

海外工事で用いる生コンクリートのフレッシュ性状診断システム

AIを実装したWEBアプリ“Slump Checker”の開発

岩 城 圭 介

海外工事において、施工者自らが所有する現場バッチャープラントで製造する生コンクリートの品質安定化を目的に、フレッシュコンクリートの良否を診断するシステムを開発した。本システムでは、スランプ試験画像におけるスランプ形状と表面テクスチャーを要因としてフレッシュ性状を診断するAIを構築し、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、製造管理・受入れ検査、圧縮強度試験等の品質管理データのデータベースと上記WEBアプリによる評価結果を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, 生コンクリート, 品質管理, スランプ試験, スランプ形状, 表面テクスチャー, AI

1. はじめに

海外工事では、工事規模が比較的大きいため、あるいは施工場所が僻地であるため、既存のバッチャープラント（以下、BP）のみでは生コンクリート（以下、生コン）の供給量が不足する場合がある。その対策として、施工者が当該工事専用のBPを新設するとともに、自らの責任で生コンを製造・供給する場合があるが、受入れ検査においては、生産者・使用者の立場が曖昧となることで適正な品質管理が行われず、生コン品質の不安定化を招く懸念がある。

本報では、現場BPから供給される生コンの品質安定化を目的に開発した生コンのフレッシュ性状を診断するAIシステムについて報告する。本AIシステムを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を用いてフレッシュ性状の診断を実施可能である。また、生コンの製造管理・受入れ検査・圧縮強度試験等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、生コンの品質を一元管理する品質管理者向けデスクトップシステムも実用化した。

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BPの例を写真-1に示す。

現場BPにおける生コン製造の日常管理では、骨材

の表面水率の測定、現場配合の設定、計量・練混ぜを含む製造管理、出荷時・到着時のフレッシュコンクリート試験、供試体採取および圧縮強度試験といった一連の品質管理を現地エンジニアや現地スタッフが担当するが、基本的に経験豊富な人材が不足している。

また、生コン品質の安定化には、骨材の品質安定化が重要であるが、海外工事では、採取場所の条件等により細骨材の微粒分量の変動が生じたり、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ったりすることがある。さらに、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行われるため、粗骨材の含水が安定しない。以上のように、細骨材・粗骨材の表面水率の変動が大きいため、生コンのフレッシュ性状が安定しにくく、材料分離を生じる場合もある。



写真-1 現場生コン工場の例（ミャンマーの例）

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

(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、JISのみならずISO、ASTM等の国際規格にも規定され、ほぼ共通形状のスランプコンが使用されるため、海外工事の生コンを評価する上で有用である。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。スランプ値は施工条件等により設定されるとともに許容範囲が規定されるが、規定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、それらの判断は技術者の経験に基づく目視評価にゆだねられている。

スランプ試験後の外観観察による材料分離の評価手法では、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関連づけられている¹⁾。また画像を用いる評価手法としては、スランプ画像を二値化処理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²⁾。さらに高流動コンクリート用では、スランプフロー試験の画像から材料分離を判定可能な、汎用のAIシステムを用いたWEBアプリが開発されている³⁾。



写真—2 スランプ試験結果の例（ミャンマーの例）

以上の既往の研究を参考に、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。

(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手法の開発⁴⁾

(a) スランプ画像の分類

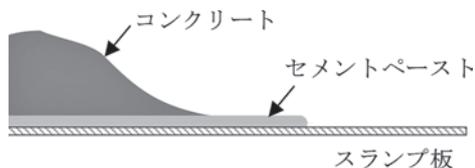
スランプ試験の画像の分類方法としては、スランプ形状および表面テクスチャーの2つの要因を設定し、各要因に対し数水準の分類基準を設けた。

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「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、適度な粘性と流動性を有するようなスランプ形状である。

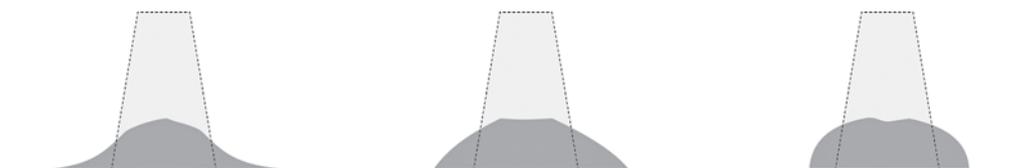
一方、表面テクスチャーの水準は、「粗い」、「中間」、「滑らか」(図—3)の3水準とした。ここで「粗い」は、粗骨材を覆うペーストが薄く、粗骨材の形が明確な表面テクスチャー、「滑らか」は、粗骨材がモルタルに覆われるため粗骨材が目立たず、スランプコンの跡がつくような表面テクスチャー、「中間」は、「粗い」と「滑らか」の中間である。なお、海外工事の生コンは、AEコンクリートでないため表面テクスチャーが粗くなりがちであることに留意する必要がある。

(b) 教師データの作成

ミャンマーにおける海外工事にて、現地の品質管理



図—1 スランプ形状の模式図（セメントペースト先走り）



図—2 スランプ形状の模式図（左：分離気味、中：適正、右：粘性過剰）



図—3 表面テクスチャーの模式図（左：粗い、中：中間、右：滑らか）

スタッフが各自のスマートフォンで撮影した品質管理記録用のスランプ試験画像 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模式図と説明を念頭に置き、スランプ試験の画像 570 枚を各水準に分類した。ある評価者によるスランプ試験画像の分類例を表 1 に示す。また表 1 中に示すように、分類に応じた評価値（スランプ形状：0, 5, 10, 15, 表面テクスチャー：0, 5, 10）を与えた。

表 1 中のスランプ画像の例でも明らかなように、スランプ画像の分類では曖昧な判断を要求し、評価者により異なる分類となる画像が多数あった。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。

またスランプ試験画像は、写真 2 に示すように、試験結果記入用のホワイトボード、平板や地面などの

背景や温度測定用試料のカップなどが写り込んでいるため、コンクリート部分の検出が重要と考えられた。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、コンクリート部分検出用の教師データとした。

(c) AI 手法の検討

フレッシュコンクリート診断システムでは、図 4 に示すように、①スランプ試験画像からの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、①、②、③の各ステップで、Meta AI, Detectron2 ライブラリ⁵⁾ の画像認識アルゴリズム Instance Segmentation を選定した。

まず①については、Instance Segmentation の物体検出機能により、コンクリート部分の検出を行った。複数箇所を検出するため、カップに入った試料を検出するケースもあったが、検出の確からしさを確立表示することで、スランプしたコンクリートの検出を可能

表 1 各要因・各水準に対応する評価値と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 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	-	-		

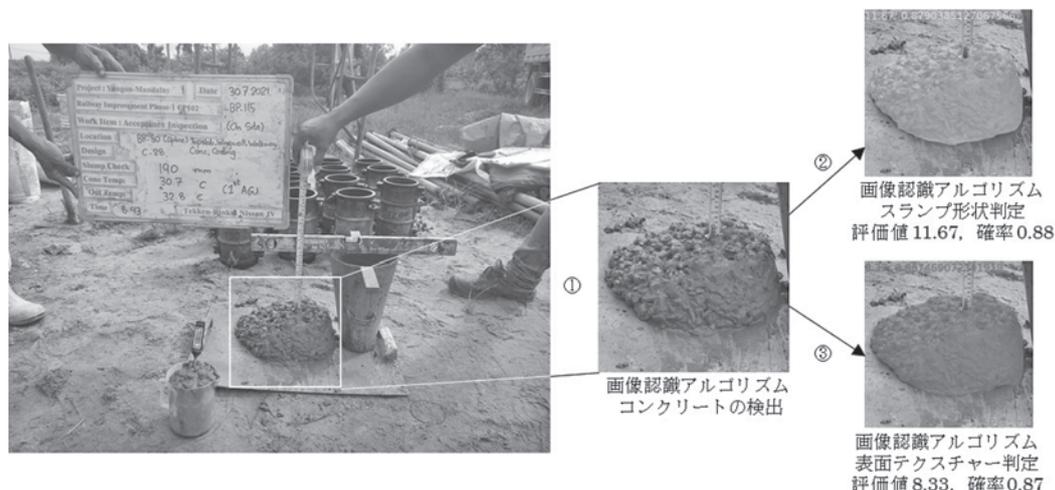


図 4 採用した AI 手法の概要

とした。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(評価値)を割り当てた。

(d) 精度の検証⁶⁾

以上の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・テストする手法である。本検討では, 平均絶対値誤差 MAE (Mean Absolute Error) を求め, さらに評価値正答に対する診断結果の割合として精度 (%) を求めた。平均精度は, スランプ形状で 76.1%, 表面テクスチャーで 76.9% であり, 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, 実用に耐えるものと考えられる。

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 “Slump Checker”

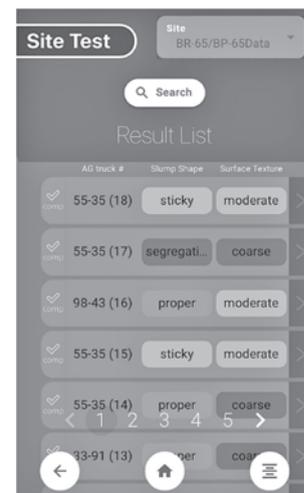
“Slump Checker” は, BP における出荷管理と現場における受入れ検査・フレッシュコンクリートの診断, 製造管理へのアラート発信を目的としたスマートフォン WEB アプリである。

生コンの出荷時には, 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, 外気温等を記録するとともに, 出荷時スランプの写真を保存することができる。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アップロードに引き続き, 受入れ検査に必要な現着時刻, 現着時スランプ・コンクリート温度, 外気

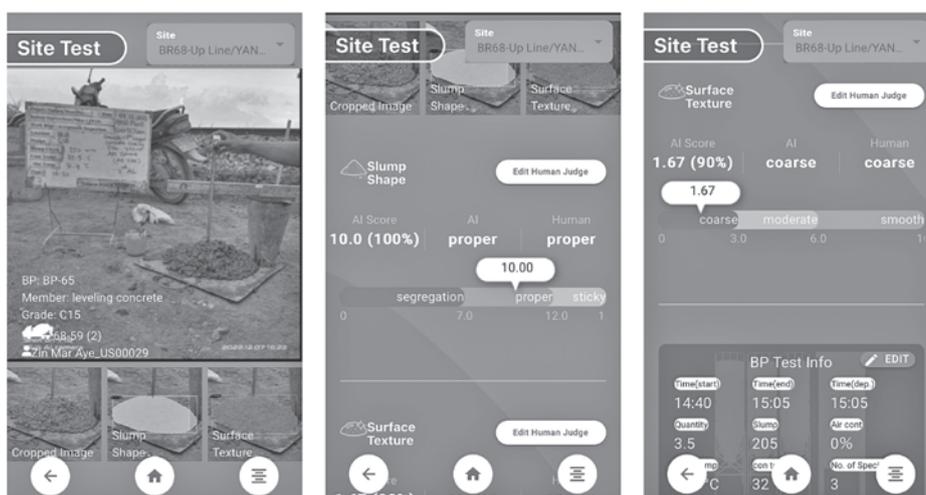
温等を, 出荷情報に追加する形でアジテータ車ごとに記録することができる。スランプ試験画像のアップロードから数十秒経過後には, スランプ形状および表面テクスチャーの評価値と分類結果が得られ, BP・現場スタッフによる閲覧が可能となる。

診断結果の表示画面スクリーンショットを図—5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, 最も注視すべき診断結果「材料分離/Segregation」, 「粗い/Coarse」を赤色表示した。

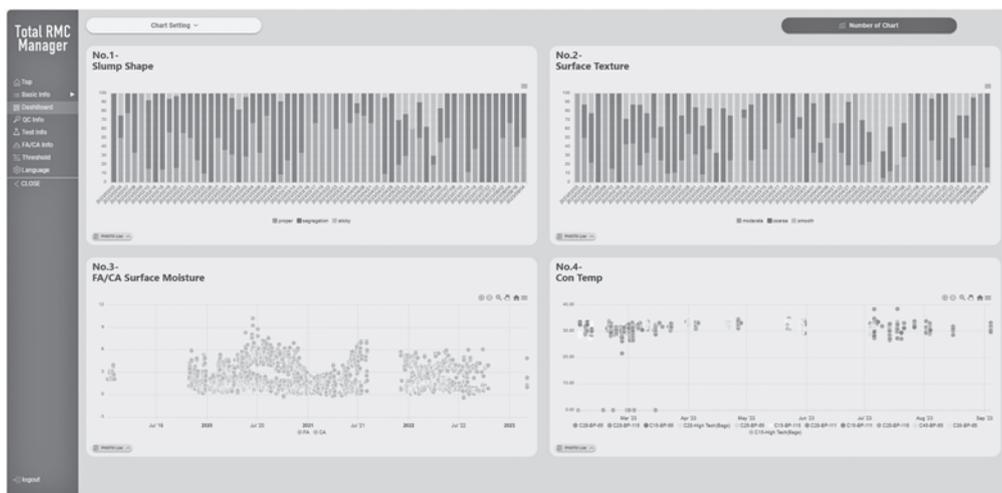
以上の一連の作業を, アジテータ車全車を対象に実施することで, 各アジテータ車のスランプ形状と表面テクスチャーの診断結果を, 図—6(スクリーンショット)に示すように一覧表示することができ, 現場スタッフが診断結果の推移を直感的に把握することが可能となる。この情報は, 生コン品質の安定性を監視に有用であり, 例えば悪い診断結果の組み合わせが3回以上連続した場合に, 生コン工場の製造管理に対してア



図—6 診断結果一覧の例



図—5 フレッシュコンクリート診断結果の例



図一七 デスクトップシステムダッシュボード機能の例

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などの対策が可能となる。

(2) 品質管理者向けデスクトップシステム “Total RMC Manager”

“Total RMC Manager”は、主に作業所の品質管理エンジニアがデスクワークにおいて生コンの製造管理・品質管理の状況を管理する目的で開発したデスクトップシステムである。本システムは、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したデータベースで構成される。また、これら以外の生コン製造管理データ（細骨材・粗骨材表面水率、ミキサ負荷電流値等）と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。本デスクトップシステムのユーザーインターフェースは、図一七（スクリーンショット）に示すような、ダッシュボード機能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. おわりに

フレッシュコンクリート診断システムとして、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チャーを要因としたAIを構築し、これを実装するBP・現場スタッフ向けスマートフォンWEBアプリを開発した。また、フレッシュコンクリート診断結果を含む生コン品質管理データベースを構成し、品質管

理エンジニアによる一元管理を可能とするデスクトップシステムを開発した。

本システムを海外工事に適用することで、現地スタッフ・現地エンジニアの生コン品質に対する意識向上が期待される。今後も、本システムを活用することで、海外工事における生コンの品質安定化に取り組む予定である。

本システムの現場試行・適用にご助力いただいたYangon-Mandalay Railway Improvement Project Phase1 (CP102)、鉄建建設・りんかい日産建設JVの関係各位および本システムの開発でご協力いただいたアイセイ(株)関和彦氏に感謝の意を表します。

J C M A

《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：2024/1/29)：https://detectron2.readthedocs.io/en/latest/
- 6) 岩城圭介，川又篤，車紅升，福岡瑛莉奈，國澤博：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，鉄建技術報告 2022 No.36，2023.3

【筆者紹介】

岩城 圭介（いわき けいすけ）
鉄建建設(株)
建設技術総合センター 研究開発センター
副所長

