

熊本地震で被災したトンネル の被災状況と復旧対策

山本拓治^{1*}・福原茂²・松尾 仙彦²・中原和彦³・亀山好秀³・井上祐一郎³

¹鹿島建設土木管理本部土木工務部 (〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-1)

²国土交通省九州地方整備局 熊本復興事務所 (〒861-1404 熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽3574)

³鹿島建設九州支店土木部 (〒812-8513 福岡県福岡市博多区博多駅前3-12-10)

*E-mail: yamataku@kajima.com

2016年4月に熊本県において、マグニチュード7.3、最大震度7の地震が発生し、道路トンネルである俵山トンネルも重大な被害を受けた。俵山トンネルは、震源の位置から約17kmに位置する2057mのトンネルである。一般に山岳トンネルは耐震性に富む構造物であると言われているが、地震の規模が大きく、布田川断層帯から近かったため、大きな被害が発生したと思われる。また、隣接する南阿蘇トンネルは、757mのトンネルであり一部区間で大きな変状が発生した。本報告は、被災した俵山トンネルについて、当初の工事概要から被災状況、地質概要、追加地質調査結果、臨時点検結果、対策工法の選定、対策の実施に至るまでの概要を報告するものである。

Key Words : mountain tunnel, earthquake damage, kumamoto earthquake, tunnel maintenance

1. はじめに

2016年4月14日と4月16日に発生した熊本地震では、西原村と益城町で震度7を観測した。図-1に示す俵山トンネルと南阿蘇トンネルは県道28号熊本高森線の道路トンネルであり、俵山トンネルは西原村と南阿蘇村に位置する標高1095mの俵山を貫くトンネルである。16日に発生した地震は布田川断層帯の活動によるもので、マグニチュード7.3の地震によってこの地域に大規模な被害が生じた。俵山トンネルは、震源の位置から約17km、布田川断層帯の一部と考えられている布田川活動セグメントの位置からは約300mに位置する全長2057mのNATMトンネルであり、大きな損傷が発生し通行不可能となった。また、隣接する南阿蘇トンネルは757mのトンネルであり、一部区間で大きな変状が発生した。一般に山岳トンネル、特に現在標準工法となっている山岳トンネル工法(NATM)で作られたトンネルは地震に強い構造物であると言われているが、地震の規模が大きく、布田川断層帯から近かったため、大きな被害が発生したと思われる。さらに、2016年6月に発生した集中豪雨により、熊本側坑口斜面で地滑りが発生し、坑口とトンネル周囲に大きな被害を及ぼした。

本報告は、被災状況、調査・設計、復旧工法の選定・実施に至るまでの概要を報告するものである。



図-1 俵山トンネルと布田川断層帯の位置図¹⁾

2. トンネルの概要及び地質概要

(1) トンネル新設時の概要

俵山トンネルは、2002年7月に竣工したトンネル(高さ4.5m、幅7.5m)である。図-2に示すように、熊本側坑口から46mがDIIIaの坑口パターン、その次の75mがDIIパターン、南阿蘇側から173mがDIIIaパターン、その次の20mがDIIパターンで機械掘削され、中間部はDI(1299.4m)、CII(443.6m)パターンで発破で掘削されている。DIパターンのうち451.9m区間は、地質や湧水の状態からインバートを設置しており、その他の区間は



写真-1 圧縮ひび割れ発生状況 (S165-166)



写真-6 熊本側坑口被災状況



写真-2 せん断ひび割れ発生状況 (S004)



写真-7 竹割坑門左肩部ひび割れ状況 (S001)



写真-3 覆工目地部の段差 (S012)



写真-8 支保工損傷展開写真 (S167)



写真-4 覆工崩落状況 (S167)



写真-9 インバートコンクリート損傷状況 (S012-013)



写真-5 目地部盤ぶくれ (S012)



写真-10 熊本側坑口 (完成時)

いた(写真-2)。

その他いくつかのスパンにおいて、X字型の圧縮破壊によるひび割れが発見され、覆工コンクリートの破片が落下していた。また、いくつかのスパンで、路盤の上昇や沈下による段差を確認した。坑口部では、電気室盛土部の地すべりの影響を受け、10cm程度の段差が発生していた。

なお、ジェットファンは落下していなかったが、一部の区間で覆工の破壊に伴うケーブルの脱落・破断、照明設備の破損、非常用設備の損傷等が確認された。

4. 調査・判定及びトンネルの復旧設計

俵山トンネルでは、2012年に定期点検が実施されており、その時の記録によると、0.5mm程度のひび割れは確認されているが大きな変状はなかった。震災後ただちに、熊本県により遠望目視による臨時点検が実施され、その後本工事において詳細な臨時点検と調査を実施した。調査項目は、既存資料調査、地表踏査、付属物の状況調査、近接目視と打音検査等定期点検項目一式、断面形状調査、トンネル線形調査、覆工撤去による覆工背面調査、インバート撤去によるインバート調査、ボーリング調査(地質、覆工コンクリート)、斜面のボーリング調査、動態観測である。

上記の点検に基づき、変状単位ごとの健全性の判定を行った結果、外力によりなんらかの影響を受けたスパンは、209スパン中186スパンであり、付属物取り付け異常箇所は74箇所であった。トンネルスパンごとの健全性の判定区分を行った結果は、209スパン中Ⅰの区間は54スパン、Ⅱの区間は66スパン、Ⅲの区間は31スパン、Ⅳの区間は58スパンとなった。なお、健全性の判定区分Ⅰは健全、Ⅱは予防保全段階、Ⅲは早期措置段階、Ⅳは緊急措置段階である。以上の点検結果に基づき、判定区分Ⅲ以上のスパンについては、緊急工事として必ず措置を実施することを原則として補修補強設計を立案した。

変状が発生した供用中のトンネルに対する補修・補強の選定基準は道路協会の維持管理便覧に記載されているが、地震による外力による判定基準や覆工やインバートの打替え基準はないのが現状であった。また、措置の方法についても、基準では供用中のトンネルが対象となっているため、工法の選定に関しては供用しながらの工法が主に示されていた。一方、今回の地震による変状の特徴は、地震力により大きな変状が発生したが、地震活動が収束した以降には、大きな変状の進行は認められなかったことである。なお、被災の当初は、余震が継続したため、計測や監視を行いながらひび割れの進行性の点検を行った。さらに、今回の対策工事は完全に車両を通行止めにした状態で、工期を優先して早期に復旧することが求められた。

これらのことから、今回の復旧工事においては、維持管理便覧やこれまでの地震や有珠山での火山活動により被災したトンネル等による復旧工事を参考としながら、調査結果に基づき、国土交通省で組織された熊本地震道路検討復旧会議により独自の基準や対策工法を定めることとして検討を進めた。

例えば、今回覆工が落下した個所は、すべて鉄筋の無い区間であり、坑口部の鉄筋の入っている区間は、大きな地震動を受けたにもかかわらず、覆工は落下していなかったため、将来の同程度の地震に対して、変状は発生しても覆工が落下して大きな人身災害を引き起こさないことを念頭に、覆工落下個所には鉄筋を入れることを原則として設計した。

また、覆工が落下あるいは、覆工に大きなせん断ひび割れや圧ぎが生じ落下の恐れのある箇所については、覆工を取り壊し吹付コンクリートや鋼製支保工、ロックボルトの健全性を確認した後、これら支保に変状が確認された場合には、支保工の縫い返しを行うこととし、支保に変状の無い部分に対しては、覆工だけを打ち直すこととした。さらに、支保に変状が発見された個所については、舗装版を取り壊しインバートの点検をおこない、インバートの補修・補強も行った。

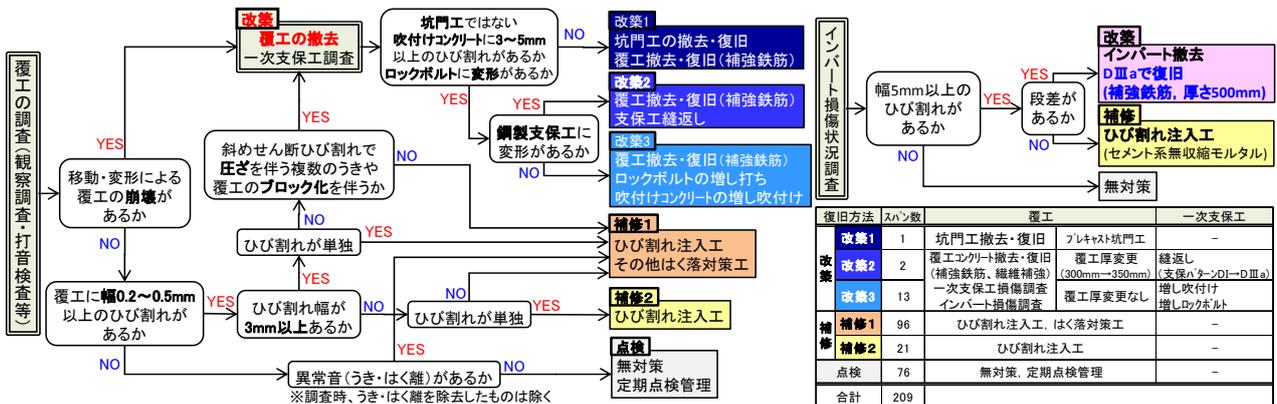


図-3 復旧方法選定フロー

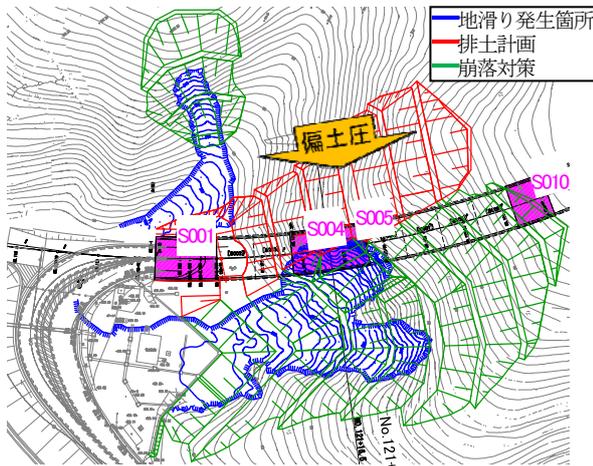


図-5 平面図(熊本側坑口)

「改築1」に分類したS001(竹割坑門)は、その他のトンネル内作業と並行作業するため、プレキャスト部材を使用した。さらに、プレキャスト部材の据付けを夜間、それ以外の作業を昼間に施工し、約20日間の工期短縮を図った。

6. おわりに

本報告では、2016年の4月に発生した熊本地震により被災した俵山トンネルについて、当初の工事概要から被災状況、地質概要、追加地質調査結果、臨時点検結果、対策工法の選定、対策の実施に至るまでの概要を報告した。被災の条件は、過去の研究事例にあてはまるものであり、大きく被災した場所も、主に①坑門、坑口、②不良地山部と良好部の地質境界、③連続した脆弱層部であった。しかし、本報告では、詳細な分析とメカニズムに関する分析が不十分である。布田川断層帯は北東—南西方向に延びる右横ずれ断層とされている。トンネルの周辺でも同様の横ずれが確認されており、トンネルには軸方向の地震力も作用していた。今後は被災箇所ごとにメカニズムに関する分析を行う必要があると考えている。

本工事では、地震が発生した2か月後に着工、6か月と

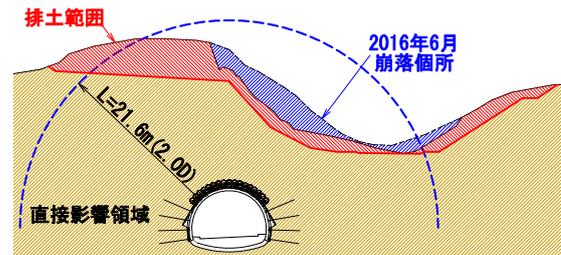


図-6 断面図(No. 121+16.5)

いう短期間でトンネル関連工事を完了させ、同年12月24日に開通させることができた。開通後に熊本側坑口部の法面工事を行い、翌年5月に竣工した。

俵山トンネルは、最大規模の被災を受けたNATMトンネルであり、この経験が今後新設されるトンネルの耐震設計思想に反映されることが望まれる。また、本稿が少しでも類似工事の参考になれば幸いである。

謝辞：ご指導いただいた国土交通省九州地方整備局、国土技術政策総合研究所および土木研究所、熊本地震道路復旧検討PT会議の委員の方々、関係者の皆様に紙面を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中原 和彦, 亀山 好秀, 井上 祐一郎: 熊本地震で被災した NATM トンネルの復旧, 土木施工, 2017Sep, VOL.58 NO9 pp.43-46, 2017.
- 2) 吉川恵也: 鉄道トンネルの震災事例調査, 鉄道技術研究報告, No. 1123, 1973.
- 3) 朝倉俊弘, 志波由紀夫, 松岡茂, 大矢俊雄, 野城一栄: 山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム, 土木学会論文集, No.659/III-52, pp.27-38, 2000. 9.

DAMAGED TO TAWARAYAMA TUNNEL DURING THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKES AND ITS MAINTENANCE REPAIR WORK

Takuji YAMAMOTO, Shigeru FUKUHARA, Norihiko MATHUO, Kazuhiko NAKAHARA, Yoshihide KAMEYAMA and Yuichiro INOUE

The Tawarayama road tunnel suffered serious damage by the Kumamoto earthquake with a magnitude of 7.3 and its damaging aftershocks on April 2016. It is generally said that mountain tunnels are little damaged by earthquakes. However, it seems that the size of the earthquake was large, and unprecedented damage occurred since it was near from the Fuda fault belt. The Tawarayama tunnel is a 2057m road tunnel located in about 17km from the epicenter. An adjoining MinamiAso tunnel is a 757m tunnel. This paper shows the original construction outline of the tunnel, the disaster situation, the geology outline, the geological survey result, the damage inspection result, and the maintenance repair work result.