

馬場出入口シールド工事における急勾配・急曲線・小土被り施工の掘進管理

清水建設株式会社 正会員 ○小野塚 直紘 正会員 安井 克豊
 首都高速道路株式会社 佐藤 成禎 菊地 勇気
 清水・東急特定建設工事共同企業体 正会員 塩出 健二 正会員 西田 充

1. はじめに

首都高速道路の高速神奈川7号横浜北線（以下、横浜北線）は、横浜市の交通ネットワークの骨格を形成する横浜環状道路の北側区間であり、第三京浜道路「横浜港北ジャンクション」から首都高横羽線「生麦ジャンクション」をつなぐ延長約 8.2km の自動車専用道路である（図-1）。

本工事は、横浜北線のほぼ中央に位置する馬場出入口（A～D の4本のランプトンネルを開削工法およびシールド工法により構築）および馬場換気所を構築するとともに、大田神奈川線を整備する工事である（図-2）。

本稿では、急勾配・急曲線・小土被りの施工条件で掘進したBランプシールドの施工結果について報告する。



図-1 高速神奈川7号横浜北線位置図

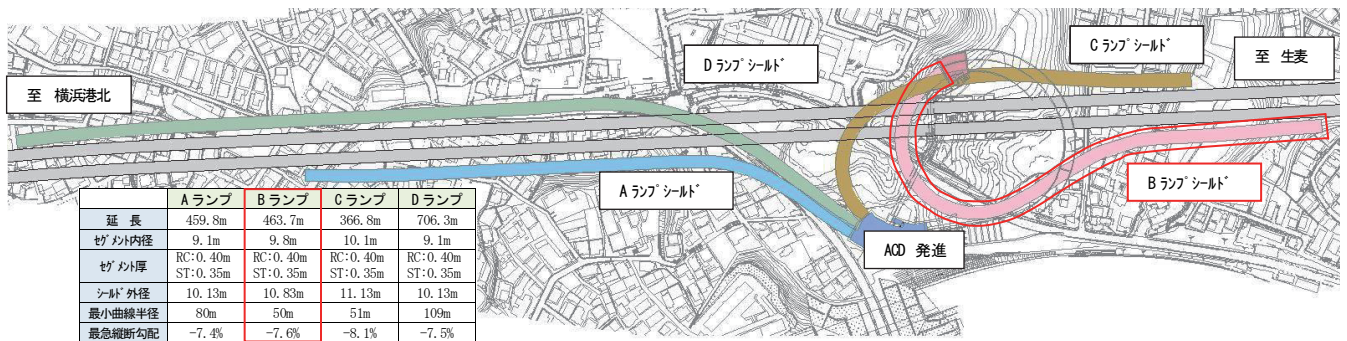


図-2 馬場出入口全体平面図

2. Bランプシールドの概要

表-1 に B ランプシールドの概要を示す。

図-3、図-4 に示すとおり、発進立坑から約 70m は事業用地内を掘進する。その後、道路下を3度横断した後民地下を通過し、本線トンネルの地中拡幅部にシールドを到達させる。平面線形の最小曲線半径は 50m であり、全延長の 78%が曲線区間となっている。縦断線形は、最大 7.6%の下り勾配であり、土被りは、発進部で最小 1.3m (0.12D)、道路下横断部で最小 6.3m (0.58D)、民地下通過部で最小 10.3m (0.95D)、到達部付近で最大 35.5m である。

表-1 Bランプシールド概要

延長	463.7m	土被り	1.3～35.5m
シールド外径	10.83m	最小曲線	R=50m
セグメント内径	9.80m	最急勾配	i=-7.6%
工法	泥土圧(気泡)	中折れ角	7.2° (最大)
セグメント	RC セグメント、コンクリート中詰め鋼製セグメント		

キーワード シールドトンネル、大断面シールド、急勾配、急曲線、小土被り、地盤変状

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設(株)土木技術本部シールド統括部 TEL 03-3561-3892

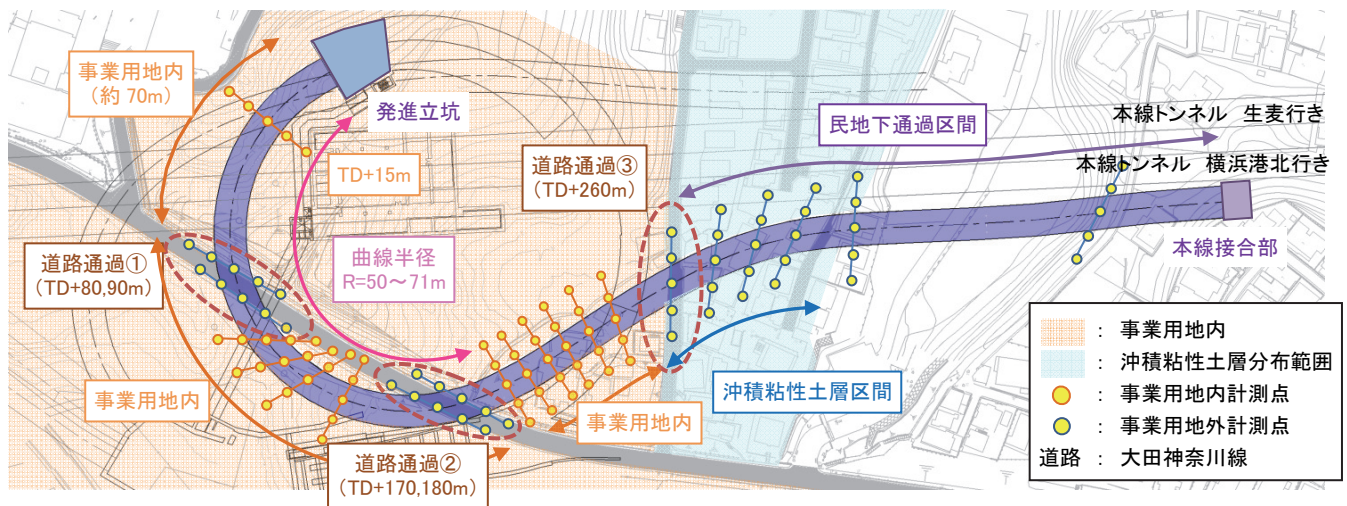


図-3 B ランプシールド平面図

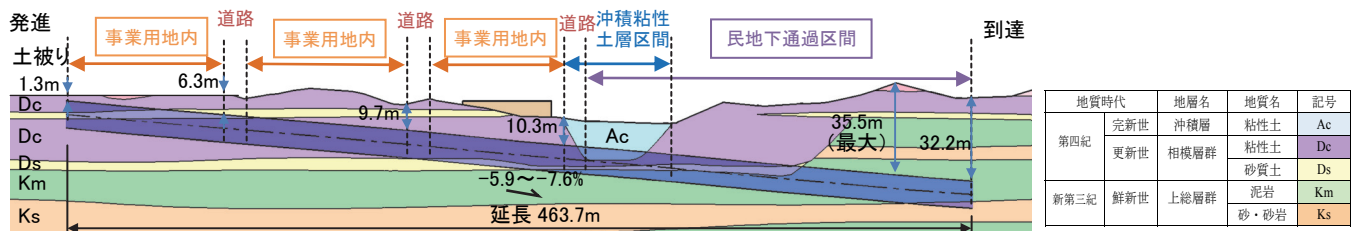


図-4 B ランプシールド縦断面図

3. 施工上の課題

(1) 小土被り部におけるトンネルの安定性確保（浮き上がり防止）

写真-1 に示すとおり、発進部は最小土被り 1.3m であり、発進直後の小土被り区間においてセグメントの浮き上がり防止が課題であった。

(2) 民地および道路下の掘進における地盤変状抑制^{1) 2)}

B ランプシールドは、図-4 に示すとおり、供用中の道路下横断面および民地下通過部の最小土被りはそれぞれ 6.3m (0.58D), 10.3m (0.95D) であり、非常に土被りが小さい。また、民地下通過区間の土質は、地表面からトンネルスプリングライン付近までが腐植土を含む沖積粘性土層となっている。このため、シールド掘進に伴う地盤変状を抑制することが課題であった。

(3) 本線トンネルへの影響低減³⁾

パイプルーフ工法による本線トンネルの地中拡幅部にシールドを到達させる（図-5）。その際には、ランプシールドを本線トンネルに徐々に近づけ、到達部では最小離隔 350mm の超近接施工となる。このため、ランプシールド通過時および通過後の本線トンネルへの影響抑制が課題であった。

4. 対策および施工結果

(1) 浮き上がり防止

小土被り部におけるトンネルの浮き上がり対策として、図-6 に示すとおり、シールド発進から延長約 30m 区間のトンネル直上に厚さ 50cm の防護コンクリートを設置した。また、急激な地下水位の上昇によるリスク対策として、小土被り区間のトンネル周辺に排水井



写真-1 シールド発進部状況

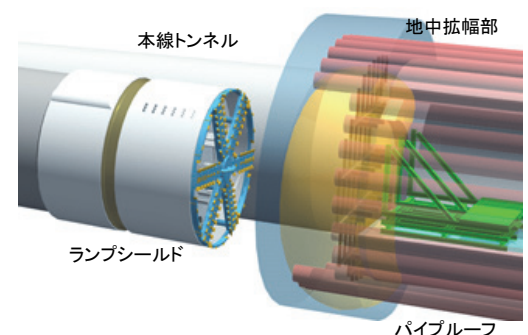


図-5 到達部概要

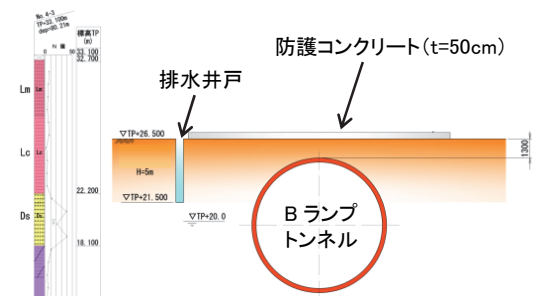


図-6 浮き上がり対策

戸を設置し、浮力の増加を防ぐ処置をした。

以上の対策により、トンネルの安定に対する安全率を 1.2 以上確保しセグメントの浮き上がりを防止することができた。

(2) 地盤変状抑制

a) トライアル施工による掘進管理値の設定

小土被り部では、シールド掘進の影響が即時に地表面に及ぶため、より慎重な掘進管理が求められる。そこで、図-7 に示すとおり、発進直後の事業用地内において地盤変状計測を行いトライアル施工を実施し、切羽土圧、添加材注入、余掘り充填注入および裏込め注入の管理値を設定した。

b) チャンバー内可視化による掘削土の塑性流動性確保

B ランプシールドは、縦断線形が最大 7.6% の急勾配であり、かつ互層の土層構成であるため、掘進にしたがって切羽の土質が大きく変化する（図-4）。そのため、掘削土の性状をリアルタイムに把握することが重要となる。

そこで、チャンバー内可視化技術を導入し、掘削土の性状をリアルタイムに把握し、切羽の安定を図ることとした（図-8）。

c) 土量管理システムによるリアルタイムの排土量管理

今回、現場条件を鑑み、ズリ鋼車による排土方式を採用した。しかし、従来のズリ鋼車の土量管理では、リアルタイムに排土量を管理することが困難である。そこで、ズリ鋼車へ積込む前に通過するベルトコンベヤ上の掘削土の体積をレーザースキャナで測定するとともに、その重量をベルトスケールで測定し、排土量をリアルタイムに把握し、掘進管理に反映した（図-9）。

d) 余掘り充填材による地山の緩み防止

最少曲線半径 50m の急曲線部では、シールドの方向制御のために最大 230mm の余掘りを確保する必要があったため、余掘り部の地山の緩みが懸念された。そこで、余掘り部に充填材（特殊ガラスに水と粘土鉱物系材料を混合）を注入し、地山の緩みを防止した。

e) 初期強度発現型裏込め材による地山の緩み防止

小土被り施工において、テールボイドに起因する地盤変状を抑制するためには、裏込め材の確実な充填と早期の強度発現が重要である。そこで、道路・民地下通過区間では、初期強度発現型の裏込め材（材齢 1 時間の圧縮強度 0.05N/mm^2 ：標準配合 0.02N/mm^2 ）を使用した。また、急曲線部（ $R < 200\text{m}$ ）の地盤反力の確保の目的でも使用した。

以上 a)～e) の対策により、道路通過位置では 10mm の隆起、沖積粘性土層区間では 11mm の沈下に地盤変状を抑制し、いずれも管理値内に収めることができた。道路下通過部の計測点を図-10 に示す。また、沖積粘性土層区間の縦断図を図-11 に示す。

道路通過②（TD+170, 180m）位置の施工結果を図-12 に示す。道路通過②では、トライアル施工区間の実績を反映し、計画切羽土圧に対して切羽土圧を 0.04MPa 下げて掘進を行ったが、地盤の隆起傾

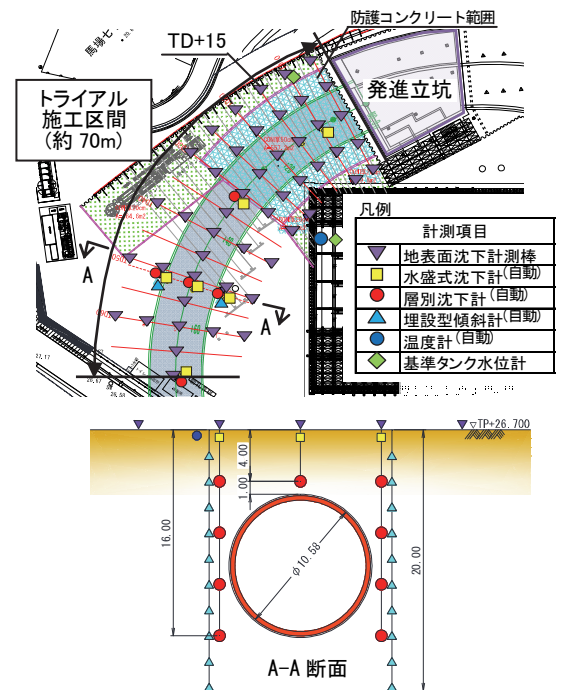


図-7 トライアル施工概要

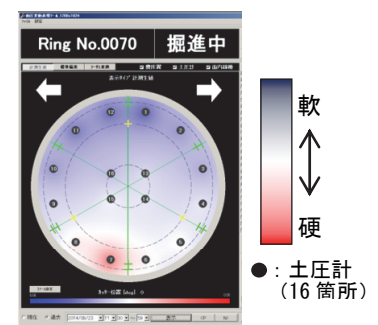


図-8 チャンバー内可視化

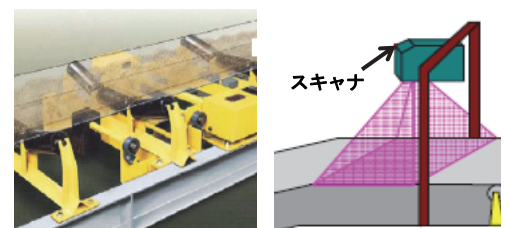


図-9 土量管理システム

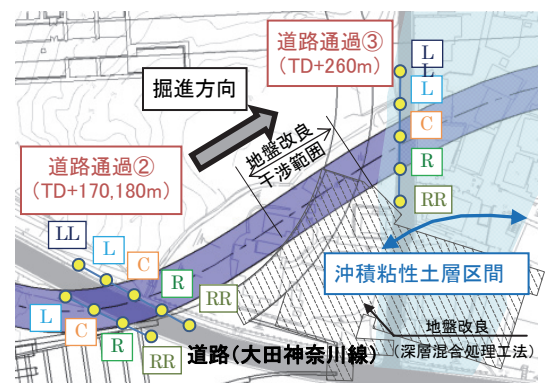


図-10 計測点位置 (TD+170, 180m, 260m)

向が見られたため、さらに 0.02MPa 下げて掘進した。

沖積粘性土層区間位置における代表として TD+260m 地点の施工結果を図-13 に示す。

TD+260m 地点では、カッター通過前、中折れ通過時、テール通過時と、やや地盤の隆起傾向が見られたが変位としては全体的に安定していた。そのため、沖積粘性土層区間直前の事業用地内で設定した切羽土圧（計画切羽土圧に対して -0.06MPa）で掘進した。その結果、4mm 以内の隆起変状で抑制することができた。

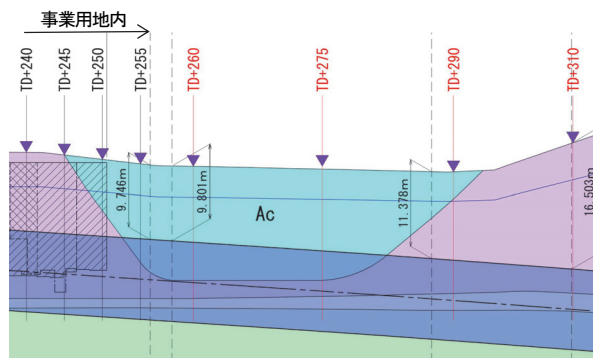


図-11 沖積粘性土層区間縦断面図

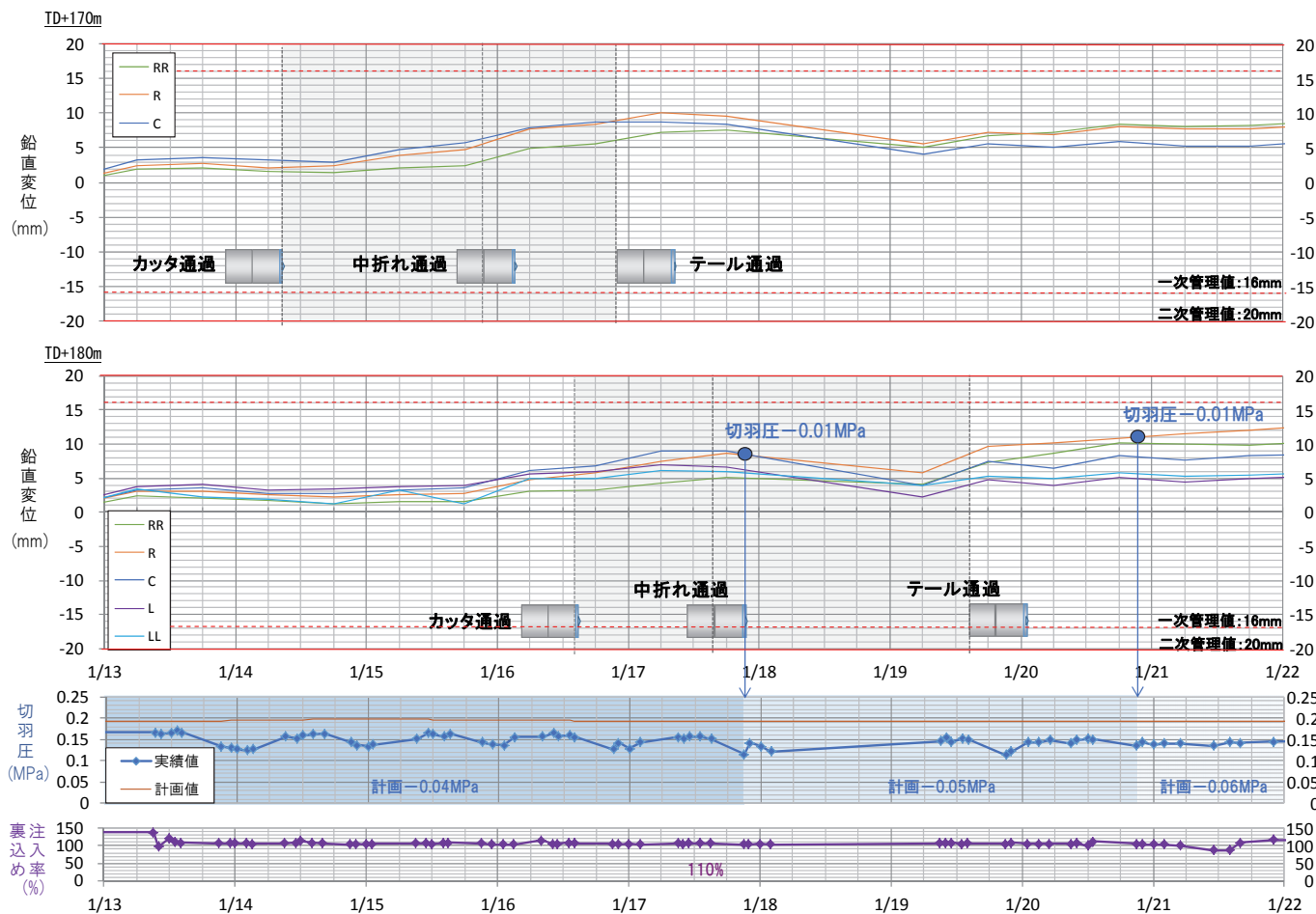


図-12 道路通過② (TD+170, 180m) 施工結果

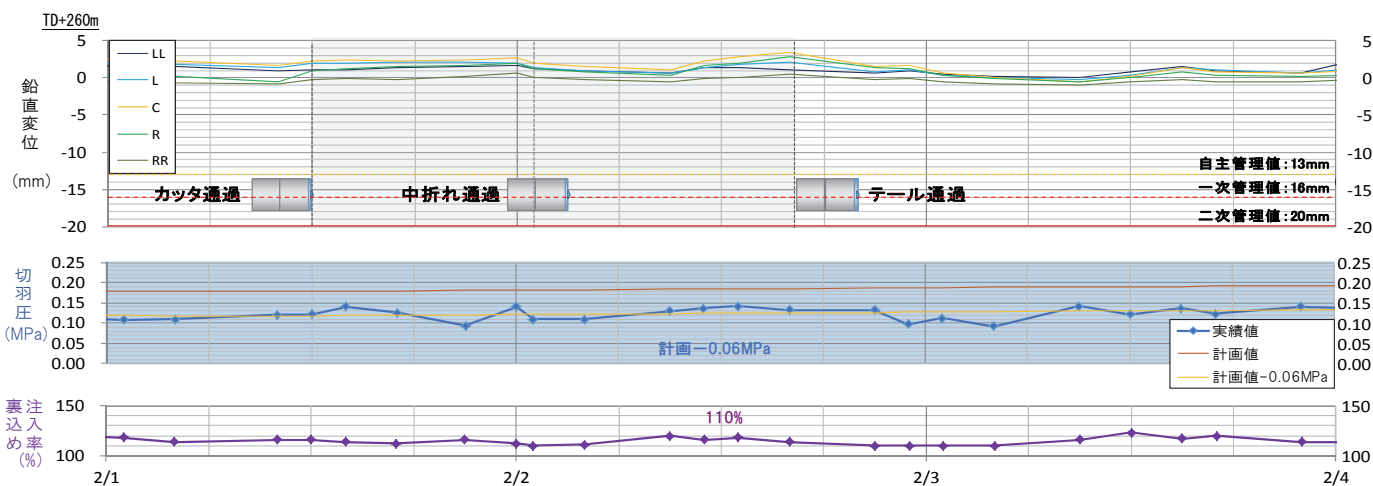


図-13 沖積粘性土層区間 (TD+260m) 施工結果

(3) 本線トンネルへの影響低減

シールド掘進の影響による本線トンネルの健全性評価と掘進時の管理値を設定するため、はり-ばねモデルによる本線トンネルの構造解析を行った。また、構造解析で算出した変形量および応力度の関係から掘進管理値（切羽土圧、裏込め注入圧）を設定した。

シールド掘進時には、本線トンネルの変形量をリアルタイムに把握するため、図-14～16に示すようにトータルステーションによる自動計測を実施し、その計測結果を施工中の掘進管理に反映させた。さらに、本線側の到達部には、到達時の安定性を確保するため、仮壁および反力支保工を設置した。また、到達の切開き時における接合部の止水性確保のため、到達後に機内からの薬液注入を行った。

以上の対策を実施した結果、本線トンネルの変形量を管理値内に抑えることができた。また、到達後の切り開き作業等においては、異常出水なども発生せず、安全に施工を完了することができた（写真-2）。

4. おわりに

本工事では、大断面シールド工事において、急勾配・急曲線・小土被りに加えて、道路通過部および沖積粘性土層が分布する民地通過部での土被り1D未満という非常に困難な条件下で施工した。上述の対策を実施したところ、所定の線形を確保し、地盤変状を抑制することができた。また、本線トンネルに大きな影響を与えることなく安全にシールド機を到達させることができた。

本稿で述べた筆者らの経験が、今後の類似工事の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 溝口ら，横浜環状北線ランプシールドにおける地盤変状対策，土木学会第70回年次学術講演会講演概要集，VI-080，pp. 159-160，2015
- 2) 副島ら，急勾配・急曲線・小土被りににおける大断面シールドの掘進管理，土木学会第25回トンネル工学研究発表会，報告II-5，2015
- 3) 副島ら，横浜環状北線馬場出入口工事におけるシールド到達部の併設影響，土木学会第71回年次学術講演会講演概要集，VI-814，pp. 1627-1628，2016

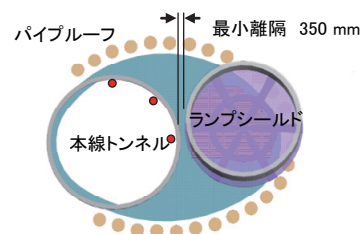


図-14 地中到達部（横断面図）

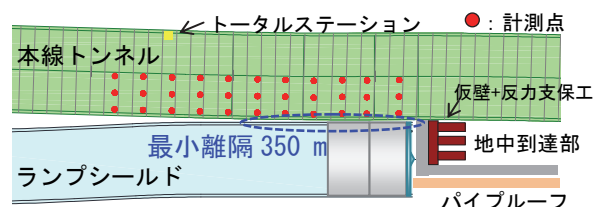


図-15 地中到達部（平面図）

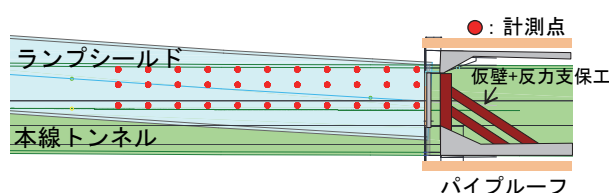


図-16 地中到達部（縦断面図）



写真-2 完了状況
(本線より地中到達部を見る)