

平成25年度

# 既設トンネル(在来工法)覆工背面空洞における 裏込め注入の施工について —裏面排水の閉塞防止について—

旭川開発建設部 旭川道路事務所 第2工務課 ○高田 正広  
株式会社橋本川島コーポレーション 土木部 竹田 茂  
株式会社ダイヤコンサルタント 北海道支社 設計部 水島 秀明

一般国道39号新大函トンネルは、建設以降39年が経過しており調査の結果、覆工背面の空洞が坑口を除く全区間で確認された。これまで充填材として用いられてきた可塑性エアモルタルは、覆工背面の空洞を効率的に充填する材料であるが、側壁の隙間や裏面排水にも流入し、排水機能を損なう問題が危惧された。そこで40倍発泡ウレタンをグラウトストッパーに利用した裏込め注入工法について検討した結果を報告する。

キーワード：在来トンネルの補修、維持・管理、長寿命化、

## 1. はじめに

2012年12月に発生した中央自動車道笹子トンネル天井板崩落事故や国道8号倶利伽羅(くりから)トンネル灯具落下事故を受けて、全国の高速自動車国道・一般国道・地方道路でトンネル内の道路附属物等に係る緊急点検が実施された。全国的にトンネルの維持・管理の重要性に対する認識が高まっており、特に在来工法のトンネルはアセットマネジメントによる維持管理が急務となっている。

物流や観光など、旭川市～網走市を結ぶ幹線道路である一般国道39号に位置する新大函トンネルは、建設以降39年が経過しており、調査の結果、覆工背面の空洞が坑口を除く区間で確認された。覆工背面の空洞を効率的に裏込め注入する材料として、可塑性エアモルタルが一般的であるが、図-2に示すように、側壁の隙間や裏面排水にも流入し、排水機能を損なう問題が危惧された。そこで40倍発泡ウレタンを注入材のストッパーに利用した裏込め注入工法を検討・施工したので、その結果について報告する。

### 【トンネル諸元】

路線：一般国道 39 号 上川町字層雲峡  
延長：573m  
完成年次：昭和 49 年  
地質：溶結凝灰岩、粘板岩  
道路規格：3 種 2 級  
設計速度：60km/h  
舗装区分：B 交通  
幅員：9.25m (3.25×2+0.25×2+1.50+0.75)



図-1 位置図

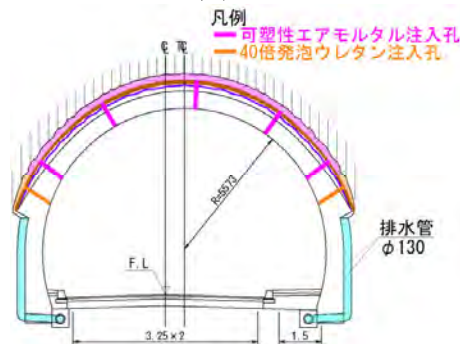


図-2 新大函トンネル補修概念図

## 2. 在来工法の特徴

在来工法による掘削は人力施工に頼る作業が多く、地山が悪いと掘削直後に矢板を建込むため余掘りは小さい。一方、地山が良いと断面確保や作業性から亀裂沿いに掘削するため余掘りが大きくなりやすく、覆工背面に空洞が残ると考えられる。

現在山岳工法の標準であるNATM工法は、機械化が進み、掘削直後に吹付けコンクリートとロックボルトで地山を安定させ、地山に密着した構造体となり、剛性の高いセメントと適切なポンプ打設で空洞ができにくい。

### 2.1 代表的な在来工法の断面構造

①掛矢板：質が比較的良好で掘削後、支保工を建込み矢板を掛けることができる地山に用いられる（写真-1）。余掘りは多くなる傾向がある。なお、極めて自立性の良い地山では無普請（無支保）の場合もある。



写真-1 掛矢板

②送り矢板：地質がやや不良で掘削後、直ちに矢板を送り込んで崩落を防止しなければならない地山に用いられる（写真-2）。余掘りは多少となる傾向がある。



写真-2 送り矢板

③縫地矢板：地質が不良で掘削後、掘削面を放置できない場合に用いられ、人力掘削しながら縫うように矢板を打ち込む（写真-3）。余掘りは少ない傾向がある。



写真-3 縫地矢板

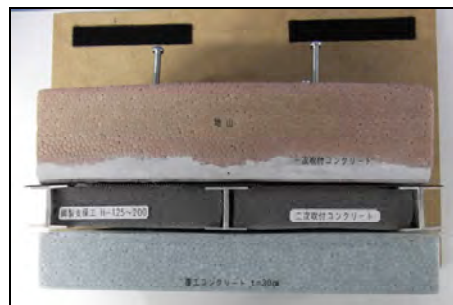


写真-4 NATM断面模型

### 2.2 空洞が存在することによる問題点

トンネル覆工背面に空洞が存在すると次の問題がある。

①覆工コンクリートと地山が一体化していないため、覆工に偏圧が作用し、トンネル構造上の弱点となりやすい（図-3）。

②突発性の地山岩塊等の崩落による押し抜きや、覆工コンクリートのはく落により、利用者への被害が懸念される（図-4）。

以上から、トンネル覆工背面の空洞を充填する裏込め注入工を施工するものである。

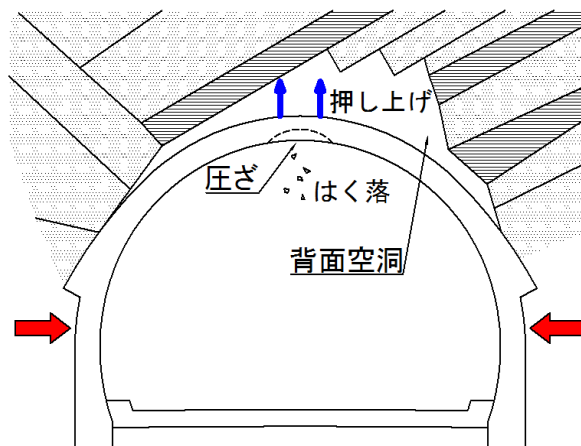


図-3 トンネル変状概念図①

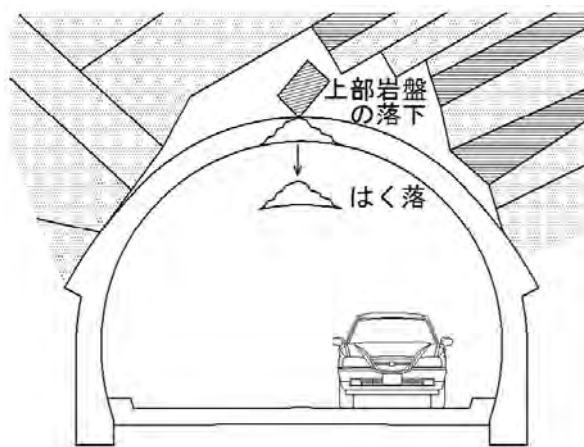


図-4 トンネル変状概念図②

### 3. 調査内容と調査結果

新大函トンネルでは、定期点検で巻厚不足や空洞の存在が示唆され、電磁波探査とコアボーリングによる覆工と空洞調査が行われた。詳細調査の結果、図-5に示すように、建設時に施工された裏込め注入区間を除く区間で概ね30cm程度の空洞が確認された。なお、空洞の分布状況図は、補修工事に施工した注入孔から計測した結果を反映したものである。既往資料（「北海道の道路トンネル第1集」P129）から、空洞分布区間の地質は亀裂質な溶結凝灰岩であり、矢板工法は掛矢板および縫地矢板が採用されている。

施工記録（マイクロ資料）から、図-6に示すように、φ130mmの裏面排水が側壁の背面に設置されている。現在も流末の排水が確認されていることから、裏面排水が十分に機能していると考えられた。

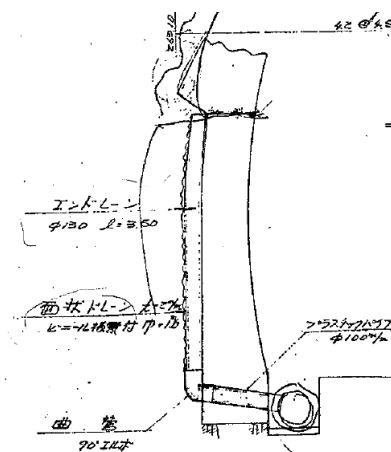


図-5 裏面排水断面図（マイクロ資料より）

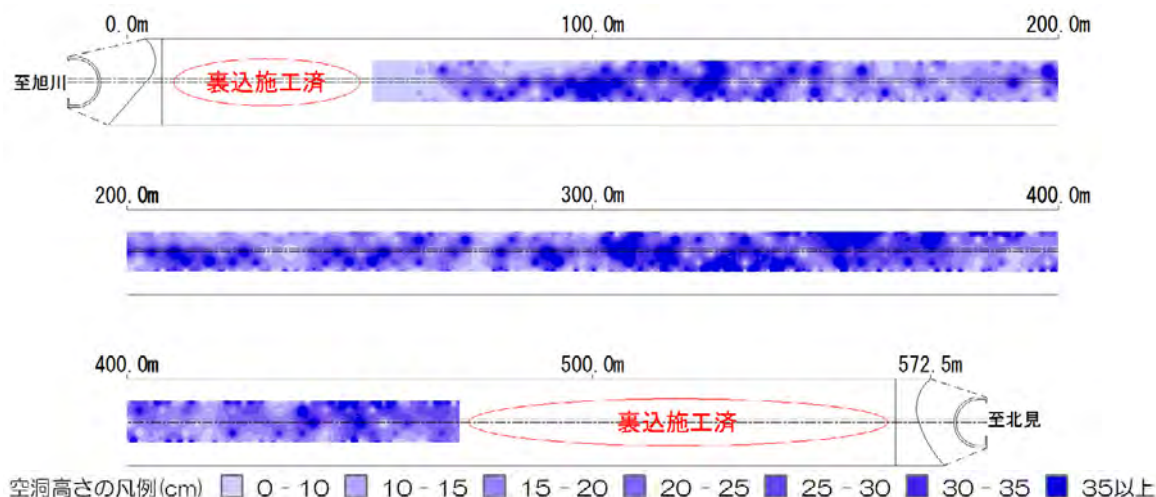


図-6 空洞分布状況

### 4. 従来の裏込め注入材料と注入工の課題

#### 4.1 裏込め注入材料の特徴

覆工背面空洞の裏込め注入材料は、一般的にエアモルタル、可塑性エアモルタル、ウレタンの3種類が挙げられる。裏込め注入材料はその流動性、希釈性および材料特性から、可塑性エアモルタルが数多く採用されてきた（表-1）。

#### 4.2 裏込め注入工の課題と対策検討案

新大函トンネルにおける覆工背面空洞の裏込め注入工の課題を以下に示す。

裏面排水が側壁の背面に設置されているので、裏込め注入材料が裏面排水の機能に支障をきたすと、水圧によるトンネルの変状や、水みちが変化することによって、ひび割れや氷柱などの凍害が危惧される（図-7）。このため、発注者・受注者・調査会社で施工方法を検討し、今回は2種類の材料の良いところを持ち合わせた「可塑

性エアモルタル+40倍発泡ウレタン」を採用した。

裏面排水閉塞を抑制するため40倍発泡ウレタンを可塑性エアモルタルのストッパー（以降、エアモルストップパー）に利用した裏込め注入工法について検討した（図-8）。これは、二次的効果で、可塑性エアモルタルの排水工などへの流出によるロス減も期待される。

表-1 注入材料の特徴

| 注入材料   | エアモルタル                        | 可塑性<br>エアモルタル             | ウレタン                      |
|--------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 流動性    | 流動性が良いため、岩盤の開口亀裂等に逸走しやすい。     | 加圧することで空洞への注入が可能な流動性をもつ。  | 流動性が他の材料より無いので、限定注入が可能。   |
| 希釈性    | 水に希釈されやすい。十分な裏込め注入ができない場合がある。 | 水に希釈されにくい。水中でも材料分離が生じにくい。 | 水に希釈されにくい。水中でも材料分離が生じにくい。 |
| 単位体積重量 | 1.2 kN/m <sup>3</sup>         | 1.2 kN/m <sup>3</sup>     | 0.3 kN/m <sup>3</sup>     |
| 強度     | 1.5 MPa                       | 1.5 MPa                   | 0.17 MPa<br>(40倍発泡)       |
| 施工実績   | 最近あまり用いられない                   | 施工実績が多い（主流）               | 最近、本州で採用実績がある             |

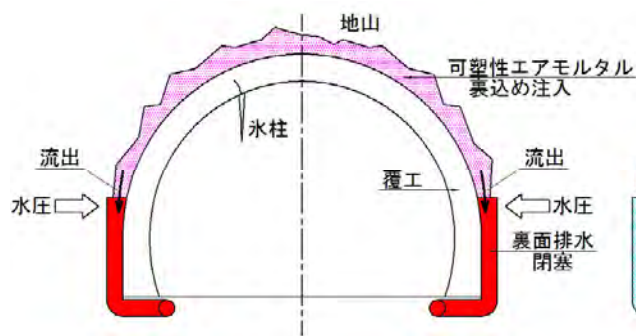


図-7 従来の裏込め注入断面

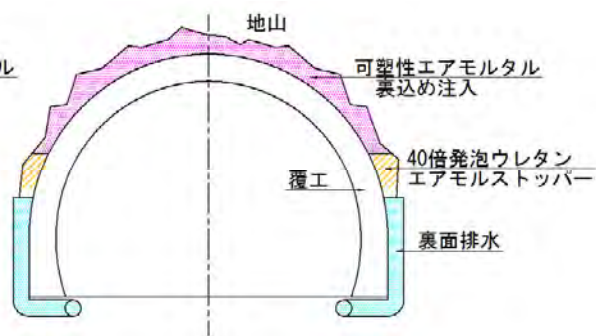


図-8 検討した裏込め注入断面

## 5. 課題に対する対策案の試験施工

施工に先立ち、40倍発泡ウレタンでエアモルストップパーを形成できるか、模型試験施工を行った。試験施工の結果によってノズル・噴射方法を工夫できたので、現場へ適用し、注入状況を確認した。

### 5.1 模型試験

(40倍発泡ウレタンのエアモルストップパー形成確認)

現場と同等のスケールで制作した背面空洞模型(幅3.6m、高さ1.8m、奥行き0.37m)を用いて、以下に示す2ケースの試験を実施した。

#### 模型試験①：噴射ノズル先端注入

裏込め注入孔ピッチ $P=2.5$ m、1方向噴射による施工。

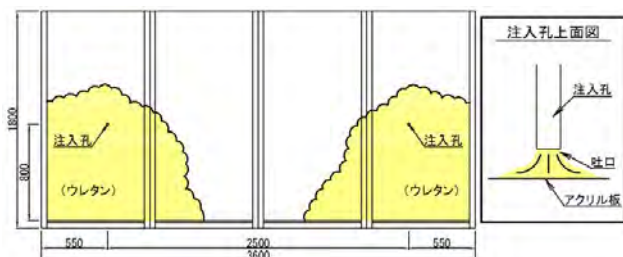


図-9 ウレタンの拡散状況①



写真-5 ウレタンの拡散状況①

#### 模型試験②：噴射ノズル改良(8時20分方向)+ステップ注入

噴射ノズルの注入孔を8時20分方向へ改良し、噴射30秒→10秒停止→噴射30秒のステップ注入による施工。

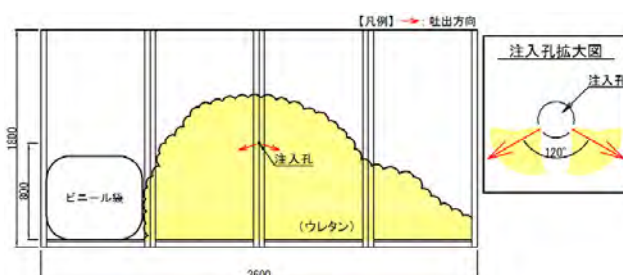


図-10 ウレタンの拡散状況②



写真-6 ウレタンの拡散状況②

模型試験の結果は次の通りであった。

模型試験①では、ノズルの噴射が1方向だったため、ウレタンの拡散が足りずエアモルストップパーの形成ができなかった。

模型試験②では、片側1.5m以上の発泡となり連続的な注入が可能であることを確認した。

以上から試験②の方法で連続的なエアモルストップパーが形成されることが確認されたため、現場施工に反映することとした。

なお、図-10に示したビニール袋は、発泡温度を可視化するため型枠内にあらかじめ挿入したものである。ビニール袋は発泡熱による損傷は見られなかった(参考：試験施工時の計測では40倍発泡ウレタンコア温度は119.4℃であった)。

### 5.3 現場における裏込め注入の確認

現地確認として、コアボーリングとCCDカメラ撮影によって、次のように裏込め注入の状況が確認された。なお、部分的にウレタンが所定箇所連続注入されていないことが確認された場合は、再削孔・再注入を行った。

- ・防水シートの内側(道路側)にウレタンが確認されたことから、計画していた注入箇所ではないことが判明した(写真-7)。
- ・矢板の外側(地山側)にウレタンが確認されたことから、計画していた注入箇所であることが証明された(写真-8)。

コアボーリングによるコアとCCDカメラ撮影の結果、空洞が1層のケース(写真-10)と空洞が2層のケース(写真-11)があることが判った。

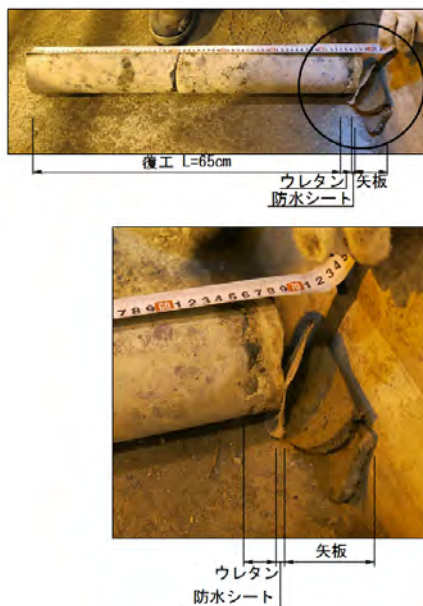


写真-7 簡易ボーリングコア①



写真-8 簡易ボーリングコア②

コアボーリング孔(写真-9)を利用して行った、CCDカメラによる撮影状況と(写真-10)コア壁面の撮影写真を以下に示す(写真-11, 12)。

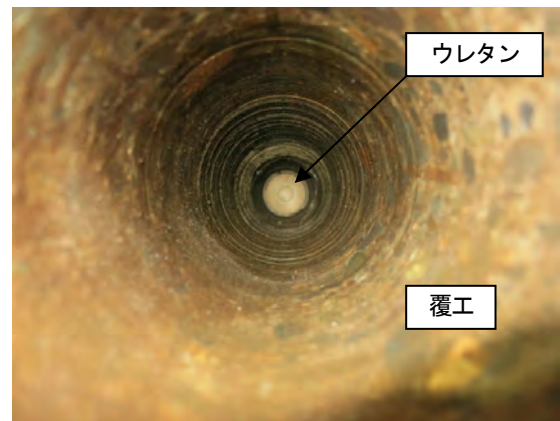


写真-9 φ100コア孔



写真-10 コア孔CCD撮影状況

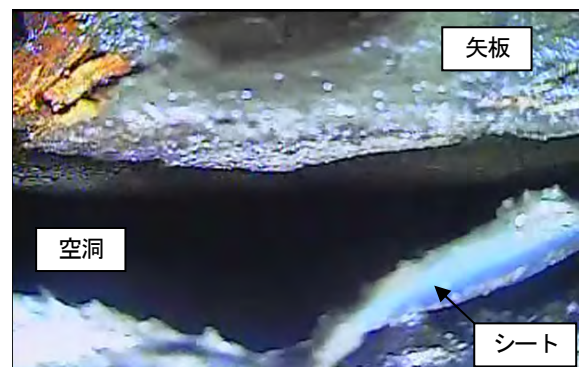


写真-11 コア孔壁面(シート・矢板)

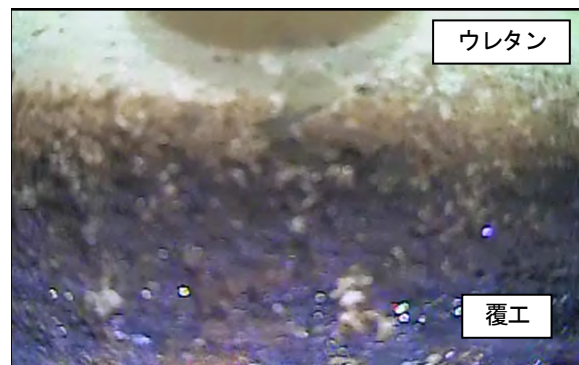


写真-12 コア孔壁面(ウレタン境界)

調査結果で判明した矢板の外側（地山側）に空洞①があるケース（写真-13）と矢板の内側（道路側）に空洞②，外側（地山側）に空洞①があるケース（写真-14）を以下に示す。写真-15，16 は理想的な注入状況を示した。

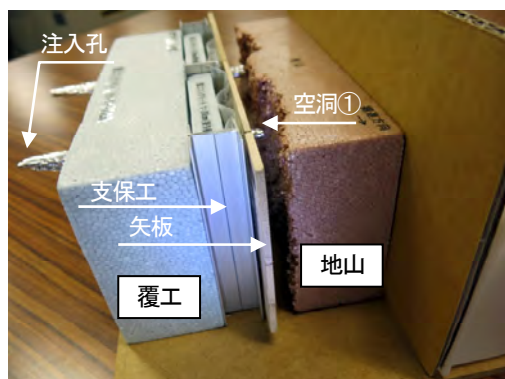


写真-13 断面①（注入前）

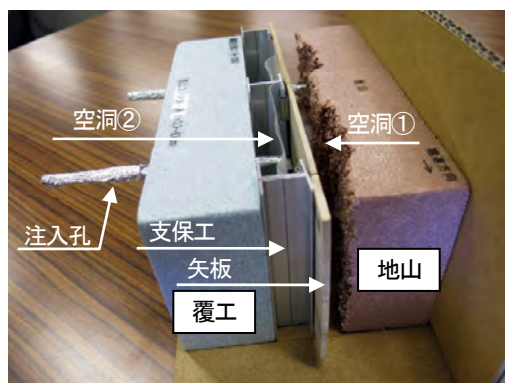


写真-14 断面②（注入前）

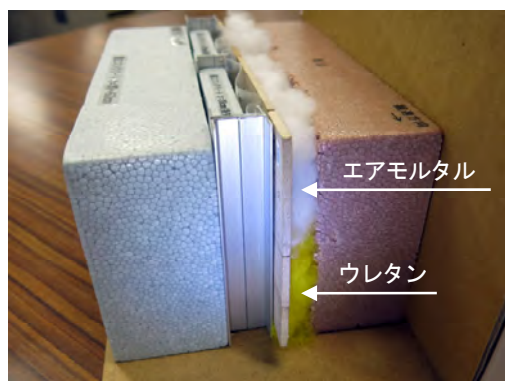


写真-15 断面①（注入後）



写真-16 断面②（注入後）

## 6. まとめと今後の課題

覆工背面空洞の裏込め注入に40倍発泡ウレタンをエアモルストッパーとして施工した結果，排水流末流量等に変化がなかったことから，目的としていた裏面排水の閉塞防止に効果があったと考えられる。

今後の補修に向けて，課題を記す。

今回の補修工事で，トンネル覆工背面には矢板の上下に，2種類の空洞が存在することが判明した。補修目的に合わせ裏込め注入しなければ，補修目的が達成されるどころか，裏面排水を閉塞し機能を損なうことになるので，以下の項目について確認し，適切な注入を実施することが肝要である。

- ①矢板の位置（地山，覆工および空洞の位置関係）
- ②防水シートの有無
- ③裏面排水の有無

## 7. おわりに

今回の新大函トンネルもそうであるが，高度経済成長期に建設されたトンネルが多数存在する。しかしながら，在来工法トンネルを補修するのに，当時の在来工法を知っている現役技術者が乏しいのは紛れもない事実である。まだまだ補修しなければならないトンネルが多数あるため，本発表がこれからの在来トンネル補修の契機になれば幸いである。

今回の新大函トンネルには裏面排水が施工されていた記録（マイクロ）が残されていたため，エアモルストッパーを施工したが，各トンネルによって条件が異なるため，各々に適合したオーダーメイドの補修が必要と考える。そのためには，建設当時の記録（マイクロ）は重要資料となるため，今後施工のNATMデータについても確実に後世に残していかなければならないと強く感じたところである。

今回の補修工事に際し，官民間問わず多くの技術者から知識・情報をご教示して頂きました。この論文を持ちましてお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 道路トンネル変状対策マニュアル：独立行政法人土木研究所（H15. 2）
- 2) 道路トンネル維持管理便覧：日本道路協会（H5. 11）
- 3) 道路トンネル技術基準（構造編）・同解説：日本道路協会（H15. 11）
- 4) 2006年トンネル標準示方書 山岳工法・同解説：土木学会：
- 5) 北海道の道路トンネル第1集：北海道土木技術会道路トンネル研究委員会（S63. 3）
- 6) トンネルの変状メカニズム：土木学会（H15. 9）