

# 朝日温海道路におけるトンネル掘削時の変状対策について

大島 淑<sup>1</sup>・松並 貴志<sup>1</sup>・濱野 椋<sup>1</sup>

<sup>1</sup>新潟国道事務所 工務第一課（〒950-0912 新潟県新潟市中央区南笹口2-1-65）

一般国道7号朝日温海道路（延長40.8km）事業では全線で20本と多くのトンネルが計画されており、新潟国道事務所では1号トンネルを令和3年10月に貫通し、現在2号トンネル、4号トンネルの2本のトンネルを掘削中である。

本報告では、4号トンネルの掘削中に発生した変状について、変状の経緯及び変状対策について報告するものである。

キーワード 朝日温海道路、トンネル、変状、縫い返し、補助工法

## 1. はじめに

朝日温海道路は、新潟県・山形県・秋田県の主要都市を結び青森県に至る延長約 322km（新潟空港 IC～青森 IC）の高規格幹線道路である日本海沿岸東北自動車道（以下日沿道）の一部を構成する道路であり、新潟県村上市の朝日まほろば IC と山形県鶴岡市のあつみ温泉 IC を結ぶ延長 40.8 km の自動車専用道路である（図-1）。平成 25 年度に事業化され、平成 27 年に用地買収着手、平成 29 年に工事に本格着工したものである。朝日温海道路全線で 20 本のトンネルが計画されており、新潟国道事務所ではそのうち、6 本のトンネルを担当している。現在 2 号トンネル、4 号トンネルの 2 本のトンネルを掘削中であるが、4 号トンネル（図-2）掘削中に発生した変状の経緯及び変状対策について報告する。

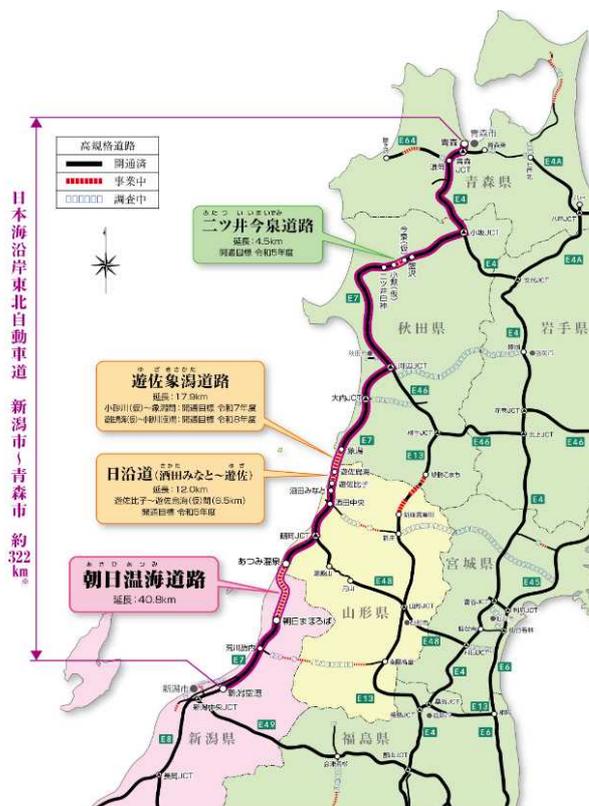


図-1 日本海沿岸東北自動車道



図-2 4号トンネル位置図

## 2. 4号トンネル工事の概要

4号トンネルは延長1,185m、道路幅員12m、内空断面積は一般部が99.8㎡、非常駐車帯部は116.4㎡で計画されている(図-3)。4号トンネルの掘削方法はNATM(ナトム)方式で施工している。NATM方式とは新オーストラリアトンネル工法とも呼ばれ、掘削したところにコンクリートを吹き付け、鋼製の支保を建て込み、ロックボルトを打設することで、山自体の保持力を利用しトンネルが崩れるのを防ぐ工法である。

4号トンネル工事は令和2年1月31日に「R1-4朝日温海道路4号トンネル工事」として安藤ハザマ・不動テトラ特定建設工事共同企業体と契約し、令和2年2月1日～令和6年3月31日の工期で工事を行っている。

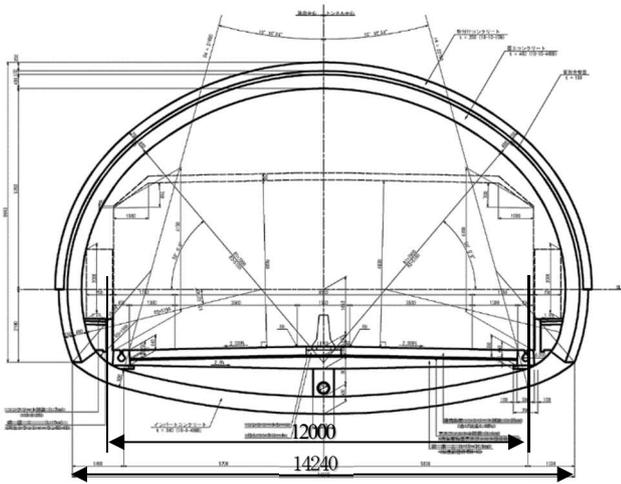


図-3 トンネル断面図

## 3. 4号トンネルの変状について

### (1) 変状までの掘削状況

変状が発生した区間はNo.744+61付近であり、終点側坑口から約370m地点で発生した(図-4)。当該箇所は設計段階では明神岩安山岩類凝灰角礫岩と想定しており、スレーキングしやすい地質ではあるが一軸圧縮強度等から設計パターンをD Iとし補助工法については施工しないこととしていた。

しかし、掘削を進めるにつれて、想定していた凝灰角礫岩に加え、左下に黄褐色の軟弱な火山礫凝灰岩が現れ

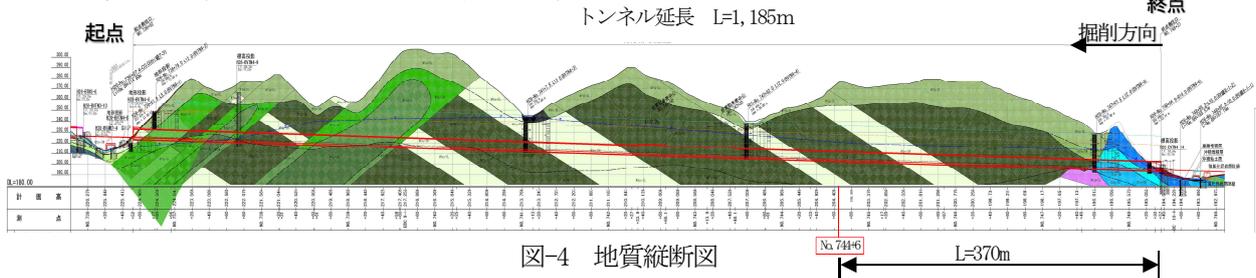


図-4 地質縦断面図

始め変状箇所では左半分程度を占めていることが確認された(写真-1)。一方、右側は想定していた凝灰角礫岩が大部分を占め比較的安定した状況であった。また、切羽からの湧水はほとんどなかったが施工したロックボルトから湧水が発生している状況が確認された。

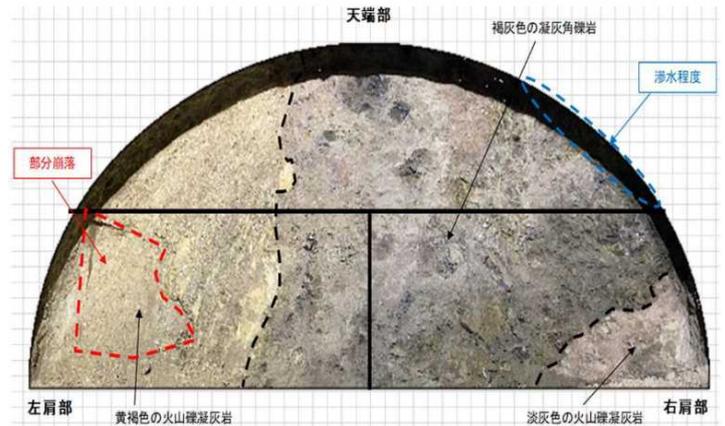


写真-1 切羽状況(支保No.370 No.744+61.0)

当初支保パターンはD Iで想定しており、地質状況が軟弱な火山礫凝灰岩であることが確認されたため、岩判定を行いD IIでの施工に変更した。D Iは支保工の規格がH150、吹付C oの厚さが20cmであるが、D IIパターンは支保工の規格がH200、吹付C oの厚さが25cmであり、当初設計よりもランクアップし掘削を進めた。

### (2) 変状の経緯

前述の通り、D IIで掘削を進めNo.744+44に到達したところ、No.744+61において内空変位の急激な増加が確認された(図-5)。

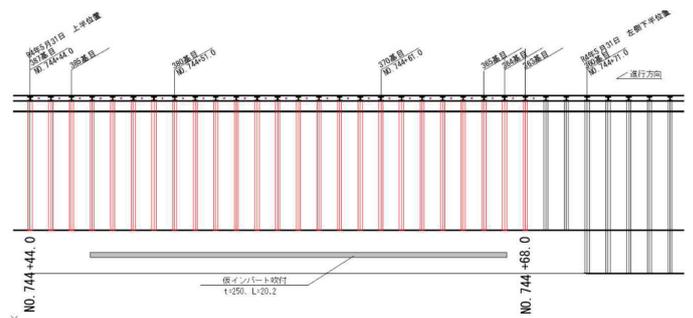


図-5 変状範囲図

変状が発生したNo. 744+61は令和4年5月26日に上半の掘削を完了し、令和4年5月28日からA計測を開始していた。令和4年5月31日時点で、天端-12.5mm、左側面-51.6mm、右側面-1.0mm、内空変位-37.1mmであった

(図-6)。上記より変状は左側の沈下を主体として左側側面の押し出しも複合しているものと想定された。

このような状況が生じたため、変状区間を照査したところ、No. 744+68～No. 744+44において、変状が生じていることを確認した。1番変状の大きい支保No. 744+58においては、沈下量が313mm、水平方向の押し出しが172mm確認された。

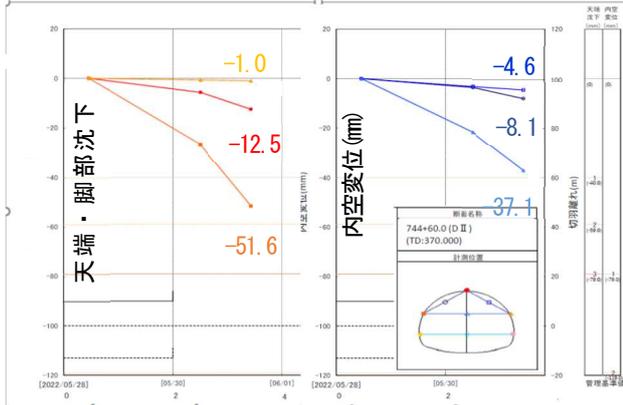


図-6 計測結果

### (3) 応急対策

変状の進行によりトンネル崩落の危険性があるため、早急に変状対策が必要となった。変状に対する抑止対策としては増しボルトが一般的であるが、既設のロックボルトに変状が見られないことから、地山の変状はロックボルト打設範囲 (L=6.0m) の外側から生じており、打設範囲の地山全体が変状している可能性が考えられ、増しボルトは有効とは判断できないため、現状で早急に対応が可能で、変状に対して最も有効である仮インバート (t=250mm) による早期閉合を令和4年6月1日に実施する

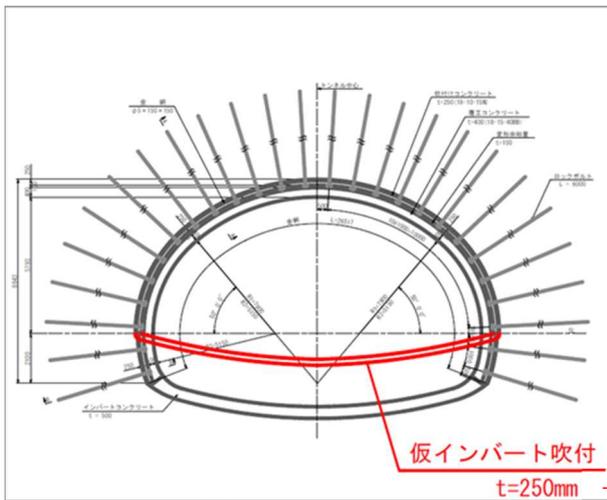


図-7 応急対応 (仮インバート)



写真-2 切羽と仮インバート

こととした (図-7, 写真-2)。

A計測は既に設置していたNo. 370断面の他にNo. 360, No. 367, No. 373, No. 380の4断面を6月1日に追加して計測を行った。A計測の5月31日以降の経時変化は、6月1日時点でさらに沈下の進行がみられた。仮閉合完了後の6月2日時点でも沈下が進行したが、やや収束傾向が見られ、その後は沈下が収まっている状況であった。支保工の変位測量についてもA計測と同様の傾向が見られ、変位は収まっていることが確認できた。

上記より仮インバートによる早期閉合によって沈下は収束したものと想定された。

一般的にトンネル工事は掘削余裕幅を50mm確保して施工を行っているが、今回は最大で沈下量が313mm、水平方向への押し出しが171mmの変状が確認されたため、設計断面を確保することができず、縫い返しを行う必要が生じた。縫い返しとは支保工が土圧により著しく変形したとき、変形した支保工の外側を再度掘削して新しい支保工を建て込み、設計断面を確保することである。

### (3) 縫い返しの実施

縫い返しを無対策で実施するとさらなる変状を起こす可能性があることから、補助工法をいくつか実施した (図-8)。

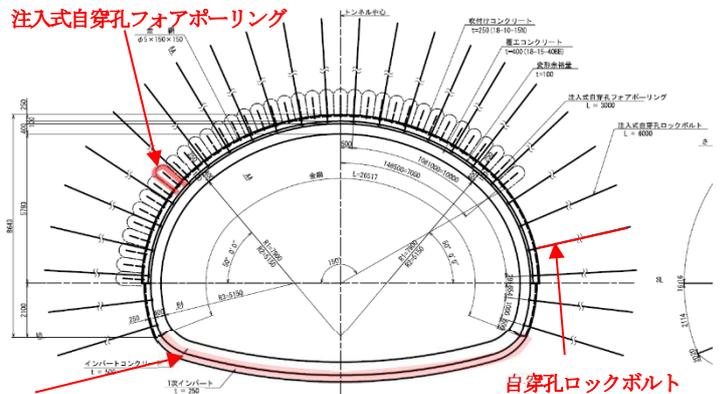
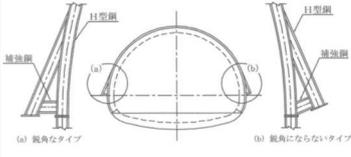
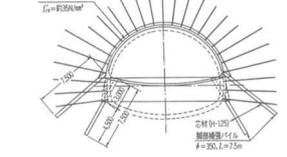
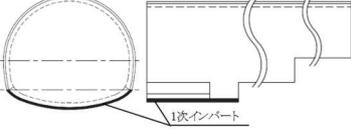


図-8 縫い返し対策

表-1 脚部対策比較表

対策工	1案 ウイングリップ付き鋼製支保工	2案 ウイングリップ付き鋼製支保工+脚部補強ボルト	3案 1次インバート(吹付けコンクリート+ストラット)
概要	 <p>(a) 翼角なタイプ (b) 翼角にならないタイプ</p>		
	鋼製支保工脚部にH型鋼や鋼管などを取り付けることで支保面積を拡大し、支圧力の低減を図るものである。下半掘削作業が通常通り実施されるため、施工能率が低下しないため多くの実績がある。	上半盤支保工接地部の応力集中の緩和や下半掘削時の地山崩落防止等を目的とし、上半支保工脚部に斜め下向きにロックボルト等を打設し、脚部の支圧力を向上させる。地山強度が不足する場合は注入材等で注入改良する。	吹付けコンクリートや鋼製インバート支保工(ストラット)を用いて掘削断面を閉合することでトンネル全体の剛性を高め、変位抑制を図る。地山の支圧力が十分でない場合や内空変位が大きく変位速度が増加するような膨張性の地山で適用される。
現設計や詳細設計報告書における扱い	FEM解析結果から、脚部沈下対策としてウイングリップ付き鋼製支保工が必要と判断されている。支圧力計算により、土被り80m程度までの範囲は不要と判断している。		泥岩が分布しているDIII区間においては、FEM解析の結果から1次インバートが採用されている。
今後の施工区間における効果と適用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>支持面積が大きくなり、脚部沈下を抑制できる。</li> <li>脆弱な脚部地盤を通常より大きく掘削し、周辺地盤を緩ませる可能性がある。</li> <li>掘削断面がオーバーハングした形状になるため、通常の掘削形状よりも崩れやすく建込み作業時の安全性に劣る。</li> <li>脚部の地山状況によっては効果が不足し、インバートで閉合するまで変位が継続する可能性がある。</li> <li>今回のような脆弱な脚部地盤では、支圧面積を広げても有効な効果が得られないため、本トンネルの地山には適していない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロックボルト等の摩擦抵抗が地山改良効果、注入による改良効果により支圧力を増加させる。</li> <li>前孔水により地山を傷める恐れがある。</li> <li>脚部の地山状況によっては効果が不足し、インバートで閉合するまで変位が継続する可能性がある。</li> <li>下向き施工のため、スライムが孔内に残り、定着が不良となりやすい。</li> <li>今回のような脆弱な脚部地盤では、指圧面積を広げても有効な効果が得られない。また、脚部に支持地盤が期待できないため、本トンネルには適していない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>閉合の効果は大きく、確実な沈下抑制効果を見込める。</li> <li>吹付けコンクリートにより地山を覆うため、湧水による地山の泥酸化や脚部の地山劣化防止の効果もある。</li> <li>切羽近等での作業があり、切羽の安定性確保のため、緩補強および先受工を施工する必要がある。</li> <li>1次インバートには掘削に伴い、重機走行による荷重が作用する。また、下半支保工との接続部には大きなせん断力が発生する。吹付けコンクリートの曲げやせん断に対する補強としてストラットを併用する必要がある。</li> <li>脆弱な地山での適用例が多く、確実に効果が見込める。変位対策として実施した仮インバートにより沈下抑制効果を確認している。</li> </ul>
工費	比較的低価である	1案と比較して高価である。	1案と比較して高価である。
工期	掘削量や吹付けコンクリート量が若干増加する程度であり、施工サイクルへの影響は小さい。	ロックボルトや鋼管パイルの打設を要するため、ウイングリップ付き鋼製支保工に比べて施工サイクルへの影響が大きい。	掘削、埋戻しを伴うため、ウイングリップ付き鋼製支保工に比べて施工サイクルへの影響が大きい。
総合評価	X	X	O

脚部安定対策を行う上で、抑制効果が得られる工法を3つ選定し、比較検討を行った(表-1)。1案、2案については今回のような脆弱な脚部地盤では有効な効果が得られないため適していない工法と判断した。「一次インバートストラット」は吹付けコンクリートや鋼製インバート支保工(ストラット)を用いて掘削断面を閉合することでトンネル全体の剛性を高め、変位抑制を図るもので、脆弱な地山での適用例も多く、確実に効果が見込めること、変位対策として実施した仮インバートより沈下抑制効果を確認出来ていたことから「一次インバートストラット」を選定した。

・注入式自穿孔ロックボルト、注入式自穿孔フォアポーリング

ロックボルトの施工は掘削機で穴を掘り、穿孔水で孔内を清掃し、モルタル注入後、ボルトを挿入するのが一般的である。変位区間では、火山礫凝灰岩を主体とする地山が分布しており土砂化が著しく、ロックボルト施工時は孔壁が自立しにくい状況であった。また、穿孔水により、地山強度が低下すると想定された。これらを防止するため、掘削と同時にボルトを挿入可能な自穿孔ボルトを選定した。

また、支保工を撤去した際に地山が崩落する危険性が非常に高いため、地山を痛めず施工可能な「注入式自穿孔フォアポーリング」を選定した。

「一次インバートストラット」、「注入式自穿孔ロックボルト」、「注入式自穿孔フォアポーリング」これら

の補助工法を施工しながら、縫い返しを実施したことで、さらなる変位は発生しなかった。その後の掘削においても変位は増大していないため適切な処置であったと判断できる。

## 5. まとめ

トンネルの施工は設計段階では予期しえない条件が多々あり、施工中に随時対応していく必要がある。今回の4号トンネルにおける変位についても設計段階では予期しえない地質がでてきたことによるものであったが、変位の原因・対策等を早急に検討したことで早期に変位に抑えることができた。また、縫い返しにおいても適切に補助工法を選定することができた。

今後も状況に応じた対応を適切かつ早急に行い、安全にトンネル施工を進めて参りたい。また、今回の変位対策が他のトンネル施工の際に参考になれば幸いである。

謝辞：本論文作成にあたり、ご指導ご鞭撻くださりました受注業者、情報提供や助言を下さいました関係者の皆様に感謝申し上げます。