

都市部における大規模掘削工事の“見える化”施工

丹 沢 昭 義

都市部の、特に近隣に家屋や店舗が建ち並ぶ地域での開削工事にあたっては、地下水の低下、土留め壁の変形による背面地盤の沈下などをリアルタイムに把握し、施工にフィードバックする必要がある。加えて鉄道近接工事においては、軌道変状を的確に把握することにより、異常時の早急な対応、運行阻害の防止が求められる。また、本工事のように施工場所に踏切が4か所ある状況では、工事にとまなう第三者災害の防止も重要なポイントとなることから、広範囲な現場状況を常時監視することが要求される。

このような状況下においては多岐にわたる情報を“見える化”し、“異常時には誰でもわかる”、“どこが異常なのか”がすぐに把握できる”ことをシステム化することが重要である。

ここでは、土留め変位、軌道変位等の計測と地下水位計測を、現場事務所においてリアルタイムに監視できるシステムの採用と、併せて現場状況を常時監視するウェブカメラの設置とその効果について報告する。

キーワード：開削工事、都市部、鉄道近接、情報化施工、軌道計測、土留め計測、見える化

1. はじめに

本工区は、「代々木上原駅・梅ヶ丘駅間 線増連続立体交差工事」事業区間 2.2 km のうち、東北沢駅から下北沢駅間の約 383 m 区間において、営業線仮受け後にその直下を開削掘削し、ボックスカルバートを構築する工事である。事業の概要図を図-1に示す。平成 25 年 3 月に営業線の地下化がなされ、現在地上の“開かずの踏切”は解消されている。

以下に本工事の特色を示す。

- ①土留め壁と用地境界との離隔が最小で 800 mm と狭小であり、境界際には家屋があるため掘削にとまなう土留め壁の変形に留意する必要がある。
- ②腐植土層を介在しており、地下水低下にとまなう圧密沈下に留意する必要がある。
- ③営業線を工事桁で仮受けし、その直下を掘削するため、軌道（工事桁）の変形に留意する必要がある。
- ④工区内には踏切が 4 か所あり、列車運行阻害のリス

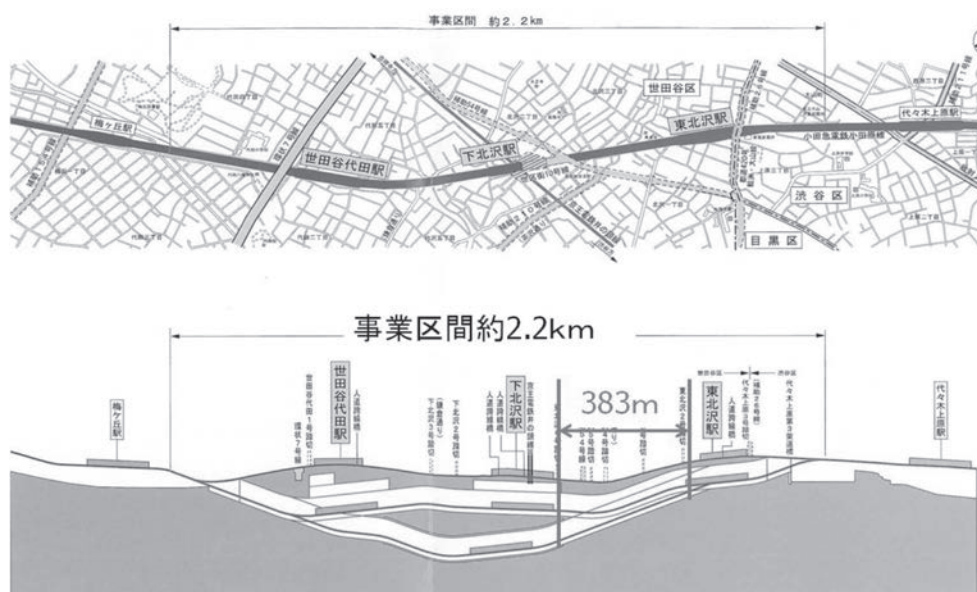


図-1 事業概要図

クに加え、交通災害、第三者災害に留意する必要がある。

これらにつき計測方法や結果の確認方法など、見える化をテーマに検討を実施した。

2. 土留め壁の変形計測および切梁軸力計測

本工事で設置した土留め関連の計測工の仕様を表—1に示す。

表—1 土留め計測主要機械

主要計器	数量	備考
多段式傾斜計	7台～12台／個所	土留め変位測定
ひずみ計	6台～8台／個所	切梁軸力測定
温度計	3台～4台／個所	鋼材の温度補正
スイッチボックス	6台	
中継ボックス	1式	電気信号変換 電話回線による伝送 機器の設定
計測室	一式	事務所内 計測頻度の設定・変更など
警報装置	1台	異常発生時の警告灯の回転とブザーの鳴動
メール通知機能	1式	関係者に異常を通知

(1) 土留め計測における特徴

計測方法自体は、多段式傾斜計による土留め変形の計測、ひずみ計および温度計による切梁軸力計測と、一般的な計測方法である。

本検討は“見える化”をテーマとしているため、“リ

アルタイムに情報が得られる”，“夜間宿直者も容易に確認できる”，“現場事務所のできる”，を主眼として以下のような自動計測システムを採用した。システムフロー図を図—2に示す。

①9計測断面から送られてくる情報を、現場内の中継ボックスに送る（有線）。

②中継ボックスで電気信号変換を行い、NTT回線を利用して事務所へ転送する。

③事務所のパソコンに監視システムを導入し、計測頻度の設定・変更、管理値の設定、計測結果の表示・出力等、必要な操作を事務所で行える。

④事務所では計測データの数値表示とをグラフ化したものをモニターに表示し、いつでも誰でも容易に確認できる。

⑤異常が発生した場合は警告灯が回転しブザーが鳴動する。

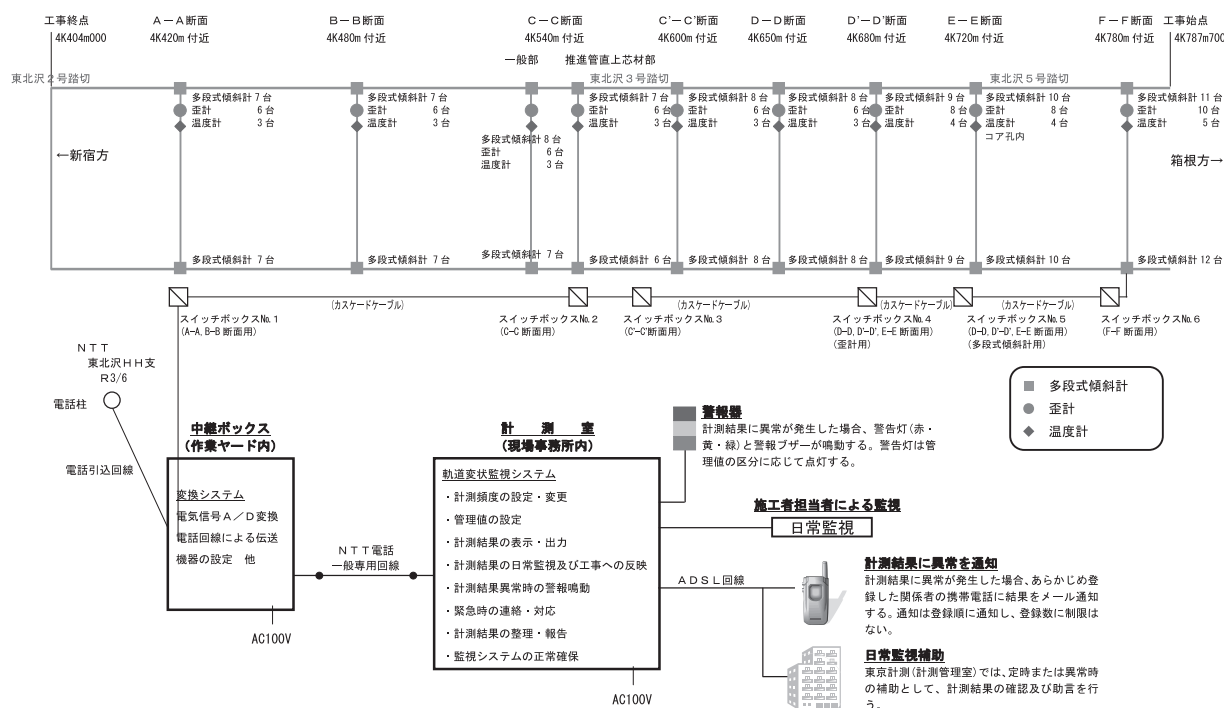
警告灯は緑黄赤の三色で構成され、緑が一次管理値、黄色が二次管理値、赤が限界管理値を超えた場合に回転する。ブザーは一次管理値を超えた場合に鳴動する。

⑥異常値が出た場合は、あらかじめ登録しておいた関係者の携帯電話にメールが転送される。

(2) 自動計測システム採用の効果

本工事で自動計測システムを採用した効果を以下に示す。

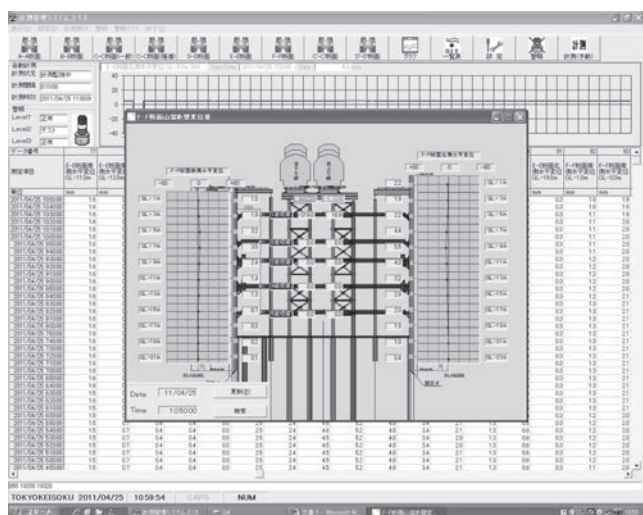
①警告灯の回転とブザーが鳴動することにより、職員



図—2 土留め計測システムフロー

が異常値に気づかない状態のまま放置されているというリスクが回避でき、異常時対応が迅速に行える。また、管理値ごとに警告灯の色を変えることにより、重大さ、危険度の認識がその場で確認できる。

- ②異常をメールで関係者に知らせるため、事態を全員で確認でき情報の共有化が図られる。
 - ③夜間作業の場合のように事務所に職員が不在の場合でも、メールによる確認ができるため、早急な対応が可能である。
 - ④数値表示と併せグラフ化したものもモニター表示するため、その時の数値だけでなく土留め変形など過去からの傾向を目で確認できる。
 - ⑤計測結果の整理・報告が容易である。
- 計測モニター画面を図—3に示す。



図—3 土留め計測画面例

3. 軌道変状計測

本工事は営業線を仮橋脚および工事桁で仮受けし、営業線の安全を確保しながら地下部を掘削し躯体を構築する。仮橋脚には管理基準値を超える沈下および水平変位が生じてはならず、検討の結果常時監視を行える自動計測を行うこととした。

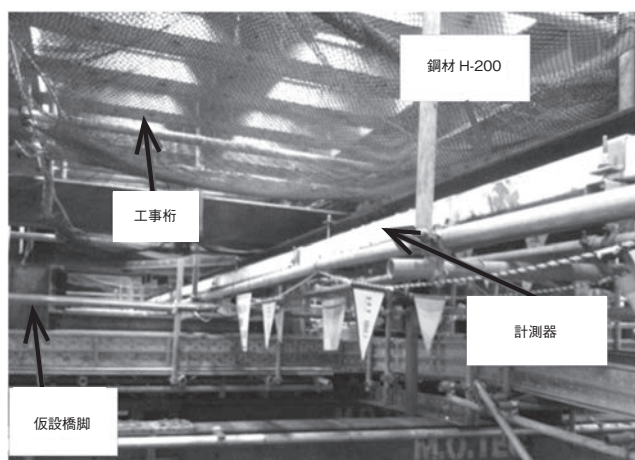
(1) 採用にあたっての条件

- ①工事区間は曲線線形を含み、縦断勾配の変化がある。
→設置の自在性
 - ②長期間計測を行う。
→環境変化（降雨、温度など）の影響を受けにくい。
 - ③沈下の際には、対応を即座に行う。
→計測結果には即時性が求められる。
- このような条件をクリアするものとして、リンク型軌道変状システムを採用した。

(2) リンク型軌道変状システムの特徴と効果

本システムは仮橋脚間に連続して設置した変位計から、仮橋脚の鉛直変位、水平変位を求めるものである。システムの特徴を以下に示す。

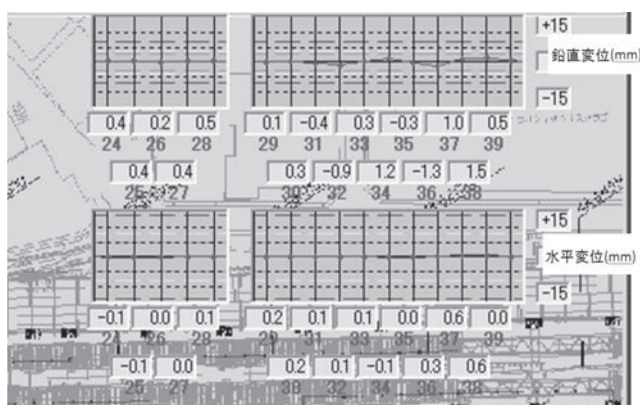
- ①曲線や高低差があっても設置が可能。
 - ②軌道の高低（鉛直成分）と通り（水平成分）の2方向が計測可能。
 - ③雨・雪・陽炎・風等気象環境の影響を受けない。
 - ④土留め計測と同様に異常時は警報を発し、電話回線を通じて携帯電話にメール通報できる。また遠隔操作により、システム設定や状況監視が可能。
- 写真—1に軌道計測装置の取付け写真を示す。



写真—1 軌道計測設置状況

計測器は仮橋脚ピッチ 10 m を 1 スパンとし、端部とセンターの相対変位量（鉛直変位、水平変位とも）で沈下量を算出する。算出されたデータは作業ヤード内の中継ボックスから NTT 電話一般専用回線を介して計測室（現場事務所）に送られる。そのデータに基づき異常の有無を判定し警告音の鳴動やメール配信がなされ、早期の異常発見が可能となる。

ただし電車通過時の動的振動も計測するため、静的



図—4 軌道計測画面例

挙動か動的挙動なのかを判別する合理的な手法の検討が必要である。また夏季、冬季など鋼材温度による変形も含まれるため、その判別や温度補正手法の検討が必要である。

計測画面の例を図—4に示す。

4. 地下水位計測

開削工事にともない、掘削内部の排水による周辺地盤の沈下や掘削底面のボイリング、盤ぶくれが懸念された。特に施工エリア内には腐植土層が広範囲に分布しており、周辺の地下水位低下による圧密沈下も生じる可能性があった。さらに掘削時での土留め壁からの不慮の出水、構造物を構築し埋戻しを行う間の躯体の浮き上がりも想定され、掘削内部および外部の地下水位のリアルタイムな計測が求められた。

(1) 地下水位計測システムの特徴

- ①土留め壁内外に観測井戸を掘り、水位計を設置する。
- ②計測値はスイッチボックス、データロガーを介して計測室に送られる。
- ③計測室には定電圧装置、無停電装置を設置し安定したデータ処理、停電時でもデータが途切れることのないよう配慮。
- ④データ処理された水位はグラフ化され、パソコンで時系列の確認ができる。
- ⑤モバイル通信により現場事務所にデータを送り、計測室に常時いることなく水位の動向、異常の有無を視認できる。
- ⑥管理値を超える異常値が生じた場合は、関係する職員に異常をメールで知らせる。

計測システムフローを図—5に示す。



図—5 地下水位計測システムフロー

(2) 地下水位計測システムの採用による効果

- ①現場事務所でグラフ化された水位と井戸を設置した平面図を確認することができるため、異常時におい

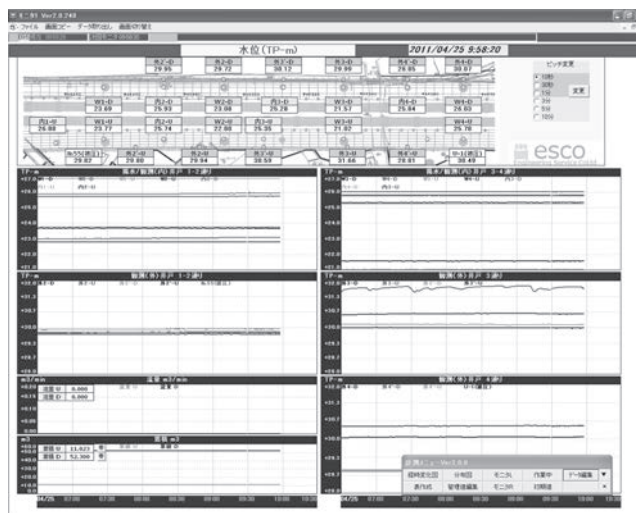
ては“いつ発生したか”、“どこで異常が出ているか”、“異常の程度はどのくらいか”、が即座に視認でき、迅速な対応を図ることができる。

- ②1分ごとの水位をグラフ表示するため、異常時対応においてその効果をグラフで見ながら確認でき、事務所から現場への指示などが確実性を持って行える。また対応後の地下水位の回復状況も即座に確認できる。
- ③メールで異常を知らせるため、「夜間で気が付かなかった」というリスクが回避される。
- ④データは全て保存されるため、過去に遡ってのデータ整理などが容易に行える。

写真—2、図—6にモニター配置とモニター画面を示す。



写真—2 モニター設置写真（現場事務所内）



図—6 地下水位計測画面例

5. ウェブカメラの採用

鉄道近接工事においては列車運行阻害を起こさないよう、列車防護柵の設置やポンプ配管の養生、桁下防護、誘導員の適切な配置など万全の防護工を行う必要がある。さらに地上を走る線路には踏切がつきもので

あり、工事車両通過にともなう列車運行阻害、交通災害などが懸念され、それに対する対策とともに常時監視できるシステムを設けることでリスクの低減を図った。

そこで踏切部と、主な作業をしている場所を中心に、計9台のウェブカメラを設置した。支障とならない場所に小型カメラを設置し、事務所でも作業の状況や踏切部の誘導状況が確認できるようシステムを構築した。

ウェブカメラ採用による利点を以下に示す。

- ①全体の作業状況が把握できる。
- ②踏切部の状況が事務所でも確認できる。
- ③夜間でもモニターで異常の有無を確認できる。
- ④カメラは角度、高低を変えることができる。これにより広範囲の状況確認が可能。

ウェブカメラの採用は、本工事において安全、施工の両面にわたって効力を発揮した。広範囲の作業所においては一目で全体を把握できることは難しく、少なくとも作業箇所や踏切のような重点的に管理しなければならない個所を一度に状況把握できることは、現場を安全に進めていく上で重要なことであると感じた。

事務所に設置したウェブモニターを写真—3に示す。



写真—3 ウェブカメラモニター画面

6. その他

これまで述べてきた“情報化施工”，“見える化”はどちらかというと管理を主体としたものである。本工事では以下に示すような工法，機械を採用し，近隣に対する配慮，狭少地での施工を実現した。

(1) 採用した工法，機械例

①地中連続壁 TMX 工法の採用

施工機械を小型化し狭小地での連壁施工を可能にした。

②フラット型ターンテーブルの採用

作業構台にターンテーブルを組み込み，乗り上げにともなう衝撃や騒音を解消。

③油圧式掘削機に替え，電動クラムを採用

油の飛散防止のリスクを回避するため，電動クラムを採用し，近接する営業線への影響低減を図った。

写真—4，5に電動クラムとフラット型ターンテーブルの施工状況を示す。



写真—4 電動クラム配線状況



写真—5 フラット型ターンテーブル

7. おわりに

都市部の鉄道近接施工は，いくら防護工，対策工を行っても100点満点はありません。そんな中で事象を“見える化”して施工を行った例として本事例が少しでも参考となれば幸いです。

謝辞

なお，今回の執筆にあたりご協力いただいた小田急電鉄株式会社下北沢工事事務所，株式会社東京計測，三信建設工業株式会社，株式会社エスコの皆様がこの場を借りて御礼申し上げます。

J C M A

【筆者紹介】

丹沢 昭義（たんざわ あきよし）
戸田建設㈱
戸田・東急・大和小田急建設共同企業体
作業所長

