

Ⅱ-6 GPS を用いた出来形管理システム構築のための一検討

齊藤 重明
Shigeaki Saito

木村 哲
Tetsu Kimura

杉村 正次
Masatsugu Sugimura

堀場 夏峰
Natsuo Horiba

【抄録】弊社で開発をすすめている「造成工事施工管理システム」は造成工事をはじめとする大規模土工を、より効率よく管理する目的で構築したシステムで、転圧管理システムと出来形管理システムから構成されている。そのうち、出来形管理システムは、造成作業を行う重機にGPSを搭載し重機の移動状況から工事に伴う地形変化を連続的に測位することで、出来形管理を行うことを目的としている。本報告は、ある造成現場において運用を行ってきた出来形管理システムについて報告するとともに、取得したデータを分析することでそこから得られた知見について、報告を行う。

【キーワード】GPS 出来形管理 メッシュデータ 切り土 盛り土

目 次

- § 1. システムの構成
- § 2. データの取得
- § 3. データの評価
- § 4. 出来形メッシュデータの補完
- § 5. 出来形メッシュデータ作成上の課題
- § 6. まとめ

§ 1. システム構成

今回運用した出来形管理システムは大きく分けてGPS 基準局、移動局、中継局、管理室の4つのパートから成り立つシステムである。システムの概念図を図-1に示す。

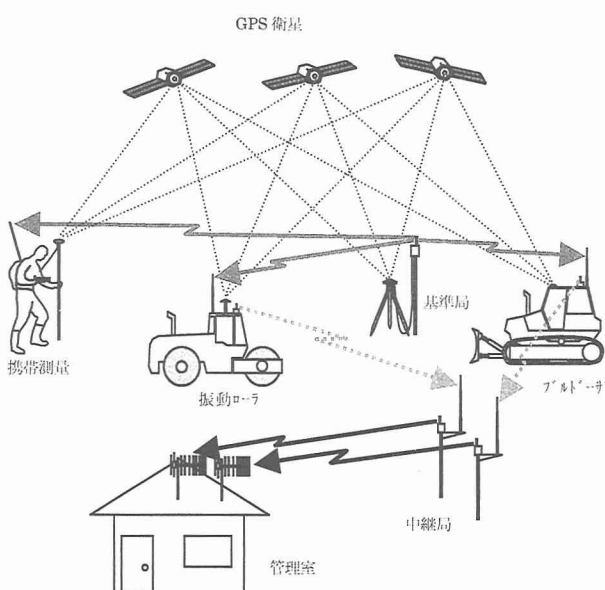


図-1 システムの概念図

基準局のGPSアンテナはあらかじめ計測された不動点直上に設置し、GPS受信機の計算結果を1Hzで無線モデムにて移動局に伝送した。なお電源の供給は立地条件的に商用電源の供給が困難であったため太陽光発電を用いた。

移動局として2台の振動ローラと2台のブルドーザにGPS受信機を装備し、その位置を測位した。今回、ブルドーザは切り土にも使用され相当の振動が予想されることから、耐震性の高い航空用のGPSアンテナ（図-2）を使用した。

振動ローラには液晶モニタに走行した軌跡を地形データに重ねて表示（図-3）し、オペレータは転圧規程回数に達しているかを常を確認しながら作業を進めることができた。またブルドーザでは運転室内の液晶ディスプレイに重機高さを表示した。

システムは切り盛り土工の現場で運用され、管理室と現場の間は起伏があり、重機から管理室まで直接デ

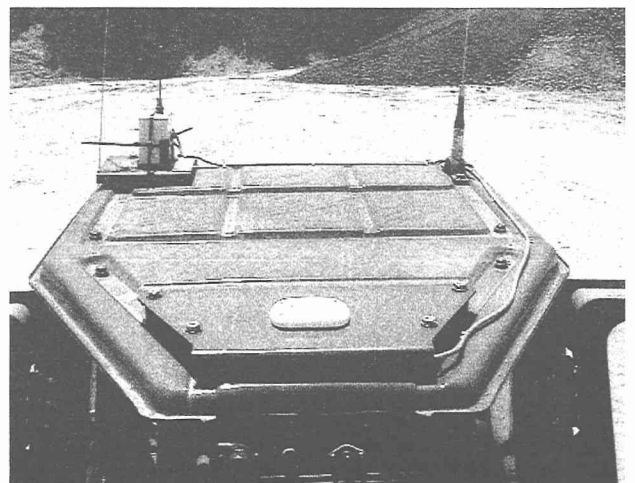
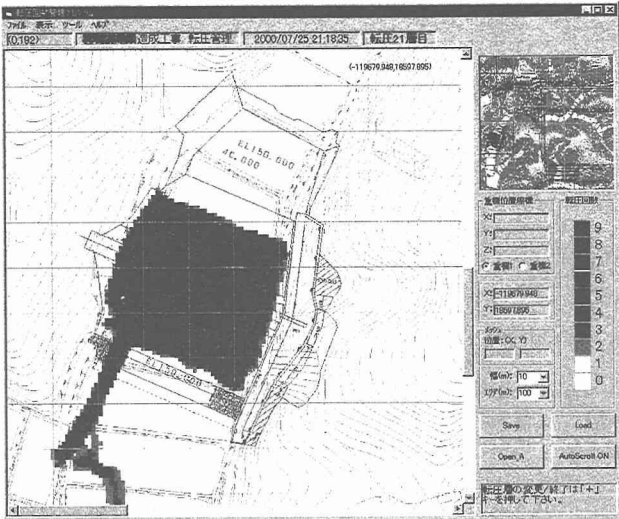


図-2 ブルドーザのGPSアンテナ搭載状況



図－3 転圧回数管理画面

ータ伝送を行えない。このため中継局を高所に設置し重機から管理室までデータを伝送した。

管理室では重機からの送信データを中継局を介して受信し、ディスプレイにリアルタイムに重機の施工状況を表示する。また、作業終了後は各重機よりコンパクトフラッシュに記憶された GPS データを回収し処理することにより、工事の出来形を把握することができる。

§ 2. データの取得

図－4に GPS データの流れを示す。各重機で取得したデータは中継局を介して管理室に伝送される。当日の施工終了時に各重機より記憶媒体（コンパクトフラッシュ）を管理室に持ちかえり出来形メッシュデータおよび転圧回数メッシュデータを作成する。

表－1 に各移動局の出来形メッシュデータの仕様を示す。

表－1 出来形メッシュデータの仕様

	ブルドーザ	振動ローラ	携帯測量
GPS データ サンプリング周期	1Hz	4Hz	1Hz
高さ方向 標準偏差	<0.1m	<0.1m	<0.1m
管理メッシュ数	500×500	500×500	500×500
1 メッシュサイズ	1m×1m	1m×1m	1m×1m
GPS 測量の 適用場所	切り土面 撒きだし面	転圧面	法面 補完他

振動ローラの GPS データは転圧回数管理にも利用する。このためデータの欠損をなくすために振動ローラの走行速度を考慮してデータのサンプリング周波数を 4Hz とした。このため振動ローラとブルドーザのデータサンプリング周波数が異なっている。

出来形メッシュデータは 500m×500m の工事区域をあらかじめ 1m×1m のメッシュ状に区切り、そのメッシュに該当する標高を順次更新することによって作成する。

§ 3. データの評価

切り盛り土工においてブルドーザ 2 台と振動ローラ 2 台を用いて施工した約 1 ヶ月（稼動 16 日）間を評価期間として、この間に取得した GPS データおよび出来形メッシュデータについて評価する。

3－1. GPS データの評価

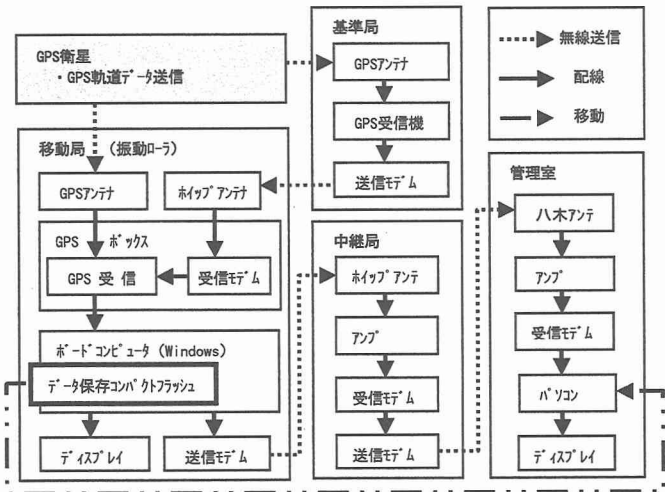
表－2 GPS データの重機別取得数とデータ精度

	H_std<0.1	H_std>0.1	全データ数
振動ローラ	804,081 (81.19%)	186,238 (18.81%)	990,319 (100%)
ブルドーザ	192,022 (49.93%)	192,575 (50.07%)	384,597 (100%)

*H_std : GPS データの高さ方向標準偏差 (m)

表－2 に評価期間中のデータの取得数とデータの精度の割合を示す。

表－2 より振動ローラとブルドーザの高さ方向の標準偏差 (H_std) に基づいてデータを整理すると、振動ローラは 80%以上の確立で安定したデータ取得を行っていることがわかる。これは振動ローラの方が地形的に平坦な場所を施工しており、ブルドーザと比較して GPS アンテナの傾きや大きな振動が少なく、安定して GPS 衛星を補足できたためと考えられる。



図－4 データの流れ

3-2. 出来形メッシュデータの評価

図-5に評価期間中の施工データを累積して作成した重機別の施工区分を示す。

図-5からは完成地盤より標高の高いところや、切り土法面部は施工上、ブルドーザのみが走行しており、ブルドーザが振動ローラに比べ広範囲にわたり工区全般を走行していることがわかる。

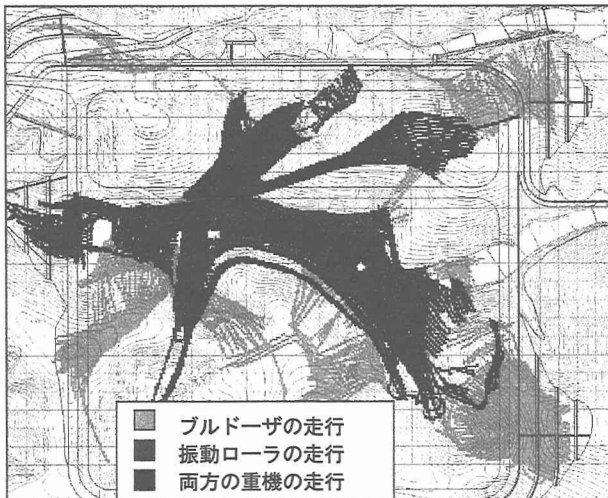


図-5 重機別施工区分

表-3 重機別メッシュデータ点数

	ブルドーザのみ	振動ローラのみ	両方の重機	全体
メッシュ点数	10,446	8,613	9,369	28,428
1m×1m	(36.75%)	(30.30%)	(32.96%)	(100%)

表-3は精度良くデータを取得できたメッシュ数を100%として評価している。

ブルドーザのみの施工場所が36%以上もあり、切り盛り土工事の出来形管理においてブルドーザが有効にデータを収集していることがわかる。

しかし、振動ローラだけしか良好なGPSデータを取得できなかった場所も確認された。施工手順上はブルドーザで撒き出しを行った後に振動ローラで転圧を行うが、何らかの理由でブルドーザが良好なGPSデータを取得できなかったことがわかる。

また表-2、表-3よりGPSデータ数とメッシュデータ数の関係を見ると、ブルドーザよりも振動ローラの方がGPSデータを多く($H_{std} < 0.1m$ のデータで約4倍)取得しているにもかかわらず、メッシュデータ数はブルドーザの方が多い。これはGPSのデータサンプリング周波数がブルドーザは1Hzであるのに対し振動ローラは4Hzであったことと、振動ローラが同じメッシュ上を何度も走行しており何度も同じメッシュデータを更新しているためである。

§4. 出来形メッシュデータの補完

出来形メッシュデータは500m×500mの工事区域をあらかじめ1m×1mのメッシュ状に区切り、そのメッシュに該当する標高を順次更新することによって作成する。しかし、この方法ではGPSアンテナが通過したメッシュのみ高さデータが更新されるため、重機が走行したにもかかわらずメッシュデータが更新されない個所が生じてしまう。

このため出来形メッシュデータを補完する意味を含めて、図-6に示すような方法でGPSデータをメッシュデータに変換した。これはローラ幅やブレードの幅、重機のサイズを考慮して、GPSデータを含むメッシュの周囲のメッシュも同じ高さとし、3×3メッシュの高さデータを順次更新し、メッシュデータを補完しながら更新する手法である。

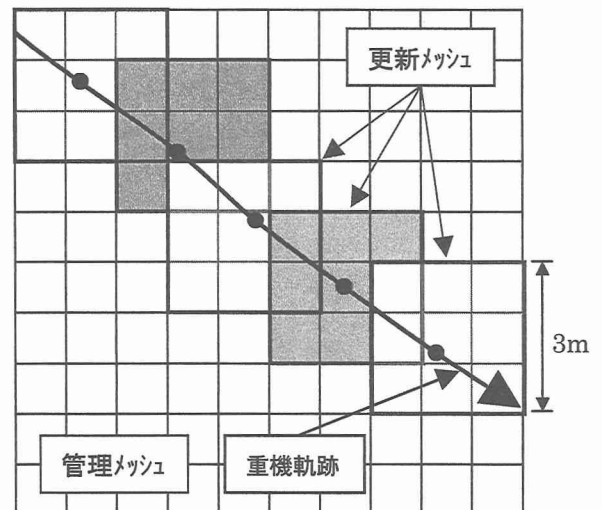


図-6 出来形メッシュの作り方

表-4 変換メッシュサイズとメッシュデータ数

	ブルドーザのみ	振動ローラのみ	両方の重機	全体
メッシュ点数	10,446	8,613	9,369	28,428
1×1変換	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)
メッシュ点数	14,719	9,024	14,712	38,455
3×3変換	(140.90%)	(104.77%)	(157.03%)	(135.27%)

表-4に変換メッシュサイズの違いによるメッシュデータ数の比較を示す。

表-4では各重機とも1×1メッシュ変換したデータ数を100%とし、3×3メッシュ変換のデータ数と比較した。表-4より振動ローラよりブルドーザの方が3×3メッシュ変換する効果が大きいことがわかる。

これは振動ローラと比べ、ブルドーザのGPSデータサンプリング周期が小さい上に精度の良いデータ

も少ない。さらに振動ローラよりも走行速度が速いために、1×1 メッシュで変換した場合、出来形メッシュデータに抜けが多く生じるためである。

§ 5. 出来形メッシュデータ作成上の課題

切り盛り土工における出来形メッシュデータ作成の上で、ブルドーザで地形データを収集することの必要性、メッシュ変換方法の有効性が確認できたが、何点かの問題点を残している。

1 点目は図-7 の切り土法面の輪郭部においてメッシュデータが作成できていない点である。切り土法面は最終的にバックホウで整形されるため、ブルドーザに搭載した GPS では最終的な切り土法面の地形データを取得できないからである。

このように重機に搭載した GPS でデータを取得することが不可能な場所においては、別途 GPS を携行しデータを取得することでデータを補完し、工事区域全体の地形データを取得する必要がある。

2 点目は施工期間中の工事区域内であるにもかかわらず、更新されていないメッシュ、または更新されているがメッシュ内のデータが古く、周囲の更新されたメッシュと極端に標高差があるメッシュが存在することである。これは後に土量を算出する際に精度を落とす原因となる。図-8 は施工開始時から評価期間終了時までのデータを累積して作成した鳥瞰図（1 メッシュあたり 1m×1m）の一部であり、データが更新されないメッシュがあると、このように凹凸のある出来形となってしまう。

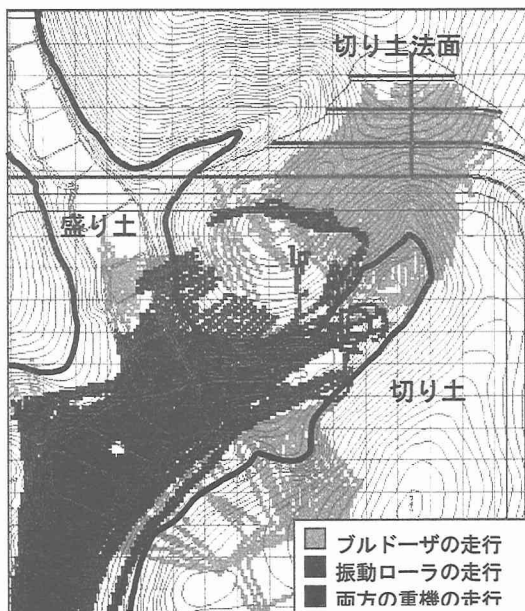


図-7 切り盛り別施工区分

切り土法面

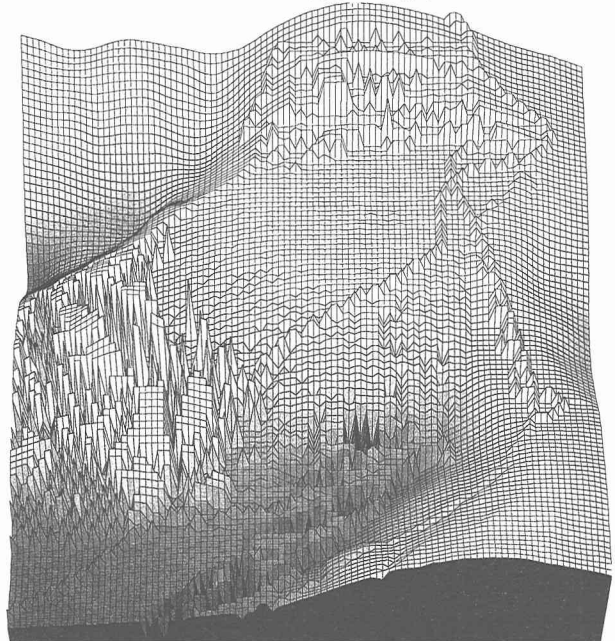


図-8 鳥瞰図

施工中において、さらに正確な出来形メッシュデータの作成を必要とする場合は、更新されないメッシュ、および周囲のメッシュと明らかに標高差のあるメッシュに関して何らかの方法で補完および補正をする必要があり、今後の検討課題である。

3 点目として、メッシュの補完として 3×3 メッシュで出来形メッシュデータを作成するが、ブルドーザは切り土の際に傾斜地を走行するため、実際の高さとは異なる高さで作成されるメッシュが生じる場合もあるという点である。この場合も土量を算出する際に精度を落とす原因となる。

今後、傾斜地での 3×3 メッシュの変換についてはブルドーザの傾斜を考慮した出来形メッシュデータを算出することで対応できると考えている。

§ 6. まとめ

今回のシステムは切り盛り土工に適用するため、振動ローラ 2 台で取得した GPS データだけでは工区全体の切り盛り土量を逐次把握することは困難と考え、切り土および撒きだしに用いるブルドーザ 2 台にも GPS を搭載し、重機合計 4 台で GPS データを取得した。この結果、工事区域内全般の座標データを収集することができ、施工中の大まかな工事土量を把握することができた。