

高品質・高精度な大断面シールドトンネルの構築

鹿島建設株式会社 正会員 ○紀伊 吉隆
阪神高速道路株式会社 非会員 渡辺 真介
計測技研株式会社 正会員 橋村 義人

1. はじめに

大阪都心部においては既存の幹線道路の混雑が著しく、沿道環境への影響が懸念されており、これを大幅に改善する「新たな環状道路の整備」が求められている。大和川線は、この「新たな環状道路」の一部を形成する全長約9.7kmの自動車専用道路で、本工事はこのうち、堺市堺区遠里小野町から同市北区常磐町までの約2kmの道路トンネルを建設するものである。

本工事では、南海電鉄高野線、JR阪和線などの重要構造物や、河川等の直下の施工を伴い、平面的には約9割が曲線、縦断勾配は0.3～3.0%、土被りは8～30mと、非常に変化に富むトンネル線形であることから、特に高精度の実現に取り組んだ。

初期掘進段階において、南海電鉄高野線の直下を小土被りで横断した。その通過影響として最終的にはおよそ1mm程度の沈下で収束した。ここで得た知見を生かし、続くJR阪和線浅香駅直下の横断においては、近接構造物への影響を「ゼロ」に抑えた。

また、シールドトンネルにおけるセグメント組立に対しては、真円度管理値をトンネル外径の1/250以下（本工事においては12.23mの外径に対し約50mm以下）として管理するが、本工事ではさらに通常管理値の50%以下、すなわち1/500以下の偏差量に抑えることを目標とし、トンネルを構築しながら真円度を自動的に測定するシステムを開発し、真円度の管理に導入した。このシステム利用とフィードバックにより、水平・鉛直方向とも現場目標値である1/500以下の偏差量に納め、極めて真円に近い高品質・高精度なシールドトンネルの構築を実現した。

本報文は、これらの施工実績を西行の先行トンネルに関して報告するものである。

2. 工事概要

（1）全体工事概要

工 事 名：大和川線シールドトンネル工事

発 注 者：阪神高速道路株式会社

施 工 者：鹿島・飛島建設工事共同企業体

工事場所：大阪府堺市堺区遠里小野町4丁
～堺市北区常磐町1丁

工 期：2008(H.20).2.2～2017(H.29).3.31

主要工種：一次覆工 掘進延長 4,082m

泥土圧式シールド φ12,470m

セグメント外径 φ12,230m



図－1 大和川線施工位置図



図－2 本工事路線図

キーワード 大断面シールド, 曲線施工, 重要構造物, 計測管理, 高精度, 高品質, 真円度, 新技術, 生産性向上
連絡先 〒 590-0001 大阪府堺市堺区遠里小野町4丁5-3 072-225-5130

図－3、図－4に平面線形図と地質縦断面図を示す。

(2) 施工方法

施工方法としては遠里小野立坑を発進立坑とし、西行き車線を常磐立坑に向かって先行掘進する。常磐立坑に到着した後に同立坑で転回し、東行き車線を遠里小野立坑に向かって後行掘進する。

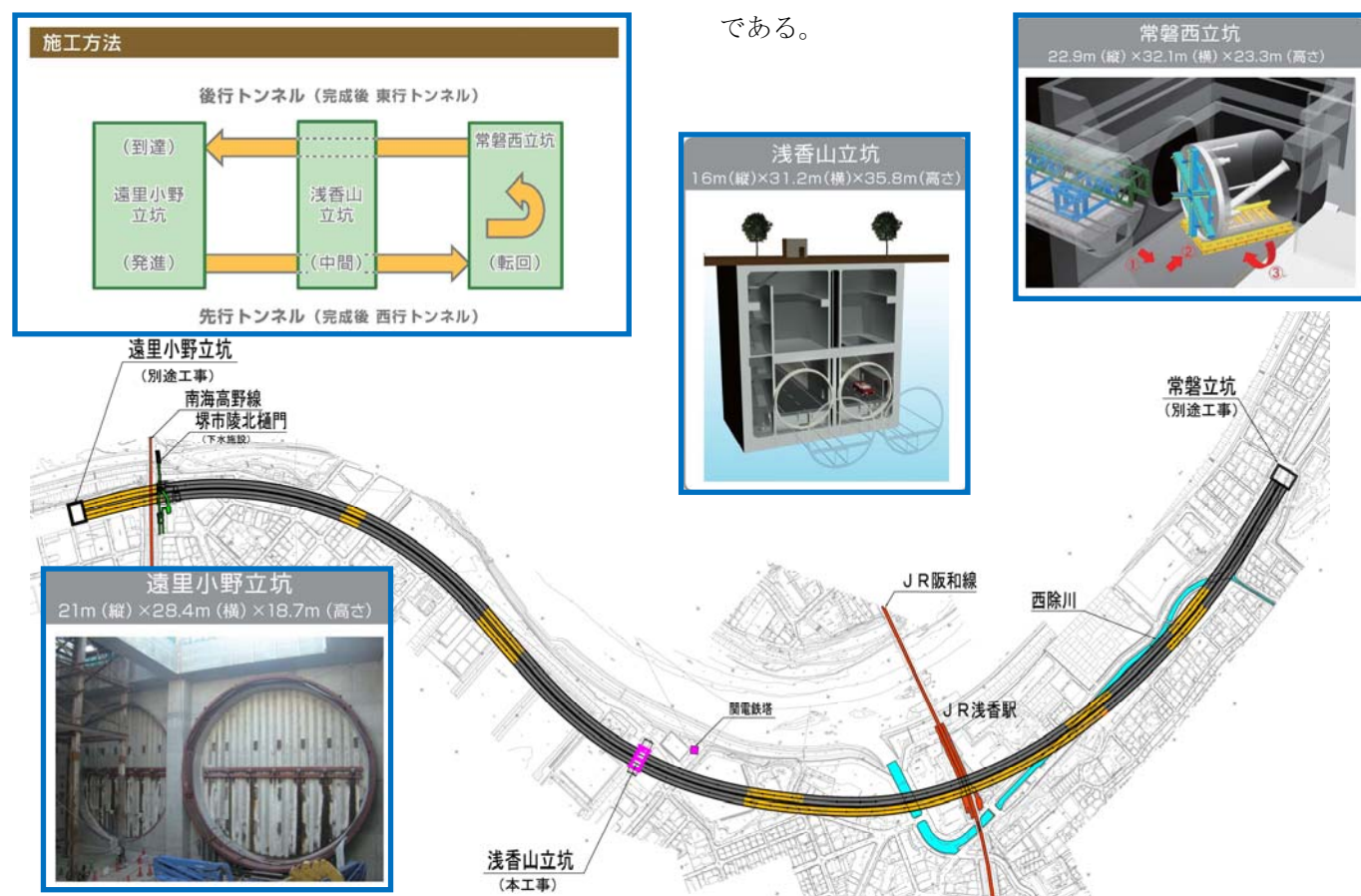
(3) トンネル線形

トンネル線形は、南海電鉄高野線とJR阪和線の2か所の直下を横断し、大和川水系の1級河川である西除川の直下を縦断的に掘進する線形となっている。また、直線区間が少なく、全線のうちおよそ90%以上が曲線区間であることが特徴である。

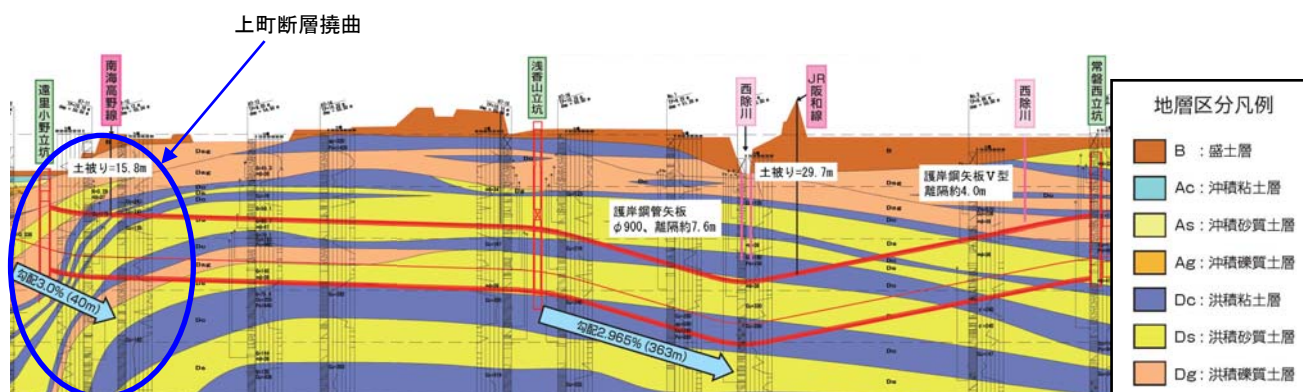
大和川線シールドトンネルが位置する区間の地質縦断面図を図－4に示す。シールド区間西端で上町断層による撓曲と遭遇するが、それより東側の区間は洪積層が主体の地盤であり、シールド掘進深さでは良く締まった砂質土および礫質土（N値50程度）と硬質粘性土（N値10以上）の互層となっている。

(4) 縦断線形

シールドの縦断線形は、遠里小野立坑から3.0%の下り勾配で発進し、南海電鉄高野線手前で0.3%の下り勾配である。以降、浅香山立坑付近より3.0%の下り勾配となり、西除川護岸鋼管矢板との離隔を確保する。西除川横断通過後は、常磐立坑に向けて2.0%の上り勾配である。



図－3 平面線形図



図－4 地質縦断面図

(5) シールドトンネル概要

本工事の特徴として、図－５および図－６に示すように、シールド掘進と並行してシールドトンネル内の避難路となるボックスカルバートの据付と、坑内路床部の埋戻しのための流動化処理土打設を進めた。

(6) シールドマシン仕様

本工事の大断面泥土圧式シールドの仕様は、以下のとおりである（写真－１）。

形式：泥土圧シールド（中折れ型）

シールド外径：φ12.47m

シールド全長：12.8m

シールド重量：約2,000t

シールドジャッキ総推力：142,600kN

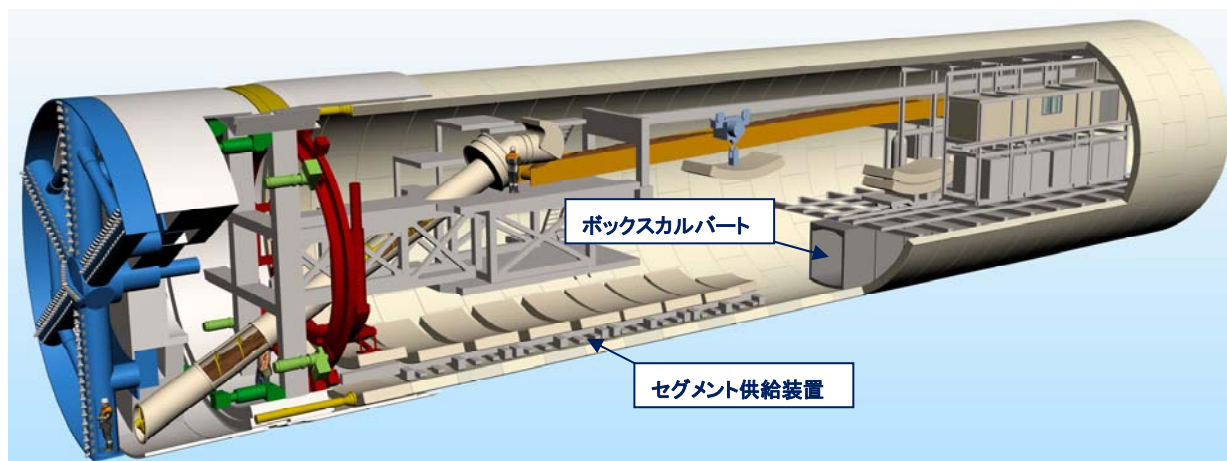
（推力×本数：1,550kN×92本）

その他：リレービット（長距離施工対策）

FLEXシステム（線形管理対策）

(7) セグメント構造

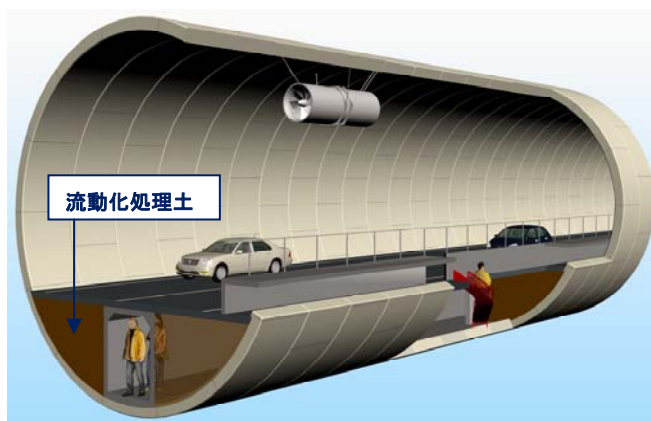
本工事のセグメントは、二次覆工省略の耐火一体型RCセグメント、嵌合式合成セグメント（NMセグメント）及び双方を接続するための調整接続セグメントを使用する（写真－２、写真－３）。



図－５ シールド施工状況図



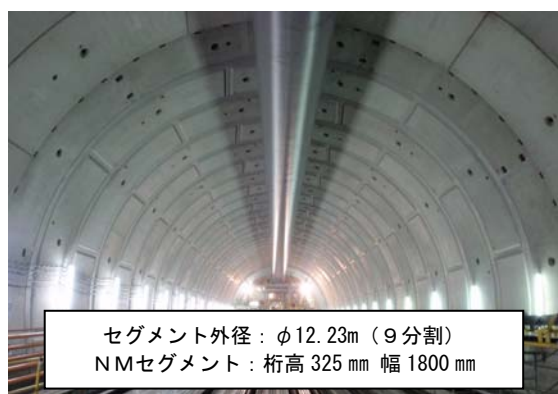
写真－１ シールドマシン



図－６ トンネル完成図



写真－２ RCセグメント区間



写真－３ 合成セグメント区間

3. 近接構造物直下掘進における施工管理

(1) 計画概要

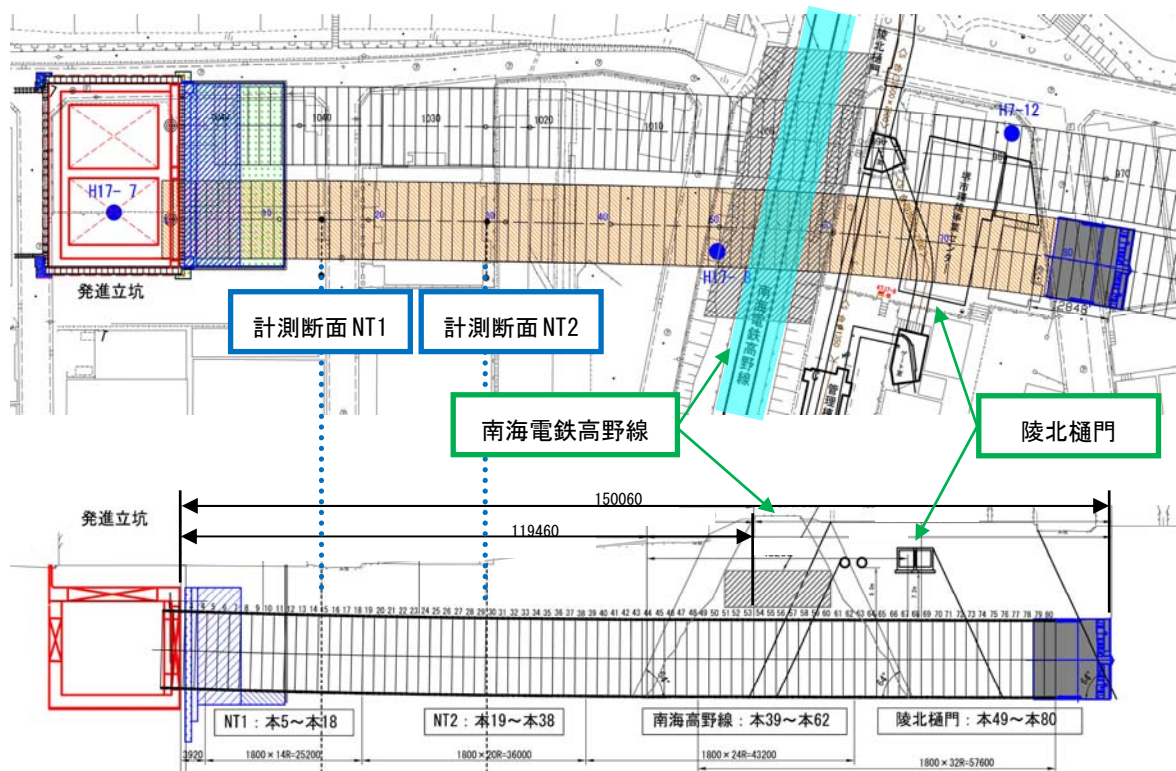
初期掘進工の平面図及び縦断面図を図－7に示す。初期掘進は、シールドマシンによる立坑土留壁芯材の直接切削から始まり、南海電鉄高野線及び陵北樋門の2つの近接構造物の影響範囲外へ抜ける全80リングの掘進および組立となる。

初期掘進は上町断層により撓曲した地層が複雑に変化する7～15mの小土被り区間となり、大断面泥土圧シールド掘進管理やシールド掘進による重要構造物への影響抑制が重要課題となる。そのため、南海電鉄高野線横断前にトライアル計測断面（NT1、NT2）を設置して、事前に計画した掘進管理の妥当性を検証した後に、近接構造物直下を掘進する計画とした。

(2) 切羽土圧管理

大断面シールドにおいては、チャンバ内圧力（土圧）が上下で差が大きくなる。特に、小土被りの場合は、シールドセンターで静止土圧を設定しても、上部での土圧不足が懸念される。また、上下限値の許容範囲が狭く、精度を高めるための調整が必須となる。

そこで、管理値は中央の静止土圧を基本に、上部で主働土圧＋予備圧を下回らないようチャンバ内圧力を設定し、上部土圧計をメインに管理した。切羽土圧の実績を図－8に示す。トライアル計測NT1において、中央部土圧計で管理すれば、上部土圧が主働土圧を満足することが確認できたため、NT2以降は中央土圧計をメインに管理した。



図－7 初期掘進 平面縦断面図

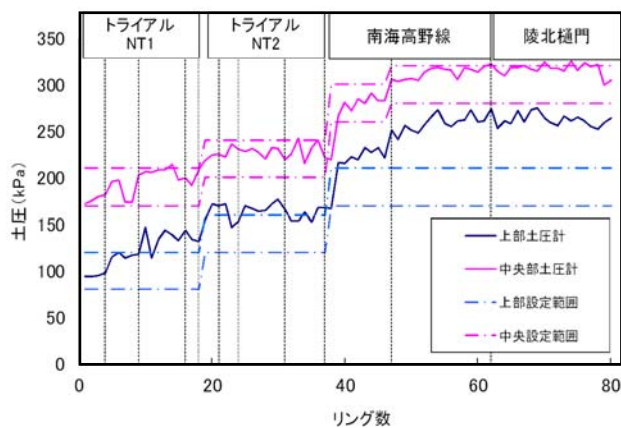


写真－4 初期掘進路線状況

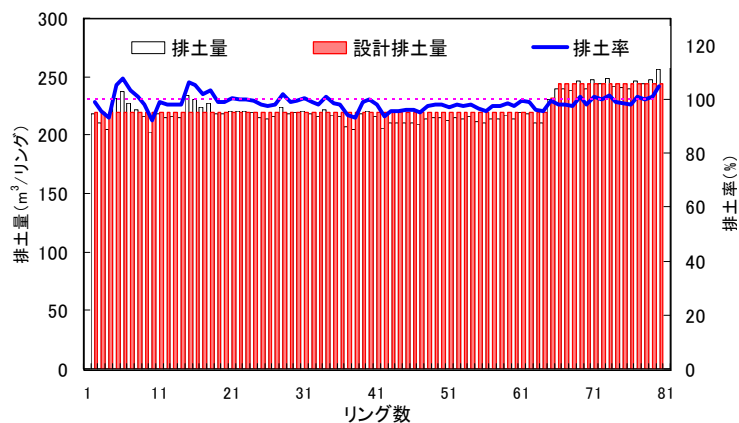
表－1 計測管理値

管理値区分	許容値
一次規制値	3mm (5mm × 50%)
二次規制値	4mm (5mm × 75%)
管理限界値	5mm

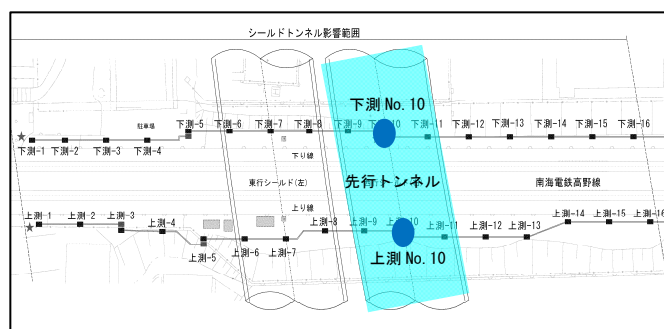




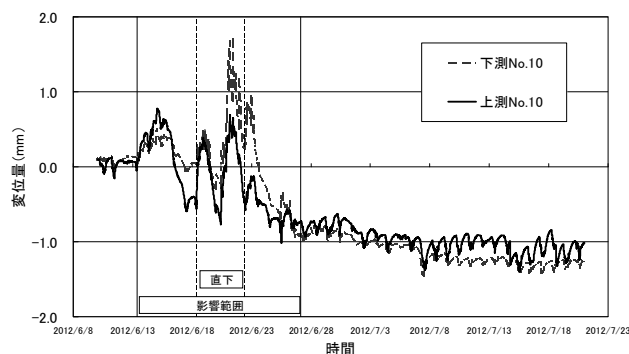
図－8 切羽土圧実績



図－9 排土量実績



図－10 南海電鉄高野線計測位置図



図－11 南海電鉄高野線計測結果

(3) 排土量管理

掘削土の排土は、坑内では延伸式連続ベルトコンベアを、地上への輸送には垂直ベルトコンベアを使用する。排土量管理は、切羽に近い後続台車上にベルトスケールとスキャンセンサを設置し、双方による掘進中のリアルタイムグラフにて傾向管理を行い、過取込みや取込不足が無いことを確認した。リングごとの排土量の実績を図－9に示す。排土率±10%程度の精度で良好な掘削ができた。

(4) 裏込注入管理

裏込注入は、シールド機本体の外周に同時注入管を4系統装備して注入する方式を採用した。裏込注入位置に土圧計を配置し、テール部に作用する圧力を監視しながら裏込注入圧力を管理した。裏込注入圧力の設定は、シールド頂部に作用する鉛直土圧を基本に、裏込注入設定圧力＝鉛直土圧＋水圧＋予備圧（＋50kPa）とした。裏込注入率はテールボイド量に対し130%充填を目安とし、その結果は平均130%を満足した。

(5) トライアル計測管理

両断面共に、影響範囲進入前には先行隆起、計測位置通過時の沈下傾向、マシンテール通過手前からの裏込注入の影響による隆起傾向、以降の後続沈下と、影響度の大小はあるが同様の結果となった。その地盤変位は事前解析に比べて1/2程度と小さく、掘進管理値

内で施工することで、シールド掘進による影響を十分抑制できることが検証できた。

(6) 南海電鉄高野線横断時計測管理

トライアル区間の計測結果（NT1、NT2）を踏まえ、事前計画どおりの切羽土圧＝「静止土圧＋予備圧」を中央部土圧計で管理することとした。南海高野線計測位置図を図－10、南海電鉄高野線計測結果を図－11に示す。また、計測管理値は表－1のとおりである。シールド通過時の変状傾向は事前のトライアル計測と同様であり、最終的にはおよそ1mm程度の沈下で収束し、管理値を十分に満足する結果であった。南海電鉄高野線直下の通過施工は、台風や大雨の影響を受け一時掘進停止を余儀なくされたが、昼夜施工3～4リング/日、5日間で14リングの掘進を無事完了した。

(7) JR阪和線直下横断掘進

小土被り区間である南海電鉄高野線通過以降、縦断勾配は下り0.3%から3.0%となり、西除川横断の最深部通過直後以降、上り勾配2.0%と変化してJR阪和線直下掘進を行った。南海電鉄高野線横断時と同様にトライアル計測結果に基づき、昼夜施工にて通過した。その結果、軌道への影響も無く通過出来た。その管理土圧は、南海高野線通過時の予備圧＋50kPaでは地上の沈下傾向が見られたため、さらに付加した＋80kPaとした。その結果、影響ゼロに繋がった。

4. セグメント真円度管理

(1) 真円度自動測定システム開発背景

従来は、マシンに装備したテールクリアランス計を用いた自動測定で、セグメントリングの真円度を求めている。この場合、土水圧やカーブ施工の影響を受けたマシンスキンプレートの歪が考慮されず、仮想値となる。このことから、レーザー距離計を使用した手動測定を実施することで、組立完了時の真円度把握が可能となるが、本工事の線形特徴を考慮した高品質・高精度トンネル構築を前提に出来形管理を行うには、毎リングの測定・改善活動が必要であり、手動測定は非常に労力を要する。

(2) 本システムの開発課題

この開発背景を受けて、以下の課題を満足すべく、測定手法・計測機器・ソフト開発等を進めた。

- ・セグメント真円度の瞬時測定
- ・マシン内径の瞬時測定
- ・自動化による省力化
- ・測定システムの検証

(3) 本システムの概要

セグメント真円度測定に対し、回転式レーザー距離計（図-12）を使用した真円度自動測定システムを計測技研株式会社（兵庫県尼崎市）と共同開発した。この装置は、内蔵したレーザー距離計をマシン中央付近に軸方向かつ水平に設置し、距離計からのレーザー光線を360度回転する小型ミラーで90度に屈折させることによりセグメント真円度を測定する方法である。

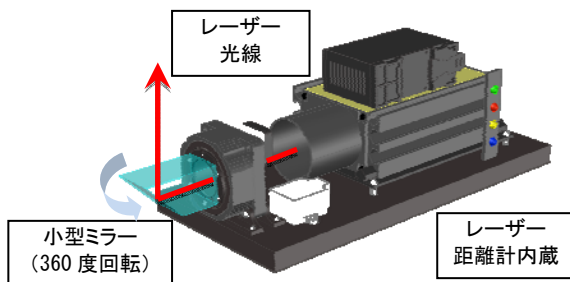


図-12 回転式レーザー距離計イメージ

(4) 本システムの特徴

レーザー光線による測定において、スクリーコンベア等の支障物が存在する延長上の測定は出来ないため、2台の回転式レーザー距離計をスクリーコンベアの上下同一断面に設置（図-13）することで、全周測定出来るようにした。その他支障物による測定不能箇所は、セグメント設計曲率半径によるデータにて補完させた。また、マシン内径測定も可能であり、2つの結果から精度を向上させた。測定時間は30秒程度（測点数による）で測定が可能である。

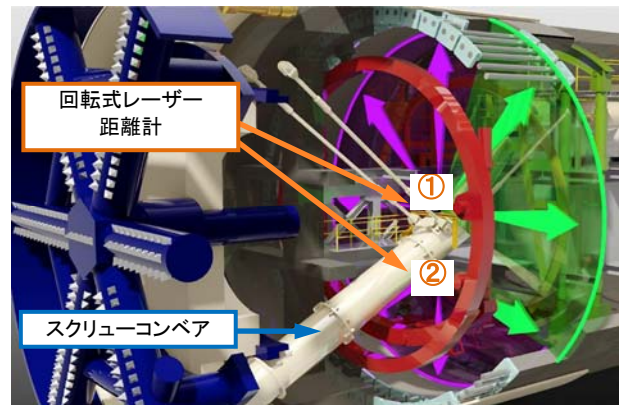


図-13 本システムによる測定概要

(5) 本システムの導入実績と効果

本システムでは50リングの実証実験を行い、手動測定と本システムとの精度の検証を行った。その比較を図-14に示すが、上下方向は手動では仮想値より算定したため10mm程度の差が生じているが、左右方向の差は1mm程度であったことから、本システムの有効性を確認した。

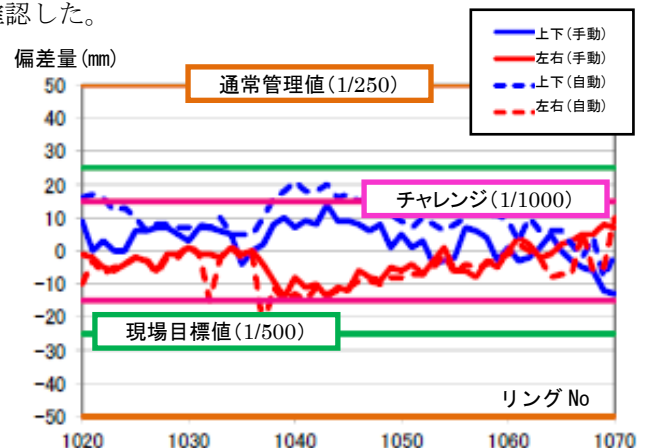


図-14 真円度測定結果

また、自動測定したデータは図-15のように本システム画面に表示される。その画面はインターネット回線によりリアルタイムに確認出来ることから、状態把握に加えて修正指示等がリアルタイムに行え、トンネル組立精度向上に寄与するものと考えられる。



図-15 真円度測定表示画面

5. おわりに

先行トンネルは、図-16 に示すとおり 2012 年 3 月 30 日に初期掘進を開始し、2013 年 11 月 6 日、常磐立坑手前 1 m に仮到達した。その過程において、平面縦断線形の変化に対応した真円度管理による高品質・高精度トンネルの構築及びトライアル計測結果を反映させた掘進管理による重要構造物への影響回避という課題を達成した。

以降、到達立坑である常磐立坑の完成時期が遅延したため、約 20 ヶ月の長期停止となった。この事例は大断面泥土圧式シールドでは前例が無い。このことから様々な措置を講じて長期停止させた。2015 年 6 月 29 日に再始動を開始し、常磐立坑躯体厚 2 m を含めた 3 m の本到達掘進を 7 月 1 日に無事終えた。

今後、後行トンネルは 2016 年 1 月から初期掘進を開始し、既設先行トンネルへの影響を監視しながら遠里小野立坑へ約 1 年で完了させる予定である。この後行トンネル掘進に際しては、先行トンネルで得た知見を反映させた地表面影響ゼロ、高品質・高精度トンネル構築を実行する。また、全体事業工程を見据え、現場コンクリート打設構造物のプレキャスト化や道路構造物設置の掘進同時施工により、工程短縮を目指す。



写真-5 一次覆工完了状況



写真-6 避難通路ボックス設置完了状況

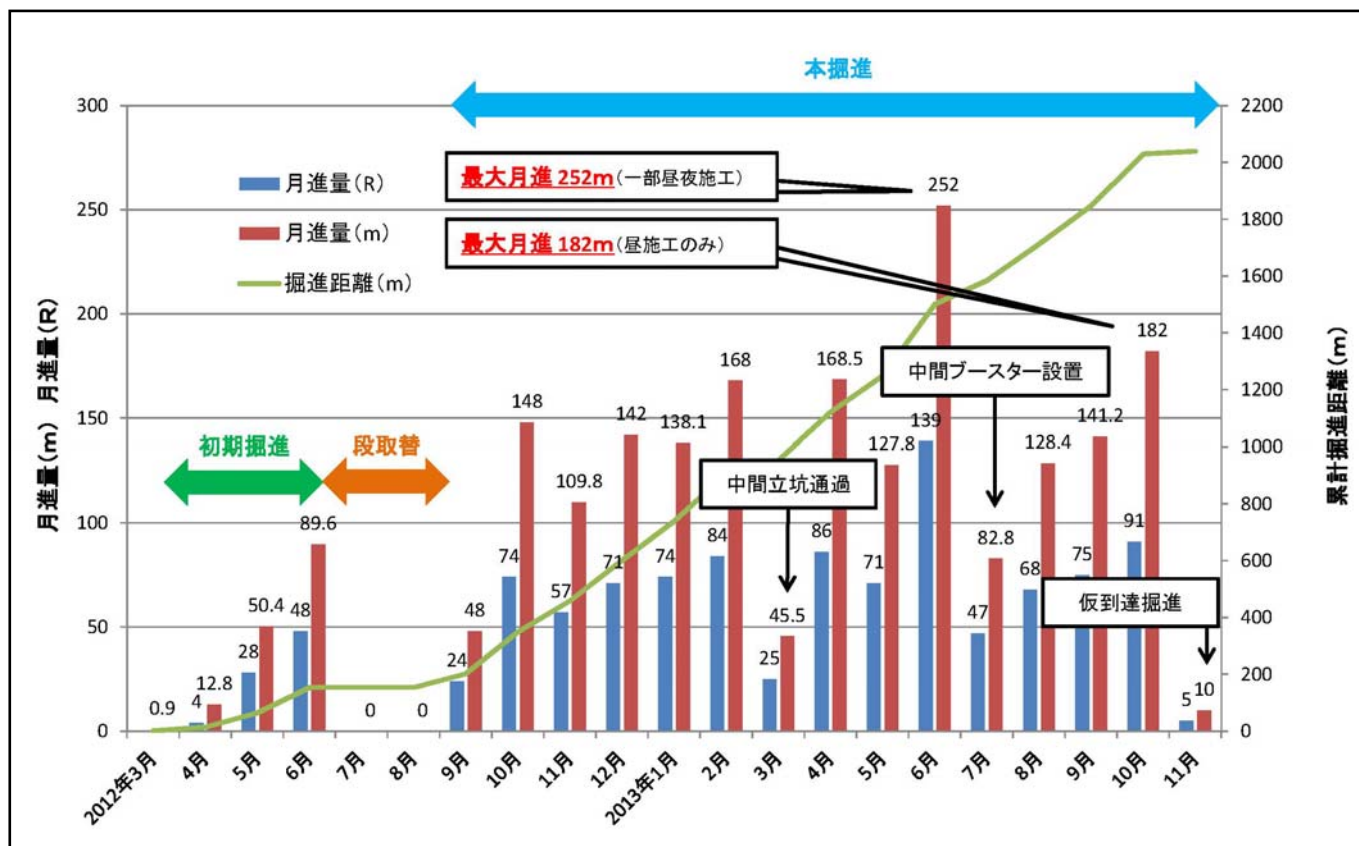


図-16 先行トンネル掘進実績