

盛土施工管理システムの開発と現場適用

柳原好孝¹・遠藤健¹・上野隆雄¹・高倉望²・富田佑一²

¹東急建設株式会社 技術研究所（〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名3062-1）

²正会員 東急建設株式会社 土木総本部土木技術部（〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14）

盛土の締固め度を管理する「盛土施工管理システム」について、システムの特長と構成を解説し、実証実験およびこれに基づく改良、現場適用事例について紹介する。

開発したシステムはオペレータと施工管理者のソフトを分割するなど作業の実状に合わせた使いやすしい構成とした。また、重機の位置計測手段として複数メーカー機種のトータルステーション（TS）とGPSに対応可能とし、当該機能・性能の検証のため双方の比較実験を行った。

空港造成工事における施工事例においては、重機に搭載するパソコンに振動対策を施しトラブルを防ぐとともに、電波環境測定を行い通信妨害の有無を確認した。

キーワード：情報化施工, 盛土施工管理, トータルステーション, GPS

1. はじめに

情報通信技術を活用した新しい施工方法である情報化施工は、平成20年2月に国土交通省が「情報化施工推進戦略」¹⁾を策定し普及に向けて活動を本格化させた。

筆者らは情報化施工の一技術である「盛土施工管理システム」の実用化・普及を図るため、平成20年度に新たなシステムを開発した。このシステムは位置計測手段として自動追尾型トータルステーション（以降「TS」と呼ぶ）およびGPSにも対応可能とした。GPS対応機能の検証のため試験を行った。

2. 盛土施工管理システムの概要

現在、盛土の締固め度を管理する方法には、品質規定方式と工法規定方式がある。前者は盛土の品質を直接計測する方法で、通常砂置換法やRI（放射性同位元素）法による乾燥密度計測によって行われる。

一方、後者において国土交通省は、情報化施工を普及促進させるため、第三の盛土管理手法として、事前に試験盛土を締固めて既定の締固め度を達成するための締固め回数を規定しておき、TSやGPSを用いて締固め機械の現在位置を計測、蓄積する新たな方法を平成15年12月に「TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領（案）」²⁾（以下「管理要

領案」と呼ぶ）としてまとめた。間接的だが前者に比べて品質の均一化が図れ、面的に管理できる、リアルタイムに管理可能などのメリットがある。

3. 開発コンセプトと仕様

(1) コンセプト

システムの開発に当たり、以下の特徴をコンセプトとした。

①管理要領案に準拠する。

②作業所職員用ソフト、重機オペレータ用ソフトに分割され使い易い（従来は一体で職員操作が基本）。

③通信ソフトと転圧管理ソフトを分離し、多機能かつ複数メーカー機種のTS、RTK-GPSに対応可能。

(2) 構成と仕様

ハードウェアは、TS使用時では①事務所PC、②締固め重機に搭載するPC、③締固め重機に搭載するプリズム、④プリズムを追尾するTS、TSの計測データを重機搭載PCに無線伝送する通信用モデム、から構成される。一方GPS使用時では、①②はTS使用時と共通、③'GPS受信機+補正情報通信機（重機側）④'GPS受信機+補正情報通信機（基地局側）から構成される（図-1）。

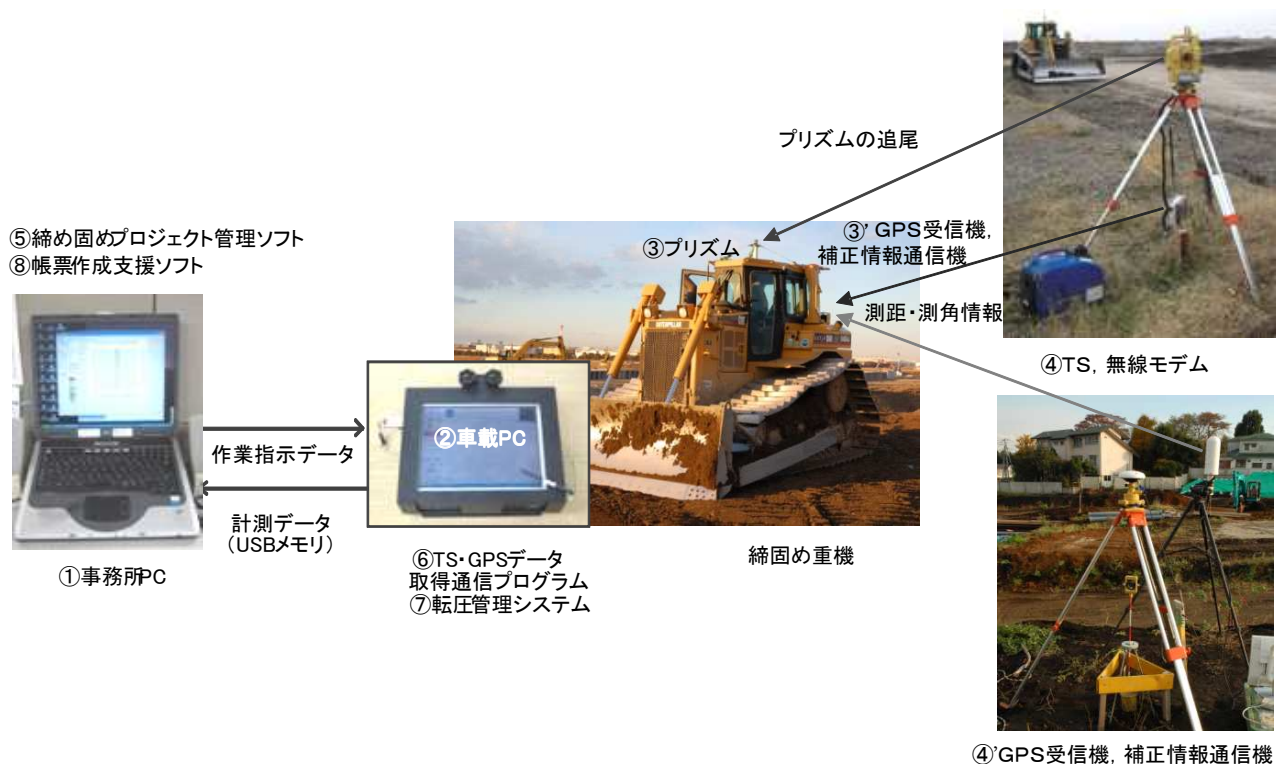


図-1 システム構成図

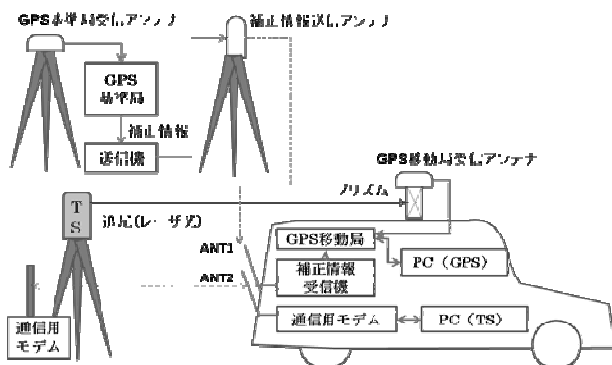


図-2 実験機器構成図

ソフトウェアは、⑤締め固め範囲等の設定を行うためのプロジェクト管理ソフト、⑥TSおよびGPSと通信し座標データを取り込む通信ソフト、⑦走行軌跡データを記録・画面表示する転圧管理ソフト、⑧走行軌跡データから帳票作成を支援するソフトから構成される。なお、⑥の通信ソフトは、各社のデータ入出力仕様が異なることからプラグイン形式のソフトとした。

4. 機能検証

本システムは適用範囲を広げるため、締め固め重機の位置情報を取得する手段として複数メーカーのTSおよびRTK-GPSを使用可能とした。このため本機能検証では実際の現場でTSおよびGPSの選択をする際に、精度を含め取得情報に差異がないか等の検証を実施した。なお使用したのは、TS（トプコン社製GTS-823A）とRTK-GPS（GNSS社製SF-2050G）である。

(1) 実験方法

乗用車を締め固め重機に見立て、2セットの盛土施工管理システム（一方の位置計測手段をTS、他方をRTK-GPSとした）を適用し、同時に位置計測データを取得した。TSおよびGPSによる取得データ（①走



写真-1 機能検証状況

行軌跡，②転圧回数分布）について両手法の差異を検証した．機器構成を図-2に示す．検証状況を写真-1に示す．

なお，今回の検証における評価基準を以下のように定めた．

a) 走行軌跡の差異

TSのデータを基準とした場合に，GPSによる走行軌跡（位置計測データ群）がTSのものと比較してその差が0.25m未満であること（管理要領案で規定しているブルドーザの管理メッシュサイズが0.25mであることから）．

b) 転圧回数分布の差異

GPSによる転圧回数分布図（走行軌跡に基づき作成される）がTSのものと比較して大きな差異がないこと．

(2) 検証結果と分析

a) 走行軌跡の差異について

道路を直線状に約 160m にかけて約 5 往復し，GPS は RTK の Fix 解（必要条件）以外のデータを削除した上，TS と共に図面上に座標値をプロットし走行軌跡を描いた（図-3）．互いの走行軌跡の離隔が差異となる．離隔が図面上で確認可能な約 800 点を 5 点間隔でサンプリングし 165 点を計測した（図-4）．差異平均距離は 0.054m，標準偏差は 0.067m であった．

折返し中（軌跡の曲率が小さい場合）に最大 0.52m の差異が生じたが，これは TS データと GPS データ取得のサンプリングタイムの周期が異なることに起因しており（図-3 円内），これ以外の通常走行時はいずれも 0.25m 未満の差異であった．

b) 転圧回数分布の差異について

転圧回数分布図を図-5に示す．若干の差異があるのは以下が原因と考えられる．

①TS と GPS で同時刻のデータを抽出して転圧回数分布図を描かせたが，完全な時刻同期が取れないため，時間遅れ（TS が概して遅く，また双方のデータを採取した 2 台の PC 間の時刻にも厳密には差異がある）の影響が出た．

②管理メッシュの境界近傍における差異のため，隣の領域を塗った．

(3) 試験結果の評価

TS 同様，GPS でも管理要領案に則ったデータ取得が可能であった．走行軌跡の差異は TS のデータ取得遅れを除いては全点 0.25m を下回っており，転圧管理分布図にも大きな差異がないことから，GPS を

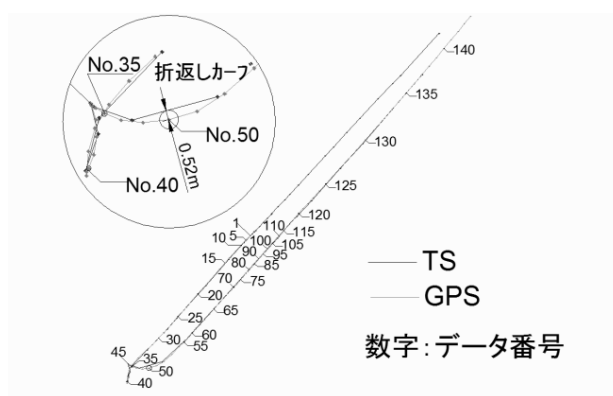


図-3 GPS と TS による走行軌跡（例）

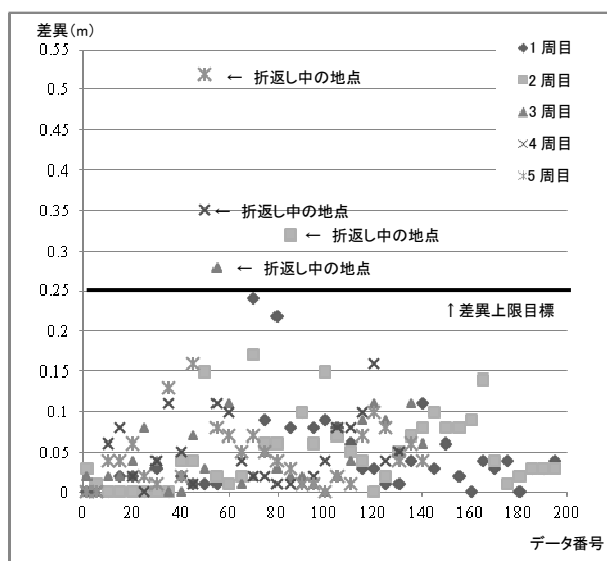


図-4 GPS と TS の走行軌跡差異

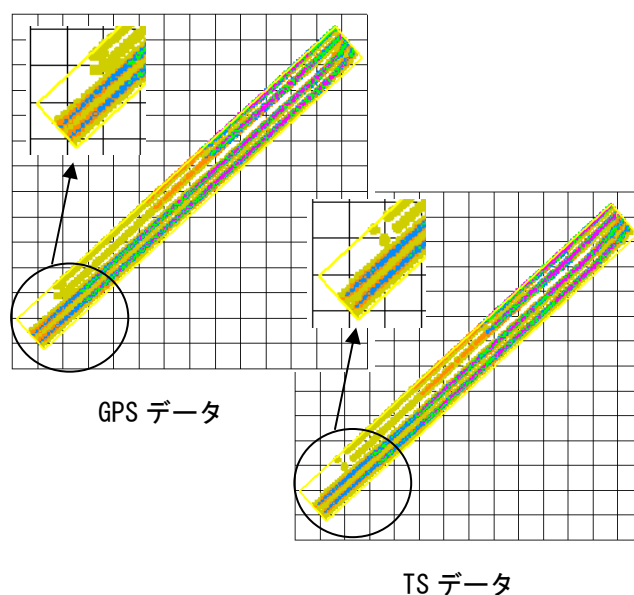


図-5 転圧回数分布図

用いて盛土施工管理システムを運用しても問題はな
いと判断できる。

5. 現場適用実験

(1) 実験方法

盛土施工管理システム2セットを締固め重機（ブルドーザ）に搭載し、一方の位置計測機器としてTS（トプコン社製GPT-9005A）を、もう一方にGPSを使用し、締固め動作をして両システムにより同時に位置計測データを取得した。図-6に実験範囲（エリア）、写真-2に実験状況を示す。

なお、評価対象は要素実験同様にTSおよびGPSによる取得データの走行軌跡、および転圧回数分布とした。

a) 転圧回数および位置計測頻度

締固めの規定回数を4回とし、車載PC画面に表示される転圧回数分布画面を見ながら設定エリアが全域規定回数に達するまで転圧した。

なおTSの位置計測頻度は、モデムを介してTSとPC間でデータ送受信が成立したタイミングで行われるため不定期（最高で2～3回/sec程度）である。一方GPSは5Hz（5回/sec）である。

b) 差異計測方法

①走行軌跡についてはTSとGPSの軌跡点群データ（点間は直線で結ぶ）を同一画面にCADで描き、差異の大きい直線を2本、曲線を数本、端部を数点選ぶ。選んだ線や端部のすべてのTS計測点からGPS軌跡線に垂線を下ろし、軌跡線との交点までの長さを計測する。これをTSとGPSの軌跡差異とし、評価する。

②転圧回数分布については基本的に走行軌跡を基に塗られるため、ここでは塗りつぶし漏れなどの異常がないのみ検証する。

c) 計測評価したエリアおよび層

エリア1は1層のみ、エリア2は2層を評価した。

(2) 試験結果と評価結果

a) 走行軌跡の差異

表-1に比較結果を示す。各層・エリアとも最大差異は評価基準である0.25mを十分下回る結果が得られ、機能検証時の結果と比較してかなり改善した。改善の要因としてはブルドーザの軌跡は乗用車のような繰り返し軌跡を描かないこと、TSの応答性能が向上したことなどが考えられる。

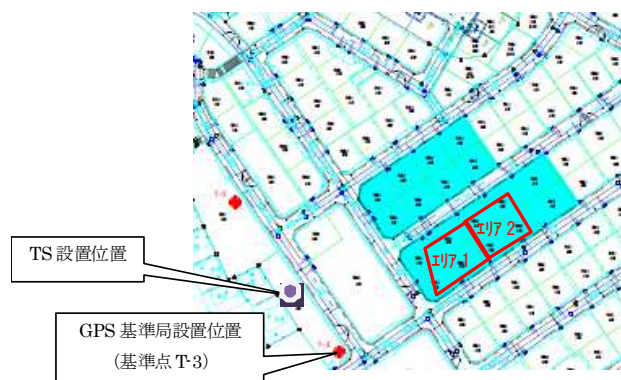


図-6 実験範囲



TS（左下）およびGPS基地局（右下）の配置（締固め重機：画面中央やや左）



車載PC等配置（座席後部）



TS用プリズム、GPS移動局アンテナ



締固め重機（ブルドーザ）



実証試験状況

写真-2 実験状況

表-1 各層・エリアにおける差異（単位 m）

箇所	層	最小差異	最大差異
エリア1	1	0	0.068
エリア2	1	0.007	0.084
	2	0	0.054

b) 転圧回数分布

各層・エリアとも塗りつぶし状態に差異は見られないことを確認した。

6. 実施工への適用

(1) 工事概要

件名：東京国際空港 B 平行誘導路用地造成等工事
発注者：国土交通省 関東地方整備局 東京空港
整備事務所

工期：平成 20 年 7 月 10 日～平成 21 年 2 月 27 日

盛土：土量 53,300m³，面積 50,590m²

導入システム：盛土施工管理システム（TS版）

(2) 導入手順

a) 試験盛土

現場において試験盛土を行い，締固め重機（ブルドーザ）により偶数回締固めでは RI 法により締固め密度を測定した．その結果，転圧回数を 6 回とした．

b) 機器の設置と指導

締固め重機の屋根上にプリズム，キャビン外側に TS との通信用アンテナ，運転席脇に車載 PC を設置した（写真-3，4）．フィールドには TS，データ通信用のモデム，発電機を設置し，締固めエリアに応じて移設した．作業所担当者とオペレータに使用方法を指導した．

(3) システム運用

作業所担当者とオペレータが日々次のフローで運用した．①当日締固めるエリアの設定（事務所 PC 使用），②TS の設置，③重機搭載 PC の立ち上げと設定，④オペレータによる締固めとデータ収録，⑤当日締固めたエリアのデータ保管と帳票作成．

また，空港施設内での工事であることから，データ通信に関する電波環境計測も合わせて実施する．

(4) 導入結果

a) 施工能力と効果

- ①施工能力：平均約 500m²/h（締固め 1 層当り）
- ②品質：面的な管理となるため向上
- ③所要時間：RI 法と比較すると試算で約 20%減
- ④コスト：RI 法による測定を外注で行った場合のコストは本システムとほぼ同等（試算）

b) 帳票作成

本システムによる工法で作成・提出した帳票類（管理要領案で規定）は以下の通りである．

①盛土管理図（各層毎に作成し施工日毎の施工範囲を示すもの）（図-7）

②走行軌跡図，締固め回数分布図（施工日毎）

（図-8）



写真-3 プリズムの設置状況



写真-4 車載PCの設置状況

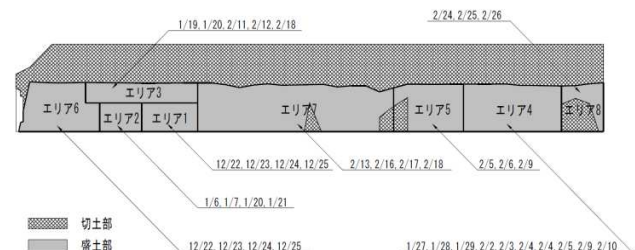


図-7 盛土管理図

③走行軌跡座標データ（電子データ）

c) 電波環境計測

データ伝送用のモデム（2.4GHz 帯特定小電力無線）が周囲の電波環境の影響を受けないか確認するため電波環境計測を行った．スペクトラムアナライザおよびホーンアンテナを用いた（写真-5）．

その結果，2.120～2.168GHz 付近に 3 つのピークがみられた（携帯電話の基地局と思われる）もののモデムの使用周波数（2.412～2.484GHz）に影響を及ぼさないことを確認した．

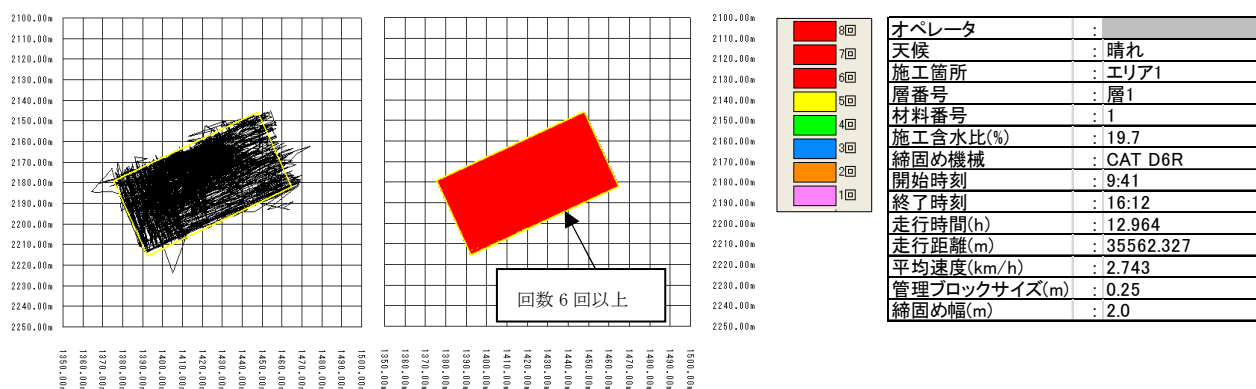


図-8 走行軌跡図（左），締固め回数分布図（中央），諸元



写真-5 電波環境計測状況

d) ヒアリング結果

作業所担当者および重機オペレータに当該システムについてヒアリングしたところ，以下の意見があった。

①画面を見ながら効率よく転圧するのに慣れが必要であった。（ブルドーザによる転圧では，管理メッシュサイズが 0.25m×0.25m とローラの 0.5m×0.5m に比べて小さく，また履帯間の接地しない領域は転圧にカウントされないため難しい。）

②走行軌跡の表示が遅れることがあった。（エリアを広く設定したとき演算処理の負荷が過剰となったためで期間中にソフトを改良し解決した。）

③転圧管理ソフトの仕上がりは概ねよい。

④帳票作成が自動化できるとさらによい。

⑤情報化施工に慣れていないオペレータには，専用のマニュアル整備を含め丁寧な教育が必要である。

(5) 導入結果の評価

TS 方式については実施工での運用において問題はないと判断できる。

7. おわりに

「盛土施工管理システム」を開発し，機能検証，現場実験を実施し，TS 方式については実施工に導入した。現場導入により得られた知見から，システムの改良や運用体制の構築を行い普及に努めたい。

今後は GPS を用いたシステムの実施工適用を図りたい。この際には GPS 方式の利点と欠点を洗い出し，TS 方式と GPS 方式のいずれを採用すべきかを現場導入時に適切に判断できるようマニュアル化を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省，情報化施工推進戦略，平成20年7月
- 2) 国土交通省，TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領（案），2003.