

# 新技術によりシールド工法と SENS の併用を実現 相鉄・東急直通線, 羽沢トンネル

金子伸生

羽沢トンネルは、シールド工法に比べ経済性に優れる SENS の採用を検討したが、一部区間では既設構造物が近接するため、覆工構造にセグメントを適用せざるを得ないことが判明した。そこで、覆工構造には、SENS による場所打ちライニングに加えセグメントを併用することとした。併用にあたっては、掘進途中でマシン内設備の切換え（以下、「換装工」という）が必要となる。そこで、初めてとなる換装工の課題を洗い出し、対策を実施し、シールド工法と SENS の併用を実現したので報告する。

キーワード：シールドトンネル, SENS, 場所打ちライニングとセグメントの併用, 換装工

## 1. はじめに

相鉄・東急直通線、羽沢トンネルは、新設する羽沢横浜国大駅と新横浜駅（仮称）間を結ぶ延長約 3,499 m の複線トンネルである（図-1）。羽沢駅方から約 150 m が開削トンネル、約 3,349 m が直径 10.4 m の泥土圧シールドによる円形トンネルである。本トンネルは、シールド工法に比べ経済性に優れる SENS の採用を検討したが、一部区間では既設構造物が近接するため、覆工構造にセグメントを適用せざるを得ないことが判明した。そこで、覆工構造には、SENS による場所打ちライニングに加えセグメントを併用することとした。しかし、SENS とシールド工法を併用するためには、掘進途中で換装工が必要となる。そこで、初

めてとなる換装工の課題を洗い出し、新たなシールドジャッキの開発やマシンテール部からの地下水や土砂の流入防止などの対策を実施した。本稿では、覆工構造の検討経緯、シールド工法と SENS を併用するための技術開発および 1 回目となるシールド工法から SENS への換装工の施工実績について報告する。

## 2. SENS の特徴

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、力学的機能を付加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）」<sup>1)</sup>であり、それぞれの頭文字を取って命名されている。SENS は、東北新幹線、三本木原トンネルで初めて採用され、これまで相鉄・JR 直通線、西谷トンネルなどで実績があり、本トンネルが 4 例目となり、都市部での適用



図-1 羽沢トンネル位置図

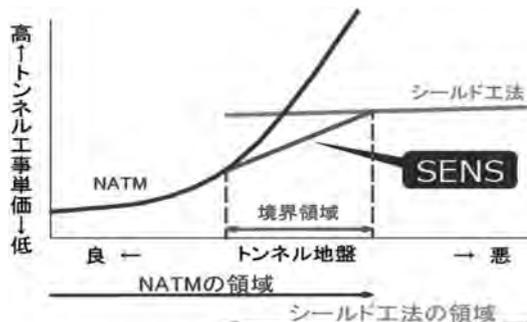


図-2 SENS の適用範囲

としては2例目である。経済性においてはシールド工法やNATMよりも有利となる境界領域に着目した工法である(図-2)。施工性においてはNATMと比べて早く、シールド工法との比較では若干サイクルに時間を要するが、事業計画において工事開始時期を早めることで対応することとした。



断面A 断面B 断面C

図-4 検討断面

### 3. 羽沢トンネルへのSENSの適用検討

図-3に平面・縦断図を示す。トンネル通過部の地質は主に上総層粘性土(Km)( $N \geq 50$ )であり、被圧された地下水を有する砂質土(Ks)( $N \geq 45$ )が介在する。発進側では主要環状市道の高架橋、到達側では東日本旅客鉄道横浜線を横断する陸橋と近接、並行・交差することから、SENS適用にあたっては、近接構造物への影響解析および一次覆工耐力の照査を実施した。検討断面を図-4に示す。発進側の断面Aは、SENSの場所打ちライニングでは高架橋に管理値を超える沈下が生じる結果となり、セグメントを採用すると管理値を下回る結果となった。また、到達側の断面Cでは、陸橋の杭下端と覆工天端の離隔が約1.8mしかなく、場所打ちライニングでは耐力を上回る応力が発生するが、セグメントでは許容応力度を下回ることから、断面A、断面C区間はセグメントを採用した。一方、断面Bを含むトンネル中間部では周辺構造物への影響が小さく、場所打ちライニングに発生する応力が耐力内となることから、経済性に優れるSENSを採用した。施工は1基のマシンでシールド工法とSENSを併用することとし、掘進途中で換装を2回実施する計画とした。覆工の施工区分と換装位置を図-3に示す。

### 4. シールド工法とSENSの併用に伴う課題と対策

2つの工法を1基のマシンで実現することに伴い、掘進途中で換装工が必要となる。そこで、換装工を実施する際の課題を検討した結果、シールドジャッキのスプレッド位置の調整と、それに伴うジャッキロッドのたわみ防止、さらに換装中のマシンテール部からの地下水や土砂の流入防止が考えられた。

#### (1) 押し当て位置の調整可能なシールドジャッキの開発

セグメント区間ではシールドジャッキがセグメントに反力を取ることで推進力を得るが、SENS区間ではシールドジャッキが内型枠に反力を取ることで推進力を得る。セグメントと内型枠では図心が半径方向に異なるため、図-5に示すように、シールドジャッキのスプレッド位置の変更が生じる。このため、換装工ではシールドジャッキのロッドは変更せず、ロッドのヘッド部とスプレッドは回転、上下にスライドでき、押し当て位置を調整可能な仕様とした。

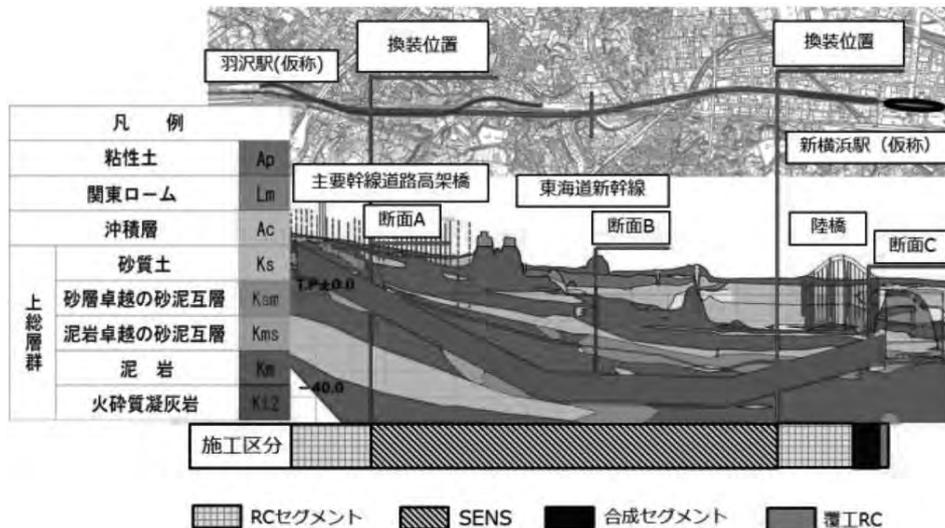
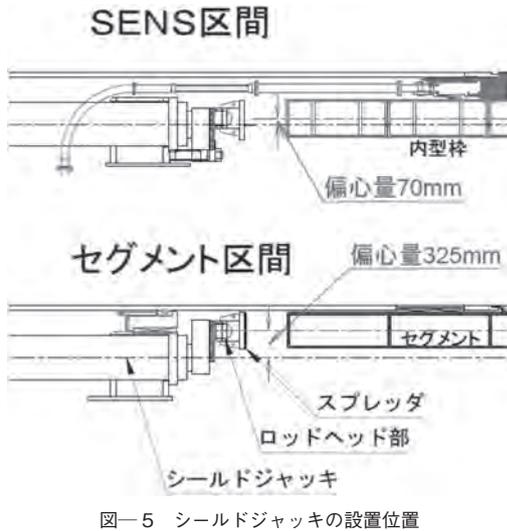
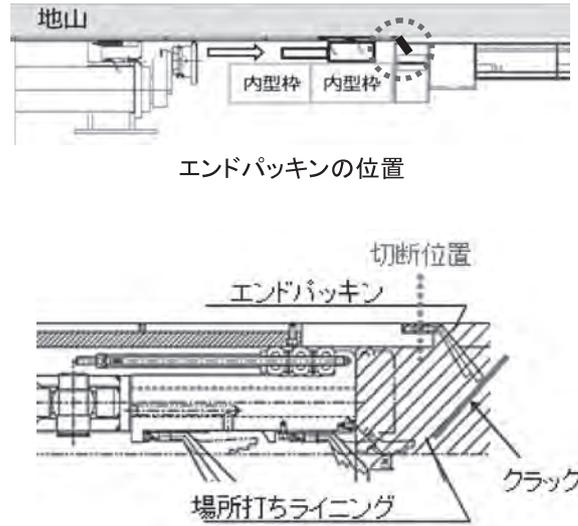


図-3 平面・縦断図



図一五 シールドジャッキの設置位置



図一七 エンドパッキンを残置した状況 (想定)

(2) ジャッキロッドのたわみ防止

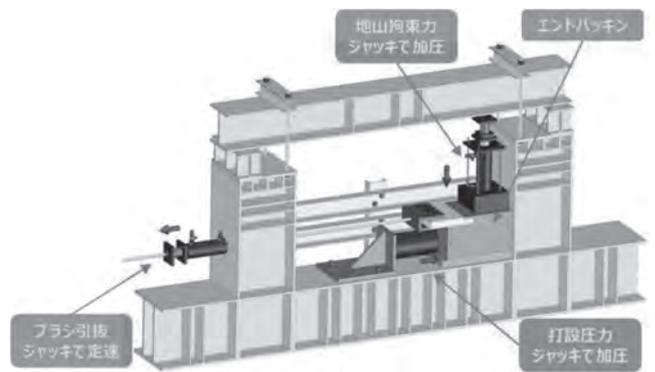
セグメント区間では、図一五に示すように、シールドジャッキとスプレッタの偏心量は325mmと非常に大きくなる。このため、掘進時にシールドジャッキのロッドが外側にたわみ、テール内のセグメントがラッパ状に開き、セグメント継手周辺に損傷を与えてしまうことが懸念された。そこで、セグメントの目開きを抑えるため、図一六に示すようにジャッキロッドに摺動板を設置し、ロッドのたわみ防止を施した。

(3) 換装時のテール部の地下水、土砂の流入防止

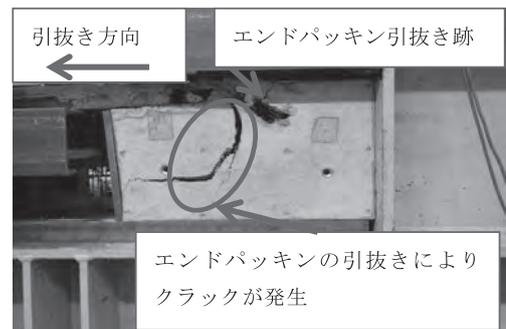
(a) エンドパッキンの影響検討

SENSは定期的なメンテナンスで掘進が停止した際に、場所打ちライニングが硬化する。SENS区間においては、テール後端のワイヤーブラシ製エンドパッキンは、図一七のように再発進時のエンドパッキン引抜きにより、場所打ちライニングに損傷を与えてしまう懸念があった。

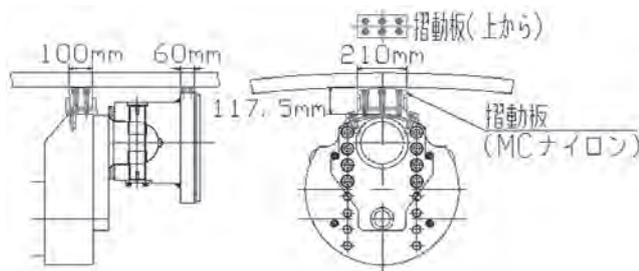
そこで、実施工を模擬したエンドパッキンの繰返し引抜き試験を実施し、影響の有無について検証を行った。試験装置の模式図を図一八に示す。試験の結果、3回目の引抜き時において、写真一に示すようにエンドパッキンのワイヤーブラシの付け根から一次覆工



図一八 エンドパッキン引抜き試験の模式図



写真一 繰返し引抜き試験結果



図一六 摺動板の設置

コンクリートに致命的なクラックを発生させることが判明した。これはエンドパッキンを繰返し引き抜くことで、ワイヤーブラシを覆う保護板が変形し、露出したブラシの鋼線にコンクリートが付着し、ブラシの根本を起点にコンクリートが割れたと考えられる。このため換装時にエンドパッキンを撤去することとした。撤去にはウォールソー切断を採用し、図一七に示す破線位置でスキンプレートごと切断したが、後述する (b) の地盤改良の効果により撤去後も地下水や土砂の流入はほとんど確認されなかった。

(b) 地盤改良による漏水対策

1回目の換装位置の断面図を図-9に示す。地質は被圧された地下水を含むKs層が介在し、施工時の出水リスクが高いことから、地上より地盤改良を実施し、確実に止水することとした。止水注入範囲を図-10に示す。注入工法は、対象地盤がN値50以上の上総層群であること、削孔深度が約30mと深いことから、削孔精度の高いロータリーパーカッション方式の削孔機を用いる二重管ダブルパッカー工法を採用した。さらに、介在するKs層を確実に改良するため、注入方式に動的注入工法を採用した。本工法は、注入速度を意図的に振動させることにより薬材が地盤の弱部へ集中的に流れることを防止する工法であり、設計改良範囲に薬剤を均一に注入することが可能となる。

5. 換装工の実施

換装工では、図-10で示した止水注入範囲にシールドを到達・停止し、シールド内の設備を切り換える。シールドジャッキの押当て位置の調整、エンドパッキン・テールブラシ撤去に加え、具体的には次の設備切換えを行った。

(1) 設備の切換え

掘進当初はセグメント区間であるため、裏込め注入設備をけん引した。加えて、SENSによる場所打ちラ

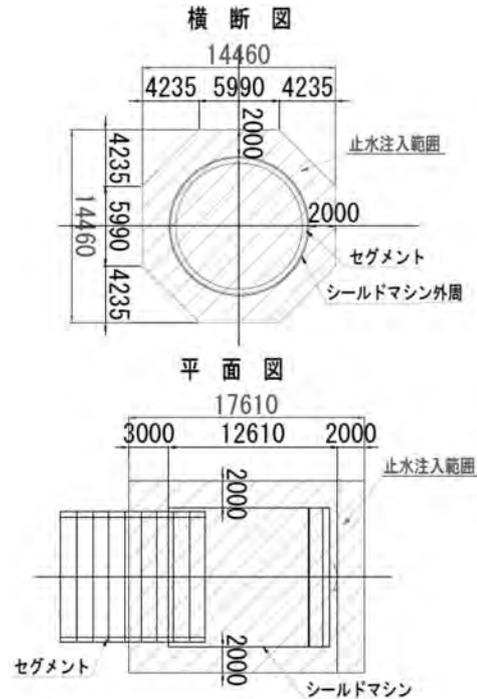


図-10 止水注入範囲

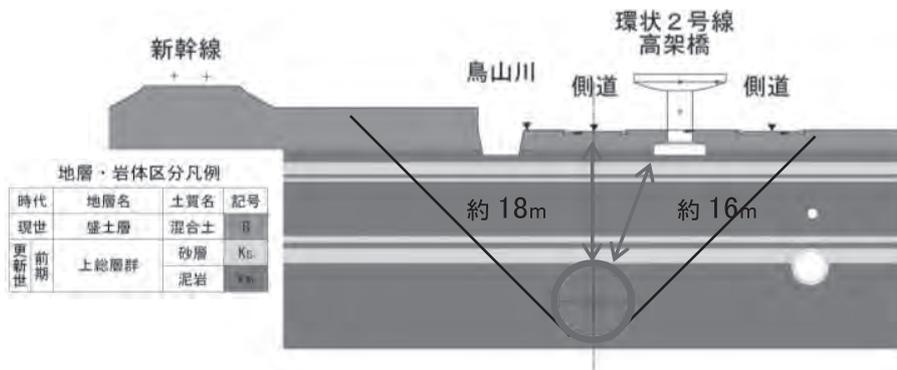


図-9 断面図

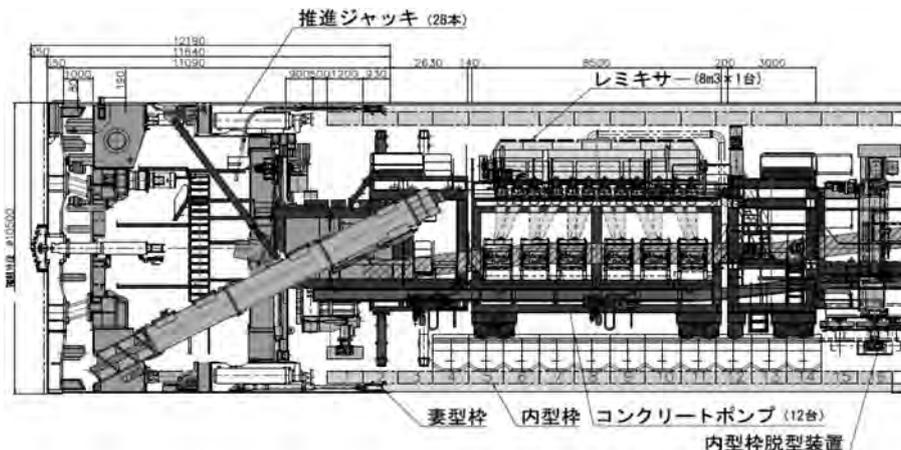
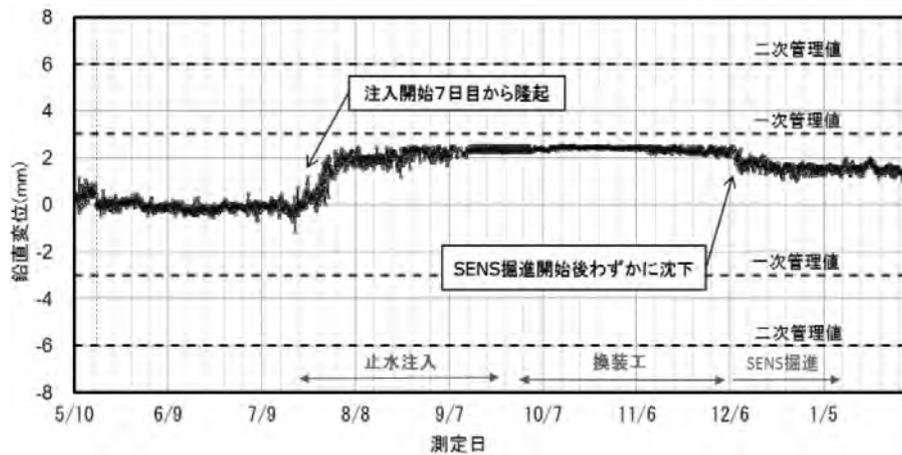


図-11 シールド側断面



図一12 高架橋橋脚の変位計測結果

イングの加圧・充填に必要なコンクリートポンプ、コンクリートレミキサー、妻型枠、内型枠脱型装置など多くのSENS設備を予めシールド後続に用意した台車上に載せ、セグメント区間を掘進した。換装工は、この裏込め注入設備を撤去し、シールドリングゲーター部に格納していた妻型枠を設置した。SENS区間でのシールドと後続台車の状況を図一11に示す。なお、裏込め注入設備は、換装工時に撤去することを考え、最後方（マシンより6台目）の台車上に載せた。

## (2) 換装工時の近接構造物への影響

1回目の換装位置では、図一9に示すように、地上の環状2号線側道までの離隔は約18m、環状2号線高架橋の基礎までの離隔は約16mと近接し、シールドの影響範囲内に入ることから変位計測を行った。高架橋橋脚はトータルステーションによる自動計測とし、側道は路面に測点を設けて手動計測を行った。高架橋橋脚の変位計測結果を図一12に示す。図一10に示した止水注入開始から7日目に一次管理値2.5mmに対し2.4mmの隆起がみられたため、平均注入速度を1分あたり10リットルから6リットルまで低減調整し、さらに、注入セット数を8セットから2セットまで落とすことにより変位を抑制し、一次管理値内で注入を完了した。その後、SENSの掘進開始時にわずかな沈下がみられたが、一次管理値内に抑えることができた。また、側道の手動計測においては、最大3mm

の隆起が生じたが、いずれも一次管理値内であり、無事に換装工を完了することができた。

## 6. おわりに

羽沢トンネルでは、初めてとなるセグメントからSENSへの換装工の課題を洗い出し、その対策を検討、実施した。その結果、マシンは平成28年9月末に1回目の換装位置に到達し、懸念されたマシンテール部からの地下水や土砂の流入を防止し、平成28年12月に無事にSENSでの掘進を開始した。今回の換装工の実現により、1基のマシンで合理的な覆工構造の選択が可能となったことにより、SENSの適用範囲が従来より広がったと考えている。今後、実績を重ねSENSの採用が拡大していくことが期待される。

JICMA

### 《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, pp.3, 2008.

### 【筆者紹介】

金子 伸生 (かねこ のぶお)  
 (株)鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
 東京支社  
 新横浜鉄道建設所長

