

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

川西 健之

SENS（シールドを用いた場所打ち支保システム）は、東北新幹線三本木原トンネルで開発された工法である。

採用実績としては今回工事が国内5現場目であり、当社は初めて施工に携わり機械設備計画を実施した。

SENS 特有の機械設備について紹介し、その中で後続台車設備の計画について紹介する。

キーワード：SENS, シールド機, 後続設備, 機械設備, 車輪盛替

1. はじめに

北海道新幹線の羊蹄トンネルは、新函館北斗・札幌間（約 212 km）のうち、ニセコ町と倶知安町にまたがる延長 9,750 m のトンネルである（図-1）。このトンネルは起点方の有島工区（延長 4,181 m）と終点方の比羅夫工区（延長 5,569 m）の2工区で施工され、当社は比羅夫工区を施工する（図-2）。本トンネルは、羊蹄山西側のすそ野に位置し、羊蹄山の噴火活動に伴って形成された複雑な地層が広がり、豊富な地下水を有しているため、切羽の不安定化が想定されること及び周辺の水利用への影響が懸念されることから、SENS を採用している。



図-1 位置図

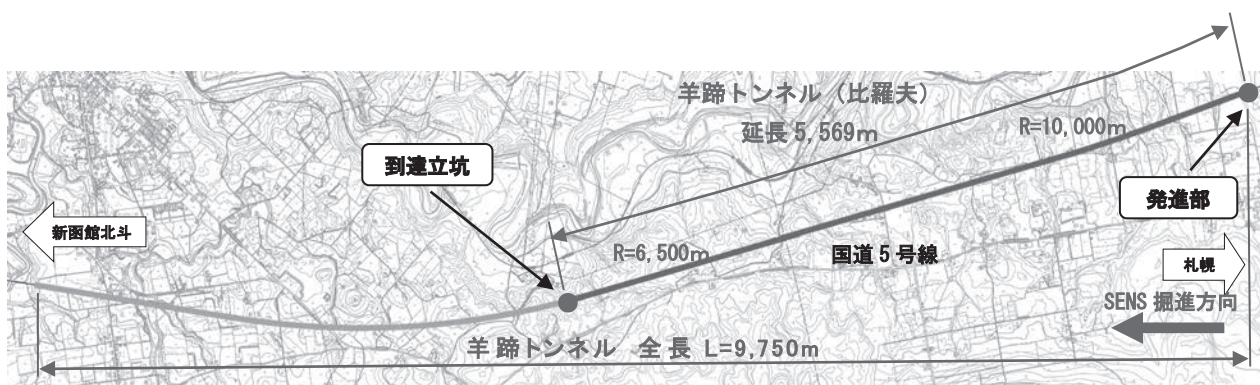


図-2 羊蹄トンネル平面図

2. 工事概要 (表—1)

表—1

工事名	北海道新幹線, 羊蹄トンネル (比羅夫) 他	
工事場所	北海道虻田郡ニセコ町地内及び倶知安町地内	
工事期間	2016年12月6日～2024年8月5日 (92ヶ月間)	
発注者	独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北海道新幹線建設局	
施工会社	奥村・日本国土・札建・山田 特定建設工事共同企業体	
工事内容	シールド製作工 (φ11.56 m, 泥土圧)	1式
	掘進工・一次覆工・二次覆工	5,491.4 m
	下部コンクリート工	5,491.4 m
	路盤工	5,491.4 m
	開削トンネル (坑口部)	60 m
	到達工	1式
	川道付替	1式

(1) 地質地盤

トンネル掘削断面は、羊蹄山の火山噴出物が複雑に堆積した地質で、主に岩屑なだれ堆積物が堆積し、安山岩岩塊の混在が優勢な地層と岩塊や火山灰質砂、シルト等が混在する地層から構成された不連続的な地層である。

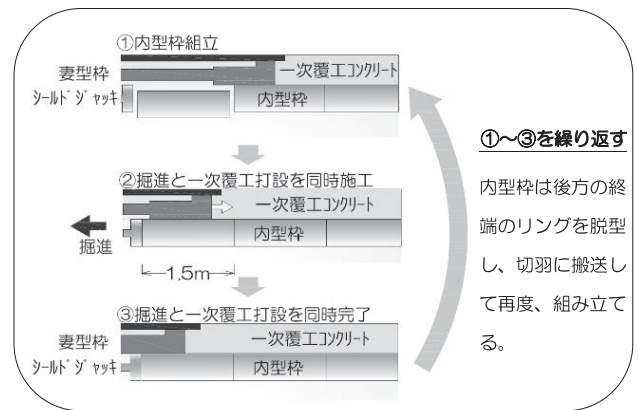
(2) SENS

SENSは、「密閉型シールド機により切羽を安定させながら地山を掘削 (Shield) するとともに、シールド掘進と並行してシールドテール部で一次覆工となる場所打ちコンクリートライニングを構築 (ECL) してトンネルを支保し、一次覆工の安定を計測により確認した後、二次覆工を施工 (NATM) してトンネルを完成させる工法 (System)」であり、それぞれの頭文字を取って「SENS」と呼ぶ。

3. 一次覆工打設設備

(1) 打設方法と設備

SENSのシールド機は掘進しながらテール部で妻型枠よりコンクリートを打設して一次覆工を構築するための設備を有しており、通常のシールド機に無い設備



図—3 掘進・組立・打設の施工サイクル

である。

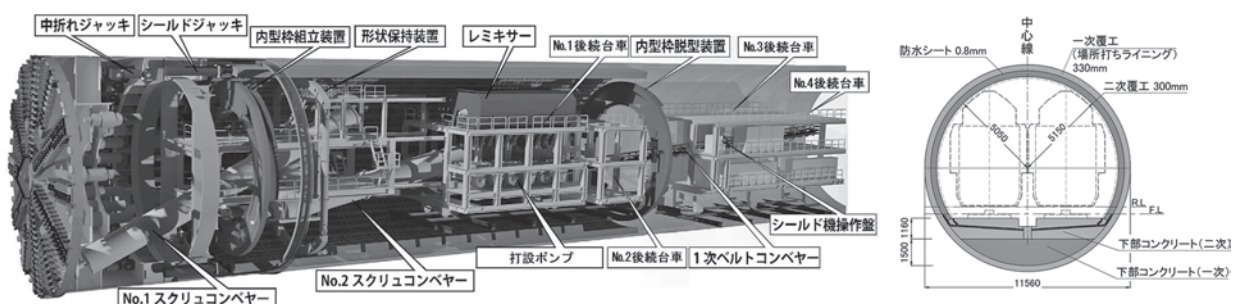
図—3に掘進・組立・打設の施工サイクルの模式図、図—4にSENSのシールド機と後続設備の概要図を示す。

シールド機は、強度が発現した一次覆工コンクリートと内型枠の付着力をもとに、内型枠をジャッキで推すことで推力を得る。内型枠の幅1.5mを掘進すると同調して、地山と内型枠の間に生じる空間にコンクリートを打設するが、その際、切羽土圧に予備圧を加えた圧力で打設圧を管理し、地山を保持しながらコンクリート打設を行う。コンクリート打設完了後、坑口最後方の内型枠を外し、切羽側へ移動・組立をして、再度掘進する。SENSの施工は、以上のサイクルを繰り返して行う。

SENSでは一次覆工コンクリートを打設する機械設備が特徴である。コンクリートを扱う条件としては硬化させないために3交代制で連続的な施工が必要となる。

一次覆工コンクリートは現場に設けた24時間稼働するバッチャープラントで製造され、ミキサー車で坑内運搬し、後続台車後方で受け取り妻型枠から打設される。

後続台車には以下のコンクリート打設設備が必要である。



図—4 SENS シールド機と後続設備

①一次圧送ポンプ

トラックミキサー車から受けたコンクリートをレミキサーまで8B配管で圧送するポンプ。

②レミキサー

一次圧送ポンプで送られたコンクリートを約6m³ストックし、12系統のピンチバルブから個々の2次圧送ポンプホッパーへシューターで生コンを分配する。

③打設ポンプ

掘進速度に同調させて12系統の3B配管から妻型枠打設口へコンクリートが圧送され一次覆工コンクリートのトンネルが構築される。

④流量計, 圧力計

12系統の配管ラインに設置し打設制御を行う。配管はコンクリートの骨材による摩耗が想定されるのですべてスケジュール管(肉厚管)を使用した(図-5参照)。

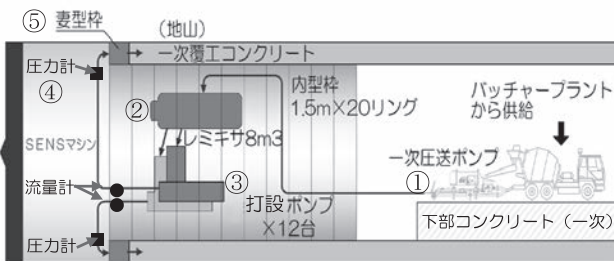


図-5 一次覆工コンクリート打設フロー

⑤妻型枠

妻型枠打設口からコンクリートが打設される。シールド機テール部の配管と妻型枠を示す(写真-1参照)。

打設配管は円周上に12系統配置されている。

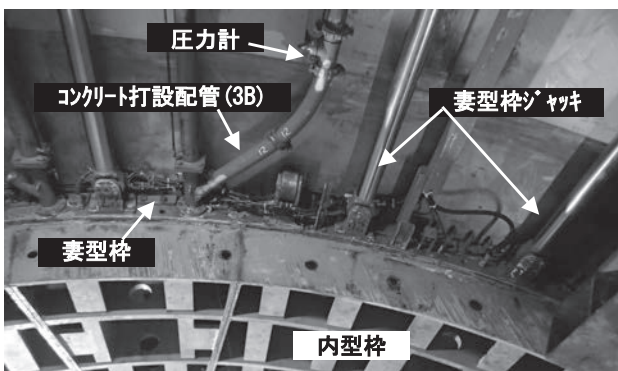


写真-1 妻型枠装置

(2) 一次覆工コンクリート要求性能

SENSに用いる一次覆工コンクリートは以下の要求

性能を満たす必要がある。

- ①地山と内型枠の間に隙間なく充填可能な流動性
- ②配管内に一定時間滞留可能で、長時間にわたり断続的な圧送が可能なフレッシュ保持性
- ③小口径の3吋配管を圧送可能なポンプ圧送性
- ④コンクリートポンプによる圧送、充填時の加圧により材料分離しない材料分離抵抗性
- ⑤被水圧条件下でも打設可能な水中不分離性
- ⑥シールド機の推進反力を早期に確保し、内型枠の脱型が可能な強度発現性

本工事では、最大水圧540kPaの高水圧下でのコンクリート充填が条件である。各種基本性状実験を実施し、施工条件に適合した要求性能(表-2)を有する配合を選定した。

表-2 一次覆工コンクリート要求性能

流動性	フレッシュ保持性	ポンプ圧送性	
練上がり時 スランプフロー 650±50mm	4時間後50cm フロー到達時間 27秒以上180秒以下	3インチ配管で 30mの距離に 5m ³ /hを打設可能	
材料分離抵抗性	水中不分離性		
圧送及び充填時に 材料分離しない	pH 12.0以下	懸濁物質量 500mg/ℓ以下	
強度発現性			
圧縮強度	小土被り	最大土被り	大土被り
24時間 (脱型時)	15 N/mm ²	30 N/mm ²	20 N/mm ²
28日(完成時)	30 N/mm ²	40 N/mm ²	30 N/mm ²

4. 後続台車設備

(1) 後続台車の構成

SENSを施工するのに必要な機器設備を各台車に搭載しシールド機後方に後続台車として牽引させている。当現場の後続台車設備の全長は約98mである。各後続台車の搭載機器は以下の内容で構成される(図-6参照)。

1) No.1 後続台車

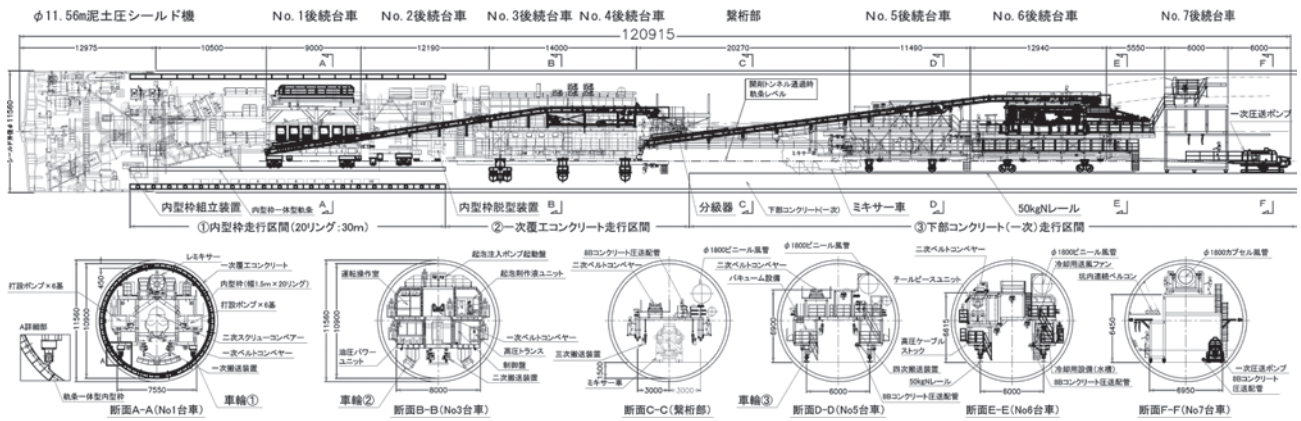
一次覆工コンクリートを打設する設備でレミキ



写真-2 レミキサー



写真-3 打設ポンプ



図一六 後続台車計画図

サー、打設ポンプ、台車牽引ジャッキを搭載している(写真一2, 3)。

2) No.2 後続台車

内型枠を脱型するための脱型装置を搭載し、脱型時に装置旋回、把持の作業を行う。安定した状態で脱型作業を実施するためにNo.2後続台車を内型枠に上下左右方向へ反力ジャッキで押さえつける設備を搭載する。掘進中は1.5mの掘進ストロークに対し、No.1後続台車とNo.2後続台車の間に4本の台車牽引ジャッキを配置しており、掘進に同調して伸びの制御を行う。掘進中はNo.1後続台車から前方がシールド機に牽引され一緒に進み、それ以降は置いていく。このことで掘進中にも内型枠は脱型作業が可能となる。掘進終了後にはNo.2後続台車の反力設備を縮めて台車牽引ジャッキを1.5m引き戻し、後方のすべての後続台車を一緒に前進させる。

3) No.3, No.4 後続台車 (一体型)

シールド機操作運転室、シールド機油圧ユニット、シールド機制御盤、受電設備高圧トランス、気泡注入設備、高分子注入設備、中圧コンプレッサー設備、清水タンクを搭載する。

4) 繋析部

下部コンクリート(一次)を打設するための区間として約20mの長さとする。トラックミキサー車からシュート、生コンパケットにより打設を行う。

岩塊対応分級器を一次、二次ベルトコンベヤーの間

に配置する。岩塊が排土された場合、約300mm以上は分級され礫箱で回収し別途運搬処理する(写真一4, 5)。

5) No.5 後続台車

一次ベルトコンベヤー制御盤、固結滑材注入設備、気泡剤、高分子剤サブタンク、バキューム設備を搭載する。

6) No.6 後続台車

連続ベルコンテールピースユニット、制御盤、送気用ファン、冷却設備、清水槽、給水ユニット、高圧ケーブル・計装線延伸分ストックを搭載する。

7) No.7 後続台車

φ1,800ビニール風管長尺100mを収納したカプセル風管を搭載する。

8) 一次圧送ポンプ

トラックミキサー車より供給されたコンクリートをレミキサーへ圧送するためのポンプを後続台車最後尾に配置する(写真一6)。



写真一四 分級器設置図



写真一五 分別状況



写真一六 一次圧送ポンプ

(2) 車輪構造

シールド機後方の後続台車を走行させるには、車輪と軌条が必要であるが、SENSの後続台車の車輪は3タイプの車輪構造が必要である(写真一7)。

①内型枠区間

一次覆工コンクリートを打設時に型枠、養生時間を

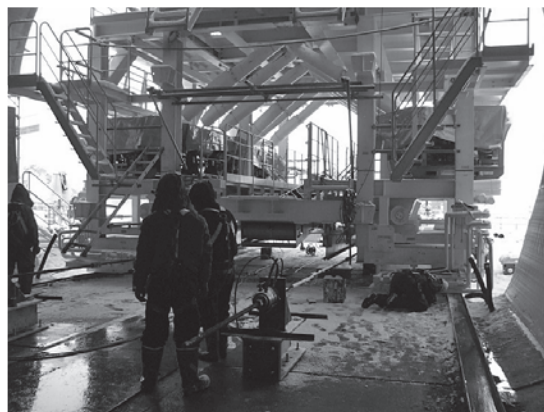
考慮して型枠の数量が決める。内型枠は組み立てたのち、脱型して繰り返し討手がえしして使用されるので内型枠組立装置と内型枠脱型装置の位置は内型枠の数量で位置が決定されている。No.1, No.2 後続台車は内型枠区間にラップするので内型枠内を走行できる軌条が必要であり、内型枠一体型の軌条を片つば車輪で走行する。

②一次覆工コンクリート区間

内型枠を脱型した後方を走行する No.3, No.4 後続台車は、脱型直後の湾曲した一次覆工コンクリート面を直にウレタン車輪で走行する。

③下部コンクリート（一次）区間

No.4 と No.5 後続台車の間は約 20 m の桁材で繋ぎ、この区間で下部コンクリート（一次）を打設して延伸させる。打設して硬化が確保できたのち、その上に軌条を敷き車輪走行させる。当現場では 50 kgN レールのシートパイルレールを延伸させて両つば車輪で走行する。



写真一八 後続台車引込状況



写真一九 初期掘進発進時後続設備全景写真



①内型枠区間車輪



②一次覆工区間車輪



③下部コンクリート区間車輪

写真一七 車輪種類



写真一〇 投入開口状況



写真一一 投入状況

たされてしまうので後続台車後方からは資機材を取り込むことができない。よって、シールド機反力材の隙間より、資機材を投入させた（写真一〇～一一）。

車輪②区間のウレタン車輪について投入取り付け手順を説明する。ウレタン車輪は後続台車の重量により配置位置で異なり 2 種類を使用した。No.3, 4 後続台車は一体型で総重量が約 300 t あり、前方に大きな力が掛かることから前側にはボギー車輪（2 輪）とし後方部は 1 輪の、全 6 ヶ所で受ける配置としている。ボギー車輪は総重量約 8 t あり、初期掘進用のトラバサで前送りし、後続台車の底板部に H 鋼材（H-400×400）を設置、プレントロリー、3 t チェーンブロックで吊上げ、姿勢制御してボルト締結した。狭い空間での作業となり、以下の写真の手順で慎重に作業を進めた（写真一〇～一七）。

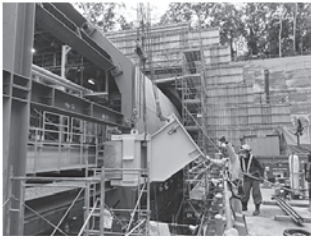
(3) 開削トンネルからの掘進開始

シールド機の発進方法は立坑からの発進ではなく、山裾に坑口リングを設け、開削トンネルを 36 m 構築したトンネル内を通過する地上発進方法である。

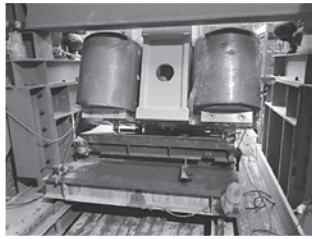
後続台車は円形断面で計画するが、開削トンネルは下半分には本設のインバートコンクリートが施工されているので本来の車輪は設置ができず、仮にチルトタンクを配置し前送りさせ、空間ができた場所で全ての車輪を履き替えた（写真一八）。

(4) 車輪盛替え

初期掘進時では開削トンネルの断面を後続台車で満



写真一12 車輪投入状況



写真一13 車輪引込状況①



写真一14 車輪引込状況②



写真一15 車輪設置状況①



写真一16 車輪設置状況②



写真一17 車輪設置完了

5. おわりに

本工事は2019年4月より掘進を開始し、2021年3月に月進258mを達成した。2021年7月には約3,400mまで掘削したが、同7月に10mを超える規模の岩塊に遭遇し現在は掘進を中止している。2022年3月からは岩塊の撤去に向けた工事を実施している。

2023年度下期の再発進に向け、難しい課題が山積しているが、無事故・無災害で到達を目指し工事を進めて行く。

JCMA

【筆者紹介】

川西 健之（かわにし たけゆき）

㈱奥村組

奥村・日本国土・札建・山田特定建設工事共同企業体

羊蹄トンネル工事所

副所長

