

簡易なトンネル切羽前方変位計測手法の開発

安藤ハザマ 土木事業本部 正会員 ○稲葉秀雄

1. はじめに

山岳トンネル工事では、地山脆弱部における切羽崩壊の防止が重要な課題である。切羽崩壊が生じやすい地山では切羽前方の先行変位が大きくなると考えられるため、切羽前方変位を計測することにより、切羽崩壊の予兆を早期に把握することが可能になると思われる。

最近では、切羽前方変位の計測に、MEMS を用いた細径の地中変位計を利用する事例も見られる。切羽前方変位を計測する場合、長尺鋼管の管内に地中変位計を挿入することが一般的であるが、補助工法として長尺鋼管先受工を施工していない場合には、地中変位計の設置に時間とコストがかかることが課題である。

本稿では、設置時間とコストの縮減に主眼を置いて開発した、簡易なトンネル切羽前方変位計測手法（以下、「簡易型切羽前方変位計」とする）について報告する。

2. 簡易型切羽前方変位計の概要

簡易型切羽前方変位計は、鋼管膨張型ロックボルトをさや管（保護管）として使用し、MEMS を用いた細径の3D地中変位計により切羽前方変位を計測するものである（図－1、写真－1、2）。従来の長尺鋼管を利用する方法に比べ、設置にかかる時間とコストを大幅に縮減できる。

なお、ここで使用した細径の3D地中変位計には、50cm 間隔で重力加速度センサ（MEMS）が埋め込まれている。設置、計測の手順は以下の通りである。

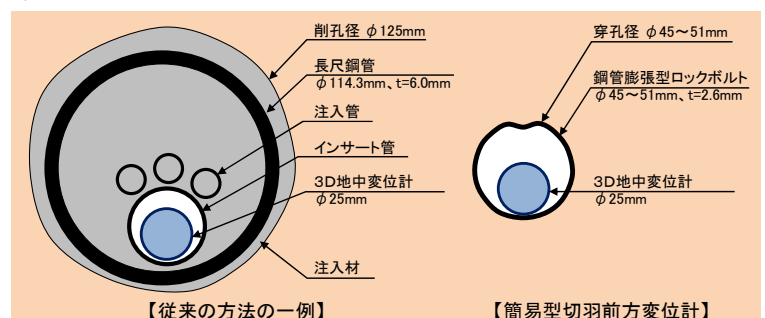
- ①ドリルジャンボで、トンネル天端から斜め前方に向けてL=6m程度の穿孔を行う（穿孔径φ45mm程度）。
- ②穿孔後、鋼管膨張型ロックボルトを挿入し、水圧により膨張させ、地山と密着させる。
- ③鋼管膨張型ロックボルトの口元スリーブを切断して開口部を設け、これをさや管とする。
- ④さや管内に、外径25mmの3D地中変位計を挿入し、さや管の口元で固定する。
- ⑤切羽前方変位を自動計測する。

3. 現場適用実験

(1) 実験概要

トンネルの到達側坑口付近において、簡易型切羽前方変位計の現場適用実験を実施した（図－2）。土被りは、2～10m程度で、地山は砂質土である。なお、当該箇所では、拡幅タイプの長尺鋼管先受工と長尺鏡ボルトを施工している。また、インバーストラットとインバースト吹付けによる早期閉合を実施している。

簡易型切羽前方変位計は、トンネル中心から約2.7m離れの天端付近に設置した。設置長さはL=4.75mである。適用性を評価するために、坑外からトンネル掘削前に設置しておいた3D地中変位計（L=20m、外径40mmの鋼製電線管内に挿入）の計測結果と、簡易型切羽前方変位計の計測結果を比較した。



図－1 簡易型切羽前方変位計の概要（従来の方法との比較）



写真－1 簡易型切羽前方変位計の概要



写真－2 計測状況（現場適用実験）

キーワード：切羽前方変位，3D地中変位計，MEMS，鋼管膨張型ロックボルト，さや管

連絡先 〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20 安藤ハザマ 土木事業本部営業第一部 TEL 03-6234-3654

(2) 実験結果

実験結果を図-3に示す。ここでの沈下量は、計測開始時(9/1)の計測値を初期値とした各計測時点の沈下量である。9/6の計測値については、簡易型切羽前方変位計の口元で計測した天端沈下量(8.7mm)を差し引いたものを、補正後の沈下量として示している。

簡易型切羽前方変位計で計測した沈下量は、坑外から設置した3D地中変位計で計測した沈下量と良く一致しており、精度よく切羽前方変位を計測できることを確認できた。

図-4に、坑外から設置した3D地中変位計で計測した沈下量の分布図を、上半切羽位置と併せて示す。

土被りが10m程度ある部分(8/23, 8/25の上半切羽位置)では、切羽前方2~3mで変位が発生し始めている。したがって、L=5m程度の簡易型切羽前方変位計でも、切羽前方変位の計測に適用が可能であると思われる。

4. 精度確認試験(室内試験)

(1) 試験概要

実験室において、片側端部を固定した簡易型切羽前方変位計(L=6.0m)に強制的に鉛直変位を与え、変位を計測した。この計測値を接触型変位計(CDP)で計測した変位と比較した。

(2) 試験結果

試験結果を図-5に示す。簡易型切羽前方変位計と接触型変位計(CDP)の計測値はほぼ一致しており、さや管内で3D地中変位計を固定しなくても、鉛直方向変位を精度よく計測できることが分かった。

5. まとめ

現場適用実験と精度確認試験の結果、簡易型切羽前方変位計で精度よく切羽前方変位を計測できることが確認できた。本手法については、特許を出願中である。

簡易型切羽前方変位計には鋼管膨張型ロックボルトを使用するため、現実的に切羽前方6mまでの計測が限界である。したがって、近接構造物への影響監視などには適さないかもしれない。しかし、影響監視が必要な場合には長尺鋼管先受工が採用されていることが多いため、その管内に3D地中変位計を挿入すればよい。簡易型切羽前方変位計は、破碎帯などの脆弱部における切羽崩壊予測や、短尺のフォアポーリングで十分なのか長尺鋼管先受工が必要なのかの判断などに活用できるものとする。

今後は、計測された切羽前方変位と切羽崩壊との関係を検討し、切羽作業時の安全確保に本技術を活用していきたいと考えている。簡易型切羽前方変位計の開発に当たっては、(株)ケー・エフ・シー、ならびに(株)エス・ケー・ラボに協力していただいた。ここに感謝の意を表する。

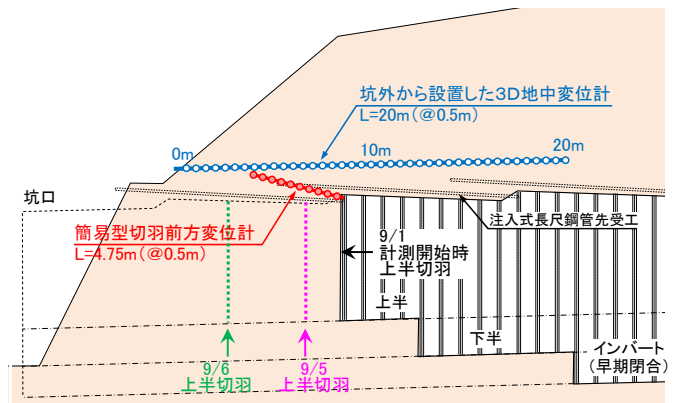


図-2 現場適用実験の概要(縦断面図)

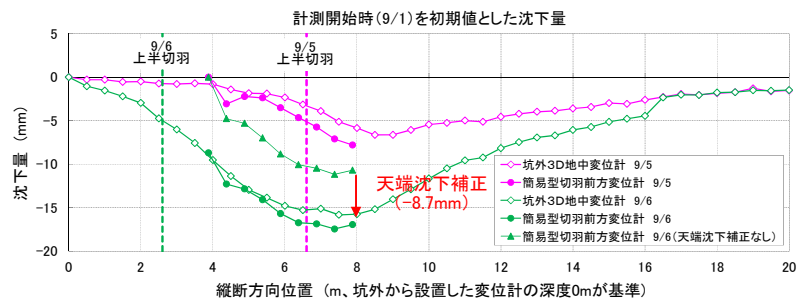


図-3 現場適用実験の結果(沈下量グラフ)

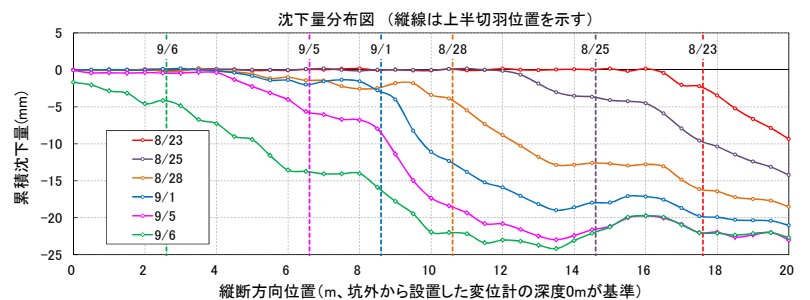


図-4 坑外から設置した3D地中変位計の変位分布図

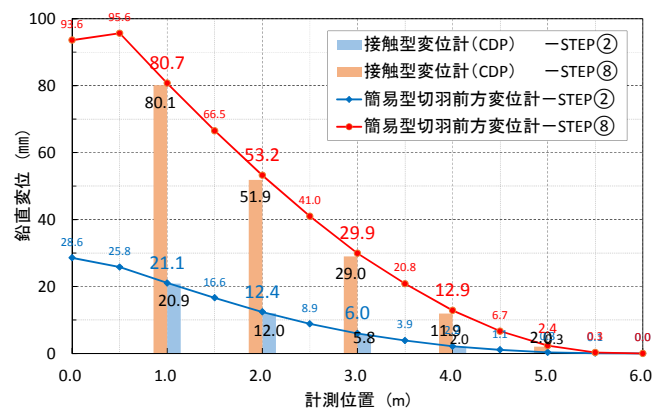


図-5 精度確認試験の結果(変位グラフ)