

## 蛇紋岩地山におけるトンネル掘削時の変状発生原因の検討

大林組 正会員 ○奥澤康一, 鈴木健一郎, 中岡健一, 古家義信  
愛媛県南予地方局八幡浜工事事務所 坂井 克巳, 藤田 賢

## 1. はじめに

蛇紋岩は非常に脆弱なことが多いことが知られており, トンネル掘削においてはしばしば難工事の原因となっている。国道 197 号線松柏トンネル工事では, 調査段階からルート上に蛇紋岩が分布することが把握されており, 各種の膨張性地山判定指標の検討が行われていた。その結果, 膨潤性緑泥石を含み, 長期的な安定性には問題があるものの, 地山強度比は3~8程度とされ, 軽度な押出しが懸念されていた。ところが, 実際に蛇紋岩区間を掘削したところ, 最大で 400 mm 以上の大きな内空変位が計測され, 縫い返し等の対策工を余儀なくされた。そこで, 変状発生原因の検討をすることとし, 変状発生地点においてオールコア水平ボーリングを行い, 得られたボーリングコアの各種室内試験を行った。また, 地山の緩み深度を推定するため, ボーリング孔を使用した P 波速度検層, 坑壁での屈折法弾性波探査を実施した。本稿では, これらの結果について報告し, 変状発生原因について考察する。

## 2. トンネルの地質状況

松柏トンネルは三波川帯に位置し, 主として泥質片岩, 緑色片岩からなる白亜紀後期の結晶片岩類と蛇紋岩が分布する。各地質境界には断層破碎帯の存在が推定され, 坑口部, 断層破碎帯, 蛇紋岩は D 級, その他の区間は C 級地山であると想定されていた。蛇紋岩区間では, 地表からの鉛直ボーリングにより, 蛇紋岩の強度特性等の評価を事前に行っていた。地山強度比は 3~8 程度とされており, 強度の押出性ないし地圧があるとの評価がなされていた。

## 3. 現場試験

本研究では, 変状が発生した蛇紋岩が分布する区間において, トンネル軸と垂直にオールコア水平ボーリング 1 本を実施した。掘削長は 11.16 m である。得られたボーリングコアは大半が蛇紋岩で, その性状から角礫状蛇紋岩, 葉片状蛇紋岩, 土砂状蛇紋岩, 粘土状蛇紋岩に区分される。坑壁から 3.4 m までは土砂状もしくは粘土状蛇紋岩が大半を占め, 3.4 m から 11.16 m までは葉片状蛇紋岩が主体で, 一部角礫状蛇紋岩となっている。粘土状蛇紋岩は一部葉片状の組織も残すが, 全体に粘土化が進み, 軟質になっている。葉片状蛇紋岩は全体的に亀裂が発達しており, 亀裂沿いに粘土を伴う事が多い。角礫状蛇紋岩は部分的に炭酸塩鉱物で膠結されており, 硬質ではあるが脆い。

ボーリング孔を用いて P 波速度検層を実施した。坑壁からの深度 3.4 m までの P 波速度は 2,960 m/s と比較的遅いが, 3.4~6 m では 4,000 m/s, 6 m 以深では 4,950 m/s と速い結果が得られた。坑壁から深度 3.4 m までは緩み領域であると考えられる。

ボーリング地点の前後計 50 m 区間の坑壁において屈折法弾性波探査を実施した。測線は, 大変形が起きた地点と変位がほとんど見られなかった地点にまたがるように配置さ

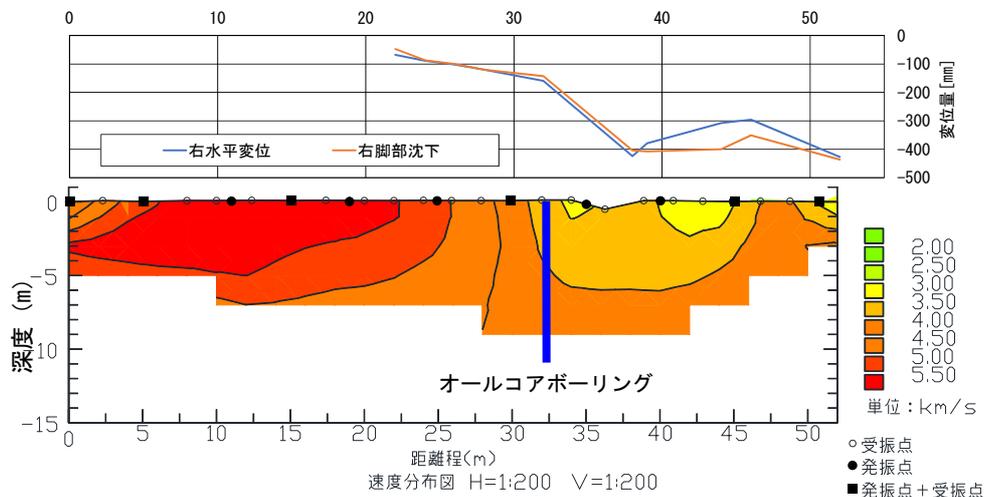


図-1 坑壁における屈折法弾性波探査結果と変位量分布

キーワード 蛇紋岩, 膨張性, 山岳トンネル

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640

(株)大林組 技術研究所 地盤技術研究部 TEL 042-495-1015

れた(図-1)。変位がほとんど見られなかった区間では、P波速度は坑壁から深部まで4,500 m/s以上と高かったが、大きな内空変位や脚部沈下が見られた区間では、坑壁から深さ6 m程度まで低速度域が広がっていた。

#### 4. 室内試験

ここでは、実施した室内試験のうち、エコーチップなどによる強度測定、XRD分析、陽イオン交換容量(CEC)試験の結果について述べる。

オールコアボーリングで得られたボーリングコアには全体にわたって亀裂が発達しており、円柱供試体の整形が困難であったため、簡易試験器による簡易的な強度の測定を行った。軟岩～硬岩にたいしては、エコーチップ硬さ試験器を使用した。粘土状～土砂状蛇紋岩に対しては、針貫入試験器およびコーン貫入試験器を用いて強度を求めた。測定は5 cm毎に実施し、同一深度で3箇所の強度を測定して、その平均値を各深度の強度とした。測定結果を図-2に示す。深度3 mまでは、葉片状蛇紋岩で3 MPa程度、粘土状～土砂状蛇紋岩で0.1～1 MPa程度と非常に軟質であった。3 m以深では、100 MPaを超える硬質な部分もあるものの、多くの深度で3～10 MPaの軟岩に区分された。

XRD分析の結果によれば、本地点の蛇紋岩は、主に緑泥石、角閃石、滑石で構成され、角礫状蛇紋岩には蛇紋石も多く含まれる。スメクタイトは少量～中量程度含まれ、特に坑壁から2.2 mまでの粘土化が進んでいる区間で多く含まれる。一部の試料に含まれる緑泥石は膨潤性を持つMg緑泥石であることが確認された。一方、緑色片岩には斜長石や雲母が含まれるなど、蛇紋岩とは明瞭に区別される。

蛇紋岩の膨潤性確認のため、陽イオン交換容量(CEC)試験を実施した。測定結果は、0.92～6.6 meq/100gの範囲に収まった。膨潤性の基準値は20 meq/100g以上とされていることから、すべての試料で基準値以下であった。

#### 5. 考察

坑内速度検層で得られた低速度域の区間は、土砂状～粘土状蛇紋岩が主体である。屈折法弾性波探査の結果からは、変位が大きい区間では深部まで低速度領域が及んでいることから、この低速度領域は土砂状～粘土状蛇紋岩で構成されている可能性が考えられる。簡易試験器で得られた岩石強度から地山強度比を求めると、粘土状～土砂状蛇紋岩では0.03～0.86、葉片状および角礫状蛇紋岩では0.86～2.88が主体となった。多くの地点で地山強度比は2を下回ることから、地山強度の不足が変状発生の一因となった可能性が高い。当初設計における蛇紋岩区間の地山強度比は3～8程度とされていたが、これは円柱供試体を作製できるような、蛇紋岩の中でも非常に良好な地点での結果であり、地山強度比が過大評価されていたものと考えられる。

一方、膨潤性粘土鉱物については、CEC試験結果の値は低かったものの、スメクタイトが少量～中量含まれている。また、一部の蛇紋岩に含まれていることが確認されたMg緑泥石や蛇紋石、滑石は膨潤性を持つとされており<sup>1)</sup>、地山の膨潤性についても対策が必要であると考えられた。そこで、変状発生区間では、インバートストラットによるインバート耐力の向上、覆工コンクリートの繊維補強によるはく落防止対策を実施した。

#### 参考文献

1)梅津：蛇紋岩の土木地質的一検討、応用地質、36巻5号、pp.46～55、1995。

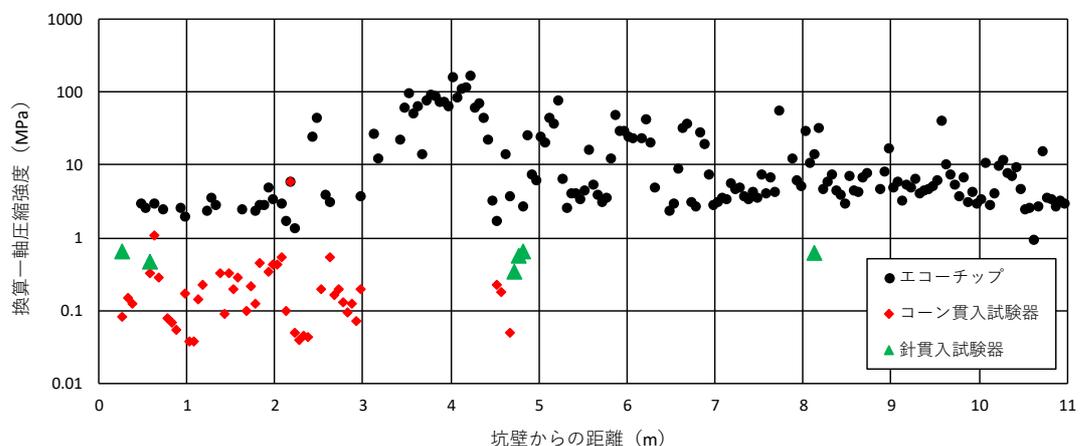


図-2 簡易試験器によるボーリングコアの強度測定結果