

23. 転圧機械運行管理システム（道路土工バージョン）の開発

（株）熊谷組：*沼宮内 雅人，石口 真実
北原 成郎

1. はじめに

現在の高速道路建設は、山岳部における道路建設が主体となってきている。特に盛土構造では、高盛土または大規模盛土の計画が多くなるものと予想されており、大型施工機械を導入することによる施工能力の向上およびその施工方法を確立させ、盛土施工の効率化を図る必要がある。日本道路公団の現行要領では、品質規定方式（R I計測等）による品質管理が困難な岩塊盛土材料について、工法規定方式による品質管理を行うことになっている。現在この管理手法では、転圧回数とタスクメータによる転圧機械の稼働管理を実施しているが、転圧ヤードの面的な施工範囲の確認が困難であった。

このような状態を改善するため、ロックフィルダムのコア盛立工事等の施工管理用に開発していた『GPSを用いた転圧機械運行管理システム¹⁾』をこの度道路土工用にバージョンアップさせたシステムを開発した。本システムにより今後増加が予想される高盛土や大規模盛土工事の施工の効率化・品質の向上を図ることができる。

さらに、道路土工では、近接施工もしくは曲線施工などの要因で転圧機械が大きく蛇行しながら転圧作業を実施することも予想される。しかし、これまでのシステムでは平面上で大きく蛇行した場合、転圧機械の左右への傾きによりその位置座標がどの程度誤差を生じるかについて定量的に把握することが不可能であった。そこで、転圧機械に傾斜計を搭載させて、転圧機械の左右への傾きを把握するための実験を実施した。

本論文では、本システムの特徴を紹介し、次にシステムの有効性について検証した実験結果について報告する。

2. システムの概要

システムの基幹となる転圧機械位置の計測技術は、RTK-GPS方式とした。また、転圧機械と事務所間のデータ転送には、当社が開発したSS無線線（データコントロール多重通信システム）を使用し、確実なデータ処理を行うとともに、複数の転圧機械の同時計測が可能なシステムである

（図-1、2）。

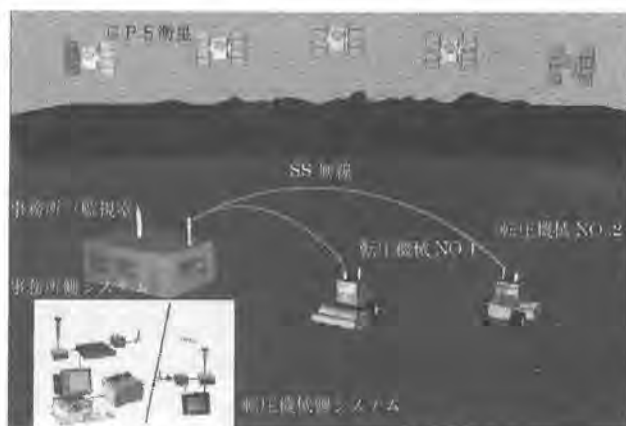


図-1 システム概念図

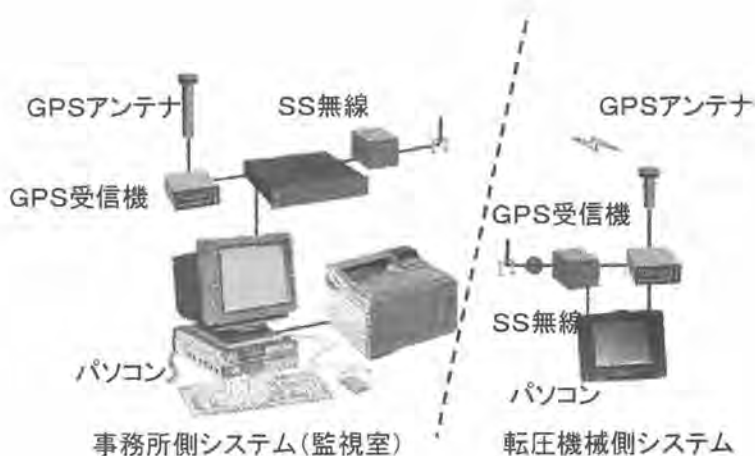


図-2 システム構成図

3. システムの特徴

システムの特徴として、以下の①～⑧が挙げられる。

- ① 転圧機械のオペレータに対し、作業すべきエリアを転圧機械搭載のパソコン画面にリアルタイムに表示し、転圧不足エリアが発生しないように誘導を行うことができる。
- ② 転圧エリアを最小10cm四方のブロックに分割して管理するため、高精度を必要とする転圧作業に対し精度良く対応できる。転圧作業の判定は、ブロックの重心を転圧機械が走行することにより転圧回数をカウントアップし管理する。
- ③ 同一作業エリアにおいて、複数の転圧機械（最大4台）の同時管理が可能である。
- ④ 転圧機械のオペレータの作業は極めて容易で、転圧回数確認作業といった精神的負担が低減される。
- ⑤ 転圧不足エリアや転圧回数不足を現場事務所のパソコンに色分けしてリアルタイムに表示できるので、その場にて再施工を指示できる。また、転圧状況、転圧記録、運行記録のリアルタイム出力が可能である。
- ⑥ (X方向、Y方向)のGPS座標のみの収集を行っていたが、道路土工バージョンとして高さ方向(Z方向)のGPS座標の収集を加えた。これにより、前層と次層の転圧面の高さを把握できるため層厚管理すなわち層厚分布図などの出力が可能である(図-3)。図-3は、塗りつぶしが濃くなる毎に層厚が厚くなっていることを示している。
- ⑦ 当社開発システムである『土工量管理システム²⁾』に対応させることにより、簡単かつ瞬時に盛立土工量の算出や鳥瞰図などの土量計算・解析作業が可能である(図-4)。
- ⑧ 処理速度を32ビット対応にすることでグラフィック表示機能などが向上した。

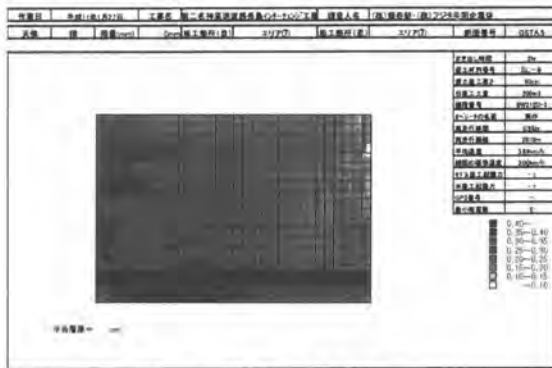


図-3 層厚分布図例



図-4 盛立出来形鳥瞰図例

4. 実験概要

1) 実験実施場所

第二名神高速道路 長島インターチェンジ作業所
発注者：日本道路公団名古屋建設局 四日市工事事務所

施工者：(株)熊谷組・(株)フジタ共同企業体

工期：平成10年1月30日～平成13年1月13日

工事内容：総延長約517m、盛土工 747,869m³

2) 実験実施時期

平成11年1月

3) 実験目的

- ① システムの有効性について検証する。
- ② 傾斜計データより、蛇行時の転圧機械の傾斜による左右のずれについて検証する。

4) 実験時使用傾斜計

FOG (光ファイバージャイロ) 姿勢計測装置 (表-1)

表-1 傾斜計仕様

	項目	単位	
計測範囲	ロール角	(degree)	±45
	ピッチ角	(degree)	±45
	相対方位角	(degree)	±180
分解能	角度	(degree)	0.1max
	角速度	/s	0.2max
	加速度	G	0.01max

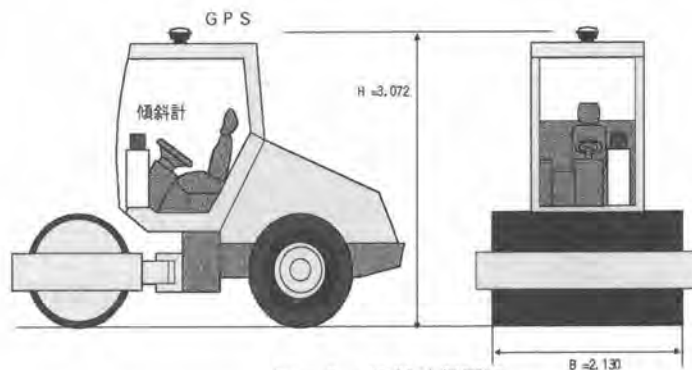


図-5 傾斜計設置図

5. 実験結果

5. 1 システムの有効性

表-2は、検証実験において同一作業エリア(30m×20m)を設定し、オペレータの目視による施工方法によって転圧不足を残さず転圧した場合と、本システムを用いた場合について比較した結果である。本システムを用いることで、規定回数以上の転圧や局所的な転圧不足を防止でき、合理的な転圧作業ができることを確認した。これにより従来の施工方法に比べて、転圧時間や転圧走行距離を20%程度低減することが可能であると思われる。

表-2 システムによる施工とオペレータによる目視施工の比較表

	施工方法	レーン数 (本)	転圧所要時間 (M' S'')	平均速度 (km/h)	走行距離 (m)
A	システムによる 施工	11	39' 43"	4.01	2656.067
B	オペレータによる 目視施工	17	47' 33"	4.28	3395.246
C	増減率(A/B)	—	0.835	—	0.782

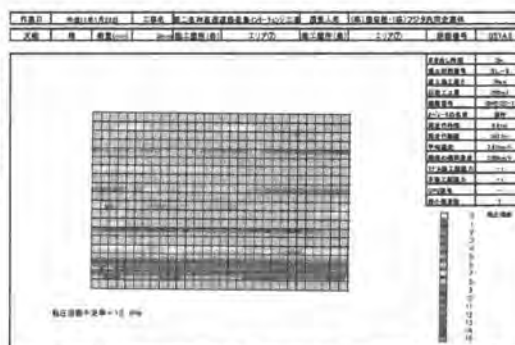
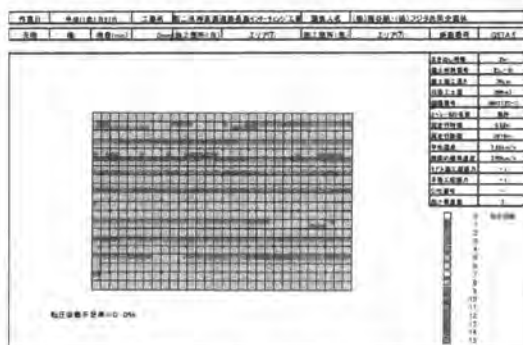


図-6 システムによる施工の転圧回数色分図 図-7 オペレータによる目視施工の転圧回数色分図

5. 2 傾斜計データによる左右のずれ

実験は図-9に示すような平坦な作業エリア(30m×20m)において、1、2回目は直線走行(A部)、3、4回目(B部)は蛇行走行を実施した。GPSアンテナは図-8に示すように転圧面から3.072mの高さにあり、蛇行走行すると大きく傾くことが予想された。

傾斜計から採取されたロール角データを式①に代入した値を図-10に示す。

$$\text{ロール角のずれ} = H (3.072) \times \sin \phi \quad \text{式①}$$

B部において最大ロール角=7.67°、最大ずれ値=0.410mのずれが発生することを確認した。

表-3は、ずれ値を直線走行と蛇行走行に分けて統計処理したもので、ロール角のずれ範囲は直線走行で0.174m、蛇行走行で0.507mであった。図-11は表-3を度数分布図に表したものである。蛇行走行は、データのバラツキから直線走行に比べて明らかに車体が傾き左右へのずれを生じることがわかる。しかし、どちらの場合においてもほとんどが±0.1mのずれ値に収まっている。したがって、平坦な作

業エリアにおいて、本システムの転圧管理ブロック（転圧回数をカウントするブロックサイズ）を0.5m程度で行う場合は、蛇行走行より発生する転圧機械の傾斜によるずれ値はほとんど考慮しなくてもよい範囲内にあることが判明した。

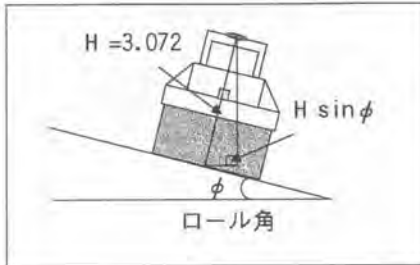


図-8 ロール角の概念図

表-3 ずれ値の統計分析比較表

	A部	B部
平均 (m)	0.003	0.078
中央値 (m)	-0.001	0.052
最頻値 (m)	-0.051	0.114
標準偏差	0.0412	0.1155
分散	0.0017	0.0133
範囲 (m)	0.174	0.507
最小値 (m)	-0.084	-0.097
最大値 (m)	0.090	0.410
標本数 (個)	117	132

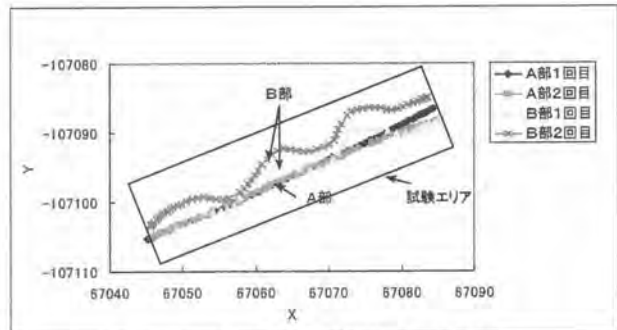


図-9 転圧機械の実験実施軌跡図

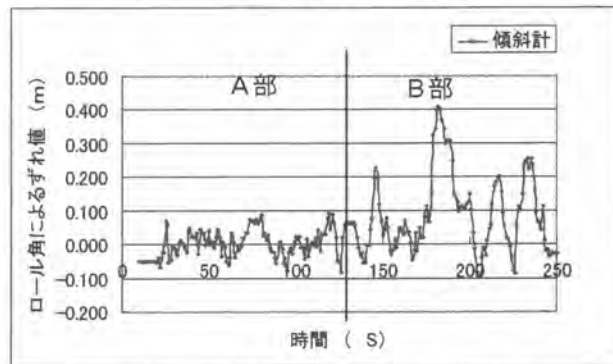


図-10 ロール角によるずれ値



写真-1 実験実施状況

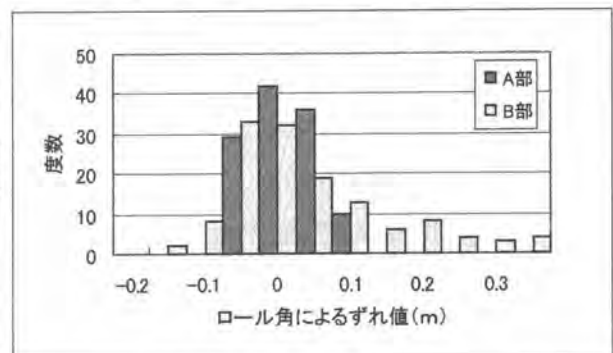


図-11 ずれ値の度数分布図

6. まとめ

施工の効率化・品質の向上を目的として、「転圧機械運行管理システム（道路土工バージョン）」を開発し、今回の検証実験により以下の成果を得た。

- ① 作業エリア（30m×20m）において、従来の施工方法に比べて、転圧時間や転圧走行距離を 20%程度低減できることがわかった。
- ② 作業エリア（30m×20m）において、本システムの転圧管理ブロックのサイズを 0.5m 程度で行う場合は、傾斜によるずれ値はほとんど考慮しなくてもよい範囲内にあることがわかった。

現在、幾つかの民間業者が盛土の締固め管理としてGPS等を利用した新しい工法規定方式に対応したシステムの開発に取り組んでいる。本システムはこうした提案にいち早く対応させるため、ロックフィルダム用に開発したシステムを道路土工用に改善・改良したもので、今後、道路土工等に積極的に活用したいと考えている。

今後は、GPS受信地点の仰角 15 度以上に障害物がある場合や、衛星が 5 個以上受信できない場合等一時的にGPSの受信が困難な場合の対策を講じてゆく必要があると考えている。これらの対策として現状では、自動追尾型トータルステーションやジャイロとの組み合わせが考えられる。また、次のステップとして転圧機械に加速度計等を取り付け連続して測定することにより、GPSの位置情報と地盤反力情報を得て、地盤の密度管理を可能とするシステムなども継続して開発していきたい。

参考文献

- 1) 沼宮内ら：リアルタイム転圧機械運行管理システムの開発、土木学会第 23 回土木情報システムシンポジウム講演集、PP1-4、1998 年 10 月
- 2) 江口ら：土工事出来形・出来高管理支援システムの開発、熊谷組技術研究報告第 55 号、PP155-164、1996 年 10 月