

8. ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式を適用した 3DMC の実用化

大成ロテック株式会社 ○ 島田 拓
大成ロテック株式会社 平野 晃
大成ロテック株式会社 田中 純

1. はじめに

近年の ICT (Information and Communication Technology) の発達により、情報化施工は、建設業界において、広く普及している。特に、三次元マシンコントロールシステム (3DMC) は、生産性の向上及び施工の合理化を実現するツールとして、産学官による戦略的な普及方策が推し進められている。3DMC の代表例として、GNSS (Global Navigation Satellite System) 測位方式を利用した制御システムと、測量機器の 1 つである「自動追尾式トータルステーション」を利用した制御システムがある。このうち GNSS 測位方式を用いた制御方式では、既知点に GNSS 基地局を設置し、無線通信にて補正情報を移動局に送信する RTK-GNSS 測位方式が多く採用されている。

RTK-GNSS 測位方式による 3DMC では、①基地局設置の手間、②GNSS 座標値と基準点座標値の照合作業、③舗装工等での高さ方向の精度確保、④システム機器が高額である、等の理由が、技術普及の阻害要因ともなっている。

そこで、大成ロテック (株) では、情報化施工におけるシステムの簡便省力化及び、施工精度の向上、並びにコスト削減を目的として、『ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式』と『レーザ技術』を融合させた 3DMC の建設機械への適用を検討し、実用化を試みた。

本文では、新案 3DMC システム概要と構成を紹介すると共に、施工事例及び導入効果の検証について報告する。

2. RTK-GNSS 測位方式

2.1 RTK-GNSS 測位方式の概念

RTK-GNSS 測位方式は『現場内の既知点に設置した基地局』、『求点に設置する移動局』、『複数の GNSS 受信機』を用いて構成される。

RTK-GNSS 測位装置の構成を図-1 に示す。

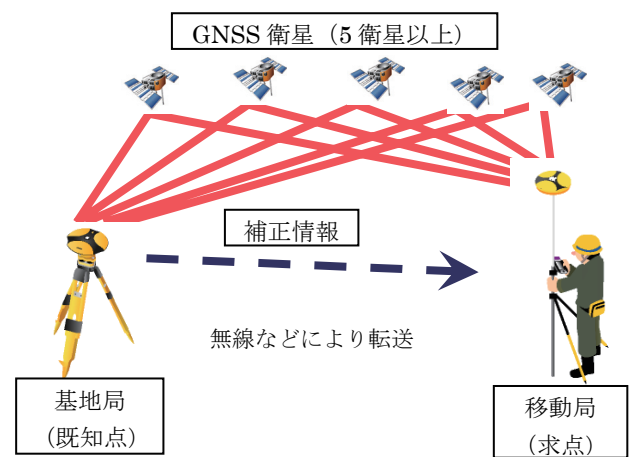


図-1 RTK-GNSS 測位装置構成

RTK-GNSS 測位方式の概念を以下に示す。

- ① 基地局は、GNSS 衛星からの信号を受信し、既知点との誤差を消去し、補正データを作成する。
- ② 作成された補正データは、無線装置などを用いて、移動局へ送信される。
- ③ 移動局では、リアルタイムに補正情報を受信し、即座に現位置における測位演算を行い、位置座標が算出される。

2.2 RTK-GNSS 測位方式の課題

RTK-GNSS 測位方式の課題を以下に示す。

- 1) 複数の GNSS 受信機及び、基地局を設置するため、機器設置の煩わしさ、システム機器のコスト高が懸念される。
- 2) システムの運用可能範囲が、無線装置の通信エリア内 (距離) に制限される。
- 3) システム運用のためには、現場既知点 (基準点) の設置及び GNSS 座標と基準点座標の照合作業 (ローカライゼーション) が必要となり、労務コストが負担となる。
- 4) 舗装工等の鉛直方向精度が要求される場合には、施工精度の確保が課題となる。

前述した課題を解決する手段として、ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式とレーザ技術を融合させた新しい 3DMC システム（以下、VRS-RTK-GNSS-3DMC システムと記す）を開発し、3DMC システムの簡便省力化及び、コスト縮減、並びに施工精度向上を試みた。

3. VRS-RTK-GNSS-3DMC システム

当該システムの基幹である『レーザ技術』と『ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式』及び、主要装置についての概要を以下示す。

3.1 レーザ技術を用いた鉛直方向補正

従来の RTK-GNSS 測位方式による測位精度は、水平方向精度：±20 [mm] 程度、鉛直方向精度：±30 [mm] 程度が一般的であり、ミリ単位の施工精度が要求される舗装工等においては、鉛直方向精度に課題がある。

鉛直方向の精度確保の手段として、施工現場内の既知点にレーザ発光器を設置することで、RTK-GNSS 測位方式の課題である鉛直方向の補正が可能となる。

そこで、当該システムは、レーザ発光器として、ゾーンレーザートランスミッタ「PZL-1」（株式会社トプコン製）、レーザ受光器として、ゾーンセンサ「PZS-1」（株式会社トプコン製）及び、マシンコントロール用ポジショニングセンサ「PZS-MC」（株式会社トプコン製）を採用し、鉛直方向の精度確保を行った。

PZL-1 の特徴として、レーザ光を鉛直方向に放射状に照射することで、レーザ発光器から高低差 ±5 [m] の幅まで受光することが可能であり、ゾーンレーザによる鉛直補正により、鉛直方向の誤差を ±10 [mm] まで補正することが可能となる。ゾーンレーザを用いた RTK-GNSS 測位方式の構成を図-2 に示す。

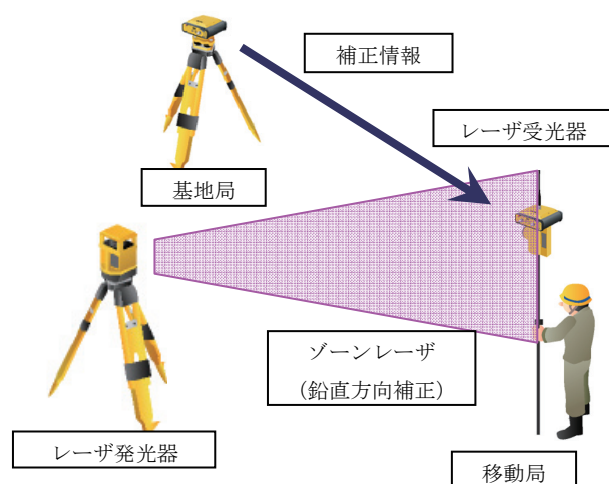


図-2 ゾーンレーザを用いた RTK-GNSS 測位方式

3.2 ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式

ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式 (VRS 方式) は、3 点以上の電子基準点での観測データを用いて観測点（移動局）近傍に仮想的な基準局を構築し、電子基準点と移動局の距離に依存せずに短距離基線の RTK-GNSS 測位と同等の測位を実現する。

ここで、VRS とは、Virtual Reference Station：仮想基準点を意味する。また、電子基準点については、国土地理院が運用し民間に開放している全国に約 1,200 点の電子基準点データ (GNSS 連続観測システム) を利用するものである。

VRS 方式の解説を以下に示す。

- ① 移動局の単独測位情報を携帯電話通信網を使用して、補正情報配信サービス事業者へ送信する。
- ② 補正情報配信サービス事業者では、移動局周辺の電子基準点の観測量から補正情報を求め、仮想基準点における補正データ（位相差）を解析して、その補正情報を再び携帯電話通信網を使用して、移動局へ配信する。
- ③ 移動局側では、移動局での RTK-GNSS 測位方式による観測データと配信された補正データから基線解析を行い、現位置での位置座標を求める。

ここで、本システムにおいては、補正情報配信サービス事業者として、(株) ジェノバと契約した。

また、携帯電話通信網は、KDDI の CPA 網を使用する (株) ジェノバ専用の通信回路を使用した。

ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式 (VRS 方式) の測位概要を図-3 に示す。¹⁾

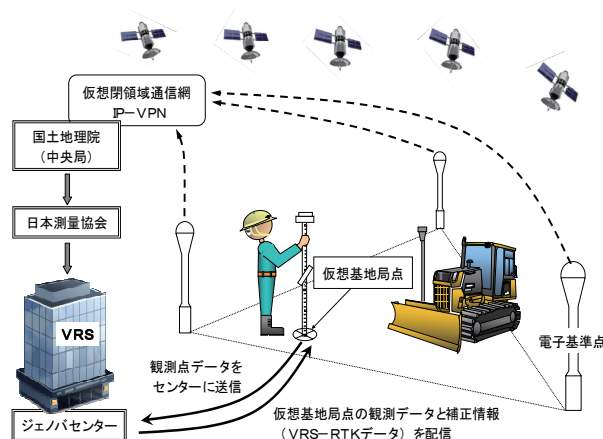


図-3 ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式の概要

3.3 VRS-RTK-GNSS-3DMC システムの移動局

VRS-RTK-GNSS-3DMC システムで、使用する『検測用移動局』および『重機用移動局』の主要構成及び、概要を以下に示す。

3.3.1 検測用移動局

検測用移動局は、通常の RTK-GNSS 測量に用いられる『GNSS 受信機』、『データコレクタ』、『レーザ受光器』、『通信端末 CPtrans-win（株式会社ジェノバ）』で構成される。

検測用移動局の構成を写真-1 に示す。

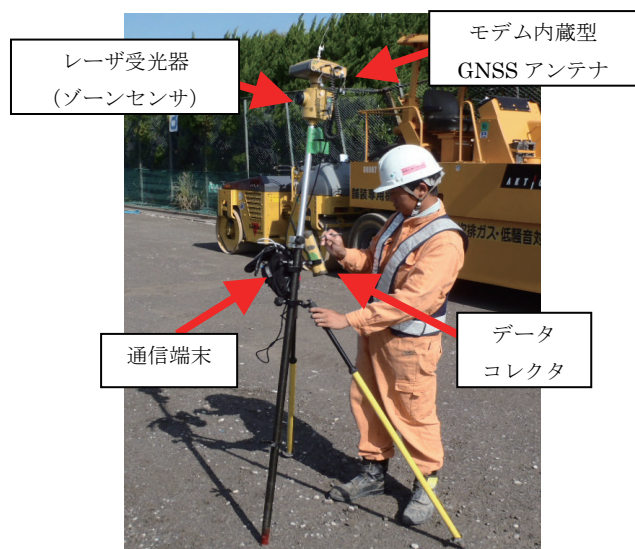


写真-1 検測用移動局構成

通信端末使用の際には、移動局システムを使用し、端末を初期化する必要がある。

配信情報のフォーマットは、通信時間による誤差を減らすため、容量が少なく、通信速度の速い RTCM3.0 を採用した。また、GNSS 受信機とデータコレクタの接続には Blue tooth 通信を用いた。

3.3.2 重機用移動局

重機用移動局のシステム構成を図-4 に示す。

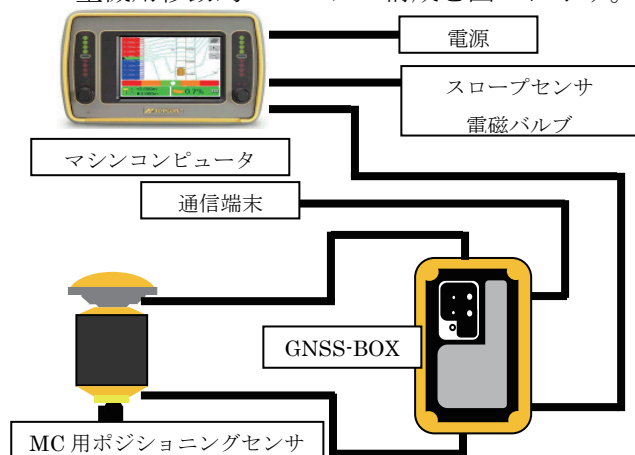


図-4 重機用移動局システム構成

重機用移動局は、RTK-GNSS 測位方式で使用する簡易無線機を通信端末に変更した構成となる。

ここで、通信端末は、検測用移動局と同様のものを使用した。また、重機移動局で用いられるマシンコンピュータには、通信端末初期化機能が備わっていないため、通信端末の初期化作業は、検測用移動局側で実施し、重機に再接続する必要がある。

4. 水平測位精度の確認

当該システムによる水平測位精度の確認試験を実施した。精度確認試験の概要を表-1 に示す。

表-1 水平測位精度確認試験の概要

実施時期	2012 年 6 月
実施場所	大成ロテック（株）機械技術センター 埼玉県鴻巣市上谷
試験方法	VRS-RTK-GPS システムの移動局と RTK-GNSS 測位方式の移動局を定点に設置し、60 分計測を行い、位置座標の変位を比較する。

精度確認試験より得られた各システムの座標 (X, Y) の変位の分布図を図-5 に示し、測位精度の比較結果を表-2 に示す。

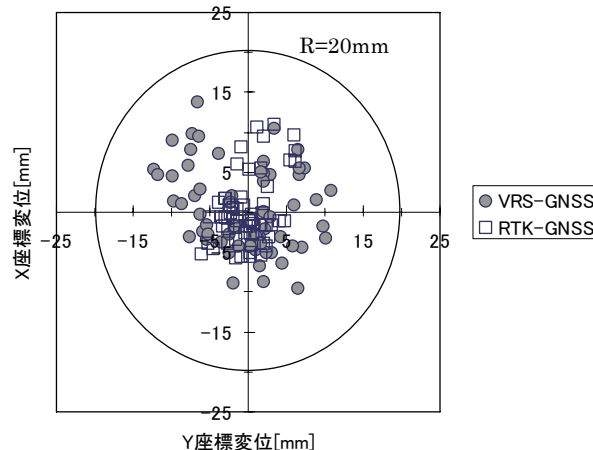


図-5 測位精度の比較結果

表-2 測位精度の比較結果 [mm]

項 目	VRS-RTK-GNSS	RTK-GNSS
X 座標最大変位	13.8	11.0
Y 座標最大変位	10.9	6.1
X 座標標準偏差	5.3	4.3
Y 座標標準偏差	5.1	2.8

図-5、表-2 の結果より、X 座標方向及び Y 座標方向の最大変位及び標準偏差をそれぞれ比較する

と、VRS-RTK-GNSS 測位方式は、RTK-GNSS 測位方式と比較して、変位のばらつきが、若干大きいですが、座標の変位範囲は、通常の 3DMC で使用する RTK-GNSS 測位方式の誤差範囲と同等であることが確認でき、実施工においても、適用可能であると判断した。

5. システム実用性の検証

VRS-RTK-GNSS-3DMC の実用性の検証として、現場施工性試験及び、実現場施工にて、測位精度と施工精度の確認検証を行った。以下に実施状況及び、導入効果の検証結果を示す。

5.1 ブルドーザへの適用

VRS-RTK-GNSS システムをブルドーザへ適用し、路盤舗装における施工精度の確認試験を実施した。

ここで、施工精度の比較として、従来の RTK-GNSS-3DMC との比較検証を実施した。

また、試験施工に当たり、設計データは、当該システムによる出来型検測用移動局による現地測量と設計勾配から作成した。

表-3 に試験概要を示す。また、施工状況を写真-2 に示す。

表-3 試験概要

施工時期	2012 年 3 月
施工場所	埼玉県鴻巣市
施工数量	約 270 m ² (約 18m × 約 15m)
使用材料	RC-40
施工機械	ブルドーザ (D30PX22)



写真-2 施工状況

5.1.1 試験結果

VRS-RTK-GNSS-3DMC と RTK-GNSS-3DMC による設計高さとは上がり高さの差のヒストグラムを図-6 および図-7 に示す。また、施工精度の比較を表-4 に示す。

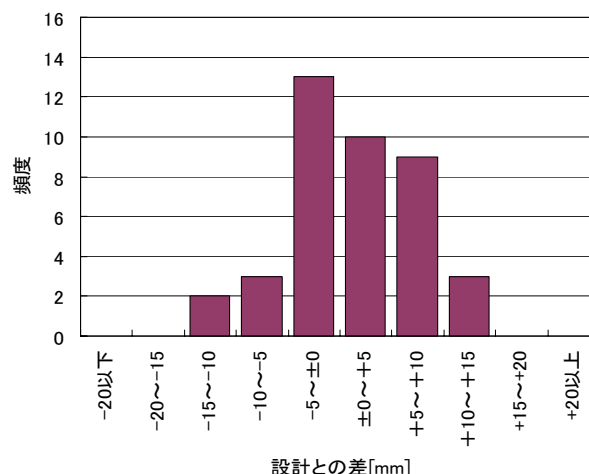


図-6 VRS-RTK-GNSS-3DMC-ブルドーザの施工精度

図-6 より、設計高さに対する仕上がり高さの誤差の頻度は、誤差 ± 5 [mm] 以内に 58%, ± 10 [mm] 以内に 83%, ± 15 [mm] 以内に 100%となった。

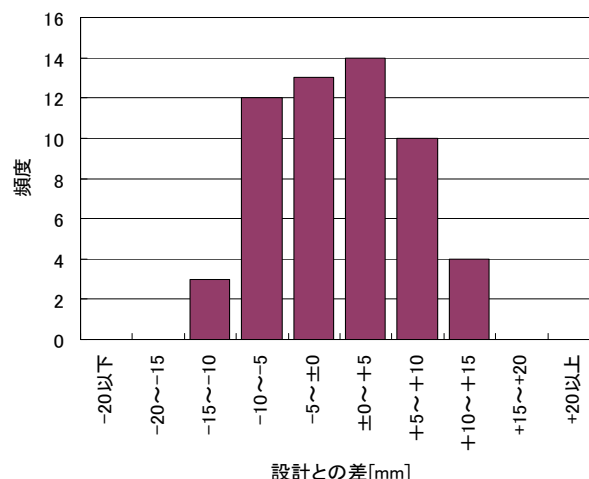


図-7 RTK-GNSS-3DMC-ブルドーザの施工精度

図-7 より、設計高さに対する仕上がり高さの誤差の頻度は、誤差 ± 5 [mm] 以内に 48%, ± 10 [mm] 以内に 88%, ± 15 [mm] 以内に 100%となった。

表-4 施工精度の比較

項目		VRS-RTK-GNSS 3DMC	RTK-GNSS 3DMC
誤差の 頻度 [%]	± 5 [mm]	58	48
	± 10 [mm]	83	88
	± 15 [mm]	100	100
	± 20 [mm]	100	100
最大値[mm]		15	12
最小値[mm]		-12	-13
標準偏差[mm]		6.6	6.3
有効データ数		40	56

表-4 より、標準偏差は、VRS-RTK-GPS-3DMC が、6.6 [mm]、RTK-GNSS-3DMC が、6.3 [mm] であり、VRS-RTK-GNSS-3DMC の施工精度は、従来の RTK-GNSS-3DMC と比較して、同等の施工精度であると判断できる。

5.2 モータグレーダへの適用事例

千葉県船橋市でのテニスコート路盤不陸整正工事において、VRS-RTK-GNSS-3DMC を適用したモータグレーダを導入して、施工精度の確認検証を実施した。

表-5 に工事概要を示す。また、施工状況を写真-3 及び、写真-4 に示す。

表-5 工事概要

施工時期	2012 年 7 月
施工場所	千葉県船橋市内 テニスコート場
施工数量	約 3,600 m ² (約 36m × 約 100m)
使用材料	RC-40
施工機械	モータグレーダ (MG230)



写真-3 施工状況（材料敷き均し）



写真-4 施工状況（ゾーンレーザ）

5.2.1 施工結果

実施工における仕上がり高さの差のヒストグラムを図-8 に示す。また、施工精度の確認結果を表-6 に示す。

表-6 に示すように、実施工における設計高さに対する仕上がり高さの誤差の頻度は、誤差±5 [mm] 以内に 56%、±10 [mm] 以内に 93%、±15 [mm] 以内に 100%となり、標準偏差は 6.6 [mm] の結果が得られた。

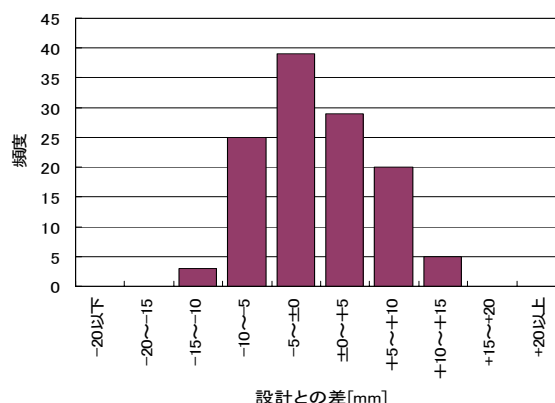


図-8 VRS-RTK-GNSS-3DMC-モータグレーダの施工精度

表-6 施工精度の確認

項目		VRS-RTK-GNSS-3DMC
誤差の頻度 [%]	±5mm	56
	±10mm	93
	±15mm	100
	±20mm	100
最大値[mm]		13
最小値[mm]		-12
標準偏差[mm]		5.8
有効データ数		121

5.3 運用効果の検証

当該システムと従来の RTK-GNSS 測位方式による 3DMC の運用効果についての比較検証結果を以下に示す。

5.3.1 システム運用コストの比較

システム運用に関わる機械経費（重機使用料を除く）及び、労務コストの試算結果を表-7 に示す。

表-7 より、従来の RTK-GNSS-3DMC と比較して、VRS-RTK-GNSS-3DMC では、情報通信に携帯電話通信網を使用するため、通信費用が発生するが、基地局の設営が不要になることで、機器コスト、準備作業に関わる労務コストが大幅に縮減され、月額換算で、223,615 (円) のシステム運用コストの削減が期待できる。

表-7 システム運用コストの比較

項目	VRS-RTK-GNSS 3DMC システム	RTK-GNSS 3DMC システム
基地局 (※1)	設置不要 —	設置必要 ¥111,000
通信費 (※1)	基本料金：¥10,185 通信料金：¥5,700	—
データ配信 料金	¥31,500	—
準備作業	¥80,000 (内 訳)	¥240,000 (内 訳)
※照合作業 動作確認	¥40,000×2名×1日 =¥80,000	¥40,000×2名×3日 =¥240,000
基準点設置	BM のみ	複数の基準点が必要
データ作成	設計データのみで運用 可能 (世界測地系座標の み使用可能)	基準点データ， 設計データが必要 (ローカル座標使用 可能)
運用コスト 合計	¥127,385	¥351,000 (▲¥223,615)

※ 1ヶ月での使用料にて比較。

6. まとめ

今回導入した VRS-RTK-GNSS-3DMC システムの適用性及び、施工精度の確認結果より得られた知見を以下に示す。

- ① 観測点近傍の電子基準点と整合の取れた補正データの配信が行われるため、測地成果と一致した測位結果が得られる。
- ② 移動局の補正データは、携帯電話通信網を利用して通信するため、従来の無線通信と比べて広域において高精度の情報化施工が可能となる。
- ③ ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式にレーザ技術を融合することで、従来の RTK-GNSS-3DMC と同等のミリ単位での施工精度が確保できる。
- ④ 現場既知点への基準局設営が不要となるため、それに伴う機器コスト及び、労務コストが縮減され、約 220,000 (円/月) の費用削減効果が期待できる。

7. 今後の課題

VRS-RTK-GNSS-3DMC システムの現場導入に向けた今後の課題を以下に示す。

1)重機用移動局単独測位情報の通信手段の改善

VRS 方式では、施工開始の際に仮想基準点を構築するために観測点での単独測位情報を補正情報配信サービス事業者に送信する必要（初期化）がある。今回使用した重機用移動局のマシンコンピュータでは、この初期化処理が出来ないため、

検測用移動局のデータコレクタを使用して初期化後、重機側へ再接続する必要があった。システム取扱いの簡便化を図るため、重機側での初期化が可能なシステムソフトウェアの検討が必要である。

2)データコレクタ通信速度の向上

GNSS 受信機とデータコレクタの通信手段として、Bluetooth 通信（無線）を使用しているため、検測用移動局での検測した位置情報結果をデータコレクタの画面に表示するまでに、十数秒のタイムラグがある。このタイムラグの対策として、GNSS 受信機とデータコレクタを有線通信で実施することで、より迅速なデータ処理が可能となる。

3)施工データの蓄積

様々な条件下でのシステム運用を試み、汎用性及び信頼性の高いシステムの構築が必要と考える。

8. おわりに

ネットワーク型 RTK-GNSS 測位方式を用いた情報化施工技術は、主に高さ方向に精度（ミリ単位）を要求されない盛土工事や舗装工事の締め固め管理（転圧管理システム）に適用されてきたが、今回、高さ方向の精度を補正するレーザ技術を組み入れることで、ミリ単位の精度が要求される舗装工（各種路盤工・アスファルト基層工等）にも適用できることが確認できた。公共技術を活用することで、民間の設備投資は、軽減され、また、システムの簡便化により、企業としての省力化にも繋がった。情報化施工は、建設生産性を向上させ、魅力ある現場作りを実現する有効なツールになる可能性を持っている。今回のシステム導入を踏まえ、3DMC システムを様々な施工現場に応用し、更なる改善を図ると共に普及に努めていきたい。

謝辞

当該システムの開発導入にあたり、惜しみない御協力いただいた株式会社トプコンソキアポジションングジャパン様、株式会社ジェノバ様に深く感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：ネットワーク型 RTK-GPS を利用する公共測量作業マニュアル（案），国土地理院技術資料 A-1-No.302，pp1～3，2005年6月