

衛星測位による高精度位置補正に関する検討

松下 博俊, 藤本 幸司, 下垣 豊, 飯田 勝義

A Study of High Accuracy Positioning Technology by GNSS

Hirotoishi MATSUSHITA, Koji FUJIMOTO, Yutaka SHIMOGAKI, Katuyoshi IIDA

Abstract:

We are using GPS Technology in not only car-navigation but also Intelligent Construction. High Accuracy Positioning makes more efficient for Public Works. RTK-GPS provides cm-ordered accuracy, but it always needs more than 5 Satellites acquisition. This paper describes about how we can get fast initialization for RTK-GPS and high-accuracy under severe condition, such as mountain area.

Keyword:

RTK-GPS, 衛星測位(Global Navigation Satellites System)

1. 背景

現在、我が国において衛星測位 (GNSS: Global Navigation Satellites System) は、カーナビゲーションをはじめ、交通分野、測量、防災、国土管理など、幅広い分野で活用されている。

特に、土木工事分野では、数 cm 単位の測位精度を得ることで、転圧ローラの締め固めの管理、出来形管理などの作業において、作業効率を飛躍的に向上させることが期待されている。

RTK-GPS は、搬送波位相測位固有の整数値バイアス(アンビギュイティ)を決定できれば、cm レベルの高精度測位が可能な技術である。このアンビギュイティを求めるには、通常 5 衛星以上の GPS 搬送波位相データを処理しなければならない。また、初期化に数十秒以上の時間がかかり、一瞬でも衛星からの電波が途絶えると再初期化で同様の時間がかかる。そのため、建物や高い樹木で電波が遮られる場所では、連続位置測位は難しい。

そこで、今回の検討では RTK-GPS の初期化時間を短縮して継続性を改善するとともに、衛星測位の限界を補完し信頼性を向上させることで、山間部や都市部における情報化施工の適用等、利活用シーンを広

げることを目指すものである。

現在の GPS 衛星を補完すべく常に日本の天頂付近に衛星が存在する準天頂衛星計画が進行中である。2009 年度に、第 1 号機が打ち上げられる予定で、準天頂衛星により更なる衛星測位の利用率の向上が見込まれる。

本稿は、国土交通省・国土技術政策総合研究所が実施している平成15年度～平成19年度の5カ年の総合技術開発プロジェクト「準天頂衛星による高精度測位補正に関する技術開発」における、昨年度の成果について報告するものである。

2. 高精度測位アルゴリズムの最適化

2.1. RTK-GPS 高速初期化技術の開発

(1) 2周波搬送波位相モデル電離層遅延推定方法

従来、電離層モデルとして Klobuchar モデルが用いられ、観測量を用いずに電離層遅延を求めていたため、実際の電離層遅延量との大きな誤差が発生していた。本検討では、搬送波位相の観測量及び二重位相差の予測量を用いて、電離層遅延二重差を算出すること(二周波搬送波位相モデル)により、実際の電離層遅延二重差を推定した。

(2) アンビギュイティ決定のための位置探索手法

RTK-GPS では推定位置の精度が約 50cm から 1m 程度になると、アンビギュイティを短時間で決定できる。一方、推定位置の初期値は DGPS で求めるため、推定の初期段階では推定位置に数 m 程度の誤差が含ま

松下 博俊: Email: matsushita_hi@itg.hitachi.co.jp
〒140-8572 東京都品川区南大井 6-27-18

(株) 日立製作所 情報・通信グループ

経営戦略室 uVALUE 事業インキュベーション本部
元: 国土交通省 国土技術政策総合研究所

交流研究員

まれる。このため、推定位置がアンビギュイティを決定できる範囲に入るまでに長い時間を要する。そこで、推定位置の周りでアンビギュイティ決定可能な位置を探索すること(アンビギュイティ決定のための位置探索手法)により、初期化時間の短縮を図った。

(3) 躍度モデルによるサイクルスリップ検出手法

移動局が急な加減速で動くと、加速度モデルでも十分に動きを予測することができず、二重位相差の予測量に大きな誤差が発生し、誤ってサイクルスリップを検出してしまふことがある。そこで、加速度の時間差分である躍度まで推定すること(躍度モデル)により、二重差位相予測量の誤差を低減し、サイクルスリップ検出性能を向上させた。

(4) ワンエポック決定ソフトウェア

利用率の向上を目的として、RTK-GPS 高速初期化技術を開発した。これらの成果を組み込んだワンエポック決定ソフトウェアのアルゴリズムを図1に示す。

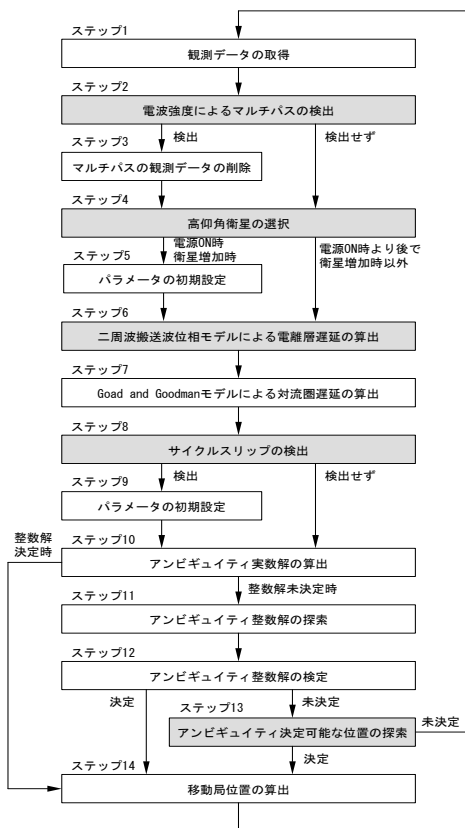


図1 ワンエポック決定アルゴリズム

2.2. 慣性航法複合技術の開発

(1) 非線形フィルタの適用

GPS/INS 複合航法に必要な姿勢方位角初期化処理を、移動アライメント方式を適用して航法と統合する

ことで、より高精度な複合航法方式を検討した。さらに、移動アライメント方式と統合した複合航法方式に、非線形フィルタを適用することで実用的な測位精度を確保する収束時間を改善した。

(2) 方式切替え方法の検討

昨年度検討した **Tightly Coupled** 方式と、GPS 測位が可能な環境ではより高精度な測位を実現可能な **Loosely Coupled** 方式を組み合わせ、電波受信環境により変化する可視衛星数の増減に対応した最適な慣性航法複合アルゴリズムを検討した。この **Loosely Coupled** 方式と **Tightly Coupled** 方式を切替える複合航法方式で、可視衛星数が 3 基の場合でも RTK-GPS 測位精度の測位を継続できることを確認した。

2.3. 高精度測位ソフトウェアの設計・試作

2.1, 2.2 で検討したアルゴリズムを搭載した高精度測位ソフトウェアを、設計及び試作した。本ソフトウェアは模擬観測データ生成ソフトウェア、高精度測位ソフトウェア、シミュレーションソフトウェアから構成される。

(1) 模擬観測データ生成ソフトウェア

本ソフトウェアは、GPS 受信機と慣性航法装置が出力するデータを生成する機能、及びシミュレーション環境と建設機械の動作を模擬する機能から構成される。

- 1) シミュレーション環境: 国土地理院 50m メッシュ(標高)及び法面(勾配段数, 配置方向)による電波遮蔽を模擬
- 2) 建設機械の動作: 転圧ローラ, 油圧ショベル等の動作を模擬
- 3) 観測データの生成: GPS 衛星と準天頂衛星の軌道情報, GPS の観測データ, IMU の観測データの生成およびサイクルスリップ, マルチパス等誤差要因を付加
- 4) 真値データの生成: 真値データ(位置, 速度, 加速度)を生成

今回のシミュレーション実験では、高速道路における締固め、法面成形工事を想定した。このイメージを図2、法面段数と仰角の関係を図3に示す。

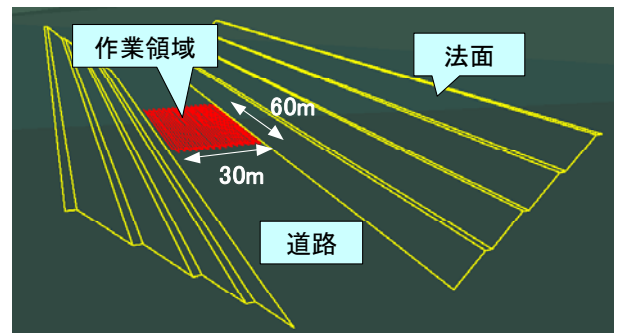


図2 法面のイメージ

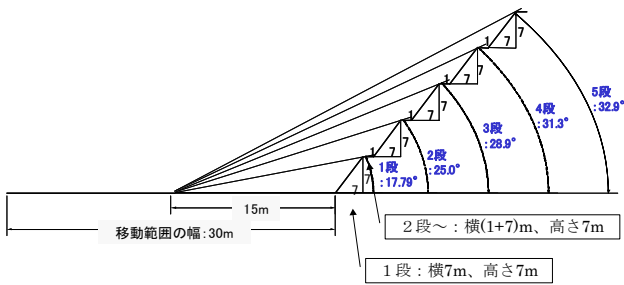


図3 法面段数と仰角の関係

(2) 高精度測位ソフトウェア

本ソフトウェアは初期化处理, 測位演算処理, 結果データ評価処理から構成される. さらに, 測位演算処理は RTK-GPS 高速初期化技術プログラム及び慣性航法複合技術プログラムから構成され, 両プログラムを切替えながら実行する.

- 1) 初期化处理: 測位演算で使用する変数の初期化
- 2) 測位演算処理: RTK-GPS 高速初期化技術プログラム及び慣性航法複合技術プログラムを切替えながら実行
- 3) 結果データ評価処理: 測位演算処理から出力される結果データを蓄積・加工し, 評価パラメータである統計的データや位置, Fix 状態等のデータを生成する.

(3) シミュレーションソフトウェア

本ソフトウェアは, 模擬観測データ生成ソフトウェアで作成した模擬観測データを使用し, 高精度測位ソフトウェアを動作させるアプリケーションプログラムである.

- 1) データ入力: データ生成ソフトウェアで作成した模擬観測データや測位演算で使用するパラメータファイルを読み込む.
- 2) 測位演算の実行: 従来技術, RTK-GPS 高速初期化技術, 慣性航法複合技術を切替えて実行する.
- 3) データ出力: 測位演算結果データをファイルとして出力する.
- 4) 画面制御: シミュレーションの起動/停止, 測位演算中の状態表示, 測位結果の再生表示を行う. 図4にシミュレーションモニタ画面を示す.

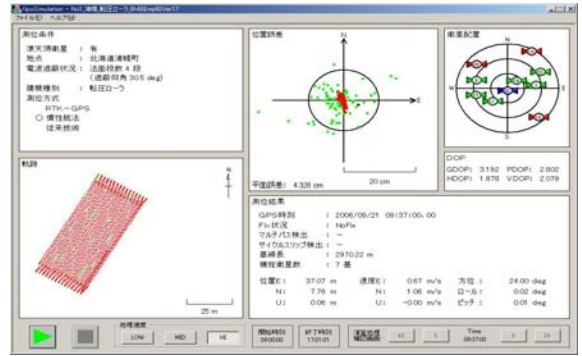


図4 シミュレーションモニタ画面

3. シミュレーション結果と評価

法面段数, 準天頂衛星の有無, 実験場所及び建機種別の条件を変えて, 模擬観測データを生成した. この模擬観測データをもとに, 以下の項目を評価した.

- 利用率: 位置が算出できかつ水平誤差が規定値(10cm)以下である時間の割合(%)
- 位置誤差: 真の位置と計算結果の差 (cm)
- 初期化時間: Fix 解が得られなくなってから再度 Fix 解が得られるまでの時間 (sec)

3.1. 法面段数による評価

準天頂衛星がなく, 転圧ローラを走行させたシミュレーション実験を行った. 図5~図7に示す解析結果を得て, 以下の結論を得た.

- 1) 図5に示すように, 準天頂衛星がない場合, 慣性航法複合技術を用いることにより, 法面4段以下で90%以上の利用率を確保できた.
- 2) 図5に示すように, 法面が4段である場合, RTK-GPS 高速初期化技術の利用率が従来技術に比べて約30%向上した.
- 3) 同様に, 慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約40%向上した.

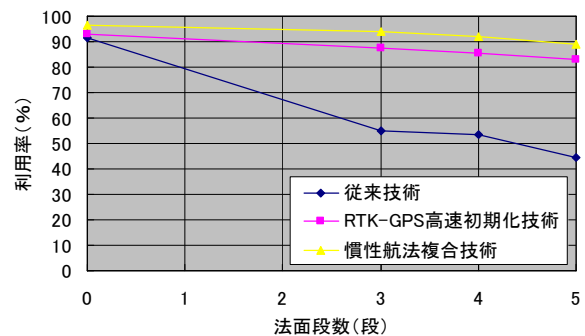


図5 法面段数と利用率の関係 (準天頂なし)

- 4) 図6に示すように, 法面が4段である場合,

RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の位置誤差は数 cm 程度であり、10cm 以下となった。

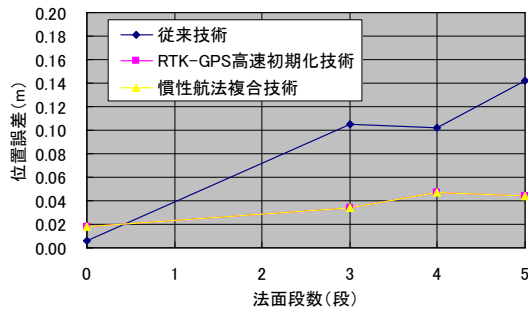


図6 法面段数と位置誤差の関係 (準天頂なし)

5) 図7に示すように、法面が4段である場合、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間は従来技術に比べて3分の1以下に短縮された。

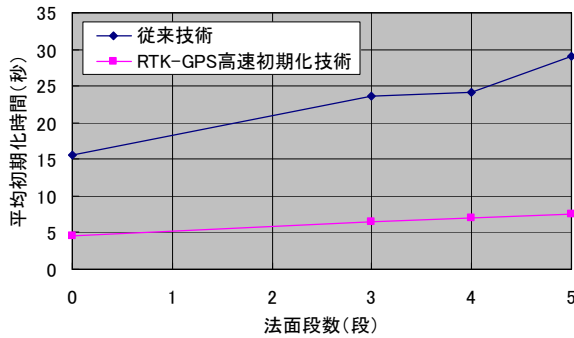


図7 法面段数と平均初期化時間の関係 (準天頂なし)

3.2. 準天頂衛星の効果

準天頂衛星を用いた転圧ローラ走行のシミュレーション実験を行った。図8に示す解析結果を得て、以下の結論を得た。

- 1) 図8に示すように、準天頂衛星がある場合、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術を用いることにより、法面5段で90%以上の利用率を確保できた。
- 2) 法面が4, 5段である場合、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約20~25%向上した。

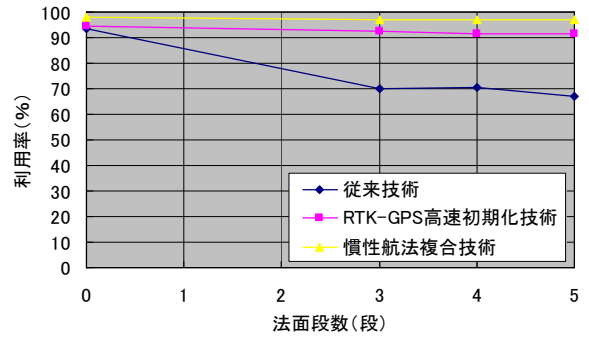


図8 法面段数と利用率の関係 (準天頂あり)

4. まとめ

RTK-GPS は、衛星電波受信環境が良好であれば cmオーダーで測位が可能である。しかし、特に移動体においては電波環境が時々刻々と変化するため安定した測位が難しい。都市部での建物、山間部での樹木により電波が遮断され測位できないか、再初期化に時間がかかるという状況が頻繁に発生し、その結果、作業効率を著しく下げてしまう。

本検討による「RTK-GPS 高速初期化」、「慣性航法複合技術」を適用することにより、継続的に高精度測位を実現し、結果として建設現場における作業効率を改善する可能性を示した。

今後は、シミュレーション結果を踏まえ、屋外による実証実験をとおして、測位技術の性能を評価し、有効性を検証していきたい。

[参考文献]

- [1] 「GNSS/INS による高精度測位の評価と土木現場への応用」:2005 年度 GIS 学会講演集
- [2] 「衛星測位の建設機械等への応用」:建設電気技術 2006 技術集
- [3] 「準天頂衛星システム(日本版 GPS)を用いた RTK-GPS 測位の移動体への適用」:土木技術資料 2007 年 2 月号
- [4] “Research into the Application of Integrated RTK-GPS/INS Systems for IT Construction”: Institute of Navigation 2007 National Technical Meeting