

広域測量バギーシステム

—中部新国際空港の造成工事—

上用 敏弘・増田 稔・沼尻 義春

広域測量バギーシステムは、造成や埋立て現場など広大なエリアにおいて迅速な測量が要求される環境において、RTK-GPSを始めとした各種測量機器を走破性、機動力に優れたバギーに搭載することで、広範囲のエリアを迅速かつ高密度に測量可能なシステムである。本報文ではその機能の概要と、性能検証結果ならびに導入実績について報告する。

キーワード：GPS、広域測量、バギー、情報化施工、造成工事、埋立て工事

1. はじめに

近年のGPSの普及はめざましく、カーナビゲーションや携帯電話などにも取入れられ、我々にとって非常に身近に感じられる存在となっている。このことは建設業界においても同様で、GPSは陸上・海上を問わず急速に浸透している。

そのような状況下、工事現場におけるGPSによる測量は、測量員がGPSシステム一式とともに徒歩で移動することが一般的であるが、近年のGPSシステムは、小型・軽量化が進んでいるものの、その重量は10～20kg程度とまだまだ重く、広範囲な測量業務においては肉体的負担を伴うのが実情である。

一方、大規模な造成工事や埋立て工事においては、情報化、合理化、効率化施工が急務となっており、施工管理には、より高密度、高精度な測量成果が求められている。

今回紹介する「広域測量バギーシステム」は、GPSと走破性、機動性に優れたバギーを組合せ、大規模な造成工事や埋立て工事での測量作業を効率的に行うことを目的として考案、実用化したシステムであり、本システムの採用により、従来、労力や時間のかかった広域測量～解析業務を効率的かつ正確に行うことができ、土工全体の施工管理時間の大幅な短縮が可能となる。

本報文では、広域測量バギーシステムの概要と性能検証結果ならびに運用状況について報告する。

2. システムの概要

(1) 概要

「広域測量バギーシステム」は、造成や埋立て現場など、測量機器を携えて移動することに労力がかかる環境下において、走破性、機動力ならびに搬送能力を有するバギー（ATV：All Terrain Vehicle）に、RTK-GPSなどの各種センサならびに、パソコンを搭載することで、広範囲なエリアを迅速かつ高密度に測量可能なシステムである。

GPSにより得られた情報は、バギー車の姿勢変化に応じて適時補正され、バギー車に搭載した専用パソコンにリアルタイムで表示（距離、面積、高さ）される。

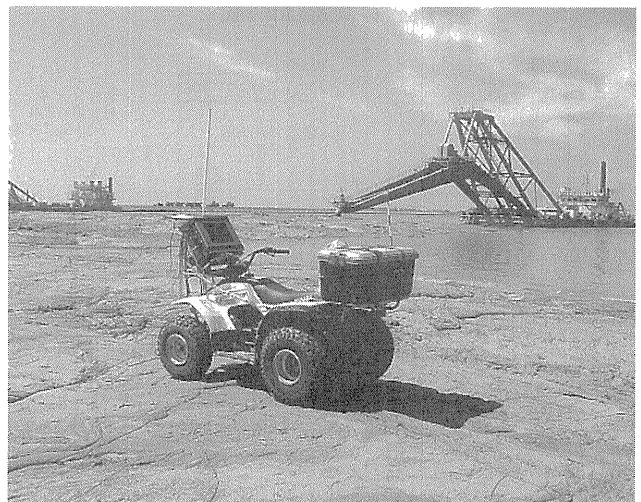


写真-1 広域測量バギーシステム

広域測量バギーシステムの外観を写真-1に示す。

(2) システムの構成

本システムは、RTK-GPS、超音波距離計、傾斜計からなる測量装置、測量情報を表示するためのパソコンおよび、バギー車で構成されている。

本システムの構成を図-1、システムの仕様を表-1、バギー車の仕様を表-2に示す。

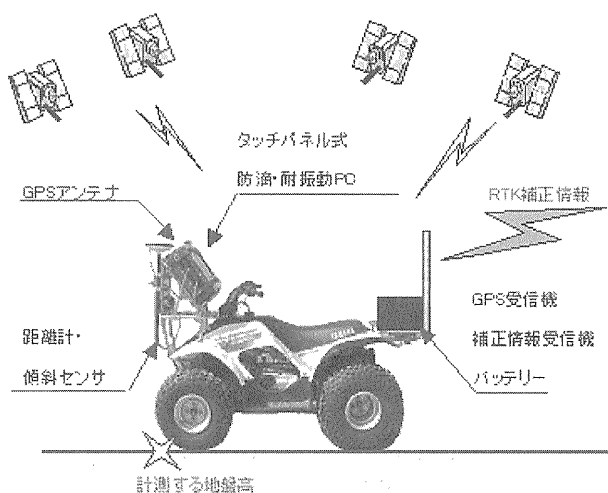


図-1 バギーシステム構成図

表-1 システムの主な機器仕様

機器名	型式・仕様
RTK-GPS	20 Hz 出力, RTCM 入力
補正情報受信機	GS-1401 A (GPS 協議会対応)
X-Y 傾斜計	測定範囲±30°, 分離能 0.5°
超音波距離系	検出範囲 20~70 cm, 分離能 1 mm
専用 PC ユニット	タッチパネル, 防振・防塵・防滴仕様
DC-DC コンバータ	DC 12 V/DC 12 V, ノイズフィルタ

表-2 バギー車の主な仕様

メーカー	YAMAHA BREEZE
サイズ	1640×965×980 mm
重量	135 kg
エンジン	空冷, 4 ストローク SOHC 単気筒 124 mL
その他	セル始動
	V ベルト式無段変速
	燃料タンク容量 7.0 L

(3) GPS 情報の補正方法

本システムは、広範囲かつ路面状態の良くない埋立て・造成現場での測量を迅速に行うことを目的としている。このため、バギーが走行する路面は平坦部に限らず、斜路部、凹凸部など様々な路面状況が想定され、バギーの姿勢変化にともない GPS アンテナの角度、

地面からの距離に変化が生じ、測量値の誤差要因となる。

そこで本システムでは、GPSに加えて、路面の不陸に伴う車両の姿勢変化を検知するための超音波距離計、傾斜計を装備し、車両の姿勢変化に伴う計測誤差を補正する構造となっている(図-2)。

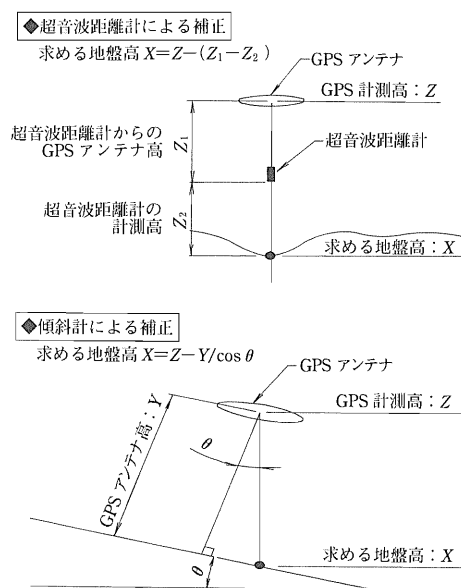


図-2 車両姿勢変化に伴う補正概念図

(4) データ処理方法

本システムでは測量エリアをメッシュで分割(分割サイズは任意に設定可能)し、メッシュ単位で計測値を記録する手法を採用している。GPSの計測周波数が20 Hzの場合には、1秒間に20回の計測が行われることとなるが、どの計測データをメッシュのどの位置に記録するかが重要となる。

本システムによるデータ処理方法には、測量状況に応じて以下の4方式から選択することが可能である。

(a) Latest data 方式

メッシュ内で最後に計測された計測値を、メッシュ内の中心座標(X, Y)の地盤高として記録する。

(b) Median data 方式

メッシュ内の中心近傍の座標(X, Y)に最も近いデータを地盤高として記録する。

(c) Average data 方式

メッシュ内で計測された全計測値を平均し、メッシュ内の中心座標(X, Y)の地盤高として記録する。

(d) Max・Min data 方式

メッシュ内で計測された計測値のうち、最大値または最小値をメッシュ内の中心座標(X, Y)の地盤高として記録する。

記録方法によって生じる誤差の例を下記に示す。図-3は、Latest data方式で斜面を登降坂した場合の計測値の記録方法を示したものである。図より、登坂時であれば、マトリクスの中の地盤高には計測点(5)の地盤高 Z_5 が記録され、逆に降坂時であれば、地盤高 Z_2 が記録されることとなる。

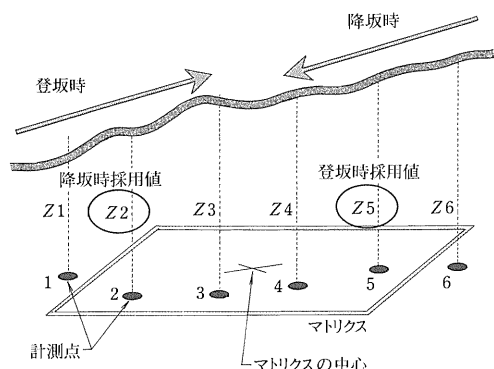


図-3 採用される計測値の概念図

このため、測量方向の違いによって同一メッシュ内の地盤高さには、 $(Z_5 - Z_2)$ 分のずれが生じることとなる。したがって、斜路部での測量では、測量方向を一方に定めないと毎回大きく異なった計測値を記録することになる。

このように、測量地盤の状況、測量方向などにより、データの記録方式を選択することが重要となっている。また、計測エリアが比較的狭い場合には、メッシュサイズを可能な限り細かくすることも有効と考えられる。

(5) 特徴

(a) 高い計測精度

RTK-GPSの採用、車両姿勢計測装置、専用ソフトウェアにより、高さ方向の精度の向上を図っている。

(b) バギー採用による汎用性の拡大

整地のされていない施工中の現場であっても運用が可能である。また、測量以外にも荷物の運搬や移動手段として活用することができる。

(c) 測量結果をリアルタイムに表示

リアルタイムで走行履歴ならびに測量結果を確認できるので、オペレータがその場で不足箇所を認識し、直ちに再測することが可能である。

(d) 全天候型・悪環境対応

搭載機器は防滴、防塵、耐振を考慮した設計となっており、現場の天候ならびに環境に影響されず、様々な現場での活躍が期待できる(写真-2)。

(e) オペレータにやさしいインターフェース

タッチパネル式のパソコンを採用し、キーボードな

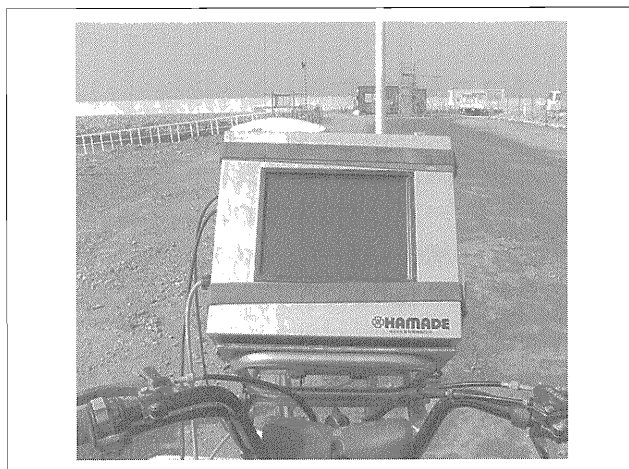


写真-2 悪環境対応パソコン

どの入力装置なしにダイレクトに操作可能となっている。

3. システムの検証

(1) 試験概要

本システムの基礎的な測量精度を把握することを目的に、フィールドテストを実施した。フィールドテストにおける主な検証項目を下記に示す。

- ① 測量データの再現性と測量精度
- ② 斜路部における再現性
- ③ 測量速度の影響

試験は、図-4に示す延長約200mの舗装路を使用して行った。レベル測量によって確認した平坦部の不陸は±5cmである。また、斜路部の法勾配は、約1:27である。本試験の試験条件を下記に示す。

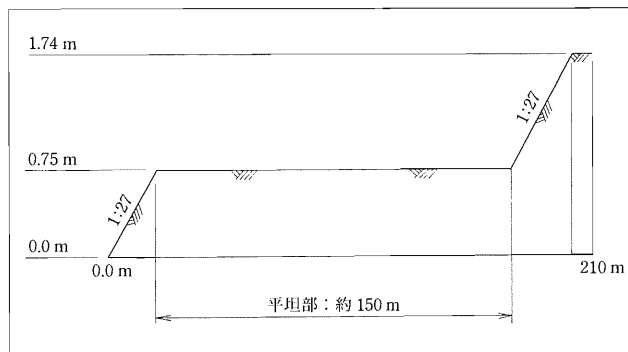


図-4 走行場所の断面図

- ・実験場所：大阪府貝塚市地先
- ・GPS計測周波数：20 Hz
- ・RTK補正情報局：海上DGPS協議会補正局（関空局）
- ・天候：晴れ

(2) 再現性と測量精度

時速 10 km/h で、同一軌跡を 2 回走行しレベル測量との比較を行った。

図-5 に計測結果を示す。図-5 は、
(レベル測量値) - (バギー車の測量値)
で求めた差分を示したものである。

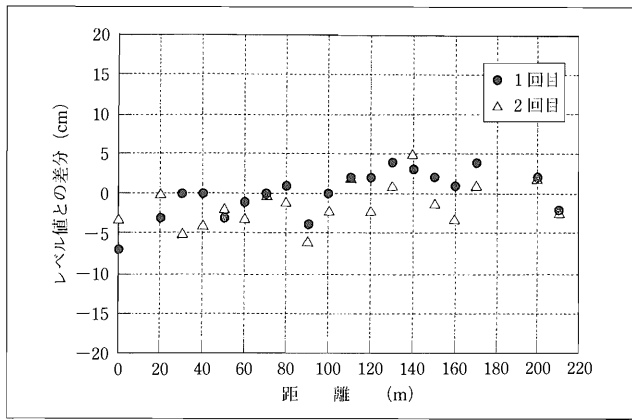


図-5 レベル値と測量値との比較

図-5 より、1 回目と 2 回目の測量値は、斜路部、平坦部ともほぼ ±5 cm の範囲に入っていることがわかる。これらの結果より、本システムによる測量精度は、概ね ±5 cm と考えられる。

(4) 登降坂時の再現性

斜路部を使用して、登坂時と降坂時に計測される地盤高について検証を行った。計測は、時速 10 km/h、データ処理には、Median data 方式を採用して行った。

図-6 は登坂時、降坂時の測量結果を示したものである。登坂時の測量値と降坂時の測量値を比較すると、両者の値は良く一致しており、測量方向に関わらず高い再現性を有することが確認できた。

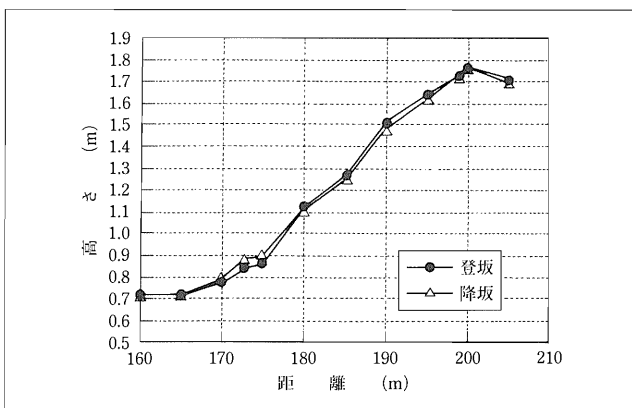


図-6 登坂時、降坂時の測量結果

(5) 測量速度

測量時の速度の変化が測量精度に与える影響について検証を行った。測量速度は、時速 10、20、30 km/h の 3 ケースとした。結果を図-7 に示す。

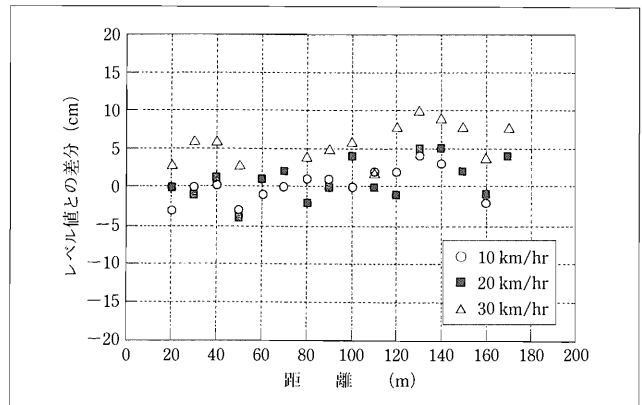


図-7 測量速度と計測誤差

図-7 は、

(レベル測量値) - (バギー測量値)

で求めた差分を示したものである。図より、時速 10 km/h、20 km/h までは、計測結果にほとんど差がないものの、時速 30 km/h (図中△) の測量値は、若干低めに計測される傾向にある。これは、速度の上昇に伴って、車両が沈込む影響と考えられ、超音波距離計による高さ補正に問題があるものと考えられる。

ただし、時速 30 km/h は、測量速度としては体感的に相当速く感じられ、作業速度として採用することは安全上困難であると判断されるため、実用的な問題にはならないものとする。

4. プロジェクトへの適用

(1) 導入現場の概要

中部国際空港の埋立て造成工事に本システムを導入し、改良浚渫土の天端管理に適用した。導入現場の概要を下記に示す。

- ・工事名：中部国際空港造成（その1）工事
- ・工期：平成 12 年 10 月～平成 15 年 4 月
- ・発注者：中部国際空港株式会社
- ・施工者：東亜・熊谷・西松・三井・徳倉共同企業体
- ・工事内容：埋立て面積：約 1,000 m × 約 1,400 m (134 ha)
改良浚渫土埋立て土量：860 万 m³
山土埋立て土量：470 万 m³ 他



写真-3 導入現場の全景



写真-4 うねりの状況

(2) 導入経緯

本工事では埋立て用材として、名古屋港内で発生する浚渫土に固化材を加えて強度増加を図る改良浚渫土が採用されている。本システムは、この改良浚渫土の天端管理の測量に適用した。適用にあたっての現場条件を以下に示す。

(a) 測量精度

改良浚渫土の埋立てに伴う天端不陸基準は、 ± 50 cm と設定されていることから、本システムの実用精度と比較して十分に適用可能である。

(b) 測量作業の迅速性

天端不陸が許容値を外れた部分に対しては、早期に不陸修正（バックホウ）を行う必要があり、迅速に出来形を把握する必要がある。

(c) 大規模急速施工への対応

埋立て区域が広大であることから、測量に伴う移動距離が大きいいため、広範なエリアを効率的に測量できる方法が求められた。

(d) 機動性、軽量性

改良浚渫土の表面にはうねりが絶えず、表面は滑りやすくなっている（写真-4）。また、若材齢においては発現強度（設計強度： $\sigma_{28} = 120 \text{ kN/m}^2$ ）が小さいことから、軽量で機動性の高いシステムが求められた（オペレータを含めたバギー車接地圧 $\approx 65 \text{ kN/m}^2$ ）。

(3) 測量成果

本システムを用いた測量は、バギーを約 2 m 間隔で走行させ、測量結果を事務所のパソコンで解析する方法で施工管理を行った（写真-5）。

図-8 は、広域測量バギーシステムでの測量結果の一例を示したものである。この図は $300 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ の範囲を測量した結果であるが、このような面積を例え



写真-5 現場での測量状況

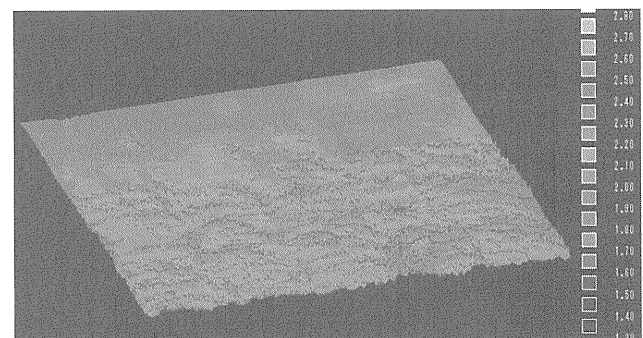


図-8 測量結果の出力例

ば 2 m メッシュで従来方法（レベル、背負子式 GPS ほか）で測量すると、約 40,000 点もの測量が必要となり、その労力は多大なものである。このような測量においても本システムでは、約 1 日で測量～解析を行うことが可能であり、測量に掛かる時間、労力を大幅に低減することが可能であった。

また、現場ではほぼリアルタイム、かつ、立体的に出来形を把握することができるため、手戻りの少ない

効率的な施工が可能であった。

本システムは、本工事で約14ヵ月間の測量業務を行い、目立ったトラブルも無く工事を終了した。

5. 結論および今後の課題

広域測量バギーシステムの測量精度は±5cm程度を確保している。また、本システムの導入効果として、広範囲な測量業務の飛躍的な効率化に成果が得られた。

本システムの今後の課題としては、下記の諸点が挙げられる。

- ① より高精度な車両姿勢計測装置の導入などによる測量精度の向上
- ② その他の管理システムとの連携
- ③ 認知度の向上と適用現場の拡大

6. あとがき

近年の建設業界を取巻く状況は、刻々と変化しており、特に情報化、合理化、省力化に関する技術革新のスピードは目覚ましいものがある。これらの技術革新によってもたらされる技術は、コストの低減とともに次

第に標準化され、建設業界に浸透していくものと思われる。今後も、この技術革新のスピードに乗遅れぬよう研究開発に取り組む所存である。

最後に今回の現場導入にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各位に厚く御礼申し上げます。 **JCM A**

【筆者紹介】



上用 敏弘 (じょうよう としひろ)
中部国際空港株式会社
建設事務所
所長



増田 稔 (ますだ みのもる)
東亜建設工業株式会社
土木本部
機電部
電気課長



沼尻 義春 (ぬまじり よしはる)
東亜・熊谷・西松・三井・徳倉協同企業体
所長

絵で見る安全マニュアル 〈建築工事編〉

本書は実際に発生した事故例を専門のマンガ家により、わかりやすく表現しています。新入社員の安全教育テキストとしてご活用下さい。

■要因と正しい作業例

- ・物動式クレーン
- ・電動工具
- ・油圧ショベル
- ・基礎工事用機械
- ・高所作業車
- ・貨物自動車

A5判 70頁 定価650円(消費税込) 送料270円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289