

## 27. 情報化施工に関する要素技術の実証実験と適用性

建設省関東技術事務所： 星野 剛, 小櫃 基住  
建設機械化研究所：\*藤島 崇

### 1. はじめに

現在、建設分野では、近年著しい進歩が見られる電子計測機器を利用してフィールドデータをリアルタイムに計測・蓄積し、施工管理に活用したり、あるいは設計データ・フィールドデータを建設機械に組込むことにより自動的に施工を行うなど、各種の情報化技術を活用した情報化施工が行われている。

ここでいう情報化施工とは、調査・設計、積算・発注、施工、維持管理から成る建設工事の一連の工程の中から施工に注目し、「工事の施工にあたり各種の情報化技術を活用し、関連施工間のデータの共有、施工と施工管理を一体的に行う等、施工に関する情報の効率的利用・各作業間の連携を図ることにより、安全性、品質の向上、省力化、環境保全・コストを含めた施工の合理化を目指す新しい建設生産システム」である。

建設省では、このような情報化施工の普及促進を支援するため、情報化施工に必要な要素技術の調査・分析や情報化施工を考慮した施工管理基準の検討を行うとともに、情報化施工に対応した建設機械を確実に使いこなすオペレータやマネージメントする人材の育成方策を検討している。

本報では、情報化施工システムを構築する要素技術の一つである「自動追尾技術とマシンコントロール技術を組合せた施工システム」の実証実験結果と当該技術の情報化施工への適用性について述べる。

### 2. システムの概要

自動追尾技術とマシンコントロール技術による施工システムとして、実証実験では3次元マシンコントロールシステム（以下、3次元MCシステムと呼ぶ）を選定した。本システムは、設計データを入力したパソコンと直結したマシンコントロール用自動追尾トータルステーション（以下、MC用自動追尾TSと呼ぶ）とレーザーセンサ、重機制御システムおよびマシンコントロール用ソフトウェアを組合せて、モータグレーダ、ブルドーザ、アスファルトフィニッシャー等の重機制御を行うものであり、施工の進捗状況を確認しながら施工することができる。

今回は、対象機械としてブルドーザを用いた。本システムの概要を図2.1、ブルドーザ制御システムの構成を図2.2に示す。本システムを起

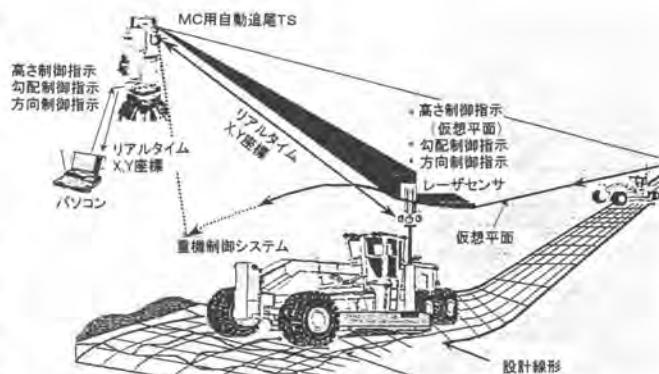


図2.1 3次元マシンコントロールシステム概要

動かさせるためには、まずブルドーザ本体に図2.2に示す制御装置を装着し、次にパソコンに接続されているMC用自動追尾TSを既知点にセッティングする。後は予めパソコンに設計データを入力しておくことによって、丁張り無しで施工ができると同時に出来形管理も行える。

図2.1で示すMC用自動追尾TSはレーザセンサを追尾し、X、Y方向の位置データを測定してパソコンに送り込む。次に、パソコンは入力されている設計データ(X、Yおよび

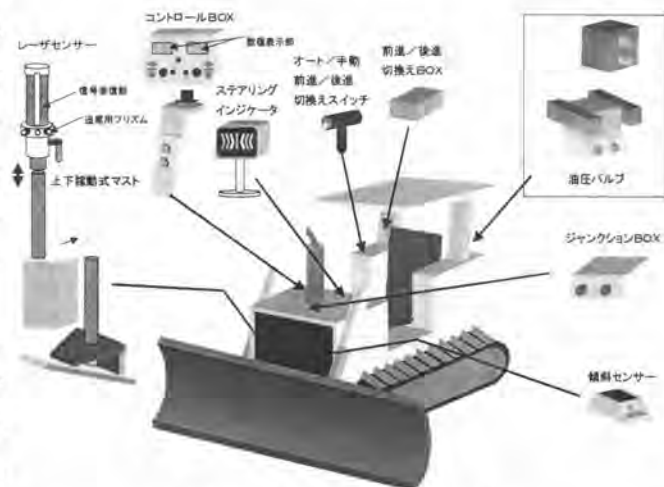


図2.2 ブルドーザ制御システム

Z)をMC用自動追尾TSを介してレーザセンサに送り、重機のコントロールボックスへ伝達する。送られてきた高さデータは、レーザセンサによって自動的にブレードの上下動作や勾配等の制御を行い、位置データはオペレータに分かりやすいように表示され、オペレータはそれによってステアリングレバーを操作する。また、全てのデータがデジタルなので、次施工へのデータの引き渡しも可能となる。

本システムと従来の自動追尾TSの大きな違いとしては、従来の自動追尾TSを用いた重機制御では3次元位置をTS側で認識した後、無線などを介して重機側へデータを転送している為、データの転送に時間がかかっていたが、3次元MCシステムではMC用自動追尾TSで測定した位置データより、その座標における高さをレーザビームで仮想的に設定し、移動局(重機)側に指示する。高さ方向のデータを一方通行(レーザビームは50Hzで点灯、勾配データは12.5Hzで送信、X-Y座標は10Hzで計測)とすることで、データ通信時間を短縮し、高速での作業にも対応が可能である。

### 3. 実験目的

実証実験での主な確認項目は次の①～⑥である。これらを検証することにより、現状の「自動追尾技術とマシンコントロール技術を組合せた施工システム」の技術レベルを把握し、一連の工事工程の中で効率的な施工を目指す情報化施工システム検討の基礎資料とするものである。

- ① 丁張りの自動化(丁張り無しでの施工性)
- ② 施工と施工管理(出来形管理)の一体化
- ③ 自動制御建設機械の安全性、操作性
- ④ 従来施工との施工精度や作業能力の比較
- ⑤ 重機追尾性能
- ⑥ 情報化施工への適用性

### 4. 実験概要

建設省 関東地方建設局 首都国道工事事務所管内で工事中の藤代バイパスの盛土現場において、次の

規模の実験ヤードを造成し、ブルドーザ コマツD20Pを使用して敷き均し作業を行い、3次元MCシステムの施工性能（施工精度、施工能力、重機制御性能）と重機追尾性能を確認した。

実験ヤード：幅6m×距離40m（計測区間は幅5m×距離30m）

（1）施工性能確認実験の条件

実験1：施工精度と施工能力の確認実験

実験ヤード上に約50m<sup>3</sup>の土砂を6個所に仮置きし、これを厚さ20cmとなるように敷均した。実験用の設計線形は図4.1のとおりとし、実験は丁張り掛けした従来施工による場合と、丁張りが不要な3次元MCシステムについて実施し、施工精度や施工能力等を比較した。ブルドーザの作業速度は、実作業における通常の作業速度である2.5km/hとした。

なお、従来施工では実験ヤードの両側に5m間隔に丁張り（トンボ）を掛けた

実験2：重機制御性能の確認実験

実験用の設計線形は図4.2に示すような非常に複雑なものとし、このように複雑な線形における重機制御性能を確認した。ブルドーザの作業速度は、次の2条件である。

- ・ 2.5 km/h（通常速度施工）
- ・ 3.5 km/h（高速施工）

（2）重機追尾性能確認実験の条件

レーザ光が遮断された場合の追尾の可否と作業中の最大追尾距離を確認した。レーザ光遮断の実験は、遮断時間を瞬時～3秒とし、追尾距離を50m～200mまで変化させた。最大追尾距離の実験ではブルドーザを移動させ、追尾限界距離を確認した。

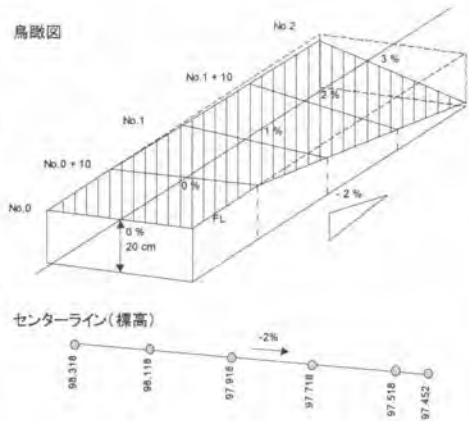


図4.1 実験1の線形（縦断勾配-2%、横断勾配0～3%）

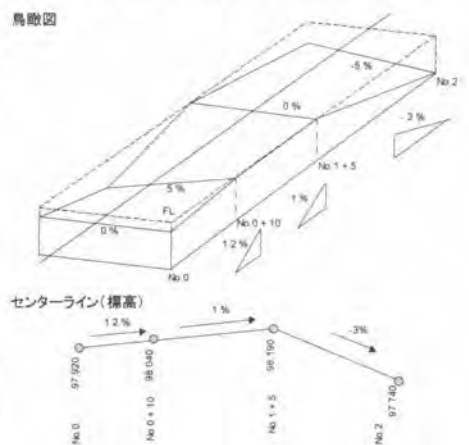


図4.2 実験2の線形（縦断勾配1%～3%、横断勾配5%～-5%）



写真一 1 実証実験時の写真

## 5. 実験結果

### (1) 3次元MCシステムの施工性能

#### 1) 施工精度と作業能力

前掲図4.1の設計線形において実施した実験1のうち、施工精度に関する結果を図5.1に示す。数値で示すと、設計値に対して3次元MCシステムが約±約10mm、従来施工が約±約40mmの精度であった。なお、従来施工では、道路土工の出来形管理基準である±約50mmの精度を確保するための手段として、作業途中で高さ確認のための水系張りが必要であった。

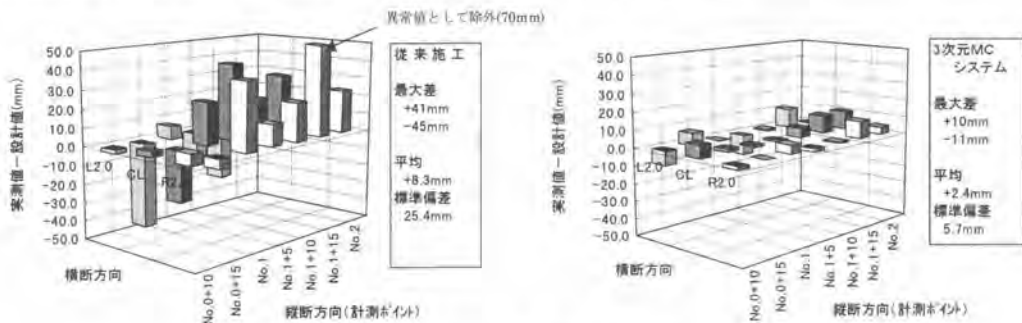


図5.1 施工精度

作業能力に関する実験結果は表5.1のとおりであり、純作業能力では、従来施工に比べて3次元MCシステムの方がやや劣る結果となった。これは、まだオペレータが3次元MCシステムを完全に習熟しきっていなかったことと、システムの機能を発揮させるために操作するスイッチのON・OFFのロスタイムが影響していると思われる。

一方、丁張り間に張った水系による高さ確認作業時間を含めた実作業能力は、従来施工の3.5m<sup>3</sup>/hrに対して、3次元MCシステムは約1.8倍の6.5m<sup>3</sup>/hrとなった。なお、表5.1で併記した施工精度は上記の施工精度を転記したものである。

表5.1 作業能力

項目		3次元MCシステム	従来施工
敷均し	①敷均し土量 (m <sup>3</sup> )	50m <sup>3</sup>	
	②純作業時間		39
	③水系による高さ確認作業時間	0	47
	④丁張り掛け時間	0	25
	⑤計	46	111
作業能力	⑥純作業能力 (m <sup>3</sup> /h) ①/②×60	65<0.8>	77<1>
	⑦実作業能力 (m <sup>3</sup> /h) ①/(②+③)×60	65<1.8>	35<1>
施工精度(設計に対して) (mm)		約±10mm	約±40mm

- 表中③の水系による高さ確認作業時間とは、実験ヤードの両側に設置した丁張り間に水系を張る時間と、作業中のオペレータが水系を目安に敷均し面の凹凸を確認する時間である。
- 実作業能力の計算には、④の丁張り掛け時間は含んでいない。
- 作業終了は、オペレータの判断に任せた。
- 表中<>は、従来施工の作業能力を1.0とした場合の3次元MCシステムの作業能力比率を示す。
- ブルドーザの作業速度は、通常作業時の2.5km/hである。

## 2) 重機制御性能

前掲図4.2に示す非常に複雑な線形を設定し、ブルドーザによる敷均し作業後の施工精度で3次元MCシステムの重機制御性能を確認した。その結果は図5.2のとおりであり、作業速度の影響は殆どなく、通常速度施工、高速施工とも設計値に対する差は約±約30mmであった。また、この施工精度は道路土工の施工管理基準である±約50mmを十分満足している。

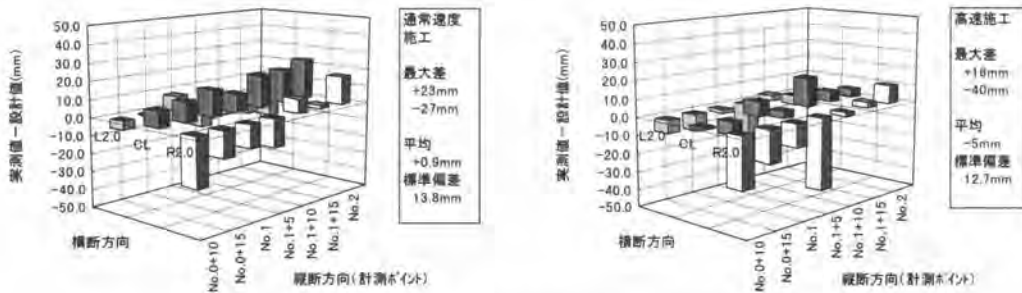


図5.2 重機制御性能実験での施工精度

### (2) 3次元MCシステムの重機追尾性能

作業中、障害物によってレーザ光が遮断されると重機追尾が不能となる。実験の結果、追尾距離50mでは瞬時、追尾距離200mでは約1秒の遮断で追尾不能となるが、いずれも数秒間のサーチによって再捕捉する。

一方、最大追尾距離は仕様値の300mに対して、実験では約400mであった。この追尾距離は天候や周辺環境（雨、霧、埃など）によって変化する。実験時の天候は晴れであった。

## 6. 考察

### ① 丁張りの自動化

実証実験で得られた施工精度と制御性能から、3次元MCシステムは丁張り無しでの施工が可能である。なお、オペレータは運転席において設計高さ±10cmの範囲で施工高さを自由に設定できる。

### ② 施工と施工管理（出来形管理）の一体化

本システムは、重機の軌跡管理に関するデータはデジタルデータとして出力されることや、施工精度にも優れ、また、3次元の位置データがオペレータに分かりやすく表示されるので、施工と施工管理を同時に行える情報化施工技術と言える。しかし、現状では次のような問題があり、パソコン内部に記録するデータをそのまま最終の検査データとして利用するのは難しく、日々の自主管理データとして利用することになる。

- ・高さ偏差データは、MC用自動追尾TSがセンサーの上下の動きをモニターしたものであり、ブレードが設計通り制御されたとしても、実際に土砂等が切盛されたかどうかはわからない。
- ・横断勾配値は、設計データから計算され重機側に光通信する値であり、実際の重機のブレードの傾斜を反映してはいない。

・現行の出来形管理基準は土工、舗装とも締固め後の値となっている

### ③ 自動制御建設機械の安全性、操作性

自動制御を行うのがブレードの上下・傾斜のみであり、前後進やステアリングは手動操作である。また、自動モードでも手動の油圧ラインが生きていることから、強い手動操作を行うと手動操作にしたがった動作となり通常の手動操作と大きな差異はないので、安全面での問題はない。

### ④ 従来施工との施工精度や作業能力の比較

ブルドーザ作業での従来施工の施工精度は約±40mmであった。これに対して、3次元MCシステムは約±10mmの高精度施工が可能であり、土工以外では舗装工における路盤の出来形管理基準±25～±40mmにも十分対応できる。ただし、締固めによる沈下を考慮した施工が必要となる。

一方、3次元MCシステムの実作業能力は従来施工の約1.5倍近い結果となった。しかし、実工事の道路線形はもっと緩曲線であることや、土工の途中段階では実験のような仕上り面確認作業を頻繁に実施することはない。したがって、一般的な土工での作業能力は従来施工と大差ないと思われる。

ただし、施工途中での高さ確認が不要（日々の丁張り掛けが不要）なことや精度確保が容易であることに起因して作業効率が上がり、従来施工よりも作業能力が向上することは十分期待できる。特に土工基面の仕上げや路盤工での作業能力向上が予想される。

### ⑤ 重機追尾性能

短時間のレーザ光遮断によって追尾不能となるが、数秒間のサーチで再捕捉する。また、再捕捉が不可能となるような遮断が生じた場合には、指定地点に重機が戻ることによって追尾を再開するシステムとなっている。したがって、レーザ光遮断は施工上の大きな問題とはならない。

### ⑥ 情報化施工への適用性

今回の実験で得られた施工精度や作業能力およびシステムの性能などから、ブルドーザ以外にモータグレーダやアスファルトフィニッシャーへの適用は十分可能と思われる。ただし、アスファルトフィニッシャーについては、基層、表層の出来形管理基準が非常に厳しく±数mmと規定されているので、適用にあたっては今後の検証が必要である。

施工データはデジタルデータとして蓄積されるので、次施工へのデータの引渡しも可能であり、施工に関する情報の効率的利用、各作業間のデータの共有などによる合理化を目指す情報化施工への適用性は高いと言える。

## 7. あとがき

模擬的な実証実験ではあったが「自動追尾技術とマシンコントロール技術を組み合わせた施工システム」を用いることによって、施工と施工管理を同時に行う効率的な作業の実施と施工精度および作業能力の向上などが期待でき、情報化施工への適用性も高いことが実証できた。しかし、実工事への適用、普及にあたっては、情報化技術に習熟したオペレータの育成や情報化施工に対応した施工管理基準の検討、システムの低コスト化等が課題としてあげられる。また、本システムの効果をより効率よく発揮するための工事規模などについても、今後の検討が必要と考えられる。

最後に、実証実験にあたって協力いただいた関係者各位に対し、深く感謝する次第である。