

VI-106

PATM工法の開発（その2）

—トンネル周辺地盤の安定性—

㈱奥村組 正 蛭子清二
 ㈱熊谷組 正 松尾 勉
 前田建設工業㈱ 正 斎間 正
 川崎重工業㈱ 丹山幸一
 (財) 先端建設技術センター 正 横山功一

1. まえがき

洪積地盤に大断面のトンネルを効率的に施工できる新しい先受け工法（PATM工法: Pre Arch Tunneling Method）を提案した。本工法ではトンネル周辺地盤の安定化を目的に三つの導坑と本坑断面をカバーする半円筒シェル形状の一次覆工を本坑切羽前方地中部に先行して連続的に形成する。このため、加背割り数の低減から大断面で安全な掘削が可能となり、都市NATMで課題となっている施工速度の向上を期待できる。同時に、吹付けコンクリートを使わないので坑内の作業環境の向上も見込まれる。ここでは、提案した工法の施工手順を考慮した有限要素解析を実施しシェル状の先行一次覆工がトンネル周辺地盤の安定化に有効に寄与することを示す。

2. 施工手順のモデル化

PATM工法の施工手順をトンネル縦断面の模式で示すと図-1のようになり施工の進展に伴い切羽の位置や周辺地盤の応力状態が複雑に変化する。したがって、安定性解析では次のような施工手順あるいは切羽の位置をモデル化する必要がある。

①導坑掘削（頂設導坑と二つの側壁導坑の切羽）

②導坑支保工と導坑切羽の進行

③PATM機の溝掘削（溝掘削部分の切羽）

④PATM機の前進

⑤プレライニングコンクリートと溝掘削の進行

⑥大背の掘削（大背の切羽）

⑦インバート掘削（インバート切羽）

⑧インバートのコンクリート打設と切羽の進行

モデル化に際してキーポイントとなる点は半円筒シェル形状

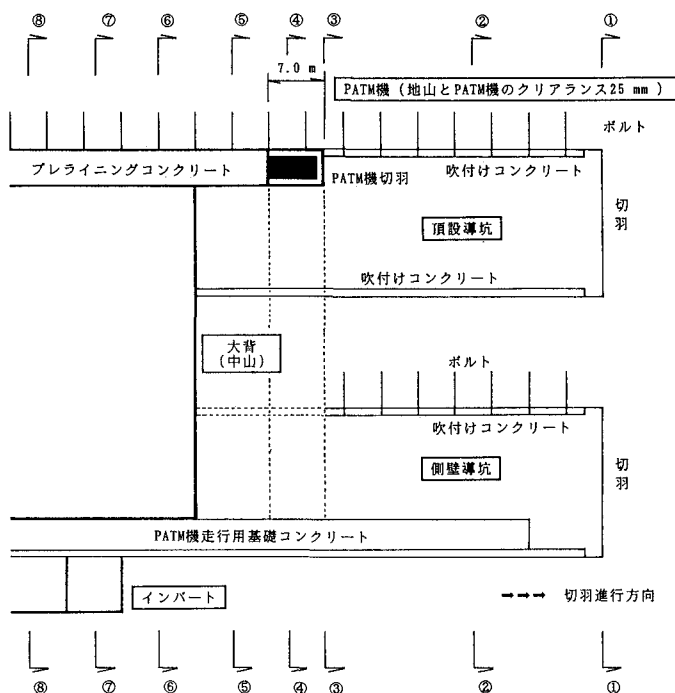


図-1 PATMの施工手順

表-1 力学定数

地盤種類等	地盤H	地盤S	地盤C	コンクリート
変形係数 MPa	300	100	80	20000
ポアソン比	0.3	0.35	0.40	0.2
粘着力 MPa	1	0.1	0.1	
内部摩擦角 deg	15	35	10	
密度 $\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	1.85	1.90	1.75	

のPATM機と同形状でその前方0.5 mの素掘りの溝掘削部分である。ここでは先ずトンネル縦断方向の軸対称弾性解析から上述した③、④、⑤の状態変化に対応する初期地圧の解放率を計算し、次にこの解放率を利用して横断面の平面ひずみ場で施工手順をモデル化した弾性解析を行う。なお、地盤およびコンクリートの力学定数は表-1のように設定した。

3. 解析結果

（1）トンネル縦断方向の軸対称弾性解析

トンネル軸回りに対称なモデルで外径22.1 m、半径方向の厚み0.85 mのリング状の溝掘削を坑口から7 m（PATM機の長さ）素掘りで行い、以後溝掘削を1 m前進させると同時に切羽後方7 mの位置で溝空洞1 mをコンクリートに置換えるという手順を繰り返した。初期地圧はトンネル軸回りに静水圧的に作用するとし、土被り30 m相当分を初期応力として与えた。解析結果の半径方向変位を全断面掘削時のそれで無次元化し、表-2に示す初期地圧の解放率とした。なお、発生変位がPATM機と地山との設計上のクリアランス25 mmを越える場合は超過分の解放力をPATM機が負担するものとした。

（2）トンネル横断面の平面ひずみ解析

3.（1）に示した初期地圧の解放率を基本に、表-3に示す解析ステップと解放率を設定して平面ひずみ解析を行った。側圧係数を0.5とし、解析メッシュは図-2に示すようである。支保部材については1次元要素でモデル化しそれぞれ代表的な力学定数を入力した。

トンネルの天端変位の発生過程は図-3のようになる。変位の発生が溝掘削の段階で大きいこと、地盤の変形係数が小さい場合に大きな変位が発生することが分かる。しかし、最終変位量を全断面素掘り掘削時のそれに対する比率で見ると37-45%に収まっており、本工法の有効性が認められる。周辺地盤の応力値について見ると、地盤H、地盤Sでは表-1に示した強度条件を越えるものは発生しない。地盤Cでは側壁下部を中心に一部塑性領域の発生が予想され、この部分の地盤補強およびインバートの適切な時期での掘削と閉合が必要と考えられる。また、支保部材に発生する応力はいずれも一般的な許容値を下回るものであった。

4. あとがき

PATM工法における周辺地盤の安定性について施工の進行に伴う掘削形状、切羽位置、支保工等の状態変化を考慮した有限要素解析を実施し、本坑切羽前方地中部に先行して施工される半円筒シェル形状の一次覆工が周辺地盤の安定化に大きく貢献することを示した。なお、本報告は先端建設技術センター、熊谷組、奥村組、前田建設工業、川崎重工業による共同研究の成果の一部である。

表-2 初期地圧解放率

地盤の種類	地盤H	地盤S	地盤C
基準変位 mm	36.1	112.0	143.6
切羽での解放率 %	18.7	19.2	20.2
変位25mm相当解放率 %	69.2	22.3	17.4
切羽解放後の変位25mmレベル解放率 %	87.9	41.5	37.6
坑口での解放率 %	68.7	65.1	63.6

表-3 解析ステップと解放率

解析ステップ	施工手順	地盤H %	地盤S %	地盤C %
1	①導坑掘削	50.0	50.0	50.0
2	②導坑支保	50.0	50.0	50.0
3	③溝掘削	68.7	41.5	37.6
4	④⑤一次覆工	31.3	58.5	62.4
5	⑥本坑掘削	100.0	100.0	100.0

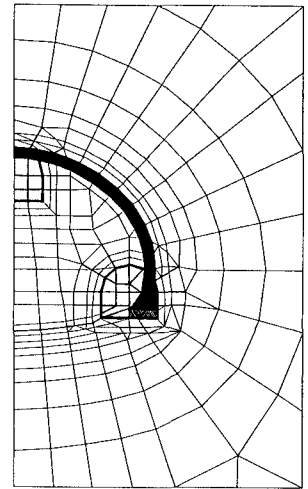


図-2 解析メッシュ

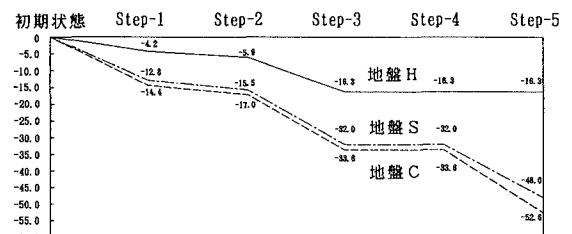


図-3 トンネル天端変位の発生過程