

(2) トンネル

ア トンネル

一般国道 229 号積丹町の武威トンネル（延長 700m、平成 13 年完成）付近では、明治・大正・昭和・平成の四代にわたるトンネルが並ぶ。

時代を追うごとに延長の短い海側から陸側へ、素掘りで人馬用の小断面からコンクリートで覆工された自動車用の断面へと変化が見られ、トンネル建設技術の進化が感じられる場所である（写真 1）。



写真 1 明治・大正・昭和・平成 4 代のトンネルが並ぶ武威トンネル
(北海道土木技術会トンネル研究委員会「北海道のトンネル建設技術の変遷」2011, 写真 1-1-1 に加筆)

北海道の交通は、開拓時代から海上輸送に頼っていたが、やがて海岸線をつたう道路の開削から陸上輸送へと変わってきた。初めは波や天候に悩まされたりしたが、次第に危険を避けたり近道をするため岬に穴を開けて通行するようになった。これがトンネルの始まりである。大正時代までに掘られたトンネルは、海岸線の交通難所の解消が目的の 100m 以下で素掘りのトンネルがほとんどであった。

昭和初期からの世界的な経済不況に対し、北海道においても失業救済や凶作救済のための道路事業が始まった。この中で、昭和 8 年には札幌国道の朝里トンネル（延長 100m、昭和 7 年完成）、張碓トンネル（延長 620m、昭和 8 年完成）が完成し、札幌～小樽間の自動車通行が可能となった。当時のトンネル建設は、失業救済のため人海戦術で、掘削器具はスコップ、ツルハシ、運搬器具はモッコやトロッコ、支保工は木製と、安全面では建設業の中で最も事故の多い工種の一つであった。

昭和 30 年代に入り、トンネルはようやく近代化してきた。ズリ出しにトラクタショベルなど機械が使われはじめ、支保工についても、かつての木製から鋼製が採用され、施工性・安全性が大きく高まった。

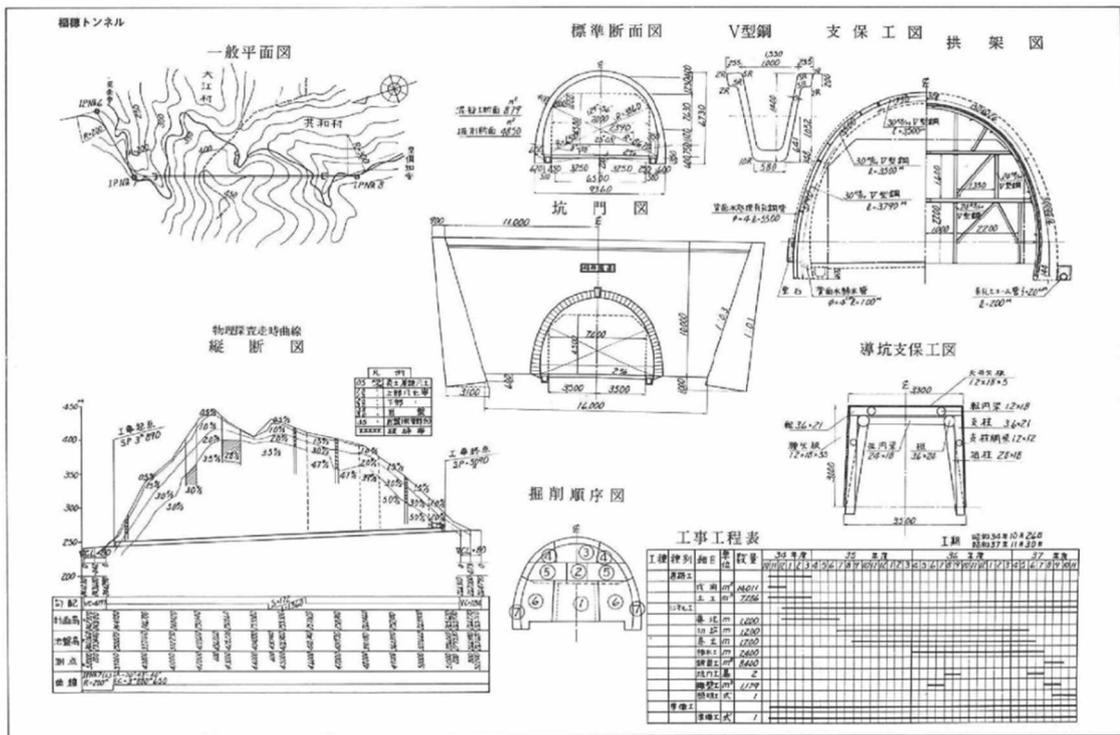


図1 矢板工法設計図 (国道5号 稲穂トンネル：昭和37年完成)

昭和37年には、北海道の道路トンネルでの近代化施工第1号のトンネルが完成した。現在も供用されている国道5号稲穂トンネル(延長1,230m)である。支保工はV型鋼、型枠材としてメタルフォームを使用し、ずり出しにロッカーショベル、トラクタショベル等が使用され、北海道の道路トンネルとしては初めて延長が1,000mを超え、当時、北海道一の長さとなった(図1)。

昭和30年代後半から昭和40年代にかけて、北海道内の急速なモータリゼーションの進展に伴い、海岸線や山間部の急曲線・急勾配の解消が進められた。国道39号の石北峠、国道5号の稲穂峠、国道274号の日勝峠、国道37号の静狩峠、国道230号の中山峠など、道内の交通難所と言われる山間部や峠にトンネルが建設され、国道229号茂津多トンネル(延長1,974m、昭和49年完成)が昭和40年代までの最長トンネルとなった。

この時期までの施工実績の蓄積などから、北海道開発局は昭和48年に「道路トンネルの設計積算実施要領」を初めて制定し、当時の標準工法は矢板工法(図2)であった。

昭和50年代に入ると、これまでと全く異なる設計思想がトンネル建設に用いられるようになる。この工法は、NATM(New Austrian Tunneling Method)といい、吹付コンクリートとロックボルトによりトンネル周辺の地山が本来持っている力(抵抗力、支持力)を積極的に利用し、地山自体にアーチ構造物を形成させる工法で、施工中に支保の変位や応力の計測を行い施工に反映させるのが特徴である(図3)。また、矢板工法よりも作業空間が拡大するため大型機械の導入が可能となり、施工の生産性、安全性の飛躍的な向上が図られることとなった。

NATMによる道内最初の道路トンネルは、国道274号穂別町の稲里トンネル(延長1,441m、昭和59年完成)である。

このトンネルは、膨張性岩盤（蛇紋岩）の地質で構成されたトンネルで、岩盤の膨張圧が極めて大きくなることが予想された。さらに、破碎粘土部に起因する土圧が70～90t/m²にも及ぶことが予想され、在来の矢板工法（図1・2）による施工は到底できないことが推測され、NATMが採用された。稲里トンネルの工事では、NATMによる施工で大きな成果を挙げ、多くの貴重なデータを得ることができた。

北海道開発局ではこの経験を基に実績を重ね、昭和63年制定の「道路トンネル設計施工要領」ではNATMが標準工法に採用されるに至った。

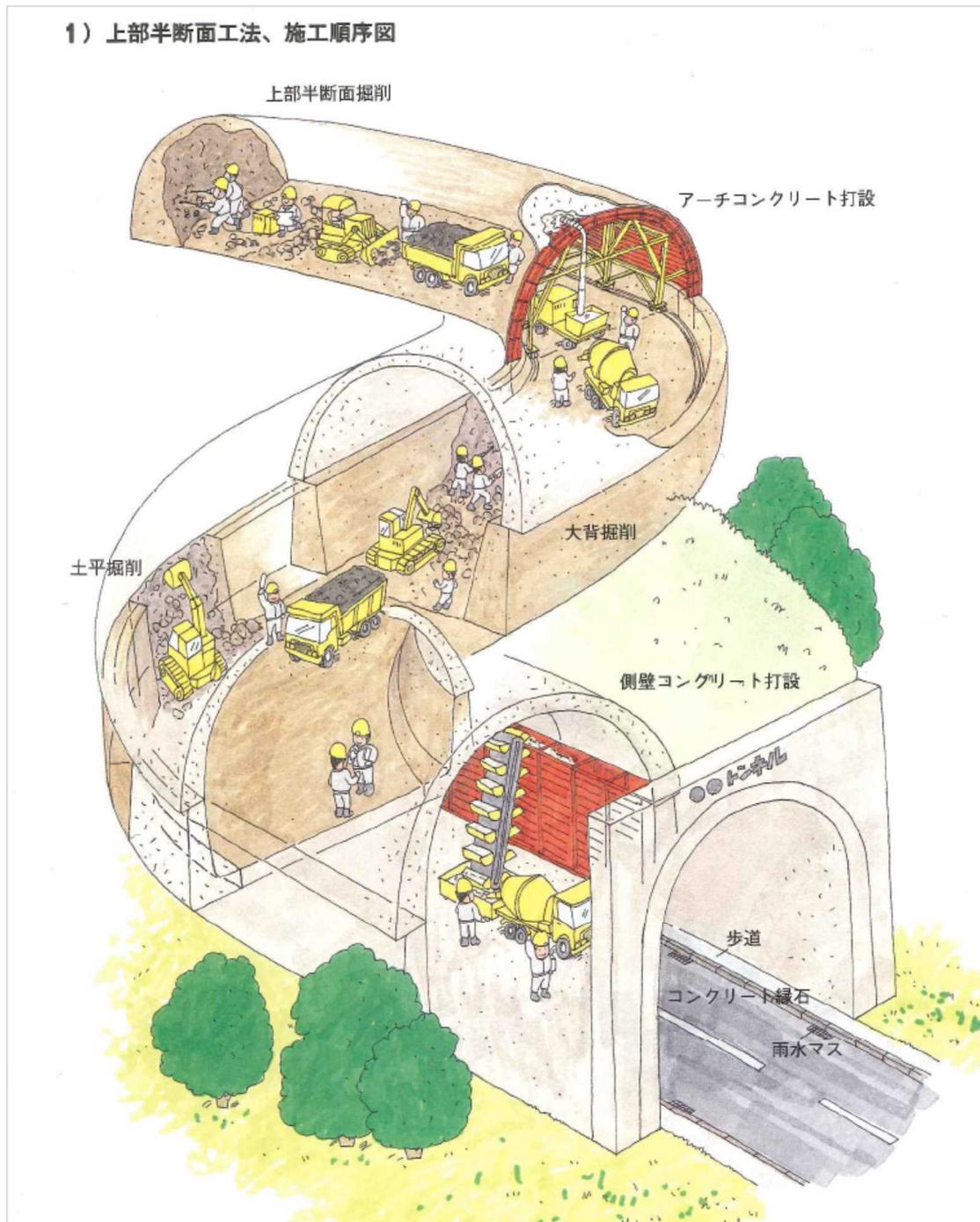


図2 矢板（在来）工法

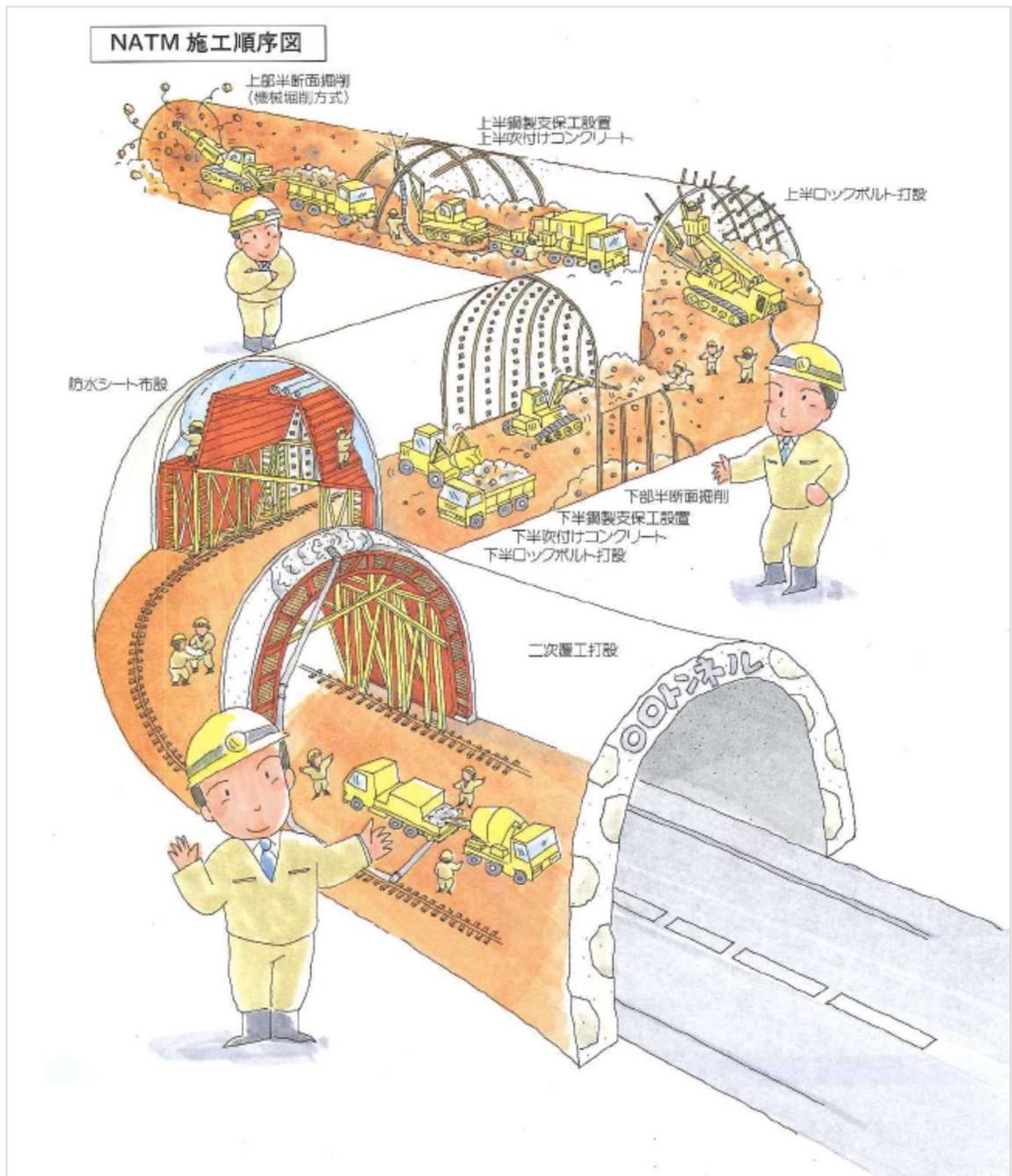


図3 標準工法 (NATM)

時代は平成に入り、岩盤力学及び計測技術の進展、地山挙動の解析手法の高度化により、従来では不可能であった地形・地質条件や大断面な道路トンネルの施工が可能となった。

危険斜面を回避するトンネルルートの場合、既設のトンネルに接続するケースについても検討されるようになった。国道 39 号上川町の銀河トンネル（延長 3,388m、平成 7 年完成）はこの例で、災害危険箇所を回避した新設トンネルを既設トンネルに接続した北海道初の分岐トンネルである（図 4）。

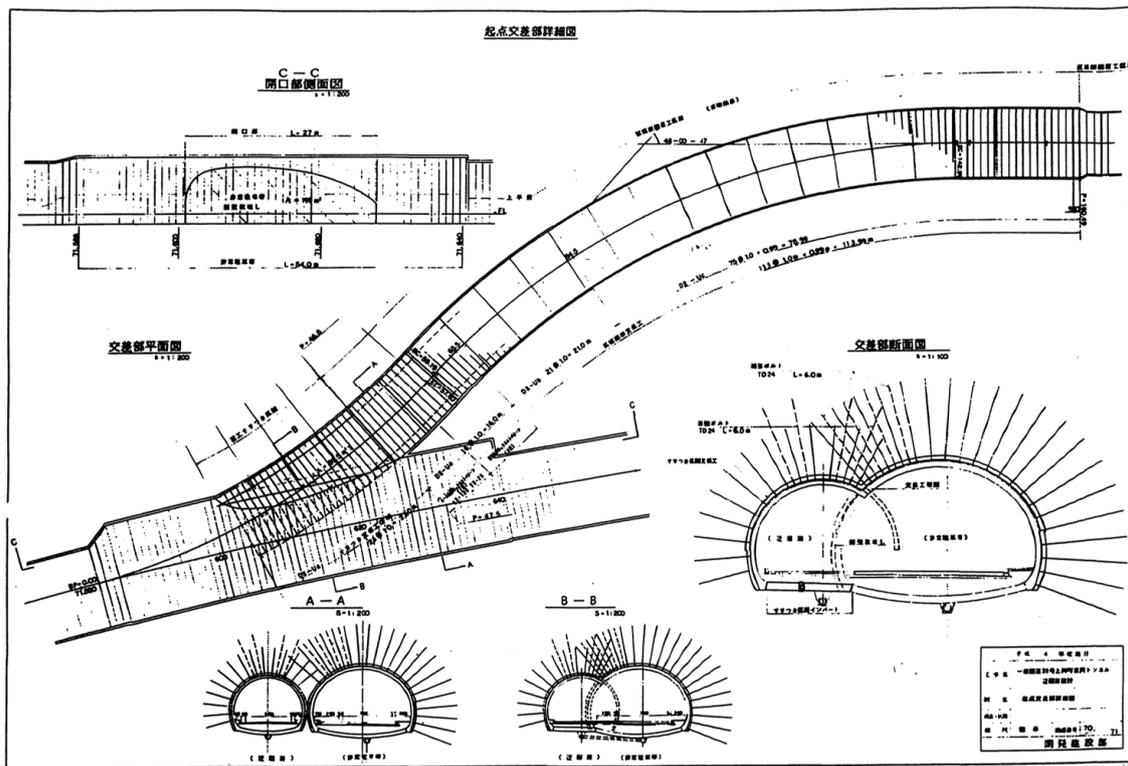


図 4 銀河トンネル設計図（国道 39 号 銀河トンネル：平成 7 年完成）

このほかにも、既設トンネル内における分岐や合流する活線分岐トンネルなど、北海道開発局が日本国内での先駆者として施工したトンネルは数多い。

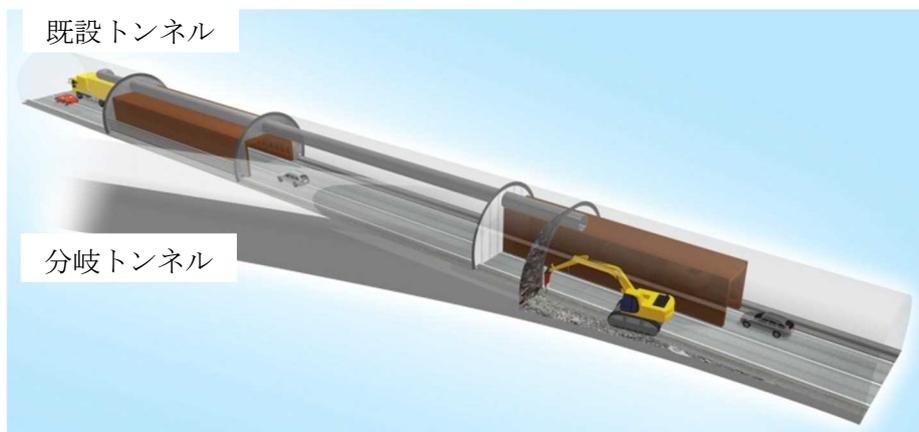


図 5 既設トンネルからの分岐掘削のイメージ



写真2 国道336号 えりも黄金トンネル施工時の分岐掘削状況



写真3 国道231号 浜益トンネル施工時の分岐掘削状況

令和となった現在、建設産業は革新的な進化を遂げようとしている。北海道開発局においても ICT (Information and Communication Technology) などの最新技術を活用し、生産性向上を目指した「i-Construction」の取組が加速している。

中でも道路トンネル建設は、いまだに切羽作業は重機と人力の共同作業であり、熟練技術者への依存度は大きい。熟練技術者の離職や重篤災害の発生件数が下げ止まり傾向にあるなどの課題を有している。ICT の活用による作業の自動化や熟練技術者の経験知の AI 活用など、今後の技術革新によって、これらの課題解消となるよう期待したい。

イ トンネルの維持管理と付帯設備

(ア) トンネルの維持管理

高度経済成長期に集中的に整備された社会資本の老朽化が、全国的に深刻な問題となってきている。

北海道開発局における道路管理総延長は約6,800kmを超え、このうち道路トンネルは34路線、279か所を管理している（令和元年3月末現在）。

これらトンネルの建設後50年を超えるトンネル本数の割合は、現在の19%が10年後（令和12年）には約32%、20年後（令和22年）には約50%となり、老朽化が急速に進んでいく状況にある。

さらに、気象条件の厳しい北海道においては、凍結融解作用などの影響により、劣化進行が早い傾向にあるため、定期点検による確実な状態把握（早期発見）と点検結果に基づく確実な対策（早期補修）が非常に重要となっている。

道路トンネルの維持管理に関しては、平成24年に発生した中央自動車道の笹子トンネルにおける天井板崩落事故を受け、平成26年に国土交通省令において道路の維持又は修繕に関する技術基準が定められ、トンネルにおいても一定の知識及び技能を有する者によって定期点検を行うことが義務付けられ、定期点検要領が発出された。

北海道開発局では、上記点検要領に基づき点検診断を実施し、その結果に基づき必要な対策を適切な時期に、着実かつ効率的・効果的に実施するとともに記録し、次の点検・診断に活用するという「メンテナンスサイクル」の構築に向けた取組を推進している（図6）。

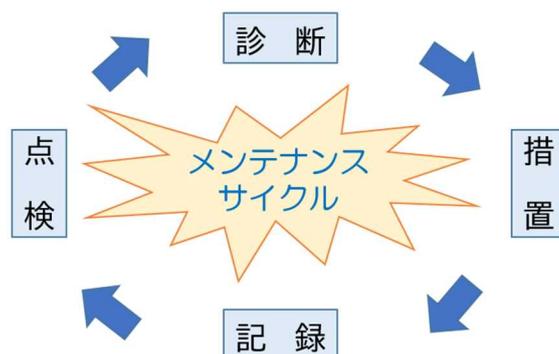


図6 メンテナンスサイクルのイメージ

(イ) トンネルの補修

トンネルは地盤を掘削して土中に構造物を造るものであり、覆工コンクリート等の支保部材のみならず、周辺地盤そのものについても構造体として扱われる。また、その掘削方法にも様々なものがあり、その方法によってトンネル周辺の地盤に与える影響も異なる。これらのトンネル地山条件、施工条件等と経年劣化の進行等によって変状が顕在化することとなる。

トンネルにおける代表的な変状は覆工コンクリートに現れることが多く、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」の三つに区分され、これに応じた対策工を実施する。

a 外力対策

外力による変状は、緩み土圧、膨張性土圧、偏土圧などの土圧によるもの、また、地滑りの発生やトンネルの置かれている地点における支持力不足、水圧・凍上圧による変状などがあり、代表的な対策工は内面補強工や内巻補強工がある（写真4）。

北海道特有の補修事例として、背面地山の凍上圧による損傷が挙げられる。代表的な補修トンネルとしては、国道 273 号三国トンネル（延長 1,152m、昭和 46 年完成）が該当する。本トンネルは、矢板工法にて建設されたトンネルであり、供用 15 年後の調査では最大 4mm の内空変位、最大 17mm の路盤隆起、覆工コンクリートのひびわれ・耐荷力低下、ひびわれからの漏水・側氷・氷盤等が確認された。補修対策工としては漏水対策、覆工の耐荷力向上対策を含めた抜本的な補修として、薄肉プレキャスト版による全面改築を実施した。

b 材質劣化対策（はく落防止対策）

材質劣化による変状は、コンクリートの経年劣化、凍害、使用材料及び施工方法に起因する変状が多いと考えられている。コンクリートの品質変化の影響を受けることから時間の推移と密接に関係するが、一般に材料劣化による変状の進行の速度は外力による変状と比較して小さく、適切な対策を講じることで変状への対処が可能となる場合が多い。代表的な対策工には当て板工や金網・ネット工がある（写真 5）。

c 漏水対策

漏水は覆工材料の劣化や背面土砂流出に伴う緩み増加等による外力要因の変状の原因、それ以外にも漏水自体が問題になる場合と、漏水に伴って土砂流入、滞水、石灰分の溶出、つらら、測氷、氷盤等の二次的な変状が発生する場合がある。代表的な対策工として線導水工・面導水工などが挙げられ、北海道では凍結防止対策として断熱材付きが用いられる（写真 6）。



写真4 内面補強工
ポリアセメントモルタル+格子鉄筋による増厚補強



写真5 はく落防止対策工
ガラス繊維シート+コーティング剤によるはく落対策



写真6 漏水・氷柱対策工
断熱材付き面型パネルによる漏水対策

(ウ) トンネルの付帯設備

道路トンネルには、安全や快適な走行空間の確保のため、換気、照明、非常用施設等が設置される。

a トンネル換気施設

道路トンネルではトンネル内を走行する自動車の排出ガスによる空気の汚染を抑制するため、換気施設が設置される場合がある。トンネル換気施設はトンネル利用者の安全性と快適性及び円滑な交通を確保する上で、最も基本的な施設の一部である。

昭和 40 年代後半から実施された自動車排出ガス規制は年々強化され、排出ガス濃度減少や自動車の性能向上による排出ガス減少など、道路トンネルの換気施設を取り巻く情勢が大きく変化しており、近年では換気施設（ジェットファン）の設置が不要となるトンネルもある（写真 7）。

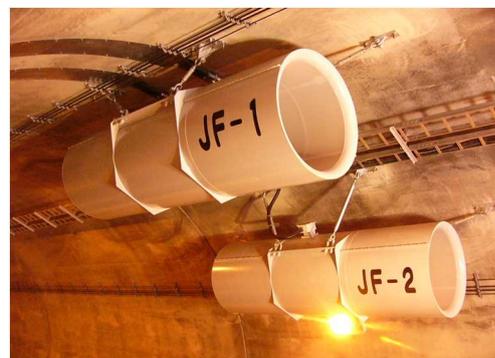


写真 7 換気施設
(ジェットファン)

b トンネル照明施設

トンネル照明は昭和 40 年代から本格的に設置され、当時は低圧ナトリウム灯や高圧ナトリウム灯が主流であった。平成時代には、自動車の排出ガス濃度が低下したことで、経済的・演色性に優れたセラミックメタルハライドランプ、蛍光灯などの白色光源が主流となった。

近年は LED 灯具のコスト低減等により、照明コストや使用電力の節減等を目的として、LED 照明が様々な用途に利用拡大されている（写真 8）。

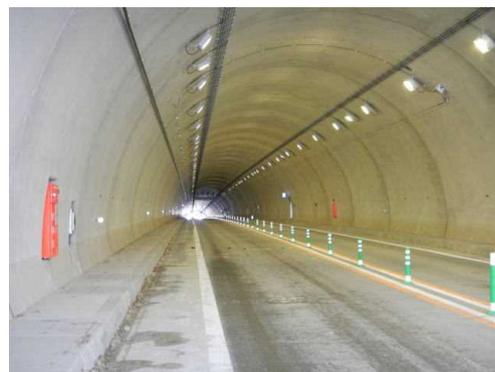


写真 8 トンネル LED 照明

北海道開発局においても、平成 25 年度から「道路設計要領（第 4 章）」において、「基本照明は LED 照明を基本とする」と定めている。

c トンネル非常用施設

トンネル内で火災が発生すれば、重大な事故につながるおそれがある。道路トンネルの非常用施設は、火災などが発生した場合の被害を最小限にとどめるために欠かせないものであり、その必要施設は「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説」（令和元年 9 月 日本道路協会）により、トンネル延長、交通量により区分された等級から規定されている。

道路トンネル非常用施設（図 7）の内容としては、トンネル内における火災その他の事故の発生を管理所等へ通報し、警報設備の制御、救助活動、消火活動等に役立たせるための通報設備

(通話型通報設備、操作型通報設備、自動通報設備)、トンネル内における火災その他の事故の発生を利用者に知らせ、二次的災害の軽減を図るための警報設備(非常警報設備)、トンネル内の利用者等が初期消火に用いるための消火設備(消火器、消火設備)、トンネル内で火災その他の事故に遭遇した利用者を当該トンネルの外へ安全に誘導、避難させるための避難誘導設備(誘導表示設備、避難情報提供設備、排煙設備、避難通路)、これら設備を補完し、救助活動及び消火活動を容易にするためのその他の設備(給水栓設備、無線通信補助設備、水噴霧設備、監視設備等)がある。

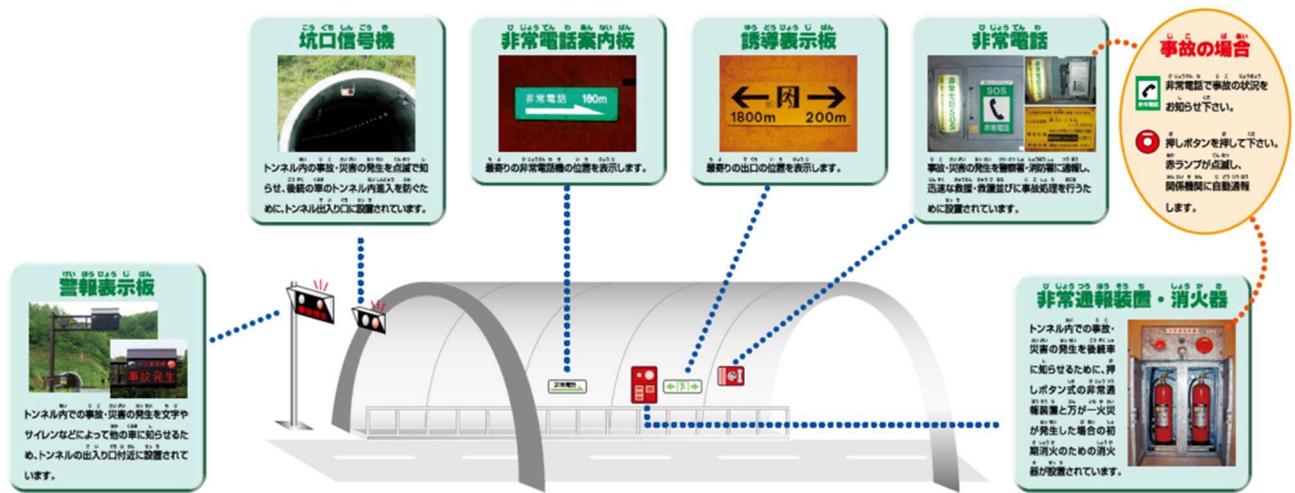


図7 トンネル非常用施設のイメージ

北海道開発局においても、上記基準に基づきトンネル非常用施設を整備している。現在建設中の北海道縦貫自動車道の大沼トンネル(仮称)は全長約7kmの長大なトンネルであり、上記基準の最上位等級となるため、北海道開発局の整備する道路トンネルとしては初めて避難坑を有するトンネルである。

表1 北海道開発局所管 トンネルベスト20

順位	路線名	トンネル名	延長	所在地	完成年度
1	336号	えりも黄金トンネル	4,941 m	えりも町	H22
2	231号	浜益トンネル	4,748 m	石狩市	H27
3	北海道横断自動車道	新釧勝トンネル	4,460 m	釧路市～浦幌町	H26
4	236号	野塚トンネル	4,232 m	広尾町～浦河町	H9
5	333号	新サロマトンネル	4,110 m	佐呂間町～北見市	H20
6	450号	北大雪トンネル	4,098 m	上川町～遠軽町	H13
7	229号	雷電トンネル	3,570 m	岩内町	H14
8	39号	銀河トンネル	3,380 m	上川町	H7
9	273号	浮島トンネル	3,332 m	上川町～滝上町	S59
10	450号	なかこしトンネル	3,284 m	上川町	H21
11	北海道横断自動車道	カラ里トンネル	3,016 m	釧路市	H26
12	231号	新送毛トンネル	2,995 m	石狩市	H25
13	450号	愛別トンネル	2,958 m	愛別町	H16
14	38号	北の峰トンネル	2,928 m	富良野市	H30
15	231号	日方泊トンネル	2,900 m	増毛町	H16
16	229号	刀掛トンネル	2,754 m	岩内町～蘭越町	H14
17	229号	大森トンネル	2,523 m	神恵内村	H18
18	231号	太島内トンネル	2,455 m	石狩市	H14
19	336号	新宝浜トンネル	2,438 m	広尾町	H26
20	北海道横断自動車道	鍛高トンネル	2,383 m	白糠町	H21

※参考：供用前・工事中の長大トンネル(令和3年7月現在)

順位	路線名	トンネル名	延長	所在地	備考
1	北海道縦貫自動車道	大沼トンネル	6,977 m	七飯町	避難坑(7,042m)を施工中
2	40号	音中トンネル	4,686 m	音威子府村～中川町	
3	5号	新稲穂トンネル	3,862 m	共和町～仁木町	
4	40号	音威子府トンネル	2,699 m	音威子府村	
5	函館江差自動車道	渡島丸山トンネル	2,518 m	北斗市～木古内町	