

外力による変状を受けた山岳トンネルの変形速度と対策時期について

奥井 裕三^{1*}・太田 裕之²・國村 省吾²・北村 元³・西村 和夫⁴

¹応用地質株式会社 九州支社 (〒811-1302 福岡県福岡市南区井尻 2-21-36)

²応用地質株式会社 エンジニアリング本部 (〒331-8688 さいたま市北区土呂町 2-61-5)

³株式会社 高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

⁴首都大学東京 都市環境学部 都市基盤環境コース (〒192-1397 八王子市南大沢 1-1)

*E-mail: okui-yuzo@oyonet.oyo.co.jp

本研究では、外力による変状が発生した山岳トンネルに対して、補強対策を実施する時期の目安を得ることを目的として、既往事例調査と簡易な数値解析を実施した。その結果、次のことがわかった。1) 側壁の押し出し変状が発生するトンネルでは、対策工の適用は、全壁面変位量で概ね30mm以上で実施されており、天端部に圧縮が発生している場合が多い。2) 盤ぶくれが発生したトンネルでは、同時に側壁の押し出しが発生する場合と、そうでない場合があり、盤ぶくれが発生しても覆工は健全な場合がある。3) 補強対策が必要になるまでの余裕時間を評価するためには、変形速度だけでなく変状発生時期と変状発生からの全変位量の把握が必要である。

Key Words : damaged mountain tunnel, deformation speed, countermeasure, squeezing ground, swelling ground, case study method, numerical analysis

1. はじめに

山岳トンネルの変状現象には、大きく分けて外力による変状、材質劣化による変状、漏水による変状がある¹⁾。

このうち、外力による変状については、図-1の膨張性土圧による変状の模式図に示すように、覆工の変形や、ひび割れ、路面や軌道などに隆起が発生し進行する場合がある。変状が進行するとトンネル自体の抵抗力(耐荷力)が低下し、それが原因となって、さらなる地山の緩みや覆工の損傷を引き起こすなどの悪循環に陥る場合がある。このような外力による変状に対しては、トンネルの耐荷力の低下や地山の緩みを極力少なくするよう早急に補強対策工を実施する必要がある。しかし、供用中の鉄道や道路のトンネルは、迂回路が確保できない等の理由から抜本的な対策工事が容易に実施できず、計測や観察等の監視を続けながら供用しているトンネルも少なくない。

本研究では、外力により変状が発生した事例を収集、整理、分析することで、変状発生から対策までの余裕時間を把握し補強対策を実施する時期の目安を得ることを目的として、既往事例調査と簡易な数値解析を実施した。その結果、補強対策が必要になるまでの余裕時間を評価

するためには、変形速度だけでなく変状発生時期と変状発生からの全変位量を把握することが必要であることがわかった。

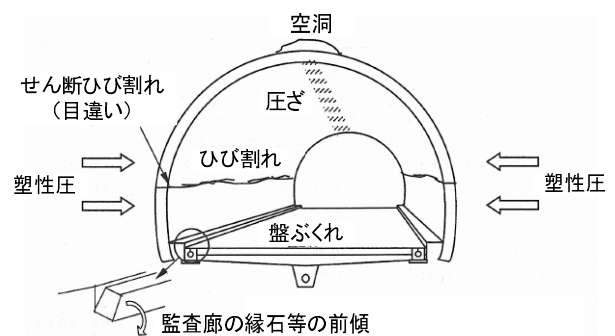


図-1 膨張性土圧によるトンネルの変状の模式図²⁾を加筆修正

2. 外力によるトンネル変状事例の収集と分析

(1) 外力によるトンネル変状事例の収集・整理

外力によるトンネル変状事例^{4)~30)}を収集し、図-2に示すように、変状の発生時期、計測された内空変位や路面隆起などの変形速度や全変位量、対策工の施工を開始し

た時期、変状箇所の主な地質状況、対策直前のトンネル覆工の状態について整理した。

ここで、変状の発生時期と変形速度について、一部に不明な事例があったため、以下のように対処した。

変状の発生時期については、次の2つ仮定を設けた。

仮定 1：インバートがある場合にはインバートが損傷した時点を変状の発生時期とする。

仮定 2：仮定1 以外の場合はトンネルが完成した時点を変状の発生時期とする。

一方、変形速度については、次の3つ仮定を設けて算出した。

仮定 3：全変位量が記載されている事例では、変状発生から対策までの期間から推定した。

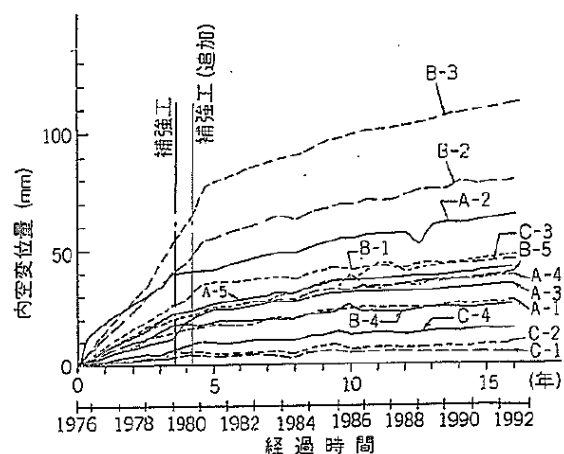
仮定 4：全変位量が不明な場合で文献中に変形速度の記載がある場合には、文献中に記載されている数値を用いた。

仮定 5：文献中に直接記載のない場合には、計測期間中の平均的な速度を用いた。

また、図-2のように複数断面の計測結果がある場合は、文献中で最も情報が多く得られる断面を、そのトンネルの代表事例として整理した。

表-1に内空変位が卓越した事例を、表-2に盤ぶくれが卓越した事例を整理した結果を示す。また、変状の進行を表す変形速度の指標として内空変位速度と盤ぶくれ速度に着目し、前者に関しては壁面変位量（内空変位量の1/2）を用いた。

トンネル名：六十里越トンネル
トンネル完成年月：1971年2月
変状発生時期：建設直後から発生
変状発見時の状況：盤ぶくれ、側壁押出し



注)A-1～C-3は計測、対策を実施した各断面の計測結果
図-2 内空変位計測結果の例(六十里越トンネル)⁴⁾

なお、変形速度と対策時期の関係については文献³⁾で変形速度と対策の必要性を判断したと想定される時期に着目して整理した経緯がある。しかし今後、他のトンネルの対策を考える上では、圧ざやせん断ひび割れの発生など対策直前のトンネルの状態の方が、より重要な情報であると考え、対策工の施工を開始した時期と変形速度との関係に着目して整理し直した。

表-1 壁面の変形速度と対策時期の関係

No.	トンネル名	断面形状 (建設工法)	変状発生 時期	対策時期	対策までの 時間 (年)	変形速度 (壁面変位) (mm/年)	主な対策工	変状箇所の主な地質	対策を決定した時のト ンネルの状態	文献 番号
1	六十里越 トンネル	鉄道、単線 (矢板)	1970	1979	9.0	7.9	側壁ロックボルト	新第三紀中新世の緑色凝灰岩、凝灰角礫岩、流紋岩	天端の圧ざ、肩部縦断ひび割れ、覆工巻厚不足、天端覆工背面空洞あり	4), 5)
2	田子倉 トンネル	鉄道、単線 (矢板)	1982	1988	6.0	5.4	側壁ロックボルト	新第三紀中新世の緑色凝灰岩、浮石質凝灰岩、流紋岩	天端の圧ざ、アーチ肩、側壁縦断ひび割れ	4)
3	鳥越 トンネル	鉄道、単線 (矢板)	1966	1977	11.0	5.0	側壁グラウンドアンカー	第三紀凝灰岩、泥岩(モンモリロナイト含む)	天端の圧ざ、側壁打継目のはく落、側壁脚部側溝変形	6), 7)
4	仙岩 トンネル	鉄道、単線 (矢板)	1966	1996	30.0	1.1	側壁ロックボルト	花崗閃緑岩の破砕帯	天端の圧ざ	8), 9)
5	大原 トンネル	鉄道、単線 (矢板)	1955	1993	38.1	0.9	側壁ロックボルト、内巻工 ※インバート有区間	領家変成岩類の片麻岩状黒雲母花崗閃緑岩の断層破砕帯粘土	天端のせん断ひび割れ	10)
6	岩瀬 トンネル	鉄道、単線 (矢板)	1989	1991	2.2	5.0	ストラット	新第三紀中新世の船川層の黒色泥岩	ひび割れ、供用は1921年、路盤低下工事で変状発生	11)
7	神居 トンネル	鉄道、復線 (矢板)	1987	1996	8.4	8.7	インバートと側壁の接続部の 改築、グラウンドアンカー	粘土状～葉片状蛇紋岩、破砕状黒色片岩	天端の圧ざ、側壁の打継目健全	12)
8	塚山 トンネル	鉄道、復線 (矢板)	1966	1972	5.9	18.2	インバート	新第三紀鮮新世の泥岩(西山層等)	天端の圧ざ	13)
9	東栗子 トンネル	R13、2車線 (矢板)	1966	1997	31.0	0.0	NATM改築	新第三紀中新世の栗子層の砂岩・泥岩互層中斜長石流紋岩が貫入	天端の圧ざ	14)
10	関 トンネル	R25、2車線 (矢板)	1965	1976	10.6	8.0	インバート	風化花崗岩	アーチ肩部の段差を伴うひび割れ	15)
11	日暮山 トンネル (上り線)	高速、2車線 (NATM)	1992	1993	1.6	20.0	内面補強工	新第三紀中新世の井戸沢層の泥岩・砂岩	ひび割れ(覆工巻厚800mm)	16)

注) 表中の断面形状(建設工法)の「(矢板)」は矢板工法で建設されたトンネル、「(NATM)」は標準工法で建設されたトンネル。

表-2 盤ぶくれの変形速度と対策時期の関係

No.	トンネル名	断面形状 (建設工法)	変状発生 時期	対策時期	対策までの 時間(年)	対策直前の 盤ぶくれ量 (mm)	変形速度 (盤ぶくれ) (mm/年)	主な対策工	変状箇所主な地質	対策を決定した時のトン ネルの状態	文献 番号
1	六十里 トンネル	鉄道、単線 (矢板)	1971	1979	7.9	38.4	6.0	ロックボルト	新第三紀中新世の緑色凝灰 岩、凝灰角礫岩、流紋岩、	天端の圧さ、肩部縦断ひび割 れ、覆工巻厚不足、天端覆工 背面空洞あり	4)、5)
2	田子倉 トンネル	鉄道、単線 (矢板)	1971	1988	17.0	12.0	0.7	ロックボルト	新第三紀中新世の緑色凝灰 岩、浮石質凝灰岩、流紋岩	天端の圧さ、側壁縦断ひび割 れ、天端覆工背面空洞あり	4)
3	神居 トンネル	鉄道、復線 (矢板)	1987	1996	8.4	370.0	43.9	インバートと側壁の接続 部の改築、グラウンドアン カー	粘土状～葉片状蛇紋岩、破碎 状黒色片岩	インバート損傷、天端の圧さ、 側壁の打継ぎ目は健全	12)
4	礼文浜 トンネル	鉄道、復線 (矢板)	1975	1981	5.3	90.0	15.0	インバート、ロックボルト、 梁板コンクリート	新第三紀中新世浦層群の変 朽安山岩、凝灰岩	胴切りひび割れが散見される 程度	17)、 18)、 19)
5	月山第一 トンネル	R112、2車線 (矢板)	1981	1998	17.0	100.0	3.0	インバート	新第三紀中新世の凝灰角礫 岩、安山岩	ひび割れ	20)
6	関 トンネル	R25、2車線 (矢板)	1965	1974	9.0	170.0	18.9	インバート	風化花崗岩	アーチ肩部の段差を伴うひび 割れ	15)
7	仙岩 トンネル	R25、2車線 (矢板)	1976	1998	22.0	100.0	4.5	インバート	泥岩、凝灰岩(粘土化)	ひび割れ	21)、 22)
8	黒岩 トンネル	R231、2車線 (矢板)	1978	1987	9.0	75.0	8.3	インバート、側壁ロックボ ルト	岩尾火山噴出物、安山岩(熱水 変質)、火山礫凝灰岩(熱水変 質)	側壁のひび割れ	23)
9	俵沢 トンネル (下り線)	高速、2車線 (NATM)	1990	1997	7.1	175.0	24.7	インバート	凝灰角礫岩、頁岩	ひび割れ	24)
10	うれしの トンネル (下り線)	高速、2車線 (NATM)	1990	1997	7.1	153.0	21.6	インバート、側壁マイクロ パイル	凝灰角礫岩、凝灰岩、安山岩 (熱水変質)	ひび割れ	24)、 25)
11	浅間山 トンネル (下り線)	高速、2車線 (NATM)	1993	1998	5.7	110.0	19.4	インバート、側壁ロックボ ルト	安山岩質凝灰岩類、泥岩の複 雑な地質構造でクラッキー	不明	26)
12	一本松 トンネル (下り線)	高速、2車線 (NATM)	1993	2013	20.7	200.0	9.7	インバート	新第三紀中新世の小川層、砂 質凝灰岩、泥質凝灰岩、凝灰 質礫岩	ひび割れ(胴切り、覆工側壁 縦断)	27)、 28)
13	日暮山 トンネル (下り線)	高速、2車線 (NATM)	2002	2013	10.8	50.0	22.7	インバート改築	安山岩質凝灰岩類、泥岩	インバート損傷、覆工側壁縦 断ひび割れ(開口幅3mm)	29)
14	釜山 トンネル (上り線)	高速、2車線 (NATM)	2008	2008	0.02	380.0	13870.0	インバート支保工(吹付 C、H鋼)、インバート	新第三紀中新世の流紋岩質凝 灰岩(熱水変質)	インバート損傷、覆工側壁縦 断ひび割れ(開口幅0mm)	30)

注) 表中の断面形状(建設工法)の「(矢板)」は矢板工法で建設されたトンネル、「(NATM)」は標準工法で建設されたトンネル。

(2) 外力によるトンネル変状事例の分析

表-1のおよび表-2に示す事例のうち、インバートの損傷事例(表-2 No.3, 13, 14)を除いた事例について、変形速度と対策時期の関係を図-3～図-5に示す。その結果、文献³⁾にも示されているように、変形速度と対策時期には、次の関係があることがわかった。

- 1) 変形速度が大きいほど、変状発生から対策実施までの時間が短い。
- 2) 変形速度が小さくても、経年が長いと補強対策工が適用されている。
- 3) 変状対策を開始した時点での全変位は概ね30～120mmである(全17事例の内11事例がこの範囲に入る)。
- 4) しかし、インバートの無いトンネルで発生した盤ぶくれ11事例のうち4事例が120mm以上の全変位量であり、盤ぶくれが内空変位より卓越する場合の方がより大きな変形量を許している。

そこで、以下に示すように内空変位が卓越した事例と盤ぶくれが卓越した事例とに分け、トンネルの変状状況とあわせて整理した。

a) 内空変位が卓越した変状事例について

内空変位が卓越した変状事例について、図-4より次のことがわかった。

- 1) 圧さはトンネル形状や巻厚に留意する必要があるが、壁面変位30mm以内で発生している可能性が高い。
- 2) 壁面変位30mm以上の対策事例があるが、ほとんどの事例で天端に圧さもしくはアーチ肩部にせん断ひび割れが発生している。
- 3) 2)より圧さ発生後、対策までに時間が経過しているものと推察される。

b) 盤ぶくれが卓越した変状事例について

盤ぶくれが卓越した変状事例について、図-5より次のことがわかった。

- 1) 盤ぶくれによる隆起量が、概ね30～200mm程度未満で対策が実施されている。
- 2) 事例における全変位量の最大値の200mmは、道路における将来的な維持管理余裕(オーバーレイ)として見込まれている200mmと整合する値である。
- 3) 圧さが発生している事例では、そうでない事例に比べて、全変位が小さい段階で対策が実施されている。
- 4) 3)の圧さの発生事例では、盤ぶくれと同時に内空変位も発生しており、覆工の状態を見て対策時期が判定されたと推察される。

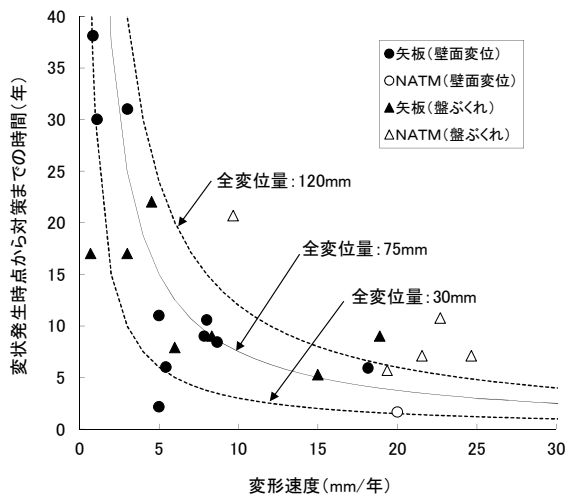


図-3 変形速度と対策時期の関係

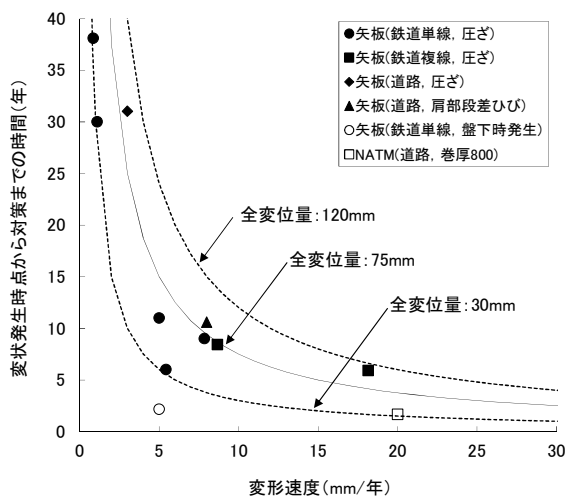


図-4 壁面の変形速度と対策時期の関係

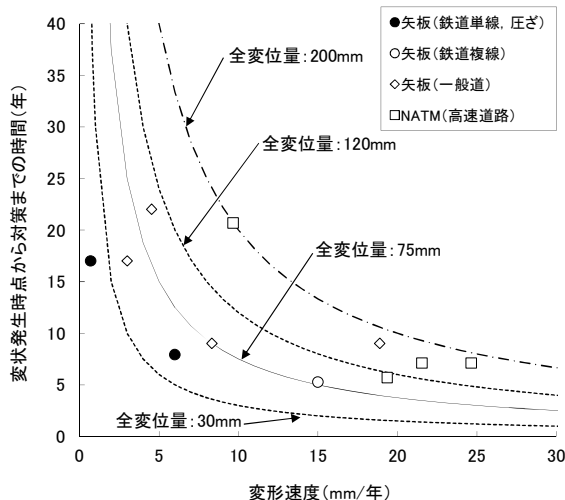


図-5 盤ぶくれの変形速度と対策時期の関係

3. トンネル覆工の耐荷力と壁面変位について

前章では既往の変状対策事例における変位と対策までの時間について既往文献のデータによる分析を行ったが、ここでは、圧が発生する時の壁面変位量を明らかにするために、以下に示す数値解析を実施した。

(1) 数値解析手法

数値解析は、設計要領³¹⁾などに示されている骨組み解析によるひび割れ進展解析で実施した。

この方法は、骨組み解析を基本として、徐々に荷重を増加させて、曲げにより引張強度に達した節点にヒンジを挿入し、さらに荷重を増加させ、圧縮ひずみが 3500μ になった時点を圧縮損傷とみなして解析を終了する方法である。

なお、解析には富士通エフ・アイ・ピーのDEFTRACKを使用した。

(2) 覆工と地山のモデル化

トンネルの形状は上半半径 $R=5\text{m}$ の 2R 馬蹄形、トンネル中心高さ 2.5m 。覆工コンクリートの弾性係数 E は、設計基準強度 18N/mm^2 として文献³²⁾より $E=22,000\text{N/mm}^2$ とした。また、地山の変形係数 D は地山分類 DII 相当とし、文献³³⁾より、 $D=150\text{MPa}$ として地盤ばねにより表現した。地盤ばね定数は文献³⁴⁾の方法で算出した。外力として、簡単のために、水平力のみを与えた。なお、解析では、事例の多かった矢板工法を上下半の打継目にヒンジを設けたモデルとした。さらに、天端背面空洞有りの場合と無しの場合について解析を実施した。図-6に解析モデルを示す。

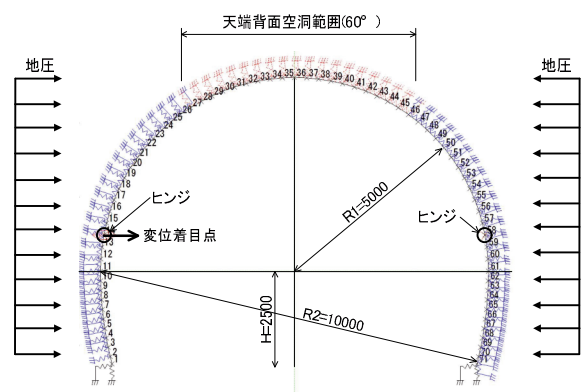


図-6 解析モデル

(3) 解析結果と考察

解析結果として、地圧と変形を図-7に示す。

図より、背面空洞の有無に関係なく、壁面変位が約 10mm で圧が発生しており、事例でみられた 30mm より小さな変位で圧が発生するという結果となった。

実際には、上下半の打継ぎ目のズレなどが発生している可能性があり、解析ではそのズレを考慮していないことから、概ね同じオーダーの変位と考えると、10～30mm程度の壁面変位、すなわち20～60mm程度の内空変位で天端に圧ぎが発生する可能性があると考えられる。

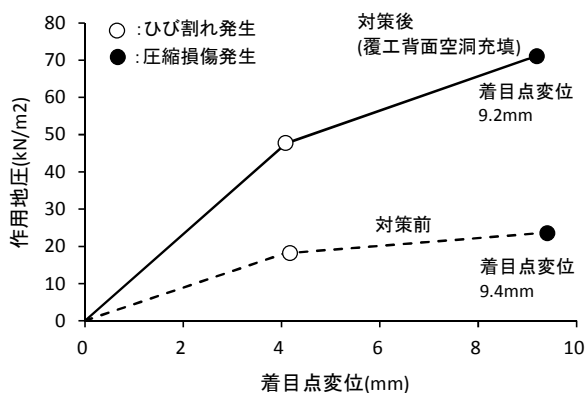


図-7 解析結果(作用地圧と着目点の変位の関係)

4. 考察

(1) 内空変位が卓越する変状について

内空変位が卓越する変状については、次の点に留意する必要がある。

- 1) 圧ぎはトンネル形状や巻厚に留意する必要があるが、壁面変位30mm以内で発生している可能性が高い。
- 2) 覆工のひび割れの状況や監査廊の前傾など、変状の発生が疑われる場合には、変状が発生していない箇所と横断面形状を比較し、その縮小量を把握する必要がある。
- 3) 2)のためには、変状発生が疑われる初期の段階から内空変位や断面形状を測定する必要がある。

(2) 盤ぶくれが卓越する変状について

盤ぶくれが卓越する変状については、次の点に留意する必要がある。

- 1) 盤ぶくれが発生しても、トンネルの覆工は健全な場合があることから、この変状を見落とす可能性があり、外観点検時には、路面や軌道の変形にも着目する必要がある。
- 2) 盤ぶくれと同時に内空変位が発生する場合には、覆工の構造的な安全性を優先して対策時期を検討する必要がある。
- 3) インバートが損傷したことで盤ぶくれが顕在化している場合もあることから、対策のためにはインバートの有無と損傷状況を確認する必要がある。

(3) トンネルの健全性評価における留意点について

現在の点検要領³⁹⁾などでは、外力による変状に対するトンネルの健全度を判定する目安として、ひび割れの幅と長さ、変形速度(表-3)が示されている。

しかし、本研究で示した知見より、これに加えて、全変位量も併せて把握する必要があるといえる。

このためには、トンネル完成時から内空変位や路面隆起を計測する必要があるが、全てのトンネルの各スパンで計測するのは現実的ではないため、応力解放による強度低下が速い岩盤中にあるトンネルについて、以下に示す事項を提案する。

- 1) 変状の発生が疑われる場合には、変状が発生していない箇所と横断面形状を比較し、断面に縮小傾向が見られる場合には、早急に内空変位の測定を開始すること。
- 2) 路面や軌道の標高値を完成時に出来形として計測しておくこと。

表-3 変形速度による判定の目安例³⁹⁾

対象箇所	部位区分	10mm/年以上	3～10mm/年	1～3mm/年	1mm/年未満	判定区分
		著しい	進行がみられる	進行がみられる～緩慢	緩慢	
覆工路面路肩	断面内					IIb～IIa
				○	○	IIa
			○	○	○	III
		○				IV

注)IIa, IIb：予防保全段階, III：早急措置段階, IV：緊急措置段階

4. まとめ

内空変位や盤ぶくれといった変状が進行する場合の変形速度と対策までの時期について、既往事例調査と数値解析を実施した。その結果を考察することで、外力による変状が進行するトンネルに対して、トンネルの健全性評価における留意点を提案した。

この研究で取り上げた個々の事例では、それぞれ変形速度が異なることから、今後は、変形速度の違いの原因や変状発生の可能性や程度を予測する方法など、緩慢に進行する盤ぶくれのメカニズムについて知見を深めたいと考えている。

参考文献

- 1) (公社)日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧(本体工編), p.28, 2015.6.
- 2) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社：設計要領, 第三集トンネル, トンネル本体工保全編(変状対策), p.36, 2015
- 3) 奥井裕三, 太田裕之：変形速度に着目したトンネル変状の実態と補強のタイミングについて, 土木学会第

- 58 回年次学術講演会, VI-059, pp.117-118, 2003.
- 4) 野澤伸一郎, 竹内定行, 伊藤忠八: 既設トンネルの膨圧を克服, 只見線六十里越・田子倉トンネル, トンネルと地下, 第 23 巻 10 号, pp.17-22, 1992.
- 5) 吉川恵也, 北川修三, 川上義輝, 馬場富雄: トンネル変状の傾向(2), 鉄道技術研究報告 No.1293, pp.24-30, 1985.
- 6) 山田一夫: ロックアンカ補強によるトンネルの活線改築, 東北本線鳥越トンネル, トンネルと地下, 第 9 巻 8 号, pp.15-21, 1978.
- 7) 財団法人, 鉄道総合技術研究所: 変状トンネル対策工設計マニュアル, pp.136-138, 1998.
- 8) 須藤慧, 相川信之, 秋山淳一: 田沢湖線仙岩トンネルの変状と対策, 日本鉄道施設協会誌, pp.36-38, 1997-1.
- 9) 財団法人, 鉄道総合技術研究所: 変状トンネル対策工設計マニュアル, pp.142-144, 1998.
- 10) 財団法人, 鉄道総合技術研究所: 変状トンネル対策工設計マニュアル, pp.158-160, 1998.
- 11) 財団法人, 鉄道総合技術研究所: 変状トンネル対策工設計マニュアル, pp.139-141, 1998.
- 12) 高木敏雄: 営業線トンネルの変状と対策, JR 北海道函館本線 神居トンネル, トンネルと地下, 第 28 巻 11 号 pp.7-11, 1997.
- 13) 片寄紀雄, 松本武海, 興石逸樹: 緩やかな膨圧現象と付き合って 30 年, JR 信越本線 塚山トンネル, トンネルと地下, 第 28 巻 3 号, pp.7-15, 1997.
- 14) 新田定雄, 川村信彦, 竹岡均, 布井彰治: 活線下での覆工打ち換え工事, 一般国道 13 号 東栗子トンネル, トンネルと地下, 第 32 巻 4 号, pp.13, 2001.
- 15) 林幸一, 御堂島章一, 中山博之: 変状トンネルの改築(1), 国道 25 号・関トンネル, トンネルと地下, 第 3 巻 3 号, pp.22-26, 1974.
- 16) 羽田勝, 滝沢和美, 木曾伸一: 超膨張性地山のトンネル施工ー上信越自動車道・日暮山トンネル I 期線ー, ハイウェイ技術 No.9, 1997.12.
- 17) 原田聡: ロックボルト補強トンネルの長期計測<室蘭本線礼文-大岸間礼文浜トンネル>, 鉄道土木・27-11, pp.703-707, 1985.
- 18) 朝倉俊弘, 馬場富雄, 高倉勉, 原田聡: 礼文浜トンネルの改築と長期計測, 土木学会第 40 回年次学術講演会 III-106, pp.211-212, 1985.
- 19) 吉川恵也, 北川修三, 川上義輝, 馬場富雄: トンネル変状の傾向(2), 鉄道技術研究報告 No.1293, pp.31-34, 1985.
- 20) 奥山英治, 斉藤信: 月山道路におけるトンネル補修補強工事について, 第 24 回日本道路会議一般論文集(B), p.194-195, 2001.
- 21) 大和恒哉, 東北地建管内のトンネル補修・改築の事例, 建設マネジメント技術, pp.20-24, 2000.10.
- 22) 二瓶益臣, 中曽根茂樹, 生形嘉良: トンネル覆工と路面変状の保全対策検討事例 (一般国道 46 号仙岩トンネル), 土木学会 土木技術者実践論文集 Vol.1, pp.23-31, 2010.
- 23) 鈴木哲也, 岩淵武, 林満: 黒岩トンネルにおける変状調査と対策, 第 33 回北海道開発局技術研究発表会, pp.45-50, 1990.
- 24) 下川多米男, 喜多孝次, 岩尾哲也: うれしの・俵坂トンネルの盤ぶくれ対策工事, ハイウェイ技術 No.9, pp.149-155, 1997.12.
- 25) 河野正博, 高卯和博: 供用トンネルにおける変状と対策, 長崎自動車道 うれしのトンネル, トンネルと地下, 第 30 巻 6 号, pp.15-22, 1999.
- 26) 中田正夫, 伊藤洋: 供用トンネルにおける変状と対策, 上信越自動車道 浅間山トンネル, トンネルと地下, 第 4 巻 4 号, pp.7-14, 2000.
- 27) 奥井裕三, 太田裕之, 早川泰史, 伊佐治晋: 緩慢に進行する盤ぶくれ現象の調査とトンネルの安定性評価に関する一考察, 土木学会 トンネル工学報告集第 20 巻/pp.85-92, 2010.
- 28) 鈴木雄吾, 岩永茂治: 通行止めを回避した新たなトンネル路面隆起対策技術の適用, 長野自動車道, 一本松トンネル, トンネルと地下, 第 45 巻 7 号, pp.7-18, 2014.
- 29) 丸山勝, 中野清人, 天野淨行, 下村哲雄: 61 日間連続車線規制によるインバート再構築工事-上信越自動車道日暮山トンネル-, トンネルと地下, 第 44 巻 12 号, pp.17-29, 2013.
- 30) 奥井裕三, 鶴原敬久, 太田裕之, 佐久間智, 中田主税: 盃山トンネルに発生した急激な路面隆起変状の計測および解析による変状メカニズムの考察, 土木学会トンネル工学報告集 第 19 巻/pp.173-180, 2009.
- 31) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社: 設計要領, 第三集トンネル, トンネル本体工保全編 (変状対策), p.91, 2015.
- 32) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2008.
- 33) 日本道路公団: トンネル数値解析マニュアル, 1998.
- 34) 土木学会: トンネル標準示方書[開削編]同解説 2006.
- 35) 国土交通省 道路局 国道・防災課: 道路トンネル定期点検要領, p.39, 2014.

CASE STUDY TO ESTABLISH TIMING TO APPLY COUNTERMEASURES FOR DAMAGED TUNNELS IN SQUEEZING ROCK

Yuzo OKUI, Hiroyuki OHTA, Shogo KUNIMURA, Hajime KITAMURA,
Kazuo NISHIMURA

We studied a relationship between deformation speed and timing to apply countermeasures in damaged mountain tunnels in squeezing or swelling ground. We have collected some literature on above damaged tunnels which the squeezing or swelling phenomena have been reported. And literatures were organized in terms of deformation speed and timing to apply countermeasures. Additionally, numerical analysis was carried out in order to relate deformation and condition of the tunnel. Consequently, we concluded one of the following result of this study that to establish the timing to apply countermeasures, it is necessary to collect deformation speed but also the total amount of deformation.