

既設トンネルの変状の進行と作用荷重に関する考察

(国研)土木研究所 正会員 吉岡知哉, 砂金伸治, 石村利明

1. はじめに

道路トンネルでは、供用時に要領等に基づいて定期的に点検を実施し、変状の発生の有無やその程度を管理し、必要に応じて対策を実施している。しかし、供用後に覆工や路面に外力によるひび割れや盤ぶくれ等が発生している例も散見されている。これらの変状は時間の経過とともに進行していくものもあり、そのメカニズム等も議論されているが、通常の施工段階や点検段階で得られる範囲のデータのみから変状の進行を詳細に議論することには限界があると考えられる。筆者らはこれまで矢板工法によって建設されたトンネルにおいて、変状の発生状況や地山挙動に関して長期にわたって観察・計測を行ってきた。本稿では、継続して得られた計測結果を基に変状の進行を分析するとともに、計測期間内で覆工に作用した地山からの外力を作用荷重の増分として捉え、その値と地山の変形の状況および覆工に現れる変状の関連性に関する検討結果を報告する。

2. 検討方法

(1) 対象トンネルの概要

図-1 に対象としたトンネルのイメージを示す。対象トンネルは、過去よりトンネル内で顕著な盤ぶくれ区間が存在するとの情報あった東日本に位置するトンネルであり、延長 915m と報告される 2 車線の廃道の道路トンネルである¹⁾。本トンネルでは顕著な盤ぶくれの区間が 3 ヶ所存在し、それぞれ①～③と称する。

(2) 観察・計測データの分析

図-1 に示した区間①～③に対して 7 カ年にわたり計測等によりデータを収集し、対象トンネルの変形の分析を行った。なお、計測等は概ね毎年 10 月～11 月に実施している。また、地山特性に関する調査として、2 年目の時点で区間③において深度 15m の水平方向および鉛直方向 2 ヶ所の $\phi 66\text{mm}$ のボーリングを実施した。その際、鉛直方向のボーリング孔内に変位計を 6 点設置し、2 年目以降の地中変位を計測した。さらに、トンネル全体の挙動を把握する目的で区間①～③内の 1 断面ずつで内空変位(上半水平方向)を計測するとともに、その区間で路面の縦断方向の変位を水準測量にて計測した。本稿では地中変位と内空変位をほぼ同一断面で計測している区間③内の一断面を対象として取り上げて論じることとした。

(3) 骨組構造解析による覆工作用荷重の検討

周辺地山の長期的な変形に伴う内空側への変位に対し、対策工を検討する場合、覆工に作用する荷重やその増分の予測、また対策工を施す場合の長期的な変形を予測することは重要と考える。本稿では、7 カ年にわたり実施した計測等の結果から覆工に作用する荷重の概略値を骨組構造解析により算定した。

図-2 に解析モデルを示す。解析は、覆工への直接作用する荷重を把握するため、非線形バネを用いた骨組構造解析とし、実測された内空変位と合致するように鉛直荷重 P_v と水平荷重 P_h をトライアル計算により求めた。表-1 に解析ケースを示す。荷重のモデルは、卓越した側方向からの押出しに配慮し、側圧係数に関しては、 $k=1.0$ と既往¹⁾の解析結果を参考に $k=1.35$ として解析を行った。なお、当該トンネルでは、盤ぶくれは観測されているものの、インバートが設置されていないため、解析モデル上では、インバートを反映せずに解析を行っている。

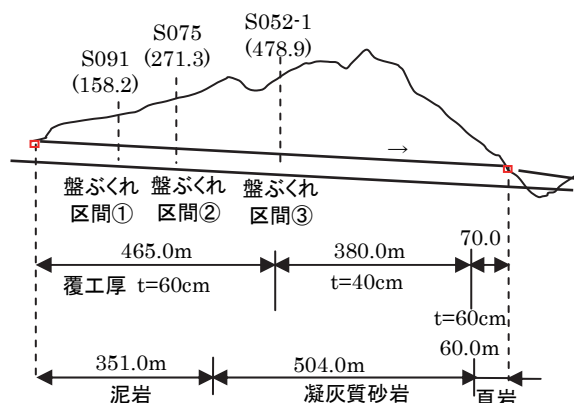


図-1 対象トンネル

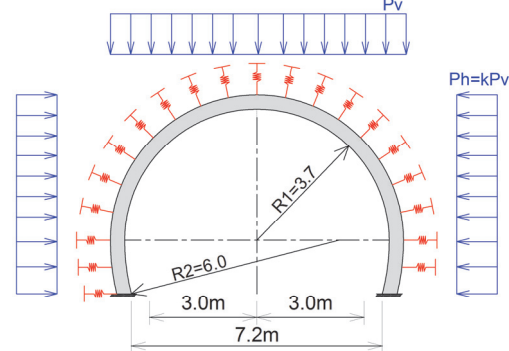


図-2 解析モデル

表-1 解析諸元

地山(破碎帯部)	
変形係数	6.0MPa
地盤反力係数	道路標準式方書 (下部構造編)
覆工コンクリート	
変形係数	22,000MPa
ポアソン比	0.2
厚さ	400mm～600mm
解析CASE	
CASE1: 側圧係数 $k=1.0$ ($P_h=kP_v$)	
CASE2: 側圧係数 $k=1.35$ ($P_h=kP_v$)	

3. 検討結果

(1) 観察・計測データに関する考察

図-3 に区間③の水準測量による路面高さを計測した結果、図-4 に内空変位の計測結果、図-5 に地質横断面図および地中変位の計測結果を示す。なお、値に関しては計測を開始した時点进行をゼロとしている。全体として2～3年目に著しく隆起・変位しており、隆起・変位速度として隆起量で約56 mm/年、内空変位で約6.7 mm/年(内空側)、地中変位で約46.7 mm/年(GL-4m)と最大値を計測している。これは、2年目に実施したボーリングに伴い、局所的な地山の乱れと削孔水による影響によって変位が促進された可能性があると考えられる。また3～5年目にかけて、速度が収束傾向にあったが、5年目以降に速度が増加傾向に転じており、変形が収束したと判断できず、また同時期には湧水も見られたことから、今後はその関連性の検討が必要である。

区間③のひび割れ密度は、1～2年目に0.357 mm/m²、2～3年目に0.400 mm/m²、3～4年目に0.404 mm/m²と新たな変状ならびに進展が確認されたが、4年目以降は確認されていない。また、顕著な隆起・変位が確認された2～3年目に新たにひび割れの発生が10ヶ所確認されており、変形速度と構造の影響についても、引き続き調査・分析が必要である。また、図-5 より断層破碎帯相当の地質(粘土、角礫)がトンネル路盤から右方向(斜め45度程度)にみられ、その地質側のS L打ち継ぎ目付近では7カ年で計10ヶ所(圧ざ:3ヶ所、はく離:5ヶ所、はく落:2ヶ所)の新規の変状が確認されており、継続的に作用する地山からの押出しの影響を受けていると考えられる。

(2) 骨組構造解析による覆工作用荷重の検討

続いて、ケース1およびケース2の解析結果を述べる。7カ年の累積荷重増分は、ケース1で575kN/m²、ケース2で238kN/m²となる。また顕著な隆起・変位が確認された2～3年目の最大水平荷重/年は、157kN/mm²(ケース1)、65kN/m²となり、これは土被りに換算すると0.8D～0.3D相当の水平荷重が覆工コンクリートに作用したこととなる。ボーリングの結果(図-5 参照)から側方ならびに下方約10m(1D相当)に断層破碎帯相当の地質が位置していることが判明しており、S L打ち継ぎ目周辺の変状傾向からも、断層破碎帯相当の地山厚さに関連して、変形や変位の発生に至っている可能性がある。

4. おわりに

本稿では、継続して得られた計測結果を基に計測期間内で覆工内に作用した外力を荷重増分と捉え、骨組構造解析により予測したとともに、荷重の増分と地山の変形の状況および覆工に現れる変位の関連性について考察した。今後は、路盤の隆起、内空変位、地中変位の計測は継続的に行い、継続して変位の発生との関連や、変位の発生深度が変化するかどうかといった検討とともに、トンネル構造の状態(盤ぶくれ、押出し)を考慮した数値解析等を行い、地山およびトンネルの長期的な変形等の現象の解明を行う予定である。

参考文献

- 1) 砂金伸治, 河田皓介, 日下敦, 淡路動太, 石村利明: 既設トンネルの変位の進行および対策工の効果に関する考察 第43回 岩盤力学に関するシンポジウム講演集 pp.304-307, 2015

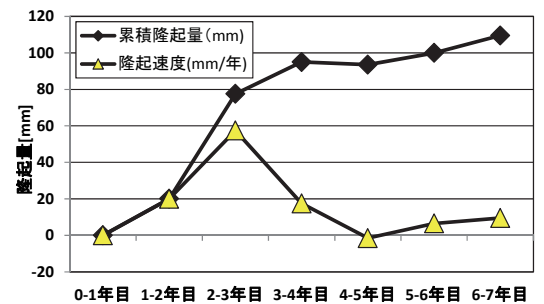


図-3 路面高さの計測結果

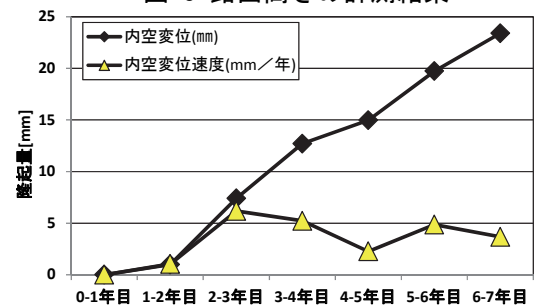


図-4 内空変位の計測結果

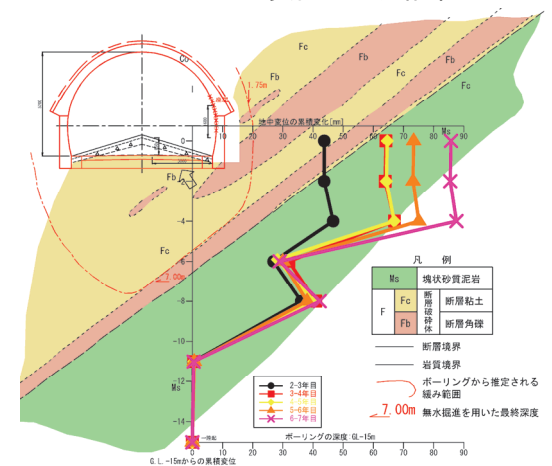


図-5 地中変位の計測結果