

最新工法SENSによる未固結合水地山のトンネル施工実績

—北海道新幹線 津軽蓬田トンネル—

鉄道・運輸機構	青森新幹線建設局	工事二課長	三上美輝雄
鉄道・運輸機構	青森新幹線建設局	工事二課係長	正会員 宮 寄 俊 彦
鉄道・運輸機構	青森新幹線建設局	外ヶ浜鉄道建設所 所 長	正会員 神 田 大
鉄道・運輸機構	青森新幹線建設局	外ヶ浜鉄道建設所 担当副所長	正会員 田 中 淳 寛
鹿島建設(株)	東北支店	津軽蓬田トンネルJV	現場代理人○正会員 西 川 幸 一
鹿島建設(株)	東北支店	津軽蓬田トンネルJV	次 長 正会員 藤 田 浩 一
鹿島建設(株)	東北支店	津軽蓬田トンネルJV	工 事 課 長 正会員 亀 山 好 秀
鹿島建設(株)	東北支店	津軽蓬田トンネルJV	工 事 課 長 正会員 小 林 裕

1. はじめに

津軽蓬田トンネルは、2015年度開業予定の北海道新幹線新青森～新函館（仮称）間の青森県東津軽郡蓬田村から外ヶ浜町に至る延長 6,190mの新幹線複線断面トンネルである（図 1.1.1）。掘削全域が新第三紀鮮新世の未固結及び半固結の細粒～中粒砂層（蟹田層）で、最大水頭 40mと地下水位が高く、切羽が不安定になりやすい地質となっており、最大土被りは 94m、途中 5箇所土被り 5～13mの沢部を通過する（図 1.1.2）。トンネル延長 6,190mのうち、新青森方 120mは開削トンネル区間、以降 6,070mが SENS 区間となっている。

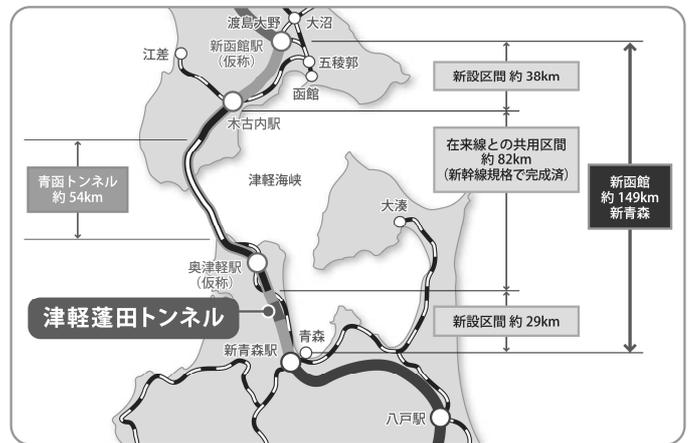


図 1.1.1 現場位置図

標準断面図を図 1.1.3 に示す。

2009年11月から掘進を開始し、中間立坑でのビット交換を経て2012年10月に貫通した。この間の平均月進は190mとなり、三本木原トンネルの実績（109.6m）を大幅に更新した。

また、SENSの発進は、開削トンネルから掘進反力を得て地上発進を行い、到達部においても坑口を防護した上で地上到達を行なった。本報告では、SENSの概要および施工実績について報告する。

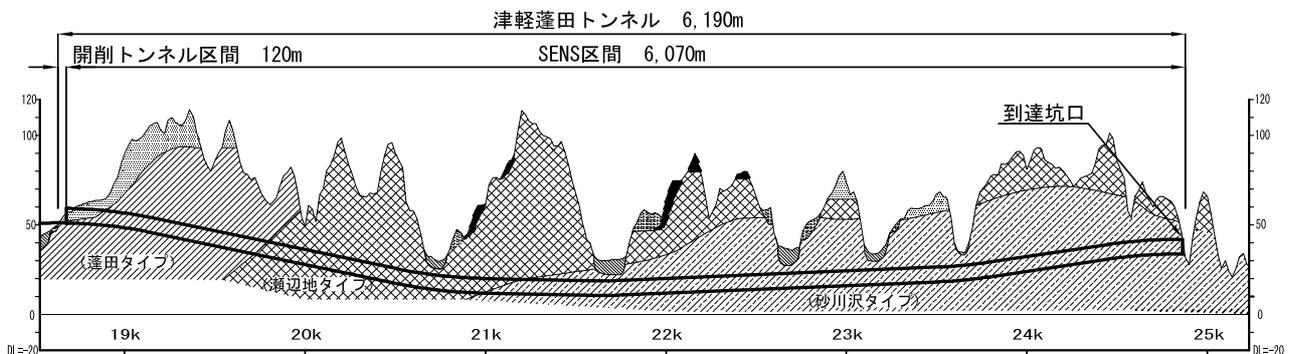


図 1.1.2 地質縦断面図

キーワード SENS、シールド、NATM、ECL、場所打ちライニング、未固結砂層

連絡先 〒030-1211 青森県東津軽郡蓬田村蓬田宮本 40（津軽蓬田トンネルJV内） TEL0174-31-3640

2. 工事概要

2.1 工事概要

工事件名：北海道新幹線、津軽蓬田トンネル他1・2

発注者：(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

施工者：鹿島・鉄建・梅林・田中組共同企業体

工事場所：青森県東津軽郡蓬田村地内

工期：2008(H. 20). 2. 13～2014(H. 26)9. 17

工事延長：6,250m

(開削区間 120m、SENS区間 6,070m、
切土区間 60m)

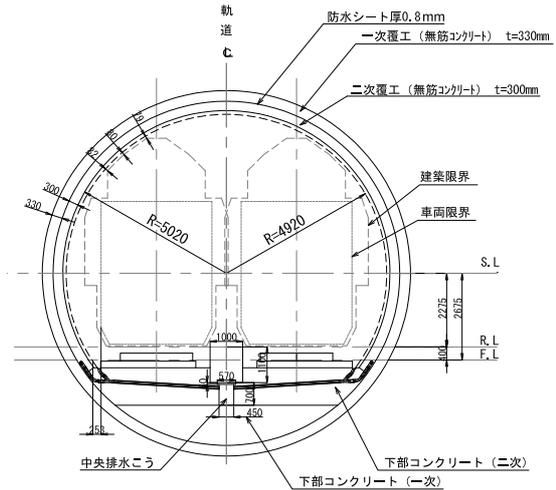


図 1.1.3 トンネル標準断面図

2.2 地形・地質

地質縦断面図を図 1.1.2 に示す。対象区間は未固結な砂を主体とする蟹田層が基盤であり、蓬田タイプ、瀬辺地タイプ、砂川沢タイプに分類される。

蓬田タイプは全体として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がある。瀬辺地タイプは軽石質凝灰岩と中・細粒砂の薄互層となっており、砂川沢タイプは全体として均一で塊状無層理の固結した砂岩層からなる。

蟹田層の一部は細粒分含有率9%、均等係数3.0と非常に流砂を生じやすい砂層である。また、地下水位は概ねトンネル天端以上で、最大水頭は40mである。

2.3 SENSの概要

2.3.1 SENSの概要

SENSは、「密閉型シールドにより掘削およ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、漏水処理と力学的機能を付加させない二次覆工を施工



図 2.3.1 SENS施工概念

(NATM) してトンネルを完成させる工法 (System)」¹⁾ であり、シールド (S)、場所打ちライニング (E=ECL)、NATM (N) を組み合わせたシステム (S) の頭文字をとって命名されている。

場所打ちコンクリートライニングをNATMの一次支保材と同様に位置づけるところにSENS最大の特徴があり、未固結で帯水した砂質土層などの切羽が不安定になりやすい地山に対して、優れた安全性、経済性、施工性を発揮する工法である。SENSの施工概念を図 2.3.1 に示す。

2.3.2 施工設備

SENSの施工設備概要を図 2.3.2 に、設備諸元を表 2.3.1 に、三本木原トンネルとの設備比較を表 2.3.2 に示す。

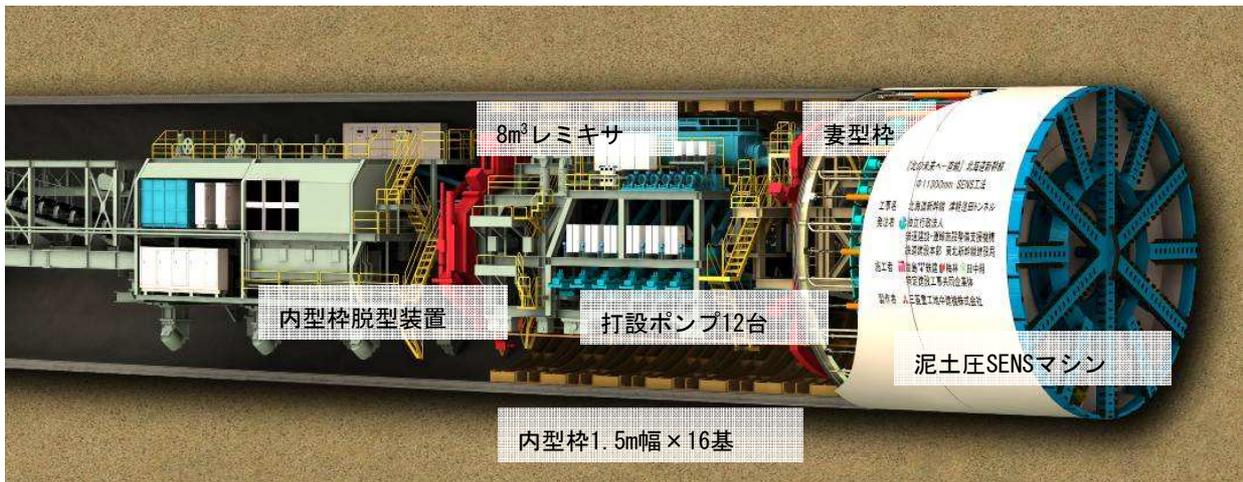


図 2.3.2 SENS 施工設備概要

表 2.3.1 SENS 施工設備諸元

	項目	仕様
マシン設備	シールド形式	泥土圧シールド 外径11,300mm 全長12,020mm
	カッタヘッド形式	スポークタイプ
	カッタトルク	22,108kN・m
	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 レスキュービット×1基
	カッタ回転数	0.1~0.74rpm
	推進ジャッキ	3,500kN×30 105,000kN
	中折れジャッキ	3,000kN×28 84,000kN
	スクリュウコンベヤ	内径1,200mm 1.1~10.5rpm
打設設備	一次圧送ポンプ	91m³/h
	レミキサ	8m³
	二次圧送ポンプ	66m³/h×12台
	内型枠	軸方向挿入・脱型式 外径10,640mm 10ピース×16基
	妻型枠	外径11,180mm 内径10,640mm 装備推力 420kN×18 打設孔 3B×12ヶ所

表 2.3.2 三本木原トンネルとの設備比較

改良項目	三本木原トンネルとの比較
コンクリート打設ポンプ台数 (二次圧送ポンプ)	6台→12台
内型枠幅	1.2m→1.5m
内型枠構造	半径方向挿入型 →軸方向挿入型
妻型枠ジャッキストローク	0.9m→1.6m
カッタモータ回転数	定速→変速
ビット配置	2段段差→4段段差
発生土の坑内運搬方法	ダンプトラック →連続BC

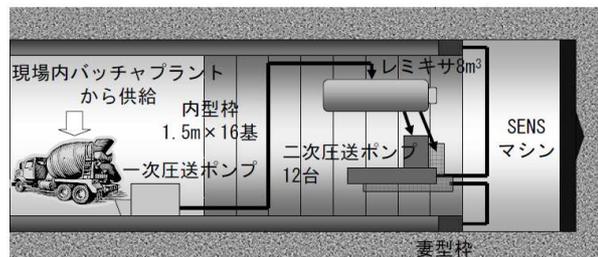


図 2.3.3 一次覆工コンクリート打設までのフロー

SENS 特有の設備は以下の通りである。

(1) コンクリート打設設備

一次覆工コンクリート打設までのフローを図 2.3.3 に示す。現場内のバッチャプラントで製造されたコンクリートを、アジテータ車で後続台車後方の一次圧送ポンプに搬入し、8インチ管を通して容量8m³のレミキサに圧送する。レミキサはコンクリートを一旦貯留し、掘進速度にあわせて12台の二次圧送ポンプにコンクリートを自動供給する。二次圧送ポンプは、3インチ管を通して妻型枠内の12箇所の打設孔から掘進速度にあわせてコンクリートを打設する。打設制御は中央管理室で行ない、地山の土水圧に抵抗できる圧力を保持しながら打設する。

(2) 内型枠

SENSでは、内型枠と地山との間に形成される空間に、一次覆工コンクリートを打設しながら掘進する。内型枠は1.5m幅で16リングあり、コンクリート強度が必要脱型強度以上であることを確認して後方で内型枠を脱型し、前送りして繰り返し利用する。

内型枠には30本のシールドジャッキからの掘進推力をコンクリートに伝達する役割もあり、内型枠とコンクリートの付着力から掘進推力を得る。一次覆工コンクリートの打設サイクルを図2.3.4に示す。

(3) 妻型枠

内型枠とスキムプレートの間には妻型枠が設けられており、半径方向内側に2段のテールブラシ、軸方向前面には12ヵ所の打設孔及び面圧計が装備されている。18本の妻型枠ジャッキは圧力差を調整する制御ジャッキと移動ジャッキを直列に連結したもので、主にヘッド差による圧力差を調整しながら1.5m幅の掘進を可能にした構造となっている。妻型枠側面図を図2.3.5に示す。

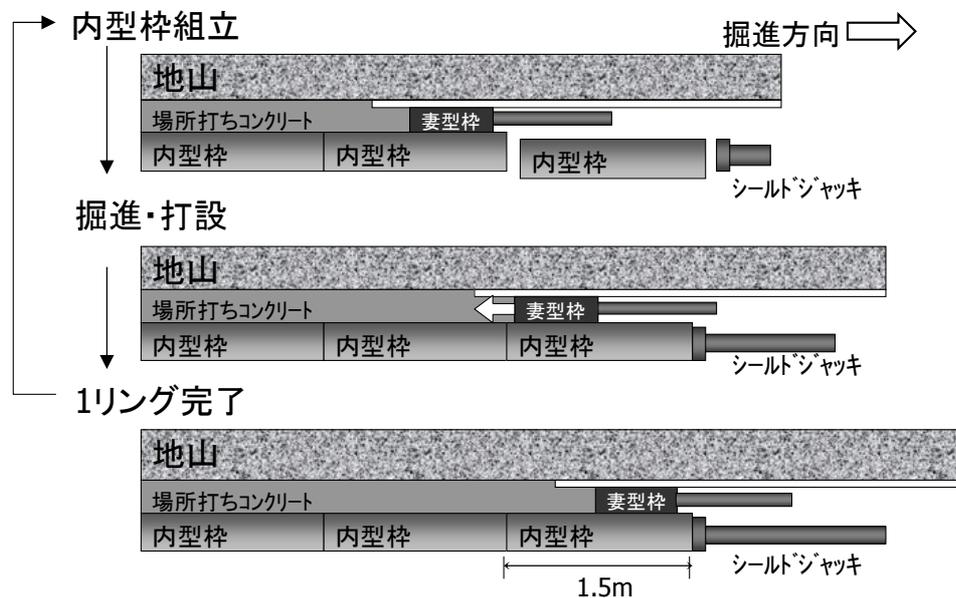


図 2.3.4 一次覆工コンクリートの打設サイクル

(4) 塞止弁

掘進終了時に打設配管の解体・清掃を行なうために、妻型枠部のコンクリート打設孔には塞止弁を装備した。塞止弁は打設管内にシリンダを押し込むことで管内に残ったコンクリートを管外へ押し出し、コンクリートの硬化・閉塞を防止する装置である (写真 2.3.1)。

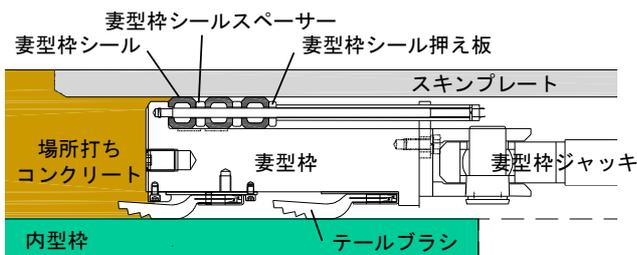


図 2.3.5 妻型枠側面図

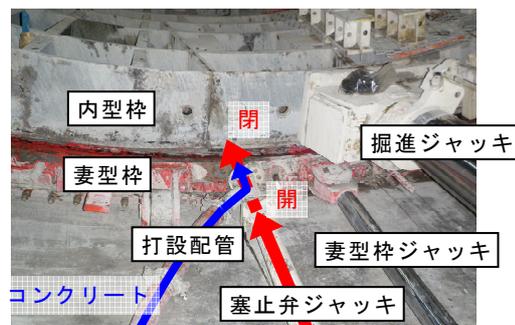


写真 2.3.1 塞止弁

3. 施工実績

3.1 高速掘進への取組み

3.1.1 施工サイクル

SENSの特性上、掘進終了時にコンクリート打設設備の清掃が必要となる。掘進開始からコンクリート打設設備の清掃までのサイクルを連続掘進サイクルと呼び（図 3.1.1）、当初は、掘進時間を24時間、清掃時間を10時間とし、1週間でこの連続掘進サイクルを4回繰り返し、1週間で96時間の掘進を行なう計画とした（図 3.1.2）。

しかし、ポンプ台数を倍増したこと等により、コンクリート打設設備の清掃に時間を要したため、1週間に3回の連続掘進に留まった。

そこで、コンクリート打設設備の清掃回数を極力減らして、月進を向上させる取組み²⁾を行なった結果、最大月進367.5mを達成した。

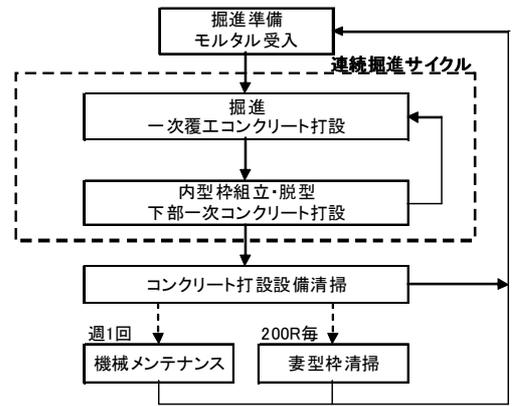


図 3.1.1 SENS 施工サイクル

施工実績	月		火		水		木		金		土		日	掘進時間
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	
当初計画														96h
2010.3実績														84h
2011.2実績														108h
2011.10以降														120h

■:機械メンテナンス □:掘進 ▨:コンクリート打設設備清掃
図 3.1.2 週間施工サイクル

3.1.2 一次覆工コンクリートの性能改良

SENSで用いる一次覆工コンクリートには以下の相反する性能が求められる²⁾。

- ① 配管で圧送するための流動性
- ② 高水圧下で打設するため水中分離を生じない粘性
- ③ 内型枠の早期脱型を可能とする初期強度の発現性
- ④ 一定時間経過後も圧送可能とするフレッシュ保持性

当初配合（表 3.1.1）での施工時には、圧送ポンプ油圧が配管の目詰まりで徐々に上昇するため（図 3.1.3）、1日半ごとに配管の清掃が必要となり、週3回以上の清掃を余儀なくされていた（図 3.1.2）。

そこで、一次覆工コンクリートの要求性能を変更し、練上り時のスランプフローの目標値を $650 \pm 50\text{mm}$ とするとともに、連続掘進中のフレッシュ保持性を向上させ、フレッシュ保持時間を8時間とした。（表 3.1.1）。

その結果、掘進中の二次圧送ポンプの油圧が一定に保てるようになり、1週間（約120時間）の連続掘進が可能となるなど、施工性能が大幅に改善された（図 3.1.2）。さらに、季節温度変動によるコンクリート性状の変化に対しては、高性能 AE 減水剤および早強剤等の調整を行い、安定したコンクリートのポンプ圧送を行うことができた³⁾。

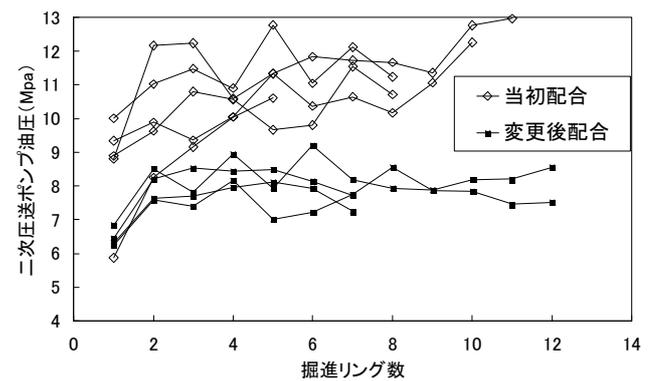


図 3.1.3 連続掘進中のポンプ油圧

表 3.1.1 一次覆工コンクリートの要求性能

性能項目	三本木原トンネル 配合	津軽蓬田トンネル	
		当初配合	変更後配合
スランプフロー (練上り時)	600±50mm	600±50mm	650±50mm
フレッシュ保持性	4時間後のスランプフロー が練上り時の80%以上	4時間後の50cmフロー到達 時間が180秒以下	所定のフレッシュ保持時間における 50cmフロー到達時間が180秒以下 ^{注1}
圧縮強度	24時間で15N/mm ² 以上、28 日で30N/mm ² 以上	24時間で15N/mm ² 以上、28 日で30N/mm ² 以上	24時間で15N/mm ² 以上、28日で30N/mm ² 以上
ポンプ圧送性	3インチ配管で30mの距離 に5m ³ /hで打設可能	3インチ配管で30mの距離 に5m ³ /hで打設可能	3インチ配管で30mの距離に5m ³ /hで打 設可能 ^{注2}
材料分離抵抗性	圧送および充てん時に材 料分離を生じない	圧送および充てん時に材料 分離を生じない	圧送および充てん時に材料分離を生じ ない
水中不分離性	pH12.0以下	pH12.0以下 懸濁物質量：500mg/l以下	pH12.0以下 懸濁物質量：500mg/l以下
備考			連続掘進配合(フレッシュ保持8時間) と掘進終了時配合(フレッシュ保持4 時間)を併用

注1：この値は、コンクリート温度が10～30℃の範囲で満たすこととする。(配合の微調整は許容する)

注2：配管中に2時間静置した後でも再圧送が可能であることとする。

4. おわりに

津軽蓬田トンネルは、2012年6月に最大月進367.5mを記録し、同10月に無事貫通した。2009年11月からの平均月進は190mとなり、これまでの実績を大きく上回る結果となった。

現在、都市部においてもSENSが適用されており、今後もSENSの適用範囲が広がっていくものと考えられる。津軽蓬田トンネルでの施工実績が同種工事の参考になれば幸いである。

また、本工事を進めるにあたり、北海道新幹線トンネル施工技術委員会(委員長 足立紀尚 京都大学名誉教授)、同機械化施工WG(座長 小山幸則 京都大学大学院教授)はじめとする関係各位に多大なる御指導、ご協力を頂いたことに深く感謝申し上げる次第である。



写真 3.3.1 到達状況

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、早稲田大学博士論文、2008年2月
- 2) 宮寄俊彦：SENS(シールドを用いた場所打ち支保システム)で高速掘削、土木施工、pp.84-87、2012年11月
- 3) 野口守、小川淳、三上美輝雄、神田大、水野清、上田洋、松原功明：SENSで用いる水中不分離性コンクリートの性状調整、土木学会年次学術講演会、2012年9月