

# 鉾山地域を通過するトンネルにおける鉾化ずりの特性と 分別判定方法に関する研究

服 部 修 一

## 要 旨

### 1. 研究の背景と目的

近年、地山掘削による露出岩盤や掘削残土から酸性水の浸出や重金属類の溶出が生じ、環境問題となった事例が出ている。鉾化変質岩に含まれる黄鉄鉾等の硫化鉾物が酸素と水に接触し、酸化分解（酸性化）するためである。従来の土木工事等において、このような岩石等に対して特に配慮することはほとんど無く、課題となっている。東北新幹線八甲田トンネル工事では、鉾化変質岩が分布する地域を 26.5 km にわたり掘削し、膨大な量の掘削残土（以下「ずり」とし、酸性化対策が必要なものを「管理型」それ以外を「一般型」とする）が発生する。このため、ずり処理による環境への悪影響を防止し、かつ処理コストを低減する方策を確立することが強く求められた。本研究は、八甲田トンネルの施工を通じて実施した各種試験結果から、トンネルに分布する多様な岩種を対象として、酸性化する岩石の特徴と溶出特性を明らかにした上で、その可能性の有無を短時間に事前判定して確実にずりを分別し、工事の進行を妨げることなく、かつ経済的に処分する方法を開発・提案したものである。

### 2. トンネル計画時の検討

鉾化変質岩からの溶出水の特性とずり処分方針を検討するため、掘削予定地の代表試料を対象としたモデル土捨て場による長期暴露試験、及び地表からの短尺ボーリング試料による簡易溶出試験を実施した。その結果、硫黄 (S) 含有量 2% 程度以上の鉾化ずりでは、酸性水の発生と基準を超える重金属類の溶出が認められた。また、簡易溶出試験 10 分後の溶出水 pH の値が、酸性化の有無を判断する重要な指標となりうることが判明した。処分方法については、石灰石等による中和法よりも、廃棄物処分技術を応用した管理型土捨て場を採用する方が適当であると判断された。

### 3. 分別基準及びフローの検討

分別基準の確立のため、掘削初期段階の切羽試料を用い、簡易溶出試験による溶出水の pH・主要イオン濃度・重金属濃度の測定、全岩化学組成分析、及び岩石の帯磁率測定を実施した。これらの結果から、以下の分別基準を設定し、効率的に分別できるフローを設定した。① 肉眼観察で鉾脈と判断したずりは管理型とする。火成岩及び火砕岩類については S 含有率 2.0wt% 以上を管理型とする。② 帯磁率が  $50 \times 10^{-6}$  emu/cm<sup>3</sup> 以上のずりは一般型とする。③ 溶出試験 1 時間後の溶出水 pH（以下、pH(1 h)とする）が 6.0 以下の場合に 56 日経過後に酸性を示すことから、この値以下となるずりを管理型とする。④ 泥岩については、含有 S/Ca モル比が大きくなると溶出水 pH が低下する傾向があり、S 含有量 2.0wt% 以上または S/Ca モル比 1.0 以上を管理型とする。⑤ 重金属類については、土壤汚染対策法施行以前は「土壤・地下水汚染に係る調査・対策指針」を、同法施行

後はその基準値を採用して分別する。

以上により、大量の鉍化変質岩が存在する地域を通過するトンネル工事では初めて、トンネル掘削の進行を妨げることなく短時間（24時間以内）でずりを評価し、確実に分別するフローを確立することができた。

#### 4. 分別判定基準の妥当性の検証

トンネル掘削完了までに採取した試料の分析結果、及び一般型・管理型土捨て場からの浸出水の水質分析結果により、上記で設定された分別基準・フローの妥当性を検証した。結果をまとめると次のようになる。

##### (1) 火山岩・火砕岩の判定基準の追加

大部分の区間で、S含有量2wt%を基準値として概ね妥当な分別ができた。しかし、熱水変質が著しい一部区間では基準以下のS含有量でも溶出水が酸性化した。これらは泥岩と同様に、S/Caモル比も基準として用いることにより適切に判定できた。

##### (2) 各判定項目の有効性

泥岩に対してはS/Caモル比が最も有効であった。火山岩・火砕岩類の場合はS含有量が最も効果的であるが、重金属含有量やS/Caモル比も考慮する必要があった。

##### (3) 判定結果の妥当性

泥岩の管理型を一般型と誤判定した例は皆無であり、泥岩以外についてもほとんど無かった。このことから、管理型土捨て場浸出水の $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は一般型に比較して高く、一部の金属元素の溶出も認められたが、一般型からの排水では $\text{SO}_4^{2-}$ のほか重金属も低い濃度となり、酸性化も認められなかった。以上より、今回提案したずりの分別基準値及び判定フローは妥当であると判断される。

#### 5. 今後のトンネル工事への提言

本研究では、大量の鉍化ずりが発生しうる鉍山及び鉍化変質地域を通過するトンネルであっても、事前の十分な試験・調査に基づき分別基準・フローを定めれば、環境保全上問題なくかつ十分な経済性をもって施工ができることを明らかにした。得られた知見をもとに、今後同様の工事に対する提言をまとめると次のようになる。

##### (1) トンネル計画（ルート選定）段階の調査

① 既往資料及び地表踏査：地質構造の把握、鉍脈・鉍化変質岩の分布、廃坑位置の把握等、基本的な地質情報を把握する。② 地表からのボーリング：コア試料を対象に、重金属含有量や溶出水酸性化の可能性を把握するための試験を実施する。

##### (2) 掘削着手までの段階の調査

① 水平ボーリング：トンネル全長にわたり、水平ボーリングを掘削位置に近接して実施し、サンプリングを行う。② ずり分別の検討：コア試料分析により、重金属含有量と溶出傾向、溶出水酸性化の可能性について把握し、管理型ずりとする岩石を事前に推定する。

##### (3) トンネル掘削中の調査

① 鉍山地質技術者による切羽観察：水平ボーリング試料と切羽出現岩石との対比及び鉍脈・鉍石分布について、専門技術者が一日一回は目視確認する。② 土捨て場浸出水のモニタリング：工事中及び完了後一定期間は、管理型及び一般型土捨て場両方からの浸出水が排水基準に適合していることを確認する。

主指導教員 福士憲一

# Characteristics, Identification and Separation of Mineralized Waste Rock Generated by Tunnel Construction in Mine Areas

Shuichi HATTORI

## Abstract

### 1. Background and objectives of the study

Surface water and groundwater pollution caused by the inflow of acid water containing heavy metals has become serious environmental issues at excavation sites in recent years. In water-rock interactions, acid water drainage is caused by the oxidation of pyrite and the other sulfide minerals leading to the generation of sulfate and hydrogen ions. The sulfides react with the oxygen contained in groundwater and/or rainwater. Little attention of the reaction has been given in past construction works. The 26.5 km-long Hakkoda Tunnel excavation for the Tohoku Shinkansen produced large amount of waste rock. Altered rocks related to mineralization had been found in the area of the tunnel. The objectives of this study are to develop and propose reliable and economical methods for identifying mineralized waste rock rapidly and for properly managing and disposing these rocks so as to prevent discharge of acid water without hindering the tunnel construction activities. Therefore the properties of the leachate from various rocks in the vicinity of the tunnel were clarified during the construction of the Tunnel.

### 2. The studies during the project planning phase

Long-term exposure experiments of representative mineralized rocks which would be expected to excavate during the construction at the sites and simplified batch leaching tests using the samples taken from the cores by shallow drilling below the surface were carried out in order to understand the leaching properties of mineralized rock and to determine the most effective method of disposal. The results showed that seepage through the rock with sulfur content more than 2wt% was acidified and had heavy metal concentration above the standards of Water Pollution Control Law and that the pH of the leachate (10-minute leaching) was expected to be an important index of acidification. The results of long-term exposure experiments showed that managing the mineralized rock is more appropriate than the neutralization by crushed limestone.

### 3. The studies on the classification of waste rock to be managed

Batch-leaching tests as well as chemical analysis and magnetism measurement were carried out for rock samples collected from the tunnel face during the early phase of construction. The following classifications of the waste rock to be managed were developed based on

the result of the above measurements. i) Naked eye observation: Wastes with observable ore-mineral veins needs to be managed. ii) Sulfur content: Igneous and pyroclastic rocks with sulfur content more than 2.0wt% need to be managed. iii) Magnetism: Rock with less than  $50 \times 10^{-6}$  emu/cm<sup>3</sup> of magnetic susceptibility needs to be managed. iv) Batch leaching tests: Rock that has the leachate of pH below 6.0 after one-hour mixing needs to be managed, because the leachate was expected to be acidic after 56 days. v) S/Ca mol ratio: Mudstone with sulfur content more than 2.0wt%, or S/Ca mol ratio more 1.0 needs to be managed, because the leachate of mudstone with higher S/Ca mol ratio became acidic. vi) Heavy metal content: Rock that has the leachate with heavy metal concentration above the standards of Soil Pollution Countermeasures Law needs be managed. The above requirements enabled the identification and separation of rock to be managed within 24 hours after excavation, without hindering the tunnel construction activities.

#### 4. The studies on validity of the classification

The above requirements for identifying of mineralized rock were verified by batch leaching tests using the samples collected during excavation of the tunnel and by the analyzed data of discharged water from the ordinary and managed waste rock disposal site.

##### 1) The additional requirements for igneous rocks and pyroclastic rocks

Although the threshold value of 2wt% S was valid for separating mineralized waste rock from the most parts of the excavated rock, the leachate from waste rock with sulfur content below the threshold was acidic in the parts of an intense hydrothermal alteration. Thus the requirements of S/Ca mol ratio was also introduced such rocks, similarly to the case of mudstones.

##### 2) Contribution of each requirement

In the case of mudstones, the requirement of S/Ca mol ratio was the most effective. In cases of igneous and pyroclastic rocks, the requirement of S content was the most effective although the requirement of heavy metal content and S/Ca mol ratio were taken into account.

##### 3) Verification of requirements

In the case of mudstones, all of the rock that should be managed was properly managed, although in case of rocks except mudstones, there were some exceptions. The  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations of the drainage from the managed waste rock disposal sites were higher than those from the ordinary disposal sites. Heavy metal concentrations of the drainage from the ordinary waste rock disposal sites were much lower. These results indicate that the proposed method of wastes was adequate.

#### 5. Proposal for future tunnel excavations

The result of this study shows that the tunnel that generate large amount of mineralized waste rocks can be reasonably managed by considering the requirements proposed here. Proposal for similar tunnel excavations based on this study are as follows.

##### 1) Investigation in the project planning (or routes selecting) phase

i) Literature review and surface geological survey: Basic geological information, such as geological structure, closed mine and existence of ore-mineral veins, should be understood by

literature review and investigation of surface geological survey. ii) Drillings from the surface: With the core samples, heavy metal content and probability of discharge of acidic water should be analyzed.

2) Investigation in the excavation planning phase

i) Advancing horizontal drillings: For sampling typical rocks, horizontal drillings covering the whole tunnel length ahead of excavation should be carried out in the vicinity. ii) Separation of waste rock: By the analyses of the core samples, heavy metal content, and leaching behavior, and probability of acidification of the leachate should be understood, and the amount of waste rock to be managed should be estimated.

3) Investigation during the tunnel excavation

i) Cutting face observation by the mining and geological engineer: The comparison of the rock samples collected from horizontal drillings with the observation of the cutting face should be conducted by a expert engineer at least once a day. ii) Monitoring the drainage from waste disposal sites: The drainage from both waste disposal sites to be managed and ordinary waste disposal sites should be monitored to observe the water quality of the effluent during construction and a certain period after completion of tunnel.

Professor (Chairperson) Ken-ichi FUKUSHI