

4

新工法(PATM工法)によるトンネル構築方法

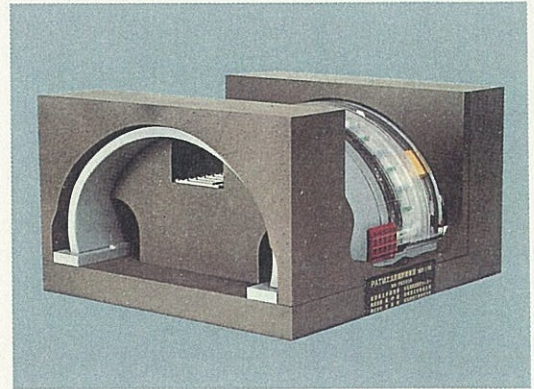
1) PATM工法の概要

大断面のトンネルを構築するための効率的掘削工法として必要な条件は、まず切羽である程度大型の効率的な掘削機を適用できることにあります。そのためには、切羽を確実に安定させて、できるだけ広い空間を確保するとともに、切羽安定に必要な支保を効率的に施工することが必要です。

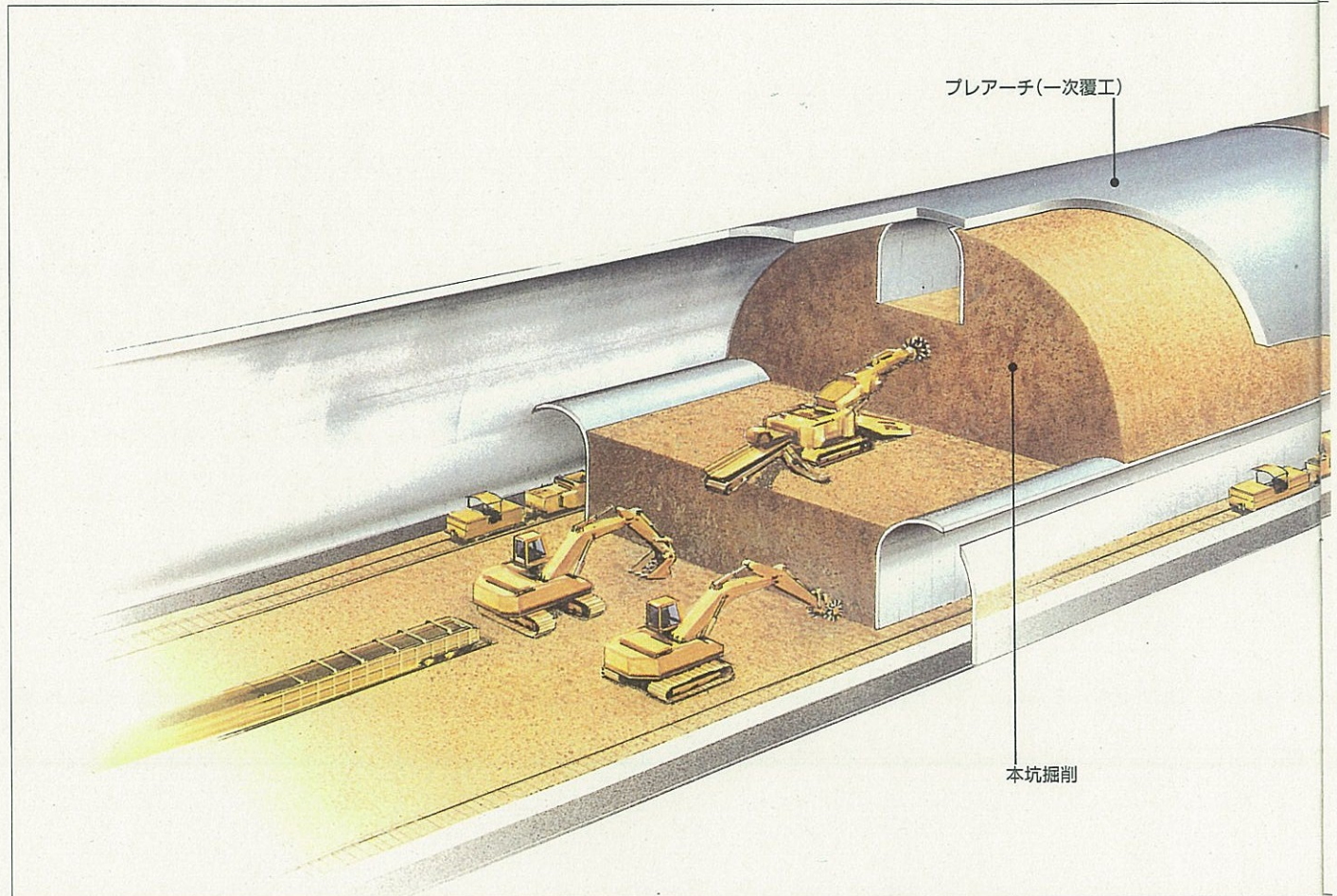
これらの要求項目を満足するための最大のポイントは切羽の安定確保にあります。一次覆工として期待できる支保を本坑掘削前にあらかじめ地山内に構築しておくことができれば、切羽安定を最も確実に確保することができます。

さらに、連続して支保を構築すること、および掘削作業と並行した支保の構築を可能にすることにより急速施工が実現できます。

このような発想から考案されたのが、今回開発されたPATM (Pre Arch Tunnelling Method) 工法です。

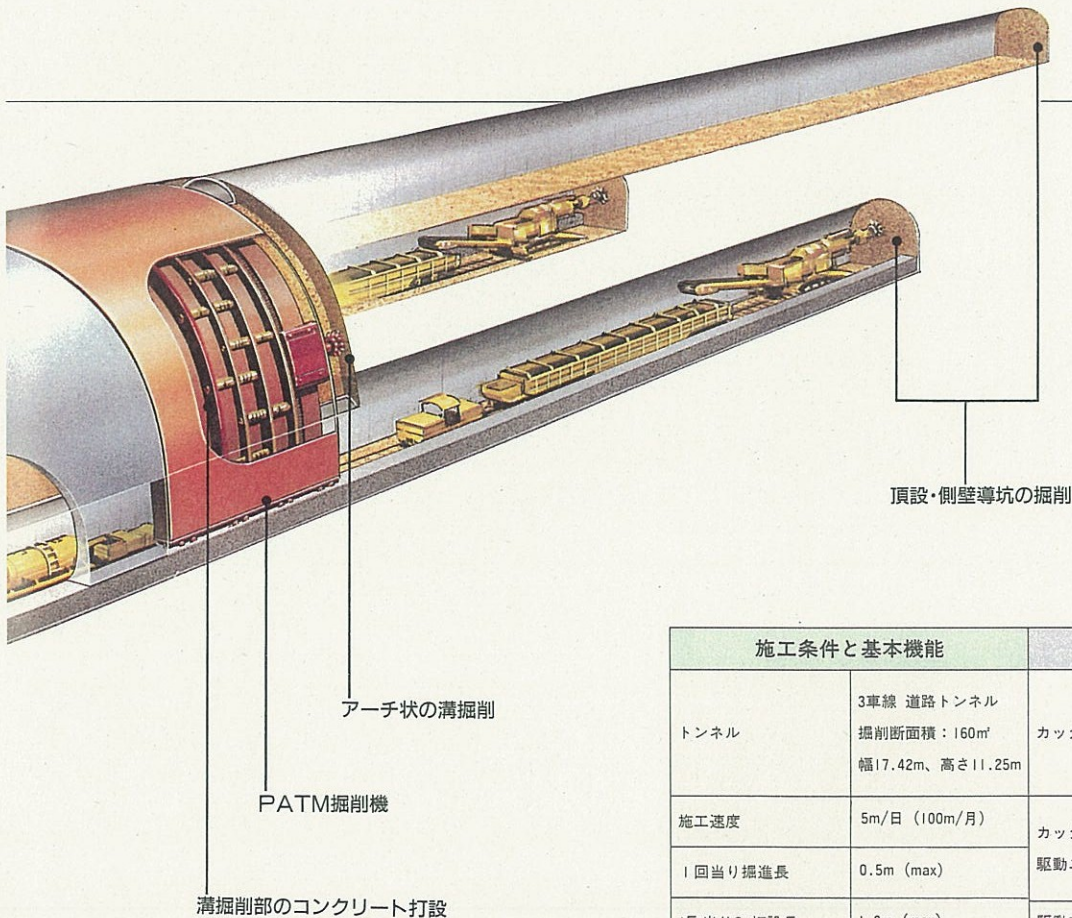


PATM掘削機模型



2) PATM工法の特徴

| | | |
|--------------------|---|---|
| 1 周辺環境・構造物への影響が少ない | 本坑掘削の前に、一次覆工をアーチ状に形成する 止水注入・一次覆工により本坑掘削時の地下水の挙動を抑える | |
| 2 安定性に優れている | 本坑掘削時の地山のゆるみを軽減する アーチ・側壁コンクリートを一度に打設できる | |
| 3 施工性に優れている | プレアーチ施工と本坑掘削の作業が独立しているため急速施工が可能 切羽の安定化に伴う、本坑掘削時の大型機械化が可能 | |
| 4 安全性に優れている | 本坑掘削時には、すでに完成した一次覆工の中で作業できる 吹付けコンクリートを使わないため、施工環境が良い | |
| 5 その他 | 掘削機自体は単純構造のため故障が少ない 導坑の先進により、地山の確認が容易 施工全体の省力化が図れる | 大断面になるほど利点が発揮される 導坑はシールドでもNATMでも施工可能 |



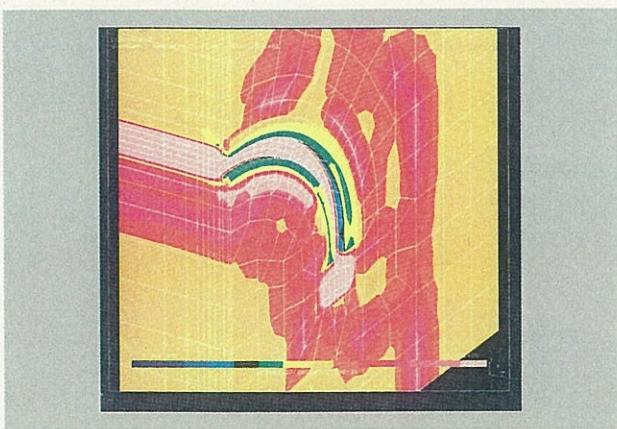
| 施工条件と基本機能 | | 機械仕様 | |
|-----------|--|-----------------|--|
| トンネル | 3車線 道路トンネル 掘削断面積：160㎡ 幅17.42m、高さ11.25m | カッターの掘削能力 | φ850油圧式回転ドラム型カッター 130kw、30㎡/hr、5~30rpm |
| 施工速度 | 5m/日 (100m/月) | カッターの 駆動ユニット | ピンラック駆動(ローラーチェーン +スプロケット)0.5~2.0m/min 駆動機は2系列装備 ガイドローラーにてガントリーに保持 |
| 1回当り掘進長 | 0.5m (max) | | |
| 1回当りCo打設長 | 1.0m (max) | 駆動方式 | 油圧式 |
| プレアーチ厚さ | 0.85m | 動力供給方式 | ケーブルベア方式 |
| プレアーチ外周長 | 23.4m | ざり排出方式 | 螺旋配置カッターの往復動 チェーンコンベア搭載 |

3) 数値解析による安定検討

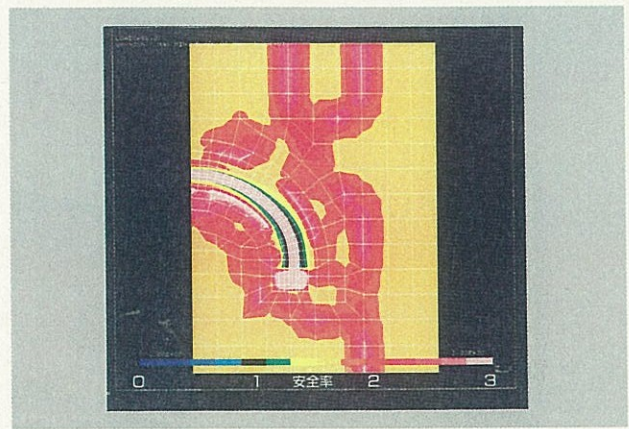
PATM工法はその機構上、プレアーチ状の溝掘削を無支保で施工せざるを得ません。このため、PATM工法にあっては溝掘削時に地山が無支保で安定する事が必要条件となります。そこで、三次元FEM弾性解析を実施し、地山の安定条件を検討しました。

解析は首都圏における土被り50mの砂質地盤中に3車線トンネルの施工を想定し、結果はモール・クーロンの破壊包絡線に対する破壊接近度で評価しました。

解析の結果、比較的軟弱な江戸川層（第四紀洪積世）を想定したモデル地盤Bであっても安全に施工可能なことが判明しました。



三次元安全率分布図(モデル地盤B、 $K_0 = 0.5$)



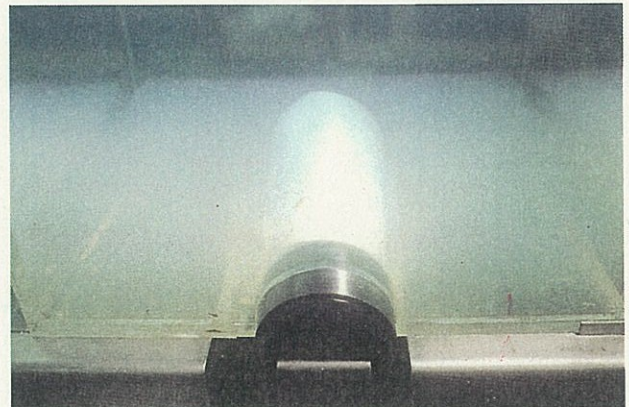
切羽断面の二次元安全率分布図(モデル地盤B、 $K_0 = 0.5$)

4) PATM工法用コンクリート

PATM工法では施工サイクルを確保するため、3時間でガントリー後部に打設したコンクリートの妻部が完全に自立することが必要です。そのため新たに特殊混和剤「PNT-719」を用いたPATM工法用コンクリートを開発しました。

配合と試験結果

| 配 合 | 粗骨材 の最大 寸法 (mm) | 水セメ ント比 (%) | 細骨材 率 (%) | 単位置量(kg/m ³) | | 混和剤 使用量 (%) | | |
|------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------------|------|-------------------|-----|-----|
| | | | | 水 | セメント | | | |
| | 25 | 42.2 | 44 | 169 | 400 | 1.5×C | | |
| 凝 結 時 間 | 始発 | 終結 | 圧 縮 強 度 | 3hr | 4hr | 5hr | 7日 | 28日 |
| | (hr:min) | | | (kgf/cm ²) | | | | |
| | 4:20 | 5:35 | | 0.93 | 2.14 | 5.51 | 515 | 597 |



試料内に形成されたプレアーチ(可視モデル実験)

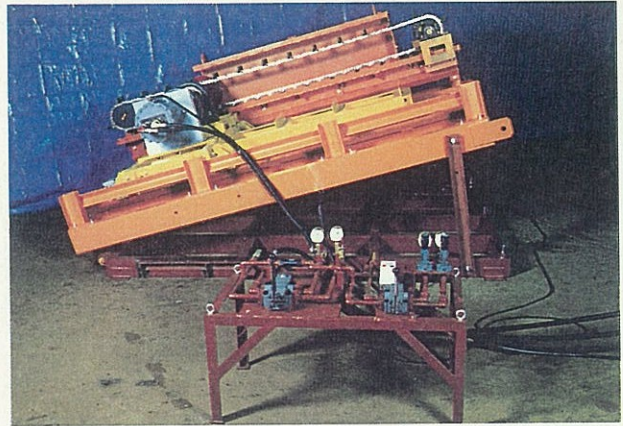
5) カッター部の掘削・ずり排出性の確認実験

PATM工法のアーチ状溝掘削は、アーチ上部では掘削ずりを後方へ移動させ掘削機本体に装備されているチェーンスクレーパーにて強制排出する機構を採用しています。この機能・構造を確認し、実機設計のためのデータを採取する事を目的として、カッター部の掘削・ずり排出性の確認実験を実施しました。

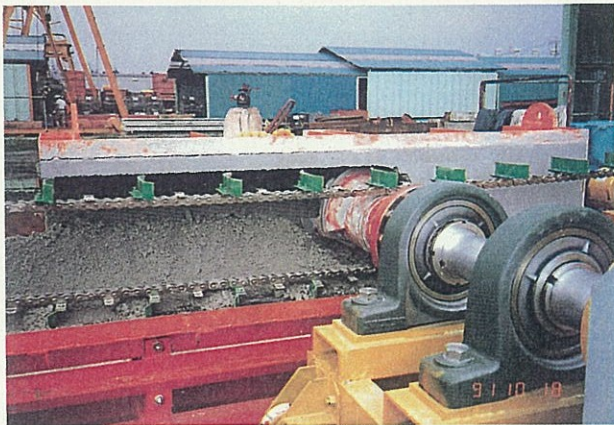
カッターサイズは実機の2分の1スケールで掘削径：400mm、カッター長：250mmでカッター回転数およびカッターユニット移動速度が可変となっています。また、実験装置自体を傾転させることにより掘削角度を変えることができます。

実験は、強度や性状の異なる3種類の人工地盤に対し、掘削角度を変えて、適切なカッター回転数や移動速度等を見出し、掘削性能やずりの排出性の確認をおこないました。

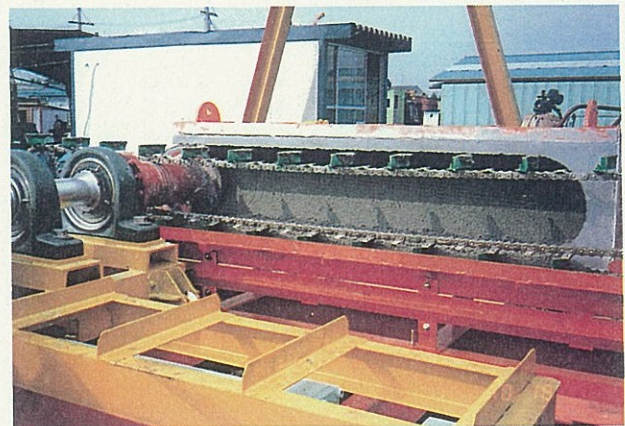
実験の結果、当工法のずりの排出機構の有効性が確認されました。さらに、それぞれの地盤に対するカッター性能に関する有益なデータも得ることができました。



実験装置(15°傾転)



掘進時のずり排出状況(掘削方向：水平)



カッター戻し時のずり排出状況
(掘削方向が水平の場合でもほぼ完全にずりが排出されている)

| 実験番号 | 地盤強度 (kgf/cm ²) | カッター条数 | カッター回転数 (rpm) | 掘進速度 (m/min) | 掘削角度 (deg) | 掘削動力 (kw) | ずり排出効率 (%) |
|------|--------------------------------|--------|------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| 1 | 5(砂質土) | 1 | 50 | 1 | 0 | 4 | 95 |
| 2 | 5(砂質土) | 2 | 50 | 0.5 | 0 | 3 | 92 |
| 3 | 1(粘性土) | 1 | 24 | 0.5 | 0 | 1 | 90 |
| 4 | 30 | 1 | 50 | 0.5 | 15 | 10 | 96 |
| 5 | 50 | 1 | 50 | 0.5 | 30 | 10 | 98 |

注) ずり排出効率 = $\frac{\text{排出ずり重量}}{\text{掘削重量}} \times 100(\%)$