

# トンネルの供用開始後に生じる変状 と経時変化に関する考察

岡崎 健治<sup>1</sup>・伊東 佳彦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 (独) 土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸一条三丁目1-34)  
E-mail:90185@ceri.go.jp

<sup>2</sup>正会員 (独) 土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸一条三丁目1-34)  
E-mail:yos-ito@ceri.go.jp

トンネルの完成後または供用開始後に発生した変状について、20事例を収集し、その特徴を整理した。変状発生までの年数は0～24年であり、施工中に変状が発生し、その対策を実施したトンネルでも再び発生した事例も存在した。また、このトンネルの路面隆起量を継続的に計測した結果、補修対策後の地山内の応力の変化によって未対策区間において、長期的に隆起量が漸増した。このトンネルをモデルとして、補修工事費と初期投資費を試算したところ、施工中に構造的上位の支保パターンを選定することが、変状の発生に応じて、随時、補修工事を実施する場合より総事業費は少ない結果となった。

**Key Words :** time delay deformation, pyroclastic rocks, cost of repairing the defect, total project cost

## 1. はじめに

完成したトンネルにおいて外力、環境、材料、設計、施工等に起因して覆工や坑門等に変形、ひびわれ、はく離、漏水などが生じ、トンネルの構造的安定性や要求される機能が阻害されている、あるいは、放置すればその恐れがある状態をトンネルの変状と定義している<sup>1)</sup>。そのため、変状は、トンネル施工中に予測や対応が難しいこと、またその補修や対策では、通行止めなどの規制をとまなうことから、地域社会の便益を減ずるとともに安全・安心な社会を維持する上で大きな課題となる。

変状の原因のうち、トンネルに生じる外力は、地山の地質性状や経時的な変化に起因する場合がある。とくに熱水変質作用を受けた火山碎屑岩類や堆積軟岩あるいは軟質な蛇紋岩が分布する地質地域のトンネル建設では、その建設時に問題はないが、完成または供用開始後に変状が発生するという事例が多数報告されている。

本調査では、これらの事例を収集するとともに、現状の調査・試験方法を地質との関連性について整理した。また、供用開始後に、実際に変状が発生した事例において、路面の隆起量の経時変化を整理し、その挙動と地質との関連性について検討した。あわせて、その変状事例をもとに、トンネルのライフサイクルコストを試算した結果について報告する。

## 2. 調査概要

本調査では、①これまで公表されているトンネルの変状事例に関する文献・資料を収集し、そこから、完成または供用開始後（以下、供用後）に変状が発生した事例を抽出し、その実態について整理した。②次に、トンネル地質調査における現状の調査・試験方法、ここでは、浸水崩壊度試験とボーリング調査における岩石コアの観察を例として、地質との関連性について課題を整理した。さらに、③供用開始後に、実際に盤膨れ（路面部が隆起する現象）が生じ、その対策が終了後に、さらに盤膨れが生じた事例において、路面の隆起量の経時変化を整理するとともに、その挙動と地質との関連性について考察した。あわせて、④その事例において、変状の発生に応じて随時、調査と補修工事を行うケース（以下、補修工事費）と事前～施工中の詳細な地質調査によって将来的に変状が発生する区間を予測し、より構造的上位な支保パターンを選定して建設したケース（以下、初期投資費）を想定し、両者を経済比較した。なお、この検討では、これまで北海道で建設された27の国道トンネルにおける工事の概算単価や事前調査費をもとに計算した。また、実際に発生した変状は、盤膨れであったことから、その対策工については、インバートの設置とした。

3. 調査結果

(1) 供用開始後に発生した変状の実態

トンネルの供用後に変状が発生した20事例をもとに、完成～変状発生までの年数、主な地質および変状の内容について整理した。

表-1に供用開始後に変状が発生した事例を示す。なお、これらの事例は、トンネル地山の地質性状に起因して変状が発生した事例である。トンネルの完成～変状発生までの年数は、0～24年である。これらのトンネルは主に在来工法で建設されているが、NATMにより建設されたトンネルでも変状が発生している事例が存在した。また、施工中に変状が発生し、その対策を実施したトンネルにおいても、再び変状が発生した事例も存在したことから、その発生時期（供用後と施工中）を区分し、対応について整理した。

20事例の地質をみると、火砕岩類（安山岩・凝灰角礫岩類）を主体とするものが14例、花崗岩が3例、堆積岩類が2例、蛇紋岩・黒色片岩が1例となっており、安山岩・凝灰角礫岩類が大きな比重を占めている。

表-2に変状の発生時期とその対応の区分を示す。この

区分において、供用後に変状が発生したタイプをⅠとⅡ、供用後に変状が発生していないタイプをⅢとⅣとした。また、トンネルの施工中に変状が発生したタイプをⅠとⅢ、施工中に変状が発生していないタイプをⅡとⅣとした。ここで、施工中の変状とは、内空変位量の増大、支保部材の変形・破損などにより、縫い返しやその補修のことを示す。

タイプⅠは、供用後に変状の発生状況に応じて補修・対策を実施するが、変状は施工中にも発生していることから、その発生箇所や内容も判明している。そのため、台帳化を図り、点検の頻度を高めるなどの措置によって、変状を早期に検出することが可能と考えられる。

タイプⅡは、施工中に問題はないが、供用後に変状を生じることから、事前や施工中の調査によって、その将来的な変状の発生を予測するための方法の確立が必要といえる。

タイプⅢは、施工中に変状が生じたタイプであり、タイプⅠに移行する場合もあることから、タイプⅠと同様な対応が求められる。

タイプⅣは、通常の維持管理や定期点検で対応可能といえるが、タイプⅡに移行する場合のあることも念頭に

表-1 供用開始後に変状が発生した事例<sup>1～15)</sup>

| トンネル(地域)   | 種別       | 完成～変状発生<br>までの年数 | 施工中の<br>変状 | 工法   | 主な地質          | 主な変状           |
|------------|----------|------------------|------------|------|---------------|----------------|
| 朝日(新潟)     | 一般国道7号   | 1                | あり         | NATM | 破碎質凝灰岩類       | 盤ぶくれ           |
| 関(三重)      | 一般国道25号  | 0.5              | —          | —    | 花崗岩・礫岩        | 盤ぶくれ、覆工ひび割れ    |
| 礼文華(北海道)   | 一般国道37号  | 0.5              | あり         | —    | 角礫凝灰岩、安山岩     | 覆工の押し出し、盤ぶくれ   |
| 仙岩(秋田・岩手)  | 一般国道46号  | 20               | —          | —    | 変質凝灰岩         | 盤ぶくれ           |
| 送毛(北海道)    | 一般国道231号 | 3                | あり         | —    | 角閃石安山質溶岩      | 覆工の押し出し、盤ぶくれ   |
| 黒岩(北海道)    | 一般国道231号 | 2                | —          | —    | 火山角礫岩、凝灰角礫岩   | 盤ぶくれ、覆工ひび割れ    |
| 三国(北海道)    | 一般国道273号 | 15               | —          | —    | 凝灰角礫岩、変朽安山岩   | 路盤の隆起(風化岩盤の凍上) |
| 四ツ峰(北海道)   | 道道       | 24               | あり         | —    | 破碎質泥岩、角礫岩     | 覆工・インバート部のひび割れ |
| 小山田(岩手)    | 県道       | 0.5              | —          | NATM | 花崗岩・流紋岩       | 盤ぶくれ           |
| 盃山(山形)     | 山形自動車道   | 17               | —          | —    | 変質凝灰岩         | 盤ぶくれ           |
| 風波(新潟)     | 北陸自動車道   | 20               | あり         | —    | 凝灰角礫岩         | 覆工・インバート部のひび割れ |
| 浅間山(群馬)    | 上信越自動車道  | 1                | —          | NATM | 安山岩・凝灰角礫岩     | 盤ぶくれ           |
| 恵那山(長野・岐阜) | 中央自動車道   | 14               | —          | —    | 花崗岩・溶結凝灰岩     | 覆工ひび割れ         |
| 嬉野(佐賀)     | 長崎自動車道   | 0                | あり         | NATM | 凝灰角礫岩・安山岩     | 盤ぶくれ、覆工ひび割れ    |
| 俵坂(長崎・佐賀)  | 長崎自動車道   | 1                | あり         | NATM | 凝灰角礫岩・安山岩     | 盤ぶくれ           |
| 神居(北海道)    | 鉄道       | 18               | あり         | —    | 蛇紋岩、黒色片岩      | 覆工の押し出し、盤ぶくれ   |
| 礼文浜(北海道)   | 鉄道       | 6                | —          | —    | 安山岩質凝灰岩、変朽安山岩 | 盤ぶくれ           |
| 一ノ瀬(長野)    | 鉄道       | 11               | あり         | NATM | 凝灰角礫岩・凝灰岩     | インバート破損        |
| 碓氷峠(長野)    | 鉄道       | 9                | —          | NATM | 安山岩溶岩・火山角礫岩   | 盤ぶくれ           |
| 塚山(新潟)     | 鉄道       | 0.5              | あり         | —    | 砂岩泥岩・砂質頁岩     | 覆工の押し出し、ひび割れ   |

表-2 変状の発生時期とその対応の区分

| タイプ | 供用後 | 施工中 | 対応など                    |
|-----|-----|-----|-------------------------|
| Ⅰ   | ○   | ○   | 施工中にも変状が発生して補修・対策を実施    |
| Ⅱ   | ○   | ×   | 供用後に変状が発生してから補修・対策を実施   |
| Ⅲ   | ×   | ○   | 施工中の変状発生箇所を台帳化し、重点管理で対応 |
| Ⅳ   | ×   | ×   | 通常の維持管理・定期点検で対応         |

おくことが必要であり、トンネル施工時の地質情報や施工記録の整備・保管とその体系化が必要といえる。

既存の変状の実態調査<sup>16)</sup>によると、膨張性土圧による変状は、主に第三紀層で生じており、泥岩・頁岩の堆積岩類、蛇紋岩および温泉余土の地質で発生しやすいことが示されている。しかし、今回収集した供用後の変状事例では、火砕岩地山での事例が多いことが特徴的である。また、このような変状は、中長期的に継続して生じることから、その補修や対策に苦慮しているのが現状である（表-2のタイプⅠとⅡ）。

火砕岩地山では、掘削時に良好な岩盤であっても、掘削後の地下水の変化や掘削にともなう緩み、あるいは熱水変質作用により生成した粘土鉱物の吸水膨張変化などにより、トンネル支保構造に塑性圧が時間遅れとして作用することが想定される。

花崗岩地山では、地山自体の膨張圧の影響は少なく、風化作用の影響を受けた岩層が、マサ化することで緩み、覆工に土圧として作用し、変状が生じると想定される。

蛇紋岩や堆積岩類の地山では、施工中から変位量が増加する場合が多く、地山の緩み対策や支保構造の早期閉合などの対応が施工中になされることから、完成または供用開始後の変状が生じる場合は、火砕岩地山と比べて生じることは少ないといえる（表-2のタイプⅢ）。そのため、タイプⅠとⅢでは、施工中に発生した変状箇所の台帳化を図り、他の区間よりも点検の頻度を高めることで、完成または供用開始後の変状発生に対する予防保全は可能であるが、タイプⅡに対しては、変状の発生予測に関する施工中の地質評価法の確立が必要といえる。

各トンネルで発生した主な変状は、盤膨れや覆工の押し出しであり、内空断面の減少にともない、通行や安全性への影響、または維持管理上の問題が生じたことから対策が行われている。

以上のことから、トンネル建設後に、施工中の地質情報や施工記録を再整理し、台帳化することで、その後の維持管理やトンネル点検、地質性状に起因する変状の発生を予測検討するための情報として活用が可能といえる。

## (2) トンネル地質調査における現状の調査・試験方法と地質との関連性

トンネルの事前または施工中の調査では、地山岩石の物理強度特性、鉱物学的特性および劣化特性が地山の再評価や合理的な支保選定のための情報とされる。ここで例えば、劣化特性を評価する浸水崩壊度試験<sup>17)</sup>において、試料が細片化または部分的に泥状化する岩石は、短期間の試験結果から将来的な変状の発生を推定することができ、施工中にその対策や検討が可能となる。

写真-1に浸水崩壊度試験の事例を示す。浸水崩壊度試験は、吸水による岩石の耐久性を評価するための試験で



写真-1 浸水崩壊度試験の事例  
上：自然状態 下：浸水1時間経過後

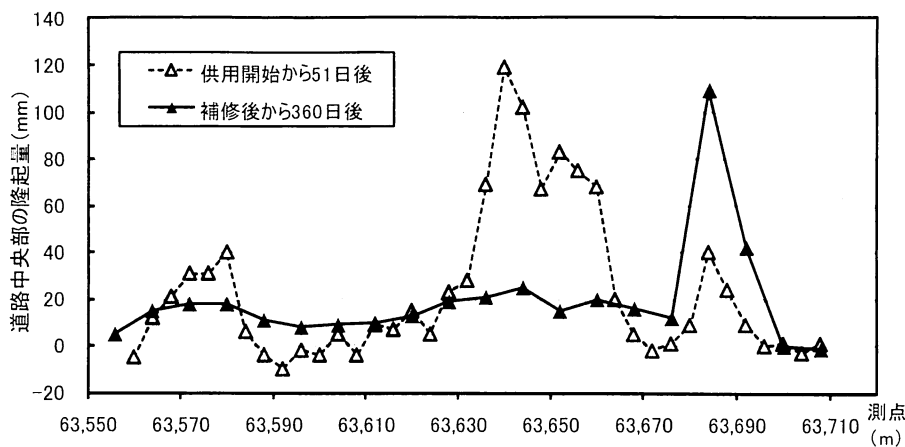


写真-2 ボーリングコアにみられる経年劣化の事例  
上：掘削直後 下：掘削から4年半経過後

ある。試験に供した試料は火砕岩である。

試験の結果、浸水1時間後に全ての試料で細片化または部分的に泥状化した。このように吸水にともない早期に形状を変える岩石は、初期の段階で将来的な変状の発生を推定できる。すなわち、トンネル施工中の調査で、その対策や検討が事前に可能となる。

次に、試料の採取直後は、硬質な状態であるが、その後、劣化または風化によって、形状や特性を変える岩石が存在する場合がある。このような地山岩石を短期間の試験で評価した場合、中長期的な特性の変化に応じ、トンネル構造体に土圧として作用がはじまると推定される。



|         |              |     |         |              |
|---------|--------------|-----|---------|--------------|
| 地 質     | 凝灰角礫岩        | 安山岩 | 凝灰角礫岩   | 自破砕状溶岩       |
| 地山評価    | CII          |     | DII     | CII          |
| 施工      | CII(インバートなし) |     | インバートあり | CII(インバートなし) |
| 補修(1回目) | インバート設置      |     | インバートあり | CII          |
| 補修(最終)  | インバートあり      |     | インバートあり | インバート設置      |

図-1 変状が生じたトンネルにおける道路中央部の隆起量の計測事例

写真-2にボーリングコアにみられる掘削直後とその4年半経過した後の状況を示す。ボーリングコアは火砕岩であり、ともに同じ深度のコアである。

掘削直後は、硬質な状態であるが、時間の経過とともに劣化または風化することで、写真-2のAのように、その形状を保てない様子が伺える。しかし、写真-2のBでは、同様な岩石にも関わらず周辺部の変化と様子が異なっている。もしBの箇所を試料を採取し、その試験結果によって地山評価を行った場合、将来的にその周辺部の岩石の影響によって変状が発生する場合が予想される。

以上のことから、供用後の変状の評価には、試料の代表性や地質的な連続性を考慮した試料の採取方法などの検討が重要である。また、このような地質に対しては、トンネル建設時のインバート設置の有無を判定するための指標や考え方も今後、改めて検討が必要といえる。

### (3) 供用開始後の対策後にさらに変状が生じた事例

図-1に変状が生じたトンネルにおける道路中央部の隆起量を計測した事例を示す。

本トンネルでは、供用開始後に盤膨れ、路面と覆工でのクラックが発生し、その対策として、クラック補修とインバートの設置を行った。

トンネル建設時（補修前）の支保パターンは、CⅡを主体として、一部でDⅡとして施工した。

盤膨れが生じた区間の地質は、中新世の安山岩、凝灰角礫岩および自破砕状溶岩である。トンネル施工時の地質調査では、良好な岩盤の分布が確認されており、変質

帯や粘土化部の存在は確認されていなかった。盤膨れが発生した原因は、トンネル掘削にともなう応力解放や含水状態の変化などの影響であると推定した。

供用開始から51日後の路面隆起量は最大120mmである。対策区間（インバート設置）では、それから360日後の隆起量が20mm程度であるのに対し、未補修区間では、隆起量が漸増し、110mm程度の隆起量となった。隆起量は、構造的に弱い未補修区間側で大きな変化として現れたことから、補修対策によって、変状を生じさせる地山内の応力が再配分されたことが隆起量の計測結果から想定された。なお、未補修区間では、その後、ロックボルトによる補強とインバート設置の工事を再度実施した。

本トンネルの事例では、盤膨れが中長期的に継続して生じるとともに、補修・対策後にも生じるなど、補修・対策を要する区間の選定やその見極めが、施工時において非常に難しい事例であったといえる。

### (4) 変状対策に関するコストの検討

上記(3)のトンネルについて、その地質状況と補修対策事例をモデルケースとして、補修工事費と初期投資費を試算して比較検討した。ここで、調査費、支保パターン毎の単価、対策費（インバート設置）は、これまで北海道で建設された27の国道トンネルの事例から設定した。

図-2に事前調査費とトンネル延長の関係を示す。このうち、熱水変質作用を受けた火砕岩、先新第三紀の堆積岩類および蛇紋岩のような、当初から地山の地質状況が悪いと予想される地山では、調査費は高い傾向が認めら

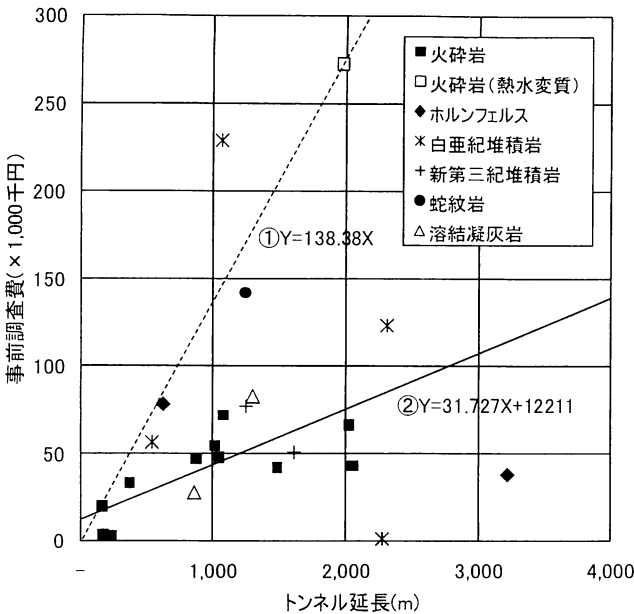


図-2 事前調査費とトンネル延長

表-3 トンネル事業費の試算結果

| 補修工事費                                  |             |                 |             |
|----------------------------------------|-------------|-----------------|-------------|
| 支保パターン                                 | 対象延長<br>(m) | 概算単価<br>(千円/m)  | 費用<br>(百万円) |
| CI                                     | 250.5       | 2,469           | 618         |
| CII                                    | 1,366.5     | 2,764           | 3,777       |
| DI                                     | 192.0       | 2,919           | 560         |
| DII                                    | 229.0       | 3,120           | 714         |
| 坑口                                     | 30.0        | 3,074           | 92          |
| A(概算工事費)                               |             |                 | 5,763       |
| B(事前調査費)<br>②式(図-2)                    | 2,068.0     | Y=31.727X+12211 | 78          |
| C(変状対策費)<br>上段:ボーリング調査<br>下段:インバート設置   | 39          | 100             | 4           |
|                                        | 98          | 1,500           | 147         |
| D(追加変状対策費)<br>上段:ボーリング調査<br>下段:インバート設置 | 108         | 100             | 11          |
|                                        | 271         | 1,500           | 407         |
| 計(A+B+C+D)                             |             |                 | 6,409       |
| 初期投資費                                  |             |                 |             |
| 支保パターン                                 | 対象延長<br>(m) | 概算単価<br>(千円/m)  | 費用<br>(百万円) |
| CI                                     | 250.5       | 2,469           | 618         |
| CII                                    | 997.5       | 2,764           | 2,757       |
| DI                                     | 192.0       | 2,919           | 560         |
| DII                                    | 598.0       | 3,120           | 1,866       |
| 坑口                                     | 30.0        | 3,074           | 92          |
| A(概算工事費)                               |             |                 | 5,894       |
| B(事前調査費)<br>①式(図-2)                    | 2,068.0     | Y=138.38X       | 286         |
| 計(A+B)                                 |             |                 | 6,180       |

れる。これは、例えば、熱水変質作用を受けた火砕岩では、自然由来重金属等の含有量や溶出量が環境基準値を超過する岩石の発生、また蛇紋岩では、トンネル坑口部での低角度な地すべり滑動の把握など、特殊な地質状況

を考慮したことが、調査費の高い要因と考えられる。

本トンネルの地質は、火砕岩であることから、熱水変質作用を受けた火砕岩（1事例）とそれ以外の火砕岩（11事例）地山での調査費をもとに回帰式（前者が①式、後者が②式）を設定した。これらの式をもとに、補修工事費と初期投資費の試算における事前調査費と変状調査に要する調査費を求めた。

表-3にトンネル事業費（補修工事費と初期投資費）の試算結果を示す。ここで、補修工事費における延長は、事前と施工中の調査ならびに内空変位量などの施工計測結果をもとに建設した実際の支保パターン別の延長である。また、初期投資費における延長は、実際に変状対策を実施した延長と、その後の変状調査結果（ここではトンネル施工記録の再確認、路面隆起量の測定、岩石試験の結果を総合的に判断）をもとに対策を要すると判断した区間を構造的上位の支保パターン（CⅡをDⅡとして施工）で施工した場合の延長である。

補修工事費を試算した結果、全体で6,409（百万円）である。また、初期投資費を試算した結果、全体で6,180（百万円）である。その差額は6,409（百万円）－6,180（百万円）＝229（百万円）となり、トンネルのライフサイクルコストの縮減率は、 $229/6,409=3.6\%$ 程度となる。

以上のことから、事前または施工中の調査によって、変状の発生が予想される箇所を精度良く抽出し、予め構造的上位の施工を行うことで、変状の発生の抑制が図られ、トンネル事業におけるトータルコストの増加防止につながるといえる。

### 4. まとめ

本調査によって得られた知見は次のとおりである。

- 1) トンネルの完成または供用開始後に発生した変状事例を収集整理した結果、変状発生までの年数は0～24年であり、NATMによるトンネルでも変状が発生していることを確認した。施工中に変状が発生し、その対策を実施したトンネルでも、再び変状が発生した事例も存在した。また、このような中長期的に継続して生じる変状の事例は、火砕岩の地山で多い傾向であった。
- 2) 現状の調査・試験方法と地質との関連性を整理した結果、試料採取直後は硬質であるが、その後、劣化または風化により、形状や特性を変える岩石が存在することを確認した。その評価では、試料の代表性や地質の連続性を考慮した試料採取などの検討が必要である。
- 3) 変状の対策後さらに変状が生じたトンネルの道路中央部における隆起量を計測した結果、未対策区間で隆起

量は、長期的に漸増した。補修対策により、地山内の応力が再配分され、変化したことが想定された。

- 4) 上記トンネルをモデルとして、補修工事費と初期投資費を試算した結果、施工中に構造的上位の支保パターンを選定することが、変状の発生に応じて、随時、補修工事を実施する場合よりも総事業費は少ないことを確認した。

## 5. おわりに

トンネルの設計から施工時では、将来的な変状発生の有無について、これまでの経験的な指標をもとに膨張性地山の判定<sup>18~21)</sup>を行い、その後の対応について検討が行われている。あわせて、施工時には、トンネル内空の変位量計測が行われ、地山挙動を捉えながら工事が進められている。しかし、このような判定や施工手段を経て完成したトンネルでも、変状が発生する場合があることから、今後、それらを事前の調査や施工中に評価するための適切な方法の確立に向けた検討が必要といえる。

**謝辞：**本調査の実施にあたり、資料提供ならびに現地調査にご協力いただいた国土交通省北海道開発局の関係各位に、ここに記して厚くお礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) 土木学会岩盤力学委員会：トンネルの変状メカニズム（変状事例集），pp214-269，平成15年9月。
- 2) 市原健五・下畑明夫・青沼克貴：送毛トンネル補強対策について，第34回（平成2年度）北海道開発局技術研究発表会，pp73-78，平成3年2月。
- 3) 今村 仁・藤田圭一：恵那山トンネルの補強対策，第18回日本道路会議論文集，pp292-293，平成元年10月。
- 4) 片寄紀雄・興石逸樹・松本武海：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，vol.28，3，pp7-15，平成9年3月。
- 5) 小林弘元・白濱 龍・畝田篤志・柴田勝博・永渕 洋・山本拓治：塑性圧によるトンネルの変状と対策事例について（その1調査および設計）土木学会第64回年次学術講演会論文集，pp631-632，平成21年9月。
- 6) 佐久間 智・菅原徳夫・多田 誠：供用トンネルに発生したインバート隆起（最大95cm）とその復旧対策についてー山形自動車道盃山トンネル上り線ー，第44回地盤工学会講演集，pp1271-1272，平成21年8月。
- 7) 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，pp149-155，平成9年12月。
- 8) 鈴木哲也・岩渕 武・林 満・森田英俊：変質した地山中のトンネルにおける変状調査と対策，開発土木研究所月報，No.449，pp2-9，平成2年10月。
- 9) 中田正夫・伊藤 洋：供用中トンネルにおける変状と対策・上信越自動車道路浅間山トンネル，トンネルと地下，vol.31，4，pp7-14，平成12年4月。
- 10) 二瓶益臣・中曽根茂樹・生杉嘉良：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，pp23-31，平成22年3月。
- 11) 林 幸一・御堂島章一・山中博之：変状トンネルの改築（I）・国道25号線関トンネル，トンネルと地下，vol.8，3，pp22-27，昭和52年3月。
- 12) 平井公康・鈴木照行・秋月 亨・八重樫 栄：供用中のNATMトンネルの盤ぶくれ・一般県道宮古港線小山田トンネル，トンネルと地下，vol.26，12，pp19-25，平成7年12月。
- 13) 松尾茂生・滝沢俊次・大谷政敬：ロックボルトを利用した盤ぶくれ対策・国道7号朝日トンネル，トンネルと地下，vol.11，11，pp19-29，昭和55年11月。
- 14) 渡邊康夫・監郷一博・鈴木 尊：供用中の新幹線トンネルで発生した路盤隆起の原因とその対策，トンネルと地下，vol.38，9，pp7-16，平成19年9月。
- 15) 北海道開発局石狩川開発建設部豊平川ダム統合管理事務所：定山溪ダム工事記録，pp862-865，平成4年3月。
- 16) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，平成5年11月。
- 17) 土木学会：軟岩の調査・試験の指針（案），平成4年12月。
- 18) 土木学会：トンネル標準示方書山岳工法，平成18年7月。
- 19) 地盤工学会：NATMにおける予測と実際，平成11年11月。
- 20) 北海道開発局：道路設計要領第4集トンネル，平成22年4月。
- 21) 土木学会：トンネルライブラリー第12号，山岳トンネル覆工の現状と対策，平成14年9月。

## CONSIDERATION OF PRESENT TUNNEL CHANGES AND ITS TIME DELAY DEFORMATION

Kenji OKAZAKI and Yoshihiko ITO

The authors reviewed present condition and problems for time delay deformation of tunnels in Japan. As for, twenty cases were recognized. Geologically, fourteen cases were found in pyroclastic rocks, and most of them were hydrothermally altered. In these cases, tunnel deformation occurred during its construction, and deformation also occurred after tunnel construction over twenty-four years later.

Result of trial calculation for cost of repairing the defect and initial investment cost, the total project cost of suitable tunnel structure according to precise geological survey is more appropriate than cost of its repairs caused by tunnel deformation.