

# 中継型VRS測量システムの導入

北原成郎\* 周藤 健\*\* 伊藤 隆\*\*\* 沼宮内雅人\*\*\*

中継型 VRS 測量システムは、RTK-GPS 及び VRS (仮想基準点方式) の持つそれぞれの課題を、インターネットを利用して融合することで解消した技術である。この新しい測量システムを、国内で初めて真喜屋ダムの施工管理に導入し効果を確認した。現場へ導入したシステムと総合的な検証と成果について報告する。

キーワード：情報化施工、中継型 VRS、仮想基準点、RTK-GPS

## 1. はじめに

近年の情報通信機器の発達により、土木工事の情報化施工が浸透しているが、明かり工事では GPS を用いた施工管理が使用されつつある。しかし、機器の価格が高く、RTK-GPS を使用する場合、基準局と移動局それぞれを準備する必要があった。また、現場付近に基準局を設置し、維持管理する必要があるなど、現場に展開するには障害があった。

今回導入した真喜屋ダムはダム軸が S 字とまれな形状であるため、ゾーン境の位置出しは従来の光波測量では困難が予想された。また、狭いエリアでの測量となるため測量中の職員と重機械との接触事故等の危険が予想された。そこで、現在大型土木現場で使用されつつある GPS を用いて測量を短時間に安全にできないか検討した。さらに、従来は固定局と移動局を必要としていた GPS を 1 台の移動局と中継型 VRS を用いて安価に実施できないか検討し、国内で初めて中継型 VRS による RTK-GPS 測量を導入した。

VRS の導入は、基準点の費用負担やメンテナンスが低減できる利点がある。しかし、比較的新しい技術であり、電子基準点をネットワークで利用することや電子基準点の絶対数がすくない沖縄での使用であるため、事前および利用中のシステム検証が必要である。

そこで、今回、総合的な検証試験を行ったのでここに報告する。

## 2. 真喜屋ダム概要

### 2.1 概要

\* 本社 土木事業本部 土木部機材グループ  
 \*\* " " 土木技術部ダム技術グループ  
 \*\*\* 首都圏支店 真喜屋ダム作業所

真喜屋ダムは、沖縄本島北部の名護市に位置し、羽地内海へ流入する真喜屋大川流域に広がる農業地帯への国営環境保全型かんがい排水事業の一環として建設された中央遮水ゾーン型ロックフィルダムである。主な工事概要とダムの諸元を以下に示す。

#### 2.1.1 工事概要

工事名 真喜屋ダム建設工事  
 工事発注者 沖縄総合事務局  
 所在地 沖縄県名護市字真喜屋 1 7 1 5  
 工期 平成 11 年 4 月 1 日～平成 17 年 8 月 31 日  
 施工者 熊谷組・上原興業 共同企業体  
 作業所長 伊藤 隆

#### 2.1.2 ダムの諸元

形式 中央遮水ゾーン型ロックフィルダム  
 堤高 33.6(m) (※天端標高 EL. 40.6(m))  
 堤頂長 171.1(m)  
 堤体積 357,500(m<sup>3</sup>)  
 総貯水量 1,470,000(m<sup>3</sup>)  
 目的 かんがい(A：農業)  
 河川名 真喜屋大川

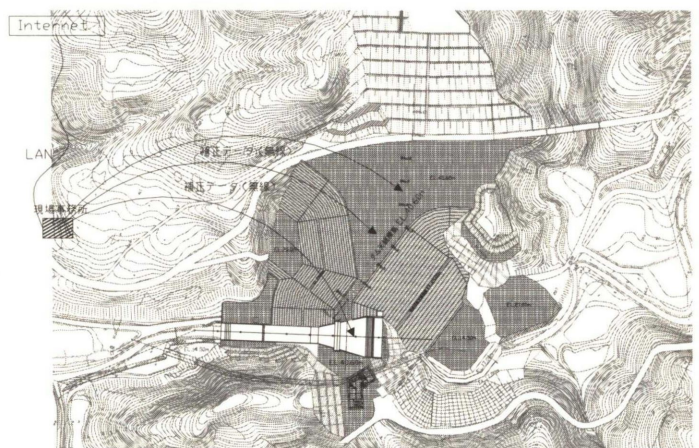


Fig. 2.1 真喜屋ダム平面図

### 3. 中継型 VRS

#### 3.1 VRSについて

VRS (Virtual Reference Station: 仮想基準点) 方式は、ネットワーク型 RTK-GPS 測量の一種で、携帯電話を利用して移動局の概略位置情報を配信会社に送り、配信会社では 3 点以上の国土地理院電子基準点を使って、その地点の補正観測情報を計算、(移動局近傍にある電子基準局の電離層・対流圏の遅延、衛星の軌道誤差等の観測量から補正情報を求め、概略位置となる仮想点で観測されるはずの補正データを計算する。) あたかも基準点があるような状態をつくりだす仮想基準点に置き換え、移動局に送信して、RTK-GPS 測量を行う。通常、通信を携帯電話に依存したシステムである。

#### 3.2 電子基準点

沖縄本島周辺の電子基準点位置を図 3.2.1 に示す。真喜屋ダムは近傍の電子基準点 10km 圏外になっており、直接、電子基準点からの補正情報で RTK-GPS 測量を行うには精度が期待できない。したがって、基準点を自ら設置するか、VRS を利用しなければならない地域に真喜屋ダムは位置する。

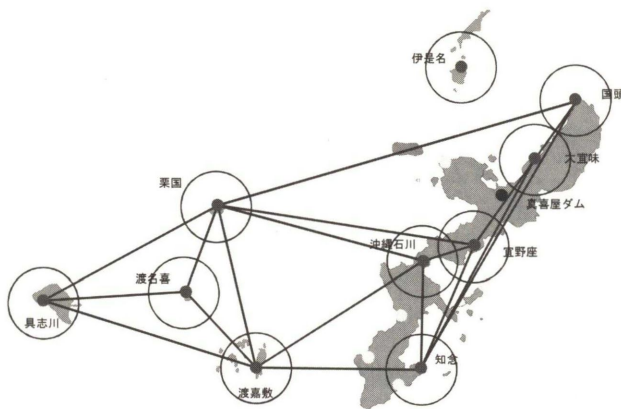


Fig. 3.2.1 沖縄周辺の電子基準点

導入開始時期に沖縄本島周辺で利用できる電子基準点は 9 点 (伊是名は台風等の影響からか不安定であったため VRS には利用していない。) ある。VRS ではできるだけ利用地点を狭い範囲で囲むように電子基準点があることが望ましい。

### 3.3 中継型 VRS

#### 3.3.1 中継型 VRS の概要

ネットワーク型 RTK-GPS 測量の一種である中継型 VRS は、配信機関を通じて配信される国土地理院 電子基準点データを利用し、配信事業者のサーバー内で仮想の基準点となる現場座標を基に解析することで移動局への基準点補正データを無線により送信し、移動局側で RTK-GPS 測量を行うものである。これまでの RTK-GPS は高価な基準

局を現場内に固定して運用していたが、その費用と運用が現場の負担となっていた。この基準局を仮想基準点に置換え、現場事務所内に設置したインターネットに接続されたシステム PC より補正データを無線で発信することでシステムを運用している。

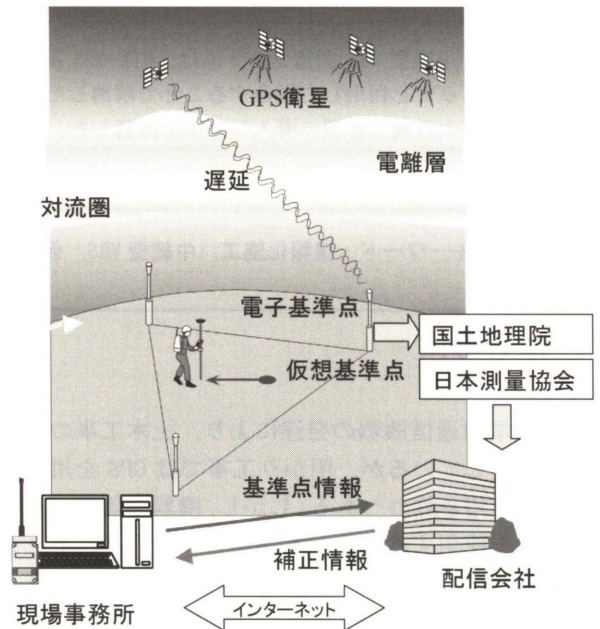


Fig. 3.3.1 中継型 VRS 概要図

#### 3.3.2 使用機材およびソフトウェア

中継型 VRS の導入および精度検証実験を行うための機器一式を下表に示す。

Table. 3.3.2 使用機器一覧

項目	型式・仕様
= 移動局 =	
RTK-GPS 受信機	Trimble 5800 v1.01
コントローラー	TSCe Survey Controller v10.71
小エリア簡易無線	CR無線受信機
キネマティックポール	※Bi-Pod 付き
= 基準局 ① =	※VRS 用
VRS サーバー	NGDS VRS
小エリア簡易無線	CR無線放送機
= 基準局 ② =	※RTK 用(比較試験用)
RTK-GPS 受信機	Trimble MS750 v1.45
小エリア簡易無線	CR無線放送機
= オフィスソフトウェア =	
Trimble Geomatics Office v1.61	キャリブレーションの最適化 座標の出力・現場ジョブの管理ソフト
IS中継型VRS v1.01	中継型VRSサーバー通信ソフト

## 4. 導入準備試験

### 4.1 インターネット環境調査

現場事務所のインターネット接続環境 (ADSL) を調査し、中継型VRSが性能的に利用可能であるかを以下の試験により調査し確認した。

#### ① 速度測定

通常の運用中に実施した速度試験用インターネットサイトを利用した速度試験の結果は下表のとおりである。

Table 4.1.1 速度測定結果

実施時間	測定サイト		
	http://www.niki.ne.jp/bbtest/	http://junkhunting.net/icsi/	http://www.musen-lan.com/speed
4/28 15:00	1685kbps	1554kbps	1010kbps
4/28 19:00	1625kbps	1638kbps	966kbps
4/29 10:00	1628kbps	1650kbps	993kbps
4/29 13:50	1630kbps	1638kbps	1011kbps
4/29 19:30	1428kbps	1621kbps	1010kbps
4/30 12:00	1588kbps	1383kbps	1010kbps
3日間の最高速度=1685kbps, 最低速度=966kbps			

#### ② 速度調整 (チューニング)

チューニングなしで約 1.5Mbps の速度で、インターネットから大容量のファイルをダウンロード中でも速度に影響が見られなかったため、チューニング作業は未実施。

#### ③ 相手ホスト応答試験

VRSセンターに対する Ping 試験 (相手ホスト応答試験) を実施した。平均 70mmsec, 最大 80mmsec で、データのダウンロード中も変化なく良好であった。

### 4.2 定点動作確認試験

5700 受信機を利用して、VRS 補正データでの定点精度および遅延量を測定した結果を以下に示す。

#### ① 24 時間定点試験 (VRS 設定: 標準 US 設定, 中継型 VRS 仮想基準点座標: 試験アンテナ付近)

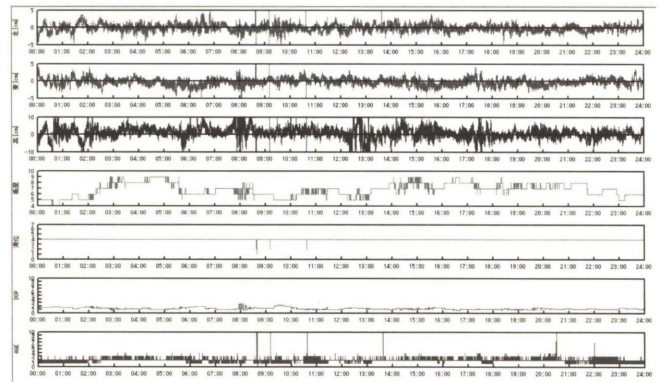
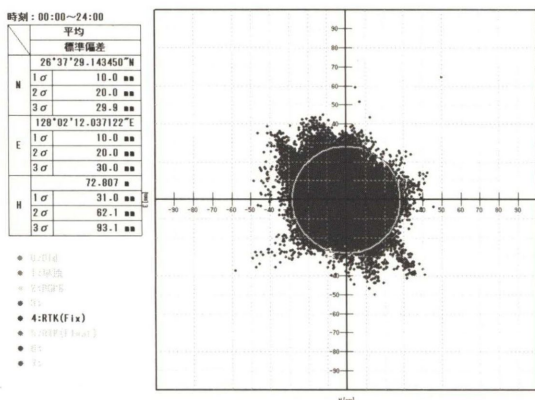


Fig 4.2.1 VRS 標準設定 XY プロットおよび標準偏差 (縦軸精度の単位は [cm], 横軸は経過時間 [hr])

#### ② 12 時間定点試験 (VRS 設定: 日本用設定, 中継型 VRS 仮想基準点座標: 試験アンテナ付近)

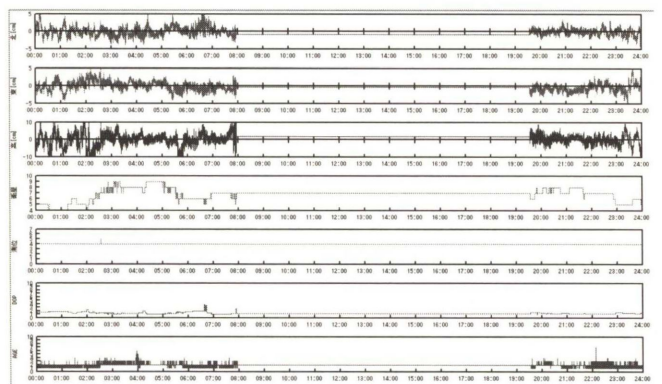
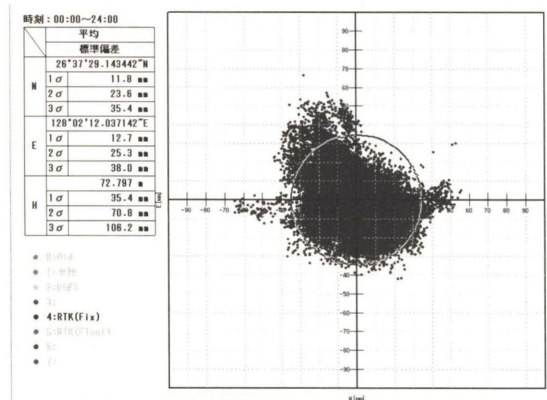


Fig 4.2.2 VRS 日本設定 XY プロットおよび標準偏差 (縦軸精度の単位は [cm], 横軸は経過時間 [hr])

### 4.2.1 各実験の結果について

1) 電離層の影響を補正する標準設定 (US) と日本向け設定との比較では特に著しい変化は見られなかった。

2) 水平精度は、ほぼ満足のいく結果であったが、高度のシグマ値が以前関東地域で実施したものと比較して若干悪い結果となった。調査地 (沖縄) での電離層の状態が、関東地域と比較して条件が異なることが原因であると想定される。

### 4.3 サイトキャリブレーション

中継型 VRS を基地局とした場合、移動局にて計測した座標を現場のローカル座標に合わせるためにサイトキャリブレーションを行う必要がある。

サイトキャリブレーションの実施方法は、中継型 VRS の補正データを取得しながら現場の既知点を観測し、その既知点の座標と VRS による観測結果の座標を比較し座標変換パラメータを補正するものである。GPS 計測用ハンディターミナルと座標解析ソフトを使用し、現場ローカル座標への座標変換パラメータを解析し数値を決定する。これは、工事施工のようなローカル座標を主体とする測量において GPS と光学測量の誤差を低減するために必要不可欠である。

#### 4.3.1 キャリブレーションパラメータの決定

サイトキャリブレーションを実施するために、ダム軸を中心に包括するローカル座標における既知点の観測を各 4 回実施した。真喜屋ダム付近のローカル座標系において、VRS の計測精度が最適となるパラメータを数パターンの解析結果から決定した。

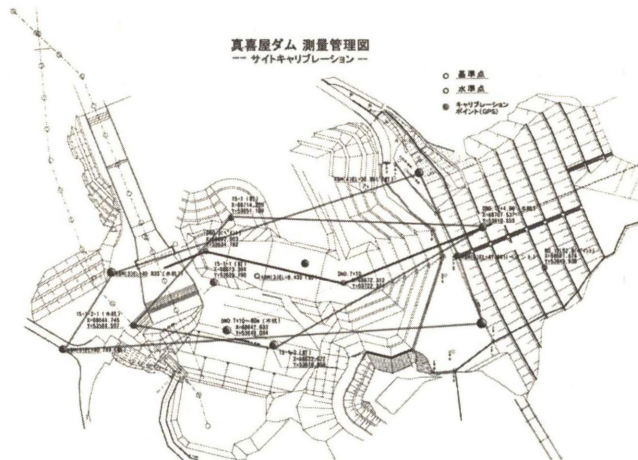


Fig. 4.3.1 真喜屋ダムキャリブレーション測点図

#### 4.3.2 再初期化による再現性確認

解析により決定したキャリブレーションパラメータの信頼性と VRS 補正データの安定性を確認するために、VRS により観測したデータの座標変換再度を行い、座標誤差の確認を実施した。結果は表のとおりほとんどのポイントにおいて水平精度と標高精度が ±20(mm) 以内に収束し、良好な結果であった。

Table 4.3.2 キャリブレーション結果

	Point Name	観測間の座標差(mm)		
		dX	dY	dMSL
①	KBM5EL41.681	-0.010	0.017	-0.016
②	DNO.12+4.96	-0.024	0.013	-0.002
③	15-1-2	-0.015	0.009	-0.023
④	DNO.7+10 80m	-0.020	0.028	-0.001
⑤	15-1-1	-0.025	-0.003	-0.042
⑥	15-1	-0.031	0.014	-0.009
⑦	KBM3EL40.833	0.009	0.029	-0.019
⑧	Jiku_1	-0.007	-0.001	-0.018
⑨	Jiku_2	0.009	0.002	0.004
⑩	15-1-2-1	0.013	0.004	0.005
⑪	KBM3EL40.749	-0.009	0.006	0.021
	Average	-0.010	0.011	-0.009

### 4.4 VRS 基準局切断影響調査

VRS 網を構築する複数の基準局は、クライアント側の問題により接続が切断されてしまう可能性があるが、ユーザーが VRS を使用中に網構成の変化を認知することはできない。そのため、網の構成が変化した場合の測位精度に及ぼす影響を事前に調査する必要がある。

基準局の切断により、移動局側の測位精度に影響を及ぼす要因として次の 2 つの要因が考えられる。

- ① 特定の基準点が切断されたために基準点間が異常に長くなり、モデルが適切に推定できない可能性。
- ② 電子基準点の成果座標には整合性に多少の問題があるため、一部の基準点が切断されると補正データに生じる歪みが増加し、移動側の測位座標に影響する可能性。

これらの要因が実際どの程度精度に影響を及ぼすか、VRS による定点観測を行いながら特定の基準局を順次切断していく方法でシミュレーションを行った。

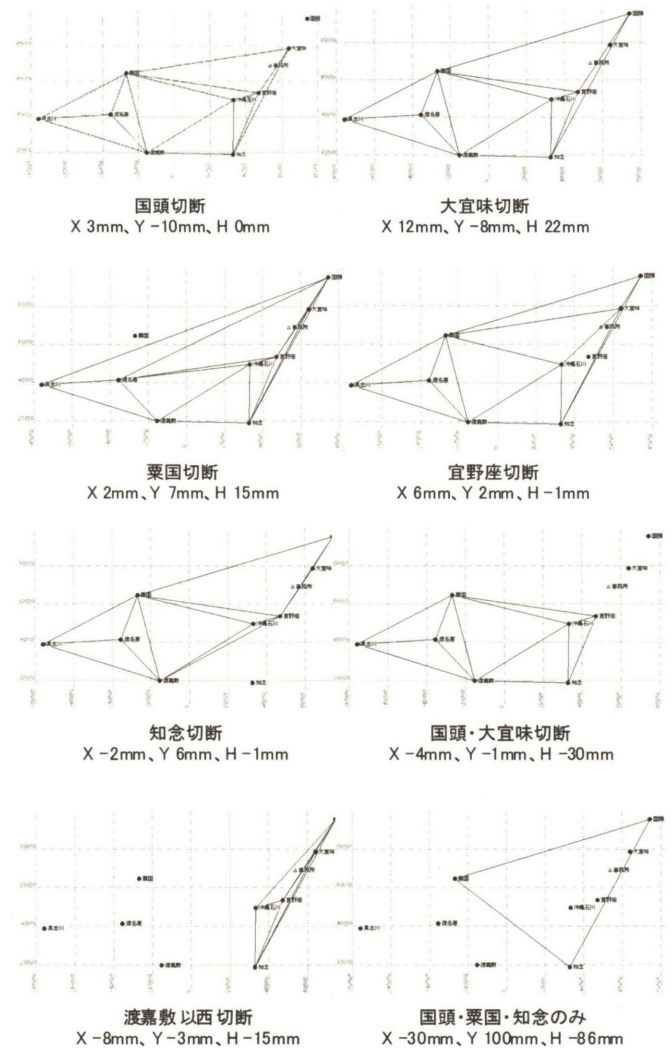


Fig. 4.4.1 基準局切断によるモデルの推移と測位精度

切断による測位精度への影響は、全基準点が接続された 24 時間の F I X データ平均値と比較して、水平精度では大きな変化は見られなかったが、標高精度は複数局切断時と大宜味切断時に悪化すると判断できる。

## 5. 検証試験

### 5.1 データ遅延量の有無とその影響調査

インターネット配信におけるデータ遅延量の有無とその影響調査を行った。中継型 VRS ではインターネットを介して定期的 (1Hz) に補正データを受けるが、補正データに遅延が生じると精度劣化や操作性が悪くなる恐れがある。そこで補正データ送信時間と受信時間を比較し遅延時間を測定した。また遅延時間毎に精度を確認した。

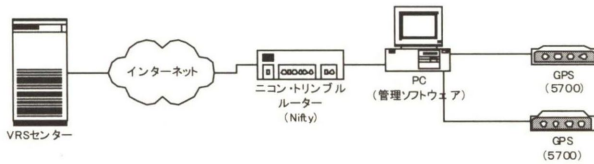


Fig. 5.1.1 データ遅延量の測定実験概要

GPS の標準フォーマット (GGA) で取得した補正情報遅延量の計算結果は下記のとおりで、致命的な遅延はないものと思われる。この遅延量はほとんどの場合、電子基準局側の遅延によるものでインターネット接続の問題ではないように思われる。

Table 5.1.1 遅延時間

遅延時間(秒)	回数
1	62241
2	2231
3	42
4	17
5	7
6	5
7	2
8	3
9	2
10 以上	2

遅延時間が 1 秒、2 秒時の精度比較結果は下記のとおりで、2 秒時の方で若干精度が劣化する。

Table 5.1.1 精度劣化

遅延時間	$\sigma X(m)$	$\sigma Y(m)$	$\sigma H(m)$
1 秒	0.009	0.009	0.017
2 秒	0.009	0.010	0.018

98.7%は 2 秒以内の遅延時間であり、その精度も RTK-GPS の精度範囲内であるため、実用上は問題なく、システムを利用できることが確認できた。

### 5.2 仮想基準点からの距離影響調査

仮想基準局からの距離が増加した場合の影響、VRS の利点として、移動局のすぐ傍に仮想基準点が存在するため、基準点からの距離に比例する誤差の増加を心配する必要がないことがあげられる。しかし中継型 VRS では仮想基準点のある場所に固定するため、仮想基準点からの距離に比例する誤差の増加の程度を確認した。なお、距離による影響調査はデータ遅延量測定実験と同じ実験装置を利用している。

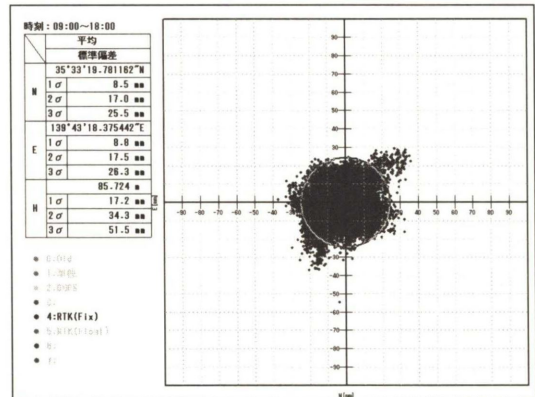


Fig. 5.2.1 0 KmのXYプロットおよび標準偏差

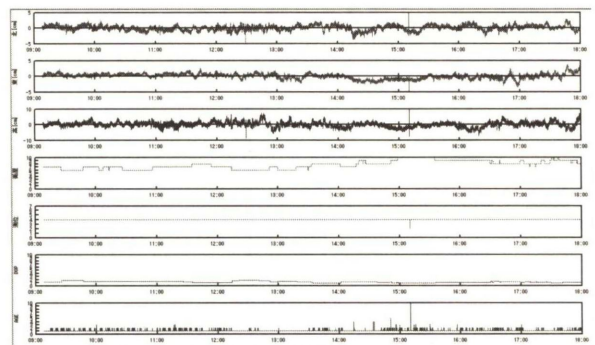


Fig. 5.2.2 0 Kmの時系列プロットおよび標準偏差 (縦軸精度の単位は [cm], 横軸は経過時間[hr])

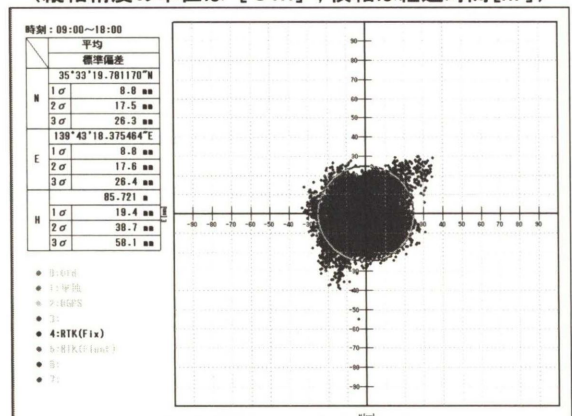


Fig. 5.2.3 1.8KmのXYプロットおよび標準偏差

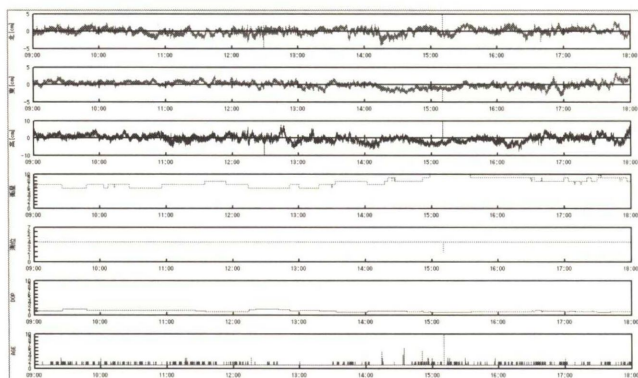


Fig. 5.2.4 1.8kmの時系列プロットおよび標準偏差

(縦軸精度の単位は [cm], 横軸は経過時間[hr])

距離が 1.8km 時には、高度の標準偏差が 2mm 程度劣化しているが、これは RTK-GPS の場合、受信機の仕様上の精度、基線長×1 PPM の誤差の影響と考える。距離の影響についても通常の RTK-GPS と同程度の精度であることがわかった。

### 5.3 移動体影響調査

移動体における中継型 VRS の精度を現場型 RTK と比較して確認した。この試験により、重機管理や連続計測において、現場型 RTK の代わりに中継型 VRS を利用できるかが判明する。システムは Fig. 5.3.1 のように一台の GPS アンテナのアンテナ信号を分配して 2 台の GPS 受信機で 2 つのシステムを動かし、比較した。

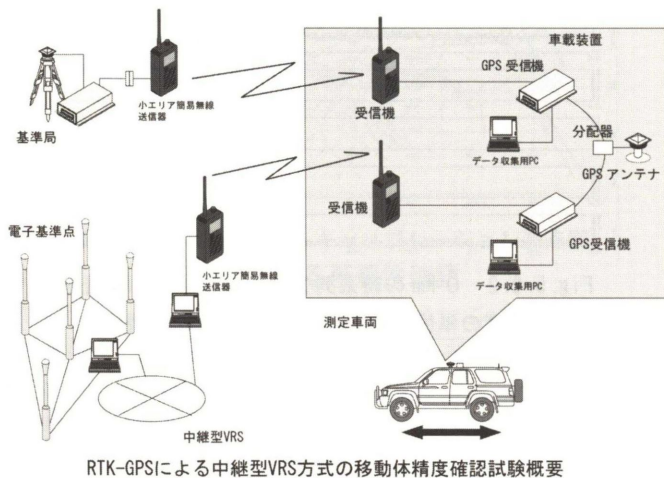


Fig. 5.3.1 RTK-GPSによる中継型VRS方式の移動体精度確認試験 概要図

Fig. 5.3.2 は、40m×20m 程度の区域で 20km/h 程度の速度条件での計測結果である。2 つの方式で計測した位置データを PC の画面上に重ね合わせて表示している。

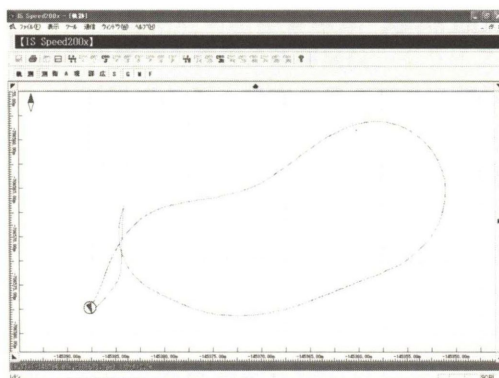


Fig. 5.3.2 移動体精度確認試験結果

走行軌跡にほとんどぶれは見られない。その一部分を拡大したものが Fig. 5.3.3 である。

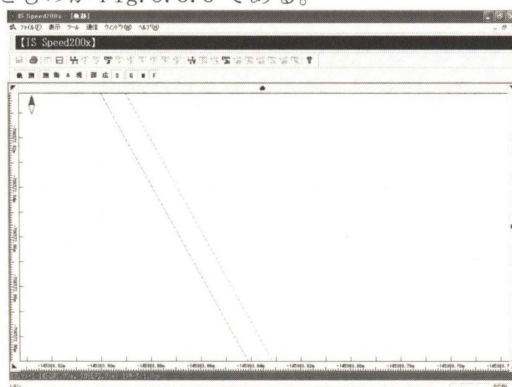


Fig. 5.3.3 移動体精度確認試験結果

左側 (ピンク) : 中継型 VRS

右側 (緑) : 現場型 RTK

移動体の軌跡全体ではほぼ 1cm 程度の違いに入っていることが確認できた。

### 5.4 VRS と RTK-GPS の精度比較試験

測量精度に差がないかを再度現場内の定点で、中継型 VRS の精度を現場型 RTK と比較して確認した。

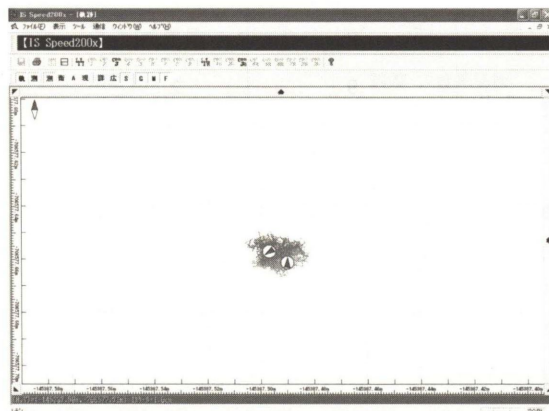


Fig. 5.4.1 定点精度確認試験結果

定点の静止測定では Fig. 5.4.1 のように、水平で 5mm 程度の座標シフトが見られた。RTK-GPS の精度は水平 10mm+1ppm であることを考えると、この結果は十分満足できるものである。

## 6. 現場でのGPS利用

### 6.1 GPSの利用目的

真喜屋ダムでは、施工管理の測量にGPS測量を導入した。堤体盛立工事に利用するダム軸や築堤材料別境界線の位置出し測量が主な測量業務であり、堤体上へマーキングを行うものである。しかし、マーキングは盛立工事の進捗に伴い消滅するため、測量は日常繰り返し行い再現する必要性があり大きな負担であった。また、真喜屋ダムの場合ダム軸がS字型に折れた稀な形状であり、リフト毎の測量が複雑であるため工程の合間に短時間で測量を行うことが困難であった。このため、測量にGPSを利用することにより測量者1名が単独で短時間により多くのポイントを効果的に計測することを目的とした。さらに、狭い盛立箇所にも錯綜する大型重機と測量者が接触する危険性を低減させる効果も期待した。

また、測量者の負担をより軽減するため、アンテナと受信機一体型の小型で軽量のGPS受信機を使用し、さらに携帯するハンディターミナルにはGPS測量ソフトウェアを格納し測量業務の効率化を図った。測量者は事前にCAD上で作成したポイントやラインをコントローラ画面で任意に選択するだけで計測目標までの誘導を画面上で行うことが可能である。さらに、計測結果をCADにフィードバックして管理できるなど測量管理の効率化も同時に実現した。



photo. 6.1.1 GPS 測量状況

### 6.2 中継型VRSの導入

GPSの導入に際し、現場の工期が短期間であることなどから、基準局設置等の経費を削減するためにVRS測量を検討した。しかし、VRSを使用するための携帯電話使用に経費がかかることや現場内における携帯電話の受信品質を確保できないこと、さらに仮想基準点の精度確認が困難なことなどから中継型VRS測量システムを導入し問題点の解決を試みた。

導入により期待される主な効果を以下に示す。

- ① 携帯電話の受信品質が悪い地域での利便性の向上
  - ・VRS利用可能エリアの不安定さの解消
  - ・通信の切断・再接続に要する時間ロスを解消
- ② 通話に要する無駄な費用負担の削減
  - ・携帯電話接続料金にかかる経費負担の削減
- ③ 従来型の実基準局設置場所の制限を撤廃
  - ・地理的要因の影響を受けず取得衛星数が安定
  - ・計測地点までの距離増加に伴う精度劣化の防止

また、GPSを導入することによる測量業務の効率化を図るとともに、サイトキャリブレーションの実施などにより業務に必要な測量精度を確保するための試みも実施しその検証を行った。

### 6.3 導入効果

GPSを導入することにより目的としていた測量業務の効率化に対して十分に効果があった。既知点を必要とせず直接座標の測位が可能であるため測量は1名で実施でき、その結果光波測量器で行うよりも測量にかかる費用に対し約30(%)のコストダウンを実現した。さらに測量の迅速化により計測点が増加し、造成の仕上り精度が向上した。また、中継型VRSを導入することにより期待した効果も十分に発揮された。その主な効果を以下に示す。

- ① 通信の安定
  - ・携帯電話の届きにくい範囲でも安定して電子基準点データが利用可能となった。
  - ・通信機器の操作は電源のON/OFFだけで簡素化された。
- ② 通信経費の削減
  - ・配信事業者との通信はADSLを利用した常時接続であるため、携帯電話代によるコストがかからず定額で利用可能であり、通信時間を気にせず測量作業ができた。
- ③ 信頼性の確保
  - ・配信業者からはメールや配信用ソフトウェアを通じて、基準局の休止情報などを現場へ速やかに報告されるため、信頼性が高い。

また、基準局の設置費用やメンテナンスの負担もVRS導入により解消され、常時安定した補正データを得ることができた。

さらに現場座標におけるサイトキャリブレーションの実施により通常の土工事の施工管理測量に必要な精度を十分に得ることができ、その精度は現地で実施したVRS精度試験により立証された。

## 7. まとめ

中継型 VRS について、導入から現場利用までを報告した。こうした新しい技術は確実な検証が現場側でも求められる。今回、検証の結果、十分に利用可能であることが実証できた。しかし、補正データの配信を外部の関連機関から提供してもらうことから、利用者側も十分にその特性を理解して利用するべきであると考えた。たとえば一般的なインターネット網を利用するため、通信のトラブル等は発生する場合もある。今回は通信時の障害が発生する場合、メールで担当者へ警報を配信会社に発信してもらうことにした。こうした工夫により、できるだけ現場への普及展開の障害を取り除くよう努力したい。

GPS の利用については天空の開けた場所での土工事の条件であれば、大きな効果を発揮する。

今回の中継型 VRS 測量システムの導入により、基準局の負担がすくなくなり、小規模の現場でもメリットが生かせるようになった。今後は、これまで使いにくかつ

たこれらの現場への展開を図っていきたい。

また、中継型 VRS はコスト負担が増えずに長時間の運用が可能で、かつ、複数の移動局へ対応できるため、建設機械の運行管理への適用も拡大していきたい。

### 謝辞

今回、真喜屋ダムへシステムを導入するに当り、(株)ニコン・トリンプル、日本 GPS データサービス(株)の方々にご協力を得ましたことをここに感謝いたします。

### 参考文献

- 1) Virtual Reference Station Networks
- 2) 国土地理院 (<http://www.gsi.go.jp/>) : 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), [http://psgsv.gsi.go.jp/koukyou/network\\_rtk-gps/index.htm](http://psgsv.gsi.go.jp/koukyou/network_rtk-gps/index.htm)
- 3) 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) - 基準点測量 - について, 月刊 GSI テクノニュース 第 143 号 平成 16 年 8 月 10 日発行 <http://www.gsi.go.jp/WNEW/TEC-NEWS/2004/tec143.html>

---

## Introduction of Rebroadcast VRS survey system

Shigeo KITAHARA, ken SUDOU, Takashi ITO and Masato NUMAKUNAI

### Abstract

Rebroadcast VRS survey system is a technology that solves the problem of RTK-GPS and VRS (Virtual Reference Station) because it unites these two technologies by using the Internet.

This paper reports this new survey system introduced into Makiyadam construction management for the first time domestically, and also added overall verification of the system executed at the site.

Keywords: Intelligent construction, Rebroadcast VRS, Virtual reference station, RTK-GPS

---