

資料一 4 運用手順マニュアル

転圧管理システム Compaction Meister – 転圧回数管理 –

運用手順マニュアル（案）

はじめに

従来の現場密度試験は、下層路盤ならびに上層路盤においては、JIS A 1214 で定められた砂置換法によって行われる。砂置換法は、締め固め後の地盤を掘削し、取り出した締め固め材料の質量と、標準砂等によって置き換えられた掘削体積によって現場密度を測る試験方法である。アスファルト舗装においては、舗装調査・試験法便覧に記されたアスファルト混合物の密度試験法によって行われる。アスファルト混合物の密度試験法は、舗設現場から採取したコアについて、その質量と体積によって現場密度を測る試験方法である。

両試験方法ともに掘削またはコア採取に多大な時間を要する上、その翌日以降でなければ結果を知ることができない。また、両試験方法ともに測点数が少なく、施工範囲全面を管理することは不可能である。

従来の現場密度試験に代わり、ローラの転圧回数管理を活用することで、十分な現場密度を得ることが可能な転圧回数（ローラが締め固め材料に与えた締め固めエネルギー）を管理することができるため、全面的な現場密度の均一性および作業性の向上が期待できるほか、施工中または施工直後の結果確認が可能となる。

転圧回数管理は、既に盛土工においては要領化されており（「TS/GNSS を用いた盛土の締め固め管理要領」を参照）、品質管理基準及び規格値の路床安定処理工、表層安定処理工（表層混合処理）、補強土壁工、河川土工、海岸土工、砂防土工および道路土工の試験方法では、「RI 計器を用いた盛土の締め固め管理要領（案）」とともに記載されている技術である。

【解説】

ここでは、転圧回数管理の活用効果を示す。

転圧回数管理を活用した際の第一の効果は、締め固めエネルギーの均一性が図れることである。従来の現場密度試験は、その可否理由が、締め固められる材料条件（層厚、含水比および舗装温度などの違い）によるものか、締め固める機械条件（機種、転圧回数および施工速度などの違い）によるものかは不明である。転圧回数管理を行うことによって、少なくとも締め固める機械条件は担保することが可能になる。

第二の効果は、作業性の向上である。従来の現場密度試験は、砂置換における掘削を約 5 名程度、アスファルト舗装におけるコア採取を 2 名程度で実施する場合が多く、他にも質量や体積の測定は場所を変えて 2 名程度で実施する場合が多い。しかし、転圧回数管理では、ローラに機材さえ搭載されていれば、遠隔地でも事前の設定作業や結果の確認作業が可

能であり、ローラオペレータが記録開始および停止などの操作を行いさえすれば、システム管理者 1 名で実施することができる。また、転圧作業と並行して計測できるため、大幅な計測時間の短縮が可能である。他にも、TS/GNSS を用いた盛土の締固め管理要領と同じ帳票内容で良いと仮定した場合、試験結果をヒートマップとして簡便に帳票化できるため、従来の手入力による報告書作成に対し、大幅な時間短縮が可能である。

第三の効果は、トレーサビリティの確保とデータの事後活用である。従来の現場密度測定にはない、記録日時、施工条件、転圧回数、振動の有無などの施工条件が取得できるため、トレーサビリティを確保することが可能である。また、記録データは管理ブロック単位でも格納されているため、転圧回数のヒストグラムや施工条件などを、Excel 等を用いて分析することが可能である。

上記の活用効果から、従来の現場密度試験から転圧回数管理に置き換えることで、大幅な省力化と高度化した品質管理が期待できる。

1 適用の範囲

本マニュアル（案）は、現行の品質管理基準に記載されている下層路盤、上層路盤およびアスファルト舗装の現場密度試験の代替手法として適用できるものとする。現行の品質管理基準に記載されている現場密度試験の内容を表 1 に示す。

表 1 現場密度試験の品質管理基準および規格値

工種	試験項目	試験方法	規格値	試験基準	摘要
下層路盤	現場密度の測定	舗装調査・試験法便覧 [4] -256 砂置換法 (JIS A 1214) 砂置換法は最大粒径が 53mm 以下の場合のみ 適用できる	最大乾燥密度の 93%以上 X10 95%以上 X6 96%以上 X3 97%以上 歩道箇所:設計図 書による	・締固め度は、個々の測定値が最大乾燥密度の 93% 以上を満足するものとし、かつ平均値について以下を満足するものとする。 ・締固め度は、10 孔の測定値の平均値 X10 が規格値を満足するものとする。また、10 孔の測定値が得がたい場合は 3 孔の測定値の平均値 X3 が規格値を満足するものとするが、X3 が規格値をはずれた場合は、さらに 3 孔のデータを加	

				えた平均値 X6 が規格値を満足していればよい。 ・ 1 工事あたり 3,000 m² を超える場合は、10,000 m²以下を 1 ロットとし、1 ロットあたり 10 孔で測定する。 (例) 3,001～10,000 m² : 10 孔 10,001 m²以上の場合、10,000 m²毎に 10 孔追加し、測定箇所が均等になるように設定すること。 例えば 12,000 m²の場合 : 6,000 m²/1 ロット 毎に 10 孔、合計 20 孔 なお、1 工事あたり 3,000 m²以下の場合（維持工事を除く）は、1 工事あたり 3 孔以上で測定する。	
上層路盤	同上	同上	最大乾燥密度の 93%以上 X10 95%以上 X6 95.5%以上 X3 96.5%以上	同上	
セメント安定処理路盤	同上	同上	同上	同上	
アスファルト舗装		舗装調査・試験法便覧 [3] -218	基準密度の 94%以上 X10 96%以上 X6 96%以上 X3 96.5%以上 歩道箇所:設計図書による	・ 締固め度は、個々の測定値が基準密度の 94%以上を満足するものとし、かつ平均値について以下を満足するものとする。 ・ 締固め度は、10 孔の測定値の平均値 X10 が規格値を満足するものと	・ 橋面舗装はコア採取しないで As 合材量（プラント出荷数量）と舗設面積及び厚さでの密度管理、または転圧回数による管理を行う。

				する。また、10 孔の測定値が得がたい場合は 3 孔の測定値の平均値 X3 が規格値を満足するものとするが、X3 が規格値をはずれた場合は、さらに 3 孔のデータを加えた平均値 X6 が規格値を満足していればよい。 ・1 工事あたり 3,000 m² を超える場合は、10,000 m²以下を 1 ロットとし、1 ロットあたり 10 孔で測定する。 (例) 3,001～10,000 m² : 10 孔 10,001 m²以上の場合、10,000 m²毎に 10 孔追加し、測定箇所が均等になるように設定すること。 例えば 12,000 m²の場合 : 6,000 m²/1 ロット 毎に 10 孔、合計 20 孔 なお、1 工事あたり 3,000 m²以下の場合（維持工事を除く）は、1 工事あたり 3 孔以上で測定する。	
--	--	--	--	---	--

【解説】

下層路盤の場合、現行の品質管理基準では現場密度の測定が必須の試験項目となっており、規格値は、個々の測定値が最大乾燥密度の 93%以上を満足し、平均値 X3 で 97%以上、平均値 X6 で 96%以上、平均値 X10 で 95%以上と定められている。試験頻度は、1 工事当たり 3,000m²以下であれば 3 孔以上、3,001～10,000m²以下で 10 孔、10,001m²以上の場合は 10,000m²毎に 10 孔追加となっている。

上層路盤の場合、現行の品質管理基準では現場密度の測定が必須の試験項目となってお

り、規格値は、個々の測定値が最大乾燥密度の 93%以上を満足し、平均値 X3 で 96.5%以上、平均値 X6 で 95.5%以上、平均値 X10 で 95%以上と定められている。試験頻度は、1 工事当たり 3,000m² 以下であれば 3 孔以上、3,001～10,000m² 以下で 10 孔、10,001m² 以上の場合は 10,000m² 毎に 10 孔追加となっている。

アスファルト舗装の場合、現行の品質管理基準では現場密度の測定が必須の試験項目となっており、規格値は、個々の測定値が最大乾燥密度の 94%以上を満足し、平均値 X3 で 96.5%以上、平均値 X6 で 96%以上、平均値 X10 でも 96%以上と定められている。試験頻度は、1 工事当たり 3,000m² 以下であれば 3 孔以上、3,001～10,000m² 以下で 10 孔、10,001m² 以上の場合は 10,000m² 毎に 10 孔追加となっている。摘要として、橋面舗装はコア採取しないでアスファルト合材量（プラント出荷数量）と舗設面積及び厚さでも密度管理、または転圧回数による管理を行うと記されている。

従来方法と転圧回数管理の実施範囲を図 1 に示す。

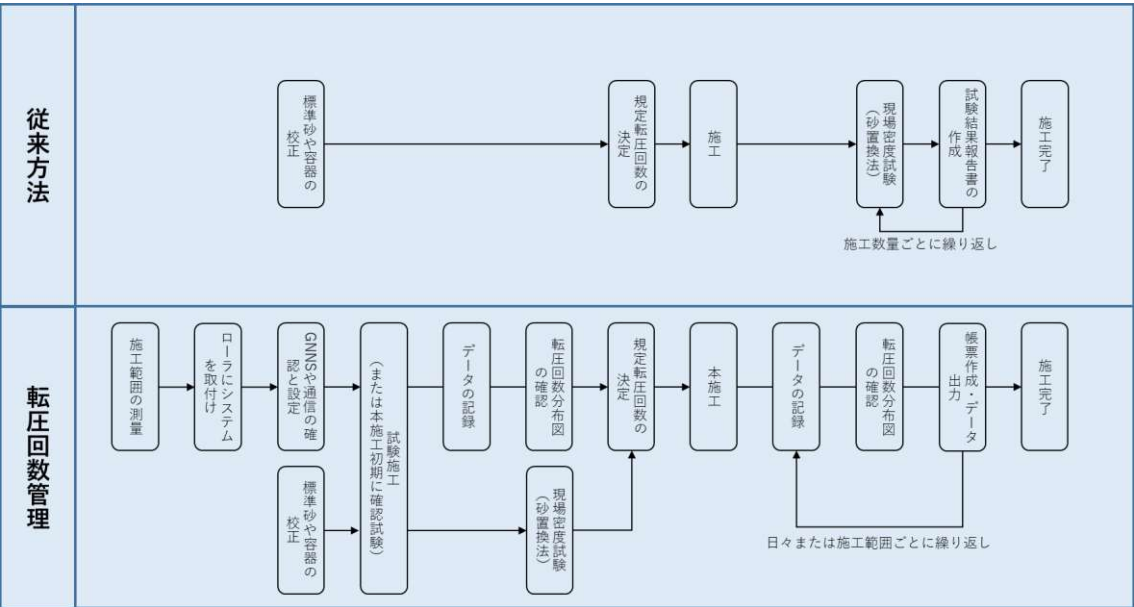


図 1 従来方法と転圧回数管理の実施範囲

〈適用時の留意点〉

- 上空視界が確保されており、GNSS による測位が精度よくできること。
- GNSS の補正情報取得やクラウド通信のため、指定する通信キャリアサービス範囲内、かつモバイル通信圏内であること。

2 技術概要

ここでは、転圧回数管理の技術概要を示す。

【解説】

本技術は、従来、転圧作業後に実施されていた現場密度試験を、試験施工等によって決定した転圧回数が本施工において実施されているかを、GNSS による測位情報をもとに転圧回数の計測を行うことに置き換えたものである。計測結果は、ローラの位置情報、測位精度、振動の有無および前後進状態などと共にクラウドで管理され、遠隔値でもブラウザ上で施工条件の設定や帳票作業ならびに結果の確認を行うことができる。

GNSS の測位は、ネットワーク型 RTK-GNSS を標準としており、補正情報はネットワークを経由した Ntrip 方式で受け取るシステムとなっている。

なお、転圧回数の判定条件や機材に求められる精度および帳票内容等は、「TS/GNSS を用いた盛土の締固め管理要領」に記された内容と同様である。

転圧回数管理のシステム構成図を図 2 に、構成部品および接続概要を図 3 に示す。

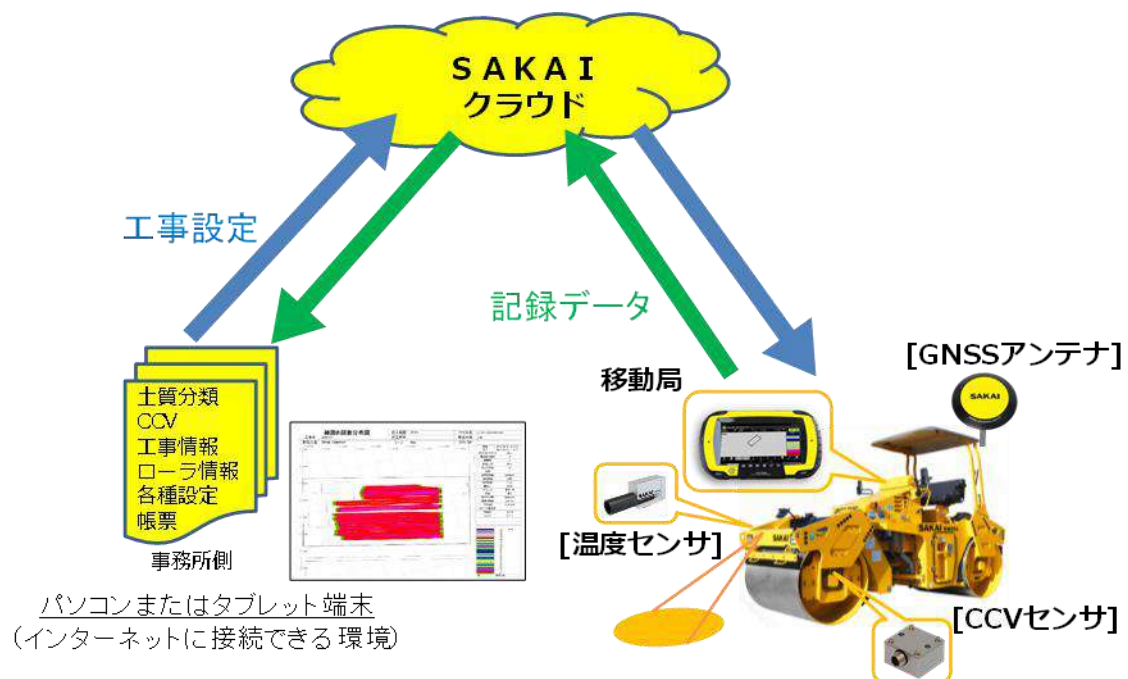


図 2 システム構成図



図3 構成部品および接続概要

3 転圧回数管理を活用した現場密度試験の運用手順

転圧回数管理を活用した現場密度試験の実施手順を図4に示す。

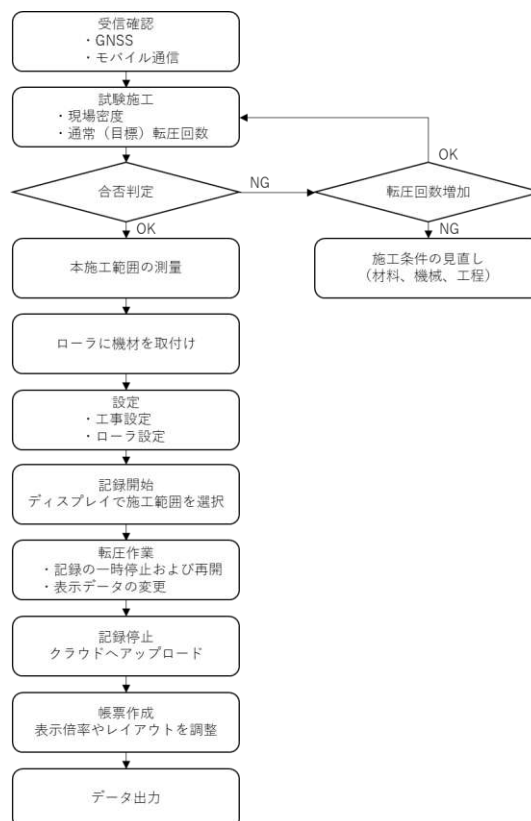


図4 転圧回数管理の実施手順

【解説】

(1) 施工現場における GNSS およびモバイル通信の受信確認

実際の施工現場において、GNSS の受信精度およびモバイル通信が可能なことを確認する。

1) モバイル通信の確認

① ディスプレイを起動する。

※自動的に RINQ アプリが起動する

② ディスプレイ起動後、画面右上の受信マークで電波強度を確認する。

※4G 以上を推奨



写真1 モバイル通信の確認

2) GNSS 精度の確認

① ディスプレイ (GNSS1 ポート) と GNSS アンテナをアンテナケーブルで接続する。

※ディスプレイ内蔵のバッテリーにより、約 2 時間は電源無供給で使用できる

② Compaction Meister WEB から、実施現場付近に施工範囲を設定する。

※施工範囲は 4 点の小規模かつ最低限のものでよい

※既に施工図面や施工範囲が決定している場合は、その情報で設定することを推奨

③ ディスプレイの RINQ アプリを起動する。

※通常は、ディスプレイ起動後に自動的に開かれる

④ 基準局一覧から、VRS 補正情報サービスを選択する。

⑤ 補正情報のダウンロードを開始し、ホーム画面に戻る。

⑥ Compaction Meister アプリを起動する。

⑦ 画面右上の GNSS 受信状態が FIX になることを確認する。

- ⑧ 施工現場内を移動し、FIX 状態が維持できることを確認する。
- ⑨ 必要に応じて、施工現場内にある測量の基準点において、既知点観測または 2 回観測を行い、GNSS 精度が基準値内であることを確認する。



写真 2 GNSS 精度の確認

(2) 試験施工による規定転圧回数の確認

- ① 本施工前または本施工初期の日当り施工面積について、通常目標としている転圧回数と、その目標回数に対し 2 回減および 2 回増の区間を設ける。
- ② 各区間の転圧作業が完了した後、各区間で 3 孔の現場密度測定を実施する。
- ③ 品質管理基準及び規格値で定められた、個々の測定値に対する基準値を満足し、平均値 X3 に対する基準値以上が得られた区間の転圧回数を規定転圧回数とする。
- ④ いずれの区間においても品質管理基準を満足しない場合には、最も転圧回数の多い区間で 3 孔の現場密度測定を追加し、同じく品質管理基準及び規格値で定められた個々の測定値に対する基準値以上を満足し、平均値 X6 に対する基準値以上が得られた場合には、その転圧回数を規定転圧回数とする。
- ⑤ 1 回の試験施工によって品質管理基準を満足できなかった場合、更に転圧回数を増加した区間を設けるか、ローラを変更して再度試験施工を行い、規定転圧回数を決定する。

※設定区間外には、ローラが折り返す際に必要な距離（前後輪の軸距以上、かつ転圧速度または振動数が一定となるに必要な助走距離）を設けてあることが望ましい



図5 試験施工の例

(3) 本施工範囲の測量

- ① 施工図面に記された基準点および施工現場に設けられた基準点が一致していることを確認する。
- ② 実際に転圧作業を行う施工範囲を測量する。測点間隔は 20m を基本とし、横断図を作成した間隔を参考にするとよい。施工図面に記されている場合には、施工図面から各点の座標を抽出しても良い。
- ③ 施工現場に設けられた基準点において、ローラへ取付けるディスプレイおよび GNSS アンテナを用いて既知点観測または 2 回観測を行い、GNSS 精度が基準値内で基準点座標と一致することを確認する。

既知点観測画面のスクリーンショット。左側にはターゲットのグラフィックがあり、右側には観測パラメータの入力欄が並んでいます。入力欄には「点名」、「公共X」、「公共Y」、「標高」、「アンテナ高」、「機種名」などの項目があります。また、「基準局」と「点名」のリスト選択ボタンも表示されています。下部には「観測開始」、「観測終了」、「閉じる」の3つの大きなボタンが配置されています。

2回観測画面のスクリーンショット。この画面は観測データの表示と入力に特化しています。上部には「工事名」、「受注会社名」、「担当者」、「シリアル番号」などの基本情報が入力されています。中央には「現在座標」および「データ取得①」「データ取得②」のX、Y、Z座標が数値で表示されています。下部には「クリア」、「観測開始」、「観測終了」、「閉じる」の4つの大きなボタンが配置されています。

写真3 既知点観測（上）と2回観測（下）画面の例

(4) 機材の取付け

ローラに機材を取付ける。使用するローラのメーカーは問わない。

〈取付時の留意点〉

- 酒井重工業製であれば、機種によって専用の配線および取付部品の用意がある
- 各種配線は、機種専用配線を既存配線に追加する
- 機器の設置は、機種専用部品を用いてローラに取付ける
- 上記の場合、GNSS アンテナの取付け（オフセット）寸法の測定は不要である

1) 各種配線

- ① ローラ本体から、電源（アース線含む）を2本引き出す。
- ② 後進および中立の信号線を引き出す。
- ③ 振動 ON、振動 Hi および振動 Lo の信号線を引き出す。

※振動機構が無いローラについては不要

2) 機器の設置

- ① GNSS アンテナを上空視界が確保できる箇所へ設置する。
- ② ディスプレイを、運転視界を妨げず、かつ操作可能な箇所へ設置する。
- ③ ディスプレイと GNSS アンテナをアンテナケーブルで接続する。
- ④ 接点ユニットを運転に支障がない箇所へ設置する。
- ⑤ 接点ユニットに、電源、後進、中立、振動振 ON、振動 Hi および振動 Lo の信号線を接続する。
- ⑥ ディスプレイと接点ユニットを通信ケーブルで接続する。
- ⑦ ディスプレイに電源線を接続する。
- ⑧ ローラをキーON してディスプレイを起動し、Compaction Meister アプリを開く。
- ⑨ アプリのインフォメーションボタンをタッチして情報画面を表示し、ローラの前後進レバーおよび振動スイッチを操作して「前後進」欄および「振動」欄の表示内容と動作が一致するかを確認する。
- ⑩ GNSS アンテナの設置位置（測位中心）は、ローラの中心から左右へのオフセット距離、前軸中心から前後へのオフセット距離および地面からの高さについて測定する。

※酒井重工業製の機種専用取付部品を使用した際は、使用機種を選択すると自動的に入力される



写真4 機器設置の例

(5) クラウドサービスで施工範囲および施工条件の設定

転圧回数管理を行うために必要な情報を、Compaction Meister WEB から設定する。

1) 工事情報

- ① Compaction Meister WEB にログインする。
- ② [工事情報一覧] の [工事設定] を選択する。



写真5 工事情報一覧画面

- ③ [テキストデータ] 画面で、施工箇所、ゾーン、材料およびオペレータについて、管理に必要な名称を登録する。
- ④ [表示設定] 画面で、表示色設定の[設定]を選択して表示色設定画面を開き、必要に応じて回数色ならびに軌跡色の変更を行う。
- ⑤ [施工範囲] 画面で、座標系、ジオイド、背景図面、施工範囲等および規定転圧回数を設定、保存する。
- ⑥ [施工設定] 画面で、オペレータおよび施工範囲の選択を行う。

CompactionMeister

工事情報一覧 ローラー情報一覧 ダウンロード

工事名: 舗装工事品質管理高度化 (生産センター) 設定バージョン: 20250115103302.820

施工設定 施工範囲 試験施工結果 テキストデータ 表示設定 座標設定 データ共有 既知点設定

方向点 X 100 Y 0

登録

● 施工範囲の表示左下を開始点として表示方向にブロック割

施工範囲名	2024.0002 実測計測事...	8	30	非計測対象
1	2024.0002 実測計測事...	8	30	非計測対象
1	2024.0002 実測計測事...	8	30	非計測対象
1	2024.0002 実測計測事...	8	30	非計測対象
1	2024.0002 実測計測事...	8	30	非計測対象
1	2024.0018 基盤計測用...	8	30	計測対象

施工範囲設定

新施工範囲名: 2024.0018 基盤計測用1

頂点の数: 4

施工範囲作成: ファイル読み込み CAD図から作成

No.	X(m)	Y(m)	緯経
1	-17092.858	-32799.461	入力
2	-17161.481	-32763.892	入力
3	-17133.437	-32711.005	入力
4	-17064.29	-32748.825	入力

追加 変更 削除

※最大5000×5000ブロック

状態: 計測対象

層No: 1

転圧回数: 8

写真6 工事情報[施工範囲]設定画面

2) ローラ情報

- ① [工事情報一覧] の [工事設定] 内にある [施工設定] 画面で、[ローラ設定] を選択する。
- ② [ローラ定数] 画面で、ローラ種別、GNSS アンテナ位置、オプション設定およびローラ名等を設定、保存する。

CompactionMeister

工事情報一覧 ローラ情報一覧 ダウンロード

工事名: 舗装工事品質管理高度化 (生産センター) 設定バージョン: 20250213154222.822

施工設定 施工範囲 試験施工結果 テキストデータ 表示設定 座標設定 データ共有 既知点設定

1号機 移動ローラ

IMEI: 359074061333813

オペレータ: 岩壁 淳

施工範囲: 2024_1016 上層路盤計測用

設定ファイルダウンロード

ローラ設定

2号機 移動ローラ

CompactionMeister

工事情報一覧 ローラ情報一覧 ダウンロード

ローラ名: 次世代 (359074061333813) 設定バージョン: 20250115103302.820

ローラ定数 GNSS・TS設定 NTrip設定 データ共有IPアドレス

ローラ種別: 1軸ローラ 1軸コンバインド 2軸ローラ ドーザー転圧 マカダム

GNSSアンテナ位置

L1	3.146 m
L2	-0.046 m
B	-0.73 m
H	2.68 m
W	1.48 m

トータルステーションプリズム位置

L1	2.688 m
L2	0 m
B	0 m
H	2.287 m
W	1.3 m

オプション設定

☒ 応振スイッチを使う ☒ 前後進スイッチを使う ☒ CCVを使う ☐ 温度計を使う ☐ 傾斜計を使う

転圧判定

☐ 前輪と後輪両方(片輪=0.5)

☐ 前輪

☐ 後輪

☐ 前進時 後輪、後進時 前輪

☐ 前進時 前輪、後進時 後輪

ローラ名: SW654ND

ローラ 運転質量: 7.4 t

施工起振力: 通常 68 kN

GNSS機種名: HDT320

TS機種名:

保存

写真7 ローラ情報 [ローラ定数] 画面

- ③ [GNSS・TS 設定] 画面で、インターフェース接続機器の設定と、有効精度を設定し、保存する。

CompactionMeister

工事情報一覧 ローラ情報一覧 ダウンロード

ローラ名: 次世代 (359074061333813) 設定バージョン: 20250115103302.820

ローラ定数 GNSS・TS設定 Ntrip設定 データ共有IPアドレス

インターフェース接続機器設定

デバイス名	接続/未接続	機種	接続方式	IPアドレス	ポート
GNSS	☒ 接続 ☐ 未接続	HDT GNSS	内部GNSS	192 . 168 . 0 . 160	50001
TS	☒ 接続 ☐ 未接続	トプコン AP-L1Aフォーマット	RS232-C	.	50002
加速度応答法	☒ 接続 ☐ 未接続	CCV	CAN	192 . 168 . 0 . 160	50003
温度計	☒ 接続 ☐ 未接続	SRT-300	CAN	.	50004
傾斜計	☒ 接続 ☐ 未接続	アカサカデック傾斜計	TCP/IP	.	50005

有効精度: FIX

RS232-C ボーレート: 38400

信号入力: 接続方式 CAN

後進信号: C2 ON

振動スイッチ1: C3 ON

振動スイッチ2: C1 ON

保存

温度設定

調整: オフセット調整 0 °C

保存

異常値・警報設定

計測不可警報: 発報しない

写真8 ローラ情報 [TS・GNSS 設定] 画面

3) 動作確認

- ① ディスプレイを起動し、Compaction Meister アプリを開く。
- ② [記録開始] をタッチして施工範囲を選択する。
※事前に動作確認用の施工範囲を作成しておくことを推奨します。
- ③ 天候などを選択する。
- ④ 施工範囲内でローラを運転し、画面右下の [表示データ] から転圧回数を選択し、ヒートマップが正しく表示されるか、方角が一致しているかなどを確認する。
- ⑤ 画面右下の [状態] を選択し、前後進が正しく判定されているかを確認する。
- ⑥ 確認が完了したら [記録停止] をタッチする。その際、記録データがクラウドにアップロードされる。



写真9 動作確認方法

(6) 計測開始

- ① ローラのキースイッチを ON にして、ディスプレイを起動する。
- ② 自動で起動した RINQ アプリで、補正情報のダウンロードを開始する。
- ③ ホーム画面に戻り、Compaction Meister アプリを開く。
- ④ 画面左下の「記録開始」をタッチして施工範囲を選択する。
- ⑤ 天候などを選択する。
- ⑥ ローラを運転して、転圧作業を開始する。



写真10 転圧回数管理（記録中）のメイン画面

(7) ディスプレイを確認しながら転圧作業を実施

- ① 規定転圧回数の凡例色まで転圧作業を行う。
- ② 走行軌跡を確認したい場合は、画面右下の「表示データ」をタッチし、表示項目から走行軌跡を選択する。

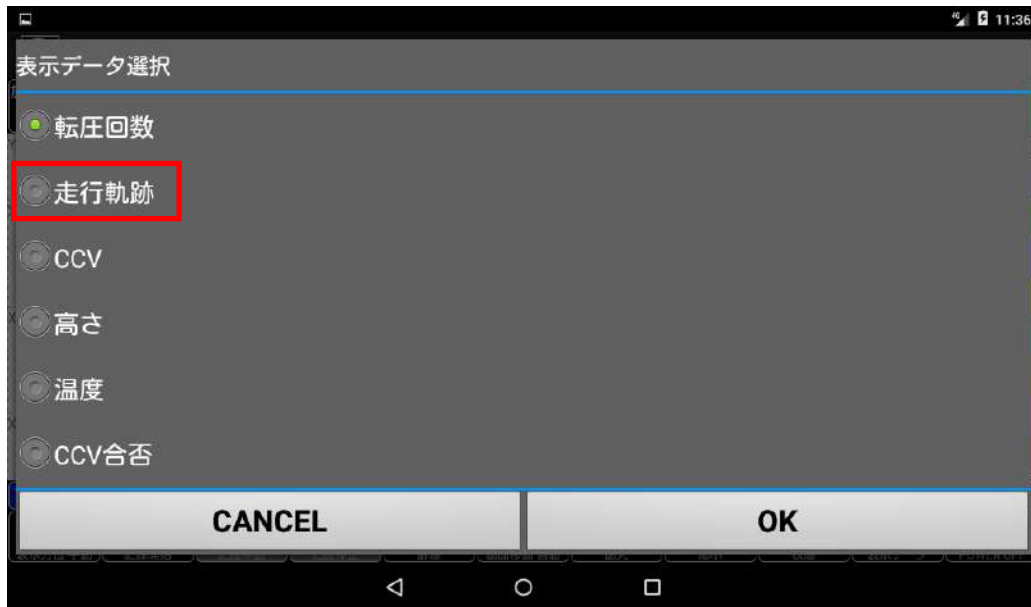


写真 1 1 表示データの例

- ③ 施工状況によって待機時間が長い場合は、「一時停止」をタッチする。一時停止中は、データが記録されない。

※振動機構の無い（「ローラ定数」の設定で振動スイッチを有効にしていない）ローラの場合、施工範囲内の移動も転圧回数としてカウントアップされる。転圧作業以外は、一時停止することを推奨する。

- ④ 転圧作業を再開する場合は、「再開」をタッチする。



写真 1 2 一時停止中のメイン画面

(8) 計測終了

- ① 転圧作業を終了する場合、「記録停止」をタッチする。
- ② 記録データがクラウドにアップロードされるのを待つ。
- ③ ローラのキースイッチを OFF にする。
- ④ Compaction Meister アプリ画面の右下にある「POWER OFF」をタッチしてディスプレイをシャットダウンする。



写真 1 3 記録停止時のメイン画面

(9) クラウドサービスで帳票作成

転圧回数のヒートマップは、クラウドサービスで確認することができる。また、走行軌跡も同時に確認することができる。

- ① Compaction Meister WEB にログインする。
- ② 「工事情報一覧」の「記録データ」内にある「記録データ帳票」を選択し、記録データ帳票画面を開く。



写真 1 4 工事情報一覧画面

- ③ 画面左下の帳票表示で、[転圧回数] を選択する。
- ④ 画面左下の表示方向ならびにスケールで、ヒートマップのレイアウト調整を行う。
- ⑤ 画面右側の帳票内容に誤りがある場合は、画面下の [データ変更] からデータ変更画面を開き、必要項目を修正する。

※データ修正は帳票画面を開いている間のみ有効

- ⑥ 画面右下の [印刷] を選択し、印刷レイアウトを調整して印刷する。
- ⑦ 画面左下の帳票表示で、[走行軌跡] を選択し、⑥と同様に印刷を行う。

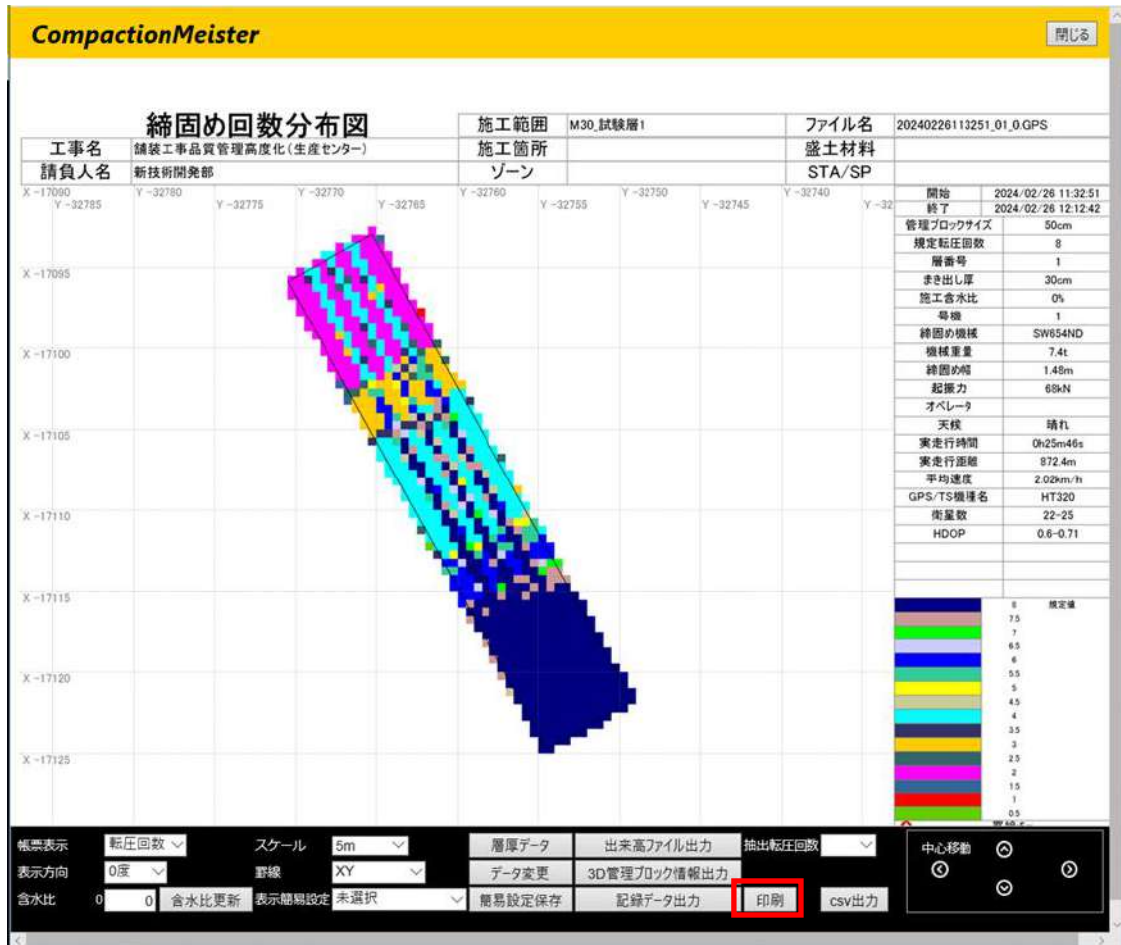


写真 1 5 記録データ帳票画面（帳票作成）

(10) データの出力

時系列で記録された生データや、管理ブロック単位で記録された 3D 管理ブロック情報データを出力することができる。

- ① Compaction Meister WEB にログインする。
- ② [工事情報一覧] の [記録データ] 内にある [記録データ帳票] を選択し、記録データ帳票画面を開く。
- ③ 画面下の [記録データ出力] を選択し、任意の保存先に保存する。
 ※本データは時系列で記録された生データであり、走行軌跡に近いデータである
 ※圧縮された zip 形式で保存される。
- ④ 画面下の [3D 管理ブロック情報出力] を選択肢、任意の保存先に保存する。
 ※本データは管理ブロック単位で転圧回数が記録されたデータである。
 ※圧縮された zip 形式で保存される。

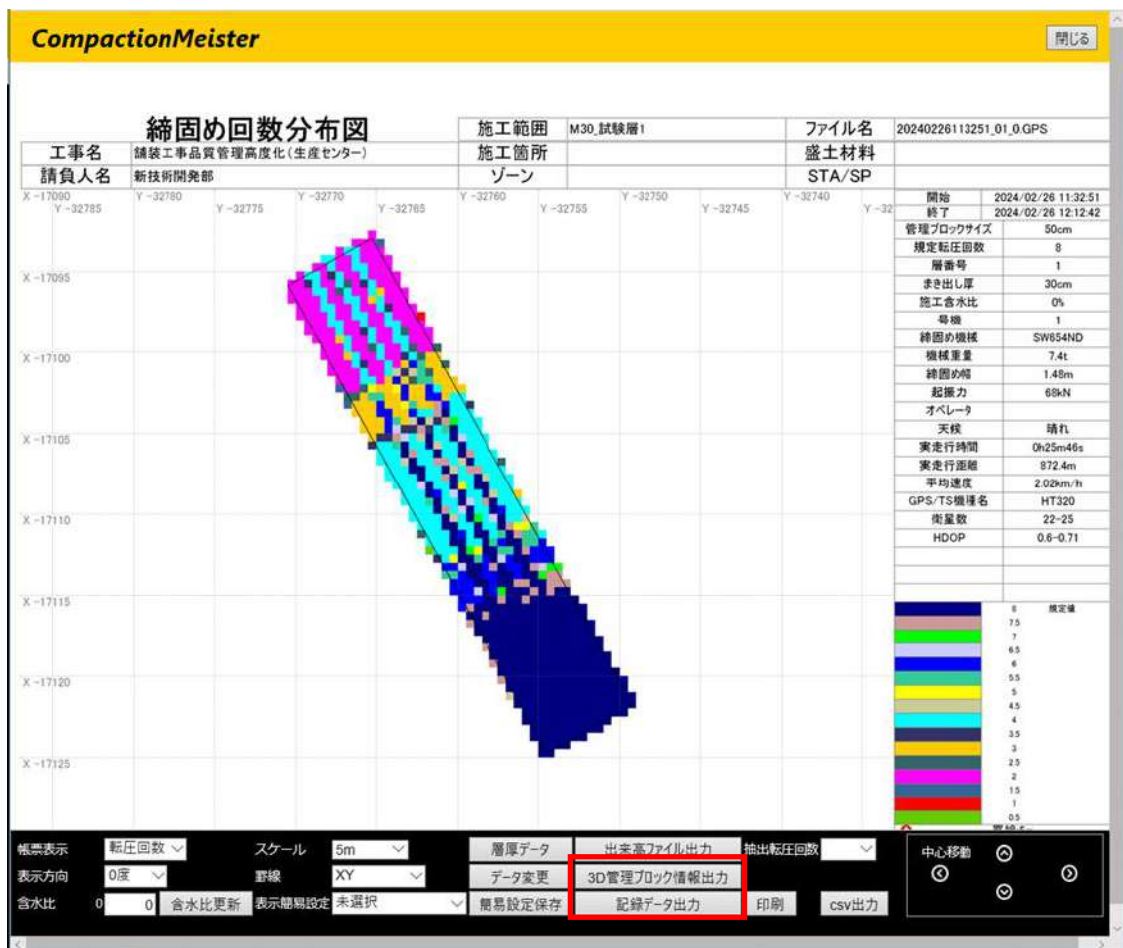


写真 1 6 記録データ帳票画面（データ出力）

※本システムの製品版とは、内容が異なる場合がある
※本システムの製品版では、仕様や表示を変更する場合がある

以上

作成：2025 年 2 月 14 日

転圧管理システム Compaction Meister –表面温度管理–

運用手順マニュアル（案）

はじめに

従来の温度測定は、アスファルト舗装工における初転圧前に、人間が接触式の温度計を用いてアスファルト舗装の内部温度を測定することが多い。アスファルト舗装の表面温度は、多くの場合に内部温度よりも低く、その差は高温時には大きく、低温時には小さい傾向にある。従来の温度測定に代わり、ローラに搭載された赤外線式放射型表面温度計を活用して非接触で表面温度を測定することで、品質管理基準以上であることを満たしつつ作業性の向上および安全性の向上が期待できる他、面的な表面温度の管理および施工中または施工直後の結果確認が可能となる。また、表面温度を基準にすることは、内部温度がより高い状態で初転圧が行われることになり、全体的な品質向上につながることも期待される。

【解説】

ここでは、赤外線式放射型表面温度計の活用効果を示す。

赤外線式放射型表面温度計を活用した際の第一の効果は、作業性の向上である。従来の温度測定は、約1名程度で実施する場合が多く、アスファルト混合物の敷均し状況に合わせて移動する必要がある。表面温度管理では、施工と同時に計測を行うことができる他、遠隔地でも試験結果の確認が可能であるため、ローラオペレータの他にはシステム管理者1名で測定が可能であり、時間短縮が可能である。他にも、試験結果をヒートマップとして簡便に帳票化できるため、従来の手入力による報告書作成に対しても、時間短縮が可能である。

第二の効果は、安全性の向上である。従来の温度測定は、人間がアスファルトフィニッシュおよびローラに近い舗装現場内で屈みこんで測定する必要があるため、危険が伴う。しかし、表面温度管理では温度の良否を施工直後に判定できるため、観察員や記録員は不要となり、システム管理者1名となる。このシステム管理者は、試験結果を遠隔で確認できるため、舗装現場内で屈みこんで作業する必要がなく、周囲の状況確認が可能となり不安全な状態になることはない。

第三の効果は、面的な表面温度の管理が可能となることである。従来の温度測定は、人間によって行われるために測点が少なく、測点を増やせば時間を要する。また、初転圧前のアスファルト混合物上に立ち入ることは、アスファルト舗装の品質や表面性状を考慮すると望ましくない。表面温度管理では、ローラに搭載された赤外線式放射型表面温度計によって行われるため、面的または線的な温度測定が可能となるため、容易に測点を増やすことが可能である。また、転圧中にローラから測定するため、立ち入り難い施工幅の中央付近の温度も測

定することができる。

上記の活用効果から、従来の温度測定よりも省力化と高度化した管理が期待できる。

1 適用の範囲

本マニュアル（案）は、現行の品質管理基準に記載されているアスファルト舗装の温度測定の代替手法として適用できるものとする。現行の品質管理基準に記載されている温度測定の内容を表1に示す。

表1 温度測定の品質管理基準および規格値

工種	試験項目	試験方法	規格値	試験基準	摘要
アスファルト 舗装	温度測定（初 転圧前）	温度計による	110℃以上 ※ただし、混合物の種類によ って敷均しが困難な場合や、 中温化技術により施工性を 改善した混合物を使用する 場合、締固め効果の高いロー ラを使用する場合などは、所 定の締固め度が得られる範 囲で、適切な温度を設定	随時	測定値の記録 は、1日4回（午 前・午後各2回）
排水施舗装 工・透水性舗 装工					

【解説】

現行の品質管理基準では温度測定（初転圧前）が必須の試験項目となっており、規格値は110℃以上と定められている。ただし、混合物の種類によって敷き均しが困難な場合や、中温化技術により施工性を改善した混合物を使用する場合、締固め効果の高いローラを使用する場合などは、所定の締固め度が得られる範囲で、適切な温度を設定と記されている。試験頻度は随時で、摘要には測定値の記録は1日4回（午前・午後各2回）と記されている。従来の温度測定と表面温度管理の実施範囲を図1に示す。

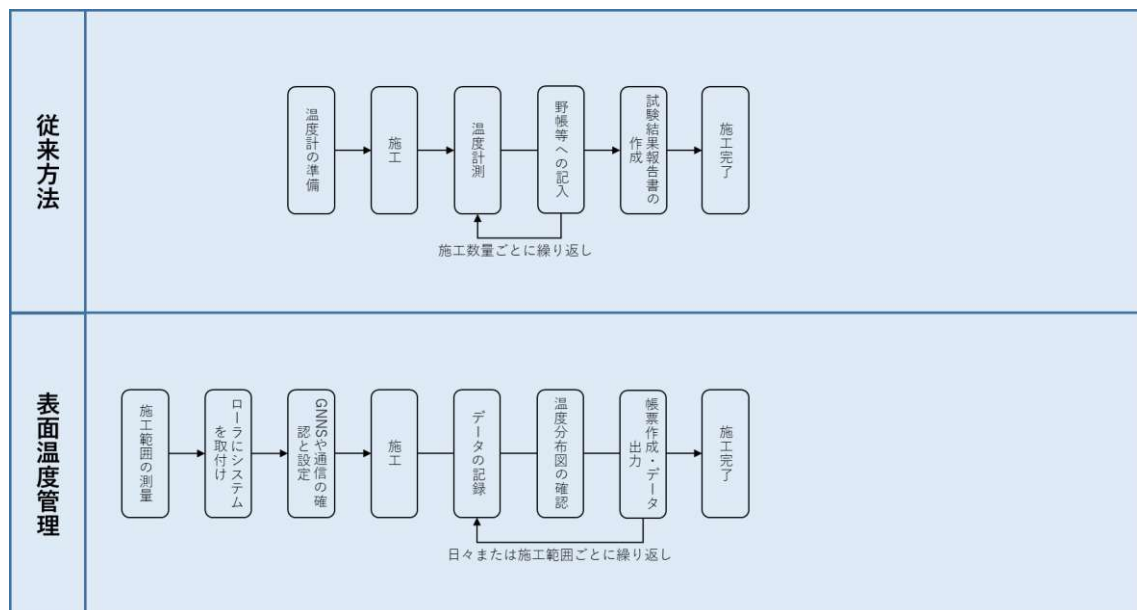


図1 従来方法（温度測定）と表面温度管理の実施範囲

〈適用時の留意点〉

- 上空視界が確保されており、GNSSによる測位が精度よくできること。
- GNSSの補正情報取得やクラウド通信のため、指定する通信キャリアサービス範囲内、かつモバイル通信圏内であること。

2 技術概要

ここでは、表面温度管理の技術概要を示す。

【解説】

本技術は、従来、初転圧前に実施されていた温度測定を、振動ローラに搭載された赤外線式放射型表面温度計によってアスファルト舗装表面の温度を測定し、その良否を GNSS による測位情報をもとにヒートマップまたは数値で判定するものである。計測結果は、ローラの位置情報、測位精度、振動の有無および前後進状態などと共にクラウドで管理され、遠隔値でもブラウザ上で施工条件の設定や帳票作業ならびに結果の確認を行うことができる。

GNSS の測位は、ネットワーク型 RTK-GNSS を標準としており、補正情報はネットワークを経由した Ntrip 方式で受け取るシステムとなっている。

表面温度管理のシステム構成図を図 2 に、構成部品および接続概要を図 3 に示す。

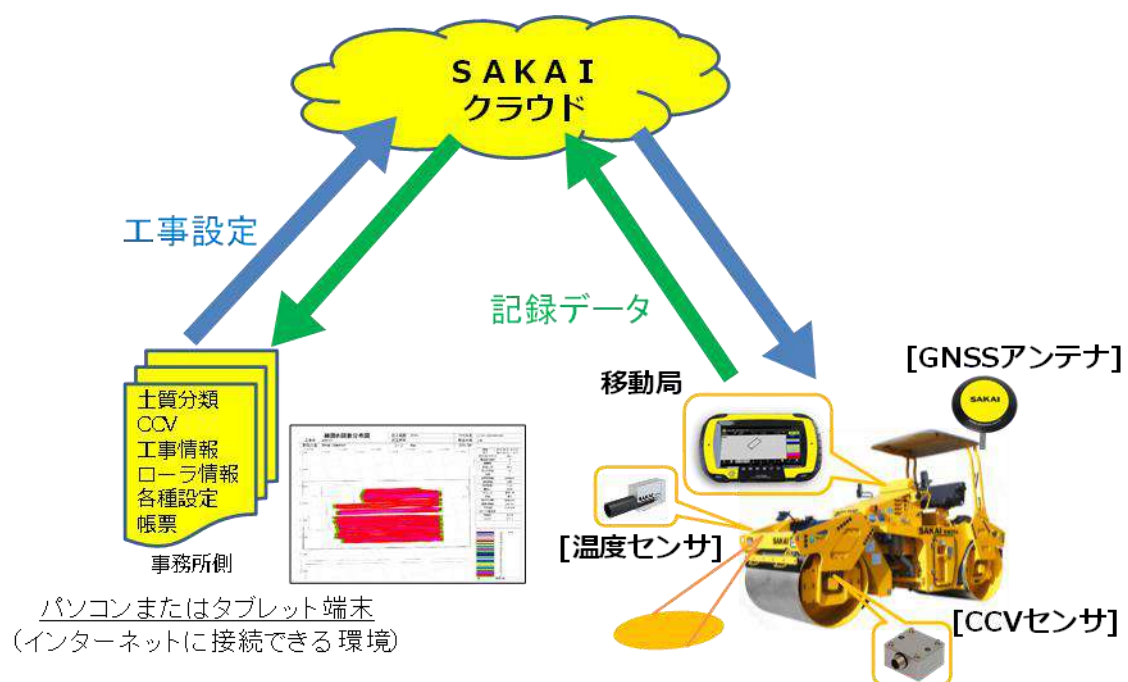


図2 システム構成図



図3 構成部品および接続概要

3 表面温度管理を活用した温度測定の実運用手順

表面温度管理を活用した温度測定の実施手順を図4に示す。

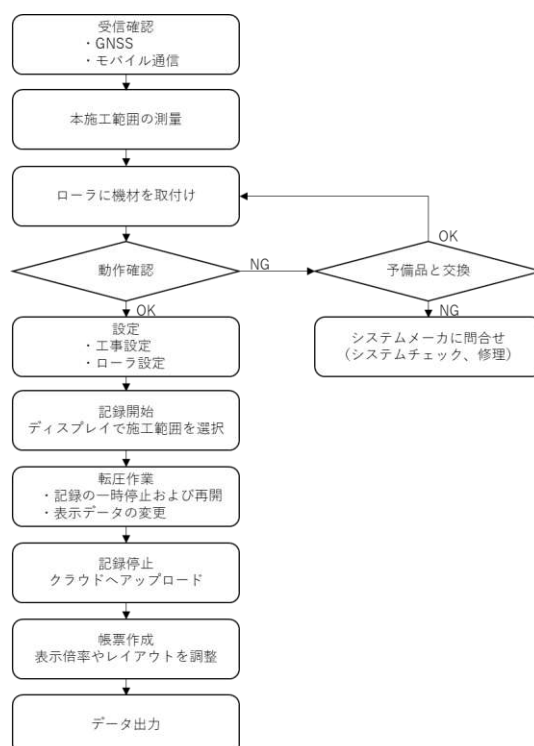


図4 転圧回数管理の実施手順

【解説】

(1) 施工現場における GNSS およびモバイル通信の受信確認

実際の施工現場において、GNSS の受信精度およびモバイル通信が可能かを確認する。

1) モバイル通信の確認

① ディスプレイを起動する。

※自動的に RINQ アプリが起動する

② ディスプレイ起動後、画面右上の受信マークで電波強度を確認する。

※4G 以上を推奨



写真1 モバイル通信の確認

2) GNSS 精度の確認

① ディスプレイ (GNSS1 ポート) と GNSS アンテナをアンテナケーブルで接続する。

※ディスプレイ内蔵のバッテリーにより、約 2 時間は電源無供給で使用できる

② Compaction Meister WEB から、実施現場付近に施工範囲を設定する。

※施工範囲は 4 点の小規模かつ最低限のものでよい

※既に施工図面や施工範囲が決定している場合は、その情報で設定することを推奨

③ ディスプレイの RINQ アプリを起動する。

※通常は、ディスプレイ起動後に自動的に開かれる

④ 基準局一覧から、VRS 補正情報サービスを選択する。

⑤ 補正情報のダウンロードを開始し、ホーム画面に戻る。

⑥ Compaction Meister アプリを起動する。

⑦ 画面右上の GNSS 受信状態が FIX になることを確認する。

- ⑧ 施工現場内を移動し、FIX 状態が維持できることを確認する。
- ⑨ 必要に応じて、施工現場内にある測量の基準点において、既知点観測または 2 回観測を行い、GNSS 精度が基準値内であることを確認する。



写真2 GNSS 精度の確認

(2) 本施工範囲の測量

- ① 施工図面に記された基準点および施工現場に設けられた基準点が一致していることを確認する。
- ② 実際に転圧作業を行う施工範囲を測量する。測点間隔は 20m を基本とし、横断図を作成した間隔を参考にする。施工図面に記されている場合には、施工図面から各点の座標を抽出しても良い。
- ③ 施工現場に設けられた基準点において、ローラへ取付けるディスプレイおよび GNSS アンテナを用いて既知点観測または 2 回観測を行い、GNSS 精度が基準値内で基準点座標と一致することを確認する。

既知点観測画面のスクリーンショット。右側には入力欄があり、点名、公共X、公共Y、標高、アンテナ高、機種名が設定可能。基準局と点名はリスト選択から行う。下部には観測開始、観測終了、閉じるのボタンがある。

2回観測画面のスクリーンショット。上部には工事名、受注会社名、担当者、シリアル番号の入力欄がある。中央には現在座標とデータ取得の座標が表示されている。下部にはクリア、観測開始、観測終了、閉じるのボタンがある。

写真3 既知点観測（上）と2回観測（下）画面の例

(3) 機材の取付け

ローラに機材を取付ける。使用するローラのメーカーは問わない。

〈取付時の留意点〉

- 酒井重工業製であれば、機種によって専用の配線および取付部品の用意がある
- 各種配線は、機種専用配線を既存配線に追加する
- 機器の設置は、機種専用部品を用いてローラに取付ける
- 上記の場合、GNSS アンテナの取付け（オフセット）寸法の測定は不要である

1) 各種配線

- ① ローラ本体から、電源（アース線含む）を4本引き出す。
- ② 後進および中立の信号線を引き出す。
- ③ 振動 ON、振動 Hi および振動 Lo の信号線を引き出す。

※振動機構が無いローラについては不要

※振動 Hi および振動 Lo の区別が無い振動ローラについては、振動 ON を分岐する

2) 機器の設置

- ① GNSS アンテナを上空視界が確保できる箇所へ設置する。
- ② ディスプレイを、運転視界を妨げず、かつ操作可能な箇所へ設置する。
- ③ ディスプレイと GNSS アンテナをアンテナケーブルで接続する。
- ④ 接点ユニットを運転に支障がない箇所へ設置する。
- ⑤ 接点ユニットに、電源、後進、中立、振動振 ON、振動 Hi および振動 Lo の信号線を接続する。
- ⑥ 赤外線式放射型表面温度計をローラの前方または後方に取付ける。
- ⑦ 赤外線式放射型表面温度計に電源を接続する。
- ⑧ 接点ユニットと赤外線式放射型表面温度計を通信ケーブルで接続する。
- ⑨ ディスプレイに電源線を接続する。
- ⑩ ローラをキー ON してディスプレイを起動し、Compaction Meister アプリを開く。
- ⑪ アプリのインフォメーションボタンをタッチして情報画面を表示し、ローラの前后进レバーおよび振動スイッチを操作して「前後進」欄および「振動」欄の表示内容と動作が一致するかを確認する。
- ⑫ 画面右上に温度が表示されていることを確認する。

※赤外線式放射型表面温度計の前に手のひらをかざし、体温を利用して温度の妥当性
を確認しておくことが望ましい

※かざす物体によっては、実際の温度と表示された表面温度が、温度計の精度（300℃
未満で±3℃）以上に異なる場合がある

- ⑬ GNSS アンテナの設置位置（測位中心）は、ローラの中心から左右へのオフセット距離、前軸中心から前後へのオフセット距離および地面からの高さについて測定する。

※酒井重工業製の機種専用取付部品を使用した際は、使用機種を選択すると自動的に
入力される



写真4 機器設置の例

(4) クラウドサービスで施工範囲および施工条件の設定

転圧回数管理を行うために必要な情報を、Compaction Meister WEB から設定する。

1) 工事情報

- ① Compaction Meister WEB にログインする。
- ② 「工事情報一覧」の「工事設定」を選択する。



写真5 工事情報一覧画面

- ③ [テキストデータ] 画面で、施工箇所、ゾーン、材料およびオペレータについて、管理に必要な名称を登録する。
- ④ [表示設定] 画面で、表示色設定の[設定]を選択して表示色設定画面を開き、必要に応じて温度色の変更を行う。
- ⑤ [施工範囲] 画面で、座標系、ジオイド、背景図面、施工範囲等および規定転圧回数を設定、保存する。
- ⑥ [施工設定] 画面で、オペレータおよび施工範囲の選択を行う。

CompactionMeister

工事情報一覧 ローラ情報一覧 ダウンロード

工事名: 舗装工事品質管理高度化 (生産センター) 設定バージョン: 20250115103302.820

施工設定 施工範囲 試験施工結果 テキストデータ 表示設定 座標設定 データ共有 既知点設定

方向点 X: 100 Y: 0

登録

● 施工範囲の表示左下を起点として表示方向にブロック割

施工範囲名	X	Y	Z	計測対象
2024.0002 実証実験事...	8	30		非計測対象
2024.0002 実証実験事...	8	30		非計測対象
2024.0002 実証実験事...	8	30		非計測対象
2024.0002 実証実験事...	8	30		非計測対象
2024.0002 実証実験事...	8	30		非計測対象
2024.0018 基盤計測用...	8	30		計測対象

施工範囲設定

新施工範囲名: 2024.0018 基盤計測用1

頂点の数: 4

施工範囲作成: ファイル読み込み CAD図から作成 描画

No.	X(m)	Y(m)	緯経
1	-17092.858	-32799.461	入力
2	-17161.481	-32763.892	入力
3	-17133.437	-32711.005	入力
4	-17064.29	-32748.825	入力

追加 変更 削除

※最大5000×5000ブロック

状態: 計測対象

層No: 1

転圧回数: 8

写真6 工事情報[施工範囲]設定画面

2) ローラ情報

- ① [工事情報一覧] の [工事設定] 内にある [施工設定] 画面で、[ローラ設定] を選択する。
- ② [ローラ定数] 画面で、ローラ種別、GNSS アンテナ位置、オプション設定およびローラ名等を設定、保存する。特に、オプション設定では、必ず [温度計を使う] を選択する。

CompactionMeister

工事情報一覧 ローラ情報一覧 ダウンロード

工事名: 舗装工事品質管理高度化 (生産センター) 設定バージョン: 20250213154222.822

施工設定 施工範囲 試験施工結果 テキストデータ 表示設定 座標設定 データ共有 既知点設定

1号機 移動ローラ 次世代 (359074061333813)
IMEI 359074061333813
オペレータ 眞壁 淳
施工範囲 2024_1016 上層路盤計測用
設定ファイルダウンロード
ローラ設定 **ローラ設定**

2号機 移動ローラ 未設定

CompactionMeister

工事情報一覧 ローラ情報一覧 ダウンロード

ローラ名: 次世代 (359074061333813) 設定バージョン: 20250115103302.820

ローラ定数 GNSS・TS設定 Ntrip設定 データ共有IPアドレス

ローラ種別 ● 1軸ローラ ● 1軸コンバインド ○ 2軸ローラ ● ドーザー配圧 ● マカダム

GNSSアンテナ位置

L1	3.146 m
L2	-0.046 m
B	-0.773 m
H	2.68 m
W	1.48 m

トータルステーションプリズム位置

L1	2.688 m
L2	0 m
B	0 m
H	2.287 m
W	1.3 m

オプション設定

☒ 応振スイッチを使う ☒ 前後進スイッチを使う ☒ CCVを使う ☒ 温度計を使う ☐ 傾斜計を使う

転圧判定

☐ 前輪と後輪両方(片輪=0.5)
☐ 前輪
☐ 後輪
☐ 前進時 後輪、後進時 前輪
☐ 前進時 前輪、後進時 後輪

ローラ名 SW654ND
ローラ 運転質量 7.4 t
施工起振力 通常 68 kN
GNSS機種名 HDT300
TS機種名

保存

写真7 ローラ情報 [ローラ定数] 画面

- ③ [GNSS・TS 設定] 画面で、インターフェース接続機器の設定と、有効精度を設定し、保存する。特に、インターフェース接続機器設定では、温度計について必ず「接続」と「SRT-300」を選択する。

CompactionMeister

工事情報一覧 ローラ情報一覧 ダウンロード

ローラ名: 次世代 (359074061333813) 設定バージョン: 20250115103302.820

ローラ正数 GNSS・TS設定 NTrip設定 データ共有IPアドレス

インターフェース接続機器設定

デバイス名	接続/未接続	機種	接続方式	IPアドレス	ポート
GNSS	☒ 接続 ☐ 未接続	HDT GNSS	内部GNSS	192 . 168 . 0 . 180	50001
TS	☒ 接続 ☐ 未接続	トプコン AP-L1Aフォーマット	RS232-C		50002
加速度応答法	☒ 接続 ☐ 未接続	CCV	CAN	192 . 168 . 0 . 180	50003
温度計	☒ 接続 ☐ 未接続	SRT-300	CAN		50004
傾斜計	☒ 接続 ☐ 未接続	アカサカデック傾斜計	TCP/IP		50005

有効精度: FIX

RS232-C ボーレート: 38400

信号入力: 接続方式 CAN

後進信号: C2 ON

振動スイッチ1: C3 ON

振動スイッチ2: C1 ON

保存

温度設定

調整: オフセット調整 0 °C

保存

異常値・警報設定

計測不可警報: 発報しない

写真8 ローラ情報 [TS・GNSS 設定] 画面

3) 動作確認

- ① ディスプレイを起動し、Compaction Meister アプリを開く。
- ② 「記録開始」をタッチして施工範囲を選択する。
※事前に動作確認用の施工範囲を作成しておくことを推奨
- ③ 天候などを選択する。
- ④ 施工範囲内でローラを運転し、画面左上に温度が表示されているかを確認する。また、画面右下の「表示データ」から、温度1または2を選択し、ヒートマップが正しく表示されるか、方角が一致しているかなどを確認する。
※赤外線式放射型表面温度計は、最大で2台の接続が可能
※現仕様では、転圧位置と表面温度の測定位置は一致しない
- ⑤ 画面右下の「状態」を選択し、前後進が正しく判定されているかを確認する。
- ⑥ 確認が完了したら「記録停止」をタッチする。その際、記録データがクラウドにアップロードされる。



写真 9 動作確認方法

(5) 計測開始

- ① ローラのキースイッチを ON にして、ディスプレイを起動する。
- ② 自動で起動した RINQ アプリで、補正情報のダウンロードを開始する。
- ③ ホーム画面に戻り、Compaction Meister アプリを開く。
- ④ 画面左下の「記録開始」をタッチして施工範囲を選択する。
- ⑤ 天候などを選択する。
- ⑥ ローラを運転して、転圧作業を開始する。

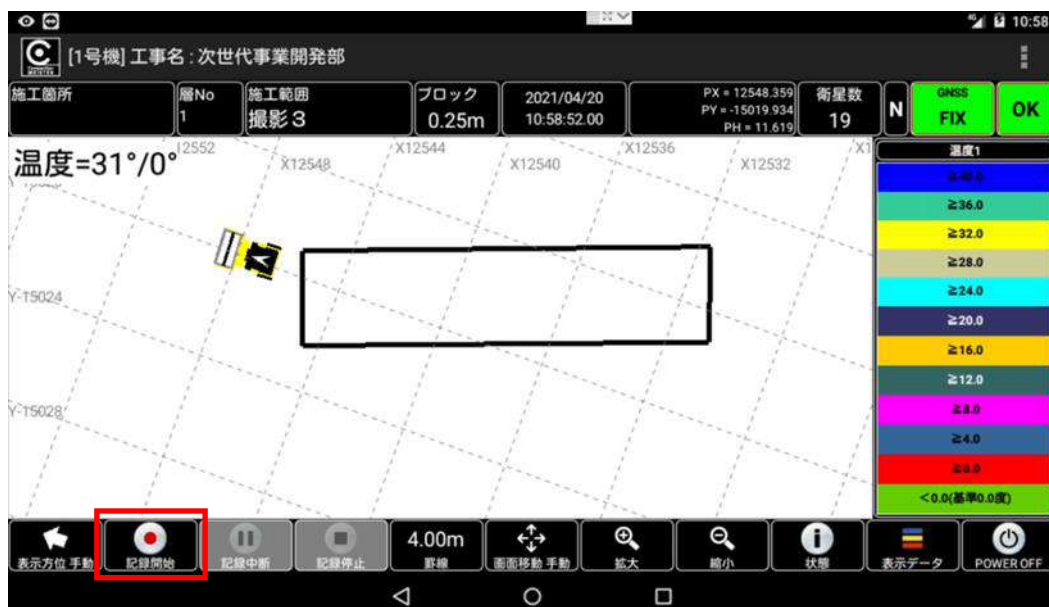


写真 10 表面温度管理のメイン画面

(6) ディスプレイを確認しながら転圧作業を実施

- ① 規定転圧回数の凡例色まで転圧作業を行う。
- ② 表示データを変更したい場合は、画面右下の「表示データ」をタッチし、表示項目から走行軌跡または温度などを選択する。

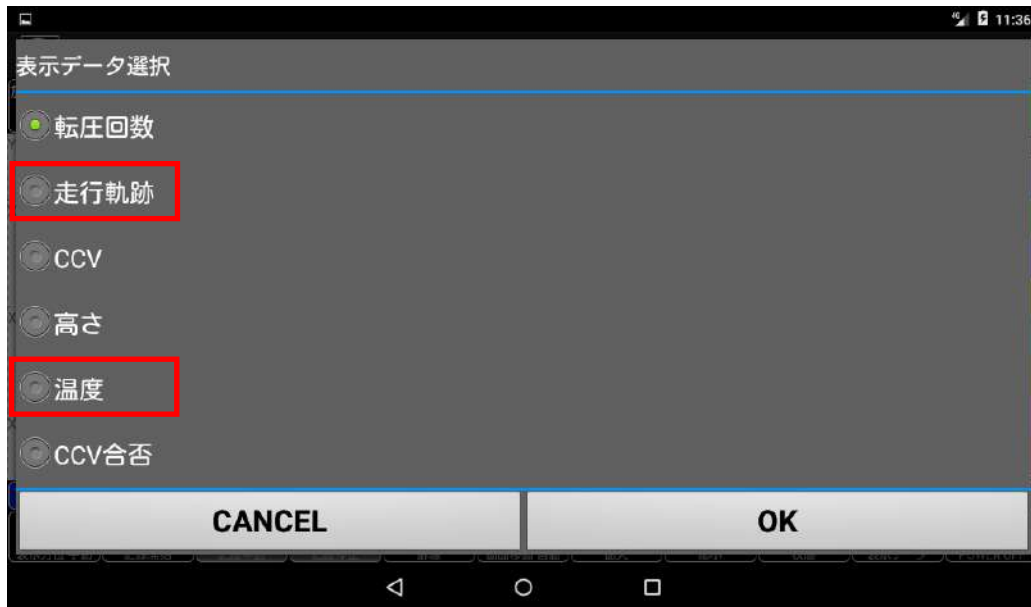


写真 1 1 表示データの例

- ③ 施工状況によって待機時間が長い場合は、「一時停止」をタッチする。一時停止中は、データが記録されない。

※振動機構の無い（「ローラ定数」の設定で振動スイッチを有効にしていない）ローラの場合、施工範囲内の移動も転圧回数としてカウントアップされる。転圧作業以外は、一時停止することを推奨する。

- ④ 転圧作業を再開する場合は、「再開」をタッチする。



写真 1 2 一時停止中のメイン画面

(7) 計測終了

- ① 転圧作業を終了する場合、「記録停止」をタッチする。
- ② 記録データがクラウドにアップロードされるのを待つ。
- ③ ローラのキースイッチを OFF にする。
- ④ Compaction Meister アプリ画面の右下にある「POWER OFF」をタッチしてディスプレイをシャットダウンする。

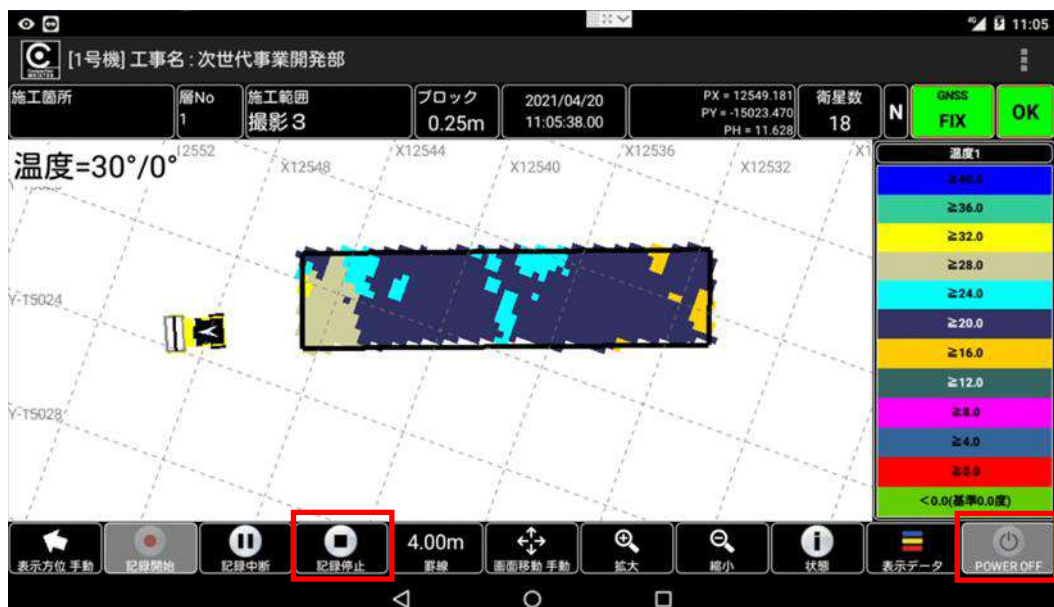


写真 1 3 記録停止時のメイン画面

(8) クラウドサービスで帳票作成

温度のヒートマップは、クラウドサービスで確認することができる。また、転圧回数や走行軌跡も同時に確認することができる。

② Compaction Meister WEB にログインする。

② [工事情報一覧] の [記録データ] 内にある [記録データ帳票] を選択し、記録データ帳票画面を開く。



写真 1 4 工事情報一覧画面

- ③ 画面左下の帳票表示で、[温度1] または [温度2] を選択する。
- ④ 画面左下の表示方向ならびにスケールで、ヒートマップのレイアウト調整を行う。
- ⑤ 画面右下の [抽出転圧回数] から [1回] を指定する。
- ⑥ 画面右側の帳票内容に誤りがある場合は、画面下の [データ変更] からデータ変更画面を開き、必要項目を修正する。
※データ修正は帳票画面を開いている間のみ有効
- ⑦ 画面右下の [印刷] を選択し、印刷レイアウトを調整して印刷する。
- ⑧ 画面左下の帳票表示で、[走行軌跡] を選択し、⑦と同様に印刷を行う。

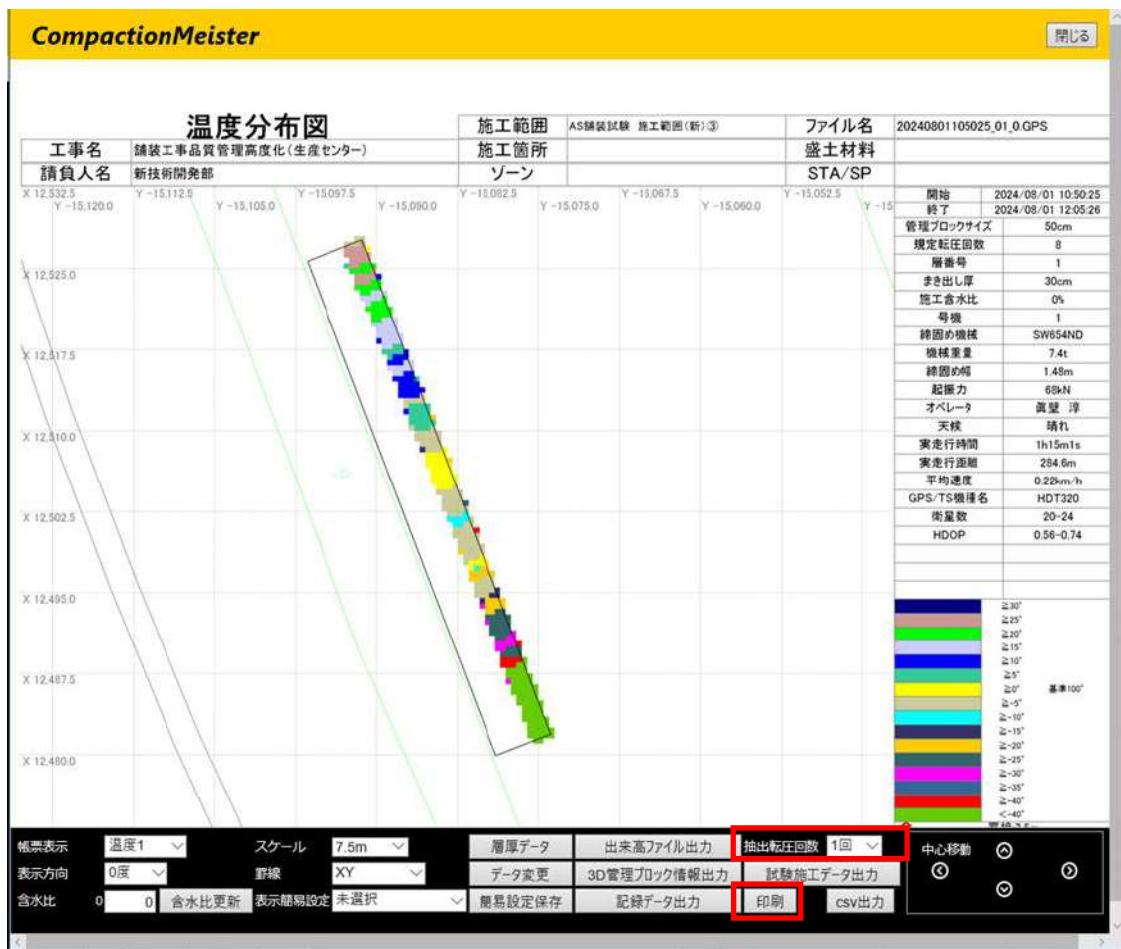


写真 1 5 記録データ帳票画面 (帳票作成)

(9) データの出力

時系列で記録された生データや、管理ブロック単位で記録された 3D 管理ブロック情報データおよび転圧回数 1 回における管理ブロック単位で記録された温度データを出力することができる。

- ① Compaction Meister WEB にログインする。
- ② [工事情報一覧] の [記録データ] 内にある [記録データ帳票] を選択し、記録データ帳票画面を開く。
- ③ 画面下の [記録データ出力] を選択し、任意の保存先に保存する。
 ※本データは時系列で記録された生データであり、走行軌跡に近いデータである
 ※圧縮された zip 形式で保存される。
- ④ 画面下の [3D 管理ブロック情報出力] を選択肢、任意の保存先に保存する。
 ※本データは管理ブロック単位で転圧回数と温度が記録されたデータである。
 ※圧縮された zip 形式で保存される。
- ⑤ 画面下の [抽出転圧回数] から初転圧回数である [1 回] を指定すると、[試験施工データ出力] が表示されるので、選択し、任意の保存先に保存する。
 ※本データは管理ブロック単位で記録されたデータであり、各ブロックの転圧回数と表面温度が記録されている。
 ※圧縮された zip 形式で保存される

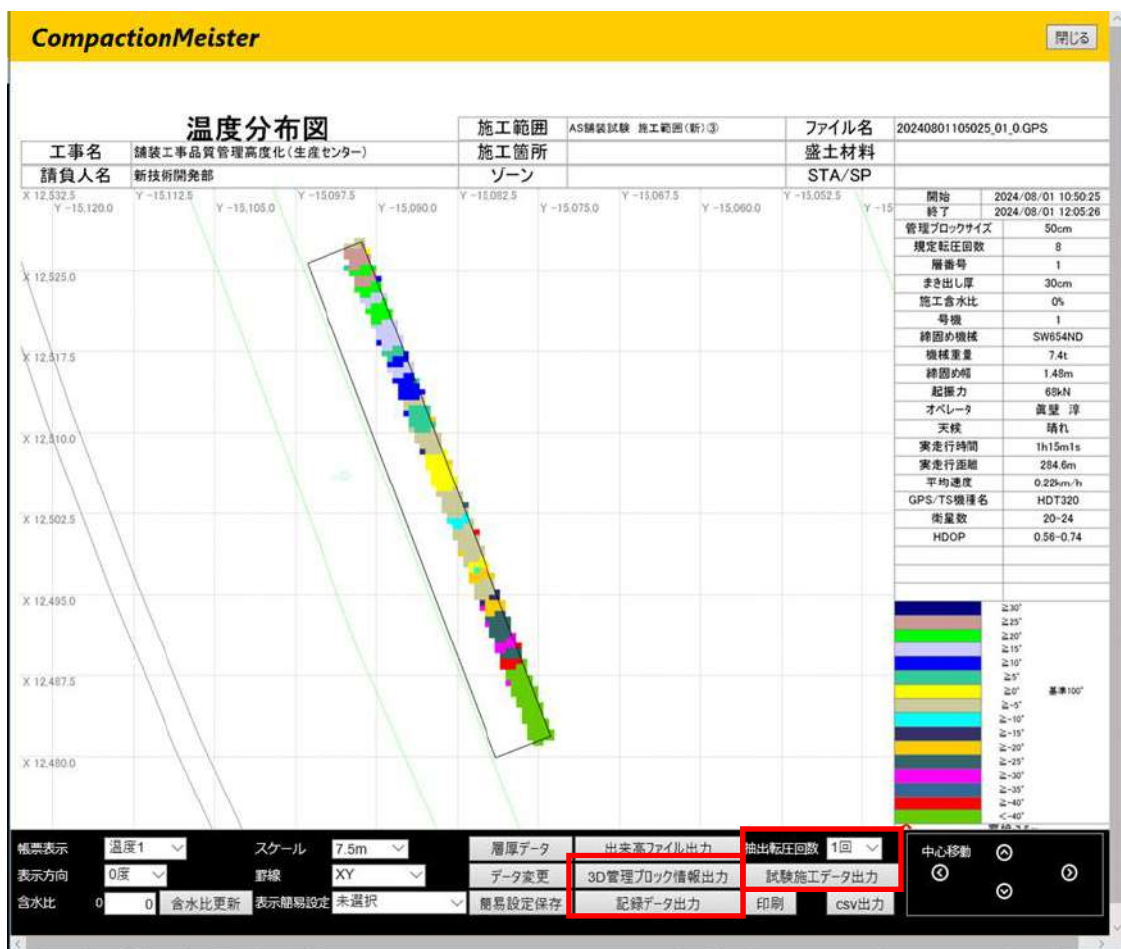


写真 1 6 記録データ帳票画面（データ出力）

※本システムの製品版とは、内容が異なる場合がある

※本システムの製品版では、仕様や表示を変更する場合がある

※赤外線式放射型表面温度計は、ローラの前方または後方に取付けられることが多く、前軸または後軸より数mほど前方または後方のアスファルト舗装表面を測定しているが、本システムには現在、表面温度計の測定位置と前軸または後軸の転圧位置との差異をオフセットする機能が実装されていない

以上

作成：2025 年 2 月 14 日

次世代 α システム 運用手順マニュアル

目次

1. はじめに	2
2. 適用範囲	3
3. 技術概要	4
4. 舗装工における運用方法.....	9
4.1. 概要	9
4.2. α システム	10
4.2.1. α システム取付け	10
4.2.2. システムの設定.....	10
4.2.3. 計測の実施.....	11
4.3. 自走式散乱型 RI ロボット	14
1.1.1. 自走式散乱型 RI ロボットの組立て	14
1.1.1. (2) 必要なソフトのインストール.....	14
1.1.1. (3) システムの設定.....	14
1.1.1. (4) 計測の実施.....	14
4.4. 3D レーザースキャナ	18
4.4.1. 計測の実施.....	18
4.4.2. データ処理.....	22
5. アスファルト舗装工における運用方法.....	26
5.1. 概要	26
5.2. 自走式散乱型 RI ロボット	26

1. はじめに

現状、路盤の現場密度計測は砂置換法が試験方法として規定されている。砂置換法は穴の掘削などに多大な労力を要し、広大な面積に数点の代表点で管理するサンプル試験となっている。また、結果の整理については事後処理が必要でありリアルタイムに施工品質を確認できない。路床・下層路盤の施工完了時にはプルーフローリングが行われる。プルーフローリングは、検査員の目視により品質を判断するため、その基準が検査員の技術に寄ること、主観的かつ定性的な評価となるほか、全面に渡っての検査には多大な労力と時間を必要としていることが課題である。また、支持力の確認をする場合も修正 CBR 試験などの室内試験を行うが、施工時の剛性を直接確認することはできない。また現場 CBR 試験等を行う場合も。試験には相当の労力とコストを要することもあり、サンプル試験になり、全面の施工品質を確認できない課題があった。また、アスファルト舗装工においても、品質現場管理では、施工完了後にコア採取による密度の確認が行われており、この方法は破壊試験であることに加え、その作業性や労力のために離散的な点の管理とならざるを得ない。

これらの課題を含む舗装工の課題に関して「舗装工事の品質管理の高度化に資する技術」に関する技術公募」の中で、舗装工事の品質管理の高度化に資する技術に関して議論が行われている。

上記課題に対し、AtlasX は面的・多点的に締固め品質を評価できるほか、計測およびデータ処理も概ね自動であり品質管理精度の向上および生産性向上を達成できる。本マニュアルは、AtlasX を使った新しい品質管理方法を提案するものである。

なお本運用マニュアルは、舗装工への適用を前提に、その全体像や基本的な作業をとりまとめた。紙面の関係から、各機器のより詳細な「操作マニュアル」は、必要に応じて別途提供させて頂く。

2. 適用範囲

本マニュアル（案）は路床・路盤工、アスファルト舗装工を対象とし、国土交通省「土木工事施工管理基準及び規格値（案）」¹⁾に記載されている品質管理方法の代替手法として適用できる新しい品質管理手法を提案するものである。

AtlasX の適用範囲を表 2.1 に示す。

表 2.1 AtlasX の適用範囲

適用対象	適用部位	α システム	3D レーザー スキャナ	自走式散乱型 RI ロボット (含水比)	自走式散乱型 RI ロボット (湿潤密度)
地盤剛性 たわみ量	路床 下層路盤 上層路盤	○	○ (最弱部で 従来手法)	—	—
含水比 締固め度	路床 上層路盤 下層路盤	—	○	○	△
舗装密度	アスファルト 舗装	—	—	—	○

○：適用可能 △：課題あり —：適用不可

【前提条件】

・施工層より下層が、施工層の転圧時と同等以上の転圧機械により十分に締固められ、転圧が収斂していることを前提とする。

3. 技術概要

AtlasX は① α システム②自走式散乱型 RI ロボット③3D レーザースキャナの 3 つの計測器とそのデータを集約し、データ分析をする④データ統合解析システムで構成される締固め品質管理システムである。

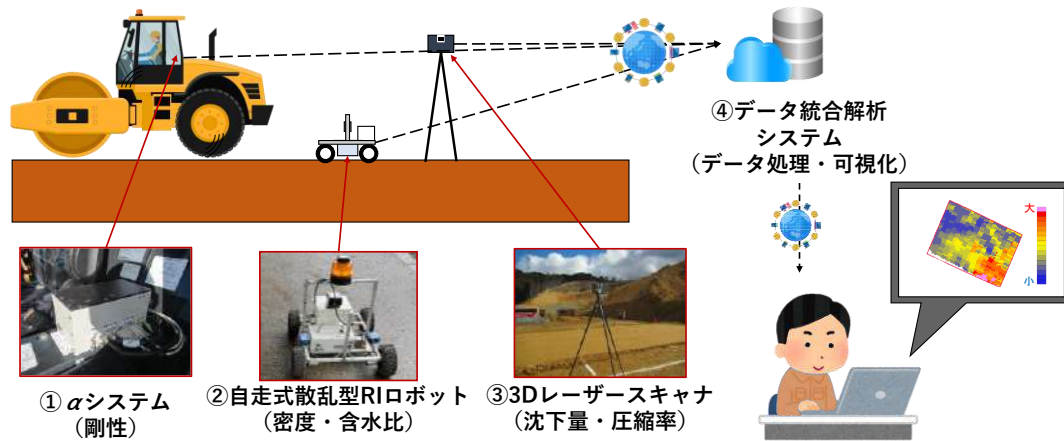


図 3.1 AtlasX の構成

(1) αシステム

「αシステム」は、振動ローラの加速度応答が地盤の締固めに応じて変化してくる現象を利用し、転圧中の振動ローラの加速度データから地盤変形係数や密度を自動判定するシステムである。施工を行いながらリアルタイムに、かつ施工面全体にわたって地盤品質を判定するため、従来の平板載荷試験や RI 法に比べ、効率的で高精度な盛土品質管理を行うことが可能となる。

転圧の進行による地盤剛性の増加にともない、一般に振動ローラの加速度波形が乱れ、その周波数解析においては振動ローラ振動数以外の成分（高調波スペクトル S_1 、 S_2 、...、ならびに $1/2$ 分数調波スペクトル S_1' 、 S_2' ...）が卓越してくることが認められる。この性質を利用し、下式に示す「乱れ率」を定義し、乱れ率が大きいほど地盤が締固まっていることを表す（図 3.2）。「乱れ率」は締固めを定量的に表す指標で、αシステムでは、藤山・建山による理論式を採用し、乱れ率から力学指標である地盤変形係数 E_{roller} に換算し、品質管理の物理的な指標を提示することが可能となる（図 3.3）。

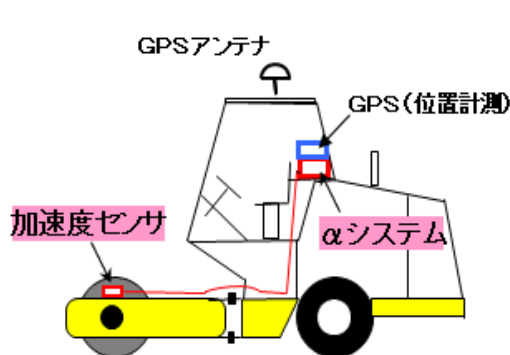


図-1 振動ローラ搭載システム概要

ローラ加速度応答の定量指標；

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

乱れ率が大きいほど固い地盤を表す

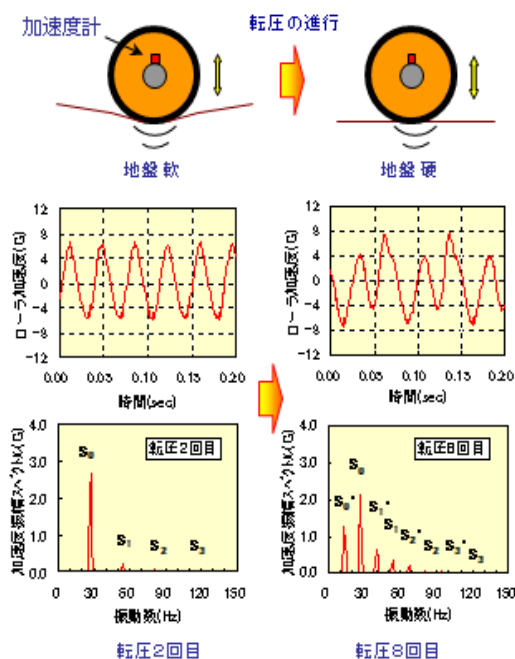


図 3.2 αシステム計測原理

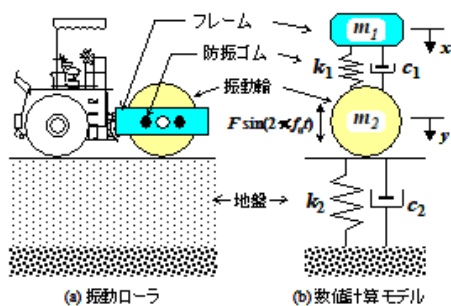


図-8 振動ローラ～地盤系数値計算モデル

機械諸元	単位	SV900DV
フレーム質量	m_1	(kg) 4,680
ローラ質量	m_2	(kg) 6,920
起振力	$F(\text{High})$	(kN) 343
公称振動数	$f_0(\text{High})$	(Hz) 23.3
ローラ幅	B	(m) 2.15

α システムでは式(1)を採用し、乱れ率を力学指標である地盤変形係数 E に換算して出力

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

$$\alpha = 1 - \left(\frac{F}{(m_1 + m_2)g} \right)^2 \quad \dots \text{式(1)}$$

※ α システムは、3秒間の加速度波形に対し乱れ率を計算するため、乱れ率データは振動ローラ走行距離約2mの平均的な地盤剛性を表す

図 3.3 α システムによる地盤変形係数の算出方法

本実験で使用する α システムは 1998 年に開発した初代 α システムの OS と内部 CPU をグレードアップし、性能向上を図ったものである。初代 α システムは 1 秒間で 1,024 点のデジタルデータをサンプリングし、フーリエ変換を行って分析していたが、性能向上により 2 倍のサンプリングで計測および分析可能となった。ローラのスピードはおおよそ毎秒 1m であり、上記により 0.5 秒間隔で解析結果が出力されるので国土交通省や NEXCO で管理されている 50cm メッシュごとに解析データが出力されることになる。また内部には 2 周波の RTK (Real Time Kinematic) の GNSS のモジュールを内蔵している。算出される地盤変形係数 E_{roller} と GNSS (Global Navigation Satellite System) で取得する位置情報と合わせることで、図 3.4 に示すように面的な地盤変形係数分布の取得が可能である。また、別途 GNSS のシステムとの連携が不要で、時刻同期の問題も解決している。この新しい α システムを取り付けることによって、転圧回数の管理、軌跡の管理、剛性の評価を全てオールインワンで実施可能となる。

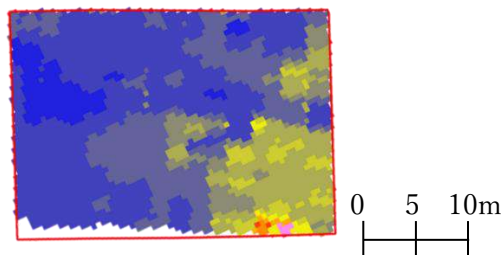
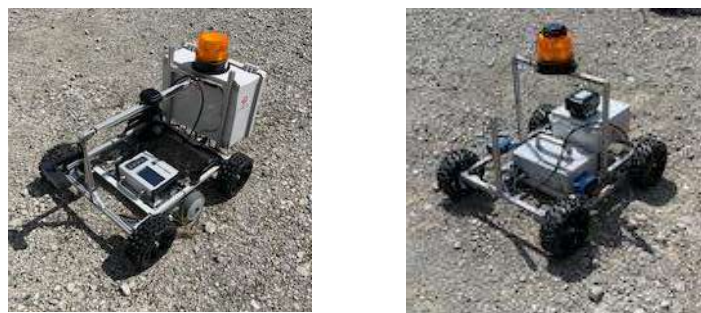


図 3.4 地盤変形係数の面的な分布

(2) 自走式散乱型 RI ロボット

自走式散乱型 RI ロボットは、散乱型 RI を自走ロボットに搭載することで面的に含水比および湿潤密度を計測することができる計測器である（図 3.5）。自走式散乱型 RI ロボットは α システムと同様の GNSS を搭載しており、汎用自動操縦用アプリケーションを利用することで自動かつ面的に計測が可能である。

α システムでの計測は密度が同じでも含水比が異なる場合、地盤変形係数が小さくなるケース（土質）がある。自走式散乱型 RI 水分計（図 3.5(a)）は含水比の面的な分布を把握することで局所的な弱部を検出することができるため、 α システムでの地盤変形係数が小さい原因が締固め不足なのか含水比の違いによるものなのかを本システムで照査することが可能となる。また自走式散乱型 RI 密度計（図 3.5(b)）により湿潤密度を計測し、含水比の計測結果と併せることで、従来指標である乾燥密度の算出も可能である。



(a) 自走式散乱型 RI 水分計 (b) 自走式散乱型 RI 密度計

図 3.5 自走式散乱型 RI ロボット

(3) 3D レーザースキャナ

3D レーザースキャナは、回転しながら全周にわたってレーザーを照射することで周囲の形状を捉え、点群と呼ばれるデータを取得する機器である。3D レーザースキャナを用いて撒出し前、撒出し後、転圧回数ごとに施工面の標高を連続計測し、データ統合解析システムへデータを送信することで、自動でデータ処理される。データ統合解析システムで転圧面の標高変化を抽出することで、図 3.6 に示すように撒出し厚、沈下量、圧縮率の面的な傾向を把握することができる。また沈下の収斂傾向や統計量も提示可能である。

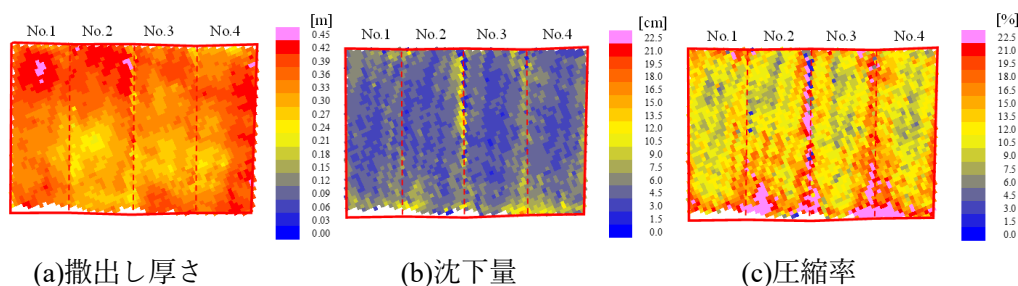


図 3.6 面的な傾向の把握の一例

(4) データ統合解析システム

データ統合解析システムは α システム、自走式散乱型 RI ロボット、3D レーザースキャナのデータを集約し、可視化を行うことができるアプリケーションである。各機器から送信されてきたデータは外部クラウドサービスのデータベースにストレージされ、その後各種計算処理、可視化が行われる。

データ統合解析システムは図 3.7 に示すようにヒートマップ、統計分析、転圧収斂分析、相関分析という 4 つの出力機能をもつ。各機能では転圧回数、乱れ率、地盤変形係数、含水比、乾燥密度、圧縮率の施工情報を、各層、各転圧回数で参照することができる。ヒートマップを用いて従来の工法規定の転圧回数に加え、各種物性値の面的な分布状況を可視化し、局所的な変動を視覚的に表現できる。統計分析は各種物性のヒストグラムと平均値や標準偏差などの統計値を出力し、材料の変動の把握に活用する。転圧収斂分析は、乱れ率、地盤変形係数、乾燥密度の転圧回数ごとの全平均値を出力し、転圧の進行に伴う収斂の判断に活用する。相関分析は、含水比、地盤変形係数、圧縮率の相関関係から盛土材料の変化や転圧の不良原因を特定する際に活用する。

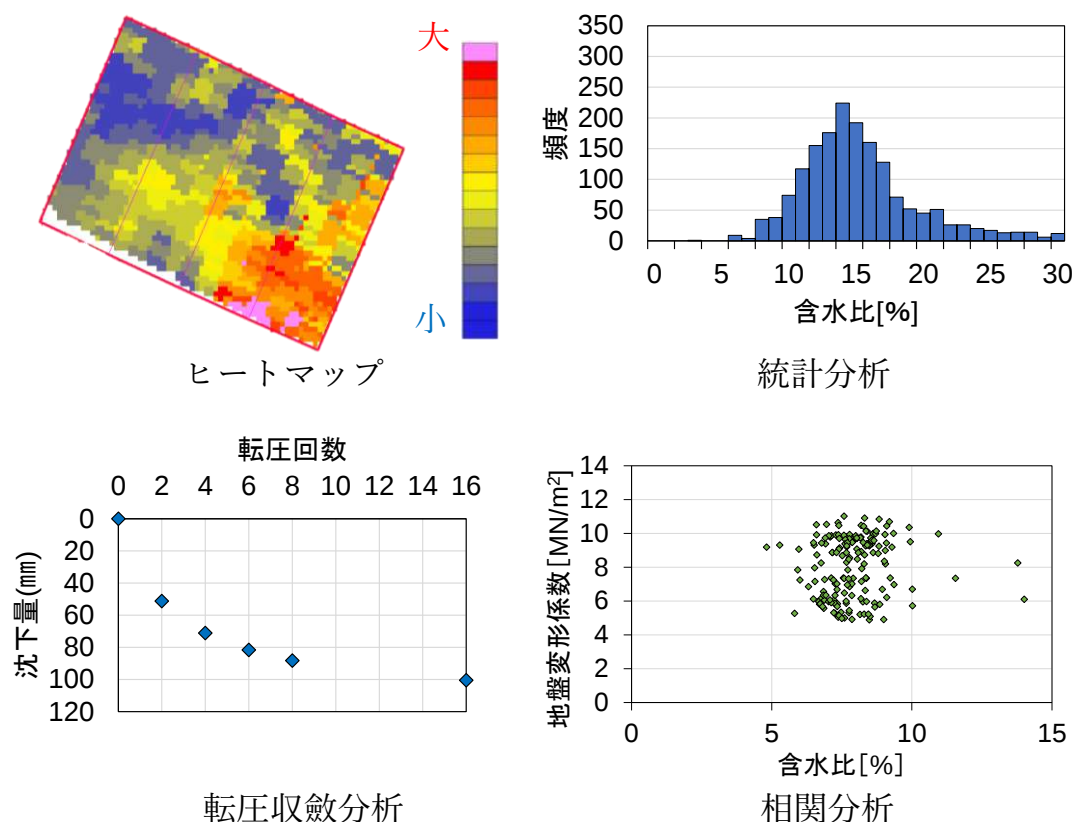


図 3.7 データ統合解析システムによる可視化の一例

4. 舗装工における運用方法

4.1. 概要

本手法の運用時には、図 4.1 に示す① α システム、②自走式散乱型 RI ロボット、③3D レーザースキャナを現場条件に応じて、自由に選択できるものとする。それぞれに、事前に試験施工を実施する必要はなく、下記手順に示す導入作業のみで実施が可能である。

なお、フロー後半の「最弱点で従来方法での計測を行う」は、ドイツの M3 手法に準拠したものであり、剛性最弱点（ α システム）、密度最弱点（RI ロボット）、転圧圧縮率最弱点（レーザースキャナ）において従来手法（砂置換法、RI 法、キャスポルなどの簡易な剛性・強度確認手法等）での計測を実施し、これが目標値を満足していれば全面の品質が確保されているものとみなす、という考え方である。よって、後半のフローの選定自体もまた、選択可能なものとする。

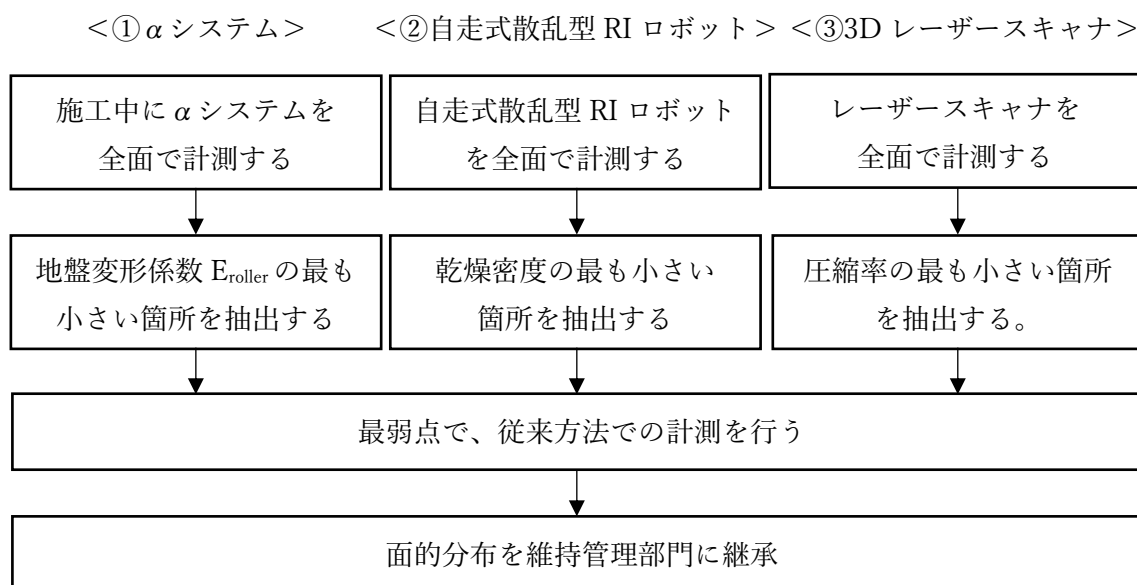


図 4.1 運用手順フロー

4.2. α システム

施工中に α システムを全面で計測し、図 3.4 のような地盤変形係数 E_{roller} の面的分布が取得する。 α システムは直接地盤変形係数を評価可能であるが、絶対値が必要な場合は相対的に最も地盤変形係数 E_{roller} が小さい点を抽出し、従来手法での計測を行う。例えば、図 4.2 に示す簡易支持力試験器などにより、CBR を算出する。



図 4.2 簡易支持力測定器

4.2.1. α システム取付け

写真 4.1(a)のように転輪部に架台を設置後、加速度計を固定する。また、GNSS と α システム本体を可能な場所に設置する。



(a) 加速度計設置状況



(b) α システム本体設置状況

写真 4.1 α システム設置状況

4.2.2. システムの設定

- ① α システムの計測領域を GNSS で計測する。
- ② クラウド上で α システムの計測領域、層、所定数の設定を行う。

4.2.3. 計測の実施

以下に日常管理における手順を示す。 α システムの作業フローを図 4.3 に示す。

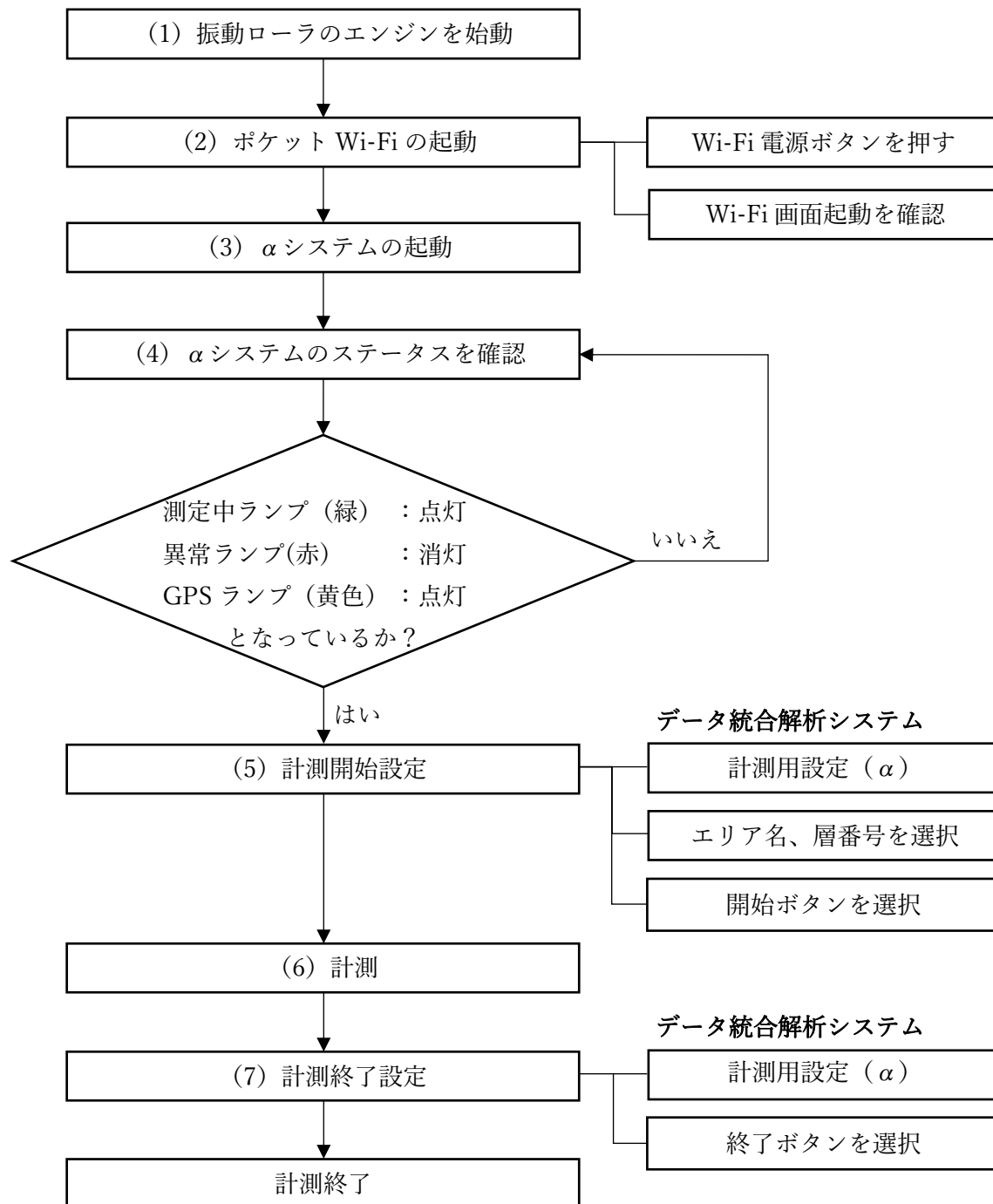


図 4.3 α システムの作業フロー

【日常の作業手順】

(1) 振動ローラのエンジンを始動

振動ローラのエンジンを始動する。

(2) ポケット Wi-Fi の起動

α システム本体のデータ送信および GNSS の VRS 情報取得に使用する。

(3) α システムの起動

図 4.4 に示す α システムの電源スイッチを入れる。



図 4.4 α システム本体の操作盤

(4) α システムのステータスを確認

図 4.4 に示す α システムのステータスランプが、計測中ランプ (緑)：点灯、異常ランプ (赤)：消灯、GPS ランプ (黄色)：点灯となっているかを確認する。その他の場合、しばらく時間を置き再度確認する。異常ランプが点灯している場合は、レンタル元に連絡する。

(5) 計測開始設定

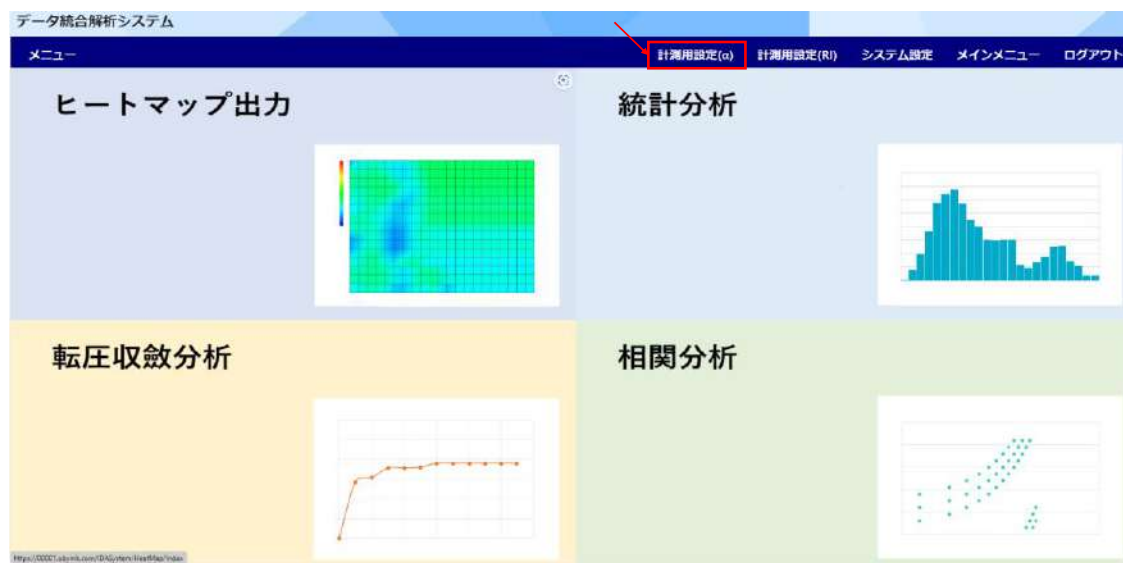
図 4.5(a)に示すメインメニュー画面から、「計測用設定 (α)」をクリックする。その後、図 4.5(b)に示すエリア名、層番号を適宜設定し、「開始」ボタンをクリックする。

(6) 計測

計測中は、 α システムからデータ統合解析システムにデータが送信され、Web ブラウザ上にて転圧状況を確認できる。

(7) 計測終了設定

図 4.5(a)に示すメインメニュー画面から、「計測用設定 (α)」をクリックする。その後、図 4.5(b)に示すエリア名、層番号を適宜設定し、「終了」ボタンをクリックする。



(a) メインメニュー画面



(b) 計測設定画面

図 4.5 α システムの計測設定画面

注) Eroller は振動ローラがメーカー規格値に対応する運転状況（起振力 H/L やエンジンロットル等）を施工中一定に保つ事を前提とする。よって、運転条件は施工中に変更しない。

4.3. 自走式散乱型 RI ロボット

自走式散乱型 RI ロボットは、前述のように含水比を計測する自走式散乱型 RI 水分計と湿潤密度を計測する自走式散乱型 RI 密度計の 2 種類のロボットで構成され、それぞれの計測器で同地点を行うことで、図 4.6 のような面的な密度の分布を取得する。

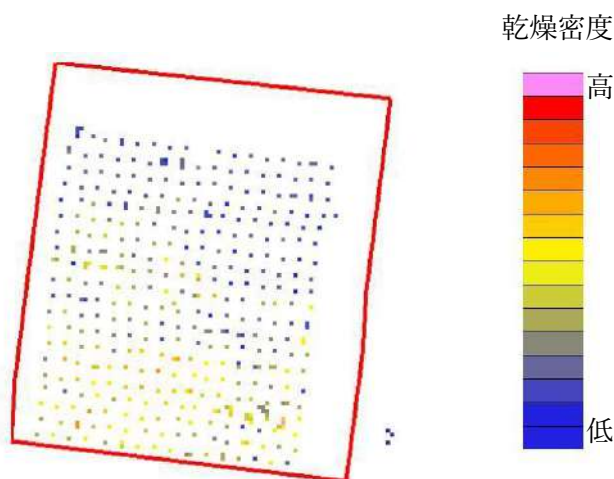


図 4.6 乾燥密度の面的分布の可視化例

4.3.1. 自走式散乱型 RI ロボットの組立て

散乱型 RI および自動走行ロボットが現場に到着後、組立てを行う。

4.3.2. 必要なソフトのインストール

Mission Planner は、ドローン操縦向けのフリーソフトであり、以下からインストールする。

URL : <https://ardupilot.org/planner/>

Mission Planner で指定した走行ルートを、テレメトリによりロボット用リモコンに転送したのち、リモコンからロボットに指示を行う。そのため、準備段階では USB 接続したテレメトリが PC 側に認識されているか、ロボットと通信できているかを確認する。

4.3.3. システムの設定

- ①自走式散乱型 RI ロボットの計測領域を GNSS で計測する。
- ②クラウド上で自走式散乱型 RI ロボットの計測領域、層、所定数の設定を行う。

4.3.4. 計測の実施

日々の施工範囲に対して 2m 間隔などで面的な計測を行う。以下に日常管理における手順の概要を示す。自走式散乱型 RI ロボットの作業フローを図 4.7 に示す。

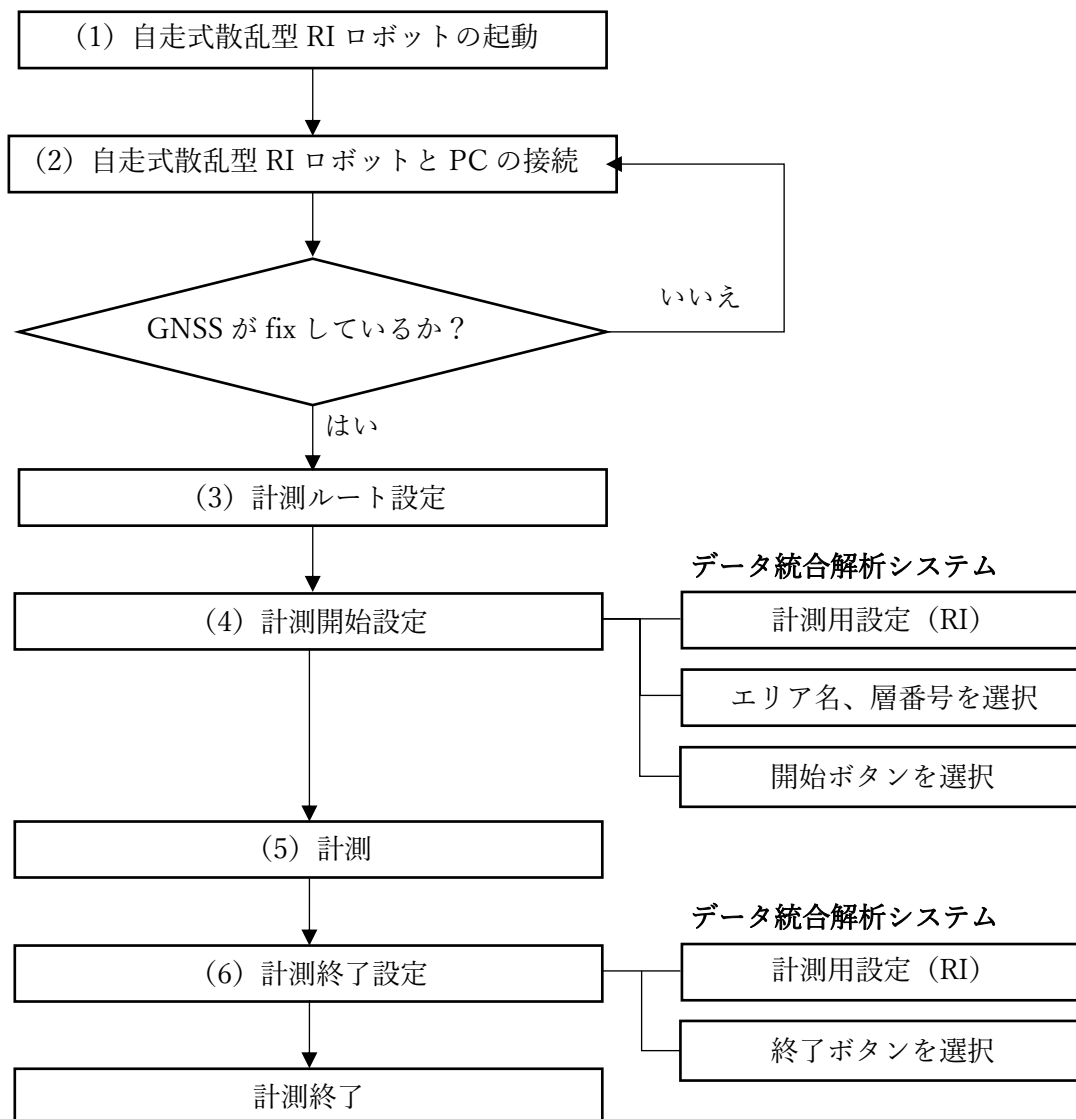


図 4.7 自走式散乱型 RI ロボットの作業フロー

【日常の作業手順】

(1) Mission Planner の起動

自走式散乱型 RI ロボットのバッテリー取付け部に充電済みのバッテリーを装備する（図 4.8）。その後、図 4.9 に示す PC スイッチを押して、データ取得用 PC の電源を入れる。



図 4.8 バッテリー取付け部



図 4.9 制御部

(2) 自走式散乱型 RI ロボットと PC の接続

自走式散乱型 RI ロボット制御部に搭載した Wi-Fi にルート設定用の PC を接続する。

(3) 計測ルートの設定

RI ロボット操作方法のマニュアル(別途)に基づき、計測ルートをクリックまたは、ある範囲内で等間隔に設定する (図 4.10)。

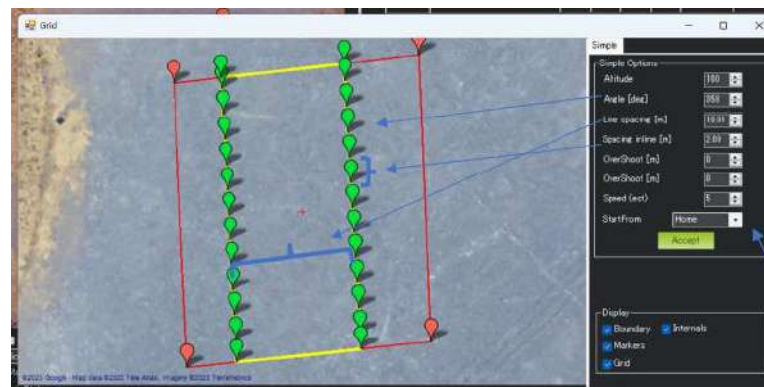


図 4.10 計測ルート設定例

(4) 計測開始設定

図 4.5(a)に示すメインメニュー画面から、「計測用設定 (RI)」をクリックする。その後、図 4.5((b))に示すエリア名、層番号を適宜設定し、「開始」ボタンをクリックする。

(5) 計測

自走式散乱型 RI ロボットの計測は、コントローラーの自動計測スイッチを押すにより行う。なお、手動により計測を行う場合は、コントローラーにより計測位置まで車体を自走させ、計測器搭載部を地面に卸すことで計測される。計測中は、自走式散乱型 RI ロボットからデータ統合解析システムにデータが送信され、Web ブラウザ上にて転圧状況を確認できる。

(6) 計測終了設定

図 4.5(a)に示すメインメニュー画面から、「計測用設定 (α)」をクリックする。その後、図 4.5(b)に示すエリア名、層番号を適宜設定し、「終了」ボタンをクリックする。

4.4. 3D レーザースキャナ

3D レーザースキャナを敷均し前、敷均し後、転圧完了後の3回計測を行い、点群から敷均し厚さおよび転圧による沈下量を取得し、面的な圧縮率（式(1)）を算出し、に示すような面的な圧縮率の分布を主観する。取得した面的な密度の分布から相対的に最も密度が低い点を抽出し、従来手法での計測を行う。相例えば、図 4.2 に示す簡易支持力試験器などにより CBR 算出するか RI 計器により密度を計測し、最弱部の値にする。

$$\text{圧縮率} = \text{沈下量} / \text{敷均し厚さ} \quad (1)$$

4.4.1. 計測の実施

3D レーザースキャナの計測は、敷均し前、敷均し後、転圧後に行う。日常管理における3D レーザースキャナの作業フローを図 4.11 に示す。なお、種々の3D レーザースキャナが販売されているが、本マニュアルでは一例として、FARO 社製 Focus S 150 Plus による計測手順を紹介する。

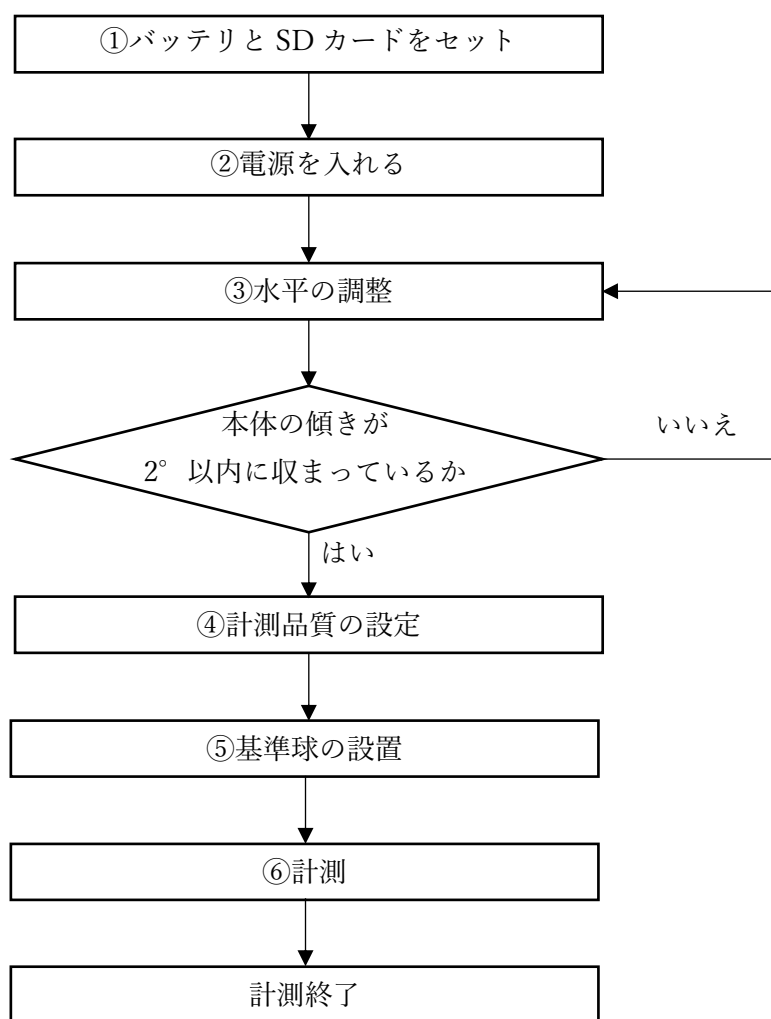


図 4.11 3D レーザースキャナの作業フロー

【日常の作業手順】

(1) バッテリと SD カードをセット

計測器本体の側面を開け、図 4.12 を参考にバッテリーと SD カードをセットする。

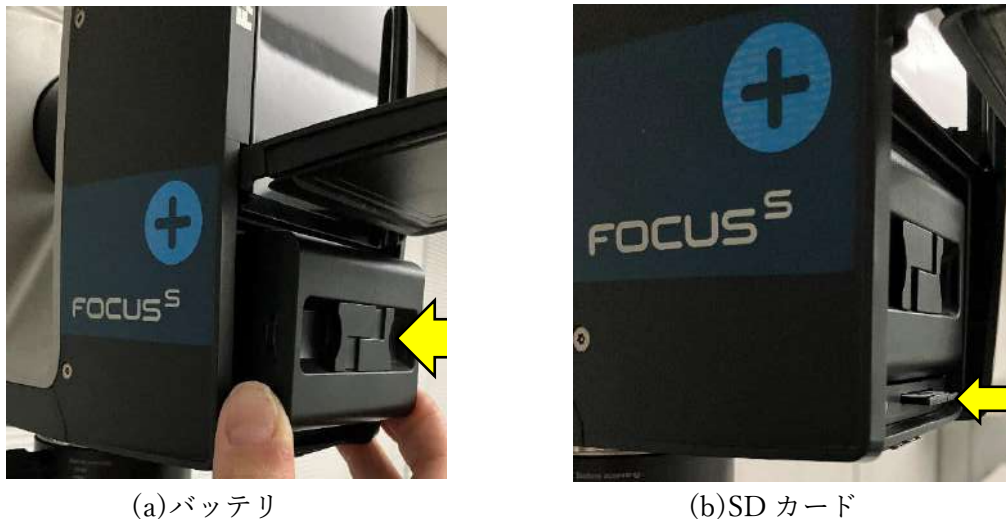


図 4.12 バッテリと SD カードの設置

(2) 電源を入れる

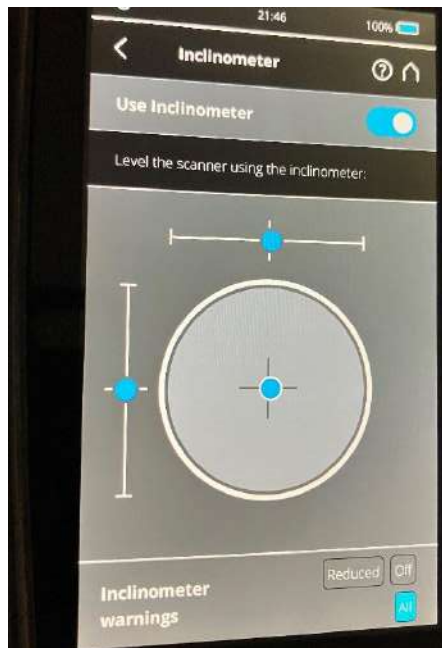
計測器上面の電源ボタンをクリックして電源を入れる。



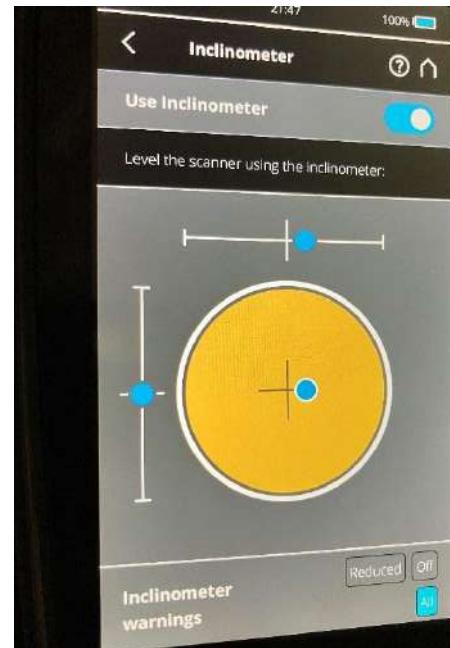
図 4.13 計測器上面

(3) 水平の調整

起動画面から「Manage」→「Sensor」→「Inclinometer」の順に選択し、水平を確認する。FARO の 3D レーザースキャナには、2 軸補正センサが搭載されており、計測器の傾きが 2° 以内であれば、自動補正する仕様となっている。計測器の傾きが 2° 以内であれば、図 4.14(a) のように青色の表示になり、 2° 以上の場合、図 4.14(b) のように黄色または赤色の表示となる。



(a) 2° 以内の場合



(b) 2° 以上の場合

図 4.14 水平器の表示画面例

(4) 計測品質の設定

起動画面から「Parameters」→「Resolution / Quality」の順に選択し、の中央の分解能と品質を適切に選択する（図 4.15）。



図 4.15 分解能/品質設定画面

(5) 基準球の設置

基準球を既知点上に基準球を水平に据える。可能な限り各基準球間の距離を離し、一列に並ばないようにする。



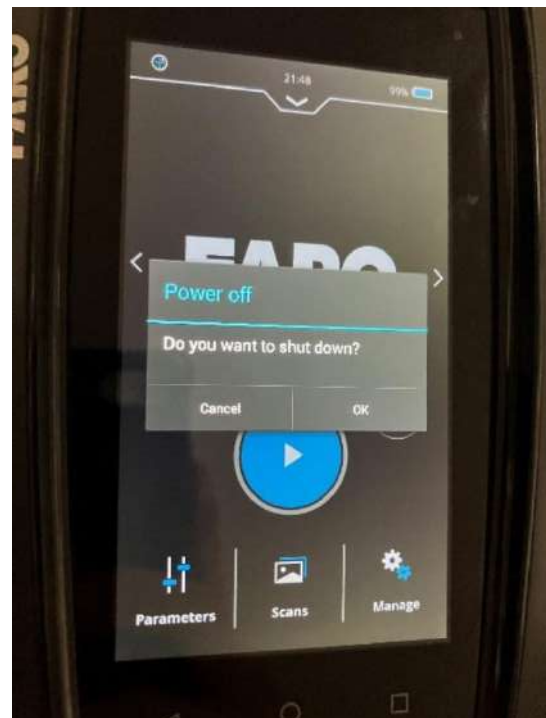
図 4.16 基準球設置状況例

(6) 計測

計測開始ボタンを押し、所定の時間待つ。計測終了後、電源ボタンを長押しして、シャットダウンする (図 4.17)。



(a)計測画面



(b)シャットダウン時画面

図 4.17 計測画面例

4.4.2. データ処理

点群は、対象とする領域外や不要な点なども含まれるほか、 α システム、自走式散乱型 RI ロボットと同メッシュでの比較を行うには、不要添削所、平均値計算等を行う必要がある。処理には福井コンピュータ製の『TREND—POINT』を使用する。点群の計算処理およびクラウドへのアップロードの作業フローを図 4.18 に示す。

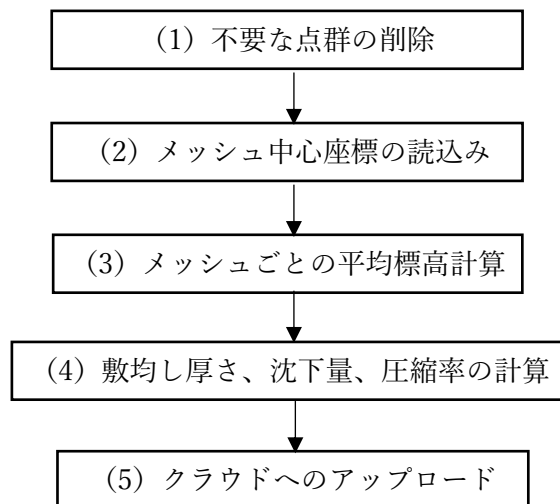


図 4.18 点群処理およびアップロードの作業フロー

(1) 不要点の削除

取得した点群はそのままでは使用できないため、施工範囲以外の点群を除去する。①「編集」のタブをクリック後、②「点の編集」から削除したい範囲を選択し、③「削除」をクリック後、④「確定」で削除される（図 4.19）。なお、削除後に点群を復旧することはできないので、留意する。

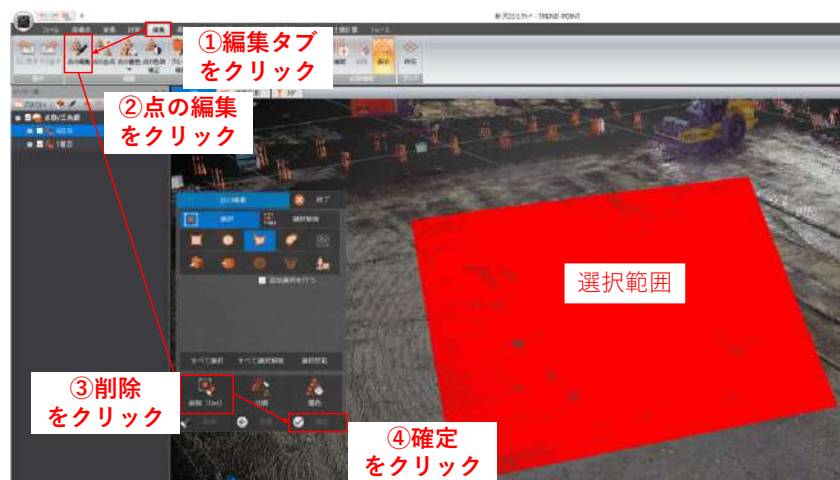


図 4.19 不要な点群の削除

(2) メッシュ中心座標の読み込み

データ統合解析システムで管理される 50cm メッシュに点群のデータを格納するために、メッシュ内の点群の平均標高を求める必要がある。①「座標点」タブ⇒②「管理」⇒③「座標点読み込み」⇒④「CSV 読み込み」の順にクリックし、メッシュ中心座標を記載した csv ファイルを選択して読み込む。



図 4.20 TREND POINT での座標読み込み

(3) メッシュごとの平均標高計算

各メッシュの平均標高を計算する。図 4.21 に示すように①「計測」タブ⇒②「精度確認」をクリックし、それぞれ③「確認種別：点群の均一性」（取り込んだメッシュの中心座標を基準に、水平位置・標高の平均座標をそれぞれ計算する）「抽出範囲：正方形」「辺長：0.50m」（メッシュの大きさ）を入力後、④「実行」をクリック。計算処理後、⑤「CSV 書込み」を押し、任意の場所に保存する。「TRENDPOINT 精度分析」のフォルダが作成され、このフォルダ内の「標高.csv」に各メッシュの標高の平均値の計算結果が記載されている。



図 4.21 TREND POINT での計算処理画面

(4) 敷均し厚さ、沈下量、圧縮率の計算

手順 (3) で算出したメッシュ平均標高から、敷均し厚さ、沈下量、圧縮率を計算する。図 4.22 に示すように $n-1$ 層目の最終転圧時の標高、敷均し時の標高、 n 層目の最終転圧時の標高をそれぞれ、 Z_{n-1} 、 Z_{n0} 、 Z_n とすると敷均し厚さ、沈下量、圧縮率は式(1)～(3)に示すとおりである。これをメッシュ平均座標ファイルの「標高.csv」のデータから計算する。標高.csv ファイル (図 4.23) では、「点名」の列 (B 列) に各メッシュの名前、「点群 (Z)」の列 (E 列) にメッシュ内平均標高が記載されている。敷均し前後、転圧後における各段階の標高.csv ファイルの点名が同じ点群 (z) を Z_{n-1} 、 Z_{n0} 、 Z_n として計算する。なお、図 4.23 に示すように点名は、連続しておらず各ファイルで確実に同じ点名のメッシュ内平均標高 (点群 (Z)) を使用することに留意する。

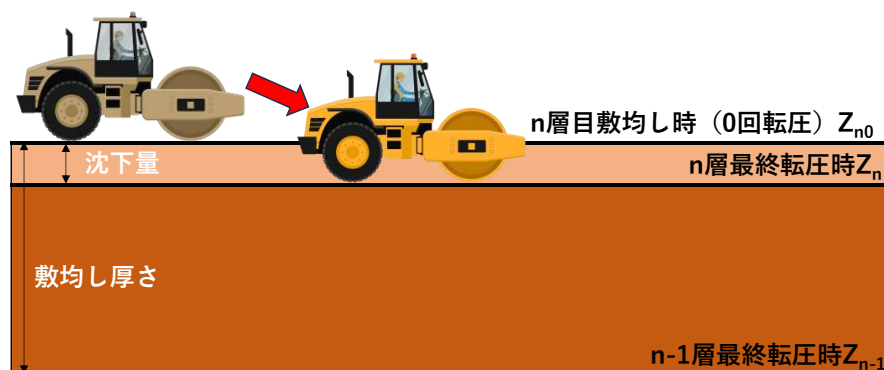


図 4.22 敷均しおよび転圧時の標高のイメージ

$$\text{敷均し厚さ} = Z_{n0} - Z_{n-1} \quad (1)$$

$$\text{沈下量} = Z_{n0} - Z_n \quad (2)$$

$$\text{圧縮率} = \text{沈下量} / \text{敷均し厚さ} \times 100 \quad (3)$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	No	点号	点標	Z	点群(Z)	ΔZ(平均)	ΔZ(最大)	ΔZ(最小)	ΔZ(標準偏差)	ΔZ(RMS誤差)	
2	1	5	558	-110	-110.298	-0.298	-0.294	-0.3	0.298	0.001	
3	2	6	8993	-110	-110.297	-0.297	-0.292	-0.301	0.297	0.001	
4	3	7	4104	-110	-110.293	-0.293	-0.286	-0.297	0.293	0.002	
5	4	8	429	-110	-110.286	-0.286	-0.283	-0.289	0.286	0.001	
6	5	15	6471	-110	-110.295	-0.295	-0.29	-0.299	0.295	0.002	
7	6	16	24312	-110	-110.295	-0.295	-0.288	-0.3	0.295	0.002	
8	7	17	21940	-110	-110.29	-0.29	-0.282	-0.297	0.29	0.003	
9	8	18	18968	-110	-110.282	-0.282	-0.273	-0.289	0.282	0.003	
10	9	19	13381	-110	-110.271	-0.271	-0.257	-0.281	0.271	0.004	
11	10	20	252	-110	-110.263	-0.263	-0.257	-0.266	0.263	0.002	
12	11	25	17498	-110	-110.296	-0.296	-0.29	-0.302	0.296	0.002	
13	12	26	31523	-110	-110.293	-0.293	-0.287	-0.299	0.293	0.002	
14	13	27	27138	-110	-110.287	-0.287	-0.281	-0.292	0.287	0.002	
15	14	28	23700	-110	-110.281	-0.281	-0.273	-0.286	0.281	0.002	
16	15	29	16935	-110	-110.271	-0.271	-0.256	-0.279	0.271	0.004	
17	16	35	33860	-110	-110.299	-0.299	-0.295	-0.304	0.299	0.001	
18	17	36	39713	-110	-110.294	-0.294	-0.288	-0.301	0.294	0.002	
19	18	37	33411	-110	-110.287	-0.287	-0.281	-0.293	0.287	0.002	
20	19	38	28005	-110	-110.28	-0.28	-0.273	-0.286	0.28	0.002	
21	20	39	12877	-110	-110.274	-0.274	-0.266	-0.279	0.274	0.002	
22	21	44	2012	-110	-110.303	-0.303	-0.299	-0.307	0.303	0.001	
23	22	45	56978	-110	-110.3	-0.3	-0.293	-0.307	0.3	0.002	
24	23	46	49060	-110	-110.295	-0.295	-0.289	-0.301	0.295	0.002	
25	24	47	40915	-110	-110.289	-0.289	-0.282	-0.294	0.289	0.002	
26	25	48	34064	-110	-110.281	-0.281	-0.272	-0.287	0.281	0.003	
27	26	49	8475	-110	-110.274	-0.274	-0.269	-0.279	0.274	0.002	
28	27	54	22339	-110	-110.301	-0.301	-0.297	-0.305	0.301	0.001	
29	28	55	5 (ctrl)	-110	-110.295	-0.299	-0.293	-0.304	0.299	0.001	

※連続でない

図 4.23 標高.csv の一例

(5) クラウドへのアップロード

処理したデータをもとに、クラウドに対応する形式に整形したのち、アップロードを行う。

5. アスファルト舗装工における運用方法

5.1. 概要

本手法のうち、自走式散乱型 RI ロボットはアスファルト舗装工の密度測定にも適用可能である。運用手順を以下に示す。

<②自走式散乱型 RI ロボット>

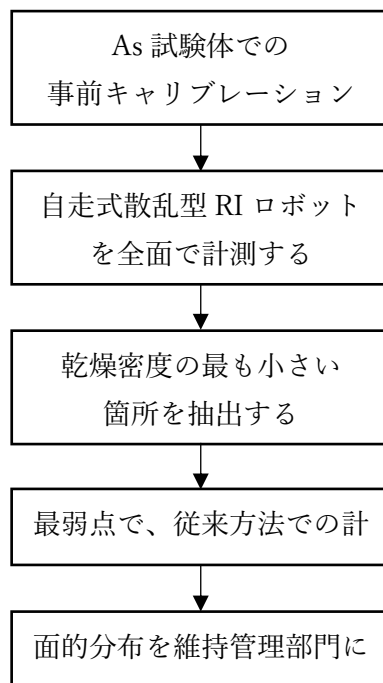


図 5.1 運用手順フロー

5.2. 自走式散乱型 RI ロボット

自走式散乱型 RI ロボットのうち、自走式散乱型 RI 密度計は湿潤密度を計測する計測器である。舗装工の場合には、含水比を計測する自走式散乱型 RI 水分計とともに利用するが、アスファルト舗装工に適用する場合は、自走式散乱型 RI 密度計により、直接密度を評価することが出来る。

5.2.1. 自走式散乱型 RI ロボットの組立て

4.3.1 と同様。

5.2.2. 必要なソフトのインストール

4.3.1 と同様。

5.2.3. システムの設定

4.3.3 と同様。

5.2.4. 事前のキャリブレーション

密度が既知のアスファルト舗装盤上で自走式散乱型 RI 密度計の計測器により密度を計測する。その差分を入れて計算をすることで、アスファルト舗装上で密度を計測することが出来る。

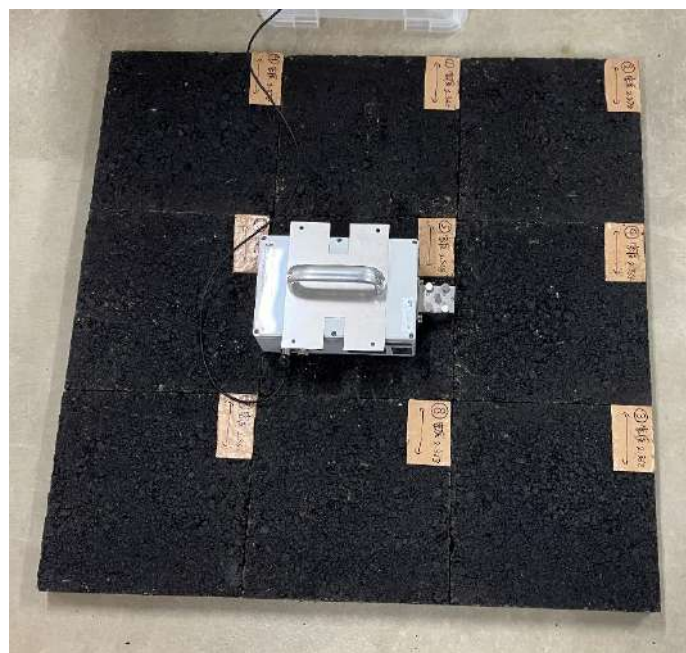


図 5.2 密度計のキャリブレーション状況

5.2.5. 計測の実施

4.3.4 と同様。

「ローラ搭載型転圧温度モニタリングシステム」運用手順マニュアル(案)

はじめに

従来のローラによる転圧時の舗装の温度確認は、現場の職員が路肩側から挿入式温度計を舗装内に層厚の中間付近まで差し込んで、一定温度になるまで挿入して温度を確認・記録して、ローラの運転手へ転圧開始を指示する。あるいは、ローラの運転手がローラから降りて舗装温度を直接確認してから転圧を開始する。従来の舗装温度の確認方法に代わり、ローラに設置したサーモカメラにより舗装の路面温度をローラの運転手へ表示し、転圧開始のタイミングを判断できれば、作業性の向上、安全性の向上が期待できる。

【解説】

ここでは、「ローラ搭載型転圧温度モニタリングシステム」（以下、本システムと記載）の活用効果を示している。

第一の効果は、作業性の向上である。従来の舗装温度の計測は、現場職員が路肩から温度計を挿入して一定温度になるまで計測し、転圧可能なタイミングをローラの運転手に伝える、あるいは運転手がローラから降りて直接路面温度を確認してから転圧することが必要である。しかし、本システムではローラのオペレータが直接運転席から転圧範囲の路面温度をリアルタイムに面的に確認することが可能なため、温度確認作業の時間が短縮できる。また、記録した転圧温度をエクセルに入力して整理する必要があるが、サーモカメラで記録した転圧温度をヒートマップ図およびダンプ1台毎の転圧温度として自動で報告書様式に出力することができるため、従来の手入力による報告書作成に対し、大幅な時間削減が可能である。

第二の効果は、サーモカメラにより転圧範囲の路面温度を面的に把握することで計測箇所の温度のばらつきが解消される。挿入式温度計による計測は、路肩側に近い箇所しか計測できず、転圧箇所全体の温度を把握できないため、舗装温度が高い状態で転圧してしまう可能性が生じる。本システムにより、転圧範囲を面的に計測し、その範囲内の路面温度の最大値を表示させることで、適切な温度で転圧することが可能となる。

第三の効果は、安全性の向上である。従来の挿入式による温度計測では、温度計測者がローラと接触しないようローラ位置を常時把握しながら計測し、黒板に記録して撮影する必要があるため危険が伴う。しかし、本システムでは転圧時の舗装温度の状態を運転席のモニタにてリアルタイムに面的に把握できるため、温度計測者が必要なくなり不安全的な状態となることはない。

上記の活用効果から、従来の挿入式温度計での舗装温度計測よりも大幅な省力化と高度な品質確保が期待できる。

1 適用の範囲

本マニュアル(案)は、現行の品質管理基準に記載されているアスファルト舗装の初転圧時の温度管理の代替手法として適用できるものとする。現行の品質管理基準に記載されている初転圧時の温度管理の内容を表 1 に示す。

表 1 アスファルト舗装の初転圧前の品質管理基準および規格値

工種	試験項目	試験方法	規格値	試験基準	摘要
アスファルト舗装	温度計測 (初転圧前)	温度計による	110℃以上	随時	測定値の記録は、 1日4回(午前・午後 各2回)

【解説】

現行の品質管理基準では初転圧時の温度計測が必須の試験項目となっている。本システム方法は、使用材料はアスファルト混合物の全般が対象であり、計測した路面温度から相関式により内部温度も推定可能である。従来方法と本システムの実施方法を図 1 に示す。

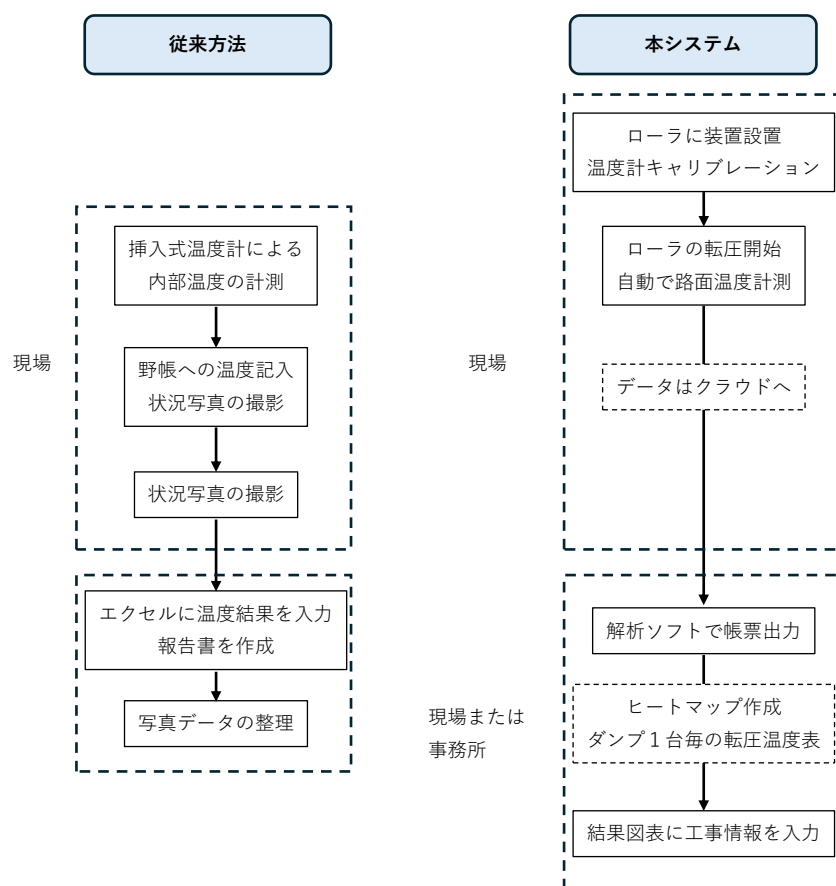


図 1 従来方法と本システムの実施方法

〈適用時の留意点〉

- ・ GNSS の補正情報取得やクラウド通信のため、携帯電話通信圏内か確認
- ・ 夜間など暗い環境下でも計測可能
- ・ サーモカメラで計測した路面温度から、相関式で推定する内部温度の算出のために気象条件の入力が必要（気温は 10℃単位、風速は無風、やや風あり、強風の 3 段階。）

2 技術概要

ここでは本システムの技術概要を示している。

【解説】

技術概要は従来、挿入式温度計で舗装温度を計測していた方法を、ローラに設置したサーモカメラにより舗装温度を計測するシステムで、ローラ運転手は転圧時の路面温度分布を運転席上のモニターで確認することができ、適切な転圧温度範囲内で確認しながら施工、およびその時の路面温度の記録ができる。温度データはクラウドへアップロードされ、遠隔地でもブラウザ上で温度の程度により色分けされたヒートマップが作成され、またダンプ 1 台毎の材料の転圧時の温度記録表が作成される。本システムの構成図を図 2 に示す。

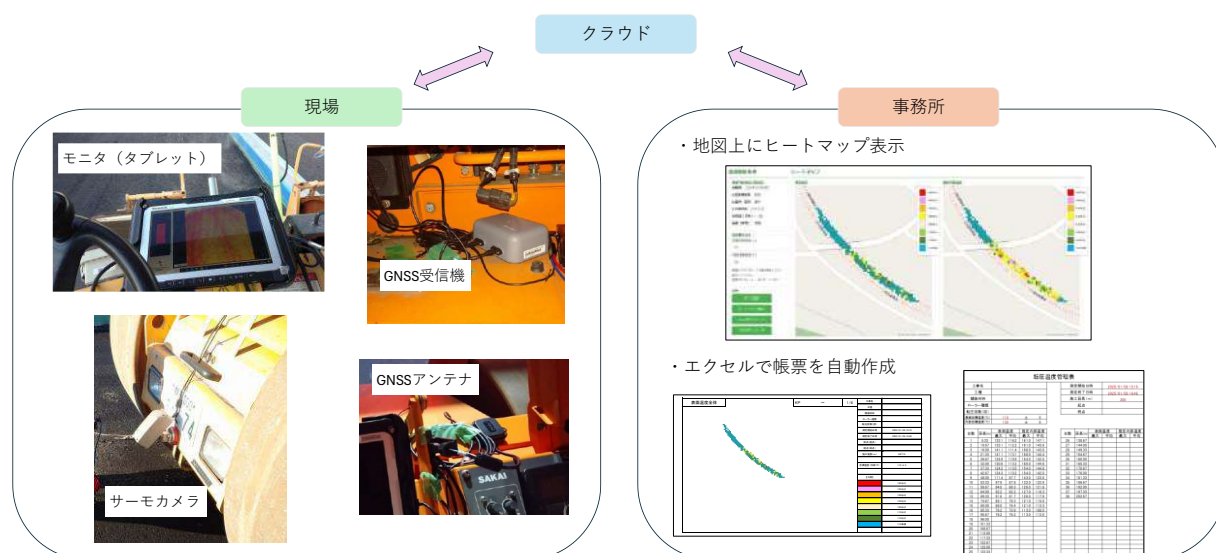


図 2 システム構成図

3 ローラ搭載型転圧温度モニタリングシステムの運用手順

本システムによる転圧温度計測の実施手順を図 3 に示す。

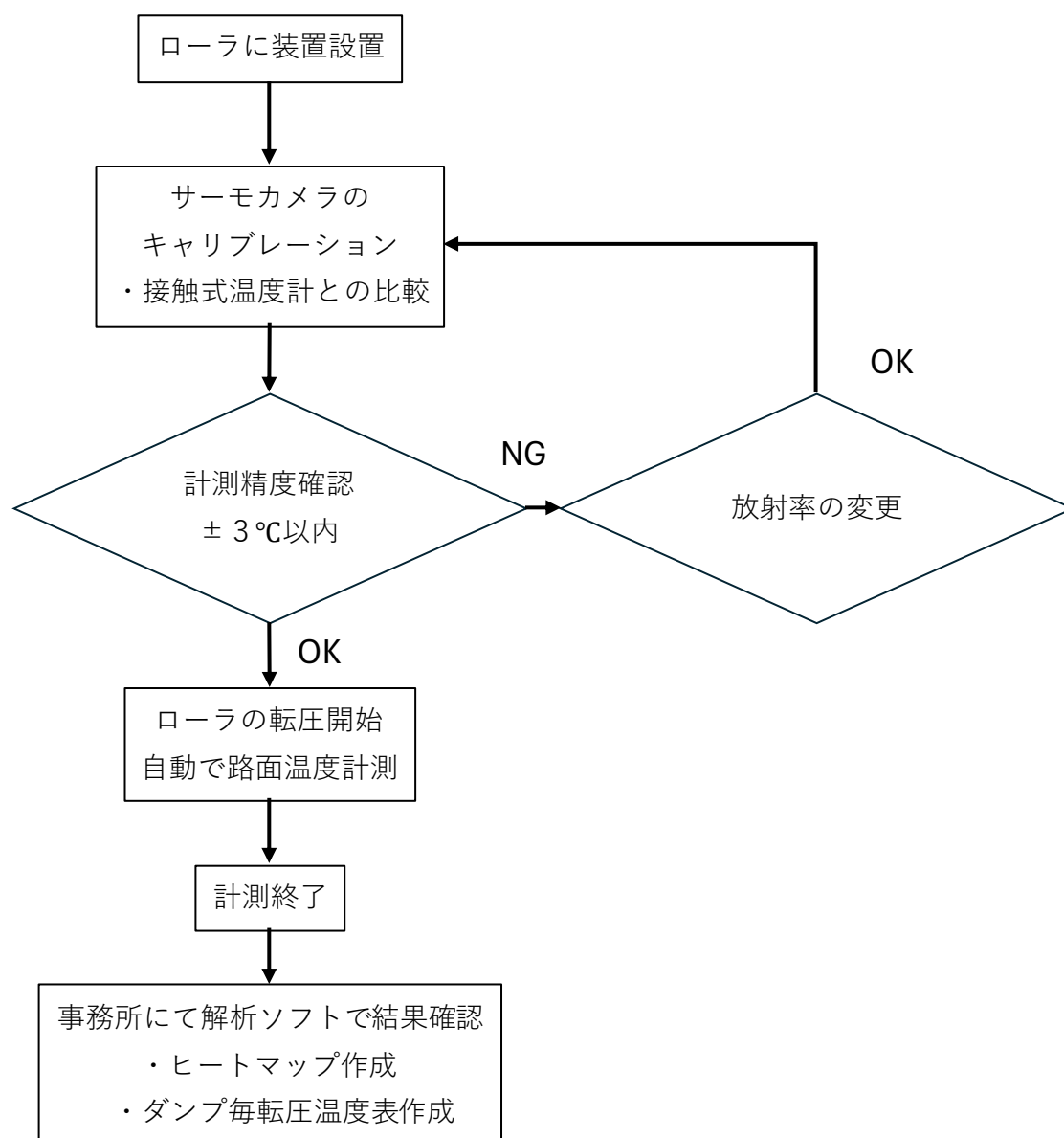


図 3 本システムによる転圧温度計測の実施手順

【解説】

(1) 機材取り付け

写真 1 のように機材を取り付ける。マカダムローラのメーカーは問わない。



写真 1 機材取り付け状況

1) サーモカメラの取り付け

- ①マカダムローラ前方の中央部分に、サーモカメラを取り付ける（マグネットによる固定）
- ②モニタを見ながら鉄輪の幅の路面が撮影可能な高さにサーモカメラの位置を調整する。（計測表示範囲が幅 2 m × 延長 2 m となる高さに調整）

2) 各種配線とデバイス設置

- ①モニタ、GNSS 機器及びアンテナを運転席の任意の位置へ設置する。
- ②モニタと、サーモカメラおよび GNSS を接続する。
- ③モニタの電源を入れ、制御ソフトを立ち上げる。

(2) サーモカメラのキャリブレーション

マカダムローラにサーモカメラを取り付けた後に、サーモカメラで計測した路面温度と、接触式表面温度計による路面温度を比較して、計測精度の確認を実施する。

計測精度の確認は、サーモカメラ用のソフトを立ち上げ後、転圧範囲内に任意の2箇所の温度が表示されているのを確認後、アスファルトフィニッシャーで敷き均した直後の路面がサーモカメラで撮影できる位置までマカダムローラを移動し、同一箇所を接触式温度計で計測して、両者の差が所定の範囲内（ $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内）であるかどうか確認する。所定の範囲内に収まっていない場合は、温度計の放射率の設定を範囲内に収まるよう変更する。接触式温度計による計測状況、およびサーモカメラの固定点の温度表示状況を写真に示す。

- ① サーモカメラ用のソフトを立ち上げて、転圧範囲内にある任意の2箇所の温度が表示されているか確認する。(写真2)

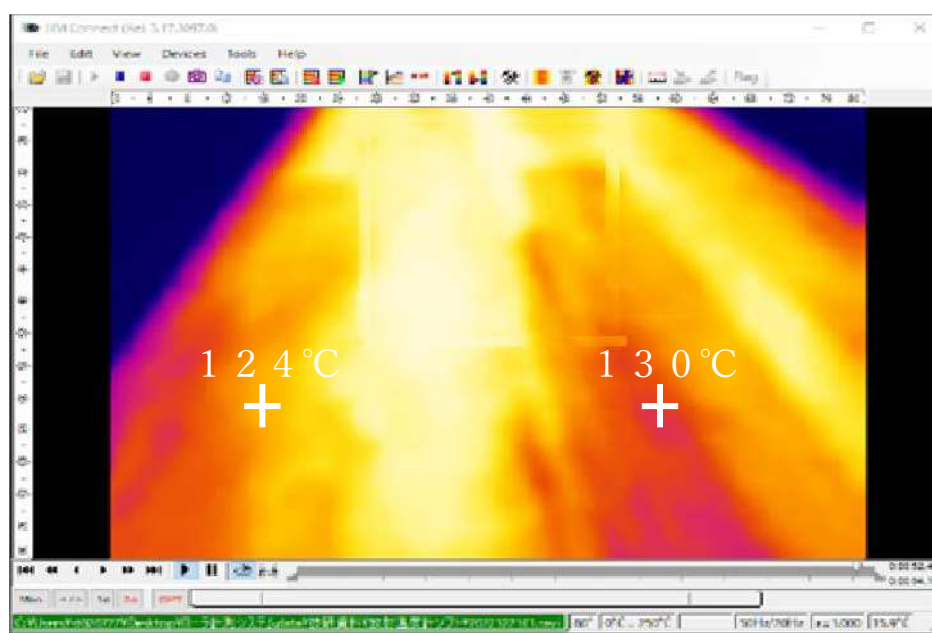


写真2 サーモカメラソフトによる任意の2箇所の路面温度表示

- ② アスファルトフィニッシャーで敷き均した直後の路面がサーモカメラで撮影できる位置までマカダムローラを移動する。
- ③ モニタに表示された任意の2箇所の路面温度と同一箇所を標準温度計で校正済みの接触式温度計で計測して、両者の差が所定の範囲内（ $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内）であるかどうか確認する。(写真3)



写真3 接触式温度計による路面温度との比較状況

- ④ 両者の差が所定の範囲内に収まらない場合は、放射率の設定を範囲内に収まるように変更する。

(3) 計測の実施

- ① 本システムのソフトを立ち上げて、測定開始ボタンを押して温度（範囲内の路面温度の最大値）を表示させる。

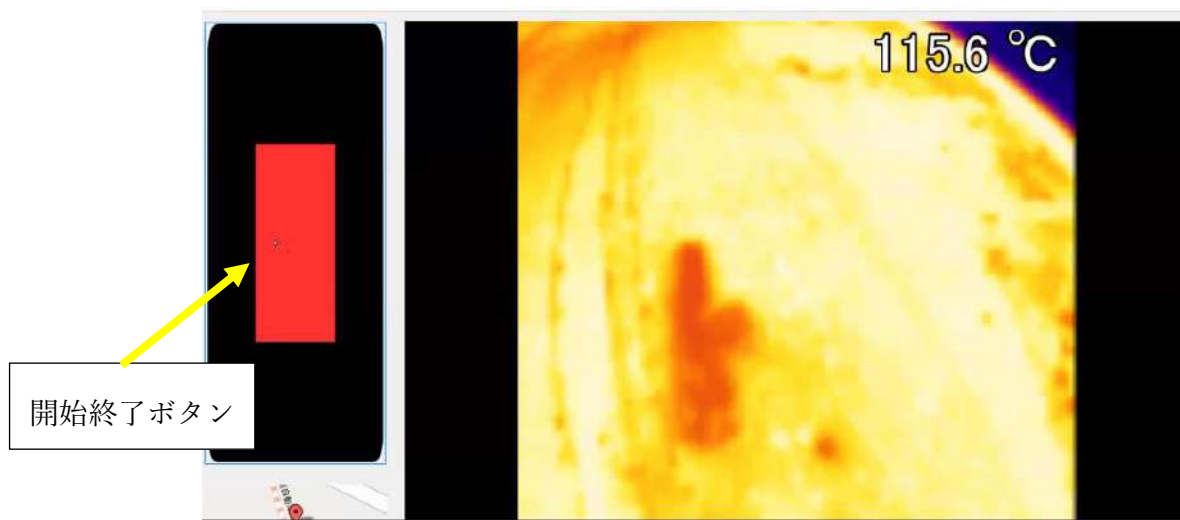


写真4 本システムによる路面温度表示（画面内の最大値を表示）

- ② 表示された温度が目標転圧温度範囲内であることを確認してから転圧を開始する。
- ③ 転圧作業終了後、測定終了ボタンを押す。

〈報告書作成の手順〉

- ① データ出力用のソフトを立ち上げる（図4，計測のモニタ用タブレット、あるいは事務所のパソコンでもOK）
- ② 計測日時のデータを選択して施工条件・気象条件を設定し「データ登録」を押す。（図4）
- ③ 工事情報が表示されたら、「データ作成」を押すクラウド上で処理を行った後、詳細表示が表示されたらクリックする。（図4）

温度解析条件登録

作業日時: 2025/01/09 08:00:33

気象の種類: a. 晴天 b. 曇り・雨 c. 下雪状態 外気温 (平均): 10度 風速 (平均): 0m/s

データ登録

工事情報

日時	気象の種類	屋外・屋内	下層状態	外気温	風速	操作
2025年01月09日08時03分	晴天	屋外	地上	10度	無風	詳細表示 データ作成
2025年01月08日15時19分	晴天	屋外	地上	10度	無風	詳細表示 データ作成
2025年01月08日14時05分	晴天	屋外	地上	10度	無風	詳細表示 データ作成

図4 データ出力用ソフト

- ④ ヒートマップ表示画面で、「温度表示設定」色塗りの基準温度を入力する。（5°Cあるいは10°C 毎のどちらかを選択）（図5）
- ⑤ 「ダンプ設定」で幅員、厚さなどを入力してダンプ1台当たりの延長を自動算出する。（図5）
- ⑥ 「ヒートマップ表示」を押すと、路面温度、および事前に検証済みの相関式で算出した推定内部温度のヒートマップが表示される。（図5）



温度表示設定

表面目標温度(°C)

内部目標温度(°C)

数値を入力するか、入力値を削除してから選択してください。

温度オフセット ☒ 5°C ☐ 10°C

操作

ダンプ設定

ヒートマップ表示

Excelダウンロード

CSVダウンロード

ダンプ設定

幅員(m)

厚さ(cm)

密度(g/cm³)

1台の合材(t)

幅員施工予定距離(m)

ダンプ設定の保存

図5 ヒートマップ作成画面

⑦ 「Excel ダウンロード」を押すと、Excel 書式のヒートマップ図が作成される。(図6)

また、ダンプ1台毎の転圧温度の一覧表が出力される。(図7)

※転圧は同一箇所を何度も往復するため、2 m×2 mのメッシュ内に転圧回数分の温度データが保存されており、その中で最大値の値(=最初の値)を初転圧温度として作図している。

⑧ 工事名など施工条件を入力して、報告書が完成する。

⑨ 「CSV ダウンロード」を押すと、ヒートマップで作成したデータの、XY 座標、路面温度、推定内部温度が CSV ファイルで出力される。(図 8、データ確認、および他の地図ソフトで表示する際に使用可能)

実施日時	a.混合物種類	b.屋外・屋	c.下層状態	外気温 (平均風速 (平均	
2025/1/8 15:19	密粒	屋外	冷えてる	0度	無風
緯度	経度	表面温度	推定内部温度		
36.49956435599	138.990276886	121	151		
36.49956435599	138.990298795	124.2	154		
36.49960041133	138.990254978	105.5	138		
36.49958238366	138.990233069	115.1	146		
36.49954632833	138.990276886	125.7	155		
36.49954632833	138.990298795	133	161		
36.49952830066	138.990320704	133.1	161		
36.49956435599	138.990254978	109.1	141		
36.49956435599	138.990233069	102.9	136		
36.49958238366	138.990145434	110.3	142		
36.49956435599	138.990189251	114	145		
36.49954632833	138.990211160	111.6	143		
36.49954632833	138.990233069	108.5	141		
36.49952830066	138.990233069	113.7	145		
36.49952830066	138.990254978	113.5	145		
36.49952830066	138.990276886	114.4	146		
36.49954632833	138.990254978	114.9	146		
36.49951027299	138.990298795	116.4	147		
36.49951027299	138.990254978	115.3	146		
36.49951027299	138.990276886	109.8	142		
36.49949224532	138.990298795	123.5	153		
36.49951027299	138.990320704	109.1	141		

図 8 ヒートマップで作成したデータの、XY 座標、温度の出力

※本システムは、今後現場で活用していきながら、改良していく予定である。

以 上

移動式電磁波密度計 運用手順マニュアル案

はじめに

移動式電磁波密度計は、アスファルト舗装表面での電波の反射を利用して、アスファルトの密度を非破壊・非接触で測定する技術である。移動しながら測定するため、施工中・施工後のアスファルト舗装密度を広範囲かつ短時間で面的に測定可能となる。

現状の舗装密度管理では、一般的に 1,000m² につき 1 箇所コアを採取しその密度を室内試験により測定し、規格値を満たしているかどうかの判定がなされてきた。移動式電磁波密度計による密度管理をコア密度の測定に代替することで、コア採取および埋め戻しに掛かる労力の削減が期待できる。また、コア採取ではその局所的な箇所の舗装密度が得られるが、その密度が全体の密度を反映しているとは限らない。移動式電磁波密度計では広範囲な舗装密度を面的に測定・評価できるため、局所的な密度の変化まで捉えることができる。したがって施工中に測定および評価を行うことで、密度異常箇所において対策を施すことも可能となる。その結果、舗装の品質を均一に保つことで、供用後の異常発生の可能性が低減され高度な品質確保が期待できる。

移動式電磁波密度計は、測定から得られるアスファルト混合物の誘電率から、舗装密度または締固め度を得る技術である。このため、施工現場でリアルタイムに、舗装密度または締固め度を確認するには、誘電率とアスファルト混合物の関係性を示すキャリブレーションカーブを事前に取得する必要がある。現場施工前にキャリブレーションカーブを取得することでリアルタイム管理が可能となり、従来のコアからの密度管理では成し得ない舗設直後の即時評価が可能となり、作業性の向上が見込まれる。

1 適用の範囲

本マニュアル（案）は、現行の品質管理基準に記載されているアスファルト舗装の切取コアによる現場密度試験の代替手法として適用できるものとする。

現行の品質管理基準に記載されている現場密度の測定試験の内容を表 1 に示す。

表 1. 切取コアによる現場密度試験の品質管理基準および規格値

工種	種別	試験項目	試験方法	規格値	試験時期・頻度
アスファルト舗装	舗装現場	現場密度の測定	舗装調査・試験法便覧 [3]-218	個々の測定値が基準密度の 94%以上 X10 96%以上 X6 96%以上 X3 96.5%以上	1 工事あたり 3,000m ² を超える場合は、10,000m ² 以下を 1 ロットとし、1 ロットあたり 10 孔で測定する。

【解説】

現行の品質管理基準では、切取コアによる現場密度試験が必須の試験項目となっている。従来方法と移動式電磁波密度計の実施範囲を図 1 に示す。

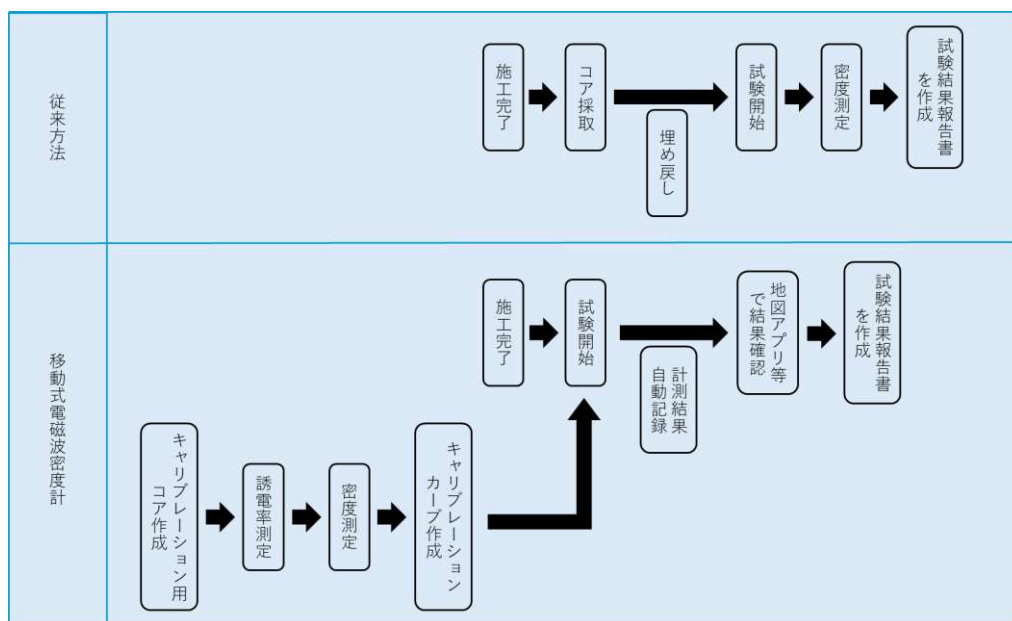


図 1. 従来方法と移動式電磁波密度計の実施範囲

<適用時の留意点>

- ・ 舗装体内に水分を含む場合、測定精度が低下する傾向があるため、雨天時の測定は不可
- ・ 舗装面に凹凸がある場合、測定精度が低下する恐れがあるため、舗装直後の測定を推奨

2 技術概要

ここでは移動式電磁波密度計の技術概要を示している。

【解説】

移動式電磁波密度計を用いた密度管理は、従来施工した舗装からコアを切り取り、試験室に持ち込んで密度測定を実施していた試験を、非破壊かつ施工即時にアスファルト舗装の締固め度を数値化し、準リアルタイムでの品質管理を可能とする。GNSSを連動させることで測定データと位置情報データを自動で紐づけ、座標での管理も可能である。また、従来の切取コアでの密度管理では、局所的な箇所での品質管理となっていたが、移動式電磁波密度計はアスファルト舗装全体の密度をマッピング可能であり、ヒートマップで密度の変化を示し、施工した舗装全体の品質を管理することができる。移動式電磁波密度計のシステム構成図を図2に示し、キャリブレーションカーブ取得用の室内測定機器であるPaveScan MDMのシステム構成図を図3に示す。



図2．移動式電磁波密度計のシステム構成図



図3．PaveScan MDMのシステム構成図

3 移動式電磁波密度計を活用した舗装密度測定の実運用手順

移動式電磁波密度計を活用した舗装密度測定の実施手順を図4に示す。

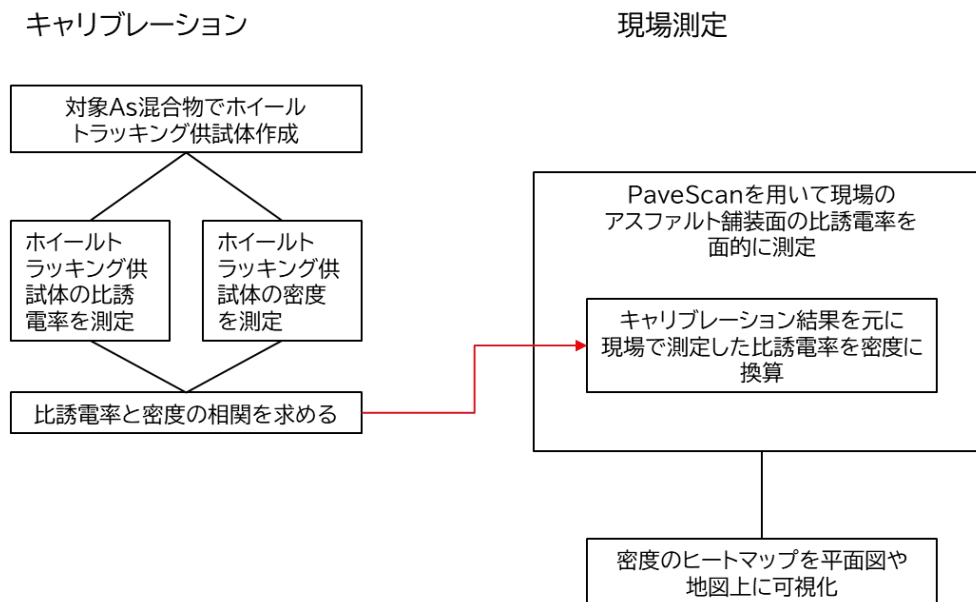


図4. 移動式電磁波密度計の全体フロー

【全体フローの解説】

移動式電磁波密度計はアスファルト舗装の誘電率を測定している。誘電率から密度に換算するためのキャリブレーションカーブを取得するために、ホイールトラッキング供試体（30cm×30cm×5cm）を用いる。

ホイールトラッキング供試体に対して PaveScan MDM を用いて誘電率を測定する。その後、ホイールトラッキング供試体の密度を測定することで、誘電率と密度のキャリブレーションカーブを取得する。

現場測定の際、取得したキャリブレーションカーブを移動式電磁波密度計のシステムに入力することで、リアルタイムにアスファルト舗装の密度が表示される。キャリブレーションカーブの取得が現場測定に間に合わない場合、現場測定時には誘電率でのヒートマップ表示となるが、取得したデータにキャリブレーションカーブを入手することで密度のマッピング結果として可視化することができる。

PaveScan MDM の実施手順を図5に示す。

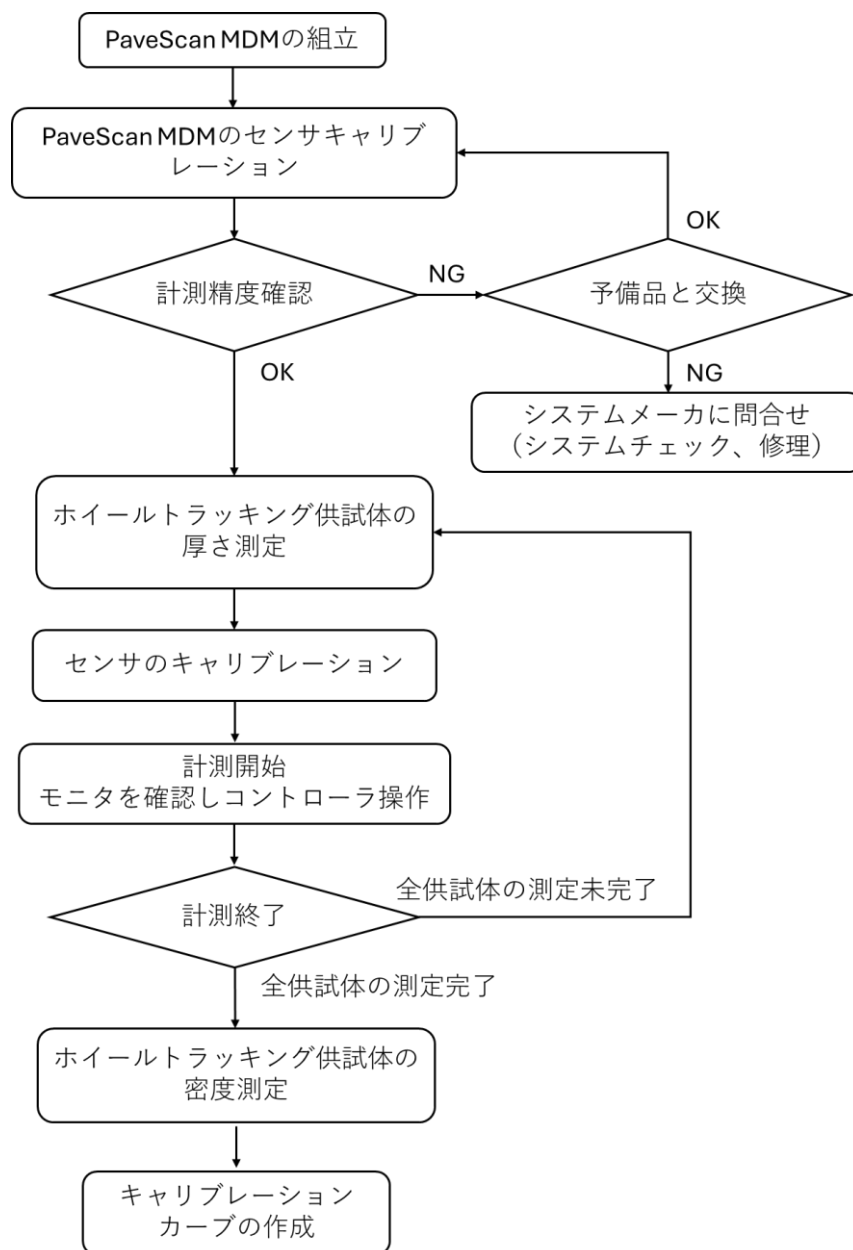


図 5. PaveScan MDM の実施手順

【PaveScan MDM の解説】

(1) 機材の組立

センサ、コントローラ、システムボックスをすべて付属の専用ケーブルで接続し、AC 電源のコンセントに接続し、電源を投入する。

(2) 検証ブロックによる測定精度確認

付属の検証用ブロックを測定し、規定の範囲内に値が収まっている確認する。
範囲外の値が得られた場合、測定している場所の外的要因により正しい測定が行われていない可能性があるため、場所を変えて再測定を行う。それでも改善しない場

合はセンサの交換、またはシステムメーカーに問い合わせを行う。

(3) ホイールトラッキング供試体の測定

- ①ホイールトラッキング供試体の中央の厚さを測定する。
- ②コントローラの手順に従い、ホイールトラッキング供試体の中央部分をセンサの中央に配置し、誘電率の測定を行う。
- ③ホイールトラッキング供試体を 90 度回転させ、再度測定を行う。
- ④0 度、90 度、180 度、270 度の合計 4 回の測定を行う。

(4) キャリブレーションカーブの取得

- ①ホイールトラッキング供試体の密度測定を行う。
- ②コントローラに密度測定結果を入力することで、キャリブレーションカーブを

取得する。(図 6 の画面参照)

この時、校正式は GSSI 曲線を使用する。

キャリブレーションカーブの例を図 7 に示す。

Core #	Dielectric	Percent Voids	Dielectric Deviation	Incl. in Calc
1	4.77	4.2	Enter Value	☒
2	4.74	4.4	Enter Value	☒
3	4.81	3.1	Enter Value	☒
4	Enter Value	Enter Value	Enter Value	☐
5	Enter Value	Enter Value	Enter Value	☐
6	Enter Value	Enter Value	Enter Value	☐
7	Enter Value	Enter Value	Enter Value	☐
8	Enter Value	Enter Value	Enter Value	☐
9	Enter Value	Enter Value	Enter Value	☐
10	Enter Value	Enter Value	Enter Value	☐
11	Enter Value	Enter Value	Enter Value	☐

図 6. コントローラへの密度測定結果入力（画面は空隙率を入力）

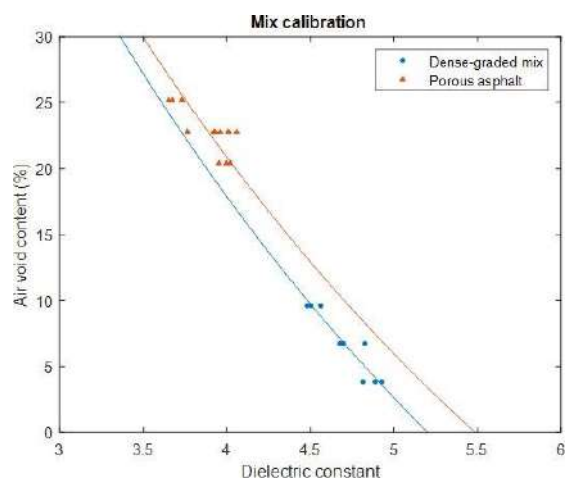


図 7. 2 種類の舗装のキャリブレーションカーブ例

移動式電磁波密度計である PaveScan RDM の実施手順を図 8 に示す。

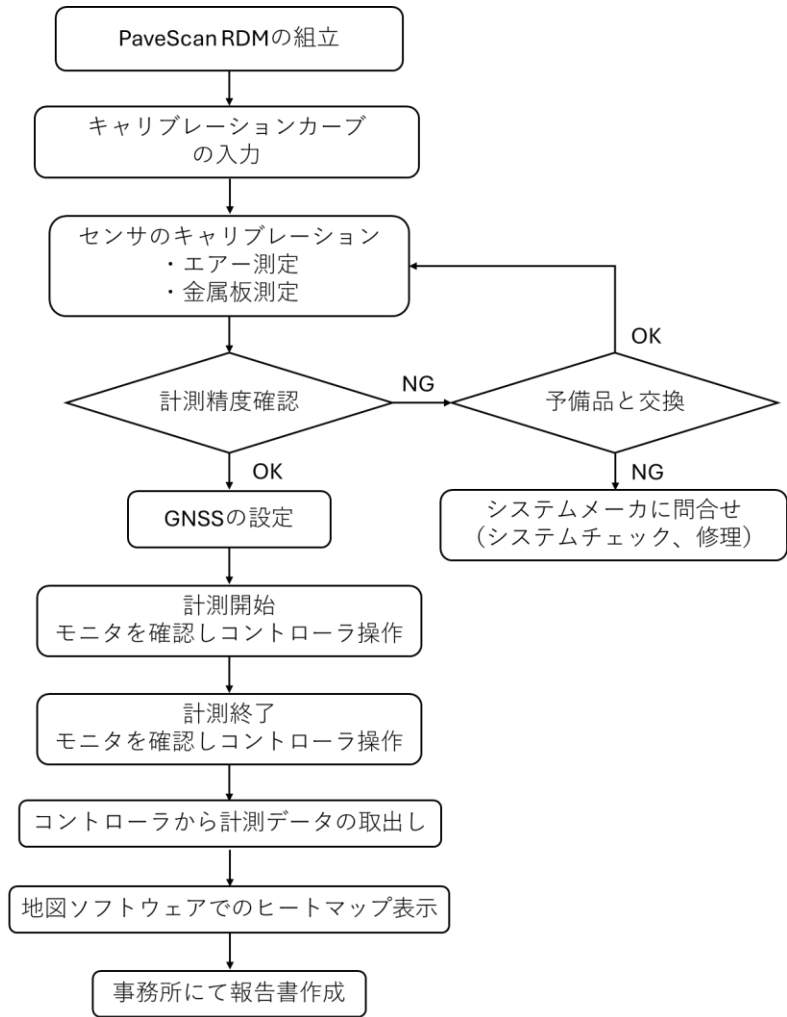


図 8. PaveScan RDM の実施手順

【PaveScan RDM の解説】

(1) PaveScan RDM の組立

- 1) 図9のように機材を組み立てる。使用する GNSS は機材の種類は問わないが、十分な位置精度を得るために RTK 方式を採用した GNSS を推奨する。



図9．PaveScan RDM の構成

2) センサの取り付け

- ① センサをレールに取り付ける。3ch のシステムの場合、左右のセンサ間隔を 10cm 単位で変更可能である。(最小間隔は 40cm)
- ② 3ch のシステムの場合、センサ間隔が 50cm もしくは 60cm となるように取り付ける。

3) 各種配線とバッテリーの挿入

- ① コントローラ、システムボックス、センサおよびエンコーダーユニットを付属の専用ケーブルで接続する。
- ② システムボックスに付属の専用バッテリーを挿入し、電源ボタンを押す。

(2) キャリブレーションカーブの入力

- ① 誘電率と密度のキャリブレーションカーブをコントローラに入力する。
- ② 測定画面の表示設定で、表示する数値を、密度、空隙率、締固め度で表示可能となる。

(3) センサのキャリブレーション

- ① エアークャリブレーションを行う。図10のように、オレンジ色のレールのつまみを引き、90度傾けてセンサの底面を空気中に向ける。



図 10. つまみによるセンサの傾け

- ②付属の金属版を用いてキャリブレーションを行う。金属板はセンサ真下に配置する。(図 11 参照)



図 11. センサ真下への金属板の配置

(4) 測定精度の確認

- ①付属の白い測定精度確認用ブロックをセンサの真下に配置し、測定を行う。
測定結果が 2.30 ～ 2.42 の範囲であることを確認する。
- ②測定値が範囲外であった場合は、再度センサのキャリブレーションを行う。それでも改善されない場合は、センサの交換、またはシステムメーカーに問い合わせを行う。

(5) GNSS の設定

- ①使用している GNSS のボーレートを確認し、接続する。正しく受信できていた場

合、コントローラ画面に緯度経度が表示される。

- ②センサの位置と GNSS の位置が離れているため、オフセットの調整を行う。コントローラ画面の Inline Offset の数値を上下方向に離れている分だけ数値を入力する。カーットの標準マウントポジションの場合、-0.88m を入力する。

(6) 測定開始

1) 測線位置の決定

- ①施工面積全域を測定できるように、測線本数および測線位置を計画する。
舗装端を測定する際は、PaveScan RDM のレール端となるように位置決め、測定する。
- ②カー트를動かし測定を開始する。
- ③コントローラのモニターを確認し、測定しているデータを確認する。必要に応じて横軸の幅、測定結果表示の数値範囲を調整する。(図 12 参照)
- ④測定が完了したら、データを保存する。舗装範囲すべての測定が終了するまで測定を繰り返す。

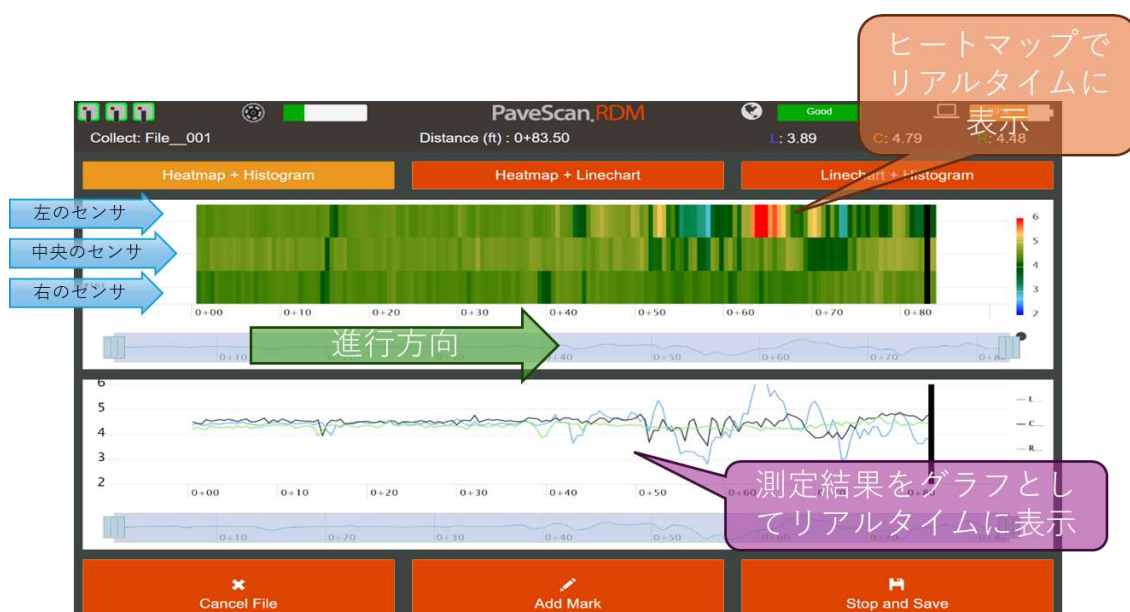


図 12. 測定中のコントローラの表示

(7) 測定結果の確認・出力

①データの確認

Google Earth 等にデータを重ね合わせ、データの確認を行う。(図 13)



図 13. Google Earth で結果表示

②測定データの出力

測定データはコントローラ内部に記録されているため、UBS メモリを用いてデータの出力を行う。

(8) 図化ソフトウェアでの測定データ表示

- ①PaveScan RDM の測定データは csv ファイルの数値データとなっているため、任意の図化ソフトウェアでヒートマップ表示が可能である。(図 14)
- ②測定データを規格値と比較し、合否判定総括表を作成する。

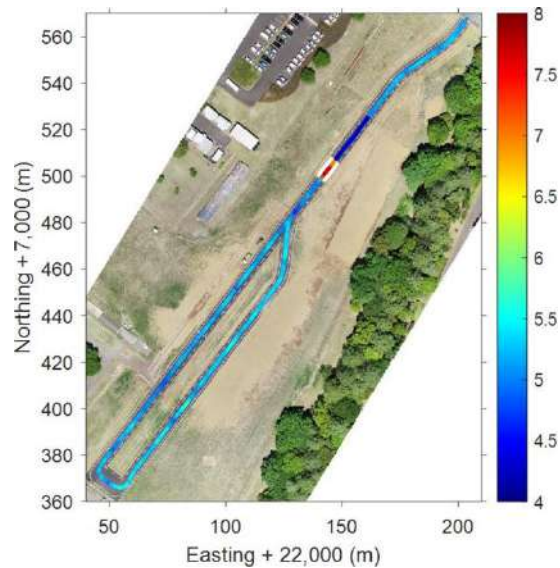


図 14. 図化ソフトウェアでのヒートマップ表示

※ 本システムの製品版とは内容が異なる場合があります

※ 本システムの製品版では仕様や表示を変更することがあります

KSSL 運用手順マニュアル(案)

はじめに

通常、アスファルト舗装工事において管理職員は、アスファルト混合物（以下、混合物）の現場到着時の受入検査としての温度計測からはじまり、施工時の敷均し温度、転圧温度、転圧回数の管理、仕上がり表面状態の確認、および作業の進捗に合わせた材料の数量変更、安全管理に至るまで、多数の管理項目を施工の進捗に合わせて工事範囲内を移動しながらチェックしなければならない。また、施工完了後もその日の調書のとりまとめや、翌日の段取りなどの業務を行っており、働き方改革実現のためにもアスファルト舗装工事における管理の省力化・省人化が求められていた。

KSSL は、舗装施工の各段階における合材の温度を管理するシステムである。KSSL の活用により、これまで代表点でしか管理できなかった項目を施工面積全体の面での管理が可能であり、個々に発生する管理項目を位置情報とともにタブレット端末で一元管理、共有することで、アスファルト舗装工事の管理をスマート化し工事全体の省力化・省人化の向上が図れる。

【解説】

KSSL による活用効果を下記に示す。

KSSL を活用した際の第一の効果は、施工管理の効率化による管理職員の省力化である。現場管理職員がアプリ画面内でリアルタイムでの材料の敷均し、転圧温度が確認可能になることで、混合物の敷均し、初期転圧、二次転圧温度の計測作業が不要となり、温度計測業務を省力化することができる。また、アプリ内では施工管理の各情報を閲覧でき、自動的に帳票作成ができるようにした。従来では施工後に手入力で帳票を作成していたが自動作成機能により施工管理の効率化と労務時間の削減が可能である。

第二の効果は品質の向上である。転圧車両に搭載した PC では転圧回数の表示と温度分布の表示を切り替えることができ、転圧作業状況をオペレータが確認しながら運転することで、転圧ムラを低減して均質な密度確保が実現できる。

第三の効果は安全性の向上である。施工段階ごとに面的に温度計測を行っているため、施工時に転圧機械と近接した状態での温度計測作業を減らすことができ、重機との接触災害の発生リスクが低減できる。

上記の活用効果から、従来の現場管理員による人力での管理(アスファルト混合物の温度管理・記録・帳票作成・保管)よりも省力化、安全性の向上、品質の確保が期待できる。

1 適用の範囲

本マニュアル(案)は、現行の品質管理基準に記載されているアスファルト舗装工における温度測定 of 代替手法として適用できるものとする。現行の品質管理基準に記載されている温度測定の内容を表 1 に示す。

表 1 アスファルト舗装工における温度測定の品質管理基準および規格値

工種	試験項目	試験方法	規格値	試験基準	摘要
アスファルト舗装	温度測定（初転圧前）	温度計による。	110℃以上	随時	測定値の記録は、1 日 4 回（午前・午後 各 2 回）。

【解説】

現行の品質管理基準では初転圧前の温度測定が必須項目となっており、1 日 4 回（午前・午後 各 2 回）の記録が必要である。使用材料については、種類を問わないものとする。施工機械については、従来手法と同等のアスファルトフィニッシャ、ローラを用いるものとする。従来方法と KSSL を用いた施工管理の実施範囲を図 1 に示す。

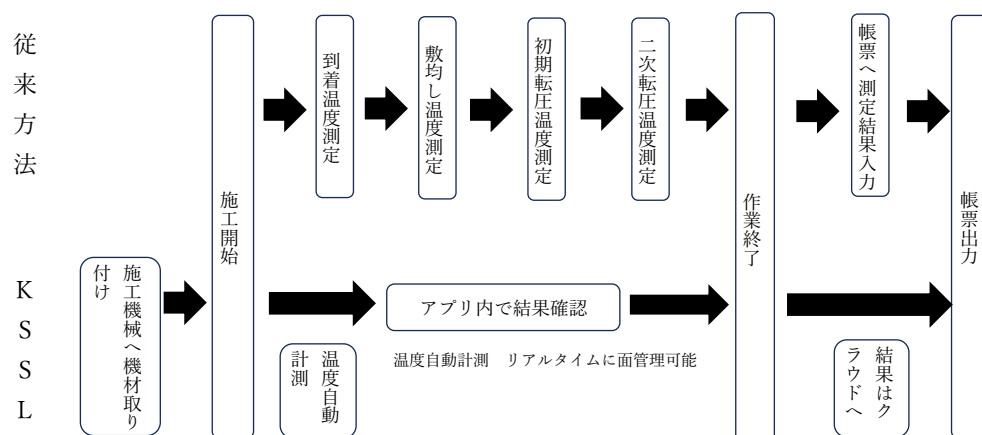


図 1 従来方法と KSSL の実施範囲

〈適用時の留意点〉

- ・悪天候時（降雨、降雪時など）は使用不可。
- ・GNSS 受信可能エリアであること。
- ・携帯ネットワーク回線圏内（あるいは別途通信環境を構築）であること。

2 技術概要

KSSL の技術概要を下記に示す。

【解説】

アスファルトフィニッシャーや転圧機械に取り付けた放射温度計にて各施工段階（締固め、初期転圧、二次転圧）の表面温度を測定し、その際の外気温の情報を参照し、事前に設定した回帰式を用いて内部温度を推定する。また、GNSS で測定した位置情報と、推定した内部温度を連動させ、平面位置と温度情報を組み合わせたヒートマップの形で表現する。これにより、面的に施工範囲の品質を把握することができる。

当該温度情報は、インターネット上の統合アプリ内に送信され、遠隔地においてもリアルタイムに施工状況を確認することができる。

システム概要を図 2 に示す。



図 2 KSSL システム概要

3 KSSL を活用した運用手順

KSSL を活用したアスファルト舗装工事の実施手順を図 3 に示す。

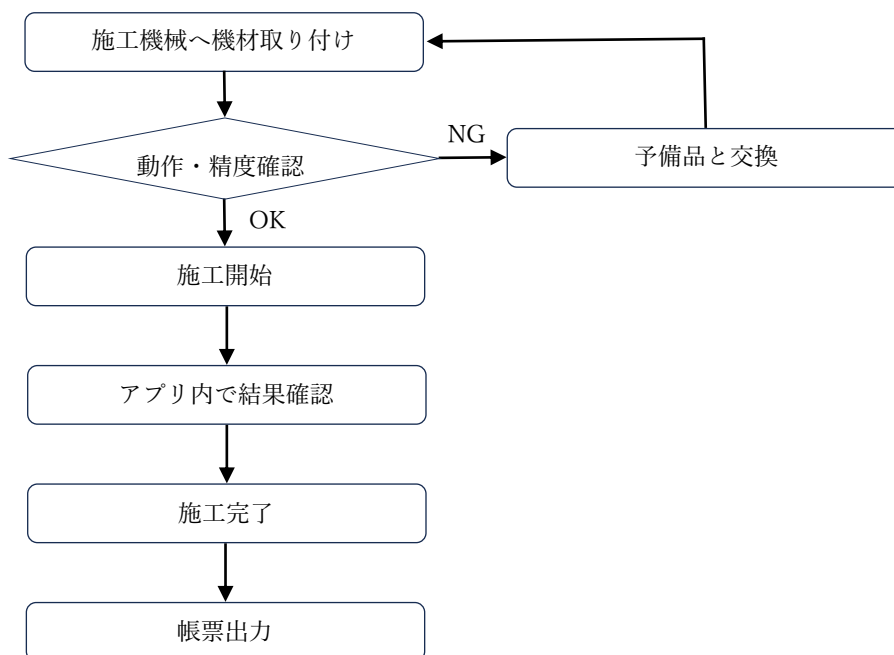


図 3 KSSL を活用したアスファルト舗装工事の実施手順

【解説】

(1) 施工機械へ機材取り付け

写真 1 のように機材を取り付ける。施工機械のメーカーは問わない。

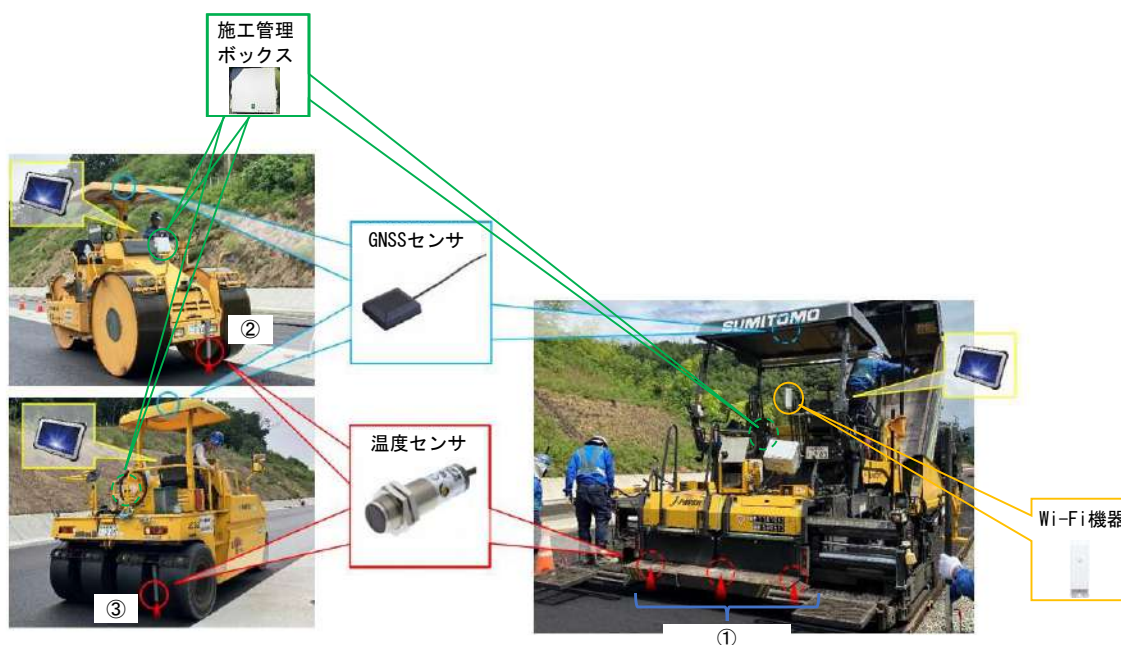


写真 1 機材取り付け状況

1) 温度センサの取り付け

- ① アスファルトフィニッシャは機械後方に地面から 350mm の高さに下向きに 3 基設置する。
- ② マカダムローラは機械前方に地面から 350mm の高さに下向きに 1 基設置する。鉄輪への散水の影響を考慮して円筒のカバーを取り付ける。
- ③ タイヤローラは機械後方に地面から 350mm の高さに下向きに 1 基設置する。タイヤへの散水の影響を考慮して円筒のカバーを取り付ける。

2) 各種配線

施工管理ボックス、Wi-Fi 機器それぞれを配線し、施工機械から電源を供給できるようにする。

3) GNSS アンテナ設置

各重機に GNSS アンテナを設置する。GNSS 情報を遮蔽するものが無いよう、できるだけ高い位置に設置する。

(2) 動作・精度確認

配線完了後、各施工機械のエンジンをかけて、施工管理ボックス電源、温度センサ、Wi-Fi が正常に作動するか確認する。また、放射温度計の測定値が正規の値を示しているかを校正済みの放射温度計にて、同一箇所を照射して確認する。測定値に差異が見られる場合、予備品と交換したのち再度施工機械に取り付け後精度確認を実施して施工に臨む。

精度確認方法を写真 2 に示す。



写真 2 放射温度計の精度確認例

※確認時は同一箇所を照射する。

(3) 施工開始

施工機械に搭載している PC にて KSSL アプリを起動する。各種設定を行い、GNSS の情報が受信できているかを確認する。施工管理ボックスに Bluetooth で接続後、作業開始する。(図 4 参照)



図4 施工開始時の重機搭載PC画面

(4) アプリ内で結果確認

統合アプリから、各施工機械の表面温度とローラの転圧回数を表示したヒートマップ(図5)を確認することができる。



図5 統合アプリによるヒートマップの確認

（5）施工完了、帳票出力

1) ヒートマップ出力方法

- ① 図5の画面にて「帳票出力」ボタンをクリック。
- ② 出力項目を任意に指定して「ダウンロード」をクリック。

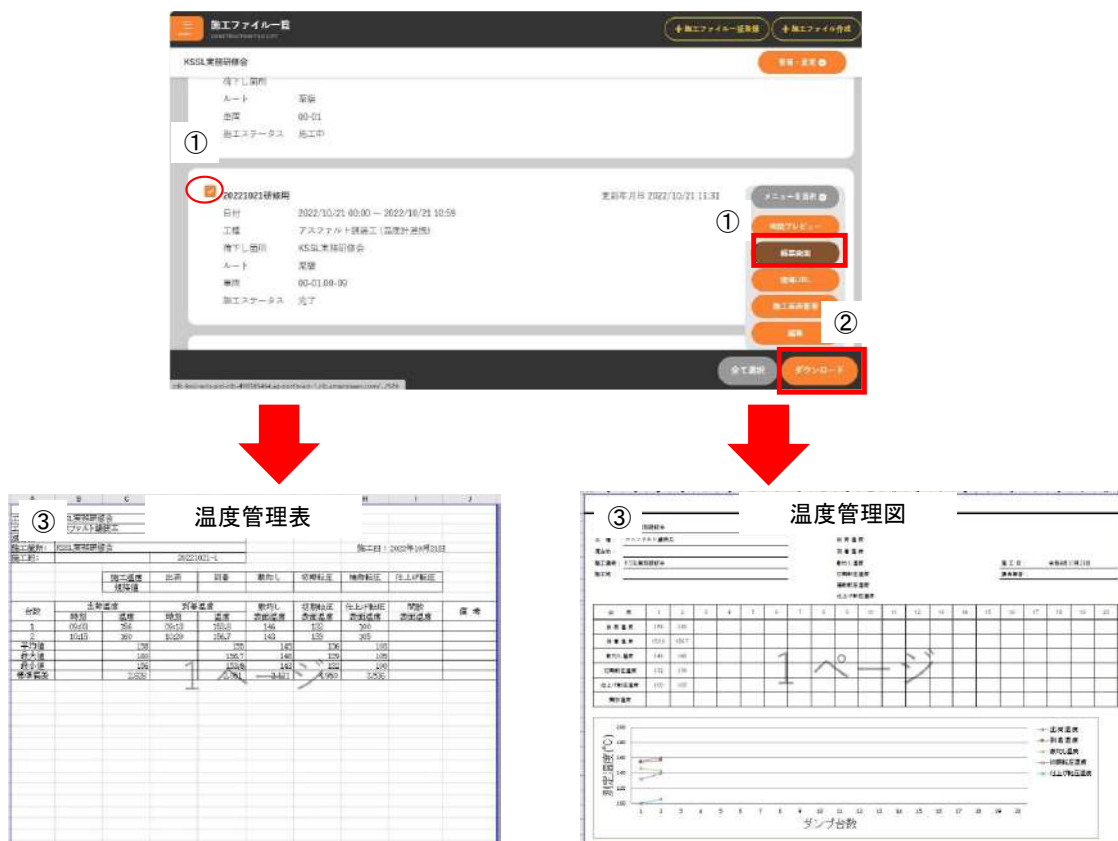
- ③ 帳票が出力される。
一連の流れを図6に示す。



図6 ヒートマップ出力方法

2) 温度管理表出力方法

- ① 統合アプリ内の画面で、出力したいファイルを選択して「帳票出力」ボタンをクリック。
 - ② 選択後「ダウンロード」をクリック。
 - ③ 温度管理表および温度管理図が出力される。
- 一連の流れを図7に示す。



※ 本システムの製品版とは内容が異なる場合があります

※ 本システムの製品版では仕様や表示を変更することがあります

【別紙 1】

プルフロ・i 運用手順マニュアル(案)

はじめに

従来のブルーフローリング試験は施工後の地盤上に荷重車となるローラやダンプトラックを走行させ、走行荷重により地盤が変形しないか目視で観察する試験であり、不良と思われる箇所については、必要に応じてベンゲルマンビームによるたわみ量測定を実施する必要がある。従来のブルーフローリング試験に代わり、地盤の変形量を 3 次元カメラで数値化できるプルフロ・iを活用すれば、作業性の向上、安全性の向上が期待できるほか、従来方法で発生していた良否判定の個人差が解消される。

【解説】

ここでは、プルフロ・iの活用効果を示している。

プルフロ・iを活用した際の第一の効果は、不良判定の個人差が解消される。従来のブルーフローリング試験は、施工後の地盤上に荷重車となるローラやダンプトラックを走行させ、走行荷重により地盤が変形しないか目視で観察する試験である。人間の目視観察について検証したところ、変形量が 8mm 程度で判定に個人差が発生し、熟練者レベルで最小 3mm 程度の変形を確認できていたが、プルフロ・iでは 3mm 以下の変形も数値として面的に把握することができ、変形量の数値で良否判定するため定量的であり、従来方法と比較すると高い品質の確保が可能である。

第二の効果は作業性の向上である。従来のブルーフローリング試験は、約 5 名程度で実施する場合が多く、荷重車のオペレータ 1 名、観察員 3 名、記録員 1 名といった内訳である。しかし、プルフロ・iでは遠隔地でもリアルタイムに試験結果の確認が可能のため、遠隔臨場と同様の運用ができ、荷重車のオペレータとシステム管理者の 2 名で試験実施が可能である。他にも試験結果をヒートマップとして自動で報告書様式に出力することができるため、従来の手入力による報告書作成に対し、大幅な時間削減が可能である。

第三の効果は安全性の向上である。従来のブルーフローリング試験は、人間が荷重車の真後ろを常時追尾しながら地盤面を注視する必要があるため、危険が伴う。しかし、プルフロ・iでは地盤の良否を自動かつ荷重車の全幅で判定できるため、複数人必要だった試験員はシステム管理者 1 名のみとなる。このシステム管理者は、試験結果を遠隔で確認できるため、荷重車を常時追尾することや地盤面を注視する必要がなく、周囲の状況確認が可能となり不安全な状態となることはない。

上記の活用効果から、従来のブルーフローリング試験よりも大幅な省力化と高度な品質確保が期待できる。

1 適用の範囲

本マニュアル(案)は、現行の品質管理基準に記載されている路床・下層路盤工のブルーフローリング試験の代替手法として適用できるものとする。現行の品質管理基準に記載されているブルーフローリング試験の内容を表1に示す。

表1 ブルーフローリング試験の品質管理基準および規格値

工種	試験項目	試験方法	規格値	試験基準	摘要
路床安定 処理工	ブルーフロー ーリング	舗装調査・試験 法便覧[4]-210、 [4]-288		・全幅、全区間 で実施する。	・荷重車については、施工 時に用いた転圧機械と同 等以上の締固効果を持つロー ーラやトラック等を用いる ものとする。
道路土工					
下層路盤					

【解説】

現行の品質管理基準ではブルーフローリング試験が必須の試験項目となっており、全幅、全区間で実施が必要である。使用材料については、種類を問わないものとする。荷重車については、施工時に用いた転圧機械と同等以上の締固効果を持つローラやトラック等を用いるものとする。従来方法とプルフロ・iの実施範囲を図1に示す。

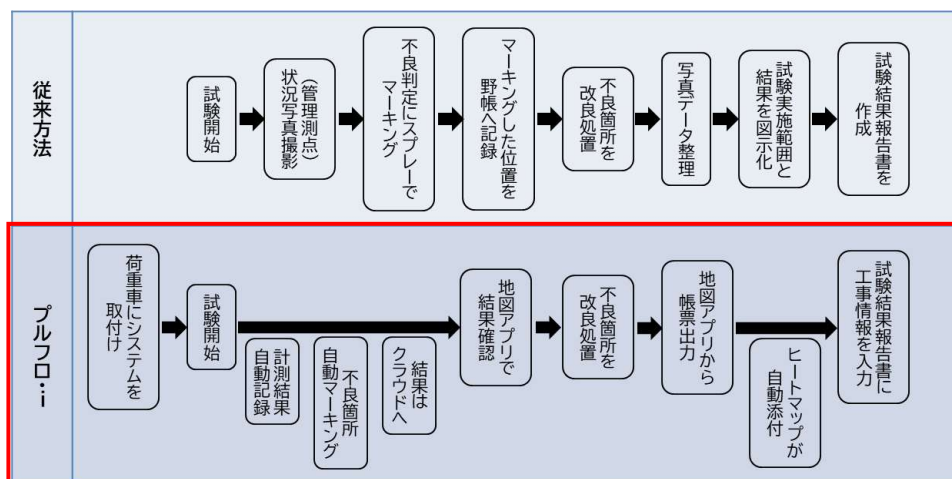


図1 従来方法とプルフロ・iの実施範囲

〈適用時の留意点〉

- GNSS の補正情報取得やクラウド通信のため、携帯電話通信圏内か確認
- 荷重車はなるべく一定の速度で走行すること
- 降雨時や降雨後で地盤に水膜がある場合は、計測不可
- 夜間など暗い環境下でも計測可能

2 技術概要

ここではプルフロ・iの技術概要を示している。

【解説】

当該技術は従来、判定員の目視により実施されていたプルフローリング試験を、3次元カメラに代替しデジタル化したシステムで、地盤の変形量を数値化し、良否を自動で判定する。判定結果は、荷重車の位置情報と共にリアルタイムでクラウドへアップロードされ、遠隔地でもブラウザ上で変形量の程度により色分けされたヒートマップが地図アプリから確認できる。プルフロ・iのシステム構成図を図2、図3に示す。



図2 システム構成図①

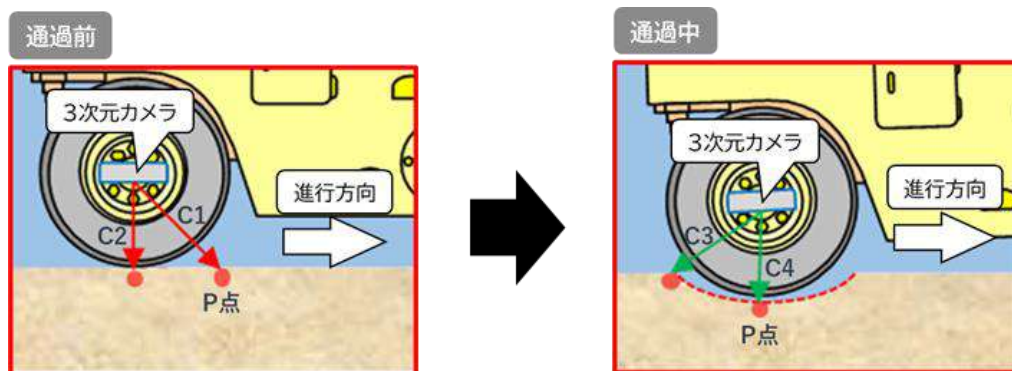


図3 システム構成図②

たわみ計測の計算式： $(C1 - C2) - (C3 - C4)$ を荷重車の通過前と通過中における同位置（図3のP点）で実施する。

- ・ 変形がなければ差分は生じない
- ・ 変形が起これば差分が生じる

3 プルフロ・iを活用したブルーフローリング試験の運用手順

プルフロ・iを活用したブルーフローリング試験の実施手順を図4に示す。

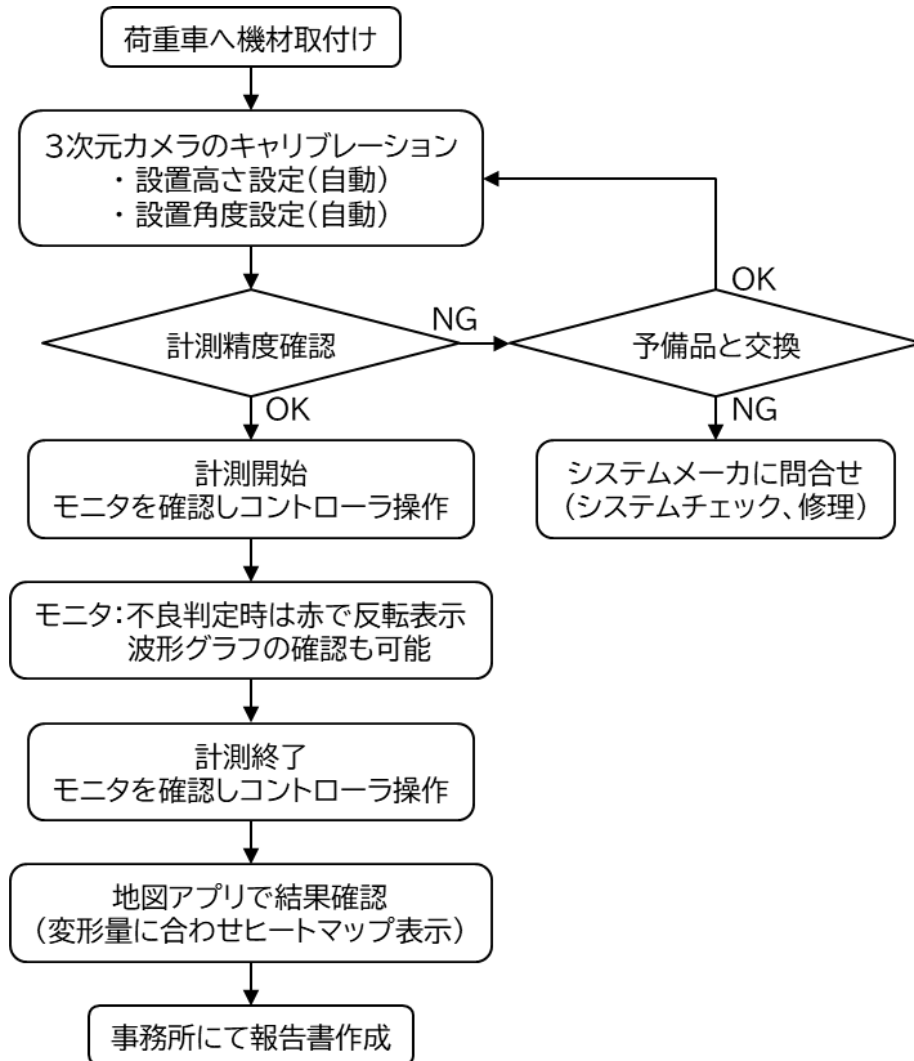


図4 プルフロ・iの実施手順

【解説】

(1) 機材取り付け

写真1のように機材を取り付ける。荷重車となるタイヤローラのメーカーは問わない。

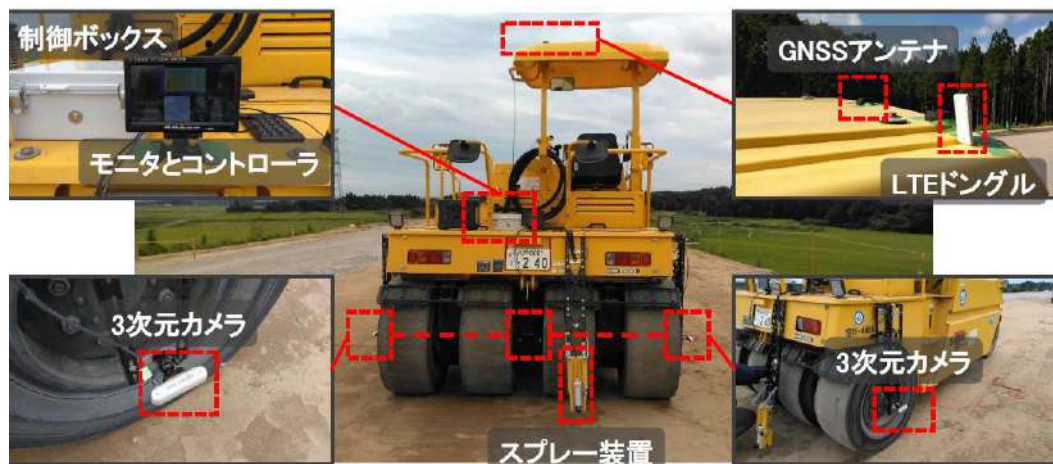


写真1 機材取り付け状況

1) 3次元カメラの取り付け

- ① 3次元カメラの取り付けフレーム（雲台付き）を荷重車（タイヤローラ）後輪側の中央部と両側面に取り付ける（マグネットによる固定）。
- ② 雲台に3次元カメラを取り付ける。
- ③ 3次元カメラが地面から約45cmの高さで車輪の縦中心線上へ来るように位置を調整する。
- ④ タイヤローラのメーカーにより中央部の取り付け方が異なるので注意。

2) 各種配線とデバイス設置

- ① 電源、制御ボックスをタイヤローラの任意の箇所へ設置する。
- ② 制御ボックスから出ているケーブルを各デバイスへつなぐ。
- ③ GNSSアンテナとLTEドングルを設置する。
- ④ システムの電源を入れる。

(2) 3次元カメラのキャリブレーション

荷重車へ3次元カメラを取り付けた後に、設置角度と設置高さを設定し、計測精度の確認を実施する。計測精度の確認は、3次元カメラの撮影範囲に木板を置き、その上に1～5mm程度の薄い鉄板を置く。モニタを確認し、置いた鉄板の厚さに応じ、計測距離が変化しているか確認する。計測精度の確認に使用する材料および実施イメージを写真2に示す。



写真2 精度確認用の木板と鉄板(左)、精度確認の実施イメージ(右)

- ① 3次元カメラが撮影している画像を見て、荷重車のタイヤがモニタ内のガイド線に合うように3次元カメラの傾きを調整する。(図5参照)
- ② 3次元カメラの設置角度と設置高さを設定した後、距離の計測表示値を確認し、各領域の距離がほぼ同じ値になっているか確認する。
- ③ モニタを確認し、確認用の板が距離抽出領域に入るように置き、置いた板の厚さ分の計測距離が変化しているか確認する。

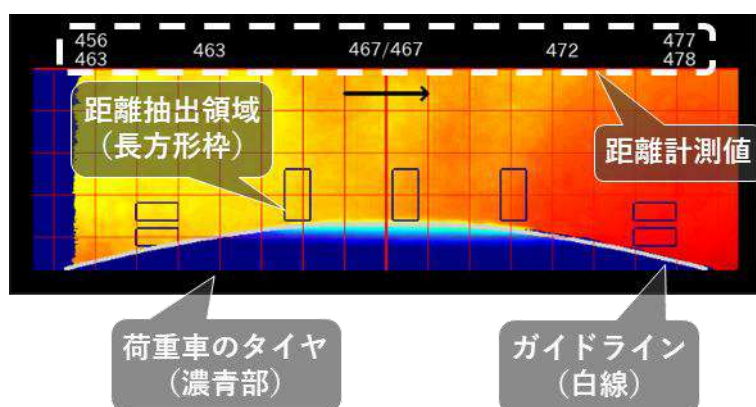


図5 システムの表示

- ④ 図6のように、上記の手順で行った精度確認の計測値に問題が無ければキャリブレーションは完了とする。

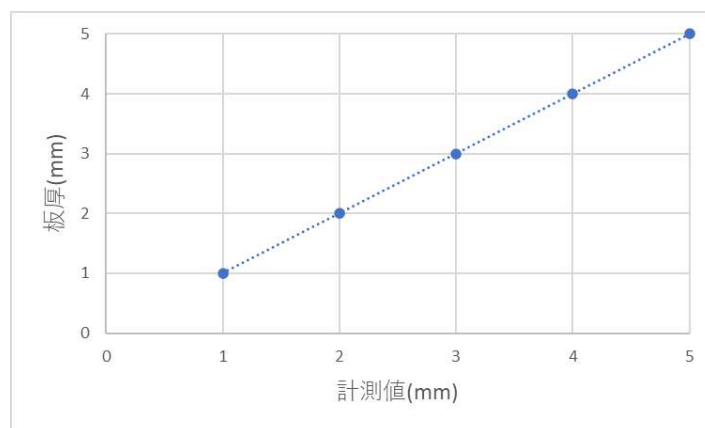


図6 板厚に応じた精度確認の計測値について

(3) システムの設定

- ① 距離の計測領域、進行方向、GNSS 等の設定を行う。
- ② 計測領域がタイヤに被らないように微調整を行う。

(4) 計測の実施

- ① システムメイン画面（写真3）で『開始』にカーソルを合わせ、Enter キーを押す。
→写真4が表示される。

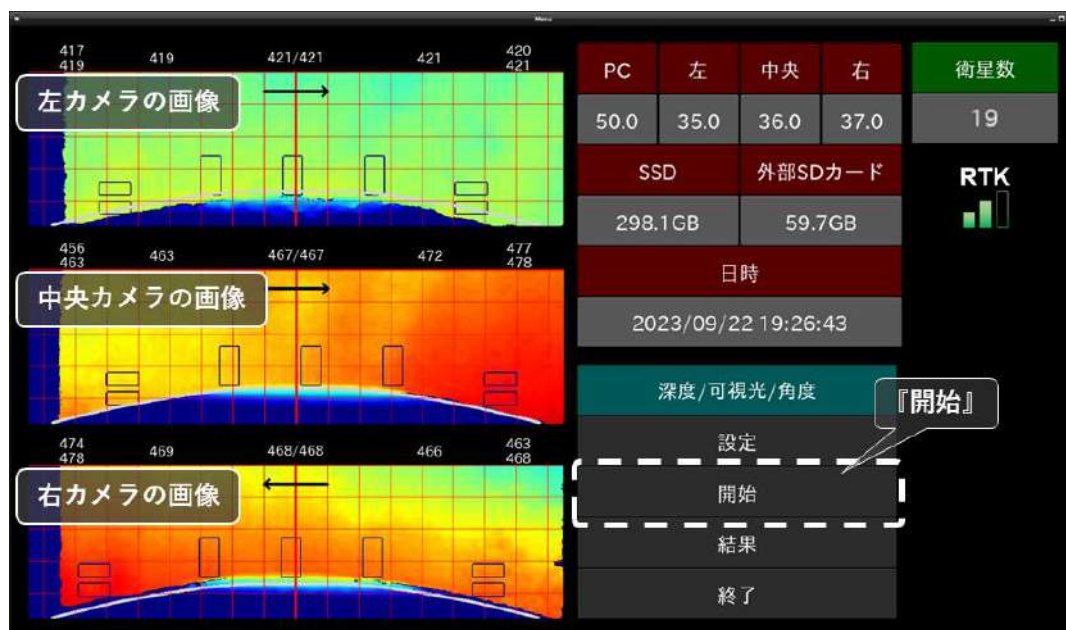


写真3 システムメイン画面

- ② 荷重車を発進させる。
- ③ 不良と判定された箇所は、対応する場所が赤く表示される（写真4）。
→コントローラの操作により、変形量を示すグラフを表示することができ、通知表示とグラフ表示を任意に切替ることが可能である。
- ④ 計測を終える場合は写真4の画面でコントローラの『4』を押す。



写真4 計測中の通知画面

- (5) 計測結果の確認
- ・3次元カメラの計測結果は、システムメイン画面「結果」から変形量のグラフ（写真5）が確認できる。

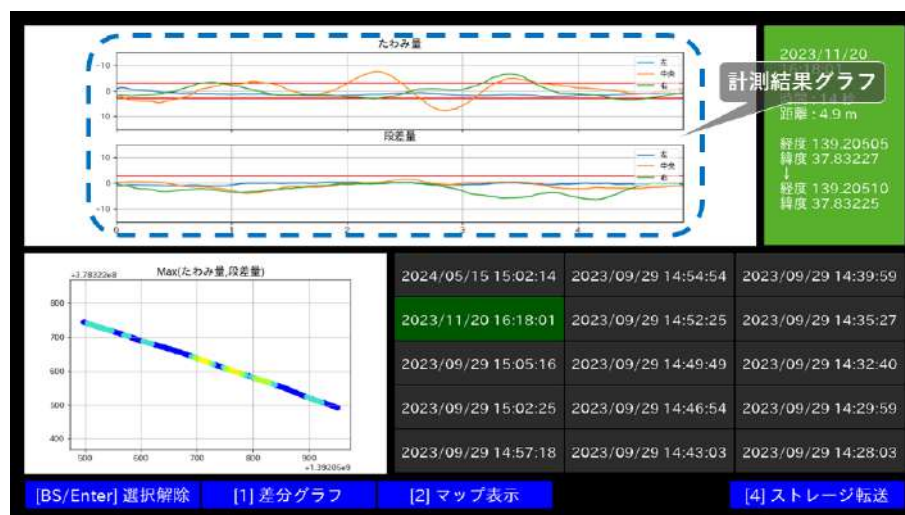


写真5 計測結果の表示画面

- ・更に地図アプリから、荷重車の走行範囲と変形の度合いを色分けで表示したヒートマップ（図 7）を確認することができる。
- ・地図アプリに表示された試験結果は報告書へ自動添付することが可能である。

〈報告書作成の手順〉

- ① 地図アプリ上で走行軌跡と変形量を示したヒートマップを確認。（図 7）
- ② 出力ボタンをクリック。
- ③ Excel の報告書様式に表示中のヒートマップが自動添付される。
- ④ 工事名、試験員の氏名等を入力し、報告書が完成

※地図アプリは国土地理院の地図を使用。

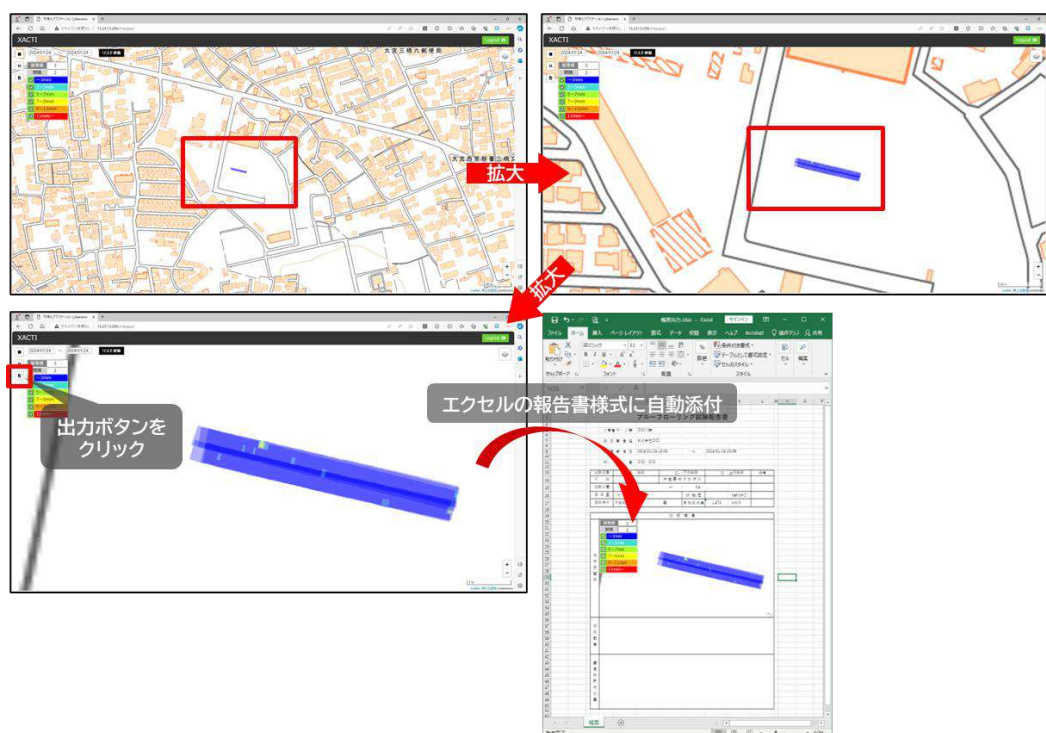


図 7 帳票作成の手順

〈ヒートマップの色分けについて〉

地図アプリ上に表示されたヒートマップは、変形量に応じ色分けされる。良否の基準値や色分けの間隔は地図アプリ上で任意に設定できる。変形量が基準値以下だと青色で、基準値以上の場合は、設定された間隔毎に色が変わる。色の種類は変更できない。

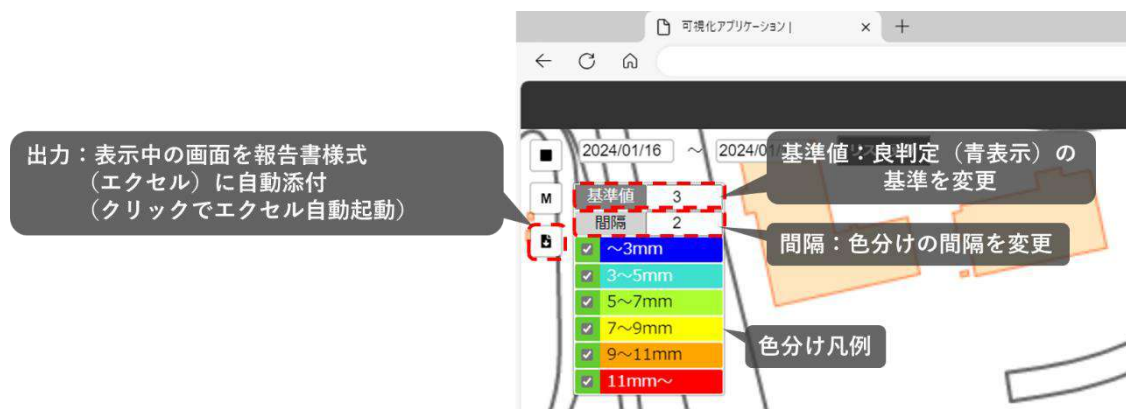


図8 地図アプリとヒートマップの色分け

※ 本システムの製品版とは内容が異なる場合があります

※ 本システムの製品版では仕様や表示を変更することがあります