

大断面シールドトンネルの 危険な超近接併設工事

横浜環状道路（圏央道）対策連絡協議会

副会長 大橋 宏

国道 468 号首都圏中央連絡道

(1) 圏央道の概要

・圏央道は首都圏3環状道路の1つであり、都心から約40~60kmの圏域を環状に連絡する延長約300kmの道路。

	計画延長	
	計画延長	開通延長
[C2] 中央環状線	約 47km	約 47km(100%)
[C3] 外環道	約 85km	約 50km(60%)
[C4] 圏央道	約300km	約270km(90%)

令和4年4月末時点

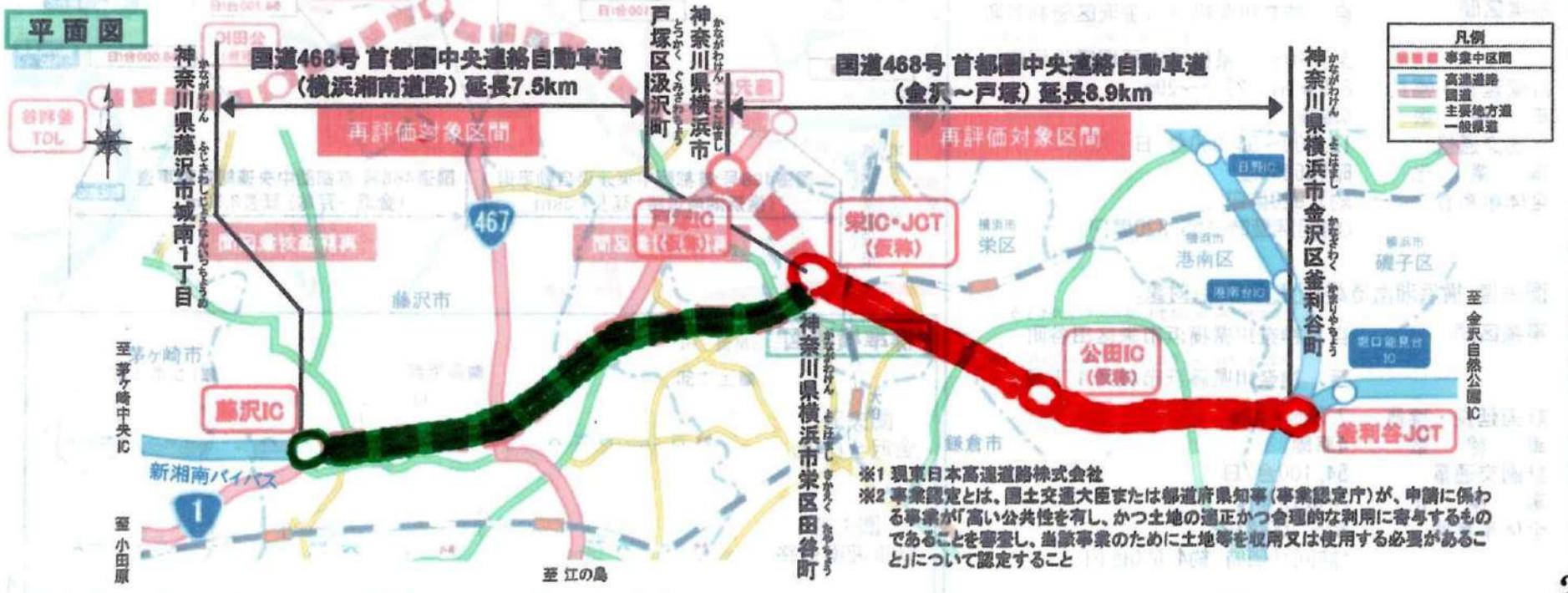


国道 468 号首都圏中央連絡道 (横浜環状南線・横浜湘南道路)

(1) 事業の進捗状況

1) 事業の経緯

圏央道(金沢～戸塚)		圏央道(横浜湘南道路)	
昭和63年度	: 事業化	平成12年7月4日	: 都市計画決定
平成7年4月	: 都市計画決定	平成13年度	: 事業化
平成8年度	: 用地買収着手	平成14年度	: 用地買収着手
平成11年度	: 工事着手	平成17年6月	: 工事着手
平成12年度	: 有料道路事業許可※1	平成25年6月	: 有料道路事業許可※1
平成26年3月	: 土地収用法に基づく手続きに着手(説明会開催)	平成26年3月	: 土地収用法に基づく手続きに着手(説明会開催)
平成26年8月	: 土地収用法に基づく事業認定申請	平成26年8月	: 土地収用法に基づく事業認定申請
平成27年1月	: 土地収用法に基づく公聴会	平成27年8月	: 土地収用法に基づく社会資本整備審議会
平成27年8月	: 土地収用法に基づく社会資本整備審議会	平成27年10月	: 土地収用法に基づく事業認定※2告示
平成27年10月	: 土地収用法に基づく事業認定※2告示		

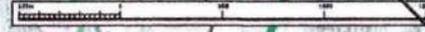


国道468号 首都圏中央連絡自動車道[金沢～戸塚]

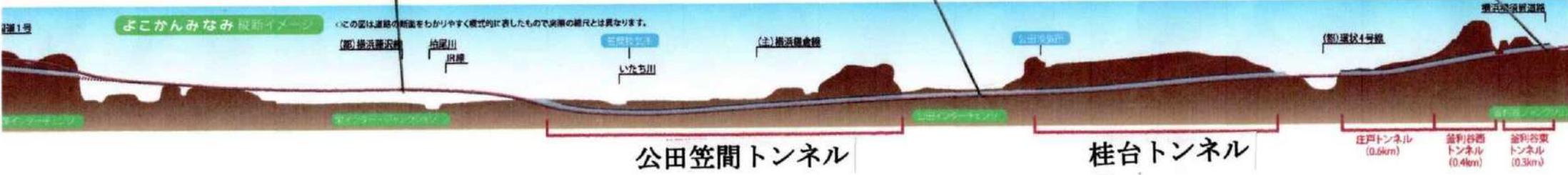
のりこめ、(乗車番号 平22製路、第02号) 利用済車-標記-記載を要し、



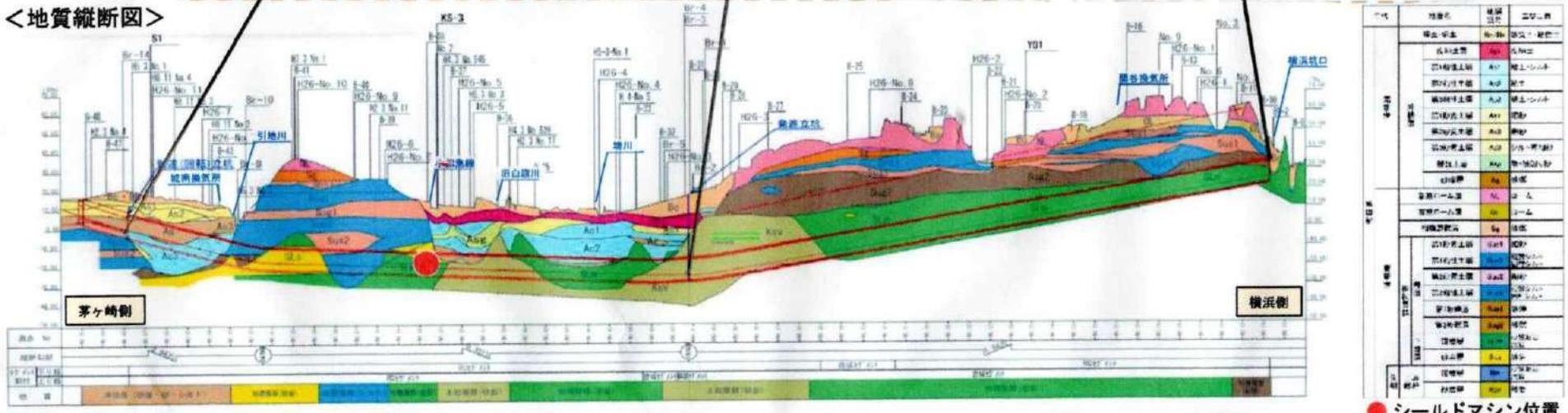
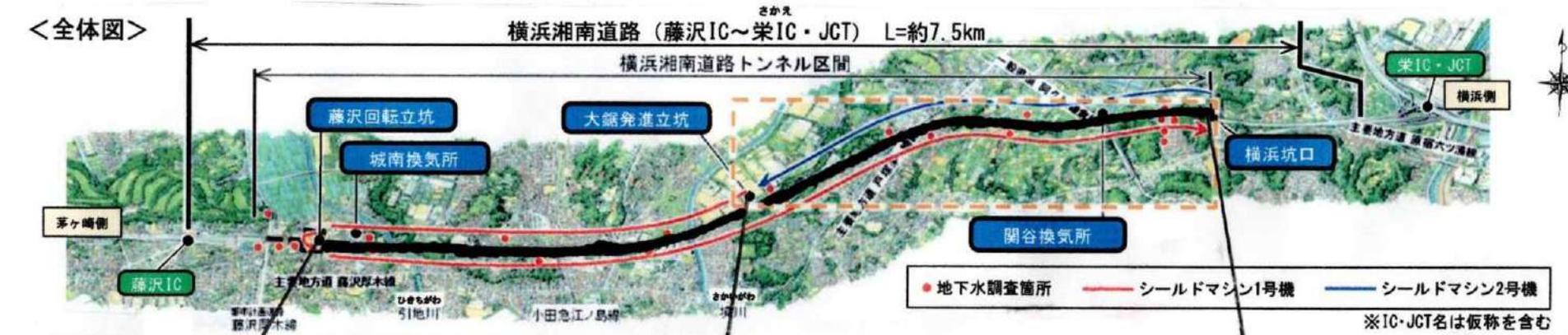
高速相模湾環状南線 L=約8.9km



凡例	
■	相模湾有料道路
■	一般国道 (普通)
■	主要地方道
■	一般県道
■	都市計画道路



国道 468 号首都圏中央連絡道 (横浜湘南道路)



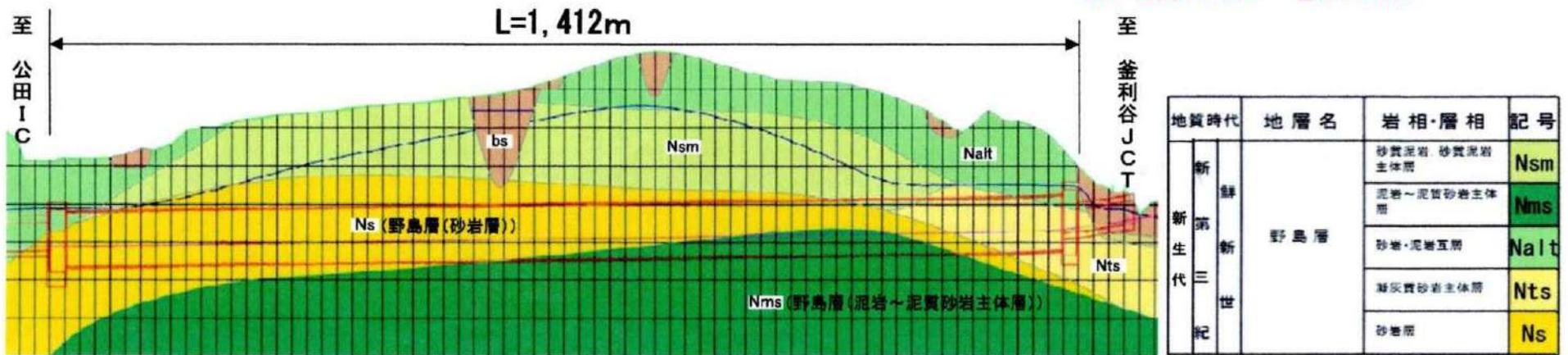
3. トンネル・堀割構造に係る事項 (横浜環状南線)

●地質縦断面図

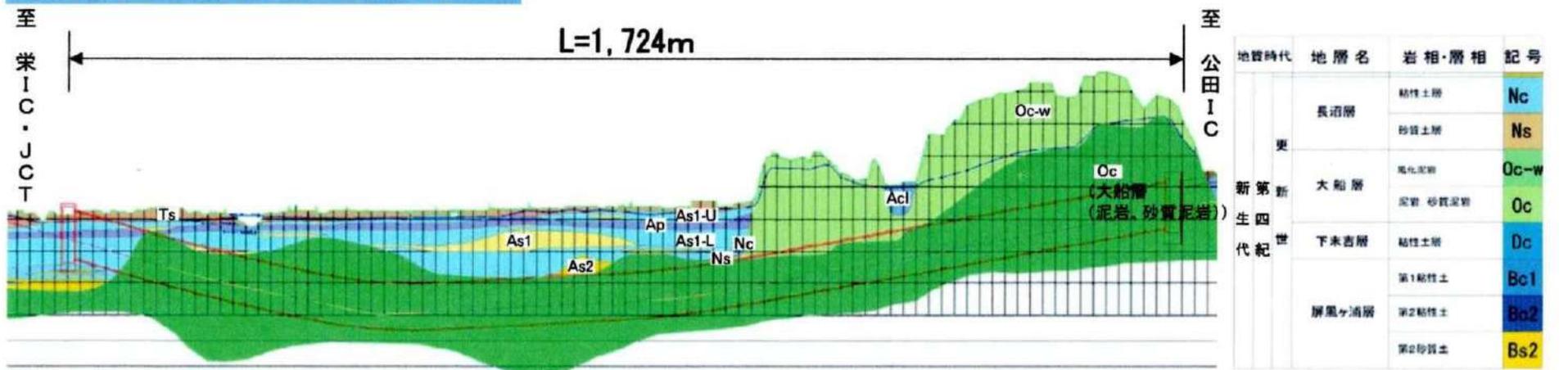
【位置図】



■桂台トンネル 地質縦断面図



■公田・笠間トンネル 地質縦断面図



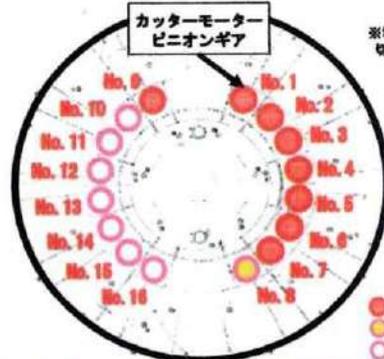
■ほぼ全線にわたり、野島層や大船層といった上総層群に属する非常に堅い地層の中を通過する。

1. シールドマシンの補修状況 【図1】

- ①大ギア
損傷したものは、全て補修済み
- ②ピニオンギア、カッターモーター
損傷したものは、全て交換済み

経緯

R3.1.6 初期掘進開始
 R3.4.7 完了
 R3.5.31 本掘進開始
 R3.7.13 故障により停止
 R4.2.14 本掘進再開



※坑口側から
切羽を望む

- カッターモーター損傷・ピニオンギア損傷
- カッターモーター軽微・ピニオンギア軽微
- カッターモーター無傷・ピニオンギア軽微

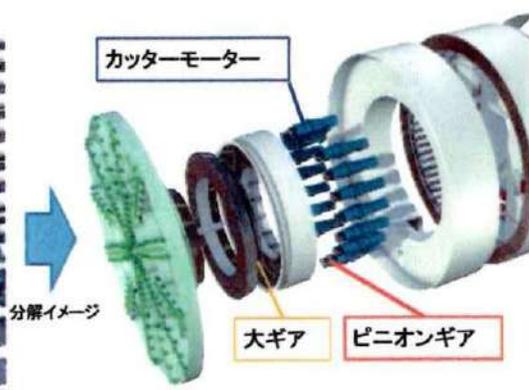
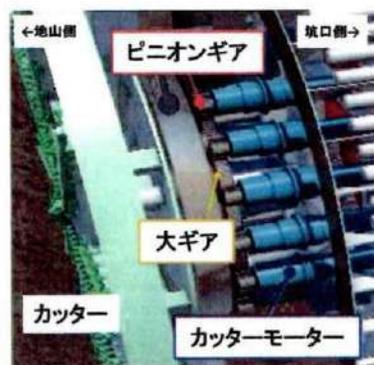


図1 シールドマシンイメージ図



図2 カッターモーターの損傷状況

2. 損傷の要因

- ①ピニオンギアから部品(押さえ板、ボルト)が外れ【写真1、写真2】、大ギアとピニオンギアに挟まり【図1】、ピニオンギア、カッターモーター及び大ギアが損傷【図2】。
- ②部品(押さえ板、ボルト)が外れた要因は、カッターモーターの組立時に過剰な締付けによりボルトが変形し、掘進作業によってボルトが破断したものの。【図3、写真2】

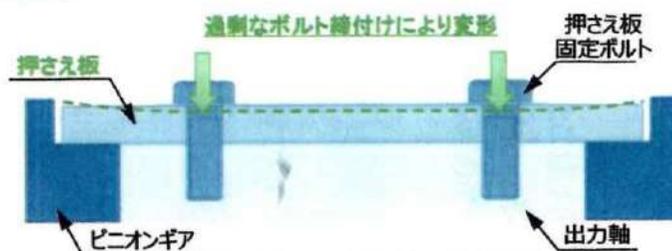


図3 ピニオンギアの押さえ板部のイメージ図

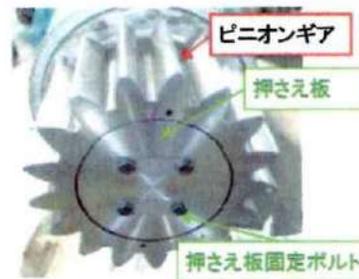


写真1 ピニオンギア(故障前)



写真2 ピニオンギア(故障後)

3. 掘進再開に向けた対応 【写真3】

- ①カッターモーター組立時の手順見直し
(ボルト締付け管理の追加)
- ②ボルトの増設及びゆるみ止めの強化
- ③振動センサーによる異常時監視の強化

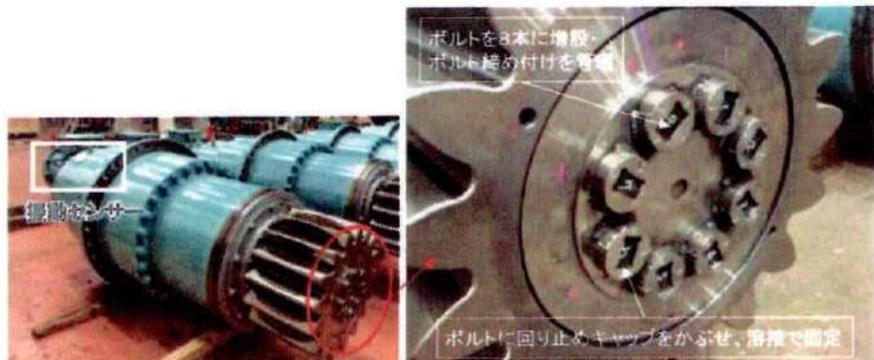


写真3 ピニオンギア(改良後)

横浜湘南道路 1号機事故の概要

(1) 発生事象と対応状況について

<全体図>

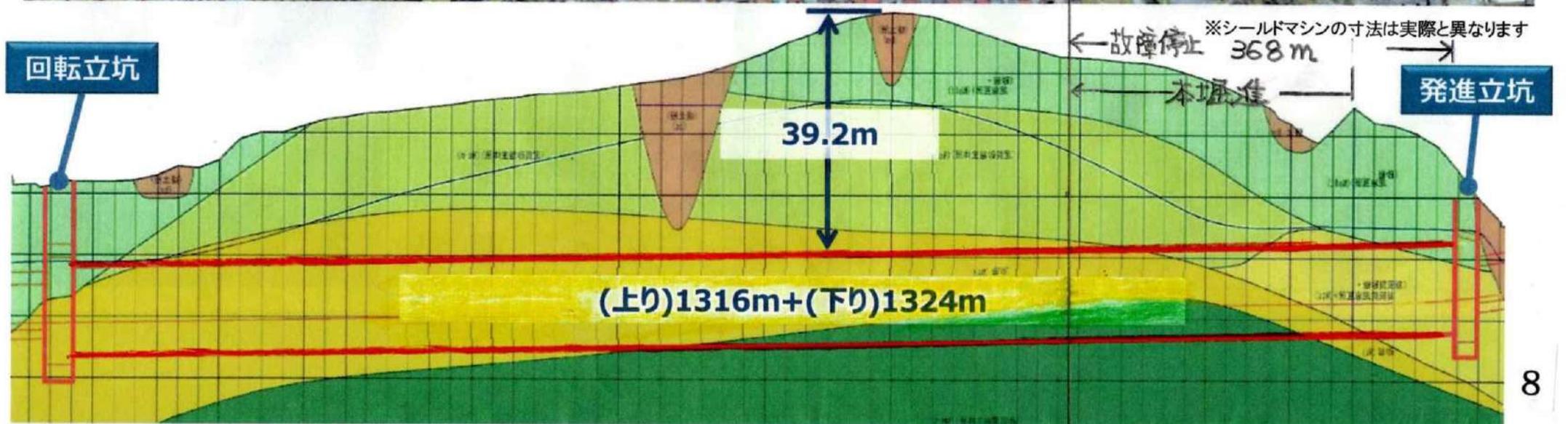
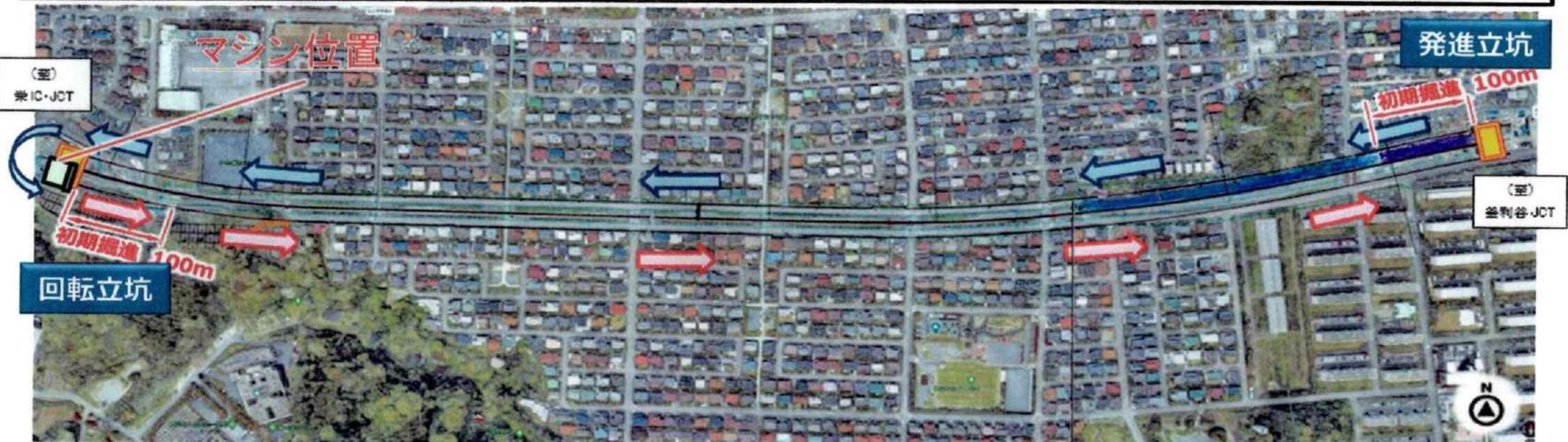


<支障物(鋼材)接触から撤去埋め戻し完了までの主な経緯>

- 令和元年 11月20日 2級河川境川(県管理)横断時、不具合が発生しシールドマシン掘進停止(藤沢市大鋸地先)
- 令和2年 1月10日 現地ボーリング調査の結果、左岸側に支障物(鋼材)を確認
- 3月16日 支障物(鋼材)の地上作業による撤去作業開始
- 4月29日 支障物(鋼材)引き抜き作業完了。3本が破断しシールド掘進断面内の地中に残存した可能性
- 5月~8月 対策工法検討及び河川管理者との協議
- 9月 河川内での止水工及び地盤改良着手
- 11月 ライナー立坑掘削着手
- 令和3年 1月 支障物(鋼材)撤去開始
- 4月12日 支障物(鋼材)撤去完了(シールドマシン本体、交換式先行ビット、固定式ティースビット、固定式先行ビットの点検も合わせて実施)
- 5月23日 ライナー立坑埋め戻し完了

桂台トンネル工事の進捗状況(トンネル部)

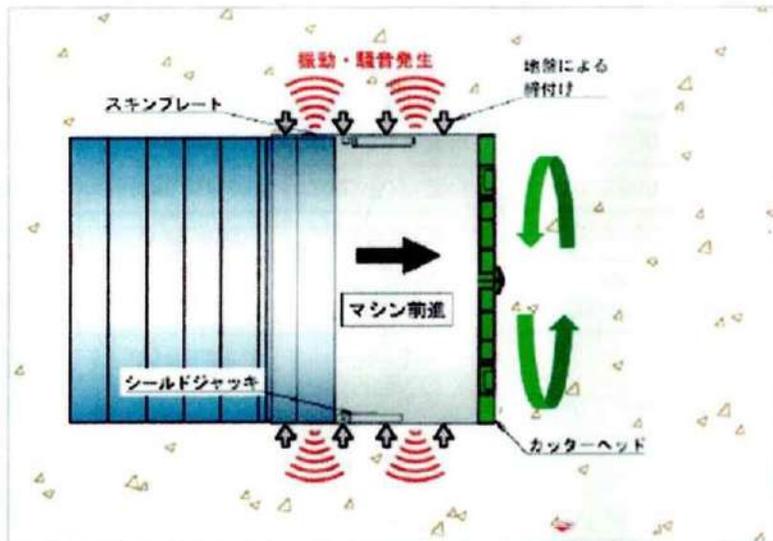
○桂台トンネルのシールドマシンは、令和4年10月に回転立坑に到達し、下り線掘進に向けマシンの回転作業および掘進再開に向けた準備を実施中です。



高速横浜環状南線 下り線掘進時の振動・騒音対策

【上り線における騒音・振動の主な要因】

- シールドマシンが前進する際に、マシンのスキンプレート(胴体部)と周辺の地山との摩擦から発生する振動・騒音



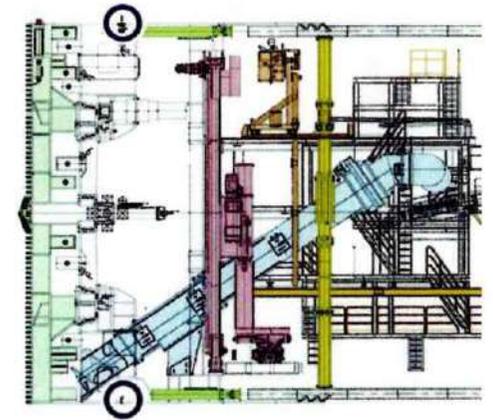
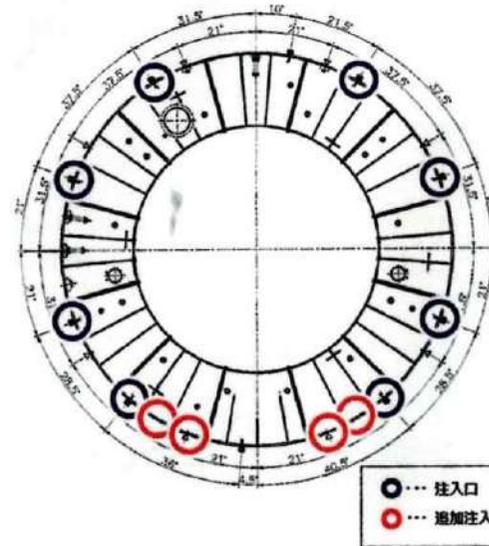
※桂台トンネルでは、摩擦抵抗の大きい砂質系の地山と地表面まで硬質な地盤であるため、振動・騒音が伝わりやすい地域

○これまでの取り組み

- ・掘進速度の調整を実施
- ・マシンのスキンプレート(胴体部)と地山との間に滑剤を充填し、地山との摩擦低減を実施

【振動・騒音対策】

- 掘進に伴う騒音・振動に対し、掘進速度の調整など状況に応じて実施
- マシンのスキンプレート(胴体部)と地山との間に滑剤を充填し、地山との摩擦の低減を図るなど状況に応じて実施
 - ⇒ 滑剤注入口の増設
 - ⇒ 新たな滑剤の活用および効果検証
 - ⇒ 振動・騒音のモニタリングを強化し、振動発生個所などに滑剤を重点的に注入



- 上記対策を行っても騒音・振動が感じられる場合があります。そのような場合には、一時的に滞在可能な場所の確保・提供などの対策を状況に応じて実施してまいります

近接施工の工事例

	セグメント外径	離隔	離隔/外径	近接区間
阪神高速大和川線	φ 12,230mm	約1,000mm	8.2%	2,000m
京王電鉄京王線・相模原線	φ 6,700mm	424mm	6.3%	803m
つくばエクスプレス線	φ 7,300mm	294mm	4.0%	立坑前15m
横浜湘南道路	φ 13,270mm	400 mm	3.0%	1,610m
横浜環状南線	φ 15,000mm	380mm	2.5%	400m

	マシン外径	マシン離隔	工期
阪神高速大和川線	φ 12,470mm	760mm	～2019年3月
京王電鉄京王線・相模原線	φ 6,850mm	274mm	～2012年 8 月
つくばエクスプレス線	φ 7,450mm	144mm	～2003年5月
横浜湘南道路	φ 13,530mm	140mm	未着工
横浜環状南線	φ 15,280mm	100mm	未着工

近接工事とは 土木学会（トンネル標準示方書）（シールドトンネル編）によれば

トンネル間の離隔距離がトンネル外径以下となる場合には近接工事として十分な検討が必要です。

併設トンネル相互の影響

- ① 後続シールドの掘進による先行トンネルの押出され、あるいは引込まれ
- ② 後続シールド通過による先行トンネルの引込まれ
- ③ 後続トンネルの裏込め注入による先行トンネルの押出され
- ④ 先行シールドによる地山の緩みに起因する後続トンネルの引込まれ

影響により生ずる現象 セグメントの変形、接手ボルトの変形、破断、漏水、地表面の地盤沈下

対策 地表面の変位、シールドトンネルの変形、変位を地中沈下計、傾斜計、土圧計、間隙水圧計、
変位計等を用いて監視する

施工事例の対策内容

1. 阪神高速 大和川線 トンネルの品質、精度向上のためトンネル断面を 360 度測定できる回転式レーザー距離計を開発、運用し、掘進時の切羽土圧、裏込め注入圧及び曲線施工時荷重の影響などを常時監視。結果を総合的に評価、フィードバックして施工した。結果、従来は 1/250 の真円度（変位量/トンネル外径）を先行トンネルで 1/1,000、後行トンネルで 1/2,000 に高めた。（日本建設工業会の土木賞受賞）
- 2 京王電鉄 京王線・相模原線 調布駅付近連続立体交差事業 一日に京王線、相模原線の上下とも 300～400 両走行している線路の直下、一部土被り 4.7m の浅い部分、最小離隔 424mm、半径 160m の急曲線部、水平併設から上下併設に変化するトンネル構築、さらに最大径 300mm の玉石を含む砂礫層掘進をシールドマシン 1 台で施工する難事業。離隔 550mm 地点でセグメント計測を行い最小離隔 424mm でも安全なことを検証した。（土木学会の技術賞受賞）
2. つくばエクスプレス線 つくば駅手前に設置の回転立坑前 15m の区間が 294mm の超近接となっており、その部分のセグメントをダクティル採用、更に離隔 950mm までの範囲を高圧噴射攪拌工法で地盤補強した。 9-④

高速横浜環状南線 超近接工事の問題点

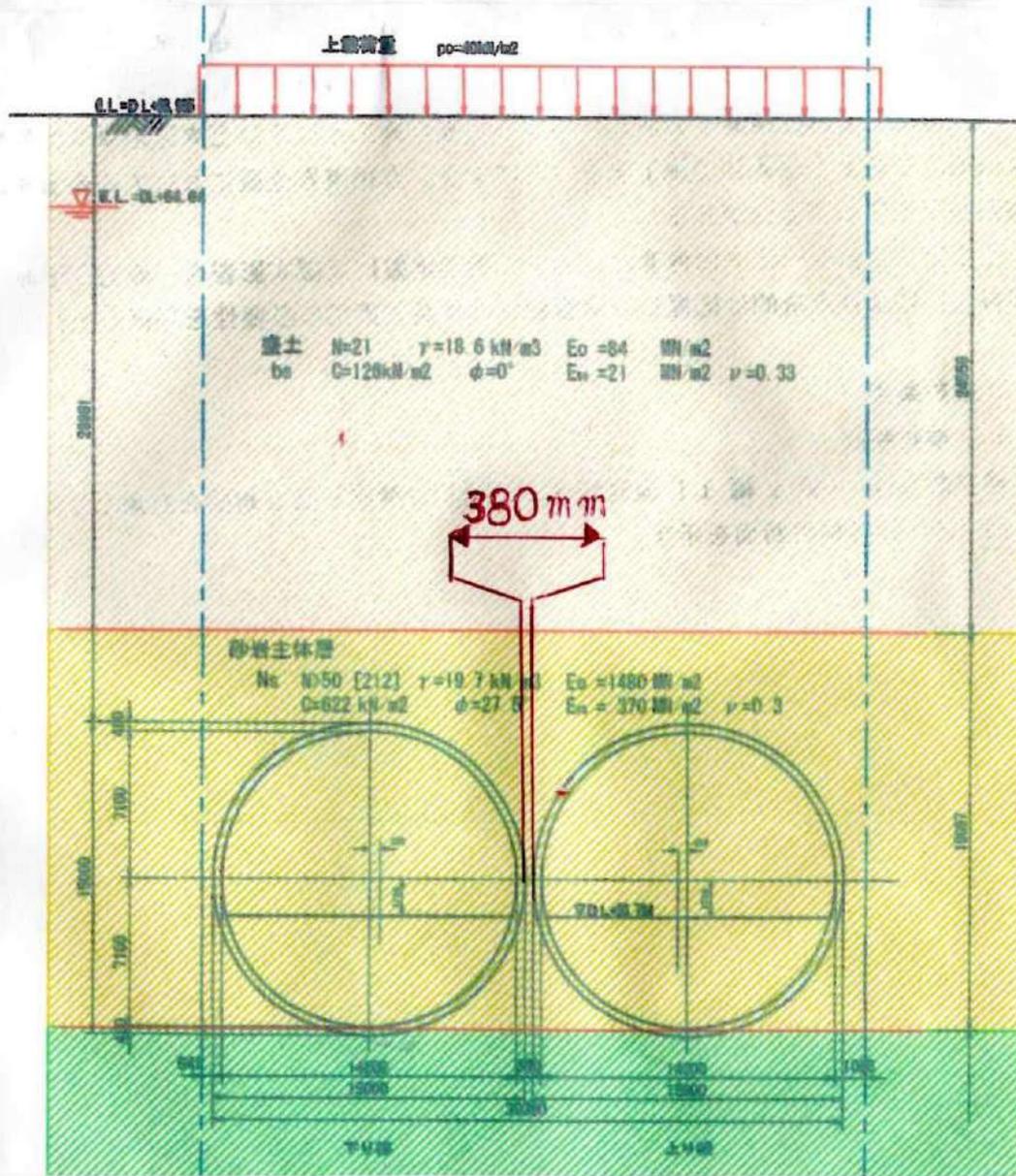


図 4.3.1 (1) 検討断面 1-1 (桂台トンネル STA23+5)

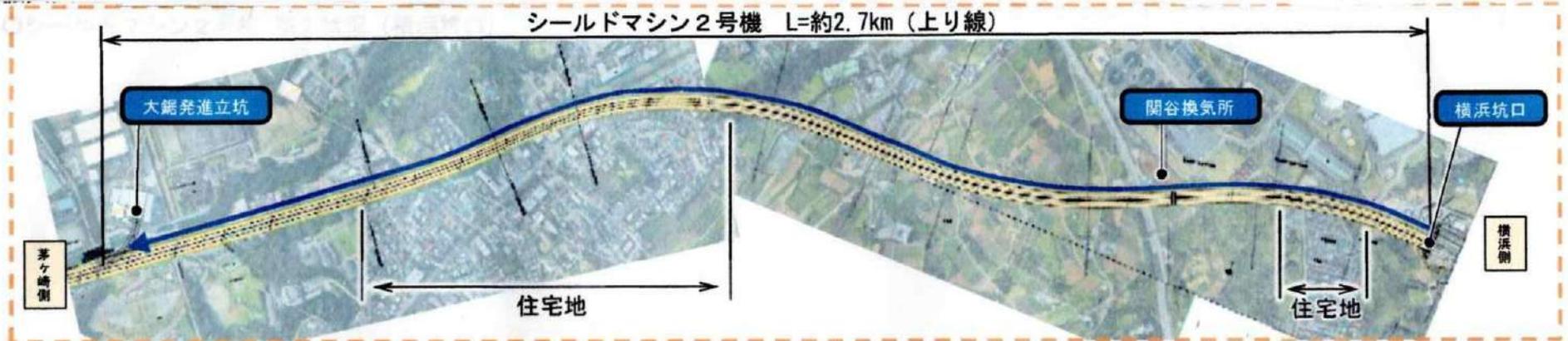
桂台トンネルでは約 1.3km のシールド区間のうち約 400m で最小離隔 (セグメント間) が 380mm となる超近接施工は技術的な難易度が高い。

この現場ならではの工夫が求められるので「シールドマシンの側面から照射する電磁波レーダーを活用し、先行トンネルとの離隔をリアルタイムに計測することで近接施工に対応していく」という。

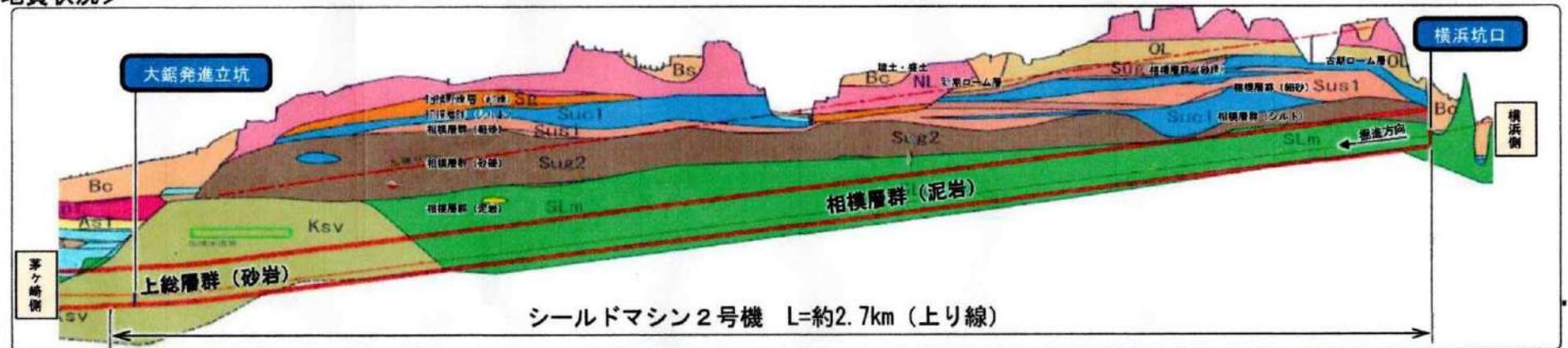
レーダーによる離隔計測を補完する地山探査装置を搭載するなど、多くの工夫を施しながら、施工を進めるトンネル構築に「関係者の総力を結集していく。こうした工事を経験することで技術力を維持・継承していかなければならない」(2020年9月12日松村所長)

横浜湘南道路 2号機掘進区間の問題点

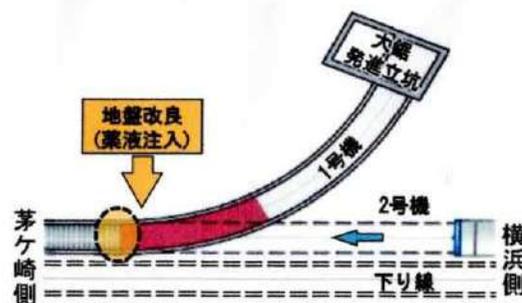
- シールドマシン2号機は、横浜坑口側の地上より発進し、土被り約20mの住宅地を抜け、大鋸発進立坑まで延長約2.7kmの掘進を行う。
- シールドマシン2号機は、シールドマシン1号機により施工済のトンネルと地中接合を行う。
(地中接合については、掘進再開後のシールドマシン1号機の施工状況等も考慮し着手)



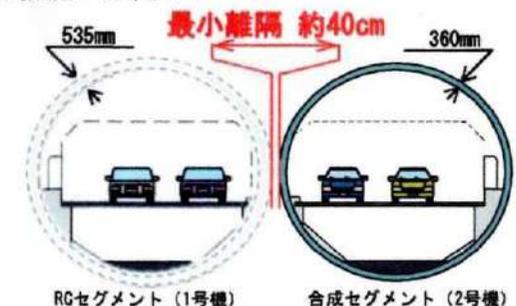
<地質状況>



○地中接合イメージ



○近接施工区間イメージ



※ 2号機が先行施工を実施。1号機と2号機のマシンすれ違い施工なし。

横浜湘南道路 超近接工事の施工計画

(1) 近接施工における施工管理

<課題と指摘事項>

- 上下線トンネルの離隔が極小となる近接施工区間の検討にあたっては、他の近接施工事例なども参考に、近接施工の影響や施工管理等について検討する必要がある。



<対応方針等>

- 近接施工による先行トンネルへの影響を考慮し、先行セグメントに高剛性かつ強度の高い合成セグメントを採用する。
- トンネル施工時において、後行シールドが先行トンネル※に与える影響を考慮し、先行トンネル内部に変形防止用の移動式支保工を設置する。
 - ※ 先行トンネル（セグメント）：2号機
後行シールド（セグメント）：1号機
- トンネル内部に変位計、傾斜計、ひずみ計を設置し、24時間計測管理を実施する。
 - 【参考】：他の近接施工事例（阪神高速大和川線）における対策
 - ・ 近接区間に合成セグメントを採用
 - ・ 計測管理（地盤変位計、土圧計、ひずみ計、内空変位計）の実施

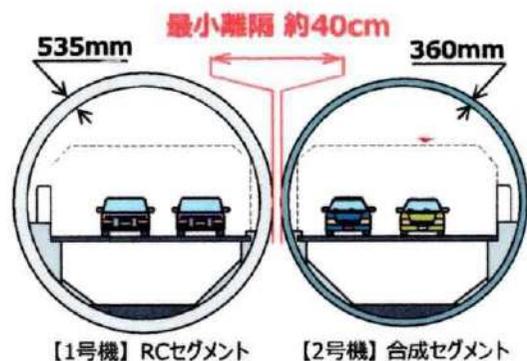


写真 RCセグメント



写真 合成セグメント

