

ISSN 0386-5878  
土木研究所資料 第4358号

# 土木研究所資料

## 山岳トンネルの地震時挙動と 耐震対策に関する研究報告書

平成29年3月

国立研究開発法人土木研究所  
道路技術研究グループトンネルチーム

Copyright © (2017) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# 山岳トンネルの地震時挙動と 耐震対策に関する研究報告書

|         |       |      |
|---------|-------|------|
| トンネルチーム | 上席研究員 | 砂金伸治 |
|         | 主任研究員 | 小出孝明 |
|         | 主任研究員 | 日下敦  |
|         | 専門研究員 | 吉岡知哉 |
|         | 交流研究員 | 岸田展明 |

## 要旨

山岳トンネルは、地震により構造に大きな損傷を受けるのは非常に限定的な条件であり、一般に比較的地震に強い構造物とされてきたが、2004年新潟県中越地震や2016年熊本地震では、数は限られるものの比較的規模の大きな覆工の崩落を伴う被害を受けた山岳トンネルがあった。これは、地震の規模や地山条件、トンネルの構造等によっては、山岳トンネルにおいても地震による被害を受ける可能性があることを示唆している。このような被害を最小限にするための対策を合理的に実施するには、山岳トンネルの地震時における被害発生メカニズムや対策が必要となるトンネルの条件を明らかにし、効果的な耐震対策の選定手法を確立する必要がある。

このような状況を踏まえ、本研究は、山岳トンネルにおける合理的な耐震対策の確立に資することを目的として、過去の山岳道路トンネルの地震による被害の分析を行い、主な被害の発生メカニズムを推定するとともに、新設トンネルおよび既設トンネルにおいて耐震対策を行う場合の方向性や考え方について検討したものである。

キーワード：山岳トンネル，地震，耐震対策





# 山岳トンネルの地震時挙動と耐震対策に関する研究報告書

## 目 次

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| 1. はじめに .....                         | 1-1  |
| 2. 道路トンネルにおける近年の主な地震被害 .....          | 2-1  |
| 2.1 能登半島沖地震（平成 5 年） .....             | 2-1  |
| 2.1.1 地震の概要 .....                     | 2-1  |
| 2.1.2 木の浦トンネルの被害 .....                | 2-1  |
| 2.2 兵庫県南部地震（平成 7 年） .....             | 2-4  |
| 2.2.1 地震の概要 .....                     | 2-4  |
| 2.2.2 盤滝トンネルの被害 .....                 | 2-4  |
| 2.3 新潟県中越地震（平成 16 年） .....            | 2-9  |
| 2.3.1 地震の概要 .....                     | 2-9  |
| 2.3.2 和南津トンネルの被害 .....                | 2-11 |
| 2.3.3 木沢トンネルの被害 .....                 | 2-14 |
| 2.3.4 荒谷トンネルの被害 .....                 | 2-17 |
| 2.3.5 羽黒トンネルの被害 .....                 | 2-18 |
| 2.3.6 十二平トンネルの被害 .....                | 2-20 |
| 2.3.7 被害状況の集計 .....                   | 2-21 |
| 2.4 新潟県中越沖地震（平成 19 年） .....           | 2-24 |
| 2.4.1 地震の概要 .....                     | 2-24 |
| 2.4.2 米山トンネルの被害 .....                 | 2-24 |
| 2.4.3 その他のトンネルの被害 .....               | 2-27 |
| 2.5 岩手・宮城内陸地震（平成 20 年） .....          | 2-28 |
| 2.5.1 地震の概要 .....                     | 2-28 |
| 2.5.2 新玉山トンネルの被害 .....                | 2-29 |
| 2.6 東北地方太平洋沖地震（平成 23 年） .....         | 2-32 |
| 2.6.1 地震の概要 .....                     | 2-32 |
| 2.6.2 道路トンネルの被害 .....                 | 2-33 |
| 3. 熊本地震（平成 28 年）における道路トンネルの主な被害 ..... | 3-1  |
| 3.1 地震の概要 .....                       | 3-1  |
| 3.2 俵山トンネルの被害 .....                   | 3-3  |
| 3.2.1 トンネルの概要 .....                   | 3-3  |
| 3.2.2 活断層からの距離 .....                  | 3-4  |
| 3.2.3 地震被害の状況 .....                   | 3-4  |
| 3.2.4 既往の点検結果との比較 .....               | 3-27 |

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| 3.2.5 復旧方法.....                       | 3-32 |
| 3.3 南阿蘇トンネルの被害.....                   | 3-38 |
| 3.3.1 トンネルの概要.....                    | 3-38 |
| 3.3.2 活断層からの距離.....                   | 3-39 |
| 3.3.3 地震被害の状況.....                    | 3-40 |
| 3.3.4 既往の点検結果との比較.....                | 3-46 |
| 3.3.5 復旧方法.....                       | 3-47 |
| 3.4 被害の軽微なトンネル.....                   | 3-48 |
| 3.5 熊本県内の直轄道路トンネル.....                | 3-51 |
| 3.5.1 検討対象としたトンネル.....                | 3-51 |
| 3.5.2 各トンネルの施工・点検記録の概要.....           | 3-53 |
| 3.5.3 施工・点検記録の集計結果.....               | 3-69 |
| 4. 地震による山岳トンネルの主な被害モード.....           | 4-1  |
| 5. 既知の活断層と既設トンネルの距離（九州地方のトンネルの例）..... | 5-1  |
| 5.1 検討の概要.....                        | 5-1  |
| 5.2 活断層の分類.....                       | 5-2  |
| 5.3 検討上の仮定.....                       | 5-5  |
| 5.4 活断層とトンネルの位置関係.....                | 5-6  |
| 6. 大規模な覆工コンクリート塊の落下対策に関する試算.....      | 6-1  |
| 6.1 試算の概要.....                        | 6-1  |
| 6.2 想定する覆工コンクリート塊の規模.....             | 6-2  |
| 6.3 検討対象とする対策.....                    | 6-4  |
| 6.4 鉄筋による支持.....                      | 6-5  |
| 6.5 繊維補強による支持.....                    | 6-8  |
| 6.6 ロックボルトによる支持.....                  | 6-9  |
| 6.7 繊維シートによる支持.....                   | 6-11 |
| 6.8 ネットによる支持.....                     | 6-13 |
| 7. 耐震対策の考え方.....                      | 7-1  |
| 7.1 新設トンネルにおける耐震対策の考え方.....           | 7-1  |
| 7.1.1 地震による影響を受けやすいと考えられる特殊条件の整理..... | 7-1  |
| 7.1.2 活断層に対する考え方.....                 | 7-2  |
| 7.1.3 耐震対策を実施する場合のトンネルの構造.....        | 7-3  |
| 7.1.4 新設トンネルにおいて耐震対策を行う場合の考え方.....    | 7-6  |
| 7.2 既設トンネルにおける耐震対策の考え方.....           | 7-7  |
| 7.2.1 耐震対策の方向性に関する整理.....             | 7-7  |
| 7.2.2 維持管理上の留意点.....                  | 7-8  |
| 7.2.3 既設トンネルにおいて耐震対策を行う場合の考え方.....    | 7-8  |
| 7.3 地震による被害を受けたトンネルにおける対策の考え方.....    | 7-10 |
| 7.3.1 地山の変状に対する考え方.....               | 7-10 |

|       |                                       |      |
|-------|---------------------------------------|------|
| 7.3.2 | 覆工の変状に対する考え方.....                     | 7-10 |
| 7.3.3 | 路面等の変状に対する考え方.....                    | 7-11 |
| 7.3.4 | 復旧を急ぐ場合の考え方.....                      | 7-11 |
| 7.3.5 | 地震による被害を受けたトンネルにおける対策工の選定に関する考え方..... | 7-12 |
| 8.    | おわりに.....                             | 8-1  |

謝辞



## 1. はじめに

山岳トンネルは、地震により構造に大きな損傷を受けるのは非常に限定的な条件であり、一般に地震に強い構造物とされてきた。一方、断層・破砕帯等の極端に地山の悪い箇所や不安定な斜面内、トンネル自体に既に変状が発生していた箇所、坑口部等では比較的地震被害を受けやすいことが知られているものの、その被害発生メカニズムについては不明確な部分が多く、経験的に、坑口部等において覆工に単鉄筋補強等の対策を行っているのが現状である。

しかしながら、2004年新潟県中越地震では、上述の条件に当てはまらない箇所においても、数は限られるものの比較的規模の大きな覆工の崩落を伴う被害を受けた山岳トンネルがあった。これは、地震の規模や地山条件、トンネルの構造等によっては、山岳トンネルにおいても地震による被害を受ける可能性があることを示唆している。このような被害を最小限にするための対策を合理的に実施するには、山岳トンネルの地震時における被害発生メカニズムや対策が必要となるトンネルの条件を明らかにし、効果的な耐震対策の選定手法を確立する必要がある。

このような状況を踏まえ、土木研究所においては、山岳トンネルにおける耐震対策の選定手法に関する研究を実施してきた。本報告書は、その研究成果をとりまとめ、過去の道路トンネルにおける地震被害を概括するとともに、今後の耐震対策の考え方について、方向性を論ずるものである。なお、研究成果をとりまとめる段階において、平成28年4月に熊本地震により道路トンネルにおいて覆工の崩落をとまなう被害が発生し、被害発生メカニズムや対策の考え方等について新たな技術的な知見も得られたため、それらを加筆してとりまとめたものである。

本報告書の構成を概述すると以下のとおりである。

第2章では、道路トンネルにおける近年の主な地震被害について概説する。

第3章では、熊本地震における道路トンネルの主な被害を記載するとともに、熊本県内の道路トンネルのうち被害の無かったトンネルをいくつか取り上げ、施工や点検の記録等について記載する。

第4章では、第2章および第3章で示した地震被害の事例から想定される山岳トンネルの主な被害モードに関して検討した結果について記載する。

第5章では、既知の活断層と既設の道路トンネルの位置関係について、九州地方の道路トンネルを例に取り、検討した結果について記載する。

第6章では、地震により大きな覆工コンクリート塊が落下する場合を想定し、考えられる対策工の効果について検討した結果について記載する。

第7章では、上記の事例の分析や検討の結果を踏まえ、新設トンネルおよび既設トンネルにおいて耐震対策を行う場合の考え方案を示すとともに、地震によりトンネルが被害を受けた場合の復旧方法の考え方案について記載する。

第8章では、これらの研究成果についてとりまとめて記載する。

今後、山岳トンネルで耐震対策を検討する場合の参考として、本報告書が有効に活用されることを期待する。

## 2. 道路トンネルにおける近年の主な地震被害

### 2.1 能登半島沖地震（平成5年）

#### 2.1.1 地震の概要

能登半島沖地震は、平成5年（1993年）2月7日22時27分に石川県能登半島沖で発生した、マグニチュード6.6、深さ約25kmの地震であった。この地震により、石川県輪島市で震度5、金沢市などで震度4を観測した<sup>21.1)</sup>（図2.1.1）。



(Google Map に加筆)

図 2.1.1 能登半島沖地震の位置関係

#### 2.1.2 木の浦トンネルの被害

##### (1) トンネルの概要

木の浦トンネル<sup>21.2)</sup>は、昭和40年に完成した延長約76m、幅約6mの道路トンネルである。このトンネルは、建設当時には一部で鋼アーチ支保工が使用され始めていたものの、木製支保工を用いて施工されており、地震発生前に漏水箇所へ導水工施工などによる漏水対策が実施されていた。

## (2) 被害の概要

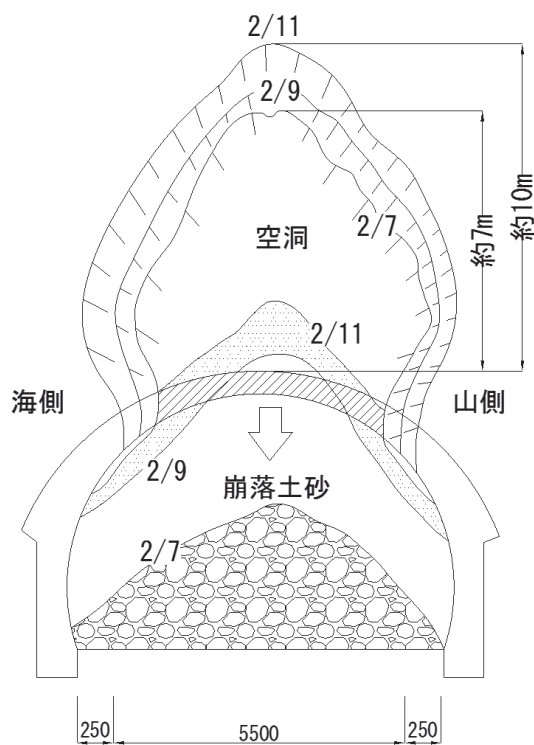
トンネルの被害状況は図 2.1.2 に示すとおりであり、坑口から 21m 付近で延長 4.5m、幅 4.5m にわたって破損し、アーチ部直上の地山に高さ約 7m の空洞が発生した。さらに、その後の余震で、さらに崩落が進み、2月9日時点で坑内はほぼ完全に閉塞された。

## (3) 被害要因の推定

このトンネルの周辺の地質は、第三紀の細粒～中粒の凝灰岩と泥岩の互層であった。崩落土砂は、細粒凝灰岩と泥岩を主体とし、ハンマーで突き刺さる程度に軟質な部分も多く、節理も発達していた。節理面は、多くが茶褐色に変色しており、一部では風化が進み粘土化・鏡肌となっていた。

トンネルの被害要因は、地震後の調査結果や過去の事例を踏まえ、以下のように推定された<sup>2)12)</sup>。

- ① 地山は、軟質な凝灰岩・泥岩の互層で節理も発達しており、緩みやすい状況である。
- ② トンネル周辺地山の緩みは、長期間にわたる風化作用や地下水の影響による地山劣化とともに増大し、覆工背面や地山内部に空隙も発生していた。
- ③ 地山は、地震により地山内の新たな開口崩壊部や軟質部で縁切れを生じ、さらに緩みが増大した。
- ④ この結果、二次覆工へ衝撃的に大きな地圧・偏圧が作用し、覆工アーチ部破損とアーチ部直上地山の崩落に至った。



(文献<sup>2)12)</sup>を参考に作成)

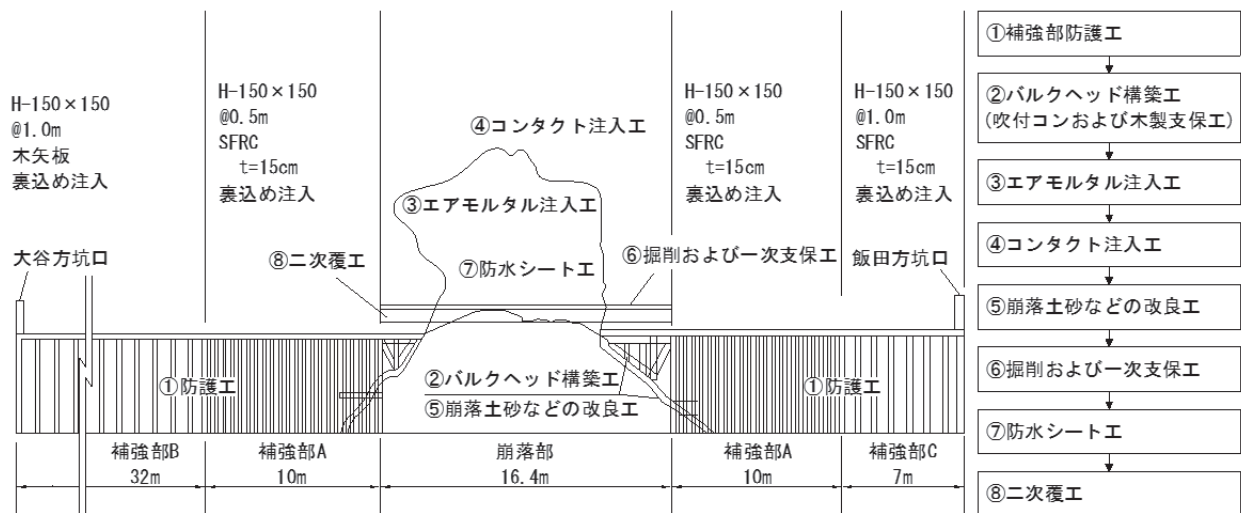
図 2.1.2 木の浦トンネルの崩落状況断面図

#### (4) 復旧の方法

復旧は、以下の考え方にに基づき実施された<sup>2.13)</sup>。

- ① 木の浦トンネルは、地元の生活道路であるとともに、奥能登観光道路の一部でもある。したがって、復旧工法は工費が安価で、観光シーズンを目前に控えていることから工期が短いことが求められる。
- ② アーチ部崩落区間以外でも地震の影響により地山の緩みが増大しており、被害を受けた既設覆工では十分な耐荷力が期待できない。したがって、トンネル全長を復旧対象区間とする。

復旧の施工順序図を図 2.1.3 に示す。この復旧工事終了後に交通安全対策が実施され、一車線交互通行で観光シーズン中の仮供用が行われた。また補強部は、観光シーズン終了後に崩落部と同様の工法で復旧工事が実施された。



(文献<sup>2.1.2)</sup>を参考に作成)

図 2.1.3 木の浦トンネル復旧工事手順図

#### 参考文献

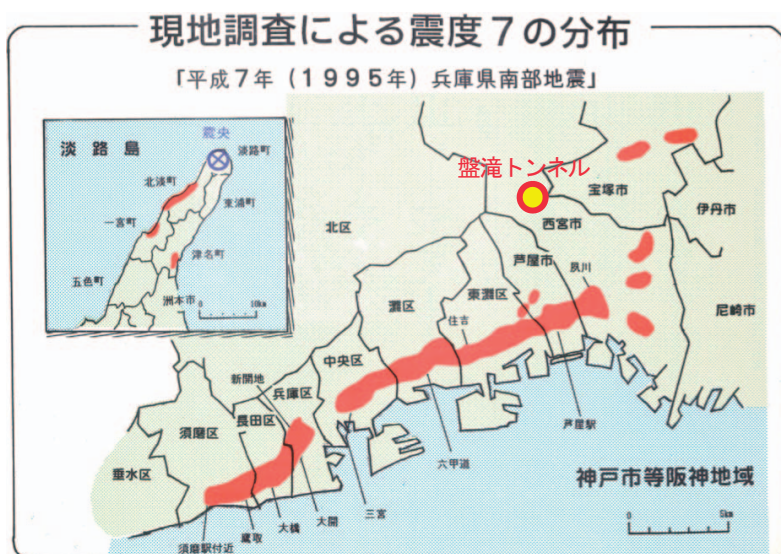
- 2.1.1) 地震津波監視課，地震予知情報課，金沢地方気象台：1993年2月7日能登半島沖の地震調査報告，験震時報，第58巻，pp.97-114，1995.
- 2.1.2) 国田雅人，竹俣隆一，役田徹：能登半島沖地震による被災トンネルを復旧，大谷狼煙飯田線 木の浦トンネル，トンネルと地下，第24巻，第11号，pp.7-13，1993年11月.
- 2.1.3) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）平成18年度改訂版，pp.347-354，2007年3月.



## 2.2 兵庫県南部地震（平成7年）

### 2.2.1 地震の概要

兵庫県南部地震は、平成7年（1995年）1月17日5時46分に、淡路島北部、深さ16kmを震源とするマグニチュード7.3の地震であった。この地震により、神戸と洲本で震度6を観測したほか、東北地方南部から九州地方にかけての広い範囲で有感地震となった。さらに、気象庁の地震機動観測班の現地調査によって、神戸市や淡路島の一部地域では震度7に相当する揺れが発生していた（図2.2.1）ことが判明した<sup>221)</sup>。



（データ出典：気象庁ウェブサイト（[http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995\\_01\\_17\\_hyogonambu/data.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995_01_17_hyogonambu/data.html)）に加筆）

図 2.2.1 兵庫県南部地震における震度7の分布図

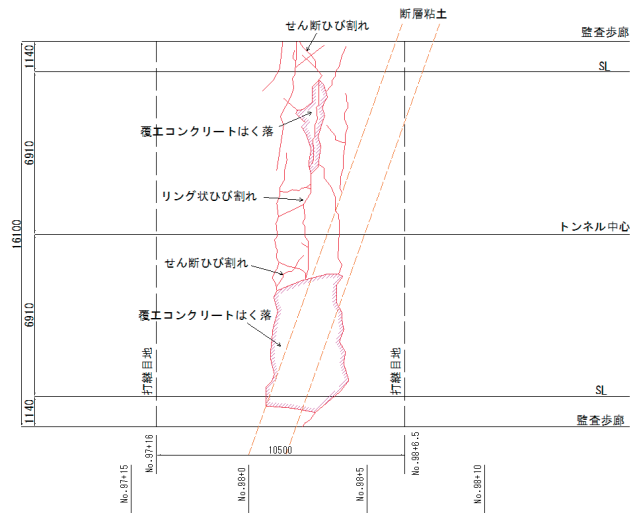
### 2.2.2 盤滝トンネルの被害

#### (1) トンネルの概要

西宮北有料道路盤滝トンネルは、NATMにより平成3年に完成した、全長1,766mの2車線道路トンネルである<sup>222)</sup>。地質は六甲花崗岩からなり、五助橋断層より派生した断層が数本横切っている。これらの断層では、施工時に切羽の押出しがあり、鏡吹付けコンクリートおよびウレタン注入、水抜きボーリング、あるいは注入式フォアパイリングを併用した経緯を持つ<sup>223)</sup>。

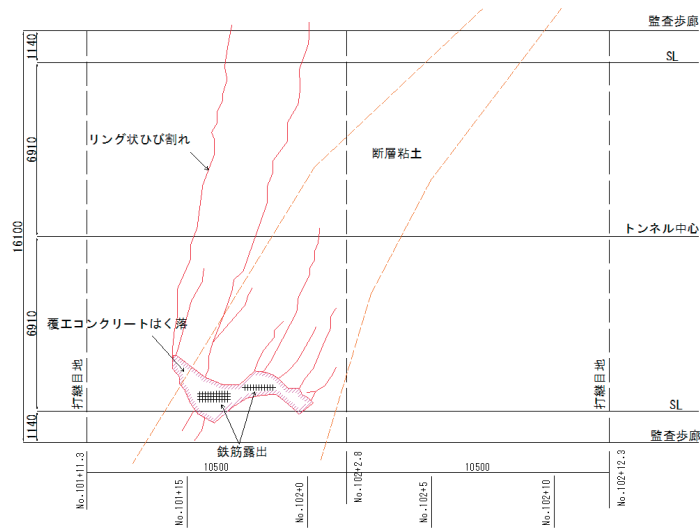
#### (2) 被害の概要

盤滝トンネルにおいては、トンネル中央付近の、施工時に断層粘土に遭遇した箇所において、アーチ天端から側壁にかけて、覆工コンクリート（インバート無し、無筋）が幅3m、高さ7mにわたって崩落した（写真2.2.1、図2.2.2）。また、そこから約80m離れた地点において、やはり断層粘土部で側壁部覆工（インバート有り、有筋）が圧壊し、鉄筋が座屈した（図2.2.3）<sup>223)</sup>。また、舗装コンクリートが施工目地を中心に最大12cm程度浮きあがった<sup>224)</sup>。



(文献<sup>223</sup>)を参考に作成)

写真 2.2.1 盤滝トンネルにおける覆工の破壊(その1)<sup>225)</sup> 図 2.2.2 盤滝トンネルにおける覆工の破壊(その1)



(文献<sup>223</sup>)を参考に作成)

図 2.2.3 盤滝トンネルにおける覆工の破壊(その2)

### (3) 被害要因の推定

被害要因は、トンネル施工時の地質状況と経緯から、次のように推定された<sup>223)</sup>。

- ① 変状箇所と断層・破砕帯の位置が完全に一致していることから、断層に沿う地震動の影響により変状が引き起こされた。
- ② 地質的に弱層である断層・破砕帯での変位は健全な部分に比べて大きくなることから、地震により変位量の差異が生じた。
- ③ 被害箇所の土被りは約 250 m であり、トンネルの変位は地中構造物の特性により地盤の変形モードに支配されることから、上下方向の地震動が作用したと想定され、トンネル側壁部分の地盤に大きなせん断ひずみが生じ、これに起因して覆工コンクリートの変状（はく離）が生じたものと考えられる。
- ④ 地盤に応じた水平方向のせん断変形により、肩部では圧縮と引張が繰り返し作用し大きな応力が発生する。この影響も変状発生の一因と考えられる。
- ⑤ 覆工コンクリートに発生したせん断ひび割れ形状や路面の浮き上がり現象から、地震の初期段階においてはアーチ天端部およびインバート部では内空側に変形し、側壁から肩部では地山側に変形したと考えられる。しかし、側壁部は地山に拘束され変形が制限されるため、瞬間的に大きな荷重がかかり、せん断ひび割れや変状（はく離）に繋がったと考えられる。

なお、国土地理院の「都市圏活断層図」に記載されている活断層（有馬－高槻断層帯）と盤滝トンネルの位置関係を図示すると図 2.2.4 のとおりであり、両者の平面図上の離隔はおよそ 0.5～2km である。



(国土地理院「都市圏活断層図」に加筆)

図 2.2.4 盤滝トンネルと既知の活断層の平面離隔



#### (4) 復旧の方法

これらの被害箇所は、吹付けコンクリート、覆工コンクリート、舗装コンクリートの撤去後、フォアポーリング（自穿孔式、ウレタン注入）、吹付けコンクリート（10～25 cm 厚）、鋼アーチ支保工（10 基）、ロックボルト（長さ 3m×196 本、長さ 4m×48 本：自穿孔式）によって補修され、金網を入れて覆工コンクリートの改築が行われた<sup>223)</sup>。

アーチ部の復旧に関しては、被害箇所が建設時にウレタン注入による補助工法を実施した箇所でもあることから、縫返し時の地山のゆるみを極力抑えるためにウレタン注入により地山が改良され、図 2.2.5 に示すフローに従い作業が行われた。なお、覆工コンクリート（鉄筋補強）の打設については、バラセントルにより実施された。

インバート部分の復旧に関しては、インバート部分に一部ひび割れが生じたものの、円周方向のひび割れであることからインバート自体は機能するものと考え、トンネル構造の長期安定性確保の観点よりインバートコンクリートと地山をロックボルトで縫う補強工が実施された。さらに、路盤については、早期復旧の観点から早強コンクリートによる置き換えコンクリートを打設し、コンクリート舗装についても一部ジェットコンクリートが使用された。

覆工コンクリートに発生したせん断ひび割れ、および円周方向のひび割れについては、樹脂注入により耐力アップを図ることとし、アーチ部ならびにインバート部の復旧作業と並行して、導水工法（V カット工法）によるエポキシ樹脂注入が行われた。

なお、盤滝トンネルは、地震後、平成 7 年 3 月 1 日に全面開通した<sup>226)</sup>。

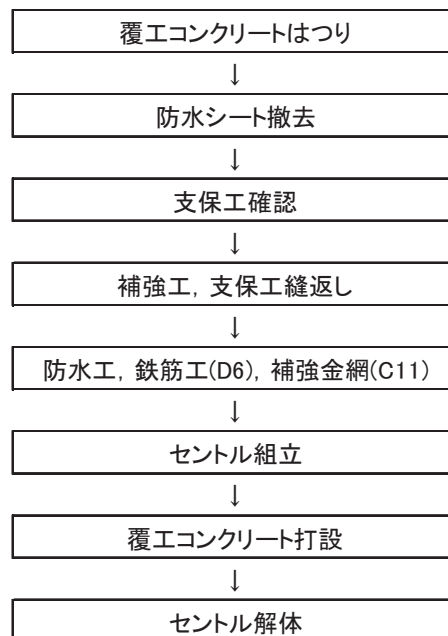


図 2.2.5 盤滝トンネルアーチ部の復旧工事の施工フロー<sup>223)</sup>

## 参考文献

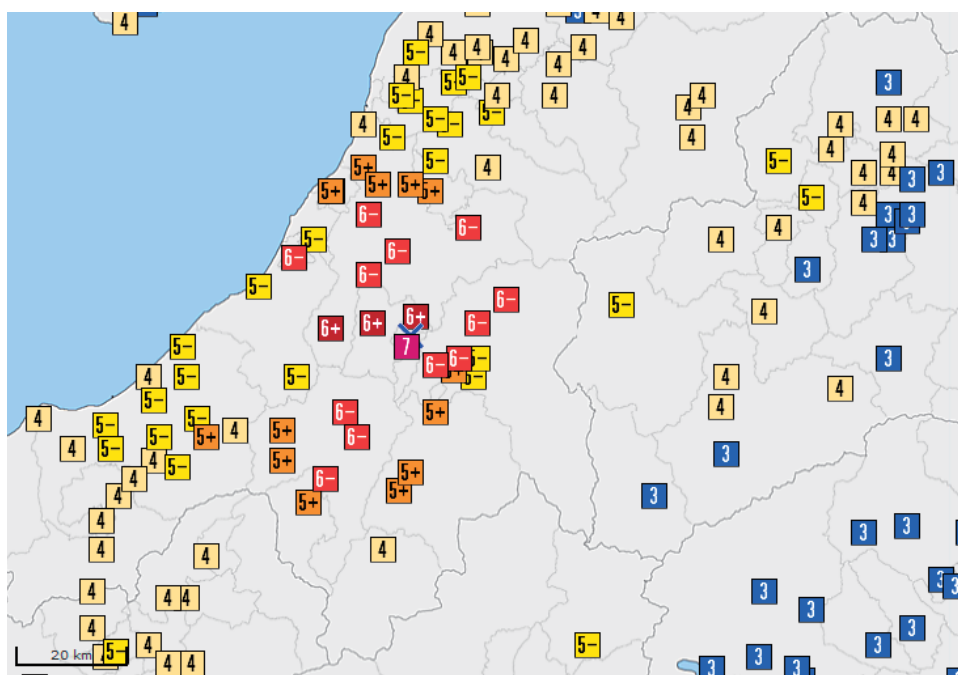
- 2.2.1) 気象庁：「阪神・淡路大震災から20年」特設サイト，[http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995\\_01\\_17\\_hyogonanbu/index.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995_01_17_hyogonanbu/index.html)
- 2.2.2) 神戸大学工学部：兵庫県南部地震緊急被害調査報告書（第2報），pp.106-107，1995年3月.
- 2.2.3) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）平成18年度改訂版，pp.359-364，2007年3月.
- 2.2.4) 土木学会：阪神・淡路大震災調査報告，土木構造物の応急復旧，補修，補強，第2章トンネル・地下構造物，pp.589-591，1999年11月.
- 2.2.5) 小山幸則，朝倉俊弘，佐藤豊：兵庫県南部地震による山岳トンネルの被害と復旧，トンネルと地下，第27巻，第3号，pp.51-61，1996年3月.
- 2.2.6) 西宮市：阪神・淡路大震災～震災の記憶 あの日を忘れないために～，西宮市デジタルライブラリー，[http://www.nishi.or.jp/homepage/digital\\_library/shinsai/cts002.html](http://www.nishi.or.jp/homepage/digital_library/shinsai/cts002.html).

## 2.3 新潟県中越地震（平成 16 年）

### 2.3.1 地震の概要

新潟県中越地震は、平成 16 年（2004 年）10 月 23 日 17 時 56 分に新潟県中越地方で発生した、マグニチュード 6.8、深さ 13 km の地震であった。この地震により、新潟県の川口町で震度 7、小千谷市、山古志村、小国町で震度 6 強を観測（図 2.3.1）するとともに、直後 1 時間以内に震度 6 強の余震が 2 回発生するなど活発な余震活動があった<sup>231)</sup>。

この地震により被害が発生した国道・県道の道路トンネルは、表 2.3.1 に示す 21 トンネルで、主として覆工コンクリートのひび割れおよびそれにとまなう覆工コンクリートのはく落または崩落、側壁部の押し出し、路面の隆起、側溝の変状などとなっている<sup>232)</sup>。これらのうち、大規模な補強が必要と判断されたトンネル（表 2.3.1 において被害程度 A1 とされたトンネル）の位置関係は図 2.3.2 のとおりである。



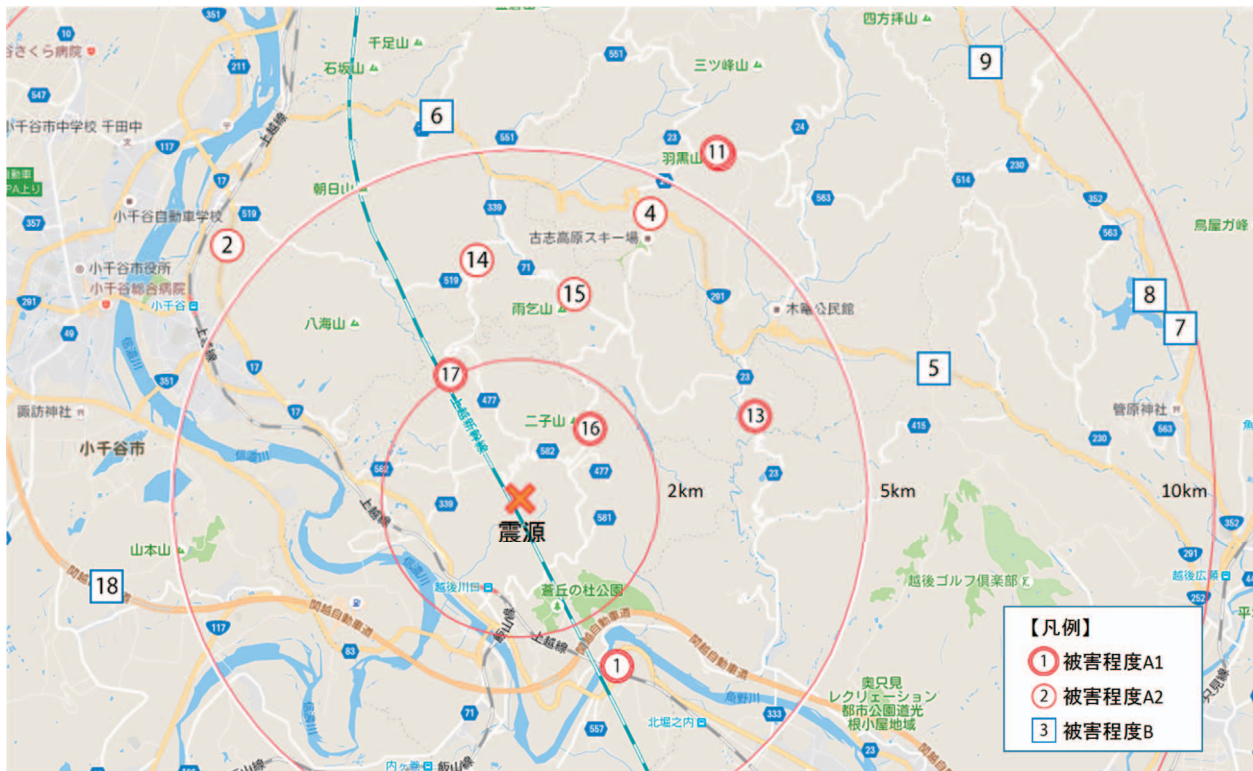
（データ出典：気象庁ウェブサイト（<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>））

図 2.3.1 新潟県中越地震の震度分布図

表 2.3.1 新潟県中越地震において被害が発生した道路トンネルの概要<sup>2,3,2)</sup>

| No. | 被害程度 | トンネル名   | 路線名           | 竣工(年) | 断面規模 | 延長(m)   | 土かぶり(m) |     | 覆工(巻厚:cm) | 幅(m)  | 高さ(m) | 施工法  | 地質               | 主な被害状況   |
|-----|------|---------|---------------|-------|------|---------|---------|-----|-----------|-------|-------|------|------------------|--|
|     |      |         |               |       |      |         | 最大      | 代表  |           |       |       |      |                  |  |
| 1   | A1   | 和南津     | 国道17号         | 1965  | 2車線  | 300     | 40      | 40  | C(50~90)  | 9.00  | 4.60  | 矢板   | 新第三紀鮮世和南津層砂岩     | 覆工コンクリート(天端部分)の一部崩落, 覆工コンクリート剥落・ひび割れ, 覆工コンクリート(側壁部)のほらみだし, 側溝の変状       |
| 2   | A2   | 小千谷第2   | 国道17号         | 1983  | 2車線  | 1,088   | 62      |     | C(60)     | 9.50  | 4.80  | 矢板   | 新第三紀鮮世和南津層砂岩     | 覆工コンクリート(側壁部)に縦断方向ひび割れ, 横断目地付近で覆工コンクリート片剥離                             |
| 3   | B    | 山中      | 国道252号        | 1972  | 2車線  | 1,307   | 200     | 100 | C(60~75)  | 6.50  | 4.50  | 矢板   | 砂岩, 泥岩           | アーチ部に縦断方向ひび割れ  |
| 4   | A2   | 竹沢      | 国道291号        | 1965  | 2車線  | 18.2    | 6       | 6   | C         | 6.00  | 4.50  | 矢板   |                  | 側壁・アーチ部に貫通ひび割れ, 路盤にひび割れ  |
| 5   | B    | 中山      | 国道291号        | 1998  | 2車線  | 913     | 120     | 100 | C(30~35)  | 8.50  | 4.70  | NATM | 砂岩, 泥岩           | 横断目地付近でコンクリート剥離  |
| 6   | B    | 東山      | 国道291号        | 1987  | 2車線  | 220     | 35      | 25  | C         | 7.00  | 4.70  | 矢板   |                  | アーチ部施工目地に開き  |
| 7   | B    | 小平尾     | 国道352号        | 1991  | 2車線  | 390     | 90      | 45  | C         | 9.25  | 4.70  | NATM |                  | 全周に輪切りひび割れ, 目地に圧縮剥離, 路肩側溝と車道にあき  |
| 8   | B    | 折中      | 国道352号        | 1994  | 2車線  | 374     | 60      | 50  | C         | 9.25  | 4.70  | NATM |                  | 側壁, アーチ部にひび割れ  |
| 9   | B    | 城山      | 国道352号        | 1997  | 2車線  | 128     |         |     | C         | 7.00  | 4.70  | NATM |                  | 側壁の縦断方向にひび割れ   |
| 10  | B    | 洪海      | 国道403号        | 1995  | 2車線  | 860     |         |     | C         | 6.00  | 4.70  | NATM |                  | アーチ肩部の目地にコンクリート剥離  |
| 11  | A1   | 羽黒(車道)  | 主要地方道柏崎高浜堀之内線 | 1967  | 1車線  | 506     | 100     | 50  | C(45)     | 5.50  | 5.20  | 矢板   |                  | アーチ天端に圧ぎ, 歩道路盤の浮き上がり, アーチ部・側壁部に貫通したひび割れ                                |
| 12  | A2   | 羽黒(歩道)  | 主要地方道柏崎高浜堀之内線 | 1994  | 歩道   | 550     | 100     | 50  | C(30)     | 2.20  | 2.85  | NATM |                  | NATM区間(136m)に被害報告なし, 素掘り区間の吹付けコンクリート剥落                                 |
| 13  | A1   | 十二平     | 主要地方道柏崎高浜堀之内線 | 1986  | 2車線  | 210     | 40      | 35  | C(60~80)  | 8.70  | 4.70  | 矢板   |                  | アーチ肩部の圧ぎ, 壁ぶくれ   |
| 14  | A2   | 蘭木      | 主要地方道小千谷川口大和線 | 1989  | 2車線  | 590     | 180     | 100 | C(60)     | 6.00  | 4.70  | 矢板   |                  | アーチ肩部に縦断方向ひび割れ, 歩道の隆起  |
| 15  | A2   | 塩谷      | 主要地方道小千谷川口大和線 | 1983  | 2車線  | 512.5   | 110     | 50  | C(50~60)  | 7.50  | 5.85  | 矢板   |                  | アーチ天端に縦断方向ひび割れ, アーチ部全周に輪切りひび割れ   |
| 16  | A1   | 木沢      | 主要地方道小千谷川口大和線 | 1991  | 2車線  | 305     | 30      | 25  | C(30~70)  | 9.00  | 4.70  | NATM |                  | 側壁に押し出し変形, 側壁・アーチ肩部に圧ぎ, トンネル軸方向に伸び, 覆工・路盤の目地に開き                        |
| 17  | A1   | 荒谷      | 一般県道小栗山川口線    | 1977  | 2車線  | 292     | 45      | 20  | C(60)     | 7.60  | 5.64  | 矢板   |                  | 側壁・アーチ肩部に水平に圧ぎ, アーチ部に斜めひび割れ, 側壁に押し出しによるせん断ひび割れ, 歩道路盤の浮き上がり, 車道路盤の開き・段差 |
| 18  | B    | 山本山(上り) | 関越自動車道        | 1981  | 2車線  | 1,838.5 | 140     | 50  | C(60~70)  | 10.20 | 7.50  | 矢板   | 魚沼層群~泥岩砂岩, 礫岩の互層 | ひび割れ   |
| 19  | B    | 沖見峠     | 一般県道礼拝長岡線     | 2000  | 2車線  | 1,080   |         |     | C         | 8.50  | 4.70  | NATM |                  | 側壁部に縦断方向ひび割れ   |
| 20  | B    | 武石      | 国道291号        | 1986  | 2車線  | 831     | 140     | 100 | C(50~60)  | 7.00  | 7.74  | 矢板   | 砂岩, 泥岩           | 側壁に縦亀裂   |
| 21  | B    | 栃尾      | 一般県道栃尾田井線     | 2001  | 2車線  | 854     |         |     | C(30~50)  | 10.25 | 4.70  | NATM | 新第三紀西山層          | 継ぎ目から漏水  |

被害程度 A1: 大規模な補強・補修を必要とするもの A2: A1以外で補強・補修を必要とするもの B: 補強・補修を必要としない軽微なもの  
 覆工 C: コンクリート



地図データ©2016 Google, ZENRIN

(注) No. 3, 10, 19, 20, 21は欄外

(Google Map に加筆)

図 2.3.2 新潟県中越地震において比較的規模の大きな被害が発生した道路トンネルの位置

## 2.3.2 和南津トンネルの被害

### (1) トンネルの概要

国道17号和南津トンネルは、矢板工法により建設された延長300m、全幅9mの2車線道路トンネルで、昭和40年に竣工した。掘削工法としては底設導坑先進上部半断面工法が採用され、覆工厚は500~900mmである。トンネル周辺の地質はシルト質砂岩により構成されており、トンネルは最大土被り40m程度の段丘地形を通過している<sup>23)</sup>。

### (2) 被害の概要

地震により発生した変状の展開図は図2.3.3のとおりであり、比較的規模の大きな被害としては、終点側(長岡側)坑口から90~107m区間(インバート無し)において、天端部において幅約2~6mの覆工コンクリート塊が崩落した(図2.3.4)。また、終点側坑口から10~30m区間(インバート有り)において、覆工のアーチ部と側壁部の打継目付近で圧縮破壊によるコンクリートのはく落が発生した(図2.3.5)。

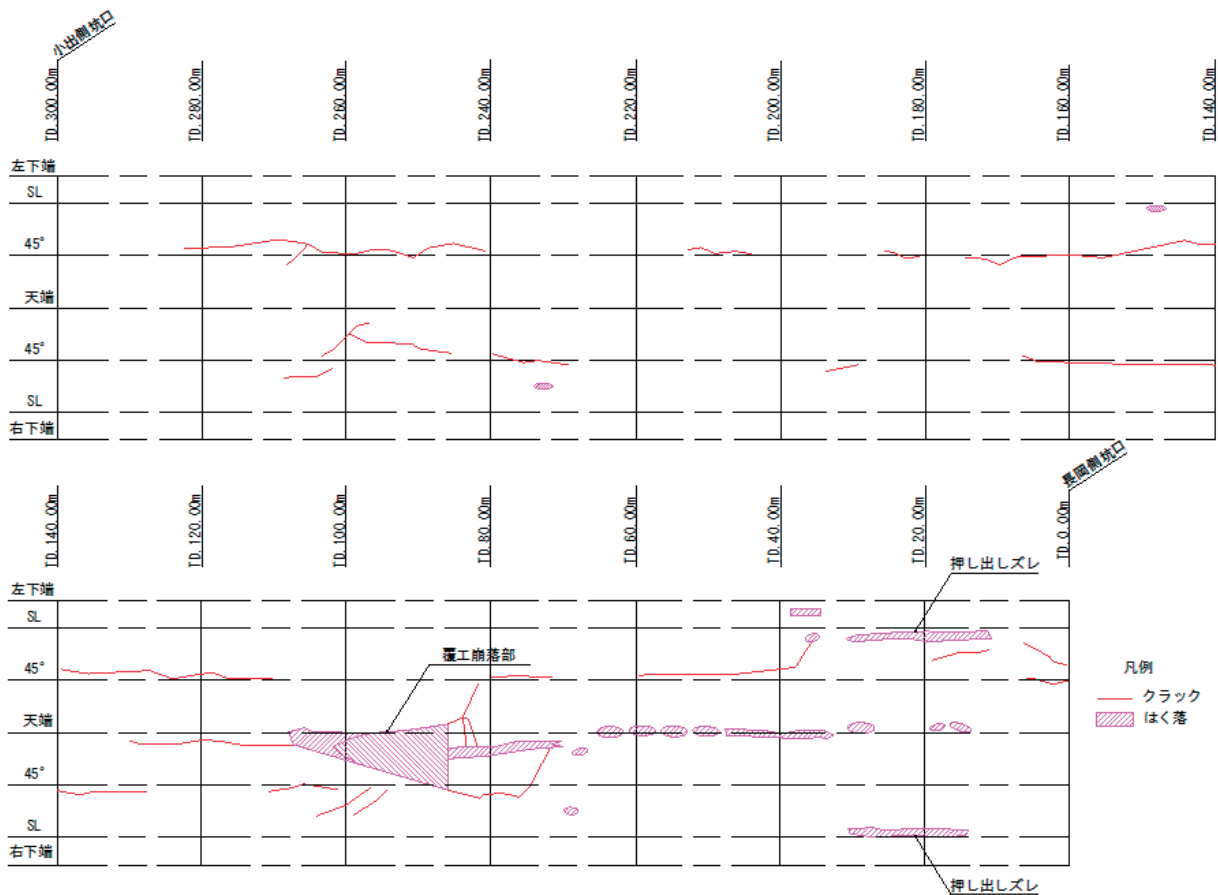
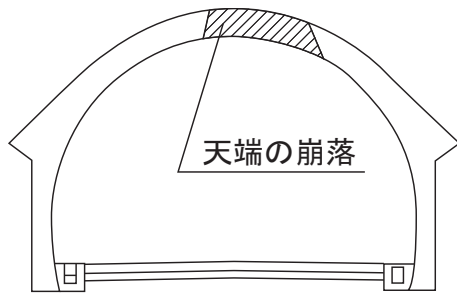


図 2.3.3 和南津トンネル変状展開図





(写真出典：国土交通省北陸地方整備局道路部)

図 2.3.4 和南津トンネル長岡側坑口から 100m 付近の被害の状況

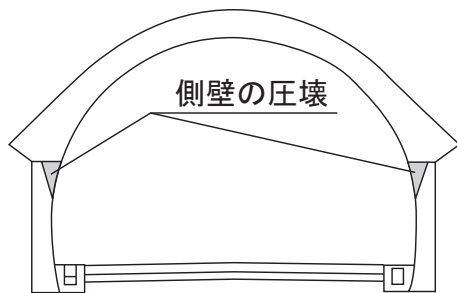


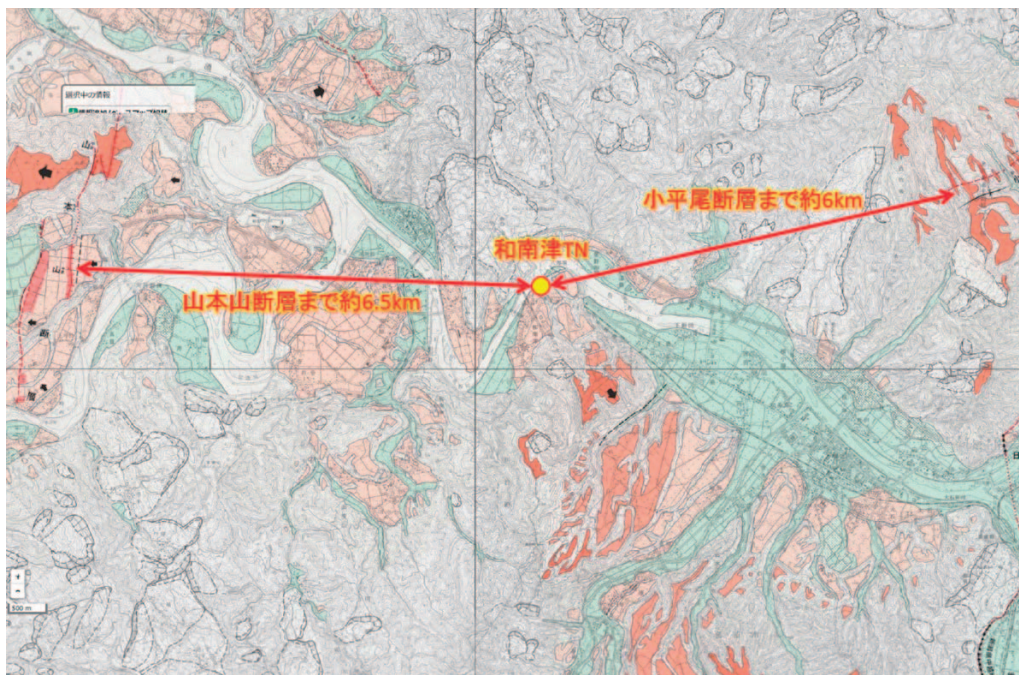
図 2.3.5 和南津トンネル長岡側坑口から 20m 付近の被害の状況

### (3) 被害要因の推定

和南津トンネルの被害要因は、トンネル施工時の地質状況と経緯から、次のように推定された<sup>233)</sup>。

- ① 地震にともなって、トンネル横断方向では、山側からの押し出しが卓越する形でトンネル覆工が変形した。
- ② トンネル縦断方向では、側壁の押し出し量は均一ではなく、終点側坑口から 10～40m 付近や、70～100m 区間で、山側側壁がより大きく押し出される形でトンネルが変形し、トンネル覆工が局所的な力を受けた。
- ③ 覆工コンクリートが崩落した終点側坑口から 86～107m の区間は、地表部で確認されたリニアメント（線状構造）による何らかの影響に加え、極めて強い地震力によりトンネルおよび地盤の変形がとくに大きかった。
- ④ 結果的に終点側坑口より 0～100m 付近までが、覆工コンクリートにひび割れが卓越し、また 86～107m 区間で、覆工コンクリートに複数のひび割れが生じ、覆工コンクリートがブロック状に落下した。

なお、国土地理院の「都市圏活断層図」に記載されている活断層と和南津トンネルの位置関係を図示すると図 2.3.6 のとおりであり、両者の平面図上の離隔はおよそ 6～7km である。



(国土地理院「都市圏活断層図」に加筆)

図 2.3.6 和南津トンネルと既知の活断層の平面離隔

#### (4) 復旧の方法

和南津トンネルの復旧工法は、一刻も早い通行の確保が求められたことから、震災復旧は応急対策と本復旧対策の2段階に分けて実施された<sup>233)</sup>。

応急対策としては、終点側坑口から約120mまでの天端に圧さなどが発生した区間において、覆工が崩落した箇所をコンクリートで充填した後、覆工の内側に鋼アーチ支保工(H-200)を0.75~1m間隔で建込むとともに、鋼アーチ支保工間を吹付けコンクリートで充填し、トンネルの安全性を確保した(図2.3.7)。これらの対策により、平成16年11月2日に片側交互通行が開始された。なお、坑内作業と併せて、車両防護用のプロテクターが製作された。

本復旧対策としては、応急対策として鋼アーチ支保工と吹付けコンクリートを施工した終点側坑口から120mの区間において、プロテクターを設置した。プロテクターの設置が終わった箇所から、防水シートを設置した後、内側に最小巻厚150mmのコンクリートが巻き立てられた。また、変状が発生した側溝や坑門は作り直された。これらの対策により、地震発生からほぼ2ヶ月後の平成16年12月26日に2車線による開通が果たされた。

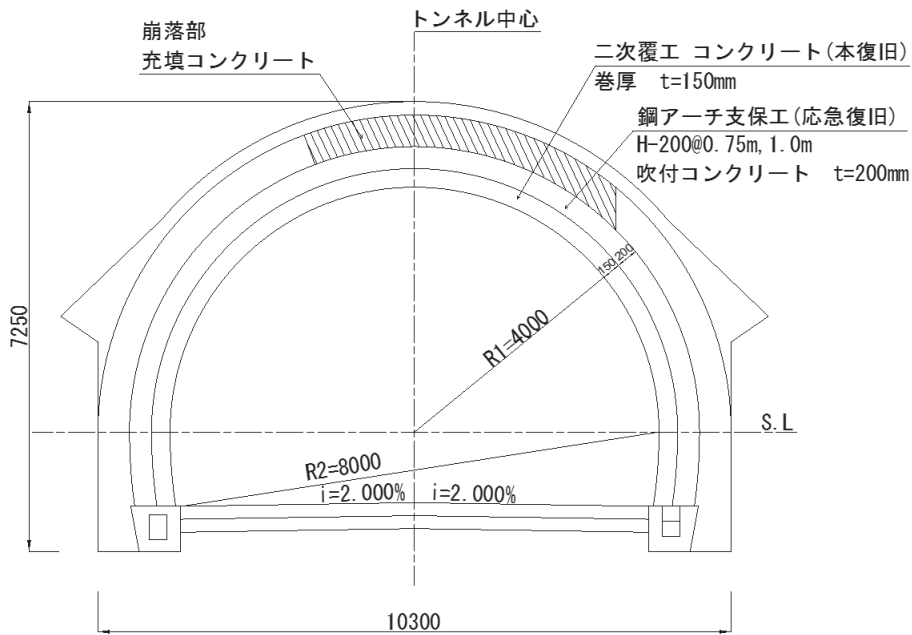


図 2.3.7 和南津トンネルの復旧方法

### 2.3.3 木沢トンネルの被害

#### (1) トンネルの概要

県道 71 号線木沢トンネルは、延長 305 m、全幅 9.0 m の道路トンネルで、平成 3 年に竣工した。施工方法は NATM、掘削工法は上半先進ベンチカット工法で、補助工法としてフォアポーリング ( $L=2$  m) をほぼ全線にわたり施工している。明かり巻きを除く区間の覆工厚は、アーチ部で 30~35 cm、側壁で 45~50 cm であり、インバートは厚さ 50 cm で全線にわたり施工されている。トンネルの土被りは、大半の区間で 30 m 弱程度である<sup>232)</sup>。

#### (2) 被害の概要

木沢トンネルの変状展開図は図 2.3.8 のとおりであり、変状形態は以下 3 パターンに大別されている<sup>232)</sup>。

起点側坑口から 30~80 m の区間は、もっとも変状をきたした区間で、側壁からアーチ部にかけて山側と谷側の両側に大規模な連続したひび割れが発生した。また、ひび割れの上部の半断面が谷側に変位し、山側側壁部では大きな落が生じ、トンネルが破壊した状態であった(写真 2.3.1)。大規模なひび割れのほかにも、アーチ部や側壁部に縦断方向および横断方向の多くのひび割れが発生したほか、舗装目地が開口し、最大 150 mm に及ぶものもあった。

起点側坑口から 80~240 m の区間では、横断方向のひび割れが多数発生した。

起点側坑口から 240~305 m (終点側坑口部) は、横断方向のひび割れは少なく、アーチ部や側壁部に縦断方向の連続したひび割れが発生した。



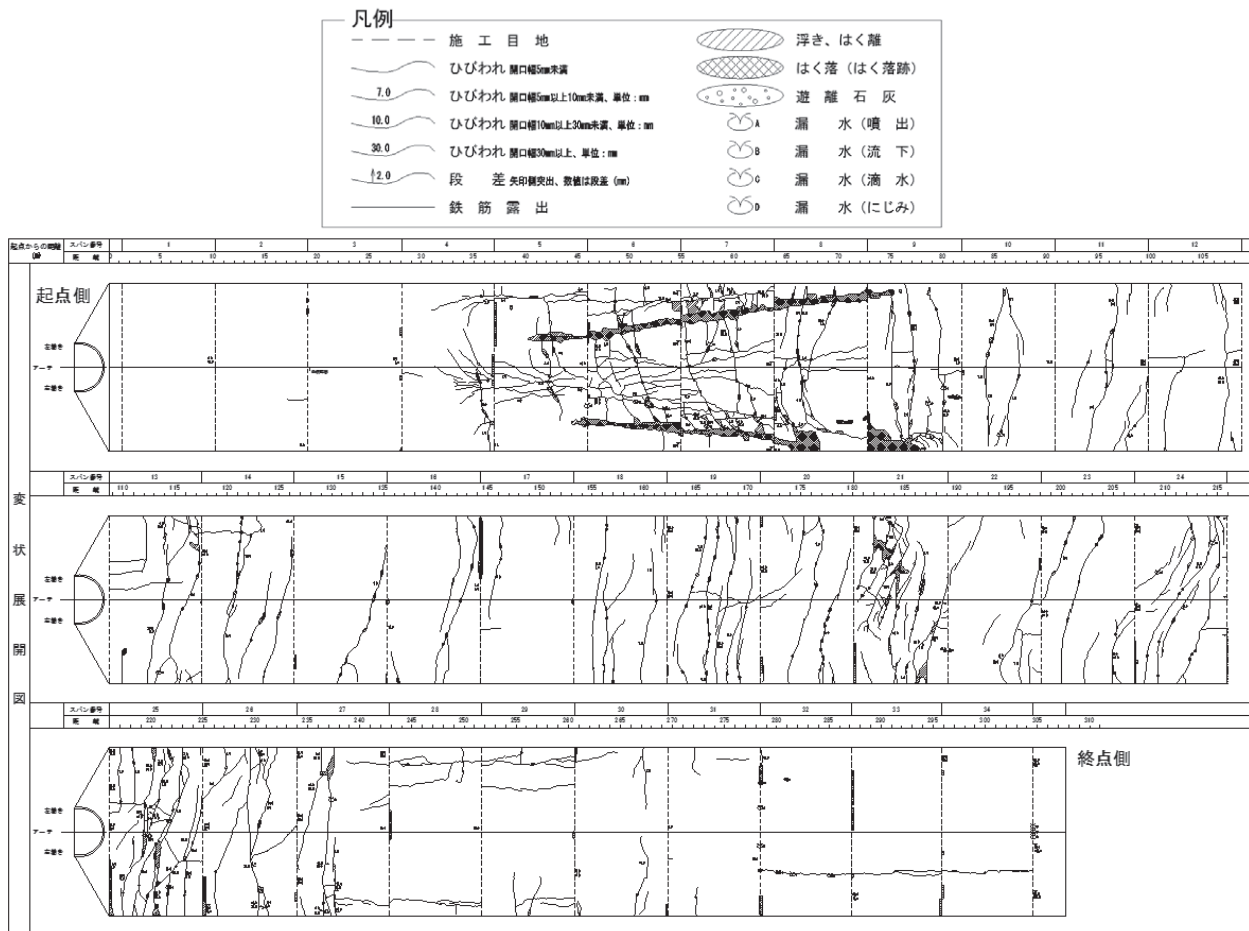


図 2.3.8 木沢トンネルの変状展開図



写真 2.3.1 木沢トンネルの変状 (起点側坑口から 30~80 m)

### (3) 被害要因の推定

木沢トンネルの被害要因は、トンネル施工時の地質状況と経緯から、次のように推定された。

- ・ 覆工の損傷が激しい起点側坑口から 30～80m の大規模ひび割れ区間については、縫い返し工事の際に、露出した地山を目視観察するとともに採取したコアの一軸圧縮試験を行った。その結果、剛性の大きく異なる地質の境界面にトンネルが位置しており、この境界面は縦断的に南側（写真 2.3.1 では手前方向）へ緩やかに傾斜しており、覆工のひび割れはそれにほぼ平行して発生していることが分かった。このような地山条件をモデル化し、水平方向の慣性力を作用させた静的数値解析を行ったところ、トンネルの変状状態を概ね再現できたこと<sup>234)</sup>から、木沢トンネルにおいては、剛性が大きく変化する地質の境界面にトンネルが位置し、地震により境界面付近で大きな地山の変形が生じたこととともない覆工に変状が発生したと考えられる。

### (4) 復旧の方法

地震直後は覆工コンクリートの崩落の危険があることから、全面通行止めにしたが、迂回路も通行不能となり、孤立状態になる箇所ができたことから、応急工事として写真 2.3.2 に示すようにトンネル内にプロテクターを設置して 1 車線の通行を確保した<sup>235)</sup>。

復旧工事においては、覆工の損傷が激しい起点側坑口から 30～80m の大規模ひび割れ区間については、崩落防止対策としてソイルセメント等によりトンネルを一度埋め戻し、縫返しによって覆工背面の状態を確認したうえで、トンネル改築工を行った<sup>235)</sup>。また、覆工自体は安定しているが、ひび割れが集中したはく落の危険のある面積の広い箇所には、内面補強工として建築限界を確保でき経済的なセメント系繊維補強材内巻き工を採用し、そのほかのはく落危険箇所にははく落防止対策として炭素繊維シートを用いた成型版接着工を施工することとした<sup>232)</sup>。



写真 2.3.2 木沢トンネルにおけるプロテクター

## 2.3.4 荒谷トンネルの被害

### (1) トンネルの概要

荒谷トンネルは、延長292m、全幅7.6mの道路トンネルで、昭和52年に竣工した。施工方法は矢板工法、掘削工法は底設導坑先進掘削工法である。トンネルの土被りは最大 45 m 程度で両坑口に向かいなだらかに減少している<sup>232)</sup>。

### (2) 被害の概要

荒谷トンネルの被害は両坑口付近に集中して発生した。主なものとして、側壁部とアーチ部の打継目における圧縮破壊によるコンクリートのはく落（写真 2.3.3）、天端部の圧ざと思われるはく落（写真 2.3.4）、アーチ部から側壁部にかけての斜め方向のひび割れ（写真 2.3.5）が挙げられる。



写真 2.3.3 荒谷トンネルにおける打継目の圧縮破壊



写真 2.3.4 荒谷トンネルにおける天端部の圧ざ（電線管が天端の位置）



写真 2.3.5 荒谷トンネルにおける斜めひび割れ

### (3) 復旧の方法

荒谷トンネルの復旧工法は、コンクリートはく落防止対策工（内面補強工）が中心的な役割を受け持ち、ひび割れ補修工，断面修復工はその前処理工と位置づけられた。コンクリートはく落防止対策工（内面補強工）としては炭素繊維シートを用いた成型版接着工を施工することとした。

## 2.3.5 羽黒トンネルの被害

### (1) トンネルの概要

羽黒トンネルは、延長506m，全幅5.5mの道路トンネルで、昭和42年に竣工した。施工方法は矢板工法，掘削工法は側壁導坑先進工法である。地質は、施工時の記録によれば準硬岩程度の頁岩となっているがその後の調査で風化泥岩の存在が確認されており，トンネルの土被りは最大で100m程度である<sup>232)</sup>。



## (2) 被害の概要

羽黒トンネルの被害は、両坑口付近に集中して発生した。起点側（西側）坑口部では、トンネル南側の斜面崩壊にともない坑門工にひび割れや目開き、段差などの大規模な変状が発生した。また、天端部に幅 1.5 m 程度の連続した圧ざが発生、アーチ肩部や側壁目地部では長さ数十 m におよぶ縦断方向のひび割れが発生し、コンクリート片のはく落がいたるところで発生した。中間部では、坑口部より被害は少ないものの、アーチ肩部に長さ数 m 程度の縦断方向のひび割れが発生し、側壁部では目地モルタルのはらみ出しやはく落が発生した。舗装版においても、ひび割れや目地開き、隆起が確認された。終点側（東側）坑口でも、同様の被害が見られるとともに、舗装版においては 500 mm 程度の隆起が確認された（写真 2.3.6）<sup>232)</sup>。また、隣接する歩道トンネルにおいても、吹付けコンクリートのはく落等の被害が確認された（写真 2.3.7）。



写真 2.3.6 羽黒トンネルにおける路盤の隆起



写真 2.3.7 羽黒歩道トンネルにおける地震後の状況



### (3) 復旧の方法

羽黒トンネルでは、代替ルートがないという地理的条件から、通行不能期間を最短とするため、既設覆工コンクリートの内側に鋼アーチ支保工を建て込むとともに吹付けコンクリートを施工した。ただし、内空断面が減少し、一車線幅員しか確保できないため、隣接する歩道トンネルを一車線歩道付き断面に拡幅することとした<sup>232)</sup>。

## 2.3.6 十二平トンネルの被害

### (1) トンネルの概要

十二平トンネルは、延長 210 m、全幅 8.7 m の道路トンネルで、昭和 61 年に竣工した。施工方法は矢板工法、掘削工法は上部半断面先進掘削工法であり、トンネルの最大土被りは 40 m 程度である<sup>232)</sup>。

### (2) 被害の概要

起点側（北側）坑口から 70～90 m の区間で著しい変状が見られ、谷側のアーチ肩部に縦断方向の圧ざが見られるとともに、天端部においてはせん断ひび割れが亀甲状に入っており、山側側壁部には大きなはく落も発生した（図 2.3.9、写真 2.3.8、9）。

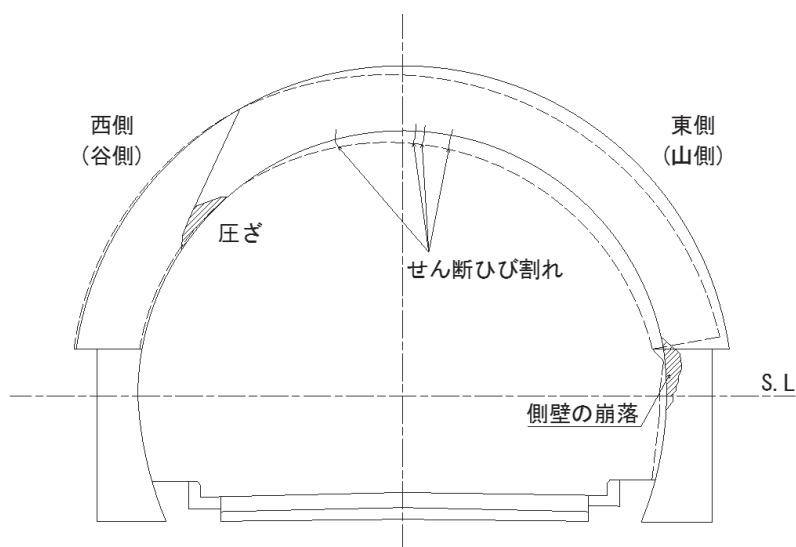


図 2.3.9 十二平トンネルの被害状況（起点側坑口から 70～90m 付近）



写真 2.3.8 十二平トンネルの変状状況



(a) 肩部の圧ぎ



(b) 側壁のはく落



(c) 天端のせん断ひび割れ

写真 2.3.9 十二平トンネルの変状 (個別の写真)

### (3) 復旧の方法

十二平トンネルの復旧工法は、起点側坑口から 60～110 m 区間ではファイバーポリマーモルタル吹付け工を施工した後、プレキャスト版内巻き工を施工することとした。それ以外の区間はひび割れ補修工として断面修復工を施工した後、ファイバーポリマーモルタル吹付け工を施工することとした。

### 2.3.7 被害状況の集計

新潟県中越地震の震源地付近を中心として、最も遠方で被害が報告されたトンネル（震央より約 24.7 km）を含む半径 25 km 圏内に分布する道路トンネルを対象として被害状況を集計した結果を表 2.3.2 に示す。また、同様に、大～中規模の被害が集中した半径 6 km 圏内で集計した結果を表 2.3.3 に示す。なお、被害規模は表 2.3.4 に示す定義を設け、区分している。被害の定義は表 2.3.2 に示したものと異なることに留意する必要がある。大規模な被害に分類されているのは、前述の和南津トンネル、十二平トンネル、木沢トンネル、荒谷トンネル、羽黒トンネル、羽黒歩道トンネルに加え、木沢隧道の 7 トンネルである。

これらの集計結果によると、軽微なものも含め被害が発生したトンネルの割合は、震央から半径 25 km 圏内で約3割であるのに対し、半径 6km 圏内では約7割となっている。また、大～中規模の被害を生じたトンネルは、全 11 本のうち、中規模被害の 2 本を除き、9 本が半径 6km 圏内に位置する。これらのことから、震央付近の非常に狭い範囲に道路トンネルの被害が集中していることが分かる。

そのうち、最も被害の規模が大きかった和南津トンネルにおいては、延長 300 m のうち、約 17 m の区間（全長に対して約 6%）において覆工の崩落が発生した。また、木沢トンネルにおいては、延長 305 m のうち約 50 m（全長に対して約 16%）において大規模なひび割れが発生した。

これらの集計結果から、山岳トンネルの地震による被害は、震源地周辺に限定されるとともに、覆工の崩落をとまなうような比較的規模の大きな被害は、トンネルの中でも一部区間にとどまっていることが分かる。

表 2.3.2 新潟県中越地震における調査対象トンネル数の集計（半径 25km 圏内）

| 路線     | 管理者    | 対象本数   | 被害トンネル数 |      |       | 被害報告なし |
|--------|--------|--------|---------|------|-------|--------|
|        |        |        | 大規模     | 中規模  | 軽微    |        |
| 高速自動車道 | 日本道路公団 | 18     | 0       | 0    | 1     | 17     |
| 国道     | 国交省    | 4      | 1       | 1    | 0     | 2      |
|        | 県      | 24     | 0       | 3    | 6     | 15     |
| 県道     |        | 17     | 5       | 0    | 4     | 8      |
| 市町村道   | 市町村    | 1      | 1       | 0    | 0     | 0      |
| 合計     |        | 64     | 7       | 4    | 11    | 42     |
| (本数割合) |        | (100%) | (11%)   | (6%) | (17%) | (66%)  |

表 2.3.3 新潟県中越地震における調査対象トンネル数の集計（半径 6km 圏内）

| 路線     | 管理者    | 対象本数   | 被害トンネル数 |       |       | 被害報告なし |
|--------|--------|--------|---------|-------|-------|--------|
|        |        |        | 大規模     | 中規模   | 軽微    |        |
| 高速自動車道 | 日本道路公団 | 4      | 0       | 0     | 1     | 3      |
| 国道     | 国交省    | 3      | 1       | 1     | 0     | 1      |
|        | 県      | 3      | 0       | 1     | 2     | 0      |
| 県道     |        | 8      | 5       | 0     | 2     | 1      |
| 市町村道   | 市町村    | 1      | 1       | 0     | 0     | 0      |
| 合計     |        | 19     | 7       | 2     | 5     | 5      |
| (本数割合) |        | (100%) | (37%)   | (11%) | (26%) | (26%)  |

表 2.3.4 新潟県中越地震における被害規模の説明

| 被害規模   | 被害の説明   | 応急対策   | 本対策   |
|--------|---|--|---|
| 大規模    | 覆工、坑門のコンクリートに大規模なひび割れやコンクリート塊落下などが発生し、構造的に耐荷力が著しく低下した状態。        | 車両通行の安全性確保のためには、プロテクターなどの大規模な防護工を必要とする。        | 覆工、坑門の改築（打ち替え）、もしくは内巻き補強など、耐荷力確保のため重厚な補強対策を必要とする。 |
| 中規模    | 覆工、坑門のコンクリートにひび割れやコンクリート片落下などが発生するが、構造的には地震以前と同程度の耐荷力を保持している状態。 | 利用者被害防止のため、コンクリート片の落下防止など、簡易な補修、防護を必要とする場合がある。 | 覆工片のはく落対策や、ひび割れ充填など、補修対策を必要とする。                   |
| 軽微     | 微少なひび割れや、局所的なコンクリート片のはく離などが見られる状態。                              | 応急対策が不要か、ハンマーでのはつり落とし程度で安全性が確保できる。             | 原則として不要。  |
| 被害報告なし | 被害無し。   | 不要。  | 不要。   |

## 参考文献

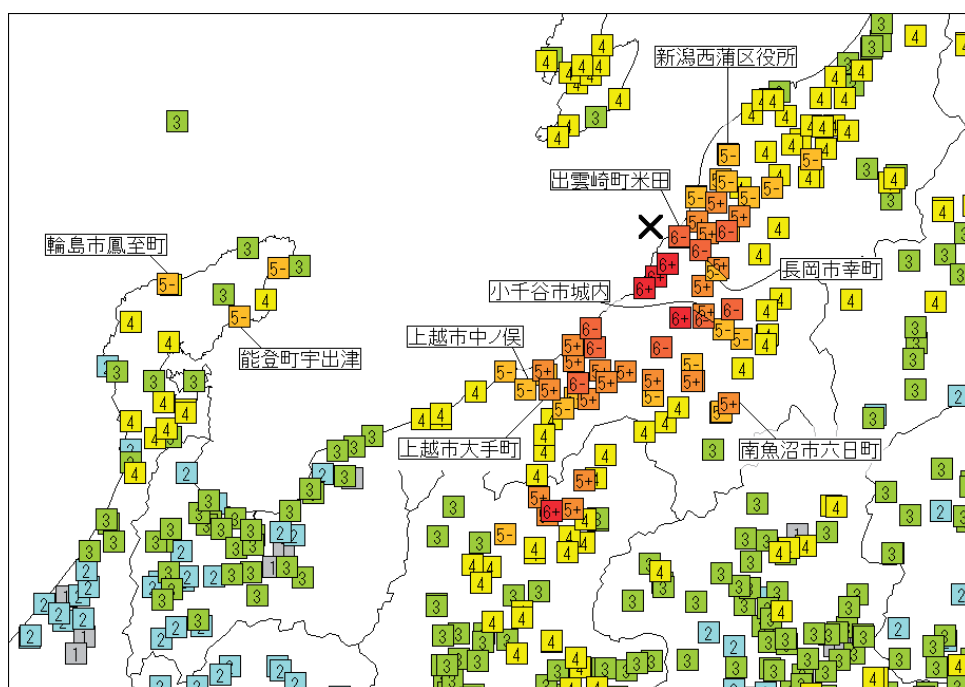
- 2.3.1) 気象庁：災害時地震速報，平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震，災害時自然現象報告書，第 7 号，2004 年.
- 2.3.2) 真下英人：新潟県中越地震における道路トンネルの被害，トンネルと地下，第 36 巻，第 11 号，pp.55-63，2005 年 11 月.
- 2.3.3) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）平成 18 年度改訂版，pp.365-369，2007 年 3 月.
- 2.3.4) 日下敦，真下英人，水川雅之，森本智：地震による山岳トンネルの被害発生メカニズムに関する基礎的研究，トンネル工学報告集，第 18 巻，pp.15-21，2008.
- 2.3.5) 新潟県長岡地域振興局災害復旧部：10.23 新潟県中越大震災と災害復旧について（その 1），建設マネジメント技術，2007 年 2 月号，pp.47-55，2007 年 2 月.

## 2.4 新潟県中越沖地震（平成 19 年）

### 2.4.1 地震の概要

新潟県中越沖地震は、平成 19 年（2007 年）7 月 16 日 10 時 13 分ごろ新潟県中越沖で発生した、深さ約 17 km、マグニチュード(M)6.8 の地震であった。この地震により新潟県長岡市、柏崎市、刈羽村、長野県飯綱町で最大震度 6 強を観測した。

この地震により被害が報告された道路トンネルは高速道路の 3 トンネルで、このうち比較的大きな被害を受けたのは米山トンネルであった<sup>241)</sup>。



(出典：気象庁ウェブサイト ([http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/070716\\_chuetsu-oki/index.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/070716_chuetsu-oki/index.html)))

図 2.4.1 新潟県中越沖地震の震度分布図

### 2.4.2 米山トンネルの被害

#### (1) トンネルの概要

米山トンネルは、北陸自動車道米山 IC～柿崎 IC 間に位置する、延長 1.6 km のトンネルで、地質は泥岩と砂岩の互層で一部凝灰岩を含む。矢板工法にて施工され、昭和 58 年に供用し、地震発生時には供用後 24 年が経過していた。被害があった区間は覆工巻厚 45 cm の無筋コンクリートで、インバートは設置されていない。また、覆工背面への裏込め注入は実施されていない。トンネルの土被りは最大で 280m、被害位置で約 190 m であった<sup>242)</sup>。震源断層との位置関係は図 2.4.2 のとおりであり、米山トンネル（図中の 1-7 および 1-8）は震源断層のほぼ延長線上に位置している。



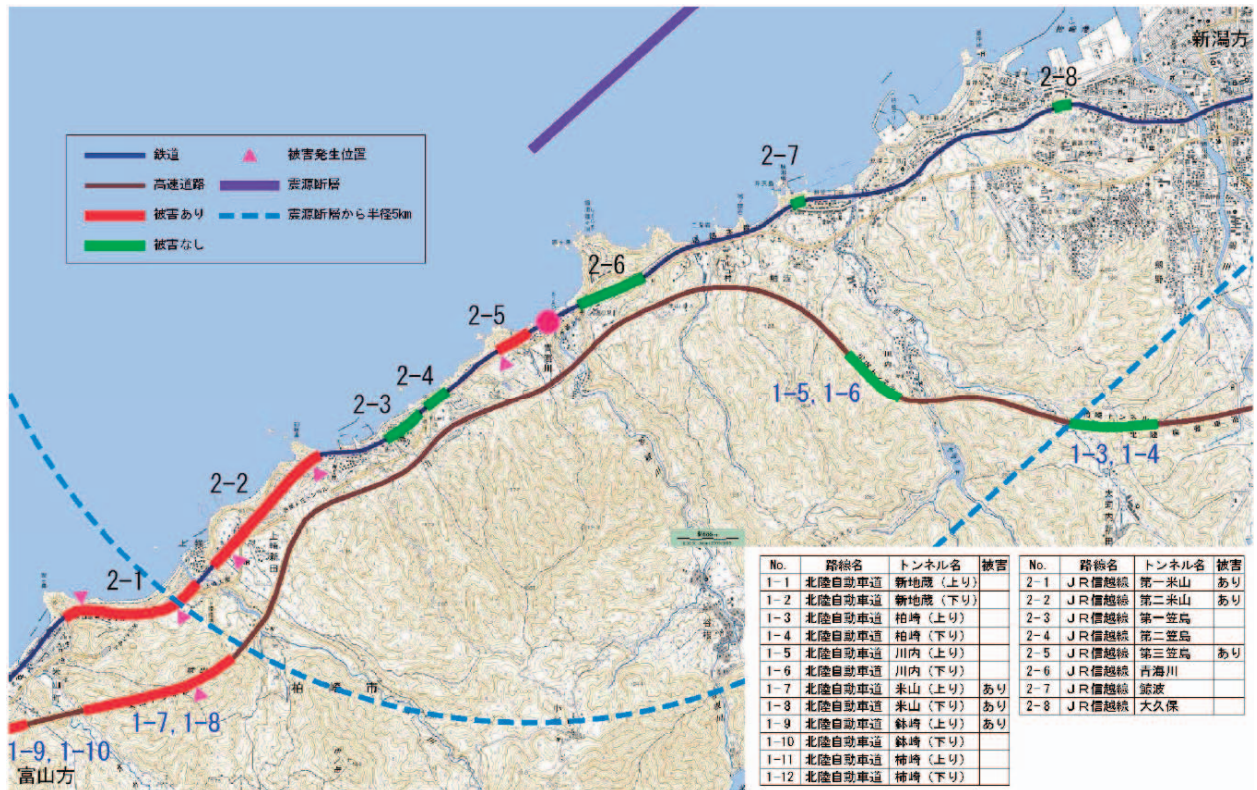


図 2.4.2 中越沖地震により被害を受けたトンネルの位置図<sup>241)</sup>

## (2) 被害の概要

米山トンネル上り線では、トンネル中間部付近において、延長 45 m 程度の範囲に集中して天端部の覆工コンクリート表面のはく落が生じた(図 2.4.3)。はく落部の横断方向幅は最大で 1 m 程度、最大厚さ 15~20 cm であった<sup>241)</sup>。

また、下り線は、延長 200 m の区間で天端部のコンクリートに最大厚さ 5 cm ほどの表面はく落が数箇所生じた。また、側壁部のコンクリートにおけるはく落や、円形水路の変状等も見られた<sup>241)</sup>。

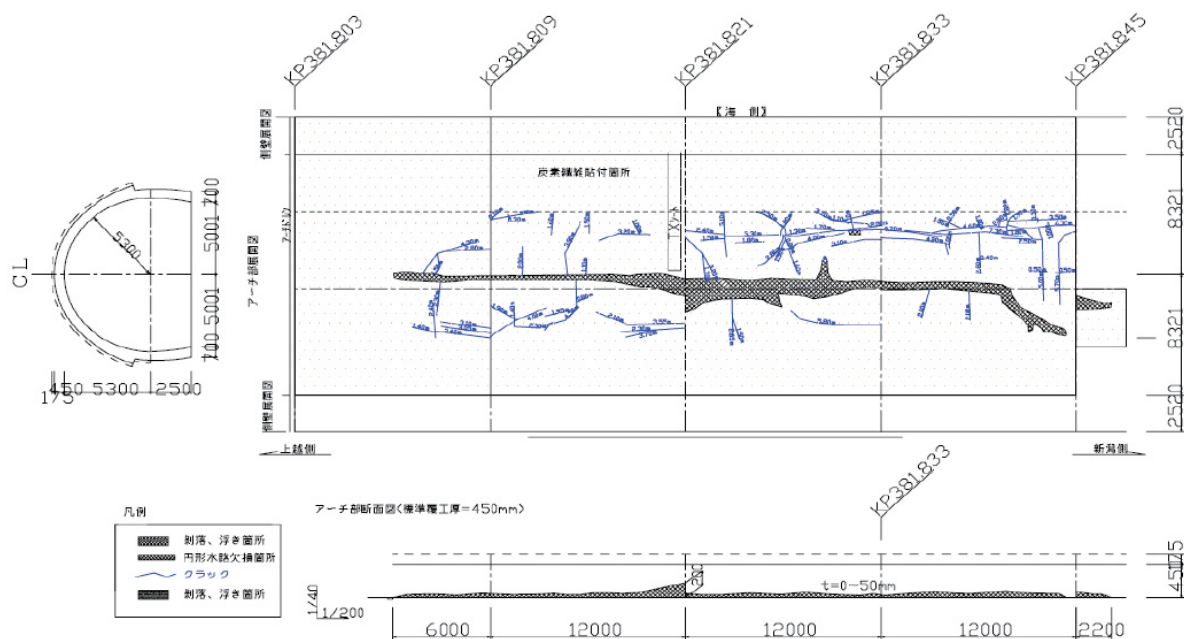


図 2.4.3 米山トンネル（上り線）はく落箇所<sup>241)</sup>

### (3) 被害要因の推定

米山トンネルの損傷の要因としては、以下のことが考察されている<sup>242)</sup>。

- ① 解析手法には課題はあるものの動的解析結果から、地震力だけで覆工が損傷したとは考えられない。
- ② 矢板工法に特有の背面空洞、もしくは覆工に作用する初期応力が損傷に影響している可能性がある。
- ③ 震災前から盤ぶくれが生じており影響を及ぼしている可能性もある。

### (4) 復旧の方法

緊急復旧対策として、下り線天端部および側壁部のコンクリートうき部分を除去し、仮設シートを貼ることによって通行の安全性を確保して、震災発生から2日後の7月18日から対面通行で供用した。

上り線では、天端部のコンクリートうき部分と脆弱部を除去し、クラック注入を行った後、断面欠損部を吹付けコンクリート等で充填した。また、はく落対策として炭素繊維シートによる補強を行って応急復旧を終え、8月2日から下り線の対面通行を上り線の対面通行に切り替えた。

その後、下り線の側壁部のコンクリート脆弱部を除去し、断面欠損部を吹付けコンクリート等で充填した。また、天端周辺のクラック注入および水路の一部を補修して応急復旧を終え、夏期繁忙期の8月10日から20日の間、応急的に上下線の4車線運用を図った(図 2.4.4)<sup>241)</sup>。

本復旧としては、内空測定、点検結果の分析、施工時資料の分析、ボーリング、岩石試験等といった調査の結果を踏まえ、トンネル構造体として問題ないと判断し、覆工背面の空洞充填を実施し、円形水路を取り替え、本復旧を終了した<sup>242)</sup>。

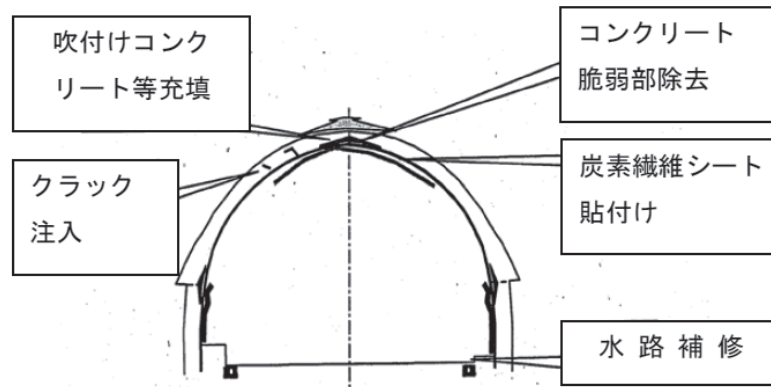


図 2.4.4 米山トンネル（上り線）応急復旧概要<sup>2.4.1)</sup>

### 2.4.3 その他のトンネルの被害

国道8号米山トンネルは、昭和39年に矢板工法により建設された2車線道路トンネルである。同トンネルは、前項で述べた北陸自動車道米山トンネルよりも古く、北におよそ離隔0.5kmの位置で建設された比較的近接したトンネルであるが、新潟県中越沖地震直後の調査でも、写真2.4.1に示す監査歩廊の傾きや、覆工コンクリート小片のはく落が確認された程度であった。



写真 2.4.1 国道8号米山トンネルの監査歩廊の傾斜

### 参考文献

- 2.4.1) 土木学会トンネル工学委員会：新潟県中越沖地震調査特別小委員会報告書，2008年1月．
- 2.4.2) 中野清人，小川澄：中越沖地震による高速道路トンネルの被災事例分析，トンネルと地下，第43巻，第4号，pp.49-54，2012年4月．

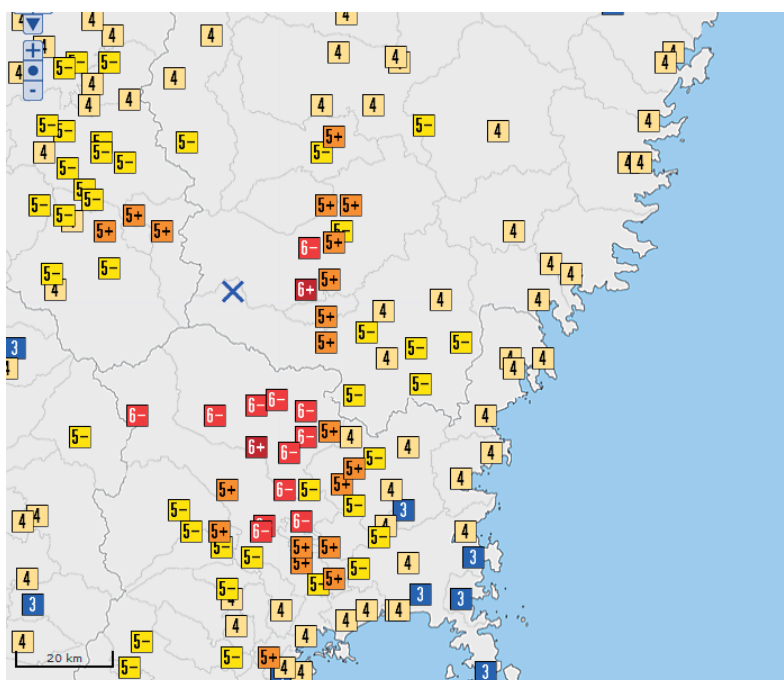


## 2.5 岩手・宮城内陸地震（平成 20 年）

### 2.5.1 地震の概要

岩手・宮城内陸地震は、平成 20 年（2008 年）6 月 14 日 8 時 43 分に、岩手県内陸南部を震源として発生した、マグニチュード(M)7.2、深さ 8 km の地震であった。この地震により、岩手県奥州市と宮城県栗原市では震度 6 強を観測した（図 2.5.1）。

この地震を受け、本震震央から概ね 15km 内に位置する国道 397 号胆沢トンネル、焼石東トンネル、焼石西トンネル、主要地方道築館栗駒公園線新玉山トンネル、薄木トンネル、奥州市道菖蒲平トンネルの 6 トンネルについて被害状況調査を行った。調査を行ったトンネルのうち、地震によって比較的顕著な被害を受けたトンネルは、震央から約 12km に位置する新玉山トンネルのみであった（図 2.5.2）。



（出典：気象庁ウェブサイト（<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>））

図 2.5.1 岩手・宮城内陸地震の震度分布図



(出典：国土地理院「電子国土」に加筆)

図 2.5.2 新玉山トンネル位置図

## 2.5.2 新玉山トンネルの被害

### (1) トンネルの概要

新玉山トンネルは、宮城県栗原市栗駒沼倉玉山地内に位置し、延長 1,220m、全幅 10.25m の 2 車線道路トンネルで、平成 11 年に竣工した。施工方法は NATM、掘削工法は上半先進ショートベンチカット工法で、機械掘削により施工している。覆工厚はアーチ部・側壁 30cm、インバート 50cm である。トンネル土被りは、最大 110m 程度で、トンネルが位置する地質は、第三紀中新世の凝灰角礫岩、砂岩、凝灰岩が中心となっている<sup>25)</sup>。

### (2) 被害の概要

新玉山トンネルの比較的規模の大きな被害の発生した箇所を図 2.5.3 に示す。

起点側（東側）坑口より約 228～254m 区間（スパン 20～21）においては、図 2.5.4(a) に示すように輪切り状の開口ひび割れ（最大ひび割れ幅 2～3 cm 程度）が側壁およびアーチ全体に数条集中し、側壁が最大 4 cm 程度内空側に押し出された（写真 2.5.1 参照）。ひび割れ周辺の覆工コンクリートは脆く、浮いており、数 cm 幅のコンクリート片のはく落が見られた。また、車道および歩道にも横断方向のひび割れが発生するとともに縁石の傾き、ずれなどの被害が発生した。なお、施工記録によれば、本区間は破碎帯区間と整合し、かつインバート設置区間（スパン 21）と未設置区間（スパン 20）の境界部に位置する。

起点側坑口より約 565～665 m 付近（スパン 46～54）では、図 2.5.4(b) に示すように側壁およびアーチに輪切り状のひび割れ（ひび割れ幅は 2～4 mm）が発生するとともに、歩道および監査路の浮き上がり（最大 200mm）（写真 2.5.2 参照）、縁石の傾き、ずれなどが発生した。その他の区間においても、幾つかのスパンで輪切り状のひび割れ、路面・歩道の変状、軽微な覆工目地部のはく落、漏水などが認められたが、過去

の地震によるトンネルの被害として多く見られた圧ぎなどトンネル縦断方向の変状がほとんど発生していないのが今回の被害の特徴となっている。

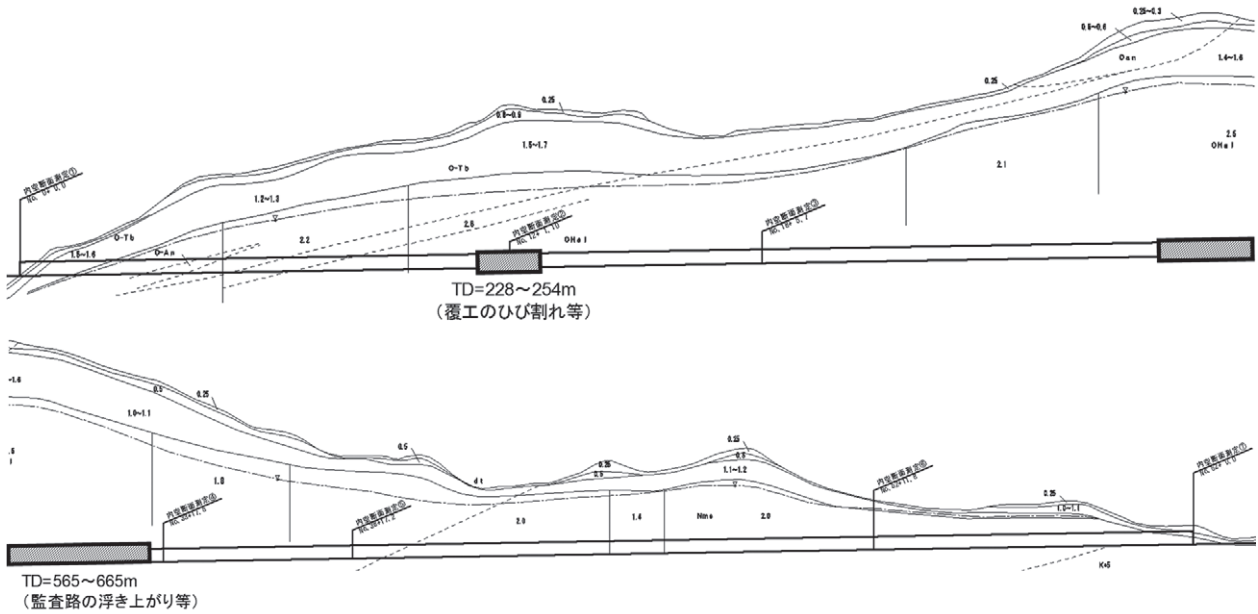


図 2.5.3 新玉山トンネルの地質縦断図

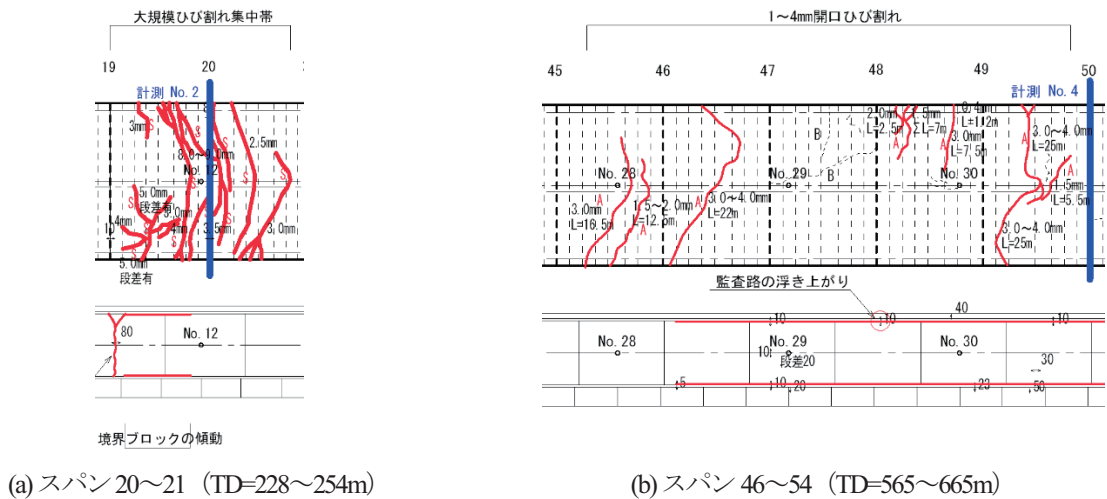


図 2.5.4 新玉山トンネルの主な被害箇所の変状展開図



写真 2.5.1 新玉山トンネル覆工の輪切り状のひび割れ



写真 2.5.2 新玉山トンネルの歩道の浮き上がり



### (3) 復旧の方法

輪切り状のひび割れが集中しているスパン 20, 21 については、覆工コンクリートがアーチ構造としての耐力を失っていると考えられたため、覆工を取り壊してPCL版を設置するとともに、縁石の撤去・設置、舗装の打ち替えを行うこととした。なお、覆工および防水シートを撤去して吹付けコンクリートや鋼アーチ支保工、ロックボルトの破損状況を調査したところ、鋼アーチ支保工およびロックボルトには変状が認められないものの、**写真 2.5.3**に示すように吹付けコンクリートの一部に圧縮破壊やせん断破壊が認められたため、これらの箇所については吹付けコンクリートをはつり落としてコンクリートなどによる断面修復を行うこととした。また、スパン 46~56 においては縁石の撤去・設置、歩道および監査路の一部打ち替えを行うとともにひび割れに対してひび割れ注入を行うこととした。

上記以外の区間においても、変状状態に応じて、ひび割れ注入、縁石の撤去・設置、舗装の打ち替え、導水工などを行うこととした。



(a) 天端部吹付けコンクリートの圧縮破壊



(b) 側壁部吹付けコンクリートのせん断ひび割れ

写真 2.5.3 新玉山トンネルにおける支保工の変状

#### 参考文献

2.5.1) 土木学会トンネル工学委員会：平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震報告書，2009 年 6 月。

## 2.6 東北地方太平洋沖地震（平成 23 年）

### 2.6.1 地震の概要

東北地方太平洋沖地震は、平成 23 年（2011 年）3 月 11 日 14 時 46 分に三陸沖で発生した、マグニチュード（Mw）9.0、深さ 24 km の地震であった。この地震により、宮城県栗原市で震度 7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の 4 県 37 市町村で震度 6 強を観測したほか、東日本を中心に北海道から九州地方にかけての広い範囲で震度 6 弱～1 を観測した<sup>26.1)</sup>。

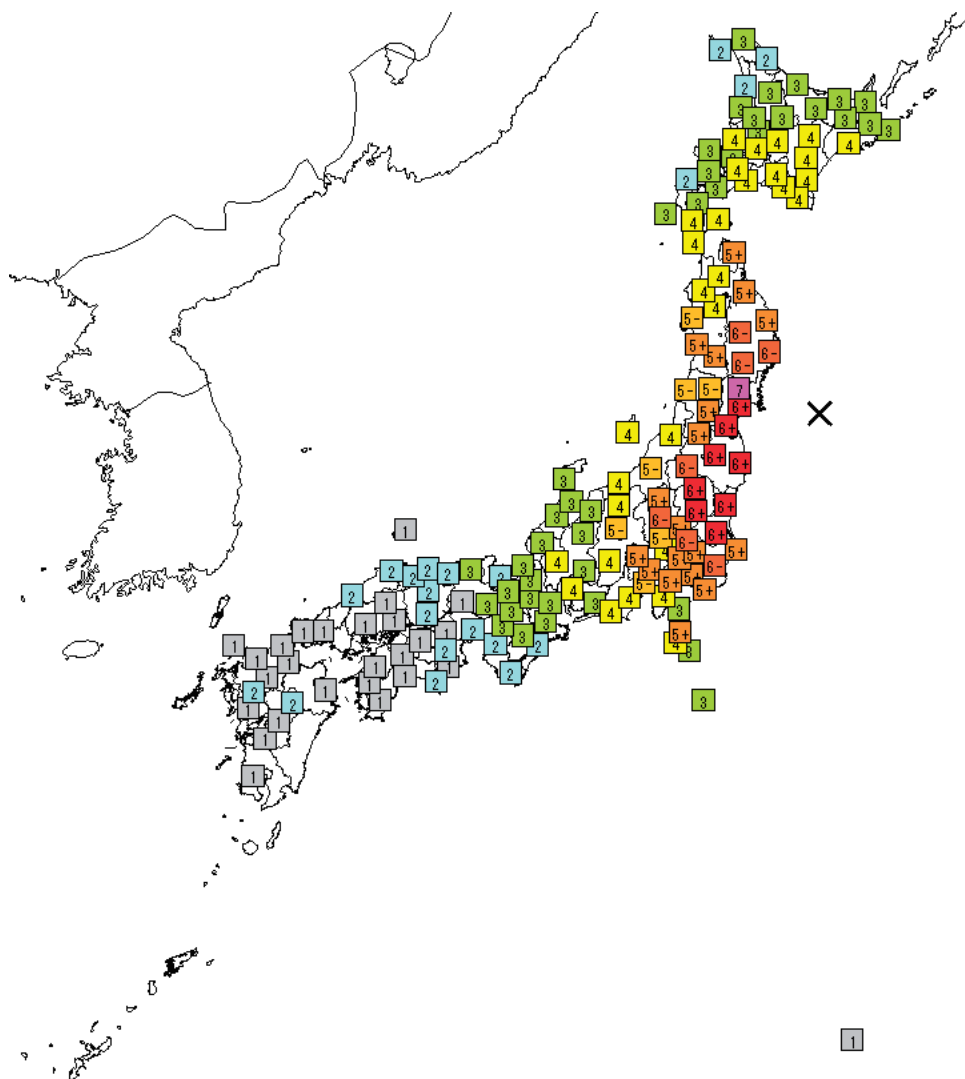


図 2.6.1 東北地方太平洋沖地震（本震）の震度分布図<sup>26.1)</sup>



## 2.6.2 道路トンネルの被害

東北地方太平洋沖地震においては、鉄道トンネルの一部区間で路盤部の隆起が発生<sup>262)</sup>するなどの被害があったものの、道路トンネルにおいては、供用中のトンネルに交通規制が必要となるほどの規模の大きな被害は報告されていない。

なお、石巻市に建設された道路トンネル（NATMにより建設された延長約700mの2車線道路トンネルで、地震時において竣工から約15年経過）において、地震後に調査を行ったところ、写真2.6.1に示すような覆工目地からのコンクリート小片のはく落が確認された程度で、目立った被害は確認されなかった。



写真 2.6.1 石巻市内の道路トンネルにおける地震後の状況

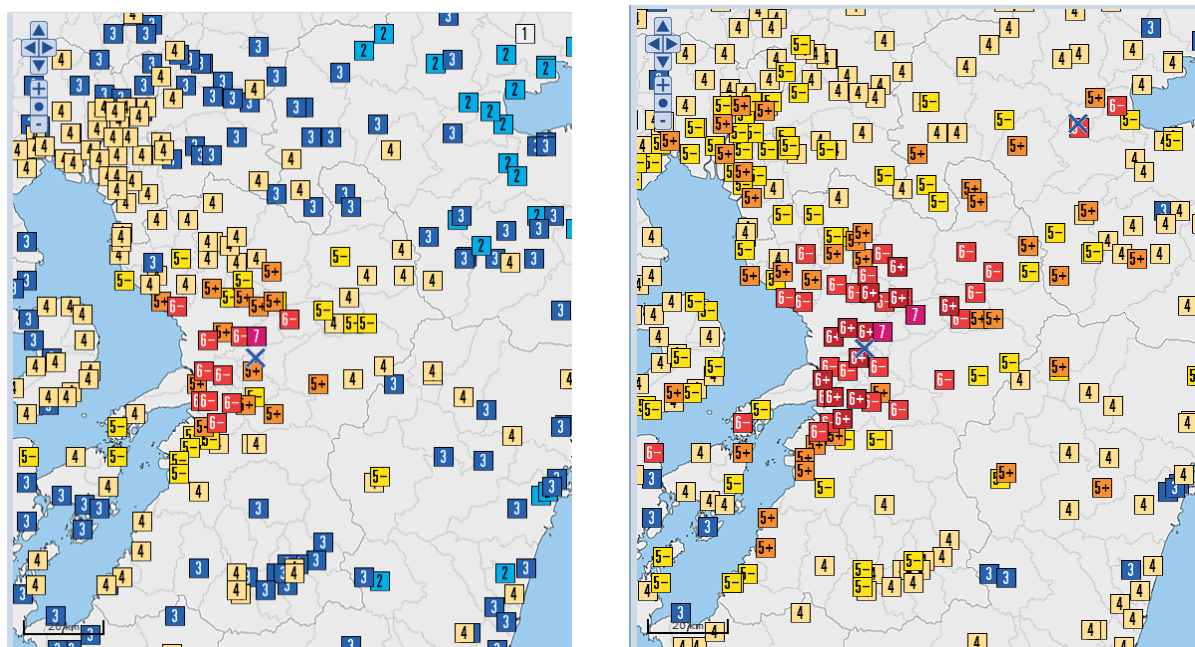
### 参考文献

- 2.6.1) 気象庁：災害時地震・津波速報平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震，災害時自然現象報告書 2011 年第 1 号，平成 23 年 8 月。
- 2.6.2) 松沼政明，齋藤貴：東北地方太平洋沖地震による新幹線トンネルの被害と復旧，トンネル工学報告集，第 22 巻，pp.269-276，2012 年 11 月。

### 3. 熊本地震（平成 28 年）における道路トンネルの主な被害

#### 3.1 地震の概要

平成 28 年（2016 年）熊本地震においては、4 月 14 日 21 時 26 分に熊本県熊本地方の深さ約 10km でマグニチュード(M)6.5 の地震が発生した。また約 28 時間後の 4 月 16 日 01 時 25 分に同地方の深さ約 10km で M7.3 の地震が発生した。これらの地震において熊本県で最大震度 7 を観測し（図 3.1.1），県内のトンネルについて被害を生じた<sup>3.1.1)</sup>。このほか、4 月 14 日 21 時 26 分以降，同地域で最大震度 6 弱以上を観測する地震が 5 回発生した（表 3.1.1）。なお，図 3.1.1 (b)において，震央を示す×印が 2 箇所で記されているが，これは，熊本県熊本地方を震源とする M7.3 の地震と，大分県中部を震源とする M5.7 の地震が，ほぼ同時刻に発生したためである。



(a)4 月 14 日 21 時 26 分の地震

(b)4 月 16 日 01 時 25 分の地震

（データ出典：気象庁ウェブサイト（<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>））

図 3.1.1 震度分布図

表 3.1.1 熊本地震において震度 6 弱以上を観測した地震

| No. | 発生日時       | 震央地名 | マグニチュード | 最大震度 |
|-----|------------|------|---------|------|
| 1   | 4/14 21:26 | 熊本地方 | 6.5     | 7    |
| 2   | 4/14 22:07 | 熊本地方 | 5.8     | 6 弱  |
| 3   | 4/15 0:03  | 熊本地方 | 6.4     | 6 強  |
| 4   | 4/16 1:25  | 熊本地方 | 7.3     | 7    |
| 5   | 4/16 1:45  | 熊本地方 | 5.9     | 6 弱  |
| 6   | 4/16 3:55  | 阿蘇地方 | 5.8     | 6 強  |
| 7   | 4/16 9:48  | 熊本地方 | 5.4     | 6 弱  |

データ出典：気象庁ウェブサイト（<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>）

地震調査研究推進本部は、4月14日のM6.5の地震および4月15日のM6.4の地震は日奈久断層帯の高野—白旗区間の活動、4月16日のM7.3の地震は主に布田川断層帯の布田川区間の活動によるものと考察している<sup>3.1.1)</sup>。これらの断層帯の位置を図3.1.2に示す。



(産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆)

図 3.1.2 日奈久断層帯および布田川断層帯の位置

今回の地震により、大きく被害を受けた「俵山トンネル」と「南阿蘇トンネル」の被害状況等を次項より示す。

#### 参考文献

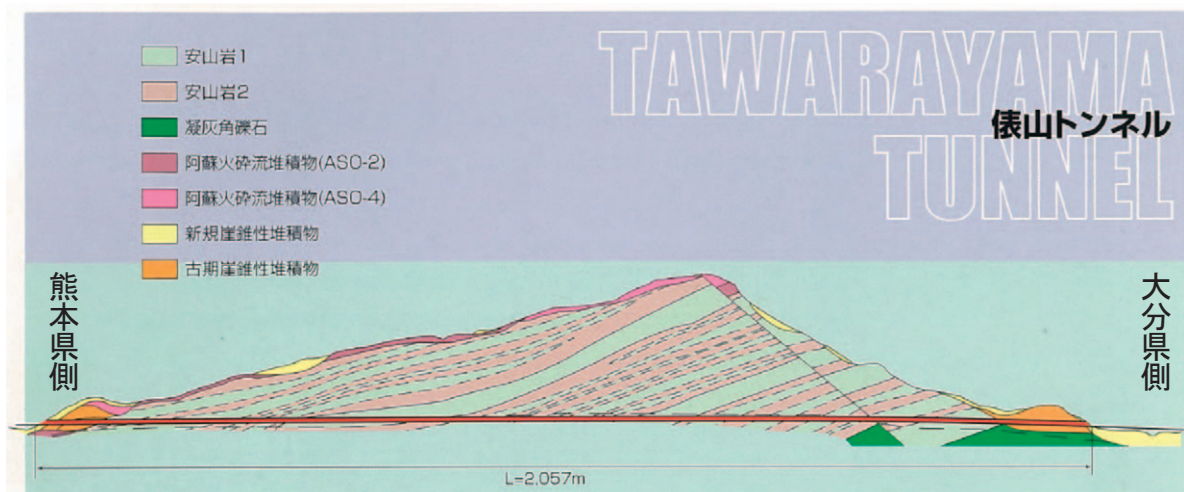
3.1.1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：平成28年（2016年）熊本地震の評価，平成28年5月13日。



### 3.2 俵山トンネルの被害

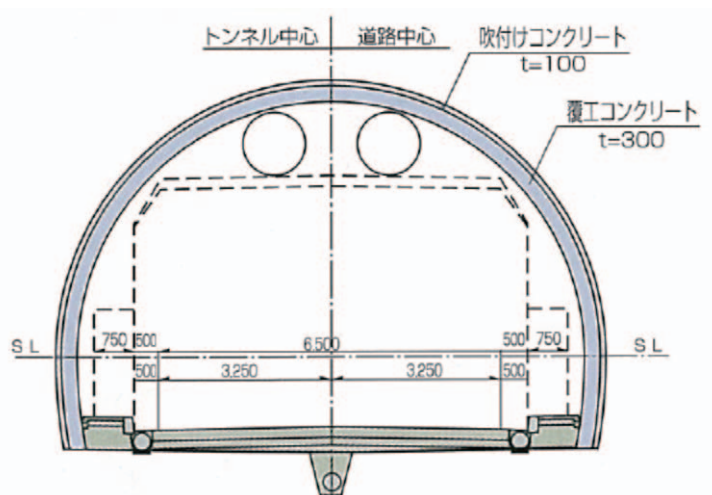
#### 3.2.1 トンネルの概要

熊本県道 28 号俵山トンネルは、NATM により建設された延長 2,057 m の 2 車線道路トンネルで、2002 年に竣工した。地質縦断面図および断面図は、それぞれ図 3.2.1 および図 3.2.2 のとおりである。



(出典：熊本県パンフレット)

図 3.2.1 俵山トンネル地質縦断面図



(出典：熊本県パンフレット)

図 3.2.2 俵山トンネル断面図

### 3.2.2 活断層からの距離

今回の地震において活動したとされる布田川断層と俵山トンネルの位置関係は、図 3.2.3 のとおりである。平面図上は、俵山トンネルの熊本側の坑口と布田川断層が近接している。ただし、断層は地下に存在することや、走向・傾斜を有していること等から、トンネルと活断層の正確な距離を算定するには、より詳細な調査や検討が必要と考えられる。



(産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆)

図 3.2.3 俵山トンネルと布田川断層の位置関係

### 3.2.3 地震被害の状況

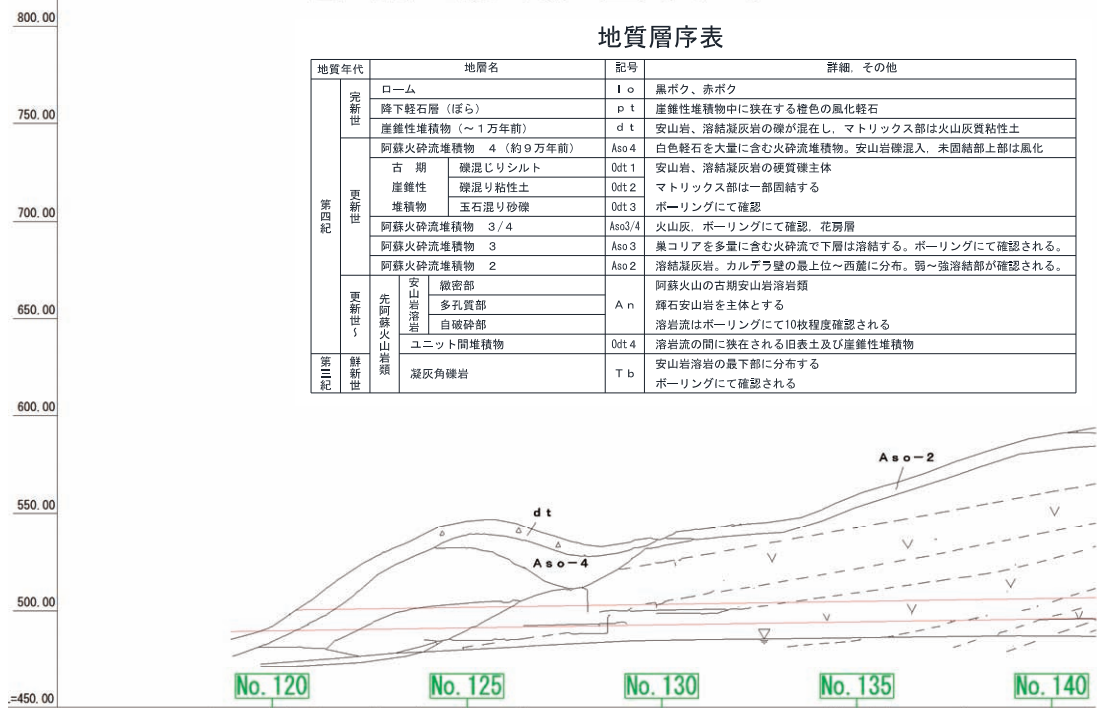
俵山トンネルにおいては、覆工コンクリートの崩落、盤ぶくれ、せん断ひび割れ等の変状が地震の影響により発生したものの、地山が崩落し空間自体が閉塞するという致命的な被害は発生しなかった。いずれの変状においても、地震の影響による地山の変形に対して覆工が追従できず、覆工の崩落等に至ったと想定される。各変状の状況等を以下に示す。

地質縦断図を設計・施工時の支保パターン、地震前後の点検結果および補修・補強概要と併せて図 3.2.4 ~7に示す。



# 地質縦断図(1/4)

地質層序表



| 地質年代       | 地層名                           | 記号                      | 詳細、その他  |
|------------|-------------------------------|-------------------------|---|
| 第四紀<br>更新世 | ローム                           | I o                     | 黒ボク、赤ボク   |
|            | 降下軽石層 (ぼら)                    | p t                     | 産錐性堆積物中に挟在する橙色の風化軽石                                   |
|            | 産錐性堆積物 (~1万年前)                | d t                     | 安山岩、溶結凝灰岩の礫が混在し、マトリックス部は火山灰質粘性土                       |
|            | 阿蘇火砕流堆積物 4 (約9万年前)            | Aso 4                   | 白色軽石を大量に含む火砕流堆積物。安山岩礫混入、未固結部上部は風化                     |
| 第四紀<br>更新世 | 古期<br>産錐性<br>堆積物              | Odt 1<br>Odt 2<br>Odt 3 | 安山岩、溶結凝灰岩の硬質礫主体<br>マトリックス部は一部固結する<br>ボーリングにて確認        |
|            | 阿蘇火砕流堆積物 3/4                  | Aso 3/4                 | 火山灰、ボーリングにて確認、花房層                                     |
|            | 阿蘇火砕流堆積物 3                    | Aso 3                   | 黒コリアを多量に含む火砕流で下層は溶結する。ボーリングにて確認される。                   |
|            | 阿蘇火砕流堆積物 2                    | Aso 2                   | 溶結凝灰岩。カルデラ壁の最上位~西麓に分布。弱~強溶結部が確認される。                   |
| 第四紀<br>更新世 | 安山岩溶岩類<br>緻密部<br>多孔質部<br>自破砕部 | A n                     | 阿蘇火山の古期安山岩溶岩類<br>輝石安山岩を主体とする<br>溶岩流はボーリングにて10枚程度確認される |
|            | ユニット間堆積物                      | Odt 4                   | 溶岩流の間に挟まれる旧表土及び産錐性堆積物                                 |
|            | 凝灰角礫岩                         | T b                     | 安山岩溶岩の最下部に分布する<br>ボーリングにて確認される                        |

| 測点        | No. 120                          |    | No. 125 |    | No. 130 |                  | No. 135 |       | No. 140 |  |
|-----------|----------------------------------|----|---------|----|---------|------------------|---------|-------|---------|--|
| 設計        | 設計パターン                           |    |         |    |         |                  |         |       |         |  |
| 延長 (m)    | 13                               | 33 | 20      | 55 | 70      | 90               | 65      | 65    |         |  |
| 実         | 支保パターン                           |    |         |    |         |                  |         |       |         |  |
| 延長 (m)    | 13                               | 33 | 20      | 55 | 70      |                  |         |       | 288     |  |
| 施工時のトラブル等 | 最大310cm程度の崩落箇所<br>天端部(二次吹付中)≒35m |    |         |    |         |                  |         |       |         |  |
| 地山等級      | D III                            |    | D II    |    |         | D I              |         |       |         |  |
| インバート     | インバート設置                          |    |         |    |         |                  |         |       |         |  |
| 先受け工      | AQF                              |    | 注入式FP   |    |         | FP               |         | 注入式FP |         |  |
| 脚部補強      | ウイングリブ                           |    |         |    |         |                  |         |       |         |  |
| 補修        | スパン4~5の被害として後述                   |    |         |    |         | スパン12~13の被害として後述 |         |       |         |  |

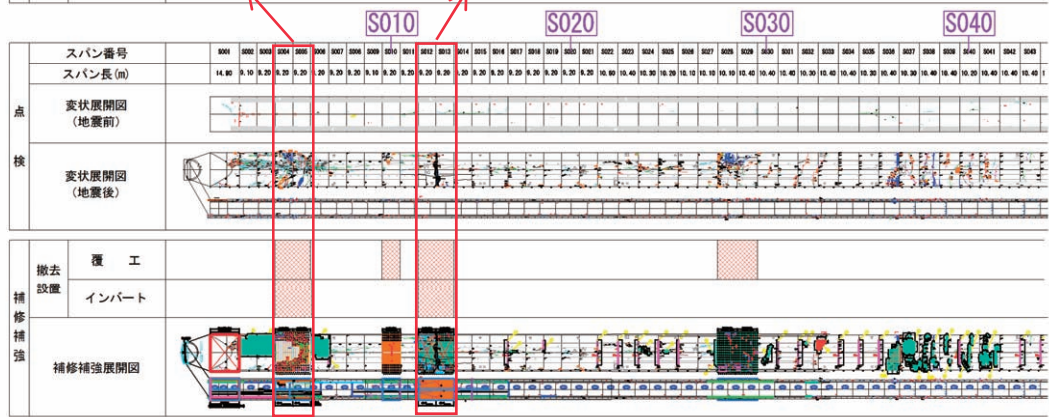


図 3.2.4 俵山トンネル地質縦断図 1/4





# 地質縦断面図(4/4)

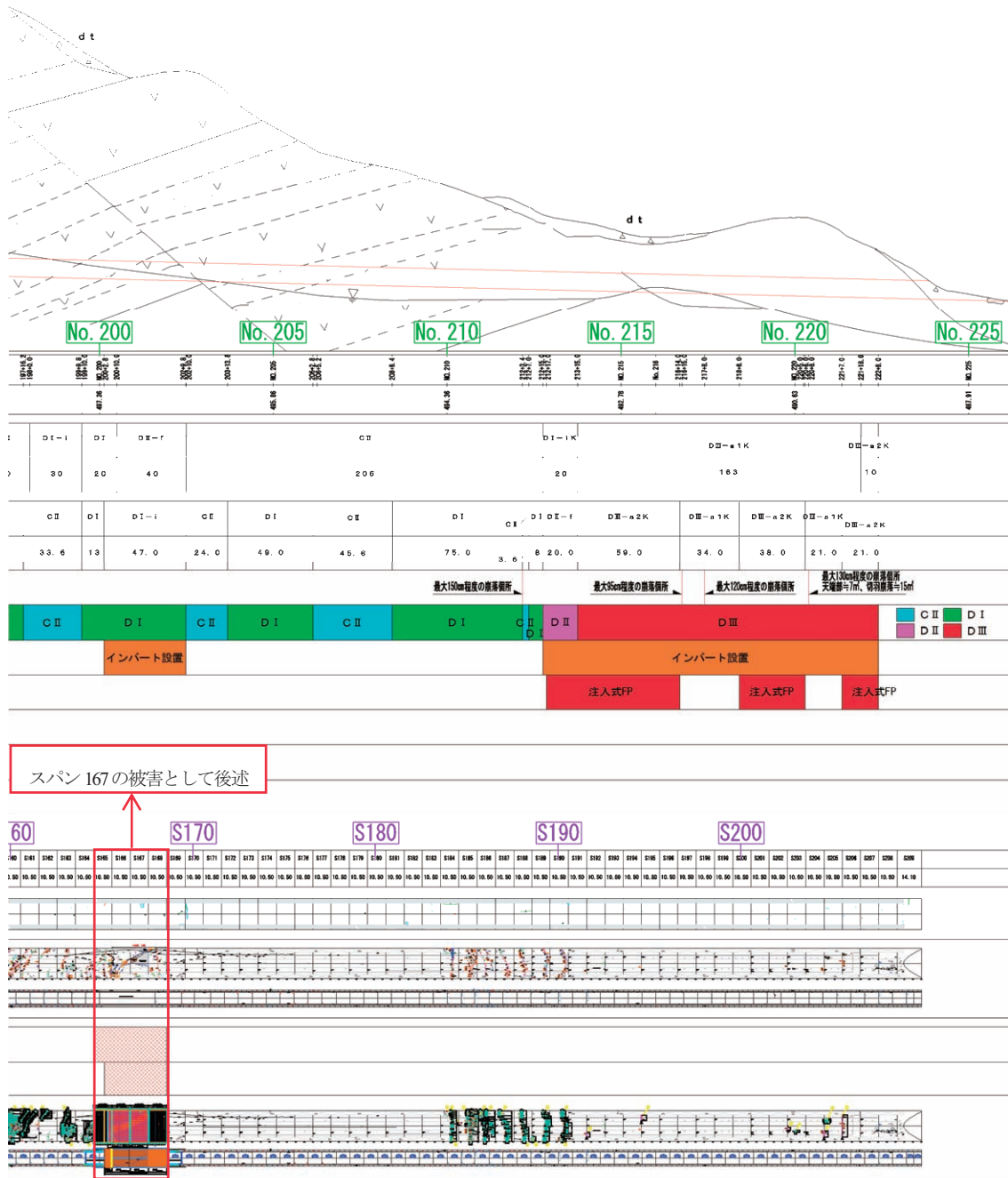


図 3.2.7 俵山トンネル地質縦断面図 4/4



### (1) スパン 167における覆工コンクリートの崩落

スパン 167においては、覆工 1 スパンの半断面 (1/2~1/3) 程度が崩落した (写真 3.2.1~3, 図 3.2.8)。この区間の地山状況に関しては、建設時の資料より覆工崩落箇所付近に断層があることが確認されており (図 3.2.9), スパン前後の区間において施工時の支保パターンはDIインバート有り, DIインバート無し, CII と変化していることから、地質状況が変化していると推察される。また、部分的に脆弱部が存在し、支保パターンを変更する必要があったが、切羽や天端崩落等は発生したという記録は確認されていない。地山は安山岩が分布しており断層と思われる弱層が確認され、詳細な性状は不明であるが、天端部にシルト性粘性土が占めていて湿気を帯び緩みが生じやすい状態となっていた。また、スパン 167 では、地震発生後に周辺地山状況を把握することを目的として調査ボーリングを実施しており、劣化した安山岩が分布していることが確認されている。

復旧のため覆工を撤去した際に支保工の変状を観察したところ、支保工の変状展開図および写真 (図 3.2.10, 写真 3.2.4) に示すように、覆工の破断箇所近傍の支保工にも変状が発生し、縦断方向・横断方向に 10 cm 程度のずれが生じていることが分かった。この変状箇所付近の吹付けコンクリートを撤去し、背面の地山を確認したところ、写真 3.2.5 に示すように変状に沿って褐色に変色した地山が出現し、地山に弱層が存在したことが示唆された。また、インバートには、図 3.2.11 および写真 3.2.6 のとおり、ひび割れや 30~40 cm 程度の盤ぶくれ、5~10 cm 程度の段差が発生した。地質資料と点検結果を総合すると図 3.2.12 のようになる。トンネルの縦断方向が概ね東西方向であることを考慮すると、支保工、覆工およびインバートにおける主な変状は、概ね走向 N65° E 傾斜 25° の面に沿って発生していることが分かった。ただし、図 3.2.9 に示した地質縦断図上の断層の走行・傾斜は不明であり、地震後の調査により明らかとなった地山の弱層の走行・傾斜が一致するかどうかは確認されていない。なお、図 3.2.13~15 に変状箇所近傍のトンネル建設時の切羽観察記録を示すが、No.200+9.8 (図 3.2.14) では切羽面に薄い幅の断層が認められ粘性土を挟んだ部分で滴水程度の湧水が確認されているものの、前後の切羽観察記録においては断層と推定される記録が残っておらず、断層の走向・傾斜は定かではない。ただし、当該区間ではこの断層と天端部の粘性土部分が地震による影響を受けて、変状を発生させる要因となった可能性が考えられる。



写真 3.2.1 俵山トンネルのスパン 167 付近の状況(縦断方向)





写真 3.2.2 俵山トンネルのスパン 167 付近の状況(正面)



写真 3.2.3 俵山トンネルのスパン 167 付近の状況 (崩落した覆エコンクリート塊を復旧工事のために路肩に寄せた状況)

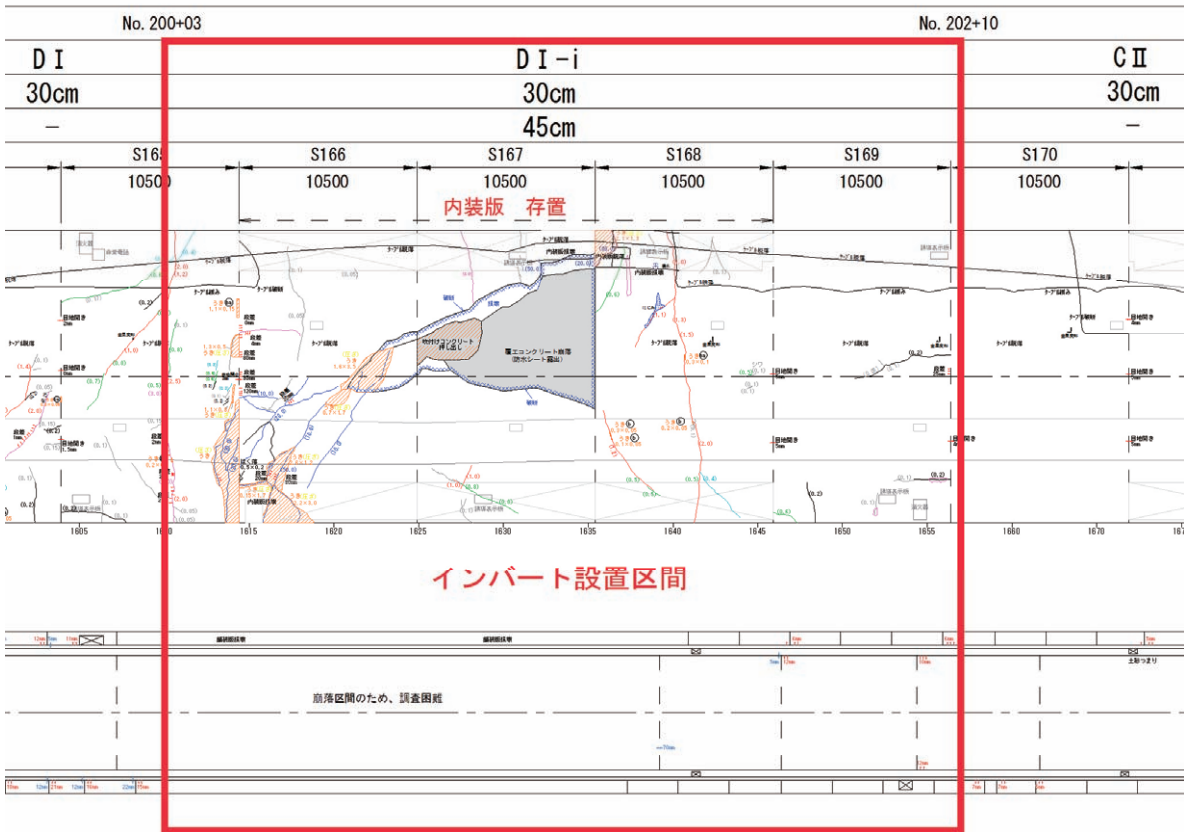


図 3.2.8 俵山トンネルの変状展開図（スパン 165～167）

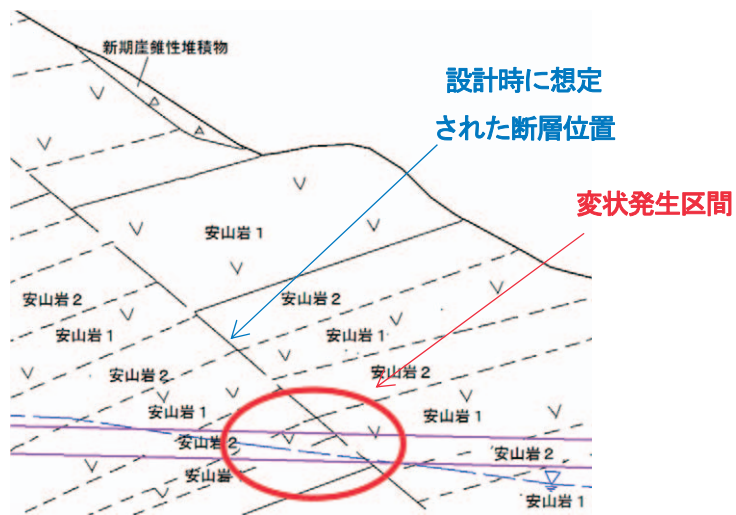


図 3.2.9 俵山トンネルの地質縦断面図（スパン 165～167 付近拡大）



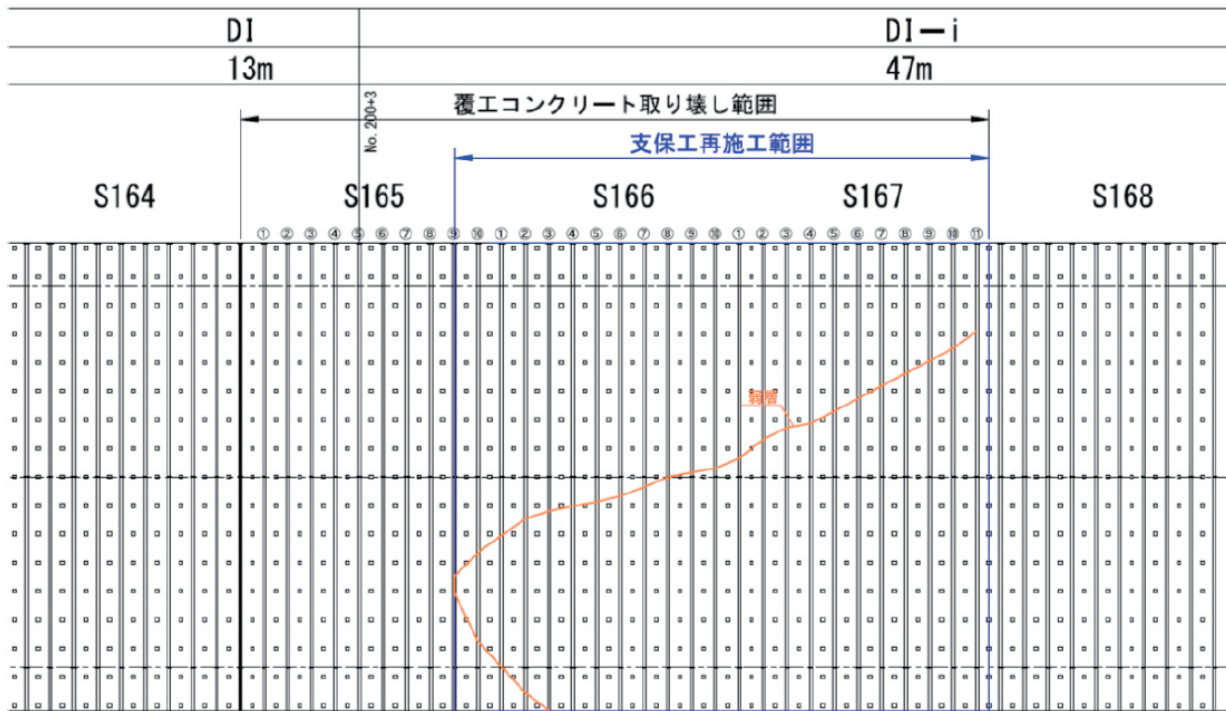


図 3.2.10 俵山トンネルの支保工の変状展開図 (スパン 165~167)



写真 3.2.4 俵山トンネルのスパン 167 付近の支保工の状況 (覆工撤去後)



写真 3.2.5 俵山トンネルのспан 167 付近の支保工背面の地山の状況（周辺を吹付けコンクリートで補強した後に既存の吹付けコンクリートを一部撤去）



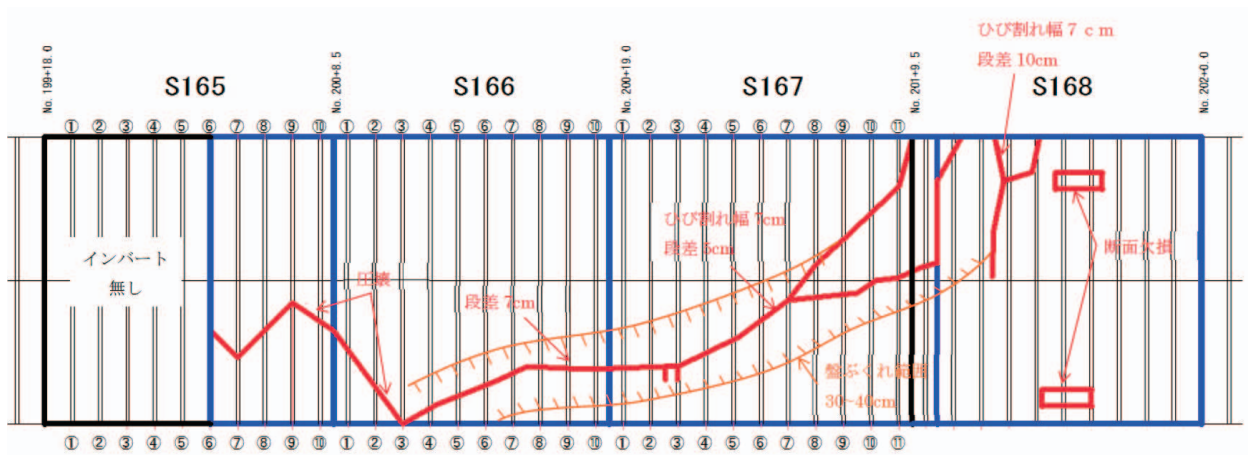


図 3.2.11 俵山トンネルのインバートの変状展開図 (スパン 165~167)



写真 3.2.6 俵山トンネルのスパン 167 付近のインバートの状況



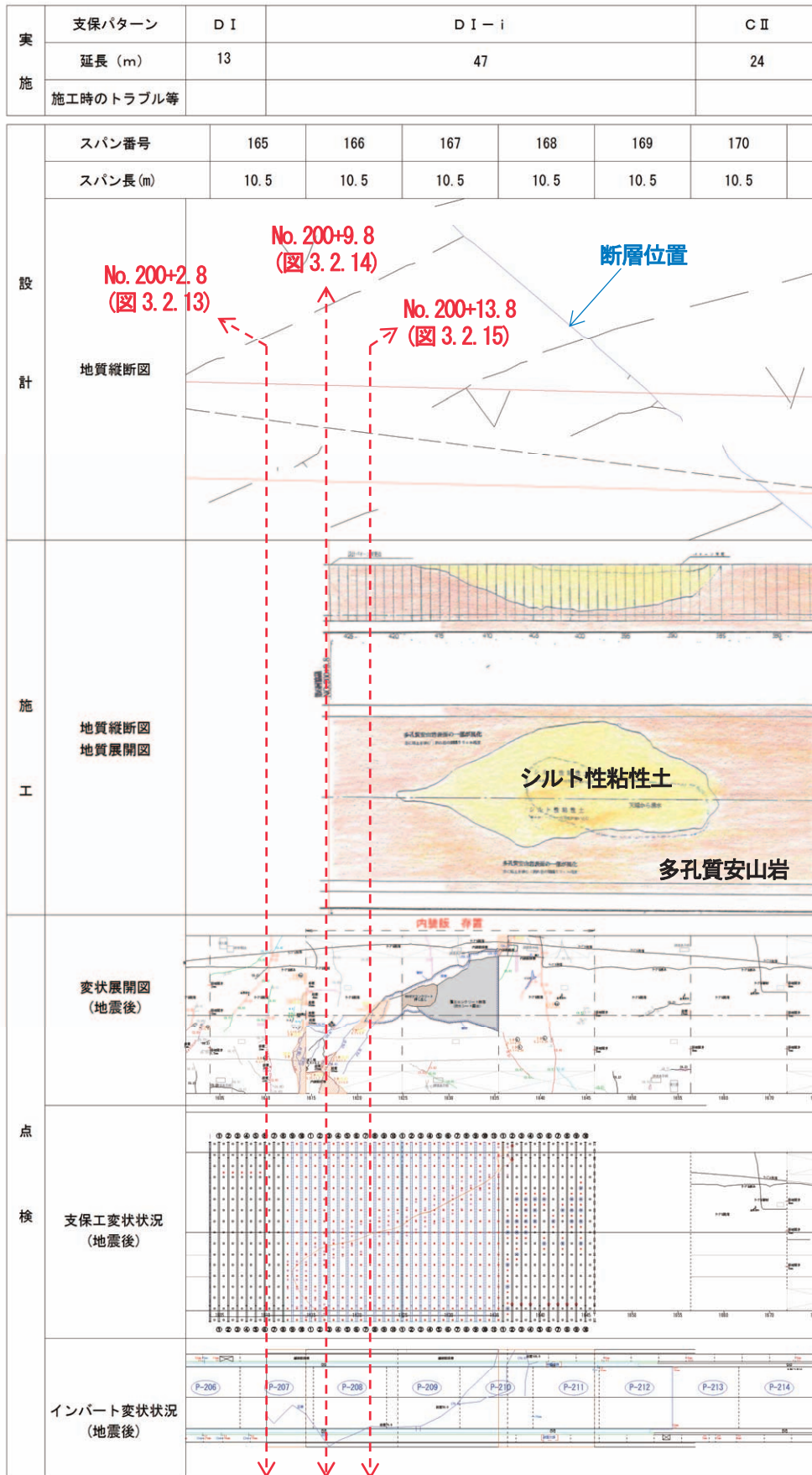


図 3.2.12 俵山トンネルの断層と変状状況 (スパン 165~167)

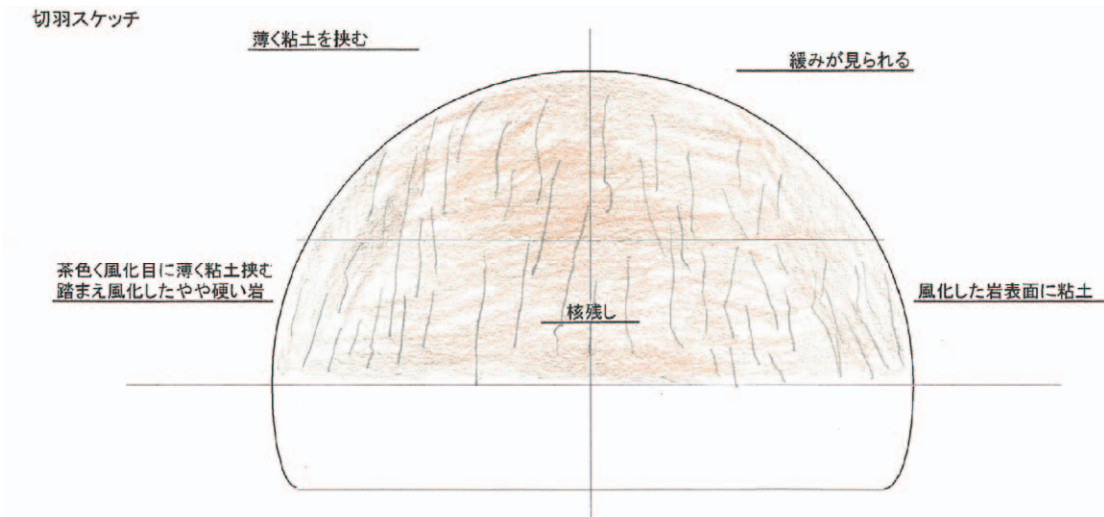


図 3.2.13 切羽スケッチ (スパン 165, No.200+2.8)

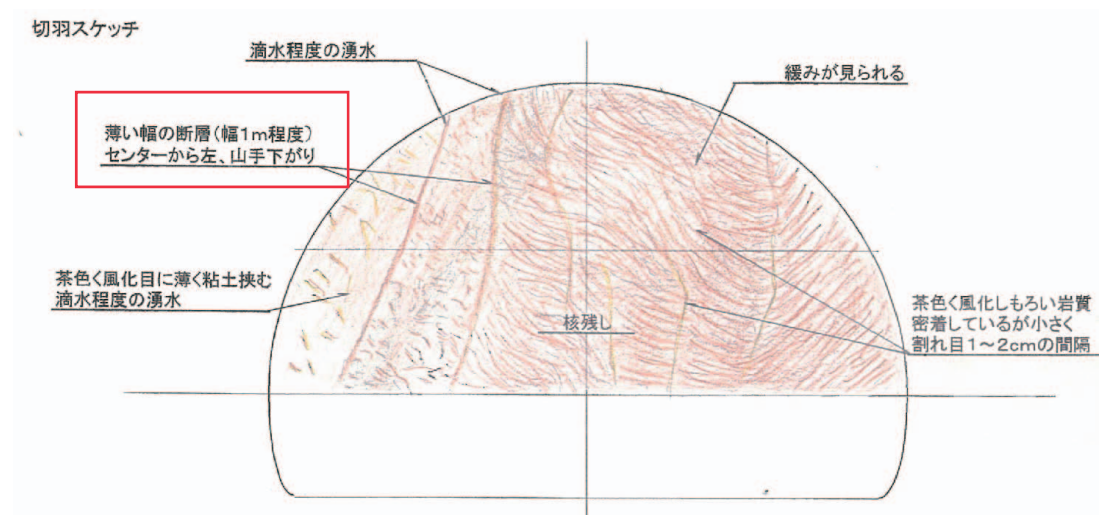


図 3.2.14 切羽スケッチ (スパン 166, No.200+9.8)

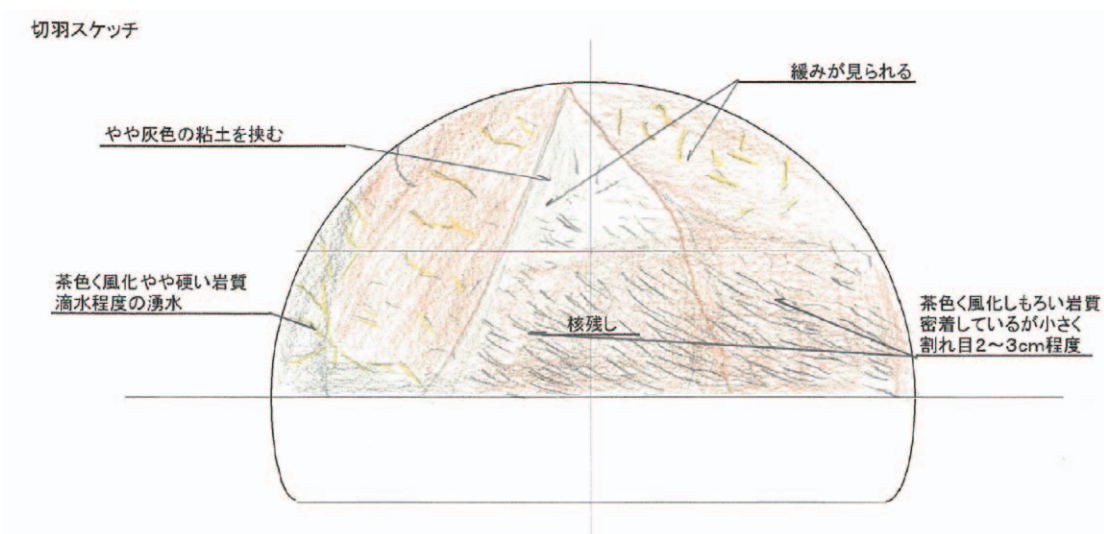


図 3.2.15 切羽スケッチ (スパン 166, No.200+13.8)

## (2) スパン 12～13 における盤ぶくれ等

スパン 12～13 においては、トンネル全周、幅 1m 程度にわたり圧縮破壊が生じ、覆工コンクリートが崩落するとともに盤ぶくれが発生した（写真 3.2.7、図 3.2.16）。また、路面では舗装部が鉛直方向に 20cm 程度浮き上がり、覆工では水平方向に 10cm 程度のずれが生じた。トンネル建設時の地質縦断図（図 3.2.17）や切羽観察記録（図 3.2.18）より、当該区間は地山の変化部となっており、安山岩が流れ目と差し目が相互に分布しており流れ目の層は非常にもろく細片状となっていることが確認された。当該区間内ではインバートが設置されていたものの、全周でせん断ひび割れが発生していた（写真 3.2.8、図 3.2.19）。また、監査歩廊の路盤も浮き上がっており（写真 3.2.9）、当該区間では地震の影響によりトンネルが軸方向に圧縮され、破壊に至ったと想定される。

地質縦断図と変状展開図を統合した図 3.2.20 から分かるように、変状が発生した区間の地山状況として覆工崩落箇所付近に地層境界が存在しており、覆工およびインバートの変状はこの地層境界に近い位置で発生している。

なお、スパン 12 ではスパン 167 と同様に地震後に調査ボーリングを実施しており、安山岩が分布していることが確認されている。既往地質調査結果と今回の地質調査結果についてボーリングコア観察結果および弾性波探査結果を比較したところ、地山の性状に顕著な違いは見られなかった。



写真 3.2.7 俵山トンネルのスパン 12～13 付近の状況



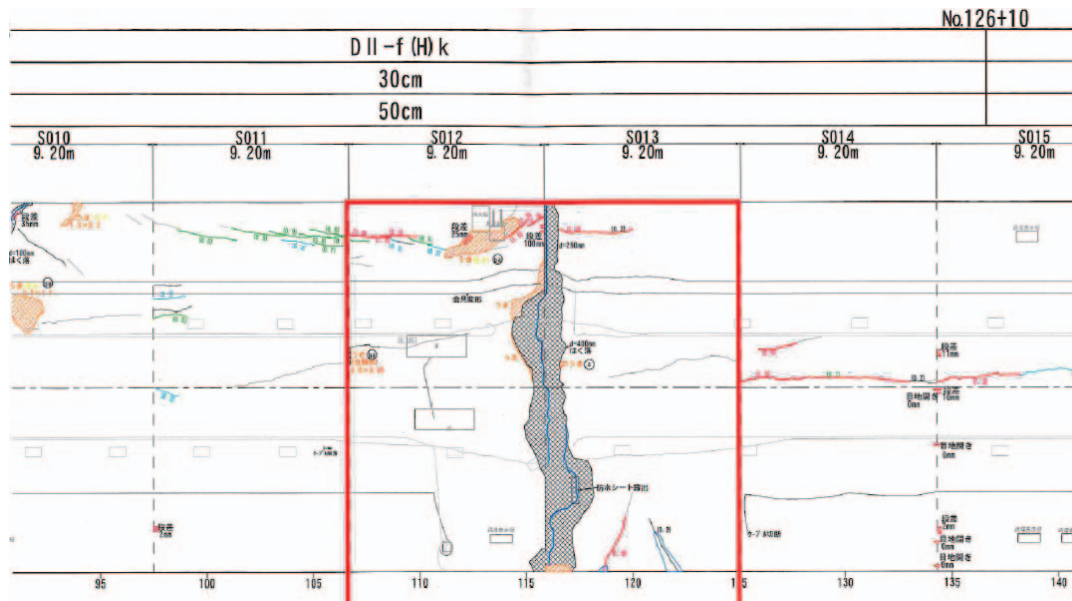


図 3.2.16 俵山トンネルの変状展開図 (スパン 12~13)

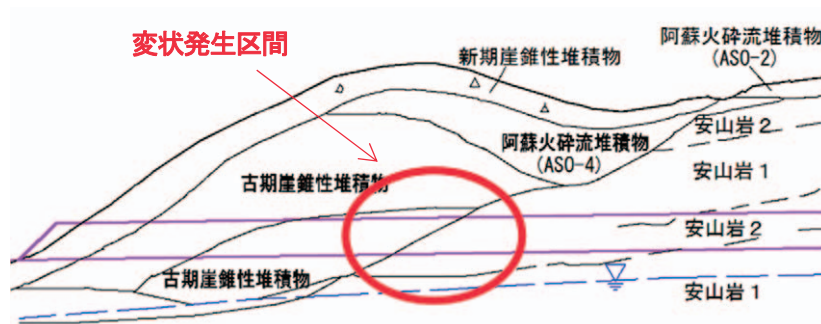


図 3.2.17 俵山トンネルの地質縦断図 (スパン 12~13 付近)

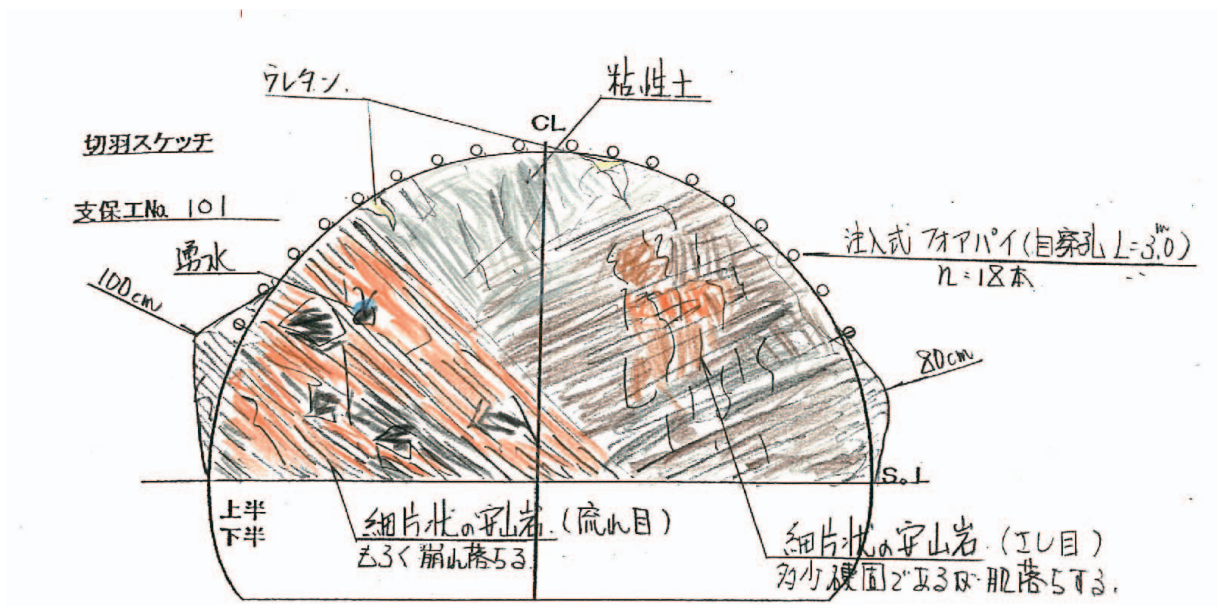


図 3.2.18 切羽スケッチ (スパン 13, No125+9.0)



写真 3.2.8 俵山トンネルのスパン 12~13 のインバートの状況

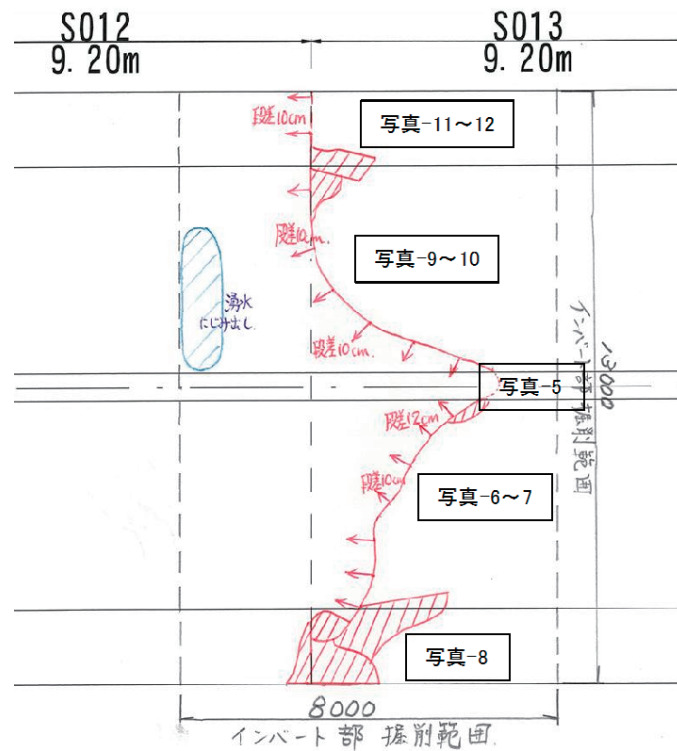


図 3.2.19 俵山トンネルのインバートの変状展開図 (スパン 12~13)





写真 3.2.9 俵山トンネルのスパン 12～13 付近の監査歩廊の浮きあがり状況

|        |                  |                |     |     |     |
|--------|------------------|----------------|-----|-----|-----|
| 実<br>施 | 支保パターン           | D II - f (H) K |     |     |     |
|        | 延長 (m)           | 55             |     |     |     |
|        | 施工時のトラブル等        |                |     |     |     |
| 設<br>計 | スパン番号            | 11             | 12  | 13  | 14  |
|        | スパン長 (m)         | 9.2            | 9.2 | 9.2 | 9.2 |
| 点<br>検 | 地質縦断面図           |                |     |     |     |
|        | 変状展開図 (地震後)      |                |     |     |     |
| 点<br>検 | インバート変状展開図 (地震後) |                |     |     |     |

図 3.2.20 俵山トンネルの地層境界と変状状況 (スパン 12~13)

### (3) スパン4～5におけるせん断ひび割れ

スパン4～5においては、覆工の斜め方向にひび割れが発生した(写真 3.2.10, 図 3.2.21)。ひび割れに沿って覆工コンクリート片のはく落は見られたが、大規模なコンクリート塊の落下は見られなかった。当該区間は坑口部パターンで施工されており、インバートを有するとともに、覆工は単鉄筋補強が行われている区間である。地質縦断図を図 3.2.22 に示すように、地層境界が存在していることを確認した。地質縦断図と地震後の変状展開図を統合した図 3.2.23 より、古期崖錐性堆積物の地層境界付近で変状が発生していることが分かった。上層は礫混じり粘性土( $N=40$  程度,  $V_p=1.1\text{km/s}$  程度), 下層は玉石混じり砂礫( $N=50$  以上,  $V_p=2.3\text{km/s}$  程度)が分布しており、地山性状に差が生じていることが分かった。

建設時の記録より当該区間では粘土層が地層境界に存在していることを確認しており、前述の(1)および(2)と同様に地震による影響を受け、変状を発生させる要因となった可能性がある。ただし当該区間の覆工は前述のように坑口部であることから鉄筋による補強が行われており、(1)および(2)の変状箇所と比較して被害規模が小さく、覆工の崩落には至らなかったものと考えられる。



写真 3.2.10 俵山トンネルのスパン4～5付近の状況

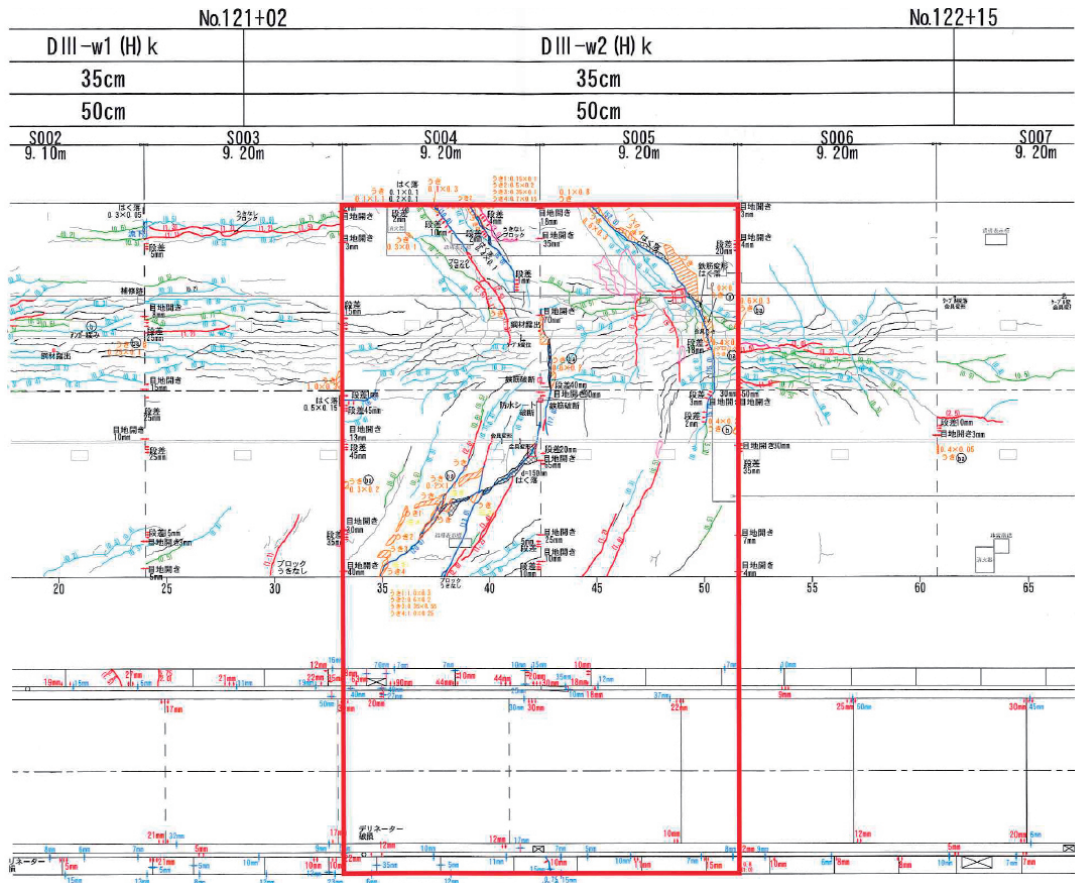


図 3.2.21 俵山トンネルの変状展開図 (スパン4~5)

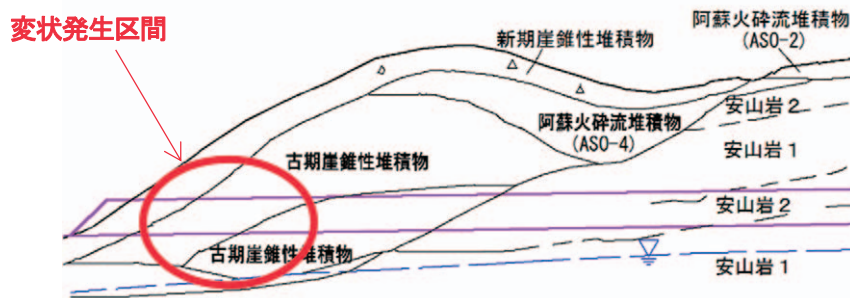


図 3.2.22 俵山トンネルの地質縦断図 (スパン4~5付近)

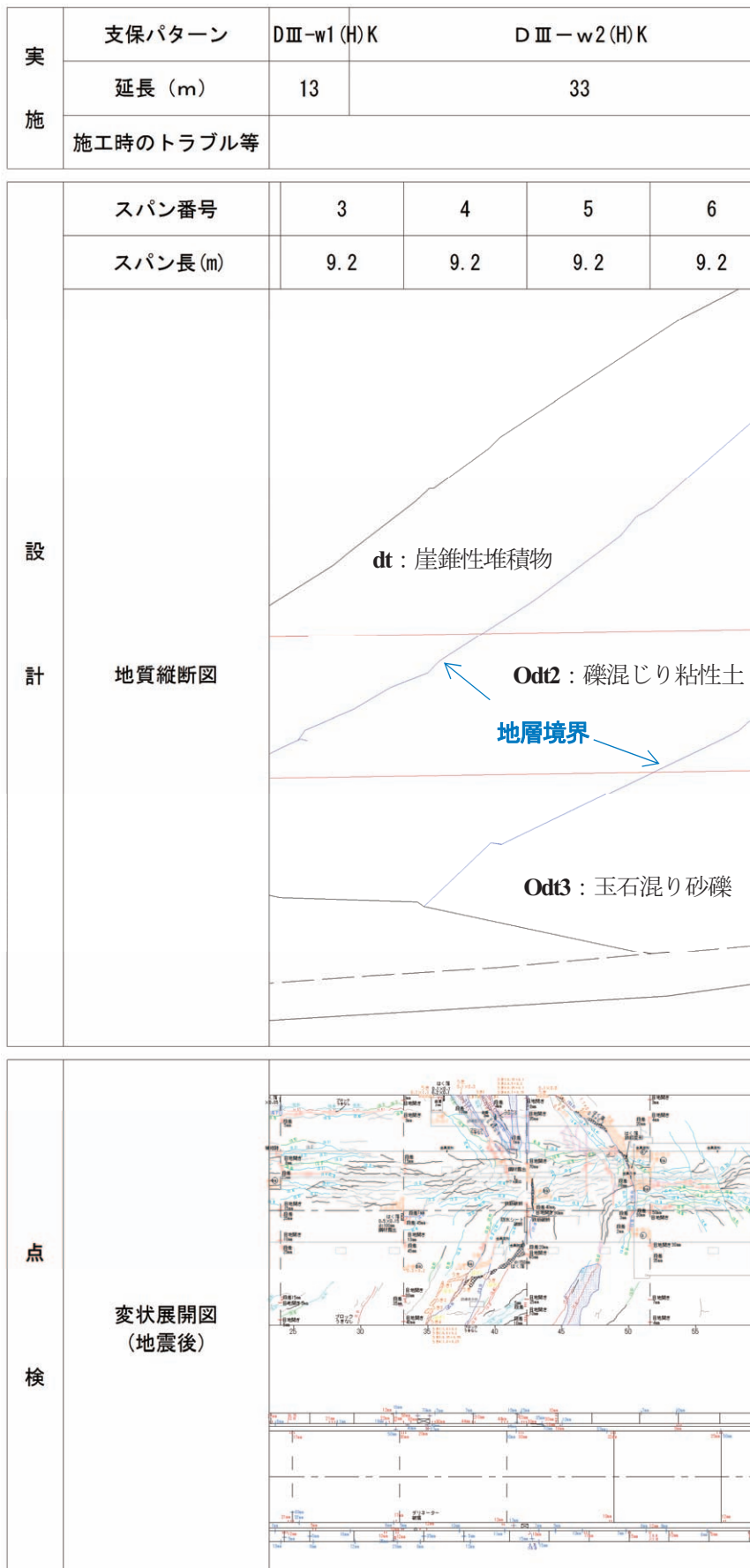


図 3.2.23 俵山トンネルの地層境界と変状状況（スパン4～5）



#### (4) その他の変状

前述の(1)～(3)のほか、スパン 37 付近の天端から肩部付近の圧ざ（写真 3.2.11）、スパン 96 付近の輪切り状のひび割れ（写真 3.2.12）、スパン 185 付近のアーチ部の斜めひび割れ（写真 3.2.13）等が複数箇所が発生した。

トンネル建設時の地質縦断図からは、当該区間において断層や地層境界のような変状の発生要因となる可能性のある性状は確認されていない。

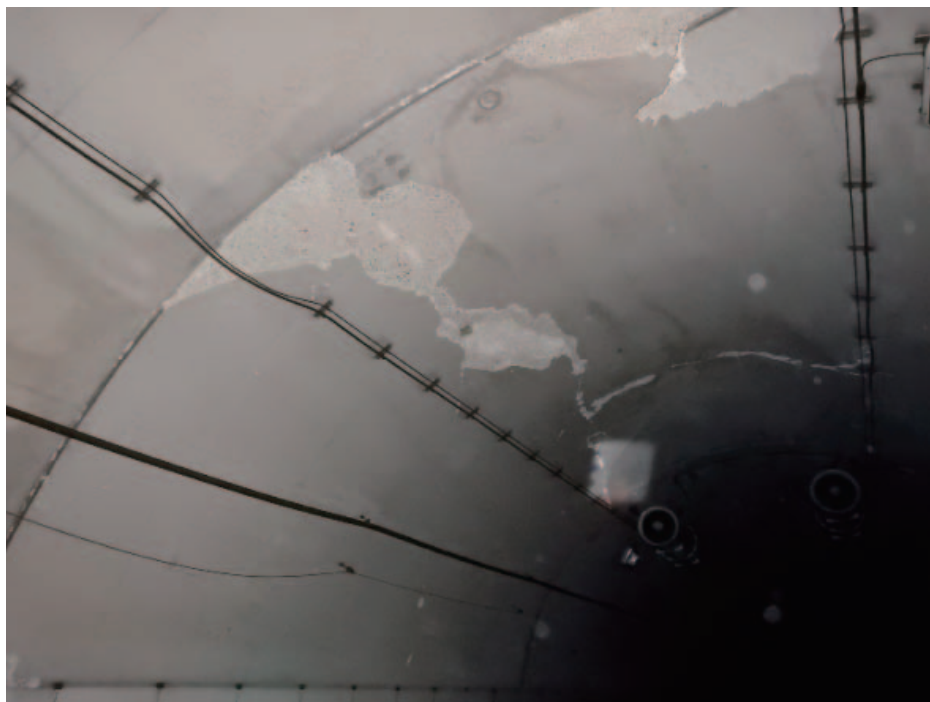


写真 3.2.11 俵山トンネルにおける圧ざの例（スパン 37 付近）



写真 3.2.12 俵山トンネルにおける輪切り状のひび割れの例（スパン 96 付近）



写真 3.2.13 俵山トンネルにおけるアーチ部の斜めひび割れの例（スパン 185 付近）

### 3.2.4 既往の点検結果との比較

前項で示した地震による変状が発生したスパンについて、地震発生前のトンネル点検結果を図 3.2.24～26 に示す。これより、地震前はほとんど変状が確認されていないことがわかる。

地震の影響により圧ざやひび割れが発生したスパンについて地震前後の点検結果を比較(図 3.2.27～29)したところ、漏水や縦断方向のひび割れが確認できるスパンもあるが、全体的に変状の生じている箇所は多くない。漏水や縦断方向のひび割れは、トンネルにおいて一般的に発生する変状であり、地震によってあまり変状が生じていないスパンでもみられ、地震前後の変状の関係性については確認できなかった。

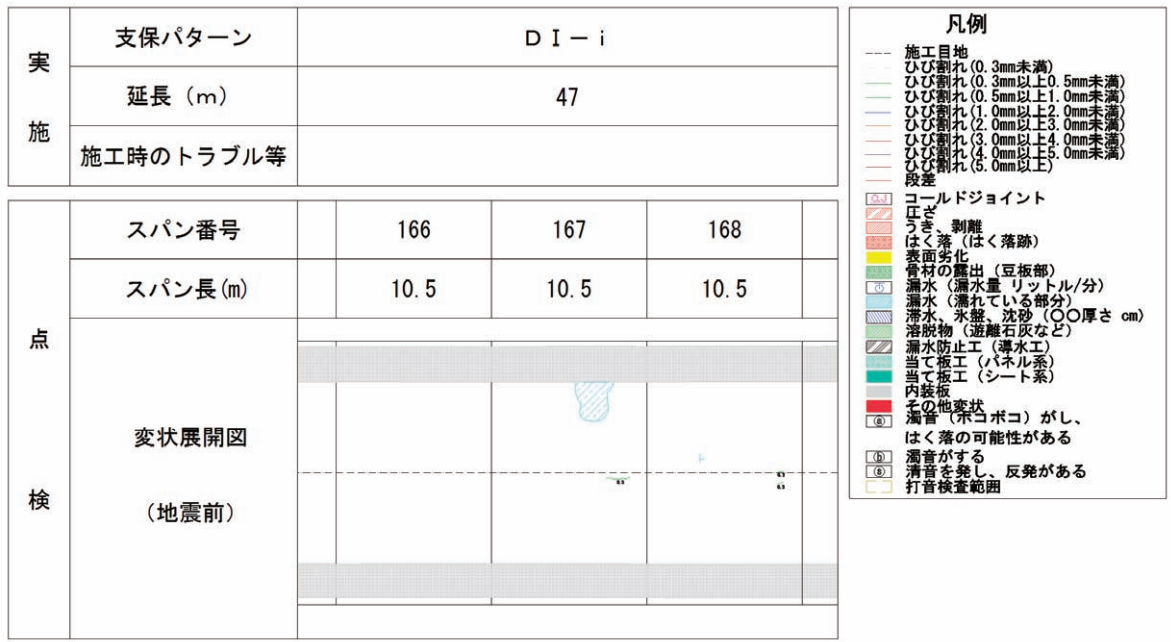


図 3.2.24 地震前の H26 トンネル点検結果 (スパン 167 付近)

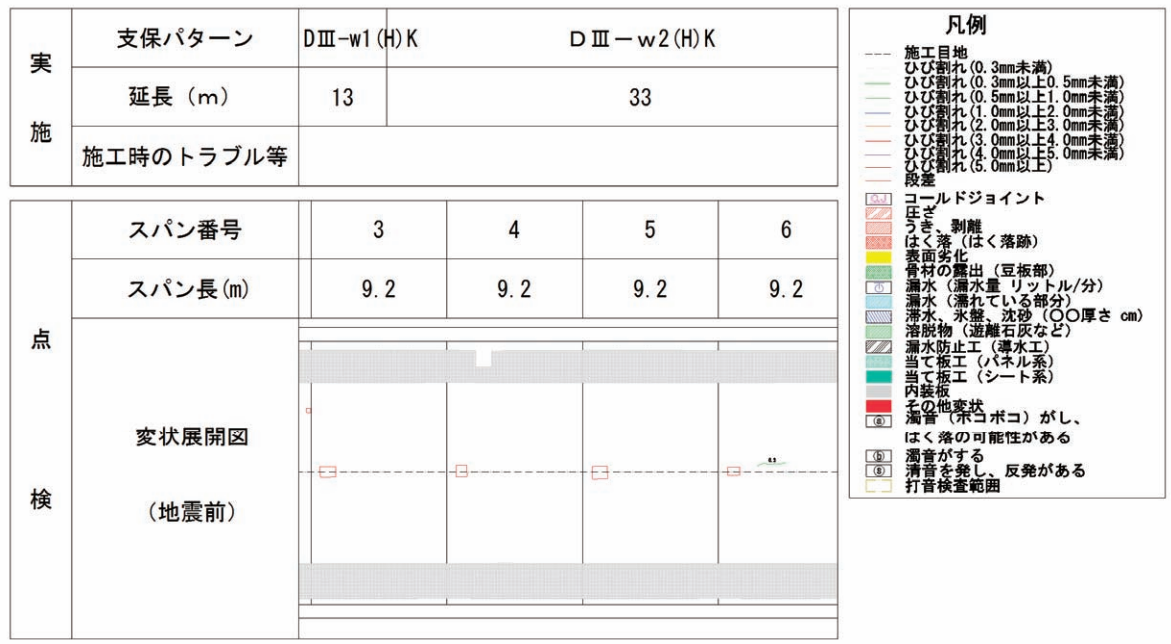


図 3.2.25 地震前の H26 トンネル点検結果 (スパン 4～5 付近)

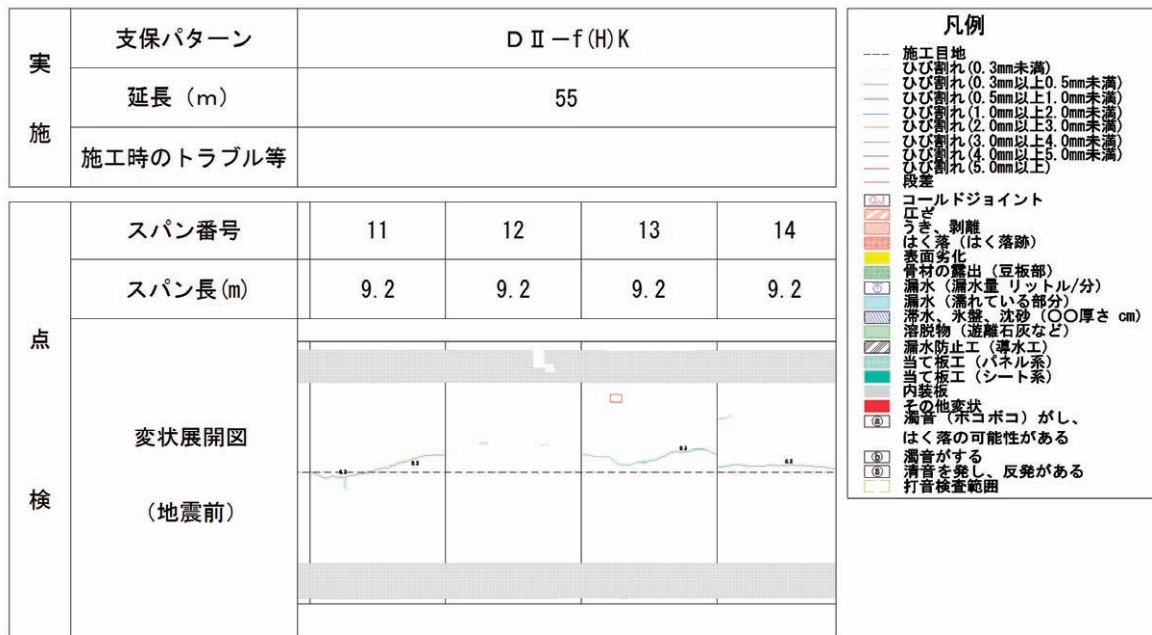
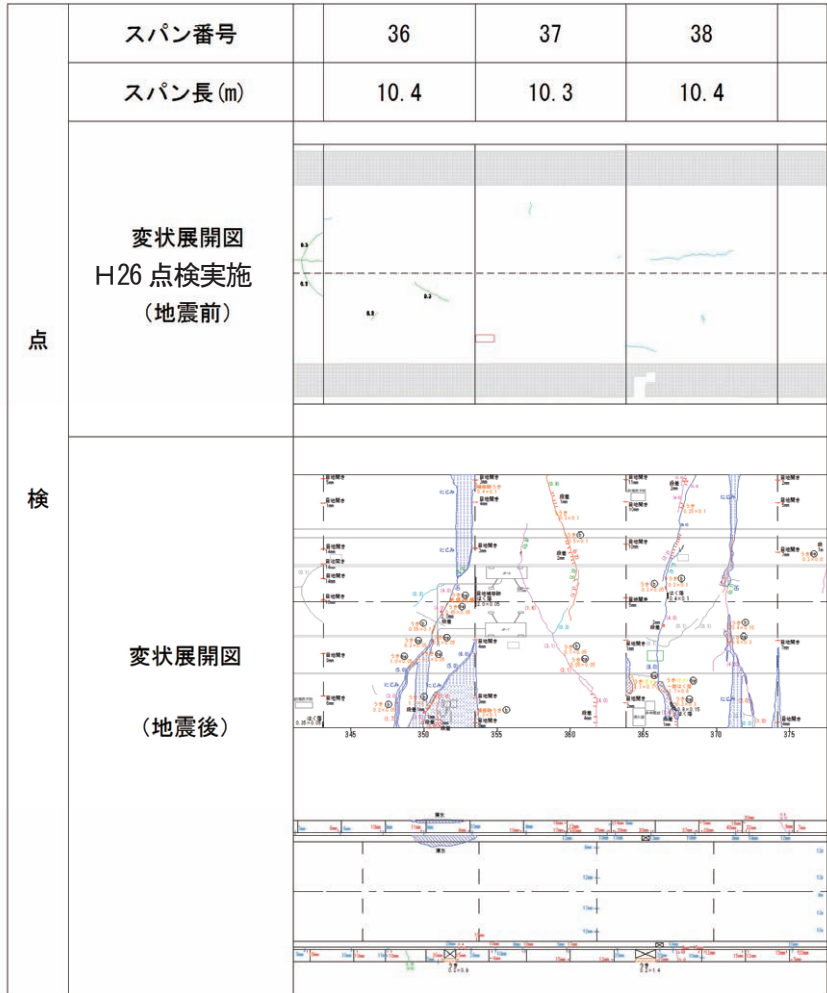


図 3.2.26 地震前の H26 トンネル点検結果 (スパン 12~13 付近)

|        |           |     |  |  |  |
|--------|-----------|-----|--|--|--|
| 実<br>施 | 支保パターン    | D I |  |  |  |
|        | 延長 (m)    | 298 |  |  |  |
|        | 施工時のトラブル等 |     |  |  |  |



**凡例**

- 施工目地
- ひび割れ (0.3mm未満)
- ひび割れ (0.3mm以上0.5mm未満)
- ひび割れ (0.5mm以上1.0mm未満)
- ひび割れ (1.0mm以上2.0mm未満)
- ひび割れ (2.0mm以上3.0mm未満)
- ひび割れ (3.0mm以上4.0mm未満)
- ひび割れ (4.0mm以上5.0mm未満)
- ひび割れ (5.0mm以上)
- 段差
- ① コールドジョイント
- ② 欠き、剥離
- ③ はく落 (はく落跡)
- ④ 表面劣化
- ⑤ 骨材の露出 (豆板部)
- ⑥ 漏水 (漏水量 リットル/分)
- ⑦ 漏水 (滲れている部分)
- ⑧ 滞水、氷盤、沈砂 (○厚さ cm)
- ⑨ 溶脱物 (遊離石灰など)
- ⑩ 漏水防止工 (導水工)
- ⑪ 当て板工 (パネル系)
- ⑫ 当て板工 (シート系)
- ⑬ 内装板
- ⑭ その他変状
- ⑮ 濁音 (ボコボコ) がし、はく落の可能性がある
- ⑯ 濁音がする
- ⑰ 清音を発し、反発がある
- ⑱ 打音検査範囲

図 3.2.27 地震前後のトンネル点検結果 (スパン 37 付近)



|        |           |         |  |        |
|--------|-----------|---------|--|--------|
| 実<br>施 | 支保パターン    | D I - i |  | D I    |
|        | 延長 (m)    | 40      |  | 116.95 |
|        | 施工時のトラブル等 |         |  |        |

|   |                            |      |      |      |  |
|---|----------------------------|------|------|------|--|
| 点 | スパン番号                      | 95   | 96   | 97   |  |
|   | スパン長 (m)                   | 10.4 | 10.3 | 10.4 |  |
| 検 | 変状展開図<br>H26 点検実施<br>(地震前) |      |      |      |  |
|   | 変状展開図<br>(地震後)             |      |      |      |  |

| 凡例  |                         |
|-----|-------------------------|
| --- | 施工目地                    |
| --- | ひび割れ (0.3mm未満)          |
| --- | ひび割れ (0.3mm以上0.5mm未満)   |
| --- | ひび割れ (0.5mm以上1.0mm未満)   |
| --- | ひび割れ (1.0mm以上2.0mm未満)   |
| --- | ひび割れ (2.0mm以上3.0mm未満)   |
| --- | ひび割れ (3.0mm以上4.0mm未満)   |
| --- | ひび割れ (4.0mm以上5.0mm未満)   |
| --- | ひび割れ (5.0mm以上)          |
| --- | 段差                      |
| --- | コールドジョイント               |
| --- | 圧さ                      |
| --- | うき、剥離                   |
| --- | はく落 (はく落跡)              |
| --- | 表面劣化                    |
| --- | 骨材の露出 (豆板部)             |
| --- | 漏水 (漏水量 リットル/分)         |
| --- | 漏水 (滲れている部分)            |
| --- | 滞水、水溜り、沈砂 (○厚さ cm)      |
| --- | 溶脱物 (遊離石灰など)            |
| --- | 漏水防止工 (導水工)             |
| --- | 当て板工 (パネル系)             |
| --- | 当て板工 (シート系)             |
| --- | 内装板                     |
| --- | その他変状                   |
| --- | 濁音 (ホコボコ) がし、はく落の可能性がある |
| --- | 濁音がする                   |
| --- | 清音を発し、反発がある             |
| --- | 打音検査範囲                  |

図 3.2.28 地震前後のトンネル点検結果 (スパン 96 付近)

|        |           |     |  |  |
|--------|-----------|-----|--|--|
| 実<br>施 | 支保パターン    | D I |  |  |
|        | 延長 (m)    | 75  |  |  |
|        | 施工時のトラブル等 |     |  |  |

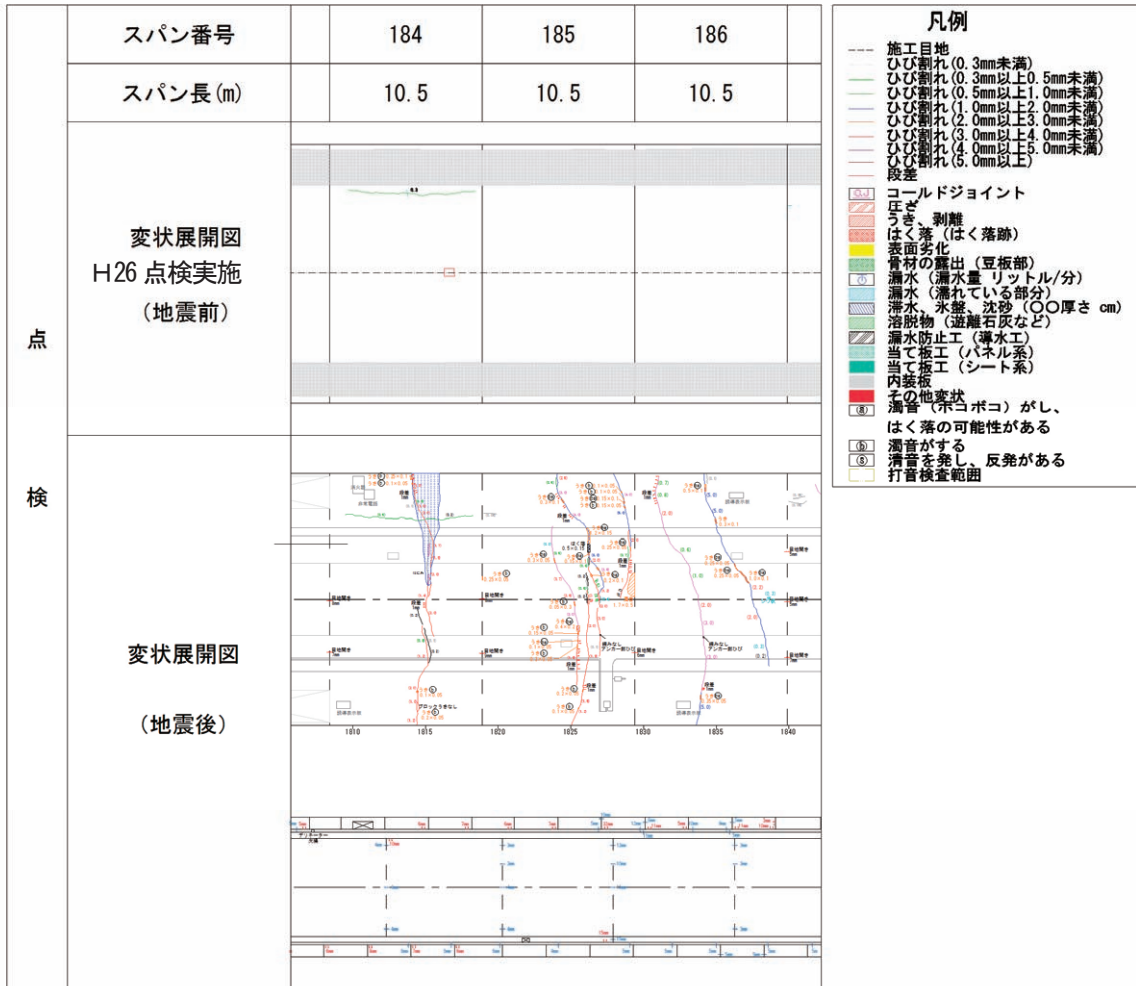


図 3.2.29 地震前後のトンネル点検結果 (スパン 185 付近)

### 3.2.5 復旧方法

俵山トンネルで実施された変状対策工を以下に示す。

- ①内装工(内装版撤去工, 内装版設置工)
- ②はく落対策工(形鋼当て板工, ネット設置工, シート接着工, 断面修復工)
- ③ひび割れ対策工(止水注入工, ひび割れ注入工)
- ④舗装撤去・復旧工
- ⑤各種補強工(覆工コンクリート工, インバートコンクリート工, 吹付コンクリート工等)

3.2.3 の変状箇所における補修・補強概要を以下より示す。スパン 165 の一部, 166, 167 において支保工の入れ替えを実施している。

なお, 覆工の打ち替えやインバートの打ち替えを行った箇所については, それぞれ単鉄筋補強を行っている。

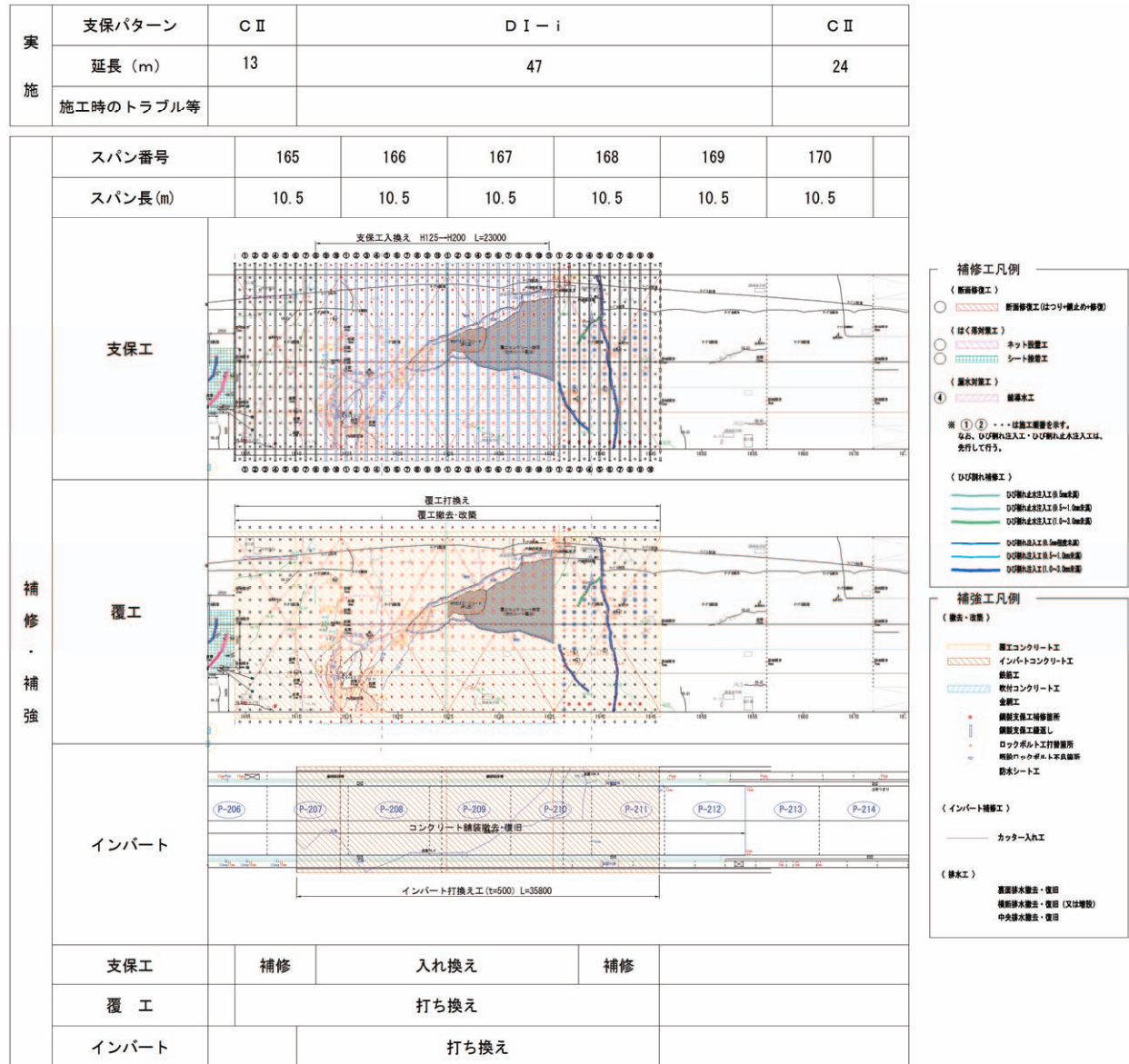


図 3.2.30 変状対策工 (スパン 167 付近)

|                       |           |               |      |     |     |
|-----------------------|-----------|---------------|------|-----|-----|
| 実<br>施                | 支保パターン    | D II -f (H) K |      |     |     |
|                       | 延長 (m)    | 55            |      |     |     |
|                       | 施工時のトラブル等 |               |      |     |     |
| 補<br>修<br>・<br>補<br>強 | スパン番号     | 11            | 12   | 13  | 14  |
|                       | スパン長 (m)  | 9.2           | 9.2  | 9.2 | 9.2 |
|                       | 変状対策工展開図  |               |      |     |     |
|                       | 覆工        |               | 打ち換え |     |     |
|                       | インバート     |               | 打ち換え |     |     |

**補修工凡例**

〈断面修復工〉

① 断面修復工(はつり・錆止め・修復)

〈はく落対策工〉

② ネット設置工

③ シート接着工

〈漏水対策工〉

④ 経導水工

※ ①②・・・は施工順番を示す。  
なお、ひび割れ注入工・ひび割れ止水注入工は、先行して行う。

〈ひび割れ補修工〉

ひび割れ止水注入工(0.5mm未満)

ひび割れ止水注入工(0.5~1.0mm未満)

ひび割れ止水注入工(1.0~2.0mm未満)

ひび割れ注入工(0.5mm程度未満)

ひび割れ注入工(0.5~1.0mm未満)

ひび割れ注入工(1.0~2.0mm未満)

**補強工凡例**

〈撤去・改築〉

覆工コンクリート工

インバートコンクリート工

鉄筋工

吹付コンクリート工

金網工

鋼製支保工補修箇所

鋼製支保工繰返し

ロックボルト工打替箇所

既設ロックボルト不良箇所

防水シート工

〈インバート補修工〉

カッター入れ工

〈排水工〉

裏面排水撤去・復旧

横断排水撤去・復旧(又は増設)

中央排水撤去・復旧

図 3.2.31 変状対策工 (スパン 12~13 付近)



|        |           |           |           |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 実<br>施 | 支保パターン    | DⅢ-w1(H)K | DⅢ-w2(H)K |
|        | 延長 (m)    | 13        | 33        |
|        | 施工時のトラブル等 |           |           |

|                       |          |                   |        |                   |     |
|-----------------------|----------|-------------------|--------|-------------------|-----|
| 補<br>修<br>・<br>補<br>強 | スパン番号    | 3                 | 4      | 5                 | 6   |
|                       | スパン長 (m) | 9.2               | 9.2    | 9.2               | 9.2 |
|                       | 変状対策工展開図 |                   |        |                   |     |
|                       | 覆工       | シート接着工<br>ひび割れ注入工 | 打ち換え   | シート接着工<br>ひび割れ注入工 |     |
|                       | インバート    |                   | 部分打ち換え |                   |     |

**補修工凡例**

〈断面修復工〉

① 断面修復工(はつり+錆止め+修復)

〈はく落対策工〉

② ネット設置工

③ シート接着工

〈漏水対策工〉

④ 排水工

※ ①②・・・は施工順序を示す。  
なお、ひび割れ注入工・ひび割れ止水注入工は、先行して行う。

〈ひび割れ補修工〉

ひび割れ止水注入工(0.5mm未満)

ひび割れ止水注入工(0.5~1.0mm未満)

ひび割れ止水注入工(1.0~3.0mm未満)

ひび割れ注入工(0.5mm未満未満)

ひび割れ注入工(0.5~1.0mm未満)

ひび割れ注入工(1.0~3.0mm未満)

**補強工凡例**

〈撤去・改築〉

覆工コンクリート工

インバートコンクリート工

鉄筋工

吹付コンクリート工

金網工

鋼製支保工補修箇所

鋼製支保工撤去

ロックボルト工打替箇所

既設ロックボルト不良箇所

防水シート工

〈インバート補修工〉

カッター入れ工

〈排水工〉

表面排水撤去・復旧

横断排水撤去・復旧(又は増設)

中央排水撤去・復旧

図 3.2.32 変状対策工 (スパン 4~5 付近)

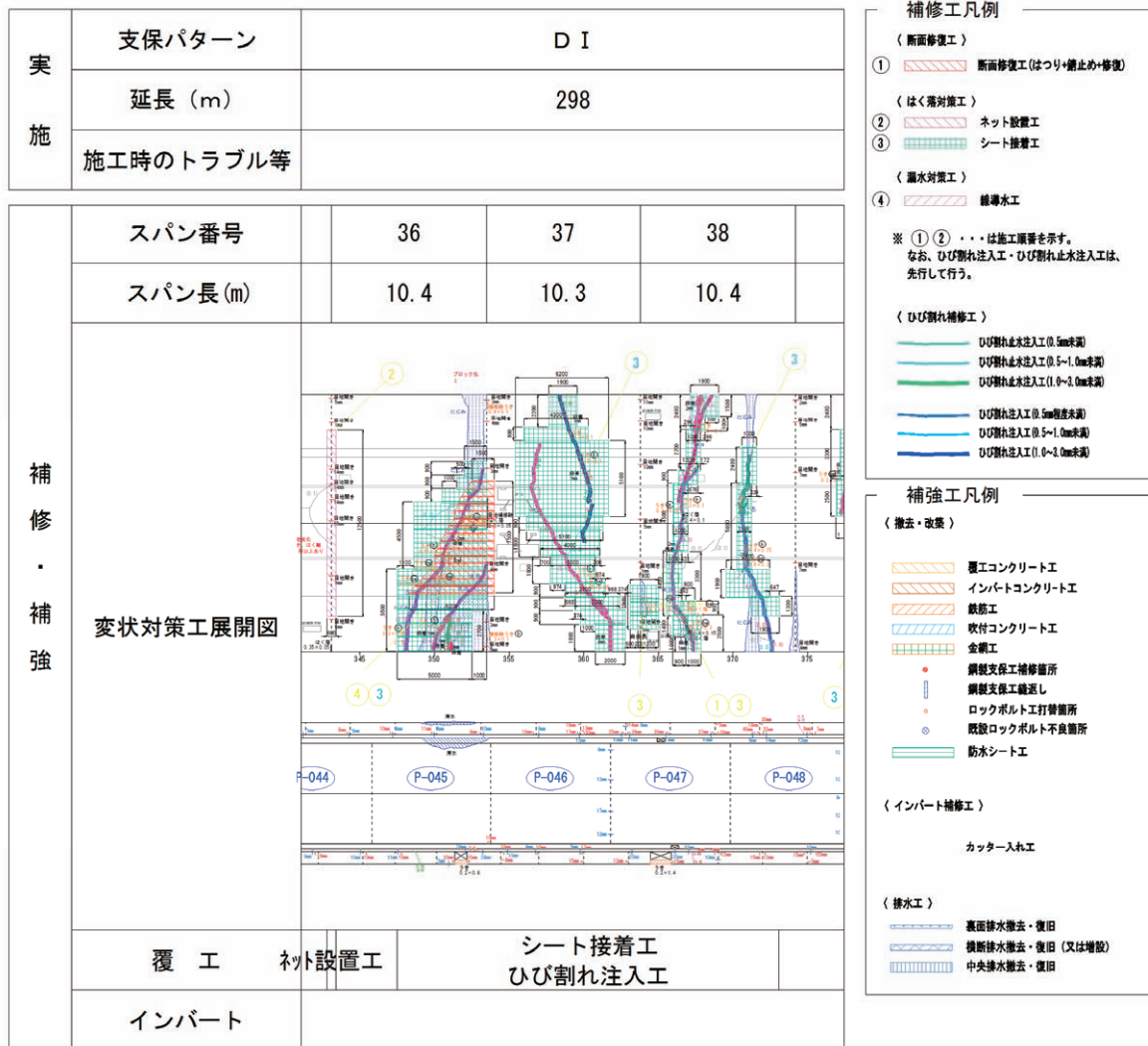


図 3.2.33 変状対策工 (スパン 37 付近)

|                       |           |         |                   |       |        |  |
|-----------------------|-----------|---------|-------------------|-------|--------|--|
| 実<br>施                | 支保パターン    | D I - i |                   |       | D I    |  |
|                       | 延長 (m)    | 40      |                   |       | 116.95 |  |
|                       | 施工時のトラブル等 |         |                   |       |        |  |
| 補<br>修<br>・<br>補<br>強 | スパン番号     | 95      | 96                | 97    |        |  |
|                       | スパン長 (m)  | 10.4    | 10.3              | 10.4  |        |  |
|                       | 変状対策工展開図  |         |                   |       |        |  |
|                       |           | 覆工      | シート接着工<br>ひび割れ注入工 | 打ち換え  |        |  |
|                       |           | インバート   |                   | 排水工復旧 |        |  |

**補修工凡例**

〈断面修復工〉

① 断面修復工(はつり+補止め+修復)

〈はく露対策工〉

② ネット設置工

③ シート接着工

〈漏水対策工〉

④ 縁溝水工

※ ①②・・・は施工順序を示す。  
なお、ひび割れ注入工・ひび割れ止水注入工は、先行して行う。

〈ひび割れ補修工〉

ひび割れ止水注入工(0.5m未満)

ひび割れ止水注入工(0.5~1.0m未満)

ひび割れ止水注入工(1.0~2.0m未満)

ひび割れ注入工(0.5m未満未満)

ひび割れ注入工(0.5~1.0m未満)

ひび割れ注入工(1.0~2.0m未満)

**補強工凡例**

〈撤去・改築〉

覆工コンクリート工

インバートコンクリート工

鉄筋工

吹付コンクリート工

金網工

鋼製支保工補修箇所

鋼製支保工繰返し

ロックボルト工打替箇所

既設ロックボルト不良箇所

防水シート工

〈インバート補修工〉

カッター入れ工

〈排水工〉

裏面排水撤去・復旧

横断排水撤去・復旧(又は増設)

中央排水撤去・復旧

図 3.2.34 変状対策工 (スパン 96 付近)

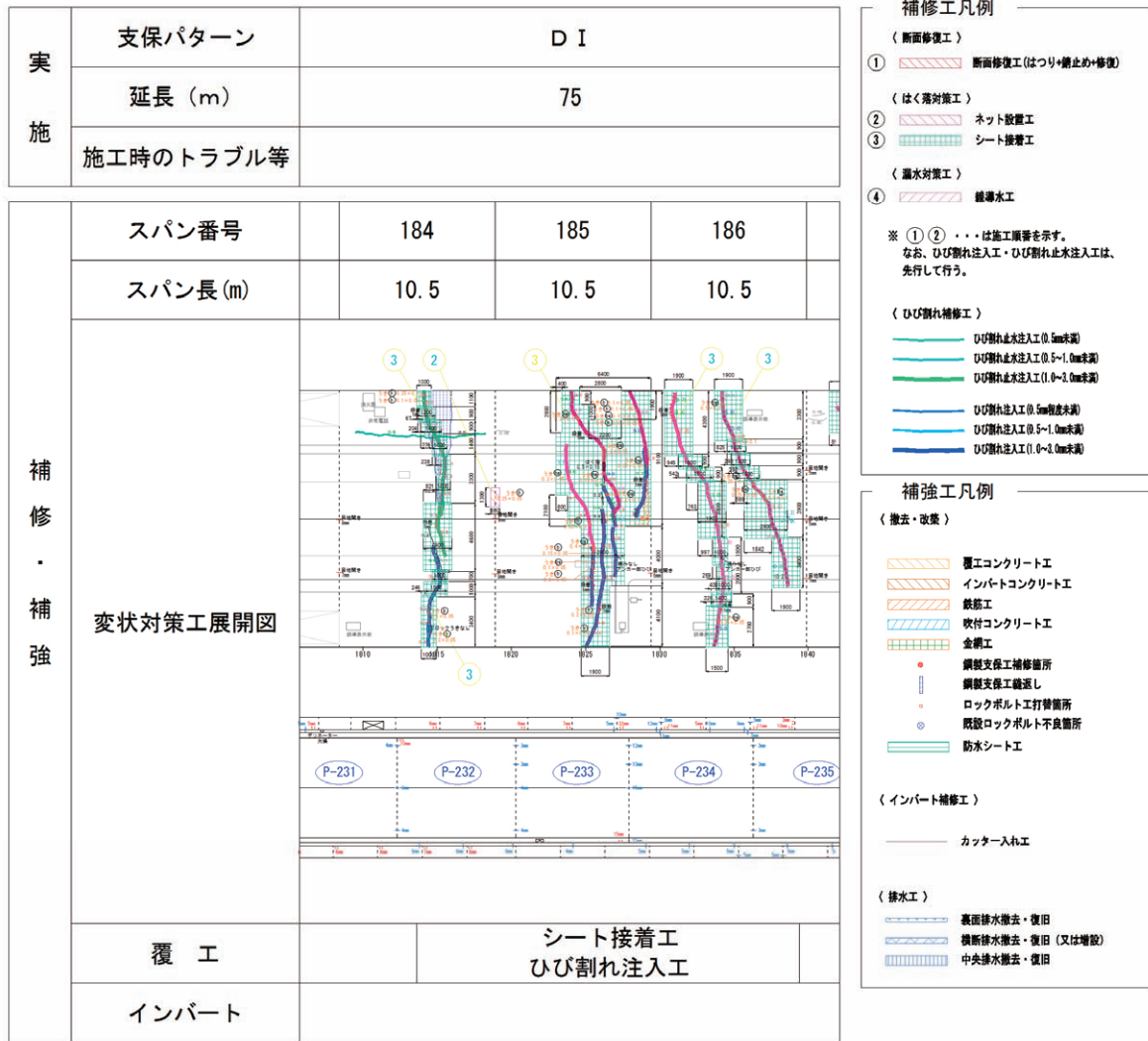


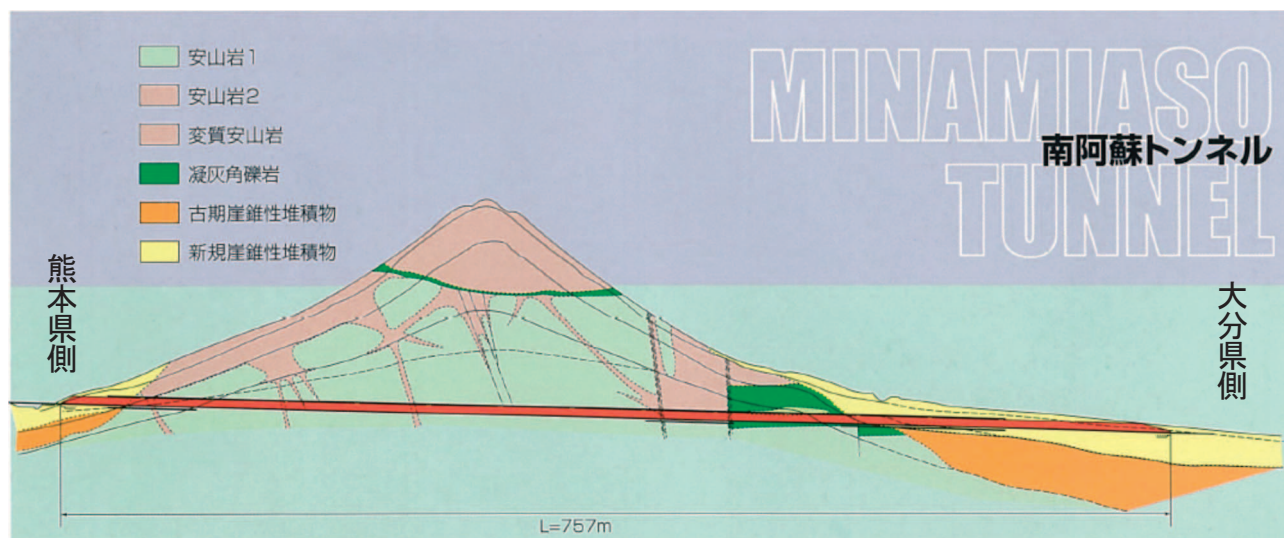
図 3.2.35 変状対策工 (スパン 185 付近)



### 3.3 南阿蘇トンネルの被害

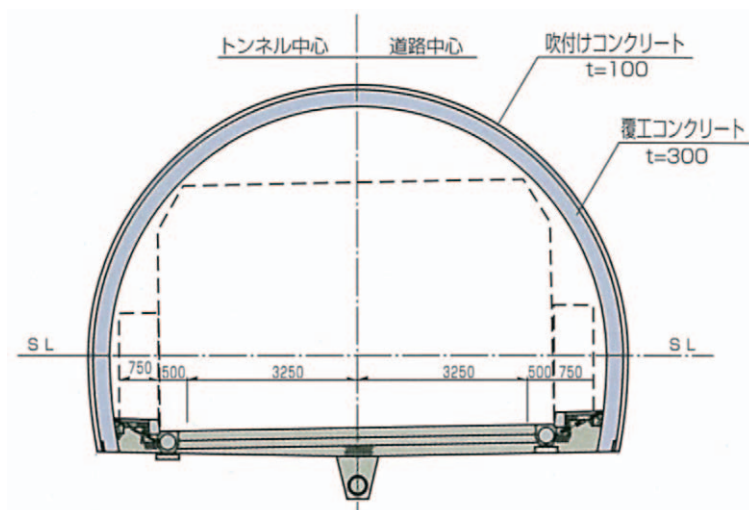
#### 3.3.1 トンネルの概要

熊本県道 28 号南阿蘇トンネルは、俵山トンネルに隣接し、NATM により建設された延長 757m の 2 車線道路トンネルで、2000 年に竣工した。地質縦断図および断面図は、それぞれ図 3.3.1 および図 3.3.2 のとおりである。



(出典：熊本県パンフレット)

図 3.3.1 南阿蘇トンネル地質縦断図



(出典：熊本県パンフレット)

図 3.3.2 南阿蘇トンネル断面図

### 3.3.2 活断層からの距離

熊本地震において活動したとされる布田川断層と南阿蘇トンネルの位置関係は、図 3.3.3 のとおりである。平面図上は、南阿蘇トンネルと布田川断層の距離は 2 km 程度である。ただし、断層は地下に存在することや、走向・傾斜を有していること等から、トンネルと活断層の正確な距離を算定するには、より詳細な検討が必要と考えられる。



(産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆)

図 3.3.3 南阿蘇トンネルと布田川断層の位置関係

### 3.3.3 地震被害の状況

南阿蘇トンネルにおいては、地震の影響により発生したと推定される主な変状として、スパン 40 で確認された輪切り状のひび割れが挙げられる（写真 3.3.1，図 3.3.4）。図 3.3.5～6 に示す地質縦断図よりこの区間の支保パターンは DI-i で、地質調査結果より低速度帯（熱水変質帯または断層破碎帯の存在と想定）が存在すると指摘されていた区間である。

建設時の資料によると、トンネル掘削時に当該スパン内の No.260+18.0 付近で天端崩落が生じ（写真 3.3.2）、200 m<sup>3</sup> 程度の土砂流出が発生した記録が残っていた。崩落要因として、地山からの地下水が変質帯部の粘土化帯を押し出したと推定されている。地質は凝灰角礫岩が主に分布しており、部分的に高含水の粘土化帯が存在している。水抜きボーリングの結果より 340 l/min 程度の排水が生じていることから、水の影響を受けて粘土化が進行し上記のような軟弱部となった可能性が考えられている。崩落後における鏡面および天端部の補強として、注入式フォアパイリング（写真 3.3.3，図 3.3.7）と空洞部の中詰工として薬液注入を行い、上記の低速度帯の掘削に伴い発生する、地山の偏圧への対応として増しロックボルトを行っている。また、復旧工事の際に崩落発生区間前後では、覆工部とインバート部に鉄筋区間が存在することを確認した（図 3.3.8）。既往資料等を確認したところ鉄筋補強を行った経緯については不明であるが、施工時に対策が必要と判断され補強したものと推察される。当該区間ではこの軟弱部が地震による影響を受けて、変状を発生させる要因となった可能性が考えられる。



写真 3.3.1 南阿蘇トンネルのスパン 40 付近の写真

No. 259+18

D I - i (※地質縦断図：低速度帯⇒熱水変質帯または断層破碎帯の存在)

30cm

45cm

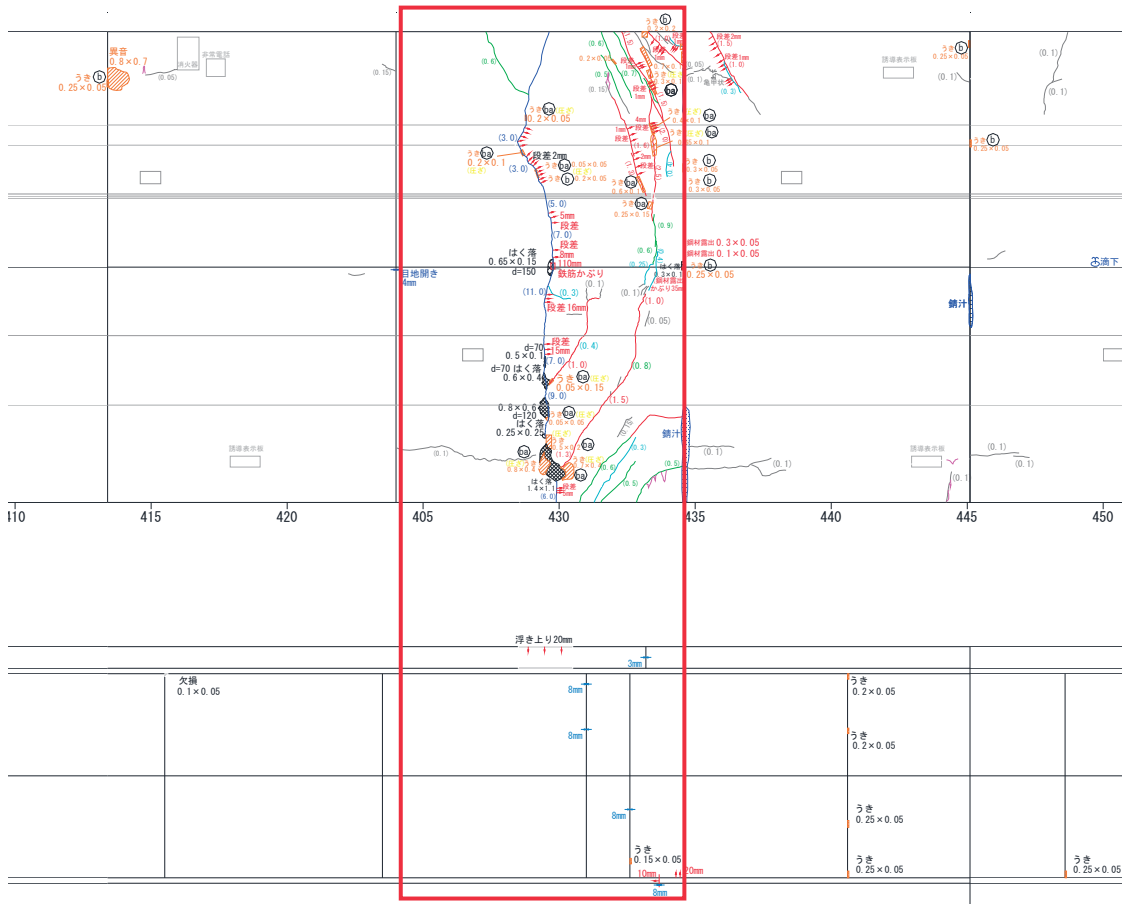


図 3.3.4 南阿蘇トンネルの変状展開図 (スパン 40 付近)



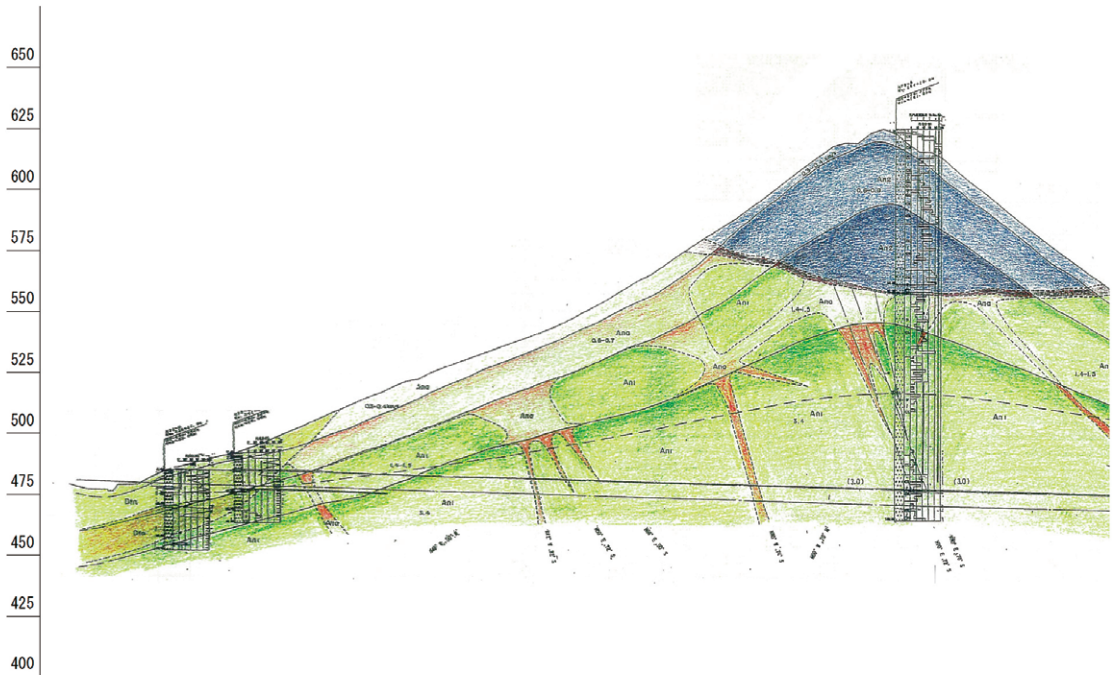


図 3.35 南阿蘇トンネル地質縦断面図 1/2







写真 3.3.2 No.260+18 付近の崩落発生状況

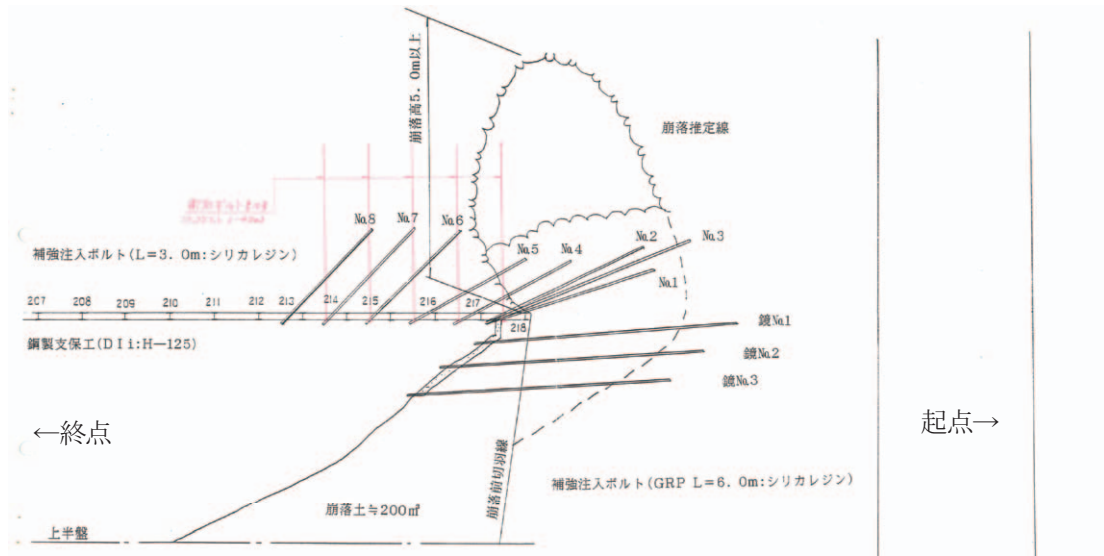


図 3.3.7 南阿蘇トンネル崩落状況(断面図・掘削方向)



写真 3.3.3 南阿蘇トンネルにおける No.260+18 付近の補助工法施工後の状況


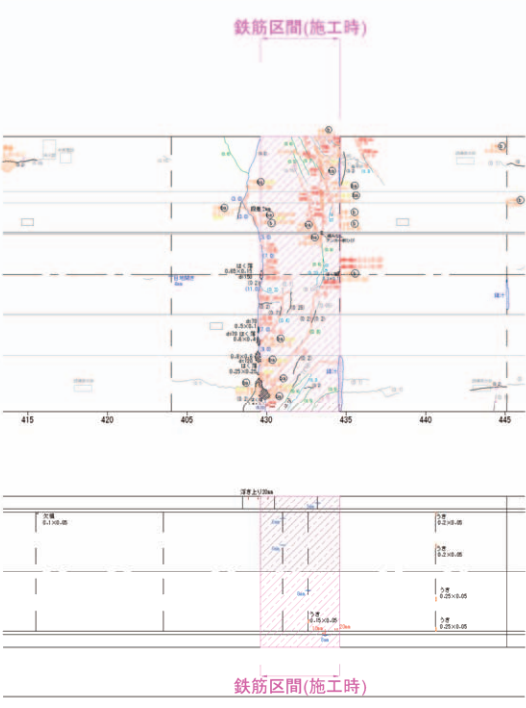
|        |                      |  |         |      |  |
|--------|----------------------|--|---------|------|--|
| 実<br>施 | 支保ハ <sup>°</sup> ターン | ▲ D I  | D I - i |      |  |
|        | 延長 (m)               | ▲ 10.0   | 67.0    |      |  |
|        | 施工時の<br>トラブル等        | No. 260+18.2<br>天端崩落 (200m <sup>3</sup> ) ▲  |         |      |  |
| 設<br>計 | スパン番号                | 39   | 40      | 41   |  |
|        | スパン長(m)              | 10.6   | 10.6    | 10.5 |  |
|        | 地質縦断面図               |   |         |      |  |
| 点<br>検 | 変状展開図<br>(地震後)       |  |         |      |  |

図 3.3.8 南阿蘇トンネル崩落箇所および鉄筋区間の位置関係



### 3.3.4 既往の点検結果との比較

3.3.3 で示した地震の影響により変状が発生したことを確認したスパン 40 について、地震前のトンネル点検結果を以下に示す。この点検結果より、スパン 40 の変状は側壁部に横断方向ひび割れが若干みられる程度で、比較的軽微な変状であったことが確認でき、地震前後の変状の関係性については確認できなかった。

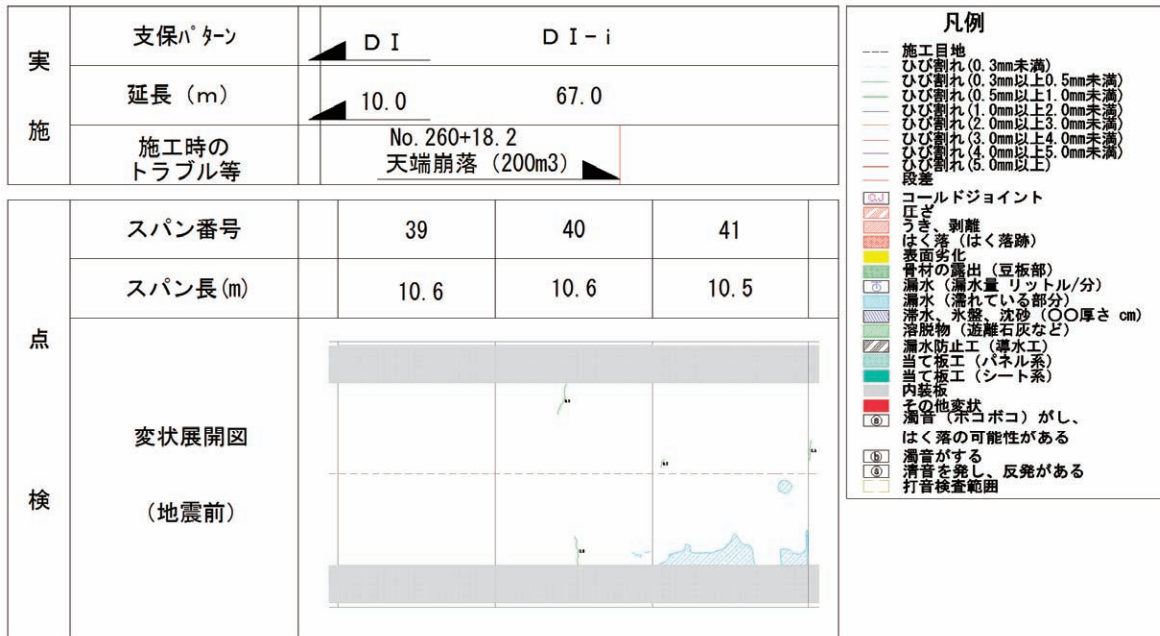


図 3.3.9 地震前の H26 トンネル点検結果 (スパン 40 付近)

### 3.3.5 復旧方法

南阿蘇トンネルで実施された変状対策工を以下に示す。

- ①内装工(内装板撤去工, 内装板設置工)
- ②はく落対策工(断面修復工, ネット設置工, シート接着工)
- ③漏水対策工
- ④ひび割れ対策工(止水注入工, ひび割れ注入工)
- ⑤舗装撤去・復旧工
- ⑥各種補強工(覆工コンクリート工, インバートコンクリート工, 吹付コンクリート工等)

3.3.3 で挙げたスパン 40 の補修・補強概要を以下に示す。



図 3.3.10 変状対策工 (スパン 40)

### 3.4 被害の軽微なトンネル

熊本県内、大分県内の震度 6 弱以上を観測した地域における 234 本（総延長約 84 km）の道路トンネルに関して、先述の俵山トンネルと南阿蘇トンネルを除き、目立った被害は報告されていない<sup>34)</sup>。

今回の地震で活動したと推定されている布田川断層帯、日奈久断層帯に近接する道路トンネルとして、国道 443 号妙見坂隧道がある。妙見坂隧道は、矢板工法により建設された延長 400m の 2 車線道路トンネルで、1977 年に竣工した。日奈久断層帯からの平面距離は約 1km である（図 3.4.1）。このトンネルにおいて、車上および歩道部からの徒歩による遠望目視を行ったところ、監査歩廊に若干のひび割れがあったものの、覆工や路面において今回の地震に起因すると考えられる変状は確認されなかった（写真 3.4.1）。



（産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆）

図 3.4.1 妙見坂隧道と日奈久断層の位置関係



写真 3.4.1 妙見坂隧道

また、県道 111 号火の山トンネルは、矢板工法により建設された延長 811m の 2 車線道路トンネルで、1976 年に竣工した。布田川断層帯からの平面距離は約 6~7 km である（図 3.4.2）。このトンネルにおいて、徒歩による遠望目視を行ったところ、写真 3.4.2 に示す迫め部のモルタルはく落程度の変状は確認されたが、今回の地震に起因する規模の大きなひび割れやはく落等の変状は認められなかった。



(Google Map に加筆. 断層とトンネルの位置は概略)

図 3.4.2 火の山トンネルと布田川断層の位置関係



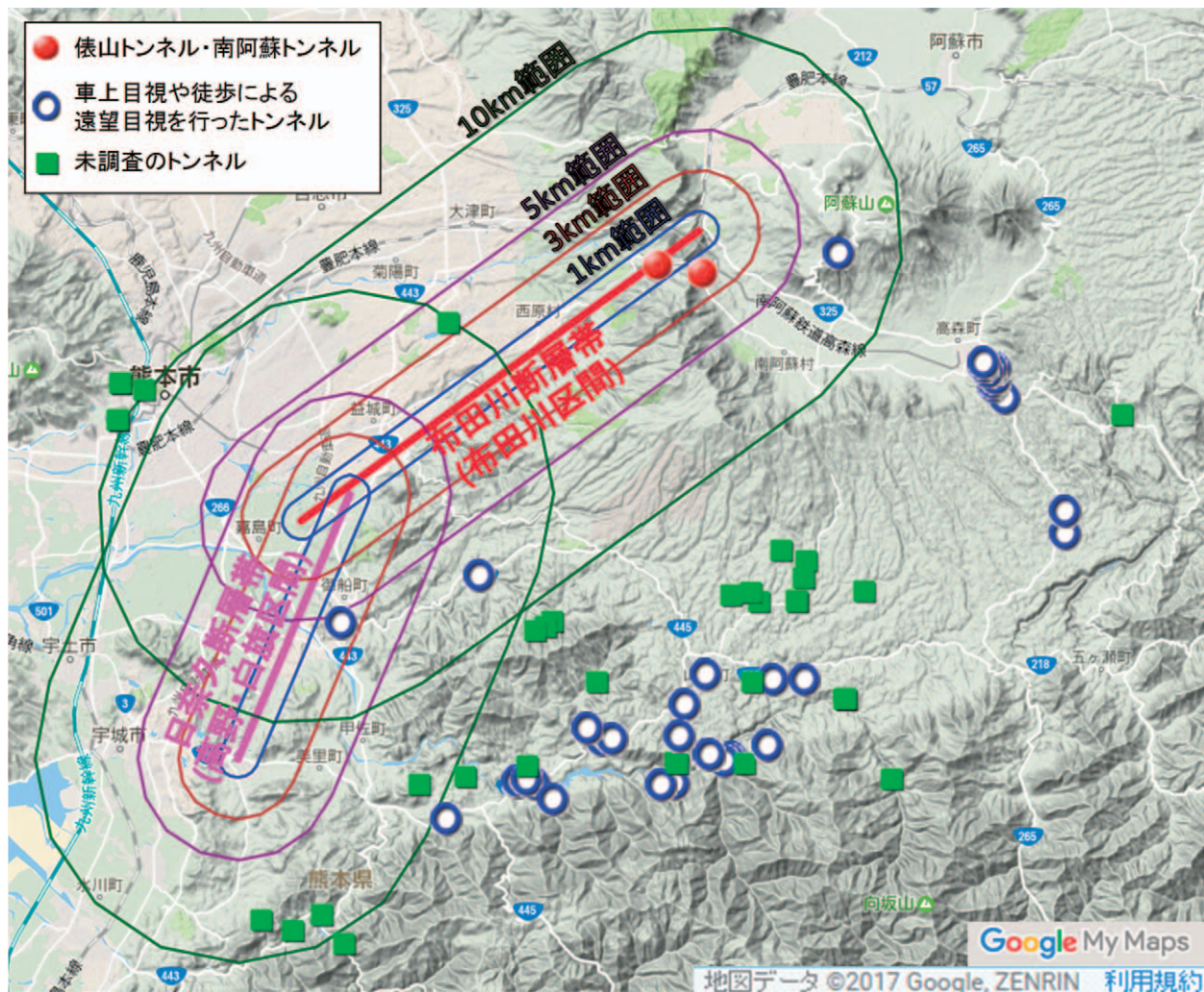
写真 3.4.2 火の山トンネルにおけるモルタル片のはく落

また、地震後の H28 年 4 月~7 月にかけて土木研究所の調査チームにより車上目視や徒歩による遠望目視を行った道路トンネルを、図 3.4.3 に青丸 (○) で示す。いずれのトンネルにおいても、構造の安定性に直接関わると考えられる変状が、地震により発生したと認められるものは確認されなかった。なお、図中の



緑四角 (■) で示したトンネルは、各種の情報よりトンネルが存在することが推定されたものの、交通規制や時間的制約により、地震直後に調査を実施できなかった未調査トンネルを示す。

なお、図 3.4.3 に示した活断層の概略位置とトンネルの距離を概算すると、活断層から 3km 以内には、上述した俵山トンネル、南阿蘇トンネル、および妙見坂隧道の 3 箇所道路トンネルが存在する。活断層から 5km 以内には 4 箇所、10km 以内には 10 箇所の道路トンネルが存在する。



(Google Map に加筆。断層とトンネルの位置は概略)

図 3.4.3 調査したトンネルと活断層の位置

### 参考文献

3.4.1) 国土交通省：道路構造物の被災状況のとりまとめ，第 5 回道路技術小委員会配付資料，資料 2，平成 28 年 6 月 24 日。

### 3.5 熊本県内の直轄道路トンネル

#### 3.5.1 検討対象としたトンネル

熊本県内において、近年、国土交通省が建設した道路トンネル（一部は完成後に高速道路会社に移管）は、表 3.5.1 および図 3.5.1 のとおり 11 箇所存在する。この 11 トンネルを対象として断層との位置関係等について検討した結果を以下より示す。なお、本検討内では各トンネル名は伏せてアルファベット表記としている。

各トンネルと布田川断層帯の布田川区間からの平面距離は、表内の①～⑤のトンネルについては概ね 5km 以内、⑥～⑩のトンネルについては概ね 40～50 km となり、地震による影響が確認された俵山トンネルと南阿蘇トンネルと比較して、断層からの離隔は取れていることが分かる。

対象とした 11 トンネルの地質縦断図（設計時点）、支保パターン（施工実績）、補助工法の有無（施工実績）、直近の定期点検における健全性の診断結果を以下に示す。なお、地質調査結果や施工記録等により、設計・施工時に断層・破碎帯が存在すると推定された記録（地質縦断図における赤丸の位置）が残されているトンネルも認められるが、先述のように対象トンネルについて熊本地震の影響による被害は報告されていない。



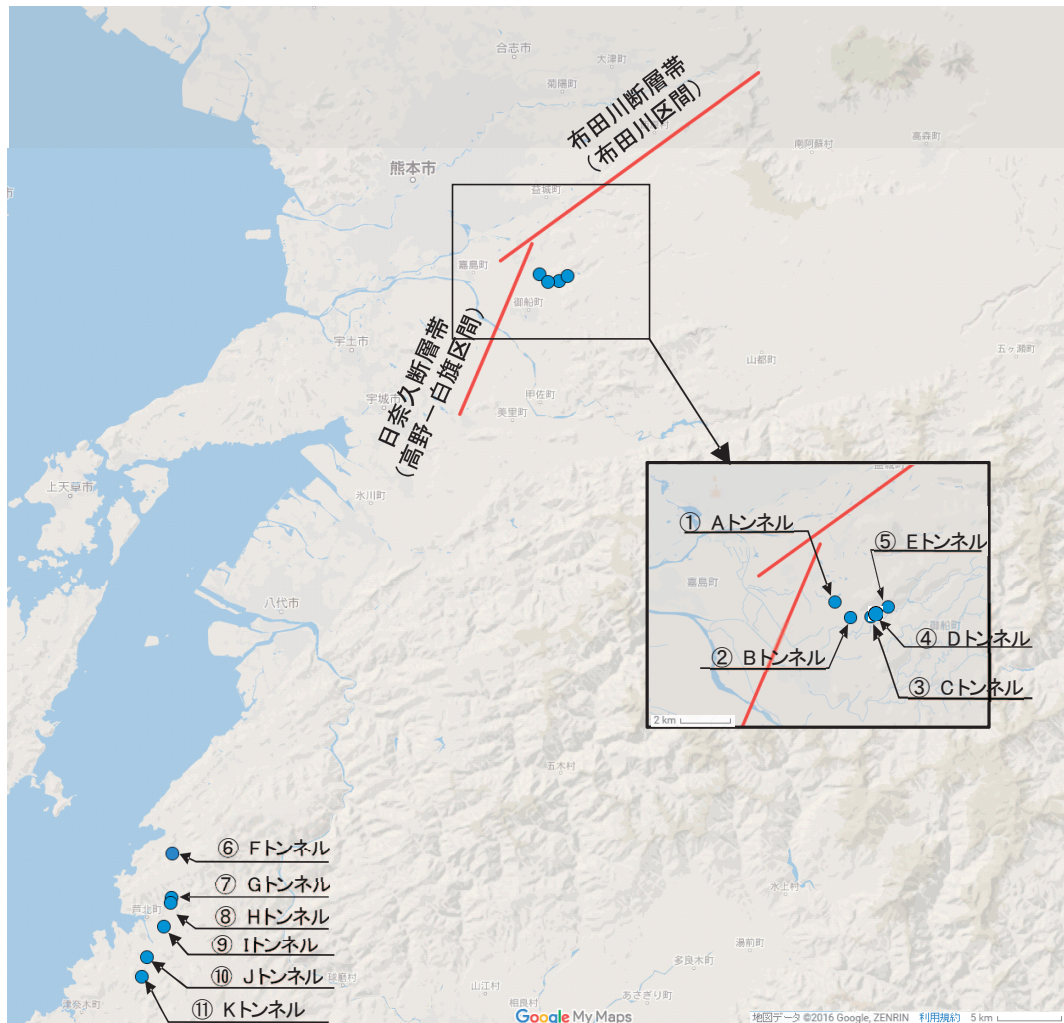
表 3.5.1 熊本県内の国土交通省建設のトンネル

| No. | トンネル名  | 路線名                      | 活断層からの概算距離 <sup>※</sup> (km) | トンネル完成年                | 延長 (m)                 | 備考            |
|-----|--------|--------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|---------------|
| ①   | A トンネル | 九州横断自動車道<br>延岡線          | 1~2                          | 平成 28 年 <sup>※※</sup>  | 478.9 <sup>※※※</sup>   | 点検結果なし        |
| ②   | B トンネル |                          | 2~3                          | 平成 23 年 <sup>※※</sup>  | 288.6 <sup>※※※</sup>   | H25 点検実施      |
| ③   | C トンネル |                          | 3                            | 平成 21 年 <sup>※※※</sup> | 436.0 <sup>※※</sup>    | H23 点検実施      |
| ④   | D トンネル |                          | 3~4                          | 平成 21 年 <sup>※※※</sup> | 143.0 <sup>※※</sup>    | H23 点検実施      |
| ⑤   | E トンネル |                          | 4                            | 平成 27 年 <sup>※※</sup>  | 476.5 <sup>※※</sup>    | 点検結果なし        |
| ⑥   | F トンネル | 国道 3 号<br>南九州西回り<br>自動車道 | 40~50                        | 平成 20 年 <sup>※※※</sup> | 2,919.0 <sup>※※※</sup> | H27 点検実施      |
| ⑦   | G トンネル |                          |                              | 平成 21 年 <sup>※※※</sup> | 172.0 <sup>※※※</sup>   | H27 点検実施      |
| ⑧   | H トンネル |                          |                              | 平成 21 年 <sup>※※※</sup> | 497.0 <sup>※※※</sup>   | H27 点検実施      |
| ⑨   | I トンネル |                          |                              | 平成 26 年 <sup>※※※</sup> | 1,166.0 <sup>※※※</sup> | 上り線, H27 点検実施 |
| ⑩   | J トンネル |                          |                              | 平成 27 年 <sup>※※※</sup> | 1,085.0 <sup>※※※</sup> | 上り線, H27 点検実施 |
| ⑪   | K トンネル |                          |                              | 平成 25 年 <sup>※※※</sup> | 1,848.0 <sup>※※※</sup> | 上り線, H27 点検実施 |

※日奈久断層帯の高野-白旗区間または布田川断層帯の布田川区間の概略位置からの概算平面距離

※※トンネル本体工の工事報告書より引用. 明かり工事を含むため管理延長やトンネル延長等と異なる可能性あり

※※※トンネル点検時に作成されたトンネル台帳より引用.



(Google Map に加筆. 断層とトンネルの位置は概略)

図 3.5.1 熊本県内の国土交通省建設のトンネルと活断層の位置

### 3.5.2 各トンネルの施工・点検記録の概要

以下に、表 3.5.1 に示したトンネルの施工・点検結果の概略を示す。なお、以降の施工実績に記載された支保パターン名称や補助工法名称等は、入手した資料に記載されている内容をそのまま転記したものである。

#### (1) A トンネル

A トンネルの地質縦断面図を図 3.5.2 に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.2 に示す。なお、当該トンネルは竣工間もないため定期点検は実施されていない。

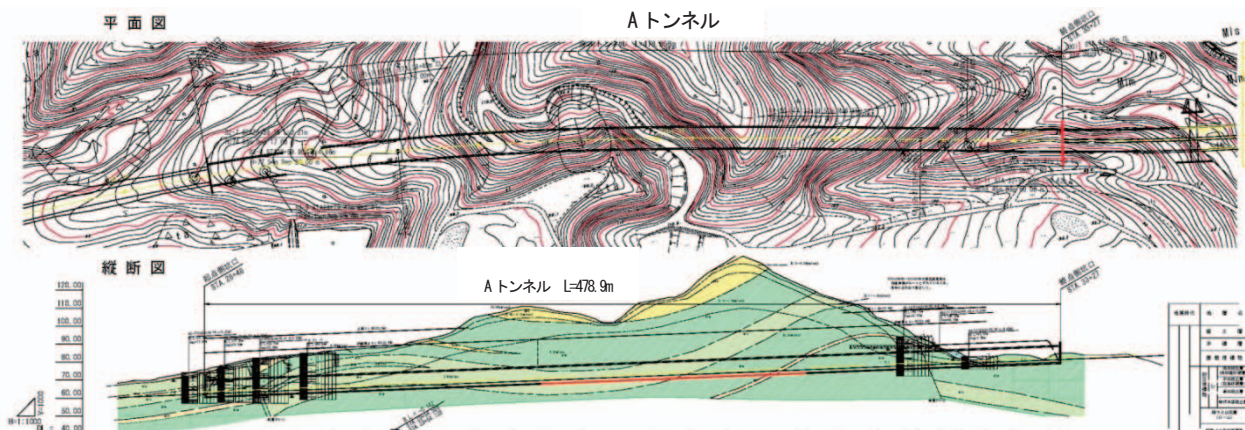


図 3.5.2 A トンネル地質縦断面図

表 3.5.2 A トンネルの施工実績の概略

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      | 備考                            |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|-------------------------------|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 |                               |
| DⅢ(L)  | 26.50     |      | ○    | ○     |       |      | 注入式長尺鋼管フォアバイリング, 小口径長尺鋼管鏡ボルト  |
| DⅢ(L)  | 7.00      |      | ○    |       |       |      | 注入式FP                         |
| DⅢ(L)  | 36.00     | ○    |      |       |       |      |                               |
| DⅢ(L)  | 18.00     | ○    |      |       |       |      |                               |
| DⅢ(L)  | 52.00     | ○    |      |       |       |      |                               |
| DⅠ(L)  | 57.00     | ○    |      |       |       |      |                               |
| DⅠ(L)  | 9.00      |      | ○    |       |       |      | 小口径長尺鋼管フォアバイリング               |
| DⅠ(L)  | 27.00     |      | ○    | ○     |       |      | 小口径長尺鋼管フォアバイリング, 小口径長尺鋼管鏡ボルト  |
| DⅠ(L)  | 18.00     |      |      | ○     |       |      | 小口径長尺鋼管鏡ボルト                   |
| DⅠ(L)  | 35.00     | ○    |      |       |       |      |                               |
| DⅠ(L)  | 9.00      |      | ○    | ○     |       |      | 小口径長尺鋼管フォアバイリング, 小口径長尺鋼管鏡ボルト  |
| DⅠ(L)  | 9.00      |      | ○    | ○     |       |      | 小口径長尺鋼管フォアバイリング, 小口径長尺鋼管鏡ボルト  |
| DⅠ(L)  | 9.00      |      | ○    | ○     |       |      | 小口径長尺鋼管フォアバイリング, 小口径長尺鋼管鏡ボルト  |
| DⅠ(L)  | 9.00      |      | ○    |       |       |      | 小口径長尺鋼管フォアバイリング               |
| DⅠ(L)  | 28.00     | ○    |      |       |       |      |                               |
| DⅢ(L)  | 20.00     | ○    |      |       |       |      |                               |
| DⅢ(L)  | 9.00      |      | ○    |       |       |      | 注入式長尺鋼管フォアバイリング               |
| DⅢ(L)  | 27.00     |      | ○    | ○     |       |      | 注入式長尺鋼管フォアバイリング, 小口径?長尺鋼管鏡ボルト |
| DⅢ(L)  | 9.00      |      | ○    | ○     |       |      | 注入式長尺鋼管フォアバイリング, 小口径長尺鋼管鏡ボルト  |
| DⅢ(L)  | 30.00     |      | ○    |       |       |      | 注入式長尺鋼管フォアバイリング               |
| DⅢ(L)  | 20.66     | ○    |      |       |       |      |                               |



## (2) Bトンネル

Bトンネルの地質縦断面図を図 3.5.3 に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.3 に、点検結果の概要を表 3.5.4 に示す。当該トンネルは平成 25 年に定期点検を実施している。

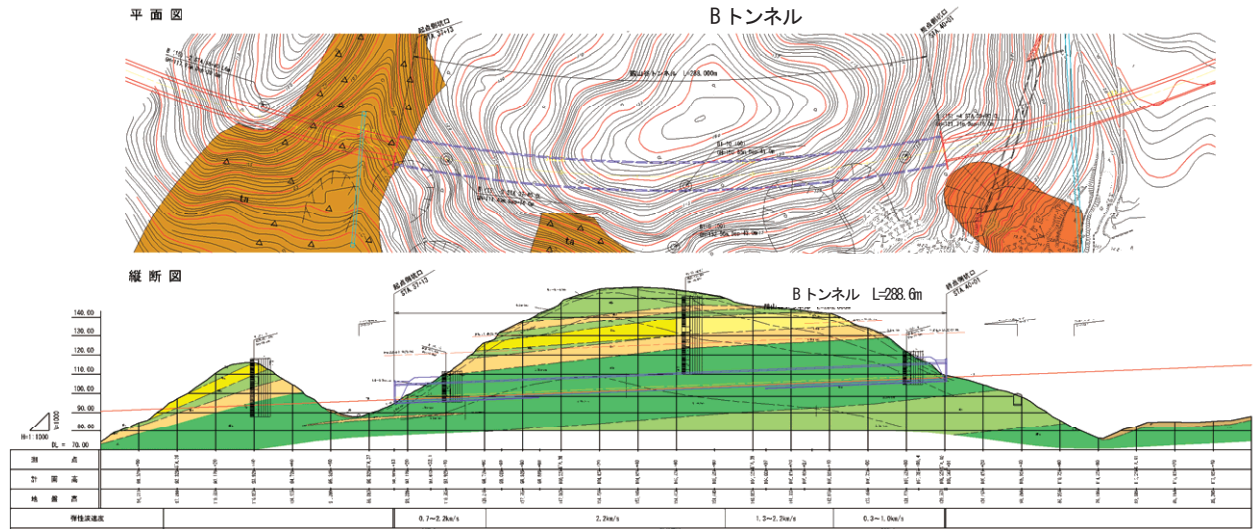


図 3.5.3 Bトンネル地質縦断面図

表 3.5.3 Bトンネルの施工実績の概略

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      |      | 備考 |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|------|----|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 | 地山補強 |    |
| DⅢ(L)  | 18.50     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| DⅢ(L)  | 36.90     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| DⅠ(L)  | 20.00     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| CⅡ(L)  | 118.00    | ○    |      |       |       |      |      |    |
| DⅠ(L)  | 20.00     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| DⅢ(L)  | 59.40     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| DⅢ(L)  | 14.00     | ○    |      |       |       |      |      |    |

表 3.5.4 Bトンネルの直近の点検結果の概略

| スパン番号 | 延長<br>(m) | 判定区分 | スパン番号 | 延長<br>(m) | 判定区分 | スパン番号 | 延長<br>(m) | 判定区分 |
|-------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|------|
| S001  | 10.75     | S    | S010  | 10.72     | —    | S019  | 10.75     | S    |
| S002  | 10.70     | S    | S011  | 10.75     | —    | S020  | 10.73     | S    |
| S003  | 10.72     | B    | S012  | 10.72     | S    | S021  | 10.75     | B    |
| S004  | 10.75     | S    | S013  | 10.73     | S    | S022  | 10.83     | B    |
| S005  | 10.75     | S    | S014  | 10.74     | S    | S023  | 10.83     | S    |
| S006  | 10.75     | B    | S015  | 10.73     | —    | S024  | 10.75     | B    |
| S007  | 10.74     | S    | S016  | 10.73     | —    | S025  | 10.71     | S    |
| S008  | 10.72     | —    | S017  | 10.74     | —    | S026  | 10.69     | S    |
| S009  | 10.72     | S    | S018  | 10.72     | S    | S027  | 9.38      | S    |

※従前の便覧等（H5 道路トンネル維持管理便覧，H14 道路トンネル定期点検要領(案)）に従った判定区分

### (3) Cトンネル

Cトンネルの地質縦断面図を図 3.5.4 に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.5 に、点検結果の概要を表 3.5.6 に示す。当該トンネルは平成 23 年に定期点検を実施している。

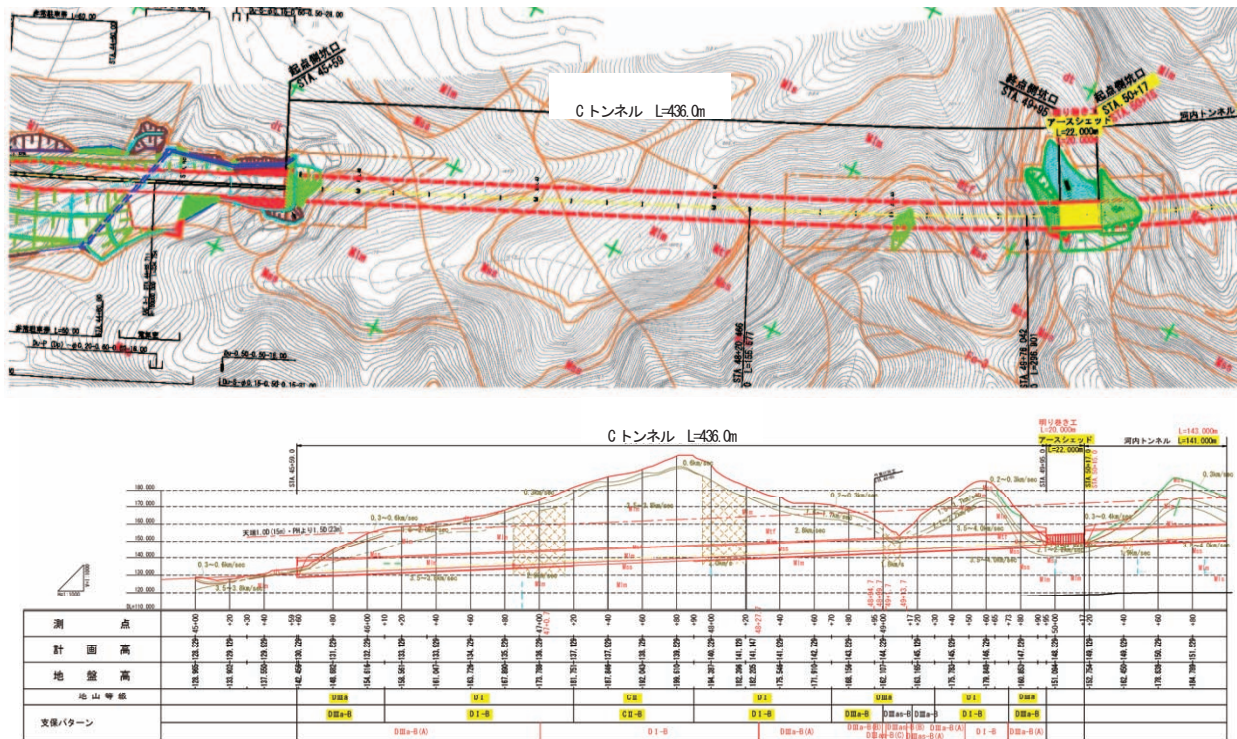


図 3.5.4 Cトンネル地質縦断面図

表 3.5.5 Cトンネルの施工実績の概略

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      | 備考                                |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|-----------------------------------|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 |                                   |
| DⅢ(L)  | 141.70    |      | ○    | ○     |       |      | 一部区間補助工法(注入式FP、鏡ボルト)              |
| DⅠ(L)  | 127.00    |      | ○    | ○     |       |      | 一部区間補助工法(注入式FP、鏡補強ボルト)            |
| DⅢ(L)  | 67.00     |      | ○    | ○     | ○     |      | 注入式FP、鏡補強ボルト、一部区間 脚部補強(図面より)      |
| DⅢ(L)  | 5.00      |      | ○    | ○     |       |      | 注入式FP、鏡補強ボルト                      |
| DⅢ(L)  | 2.00      |      | ○    | ○     |       |      | 注入式FP、鏡補強ボルト                      |
| DⅢ(L)  | 12.00     |      | ○    | ○     |       |      | 注入式FP、鏡補強ボルト、長尺鋼管フォアバイリング         |
| DⅢ(L)  | 3.00      |      | ○    | ○     |       |      | 充填式FP、鏡補強ボルト                      |
| DⅢ(L)  | 31.00     |      | ○    | ○     |       |      | 充填式FP、鏡補強ボルト                      |
| DⅠ(L)  | 25.00     |      | ○    | ○     |       |      | 充填式FP、鏡補強ボルト                      |
| DⅢ(L)  | 22.30     |      | ○    | ○     | ○     |      | 一部区間補助工法(充填式FP、鏡補強ボルト、脚部補強(図面より)) |

表 3.5.6 Cトンネルの直近の点検結果の概略

| スパン番号 | 延長<br>(m) | 判定区分 | スパン番号 | 延長<br>(m) | 判定区分 | スパン番号 | 延長<br>(m) | 判定区分 |
|-------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|------|
| S001  | 6.1       | S    | S012  | 10.5      | S    | S023  | 10.5      | B    |
| S002  | 10.5      | S    | S013  | 10.5      | S    | S024  | 10.5      | S    |
| S003  | 10.5      | S    | S014  | 10.5      | S    | S025  | 10.5      | S    |
| S004  | 10.5      | S    | S015  | 10.5      | S    | S026  | 10.5      | S    |
| S005  | 10.5      | S    | S016  | 10.5      | S    | S027  | 10.5      | S    |
| S006  | 10.5      | S    | S017  | 10.5      | S    | S028  | 10.5      | S    |
| S007  | 10.5      | S    | S018  | 10.5      | S    | S029  | 10.5      | S    |
| S008  | 10.5      | S    | S019  | 10.5      | B    | S030  | 10.5      | S    |
| S009  | 10.5      | S    | S020  | 10.5      | S    | S031  | 10.5      | B    |
| S010  | 10.5      | S    | S021  | 10.5      | S    | S032  | 10.5      | B    |
| S011  | 10.5      | S    | S022  | 10.5      | S    |       |           |      |

※従前の便覧等（H5 道路トンネル維持管理便覧，H14 道路トンネル定期点検要領(案)）に従った判定区分

#### (4) Dトンネル

Dトンネルの地質縦断面図を図 3.5.5 に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.7 に、点検結果の概要を表 3.5.8 に示す。当該トンネルは平成 23 年に定期点検を実施している。

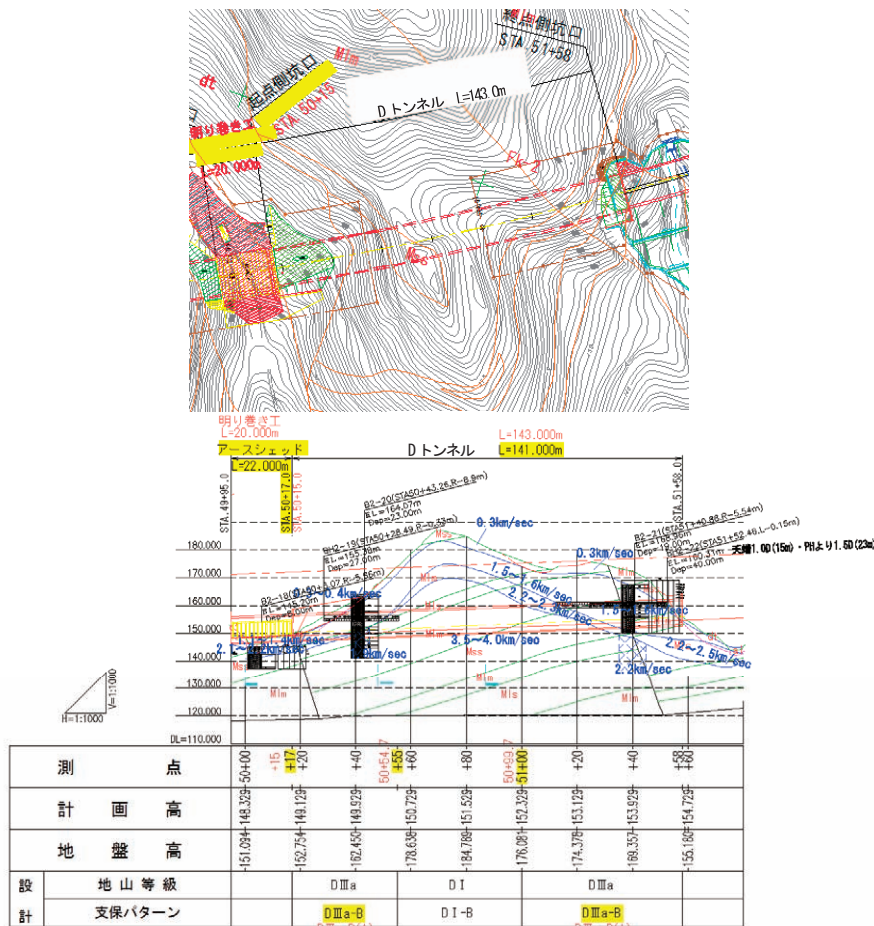


図 3.5.5 Dトンネル地質縦断面図

表 3.5.7 Dトンネルの施工実績の概略

| 支保パターン | 延長 (m) | 補助工法 |      |       |       |      |      | 備考 |
|--------|--------|------|------|-------|-------|------|------|----|
|        |        | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 | 地山補強 |    |
| DⅢ(L)  | 39.70  | ○    |      |       |       |      |      |    |
| DⅠ(L)  | 45.00  | ○    |      |       |       |      |      |    |
| DⅢ(L)  | 58.30  | ○    |      |       |       |      |      |    |

表 3.5.8 Dトンネルの直近の点検結果の概略

| スパン番号 | 延長 (m) | 判定区分 | スパン番号 | 延長 (m) | 判定区分 | スパン番号 | 延長 (m) | 判定区分 |
|-------|--------|------|-------|--------|------|-------|--------|------|
| S035  | 10.5   | S    | S043  | 10.0   | B    | S051  | 10.5   | B    |
| S036  | 10.5   | B    | S044  | 10.0   | S    | S052  | 10.5   | S    |
| S037  | 10.5   | B    | S045  | 10.4   | B    | S053  | 10.5   | S    |
| S038  | 10.5   | S    | S046  | 10.5   | S    | S054  | 10.5   | S    |
| S039  | 10.5   | B    | S047  | 10.5   | S    | S055  | 10.5   | B    |
| S040  | 10.5   | S    | S048  | 10.5   | S    | S056  | 10.5   | S    |
| S041  | 10.5   | S    | S049  | 10.5   | B    | S057  | 10.5   | S    |
| S042  | 9.9    | S    | S050  | 10.5   | B    | S058  | 6.6    | B    |

※従前の便覧等 (H5 道路トンネル維持管理便覧, H14 道路トンネル定期点検要領(案)) に従った判定区分



(5) Eトンネル

Eトンネルの地質縦断面図を図 3.5.6 に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.9 に示す。なお、当該トンネルは竣工間もないため定期点検は実施されていない。

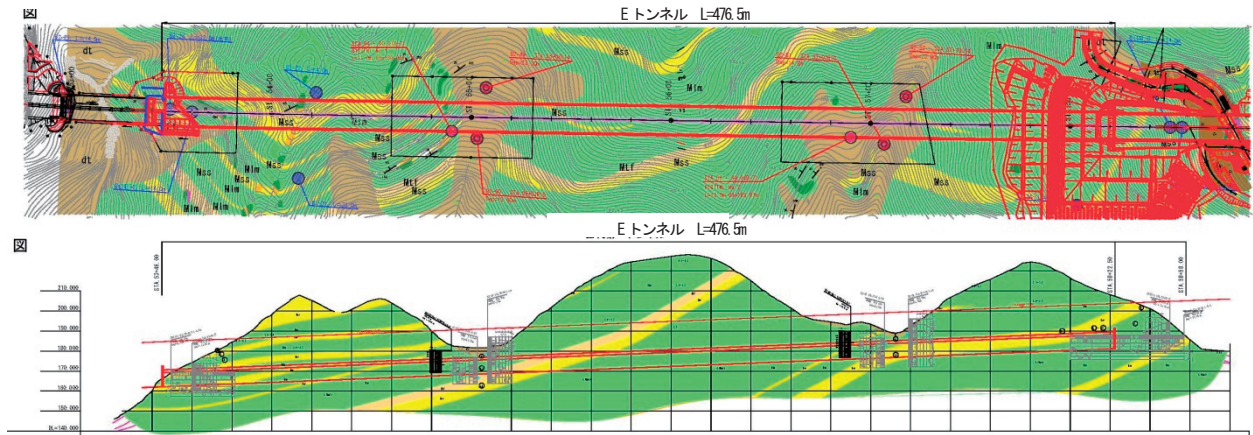


図 3.5.6 Eトンネル地質縦断面図

表 3.5.9 Eトンネルの施工実績の概略

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      | 備考   |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|--|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 |  |
| DⅢ(L)  | 13.10     | ○    |      |       |       |      |  |
| DⅢ(L)  | 25.00     | ○    |      |       |       |      |  |
| DⅠ(L)  | 76.00     | ○    |      |       |       |      | 高強度吹付け、高耐力ロックボルト                             |
| DⅠ(L)  | 9.00      |      |      | ○     |       |      | 小口径長尺鋼管鏡ボルト、鏡吹付けコンクリート                       |
| DⅠ(L)  | 5.00      |      |      | ○     |       |      | 小口径長尺鋼管鏡ボルト、鏡吹付けコンクリート                       |
| DⅠ(L)  | 22.00     |      | ○    | ○     |       |      | 充填式FP、小口径長尺鋼管鏡ボルト、鏡吹付けコンクリート                 |
| DⅠ(L)  | 18.00     |      | ○    | ○     |       |      | 注入式長尺鋼管フォアバイリング、小口径長尺鋼管鏡ボルト、鏡吹付けコンクリート       |
| DⅠ(L)  | 7.00      |      | ○    | ○     |       |      | 充填式FP、注入式長尺鋼管フォアバイリング、小口径長尺鋼管鏡ボルト、鏡吹付けコンクリート |
| DⅠ(L)  | 9.00      |      | ○    | ○     |       |      | 注入式長尺鋼管フォアバイリング、小口径長尺鋼管鏡ボルト、鏡吹付けコンクリート       |
| DⅠ(L)  | 9.00      |      | ○    | ○     |       |      | 充填式FP、小口径長尺鋼管鏡ボルト、鏡吹付けコンクリート                 |
| DⅠ(L)  | 11.00     | ○    |      |       |       |      | 高強度吹付け、高耐力ロックボルト                             |
| DⅠ(L)  | 9.00      |      |      | ○     |       |      | 小口径長尺鋼管鏡ボルト、鏡吹付けコンクリート                       |
| DⅠ(L)  | 5.00      | ○    |      |       |       |      | 高強度吹付け、高耐力ロックボルト                             |
| CⅡ(L)  | 82.80     | ○    |      |       |       |      | 高強度吹付け、高耐力ロックボルト                             |
| DⅠ(L)  | 12.00     | ○    |      |       |       |      | 高強度吹付け、高耐力ロックボルト                             |
| DⅠ(L)  | 45.00     | ○    |      |       |       |      |  |
| DⅠ(L)  | 12.00     |      | ○    |       |       |      | 注入式FP(地質縦断面図より)                              |
| DⅠ(L)  | 18.00     | ○    |      |       |       |      |  |
| DⅠ(L)  | 20.00     | ○    |      |       |       |      | 高強度吹付け、高耐力ロックボルト                             |
| CⅡ(L)  | 25.20     | ○    |      |       |       |      | 高強度吹付け、高耐力ロックボルト                             |
| DⅠ(L)  | 20.00     | ○    |      |       |       |      | 高強度吹付け、高耐力ロックボルト                             |
| DⅢ(L)  | 11.00     | ○    |      |       |       |      |  |
| DⅢ(L)  | 11.10     |      | ○    |       |       |      | 注入式FP  |

(6) Fトンネル

Fトンネルの地質縦断図を図 3.5.7 に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.10 に、点検結果の概要を表 3.5.11 に示す。当該トンネルは平成 27 年に定期点検を実施している。

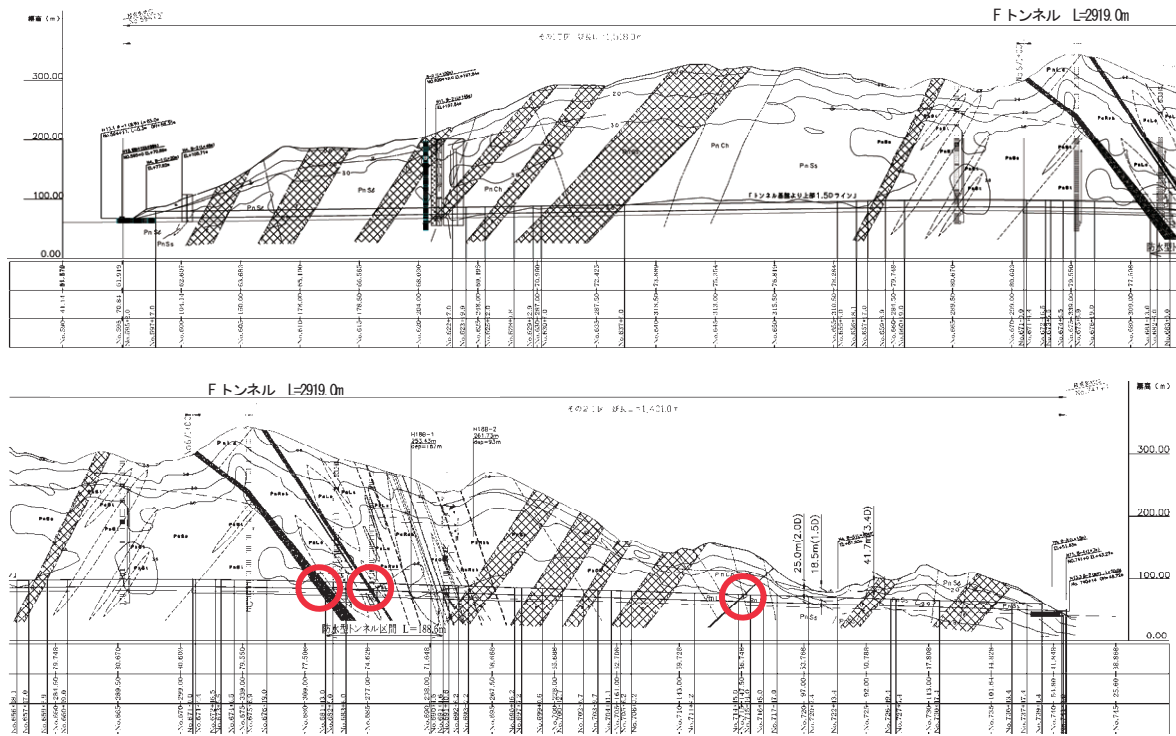


図 3.5.7 Fトンネル地質縦断図

表 3.5.10 Fトンネルの施工実績の概略(1/2)

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      |      | 備考  |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|------|---|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 | 地山補強 |   |
| DⅢ     | 39.70     |      | ○    | ○     |       |      |      | 小口径注入式先受け工, 鏡ボルト  |
| DⅢ     | 15.00     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| DⅠ-b   | 128.00    | ○    |      |       |       |      |      |   |
| DⅠ-a   | 47.00     | ○    |      |       |       |      |      | インバート無  |
| DⅠ-b   | 268.30    | ○    |      |       |       |      |      |   |
| DⅠ-b   | 66.70     |      |      |       |       | ○    |      | インバート無  |
| CⅡ-b   | 13.20     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| CⅡ(L)  | 32.10     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| DⅠ-b   | 17.29     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| DⅠ-b   | 0.40      |      | ○    |       |       |      |      |   |
| DⅠ-b   | 22.20     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| CⅡ(L)  | 32.10     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| CⅡ-b   | 225.70    |      |      |       |       | ○    |      |   |
| DⅠ-b   | 96.00     |      |      |       |       | ○    |      |   |
| DⅠ-b   | 27.00     |      | ○    |       | ○     | ○    |      | 増しボルト, 注入ボルト, 注入式FP, 補強プレート及び縫付ボルト, 上半仮インバート, インバートストラット及び吹付けインバート        |
| DⅡ     | 18.00     |      | ○    | ○     | ○     |      |      | 注入ボルト, AGF, 鏡ボルト, インバートストラット及び吹付けインバート                                    |
| DⅡ     | 9.00      |      | ○    | ○     | ○     |      |      | AGF, 鏡ボルト, インバートストラット及び吹付けインバート   |
| DⅡ     | 16.00     |      | ○    | ○     | ○     |      |      | AGF, 鏡ボルト, 高強度吹付けコンクリート, 注入ボルト, インバートストラット(H形鋼H-200)及び吹付けインバート            |
| DⅡ     | 11.00     |      | ○    | ○     | ○     |      |      | AGF, 鏡ボルト, 高強度吹付けコンクリート, インバートストラット(H形鋼H-200)及び吹付けインバート                   |
| DⅡ     | 54.00     |      | ○    | ○     | ○     |      |      | 高強度網繊維補強吹付けコンクリート, AGF, 鏡ボルト, インバートストラット(H形鋼H-200)及び吹付けインバート, 鋼管膨張型ロックボルト |

表 3.5.10 Fトンネルの施工実績の概略(2/2)

| 支保ハターン   | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      |      | 備考  |
|----------|-----------|------|------|-------|-------|------|------|---|
|          |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 | 地山補強 |   |
| D II     | 144.00    |      |      |       |       | ○    |      | 高強度鋼繊維補強吹付けコンクリート、AGF、鏡ボルト、インバートストラット(H形鋼H-200)及び吹付けインバート、鋼管膨張型ロックボルト |
| D II     | 18.00     |      |      | ○     | ○     |      |      | 高強度鋼繊維補強吹付けコンクリート、鏡ボルト、インバートストラット(H形鋼H-200)及び吹付けインバート、鋼管膨張型ロックボルト     |
| D II     | 9.00      |      |      |       | ○     |      |      | 高強度吹付けコンクリート、インバートストラット(H形鋼H-150)及び吹付けインバート                           |
| D II     | 9.00      | ○    |      |       |       |      |      | 高強度吹付けコンクリート  |
| D I -b   | 83.00     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -b   | 45.00     |      | ○    | ○     |       | ○    |      | 鏡ボルト、AGF、水抜き工、増しボルト   |
| D I -b   | 53.40     |      | ○    | ○     |       | ○    |      | 注入式FP、鏡ボルト、水抜き工、増しボルト   |
| D I -b   | 4.40      |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I (L)  | 32.10     |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I -b   | 9.00      |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I -b   | 21.00     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -b   | 20.40     |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I (L)  | 32.10     |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I -b   | 94.00     |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I (W)  | 12.00     |      | ○    |       |       | ○    |      | 防水型トンネル、注入式FP   |
| D I (W)  | 21.00     |      |      |       |       | ○    |      | 防水型トンネル   |
| C II (W) | 135.60    |      |      |       |       | ○    |      | 防水型トンネル   |
| D I (W)  | 20.00     |      |      |       |       | ○    |      | 防水型トンネル   |
| D I -b   | 9.00      | ○    |      |       |       |      |      |   |
| C II -b  | 15.60     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -b   | 16.00     | ○    |      |       |       |      |      | インバート無  |
| D I -b   | 74.00     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -b   | 11.00     |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I -b   | 33.40     | ○    |      |       |       |      |      | インバート無  |
| D I (L)  | 32.10     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -b   | 34.00     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -b   | 23.00     |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I -b   | 21.40     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I (L)  | 15.10     |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I (L)  | 17.00     | ○    |      |       |       |      |      | インバート無  |
| D I -a   | 101.00    | ○    |      |       |       |      |      |   |
| C II -b  | 70.80     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -b   | 19.00     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -b   | 21.00     |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I -a   | 16.00     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -a   | 6.00      | ○    |      |       |       |      |      | インバート無  |
| C II -b  | 50.40     | ○    |      |       |       |      |      | インバート無  |
| D I -a   | 46.00     | ○    |      |       |       |      |      | インバート無  |
| D I -b   | 86.00     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| D I -b   | 8.00      |      | ○    | ○     |       |      |      | 鏡吹付けコンクリート、注入式FP、鏡ボルト   |
| D I -b   | 70.00     | ○    |      |       |       |      |      | インバート無  |
| D I -a   | 116.00    | ○    |      |       |       |      |      | インバート無  |
| D I -b   | 24.00     |      | ○    | ○     |       |      |      | 注入式FP、鏡吹付けコンクリート  |
| D III    | 32.10     |      | ○    | ○     |       |      |      | 充填式FP、鏡吹付けコンクリート  |
| D III    | 2.10      | ○    |      |       |       |      |      |   |

表 3.5.11 Fトンネルの直近の点検結果の概略

| 判定区分 | スパン数 | 変状区分ごとのスパン数 |      |    |   |
|------|------|-------------|------|----|---|
|      |      | 外力          | 材質劣化 | 漏水 |   |
| I    | 184  |             |      |    |   |
| II   | 87   | 70          | 45   | 0  |   |
|      | II b | 54          | 67   | 13 | 0 |
|      | II a | 33          | 3    | 32 | 0 |
| III  | 2    | 1           | 1    | 0  |   |
| IV   | 0    | 0           | 0    | 0  |   |

## (7) Gトンネル

Gトンネルの地質縦断面図を図 3.5.8 に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.12 に、点検結果の概要を表 3.5.13 に示す。当該トンネルは平成 27 年に定期点検を実施している。

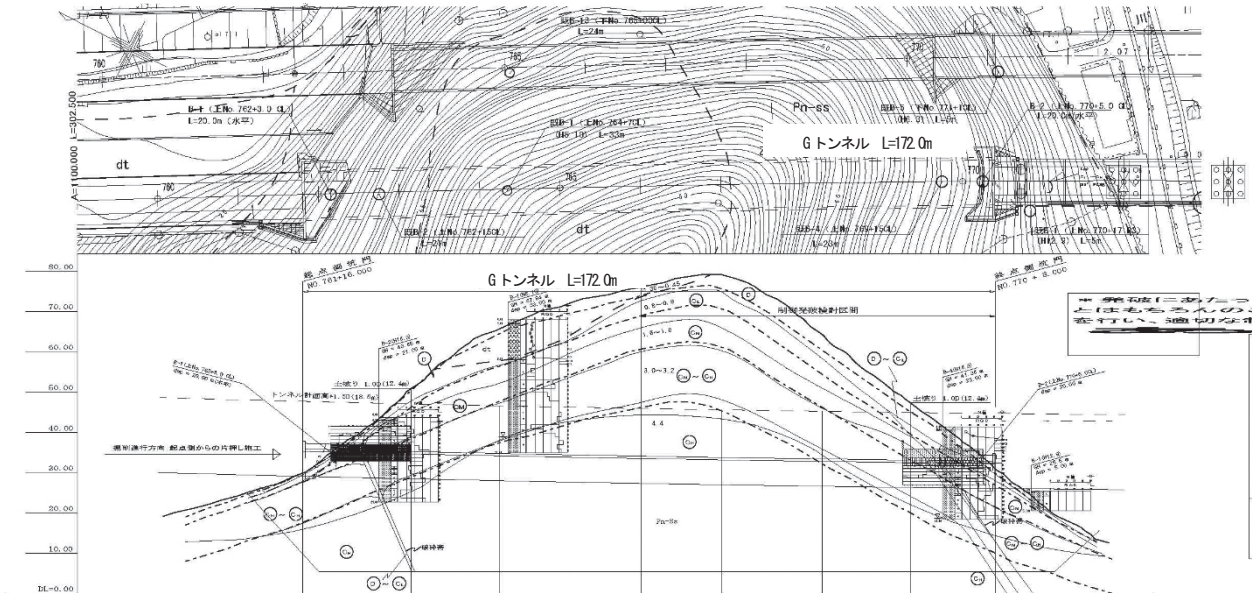


図 3.5.8 Gトンネル地質縦断面図

表 3.5.12 Gトンネルの施工実績の概略

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      |      | 備考 |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|------|----|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 | 地山補強 |    |
| D III  | 5.80      | ○    |      |       |       |      |      |    |
| D III  | 15.80     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| D I-b  | 8.00      | ○    |      |       |       |      |      |    |
| D I-a  | 14.00     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| C II-b | 35.00     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| C II-b | 20.00     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| C II-b | 25.00     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| C II-b | 22.00     | ○    |      |       |       |      |      |    |
| D III  | 17.60     | ○    |      |       |       |      |      |    |

表 3.5.13 Gトンネルの直近の点検結果の概略

| 判定区分 | スパン数 | 変状区分ごとのスパン数 |      |    |
|------|------|-------------|------|----|
|      |      | 外力          | 材質劣化 | 漏水 |
| I    | 14   |             |      |    |
| II   | 3    | 0           | 3    | 0  |
|      | II b | 0           | 0    | 0  |
|      | II a | 3           | 0    | 0  |
| III  | 0    | 0           | 0    | 0  |
| IV   | 0    | 0           | 0    | 0  |



### (8) Hトンネル

Hトンネルの地質縦断面図を図 3.5.9 に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.14 に、点検結果の概要を表 3.5.15 に示す。当該トンネルは平成 27 年に定期点検を実施している。

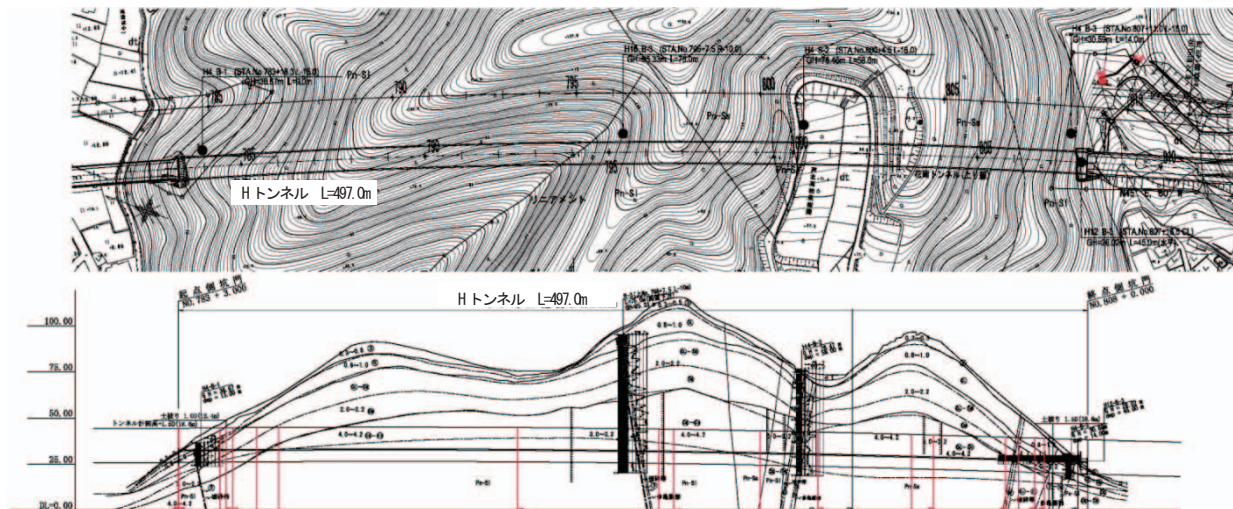


図 3.5.9 Hトンネル地質縦断面図

表 3.5.14 Hトンネルの施工実績の概略

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      |      | 備考                 |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|------|--------------------|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 | 地山補強 |                    |
| DⅢ     | 22.15     |      | ○    | ○     |       |      |      | 注入式FP、鏡ボルト(GRPボルト) |
| DⅢ     | 3.50      | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅠ-b   | 3.50      | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅠ-b   | 13.00     |      | ○    |       |       |      |      | 注入式FP              |
| DⅠ-b   | 12.00     | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| CⅡ-b   | 129.60    | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅠ-b   | 77.00     | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅠ-b   | 8.00      |      | ○    | ○     |       |      |      | 注入式FP、鏡ボルト(GRPボルト) |
| DⅠ-b   | 47.00     | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| CⅡ-b   | 31.20     | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅠ-b   | 18.70     | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅠ-b   | 32.30     | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| CⅡ-b   | 12.00     | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅠ-b   | 39.00     | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅠ-b   | 7.00      |      | ○    |       |       |      |      | FP                 |
| DⅠ-b   | 9.00      | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅢ     | 5.00      | ○    |      |       |       |      |      |                    |
| DⅢ     | 18.30     |      | ○    |       |       |      |      | 注入式FP              |

表 3.5.15 Hトンネルの直近の点検結果の概略

| 判定区分 | スパン数 | 変状区分ごとのスパン数 |      |    |
|------|------|-------------|------|----|
|      |      | 外力          | 材質劣化 | 漏水 |
| I    | 36   |             |      |    |
| II   | 14   | 9           | 13   | 0  |
|      | II b | 1           | 9    | 0  |
|      | II a | 13          | 0    | 13 |
| III  | 0    | 0           | 0    | 0  |
| IV   | 0    | 0           | 0    | 0  |

(9) Iトンネル

Iトンネルの地質縦断図を図 3.5.10に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.16に、点検結果の概要を表 3.5.17に示す。当該トンネルは平成 27年度に定期点検を実施している。

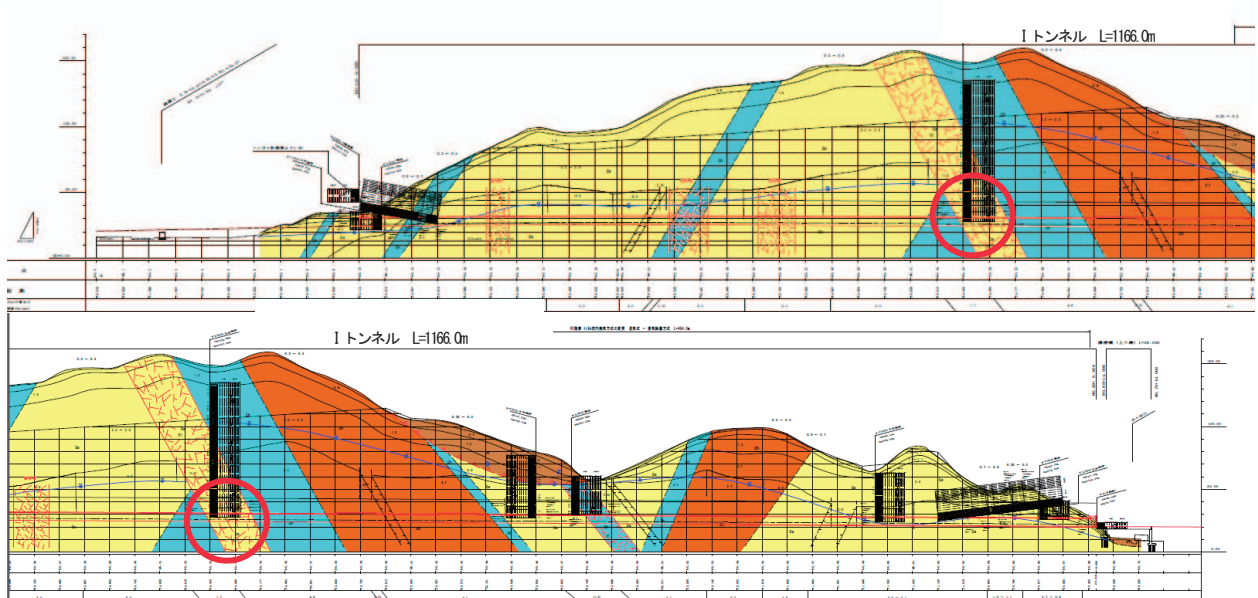


図 3.5.10 Iトンネル地質縦断図

表 3.5.16 Iトンネルの施工実績の概略(1/2)

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      | 備考                                      |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|---|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 |   |
| DⅢ     | 1.00      | ○    |      |       |       |      | FP, 天端ロックボルト無                           |
| DⅢ     | 35.40     | ○    |      |       |       |      | FP, 天端ロックボルト無                           |
| DⅠ-b   | 11.70     | ○    |      |       |       |      | 高耐力ロックボルト, 高強度吹付け                       |
| DⅠ-a   | 42.00     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-b   | 6.00      |      | ○    | ○     |       |      | 注入式FP, 鏡吹付け, 注入式長尺鏡ボルト, 天端ロックボルト無       |
| DⅠ-b   | 3.00      |      | ○    |       |       |      | 注入式FP, 天端ロックボルト無                        |
| DⅠ-b   | 6.00      |      | ○    | ○     |       |      | 注入式FP, 鏡吹付け, 注入式長尺鏡ボルト(L=3m), 天端ロックボルト無 |
| DⅠ-b   | 3.00      |      | ○    |       |       |      | 注入式FP, 増しロックボルト                         |
| DⅠ-b   | 57.00     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-a   | 64.00     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-b   | 30.00     |      | ○    |       |       |      | 注入式FP, 増しロックボルト                         |
| DⅠ-b   | 15.00     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-a   | 23.00     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-b   | 3.00      |      | ○    |       |       |      | 注入式FP, 増しロックボルト                         |
| DⅠ-b   | 9.00      |      | ○    |       |       |      | 小口径長尺鋼管先受け工, 増しロックボルト                   |
| DⅠ-b   | 16.00     |      | ○    |       |       |      | 注入式FP, 増しロックボルト                         |
| DⅠ-b   | 55.00     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-a   | 41.00     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-b   | 0.30      | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-b   | 19.70     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-b   | 4.00      |      | ○    |       |       |      | 注入式FP, 増しロックボルト                         |
| DⅠ-b   | 45.00     |      | ○    |       |       |      | 小口径長尺鋼管先受け工, 増しロックボルト                   |
| DⅠ-b   | 2.00      |      | ○    |       |       |      | 注入式FP, 増しロックボルト                         |
| DⅠ-b   | 29.00     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ-b   | 5.00      |      | ○    |       |       |      | 注入式FP, 増しロックボルト                         |
| DⅠ-b   | 18.00     |      | ○    |       |       |      | 小口径長尺鋼管先受け工, 増しロックボルト                   |
| DⅠ-a   | 10.26     | ○    |      |       |       |      |   |
| DⅠ(L)  | 32.20     | ○    |      |       |       |      |   |
| CⅡ-b   | 48.80     | ○    |      |       |       |      | 高耐力ロックボルト, 高強度吹付け                       |
| CⅡ(L)  | 26.23     | ○    |      |       |       |      | 高耐力ロックボルト, 高強度吹付け                       |
| CⅡ(L)  | 6.78      | ○    |      |       |       |      | 高耐力ロックボルト, 高強度吹付け                       |

表 3.5.16 Iトンネルの施工実績の概略(2/2)

| 支保ハターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      | 備考                           |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|------------------------------|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 |                              |
| C II-b | 30.05     | ○    |      |       |       |      | 高耐力ロックボルト, 高強度吹付け            |
| D I-b  | 9.00      |      |      | ○     |       |      | 鏡吹付け, 注入式長尺鏡ボルト              |
| D I-a  | 148.00    | ○    |      |       |       |      |                              |
| D I-b  | 1.00      |      | ○    |       |       |      | 小口径長尺鋼管先受け工                  |
| D I-b  | 17.00     |      | ○    | ○     |       |      | 小口径長尺鋼管先受け工, 鏡吹付け, 注入式長尺鏡ボルト |
| D I-b  | 1.00      |      | ○    | ○     |       |      | 注入式FP, 鏡吹付け, 注入式長尺鏡ボルト       |
| D I-b  | 2.00      |      | ○    |       |       |      | 注入式FP                        |
| D I-b  | 100.00    | ○    |      |       |       |      | 高耐力ロックボルト, 高強度吹付け            |
| D I-a  | 43.00     | ○    |      |       |       |      |                              |
| C II-b | 42.00     | ○    |      |       |       |      | 高耐力ロックボルト, 高強度吹付け            |
| D I-a  | 9.00      | ○    |      |       |       |      |                              |
| D III  | 72.00     | ○    |      |       |       |      | 天端ロックボルト無                    |
| D III  | 10.00     | ○    |      |       |       |      | 注入式FP, 天端ロックボルト無             |
| D III  | 3.20      | ○    |      |       |       |      | 注入式FP, 天端ロックボルト無             |

表 3.5.17 Iトンネルの直近の点検結果の概略

| 判定区分 | スパン数 | 変状区分ごとのスパン数 |      |    |   |
|------|------|-------------|------|----|---|
|      |      | 外力          | 材質劣化 | 漏水 |   |
| I    | 61   |             |      |    |   |
| II   | 57   | 0           | 56   | 1  |   |
|      | II b | 57          | 0    | 56 | 1 |
|      | II a | 0           | 0    | 0  | 0 |
| III  | 0    | 0           | 0    | 0  |   |
| IV   | 0    | 0           | 0    | 0  |   |

(10) Jトンネル

Jトンネルの地質縦断図を図 3.5.11に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.18に、点検結果の概要を表 3.5.19に示す。当該トンネルは平成 27 年度に定期点検を実施している。

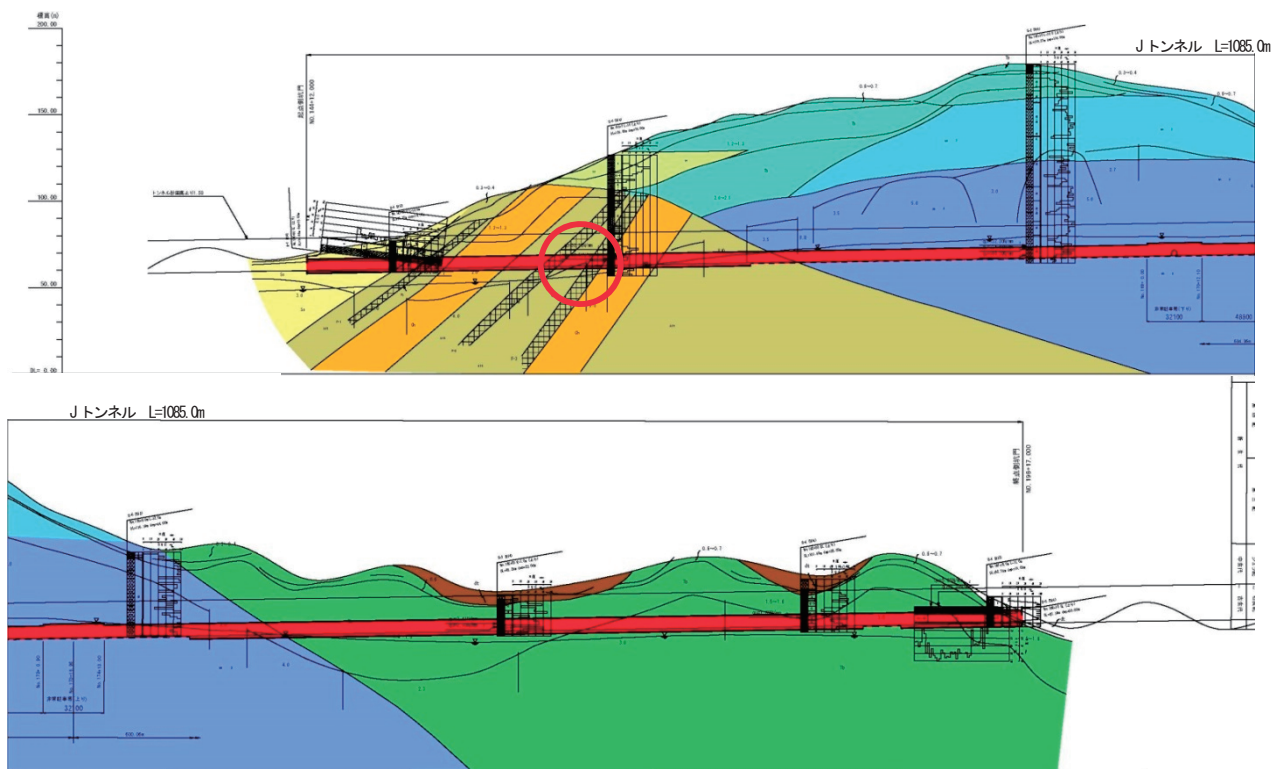


図 3.5.11 Jトンネル地質縦断図

表 3.5.18 Jトンネルの施工実績の概略

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      |      | 備考  |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|------|---|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 | 地山補強 |   |
| DⅢ     | 52.60     |      |      | ○     |       |      |      | 一部区間補助工法(鏡吹付けコンクリート、鏡ボルト(中実型FRPボルト))            |
| DⅠ-b   | 15.00     |      | ○    | ○     |       |      |      | 注入式FP、鏡吹付けコンクリート、鏡ボルト(中実型FRPボルト)、高耐久ロックボルト      |
| DⅠ-b   | 10.00     |      | ○    | ○     |       |      |      | 小口径長尺鋼管先受け工、小口径長尺GFRP管鏡補強工、鏡吹付けコンクリート、高耐久ロックボルト |
| DⅠ-b   | 10.00     |      | ○    |       |       |      |      | 注入式FP、高耐久ロックボルト                                 |
| DⅠ-b   | 45.00     | ○    |      |       |       |      |      | 高耐久ロックボルト                                       |
| DⅠ-b   | 41.00     |      | ○    |       |       |      |      | 注入式FP、高耐久ロックボルト                                 |
| DⅠ-b   | 35.00     |      |      | ○     |       |      |      | 高耐久ロックボルト、一部区間補助工法(鏡吹付けコンクリート、鏡ボルト(中実型FRPボルト))  |
| DⅠ-b   | 8.00      |      | ○    | ○     |       |      |      | 注入式FP、鏡吹付けコンクリート、小口径長尺GFRP管鏡補強工、高耐久ロックボルト       |
| DⅠ-b   | 1.00      | ○    |      |       |       |      |      | 高耐久ロックボルト                                       |
| DⅠ-b   | 29.00     |      | ○    | ○     |       |      |      | 注入式FP、鏡吹付けコンクリート、小口径長尺GFRP管鏡補強工、高耐久ロックボルト       |
| DⅠ-b   | 65.00     | ○    |      |       |       |      |      | 高耐久ロックボルト                                       |
| DⅠ-a   | 30.00     | ○    |      |       |       |      |      | 高耐久ロックボルト                                       |
| CⅡ-b   | 141.00    | ○    |      |       |       |      |      |   |
| CⅡ(L)  | 32.10     | ○    |      |       |       |      |      | 高耐久ロックボルト                                       |
| CⅡ-b   | 48.80     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| CⅡ(L)  | 32.10     | ○    |      |       |       |      |      | 高耐久ロックボルト                                       |
| CⅡ-b   | 47.00     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| DⅠ-a   | 408.00    | ○    |      |       |       |      |      | 高耐久ロックボルト                                       |
| DⅢ     | 19.40     | ○    |      |       |       |      |      |   |
| DⅢ     | 3.90      | ○    |      |       |       |      |      |   |



表 3.5.19 Jトンネルの直近の点検結果の概略

| 判定区分 | スパン数 | 変状区分ごとのスパン数 |      |    |
|------|------|-------------|------|----|
|      |      | 外力          | 材質劣化 | 漏水 |
| I    | 97   |             |      |    |
| II   | 15   | 0           | 15   | 0  |
|      | II b | 0           | 15   | 0  |
|      | II a | 0           | 0    | 0  |
| III  | 0    | 0           | 0    | 0  |
| IV   | 0    | 0           | 0    | 0  |

(11) Kトンネル

Kトンネルの地質縦断図を図 3.5.12 に、実施支保パターンおよび採用した補助工法の概要を表 3.5.20 に、点検結果の概要を表 3.5.21 に示す。当該トンネルは平成 27 年度に定期点検を実施している。

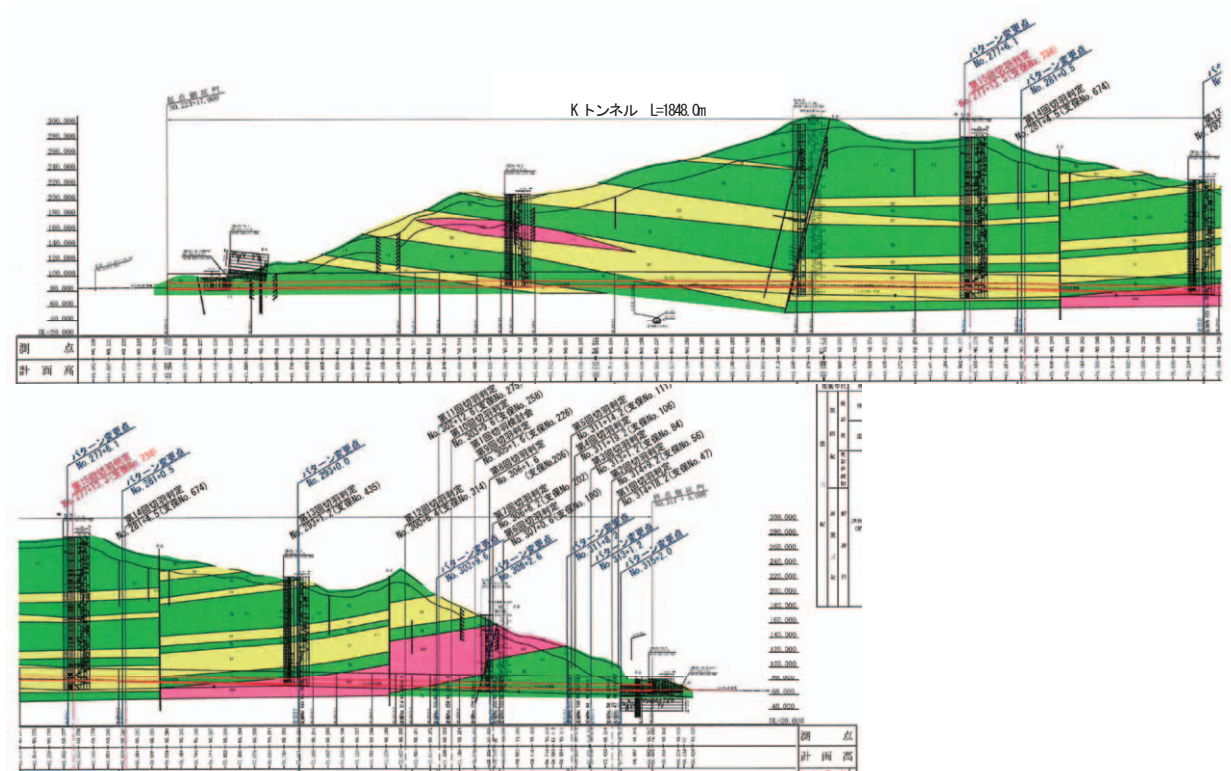


図 3.5.12 Kトンネル地質縦断図

表 3.5.20 K トンネルの施工実績の概略

| 支保パターン | 延長<br>(m) | 補助工法 |      |       |       |      |      | 備考   |
|--------|-----------|------|------|-------|-------|------|------|--|
|        |           | 無    | 先受け工 | 鏡面の補強 | 脚部の補強 | 湧水対策 | 地山補強 |  |
| DⅢ     | 106.00    | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅠ-b   | 183.70    | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅠ-a   | 51.00     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅠ-b   | 54.00     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| CⅡ-b   | 20.95     | ○    |      |       |       |      |      | インバート設置  |
| CⅡ(L)  | 32.10     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| CⅡ-b   | 51.40     | ○    |      |       |       |      |      | インバート設置  |
| CⅡ(L)  | 32.10     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| CⅡ-b   | 9.90      | ○    |      |       |       |      |      | インバート設置  |
| CⅡ-b   | 42.80     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| CⅡ-b   | 110.00    | ○    |      |       |       |      |      | 新幹線交差部のため、高規格支保工<br>(HT590 32.5kg/m)、高強度吹付けコンク<br>リート(σ28=36N/mm <sup>2</sup> )を採用 |
| CⅡ-b   | 15.90     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| CⅡ-b   | 283.20    | ○    |      |       |       |      |      | 高強度吹付けコンクリート(σ<br>28=36N/mm <sup>2</sup> , t=7cm)                                  |
| DⅠ-a   | 52.00     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| CⅡ-b   | 74.40     | ○    |      |       |       |      |      | 高強度吹付けコンクリート(σ<br>28=36N/mm <sup>2</sup> , t=7cm)                                  |
| DⅠ-a   | 40.60     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅠ(L)  | 32.20     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅠ-a   | 51.30     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅠ(L)  | 32.20     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅠ-a   | 83.20     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| CⅡ-b   | 189.60    | ○    |      |       |       |      |      | 高強度吹付けコンクリート(σ<br>28=36N/mm <sup>2</sup> , t=7cm)                                  |
| DⅠ-a   | 73.00     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| CⅡ-b   | 105.60    | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅠ-a   | 33.00     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅠ-b   | 40.80     | ○    |      |       |       |      |      |  |
| DⅢ     | 21.00     |      | ○    |       |       |      |      | トレヴィチューブ   |
| DⅢ     | 16.50     |      | ○    |       |       |      |      | トレヴィチューブ   |

表 3.5.21 K トンネルの直近の点検結果の概略

| 判定区分 | スパン数 | 変状区分ごとのスパン数 |      |    |
|------|------|-------------|------|----|
|      |      | 外力          | 材質劣化 | 漏水 |
| I    | 160  |             |      |    |
| II   | 28   | 0           | 28   | 0  |
|      | II b | 28          | 0    | 28 |
|      | II a | 0           | 0    | 0  |
| III  | 0    | 0           | 0    | 0  |
| IV   | 0    | 0           | 0    | 0  |

### 3.5.3 施工・点検記録の集計結果

#### (1) 地山等級ごとの施工延長

対象トンネルの施工データを，地山等級ごとに集計すると表 3.5.22 および図 3.5.13 に示すとおりである。この集計結果より，CII等級とDI等級で8割以上を占めている。

表 3.5.22 地山等級ごとの施工延長

| No. | トンネル名        | 地山等級ごとの施工延長(m) |     |        |        |       |                     |                     |     | 計      |
|-----|--------------|----------------|-----|--------|--------|-------|---------------------|---------------------|-----|--------|
|     |              | B              | C I | C II   | D I    | D II  | D III<br>(坑口<br>区間) | D III<br>(坑口<br>以外) | その他 |        |
| 1   | Aトンネル        |                |     |        | 210.0  |       | 255.2               |                     |     | 465.2  |
| 2   | Bトンネル        |                |     | 118.0  | 40.0   |       | 128.8               | 120.0               |     | 406.8  |
| 3   | Cトンネル        |                |     |        | 152.0  |       | 164.0               |                     |     | 316.0  |
| 4   | Dトンネル        |                |     |        | 45.0   |       | 98.0                |                     |     | 143.0  |
| 5   | Eトンネル        |                |     | 108.0  | 307.0  |       | 60.2                |                     |     | 475.2  |
| 6   | Fトンネル        |                |     | 575.5  | 1919.3 | 297.0 | 88.9                |                     |     | 2880.7 |
| 7   | Gトンネル        |                |     | 102.0  | 22.0   |       | 39.2                |                     |     | 163.2  |
| 8   | Hトンネル        |                |     | 172.8  | 266.5  |       | 49.0                |                     |     | 488.3  |
| 9   | Iトンネル        |                |     | 153.9  | 880.2  |       | 121.6               |                     |     | 1155.7 |
| 10  | Jトンネル        |                |     | 301.0  | 697.0  |       | 75.9                |                     |     | 1073.9 |
| 11  | Kトンネル        |                |     | 968.0  | 727.0  |       | 143.5               |                     |     | 1838.5 |
|     | 計            | 0.0            | 0.0 | 2499.2 | 5266.0 | 297.0 | 1224.3              | 120.0               | 0.0 | 9406.5 |
|     | 総延長に対する割合(%) | 0.0            | 0.0 | 26.6   | 56.0   | 3.2   | 13.0                | 1.3                 | 0.0 | 100.0  |

(注) 施工延長は明かり巻き工事を含んでいないため，表 3.5.1 の延長と異なる場合がある。

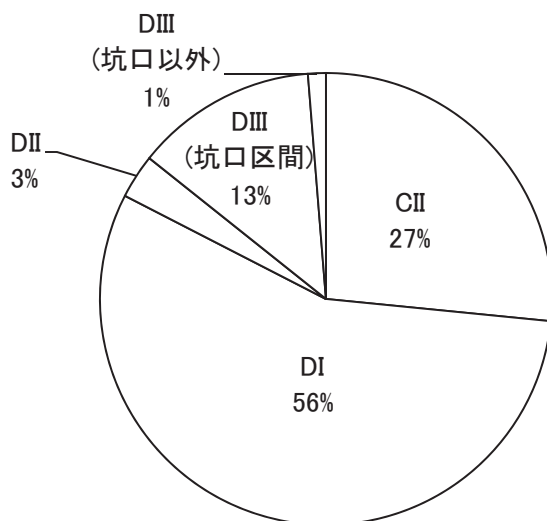


図 3.5.13 地山等級ごとの施工延長の割合





### (3) 点検結果の判定区分

対象トンネルの直近の定期点検データを判定区分ごとに集計すると表 3.5.24 のとおりである。これより新要領で点検を実施したトンネルでは基本的に対策を不要とするⅠ＋Ⅱb判定(Ⅱa判定では計画的に対策が必要)のスパンが全体の9割以上となることから、現状として比較的健全な状態であることがわかる。また旧要領で点検を実施したトンネルについてはS判定が8割近くを占めており、同様に現状としては健全な状態である。Ⅲ判定の変状はFトンネルで確認された2箇所のみとなっており、内訳は材質劣化の「うき」と外力による「ひび割れ」である。

対象の11トンネルは直近10年以内に建設されており、経年劣化による変状も少なく現状として地震の影響による大きな被害は発生していないが、将来的に何らかの影響が出る可能性も考えられることから、次回以降点検時に留意する必要がある。

表 3.5.24 判定区分ごとのスパン数

(a)H26道路トンネル定期点検要領に従った点検を行ったもの

| No.            | トンネル名 | 点検年月   | 判定区分ごとのスパン数 |      |     |     |     | 計     |
|----------------|-------|--------|-------------|------|-----|-----|-----|-------|
|                |       |        | Ⅰ           | Ⅱb   | Ⅱa  | Ⅲ   | Ⅳ   |       |
| 1              | Fトンネル | H27.11 | 184         | 54   | 33  | 2   | 0   | 273   |
| 2              | Gトンネル | H28.3  | 14          | 0    | 3   | 0   | 0   | 17    |
| 3              | Hトンネル | H27.11 | 36          | 1    | 13  | 0   | 0   | 50    |
| 4              | Iトンネル | H27.10 | 61          | 57   | 0   | 0   | 0   | 118   |
| 5              | Jトンネル | H27.10 | 97          | 15   | 0   | 0   | 0   | 112   |
| 6              | Kトンネル | H27.11 | 160         | 28   | 0   | 0   | 0   | 188   |
| 計              |       |        | 552         | 155  | 49  | 2   | 0   | 758   |
| 総スパン数に対する割合(%) |       |        | 72.8        | 20.4 | 6.5 | 0.3 | 0.0 | 100.0 |

(b)従前の便覧等(H5道路トンネル維持管理便覧, H14道路トンネル定期点検要領(案))に従った点検を行ったもの

| No.            | トンネル名 | 点検年月   | 判定区分ごとのスパン数 |      |     | 計     |
|----------------|-------|--------|-------------|------|-----|-------|
|                |       |        | S           | B    | A   |       |
| 1              | Bトンネル | H25.11 | 22          | 5    | 0   | 27    |
| 2              | Cトンネル | H24.1  | 33          | 9    | 0   | 42    |
| 3              | Dトンネル | H24.1  | 8           | 6    | 0   | 14    |
| 計              |       |        | 63          | 20   | 0   | 83    |
| 総スパン数に対する割合(%) |       |        | 75.9        | 24.1 | 0.0 | 100.0 |

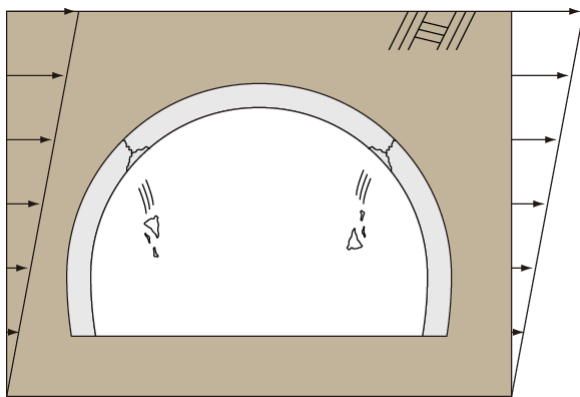
#### 4. 地震による山岳トンネルの主な被害モード

以上に示した山岳トンネルにおける被害は、現象面から分類すると、主として以下のようなタイプに大別されると考えられる。このような被害について、推定される主な要因を併せて図示すると、図 4.1 のようになると考えられる。

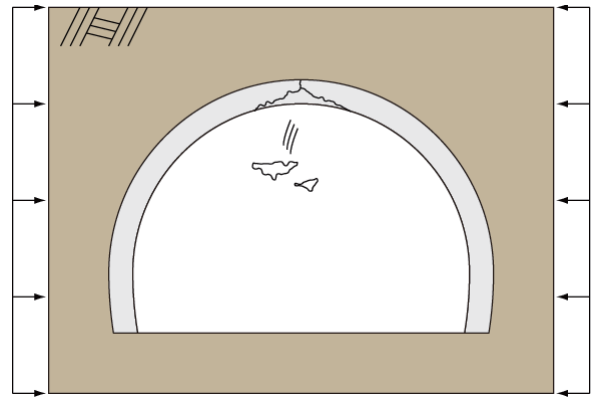
- Type-I : 覆工の両肩部に曲げモーメントにより引張破壊あるいは圧縮破壊が生じるモード。主として横断方向において地山にせん断変形が繰り返し発生し、覆工肩部に大きな曲げモーメントが発生することにより生じると考えられる。
- Type-II : 覆工の天端部に圧縮破壊が生じるモード。主として横断方向に地山が水平圧縮変形することにより、生じると考えられる。覆工天端部に背面空洞や巻厚不足が存在する場合など、覆工天端部に構造的な弱部が存在する場合は、このモードの被害の発生が助長されやすいと考えられる。
- Type-III : 覆工の側壁部に圧縮破壊が生じるモード。主として横断方向に地山が鉛直圧縮変形することにより、生じると考えられる。とくに矢板工法で建設されたトンネルのアーチ部と側壁部の打継目において生じる場合が多い傾向が見られる。
- Type-IV : 盤ぶくれが生じるモード。主として下方の地山からの押し出しにより生じると考えられる。縦断方向の地山の圧縮変形にともない盤ぶくれが生じる事例もある。軽微な場合は舗装のひび割れや段差程度に収まる場合もあると考えられる。
- Type-V : 既往の変状に助長されて地震により覆工に破壊が生じるモード。例えば、覆工に巻厚不足と背面空洞があり、外力性の変状も既に発生しているような状況において、地震の影響が加味されて覆工に破壊が生じると考えられる。
- Type-VI : 地山の弱層や断層等に沿って覆工の破壊が生じるモード。主として地山の弱層や断層等が滑動することにより生じると考えられる。
- Type-VII : 覆工全周にわたって輪切り状に引張ひび割れが生じるモード。主としてトンネル縦断方向に地山が伸縮し、覆工に引張強度を超えた応力が発生することにより生じると考えられる。
- Type-VIII : 覆工全周にわたって圧縮破壊が生じるモード。主としてトンネル縦断方向に地山が伸縮し、覆工に圧縮強度を超えた応力が発生することにより生じると考えられる。

これらの地山の变形モードが発生するメカニズムは必ずしも解明されていない部分があるが、いずれのモードにおいても、地山の变形に対して覆工が追随することができず、覆工に破壊が生じたものと考えられる。

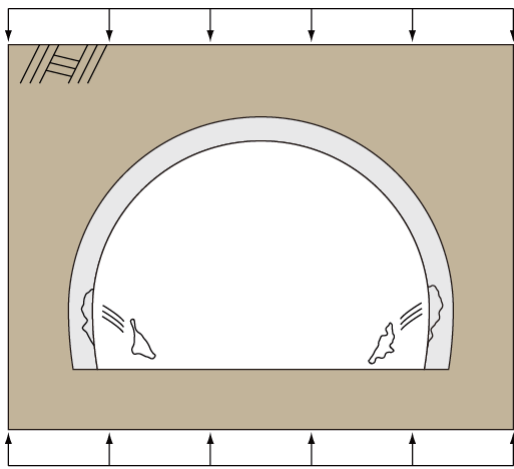
なお、これらの被害モードのほか、覆工の横断目地付近の覆工コンクリート小片のはく落や、矢板工法におけるアーチ部覆工と側壁の打継目に施工された化粧モルタルのはく落が地震により生じた事例もあるが、地震以前にうき、はく離がすでに生じていたと考えられるものがほとんどであり、いずれも上述の被害と比較すると軽微なものであると言える。



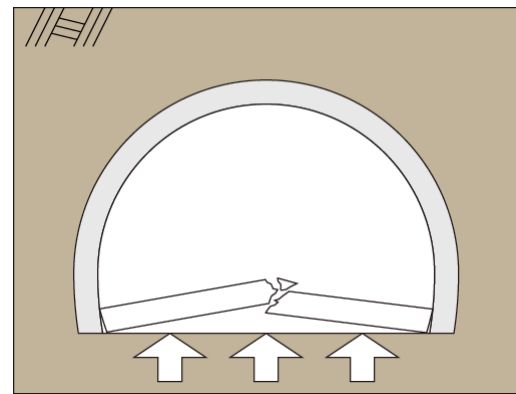
(a) Type-I : 肩部の曲げ引張破壊・曲げ圧縮破壊



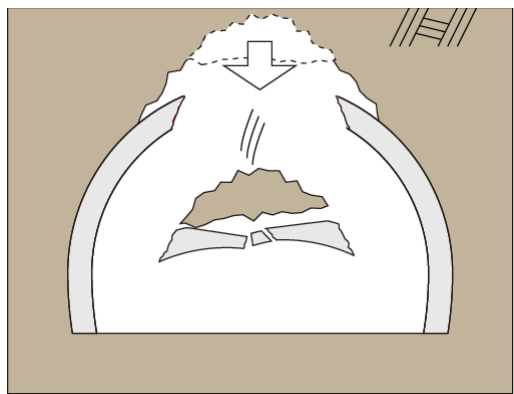
(b) Type-II : 天端部の圧縮破壊



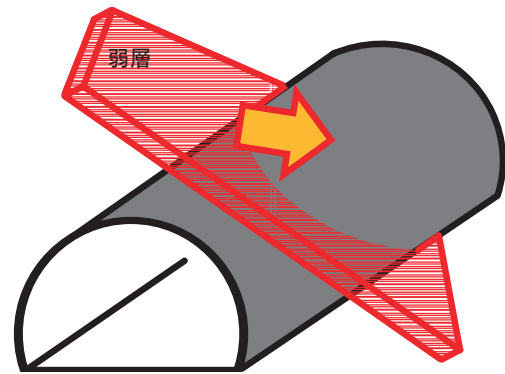
(c) Type-III : 側壁部の圧縮破壊



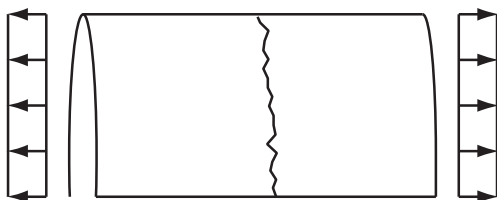
(d) Type-IV : 盤ぶくれ



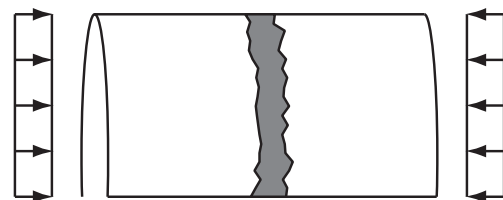
(e) Type-V : 既往の変状に助長された覆工の破壊



(f) Type-VI : 地山の弱層に沿った覆工の破壊



(g) Type-VII : 覆工全周の引張ひびわれ



(h) Type-VIII : 覆工全周の圧縮破壊

図 4.1 地震による山岳トンネルの主な被害モードと、推定される主な被害要因



## 5. 既知の活断層と既設トンネルの距離（九州地方のトンネルの例）

### 5.1 検討の概要

過去に繰り返し地震を起こし、将来も地震を起こすと考えられている断層のことを、活断層と称している。日本の周辺には約 2,000 もの活断層があると推定されており、それ以外にもまだ見つかっていない活断層が多数あると言われている<sup>5.1.1)</sup>。

トンネルは地中に建設される構造物であり、もし、トンネルの近傍に活断層があり、その活断層が活動すれば、トンネルに少なからぬ影響が出ることは想像に難くない。万が一、地震によりトンネルを横断するように活断層のずれが生じると、現在の技術をもってしても被害を防止する対策は確立されていない。そのため、極論すれば、トンネルは活断層の近傍には建設しないことが要求されることとなる。しかしながら、活断層は面的な広がりをもつ一方で、トンネルは線状に建設されるため、トンネルの平面線形や縦断線形を多少変更したところで、多数の活断層が存在する我が国において完全に活断層を避けて通るのは困難な場合もあると考えられる。

このような状況のもと、活断層の確実度や活動度によって一定の絞り込みを行ったうえで、活断層の近傍に位置するトンネルの箇所数を試算した結果を本章で紹介する。

#### 参考文献

5.1.1) 文部科学省，気象庁：活断層の地震に備える，2017.

## 5.2 活断層の分類

活断層の認定基準は、一定規格の物差しをあてて目盛りを読めばよいというように規格化できる性質のものではない。それは、断層現象それ自体の複雑さに加えて、その場所の性質、地形の状況によって現れ方の違い、極端に言えば、ひとつひとつが個性的であるからとされており、多少とも個人差が出るのが予想されるとされている<sup>521)</sup>。そこで、活断層研究会<sup>521)</sup>では、複数の研究者によるクロスチェック等の結果をもとに、活断層の存在の確かさ（確実度）を、表 5.2.1 のようにⅠからⅢに分類している。

また、同文献<sup>521)</sup>では、活断層の過去における活動の程度を活動度と呼び、平均変位速度（認定に用いた第四紀の基準地形や第四紀層の変位量をその形成時から現在までの年数で割った値）によって表 5.2.2 のように A から C に分類している。なお、実際には、変位量は分かっているが、変位基準の形成時代が分からないために平均変位速度が求められないことが多く、地形の新鮮さ等に基づいて推定したものも少なくないとされている。

産業技術総合研究所では、独自の調査研究の結果と他機関による公表データに基づき、活断層データベースを作成し、インターネット上で公開している<sup>522)</sup>。同データベースでは、確実度Ⅱ以上の活断層について、長さ等の条件により抽出・区分した活断層を収録している。

同データベースにおいて、活動度 A の活断層（平均変位速度 1 m/千年以上）、および活動度 A・B（同 0.1 m/千年以上）の活断層を抽出すると、それぞれ図 5.2.1 (a) および (b) のようになる。なお、図中の色については、活動セグメントごとに色分けされているものであり、確実度や活動度を示すものではない。

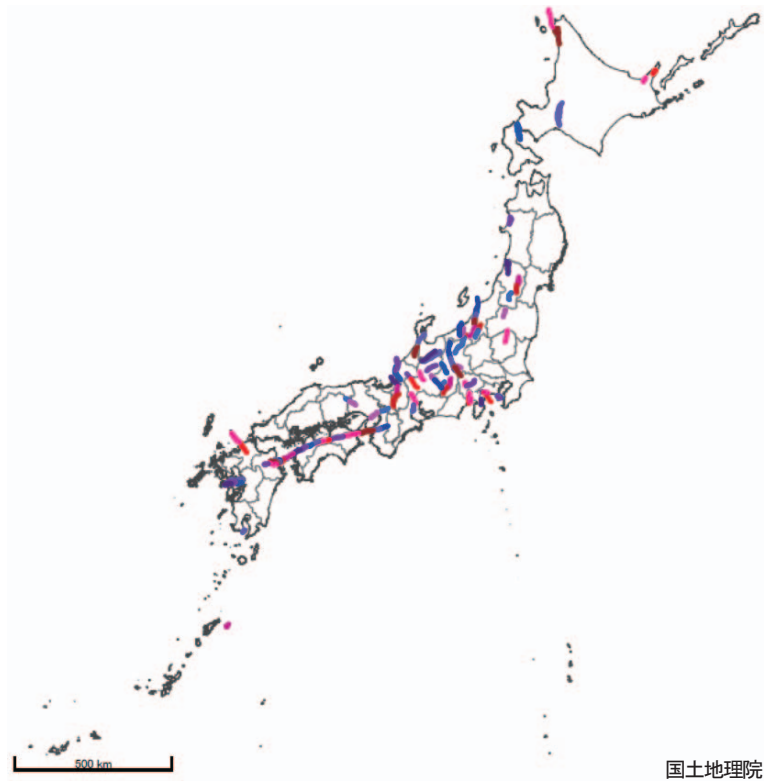
表 5.2.1 活断層の確実度（活断層研究会編「[新編]日本の活断層」の記述をもとに作成）

| 確実度  | 内容  |
|------|---|
| 確実度Ⅰ | <u>活断層であることが確実なもの</u> 。具体的には次のどれかの地形的特徴をもち、断層の位置、変位の向きがともに明確であるものをいう。1) 数本以上にわたる尾根・谷の系統的な横ずれ、2) ひと続きであることが確かな地形面を切る崖線、3) 時代を異にする地形面群を切っている崖線があり、古い地形面ほど変位が大きい（変位の累積が認められる）場合、4) 同一地形面の変形（たわみ・傾斜など）、5) 第四紀層を変位させている断層の露頭、など。 |
| 確実度Ⅱ | <u>活断層であると推定されるもの</u> 。すなわち、位置・変位の向きも推定できるが、確実度Ⅰと判定できる決定的な資料に欠けるもの、たとえば以下のような場合である。1) 2～3本程度以下の尾根や谷が横ずれを示す場合、2) 断層崖と思われる地形の両側の変位基準地形が時代を異にする場合、3) 明瞭な基準地形がない場合（山地など）。   |
| 確実度Ⅲ | <u>活断層の可能性はあるが</u> 、変位の向きが不明であったり、他の原因、たとえば川や海の浸食による崖、あるいは断層に沿う浸食作用によってリニアメントが形成された疑いが残るもの。   |

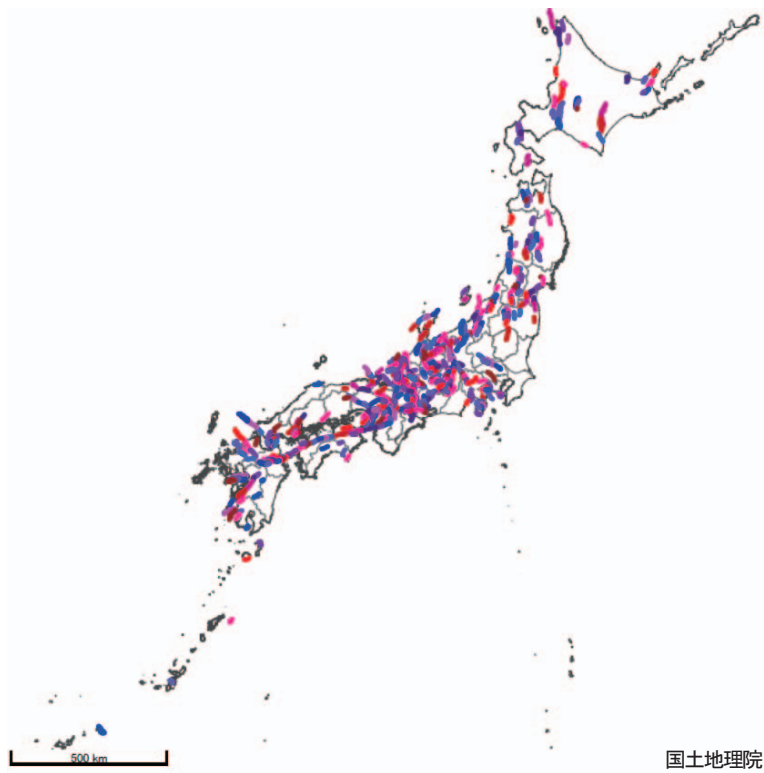
表 5.2.2 活断層の活動度（活断層研究会編「[新編]日本の活断層」<sup>521)</sup>の記述をもとに作成）

| 活動度   | 内容                  |
|-------|---------------------|
| 活動度 A | $1 \leq S < 10$     |
| 活動度 B | $0.1 \leq S < 1$    |
| 活動度 C | $0.01 \leq S < 0.1$ |

(注) Sは第四紀の平均変位速度で、単位 m/1000年。



(a) 確実度 I・II, 活動度 A の活断層



(b) 確実度 I・II, 活動度 A・B の活断層

(出典：産業技術総合研究所「活断層データベース」)

図 5.2.1 既知の活断層の分布

## 参考文献

- 5.2.1) 活断層研究会：[新編]日本の活断層，(財)東京大学出版会，1991.
- 5.2.2) 産業技術総合研究所：活断層データベース，[https://gbank.gsj.jp/activefault/index\\_gmap.html](https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html)



### 5.3 検討上の仮定

本検討では、活断層周辺に位置するトンネルの本数を試算するにあたり、以下の手順により抽出を行った。

- ①産業技術総合研究所の活断層データベース<sup>53.1)</sup>の「起震断層・活動セグメント検索」より、活動度 A に相当する、平均変位速度 1m/1000年以上の活断層（活動セグメント）を抽出
- ②抽出した活断層に対し、[新編]日本の活断層<sup>53.2)</sup>を参考に、确实度 I の活断層を抽出
- ③上記にて抽出した活断層から水平距離 5 km 以内に位置する道路トンネル（一般国道、県道、高速自動車道）を地図上で目視により抽出

すなわち、确实度 I，かつ活動度 A の活断層から、水平距離 5km 以内に位置する道路トンネルの本数を、地図上で抽出した。

なお、本検討は、活断層に近接するトンネルの数量を概算で把握するために実施したものである。産業技術総合研究所の活断層データベースにおける活断層の位置が誤差を含んだものであることや、活断層は地下に存在し、走向・傾斜を有しているため、トンネルとの正確な離隔は平面図上（地図上）では把握が困難であること、地図に表示されていないトンネル等は計上されていないこと等から、精度のよい情報を把握するにはより詳細な検討を要することに留意することが必要である。

#### 参考文献

- 5.3.1) 産業技術総合研究所：活断層データベース，[https://gbank.gsj.jp/activefault/index\\_gmap.html](https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html)
- 5.3.2) 活断層研究会：[新編]日本の活断層，(財)東京大学出版会，1991.

## 5.4 活断層とトンネルの位置関係

前述の方法により抽出した、確実度 I，かつ活動度 A の活断層から、水平距離 5 km 以内に位置する道路トンネルは、表 5.4.1 に示すとおり、17 箇所となる。国土交通省の道路統計年報によると、九州地方には 2014 年 4 月 1 日現在で 1,590 箇所の道路トンネルが存在し（表 5.4.2），その 1%程度が上記の活断層に近接していることとなる。なお、前述のとおり、本検討は、活断層に近接するトンネルの数量を概算で把握するために実施したものであり、精度のよい情報を把握するにはより詳細な検討を要することに留意することが必要である。

なお、表 5.4.1 に示した活断層（活動セグメント）の概略の位置を、図 5.4.1~6 に示す。

表 5.4.1 確実度 I，かつ活動度 A の活断層から、水平距離 5 km 以内に位置する道路トンネルの抽出結果

| 県名   | 活動セグメント名   | 一般走向    | 一般傾斜  | 長さ[km] | 断層型  | 変位の向き<br>(隆起側) | 確実性 | 平均変位速度<br>[m/千年] | 地図上の<br>番号 |
|------|------------|---------|-------|--------|------|----------------|-----|------------------|------------|
| 福岡県  | 西山活動セグメント  | N 40° W | 90° V | 41     | 左横ずれ | -              | I   | 1.2(A)           | ①          |
| 熊本県  | 深江活動セグメント  | N 80° W | 60° N | 23     | 正    | S              | I   | 1.3(A)           | ②          |
| 大分県  | 府内活動セグメント  | N 80° W | 60° N | 26     | 正    | S              | I   | 2.6(A)           | ③          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ④          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ⑤          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ⑥          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ⑦          |
|      | 由布院活動セグメント | N 80° E | 60° N | 13     | 正    | S              | I   | 1.2(A)           | ⑧          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ⑨          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ⑩          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ⑪          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ⑫          |
| 長崎県  | 千々石活動セグメント | N 90° E | 60° S | 42     | 正    | N              | I   | 1.7(A)           | ⑬          |
| 鹿児島県 | 鬼門平活動セグメント | N 40° E | 60° E | 11     | 正    | W              | I   | 1(A)             | ⑭          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ⑮          |
|      |            |         |       |        |      |                |     |                  | ⑯          |

表 5.4.2 九州地方の道路トンネルの現況

| 都道府県<br>及び<br>政令指定都市名 | 箇所数   | 延長<br>(km) |
|-----------------------|-------|------------|
| 福岡県                   | 65    | 24.033     |
| 佐賀県                   | 44    | 20.748     |
| 長崎県                   | 197   | 84.214     |
| 熊本県                   | 278   | 87.964     |
| 大分県                   | 551   | 136.093    |
| 宮崎県                   | 232   | 91.637     |
| 鹿児島県                  | 165   | 72.402     |
| 北九州市                  | 48    | 22.329     |
| 福岡市                   | 6     | 2.438      |
| 熊本市                   | 4     | 1.169      |
| 計                     | 1,590 | 543.027    |

(データ出典：国土交通省「道路統計年報 2015」)







(産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆)

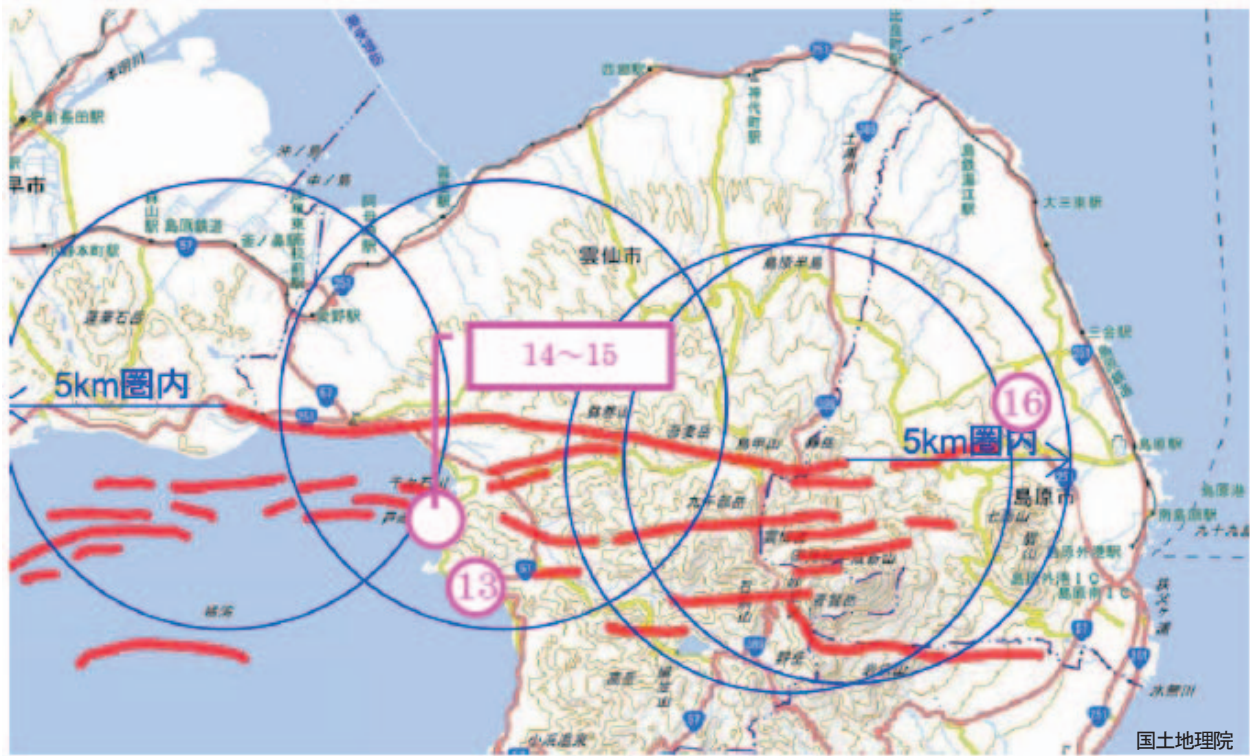
図 5.4.3 府内活動セグメントの概略位置



(産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆)

図 5.4.4 由布院活動セグメントの概略位置





(産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆)

図 5.4.5 千々石活動セグメントの概略位置



(産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆)

図 5.4.6 鬼門平活動セグメントの概略位置

## 6. 大規模な覆工コンクリート塊の落下対策に関する試算

### 6.1 試算の概要

本章では、地震により大きな覆工コンクリート塊が落下する場合を想定し、考えられる対策工の効果について試算した結果について述べる。

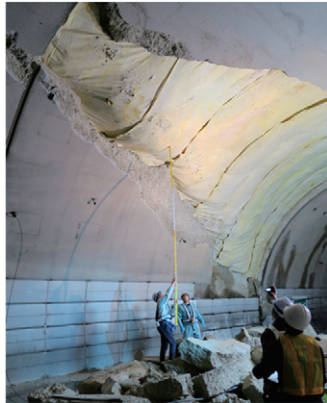



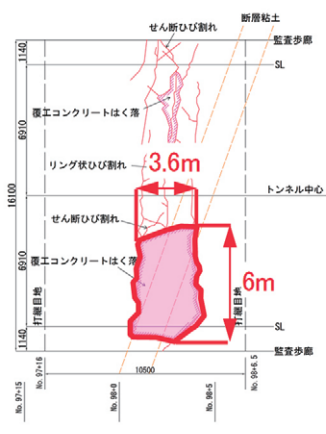
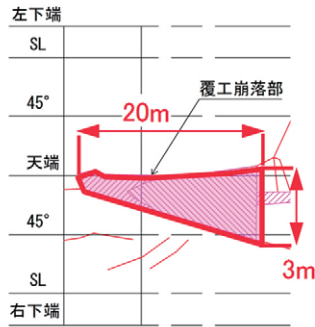
ここでは、地震による外力や変形に対してトンネル構造の破壊を抑制したり制御したりする、いわゆる耐震設計を取り扱うものではない。著しい外力や変形により覆工に破壊が生じ、覆工コンクリートの大規模なブロック化が生じた場合に、コンクリート塊の自重による落下を防止するという観点で、各種の対策工の効果を検討したものであることに留意されたい。

## 6.2 想定する覆工コンクリート塊の規模

### (1) 地震によるトンネル覆工の崩落事例

第2章および第3章で示した、これまでに発生した地震によるトンネル覆工の崩落事例とその規模について整理すると、表6.2.1に示すようになる。なお、これらの崩落は、いずれも、地震により覆工にひび割れや圧縮破壊が発生し、それにともない覆工コンクリートがブロック化し、自重により落下したものと推定される。

表 6.2.1 トンネル覆工の崩落事例

| 地震名称              | 熊本地震(H28)   | 兵庫南部地震(H7)  | 新潟県中越地震(H16)  |
|-------------------|---|---|---|
| トンネル名             | 俵山トンネル  | 盤滝トンネル  | 和奈津トンネル   |
| トンネル諸元            | 覆工コンクリート厚 $t = 30\text{cm}$   | 覆工コンクリート厚 $t = 30\text{cm}$<br>※覆工コンクリート厚は建設年代より推定  | 覆工コンクリート厚 $t = 50\text{cm}$   |
| 覆工コンクリートの崩落状況     |   |    |   |
| 崩落したコンクリート塊の面積:A  |  <p> <math>A = (8.6 + 1.6) \times 10.5 / 2 = 53.6 \text{ (m}^2\text{)}</math> </p> |  <p> <math>A = 3.6 \times 6 = 21.6 \text{ (m}^2\text{)}</math> </p> |  <p> <math>A = 20 \times 3 / 2 = 30 \text{ (m}^2\text{)}</math> </p> |
| 崩落した覆工コンクリートの重量:W | $W = 53.6 \times 0.3 \times 23.0$<br>$= 369.5 \text{ (kN)}$   | $W = 21.6 \times 0.3 \times 23.0$<br>$= 149.0 \text{ (kN)}$   | $W = 30 \times 0.5 \times 23.0$<br>$= 345 \text{ (kN)}$   |

※覆工コンクリートの単位体積重量は  $\gamma = 23.0\text{kN/m}^3$  とした

## (2) 想定する覆工コンクリート塊の規模

2車線道路トンネルについて、これまでのトンネル覆工の崩落事例を踏まえて、本研究ではトンネル半断面で1スパン分の覆工の崩落を想定することとした。本研究で想定したトンネル諸元と覆工の崩落規模を以下に示す。

### i) トンネル諸元

トンネル内空幅  $D$  : 10m

スパン長  $L$  : 10m

覆工コンクリート

厚さ※  $t$  : 0.6m

単位体積重量  $\gamma$  : 23 kN/m<sup>3</sup>

※ 標準的な設計覆工厚は、NATMで30cm、矢板工法で45~60cm

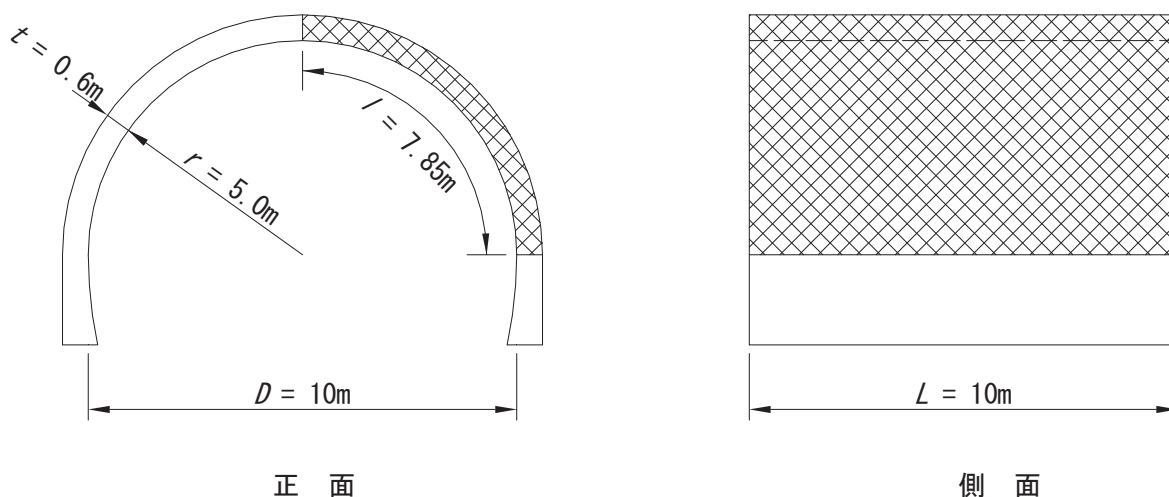


図 6.2.1 想定する覆工の崩落規模

### ii) 覆工コンクリート塊の重量

本研究で想定した落下する覆工コンクリート塊の概算の重量  $W$  は、以下の式で表される。

$$W = \frac{\pi}{4} \left\{ \left( \frac{D}{2} + t \right)^2 - \left( \frac{D}{2} \right)^2 \right\} \times L \times \gamma$$

以上より、崩落を仮定する覆工コンクリート塊の重量  $W$  は、以下の値とし、以降の検討で用いることとする。

$$W = \frac{\pi}{4} \left\{ \left( \frac{10}{2} + 0.6 \right)^2 - \left( \frac{10}{2} \right)^2 \right\} \times 10 \times 23.0 = 1,149(\text{kN})$$

なお、図に例示したような形状でブロック化した場合は脚部でも支持されることも想定し得るが、ここで



は安全側の検討として、脚部での支持力はゼロと仮定した。

### 6.3 検討対象とする対策

覆工崩落対策工は、覆工崩落塊を支持する方法によって表 6.3.1 のように分類できる。また、次節において、それぞれの支持ごとに対策工の試計算を示す。

表 6.3.1 覆工の支持方法による分類と対策工の概要

| 覆工の支持方法による分類 | 対策工の概要  |
|--------------|---|
| 鉄筋による支持      | 一般的にトンネルの坑口部等に適用される単鉄筋覆工コンクリートについて、覆工コンクリート内に設置されている単鉄筋のせん断耐力に覆工崩落塊の支持を期待する方法 |
| 繊維補強による支持    | 覆工コンクリート打設時に鋼繊維などを混入し、繊維のせん断耐力に覆工崩落塊の支持を期待する方法                                |
| ロックボルトによる支持  | 既設の覆工コンクリートにロックボルトを設置し、ロックボルトの縫付け力に覆工崩落塊の支持を期待する方法                            |
| 繊維シートによる支持   | トンネルの補修・補強対策として一般に用いられる繊維シートを覆工コンクリートの表面に設置し、繊維シートのはく離耐力に覆工崩落塊の支持を期待する方法      |
| ネットによる支持     | トンネルの補修・補強対策として一般に用いられるネットを覆工コンクリートの表面に設置し、ネットの引張耐力に覆工崩落塊の支持を期待する方法           |

## 6.4 鉄筋による支持

トンネル坑口部等に一般的に適用される単鉄筋覆工コンクリートにおいて、覆工崩落塊を鉄筋のせん断抵抗力により支持することが可能であるか検討を行った。

### a) 検討条件

検討で用いる鉄筋の規格を以下に示す。

鉄筋の種類 SD345 (基準強度 345 N/mm<sup>2</sup>, 降伏点の下限値)  
鉄筋径 D19 (断面積 287 mm<sup>2</sup>)

ここで、一般的な覆工の単鉄筋補強の場合には、20 cm ピッチで主鉄筋が配置される。本研究では1 スパン長を 10m とし、1 スパンあたり 50 本の主鉄筋が配置されていると仮定した。

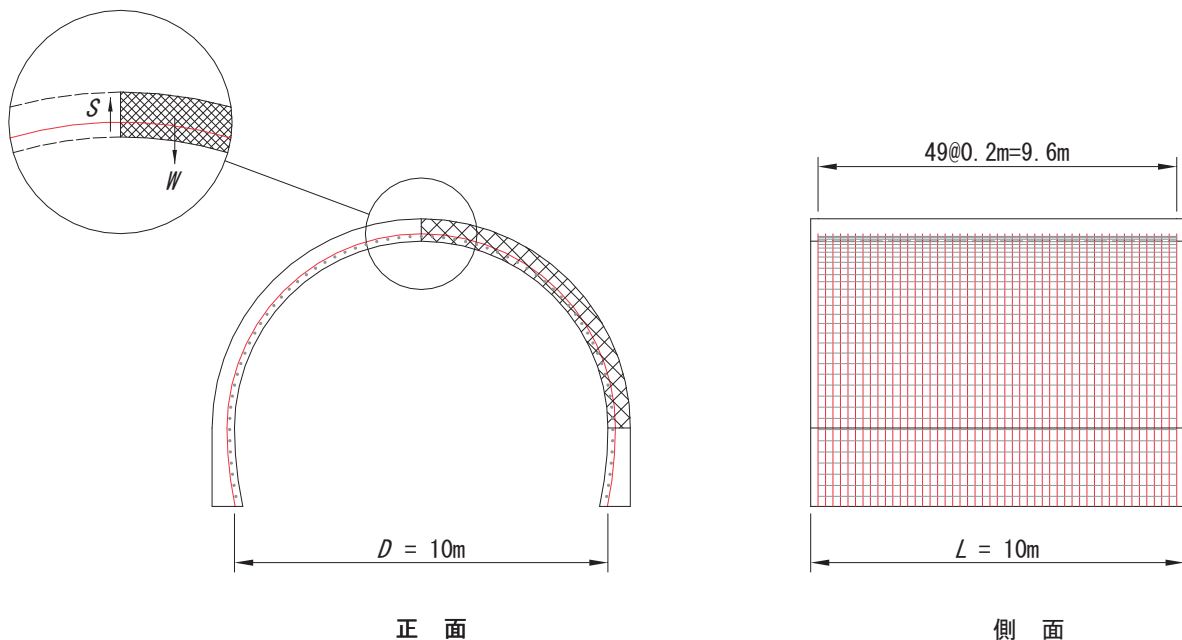


図 6.4.1 概略図

### b) 鉄筋のせん断強度

鉄筋一本当たりのせん断強度  $S$  は、コンクリート標準示方書における鋼材のせん断降伏強度の考え方<sup>64)</sup>を参考に、次式で表されるものと仮定した。

$$S = \frac{F \times A}{\sqrt{3}}$$

$F$  : 鉄筋の引張基準強度

$A$  : 鉄筋の断面積

したがって、本検討で用いる鉄筋のせん断強度  $S$  は、57kN/本となる。

c) せん断耐力の照査

せん断耐力の照査は、次式により行う。大規模な覆工の崩落を防止することを基準とし、本検討では所要安全率  $F_s$  は、1.0 とした。

$$F_s = \frac{S \times n}{W} > 1.0$$

$S$  : 鉄筋一本当たりのせん断抵抗力

$n$  : 鉄筋の本数

$W$  : 落下する覆工コンクリート塊の重量 (前述のとおり 1,149 kN と仮定)

照査結果は以下のとおりとなる。

$$F_s = \frac{57 \times 50}{1149} = 2.5 > 1.0$$

d) 検討結果

上記の結果より単鉄筋補強覆工コンクリートは、本検討で想定した覆工崩落塊を支持することが可能であると考えられる。ただし、本検討では安全率  $F_s$  を 1.0 としたが、それぞれの検討条件によって適切に設定する必要がある。

なお、上記検討以外の懸念事項として、かぶりコンクリートのはく落は防止することができないことが挙げられる。

e) 既往の実験結果を用いた補足

既往の研究<sup>642)</sup>において、外径 9.7 m の半円形で、単鉄筋補強コンクリートで製作した厚さ 30 cm の覆工供試体に、**図 6.4.2** に示すように全周から均等に荷重を作用させると、覆工は全圧縮状態となり、肩部から脚部の間でせん断破壊が発生した。その際、せん断破壊面においてコンクリート片のはく落が見られるとともに供試体にずれが生じたが、鉄筋は破断せず、**図 6.4.3** に示すように供試体の分離は抑制された。この結果は、外力により覆工に大きな変形が発生したとしても、単鉄筋を設置することにより大規模な覆工コンクリート塊の落下を抑制できる可能性があることを示唆していると考えられる。

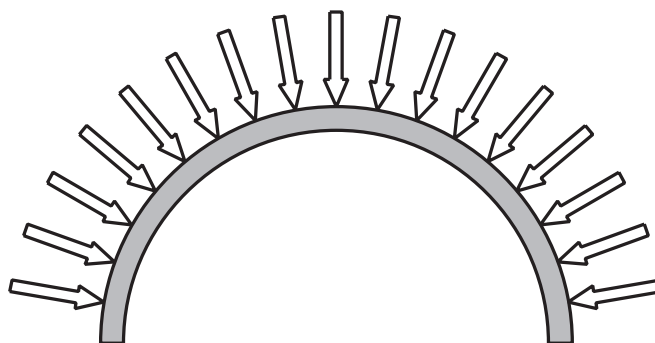


図 6.4.2 覆工載荷実験の概要



供試体内面側より撮影

供試体上面より撮影

図 6.4.3 覆工载荷実験における終局時の状況

#### 参考文献

- 6.4.1) (公社)土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，2012年制定，pp.45-46，2013.
- 6.4.2) 真下英人，日下敦，砂金伸治，木谷努，海瀬忍：トンネル覆工の破壊メカニズムと補強材の効果に関する実験的研究，土木学会論文集 F，Vol.64，No.3，pp.311-326，2008.



## 6.5 繊維補強による支持

覆工コンクリートの特性を向上させる方法としては、覆工コンクリート打設時に鋼繊維などを混入することで補強を行う繊維補強覆工コンクリートがある。覆工コンクリートに繊維補強を行うことで、繊維の種類や混入率によっては、小規模な覆工コンクリート片のはく落抑制や、曲げじん性の向上といった効果が期待できる。

しかし、繊維長は長いものでも60mm程度であり、覆工コンクリートの破壊に伴い、大きな変形（幅の大きなひび割れ、大きな段差など）が発生した場合には、繊維とコンクリートの定着の確保が期待できない可能性があり、繊維補強のみで覆工コンクリートの大規模な崩落を抑制することは困難であると考えられる。

このことは、地震による地山からの変形を想定した要素実験<sup>65.1)</sup>からも裏付けられる。実験では、地震により覆工が地山からせん断変形を受けたと仮定し、覆工を模擬したコンクリート供試体に载荷を行っている。その結果、変形量が大きくなると、覆工破断面において鋼繊維の付着切れが発生し、単鉄筋補強した場合に比べて支持できる荷重が低下することが確認されている。

なお、本節は、地山の大きな変形に覆工が追従できずに覆工コンクリートに破壊が生じ、覆工コンクリートの大規模なブロック化が生じた場合に、コンクリート塊の自重による落下を防止するという観点で、繊維補強による効果を検討したものである。小規模な覆工コンクリート片のはく落抑制や、曲げじん性の向上といった、繊維補強に本来求められる効果に対する検討とは趣旨が異なることに留意する必要がある。



写真 6.5.1 要素実験における鋼繊維補強コンクリートの破壊状況<sup>65.1)</sup>

### 参考文献

- 6.5.1) 小出孝明, 砂金伸治, 日下敦, 岸田展明: 覆工コンクリートのせん断変形に対する追従性の確認, 第72回土木学会年次学術講演会概要集, 2017. (投稿中)

## 6.6 ロックボルトによる支持

支保工時に用いるロックボルトを覆工コンクリートに設置することによって、覆工崩落塊をロックボルトの縫付け力によって支持することが可能となるか検討を行った。

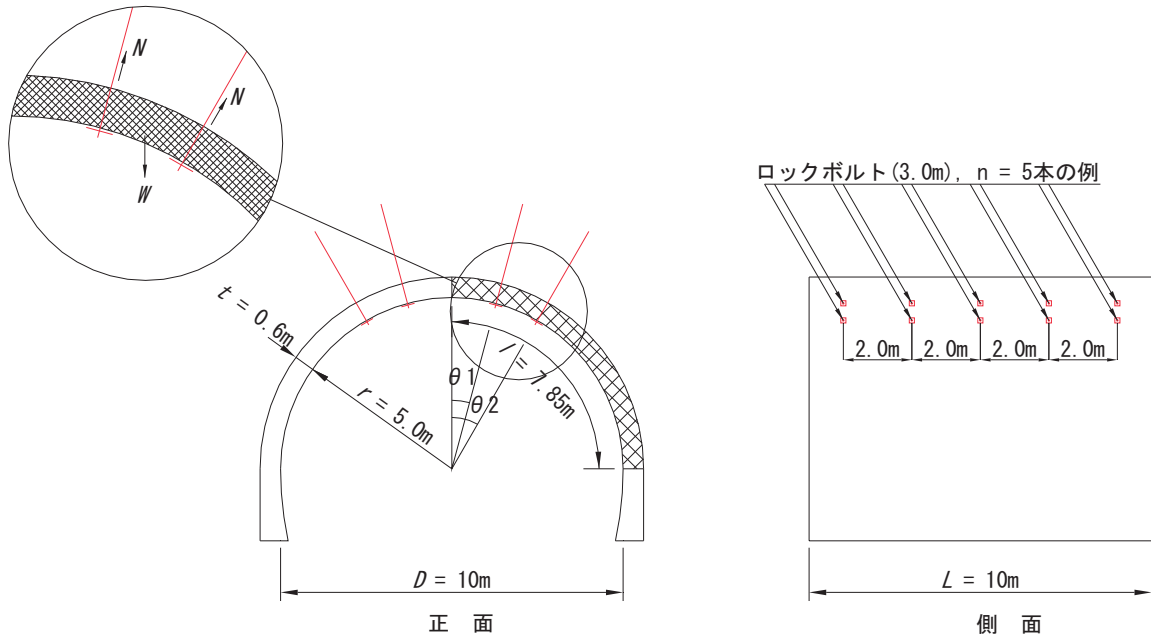


図 6.6.1 概略図

### a) 検討条件

ロックボルト

|    |  |
|----|--|
| 規格 | SD345 (基準強度 345 N/mm <sup>2</sup> , 降伏点の下限值) |
| 径  | D25 (断面積 507 mm <sup>2</sup> )               |
| 延長 | 3.0m   |

既設トンネル支保工 (鋼アーチ支保工)

設置間隔 1.0m 間隔

### b) ロックボルトの引張強度

ロックボルト一本当たりの引張強度 T は、次式で表される。

$$T = F \times A$$

ここで、 $F$  : 鉄筋の引張基準強度  
 $A$  : 鉄筋の断面積

したがって、引張強度 T は、175kN/本となる。ただし、品質管理上の耐力が 150kN/本であることから、安全側を考慮し、本研究では品質管理上の耐力を引張強度とした。

c) ロックボルトの必要本数及び配置

ロックボルトの必要本数及び配置の決定には、トンネル縦断方向に対して  $n=4$  本または 5 本の 2 パターン、またトンネル周方向に対しては半断面あたり 1 本または 2 本の 2 パターンとしてパラメータスタディを行い、次式を満足するロックボルトの必要本数及び配置を確認した。大規模な覆工の崩落を防止することを基準とし、本検討では所要安全率  $F_s$  は、1.0 をとした。

$$F_s = \frac{n \times \sum (T \cdot \cos \theta)}{W} > 1.0$$

- ここで、  
 $n$  : トンネル縦断方向へのロックボルト設置本数 (本)  
 $T$  : 引張強度 (kN/本)  
 $\theta$  : トンネル周方向に対するロックボルト設置位置の天端からの角度  
 $W$  : 落下する覆工コンクリート塊の重量 (kN) (前述のとおり 1,149 kN と仮定)

照査結果を表 6.6.1 に示す。

表 6.6.1 ロックボルトの必要本数の照査

| 設置本数 (本) |     | 引張強度<br>(kN/本) | 引張力<br>(kN) | 覆工崩落塊<br>重量 (kN) | 安全率   | 照査<br>$\geq 1.0$ |
|----------|-----|----------------|-------------|------------------|-------|------------------|
| 縦断方向:n   | 周方向 |                |             |                  |       |                  |
| 4        | 1   | 150            | 587         | 1,149            | 0.511 | NG               |
| 4        | 2   | 150            | 1,135       |                  | 0.988 | NG               |
| 4        | 3   | 150            | 1,620       |                  | 1.410 | OK               |
| 5        | 1   | 150            | 734         |                  | 0.638 | NG               |
| 5        | 2   | 150            | 1,419       |                  | 1.235 | OK               |

d) 検討結果

上記の結果よりトンネル縦断方向に 4 本、円周方向に 3 本(半断面)の計 12 本、またはトンネル縦断方向に 5 本、円周方向 2 本(半断面あたり)の計 10 本を設置することで、本検討で想定した覆工崩落塊に対する所要安全率を満足する。ただし、本検討では安全率  $F_s$  を 1.0 としたが、それぞれの検討条件によって適切に設定する必要がある。

なお、上記以外の懸念事項を以下に列挙する。

- ロックボルトのみでは、ボルト間でブロック化した覆工の落下を防止することは困難である。
- 削孔により漏水を誘発する可能性が高く、地山が脆弱で湧水が多い箇所には既往のロックボルトでは対応できない可能性がある。
- 想定する効果が期待できるよう、ロックボルトと地山との定着を十分に確保する必要がある。
- 地山と覆工の間に防水シートが施工されている場合にロックボルトを打設すると、防水シートに損傷を及ぼす懸念がある。

## 6.7 繊維シートによる支持

トンネルの補修・補強に一般的に用いられる繊維シートを覆工表面に設置することによって、覆工崩落塊を支持することが可能であるか検討を行う。本検討の考え方(算出式, 係数)は, FRP によるトンネル覆工剥落対策マニュアル (トンネル安全対策工法研究会) <sup>671)</sup>を参考とした。

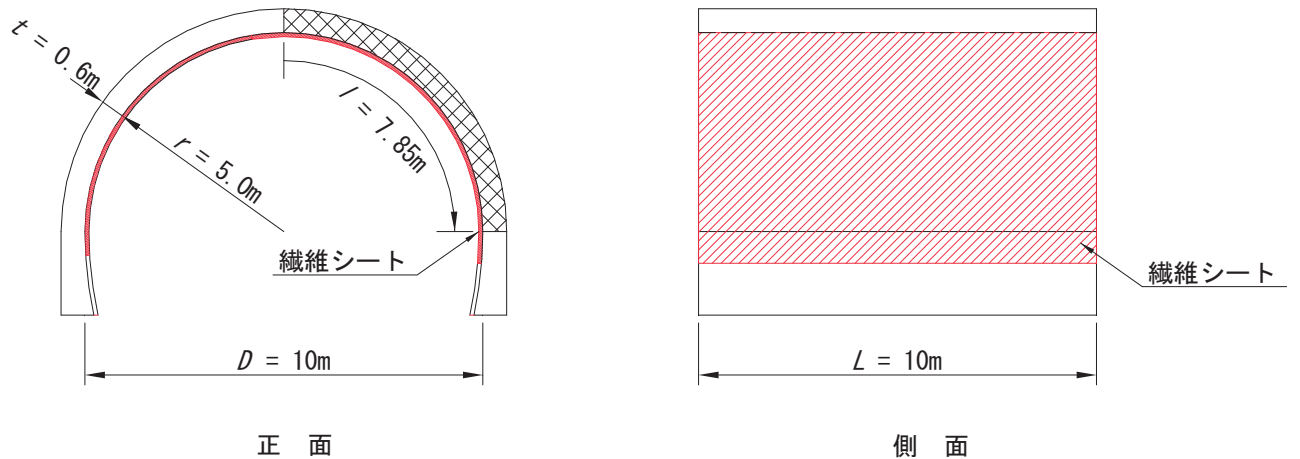


図 6.7.1 概略図

### a) 検討条件

繊維シート

種類 : 1方向炭素繊維シート (単位はく離強さが比較的大きめのシート)

単位はく離強さ  $S_{p0}$  : 2.95 (N/mm) <sup>672)</sup>

落下する覆工の設計上の周長

$$L_c = 30 \text{ m} \quad (= 2 \times (\text{アーチ部の鉛直投影長さ } 5\text{m} + 1 \text{ スパン長 } 10\text{m}))$$

### b) 設計はく離耐力

設計はく離耐力  $P_{ud}$  は, 次式を用いて求める。

$$P_{ud} = \frac{S_{p0}}{\gamma_m} \times L_c \times \frac{1}{\gamma_b}$$

ここで,  $S_{p0}$  : 単位はく離強さ

$\gamma_b$  : 部材係数, 1.1

$\gamma_m$  : 安全係数, 1.1

$L_c$  : 落下する覆工の設計上の周長

したがって, 設計はく離耐力  $P_{ud}$  は, 73 (kN) となる。



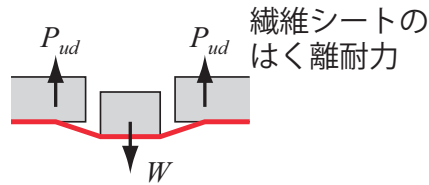


図 6.7.2 はく離耐力の概略図

c) はく離耐力の照査<sup>6.7.1)</sup>

はく離耐力の照査は、次式により行う。

$$\frac{P_{ud}}{W} \geq 1.0$$

ここで、 $W$  : 落下する覆工コンクリート塊の重量 (kN) (前述のとおり 1,149kN と仮定)

照査結果は以下のとおりとなる。

$$\frac{P_{ud}}{W} = \frac{73 \text{ kN}}{1149 \text{ kN}} = 0.06 < 1.0$$

d) 検討結果

上述の結果より、本節で検討対象とした繊維シートのみでは、覆工コンクリートの大規模な崩落を抑制することは困難であると考えられる。

なお、本節は、地山の大きな変形に覆工が追従できずに覆工コンクリートに破壊が生じ、覆工コンクリートの大規模なブロック化が生じた場合に、コンクリート塊の自重による落下を防止するという観点で、繊維シートによる効果を検討したものである。小規模な覆工コンクリート片のはく落抑制等の、繊維シートに本来求められる効果に対する検討とは趣旨が異なることに留意する必要がある。

参考文献

6.7.1) トンネル安全対策工法研究会：FRPによるトンネル覆工剥落対策マニュアル，pp45-55，2003.5.

6.7.2) トンネル安全対策工法研究会：FRPによるトンネル覆工剥落対策マニュアル，p.133，2003.5.

## 6.8 ネットによる支持

トンネルの補修・補強に一般的に用いられるネットを覆工表面に設置することによって、覆工崩落塊を支持することが可能であるか検討を行う。本検討の考え方(算出式, 係数)は, FRP によるトンネル覆工剥落対策マニュアル (トンネル安全対策工法研究会)<sup>6&1)</sup>を参考とした。

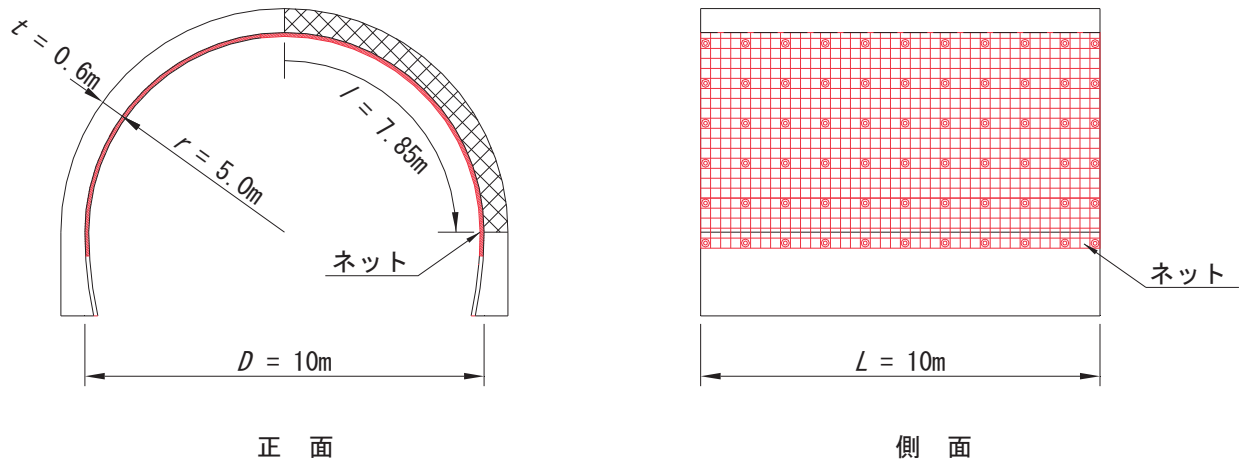


図 6.8.1 概略図

### a) 検討条件

本研究で検討対象としたネット材の種類と固定方法を表 6.8.1 と表 6.8.2 に示す。ネット材は FRP メッシュと連続繊維ネットを対象としている。

表 6.8.1 ネット材種類

|          |           |
|----------|-----------|
| FRP メッシュ | FRP メッシュ① |
|          | FRP メッシュ② |
| 連続繊維ネット  | 連続繊維ネット①  |
| 鉄網       | クリンプ金網①   |

表 6.8.2 固定方法の概略図

| Type-A<br>2点固定 | Type-B<br>4点千鳥固定 | Type-C<br>周辺4点固定 | Type-D<br>周辺4点+2辺固定 |
|----------------|------------------|------------------|---------------------|
|                |                  |                  |                     |

b) 設計保有耐力  $P_{ud}$

各ネット材の固定方法ごとの耐荷力（最大荷重  $P_{max}$ ）の測定結果<sup>682</sup>を表 6.8.3 に示す。

表 6.8.3 最大荷重  $P_{max}$  (kN)

| ネット材種類   | 固定方法   |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|--------|
|          | Type-A | Type-B | Type-C | Type-D |
| FRPメッシュ① | 2.22   | 4.74   | 2.39   | 3.60   |
| FRPメッシュ② | 6.67   | 15.70  | 8.53   | 9.09   |
| 連続繊維ネット① | 1.60   | 3.47   | 2.26   | 4.87   |
| クリンプ金網①  | 2.65   | 3.89   |        | 8.99   |

設計保有耐力  $P_{ud}$  は以下の式を用いて求める。

$$P_{ud} = \frac{P_{max}}{\gamma_b}$$

ここで、 $\gamma_b$  : 安全係数, 一般に 3.0 とする。

これより算出した設計保有耐力の算出結果を表 6.8.4 に示す。

表 6.8.4 設計保有耐力  $P_{ud}$  (kN)

| ネット材種類   | 固定方法   |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|--------|
|          | Type-A | Type-B | Type-C | Type-D |
| FRPメッシュ① | 0.74   | 1.58   | 0.80   | 1.20   |
| FRPメッシュ② | 2.22   | 5.23   | 2.84   | 3.03   |
| 連続繊維ネット① | 0.53   | 1.16   | 0.75   | 1.62   |
| クリンプ金網①  | 0.88   | 1.30   |        | 3.00   |

c) 保有耐荷力の照査

保有耐荷力の照査は、次式により行う。

$$\frac{P_{ud}}{\gamma_i \cdot W} \geq 1.0$$

ここで、 $\gamma_i$  : 構造物係数。一般に 1.0 とする

構造物の重要度, 限界状態に達したときの社会的影響を考慮して定める

$W$  : 落下する覆工コンクリート塊の重量 (前述のとおり 1,149kN と仮定)

照査結果は表 6.8.5 のとおりとなる。

表 6.8.5 耐荷力の照査結果

| ネット材種類   | 固定方法        |             |             |             |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|          | Type-A      | Type-B      | Type-C      | Type-D      |
| FRPメッシュ① | NG          | NG          | NG          | NG          |
|          | 0.001 < 1.0 | 0.001 < 1.0 | 0.001 < 1.0 | 0.001 < 1.0 |
| FRPメッシュ② | NG          | NG          | NG          | NG          |
|          | 0.002 < 1.0 | 0.005 < 1.0 | 0.002 < 1.0 | 0.003 < 1.0 |
| 連続繊維ネット① | NG          | NG          | NG          | NG          |
|          | 0.000 < 1.0 | 0.001 < 1.0 | 0.001 < 1.0 | 0.001 < 1.0 |
| クリンプ金網①  | NG          | NG          |             | NG          |
|          | 0.001 < 1.0 | 0.001 < 1.0 |             | 0.003 < 1.0 |

d) 検討結果

前述の結果より、本節で検討対象としたネットのみでは、覆工コンクリートの大規模な崩落を抑制することは困難であると考えられる。

なお、本節は、地山の大きな変形に覆工が追従できずに覆工コンクリートに破壊が生じ、覆工コンクリートの大規模なブロック化が生じた場合に、コンクリート塊の自重による落下を防止するという観点で、ネットによる効果を検討したものである。小規模な覆工コンクリート片のはく落抑制等の、ネットに本来求められる効果に対する検討とは趣旨が異なることに留意する必要がある。

参考文献

- 6.8.1) トンネル安全対策工法研究会：FRPによるトンネル覆工剥落対策マニュアル，p.56-64，2003.5.
- 6.8.2) トンネル安全対策工法研究会：FRPによるトンネル覆工剥落対策マニュアル，p.59，2003.5.



## 7. 耐震対策の考え方

### 7.1 新設トンネルにおける耐震対策の考え方

#### 7.1.1 地震による影響を受けやすいと考えられる特殊条件の整理

これまでに述べてきたような地震被害の状況を踏まえ、今後、覆工の補強等により利用者被害の可能性を低減させる対応が必要であると言える。

既往の道路トンネルの地震被害を概観すると、覆工の崩落をとまなうような比較的規模の大きな被害は、地震により活動した活断層の近傍の比較的狭い範囲に限定的に発生している。一方で、被害の程度は地山条件が大きく関係し、被害の大きい箇所においては、特殊な地山条件が内在していたと考えられる。ここで、地震による影響を受けやすいと考えられるトンネルの特殊条件とは、以下に例示するような、地山が不良な箇所が当てはまると考えられる。なお、これらについては定量的な判断を行うことが現時点では困難なところもあることから、実績や知見の蓄積を踏まえ、引き続き検討を行っていくことが必要である。

##### ① 突発的な大量の湧水により施工を長期間中断した箇所、またはこれに準ずる箇所

施工中に突発的な大量の湧水が発生し、その対策のために掘削の長期間の中断を余儀なくされた箇所が考えられる。なお、湧水が発生したとしても、地山の状態が良好で支保工の施工に支障がない場合等、大規模な対策を要さない場合を除くことが出来る可能性がある。

具体的な中断の期間は現場の状況に大きく依存するため定量的に示すのは困難であるが、概ね数日～1週間程度以内の中断ではないものと考えられる。

##### ② 切羽の著しい崩落により施工を長期間中断した箇所

施工中に規模の大きな切羽の崩落が発生し、その対策のために掘削の長期間の中断を余儀なくされた箇所が考えられる。なお、地山の安定性に大きな影響を及ぼさない肌落ち等を除くことが出来る可能性がある。

具体的な中断の期間は現場の状況に大きく依存するため定量的に示すのは困難であるが、概ね数日～1週間程度以内の中断ではないものと考えられる。

##### ③ 地山の不安定性に起因して大規模な補助工法を使用した箇所

施工中に地山が不安定化し、大規模な補助工法の施工を余儀なくされた箇所が考えられる。

具体的な補助工法の規模は現場の状況に大きく依存するため定量的に示すのは困難であるが、鏡面の安定性を確保するための鏡吹付けコンクリートのみを施工する場合や、限られた区間で天端の安定性を確保するための先受け工を施工する場合等、比較的小規模なものは含まれないものと考えられる。

##### ④ 地質が急変して2パターン以上の支保パターンの変更を伴った箇所（ただし、坑口部支保パターンとの接続部を除く）

切羽の進行にともなって地山が急に脆弱になるなどにより、2パターン以上の支保パターンの変更が必要となった箇所が考えられる。例えばC Iパターンで施工していたトンネルにおいて、急に地山が脆弱になり、C IIパターンを採用すること無くD Iパターンに移行せざるを得ない場合等が考えられる。

#### ⑤ 縦断的・横断的に地質の剛性が大きく変化する箇所

剛性の高い地山と剛性の低い地山がトンネル断面内に混在するなど、地質の剛性が縦断的・横断的に大きく変化し、地震時に地山に大きなひずみ等が発生することが想定される箇所が考えられる。例えば、下半は固結した岩であるが上半は粘土層であるなど同一切羽内でも剛性の変化が著しい場合等が考えられる。

#### ⑥ 極端な偏圧を受ける箇所

斜面に近接するなどにより、トンネルの片側からの荷重が卓越する、あるいはトンネルの片側からの反力が期待できないなど、極端な偏圧が作用することが想定される箇所が考えられる。

#### ⑦ 極端に土被りが小さい箇所

土被りが極端に小さく、地山のアーチ効果が期待できず全土被り荷重がトンネルに作用するとともに地盤反力も不均衡となるおそれがある箇所等が考えられる。一般に坑口部として設定される事例の多い土被り  $1\sim 2D$  ( $D$  は掘削幅) 以下の範囲が想定される。なお、地山が硬質で安定している場合は除外されると考えられる。

#### ⑧ 地山等級D IIおよびそれよりも不良と評価される箇所 (断層・破碎帯等を含む)

地山の變形が大きい場合や、地山が膨張性を示す場合、変位の収束が遅い場合等、地山が不良で、地山等級がD IIおよびそれよりも不良と評価される箇所が考えられる。なお、断層・破碎帯等であっても地山が比較的良好な場合 (目安として、概ねD Iおよびそれよりも良好と評価される場合で、上記①～⑦にも該当しない場合) は除外されると考えられる。

なお、上記の①～⑦のいずれかに該当する区間においては、地山等級D IIあるいはそれよりも不良と評価される場合が多いと考えられる。地山等級がD Iあるいはそれよりも良好な区間において上記①～⑦のいずれかに該当する場合においても、耐震対策の実施について必要に応じて検討を行うのが望ましいと考えられる。

### 7.1.2 活断層に対する考え方

地震により覆工の崩落をともなうような比較的規模の大きな被害が発生したのは、地震により活動した活断層のごく近傍で、かつ特殊な地山条件が内在する箇所であると考えられる。ただし、その逆は必ずしも成立していないと考えられる。すなわち、地震により活動した活断層のごく近傍で、かつ特殊な地山条件が内在する箇所においても、地震による大きな被害が発生しなかった事例も見られており、耐震対策の要否を検討する上では留意が必要である。また、トンネルの寿命というタイムスパンで考えた場合に、トンネルのごく近傍で今後活動する活断層を特定するのは、現在の技術的水準では困難をともなうと考えられる。加えて、第5章でも述べたように、活断層は面的な広がりを持つ一方で、トンネルは線状に建設されるため、トンネルの平面線形や縦断線形を多少変更したところで、多数の活断層が存在する我が国において完全に活断層を避けて通るのは困難であると考えられる。

これらのことを踏まえると、山岳トンネルの地震被害を低減させるためには、計画・調査段階において活断層の位置の把握に努め、可能な範囲でトンネルとの離隔を確保するとともに、上述した特殊条件を有する区間において十分な支保構造となるように設計・施工を行うのが望ましいと考えられる。

なお、活断層に限らず、断層は一般に、断層角礫や断層粘土をともなっており、破碎や割れ目の程度も不

均質で、幅は数cmの単純で小規模なものから数100mにおよぶ複雑で大規模な破砕を受けたものまでである。断層および破砕帯は、岩質が脆弱で切羽の自立が難しいことが多く、問題になるような土圧が発生しやすく、湧水も多く、膨潤性の粘土を含むことが多いなど、工事を困難にする<sup>7.1.1)</sup>。このため、従前より、トンネル建設において注意を要する箇所とされている。

### 7.1.3 耐震対策を実施する場合のトンネルの構造

山岳トンネルにおける被害発生メカニズムは十分に解明されているとはいいがたいが、これまでの地震による被害発生状況を踏まえると、比較的規模の大きな被害が発生した箇所においては、地震により地山に大きな変形が発生し、その変形に覆工が追従できなかったことにより、覆工に圧縮破壊等の変状が発生したと想定される。このような被害を再現することを目的とした数値解析による試算結果<sup>7.1.2)</sup>によると、地震時における外力として、土被り荷重に換算して少なくとも $3D$  ( $D$ はトンネル径)程度を超える荷重が作用したと想定される。

このような荷重に対し、所定の安全率を確保するという前提で構造計算により覆工の設計を行うと、高強度コンクリートの採用や増厚等が必要となる。一方で、これらの対策を実施したとしても、地震時の地山の変形に覆工が追従できることにはならない。また、覆工の補強対策として鉄筋補強や繊維シート貼付を実施したとしても、これらは本来、引張部材として期待されるものであり、覆工の圧縮破壊そのものを抑制する効果までは期待し難い<sup>7.1.3)</sup>。さらに、覆工に繊維補強コンクリートを採用したとしても、小規模なコンクリート片のはく落抑制には効果が期待できるものの、覆工に破壊が生じて大きな変形が発生した場合は繊維とコンクリートの付着が切れて補強効果を失うと考えられるため、変形に追従できず、大規模な覆工コンクリート塊の崩落抑制効果を期待するのは難しいと考えられる。

すなわち、地震時に発生する地山からの著しい変形に対して覆工の破壊そのものを防止することは困難であると考えられる。したがって、トンネルの耐震対策の考え方として、支保工やインバートによりトンネルの力学的な安定性を確保することが原則であると同時に、万が一覆工が破壊したとしても、大規模なコンクリート塊の落下を抑制することが重要であり、その方策のひとつとして、例えば覆工に鉄筋補強を行うことが考えられる。

以上のような観点から、7.1.1項で述べた特殊条件を有する区間におけるトンネルの支保構造の考え方として、以下の項目に留意することが重要であると考えられる。

#### ① インバートを設置してトンネルをリング構造とし、力学的により安定な構造とする

特殊条件を有する区間を含む覆工スパンにおいては、より力学的に安定な構造とするため、覆工スパン全体においてインバートを有する構造とするとともに、前後の覆工スパンにおいても同様の措置を講じるのが望ましいと考えられる。

#### ② 吹付けコンクリート、鋼アーチ支保工、ロックボルトに代表される支保工を十分な構造とする

特殊条件を有する区間においては、支保パターンの選定において、むやみに支保パターンを軽くする対応を取ることなく、判断に迷う場合は剛性や耐力の大きい支保パターンを優先することが望ましいと考えられる。

#### ③ 地震により覆工に破壊が生じたとしても、大規模な覆工コンクリート塊が崩落することのないよう、覆工に単鉄筋補強するなどの措置を講じる

1) 鉄筋補強を行う区間について

特殊条件を有する区間を含む覆工スパンにおいては、スパン全体において単鉄筋補強するなどの措置を講じるとともに、前後の覆工スパンにおいても同様の措置を検討するのが望ましいと考えられる。

## 2) インバート部の鉄筋について

覆工に単鉄筋補強する場合は、坑口部（いわゆる支保パターン DIIIa）の覆工で用いられている仕様が参考となる。

坑口部の覆工においては、従来、

- i) 全土被り荷重が作用すると考えられ、荷重が大きく、かつ地盤反力も不均衡となるおそれがある
- ii) 温度変化、乾燥収縮の影響が大きい
- iii) 地震の影響を受けるおそれがあること

といった理由により一般に単鉄筋で補強した構造となっている<sup>7.11)</sup>。その場合の鉄筋は、過去の実績をもとに仕様が決定されているのが通例であり、いわゆる「用心筋」として設置しているものである。また、通常、アーチ部と側壁部とインバート部は同様の鉄筋を配置している場合が多い。これらは、地震時等に覆工に作用する荷重の方向や大きさを事前に明確に把握するのが困難であることに加え、構造（剛性、鉄筋量等）の変化点は応力集中が発生し構造的な弱点となりやすいこと、外力が作用した場合には覆工のアーチ部や側壁部のみならずインバート本体やインバートとアーチ部（側壁部）との接合部にも変状が発生する事例があることなどによるものと考えられる。

これらを踏まえ、地震への対策として覆工に単鉄筋補強を行う場合は、大きな地震の影響を受けた場合に大規模なコンクリート塊の落下を抑制することを目的としてアーチ部や側壁部に単鉄筋補強を行うのはもちろんのことであるが、地震による影響を最小限に抑制するために、インバート部にもアーチ部や側壁部と同様に鉄筋補強を行い、剛性の変化する影響を極力減少させることを検討するのが望ましいと考えられる。

## 3) 鉄筋の仕様について

一般に、坑口部における覆工の鉄筋としては、小断面トンネルおよび通常断面トンネルの場合には主筋として直径 19 mm 以上（c/c 20 cm 程度）、配力筋として直径 16 mm 以上（c/c 30 cm 程度）のものが、大断面トンネルの場合には主筋として直径 22 mm 以上（c/c 20 cm 程度）、配力筋として直径 19 mm 以上（c/c 30 cm 程度）のものが用いられ、10 cm 程度の被りを確保する事例が多い<sup>7.11)</sup>。

## 4) 覆工コンクリートの充填性に関する配慮について

覆工を単鉄筋補強する場合は、鉄筋を設置しない場合と比較して覆工コンクリート打設時の充填性が低下することが想定されるため、コンクリートの流動性の確保や締固めの徹底等に十分に配慮することが重要である。覆工背面に空洞が残らないように、とくに天端部の覆工コンクリートの充填を十分に行うことは、覆工の品質を確保する観点からも従来から留意されている事項であるが、耐震対策の面においても重要な事項といえる。

なお、これまでの通常の山岳トンネルの設計・施工事例を参考にしてまとめられた標準的な支保構造の組



み合わせの目安<sup>7.1.1)</sup> (いわゆる「標準支保パターン」) において、上述の考え方のおり地山等級DIIの場合に単鉄筋補強を行うことを加筆すると、表 7.1.1 のとおりとなる。

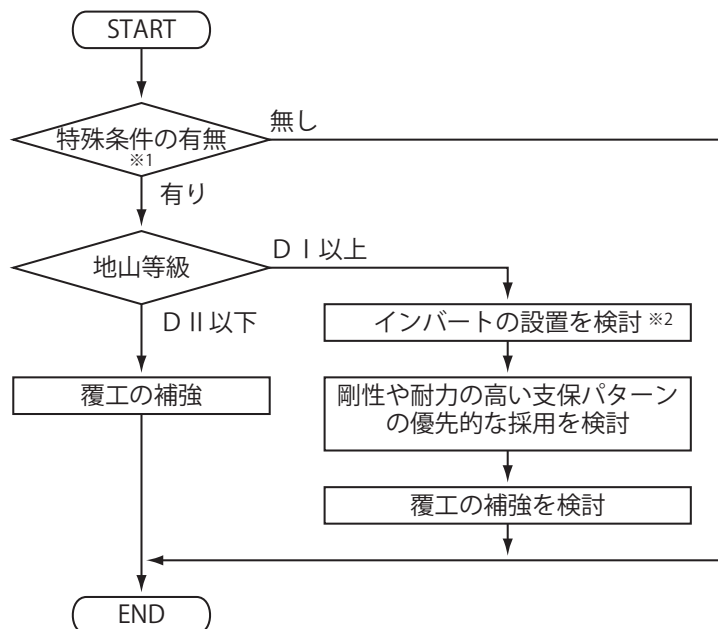
表 7.1.1 標準的な支保構造の組み合わせの目安 (試案) (通常断面トンネル 内空幅 8.5~12.5m 程度)

| 地山等級 | 支保パターン | 標準掘進長 (m) | ロックボルト |                 |          | 施工範囲   | 鋼アーチ支保工 |       |          | 吹付け厚 (cm) | 覆工厚         |            |     | 変形余裕量 (cm) | 掘削工法                 |
|------|--------|-----------|--------|-----------------|----------|--------|---------|-------|----------|-----------|-------------|------------|-----|------------|----------------------|
|      |        |           | 長さ (m) | 施工間隔<br>周方向 (m) | 延長方向 (m) |        | 上半部種類   | 下半部種類 | 建込間隔 (m) |           | アーチ・側壁 (cm) | インパート (cm) | 補強  |            |                      |
| B    | B      | 2.0       | 3.0    | 1.5             | 2.0      | 上半120° | -       | -     | -        | 5         | 30          | 0          | -   | 0          | 補助ベンチ付全断面工法または上半断面工法 |
| CI   | CI     | 1.5       | 3.0    | 1.5             | 1.5      | 上半     | -       | -     | -        | 10        | 30          | (40)       | -   | 0          |                      |
| CII  | CII-a  | 1.2       | 3.0    | 1.5             | 1.2      | 上・下半   | -       | -     | -        | 10        | 30          | (40)       | -   | 0          |                      |
|      | CII-b  |           |        |                 |          |        | H-125   | -     | 1.2      |           |             |            |     |            |                      |
| DI   | DI-a   | 1.0       | 3.0    | 1.2             | 1.0      | 上・下半   | H-125   | H-125 | 1.0      | 15        | 30          | 45         | -   | 0          |                      |
|      | DI-b   |           | 4.0    |                 |          |        |         |       |          |           |             |            |     |            |                      |
| DII  | DII    | 1.0以下     | 4.0    | 1.2             | 1.0以下    | 上・下半   | H-150   | H-150 | 1.0以下    | 20        | 30          | 50         | 単鉄筋 | 10         |                      |

(注) 表を適用するうえでの留意事項等は「道路トンネル技術基準 (構造編) ・同解説」<sup>7.1.1)</sup>を参照のこと

### 7.1.4 新設トンネルにおいて耐震対策を行う場合の考え方

以上のような観点から、新設の山岳トンネルにおいて耐震対策を行う場合の検討の考え方（案）を、図 7.1.1 に示す。



- ※1 地震による影響を受けやすいと考えられる特殊条件とは、以下のいずれかに該当する区間を示す。
- ① 突発的な大量の湧水により施工を長期間中断した箇所、またはこれに準ずる箇所
  - ② 切羽の著しい崩落により施工を長期間中断した箇所
  - ③ 地山の不安定性に起因して大規模な補助工法を使用した箇所
  - ④ 地質が急変して2パターン以上の支保パターンの変更を伴った箇所（ただし、坑口部支保パターンとの接続部を除く）
  - ⑤ 縦断的・横断的に地質の剛性が大きく変化する箇所
  - ⑥ 極端な偏圧を受ける箇所
  - ⑦ 極端に土被りが小さい箇所
  - ⑧ 地山等級D IIおよびそれよりも不良と評価される箇所（断層・破碎帯等を含む）
- ※2 地山等級DIにおいては原則としてインバートを設置する（「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」<sup>7.1.1)</sup>を参照）。

図 7.1.1 新設の山岳トンネルにおいて耐震対策を行う場合の検討の考え方（案）

#### 参考文献

- 7.1.1) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説，平成 15 年，pp.125-131，2003.
- 7.1.2) 日下敦，河田皓介，砂金伸治，真下英人：地震による地山の変形を想定した山岳トンネル覆工の耐力評価に関する数値解析的考察，トンネル工学報告集，第 24 巻，No.I-14, pp.1-8，2014.
- 7.1.3) 日下敦，河田皓介，砂金伸治，真下英人：二次元静的載荷実験の再現解析による山岳トンネルの耐震対策工の効果に関する一考察，岩盤力学に関するシンポジウム講演集，第 43 回，pp.93-98，2015.

## 7.2 既設トンネルにおける耐震対策の考え方

### 7.2.1 耐震対策の方向性に関する整理

前節で述べたのと同様に、覆工の崩落をとまなうような比較的規模の大きな被害は、地震により活動した活断層の近傍の狭い範囲に限定的に発生している。また、被害の程度は地山条件が大きく関係し、被害の大きい箇所においては、特殊な地山条件が内在していたと考えられる。

しかしながら、維持管理段階においては、特に建設年代の古いトンネルについては設計・施工段階の記録が十分に残されていない場合もあり、地震による影響を受けやすいと考えられるトンネルの特殊条件に該当するか否かの判断が難しい場合もある。

これらのことを踏まえ、既設トンネルにおいて耐震対策を実施する検討が必要な場合は、維持管理の充実を図ることが重要である。すなわち、地震による影響を受けやすいと考えられる地山の特殊条件に該当すると維持管理を通じて特定できた場合は、以下のような観点から、既に変状が発生している区間においては、優先的に対策を講じることが耐震対策の上でも有効であると考えられる。

- ① 覆工背面に空洞が存在する区間では、地震による外力が覆工に作用した場合に、覆工が地山からの反力を確保できず大きな曲げモーメントが発生し、外力性の変状が発生することが懸念される。また、空洞上部の地山が地震により落下し、覆工に衝撃的な荷重が作用する可能性があり、覆工の巻厚不足等の悪条件が重なった場合は突発性の崩壊が発生することが懸念される。
- ② 外力による変状が発生している区間は、覆工に既に相応の応力が発生していると考えられ、地震による外力が付加された場合に変状が進展し、構造の安定性や利用者の安全性へ影響を及ぼすことが懸念される。
- ③ 材質劣化による変状が発生している区間では、既往のうき・はく離が地震による衝撃で落下したり、地震により発生したひび割れが閉合してコンクリート塊が落下したりするなど、利用者の安全性に影響を及ぼすことが懸念される。
- ④ 既往の変状が限定的であっても、トンネル建設時に施工が難渋するなどの特殊な地山条件が存在するとともに、確実度が高く活動度も高い活断層に近接する場合は、地震の影響を受ける可能性が比較的高いと懸念される。

なお、地震による覆工の破壊にとまなう大規模なコンクリート塊の落下を抑制するための既設トンネルにおける直接的な方法の例としては、覆工を単鉄筋補強した構造として改築する方法や、ロックボルトを打設して覆工コンクリート塊を地山に縫い付けるとともに、ロックボルトにも定着させる繊維シート工やネット工を併用してロックボルト間の覆工コンクリート塊の抜け落ちを防ぐ方法が考えられる。しかしながら、供用中のトンネルにおいてこれらを行うためには多大な工費や工期、交通規制が必要となるとともに、ロックボルトを定着材として用いる場合は不良な地山においてロックボルトの定着力が確保されることを検証する必要があるなど、検討すべき課題も残る。前節では、地震による影響を受けやすいと考えられる地山の特殊条件を挙げたが、これらの条件に該当する区間で必ずしも地震による被害が発生しているわけではないため、既設トンネルでこのような対策の検討を行う必要がある場合は、費用対効果の観点も含め、慎重に検討する必要があると考えられる。


### 7.2.2 維持管理上の留意点

地震による影響を受けやすいと考えられる地山の特殊条件は7.1.1項の①～⑧で示したものと同様であり、維持管理を通じて特殊条件に該当すると特定できた場合の考え方として以下の項目に留意することが重要であると考えられる。

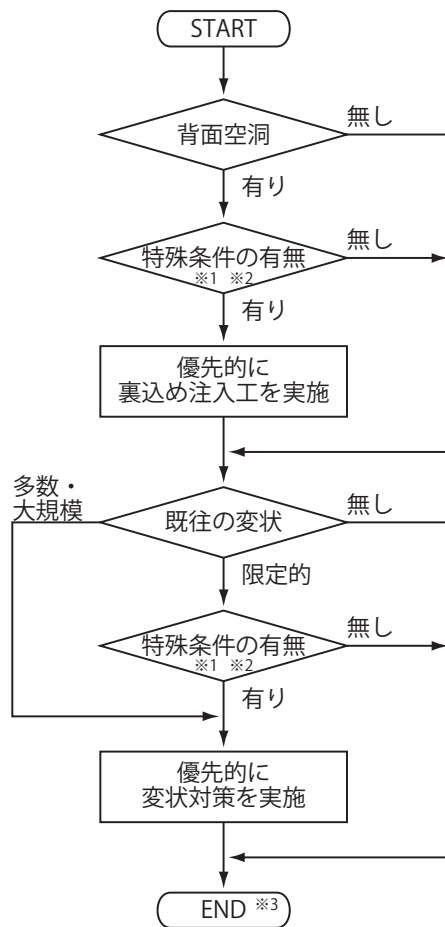
- ① 覆工の背面に空洞が存在する場合は、優先的に裏込め注入工による対策を実施する
- ② 点検等により変状が確認された場合は、変状の原因および進行状況等を考慮し、優先的に変状対策を実施する

なお、地震による影響を受けやすいと考えられる特殊条件に該当し、優先的に対策を実施する場合も、定期点検等により得られた健全性の診断結果は原則として変更しないことが前提になると考えられる。

### 7.2.3 既設トンネルにおいて耐震対策を行う場合の考え方

以上のような観点から、既設の山岳トンネルにおいて耐震対策を行う場合の検討の考え方（案）を、 7.2.1に示す。





※1 地震による影響を受けやすいと考えられる特殊条件とは、以下のいずれかに該当する区間を示す。

- ① 突発的な大量の湧水により施工を長期間中断した箇所、またはこれに準ずる箇所
- ② 切羽の著しい崩落により施工を長期間中断した箇所
- ③ 地山の不安定性に起因して大規模な補助工法を使用した箇所
- ④ 地質が急変して2パターン以上の支保パターンの変更を伴った箇所（ただし、坑口部支保パターンとの接続部を除く）
- ⑤ 縦断的・横断的に地質の剛性が大きく変化する箇所
- ⑥ 極端な偏圧を受ける箇所
- ⑦ 極端に土被りが小さい箇所
- ⑧ 地山等級DⅡおよびそれよりも不良と評価される箇所（断層・破碎帯等を含む）

※2 特殊条件に該当すると維持管理を通じて特定できた場合に「有り」とする。

※3 別途、道路トンネル定期点検要領等に準拠した通常の維持管理（変状の状況によっては裏込め注入工等の変状対策を含む）を実施する必要がある。

図 7.2.1 既設の山岳トンネルにおいて耐震対策を行う場合の検討の考え方（案）

## 7.3 地震による被害を受けたトンネルにおける対策の考え方

### 7.3.1 地山の変状に対する考え方

トンネルは地表の構造物と比較して地震に強い構造物とされ、とりわけ岩盤中に施工されることが多い山岳トンネルは地震による深刻な被害事例が少ないが、これはトンネル周辺の地山が地震により崩壊していないことが前提である。山岳トンネルにおいては、周辺地山が有しているトンネルを支保する能力を活用することが力学的に有利とされており、地震により地山が崩壊するとトンネル構造にも多大な影響が及ぶことが想定される。

山岳トンネルの地震被害が周辺地山の変状をともなう場合は、トンネルの支保工や覆工の縫返しだけでなく、周辺地山の安定性を確保するための大規模な対策を併せて行うことが必要となる場合が多いと想定され、現場の状況に応じた個別の対応が必要になると考えられる。

このような事態が想定されるのは、たとえば以下のような場合である。

#### ① 斜面災害の影響を受けた場合

地震により発生した地すべりや岩盤すべり等の斜面災害にトンネルが巻き込まれてトンネルも被災した場合は、トンネル単独で対策を行うことは困難であり、斜面災害への対策も併せて検討する必要がある。

#### ② 地震により活動した断層とトンネルが交差する場合

トンネルが断層を横切り、地震によりその断層が活動した場合は、トンネルの平面線形・縦断線形に不連続な箇所が形成される。このような被害は現在のトンネル技術では回避することが困難で、万が一発生した場合は、対策として周辺地山の安定性を確保したうえで、トンネルの線形を修正し大規模な改築を行うことを検討する必要がある。

#### ③ 周辺地山とともにトンネルが崩壊した場合

地震によりトンネル周辺の地山が破壊し、地山もろとも崩落してトンネルが閉塞するという事例はこれまでに国内の道路トンネルではほとんどないが、もしこのような被害が発生した場合は、周辺地山の安定性を確保するために大規模な地山改良等が必要となり、対策を慎重に検討する必要がある。

### 7.3.2 覆工の変状に対する考え方

地震によりトンネルに変状が発生した場合でも、周辺地山の安定性は大きくは損なわれていないと判断される場合は、トンネル坑内からの対策が中心になると考えられる。

トンネルの変状が比較的大規模である場合は、交通規制等の応急措置を講じた上で、対策を検討する必要がある。その際、変状がトンネル全体にわたって著しく、トンネルの線形の変更をともなう場合は、個別に検討を行う必要がある。

覆工の変状が著しく、既往の外力対策工やはく落対策工では構造の安定性や利用者の安全性が確保できないと判断される場合は、覆工をはつり落とし、覆工を打設し直す必要がある。その際、支保工の変状状況も併せて確認し、支保工の変状も著しい場合や、地山からの押し出しにより所定の覆工厚を確保しようとする

と建築限界を侵してしまう場合等は、縫返しを行うことも検討する必要がある。

地震により覆工に作用した外力のモードや大きさを精度良く算定するのは、現在の技術水準では困難をとまう。また、仮に精度よく外力が算定できたとしても、将来的に地震によりどの程度の外力が作用するかを推定するのはさらに困難である。加えて、ある程度の仮定のもと外力の大きさを推算したとしても、たとえば大規模な覆工コンクリート塊の崩落をとまうような変状を想定すると、通常のトンネル覆工の設計では用いられないような大きな荷重を設定しなければならず、現実的な設計条件とは言えない可能性がある。これらのことを踏まえると、覆工を打設し直す場合は、いわゆる耐震設計により覆工の補強を考えることは現実的ではない場合があり、覆工に破壊が生じたとしても、大規模な覆工コンクリートが落下しないよう、覆工に落下防止措置を講じる方がより現実的な対策といえる場合がある。

このような考え方に基ついて対策を検討する場合は、たとえば覆工に単鉄筋補強を行い、覆工コンクリート塊の崩落の抑制を図る場合もある。なお、その場合は、構造的に剛性が変化し、不連続な箇所をなるべく解消するという観点から、インバートにも原則として同様の単鉄筋補強を行うのが望ましいと考えられる。

なお、トンネルの変状が比較的小規模である場合は、道路トンネル維持管理便覧【本体工編】<sup>73)</sup>等を参考に、対策工を検討するのが望ましいと考えられる。

### 7.3.3 路面等の変状に対する考え方

路面等に変状が確認された場合は、トンネル下方からの荷重や変位が想定され、その主な現象として盤ぶくれが考えられる。

比較的大規模の大きな盤ぶくれが発生した場合は、インバートを設置し、トンネル下方からの荷重に耐えうる構造とする必要があると考えられる。既にインバートが設置されていた場合は、インバートに変状が生じている可能性が高く、路面下を掘削してインバートの状態を確認した上で、必要に応じてインバートの再設置等を検討する必要があると考えられる。

なお、覆工脚部の地耐力がないことに起因して歩道や監査歩廊、側溝等に変状が発生していると考えられる場合は、覆工からの荷重を支持するためにインバートを設置する必要がある場合もある。

### 7.3.4 復旧を急ぐ場合の考え方

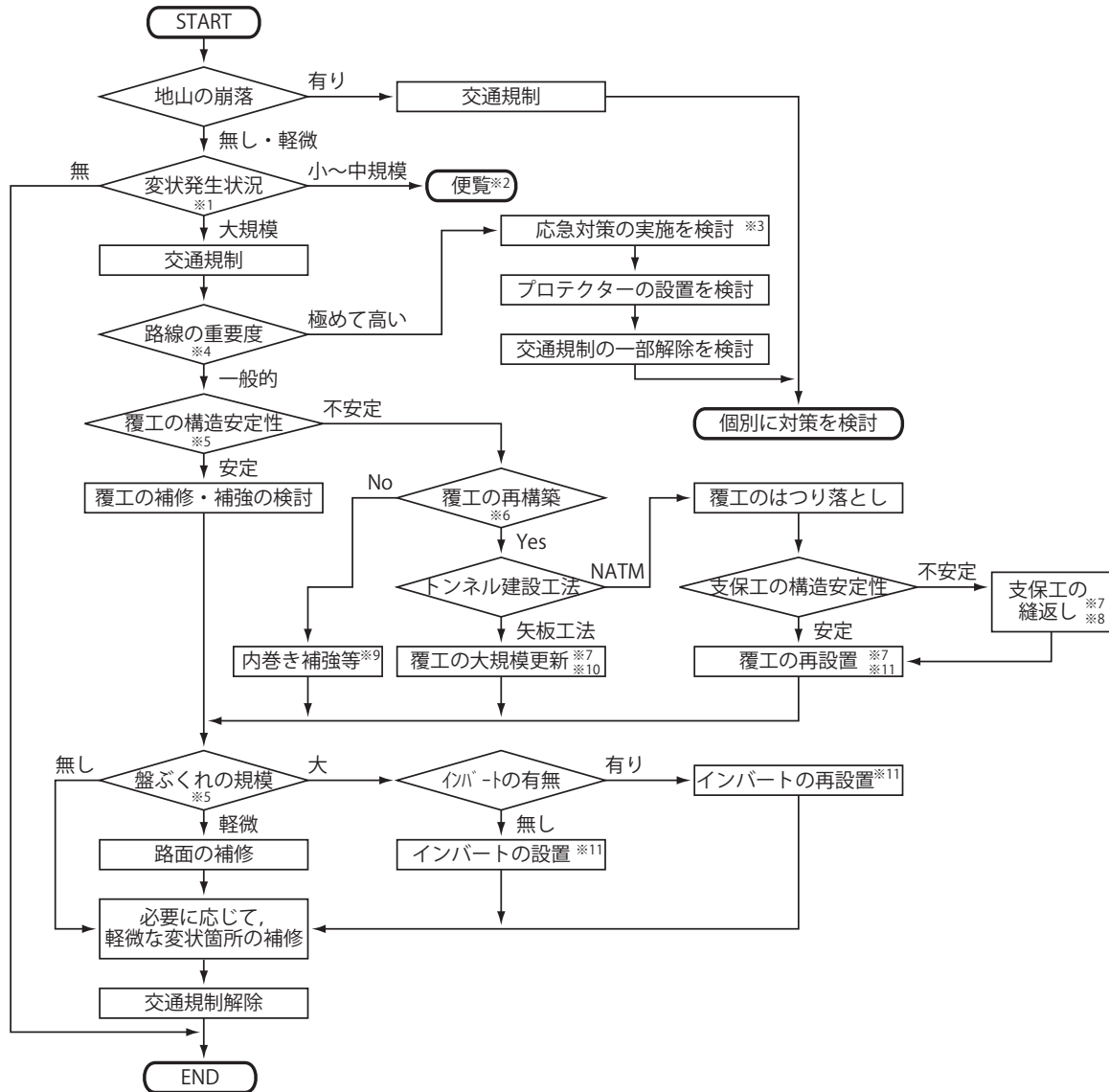
地震により被害を受けたトンネルを含む路線の重要度が非常に高く、一刻も早い交通の確保を行う必要性が高い場合もある。

その場合は、変状の進展が収束したことを確認し、応急対策を行った後、プロテクターを設置したうえで、限定的に交通を確保することも考えられる。しかし、活線下での本対策工事は一般に工期・工費の増大を招く恐れがある。

また、覆工の打ち直しや縫返しを行わず、内巻き補強により構造の安定性を確保することも考えられるが、内空断面の縮小は避けられず、建築限界を侵す恐れがある。したがって、交通の確保を急ぐ場合に、やむを得ずこのような対策を採用する場合は、慎重に検討する必要があると考えられる。

### 7.3.5 地震による被害を受けたトンネルにおける対策工の選定に関する考え方

以上のような観点から、地震による被害を受けた山岳トンネルの震災復旧における対策工選定を検討する場合の考え方（案）を、図 7.3.1 に示す。



- ※1 定量的な評価は困難であるが、「道路トンネル定期点検要領」における健全性の診断結果Ⅰが「無」、Ⅱ～Ⅲが「小～中規模」、Ⅳが「大規模」に概ね相当すると考えられる。
- ※2 「道路トンネル維持管理便覧【本工編】」<sup>73.1)</sup>等を参考に対策を実施する。
- ※3 内空断面の縮小を容認できる場合は、補強セントル工を実施したうえで吹付け工を実施するなどがある。
- ※4 トンネルの重要度を含めて現地の状況等を踏まえ、総合的に判断する。
- ※5 原則として覆工スパンごとに判定する。
- ※6 地震により覆工の構造安定性が損なわれている場合は、覆工の再構築を行うのが望ましいと考えられるが、内空断面の余裕、復旧までの時間、代替ルートの有無、現地の状況等により、総合的に判断する。
- ※7 復旧工事においてインバートの設置・再設置をとまう場合は、アーチ部の覆工や支保工との施工順序も含めて検討する必要がある。
- ※8 地山の变形の程度によっては地山の縫返しや地山の補強を含む。
- ※9 内巻き工、ひび割れ注入、断面修復、内面補強工、ロックボルト等を適用・併用することにより復旧を行う場合がある。
- ※10 一掘進長ごとに覆工撤去、支保工（吹付けコンクリート、鋼アーチ支保工、ロックボルト等）の設置を繰り返した後、防水シートを施工した上で覆工を打設するなどが考えられる。側壁部が健全な場合は、側壁部を残すことも考えられる。打設する覆工は単鉄筋による補強を行う事も含めて検討する。
- ※11 単鉄筋による補強を行うことも含めて検討する。

図 7.3.1 山岳トンネルの震災復旧における対策工選定の検討の考え方（案）



## 参考文献

7.3.1) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】，平成27年，丸善，2015

## 8. おわりに

本研究は、山岳トンネルにおける耐震対策の確立に資することを目的として、過去の山岳道路トンネルの地震による被害の分析を行うとともに、今後の耐震対策の考え方について、方向性を検討したものである。

これまでの山岳道路トンネルの地震被害を概括すると、覆工の崩落をともなうような比較的規模の大きな被害は、地震により活動した活断層の近傍の狭い範囲に限定的に発生している。加えて、被害の程度は地山条件が大きく関係し、被害の大きい箇所においては、地山が特に不良であるなどの特殊な地山条件が内在していたと考えられる。

これらの被害においては、地震により地山に大きな変形が発生し、その変形に覆工が追従できなかったことにより、覆工に圧縮破壊等の変状が発生したと想定される。このような被害を再現することを目的とした数値解析による試算結果によると、地震時における外力として、土被り荷重に換算して少なくとも $3D$  ( $D$ はトンネル径) 程度を超える荷重が作用したと想定される。

上記のような荷重に対し、所定の安全率を確保するという前提で構造計算により覆工の設計を行うと、高強度コンクリートの採用や増厚等が必要となる。一方で、これらの対策を実施したとしても、地震時の地山の変形に覆工が追従できることにはならない。また、覆工の補強対策として鉄筋補強や繊維シート貼付を実施したとしても、これらは本来、引張部材として期待されるものであり、覆工の圧縮破壊そのものを抑制する効果までは期待し難い。さらに、覆工に繊維補強コンクリートを採用したとしても、小規模なコンクリート片のはく落抑制には効果が期待できるものの、覆工に破壊が生じて大きな変形が発生した場合は繊維が追従できず大規模な覆工コンクリート塊の崩落抑制効果を期待するのは難しいと考えられる。

以上のような観点から、トンネルに耐震対策を行う場合の考え方として、新設トンネルにおいては、地震による影響を受けやすいと考えられる地山の特殊条件に該当する場合は、十分な支保工やインバートによりトンネルの力学的な安定性を確保するとともに、地震時においては覆工の破壊そのものを防止するよりも、覆工に単鉄筋補強を行うなどの対策により、覆工が破壊したとしても大規模なコンクリート塊の落下を抑制することが重要と考えられる。また、既設トンネルにおいては、特に建設年代の古いトンネルについては設計・施工段階の記録が十分に残されていない場合もあり、地震による影響を受けやすいと考えられるトンネルの特殊条件に該当するか否かの判断が難しい場合もあるが、維持管理の充実を図ることで地震の影響を極力減少させることが重要であると考えられる。

山岳トンネルにおける地震による被害の事例は他の構造物と比較して少なく、被害発生メカニズムも十分に解明されているとはいえない面もあり、耐震設計の体系も十分に確立されていないのが現状であるが、本報告書が、山岳トンネルの耐震対策に関して検討を行う際の参考となれば幸甚である。

## 謝辞

本研究をとりまとめるにあたり，一般社団法人日本建設機械施工協会施工技術総合研究所の真下英人所長（元・土木研究所高度技術指導監）には多大なるご指導をいただいた。また，国土交通省九州地方整備局および熊本県から貴重なデータをご提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

---

土木研究所資料  
TECHNICAL NOTE of PWRI  
No.4358 March 2017

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課  
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754