

バッチャープラント自動管理システム「BP-Tracker」の開発 The development of the batch plant automatic management system “BP-Tracker”

山本 悟*

Satoru Yamamoto

乙津 堅太郎***

Kentarou Otsu

島根 大悟**

Daigo Shimane

要 約

山岳トンネル工事で使用される支保部材の吹付コンクリートは、現場に設置したバッチャープラントにおいて昼夜製造される場合が多い。この吹付けコンクリート製造が滞ると施工サイクルに多大な影響を及ぼすため、製造に必要なセメントや骨材等の残量を把握するとともに施工サイクルを考慮しながら適切なタイミングで必要量を注文・補填することが現場職員の重要な施工管理の一つとなっている。しかしながら、職員の確認・経験不足から材料補充のタイミングを見誤ると吹付コンクリートの製造が制限・中断され、施工サイクルに多大な影響を及ぼす恐れがある。

このような問題発生を未然に防ぐとともに職員による残量管理やバッチャープラント作業員の省力化を目的に、バッチャープラントの材料残量を見える化し、骨材供給を自動化するバッチャープラント材料自動管理システム「BP-Tracker」を開発した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. システム概要
- § 3. 現場導入事例
- § 4. システムの特長
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

山岳トンネル工事において、吹付コンクリートは非常に重要な支保部材である。使用するコンクリートは、現場に設置されたバッチャープラントで昼夜を問わず製造されている（写真－1）。バッチャープラントは、トンネル工事の現場において、コンクリートを連続的に供給するための重要な設備であり、細骨材や粗骨材、セメント、フライアッシュといったコンクリート材料の過不足が無いように、現場職員が日々の作業中に現地で残量を確認し、注文・補充している。

しかし、現場の忙しい作業環境の中で、時折職員の確認不足や経験不足からくる進行判断のミスや、材料の残量を確認する作業が疎かになり、必要な材料の補充が遅



写真－1 バッチャープラント



写真－2 電動油圧式グラブバケット

* 技術研究所土木技術グループ

** 新坂下（出）（現：有家ヶ原（出））

*** 朝日温海（出）



図一 BP-Tracker システム構成

れることがある。このようなミスが特に夜勤時に発生すると、トンネル掘削作業の一時中断や切羽崩落等に対する応急処置が難しくなるといった問題につながることもある。その一方で、注文しすぎることによって骨材ビンに搬入することができずに持ち帰りが発生する場合もある。このような事態を避けるため、現場の職員はトンネルサイクルの確認や現地でのコンクリート材料の確認・注文などに多くの時間と労力を費やしているのが現状である。さらに、バッチャープラントでのコンクリートを製造する際、電動油圧式グラブバケット付きの天井クレーン（写真一）を作業員がリモコン操作してストックされている骨材ビンから骨材ホッパーへ供給する作業が含まれている。しかし、この作業は単純作業であるため、省人化が望まれていた。

このような背景から、バッチャープラントの各種材料の残量を可視化し、バケットによる骨材供給を自動化するバッチャープラント自動管理システム「BP-Tracker」を開発した。

§2. システム概要

今回開発したバッチャープラント自動管理システム「BP-Tracker」（以下、本システム）は「材料見える化システム」、「バケット自動制御システム」および「クラウド管理システム」で構成されている（図一）。細骨材や粗骨材などの骨材、セメントやフライアッシュといったコンクリート製造に必要な材料残量をセンサーで見える化し、残量に応じてグラブバケット付き天井クレーン（以下、バケット）を自動制御することで、バッチャープラントの材料管理を自動化することが可能となっている。また、取得した各種残量データ等は専用クラウドにリアルタイムにアップロードされ、管理画面でいつでもどこからでも確認できるとともに、AI チャットボットとの連携により、自然言語で会話することで現在の残量を確認

することもできる。

2-1 材料見える化システム

(1) LiDAR による見える化

材料見える化システムでは、LiDAR を使用して骨材ビンおよび骨材ホッパー内の材料の形状を 3 次元データで取得し、体積計算することで残量を正確に測定する。これにより、計測誤差 3% 以内で骨材の残量が見える化することが可能である（図二）。また、セメントやフライアッシュの残量計測には、粉じんの影響を受けにくいミリ波レーダをサイロ頂部に設置し、サイロ内の材料までの距離を測定している。これら残量の見える化に関しては、残量がある一定量増加した場合に搬入回数をカウントする仕様としており、当日の搬入予定数量と現在の搬入状況を比較しやすくしている。さらに、制御 PC からクラウド管理システムにリアルタイムで材料残量データが送信され、管理画面でいつでも、どこからでも現在の材料残量を確認することができる。これにより、現場職員はオフィスからでも材料の残量を把握し、必要な対応を迅速に行うことが可能である。

(2) ラインレーザーによる見える化

本システムで利用している LiDAR は連続稼働 8,000 時間で寿命となるため、連続稼働させる場合、定期的な LiDAR の交換が必要となる。そのため、稼働時間を制御する方法も検討したが、残量把握やクラム自動化のためには連続稼働が必須であった。そこで、コスト低減、メンテナンス性・耐久性向上等を目的に骨材の残量見える化にラインレーザーを使用した手法も採用している（図三）。LiDAR による計測と比較すると計測精度が若干落ちるものの、バケット自動化には十分であり、現場の要望に応じて 2 つの手法による見える化の選択が可能となっている。

2-2 バケット自動制御システム

(1) 全自動モード

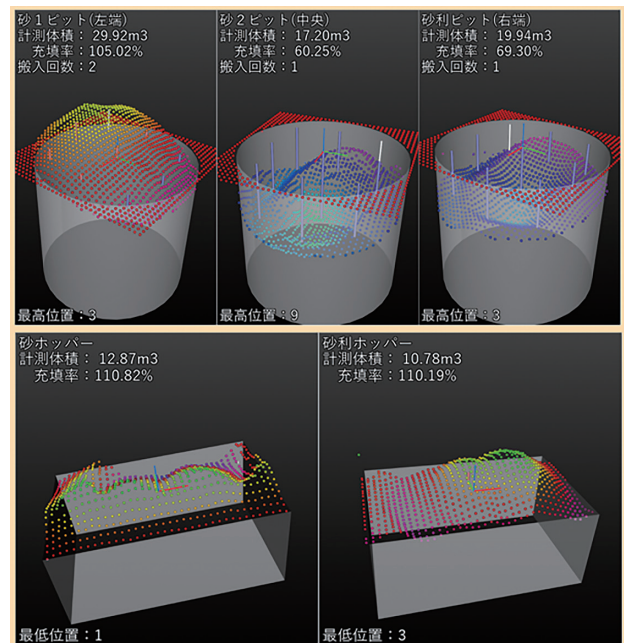
バケット自動制御システムの全自動モードでは、骨材ホッパーの残量が設定値を下回った場合に、バケットを自動制御して骨材ビンから骨材ホッパーへ骨材を全自動で供給する（写真－3）。バケットの自動制御は骨材ビン、骨材ホッパー、バケットそれぞれの位置をバッチャープラント建屋の任意地点を起点とした相対座標で管理している。この際、骨材の山の形状に応じてバケットの降下位置およびバケットの開閉を微調整し、効率的に骨材を掴めるように制御している。これにより、材料の供給がスムーズに行われ、作業効率が向上する。プラント作業員の作業としては、操作画面（図－4）の全自動のボタンを押すだけである。また、システムによるバケット制御時は作業員が手動でバケットを操作する場合と比べて、丁寧な動作となるため、バケットのワイヤー等の消耗を抑える効果も期待される。

(2) 半自動モード

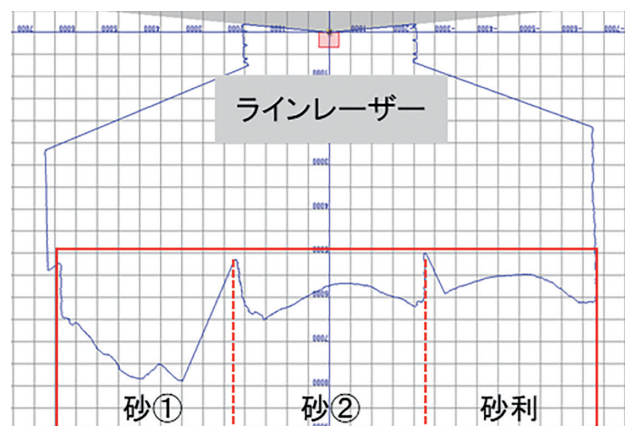
全自動モード開発過程において、各骨材ビンを操作者が選択し、骨材の運搬回数を指定することでバケットを自動運転させる半自動モードを開発、搭載している。トンネルの重要な支保部材を担っている吹付けコンクリートにとって、骨材残量を計測しているセンサーの故障等のトラブルによってバッチャープラントとしての機能が停止することは避けなければならないため、緊急対応的に機能する半自動モードも重要な機能となっている。

(3) 安全対策

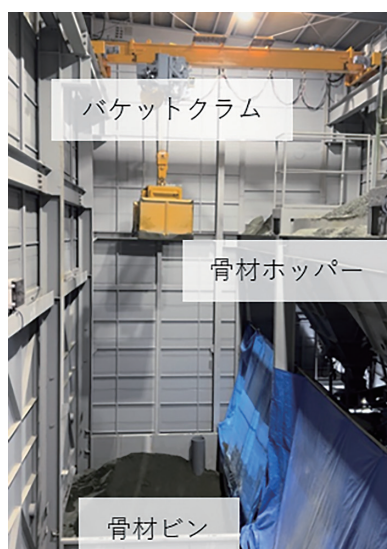
バッチャープラント各所に侵入検知センサーおよび非常停止ボタンを配置し、予期せぬ動作やシステム故障時、骨材搬入車両の出入り等の際に自動制御機能を停止させる安全対策を実施している（図－5）。また、プラント内外にパトランプを設置しており、現在のバケットの運転状況を色や点灯・点滅などで周囲に周知している。



図－2 骨材残量測定センサー計測例



図－3 ラインレーザーによる計測例



写真－3 全自動モード運転状況



図－4 BP-Tracker 操作画面



図ー5 パッチャープラント内安全対策

2-3 クラウド管理システム

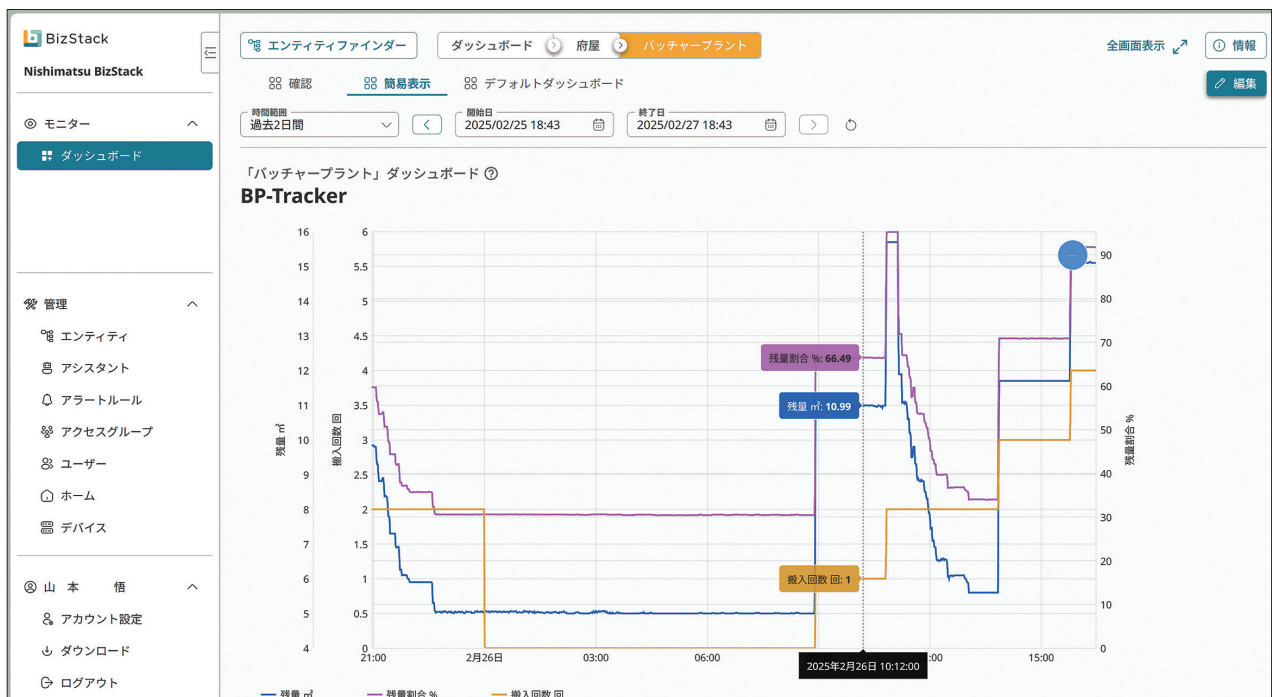
パッチャープラントで取得した材料の残量データはゲートウェイを介して現場インターネット経由でリアルタイムにクラウドにアップロードされ、管理画面でいつでも、どこからでも確認できる（図ー6）。また、クラウドとビジネスチャットアプリ direct との API 連携により、チャットボットが現在の骨材残量データをクラウドから呼び出して回答する機能も備えている。チャットボットには生成 AI が組み込まれており、自然言語で AI チャットボットと会話することで、任意のタイミングで現在のプラント材料の残量が確認できるとともに、作業前や作業終了時に材料の残量を通知する設定とすることで、注

文の忘れや過剰在庫の発生を防ぐことができる。また、骨材搬入業者とデータを共有することで、効率的な注文が可能となり、材料の供給がスムーズに行われる。

§ 3. 現場導入事例

3-1 現場概要

本システムを実際の山岳トンネル工事に導入した。本トンネル工事では、用地面積の制約によりパッチャープラントが仮設ヤード外に設置されているため、生コン車が一般道を 30 分程度走行しなければならなかった。そのため、生コン車運転中は作業員が骨材のホッパーへの補



図ー6 BP-Tracker クラウド管理画面

給を行うことができずに、吹付けコンクリートの供給が遅れる等の問題が懸念されていた。さらに、バッチャープラントが現場から離れているため、職員も材料の残量確認に時間と労力を取られてしまっていた。

導入現場の詳細を以下に示す。

- ①工事名 : 都市計画道路城山多古線 (仮称)
新坂下トンネル新設工事
- ②発注者 : 神奈川県
- ③工事場所: 小田原市久野～多古地内
- ④工期 : 2022 年 12 月 23 日～2024 年 11 月 29 日
- ⑤主要工種: 本坑掘削 L=220 m

3-1 現場導入効果

稼働ログデータより、以下の条件でシステムによるバケットの操作時間の削減効果および経済的效果を試算した結果を示す。

期間: 2024 年 3 月 25 日 (月)～2024 年 3 月 29 日 (金)
 期間中吹付けコンクリート練り混ぜ量: 102 m^3
 クラム稼働時間: 45,869 秒 = 764 分
 単位 m^3 あたり稼働時間: $764/102 = 7.5 \text{ 分}/\text{m}^3$

トンネル切羽の進行を以下で仮定すると、
 月進: 100 m
 平均吹付量: $10 \text{ m}^3/\text{m}$
 吹付けコンクリート練り混ぜ量: $1,000 \text{ m}^3/\text{月}$
 削減時間(時間/月): $1,000 \times 7.5 = 7,500 \text{ 分} = 125 \text{ 時間}/\text{月}$
 削減時間(時間/年): $125 \text{ 時間}/\text{月} \times 12 \text{ 月} = 1,500 \text{ 時間}/\text{年}$

試算では年間 1,500 時間の削減効果があり、バッチャープラントの労働者の単価(トンネル作業員: 29,400 円)で計算すると、約 5,500,000 円/年の経済的效果が期待される。

また、クラウドにアップロードされたバッチャープラントの砂、砂利、セメント等の残量、割合、搬入回数を direct を利用して AI チャットボットと会話することで現地に行くことなく確認することが可能となる(図-7)。

§ 4. システムの特長

本システムの特長は以下の通りである。

4-1 コンクリート材料の見える化

コンクリート材料の残量が見える化し、クラウド管理システムを活用することで、遠隔地からでも材料の状況をリアルタイムで把握可能となり、追加注文や注文取消などの適切な対応が行えるようになる。そのため、注文し忘れや過剰注文が無くなり、現場技術者が常に現場の進捗状況や材料の残量を確認するなどの負担の軽減につながる。

@BizStack Assistant さん バッチャープラントの砂の残量、割合、搬入回数を教えて

既読
16:42

B BizStack Assistant

バッチャープラントの砂の残量、割合、搬入回数は以下の通りです
(2025年2月25日16時42分25秒時点) :

砂1
 - **残量**: $13,500 \text{ m}^3$
 - **割合**: 82.100%
 - **搬入回数**: 0 回

砂2
 - **残量**: $14,400 \text{ m}^3$
 - **割合**: 87.600%
 - **搬入回数**: 2 回

図-7 AI チャットボットとの会話例

4-2 骨材供給の自動化

骨材ホッパーの残量を常に監視し、設定値以下になるとバケットを自動制御して骨材ビンにストックされた骨材をホッパーに供給することで、骨材供給を自動化した。これにより、単純作業の省人化が可能となり、効率的な材料管理ができるようになる。また、本来骨材供給のためのバケット操作に取られていた時間をバッチャープラント清掃、生コン車運転、搬入資材相番等に有効活用することで、トンネル現場全体の生産性向上も期待できる。

4-3 AI チャットボットによるデータ共有

クラウド管理システムにアップロードされた残量データと連携した AI チャットボットにより、任意のタイミングで材料の残量を確認するとともに、事前に設定した任意の時間に材料の残量を通知することも可能である。たとえば、作業前や作業終了前に骨材の残量を通知することで、注文の忘れや過剰在庫の発生を未然に防ぐことができる。また、骨材搬入業者とデータを共有することで、効率的な注文が可能となり、材料の供給がスムーズに行われる。

4-4 汎用性

本システムはプラントメーカーを問わず後付けが可能であるため、汎用性が高いシステムとなっている。既存のバッチャープラントにも容易に導入することができ、さまざまな現場で活用することが可能である。これまでに複数のメーカーのバッチャープラントに後付けし、各プラントで骨材ビンの数、配置、クラムの動作方向、サイロの数等異なるが、システムを柔軟にカスタマイズすることで対応している。

§5. まとめ

今回、山岳トンネル工事におけるバッチャープラント材料自動管理システムを開発し、現場実証を行った。骨材ホッパーの残量を監視して、常に一定量を保つようにバケットを自動運転することで、骨材供給を自動化することができた。また、骨材残量を見える化、共有化することで残量確認の省人化も可能となった。

今後は、本システムのさらなる改良と拡張を進めていく予定である。例えば、AI 技術を活用した材料の需要予測機能を追加することで、より正確な材料管理と発注が可能なシステムへと拡張を進めていきたい。また、汎用性の高いシステムであることから、トンネル建設業界全体の発展に貢献できるよう、社内展開だけでなく外販も視野に入れて引き続き改良を続けていく。