

早期閉合で施工した坑口まさ地山のトンネル挙動特性

国土交通省東北地方整備局磐城国道事務所

河原 正儀

清水建設(株)東北支店三和トンネル作業所

正会員 藏重 幹夫

清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部

正会員 楠本 太

1. はじめに

一般国道 49 号三和トンネルは、福島県いわき市三和地区に位置し、掘削断面積 94.5m²、延長 743m の 2 車線道路トンネルである。起点側坑口 D a 区間の約 77m 間の斜面にはまさが分布し、トンネル施工時に、天端の先抜けや切羽崩壊、過大な変位発生などが懸念された。このため、計測工 A、B による動態計測のもと補助工に早期閉合を併用する補助パン付け全断面工法を採用した。その結果、支保構造体の力学的安定は確保でき、これによる挙動特性が明らかになった。

2. 地質・地形概要

地質は、花崗閃緑岩である。起点側坑口斜面は、緩傾斜であり、地すべり・崩壊等の不安定地形は認められないが、層厚約 15m の土砂化したまさ分布する(図 - 1)。また、坑口位置から約 15m 間は、軟質なまさ、トンネル全面に出現する。これら区間では、切羽集中湧水はない。

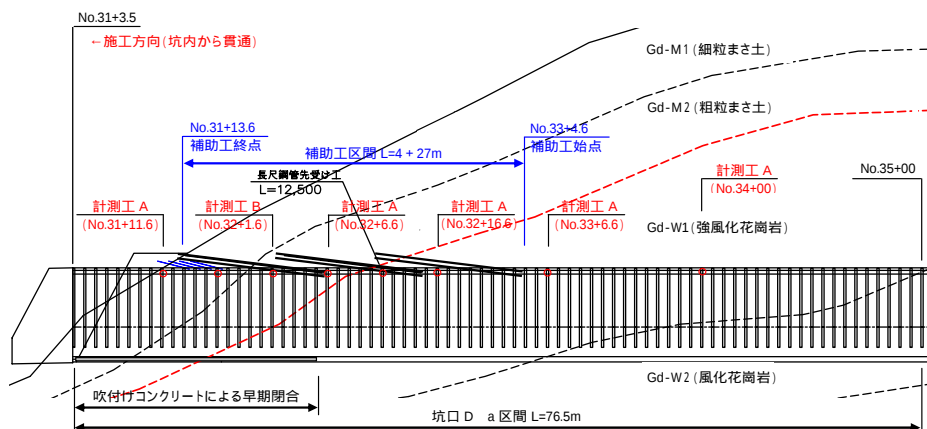


図 - 1 起点側坑口区間縦断面図(補助工配置)

3. 支保構造と補助工仕様

トンネル支保構造は、標準的な坑口支保パターンの D a である(図 - 2、表 - 1)。補助工は、土砂化したまさや崖錐堆積物の上・下半掘削であり、アーチ部周辺地山の崩落、先抜けや鏡崩壊などが危惧されたので、鏡吹付けと岩盤固結剤のシリルジンを注入剤とする長尺鋼管先受け工を採用する(表 - 2)。早期閉合部材は、吹付け厚 25cm の吹付けコンクリートである。これの半径は、 $r_4 = 2.5 \times r_1$ である。

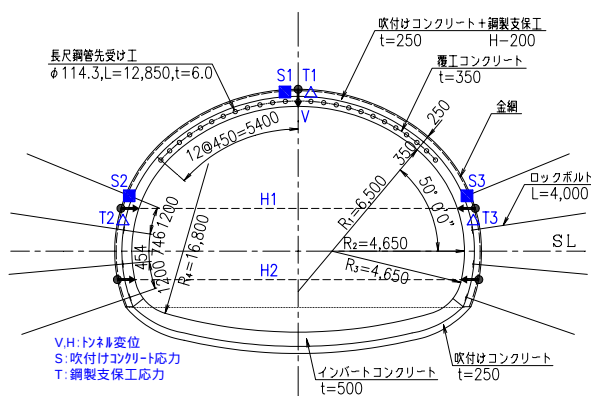


図 - 2 トンネル支保構造と計測点配置概要(D a)

表-1 トンネル支保構造仕様(D a)

1 掘進長(m)	1.00
吹付け厚(圧縮強度)	25cm (18N/mm ²)
鋼製支保工	H-200 (SS400)
ロックボルト本数	上・下半 8 本(L=4m), 176.5kN
早期閉合部材	吹付け厚 25cm

表-2 補助工仕様(D a)

先受け工	・長尺鋼管, φ114.3, t=6, L=12.5m, 25 本/断面(アーチ 120°, p=450) ・注入材: シリルジン(160kg/本)
鏡補強工	・鏡吹付け(t=5cm)
1 シフト長	9.00m

5. 計測工概要

計測工 A は、坑口斜面地表とトンネル吹付け内空面に測点を設け、三次元自動測量・計測システムを用いて、鉛直 V・水平 H 方向の絶対変位を 12~24 時間毎に測定する。計測工 A 断面は、坑口から 35m 間は、トンネル軸方向 5 m 間隔に設ける。

キーワード: まさ、長尺先受け工、補助パン付け全断面工法、早期閉合、挙動特性

連絡先: 東京都港区芝浦 1-2-3 シーパルス S 館、Tel. 03-5441-0566、Fax. 03-5441-0510

6. 計測結果と考察

坑口D a区間のトンネル変位とトンネル中心斜面の地表沈下は、図 - 3、図 - 4 に示す。早期閉合した計測工 B 断面(No. 32+1.6)での吹付けコンクリート軸応力と分担率、換算土圧は、図 - 5、図 - 6 に示す。これらから以下のことが分かる。

(1) トンネル変位

早期閉合区間に入る直前の天端部は、52mm 沈下する。これが早期閉合区間に入ると9mmの沈下となり、早期閉合により天端沈下は顕著に小さくなる。

内空変位は、早期閉合区間に入る以前は15～34mmの内空側の変位である。早期閉合区間に入ると小さくなり、1～14mmの内空側の変位である。

早期閉合区間では、上半内空変位 H1 と下半内空変位 H2 の発生量は同等レベルである。

天端沈下 V に対する上半内空変位 H1 の比(H1/V)は、切羽がまさ地山に近づくにつれ低下するが、早期閉合区間に入ると増加しはじめ、1.0 に近づく。

(2) 坑口斜面への掘削影響

早期閉合しない区間では、切羽が坑口に近づくにつれ地表沈下は増加する。早期閉合区間に入ると、一旦減少するが、掘削進行とともに再び増加する。

上半切羽が早期閉合区間に近づくにつれ先行沈下の沈下比率($\delta o / \delta v$)は徐々に低下するが、早期閉合区間に入ると増加しはじめ、93%になる。

(3) トンネルの安定性と作用土圧

吹付けコンクリート軸応力の最大値は、天端部に発生し、3.2N/mm²の圧縮となり、圧縮強度18N/mm²の範囲内で力学的安定が確保できた。上半側部の左右測点では、同等レベルの約2N/mm²の圧縮である。

吹付けコンクリートは、支保部材発生軸力の約60%を負担し、鋼製支保工とともに主要支保部材をなす。

トンネル支保構造体に作用する換算土圧 Po は、天端部で0.20N/mm²、上半側部で0.14N/mm²の作用が推察される。また、天端部では換算鉛直土圧 σv の約1.6倍、上半側部では σv の約0.7倍の土圧作用が見込める。

7. まとめ

補助トンネル付き全断面工法に補助工の長尺鋼管先受け工と早期閉合を併用して、まさ地山を施工した。その結果、トンネル変位は30mm以下、斜面地表沈下は60mm以下に抑制でき、支保構造体の力学的安定が確保でき、この方法の有効性が示された。また、天端部では鉛直土圧の1.6倍、上半側部では0.7倍の土圧作用が推察された。

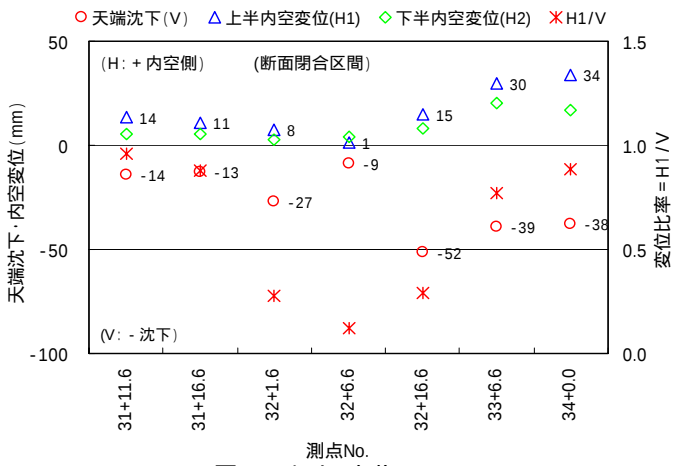


図 - 3 トンネル変位 (D a)

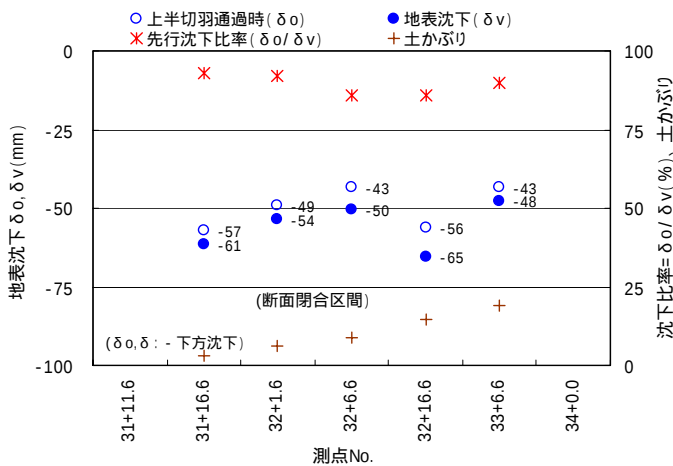


図 - 4 坑口斜面地表沈下(トンネル軸)

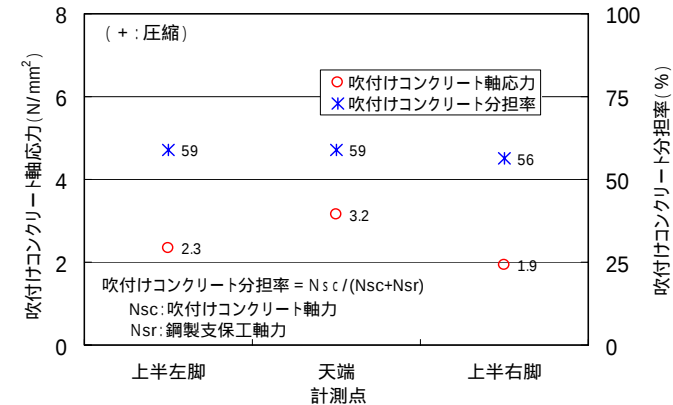


図 - 5 吹付けコンクリート軸応力

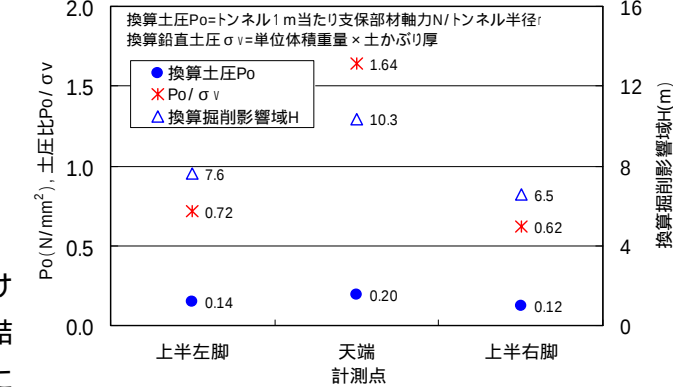


図 - 6 換算土圧