

# 16. パイプルーフ変形計測システム

大成建設：○戸田 浩、宮崎 裕道、近藤 高弘

## 1.はじめに

パイプルーフ工法は立体交差など都市土木で多く採用される。重要構造物の直下や側部にパイプルーフで防護して空間を確保し、新たにトンネルや構造物を構築する。この様な工事では内部掘削による土圧バランスの変化でパイプルーフが変形し、重要構造物へ影響を及ぼすことが最も懸念される。そこで施工進捗に合わせてパイプルーフ変形を詳細に監視する必要がある。

従来は、パイプ内に固定ピッチ(5~10m程度)で水盛式沈下計や電子スタッフを設置してパイプの変形を把握していたが、測点ピッチが粗く、しかも鉛直変位しか把握できないために、掘削進行に伴う撓みの進行を詳細に捉えることが出来ず、計測はしていても「情報化施工」とはほど遠いのが現状であった。

そこで、上下・左右の二次元変位が測定可能で、かつ、固定ピッチではなく任意のピッチで細かく測定できる

自走式のプリズム台車による計測システムを考案した。本稿では、パイプルーフ内部掘削による変形監視にパイプルーフ変形計測システムを採用した東京地下鉄(株)綾瀬立体交差工事での実施例を報告する。

## 2.適用工事概要

本工事は、東京地下鉄(株)綾瀬車庫により分断されている区道をアンダーパスで横断することにより立体交差化する工事であり、当該施工区間は、東京地下鉄用地内に2つ立坑を築造し、電車車庫部をパイプルーフ工法による非開削で施工するものである。

この約126mに亘る非開削部区間は、綾瀬車庫部の線路直下をアンダーパスで横断する際に、営業線や中川汚水幹線の重要近接構造物と広範囲で近接する。(図-1.参照)

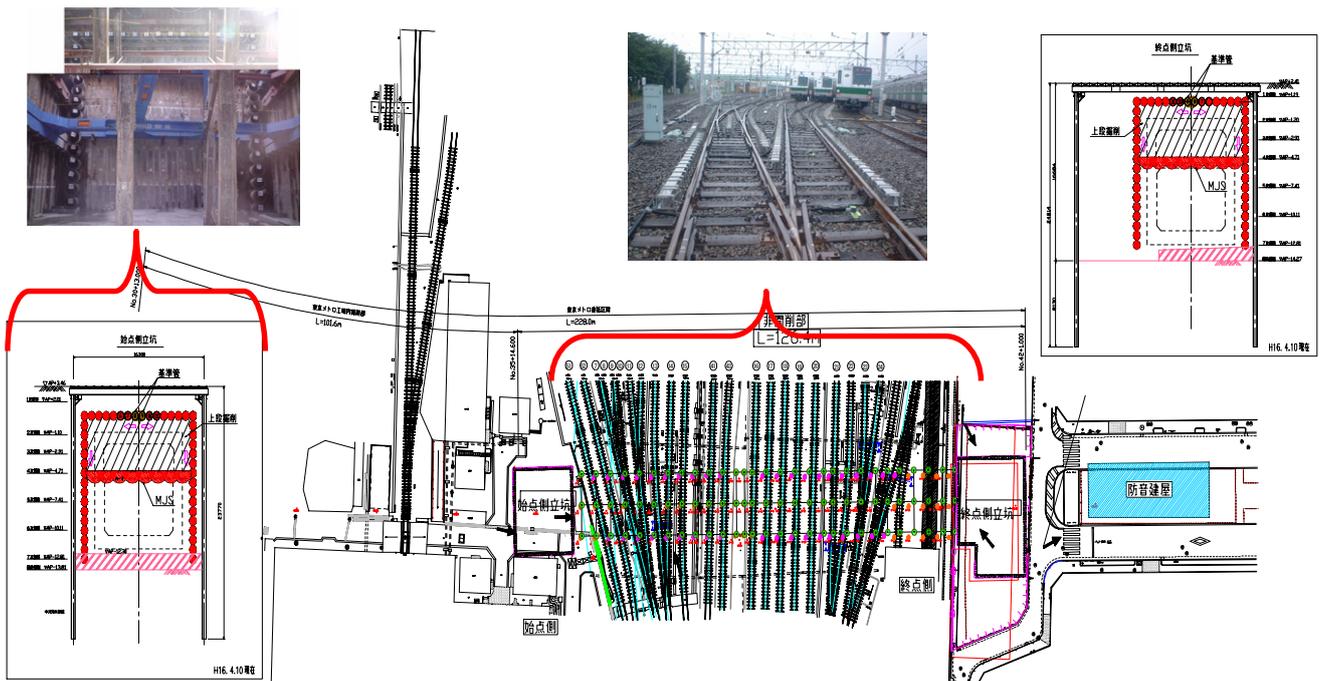


図-1.全体平面図(及び始点・終点立坑正面図)

非開削部の上段部分の施工は、軟弱砂質土の掘削と並行して支持杭及びパイプルーフ支持桁を設置する手順になっており、安全な施工を行うために掘削切羽の自立が必要であり、薬液注入が行われた。

上記の掘削による不等沈下や薬液注入による不等隆起といった、営業線や中川汚水幹線への悪影響が懸念されたため、本稿で紹介するパイプルーフ変形計測システムによって、地山防護工としての非開削部パイプルーフの安全を確認しながら慎重な施工が行われた。(図-2 及び図-3.参照)

なお、綾瀬車庫部の地上の軌道計測には、後述するHyPoS による軌道変状計測システムを導入して、電車走行の安全確保を行っている。

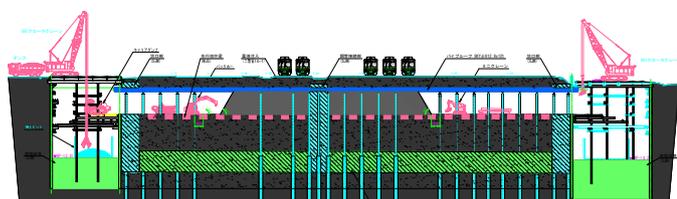


図-2. 施工縦断面図

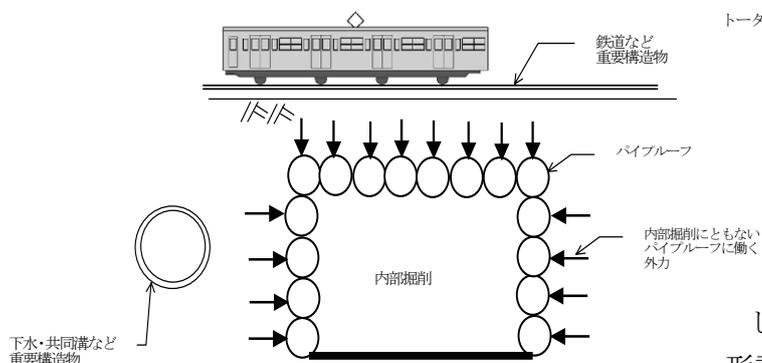


図-3. パイプルーフと重要構造物の関係

### 3. パイプルーフ変形計測システムの開発経緯

#### 3.1. 従来方法による計測例

従来は、図-4. のように、パイプ外部に基準水槽、パイプ内部各測点に水盛式沈下計を設置してパイプの変形を計測していた。しかしながら、この方法では下記のような欠点があった。

①測点の鉛直変位のみでの計測となり、水盛式の特性上、パイプがほぼ水平でないとは適用可。

②側部パイプルーフで必要となる水平変位は計測不可能。

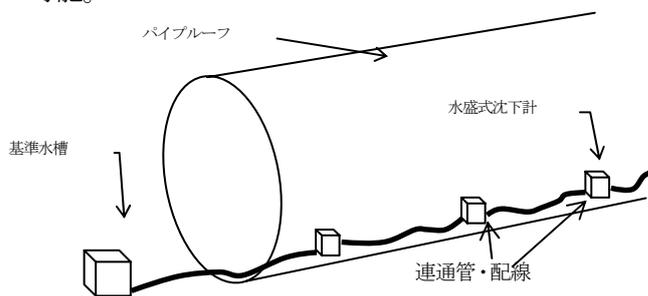


図-4. 水盛式沈下計による計測方法

#### 3.2. 開発経緯

システム適用工事では、上部に多数の綾瀬車庫部軌道、側部には中川汚水幹線があり、内部掘削時のパイプルーフの変形計測が要求された。

そこで、上記の従来方法の欠点を打開するために、図-5. に示すようにパイプ管内に固定ピッチでシャッター付プリズムを設置し、管口からトータルステーション(以下、TSと記す)で変形計測を行う方法を計画した。

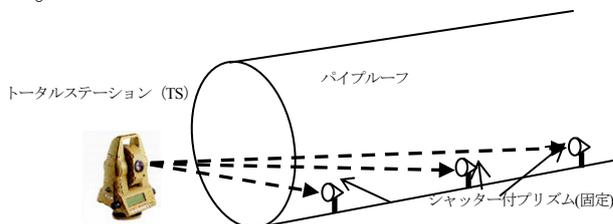


図-5. 固定プリズムによる計測方法

しかしながらパイプ全長にわたる固定ピッチでの変形計測はもちろんであるが、掘削切羽近傍では、より細かいピッチでの変形計測、つまり局部変形の計測が必要であるとのパイプルーフ変形解析結果により、図-6. に示すような、固定ピッチではなく任意のピッチで細かく測定できる自走式のプリズム台車による計測方法を考案した。

### 4. システム概要

#### 4.1. システム概要

パイプルーフ変形計測システムは、図-6 及び図-7. に示すようにパイプルーフにガイドレールを取り付け、

自走式プリズム台車がガイドレール上の任意の位置に移動する事で計測するシステムである。

自走式プリズム台車が停止し次にTSが測定を行いこの作業を繰り返すことでパイプ全体の変形を測定するものである。

(自走式プリズム台車の主な機能)

- ・外部からの制御で所定の距離を前進および後進する機能を有し、パイプルーフ内の測点位置を任意に選択できる。

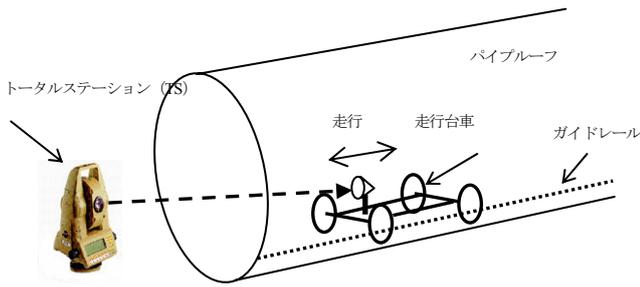


図-6. 自走式プリズム台車による計測方法

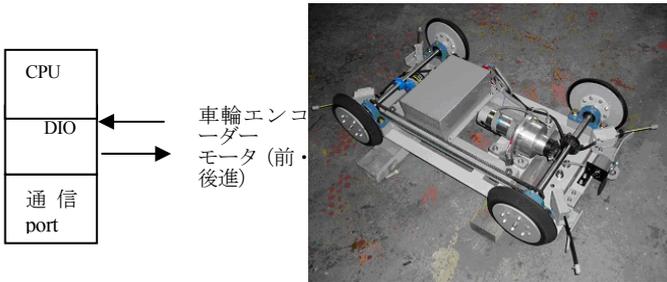


図-7. 走行台車のシステムブロック図

#### 4.2. システム構成

図-8. にパイプルーフ変形計測システム図を示す。

また、図-9. に TS・自走台車・巻取り機配置図を示す。

- ① パイプルーフの変形を TS で測定するに当たり、不動点となる基準点を前方および後方に設置する。
- ② その際に前方方向の基準点を視準すると同一視野内に自走台車のプリズムが入ってしまう。

そこで走行台車および前方のプリズムにはシャッターを付け対応する。

③ 制御計測用 PC が走行台車、TS、ケーブル巻取り装置、プリズムシャッターを制御する。

④ 台車の構造と制御: 走行車輪は磨耗したり変形してはならない。また真円度の保持が重要である。台車はケーブルを引きずるが、ケーブルの自重による摩擦や、剛性を考慮すると細いケーブルに限定される。したがって太くて硬い多芯ケーブル等は使用不可であり、動力ラインのほかには通信用ライン程度しか確保できない。したがって、台車を正確に停止したり、微動するために CPU を搭載しインテリジェント化を図った。

#### ⑤ 構成装置の概要

- ・TS: 自動追尾式トータルステーション(測量機械)。
- ・シャッター: TS が視準する際にターゲットプリズム以外のプリズムを隠す機器。
- ・自走台車: モータ駆動による前進後進を行う台車装置。

車輪の回転数を検出するエンコーダが搭載。

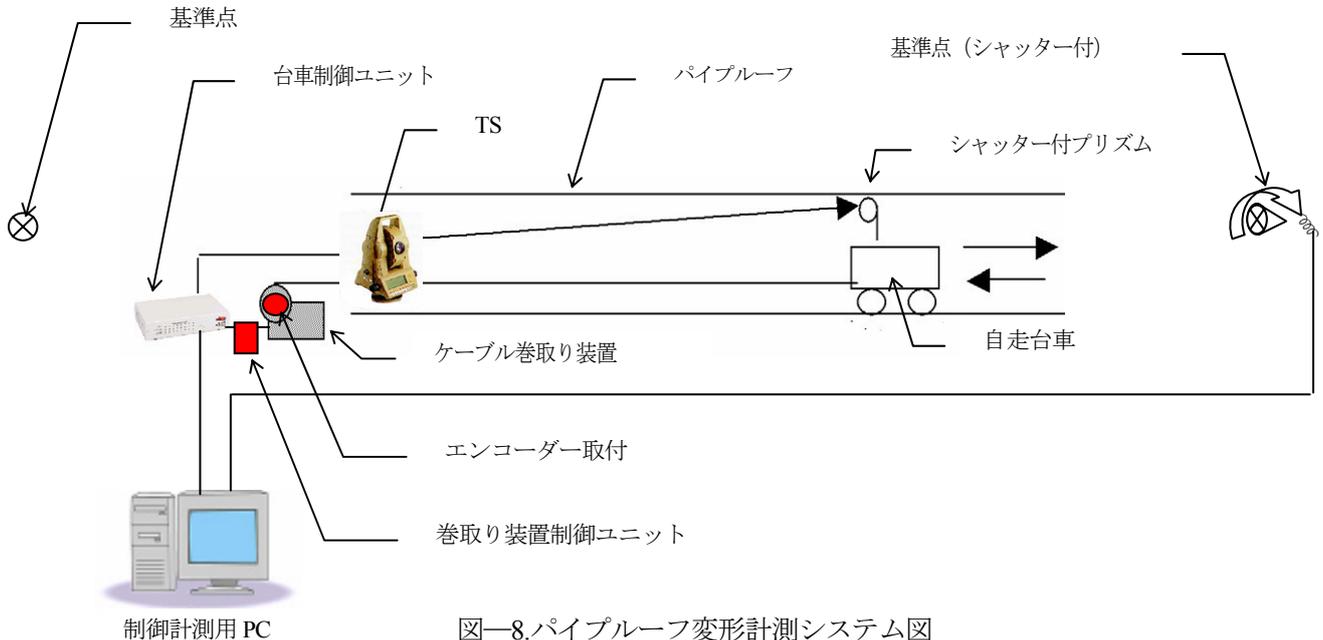
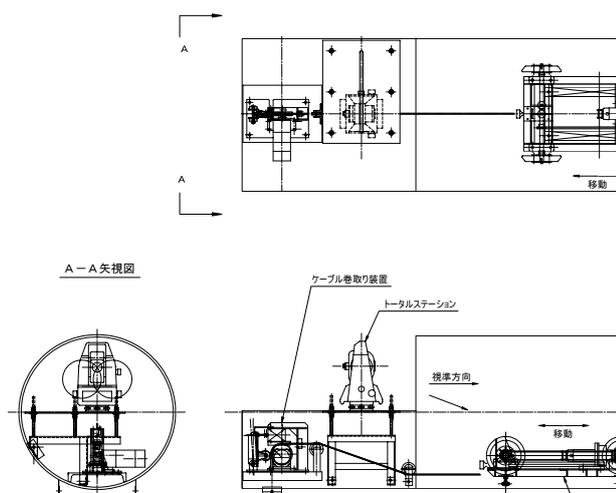


図-8. パイプルーフ変形計測システム図

- ケーブル巻取り装置:  
走行台車に供給する電力および信号用ケーブルを巻取る装置。  
台車の走行に応じて前進時は繰り出し、後進時は巻き取り、前後進時ともに走行に同期。
- 台車制御ユニット:TS、巻取り装置、自走台車に信号を配信する装置。
- 制御計測用 PC:システム全体の管理制御を行う。



図一9.TS・自走台車・巻取り機配置図

### ⑤TS によるパイプルーフ変形測定補正方法

近年近接施工に伴う構造物等の変状計測に自動追尾式トータルステーション(TS)を用いることが多くある。TS を使用した計測には常につきまとう問題であるが、TS 架台自体の変位・変形による誤差の補正が必要である。TS による測定精度の向上方法を実現したのとして、HyPoS(特許出願中)が既に商品化されている。しかしながら、パイプルーフは立坑内で施工する場合が多く、基準点が自由に設置できないので、以下に記す「HyPoS」をそのまま適用することが難しく、新たな補正方法が必要となった。

HyPoS の補正方法は三次元空間に 4 点の基準点を必要とする三次元座標変換補正手段である。

この手法は測定対象が広いフィールドで有効である。しかし全ての現場で有効な基準点 4 点が確保できるとは限らない。例えばトンネル内部などの閉鎖され一方

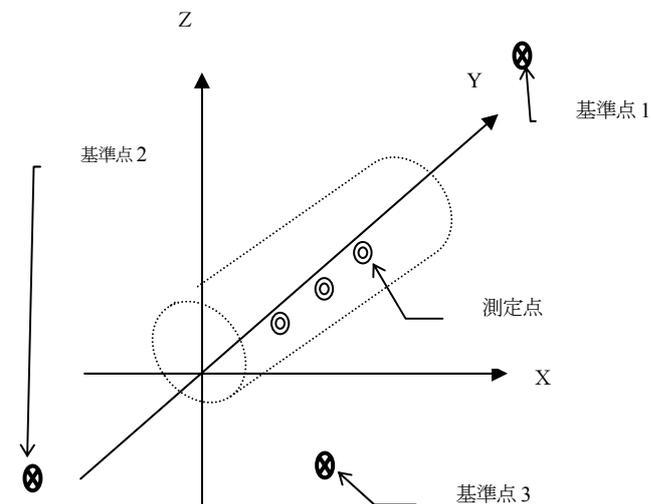
向のみにしか空間利用できない対象がある。

この場合には、三次元空間に有効的な 4 点の基準点を設置することが困難であるため HyPoS 方法を有効に活用することはできない。

そこでこのような測定環境において、基準点 3 点を用いた高精度な補正手法を考案した。

#### (補正方法概要)

図-10.のように基準点 1、2、3 からなる三角形を基準点 1 を原点に、基準点 2 を Y 軸上に(X 軸でもよい)、基準点 3 を XY 平面上に座標変換を行う。座標の平行移動および回転を行い、測定毎に下図に示す様に基準点 1 から 3 を XY 平面座標に座標変換することで、TS 本体の姿勢の日変化をキャンセルし各測点値を高精度に測定するものである。



図一10.基準点および測定点の配置

## 5.現場実施状況結果

### 5.1.走行台車への電源通信接続ケーブルについて

ケーブルリールも検討したが大きさや設置スペースの問題で従来式のケーブルリール(スリッピング付き)は使用できない。

そこでケーブルのみを巻取る(たぐり寄せる)小型なケーブル巻取り装置を試作した。(写真 1)

当初、ケーブルは普通の丸形のケーブルを使用した。そのため数回の往復動作でケーブルにヨリが発生して巻取り装置に噛み込んでしまうという問題が発生した。

(写真 2)



写真1: 巻取り装置設置状況

しかしケーブル形状を変えることでヨリは無くなったが新たに、走行台車と巻取り装置との間で制御タイミングの差・巻取り装置のローラ速度と走行台車の移動速度の違いによりケーブルを損傷する現象がたびたび発生した。(写真4)



写真4: 台車移動速度と巻取速度の違いによるケーブル損傷状況



写真2: 丸形ケーブルを使用しヨリが発生している状況

(対策)

その解決策としてケーブルにヨリが発生しないように、平形(メガネ型)のケーブルを製作し対応した。

これによりケーブル自身にヨリが発生することは無くなった。(写真3)



写真3: 平形ケーブル

巻取り速度差によるケーブル損傷対策として、巻取り装置をインテリジェント化し、走行台車速度と巻取り装置のケーブル巻取り速度が同期するように制御することでケーブル損傷を改善した。

## 5.2. パイプルーフ変形測定補正方法について

走行台車をパイプルーフ内で約60回走行させて、所定の各測定位置において測定を行った。

TS によるパイプルーフ変形測定補正方法を実施した場合としない場合での計測結果グラフ(図-11、図-12)を下記に示す。

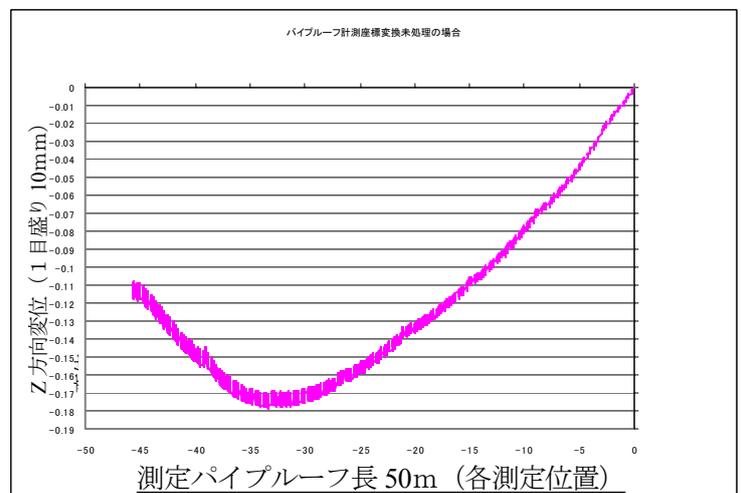


図-11. 補正方法未実施計測結果

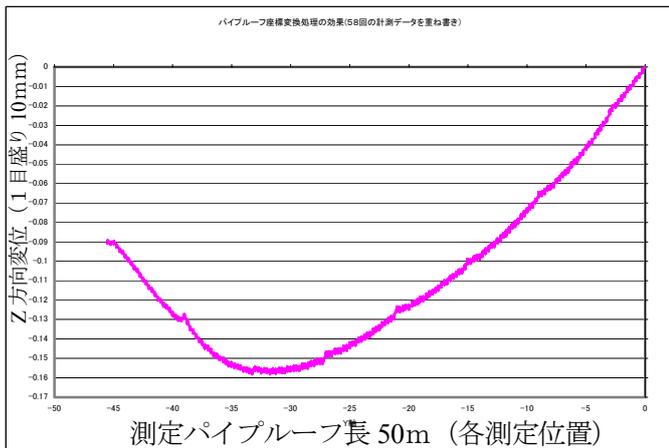


図-12.補正方法実施計測結果

(結果)

①補正方法実施の場合

計測値のばらつきは、±1.5mm程度であった。  
ただし、TS カタログ精度に依存する。

(今回使用 TS は測角精度3")

②補正方法未実施の場合

計測値のばらつきは、±10mm程度であった。

5.3.計測データについて

掘削時作業の安全と近接する軌道及び中川汚水幹線変形管理のためパイプルーフト変形を計測している。図-13.に薬液注入中及び注入後の内部掘削のパイプルーフト変形経時変化グラフを示す。薬液注入により、パイプルーフト管体は隆起傾向を示しているが、掘削後には沈下傾向を示している。

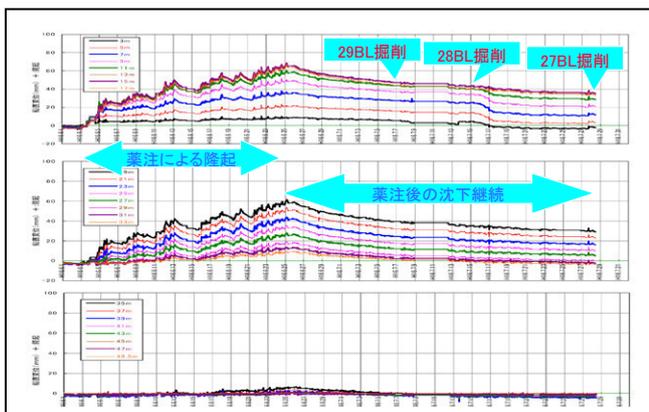


図-13.パイプルーフト変形経時変化グラフ

図-14.に薬注終了後の内部掘削前と掘削後のパイプルーフト変形分布を示す。薬液注入により、パイプルーフト管体は隆起傾向を示しているが、掘削後には沈下傾向を示している。

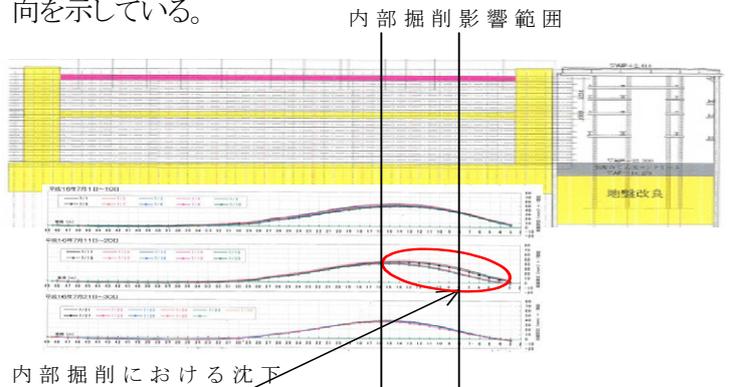


図-14.パイプルーフト変形分布グラフ

7.効果

従来は粗い固定ピッチでの鉛直変形計測(1次元)のみであったのが、本システムにより、掘削時に切羽近辺など重要部分を任意の細かなピッチで鉛直・水平2次元の計測が可能となった。

したがって、上部近接構造物だけでなく側部近接構造物への影響監視や、支保工変形など他にも有用な施工情報として活用可能である。

8.おわりに

本稿では、紙面の都合上、綾瀬立体交差工事での精度等について、詳細の報告はできないが、本システムは今後のパイプルーフト変形計測の分野において、有望であると考えている。

最後に、本システムを実施するにあたり、御理解を頂いた東京地下鉄(株)殿、(株)地下鉄メンテナンス殿ならびに関係各位に厚く御礼を申し上げます。