

支保剛性パラメータ解析による都市部山岳工法の標準支保パターンの検討

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 新井 泰*)
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 松長 剛 清水 寛**)

1. はじめに

施工条件の厳しい都市部においても、断面選定の自由度や各種対策工に関する技術開発の進展等を背景に、山岳工法を非開削工法として適用する事例(都市 NATM)が増えている。しかし、都市部の適用に特化した定型的な設計法は未だ無く、各事例ごとに様々な設計が行われている。そこで、本報告では、筆者らが過去に実施した実績調査、数値解析等の結果¹を踏まえて、都市部山岳工法の標準的な支保パターンを策定するために実施した支保剛性 FEM パラメータ解析および当該解析結果と施工実績の比較結果について述べる。

2. 支保剛性 FEM パラメータ解析

(1) 解析領域と地層構成

解析領域は、鉄道公団 NATM 設計施工指針(以下、NATM 指針)等に準じて、土被り:10m、下方領域:1D(D=掘削幅)、側方領域:両側 4D とし、地層構成は、施工実績調査結果の内、最も典型的な 2 層地盤(トンネル上部 5m 位置迄を切羽部と同じ地盤、トンネル上部 5m 位置~地表面を表層地盤)を想定した。

(2) 地盤物性値

切羽地盤は NATM 指針の標準値(S2: E=50MPa)、表層地盤は成田砂層の施工実績に準じて表 1 のように設定した。

表 1 地盤物性値

地盤モデル	計算上の地山等級	単位体積重量 γt (KN/m ³) {tf/m ³ }	初期変形係数 Do (MPa) {kgf/cm ² }	粘着力 C (MPa) {kgf/cm ² }	内部摩擦角 φ (°)	初期ポアソン比 νo	弾性限界 REL	非線形パラメータ n	備考
表層地盤	未固結粘性土	15 {1.5}	20 {200}	0.03 {0.3}	15	0.35	1.0	2	成田砂層実績
切羽地盤	未固結砂質土	S2 18 {1.8}	50 {500}	0.02 {0.2}	35	0.35	1.0	2	N値30~50相当(NATM指針より)

切羽地盤はパラメータ解析の基準値

(3) 掘削過程の設定

掘削工法: 上半先進工法(各種対策工: 無し)

解析ステップ: 自重解析 上半掘削 上半支保

下半掘削 下半支保の 5 ステップ

掘削解放率: 初期掘削解放率を 40% に統一

(4) 解析ケース(表 2)

表 2 解析ケース

解析ケース	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
吹付け	15cm	15cm	20cm	20cm	25cm
鋼製支保工	—	125H	125H	150H	150H
吹付け	断面積 m ²	0.15	0.15	0.20	0.20
	断面2次 cm ⁴	—	839	839	1620
	断面係数 cm ³	—	134	134	216
吹付け	軸剛性 kN	510000	510000	680000	680000
	鋼製支保工	軸剛性 kN	0	630000	630000
吹付け	曲げ剛性 kN・m ²	0	1762	1762	3402
	鋼製支保工	曲げ剛性 kN・m ²	0	1762	1762

表中の支保ランクは、施工実績調査結果に基づいて設定した。なお対策工はモデル化していない。

(5) 解析結果

沈下抑制効果に関する結果を表 3 に、支保応力に関する結果を図 1 に示す。

沈下抑制効果について

1) 今回の支保剛性の範囲では、天端沈下量や地表面沈下量に顕著な差が見られない。

支保諸元を 2, 3 ランクアップするだけでは、十分な沈下抑制効果を表現しにくい。

2) 天端沈下量は、最終沈下量(下半支保段階沈下量)50%程度が支保設置前(上半掘削段階)に発生しており、計測結果でも類似の傾向が確認されている。

3) 上半脚部沈下量は、どのケースにおいても天端沈下量の 50%程度となっている。

沈下抑制に対しては、脚部補強工や脚部地盤改良工等が有効に機能する。

都市 NATM 支保設計 支保剛性 実績調査 計測結果

*) 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7266 FAX 042-573-7248

***) 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 TEL 03-3344-1903 FAX 03-3344-1906

支保応力について

- 1) 天端における支保応力は、掘削の進行とともに増加する。
- 2) 支保ランクに関する感度が比較的高くなっており、吹付け応力が 0.1MPa / ランク程度、鋼製支保工応力が 5.0MPa / ランク程度、一様に増減する。

天端部が偏平な形状や側壁部の曲率が大きい形状では、局所的な応力集中が発生すると予想され、本結果からランクアップ効果を概ね推定できる。

- 3) 上半脚部では掘削の進行とともに吹付け応力が減少する。また、下半支保時（上下半支保工接続時）には、鋼製支保工に曲げモーメントが発生するため、上半脚部での鋼製支保工応力が急増する（SS400 の許容応力度 150MPa 相当）。

3. パラメータ解析結果と施工実績の比較

(1)目的

パラメータ解析で設定した支保剛性あるいは解析結果（天端沈下量）の実施工における位置づけを検討するとともに、実施工において採用された掘削工法（加背割り）や対策工の効果について把握した。

(2)対象トンネル

成田砂層中に施工された複線標準断面クラス(D < 12m)でパラメータ解析と同等の支保剛性が採用された施工事例（CASE3/CASE5）について検討した。

(3)データの無次元化

各対象トンネル・工区で断面や土被りが異なるので、比較にあたっては、土被り：土被り比(土被り / 掘削幅)，天端変位：天端変位 / 上半高，でデータを無次元化した。

(4)比較結果から得られる知見（表 4）

計測結果が解析結果（CASE3）よりも小さくなっていることから、施工上の制約が緩い場合は、

所定の沈下抑制効果を得るために、核残しやサイロット、短尺先受け工によって対応していることがわかる。

計測結果と解析結果（CASE5）の比較結果より、施工上の制約が厳しい場合は、所定の沈下抑制効果を得るために、薬液注入工や CRD 工法によって対応していることがわかる。

4. まとめ

以上の知見から、複線標準断面クラスの当初設計に用いる支保パターンを表 5 の如く提案したが、当該設計の妥当性は、施工時における掘削工法や対策工の種類、精度に大きく依存するほか、適切な観察・計測により実証されるもので、都市部山岳工法の設計においては、これらを総合的に判断することが重要である。

1：都市部山岳工法トンネルの支保設計諸元に関する実績調査および分析,新井,大石,松長,第 55 回 JSCE 年次学術講演会ほか

表 3 天端沈下および脚部沈下に関する解析結果

	施工段階	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
		C15/S—	C15/S125	C20/S125	C20/S150	C25/S150
天端沈下	支保設置前	-23.6	-23.6	-23.6	-23.6	-23.6
	最終(掘削後)	-47.8	-45.7	-45.5	-45.2	-45.1
脚部沈下		-23.1	-23.0	-23.1	-23.1	-23.1

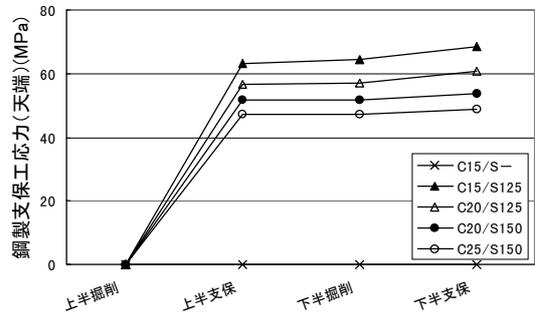
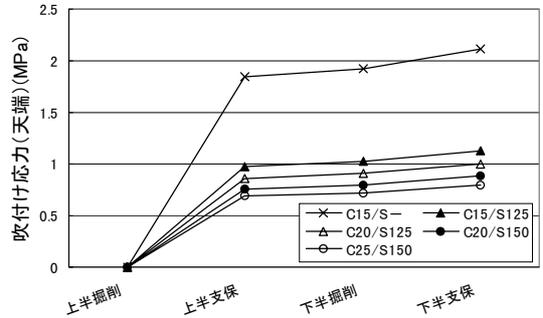


図 1 支保応力に関する解析結果

表 4 解析結果と計測結果の比較（天端沈下）

施工条件	施工上の制約:緩い	施工上の制約:厳しい
掘削工法	上半先進ジョイント(核残し)	CRD工法
補助工法	短尺先受け工・鏡吹付け	薬液注入工・短尺先受け工・鏡吹付け・鉄ボルト

比較結果	土被り比(H/D)	
	計測結果	解析結果(CASE3)
天端沈下/上半高	0.0000	0.0000
	0.0140	0.0140

表 5 未固結砂層における標準的な支保パターン

吹付けC	鋼製支保工		ロックボルト		短尺先受け工	
	間隔	ランク	長さ	本数	長さ	間隔
25cm	1m	150H	3m	10~12	3m	0.6m