

道路土工と舗装の一体型設計に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）
 研究期間：平 26～平 28
 担当チーム：地質・地盤研究グループ（施工技術）
 技術推進本部（先端技術）
 道路技術研究グループ（舗装）
 寒地基礎技術研究グループ（寒地地盤）
 研究担当者：宮武裕昭、近藤益央、森芳徳
 藤野健一、橋本 毅、茂木正晴
 久保和幸、寺田 剛、岩永真和
 林 憲裕、林 宏親、佐藤厚子、
 野上 敦、山田 充

【要旨】

道路土工と舗装は独立した設計体系に基づき設計されている。道路土工と舗装を一体として設計することにより、より合理的かつ経済的な設計及び耐久性の向上が期待できるため、コスト縮減及び長寿命化に繋がる。本研究では、道路土工と舗装の一体型設計することにより、道路土工と舗装一体で道路の交通性能を確保し、合理的かつ効果的な設計法と一体型性能評価手法、さらに道路土工から路盤までの品質管理手法の提案及び情報化施工の活用方法とそれによる品質確保等の評価手法の提案を目的とする。

キーワード：道路土工、舗装、一体型設計、性能評価、品質管理

1. はじめに

道路土工と舗装は独立した設計体系に基づき設計されている。道路土工と舗装を一体として設計することにより、より合理的かつ経済的な設計及び耐久性の向上が期待できるため、コスト縮減及び長寿命化に繋がる。

これは、路盤・路床は、施工場所によってばらつきがあるため、従来は道路土工の CBR 評価により舗装は安全側の設計・施工を行っている。道路土工と舗装を一体で設計することにより、道路土工から路盤まで一連の設計・施工・品質管理が可能となり、舗装の薄層化や断面の合理化によりコスト縮減及び長寿命化に繋がる。近年は情報化施工も導入されており、一体型設計を導入することにより、その効果を高めることが期待される。このためには、従来の道路土工を評価する CBR 試験の代替評価試験と情報化施工の効果的な活用方法と品質確保等の評価が必要である。

道路に求められる要求性能を交通量や重要度に応じて明らかにし、重要度の低い道路の場合は要求性能を下げても、交通性能確保は可能であると考えている。

本研究では、道路土工と舗装の一体型設計することにより、道路土工と舗装一体で道路の交通性能を確保し、合理的かつ効果的な設計法と一体型性能評価手法、さら

に道路土工から路盤までの品質管理手法の提案及び情報化施工の活用方法とそれによる品質確保等の評価手法の提案を目的としている。

本年度は、道路土工と舗装の一体型設計手法、道路土工と路盤の品質管理手法、情報化施工の活用方法と品質確保等の評価手法について検討を行った。

2. 道路土工と舗装の一体型設計手法の提案

2.1 舗装損傷に関する事例の収集

関東地方整備局管内 109, 583 区間の舗装工事履歴を用いて、舗装が施された年月日から各補修工事の施工間隔を抽出し、補修理由、補修工法、使用材料毎に補修履歴間隔（年月）を整理した。

2.1.1 舗装材料毎の補修履歴間隔の整理

舗装材料別の補修間隔を図-2.1～図-2.3に示す。舗装材料別の補修間隔をみると、アスファルト舗装では改質H型を用いた舗装の場合、補修間隔10年でピーク値を示すが、改質II型の場合には補修間隔4～12年程度に多く分布し、顕著なピーク値はみられなかった。

また、ポーラスアスファルト舗装では、改質H型を用いた舗装は補修間隔4～16年程度に多く分布がみられ、補修間隔10年でピーク値を示すが、その他改質アスファ

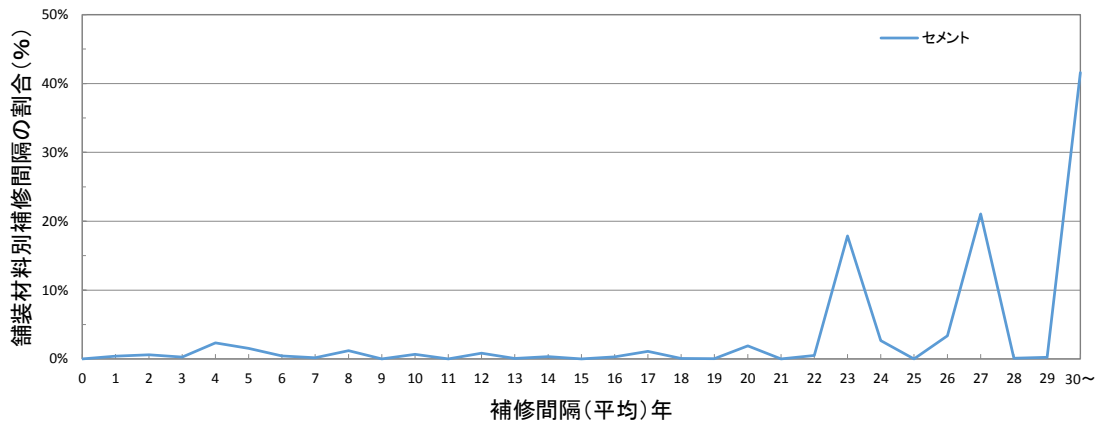


図-2.1 コンクリート舗装における材料別の補修間隔の分布

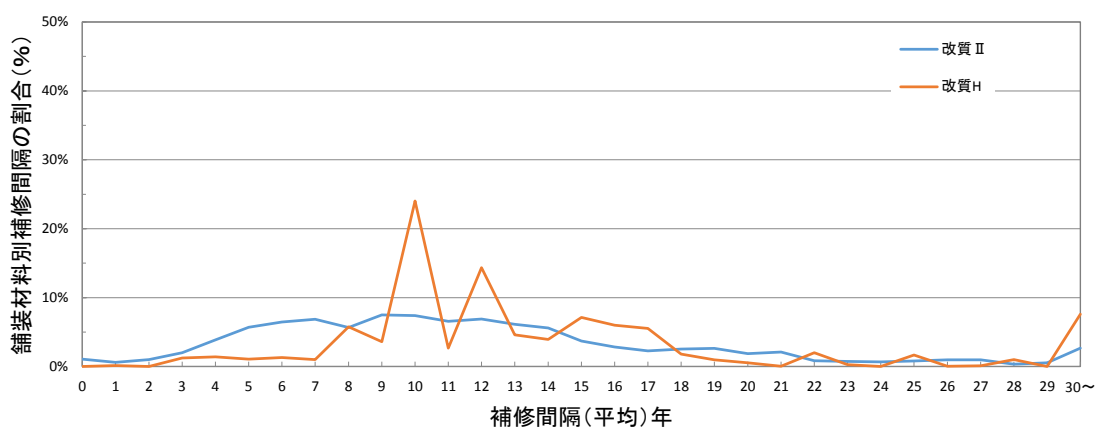


図-2.2 アスファルト舗装における材料別の補修間隔の分布

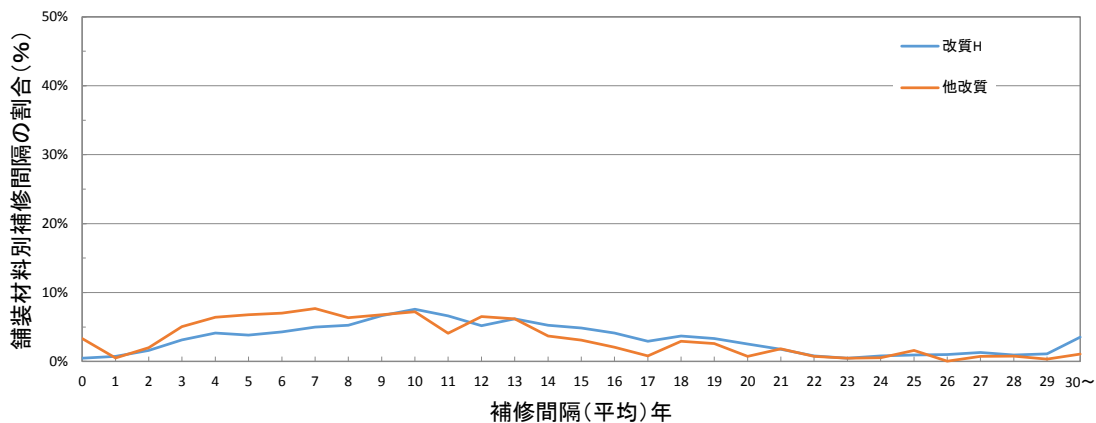


図-2.3 ポーラスアスファルト舗装における材料別の補修間隔の分布

ルトを用いた舗装は、補修間隔3年～13年程度に多く分布し、顕著なピーク値はみられなかった。

2.1.2 補修工法毎の補修間隔の整理

補修工法毎の補修間隔の内訳を図-2.4 に示すとおりであり、概ね6年～15年間隔で補修が行われている工法が多く見られる。

比較的短い間隔(10年以内)で補修が行われている割合が少ない補修工法は、路上路盤再生工法、切削薄層コ

ンクリート舗装工法、切削表面処理工法、路上表層再生工法(リミックス)であり、安定して長期間舗装性能を保持することができるものと考えられる。

一方、若干ではあるが、比較的短い間隔(10年以内)で補修が行われる割合が多い補修工法は、維持工事であるシール材注入工法・表面処理工法を除くと、その他の補修工法、切削オーバーレイ工法、局部打換え工法、わだち部オーバーレイ工法であった。

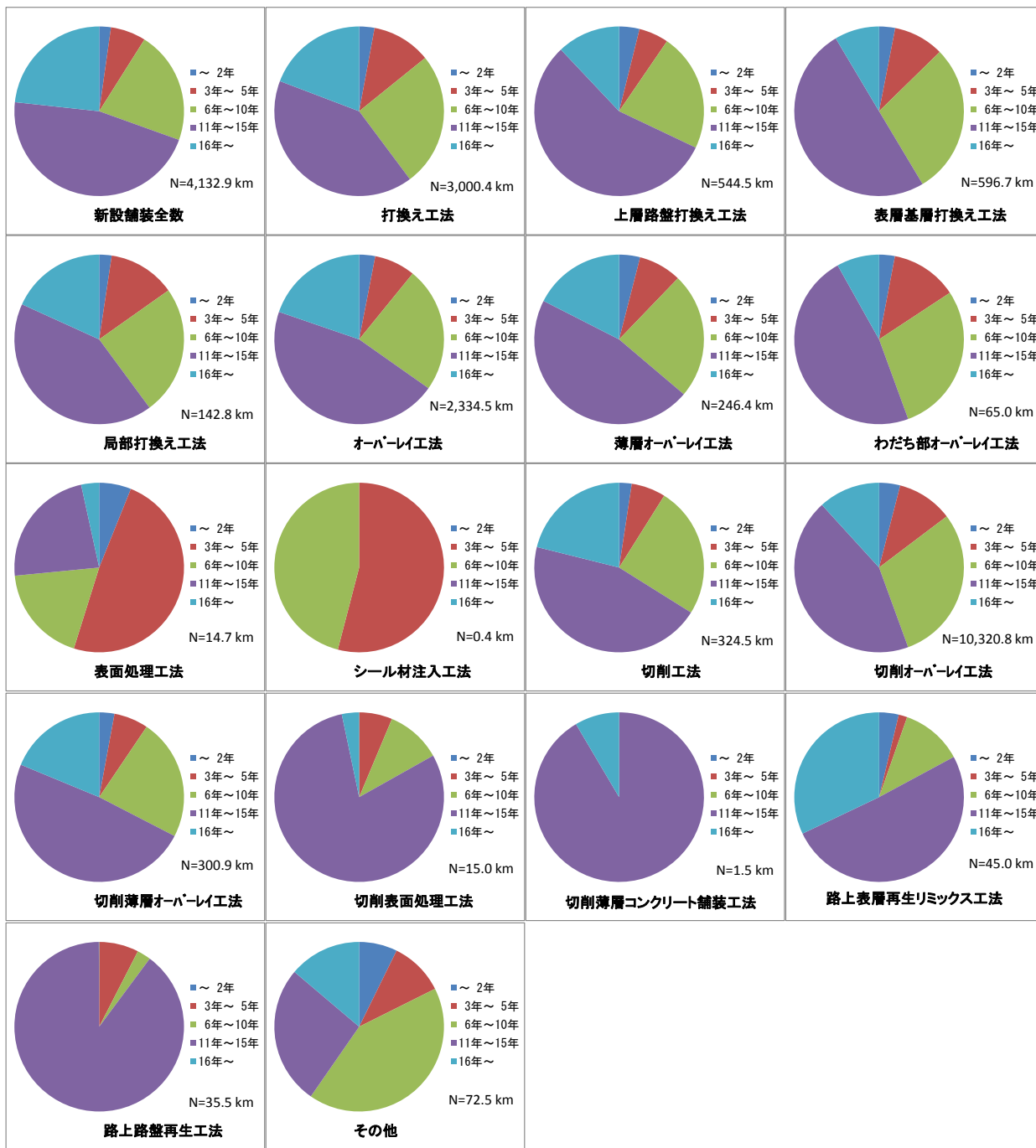


図-2.4 補修工法別の補修間隔内訳

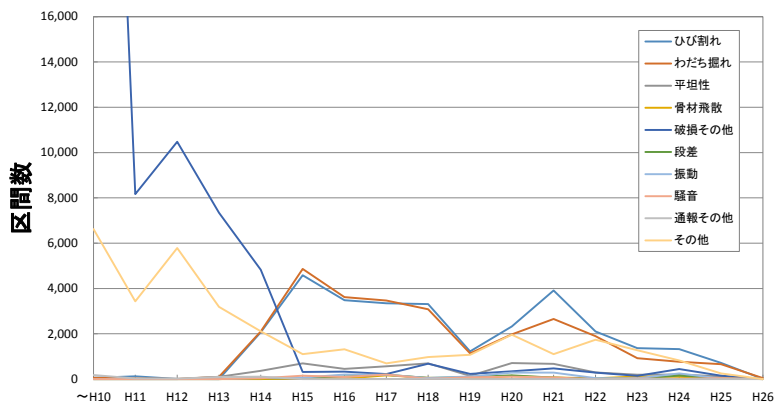


図-2.5 補修理由の推移

補修工事を行った理由について、補修年ごとの件数を整理した結果を図-2.5に示す。

平成13年までの補修理由は、主に破損（その他）、その他の理由であったが、平成14年以降はひび割れやわだち掘れといった理由が増加し、破損（その他）やその他の理由が減少した。これは、平成14年以降に補修理由が整理されたためであると考えられる。

平成14年以降の主な補修理由は、ひび割れやわだち掘れであり、ほぼ同様の推移を示している。

2.2 路床状態が舗装性能に及ぼす影響の確認

現在、一般的に実施されている路床の施工管理は、締固め度の管理で行われており、詳細な締固め状態を確認する場合はCBR試験を実施することになっている。しかし、原位置でのCBR測定は反力の用意など測定が煩雑であることから、転圧回数による管理を行い現場密度試験により確認している。

そこで本検討は、路床の締固め状態がアスファルト舗装の性能に与える影響を確認するとともに、路床の締固め状態を適切に確認できる方法を検討することを目的に、

表-2.1 使用材料と厚さ

層	材料	CASE1	CASE2	CASE3
路床	材料	砂質土	粘性土 +消石灰約4%	砂質土
	厚さ (cm)	30	30	30
下層路盤	材料	C-40		
	厚さ (cm)	19	19	19
上層路盤	材料	C-30		
	厚さ (cm)	15	15	20
基層	材料	密粒度(13F) (ストアス80/100)		
	厚さ (cm)	5	5	0
表層	材料	密粒度(13F) (ストアス80/100)		
	厚さ (cm)	5	5	5
合計厚さ (cm)		74	74	74
T _A (cm)		20.0	20.0	16.8
地点のCBR		29.7	2.8	27.5

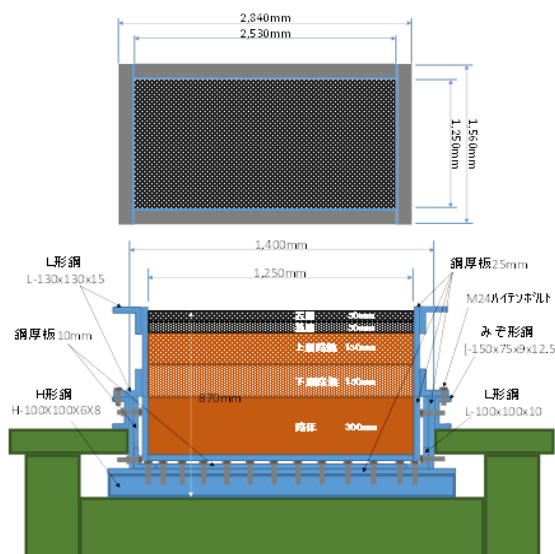


図-2.6 実験模型（供試体）の形状

輪荷重走行試験機を用いて路床、路盤、表基層を構築した供試体で耐久性試験を実施した。

輪荷重走行試験機を用いて供試体3ケースに対して輪荷重走行試験を行った。供試体3ケースの使用材料と厚さを表-2.1に、実験模型（供試体）の形状を図-2.6に示す。締固めは、写真-2.1~2.4に示すように路床はタンパー、路盤はタンパー後にプレートコンパクター、表基層はプレートコンパクターで行った。本検討では試験方法の有効性を確認するため、CBRが2.8の粘性土とCBRが28前後の砂質土と極端な路床土を用いて試験した。



写真-2.1 路床の締固め状況（タンパー）



写真-2.2 路盤の締固め状況（タンパー）



写真-2.3 路盤の締固め状況（プレート）



写真-2.4 表層の締固め状況（プレート）



写真-2.5 試験状況

2.2.1 輪荷重走行試験

路床、路盤、表基層を構築した後、輪荷重走行試験機を用いて耐久性試験を実施した。輪荷重走行試験は以下の条件で試験を行った。試験状況を写真-2.5に示す。

- ・ ゴムタイヤ: 複輪 (大きさ: 直径 1,051mm × 幅 277mm)
- ・ 走行速度: 25 往復/分
- ・ 載荷荷重: 98kN
- ・ 接地圧: 0.78MPa
- ・ 繰返し載荷回数: 舗装の沈下量が 30mm (載荷装置の下限リミット) になるまで

2.2.2 確認項目

- ① 舗装の破損を確認するため、計測 10,000 回毎にひび割れ量と表面凹凸 (舗装の沈下量) をレーザー変位計を用いて 3 測線 (供試体中央、端部から 1m) で測定した。
- ② 路床と路盤の施工時の締固め状態を確認するため、小型 FWD (FWD-Light)、簡易支持力測定器 (キャスポル、NETIS 登録番号: KK-980055-VE)、衝撃加速度試験機 (NETIS 登録番号: HK-130011-A) の 3 種類の試験機を用いて路床及び路盤の支持力を 3 測線 (中央、端部から 1m) 3 箇所測定した。小型 FWD、簡易支持力測定器及び衝撃加速度試験機の測定状況を写真-2.6 に示す。

2.2.3 輪荷重走行載荷試験の結果

(1) 路床の密度と締固め度測定結果

施工後の路床の密度と締固め度の測定結果を表-2.2と図-2.7に示す。通常、路床は締固め度管理で施工されており砂置換法では、表-2.2と図-2.7に示すように 3 ケースとも締固め度管理基準の 95%以上を満足した結果であった。しかし、砂置換で現場密度を確認するとケース 1 とケース 3 の砂質土は 1.7g/cm³前後で、ケース 2 の粘性土は 1.0g/cm³程度であった。

(2) 路床及び路盤の支持力測定結果

路床と路盤の支持力として各ケースの 3 箇所て小型



写真-2.6 測定状況 (左: 小型 FWD、中央: キャスポル、右: 衝撃加速度試験機)

表-2.2 路床の密度と締固め度の測定結果

	CASE1	CASE2	CASE3
材料	砂質土	粘性土 + 消石灰約 4%	砂質土
厚さ (cm)	30	30	30
締固め度管理基準 (%)	95以上		
締固め度 (砂置換、%)	99.3	96.7	96.9
現場密度 (砂置換、g/cm ³)	1.831	1.044	1.787
地点のCBR	29.7	2.8	27.5

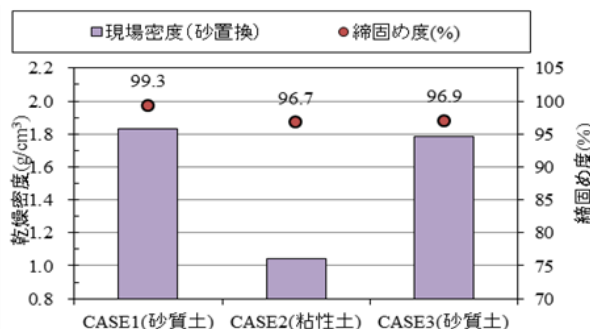


図-2.7 路床の密度と支持力測定結果

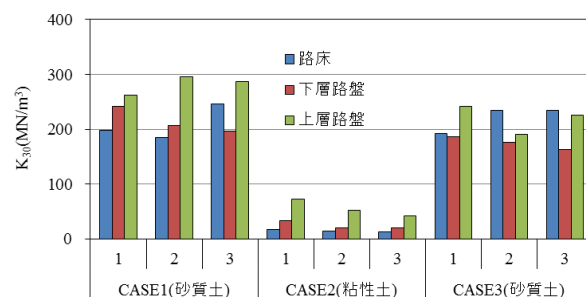


図-2.8 各層の K₃₀ (小型 FWD) の結果

FWD を測定し求めた支持力係数 (K₃₀) の結果を図-2.8に示す。各ケースとも 3 箇所のばらつきはあるものの、路床、路盤ともケース 1 とケース 3 の砂質土は 200MN/m³前後と大きく、ケース 2 の粘性土は 50MN/m³前後と小さい結果であった。路床の結果は、現場密度の結果と同じ傾向であるため、路床の締固め状態を適切に評価できて

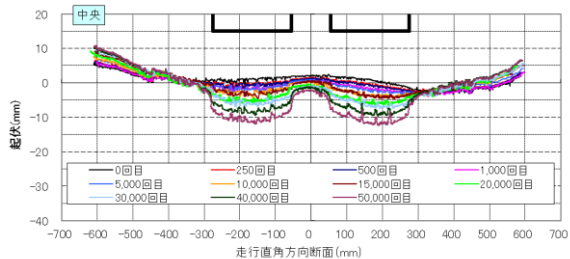


図-2.8 CASE1の表面凹凸測定結果

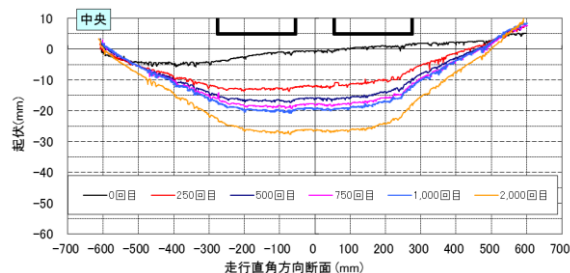


図-2.9 CASE2の表面凹凸測定結果

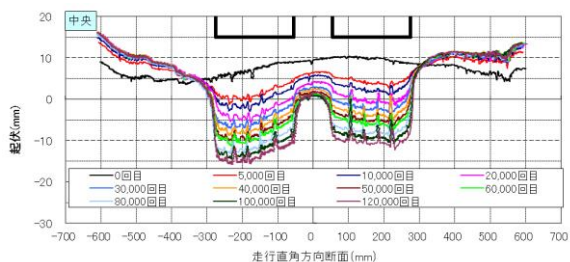


図-2.10 CASE3の表面凹凸測定結果

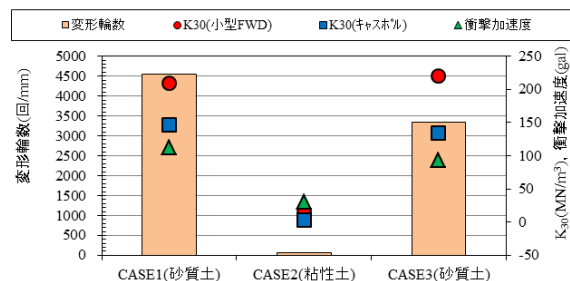


図-2.11 変形輪数と支持力測定装置の測定結果

いる。ケース1とケース2は、路床、路盤とも厚さは同じで、路盤の材料も同じであるのに支持力係数に差があるのは、路床の密度やCBRなどの支持力の影響を受けた結果である。

なお、上層路盤の厚さだけを厚くしたケース3とケース1を比較すると、ケース3の上層路盤の支持力が大きくならなければならないのにケース1より小さくなっている。この原因は分からないため、今後解析を加えるか、追加試験を検討する必要がある。

(3) 路床の支持力が舗装の破損に与える影響

図-2.8～2.10にケース1～ケース3の供試体の中央部

の表面凹凸測定結果を示す。図中の折れ線グラフは、走行回数に応じた舗装表面の凹凸形状を示す。表面凹凸の形状を比較するとケース1とケース3は、载荷回数が増加するにつれ複輪の形に凹んだが、ケース2は複輪の形にならず凹んだ。また、図-2.11にケース毎に舗装が1mm沈下するに要した走行輪数(変形輪数)の結果と施工時の路床の締固め状態を確認した支持力測定装置の測定結果と変形輪数の結果を示す。ケース2の粘性土は変形輪数が小さく、ケース1とケース3の砂質土は変形輪数が大きくなった。この結果から、路床の支持力が小さければ舗装の破損が大きく早期に破損しており、路床の支持力が舗装の破損に影響することが分かった。また、ケース1とケース3と比較すると基層がなくTAで3.2cm小さいケース3の方が変形輪数が小さくなった。

(4) 支持力測定装置の適用性の確認

施工時の路床の締固め状態を確認した支持力測定装置の測定結果と変形輪数の結果を図-2.11に示す。3種類の支持力測定装置とも差はあるものの、変形輪数が小さいケース2の粘性土は支持力が小さく、変形輪数が大きいケース1とケース3の砂質土は支持力が大きい結果となった。この結果から、3種類の支持力測定装置とも路床の締固め状態を評価できる可能性があることが分かった。

3. 道路土工と路盤の品質管理手法の提案

本実験では、砂置換と同程度の測定精度を担保しつつ、より迅速に路床の品質管理を行うことのできる測定装置として国土交通省北海道開発局において採用されている衝撃加速度を用いた盛土の品質管理方法について、道路土工の路床材及び路盤材に対する適用を検討した。合わせて簡易に路床の品質を管理できると考えられる小型FWD、土壌硬度計についても路床の品質管理としての適用性を調査した。土木研究所の舗装走行実験場において試験施工を実施した。また、舗装走行実験場は交通荷重の影響を実物大の舗装にて評価することが可能であること



写真-3.1 試験施工箇所(路床施工時)

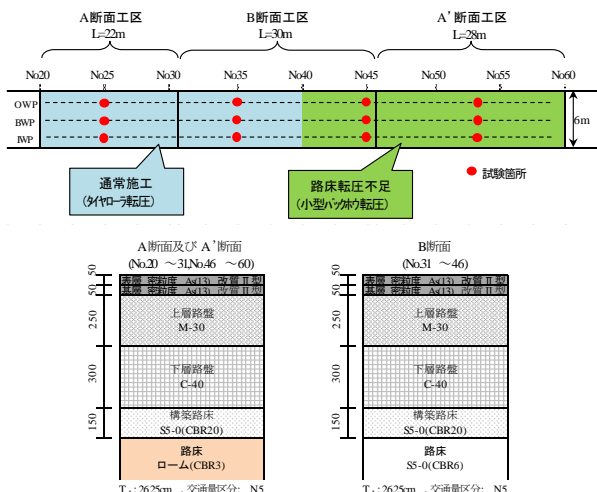


図-3.1 試験施工検討区
(上：平面図，下：断面図)
表-3.1 各測定機器の概要

名称	大きさ	重さ	備考
衝撃加速度測定装置	高さ800mm×φ200mm	7.0kg	路体盛土品質管理の場合は事前に試料を採取し室内試験を行う
小型FWD	高さ1,100mm×φ120mm	15.0kg※	計測前に落下高さ、重錘を決定する予備試験を行う
土壌硬度計	長さ200mm×φ30mm	0.65kg	

※載荷板φ100mm、重錘5kgの状態

から、路床の締固め度に差異を生じさせた工区を設定し、路床の締固め度が舗装の構造的健全度に与える影響を検討した。なお、構造的健全度を示す指標としては、路床を含めた舗装全体の支持力を表す D_0 たわみ量（荷重・温度補正後）と舗装路面のわだち掘れ深さに着目し、舗設直後及び荷重車が所定輪数を走行した後に FWD による構造調査及び路面性状調査を行った。

試験施工の概要を写真-3.1 及び図-3.1 に示す。異なる締固め度の施工方法は、構築路床（砂質土：S5-0、 $t=15\text{cm}$ ）に対して、A 断面工区は通常施工としてタイヤローラによる転圧を行い、A' 断面工区は、転圧不足となるように小型バックホウで1回のみ転圧を行った。

3.1 路盤及び路床の品質管理手法の提案に関する検討

本実験では、砂置換法と同程度の測定精度を担保しつつ、より迅速に路床の品質管理を行うことのできる測定機器として、衝撃加速度試験機、小型 FWD、土壌硬度計の3種類の測定機器を選定し測定を行った。表-3.1 にそれぞれの測定機器の概要を示す。いずれも人力にて測定箇所への運搬が可能であり、かつ、測定結果は現場で比較的短時間に確認することができ、1回に要する測定時間も数分以内である。

3.1.2 測定方法

測定は平成27年2月2日に茨城県つくば市の土木研究所構内の舗装走行実験施設の舗装の打ち換え工事時に実

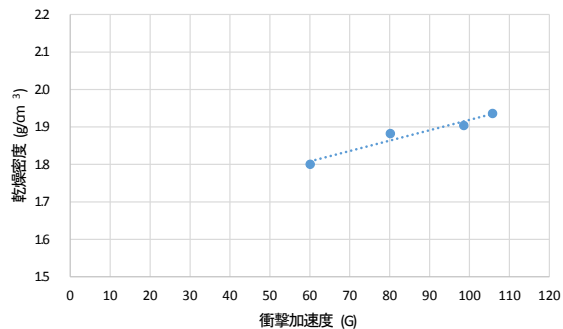


図-3.2 衝撃加速度と乾燥密度の関係

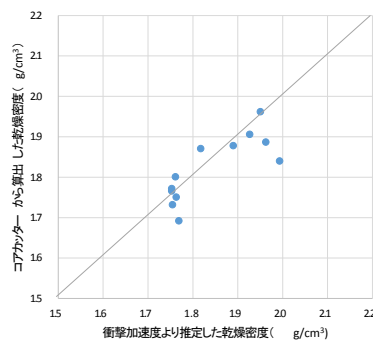


図-3.3 衝撃加速度による乾燥密度の推定値とコアカッターによる測定値の関係

施した。全長110m、幅6mにわたり既設の舗装及び路盤材が撤去され、露出した路床に対して測定を行った。

既設の舗装及び路盤材を撤去し露出した路床に対し、測線 No.20～No.40 は3t 級タイヤローラにより転圧を行った。測線 No.40～No.60 はバックホウでかき乱し人力で敷き均したのち、小型バックホウで1回転圧を行った。転圧が完了した状態で測定を行った。

測定は、No.25、No.35、No.45、No.55 の測線毎に、1.5m 幅で3点の測定を行った。測定項目は、衝撃加速度測定装置による衝撃加速度、小型 FWD による地盤反力係数 K_{FWD} 、土壌硬度計による指標硬度、コアカッター（直径10cm、体積785 cm^3 ）による密度計測である。

衝撃加速度は路体での品質管理方法にならない、10点の測定を行い、測定値のうち上限と下限の各2値を除外し全6点の平均値を採用した。小型 FWD は1箇所1点の測定とし、測定条件は載荷板直径100mm、重錘質量5kgとした。指標硬度は10点の平均値を採用した。また、現地から試料を採取し、衝撃加速度を用いた盛土の品質管理方法に基づいて室内試験を実施した。

3.1.3 測定結果及び考察

(1) 衝撃加速度測定装置

図-3.2 に、室内試験により求めた衝撃加速度と乾燥密度の関係を示す。衝撃加速度の増加に伴い乾燥密度が増加していく傾向が認められ、本測定対象の路床材料には

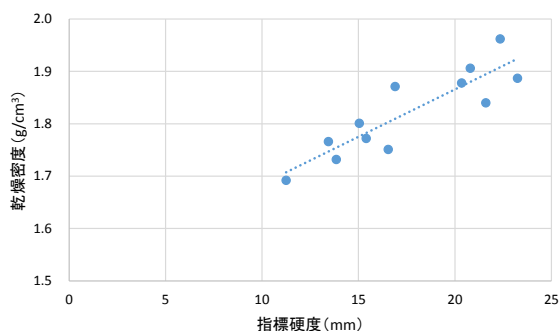
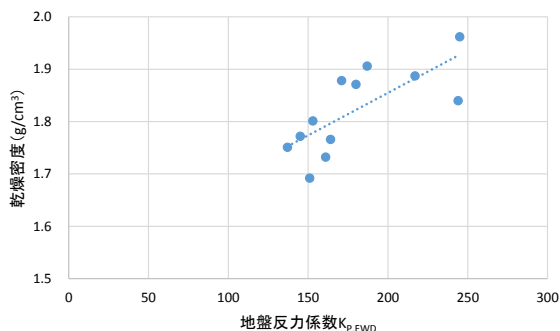
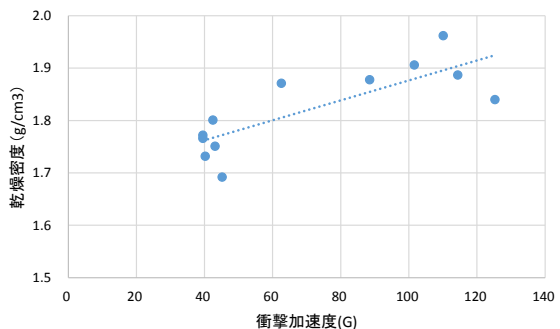


図-3.4 各指標と締固め度の関係

表-3.2 各測定機器の比較

名称	運搬	精度	実績
衝撃加速度測定装置	○	○	○
小型FWD	△	○	○
土壌硬度計	◎	○	△

衝撃加速度を用いた盛土の品質管理方法を適用することが可能と考えられる。図-3.3には衝撃加速度から推定した乾燥密度とコアカッターを用いた現場密度測定から算出した乾燥密度の関係を示す。他の路盤、路床材料の計測結果と比較し特別に大きな誤差は見受けられず、推定精度はこれまでと同程度の精度を達成しているものと考えられる。

これまでに測定した路床、路盤材料は全て衝撃加速度測定装置を用いた品質管理方法を適用することができた。今回の路床材料についても、特に問題なく適用できたも

表-3.3 構築路床の締固め度測定結果

	測点	測定位置	構築路床締固め度(%)	
			測定値	平均値
A断面工区	No25	OWP	95.2	97.3
		BWP	96.9	
		IWP	95.5	
A'断面工区	No53	BWP	101.7	90.3
		OWP	90.1	
		IWP	91.6	

表-3.4 下層路盤以降の品質管理試験結果（締固め度）

	使用材料	締固め度(%)	
		A断面工区	A'断面工区
下層路盤	C-40	100.8	100.4
上層路盤	M-30	98.7	99.0
基層	密粒度 As(13) 改質Ⅱ型	99.9	97.0
表層	密粒度 As(13) 改質Ⅱ型	99.1	99.6

のと考えられ、今後も引き続き測定調査を続けデータ件数を増やし、衝撃加速度測定装置の路盤、路床の品質管理への適用の信頼性をあげることが重要と考えられる。

(2) 各試験器の比較検討

各測定機器の測定精度を比較するために、図-3.4に3種類の測定機器の測定値と乾燥密度、締固め度の関係を示す。図-3.4の限りでは、測定機器の間に明確な精度の差は見受けられなかった。

上記の測定精度を含めて、各測定機器の比較検討を表-3.2にまとめる。運搬について、全て人力で運搬可能であるものの、小型FWDは載荷板を大きくしたり付加重錘を追加した場合には重量が大幅に増加し、運搬にはかなりの労力を要する。他方、土壌硬度計はポケットに収納することも可能な大きさで重量である。さらに土壌硬度計は精度に特段の問題点がない上に、使用実績及び指標硬度と関係諸数値との相関性が明らかにされた場合には、非常に有用な測定機器となり得る可能性がある。現時点では、3機種それぞれに特徴と問題点があるが、問題点を解決していくことにより、それぞれ有効な品質管理手法になり得ると考えられる。

3.2 路床の締固め度の差異が舗装構造健全度と与える影響に関する検討

3.2.1 路床の締固め度

A断面工区、A'断面工区における構築路床の締固め度測定結果を表-3.3に示す。表-3.3より、両工区とも各位置における測定値には若干のバラつきがあるものの、工区平均値で7%の差を設定することができた。なお、下層路盤以降については、両工区とも通常施工とし表

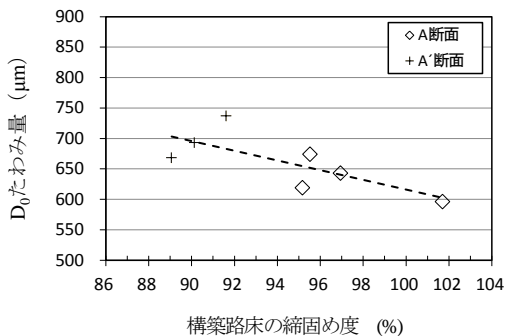


図-3.5 構築路床の締固め度とD₀たわみ量の関係（舗設直後）

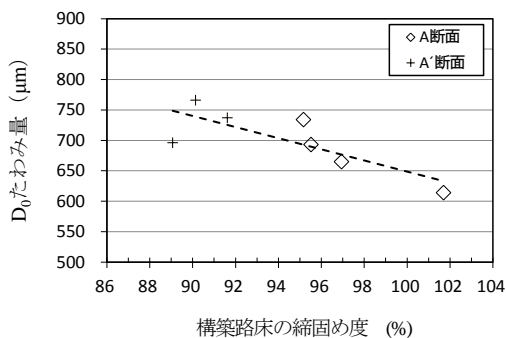


図-3.6 構築路床の締固め度とD₀たわみ量の関係（49kN換算11.58万輪走行後）

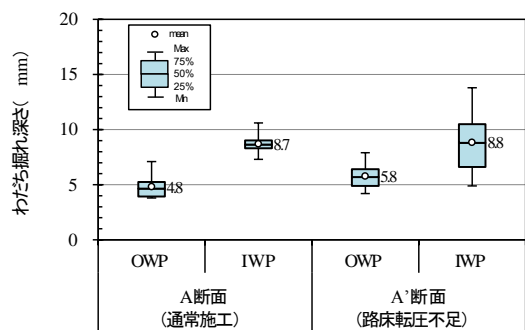


図-3.7 構築路床の締固め度とわだち掘れ深さの関係（49kN換算51.58万輪走行後）

-3.4に示すように所定の品質を確保した。

3.2.2 路床の締固め度とD₀たわみ量の関係

路床の締固め度とD₀たわみ量の関係を図-3.5、図-3.6に示す。なお、D₀たわみ量の測定は、図-3.1に示す路床の締固め度管理と同一測点とし、舗設直後と49kN換算11.58万輪走行後（N5交通区分の供用1年程度に相当）の結果について整理した。

舗設直後の結果（図-3.5）より、路床の締固め度が低いとD₀たわみ量は大きくなる関係にあることがわかる。次に、49kN換算11.58万輪走行後の結果（図-3.6）より、路床の締固め度とD₀たわみ量は、上記した舗設直後の結果と同様の関係にあることがわかる。また、D₀たわみ量は、供用に伴い全体的に増加しているが、路床の締固め

度が小さいほど、D₀たわみ量の増加分が大きくなる傾向にあり、路床の締固め度が舗装の構造的健全度を示す指標であるD₀たわみ量に大きく影響を与える可能性があることがわかった。

3.2.3 路床の締固め度とわだち掘れ量の関係

路床の締固め度と舗装路面のわだち掘れ深さの関係を図-3.7に示す。なお、わだち掘れ深さは、舗装路面にわだち掘れが現れ始めた49kN換算51.58万輪走行後（N5交通区分の供用5年程度に相当）に測定した。

図-3.7に示す値は、A断面工区及びA'断面工区において2m間隔の測線上（工区境は除く）にて測定した横断形状データからOWP部、IWP部のわだち掘れ深さを算出した結果を整理したものである。図-3.7より、49kN換算51.58万輪走行後のわだち掘れ深さは、両工区とも概ね10mm以下であり損傷の程度は小さい結果であったが、A断面工区よりも路床の締固め度が低いA'断面工区の方がわだち掘れ深さが大きい傾向を示すことがわかった。

4. 道路土工と舗装の一体型設計に対応した情報化施工の活用方法と品質確保等の評価手法の提案

4.1 情報化施工の品質確保等の効果の検証

情報化施工技術の一つとしてマシンコントロールがある。マシンコントロール（以下MC）とは、TSやGNSSなどを用いて施工機械の位置を把握し、その位置における目標高さ（あらかじめ入力された設計データ）と作業装置（ブレードなど）との差を算出し、作業装置が設計値に添うよう自動的にリアルタイムで制御を行う技術のことである。現在ではモータグレーダやブルドーザを用いた敷き均し施工を中心に実用化されており、オペレータの負担を軽減することによる施工の効率化や高精度化などが期待されている。本年度はこのMC施工の優位性を定量的に明らかにすることを目的とし、施工条件を同一にした2つの試験場にて従来施工とMC施工を行い、施工にかかる作業時間及び出来形のバラツキを比較した。対象の工種は、モータグレーダによる路盤敷き均し施工とした。

なお、本実験は土木研究所と民間企業5社（鹿島建設、鹿島道路、トプコンソキアポジショニングジャパン、西尾レントオール、NIPPO）による共同研究にて行った。

4.1.1 実験概要

4.1.1.1 実験概要

幅6m、全長70m（直線部45m、曲線部25m）の路床を2レーン用意し、その路床上に厚さ30cmになるよう

路盤材料 (M40) をモータグレーダにて敷き均す実験を行った。モータグレーダは MC システムを搭載した KOMATSU GD655 を使用し、1 レーンは MC を使用せずに (従来施工)、2 レーンは MC を使用して (MC 施工) 施工を行った。実験状況を写真-4.1 に示す。また実験は一般的な施工と同様に、直線部 10m ピッチ、曲線部 5m ピッチで設定した測点における仕上がり高さが、設計高さ (基準高さ) $\pm 1\text{cm}$ 以内になった時点で終了とした。

4.1.1.2 データ計測

実験結果として以下のデータを測定した。

- ① 施工開始から終了までにかかった時間
- ② 施工終了後、中央・右・左の3測線上 1m ピッチの仕上がり高さ (出来形)。TS にて計測 (図-4.1)
- ③ 上記出来形計測後、図-4.1 に示した左 2.5m 測線上の平坦性。マカダムローラにて締固めた後、3m プロファイルメータを用いて測定 (写真-4.2)

4.1.1.3 オペレータ

表-4.1 に示す様々な経験を持った6名のオペレータにて実験を行った。

4.1.2 実験結果

施工にかかった実作業時間 (後進や計測作業などを含まない、敷き均し作業のみの時間) を図-4.2 に、3 測線上 1m ピッチで測定した施工終了後の出来形を目標高さからの乖離で表し、さらにそのバラツキの標準偏差を算出した結果を図-4.3 に、さらに図-4.1 に示した左 2.5m 測線上の平坦性を図-4.4 に示す。

図-4.2 によると、すべてのオペレータにて MC 施工を導入することにより実作業時間が短縮され、その短縮率は熟練者 (経験 15 年以上 : B さん、E さん) では約 3~15% 程度、非熟練者 (経験 9 年未満 : A さん、C さん、F さん) では約 40~50% 程度となっており、非熟練者の方が MC 施工導入による作業時間短縮効果が高いことがわかる。さらに非熟練者に MC 施工を導入した場合、ほぼ熟練者並みの実作業時間 (約 30~40 分) で施工できる可能性があることがわかる。

図-4.3 によると、すべてのオペレータにて MC 施工を導入することにより目標高さに対する出来形のバラツキが改善され、その改善率は熟練者では約 16~26% 程度、非熟練者では約 40~60% 程度となっており、非熟練者の方が MC 施工導入によるバラツキ改善効果が高いことがわかる。さらに非熟練者に MC 施工を導入した場合、ほぼ熟練者並みのバラツキ (標準偏差約 1cm 以内) で施工できる可能性があることがわかる。

図-4.4 によると、平坦性はオペレータの経験、MC 施



写真-4.1 実験状況



図-4.1 出来形計測点



写真-4.2 平坦性測定状況

表-4.1 実験オペレータ

	年齢	業務経験年数
A さん	30	8
B さん	36	16
C さん	22	1
D さん	33	10
E さん	52	33
F さん	23	5

工の有無による明確な傾向はないことがわかる。また、特異なデータ (A さんの MC 施工、D さんの MC 施工) を除くと、各平坦性の値はほとんど同一であることがわかる。

なお、オペレータ D さんは、MC 施工の社内トレーナー

(社内オペレータに MC 施工を教育する) として勤務しており、通常の重機オペレータと違い、現場経験はほとんどないが MC の操縦には長けている人物である。そのような特殊な被験者であるため、実験結果も他のオペレータとは異なる傾向が出ており、従って上記検討から

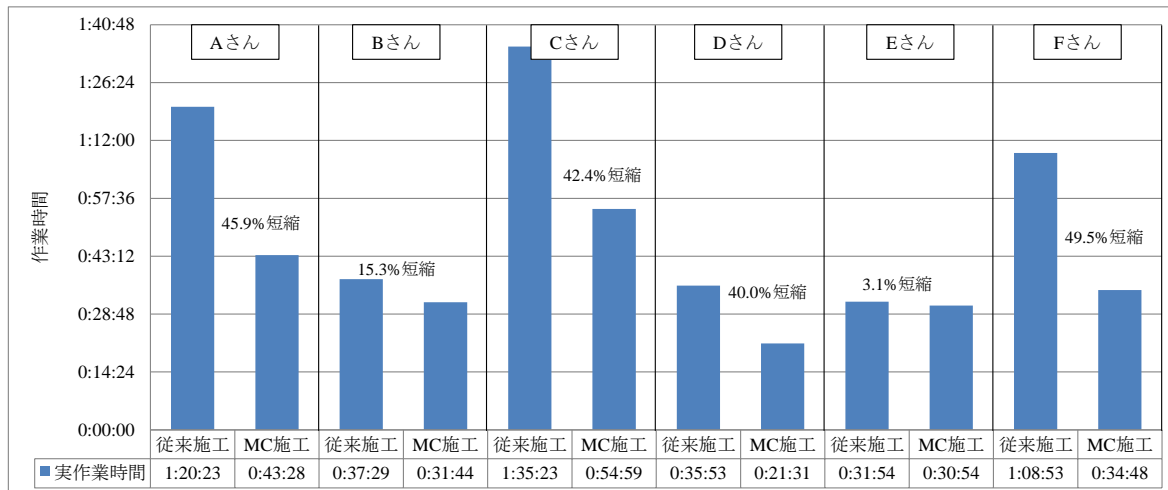


図-4.2 実作業時間

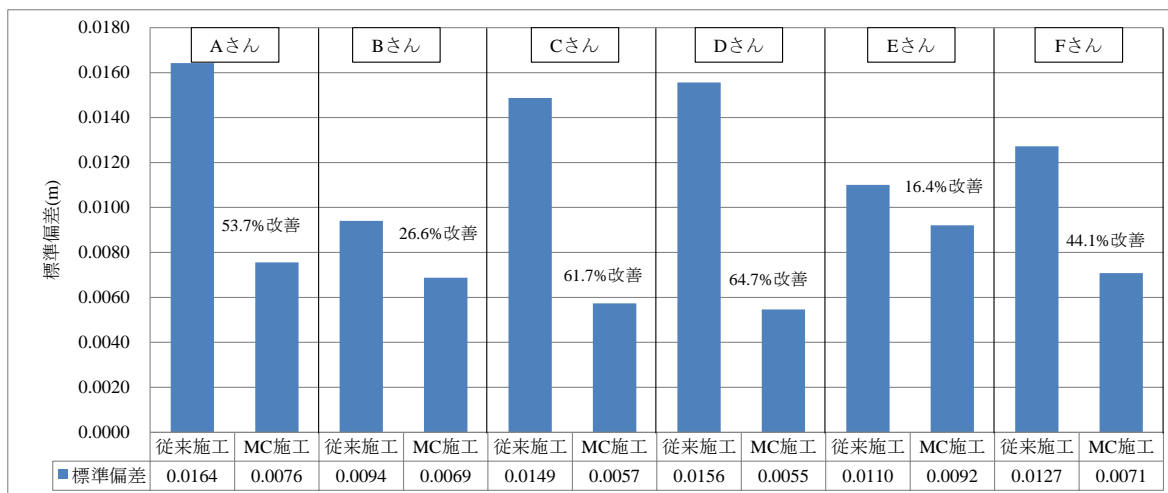


図-4.3 出来形バラツキ

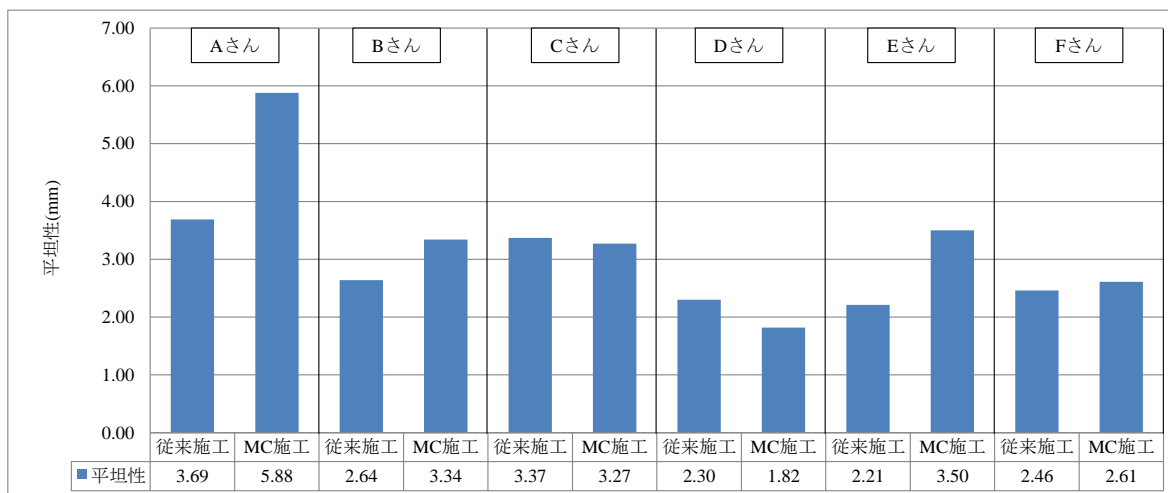


図-4.4 平坦性

は除外している。

以上の結果をまとめると、本実験条件の範囲内において、以下の点が判明する。

- 1) すべてのオペレータにてMC施工を導入することにより作業時間の短縮、バラツキの改善が可能である。
- 2) MC施工導入による作業時間短縮率、バラツキ改善率は非熟練者の方が高い。
- 3) 非熟練者にMC施工を導入した場合、ほぼ熟練者並みの実作業時間（約30～40分）、熟練者並みのバラツキ（標準偏差約1cm以内）で施工できる可能性がある。
- 4) 平坦性はオペレータの経験、MC施工の有無による明確な傾向はなく、その値も（特異なデータを除く）ほとんど同一である。

4.1.3 考察と今後の課題

モータグレーダのオペレータは、周辺環境や材料配分などを即座に分析・判断し、ブレード操作や速度調整、操舵などを行わなくてはならない。MC施工を導入することにより「ブレードの上下操作」を自動化することが可能となり、オペレータは他の操作に専念することができる。仕上げ行程においては「ブレードの上下操作」が施工の効率や精度に最も影響を与える因子であると考えられることから、MC施工導入により非熟練者でも熟練者なみの効率や精度が実現できるのではないかと考えられる。しかしながら今回の実験結果のみではすべての非熟練者が熟練者並みに施工できるとは未だ言えない。今後さらなる実験を行い、データを蓄積していきたい。

また本実験結果では、敷き均し施工直後の出来形にはオペレータの経験、MC施工の有無によって明確な傾向が現れたが、敷き均してから転圧を行った後の平坦性では、明確な傾向は現れなかった。これは、転圧を行うことによる仕上がり高さバラツキの凝縮や、TSとプロファイルメータによる測定方法の相違などが理由として考えられる。しかしながら本実験結果のみでは明確なことは未だ言えない。これについても今後さらなる実験を行い、データを蓄積していきたい。

さらに課題のひとつとして、従来施工とMC施工で「最適な施工手順（材料配分・走行速度など）」が同一であるかどうかの確認、すなわち「MC施工用の最適施工手順」が存在するか否かの検証が必要であると考えている。これについても、今後さらなる研究を行っていきたい。

5. まとめ

平成27年度の研究内容から次のことが明らかになっ

た。

- ・舗装材料による補修間隔はいずれの材料を用いた舗装もほぼ同程度であった。
- ・改質H型を用いた舗装は補修間隔4年～16年程度に多く分布がみられ、補修間隔10年でピーク値を示すが、その他改質アスファルトを用いた舗装は、補修間隔3年～13年程度に多く分布し、補修間隔7年がピーク値であった。
- ・補修工法としては、路上路盤再生工法、切削薄層コンクリート舗装工法、切削表面処理工法、路上表層再生工法（リミックス）が補修間隔が比較的長く、安定して長期間舗装性能を保持することができるものと考えられる。
- ・維持工事であるシーラ材注入工法・表面処理工法を除くと、その他の補修工法、切削オーバーレイ工法、局部打換え工法、わだち部オーバーレイ工法では比較的短い間隔（10年以内）で補修が行われる割合が多い。
- ・路盤の支持力係数（K30）は、路床の支持力の影響も受けた結果と思われる。そのため、路盤単体の評価を行う必要がある場合は、路床の状態を確認した上で評価する必要がある。
- ・今回使用した3種類の支持力測定装置とも支持力測定装置とも差はあるものの、路床の締固め状態を評価できる可能性があることが分かった。
- ・衝撃加速度測定装置、小型FWD、土壌硬度計の本測定対象の路床材料への適用性を確認した。
- ・路床の締固め度が小さいほど、路床を含めた舗装全体の支持力を表す D_0 たわみ量や舗装路面のわだち掘れ深さは大きくなる傾向にあり、路床の締固め度が舗装の構造的健全度に大きく影響を与える可能性があることがわかった。
- ・オペレータにてMC施工を導入することにより作業時間の短縮、バラツキの改善が可能である。
- ・MC施工導入による作業時間短縮率、バラツキ改善率は非熟練者の方が高い。
- ・非熟練者にMC施工を導入した場合、ほぼ熟練者並みの実作業時間（約30～40分）、熟練者並みのバラツキ（標準偏差約1cm以内）で施工できる可能性がある。
- ・平坦性はオペレータの経験、MC施工の有無による明確な傾向はなく、その値も（特異なデータを除く）ほとんど同一である。
- ・敷き均し施工直後の出来形にはオペレータの経験、

MC 施工の有無によって明確な傾向が現れたが、敷き均してから転圧を行った後の平坦性では、明確な傾向は現れなかった。

参考文献

- 1) 丸山輝彦、姫野賢治、林正則：FWD たわみ測定による舗装の健全度評価、舗装、Vol.24、No.9、pp3～8、1989.9
- 2) 松井邦人、井上武美、二瓶辰之：舗装各層の弾性係数を表面たわみから推定する一手法、土木学会論文集、第 420 号、V-13、pp107～114、1990.8
- 3) 阿部長門、丸山輝彦、姫野賢治、林正則：たわみ性能指標に基づく舗装の構造評価、土木学会論文集、第 460 号、V-18、pp41～48、1993.2
- 4) 阿部長門、丸山輝彦、姫野賢治、林正則：高速道路における路床強度が舗装構造に与える影響、土木学会第 53 回年次学術講演会、V-29、pp58～59、1998.10
- 5) 小林尚登、赤木寛一、池内達宣：FWD による舗装構造値と路面性状測定によるひび割れ率との関係、第 10 回地盤工学会関東支部発表会、2013.10
- 6) 三浦真紀、赤木寛一、池内達宣、小林尚登：FWD による舗装構造値と路面性状値を用いた補修効果の調査、2014.10
- 7) 社団法人日本道路協会：道路土工「軟弱地盤対策工指針」、2012.8
- 8) 一般財団法人土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 第二回改訂版、2013.12
- 9) 情報化施工推進会議：情報化施工推進戦略～「使う」から「活かす」へ、新たな建設生産の段階へ挑む！！～、2013.3

A Study on Integration Design of Road Earthwork and the Pavement

Abstract : Road earthwork and the pavement are designed based on an independent design system. We think that it is can be expect an economical design and durable improvement by the integration design of road earthwork and the pavement. As a result, we think that it is can be expect cost reduction and lifelong duration.

In 2015 fiscal year, we examined integration design technique of road earthwork and the pavement, quality control technique of road earthwork and the base course. Moreover, we examined a utilization method of the observational method and evaluation technique for quality assurance.

Key words : road earthworks, pavement, integration design, performance evaluation, quality control