

軟質な蛇紋岩を含む混在岩地山における調査・設計・計測事例

国土交通省東北地方整備局 赤石広秋

鹿島建設(株) 正会員 ○池田 廉 西川幸一 佐久間啓吾 宮嶋保幸 村上浩次 松崎裕亮

1. はじめに

新区界トンネルは、宮古盛岡横断道路の最大の難所である区界峠を貫く全長約5kmの長大トンネルである。宮古側の本坑(掘削断面積 約110m²)では、CⅡパターン(鋼アーチ支保工 H-150 上半のみ・吹付け厚15cm・ロックボルト L=4m×21本)での掘削中、滑石を含む軟質な葉片状蛇紋岩(写真-1)が切羽左側から出現し、内空変位70mmを超過する変状が発生した。これに伴って、縫い返しを要する区間が約40mに渡り生じ、支保パターンをDⅠ(鋼アーチ支保工 H-150 上下半・吹付け厚20cm・ロックボルト L=6m×25本)へランクアップさせても吹付け面のクラック発生が継続した。そこで、掘削を一時中断し、地質調査および数値解析による支保構造の設計検討を行った。掘削再開後には支保部材の応力計測を実施し、適用した支保構造の妥当性が確認されたので、ここに報告する。



写真-1 蛇紋岩および緑色岩からなる切羽状況
(計測B実施断面)

2. 地質調査およびその結果

変状の要因を特定するため、切羽左側壁にて調査ボーリングを行い、岩盤・岩石試験を実施した。表-1に示すとおり、蛇紋岩の変形係数は著しく小さく、隣接する緑色岩との間で、硬軟に明瞭なコントラストがあった。また、蛇紋岩はモンモリロナイト等の膨潤性粘土鉱物を含有せず、変形係数とスレーキングを除く各種膨張性指標は、膨張性判定基準を超過しなかった。このような軟質の押し出し性地山(squeezing ground)の変状抑制に、インバートストラットと吹付けコンクリートによる早期閉合が有効であると考えられた。

3. 数値解析による支保構造の設計

適切な支保構造を設計すべく、2次元の有限要素解析を実施した。解析用地山物性値として、変形係数は試験値を用い、その他は一般値を用いた(表-2)。解析コードは、鋼アーチ支保工が降伏した後、地圧の余剰分

表-1 岩盤・岩石試験結果

試験項目	物性	単位	測定値		参考) 膨張性判定基準 ¹⁾
			蛇紋岩	緑色岩	
孔内水平載荷試験	変形係数	MN/m ²	55~336	37,000	800以下
吸水率試験	吸水膨張率	%	0.41~0.60	0	2超過
陽イオン交換容量試験	CEC値	cmol(+)/kg	2.3~8.2	—	35超過
スレーキング試験	浸水崩壊度	—	C~D	A~B	C~D
	スレーキング度	—	2~4	1	3~4
X線回折分析	含有鉱物	—	蛇紋岩・滑石	—	モンモリロナイト等含

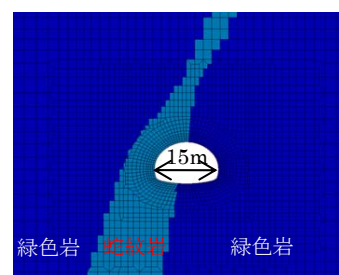
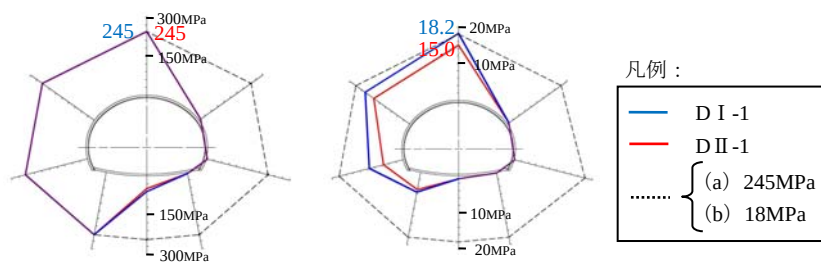


図-1 解析モデル

表-2 解析用地山物性値

項目	単位	蛇紋岩	緑色岩
単位体積重量※ ²	kN/m ³	21	25
変形係数※ ¹	MN/m ²	55	37,000
粘着力※ ²	kN/m ²	200	4,000
内部摩擦角※ ²	deg	30	50
ポアソン比※ ²	—	0	0
引張強度※ ²	kN/m ²	40	800

※1: 試験値, ※2: 一般値



(a) 鋼アーチ支保工縁応力 (b) 吹付けコンクリート応力

図-2 数値解析結果

キーワード 蛇紋岩, 早期閉合, 数値解析, 支保工応力計測

連絡先 〒028-2631 岩手県宮古市区界第2地割466-2 新区界トンネル工事事務所 TEL 0193-77-3697

が吹付けコンクリートおよび周辺地山に配分されるトレーシー²⁾である。同コードは北海道の蛇紋岩地山でのトンネル工事に適用され、地山変位および吹付けコンクリートの発生応力について、解析値と計測値との整合性が確認された²⁾。解析モデルを図-1に、入力物性値を表-2に示す。蛇紋岩の幅は、切羽観察及び調査ボーリングに基づき約10mとした。応力解放率は、上半支保設置時で30%、下半およびインバート支保設置時で60%とした。解析では、鋼アーチ支保工H-150を用いた早期閉合パターン（以下D I-1）とH-200を用いた早期閉合パターン（以下D II-1）を対象に、応力解放率100%での鋼アーチ支保工縁応力および吹付けコンクリート応力を比較した（図-2）。その結果、鋼アーチ支保工縁応力はD I-1・D II-1ともに天端から左踏前にかけて鋼材の降伏応力245MPaを超過し、吹付けコンクリート応力はD I-1では天端～左肩付近で設計基準強度18MPaを超過するものの、D II-1では最大で15MPaであり、D II-1適用の必要性が示された。

4. 支保応力計測による実施支保構造の妥当性検証

掘削再開後、D II-1適用の妥当性を検証すべく、計測Bとして支保工応力測定を実施した。計器配置を図-3に示す。変位（計測A）および鋼アーチ支保工の縁応力、吹付けコンクリート応力の計測結果（収束値）を、数値解析結果と合わせて図-4に示す。変位は計測と解析とで概ね整合した。鋼アーチ支保工縁応力は、計測では天端～左側壁～インバートストラットまで、解析以上に広範囲で鋼材の降伏応力245MPaに達した。吹付けコンクリート応力は左肩で最も大きかったが、解析と同様、設計基準強度以下の14.7MPaで収束した。以上、計測と解析はよく整合しており、数値解析による事前のシミュレーションは適切に行われ、D II-1の適用は妥当であったと考えられる。

また、表-3において、計測Bにより得られた鋼アーチ支保工応力・吹付けコンクリート応力から圧縮応力（軸圧縮および曲げ圧縮）の最大値（左肩）を算出し、5231kNが得られた。設計耐力（表-3）との比較の結果、D I-1では耐力不足であり、D II-1適用が妥当であることが示された。

5. まとめ

蛇紋岩の出現に伴う変状対策として、地質調査、数値解析による設計検討、支保工応力計測を実施した。検討の結果、早期閉合による変状抑制が有効で、H-200の鋼アーチ支保工を用いることの妥当性が数値解析および計測の結果から示された。なお、蛇紋岩は、その後も切羽の左側で継続して出現したが、本検討により選定した支保構造D II-1で無事施工することができた。

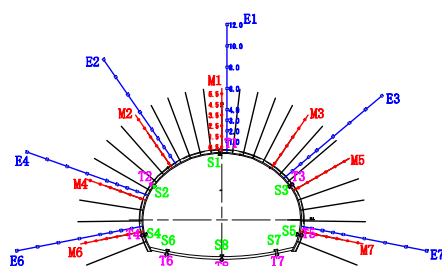


図-3 計測Bの計器配置
E: 地中変位計 (L=12m)
M: ロックボルト軸力計 (L=6m)
T: 鋼アーチ支保工応力計
S: 吹付けコンクリート応力計

図-3 計測Bの計器配置

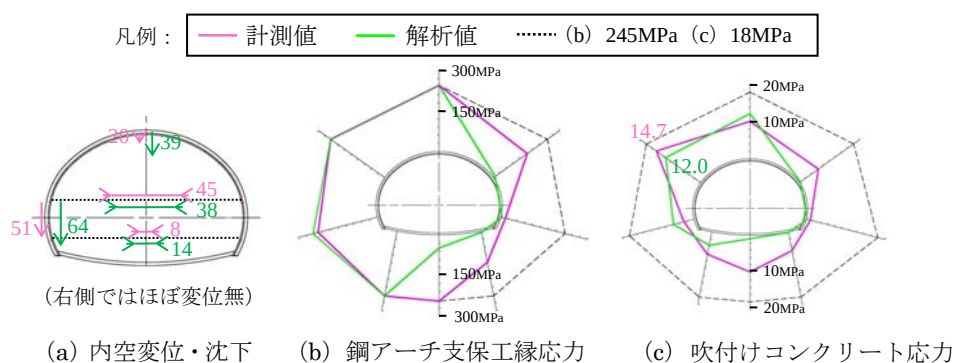


図-4 計測結果と解析結果の比較

表-3 設計耐力の算定

計測/設計	支保パターン	支保部材	仕様	設計耐力
計測	D II-1	鋼アーチ支保工	H-200	$245\text{N/mm}^2 \times 6353\text{mm}^2 = 1556\text{kN}$
		吹付けコンクリート	厚さ25cm	$14.7\text{N/mm}^2 \times 250000\text{mm}^2 = 3675\text{kN}$
		合計	—	$1556+3675 = 5231\text{kN}$
設計耐力	D II-1	鋼アーチ支保工	H-200	$245\text{N/mm}^2 \times 6353\text{mm}^2 = 1556\text{kN}$
		吹付けコンクリート	厚さ25cm	$18\text{N/mm}^2 \times 250000\text{mm}^2 = 4500\text{kN}$
		合計	—	$1556+4500 = 6056\text{kN} (>5231\text{kN OK})$
	D I-1	鋼アーチ支保工	H-150	$245\text{N/mm}^2 \times 3965\text{mm}^2 = 971\text{kN}$
		吹付けコンクリート	厚さ20cm	$18\text{N/mm}^2 \times 200000\text{mm}^2 = 3600\text{kN}$
		合計	—	$971+3600 = 4571\text{kN} (<5231\text{kN NG})$

参考文献

- 1) 土木学会編：トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説，pp.45, 2016.
- 2) 北村義宜ほか：鋼製支保工の降伏時における剛性低下を考慮した支保設計事例，土木学会第67回年次学術講演会 予稿集，pp.199～200, 2012.