

3. 造成・土工事における情報化施工技術

【造成・土工事】

技術名	UAVを用いた土工事の現況測量
番号	No. 3-1
発注者	奈良県
施設名	敷地造成
所在地	奈良県奈良市
工事名称	県立奈良病院建替整備事業 他 造成工事
施工期間	2013年10月～2015年12月
施工者	奥村・山上・森高特定建設工事共同企業体
キーワード	UAV（無人航空機）、三次元写真測量、土量管理、ドローン

(1) 概要

安価な UAV（無人航空機）による安定的な飛行技術の向上により、上空から小規模な範囲を比較的容易に撮影できるようになってきた。一方で、3D フォトメトリと呼ばれるマルチステレオ写真からの自動三次元データ生成技術が発達してきた。

これらの技術を用いて、県立奈良病院建替整備事業における造成現場において、マルチステレオ写真を撮影して三次元データ化し、二時点の差分解析を行い、局所的地形変化抽出の可能性を検証した事例である。



図-1 UAV（無人航空機）

(2) 技術詳細

1) UAVによる撮影

図-2 に示すように、対象現場は東西方向が約 470m、南北方向が約 330m であり、粗造成の施工段階であった。

UAV は DJI 社の S800EVO（6 枚羽，ペイロード 1.3kg）を使用し、UAV に市販カメラ（1,800 万画素，約 450g）を鉛直な向きに設置し、施工現場上空を約 2.5 時間の間隔で二回撮影を行った。

（10：00 頃時点と 12：30 頃時点）

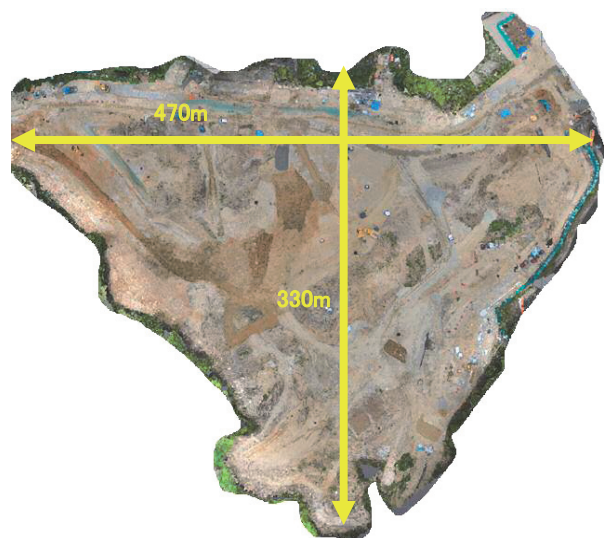


図-2 施工現場全域

また、撮影した二時点のデータの位置合わせのための基準点および三次元データの位置精度検証のための検証点（合計12点）を現場内に設置し、VRS-GNSS測量による観測を行った。撮影時の天候は曇りで、日照による日陰の影響が少ない写真を撮影した。

（二時点合わせて約1,100枚）



図-3 VRS-GNSSによる基準点測量

2) 三次元データ化

UAVを使用して撮影した写真を用いて、3Dフォトメトリシステムによる三次元データ化を行った。図-4はその三次元データのイメージである。この三次元データの検証点における誤差は10cm以内であった。

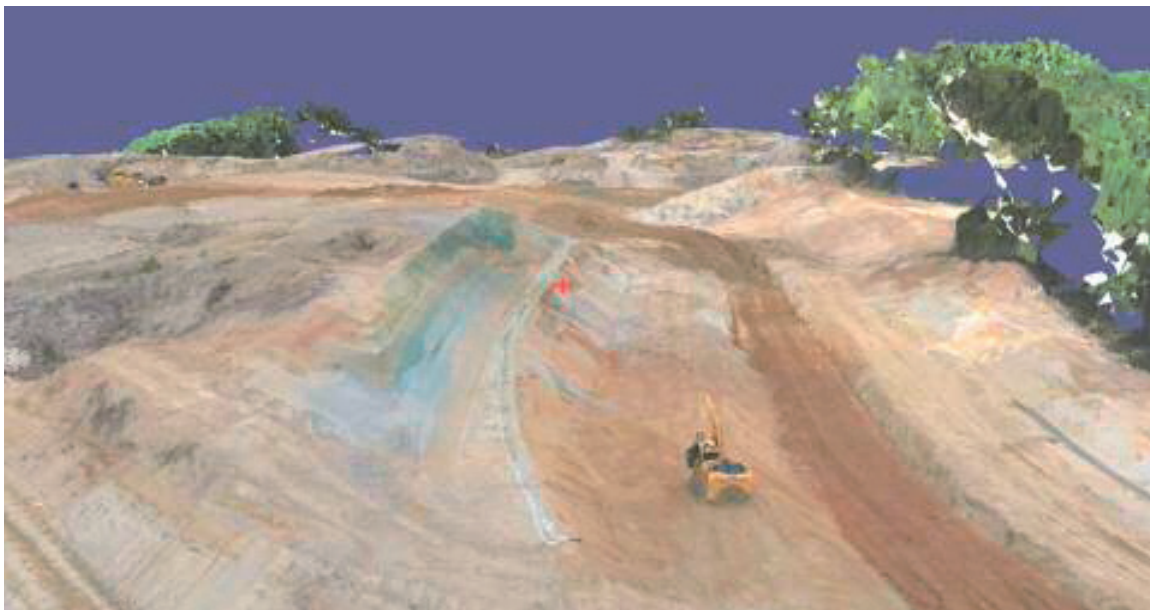


図-4 作成した三次元データのイメージ

(3) 結果

1) 差分解析結果

まず、二時点の三次元データからそれぞれのDSM（数値表層モデル）を作成した。図-5は二時点のDSMをそれぞれコンター表示したものである。次に、この二時点のDSMを用いて差分解析を行った。図-6はその一部を拡大表示したものであるが、二回の撮影の間の掘削作業による地形変化の様子をとらえることができた。この変化量から移動土量の算出が可能になると考えられる。

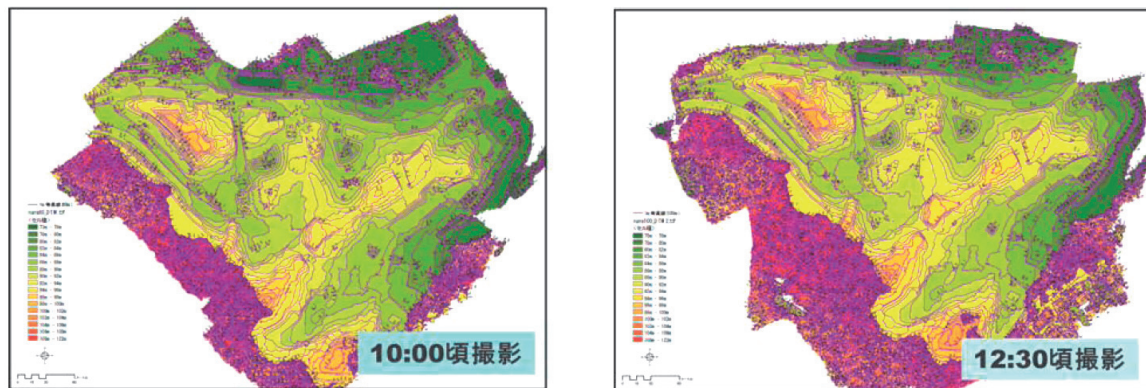


図-5 二時点の三次元データから作成した DSM（コンター表示）

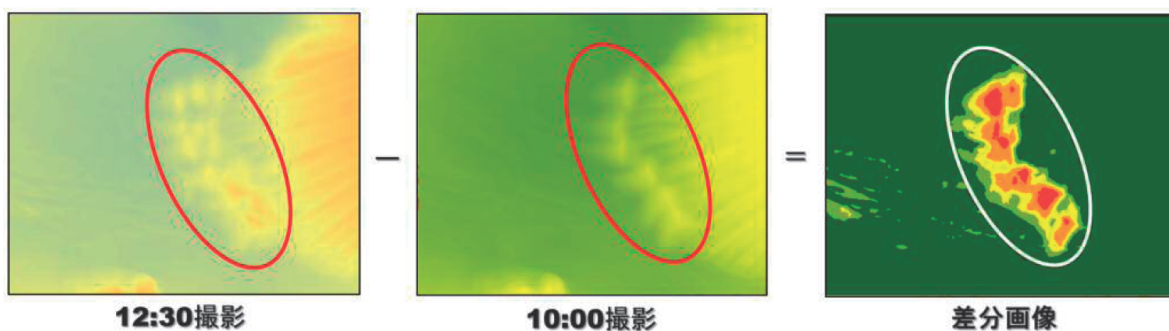


図-6 二時点の DSM の差分解析

2) 今後の課題

造成現場を対象に、UAV による二時点のマルチステレオ写真を用いて、3D フォトメトリ技術により三次元データ化し、DSM を作成して差分解析を行った。その結果、二時点の地形変化をとらえることができ、造成現場における土量計算への応用可能性を示すことができた。

今回は、実際の移動土量（トラックなどで運び出された量）を記録していなかったため、真の移動土量と算出土量との比較検討を行うことができなかったが、今後は、実際の移動土量を記録し、算出土量との比較を行う必要がある。

参考文献	土木学会第 70 回年次学術講演会：(株)奥村組 五十嵐善一他、VI-007 2015 年 9 月
備考	—

【造成・土工事】

技術名	UAV を活用した土工管理システム
番号	No. 3-2
発注者	(独)都市再生機構 岩手震災復興支援本部
施設名	—
所在地	岩手県上閉伊郡大槌町
工事名称	平成 25 年度町方地区整地工事
施工期間	2013 年 6 月～2017 年 6 月
施工者	前田・日本国土・日特・パスコ・応用地質大槌町町方地区震災復興事業共同企業体
キーワード	UAV（無人航空機）、GNSS 測量

(1) 概要

大槌町町方地区の整備工事では、調査、測量、設計及び施工の一体的なマネジメントを実施することで、大槌町震災復興事業の早期着手及び円滑な事業促進を図っている。そのなかで、工事の進捗状況を HP、インフォメーションセンターに表示して、地元の方に紹介するという取り組みを行っている。平成 25 年度町方地区整地工事の早期整備工事は、町方地区の 30ha の範囲を、他工区から搬入される盛土材料を用いて 2m のかさ上げを行うものである。この広域な施工エリアの造成工事において、UAV を用いた出来高測量を実施した。

(2) 技術詳細

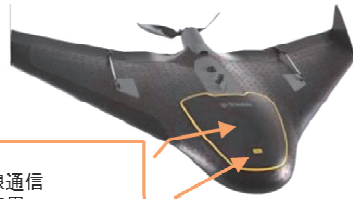
1) 技術の特徴

- ・小型無人飛行機を用いた、広範囲の無人出来高測量が可能となる。
- ・予め入力した飛行データに基づき、自動制御により測量を実施できる。
- ・コントロールタブレットを用いて飛行計画データを作成できる。
- ・無線通信により機体の位置・高度・傾きなどのモニタリング可能である。
- ・測量データを専用のソフトウェアに読み込ませ、結果を 3D として出力される。

2) システムの詳細

広域な施工エリアの本造成工事において、無人出来高測量を実施するために、固定翼型の UAV である TRIMBLE UX-5 を無人測量機として採用した。機体本体には GPS、通信機器、バッテリー、デジタルカメラを搭載されており、専用のコントロールタブレットで飛行計画や飛行指示を行うことができる（図-1）。この無人機の飛行中に、搭載したデジタルカメラで施工エリア全体の画像を取得する。これらの画像は、専用ソフトウェアを用いて解析し、3 次元の点群データとして出力して施工土量の算出を行う。

◎TRIMBLE UX5 本体
固定翼タイプ



GPS
無線通信
制御用CPU
バッテリー
デジカメ搭載



対象地域を上空から
デジカメで連続撮影
する。

【寸法】
100cm×65cm×10cm
【重量】2.5kg
【飛行速度】80km/h
【航行時間】50分
【航行距離】60km
【限界風速】65km/h
【天候条件】雨、雷不可

◎コントロールタブレット

【通信】無線通信
(飛行中の位置を監視)

【地図】Google maps
【計画】エリアと風向き、航行高度
を指定すると飛行ルートは
自動設定される。



タブレット画面上で操作する。
飛行計画データの作成
機体の位置、高度、傾き等の
モニタリング

図-1 UAV を用いた無人出来高測量システム

(3) 結果

1) 画像の取得・解析

UAV を用いて施工エリアの無人出来高測量を実施した。対象となる 30ha の範囲を測量するためにかかる 1 回の飛行時間は約 40 分程度であった。解析にかかる時間は 5~8 時間であり、点群とオルソ補正を行った航空写真（オルソ画像）を出力することができる（図-2）。

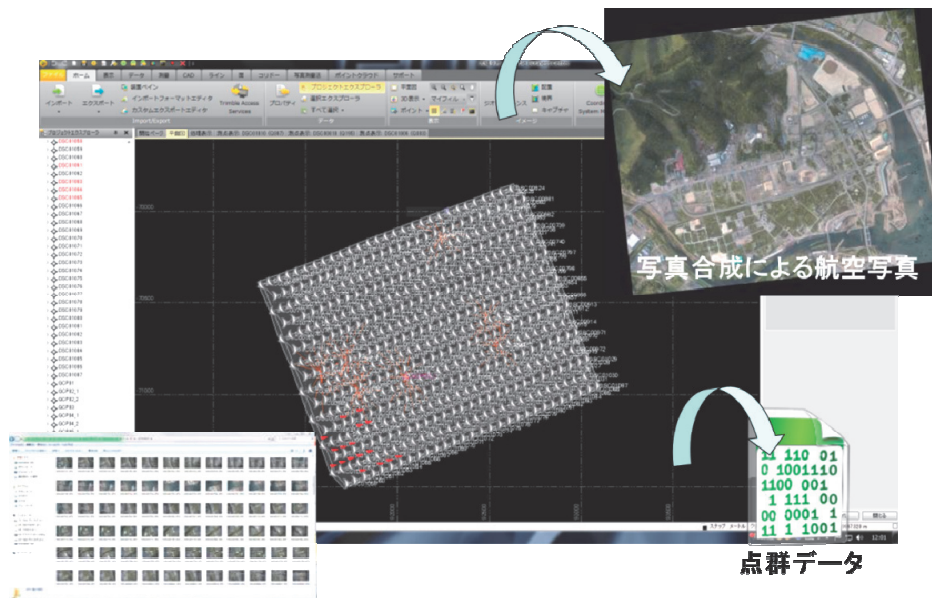


図-2 撮影した画像データの解析画面

2) 解析データの活用

解析結果として出力される点群やオルソ画像を、施工管理において以下のように活用した。なお本技術の測定精度は GNSS 測量と同程度である。

- 3D-CAD を用いて出来高を算出し、前月との差分をとることで、今月の出来高の算出の根拠として活用することができる。
- オルソ画像を用いて打ち合わせすることで広範囲の施工状況を正確に把握することに役立てられる。
- 点群、オルソ画像から図-3 に示すような 3D 表現が行え、幅広い関係者に現場状況を見える化できる。



図-3 UAV 出来高測定の3D出力例

参考文献	—
備考	—

技術名	ネットワーク型 RTK-GPS による盛土品質管理
番号	No. 3-3
発注者	国土交通省東北地方整備局
施設名	摩当山トンネル
所在地	秋田県北秋田市栄～大館市大子内地内
工事名称	摩当山トンネル工事
施工期間	2008年3月～2011年3月
施工者	ハザマ・西武特定建設工事共同企業体
キーワード	RTK-GNSS 測量、VRS

(1) 概要

ネットワーク型 RTK-GPS とは、複数の固定局の観測データを利用して、固定局と移動局の距離に関係なく、短距離基線の RTK-GPS と同等の精度を実現する測位方式である。複数の固定局のデータとして、国土地理院が運用し民間に開放している全国約 1,200 点の電子基準点網 (GEONET) の電子基準点リアルタイムデータを利用する。

VRS (Virtual Reference Station) とは「仮想基準点」と直訳される。その測位方法は、観測地点の GPS 測位情報 (単独測位値) を、携帯電話通信網を利用して配信事業者に送信し、配信事業者は国土地理院から提供される電子基準点データを元にその観測点近傍に仮想基準点を構築する。移動局ではこの仮想基準点に対する補正情報等を配信事業者から受信し、移動局観測データと補正情報から基線解析を行い、移動局座標を得るものである (図-1)。

測位機器は、観測点に配置されている GPS 受信機、GPS 受信機を制御するためのコントローラ、配信事業者との通信を可能とする通信モジュールで構成される (図-2)。

<VRS方式>

仮想基準点の観測データと基準局の補正パラメータをジェノバから受信し、仮想基準点のデータと受信機で観測したデータにより基線解析を行ってリアルタイムに測位を行う方式です。

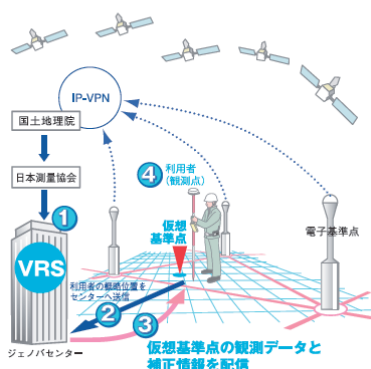


図-1 VRS-GPS のイメージ
(ジェノバ社HP)



図-2 VRS-GPS の機材構成

(2) 技術詳細

1) VRS-GPS を情報化施工に利用する際の問題点

VRS-GPS は、定点観測が主体の基準点測量の分野では近年活発に利用されているが、連続的に速度をもって移動する車両や船舶に搭載しての適用事例は少ない。その要因としては以下のような問題を含んでいるためであると考えられる。

①仮想基準点データは近隣の複数の電子基準点データから生成されるが、その位置は GPS 受信機を初期化した場所に規定される。初期化した位置が実際に施工する場所から大きく離れていた場合には、位置計測精度や座標再現性が劣化する恐れがある。

②専用回線ではない一般的な携帯電話通信網を利用して仮想基準点に関連した補正情報が配信されるため、通信状況や配信データ量によってはデータ遅延や不達が生じる可能性がある。このことにより、GPS 受信機には時間遅れに対応した RTK 演算機能が組み込まれているが、重機走行を考慮した正確な位置計測ができない可能性がある。

これらの問題点に関して、2つの実験を実施した。

2) 定点における初期化実験(実験 1)

静止時(定点観測)における VRS-GPS の特性を把握するために、仮想基準点の生成位置と初期化位置との距離(いわゆる基線長)、計測精度、初期化時間、衛星飛来状況についての相互関係を把握することを目的とした。

3) 移動観測実験(実験 2)

実験 1 の結果を踏まえて実験 2 では、従来型 RTK と VRS-GPS の各装置、データ比較のために自動追尾型 TS を移動体に搭載して走行させ、移動観測時の位置座標の比較を行った。VRS-GPS を用いた情報化施工システムにより盛土の品質管理が可能であるかどうかを確認することを目的とした。

(3) 結果

1) 定点における初期化実験(実験 1)

実験 1 では、静止画の VRS-GPS の初期化に関わる性能を、整合を取る電子基準点の組み合わせを変えることで検証した。その結果、仮想基準点の座標値が電子基準点の組み合わせによりシフトする現象が確認できた。仮想基準点は相対測位の基準点に相当するものであり、この点の座標がシフトすることは相対測位の結果として得られる重機位置座標にも影響を及ぼす。したがって、より正確な計測を行うためには、仮想基準点の位置を固定(指定)する必要がある。すなわち、工事の工期全体を通じて、同じ電子基準点の組み合わせにおいて仮想基準点を生成することが重要となる。この処置により、VRS-GPS は従来型 RTK と同等の精度が発揮できるものと考えられる。

2) 移動観測実験(実験 2)

実験 2 では、重機移動時の VRS-GPS の位置精度を TS や従来型 RTK と対比することで検証した。その結果、TS や従来型 RTK と対比することで検証した。その結果、TS と VRS-GPS および TS と従来型 RTK との 2つの較差は 20mm 程度でほぼ同値であり、また VRS-GPS と従来型との

較差については、平面距離にして平均で 14mm であることが確認できた。このことから、国土交通省等発注者が制定する施工管理要領に記載のある、工区を 50cm 平方メッシュに区切って施工管理する盛土の情報化施工においては、十分な位置精度であると考えられる。

3) まとめ

以上のような重機の静止時および移動時を想定した 2 つの実験により、盛土品質管理システムの中核をなす位置決め手法として VRS-GPS の適用性が確認できた。これにより、VRS-GPS を位置決め手法のメニューに加え、道路中心線測量や土工事における杭の測設、重機に搭載しての敷均し管理・締固め管理に積極的に採用している。

参 考 文 献	建設の施工企画：(株)間組（現・(株)安藤・間）黒台昌弘他 日本建設機械化協会、No. 740、pp28～32、2011. 10
備 考	—

技術名	統合情報施工管理システム「ベルーガ・ネット」
番号	No. 3-4
発注者	関西空港用地造成(株)
施設名	—
所在地	—
工事名称	2期空港島埋立工事
施工期間	2006年2月～2006年10月
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	無線LAN、リアルタイム遠距離監視管理、双方向データ通信

(1) 概要

情報通信技術を利用し、施工重機と現場詰所や事務所をネットワーク接続する「統合情報施工管理システム(以下、ベルーガ・ネットと称す。)」を開発し実工事への適用を行っている。ベルーガ・ネットとは、情報通信技術を利用して施工重機や測量船、測量車と事務所間をネットワーク接続することにより、施工情報(平面位置・軌跡・速度・方位および計測データ等)をいつでもどこでもリアルタイムに把握できるトータル監視管理システムである。図-1に「ベルーガ・ネット」のイメージ図を示す。

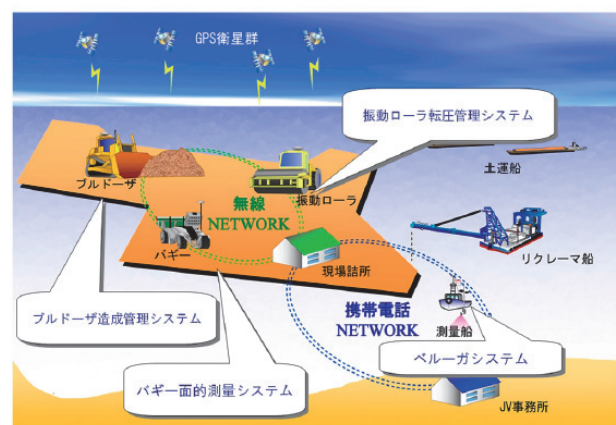


図-1 統合情報施工管理システム
(ベルーガ・ネット)

関西国際空港2期空港島用地造成事業では、埋立工事の内、2次揚土工事は間接的に揚土された埋立材をホイールローダ、重ダンプトラックを用いて積込・運搬し、ブルドーザ・振動ローラにより敷き均し・転圧を行う層状転圧締固め工法により施工されていた。その二次揚土工事では、大量急速施工に対応するため広大な施工区域に多くの施工重機が稼働しており、施工・出来形・品質管理データ等の膨大な施工情報が日々蓄積される。そのため施工管理上、それら施工情報を迅速に取得し、整理・解析を行い、次工程に反映させることが施工管理上の重要な課題であった。また、既存の事務所間や事務所内データ通信技術と比べ、精密機械を施工重機のような常に移動を伴った、振動や粉塵等が発生する厳しい現場作業環境に長期的に適用することによる作動不良の早期発見や解消、データ送信の不確実性の解消を図ることが技術的な課題であった。そこで、これらの課題への対応として双方向通信機能を付加したシステムの開発を行い、現場運用を行った。

(2) 技術詳細

1) システムの機能

関西国際空港2期空港島用地造成事業に適用したケースのシステム各端末の詳細について

て以下に示す。本システムでの端末は、移動局（重機群）と基準局（現場詰所）から構成される。取得された施工情報は、移動局（重機群）から2秒毎に施工情報を自動送信され、基準局（現場詰所）にてリアルタイムに施工状況を把握することができる。

2) 移動局

① バギー測量車

広域的な測量を効率的に実施するため、機動性に富むバギー車にRTK-GPSを搭載したものである。図-2に測量車仕様およびシステムモニタ画面を示す。施工情報として工区域内における平面位置・測量軌跡・機体速度・測量時刻および地盤高等の取得を行う。

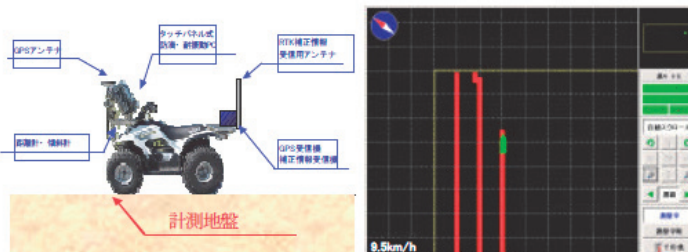


図-2 バギー測量システム

② ブルドーザ

排土板に設置したGPSにより、現在の地盤高と計画地盤高との差をリアルタイムに表示し造成を行う。図-3にブルドーザ仕様およびシステムモニタ画面を示す。施工情報として工区域内における平面位置・軌跡・機体速度・作業時刻および地盤高の取得を行う。



図-3 ブルドーザ造成支援システム

③ 振動ローラ

振動ローラに設置したGPSにより得られた位置情報をもとに、施工区域内における軌跡と転圧回数をリアルタイムに表示し転圧管理を行う。図-4に振動ローラ仕様およびシステムモニタ画面を示す。また、本工事では転圧地盤の剛性値を取得するための加速度計を振動ローラに搭載しており施工情報として取得する工区域内における平面位置・軌跡・速度・時間・転圧回数に加え加速度剛性データの取得も行っている。



図-4 振動ローラ転圧管理システム

3) 基準局

移動局から自動送信された施工データは、現場詰所（基準局）内のサーバPCに自動保存される。以下に基準局の特長を示す。

① 施工情報の表示

施工重機への各種設定項目（施工区域、施工地盤高等）や取得施工情報（施工位置、XYZ座標、速度、方位、進捗率、終了予定時刻等）をリアルタイムに表示することができる、

② 双方向データ通信

双方向データ通信機能により、各重機への各種設定（施工区域、測量箇所、施工地盤高、設計値、誘導位置等）を基準局で実施できる。また、走行路の確認や指示、予定変更等の情報を直接重機オペレータに送信すること（メッセージ送信機能）が可能である、双方向通信では、送信中にデータが途切れた場合、自動的に再受信を行うオート受信機能を備えている。

③ 軌跡再生機能

施工日・時刻を指定することにより、各重機の施工状況を再現することが可能である。

(3) 結果

1) 関西国際空港 2 期空港島埋立工事（二次揚土その 2）への適用

関西国際空港 2 期空港島用地造成事業は、平成 17 年 5 月現在、埋立工事の最終段階である造成工事や二次揚土工事の施工が行われている。二次揚土工事とは、転圧締固め工法により均一性の高い地盤を層状に造成する工事であり、滑走路等主要施設の基礎地盤として必要な支持力を確保するため、非常に厳しい品質管理基準が定められている。統合情報化システムを適用した二次揚土(その 2)工区においては、積込み運搬機械であるホイールローダおよび重ダンプトラックを除く振動ローラ（6 台）、ブルドーザ（5 台）、バギー測量車（2 台）の計 13 台の施工機械をネットワーク上で統合し、リアルタイム通信管理を実施した。図-5 にシステム運用状況を示す。



基準局モニタ（現場詰所）

移動局（重機群）

図-5 システム運用状況

データ通信は移動局と基準局との間に障害物（他施工重機等）がある場合に一時的にデータが途切れる現象が発生したが、データ送信状態を基準局モニタに表示させることにより、基準局からの再送信指示（双方向データ通信機能）により欠損データを再受信することができシステム運用上大きな障害とはならず、リアルタイムに施工情報を取得することが可能であった。また、情報の把握・確認がリアルタイムであるため、施工完了後に計測機器の作動不良等による計測データの欠損に遭遇することなく、確実な施工情報の管理を実施することが可能であった。また、リアルタイムな施工状況の把握による作業終了予定時刻の確認や重機への各種設定及びオペレータへの指示等が直接、遠隔で行える双方向データ通信機能により、効率的な重機計画および配置を実現することが可能となった。更に、従来施工重機で直

接行っていた各種設定作業やデータ収集作業を遠隔操作で行うことにより、重機と作業員との接触災害の防止や作業人員の削減および施工効率の向上を図ることも可能とした。

2) 関西国際空港 2 期基本施設試験舗装調査への適用

関西国際空港 2 期基本施設試験舗装調査とは、滑走路等の舗装構成を検討するため、航空機荷重を再現した原型荷重車を24時間体制で約15,000 回周回させ、予め走行帯直下に設置した各種計測機器（沈下計、ひずみ計等）の走行による動態の調査を行なう試験である、本試験では実走行位置（管理位置）と計測機器設置位置との関係を詳細に把握することが重要であり、また、24時間体制で試験を実施するため迅速なデータ解析を実施する必要があった。そのため無線LAN やGPS を用いた統合情報化システムを適用した。図-6にシステム運用状況を示す。本システムを適用した結果、リアルタイムなデータの表示や収録のために試験を中断させることなく、正確な管理位置の把握およびオペレータへの的確な指示が可能となった。また、欠損データがなく詳細な施工情報（走行位置、速度、周回等）を取得できたため、試験結果による舗装構造の評価に重要な情報を提供することができた。

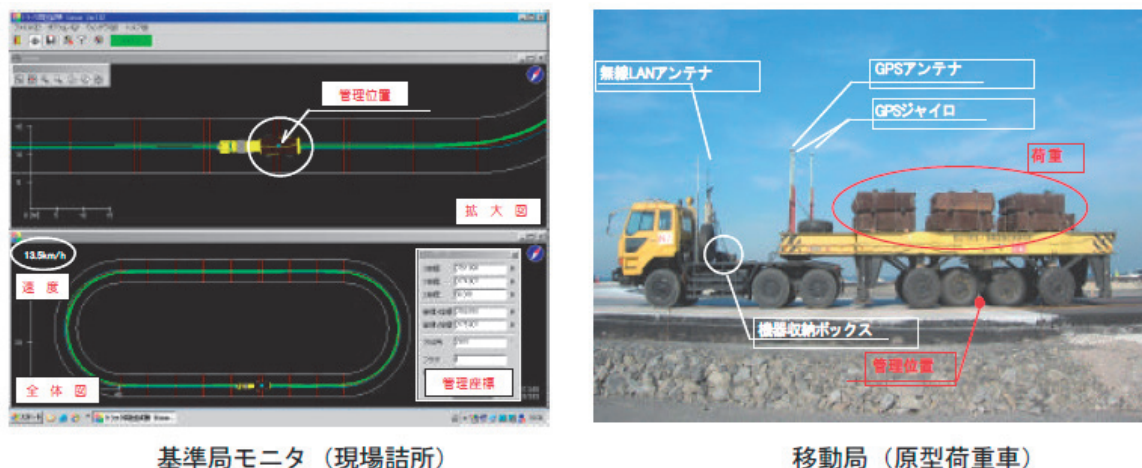


図-6 システム運用状況

3) まとめ

開発した統合情報化システムを約 8 ヶ月間現場に適用した結果、耐震・耐塵型の機器を用いることによりシステム上の作動不良は確認されず、データ欠損等も発生しなかった、また本システムにより施工効率および安全性の向上、取得データの一元管理等様々な利点を確認することができた。ペルーガ・ネットは造成・土工のみならず、災害時における河川や港湾構造物の被災状況調査、沈船、水底支障物などの水中調査、海上土木施工における工事用船舶の高度な施工管理等のあらゆる分野に適用が可能である。

<p>参考文献</p>	<p>統合情報化造成工事施工管理システムの開発—関西国際空港埋立工事（二次揚土その2）での運用：東亜建設工業(株)藤山映、近畿地方整備局 管内技術発表会</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>