

情報化施工導入効果検証に関する 共同研究報告書

平成29年9月

国立研究開発法人土木研究所
鹿島建設株式会社
鹿島道路株式会社
株式会社トプコンソキアポジショニングジャパン
西尾レントオール株式会社
株式会社 N I P P O

Copyright © (2017) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

情報化施工導入効果検証に関する 共同研究報告書

要 旨：

情報化施工を普及・促進するためには、情報化施工を導入した際の効果を具体的・定量的に把握することが重要である。効果を具体的・定量的に把握するためには、情報化施工を用いることによる①品質②施工時間③オペレータへの影響、等のデータを様々な経験年数を持つオペレータにて収集し、効果の定量評価を検討するための基礎データを得ることがまず必要である。

そこで本研究では、実際に情報化施工を用いた実験（模擬施工）を様々な経験年数を持つオペレータにて行い、情報化施工実施時の出来形・所要時間などの基礎データを収集することを目的とし実施した。

なお、対象とした情報化施工はマシンコントロールモータグレーダによる路盤敷き均し工とした。

キーワード：情報化施工，マシンコントロール，効果，品質，施工時間

情報化施工導入効果検証に関する共同研究報告書
目次

1. 研究概要	1
1.1. 研究概要・目的	1
1.2. 研究内容・計画	2
1.3. 研究体制	3
2. 実験内容	4
2.1. 実験概要	4
2.2. 実験場	5
2.2.1. 実施場所および基礎地盤（路床）	5
2.2.2. 路盤設計概要	7
2.3. 使用機械	10
2.4. 実験手順	12
2.5. MC 操作手順	14
2.6. MC 応答感度の調整	17
2.7. オペレータ	19
2.8. 計測項目と使用機器	20
3. 実験結果	24
3.1. 施工時間	24
3.1.1. 施工時間結果	24
3.1.2. MC 導入効果の検証	25
3.2. 仕上がり高さ検測回数	27
3.2.1. 仕上がり高さ検測回数結果	27
3.2.2. MC 導入効果の検証	28
3.3. 出来形（本転圧前）	29
3.3.1. 出来形（本転圧前）結果	29
3.3.2. MC 導入効果の検証	54
3.4. 出来形（本転圧後）	57
3.4.1. 出来形（本転圧後）結果	57
3.4.2. 路床・路盤の不均質部分の有無に関する考察	70
3.5. 平坦性	71
3.5.1. 平坦性結果	71
3.5.2. MC 導入効果の検証	72

3.6. 地盤反力係数	75
3.6.1. 地盤反力係数結果	75
3.6.2. MC 導入効果の検証	88
3.7. 心拍数	91
3.7.1. 心拍数結果	91
3.7.2. MC 導入効果の検証	91
3.8. 視線解析	92
3.8.1. 視線解析結果	92
3.8.2. MC 導入効果の検証	95
4. まとめ	96
4.1. MC 導入効果の検証	96
4.2. MC 導入による生産性向上効果の試算	98
4.3. 課題と今後の展望	101
5. 参考文献	102
6. 研究成果	103

1. 研究概要

1.1. 研究概要・目的

国土交通省では平成 28 年 4 月より新たな施策である「i-construction」を開始し、その中で ICT 技術の全面的な活用を進めることによる建設現場の生産性向上を図っている¹⁾。建設現場で使用される ICT 技術の一つにマシンコントロール（以下 MC）があるが、これは 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。またこの MC 技術は、国土交通省が平成 25 年 3 月に策定した「情報化施工推進戦略²⁾」においても、MC モータグレーダと MC ブルドーザが「一般化推進技術」とされており、さらなる普及が進められているものである。しかしながら、これまでその MC の導入効果を試験ピットなどにおける実験などにて定量的に把握した例は少ない。MC を普及・促進するためには、導入した際の効果を具体的・定量的に把握することが重要であり、そのためには、MC を用いることによる①品質②施工時間③オペレータへの影響、等のデータを様々な経験年数を持つオペレータにて収集し、効果の定量評価を検討するための基礎データを得ることがまず必要である。

そこで本共同研究では、施工条件を同一にした 2 つの試験場にて実際に従来施工と MC 施工（模擬施工）を様々な経験年数を持つオペレータにて行い、MC 導入時の出来形・所要時間などの基礎データを収集することを目的とした。なお、対象とした施工はモータグレーダによる路盤敷き均し工とした。

上記研究内容を効率的に行うためには、土木研究所のみではなく下記の様な企業等と共同で行うことが有効である。

- ・ 情報化施工機器を用いた実施工あるいは実験、研究を実施した経験を有する者
- ・ 情報化施工および通常施工に対して、様々な経験年数のオペレータを多数擁している者
- ・ 情報化施工機器を保有しており、取り扱いができる者

以上のことから公募型の共同研究を実施したものであり、公募の結果下記の業者と共同研究を実施した。

- ① 鹿島建設株式会社
- ② 鹿島道路株式会社
- ③ 株式会社トプコンソキアポジショニングジャパン
- ④ 西尾レントオール株式会社
- ⑤ 株式会社 NIPPO

1.2. 研究内容・計画

本共同研究は、平成27年10月から平成29年3月の期間において実施した。具体的な研究内容は、下記の2点である。

① 実験（模擬施工）の実施

情報化施工（MCモータグレーダ）を用いた敷き均し施工を、様々な経験を持った多数のオペレータにて行い、品質、施工時間等データの収集を行う。

実験は決められた実験場、材料、機器を用いて行い、オペレータ以外のパラメータをなるべく固定する。またデータの収集に当たっては、施工時の時間をタイマー等で測定、施工後の出来形をトータルステーションにて多点測量するものとする。

② 「情報化施工基礎データ集（仮）」の作成

得られたデータを、オペレータの経験（情報化施工の経験、通常施工の経験）などで分析し、シミュレーションや荷重試験などで道路寿命を検討する際に必要な「情報化施工基礎データ集（仮）」を作成する。

表-1.2-1 に共同研究計画と分担を示す。

表-1.2-1 研究計画と分担

研究項目	研究細目	研究分担		年次計画	
		土研	共同研究者	27年度	28年度
実験（模擬施工）の実施	実験実施	◎	◎	←	→
	データ収集	◎	◎	←	→
「情報化施工基礎データ集（仮）」の作成	データ分析	◎	○	←	→

◎：主担当 ○：副担当

本報告書は、研究項目「◎ 実験（模擬施工）の実施」にて取得した実験データを整理しMC導入による効果を定量的に検証した結果を、研究項目「②『情報化施工基礎データ集（仮）』の作成」としてまとめたものである。

1.3. 研究体制

本共同研究の研究担当者を表-1.3-1 に示す

表-1.3-1 研究担当者

所属	氏名	
国立研究開発法人 土木研究所	先端技術チーム 主席研究員	藤野健一
	先端技術チーム 上席研究員	梶田洋規
	先端技術チーム 主任研究員	田中洋一
	先端技術チーム 主任研究員	橋本 毅
	先端技術チーム 研究員	山田 充
鹿島建設株式会社	機械部 次長	青野 隆
鹿島道路株式会社	工事部 主任	渋谷武彦
	機械部 主任	桑田直人
	技術部 課長代理	下田博文
株式会社トプコンソキア ポジショニングジャパン	開発営業部 部長	平岡茂樹
西尾レントオール株式会社	建設 ICT 営業課 課長	山口秀樹
株式会社 NIPPO	総合技術部生産機械センター 生産機械第二グループ 課長	藤谷雅嘉
	総合技術部生産機械センター 生産機械第二グループ 係長	其田直樹

所属・役職は共同研究締結時のものである

2. 実験内容

2.1. 実験概要

本共同研究では、前章で述べた目的（MC 施工導入効果の基礎的データ収集）を達成するため、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機体を使用し、No.1 レーンは MC を使用せずに（従来施工）、No.2 レーンは MC を使用して（MC 施工）施工を行った。本実験は、MC の有無以外のパラメータをなるべく同一になるよう注意し、MC 導入効果が把握できるよう行った。

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。終了を判断するための検測（高さ測定）は、オペレータの判断により実施するものとした。

実験の状況を、図-2.1-1 に示す。

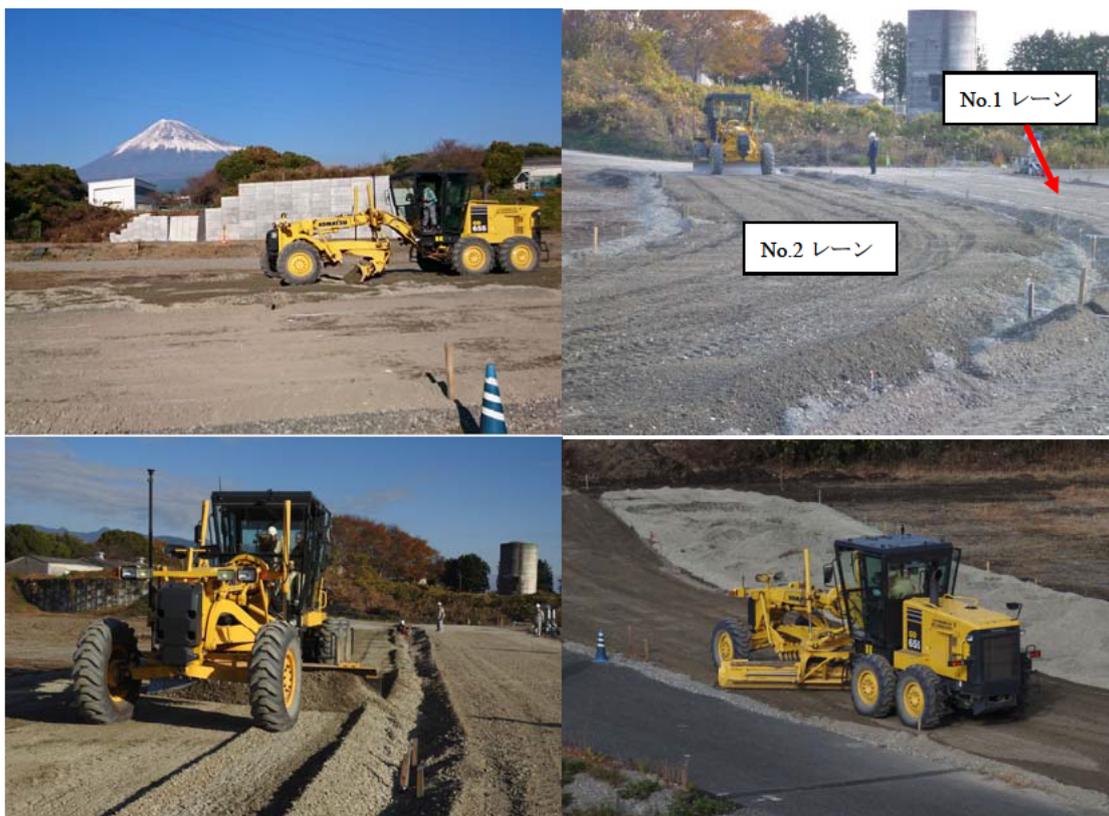


図-2.1-1 実験状況

2.2. 実験場

2.2.1. 実施場所および基礎地盤（路床）

実験は、一般社団法人日本建設機械施工協会施工技術総合研究所構内の情報化施工実施研修場にて行った。実験場に2レーンが施工できる広さの基礎地盤（路床）を用意した。基礎地盤は平面に成形後、振動ローラにて8パス以上締固めを行い、十分な強度を持つものとした。

実験場の位置図、基礎地盤（路床）の整地状況を以下に示す。

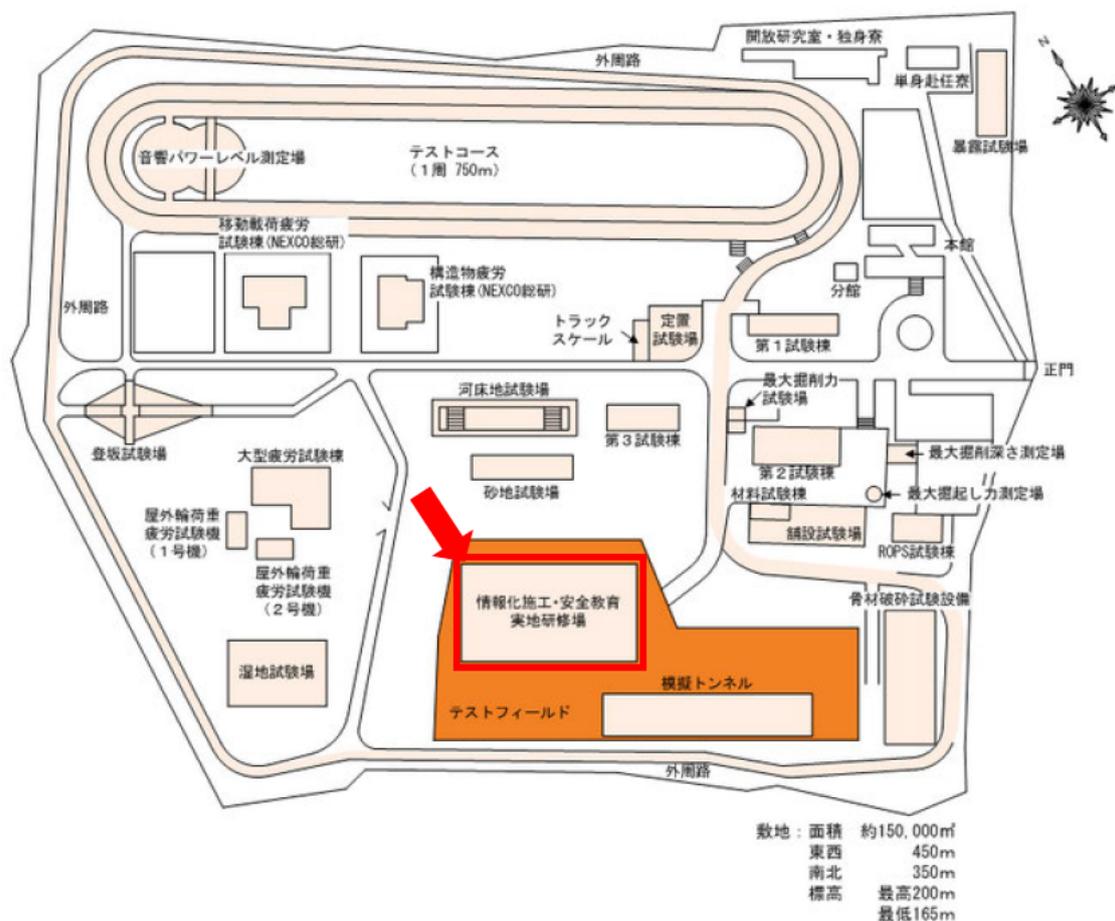


図-2.2-1 実験場位置図（施工技術総合研究所全体図）



図-2.2-2 基礎地盤（路床）整地状況（始点側より）



図-2.2-3 基礎地盤（路床）整地状況（終点側より）

2.2.2. 路盤設計概要

実験を行った路盤工の設計概要を以下に示す。

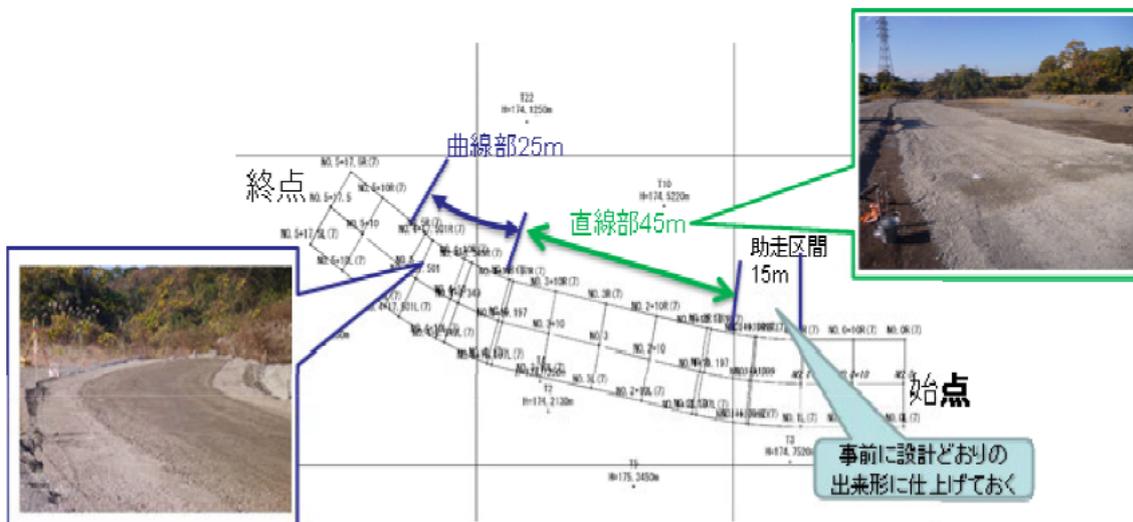




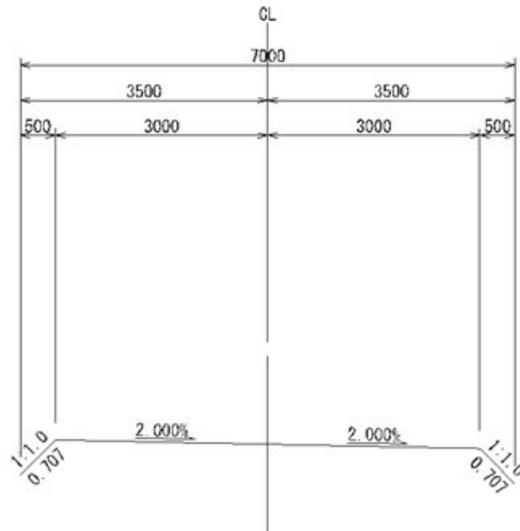
图-2.2-5 平面图



図-2.2-6 縦断面図

最大横断勾配

GH=
FH=173.600



最小横断勾配

GH=
FH=174.245

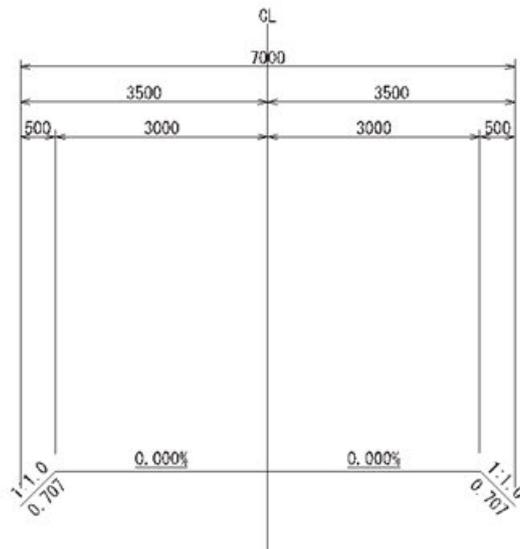


图-2.2-7 横断面

通常、実現場におけるモータグレーダによる路盤敷均し作業は、作業着手時に施工起点側 15m程度の区間を、丁張りを指標とする機械および人力を併用した施工によって仕上げた後、これに接続する後続区間をモータグレーダのみによって施工する。これはMCを用いる施工においても同様である。よって本実験においても、出来形の比較を行う区間とは別に施工起点側 15m程度の区間を設計どおりの出来形に仕上げ、助走区間とした。

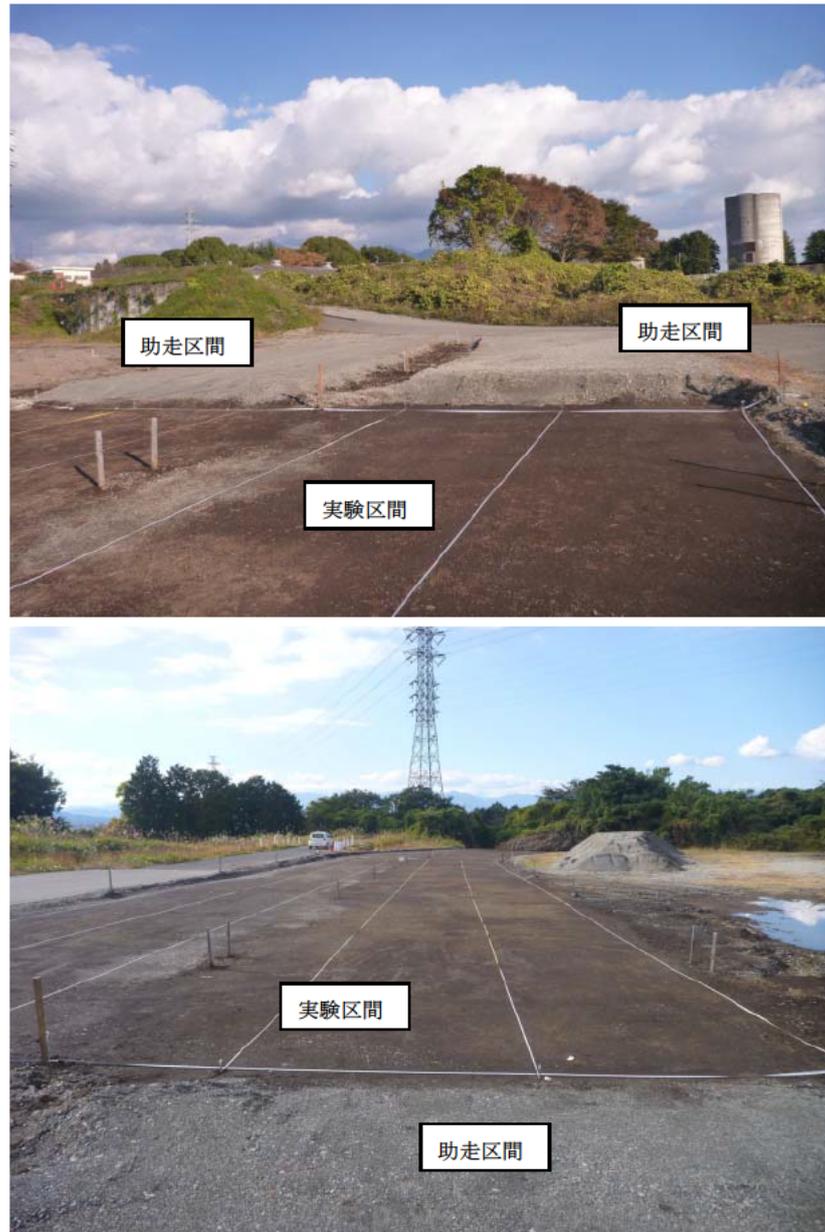


図-2.2-8 助走区間

2.3. 使用機械

本実験に使用した重機を表-2.3-1 に示す.

表-2.3-1 使用機械 (その 1)

使用機器		外形														
実験用機械	モーターグレーダ															
	<table border="1"> <tr> <td>メーカー</td> <td>KOMATSU</td> </tr> <tr> <td>型式</td> <td>GD655</td> </tr> <tr> <td>定格出力</td> <td>123kW</td> </tr> <tr> <td>運転質量</td> <td>16555kg</td> </tr> <tr> <td>ブレード幅</td> <td>3710mm</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td>8695mm</td> </tr> <tr> <td>全幅</td> <td>2460mm</td> </tr> <tr> <td>全高</td> <td>3370mm</td> </tr> </table>		メーカー	KOMATSU	型式	GD655	定格出力	123kW	運転質量	16555kg	ブレード幅	3710mm	全長	8695mm	全幅	2460mm
メーカー	KOMATSU															
型式	GD655															
定格出力	123kW															
運転質量	16555kg															
ブレード幅	3710mm															
全長	8695mm															
全幅	2460mm															
全高	3370mm															
	グレーダ用 MC システム (自動追尾 TS+車載コントローラ)															
整地作業用 機械	0.15 級油圧ショベル															
	0.4 級油圧ショベル															

表-2.3-1 使用機械（その2）

	使用機器	外形
締固め用 機械	マカダムローラ	 A photograph of a yellow Sakai macadam roller. The machine is viewed from a side-rear angle, showing its two large, heavy-duty rollers. The operator's seat and canopy are visible. The brand name 'SAKAI' is printed on the side of the front roller. The machine is situated on a gravel or macadam surface, with a utility pole and some buildings in the background under a clear sky.

2.4. 実験手順

オペレータ 1 人の実験手順を以下に示す。

表-2.4-1 実験手順（その 1）

<p>① 材料巻出し</p> <p>No.1 レーン, No.2 レーンに, 油圧ショベルを用い, 路盤材料 (M-40) を, 実際の路盤施工におけるダンプトラックによる路盤材巻出しと似た状況となるよう, 10m 毎に高さ 1.5m 程度の山を形成する.</p>	
<p>② 荒均し（従来施工）</p> <p>No.1 レーンにて（以下⑥まで）, モータグレーダにて荒均しを行う. 荒均しの終了は, オペレータの判断とする.</p>	
<p>③ 仮転圧</p> <p>荒均し終了後, マカダムローラにて仮転圧を行う.</p>	

表-2.4-1 実験手順（その2）

<p>④ 1回目検測</p> <p>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高さを計測 し, 設計高さとの差を地面にマーキン グする.</p>	
<p>⑤ 仕上げ（従来施工）・検測</p> <p>モータグレーダにて仕上げを行う. オ ペレータの判断により逐次④と同様 の検測を行い, すべての測点にて設計 高さからの差が±1cm 以内に収まっ た時点で終了とする.</p>	
<p>⑥ 本転圧</p> <p>マカダムローラにて本転圧を行う.</p>	
<p>⑦ MC 施工</p> <p>上記②～⑥を, MC 施工を導入し, 同 様に行う.</p>	
<p>⑧ 材料掻き出し</p> <p>No.1 レーン, No.2 レーンとも, 油圧 ショベルを用いて材料を掘削し, ①巻 出しの準備を行う. (次のオペレータ による実験へ)</p>	

2.5. MC 操作手順

27年度の実験では、MC 施工を行う際に荒均し作業に MC 機能を用いるかどうかは、オペレータの判断によるものとした。これは、MC を適時に使う能力も技量に含まれているものとして評価すべきとの考えに基づくものである。

27年度実験終了後に、オペレータへのヒアリングおよび共同研究参画企業との検討会を行った結果、28年度実験では「MC グレーダ施工マニュアル」を作成し、全てのオペレータが荒均しから仕上げまで同一の施工手順となるようにした。これは MC グレーダおよびマニュアルを用いれば、オペレータの熟練度によらず一定水準以上の品質、施工効率にて施工が可能となることを、MC グレーダの効果として実証するために行ったものである。「MC グレーダ施工マニュアル」は、共同研究参画企業の 1 社である道路施工会社の MC 施工トレーナの方に原案を作成していただき、他企業との協議のうえ決定した。「MC グレーダ施工マニュアル」を以下に示す。

モータグレーダによる路盤施工作業手順書

1. はじめに
当マニュアルは「情報化施工導入効果検証に関する共同研究」の際に使用するものであり、当研究の 3D-MC 操作による施工方法にのみ特化して作成したものである。

2. 施工方法
次頁以降に示す表の施工手順、注意事項、施工条件に従い、「粗均し」～「仕上げ」作業を行う。
また、全行程に共通した注意事項を以下に示す。

- 各レーン施工前は、2m 以上助走し、コントローラ上のモータグレーダの向きが正規の方向を向いていることを確認する。そのため、1レーン施工後に後進する際は、助走区間を考慮した位置まで後進する。
- 測点 No.1 の手前で停車し、手動操作にて目標高さ付近までブレードを下降させた後、自動スイッチを入れる。
- ブレード推進角回転操作、スライド操作はゆっくりと行う。**素早く操作すると、設計勾配との差が生じる。そのため、常に前方の材料過不足状態を意識し、早めに操作を開始するよう心掛ける。
- ブレード推進角回転操作、横送り操作は停車した状態では行わない。**進行方向が認識する恐れがあるため、少しでも前進しながら操作する。
- ブレード横送り操作を行う場合は、後輪でウインドロウを踏まない程度にする。
- カーブの内側には材料が過多量になり易い。カーブ手前から多めに材料を運ぶようにする。
- カーブの外側には材料が過多量になり易い。カーブ手前から少なめに材料を運ぶようにする。
- 施工端部は転圧不足となり易い。車両後進時に、極力後輪で転圧するよう心掛ける。
- 前輪を山の高いところやウインドロウになるべく載せないように走行する。**やむを得ない場合、速度を落とす。
- 材料抱え量が多い場合には、後輪がスリップする前に、ブレード推進角回転操作にて材料を横に逃がす。
- トータルステーションがプリズムを見失った際には、その場で停車し再度プリズムを見つけるまで待つ。

図-2.5-1 MC グレーダ施工マニュアル(1)

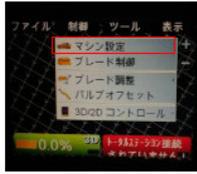
I 粗 均 し	粗均し開始前に、グレーダのコントローラにおいて、マシン設定ファイルを選択する。			
				
	トプコンマークをタップ	「制御」をタップ	「マシン設定」をタップ	マシン構成ファイルから、「GD655-aranarashi」を選び「OK」をタップ
施工手順		注意事項	施工条件	
①	施工レーンの右端からおおむね 50cm の位置をブレード右端部が通過するように走行する。	※前輪が山を下りる時は自動制御が追いつかないため、ゆっくり走行する。	<施工速度> 1 速 1~4km/h (速度は運転席フロントパネルに表示される)  <高さオフセット> 目標値+0.200m	
②	施工レーンの左端からおおむね 50cm の位置をブレード左端部が通過するように走行する。			

図-2.5-1 MC グレーダ施工マニュアル(2)

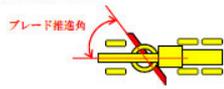
③	施工レーンの右端からおおむね 50cm の位置をブレード右端部が通過するように走行する。線形の中央側にウインドロウを寄せるように施工する。	※前輪が山を下りる時は自動制御が追いつかないため、ゆっくり走行する。 ・ブレード推進角は 60 度程度を目安とする。材料の抱え量が増えてきたら、スリップする前にブレード回転操作を適宜行う。  ・施工端部の材料を少なめに配分する。 ・ウインドロウを前輪で踏まないよう注意する。 ・ブレード推進角は 90 度程度とする。 ・均一な材料配分を心がけ、適宜ブレード推進角を調整する。	<施工速度> 1 速 1~4km/h <高さオフセット> 目標値+0.080m
④	施工レーンの左端からおおむね 50cm の位置をブレード左端部が通過するように走行する。線形の中央側にウインドロウを寄せるように施工する。		
⑤	施工レーンの中央に集まったウインドロウを前に移動させる。		

図-2.5-1 MC グレーダ施工マニュアル(3)

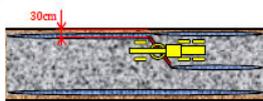
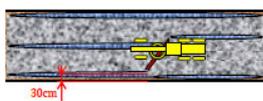
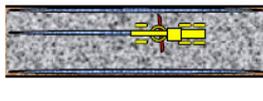
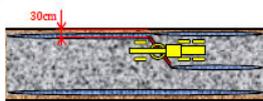
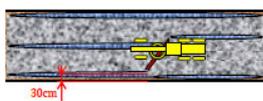
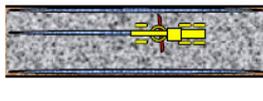
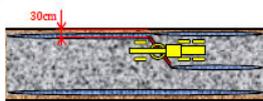
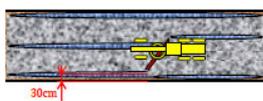
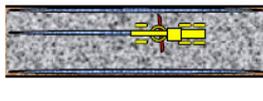
敷均し	II 粗均し後に、グレーダのコントローラにおいて、マシン設定ファイルを変更する。																		
																			
	トプコンマークをタップ	「制御」をタップ	「マシン設定」をタップ	マシン構成ファイルから、「GD655-shiage」を選び「OK」をタップ															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>施工手順</th> <th>注意事項</th> <th>施工条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>① 施工レーンの右端からおおむね 30cm の位置をブレード右端部が通過するように走行する。線形の中央側にウインドロウを寄せるように施工する。</td> <td></td> <td rowspan="3"> <ul style="list-style-type: none"> ・施工端部に一定量のウインドロウができるように、適宜ブレード回転操作を行う。 ・粗均しの波を消すよう、極力低速での作業を心がける。 ・ブレードスライド操作等を用いてウインドロウを踏まないよう施工する。 ・ウインドロウを前輪で踏まないよう注意する。 ・ブレード推進角は 90 度程度とする。材料の抱え量が増えてきたら、スリップする前にブレード回転操作を適宜行う。 ・材料の均一な配分を心がけ、適宜ブレード推進角を調整して施工する。 </td> </tr> <tr> <td>② 施工レーンの左端からおおむね 30cm の位置をブレード左端部が通過するように走行する。線形の中央側にウインドロウを寄せるように施工する。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>③ 施工レーンの中央に集まったウインドロウを前に移動させる。</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td> <施工速度> 1 速 1~2km/h </td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td> <高さオフセット> 目標値+0.035m </td> </tr> </tbody> </table>				施工手順	注意事項	施工条件	① 施工レーンの右端からおおむね 30cm の位置をブレード右端部が通過するように走行する。線形の中央側にウインドロウを寄せるように施工する。		<ul style="list-style-type: none"> ・施工端部に一定量のウインドロウができるように、適宜ブレード回転操作を行う。 ・粗均しの波を消すよう、極力低速での作業を心がける。 ・ブレードスライド操作等を用いてウインドロウを踏まないよう施工する。 ・ウインドロウを前輪で踏まないよう注意する。 ・ブレード推進角は 90 度程度とする。材料の抱え量が増えてきたら、スリップする前にブレード回転操作を適宜行う。 ・材料の均一な配分を心がけ、適宜ブレード推進角を調整して施工する。 	② 施工レーンの左端からおおむね 30cm の位置をブレード左端部が通過するように走行する。線形の中央側にウインドロウを寄せるように施工する。		③ 施工レーンの中央に集まったウインドロウを前に移動させる。				<施工速度> 1 速 1~2km/h		
施工手順	注意事項	施工条件																	
① 施工レーンの右端からおおむね 30cm の位置をブレード右端部が通過するように走行する。線形の中央側にウインドロウを寄せるように施工する。		<ul style="list-style-type: none"> ・施工端部に一定量のウインドロウができるように、適宜ブレード回転操作を行う。 ・粗均しの波を消すよう、極力低速での作業を心がける。 ・ブレードスライド操作等を用いてウインドロウを踏まないよう施工する。 ・ウインドロウを前輪で踏まないよう注意する。 ・ブレード推進角は 90 度程度とする。材料の抱え量が増えてきたら、スリップする前にブレード回転操作を適宜行う。 ・材料の均一な配分を心がけ、適宜ブレード推進角を調整して施工する。 																	
② 施工レーンの左端からおおむね 30cm の位置をブレード左端部が通過するように走行する。線形の中央側にウインドロウを寄せるように施工する。																			
③ 施工レーンの中央に集まったウインドロウを前に移動させる。																			
		<施工速度> 1 速 1~2km/h																	
		<高さオフセット> 目標値+0.035m																	

図-2.5-1 MC グレーダ施工マニュアル(4)

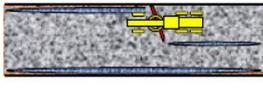
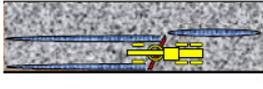
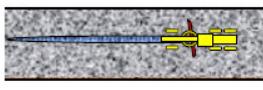
III 仮転圧 材料の均一な配分が終了した後、仮転圧を行う。				
IV 検測 仮転圧後の路面の高さを検測する。				
仕上げ	V 施工手順			
	① 右端部を施工する。		<ul style="list-style-type: none"> ・ブレード推進角を適宜調整し、端部の材料の量を調整する。 ・極力低速にて走行する。 ・常に前方の材料の量を意識し、早めのブレード操作を心がける。 ・施工エリアから材料がはみ出さないよう注意する。 	<施工速度> 1 速 1~2km/h
	② 左端部を施工する。			
	③ ①、②のウインドロウを前に移動させる。		<ul style="list-style-type: none"> ・ブレード推進角は 90 度程度とする。材料の抱え量が増えてきたら、スリップする前にブレード回転操作を適宜行う。 ・施工エリアから材料がはみ出さないよう注意する。 	<高さオフセット> 目標値+0.010m
	④ 残ったウインドロウを適宜、前に移動させる。			

図-2.5-1 MC グレーダ施工マニュアル(5)

2.6. MC 応答感度の調整

本実験の開始前に、MC システム開発メーカー技術者により、MC システムの設置およびMC コントロールの応答感度の調整を行った。応答感度とは、施工中に排土板の高さが設計高さに沿うように、油圧制御が行われるが、この油圧制御によるブレードの動きの機敏さのことである。

応答感度はMC 施工の品質を左右する設定値であり、モータグレーダの走行速度や現場の状態などを考慮し最適な値に設定することが、最高の品質を得るために必要であるとされている。通常、モータグレーダの走行速度はオペレータによって異なるが、本実験では実験条件を統一することを重視し、オペレータごとに応答感度を変えることはせず、本実験状況においてすべてのオペレータにも適する一般的な設定をシステム開発メーカー技術者に決定していただき、実験を実施した。

なお、前章にて述べたように、27 年度の実験においては荒均しにて MC 施工を使用するか否かはオペレータに一任したため、応答感度設定値は1 種類のみとし、荒均しから仕上げ施工まで両方に使用できる設定値にした。28 年度実験では全員荒均しから MC 施工を使用するとしたため、共同研究参画企業との協議の結果、荒均しと仕上げにて設定値を分けることとした。設定値を以下に示す。

表-2.6-1 27 年度応答感度設定値（荒均し・仕上げ共通）

バルブオフセット	左上げ	168	拡張設定	DEAD BAND	5
	左下げ	170		SMART LINK	5
	右上げ	175		BLADE TIME CONST	40
	右下げ	168		MAINFOLL CUT-OUT	7
拡張バルブ設定	タイプ	Danfoss	その他	SWICH TYPE	Smartknob
	ドライブ	-		ゲイン上げ	180
	最大電流量	-		ゲイン下げ	150
	ディザ幅	-		スロープゲイン	50
	PWM flea	-			
	ヒステリシス	-			
	ディザ周波	-			

表-2.6-2 28年度応答感度設定値（荒均し）

バルブオフセット	左上げ	171	拡張設定	DEAD BAND	1
	左下げ	158		SMART LINK	4
	右上げ	172		BLADE TIME CONST	40
	右下げ	158		MAINFOLL CUT-OUT	7
拡張バルブ設定	タイプ	Danfoss	その他	SWICH TYPE	Smartknob
	ドライブ	-		ゲイン上げ	250
	最大電流量	-		ゲイン下げ	250
	ディザ幅	-		スロープゲイン	180
	PWM flea	-			
	ヒステリシス	-			
	ディザ周波	-			

表-2.6-3 28年度応答感度設定値（仕上げ）

バルブオフセット	左上げ	171	拡張設定	DEAD BAND	2
	左下げ	158		SMART LINK	4
	右上げ	172		BLADE TIME CONST	40
	右下げ	158		MAINFOLL CUT-OUT	7
拡張バルブ設定	タイプ	Danfoss	その他	SWICH TYPE	Smartknob
	ドライブ	-		ゲイン上げ	90
	最大電流量	-		ゲイン下げ	90
	ディザ幅	-		スロープゲイン	45
	PWM flea	-			
	ヒステリシス	-			
	ディザ周波	-			

2.7. オペレータ

表-2.7-1 に示す様々な経験を持ったオペレータにて実験を行った。なお、B さん、C さん、D さん、E さんの 4 名は 27 年度、28 年度両方に参加したオペレータである。A さんは 27 年度と 28 年度では両方とも熟練者であるが別人であるため、27 年度では A' さんとした。同様に F さんも両方非熟練者であるが別人であるため、27 年度では F' さんとした。A さん、A' さん、B さんは熟練者（経験 15 年以上）、D さん、E さん、F さん、F' さんは非熟練者（経験 10 年未満）といふことができる。なお、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 の操縦に長けている特殊な人物である。

表-2.7-1 オペレータ

27 年度			28 年度		
	年齢	業務経験年数		年齢	業務経験年数
A' さん	52	33	A さん	57	35
B さん	36	16	B さん	37	17
C さん	33	10	C さん	34	11
D さん	30	8	D さん	31	9
E さん	23	5	E さん	24	6
F' さん	22	1	F さん	24	2

2.8. 計測項目と使用機器

実験では、以下のデータを計測した。このうち1, 2, 3, 5は27年度, 28年度両年で、他は28年度のみ計測した。

表-2.8-1 計測項目 (その1)

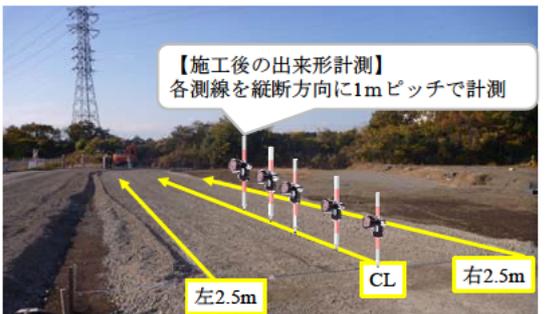
<p>1. 施工時間 施工開始から終了（表-2.4-1②から⑤まで）にかかった時間を計測する</p>	
<p>2. 仕上がり高さ検測回数 敷き均し作業終了確認のために行った、検測の回数を記録する（表-2.4-1④および⑤）</p>	
<p>3. 出来形（転圧前） 施工終了後（表-2.4-1⑤終了後），中央・右・左の3測線上1mピッチの仕上がり高さを（出来形）TSにて計測する TS：TOPCON 9200 データコレクタ：TOPCON FC-250</p>	
<p>4. 出来形（転圧後） 本転圧終了後（表-2.4-1⑥終了後），上記3.と同様に出来形計測を行う</p>	

表-2.8-1 計測項目（その2）

<p>5. 平坦性</p> <p>本転圧終了後（表-2.4-1⑥終了後），左測線上の平坦性を、3m プロファイラを用いて計測する</p>	
<p>6. 地盤反力係数</p> <p>本転圧終了後（表-2.4-1⑥終了後），上記3.と同様に中央・右・左の3測線上1mピッチの地盤反力係数を小型平板載荷試験装置にて計測する</p> <p>小型平板載荷試験装置：ITS-04</p>	
<p>7. 心拍数</p> <p>モータグレーダ作業中のオペレータの心拍数を測定する</p> <p>心拍数計：EPSON SF-850</p>	
<p>8. オペレータ視線</p> <p>モータグレーダ作業中のオペレータの視線を測定する</p> <p>アイマークレコーダ：NAC EMR-9</p>	

3. 実験結果

3.1. 施工時間

3.1.1. 施工時間結果

作業開始から作業終了までの全作業時間を測定した結果を、図-3.1-1, 3.1-2に、全作業時間のうち、グレーダ反転や検測、転圧などモータグレーダによる敷き均し作業以外を除いた時間（以下実作業時間と呼ぶ）を、図-3.1-3, 3.1-4に示す。

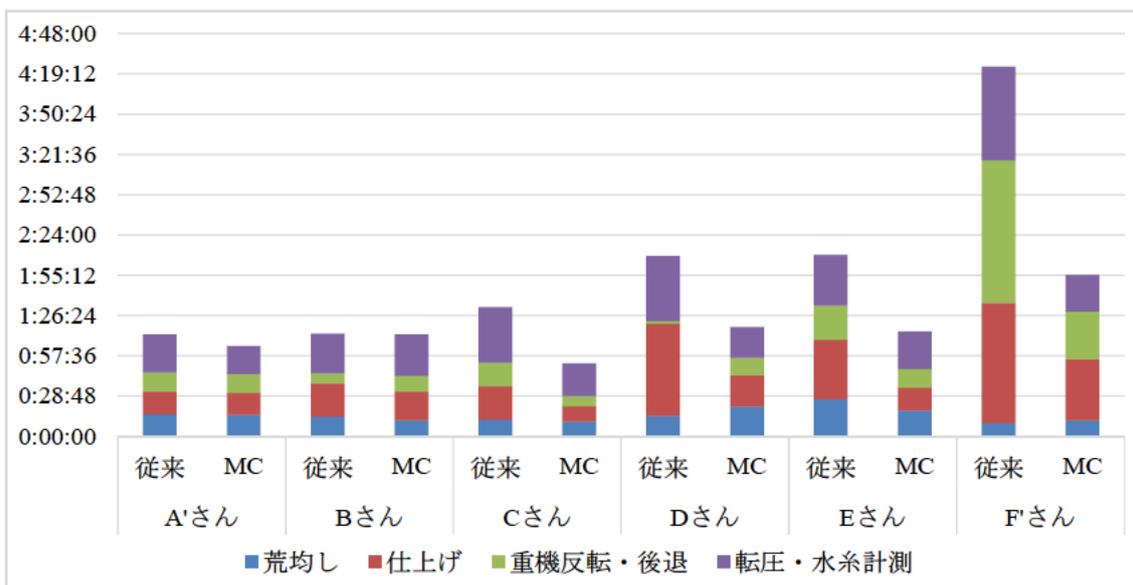


図-3.1-1 全作業時間（27年度）

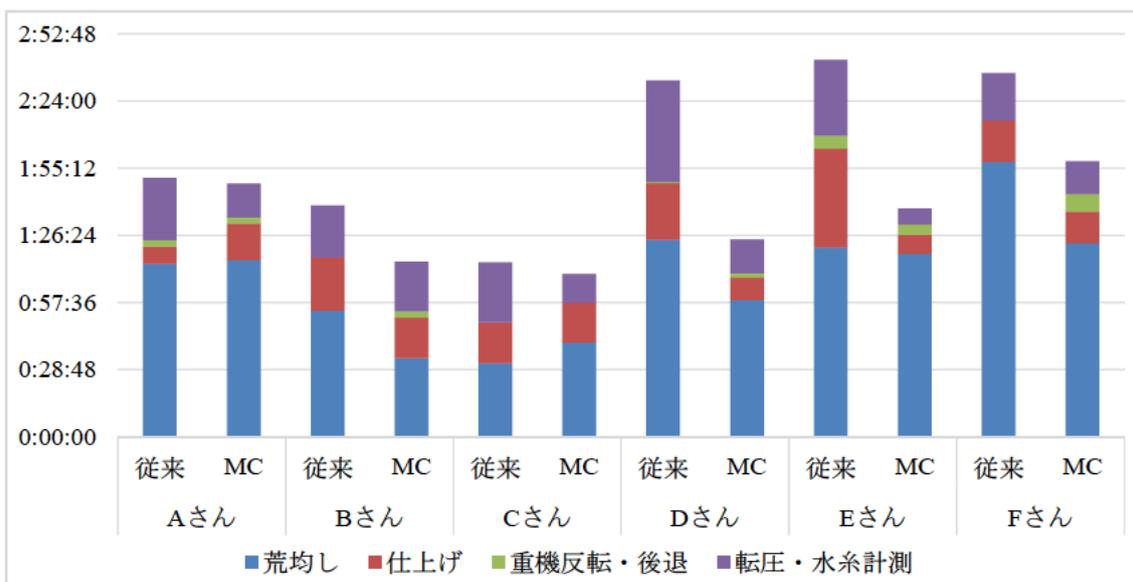


図-3.1-2 全作業時間（28年度）

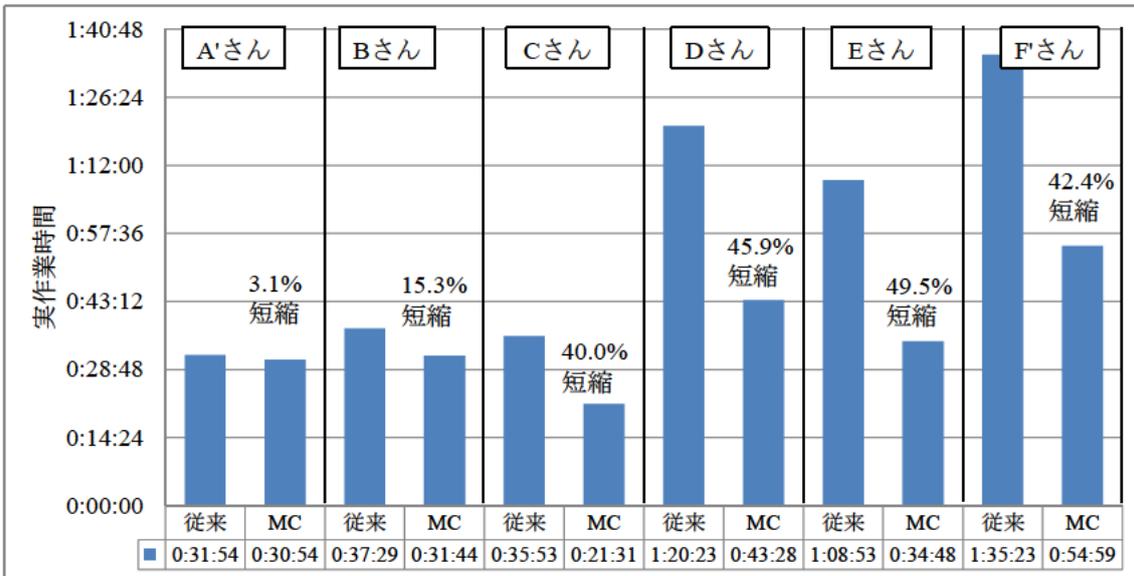


図-3.1-3 実作業時間 (27年度)

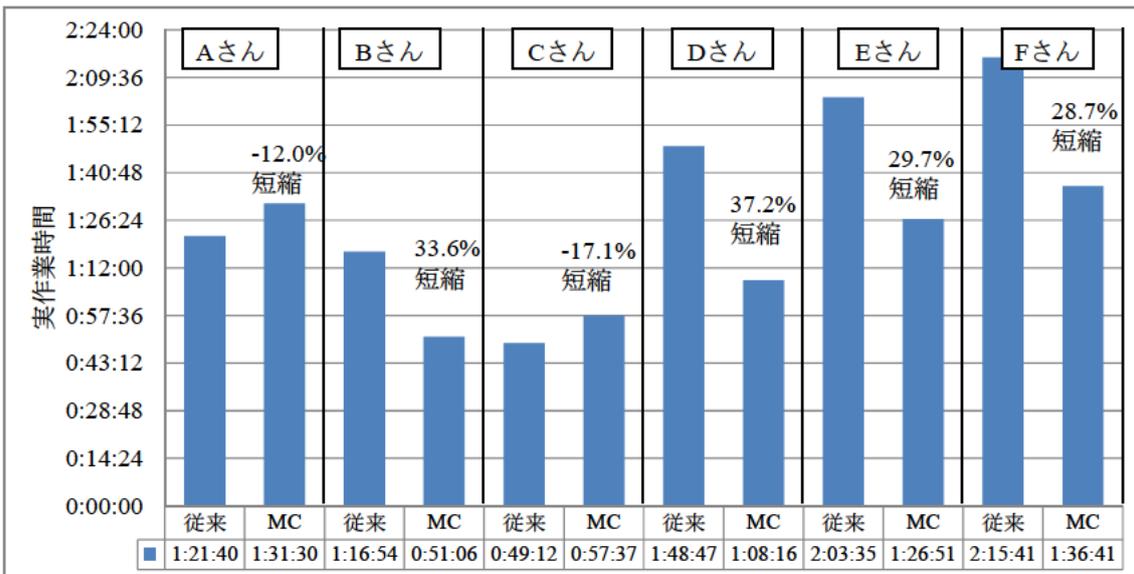


図-3.1-4 実作業時間 (28年度)

3.1.2. MC 導入効果の検証

図-3.1-3, 3.1-4 によると、ほぼ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ており、また実作業時間が増加したオペレータ (28年度 A さん, C さん) もその増加量は少ないことから、MC 施工導入は施工時間短縮に効果があることがわかる。また、その短縮率は熟練者 (A'さん, A さん, B さん) より非熟練者 (D さん, E さん, F'さん, F さん) の方が高い。そこで、2 ヶ年にわたる熟練者と非熟練者の平均値を算出すると図-3.1-5 のようになる。図-3.1-5 から、MC 施工導入は、オペレータの熟練度によらず実作

業時間短縮効果が期待できること、その短縮率は熟練者では 10.0%、非熟練者では 37.2%となっており、非熟練者の方が作業時間短縮効果が高いこと、さらに非熟練者に MC 施工を導入した場合、熟練者を越えること（実作業時間が短くなること）はできないが、ほぼ熟練者並みの実作業時間で施工できる可能性があることがわかる。

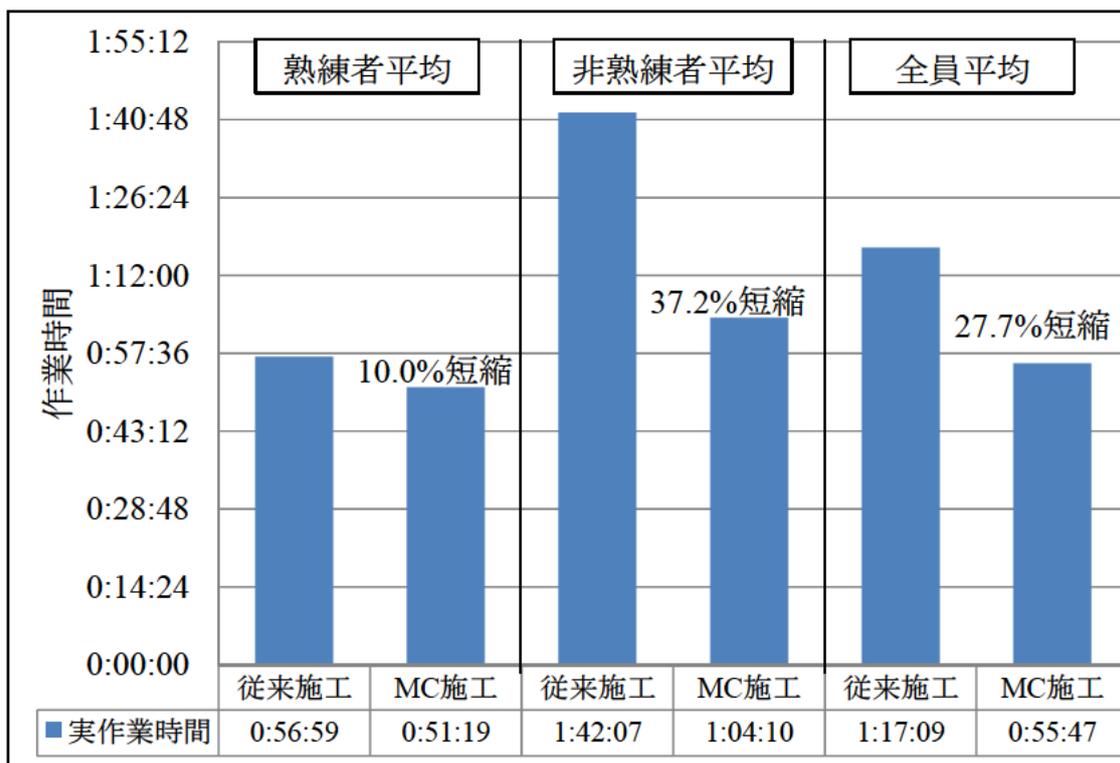


図-3.1-5 実作業時間 (2 ヶ年平均)

3.2. 仕上がり高さ検測回数

3.2.1. 仕上がり高さ検測回数結果

敷き均し作業終了確認のために行った、検測の回数を、図-3.2-1、3.2-2 に示す。

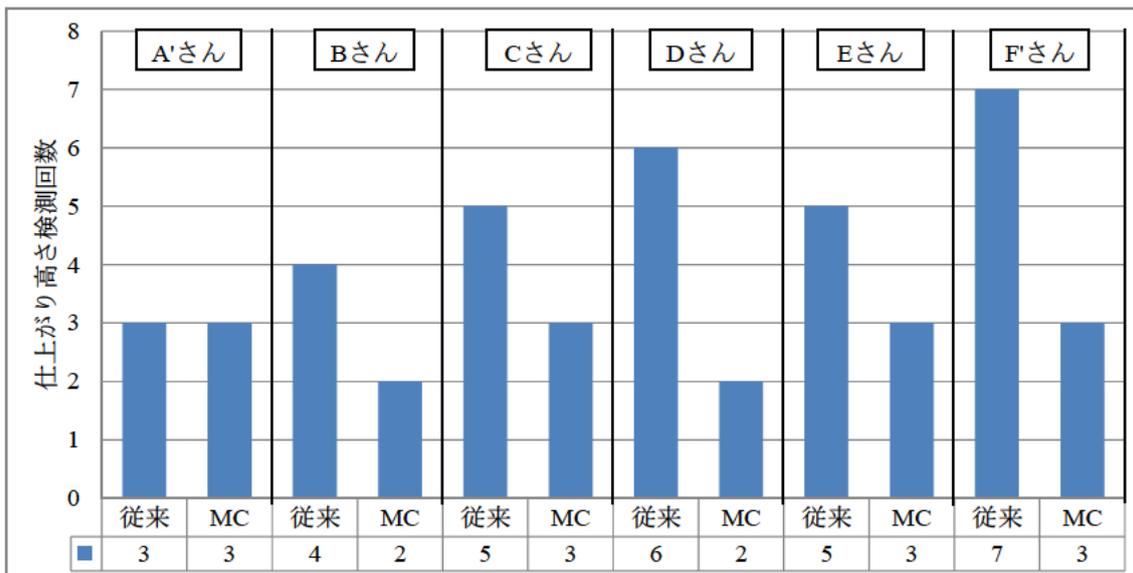


図-3.2-1 仕上がり高さ検測回数 (27年度)

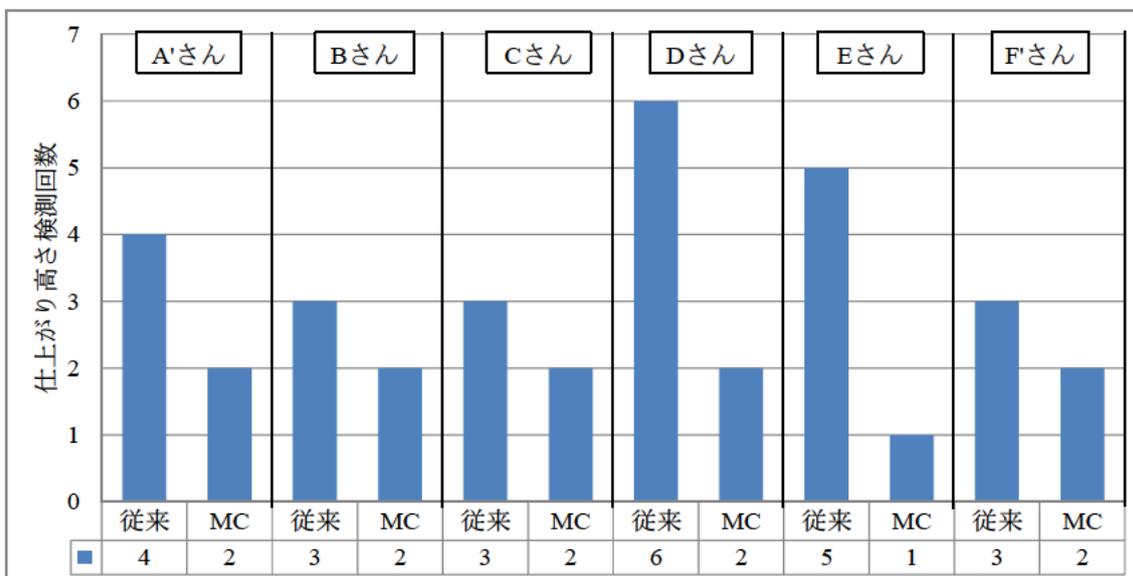


図-3.2-2 仕上がり高さ検測回数 (28年度)

3.2.2. MC 導入効果の検証

図-3.2-1, 3.2-2 によると、ほぼ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検測回数が短縮されており、MC 施工導入は仕上がり高さ検測回数短縮に効果があることがわかる。また、その短縮率は熟練者（A'さん, Aさん, Bさん）より非熟練者（Dさん, Eさん, F'さん, Fさん）の方が高い。そこで、2 ヶ年にわたる熟練者と非熟練者の平均値を算出すると図-3.2-3 のようになる。図-3.2-3 から、MC 施工導入は、オペレータの熟練度によらず仕上がり高さ検測回数短縮効果が期待できること、その短縮率は熟練者では 35.7%、非熟練者では 59.4%となっており、非熟練者の方が仕上がり高さ検測回数短縮効果が高いこと、さらに非熟練者に MC 施工を導入した場合、熟練者を超えること（仕上がり高さ検測回数が少なくなる）はできないが、ほぼ熟練者並みの仕上がり高さ検測回数で施工できる可能性があることがわかる。

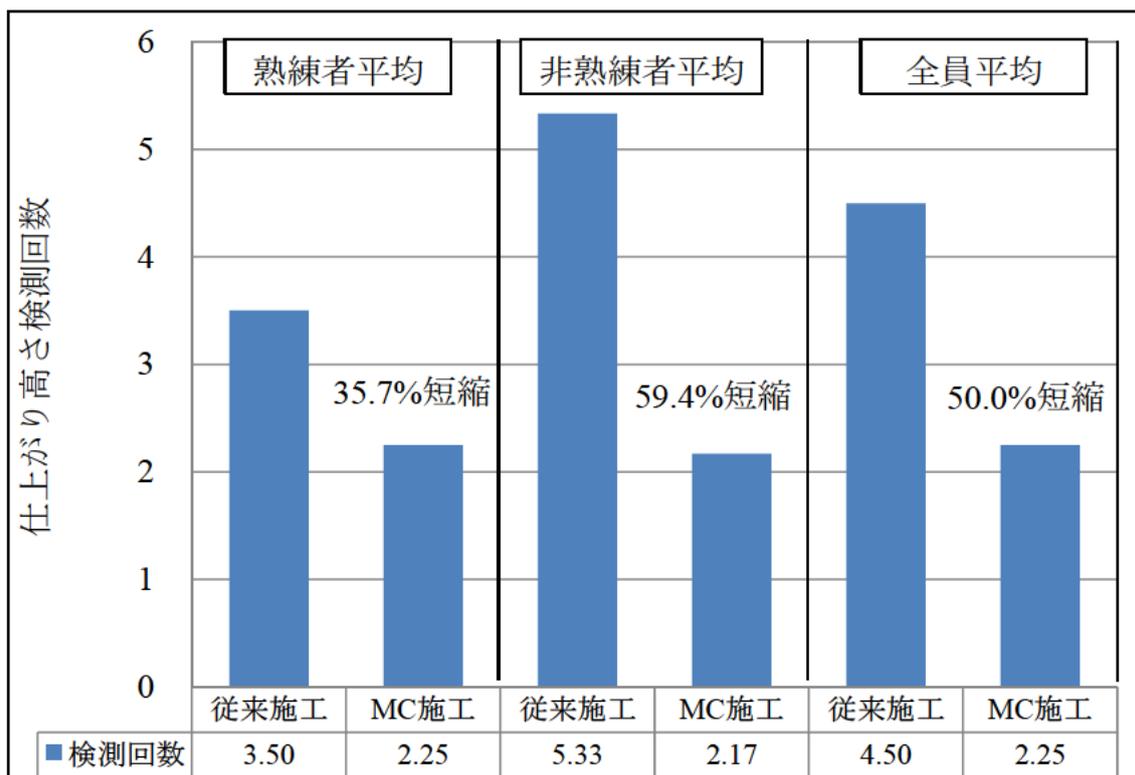


図-3.2-3 仕上がり高さ検測回数（2 ヶ年平均）

3.3. 出来形（本転圧前）

3.3.1. 出来形（本転圧前）結果

中央・右・左の3測線上を縦断方向に1mピッチにて施工延長70m区間で計測した出来形(本転圧前)計測結果を,設計面からの差でプロットしたグラフと,全データを度数分布で表したグラフを図-3.3-1~3.3-24に示す.なお,27年度は終点付近5m区間のデータが取得できなかったため,施工延長65mまでのデータである.

また,各度数分布の標準偏差をまとめたものを,図-3.3-25,3.3-26に示す.標準偏差は設計面からのバラツキを表す数値であり,数値が低い方が,バラツキが小さいことを表している.

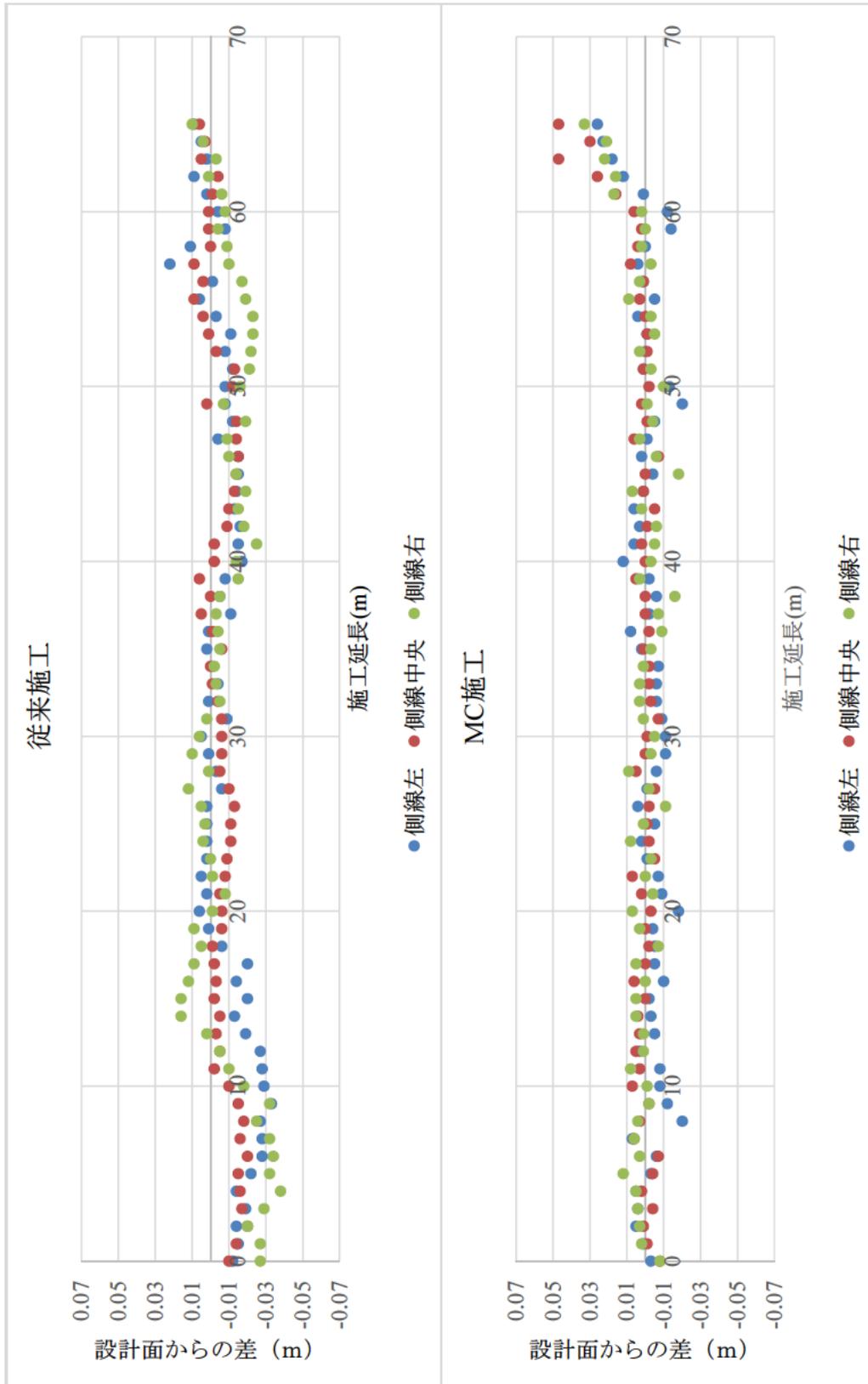


図-3.3-1 出来形 (本転圧前) (27年度:A'さん)

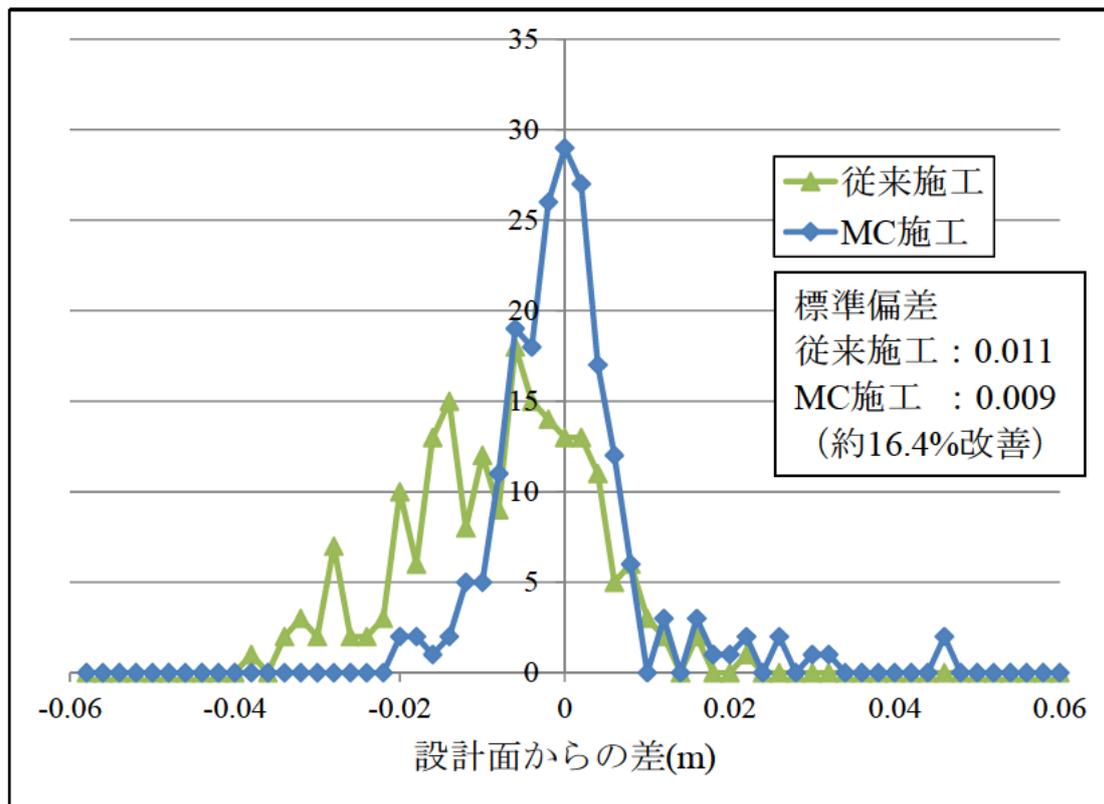


図-3.3-2 出来形度数分布 (本転圧前) (27年度:A'さん)

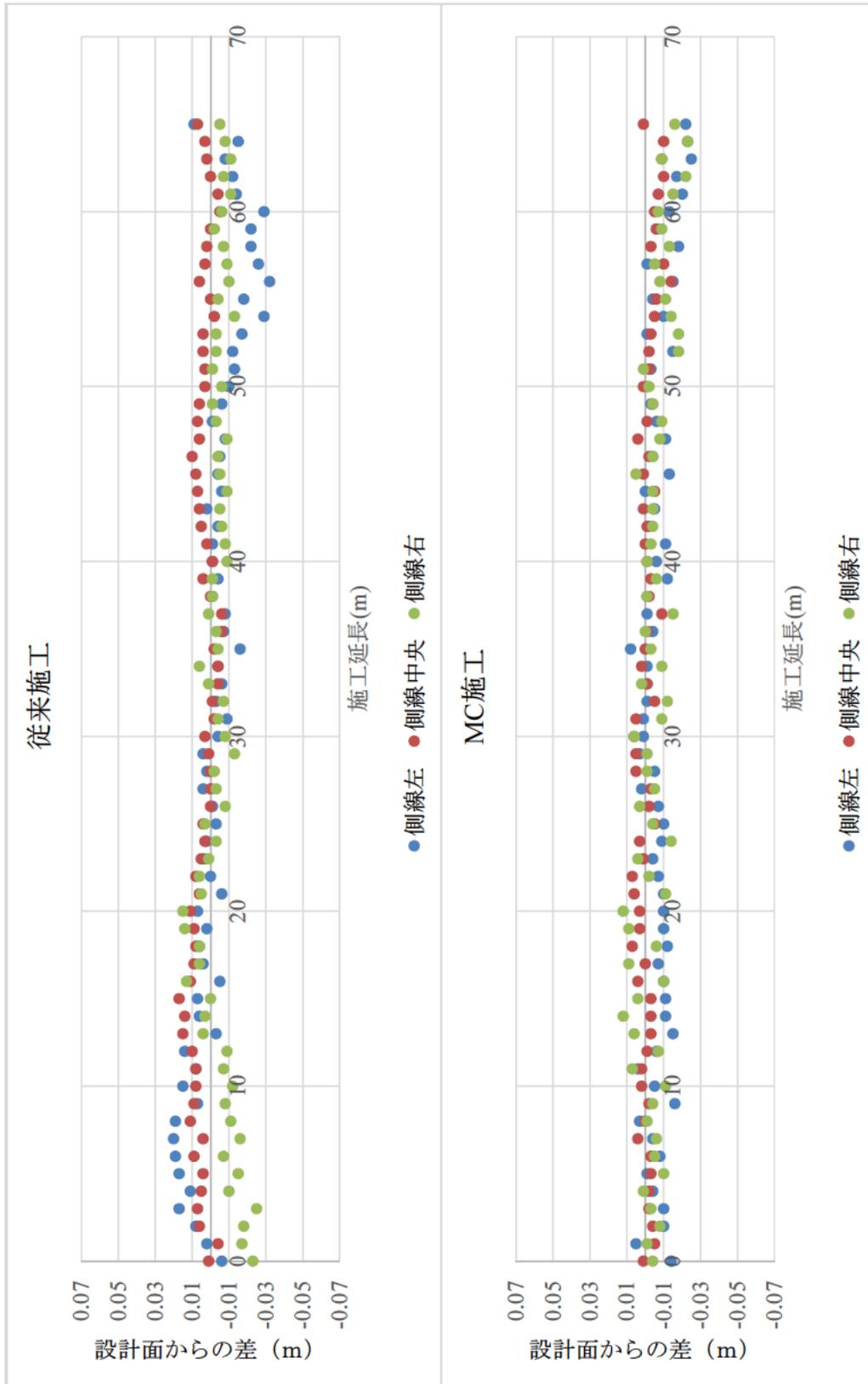


図-3.3-3 出来形 (本転圧前) (27年度 : Bさん)

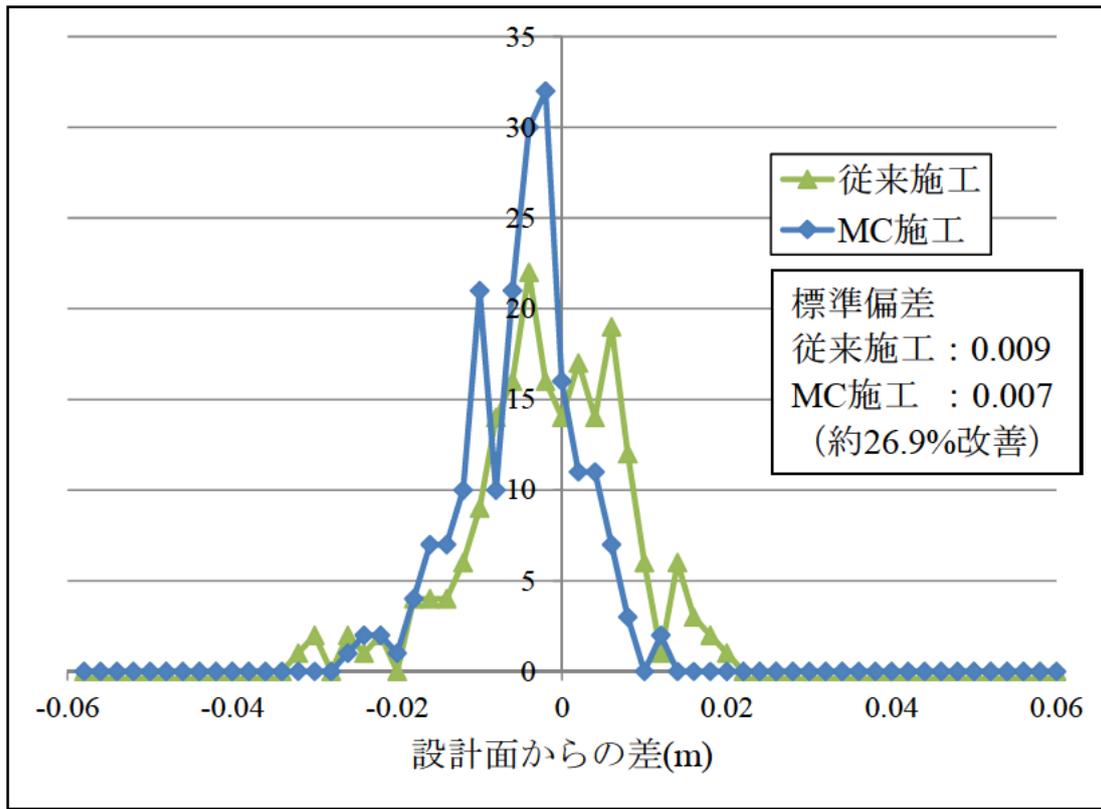


図-3.3-4 出来形度数分布 (本転圧前) (27年度: Bさん)

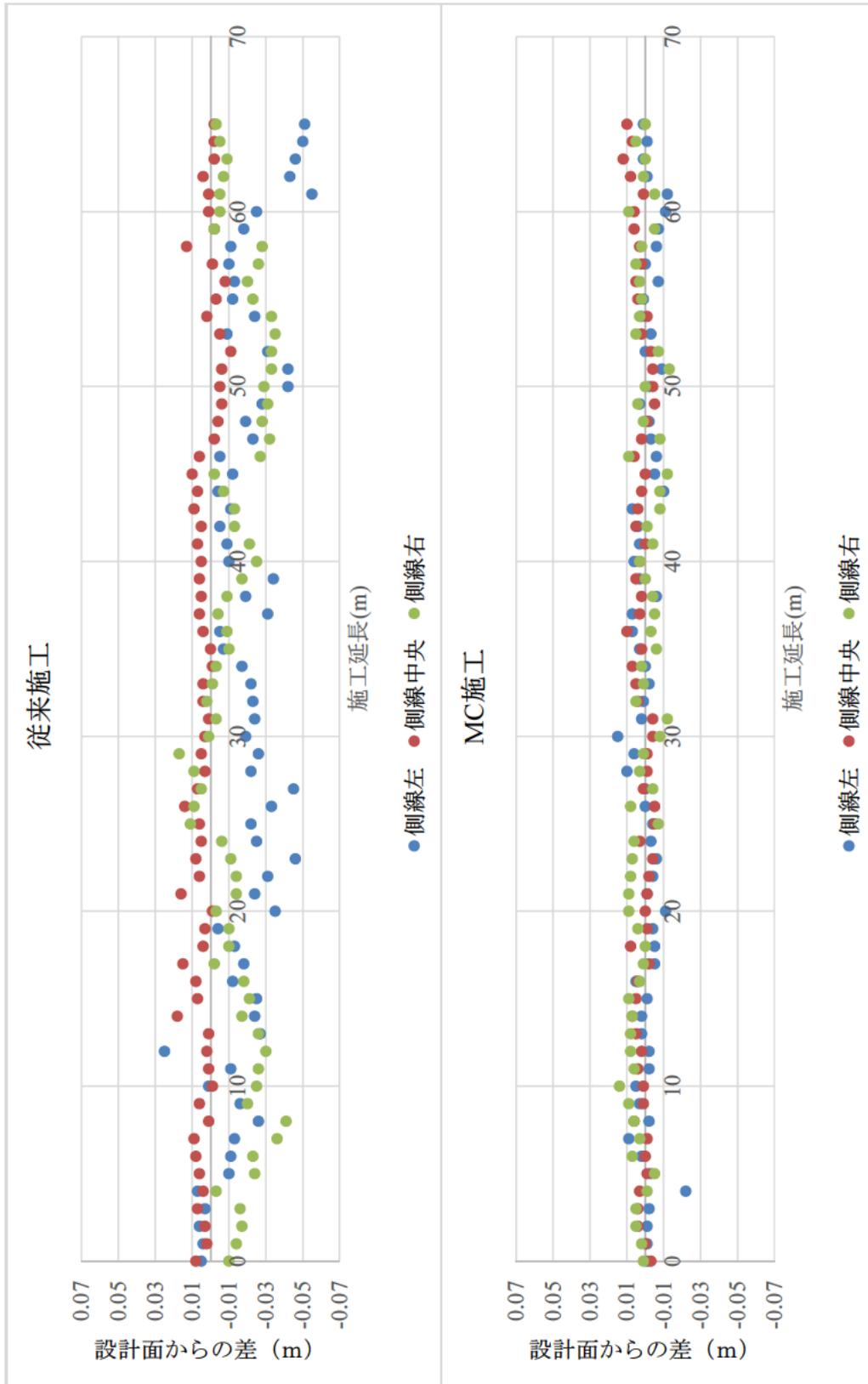


図-3.3-5 出来形 (本転圧前) (27年度 : Cさん)

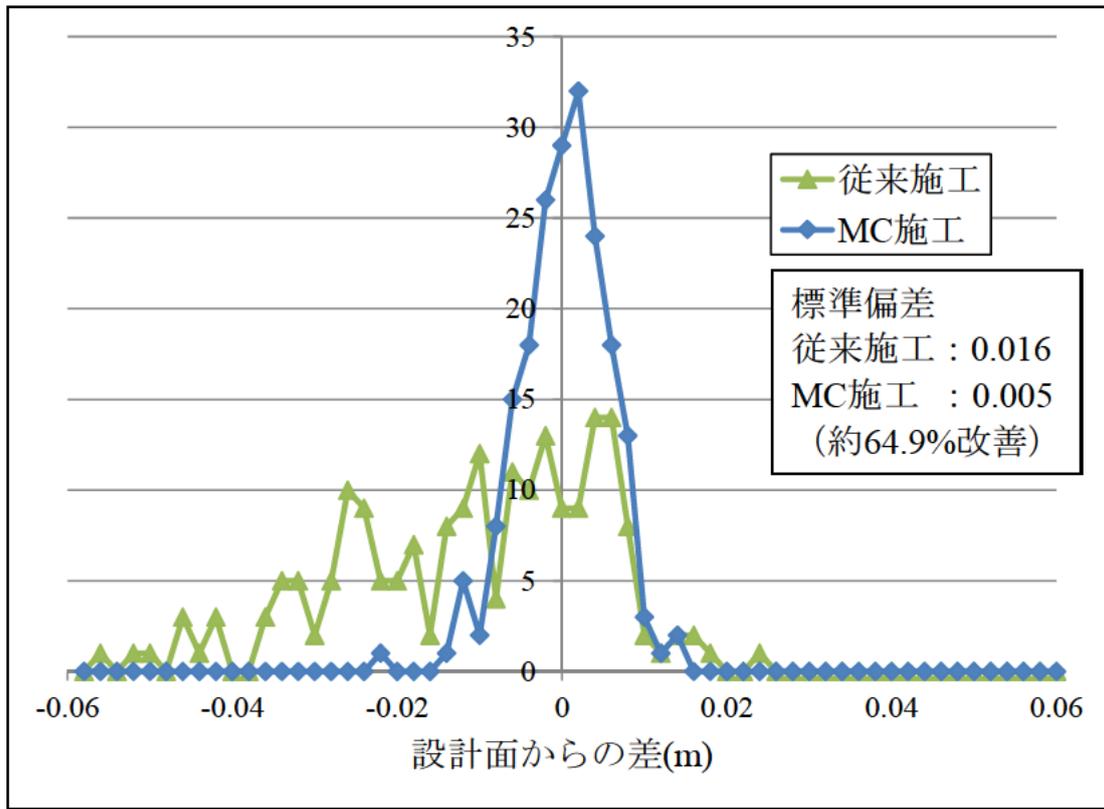


図-3.3-6 出来形度数分布 (本転圧前) (27年度 : Cさん)

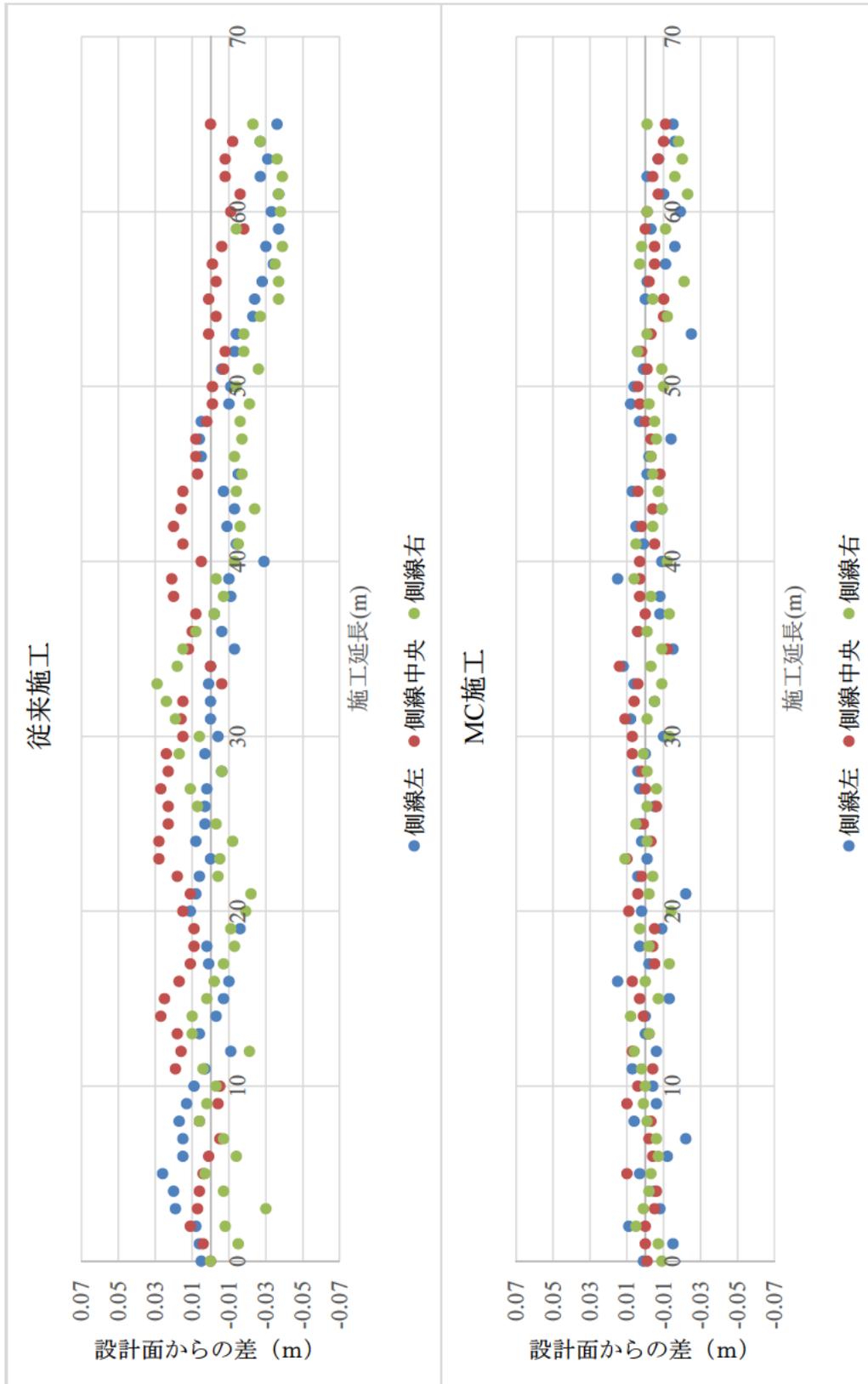


図-3.3-7 出来形 (本転圧前) (27年度 : Dさん)

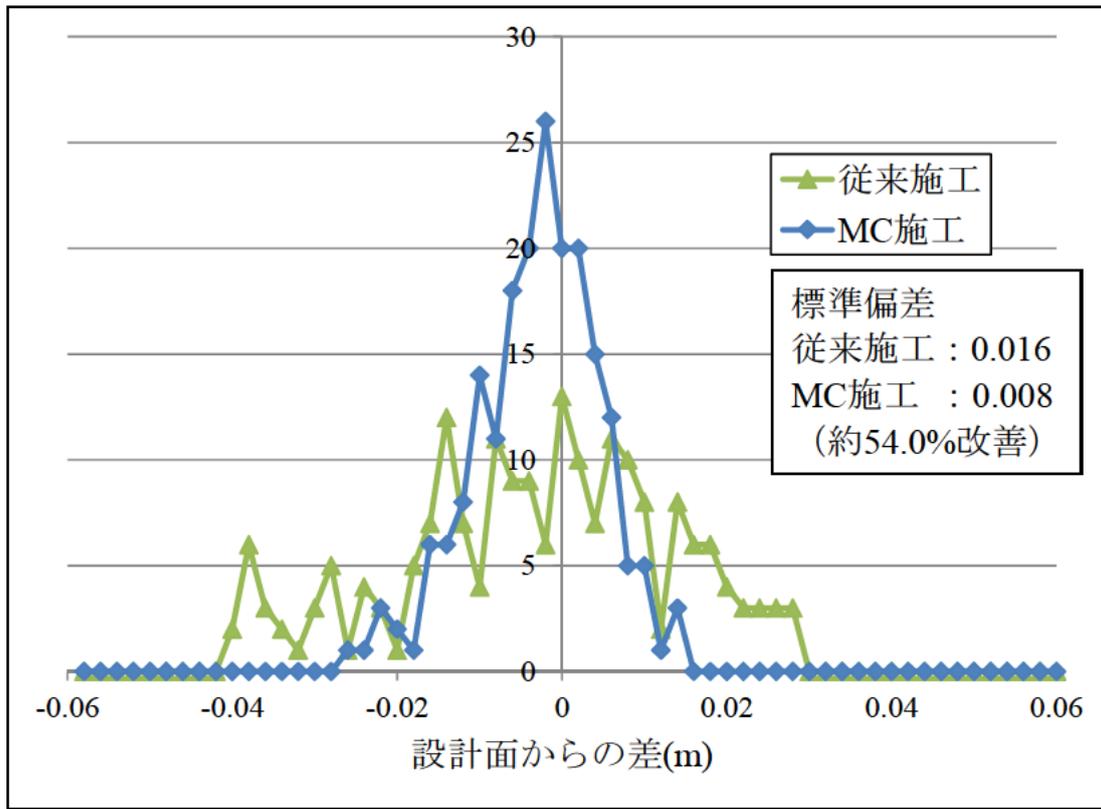


図-3.3-8 出来形度数分布 (本転圧前) (27年度 : Dさん)

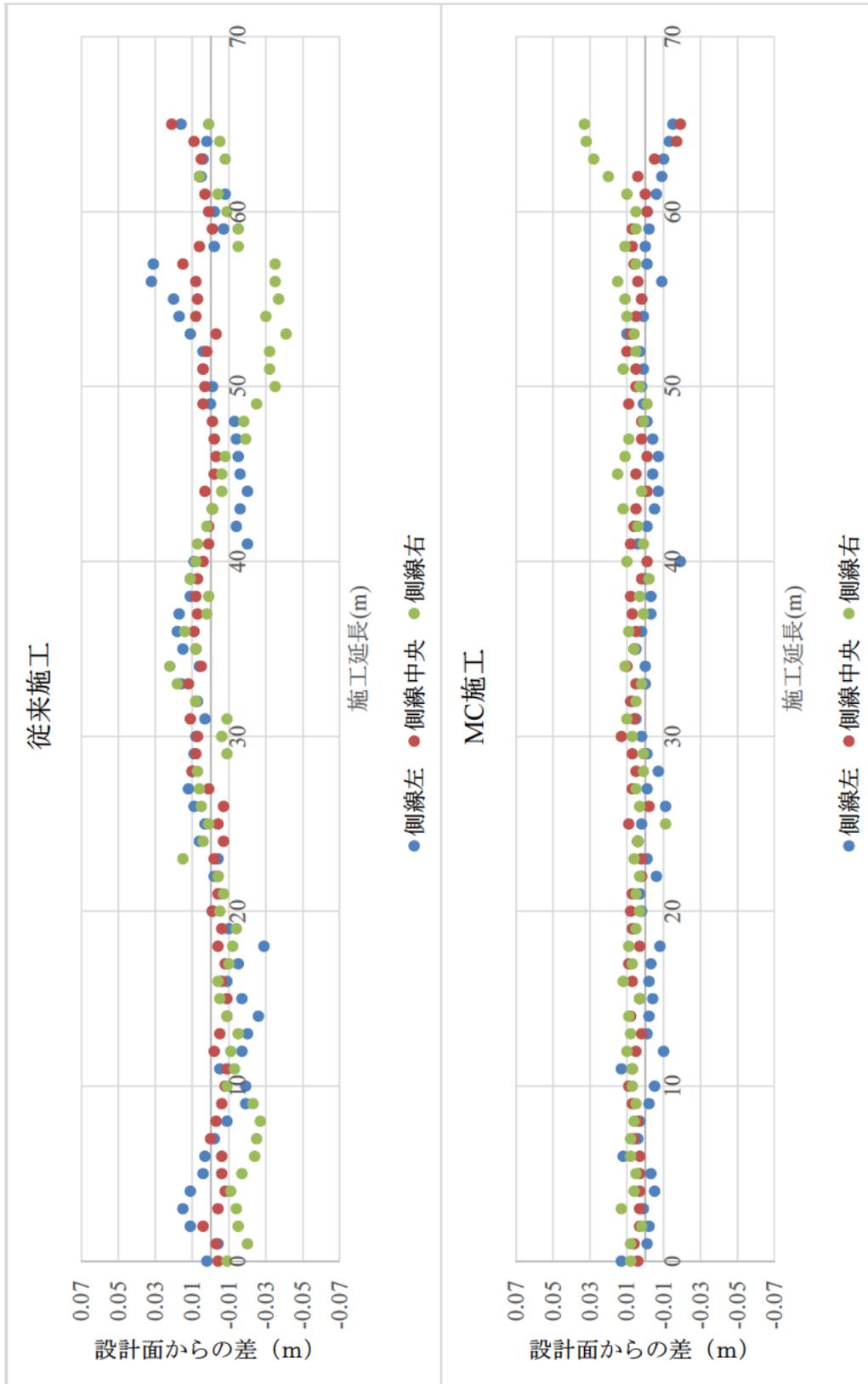


図-3.3-9 出来形 (本転圧前) (27年度 : Eさん)

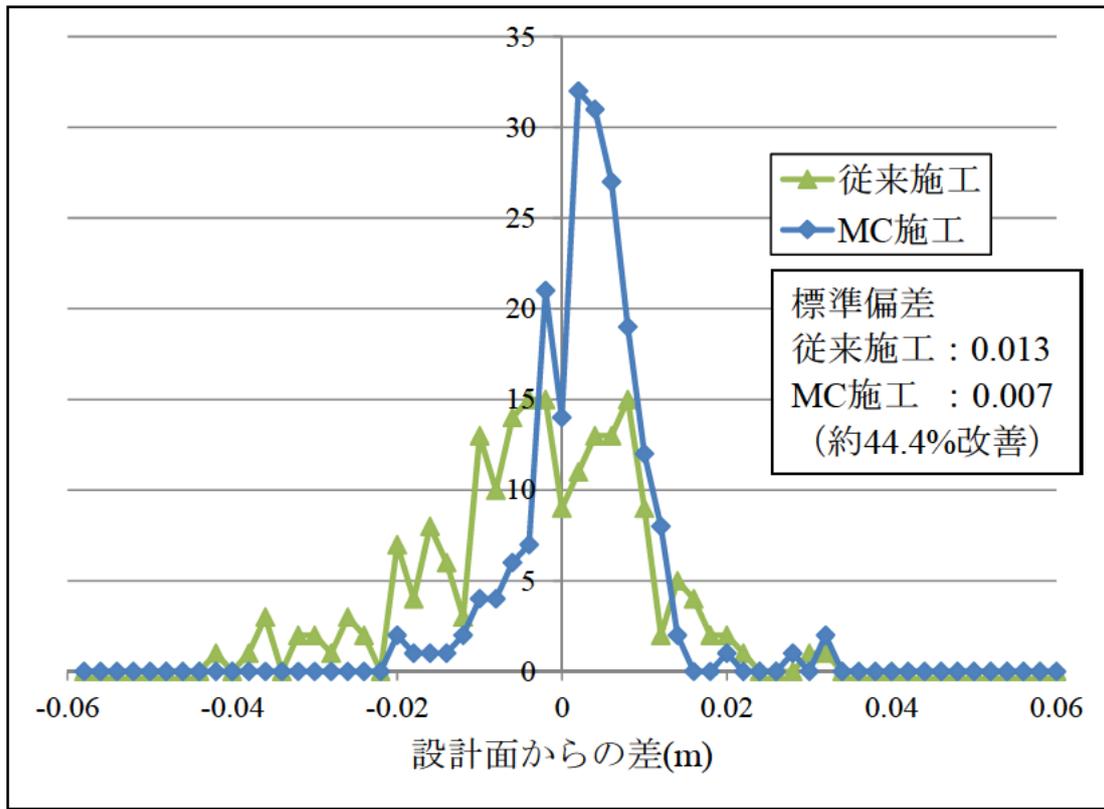


図-3.3-10 出来形度数分布 (本転圧前) (27年度 : Eさん)

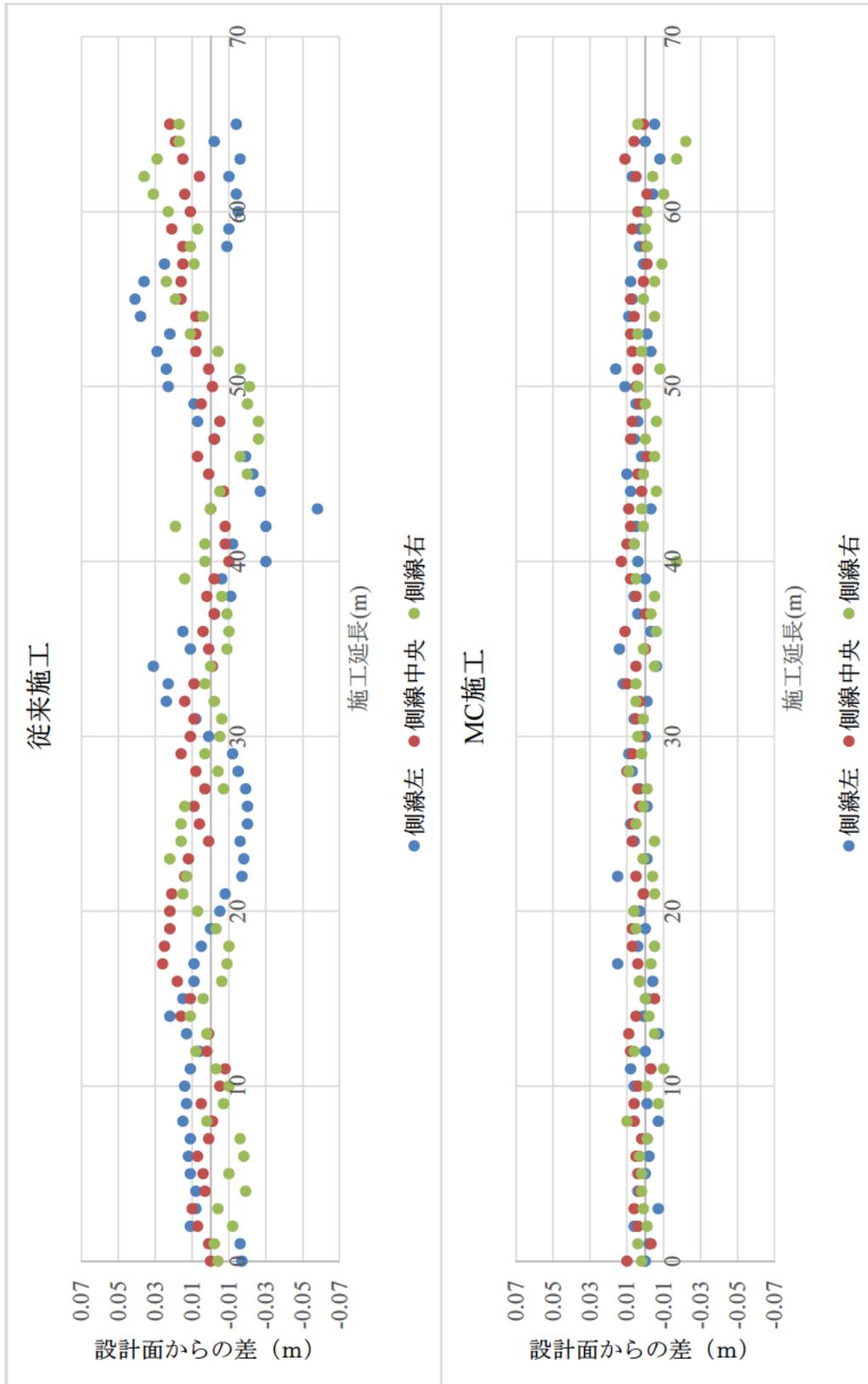


図-3.3-11 出来形（本転圧前）（27年度：Fさん）

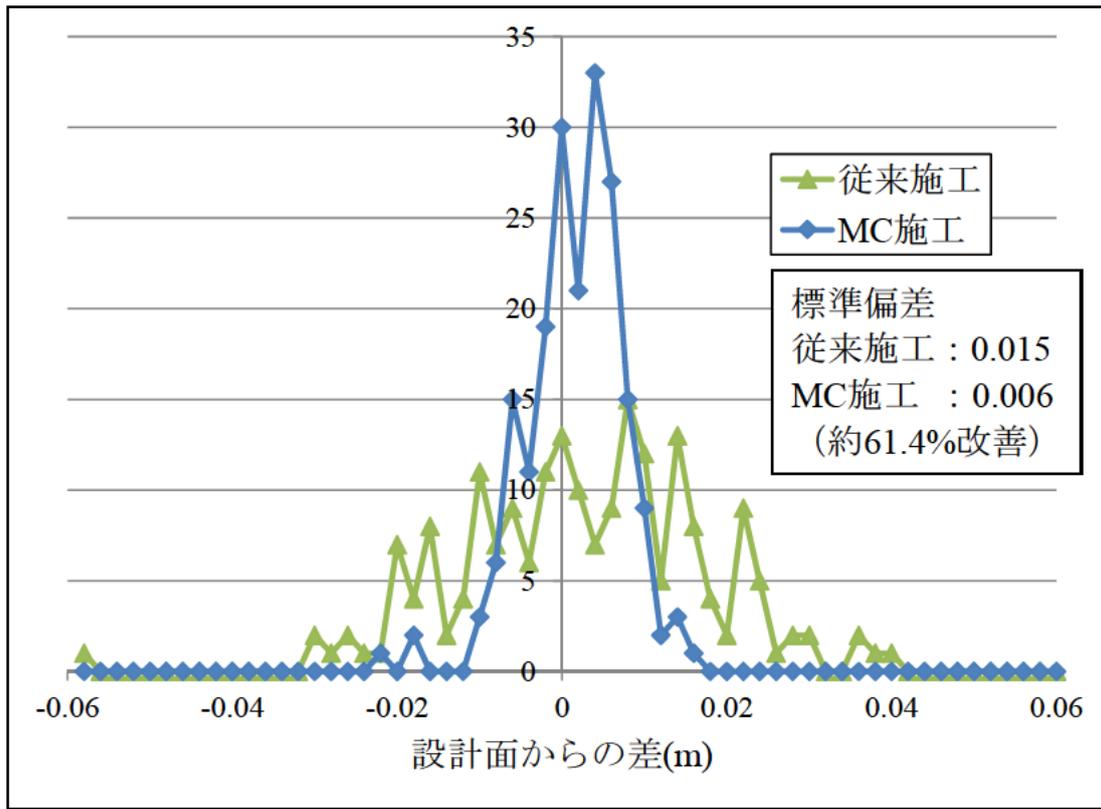


図-3.3-12 出来形度数分布（本転圧前）（27年度：F'さん）

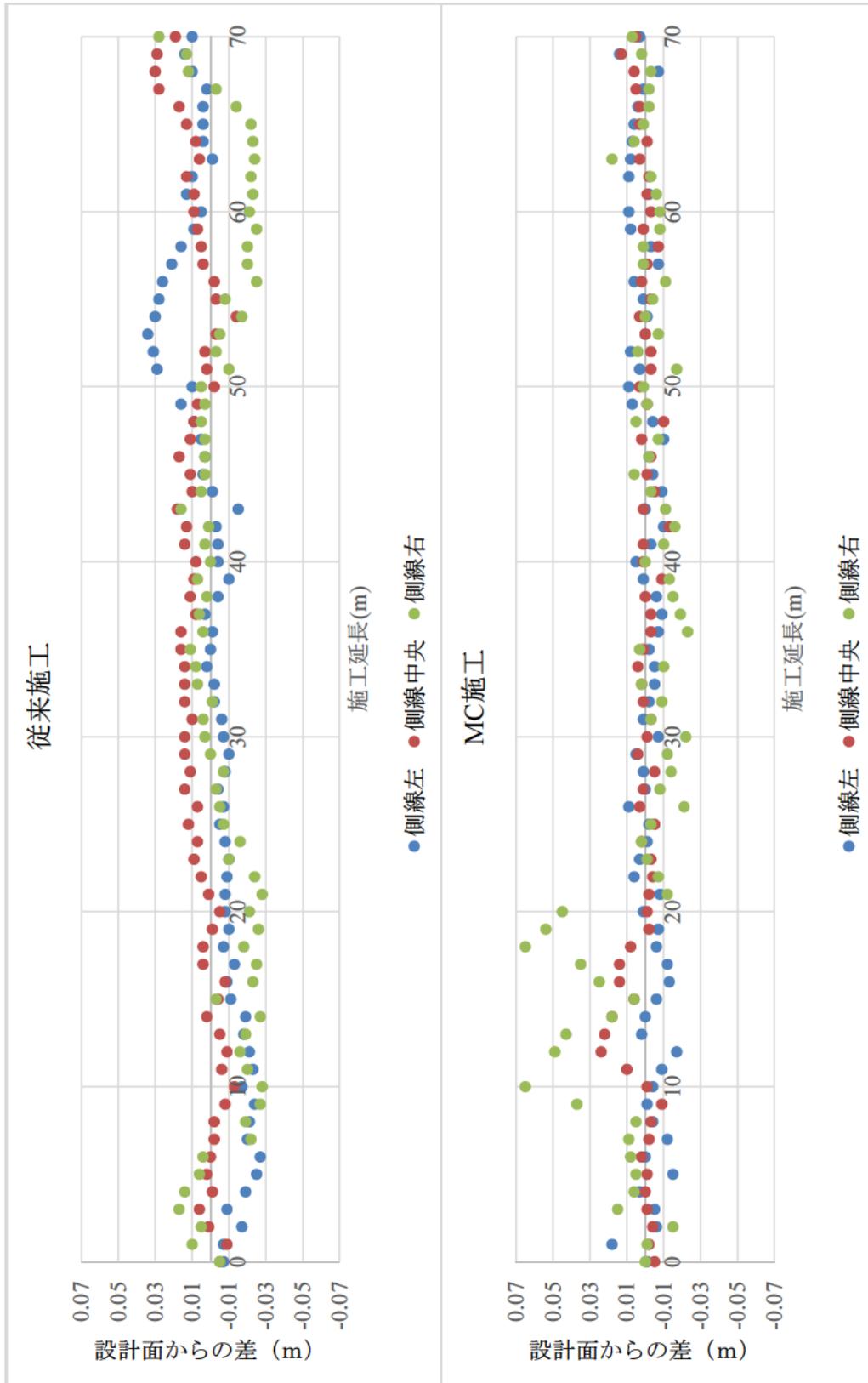


図-3.3-13 出来形（本転圧前）（28年度：Aさん）

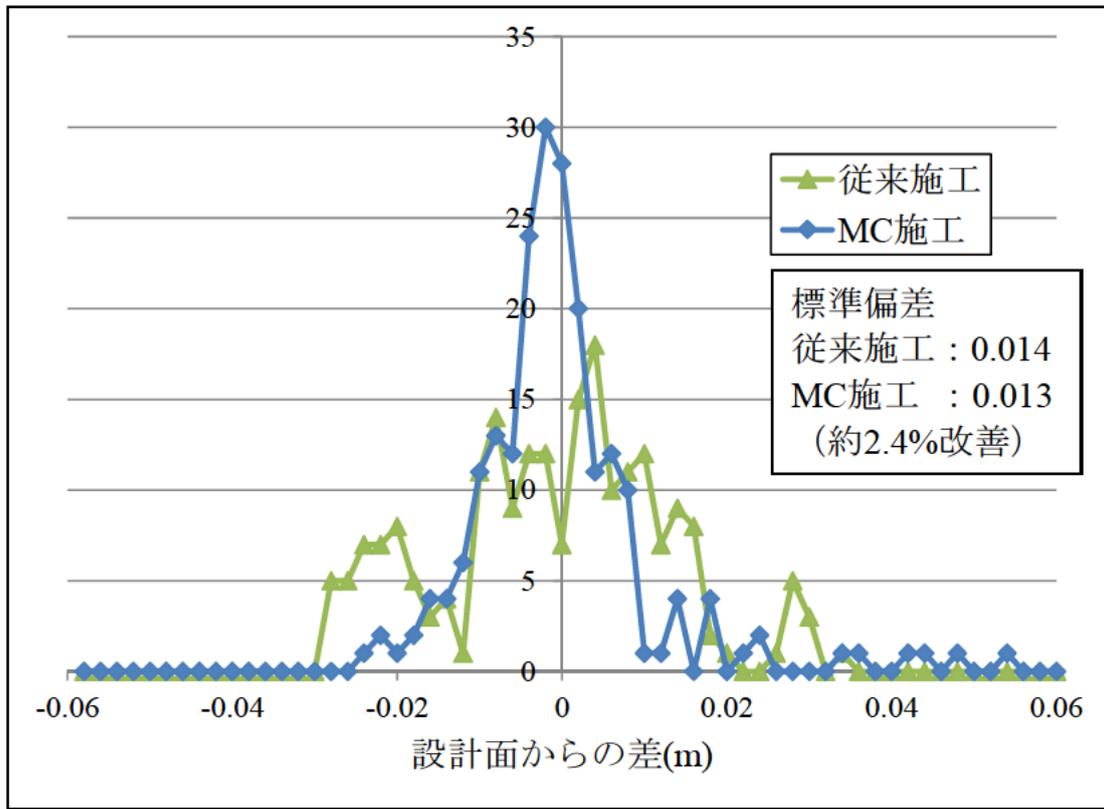


図-3.3-14 出来形度数分布 (本転圧前) (28年度 : A さん)

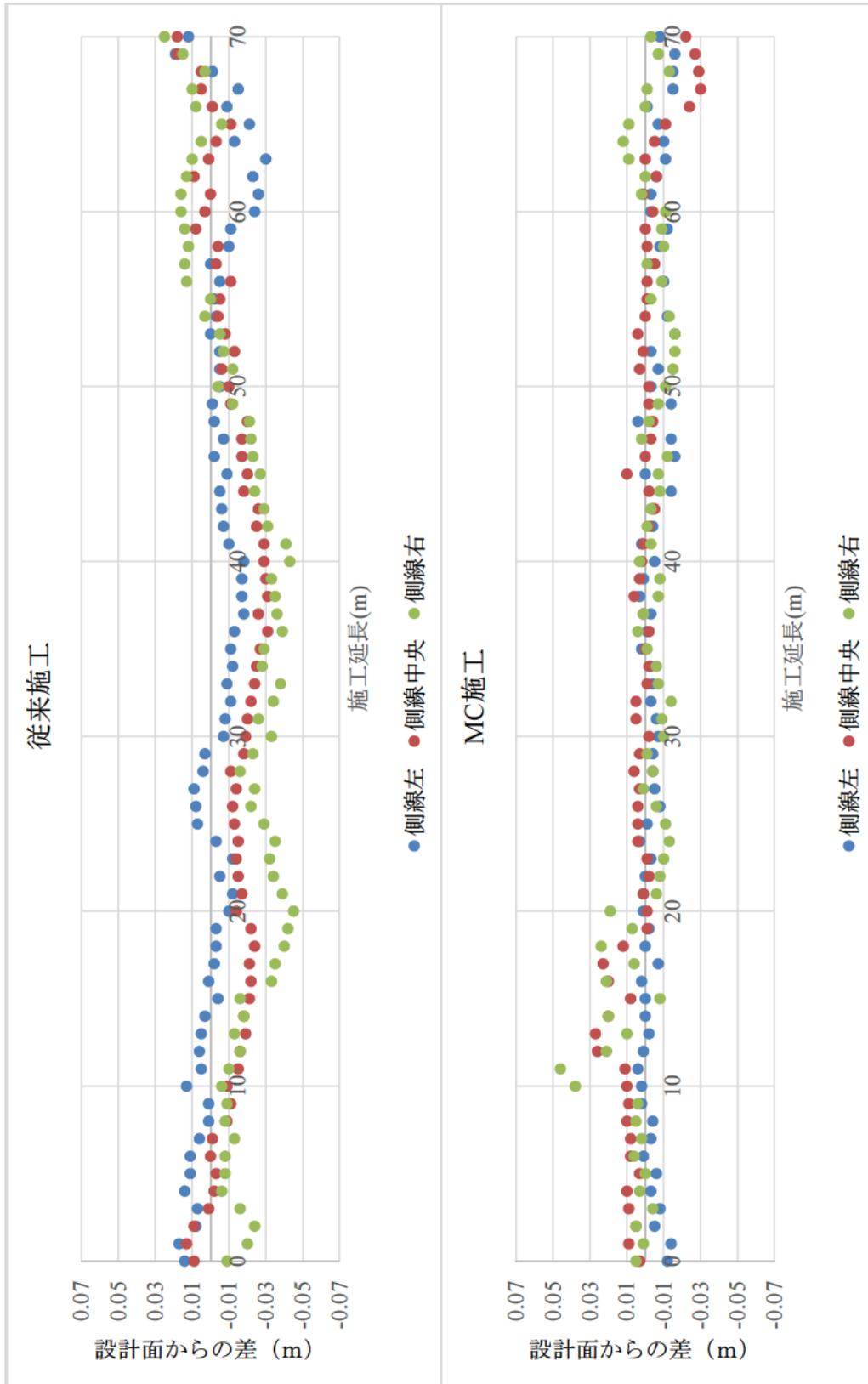


図-3.3-15 出来形（本転圧前）（28年度：Bさん）

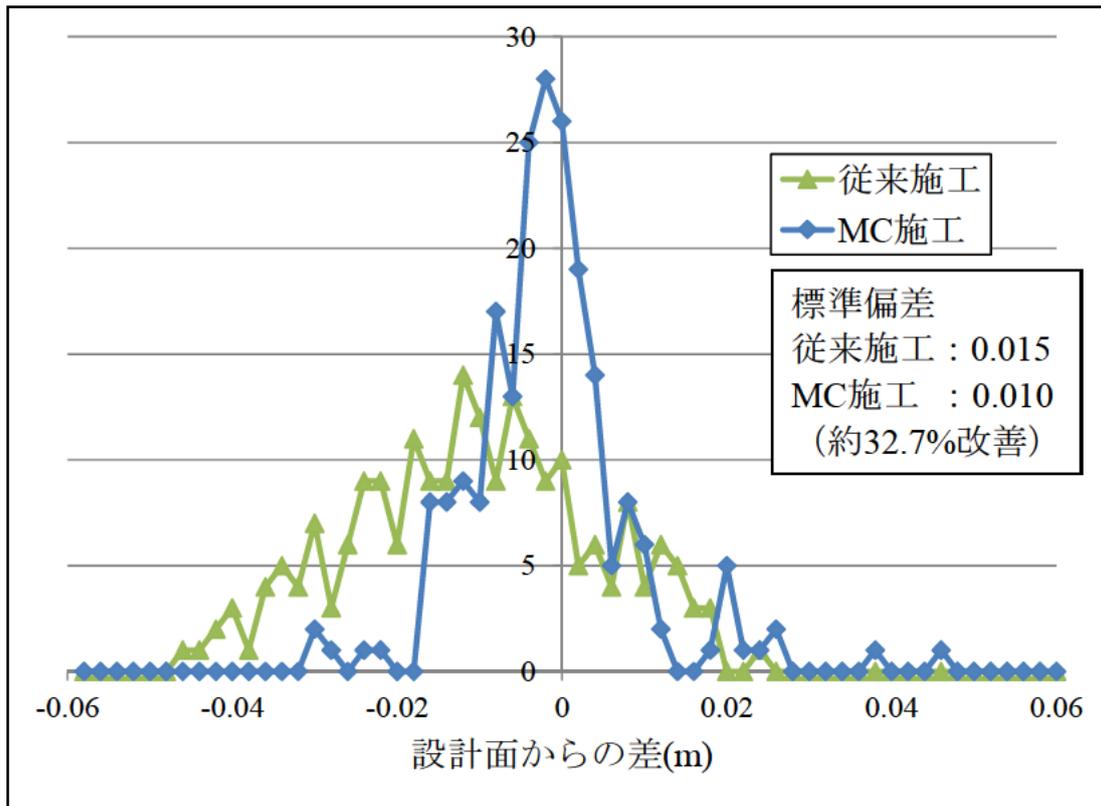


図-3.3-16 出来形度数分布 (本転圧前) (28年度 : Bさん)

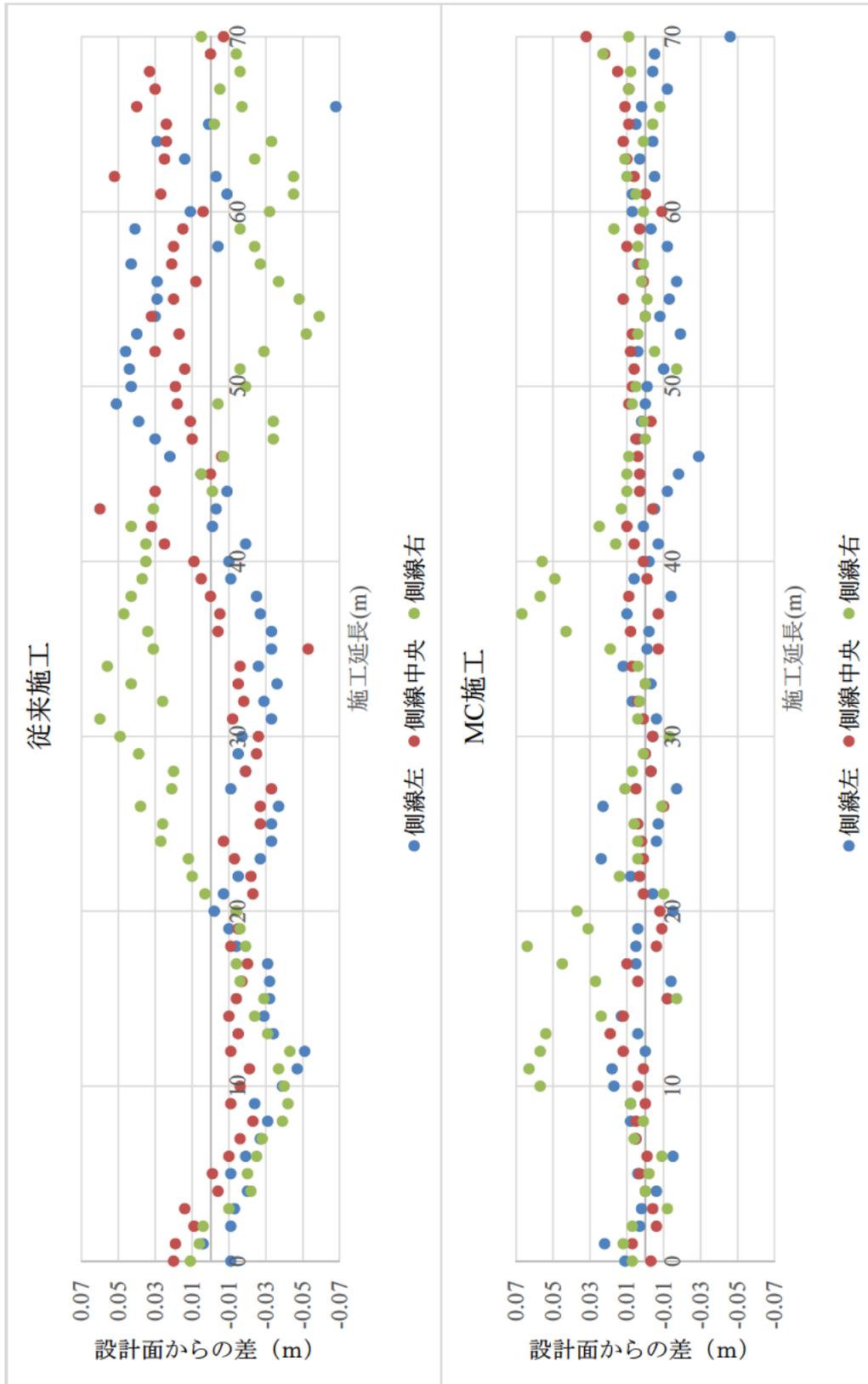


図-3.3-17 出来形 (本転圧前) (28年度 : Cさん)

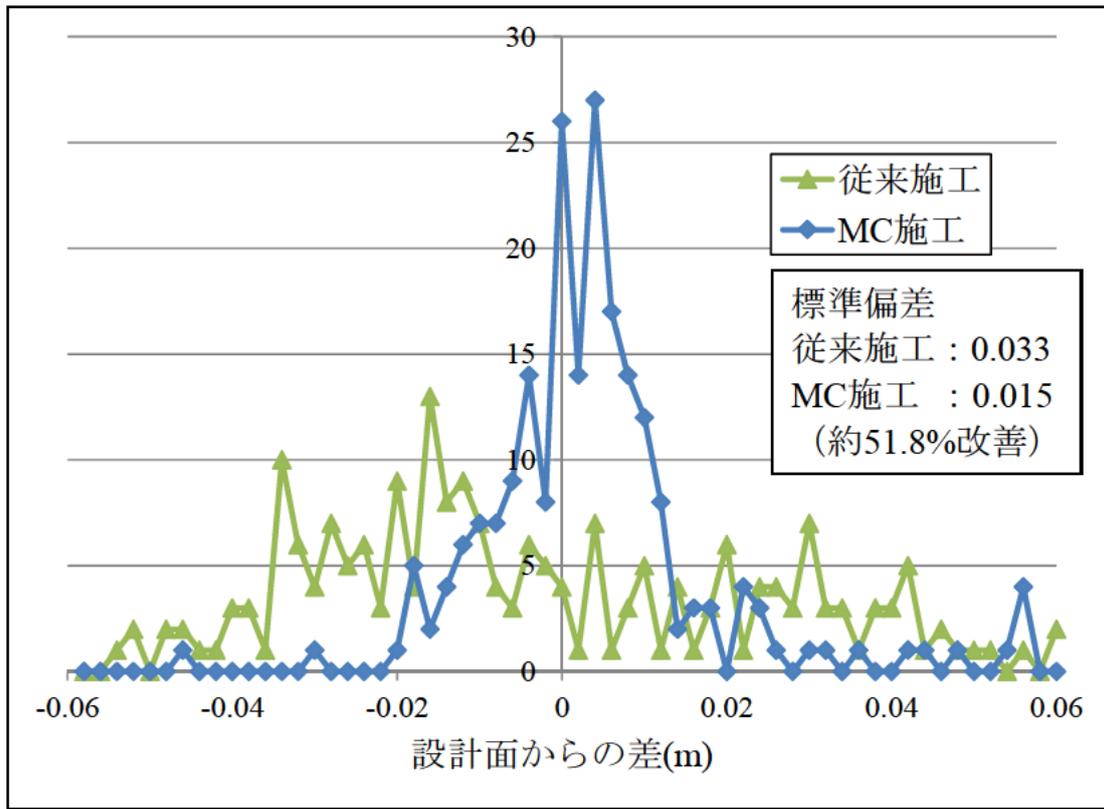


図-3.3-18 出来形度数分布 (本転圧前) (28年度 : Cさん)

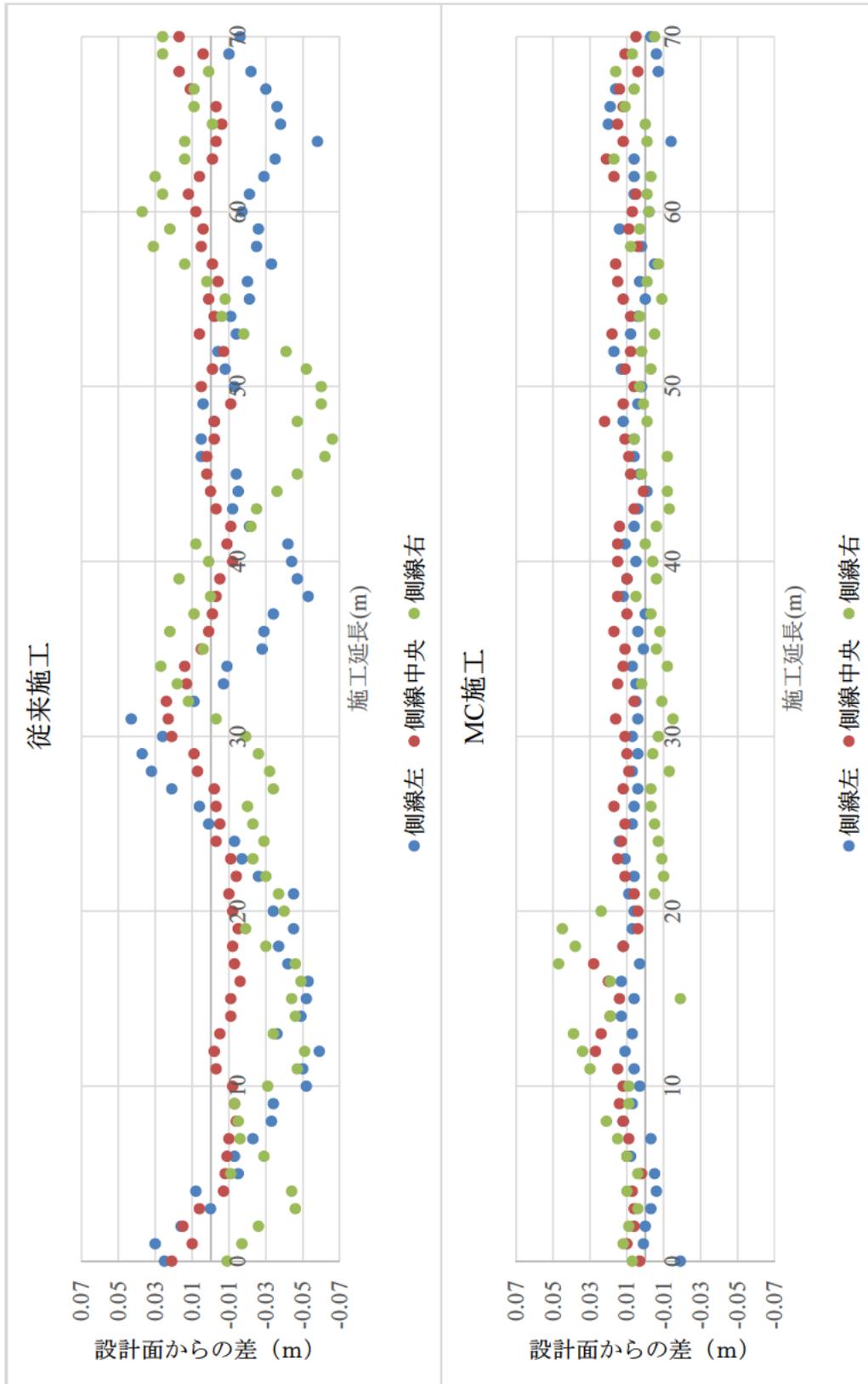


図-3.3-19 出来形（本転圧前）（28年度：Dさん）

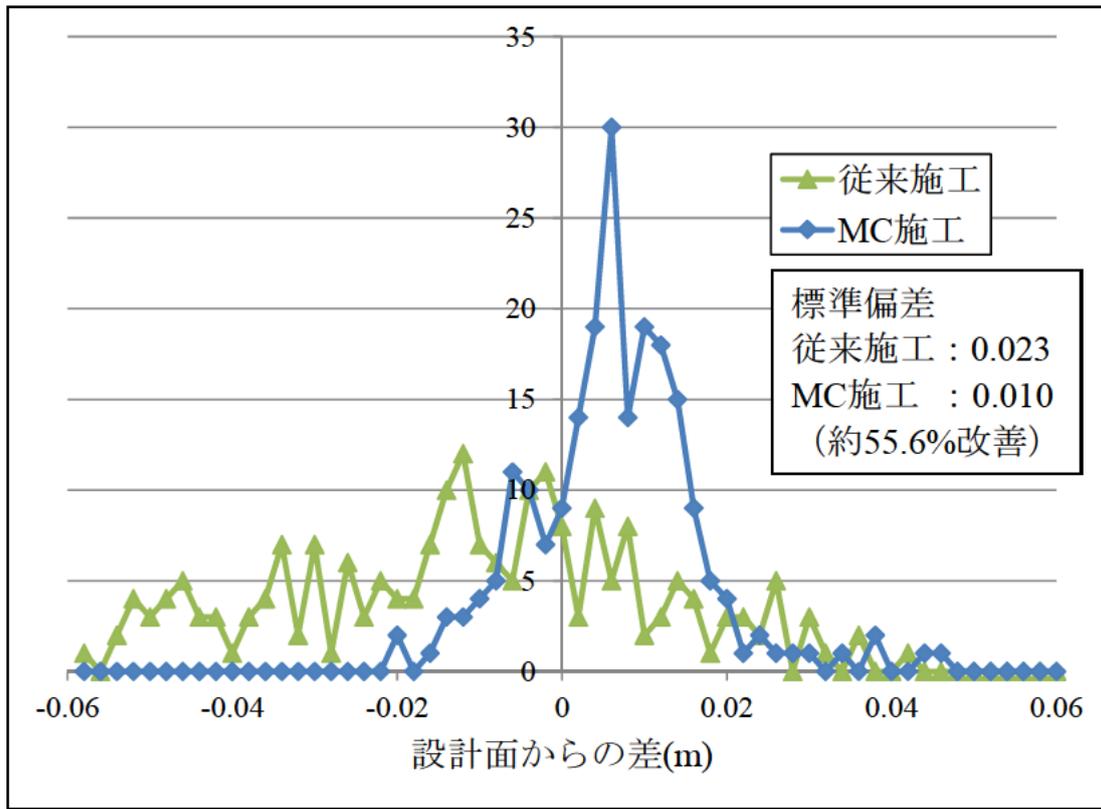


図-3.3-20 出来形度数分布 (本転圧前) (28年度 : Dさん)

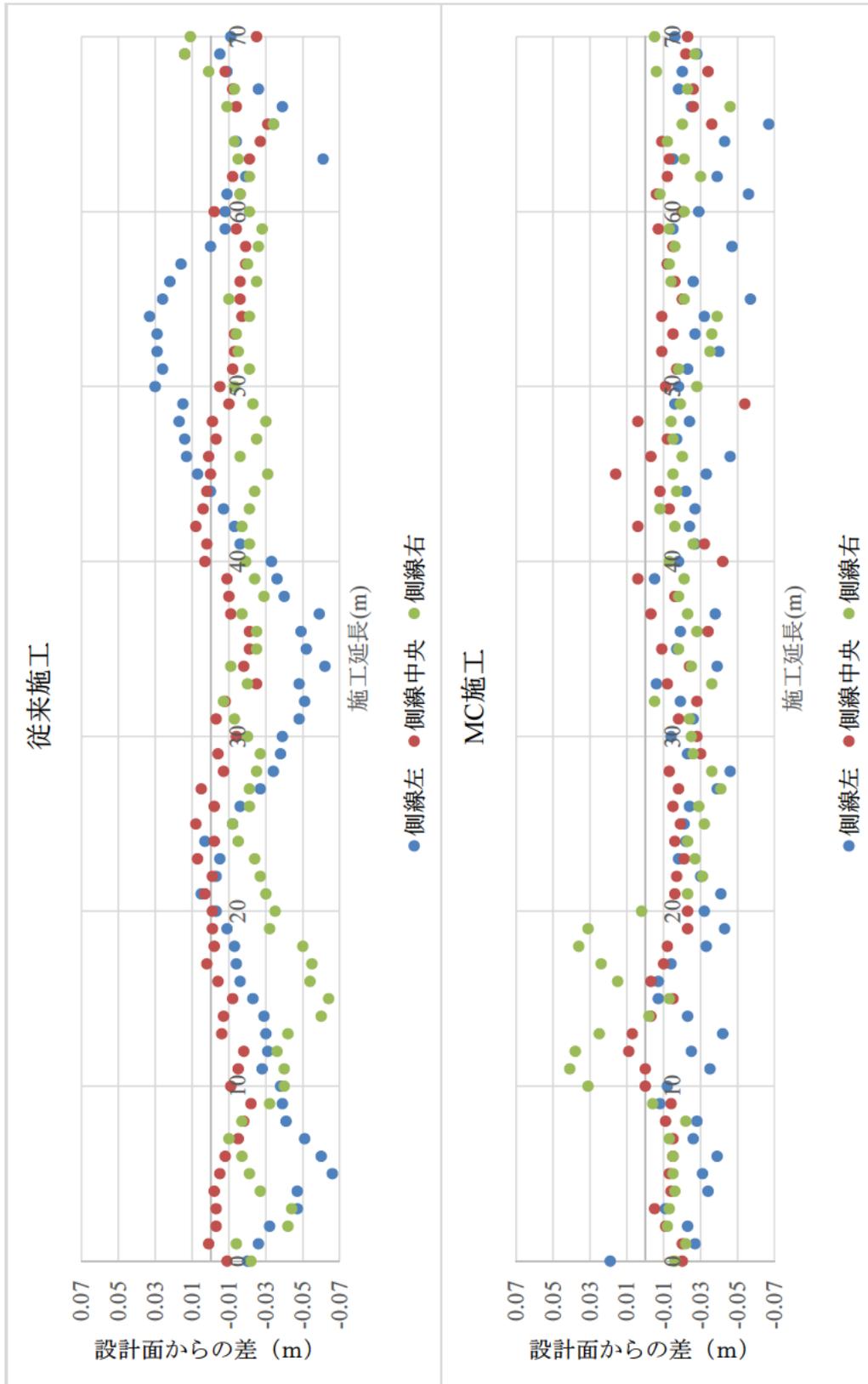


図-3.3-21 出来形 (本転圧前) (28年度 : E さん)

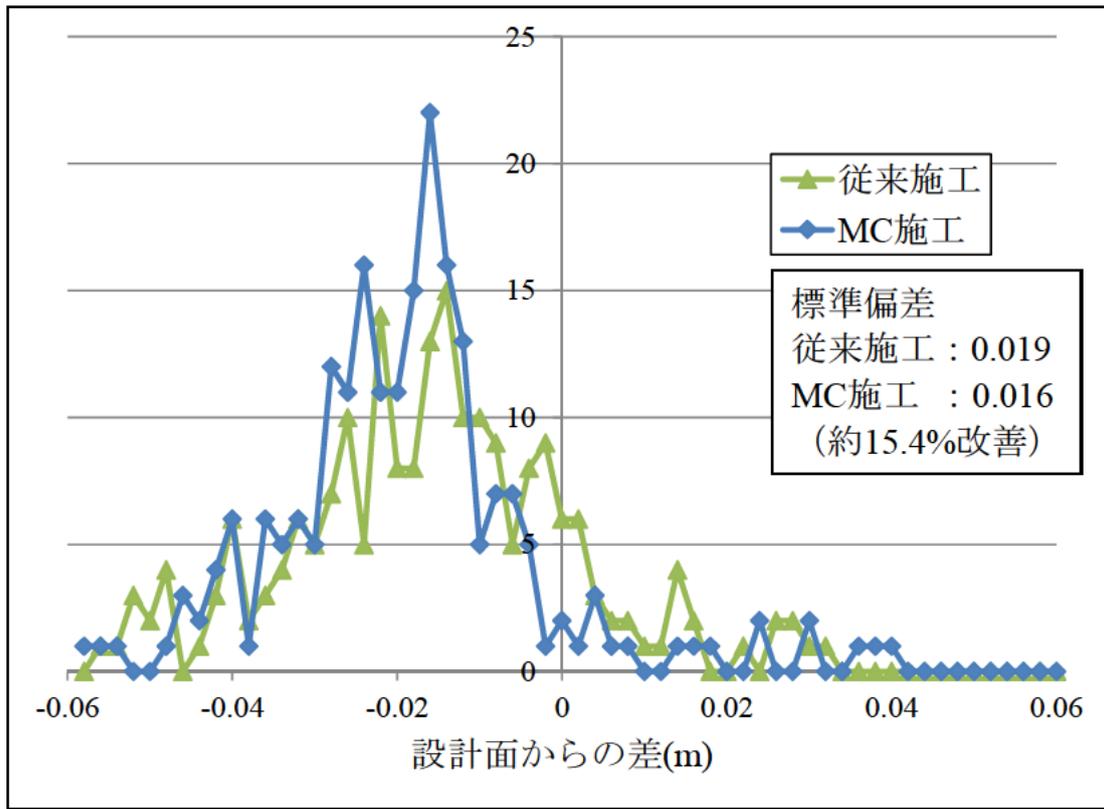


図-3.3-22 出来形度数分布 (本転圧前) (28年度 : Eさん)

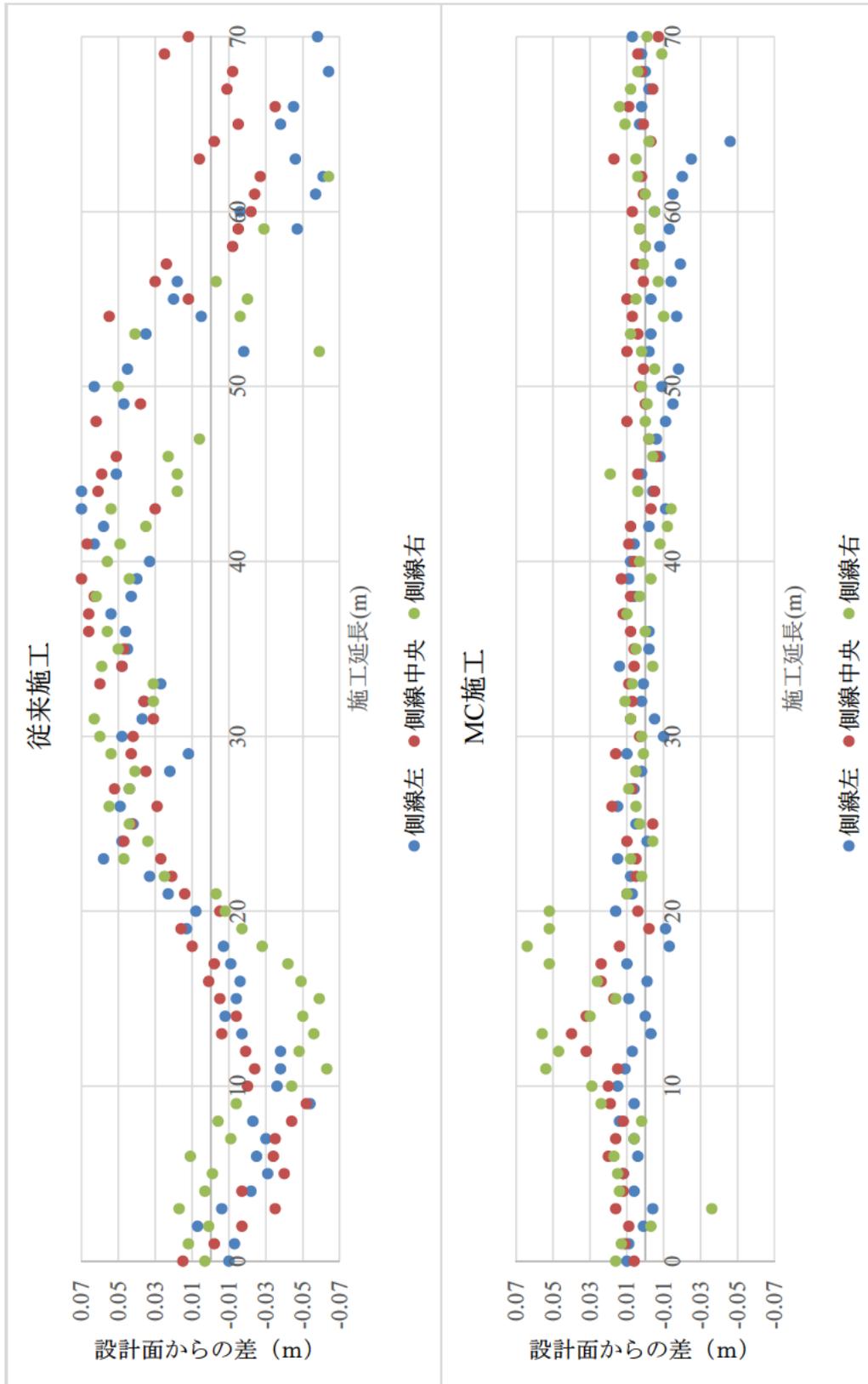


図-3.3-23 出来形 (本転圧前) (28年度 : Fさん)

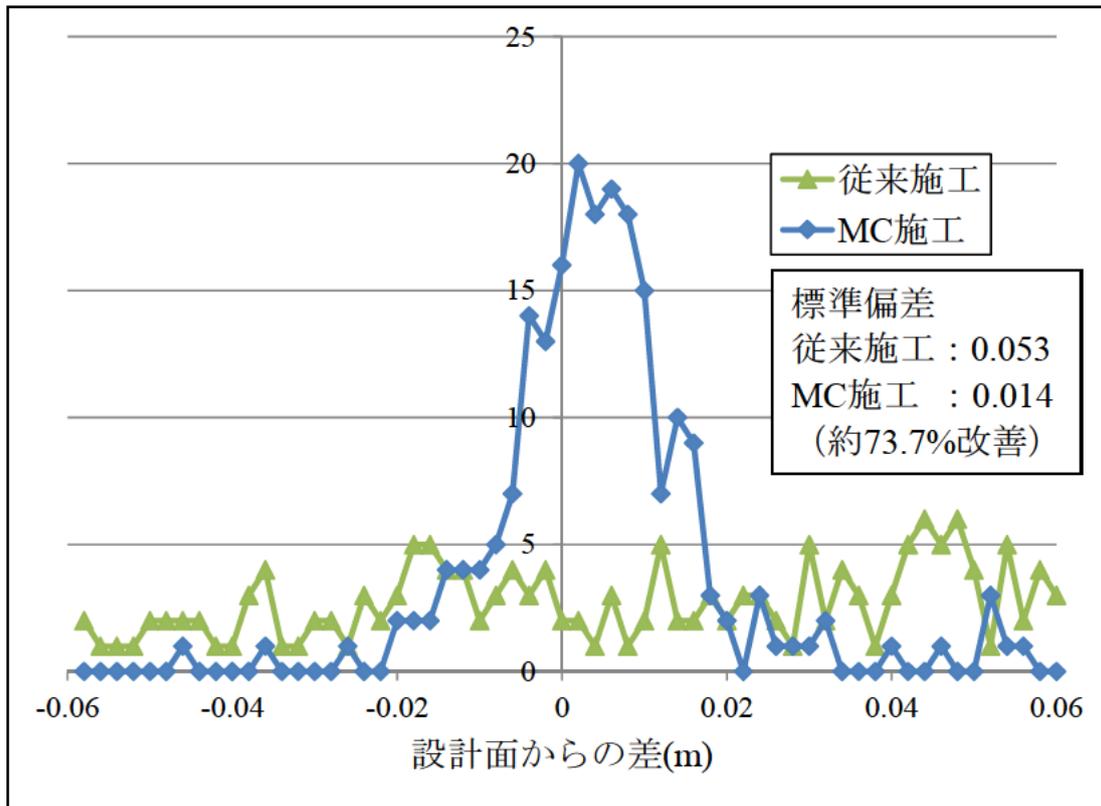


図-3.3-24 出来形度数分布 (本転圧前) (28年度 : Fさん)

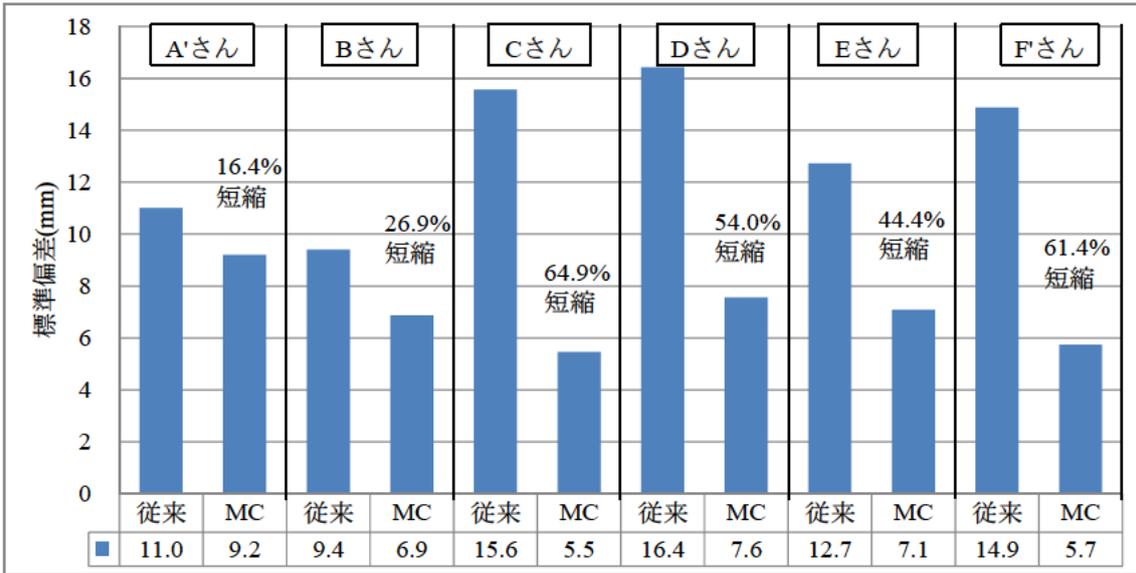


図-3.3-25 出来形バラツキ標準偏差 (本転圧前) (27年度)

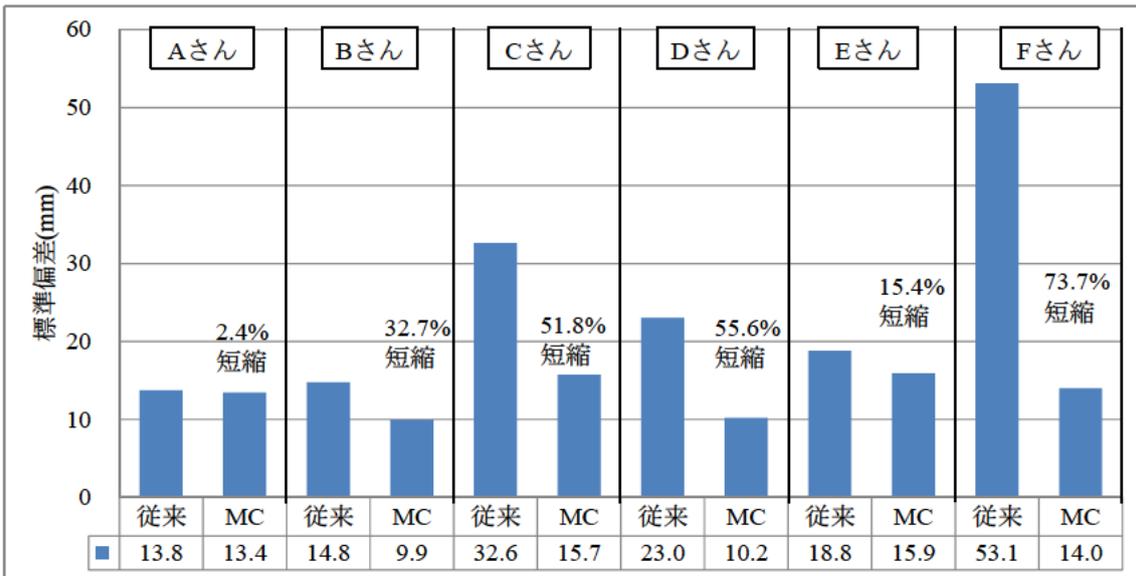


図-3.3-26 出来形バラツキ標準偏差 (本転圧前) (28年度)

3.3.2. MC 導入効果の検証

図-3.3-25, 3.3-26 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出来形バラツキが小さくなっており, MC 施工導入は出来形バラツキ向上に効果があることがわかる. また, その向上率は熟練者 (A'さん, Aさん, Bさん) より非熟練者 (Dさん, Eさん, F'さん, Fさん) の方が高い. そこで, 2 ヶ年にわたる熟練者と非熟練者, および全員の出来形度数分布を表すと図-3.3-27~3.3-29 のようになる. 図-3.3-27~3.3-29 から, MC 施工導入は, オペレータの熟練度によらず出来形バラツキ向上 (向上率約 47.2%) が期待でき

ること、向上率は熟練者では約 20.6%、非熟練者では約 50.9%となっており、非熟練者の方が出来形バラツキ向上効果が高いこと、さらに非熟練者に MC 施工を導入した場合、熟練者を越えること（出来形バラツキが小さくなること）はできないが、ほぼ熟練者並みの出来形バラツキで施工できる可能性があることがわかる。

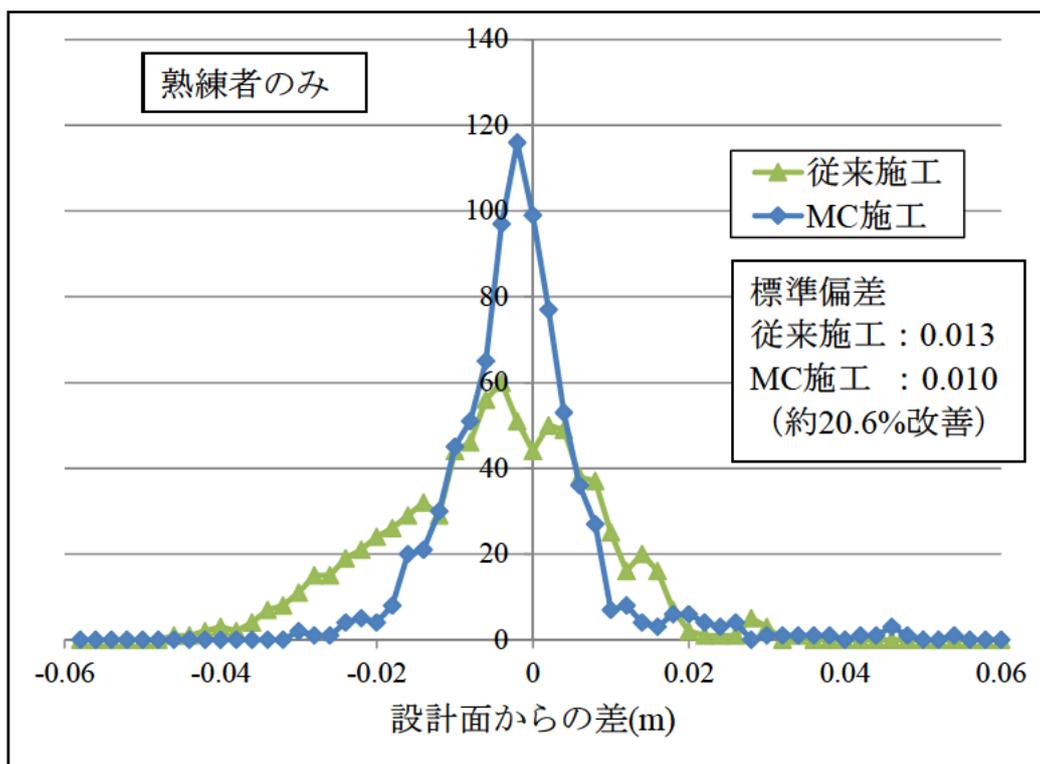


図-3.3-27 出来形度数分布（本転圧前）（熟練者のみ：2 ヶ年）

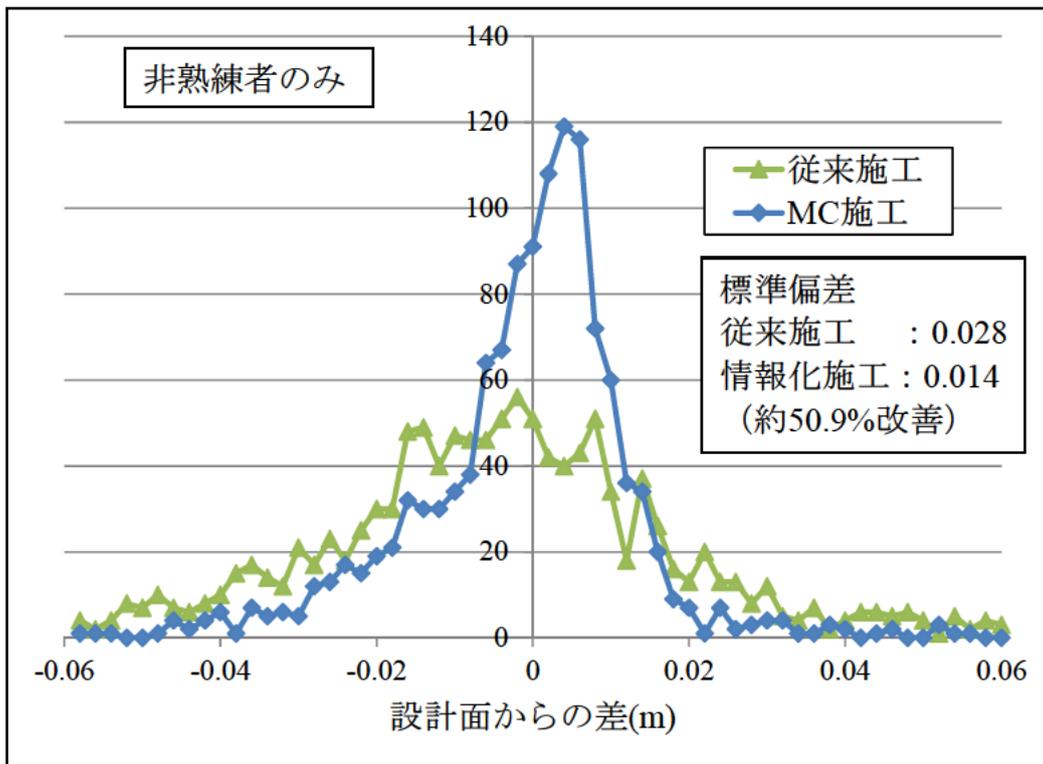


図-3.3-28 出来形度数分布 (本転圧前) (非熟練者のみ: 2 ヶ年)

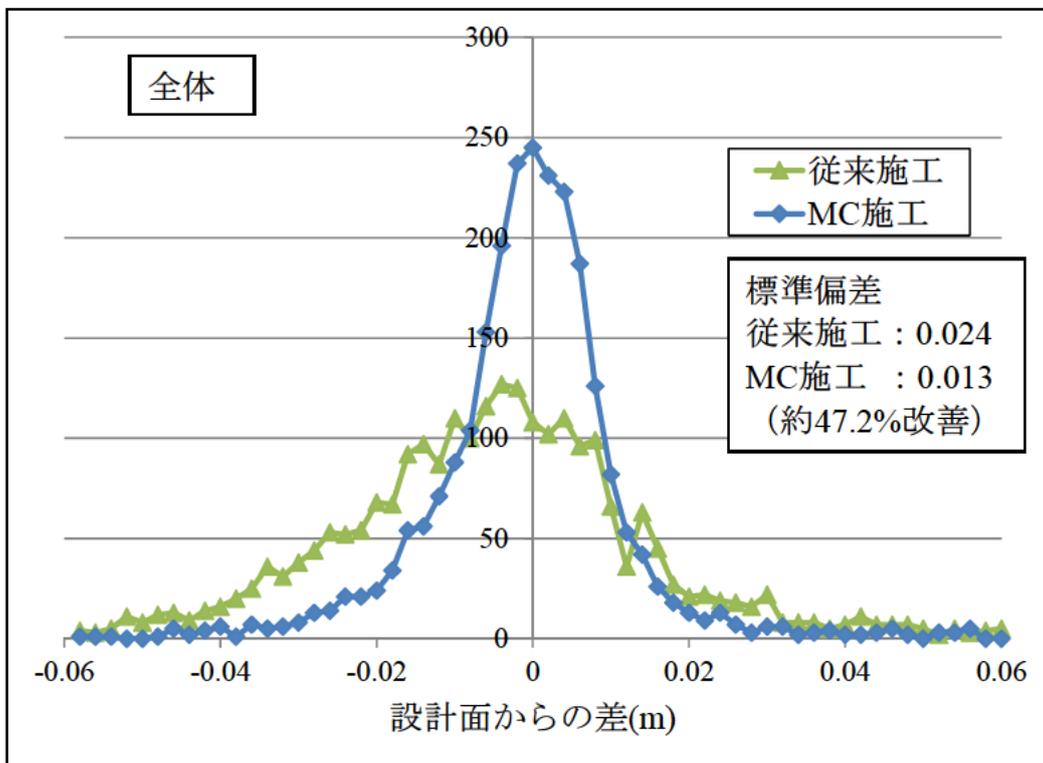


図-3.3-29 出来形度数分布 (本転圧前) (全体: 2 ヶ年)

3.4. 出来形（本転圧後）

3.4.1. 出来形（本転圧後）結果

本転圧前と同様に，中央・右・左の3測線上を縦断方向に1mピッチにて施工延長70m区間で計測した出来形(本転圧後)計測結果を，設計面からの差でプロットしたグラフと，全データを度数分布で表したグラフを図-3.4-1～3.4-12に示す。

また，各度数分布の標準偏差をまとめたものを，図-3.4-13に示す。標準偏差は設計面からのバラツキを表す数値であり，数値が低い方が，バラツキが小さいことを表している。

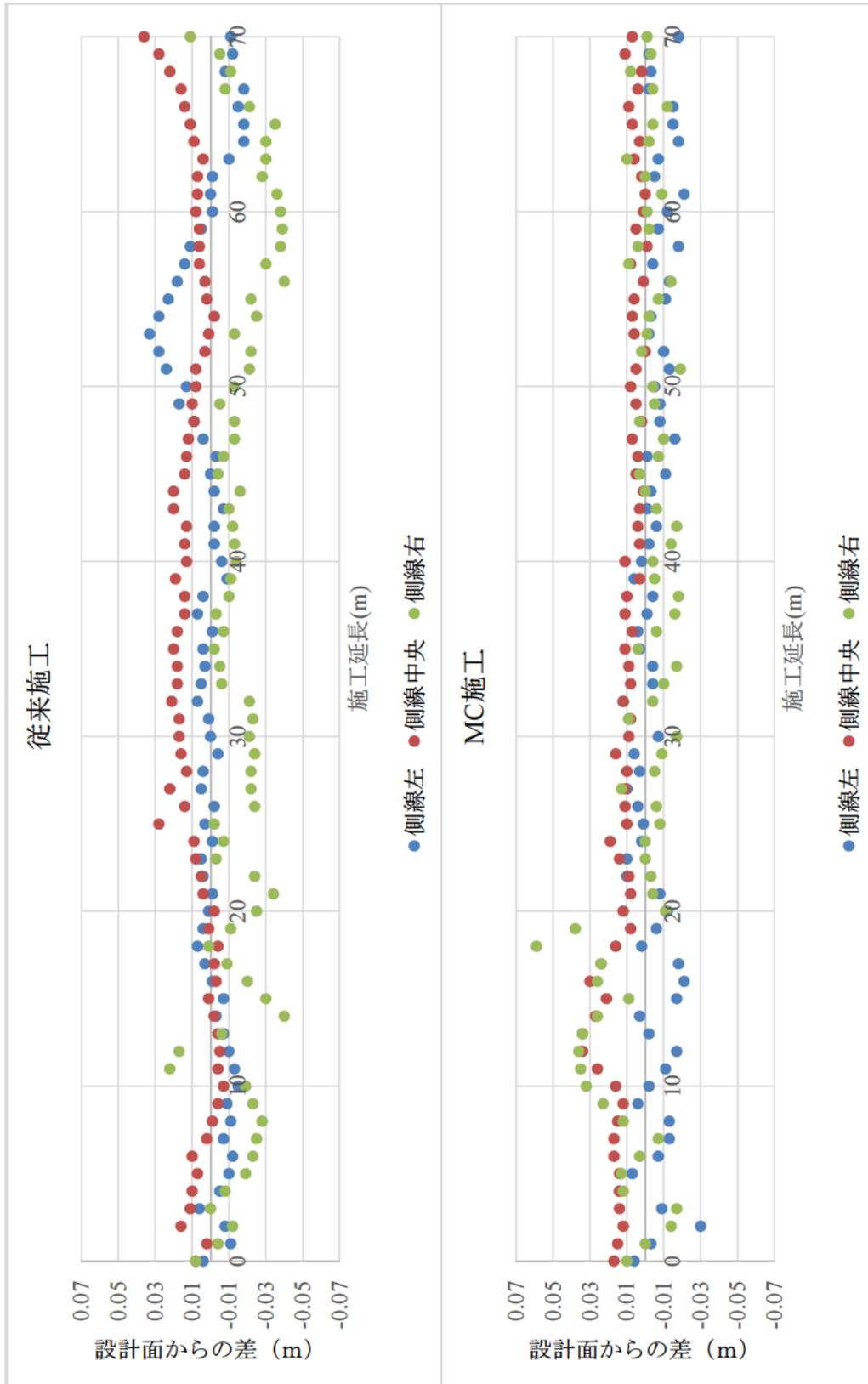


図-3.4-1 出来形 (本転圧後) (28年度 : A さん)

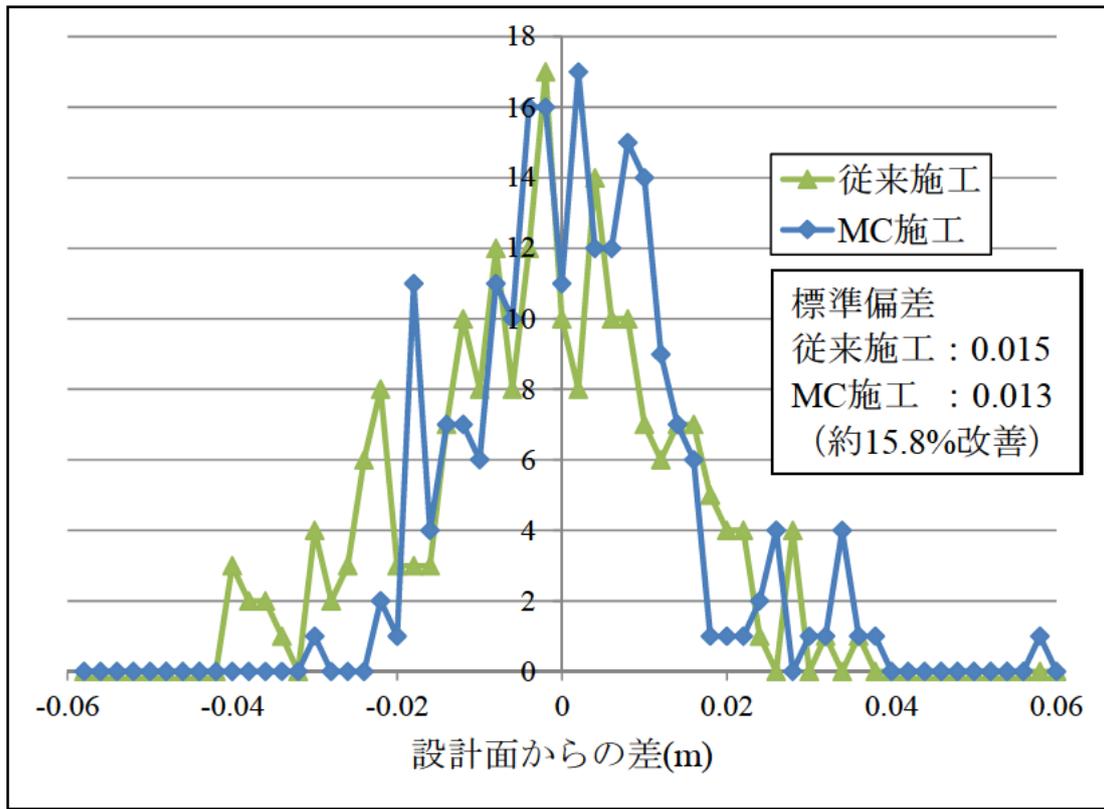


図-3.4-2 出来形度数分布 (本転圧後) (28年度 : Aさん)

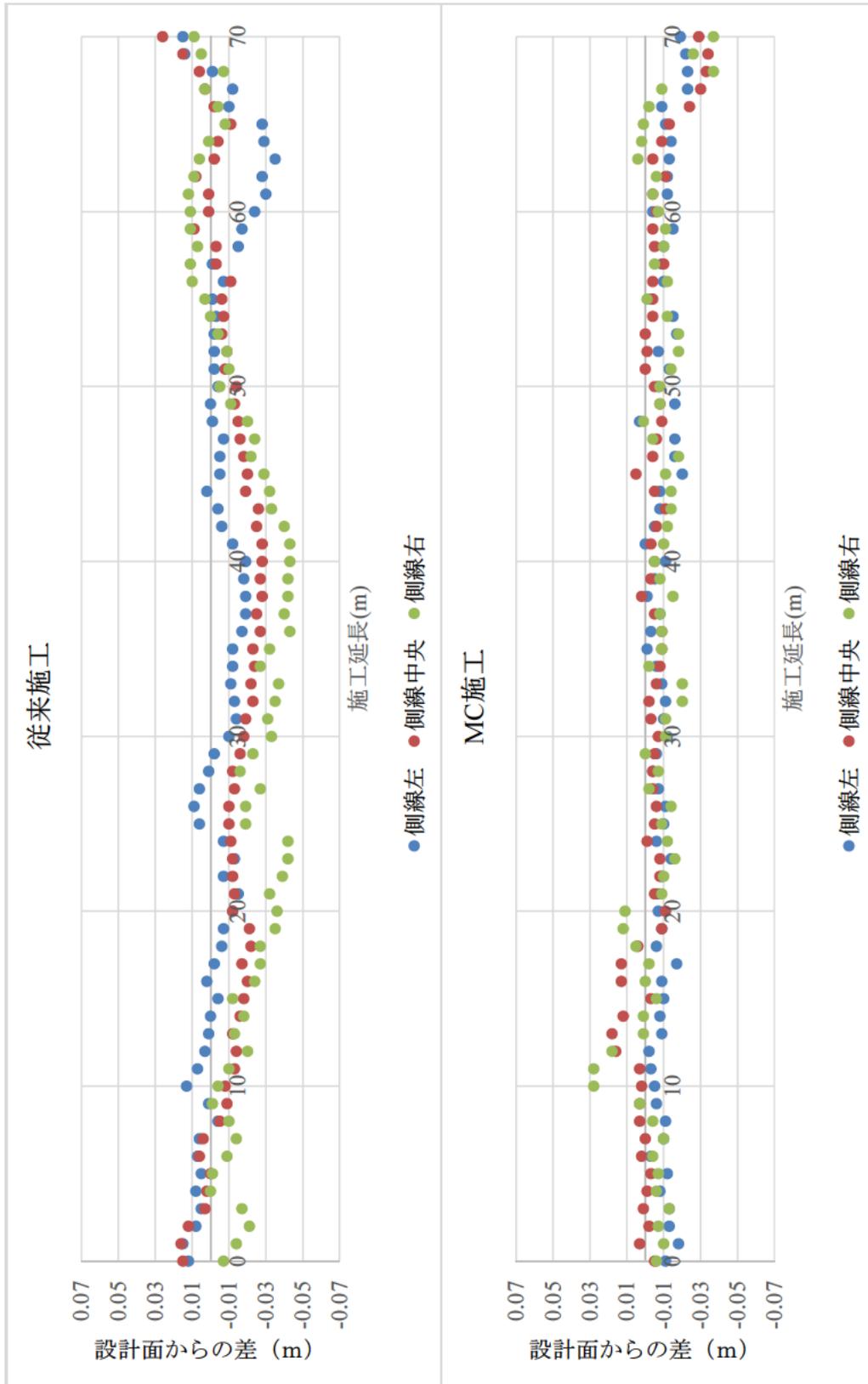


図-3.4-3 出来形 (本転圧後) (28年度 : Bさん)

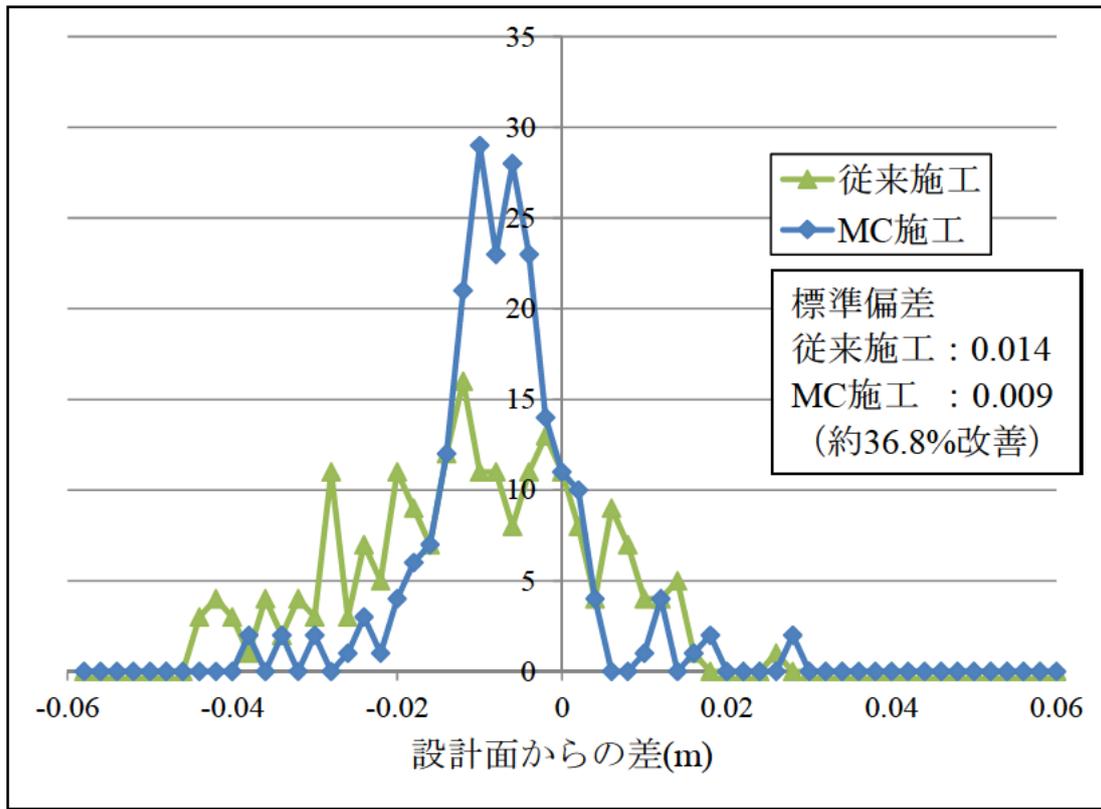


図-3.4-4 出来形度数分布 (本転圧後) (28年度 : Bさん)

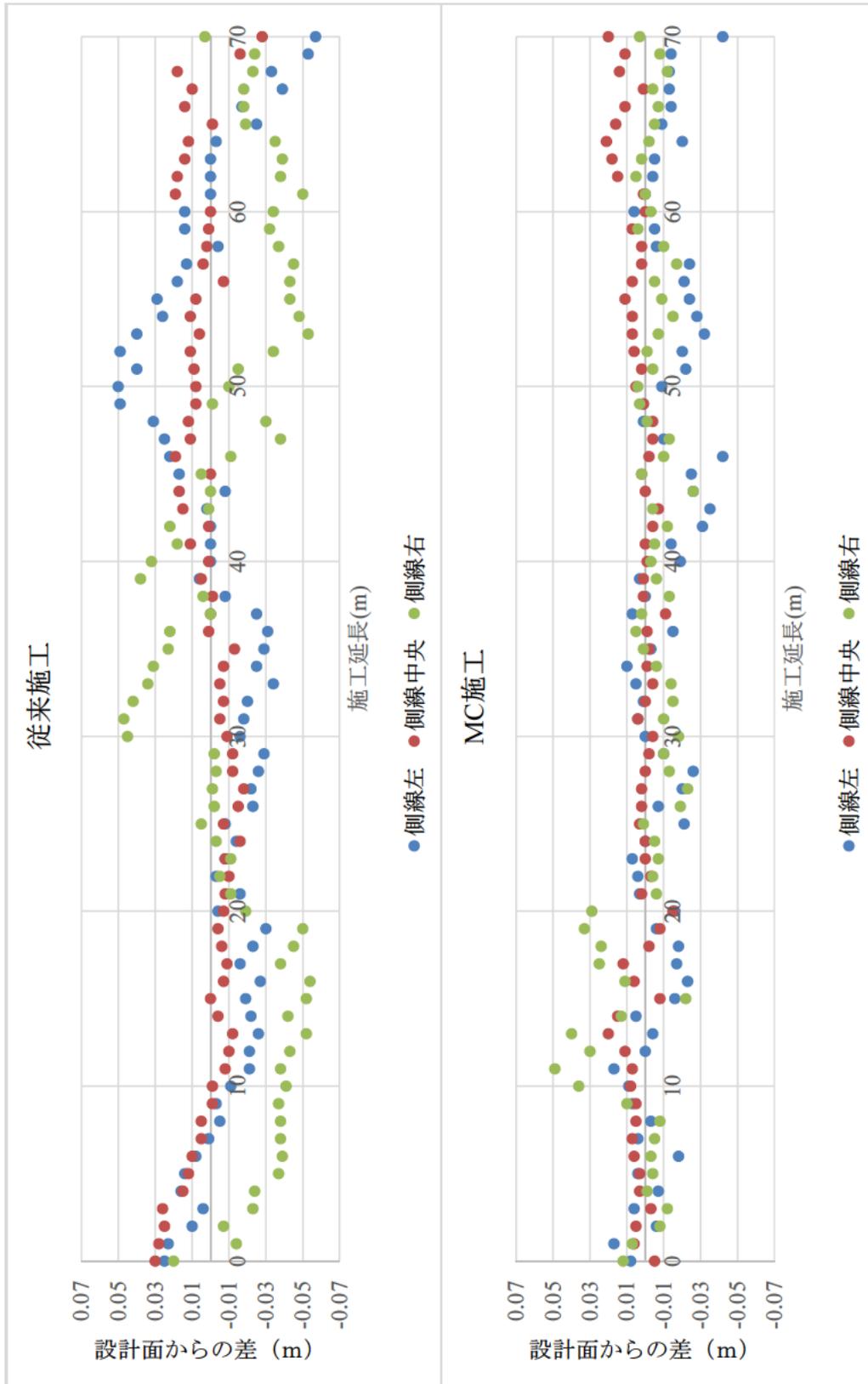


図-3.4-5 出来形 (本転圧後) (28年度 : Cさん)

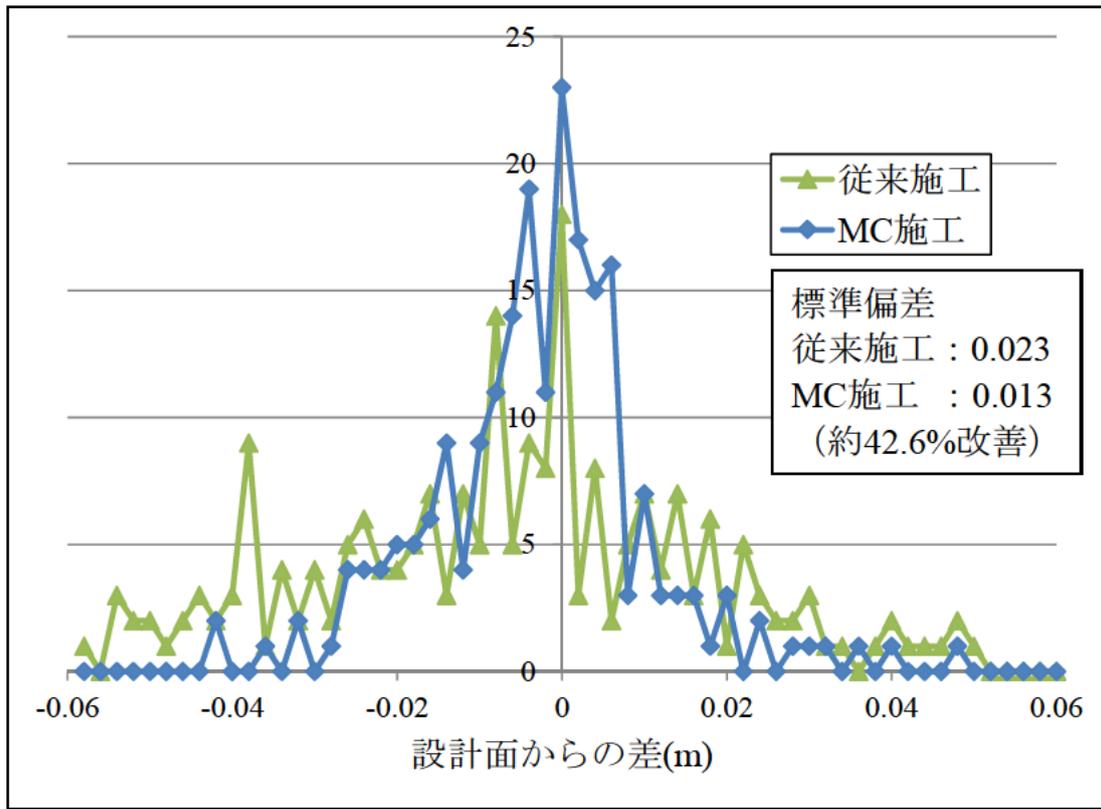


図-3.4-6 出来形度数分布 (本転圧後) (28年度 : Cさん)

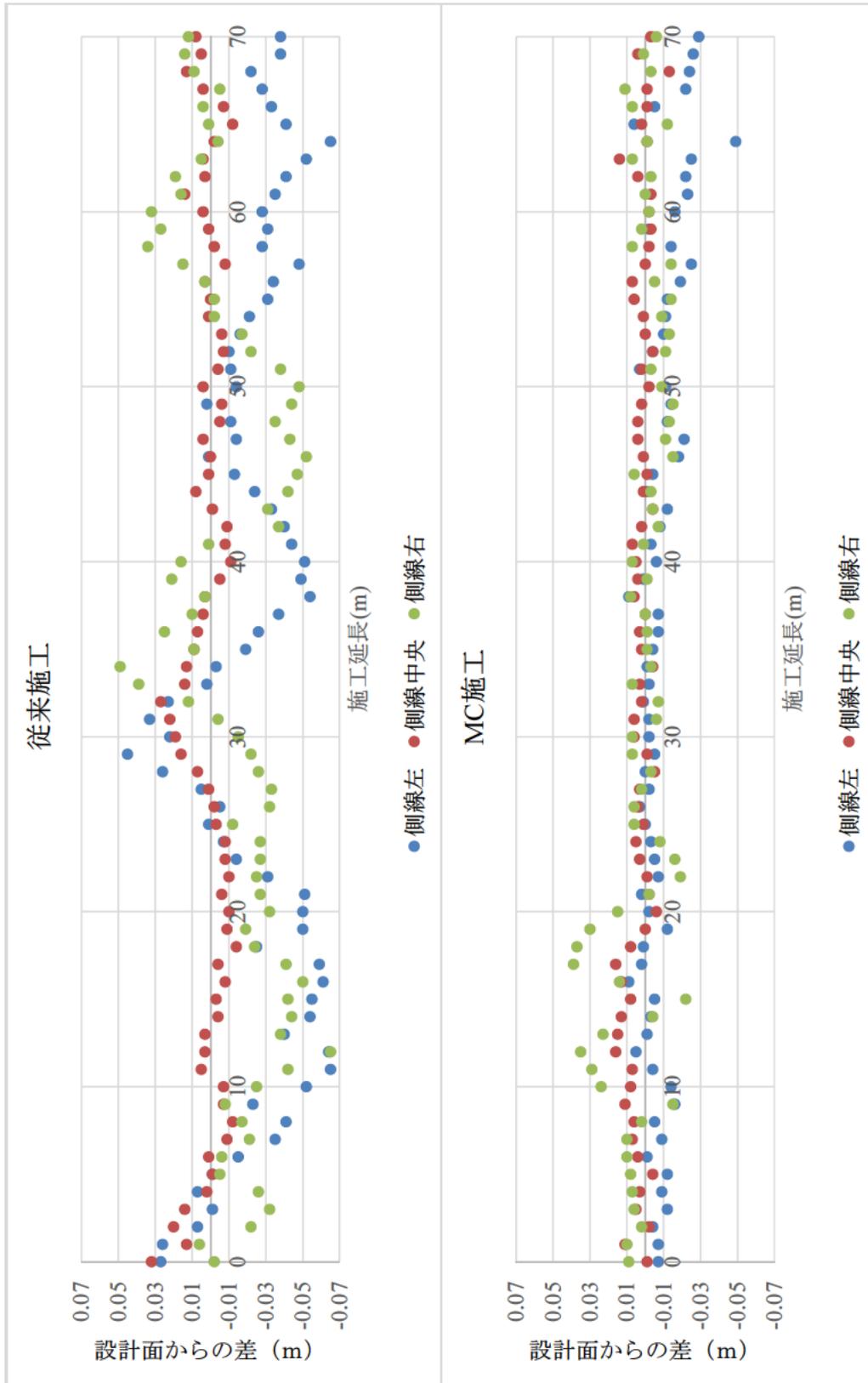


図-3.4-7 出来形 (本転圧後) (28年度 : Dさん)

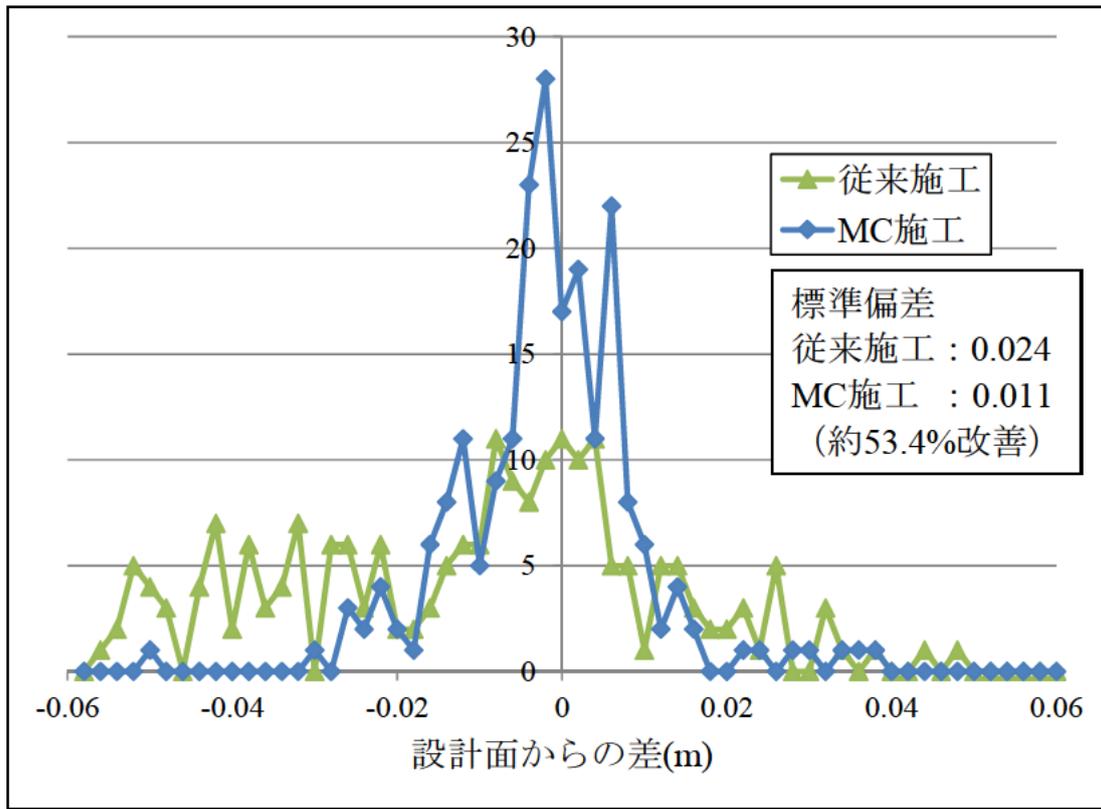


図-3.4-8 出来形度数分布 (本転圧後) (28年度 : Dさん)

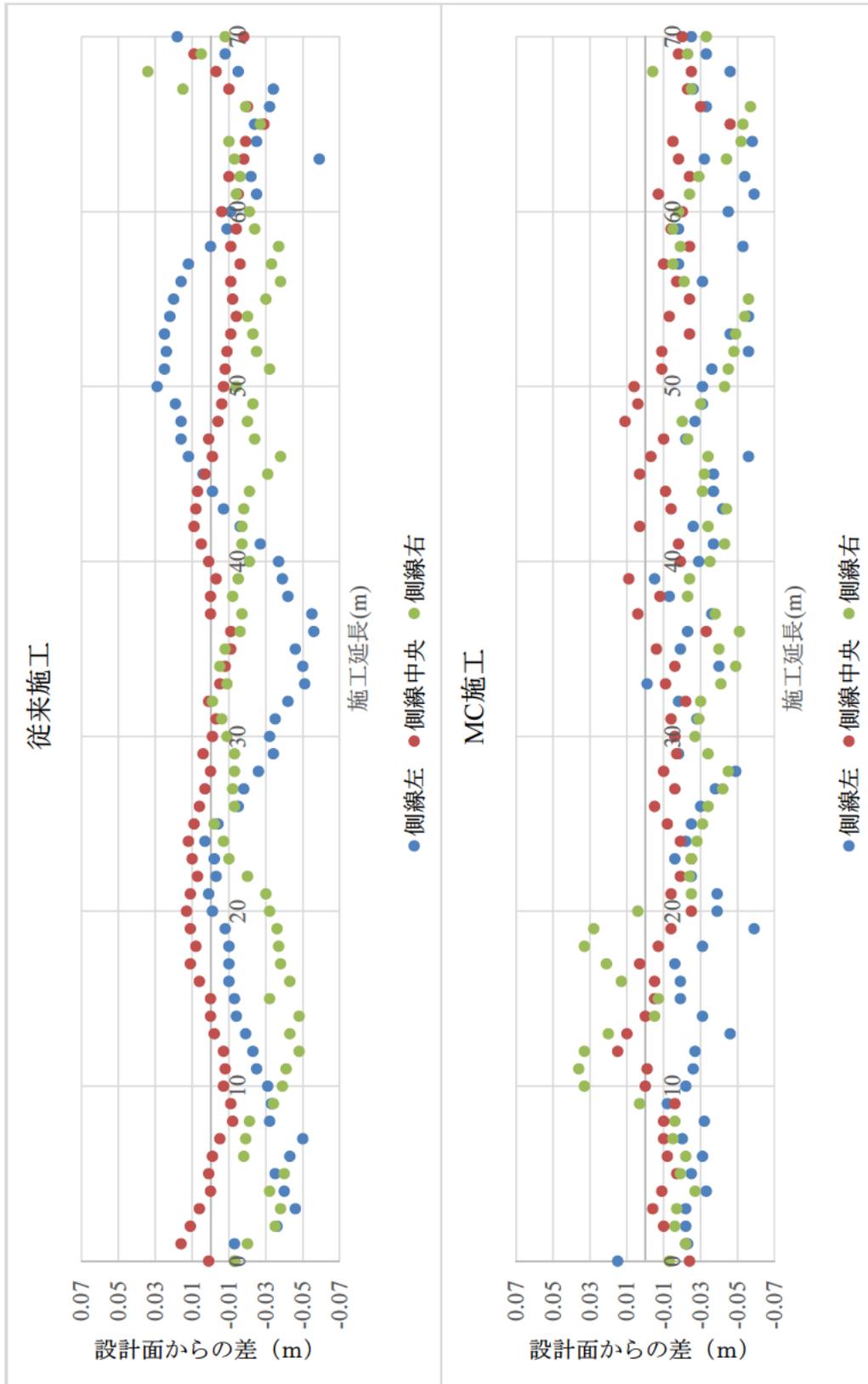


図-3.4-9 出来形 (本転圧後) (28年度 : Eさん)

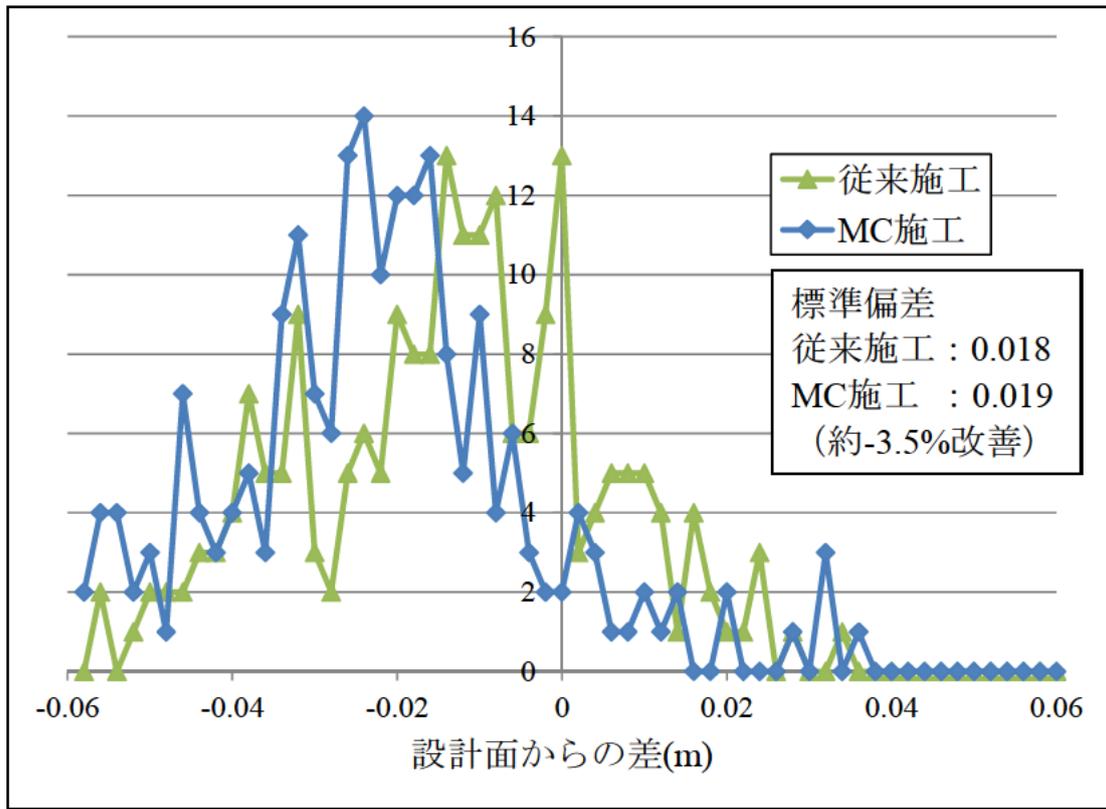


図-3.4-10 出来形度数分布 (本転圧後) (28年度 : Eさん)

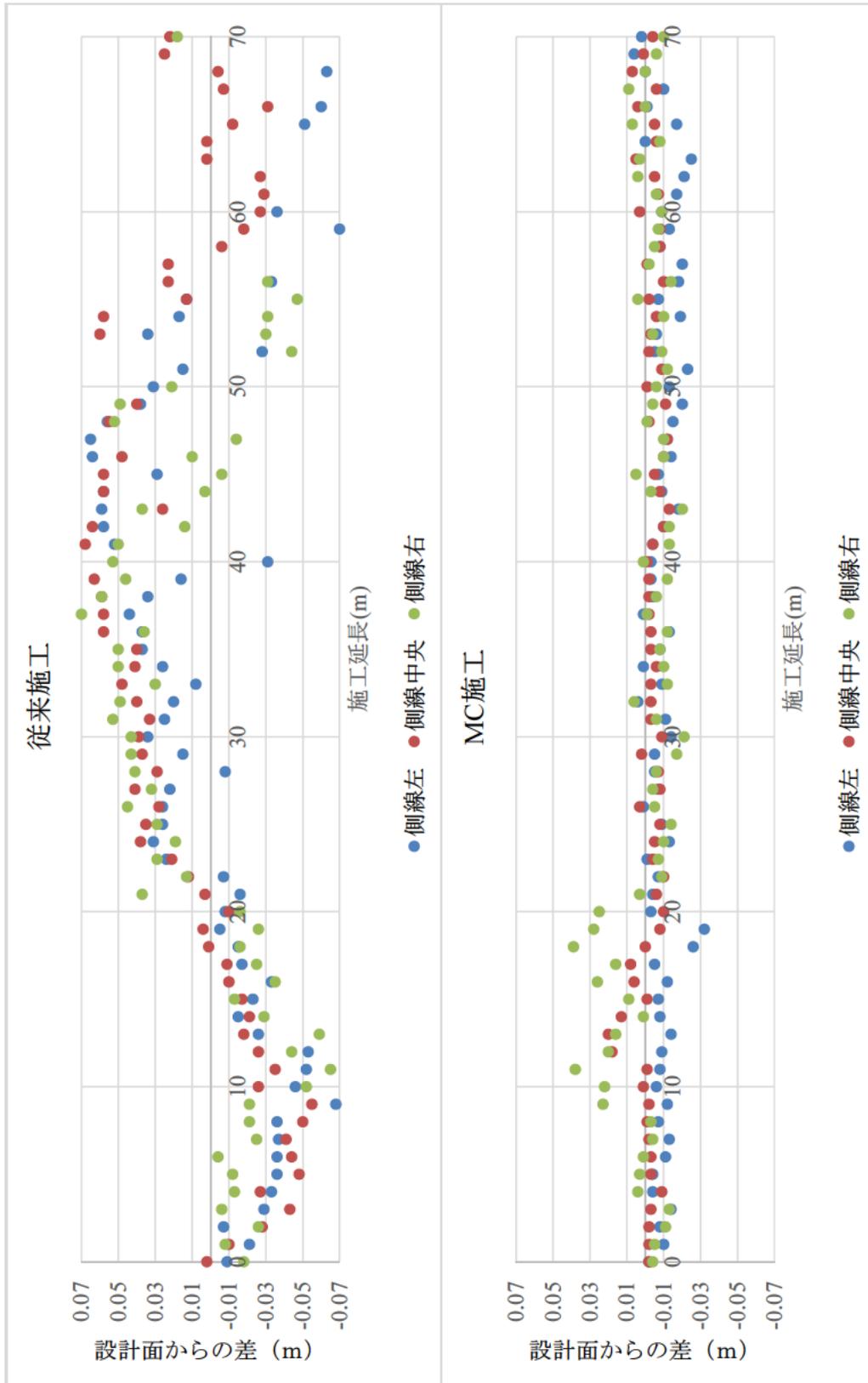


図-3.4-11 出来形 (本転圧後) (28年度 : Fさん)

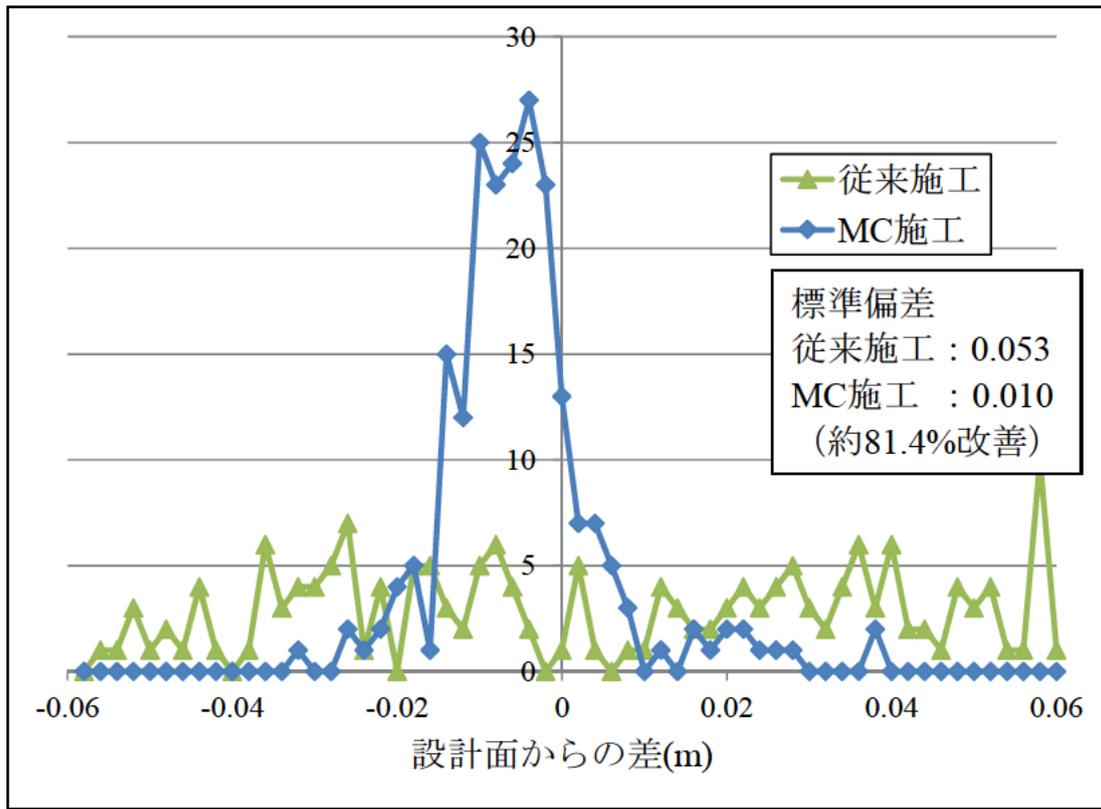


図-3.4-12 出来形度数分布 (本転圧後) (28年度 : Fさん)

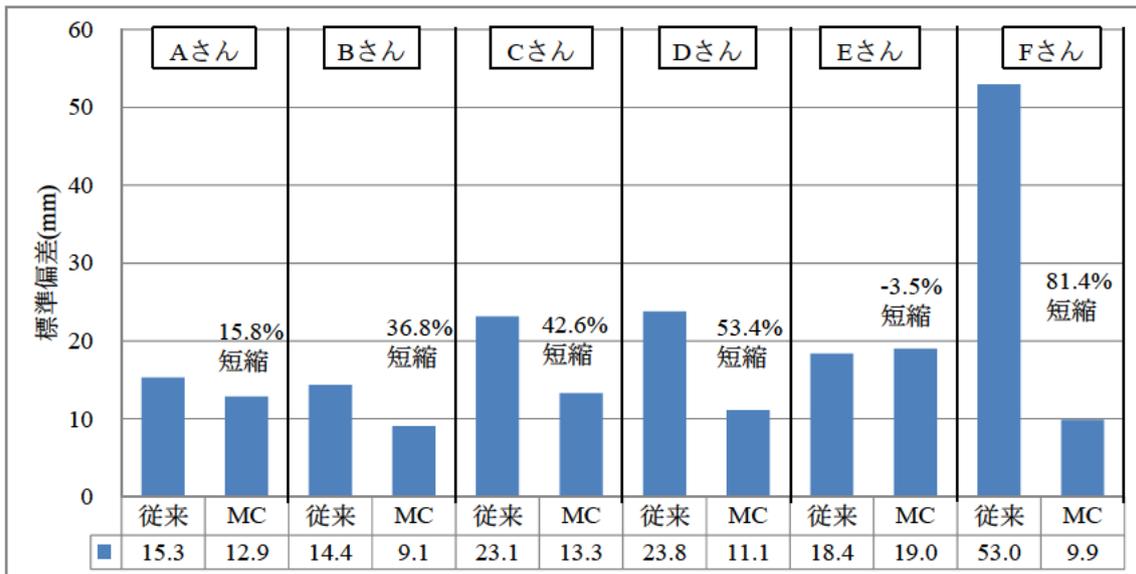


図-3.4-13 出来形バラツキ標準偏差（本転圧後）（28年度）

3.4.2. 路床・路盤の不均質部分の有無に関する考察

3.3節に示した本転圧前の出来形計測結果と、本節にて示した本転圧後の出来形計測結果を比較することにより、本転圧による路盤表面への影響、すなわち局所的な不均質部分の有無を確認することができる。路床・路盤に、局所的に周辺と比較し密度あるいは地盤強度が低い場所が存在した場合、ローラによる本転圧によってその部分のみに不等沈下が起きるため、本転圧前後の出来形を比較することにより、その有無を確認することが可能となる。

次節以降に説明する、平坦性や地盤反力係数は、本転圧を行った後でないと計測できないため本転圧後に計測している。したがって、その計測結果からMCモータグレーダの効果を検討する際には、本転圧による不等沈下の有無を事前に確認しておくことが必要である。

図-3.3-13～3.3-24と図-3.4-1～3.4-12、および図-3.3-26と図-3.4-13を比較すると、本転圧による局所的な不等沈下は確認できなかった。したがって、平坦性および地盤反力係数の測定結果を検討する際に、路床・路盤の不均質部分の影響は考慮しなくてよいことになる。

3.5. 平坦性

3.5.1. 平坦性結果

27年度の平坦性測定結果を図-3.5-1に、28年度の平坦性測定結果を図-3.5-2に示す。平坦性とは仕上げ面の滑らかさを表す指標であり、数値が低い方が滑らかであることを示している。

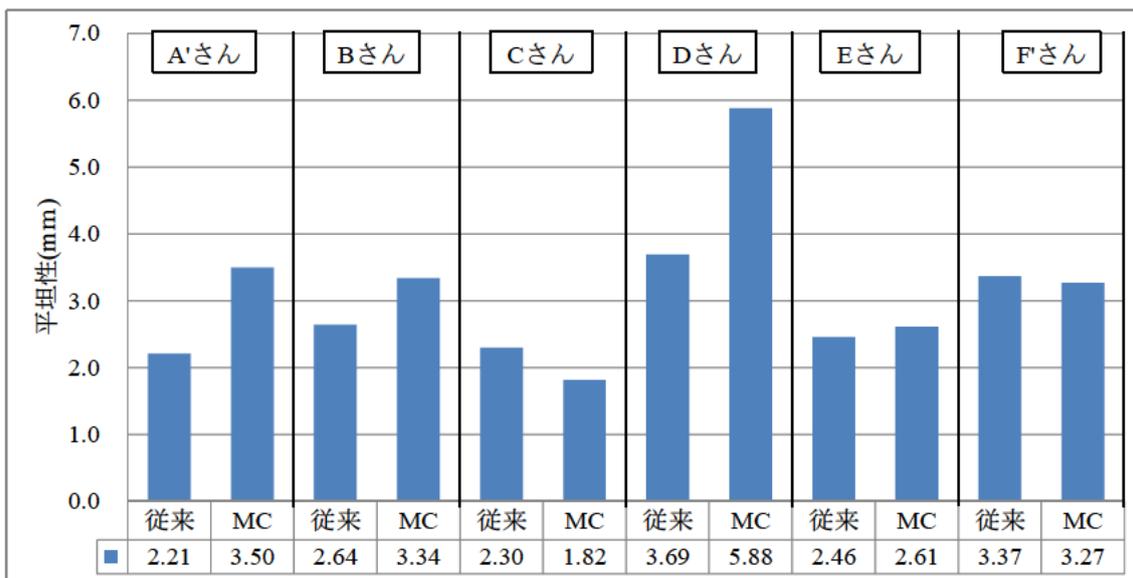


図-3.5-1 平坦性 (27年度)

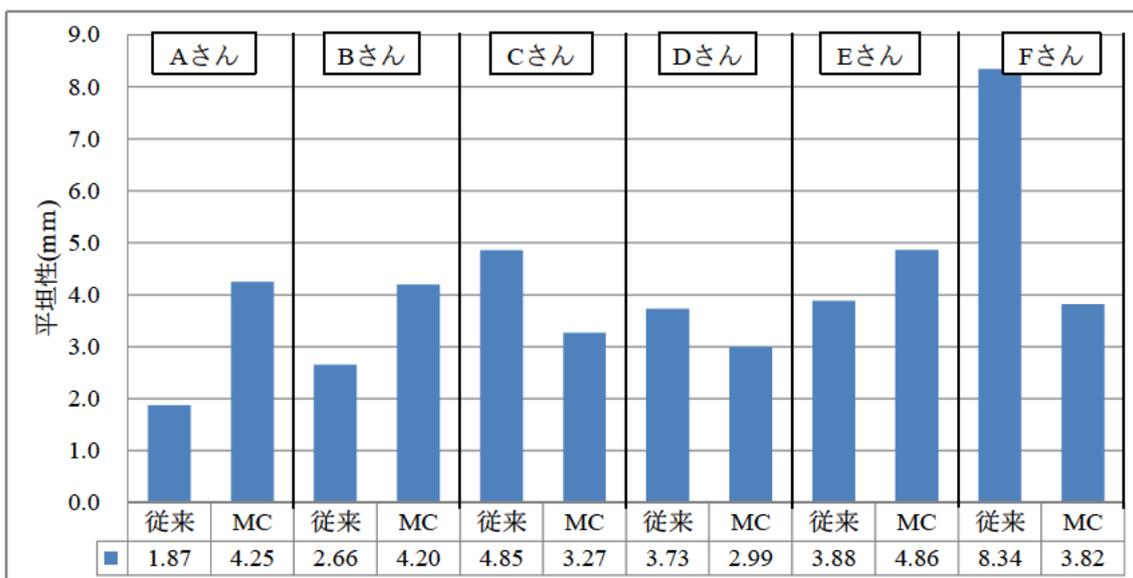


図-3.5-2 平坦性 (28年度)

3.5.2. MC 導入効果の検証

図-3.5-1, 3.5-2 によると、熟練者（A さん, B さん, A'さん）の平坦性は、MC 施工導入すると全員従来施工より悪化するという同じ傾向を示していること、また C さんは兩年とも MC 施工導入により平坦性が向上していること、他のオペレータ（非熟練者）は MC 施工導入による平坦性への効果はオペレータによってまちまちであり、かつ同一オペレータでも実験年によって傾向が異なる（D さん）ことがわかる。

前述のように平坦性とは仕上げ面の滑らかさを表す指標であり、一般的に、施工中に設計値（目標高さ）へ近づくよう急激にブレードを操作すると、バラツキ（目標値からの乖離）は改善するが平坦性は悪化し、滑らかにブレードを操作すると、バラツキは改善しないが平坦性は向上する。以上のことを踏まえて考えると、熟練者（A さん, B さん, A'さん）はこの平坦性の特徴をよく理解しており、通常施工を行う際はブレードを走行速度などに合わせ適度に滑らかに操作することにより、バラツキと平坦性を高いレベルで両立するよう操作していると考えられる。しかし、MC 施工を導入した場合、ブレードの上下操作は MC コントローラが行うため、平坦性はコントローラの設定と走行速度や荒均し品質などとのバランスにより決定されることになり、本研究での MC コントローラ設定では、熟練者の通常施工の高い平坦性は実現できなかったものと考えられる。図-3.5-3 に B さんの平坦性測定前側線左出来形（図-3.4-4 から側線左のみを抜粋）を示す。本図からも上記のこと、すなわち従来施工ではブレードを滑らかに操作し、バラツキと平坦性を高いレベルで両立させようとしていること、MC 施工ではバラツキを向上させるためにブレードをやや急激に操作しているため、バラツキは少ないが平坦性が少し劣ることが確認できる。

また、C さんは MC 施工に長けているため MC コントローラ設定の特徴をよく理解しており、MC 施工を用いた方がバラツキと平坦性を高いレベルで両立できたものと考えられる。一方非熟練者は、走行速度や荒均し品質などがオペレータおよび実験年などでまちまちなため、傾向がバラバラになってしまったものと考えられる。さらに、F さんのように従来施工での平坦性が他の非熟練者と比較しても著しく悪い初心者オペレータが、MC 施工を用いると熟練者ほどではないが、他の非熟練者並みの平坦性を得られる可能性があることがわかる。

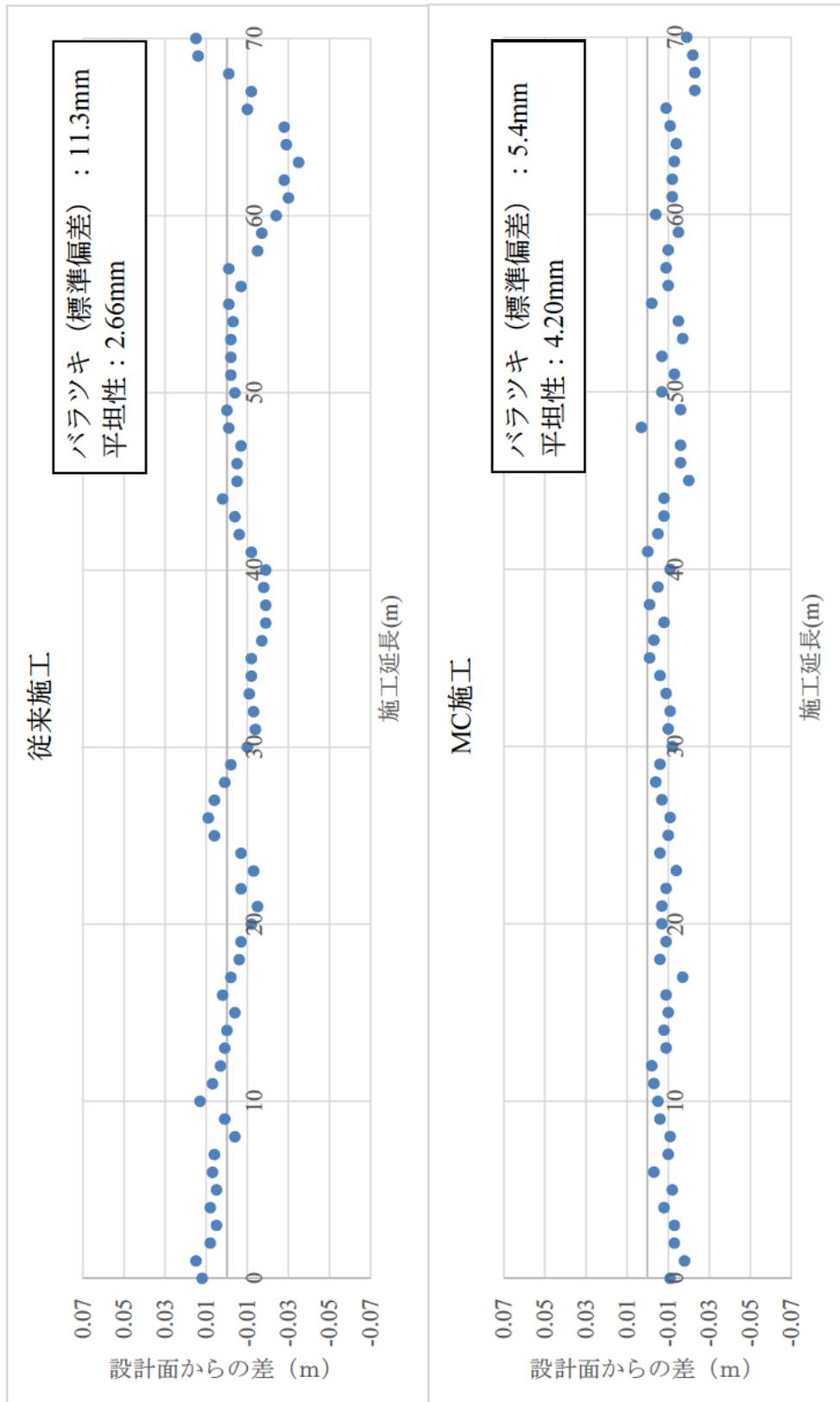


図-3.5-3 出来形 (本転圧後) (28年度 : Bさん : 側線左のみ)

3.6. 地盤反力係数

3.6.1. 地盤反力係数結果

出来形と同様に，本転圧後，中央・右・左の3測線上を縦断方向に1mピッチにて施工延長70m区間で計測した地盤反力係数計測結果をプロットしたグラフと，全データを度数分布で表したグラフを図-3.6-1～3.6-12に示す。

また，各度数分布の標準偏差をまとめたものを，図-3.6-13に示す。標準偏差は設計面からのバラツキを表す数値であり，数値が低い方が，バラツキが小さいことを表している。

なお，本測定に用いた小型平板載荷試験装置 ITS-04 は，同じ測定地盤にて信頼性の高い測定方法（平板載荷試験など）の測定結果をもとに校正を行わなければならない。しかしながら，本実験では日程等の関係で校正を行うことはできなかった。したがって本測定結果の絶対値は評価できない値であるが，バラツキ等は評価可能と判断した。

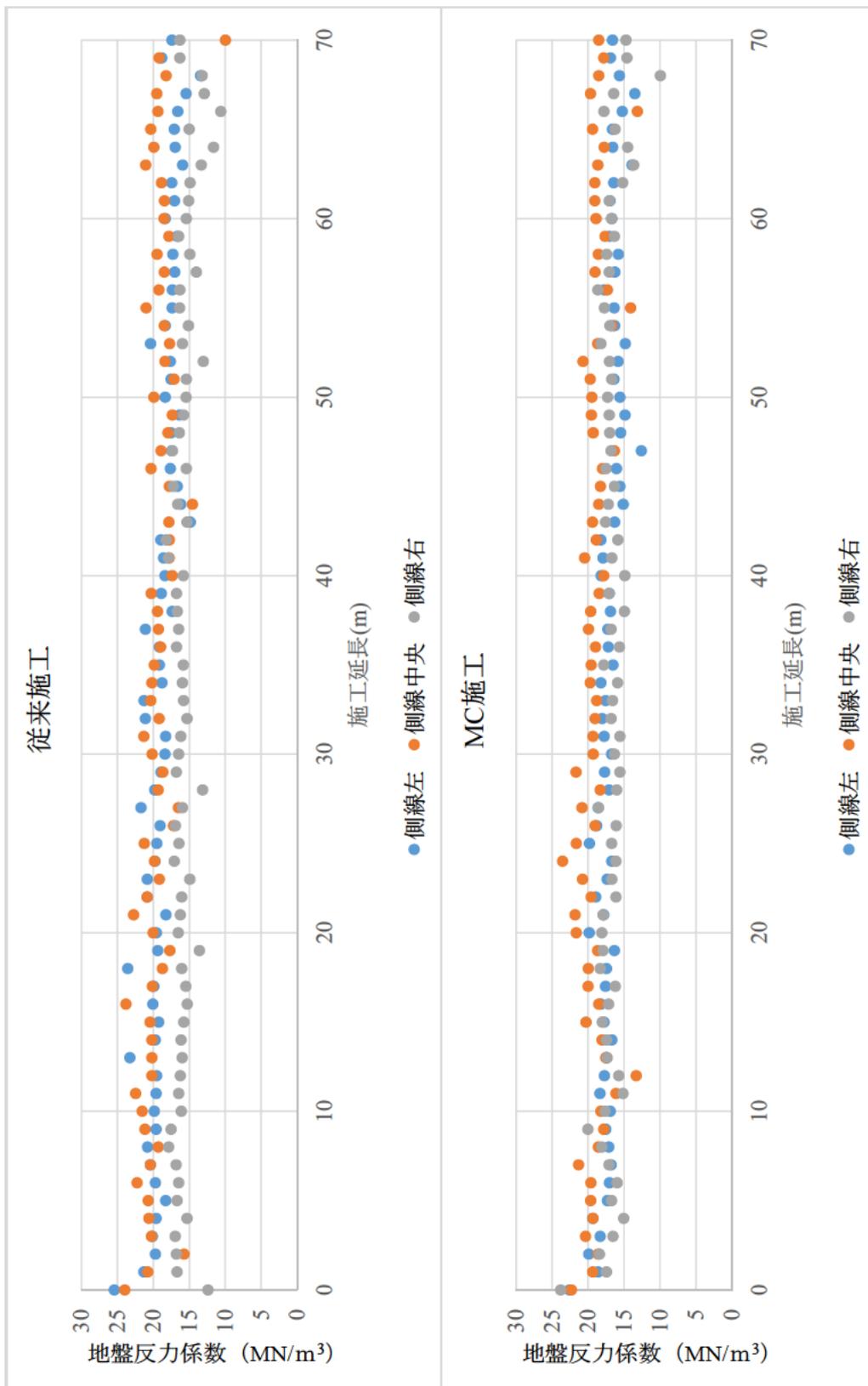


図-3.6-1 地盤反力係数 (28年度 : Aさん)

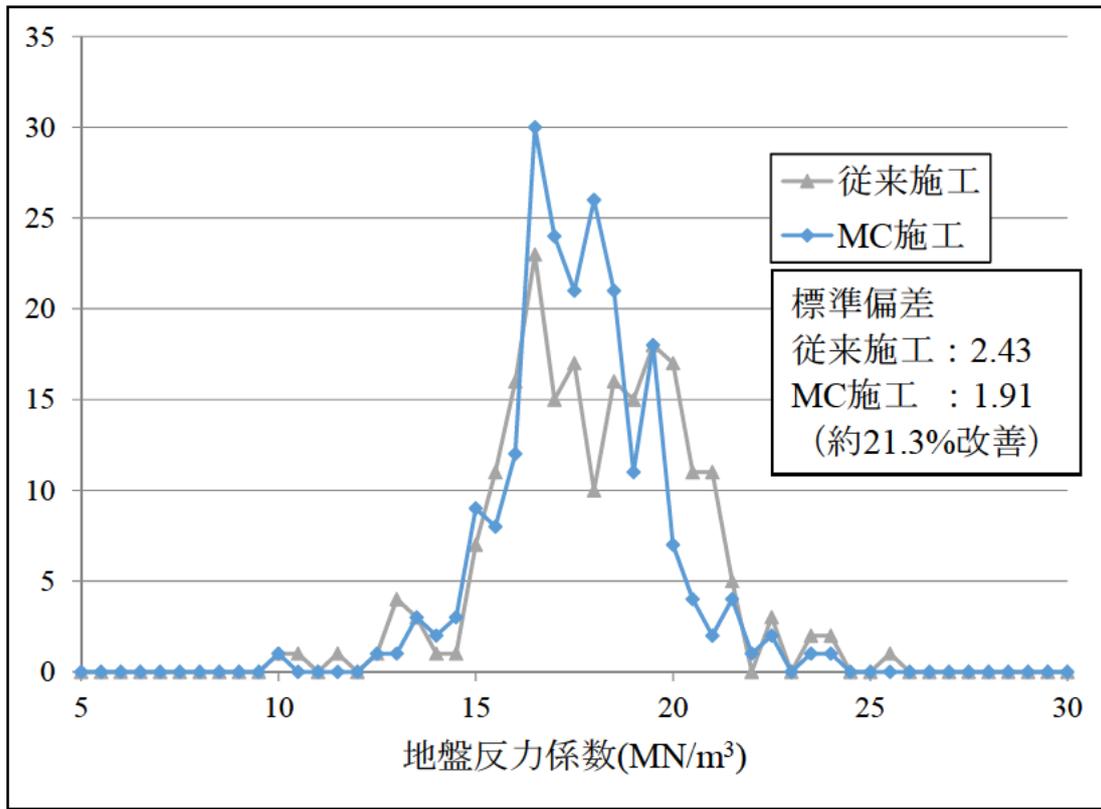


図-3.6-2 地盤反力係数 (28年度 : Aさん)

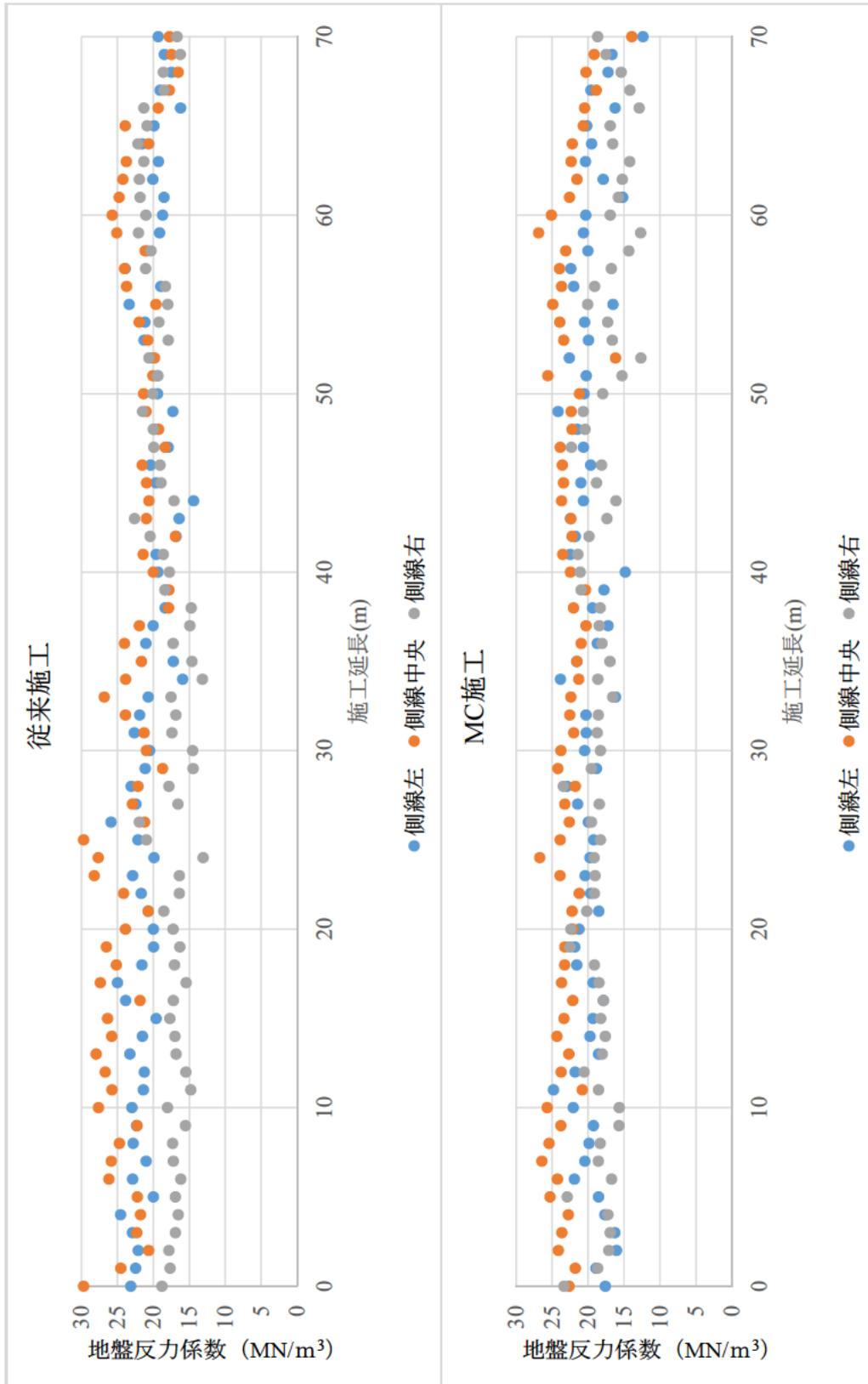


図-3.6-3 地盤反力係数 (28年度 : Bさん)

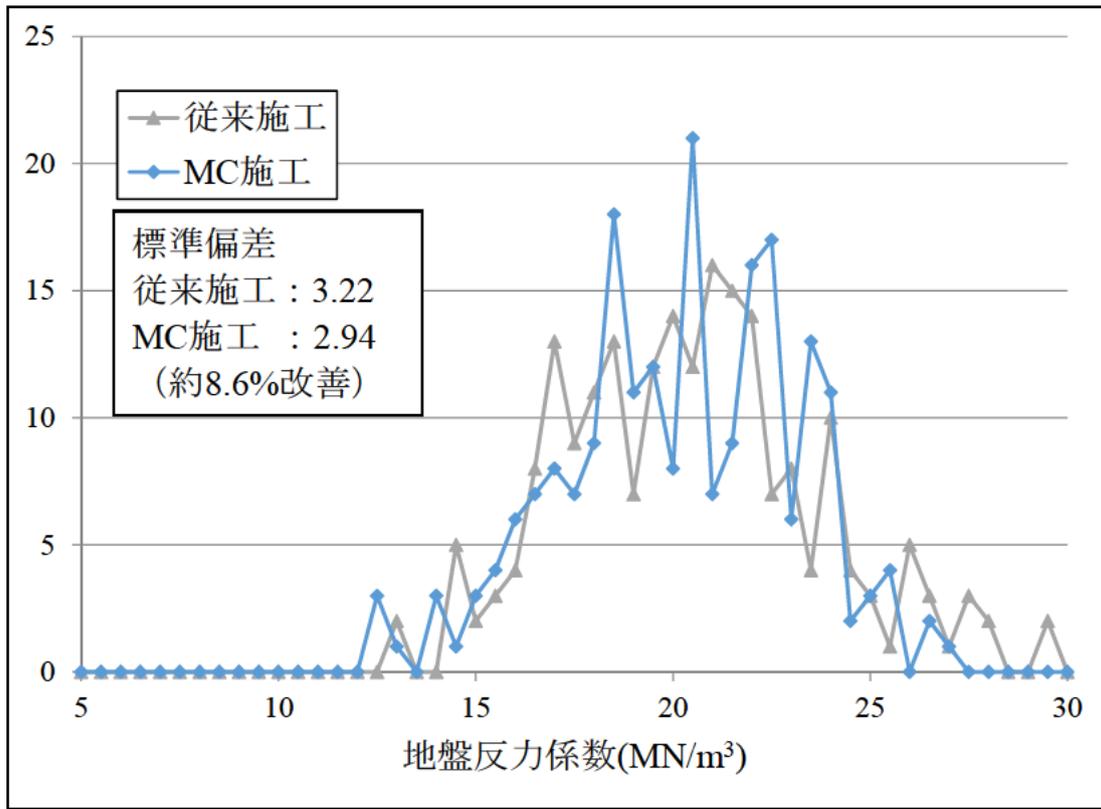


図-3.6-4 地盤反力係数 (28年度 : Bさん)

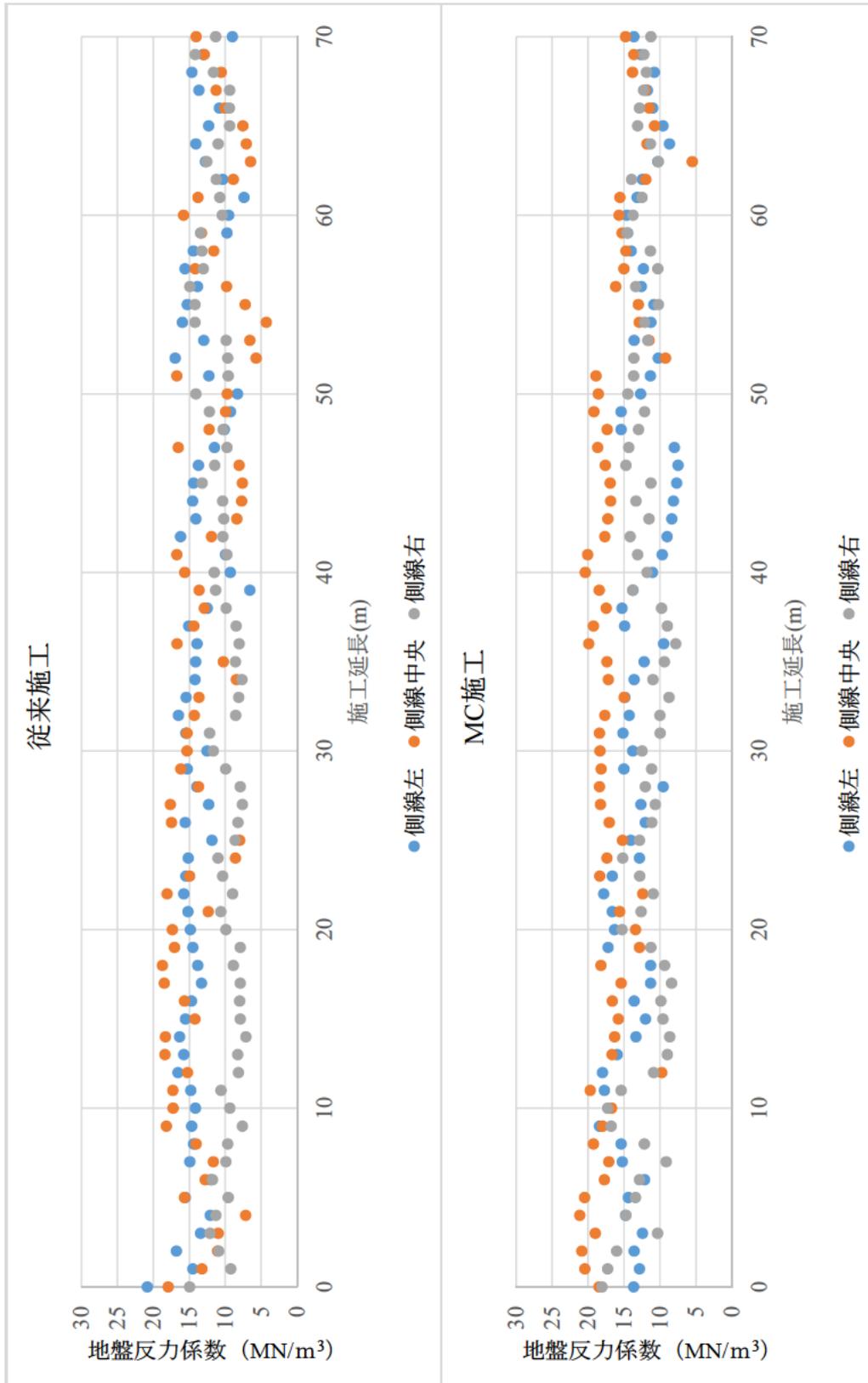


図-3.6-5 地盤反力係数 (28年度 : Cさん)

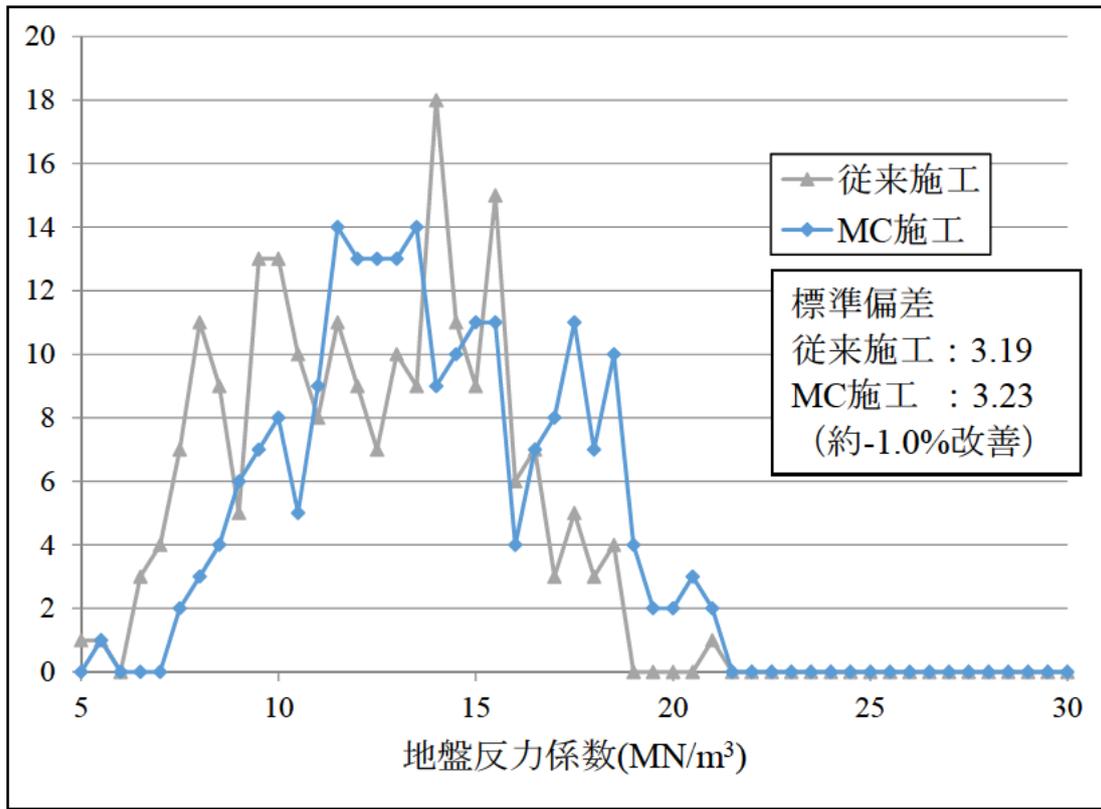


図-3.6-6 地盤反力係数 (28年度 : Cさん)

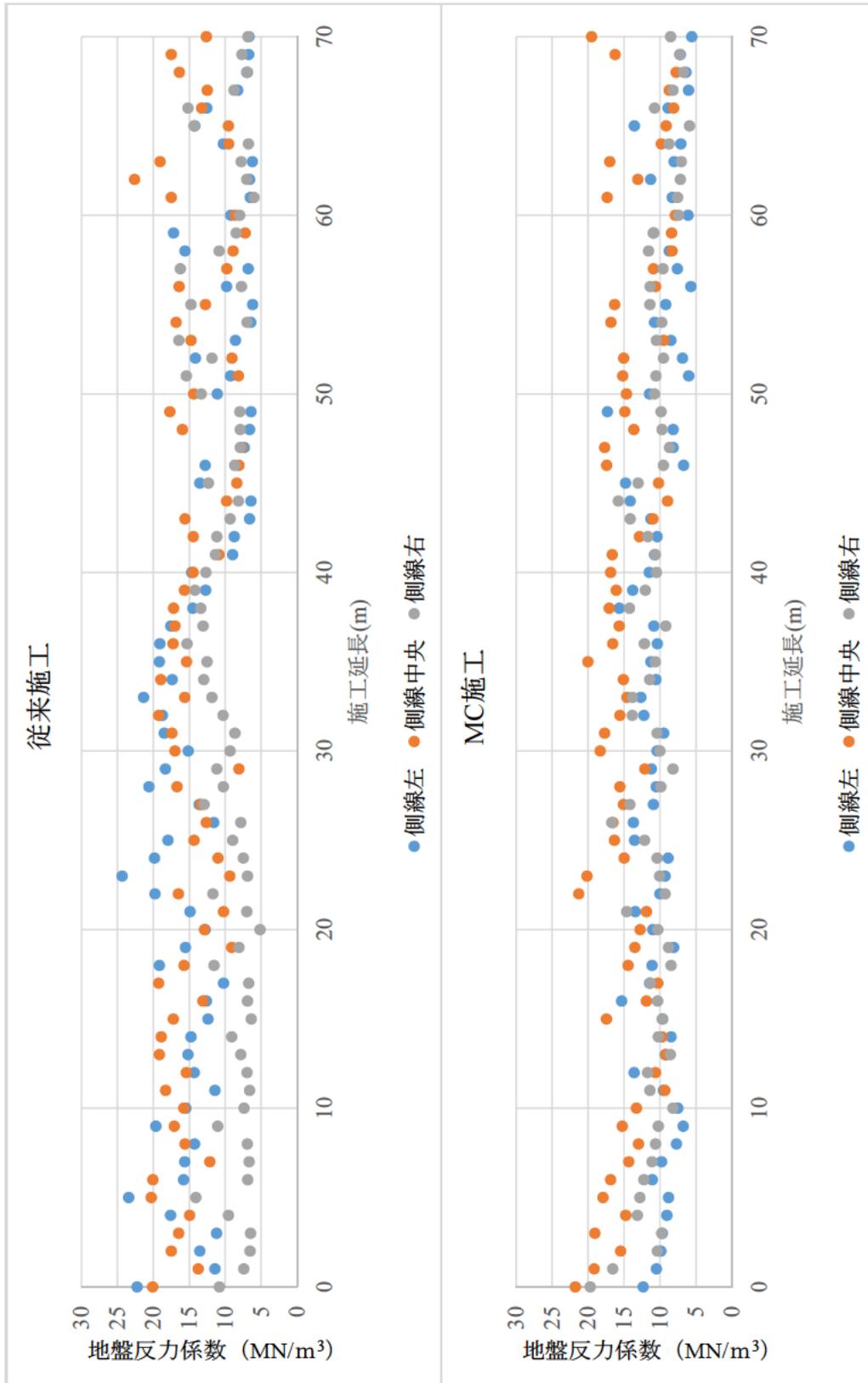


図-3.6-7 地盤反力係数 (28年度 : Dさん)

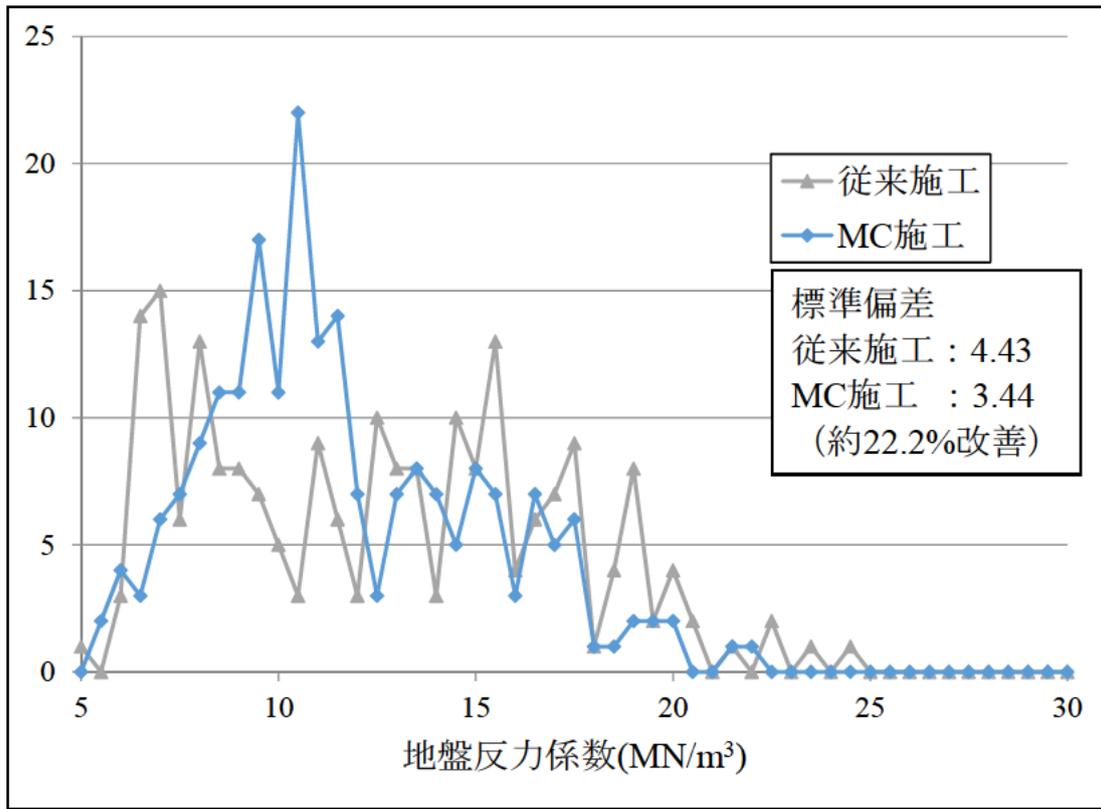


図-3.6-8 地盤反力係数 (28年度 : Dさん)

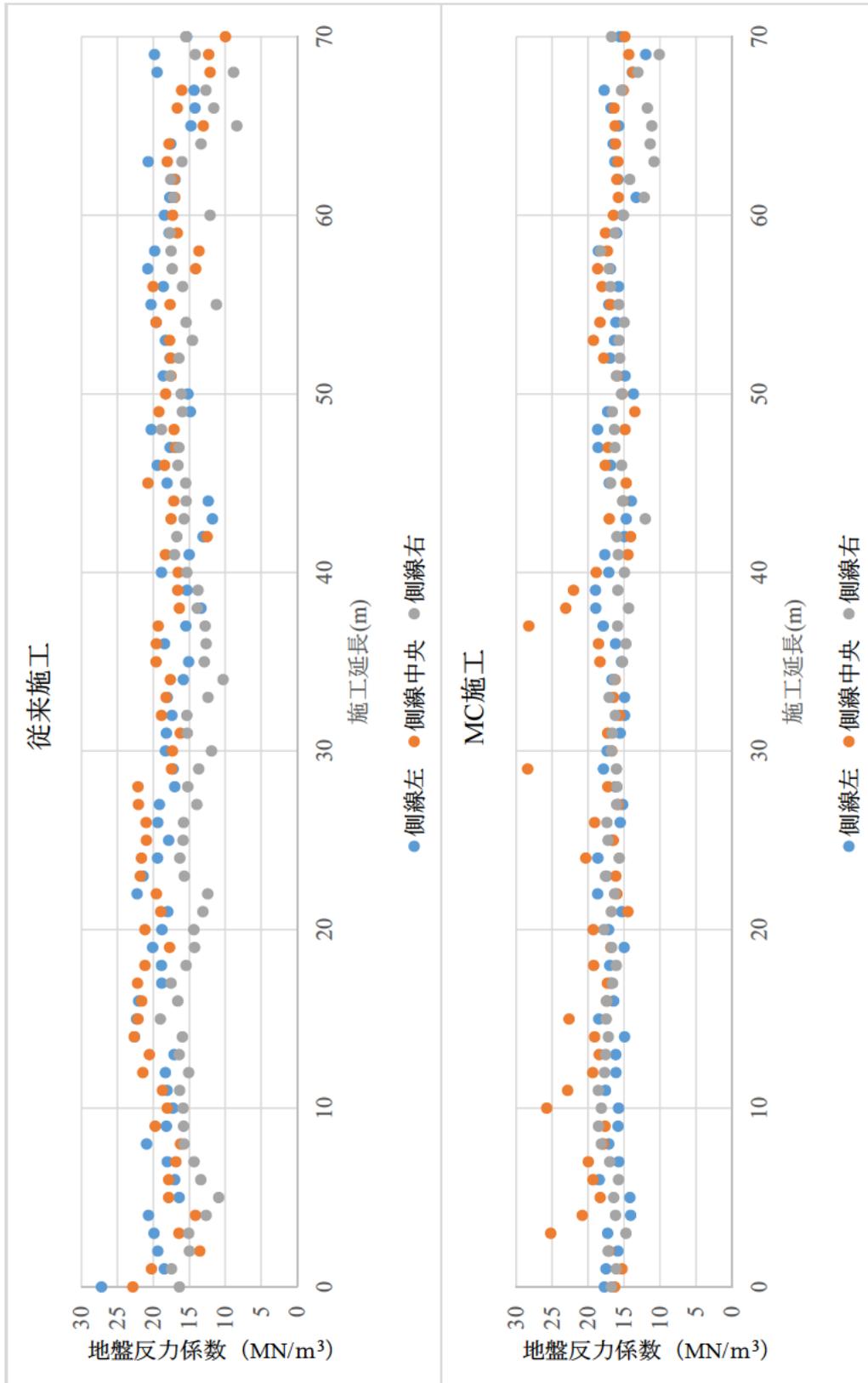


図-3.6-9 地盤反力係数 (28年度 : Eさん)

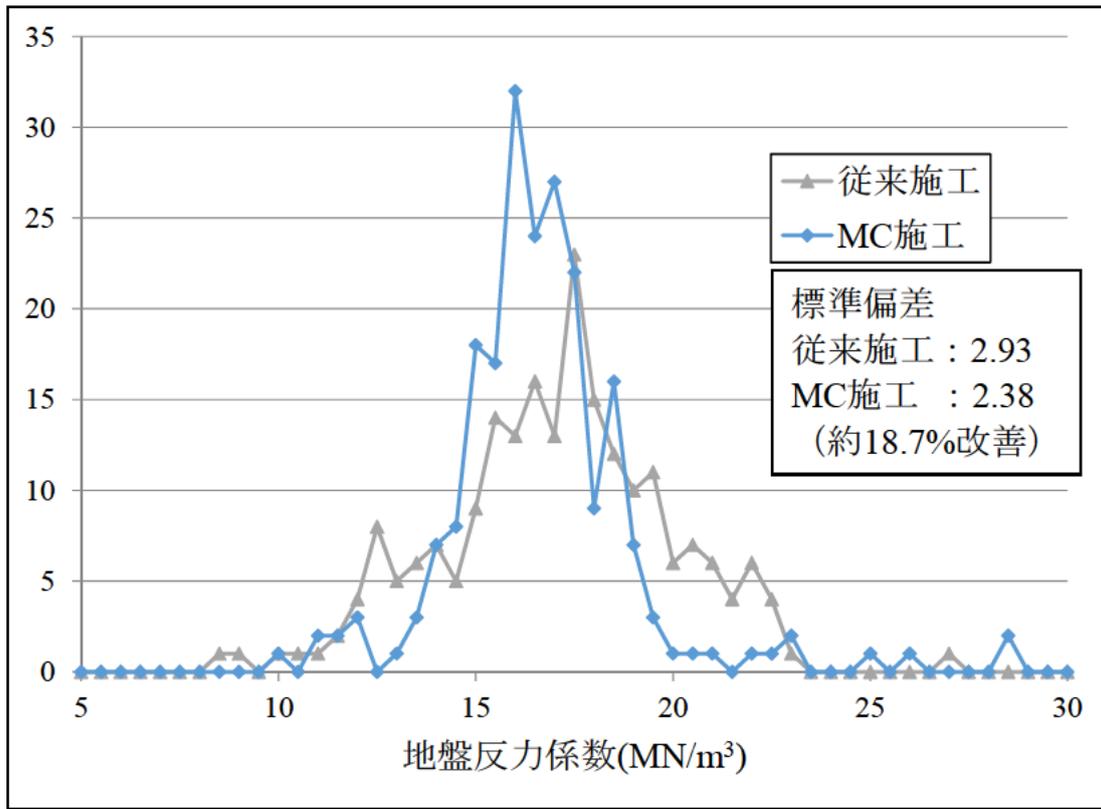


図-3.6-10 地盤反力係数 (28年度: Eさん)

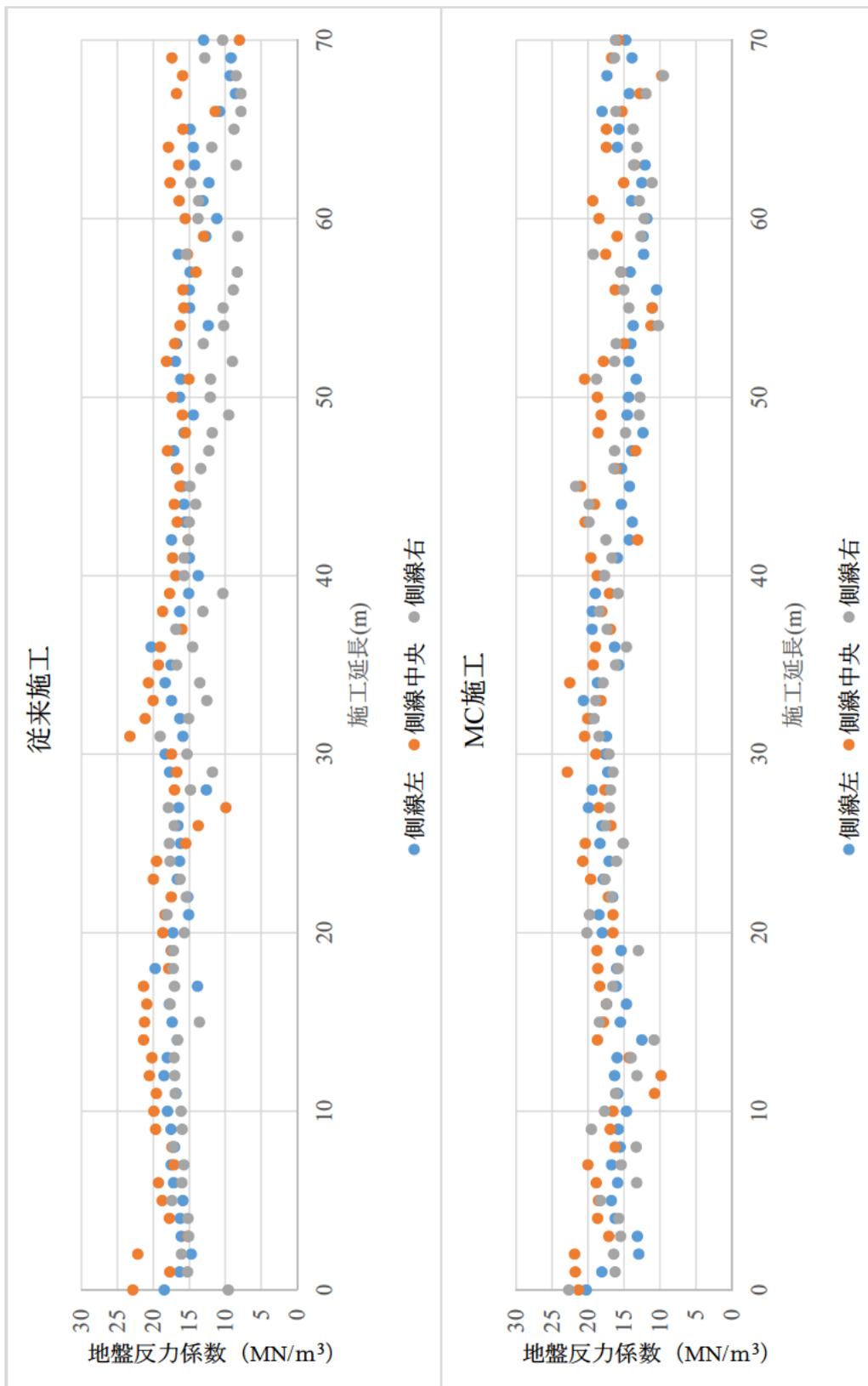


図-3.6-11 地盤反力係数 (28年度 : Fさん)

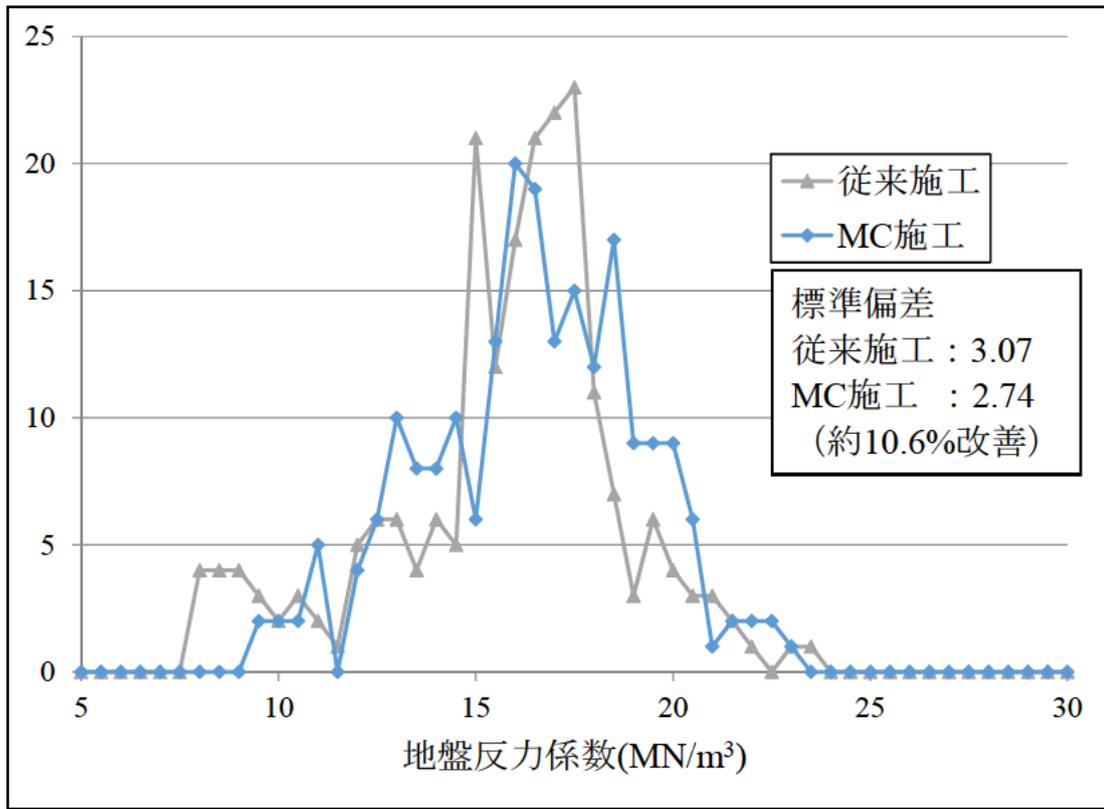


図-3.6-12 地盤反力係数 (28年度 : Fさん)

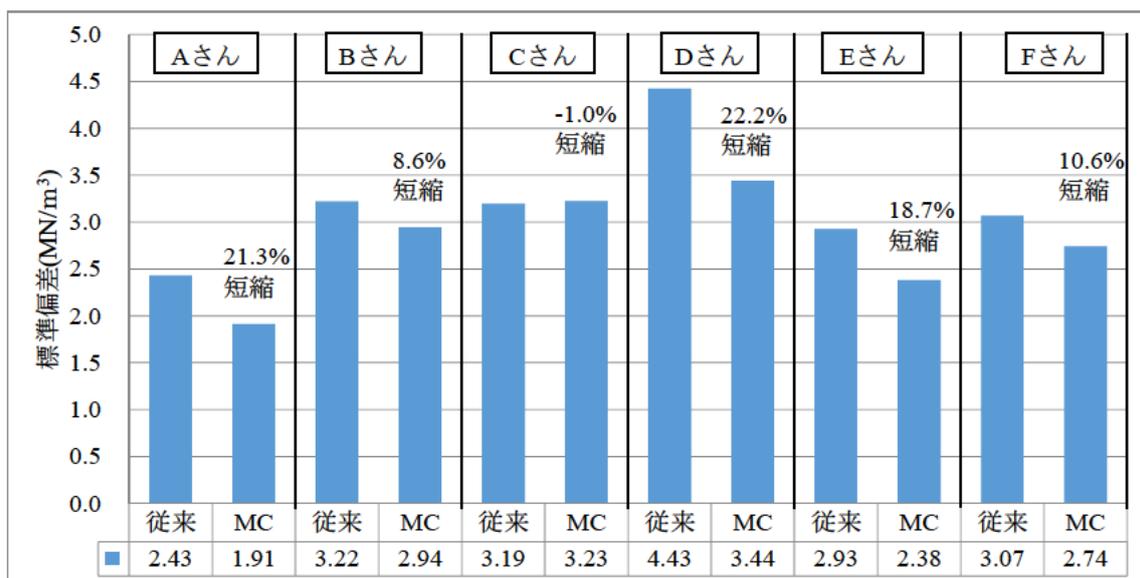


図-3.6-13 地盤反力係数標準偏差 (28年度)

3.6.2. MC 導入効果の検証

図-3.6-13 によると、ほぼすべてのオペレータにて MC 施工を導入することにより地盤反力係数のバラツキが小さくなっており、また地盤反力係数のバラツキが増加したオペレータ (C さん) もその増加量は少ないことから、MC 施工導入は地盤反力係数のバラツキ向上に効果があることがわかる。しかしながら本データでは、熟練者、非熟練者などではっきりわかる傾向は確認できなかった。参考として熟練者と非熟練者および全員の平均値からの差を度数分布で表したものを図-3.6-14~3.6-16 に示す。図-3.6-16 から、MC 施工導入は、オペレータの熟練度によらず地盤反力係数のバラツキ向上 (向上率約 13.6%) が期待できることはわかる。

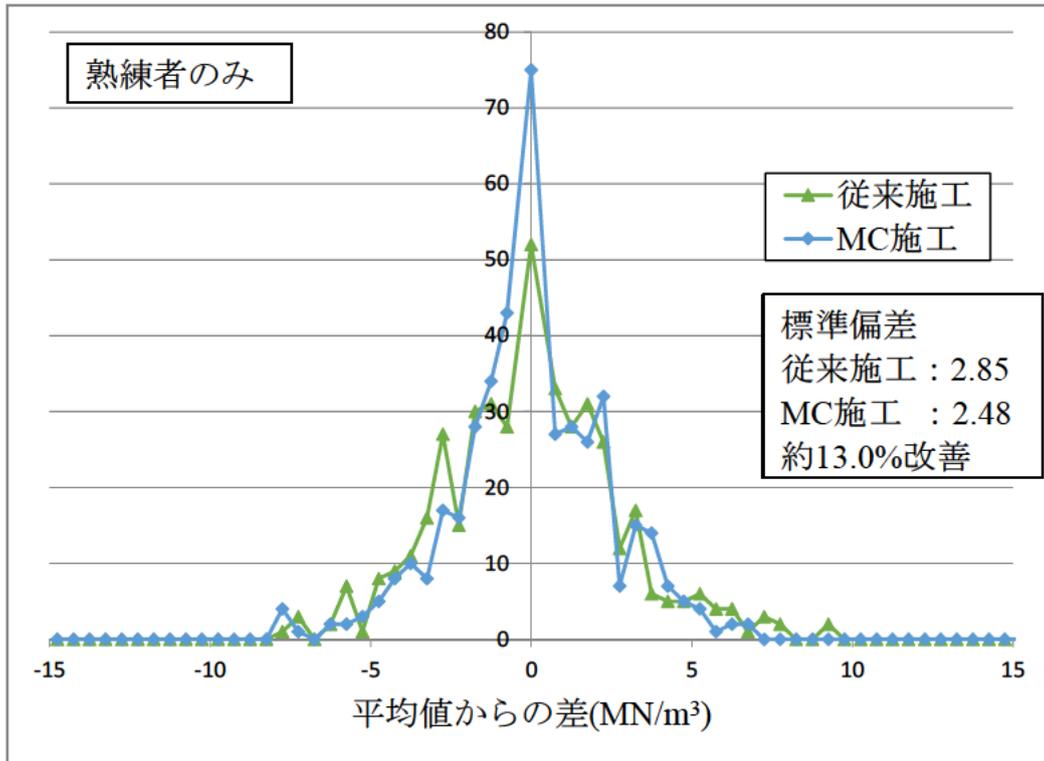


図-3.6-14 地盤反力係数度数分布 (熟練者のみ)

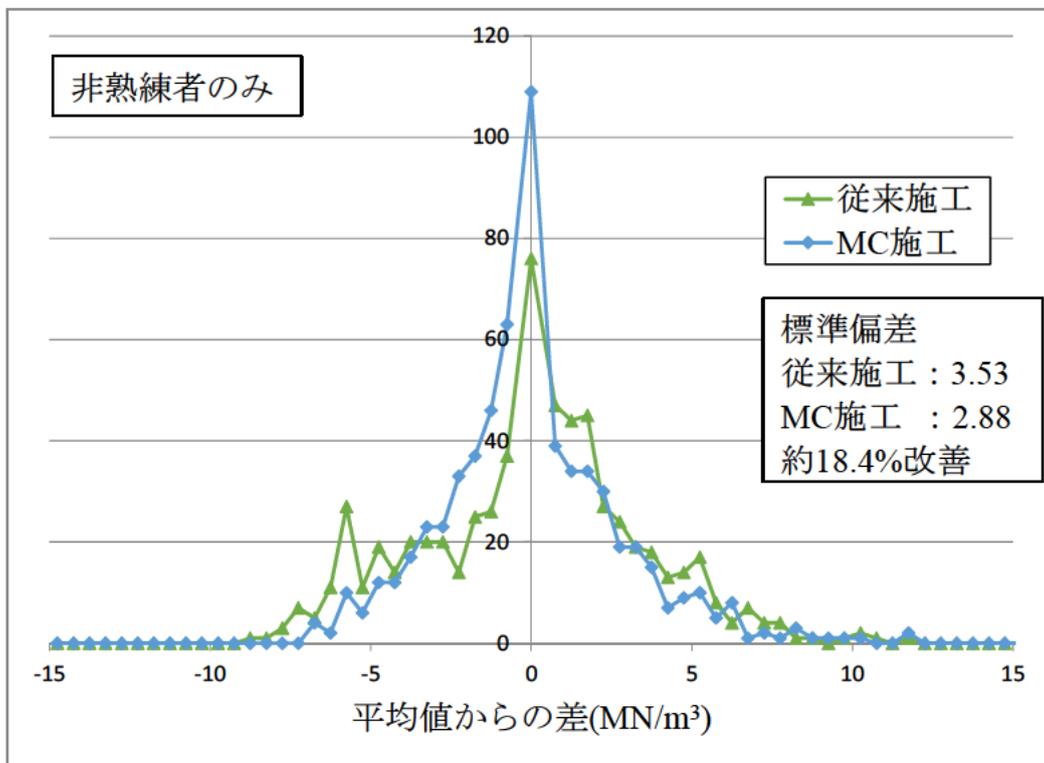


図-3.6-15 地盤反力係数度数分布 (非熟練者のみ)

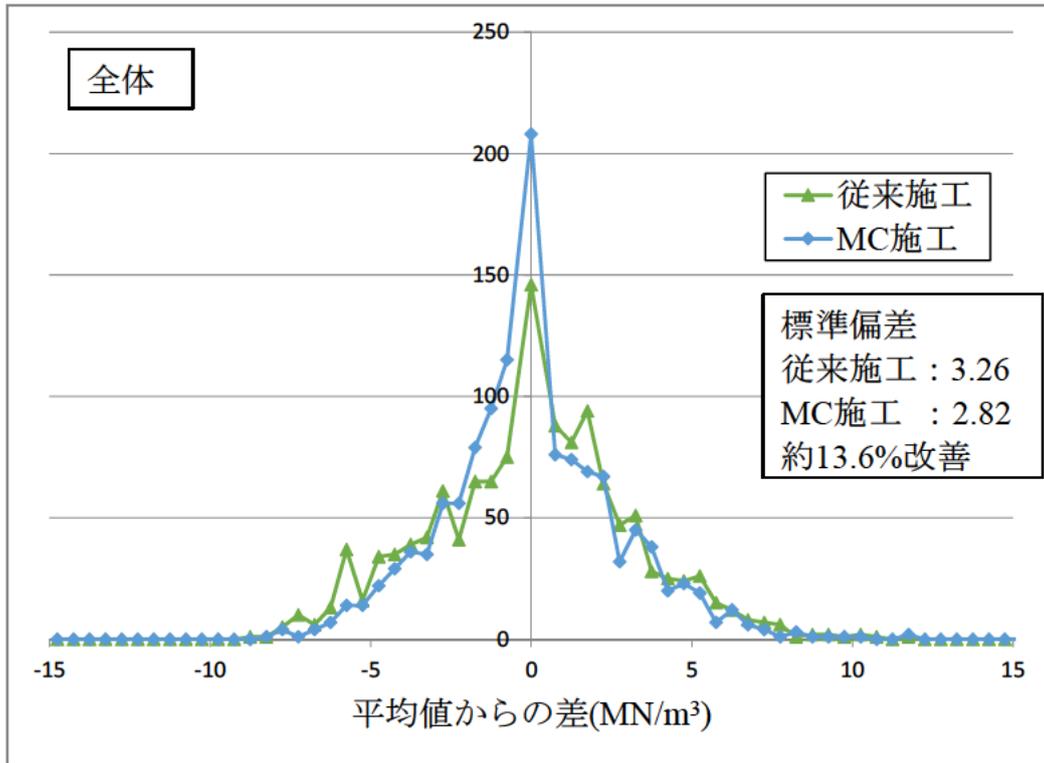


図-3.6-16 地盤反力係数度数分布 (全体)

3.7. 心拍数

3.7.1. 心拍数結果

心拍数測定結果を図-3.7-1 に示す。

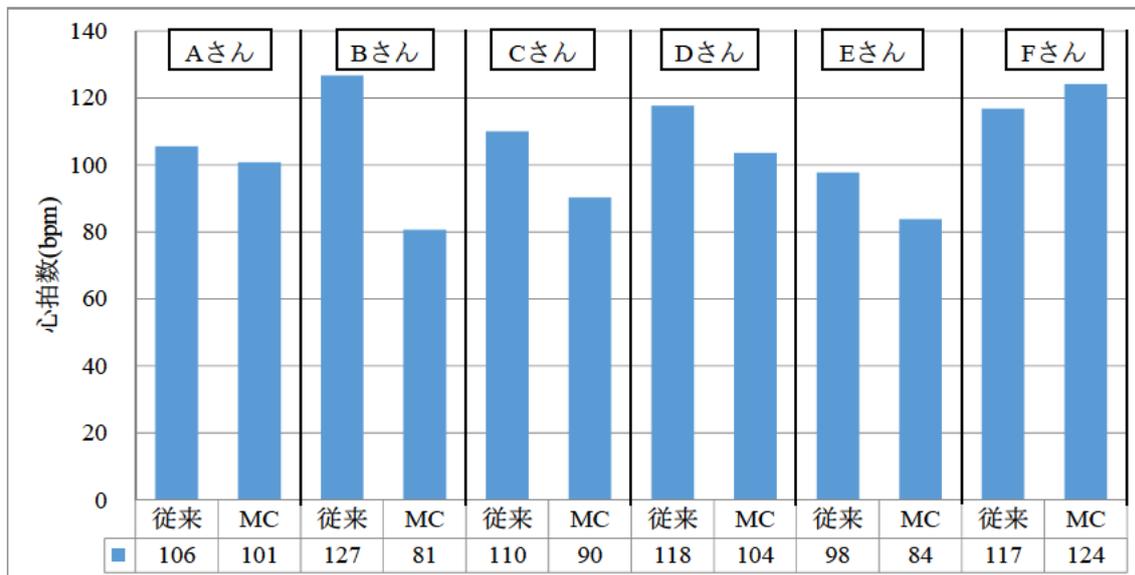


図-3.7-1 心拍数

3.7.2. MC 導入効果の検証

図-3.7-1 によると、F さんを除くすべてのオペレータにて、MC 施工を導入すると心拍数が低下していることがわかる。低下割合の熟練度による傾向は確認できなかった。

以上から、心拍数のみで断定することは難しいが、MC 施工を導入することで、熟練度に寄らずオペレータ負担が低減される可能性があることがわかる。

F さんのみ MC 施工を導入しても心拍数はほぼ変化しなかったが、これは入社1年目のFさんの実験を行う際に、上司がつきっきりで見学していたため、従来施工、MC 施工ともに緊張が続き高い心拍数となってしまったためと考えられる。

3.8. 視線解析

3.8.1. 視線解析結果

オペレータの視界を，図-3.8-1 に示すように，ブレード近傍，前方，その他の3つに分け，仕上げ施工中のオペレータ視線が0.1秒以上停留している時間割合を積算し，その割合を整理した．なお，Bさん，EさんはMC施工中の視線データが取得できなかった．整理結果を図-3.8-2～3.8-7 に示す．



図-3.8-1 オペレータ視界

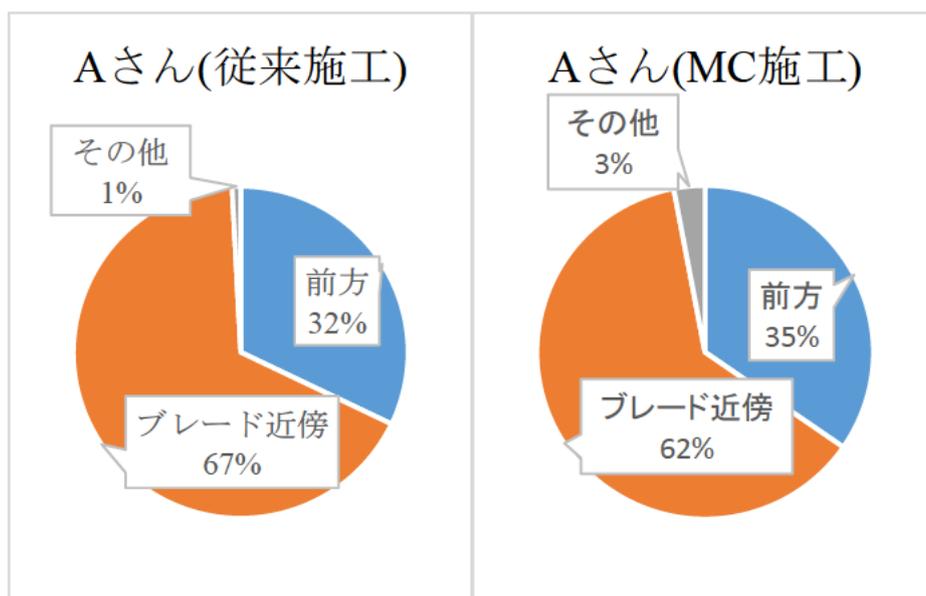


図-3.8-2 視線停留時間割合 (Aさん)

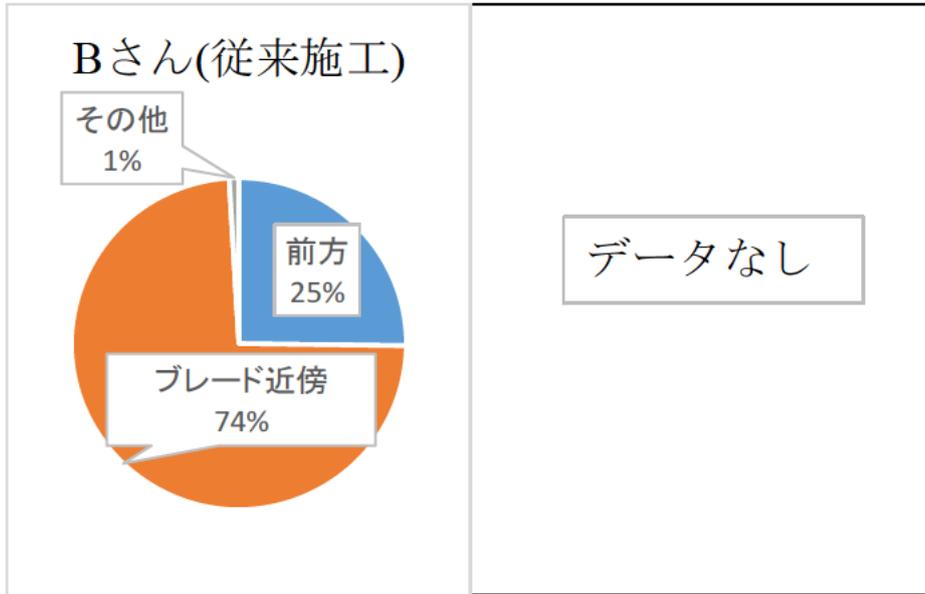


図-3.8-3 視線停留時間割合 (Bさん)

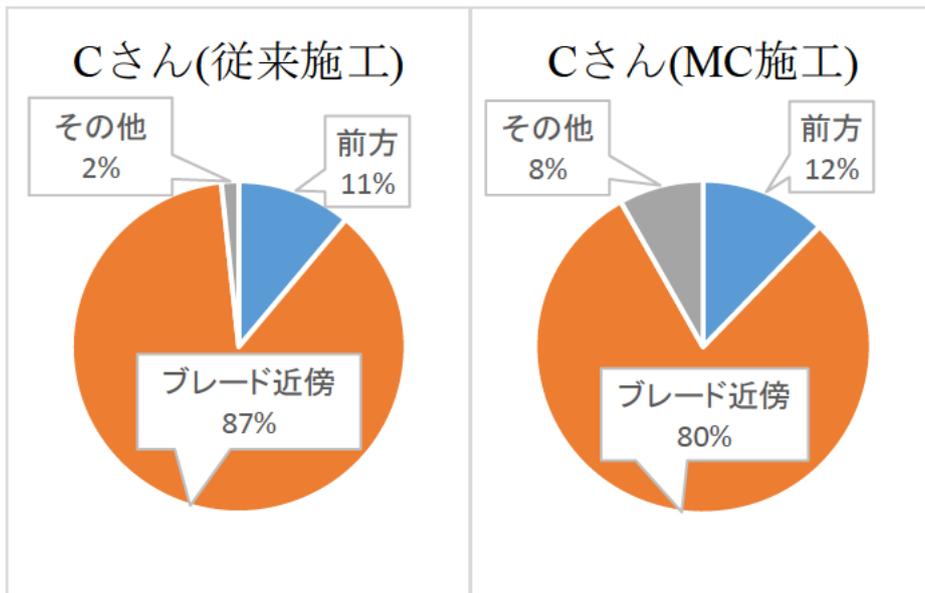


図-3.8-4 視線停留時間割合 (Cさん)

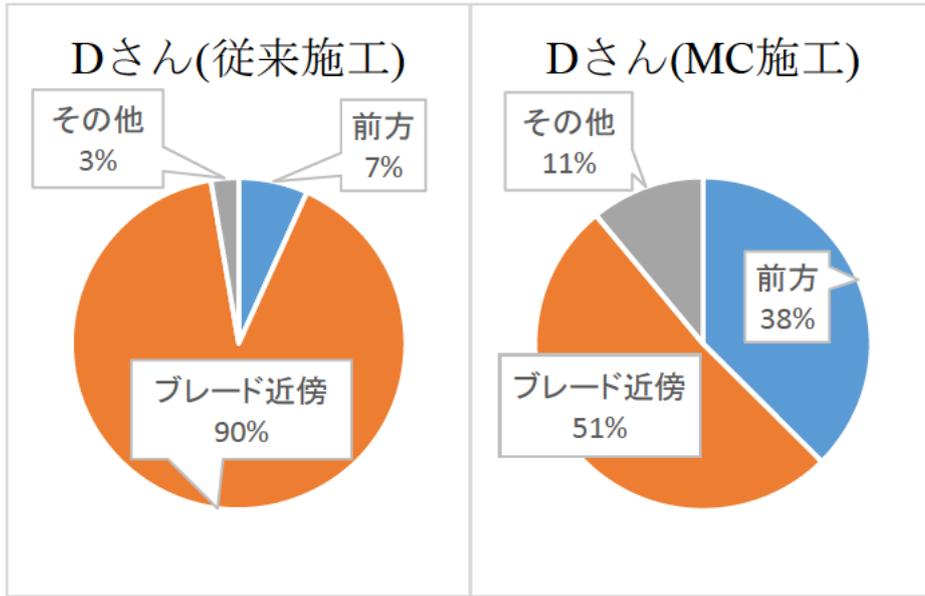


図-3.8-5 視線停留時間割合 (Dさん)

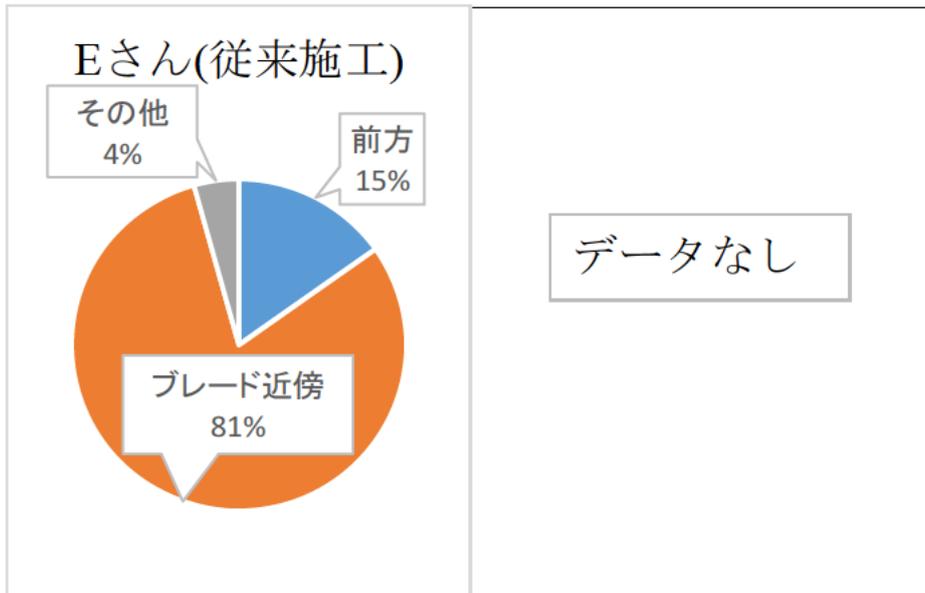


図-3.8-6 視線停留時間割合 (Eさん)

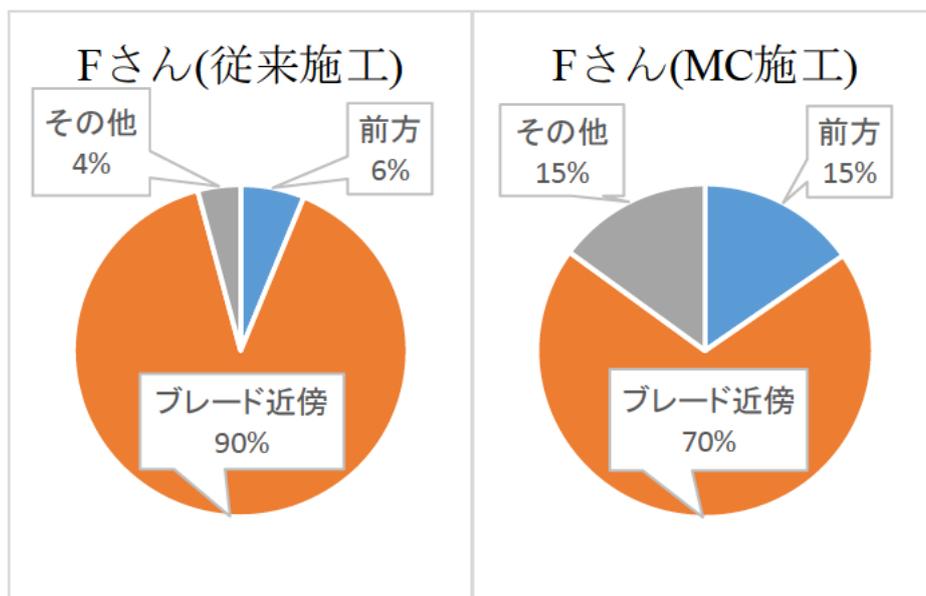


図-3.8-7 視線停留時間割合 (Fさん)

3.8.2. MC 導入効果の検証

図-3.8-2～3.8-7によると、従来施工の場合、熟練者(Aさん、Bさん)はブレード近傍を見ている時間割合が約70%程度であるのに対し、他の3名(非熟練者およびCさん)は約80～90%程度あることがわかる。これは、熟練度が低い場合、材料を敷き均しているブレード近傍にばかりに視線および意識が集中し、周辺状況の把握ができていないが、熟練者はブレード近傍だけではなく前方にも注意を払い、走行経路の状況を予測することで、円滑で高品質な施工を行っていると考えられる。

また、MC 施工を導入すると、データが取得できたすべてのオペレータでブレード近傍を注視している時間割合が減少している(時間割合で約5%～40%)。特に、熟練者Aさんでは時間割合で約5%減少しているのに対し、非熟練者Dさんで約40%、Fさんで約20%と、非熟練者ほど大きく減少している。これはMC 施工によりブレード操作にそれほど注意を払わなくてもよくなり、周辺に注意を払う余裕が生まれたためと考えられる。このことから、MC 施工導入の導入は、高品質で円滑な施工を可能とするだけでなく、周辺状況に注意を払うことでより安全な施工を可能とするとも言える。

4. まとめ

4.1. MC 導入効果の検証

施工条件を同一にした2つの試験場にて、実際に従来施工とMC施工（MCモータグレーダによる敷き均し施工）を様々な経験年数を持つオペレータにて行い、MC導入時の出来形・所要時間・オペレータ負担などの基礎データを収集し、MC導入による効果を検証した。結果を表-4.1-1にまとめる。

表-4.1-1 MC 導入効果まとめ（その1）

項目	MC 導入による効果の有無	オペレータ熟練度による違いの有無		備考
	改善効果	熟練者の改善効果	非熟練者の改善効果	
施工時間	有	有		非熟練者の方が導入効果が高い。 非熟練者に MC を導入するとほぼ熟練者並みで施工できる可能性がある。 (熟練者を超えることはできないが)
	約 27.7% (時間減少割合)	約 10.0%	約 37.2%	
仕上がり高さ検測回数	有	有		
	約 50.0% (検測回数減少割合)	約 35.7%	約 59.4%	
出来形バラツキ	有	有		
	約 47.2% (バラツキ改善割合)	約 20.6%	約 50.9%	
平坦性	無	—		オペレータにより結果はまちまち 熟練者はいずれも MC を導入すると平坦性は悪化した
	—	—	—	
地盤反力係数	有	無		全体的には MC 導入による効果が見られる オペレータ熟練度ではっきりわかる傾向は確認できなかった
	約 13.6% (バラツキ改善割合)	—	—	

表-4.1-1 MC 導入効果まとめ (その 2)

心拍数	有	無		MC 導入により心拍数の低下が確認できた オペレータ負担が低減される可能性がある
	—	—	—	
視線解析	有	有		MC 導入により周辺に注意を払う余裕が生まれ, 安全にも効果があると考えられる.
	約 5~40% (ブレード近傍注視 時間割合減少分)	約 5%	約 20~40%	

注：本表の結果は，本実験条件（施工条件や MC 設定など）での結果である。

4.2. MC 導入による生産性向上効果の試算

前節にて、MC 施工導入による効果をまとめたが、この効果が建設施工現場へ及ぼす影響についても検討することが重要である。そこで本節では、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。

まず、熟練者・非熟練者の1人1時間当たりの施工土量を算出する。本実験の施工土量 420.3m^3 （幅 6m ×全長 70m ×厚さ 0.30m ）の敷き均しを完了するのにかかる時間を、図-3.1-5 の実作業時間と、図-3.2-3 の仕上がり高さ検測回数にかかる時間の合計で表すとし、検測1回にかかる時間を10分（ $1/6\text{h}$ ）と仮定すると、熟練者、非熟練者の従来施工、MC 施工における1人・1時間当たりの施工土量は表-4.2-1 のように算出される

表-4.2-1 時間・人当たりの施工土量（ $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人}$ ）

	熟練者	非熟練者
従来施工	274	162
MC 施工	342	294

表-4.2-1 の値に、モータグレーダ熟練オペレータと非熟練オペレータの人数を乗じ合計すれば、従来施工・MC 施工時の時間当たり施工土量が算出できる。しかし、モータグレーダオペレータの正確な人数を示す資料が発見できなかったため、「建設業ハンドブック 2015³⁾」による、年齢階層別建設業就業者数 2014 から仮定するものとする。

モータグレーダオペレータの年齢階層別人数を、「建設業ハンドブック 2015³⁾」による全建設業就業者の $1/1$ 万の人数であると仮定すると、図-4.2-1 のようになる。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-4.2-1 よりモータグレーダ熟練オペレータは 408 人、非熟練オペレータは 97 人となる。この人数と表-4.2-1 の値より、従来施工・MC 施工時の時間当たり施工土量を算出すると、表-4.2-2 のようになる。

表-4.2-2 時間当たり施工土量（ m^3/h ）

従来施工	1.28×10^5
MC 施工	1.68×10^5

表-4.2-2 によると、MC 施工を導入することにより全施工土量は約 31% 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。

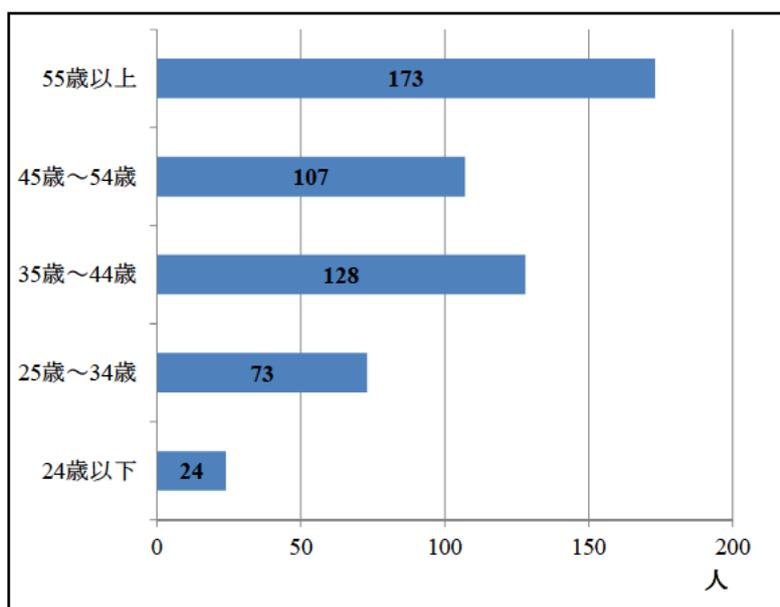


図-4.2-1 年齢階層別モータグレーダオペレータ数
(2014年,「建設業ハンドブック 2015³⁾」より仮定)

次に、将来的な熟練オペレータ不足に対し、MC施工が及ぼす影響についても試算する。

図-4.2-1 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-4.2-2 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-4.2-2 に示した 2014 年従来施工での施工土量 $1.28 \times 10^5 \text{m}^3/\text{h}$ 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-4.2-3 のようになる。

表-4.2-3 2024 年に 2014 年従来施工での施工土量を
達成するために必要な新規オペレータ数 (人)

従来施工	227
MC 施工	43

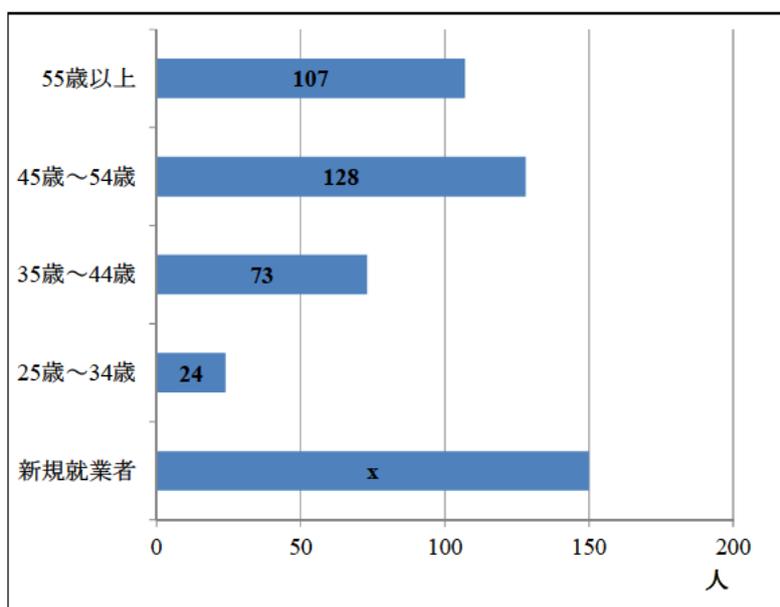


図-4.2-2 年齢階層別モータグレーダオペレータ数
(2024年, 図-4.2-1より仮定)

表-4.2-3によると, 10年後も2014年従来施工での全施工土量 $1.28 \times 10^5 \text{m}^3/\text{h}$ 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227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1/5の43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。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, 有効であることがわかる。

以上の試算はいくつかの仮定のもとに行われており試算結果数値は必ずしも正確ではないが, 現実とそれほど大きく乖離はしてはいないと考えられる。従って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有効であると考えられる。

4.3. 課題と今後の展望

本共同研究により，MC 施工による施工時間，施工品質，オペレータへの影響などへの効果を，ある程度定量的に把握することができた．また，それら効果が施工現場へ及ぼす影響について，生産性（時間当たり施工土量）を試算することで検証した．今後の課題として，MC による施工品質向上が現場や構造物に及ぼす影響（例えば道路寿命などへの影響）についても試算・検証することが挙げられる．今後それらについても研究を行っていききたい．

また，本共同研究で得られた MC 施工の特徴を整理すると次のようになる．

- ① 施工時間短縮，品質向上に効果がある
- ② その効果は非熟練者の方が大きい
- ③ 非熟練者が MC を導入することで熟練者を超えることはできないが，熟練者並みに施工することは可能になる

これらの特徴は他の情報化施工機器でも同様ではないかと考えられる．今後他の機器についても検証を行っていききたい．

5. 参考文献

- 1) 国土交通省：i-construction～建設現場の生産性向上の取り組みについて～、2016
- 2) 国土交通省：情報化施工推進戦略，2013.
- 3) 日本建設業連合会：建設業ハンドブック 2015，2015.

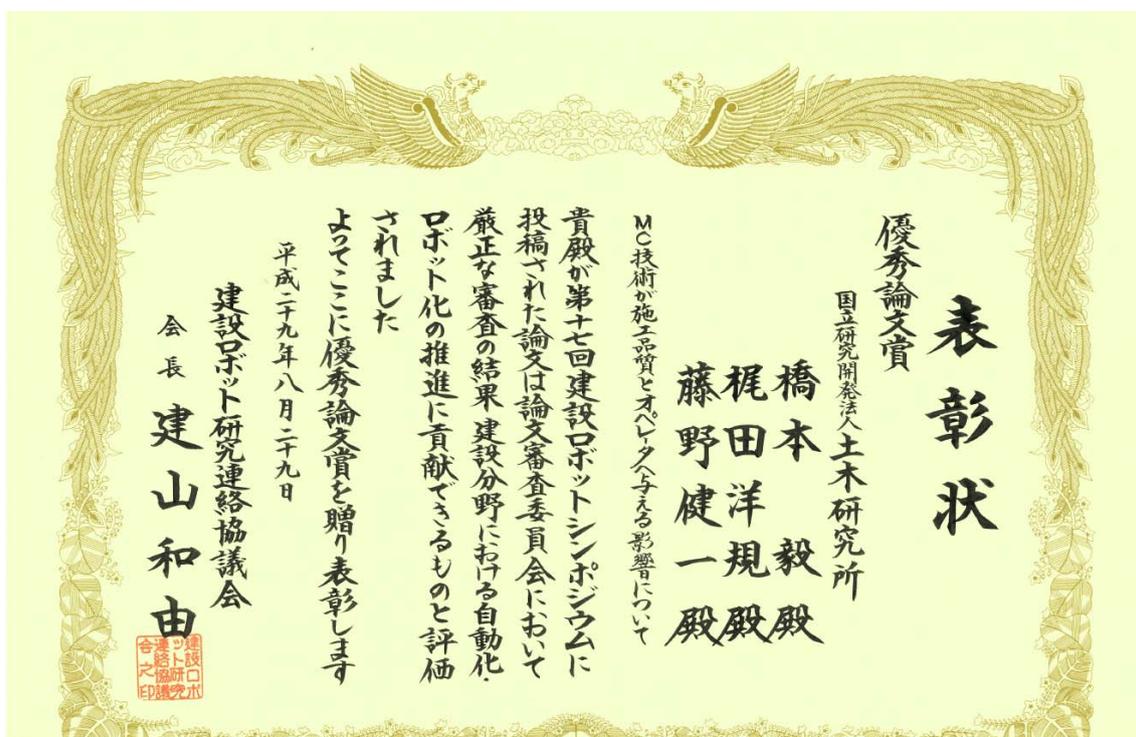
6. 研究成果

発表論文リスト

- 1) 橋本毅, 田中洋一, 藤野健一: MC 導入による施工時間・出来形への効果について, 第16回建設ロボットシンポジウム論文集 CD-ROM, O2-2, 2016.
- 2) 橋本毅, 田中洋一, 藤野健一: マシンコントロールモータグレーダ導入効果について, 土木学会第71回年次学術講演会, pp.1797-1798, 2016.
- 3) 橋本毅, 竹本憲充, 梶田洋規: 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, 平成28年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.59-64, 2016.
- 4) 橋本毅, 梶田洋規, 藤野健一: MC 技術が施工品質とオペレータへ与える影響について, 第17回建設ロボットシンポジウム論文集 CD-ROM, O3-1, 2017.
- 5) 橋本毅, 梶田洋規, 藤野健一: MC モータグレーダ導入による効果について, 平成29年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.31-36, 2017.

受賞

- 1) 第17回建設ロボットシンポジウム優秀論文賞, MC 技術が施工品質とオペレータへ与える影響について



共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.493 September 2017

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754