

# トンネル路盤下ロックボルト工による 路面隆起抑制効果

駒谷 大三<sup>1</sup>・横尾 和彦<sup>2</sup>・赤木 渉<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 西日本高速道路株式会社 佐賀高速道路事務所 (〒840-0202 佐賀県佐賀市大和町久池井2630)  
E-mail:d.komatani.aa@w-nexco.co.jp

<sup>2</sup>西日本高速道路株式会社 佐賀高速道路事務所 (〒840-0202 佐賀県佐賀市大和町久池井2630)  
E-mail:k.yokoo.aa@w-nexco.co.jp

<sup>3</sup>正会員 西日本高速道路株式会社 佐賀高速道路事務所 (〒840-0202 佐賀県佐賀市大和町久池井2630)  
E-mail:w.akagi.aa@w-nexco.co.jp

重交通の対面通行トンネルにおいて、膨張性地圧により路面隆起が進行したことから、応急の抑制対策として夜間通行止めで施工可能な路盤下ロックボルト工を施工した。その後の計測結果から路盤下ロックボルト工による路面隆起の抑制効果が確認されたため、その検証結果を報告するものである。

**Key Words :** tunnel roadbed uplift, rock bolt, suppression effect, nightly closure

## 1. はじめに

天神山トンネル (L=945m) は、西九州自動車道 佐世保大塔 IC~佐世保みなと IC 間に位置する対面通行トンネルである。同トンネルは平成 10 年 4 月に供用を開始し、現在日平均約 3 万台と暫定 2 車線区間では非常に重交通な路線に位置する。供用後 10 年経過した平成 20 年にトンネル中央の非常駐車帯部付近で、コンクリート舗装路面と円形水路の段差から路面隆起が確認された (写真-1)。

図-1に示すように漸増する路面隆起により建設時の計画高に対し平成29年までに最大195mm (変状が確認された平成20年からの隆起速度は平均13mm/年) の隆起量が計測され、収束する兆しが見られないことから平成28年及び29年に変状が顕著な約20m区間について応急対策として路盤下ロックボルト工を施工した。本報文では路面隆起の原因と路盤下ロックボルト工の路面隆起抑制効果検証を報告するものである。



写真-1 路面隆起状況

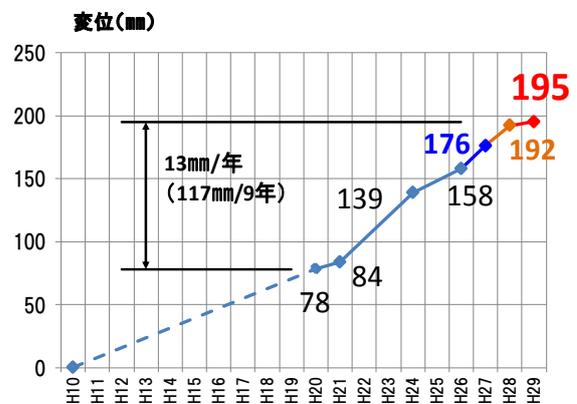


図-1 隆起量

## 2. 地質概要

本トンネルの地質は新第三紀の砂岩、泥岩、砂・泥互層で構成され、東側から西側に向かい $6^{\circ} \sim 8^{\circ}$ の下り勾配で傾斜している。砂岩は中硬質、泥岩は亀裂が少ない軟岩質を呈する。砂・泥互層部は全体的に亀裂が多く、石炭層や軟質の凝灰岩を挟んでおり、比較的不均質な地質である(図-2)。なお、トンネル両坑口部のDIII区間を除きインバートは設置されておらず、最も路面隆起が顕著な位置では調査ボーリングで断層破碎帯が確認された。

## 3. 路面隆起発生要因の推定

調査ボーリング及び岩石試験の結果から、凝灰岩に膨潤性粘土鉱物(スメクタイト)の含有や陽イオン交換容量(CEC)が最大 $81\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ( $81\text{meq}/100\text{g}$ )であることが確認された。また、ボーリング孔に設置した地中変位計の計測結果では凝灰岩層が膨張している挙動を示した(図-3,4)。これらのことから膨潤性粘土鉱物を含む凝灰岩層に断層から地下水が供給され地山が膨潤することで、膨張性地圧が発生し路面隆起に至った(スウェリング)と推定した(図-5)。

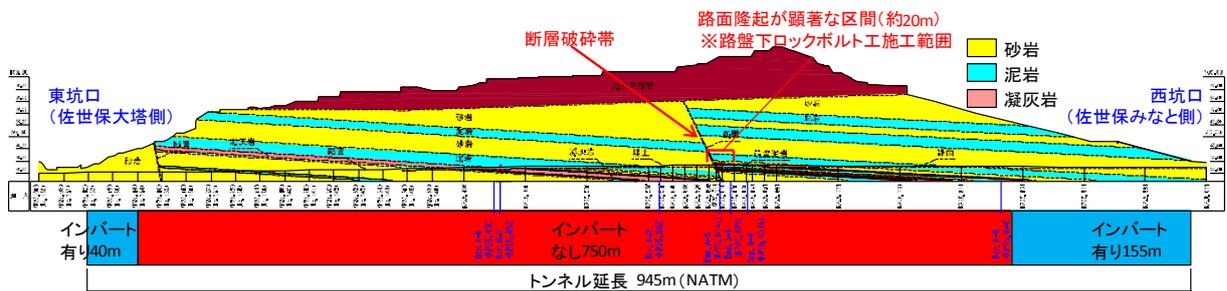


図-2 地質概要

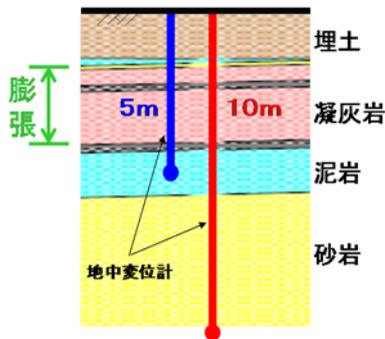


図-3 地中変位計設置図

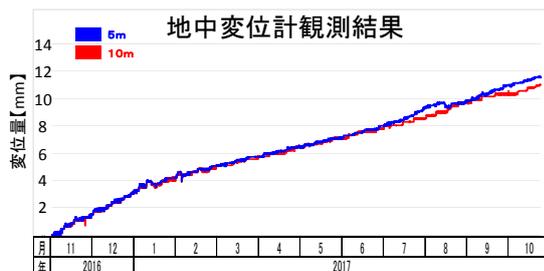


図-4 地中変位計観測結果

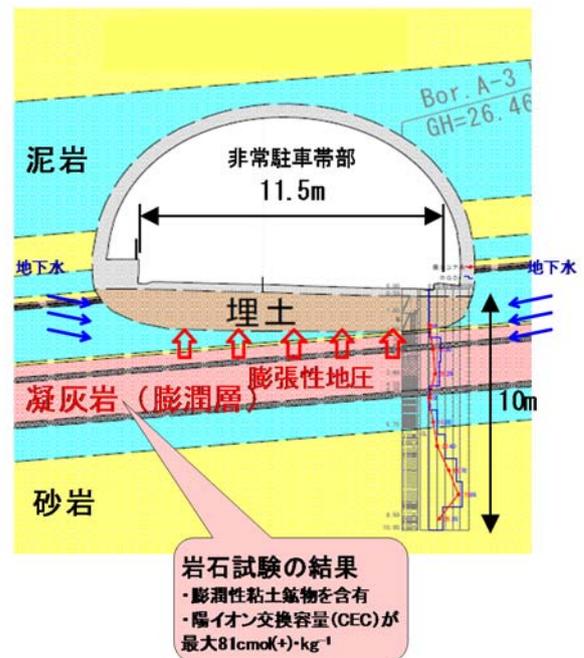


図-5 路面隆起の発生メカニズム

#### 4. 対策工の検討

岩石試験の結果とFEM解析により将来の膨張応力は203.11kN/m<sup>2</sup>、路面隆起量は最大318mmとの予測となった(図-6)。検討時点の隆起量が176mmであったため残存する隆起量は142mmあることになる。恒久対策はインバート設置を計画しているが、重交通の対面通行下における長期の交通規制は、社会的影響が大きいことから応急の抑制対策として路盤下ロックボルト工を採用した。

工事は、夜間通行止めによる施工となることから施工

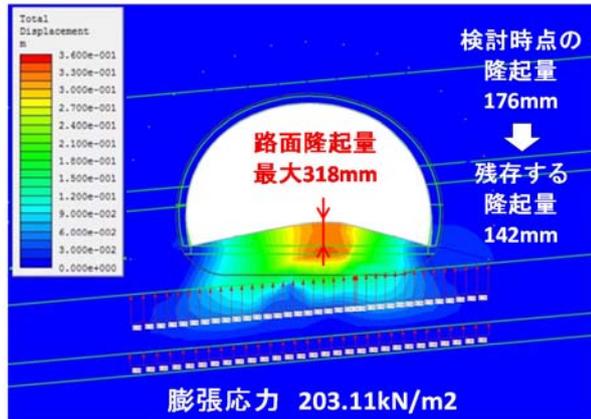


図-6 FEM解析による将来予測

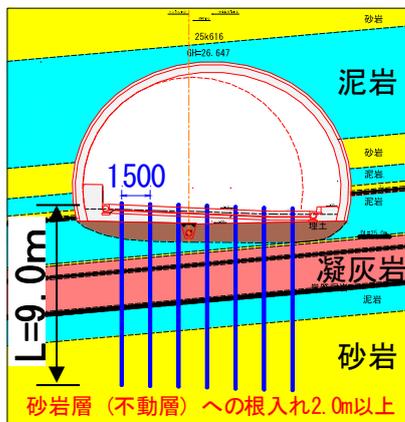


図-7 施工位置断面図

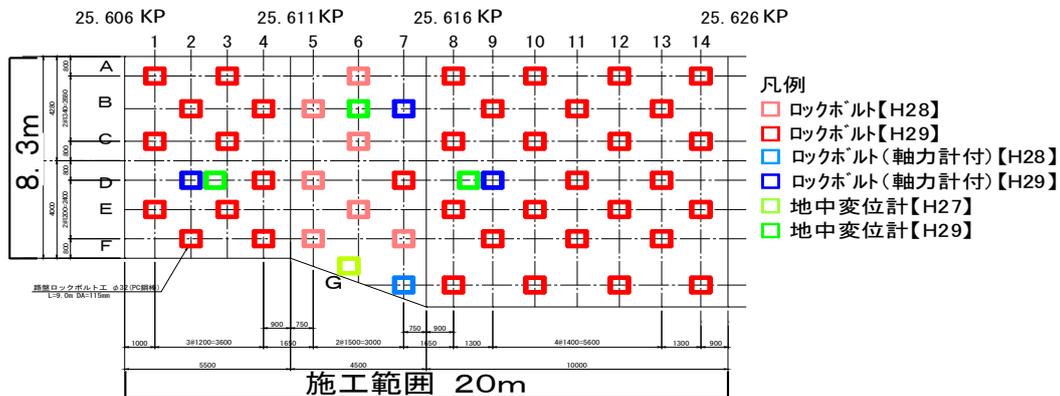


図-9 施工配置平面図

能力を重視し、極力削孔径を抑えるためロックボルトの材料は小径でも高い断面力を持つPC鋼棒(φ32)を採用し、長さは不動層である砂岩層に2m以上の定着として全長9mとした(図-7)。配置間隔は、FEM解析にて単位面積当たりのボルト本数における総路面隆起量を解析した結果、最も費用対効果が高いのは3m×2mピッチであった。しかし、路面隆起に対するロックボルトの効果は必ずしも想定どおりにならない場合も考えられることから1段階密である3m×1.5mピッチとした(図-8)。また、対策範囲は隆起が特に顕著な20m区間とした(図-9)。

なお、施工後の効果検証の目的で計47本のロックボルトのうち4本を軸力計付きに、また地中変位計も4箇所設置した(表-1、図-9)。

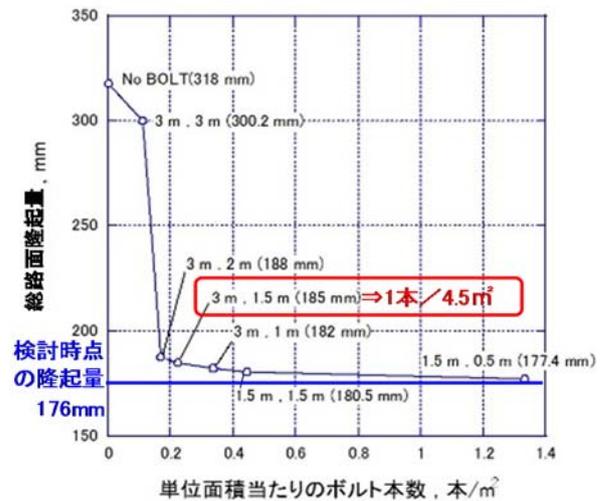


図-8 隆起抑制効果検討結果

表-1 施工一覧表

	ロックボルト	軸力計付き ロックボルト	地中変位計
平成27年(調査)			1箇所
平成28年(工事)	7本	1本	
平成29年(工事)	36本	3本	3箇所
計	43本	4本	4箇所

## 5. 路盤下ロックボルト工の効果検証

図-9の施工配置平面図で示すG6付近の地中変位計（平成27年設置）とG7付近の軸力計（平成28年設置）の計測結果を図-10に示す。路盤下ロックボルト工施工前は約14mm/年のペースで路面隆起が進行していたが、平成28年の路盤下ロックボルト工8本施工後は約2mm/

年のペースに鈍化し、平成29年の39本施工後は約1mm/年まで鈍化した。ロックボルトの軸力は、ロックボルト頭部と砂岩層の上端部との中間付近である深さ2.5mの位置に大きく発現し（図-11）、砂岩層への定着効果が確認された。これらのことからロックボルトによる路面隆起の抑制効果が確認できた。また、平成29年に施工した周辺3ヶ所の地中変位計及び軸力計のデータも同様の傾向が確認できる（図-12）。

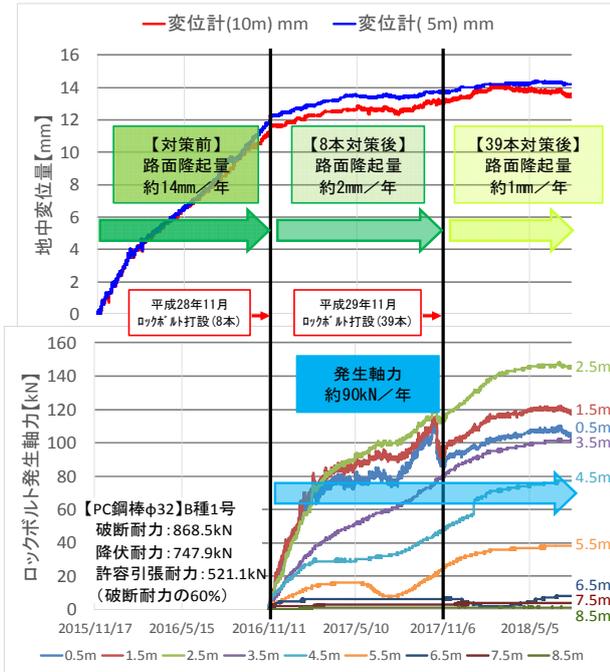


図-10 地中変位計と軸力計の計測結果①

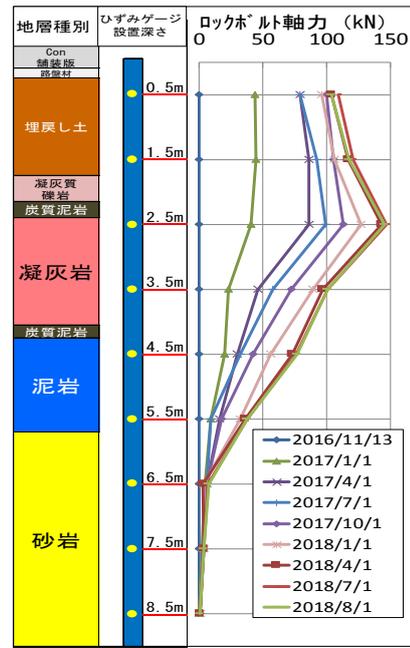


図-11 軸力計の深さ方向グラフ

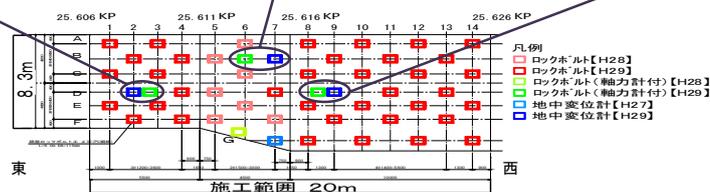
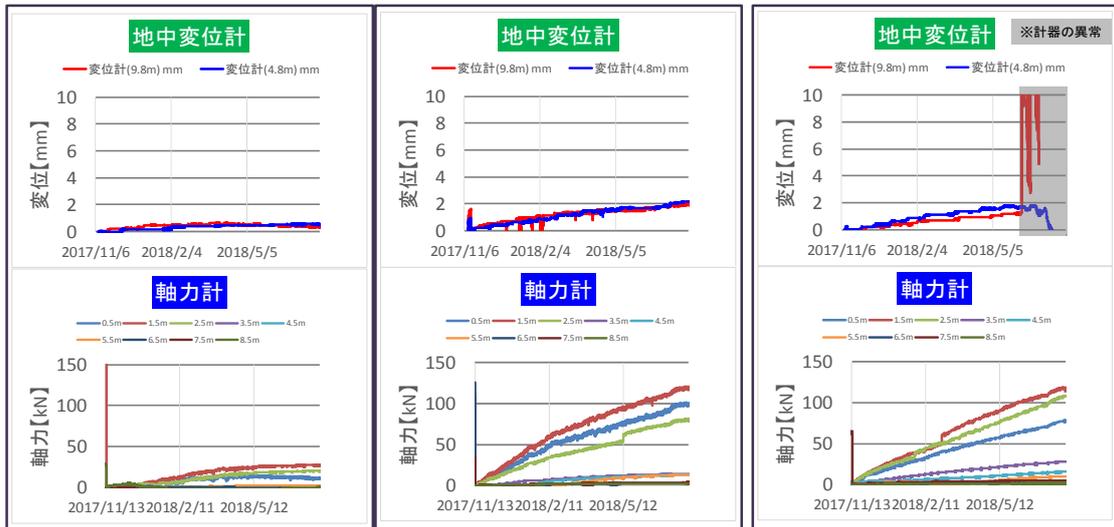


図-12 地中変位計と軸力計の計測結果②

## 6. 結論

前述までのとおり、路盤下ロックボルト工施工後の計測データから、路面隆起速度が約14mm/年から約1mm/年まで鈍化し、またロックボルトの軸力が確実に増加している。これらのことから、路盤下ロックボルト工を不動層へ確実に定着させることにより膨張性地圧による路面隆起に対して一定の抑制効果を発揮することが確認できた。また、1年9ヶ月前に施工した路盤下ロックボルト工の直近3ヶ月の軸力値はほぼ増加しておらず、今後収束傾向になることも伺える。恒久対策であるインバー

トを実施するまでの期間は、継続して計測データを経過観察し、必要と判断されれば増し打ち等も検討していく予定である。

**謝辞：**本件の応急対策として実施した路盤下ロックボルト工の効果検証については、九州大学三谷泰浩教授を委員長とする「天神山トンネル技術検討会」において審議して頂いており、三谷委員長を始め同検討会の関係者の方々にこの場を借りて謝意を表します。

(2018.8.10 受付)

## SUPPRESSION EFFECT ON TUNNEL ROADBED UPLIFT BY ROCK BOLT

Daizo KOMATANI, Kazuhiko YOKOO and Wataru AKAGI

In the two-lane two-way traffic tunnel of heavy traffic, Since the roadbed uplift proceeded by the swelling ground, as a suppression measure for emergency, rock bolt work that can be constructed by nightly closure was constructed. Based on the subsequent measurement results, Suppression effect on tunnel roadbed uplift by rock bolt was confirmed, it reports the verification result.