

小土被り部における早期閉合掘削時の縦断方向地表面沈下曲線についての一考察

西松建設（株） 土木設計部

正会員 ○鈴木 健，大谷 達彦

山口大学大学院 創成科学研究科

正会員 林 久資

ドボクリエイト（株）

正会員 森本 真吾

山口大学大学院 創成科学研究科

フェロー会員 進士 正人

1. はじめに

山岳トンネル工事の坑口部は、小土被りであり、地山性状が脆弱なことが多く、かつ地表面に民家等の重要構造物が存在する場合がある．このような場合は、トンネル掘削時の地表面沈下量に対して管理値を設定し、計測管理しながら掘削し、地表面沈下量が管理値を超過しないよう施工しなければならない（図-1）．

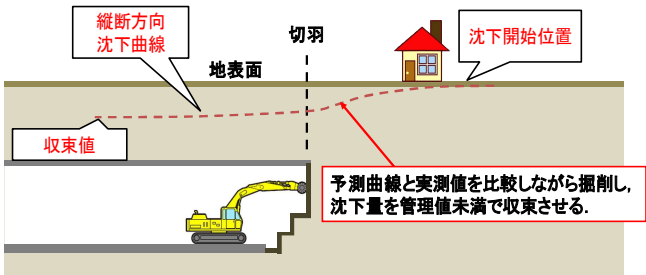


図-1 小土被り・重要構造物直下のトンネル掘削イメージ

近年において、このような条件下では、長尺先受け工法等の切羽前方を改良する補助工法を採用し、トンネル断面を早期に閉合する早期閉合にて掘削した事例が多くみられる．また、計測による施工管理が重要となり、管理基準値を設定して、トンネルの安定性や地表面への影響を監視する必要がある．このとき著者らは、トンネル掘削に伴う縦断方向の地表面沈下の予想曲線（地下、地表面沈下曲線と称す）を用いて、計測値を比較しながら管理することが効果的と考えているが、早期閉合採用時の地表面沈下曲線を示した文献は見られない．

そこで本稿では、早期閉合を用いた場合のトンネル縦断方向の地表面沈下曲線や切羽前・後方地表面沈下影響範囲について、複数の施工実績と既往の沈下曲線（Panet の式）とを比較した結果について報告する．

2. 実測値と Panet の式との比較

早期閉合（補助工法併用）を用いてトンネル掘削を実施した時の地表面沈下の実績として 3 トンネルの地表面沈下計測結果を収集し、整理・分析した（表-1）．これらのトンネルは、補助工法として長尺先受け工（以下、AGF と称す）や鏡ボルト等によって切羽前方領域を改良し、早期閉合（閉合距離 6m 程度）を実施した．

表-1 地表面沈下量計測結果を収集したトンネル諸元

トンネル	補助工法	閉合距離	地質	トンネル掘削幅 SL 部 (m)	計測点数
A	AGF+鏡ボルト	6m	盛土	12.1	13
B	鏡ボルト	5m	砂混じり粘土	10.4	24
C	AGF	6m	スコリア	11.7	7

地表面沈下量計測結果の整理は、計測点毎に行った．横軸は、切羽離れ（以下、L と称す）を掘削幅（以下、D と称す）で除した値（L/D）とし、縦軸は、各計測点の沈下の収束値を 100%として、沈下量の割合で整理した．各計測点で得られたデータの平均値を代表値として整理した結果を図-2 に示す．

まず、早期閉合を採用した 3 トンネルにおいて、沈下曲線は概ね等しい傾向を示しており、切羽が計測点直下を通過（L/D=0）した際の沈下割合は、収束沈下量の 50%程度（＝先行変位率 50%）となることがわかる．一方で、早期閉合を採用しない一般的な閉合距離でのトンネル施工では先行変位率が 40%²⁾程度であることから、早期閉合を採用すると先行変位の割合が増大することがわかった．これは、早期閉合や補助工法を採用したことで、地山が補強され最終沈下量が小さくなったためと考えられる．

キーワード トンネル，小土被り，補助工法，早期閉合，地表面沈下，縦断方向沈下曲線

連絡先 〒105-6310 東京都港区虎ノ門 1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10 階 西松建設株式会社 土木設計部 TEL03-3502-7637

次に、トンネル掘削時の応力解放率から壁面変位率を算定できる Panet の式¹⁾と比較することを試みた。Panet の式を式(1)に示す。この時の応力解放率は、上述したとおり早期閉合で施工された3トンネルの整理結果から得られた先行変位率50%を用いた。3トンネルの沈下曲線と Panet の式から求まる曲線は等しい傾向であり、特に $-0.5 < L/D < 0.5$ の範囲は概ね一致した。

$$Z \geq 0 (\text{切羽後方}) : U_R/U_{Rmax} = c_0 + c_1(1 - e^{-|Z|/(0.7r)})$$

式(1)

$$Z < 0 (\text{切羽前方}) : U_R/U_{Rmax} = c_0 - c_1(1 - e^{-|Z|/(0.7r)})$$

U_R/U_{Rmax} : 壁面変位率 (本研究では、地表面沈下量の収束値に対する各位置での沈下量の割合とした)

Z : 切羽距離(m), r : トンネル半径(m), c_0 : 応力解放率(=0.5), c_1 : $c_1 = 1 - c_0$

$-0.5 < L/D < 0.5$ 以外の区間についても考察すると、切羽前方の $L/D < -0.5$ の区間では、A トンネルおよび B トンネルの沈下割合は、Panet の式に比べて僅かに小さくなった。また切羽前方の沈下開始位置は、 $L/D = -1.5 \sim 1.0$ 程度であることが確認できた。これは AGF 等の効果によって沈下が抑制されたためと考えられる。

次に、切羽後方の沈下影響範囲について調べた。切羽後方の $L/D > 0.5$ の区間では、B トンネルおよび C トンネルは概ね等しい傾向を示し、 $L/D = 1.5 \sim 2.0$ 程度で沈下が収束した。ただし A トンネルは、沈下の収束が $L/D > 3.0$ となった。これは、A トンネルが掘削した地山の地質が盛土であり、収束性が悪かったためであると考えられる。これに対し Panet の式では、沈下の収束は $L/D = 2.5$ となった。沈下の収束が Panet の式に比べて早いのは早期閉合による効果と考えられる。

3. まとめ

本研究では、小土被り地山を早期閉合を用いてトンネル施工を行った場合のトンネル縦断方向の地表面沈下の傾向を複数の施工実績や既往の沈下曲線 (Panet の式) で比較した結果、以下のことが分かった。

- ① 早期閉合(補助工法併用)を用いてトンネル掘削を実施した時の縦断方向の地表面沈下において、切羽通過時の沈下量は全変位量の 50%程度となる。これは、早期閉合や補助工法の採用により、最終沈下量が小さくなった効果と考えられる。
- ② 地表面沈下の切羽前方影響範囲は、 $L/D = -1.5 \sim 1.0$ 程度である。一方で、切羽後方影響範囲は、 $L/D = 1.5 \sim 2.0$ となった。これらについても、補助工法による地山改良効果や、早期閉合の収束変位抑制効果によるものであると考えられる。

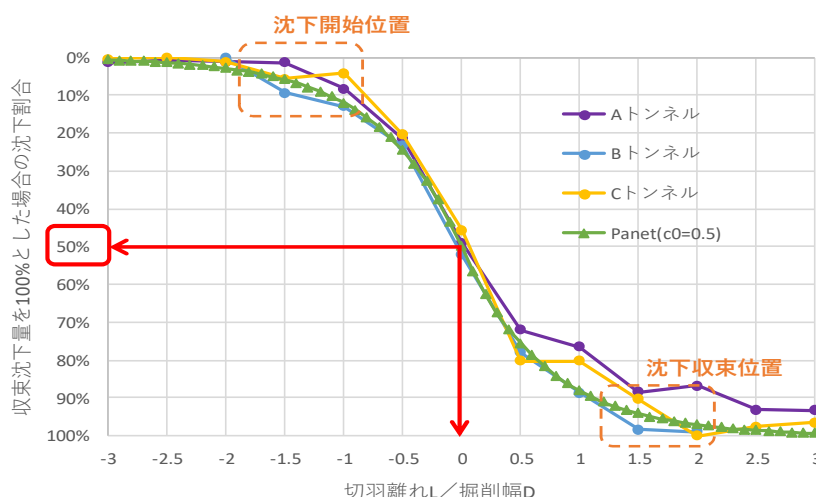


図-2 地表面沈下整理結果

参考文献

- 1) M. Panet: Time-dependent deformation in underground works, Proceedings International Congress on Rock Mechanics 4th 790902 Vol.3, pp.279-289, 1979.
- 2) (株)高速道路総合技術研究所: トンネル数値解析マニュアル (2017 年度版), pp.3-25, 2017.