

S7-3-6.

RTK-GPS 等を用いた作業区間防護システムの構築に向けた基礎試験

[機] ○佐々木 敦 (東日本旅客鉄道株式会社)

田 中 豊 (東日本旅客鉄道株式会社)

川 見 豊 顕 (東日本旅客鉄道株式会社)

加 藤 亘 (東日本旅客鉄道株式会社)

Basics examination of a System to Protect Work section with RTK-GPS technology

Atsushi Sasaki (East Japan railway co.)

Yutaka Tanaka (East Japan railway co.)

Toyoakai Kawami (East Japan railway co.)

Wataru Kato (East Japan railway co.)

We produced the experiment system which could measure a position and an outbuilding from the track center that there was a worker with the RTK-GPS technology that precision of several centimeters was provided by realtime. And when a train comes close to a worker, a function of this system alerts the outside of a track in order to promote that I evacuate, a train lets I output brakes and stop at a train when a worker does not evacuate even if a warning sounds. I show contents of basics examination of this system and a result here.

キーワード : RTK-GPS、位置検知精度、路線データベース、双方向通信

Keywords: RTK-GPS, Positioning accurate, Date base of railway, Interactive communication

1. はじめに

線路保守作業は、線路閉鎖手続き等に基づいて実施されており、その手続きは「人の注意力に依存」しているため、ヒューマンエラーによる事故の発生が懸念される。そのような事故を防止するため、新しい技術を活用した安全システムの確立が線路保守作業の安全性向上に向けた重要な課題となっている。

本システムは、未来型作業区間防護システムとして開発に着手し、平成 15 年度は、RTK-GPS 及び VRS (仮想基準局) 技術を用いた作業区間防護システムの構築に向け、その実現性の確認と課題の抽出のために現地検証試験を実施した。また、システム構築に必要な路線データベースについても、実測値と航空測量及び鉄道 GIS のデータを比較・検討し、鉄道 GIS を活用した安価で精度の高いデータベース構築手法の検証を実施した。

本論分では、作業区間防護システムの機能概要、基礎試験の概要及び検証試験結果等を述べることとする。

2. 作業区間防護システムの機能概要

作業区間防護システムの機能概要は、数センチメートルの精度で位置測定ができる RTK-GPS という技術を用いて、

メンテナンス作業を行っている保守作業員の位置（線路キロ程、線路からの離れ）を数センチメートルの誤差で正確に測定して、列車が接近しているにもかかわらず、保守作業員が線路内にいる場合には、列車の車載装置が警報を出力するとともに、ブレーキ信号を出力して、作業員の手前で自動的に列車を停止させるシステムである。(図 1 参照)

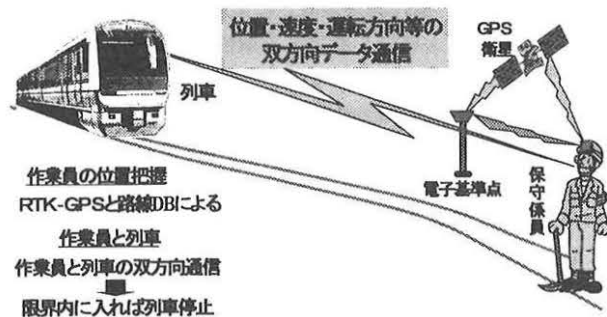


図 1 システムの機能概要

3. 路線データベースについて

路線データベース構築の基礎となる「軌道中心」の位置情報を取得するために、測量機器を使って実測する方法があるが、列車運行の合間を縫った実測作業となり、そのデ

ータ取得に多大な時間とコストを要するので、実用的ではない。

このため、列車運行に影響を受けない航空測量技術と鉄道 GIS を活用して路線データベースを作成し、そのデータベースの位置精度とコストについて比較・検証を行い、合理的な「路線データベースの構築手法」を確立することとした。

3. 1 路線データベースの構築手法

路線データベース（軌道中心データ及び線路キロ程データ）の構築手法は、鉄道 GIS の平面図をもとに図 2 に示す手順で、位置精度とコスト面から最善の方法について検討を行った結果、航空写真の撮影時に POS*1 を使用して取得した撮影位置 (X,Y,Z) と撮影姿勢 (κ, ϕ, ω) の初期値を 1 点もしくは 2 点の基準点で補正し、GPS の計測誤差及び IMU*2 の機械誤差を取り除くという手法であり、アナログ写真計測 (1/2000) 以上の精度が得られた。



図2 データベース構築の手順

*1POS (Position and Orientation System) : 測量用の2周波 GPS 受信機と慣性測定装置とにより、航空カメラ撮影点の精密な位置と姿勢を測定する慣性ナビゲーション・システムのこと。

*2IMU (Inertial Measurement Unit) : 3軸ジャイロと3軸の加速度計から構成される慣性測定装置のこと。

3. 2 構築手法の精度検証

この手法の精度検証を、次の手順で実施した。

- (1)POS で撮影した結果を 2 点の基準点を用いて再度 POS 解析することにより撮影位置 (X,Y,Z) の値を補正
 - (2)補正に用いた 2 点の基準点の他に、別の 2 点の基準点を合わせた 4 点について位置を計測
 - (3)アナログ写真計測、デジタル写真計測の各手法で得られた基準点残差を比較
- 結果は表 1 に示すとおりであり、デジタル写真計測より

高い精度が得られることが確認できた。

表 1 基準点残差比較表

		標準偏差			最大値 (単位: m)		
		アナログ写真	デジタル写真	今回の手法	アナログ写真	デジタル写真	今回の手法
平面	2000	0.06	0.32	0.02	0.06	0.38	0.07
	4000	0.02	0.29	0.03	0.03	0.36	0.08
高さ	2000	0.07	0.08	0.02	-0.08	-0.13	0.05
	4000	0.05	0.11	0.03	-0.05	-0.14	0.05

また、この方法で実施した場合、アナログ写真計測よりもデジタルオルソ画像*3 (図 3) を容易に作成できるという長所があり、この画像は、人間の認識している構造物を直接見ることができるため、記号化された地図データより判読しやすいので、システムの背景データとして有益なデータである。

*3オルソ画像: オルソ (Ortho) とはギリシャ語で「正しい、ひずみの無い」という意味で、写真の端部のひずみを修正することをオルソ補正といい、この補正をかけた航空写真のことをオルソ画像という。

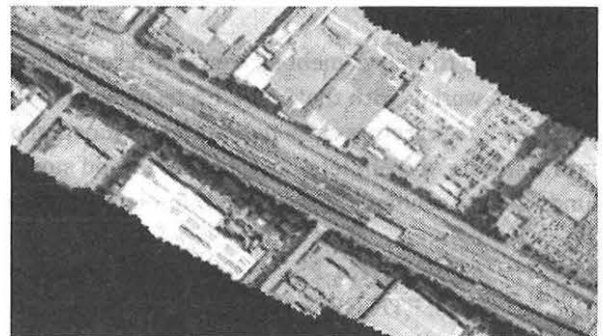


図3 デジタルオルソ画像

4. 現地検証試験の概要

RTK-GPS 技術及び鉄道 GIS 等を用いた作業区間防護システムの構築に向け、次の機能を持つ試験システムにより、検証試験を実施した。

- (1)RTK-GPS による緯度・経度の測位
- (2)緯度・経度と路線 DB より軌道内位置を算出
- (3)保守作業員への軌道内位置情報の報知
- (4)車両接近時の保守作業員への警報報知

現地試験時のシステム構成を図 4 に示す。

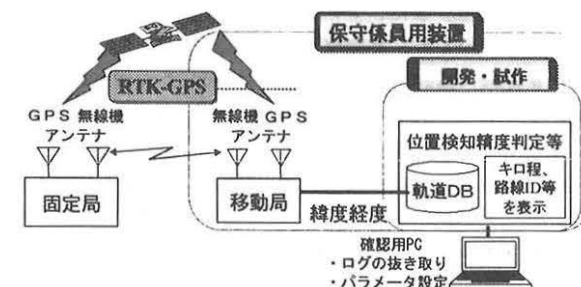


図4 試験時のシステム構成

4. 1 路線データベースの構築

現地検証試験を実施した上越新幹線の熊谷保守基地内での、路線データベースの基本となる軌道中心線の緯度・経度情報は、1m間隔で下記に示す方法により抽出した。

- (1)航空写真のデジタイザ入力
- (2)鉄道 GIS
- (3)熊谷基地内での GPS 測量

各データを検証した結果、(1)、(2)については誤差が大きく、ミリメートルオーダーの緯度経度情報を必要としている今回の試験システムのデータベースとしては適していないため、(3)の GPS 測量による実測値を採用した。

図 5 に試験時における、軌道中心線の緯度経度データのプロット図を示す。

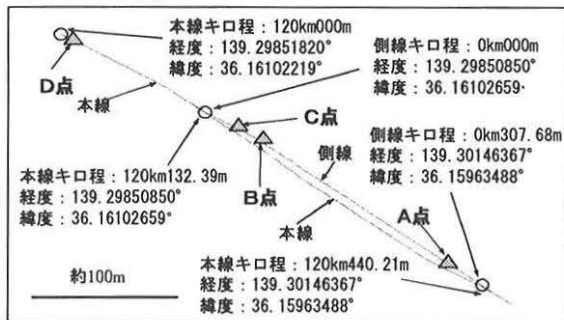


図 5 現地試験時の路線データベース

4. 2 現地試験実施状況

事前の準備試験として、平成 15 年 12 月 10 日に、現地検証試験を実施する熊谷保守基地内で、使用する RTK-GPS 装置の測位精度を検証することにより、RTK-GPS 受信機の動作と路線データベースの緯度経度データが、本試験システムの運用上問題のないことを確認する。そのために、固定局から移動局を少しずつ離して(最大で約 450m)測位を行った結果、データベースとの誤差は 5cm 以内であり、本システムでは問題の無い精度で測位できることを確認した。

現地検証試験は、平成 16 年 2 月 5 日、6 日に実施し、試験用の装備品は、図 6 に示すとおりである。

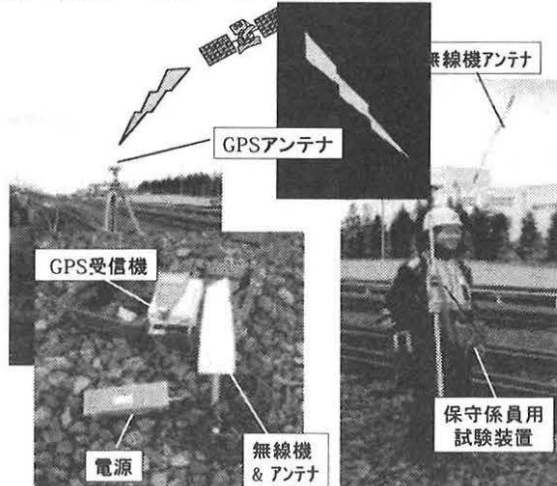


図 6 試験時の装備品

5. 現地検証試験の結果

目で見えるレールを建築限界境界の境界線と見たと、実際は 1.9m である建築限界の寸法を軌道中心から 72cm (新幹線の軌間の 1/2) に設定して現地試験を実施した。その結果は、次に示すとおりである。

5. 1 自位置キロ程の算出精度

保守作業員の線路キロ程算出精度の確認をデータ番号：側線 298 番 (図 5-A 点) とデータ番号：本線 2 番 (図 5-D 点) で、移動しながら行った結果、A 点においては約 6cm、D 点においては約 2cm の精度で自位置キロ程を算出することが確認できた。(図 7 参照)

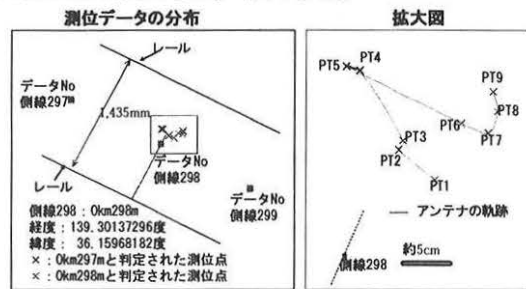


図 7 A 点での測位データの分布状況

5. 2 自位置と直角距離 (軌間中心からの離れ)

測位データと直角距離の精度を確認するため、図 5 の A ~C 点にて定点測定を実施した。

測定は、図 8 に示すように軌道中心から約 72cm の距離にあるレールの内側の点で GPS アンテナ付きポールを三脚で固定して行った。

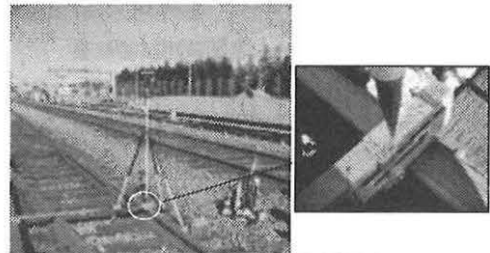


図 8 定点測定時の測定状況

その結果、直線部、曲線部ともに $\pm 2 \sim 3$ cm の精度で直角距離を算出することが確認できた。

試験用路線データベース (図 5) の A 点における測位データの分布は図 9 に、測定結果は図 10 に示すとおりである。

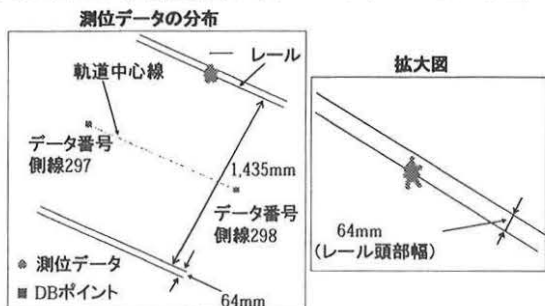


図 9 A 点での測位データの分布状況

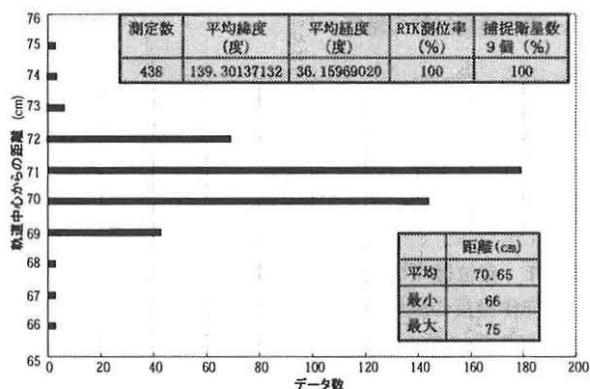


図 10 A 点での直角距離判定結果

5. 3 擬似データによる警報出力機能

保守作業員が線路内にいる時に、列車が接近すると警報が鳴動する機能の検証試験を、次の項目について実施した。

- (1) 建築限界の内外での警報の有無
- (2) 接近距離の変化による警報音の変化

その試験結果は、図 11 に示すとおりであり、保守作業員の建築限界内外の位置条件と列車の接近距離、速度に対応したアラーム領域での警報（断続音）、ブレーキ領域での警報（連続音）が出力されることが確認された。

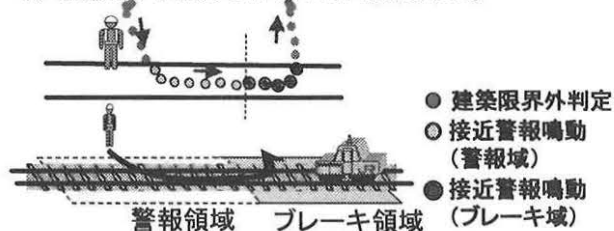


図 11 アラーム鳴動確認試験結果

5. 4 実作業を想定した測位確認

実際の保守作業を想定した状態でのシミュレーション試験として、GPS アンテナをヘルメットに取り付けた状態で、次の 3 パターンの作業姿勢について実施した。

- (1) 軌道中心線上での直立静止姿勢
- (2) 軌道中心線上での直立静止姿勢(4 方向) (図 12 参照)
- (3) 軌道中心線上での中腰作業姿勢(4 方向) (図 12 参照)
- (4) ピット内での中腰作業姿勢



図 12 実作業を想定した作業員の姿勢と方向

その試験結果は、それぞれの位置における 200～300 個の測定点の平均線路キロ程、平均直角距離と路線データベースの基準点の位置との差は線路キロ程で 30cm 程度、軌間中心からの直角距離で 2～3cm であり、試験者の姿勢を考慮すると線路内の正確な位置検出が可能であることが検証されたということが出来る。

測定結果の一例として図 13 に軌道中心線上での中腰作業姿勢で A: 検修庫方向を向いた時の、主な測定データを示す。

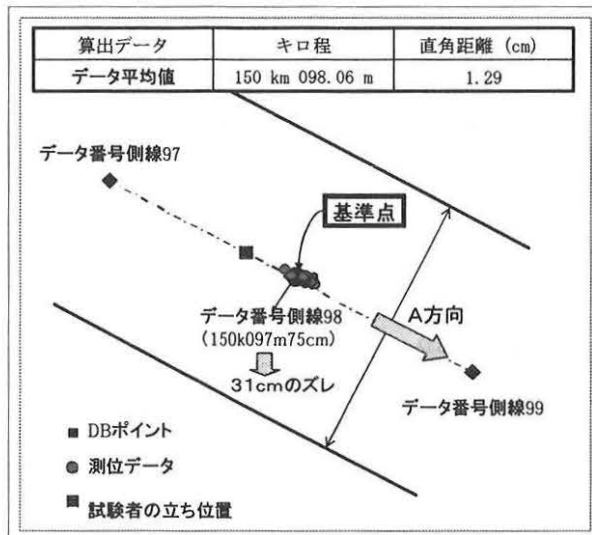


図 13 中腰作業姿勢 (A 方向) での測定結果

6. 現地試験の総合評価

実用化に向けては、作業員用装置の小型・軽量化等の解決すべき課題が残されているが、本システムの根幹をなす RTK-GPS の測位データを基に算出した線路キロ程、直角距離については、高い精度 ($\pm 3 \sim 6 \text{cm}$) が得られることが明らかとなった。また、線路の内外を検知するエリア判定処理についても確実に判定できることが検証された。

7. 今後の進め方

試験に用いた試作装置は、RTK-GPS の機能を確認するために、機能ごとに装置が分かれており、作業員用装置の総重量は約 18kg もあり形状、重量とも作業員が携帯するには実用的ではないので、機能を特化した装置が必要となる。

また、GPS 受信機についても、実用化時にはヘルメットと一体型のアンテナとして、小型・軽量化を図る必要がある。

但し、どちらについても現状のものから直ちに実用的な大きさ、重量にするためには、多大な開発費用が必要となるので、汎用品の小型化技術の進捗状況、GPS 補正データの通信エリア拡大等の技術動向を見ながら研究を進めて行く予定である。