

33. 地下埋設物可視化システムの開発と実用化

－ 掘削工事における“地下の見える化”を実現 －

清水建設株式会社
茨城工業高等専門学校
株式会社菱友システムズ

○ 西村 晋一
岡本 修
石田 新二

1. はじめに

都市部における地下埋設物は、都市の近代化や人口集中に伴って多様化し、上下水道管やガス管、送電線、通信ケーブル等が複雑に入り組んでいる。このため、開削工事や立坑工事など地下掘削を行う工事では、地下に埋設されたライフラインを損傷しないよう、それらの位置を関係者全員が事前に共有する必要がある。地上から見えない埋設物の情報を共有するためには、たとえば、現状では現地に看板やスプレーなどで位置を表示している。また、現地で紙の図面を広げながら、地下埋設物の確認作業を行っているが、埋設物の敷設状況は直接視認できないため、見落とし等のミスが生じる可能性があった。

そこで、ICT および衛星測位技術に着目し、タブレット端末を利用して誰でも簡単に地下埋設物を精度よく可視化できるシステムを開発した。本稿では開発したシステム概要と現場における実用性の評価結果を紹介する。

2. 地下埋設物可視化システム

地下埋設物可視化システム（以下、本システムと称す）は、タブレット端末のカメラで写している風景画像に埋設物の図面を重ねて投影することで埋設物の存在や位置を可視化するシステムであり、AR 関連技術の一種に位置づけられる。写真-1 にタブレット端末による使用時のイメージを示す。



写真-1 タブレット端末による使用イメージ

2.1 AR の概念

AR とは「拡張現実感(Augmented Reality)」の略で、実際の景色、地形、感覚などにコンピュータを使ってさらに情報を加える技術を指す。

具体例としては、コンピュータがカメラやマイク、GNSS、各種のセンサなどで得たその場所や周囲の状況に関する情報を元に、現実世界から得られた画像や映像、音声などに加工を施して利用者に提供するシステムなどが挙げられる。

本システムは、このような AR 技術であると同時に、利用する図面情報のビッグデータをインターネット通信でダウンロードすることから ICT にも位置付けられる。

2.2 衛星測位について

近年では、米国が中心に管理運営する GPS に加えてロシアの GLONASS、日本の準天頂衛星 QZSS、中国の BeiDou など、複数の衛星を複合的に利用するマルチ GNSS(Global Navigation Satellite System) の時代が到来している。このマルチ GNSS を有効に活用する測位技術として、リアルタイムに高精度で位置を求められる RTK(Real-Time Kinematic) 法がある。図-1 に RTK 法を用いた測位システムの標準的な構成を示す¹⁾。

RTK 法は、座標値が既知である基準局と観測点である移動局の 2 局を用いて、衛星から送信される搬送波を観測して相対位置を計測する方法である。基準局で観測したデータは、無線などの通信手段を用いて移動局に送信し、移動局で観測したデータとともに測位計算して座標値を求める。

RTK 法では測位解として、衛星からの搬送波数の推定が完了するまでの状態を Float 解、完了して測位精度が数 cm まで収束した状態を Fix 解という。また、測位開始から Float 解を経て Fix 解になるまでの時間を初期化時間という。図-2 に初期化における初期化時間と測位誤差の関係（概念図）を示す²⁾。RTK 法では、この初期化時間を短縮するため、衛星から送信される異なる 2 つの搬送波を観測する 2 周波対応の受信機が一般的である。しか

し、他の衛星測位システムを併用するマルチ GNSS 測位では観測衛星数が増加するため、近年では 1 周波受信機であっても初期化時間を短縮できる。このような 1 周波受信機であっても Fix 解までの初期化時間は 30 秒～1 分程度と十分実用的な時間である。

この 1 周波受信機は、主にコンシューマ向けに製造されていた単独測位受信機がベースとなっており、安価で小型軽量、省電力であることが特長である。本システムにおいても、測定誤差が小さく、より安価なシステムとするため、この 1 周波 RTK 測位を採用した。その結果、測定者の位置を数 cm の誤差でリアルタイムに検知することが可能となった。

2.3 本システムの構成

本システムの機器構成と通信イメージを図-3 に示す。本システムは、基準局のアンテナ・受信機と PC、移動局のアンテナと受信機、クラウドサーバで構成される。現場事務所に設けた基準局の PC と、移動局のタブレット端末はインターネットで接続され、常に最新の観測データが端末に送られる (図-3 参照)。

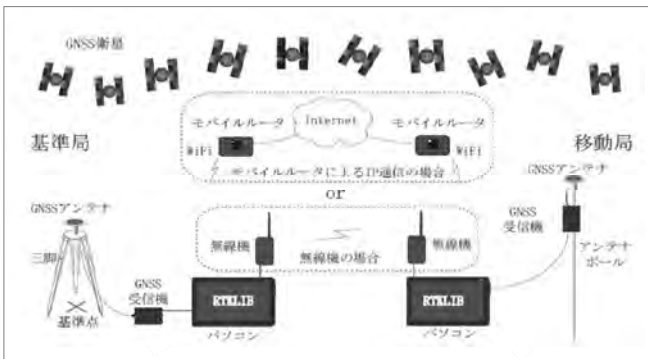


図-1 RTK法の標準的な構成

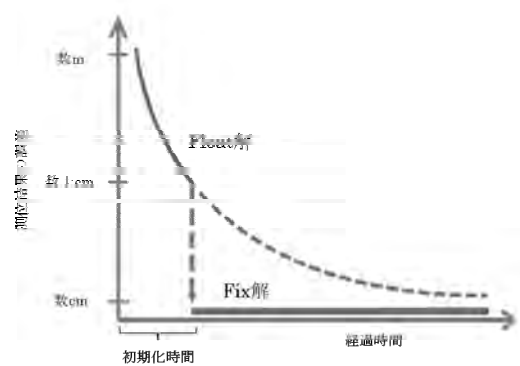


図-2 RTK法の初期化における解の収束状況概念図

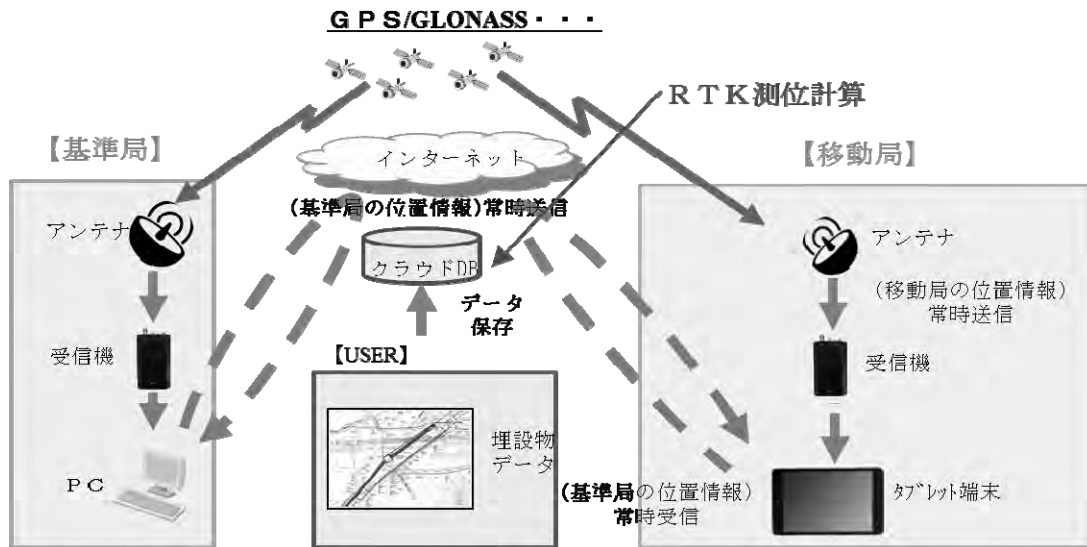


図-3 機器構成と通信イメージ

アンテナと受信機は超小型タイプを採用した。アンテナを写真-2に、受信機を写真-3に示す。また、写真-4に移動局（操作者）の装備例を示す。受信機とタブレット端末は無線通信であり、アンテナはヘルメットに取り付けるため、使用者は負担を感じることなくシステムを使うことができる。

2.4 図面データの登録

現場への適用に当たっては、事前に埋設物の図面データの登録が必要である。当社の現場では、まず電子化されていない紙ベースの図面を CAD データに変換する。次に登録する図面の四隅の座標を緯度経度に変換した後、これをクラウドサーバのデータベースに登録する。試掘調査等で埋設物の位置情報が更新された場合は、サーバ内のデータを更新すればよい。

なお、施設の管理者や事業者の方々など、当社の現場以外で本システムを採用する場合においても、この埋設図面の事前登録作業は必要となる。

3. 現場への適用

本格運用に先立ち、当社で施工中の東京外環自動車道大和田工事において試行を行った。当現場は多数の地下埋設物が存在することから、本システムの実用性確認を行うのに最適と判断した。

3.1 試行現場の概要

東京外環自動車道大和田工事は外環事業の千葉県区間において、東京外環自動車道の函体（ $L=1,668m$ ）を開削工法およびシールド工法により構築するものである。開削工事区間の函体イメージを図-4に示す。当工事エリアは住宅街に位置し、多数の地下埋設物が存在する。

3.2 試行の結果

現場での操作手順ならびに試行の結果を以下に説明する。まず、移動局の使用者がタブレット端末と GNSS アンテナ・受信機を携行して現場に向かい、地下埋設物の近傍に近づくと、周辺に存在する埋設物の対象図面リストが画面に自動表示される（図-5）。次に、使用者が確認したい図面を選択すると当該図面及び使用者がいる位置が表示される（図-6）。この際、埋設管が見えている箇所画面表示と比較したところ、その誤差は数 cm 以下であることを確認した。

続いて、タブレット端末の内蔵カメラで掘削工事を行う地表面を眺めると、直下に敷設された埋設物のラインが浮き上がるように地表面の映像上に投影される（図-7）。端末を使用する位置や保持する角度等に応じて、地表面のライブ画像に埋設物の敷設ラインが自動的に追従して表示されるため使い勝手が良く、誰にでも手軽に操作できることを確認した。

なお、通信状況によるが、基準局は半径 10km

範囲にある複数の端末（移動局）で同時利用が可能である。



写真-2 アンテナ



写真-3 受信機



写真-4 移動局の装備例

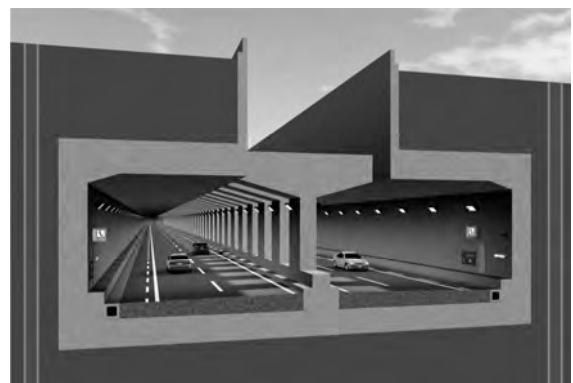


図-4 函体完成予想図



図-5 タブレット端末の表示画面①
【図面リスト表示】



図-6 タブレット端末の表示画面②
【埋設図面表示】

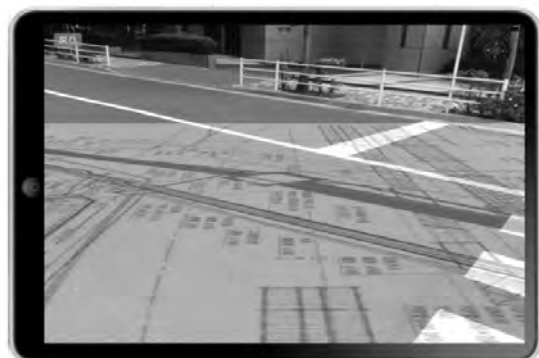


図-7 タブレット端末の表示画面③
【カメラ映像に投影】

4. おわりに

本システムの最大のメリットは、直接見ることができない地中の埋設物の種類や位置を、高精度の位置検知性能を確保しつつ、誰でも簡単・手軽に“見る”ことができる点である。本システムにより自分のいる位置と埋設物の存在と位置が「即座に一目でわかる」「正確に把握できる」ため、安心して効率よく地下掘削工事を行うことができる。紙ベースの図書を持つことなく図面の施工情報を現地で参照できるため、現場での作業性の向上も図れる。今回の試行によって、本システムの精度、手軽な操作性など実用性を確認できた。

今後は一層確実に効率的な現場管理の技術として、掘削を行う現場に順次展開していく予定である。また、将来は、官庁や事業者の方々の要望に応じて、そのニーズに対応できるものに本システムをカスタマイズして、採用を働きかけていくことも検討している。

参考文献

- 1) 岡本修:センチ・メートル測位 RTK法の基礎と実力, トランジスタ技術2016年2月号, pp.66-79, 2016.
- 2) 塙和広・岡本修他:衛星測位受信機の比較に関する実験的研究, 日本測量協会応用測量論文集, vol.26, pp.21-32, 2015.