

地質良好地山での大断面トンネルの力学挙動特性

西日本高速道路(株) 大津工事事務所

奥隅 豊栄

清水建設・飛鳥建設・銭高組共同企業体

正会員 大矢 隆二

清水建設(株) 地下空間統括部

正会員 楠本 太

1. はじめに

第二名神高速道路甲南トンネルは、掘削断面積約 180m²、延長約 2,500mの大断面トンネルであるので、TBM導坑先進掘削工法を採用した。本坑支保構造の標準は、設計要領に定められているが、TBM導坑の先行掘削により、地質性状や力学特性などは明らかになっているので、高強度再生PET繊維補強吹付けコンクリートと摩擦定着方式ロックボルトを主要支保部材とする新たな薄肉支保構造系を設計し、動態計測しながら施工した。その結果、地質良好地山における新支保構造系大断面トンネルの力学挙動特性が明らかになったので報告する。

2. 地質概要

地質は、比較的硬質な田上花崗岩が分布し、トンネル中央部の約 280m間は、熱水変質を受け、軟質で脆弱な風化・変質岩、断層、亀裂密集帯が分布する。切羽での集中湧水はない。

3. 支保構造概要

地山等級 C I では、トンネルの自立度は高いので、周辺岩盤は摩擦定着型システムロックボルトで縫付け、ロックボルト間の岩塊などは薄肉吹付けコンクリートでブロッキング、保持する方法は、トンネル支保構造系の力学的安定確保に最も有効と考え、標準パターン C I -B-P に加えて、C I -c-P を設計した(図-1、表-1)。支保部材仕様などは、図-2、表-2、3 に示す。

トンネルの自立度は高いので、周辺岩盤は摩擦定着型システムロックボルトで縫付け、ロックボルト間の岩塊などは薄肉吹付けコンクリートでブロッキング、保持する方法は、トンネル支保構造系の力学的安定確保に最も有効と考え、標準パターン C I -B-P に加えて、C I -c-P を設計した(図-1、表-1)。支保部材仕様などは、図-2、表-2、3 に示す。

4. 計測工概要

計測工 A は、切羽通過時に、トンネル軸方向 6~20m間隔で、1断面当たり 5 測点を設け、初期値をとり、12 時間毎に自動追尾機能を備えたトータルステーションを核とする三次元自動測量・計測システムを用いて自動測定する。計測工 B は、C I -B-P と C I -c-P にそれぞれを 1 断面ずつ設けた(表-4)。

5. 計測結果と考察

(1) 大断面トンネルの挙動特性

C I -c-P の施工延長は 330m、C I -B-P は 42mである。この区間の下半掘削後天端沈下量は図-3 に示し、C I -c-P の半径

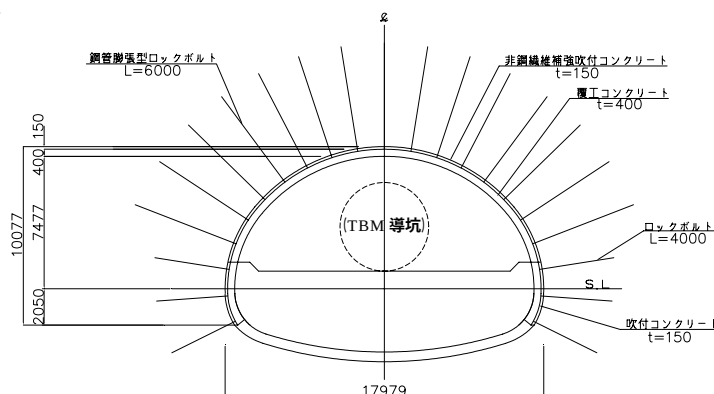


図-1 支保構造概要 (C I -c-P)

表-1 支保構造仕様(地山等級 C I)

支保パターン	1掘進長(m)	ロックボルト				吹付けコンクリート	
		周方向(m)	定着方式		長さ(m)		吹付け厚(cm)
			上半	下半	上半	下半	
C I -B-P	2.0	1.5	全面定着	全面定着	6.0	4.0	15
C I -c-P			摩擦定着				鋼繊維 PET繊維

表-2 鋼管膨張型ロックボルト仕様 (C I -c-P)

材質	ZAM 鋼管
耐力	kN
長さ	m
ボルト径	mm
板厚	mm
加圧水圧	N/mm ²
	25

表-3 高強度繊維補強吹付けコンクリート品質基準

材齢3時間における平均強度	N/mm ²	2
材齢1日における強度	N/mm ²	10
材齢28日における強度	N/mm ²	36
繊維混入量(鋼繊維, PET 繊維)	%(vol)	0.75

表-4 計測工 B 計器仕様

計器	最小読取	測線長
地中変位計(8点)	0.05mm 以下	12.0m
コンクリート有効応力計	0.1N/mm ² 以下	
RB 軸力計(6点)	0.2kN 以下	5.5m

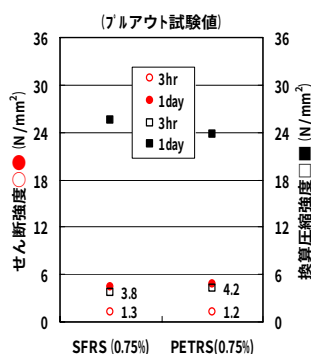


図-2 吹付けコンクリート強度特性

方向地中ひずみ分布は図-4 に示す。これから分かるように、天端沈下量は 2 車線道路トンネルと同程度の約 10mm

キーワード：摩擦定着方式システムロックボルト、高強度 PET 繊維補強吹付けコンクリート、大断面トンネル、TBM 導坑、グラントアーチ

連絡先：〒177-0051 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館 Tel.03-5441-0566、Fax.03-5441-0510

以下である。掘削影響域は深度 10m におよびこの中に、卓越する周方向圧縮応力場のグランドアーチを形成する。これに直交する半径方向地中ひずみは自由面方向に生ずるが、天端測線では、上半切羽通過時に、その大半が発生する。肩部と上半脚では、掘削進行とともに増加し、グランドアーチ形成は継続する。また、グランドアーチ域は、掘削面から約 0.3 倍掘削幅の 6 m 範囲内に形成され、この半径方向ひずみは約 0.1~0.2% の伸びである。このことから、掘削面の変位量 δ は、グランドアーチ形成域の広がりや岩盤の力学特性で決まる半径方向ひずみの測定値を用いて計算すると、 $\delta = 6,000 \times (0.001 \sim 0.002) = 6 \sim 12 \text{ mm}$ となり、計測工 A からの天端沈下量と対応する。

(2) 高強度繊維補強吹付けコンクリートの力学特性

吹付けコンクリート軸応力度は、図-5 に示す。設計強度に対する上半施工 1 日後吹付けコンクリート軸応力測定値の比は、図-6 に示す。背面土圧 P_e は、吹付けコンクリート換算作用軸力 N_i とトンネル半径 r を用いて $P_e = N_i / r$ で計算すると、図-7 のように求まり、以下のことがわかる。

①吹付けコンクリート軸応力の最大値は、右脚を除くとアーチ部に生じ、2.9~3.9 N/mm^2 の圧縮であり、設計強度 36 N/mm^2 に対して、余裕を持って安定する。

②吹付けコンクリート施工 1 日後上半切羽 8 m 進行時の設計強度

に対する測定軸応力度の比は 0.12 以下であり、掘削外力再配分の初期には、吹付けコンクリートへの作用外力は小さい。また、吹付けコンクリート仕様の違いが支保性能や変形特性などに及ぼす影響は小さい。

③背面土圧として $P_e = 49 \sim 65 \text{ kN/m}^2$ が推定され、これは卓越する周方向圧縮応力場を形成する深度 2.5~4.5 m よりトンネル内空側の掘削面から深度 2.0~2.5 m の土荷重に相当することから、自立度の高い地山での吹付けコンクリートは、地質不良部の場合と異なり、トンネル支保構造系のグランドアーチ形成による自立安定への直接的な寄与は小さい。

(3) 摩擦定着方式システムロックボルトの力学特性

鋼管膨張型ロックボルト軸力の最大値は、右肩部の深度 4.5 m 位置に発生し、144 kN の引張である (図-8)。天端部の深度 2.5 m では、94 kN の引張である。これらは、打設後切羽 2 m 進行時に、全軸力の 50~80% 以上が発生する。全面定着方式ロックボルトの R21、R22 では、25 kN 以下の引張であり、鋼管膨張型に比べて滑らかに小さく発生する。

6. おわりに

CI-c-P の力学挙動特性が明らかになったので、今後は、数値解析的手法で評価し、別の機会に報告する。

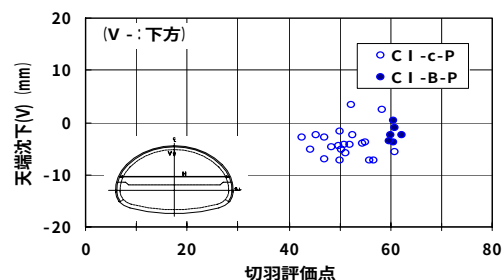


図-3 天端沈下(下半掘削後)

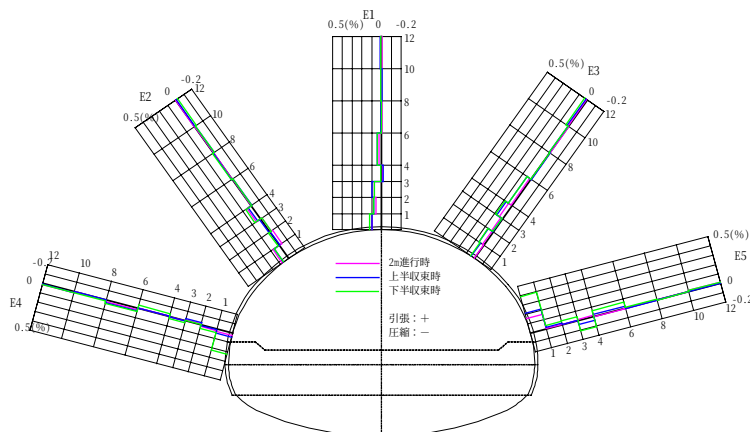


図-4 半径方向地中ひずみ分布 (CI-c-P)

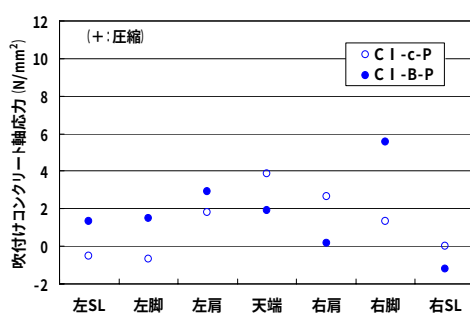


図-5 吹付けコンクリート軸応力(下半掘削後)

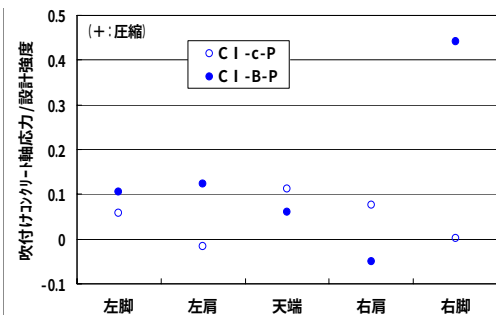


図-6 設計強度に対する比(上半1日後)

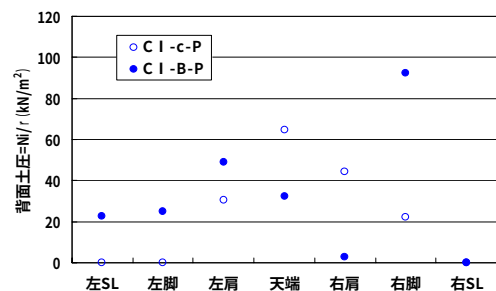


図-7 背面土圧(下半掘削後、換算値)

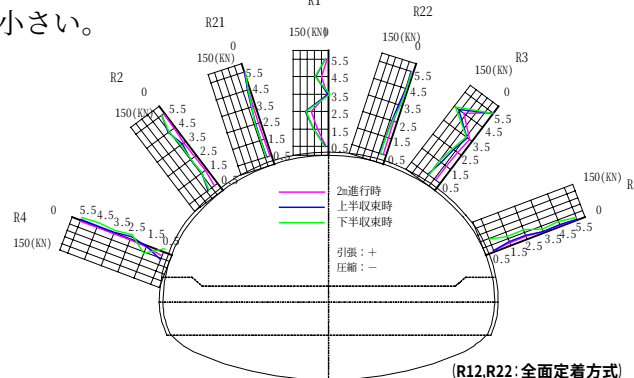


図-8 鋼管膨張型ロックボルト(R1~R5)軸力分布