

竹中土木のICT技術

盛土材料品質管理システム

人と地球の架け橋に

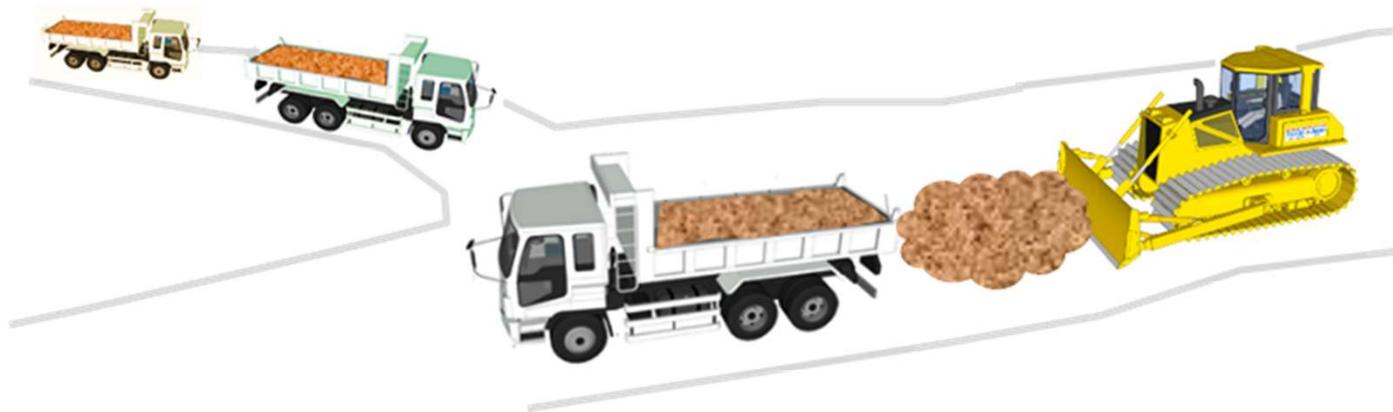


～ 発表内容 ～

- 1.開発の背景
- 2.盛土材料品質管理システム
- 3.システムの精度検証
- 4.実現場適用の事例

1. 背景

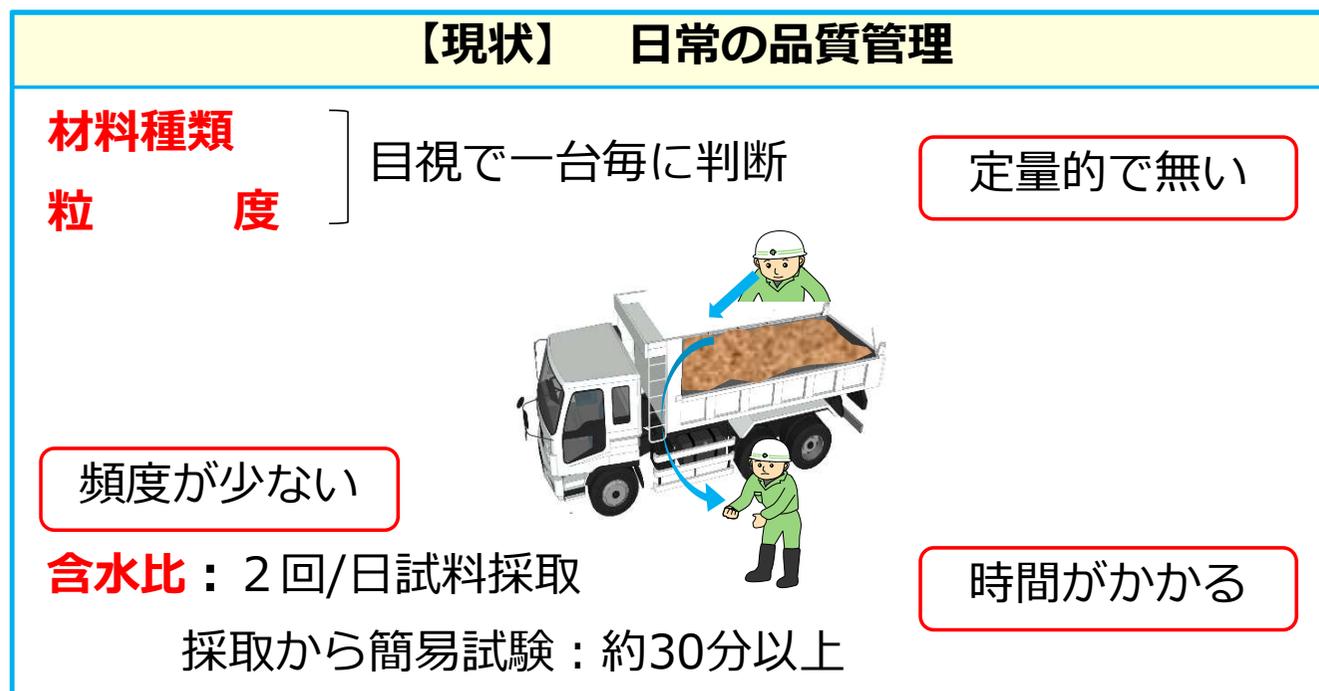
- 盛土工事では、決められた施工方法（仕様）と異なった材料を使用すると、**締固め密度不足等の不具合が発生**
- 盛土工事の現状として、何百台/日の盛土材搬入
- 盛土材料は一般的に、地山やトンネル掘削ズリなどの自然の材料であり、材料は一様ではなく、**粒度分布や含水比のばらつき**



材料の変化をリアルタイムにとらえることは品質上大変重要

1. 背景

➤ 標準の品質管理基準



経験豊富な現場施工管理員や作業員が減少

品質管理レベルを維持・向上していくには管理の定量化・省人化が重要な課題

2. 目的

➤ 盛土材料の**粒度**と**含水比**定量的に**短時間で**
全台数計測するシステムの構築

- ① 材料の粒径・・・画像解析による計測
- ② 材料の含水比・・・既存の水分量計で自動計測

計測から合否判定を**90秒**で実施

～ 発表内容 ～

1.開発の背景

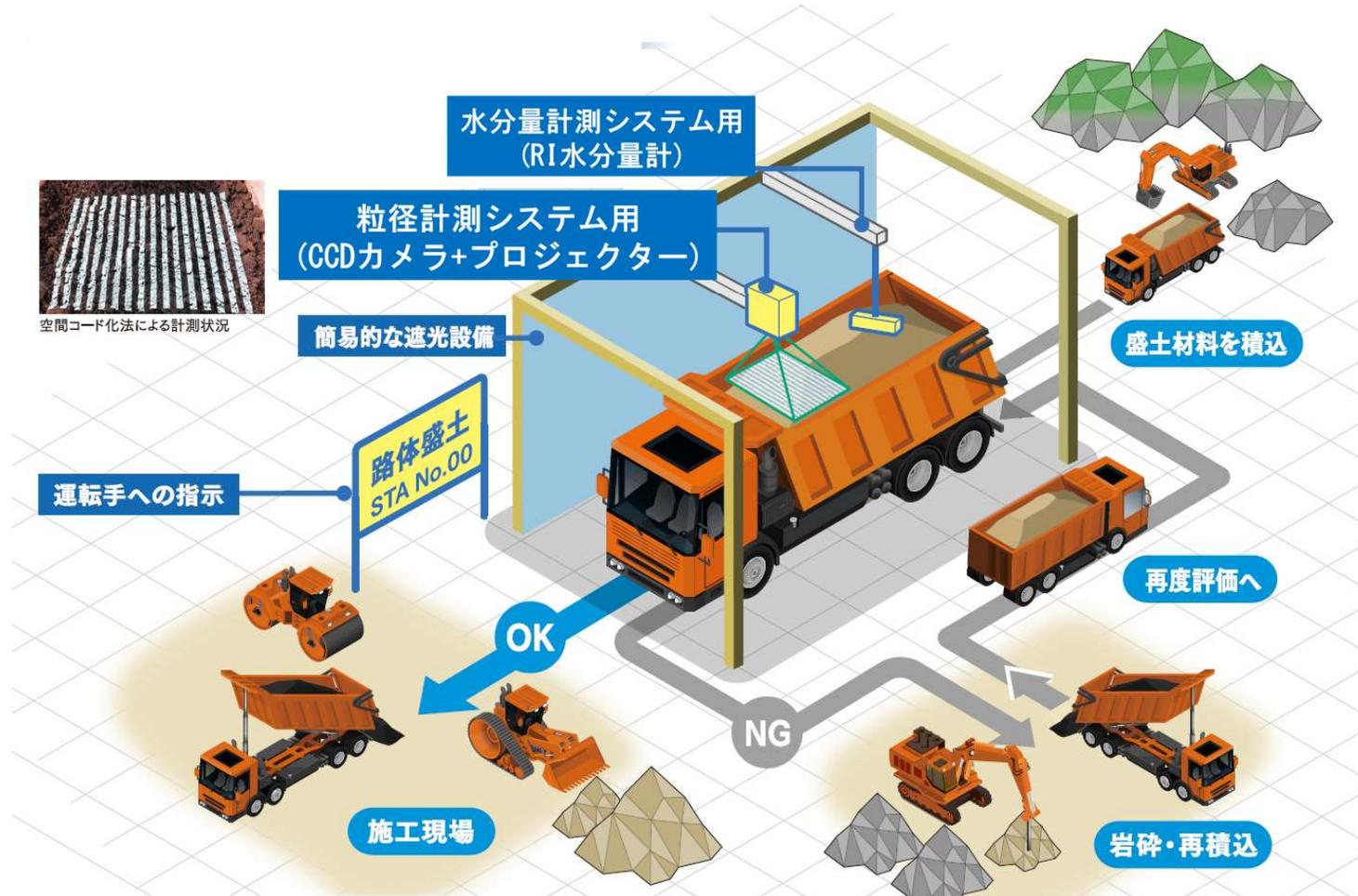
2.盛土材料品質管理システム

3.システムの精度検証

4.実現場適用の事例

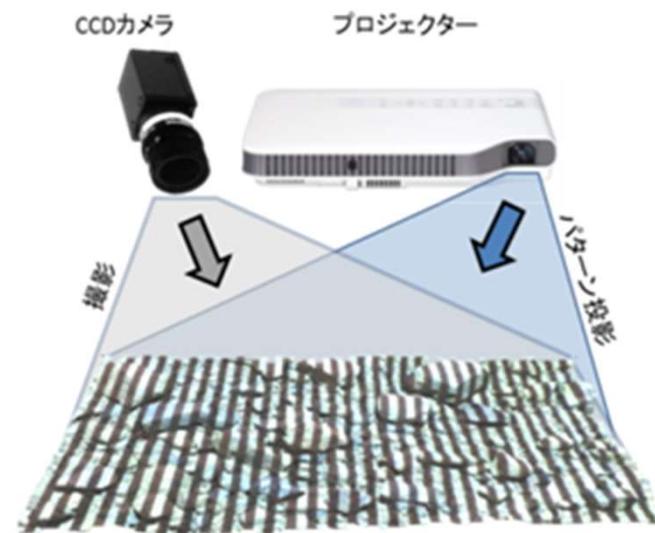
2. 盛土材料管理システム（粒径計測＋水分量計測）

盛土材料の**粒度と含水比**を**定量的に短時間で全台数計測**するシステム



3. 粒径計測システム

- 空間コード化法を用いた三次元計測
 - ・ **低コスト**で**コンパクト**なシステム
 - ・ **短時間**で粒径計測が可能



計測イメージ

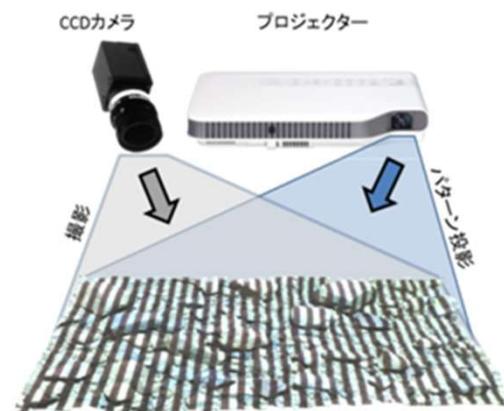


粒径計測装置 (外部)

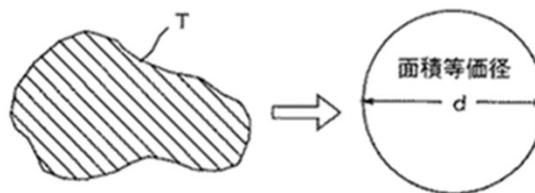
3. 粒径計測システム

○計測フロー

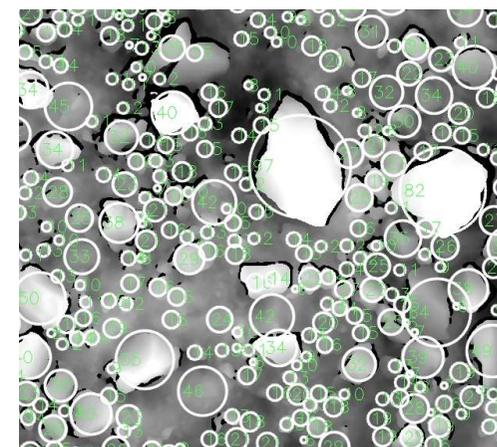
- ① 計測対象にプロジェクターで**複数のスリット光パターンを投影**
- ② 複数 (**28枚**) の**投影パターン画像**をCCDカメラで撮影
- ③ プロジェクター座標系とカメラ座標系を対応付ける**空間コード**を計測対象上に構成
- ④ 座標系と測定対象間の三角測量により三次元モデルと関連付けて
検出されたそれぞれの粒体を同面積の円に近似し**粒径を算出**



計測イメージ



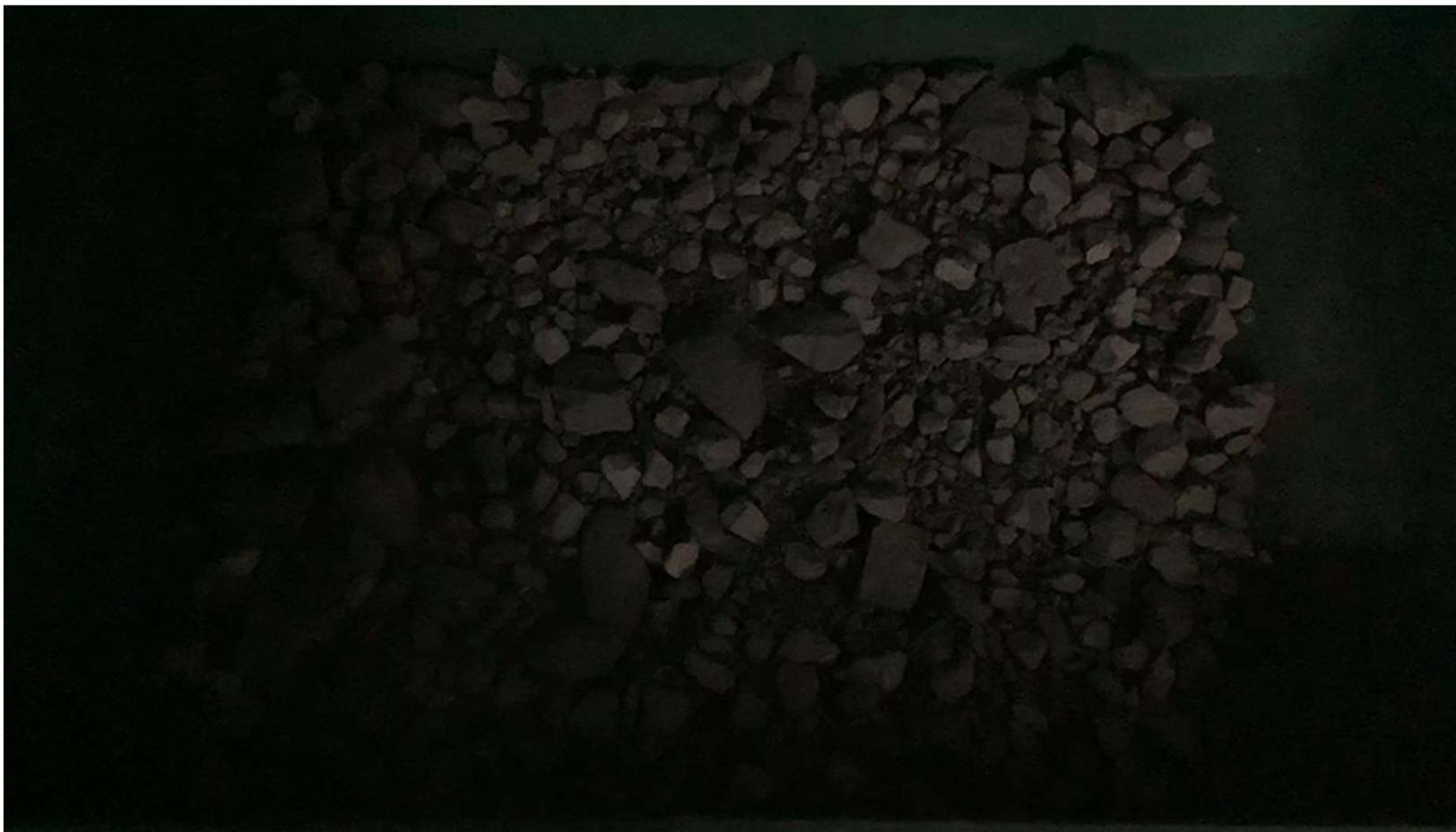
粒径算出方法



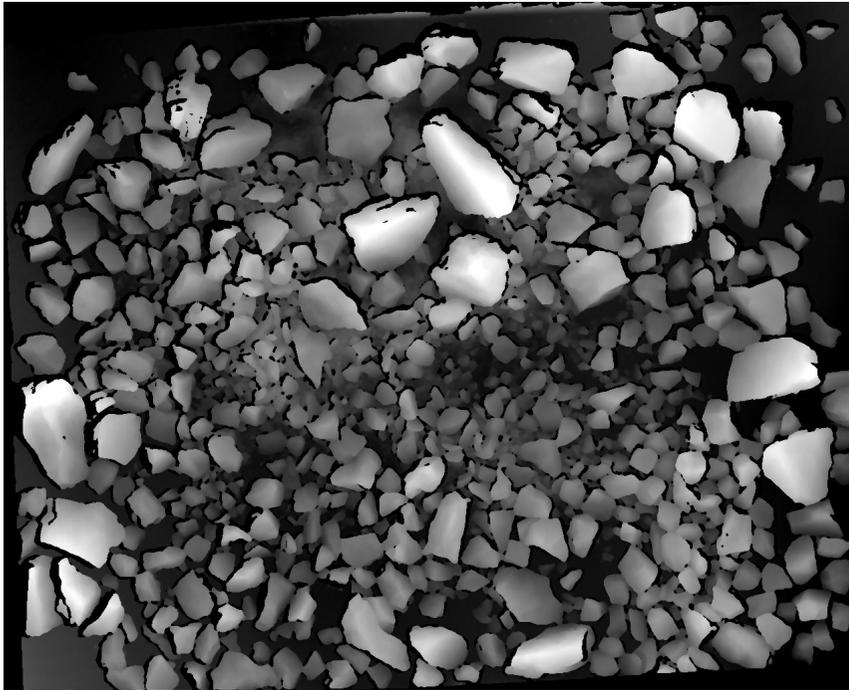
粒径算出結果

4. 計測状況

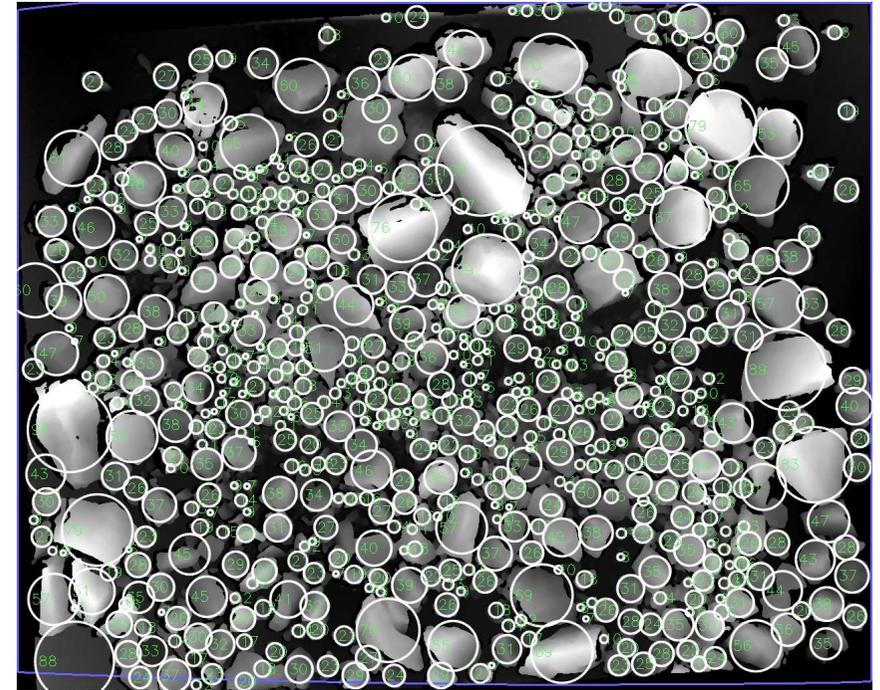
粒径計測状況



5. 計測結果 (例)



計測結果 (深さ画像)



粒径算出結果

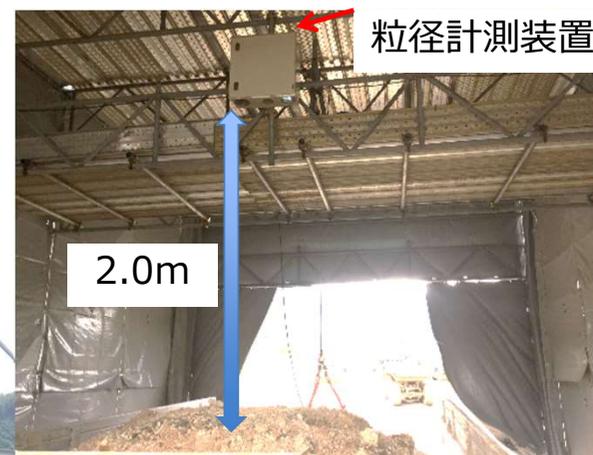
- 計測開始から、三次元計測・粒径算出まで40秒程度と短時間で可能
- 深さ画像とは・・・
三次元計測によって得られる、深さ方向を256階調の明度に変換したグレースケール画像

6. 盛土材料管理システム（粒径計測システム）

➤ 計測設備

- ・ 簡易遮光設備（1200lux程度）

簡易遮光設備



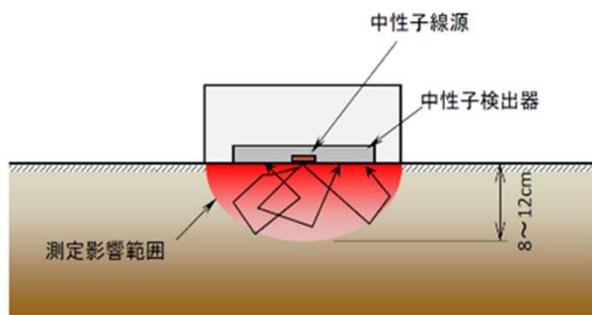
粒径計測装置

2.0m

7. 水分量計測システム

➤ 散乱型RI 水分計 (CONG- II)

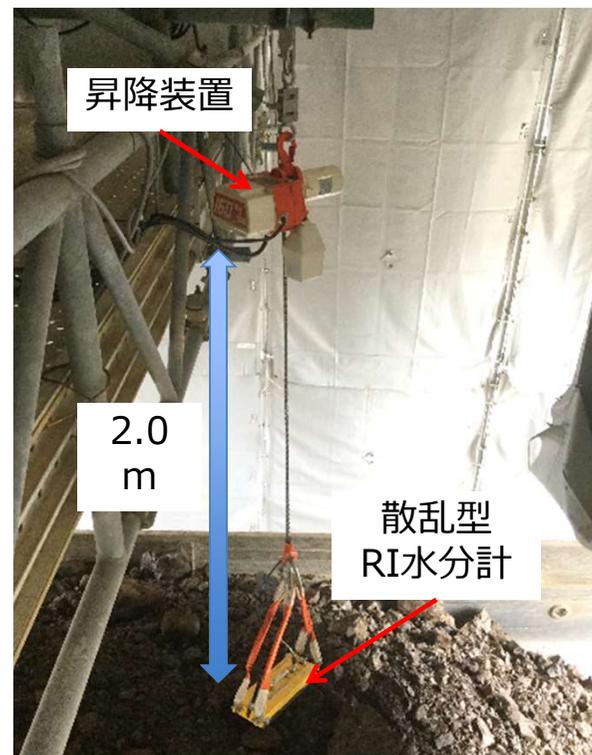
- 中性子線源と中性子検出器をとともに地表に配置
- 土質材料で散乱した中性子を測定



散乱型水分量計

➤ 水分量自動計測装置

- 昇降装置—ホイストクレーン



水分量計測システム

8. 計測状況

➤ 測定フロー

開始信号入力（ダンプ入庫時）



散乱型RI水分計が降下し材料面に接地



水分量計測（60秒）



モニターに計測結果表示

水分量計測状況



～ 発表内容 ～

- 1.開発の背景
- 2.盛土材料品質管理システム
- 3.システムの精度検証
- 4.実現場適用の事例

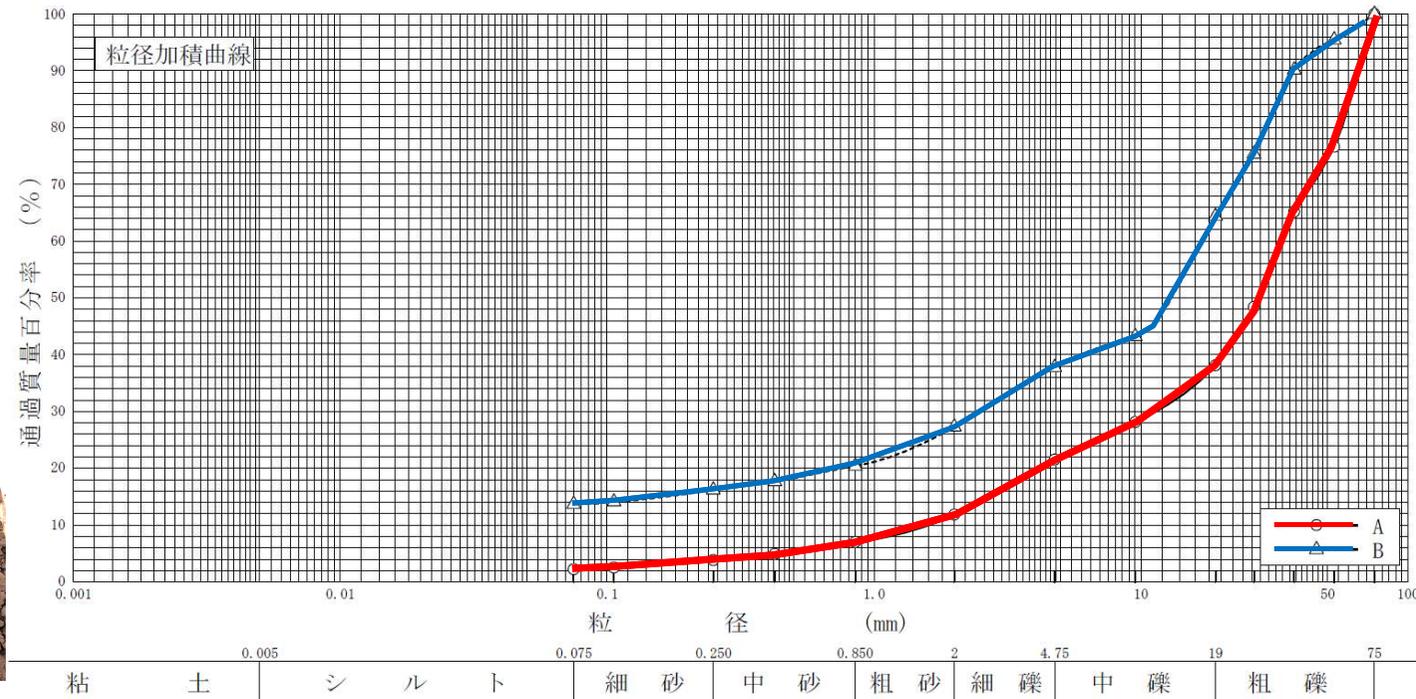
9. 精度検証

- 同じ起源の母土（角礫）を用いて、粒度分布が互いに大きく異なる2種類（A,B）の試料を用いて材料の差異を明瞭に捉えられるかを検証

- A試料：
礫分が多い試料
($D_{60}=34\text{mm}$)



- B試料：
礫分が少ない試料
($D_{60}=17\text{mm}$)



9. 精度検証

- A, B 試料に対し, 粒径計測後に3試料を採取し土質試験を実施

項目	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
礫分 (2~75mm)%	86.8	93.7	86.6	85.8	80.1	72.4
砂分 (0.075~2mm)%	11.2	5.1	11.5	7.9	11.7	16.3
細粒分 (0.075mm未満)%	2.0	1.2	1.9	6.3	8.2	11.3
最大粒径mm	75	75	75	75	75	75
均等係数Uc	18.7	13.8	20.0	35.9	85.0	-
地盤材料の 分類名	粒径幅の広い 砂まじり礫			粘性土砂まじり礫		粘性土砂まじり 砂質礫
分類記号	(GW-S)	(GW-S)	(GW-S)	(G-CsS)	(G-CsS)	(G-Cs)
最大乾燥密度 P_{dmax}/cm^3	2.056	2.061	2.066	2.226	2.223	2.227
最適含水比 $W_{opt}\%$	4.5	4.4	4.8	6.8	6.9	6.6

- 相対的に細粒分の含有率が多く粒度分布の良いB試料の方が盛土材としては良質
- B 試料の方がA試料よりも最大乾燥密度ならびに最適含水比ともに若干大きな値を示している

9. 精度検証

- A, B 試料に対し、**粒径計測後に試料の攪拌を1サイクルとし、それぞれ10回繰返して計測実施**



計測範囲



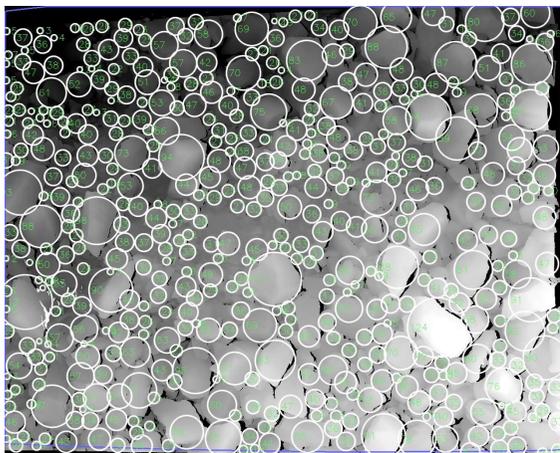
攪拌状況



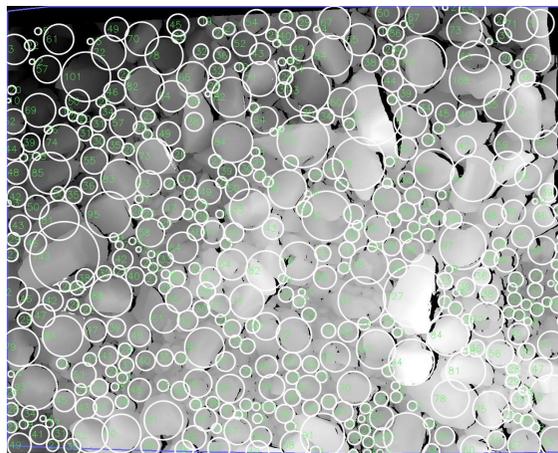
計測状況

9. 精度検証

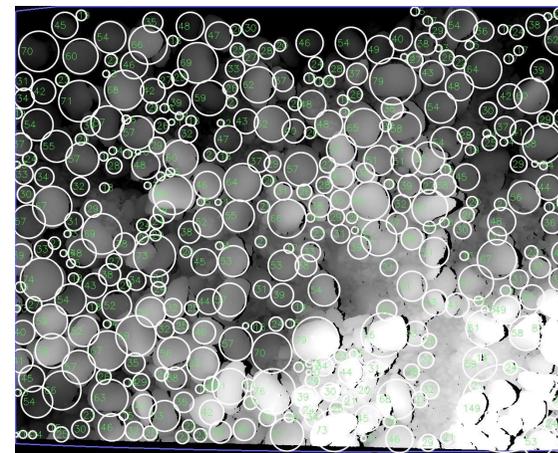
➤ A,B試料それぞれの結果を見ると、おおむね粒径を確実に捉えることができている



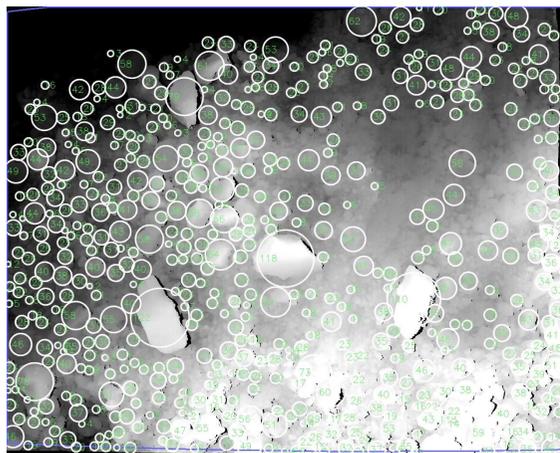
A-1



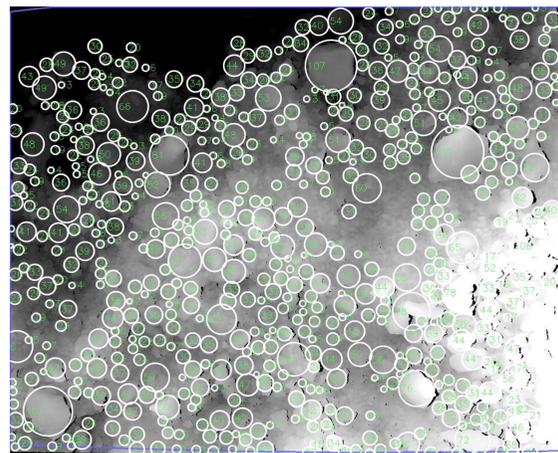
A-7



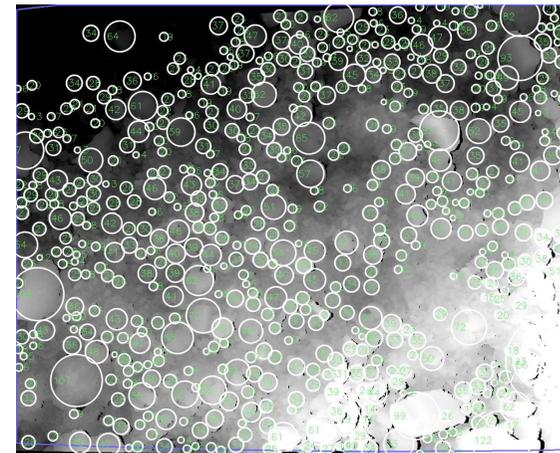
A-10



B-1



B-6



B-9

9. 精度検証

粒径加積曲線

- 粒度試験（最小，中間，最大，平均）
- 粒径計測のケース1から10までの10回

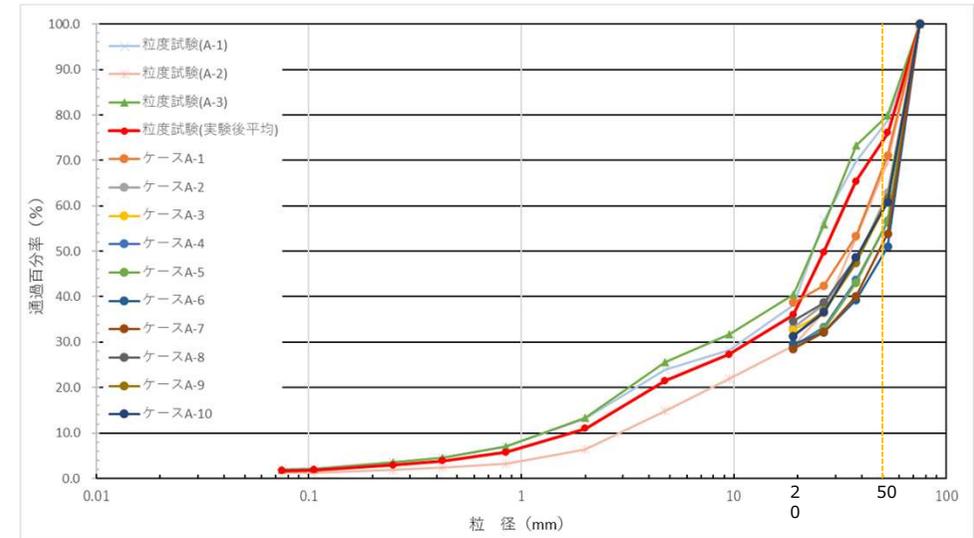
粒径計測のみの比較

- ✓ 粒径計測(10回)のデータ間のばらつきは小さい
- ✓ 粒径計測の再現性は高い
- ✓ A, B試料の粒度分布の差異を明瞭に捉えられているものと判断

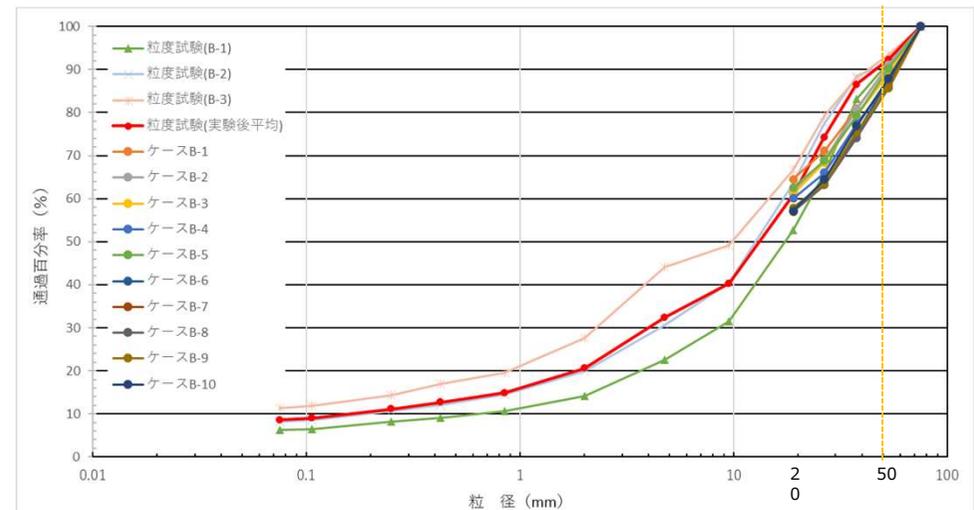
粒径計測と粒度試験の比較

- ✓ 粒径50mm以上の割合が実際の粒度分布よりも多い
- ✓ 20mm~40mm程度の粒径の割合が少ない

A試料



B試料

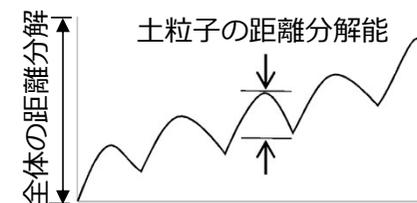
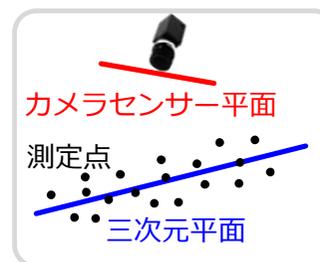


10. システムの高度化

現 状

『ハードウェア設置上のずれ』 『計測対象面の不陸』 が存在

- ・ 計測対象面
 - ・ カメラセンサー平面
- } 角度差

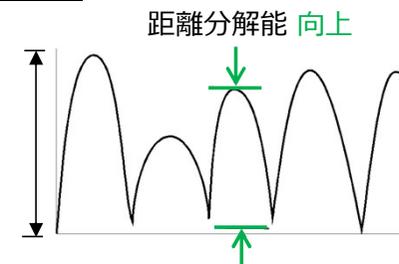
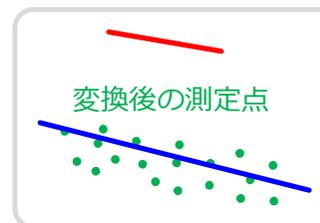


土粒子の測定距離が増加し、検出画像の解像度低下

自動傾き補正

三次元計測後の画像処理による角度差の自動補正

- ① 測定点の近似する三次元平面を作成
- ② 2つの平面が平行になる補正式を算出
- ③ 全ての測定点を座標変換



検出画像生成時、**最適な距離の解像度を保った状態で変換可能**

10. システムの高度化

➤ 粒度調整した材料を用いて，補正前後の粒度分布を粒度試験と比較

- ・ 材料形状：角礫
- ・ 粒度調整：細粒分含有率が10%以上になるよう調整
- ・ 計測方法：材料を薄く敷き均し計測

⇒土粒子の重複により計測出来ない材料をなくし粒度試験と同一材料で比較

項目	角礫
礫分 (2~75mm) %	89.3
砂分 (0.075~2mm) %	8.6
細粒分 (0.075mm未満) %	2.1
最大粒径 mm	75
地盤材料の分類名	粒径幅の広い 砂まじり礫
分類記号	(GW-S)

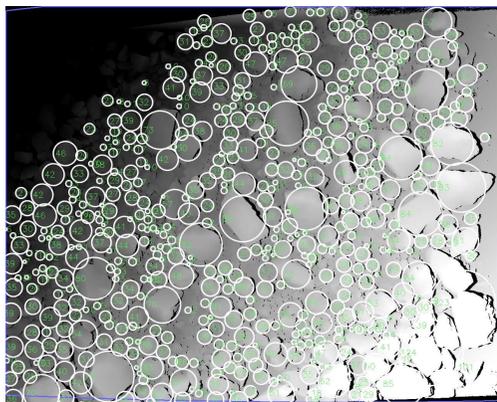
材料仕様



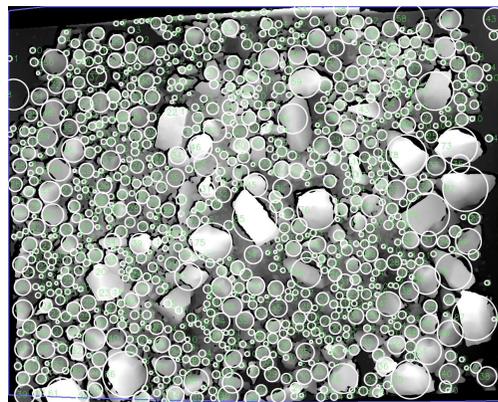
計測材料

10. システムの高度化

➤ 検出画像

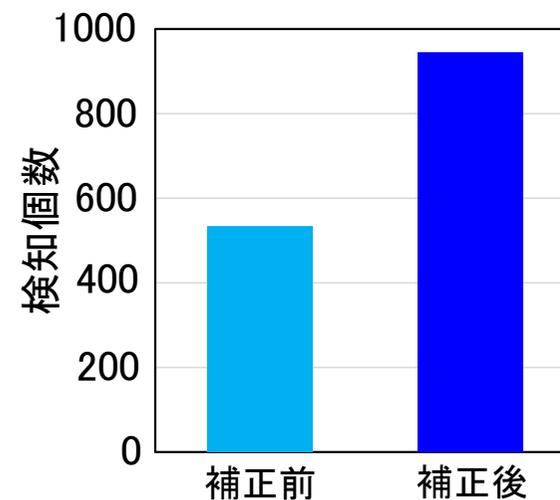


補正前



補正後

➤ 土粒子検知数



検出画像

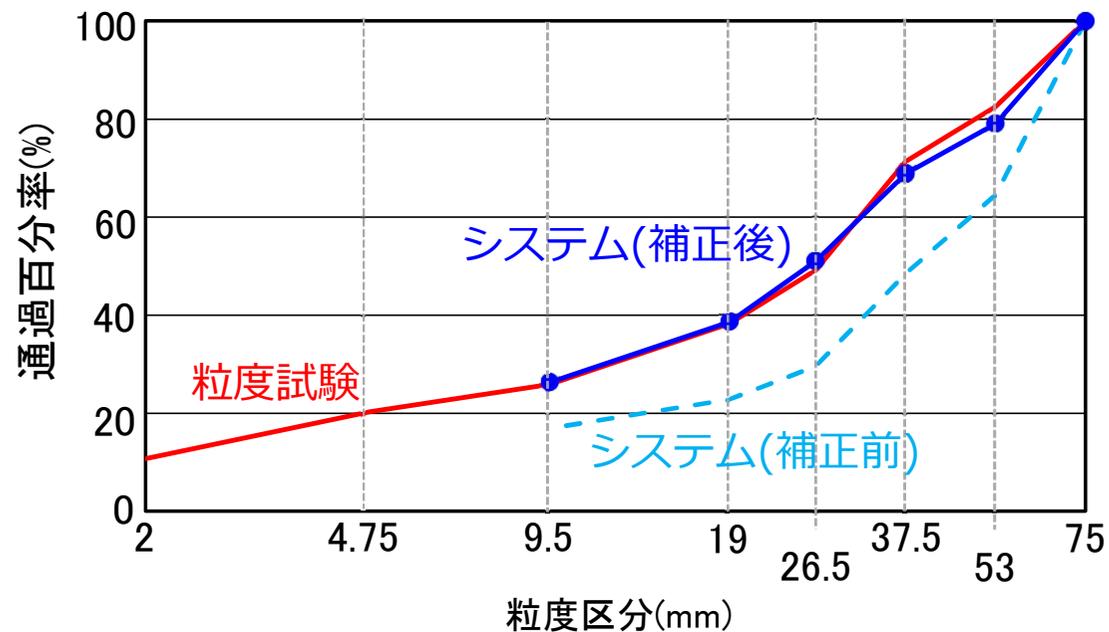
- ・ 解像度が向上し、**土粒子のコントラストが強調**
- ・ 計測距離が長いため、**土粒子が未検知だった範囲が解消**

土粒子検知数

- ・ **検知数が2倍程度増加**

10. システムの高度化

➤ 粒径加積曲線



- 粒径37.5mm以上：粒径検出精度が向上し，誤検知が減少
- 粒径26.5mm以下：土粒子検知率が増加

粒度試験と同等の粒径加積曲線を取得

～ 発表内容 ～

- 1.開発の背景
- 2.盛土材料品質管理システム
- 3.システムの精度検証
- 4.実現場適用の事例

10. 実現場での計測

適用工事

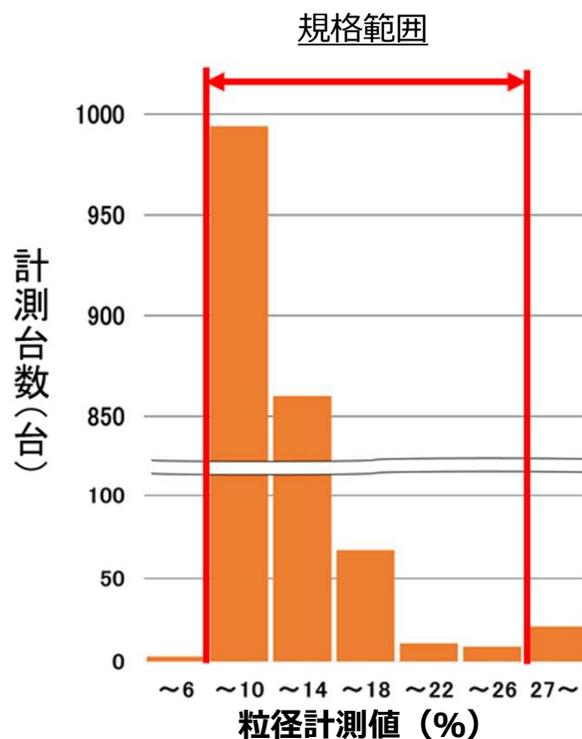
- 工種：法面掘削・進入路盛土工事
- 適用期間：2018年9月8～19日（**10日間**）
- 計測台数：**1900台**



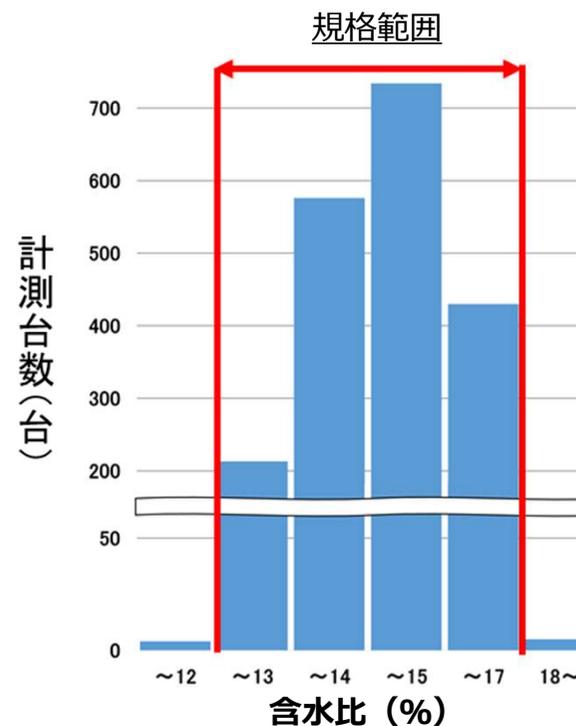
10. 実現場での計測

運用結果

【粒径計測結果】



【水分量計測結果】



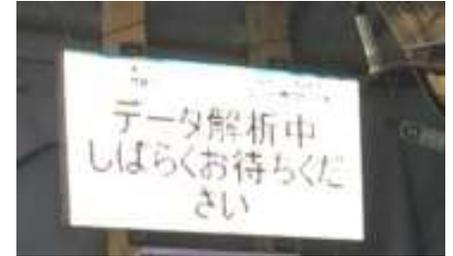
- 品質規格内での施工を確認し規格外の材料を排除

全台数の品質見える化を実現し品質の向上

10. 実現場での計測

適用工事

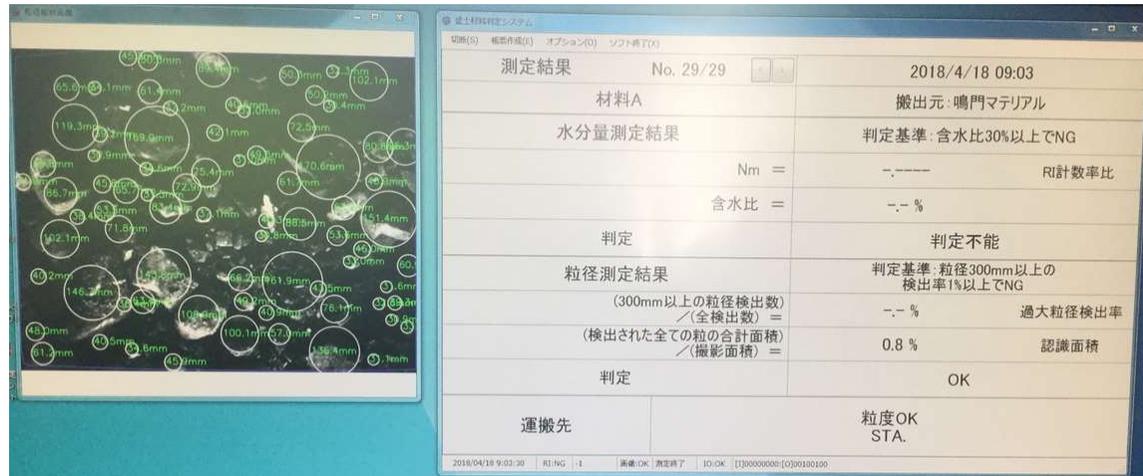
➤ 工 種：盛土工事



計測状況（運転手表示）



計測状況



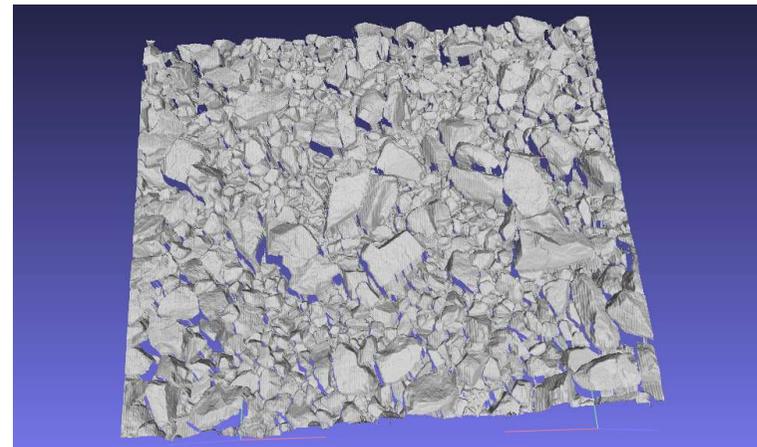
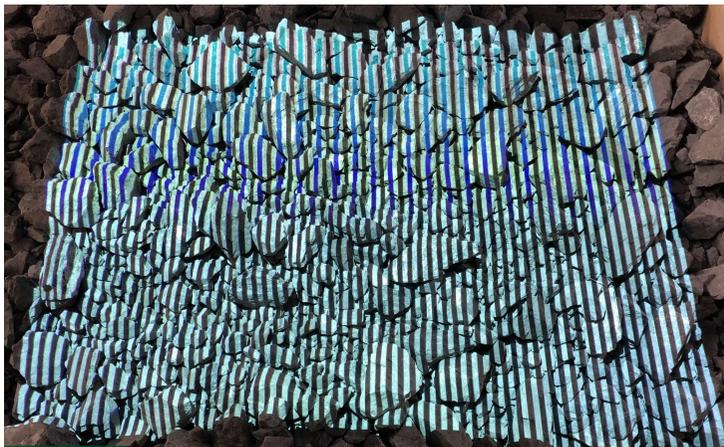
粒径計測結果表示（PC画面詳細）

11. まとめ

これまで・・・

粒度分布変動の目視確認や含水比の抜取り検査など、
少ないサンプリング数でかつ人力に頼っていたが・・・

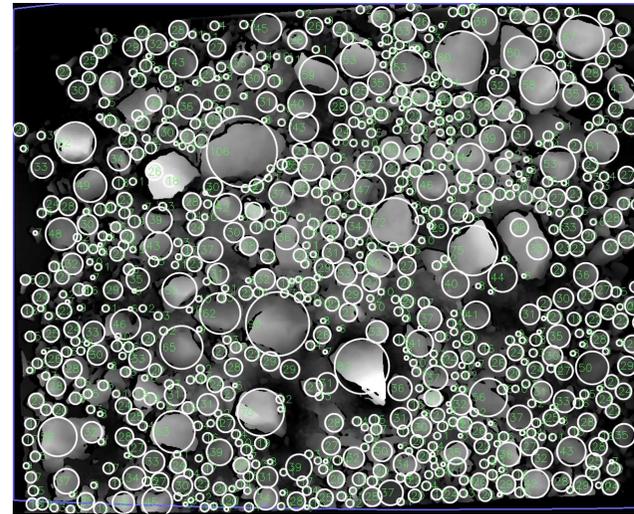
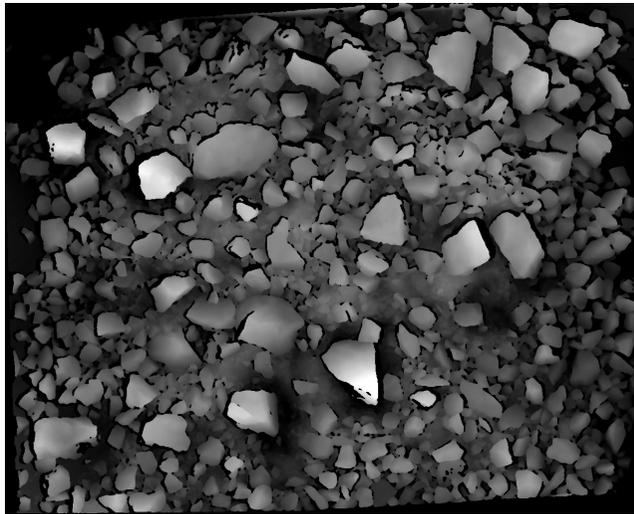
- 本システムにより**全台数全自動で判定可能**
- 品質管理の**信頼性が高まる**とともに**省人化**にも寄与
- 盛土材料の**トレーサビリティ**も可能



12. まとめ

➤ 粒径計測の精度向上

検出精度 10mm以上⇒2mm以上



- 粒度分布との相関性の精度向上検証
- 施工機械も含めた相互的なICT管理を目指す

御清聴ありがとうございました

人と地球の架け橋に



TAKENAKA CIVIL ENGINEERING