

16. MC 導入による施工時間および生産性などへの効果について

～モータグレーダによる敷き均し施工～

(国研)土木研究所 ○ 橋本 毅
(一社)施工技術総合研究所 竹本 憲充
(国研)土木研究所 梶田 洋規

1. はじめに

情報化施工技術は、現在様々な施工現場にて使用されているが、国土交通省では平成 25 年 3 月に新たな「情報化施工推進戦略⁽¹⁾」を策定し、その中でマシンコントロールモータグレーダとマシンコントロールブルドーザを「一般化推進技術」としてさらなる普及を進めている。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、その位置における設計値（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。しかしながら、その導入効果を実現現場にて把握した例はあるが⁽²⁾、試験ピットにおける実験などにて定量的に把握した例は少なく、施工条件等を調整した基礎実験による、効果の定量的な把握が、さらなる普及を促進する上で必要とされている。

そこで本研究では、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およ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、本研究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。

2. 実験概要

2.1 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 0.30m 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機体を使用し、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。モータグレーダの仕様を表-1 に、実験状況を図-1、2 に示す。

表-1 モータグレーダ仕様

メーカー	KOMATSU
定格出力	123kW
型式	GD655
運転質量	16555kg
ブレード幅	3.710m
全長	8.695m
全幅	2.460m
全高	3.370m



図-1 実験状況 1



図-2 実験状況 2

また実験で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を計測し（水系下がりで計測）、設計高さ（基準高さ）±1cm 以内になった時点で終了とした

2.2 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 仕上がり高さ計測回数
- ③ 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-3）
- ④ 上記出来形計測後、図-3 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（図-4）し、舗装試験法便覧「S028 舗装路面の平坦性測定方法」に基づき算出した。

2.3 オペレータ

表-2 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。

表-2 実験オペレータ

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

3. 実験結果

施工にかかった実作業時間（計測作業などを含まない、敷き均し作業のみの時間）を図-5 に、仕

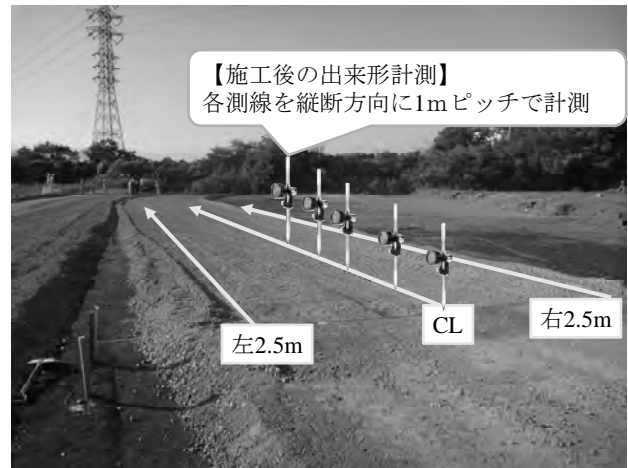


図-3 出来形計測点



図-4 平坦性測定状況

上がり高さ計測回数を図-6 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-7 に、さらに図-3 に示した左 2.5m 測線上の平坦性を図-8 に示す。

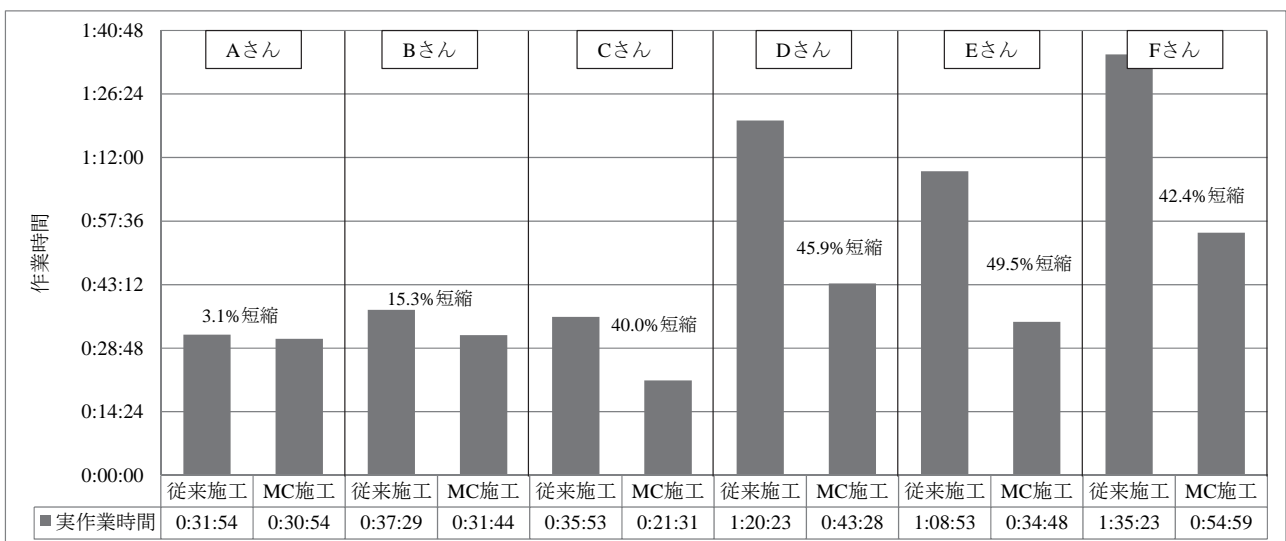


図-5 実験結果（実作業時間）

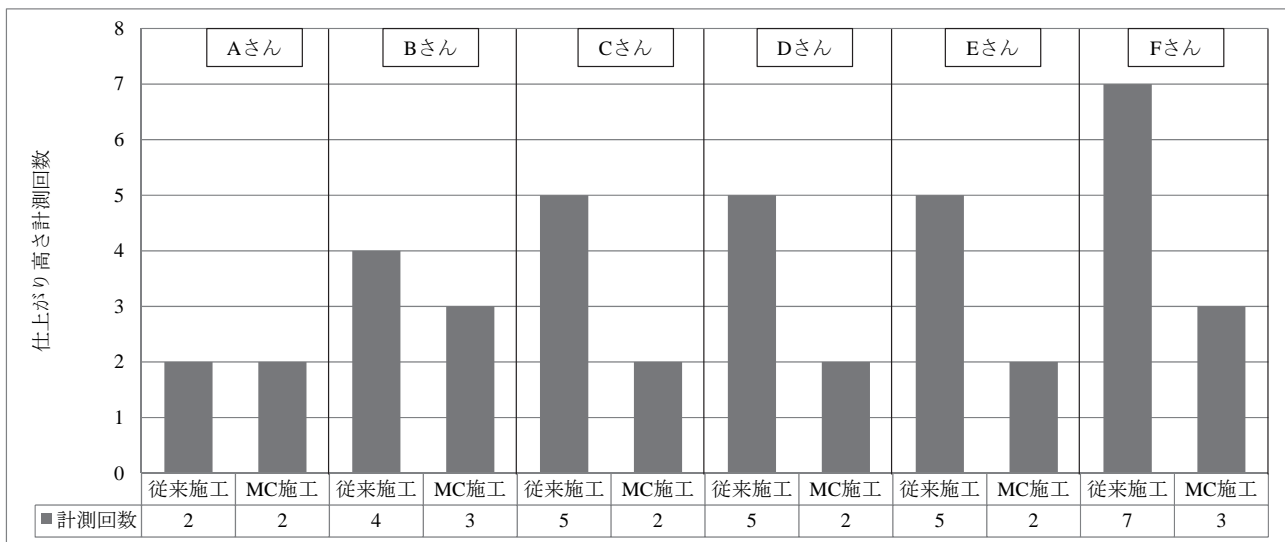


図-6 実験結果（仕上がり高さ計測回数）

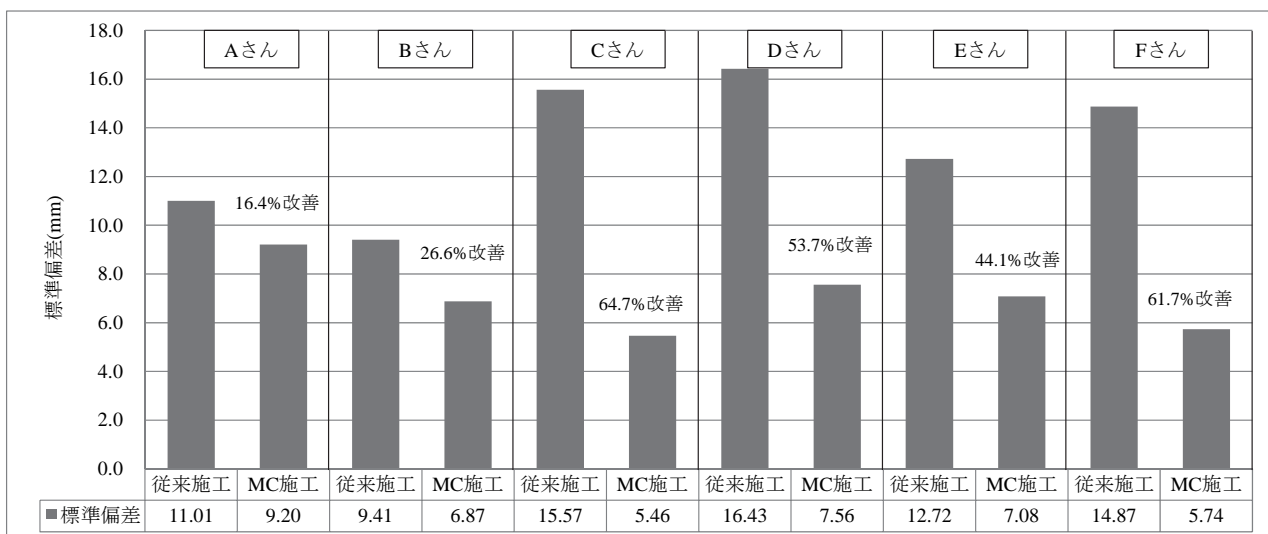


図-7 実験結果（出来形バラツキ）

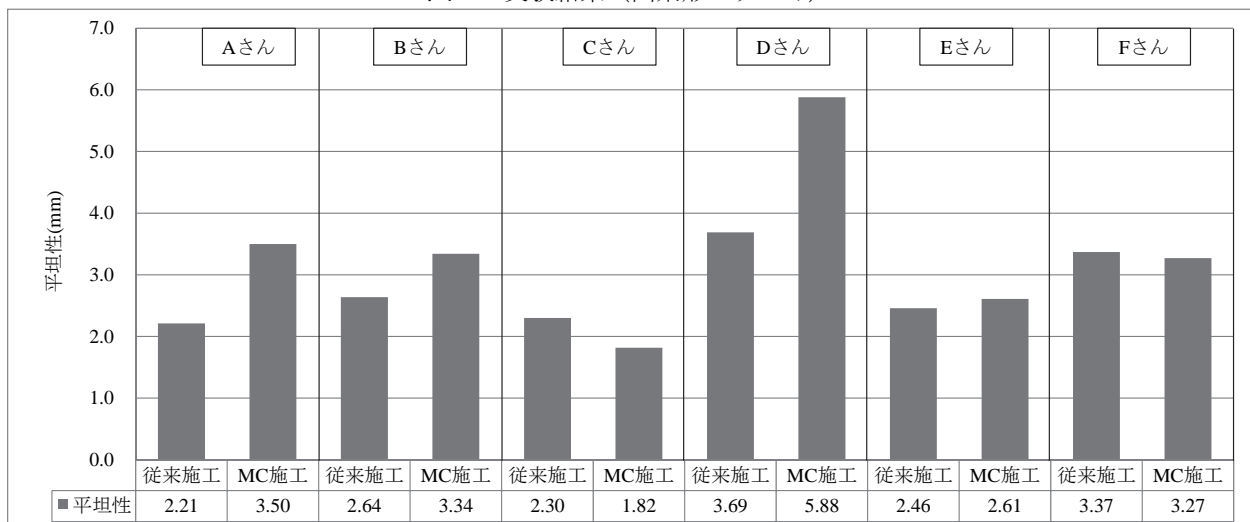


図-8 実験結果（平坦性）

図-5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：Aさん、B

さん）では約3～15%程度、非熟練者（経験9年未満：Dさん、E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、E さんは MC 施工を導入しない熟練者並みの実作業時間（約 30～40 分）で施工が可能であり、D さん F さんはそれよりやや遅い実作業時間で施工可能であることがわかる。

図-6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仕上がり高さ計測回数が同等あるいは削減され、その削減回数は熟練者では 1 回程度、非熟練者では 3～4 回程度となっており、非熟練者の方が MC 施工導入による計測回数削減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、MC 施工を導入しない熟練者並みの計測回数（2～4 回）で施工が可能であることがわかる。

図-7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、MC 施工を導入しない熟練者並みのバラツキ（標準偏差約 10mm 以内）かそれ以上で施工が可能であることがわかる。

図-8によると、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いことがわかる。また、特異なデータ（C さんの MC 施工、D さんの MC 施工）を除くと、各平坦性の値はオペレータの経験、MC 施工の有無にかかわらずほとんど同一（2～4mm）であることがわかる。

なお、オペレータ C 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、通常为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いる、従って上記検討からは除外することとした。

4. 生産性に対する効果の試算

本章では、MC 施工を導入することによる生産性（時間当たり施工土量）への効果について試算する。

図-5より、熟練者（経験 15 年以上：A さん、B さん）、非熟練者（経験 9 年未満：D さん、E さん、F さん）の実作業時間平均を算出すると、表-3 のようになる。

表-3 実作業時間平均 (h)

	熟練者	非熟練者
従来施工	0.58	1.36
MC 施工	0.52	0.74

次に、平均仕上がり高さ計測回数を算出すると、表-4 のようになる。

表-4 平均仕上がり高さ計測回数 (回)

	熟練者	非熟練者
従来施工	3.00	5.67
MC 施工	2.50	2.33

仕上がり高さ計測 1 回にかかる時間を 10 分（1/6h）とすると、表-3、表-4 から作業時間平均が算出できる。（表-5）

表-5 作業時間平均 (h)

	熟練者	非熟練者
従来施工	1.08	2.30
MC 施工	0.94	1.13

本実験の施工土量 420.3m³（幅 6m×全長 70m×厚さ 0.30m）を表-5 の値で除することにより、熟練者、非熟練者の従来施工、MC 施工における時間・人当たりの施工土量が算出できる（表-6）。

表-6 時間・人当たりの施工土量 (m³/h・人)

	熟練者	非熟練者
従来施工	389	182
MC 施工	449	372

また、2014 年の年齢階層別建設業就業者数は図-9 のようになる⁽³⁾。モータグレーダオペレータの

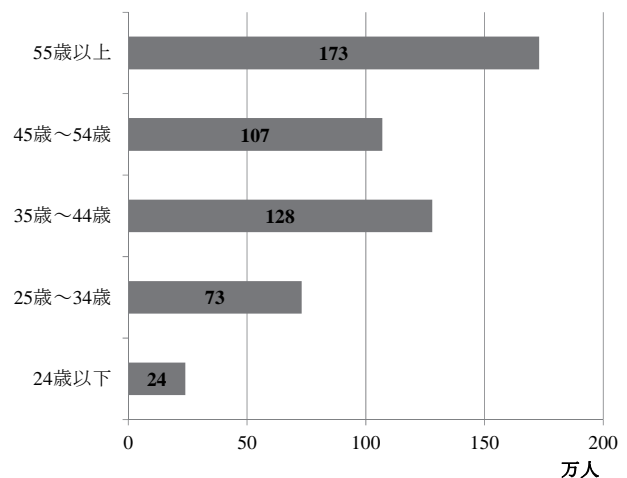


図-9 年齢階層別建設業就業者数（2014年）
（建設業ハンドブック 2015）

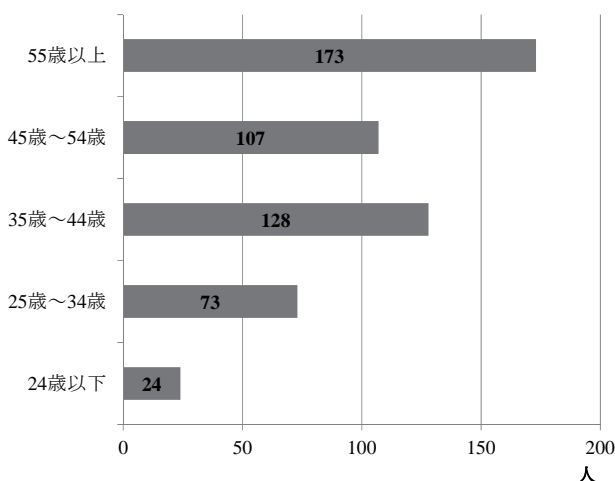


図-10 年齢階層別モータグレーダオペレータ数
(2014年・図-9より仮定)

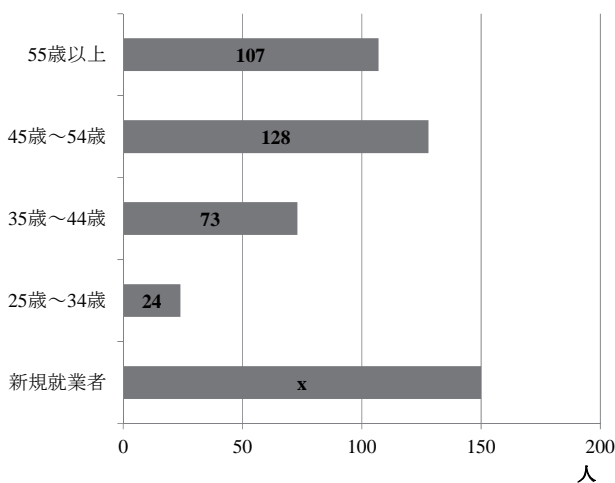
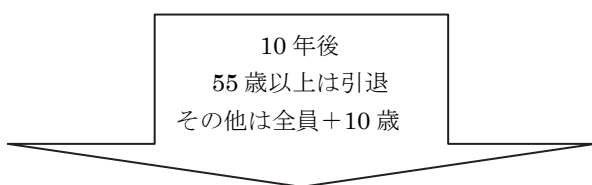


図-11 年齢階層別モータグレーダオペレータ数
(2024年・図-10より仮定)

人数および年齢階層別割合は正確にはわからないが、ここでは図-9に示した全建設業就業者の1/1万の人数であり割合は同一であると仮定する(図-10)。また年齢と実務経験は必ずしも同一ではないが、簡便のため35歳以上を熟練者、以外を非熟練者と仮定すると、図-10よりモータグレーダオペレータの熟練者は408人、非熟練者は97人となる。この人数に表-6の値を乗することにより、従来施工、MC施工によるモータグレーダ路盤敷き均し工の時間当たり全施工土量が算出できる(表-7)。

表-7 時間当たり全施工土量 (m³/h)

従来施工	1.76×10 ⁵
MC施工	2.19×10 ⁵

表-7によると、MC施工を導入することにより全施工土量は約24%向上し、モータグレーダ路盤敷き均し工にMC施工を導入することは、生産性に効果があることがわかる。

また、図-10に示した2014年の年齢階層別モータグレーダオペレータ数のうち、55歳以上の173人が10年後までにはすべて引退し、他の年齢のオペレータは10年後まで1人も辞めないと仮定すると、2024年の年齢階層別モータグレーダオペレータ数は図-11のようになる。ここで新規オペレータ数x人は、24歳以下に限らず、年齢によらない新規オペレータ数と考えることができる。上記と同様に、35歳以上を熟練者、以外を非熟練者と仮定すると、2024年における熟練者は308人、非熟練者は(24+x)人となる。そこで上記の計算とは逆に、この2024年のオペレータ数にて、表-7に示した2014年従来施工での全施工土量1.76×10⁵m³/hを達成するために必要な新規オペレータ数x人を算出すると表-8のようになる。

表-8 2024年に2014年従来施工での全施工土量を達成するために必要な新規オペレータ数(人)

従来施工	285
MC施工	77

表-8によると、10年後も2014年従来施工での全施工土量1.76×10⁵m³/hを達成するためには、従来施工のままでは新規オペレータを285人確保しなければならないのに対し、MC施工を導入した場合は、約1/4の77人確保すればよいことになる。建設産業は他産業と比べ、高齢者の割合が高くなっており、近い将来の高齢者大量退職に伴う熟練技能者不足が危険性として存在している⁽³⁾。MC施工の導入は、この将来予想されている熟練技能者不足に対しても、効果的であることがわかる。

これまで述べたように、上記試算は下記の3つの仮定のもとに行われている。

- ① モータグレーダオペレータの年齢階層別人数は建設業就業者数(図-9)の1/1万である。
- ② 年齢35歳以上を熟練者、以外を非熟練者とする
- ③ 2014年に55歳以上であるオペレータは10年後までにはすべて引退し、他の年齢のオペレータは10年後まで1人も辞めない

これらの仮定は現実と比較して正確ではないが、現実とそれほど大きく乖離はしていないと考えら

れる。従って上記の試算結果数値は必ずしも正確ではないが、MC 施工の導入が、生産性の向上、熟練技能者不足への対応に効果的であると言えると考えられる。

5. まとめ

モータグレーダ路盤敷き均し工において、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および出来形のバラツキ、平坦性を 6 人のオペレータによる実験で比較した。また作業時間結果より 2014 年と 2024 年の生産性（時間当たり施工土量）を試算した。その結果以下の点が判明した。

- (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、仕上がり高さ計測回数の削減、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、仕上がり高さ計測回数の削減回数、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、MC 施工を導入しない熟練者並みかやや遅い実作業時間、MC 施工を導入しない熟練者並みの仕上がり高さ計測回数、MC 施工を導入しない熟練者並みのバラツキで施工が可能である。
- (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と）ほとんど同一である。
- (5) 2014 年の生産性（時間当たり施工土量）を試算すると、MC 施工を導入することにより向上した。従って MC 施工の導入は生産性の向上に効果的である。
- (6) 10 年後の 2024 年において、2014 年従来施工での全施工土量と同量を達成するために確保しなければならない新規オペレータの人数を試算すると、MC 施工を導入すれば、従来施工のままに比べて確保しなければならない新規オペレータが少なくてよい。したがって、将来予想されている熟練技能者不足に対して、MC 施工の導入は効果的である。

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。このことが、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理由ではないかと考えられる。今後さらに中間の経験を持つオペレータなど様々な条件や、オペレータの疲労度に与える影響などの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。これについても今後さらなる実験、検証を行いたい。

さらに、オペレータ C さん（MC 施工の社内トレーナー）の傾向が、他のオペレータと異なってしまった理由についても今後検証を進め、現場熟練者（A さん、B さん）と MC 施工のみの熟練者（C さん）で「最適な施工手順」に対する考え方が異なるかどうか、すなわち従来とは異なる「MC 施工用の最適施工手順」が存在するか否かについても、さらなる研究を行っていきたい。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省：情報化施工推進戦略，2013.
- (2) 相良幸雄，藤島崇，椎葉裕士，柴藤勝也：復興道路工事への情報化施工技術の活用効果=日本建設機械施工協会（情報化施工委員会復興支援 WG）の取組，建設機械，Vol. 52，No. 3，pp. 63～67，2016.
- (3) 日本建設業連合会：建設業ハンドブック 2015，2015.