

北海道新幹線 津軽蓬田トンネル (SENS 工法)の施工

玉井 達毅

北海道新幹線（新青森～新函館（仮称）間）津軽蓬田トンネルにおける地質は、未固結な砂を主体とする蟹田層が基盤である。蟹田層を対象とした過去のトンネル施工記録では、土砂崩壊や流砂事故が数多く発生しており、本トンネルにおいても切羽の不安定化が予想された。そのため、安全性、施工性および経済性に優れた SENS（シールドを用いた場所打ち支保システム）による機械化施工を採用することとした。SENS を採用するのは東北新幹線（八戸～新青森間）の三本木原トンネルに次ぐ 2 例目である。

本報では津軽蓬田トンネルで採用された SENS の工法において、三本木原トンネルからの改善点及び地上発進について紹介する。

キーワード：山岳トンネル，場所打ちコンクリート，泥土圧式シールド，発進方法

1. はじめに

北海道新幹線新青森・新函館（仮称）間は、東北新幹線をさらに北へ延伸する工事で、2015 年度末の完成を目標に現在建設中である。建設区間のうち、津軽蓬田トンネル（延長 6,190 m）の通過する地層は、未固結砂を主体とする非常に流砂を生じ易い砂層で、かつ、地下水位以下である。

このような地質を有する津軽蓬田トンネルの施工では、掘削切羽の安全性を確保するため、「シールドを用いた場所打ち支保システム」（以下 SENS）により施工を行っている。

本報は、津軽蓬田トンネルで採用した SENS に関し、高速掘進や長距離施工に対応した各種改良点及び地上上部での SENS マシン発進方式について報告するものである。

2. 津軽蓬田トンネルの地質概要

津軽蓬田トンネルの地質縦断図を図-1 に示す。掘削対象地質は、未固結な砂を主体とする蟹田層が基盤である。蟹田層は地質的特徴から、蓬田部層、瀬辺地部層、砂川沢部層に分類される。蓬田部層は、全体的に固結度が低く帯水層となっており、層相は側方または上下方向に大きく変化する特徴を有する。瀬辺地部層は、軽石質凝灰岩と中・細粒砂の薄互層によって特徴付けられる。砂川沢部層は、全体として均質で塊状無層理の固結した砂岩層からなる。

地下水位は概ねトンネル天端以上であり、高いところでは天端 + 40 m 程度になる。また、透水性の小さい凝灰岩やシルト岩の薄層が不規則に存在し、層境の地下水位に対しては、十分な水抜き効果が得られにくいと想定される。

蟹田層の特徴的な地質データを図-2 に示す。粒度分

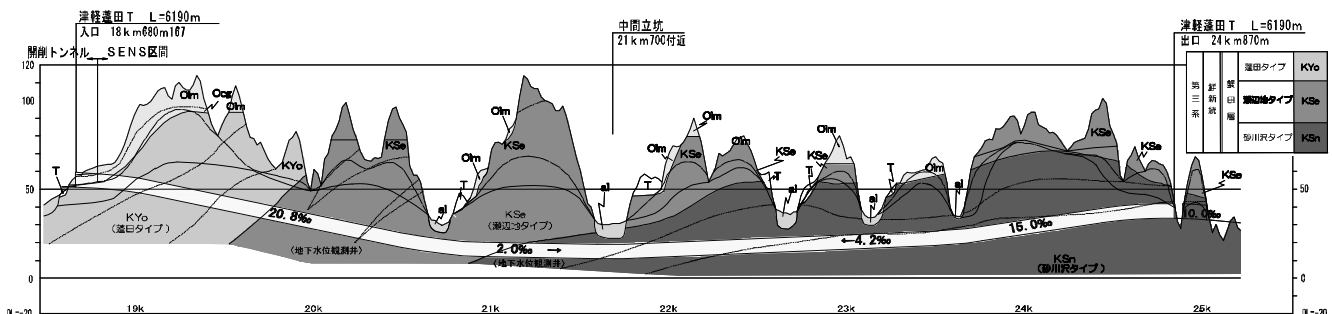
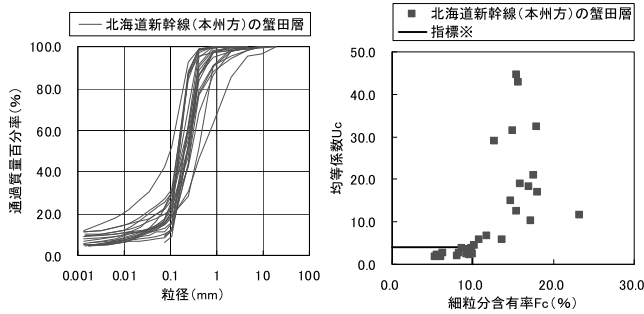


図-1 トンネル地質縦断図



図一 2 津軽蓬田トンネル地質データ

布や細粒分含有率および均等係数から判断し、蟹田層は地山の流動化を生じやすい地質条件であると考えた。

3. SENS の概要

以上の土質工学的な特性を踏まえ、経済性および工期等を総合的に検討した結果、同様の地質条件を有する東北新幹線三本木原トンネルにおいて実績のある、SENS を採用することとした。

SENS とは、密閉型シールドにより掘削及び切羽の安定を図り、シールド掘進 (Shield) と並行して一次覆工となる場所打ちコンクリートライニング (ECL) によりトンネルを支保し、一次覆工の安定を計測により確認した後、漏水処理工と力学的機能を負荷させない二次覆工を施工 (NATM) してトンネルを完成させる工法 (System) であり、それぞれの頭文字から『SENS』とよんでいる¹⁾。

- ・ Shield Tunneling Method (シールド工法)
- ・ Extruded Concrete Lining (ECL 工法)
- ・ New Austrian Tunneling Method (NATM)
- ・ System

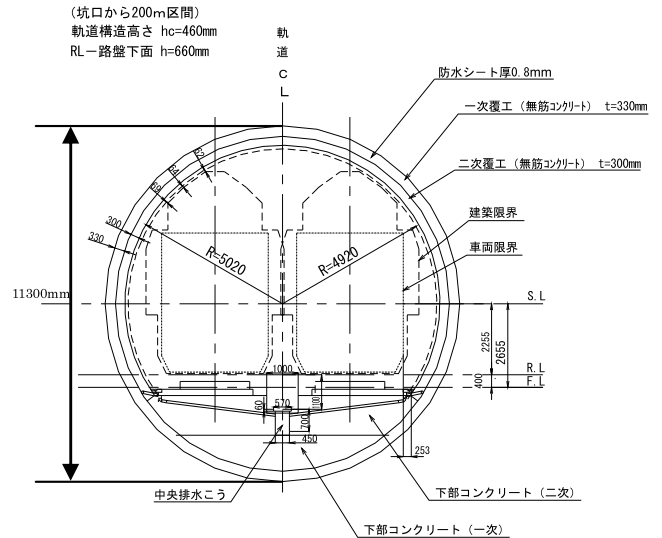
三本木原トンネルでは、安全性、施工性、経済性に優れた工法であることを実証し、『2006 年 土木学会技術賞』や『第 37 回日本産業技術大賞審査委員会特別賞』を受賞している。

(1) SENS 断面

津軽蓬田トンネルは新幹線複線断面トンネルであり、平面線形は全区間直線である。

内空径は建築限界に、供用後の保守設備設置等に必要余裕 50 mm と施工余裕 100 mm (蛇行余裕 + 変形余裕) を加味し、10,040 mm としている。

トンネル掘削径は、二次覆工厚は新幹線トンネルの無筋区間の二次覆工厚を参考に 300 mm、一次覆工厚は三本木原トンネルと同じ 330 mm とし 11,300 mm としている (図一 3)。

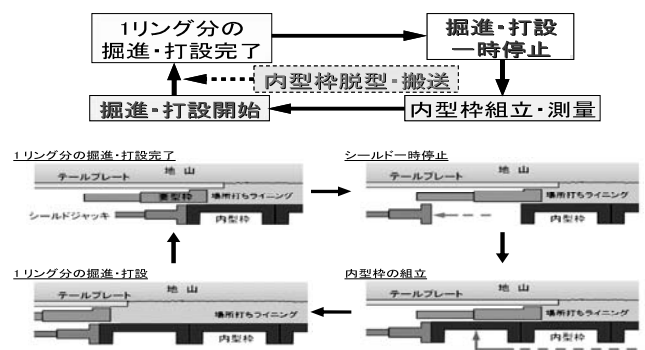


図一 3 SENS 断面図

(2) SENS の掘進機構

図一 4 で示すように SENS の掘進メカニズムは、マシン後方に組立てた内型枠と地山との間に形成される空間に場所打ちによる一次覆工コンクリートを打設しながら掘進する。この一次覆工コンクリートは地山の土水圧に抵抗するため圧力を保持して打設される。30 本の推進ジャッキにより内型枠に推進力を伝え、硬化した一次覆工コンクリートと内型枠との付着力を反力として掘進が行われる。

内型枠は、1 リング 10 ピースからなり、16 リング (予備リングを除く) 搭載され、後方で脱型した内型枠は、掘進に合わせて 1 リングずつ前方で組立てられ、順次転用される。



図一 4 SENS の掘進機構

4. 津軽蓬田トンネルにおける SENS の改良点

三本木原トンネルでは、SENS による平均月進 109.6 m が実績として得られている。津軽蓬田トンネルでは施工速度の向上、品質確保・施工性の向上、長距離施工の対応のため、各種機械設備の改良を行っている。

津軽蓬田トンネルにおけるマシンの仕様を図-5および表-1に示すとともにシールド設備に関する主な改良点を以下に記載する。

表-1 SENS マシンの主な仕様

項目	仕様
シールド形式	泥土圧式シールド、外径φ11,300 mm
装備推力	105,000 kN (3,500 kN×30本)
中折装置	V型フラット中折式
カッタヘッド形式	スポークタイプ (メイン6本、補助6本)
カッタトルク	常用 22,108 kNm ($\alpha=15.3$) 最高 26,529 kNm ($\alpha=18.4$) インバータ制御
カッタビット	メインビット、特殊先行ビット、 フィッシュテール、 コピーカッタ×3基(内2基予備) レスキュービット×1基(予備)
スクリュウコンベヤ	内径1,200 mm、最大排土能力432 m ³
土圧計	チャンパ隔壁部7箇所
妻型枠	加圧式妻枠 外径φ11,160 mm、内径10,640 mm 装備推力 420 kN×18本 打設孔 3B×12箇所
内型枠	軸方向挿入・脱型式 装備数 16基(別途予備1基) 外径φ10,640 mm

1) 高速施工への対応

①一次覆工コンクリート打設能力の向上

三本木原トンネルでは6台のコンクリート打設ポンプを装備したが、使用するコンクリートは、水中分離抵抗性を有した粘度の高いコンクリートであるため、掘進速度に対して十分な量のコンクリートを供給することができず、平均掘進速度が15 mm/minに制限さ

れた。津軽蓬田トンネルでは、30 mm/minの掘進速度を確保するため、コンクリートポンプを12台に増設した(写真-1)。



写真-1 コンクリートポンプ

②内型枠の増幅

三本木原の内型枠の幅は1.2 mであったが、津軽蓬田トンネルでは1.5 mに幅を広げるにより連続して施工する距離を伸ばすこと、組立回数を減らすことで施工の高速化を図った。

2) 施工性、品質管理、安全性の向上

①軸方向挿入型内型枠の採用

三本木原トンネルでは半径方向挿入型の内型枠構造であるのに対し、津軽蓬田トンネルでは軸方向挿入型の内型枠構造を採用し、ピース間の接する角度を変えることで、内型枠の組立ボルトに過大な剪断力が働かない構造とした。上記により、長距離掘進による内型枠の繰り返し使用による内型枠の変形を軽減し、安全性の向上を図った(図-6)。

また、リング間及びピース間の目違い等によりキー

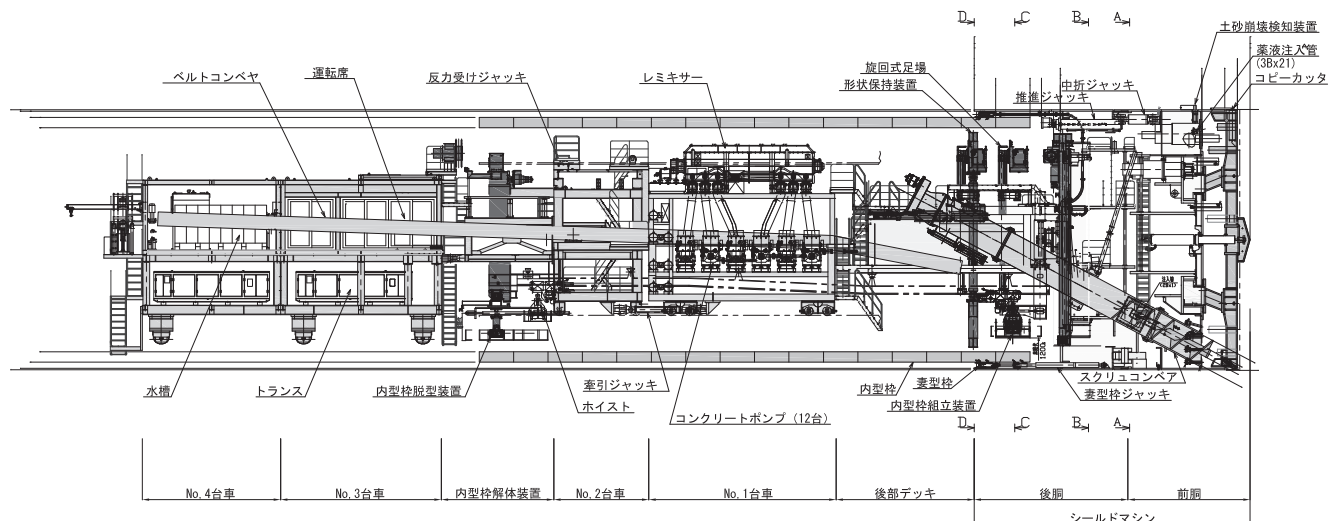


図-5 SENS マシン側面図

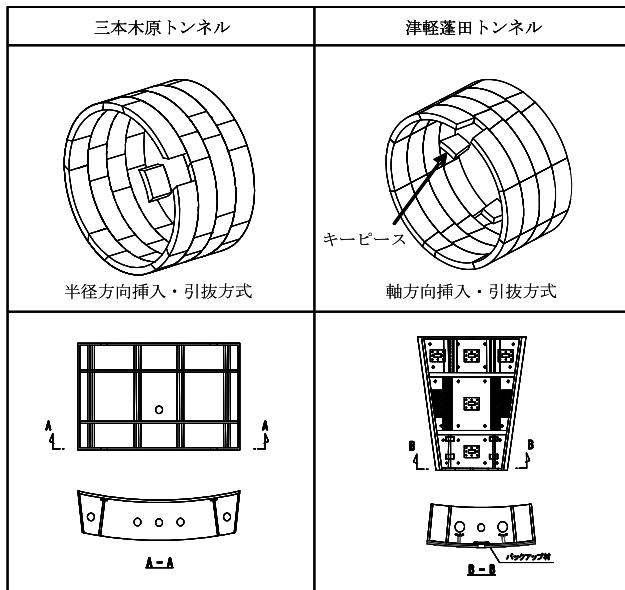


図-6 内型枠の比較

ピースが引き抜けない際の対策として、キーピース背面にバックアップ材を取り付け、バックアップ材を壁面に残して本体ピースを引抜くことができる構造とした。

②妻型枠ジャッキの伸長

妻型枠ジャッキ（写真-2）のストローク長さは、三本木原トンネルでは0.9 mであったが津軽蓬田トンネルは1.6 mと内型枠幅よりも長くすることで、清掃等でのメンテナンス性を向上させた。

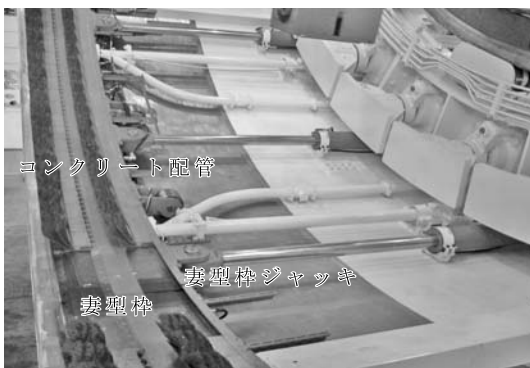


写真-2 妻型枠

3) 長距離施工への対応

①カッタビットライフの長寿命化

カッタモータをインバータ駆動とし、掘進速度に応じたカッタ回転速度を選定することで貫入量（切込み量）を適切に保つことで余分なカッタ回転をなくし、摩耗量を低減した。

カッタビットの材質は一般的に用いられるE5種（JIS）に対して、約2倍の耐摩耗性を有するE3種（JIS）を採用した。

ビット配置は、シェルビットで30 mm、カッタビッ

トで20 mmの高低差をつけた（図-7）。掘進初期は高ビットが主に掘削して低ビットの負荷を減少させることで坑口より3,000 m付近に設ける中間立坑までのビットライフを確保し、カッタビット交換を予定している。

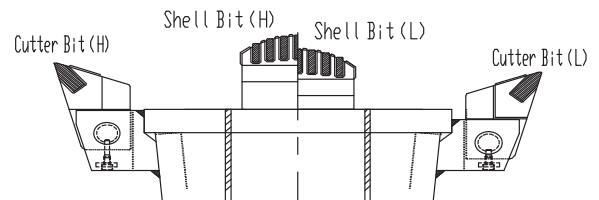


図-7 カッタビット配置

②連続ベルトコンベヤの採用

津軽蓬田トンネルのトンネル延長は6 kmで、三本木原トンネルの2倍である。トンネル延長が長くなることによって、ダンプトラックやトラックミキサ車の走行台数が増えるため坑内環境の悪化や交通災害の発生が懸念された。そこで、ズリだしに連続ベルトコンベヤを採用し搬送車両台数の低減を図った（写真-3）。

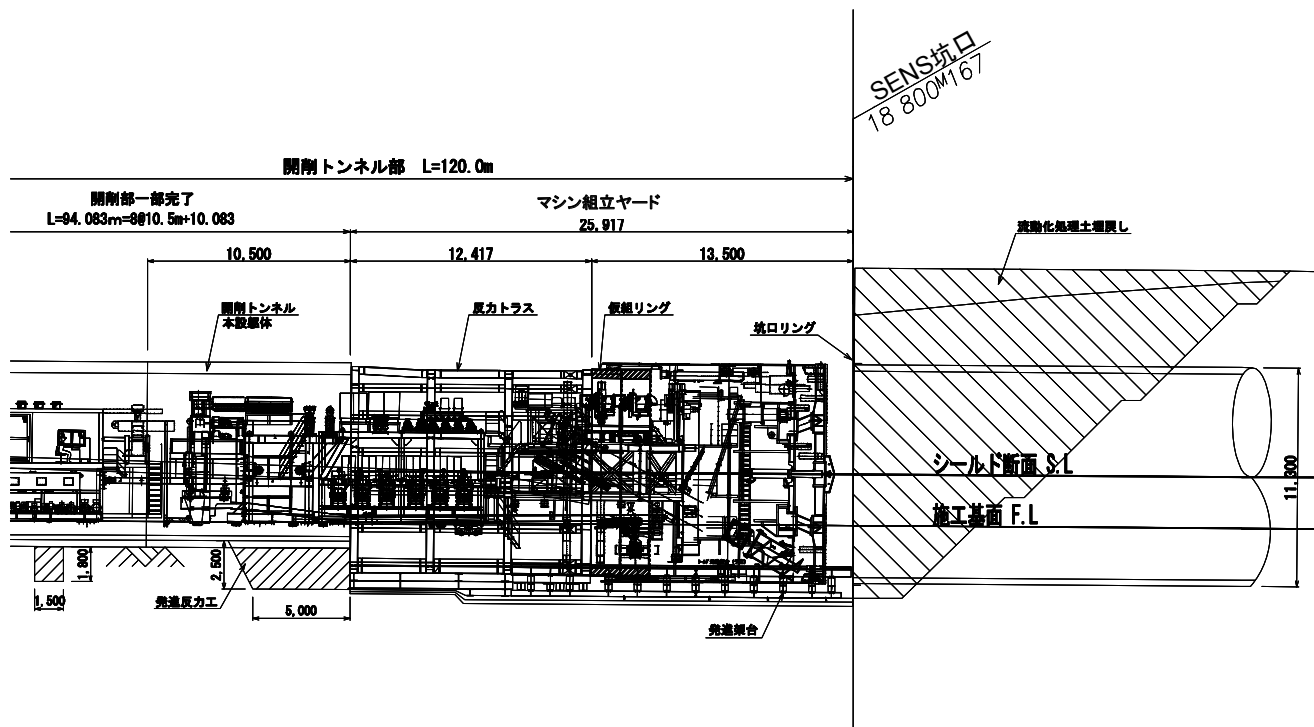


写真-3 連続ベルトコンベヤ

5. SENS マシンの発進方式

津軽蓬田トンネルでは発進方式を地上発進とした。前述したように、掘進中のSENSは後部の場所打ちによる一次覆工コンクリートと内型枠との付着力を反力として推進する。しかし、SENSマシン発進時には反力を得る一次覆工コンクリートが無いためシールド工法と同様に反力壁等を必要とした（写真-4）。

津軽蓬田トンネルでは坑口部の開削トンネル94.5 m分を先行施工し、この開削トンネルの重量による地面と躯体との摩擦抵抗を反力として用いる案が合理的と考えた。しかし、その摩擦抵抗だけでは発進時の推進反力が不足するため、開削トンネル下部底面に突起を設けて、反力を大きくした（図-8）。さらに、開削



図一八 マシン発進部側面図



写真一四 SENS 発進部 (新青森方)

トンネルと SENS 区間の坑口との間のマシン組立で用いたヤードには9リングの仮組リングと呼ばれる仮設の内型枠を構築することによって反力を開削トンネルに伝え推進した。発進部の切削面は、流動化処理土（設計強度 1 N/mm^2 ）で直壁を構築した発進防護工を行い、コスト低減を図った。

6. おわりに

津軽蓬田トンネルでは、未固結な砂を主体とすることから施工の安全性向上のため、SENSを採用した。また、三本木原トンネルの実績を踏まえた各種改良を行いマシンの組立後、無事に発進することができた。

なお、同トンネルは昨年の11月に掘進を開始してから、9月末をもって1,283.9mに到達した。7月の掘進は220.5m/月と三本木原トンネルで記録した最高月進172.8m/月を大幅に更新した。

今後も、安全かつ円滑にさらなる高速施工を目指していきたいと考えている。

JCM/A

《参考文献》

- 1) 飯田廣臣：含水未固結地山におけるシールドを用いた場所打ち支保システムに関する研究，早稲田大学学位論文，平成20年2月

【筆者紹介】

玉井 達毅 (たまい たつき)
 (株)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
 東北新幹線建設局 外ヶ浜鉄道建設所
 主任