

Ⅱ-1 リアルタイム転圧機械運行管理システムの開発

Development of Real time Compacting Equipment Operation System

沼宮内 雅人 庄田 政弘 吉田 有貴 北原 成郎

M.Numakunai, M.Shoda, Y.Yoshida, S.Kitahara

【抄録】合理的で確実な転圧管理を目的として、「GPS (Global Positioning System: 衛星を利用した位置測定システム) によるリアルタイム転圧機械運行管理システム」を開発した。本システムは、複数台 (最大4台まで) の転圧機械の転圧状況を高精度 (最小10cm×10cm四方単位まで) に自動計測・記録し、事務所側にてリアルタイムに管理をおこなうとともに、転圧機械のオペレータに転圧作業の進行状況や次の走路の誘導・指示を随時ビジュアルに伝達するシステムであり、転圧不足エリアの発生を無くし、効率良く作業をおこなうことができる。本論文では、まず転圧機械運行管理システムを紹介する。次に、システムの有効性を確認する目的で実施した造成現場における実証実験の結果について報告する。

【キーワード】情報化施工, 品質管理, GPS

1. はじめに

ロックフィルダムのコアゾーンは、ダムの遮水性を左右する極めて重要な部分であるため、厳選された土質材料を用いて、確実な締固めを行うことが要求される。特に、転圧回数は本来の工学的指標である「締固め密度」や「透水係数」の代理特性として、施工管理のみならず、ダム全体の品質を確保する上で極めて重要な要素である。

しかし、現場における転圧回数の確認方法は、オペレータによる自己申告や、現場に監視員が常駐して目視確認を行うなど、非効率で不確実な方法しか取り得ないのが実状であった。

このような状態を改善し、より合理的で高品質な施工を可能とするため、「GPS (Global Positioning System) によるリアルタイム転圧機械運行管理システム」を開発した。

2. システムの概要

本システムは、転圧機械にGPS受信機とパーソナルコンピュータを搭載することにより事務所側 (監視室) で時々刻々の転圧状況を確認するとともに、転圧機械側のシステムにより転圧不足の領域や次の転圧方向を転圧機械のオペレータにリアルタイムで指示できるシステムである。

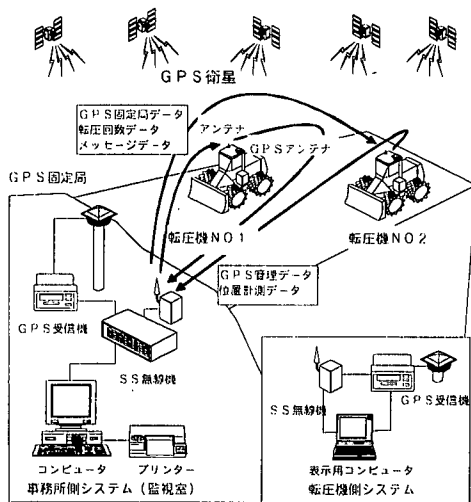


図1 システム概要図

狭い谷間にも適用することを考慮して、OTF (On The Fly) 機能付きRTK-GPSを用い、転圧機械と事務所間のデータ通信には、信頼性の高い当社開発のSS無線 (データ・テレコントロール用多重通信システム) を採用して複数の転圧機械の同時管理を可能としている (図1)。

3. システムの構成

3.1 事務所側システム

複数台 (最大4台) の転圧機械からの位置情報を受信し、転圧状況の監視および管理をおこなう。システムは、転圧状況ファイル、運行記録ファイル、作業記録ファイル、GPS記録ファイルおよび転圧管理ファイルの5ファイルから構成されている。図2に事務所側の機器配置図を示す。

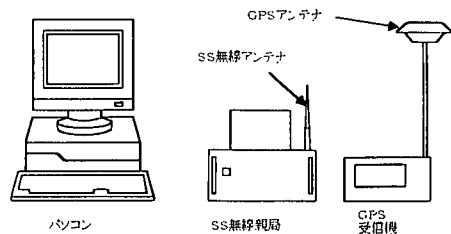


図2 事務所側機器配置図

3.2 転圧機械側システム

事務所側のシステムより転圧方法、転圧回数、走行速度などの転圧情報を受信し、オペレータに規定レーン知らせ、実際の走行レーンと規定レーンの走行状態を表示・誘導し転圧状況の報告処理を随時おこなう。図3に転圧機械側の機器配置図を示す。

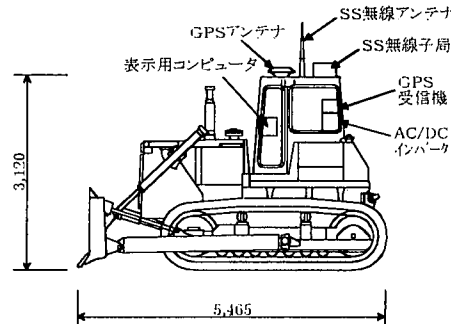
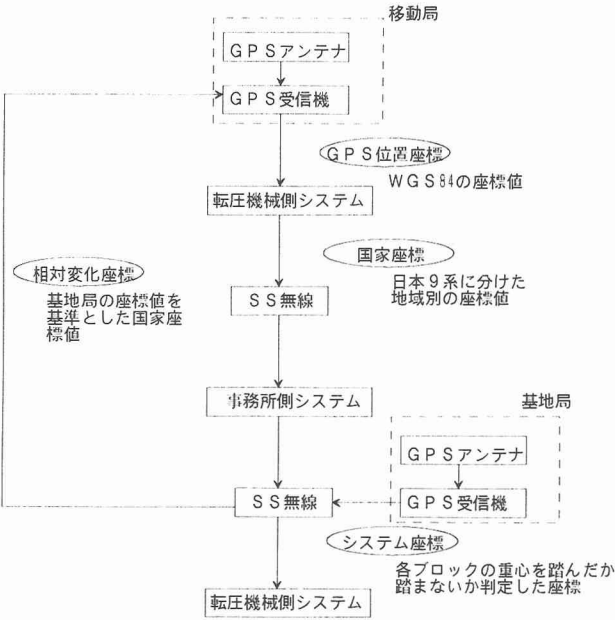


図3 転圧機械側機器配置図

3.3 リアルタイム処理

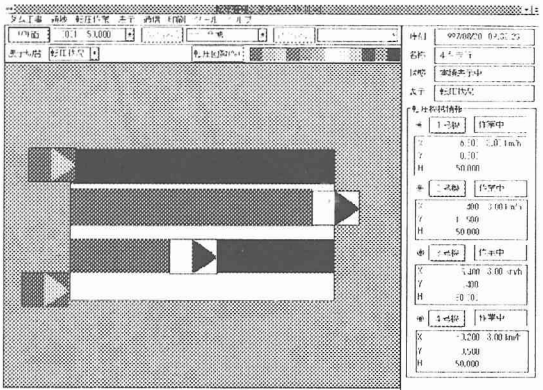
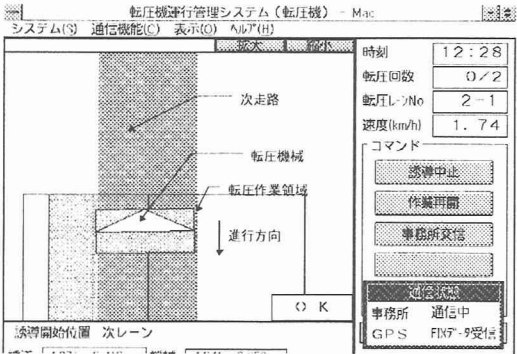
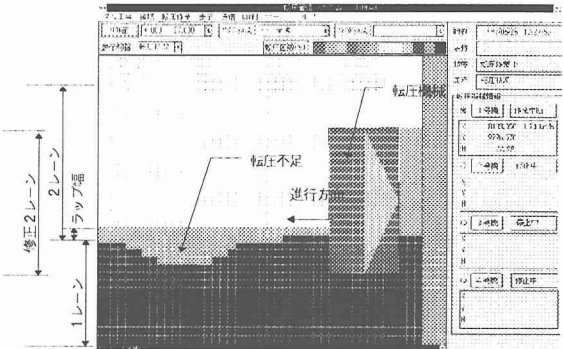
システムを構築する上で、転圧機械の動きをリアルタイムに管理するためのシステム間のデータ送受信方法が技術的課題であった。その方策として、転圧機械側においてGPS受信データを位置データへ変換し、そのデータをSS無線を通して事務所へ送ることとした。位置データへの変換によりデータ容量を大幅に減少することができるため、GPS受信データを直接転圧機械側から事務所側へ送る場合と比較して、転圧機械側と事務所側とのタイムラグを最小限にでき、リアルタイムでの処理が可能となった。図4にデータ処理流れ図を示す。



4. システムの特徴

- ①転圧機械に搭載したパソコンのディスプレイ（画面）に作業すべきレーン（走路）をリアルタイムに表示し、転圧不足エリアを発生しないようにオペレータに指示することができる。これにより従来に比べて、転圧不足や過転圧が無くなるため転圧作業に要する時間や転圧機械の走行距離を低減することができる。図5は、事務所側にて1レーン目に転圧不足が生じたため2レーン目の走路の変更を行う場合の例を示し、図6は、転圧機械側にて次のレーンをオペレータに指示する場合の画面を示す。
- ②転圧エリアを最小 10cm 四方のメッシュで管理できるため、ロックフィルダムのしゃ水ゾーンなどの高精度を必要とする転圧作業に対し特に有効に対応できる。
- ③複数の転圧機械（最大4台まで）の同時管理ができる（図7）。

- ④転圧不足エリアや転圧回数の不足を、現場事務所のPCに色分けしてリアルタイムに表示することにより、現場の状況が常に確認できる。
- ⑤転圧機械側のパソコンの操作は極めて容易で、転圧回数の確認作業等により生じていたオペレータの精神的負担が軽減できる。



5. 造成工事における実証実験事例

5. 1 実験目的

実験を実施した目的は、以下のとおりである。

- ①長時間連続稼働させ、システムの稼働状況の安定性や長時間稼働に必要なプロジェクトファイルのメモリー容量などを確認すること。
- ②本システムを転圧機械（ブルドーザ）に搭載することにより造成現場への対応の可能性について確認すること。

5. 2 実験条件

実験条件は、以下のとおりである。

- ①工事現場の概要
約 213,000 m²の造成工事
- ②実験施工の範囲
切土エリア→盛土エリアの約 28,500 m²(190m×150m)
- ③施工機械
ブルドーザ (CATD6 車幅 3,860m, 車長 5,465m)
- ④転圧仕様
転圧回数：4回

5. 3 実験結果

実験結果を、以下に示す。

- ①本システムが、長期間安定して稼働することを確認した。
- ②メモリー容量については、10cm×10cm メッシュに作業領域を分割した場合、1ブロックにつき1バイトのメモリー容量が必要であることを確認した。なお、ブロックとは転圧をしたと判定する最小単位を示す。
- ③現場事務所内で転圧機械の位置および動きがリアルタイムに管理できることを確認した。
一例として図8～図11に、降雨後のブルドーザの転圧整形作業の出力図を示す。図8は切土から盛土へのブルドーザの転圧状況の概要図を、図9は、指定した転圧エリアにおいて転圧不足エリアや転圧回数不足を色分けして出力した転圧状況を示し、図10は、転圧機械の中心の軌跡を出力した運行記録を示し、図11は、作業日報を示した転圧記録を示す。
- ④施工面に勾配がある場合、図12に示すように転圧面とGPS受信機の平面上への投影位置に差が生じ、転圧位置の正確な把握ができなくなることがわかった。したがって、転圧管理する地盤がある程度以上の勾配を有する場合は、本システムを3次元化する等の対策が必要であると考ええる。具体的には、GPSの高さ方向の位置座標を取り入れるだけでなく、傾斜計を転圧機械に取り付け、転圧機械の動き自体を3次的に把握する必要がある。

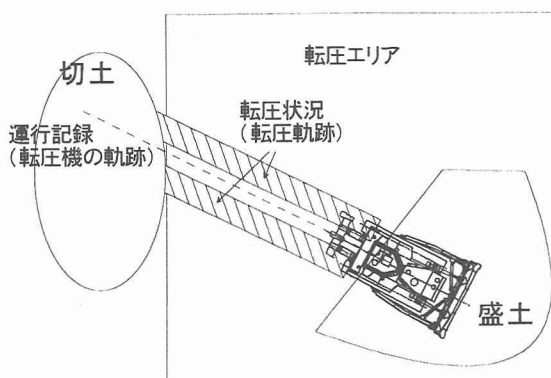


図8 転圧状況概要図



図9 転圧状況



図10 運行記録

番号	リフト面	施工	作業	レーン	機種	開始日時	開始時刻	終了時刻	作業時間	転圧回数	平均速度	走行距離
0001	1	1	1	25	1	97/1/24	08:30:21	08:35:40	05:00:19	17.4	1.75	9.226
0002	1	1	1	25	2	97/1/24	08:35:55	08:31:03	05:00:06	17.4	4.17	10.475
0003	1	1	1	20	1	97/1/24	08:32:02	08:36:03	05:03:01	17.4	0.60	30.149
0004	1	1	1	30	2	97/1/24	08:38:16	08:36:37	05:01:16	17.4	4.64	20.630
0005	1	1	1	35	1	97/1/24	09:22:46	09:36:44	05:03:58	17.4	1.04	33.619
0006	1	1	1	40	1	97/1/24	09:26:46	09:38:00	05:01:14	17.4	3.16	65.025
0007	1	1	1	45	1	97/1/24	09:38:04	09:39:43	05:01:39	17.4	4.29	117.063
0008	1	1	1	47	1	97/1/24	09:40:46	09:41:49	05:01:03	17.4	5.14	142.131
0009	1	1	1	47	1	97/1/24	11:46:15	11:49:20	05:03:05	17.4	2.80	148.751
0010	1	1	1	47	1	97/1/24	09:42:16	09:43:14	05:01:58	17.4	5.90	130.370
0011	1	1	1	49	1	97/1/24	09:45:09	09:46:34	05:01:25	17.4	0.04	5.044
0012	1	1	1	40	1	97/1/24	09:46:57	10:01:59	05:15:02	17.4	0.29	75.438
0013	1	1	1	20	1	97/1/24	11:31:59	11:33:59	05:02:00	17.4	4.23	106.777
0014	1	1	1	20	1	97/1/24	12:11:50	12:11:38	05:00:11	47.4	5.79	26.951
0015	1	1	1	25	1	97/1/24	10:29:40	10:21:35	09:08:05	17.4	2.42	36.992
0016	1	1	1	20	2	97/1/24	10:21:48	10:22:31	09:09:46	17.4	6.42	81.972
0017	1	1	1	20	2	97/1/24	12:04:15	12:04:58	09:09:42	27.4	5.96	47.590
0018	1	1	1	31	1	97/1/24	10:28:05	10:28:12	09:09:07	17.4	3.36	6.537
0019	1	1	1	41	1	97/1/24	10:30:23	10:30:25	09:09:02	27.4	4.34	7.499
0020	1	1	1	41	1	97/1/24	10:30:05	10:35:41	09:09:39	17.4	0.29	35.682
0021	1	1	1	35	1	97/1/24	10:29:55	10:29:57	09:09:02	17.4	1.17	0.549
0022	1	1	1	31	2	97/1/24	10:31:05	10:31:14	09:09:11	17.4	0.92	11.995
0023	1	1	1	31	2	97/1/24	10:32:26	10:33:53	09:09:03	27.4	2.69	47.050
0024	1	1	1	31	2	97/1/24	10:37:51	10:37:53	09:09:22	47.4	5.42	33.029
0025	1	1	1	31	2	97/1/24	10:39:45	10:39:47	09:09:17	47.4	7.49	3.001

図 11 転圧記録

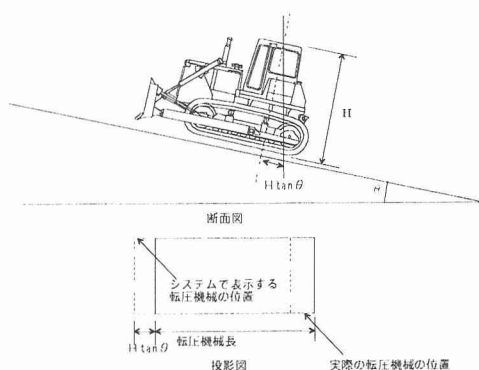


写真 1

6. まとめ

合理的で確実な転圧管理を目的として、「GPS によるリアルタイム転圧機械運行管理システム」を開発し、造成工事現場で実施した実証実験により、本システムの適用性を検証した結果以下の成果を得た。

- ①本システムが、長期間安定して稼働することがわかった。
- ②転圧機械の位置および動きを現場事務所内の 1 台のパソコンでリアルタイムに管理できることがわかった。
- ③転圧管理する地盤がある程度以上の勾配を有する場合は、投影位置に誤差が生じることがわかった。

施工管理の省力化、品質管理の向上を目的とした設備や施工機械の自動化、遠隔操作の技術は、日進月歩の早さで進んでおり、類似のシステムもいくつか報告されている。しかし、本システムはリアルタイムに施工中の転圧管理による転圧不足領域の把握およびその対応機能を含んだシステムであり、既存のシステムと比較してさらに一歩進んだシステムと考える。本システムのような転圧不足領域を完全になくす管理方法は、従来の点管理に対して面の管理となり、さらにリフト面毎に上方向へ連続的に管理することにより 3 次元での管理が確実におこなえる。これにより、従来のサンプリングによる点の品質管理から連続した面の品質管理へと改善することができ、精度が大幅に向上することが期待できる。

本システムはロックフィルダムコア部の転圧管理を主目的として開発したが、同様な管理手法はその他の工事においても必要とされる。例えば、RCD 工法のコンクリートダムでは、ゼロスランプのコンクリートを振動ローラで転圧するが、この場合も精度の高い転圧管理が必要とされる。また、高速道路などの広い範囲での路床や路体の施工にも転圧管理が必要である。これらに対して、本システムは充分対応可能であると考えられる。

今後の課題として、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る必要がある。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の開発も必要と考えている。

参考文献

- 1) 江口薫, 石口真美, 木村裕喜, 古川敦: 土工事出来形・出来高管理支援システム, (株)熊谷組技術研究報告第 55 号, pp155~163, 1996 年 10 月
- 2) 土屋淳, 辻宏道: GPS 測量の基礎, (社)日本測量協会, 1995 年 6 月