

# (77) 衛星測位を利用した土壌汚染状況調査における 調査地点設定システムの開発

岡本 修<sup>1</sup>・三浦光通<sup>2</sup>・高橋 徹<sup>3</sup>・埴 和広<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 茨城工業高等専門学校准教授 電子制御工学科 (〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根866)

E-mail:okamoto@ss.ibaraki-ct.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 株式会社環境研究センター (〒305-0857茨城県つくば市羽成3-1)

E-mail:miura@erc-net.com

<sup>3</sup>非会員 株式会社環境研究センター (〒305-0857茨城県つくば市羽成3-1)

E-mail:takahasi@erc-net.com

<sup>4</sup>非会員 茨城工業高等専門学校専攻科 (〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根866)

E-mail:st09s35@gm.ibaraki-ct.ac.jp

土壌汚染状況調査では、調査区域をメッシュで区分けして、調査地点を決定する調査地点設定作業がある。調査現場の規模により数十から数百点におよぶ調査地点を逆打ち測量するが、調査地点の起伏や植栽等の状況により労力と時間がかかりコスト削減が求められている。本研究では、土壌汚染状況調査向けの調査地点設定システムを開発した。このシステムは、調査地点の座標値算出等の事前準備を必要とせず、一人で容易に調査地点を現場に落とすことができる新たなナビゲーション手法と、水平方向数cmと高精度だが高価な衛星測位であるRTK法を、低コストで利用する新たな仕組みを導入した。これらの取り組みにより、高精度を維持しながらシステムのコストダウンと省力化を実現した。

**Key Words :** GPS, GLONASS, Positioning, RTK, Soil Contamination, Labor saving

## 1. はじめに

土壌汚染状況調査における調査地点の設定は、結果を左右する重要な作業である。調査地点設定は調査地の状況が多様なため、作業工数がかかり費用の負担増になることも少なくない。土壌汚染調査費用のうち分析費用の占める割合は、現場調査費用に比べ高くなる場合が多く、現場調査費用の増大は分析費用の圧迫を招く。現場調査に対する適正なコスト負担を施主に求めることは難しく、コスト削減が求められている。

このような背景から、我々は現場調査コストの低減化を目指し、現場調査での調査地点設定の省力化を目的とした調査地点設定システムの開発に取り組んでいる。このシステムは座標値を一切必要としない新たなナビゲーション手法を特長とし、簡単な操作で作業者を調査地点へ誘導できる。また、衛星測位受信機やソフトウェアを見直すことで、数cmの測位精度を維持しながら機器の導入費用を大幅にコストダウンするとともに、複数の衛星測位システムを利用することで、従来利用することが困難であった木周辺や壁際等の電波受信環境が悪い場所での測位可能な範囲の拡大を図る改良を行った。本稿では開発した調査地点設定システムの概要について述べる。

## 2. 土壌汚染状況調査の概要と問題点

### (1) 土壌汚染状況調査の必要性

有害物質による土壌汚染事例の判明件数が著しく増加し、土壌汚染による健康被害への懸念から平成15年2月に「土壌汚染対策法」が施行された。この土壌汚染対策法では、土壌汚染の恐れがある土地の場合、指定調査機関による土壌汚染状況調査を行い、土壌汚染が発見された場合は土壌汚染浄化工事等の対応が課せられている。現在、宅地建物取引業法の重要説明事項に土壌汚染の項目があり、土壌汚染の恐れのある土地の売買には事前に土壌汚染状況調査が必要となっている。

### (2) 土壌汚染状況調査の作業内容

土壌汚染状況調査では、現場における土壌採取や観測井戸の調査地点を決める調査地点設定作業が必要となる。図-1に従来の調査地点設定作業の流れを示す。まず、図面上で過去の土地利用履歴や地形に基づき調査区域をメッシュ状に区分けし調査地点を設定する。次に、調査現場に出向いて図面通りに調査地点を現場に落とすことで調査地点設定の作業が完了する。この調査地点において採取した土壌を分析した結果、有害

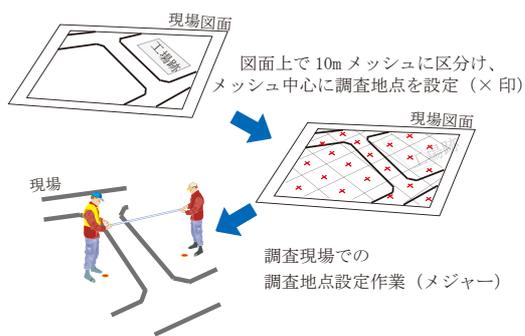


図-1 従来の調査地点設定作業の流れ



図-3 システム外観 (移動局側)

物質が基準量を超過した場合は土壤汚染のある土地と判定される。汚染源の特定や汚染地域の広がりから土壤浄化工事等の対策を検討することになる。

### (3) 問題点

土壤汚染状況調査の費用は、調査地点設定と土壤等を採取する現場調査費用と分析費用に大別される。このうち調査地点設定作業では、一般的にメジャーや光学測量機が用いられるが、事前に調査地点の座標値算出が必要な上、現場で最低2人の作業員を要する。調査地の地形や環境条件により作業時間と手間が異なる。例えばメジャーを利用する場合、荒れ地等の起伏の激しい現場では、測点間を斜距離で測ることになり正確な水平距離を計測できない。また、光学測量機の場合、工場が建ち並ぶ敷地等の現場では、構造物等でターゲットが遮られるため、見える位置まで迂回せねばならない。調査地点設定は、調査地の状況が多様なため、作業工数がかかり費用の負担増になることも少なくない。その結果、現場調査費用が増大し、分析費用の圧迫を招く。現場調査費用に対する適正なコスト負担を施主に求めることは難しく、コスト削減が強く求められている。

## 3. システム概要

### (1) 機器構成

図-2に開発したシステムの機器構成、図-3に移動局側のシステムの外観を示す。本システムは、GPS/GLONASS受信機その他、アンテナ、アンテナポール、パケット通信機、パソコンから構成される。パソコン以外はアンテナポールと一体になるため、一人で地点設定作業ができる。ソフトウェアは直接指でモニタ画面に触れて操作できるタッチオペレーション対応のものを作成し、現場作業中に困難なキーボード操作を排除した。作業者が持ちながらの作業となる移動局側の機器は、タブレットパソコンを含めて防水仕様となっており、雨天での作業も可能となっている。

### (2) 衛星測位のコスト低減

本システムは、衛星測位受信機として1周波GPS/GLONASS受信機を採用した。表-1に採用したGPS/GLONASS受信機の仕様を示す。開発システムに採用するRTK法では、基準局と移動局2台のGPS/GLONASS受信機

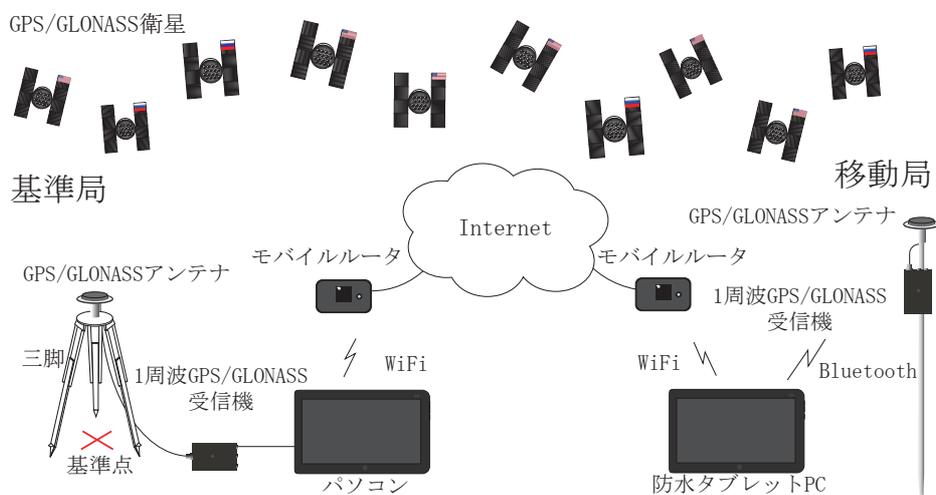


図-2 システム構成

表-1 GPS/GLONASS 受信機の仕様

GNSS 受信機	センサコム社 1 周波 GPS/GLONASS 受信機 GGSTAR	
GNSS アンテナ	1 周波 GPS/GLONASS 対応	
受信チャンネル	14 ch (GPS L1 8 ch, GLONASS L1 6 ch)	
測位計算ソフトウェア	GNSS 測位プログラムパッケージ RTKLIB <sup>2)</sup>	
測位精度	RTK 法	数 cm (Fix 時)

に加え、基準局データを移動局へ伝送するための伝送手段が必要となる。従前の開発システム<sup>1)</sup>では、基準局データを配信する商用の電子基準点ネットワーク方式を利用していた。配信される基準局データを利用することで必要な衛星測位受信機が移動局側の1台で済み、機器導入費用が安くなるメリットがある。反面、配信サービスの利用料は1ヶ月当たり約数千～6万円と高価である。

そこで、本システムに採用するGPS/GLONASS受信機は、従前のシステムのGPS受信機に比較して大幅に低コストな1周波のものに変更するとともに、衛星測位受信機が2台必要となるが商用配信サービスが不要なシステムとした。基準局データの伝送手段は、携帯電話会社が提供する安価な packet 通信サービスを利用し、RTK法の測位計算にはGNSS測位プログラムパッケージRTKLIB<sup>2)</sup>を採用した。従前のシステムでは受信機メーカーが用意する測位計算ファームウェアを利用していた。RTKLIBを利用することで、このファームウェアが不要となり、RTK法の測位計算ファームウェアが用意されない、より低コスト

の受信機を採用できた。その結果、衛星測位にかかるコストを1/2以下に低減できた。

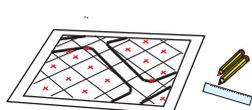
### (3) 測位可能な範囲の拡大

壁際や木の周辺での測位可能範囲の拡大を図る目的で、GLONASS受信も可能な受信機を採用した。近年GLONASSの衛星数が増え、GPSだけでは測位することさえ困難であった構造物の合間等の開空制限がある環境でも、測位可能となるメリットが期待できる。そこで、本システムの衛星測位受信機を測位精度の悪化が懸念される木周辺において測位精度を評価した。その結果、GPSのみでは測位精度が悪化したり、衛星数が足りずに測位ができない状況が頻繁に発生する環境であっても、水平方向数cmの測位精度を維持できることがわかった<sup>3)</sup>。

### (4) ナビゲーション手法

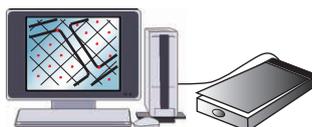
本システムは作業者を調査地点へナビゲーションすることが目的である。測量分野では同様な作業として座標値から現場に点を落とす逆打ち測量があり、この作業を支援する測量システムは既に市販されている。これを調査地点設定作業へ利用する場合、まず図面上で調査地点を決め、調査地点の座標値を図面から算出し、座標値を測量ソフトウェアに登録する事前作業が必要となる。土壌汚染状況調査では、座標値が入った図面が存在せず、ファックスで送られてくる低品質の図面で調査せざるを得ないことがある。このような場合、現場内への基準点の新設と図面の数値化が必要であり、この事前準備だけでも手間がかかる。これらの問題を解決するため、座標

(a) 図面への調査地点の書き込み



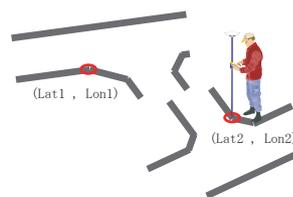
地形や過去の土地利用の情報を元に調査区域を 10m メッシュで区分けし、各メッシュに調査地点を図面に直接書き込む (× 印)。

(b) 図面の読み込み



調査地点を書き込んだ図面をスキャナでパソコンに取り込む。

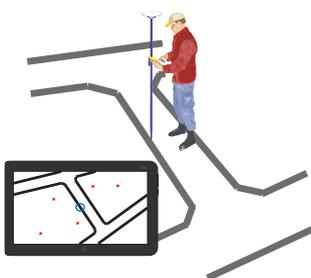
(c) 現場基準点の測量



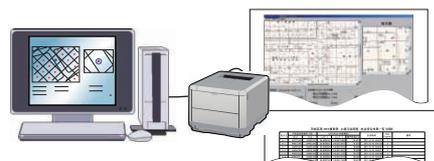
図面と現場の双方で位置を特定できる最低 2 点を GNSS 測量する。

(d) 調査地点設定の作業開始

作業者の移動に合わせて作業者の位置を示す○印が画面中心に表示されるように図面をスクロール表示する。作業者は調査地点の×印と自分の位置を示す○印を重ね合わせるように移動することで調査地点を設定できる。



(e) 地点設定成果の作成



地点設定の記録ファイルから、地点設定成果を作成する。各調査地点の地点設定状況と座標値表を出力する。

図-4 本システムの調査地点設定作業の流れ

値を一切必要とせず、従来の図面に直接手作業で調査地点を書き入れる方法からの移行にも作業者が戸惑わないナビゲーション手法を開発した。

図-4 に開発システムによる調査地点設定の作業の流れを示す。調査現場に行く前の事前準備を図-4(a), (b) に示す。図面に調査地点をペンで直接記入し、その図面をスキャナでパソコンに取り込む作業のみで従来の手作業のスタイルと同様とした。次に現場における事前準備となる現場基準点の測量を図-4(c)に示す。図面と現地の双方で同じ位置を特定できる任意の2点をGNSS受信機で測位させて本システムへ登録する。開発システムでは、GNSS受信機の測位値から図面に座標値を埋め込むキャリブレーション処理をする。これらの事前準備により、作業者の位置と調査地点の位置関係を図-4(d)のように表示することが可能となり、調査地点へ作業者を誘導できるようになる。作業終了後は図-4(e)に示すように調査地点の設定状況と設定した調査地点の座標値表の出力が行える。このように本システムは、従来の手作業による事前準備作業がほぼ同様に座標値を意識せず利用できるため、測量の専門知識がなくても容易に作業できる。

#### 4. おわりに

本稿では、土壤汚染状況調査における調査地点設定作業の省力化を目的とした調査地点設定システムの開発について、新たなナビゲーション手法とコスト低減した衛星測位を導入したシステムの概要を説明した。新たなナビゲーション手法は、従来の手作業による事前準備とほぼ同様の作業とし、手間を増やすことなくシステム化できた。また、衛星測位の受信機等にかかる機器導入コストを約1/2に低減するとともに、ランニングコストも大幅に削減した。

本システムを調査地点約400点の土壤汚染状況調査に適用したところ、3名の人員（1名が本システムを操作、1名は調査地点の杭設置、1名が次の調査地点へ先回してシステム操作者への指示）で2.5日費やした。この現場は全部で3工区あり、隣の工区では同じく約400点を光学測量機を用いて地点設定していたが、3名3チームで1週間以上かかっており、省力化の効果の大きいことが明らかとなった。この現場は河川敷にあり、人の背より高い草で地面が全く見えない箇所や林（落葉樹で作業した冬は葉が落ちていた）、崖等、歩くことさえままならない箇所もある。このような現場では特に本システムの導入効果は大きい。

土壤汚染状況調査の現場は、衛星測位の利用において厳しい環境が多い。特に構造物や木の周辺での利用にお

いて、GPSのみでは精度が悪かったり測位ができない場所も多く、衛星測位を適用することは困難だった。本システムは、これらの問題も解決し、測位可能な範囲を拡大できた。

#### 参考文献

- 1) 三浦光通, 岡本修, 高橋徹, 広瀬篤: 土壤汚染状況調査における調査地点設定に係る測量の省力化(第4報)ロボパスト性の改善, 第15回地下水・土壤汚染とその防止に関する研究集会講演集, pp.418-421, 2009
- 2) 高須知二, 久保信明, 安田明生: RTK-GPS 用プログラムライブラリ RTKLIB の開発・評価および応用, GPS/GNSS Symposium 2007 text, pp.213-218, 2007
- 3) 岡本修, 三浦光通, 高橋徹: 土壤汚染状況調査での調査地点設定システムに用いるGNSS測位の精度評価, 第67回土木学会年次学術講演会概要集(CD-ROM)VI-286, pp.571-572, 2012