

資料-6. 新たな管理手法の検証結果

1. 転圧管理システム Compaction Meister

1. 1. 技術概要

〈技術概要〉

応募者名	酒井重工業株式会社
技術名称	転圧管理システム Compaction Meister (CM)
技術の概要	<p>路盤とアスファルト(以降As)の締固め品質に影響を与える転圧回数計測と、加速度応答法による路盤剛性計測(酒井重工業CCV)、さらにAs施工時の表面温度計測を備えたシステムである。転圧作業中にリアルタイムで全面計測するため、品質管理の省力化と面的管理を可能とする。計測データの信頼性を高めるため、作業中リアルタイムにWEBサーバへ保存する。専用WEBアプリは帳票作成機能を有し、品質管理作業の効率化も可能である。</p>
図・写真	<p>SAKAI クラウド</p> <p>工事設定</p> <p>記録データ</p> <p>事務所側</p> <ul style="list-style-type: none"> 土質分類 CCV 工事情報 ローラ情報 各種設定 帳票 <p>パソコンまたはタブレット端末 (インターネットに接続できる環境)</p> <p>移動局</p> <p>[GNSSアンテナ]</p> <p>[温度センサ]</p> <p>[CCVセンサ]</p> <p>CCV分布図</p> <p>転圧回数分布図</p>

※このページは公表用の資料として活用いたします。

1.1. 技術概要

〈評価項目〉

種別	下層路盤/上層路盤/アスファルト舗装/路床なども含め道路構物として品質管理の高度化に資する技術
手法	従来の代替手法/新たな管理手法
品質管理項目	密度、たわみ量、地盤反力係数、舗装時の温度、加速度応答値

評価項目 (評価の有無)	作業性	計測精度	データ処理・格納
	—	—	—

1. 1. 技術概要

〈新たな管理手法の概要〉

品質管理項目	概要	評価項目	評価基準	評価基準の確認方法	品質管理の向上・高度化になる根拠
上層路盤	<p>【CCVIによる統計管理手法】</p> <p>本手法は、CCVIによる面的な品質管理データの取得能力を活用した統計的品質管理手法である。具体的には、管理基準値を満たさないデータを10%以内に抑える(不良率10%)ことで、効率的な品質確保を実現する。</p>	CCVIの統計結果	<p>予め設定した基準値(右列参照)と、路盤転圧中に取得したCCVデータの$\mu-1.28\sigma$(不良率10%に相当)の算定値を比較して路盤剛性の可否を判定する。 (μ; CCVデータ平均値、σ; CCVデータ標準偏差)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・基準値は、過去の試験結果に基づき、CCVと地盤反力係数K_{30}の相関関係から算出した。なお、K_{30}の基準値として文献(1)に示される68.7MPa/mを採用した。 ・実施工を想定した試験施工を実施し、提案する統計管理手法で路盤剛性の可否を判断する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場でのリアルタイムな品質確認が可能となり、施工品質の即時判定ができる ・面的な品質管理データの取得により、施工の均一性を確保できる ・過去の施工データとの比較により、品質管理の精度向上が図れる ・データの蓄積により、将来的な品質基準値の最適化が可能となる
下層路盤					
路床なども含め道路構造物として品質管理の高度化に資する技術(以下、道路構造物と称す)	<p>【CCVIによる下層影響確認】</p> <p>CCVIは、地盤剛性を下層部まで含めて連続的に計測できる特長を持つ。この特性を活用することで、路盤工の品質管理において下層の品質が与える影響を評価することが可能となる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・下層(路床など)のCCV ・路盤のCCV 	<p>転圧作業時に路盤と下層(路床など)のCCVを計測し、両者の相関係数を算出して路床が路盤に与える影響度を評価する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・実施工を想定した試験施工において、路床および路盤の転圧時CCVを計測する。 ・取得したCCVデータを用いて、路床と路盤の相関関係を分析する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・路床を含めた舗装構造全体の品質を総合的に評価できる ・下層の影響を把握することで、より適切な施工管理が可能となる ・施工不良の原因究明が容易となり、品質管理の効率化が図れる

文献(1)関根ら, FWDによる鉄道盛土の締固め管理に関する研究, 舗装工学論文集, 1996, 1 巻, p. 121-128

1. 2. 1. 検証方法

上層/下層路盤:CCVによる統計管理手法の検証方法

検証方法

1. CCV基準値の設定

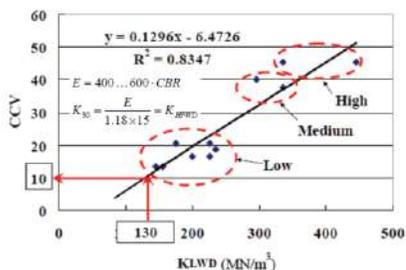
- ・過去に実施した路盤材での試験結果において、CCVと地盤反力係数 K_{30} の相関図を作成。
- ・ K_{30} の基準値「68.7MPa/m」に相当するCCV基準値を求める。

2. 実施工を想定した試験施工でのCCVデータ取得

- ・十分に締固めた基盤(路盤;M-30)上に、下部路床および上部路床をそれぞれ15cm厚で築造。
- ・今回使用した路床土のCBRは3.2%。
- ・路床の上部に下層路盤(C-40)と上層路盤(M-30)をそれぞれ15cm厚で築造。
- ・下層路盤と上層路盤の転圧作業時にCCVを計測する。

3. 統計管理手法による合否判定

- ・CCV基準値と、路盤転圧中に取得したCCVデータの $\mu - 1.28\sigma$ (不良率10%に相当)の算定値を比較して路盤剛性の合否を判定する。

検証方法イメージ
(図・写真)

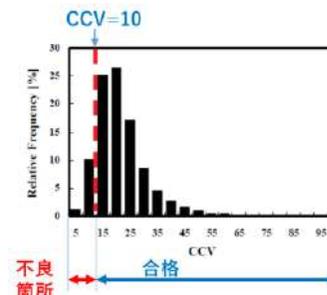
[CCV基準値の設定]



[転圧作業:路盤築造]



[転圧作業:CCVデータ取得]



[統計管理手法]

1. 2. 1. 検証方法

道路構造物:CCVによる下層影響確認の検証方法

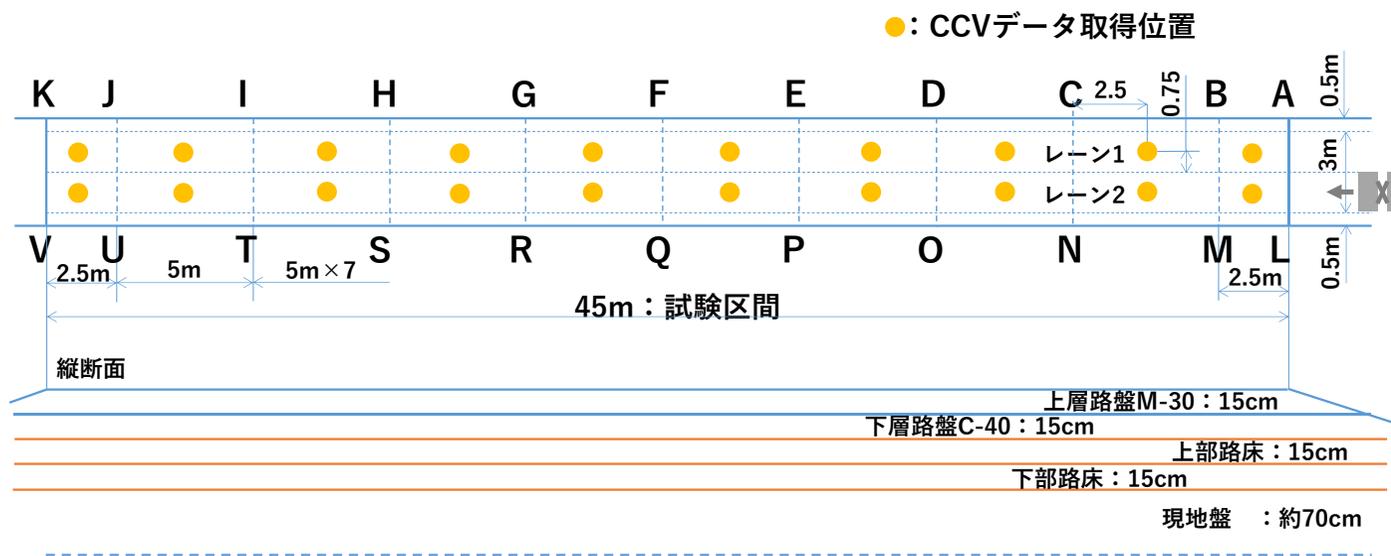
検証方法

1. 実施工を想定した試験施工でのCCVデータ取得

- ・前項「2.」と同様の方法で実施する。

2. 路床からの影響度評価

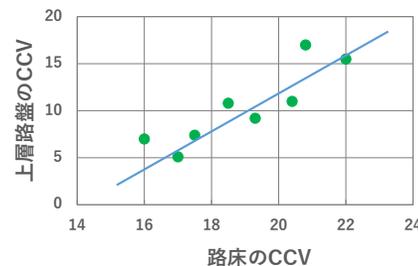
- ・GNSSによる位置情報を用いて、路床と路盤の同一地点(下図)におけるCCVデータを抽出・整理する。
- ・整理したデータを用いて、路床と路盤のCCVの相関関係を分析する。
- ・相関関係が認められれば、下層の影響を受けていることが分かる。

検証方法イメージ
(図・写真)

[転圧作業:路床・路盤築造]



[転圧作業:CCVデータ取得]



[路床からの影響度評価]

1. 2. 2. 検証結果

上層/下層路盤:CCVによる統計管理手法の評価結果

評価結果

1. CCV基準値の設定

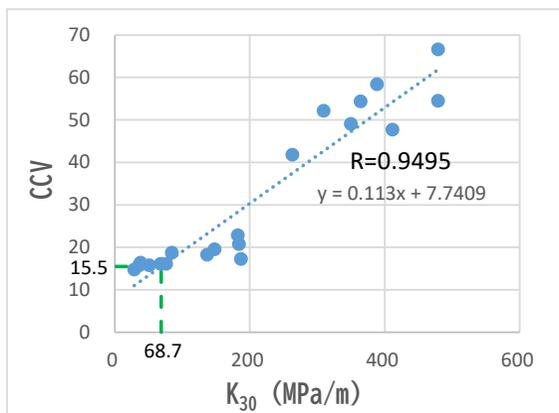
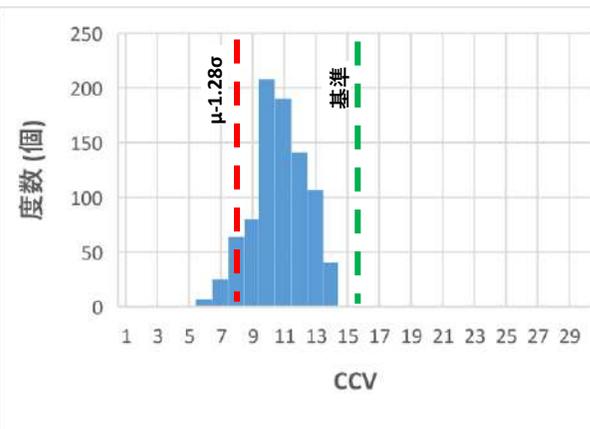
- ・図-1は、前回の『従来手法の代替』試験での路盤結果と、現地盤(M-30)で測定したCCVと K_{30} (平板載荷試験)の相関関係を示す。
- ・この相関関係から、 K_{30} 値 68.7(MPa/m)に対応するCCV 15.5を基準値とした。

2. 上層・下層路盤のCCVによる路盤剛性の合否判定

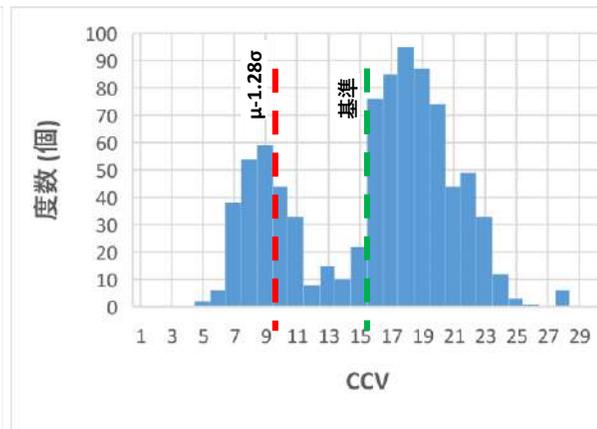
- ・上層・下層路盤のCCVヒストグラムを図2・3に、統計結果を下表に示す。
- ・評価の結果、両層とも設定した基準値を満足せず、路盤剛性が不十分であった。この原因として、使用した路床土のCBR値が3.2%と低く、十分な支持力が得られなかったことが考えられる。

	データ総数	平均値 μ	標準偏差 σ	CCV値 ($\mu-1.28\sigma$)	不良率	合否判定
上層路盤	861	10.3	1.66	8.17	100.0	NG
下層路盤	854	15.5	4.99	9.10	38.5	NG

グラフ等

[図1 CCV基準値:CCVと K_{30} の関係]

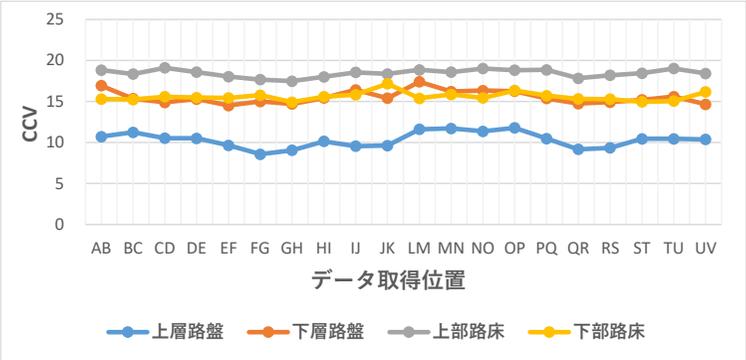
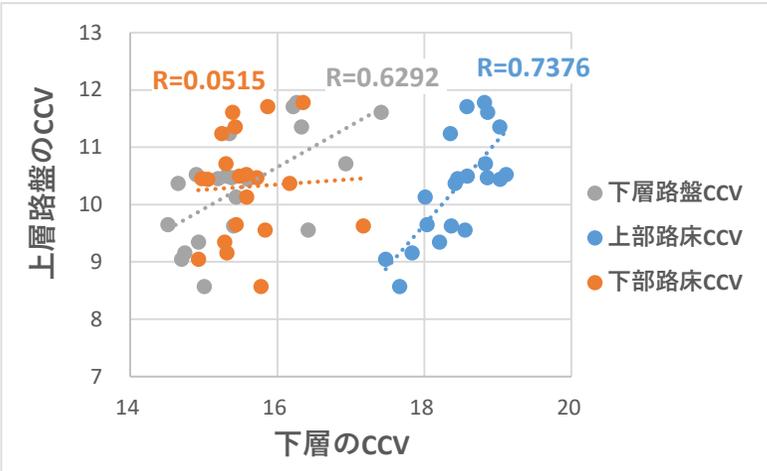
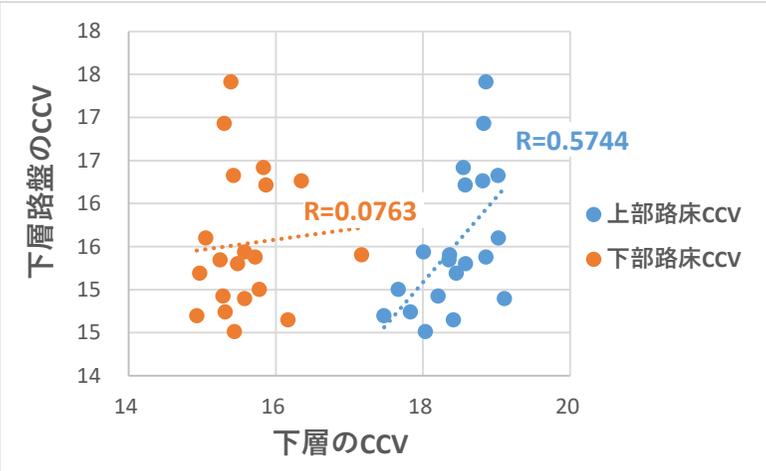
[図2 上層路盤のヒストグラム]



[図3 下層路盤のヒストグラム]

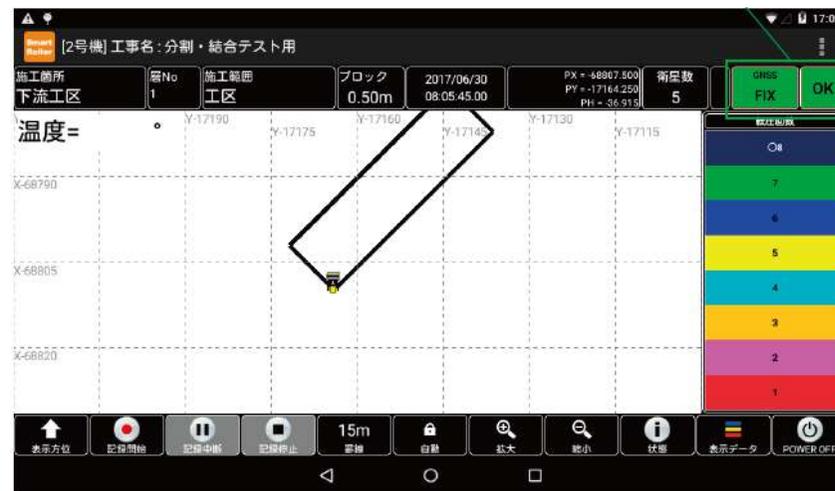
1. 2. 2. 検証結果

道路構造物:CCVによる下層影響確認の評価結果

評価結果	<p>1. 下層影響確認結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・図4に各層で計測したCCV分布を示す。この結果を使って、下層影響の確認を行った。 ・図5に示す分析結果から、上層路盤のCCV値は上部路床のCCV値と強い相関(相関係数$R=0.7376$)を示しており、下層の状態が上層の品質に影響を及ぼしていることが確認された。 ・図6に示す分析結果から、下層路盤においても上部路床からの影響が確認され、相関係数$R=0.5744$という数値が得られた。この値は上層路盤での相関係数と比較すると若干低いものの、統計的に有意な相関関係を示している。このことから、下層路盤の品質も上部路床の状態に依存することが確認された。  <p style="text-align: center;">[図4 各層でのCCV分布]</p>
グラフ等	 <p style="text-align: center;">[図5 上層路盤と下層CCVの関係]</p>  <p style="text-align: center;">[図6 下層路盤と下層CCVの関係]</p>

1. 2. 2. 検証結果

手順やマニュアル



[Compaction Meister操作画面]

[Compaction Meister使用条件]

- ・ 上空視界が確保されており、GNSSが取得できること。
- ・ 当社指定の通信キャリアサービス範囲内で、かつモバイル通信が可能であること。
- ・ 加速度応答法CCV利用には、振動ローラであること。

2. ICT現場土工品質管理技術 「次世代 α システム」

2. 1. 技術概要

【施工時】

A. 舗装の長期品質保証

舗装の補修コスト低減

施工時品質の確保

舗装基盤の不具合
是正 (As舗装前)

As舗装品質の確認

* 全数/リアルタイム/定量的・空間情報として取得

提案1: α システム(加速度応答法)

舗装基盤の剛性確認(新プルーフ)

* 交通荷重の影響範囲: 上部路体~路床~路盤まで
(下層弱部の影響は上層では対応困難)

As舗装密度の確認(空間情報)

提案2: 自走式RIロボット

* 全数/リアルタイム/空間情報として判定

☞ 長期品質の低下原因=舗装基盤の不良
As舗装前に基盤不良個所を抽出・対処
路床/路盤は転圧回数管理(新プルーフ併用前提)
As舗装の密度空間情報を基盤剛性と共に記録

* 温度管理必須(別手法)

【検査時】

B. 検査の合理化

☞ 迅速かつ容易に判断

プロフローリングの効率化

遠隔立会

提案3: クラウド型データ格納/処理システム

【維持管理時】

C. 舗装維持管理の効率化

要点検箇所の特定制

舗装点検業務の労力/コストの低減

施工データの格納

問題発生時の検索性と可視化

☞ 基盤剛性/As密度空間情報により特定

道路(ex.路線)情報と紐づけた施工
データ格納と検索・可視化機能

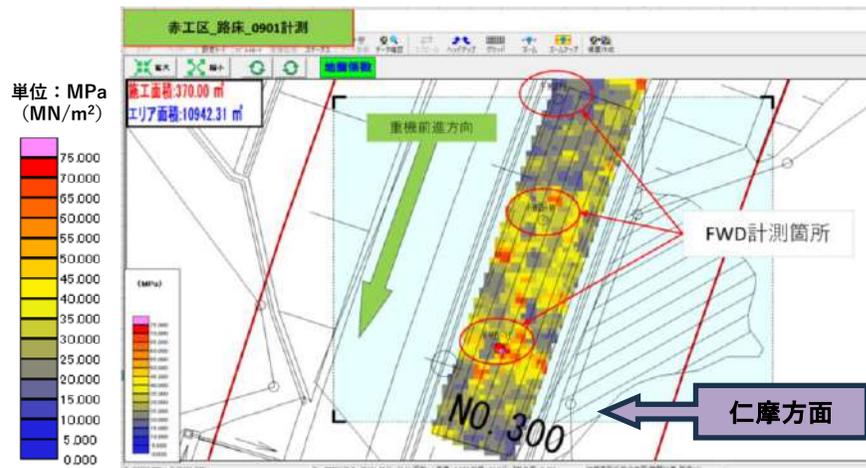
☞ 今後の検討課題

2.1. 技術概要

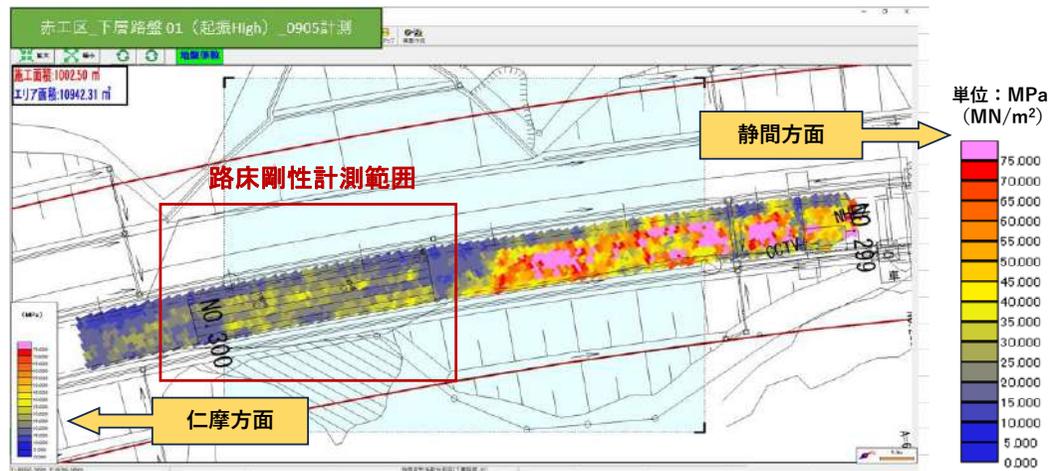
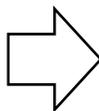
次世代 α システムを利活用した舗装工の新しい品質管理手法の提案

部位	多点的/面的品質情報	品質情報の取得手段	適用区分	取得情報の活用方法	導入メリット	
(1) 路床 (含む上部路体)	路床剛性 $E_{roller_路床}$ 分布	α システム (振動ローラ加速度応答法)	施工品質	①路床(含む上部路体)の転圧/剛性弱部の抽出と即時対処	舗装の長期品質保証	
			維持管理	②舗装基盤剛性の空間情報の継承 : 上部路体~路床部の下層剛性情報	舗装維持管理の効率化	
施工品質	①路盤の転圧/剛性弱部の抽出と即時対処		舗装の長期品質保証			
検査立会	②路盤検査立会(プルフ)の効率化		検査立会の省略			
施工品質 品質情報	③舗装基盤剛性情報の精緻化(効率化)		舗装の長期品質保証 性能照査型品質管理**			
維持管理	④舗装基盤剛性の空間情報の継承 : 舗装直下(<60cm)の平均剛性情報		舗装維持管理の効率化			
(2) 路盤	路盤剛性 $E_{roller_路盤}$ 分布		3Dレーザスキャナ (転圧前後)	施工品質 品質情報	路盤締め情報の精緻化/効率化	舗装の長期品質保証 性能照査型品質管理**
			転圧後の密度増加率分布*			
(3) As舗装	舗装密度 $_RI$ ロボット分布	自走式散乱型RIロボット	施工品質 品質情報	As舗装密度情報の精緻化/効率化	舗装維持管理の効率化	
			維持管理	As舗装密度の空間情報の継承		
(4) データ格納/継承	舗装基盤剛性/路盤締め状態/As舗装密度の3品質の空間情報を同一DBに格納・継承		維持管理	道路舗装品質に関する全空間(積層)情報をDB格納し維持管理部門へ継承	舗装の長期品質保証(高寿命化) /As舗装の維持管理の効率化 /問題発生時の原因検討と対処	

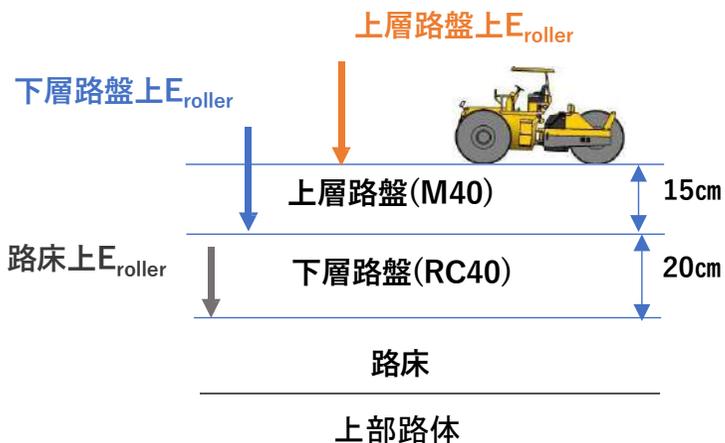
2.1.1. 検証結果



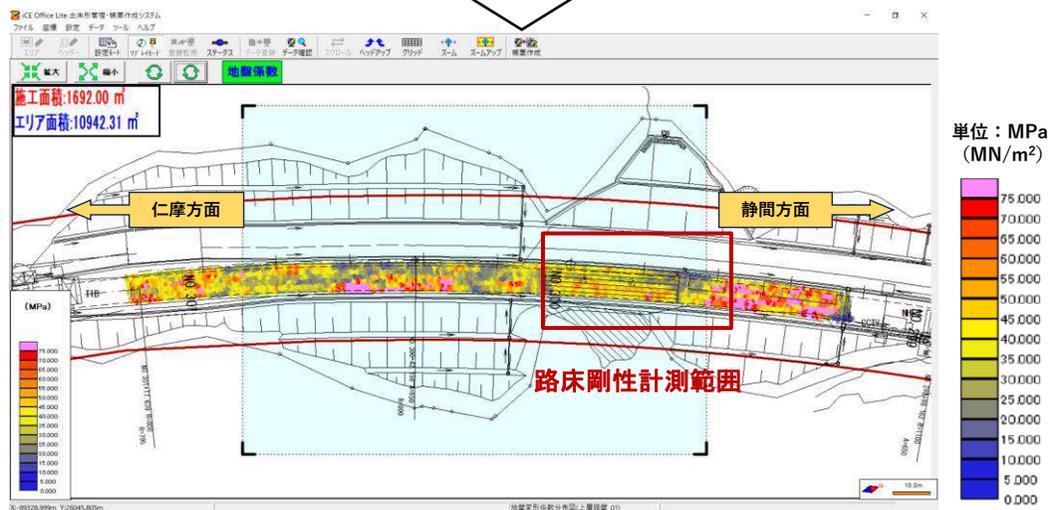
① 路床上からの剛性分布(上部路体の情報も含まれる)



② 下部路盤上からの剛性分布(路床の情報も含まれる)



👉 路床→路盤上で取得した地盤剛性 E_{roller} の空間情報を活用する

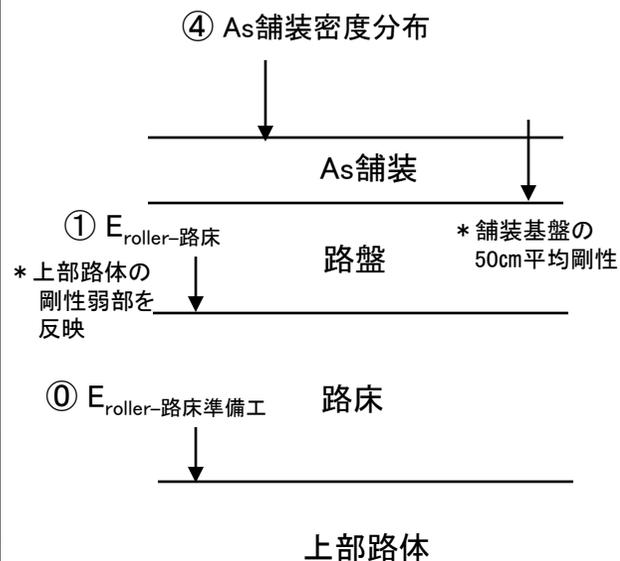
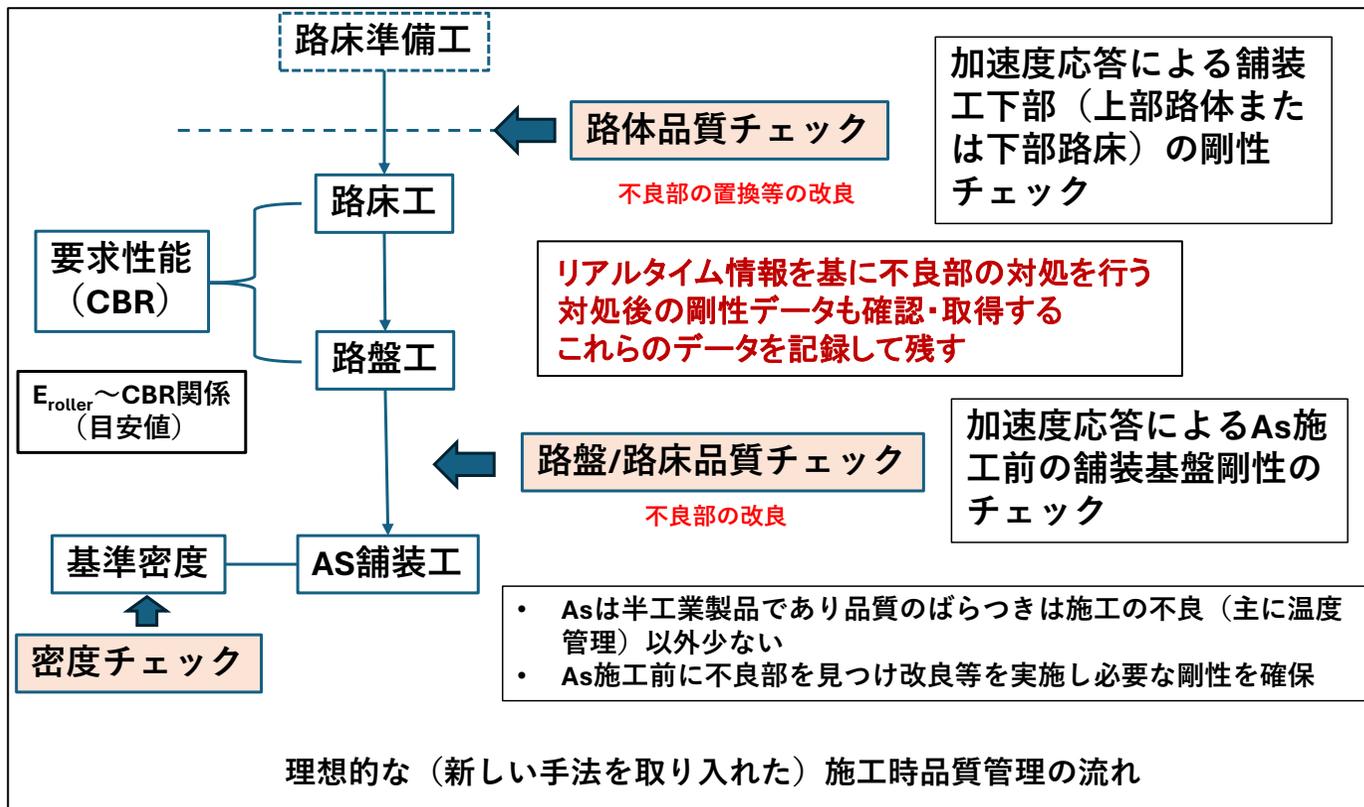


③ 上部路盤上からの剛性分布(舗装基盤50~60cm≒交通荷重伝播領域の平均剛性)

2.1.1. 検証結果

施工品質の確保=舗装の長期品質保証

施工時の利活用



施工品質の確保=舗装の長期品質保証

路床・路盤現場施工時の品質チェックに利用⇒不良部を改良しAs舗装前に必要な舗装基盤剛性を現場で確保

上部路体⇒路床⇒路盤の各層の施工品質情報を振動ローラ加速度法E_{roller}により積層方向×面的(空間情報付き)に自動取得/格納

- ① 路床上盤上E_{roller}分布=上部路体の弱部情報(①路床準備工で計測可)を含む舗装の下層(深部)剛性情報
- ② 路盤上E_{roller}分布=As舗装の基盤剛性(深度50cm程度≒交通荷重の主たる伝播深度の平均剛性)とみなす
- ③ 路盤の締固め状態⇒②上部路盤上E_{roller}分布×転圧回数管理 ⇨ レーザスキャナ圧縮率の面的(空間情報付き)分布の利活用は継続議論
- ④ As舗装の密度分布⇒自走式散乱型RIロボットによる面的(空間情報付き)分布の把握⇒基盤剛性分布と共に保存 空間情報=不良部の特定
⇨ 施工時の対処に利用⇒舗装基盤として剛性が不足と判断されたら置換え/改良等で不良部を改良⇒As舗装施工前に必要な剛性を確保

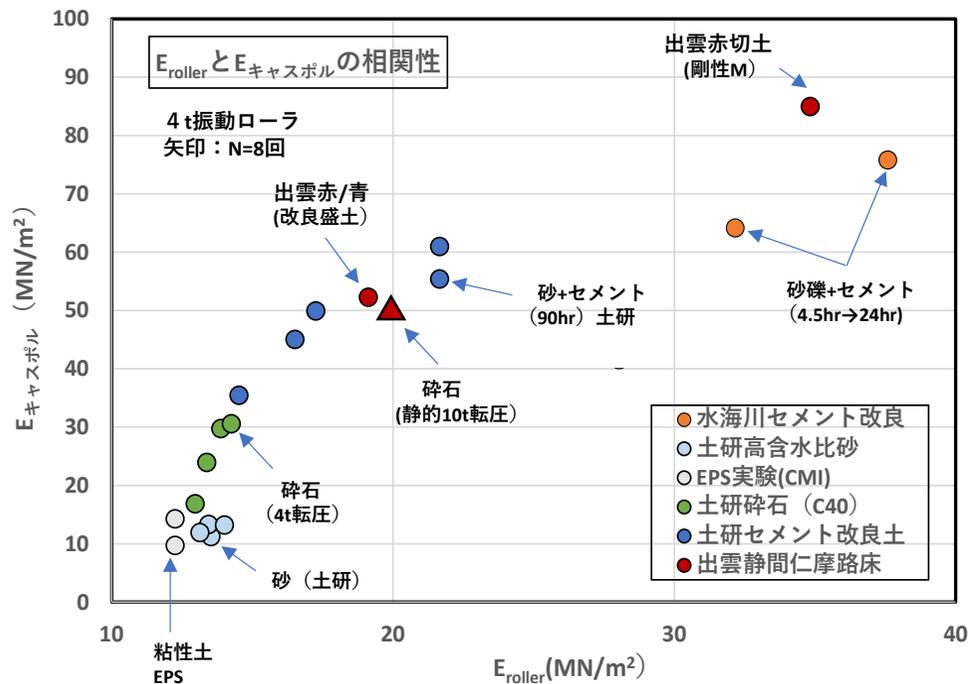
2.1.1. 検証結果

部位	多点的/面的品質情報	品質情報の取得手段	適用区分	取得情報の活用方法	導入メリット	摘要	課題
(1) 路床 (含む上部路体)	路床剛性 E_{roller} 路床分布		施工品質	①路床(含む上部路体)の転圧/剛性弱部の抽出と即時対処	舗装の長期品質保証	施工時に路床(含む上部路体)剛性弱部を自動抽出→即時対処(置換え/改良等)し剛性不良部を改良	施工現場に4tローラ配置が前提/全面実施は困難(盛土部や切盛境,集水地形等)/対処の判定基準が必要(E_{roller} 値~CBR関係)
			維持管理	②舗装基盤剛性の空間情報の継承: 上部路体~路床部の下層剛性情報	舗装維持管理の効率化	舗装基盤剛性弱部の空間情報に基づく路面性状調査/パトロール等の要監視箇所の特定と監視労力の低減	60cm以深の路床剛性は検出不可(交通荷重の伝達範囲を勘案した議論が必要)
(2) 路盤	路盤剛性 E_{roller} 路盤分布	α システム (振動ローラ加速度応答法)	施工品質	①路盤の転圧/剛性弱部の抽出と即時対処	舗装の長期品質保証	施工時に路盤剛性弱部を自動抽出→即時対処(置換え)し剛性不良部を改良	施工現場に4tローラ配置が前提/置換えの判定基準が必要(E_{roller} 値~CBR関係)
			検査立会	②路盤検査立会(ブルフ)の効率化	検査立会の省略	ブルフの省略(路盤剛性弱部の自動取得)→M3手法による効率的検査と定量的データ記録	M3法の確認手法とM3判定基準値の議論が必要: キャスポル/換算CBR
			施工品質 品質情報	③舗装基盤剛性情報の精緻化(効率化)	舗装の長期品質保証 性能照査型品質管理**	路盤品質の空間情報を自動取得 → 例: 路盤品質(CBR)の現場空間情報による性能照査や設計・施工・現場管理の合理化検討が可能に	全数管理の考え方の議論/空間情報(弱部連続性等)の利活用方法/性能設計との融合(路盤CBR分布による舗装の性能照査等)に関する議論などが必要
			維持管理	④舗装基盤剛性の空間情報の継承: 舗装直下(<60cm)の平均剛性情報	舗装維持管理の効率化	舗装基盤剛性弱部の空間情報に基づく路面性状調査/パトロール等の要監視箇所の特定と監視労力の低減(舗装直下の基盤剛性弱部や急変部記録を継承)	加速度応答法の影響深度と交通荷重の伝達範囲の関係に関する議論/路盤軟弱化と舗装劣化の相関性に関する議論(確認)が必要
(3) As舗装	舗装密度 r_{I} ロボット分布	自走式散乱型RIロボット	施工品質 品質情報	路盤締固め情報の精緻化/効率化	舗装の長期品質保証 性能照査型品質管理**	路盤締固め状態の空間情報や締固め効果の相対的弱部を自動取得(砂置換法の省略→空間情報の把握へ)	施工現場に3Dスキャナ配置が前提/空間情報の利活用方法の議論が必要/転圧層下層の沈下が無視できる事を前提/撒き出し時の材料均一性を前提
			維持管理	As舗装密度情報の精緻化/効率化	舗装維持管理の効率化	As舗装密度の統計的・空間情報の自動取得と密度計測の効率化(コア抜き)の省略	As舗装密度の空間情報に基づく路面性状調査/パトロール等の要監視箇所の特定と監視労力の低減
(4) データ格納/継承	舗装基盤剛性/路盤締固め状態/As舗装密度の3品質の空間情報を同一DBに格納・継承		施工品質 品質情報	As舗装密度の空間情報の継承	舗装維持管理の効率化	As舗装密度の空間情報に基づく路面性状調査/パトロール等の要監視箇所の特定と監視労力の低減	劣化要因である舗装下層基盤(上部路体~路床~路盤)剛性の空間情報と共に格納・継承する事が望ましい
			維持管理	道路舗装品質に関する全空間(積層)情報をDB格納し維持管理部門へ継承	舗装の長期品質保証(高寿命化)/As舗装の維持管理の効率化/問題発生時の原因検討と対処	全空間情報を同じメッシュ情報としてDBに格納/クラウド環境での一元的なデータ処理や分析/施工時品質情報の三次元可視化(維持管理向け)	継承・格納すべきデータの定義が必要 (ISO19650:IDM(Information Delivery Manual)、MVD(Model View Definition)で定義しておくことが必要)。

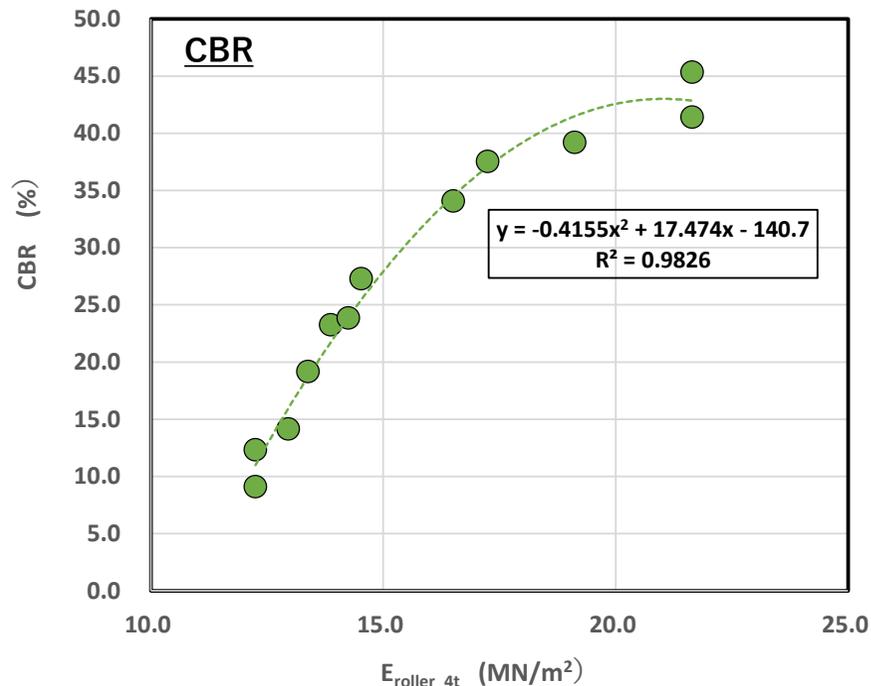
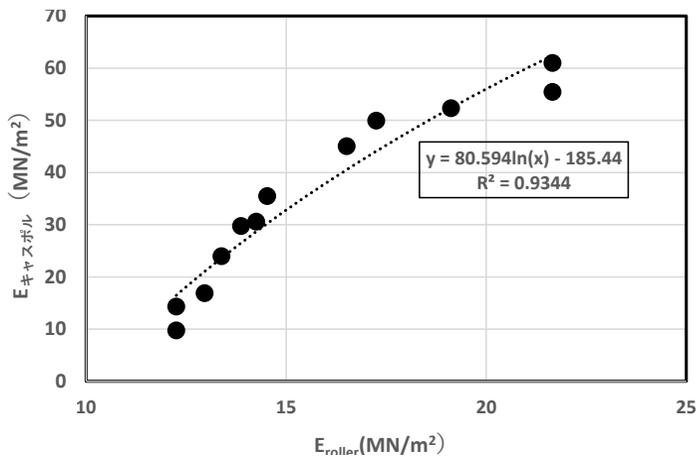
施工品質の確保=舗装の長期品質保証: 振動ローラ加速度応答法における幾つかの課題

- ① 不良部(対処の必要性)の判定基準→要求性能は剛性→CBRで規定⇒ E_{roller} ~CBR関係を利用 →実現場で試行し取得データを確認
- ② 上部路盤上 E_{roller} 分布⇒As舗装の基盤平均剛性と見なして良いかの吟味(深度50cm程度≡交通荷重の主たる伝播深度)
- ③ 路体剛性の確認⇒路床準備工で直接上部路体の E_{roller} を取得+路床上 E_{roller} で深部弱部をピックアップ
- ④ 舗装基盤深部に存在する弱部と舗装ダメージの関係性把握(含む:影響深度)
- ⑤ 空間情報を含む品質情報の利活用方法⇒多点/全数管理における管理基準値の考え方 →要議論
- ⑥ 空間情報を含む品質情報の利活用方法⇒施工時の不良部特定以外の使い方 →性能照査型の品質評価(今後の議論)

2.1.1. 検証結果



* 砂 (土研) は基盤層の影響を含むため参考



不良部(対処)の判定基準

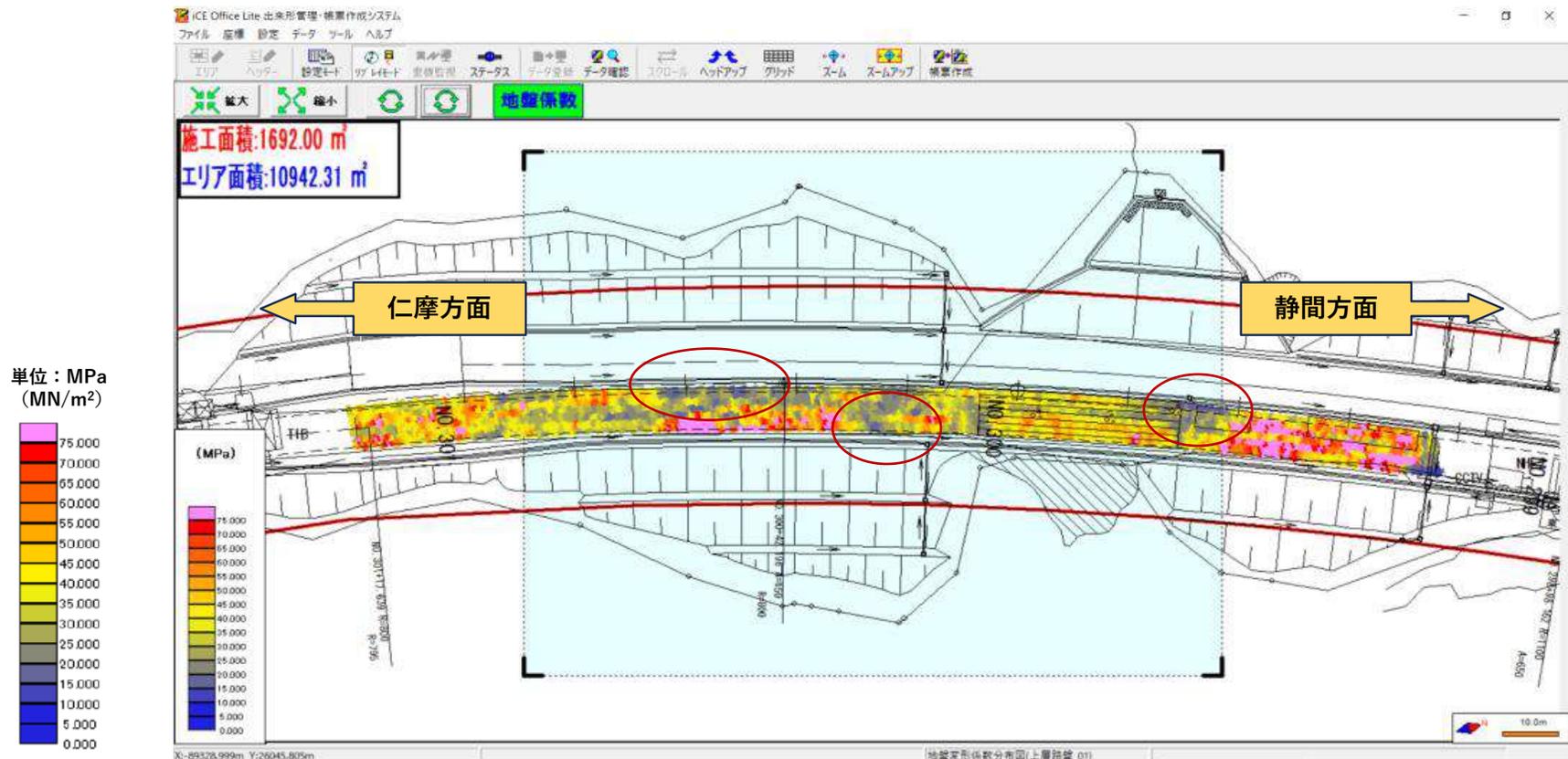
- ① As舗装基盤の要求性能は剛性(≠密度)
 - ② CBR規定を参照×E_{roller_4t} ~ CBR(キャスポル)関係の活用
 - ③ 置き換え/改良後の確認
←再度検査加振でチェックし、改良後の値含めて記録
- * 検査合格(不合格)現場のE_{roller} データを取得し、その現場実態から判定基準や不良率を検討することも可能(次ページ)

地盤剛性E_{roller}とキャスポルによる換算剛性E/換算CBRの関係(舗装工公募出雲実証工事に他地点データを統合)

2.1.1. 検証結果

プルーフローリング実施(問題なし)面での E_{roller} 分布

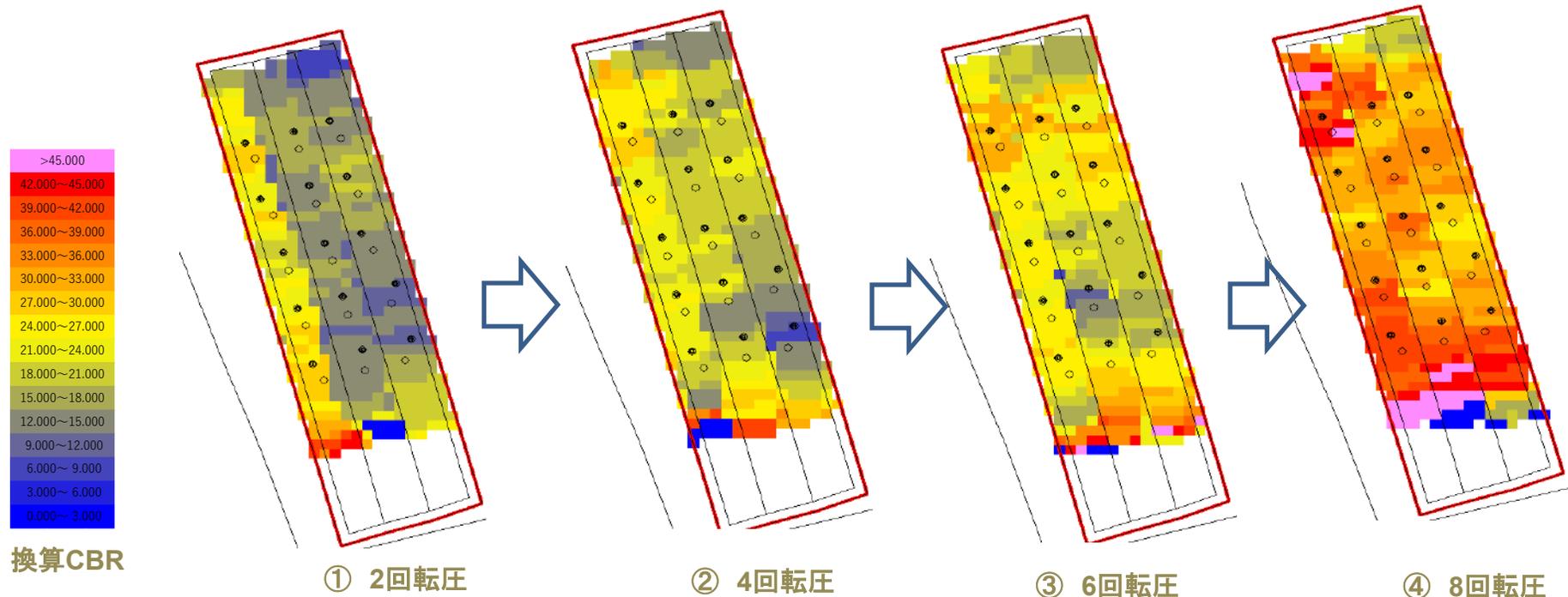
山陰自動車道 静間仁摩工区



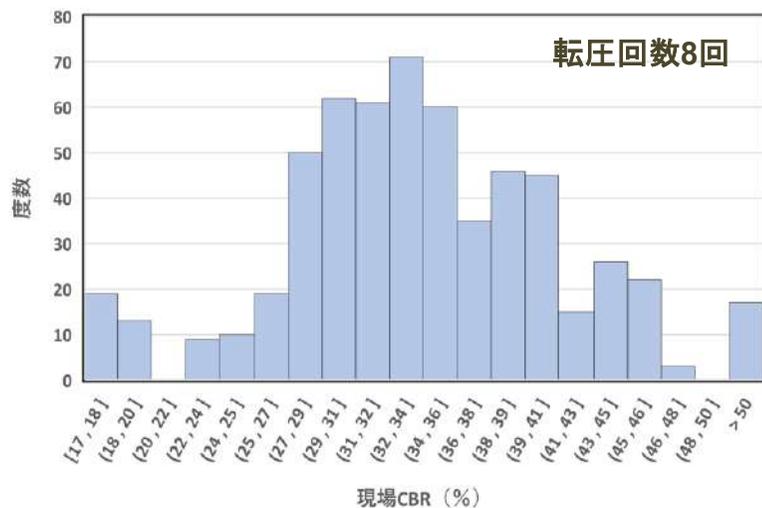
土木学会高度品質管理検討WG(2/25)における議論より

- ☞ 検査合格(あるいは一部不合格)となった現場データを追加収集して閾値の精度を高める
- ☞ 空間情報(相対的弱部の集中度など)も併せて維持管理部門に継承する

2.1.1. 検証結果



* PRISM干瓜川(中国地方整備局)における試行例



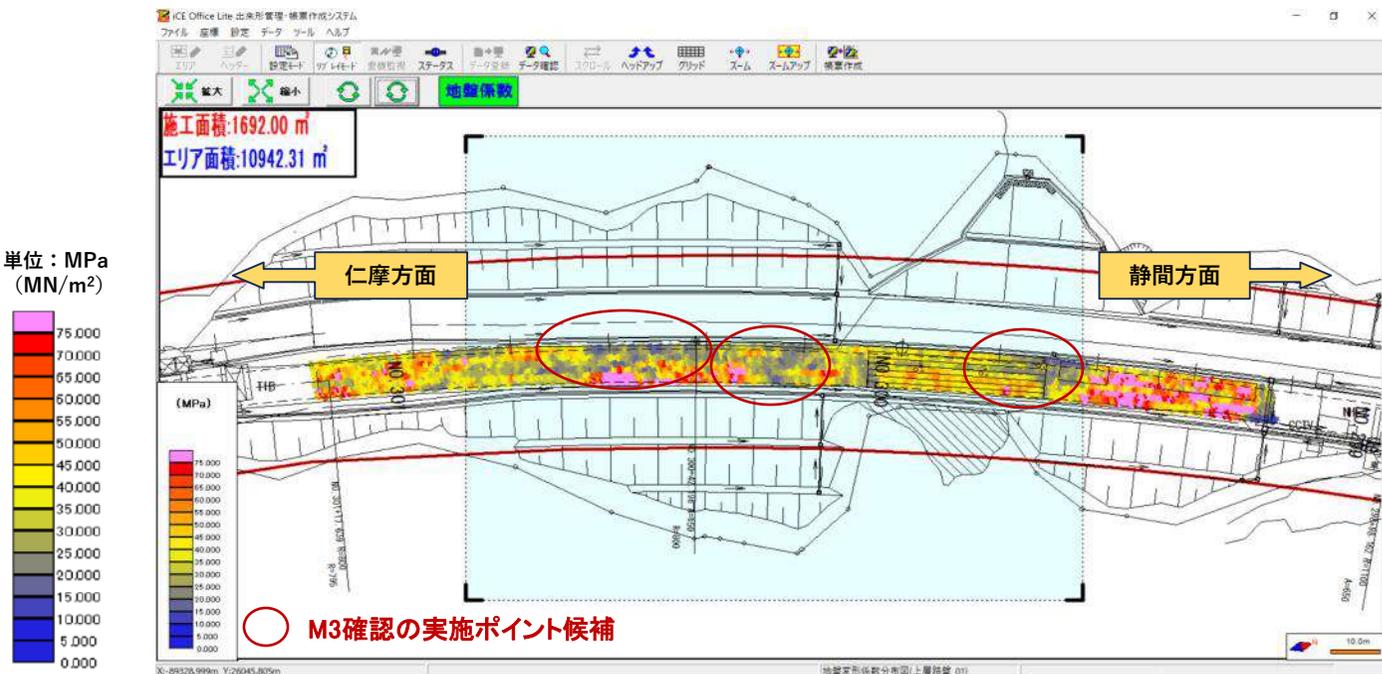
不良部の特定と対策/記録

- ① $E_{roller, 4t}$ ヒートマップ→CBRヒートマップへの換算
- ② 不良部(<CBR規定値)の特定*
- ③ 不良部の置換え/改良
- ④ 改良後のチェック(改良後 E_{roller} →改良後CBR)
- ⑤ 弱部(不良部)および改良履歴の保存

* 空間情報を利用した性能照査(車両の走行性確保)も可(要議論)

2.1.1. 検証結果

検査立会の省略=プルーフの代替手段としてのE_{roller}分布

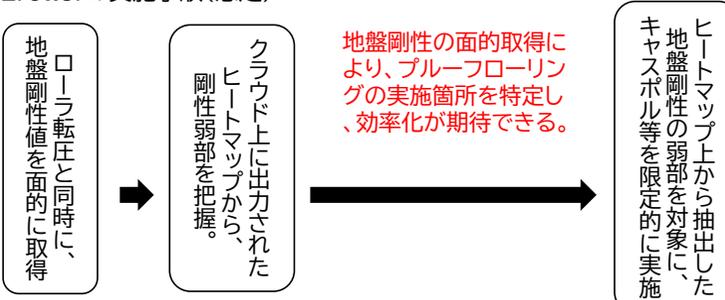


4tローラ(検査用)に搭載したErollerを用いることによって、地盤剛性を面的に評価することができる他、転圧回数ごとの計測結果をヒートマップとして確認することができる。また、数値ごとに色分けされたヒートマップから、地盤剛性の弱部を抽出し、プルーフローリング試験の実施箇所を限定することが可能となる。これにより、大幅な効率化とコストダウンが期待できる。

検査立会の省略(プルーフローリングの代替)

- ① 路盤上E_{roller}のヒートマップより剛性最弱部を抽出
 - ② 最弱部において品質確認(密度ではなく簡易なキャスポルによるCBR確認←要議論)
 - ③ 最弱部で所定の品質を満足していたらOKとする → 確認記録を保存
 - ④ 不良部と判定されたら対処(置換え/改良)し再度E_{roller}で確認
 - ⑤ 発注者はクラウドシステムにログインしてE_{roller}ヒートマップと③の確認記録を確認、承認
- 提案1で不良判定の場合、でも良い

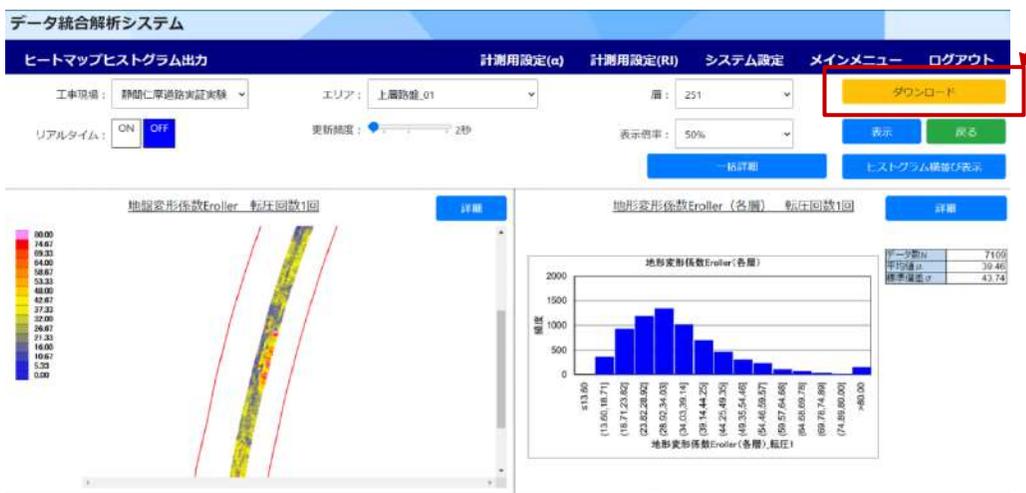
Erollerの実施手順(想定)



αシステム(振動ローラ加速度応答法)を活用した路盤検査(プルーフローリング)の遠隔立会と効率化

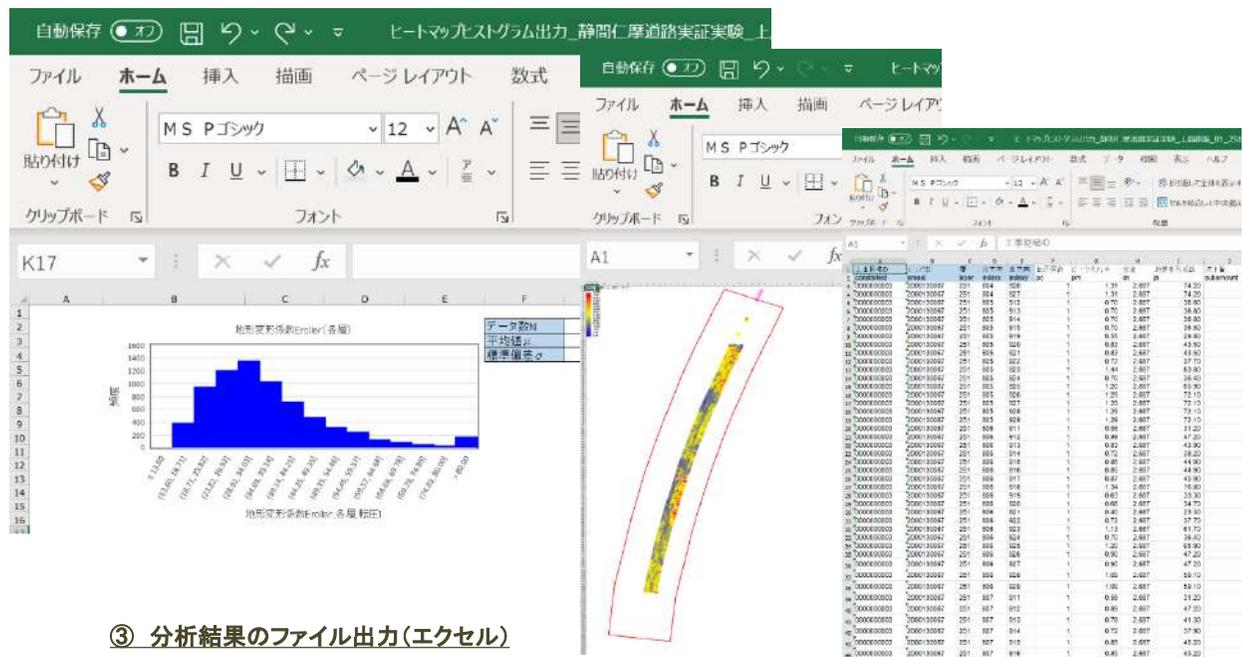
2.1.1. 検証結果

ダウンロード



① クラウドシステム選択画面(現場名/指標/転圧回数の選択画面)

② クラウドシステムによるリアルタイム分析例(上層路盤上検査走行データ)



③ 分析結果のファイル出力(エクセル)

* DBよりGeoJSON形式で施工時品質データを吐き出し、既存GISと連携して可視化する事を試行中(維持管理対応)

クラウド上の分析機能で取得データを可視化、確認の後、エクセルライクなファイルで元データと共にダウンロード可能。さらなる分析や帳票化に利用

2.1.1. 検証結果

舗装維持管理の効率化=舗装点検労力/コストの低減

維持管理時の利活用

部位	多点的/面的品質情報	品質情報の取得手段	適用区分	取得情報の活用方法	導入メリット	摘要	課題
(1) 路床 (含む上部路体)	路床剛性 E_{roller} 、路床分布		施工品質	①路床(含む上部路体)の転圧/剛性弱部の抽出と即時対処	舗装の長期品質保証	施工時に路床(含む上部路体)剛性弱部を自動抽出→即時対処(置換え/改良等)し剛性不良部を改良	施工現場に4tローラ配置が前提/全面実施は困難(盛土部や切盛境、集水地形等)/対処の判定基準が必要(E_{roller} 値~CBR関係)
			維持管理	②舗装基盤剛性の空間情報の継承: 上部路体~路床部の下層剛性情報	舗装維持管理の効率化	舗装基盤剛性弱部の空間情報に基づく路面性状調査/パトロール等の要監視箇所の特特定と監視労力の低減	60cm以深の路体剛性は検出不可(交通荷重の伝達範囲を勘案した議論が必要)
(2) 路盤	路盤剛性 E_{roller} 、路盤分布	α システム (振動ローラ加速度応答法)	施工品質	①路盤の転圧/剛性弱部の抽出と即時対処	舗装の長期品質保証	施工時に路盤剛性弱部を自動抽出→即時対処(置換え)し剛性不良部を改良	施工現場に4tローラ配置が前提/置換えの判定基準が必要(E_{roller} 値~CBR関係)
			検査立会	②路盤検査立会(プルフ)の効率化	検査立会の省略	プルフの省略(路盤剛性弱部の自動取得)→M3手法による効率化と定量的データ記録	M3法の確認手法とM3判定基準値の議論が必要: キャスボル/換算CBR
			施工品質 品質情報	③舗装基盤剛性情報の精緻化(効率化)	舗装の長期品質保証 性能照査型品質管理*	路盤品質の空間情報を自動取得 → 例: 路盤品質(CBR)の現場空間情報による性能照査や設計・施工・現場管理の合理化検討が可能に	全数管理の考え方の議論/空間情報(弱部連続性等)の利活用方法/性能設計との融合(路盤CBR分布による舗装の性能照査等)に関する議論などが必要
			維持管理	④舗装基盤剛性の空間情報の継承: 舗装直下(<60cm)の平均剛性情報	舗装維持管理の効率化	舗装基盤剛性弱部の空間情報に基づく路面性状調査/パトロール等の要監視箇所の特特定と監視労力の低減(舗装直下の基盤剛性弱部や急変部記録を継承)	加速度応答法の影響深度と交通荷重の伝達範囲の関係に関する議論/路盤軟弱化と舗装劣化の相関性に関する議論(確認)が必要
	転圧後の密度増加率分布*	3Dレーザスキャナ (転圧前後)	施工品質 品質情報	路盤締め情報の精緻化/効率化	舗装の長期品質保証 性能照査型品質管理*	路盤締め状態の空間情報や締め効果の相対的弱部を自動取得(砂置換法の省略→空間情報の把握へ)	施工現場に3Dスキャナ配置が前提/空間情報の利活用方法の議論が必要/転圧層下層の沈下が無視できる事を前提/撒き出し時の材料均一性を前提
(3) As舗装	舗装密度 ρ_{R10} ロボット分布	自走式散乱型R10ロボット	施工品質 品質情報	As舗装密度情報の精緻化/効率化		As舗装密度の統計的・空間情報の自動取得と密度計測の効率化(コア抜き省略)	全数管理の基準値が必要/M3手法や基準値の議論が必要(必要か?)/空間情報の利活用方法の議論が必要
			維持管理	As舗装密度の空間情報の継承	舗装維持管理の効率化	As舗装密度の空間情報に基づく路面性状調査/パトロール等の要監視箇所の特特定と監視労力の低減	劣化要因である舗装下層基盤(上部路体~路床~路盤)剛性の空間情報と共に格納・継承する事が望ましい
(4) データ格納/継承	舗装基盤剛性/路盤締め状態/As舗装密度の3品質の空間情報を同一DBに格納・継承		維持管理	道路舗装品質に関する全空間(積層)情報をDB格納し維持管理部門へ継承	舗装の長期品質保証(高寿命化)/As舗装の維持管理の効率化/問題発生時の原因検討と対処	全空間情報を同じメッシュ情報としてDBに格納/クラウド環境での一元的なデータ処理や分析/施工時品質情報の三次元可視化(維持管理向け)	継承・格納すべきデータの定義が必要 (ISO19650:IDM(Information Delivery Manual)、MVD(Model View Definition)で定義しておくことが必要)。

舗装維持管理の効率化=舗装点検箇所の特定による点検労力/コストの低減: 振動ローラ加速度応答法の2つめの利活用方法

- 上部路体⇒路床⇒路盤の各層の施工品質情報を振動ローラ加速度法 E_{roller} により積層方向×面的(空間情報付き)に自動取得/DB格納
- ① 維持管理部門への情報継承(クラウドシステムを介して)
 - ② 舗装基盤剛性の空間情報を提供(上部路体弱部/路床と路盤の剛性変曲部等、舗装の早期劣化が想定される場所を特定して継承)
 - ③ 施工時の不良箇所と改良後記録も残す

2.1.1. 検証結果

舗装維持管理の効率化=舗装点検労力/コストの低減

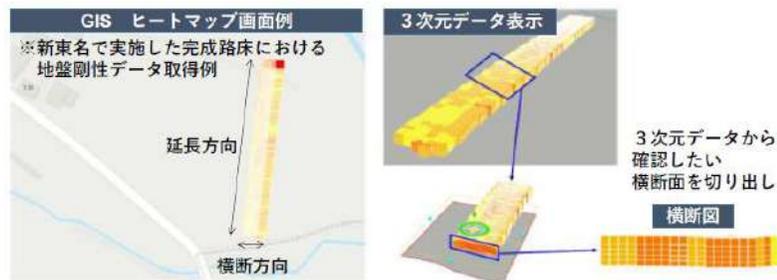
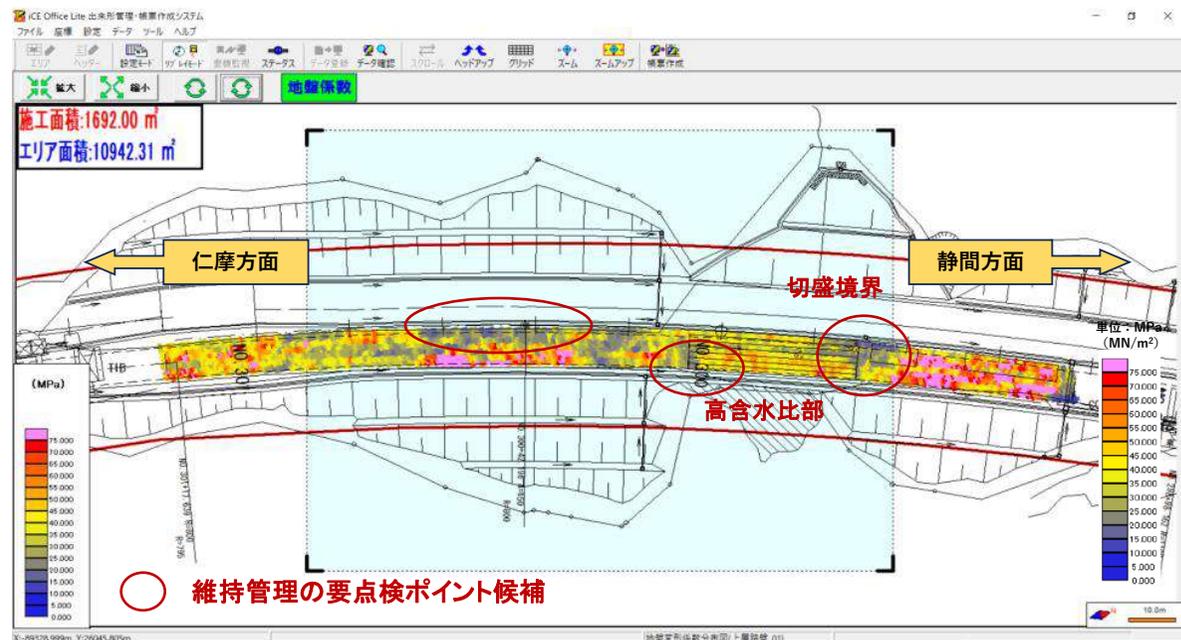
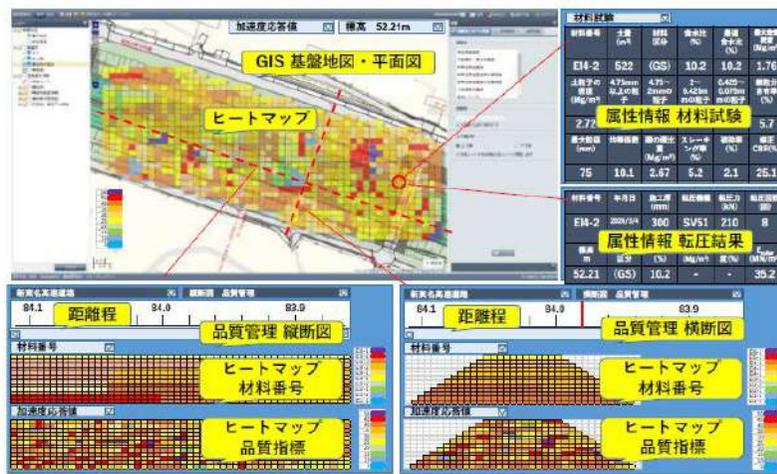


図5 道路保全におけるGIS活用



道路保全における施工時記録の利活用イメージ
(ネクスコ中日本/大林組/前田建設工業:R6年度土木学会発表)

舗装維持管理の効率化=舗装点検箇所特定による点検労力/コストの低減:振動ローラ加速度応答法の2つめの利活用方法

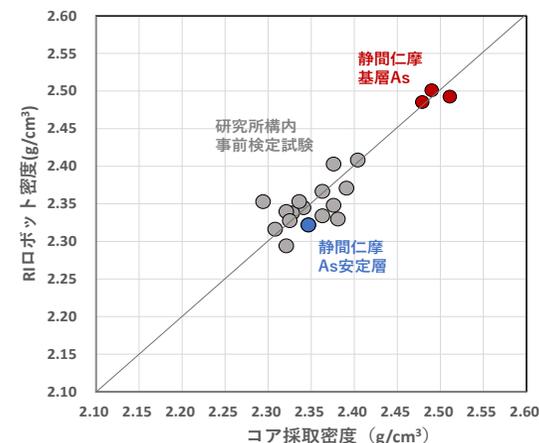
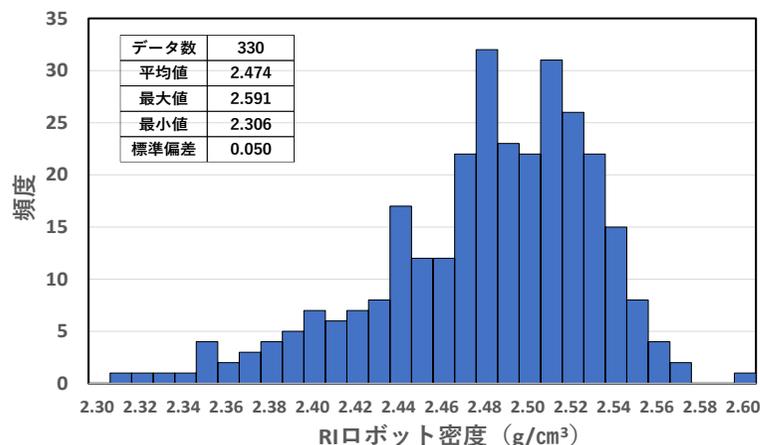
上部路体⇒路床⇒路盤の各層の施工品質情報を振動ローラ加速度法 E_{roller} により積層方向×面的(空間情報付き)に自動取得/DB格納

- ① 路盤上 E_{roller} 分布(≒舗装基盤平均剛性)上に基盤剛性の変曲点(切盛境等),路体/路床の改良箇所等、要点検箇所を特定し記録
- ② 要点検箇所での集中監視により点検労力やコストの低減、舗装劣化の早期発見と対処による高寿命化を図ることができる
- ③ 施工データは路線情報と紐づけて格納(クラウド環境でDB格納) →路線情報で容易に検索可能に(今後の課題)
- ③ 維持管理の問題発生時 →路線情報で施工時データを抽出しGIS等で可視化 →今後の検討課題

2.1.1. 検証結果

As舗装の品質確保=舗装の長期品質保証

施工時/維持管理時の利活用

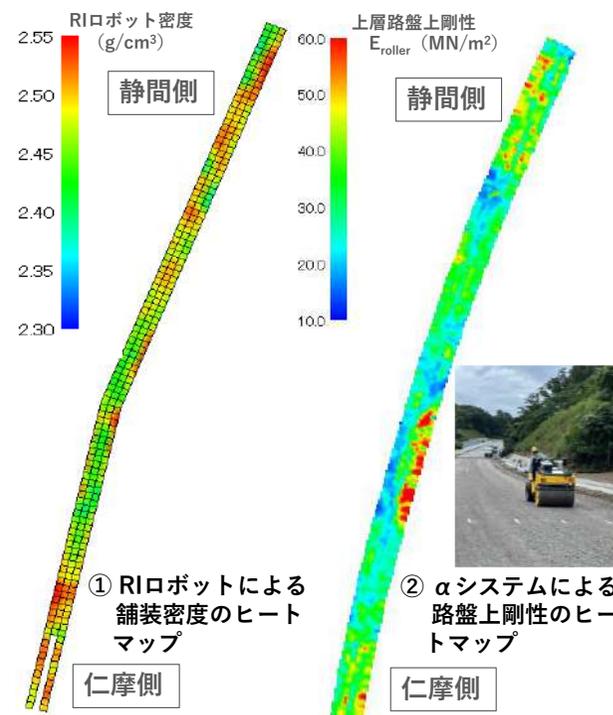


自走式散乱型RIロボットによるAs舗装密度の面的分布評価

- As舗装密度(コア抜き)を面的/空間情報として把握する手法として提案
- 施工完了後(常温)の舗装面をGNSS/散乱型RI搭載の自動走行ロボットで自走走行しAs密度を空間情報として保存
- As舗装密度の面的分布や統計情報を取得
→管理基準値の設定やM3手法の適用に関する議論が必要
- 路盤上からの E_{roller} 分布と併せ保存する事で、舗装の基盤剛性と舗装物性の両者を維持管理部門に継承(舗装密度は基盤剛性の影響を受けている可能性:右図)
- 舗装下の路盤密度の影響を受ける →As試験体を用いたキャリブを規定(補正)

☞ 検査合格した舗装面の面的密度データを取得し現場の実態を把握する必要があるのでは
基盤剛性と共にAs密度の空間情報(相対的低密度の集中など)を維持管理に継承していく

自走式散乱型RIロボットによるAs舗装密度の面的分布評価
(国土交通省山陰自動車道:舗装工新技術公募現場実証)

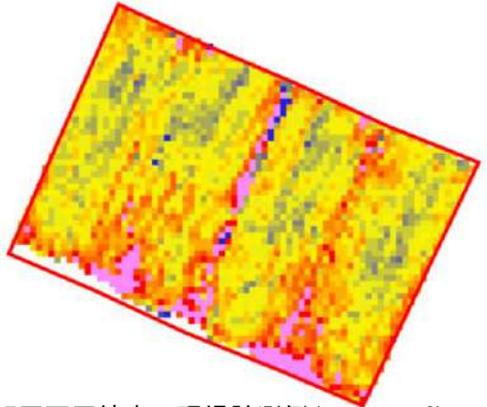
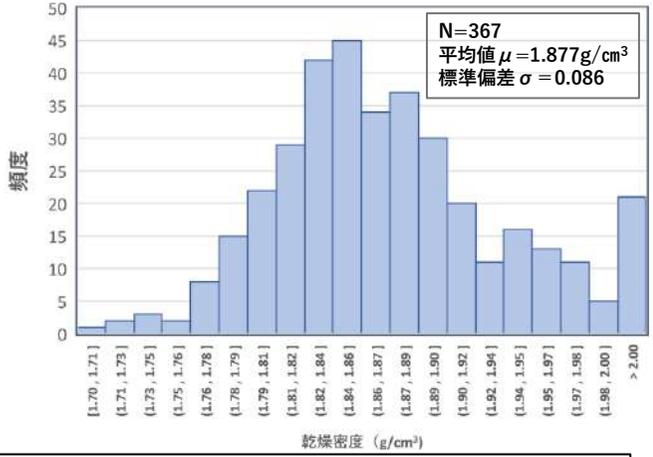
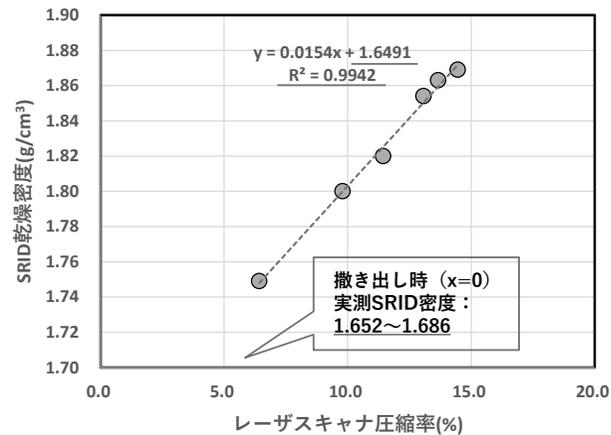
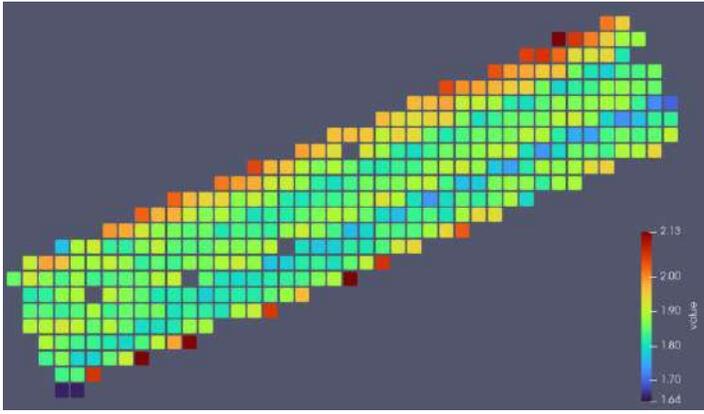


2.1.1. 検証結果

路盤締固め品質の確保=舗装の長期品質保証

*** 加速度応答法による新プルーフ/不良個所対処を前提に転圧回数管理で対処可能** → 路盤密度の面的分布を把握する一手法として提案

(2) 路盤	転圧後の密度増加率分布*	3Dレーザスキャナ (転圧前後)	施工品質 品質情報	路盤締固め情報の精緻化/効率化	舗装の長期品質保証 性能照査型品質管理**	路盤締固め状態の空間情報や締固め効果の相対的弱部を自動取得(砂置換法の省略-空間情報の把握へ)	施工現場に3Dスキャナ配置が前提/空間情報の利活用方法の議論が必要/転圧層下層の沈下が無視できる事を前提/撤き出し時の材料均一性を前提
(3) As舗装	舗装密度_RIロボット分布	自走式散乱型RIロボット	施工品質 品質情報	As舗装密度情報の精緻化/効率化		As舗装密度の統計的・空間情報の自動取得と密度計測の効率化(コア抜き等の省略)	全数管理の基準値が必要/M3手法や基準値の議論が必要(必要か?)/空間情報の利活用方法の議論が必要
			維持管理	As舗装密度の空間情報の継承	舗装維持管理の効率化	As舗装密度の空間情報に基づく路面性状調査/パトロール等の要監視箇所の特定と監視労力の低減	劣化要因である舗装下層基盤(上部路体~路床~路盤)剛性の空間情報と共に格納・継承する事が望ましい



転圧面圧縮率の現場計測例(A=1000m²)
ネクスコ西日本 PRISM大石龍門)

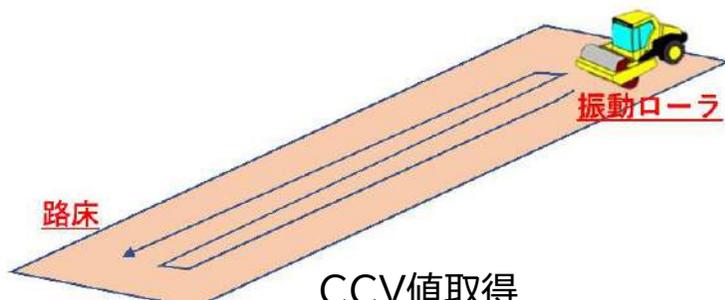
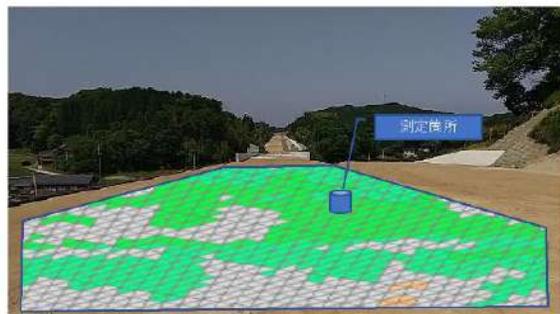
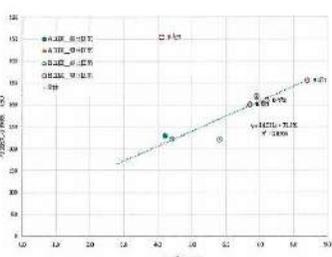
3Dレーザスキャナによる路盤圧縮率の面的評価

- ① 路盤密度(砂置換法)を面的/空間情報として把握する手法として提案
- ② 転圧前後の2回スキャナによる標高測定を行い圧縮率を算出
- ③ 締固めの不均一性を可視化し、締固めの弱部(低圧縮率部)を抽出
- ④ E_{roller}分布との併用により剛性弱部×締固め弱部の抽出も可能
- ⑤ 下層の沈下の影響や撤き出し時の不均一性等、技術的課題がありその前提の上で締固めの程度の空間情報をどのように利活用するか
の議論が必要

3Dレーザスキャナによる路盤転圧後の圧縮率の面的評価

3. 加速度応答技術を用いた路床地盤の 地盤剛性の面的管理方法

3. 1. 技術概要

<p>応募者名</p>	<p>奥村組土木興業株式会社</p>
<p>技術名称</p>	<p>加速度応答技術を用いた路床地盤の地盤剛性の面的管理方法</p>
<p>技術の概要</p>	<p>本技術は、転圧管理システム(Compaction Meister)を搭載した振動ローラを使用して、路床の地盤剛性を面的に非破壊で評価するものである。加速度応答値(CCV値)と地盤反力係数との相関性から、CCV値によって地盤剛性が評価できる。また、路床部分の品質データを面的に取得することで、舗装表面のひび割れや変状の要因の考察、類似損傷が考えられる箇所の想定などの利用に期待できる。</p>
<p>図・写真</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>路床</p> <p>振動ローラ</p> <p>CCV値取得</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>測定箇所</p> <p>CCV値の分布</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>■使用機材の構成</p>  <p>GNSS アンテナ</p> <p>GNSS 受信機</p> <p>車載モニター</p> <p>加速度応答値のリアルタイム表示</p> <p>加速度計 (振動軸に垂直または平行に設置)</p> <p>(SakaiCCVの図)</p> <p>システム構成</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>小型FWDによる地盤剛性の評価</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Y軸: 地盤剛性 (MPa)</p> <p>X軸: CCV値</p> <p>Y = 2.47X - 1.12E+01</p> <p>R = 0.999</p> </div> </div>

※このページは公表用の資料として活用いたします。

3. 1. 技術概要

種別	下層路盤/上層路盤/アスファルト舗装/路床なども含め道路構物として品質管理の高度化に資する技術
手法	従来の代替手法/新たな管理手法
品質管理項目	

評価項目 (評価の有無)	作業性	計測精度	データ処理・格納
	○	○	○

3.1.1. 検証方法

路床:作業性・計測精度・データ処理格納

評価項目	品質管理	工種	比較対象	材料	層厚	含水比	その他項目	比較値	評価方法
作業性	新たな 管理項目	路床工	小型FWD による地盤 反力係数	受け渡し後 の路床 切土・盛土	—	—	—	現場計測 データ処理 時間	作業時間
計測精度								CCV値 5未満 5~9 9以上	小型FWDに よる地盤反 力係数との 相関
データ処 理・格納								データの格 納方法	省力化 事後活用の データ格納

3.1.1. 検証方法

作業性の検証方法

<p>検証方法</p>	<p>加速度応答システム(Compaction Meister)を搭載した振動ローラを使用し、加速度応答値(CCV値)と小型FWDによる地盤反力係数との作業時間について検証した。</p> <p>検証場所:湖陵多伎道路 久村地区第2舗装工事(当社施工現場)</p> <p>日 時 :令和6年1月30日(火) 機材搬入・セッティング・CCV値取得 令和6年1月31日(水) 小型FWD・含水比測定</p> <p>実施場所:No.83+40~No.85+90(下り線) 計測範囲:約250m</p> <p>対 象 :引渡し後の路床地盤</p>
<p>検証方法イメージ (図・写真)</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>CCV値取得状況</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>計測範囲 約 250m</p> <p>検証位置図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>小型FWD計測状況</p> </div> </div>

3. 1. 1. 検証方法

計測精度の検証方法

<p>検証方法</p>	<p>加速度応答システム(Compaction Meister)を搭載した振動ローラを使用し、加速度応答値(CCV値)と小型FWDによる地盤反力係数との相関性について検証した。</p> <p>検証場所:湖陵多伎道路 久村地区第2舗装工事(当社施工現場)</p> <p>日 時 :令和6年1月30日(火) 機材搬入・セッティング・CCV値取得 令和6年1月31日(水) 小型FWD・含水比測定</p> <p>実施場所:No.83+40~No.85+90(下り線) 計測範囲:約250m</p> <p>対 象 :引渡し後の路床地盤</p>
<p>検証方法イメージ (図・写真)</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>CCV値取得状況</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>計測範囲 約 250m</p> <p>検証位置図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>小型FWD計測状況</p> </div> </div>

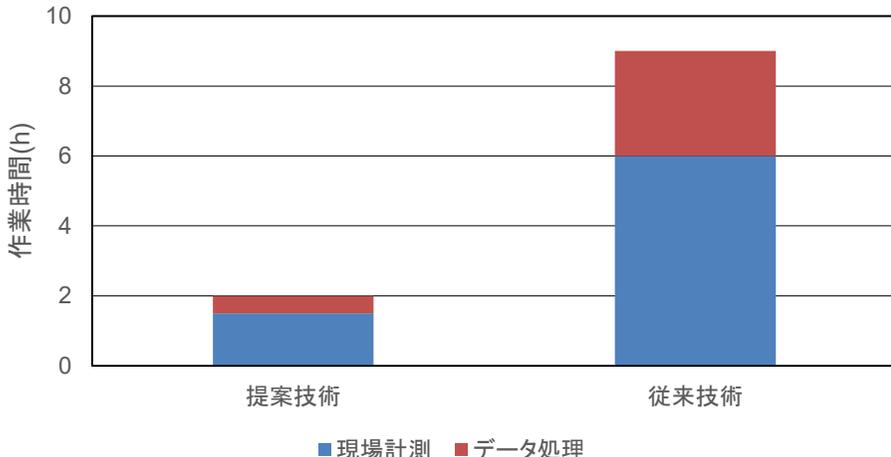
3.1.1. 検証方法

データ処理・格納の検証方法

<p>検証方法</p>	<p>加速度応答システム(Compaction Meister)を搭載した振動ローラを使用し、加速度応答値(CCV値)のデータ処理・格納方法について検証した。</p> <p>検証場所:湖陵多伎道路 久村地区第2舗装工事(当社施工現場)</p> <p>日時:令和6年1月30日(火) 機材搬入・セッティング・CCV値取得 令和6年1月31日(水) 小型FWD・含水比測定</p> <p>実施場所:No.83+40~No.85+90(下り線) 計測範囲:約250m</p> <p>対象:引渡し後の路床地盤</p>
<p>検証方法イメージ (図・写真)</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>CCV値取得状況</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>計測範囲 約 250m</p> <p>検証位置図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>小型FWD計測状況</p> </div> </div>

3.1.2. 検証結果

作業性の評価結果

<p>評価結果</p>	<p>検証対象:路床地盤 1,500m²=250m×6m</p> <p>提案技術:加速度応答技術によるデータ収集時間:1時間30分(面的データ取得)</p> <p style="padding-left: 40px;">データ処理:30分(データのダウンロード、TREND-POINTで処理)</p> <p style="text-align: center;">提案技術合計:2時間</p> <p>従来技術:小型FWDによる現場計測 :6時間(11点計測)</p> <p style="padding-left: 40px;">データ処理:3時間(11点処理)</p> <p style="text-align: center;">従来技術合計:9時間(抽出箇所の点データ:11点)</p> <p>従来技術に比べて作業時間か約1/5に短縮することができた。</p>												
<p>グラフ等</p>	<p style="text-align: center;">作業性の比較</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>作業性の比較 (作業時間(h))</caption> <thead> <tr> <th>技術</th> <th>現場計測 (h)</th> <th>データ処理 (h)</th> <th>合計 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>提案技術</td> <td>1.5</td> <td>0.5</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>従来技術</td> <td>6.0</td> <td>3.0</td> <td>9.0</td> </tr> </tbody> </table>	技術	現場計測 (h)	データ処理 (h)	合計 (h)	提案技術	1.5	0.5	2.0	従来技術	6.0	3.0	9.0
技術	現場計測 (h)	データ処理 (h)	合計 (h)										
提案技術	1.5	0.5	2.0										
従来技術	6.0	3.0	9.0										

3.1.2. 検証結果

計測精度の評価結果

評価結果

今回実施した路床地盤では、切土区間が未改良であり比較的軟弱な状態であった。一方、盛土区間については、改良後であり硬質な状態であった。

加速度応答値(CCV値)の取得では、現状の地盤剛性を表すようなヒートマップで面的に可視化することができた。

路床地盤における加速度応答値と小型FWDによる地盤反力係数K30の関係では、既往の試験結果と同様に、相関関係があることが確認できた。

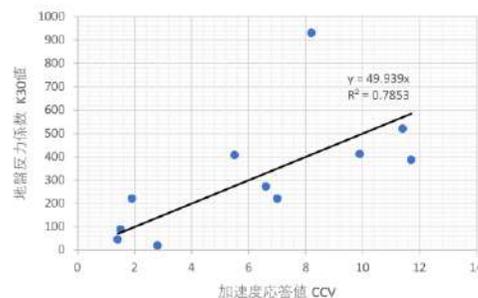
本試験結果により、加速度応答技術を用いた路床地盤の面的剛性管理に期待できるとともに、今後も土質の異なる現場でのデータ収集を行い、実用性を検証する必要がある。

グラフ等

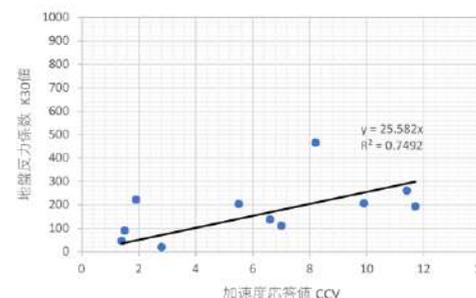
加速度応答値と地盤反力係数 相関図

測点	L				M				H		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
加速度応答値 CCV	1.9	1.4	2.8	1.5	5.5	7.0	6.6	8.2	9.9	11.4	11.7
地盤反力係数 K30値 (MPa/m)	222	46	20	90	408	222	274	932	413	521	388
地盤定数 γ	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
補正後	222	46	20	90	204	111	137	466	207	261	194
含水比(%)	38.6	47.8	32.6	34.8	38.3	33.6	30.5	36.1	27.8	31.2	40.8

地盤定数 補正前



地盤定数 補正後



3.1.2. 検証結果

データ処理・格納の評価結果

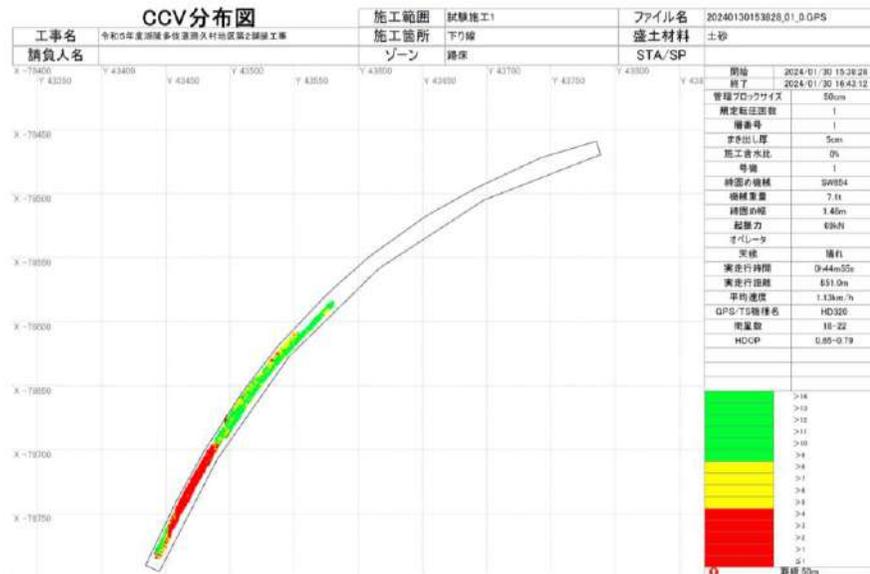
評価結果

計測後直ちに、クラウド上でCCV値のヒートマップやデータ等が格納され、閲覧・確認ができた。

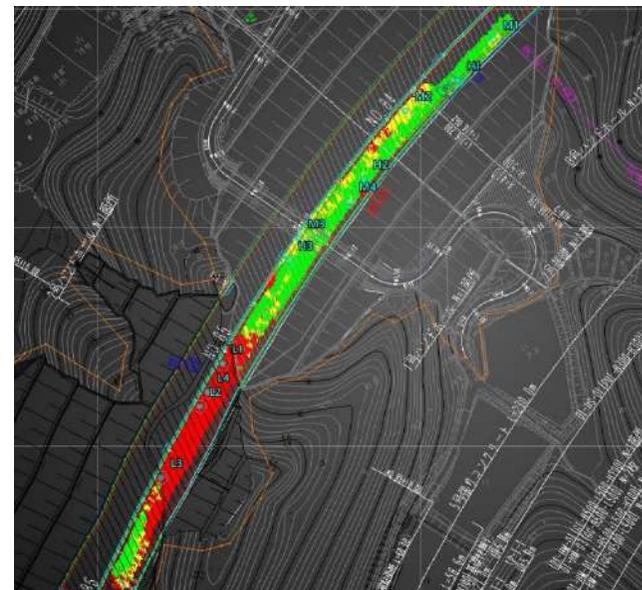
クラウドからデータをダウンロードすることで、他のソフト(例:TREND-POINT)で点群表示し、現地の図面と照合することができた。

路床完成時の地盤の品質を面的に可視化し、格納して納品することで維持管理における舗装表面のひび割れや変状の要因の考察、類似損傷が考えられる箇所の想定などに期待できる。

写真・図など



クラウド上でリアルタイムにデータを確認



出力データをTREND-POINTで確認

※このページは公表用の資料として活用いたします。

3.1.2. 検証結果

