

押出し性地山における大断面トンネルの力学パラメータに関する考察

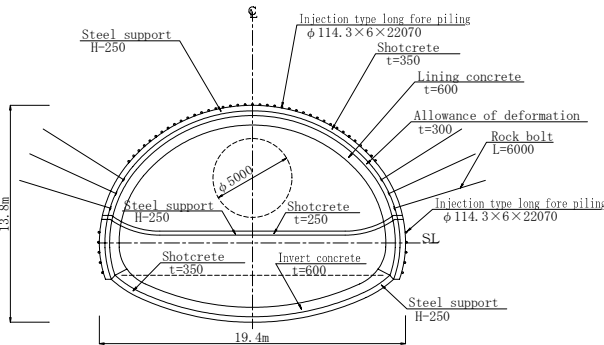
清水建設（株）土木技術本部技術第二部 正会員 楠本 太
日本道路公団静岡建設局富士工事事務所 正会員 恩田 雅也
清水・熊谷・竹中土木共同企業体 正会員 上岡 真也

1. はじめに

第二東名高速道路富士川トンネルは、延長約 4,500mの長大トンネルである。トンネルの中央付近には、地山強度比が0.3～0.7の入山断層破碎帯が分布し、強度不足による押出し性地山である。このような地質条件下での大断面トンネルの必要支保耐力、作用地圧などの力学パラメータ算定方法などは、未確立で、不確かであるが、高耐力、高剛性仕様のトンネル支保構造体を設計し、計測工 A,B による動態計測のもと、早期断面閉合掘削方法で施工した。その結果、押出し性地山における大断面トンネルの力学パラメータに関する基礎データが得られたので報告する。

2. 支保構造概要と施工方法

入山断層破碎帯粘土の変形能は高く、軟質、脆弱で、変位速度の速い押出し性地山であるので、設計・施工に当たり、「高強度鋼繊維補強吹付けコンクリートと高耐力鋼アーチ支保工を主要支保部材とし、周辺地山強度と背面地圧に見合う剛性と耐力を有する剛な支保構造体仕様とする」、「早期断面閉合による支保の軸力閉構造化により、保有耐力の早期発現と掘削影響域の深部進展を抑制することにより、不安定地山を安定化させる」を基本として、表－1に示す支保構造仕様のもと、Cycle3-6-12方式の早期断面閉合掘削方法¹⁾で施工した。



図－1 支保構造概要

表－1 支保構造仕様(粘土質)

断面区分		E-K-P	E-K1-P
施工順序		先行上り線	後行下り線
1 掘進長		0.75m	0.75m
変形余裕量		30cm	15cm
支保	吹付け厚(強度)	35cm (36N/mm ²), SFRS(1%)	50cm
	鋼アーチ支保工	HH-250 (SS590)	
	ロックボルト本数	上半6本 (L=6m) 290kN	
長尺鋼管フォアパイル		上半39本、(先行下半10本) L=22.07m、φ114.7×6	

3. 計測概要

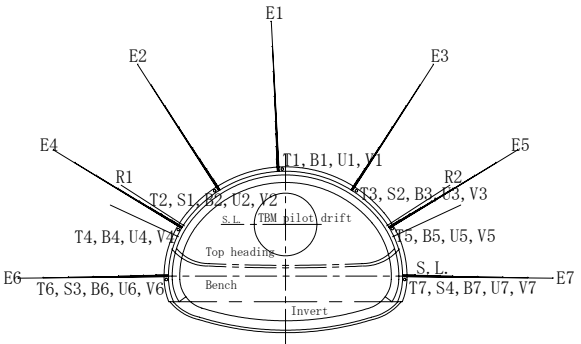
支保構造仕様の検証と次施工の判断に資するトンネル挙動特性の把握を目的として、図－2に示す支保部材応力測定のための計測工 B は、先行上り線で2断面、後行下り線で3断面の計5断面で実施した。切羽に現れる断層粘土の一軸圧縮強度は、針貫入試験からの換算値とした。

4. 上半切羽の安定性

断層破碎帯幅は、上り線で 69m、下り線で 108mである。上半掘削時に上半切羽鏡が崩壊した位置は、換算一軸圧縮強度とともに、図－3に示す。これから、以下のことが分かる。

(1) 先行上り線では、換算一軸圧縮強度が 1N/mm²（地山強度比=0.2）を下まわると、上半切羽は自立できずに崩壊した。これが 1 N/mm²を超えると、破碎質、粘土質ともに自立する。

(2) 後行下り線は、先行上り線掘削により、二度にわたり応力再配分を受けており、最初に掘削した下り線TBM導坑鋼製ラゲが変状、座屈することにより、周辺地山の塑性変形は進行し、地圧の一部は解放されたようであるが、換算一軸圧縮強度が 2N/mm²（地山強度比=0.4）を超えていても、上半切羽は崩壊した。後行下り線上半切羽の自立度は、上り線に比べて、概ね高い。



図－2 計測工B計器配置概要

キーワード：大断面トンネル、断層破碎帯、押出し性、支保耐力、地圧

連絡先：清水建設株式会社土木技術本部技術第二部 Tel. 03-5441-0566、Fax. 03-5441-0510

5. 必要支保耐力算定式と掘削影響域

トンネル支保構造体が押し出し性地圧（ p_o ）と力学的にバランスできる必要支保耐力（ σ_θ ）の算定式は、掘削影響域（ H ）と支保厚（ $T=b-a$ ）をパラメータとして、厚肉円筒理論を用いて導くと、式（1）のようになる。

$$\sigma_\theta = \frac{a^2 \cdot b^2 (p_o - p_i)}{b^2 - a^2} \cdot \frac{1}{r^2} + \frac{p_i \cdot a^2 + p_o \cdot b^2}{b^2 - a^2} \quad \text{式(1)}$$

a, b : 内空半径と掘削半径

r : 支保耐力計算位置（ $r=(a+b)/2$ ）

p_o : 作用地圧（ $=\gamma \cdot H$, N/mm^2 ）

p_i : 内圧（ $=0$, N/mm^2 ）

支保厚に対する必要支保耐力は、掘削半径 $b=10\text{m}$ とし、掘削影響域をパラメータとして式(1)で計算すると、図-4のように求まる。これに、上り線、下り線で計測された吹付けコンクリート軸応力の最大値を吹付け厚との対応で図中に図示すると、斜線域内にプロットされる。

この結果から、押し出し性地山での必要支保耐力の算定は、式（1）により高精度に計算できることが示された。同時に、地山強度比が $0.3 \sim 0.7$ の脆弱地質では、掘削影響域は $H=60 \sim 80\text{m}$ 、すなわちトンネル掘削幅の $3 \sim 4$ 倍におよぶことが分かった。

6. 支保構造体作用地圧

トンネル延長方向 1m 当たりの換算内圧力 P_i は、吹付けコンクリート軸力の計測値 N_i とトンネル半径 R を用いて、式 $P_i=N_i/R$ で計算すると、図-5のように求まる。これから、次のことが分かる。

①吹付けコンクリート軸力からの換算内圧力の最大値は、 1.1N/mm^2 である。

②吹付けコンクリートは、全軸力の約 $70 \sim 80\%$ を負担する¹⁾ ので、トンネル支保構造体としての換算内圧力は、 $P_i=1.1 / (0.7 \sim 0.8) = 1.4 \sim 1.6\text{N/mm}^2$ となる。

これらに加えて、吹付けコンクリート背面地圧 P_e の最大値は $P_e=1.7\text{N/mm}^2$ であった¹⁾ のと、掘削影響域 H からの作用地圧は $p_o=1.2 \sim 1.6\text{N/mm}^2$ と推定されたなどから、地山強度比が $0.3 \sim 0.7$ の押し出し性地山の作用地圧は、約 $1.4 \sim 1.7\text{N/mm}^2$ と推察できる。

7. まとめ

2004年10月末に、入山断層破砕帯の覆工コンクリート工を終え、無事に、施工を完了した。今後は、数値解析的評価を加え、大規模断層破砕帯での双設大断面トンネルの力学特性としてとりまとめる予定である。

参考文献 1) 小林隆幸ほか、大規模断層破砕帯をTBM先進導坑で突破、トンネルと地下、pp25～35、3月号、2004年。

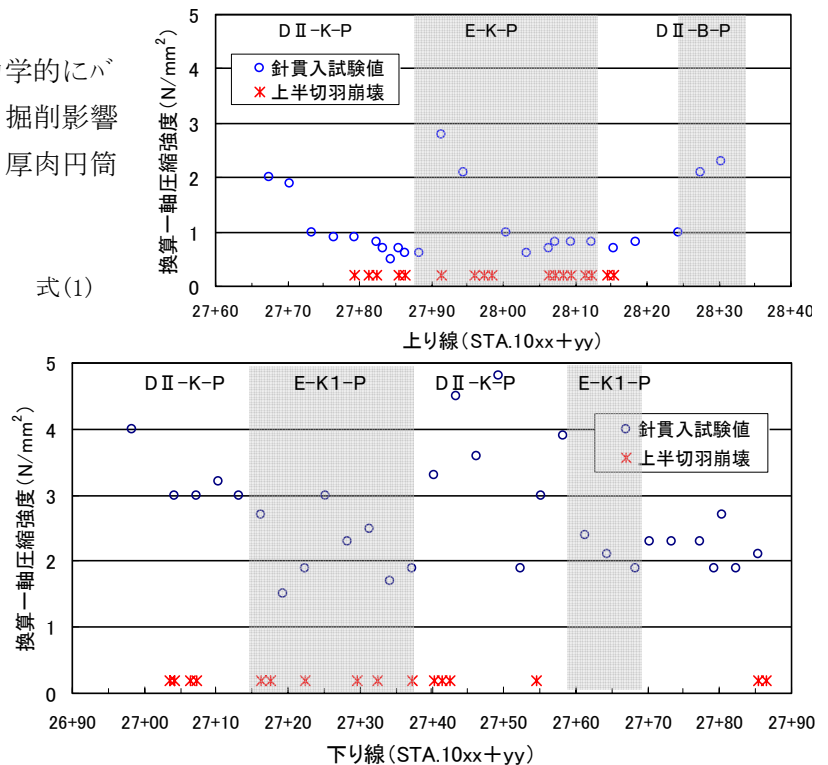


図-3 上半切羽崩壊位置と換算一軸圧縮強度

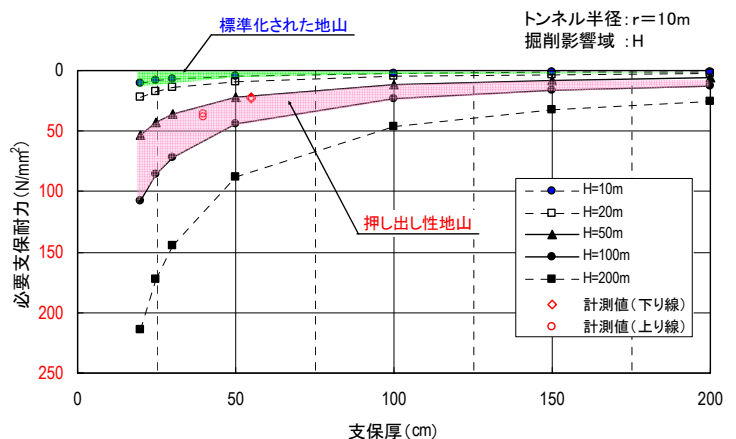


図-4 必要支保耐力と吹付けコンクリート軸応力

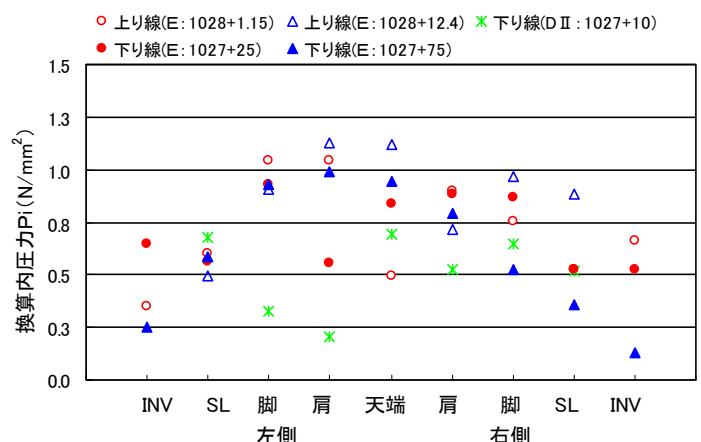


図-5 吹付けコンクリート軸力 N_i からの換算内圧力 P_i