

蛇紋岩地山におけるトンネル施工について

— 一般国道275号 深川市 幌加内トンネルにおける 蛇紋岩地山の変位挙動と対応について（事例報告） —

札幌開発建設部 深川道路事務所
同 上
同 上

○桜井 司
三浦 篤
林 実雄

幌加内トンネルに分布する地質は神居古潭帯に属する蛇紋岩が主体である。一般に蛇紋岩地山におけるトンネル工事では大きな地圧の作用や切羽崩壊の発生など難工事を強いられる事例が数多く報告されている。本稿はトンネル施工中に行う先行地山調査（水平ボーリング）結果、計測データ結果等に基づく既施工区間における地山の変位挙動と対応策をまとめると共に、今後の支保パターンと補助工法の考え方を報告するものである。

1. はじめに

一般国道275号の道路改良に伴って新設される幌加内トンネルは、深川市鷹泊地内～幌加内町地間に位置する延長L=1,241mの山岳道路トンネルである。

トンネルの特徴としては、全線蛇紋岩が分布していること、起点坑口付近に地すべり地帯が存在し、坑口計画はこの地すべり抑止対策を含めて検討していることなどがあげられる。

本稿では、蛇紋岩地山を掘削した事例として、トンネル内空変位の傾向と変状状況および対策工について紹介する。

2. 工事概要

一般国道275号は昭和50年に道道士別沼田線から国道昇格した経緯があり、一部の区間で構造規格が昇格前のままであることから、平面・縦断・幅員共に未改良区間となっている。

また、当地は北海道でも有数の豪雪地帯であり、交通事故発生のおおきな原因となっている。

更に、平成7年にはJR深名線が廃止され沿線住民のライフラインとしての重要性も増加してきていることから、現国道の線形を改良することで事故発生を抑え、交通流を円滑にすることが必要となった。

幌加内トンネルはこの幌加内峠改良区間に計画された山岳道路トンネルである。

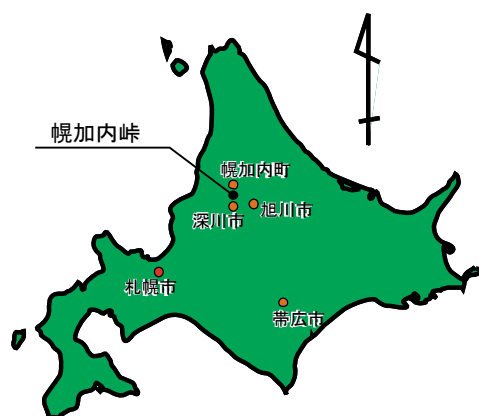


図-1 位置図

3. 当初設計の考え方

地質時代	地層区分	細区分	記号	層相・岩相
先新第三紀	神楽居古潭類	貫入岩	Md	蛇紋岩に高角度で貫入。塊状堅硬な岩石。
		微閃緑岩	Amp	塊状～片状。堅硬～やや軟質。片岩類を含む。
		角閃岩	Cs	硬質だが、部分的に片状性強く軟質な部分を挟在。
		緑色片岩	fSp	片状性が明瞭で軟質な部分。
		蛇紋岩	Sp	[fSp] 塊状・葉片状・角閃状・粘土状の混在した部分。 [mSp] 塊状で硬質な部分。

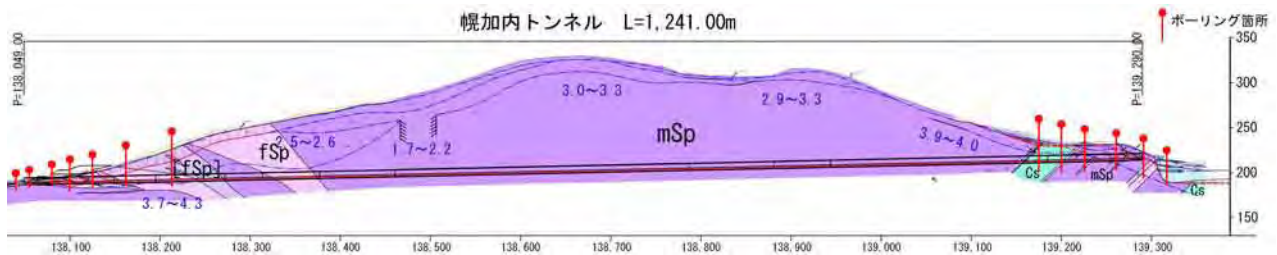


図-2 幌加内トンネル地質縦断

表-1 蛇紋岩の地山物性と地山分類

地質	区分	RQD(5) %	弾性波速度 km/s	変形係数 MPa	準岩盤 圧縮強度 MPa	超音波 速度 km/s	浸水 崩壊度	地山 強度比	地山分類
蛇紋岩	粘土状	0	1.0 ～ 1.3	15～60	0.2～1	1.9～2.1	D	土被り10～20m 以上で1以下	E
	葉片状	0	2.4 ～ 2.8	25～180	1～10	2.4～4.0	D	土被り45m 以上で1以下	E
	塊状	40～65 (一部0～30)	2.9 ～ 4.3	350～600	7～95 (LLT降伏圧 2.5～8以上)	2.6～6.5	A	土被り100m 以上で1以下	D I～D II (土被り100m以上 の区間はE)

3.1 地質

トンネル区間の地質は神居古潭構造帯に属する蛇紋岩および結晶片岩類や角閃岩類である。

神居古潭構造帯は北海道中央部を南北約 350km にわたって、断続しながら分布する蛇紋岩・各種変成岩類よりなる構造帯である。一般に蛇紋岩はその性状から粘土状蛇紋岩、葉片状蛇紋岩、塊状蛇紋岩に分類されるが、既往文献¹⁾によれば、当該地区に分布する蛇紋岩は『鷹泊蛇紋岩帯』と称され、塊状蛇紋岩が圧倒的に多く、岩体周縁部でも葉片状化が少ないとされている。

トンネル施工上問題とされているのは葉片状や粘土状蛇紋岩であるが、既往の地質調査（坑口付近：ボーリング調査、中央部分：弾性波探査）により、坑口部を除く中央区間は塊状蛇紋岩が主体に分布すると想定（図-2）した。

当初設計時点における蛇紋岩の各性状ごとの物性と地山分類を表-1に示す。

基本的に、塊状蛇紋岩は DI または DII パターンとしたが、土被り 100m 以上の区間では地山強度比が 1 以下となり、大きな地圧の関与²⁾が想定されたため、土被り 100m 以上の区間を E パターンとした。

3.2 支保パターン

本トンネルにおける支保パターンは地山性状と土被り（地山強度比）等からなる地山等級に応じ、D I、D II、E、坑口パターンの 4 パターンを計画した。

蛇紋岩地山のトンネル工事では、地山を掘削すると、周辺の地山とともに徐々に内側へ押し出してくる現象が見られ、その変位は天端、側壁ばかりではなく、底板や鏡面にも生じる。したがって、地山強度比が 1 以下で大きな地圧の関与が懸念される区間については、以下の補助工法を含めた E パターンを標準とした（図-3）。

- ① 早期断面閉合：上半仮閉合及びインバート吹付閉合。
- ② 変形余裕量の見直し：上半 15cm（通常 20cm）、下半 0cm（通常 10cm）。
- ③ 切羽安定対策：鏡吹付け及びフォアポーリング

今回採用した支保パターンについては、施工中の先進ボーリングや各種計測結果で適宜妥当性を検証し、必要に応じ修正することとした。

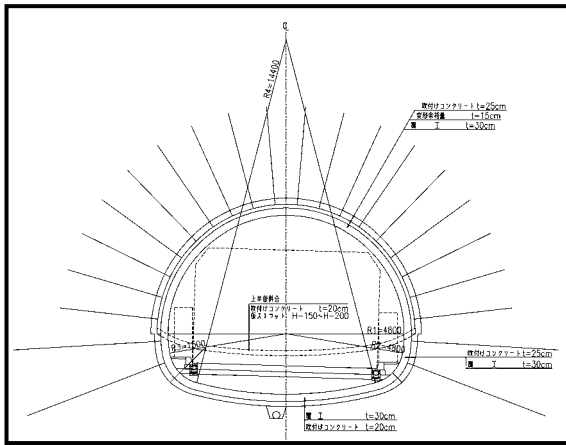


図-3 Eパターン断面図

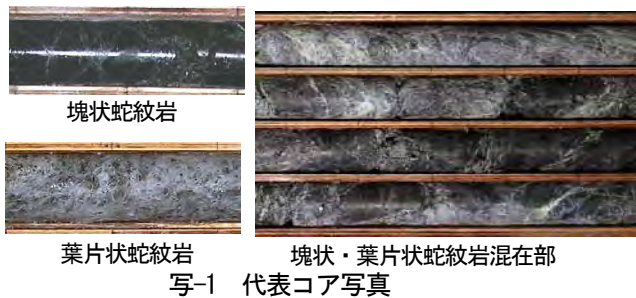
4. 施工中の調査

4.1 地質状況

施工中は切羽前方に対する先進ボーリングを行い、地山の地質性状を確認しながら掘削を進めている。

トンネル中央区間は当初、塊状蛇紋岩が主体であると想定していたが、塊状・葉片状蛇紋岩混在部や葉片状蛇紋岩主体部などで構成される状況である。

ボーリング孔内で実施した各種原位置試験により得られた地山物性をまとめると表-2の通りである。



写-1 代表コア写真

表-2 トンネル中央部の地山物性値

地質	当初想定	施工中調査 (先進ボーリング B-5~10)	
		弾性波速度 (地震探査) km/s	変形係数 MPa
塊状蛇紋岩	mSp	2.9~4.3	350~600
塊状・葉片状蛇紋岩混在部	[fSp]	—	—
葉片状蛇紋岩	fSp	—	—
			2.7~4.7
			95~518
			66~219

4.2 変位予測

塊状・葉片状蛇紋岩混在部区間では、前述のように地質性状の違いや変形係数のばらつきがあり、変位計測結果においても葉片状蛇紋岩主体部に近い変位傾向を示した。よって、塊状・葉片状蛇紋岩混在部の代表的な物性を把握し、以降の変位予測を行うためこれまでの施工区間の地山性状と実測変位状況を基にFEMによる逆解析を実施した。逆解析はこれまでの施工区間で地山物性が低い断面 (P=138, 377 土被り 70m) と最大土被り断面 (P=138, 661 土被り 120m) の2断面で実施した。

この結果、塊状・葉片状蛇紋岩混在部の代表変形係数として表-3に示す値が推定された。

表-3 逆解析による代表性値

代表変形係数	塊状・葉片状蛇紋岩混在部
	100MPa

この値をもとに、順解析を適宜実施し、変位予測 (A計測管理変位量等) および支保工発生応力予測を行い施工パターンの妥当性や補助工法の必要性等について検証し施工に反映させている。

4.3 高強度吹付けコンクリートの採用

土被り100mを超える地点の地質性状が先進ボーリング結果で塊状・葉片状蛇紋岩混在部であることが判明したことから、逆解析で得られた地山物性を用いた事前予測解析 (順解析) を実施した。この結果、吹付けコンクリートの応力が僅かではあるが許容値 (18N/mm²) を超過することが推定された (表-4)。

このことから、土被り100mを境界に高強度吹付けコンクリート (許容値36N/mm²) を採用することとし、切羽観察、A計測、更にはB計測断面を追加し検証することとした。

表-4 解析結果

土被り	変形係数	吹付応力
100m	100MPa	解析値 18.5N/mm ² > 許容値 18N/mm ²

5. トンネル変位傾向

5.1 内空変位計測

本トンネルの日常管理に用いるA計測 (内空変位計測) は、図-4のような切羽進行と変位量の関係により管理している。

現段階では、仮ストラットの併用や仮ストラットの変更 (サイズ変更) により変位量を抑制し管理している。

図-5はA計測変位の一例である。上半掘削から上半仮閉合までと下半掘削時に大きく動き、掘削を休止すると変位も止まる傾向にある。

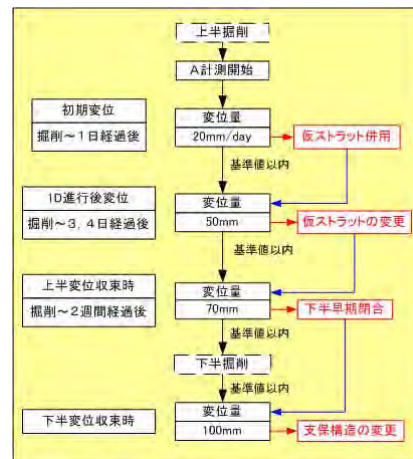


図-4 A計測管理フロー

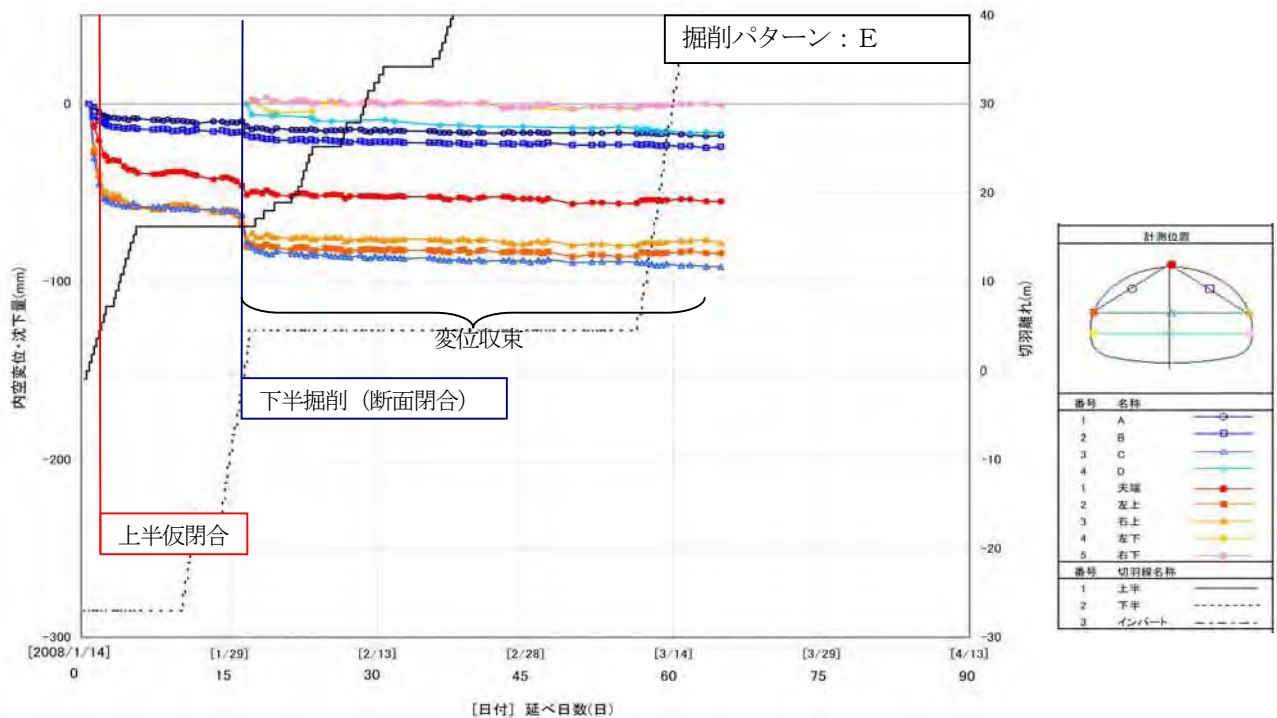


図-5 内空変位計測結果 (P=138, 582)

図-6 は本トンネルの坑口から中央部分まで（坑口パターン区間を除く）のA計測結果収束値と分布地質・土被りの関係をまとめたものである。また、計測収束値に大きく影響すると考えられる仮閉合時のストラットの有無も併記した。

図-6 から読み取ることが出来る変位傾向を以下に列記する。

●本トンネルにおける変位傾向

- ・大きな変位が発生した区間は①138k170～220、②138k320 付近、③138k520 以降である。
- ・上記区間の内、①、③区間はストラット併用で仮閉合を行っている。

- ・地質状況において、①区間は地山状況が劣悪（粘土状や葉片状蛇紋岩）な区間に該当し、②、③区間は本トンネル地質としては比較的良好（塊状・葉片状蛇紋岩の混在部）な区間に該当する。

- ・土被りと変位の関係において、土被り 80m 以上の区間は土被りの増加に伴い変位が大きくなる傾向。一方、土被り 80m 以下の区間は土被りと変位の大きさの間に関係が見られない。

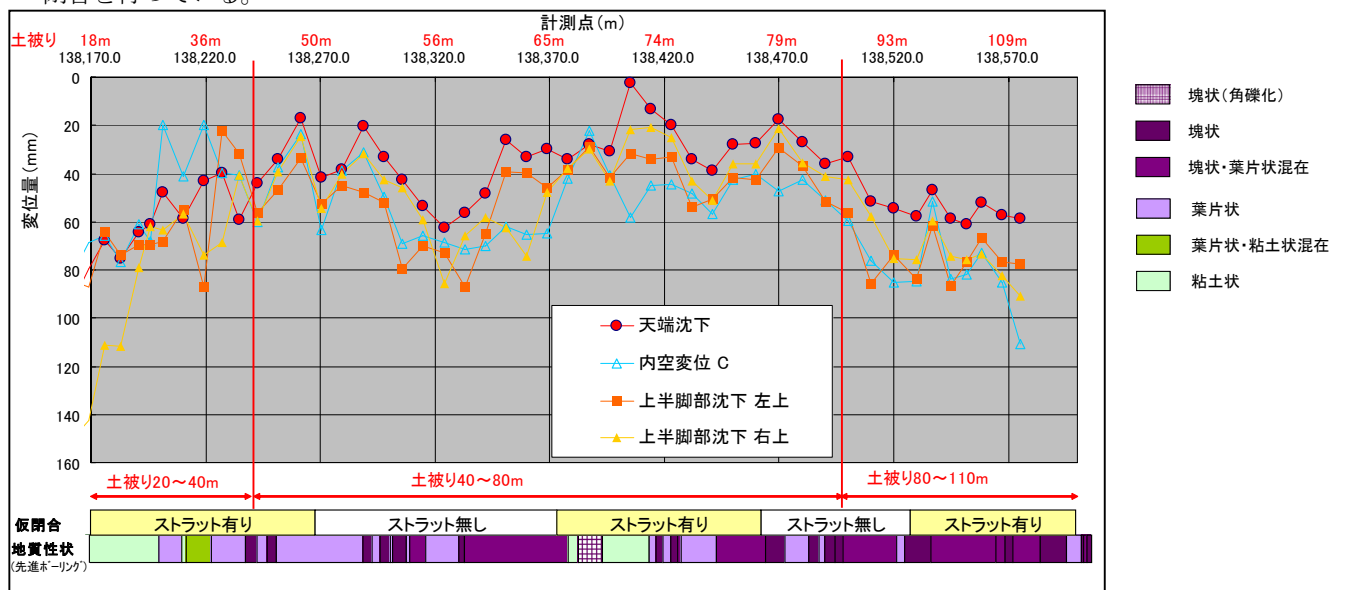


図-6 A計測収束値と分布地質・土被りとの関係

5.2 支保部材応力計測

本トンネルは、支保構造の妥当性検証、支保パターンへのフィードバックを目的にB計測を実施している。

(P=138, 131、P=138, 201、P=138, 396、P=138, 576、P=138, 689 合計5断面)

計測項目は、図-7に示すように、

- ①吹付けコンクリート応力計測
- ②鋼製支保工応力計測
- ③ロックボルト軸力計測

である。このうち、吹付コンクリートについては、前述のとおり事前解析で採用した土被り100m地点での高強度吹付けコンクリートについて妥当性を検証した。

この結果、事前解析で推定されたように通常の吹付けコンクリート応力を超過する値の発生が確認された(図-8)。

この結果をもとに、土被りが100を超える区間に対しては、高強度吹付けコンクリートを採用することが妥当と判断した。

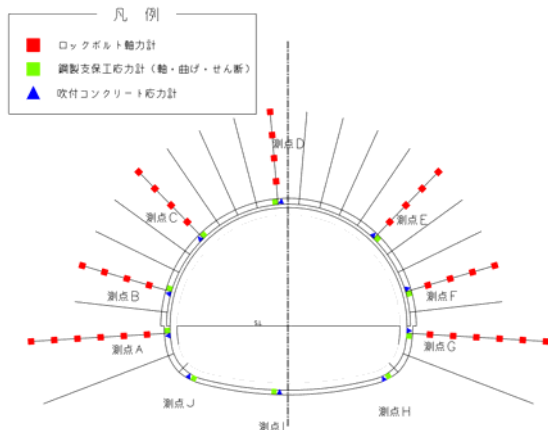


図-7 B計測断面図

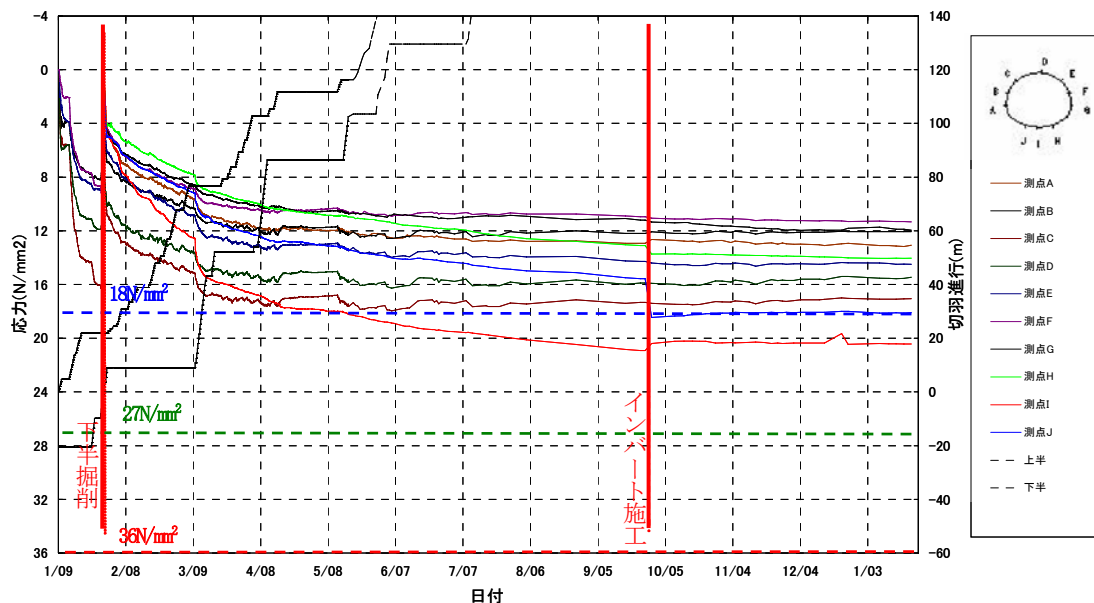


図-8 吹付コンクリート応力経時変化図 (P=138, 576)

6. 切羽安定対策

本トンネルの切羽や鏡面の安定対策として以下に示す補助工法を採用した。

- (1) 長尺先受け工・長尺鏡ボルト工の採用

塊状蛇紋岩と葉片状蛇紋岩との境界や滑石脈に沿った湧水等により容易に剥離、崩壊する性状を有していることから、長尺鏡ボルト(図-9)および小口径長尺先受け工(図-10)を行い、切羽の安定性を確保しながら掘進した。

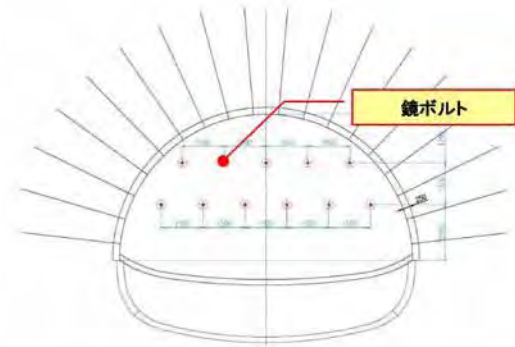


図-9 長尺鏡ボルト概要図

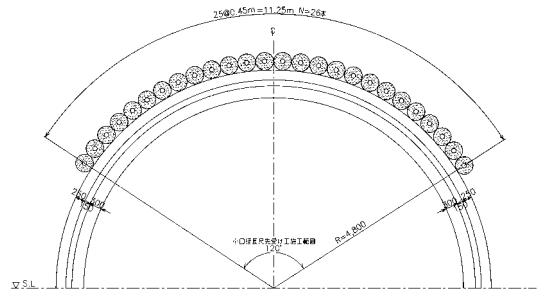


図-10 小口径長尺先受け工概要図

2) 増しロックボルト工の採用

トンネル中央部（土被り110m程度）の位置で切羽および切羽左側で微閃緑岩が出現した（写-2）。

微閃緑岩は硬質であるため、変位が右側（葉片状蛇紋岩）部分に集中し、施工が完了していた吹付けコンクリート面にクラックが発生したため（写-3）、増しロックボルト（図-11）を施工した。この結果、その後大きな変位やクラック発生等もなく掘進することができた。



写-2 微閃緑岩出現状況写真
(P=138, 600 起点坑口から約 550m 付近)



写-3 吹付コンクリートクラック状況写真

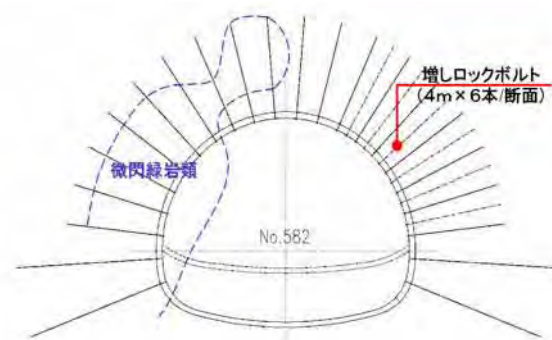


図-11 増しロックボルト概要図

7. まとめ

本トンネル区間の地質は当初、既往文献¹⁾や事前の地質調査結果から坑口近傍を除けば塊状蛇紋岩が広く分布するものと想定していた。しかし、現在までに確認された地山性状は、塊状・葉片状蛇紋岩混在部や葉片状蛇紋岩主体部などで構成され、トンネル施工上問題の多い地質であることが判明した。

地山の変位特性としては、塊状蛇紋岩が主体で分布する区間においても滑石脈の発達や頻繁に挟在する葉片状蛇紋岩の影響を強く受けることが判明した。

また、変位と土被りの関係では土被り 80m 付近を境に傾向が異なる（80m 以下では土被りの大小より地山性状を反映した変位傾向、80m 以上では地質性状の違いより、土被りを反映した変位傾向）ことが判明した。

8. おわりに

現在（平成20年12月）、掘削は最大土被り部分を通り、残り340mという状況である。

今後は土被りが減少するため、これらの情報と適合解析パターンを参考に支保構造や補助工法の選定を行い、各種計測により妥当性の検証を行いながら施工を進めていく予定である。

蛇紋岩地山を掘削するトンネル事例報告として本稿が、今後の類似トンネル計画の参考になれば幸いである。

なお、最後になったが、検討及び論文作成に際してご協力を頂いた関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)野地 正保：蛇紋岩と土木工事（第1報）－蛇紋岩と蛇紋岩化作用－，土木試験所月報，Aug, No303, p. 14, 1978
- 2)竹林亜夫・大塚義之：膨張性トンネルにおける施工管理の一例，土と基礎，Vol. 22, No11, pp. 35～41, 1974