

地下埋設物可視化システム（Shimz AR Eye 埋設ビュー）の開発

清水建設(株), 岡本修 (茨城工業高等専門学校), (株)菱友システムズ

1. 業務内容

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、近年では建設工事に伴う埋設物の損傷事故が全国で絶えない状況にある。日本建設業連合会の資料によると、過去5年間で毎年100件以上の埋設事故があり、平成28年では全国で134件を数えている。埋設事故発生状況を工程別に見ると「掘削」、「支障物撤去」、「試掘・布掘」の掘削関連作業だけで約6割を占めている。図-1は事故発生状況を原因別に表示したものである。事故の原因は多岐にわたるが、中でも「指示の不徹底」、「台帳の確認不足」、「路上マーキングのミス」、「試掘が不十分」といった人為的なケアレスミスが約6割を占めているのがわかる。

こうした背景を踏まえ、開削工事や立坑工事など地下掘削を行う工事において、地下の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して、人為的なケアレスミスを未然に防止できる技術の開発を目指した。一方、近年では建設現場におけるi-Constructionへの取り組み、さらにはICTおよびIoTの利用が推進されている。そこで、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高くAR技術で可視化できる地下埋設物可視化システム（Shimz AR Eye 埋設ビュー）（以下「本システム」と称す）を開発した。

(1) 開発のコンセプト

① 地下の可視化を目指して

本システムの開発に当たっては、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できるシステムを目指した。そこで、最近話題になっているAR（拡張現実）に着目し、採用することにした。

ARとは「拡張現実」(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。写真-1に、タブレット端末による本システムの使用イメージを示す。



写真-1 タブレット端末による本システムの使用イメージ

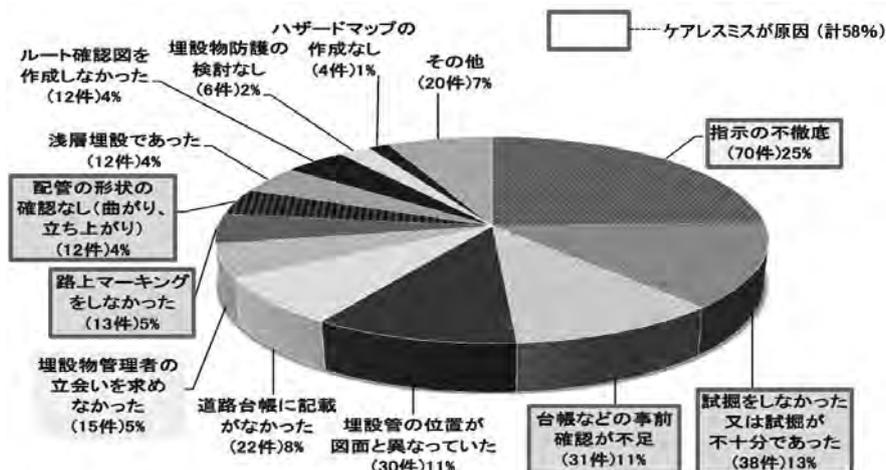


図-1 埋設管の原因別埋設事故発生状況 (H28年) 【出典：(一社)日本建設業連合会】

②本システムの位置付けと適用性

開発するにあたり、本システムの位置付けおよび適用性を設定した(表一)。目標精度(誤差5cm以下)を達成し、AR表示を実現することにより、各作業プロセスにおける現状の課題をクリアする技術にすることができる。また、試掘工以外にも本掘削や土留め壁施工時の確認などに利用することができる。

表一 本システムの位置付けと適用性(試掘工の例)

試掘作業プロセス	現状の課題	AR Eye 埋設ビュー	
		適用効果	適用性
位置近傍への移動	図面の見まちがい	【平面図を表示して確実な誘導】	○
現地測量、埋設位置のマーキング	・図面の見まちがい ・測量ミス、マーキングミス	【埋設管のビジュアル表示によるミス防止】	◎
掘削工	マーキングの消失	【埋設管の損傷防止】	◎
埋設物確認(目視、探針)	—	—	—
埋戻し、再マーキング	・図面の見まちがい ・測量ミス、マーキングミス	【埋設管のビジュアル表示によるミス防止】	○

(2) 開発の目標

上記のコンセプトを踏まえ、以下を目標として開発を行った。

- ①埋設物図面をタブレット端末のカメラ映像に正確に投影するAR表示
- ②埋設物の高精度位置測位(誤差5cm以下)
- ③GNSS(衛星測位)機器の小型・軽量化による機動性・汎用性の向上
- ④埋設図データをサーバから呼び出せるシステムの構築(タブレット端末に保存しない)

(3) 本技術の特徴

本システムの特徴は以下の通りである。

- ①タブレット端末に可視化表示できるAR(安全性向上)
埋設物の2次元平面図を実写画像に投影し、重ねて不自然でなく表示するために、埋設物が地表面に浮き出るように表現するソフトを構築した。これにより、埋設物図面をタブレット端末のカメラ映像に正確に投影するAR表示を実現でき、確認ミス減少など安全性の向上に貢献できる。
- ②RTK法による測位の精度向上(安全性向上)

本システムでは、自分の位置座標と埋設図面データをリンクさせて埋設物との位置関係を把握するため、自分の位置座標を衛星測位から正確に知る必要がある。携帯電話などで使われている単独測位法ではcmオーダーの精度が不可能なため、GNSS位置検知の高精度測位法(RTK法)を採用した。当時、RTK法は測量分野において無線通信により使われていたが、今回のような用途で、しかもインターネット通信で実用化された例はなかった。RTK法の採用により、誤差5cm以下の高精度測位を実現した。これ

により、掘削時の埋設物に対する安全性が大きく向上した。

③GNSS機器の小型・軽量化(機動性・汎用性)

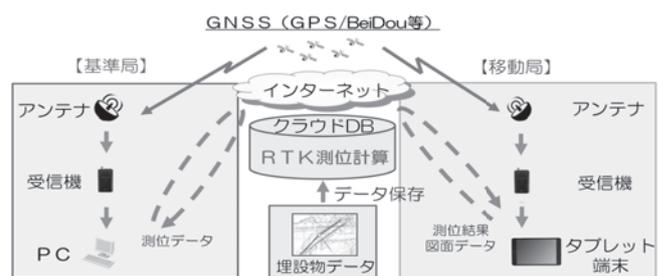
当時まだ実用化されていなかったRTK法の1周波方式を採用し、GNSS(衛星測位)機器であるアンテナと受信機を本技術専用に作製、導入することにより、かつてない小型化・軽量化を実現した(従来:2周波方式2kg⇒今回200g)。これにより、使用者は1人で作業できる装備でタブレット端末を操作できるので、機動性・汎用性が大きく向上した。

④埋設図データのクラウド管理システム(効率化)

図一に示すように、埋設データをあらかじめクラウドサーバに登録保存しておき、インターネットで操作者位置近傍の埋設図を送信する。埋設データは各タブレット端末に保存しないので、図面管理の一元化による効率化と機密性の保持が図れる。また、紙の図面類を持つことなく埋設物の情報を現地で参照できるので、確認の効率化が可能である。

(4) 技術概要

本システムは、基準局・移動局のGNSSアンテナ・受信機とPC、およびクラウドサーバで構成される。現場事務所等に設置する基準局のPCと、移動局のタブレット端末はモバイルルータによりインターネットに接続され、測位データをクラウドサーバに送信する。クラウドサーバ上では、その情報をもとに測位計算を行い、結果を移動局タブレット端末に送信するとともに該当の図面データを配信する。本システムの機器構成と通信イメージを図二に示す。



図一 機器構成と通信イメージ

GNSSアンテナと受信機は超小型タイプを採用した。アンテナを写真一に、受信機を写真二に示す。

基準局は複数の端末(移動局)で同時利用が可能であるが、電離層の影響による誤差を考慮し、利用可能範囲を基準局設置位置から概ね半径10kmとしている。したがって、1つの基準局で近接する複数の現場での運用が可能である。

現場への適用に当たっては、事前に地下埋設物の図面データの登録が必要である。地下埋設物の位置情報が電子



写真一2 アンテナ



写真一3 受信機

化されていない紙ベースの場合、その情報をCADデータ化する。次に登録する図面データに四隅の緯度経度を付与し、これをクラウドサーバのデータベースに登録する。

試掘調査等で地下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。操作者にはサーバ上で管理された最新の地下埋設物情報が自動的に配信されるため、地下埋設物情報の一元管理と情報の共有化が可能となる(図一2参照)。

(5) 開発の経緯

本システムの開発は2014年4月からスタートした。以下に述べるとおり、開発の完成に向けては乗り越えなければならない課題が多くあり、先端技術も含めた最新技術を導入・検討することで対処した。また、検証現場として、埋設物の多い開削工事を対象とした。

①衛星測位法の検討(2014.4～2015.3)

本システムでは、自分の位置座標と埋設図面データをリンクさせて埋設物との位置関係を把握するためには、自分の位置座標を衛星測位からcmオーダーで知る必要があった。しかしながら、タブレット端末に内蔵された測位機能(単独測位法)を利用して試行を行った結果、cmオーダーの精度が不可能であることが判明したため新たなGNSS(衛星)測位技術の検討が急務となった。

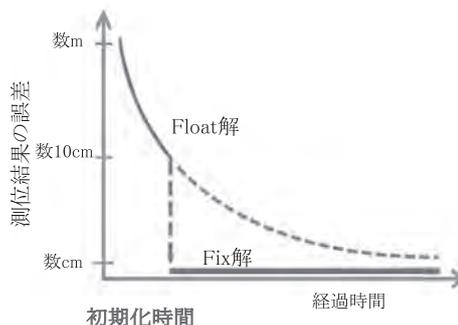
図一3にGNSS測位の分類を示す。単独測位法に対し、相対測位法は、座標値が既知である基準局と観測点である移動局の2局を用いて、衛星から送信される搬送波を観測して相対位置を計測する方法である。中でもRTK(Real-Time Kinematic)法は、短時間計測(リアルタイム)と高精度の利点を兼ね備えていることから、本システムの測

位法としてRTK法を採用することとした。当時、RTK法は測量分野において無線通信により使われていたが、今回のような用途で、しかもインターネット通信で実用化された例はなかった。

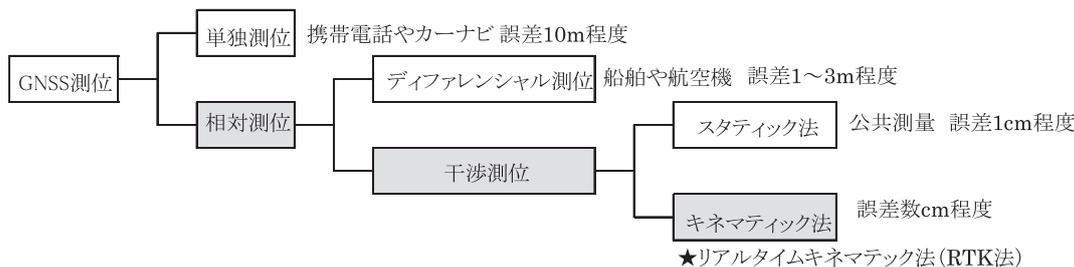
②GNSS機器の小型化・軽量化への取り組み(2014.10～2015.3)

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。図一4に経過時間と測位誤差の関係(概念図)を示す。RTK法では、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」方式の受信機と、1つの搬送波を観測する「1周波」方式の受信機がある。2周波方式の受信機の方が初期化時間を短縮できるが、機器が大きくて重いため(約2kg)、背中に背負うなど現場で身につけた作業者の負担が過大となり実用的ではなかった。そこで、1周波方式の採用を目指して、初期化時間が実用上問題ないかどうかの検証を行った。検証を重ねた結果、近年では観測衛星数が増加したこともあり、1周波方式であっても初期化時間が30秒～1分程度と十分実用的な時間であることを確認した。

このため、1周波方式の採用を決めたが、RTK法の1周波方式は当時まだ実用化されておらず、専用の機器も市販されていない状況であった。そこで、本システム専用のコンパクトな1周波受信機を独自に開発した。新開発の1



図一4 経過時間と測位誤差の関係(概念図)



図一3 GNSS測位の分類

周波受信機とアンテナは、安価で小型軽量、省電力であることが特長である。

1周波方式の機器を採用することにより、高精度と短い初期化時間を両立し、機器の小型化・軽量化（約200g）を実現した。（写真—2, 3を参照）

③埋設図データのクラウド管理・通信システムの開発
(2014.10～2016.3)

埋設図データをタブレット端末に保存することは機密性に問題がある。また、図面が更新された場合のデータ更新は端末使用者に委ねられることから、最新版管理が一元化できない。そこで、埋設図データをあらかじめクラウドサーバに登録保存しておき、クラウドサーバからインターネット経由でデータを送信する管理システムを構築した（図—2参照）。これにより、データの最新版管理の一元化によるミス防止と機密性の保持が可能となった。

④タブレット端末に表示できるARの検討
(2014.4～2016.3)

AR表示については以下のステップで検討を進めた。まず、操作者が確認したい図面をタブレット端末で選択すると当該埋設平図面が表示されるようにした。平面図には操作者がいる位置が正確に表示され、自分と埋設物の位置関係がわかるようにした（写真—4）。次に、タブレット端末の内蔵カメラで地表面を眺めると、敷設された埋設物が浮き上がるように投影されるソフトを構築した（写真—5）。これにより、実風景上で埋設位置を認識することができる。ただし、深さ方向の表示はできないので平面図に記載されている数値を読み取って深度を把握する。以上のとおり、埋設物の2次元平面図をタブレット端末のカメラ映像に投影し、重ねて不自然でなく表示できる正確なAR表示を実現した。



写真—4 タブレット端末の画面
(図面表示)



写真—5 タブレット端末の画面
(投影図)

⑤現場での精度の検証（2016.4～2016.9）

住宅街の中に位置し多数の地下埋設物が存在する開削工事現場において、本システムの位置測位精度を検証した。同現場では、既に掘削を行って埋設物が露出して目視できる箇所があったため、確度の高い検証を行うことができた。検証の結果、埋設物の位置測位誤差は5cm以下の高精度であることを確認した。

(6) 実施工への適用

①東京外環自動車道 大和田地区雨水管渠付替工事への適用

2016年10月から上記工事に適用した。同工事の開削工事区間においては、多数の地下埋設物が複雑に入り組んで存在するため、本システムを導入した。写真—6に本システムの移動局（操作者）の装備を示す。

導入の結果、測位誤差は5cm以下の高精度であること、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（写真—7）。また、本現場の試掘工では、表—1に示した各プロセスにおいて、本システムによるAR表示の適用効果と測位精度を生かして、安全に作業できた。



写真—6 移動局の装備



写真—7 適用状況（外環）

②新座市土地区画整理事工への適用

2017年5月から埼玉県の新座市土地区画整理事工に適用した（写真—8）。本工事は、面積10haの土地を造成する大規模な区画整理事業である。前事例と異なり、地表が土砂であること、起伏もあることから埋設管の位置の正確な表示が困難であった。こうした造成工事において一般的には、基準となる仮設杭を設置し、それから位置出しを行っている。



写真—8 適用状況（新座）

このため、自動で自分の位置が正確にわかる本システムが特に有効であった。

2. 技術的効果

前述 1. (6) 実施工への適用を踏まえ、技術的効果を以下に述べる。

①【安全性向上】AR（拡張現実）表示

埋設物の 2 次元平面図をカメラ画像に投影し、重ねて自然に表現できるソフトを構築した。これにより、埋設物をタブレット端末の映像に正確に投影する AR（拡張現実）表示を実現した。

本システムにより、自分のいる位置と埋設物の存在・位置が「一目で正確にわかる」ため、地下掘削工事の埋設事故防止に大きく貢献することができる。また、将来を見据え、3次元の 3D 埋設図を透過させて実映像に投影できるようにした（図-5）。



図-5 3DのAR表示（イメージ）

②【安全性向上】埋設物の測位性能の向上

GNSS の高精度測位法（RTK 法）の採用により測定誤差 5 cm 以下を実現した。これにより、埋設物の位置把握が正確になり、掘削時の安全性向上に貢献できる。また、表-1 に示した試掘工の各プロセスにおいても、本システムによる高い精度を生かして安全に作業できた。

なお、2018 年以降みちびきが 4 機体制になり、GPS、BeiDou と併せると十分な衛星数を確保できることから、本システムでも衛星測位の安定性のさらなる向上が見込まれる。

③【機動性・汎用性】機器の小型化・軽量化

RTK 法ならびに 1 周波方式を採用し、GNSS アンテナと受信機を本技術専用を開発することにより、かつてない小型化・軽量化を実現した（従来：2 周波方式 2 kg ⇒ 今回 200 g）。これにより、使用者は 1 人で軽微な装備で端末を操作できるので、機動性・汎用性が大きく向上した。

④【効率化】図面管理の省力化、位置出し作業の省人化

埋設図データをクラウドサーバで管理するため、紙ベースの図書を持参しなくても情報を現地で参照できる。このため、現場での図面確認作業の煩雑さが低減し、作業の効率化が図れる。この効率化は事故予防につながり、安全性向上にも貢献できる。

適用現場の事例によると、掘削前の埋設物位置出しマーキング作業（基準確認⇒テープで計測⇒マーキング）に最低 2 人が必要であったが、本システムの採用により 1 人で作業できることを確認した。また、掘削後の再度の位置出しが不要となり、さらなる省人化が見込まれる。

3. 施工または生産・販売実績

適用実績：8 件（うち 2 件を前述 1. (6) 実施工への適用に紹介）

4. 波及効果

① ICT、IoT の普及

本システムは、見落としなどのケアレスミスを防ぎ、埋設事故のリスクの減少が期待できる。

さらに、建設分野での ICT、IoT の普及を推進し、建設現場の働き方改革にも貢献できる。

②各種管理システムへの応用

GNSS 測位システム機器の経済性、汎用性により、(1) 土工重機の動向、軌跡を管理する追跡システム、(2) 遮水シート施工の検査結果記録システム等、測位が必要な技術に展開中である。

③構造物 AR への展開

埋設物だけでなく、地上の構造物の AR に展開できる（写真-9）。

④新設構造物の検査支援と CIM への展開

高精度の測位と図面 AR の特徴を生かし、3D 化することにより構造物施工箇所の墨出し・検査支援、および CIM への展開が期待できる。



写真-9 構造物 AR（イメージ）

5. 特許, 実用新案のタイトル

- ①特許：国内, 出願中 「移動局及びこれを用いた埋設物可視化システム (特開 2017-83423)」
- ②実用新案：なし

6. 他団体の表彰等について

「攻めのIT 経営銘柄 2017」に選定 (経済産業省, 株式会社東京証券取引所) 2017年5月31日
アーバンインフラテクノロジー推進会議 第29回技術研究発表会 奨励賞受賞 2017年11月9日

お断り

このJCMA 報告は, 受賞した原文とは一部異なる表現をしています。

