った。またここでは、確率の高い検出結果を優先させるとともに、閾値をもって確率の低い検出結果を診断不能とするといった処理が可能となる。さらに、処理能力の高い Instance Segmentation を用いることで、短時間での結果の取得が可能である。

### (4) 精度の検証

前項の3つのAIで構築したスランプ試験画像診断システムの精度を確認するために、クロスバリデーションを実施した。クロスバリデー

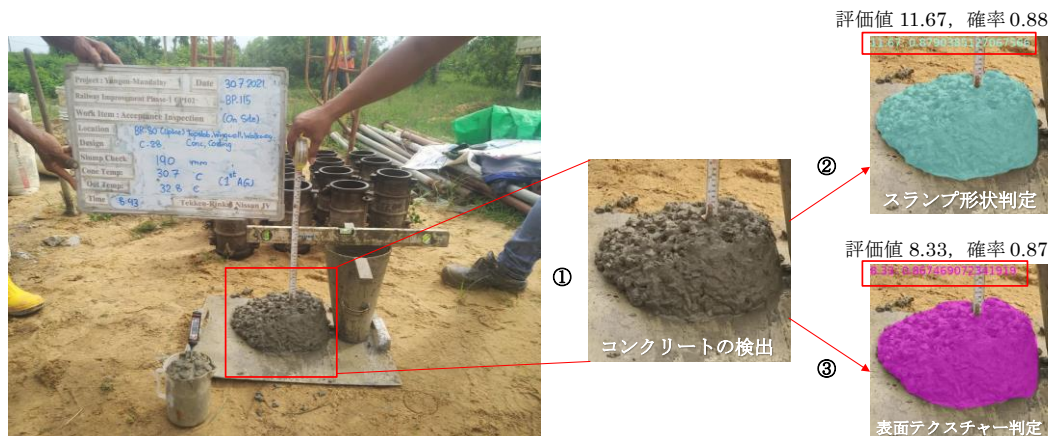


図-5 採用したAI手法の概要

ションとは、データの分布の偏りを補正するために、データセットの組み合わせを変えて、学習・テストし、それらの精度の平均を取る手法である。本検討では、570枚のスランブ試験画像を5セットに分割し、そのうち1セットをテスト用として固定するとともに、残りの4セットのうち1セットを除く3セットでの学習を4回実施した。これら4回の学習結果に基づき、テスト用データセットをテストしてAI診断結果を得るとともに、式(1)により平均絶対値誤差 *MAE* (Mean Absolute Error) を求めた。さらに *MAE* を用いた式(2)により、評価値正答に対する診断結果の割合として精度 *A* を求めた。

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (1)$$

$$A = (S_m - 2 MAE) / S_m \times 10 \quad (2)$$

ここに、*MAE*: 平均絶対値誤差

*N*: データ数

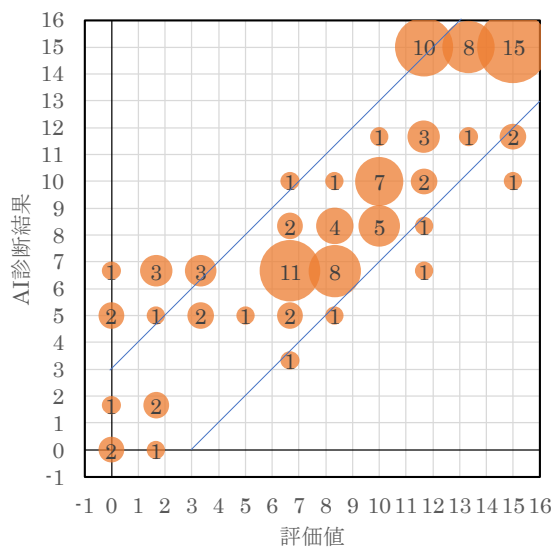
*y<sub>i</sub>* : 評価値

*ŷ<sub>i</sub>* : AI 診断結果

*A*: 精度 (%)

*S<sub>m</sub>*: 評価値最大値

クロスバリデーションで得られた4回分の



*MAE*と精度 *A*を表-3に示す。平均精度は、スランブ形状で76.1%、表面テクスチャーで76.9%であった。評価値とAI診断結果の関係の一例として、クロスバリデーションNo.4の結果を図-6に示す。なお、図中の各プロットに示した数値は度数であり、実線は±20%である。大部分のプロットはほぼ±20%以内に分布し、良い相関を有していると考えられ、前述のように曖昧さのある教師データに基づく診断結果としては、実用に耐えらるる。

#### 4. 現場支援アプリの開発

##### (1) BP・現場スタッフ向けスマートフォンWEBアプリ

BPにおける出荷管理と現場における受入れ検査・フレッシュコンクリートの診断、製造管理へのアラート発信を目的としたスマートフォンWEBアプリを開発した。

生コンの出荷時には、現場名、部材名、配合種別、アジテータ車番号、コンクリート容積、

表-3 クロスバリデーションの結果

No.	スランブ形状		表面テクスチャー	
	<i>MAE</i>	精度 <i>A</i>	<i>MAE</i>	精度 <i>A</i>
1	2.009	73.2%	1.321	73.6%
2	2.025	73.0%	0.975	80.5%
3	1.604	78.6%	1.242	75.2%
4	1.542	79.4%	1.085	78.3%
平均	1.795	76.1%	1.156	76.9%

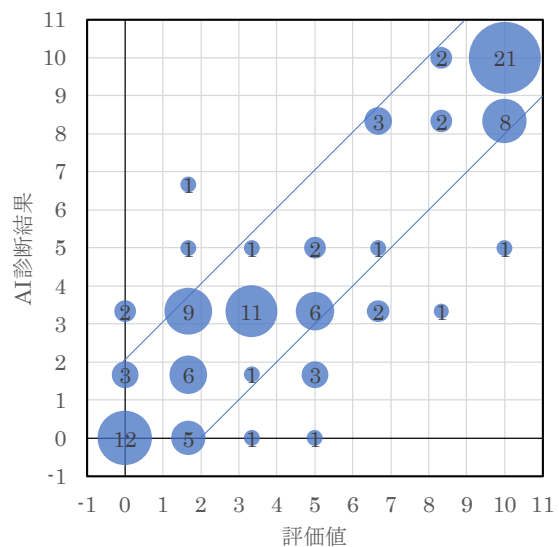


図-6 評価値とAI診断結果の関係 (左:スランブ形状, 右:表面テクスチャー)

練混ぜ開始時刻・終了時刻，出荷時刻，出荷時スランプ・空気量・コンクリート温度，外気温，供試体採取本数を記録するとともに，出荷時スランプの写真をアップロードすることが可能である。

また現場到着時には，フレッシュコンクリートの診断に用いるスランプ試験画像の撮影（あるいは保存画像からの選択）に引き続き，受入れ検査で必要な現着時刻，現着時スランプ・コンクリート温度，外気温，供試体採取本数，打ち込み終了時刻の情報を入力・アップロードして，アジテータ車ごとの出荷情報に追加する形で，記録することができる。

スランプ試験画像のアップロードから数十秒経過後には，スランプ形状および表面テクスチャーの評価値と分類結果が表示可能となり，現場スタッフが閲覧できる。また，診断結果と現場スタッフの目視評価が異なる場合は，目視評価結果も記録することができる。

診断結果の表示画面スクリーンショットを写真-3に示す。なお，診断結果の色表示は，直感的に理解しやすくするためにスランプ形状，表面テクスチャーともに3段階とし，最も注視すべき悪い診断結果である「材料分離／Segregation」，「粗い／Coarse」を赤色表示することとした。

以上の一連の作業を，アジテータ車全車を対象に実施することで，各アジテータ車のスランプ形状と表面テクスチャーの診断結果を，写

真-4（スクリーンショット）に示すように一覧表示することができ，現場スタッフが診断結果の推移を直感的に把握することが可能となる。この情報は，生コン品質の安定性を監視するうえで重要と考えられ，例えば悪い診断結果の組合せが3回以上連続した場合に，生コン工場の製造管理に対してアラートを発信し製造工程の点検を促すとともに，細骨材・粗骨材表面水率の再測定を指示することが可能となる。

## (2) 品質管理者向けデスクトップシステム

品質管理者向けデスクトップシステムは，主に作業所の品質管理エンジニアや責任者が現場事務所でのデスクワークにおいて生コンの製造管理・品質管理の状況を集中管理する目的で開発したWEBシステムである。現場スタッフのアカウント管理を行うことができ，生コン出荷予定に基づき現場名や部材名を予め入力することで，現場スタッフのスマートフォン操作における入力支援を行うことができる。また，フレッシュコンクリート診断における現場ごとの閾値設定，すなわち評価値に対するラベリングの変更を行うことができ，現場に応じたクライテリアによる診断を可能としている。

本デスクトップシステムには，前項のスマートフォンWEBアプリを用いて記録したBPにおける出荷管理データと現場における受入れ検査データ，フレッシュコンクリート診断結果を自動的に収録するデータベースを構築した。

また，上記以外の生コン製造管理におけるデ

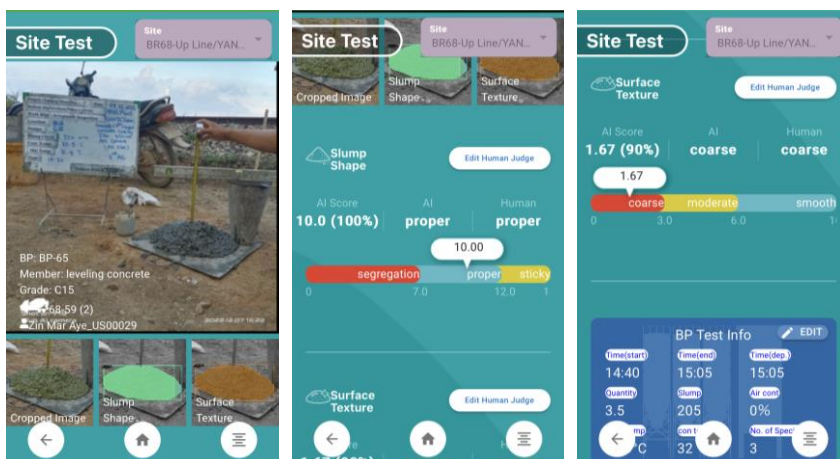


写真-3 フレッシュコンクリート診断結果の例

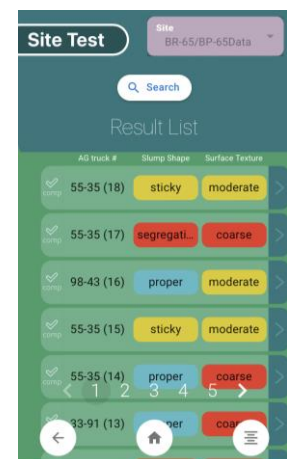


写真-4 診断結果一覧の例





写真-5 デスクトップシステムダッシュボード機能の例

ータ（細骨材・粗骨材表面水率，ミキサ負荷電流値等）と硬化コンクリートの品質管理結果（圧縮強度試験結果）を，Microsoft Excel の専用フォーマットを用いて，上記データベースにインポートする機能を付与することで，生コンの製造管理から品質管理全般を一元管理するデスクトップシステムとした。

さらに，本デスクトップシステムは，写真-5（スクリーンショット）に示すような，カスタマイズ可能なグラフ表示により作業所品質管理エンジニアによる監視を容易にした。

## 5. まとめ

スランプ試験画像においてスランプ形状および表面テクスチャーを要因とした AI を構築し，フレッシュコンクリート診断システムとして BP・現場スタッフ向けスマートフォン WEB アプリに実装した。

また，製造管理・受入れ検査・圧縮強度試験の各段階のデータベースと上記 WEB アプリを統合し，一元管理を可能とした品質管理者向けデスクトップシステムを開発した。

今後は，これらのシステムを活用することで，海外工事における生コン工事のさらなる品質安定化に取り組む予定である。

## 謝辞

本システムの現場試行および現場適用にご協力いただいた Yangon-Mandalay Railway Improvement Project Phase1 (CP102)，鉄建建設・りんかい日産建設 JV の関係各位，特に QA/QC Team の Ms. Zin Mar Oo と Ms. Sandi Pont Pont に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 渡辺博志：現場打ちコンクリート施工の生産性向上，土木技術資料59-1，pp.26-29，2017
- 2) 親本俊憲，平田真佑子：スマートデバイスを用いたコンクリートの材料分離判定の自動化，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.483-484，2021.9
- 3) 三島直生，鹿毛忠継，山田義智，崎原康平：AIによる高流動コンクリートの材料分離判断システムの開発に関する基礎研究，第73回セメント技術大会講演要旨，pp.96-97，2019
- 4) 福岡瑛莉奈，岩城圭介，川又篤，関和彦：スランプ画像によるフレッシュコンクリート評価診断システムの開発，土木学会年次学術講演会，V-446，2022
- 5) Meta AI, detectron2 (閲覧日:2023/2/18) : <https://detectron2.readthedocs.io/en/latest/>