

施工計画

膨張性地山に対するトンネル施工について

東京土木施工管理技士会

奥村組土木興業株式会社

監理技術者

現場代理人

宮崎 修 一〇

朝木 大

Shuichi Miyazaki

Hiroshi Asaki

1. はじめに

楠根トンネルは調査・設計段階から蛇紋岩の存在が確認されている。その特徴として、乾燥と吸水を繰り返すことで細かくばらばらに崩壊するスレーキング現象により、地山を膨張させるため、トンネルの施工にあたっては、安全かつ確実に施工するための対策が課題であった。

蛇紋岩区間では、先進調査ボーリングを行い、その結果から、位置、区間及び特性を把握し、段階ごとの対策工を検討して施工を行った。

本稿では、この蛇紋岩区間の掘削及び覆工コンクリートの施工について報告する。

工事概要

(1) 工事名

掘削工事：緊急地方道路整備工事
(楠根トンネル)

覆工工事：H20阿土阿南小松島線阿南・楠根トンネル工事(1)

(2) 発注者：徳島県

(3) 工事場所：徳島県阿南市楠根町七浦～美濃谷

(4) 工期：平成19年12月15日～ 平成22年3月10日

(5) 工事内容：道路トンネル 全長 $L=293\text{m}$ 拡幅部 $L=104\text{m}$

掘削断面積 $A=118\sim 120\text{m}^2$

標準部 $L=189\text{m}$

掘削断面積 $A=81\sim 84\text{m}^2$

縦断勾配 2.73%

(6) 掘削工法：NATM（爆破掘削によるショー
トベンチカット工法）

2. 現場における課題

蛇紋岩区間の位置関係の把握とその特性を調べることを目的として先進調査ボーリングを行った。蛇紋岩が分布している区間は、当初設計の60m(拡幅部25m+標準部35m)に対して、標準部35m(図-1)のみであり、性状は「片状、粘土状」である。片状蛇紋岩は、剥離性が顕著で、スレーキング試験で葉片状に細片化(図-2)した。また、粘土状蛇紋岩は、コア採取とともに吸水による膨張変形が生じ、指圧でつぶせる程度に軟質化した。

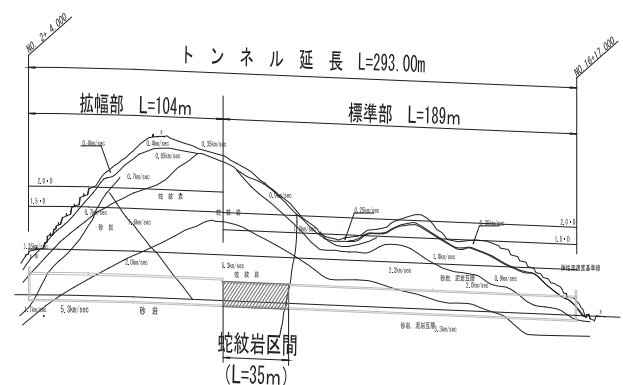


図-1 蛇紋岩区間位置図

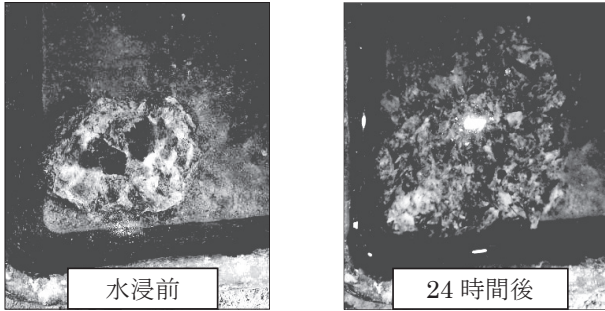


図-2 片状蛇紋岩スレーキング試験

(1) 掘削工事

以下に蛇紋岩区間における対策工の選定フロー(図-3)を示す。

※部 切羽安定および変位抑制・ゆるみ拡大防止対策工 選定フロー

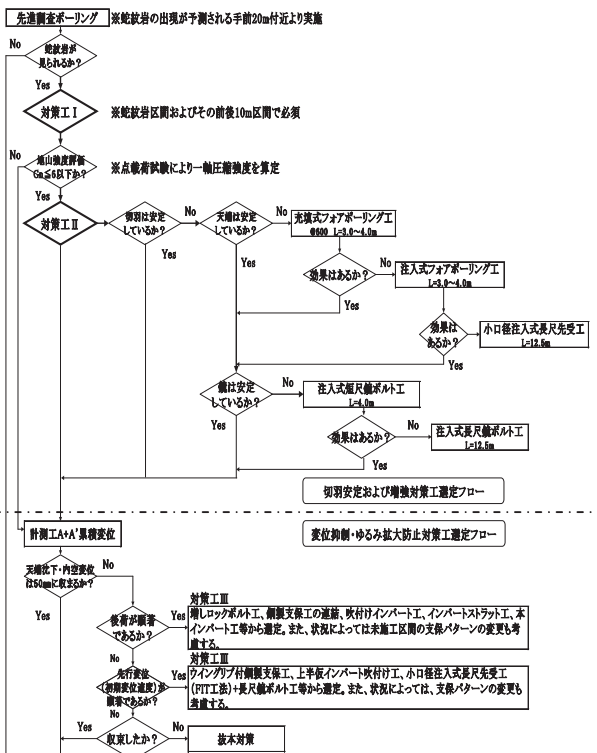


図-3 蛇紋岩区間対策工フローチャート

対策工 I : [蛇紋岩区間及び前後10m区間は必須]

鏡吹付けコンクリート工 (t=5cm)、繊維補強吹付けコンクリート工、上半の変形余裕幅10cmを確保する。

対策工 II : [地山強度評価 $G_n \leq 6$ の場合]

鏡ボルト、上半仮インバート吹付け、増しロックボルト、鋼製支保工の連結、以上の中から選定して単独または複数組み合わせる。

対策工 III : [天端沈下・内空変位50mmを越える場合]

増しロックボルト工、鋼製支保工の連結、ウイングリブ付鋼製支保工、上半仮インバート、以上の中から選定して単独または複数組み合わせる。

(2) 覆工工事

覆工コンクリートはセントルの配管内を圧送された後、打設する。セントルに設置された打設窓から打設作業を行うことになるため、締め固め状況や充填性の確認が難しい。とくに、クラウン部は十分な締め固めが難しいことから、コンクリートの流動性が重要となる。

3. 対応策と適用結果

(1) 掘削工事

蛇紋岩区間手前10mから、対策工のフローチャートに従い「対策工 I」を行ったが、脆弱な蛇紋岩が切羽に出現するとともに、鏡面の崩落が頻発した。蛇紋岩区間に入った当初は、切羽の安定のために鏡面に吹付けコンクリートを施工したが、拡幅断面から標準断面に変る位置あたりで、鏡面の約 1/3 が崩落した (図-4)。このため、更なる対策工が必要となったため、鏡面の崩落の状況と蛇紋岩の性状から対策工 II である鏡ボルト工を選定した。発生した崩落は、初期段階であったこ

表-1 注形式短尺鏡ボルト工法諸元

ボルト材	中空型ロックボルト
ボルト長	4.0 m
打設範囲及び間隔	切羽鏡面 1.5 m×1.5 m 2 基ごと
打設本数	16.0 本/断面
注入材	シリカレジ
注入量	40 kg/本(10 kg/m)

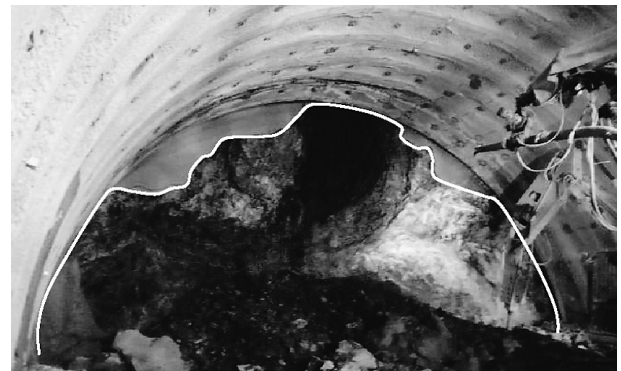


図-4 鏡面崩落状況



図-5 注入式短尺鏡ボルト施工状況

とから切羽前方地山を補強・改良することを目的として、注入式短尺鏡ボルト工（図-5）を行った。この結果、切羽の自立性が向上し、鏡面の押出し及び塑性領域の拡大を防止できた。

最初に発生した崩落以降に行った対策工により切羽が安定したため、4シフト（L=10.0m）行った後、通常の「対策工Ⅰ」である鏡吹付けのみとしたが、崩落などの発生もなく蛇紋岩区間を無事に抜けることができた。

掘削後は蛇紋岩の性質である膨張性により天端沈下や内空変位が大きくなることが懸念されたが、計測工Aにおいて、5m間隔（1断面あたり7箇所）で毎日変位計測を行った結果、内空変位は最大で7.2mm、脚部沈下は6.8mmで収束していることを確認した。計測工Bでは、蛇紋岩区間の1断面に地中変位・ロックボルト軸力・吹付コンクリート応力・鋼アーチ支保工応力について計測し、計測値が収束するまで計測を行った。支保工設置後、60日で計測値の収束が確認できた。計測結果は、全てが許容範囲内であり、支保構造が適切であることが分かり、「対策工Ⅲ」を行うまでには至らなかった。

(2) 覆工工事

蛇紋岩区間で打設する覆工コンクリートについては、材齢初期でのひび割れと経年による剥離・剥落を抑制するために、打設するコンクリートに繊維補強材を添加することになった。採用した繊

維補強材は、バルチップJK（繊維長48mm、混入率は0.3%）で、コンクリートに添加することで、コンクリートの粘性が増加し、ジャンカや空洞等が懸念された。このため、ポンプ筒先でのスランプが15.0cmとなるように、運搬ロス・ポンプロス・繊維補強材の投入によるスランプロスを見込み、練り上がり時のスランプを21.0cmと定め、基準配合（表-2）を決定した。決定した配合により試験練りを行った結果、性状が良好と判断した。

表-2 繊維添加コンクリート基準配合

圧縮強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)
21	21.0	5.0	51.0	57.0

単位量 (kg/m ³)						
セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 AD	混和剤 Ad	繊維 補強材
340	175	918	754	59	4.42	2.73

維補強材（バルチップJK）は専用の投入機によりミキサー車に投入（投入時間+攪拌時間=180秒）し、均一になるよう攪拌した（図-6、7）。



図-6 覆工コンクリート繊維添加状況

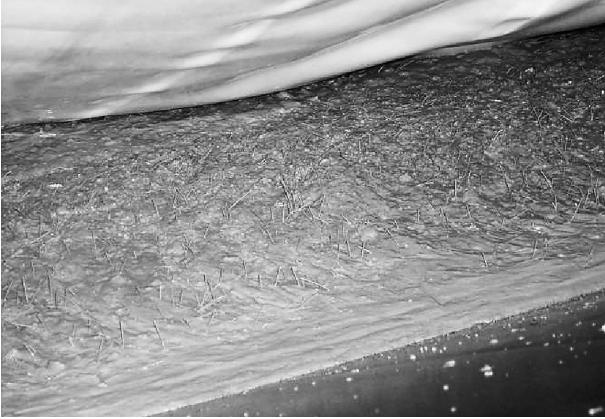


図-7 繊維添加コンクリート

試験練によりスランプロスを見込んでいたが、運搬・圧送後のコンクリートスランプは、予定しているスランプよりも2cm大きく17cmとなったため、打設作業ではコンクリートの材料分離やセントルの沈下や変位に注意して、締め固めを行った。スランプが大きいことによるコンクリートの硬化の遅れなどの問題が懸念された。このため、次打設においては、スランプロスを見直し、練り上がり時のスランプが19cmとなるよう流動化剤の添加量を調整した結果、セントルの沈下などの悪影響も無くコンクリートを打設することができた。しかし、練り上がり時のスランプが19cmでは、セントル天端の吹き上げ口からの打設作業では、流動性の低下が見られ、ジャンカ等の発生が懸念されたので、吹き上げ口からの打設では、流動化剤の添加量を試験練りで決定した $600\text{m}^3/\text{m}^3$ とした。その結果、クラウン部・天端部のコンクリートは問題なく打設することができた。

4. おわりに

楠根トンネルは計画段階から蛇紋岩の存在が確認されており、その脆弱性及び膨張性に対して評価し、対策工およびその効果について検討した。

掘削工事が始まり、想定通り蛇紋岩が確認されたので、蛇紋岩対策フローによる「対策工Ⅰ」を行ったが、拡幅断面から標準断面へ移行するあたりの蛇紋岩区間で、切羽鏡の崩落が発生し、「対策工Ⅱ」を行うことになった。崩落が生じた原因

として、蛇紋岩区間での地山自体の脆弱性もあるが、拡幅断面から標準断面へ移った箇所切羽鏡面の崩落は、最初に拡幅断面部を先行して掘削を行ったことで周辺地山に緩みを生じさせた状態で標準断面の施工へシフトした結果、切羽前方の地山が不安定となり、鏡面の崩落が生じたと考えられたことから、「対策工Ⅱ」の中から標準断面部では短尺鏡ボルト工を行った。しかし、拡幅断面の最終切羽には、長尺鏡ボルト工(9.5m)を施工した方が、より効果的で確実に崩落を抑制ができていたと思われる。

蛇紋岩は、水の影響で膨張するが、掘削による湧水がほとんどなかったため、膨張による変位は見られなかった。

覆工工事は、試験練りを行い、生コンの性状を確かめて施工に臨んだが、気温の変化や、打設箇所での環境の違い等により、生コンの品質が安定しなかったため、現場添加型流動化剤を投入することで、筒先でのスランプを安定化させるなどの対処を行い、ジャンカやクラックもなく、きれいな覆工面のコンクリートが打設できたと思う(図-8)。

今回の工事では標準部・拡幅部の2断面であるため、セントルを2基使用した。このため、組立・解体による他作業の中断等も生じたが、坑門工を含めスムーズに覆工コンクリートが施工できた。

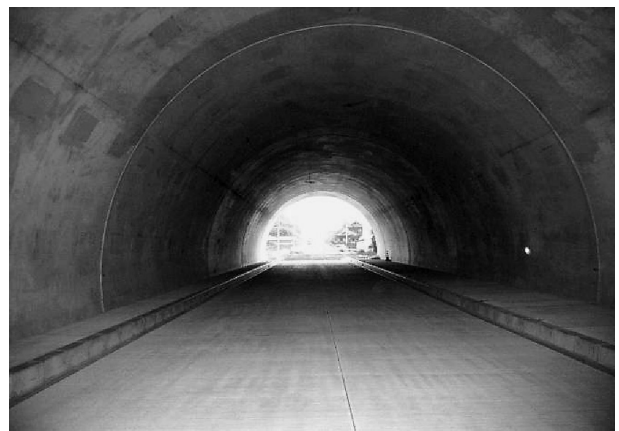


図-8 トンネル坑内完成