

21. New PLS 工法の大断面トンネルへの適用

日本道路公団：本村 均
ハザマ：篠崎 秀敏・*芳賀 佳之

1. まえがき

都市部のトンネル工事においては、地表面の沈下防止や切羽の安定を図ることが重要な課題であり、さまざまな先受け工法が注目を浴びている。New PLS(Pre-Lining Support)工法は、先受け工法のうちプレライニングと呼ばれる工法の一つであり、掘削に先立ち切羽前方に連続したコンクリートシェルを構築するものである。

本論文は、新工法であるNew PLS工法の概要を紹介するとともに、本工法を採用し現在施工中である保土ヶ谷トンネルの施工状況を報告するものである。

2. 工事概要

2. 1. 地質概要

本トンネルの地質は、第三紀～前期更新世の上総層群上星川層(泥岩、N値50以上)を基盤とし、前期更新世の相模層群屏風ヶ浦層、関東ローム層、さらに軟弱な腐植土を挟み、表層は粘性土を主体とした盛土が覆っている。トンネルの掘削対象となる主な地質は、屏風ヶ浦層(固結シルト)で、その層厚は10～15m、N値は9～45(代表N値18)であり、一軸圧縮強度は5～8 kgf/cm²程度である。図-1に地質縦断面図を示す。

時代	層名	記号	代表N値
現世	盛土	Sf	3
沖積世	腐植土	Pt	4
洪積世	武蔵野ローム層	Lm	4
	下末吉ローム層	Lc	4
	相模層群屏風ヶ浦層	By	18
第三紀	上総層群上星川層	Ku	50以上

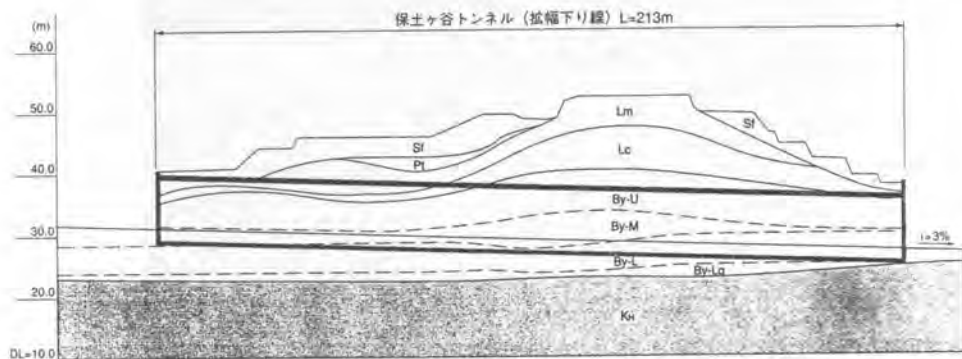


図-1 地質縦断面図

2. 2. トンネル概要

現在施工中の保土ヶ谷トンネルは、2車線の既設トンネルを3車線に拡幅するもので、掘削断面積は約 140㎡（既設トンネル断面含む）、延長は 213mである。本トンネルは、3車線の断面トンネルであること、供用中の既設トンネルとの離れが 2.5mと非常に近接していること、土盛りが 2~17mと薄く地表には新築家屋や道路、重要埋設管が存在すること、また、掘削対象地山が軟質な盛土、ロームおよびシルト層であることなど、厳しい条件を有している。このため、トンネルの安定確保はもちろん、地表や近接トンネルおよび周辺環境への影響を極力抑制することを目的として、先受け工法の一つである New PLS工法による全断面掘削を採用した。工事概要およびトンネル標準断面図を表-1、図-2に示す。

表-1. 工事概要

トンネル名	横浜新道・保土ヶ谷トンネル（下り線）
企業者	日本道路公団東京第一建設局
施工場所	神奈川県横浜市
用途	道路
延長	213m
断面積	約140㎡
地質	更新世相模層群屏風ヶ浦層（固結シルト）
掘削工法	全断面工法（New PLS工法）
掘削方式	機械掘削

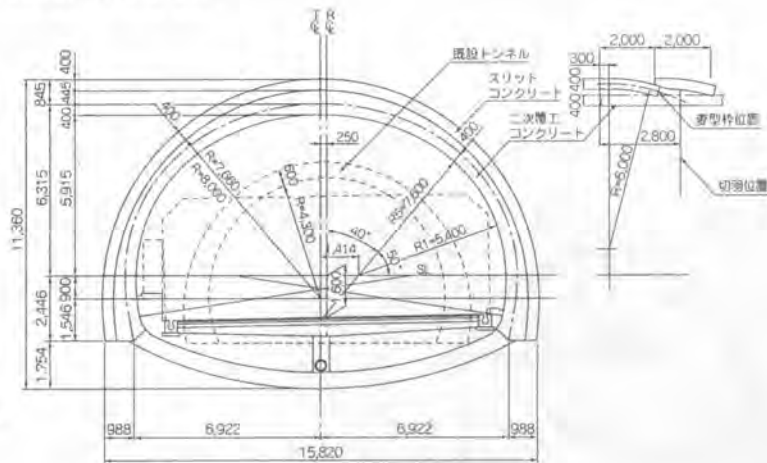


図-2 標準断面図

3. New PLS工法の概要

3. 1. 工法概要

New PLS工法の概要を図-3に、施工イメージを図-4に示す。本工法は、切羽掘削に先立ち湾曲したチェーンカッタでスリットを切削し、同時に急硬性コンクリートを充填することにより連続したコンクリートシェル（スリットコンクリート）を構築し、事前に地山の保護を図る工法である。構築されたスリットコンクリートは剛性が高く、またベント（湾曲）型とする

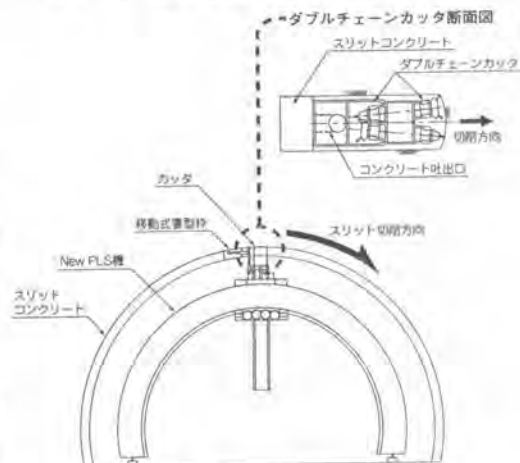


図-3 New PLS工法の概要

ことにより手前のコンクリートと連続させることが可能となり、先受け効果はもちろんのこと、切羽進行後には吹付けコンクリート以上の支保効果が期待でき、トンネル掘削時の地山の安定や地表沈下の抑制が図れる。

3. 2. New PLS機の概要

本工事に採用したNew PLS機は3車線道路断面を対象としたものである。New PLS機の全景を写真-1に、構造図および基本仕様を図-5、表-2に示す。

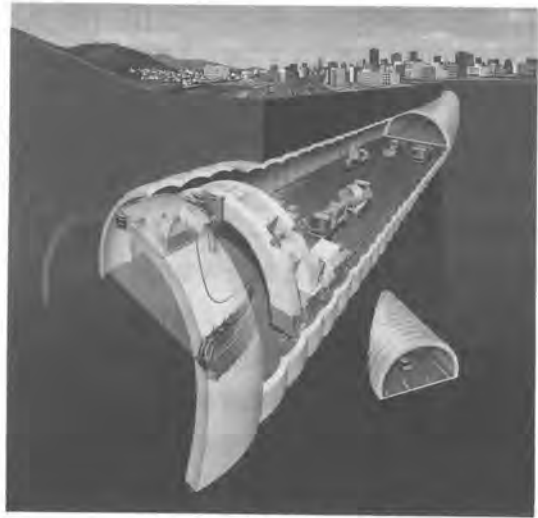


図-4 施工イメージ図

表-2 New PLSの基本仕様

名称	項目	仕様
油圧ユニット	電動機(1)	90kw*400V*50Hz
	電動機(2)	11kw*400V*50Hz
カッタ部	型式	ベント型ダブルチェーンカッタ
	切削深さ	2,800mm
	切削厚	400mm
	チェーン速度	44m/min
横行装置	切削速度	100~200mm/min
		8,100mm(外径)
総重量		111t



写真-1 New PLS機の全景

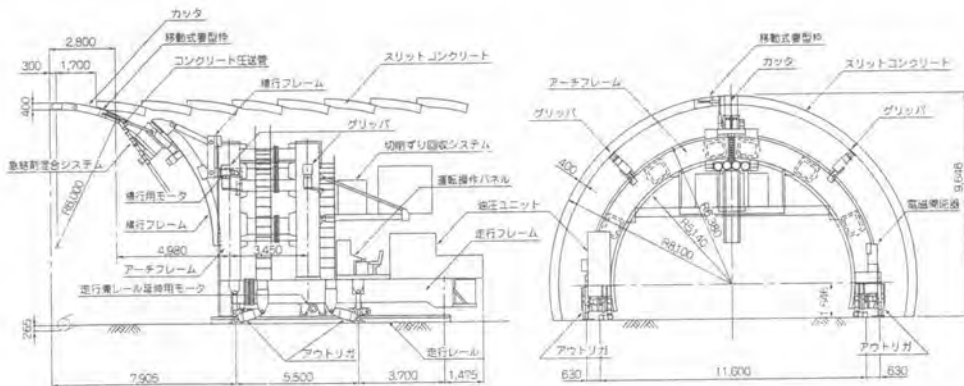


図-5 New PLS機の構造図

New PLS機の運転は、運転席に設置した操作盤を用いて行うが、New PLS機本体の操作（例えば本体の移動、切削など）だけではなく、New PLS機外部に設置されたコンクリートポンプおよび急結剤ポンプなど、すべてを集中制御できる機構となっている。また、急結剤の注入、混合は独自に開発した急結剤注入部および混合部を有する急結剤混合装置（図-6参照）により行っている。

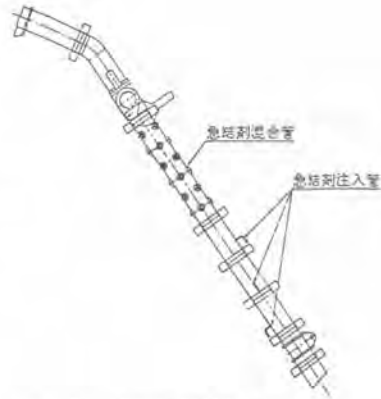


図-6 急結剤混合装置

3. 3. スリットコンクリートの概要

スリットコンクリートは、切削したスリット内に均一に充填されること、充填後は速やかに硬化し変形しないこと、さらにはプレライニングとして十分な強度を有するなどの性能が要求される。スリットコンクリートの要求性能を表-3に示す。このような要求性能に対し、充填性を確保するために、ベースコンクリート（パッチャープラントで製造）のスランプを $20 \pm 2.5\text{cm}$ とした。また、掘削工程から要求される4時間強度（ $\sigma_{4h} = 30\text{kgf/cm}^2$ ）を満足させるために急硬材（PLS-P）を使用し、さらに、急硬材によるコンクリートの硬化を遅延させスランプ16cm以上の保持時間を120分程度とするために、凝結調整剤（セッター D-300）も使用した。一方、スリット内に充填後数分でスリットコンクリートを自立させる目的で、液体急結剤（PLS-L）をコンクリート圧送途中で添加混合するシステムを採用した。スリットコンクリートの示方配合を表-4に示す。

表-3 スリットコンクリートの要求性能

項目	条件	要求性能	配合対策
流動性 および 自立性	厚さ40cm、奥行き2m以上の地山スリット内に分離せず均一に充填	ベースコンクリートのスランプを $20 \pm 2.5\text{cm}$ 、2時間保持。液体急結剤混合後、2分で12cm以上	W/C, s/a 凝結調整剤 液体急結剤
スリットコンクリート 端部の 自立性	スリットコンクリート端面が、妻型枠から解放された時点で崩壊しない	切削速度、妻型枠長を考慮して、打込み後8分で圧縮強度 1kgf/cm^2 以上	液体急結剤
強度発現性	トレンチ掘削時の作用土圧に耐えることができる。	施工サイクル、設計土圧を考慮して打込み後4時間の圧縮強度 30kgf/cm^2 以上、材齢28日設計基準強度 180kgf/cm^2	急硬材 W/C

表-4 スリットコンクリートの示方配合

最大骨材寸法 Gmax (mm)	水結合材比 W/C+P (%)	細骨材率 s/a (%)	単位数(kg/m ³)						
			水 W	セメント C	急硬材 P	細骨材 S	粗骨材 G	凝結調整剤	急結剤 L
20	48	42	192	340	60	695	975	5.6	28

4. 施工概要

4. 1. 施工方法および施工順序

本トンネルの掘削に関する施工フロー図およびスリットコンクリートの施工図を図-7、図-8に示す。New PLS機を切羽後方にセットした後、左脚部の掘削を行い、コンクリートを充填しながら時計回りに $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ まで切削を行う。その後右脚部の切削、コンクリート打設を行いNew PLS機による施工は完了する。スリット切削深さは2800mm、コンクリート厚さは400mm、奥行き約2100mmである。コンクリートは、坑口に設けられたパッチャープラントにより急硬材と凝結調整剤を添加した状態で製造され、アジテータトラックで坑内に運ばれる。そして、専用のポンプ車によりスリット直前で後添加の急結剤と混合されスリット内に打設される。

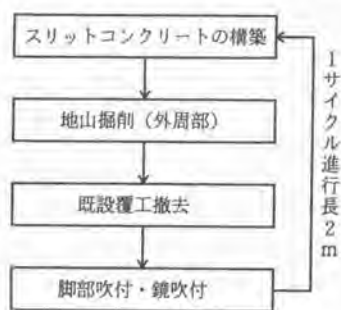


図-7 施工フロー図



図-8 スリットコンクリート施工図

4. 2. 施工状況

New PLSは95年3月末に現場に搬入し、組み立て作業および試運転調整の後、坑口部のスリットコンクリートを施工した。施工当初は新工法につきものの様々なアクシデントに見舞われたものの、7月末現在でNew PLS工法によるトンネル掘削は約80mの進捗を示し、順調に工事は進行している。

坑口から30m付近までは、当初の予想に反して非常に軟質なローム層や腐植土層が出現し、湧水も多いことからスリットコンクリートの沈下や鏡からの肌落ち等が懸念されたが、脚部吹付けや鏡吹付けおよび鏡ボルト(L=5.0m)の効果により、安定したトンネル掘削を行うことができた。また、それ以後については切羽全面に比較的自立性の良いシルト層が現れ、地表沈下や地中沈下は10mm程度以下と非常に安定している。

スリットコンクリートの施工は、主にカッターフレーム背面(コンクリート吐出口付近)に設置された土圧計によりスリット内のコンクリート充填圧力を管理しながら、切削速度もしくはコンクリート吐出量を制御して行っている。切削速度はコンクリートの自立時間を考慮し、おおむね150mm/min程度を目標としており、コンクリート充填圧力は切り上がり(横行角度 $0 \sim 90^{\circ}$)では0.5kgf/cm²、切り下がり

(横行角度90～180°)では空隙のないコンクリート充填を行うために1.0～1.5 kgf/cm²程度の圧力をかけながら切削を行っている。表-5にスリットコンクリートの施工データの例を示す。

切削速度については、切り上がり、切り下がりでは差があるものの概ね設計通りの100～200 mm/minで切削が進行している。また、スリットコンクリートの充填圧については、横行角度120°程度までは0.5～1.0 kgf/cm²であ

り、切り下がりでは

1.0kgf/cm²以上の圧をかけながらスリットコンクリートを充填していることがわかる。スリットコンクリートの施工状況および施工後の状況を写真-2、写真-3に示す。

表-5 スリットコンクリート施工データ例

スリットNo. 30						
横行角度(°)		所要時間(min)	平均切削速度(mm/min)	コンクリート吐出量(m ³ /h)	急結剤吐出量(L/min)	スリットコンクリート充填圧(kgf/cm ²)
0～30	切り上がり	27.75	148	7.29	2.05	0.75
30～60		35.15	118	7.70	2.07	0.55
60～90		26.93	154	9.22	2.28	0.63
90～120	切り下がり	29.50	138	9.94	2.36	0.65
120～150		24.28	170	10.28	2.40	1.02
150～180		21.58	192	10.33	2.45	1.23
平均		27.53	159	9.24	2.28	0.81



写真-3 施工後の状況

5. あとがき



写真-2 スリットコンクリート施工状況

今回、保土ヶ谷トンネルで採用したNew PLS工法は、実績のほとんどない新工法であるため、先受け工としての効果や施工性の面で未知の部分が多く、また、機械的にも切削効率やコンクリートの充填性および機械の耐久性など不明な点が多い。しかし、施工や計測管理を通じて徐々にそれらが明確になりつつあり、プレライニング工法の一つとして確立されるであろう確かな手応えを感じている。今後も今秋に予定されている貫通にむけて努力していきたいと考えている。

なお、本工法はNew PLS工法研究会(㈹日本建設機械化協会、ハザマ、(株)大林組、五洋建設(株)、東急建設(株)、日本国土開発(株)、(株)三井三池製作所)により開発が進められた新工法で、今回のように本格的に施工に採用されるのは初めてのことである。