

TBM 導坑による入山断層破碎帯粘土の力学特性調査

日本道路公団静岡建設局富士工事事務所
日本道路公団静岡建設局富士工事事務所
清水・熊谷・竹中土木共同企業体

天野 淨行
佐藤 淳
正会員 水戸 聡

1. はじめに

富士川トンネルは、第二東名高速道路の富士 IC～清水 IC 間に位置し、上り線延長 4,520m、下り線延長 4,434 m の長大トンネルであり、TBM 導坑先進拡幅掘削工法が採用されている。現在、下り線 $\phi 5.0$ m TBM は、入山断層破碎帯を無事通過し、坑口から約 2,400 m 位置を掘進中である。この断層破碎帯粘土部の TBM 掘削では、計測工と岩盤岩石試験などを実施した。その結果、地山強度比は 0.3～0.7 の軟質で、押出し性を有する特殊地山であることと、この大変形挙動が簡単な力学モデルで計算できることが分かったので報告する。

2. 入山断層破碎帯概要

入山断層破碎帯粘土は、本坑下り線内の TBM 発進坑口より 1,465 m 位置の STA. 1027+00 付近より出現し、延長約 100 m におよぶ。ここでの地質は、軟質、脆弱で緑色の鏡肌をなし、ディスクカッター先は地山にめり込み、カッターリング間は剥がれ落ちる。掘削ずりは粉体状となる。岩石試料での一軸圧縮強度は、 $0.07 \sim 1.87 \text{ N/mm}^2$ である。土被り厚は約 250～300 m である。

3. TBM 掘進状況

ダブルシールドタイプ TBM を使用した。ここでの TBM 掘進は、カッターヘッド回転速度を 0.5～1.0 rpm とし、スラストジャッキ推進とした。後胴の盛替は、シールドジャッキとの同調盛替とした。支保構造は、シールドジャッキ推進反力が取れる鋼製ライクとし、外径 $\phi 4,700 \text{ mm}$ 、主桁高 150 mm、ライク幅 1.0 m で、4 種 6 ピースに分割した。鋼製ライクは、機内後胴部でエレクトを用いて組立て、ピース間はボルトで固定する。この他に、6 cm のオーバーカッティングとカッターヘッドチャンバ内からの注入式フォアボーリングを毎切羽打設した。切羽湧水はない。

4. TBM 導坑の挙動特性

TBM 後続台車最後部が STA. 1029+00 を通過した時点での鋼製ライク SL 部内空変位と天端沈下の測定値は、換算一軸圧縮強度とともに、図-1 に示す。小型ひずみ計による鋼製ライク応力と鋼製ライク背面土圧は、1 回/hr の頻度で、STA. 1027+35.5 と STA. 1027+80 の 2 断面で自動計測した。その結果より、次のことが分かる。

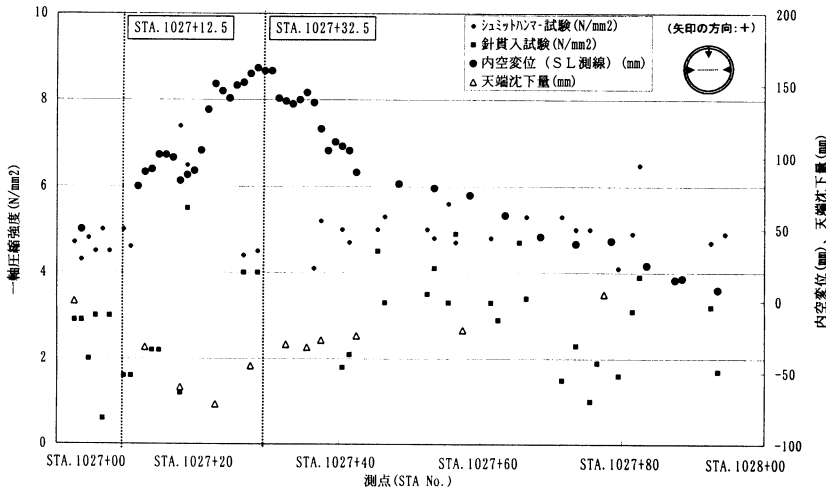


図-1 内空変位・天端沈下と換算一軸圧縮強度

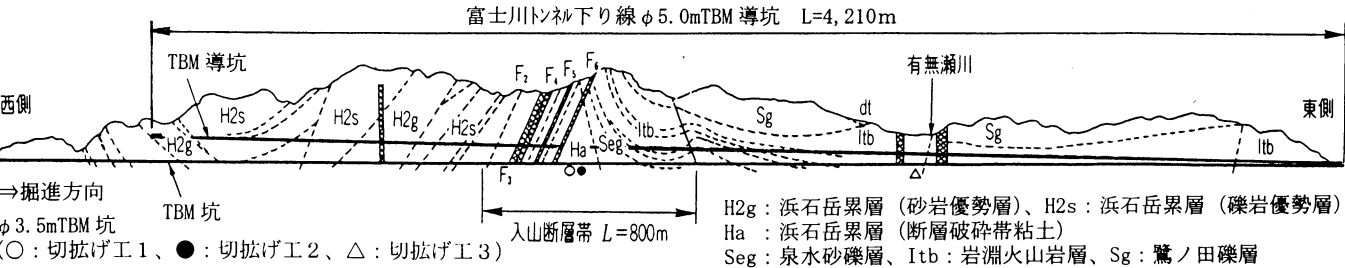


図-2 地質縦断図

キーワード：TBM 工法、入山断層帯、断層破碎帯粘土、押出し性、力学モデル

連絡先：第二東名高速道路富士川トンネル西（その2）工事共同企業体 Tel.0544-65-0810、Fax.0544-65-0885

①鋼製ライネ内空表面での内空変位最大値は、STA. 1027+30 付近に発生し、約 160mm である。鋼製ライネ背面のクリアランスは 220mm であることから、掘削面は最大約 $220+160/2=300\text{mm}$ 内空側に変位する。半径方向ひずみに換算すると、 $\epsilon_r=(300/5, 140/2)$ より約 3%の伸びひずみを受ける。

②後胴盛替時に TBM 後胴部スクリューは地山に接していたことなどから、初期変位速度は、 $(5, 140-4, 850)/2=145\text{mm/day}$ と推定できる。

③支保設置位置は切羽からトンネル掘削径の約 2 倍の 11.05m 後方となる。

この位置でのトンネル変形挙動は、地山等級が C や D I ではほぼ収束するが、これ以降も $(4, 850-4, 700)/2+80=155\text{mm}$ 変位し、掘削影響域は深部に進展する。

④鋼製ライネ周方向軸力の最大値は天端部で発生し、鋼製ライネ設置後約 10 日間で 230kN の圧縮力を受ける。その後も徐々に増加し 40 日経過後は 280 kN になる。鋼製ライネ背面土圧では、左 SL 部で、鋼製ライネ設置 5 日後に 0.06 N/mm^2 になるが

その後に 0.02N/mm^2 まで低下する。右 SL 部では、鋼製ライネ設置後徐々に増加し、40 日後に 0.04N/mm^2 になる。

⑤鋼製ライネ設置位置は、切羽からトンネル掘削径の約 2 倍後方となるので、掘削外力の応力再配分はほぼ完了したと推定できるが、鋼製ライネ周方向軸力、鋼製ライネ背面土圧は、時間経過とともに増加する。

5. 断層破碎帯粘土の力学特性

掘削外力は切羽周辺地山のせん断強度の範囲内での応力再配分とし、切羽周辺地山の变形特性を基本パラメータとする力学モデルを構築し、2D-FEM によるトンネル掘削解析を実施した。この力学モデルにより、以下の知見をえた。

①掘削面の変位量が内空側に約 300mm 変位するための周辺地山の弾性係数は、約 30N/mm^2 以下と推定される。

②鋼製ライネ周方向軸力と背面土圧の解析

値は、計測値の約 10 倍高く計算される。これは、鋼製ライネはクリアランス内で先行挙動し、その後に鋼製ライネと周辺地山の相互作用によるトンネル挙動となっており、このクリアランス内での鋼製ライネの挙動特性が高精度に解析できていないからである。この点を除けば、この力学モデルの特殊地山条件下でのトンネル掘削解析への適用性は高い。

6. まとめ

入山断層破碎帯粘土では、地山強度比は 0.3～0.7 と低く、TBM 導坑は大きく変位することから、押出し性地山であることが分かった。今後は、この特殊地山条件下での大断面トンネルの設計を行なう予定である。

参考文献 1) 佐藤淳：入山断層破碎帯での TBM 導坑挙動特性、土木学会第 56 回年次学術講演会、第三部門、2001。

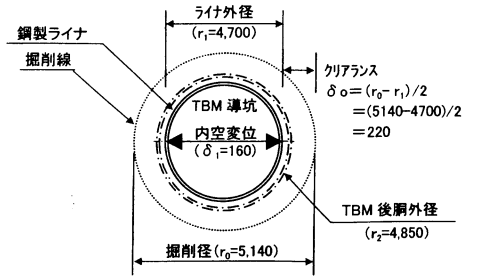


図-3 鋼製ライネ背面のクリアランス

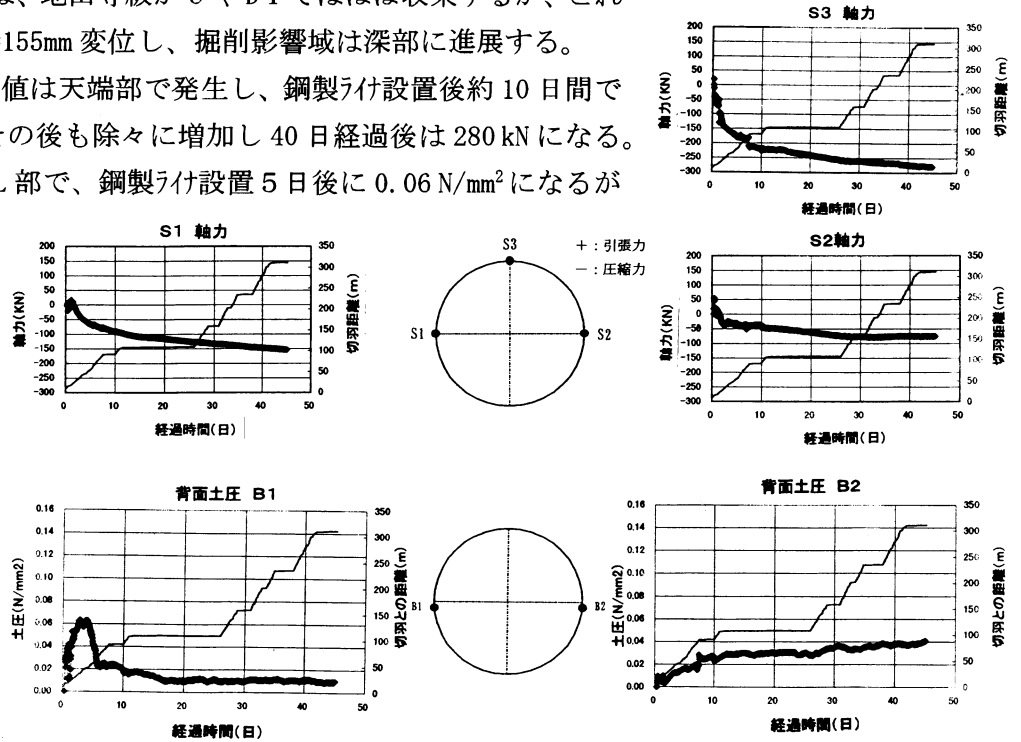


図-4 鋼製ライネ周方向軸力と背面土圧 (STA. 1027+80)

表-1 物性値一覧

(1)切羽に現れる断層破碎帯粘土の物性値		
・単位体積重量(γ_t)	23.5	kN/m^3
・弾性係数(E_t)	30.6	N/mm^2
・ポアソン比(ν_t)	0.45	—
・粘着力(c)	0.10	N/mm^2
・内部摩擦角(ϕ)	15.0	deg
(2)地山全体の变形特性 (弾性域)		
・弾性係数($E=10E_t$)	306	N/mm^2
・ポアソン比(ν)	0.4	—
(3)側圧係数(k_0)		
	1.0	—
(4)応力解放率(先行変位)		
	0.8	—
(5)鋼製ライネ (ビーム要素)		
・弾性係数(E)	2.14×10^5	N/mm^2
・断面積(A)	40.50×10^{-4}	m^2
・断面 2 次モーメント	909.0×10^{-8}	m^4

表-2 解析値と計測値

変位量 (mm)	解析値	計測値
δv	193 (80%)	150 ~ 220
δh	201 (100%)	(+クリアランス 220)
δh	174 (80%)	240 ~ 300
δh	182 (100%)	(+クリアランス 220)
鋼製ライネ周方向軸力 (kN/リング)		
	解析値	計測値
	-2,716	-80 ~ -270 (STA.1027+35.5)
		50 ~ -120 (STA.1027+80.0)
背面土圧 (N/mm²)		
	解析値	計測値
	1.05	0.01 ~ 0.12 (STA.1027+35.5)
		0.04 ~ 0.07 (STA.1027+80.0)