

路面隆起トンネルに適用した 新しい路面測定手法

NEW MEASUREMENTS APPLIED TO UPHEAVING ROAD SURFACE IN THE EXPRESSWAY TUNNEL

安田 賢哉^{1*}・菊池 慎司¹・宮沢 一雄²・鶴原 敬久³・松井端 亘¹

Kenya YASUDA^{1*}, Shinji KIKUCHI¹, Kazuo MIYAZAWA²,
Takahisa TSURUHARA³, Wataru MATSUIBATA¹

The authors applied to both the conventional method and the new ones measuring the upheaving road surface in expressway tunnel. The former is manual survey. The latter is automatic measurement using 3D scanner and total stations. We found two main results: One is that three upheaving areas exist and don't continue horizontally. Another is that these movements continue upheaving now at about 5mm per year. Since a new measurement by total stations can be automatic and many data can be obtained continuously, it is very efficient and there is an advantage which help isn't needed.

Key Words : tunnel, upheaving, maintenance management, 3D scanning measurement, total station

1. はじめに

近年、トンネルを含む道路構造物の老朽化に対応すべく、大規模更新および大規模修繕による効率的な対策を講ずることの検討がなされ、トンネル内で路面隆起が発生している場合にはインバートコンクリート（以下インバート）の設置が必要となる¹⁾。

今回対象となったトンネルでは、トンネル建設時の切羽の岩判定で堅硬かつ良好な岩盤と判定されたため、旧設計要領によりインバートが無い支保パターンで施工された。しかし、供用開始から1年半後には路面に隆起などの変状の発生が認められるようになり、その後の変位量が小さかったためにインバートの設置などの抜本的な対策工事までに至らなかった。

筆者らは、路面縦断測量を継続して実施すると共に、隆起箇所にて地中変位計を設置し、トンネル地山の変動を捉えた。また、測定機器の進歩により3Dスキャナー計測をアスファルト舗装面に対し実施し、隆起箇所を面的に捉えることにした。その結果、路面の隆起は現在も年5mm程度の隆起速度で継続していること、隆起箇所は側方への連続性がなく局所的に3箇所存在することが判明

した。さらに、トンネル内にトータルステーション（以下TS）を設置し路面高さを常時測定するシステムを導入したことにより、対策工事までの間、日常的な維持管理において路面の隆起状況を把握することが可能になった。本稿では以上をまとめて報告するものである。

なお、安田ほか（2014）²⁾では地質と地下水の相互作用によりインバートが無い断面で路面が隆起するメカニズムを報告した。

2. 調査概要

(1) トンネル概要

路面隆起が顕在化したトンネルは、磐越自動車道・会津坂下IC～西会津IC間にある鳥屋山トンネル（延長2,600m；図-1）である。本トンネルは、会津盆地西方に位置する鳥屋山（標高580.7m）を東西に貫いて構築された。トンネル工事は上半先進ベンチカット工法による機械掘削（工事後半は爆破掘削）で掘進、平成8年5月にしゅん工し、同年10月より供用を開始した。平成10年4月に東坑口より約600～800m奥の区間でコンクリート舗装

キーワード：トンネル、路面隆起、維持管理、3Dスキャナー計測、トータルステーション

¹非会員 株式会社・エンジゴリング 東北 本社 Head office, Nexco-Engineering Tohoku Company. (E-mail*:kyasuda.s@e-nexco.co.jp)

²正会員 東日本高速道路(株) 東北支社 会津若松管理事務所 Aidu-Wakamatsu Operation Office, Tohoku Branch, East-NEXCO Co.ltd.

³正会員 応用地質(株) 東北支社 Tohoku branch, OYO Corp.

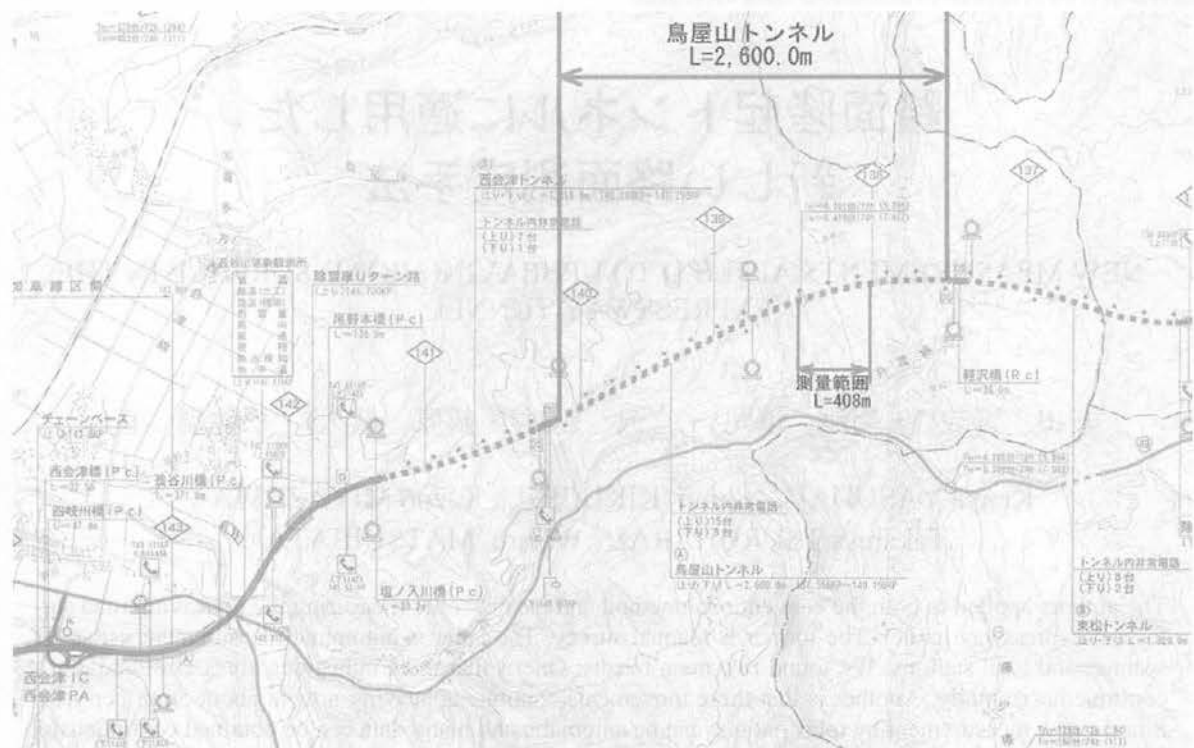


図-1 鳥屋山トンネル位置図

面が40～50mm隆起していることを確認した。

当該区間にはインパルトは施工されておらず、隆起箇所に対してはコンクリート舗装面の切削工を実施した上、車両の走行性確保のためにアスファルト舗装によるオーバーレイ工にて対処した。

なお、トンネルの地質は新第三紀中新世荻野層に属する凝灰質砂岩、泥岩および緑色凝灰岩であり、いわゆるグリーンタフ変動の影響があった地域に相当するため、岩質はいずれも脆く「軟岩」に属する箇所が存在する。

当区間では、隆起確認より約16年間にわたり経過観察として路面測量を実施しており大きな問題は無かったが、近年になってアスファルト舗装面に横断方向の亀裂が新たに確認された(写真-1)。



写真-1 アスファルト舗装面に生じた亀裂

(2) 調査手法

路面の隆起状況を把握する手法として、従来法である路面縦断測量を実施すると共に、最新の機器を用いた新規手法である3Dスキャナー計測を実施した。

また、路面下の地山の挙動を把握する目的で、地中変位計を設置し観測した。

さらに、常時測定を目的に、路面TS測定を実施した。

a) 路面縦断測量

隆起箇所を包含したトンネル内の路面408m区間に対し、路面縦断測量を実施した。隆起が認められない安定した箇所に仮ベンチマークを設置し、上下線の路肩部の2測線ならびに中央分離帯部の2測線、計4測線で測量を実施した。本測量は年1回を基本として実施しており、年間での評価を行っている。

b) 3Dスキャナー計測

3Dスキャナー計測は、アスファルト舗装によるオーバーレイ工施工区間(約190m区間)を対象に、3Dスキャナーを用いて路面の凹凸形状を平均5cm間隔の密度で測定を行った。また、斜め方向の測定によるデータ密度に疎密が発生しないように、トンネル縦断方向に概ね20m間隔で3Dスキャナーを移動しながら測定を行った。

c) 地中変位計

地中変位に関しては、路面縦断測量などのこれまでの観測結果より隆起が顕著であることが判明している2箇所を選定し、中央分離帯付近に1箇所(A地点；後掲の図-3参照)と、下り線の路肩側に1箇所(C地点；後掲の図-3参照)の計2箇所に延長10mの地中変位計を設置した。

計測深度は深度1m、2m、4m、6m、8m、10mの6深度にセンサーを設置することを基本とするが、A地点では中央

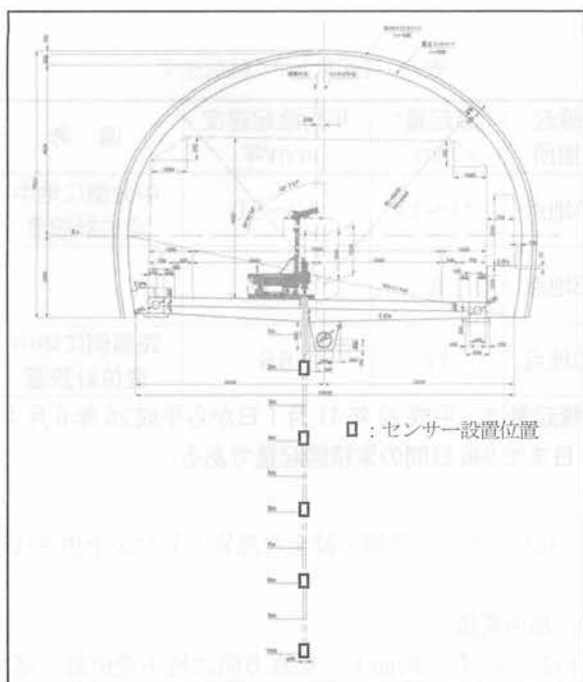


図-2 地中変位計の設置図 (A地点)

排水工が近くに位置しておりグラウト侵入による排水機能不全を防止するため、深度1.5mまではケーシングを埋設して設置した。そのため、A地点での計測深度は深度2m, 4m, 6m, 8m, 10mの5深度となった(図-2)。

d) 路面TS測定

対策工事までの日常管理を目的として、隆起が顕著な3箇所において、側壁上方にTSを固定して路面高さの自動測定システムを構築した。

測定誤差を路面鉛直方向に±1mm程度と設定した場合、TSの仕様より隆起箇所1箇所あたりトンネル縦断方向に30m区間が測定可能範囲の目安となった。その場合、縦断方向に2m間隔で79点の測点を配置することで、1日6回(4時間間隔)の測定が可能となった。測定範囲端部の監視員通路上方には基準点用のミラーを設置し、これを不動点とした。



写真-2 路面TS測定用のマーキング

なお、測定はノンプリズムの仕様となるため路面上にはターゲットが不要であるが、測定データに変化が認められた場合に現地確認を行う必要が生じる。また、定期的にTSを交換し本測定を連続的に実施するため測定点の再設定が必要となり、その都度通行止め規制が必須となってしまう。以上の作業工程を回避し、高速道路を供用しながら測定するために、路面上の測定点にターゲットとなるマーキングを配置した(写真-2)。マーキングは白色ペンキ塗装、20cm四方の大きさとした。

本測定は常時測定を実現しているため、管理基準値が必要となる。ここではNEXCO設計要領³⁾の補修ランクCにおける隆起速度(年間3~10mm)を参照し、暫定的に累積変位量5mmと設定した。

3. 調査結果

(1) 路面縦断測量結果

最近の隆起傾向を把握するため、図-3に平成23年11月1日を初期値とした3か年の路面縦断測量における代表的

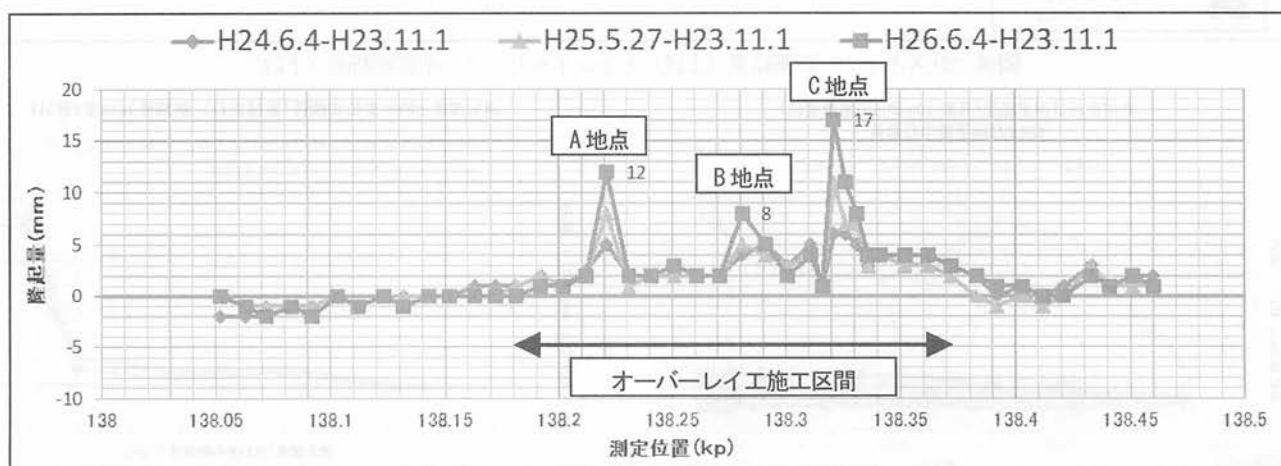


図-3 路面縦断測量結果 (数値は、平成23年11月1日からの隆起量)

な結果を示した。

図-3の両矢印部ではアスファルト舗装によるオーバーレイ工が施工されているが、路面はその区間の3箇所（図-3のA～C地点）において顕著な隆起を示し側方への連続性がないことが分かる。また、これら3箇所では年々隆起し続けており、その隆起速度は年3.1～6.6mmであった（表-1）。これらの値はNEXCO設計要領³⁾における補修ランクCに相当するものである。

(2) 3Dスキャナー計測

3Dスキャナー計測は、オーバーレイ工施工区間の路面を対象として実施した。昨年の計測データで作成した等高線と本年のそれとを重ね合わせて、等高線が乱れて重ならない部分を着色し図化した（図-4）。

路面縦断測量において顕著な隆起が認められた3箇所では、等高線の乱れが大きく見られ、その前後の部分でも乱れが生じていた。

トンネルセンターにおける地質縦断図と並べて比べると、隆起が顕著なA地点およびB地点では主に緑色凝灰岩が、C地点では凝灰質砂岩が分布しており、全体に小断層や変質粘土を多く挟み破碎されていた。A地点～B地点間には泥岩が分布しているが、その部分での隆起や等高

表-1 隆起量と平均隆起速度

隆起箇所	隆起量* mm	平均隆起速度 mm/年	備考
A地点	11～13	4.2～5.0	中分側に地中変位計設置
B地点	8	3.1	
C地点	17	6.6	路肩側に地中変位計設置

*隆起量は、平成23年11月1日から平成26年6月4日まで946日間の累積隆起量である。

線の乱れは無く、硬質で健全な泥岩の分布が予想される。

(3) 地中変位

平成25年5月に路面下・鉛直方向に地中変位計（延長10.0m）を2箇所を設置し、約1年間の観測値を取得した。

A地点の深度2m～路面までの間で、3.5mmほどの隆起変位が発生しているのが認められた（図-5、図-6）。深度2m以深での変位はほとんど発生していなかった。

なお、図-5では平成25年10月頃までは変位が単調増加していたが、平成26年1月にかけて沈下傾向を示した。

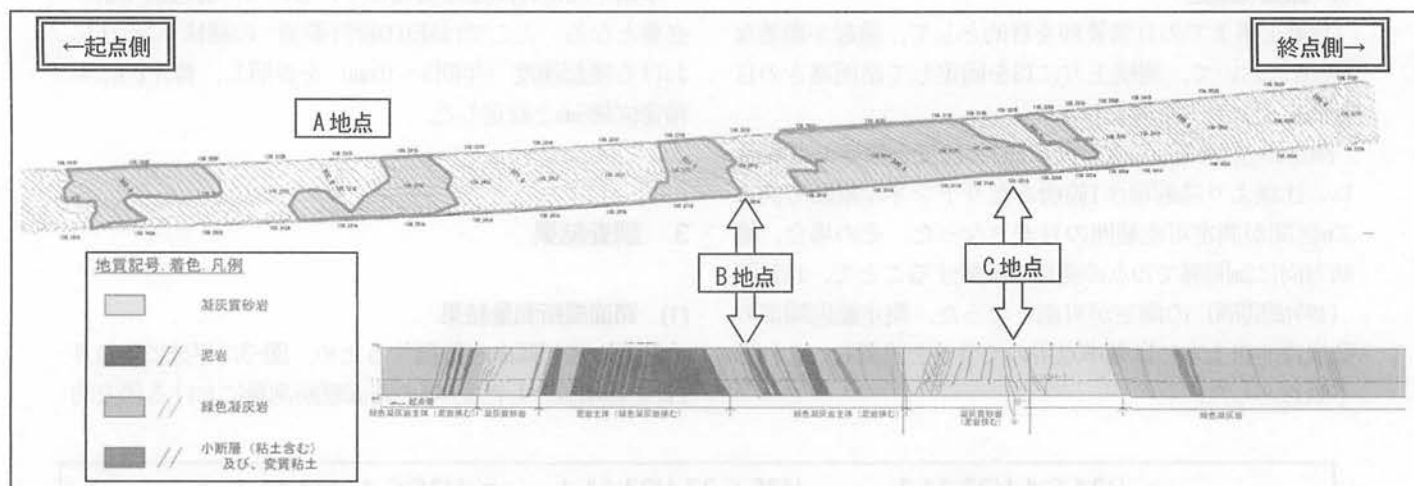


図-4 3D スキャナー計測結果（上段）とトンネルセンター地質縦断図（下段）

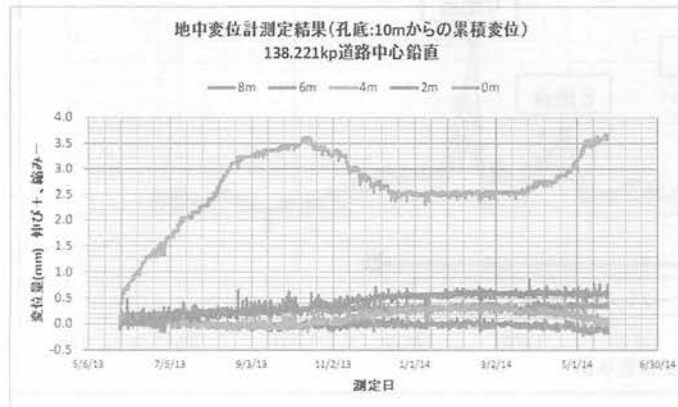


図-5 A地点における地中変位（累積変位）の経時変化

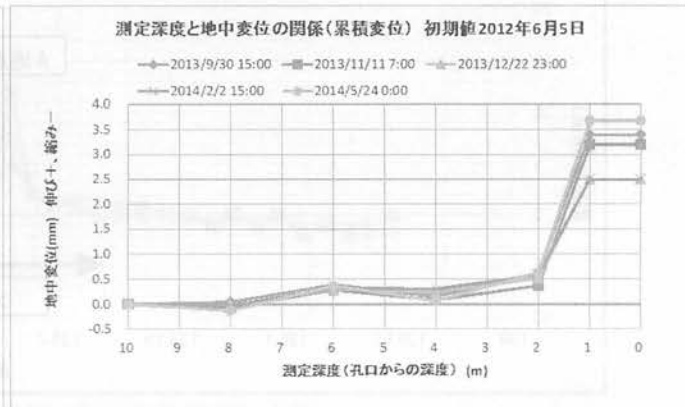


図-6 A地点における地中変位（累積変位）の深度依存性

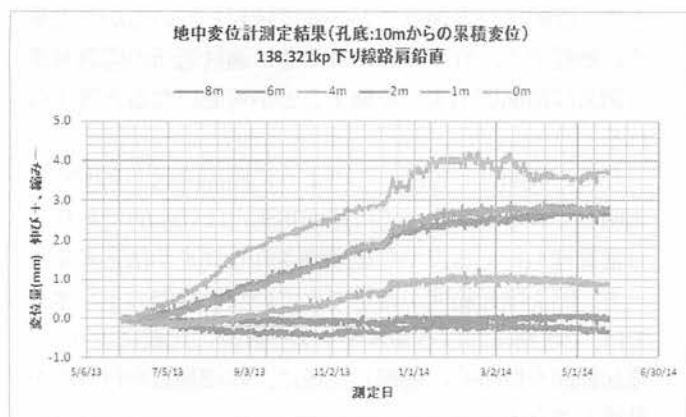


図-7 C地点における地中変位（累積変位）の経時変化

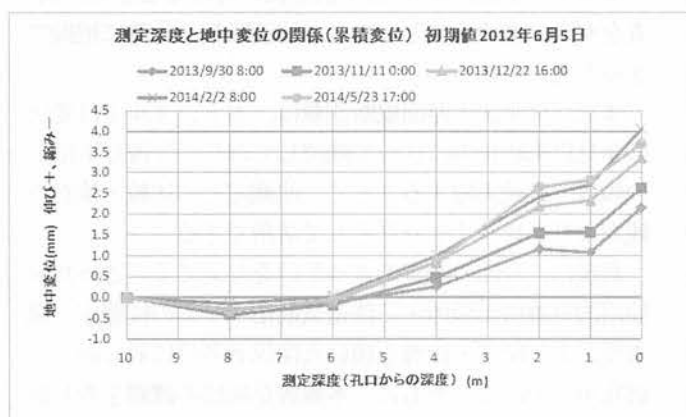


図-8 C地点における地中変位（累積変位）の深度依存性

平成26年4月頃までは一定値を示したのち、6月にかけて徐々に隆起傾向を示していた。

一方、C地点では深度6m～路面までの間で約4mmの隆起変位が発生していた（図-7、図-8）。深度6m以深では、変位はほとんど発生していなかった。

なお、図-7では平成26年2月頃までは変位が単調増加していたが、その後は若干の変動を伴いながら一定値を示した。平成26年6月ごろは、路面付近で若干の増加傾向を示すのに対し、深度1m以深では一定値ないし若干の減少傾向を示していた。

(4) 路面TS測定

平成26年6月下旬にTSを設置して以降、約2ヶ月間の測定データを取得した。これらのデータはWeb配信が可能であり、現地赶赴してデータを回収することが無く、データ解析も自動化を実現した。以下に、9月1日0時までの各地点の累積変位量を表-2に示す。

いずれの地点でも管理基準値（累積変位量5mm）未満での変位であったが、各地点とも概ねトンネル縦断方向に広がらず、局所的な隆起に留まっている傾向が認められた。

A地点では、測定範囲の中心部には横断方向に顕著な隆起が認められ、最大2.9mmの隆起変位を観測した。測定範囲の端部ほど変位量は小さくなり、誤差範囲内の変

表-2 各地点における路面TS測定結果（上段：A地点、中段：B地点、下段：C地点）L側は下り線側、R側は上り線側を示す。隆起を赤色で、沈下を青色で示す。黒色部はTS直下の地点で測定不可の箇所である。表内の数値の単位はmmである。

距離/m	LL	LC	CL	RC	RR
207	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
209	0.0	0.1	0.2	0.1	-0.2
211	0.2	0.5	0.5	0.6	0.2
213	0.8	1.0	0.7	0.4	-0.3
215	0.8	1.1	0.7	1.2	0.4
217	1.7	1.6	1.7	1.0	1.7
219	1.2	1.5	1.7	2.5	1.5
221	2.5	2.3	2.9	1.8	
223	2.3	2.0	1.7	1.3	2.4
225	0.9	1.1	0.4	0.7	0.0
227	0.1	0.4	0.7	0.4	0.4
229	0.4	0.9	0.1	0.6	0.1
231	0.3	0.8	0.4	0.4	0.3
233	0.2	0.5	0.1	0.3	0.0
235	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1
237	-0.1	0.6	0.1	0.3	-0.5

距離/m	LL	LC	CL	RC	RR
307	1.1	-0.7	-0.4	0.5	0.7
309	0.3	-0.4	0.5	0.1	0.6
311	0.6	-0.1	-0.5	0.8	-0.1
313	0.4	-0.1	0.0	0.0	0.0
315	0.5	-0.1	-0.1	0.4	-0.3
317	0.9	-0.3	0.4	0.3	0.4
319	0.9	-0.3	0.3	0.1	0.6
321	0.2	-0.3	0.6	0.2	
323	-0.1	-0.3	0.1	0.1	0.3
325	0.2	-0.1	0.0	0.3	0.4
327	0.5	0.5	0.3	0.3	-0.1
329	0.5	0.5	0.1	0.4	0.0
331	0.2	0.6	0.2	0.2	-0.1
333	0.5	0.8	-0.3	0.3	0.1
335	0.2	0.9	0.7	0.5	0.0
337	0.2	1.1	1.1	0.6	0.5

距離/m	LL	LC	CL	RC	RR
307	-0.1	-0.3	-0.6	-0.4	-0.4
309	-0.5	-0.1	-0.6	-0.3	-0.6
311	0.0	-0.6	-0.8	-0.4	-0.9
313	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	-0.1
315	1.4	0.7	0.9	1.1	0.6
317	2.0	0.8	1.1	1.1	1.8
319	0.8	0.5	1.9	1.7	1.4
321	0.9	0.4	1.7	1.2	
323	1.1	0.4	0.6	2.4	2.2
325	2.6	0.8	1.0	0.9	1.0
327	1.1	0.5	0.2	0.3	1.0
329	-0.2	-0.3	0.0	0.0	0.1
331	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6
333	0.5	0.4	0.0	-0.1	-0.2
335	0.0	0.5	0.7	0.7	0.6
337	0.0	0.5	0.5	-0.1	-0.1

動となっていた。

B地点では、最大1.1mmの隆起変位が測定範囲の両端部に見られるが、全体に変位量は大きくないため、隆起・沈下の傾向が他の2箇所と比較して不明瞭であった。

C地点では、縦断方向に隆起と沈下を繰り返しており、

測定範囲の中心部には横断方向に顕著な隆起が認められた。最大の隆起変位は2.6mmであった。測定範囲の端部ほど変位量は小さくなり、誤差範囲内の変動となっていた。

4. まとめ

今回得られた調査結果を総括すると、以下のとおりであった。

- ・路面縦断測量により、顕著な隆起が3箇所で見られ、個々の隆起箇所では側方への連続性が乏しかった。
- ・隆起は現在もなお継続中であり、最近3年間の隆起速度は年3.1～6.6mmであった。
- ・路面の3Dスキャナー計測により、顕著な隆起を路面縦断測量と同様に3箇所で見つけた。
- ・隆起している3箇所には、新第三紀中新世の緑色凝灰岩と凝灰質砂岩が分布していた。
- ・地中変位計による地山の変動は、緑色凝灰岩部（A地点）では深度2mより浅い部分で最大約3.5mm、凝灰質砂岩部（C地点）では深度6mより浅い部分で最大約4mmの変位を示していた。
- ・自動化を実現した路面TS測定により、測定から解析作業までを効率化できた。
- ・路面TS測定のこれまでの結果、設置以降約2ヶ月で最大2.9mmの変位を見つけたが、管理基準値未満であった。

以上の結果より、路面隆起は極めて局所的で側方への連続性が乏しいため、対策工事の必要な箇所は散点的ではあるが限定される。

今後、路面の変状対策工事を行うに当たり、対策工施工前の路面の隆起速度を把握すること、また対策工施工後の変位の有無を把握することは、対策工の必要性や有効性を判断する上で重要であると考えられる。

今回は、対策工事までの間、路面TS測定による路面高さの常時自動測定を実現した。これにより、対策工施工前の隆起速度を管理できる他、測点を豊富に配置するこ

とで、面的にどの地点でどの程度隆起しているかが定量的に把握でき、有事の際には早急に適材適所の応急対策（例えば路面切削工）を施すことが可能になると考えられる。

今後の展開としては、このように路面隆起が局所的に判明しているトンネルでは路面TS測定は効率的であり、日常管理も行える点で今後期待される測定手法と考える。一方、路面隆起範囲が確定できていない段階のトンネルでは、2時期における3Dスキャナー計測の比較により、隆起範囲を概略的に把握した後に、詳細調査を行うのが最適と考える。

よって、上記に挙げた2手法を使い分けることで、調査を有効に進めることができ、路面隆起を的確に把握できると考えられる。

また、従来法の路面縦断測量は、本トンネルでは変状の発見以来約16年に亘って継続しており、今後も年1回の頻度で継続実施することで、他測定との比較・検討の観点よりクロスチェックとして活用できる。

最後に、今回の調査のきっかけを与えてくださった気仙沼国道維持出張所・三陸道気仙沼チームの佐藤定夫調査役および助言・指導を頂いた関係者各位に対し記して御礼申し上げるとともに、本報告が同様の課題を取り扱うトンネル技術者の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 山田隆昭, 中田雅博, 殿垣内正人, 大津敏郎: 高速道路トンネルの大規模修繕に関する検討, トンネルと地下, Vol.45, No.8, pp.39-48, 2014.
- 2) 安田賢哉, 菊池慎司, 鶴原敬久, 宮沢一雄, 佐藤定夫: 路面隆起が徐々に進行する供用中の高速道路トンネルの地山特性について, 第49回地盤工学研究発表会発表講演集 (DVD-ROM版), pp.1299-1300, 2014.
- 3) 東日本高速道路㈱: 設計要領第三集 (1) トンネル本体工保全編 (変状対策), 2012.