

NATM 機能付き TBM の実現場への適用(その2)－NATM 支保設計－

鹿島建設(株) 正会員 ○松崎裕亮 西岡和則 笠川雅章 重永晃洋 北村義宜

1. はじめに

NATM 機能付き TBM とは、「高速掘進可能な TBM の機能」と「不良地山に柔軟に対応できる NATM の機能」を備えた掘削工法¹⁾である。硬質地山では一般的な TBM モードで掘削し、不良地山に到達した際には NATM モードとしてカッターヘッド前方を掘削し、鋼製支保工と吹付けモルタルからなる支保工を構築して、その間をマシンが通過する。切羽近くで支保工を構築することができるため不良地山に柔軟に対応することができる。この支保工については、トンネル変位が大きくなりやすい不良地山に TBM が拘束されないように変形余裕量の設定が必要であり、地圧に対して支保工応力を耐力以内とする支保工の設計が必要となる。一般的に TBM の支保工設計は、類似地山条件を踏襲することが多く、骨組み構造解析や FEM 解析などの解析的手法を用いたりする場合もある。本論文では、弾塑性理論解と支保剛性から計算される特性曲線を用いた支保設計について述べる。

2. NATM モードの掘削手順

TBM モードから NATM モードに変更する際の掘削手順を図-1 に示す。

【STEP1】硬質地山では TBM モードでの高速掘進を行いながら、支保工はマシン後方で設置する。

【STEP2】不良地山に到達した段階でマシンを 3m 後退させ、カッターヘッドを開口し、カッターヘッド前方にマシン内部に装備した掘削機を配置する。

【STEP3】掘削機により地山を掘削し、鋼製支保工と吹付けモルタルを順次構築する。

【STEP4】マシンを 1m 前進させ、地山を 1m 掘削する。

【STEP5】STEP4 で掘削した区間に鋼製支保工と吹付けモルタルを構築する。

以後、STEP4 から STEP5 を繰り返す。支保工を構築してからマシンが通過するまでに、マシンは約 10m 前進する。そのためマシン通過までに生じるトンネル変位が変形余裕量以下でないとマシンが拘束される。

3. 支保工の設計

TBM が拘束されない様、トンネル変位を評価する必要があるため、TBM は円形であることから円孔モデルを用いた Kastner の弾塑性理論解²⁾と支保剛性²⁾により描ける特性曲線で支保工を設計する。

特性曲線の概念図を図-2 に示す。弾塑性理論解から描かれる地山特性曲線に対して、支保剛性から得られる支保特性曲線は、支保設置までの掘削解放率を考慮する必要がある。一般に掘削解放率は、掘削直後に支保工を

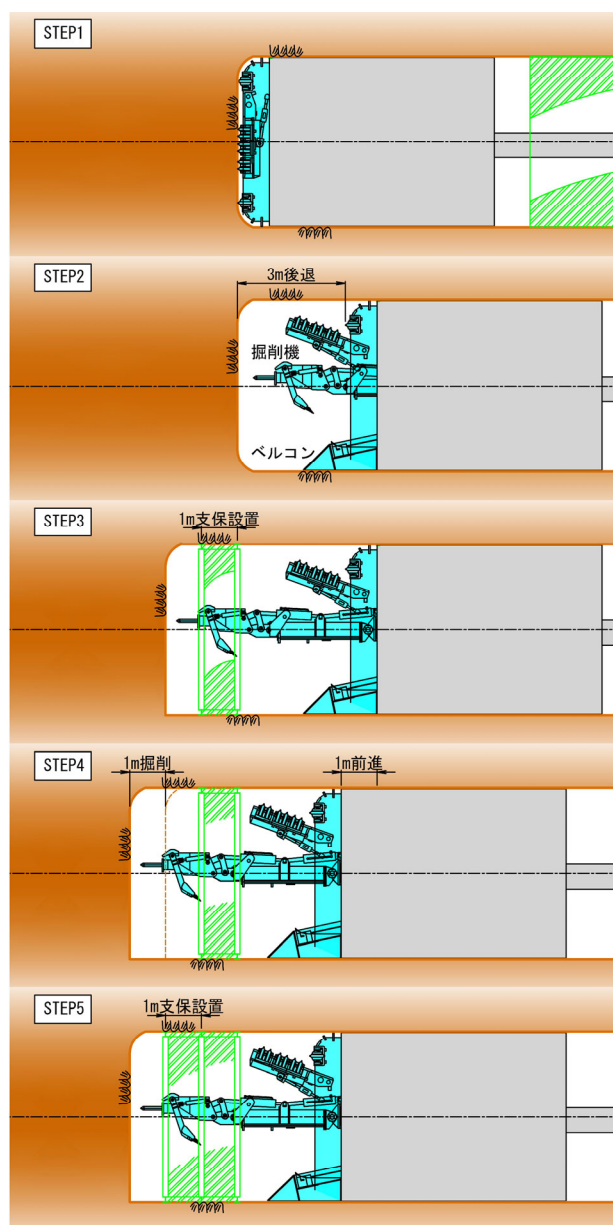


図-1 NATM モードの掘削手順

キーワード：TBM, NATM, 弾塑性理論解, 地山特性曲線, 支保特性曲線

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL 03-6229-6645

設置する NATM の場合、素掘り完了時を 40% として、支保工設置後を 60% とすることが多い。本設計では、TBM を拘束しようとするトンネル変位を精度良く予測したいことから、設計精度を向上させるために三次元掘削解析により掘削解放率を設定した。また地山特性曲線と支保特性曲線が交差した点の作用土圧と壁面変位を用いて支保工仕様、変形余裕量を設定した。

対象地山を DI として一般的な地盤物性値³⁾を用いた支保工設計例を示す。設計条件、地盤物性値を表-1 に示す。掘削解放率を算出するため無支保の弾性モデルにより 1m 掘削の三次元逐次解析を実施する。三次元解析から得られた切羽位置とトンネル壁面変位の関係を図-3 に示す。切羽到達の時点で 26%、切羽が 1m 進むと 69% の変位が発生することから、これを掘削解放率とする。

図-4 に表-1 に示す条件により描いた特性曲線を示す。図中の A, ①は、切羽が到達し、掘削解放率 26% が解放された地山応力と壁面変位である。B, ②は、切羽離れ 1m で支保を設置する直前である。C, ③は地山特性曲線と支保特性曲線の交点であり、この点でトンネルが安定する。支保剛性（支保仕様）と変形余裕量は、切羽到達時から変位収束までの変位[③-①]が変形余裕量以下となるように決める。また C は支保工に作用する土圧であり、土圧が支保内圧以下となるように支保仕様を決める。設計例では、変形余裕量は 28.4mm 以上必要であり、支保工に作用する土圧 (1.35MN/m^2) 以上の支保内圧 (1.54MN/m^2) となる支保工仕様を決定した。

4. まとめ

不良地山に対応するため、カッターヘッド前方で支保工を構築できる NATM 機能付き TBM において、円孔モデルによる弾塑性理論解により、地山物性値に応じた支保仕様と変形余裕量を設計する手法を示した。今後、NATM モードでの施工データを蓄積し、本設計の妥当性評価と精度向上を継続していく。

参考文献

- 1) 笠川雅章ら：NATM 機能付き TBM の実現場への適用(その1)ー新しい TBM の導入ー, 第 75 回土木学会年次学術講演会, 2020 (投稿中)
- 2) 今田徹ら：最新山岳トンネルの施工, 1996
- 3) (株)高速道路総合技術研究所：トンネル数値解析マニュアル (2017 年度版), 2017

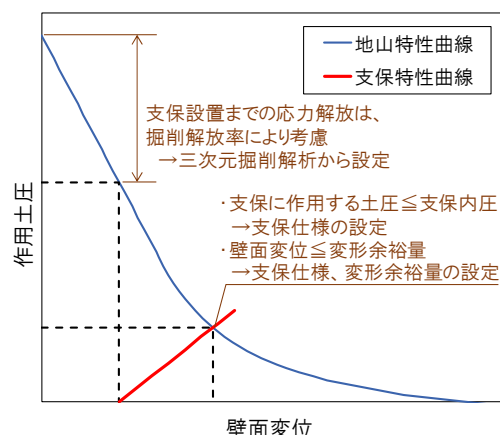


図-2 地山特性曲線と支保特性曲線

表-1 設計例に用いた物性値一覧

設計条件	掘削半径 2.6m, 土被り 300m		
地盤物性値	地山等級	変形係数 (N/mm^2)	ポアソン比
	D I	500	0.35
	粘着力 (N/mm^2)	内部摩擦角 (deg)	単位体積重量 (kN/m^3)
	0.4	35	22
支保仕様	H-100×100×6×8, SS400 $t=150\text{mm}$, $f'_{ck}=25\text{N/mm}^2$		
支保内圧	1.54MN/m^2		

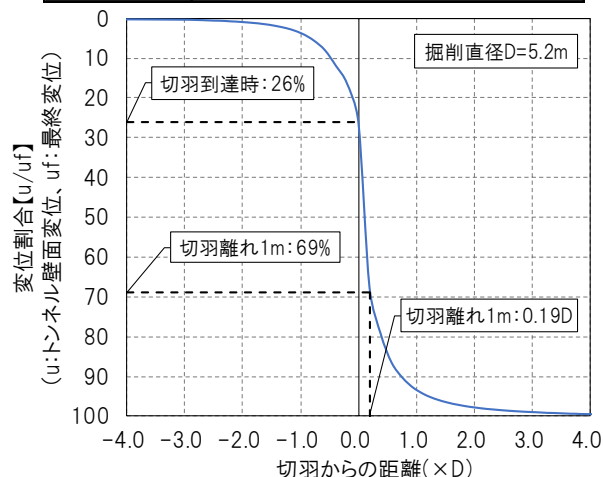


図-3 三次元解析による切羽と変位の関係

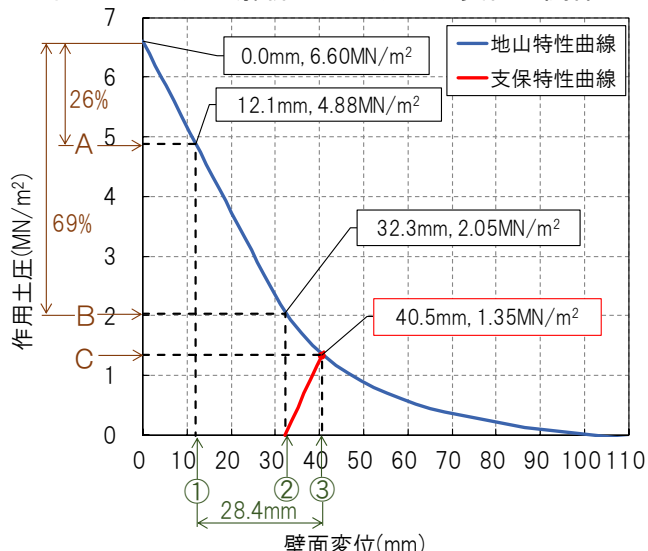


図-4 特性曲線による支保工設計結果