

# 福岡市地下鉄七隈線延伸事業における都市 NATM の情報化施工 (その 3 : 切羽先行変位計測による周辺地山の挙動監視)

大成建設株式会社 正会員 ○北野悠介 文村賢一 坂井一雄 谷卓也  
福岡市交通局 非会員 原靖浩 後藤真之助

## 1. はじめに

都市 NATM は、山岳部でのトンネル掘削と比較して、切羽の自立性が劣る脆弱な地山条件での掘削となることが多く、また工事による地表面や近接構造物に対する影響を極力軽減しなければならないという厳しい制約条件が課せられる。このため、高密度かつ高頻度な計測を実施して、トンネルの構造物としての安全性を把握するだけでなく、近接構造物への影響を監視することが重要である。福岡市地下鉄七隈線博多駅（仮称）工区の NATM 部では、上記を目的として、坑内変位計測、支保の応力測定および近接構造物の動態観測を実施している。さらに、トンネル掘削に伴う周辺地山の挙動を早期に把握して、時期を逸せず必要とされる補助対策工を追加する目的で切羽先行沈下計測と切羽押し変位計測から構成される切羽先行変位計測を実施している。図-1 に切羽先行変位計測の概念図を示す。本稿では、当現場における切羽先行変位の計測手法を概説する。

## 2. 切羽先行変位の計測方法

### (1) 切羽先行沈下の計測方法

切羽先行沈下計測の目的は、地山の鉛直方向の挙動を切羽到達前から監視し、事前に予測した値より大きい場合には、必要に応じて長尺鋼管先受け工などに代表される沈下抑制対策工の追加を検討することである。

切羽先行沈下計測には、MEMS 技術を用いた加速度センサを内蔵する多点型傾斜計を使用した(写真-1 左を参照)。この傾斜計は、長さ 50cm の剛なセグメントが柔な「節」を介して複数個連結されており、セグメント毎にそれぞれ1つの加速度センサを有している。このため水平に設置した場合、セグメント毎の傾斜角度とセグメント長(50cm)を掛け合わせた区間毎の鉛直変位を計測器先端から累積することで、先端を基準とした際の相対沈下量を知ることができる。この多点型傾斜計を計測ガイド管と共に、切羽天端部より先行削孔した鋼管(φ114.3mm)内に挿入、固定することで、切羽先行沈下を計測した。

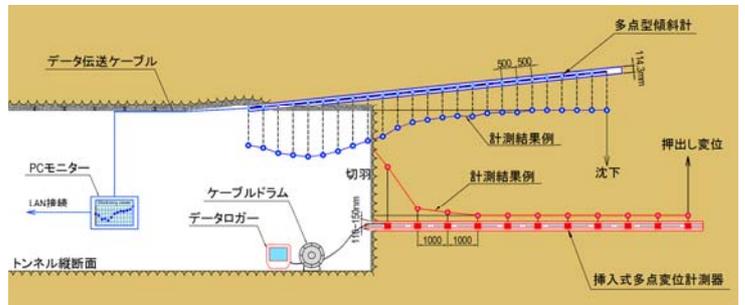


図-1 切羽先行沈下計測の概念図

### (2) 切羽押し変位の計測方法

切羽押し変位計測の目的は、切羽前方の地山の緩み範囲を監視し、緩み範囲増大に伴う切羽の不安定化を事前に把握し、鏡ボルト工などの鏡面安定対策工の検討に資することである。

切羽押し変位の計測には挿入式多点変位計測器を利用した(写真-1 右を参照)。まず、予め削孔した計測孔(φ110~150mm)の中に、1.0m 間隔でマグネットリングを配置した測定パイプを挿入し、パイプと孔壁間をセメントモルタル等で充填して固定する。マグネットリングは測定パイプ上をスライドできるため、掘削に伴う地山の動きに追従して挙動する。このマグネットリングの移動量を磁場を

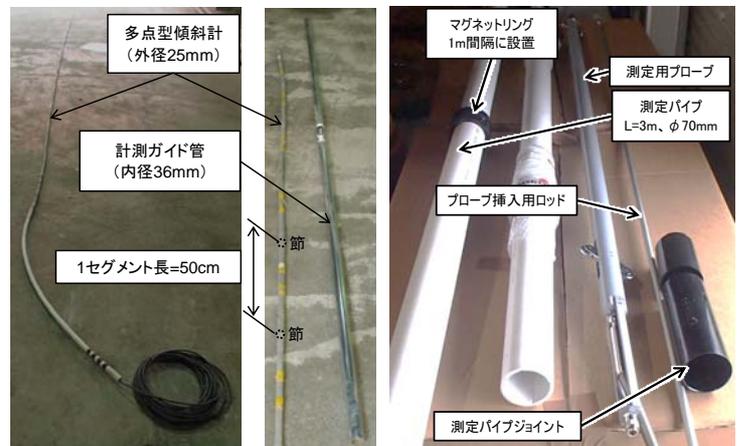


写真-1 多点型傾斜計(左)と挿入式多点変位計測器(右)

キーワード 都市 NATM, 計測管理, 切羽先行沈下, 切羽押し変位

連絡先 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前3-22-6 大成建設(株)博多駅(仮称)工区建設工事作業所 TEL092-409-7637

検出するプローブの挿入により測定し、1m 区間毎の区間変位や最深部のマグネットリングからの累積変位を算出する。

3. 連絡坑での計測結果

本章では、連絡坑のうち、本坑との接続部付近で取得した切羽先行変位の計測結果を示す(図-2を参照)。

支保工110基から12mの範囲を計測区間とした切羽先行沈下の計測結果を示す。図-3に切羽が115基に到達した際の沈下分布図、図-4に119基目(A計測断面)を対象とした沈下の経距変化図を示す。両図では光波を用いた変位計測結果(測量結果およびA計測結果)と、傾斜計による計測結果を比較している。両者が良く整合するため、採用した手法で精度良く掘削に伴う変位を計測できたと考えられる。

また、切羽先行沈下の計測結果は、三次元解析により算出した予測値(補助工法のモデル化無し)よりも小さくなった。具体的には、図-4に示すように、解析では切羽到達時に-4.7mmに対し、実測では-2.0mmであった。切羽離れ9mまでに発生した変位に対する先行変位率は解析が52%(-4.7mm/-9.1mm)、実測が30%(-2.0mm/-6.6mm)であった。上記の計測区間では掘削作業時の安全性確保の観点から長尺鋼管先受け工を実施したが、この天端防護対策が、切羽先行変位の抑制にも十分に寄与したものと推察される。

一方、図-5は135基~153基の18mの範囲を計測範囲とし、切羽が144基に到達した時点での切羽押し変位の計測結果である。これまでの連絡坑における計測結果では、押し変位は切羽前方1.5m以内に限定的に発生した<sup>1)</sup>。しかし、切羽が144基に到達した時点では、切羽前方5mから坑口側へ押し出してくる累積変位を計測した。区間変位の分析結果から、147基~149基にかけて局部的に軟弱層が存在し、それに伴い緩み範囲が拡大したと想定された。切羽が144基の段階で、切羽全体としては、比較的安定した状態であったため、鏡吹付けコンクリート以外の大規模な鏡面安定対策は実施しなかった。しかし、切羽が147基に到達した時点では、小規模ではあるが切羽中央部の測定パイプ周辺の地山が押し出されて抜け落ちる現象が見られた。このことから、切羽押し変位計測が切羽前方の軟弱層の把握や切羽の不安定化を事前に察知できる点で有効であると再認識した。

4. まとめ

連絡坑での計測結果から、本稿で示した切羽先行変位の計測手法で妥当な精度の計測結果が得られ、切羽前方の挙動を監視できることがわかった。そのため、今後の本坑トンネル掘削時においても、引き続き切羽先行沈下と切羽押し変位の計測を実施する予定である。

参考文献

・坂井一雄ほか:都市部山岳トンネルにおける切羽先行変位を用いた計測管理手法 - 福岡市地下鉄七隈線博多駅(仮称)工事での事例 -, 第44回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.92-97, 2016.

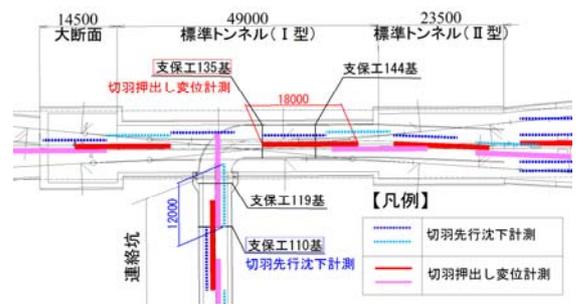


図-2 計測箇所

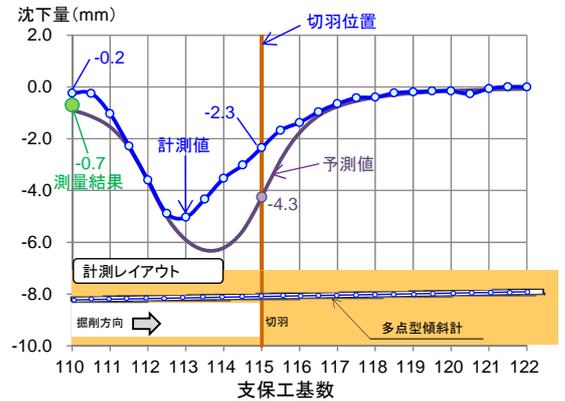


図-3 沈下分布図(切羽が115基に到達時)

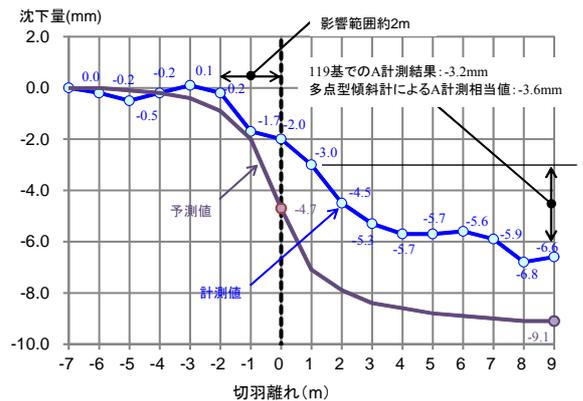


図-4 沈下の経距変化図(支保工119基)

