

(Ⅲ-2)

レーザ光線を用いた自動掘削システム

Automatic Excavating System with Laser

清水建設(株) 菊池 雄一*

清水建設(株) ○和田 孝史**

清水建設(株) 伊藤 澄雄*

by Yuichi KIKUCHI, Takashi WADA, and Sumio ITOH

近年、建設産業では、作業員の高齢化、人的資源の不足という問題に直面している。これらの問題を解決するため、自動化・ロボット化の開発が進められてきた。しかし、土工事では、従来の建設機械と多数の作業員で施工を行っている場合が多い。また、熟練オペレータも必要とする工事であるが、人手不足のおり人材確保が難しい。仕事量をこなすためには、大幅な省人化、熟練していないオペレータでも操作可能である新パワーショベル・システムの開発が急務であった。こうした背景のもと、従来のパワーショベルにレーザ測量システムと自動直線仕上げシステムを組み合わせた新施工システムを開発した。本システムは、レーザ光、各種センサの情報をもとにパワーショベルの作業機の位置を自動演算、自動制御することにより、所定の勾配に自動整正するものである。本報告では、このシステムについて紹介する。

【キーワード】自動化、パワーショベル、レーザ測量、自動直線仕上げ

1. はじめに

建設現場で、パワーショベルは、掘削や積み込み、法面の掘削はもちろん土砂の敷均し、スキ取り等建設工事のあらゆる分野で活用されている。しかし、施工品質を確保するためには、熟練したオペレータと多くの作業員が必要であるが、近年作業員の高齢化と共にその人材確保が難しい状況となっている。

そこで、これらの問題を小松製作所と共同で解決し、熟練したオペレータでなくても、仕上げ作業可能な、しかも施工に伴う測量作業を大幅に省力化した「レーザ光線を用いた自動掘削システム」を開発した。

本報告では、このシステムの概要、実施工テスト

及び現状工法との比較について報告する。

2. 開発のねらい

(1)現状工法の問題点

従来、管理設用溝掘削工事は、まず前日に測量を行い掘削深さの基準となる丁張りを設置する。次の掘削作業では、パワーショベルのオペレータが掘削補助員の丁張りに基づいた深度チェックに従いながら運転操作を行う。人孔から人孔まで掘削が終わると、再度測量を行い、溝の中に埋設管の位置や高さの基準となる丁張りの設置作業を行う。そして、パワーショベルによって溝に碎石を投入し、2～3人の作業員が丁張りに基づき敷均し、締め固め機で締め固め、管理設用の溝を均一に仕上げて行く。これら一連の作業は、溝の掘削と碎石投入を除き人力のため、多くの人手を必要としていた。

* 土木本部 03-5441-0556

** 技術開発本部 03-5441-0105

また、雨水や下水管は勾配が緩く（１％程度）、かつ精度良く仕上げる必要があり、熟練オペレータでも非常に難しい作業の一つである。

以上問題点をまとめると、

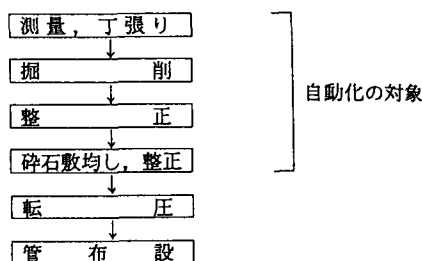
- (a)溝底を精度良く整正するため熟練オペレータが必要
- (b)補助作業員が多数必要
- (c)砕石敷均し、整正を人手で行うため効率が悪い
- (d)丁張りが必要

があげられる。

(2) 開発の対象

上記の問題を解決するため、測量を大幅に省力化し、かつ補助作業員を不要にするためにレーザ測量システムを導入し、まだ熟練していないオペレータでも整正作業をスイッチ一つで出来るよう自動化する事をねらいとした。さらに砕石敷均し作業もパワーショベルで行えるよう、１ストローク毎に砕石整正まで行う新施工法も開発することにした。

今回開発の対象とした管理設工事は、図－１のような作業フローからなる。



図－１ 作業フローと自動化の対象作業

今回の開発では、パワーショベルで行う測量～砕石敷均し、整正までを対象作業とし、転圧、管敷設は他の機械を用いるため、対象外とした。

(3) 開発目標

(2)より下記の項目について目標値を設けた。

表－１ 目標値

No	項目	目標値
1	施工能力の向上	現状以上
2	施工人員の省人化	４０％の減少
3	仕上げ精度の向上	±５０mm (現状±８０mm)

3. システム概要

(1) システムの特徴

本システムの概要を図－２に示す。

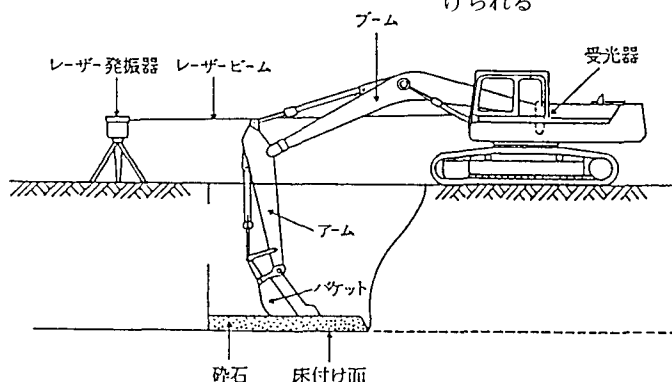
本システムの特徴は、溝の勾配に平行にレーザ光を照射し、そのレーザ光を受光して車体の高さを演算し、その結果と各センサの情報より仕上げ面からバケット刃先までの距離を演算し、その距離によりブーム、アーム、バケットを自動制御し所定の勾配に整正する。

また、１ストローク分（約３～４ｍ）掘削・整正する毎に砕石を投入し、砕石厚さを管理しながら自動整正するため、砕石敷均し・整正までパワーショベルで行える。よって、

- 1)レーザ測量システムを導入することにより、補助作業員を削減し、丁張りを排除でき、砕石敷均しもパワーショベルで行える

2)自動直線仕上げシステムにより

熟練していないオペレータでも精度良く仕上げられる



図－２ システム概要

という特徴をもつ。

(2) システム構成

本システム構成を図-3に示す。仕上げ面を指示するためのレーザ光を照射するレーザ発振器と、パワーショベル本体とに大別され、パワーショベル上には、レーザ受光器、角度センサ、操作パネル、コントローラ及び電磁比例制御弁が搭載されている。

レーザ光の位置をレーザ受光器で検出し、レーザ測量システムで車体の高さを求め、自動掘削システムに信号を送る。自動掘削システムではその情報と各種センサの情報により、所定の軌跡を描くよう各電磁比例制御弁に信号を送り、各油圧シリンダを自動で制御する。

4. 施工手順

(1) レーザ発振器セット

人孔の側方にレーザ発振器をセットし自動水平機構により水平に照射する。そこから目標勾配に平行になるよう発振器を傾斜させる。目標深さから発振器までの距離Hを測定し操作パネルよりデジタル入力する。(人孔間4.0mに1回、約2.0分)

(2) 掘削(手動)

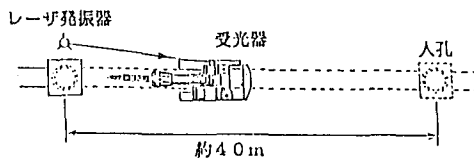
手動操作により掘削する。目標深さより100mm以内になったらアラーム音になるので、アラーム音が出るまで手動操作で掘削する。なお、操作パネル上には常に目標深さまでの距離が表示されている。

(3) 仕上げ(自動)

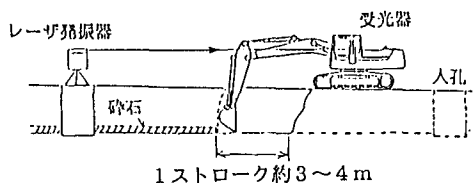
操作パネルの深さ表示を見ながら仕上げ深さまで手動操作で位置決めする。位置決めしたらスタートスイッチを押すと自動直線仕上げし離すと止まる。

(4) 碎石敷均し(手動)

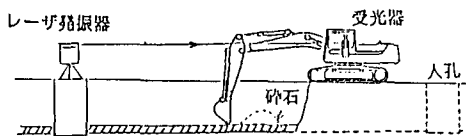
1ストローク分の碎石をまく。



a) レーザ発振器セット



b) 掘削, 整正



c) 碎石均し, 整正

図-4 施工手順

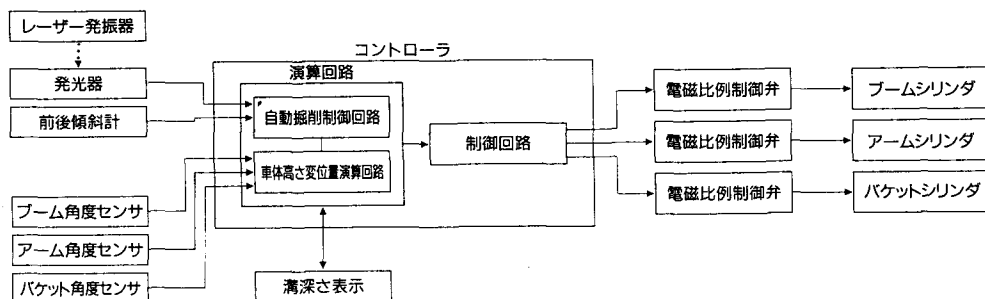


図-3 システム構成

(5)砕石均し

(3)と同じ要領で仕上げる。しかも砕石厚さ（通常100mm）も操作パネル上で確認しながら仕上げる事が出来る。

(6)車体バック

(2)～(5)で1ストローク約3～4mが仕上がる。車体を1ストローク分バックし繰り返す。

5. 実施工テスト

(1)テスト現場

テスト現場を表－2に示す。溝掘削工事が総延長で8kmの住宅造成現場である。

表－2 テスト現場

実験現場	住宅造成現場 (溝掘削工事総延長8km)
実験期間	H2.7.9～H2.10.4
稼働時間	360hr
施工条件	盛土、ローム層軟質切り土部
作業項目	測量～掘削～砕石敷均し修正

(2)実験機仕様

現状工法と新工法を比較するために、同じ大きさの従来のパワーショベルと同時に溝掘削を行い、比較した。使用したパワーショベルの仕様を表－4に示す。

表－3 パワーショベル仕様

バケット容量	0.7m ³
車両総重量	18900kg
エンジン出力	125PS

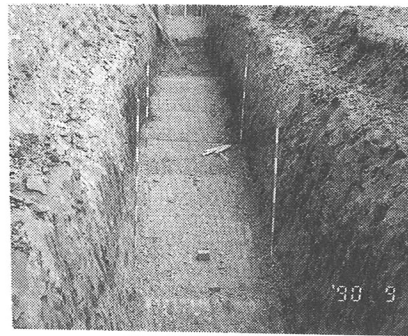
(3)テスト状況

図－5にテスト風景を、そして図－6に実際の仕上がり具合を示す。

図－7には、新工法と従来工法の比較を示す。



図－5 テスト風景



図－6 砕石修正後の仕上がり具合

(4)テスト結果

従来方法とレーザ自動掘削システムを用いた新施工方法との比較を表－5に示す。

仕上がり精度としては、本システムでは±20mm以下であり、とくに硬い地質ほど効果が大きかった。また、施工能力も丁張りが不要になり、砕石均しもパワーショベルで出来るようになったため、1.6倍に向上した。また掘削補助員、砕石均しの作業を必要としなくなり、大幅な省人化が図れた。

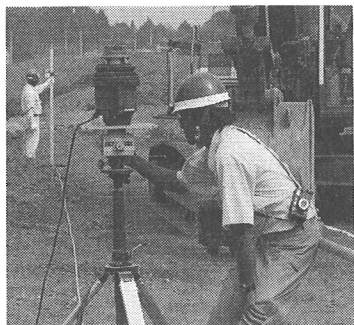
表－4 評価結果

	従来施工	新施工法
仕上がり精度	平均±80mm	平均±20mm
施工能力（深さ2m）	日当り40m	日当り65m
省人化	7人日	3人日

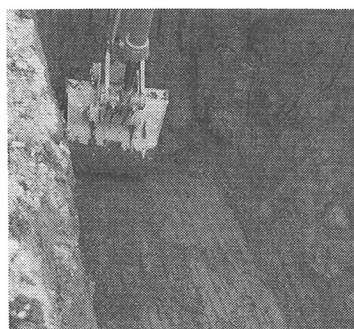
また、オペレータの評価は、次の通りである。

- a)自分で掘削深さをパネル上で確認できるため、掘削補助員が不要であり、掘削補助員とのやりとりもなく早く掘削できる。
- b)仕上がり時、精度を確認しながら作業できるため、やり直しによる時間ロスが無い。
- c)従来仕上がりには非常に気を使っていたが、自動で出来るため、楽である。

本システム



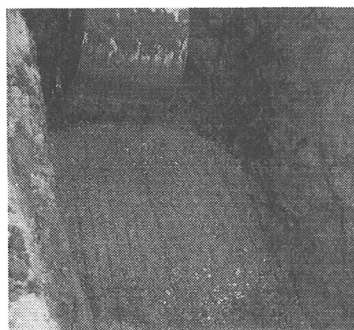
a) レーザセット



b) 掘削、整正

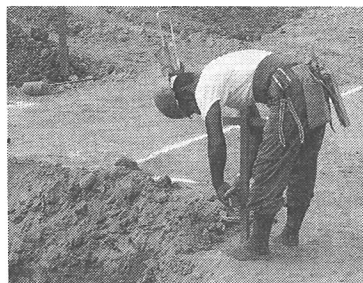


c) 碎石投入、均し



d) 碎石整正

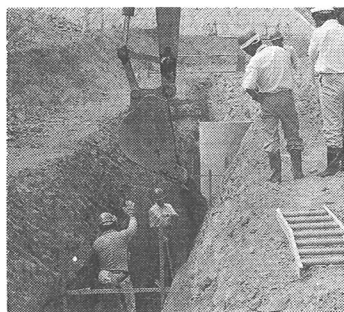
従来工法



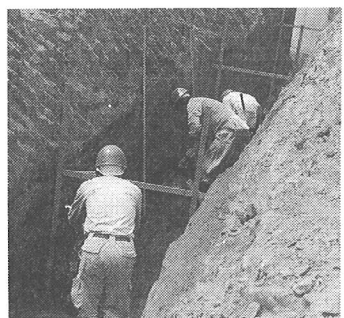
a') 測量



b') 掘削、整正



c') 碎石投入



d') 碎石均し、
整正

図-7 本システムと従来工法の比較

6. 結論

今回、開発・実用化した「レーザ光線を用いた自動掘削システム」を管埋設工事に適用した結果、以下の効果を確認した。

- (1)掘削仕上げの自動化により、掘削の過不足がない。このため、床付け面を傷めず、敷均し材料も所定量で済む。また熟練したオペレータでなくとも容易に精度高く施工できる。
- (2)従来、掘削から碎石の敷均し、仕上げまでの肯定ではオペレータや掘削補助員も含め7人もの人員を必要としていたが、本システムで行うとオペレータ1人とレーザ発振器のセット等を行う補助作業員2人の計3人で済み、大幅な省人化が図れる。
- (3)自動掘削・自動仕上げを実現し、さらに掘削のための丁張り作業や深度チェックも不要となり、作業効率が向上した。
- (4)本システムでは、パワーショベル近くに作業員が不要になり、安全性が向上した。

7. おわりに

実用面ではレーザ発振器のセット時間の短縮、受光器長さの延長などの課題もあり、今後さらに使い易いシステムにしていく必要がある。また、管埋設工事の他にも広域の平面の整形や法面の切出し整形等への幅広い用途に展開すべく、テストを実施する予定である。

参考文献

- 1) 菊池雄一他；レーザを用いた自動掘削システム
土木学会第46回年次学術講演会
P262～263 平成3年9月
- 2) 村松敏光他；建設機械の自動化に関する一考察
“土工機械の自動化への試み” 第1回建設ロボットシンポジウム 平成2年6月
- 3) 菊池雄一他；レーザ光線を用いた自動掘削システム第2回建設ロボットシンポジウム 平成3年7月