

# 盛土転圧のオンライン処理システムの開発

西澤修一・亀沢寛\*<sup>1</sup>

*Keywords: soil compaction management, computer-based construction, maintenance, GPS*  
締固め管理、情報化施工、維持管理、GPS

## 1. 序

近年、道路公団や国土交通省が中心となって現場導入が進められている締固め自動管理技術は、平成7年、当社がわが国で初めて実施した雲仙普賢岳の水無川1号砂防ダムの無人化施工に際し、GPSを用いた無人化施工管理システムの開発技術がその原型となっているといっても過言ではない。

一般に実施されている盛土の品質管理は、盛土の材料および盛土の一層あたりの仕上り厚によって、品質規定方式あるいは工法規定方式のいずれかを採用する決まりとなっている。しかし、従来の管理方法は、広い施工ヤードにおける特定箇所をポイント的に測定し、品質を検証している。また、そのための測定には人手と時間がかかるなど、管理業務に多くの時間を割いているのが現状である。

そこで、国土交通省は従来の品質管理方式の課題を解決するため、新しい管理方式の採用を策定中である。本システムの研究開発は、国土交通省で採用を計画している新しい施工管理要領の策定計画に沿って実施したものである。

本システムは、この無人化施工管理技術の経験を生かし、任意の工事に対して自由に適用ができるよう、大幅な改造を行った。本論分は、様々な造成工事に対して適用ができるよう、大幅な改造を行った内容を中心に報告する。

## 2. システム概要

### 2.1 システムの概要

システムの特徴は、大きく2つに分かれる。

(1)重機用管理システムにより、GPSや自動追尾型トータルステーション(以下、「TS」とする)を用いて重機の転圧走行軌跡を追尾し、締固め回数を自動カウントして、回数分布をメッシュ単位でリアルタイムに色分け表示する。同時に、3次元走行軌跡データを作業単位で記録する。

(2)作業所用管理システムにより、得られた転圧走行軌跡データに基づいて転圧作業を分析し、各種施工情報をメッシュ単位に電子ファイリングを行う。

まず、図-1で示す重機用管理システムは、振動ローラーに搭載したGPSにより3次元座標として走行軌跡データを取り込み、振動ローラーの転圧位置と転圧回数を、オペレータ席前の管理画面に表示する(図-2参照)。



図-1 重機に設置したGPS無線機と計測管理装置

A GPS radio transmitter and instrumentation control unit

\*1 土木本部土木技術部

一方、作業所用管理システムは、該当する路線 No.ファイルに重機の走行軌跡データを記録するとともに、転圧範囲のメッシュ・ファイルに、新たな作業情報を追加、ファイリングする。(図-3参照)

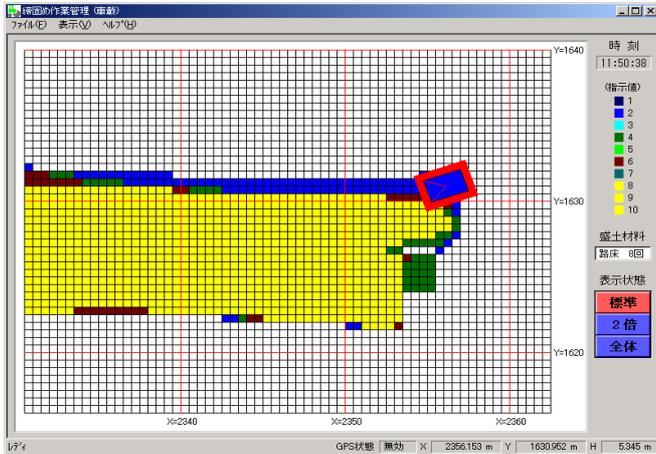


図-2 重機用管理システムの画面例  
Typical chart of the heavy-duty equipment system

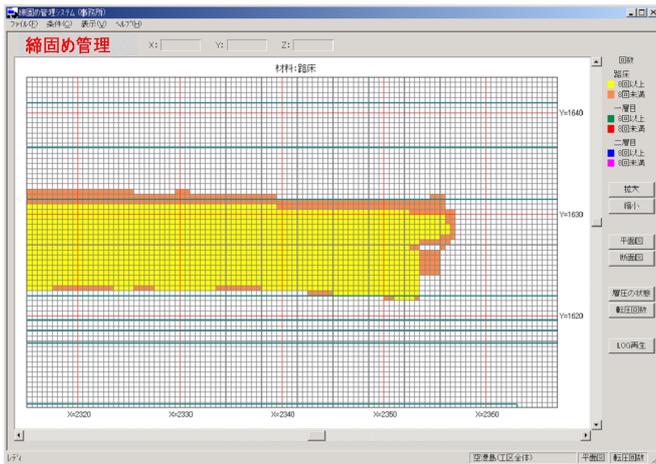


図-3 作業所用管理システム画面例  
Typical chart of the field office system

## 2.2 ローラーのメッシュ通過判定方法

転圧ローラーがメッシュ上を通過したか否かの判定方法と、転圧回数を加算していく処理の流れは以下のとおりである。(図-4参照)

- (1)GPSまたはトータルステーションにより、重機の走行軌跡を3次元座標で1秒間隔に追尾する。
- (2)1秒前と現在位置の左・右それぞれの転圧ローラー端部を直線で結ぶ。
- (3)管理用メッシュごとに、メッシュ中心からローラー端部を結ぶ直線に対して垂線を引き、垂線の長さを求める。
- (4)垂線の長さが、設定値以上である場合は、そのメッシュ

を重機が通過したと判定する。

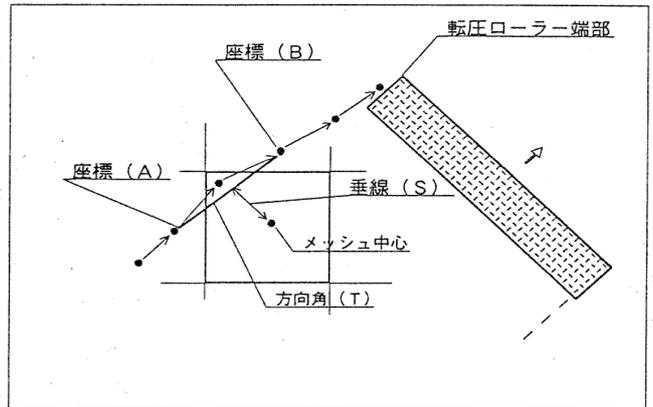


図-4 転圧ローラー通過管理の概念図

The method of the compacting roller passes a mesh rollerの通過判定を高い精度で行う場合、管理用メッシュ幅が小さいほど、精度は上がる。しかし、広いエリアを管理する場合、メッシュ幅を小さくすると、メモリー容量が多く必要となる。また画面管理上でも画面の移動時間が遅くなるなど、運用上でさまざまな問題が生じる。したがって、メッシュ幅は、重機の管理精度と運用面とのバランスを考慮して決定する必要がある。

本システムは、重機のメッシュ通過判定範囲を任意に設定できるため、ある程度の大きさのメッシュ幅を採用しても、高い通過判定精度を確保できる。

## 2.3 防振装置の開発

システムの運用にあたっては、振動ローラーにGPS(またはTS)と携帯用コンピュータを搭載しなければならない。通常、締固めで用いる重機は、起振力が20~30トンのものが多く、GPSやコンピュータには防振対策を施さねばならない。

GPSアンテナ(TSの場合は反射プリズム)は、重機に架台でしっかり固定するだけで問題はないが、激しく重機が振動する中でGPS計測実験を行った結果、GPS受信機に防振装置を施さない場合、振動を与えたときにサイクルスリップ(GPS衛星~受信機の間で、衛星電波の連続性が断ち切られる)が生じ、再び初期化(GPS衛星~受信機の間で波長の数を明確にし、距離を確定すること)を行うには、重機の起振動作を止めない限りできなかった。受信機が振動に弱い原因はメーカーに確認しても明確な答えは得られなかったが、受信機内部の部品のうち、完全に全体の固定が難しいダイオード等に対して振動の影響が生じた可能性がある。

そこで、重機に搭載するGPS受信機および携帯用コンピュータを激しい振動から守るため、防振ゴムを用い

た防振装置を開発するとともに、重機のバッテリーを活用してGPS受信機やコンピュータを駆動するため、電源ユニットの設計、製作を行った。

## 2.4 システム処理の流れ

### 2.4.1 重機用管理システム

重機搭載システムは、以下の(1)～(4)の流れで処理を行う。(図-2参照)

- (1)振動ローラーが作業エリアまで移動し、起振をかけて転圧作業を開始すると同時に、起振情報を検知し、重機の走行軌跡情報の記録を自動的に開始する。
- (2)運転席の管理画面上に、重機の現在位置を示す表示と共に、転圧回数に応じたメッシュごとの色分け分布図を表示する。
- (3)起振の終了を検知すると同時に、携帯電話によって記録した走行軌跡情報を作業所へ自動送信する。
- (4)運転席の管理画面上に、「データ送信終了」を表示すると共に、色分け分布図の表示は消去される。しかし、その日の走行軌跡データの記録は、その日一日だけ保存する。

### 2.4.2 作業所用管理システム

作業所における締固め管理システムは、以下の(1)～(3)の流れで処理を行う。(図-3参照)

- (1)重機から送信された施工情報は、作業所にて受信するとともに、表示画面上に、転圧回数の色分け分布図を表示する。
- (2)メッシュ単位の管理ファイル内容が自動更新される。
- (3)管理ファイル内容の出力は、任意の標高値や断面 No. を指定することにより、すべての関係する記録データは一連に出力される。いずれも規定値内・外の2通りの色分け分布図で出力される。

## 2.5 GPSおよびTSの重機追尾性能の比較

### 2.5.1 GPS方式

- (1)施工場所： 上空に障害物が多い場合、GPSが使用できない時間帯や作業エリアが生じる恐れがある。
- (2)機器の運用方法： オペレータが重機の電源を入れるだけで、直ちに重機の追尾を自動で開始できる。
- (3)重機の管理性能： 固定局に1台のほか、重機台数分のGPSを用意する必要がある。
- (4)天候への対応性： 基本的に全天候型である。
- (5)重機追尾性能： GPS固定局から見通しがきく範囲では、2km前後まで追尾が可能である。
- (6)追尾精度： 水平・鉛直方向で $\pm 10 \sim 20\text{cm}$ 。

(7)追尾上の留意点： 固定局と移動局(重機側)で同時に受信する衛星の電波の数が4個以下になった場合、あるいは固定局で受信した衛星電波を移動局へ送信する無線が途絶えた場合には、測定ができなくなる。

もし、追尾中にこの障害が生じたときは、画面上の重機は停止し、走行軌跡も描かれなくなるので、オペレータは追尾していない状況を直ちに知ることができる。

### 2.5.2 自動追尾トータルステーション(TS)方式

- (1)施工場所： 山間部やトンネル内など、上空の障害物の有無に関係なく、適用が可能である。
- (2)重機の運用方法： 追尾開始時に、測量技術者が重機上の反射プリズムをTSで視準する必要がある。さらに、転圧場所を頻繁に変更する場合や各種重機が錯綜して作業する場所では、追尾の中断が発生する恐れがあり、測量技術者が常時待機する必要性が生じる。
- (3)重機の管理性能： TSと反射プリズムのセットは、重機台数分が必要となる。
- (4)天候への対応性： 濃霧や雨天のときは、重機の追尾測量が難しい。
- (5)重機追尾性能： 所定の測位精度を確保するためには、追尾範囲は300m程度が限界。
- (6)追尾精度： 水平・鉛直方向で $\pm 20 \sim 30\text{cm}$ 。
- (7)追尾上の留意点： 何らかの要因により重機の反射プリズムの追尾が中断した場合、GPS画面と同様に、画面上の重機は停止し、走行軌跡も描かれなくなるので、オペレータは追尾していない状況を直ちに知ることができる。追尾再開のためには、中断時の位置に重機を戻してTSで反射プリズムを視準し直すとともに、TSから重機に測位情報の再送信を行う必要である。

## 3. システムの主な改造ポイント

本システムは、いくつかの現場適用をとおして、機能の実用性をさらに高めるための見直しを行った。機能の改造を図った点は主に以下の9点である。

- (1)メッシュの通過判定方法として、メッシュ中心からメッシュ枠に向かったの判定用半径を設定し、振動ローラー端部が設定した半径の長さ以上を通過したときに限り、通過したと認める方法を採用した。メッシュ中心からの通過判定半径は自由に設定できる。最適な通過判定半径について、メッシュ幅50cmを使用して検証実験を行った。通過判定率を、a) 50% (メッシュ幅の半分以上の通過が必要 = メッシュ枠からメッシュ中に向かって25cm以内が許容値)、b)

75% (メッシュ幅の 75%以上の通過が必要 = メッシュ枠から 12.5cm 以内が許容値) c) 100% (メッシュ幅いっぱいの通過が必要) の 3 タイプに分けて転圧を行い、規定回数未満となる発生面積の割合を検証した。その結果は、表-1、図-5、-6のとおりである。

表-1 通過判定率と未転圧発生割合

A change in uncompacted area ratio with the judgment

通過判定の許容半径 (メッシュ幅 50cm 使用)	未転圧面積 の発生割合
50%以上の場合 (メッシュ枠から 25cm 以内)	0%
75%以上の場合 (メッシュ枠から 12.5cm 以内)	0.1%
100%の場合 (メッシュ枠いっぱい)	1.1%

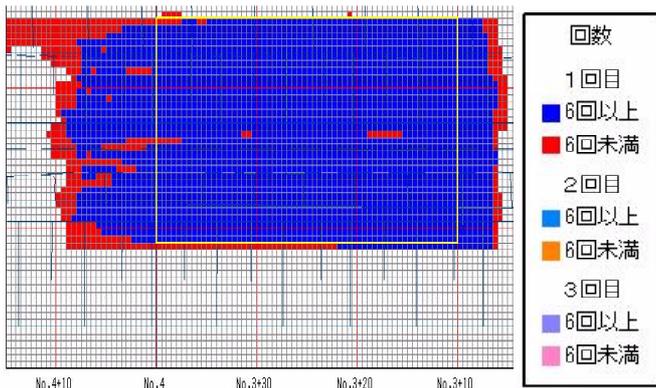


図-5 50cm メッシュ、通過判定率 75%の管理結果

Result of the compacting roller passes the 75% a 50-cm mesh

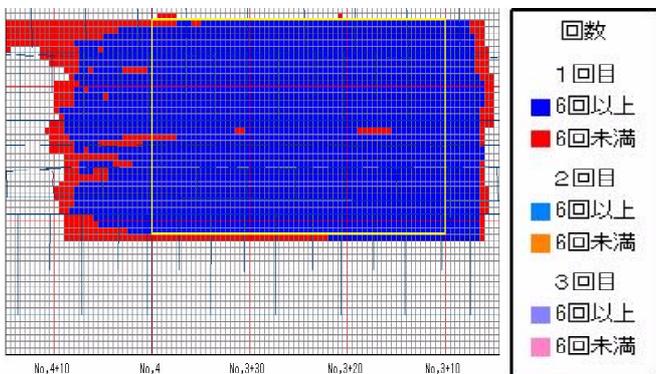


図-6 50cm メッシュ、通過判定率 100%の管理結果

Result of the compacting roller passes the 100% a 50-cm mesh

(2)重機の走行軌跡情報は、転圧作業中の走行情報のみを自動的に選別して記録を行う。したがって、次の作業ヤードや駐機場への移動情報は、施工情報として必要

ないので記録は行わない。

(3)作業中に記録した重機の走行軌跡情報は、作業が終了すると同時に、携帯電話により作業所の総合管理装置に自動送信ができる。

(4)重機用管理画面において、作業中に画面表示していた転圧回数の色分け分布図は、転圧作業が終了して走行軌跡情報を送信すると同時に、新たな次層の盛土管理に対応するため、画面上から消える。さらに、記録された情報も、装置から直ちに消去される。

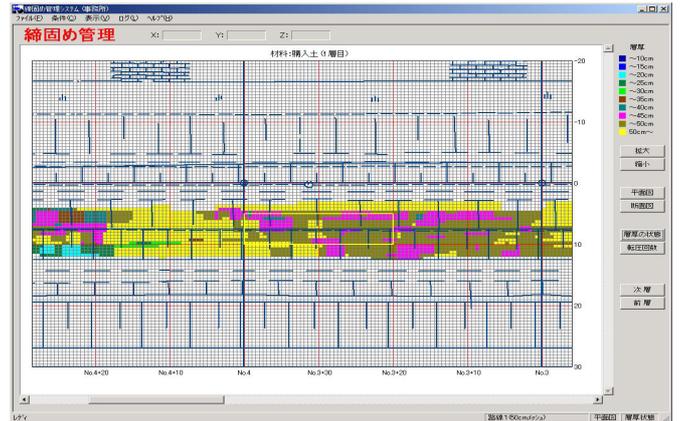


図-7 施工層厚管理 10 段階表示分布図

Distribution of soil layer thicknesses displayed in ten levels

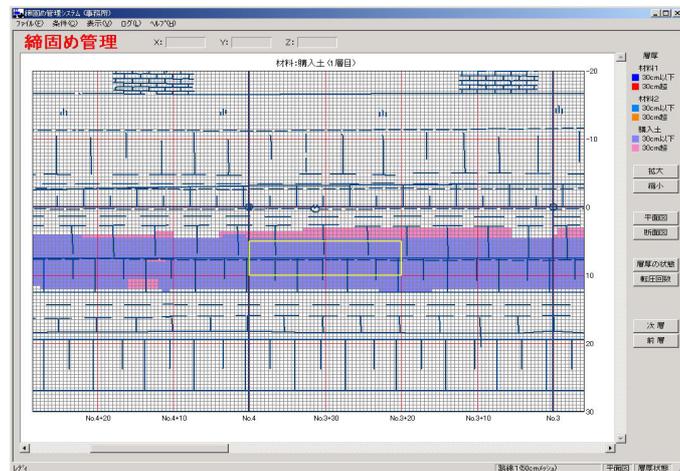


図-8 施工層厚管理 2 段階表示分布図

Distribution of soil layer thicknesses displayed in two levels

(5)作業所の総合管理装置では、走行軌跡情報を受け取ると、転圧回数と施工層厚、最終標高値などの新たな作業情報は、電子ファイルの関係するメッシュに、新規盛立層データとして追加、更新される。

(6)転圧作業がすでに完了している隣接ヤードに接して、敷均しと転圧作業を新たに行う場合、すでに転圧作業が完了している隣接部の一部に対して、方向転換などでローラーが走行する。この際、ローラーが走行した

隣接部の転圧回数は規定値以下のデータがほとんどを占めるため、それらのデータによりそれ以前に記録された正規のデータが誤って差し替えられるのを防ぐ必要がある。

そこで、走行軌跡情報をメッシュごとに記録する際に、メッシュ単位で前回と今回との標高差を求め、標高差が一定の範囲内にある場合は、そのメッシュの転圧回数は、記録されている前回の転圧回数に新規の転圧回数をそのまま加算させる処理を行った。これにより、転圧作業ヤードの接合管理が正しく行えるようになった(図-9、-10参照)。

(7)施工情報の出力方法は、以下の2方法を選択する。

- 1) 所定の標高や断面 No.を指定して、指定範囲のすべての施工情報を、平面図や断面図にて連続表示を行う。
- 2) 盛立層 No.を指定し、指定した層 No.ごとに施工情報を、平面図や断面図にて連続表示を行う。

(8)既存の電子化された地形図(平面図・断面図)を取り込み、締固め管理平面図・断面図と重ね合わせることで、締固め情報の位置関係がCAD図面で確認できる。

(9)メッシュ単位でファイリングされている施工情報は、CSVファイルを作成し、Excel形式等で出力を行う。これにより、出力データに所定の計算処理を加え、出来形検測一覧表などが自動作成できる。

このほか、マウスでの任意箇所のショットや、開始位置と終了位置の2カ所の座標を指定することにより、その位置や範囲における盛立層 No.ごとの標高と転圧回数が、メッシュ単位で確認できる。層厚は、それぞれの標高との差し引きで求める。

## 4. システムの導入効果

### 4.1 施工管理の効果

本システムの導入実績に基づき、タスクメーター等を用いた従来管理方式と比較したときの適用効果は、以下のとおりである。

(1)既存の電子化された平面・断面図のDXFファイルを取り込み、締固め情報の出力平面・断面図と重ね合わせを行うことにより、締固め情報の位置関係が一般CAD図面との関係の中で確認ができる。

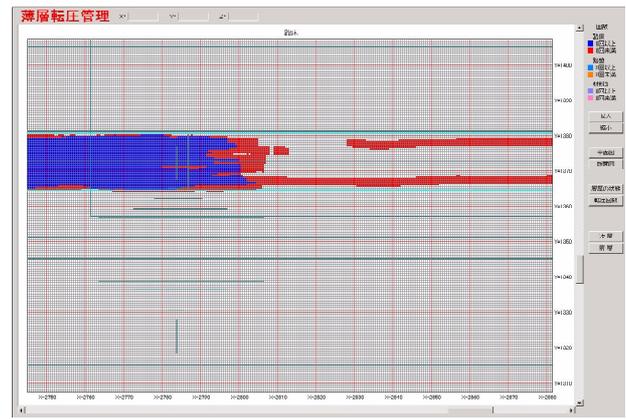


図-9 隣接部が転圧前の転圧回数管理図

Control chart before the adjacent yard is compacted

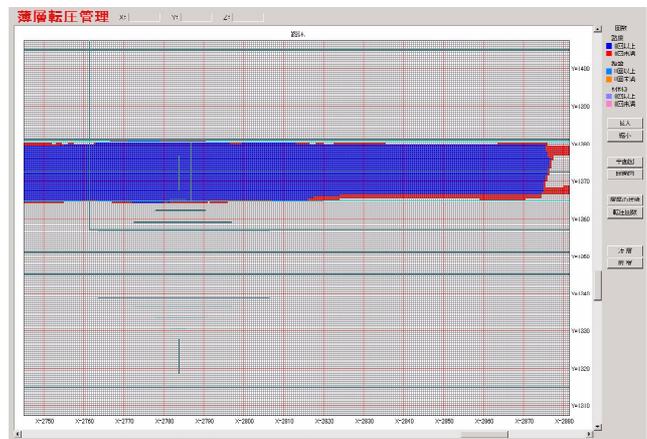


図-10 隣接部が転圧終了後の転圧回数管理図

Control chart after the adjacent yard has been compacted

(2)メッシュ単位でファイリングされている施工層ごとの転圧情報は、CSV形式等で出力することにより、必要な成果表が自動的に作成できる。たとえば、これまで出来形測量データに基づいて手作業で作成していた出来形検測表などは、メッシュ単位の転圧情報を用いて所定の計算処理を加えることにより、検測結果一覧表を自動的に作成できる。

(3)締固め管理業務の大幅な省力化が図られる。

(4)重機側管理システムで取得した転圧情報を、携帯電話等を用いて作業所側管理システムに自動的に送信するので、複数盛場の施工状況を、作業所にて遠隔集中管理ができる。

(5)転圧回数・施工層厚情報の出力は、盛立層 No.または標高や断面 No.を指定することにより、全体の施工情報が平面図や断面図で出力できる。

### 4.2 情報化施工の導入による各立場における効果

締固め管理システムの運用のメリットは、情報を利用する各立場によって異なる。それぞれの予想されるメ

リットは、以下のとおりである。

- (1) 発注者；
  - ・全国規模の施工情報の蓄積、統合化が図られる。
  - ・新規の工事計画や設計を検討する上での、貴重な資料となる。
  - ・機械化施工の効率化や最適化のための資料となる。
  - ・後日、不良箇所等が発生した場合、施工上の原因や責任の所在を明確にするためのバックデータとして利用できる。
- (2) 建設会社；
  - ・営業戦略上の重要な武器となる。
  - ・管理システムの導入負担にも増して、現場努力により、施工コストと工期の短縮によるコストダウン効果が期待できる。
  - ・品質管理成果の自動出力による、現場管理業務の省力化が図れる。
  - ・面的、層別の施工管理による品質管理の高度化が図れる。
  - ・重機の稼働状況が、遠隔地からリアルタイムに監視できる。
  - ・週（月）別の、簡易な出来形図の出力と盛土数量の集計が自動的にできる。
  - ・後日、不良箇所等が発生した場合、社会的責任の所在を明確にするためのバックデータとなる。
- (3) 作業員；
  - ・確実な就労管理が保証される。
- (4) 専門工事会社；
  - ・作業員や重機の正確な実働情報が得られる。
  - ・機械化施工のコスト低減化に必要な検討資料が得られる。

管理システムの適用により、今後、従来施工法で義務づけられている R I 計器による測定が大幅に削減される可能性がある。そのときには、施工管理業務の省力化や次工程への迅速な移行などの適用効果が生じる。

一方、現場運用にあたっては、いくつか解決すべき課題も残っている。それらは、主に以下の4点である。

- (1) システムの現場導入を迅速に行うためには、数種類のシステム機器構成を標準的に整備しておく必要がある。
- (2) 装置の故障への対応や重機オペレータへの指導など、システムのスムーズな稼働には、現場運用体制の整備が必要である。
- (3) システムがスムーズに稼働するまでには、ある程度の時間が必要である。したがって、システムの導入計画にあたっては、これを考慮する必要がある。
- (4) 重機の走行軌跡情報を作業所用管理システムで自動処理することは可能であるが、装置の故障などで不正確なデータを記録した場合でも、これを見過ごす恐れがある。

そこで作業所管理システムに、施工した日付ごとの転圧作業の走行軌跡情報を表示させ、施工範囲、転圧回数分布図の結果を管理責任者がいったん確認してから、自動処理を実施するようにした。

本システムは、現在、静岡空港本体造成工事および中部国際空港埋立工事で稼働中であり、システム機能の実用性は実証されている。今後も現場の要望を取り入れながら、システムの高度化をさらに進めていきたい。

#### 参考文献

- 1) 日本道路公団：土工施工管理要領、pp.32～36、1989.
- 2) 三嶋信男・緒方健治・北村佳則・益村公人：GPSを利用した土の締固め自動管理手法の導入、土と基礎、Vol.48、No.4、pp.9～12、2000.

## 5. おわりに

国土交通省は、現在、盛土施工管理に関する新しい管理要領を策定中であり、本システムのような情報化施工