

セグメントからSENSへの換装に関する 施工計画および施工実績について

THE CONSTRUCTION PLAN AND THE CONSTRUCTION RESULT OF THE REPLACEMENT FROM THE SEGMENT TO THE EXTRUDED CONCRETE LINING

櫻井 高志¹・田中 淳寛²・金子 伸生³・大森 裕一⁴

Takashi SAKURAI¹, Atsuhiko TANAKA², Nobuo KANEKO³, Yuichi OMORI⁴

The Hazawa Tunnel on the Sotetsu - Tokyu Through Line, we use the segments at the start and the last area are a lot of neighboring constructions, or the extruded concrete lining with the cast-in-place support system using a shield(hereafter SENS) at the middle area alternately as the tunnel lining depending on the construction conditions. In order to construct two kinds of lining for the segments and the extruded concrete lining with one shield machine, it is necessary to replace the shield machine twice during excavation. Replacement including removal and installation of end packing is carried out by stopping the shield machine for two months, so there is concern about the influx of soil and groundwater into the inside of the shield machine and its influence on the surrounding structure. Therefore, by injecting chemicals from the ground and the inside of the shield machine, we created a highly reliable water stop zone around the shield machine. Furthermore, the influence on the peripheral structure is measured in real time. In this paper, we will explain the construction plan and the construction result of the replacement from the segment to the extruded concrete lining.

Key Words : shield tunnel, SENS, replacing lining structure,

1. はじめに

相鉄・東急直通線、羽沢トンネルは、J R東海道貨物線横浜羽沢駅付近に新設する羽沢駅（仮称）と東海道新幹線新横浜駅付近に新設する新横浜駅（仮称）間を結ぶ延長約3,499mの複線トンネルである（図-1）。羽沢駅方から約150mが開削トンネル、約3,349mが直径10.4m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。SENSとシールド工法を併用するためには、掘進途中でマシン内設備の切り換え（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、マシンテール部からの地下水や土砂の流入防止の対策を実施し実現した。

本稿では、シールド工法からSENSへの換装に関する施工計画および施工実績について報告する。



図-1 羽沢トンネル位置図

キーワード：シールドトンネル，SENS，換装工

¹非会員 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 (E-mail:sakurai.tak-i2ae@jrtt.go.jp)

²正会員 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

³正会員 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

⁴正会員 大成・東急・大本・土志田特定建設工事共同企業体 羽沢トンネル工事作業所

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)」¹⁾であり、それぞれの頭文字を取って命名されている。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、シールド工法と比較し、若干サイクルに時間を要する。なお、事業計画において工事開始時期を早め、事業全体への影響を回避した。

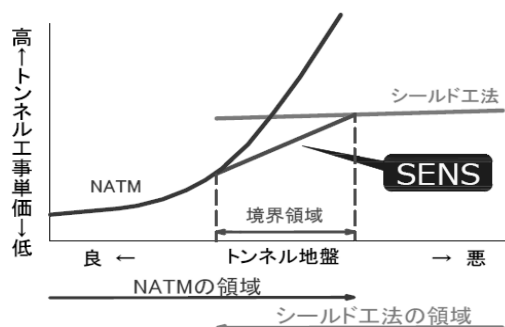


図-2 SENS の適用範囲

3. 地質概要と施工環境

本トンネルの地質構成を図-3に示す。シールド通過部の地質は、主にN値50以上の土丹と呼ばれる上総層群泥岩 (Km) であるが、被圧された地下水を含む砂質土 (Ks) が介在する。また、自動車専用道である第三京浜の陸橋基礎、横浜市の主要幹線道路である環状2号線の高架橋基礎、環状2号線がJR横浜線を上越しするための新横浜陸橋の基礎杭などと1D以下の離隔で近接する。最大土かぶり47.7mで東海道新幹線と交差する。最高地下水位はトンネル天端上45.0mである。

4. 羽沢トンネルへの SENS の適用検討

本トンネルは、同様の地質条件である相鉄・JR 直通線、西谷トンネルにおいて実績のある SENS による施工が可能と判断した。図-3に示すように、発進側では主要環状市道高架橋、到達側では東日本旅客鉄道横浜線を

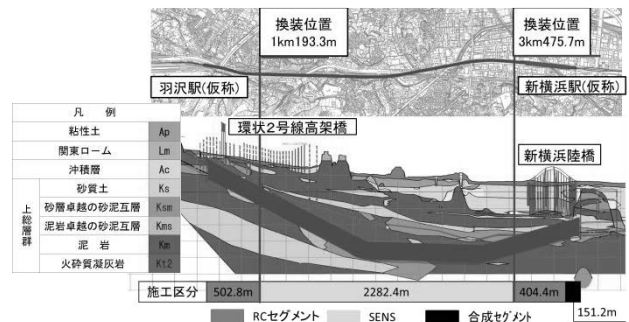


図-3 覆工の施工区分と地質構成

横断する陸橋と近接することから、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ところ、一部区間では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、周辺構造物との離隔が十分に確保できる区間には SENS による場所打ちライニングを、周辺構造物との離隔が小さな区間にはセグメントを使用することとした。施工は1基のシールドでシールド工法と SENS を併用することとし、掘進途中に換装を実施する計画とした。本トンネルの覆工の施工区分と換装位置を図-3 に示す。

5. 換装工の課題と対策

2つの工法を1基のシールドで実現することに伴い、掘進途中でシールド工法からSENS、SENSからシールド工法へ2回の換装工を実施する必要がある。

換装を要する設備の一例として、マシンテール部を図-4に示す。シールド工法ではシールドジャッキの推力をセグメントで受ける一方、SENSでは内型枠で受けるため、換装ではジャッキのスプレッドを改造し、押し当てる位置を変更するなどの作業を要する。

こうした換装工の作業には約2箇月を要するが、この間、シールドを地中に停止させるため、シールドマシン内への土砂や地下水の流入防止が課題となった。

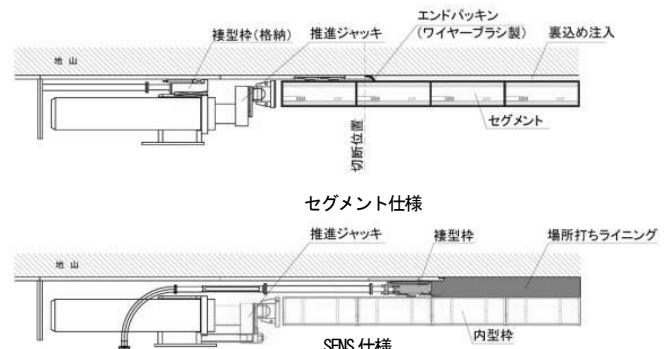


図-4 マシンテール部の設備

(1) 地盤改良による漏水対策

1回目の換装位置は、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-5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である。今回の対象地盤との類似した施工実績として、相鉄・JR直通線、西谷駅帷子川橋梁深礎杭工事や本工区の鳥山污水幹線付け替え工事で採用している。

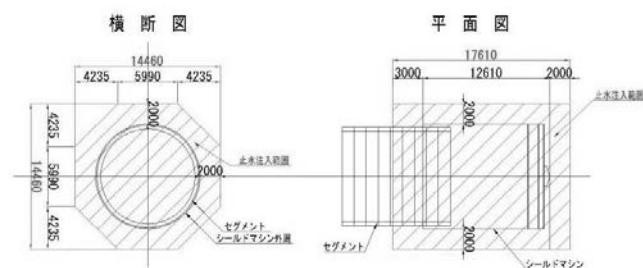


図-5 止水注入範囲

(2) エンドパッキンの撤去

発進側のセグメント区間および1回目の換装工において、テール部から裏込め注入材や地下水、土砂の流入が懸念されたため、テール端部にワイヤーブラシ製のエンドパッキンを設けることで流入を防止することとした（写真-1）。エンドパッキンの設置位置を図-4に示す。

しかし、エンドパッキンを残置したままSENSの施工を行うと、定期的なメンテナンスで一時的に掘進が停止するたびに、図-6のように、エンドパッキンを硬化した一次覆工コンクリートから引き抜くことになるため、一次覆工コンクリートの損傷の懸念があった。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-7に示す。

試験の結果、3回目の写真-2に示すようにエンドパッキンのワイヤーブラシとバネ板の間にコンクリートが楔状に入り込み、一次覆工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ため、換装時にエンドパッキンを撤去することとした。

エンドパッキンの撤去にはウォールソー切断を採用し、エンドパッキン直近でスキンプレートごと切断し撤去す

ることとした。エンドパッキン撤去時の出水対策は一時的に前述の地盤改良のみとなることから、止水効果の確認が重要となった。



写真-1 エンドパッキン

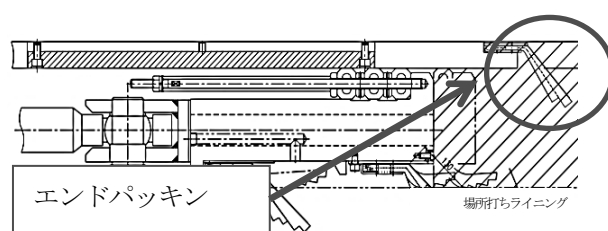


図-6 SENS区間でエンドパッキンを残置した状況（想定）

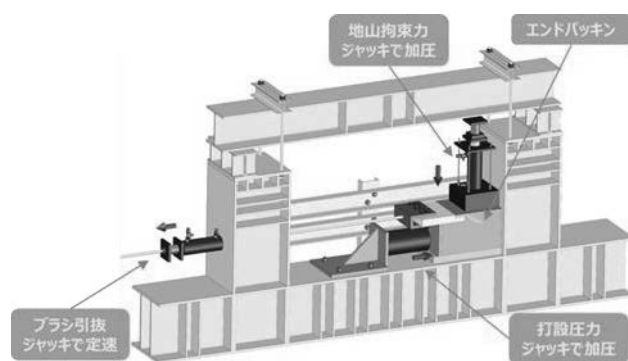


図-7 エンドパッキン引抜き試験の模式図



写真-2 繰返し引抜き試験状況

(3) 止水効果確認フローの策定

(1)の止水効果確認は図-8に示すように、マシン前方にある薬液注入管10箇所と接続リング既設バルブ注入孔全32箇所で行うとした。確認時期はシールドマシンが換装位置に到達した直後とエンドパッキン撤去直前の2回とした。確認位置には、図-9に示すようなボールバルブを取り付け、機内から削孔して、湧水量を測定した。止水効果確認フローを図-10に示す。

ここで、止水効果の基準値となる 565 cc とは、日本グラウト協会の「工法と改良効果（透水係数）の関係」図より、改良体の透水係数を改良効果中位程度の $6.5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ と設定し、ダルシーの式(1a)より湧水量を算定している。

$$k = \frac{Q}{2 \times \pi \times H \times L} \times \ln\left(\frac{L}{r}\right) \quad (1a)$$

k：透水係数 (cm/sec)，Q：湧水量 (cc/sec)

H：水頭差 (cm)，L：削孔長 (cm)

r：孔の半径 (cm)

6. 換装工の施工結果

止水効果確認結果を図-11に示す。確認箇所の湧水量の総量は、1回目が5,722L/min、2回目は650L/minとなり、フローに従って機内から追加注入を行った。

その結果、エンドパッキン撤去直前の坑内湧水量はほぼゼロとなった。また、エンドパッキン撤去後も地下水や土砂の流入はほとんど確認されず、無事換装工を完了し、SENSの掘進を開始した。

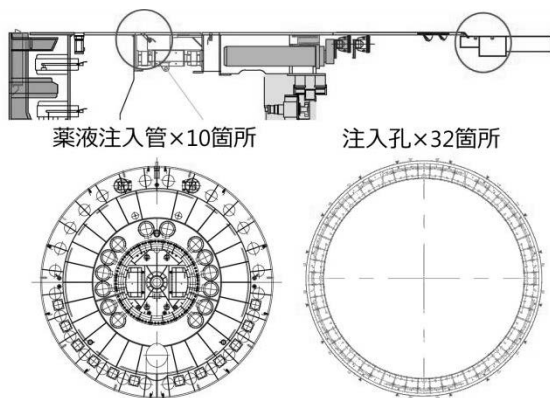


図-8 エンドパッキン引抜試験の模式図

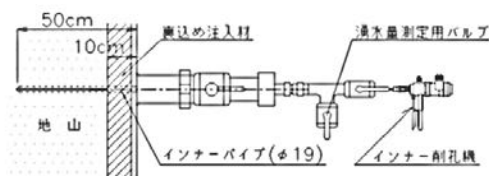


図-9 坑内からの止水効果確認方法

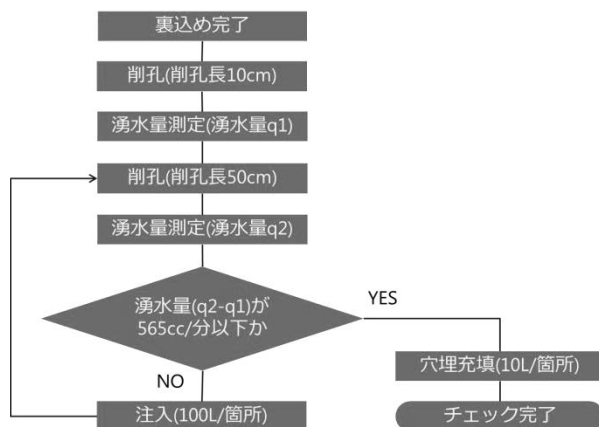


図-10 止水効果確認フロー

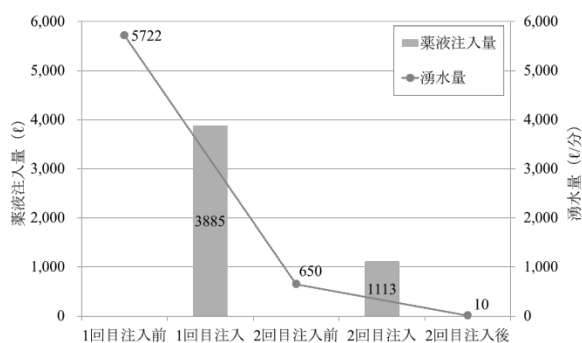


図-11 止水効果確認結果

7. まとめ

羽沢トンネルでは、初めてとなるシールド工法から 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、シールドマシンは平成28年9月末に1回目の換装位置に到達したが、懸念されたテールクリアランスおよびエンドパッキン撤去に伴うスキンプレーートの切断位置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SENSでの掘進を開始した。

今後は今回の知見を活かし、SENSからセグメントへの換装工の準備、検討を深度化し、安全で確実な施工に努めていく所存である。

今回の換装工の実現により、1基のシールド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の適用範囲が従前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。

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, pp3, 2008