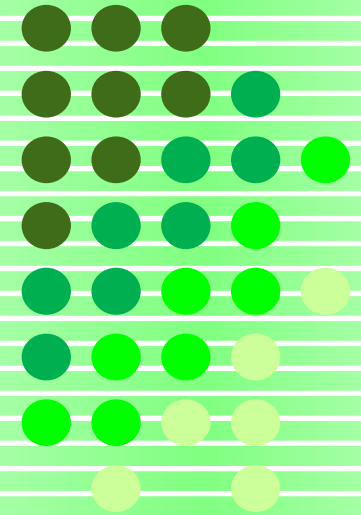


次世代 α システム (仮称)

— ICT 土工の品質管理の高度化 —



前田建設工業株式会社



- 土工事の現状
- 次世代 α システムのねらい
- 次世代 α システムの概要
- 各システムの紹介
- 現場実証試験の紹介
- 今後の展望



転圧機械による施工



人による品質管理



データ管理

■ ”従来”の土工事(盛土工事)

- ・施工時、締固め機械(振動ローラ)による転圧 → GNSSによる転圧回数管理
- ・施工後の品質管理 → RI計測(主に人による計測)などによる品質管理(主に密度)
- ・施工後のデータ管理 → 各計測データを現場職員が施工後集計し、日常的に管理

当社の土工事への開発動向

当社は2000年代から振動ローラに加速度計を取り付け地盤の剛性を測定する加速度応答法:“ α システム”を開発(大林組と共同開発)し、盛土工事の品質向上、計測効率の向上を実現し、多数の現場で実績を上げている。



αシステムは大型土工(関西国際空港など)に導入、多くの実績はあるが...

□ 大型土工事での振動ローラ使用箇所にも適用→適用現場、用途が少ない

“次世代αシステム”としてあらたな開発を行い、

□ 対象土工現場の拡大⇒振動ローラ限定から全土工現場へ

□ 現場土工管理を高速道路の水準に高める⇒品質管理の高度化・精緻化

次世代αシステム

αシステム

3Dレーザースキャナ (追加)

自走式散乱型RI ロボット(追加)

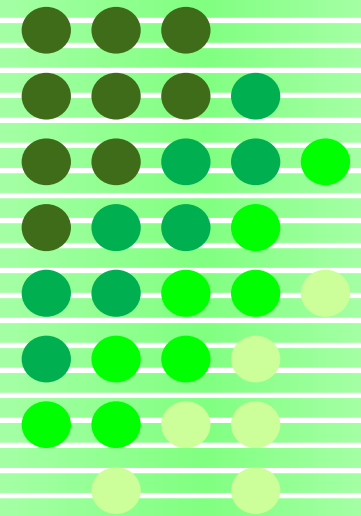
現場種別	使用機械\目的	αシステム				3Dレーザースキャナ (追加)			自走式散乱型RI ロボット(追加)	
		転圧収斂・過 転圧の確認	地盤物性 の評価	D値の間 接評価	地盤剛性 の取得	層厚の面デー タの取得	D値(圧縮 率)の評価	転圧収斂 の確認	D値の評価	Sr、v _a の 評価
大型土工	振動ローラ	◎	○	○	◎	◎	◎	△ 試験施工	◎	◎
大型土工	タイヤローラ	—	—	—	—	◎	◎	△ 試験施工	◎	◎
小規模土工 埋戻し工	小型締固め機械	—	—	—	—	◎	◎	△ 試験施工	◎	◎
補強土工 改良土工	振動ローラ	◎	○	○	◎	◎	◎	△ 試験施工	◎	◎
舗装工	路盤: 振動ローラ	◎	○	○	◎	◎	◎	△ 試験施工	◎	—
舗装工	As舗装: タイヤローラ	—	—	—	—	—	—	△ 試験施工	◎	—

◎:土質・含水比・転圧機種に依存せず適用可、○:土質・含水比・転圧機種が変わると都度試験施工が必要、△:試験施工時のみ適用可能





次世代 α システムの概要 システムの紹介



次世代αシステム(仮称)の概要



■概要

次世代αシステムは、従来の人が行っていた管理をIoT機器などを利用したICT土工として開発することで、省人化、生産性向上を図る。

■次世代αシステムの特長

- ◆ 品質管理の精緻化・高度化(点管理から面管理)
- ◆ 計測作業の省人化(計測の機械化)
- ◆ 現場のDX化(クラウドにより管理データの統合・分析)

■次世代αシステムの構成(3つのIoT計測機器とクラウドシステムを駆使)

新型αシステムによる
施工時リアルタイム管理



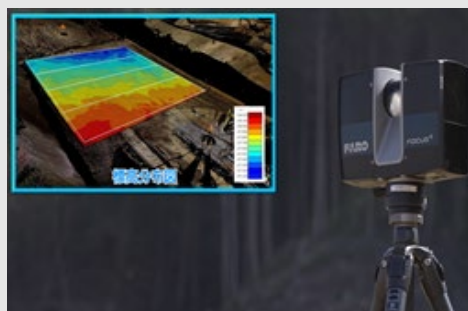
✓ 盛土材・転圧機種に抛らず地盤剛性を取得可能

自走式散乱型RIロボット
による湿潤密度・含水比の取得



✓ 乾燥密度・含水比・飽和度を面的・統計的に取得

3Dレーザースキャナによる
転圧面点群データの取得



✓ 転圧収れん、締固め度(圧縮率)も面的に取得

クラウドシステムによる
WEB遠隔データ分析

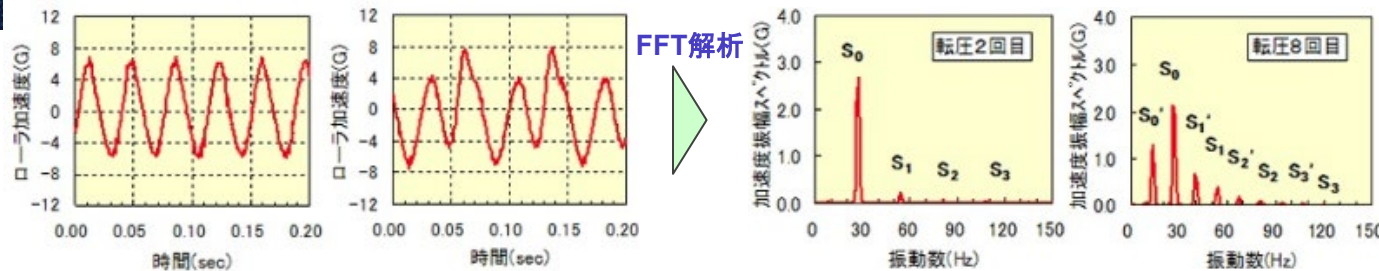
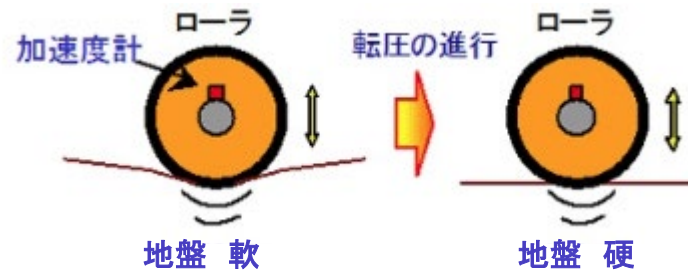
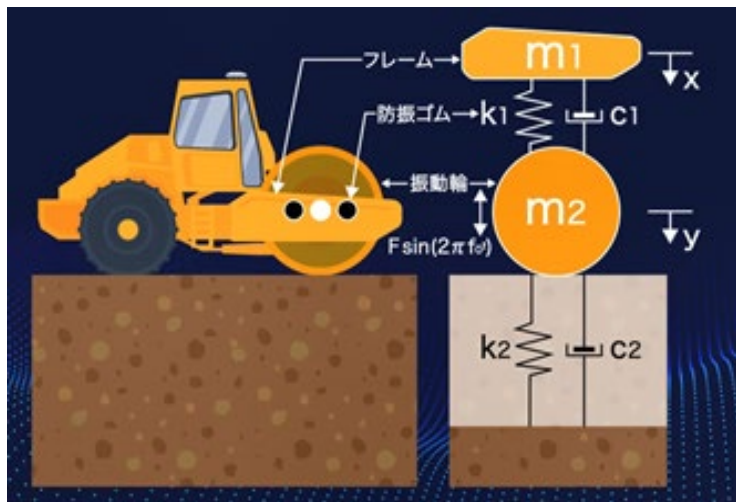
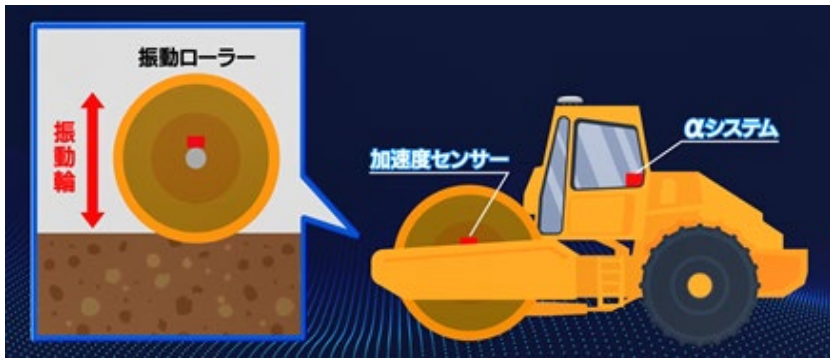


✓ DB保存・WEB分析、外部DB連携機能を開発(予定)



■ αシステムの原理

- ✓ 振動ローラ振動輪の加速度応答が、地盤の締固めの進行により変化することを利用し、振動輪の加速度応答により地盤の剛性や変形係数などを推定
- ✓ GNSSを利用し、施工時にリアルタイムに施工面全体の締固めを評価することが可能
- ✓ 盛土材・転圧機種によらず地盤剛性 E_{roller} を取得可能



転圧2回目

転圧8回目

転圧2回目

転圧8回目

$$\text{乱れ率} = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i + \sum_{i=1}^3 S'_i}{S_0 + S'_0} \cdot \frac{F}{(m_1 + m_2)g}$$

$$E_{roller} = \frac{2(1 - \nu^2)}{B\pi} \cdot \frac{\left(\frac{4}{3} \text{乱れ率} + 1\right)^2 \cdot (2\pi f_0)^2 \cdot m_2}{1 - 0.32\alpha + \sqrt{0.1024\alpha^2 - 1.64\alpha + 1}}$$

$$\alpha = 1 - \left(\frac{F}{(m_1 + m_2)g} \right)$$

αシステム (振動ローラ加速度応答法: 建山・藤山) の概要





αシステム



平板載荷試験



キャスポル

■ 従来の地盤剛性計測手法との比較

	原理	計測時間	計測人工	特徴
αシステム	振動ローラの振動輪の衝撃加速度を計測	0時間/点 (施工時に計測)	0人工	<ul style="list-style-type: none"> 計測手間(時間・人)が不要 転圧時に計測結果の確認が可能 多点計測が可能 土質により適応が困難な場合がある
平板載荷試験	地盤に載荷板を設置後、荷重を与えて載荷板の荷重と沈下量を計測	4時間/点*	2人工	<ul style="list-style-type: none"> JGS等で規定された支持力測定試験であり、信頼性が高い 計測手間(時間・人手)がかかる
キャスポル	地盤に重錘を落下させ、落下時の衝撃加速度を計測	15秒/点*	1人工	<ul style="list-style-type: none"> 短時間での計測が可能 小型・軽量で持ち運びが簡単 転圧時に計測結果の確認が可能 土質によって適応が困難な場合がある

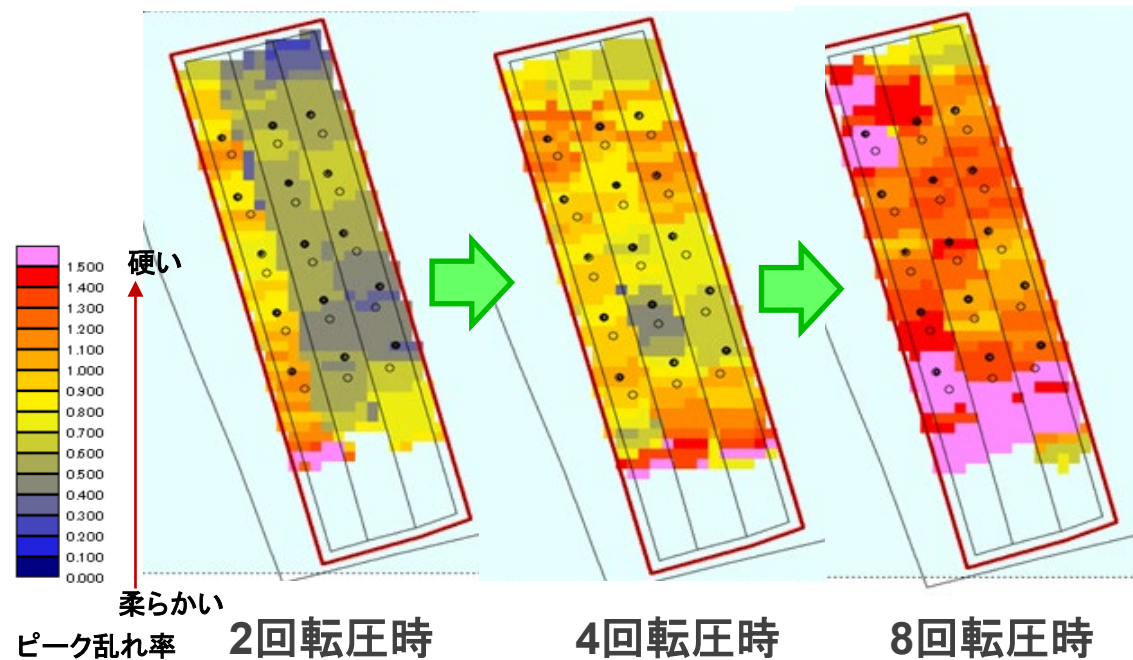
※当社比



αシステム～その3～

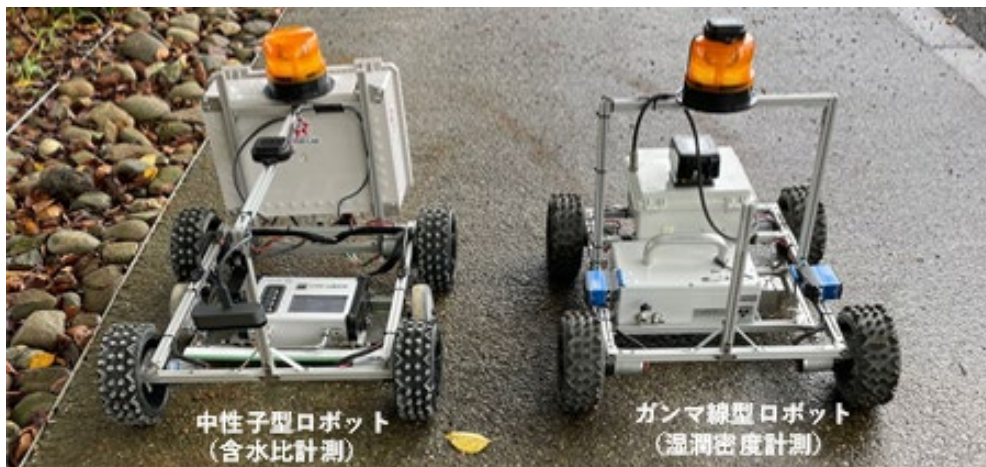


- ◆ 地盤剛性に基づく『面的・統計的データ管理』転圧面弱部の『可視化』、転圧収れんや過転圧の『リアルタイム監視』
- ◆ 施工時（転圧時）に地盤剛性データを取得できるため、他の計測手法のような手間がいない



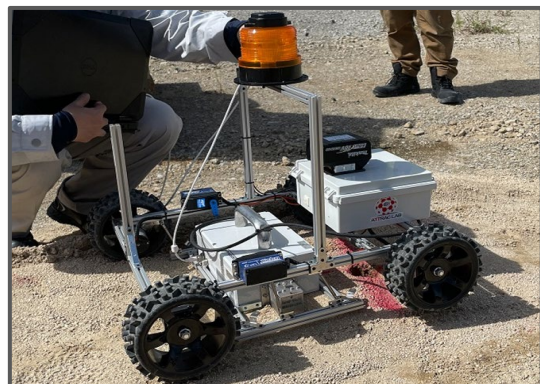
加速度応答値（乱れ率）ヒートマップの転圧に伴う変化

自走式散乱型RIロボット～その2～



散乱型RIロボットの概要

	散乱型RI ガンマ線	散乱型RI 中性子線
測定データ	土の湿潤密度	土の含水量(比)
計測方法	静止, 地表設置	走行(地表未設置)
操作方法	自動走行・自動計測	自動走行・自動計測
計測時間	1分/点	1分/点
測定深度	測定面から 10cm程度	測定面から 10cm程度
ロボット 寸法	W505 × L600	W515 × L660
計測方法 (2022年度まで)	2分/点	10秒平均/点 (5cm/s)



散乱型RIロボットの計測状況
(ガンマ線:密度計)



散乱型RIロボットの計測状況
(中性子線:水分計)

自走式散乱型RIロボット～その2～



散乱型RIロボット



RI法 (透過型)



砂置換法

■ 従来の品質管理(密度比)手法との比較

	計測方法	計測時間	計測人工	特徴
自走式散乱型RIロボット	測定位置までロボットが移動。地表の線源棒からガンマ線・中性子線を放出し、土中から反射した線量を検出器で計測	1分/点	0人工	<ul style="list-style-type: none"> 2台のロボットによる計測 ロボットによる自動走行・自動計測 クラウドへの自動送信・DB格納 地表面から10cm程度を計測
RI法 (透過型)	地中に挿入した線源棒からガンマ線・中性子線を放出し、土中を透過した線量を計測	3分/点* (+削孔時間こみ)	1人工	<ul style="list-style-type: none"> 散乱型に比べデータのばらつきが少ない 計測深度は30cm 削孔手間がかかる
砂置換法	地盤削孔し、密度が既知の砂を充填し、その充填した質量から試験孔の体積を求め密度を計測	15分/点*	2人工	<ul style="list-style-type: none"> JIS等で規定された標準的な試験法 計測結果まで2日程度が必要

※ 当社比

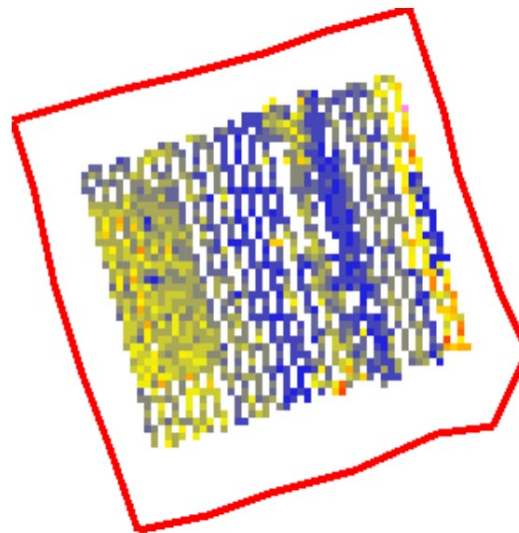
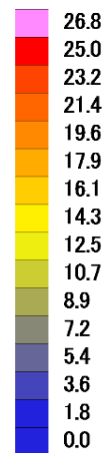


自走式散乱型RIロボット～その3～

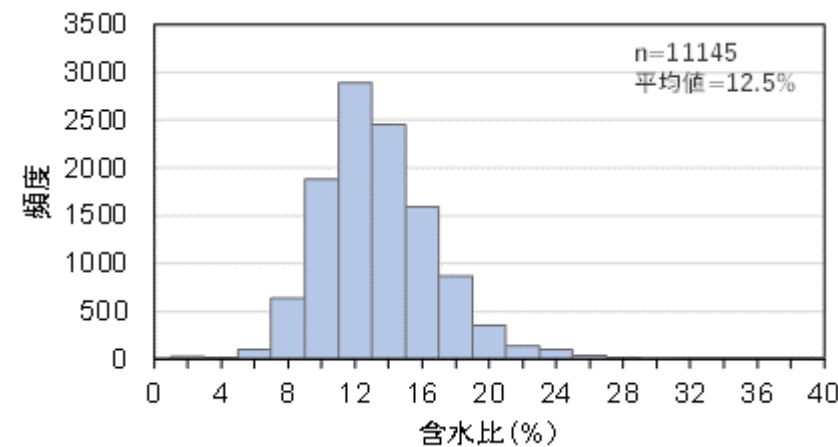


従来の砂置換法、RI法(透過型)で管理から、
散乱型 RI計器搭載の自走ロボットにより管理

- ◆ 内部プログラムで指定した走行条件で自動運転、走行中にクラウド自動送信・DB自動格納
- ◆ 面的に含水比、湿潤密度を計測(のちに乾燥密度へ換算)



含水比のヒートマップ



含水比のヒストグラム

自走式散乱型RIロボットの計測結果



3Dレーザースキャナ

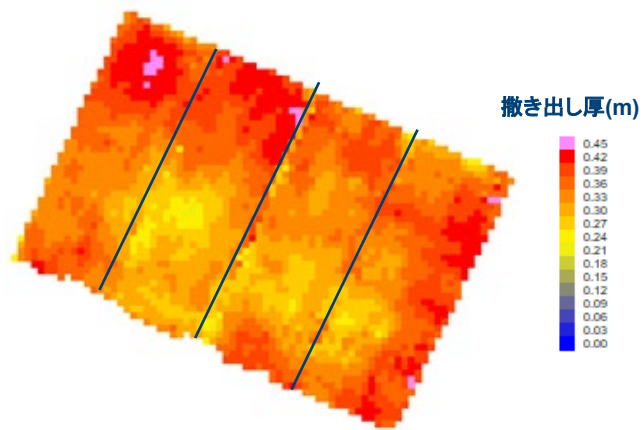


3Dスキャナ(市販品で対応)を用いて施工面の形状を捉え、点群データを取得する。
各施工段階(撒出し前、撒出し後、転圧)で施工面の標高を連続計測することで、

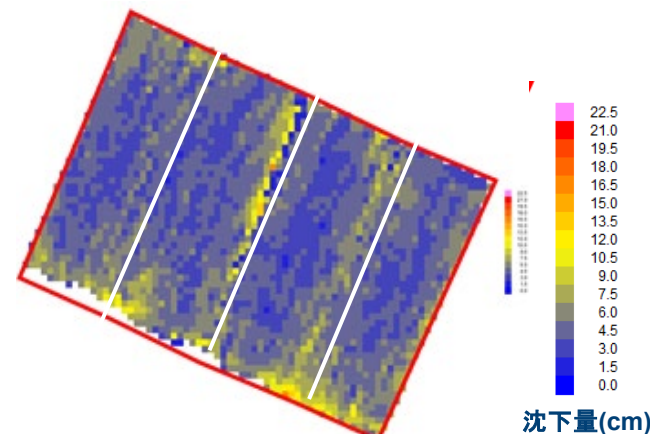
- ・ 撒出し厚、沈下量、圧縮率など面的な施工状況の把握が可能
- ・ 圧縮沈下の収斂傾向や統計量の把握が可能



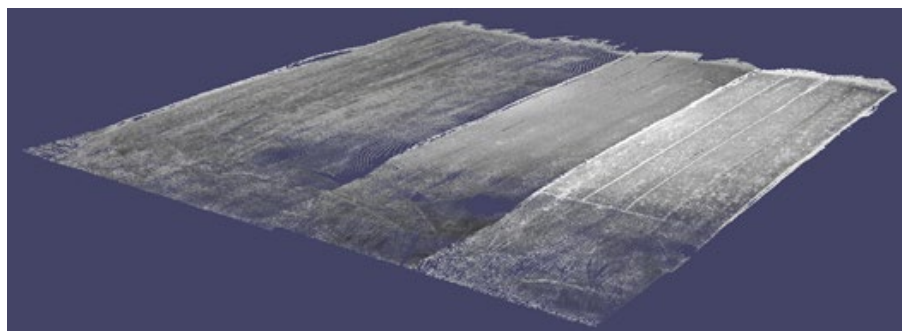
①3Dレーザースキャナ



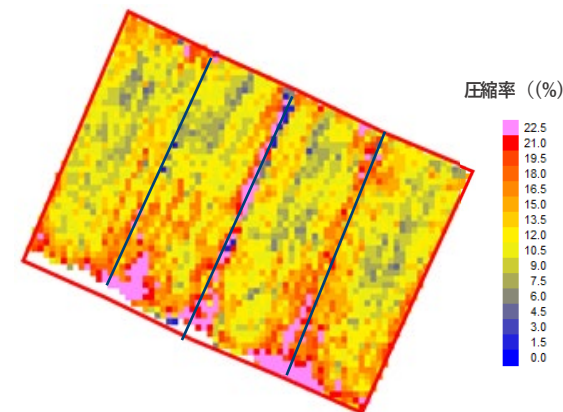
③撒き出し厚ヒートマップ



④沈下量ヒートマップ(4回転圧後)



②本施工エリア点群図



⑤圧縮率ヒートマップ(4回転圧後)

3Dレーザースキャナによる転圧面点群データの取得と利用



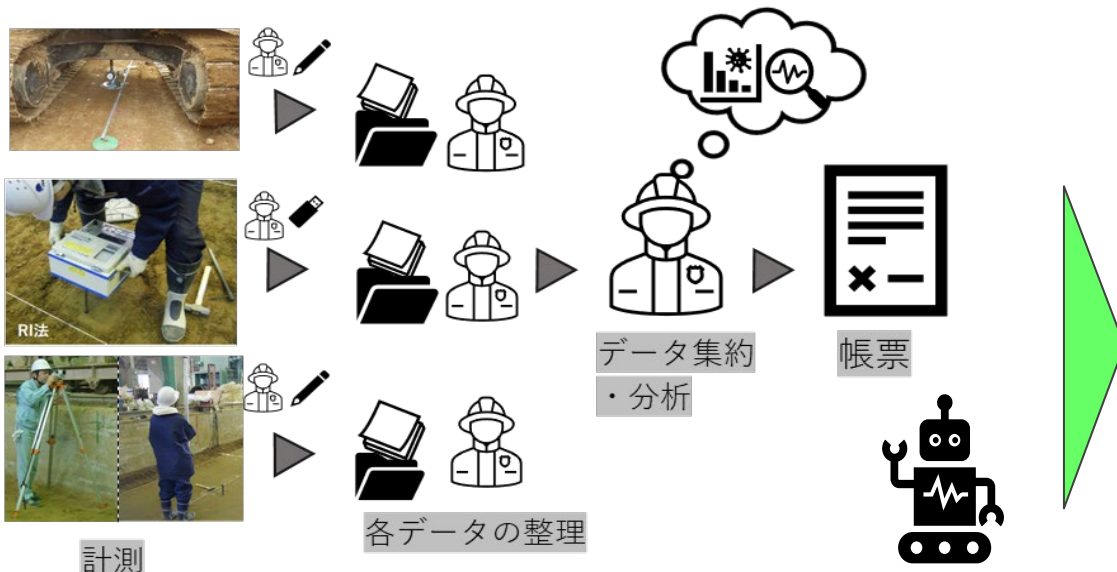
データ統合解析システム~その1~



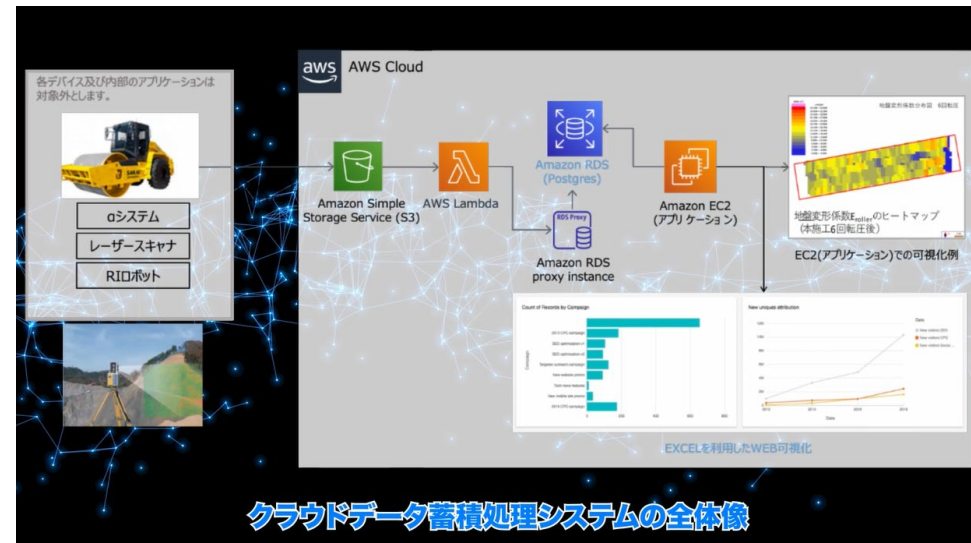
各計測・試験ごとに得られたデータは集約し、集計・分析・帳票化し品質管理

◆ 課題: システムメニューに搭載された4つの出力機能により、品質を確保。盛土施工の最適化

◆ 次世代αシステム: 3つのIoT技術をクラウドに集約帳票管理を省力化&省人化



従来管理

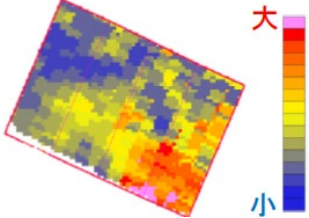
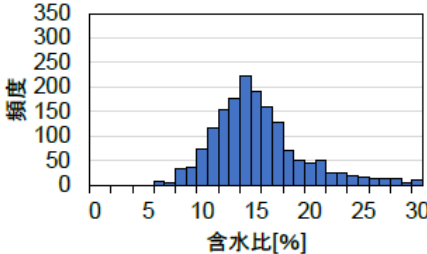
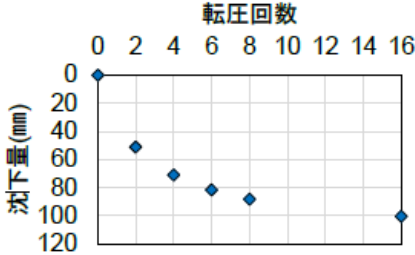
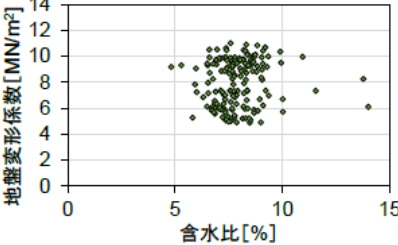


次世代α専用
クラウドシステム

データ統合解析システム~その2~



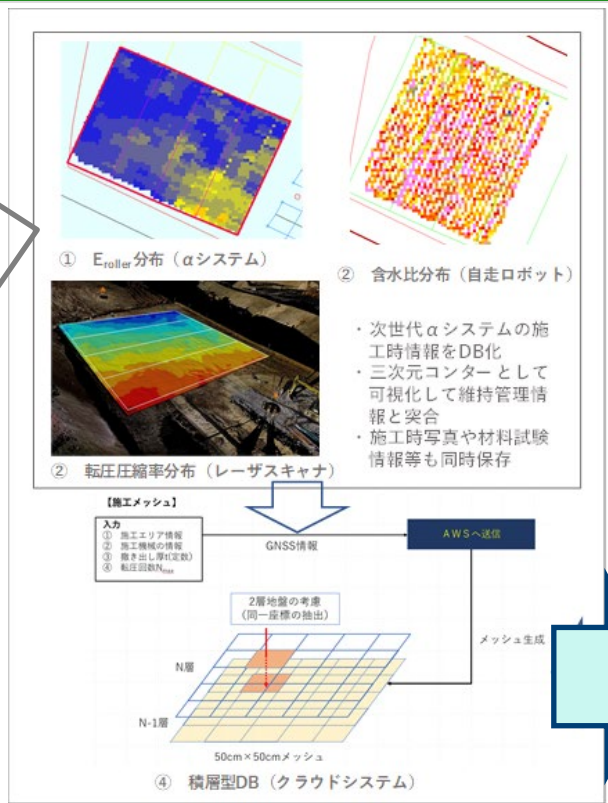
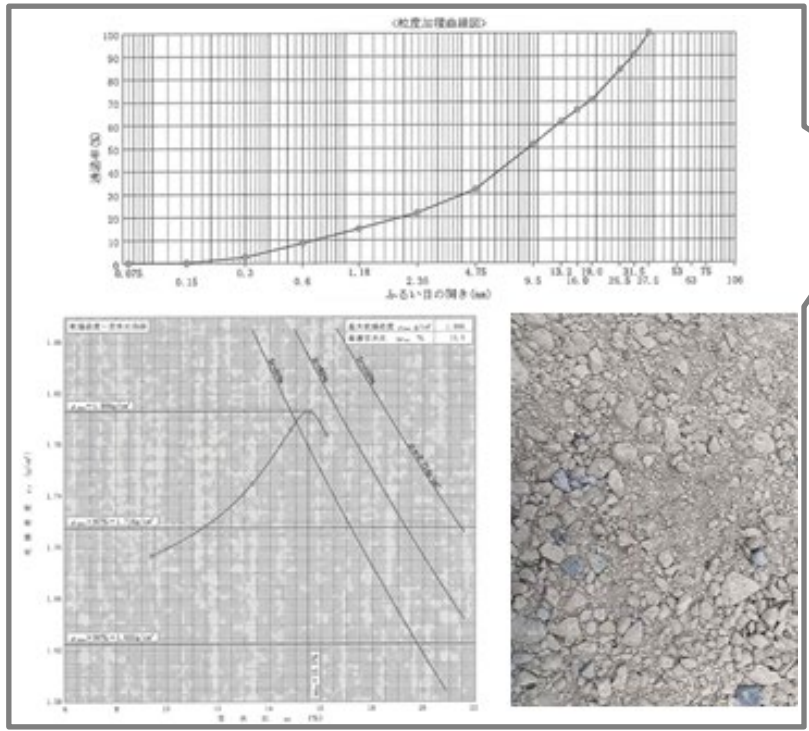
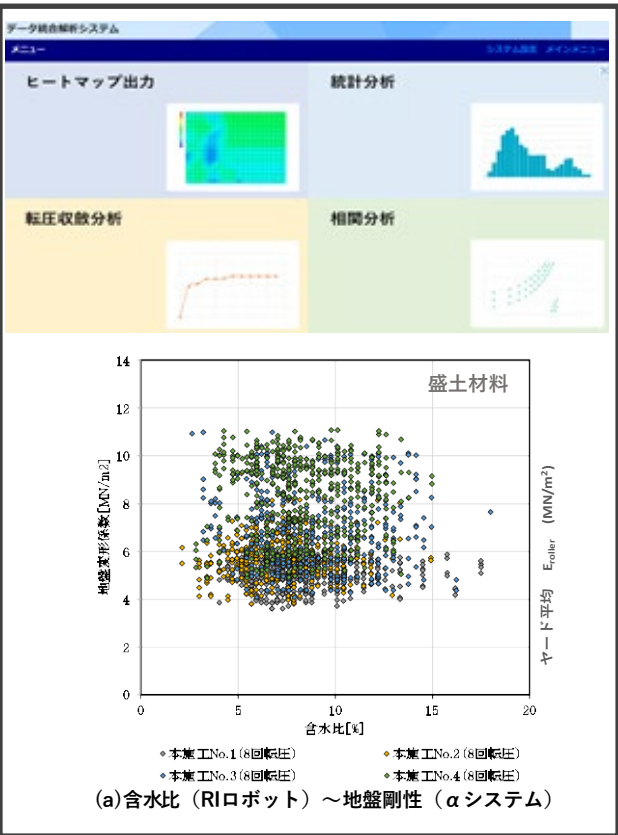
- ◆ システムメニューに搭載された4つの出力機能により、品質を確保し最適な盛土施工を行う
- ◆ 施工管理データをクラウドに蓄積・統合し、データ解析結果の自動算出が可能

	ヒートマップ	統計分析	転圧収斂分析	相関分析
表示例	 <p>地盤変形係数の分布図</p>	 <p>含水比ヒストグラム</p>	 <p>沈下量と転圧回数</p>	 <p>地盤変形係数と含水比の相関</p>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> 計測値をヒートマップとして表示 施工のばらつきを可視化 弱部への早期対応が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 計測データ物性値をヒストグラムとして表示 盛土材の変、動異常値の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 沈下量・乾燥密度の変化を表示 施工完了の判断が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 異なる物性値の相関を表示 施工現象のより詳細な推定が可能

データ統合解析システム~その3~



- ◆ 次世代αシステムにより得られた生データを自動受信し(転圧回数、乱れ率、地盤変形係数、含水比、乾燥密度、圧縮率)を分析用に算出する“データ受信”、“データ格納”
- ◆ データ分析は4つの機能(ヒートマップ、統計分析、転圧収斂分析、相関分析)による”Web分析”
- ◆ 他の施工情報をDB格納が可能な”データベース連携”



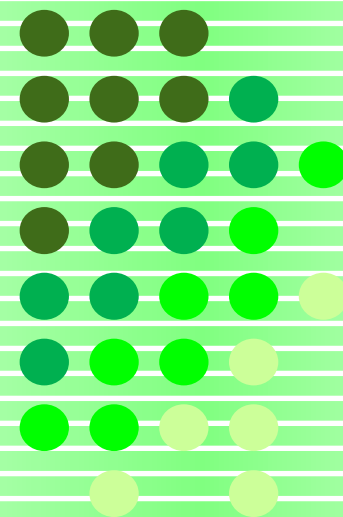
- 共通フォーマット(Land-XML等)による情報提供
- 国総研DXサーバ連携
- データ連携用共通API開発
- BIM/CIMモデル連携

材料試験・現場転圧面写真等の保存・WEB閲覧

次世代αシステム



現場実証試験の紹介



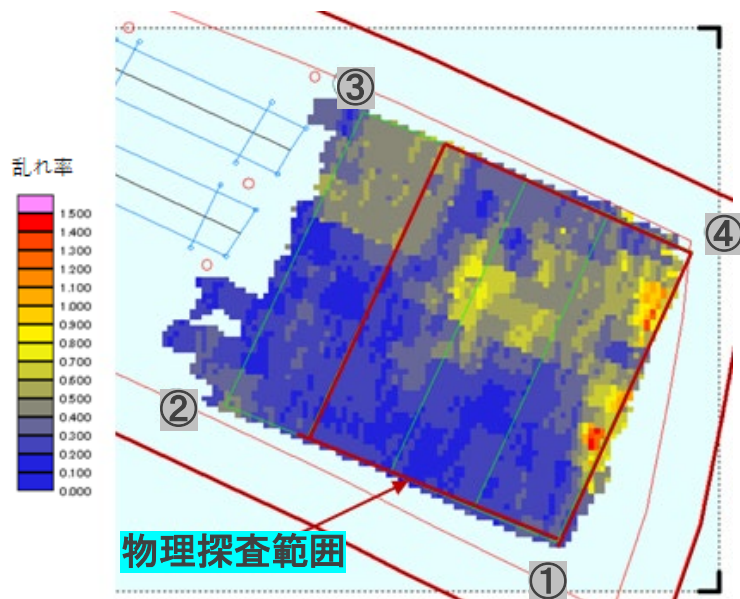
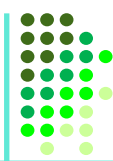
国土交通省PRISM大石龍門工事における実証試験



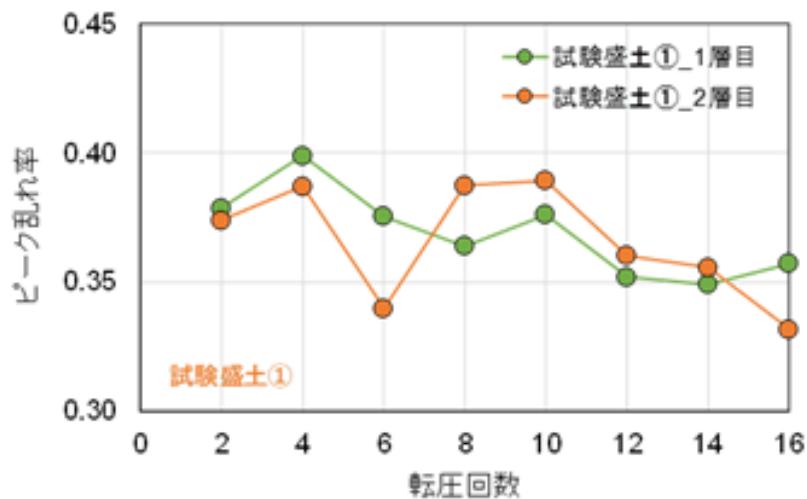
国土交通省PRISM大石龍門工事(ネクスコ西日本新名神高速道路)



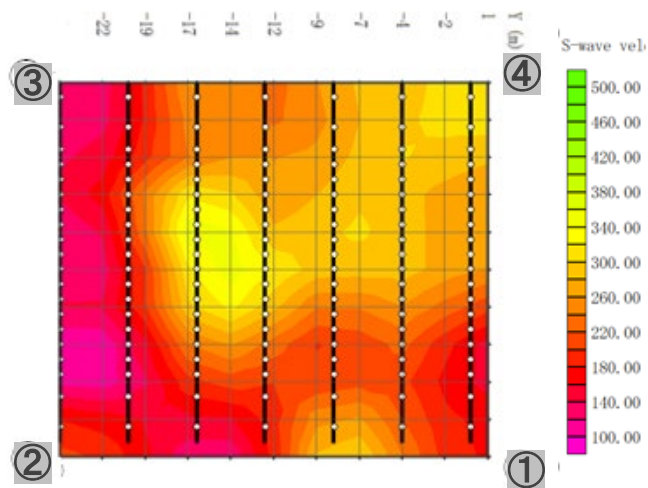
αシステムの計測結果(地盤剛性の比較)



地盤剛性Eroller分布(αシステム)



(2) 過転圧状態の抽出(αシステム)



転圧地盤のs波速度分布(物理探査)



2次元表面波探査作業状況

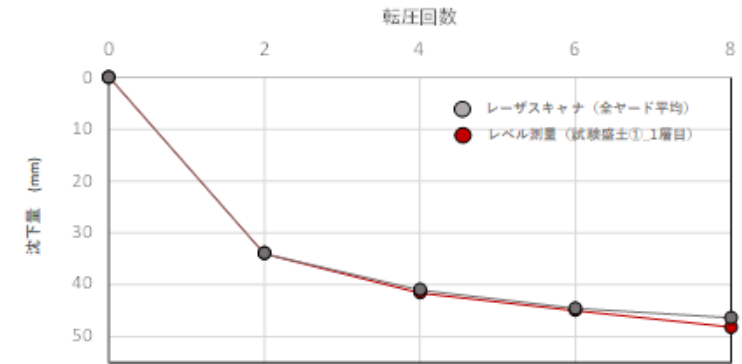
* 岐阜大学八嶋/村田研究室による



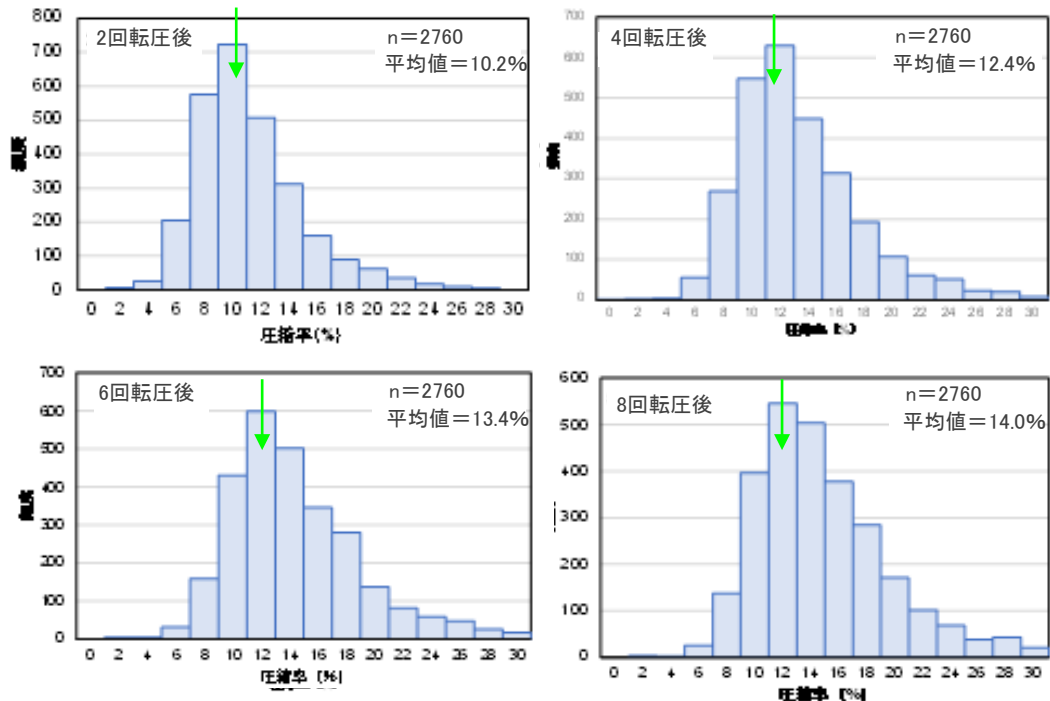
3Dレーザースキャナの測定結果



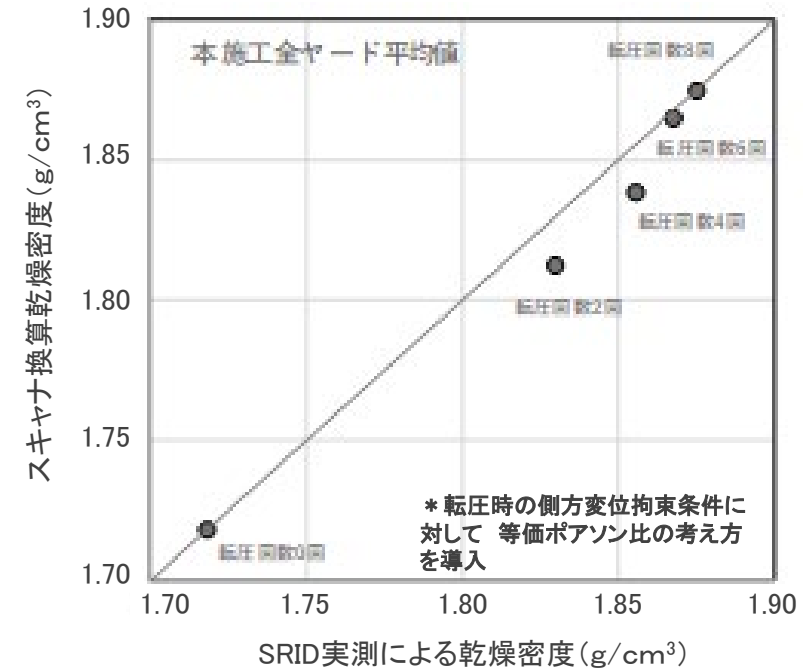
- 3Dレーザースキャナ(市販品で対応)を用いて施工面の形状を捉え、点群データを取得
- 圧縮沈下の収斂傾向や統計量の把握が可能
 - 圧縮率のヒストグラムでは全体の圧縮率が右側に推移していることがわかる
 - 圧縮率から求めて乾燥密度とRI測定結果は相関性がある



沈下量の収斂傾向



圧縮率のヒストグラム



圧縮率から求めた密度増加量とSRID密度



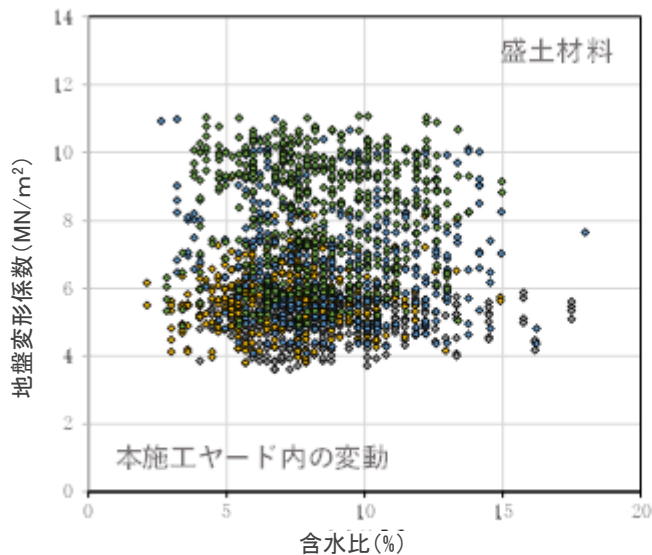
αシステム(地盤剛性)とRIロボット(含水比)



相関分析による現場状況の可視化

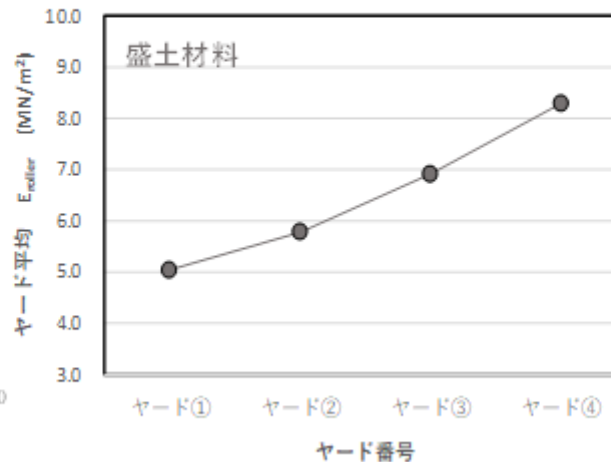
αシステムにより得られた地盤剛性とRIロボット(水分計)によって得られた含水比による相関分析

- 基盤剛性の違いにより E_{roller} が変動
- 含水比と地盤剛性の違いにより材料の違いを可視化

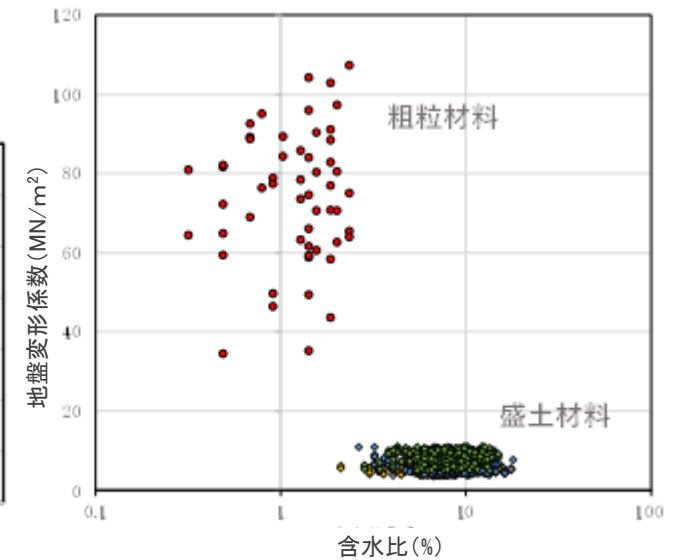


◆ 本施工No.1(8回転圧) ◆ 本施工No.2(8回転圧)
◆ 本施工No.3(8回転圧) ◆ 本施工No.4(8回転圧)

含水比と地盤剛性



各ヤードの地盤剛性平均値

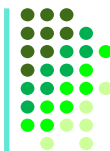


◆ 試験盛土①(16回転圧) ◆ 試験盛土②(16回転圧) ◆ 本施工No.1(8回転圧)
◆ 本施工No.2(8回転圧) ◆ 本施工No.3(8回転圧) ◆ 本施工No.4(8回転圧)

地盤剛性と含水比(材料変動の可視化)

αシステムと自走式RIロボット(水分計)の相関関係

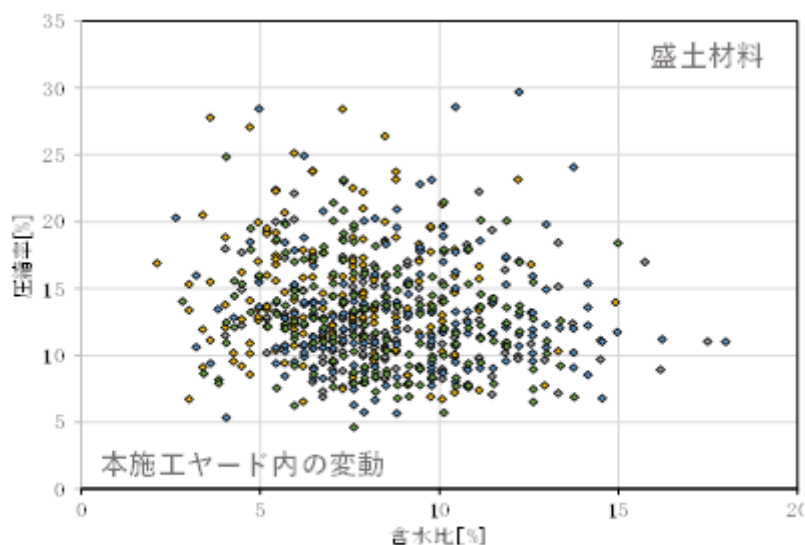
RIロボット(含水比)とレーザースキャナ



相関分析による現場状況の可視化

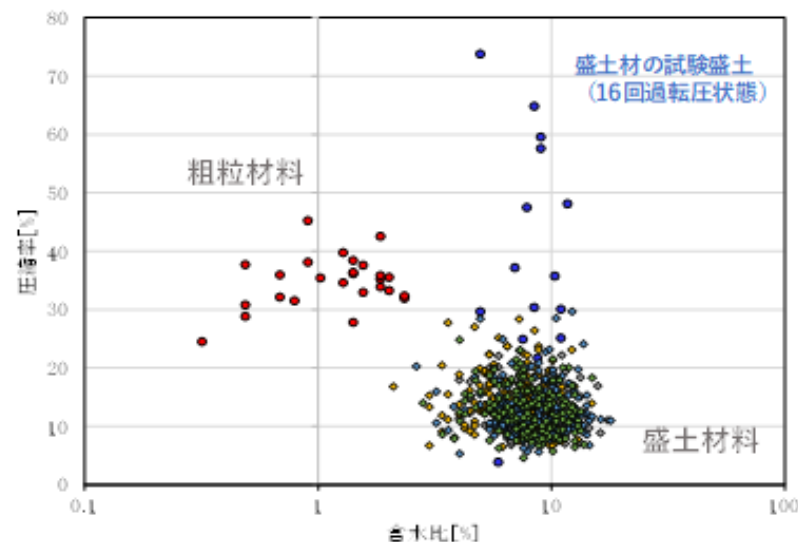
RIロボット(水分計)によって得られた含水比とスキャナによって得られた沈下量(圧縮率)による相関分析

- 含水比と転圧時圧縮率の関連性を可視化
- 含水比と圧縮率から材料変動や過転圧(施工状況)を可視化



◆本施工No.1(8回転圧) ◆本施工No.2(8回転圧)
◆本施工No.3(8回転圧) ◆本施工No.4(8回転圧)

含水比と圧縮率(8回転圧後)



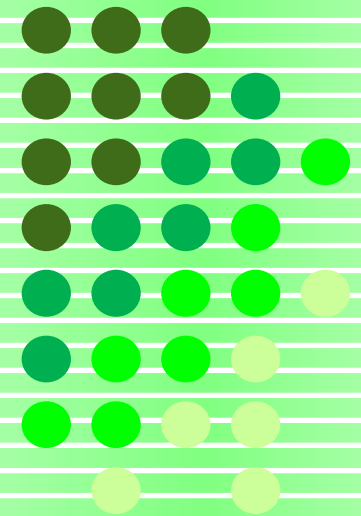
●試験盛土①(16回転圧) ●試験盛土②(16回転圧)
◆本施工No.1(8回転圧) ◆本施工No.2(8回転圧)
◆本施工No.3(8回転圧) ◆本施工No.4(8回転圧)

圧縮率と含水比(材料変動の可視化)

自走式RIロボット(水分計)とレーザースキャナの相関関係



今後の展望





“次世代αシステム”は現場管理業務の効率化、生産性向上を目指し、
今後も開発を進める

■ 一般盛土工事へ展開

- ✓ 社内の実現場での試行→早期の現場実装の実現
- ✓ 他社への実装も含めた体制の構築
- ✓ NETIS登録など公的機関の認証

■ 設計/施工/維持管理のさらなる連携を目指す

- ✓ 公的機関のデータベースと連携

■ 技術の信頼性向上を目指す

- ✓ 土木研究所との共同研究
- ✓ 土木学会との連携
- ✓ PRISM等の外部業務での実証



問い合わせ先:

前田建設工業株式会社

土木事業本部 土木技術部 施工DX推進G

担当者:岩谷

E-mai: iwatan.t@jcity.maeda.co.jp

