

SENS 掘進中に出現した巨大な岩塊群の撤去

北海道新幹線，羊蹄トンネル（比羅夫）他工区

生 越 亮

北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）は，工事实施計画が平成 24 年 6 月に認可され，現在整備を進めている。羊蹄トンネルは，平成 31 年 4 月から SENS（シールドを用いた場所打ち支保システム）による施工を開始し順調に掘進していたが，令和 3 年 7 月初旬に坑口から約 3.4 km 地点の掘進途中で，緻密で硬質かつ巨大な岩塊群にシールドが遭遇したことで，カッタヘッドが回転不能となり停止した。本稿では，シールドが停止に至った経緯から再発進させるための岩塊群の撤去計画，施工実績および現在の進捗を報告する。

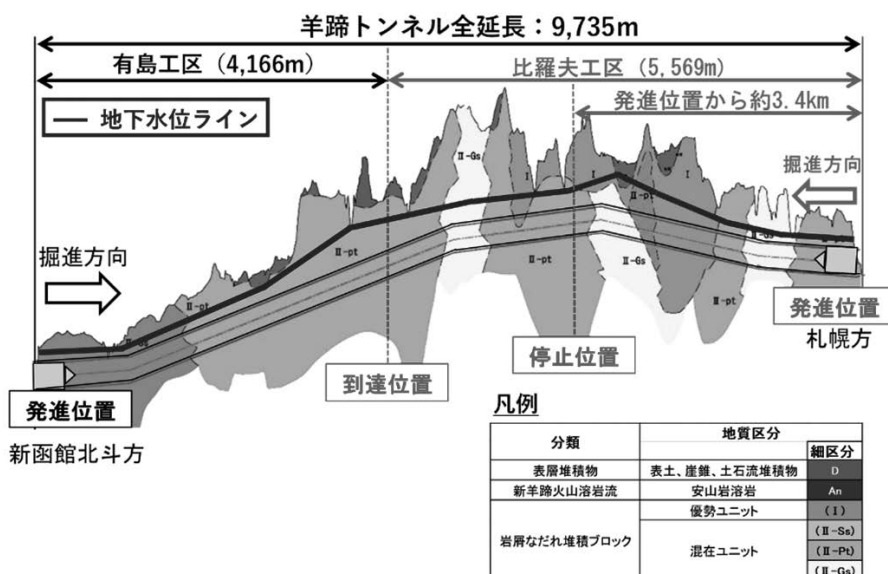
キーワード：SENS，NATM，導坑掘削，岩塊群撤去，岩屑なだれ堆積物

1. 羊蹄トンネル（比羅夫）工区の概要

北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）の線路延長約 212 km のうち，羊蹄トンネルは，北海道虻田郡ニセコ町から同郡倶知安町に至る延長 9,735 m の新幹線複線断面トンネルであり，起点方の有島工区（延長 4,166 m）と終点方の比羅夫工区（延長 5,569 m）の 2 工区で施工するトンネルである（図—1，2）。本トンネルは羊蹄山西側の裾野に位置し，周辺の地層は羊蹄山の噴火活動に伴って形成された，複雑な岩屑なだれ堆積物で構成され，豊富な地下水を有した地質であり，トンネルは地下水位以下で構築することになる。



図—1 羊蹄トンネル位置図



図—2 羊蹄トンネル縦断面図

2. 羊蹄トンネルにおける SENS 掘進

(1) SENS 採用経緯

当初の調査では、深層部で比較的地質が良いことに加えて、遮水層が存在すると想定されたことから、NATMによる掘削を計画していた。その後、詳細な200m毎の地質調査等を実施し、深度化したところ、ルート上には未固結の地質が分布していることが明らかとなり、切羽の自立が困難であると判断した。また、地下水位が高く透水係数大きいことが確認され、大規模湧水を懸念し、シールド(写真—1)を用いた、SENSによる掘削工法を採用した。

(2) 当初想定していた岩塊遭遇の可能性と対策

本トンネルは、羊蹄山からの火山噴出物が複雑に堆積した地質であり、トンネル掘削断面は、全て岩層なだれ堆積物に相当する。施工前の地質調査結果より、基質は未固結・半固結の地質であり、掘進に伴い出現する最大礫径は $\phi 1,200$ mm程度と予測されたが、地山中に不規則に存在する岩塊把握は非常に困難であった。このため、事前に岩塊を地上から撤去する方法で

はなく、シールド側で対応することを前提に対策を講じた。

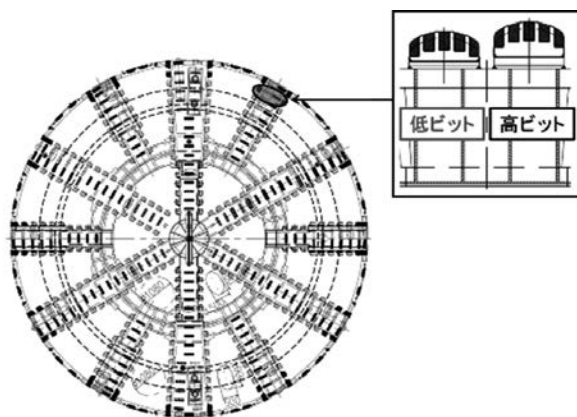
シールド側の対策では、 $\phi 1,200$ mm程度の礫の取り込みを可能とするスクリーコンベアを装備することに加えて、カッタフェイス側においても一部のビットの配列を並列かつビット同士に段差をつけることで設置した。それにより、片方のビットが摩耗の限界に達した場合でも、もう一方のビットを用いて継続的な掘進が可能とした(図—3)。また、ビット本体に超合金チップを組み込むことで岩塊対策とした。

3. シールドが掘進停止に至った経緯

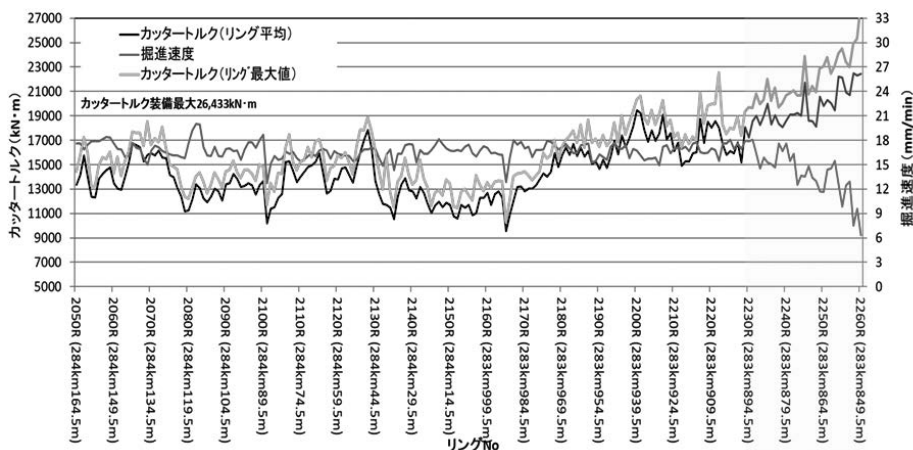
平成31年4月からシールド掘進を開始し、平均月進約140mで順調に進捗していたが、令和3年6月中旬に掘進していた2,230R付近から噴發現象が度々発生し、塑性流動性が不足していることを懸念したため、チャンバ内へ加水することで流動性を高めることに努めて、掘進を行った。また、同時にこの頃からカッタトルクは上昇傾向にあり、掘進速度も低下していた状況である(図—4)。カッタモーターの油温上昇を



写真—1 シールド



図—3 カッタフェイス構造上の工夫



図—4 カッタトルク値、掘進速度の遷移状況

受けて、温度低下させるために停止と掘進を繰り返し、頻繁に配管清掃も行いながら何とか試行錯誤のうへ掘進を試みたが、坑口から約 3.4 km 地点の 2,263 R でカッタが回転不能となり、シールドは停止した。
※ SENS ではリング管理を行っている (1 R=1.5 m)

4. 岩塊出現と NATM 掘削計画

掘進停止位置前方から新たに地上から地質調査ボーリングを実施した結果、カッタフェイス周辺のボーリングコアから、10 m を超える安山岩塊層が確認された。その一軸圧縮強度はコンクリートの約 5 倍の約 150 MPa と、非常に硬質であった。岩塊の大きさは当初想定していた岩塊径 $\phi 1,200$ mm からは大きくかけ離れ、想定以上の岩塊に遭遇していたことが明らかとなった。その後実施したシールド周辺の追加地質調査結果や現地の施工性等を踏まえて、岩塊撤去方法を検討した。地上部から撤去する方法や停止位置から約 430 m 離れた立坑からの NATM 迎え掘りによる方法を踏まえて比較検討し、結果として本坑から小断面 NATM トンネルを迂回掘削する案を採用した (図—5)。

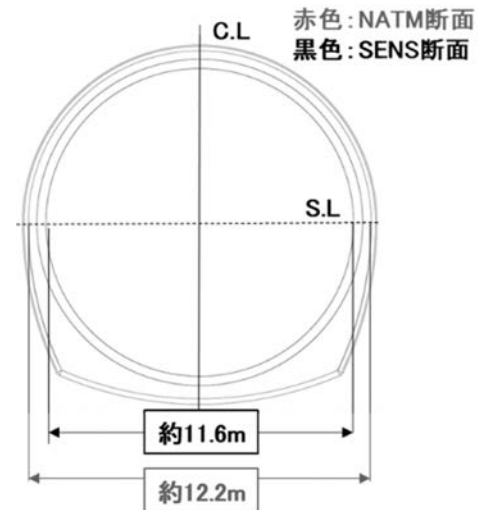
5. 岩塊撤去実績

(1) 概要

NATM 掘削は令和 4 年 3 月から準備工を開始し、同年 4 月から坑口工および導坑部の掘削作業を開始、同年 11 月から本坑での岩塊掘削を開始した。本坑の掘削断面は、将来埋戻しを行った後に再度シールドで掘進することを考慮し、トンネル断面の S.L (スプリングライン) 位置でシールド外径より片側約 300 mm 大きい内空断面 (図—6) とし、カッタフェイス全体

を覆う岩塊を撤去する方針とした。

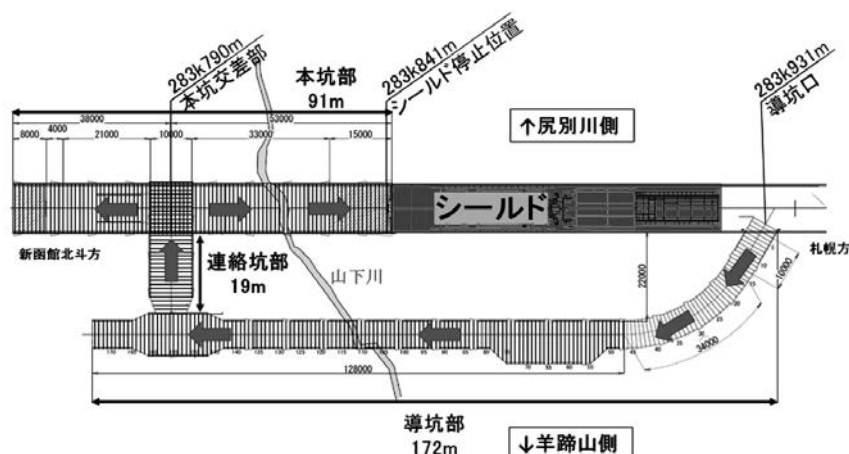
安山岩塊が出現し始めたのは、カッタフェイス約 15 m 手前の山下川直下を横断した頃からである。掘削が進行して、火山灰質土主体の地山から安山岩を主体とする地山に変化し、カッタフェイス前までの区間では、緻密で硬質な安山岩が群として山積みに存在し、岩塊径は最大で約 4 m 級と巨大であった。硬質



図—6 NATM 断面サイズ比較

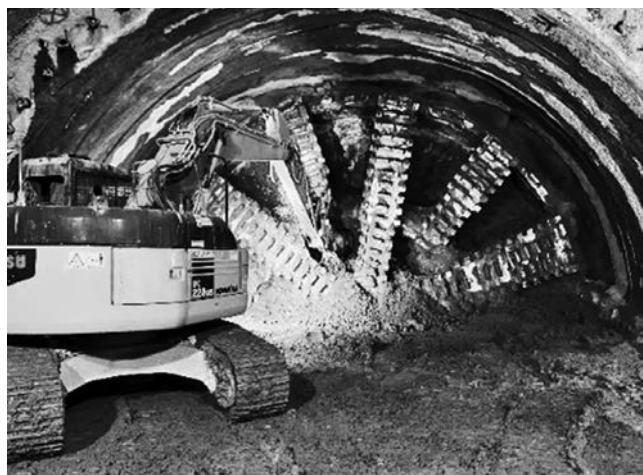


図—7 岩塊撤去イメージ



図—5 岩塊撤去のための小断面 NATM 掘削ルート

な岩塊群を割岩して掘削する上で、シールドへの影響を極力低減するため、火薬と比較して低振動で破碎できる膨張圧を用いた非火薬破碎剤を併用しながらブレイカー掘削機で撤去した（図—7）。カットフェイス前の岩塊は非火薬破碎剤を使用せず、慎重にブレイカー掘削のみで隅々を撤去し（写真—2）、カットフェイス手前約15m区間の岩塊群の掘削のみで約3箇月を要して、無事に完全撤去を完了させた（写真—3）。



写真—2 カットフェイス前岩塊撤去状況



写真—3 岩塊撤去完了

(2) 岩塊群撤去に伴う課題と対策

岩塊群撤去に伴い大きく3つの課題が存在し、その対策を行った。

(a) 大断面掘削

将来、岩塊群撤去および埋戻し後に改めてシールドで掘進することを考慮し、緻密で硬質かつ巨大な岩塊群が分布する範囲をシールド断面より大断面で掘削する必要がある、断面を大きく3分割して施工することとした。また、確実に岩塊群を撤去しながらも、掘削土量を極力縮減するためにも、カットフェイスへ向けて徐々に断面を切り広げるように掘削を行った（図—7）。

(b) 岩塊群の崩落

岩塊群の崩落を防止するため、高規格鋼管を用いたAGF打設による対策を行った。トンネル断面外へ広がる山積み状態の岩塊群に向けてAGFを適切に岩塊へ定着させ縫い付け、「確実に鋼管の屋根を組み上げる」ことで、岩塊の崩落を防ぐ対策とした。また、基質部および空隙を適切に充填するため、注入剤はシリカレジンを採用した。

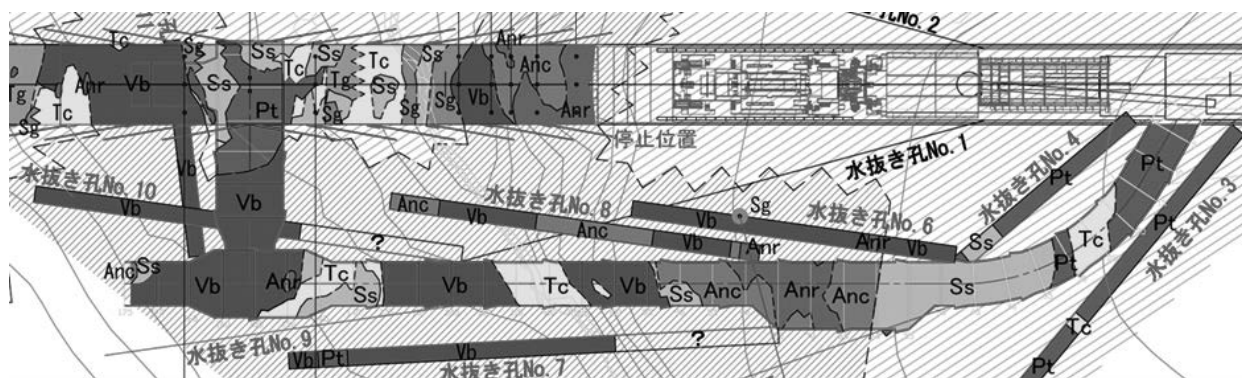
(c) 岩塊群掘削時のシールドへの影響

シールドは硬質な岩塊を噛み込んで停止しており、カットフェイス付近の岩塊群掘削時には、シールドへの影響を与えないよう、こまめな非火薬破碎剤の薬量調整と慎重な掘削が求められ、掘削作業と同時に機内の振動計を用いて確認しながら撤去作業を行った。

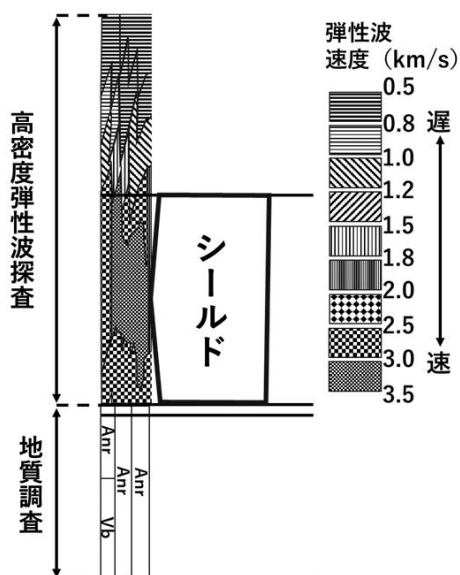
6. 今後の掘進に向けた知見

今回の岩塊撤去に伴って得られたSL付近の地質実績を図—8に示している。今回撤去した安山岩礫（Anc）、安山岩岩塊（Anr）に着目すると、その付近には火山角礫岩（Vb）が分布している傾向にある。

また、シールド停止位置での地質調査ボーリングと地盤の硬軟を確認する高密度弾性波探査結果を重ね合



図—8 小断面 NATM 掘削で得られた SL 付近の地質実績



図一 9 高密度弾性波探査結果および地質調査結果の関係性

わせたところ、カットフェイス前では、弾性波速度が 1.8 ～ 3.5 km/s と羊蹄トンネル区間の地質調査結果の中では、比較的速い結果（図一 9）となり、同時に比抵抗値は周辺の値が 10Ω 程度に対して、局所的に 500Ω 以上と高い傾向にあった。今後羊蹄トンネル全線のうち、未掘削区間を調査、解析する上で貴重な知見であるため、検討を深度化し参考とする。

7. おわりに

羊蹄トンネル（比羅夫）他工区では、令和 3 年 7 月に掘進中にシールドが緻密で硬質な安山岩塊群に遭遇したことで停止した。その後、岩塊群の撤去に向けた様々な調査、検討を実施し、NATM による迂回掘削することで岩塊群の撤去を完了した。令和 5 年 11 月末には、ようやくシールドを再発進させ、現在は掘進管理に重点を置き、掘進中の振動状況やカットトルク値の増減、排土状況等を綿密に確認しながら掘進中である。

J C M A

《参考文献》

川西健之：北海道新幹線羊蹄トンネル（比羅夫）の SENS 施工に伴う機械設備、建設施工協会、pp.44-49、2023.2

〔筆者紹介〕

生越 亮（おごせ りょう）
 独鉄道建設・運輸施設整備支援機構
 北海道新幹線建設局 ニセコ鉄道建設所
 担当副所長

