

3D 地中変位計（Shape Accel Array）を用いた トンネル坑口部の先行沈下計測管理に関する事例報告

大成建設株式会社 正会員 ○横山 裕史
鉄道・運輸機構 正会員 石川 大輔

1. はじめに

北海道新幹線、後志トンネル（落合）他工区は、後志トンネルの起点側に位置する延長 4,865m の新幹線複線トンネルであり、斜坑掘削後に終点側に向けて 4,700m 掘削し、起点側本坑坑口に向けて 165m を掘削する。本坑坑口斜面はトンネル軸と斜交するため、偏土圧が作用することに加え、土被りが 2D を下回る辺りから過去に地滑りが生じた形跡が地表面に認められたため、掘削中の地山挙動の把握が必須であった。地山挙動の把握は坑外からの地表面沈下測定が一般的であるが、当地域は降雪量が多く、かつ掘削時期が冬期に該当することから、継続した地表面沈下測定が困難なため、坑内からの計測と監視を実施した。

本報告では、3D 地中変位計を補助工法用鋼管内部に設置し、トンネル前方地山の挙動を把握しながら坑口部を施工した事例について報告するものである。

2. 坑口小土被り部の掘削計画

貫通掘削に先立ち、RRR 工法にて人工地山を造成し、偏土圧への対抗処置を講じたが、事前調査の鉛直ボーリングで採取したコア観察の結果、斜面坑口周辺地山は主に変質した安山岩で構成されており、卓越した縦亀裂により、掘削時に内部の小崩壊が進展することが懸念された。掘削時における内部の小崩壊の進展により、地山の緩みが増し、トンネル上部の地山の崩落が懸念されたため、天端部の地山のせん断強度向上を目的とした注入式長尺鋼管先受け工（以降、AGF）を 2 シフト施工した。（図-1、図-2 参照）

3. 計測項目について

3.1 坑内における計測 A

掘削に伴い発生する内空変位および天端沈下量をトランシットを用いて計測した。計測位置は 5m 間隔とし、土被りの変化が大きい坑口部において対応できる間隔とした。（図-3）

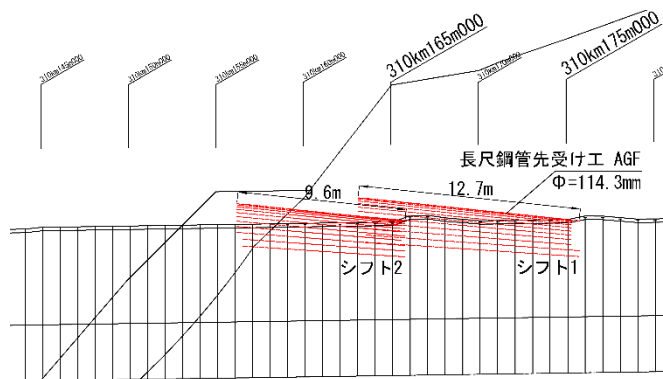


図-1 長尺鋼管先受け工（縦断面図）

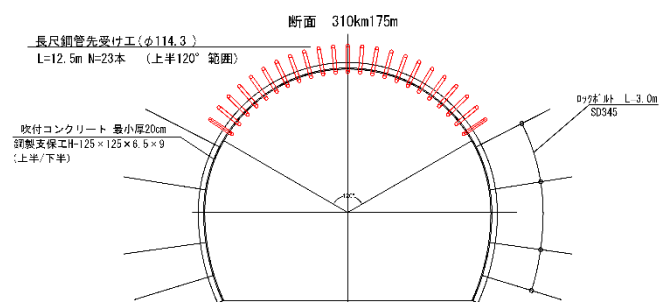


図-2 長尺鋼管先受け工（断面図）310km175m

3.2 先行沈下計測

本トンネルの入口部は急峻な地形であり、かつ積雪量も多いことから、地表面からの継続した観測を断念した。そこで、AGF の天端部の鋼管に切羽前方における先行変位を測定する目的で 3D 地中変位計 Shape Accel Array（略称 SAA, Measurand 社製）を挿入した。SAA は内部に 3 軸加速度センサを有する剛なセグメントと柔な節を介して直列に接続したケーブル状の傾斜計である。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を合わせた区間鉛直変位を累積することで計測器先端からの相対沈下量を把握でき、先行沈下の計測が可能となる。切羽到達前の先行沈下が想定以上の場合には、更なる対策工の必要性を把握できる。AGF による切羽先行変位抑制効果についても定量的に把握できる。（図-3）

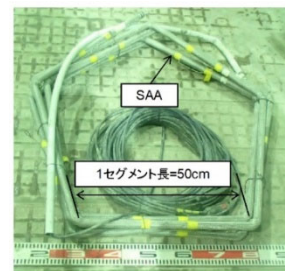


写真-1 SAA 計測器

キーワード 坑口部偏圧地形、先行沈下計測、掘削補助工法

連絡先〒046-0501 北海道余市郡赤井川村赤井川 318-1 大成・佐藤・田中・堀松 JV 後志トンネル作業所 TEL: 0135-34-7922

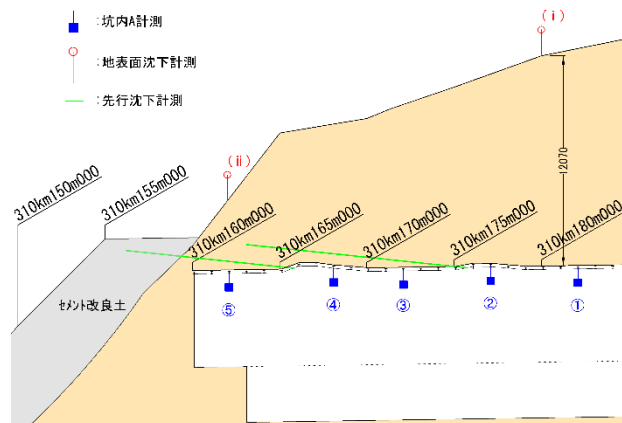


図-3 各計測器設置状況(縦断面図)

3.3 地表面沈下測定

トンネル掘削に伴う坑口部の地山の変形挙動を把握する目的で、坑外にて地表面沈下量を冬季の前後で計測した。

4. 計測結果

4.1 坑内における計測 A

表-1 に各計測 A 測点の天端沈下量の収束値を示す。①～③は管理値 I (10mm) を超過する沈下が見られたが、④⑤は 5mm 程度に収まった。これは AGF による沈下抑制効果によるものと想定される。

表-1 各測点の天端沈下量 (mm)

① 310km182m	② 310km177m	③ 310km172m	④ 310km168m	⑤ 310km162m
9.4	11.6	12.9	3.8	5.1

4.2 先行沈下を考慮した全変位

図-4 に切羽が 310km167m に到達した際の SAA 沈下分布図を示す。切羽通過後の変位については、計測 A によって挙動を把握し、先行沈下量と天端沈下量を合算して全変位量を求めた。310km168m の全変位量は図-4 より先行沈下が 8.2mm なので 12.0mm (8.2+3.8) となる。全変位に対する変位割合は先行変位が大きい。図-5 に切羽が 310km161m に到達した際の SAA 沈下分布図を示す。先行沈下量と天端沈下量を合算した 310km162m の全変位量は 18.7mm (13.6+5.1) となる。こちらも全変位に対する割合は先行変位が大きい。以上より、絶対値としては小さいものの、坑口部の先行変位量は全変位の約 70% を占め、AGF を施工していても本工区の坑口部においては先行沈下を完全に抑制することは困難であったと考えられる。

4.3 地表面沈下測定

表-2 に地表面沈下量を示す。(i)は 14.6mm、(ii)は 18.6mm の沈下がみられた。土被りが小さく、トンネル

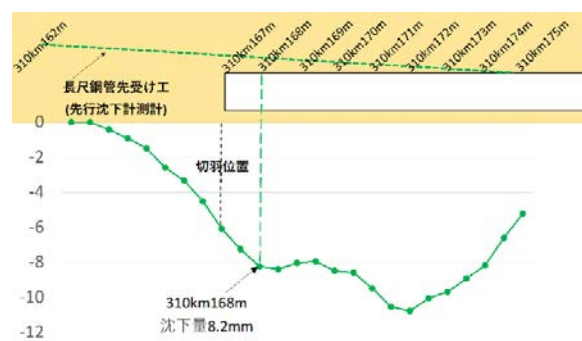


図-4 切羽位置 310km167m の SAA 変位図(シフト 1)

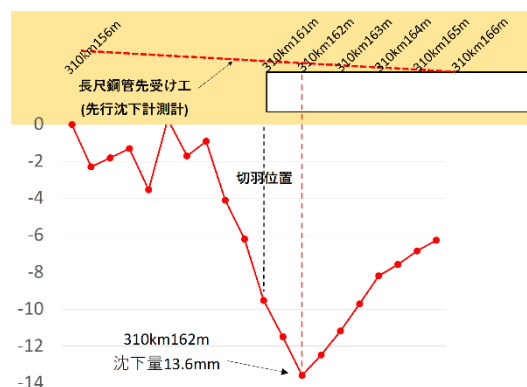


図-5 切羽位置 310km161m の SAA 変位図(シフト 2)

直上に設置していたこともあり、掘削に伴う地表面沈下の挙動はある程度正確に把握できていると考えられる。前述の 4.1、4.2 より計測 A と SAA で推定した 310km162m の全変位量は 18.7mm であったことから、SAA の妥当性を確認する結果も得ることができた。

表-2 各測点の地表面沈下量と合算変位量 (mm)

(i)	(ii)	合算変位量 310km162m
14.6	18.6	18.7

5. まとめ

SAA によって切羽前方の先行変位計測を行い、地山挙動を把握しながら、掘削補助工法を用いて脆弱な坑口を安全に施工することができた。坑口部では土被りが小さく地山のアーチ形成ができずに掘削に伴う地表面の共下がりが発生したのと考えられるが、それに対して AGF が有効に機能したことがわかった。また、計測 A で得られる計測対応変位よりも先行変位量の方が全変位に対する割合が当現場の坑口部では大きい傾向にあり、補助工法の検討のためには先行変位を把握し、全変位量を予測することが重要である。本報告が同種工事の参考になれば幸いである。

参考文献

鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説、平成 26 年 5 月改訂版