

新潟県中越沖地震により被災した高速道路トンネルの復旧について

東日本高速道路㈱長岡管理事務所 正会員 ○坂本 香
 東日本高速道路㈱長岡管理事務所 藤本泰弘
 東日本高速道路㈱長岡管理事務所 山田信行

1. はじめに

平成19年7月16日(月)「海の日」の10時13分頃に新潟県中越沖を震源としたM6.8(震度6強)の地震が発生し、その後、震度6弱の余震が1回、震度4の地震が5回発生した。この地震のメカニズムは3年前の新潟県中越地震と同様の北西—南北圧縮の逆断層型であった。この地震による高速道路の被害は、北陸道能生IC～長岡JCT間の約95kmにわたって発生し、路面の陥没、橋梁の損傷、トンネル覆工のクラック・剥落など約330箇所にあんだ。本報文は、被災した高速道路トンネルの中で被害規模が最も大きかった米山トンネルの被災状況、応急復旧工事及び本復旧に向けた調査・検討等について報告するものである。

2. 被災状況(図一1、図一2)

米山トンネルは、北陸道柿崎IC～米山IC間に位置し(図一1)、上下線とも昭和55年～昭和56年に在来工法により施工された。道路規格は第1種2級Bで設計速度は80km/hである。

複数の機関からの発表によると、地震の影響でいずれも米山トンネル近傍では海側(北西方向)に変動している。また、国土地理院の水平上下変動資料によると、当該箇所では水平方向では山側から海側に移動し、上下方向では数ミリ沈降したものと考えられている。周辺斜面の崩壊が多発している地表面の水平変動方向でもある北西方向は、ほぼトンネルの横断方向にあたることから、この方向に大きな地震力が作用したものと考えられる。

図一2に被災状況、地質の状況、覆工厚、岩質区分等を示す。

被災は、下り線が約130m、上り線が約40mの範囲で発生し、アーチクラウン部の剥離(下り線が約30m、上り線が約10m)・クラック、側壁の剥落(下り線のみ)、円形水路の閉じ・段差等であった。



図一1 米山トンネル位置図

3. 被災原因の推定

3.1 地形・地質

- ① トンネルの土かぶりは約150mで、地質は新第三紀中新世の椎谷層(砂岩泥岩互層)、新第三紀鮮新世～第四紀更新世の西山層(塊状泥岩、砂岩泥岩互層)とこれを貫入する安山岩からなっている。
- ② 施工時の地質縦断図によると被災箇所は、安山岩貫入箇所から上越よりの椎谷層・西山層の地層境界部付近に位置している。

キーワード トンネル、震災復旧、空洞調査、炭素繊維補強

連絡先 〒940-2033 新潟県長岡市上除町野田 80 東日本高速道路㈱長岡管理事務所 TEL 0258-46-5751

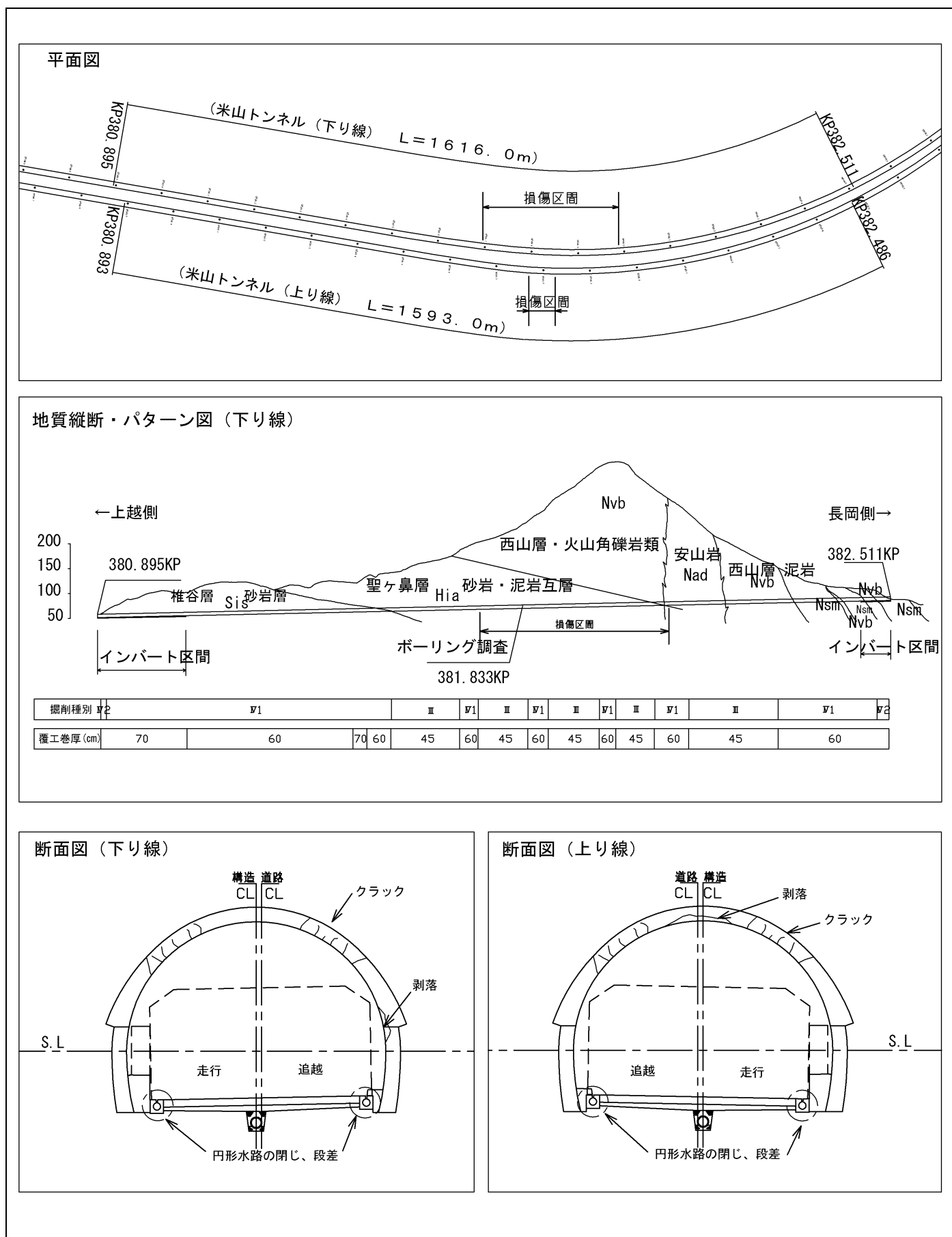


図-2 米山トンネルの被災状況等

- ③ 安山岩貫入箇所及びその周辺地山は、安山岩貫入に伴い変質・脆弱化していることが想定できる。(安山岩貫入岩体の両側に低速度帯が存在)
- ④ 被害箇所は、硬質の安山岩と軟質の低速度帯部(椎谷層・西山層)の岩質変化部であり、軟質の低速度帯部においては特に地震時の変位が大きくなり、覆工コンクリートの剥落等の被害を被ったと考えられる。また、椎谷層・西山層は膨張性地山であり、被害を大きくした一因と考えられる。
- ⑤ 海側に位置する信越本線の米山第一トンネルも被災しており、弱層部が連続している可能性もある。

3. 2 施工方法

- ① 在来工法での施工のため、施工時の地山のゆるみが大きく覆工に作用する荷重が大きくなった。
- ② クラウン部背面に空洞が存在するため、クラウン部が破壊した。

3. 3 被災メカニズムの推定

- ① 一般にトンネルの地震時の挙動は周辺地山の挙動に支配されるため、周辺地山と一体となって挙動する場合は安定していると言われている。これに対してこの被災箇所は、クラウン部背面に空洞が存在することや地質不良区間であり変位増幅が非被災区間と比較して大きく、覆工が変位に追従できず破壊に至ったと推定できる。
- ② 一般的なトンネル解析手法である「はりばねモデルによる骨組み構造モデル」での検討の結果、上り線の破壊過程を、クラウン部の圧壊→クラウン部がヒンジに→アーチ部にクラック発生、下り線をクラウン部の圧壊→クラウン部がヒンジに→側壁の破壊と仮定すると被害状況を説明できる。すなわち上り線は、クラウン部に外側引張の曲げが作用→クラウン部にクラック発生→さらにクラックが進展し圧壊→クラウン部がヒンジに→アーチ部に内側引張の曲げが作用→アーチ部にクラック発生。一方下り線は、クラウン部がヒンジに→側壁に受動土圧が作用→側壁上下半の打継部を中心に破壊となる。

4. 応急復旧工事

応急復旧工事は、まず被害の大きかった上り線を通行止めし(下り線を対面通行)実施した。下り線は、上り線完了(地震発生から15日後に完了)の後、車線規制(走行、追越)の下で実施した(上り線完了から9日後に完了)。補修作業に先立ち叩き点検や浮き箇所の叩き落しを行ったが、路面の変状の予見やクラック等の進行性は確認できないことから、トンネル構造体としての健全性は確保されていると判断し、覆工コンクリートの応急対策として剥落箇所に対してクラック注入、断面復旧対策(ファイバー入り樹脂モルタル吹付け工法)さらに今後の剥落防止対策として炭素繊維シート貼付(トンネル軸方向1層、直角方向1層)を行った。なお、下り線は、損傷程度を考慮し炭素繊維シート貼付は実施していない。また、路肩部や円形水路の損傷箇所は機能を確保できる程度に部分的な補修を実施した。

5. 本復旧に向けた調査・検討(表一1)

本復旧に向けて、①地山・覆工コンクリートの性状及び挙動の把握、②覆工コンクリート背面の空洞の状況把握などを目的として調査・計測を実施する。表一1に調査・計測項目、目的、概要を示す。現在までに整理した知見は以下の通りである。なお、地中変位計測については早くても19年度末まで継続することとしている。

- ① 風化・変質の程度は、トンネル覆工周辺部1mまでは亀裂が発達し、亀裂面の褐色化や岩芯の軟質化が認められ、岩級区分ではD級。以深は亀裂数が減り、概ね2~5mまでがトンネル掘削時の応力開

放によるとされるトンネル壁面に平行な亀裂が多い傾向で岩級区分ではC L級主体。さらに以深は全般に亀裂が少なく新鮮・硬質な岩盤状態で岩級区分ではCM級主体のコア状態。また、速度検層によるP波速度は覆工から3, 4 mまでは1.2~1.5km/s程度、以深が2.1~2.4km/s程度である。

- ② 岩石試験の結果、岩石中の主要粘土鉱物がモンモリロナイトではないが、2 μ m以下の粒子含有率(%)あるいはCEC試験結果、膨張圧試験結果等から膨張性地圧の可能性が考えられる。
- ③ 地中変位は、11月から12月末までのところ、+0.4mm~-0.2mm程度であり問題はないが水位変動が大きい時期まで継続調査が必要。
- ④ 覆工空洞調査の結果、覆工厚30cm程度の箇所の一部30cmを超える空洞厚が観測された。
- ⑤ 覆工コンクリートの性状は、中性化深さは平均値で10mm程度であり、圧縮強度も18N/m²以上あることから、建設当時と比べ顕著な劣化は発生していない。
- ⑥ 以上をまとめると、現状ではトンネル覆工周辺地山の緩みは問題がないが、長期的には膨張性地圧により、緩み領域がゆるやかに拡大することが懸念される。また、覆工背面の空洞も確認された。
- ⑦ 対策工としては、当面空洞注入は原則的に行うこととし、さらなる対策(ロックボルト等)に関しては今後の計測調査に基づく検討とする。

表-1 本復旧に向けた調査・計測の概要

調査・計測項目	目的	概要
調査ボーリング	覆工厚さ・強度、背面空洞、岩質、風化変質亀裂の状況等を観察する	・1断面4本×10m(下向きのみ5m)×上下線 ・Φ86mm(弾性波測定)、Φ66mm(下向き) ・覆工コアボーリング(69箇所)
孔内弾性波探査	トンネル周辺地山の速度層構造を把握し地山の劣化状況(在来工法による緩み領域含む)を把握する	・調査ボーリング孔を利用
岩石土質試験	コアボーリングを使用し岩石土質試験を実施し、周辺地山の物理的・力学特性を把握する	・調査ボーリングコア ・一軸圧縮強度試験 ・比重・密度・含水比・粒度試験 ・超音波伝播速度試験 ・液性・塑性限界試験 ・浸水崩壊度試験 ・吸水膨張圧試験 ・CEC試験 ・X線回折試験
コンクリート試験	覆工コンクリートの性状を把握する。	・覆工コア ・一軸圧縮強度試験 ・中性化試験
地中変位計測	地中変位の有無、地中変位の経時変化を把握する。	・調査ボーリング孔を利用(下向きは実施せず)
覆工背面レーダー調査	覆工背面の空洞の状況を連続的測定	・天端部1側線×上下線

6. おわりに

米山トンネルにおける被災のうちトンネル天端部からの覆工コンクリートの剥落は、落下時にお客様の車両が通過していた場合には大きな被害が想定されるところであるが、被害を被った車両はなく幸運であった。また、中越地震とは異なり大きな余震は1回で損傷が拡大しなかったことや剥落し散乱したコンクリート片などを避けて車両が走行できる幅が確保でき、地震発生後4時間で緊急車両を通行させることができたことも幸いであった。

本復旧工事は来年度から開始する計画としている。車線を規制しながらの施工となるため、安全の確保はもとより早急な工事完成を目指していく所存である。