

27. 無人測量システムの開発

㈱フジタ：*浅沼 廉樹、三村 洋一

【概要】

雲仙普賢岳における災害復旧工事において無人化施工は、試験フィールド工事として採用されて以来、除石や砂防ダムの工事を経て改良・発展を行ってきた。しかし、無人化施工が発展している今日でも、測量作業や RCC コンクリート打設後の養生や清掃等の作業は、二次災害の恐れのある危険区域内で未だ有人で行われているのが現状であった。この無人化施工区域での有人作業は、開始当初は特例的に行われていたが、技術が進歩している今日、早急に解決しなければならない課題となっていた。そこで株式会社フジタは、この有人作業の中でも最も作業時間の長い、測量作業を無人で行う”無人測量システム”を開発、実証実験を経て、無人化施工ヤードへの導入を行なった。本論文では、雲仙普賢岳における災害復旧工事において導入された無人測量システムの導入結果を述べるものである。

1. システム概要

1-1 開発経緯

無人化施工における有人作業には、測量や RCC コンクリート打設後の散水養生及び清掃等があり、この作業の中でも一番作業時間を要するものに測量作業が挙げられる。また、これらの作業は、無人化施工と並行して作業が出来ない事から、安全性だけでなくサイクルタイムにも大きな影響を与えていた。

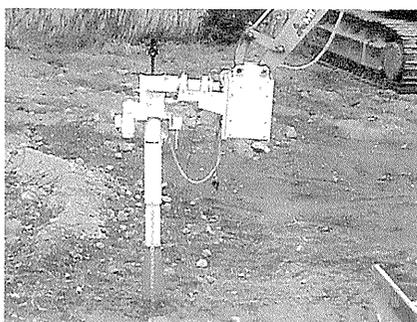


写真 1-1 ポイントマーキング機構

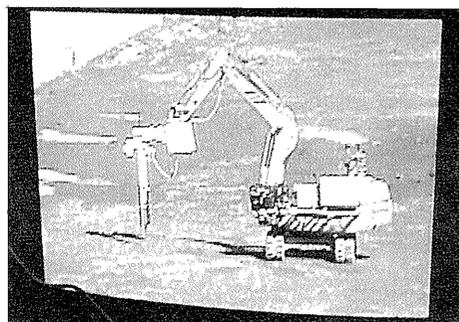


写真 1-2 無人測量システム 1号機稼動状況

無人測量システムは、この有人測量作業の中で最も頻度の多い土砂型枠のライン出し測量と、出来形測量の2つの作業を無人で行うべく、開発したシステムである。システムの導入実績としては、国土交通省九州地方整備局 雲仙復興工事事務所 水無川 2号砂防堰堤工事において 1

号機による実証実験を実施し（写真 1-1, 1-2 参照）、その後、測量精度の向上や測量時間の短縮を計るため、微小位置決め操作が容易に出来る XY テーブル機構（写真 1-3 参照）を搭載した 2 号機を新たに開発（写真 1-4 参照）。赤松谷川 2 号砂防ダム工事においてシステムの実証と現場運用を行った。

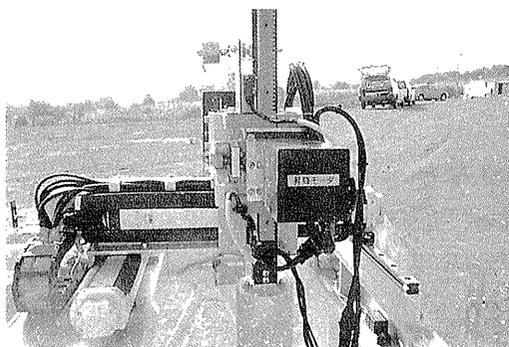


写真 1-3 XY テーブル機構



写真 1-4 無人測量システム 2 号機

1-2 システム概要

無人測量システムは、災害復旧工事における危険区域での有人測量作業を無人で行う為に、開発されたシステムであり、今回は、無人化施工における砂防ダム工事での RCC コンクリート上の測点の位置出し、出来形高さの計測の無人化を目的として開発を行った。

本システムは、①マーキング機構搭載重機、②トータルステーションシステム、③制御ユニット、3つの部分で構成されている。図 1-1 にシステムの構成図を示す。

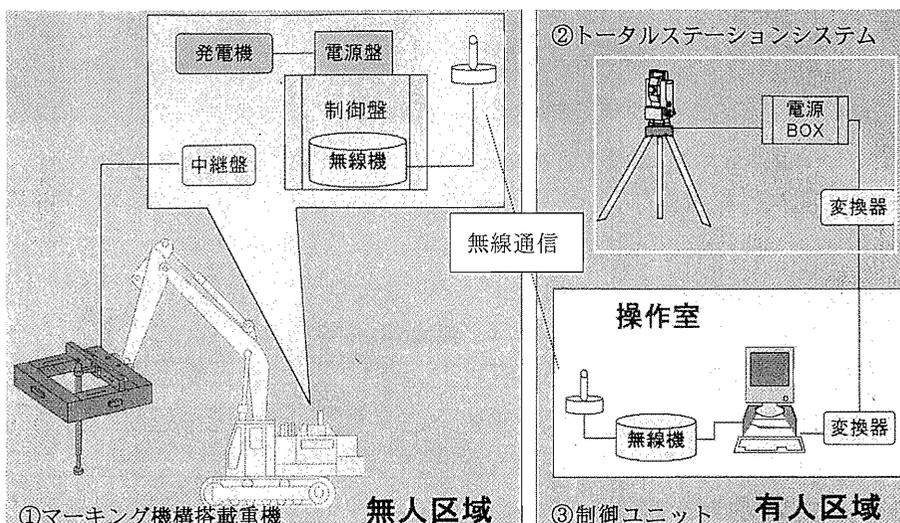


図 1-1 無人測量システム構成図

1) マーキング機構搭載重機

マーキング機構搭載重機は、無人バックホウのアタッチメント部分にマーキング機構を取り付けた重機であり、その制御盤や発電機は重機後方に搭載されている。1号機では、マーキング機構単体で現場実証を行ったが、2号機では、測量精度の向上と測量時間の短縮を図るため、マーキング機構に微小位置決め操作が可能なXYテーブル機構が付加されている。

2) トータルステーションシステム

トータルステーションシステムは、マーキング機構に取付けられたプリズムを自動追尾する事で目標マーキング点への誘導を行うシステムである。本システムは、無線による測定命令とデータ取得機能により遠隔操作が可能であり、また、重機旋回時にアーム等でプリズムが隠れた場合でも自動でプリズムのサーチを行う為、危険な環境下での無人測量が可能となっている。

3) 制御ユニット

制御ユニットは、トータルステーションシステムからの測量データをパソコン画面上に表示させ、目標マーキング点への誘導を行う。また、マーキング点誘導後は、微小位置決めデータの計算を行い、マーキング機構制御盤に制御データを送信し、マーキング制御を行う。

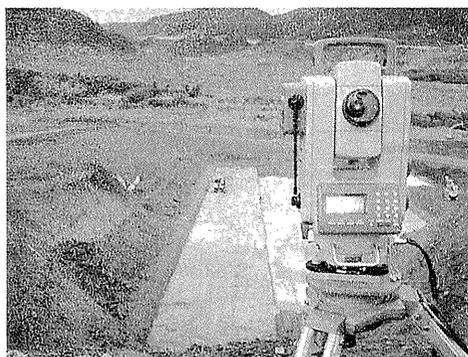


写真1-5 トータルステーションシステム

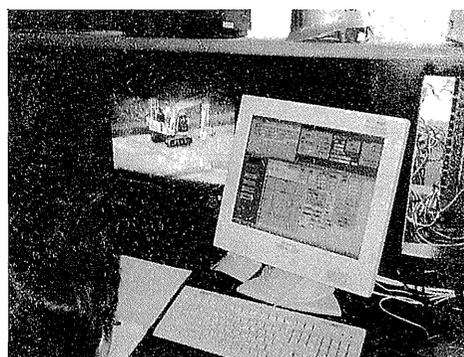


写真1-6 制御ユニット

1-3 機械仕様

本システムの機械仕様を表1-1に示す

表1-1 機械仕様一覧

ユニット名	項目	仕様
マーキング機構搭載重機 (本体重量 100kg)	無人バックホウ	0.4m ³ クラス以上
	マーキング機構	XY移動範囲 200(mm)×200(mm)
	制御盤	縦*横*高さ=600×250×700(mm) 40(kg)
	データ転送装置	2.4G SS無線機
	発電機	2KVA
トータルステーションシステム	測量機	2秒読み
	バックサイト	プリズム3型使用
制御ユニット	パソコン	タワー型パソコン
	データ転送装置	2.4G SS無線機
	モニタ	

2. 施工状況

本システムは、平成 11 年 11 月に水無川 2 号砂防ダム工事に 1 号機を導入を開始、現場での実証実験を行った結果、以下の問題点が判明した。

- ・ 目標点への微小の位置合わせの操作が難しく、マーキング精度が安定しない。
- ・ 目標点への誘導が難しく、オペレータに負担が生じる。

これらの原因としては、目標マーキング点への移動をブームの油圧制御によって行っている事が原因として考えられる。この解決策として、XY テーブル機構を付加した無人測量システム 2 号機を開発。平成 13 年 12 月に水無赤松谷川 2 号砂防ダム工事に導入を開始、測量精度や施工時間の確認の為、有人による測量との誤差の再検証を行った。

2-1 施工方法

マーキング精度の検証方法としては、事前に有人測量にて、ダム堤体に十字のマーキングを施しておき、同様に無人測量システムにてマーキングした結果と、有人による十字マーキングとの誤差の検証を行う。以下に試験施工の手順及び施工結果を示す。

1) マーキング位置の設定

河川センターをNo.0とし、20m間隔で右岸側にRNo.1、左岸側にLNo.1、LNo.2とする4断面を管理断面に設定する。(図2-1)それぞれの管理断面上において、5箇所マーキングを行う。図2-2に断面上のマーキング位置を示す。各マーキング点は、H1、H3については次リフト施工時の土砂型枠ライン用に、Hk、H2、Hjについては出来形管理用として用いられる。

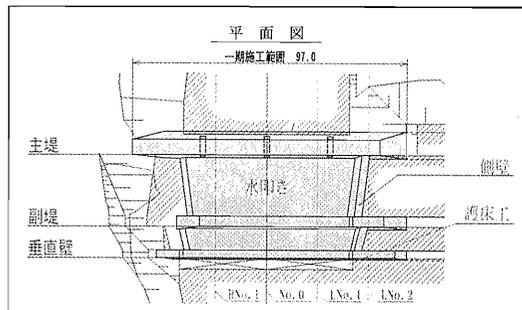


図 2 - 1 堤体平面図

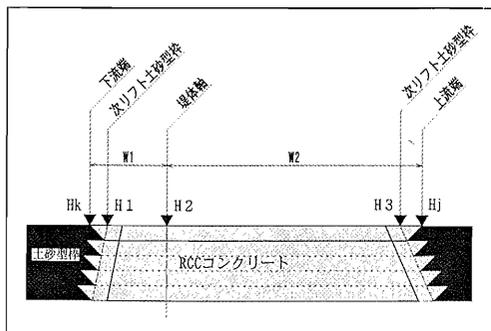


図 2 - 2 マーキング位置図

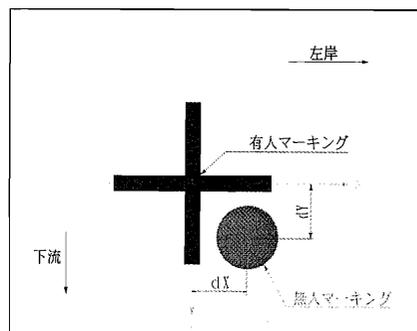


図 2 - 3 誤差成分と座標系

2) マーキング点の計測方法

マーキング誤差の計測方法としては、予めマーキング目標位置（設計位置）に誤差計測用の十字マークを有人でマークしておき、無人測量マーキング完了後にX成分、Y成分、Z成分（高さ）の誤差を計測する。図2-3に誤差成分と座標系（堤体軸左岸方向を+X方向、下流方向を+Y方向とする）を示す。

マーキング時間の計測は、操作室に設置した制御用ユニットにてカウントする。マーキング時には管理断面間の移動時間を含むこととし、システムの立ち上げ時間は含まないこととした。

2-2 施工結果

今回の試験施工では、合計8リフトでのマーキング施工を実施し、総測点数 225 点のマーキング誤差計測を実施した。

1) XY軸（平面）誤差

予め、有人にてマーキングした十字マークの中心点を原点O(0,0)とし、無人によるマーキング点の誤差成分(dX、dY)を、図2-4に平面内誤差分布図に示す。図中の半径20mmの円が無人測量システム2号機の目標精度範囲である。図の結果より、マーキング点の平面誤差は、ほぼ20mm以内の範囲に入っている事が確認された。

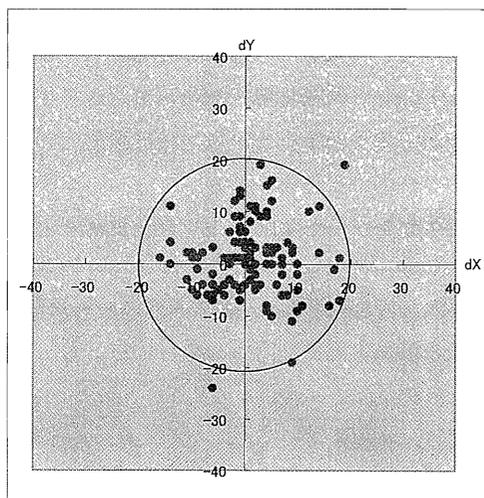


図2-4 平面内誤差分布図

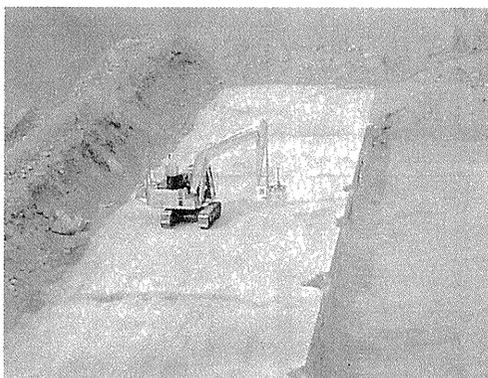


写真2-1 試験施工状況

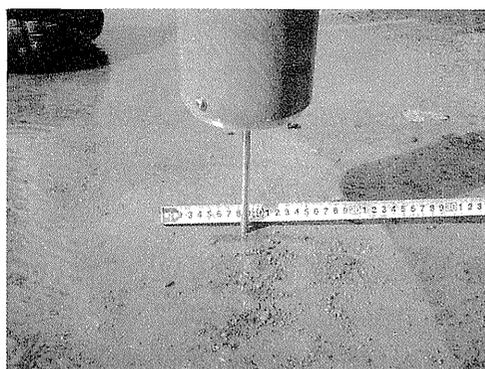


写真2-2 マーキング点計測状況

2) Z軸(高さ)誤差

次に、マーキング高さの誤差度数分布図を図2-5に示す。この結果より、高さの誤差平均値は-1.64、標準偏差は8.13であった。これは、平面内誤差と比較すると計測値にばらつきが大きく、目標値の±20mm以内から外れる割合が高く出ていた。この原因としては、バックサイトの基準高さを計測する際のばらつきが影響していると考えられる。この為、測定箇所付近に確認用ダボを設置し、高さの補正を行って誤差のばらつきを小さくした。

この結果、測量精度についてはおおむね良好な結果が得られ、目標とする誤差±20mm以内での計測が可能であることが確認できた。

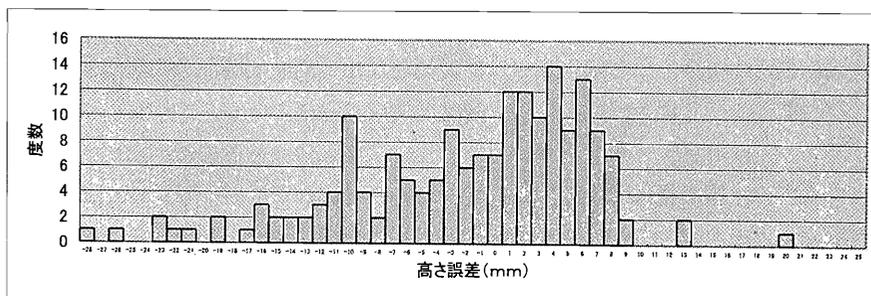


図2-5 高さ誤差度数分布図

3) サイクルタイム

施工時間については、制御ユニット内のデータを解析した結果、1箇所のマーキング当たり平均で4分23秒、管理断面当たり平均で23分40秒であった。これにより1箇所のマーキングに要する時間は、目標の5分以内で可能である事が確認できた。

4) まとめ

今回の試験施工により、XYテーブル機構を付加した無人測量システム2号機では、1号機に比べて、測量精度の向上と施工スピードの向上を図る事ができた。以下に、1号機と2号機での1測点当たりの測量時間とマーキング精度を示す。

表2-1 施工結果

	1号機	2号機	備考
測量時間	7分43秒	4分23秒	1測点当り
マーキング精度	±50mm	±20mm	

3. 終わりに

無人測量システムは微調整機能の開発により、測量精度及び施工スピードの向上を図る事が出来た。これにより、RCC出来形管理や立会検査を遠隔で行う事が出来、これまで有人で行っていた作業を無人で行う事が可能となった。今後は、本システムを更に改良し、その他の測量項目にも展開していく所存である。