

## 20. 重機搭載レーザー計測システムの開発

～出来形計測を省人化～

株式会社フジタ  
ジオサーフ CS 株式会社

○ 上原 広行  
浮田 真樹

### 1. はじめに

近年の土工事は、建設機械の ICT 化により重機運転の経験が浅いオペレータでも熟練者と同等の作業が可能になるなど目覚ましい進化を遂げている。現状の ICT 建機（マシンガイダンス）は、法面整形作業中のオペレータへ刃先位置を表示し、設計値を超えないようサポートする技術で、操作の簡便化を図ることができる。しかし、作業面全体の形状変化や設計面との差分量は判定できないため、法面整形の重機作業を中断して、巻尺やレベル・TS で出来形計測を行う必要があり効率面での技術的課題を抱えていた。そこで、土工事の出来形管理に利用する「重機搭載レーザー計測システム」（以下、「重機 LS」と称す。）を開発した。本稿では、システムの概要と PRISM(官民研究開発投資拡大プログラム)を活用した現場試行プロジェクト(国土交通省公募)における本技術の検証結果について報告する。

満足しない計測箇所を色分け表示し、出来形合否判定(表-1)が可能となる。



図-1 重機 LS の計測状況とシステム構成

### 2. システムの概要

#### 2.1 技術の概要

重機 LS は、移動しながら現場内の任意の位置で面的な出来形座標を取得するシステムである。従来の地上型 LS を用いた測量は、盛り替えに時間を要するという難点があり、自己位置を高精度に測位でき、移動しながら測量できる技術の開発が望まれていた。

本システムは、2DLS と RTK-GNSS 受信機、傾斜計、解析モニタで構成される(図-1)。オペレータが運転席で計測ボタンを押し、計測範囲を重機が旋回スキャンすることで、RTK-GNSS が位置座標、LS が作業面までの距離、傾斜計が重機姿勢を各々計測し演算処理を行い、その結果を現況の点群データに変換する。このデータを 3 次元設計データと重ねあわせ、差分を色分けしたヒートマップ(図-2)で表示することで、現況と設計を比べ切土すべきか盛土すべきかの判断と出来高土量が容易に算出できる。また、点群データを専用ソフトに取り込めば、ヒートマップの応用により規格値を

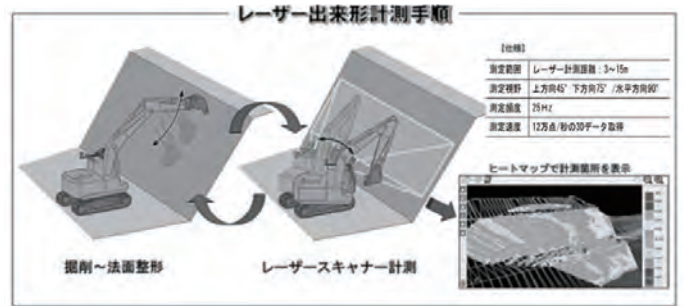


図-2 重機 LS 出来形計測手順

仕様-31-2			出来形合否判定総括表	
工種	道路土工	測点	合否判定結果 合格	
種別	掘削工	合否判定結果 合格		
法面 標高較差	平均値	32.6mm	±70mm	
	最大値(差)	137mm	±160mm	
	最小値(差)	-82mm	±160mm	
	データ数	119	(6/7以上 17/16以上)	
	評価面積	96.5m <sup>2</sup>		
	検出点数	0	0未満 (0以上)	
法面	平均値			
	最大値(差)			
	最小値(差)			
	データ数			
	評価面積			
	検出点数			
			規格値の±50% 以内のデータ数	112(94.9%)
			規格値の±20% 以内のデータ数	91(77.5%)

表-1 法面出来形帳票(合否判定)

## 2.2 技術の特徴

本システムの特徴を以下に示す。

- ・屋外用の安価な 2DLS を用いて、重機を巡回させて計測することで 3D データを取得でき、高価かつ耐久面で課題のある 3DLS に比べ、汎用性と普及性が高い。
- ・法面作業の進捗に応じた出来形の LS 計測で、簡易的な出来高数量の算出が広範囲で可能。
- ・本システムは重機に後付けで容易に搭載でき、計測は運転席のタッチパネルで操作。
- ・UAV 測量のように、雨天・強風などの作業環境や地形条件の影響を受けずに安定した計測が可能。
- ・計測時間が短いため、測量作業が大幅に省力化され、土工事の生産性が向上。
- ・計測状況に応じて、計測モードの切り替えが可能。
  - ①精密計測・・・検査対応モード
  - ②簡易計測・・・日常チェックモード

## 2.3 従来技術との比較

法面整形工は、現状の ICT 建機（マシンガイダンス等）だけでは作業面の全体形状が把握できないため、巻尺やレベル・TS で出来形の確認をする必要があった。重機 LS を導入することで、施工中に全体形状を把握し直ちに出来形判定が可能となり、不具合箇所を直ちに修正できるため品質向上に即応可能である。

## 3. 現場試行プロジェクト

### 3.1 現場試行の概要

本技術は、国土交通省の「建設現場の生産性向上を飛躍的に向上するための革新的技術の導入活用に関するプロジェクト」に採択され、労働生産性の向上を図る技術として、実際の造成工事に重機 LS を導入し効果を検証した。重機 LS を用いた出来形計測は、作業中にオペレータが法面形状の 3D データを短時間（3分程度）かつ高精度に取得し、直ちに出来形の面的な把握が可能となることから、従来の出来形確認手間の大幅な削減と出来形計測を省略することを目標に現場試行した。試行現場の工事概要と試行業務の概要を以下に示す。

- ・試行現場：土岐口開発造成工事(1) (写真-1)  
＜工事＞
- ・概要：開発面積 37.6ha の造成工事
- ・発注者：岐阜県土岐市土岐口財産区
- ・期間：2017 年 9 月～2020 年 4 月

### ＜試行業務＞

- ・概要：データの取得活用により労働生産性の向上を図る技術「重機 LS」の試行
- ・委託者：国土交通省中部地方整備局
- ・コンソーシアム：株式会社フジタ、ジオサーフ CS(株)
- ・期間：2018 年 11 月～2019 年 3 月



写真-1 土岐口開発造成 現場試行箇所

### 3.2 現場試行結果

#### (1) データの精度確認試験

重機 LS で適切な計測精度が確保可能かを検証するため、実際の法面整形作業にて精度確認試験を行った。現場内に 2 箇所の検査点（LS からの距離 10m 以上）を設置し、工事基準点を用い TS で測量した各検査点の座標値を真値として、重機 LS で計測した 2 点座標間の距離（10m 以上）を算出する手法と各座標値の較差を真値と比較する手法で計測精度を評価した。この結果、較差の最大値は 34mm となり、出来形計測（面管理の場合）の要求精度  $\pm 50\text{mm}$  以内であることを確認した。また、計測時の重機姿勢が計測精度に与える影響についても検証し、ピッチングローリング角度が各々  $\pm 20$  度以内の計測条件であれば精度に影響が無いことを確認した（写真-2）。



写真-2 重機 LS 傾斜時の計測試験

(2) 出来形計測の省略

従来の建機と重機 LS の活用による法面整形の作業時間比較を図-3 に、出来形管理の省略作業比較を図-4 に示す。

従来建機の法面整形作業では、丁張を用いた日常の出来形管理、すなわちオペレータが丁張に水糸を張り小段に登り目視で勾配と凹凸をチェックする作業（出来形確認）と巻尺やレベル、TS 等で法面を計測する作業（出来形計測）に時間を要していた。現場試行期間中に1日の作業単位でこの作業を集計した結果、1日当たり 1.0h（出来形確認 0.5h + 出来形計測 0.5h）を要していた（図-3）。

出来形確認の作業は、ICT 建機（マシンガイダンス）を利用すれば、丁張無しで作業可能なため、丁張チェックの省略で 0.5h の短縮を確認した。ICT 建機と重機 LS の併用では、作業中に法面形状を 3D で把握できるため、出来形計測の 0.5h も省略でき、1日当たり 1.0h の時間短縮となることを確認した（図-3, 4）。この併用で、出来形管理に要した 1.0h を省略できたため、重機稼働率がアップし法面作業量で 21%（当社計測値）向上を達成した。さらに、日常の出来形計測に関わる人工（2名×0.5h）の省力効果も見込まれる。

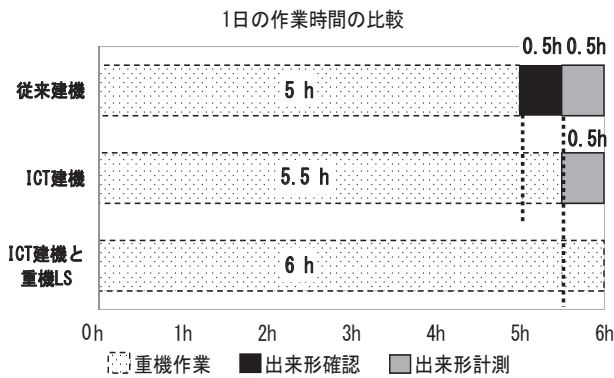


図-3 法面整形の1日単位作業時間比較

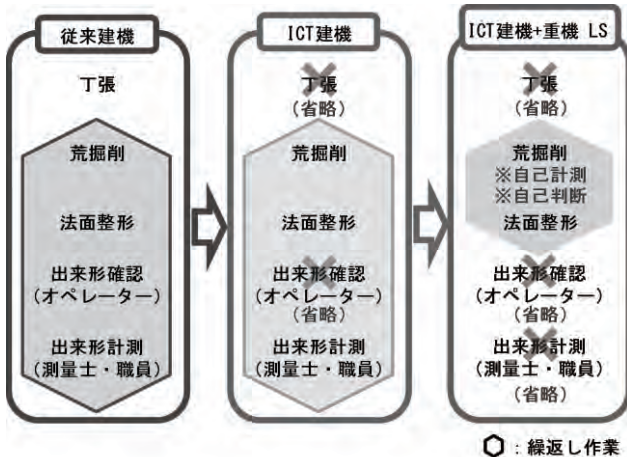


図-4 出来形管理の省略作業比較

(3) 従来の地上型 LS との比較

出来形測量にかかる時間を、類似の地上型 LS（写真-3）と重機 LS で比較した。その結果、1回の測量で地上型 LS は 25 分を要し、重機 LS を利用すると精密計測（検査対応モード）で 5 分（80% 短縮）、簡易計測（日常チェックモード）で 3 分（88% 短縮）となり、測量作業の大幅な時間短縮を達成した（図-5）。



写真-3 地上型 LS の計測状況

地上型LSと重機LSの計測時間比較（100m<sup>2</sup>/回）

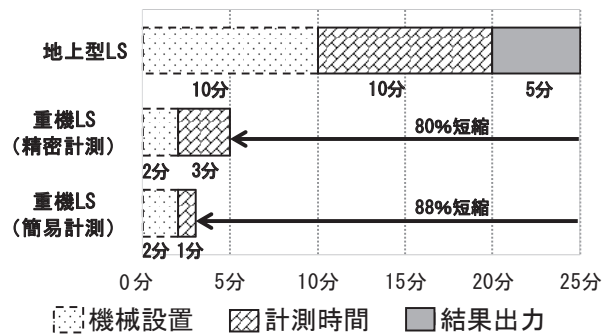


図-5 地上型 LS と重機 LS 計測時間比較

(4) 安全性の向上

従来の出来形確認と重機 LS の出来形計測の作業状況について写真-4 に示す。

実際に法面整形作業で重機 LS を活用したオペレータ（6名）のアンケートで、安全面に関して以下の効果を確認した。

- ICT 建機と同様に丁張り等が不要になり、現場作業員と重機が交錯しないため、接触事故の危険が無くなった。
- 重機オペレータが作業中に行う出来形確認作業（検尺や水糸で精度確認）が不要になり、運転席から頻繁に降りる必要がないため、転倒の危険がなく安全が確保された。

従来（目視チェック）

重機 LS（モニタチェック）



写真-4 従来と重機 LS での出来形確認状況

(5.) 検査・書類の簡素化

法面整形工の出来形実地検査（検尺、レベル、TS測量）は、従来2人日程度を要していたが、重機LSでオペレータが計測した3Dデータ出来形を活用した出来形帳票による合否判定で、監督員が現場に臨場して行う従来型の実地検査の方法を代替できるため、検査の大幅な簡素化が可能となる。また、検査に伴う写真や書類の削減も見込まれる。

今回の試行業務において、監督員立会のもと、従来の出来形検査と重機LSでの検査について、所要時間を比較検証した結果を写真-5、表-2に示す。

従来の出来形検査の合計時間は315分であるが、重機LSによる検査の合計時間は53分となり、大幅な時間短縮（83%）となった。



写真-5 従来検査と重機LSでの検査状況

表-2 出来形管理検査における従来と重機LSの比較

手順	対象者	項目 内 容	従来検査		重機LS検査	
			分	人	分	人
作業中	職員	現地確認・測定 法長確認(テープ) 基準高確認(レベル)	60	2	-	-
	オペレーター	重機LS出来形計測 (施工中に出来形計測)	-	-	15	1
書類作成	職員	帳票作成(法長・基準高)	120	1	-	-
	職員	帳票作成(ヒートマップ)	-	-	30	1
検査	職員	出来形検査(事前確認) 法長確認(テープ) 基準高確認(レベル)	120	2	-	-
	職員 オペレーター	出来形検査(重機LSで計測) 計測結果を合否判定	-	-	5	2
	検査官	出来形検査(現地立会)	15	1	3	1
計			315分	6人	53分	5人

(6) 現場試行でシステムの改良・改善

現場試行を通して発生した本システムの改良点・改善点を表-3に示す。ハード面で1点、ソフト面で3点の改良を行い、実用レベルの向上を図った。

最初に直面した課題はハード面で、RTK-GNSS電波受信不良マルチパスの状態により、計測データの不完全な状態やデータ不良箇所が発生し、計測エラーが発生した。そのため、GNSS基準局のエリアを十分カバーできる工区中央に移設した（表-3の①）。

次に、オペレータへのアンケートの結果、より使いやすくするため、改善策としてモニタ内にバケット刃先表示と、計測時間1~2以内で測定できる簡易計測モード、最適旋回スピードの指示などの機能の追加を行い、より使いやすいシステムになるように改良を行った（表-3の②~④）。

表-3 重機LSシステム改良点

ハード	①	症状	計測中にマルチパスなどでGNSS固定局の補正情報が取得できず、計測エラーが発生。
		改良点	GNSS基準局のエリアを十分カバーできる工区へ移設。
ソフト	②	症状	重機LSモニタ内部のバケット刃先の位置が不明であり、作業中に計測する機会が少なかった。
		改良点	重機LSモニタ内部にICT建機のMG同様、バケットの刃先の位置を表示できるようソフトを改良。
	③	症状	開発当初、計測後の出来形モニタ表示に5分以上必要。OPが作業中に計測するには使わずらい。
		改良点	施工途中でもOPが確認できるように簡易計測機能を追加。計測結果データを1分程度で表示。
④	症状	計測作業時、適正な旋回スピードに慣れず、正常なデータが取得困難。	
	改良点	最適な旋回スピードの指示ができるように、モニタ上に注意喚起表示しOPが確認。	

4. おわりに

重機LSは、作業中のリアルタイム3D出来形計測が可能な技術で、作業を中断することなく法面形状や出来高土量が把握できる。現場試行プロジェクトにより、作業効率の大幅な向上と、品質面でも熟練オペレータのノウハウが必要とされる法面整形が、出来形のヒートマップ可視化で未熟練者でも高精度な作業が可能となることを実証できた。

土工事だけでなくダムやトンネルの施工管理への展開も可能であり、今後は様々な応用に向けて更なる機能向上を図り、より使いやすく迅速に計測できる改良を進める所存である。本重機LSが現場の生産性改革の一助になると幸いである。

本技術の開発と現場試行にあたり、多岐にわたりご指導ご協力をいただきました関係者各位に厚くお礼申し上げます。