

高土被りトンネルにおける特殊支保パターンの施工実績

慶島 四国支店 正会員 ○檜垣 和明
 同上 正会員 松川 久俊
 同上 正会員 平井 勉

1. はじめに

一般国道194号の愛媛・高知県境に建設している寒風山トンネルは、四国山地の主脈をなす石鎚山系の一つである寒風山（標高 1,763m）直下を貫く延長 5,432mの長大トンネルで、しかも最大土被りは県境付近で 900mに達し、国内のトンネル施工実績において 4番目にランクされる高土被り下のトンネルである。

本坑掘削において、土被り 600m以上の施工区間にシリカフェームを混入した高強度吹付けコンクリートを主体とする特殊支保パターンを導入し、最大土被り区間を無事通過できたので、実績について報告する。

2. 地質概要

トンネル区間の地質は、三波川変成帯吉野川層群の三縄層が分布する。この三縄層は、上部層、主部層、下部層に区分されるが、坑口から 1,000m（加茂第一断層）を境に、高知県側に泥質片岩（黒色片岩）を主体とする下部層が、愛媛県側には塩基性片岩（緑色片岩）・珪質片岩を主体とする主部層が出現した。

問題となった高土被り区間の岩質は、トンネル全体の75%を占める泥質片岩（黒色片岩）があり、その特徴は、結晶片岩特有の片理面が発達しており、剥離性及び異方性が強く、新鮮な岩塊の一軸圧縮強度は 200 kgf/cm^2 (19.6 MPa)程度であった。

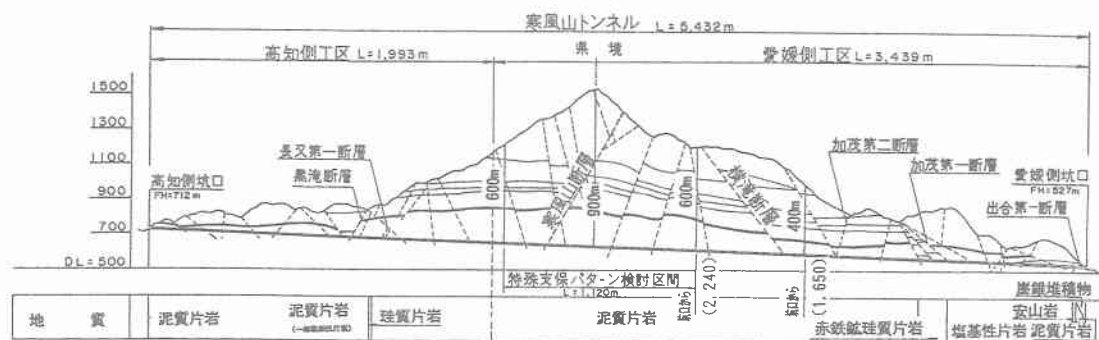


図-1 トンネル地質縦断面図

3. 特殊支保パターン導入の経緯

本坑トンネルの施工において坑口部を除いては、標準支保パターンB～CⅡ（一部CⅢ）で特に大きな変状もなく施工が行われた。しかし、土被り 400m付近（如から1,650m）から地山強度比（ $Cf = \sigma_c / \gamma \cdot H$ ）が 2.0以下となり、顕著な支保の変状（吹付けコンクリートのせん断クラック、ロックボルトの破断）が生じ始めた。

その対策として、計測工の充実（新三次元計測管理システムの導入、計測頻度の増加）を計り、補強工（増しロックボルト、増し吹付けコンクリート）を併用しつつ 計画時の標準支保パターンのランクアップ（CⅡ→DⅠ→DⅡ）を行い土被り 600m付近（如から2,240m）まで掘削を進めた。しかし、DⅡパターン施工区間においても支保の変状がますます激しくなり、多大な補強工が必要となってきた。

土被り 600m以上の区間については、計画時の標準支保パターンでは、更に大きな変状の発生と安全を含めた施工面の問題発生が予想されたため、新たな対策工としてシリカフェーム混入の高強度吹付けコンクリートを主体とする特殊支保パターンを導入した。

4. 特殊支保パターンの計画

土被り 600mまでの計測データを用い、逆解析・弾塑性解析を行い、土被りごとの地山特性曲線から得られる弾塑性境界応力を基に必要な内圧力を推定した。

膨脹性地山や高土被り下の支保の方法は、変位を許容する考え方もあるが、ここでは変位を抑制するために地圧に対して剛に抑える考え方を基本とし、土被りごとの必要内圧に相当する支保耐力を有する特殊支保パターンを計画した。諸元及び断面を表-1及び図-2に示す。

特殊支保パターンの支保構成のなかで 吹付けコンクリートについては、高強度コンクリート用混和材として注目されているシリカフェームを混入した高強度吹付けコンクリートを採用した。高強度吹付けコンクリートの設計基準強度は、高土被り下では地圧がトンネル掘削後早期に作用するため材令7日で規定し、土被りに応じて 250kgf/cm²、290kgf/cm²の2種類とした。ここで、その配合を表-2に示す。

5. 特殊支保パターンの実績

事前の解析に基づいた適正な支保耐力を持つ特殊支保パターンの設定により特に大きな変状もなく最大土被り 900mを通過することができた。

以下に、高土被り下の施工実績をまとめると、

- ①土被りごとの必要内圧力に応じた支保耐力を有する特殊支保パターンを採用することにより、変位抑制効果が見られた。
- ②一次支保に変状を生じさせないためには、内空変位率を 0.7% (最大内空変位量で約70mm) 程度に管理する必要があった。
- ③最大内空変位量と初期変位速度の間には強い相関が見られた。したがって、掘削時の最大内空変位量を抑制し、変状を管理するには初期変位速度を管理するのが有効であり、初期変位速度に応じた管理基準値・フローを作成し施工を進め、好結果を得た。
- ④シリカフェームを混入した高強度吹付けコンクリート

は、7日強度の平均値で、配合②は 262kgf/cm²、配合③では 326kgf/cm²となり、設計基準強度を満たすものであった。また、施工時の粉じん・リバウンドともプレーンに比べて少ない値であった。

6. むすび

膨脹性地山や高土被り下のトンネルにおいて、その変状対策として、高強度吹付けコンクリートを設計時から組み込んで実工事に適用した事例はほとんど見られない。

当寒風山トンネル工事においては、企業者、施工者及び第三者の権威者を含めた技術検討連絡会が定期的 (年1回) に開催されており、今回の報告の対策案は、その場において検討され、採用されるに至ったものである。

表-1 特殊支保パターンの諸元

		特殊支保パターン (一般部)		
土 被 り (m)		600 ~ 700	700 ~ 800	800 ~ 900
計 画 延 長 (m)		508	256	260
支 保 パ タ ー ン		DIV	DV	DVI
覆 工 厚 さ (cm)		40 (1/4m-1) 50	40 (1/4m-1) 50	40 (1/4m-1) 50
吹付けコンクリート 設計基準強度 (kgf/cm ²)		σ ₇ =250	σ ₇ =250	σ ₇ =290
金 網		上・下半	上・下半	上・下半
ロックボルト	ボルト長 (m)	L=4.0 耐力18tf	L=4.0 耐力18tf	L=5.0 耐力18tf
	間隔 (掘削方向) (m)	1.0x1.2	1.0x1.2	1.0x1.0
鋼製支保工	種 類	H-200	H-200	H-250
	ピ ッ チ (m)	1.0	1.0	1.0
支 保 耐 力	位 置	全断面	全断面	全断面
	吹付けコンクリート (kgf/cm ²)	14.6	17.5	20.3
合 計	ロックボルト (kgf/cm ²)	1.5	1.8	1.8
	鋼製支保工 (kgf/cm ²)	3.2	3.2	4.6
力 合 計 (kgf/cm ²)		19.3	22.5	26.7
土被り別推定内圧力 (kgf/cm ²)		土被り 700m 17.8	土被り 800m 21.5	土被り 900m 25.1

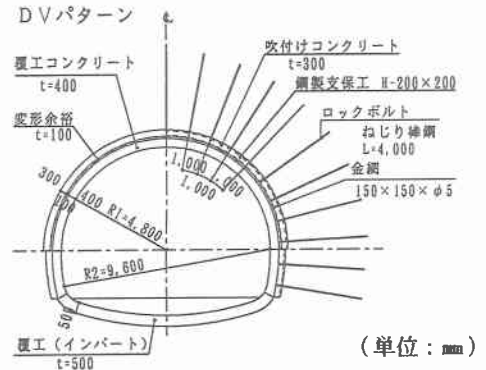


図-2 特殊支保パターンの断面図

表-2 高強度吹付けコンクリートの配合

配合	設計基準強度 kgf/cm ²	スラップ cm	空気量 %	細骨材率 %	W/C %	単位量, kg/m ³			高強度吹付け コンクリート 配合率 %
						C	W	Sif	
①	σ ₂₈ =180	10±2	4±1	62	59.7	360	215	—	Cx0.7
②	σ ₇ =250	20±2	4±1	70	59.7	360	215	25	Cx2.5
③	σ ₇ =290	20±2	4±1	70	53.8	400	215	25	Cx2.3