

5. 北海道のトンネル維持管理

5.1 北海道における NATM トンネルの維持管理

5.1.1 活動の概要

(1) 活動の目的

道路トンネルは一般に地形に制約をもった急峻な箇所建設され、万が一、通行が困難となった場合には適当な迂回路がない場合が多く、交通に与える影響が非常に大きい構造物といえる。このような中、平成26年7月の「道路法施行規則の一部を改正する省令」及び「トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示」の施行、これを受けての「道路トンネル定期点検要領」改訂等、トンネルを含めた道路の維持管理の重要性が益々高まっている状況にある。

また、道内の国道で供用中のトンネルは273箇所であり（図5.1、表5.1）、1980年代までに施工された矢板工法トンネル、それ以降の標準工法であるNATMトンネルの比率はほぼ半分となっている。一般に、NATM工法は矢板工法に比べ、工法としての特性、施工技術の向上等から変状が少ないことが知られている。しかしながら、このような状況の中でも特殊な条件においては変状が発生し、原因究明に向けた調査・検討、各種対策などが行われている。

これらを踏まえて、本テーマでは、北海道のNATMトンネルについて、特殊条件の概要、その条件に該当するトンネル事例等を整理し、NATMトンネルの維持管理に係る基礎資料を作成することを目的として活動を行った。

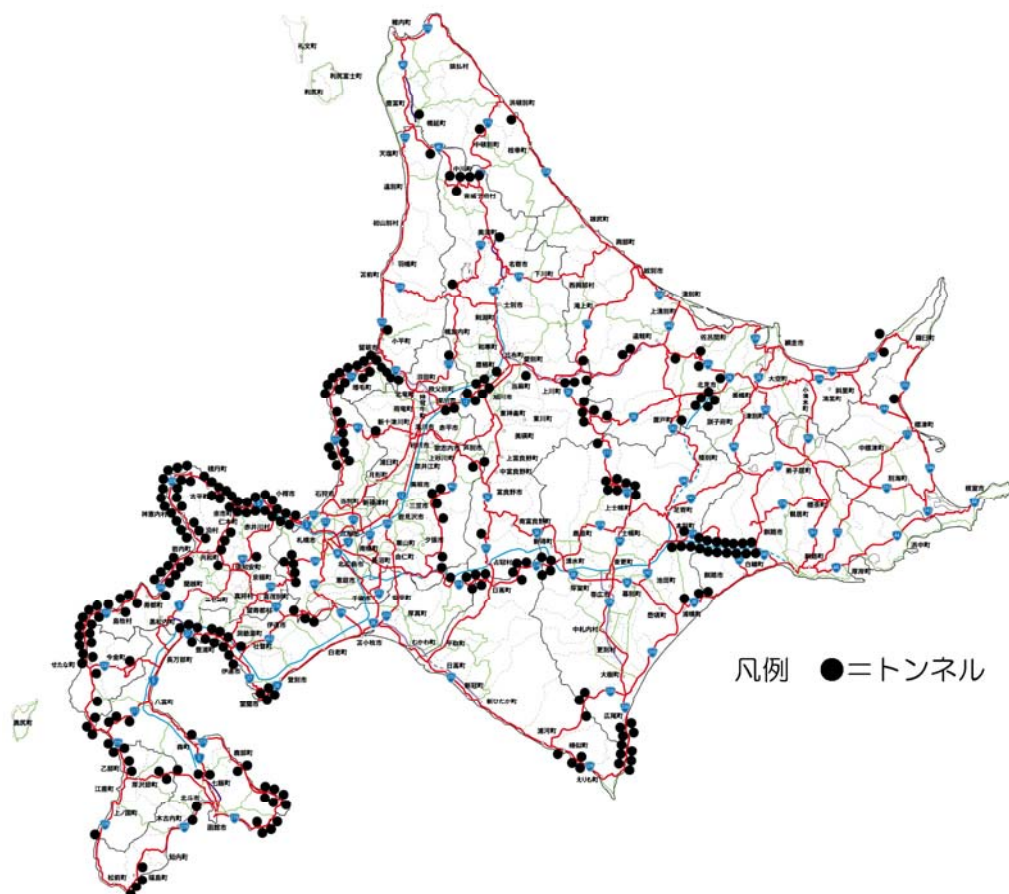


図 5.1 北海道開発局の供用中の道路トンネル

「北海道開発局 道路トンネル個別施設計画（案）」より引用

表 5.1 北海道開発局の供用中の道路トンネル

工法	トンネル数	トンネル延長（km）
矢板工法	131	60.7
NATM 工法	129	141.2
そのほか（開削工法など）	13	24.5
合計	273	226.4

平成 31 年 3 月 31 日（2019.3.31）現在

（2）活動の内容

本テーマでは、平成 28 年度（2016 年度）から令和 2 年度（2020 年度）にかけて以下の活動を行い、活動成果として「特殊条件のトンネル事例集（NATM）」（原案）を作成した。本報告書では、これら活動のうち令和元年度から令和 2 年度の活動結果として、③～④の内容についてとりまとめるものである（①～③までは報告書（その 7）に収録済）。

① 特殊条件に該当する NATM トンネルの事例収集

「トンネル標準示方書〔山岳工法編〕」土木学会等に記載の特殊条件に該当する道内の NATM トンネルについて、維持管理の観点に立ったうえで事例収集を行った。

② NATM トンネルの補修補強に関する資料収集

矢板工法に比べ変状が少ない NATM トンネルにおいて、点検等で変状が確認され、追加の資料・検討、補修補強を行った事例について資料収集・分析を行った。

③ 特殊条件に該当する NATM トンネルの現地視察

道内の特殊条件に該当するトンネルについて、地形・地質、トンネル構造、施工状況等を確認した上で現地視察を行い、トンネル維持管理に向けた課題等を確認した。

④ 「特殊条件のトンネル事例集（NATM）」（原案）の作成

上記①～③を踏まえて事例集（原案）を作成した。

5.1.2 特殊条件に該当する NATM トンネルの現地視察

（1）現地視察の概要

特殊条件に該当するトンネルについて、地質、トンネル構造、施工状況等を確認した上で現地視察を行い、トンネル維持管理に向けた課題等を收集整理した。表 5.2 に概要を示す。

表 5.2 現地視察の概要

項目	視察年月日	視察概要
現地視察①	R1.6.20-21	・小樽・函館方面 ・刀掛トンネル、ピリカベツトンネル、大沼トンネル、豊崎ひろめトンネル
現地視察②	R1.10.30-31	・網走方面 ・新佐呂間トンネル、ウトロトンネル、薫別トンネル、銀河トンネル

(2) 現地視察の内容・結果（刀掛トンネル）

- ・トンネル概要：延長 L=2,754.0m、内空幅 D=9.4m（幅員 W=9.0m）、H14 竣工
- ・特 殊 条 件：多量湧水
- ・現地視察方法：全線の覆工・路面を目視観察
- ・現 地 状 況 等：起点坑口（岩内側）から 1,000m 付近に漏水（海側）。水平ひび割れ（両側壁縦断方向）
- ・視察での所見：漏水、ひび割れ等の変状は見られるものの規模は小さく、構造安定性を損なうものではない

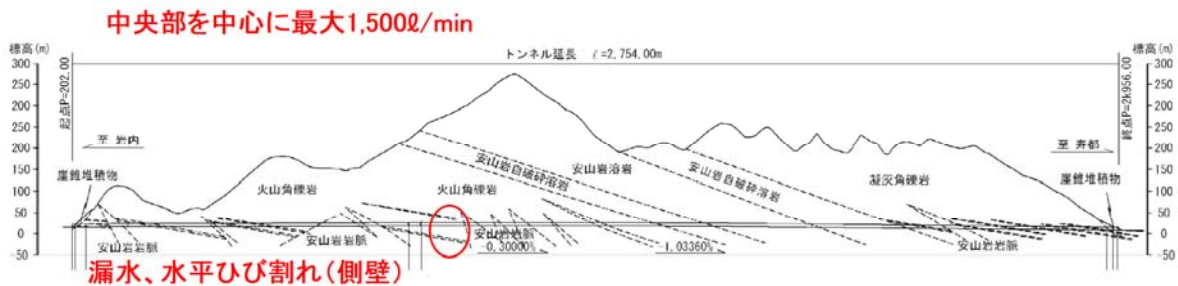


図 5.2 トンネル地質縦断図

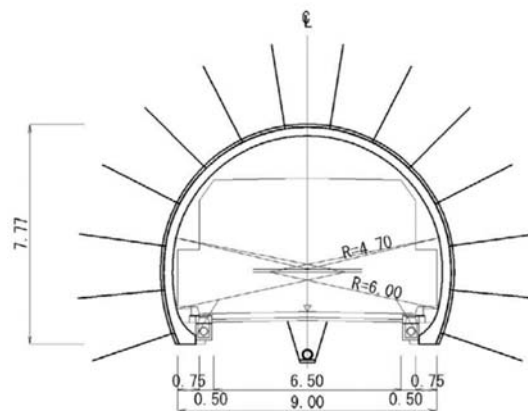


図 5.3 トンネル標準断面図

「北海道の道路トンネル」北海道土木技術会トンネル研究委員会より引用



写真 5.1 漏水状況（左：全景、右：拡大）

(3) 現地視察の内容・結果（ピリカベツトンネル）

- ・トンネル概要：延長 L=578.0m、内空幅 D=9.4m（幅員 W=9.0m）、H16 竣工
- ・特 殊 条 件：中央部で多量湧水、終点坑口（八雲側）が未固結地山
- ・現地視察方法：全線の覆工・路面を目視観察
- ・現 地 状 況 等：終点坑口から 240m 付近に漏水跡・面導水工あり。終点坑口部（八雲側）には変状なし
- ・視察での所見：施工時に適切な補助工法（天端対策、鏡面对策）を実施しているため大きな問題はない。施工時に多量湧水が発生した状況のとおり、地山として地下水が多い可能性があるため漏水に注意

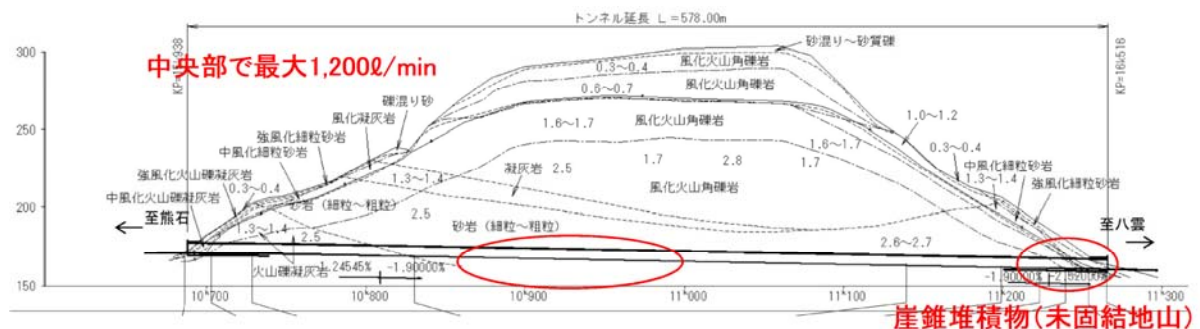


図 5.4 トンネル地質縦断面図

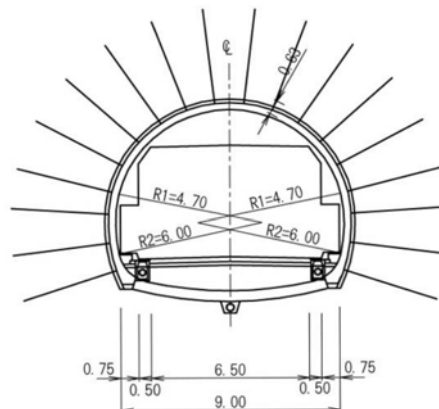


図 5.5 トンネル標準断面図

「北海道の道路トンネル」 北海道土木技術会トンネル研究委員会より引用



写真 5.2 坑口から 240m 付近の面導水工

(4) 現地視察の内容・結果（大沼トンネル）

- ・トンネル概要：延長 L=670.5m、内空幅 D=11.2m（幅員 10.75m）、H10 竣工
- ・特 殊 条 件：湧水（酸性水）
- ・特 殊 構 造：酸性水に接する吹付コンクリート、ロックボルトは腐食・劣化の可能性があるため仮設扱い。将来的なゆるみ荷重等は覆工（厚肉 RC 構造）で受持つ構造
- ・現地視察方法：全線の覆工・路面を目視観察
- ・現 地 状 況 等：鉄筋の被り部分コンクリートの剥落等の軽微な変状はあるものの、構造上、問題となる変状は確認できない
- ・視察での所見：コンクリートの剥離等は利用者被害につながるので適切な対策が必要（補修設計・工事は適宜実施済）

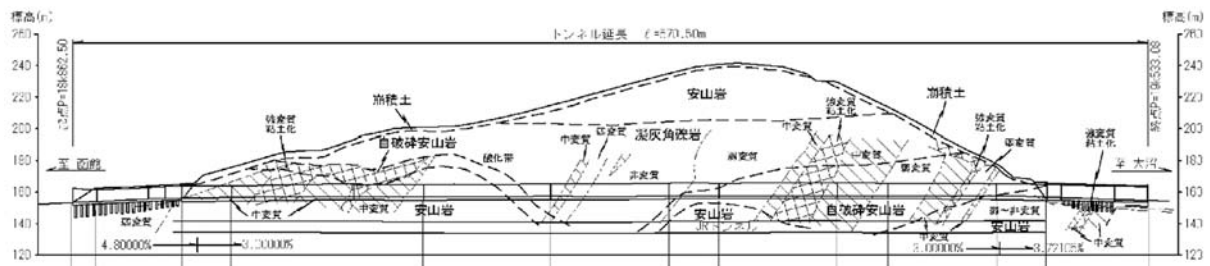


図 5.6 トンネル地質縦断図

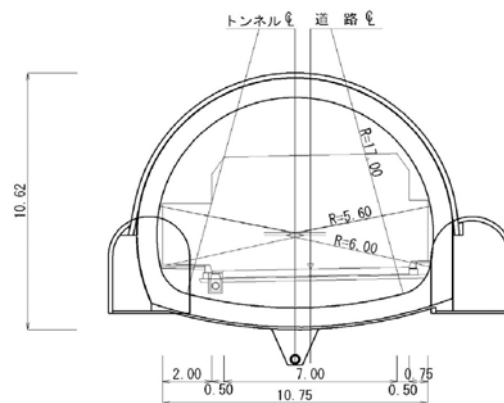


図 5.7 トンネル標準断面図

「北海道の道路トンネル」北海道土木技術会トンネル研究委員会より引用



写真 5.3 鉄筋被り部の剥離状況

(5) 現地視察の内容・結果（豊崎ひろめトンネル）

- ・トンネル概要：延長 L=538.0m、内空幅 D=11.9m（幅員 W=11.25m）、H24 竣工
- ・特 殊 条 件：全線で未固結地山の可能性
- ・現地視察方法：全線の覆工・路面を目視観察
- ・現 地 状 況 等：顕著な変状なし
- ・視察での所見：維持管理上の課題はない

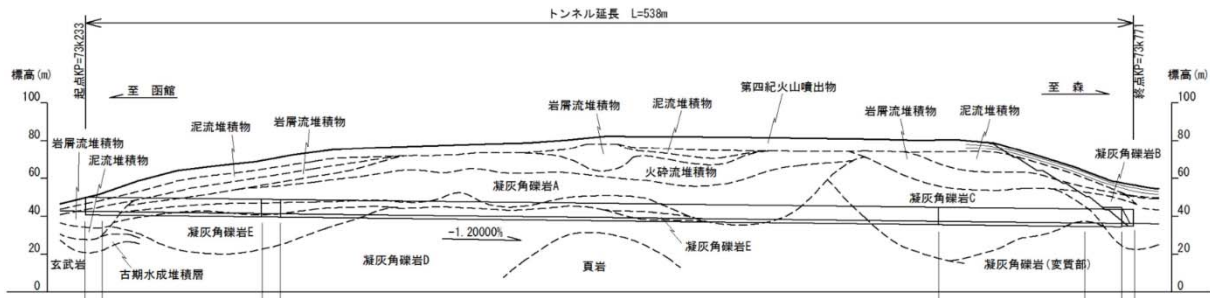


図 5.8 トンネル地質縦断面図

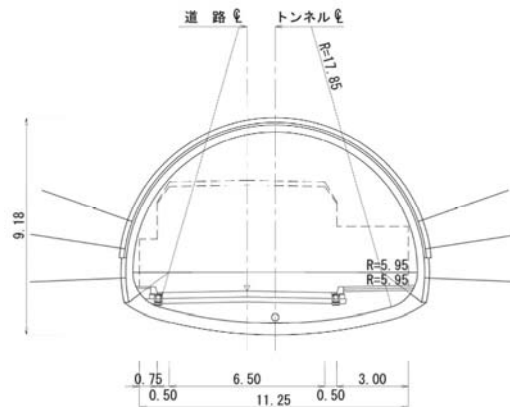


図 5.9 トンネル標準断面図

「北海道の道路トンネル」北海道土木技術会トンネル研究委員会より引用



写真 5.4 視察状況

(6) 現地視察の内容・結果（新佐呂間トンネル）

- ・トンネル概要：延長 L=4,110.0m、内空幅 D=10.4m（幅員 W=10.0m）、H20 竣工
- ・特 殊 条 件：大土被り（地山強度比 10 程度）
- ・現地視察方法：全線の覆工・路面を目視観察
- ・現 地 状 況 等：顕著な変状なし
- ・視察での所見：維持管理上の課題はない。

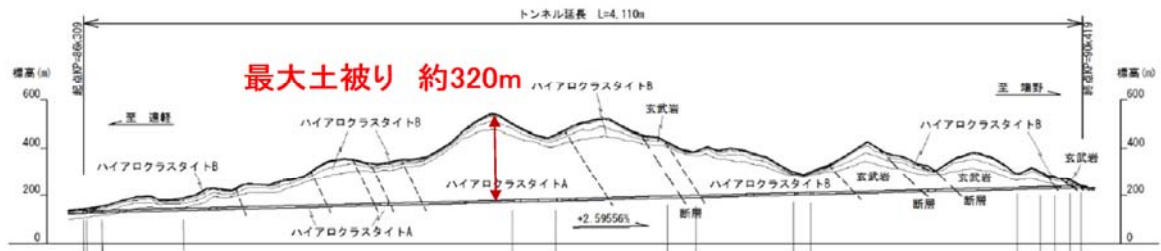


図 5.10 トンネル地質縦断図

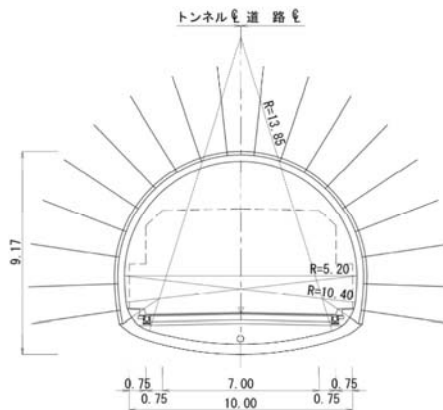


図 5.11 トンネル標準断面図

「北海道の道路トンネル」北海道土木技術会トンネル研究委員会より引用



写真 5.5 視察状況

（7）現地視察の内容・結果（ウトロトンネル）

- ・トンネル概要：延長 $L=378.0\text{m}$ 、内空幅 $D=11.3\text{m}$ （幅員 $W=10.25\text{m}$ ）、H25 竣工
- ・特 殊 条 件：地すべり・斜面災害
- ・現地視察方法：全線の覆工・路面を目視観察
- ・現 地 状 況 等：顕著な変状なし
- ・視察での所見：適切な支保パターンと地すべり対策を実施しているため大きな問題はない。引きつづき覆工面のひび割れなど経過観察。坑口上方斜面は湧水が多そうなので今後の漏水発生にも注意

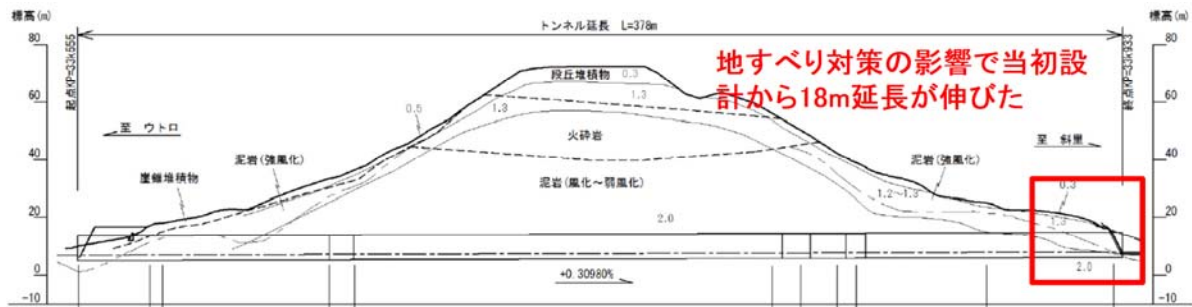


図 5.12 トンネル地質縦断面図

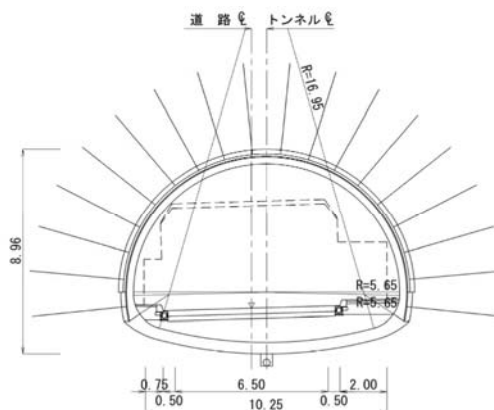


図 5.13 トンネル標準断面図

「北海道の道路トンネル」北海道土木技術会トンネル研究委員会より引用



写真 5.6 視察状況

(8) 現地視察の内容・結果（薫別トンネル）

- ・トンネル概要：延長 $L=703.5\text{m}$ 、内空幅 $D=10.2\text{m}$ （幅員 $W=9.75\text{m}$ ）、H9 竣工
- ・特 殊 条 件：小土被り（最大 20m 程度）
- ・現地視察方法：全線の覆工・路面を目視観察
- ・現 地 状 況 等：顕著な変状なし
- ・視察での所見：維持管理上の課題はない

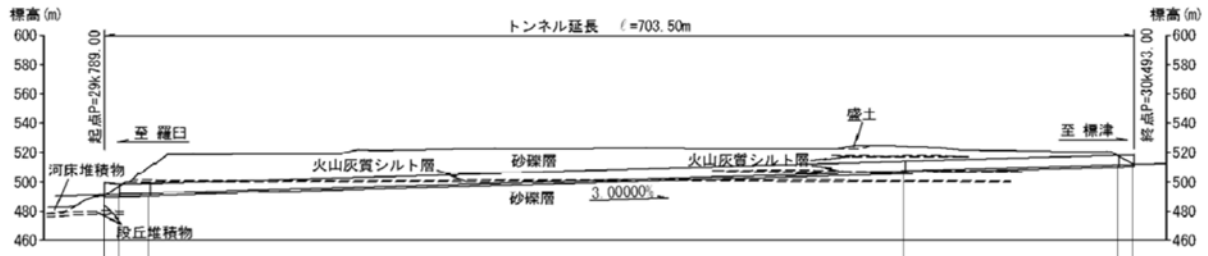


図 5.14 トンネル地質縦断面図

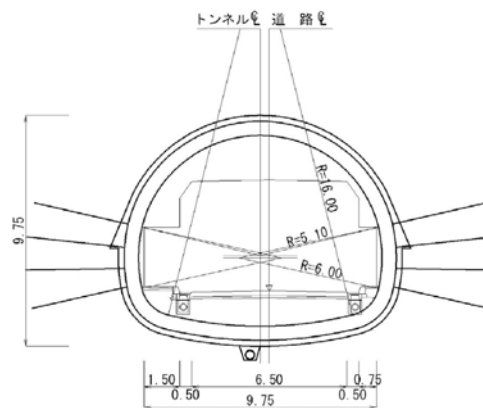


図 5.15 トンネル標準断面図

「北海道の道路トンネル」北海道土木技術会トンネル研究委員会より引用



写真 5.7 視察状況

(9) 現地視察の内容・結果（銀河トンネル）

- ・トンネル概要：延長 $L=3,388.0\text{m}$ 、内空幅 $D=11.2\text{m}$ （幅員 $W=10.75\text{m}$ ）、H7 竣工
- ・特殊条件：分岐部・合流部
- ・現地視察方法：迂回トンネル（分岐部・合流部）の覆工・路面を目視観察
- ・現地状況等：顕著な変状なし
- ・視察での所見：維持管理上の課題はない。

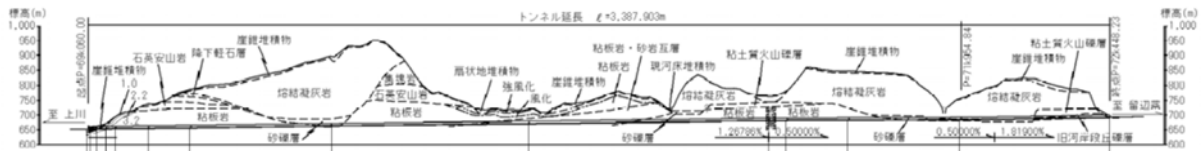


図 5.16 トンネル地質縦断図

「北海道の道路トンネル」北海道土木技術会トンネル研究委員会より引用

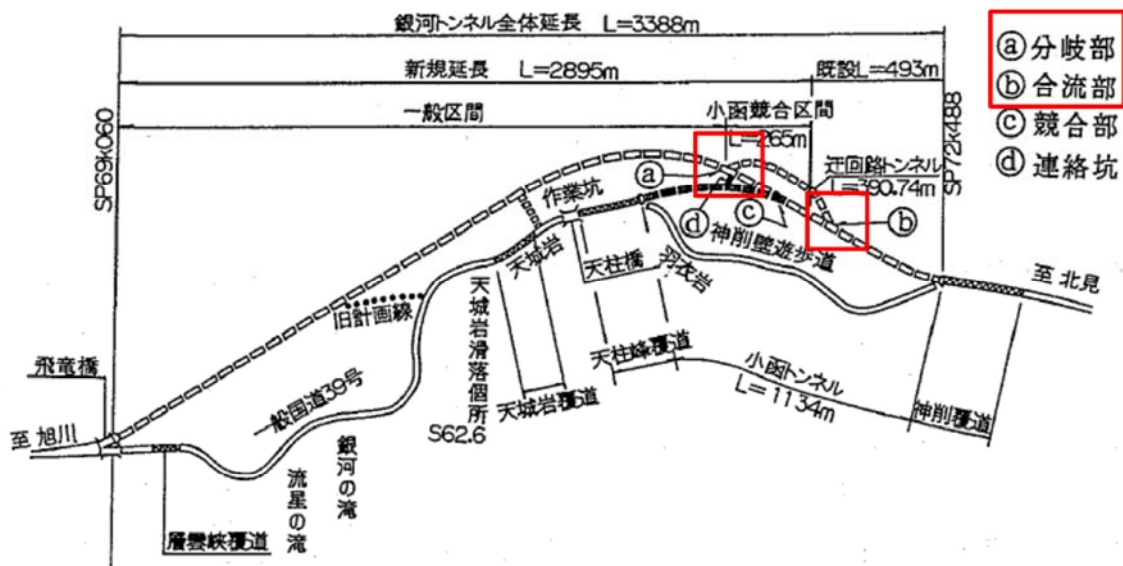


図 5.17 トンネル概要図

「第 40 回 北海道開発局技術研究発表会」発表論文より引用



写真 5.8 視察状況

5.1.3 「特殊条件のトンネル事例集（NATM）」（原案）の作成

（1）事例集（原案）の構成

事例集（原案）の構成は以下のとおりである。

- ・事例集作成の背景・目的
- ・特殊条件の解説
- ・該当トンネル一覧表・位置図
- ・基礎資料：全46トンネルの基礎資料。「トンネル台帳」、「北海道の道路トンネル」を掲載。
- ・詳細資料：代表的な11トンネルのカルテ資料。特殊条件の概要、変状状況、対策工、維持管理の留意事項等を掲載

（2）事例集（原案）の例

事例集（原案）の一例（抜粋）を図5.18～5.32に示す。

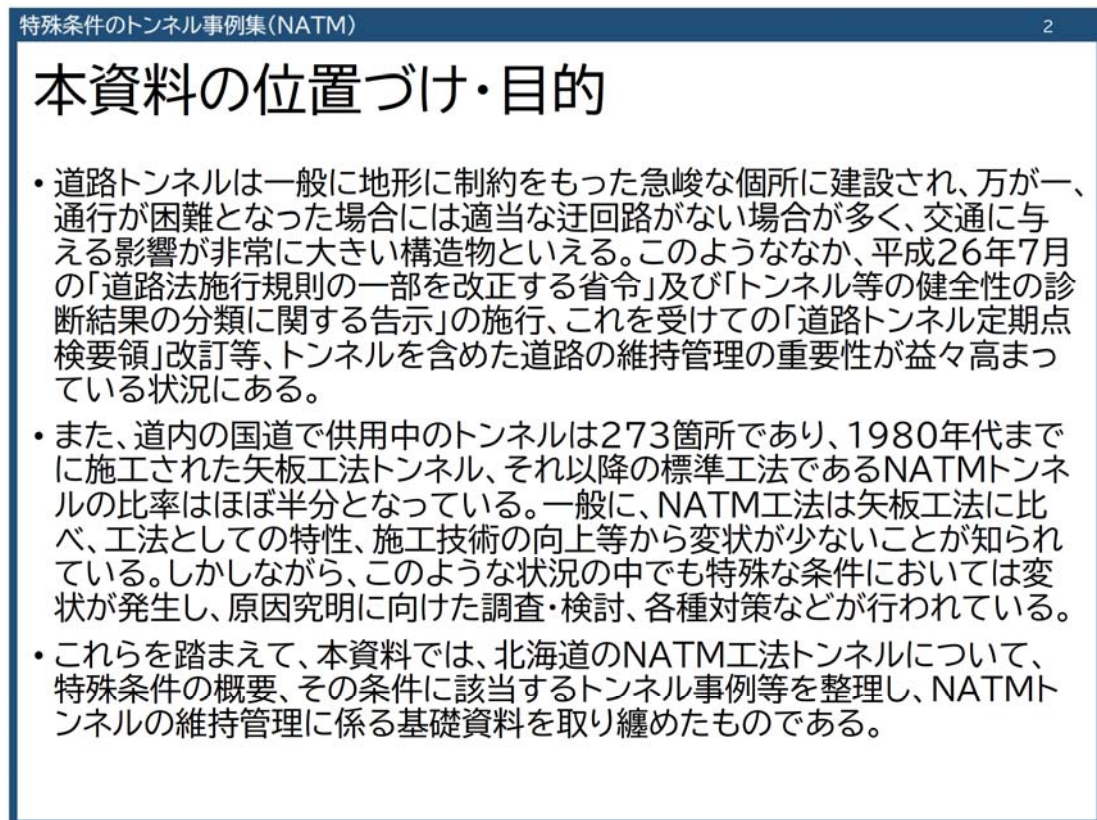


図 5.18 事例集の例（目的）

特殊条件のトンネル事例集(NATM)			5
特殊条件の分類と内容			
特殊条件	分類	具体的な内容	
地山条件	特殊な地山	・地すべりや斜面災害が予想される地山 ・断層破碎帯、褶曲じょう乱帯 ・未固結地山 ・膨張性地山 ・山はねが生じる地山 ・高い地熱、温泉、有毒ガス等がある地山 ・高圧、多量の湧水がある地山	
立地条件	特殊な位置	・都市域を通過する場合 ・小さな土被りの場合 ・特に大きな土被りの場合 ・水底を通過する場合	
	近接施工	・既設構造物に近接して施工する場合 ・相互に近接して施工する場合 ・他の近接施工による影響を受ける場合	
形状と寸法	特殊な形状と寸法	・分岐部および拡幅部 ・特に大きな断面 ・その他の特殊な形状	
完成後の外力	完成後の外力	・土圧 ・水圧 ・地震 ・その他の外力(凍上圧、内部荷重、上載荷重等)	

図 5.19 事例集の例（特殊条件の分類・内容）

特殊条件のトンネル事例集(NATM)

24

特殊条件に該当するトンネル一覧表(1/5)

No	トンネル	特殊条件										資料		
		地すべり・斜面災害	断層破砕帯	未固結地山	膨張性地山	高圧・多量湧水	都市部	小・大土被り	近接施工	分岐部拡幅部	大断面	土圧水圧地震	基礎資料	詳細資料
1	大和田	●											●	
2	ウトロ	●											●	
3	幌加内	●			●								●	●
4	春志内		●										●	●
5	富和		●								●		●	
6	北見が丘		●										●	
7	第一南が丘		●										●	
8	豊郷			●									●	
9	弁慶			●									●	●
10	豊崎ひろめ			●									●	

図 5.20 事例集の例（特殊条件トンネル一覧 1/5）

特殊条件のトンネル事例集(NATM)

25

特殊条件に該当するトンネル一覧表(2/5)

No	トンネル	特殊条件										資料	
		地すべり・斜面災害	断層破砕帯	未固結地山	膨張性地山	高圧・多量湧水	都市部	小・大土被り	近接施工	分岐部拡幅部	大断面	土圧水圧地震	基礎資料
11	武華			●								●	
12	穂高				●							●	
13	新送毛				●							●	
14	川白				●							●	●
15	キナウシ				●							●	●
16	大沼				●							●	
17	小平				●							●	
18	ピリカバツ					●						●	●
19	刀掛					●						●	
20	武威					●						●	

図 5.21 事例集の例（特殊条件トンネル一覧 2/5）

特殊条件のトンネル事例集(NATM)

26

特殊条件に該当するトンネル一覧表(3/5)

No	トンネル	特殊条件										資料	
		地すべり・斜面災害	断層破砕帯	未固結地山	膨張性地山	高圧・多量湧水	都市部	小・大土被り	近接施工	分岐部拡幅部	大断面	土圧水圧地震	基礎資料
21	北大雪					●						●	
22	旭川(上下)						●	●				●	●
23	春光台(上下)						●	●				●	
24	長橋(上下)						●					●	
25	薫別							●				●	
26	新釧勝							●				●	
27	新佐呂間							●				●	
28	新錦								●			●	
29	張碓								●			●	
30	新厚瀬								●			●	

図 5.22 事例集の例（特殊条件トンネル一覧 3/5）

特殊条件のトンネル事例集(NATM)

27

特殊条件に該当するトンネル一覧表(4/5)

No	トンネル	特殊条件											資料	
		地すべり・斜面災害	断層破砕帯	未固結地山	膨張性地山	高圧・多量湧水	都市部	小・大土被り	近接施工	分岐部拡幅部	大断面	土圧水圧地震	基礎資料	詳細資料
31	石山(上下)								●				●	
32	豊浜									●	●		●	●
33	大森									●	●		●	
34	銀河									●			●	
35	日方泊									●			●	
36	えりも黄金									●	●		●	●
37	雄冬峠									●			●	
38	敷島内									●			●	
39	新赤岩											●	●	●
40	西の河原											●	●	

図 5.23 事例集の例（特殊条件トンネル一覧 4/5）

特殊条件のトンネル事例集(NATM)

28

特殊条件に該当するトンネル一覧表(5/5)

No	トンネル	特殊条件										資料		
		地すべり・斜面災害	断層破砕帯	未固結地山	膨張性地山	高圧・多量湧水	都市部	小・大土被り	近接施工	分岐部拡幅部	大断面	土圧水圧地震	基礎資料	詳細資料
41	幌満											●	●	
42	北の峰											●	●	

平成31年3月31日(2019.03.31)現在、供用中トンネルを対象として抽出

図 5.24 事例集の例（特殊条件トンネル一覧 5/5）

特殊条件に該当するトンネル位置図(1/2)

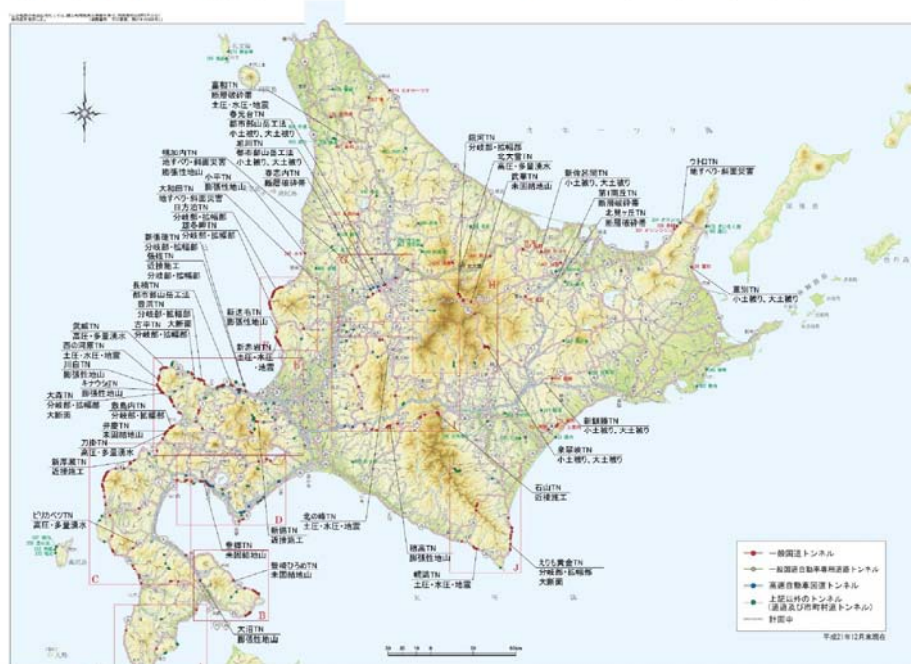


図 5.25 事例集の例（トンネル位置図 1/2）

特殊条件に該当するトンネル位置図(2/2)

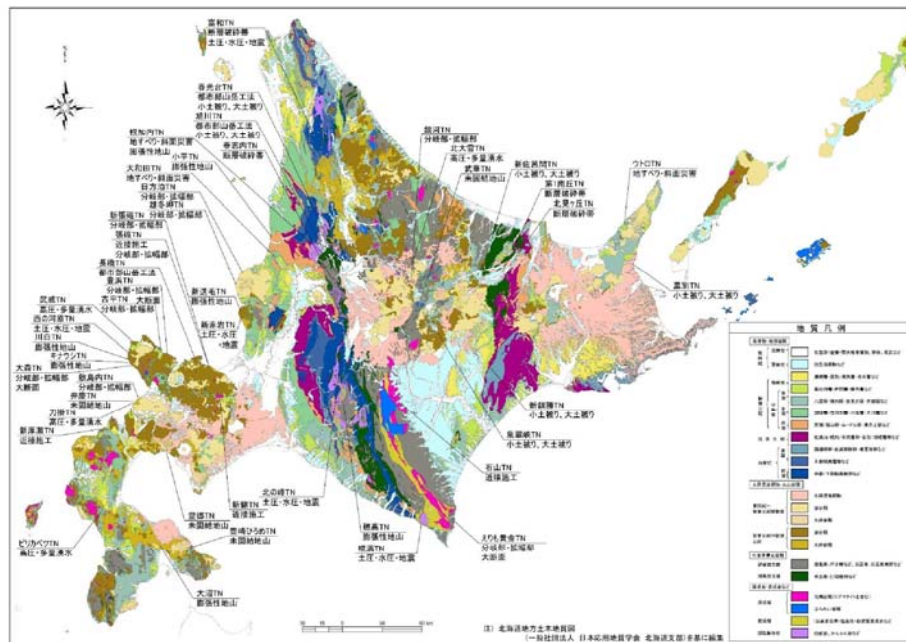


図 5.26 事例集の例（トンネル位置図 2/2）

No.5 富和トンネル基礎資料(1/2)

■トンネル台帳 【様式A-1】

フリガナ 名 称		トミワトンネル 富和トンネル		路線名		国道40号		管理者名		士別道路事務所		緊急輸送道路 代替路の有無		一次									
所在地		自 至		中川郡中川町宇富和 中川郡中川町宇富和		作成者		株式会社エンジニアリング		作成年月日		2019年03月29日		トンネル延長 L= 955 m トンネルの分類 陸上トンネル掘進工法									
起点	緯度	44° 43' 59"		完成年月日		1991年 <th rowspan="2">舗装</th> <th rowspan="2">種 別</th> <td colspan="2">コンクリート系<th rowspan="2">通報 装置</th><td colspan="2">施設の内部<td>個数</td><td>型式</td><td>更新年月</td></td></td>		舗装	種 別	コンクリート系 <th rowspan="2">通報 装置</th> <td colspan="2">施設の内部<td>個数</td><td>型式</td><td>更新年月</td></td>		通報 装置	施設の内部 <td>個数</td> <td>型式</td> <td>更新年月</td>		個数	型式	更新年月						
	経度	142° 07' 07"		供用年月日		1992年 <td colspan="2">厚 さ</td> <td colspan="2">0.25 m</td> <td colspan="2">非常電話</td> <td>10</td> <td>埋め込み式</td> <td>1991</td>				厚 さ			0.25 m		非常電話		10	埋め込み式	1991				
終点	緯度	44° 43' 59"		トンネル等級		C <th rowspan="2">排水</th> <th rowspan="2">面 積</th> <td colspan="2">9,073 m²</td> <th rowspan="2">通報 装置</th> <td colspan="2">照度タン式通報装置</td> <td>18</td> <td>Ⅱ型</td> <td>1991</td>		排水	面 積	9,073 m ²		通報 装置	照度タン式通報装置		18	Ⅱ型	1991						
	経度	142° 07' 06"		内装種類		覆工（内装なし）				更新年次			-		火災検知器		-	-	-				
一般有料区分				一般（無料）		天井板種類		覆工（内装なし）		種 別	中央排水方式		通報 装置	警報表示板		-	-						
土かぶり				80 m		起点 形式	ベルマウス型		更新年次		-			点滅灯		2	吊架式	1991					
空間断面積				53.8 m ²			終点 形式	ベルマウス型		施設	種別・型式		更新年次	音信号発生器		1	拡声器	1991					
交 通 量				3,121 台/日		延長		16 m			照明	タリウムLED		261	1993	消火器		-	-				
道 路 幅				9.5 m			延長	16 m		換気		自然換気				-	-	消火栓		-	-		
幅員	車 道 幅	3.5 m		アーチ	30 cm			側 壁	30 cm		標識	-		- <td rowspan="4">誘導表示板</td> <td>68</td> <td>反射式</td> <td>-</td>	誘導表示板			68	反射式	-			
		3.5 m			30 cm		30 cm		吸音板			-				避障設備		-	-				
		0 m			30 cm		50 cm		-			-				-		-	-				
		5 m			500 cm		600 cm		-			-				-		-	-				
高さ	建築限界高	5 m		インパート	0 cm		側 壁	600 cm		インパート	0 cm		種 類	寸 法		更新年次	給水栓		-	-			
		7 m			500 cm			500 cm			3条			NTT東日本			2011		無線通信補給装置		-	-	
		5 m			600 cm			600 cm			1条			KDDI無線機予備センター			2014		ラジオ内放送設備		-	-	
		下り0.6%			0 cm			0 cm			-			-			-		拡声放送設備		-	-	
線形	直線区間長	0 m		種 類	寸 法		更新年次	管理者名		更新年次		通報 装置	水噴霧装置		-	-	その他の設備	監視カメラ(CCTV)		-	-		
		区間長			955 m			3条		NTT東日本			2011		非常用電源装置			-	-	非常駐車帯		-	-
		起点側クローバ			478 m			1条		KDDI無線機予備センター			2014		-			方向転換路		-	-		
		曲線半径			760 m			-		-			-		-			-		-	-		
水	曲線区間	終点側クローバ		478 m		占用物件		トンネル工法		山岳トンネル工法		トンネル延長		L= 955 m		トンネルの分類		陸上トンネル掘進工法					

図 5.27 事例集の例 (基礎資料 1/2)

No.5 富和トンネル基礎資料(2/2)

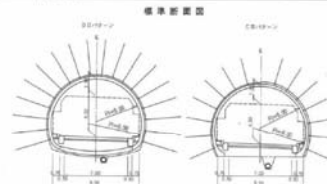
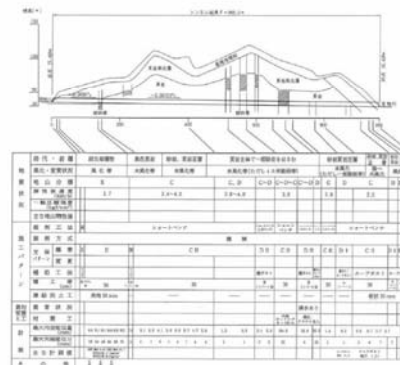
[illegible]

図 5.28 事例集の例 (基礎資料 2/2)

特殊条件のトンネル事例集(NATM)

2

No.14 川白トンネル詳細資料(カルテ①)



図 5.29 事例集の例 (詳細資料 1/2)

特殊条件のトンネル事例集(NATM)

3

No.14 川白トンネル詳細資料(カルテ②)

供用後の変状発生状況	変状原因、対策工の内容・考え方
- 先進ボーリング、切羽状況からは良好な安山岩を確認し、CⅠ～CⅡパターン主体で施工。 - 施工時の計測結果も天端沈下・内空変位ともに5～15mmと小さい値。(CⅠ～CⅡでの一般的な天端沈下量15～30mm) - 共用後まもなく、舗装版が4か所隆起(盤膨れ) - SP=63,564付近、63,640付近、63,656付近、63,684付近。 1回目盤膨れ高さ120mm(SP=63,644、3か月間)。2回目盤膨れ高さ180mm(SP=63,684、12か月間)。 - 舗装版の目地部が隆起(間隔8m)。舗装版及び覆工に顕著な損傷はない。	- 主に、乾湿による地山劣化、粘土化変質岩盤の吸水膨張。(覆工背面にゆるみ域は確認できない) - 施工時の切羽観察では確認が困難な底板下方に粘土化変質帯が多く分布。(施工時の計測結果に問題はない) - 底板部は、横断排水・中央排水により水が集まるため、インバートがない区間を中心に変状が発生。 2回目の変状は、隣接区間のインバート施工により、地山の水みちが変化し、地山劣化・吸水膨張が発生・進行。 - 類似事例(上信越自動車道浅間山トンネル、長崎自動車道うれしの・依坂トンネル)、Terzaghiのゆるみ荷重に対して支保工耐力の照査計算などから、補強ロックボルト、新規インバートによる補強を計画・施工。
現地状況(2018.06.18視察時)	維持管理上の留意点
- 路面に新規変状は確認できない。 - 側壁の水平ひび割れに漏水跡が確認される(路面変状との関係性は低いと思われる)。 - 岩盤路床であったことも盤膨れの一要因ではないか。 - 施工中の路盤部地質状況(変質脈等)は難しい。 - 縁石に変状はなく、路面のみ隆起している特徴がある。	- 定期点検、日常監視においては、そのほか箇所の路面変状に着目する。 - 側壁のひび割れの進行度合い、漏水量に着目する。 - 要注意区間は特になし。

図 5.30 事例集の例 (詳細資料 2/2)

No.14 川白トンネル詳細資料(参考資料)

○トンネル周辺の詳細地質

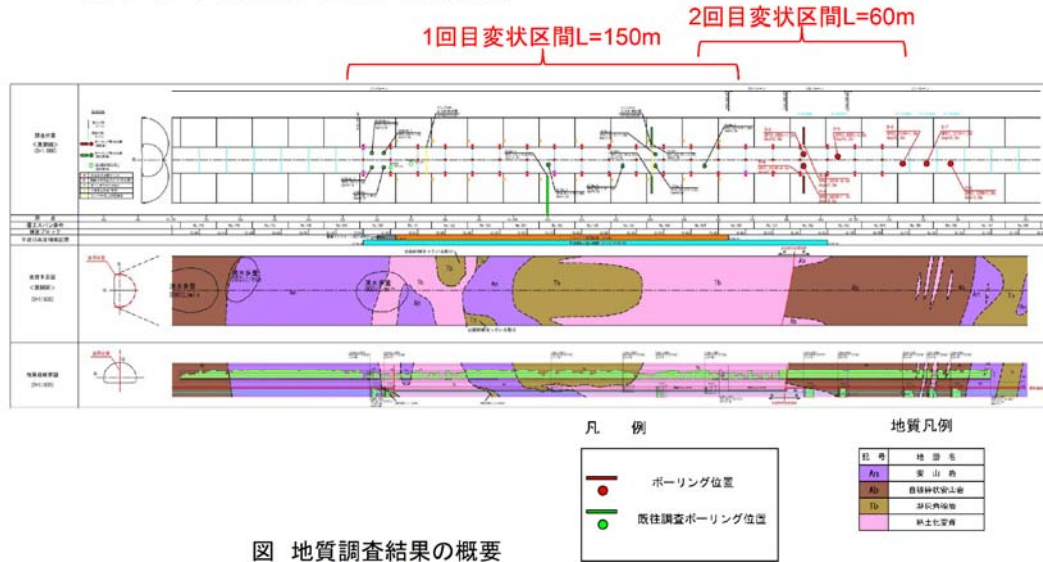


図 5.31 事例集の例（詳細資料、参考資料）

No.14 川白トンネル詳細資料(参考資料)

○対策工断面図

・補強ロックボルト、インバート工

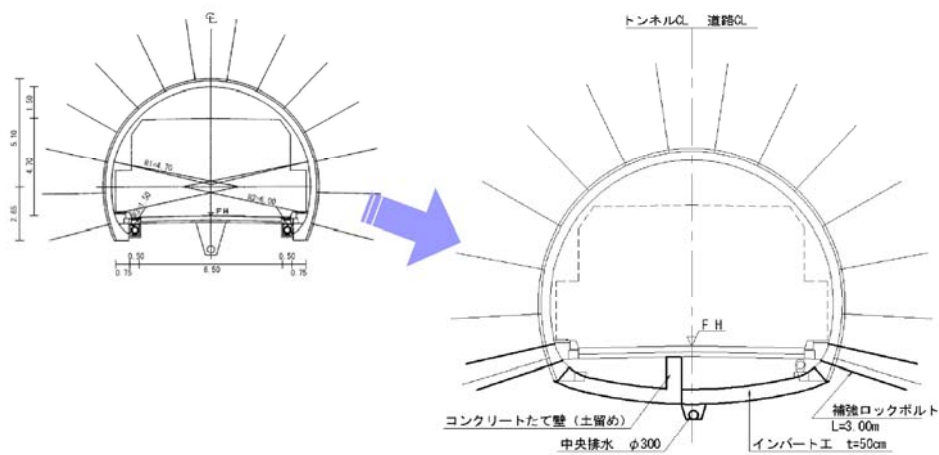


図 対策工断面図

図 5.32 事例集の例（詳細資料、参考資料）

5.2 北海道における変状と原因に着目したトンネル維持管理

5.2.1 活動の概要

(1) 活動の目的

最近のトンネル WG 活動状況は下表に示す通りであり、主としてトンネル構造に着目して維持管理全般を広く検討するテーマで活動を行ってきた。

表 5.3 最近のトンネル WG 活動状況

期間	テーマ	活動成果
H24～H27	北海道における矢板工法トンネルの維持管理	「北海道の矢板工法トンネルの維持管理に関するハンドブック」の作成
H28～R02	北海道における NATM トンネルの維持管理	「特殊条件のトンネル事例集（NATM）」の作成

一方、今回の活動については、“根本的なトンネル維持管理の難しさ”：“トンネルは他の地盤構造物・コンクリート構造物に比べ”変状“と”原因“の関連性が分かりづらいこと、をテーマに据えて検討を行った。具体的には、トンネル条件（工法、地質等）、変状の発生位置（天端、側壁等）・形状寸法等から、変状と原因の簡単な関連付けを行い、トンネル初心者が現地変状を確認し、ある程度の変状原因（注意が必要な変状か）を推定できるような基礎資料を作成することを目的とする。

(2) 活動の背景

トンネルの維持管理の課題・問題は以下のように整理できる。

① トンネルの特殊性

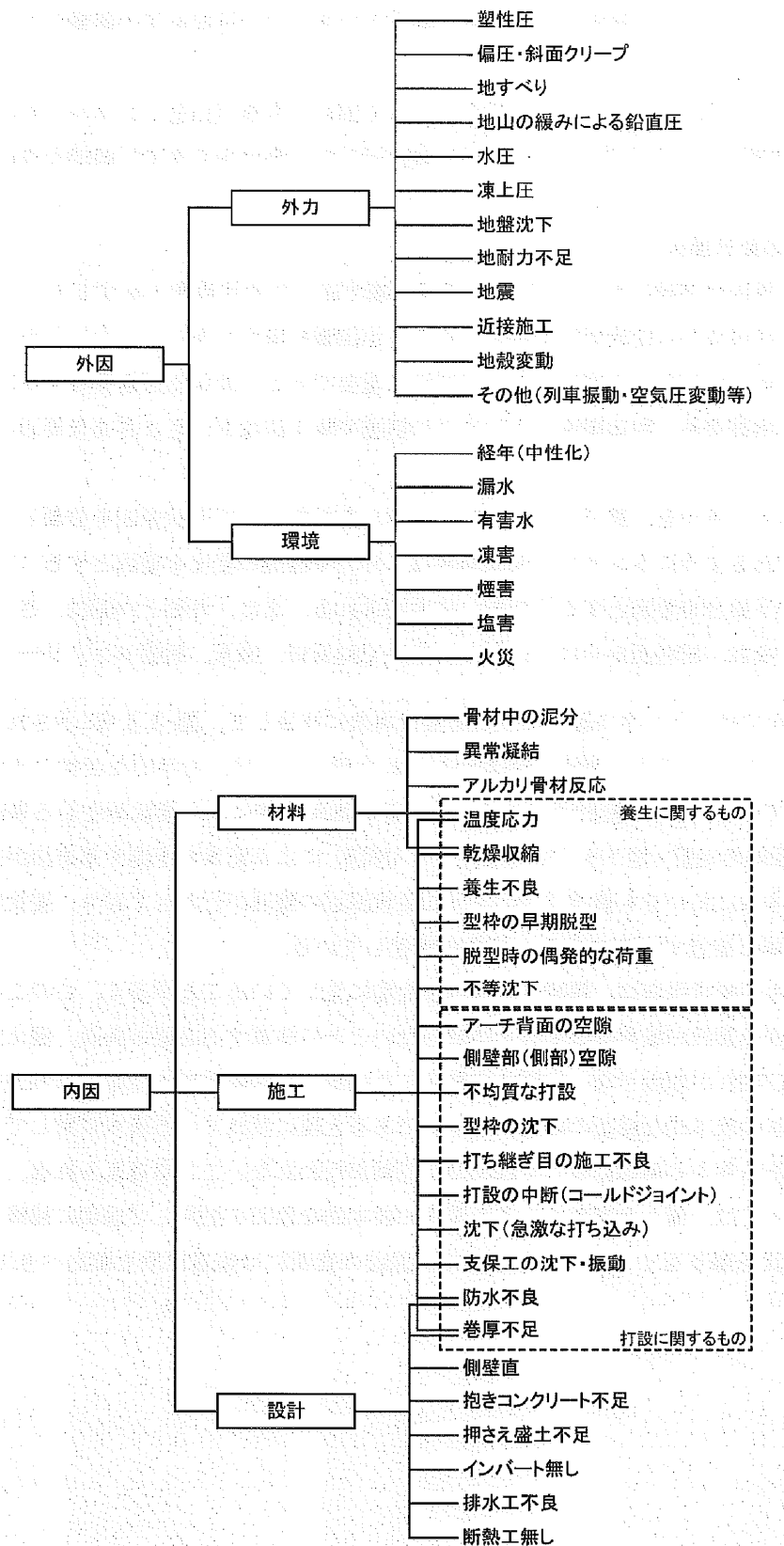
他の地盤構造物（のり面工等）、コンクリート構造物（擁壁、函渠、橋梁下部工等）に比べて、構造、設計施工等で特殊性が高く、トンネルの維持管理の難しさに繋がっていると考えられる。

表 5.4 他構造物（地盤、コンクリート）と比べたトンネルの特殊性

事項	内容
構造	土中の線状構造物。地山も支保部材の一部。覆工コンクリートは背面拘束された薄い板部材（温度応力・乾燥収縮等でひび割れが発生しやすい、積雪寒冷地の北海道では特にその影響は顕著）。北海道特有の断熱材の影響（温度応力、覆工の背面反力）。
設計	設計外力・部材の材料特性が不明確（計算だけで設計はできない、原因究明も計算だけではできない）
施工	掘削工法・方式で構造物の性能が変わる。覆工コンクリートの打設・養生の難しさ。
点検	覆工表面しか点検できない。背面状況（地山、吹付けコンクリート、空洞有無等）は点検では確認できない

② 変状原因の多様性・複雑性

トンネルの変状原因を考えるにあたっては、変状現象だけでなく地形地質、周辺環境、施工方法等、様々な要因を考慮する必要がある。



「トンネルライブラリー第14集トンネルの維持管理」土木学会より引用

また、変状の多くは、複数の要因が相互に複雑に関連しながら発現し、複数の変状が複合的に生じることが多く、観察できる変状自体が根本的な原因と限らないことも重要な事項である（ex.“漏水”を伴う“ひび割れ”は、ひび割れが先か？漏水（水圧）が先か？）。

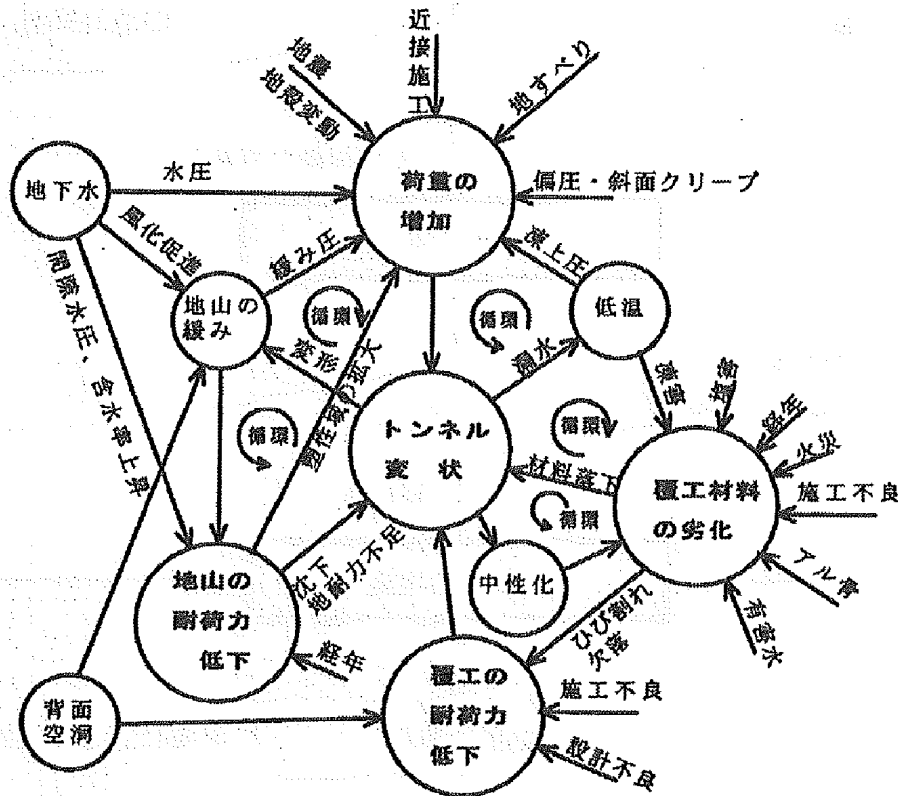


図 5.34 トンネル変状原因の関連図（例）

「トンネルライブラリー第14集トンネルの維持管理」土木学会より引用

(3) 活動の内容

本テーマでは、令和3年度（2021年度）から令和5年度（2023年度）（予定）にかけて以下の活動を行い、活動成果として「変状・原因の対比一覧表（案）」、「変状に関する参考資料（案）」を作成する予定である。本報告書では、これら活動のうち令和3年度（2021年度）の活動をまとめるものである。

① 基準指針・文献による資料収集

「道路トンネル維持管理便覧」日本道路協会等の基準指針、各学会の論文発表等の文献資料を収集して、変状と発生原因に関する基礎資料を整理する。

② 現地視察による資料収集

文献などの資料収集に並行して現地視察も実施し、変状状況の現地確認、変状原因の意見交換・考察等からも変状と発生原因に関する基礎資料を取りまとめる。

③ 「変状・原因の対比一覧表（案）」等の作成

上記①～②を踏まえてWG成果として、「変状・原因の対比一覧表（案）」等を作成する。

（4）活動の基本方針

トンネルの変状現象は、図 5.35 に示す通り大きく分けて「外力による変状」、「材質劣化による変状」、「漏水による変状」の3つに分類できる。

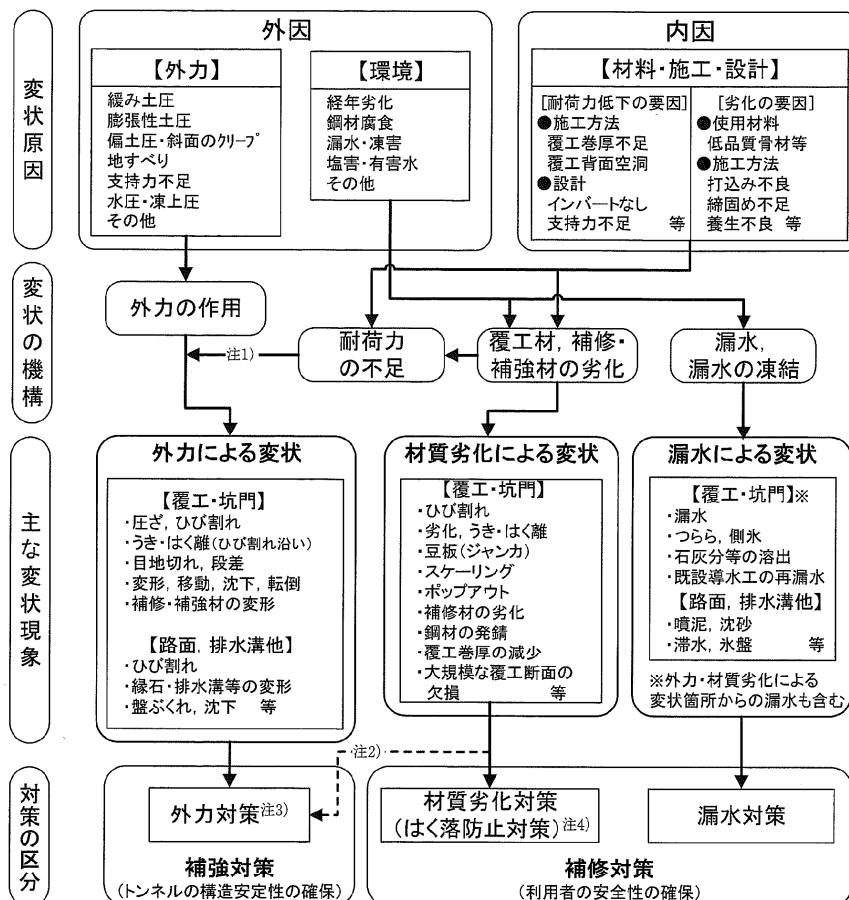


図 5.35 変状原因と対策区分の関係

「道路トンネル維持管理便覧」日本道路協会より引用

後述するように、「道路トンネル維持管理便覧」日本道路協会等の基準指針には、「変状の原因」、「変状の機構」から「発生する変状現象・形態」を指し示す資料がまとめられている。今回の活動テーマでは、これら資料をベースに、「変状の現象・形態」と「トンネル条件（地形地質条件、環境条件、構造条件、施工条件等）から、「変状原因・機構」を関連付ける資料を整理することが目的となる。

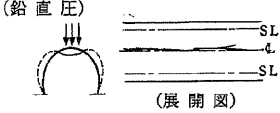
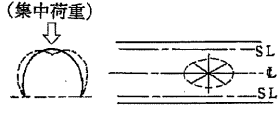
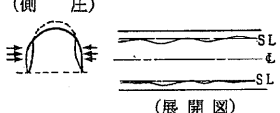
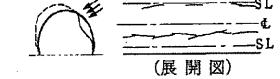
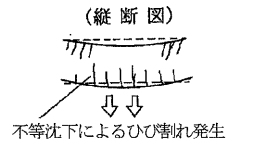
外力による変状は、供用している道路トンネルにおいてはすでに対策済み（補強済み）であることが多いため現地視察による資料収集は難しい。したがって、過去の事例調査（文献・論文の収集整理）によってデータ収集を行う。

一方、材質劣化による変状、漏水による変状については、日々対策（補修）を行っているものの現地確認が可能であることが多いため、現地視察を基本にデータ収集を行うものとする。

5.2.2 基準指針・文献による資料収集

「道路トンネル維持管理便覧」日本道路協会では、変状の種類ごとに変状原因と特徴が整理されている。一例を抜粋して表 5.5～5.7、図 5.36～5.37 に示す。

表 5.5 変状原因と特徴一覧表(1/3)

変状原因		概 要
外因 (外力)	緩み土圧	緩み土圧は、地山が緩み、自重を支えられなくなり、覆工に荷重として作用する鉛直圧を主体とするものである。このため、アーチの天端にトンネル縦断方向の引張りひび割れを生じるものが多い。ただし集中荷重として土圧が作用すると、放射状もしくはクモの巣状にひび割れが発生する場合がある また、トンネルの上部に比較的大きい空洞があり、空洞の上部の岩塊が何らかの理由で地山と分離し落下し、衝撃的に覆工に衝突する場合がある。覆工の強度・巻厚が十分でなければ覆工を破壊し、岩塊もろともトンネル内へ岩塊が落下した事例がある。このような現象は「突発性の崩壊」と称する (鉛直圧)  (集中荷重) 
	膨張性土圧	膨張性土圧による変状では、左右の側壁あるいはアーチの両肩に、複雑な水平ひび割れが生じやすく、アーチと側壁間に打継ぎ目がある場合には段差が生じることがある。また、盤ぶくれが発生する場合がある (側 圧) 
	偏土圧・斜面のクリープ	斜面下や、傾斜した片理方向に緩みが生じて偏土圧が作用し、トンネルが変状するものである。山側アーチ肩部に引張りひび割れ、段差が生じることが多い 
	地すべり	地すべりによってトンネルが変状するものをいう 地すべりによる変状は、トンネルとすべり面の位置関係により変状の発生形態が異なる (展開図) 
	支持力不足	支持力不足がトンネルの変状と結びつきやすいのは、縦断的、あるいは横断的な不等沈下である。前者の場合、トンネル横断方向のひび割れが生じやすい。また、後者の場合はトンネル軸の回転をとめない、斜め方向のひび割れが生じる (縦断図)  不等沈下によるひび割れ発生

「道路トンネル維持管理便覧」日本道路協会より引用

表 5.6 変状原因と特徴一覧表(2/3)

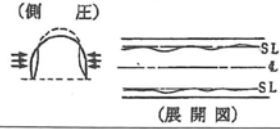
変状原因		概 要
外 因 (外 力)	水圧・凍上圧	水圧・凍上圧は、漏水と深くかかわっており、トンネルに作用する場合は通常、側圧が卓越し、側壁あるいはアーチ肩部の水平ひび割れが生じることが多い 
	その他	近接施工や地震等によってトンネル周辺地山が変形するのにもとない、覆工や坑門が変形し、せん断ひび割れ等が発生する場合がある
外 因 (環 境)	経年劣化	コンクリートの経年劣化の代表的な原因は中性化である。コンクリートの中性化は、主としてコンクリート中の強アルカリ生成物である水酸化カルシウムが、大気中の炭酸ガスと反応してアルカリ性を失い、中性化する現象をいう
	鋼材腐食	坑門等の鉄筋コンクリート構造物では、中性化の進行等で鋼材の腐食・体積膨張により、鉄筋に沿ったひび割れの助長および鋼材断面の減少・耐荷力低下を生じる可能性がある
	漏水	漏水は、外力による変状（水圧等）の原因にもなるが、それ以外にも漏水自体が材質劣化を促進する原因となる場合がある
	凍害	寒冷地のトンネルでは、凍害は覆工の劣化要因の中でもっとも問題となることが多い要因である。凍害の発生機構は、コンクリート中の水分の凍結およびそれにもなう体積膨張にある
	塩害	コンクリート中への塩分浸透は、鋼材腐食を促進させる可能性があり、鋼材腐食による体積膨張でコンクリートにひび割れ等が生じる
	有害水	背面地山中の地下水には、火山地帯にみられる酸性水等のように、覆工にとって有害成分を含むものがあり、覆工劣化をもたらす原因となる
内 因 (材 料・施 工・設 計)	その他	通行車両の事故による火災時には、コンクリートは高温条件にさらされる。火災による覆工の劣化としては、強度、弾性係数等の力学的性質の低下、コンクリートの表面および内部での爆裂現象、はく離、ひび割れ等が考えられる また通行車両の排気ガスや煤煙に含まれる窒素酸化物等が漏水中の水分と化合して強い酸性水を生成する可能性がある。これまでのところ同現象に起因する変状の例は少ない

表 5.7 変状原因と特徴一覧表(3/3)

変状原因		概 要
内 因 (材 料・施 工・設 計)	使用材料	使用材料に起因する変状は、発生時期は早期なものが多い。使用材料の不適切な選定として、セメントの異常凝結や低品質骨材による膨張等がある。またアルカリ骨材反応等の事例も報告されている
	施工方法	コンクリートの打込み不良や締固め不足によりコールドジョイントや豆板等が形成される場合がある。またセメントの水和熱による温度変化とそれにもなう体積変化が地山の拘束を受けた場合に、ひび割れが生じる場合がある
	覆工背面の空洞	覆工背面の空洞は、地山を緩め、土圧を増加させる原因となるばかりでなく、受働土圧の発生を阻害して、覆工の構造的な強度低下の原因となる
	覆工巻厚不足	覆工巻厚が不足していることにより、設計時に想定した値以下の土圧が作用しても変状が発生する場合がある
	設 計	坑口部等で支持力対策や、偏土圧・地すべり対策等が設計時に十分に見込まれていない場合に、覆工や坑門が変形・移動することがある
内 因 (材 料・施 工・設 計)	インパートなし	施工時には大きな土圧の作用がなくインパートを設置しなくとも地山の安定が得られたトンネルにおいて、施工後に何らかの要因によりトンネル下方の地山の強度が低下し、膨張性土圧が増大することで、インパートを設置していないことにより、盤ぶくれ等の変状が発生することがある

「道路トンネル維持管理便覧」日本道路協会より引用

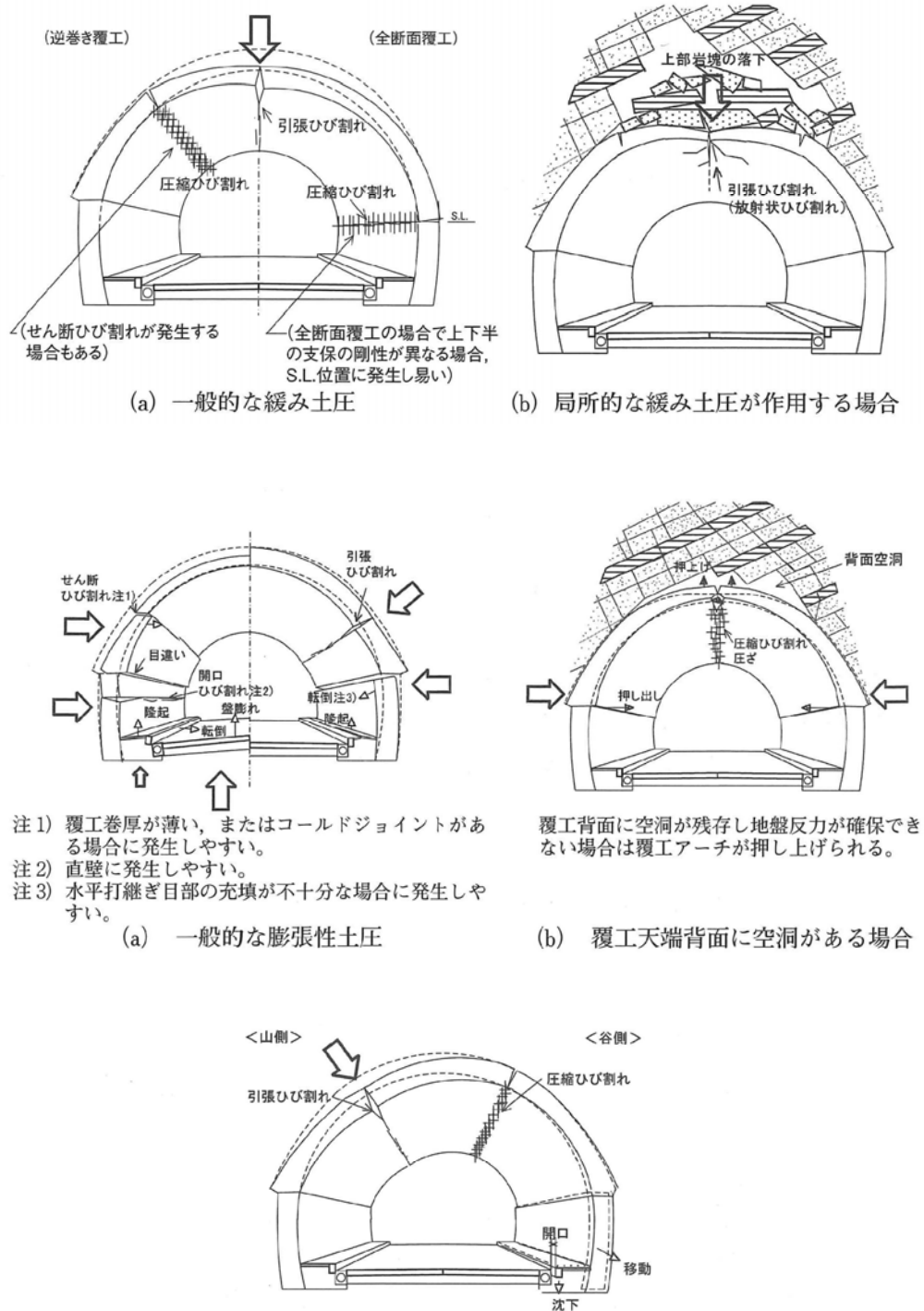


図 5.36 外力による変状の模式図（例）（上：緩み土圧、中：膨張性土圧、下：偏土圧）

「道路トンネル維持管理便覧」日本道路協会より引用

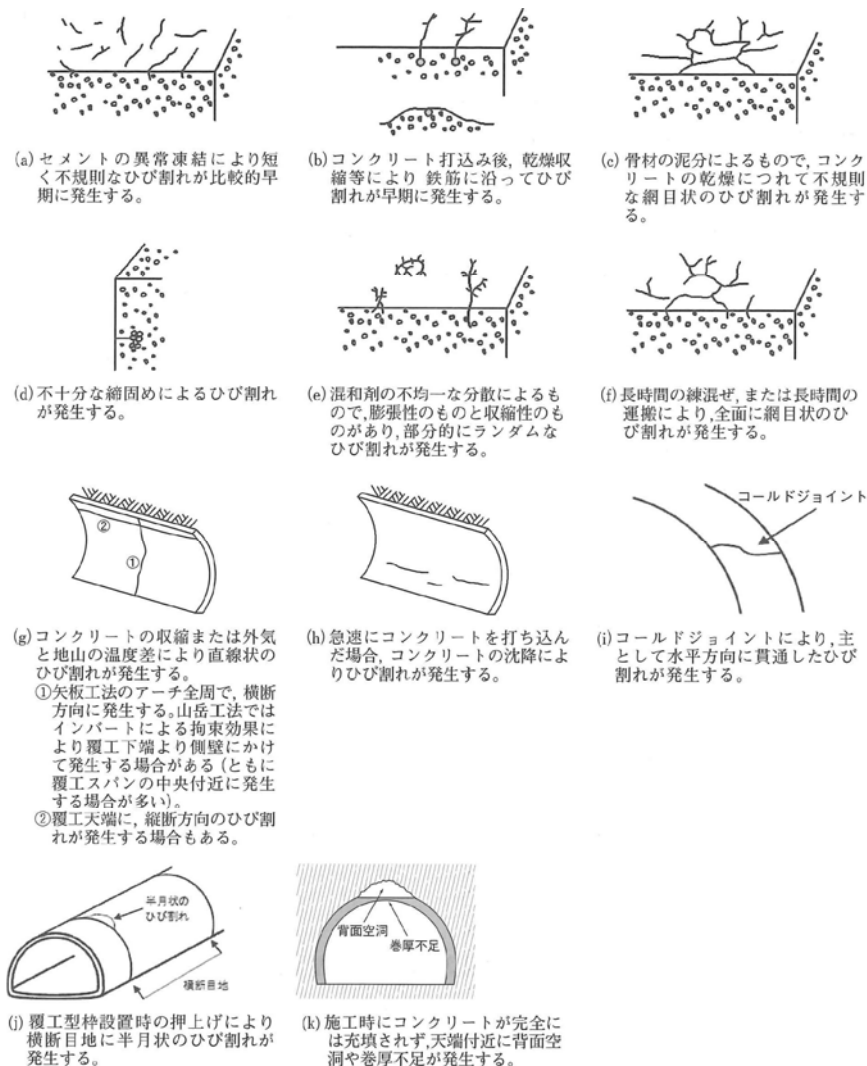


図 5.37 使用材料・施工方法に関する変状の例

「道路トンネル維持管理便覧」日本道路協会より引用

5.2.3 現地視察による資料収集

(1) 現地視察の概要

材料劣化等によるトンネル損傷について、地形地質、環境条件、トンネル構造、施工状況を踏まえた上で変状原因の相互確認を行い、維持管理に向けた基礎資料を得ることを目的に現地視察を実施した。表 5.8 に概要を示す。

表 5.8 現地視察の概要

項目	視察年月日	視察概要
現地視察①	R3.11.16	- 札幌・室蘭方面 - 支笏トンネル、美笛トンネル、三豊トンネル、青葉トンネル

(2) 現地視察の内容・結果（支笏トンネル）

- ・トンネル概要：延長 L=995.0m、内空幅 D=9.8m（幅員 W=9.25m）、矢板工法、S49 竣工
- ・現地視察方法：全線の覆工等を目視観察
- ・天端の縦断ひび割れ（S037 付近）

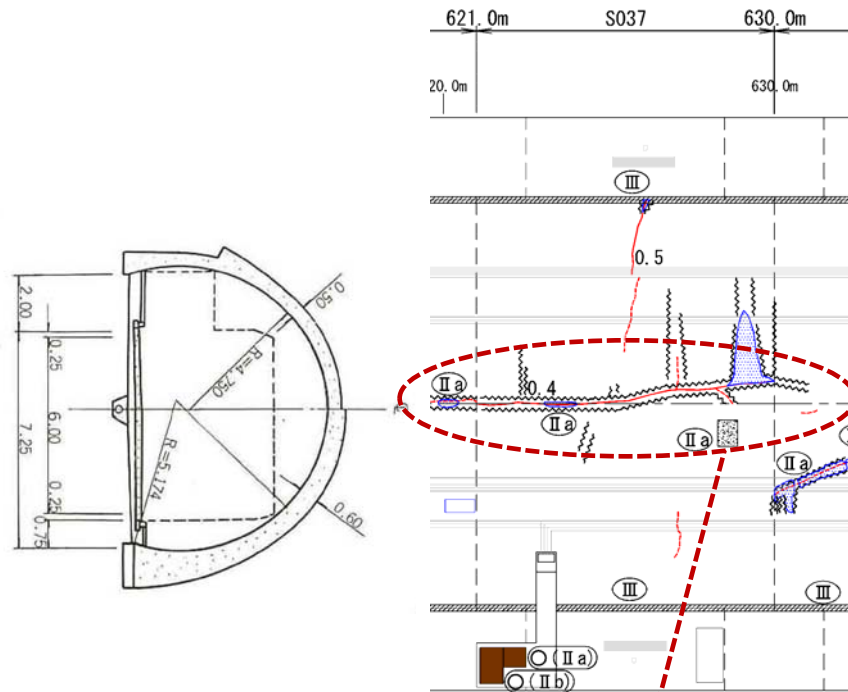


図 5.38 損傷見下げ図



写真 5.9 ひび割れ状況

表 5.9 現地部会での考察

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・天端付近の縦断方向ひび割れは、乾燥収縮などによる影響。 |
|--|

- ・横断目地の浮き、水平打継目の浮き（S046 付近）

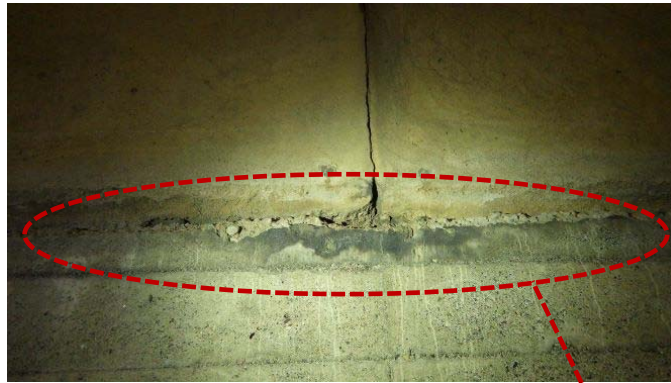


写真 5.10 浮き状況

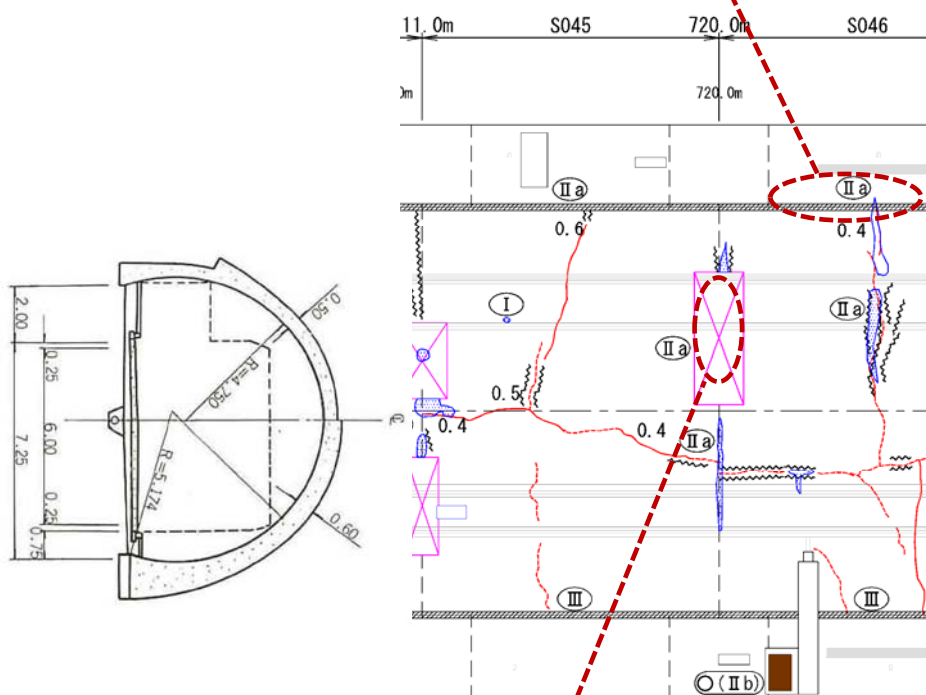


図 5.39 損傷見下げ図



写真 5.11 浮き・ひび割れ状況

表 5.10 現地部会での考察

- ・横断目地部（突合せ型）の浮き・ひび割れは（写真 5.11）、施工に関連する変状（収縮によるひび割れ、対策工施工済み）。
- ・水平打継目の浮きは（写真 5.10）、充填コンクリート(モルタル)の分離。

(3) 現地視察の内容・結果（美笛トンネル）

- ・トンネル概要：延長 L=335.0m、内空幅 D=9.8m（幅員 W=9.25m）、矢板工法、S44 竣工
- ・現地視察方法：全線の覆工等を目視観察
- ・スパン中央の横断ひび割れ（S011 付近）

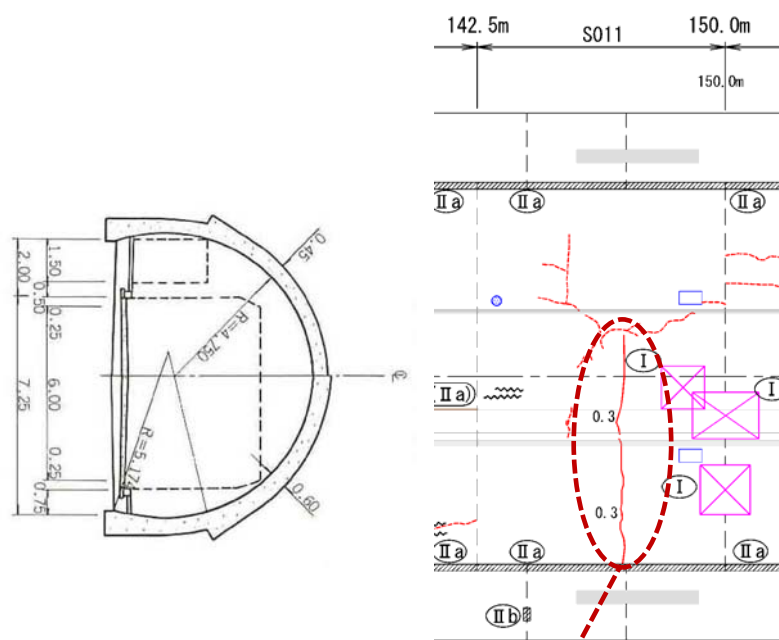


図 5.40 損傷見下げ図



写真 5.12 ひび割れ状況

表 5.11 現地部会での考察

- ・スパン中央付近の横断ひび割れは、乾燥収縮などによる影響。

(4) 現地視察の内容・結果（三豊トンネル）

- ・トンネル概要：延長 L=1,970.0m、内空幅 D=11.7m（幅員 W=11.25m）、NATM、H19 竣工
- ・現地視察方法：全線の覆工等を目視観察
- ・横断目地部の浮き・ひび割れ（S082 付近）

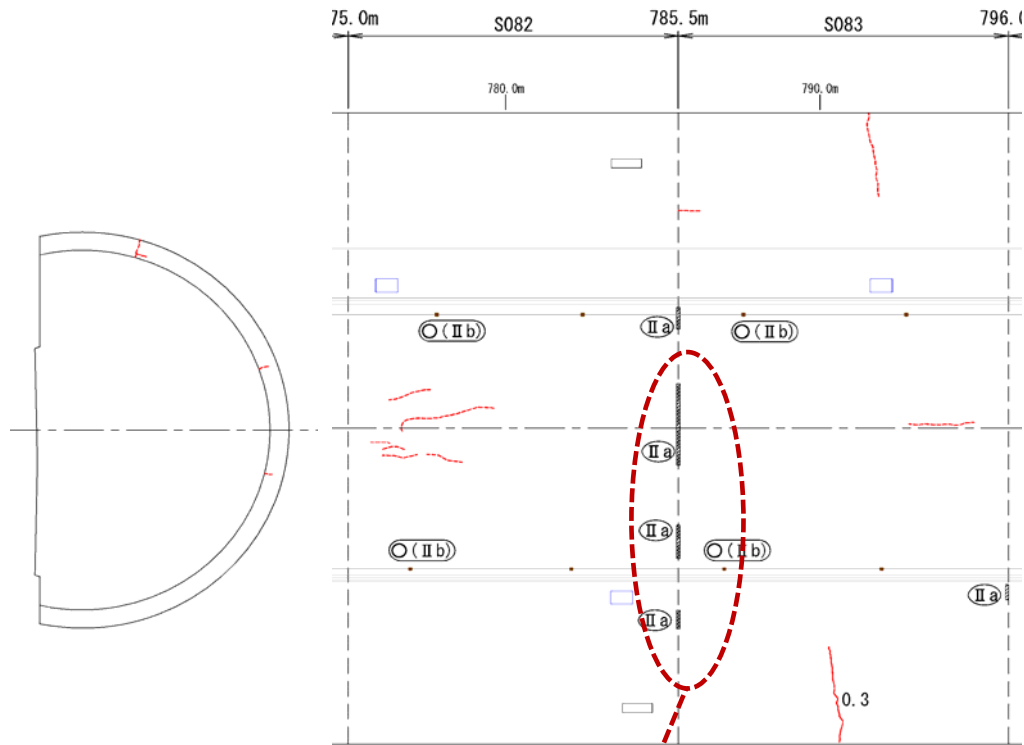


図 5.41 損傷見下げ図



写真 5.13 浮き・ひび割れ状況

表 5.12 現地部会での考察

- | |
|--|
| <p>・横断目地部（台形型）の浮き・ひび割れは、施工に関連する変状（先打ち覆工に後打ち覆工コンクリートが付着した状態でコンクリートが収縮）。</p> |
|--|

- ・天端付近の縦断ひび割れ（S197 付近）

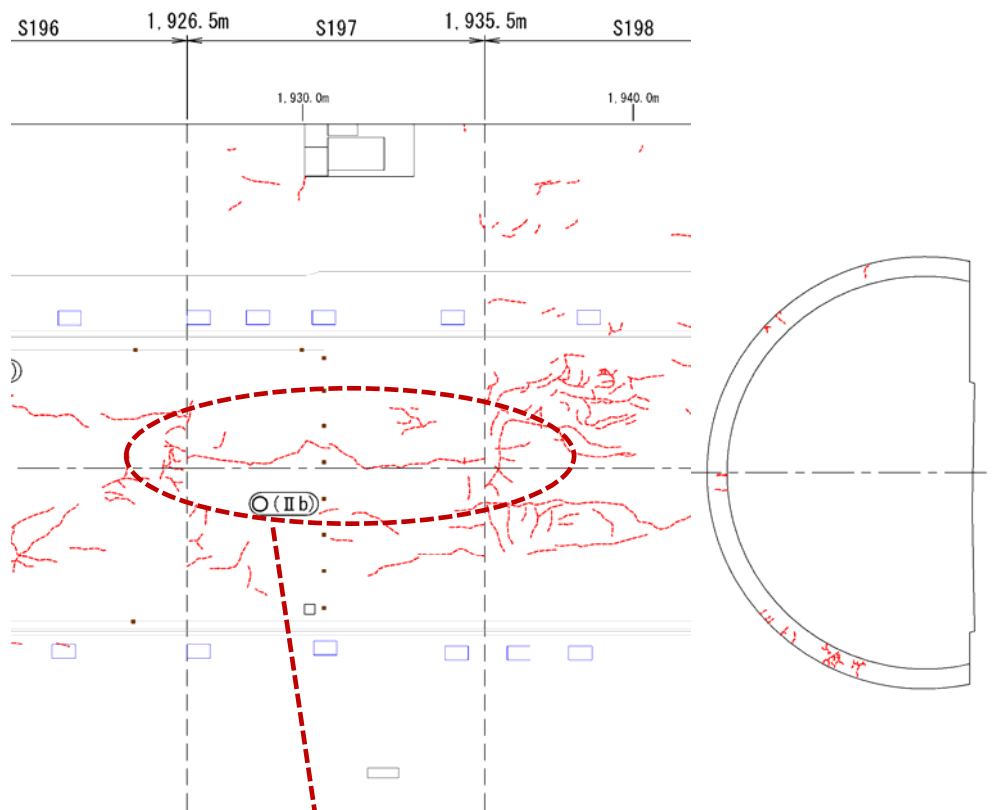


図 5.42 損傷見下げ図

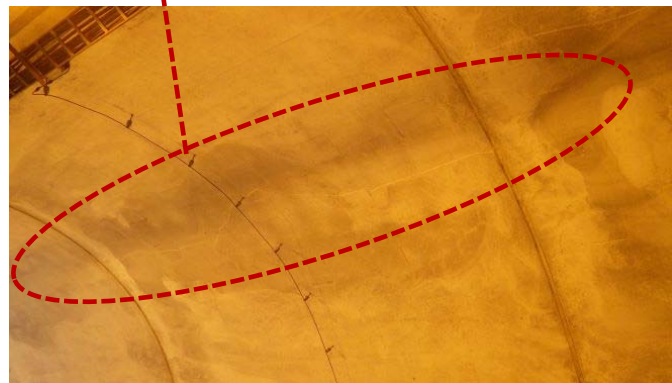


写真 5.14 ひび割れ状況

表 5.13 現地部会での考察

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・天端付近の縦断方向ひび割れは、乾燥収縮などによる影響。 ・特に NATM の場合、覆工は周方向に対して部材厚さが極端に小さい部材であり、貫通後の温度低下、坑口部では背面断熱材による影響から天端付近にひび割れが生じやすい。 |
|--|

(5) 現地視察の内容・結果（青葉トンネル）

- ・トンネル概要：延長 L=1,719.0m、内空幅 D=11.7m（幅員 W=11.25m）、NATM、H19 竣工
- ・現地視察方法：全線の覆工等を目視観察
- ・横断目地部のひび割れ（S166 付近）

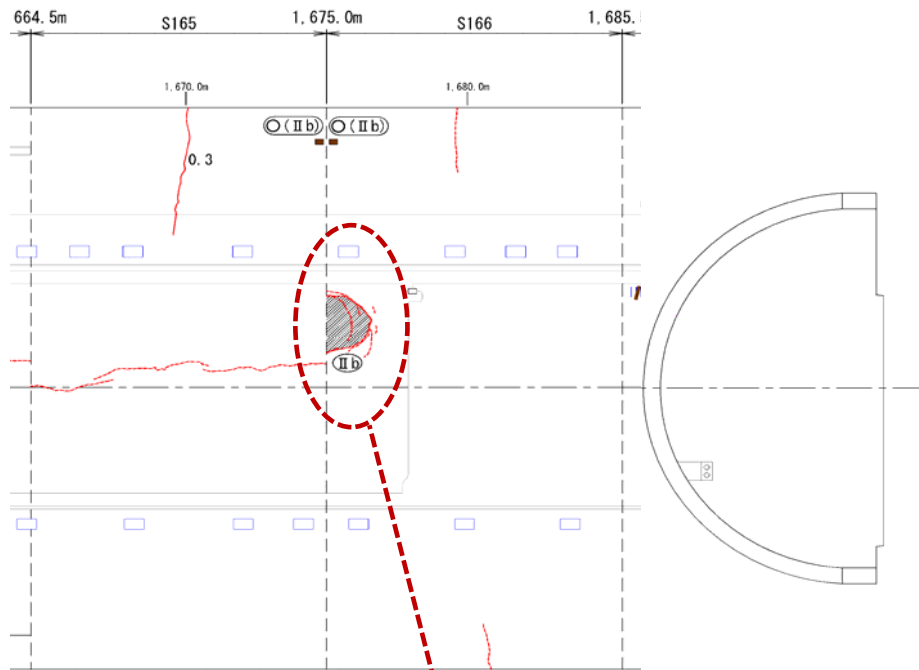


図 5.43 損傷見下げ図

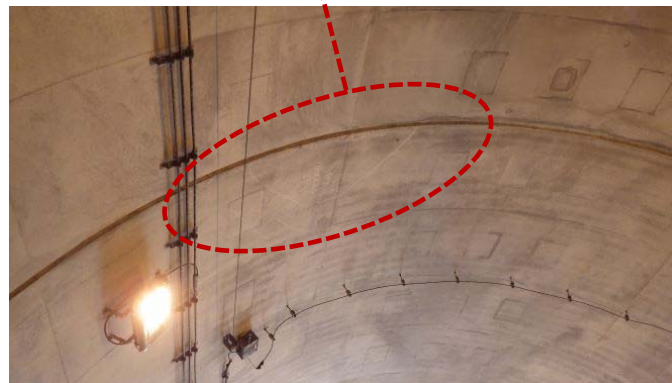


写真 5.15 ひび割れ状況

表 5.14 現地部会での考察

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・天端付近、横断目地部の半月状ひび割れは、施工に関連する損傷。 ・次のスパンの覆工コンクリートを打設する際に、型枠を強く押し当てることにより打設済みの覆工横断目地部に損傷が発生。 |
|--|