

有珠山噴火に伴う洞爺トンネルの変状調査と対策工について

STRANGE STATE SURVEY AND DISASTER RECOVERY OF THE TOUYA TUNNEL ASSOCIATED WITH THE MOUNT USU ERUPTION

鈴木雅行¹⁾・林 康啓²⁾・今井淳次郎³⁾・多田 誠⁴⁾・志賀正延⁵⁾

Masayuki SUZUKI, Yasuhiro HAYASHI, Junjiro IMAI, Makoto TADA and Masanobu SHIGA

The Touya tunnel where is in the point of about 1,000 m from the crater by the eruption of Mount Usu, received damage. As for the tunnel, a sharp strange state is resulting in dislocation department and part of destruction occurs to tunnel lining and also the crack was observed greatly. This report is the one that reaches as a result of the strange state situation and strange state measuring of the Touya tunnel and expressed about the design of the recovery measure.

Key Words : tunnel, Volcanic eruption, strange state survey, recovery execution

1. はじめに

平成12年3月31日に有珠山噴火が発生した。噴火口は虻田インターから北に500m程度の位置にあり、また、近接して洞爺トンネルが南西側に位置していた。洞爺トンネルは東坑口が噴火口より約1,000mの地点にあるため、噴火に伴う地殻変動によりトンネルに横移動と沈下が発生し坑内に損傷を受けた。

噴火に伴う変状は、東坑口で最大約160cm、西坑口で約20cm海側に移動しており、上下方向では沈下が最大25cm、隆起が16cm程度発生していた。また、トンネル全長にわたる観察の結果、断層部で急激な変状が生じており、覆工の剥落やひび割れが多数観察された。このような火山噴火による災害を受けたトンネルは今までに例がみあたらず、その挙動と収束判定および対策工の選定について過去に事例のない復旧工事となった。

本報告は、このように火山噴火で被災したトンネルの変状状況と変状計測結果および復旧対策工の設計・施工について述べるものである。

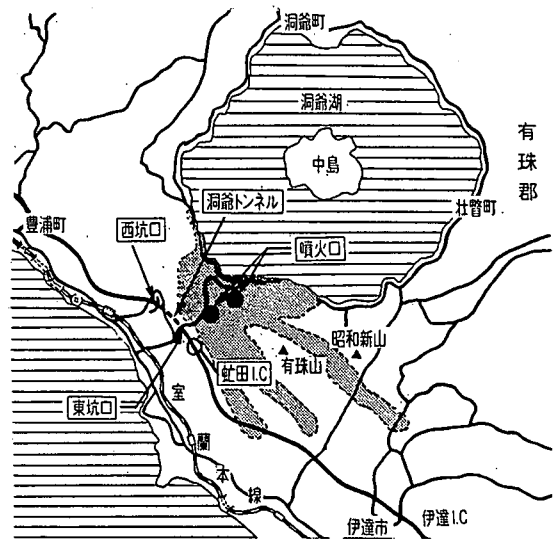


図-1 位置図

- | | | | | |
|--------|----|--------|---------|-------------|
| 1) 正会員 | 工修 | ハザマ | 土木事業総本部 | トンネル統括部 |
| 2) 正会員 | | 日本道路公団 | 札幌支社 | 室蘭管理事務所所長 |
| 3) 正会員 | | 日本道路公団 | 札幌支社 | 室蘭管理事務所助役 |
| 4) 正会員 | | 日本道路公団 | 札幌支社 | 室蘭管理事務所 |
| 5) 正会員 | | ハザマ | 札幌支店 | 洞爺トンネル作業所所長 |

2. トンネル概要

洞爺トンネルは延長 1,070m の対面 2 車線の道路トンネルであり、NATM によって施工され、平成 9 年 10 月より供用されている。地質は安山岩溶岩が主体であるが、新設掘削時には湧水が多く、粘性土を混入する箇所で不安定な切羽状況であった。支保パターンは、坑口部及び明り巻区間を除き全線インパートを有する D I パターンであった。

3. 変状調査と変状状況

3.1 変状調査

洞爺トンネルの噴火による災害状況の調査・計測にあたり、当初は噴火に伴う近く変動の影響により変位が収束していない状況であったため、1 次調査として変状状況把握のための計測、2 次調査として変状収束判定のための計測、および 3 次調査として対策工設計のための調査を行なった。これらの調査項目、調査内容及び調査手法の一覧を表-1 に示す。

表-1 変状調査のための調査項目、調査内容及び調査方法一覧

調査区分	調査項目	調査内容	調査方法
一次調査	変状調査	トンネルの変位量を測量するとともに、覆工コンクリート、舗装、排水溝等の被害状況調査を行った。	坑内変状調査 傾斜計による計測 光波測距儀による計測
	ひび割れ調査	クラックスケール及びクラック解析車による調査を行い、各覆工ブロックのクラック幅、分布	ひび割れ調査 レーザ写真撮影
	変位計測	GPS測量による地表面調査、坑内中心線測量、内空変位測定、光ファイバーによる変位計測等を実施し、変位の収束時期の確認を行った。	GPS測量 中心線測量 内空変位計測 ひび割れ変位計測 継ぎ目変位計 三次元変位計による計測 光ファイバー計測
二次調査	内空断面計測	各覆工ブロックの内空断面を測定し、建築限界の確保ができていないか確認した。	内空断面建築限界確認測量
	覆工健全度調査	損傷の少ない覆工の健全度を調査するため、覆工背面レーダ探査、覆工応力測定、打音検査等を実施した。	覆工背面レーダ探査 覆工応力解放法調査 覆工ひずみ計測 覆工打音検査
	支保工調査	比較的損傷の大きい覆工に対して、覆工を撤去し、吹付けコンクリート、鋼アーチ支保工、ロックボルト等の支保工の変状調査を行った。	支保工変状観察 吹付けモルタルパット 鋼アーチ支保工応力計測
	インパート調査	特に損傷の大きい覆工に対して舗装を撤去してインパートの被害状況の調査を行った。	インパート被害調査
三次調査	地山緩み領域調査	大きな損傷を受けた支保工区間について、ロックボルトと地山改良で地山を補強するため、その改良範囲に関する調査を行った。	孔間弾性波による調査 真空透気試験

3.2 調査結果

(1) トンネル移動量

噴火活動に伴う地殻変動により洞爺トンネルは、噴火口に近い東坑口で海側に約 160cm、西坑口側で約 20cm 海側に押し出された。鉛直方向には、西坑口で約 3cm、東坑口で約 8cm の隆起が観測されたが、坑内はほぼ全線で沈下が観測され、最大沈下量は 63BL 付近で約 25cm であった。洞爺トンネルの水平・鉛直方向移動量調査結果を図-2 に示す。

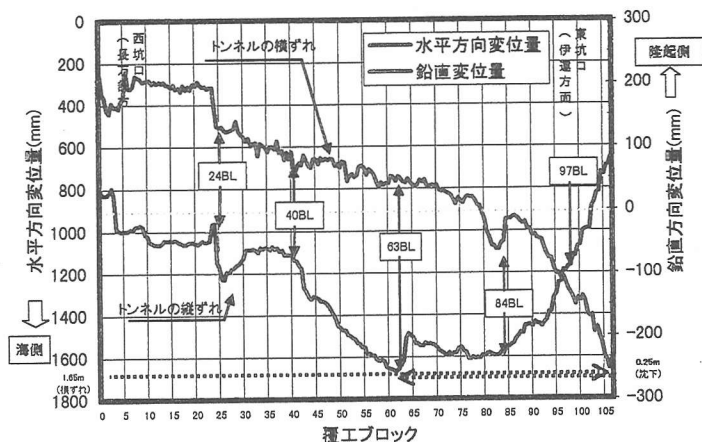


図-2 トンネルの水平・鉛直変位結果

(2) 覆工の変状状況

覆工は1BL10.5mを標準の長さとし、西坑口を0BLとし、東坑口まで106BLあり、そのうち東坑口の103～106BLは明巻き構造である。覆工の変状は、覆工のひび割れ、ジョイント部の損傷、東坑口付近ジョイント部の水平方向のズレが発生した。そのうち、最大の変状は24BLの側壁部コンクリートの圧壊および海側肩部コンクリートの剥離落下であった(写真-1参照)。また、覆工に発生したひび割れは、その発生位置、ひび割れ方向及び、ひび割れ幅等について変状モードを区分すると、4つのモードに分けられる。Zone1については、0～70BLに確認された段差を有する横断ひび割れで「せん断集中」によるもの、Zone2については、71～94BLに確認された側壁部を中心とする縦断ひび割れで「水平変形ひび割れ」によるもの、Zone3については、95～100BLに確認された斜めひび割れで「変形ねじれ」によるもの、およびZone4については、101～106BLに確認された側壁部の微小で多数のひび割れが確認された「水平変形」によるものの4つの特徴に分けられることがわかった。図-3に変状モードの区分を示す。

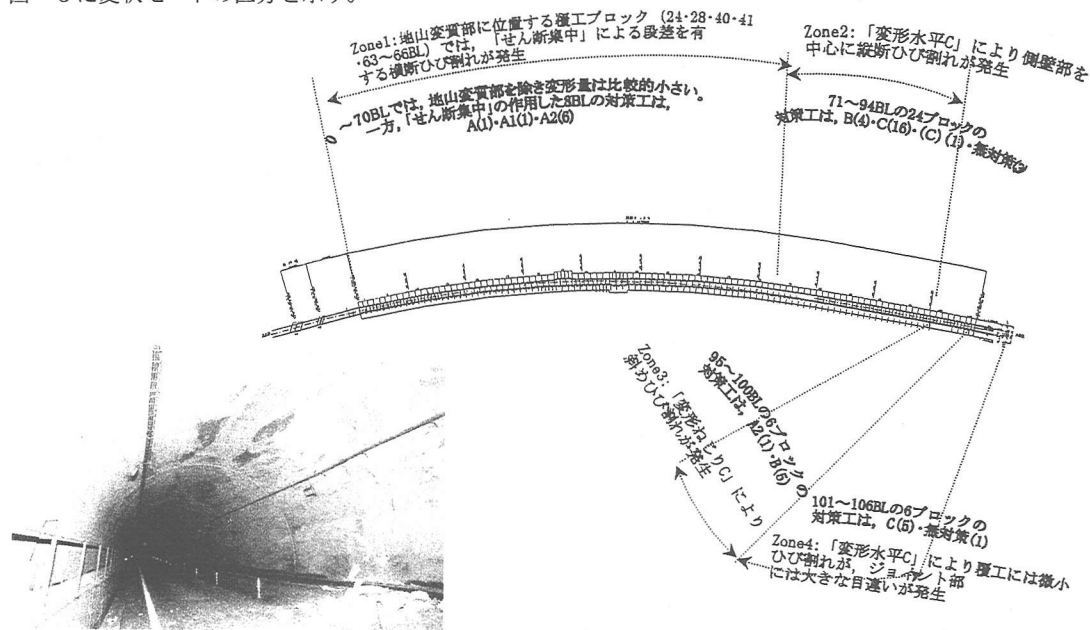


写真-1 24BL 覆工変状状況

図-3 変状調査結果による変状モード

(3) 支保工の変状について

トンネルの支保パターンは殆どD I パターン支保であることから、吹付けコンクリート $t=15\text{cm}$ 、鋼アーチ支保工 H-125 (c. t. c l. 0m)、ロックボルト 4m の構成となっている。支保工の変状状況確認のため、覆工の損傷程度の大きな BL から順次取壊しを行い、最終的に 26 箇所の変状 BL を撤去し支保の変状状況を調査した。その結果、最も変状の大きいブロックである 24BL では吹付けコンクリートの剥落や、鋼アーチ支保工の座屈している状況が確認された(写真-2 参照)。吹付けコンクリート剥落部の地山状況を観察したところ、地山全体が粘土化しており、指が刺さる程度の柔らかさであった。また、変状の比較的大きかった 40BL では、全周にわたる吹付けコンクリートの剥離、鋼アーチ支保工の倒れ変形がみられた。その他の BL でも吹付けコンクリートにひび割れが確認されたが、覆工の変状で述べた Zone-2～4 の区間の支保工変状は比較的軽微であった。

(4) インバートコンクリートの変状

インバートコンクリートは、変状が大きくその変状モードが異なる代表的な BL である 24BL、40BL、63BL、97BL で舗装版を撤去して変状調査を実施した。その結果、24BL では上部の覆工コンクリートで 10cm 以上のズレが生じた損傷箇所とつながる位置でインバートコンクリートに段ズレひび割れが確認され、一部圧壊していた(写真-3 参照)。40BL、63BL、97BL では、トンネル横断方向に各 BL 数本程度のひび割れが確認されたが、ひび割れ幅は最大で 5mm 程度であった。



写真-2 支保工変状状況



写真-3 インバート変状状況

4. 復旧設計と対策工の施工

4.1 復旧方針

トンネルの復旧については、将来の噴火に至るまでの期間に起こりえる通常地震等に耐えうるよう、噴火前のトンネル機能、耐荷力と同等のレベルへ復旧することとした。ことから、今回の洞爺トンネル復旧工事にあたっては、従来の補修・補強判定基準および対策工等を参考としながら、これまでに現地で行ってきた計測データや調査結果をもとに独自の補修・補強判定基準、および対策工法を定めることとした。

4.2 復旧対策判定の要素について

復旧対策判定の要素については、①ひび割れ幅、②ひび割れ分布状況、③地質状況(新設掘削時の地質状況および変状の有無)とし、さらに経年変化により予測される将来の再補修時に全面通行止めが伴うと想定されるものについては対策工をランクアップすることとした。これらの判定要素に基づき、覆工コンクリート全体 107BL を①覆工コンクリートの取壊し再覆工が必要なもの、②ひび割れを補修して剥離、剥落対策を原則とするもの、③無対策で現況のままとするものとした。さらに、取壊し覆工 BL については、支保工変状を調査し、各箇所の支保工補強の必要性を判断することとした。

4.3 復旧設計

(1) 覆工

覆工全体 107BL の BL ごとに、覆工表面のひび割れ分布状況、トンネルの水平・鉛直変位量、支保工調査、インパート調査等の変状調査結果と掘削施工時の地質状況から、復旧設計を行うこととした。この中では、覆工コンクリートの取壊しをおこなった 26 ヶ所の支保工状況の調査結果と覆工を取壊さない BL の調査・計測結果等を踏まえ、各覆工 BL の損傷度をランク分けし、その各々の補修・補強方法を選定した。対策工判定フローを図-4 に示す。

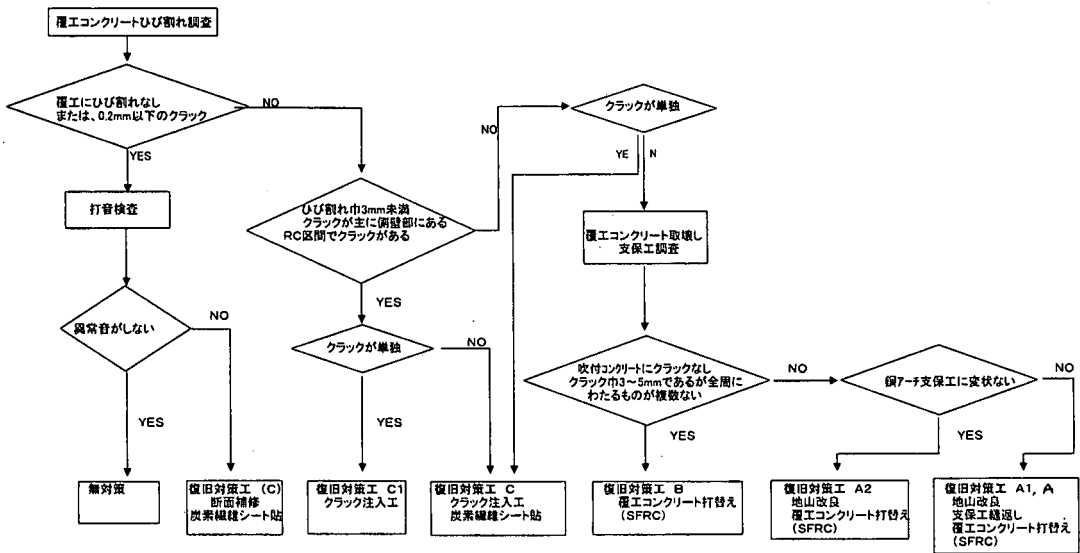


図-4 対策工選定フロー

①覆工コンクリートが著しい変状を受けている場合やひび割れ幅の大きい場合

これは、覆工全周にわたる幅の広い (3mm 以上) ひび割れが複数ある場合。また、ひび割れが天端で閉合するようなものや、ひび割れ箇所でズレや浮き、剥離が確認できる場合であり、覆工コンクリート打替えを原則としたが、支保工の変状調査結果により、対策工を A, A1, A2, B の 4 段階に区分した。また、トンネル周辺の地山改良については、変状を受けた支保工に極力影響を与えず、周辺地山を改良できる方法であり、変状調査の結果の緩み領域として孔間弾性波探査および真空透気試験結果から範囲を 4 m とし、シリカレジン注入材と注入ボルトとしての自穿孔ボルトによる地山改良を施工した。また、覆工の打替えは、現在の 2 車線断面トンネルの地山等級 D 級で採用されている鋼繊維補強覆工コンクリート構造とし、剥離・剥落に対する耐久性向上を図った。

②覆工にひび割れがあり将来的な剥落の危険性がある場合、また、天頂部に断面補修箇所がある場合

これは、覆工全周にわたるひび割れが単独の場合、鉄筋構造部で覆工天端のひび割れ幅が 0.5mm 以下の場合、側壁部にひび割れが集中している場合とし、C, C1, (c) の 3 段階に区分した。なお、炭素繊維シートの展張に当たっては、施工が冬期となるため接着剤の硬化に問題が出ることから、札幌技術事務所の低温実験室にて -10℃ の条件下で低温用接着剤に関する試験施工を行い、その結果により材料選定および施工管理方法について決定した。

③表面にひび割れが見られないかあるいはひび割れ幅が微少で剥離、剥落が問題とならないと想定される場合

ひび割れがないかもしくは、微小な範囲に分布しているブロックについては、①レーダ探査による覆工背面空洞確認調査、②打音検査、③覆工表面応力測定により補修の必要性について判断した。また、覆工表面には変状は発生していないものの、トンネル移動量が比較的大きい区間の 72BL と 81BL については覆工表面応力を天端と両側壁部の 3 点で応力開放法により測定するとともに、今後の増加応力の測定のために覆工表面ひずみ計をその

