

舗装工事におけるICTの導入

岡田 健作¹・赤坂 正人²

^{1,2}中部地方整備局 多治見砂防国道事務所 工務第二課（〒507-0023 多治見市小田町4-8-6）

2021年度に国道21号の岐阜県内可児郡御嵩町内において、国道21号可児御嵩バイパスを2車線から4車線に拡幅のため、舗装工事においてICT建設機械を活用し施工した。使用したICT建設機械の紹介、計測値の施工精度について一考察を取りまとめた。

キーワード：アイ・コンストラクション，マシンコントロール，アスファルトフィニッシャ，モーターグレーダー，路面切削機，地上型レーザースキャナ

1. はじめに

国土交通省では、「ICTの全面的な活用（ICT土工）」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す取組みであるi-Construction（アイ・コンストラクション）を進めている。2008年から情報化施工（ICTの全面的な活用（ICT土工））の試行に取組み、施工の効率化を確認している。また、建設機械周りの計測作業などを減らすことで安全性が向上するとともに、ICTによって精度良く施工できるため経験年数の浅い若いオペレーターが早期に建設現場で活躍できる。情報化施工は施工段階のみにICTを導入したものである。現在は、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおいて、3次元データを一貫して使用するICTを全面的に導入し、生産性の向上を図るために、i-Constructionに取組み推進している。また、2017年から更なる生産性向上を目指して、舗装工にICTを全面的に導入する「ICT舗装」の取組みを開始した。

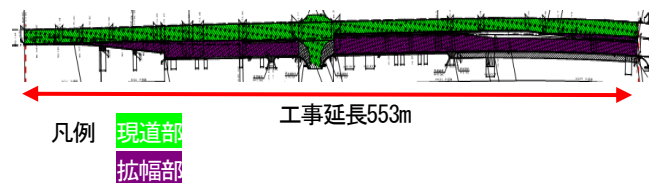
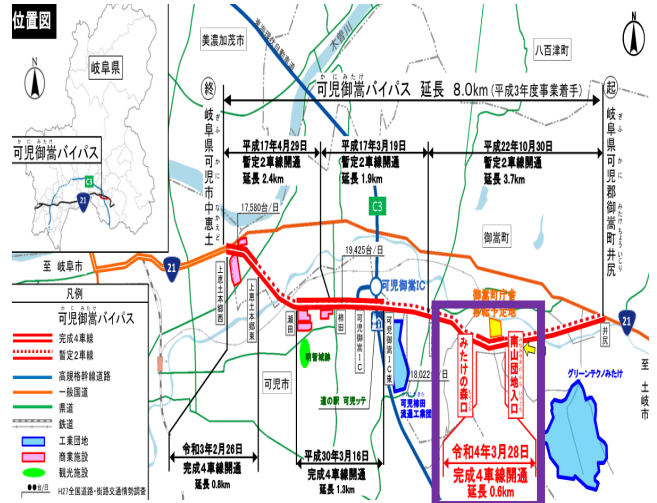
本論文は、舗装工事で活用したICTの導入効果について取りまとめたものである。

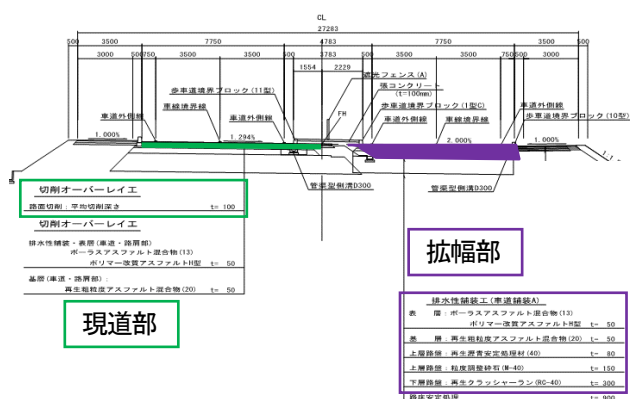
2. ICT舗装工事の概要

ICT舗装工事箇所は、国道21号可児御嵩バイパスの岐阜県可児郡御嵩町内において、約0.6kmの区間、ICT建設機械を導入し施工した。工種は現道部の切削オーバレイ及び拡幅部の新設舗装に導入した。ICTの施工期間は2021年11月～2022年2月である。

国道21号可児御嵩バイパスは、現国道21号の交通混雑の緩和、交通安全の確保とともに、東海環状自動車道可児御嵩ICへのアクセスの確保、ならびに可児御嵩地区の地域開発の支援を目的とした道路である。2010年度に全

線8.0kmを暫定2車線開通し、2018年3月に可児御嵩インター付近延長約1.3kmが4車線開通、2021年2月に上恵土地区において延長約0.8kmが4車線開通した。2022年3月には、岐阜県可児郡御嵩町内において、延長約0.6kmが4車線開通している。（図-1）





3. ICT導入器機

(1) 3次元起工測量

a) 地上型レーザースキャナー(以降TLS)

TLSは1台の機械で指定した範囲にレーザを連続的に照射し、その反射波より対象物との相対位置（角度と距離）を面的に取得できる装置のことである。起工測量及び広幅部舗装の表層、基層の出来形管理にTLSを導入した。



(2) ICT建設機械(マシンコントロール(MC))

a) モーターグレーダー (TS自動追尾システム)

モーターグレーダーは、整地用途に使用される自走式の建設機械である。今回導入したのは自動追尾トータルステーション（以下自動追尾TS）を用いた方式である。施工対象は拡幅部舗装の上層路盤（粒度調整碎石（以下M-40））及び下層路盤（クラッシャーラン（以下RC-40））である。



b) アスファルトフィニッシャ（自動追尾TS）

アスファルトフィニッシャは、道路等のアスファルト舗装のために使われる建設機械のことである。今回導入したのは自動追尾TSを用いた方式である。施工対象は拡幅部舗装の表層、基層、上層路盤（瀝青安定処理（以下As安定処理））である。



C) 路面切削機 (自動追尾TS)

路面切削機は、道路のアスファルト舗装を削る建設機械で、道路工事で主に切削オーバーレイに使用されている。今回導入したのは自動追尾TSを用いた方式である。施工対象は現道部の路面切削である。



4. 出来形管理

(1) ICT建設機械と出来形管理

拡幅部の舗装構成は図-4のとおり、各層の出来形管理はTLS又はトータルステーション（以下TS）を使用して出来形管理を行った。現道部の舗装構成は図-5のとおり、

従来の出来形管理で実施した。

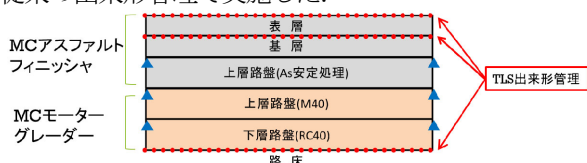


図-4 拡幅部の舗装構成と計測値管理方法

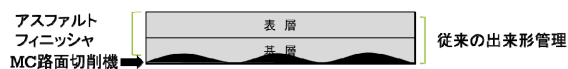


図-5 現道部の舗装構成と計測値管理方法

(2) 規格値と計測値（拡幅部舗装）

拡幅部舗装の各層の規格値と出来形の施工精度（設計値と計測値の差）についてとりまとめた。

a) 下層路盤（RC-40）（MCモーターグレーダー施工）

下層路盤の基準高はTS管理している。施工はMCモーターグレーダーと自動追尾TSと組み合わせて施工した。基準高に関する設計値との差と測定数は図-6のとおり。基準高の設計値と計測値との差にマイナスが多いのは、下層路盤より上層の厚さを確保し、さらには、表層の基準高を計画どおりに仕上げるためマイナスが多くなっている。路床面はTLSで面管理されている。路床の基準高の設計値と計測値との差は-10mm、下層路盤の基準高は平均-14mm、下層路盤の厚さとしては、設計300mmに対し296mmである。

	設計値と計測値との差	規格値
基準高（個々の計測値）	最大値+5 mm	+50mm
	最小値-17mm	-50mm

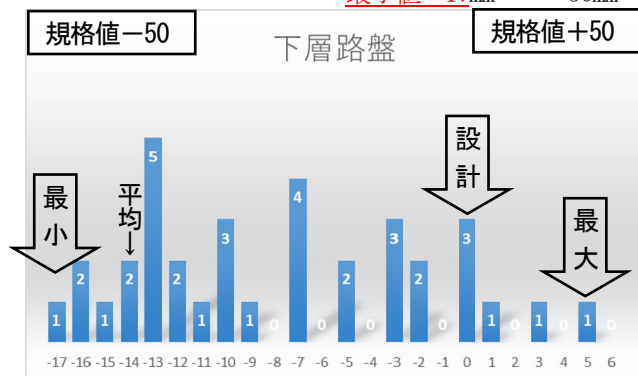


図-6 下層路盤の基準高の施工精度（設計値と計測値との差）と測定数（単位（横軸）ミリメートル、グラフの数字測定数）

b) 上層路盤（M-40）（MCモーターグレーダー施工）

上層路盤（M-40）の舗装厚さは従来の方法（掘り起こして測定）で管理した。施工はMCモーターグレーダーと自動追尾TSと組み合わせて施工した。厚さに関する設計値と計測値との差と測定数は図-7のとおり。厚さの平均は+2mm。設計厚さ150mmに対して152mmである。

	設計値と計測値との差	規格値
厚さ（個々の計測）	最小値±0mm	-30mm
厚さ（計測値の平均）	平均値+2mm	-10mm

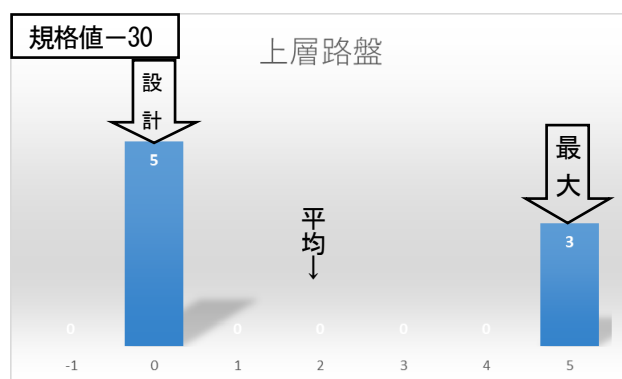


図-7 上層路盤の厚さの施工精度（設計値と計測値の差）と測定数（単位（横軸）ミリメートル、グラフの数字 測定数）

c) 上層路盤（As安定処理）（MCアスファルトフィニッシャー施工）

上層路盤（As安定処理）の舗装厚さは従来の方法（コア採取）で管理している。施工はMCアスファルトフィニッシャーと自動追尾TSと組み合わせて施工した。上層路盤の厚さに関する設計値との差と測定数は図-8のとおり。上層路盤の基準高の平均は+9mm。設計厚さ80mmに対して89mmである。

	設計値と計測値との差	規格値
厚さ（個々の計測値）	最小値+7mm	-20mm
厚さ（計測値の平均）	平均値+9mm	-7mm

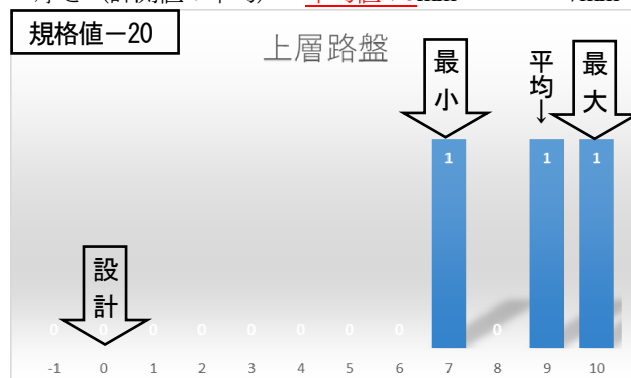


図-8 上層路盤の厚さの施工精度（設計値と計測値との差）と測定数（単位（横軸）ミリメートル、グラフの数字 測定数）

d) 基層（再生粗粒度）（MCアスファルトフィニッシャー施工）

基層はTLSで面管理している。施工はMCアスファルトフィニッシャーと自動追尾TSと組み合わせて施工した。標高の設計値と計測値高さの差に関して、計測点数1348の内1341点（99.4%）が規格値の80%以内、計測点数1348の内1158点（85.9%）が規格値の50%以内の計測値である。設計の標高と計測値との差を色で表示したヒートマップを図-9に示す。舗装厚さについては、下の層である上層路盤の標高（今回はTSで計測）と基層の標高の差で算出している。設計厚さ50mmに対して52mmである。

	設計値と計測値との差	規格値
舗装標高（舗装厚さ）	最小値-18mm	-25mm
舗装標高（計測値の平均）	平均値+2mm	-4mm



図-9 基層のヒートマップ

e) 表層（ポーラス）（MCアスファルトフィニッシャー施工）

表層はTLSで面管理している。施工はMCアスファルトフィニッシャーと自動追尾TSと組み合わせて施工した。舗装標高に関して、計測点数1361の内1356点（99.7%）が規格値の80%以内、計測点数1361の内1301点（95.6%）が規格値の50%以内の計測値になっている。設計の標高と計測値との差を色で表示したヒートマップを図-10に示す。舗装厚さについては、下層の基層の標高（TLSで計測）と表層の標高の差で算出しているが、設計厚さ50mmに対して52mmである。

	設計値と計測値との差	規格値
舗装標高差（舗装厚さ）	<u>最小値-19mm</u>	-20mm
舗装標高差（計測値の平均）	<u>平均値± 0mm</u>	-3mm



図-10 表層のヒートマップ

(3) 規格値と計測値（現道部舗装）

a) 路面切削（MC路面切削機施工）

路面切削厚さは従来の方法で管理している。施工はMC路面切削機と自動追尾TSと組み合わせて施工した。切削厚さに関する設計値と計測値との差と測定数は図-11のとおり。切削厚さの平均は+2mm。設計切削厚さ100mmに対して102mmである。

	設計値と計測値との差	規格値
厚さ（個々の計測値）	<u>最小値-1mm</u>	-7mm
厚さ（計測値の平均）	<u>平均値+2mm</u>	-2mm

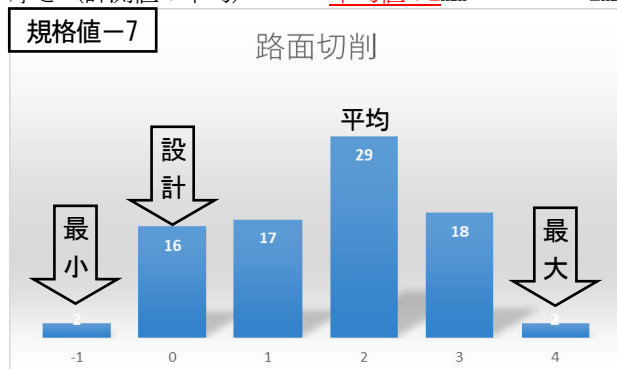


図-11 路面切削厚さの施工精度（設計値と計測値の差）と計測数（単位（横軸）：ミリメートル、グラフの数字 測定数）

(4) 施工精度について考察

a) 拡幅部舗装

拡幅部舗装の各層の厚みに関する設計値と計測値の結果は図-12に示す。設計値に対して下層路盤はマイナス、その他の層はプラスになっている。特に表層、基層では、TLSによる面管理を行っており、舗装の標高に関して表層、基層共に1350点前後の計測値の内、90%以上が規格値の50%以内である。舗装厚さについても、表層、基層共に+2mmと高い施工精度である。拡幅部舗装は全層においてICT建設機械（MCモーターグレーダー及びMCアスファルトフィニッシャー）と自動追尾TSの組み合わせで施工したことにより、1層ごとの層厚や基準高の施工精度をミリ単位で管理出来ていると考える。

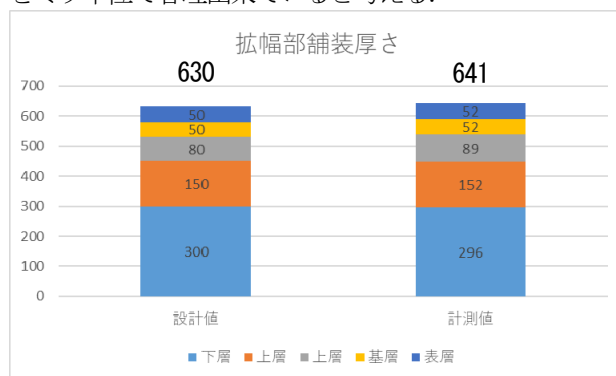


図-12 舗装厚さに関する設計値と計測値(単位ミリメートル)

b) 現道部舗装

現道部舗装の路面切削はMC路面切削機と自動追尾TSの組み合わせにより施工した。設計切削厚さ100mmに対して計測値は102mm、設計値と測定値との差の最小値が-1mmと施工精度が高い。自動追尾TSとの組み合わせ、3Dデータに基づき切削した場合には施工精度が高い事が確認出来た。オーバーレイについては表層、基層の2層共に従来の方法で施工した。特に基層の設計厚さ50mmに対して、最小値が-1mmとほぼ設計通りに施工出来ている。切削の施工精度が高い事がオーバーレイの施工精度に関係していると考ええる。

c) 平坦性

平坦性は従来の3mプロファイルメーターを使用して計測した。現道部舗装（切削オーバーレイ）と拡幅部舗装の表層の計測値は図-13に示す。数値が小さければ平坦性が良いことになる。現道部舗装と拡幅部舗装の平坦性は同等の施工精度である。しかし、拡幅部舗装はICT施工であるが、現道部舗装の平坦性が若干良かった。考えられることは、道路沿線の乗入れを確保しながらの施工であるため、連続性が確保出来なかった。舗装のつなぎ目があるために、今回の計測値に影響を与えていると考える。

	計測値	規格値
拡幅部舗装	ICT施工	平均 $\sigma = 1.25\text{mm} \leq 2.4\text{mm}$
現道部舗装	従来施工	平均 $\sigma = 1.21\text{mm} \leq 2.4\text{mm}$

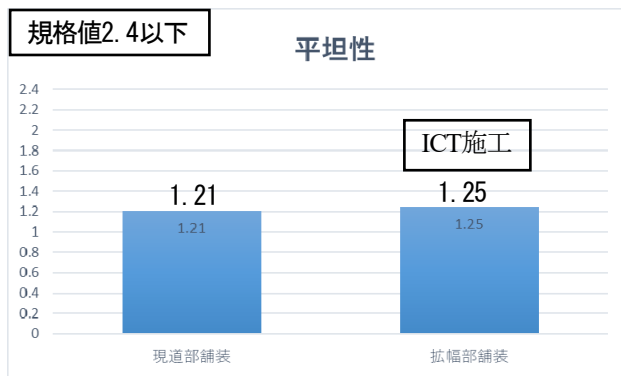


図-13 表層の平坦性の計測値(単位: ミリメートル)

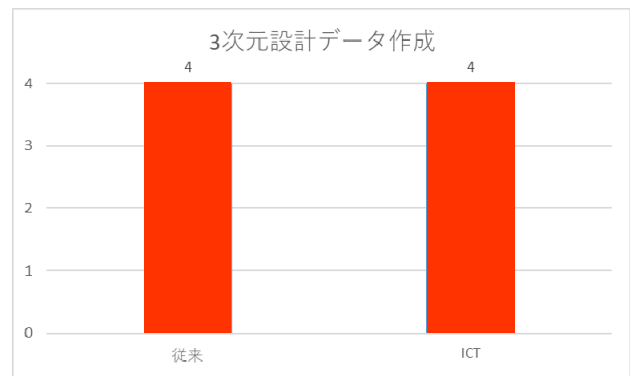


図-15 設計データ作成の従来とICTの所要日数(単位: 人・日)

6. ICT導入による活用効果

各段階におけるICT活用導入効果について、施工後、受注者から提出される、「ICT活用工事の活用導入効果等に関する調査票」に基づきまとめた。なお、従来の日数は、過去の経験から、同程度の内容を実施した時に要する日数を想定して算出したものである。

(1) 3次元起工測量

3次元起工測量はTLSによる測量を実施した。対象面積は1,980m²の測量に、従来では2日必要であるが、TLSでは1日(図-14)で50%省力化している。導入効果は測量の省力化である。

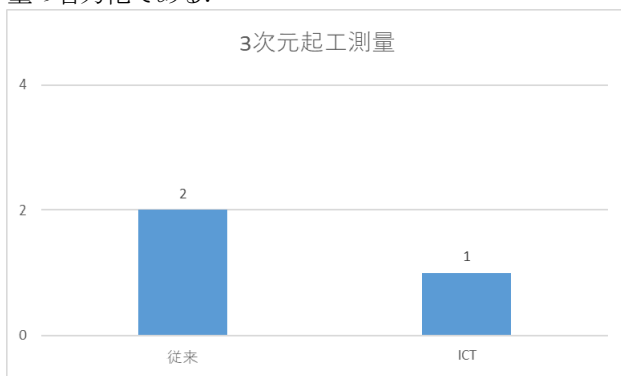


図-14 起工測量の従来とICTの所要日数(単位: 人・日)

(2) 3次元設計データ作成

3次元起工測量はTLSによる測量を実施し、3次元設計データの作成を行った。対象面積は1,980m²で、従来では4日必要であるが、3次元設計データの作成とTLS測量データと3次元設計データの重ね合わせについては4日(図-15)と同程度である。理由は、ソフトウェアの操作習熟に時間を要したためである。導入効果は①ICT建設機械を制御するための3次元設計データ作成作業の効率化②3次元化することで事前にシミュレーションが出来たことである。

(3) ICT建設機械による施工

MCアスファルトフィニッシャー、MCモーターグレーダー、MC路面切削機を導入し施工した。従来、ICT共に28.5日(図-16)と同じである。今回、ICT建設機械を用いた施工箇所は、民家乗入口や店舗入口を含みながら分割施工が必要であるため同程度である。導入効果は①施工の効率化②作業人員の削減③丁張り設置作業の省略・軽減④オペレーターへの施工指示作業の省力化である。

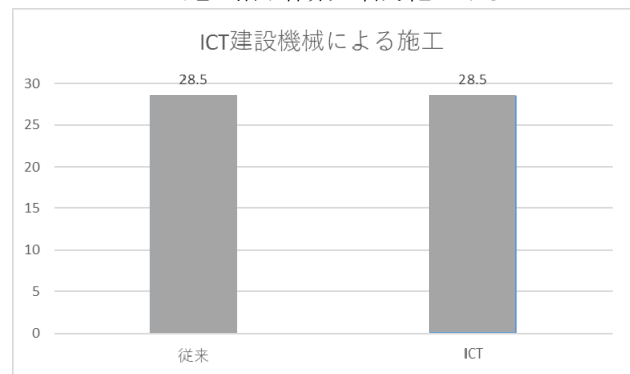


図-16 建設機械による従来とICTの施工日数(単位: 人・日)

(4) 3次元出来形管理等の施工管理

3次元出来形管理等の施工管理は、TLS及びBTSによる方法で実施した。従来では3日必要であるが、ICTでは2日(図-17)で33%省力化している。

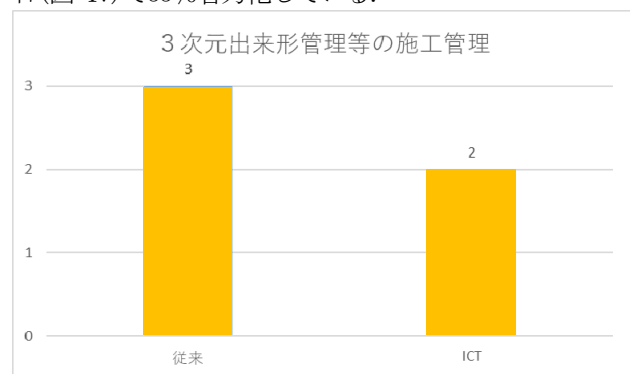


図-17 3次元出来形管理等の施工管理による従来とICTの所要日数(単位: 人・日)

(5) 3次元出来形検査

3次元出来形検査は、TLS及びBTSによる確認方法で実

施した。従来では3日必要であるが、ICTでは1日(図-18)で33%省力化している。導入効果は出来形計測作業の効率化である。

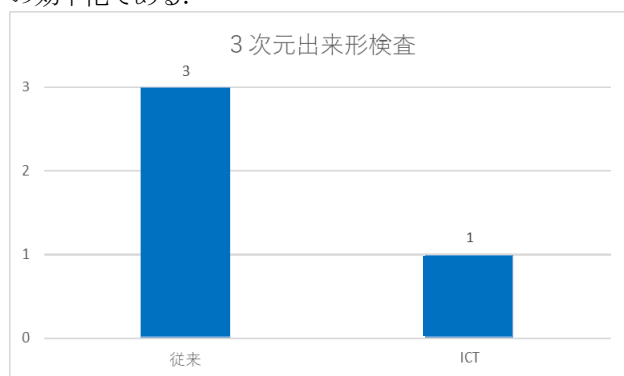


図-18 出来形検査の従来とICTの所要日数(単位:人・日)

(6) 3次元データの納品

従来、ICT共に2日必要であるが、ICTでは2日(図-19)と同程度である。導入効果は作業員の労力が軽減され、納品データの作成時間は早くなったことである。



図-19 出来形検査の従来とICTの所要日数(単位:人・日)

(7) 全行程の導入効果

今回のICT施工に要した日数は38.5日、従来施工では42.5日とICT施工が4日(図-20) (9%) 省力化している。

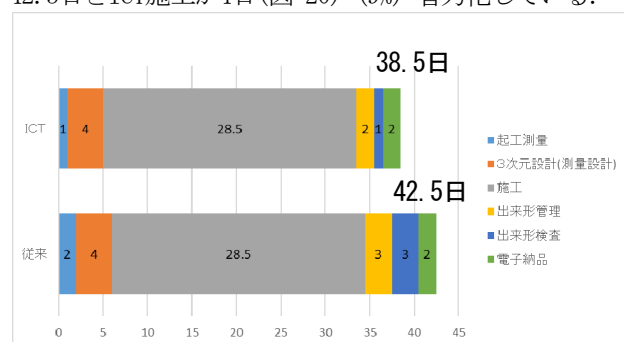


図-20 全行程の従来とICTの所要日数(単位:日)

7. まとめ

(1) 施工精度

ICT建設機械と自動追尾TSの組み合わせにより、施工精度は設計値に比べバラツキはあるものの、平均値としては、数ミリの差の精度で施工出来ている。現道部はMC路面切削機を導入した事により、切削面の精度が向上し、

表層、基層は通従来の施工であったが、表層の平坦性が確保されている。拡幅部舗装はMCアスファルトフィニッシャ、MCモーターグレーダーを導入した事により、各層の層厚の施工精度が確保出来ている。特に、表層、基層は面管理でありながら、1301点(95.6%)が規格値の50%以内と高い精度で施工出来ている。

今回の現場条件として、ICT建設機械を活用する範囲が、部分的な活用になった理由は①民家や店舗の乗り入れを確保しながらの施工であり、ICT建設機械が効力を発揮する作業が連続的に発生する期間が少なく、ICTの調達コストに見合った時間短縮導入効果が得られないため②施工幅が狭く、ICT建設機械が入らない場所があるため③工事箇所が点在しており、ICT施工の部分と従来施工の部分の混在していたためである。これらの条件が無ければ施工精度もさらに向上すると感じている。

(2) 導入効果

今回の現場は、施工日数が従来とICTが同程度であった。前(1)施工精度でも述べたが、ICT建設機械による施工条件が影響している。しかし、施工以外の起工測量や出来形管理測定について、TLSやTSを導入したことから効率化しており、わずか4日ではあるが9%省力化出来ている。受注者もICTを導入したことにより「期待していた導入効果は得られた」と感じている。ICT導入の動機は①ICT施工に慣れるため②ICT施工により現場の効率化を図るためである。受注者は2回目のICT施工であり、次回もICT施工を実施したいと意欲を示している。今後は、多くの舗装現場で省力化、効率化に向け、建設機械、測量・測定器機にICTの活用が重要である。

謝辞：当現場の施工をしていただきました、大有建設株式会社の皆様には、有益な助言をたくさん頂きました。この場を借りまして深く御礼申し上げます。