

New PLS 工法の施工への適用

—横浜横須賀道路吉井工事—

及川 淳・芳賀佳之・宮崎 航

New PLS (Pre-Lining Support) 工法は、未固結地山や土被りの薄いトンネルにおいて山岳工法で施工する場合に適用される工法で、プレライニング工法のひとつである。トンネル掘削に先立ち、切羽のトンネル外周部を、チェーンカッタを保有した機械により切削しながらコンクリートを即時充填、奥行き 3.0 m、厚さ 40 cm のアーチ形状のプレライニングを構築し、その後、トンネル内部を掘削する。プレライニングは剛性が高く、掘削後の支保の役割も果たすため、安全に掘削でき、地表沈下の低減等、周辺地山への影響を抑制できる。本工法の施工実績は 3 件となるが、最新事例では先受け長を従来の 2.0 m から 3.0 m に変更し良好な結果を得た。本報文では、New PLS 工法の概要、機械の概要、施工実績について報告する。

キーワード：トンネル覆工、プレライニング工法、New PLS 工法、チェーンカッタ

1. はじめに

横浜横須賀道路は一般国道 16 号のバイパスとして計画され、横浜市保土ヶ谷区狩場町から横須賀市佐原一丁目までの区間 ($L=28.5$ km) は既に供用しており、三浦半島の基幹道路としての役割を果たしている。当道路は東京湾岸に位置する横須賀市馬堀海岸までの延長 4.3 km 区間が延伸され、馬堀海岸で国道 16 号と結ばれる。

吉井トンネルは本延伸事業の一部で、横須賀市吉井町に位置する延長 346.5 m のトンネルである。(図-1 参照)。

本トンネルは数年前に施工された盛土がトンネル延長の約半分に分布している。盛土は非常にルーズな上に、土被りが 7~11 m と薄く、地表にはインフラストラクチャが埋設されている市道が横断するなど非常に厳しい条件であるため、New PLS (Pre-Lining Support) 工法を用いて施工を行った。本報文では New PLS 工法の施工結果について示す。

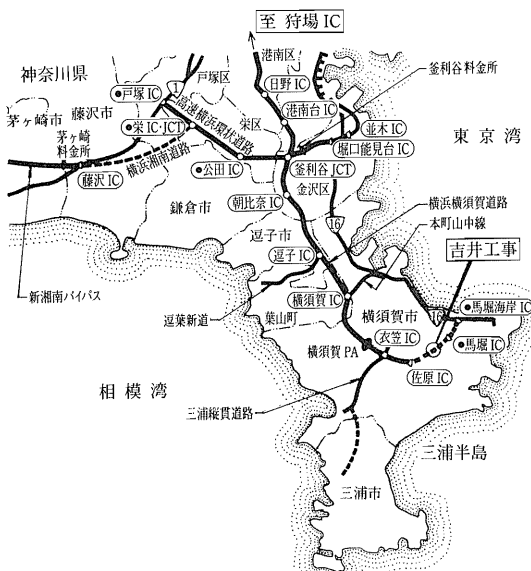


図-1 工事位置図

2. 工事概要

New PLS 工法を適用したトンネル工事の概要を下記に示す (図-2 参照)。

- ・工事名称：横浜横須賀道路吉井工事
- ・道路名：横浜横須賀道路
- ・路線名：一般国道 16 号線
- ・車線の幅員：3.5 m × 2 車線 (暫定 2 車線)
- ・施工場所：神奈川県横須賀市吉井～浦賀 2 丁目
- ・工期：平成 10 年 6 月 26 日～平成 13 年 8 月 28 日
- ・トンネル延長：346.5 m
- ・掘削工法：New PLS 工法 (全断面掘削工法)
- ・掘削方式：機械掘削方式 (ツインヘッド)
- ・ずり出し方式：タイヤ方式

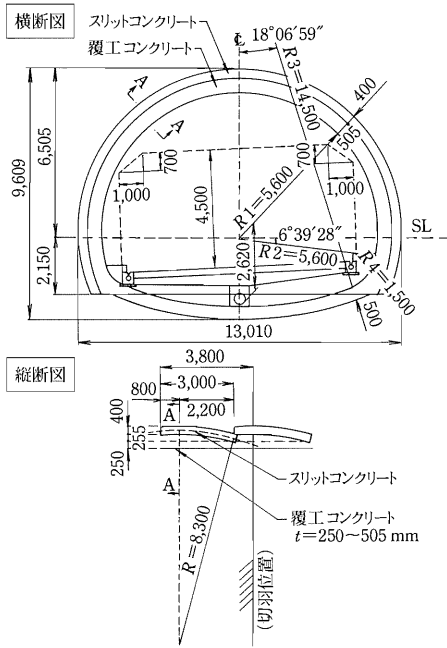


図-2 トンネル構造図

3. 地形・地質概要

トンネルは、急峻な丘陵地を宅地造成のために平坦に切土、盛土した箇所位置する。

付近の基岩は三浦層群逗子泥岩層である。泥岩層の1軸圧縮強度は1.7~10.8 MPaであり、新鮮

部で平均7.3 MPa、風化部で平均2.5 MPa程度である。盛土部は切土発生材を使用して数年前に盛土されたもので、非常にルーズである(平均N値=13)。この盛土が切羽に出現する区間の延長はトンネル全線の約半分(約150 m)を占めていた。図-3に吉井トンネルの地質縦断面図及び支保パターン図(設計及び実績)を示す。

4. New PLS 工法

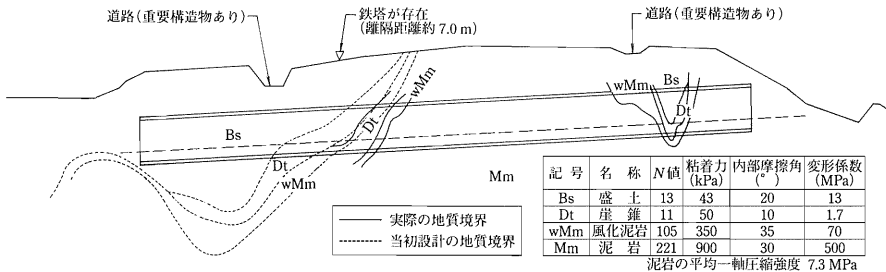
(1) New PLS 工法の概要

New PLS 工法は北陸自動車道名立トンネルにおける試験施工及び、横浜新道(拡幅)保土ヶ谷トンネルにおける拡幅施工に続き3例目である。

本工法はプレライニング工法の一つであり、トンネル掘削に先立って切羽前方のトンネル外周に縦断長さ3 m、厚さ40 cmのスリットコンクリート(プレライニング)を構築し、その後にトンネル掘削(1進行長3 m)を行う工法である。

スリットコンクリートの構築は切羽前方のトンネル外周をチェーンカッターで切削し、コンクリートを即時充填するため、地山の緩みをほとんど発生させることなく施工できる。

図-4にNew PLS 工法の施工概念図を示す。また、写真-1に構築したスリットコンクリートを示す。



設	断面区分	坑門	D III a-2					坑門			
			D III a-3	D III a-4	D III a-1	D III a-2	D III a-3				
	延長	0.8	132.0	21.0	99.0	36.0	12.0	45.0	0.7		
	掘削工法		New PLS 工法								
	スリット No.		1	2	3	4	5	6	7		
実	断面区分	坑門	D III a-2			D III a-2		坑門			
			D III a-3(b)	D III a-4	D III a-1	D III a-2(a)	D III a-1				
	延長(m)	0.8	3.0	108.0	18.0	6.0	144.0	12.0	18.0	36.0	0.7
	掘削工法		New PLS 工法			NATM		New PLS 工法			
	鏡吹付け		t=5 cm					t=5 cm			
	鏡ポルト		L=15 m, 9 m ピッチ					L=12 m			
	仮インバート		仮インバート					L=8 m			
	脚部補強(右)		No.80~115(86除く)								
	脚部補強(左)		No.78~114								

図-3 地質縦断面図及び志保パターン図

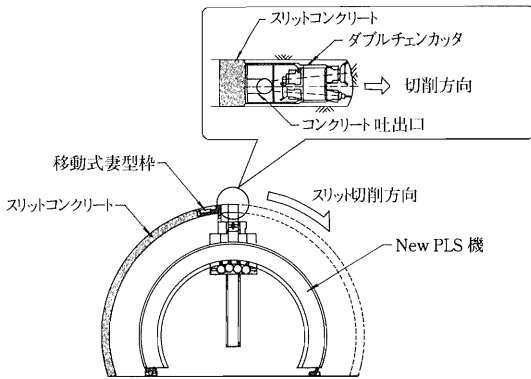


図-4 New PLS 工法施工概念図

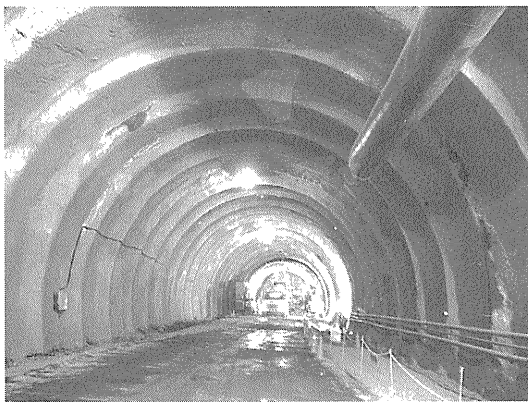


写真-1 構築したスリットコンクリート

(2) 支保パターン

New PLS 工法においては、スリットコンクリート（プレライニング）が先受け及び支保の役割を果たす。このため、吹付けコンクリートやロックボルトは不要である。

吉井トンネルで使用した支保パターンの一覧表を表-1 に示し、D III a-3(b) のパターンを図-5 に示す。

盛土部においては、地耐力確保の目的で脚部改

表-1 吉井トンネル支保パターン一覧表

パターン	プレライニング	鏡 補 強	地耐力不足対策
D III a-1	スリットコンクリート $t=40\text{ cm}$	なし	なし
D III a-2	スリットコンクリート $t=40\text{ cm}$	鏡吹付け $t=5\text{ cm}$	なし
D III a-3 (a)	スリットコンクリート $t=40\text{ cm}$	鏡吹付け $t=5\text{ cm}$, 長尺鏡ボルト $L=12\text{ m}$ (縦断間隔 6 m 毎に打設)	なし
D III a-3 (b)	スリットコンクリート $t=40\text{ cm}$	鏡吹付け $t=5\text{ cm}$, 長尺鏡ボルト $L=15\text{ m}$ (縦断間隔 9 m 毎に打設)	脚部補強工 仮インバート 吹付け ($t=25\text{ cm}$)

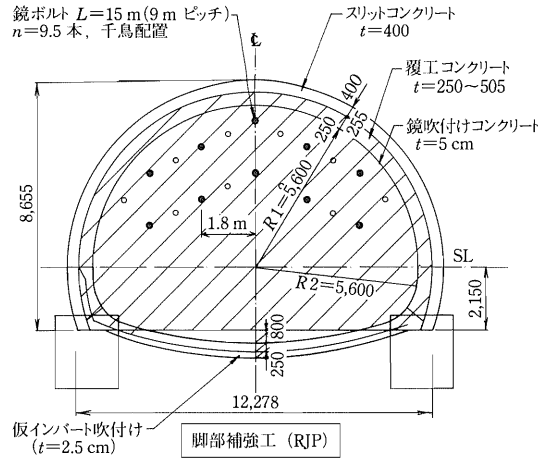


図-5 D III a-3(b) 志保パターン図

良工（地表より高圧噴射攪拌工法により施工）を施工した。

(3) 施工順序

吉井トンネルにおける施工順序図を図-6 に示す。吉井トンネルでは1進行長を3 mとした。特に泥岩部での施工はスリットコンクリートの構築と掘削のみであり、非常にシンプルなサイクルとなることが特徴である。

(4) New PLS 機

本トンネルでは、保土ヶ谷トンネルに比べスリットコンクリート長さ（以下、スリット長）を長くし、対象地山として一軸圧縮強度 10 MPa 程度の泥岩も切削することから、機械の切削能力を向上

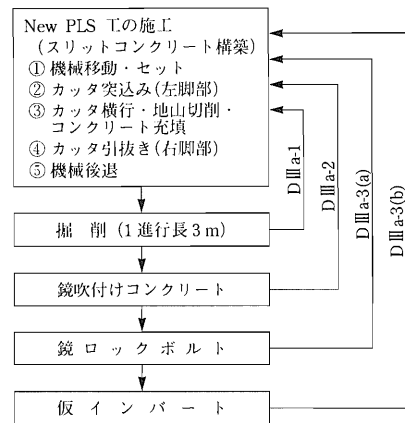


図-6 施工順序図

(※D III a-4 は崩落後に NATM により施工)

させた。表-2 に本トンネルと保土ヶ谷トンネルの New PLS 機の主な仕様を、表-3 に機械の仕様を示し、図-7 に本トンネルの New PLS 機構造

表-2 New PLS 機の主な仕様

トンネル	吉井トンネル	保土ヶ谷トンネル
断面	2車線	3車線幅
スリット長	3.0 m	2.0 m
スリット厚	40 cm	40 cm
油圧ユニット	132 kW×400 V×50 Hz	90 kW×400 V×50 Hz
切削横速度	Ave. 10 cm/min	Ave. 15 cm/min
総質量	125 t (レール含む)	105 t (レール含む)

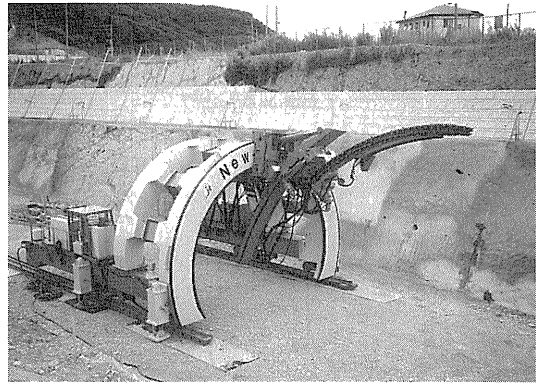


写真-2 New PLS 機側面

表-3 機械主要仕様 (吉井トンネル)

①New PLS 機

品目 (項目)	仕様	数量
油圧ユニット [1]	電動機 132 kW×400 V×50 Hz 可変ポンプ (Max. 40 cc/rev)	1式
油圧ユニット [2]	電動機 11 kW×400 V×50 Hz ギャボン 15.6 cc/rev×2	1式
カッタ	チェーン速度 Max. 44 m/min 掘削力 Max. 18.5 t (スプロケット接線力) 駆動装置 100 kW 相当減速機付油圧モータ	2式
横行装置	横行速度 Max. 200 mm/min 横行力 Max. 35 t 駆動装置 6.6 kW 相当減速機付油圧モータ	4台
本体走行装置	走行速度 0~5.6 m/min 走行移動力 Max. 9.5 t 駆動装置 6 kW 相当遊星減速機付油圧モータ	2台
アウトリガ	ストローク 550 mm 支持力 Max. 100 t	4台

②ポンプ関係

品目 (項目)	仕様	数量
コンクリート圧送ポンプ	駆動装置 シンテック MKW-25 SNT 駆動方式 25 kW×400 V×50 Hz 三相誘導電動機 インバータ制御、遠隔操作方式	1式
急結剤ポンプ	駆動装置 ヘイシンモノポンプ 駆動方式 0.4 kW×200 V×50 Hz 三相誘導電動機 インバータ制御、遠隔操作方式	1式

造図を、写真-2 に機械全景を示す。

(5) スリットコンクリート

New PLS 工法においては、スリットコンクリートが先受け及び支保の役割を果たす。スリットコンクリートが先受け及び支保の品質を確保するためには、確実な充填性 (スランプの確保及び保持時間の調整が必要)、妻型枠通過後のコンクリート端部の自立性 (急結剤添加後に自立する事が必要) 及びトンネル掘削時に必要な初期強度発現が必要である。表-4 にスリットコンクリートの要求品質を示す。

ここで、表-4 の要求品質を満足するために、スリットコンクリートには、各目的別に3種類の特殊混和材を混入している (表-5 参照)。

表-4、表-5 に示したようにスリットコンクリートは流動性の確保と初期の強度 (自立性含む) という相反する性能が要求されるコンクリートである。

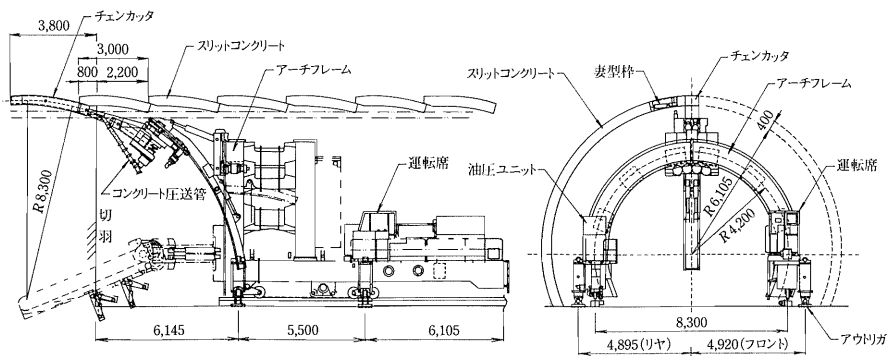


図-7 New PLS 機構造図

表-4 スリットコンクリートの要求品質の比較

トンネル	吉井	保土ヶ谷	目的
スランブ	20±2.5 cm	20±2.5 cm	スリット内に確実に充填可能である
スランブ保持時間	90分	120分	
自立時間	打設12分後に自立	打設8分後に自立	妻型枠移動時に自立する
初期強度	σ_{6h} =3 N/mm ²	σ_{6h} =3 N/mm ²	掘削時の支保効果発揮
設計基準強度	σ_{28d} =18 N/mm ²	σ_{28d} =18 N/mm ²	吹付けコンクリートと同様

表-5 各目的別の特殊混和材

特殊混和剤	目的	備考
凝結調整剤	スランブ保持	プラントで投入(スラリー※)
急結剤	自立性の確保	打設時に混入(液体)
急硬材	初期強度発現	プラントで投入(粉体)

※スラリー：粉体の材料を水に溶かして投入

5. 施工状況

(1) New PLS 施工状況

スリット長3mの施工は本トンネルで初めて採用することから、施工当初は機械に関するトラブルが発生した。しかし機械の改良を行ったことにより、概ねスムーズな施工が出来た。特に保土ヶ谷トンネルで多発した妻型枠通過後のコンクリートの漏れはほとんど発生しなかった。これは、New PLS機の切削横行速度の変更によりスリットコンクリート自立時間が12分(保土ヶ谷8分)となったことが大きく影響していると考えられる。掘削の進行はDⅢa-1区間で約60m/月、DⅢa-3(b)区間(鏡吹付け、鏡ボルト、仮インバート)で約40m/月程度であった。

(2) サイクルタイム

吉井トンネルにおけるNew PLS工のサイクルタイム実績を表-6、図-8に示す。

(3) 運転管理

運転管理は、基本としてスリットコンクリートの品質を確保することを目的とし、以下の管理を行った。

- (a) スリットコンクリート充填率の確保(100%以上)

カッタの横行速度とコンクリート圧送量のバラ

表-6 New PLS工サイクルタイム実績(平均)

(単位：分)						
路盤整備・準備	New PLS機セット	左脚部	横行	右脚部	片付け	合計
64	82	158	279	118	45	746

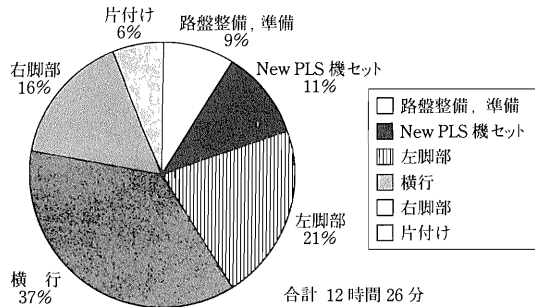


図-8 New PLS工サイクルタイム(平均)

ンスを確認しながら、お互いの速度調整を行う。また、実際のコンクリートの充填を管理する目安として、充填したコンクリートと接するカッタフレームにある圧力計(以下跡圧)により、横行角度に対する跡圧を管理する。

- (b) スリットコンクリートの連続性の確保

スリットコンクリートは無筋コンクリートであるため、連続施工を保たなければならない。したがって、カッタチェーン圧力(以下、チェーン圧力)を管理することで、如何にカッタ横行を止めないで施工するかということが重要となる。チェーン圧力は同じ横行速度でも地山の状況、横行の角度によって変化するため、そのつどの状況により横行速度、コンクリート圧送量等を調整する。表-7に

表-7 運転管理基準

項目	管理基準
横行速度	チェーン圧の回転可能圧力以下で横行可能速度を判断する
チェーン圧	回転可能圧力以下で管理する
コンクリート圧送量	横行速度と跡圧のバランスで管理する
跡圧	横行速度とコンクリート圧送量のバランスで管理する

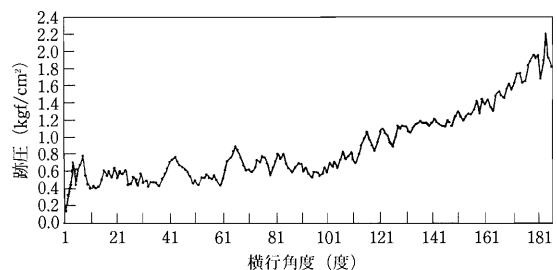


図-9 横行速度と跡圧の関係(施工例)

運転管理基準を、図-9に横行角度と跡圧の関係を示す。

(4) 維持管理

New PLS機による施工は、5日/週(20日/月)稼働、1日/週の機械整備とした。また、New PLS機の消耗部品実績は、カッター用ピック、カッターライナ、カッターチェーンが主なものとなった。

6. 計測結果

施工後の内空変位は3mm以下であり、微小な値であった。また、地表沈下量は最大で20mm程度以下であった。

特に盛土区間に位置する道路部の地表面沈下量は、許容沈下量20mmに対し15mmで収束した。図-10に盛土区間に位置する道路部の地表沈下量横断面図を示す。また、鉄塔基礎の相対沈下量は1.3mm程度であり、許容値内で収束した。

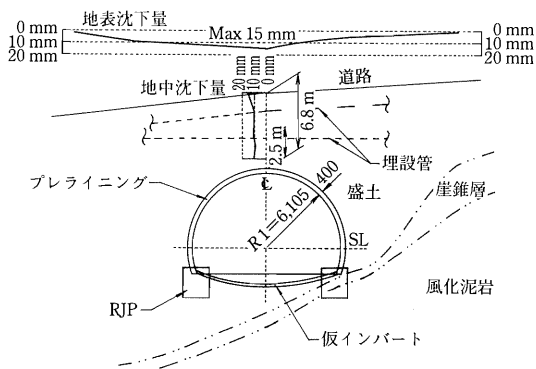


図-10 盛土部道路直下における地表沈下量

7. おわりに

New PLS工法の施工を行い、以下の事項が確認出来た。

- ① New PLS機のスリット長を3mとし、切削能力を向上させたが、施工について問題はない。
- ② 吉井トンネルにおいては湧水によるコンクリートの流出については施工上問題とならなかった。吹付けが施工可能な湧水程度であれば、施工可能と考えられる。

- ③ New PLS工法は地表沈下抑制効果が高い。
- ④ 同規模の補助工法を用いたNATM(例えばAGF等)に比べ、工期短縮、工費節減が可能であった。ただし、補助工法なしのNATMと比べると、工期、工費とも増えるため、トンネル全線を通して検討が必要である。
- ⑤ プレライニング工法の施工にあたり、トンネルの安定性確保及び地表などの周辺地山の挙動抑制には、トンネル脚部の安定確保が非常に重要であることを再確認した。
- ⑥ スリットコンクリートは無筋構造物であり、許容変位量はNATMに比べ小さい。このため、脚部地山の支持力の確認(設計時は原位置試験等、施工時は地山観察等)を充実させるとともに、支持力が不足する場合は脚部補強工(仮インバート、フットパイル、地山改良等)で対応する必要がある。
- ⑦ New PLS工法施工時の発生粉じん量は非常に少なかった。

New PLS工法は今後増加する都市部での山岳工法の施工において、非常に有効な工法であると考えられる。本報文が今後同種の工事をする際の参考となれば幸いである。

JCM A

【筆者紹介】

及川 淳(おいかわ あつし)
日本道路公団東京建設局
横浜工事事務所
横須賀工事長

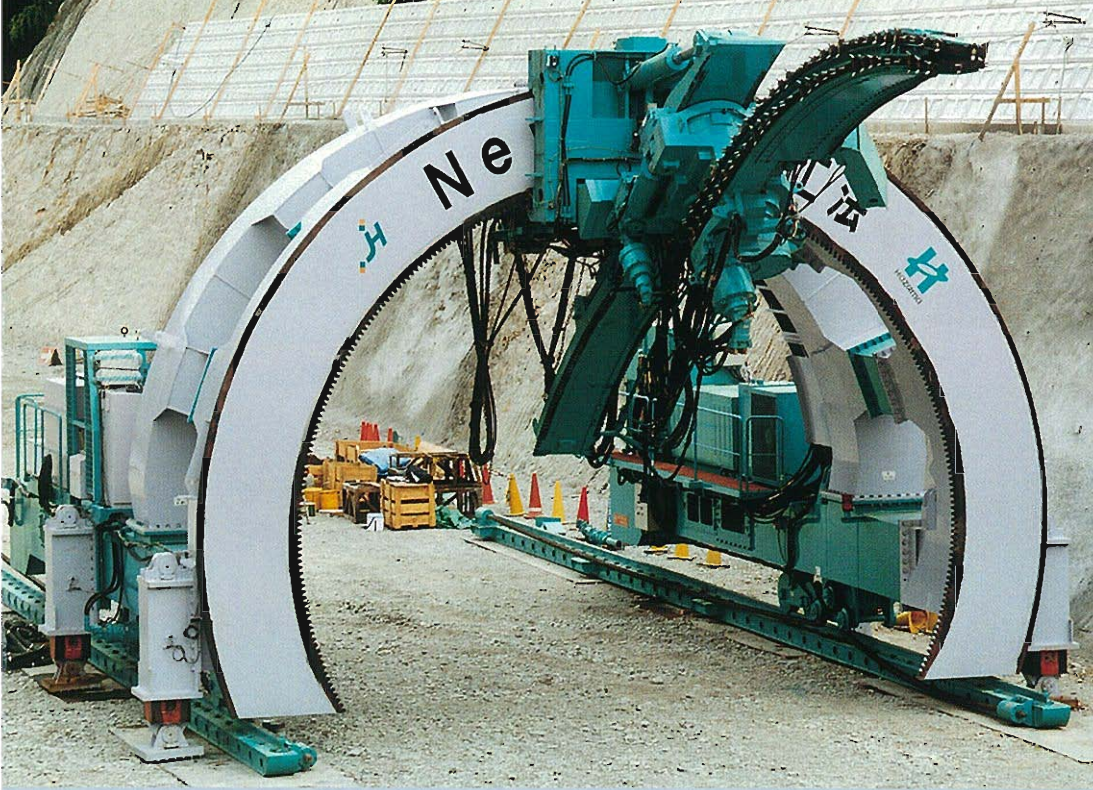


芳賀 佳之(はが よしゆき)
ハザマ
土木事業総本部
機電部
課長



宮崎 航(みやざき わたる)
ハザマ
横浜支店
吉井トンネル作業所





↑New PLS機全景

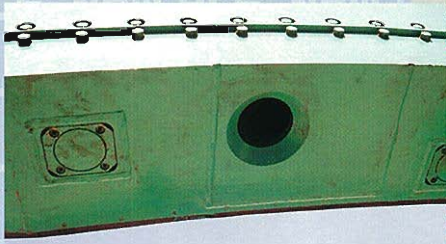
New PLS工法の 施工への適用



↑New PLS機側面



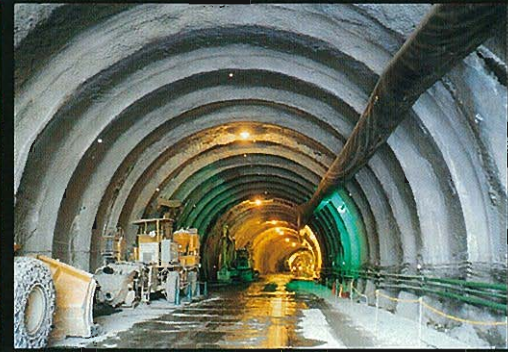
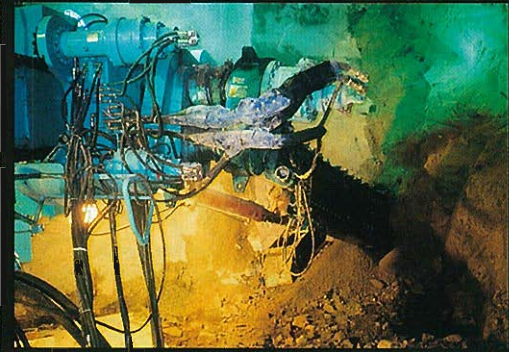
↑New PLS機全景



↑コンクリート吐出口
および圧力センサ



↑ベント型ダブルチェーンカッタ



↑カッタ切削状況

↑スリットコンクリート構築状況



↑コンクリート充填状況