

平成24年7月九州北部豪雨により被災した トンネルの変状発生メカニズム

岡野 法之¹・川越 健²・小島 芳之³・太田 岳洋²・野中 信一⁴

¹正会員 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部（トンネル）（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）

E-mail:nokano@rtri.or.jp

²正会員 鉄道総合技術研究所 防災技術研究部（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）

³フェロー会員 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）

⁴正会員 九州旅客鉄道 鉄道事業本部 施設部工事課（〒812-8566 福岡市博多区博多駅前3-25-21）

JR九州管内の坂の上トンネルにおいて、2012(平成24)年7月の豪雨により、延長約50mにわたりトンネルが崩落する甚大な災害が発生した。そこで、崩落のメカニズムについて検討を行ったので、ここに報告する。崩落メカニズムは、以下のような過程で発生したと考える。

①崩落区間は経年により覆工背面周辺地山が緩んだ状態になっていた。

②豪雨時に坑内に流入した地表水により路盤部、側壁脚部の地山が浸食され、側壁脚部の支持力が低下した。

③加えて、トンネル周囲の地下水位が上昇し、坑内の流水が減少した後も覆工背面には地下水が残り、アーチ部周辺地山の緩みが拡大した。

④上記②③によって側壁の脚部が沈下するとともに内側に滑り込み、それに伴って、アーチ部はある程度原形を保ったまま周辺地山とともに崩落し、土被りが小さいことから地表陥没に至った。

Key Words : torrential rain, tunnel collapse, collapse mechanism

1. はじめに

2012(平成24)年7月に九州北部地方を襲った豪雨により、JR九州豊肥本線宮地・波野間の坂の上トンネルでは、7月12日に路盤浸食、軌きょう流出や大分方坑口付近における延長約50mにわたるトンネル崩落といった、前例をみない甚大な被害が発生した。

当該箇所の復旧は、プレキャストコンクリート覆工を用いた開削工法により行い、2013(平成25)年8月4日に、豊肥本線の全線運転再開を見た¹⁾。

本報告は、坂の上トンネルで生じたトンネル崩落のメカニズムについて検討した結果を取りまとめたものである。

坑口が位置し、この間を25‰の上り勾配で通過している。一般に火砕流台地には下刻が進んだ河川が平行に発達することが多い。坂の上トンネル大分方坑口の東方には泉谷川による下刻が認められるが、坂の上トンネル付近にはその下刻は及んでおらず、浅い谷が見られる程度である。(図-2.1)

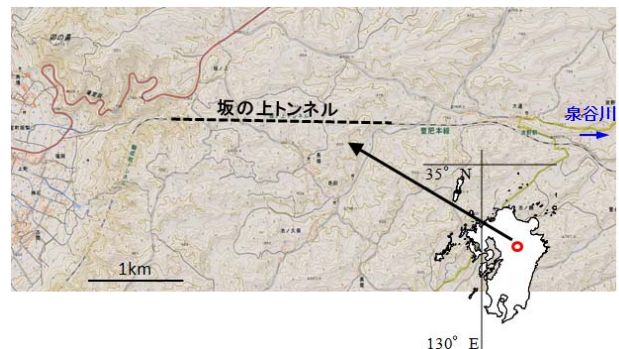


図-2.1 坂の上トンネルの位置および周辺の地形²⁾

2. 坂の上トンネルの概要

(1) 地形

坂の上トンネルは阿蘇カルデラの東壁をなす急崖に熊本方坑口が、阿蘇外輪山を形成する火砕流台地に大分方

(2) 地質

既往の地質図（地質調査所(1985), 阿蘇火山地質図, 図-2.2）によれば, 坂の上トンネルが位置する阿蘇外輪山は, 阿蘇カルデラを形成した4回の噴火の際の噴出物およびそれらの基盤をなす火山岩類（図-2.2中のPA(輝石安山岩溶岩), R(黒雲母流紋岩)など）からなる。坂の上トンネル付近には下位から順に,

- ・ Aso-1火砕流堆積物（溶結凝灰岩, 約30万年前）
- ・ Aso-2/1溶岩（約18万年前）
- ・ Aso-2A.B火砕流堆積物（溶結凝灰岩, 一部非溶結スコリア）
- ・ Aso-3/2降下火砕物
- ・ Aso-3火砕流堆積物（火山灰および軽石）
- ・ Aso-4A火砕流堆積物 Aso-4A A4a（非溶結の火山灰・軽石）
Aso-4A A4b（異質岩塊に富む非溶結の火山灰・軽石）
- ・ Aso-4B火砕流堆積物（溶結凝灰岩, 7-8万年前）

が分布する。これらの火砕流堆積物などは, 広い範囲でAso-4B以降の降下火山灰に覆われる。

坂の上トンネルの熊本方坑口にはAso-2A.B火砕流堆積物が分布し, その上位にAso-3火砕流堆積物, Aso-4A A4b（異質岩塊に富む非溶結の火山灰・軽石）, Aso-4B火砕流堆積物が分布している。同トンネル大分方坑口が位置する火砕流台地では, 降下火山灰が阿蘇カルデラを形成した噴出物を覆っている。

(3) トンネル諸元

坂の上トンネルは JR 九州豊肥本線宮地一波野間にある単線非電化の延長 2 283m のトンネルで, しゅん功は1928 年である。線形は直線で, 勾配は起点から終点に向かって 25‰の上り片勾配である。トンネル断面の設計図を図-2.3 に示す。軌道はバラスト軌道であり, マクラギは木製, りょう盤や均しコンクリートは打設されていない。トンネルの崩落区間の材質は, アーチ部がコンクリートブロック, 側壁は場所打ちコンクリートで, 土被りは10m~20m程度であった。

(4) 崩落区間前後のトンネルの状態

被災前に実施された検査では, 今回の崩落箇所(62k730m~62k780m)を含む 62k655m~62k794m の範囲のアーチ部は吹付けモルタルによる補修が確認されている。また, 62k714m, 62k730m では導水工が施工されており, 漏水が多かったことが推定される。

被災後にトンネル崩落区間前後の覆工巻厚調査および覆工背面空洞厚調査が実施された。その結果, 62k595m~610m において巻厚がかなり薄いこと, 崩落区間前後では全体的に覆工背面に空洞が多く, 側壁部にまで空洞

が存在する区間も多くあることが把握された。空洞は, 建設当初から存在した空洞, 供用中に徐々に地下水により浸食されてできた空洞, 今回の災害時に浸食されてできた空洞があると考えられる。

次章で示すが, 62k595m~610m の地質は「上部溶岩（図-3.2 参照）」であり山が良く, 設計巻厚が上半下半ともに 0.23m と薄い。建設時からアーチ部地山は安定しており, 余掘りも大きく巻厚が薄かったものの, 側壁脚部では洗掘されやすい地山であり, 側壁脚部が洗掘された可能性も考えられる。



図-2.2 坂の上トンネル周辺の地質^③

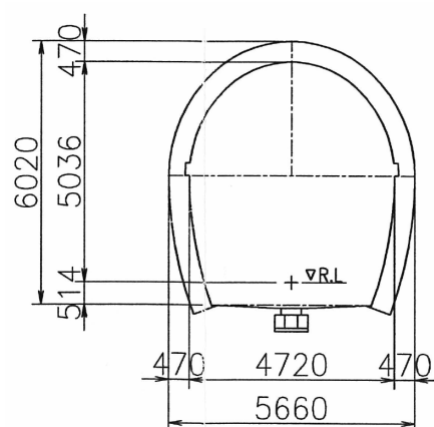


図-2.3 トンネル断面の設計図

3. 被災状況

(1) 被災時の降雨状況

被災前後の降雨量（気象庁、アメダス「阿蘇乙姫」，坂の上トンネルから東に約 10km の位置）を図-3.1 に示す。6 月には 200mm/日（24 日）を超えるなど，比較的多量の降雨を観測しているが，被災直前の 7 月 8 日～10 日に掛けては，降雨量は観測されていない。

7 月 11 日 23 時に 6.5mm/時の降雨量が観測されて以降，12 日 2 時に 51mm/時，同 3 時に 106mm/時，同 4 時～6 時に掛けては 80mm/時以上の降雨量が連続して観測され，7 月 12 日の日降雨量は 493mm に達した。

表-3.1 にアメダス（阿蘇乙姫）における，降雨に関する「観測史上 1～5 位の値（年間を通じての値）」（気象庁 HP から引用）を示す。今回の災害発生時の降雨は，日降水量，日最大 10 分間降水量，日最大 1 時間降水量とも観測データが残されている期間ではいずれも過去最大値を示す（当時）。

(2) 路盤浸食の状況

図-3.2 に坂の上トンネルの地質，巻厚，浸食後の路盤高さの縦断面図を示す。61k250m よりも大方分のレールは坑外へ流出しており，熊本方坑口の外でとぐろ状となっていた（図-3.3）。62k300m～650m 付近では路盤が浸食されており，特に 62k500m～600m 付近では浸食が著しかった。図-3.2 の「堆積物及び底盤状況」欄に示すように，被災後のトンネル底盤で見られた堆積物はトン

ネル崩落区間から熊本方坑口に向かって順に，土砂→岩（露出）→砂・石→砂（改良土）→砂（堆積）→河石（堆積）→バラスト（砂まじり）となっている。

図-3.4 に路盤浸食の状況の模式図を示す。また，図-3.5 に 62k600m の浸食状況を示す。

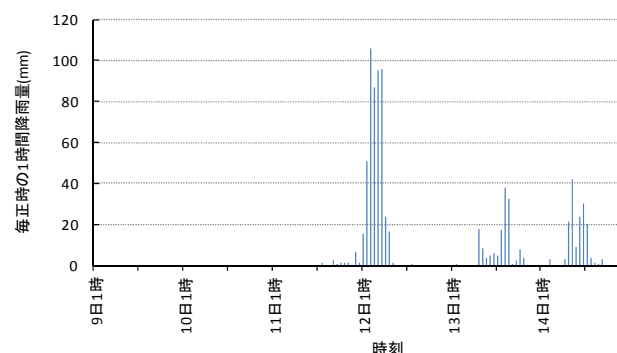


図-3.1 被災前後の毎正時の時間降雨量（アメダス阿蘇乙姫）

表-3.1 過去の降雨量に関する比較（アメダス阿蘇乙姫）

要素名／順位	1位	2位	3位	4位	5位
日降水量 (mm)	493 (2012/7/12)	448 (1990/7/2)	364 (1982/7/24)	335 (1995/7/3)	302 (1980/8/29)
日最大10分間 降水量 (mm)	25.5 (2012/7/12)	25 (2011/7/4)	18.5 (2011/6/11)	18.5 (2009/5/5)	17.5 (2009/9/29)
日最大1時間降 水量 (mm)	108 (2012/7/12)	85 (2006/7/5)	81 (2001/6/29)	77 (2006/7/2)	77 (1980/8/31)

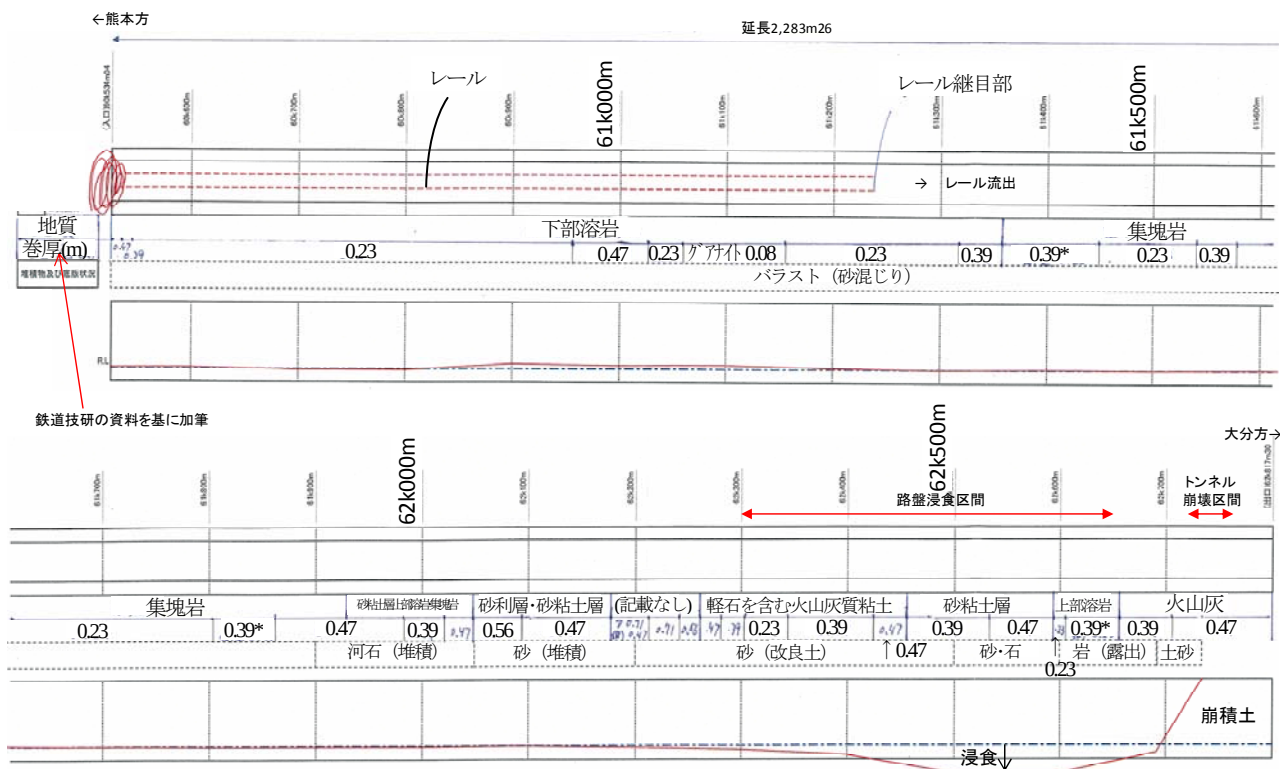


図-3.2 坂の上トンネル縦断面図（地質，巻厚追記）



図-3.3 起点方明かり区間の線路流出状況¹⁾

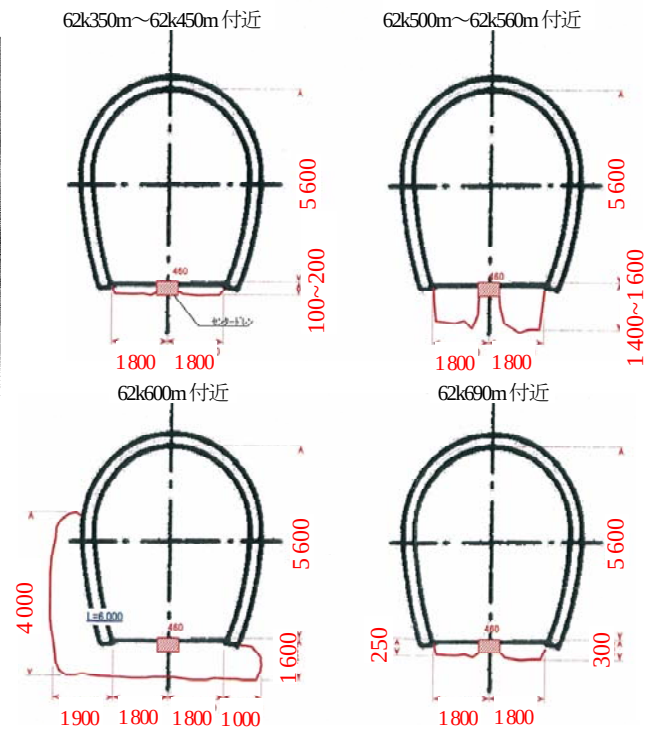


図-3.4 路盤の浸食状況

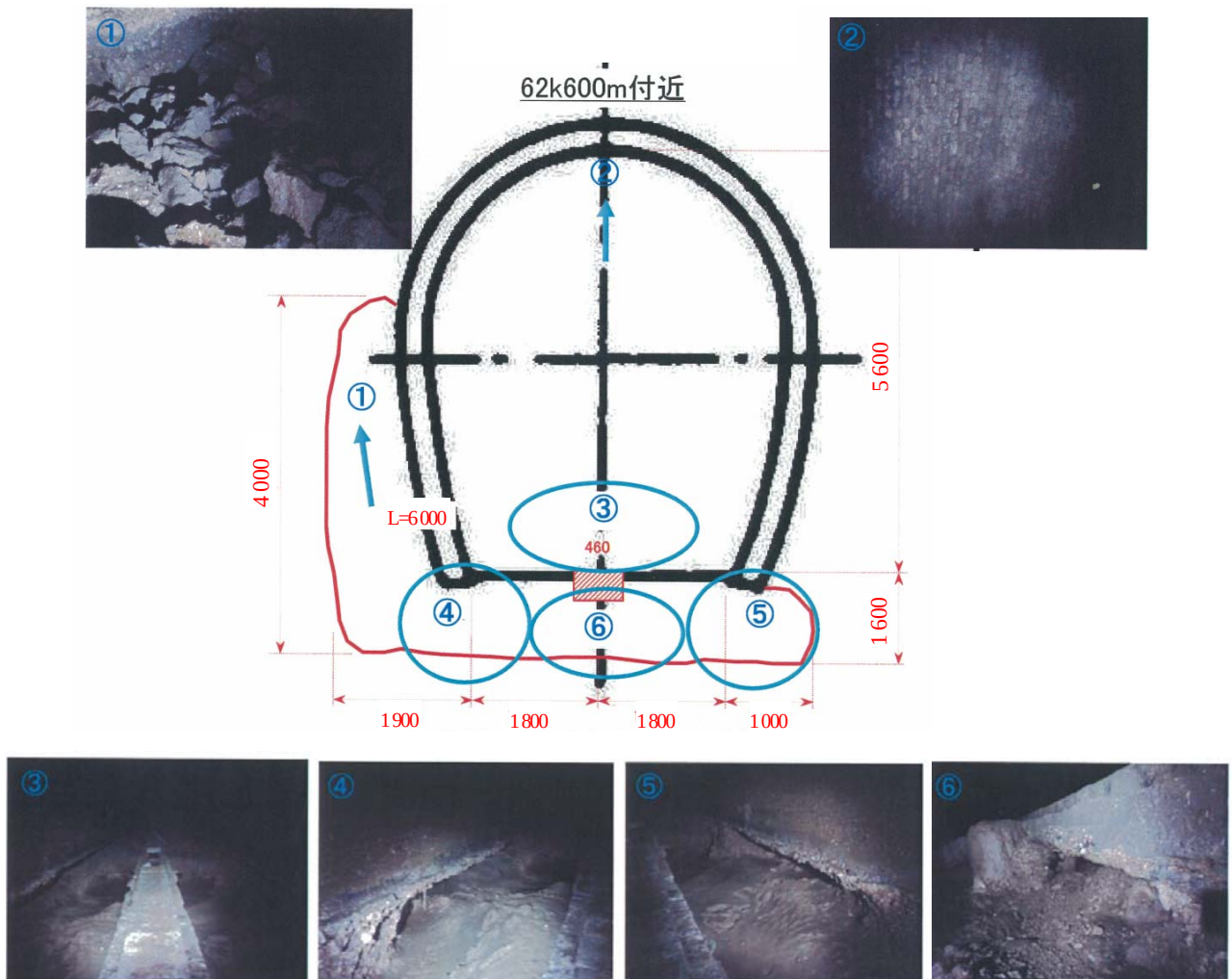


図-3.5 62k600m の浸食状況

62k600m 付近では、左側（北側）の側壁背面で、幅約 1.5m、高さ約 4m に達する空洞が確認された（図-3.4、図-3.5）。さらに、この付近では路盤浸食も著しく、トンネル側壁脚部も浸食され、両脚部が浮いた状態となっていた。なお、図-3.5 に示すように、非常に深く路盤部が浸食されているものの、中央排水溝は原形を留めており、蓋も流失していなかった。

(3) トンネル崩落の状況

トンネルの崩落は 62k735m～同 785m 付近で発生し、地表陥没が直上ほぼ同じ位置で発生した。地表陥没の幅は 10m 程度で、トンネル延長方向に沿った形であった。図-3.6 に平成 24 年 8 月 22 日に撮影したトンネル崩落箇所地表陥没の状況を示す。図-3.6 に示すように、陥孔の壁面はほぼ垂直で自立していた。トンネル崩落区間の開削時の状況を復旧工事に当たった施工業者からヒアリングした結果、崩積土の上部は比較的強度があったものの、崩落したトンネルのアーチ部近くまで掘り下げるとかなり軟質であったとのことであった。

図-3.7 にトンネル崩落箇所の坑内の状況を示す。坑内では崩積土砂が緩やかに堆積している(大分方も同様)。

復旧作業においてはトンネル崩落部を開削した。図-3.8 に崩落区間開削時に見られた大分側のトンネル路盤部の写真を示す。これより、側壁脚部の根入れ深さは中央排水管の蓋下面程度までであることがわかる。崩落区間開削時に確認された、崩落区間のトンネルアーチ部の写真を図-3.9 に示す。この写真より、崩落に伴いアーチ部は原形を保ったまま大きく沈み込んだことがわかる。

図-3.10 に崩落区間開削時のトンネル覆工露出図を示す。また、図-3.10 中の A-A 断面と E-E 断面について、熊本方を背にした断面図を図-3.11 に示す。

図-3.11 より、A-A 断面ではアーチ部は比較的形状を保った状態で約 3.7m 沈下している。側壁については、熊本方を背にして左側の側壁がハの字に破壊しトンネル内空に存在していた。なお、右側の側壁はここまで掘り下げた段階では確認されていない。

E-E 断面では右側壁が内空側に向けて沈み込んでおり、左側壁には右アーチ部のコンクリートブロックが寄りかかっていた。平成 25 年 4 月 7 日の現地調査時に熊本方を背にして撮影した E-E 断面位置付近の状況を図-3.12 に示す。これより、右側側壁（場所打ちコンクリート）は、熊本方に向かうにしたがって大きく沈み込んでいると推定される。

なお、開削時、図-3.10 の A→B→C→D→E の順に掘り出しがされ、A、B、C、D の位置ではアーチ部が形状を保った状態で掘り出されたが、既存覆工端部に近い位置ではアーチのコンクリートブロックがバラバラの状態であった。



図-3.6 トンネル崩落箇所地表陥没の状況



図-3.7 トンネル崩落箇所の坑内の状況（熊本方）



図-3.8 路盤部の状況（崩落区間開削時，大分側）



図-3.9 崩落区間アーチ部（大分側に向かって）

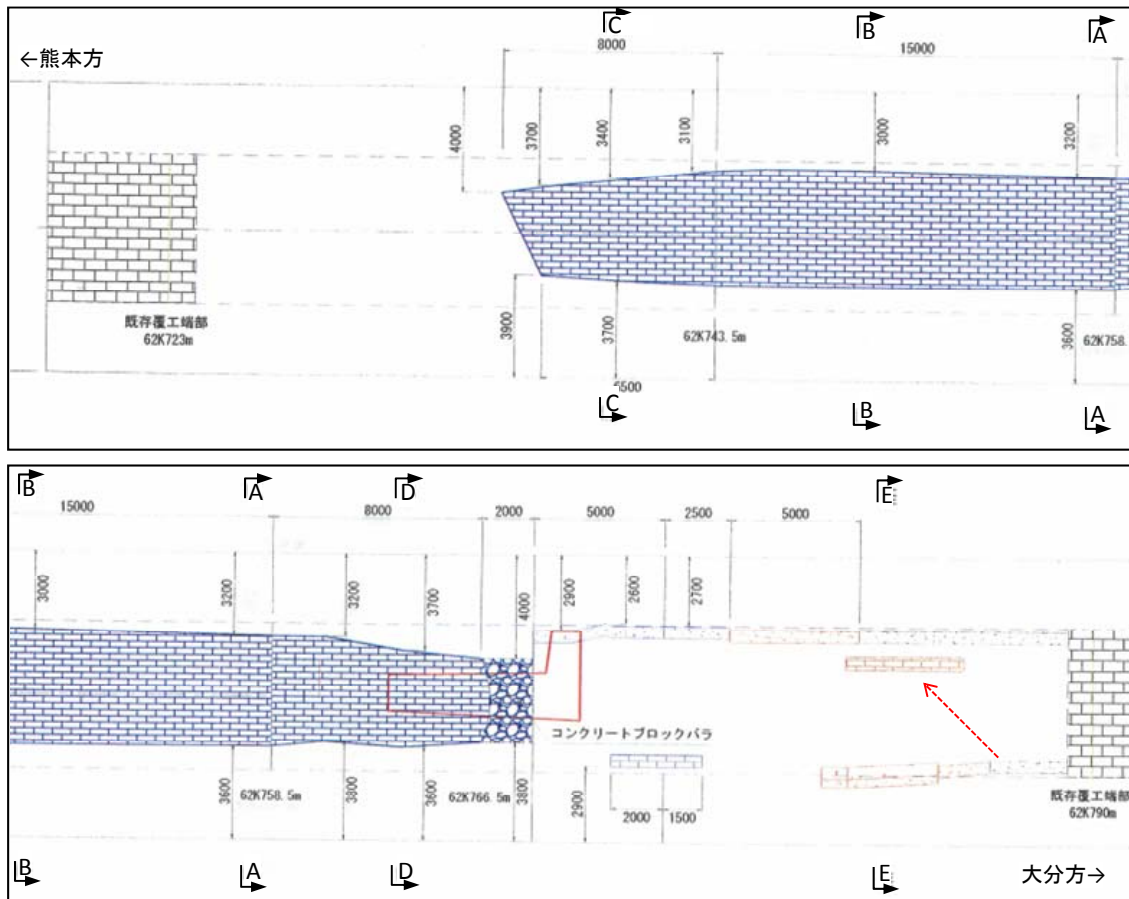


図-3.10 開削時トンネル覆工露出図 (A→B→C→D→Eの順に掘り出し)

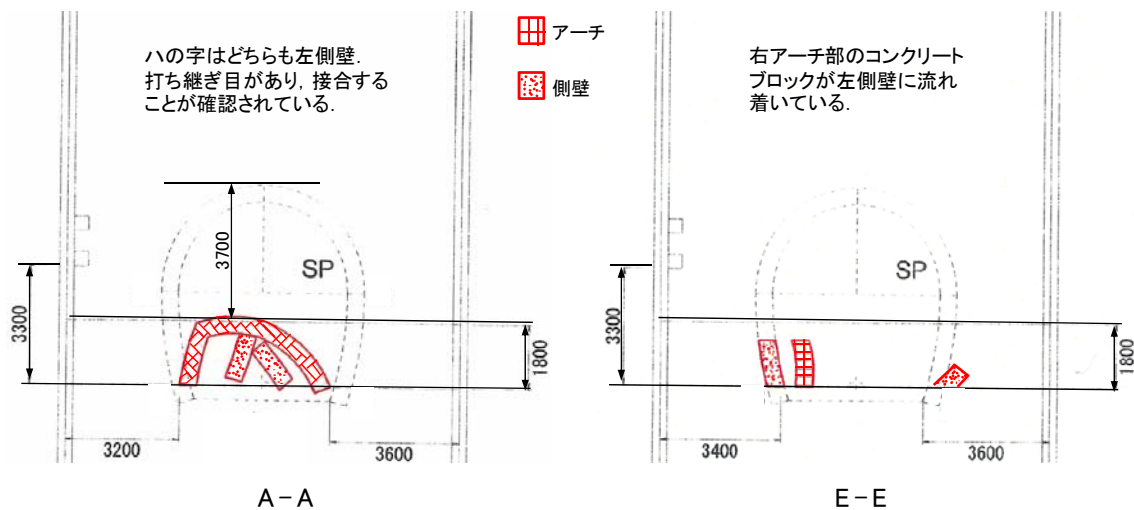


図-3.11 開削時トンネル覆工の露出状況断面図 (熊本方背)

また、側壁の状況としては、E-E断面では先述した通り、右側壁が左側壁よりも大きく沈下している。一方で、復旧作業の状況をヒアリングした結果、A-A～B-B断面周辺では、アーチブロックを撤去した結果、アーチブロック内に左側壁、右側壁が存在し、その順序としては左側壁の上に右側壁が重なっている状況であったとのことである。すなわち、A-A～B-B断面周辺では左側壁から不安定となり内空側に倒れ、あるいは滑り、続いて右側



図-3.12 E-E位置(62k780m付近)のトンネル部開削状況

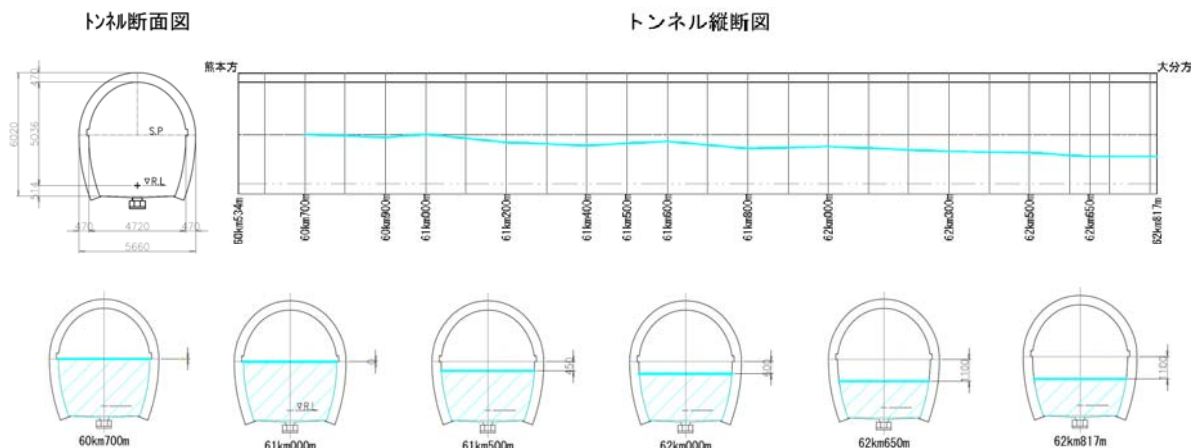


図-3.13 トンネル坑内で観察された浸水した痕跡の高さ

壁も内空側に倒れこんだ、あるいは滑りこんだ可能性が考えられる。このことは、A-A断面のアーチ部が図-3.11で、アーチ形状を保ちながらもやや左に偏った形状となっていることとも整合する。

(4) トンネル坑内外の状況

ここでは、路盤流出やトンネル崩落と関係する可能性があると考えられるトンネル坑内外の状況について、概要を示す。

a) トンネル坑内への雨水の流入状況

災害直後の坑内調査時には、崩落区間より大分方の軌道面上には水分を多く含む泥が堆積していた。これに対して、崩落区間より熊本方のトンネル路盤もしくは軌道面などには泥分の堆積は顕著には認められなかった。

トンネル側壁に観察される浸水した痕跡の上面の位置を図-3.13に示す。大分方の坑口ではスプリングラインより約 1m 下の高さに浸水した痕跡が認められた。この痕跡は、熊本方に掛けて徐々にトンネル坑内での高さを増し、熊本方坑口付近ではスプリングライン付近の高さとなっている。

b) 大分方坑口周辺の地表の状況

災害直後の大分方坑口周辺の地表の状況を図-3.14と図-3.15に示す。図-3.14は坑口付近を上空から撮影したもので、図-3.15は上空東側から撮影したものである。トンネル崩落区間の上部の地表は陥没しており、坑口の北側の沢地形を呈する箇所には、その上流部から運搬されたと考えられる黒褐色の土砂の堆積が認められる。また、地表が陥没した箇所の南側には斜面崩壊（図-3.14、図-3.15中の黄色矢印）が認められる。

大分方坑口付近の地表では、航空写真から、北側の沢地形の上流部から土砂が流出し、その下流側で土砂が堆積した際に一時湛水域が形成されていた可能性が考えられる。さらに崩落区間の南側の斜面でもトンネルとほぼ同じ標高の箇所でも斜面崩壊が発生していた。これらの



図-3.14 大分方坑口付近の状況(1)



図-3.15 大分方坑口付近の状況(2)

個々事象の原因については不明であるが、北側の沢地形の上流部での崩落ならびに湛水域の形成、トンネル崩落区間、南側斜面の崩壊が、おおむね北側の沢で生じた崩壊土砂の流下方向と同一線上にあるため、推定の域を超えるものではないが、地下水の流下方向やその状況が関与していた可能性も考えられる。

さらに、大分方坑口の大分方には南西から北東方向へ流下する河川が氾濫した痕跡と考えられる黒褐色の土砂の堆積が認められ、その延長線上に大分方の切取区間がある。

c) 軌きょうの流出区間

坂の上トンネルでは、敷設されていたレール、マクラギならびに路盤などが標高の低い熊本方出口に向かって流出した。なお、大分方坑口にはレールが存在するが、トンネル崩落区間の復旧のための開削時にはレールやマクラギは見当たらなかったことから、軌きょうの流出は、トンネル崩落区間の大分側付近が起点であると考えられる。

4. 地質調査結果

(1) 災害後の坑内地質観察結果

a) 熊本方坑口付近の待避所

熊本方坑口付近の待避所の妻部は素掘りで施工されており、比較的堅硬な溶結凝灰岩が認められた（図-4.1）。既往の地質図幅に示される地質の分布から、この溶結凝灰岩は Aso-2A.B の溶結凝灰岩に相当すると考えられる。

b) 路盤浸食区間

路盤浸食が発生した 62k300m 付近～62k650m 付近の内、浸食が著しかった 62k600m 付近において、火山灰・軽石層の上位に溶結凝灰岩が分布しているのが観察された（図-4.2、図-4.3）。火山灰・軽石層は細粒分に乏しく、径が数 cm 程度の軽石などと径 2～15cm 程度の安山岩などからなり、降下火砕物と考えられ、岩相から透水性が非常に高いと推定される。また、火山灰・軽石層の上位の溶結凝灰岩は、非常に堅硬な岩盤を呈する。

既往の地質図幅に示される地質の分布から、上記の「火山灰・軽石層」は Aso-4A 4Ab に、「溶結凝灰岩」は Aso-4B に対比されると考えられる。路盤浸食が著しい区間の覆工背面（62k600m 付近）には図-4.4 に示すように空洞が生じており、また側壁コンクリートの脚部岩盤が浸食されていた。

c) トンネル崩落区間

トンネル崩落区間(62k730m 付近～62k784m 付近)の熊本方および大分方のトンネル非崩落箇所側壁コンクリート背面（SL より下側）には、層構造が明瞭な地山が認められた（図-4.5）。地山は主に茶褐色を呈する火山



図-4.1 熊本方坑口付近の待避所の露岩



図-4.2 62k600m 付近の路盤浸食箇所観察された地層境界



図-4.3 62k600m 付近で観察された火山灰・軽石層 (Aso-4 4Ab) の近影



図-4.4 覆工背面の空洞

灰質粘性土からなり、黒色を呈する砂～細礫層（スコリア、火山礫など）、黄白色の軽石の薄層などを挟在する。これは、後述する災害後に実施されたボーリング No.8 孔における地層の分布とおおむね同様である。これらの地層は、既往の地質図幅に示される地質の分布や性状から、Aso-4B を覆う降下火山灰層と推定される。

地層の走向傾斜は場所によって異なり、これは火山灰層や火山灰質粘性土層が旧地形を覆うように堆積したためと考えられる。これらの地層には空洞など、地下水が集中して通ったと思われる痕跡は認められなかった。また、目視で観察した限りでは、側壁コンクリートの背面および脚部付近は地山と密着していた。

復旧工事において同区間の掘削底盤に割れ目が分布する岩盤（図-4.6）が確認されており、これはボーリング調査結果から Aso-4B の溶結凝灰岩と推定される。また、この岩盤面には図-4.7 に示すように水溜まりが形成されることから、この Aso-4B は比較的透水性が小さい岩盤と考えられる。

(2) 災害後のボーリング調査結果

災害後にトンネル崩落箇所を中心としたボーリング調査他の地質調査が実施された（図-4.8、図-4.9）。調査により確認された範囲の地質は下位より Aso-4A の非溶結凝灰岩（地質調査報告書中の A4A-nw）、同スコリア流堆積物（径 2～5cm の火山礫や軽石、スコリアを主体とし、細粒砂がそれらの間を充填する：同 A4A-Sf）、Aso-4B の溶結凝灰岩（硬質な塊状岩盤：同 A4B-wt）、同非溶結凝灰岩（同 A4B-nw）であり、これらは全体として東側に緩く傾斜している。さらに、これらの地層の上位に降下火山灰（同 Ash1, Kpfa, Ash2）が分布する。

5. 地下水

(1) 地下水位

災害後に実施された調査ボーリング No.2 において、孔内水位が深度 43.83m で確認された（図-4.9 参照）。この水位は坂の上トンネルの F.L.より約 12m 低い位置にあたる。なお、他のボーリングでは水位は確認されなかったが、これは孔底標高が No.2 より高い位置にあるためと考えられる。この調査ボーリング No.2 孔で確認された水位は、阿蘇 4A 火砕流堆積物中のスコリア流堆積物と記載された地層中にある。

(2) 坑内湧水量

大島ら⁴⁾によれば、坂の上トンネルの総湧水量は、1970 年代初めに調査されたときは 5.0m³/min、1983 年に調査されたときには 0 m³/min であった。災害後の調査ボ



図-4.5 大分方未崩落箇所の地山状況



図-4.6 トンネル崩落区間における掘削底盤の状況(1)

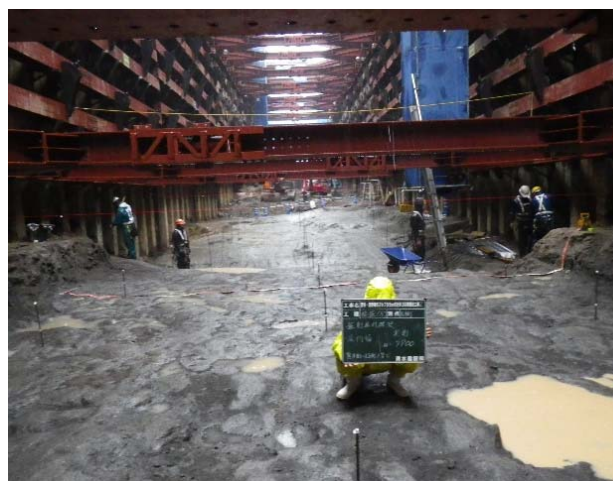


図-4.7 トンネル崩落区間における掘削底盤の状況(2)

ーリングで確認された地下水位が大分方坑口付近でトンネルより下方に確認されていることから、トンネル坑内湧水量は地下水面の上昇量、つまり降雨量の影響を受けやすいと考えられる。

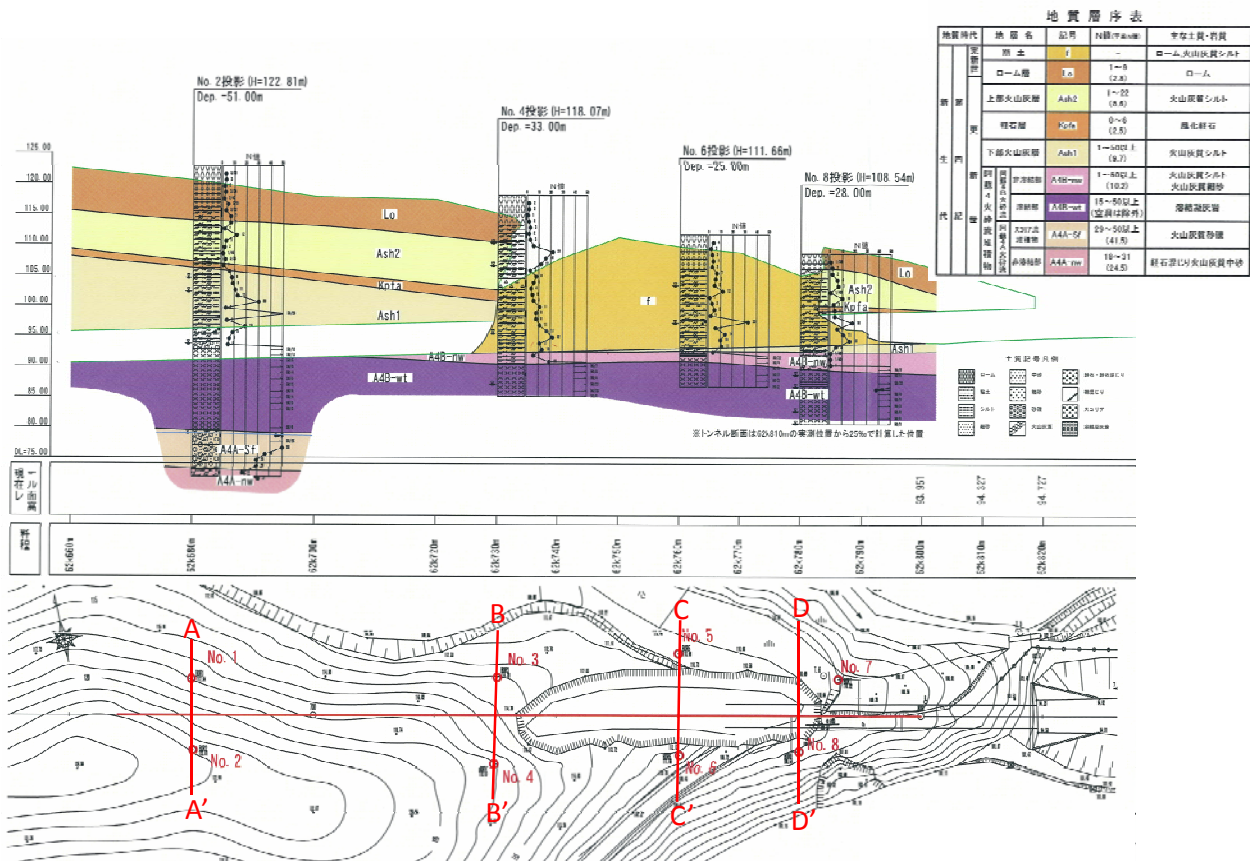


図-4.8 地質縦断面図およびボーリング調査位置

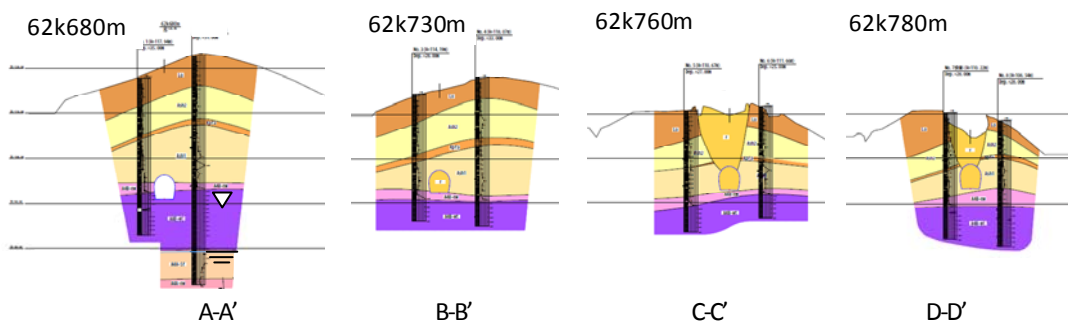


図-4.9 地質横断面図

6. 被害の要因

(1) 地層の分布と被害個所の関係

4章で述べた地質の分布と坂の上トンネルの被害の状況を図-6.1にまとめる。図中で示す Aso4A A4b 層は坑内観察およびボーリング調査結果を反映し、層の厚さを一定と仮定して示している。同図から、トンネル崩落箇所はおおむね降下火山灰層が分布する区間に位置し、路盤浸食区間は Aso4A A4b 層が分布すると想定される区間に相当していると考えられる。

(2) 被害発生の経過

トンネル坑内に残された浸水の痕跡が大分方坑口から

熊本方坑口に向かって連続して認められる。坂の上トンネルは熊本方坑口から大分方坑口に向かって上り 25%勾配であることから、浸水の痕跡が連続して認められるのは、大分方坑口より大量の水がトンネル内へ流入、熊本方へ向かって流下したことによると考えられる。

トンネル崩落区間の地質が火山灰質粘性土を主体としていたこと、トンネルが崩落土砂により完全に閉塞していたこと、またトンネル崩落区間の前後でトンネル坑内に残された浸水の痕跡が連続していたこと、また軌きょうが流出していたのは、トンネル崩落区間より大分方によった地点からであったことなどから、トンネルの崩落は大分方坑口から多量の水が流入した後と考えられる。

に涵養され、地下水位が上昇したことが推定される。降下火山灰層の下位の溶結凝灰岩（Aso-4）は降下火山灰層と比較すると相対的に透水性が低いと考えられることから、トンネル崩落区間付近の地山の降下火山灰層中では下方への浸透量を上回る量が涵養された結果、地下水位が急激に上昇した可能性が考えられる。

復旧工事中の記録からは、一部区間を除いたトンネル崩落区間の脚部、およびその両端側のトンネル覆工背面には明瞭な水みちは確認できなかった。また、崩落した地山中に水みちが形成されていたかどうかについても、災害後のボーリング調査では明らかに出来ていない。しかし、力学的に弱い降下火山灰層ではしゅん功後長期にわたり地下水位の変動により、地山の流出や強度的な劣化を受けていた可能性が考えられる。このような地山状況において、トンネルの崩落形状を踏まえると、地下水位の急激な上昇による水圧がトンネル外周に作用し、最も地下水が抜けやすいトンネル覆工脚部付近から路盤下に掛けて間隙水圧の上昇、土粒子の移動などにより地山の支持力が低下した可能性が考えられる。

以上、得られた情報を分析した結果からトンネルの崩落、そして地表陥没が発生したメカニズムを推測すると、以下のような流れで被害が発生したと考えられる。

- ①崩落区間は未固結の火山灰層中に位置していることから、経年により覆工背面の地山の劣化が進み、周辺地山が緩んだ状態になっていた。
- ②平成 24 年 7 月の豪雨時に、大分方掘割区間から坑口に流入した地表水により路盤部及び側壁脚部の未固結な地山が浸食され、側壁脚部の支持力が著しく低下した。
- ③上記②に加えて、トンネル周辺地山の地下水位も上昇し、坑内の流水が減少した後も覆工背面には地下水が残り、側壁に水圧もしくは土水圧が作用し続けた。また、これとともにアーチ部周辺地山の緩みが拡大した。
- ④上記の②③によって側壁の脚部が沈下するとともに内側に滑り込み、それに伴って、アーチ部はある程度原形を保ったまま周辺地山とともに沈みこみながら崩落し、土被りが小さいことから地表陥没に至った。

なお、崩落にはトンネル背面の地質やトンネル構造が

大きく影響すると考えられる。路盤は浸食されたが、トンネルは崩落しなかった区間（62k600m 付近）の路盤付近には火山灰・軽石層（砂粘土層）が、トンネル側壁～アーチ部には硬質な溶結凝灰岩が分布している。トンネル側壁～アーチ部に硬質な岩盤が分布していたことによりトンネル覆工に土圧が作用しない、あるいは直接作用する土圧が比較的小さく、崩落をまぬがれた可能性が考えられる。

6. おわりに

豊肥本線宮地・波野間坂の上トンネルにおいて、豪雨により発生した路盤浸食、軌きょう流出、50m にわたるトンネル崩落といった災害について、その崩落原因に関する調査結果をまとめ、崩落の原因とメカニズムを推定した。今後とも、適切な管理により、トンネルが安全に供用されることを願う次第である。

近年の集中豪雨は、年々その激しさを増す傾向にある。同種の災害が発生する可能性はほとんどないとするが、万が一にも発生した場合には、本報告が復旧の一助となれば幸いである。

謝辞：坂の上トンネルの崩落メカニズムに対する検討において、ご助言を頂いた大島洋志博士、朝倉俊弘京都大学教授をはじめ、ご協力を頂いた多くの関係各位に甚大なる謝意を表する次第である、

参考文献

- 1) 大澤章吾、野中信一ら：阿蘇外輪山を貫くトンネルが異常豪雨により被災、トンネルと地下、Vol.45, No.2, pp.7-14, 2014.
- 2) 国土地理院：電子国土 Web システム.
- 3) 地質調査所：阿蘇火山地質図, 1985
- 4) 大島洋志：鉄道トンネルの湧水量実態調査、鉄道技術研究所速報, No.A85-195, 1985

(2014. 9. 15 受付)

OUTBREAK MECHANISM OF THE TUNNEL WHICH COLLAPSED BY NORTH KYUSHU TORRENTIAL RAIN IN JULY, 2012

Noriyuki OKANO, Takeshi KAWAGOE, Yoshiyuki KOJIMA,
Takehiro OHTA and Shinichi NONAKA

The serious disaster that a tunnel collapsed by extension approximately 50m by a torrential rain of July, 2012 occurred in Sakanoue tunnel of the Kyushu Railway Company jurisdiction. We analysed the collapse situation, and cleared up a mechanism of the collapse.