

# 既設道路トンネル【NATM】における 覆工維持管理の手引き（案）

令和8年3月

京都府建設交通部道路管理課

## 要 旨

府道談夜久野線ゆずりトンネルにおいて、定期点検結果を踏まえて令和7年1月8日に補修工事に着手したところ、1月15日に空洞が確認された。工事の着手により覆工が早期に落下する可能性があったことから、第三者被害を防止するため、同日、全面通行止めを実施した。

その後、1月20日に、道路防災ドクター（京都大学大学院岸田潔教授）・国土交通省近畿地方整備局職員・京都府職員による合同現地調査を実施したところ、覆工コンクリートの厚さが不足していることが判明した。覆工コンクリートの厚さ不足及び空洞の発生は、経年劣化によるものとは考えにくく、施工上の問題であると推察された。

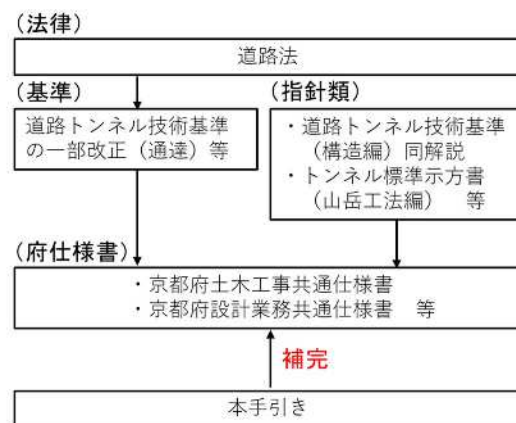
また、助言を踏まえて京都府が詳細調査を実施した結果、計20箇所空洞が確認された。

確認された空洞について、原因究明、立案した応急対策及び恒久対策、並びに今後の再発防止策について多方面から専門的知見に基づく技術的助言を得ることを目的として、「府道談夜久野線ゆずりトンネル技術検討委員会」を設置した。委員からの意見等を踏まえ、補修工法及び施工管理方法等を京都府で決定し、補修工事を経て、令和7年11月4日に全面通行止めを解除した。

本手引き（案）は、道路トンネル【N A T M】における覆工背面空洞の補修設計及び工事に関し、「府道談夜久野線ゆずりトンネル技術検討委員会」において委員から聴取した意見等を踏まえるとともに、ゆずりトンネルで発生した事象に基づき課題を整理したうえで、同様のN A T Mトンネルに適用可能な空洞補修対策工法の考え方及び補修工事における留意事項を取りまとめ、覆工維持管理の手引き（案）として整理したものである。

取りまとめにあたっては、覆工厚及び背面空洞の現況把握として実施した調査方法の概要、調査結果に基づく補修対策優先度判定区分の考え方、補修工事段階での留意事項について、詳細調査業務、空洞補修設計業務、技術検討委員会資料、工事完成図書等をもとに状態の要因分析を行い、課題及び対応策について検討した。

本手引き（案）は、京都府が定める道路トンネル【N A T M】の覆工に関する各種規定・基準及び指針類を補完するものであり、維持管理従事者にとって分かりやすい構成とした。今後の業務及び維持管理に活用されたい。



本手引きの位置づけ

# 既設道路トンネル【NATM】における 覆工維持管理の手引き（案）

## — 目 次 —

<b>1. 事象の紹介</b> .....	1
1.1 ゆずりトンネルで発生した状況 .....	1
1.1.1 トンネルの概要.....	1
1.1.2 補修工事施工時の覆工厚不足及び背面空洞発見時の状況 .....	5
1.1.3 防災ドクター会議の概要.....	7
1.1.4 詳細調査の結果.....	8
1.2 発生原因 .....	9
1.2.1 覆工厚不足・背面空洞の原因の推察 .....	9
1.3 当時基準の分析 .....	18
1.3.1 京都府の施工管理基準.....	18
1.3.2 出来形管理の検証.....	20
1.3.3 当時の施工状況の検証.....	23
1.3.4 まとめ.....	32
<b>2. 課題の整理</b> .....	34
2.1 トンネルの不具合発生状況 .....	34
2.1.1 不具合の発生状況.....	34
2.1.2 インフラ長寿命化計画.....	37
2.1.3 トンネルのメンテナンスの基本的な考え方 .....	43
2.2 定期点検時の課題 .....	48
2.2.1 定期点検の目的.....	48
2.2.2 定期点検時の異音・濁音 .....	50
2.3 調査、設計及び施工時の課題 .....	52
<b>3. 適用の範囲、参考とする図書</b> .....	53
3.1 トンネルの適用範囲 .....	53
3.2 参考とする図書 .....	54
<b>4. 空洞補修対策工法の考え方</b> .....	55
4.1 トンネル頂部の空洞確認時の事務フロー .....	55
4.2 空洞の可能性がある場合に必要調査方法・数量 .....	57
4.3 恒久対策に必要な判断基準・方法・数量・図面 .....	61
4.3.1 判断基準.....	61

4.3.2 恒久対策工法の選定 .....	68
<b>5. 補修工事における留意事項 .....</b>	<b>77</b>
5.1 補修工事における留意事項 .....	77
<b>6. 巻末資料.....</b>	<b>79</b>
6.1 巻末資料－1 ゆずりトンネル技術検討委員会資料（第1回） .....	80
6.2 巻末資料－2 ゆずりトンネル技術検討委員会資料（第2回） .....	81
6.3 巻末資料－3 ゆずりトンネル技術検討委員会資料（第3回） .....	82
6.4 巻末資料－4 補修工事における覆工品質の確認方法（記録様式例） .....	83
6.5 巻末資料－5 ゆずりトンネル 是正計画図面 .....	84
6.6 巻末資料－6 ゆずりトンネル 数量計算書 .....	85

# 1. 事象の紹介

## 1.1 ゆずりトンネルで発生した状況

定期点検に基づく補修工事に着手したところ、覆工背面に2箇所空洞を確認した。その後、道路防災ドクターの助言により空洞調査を実施した結果、トンネル全長で計20箇所の空洞を確認した。

### 1.1.1 トンネルの概要

(1) 一般府道談夜久野線は、福知山市談から福知山市夜久野町に至る道路であり、同路線は千原峠をゆずりトンネルによって接続している。

- |           |                        |
|-----------|------------------------|
| 1) 名称     | ゆずりトンネル                |
| 2) 路線名    | 一般府道 談夜久野線             |
| 3) 場所     | 福知山市字小牧～福知山市夜久野町千原地内   |
| 4) 交通量    | 1,549台/日（令和3年度一般交通量調査） |
| 5) 建設年次   | 2001年（H13）12月完成        |
| 6) トンネル延長 | 455m                   |
| 7) 幅員     | 2車線片側歩道（3.0m×2+2.0m）   |
| 8) 施工方法   | NATM                   |

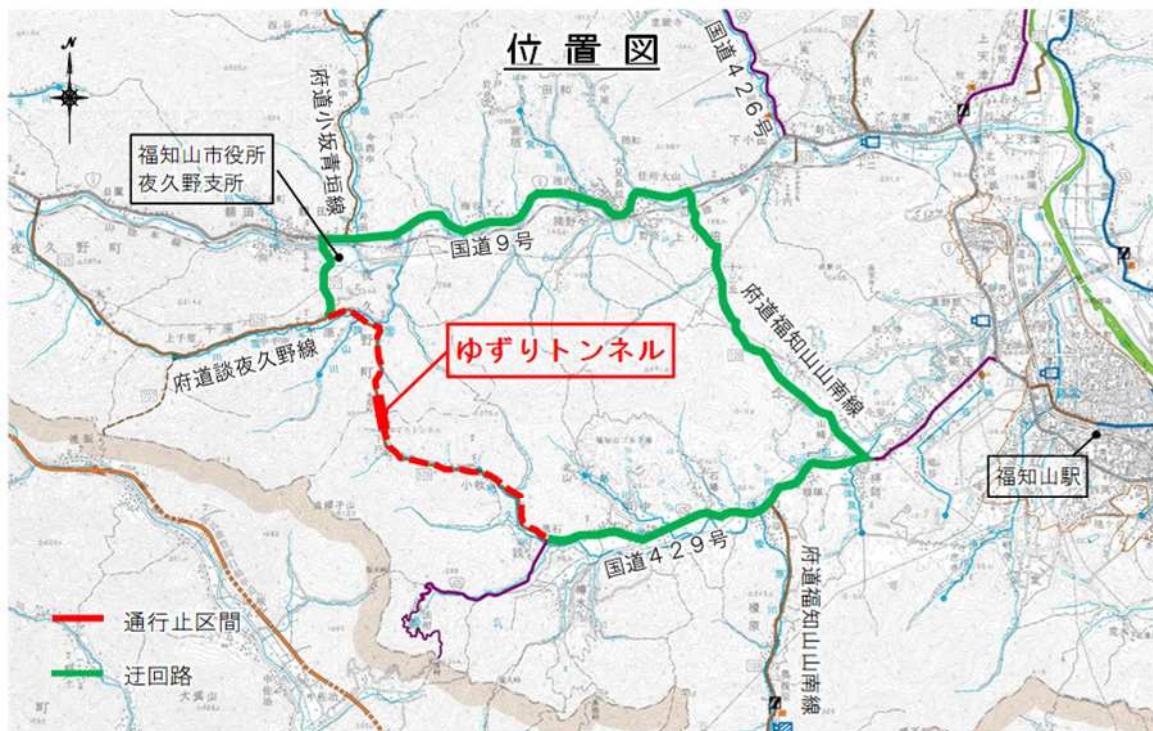


図 1.1.1 位置図



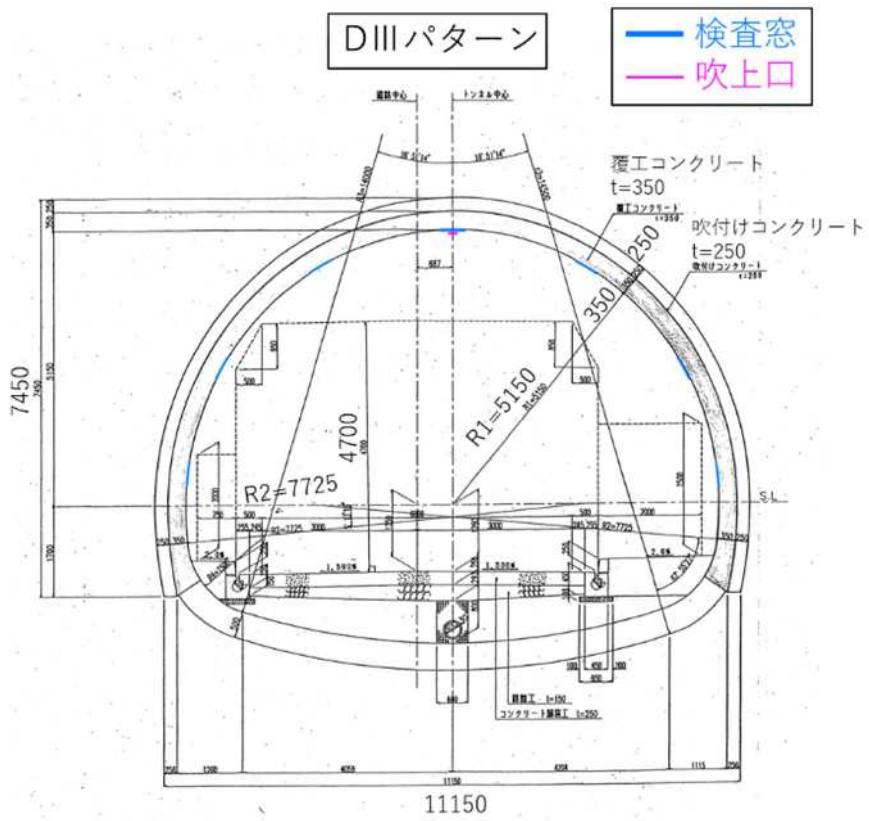
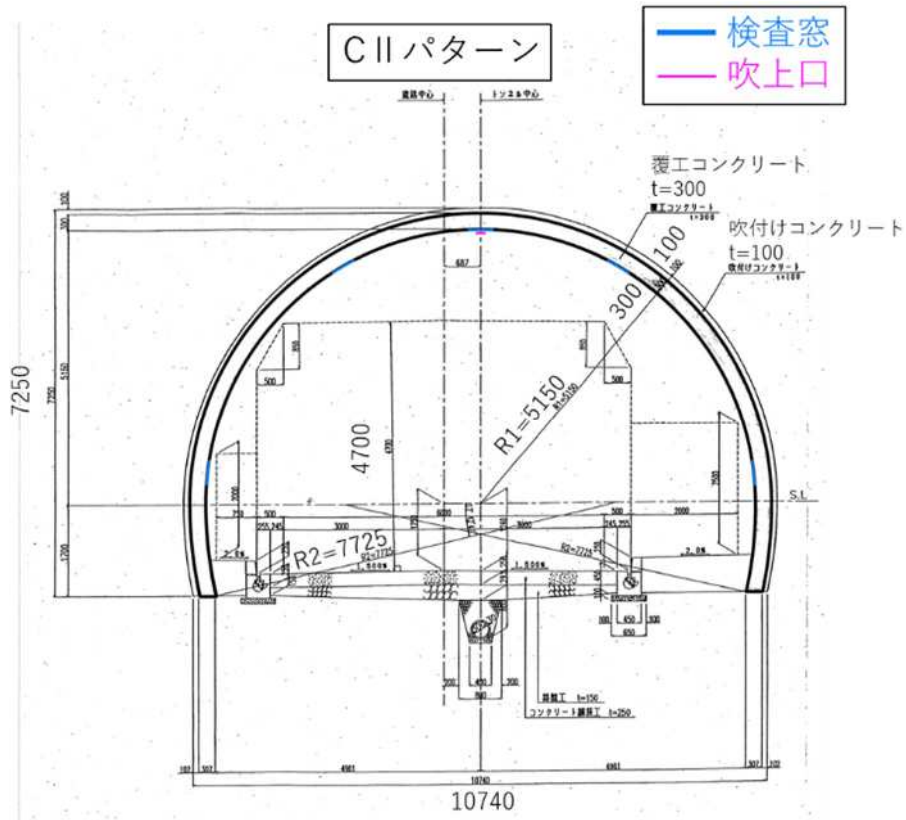


図 1.1.3 断面図(1)

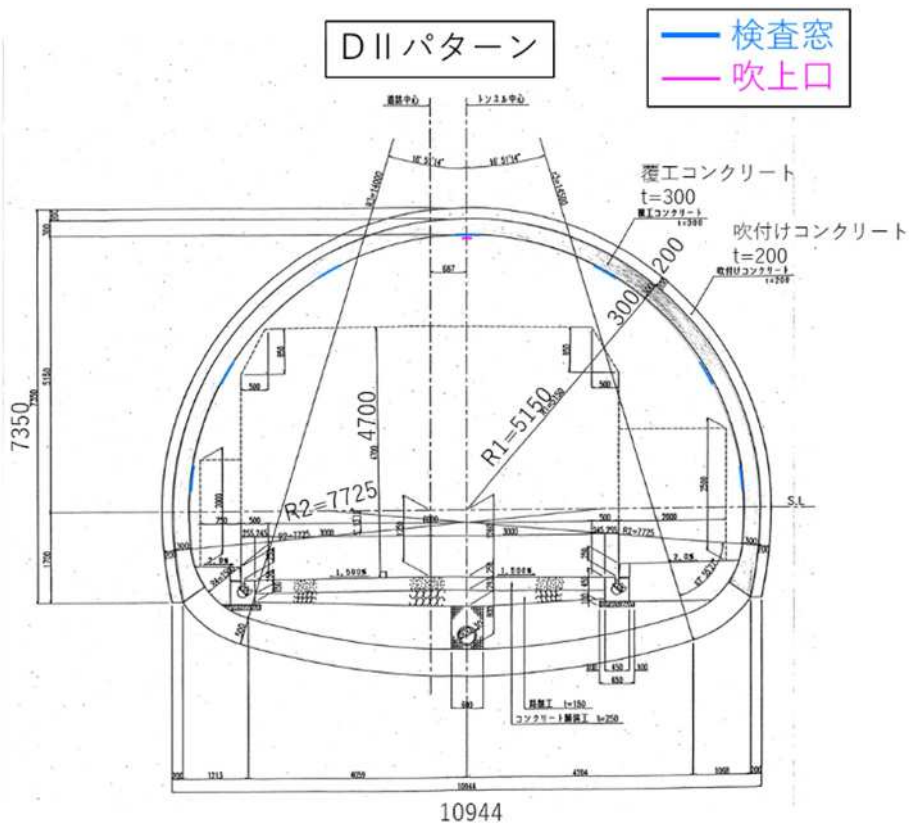
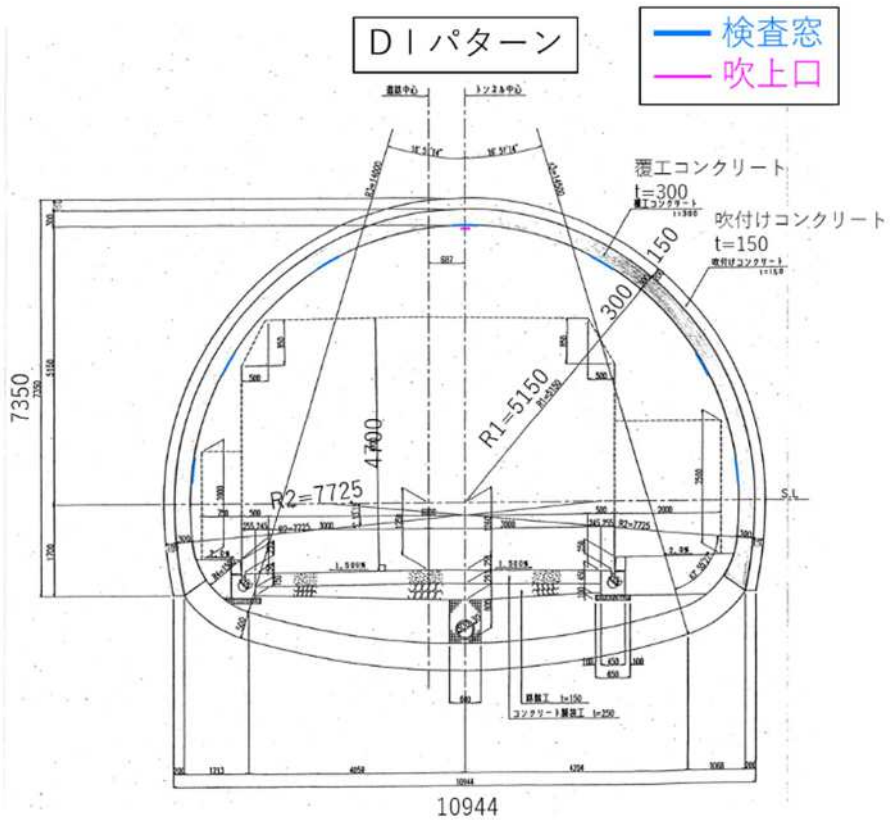


図 1.1.4 断面図(2)

### 1.1.2 補修工事施工時の覆工厚不足及び背面空洞発見時の状況

(1) 令和元年の定期点検結果を踏まえ、令和7年1月8日に着手し、1月15日に空洞が確認された。工事の着手により、覆工が早期に落下する可能性があったことから、第三者被害を防止するため、同日21時30分から安全が確認できるまでの間、全面通行止めを実施した。

#### 1) S006

- ・ 終点側目地部において、豆板（1.3m×0.05m）について5cmのはつり落としを行ったところ坑口部覆工厚(35cm)が不足しており、覆工表面に穴が開き、覆工厚不足が確認された。

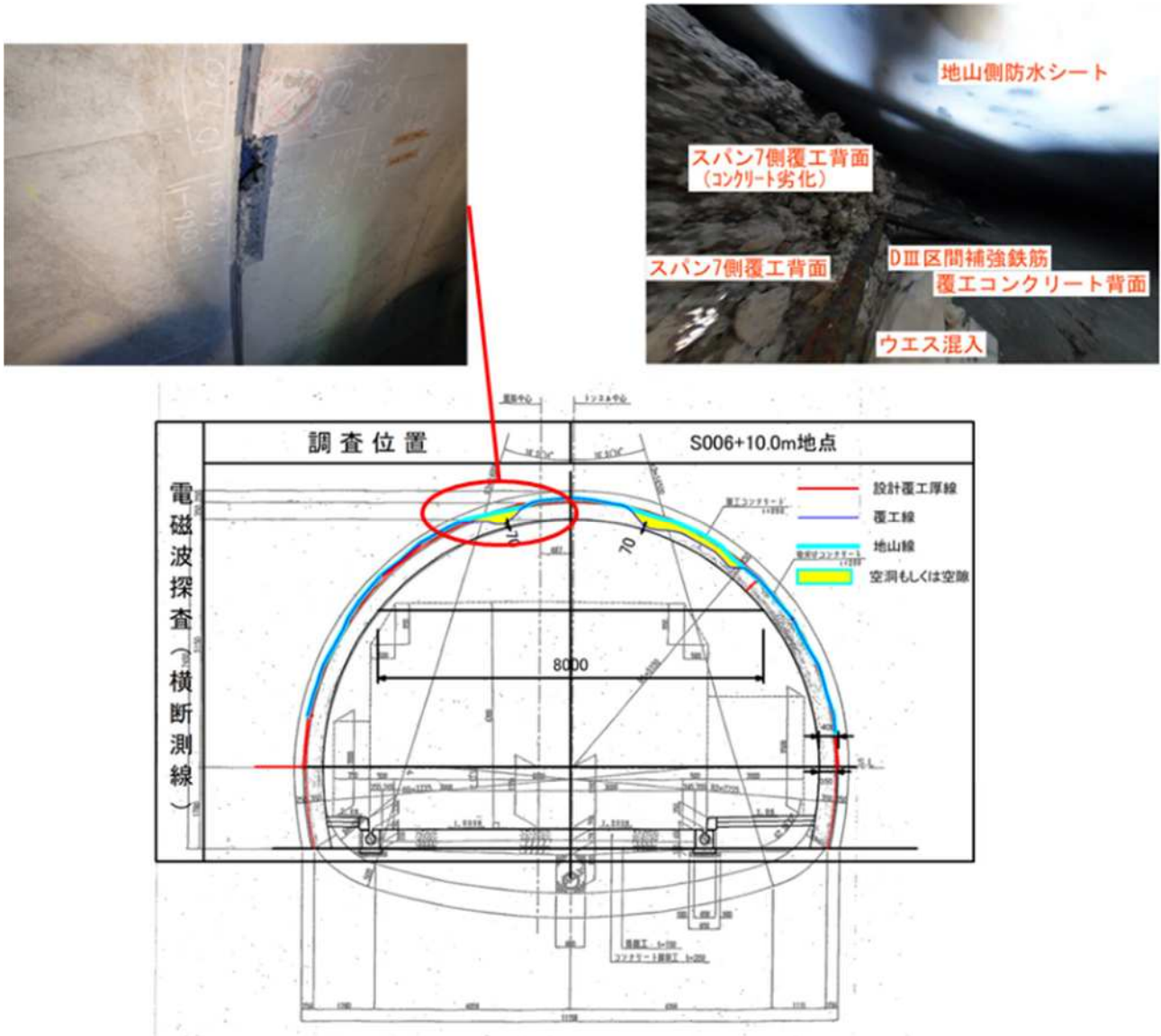


図1.1.5 S006+10.0m 横断面図

## 2) S031

- ・天端部において、ひび割れを伴ううき（ $1.2\text{m} \times 1.6\text{m} = 1.92\text{m}^2$ ）部分を5cmはつり落としを行ったところ、一般部覆工厚(30cm)が不足しており、覆工表面に穴が開き、覆工厚不足が確認された。

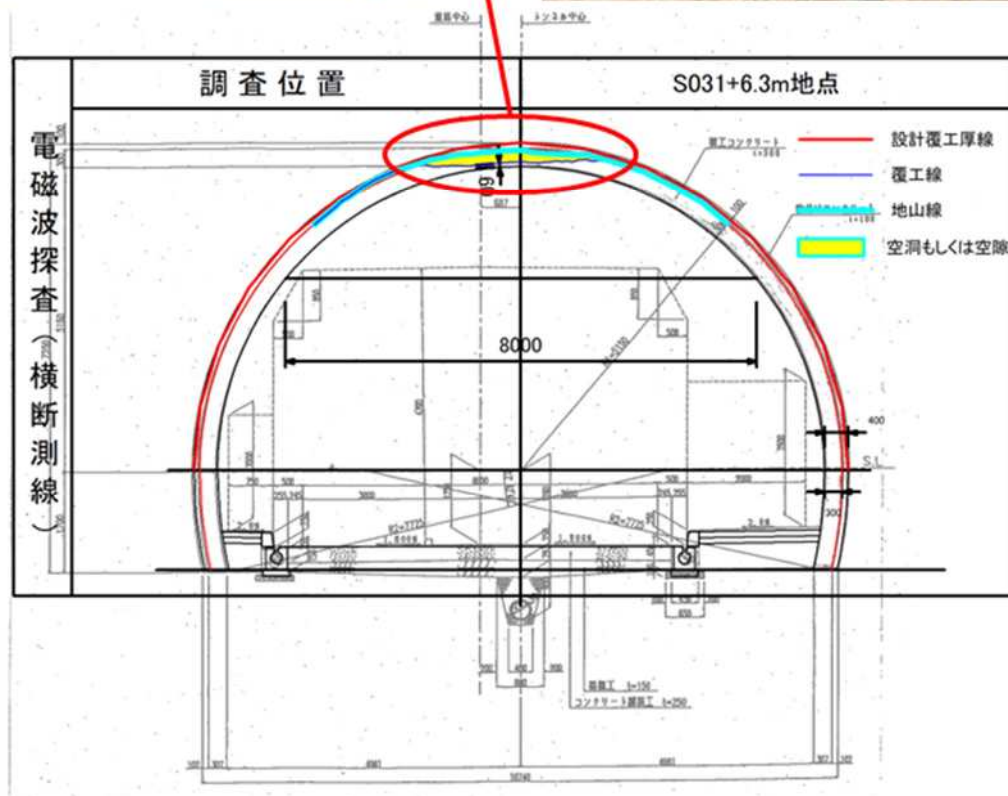
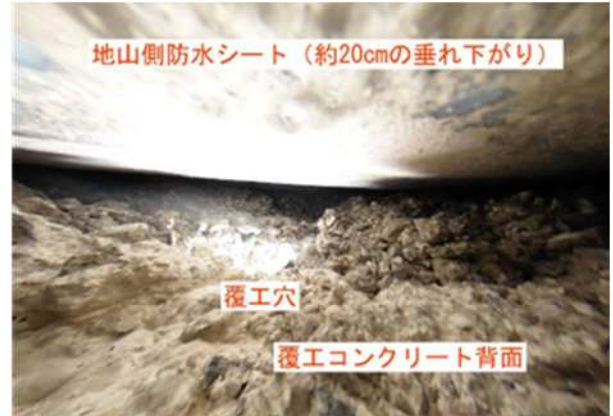


図1.1.6 S031+6.3m 横断面図

### 1.1.3 防災ドクター会議の概要

(1) 原因の究明のため、令和7年1月20日に道路防災ドクター（岸田教授(京都大学大学院)）・国土交通省近畿地方整備局職員・京都府職員による合同現地調査を実施した。

#### 1) 会議の概要

- ・開催日時 令和7年1月20日（月）14：30～16：30
- ・場所 ゆずりトンネル（談夜久野線）現場、  
京都府中丹西土木事務所第3会議室
- ・出席者 道路防災ドクター京都大学大学院工学研究科岸田教授  
近畿地方整備局道路部平井道路保全企画官  
近畿道路メンテナンスセンター藤井保全対策官  
京都府建設交通部道路建設課、京都府建設交通部道路管理課、  
京都府中丹西土木事務所

#### 2) 助言内容（S006）

- ・覆工巻厚10cm程度（設計巻厚35cm）で、背面に25cm程度の空洞が残存する。
- ・鉄筋の上までコンクリートがまわっていない。固練りで打設されたコンクリートが横断方向に流れず覆工厚が足りなくなった可能性がある。
- ・防水シートは機能しているため、鉄筋は腐食していない。

#### 3) 助言内容（S031）

- ・覆工巻厚は最小5cmで一部欠損（はつり落とし工により一部、欠損が発生）。
- ・天端部において、防水シートが何らかの理由で垂れ下がり、そこにコンクリートが入らなかったため、空洞が生じているものと考えられる。
- ・周辺の広範囲にわたって打音異常が確認されている。
- ・防水シートは機能している。

#### 4) 総括

- ・トンネル全線の詳細調査を実施し、覆工厚及び空洞状況の確認が必要。
- ・トンネル頂部を縦断方向に調査し、頂部の状況により横断方向にも調査実施する（有筋範囲は、コア削孔による組合せ確認）のが望ましい。
- ・恒久対策の工法選定にあたっては、調査で覆工厚及び空洞範囲を確認した上で復旧工法を検討することが望ましい。
- ・防水シートのたるみが確認されており、湧水の有無で復旧の考え方が変わるので、可能であれば調査時に湧水の有無を確認すること。
- ・原因は、経年劣化とは考えにくく、施工上の何らかの問題と推察される。

### 1.1.4 詳細調査の結果

(1) 道路防災ドクターからの助言をもとに詳細調査を実施した結果、覆工厚不足及び背面空洞がある箇所を20箇所確認した。

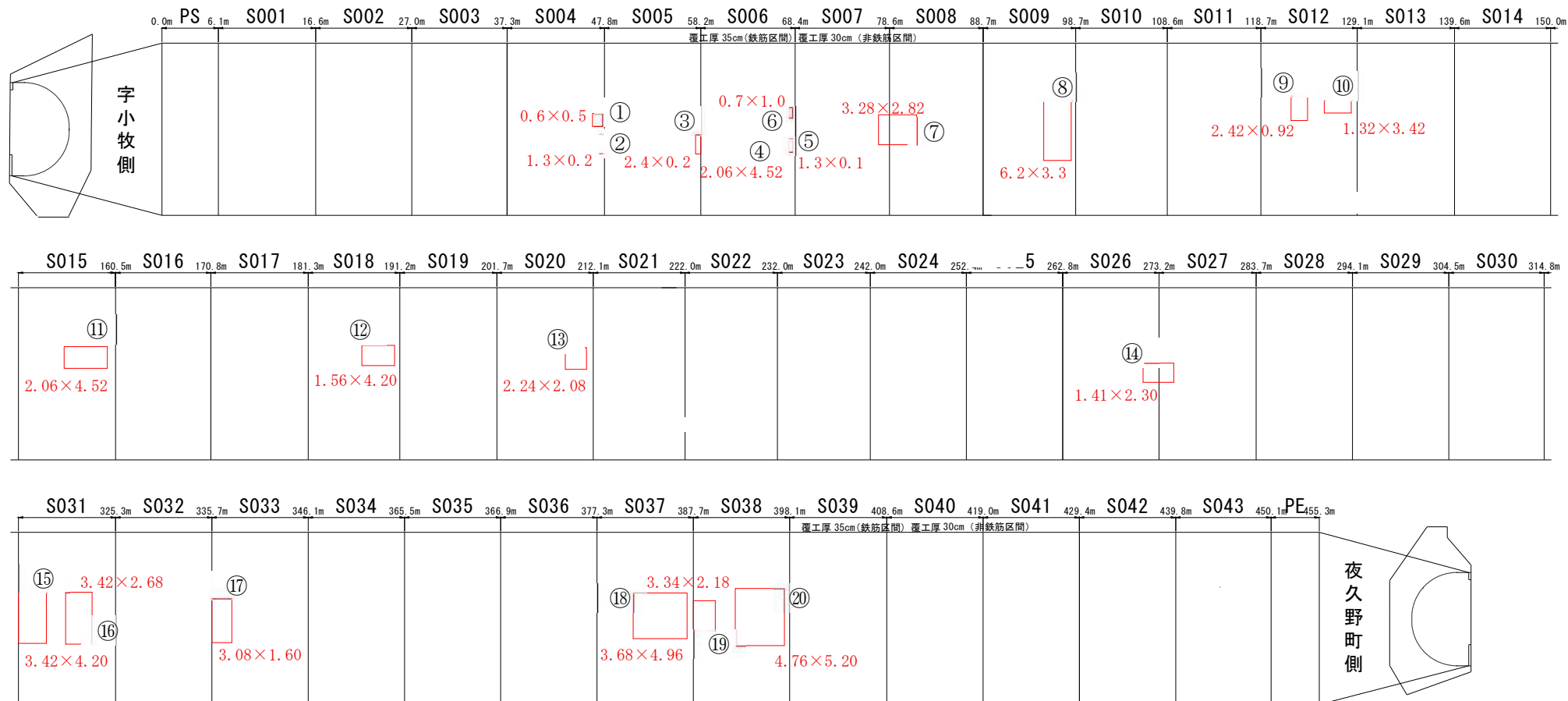


図 1.1.7 覆工厚不足及び背面空洞箇所 (1)

## 1.2 発生原因

空洞調査の結果を受け、技術検討委員会を設置した。第1回委員会においては、空洞発生の原因究明を行った。文献により示唆されている、コンクリートの充填不足が生じやすい鉄筋配置区間、アーチクラウン部、吹上口の間部において空洞が発生したものと推察される。

### 1.2.1 覆工厚不足・背面空洞の原因の推察

#### (1) 覆工コンクリート背面に空洞が発生しやすい箇所

1) 覆工コンクリート背面に空洞が発生しやすい箇所として、文献に次のような記載がある。

- ・山岳トンネル覆工の現状と対策 H14.9 土木学会
  - ①吹上口周辺にコンクリートがたまり、十分な充填ができない場合がある箇所
    - ①-1 アーチクラウン部の巻厚が大きい場合
    - ①-2 鉄筋区間
  - ・②コンクリートの充填が困難で、施工上空隙が生じやすい箇所
    - ②-1 アーチクラウン部（既設コンクリート側及びびつま側）
    - ②-2 吹上口を2箇所使用する場合、その中間部

#### ②吹上げ口

覆工コンクリートのアーチクラウン部の打込みは吹上げ方式が一般的であり、吹上げ口の数は型枠の長さが10.5mの場合で2箇所が一般的である。

吹上げ口の第1口は、既設コンクリート側から0.75m（リンク間隔の0.5倍）の位置に仰角45～60°で設けられ、中央部に切替用の吹上げ口を設けている例が多い。第1口の位置が既設コンクリートから離れると、コンクリート打込み時に空気を封入して空隙を生じることが多いので注意が必要である。

アーチクラウン部の巻厚が大きい場合や鉄筋区間では吹上げ口の周辺にコンクリートがたまり、十分な充填ができない場合があるので、吹上げ口を昇降可能な構造として、型枠表面から高い位置よりコンクリートを吐出させることによりコンクリートの流動性を促進し、充填率の向上を図ることが望ましい。

図1.2.1 発生原因の文献

出典：山岳トンネル覆工の現状と対策 平成14年9月 土木学会に加筆

### ③エア抜き金具

覆工コンクリートのアーチクラウン部は、エアだまりやブリーディング水により空隙ができやすいので、空隙が残りやすい位置にエア抜き金具を設置することが望ましい。特に打設方向が急な下り勾配の場合にはエアだまり発生の可能性が高いため設置を検討する必要がある。

エア抜き金具としては、スライド式、検測ピン式、グラウトパイプ式などの型式が使用されている。検測ピン式は、巻厚を確認するために設置する検測ピンを中空タイプにし、防水シート位置まで伸縮できることにより、背面に閉じ込められた空気を抜き、コンクリートの充填を向上でき、また、モルタル分の漏出でコンクリートの充填も確認することができる。

コンクリートの充填が困難で、施工上空隙が生じやすい箇所としては、次の箇所が考えられる。

- ・アーチクラウン部（既設コンクリート側およびつま側）
- ・吹上げ口を2箇所以上使用する場合、その中間部

図1.2.2 発生原因の文献

出典：山岳トンネル覆工の現状と対策 平成14年9月 土木学会に加筆

## 2) トンネル覆工補強対策に関する手引き R5.3 中日本高速道路㈱

- ③覆工コンクリートを縦断勾配の上から下へ向かって施工する場合、空気が残りやすい箇所 打継目部の既設コンクリート側

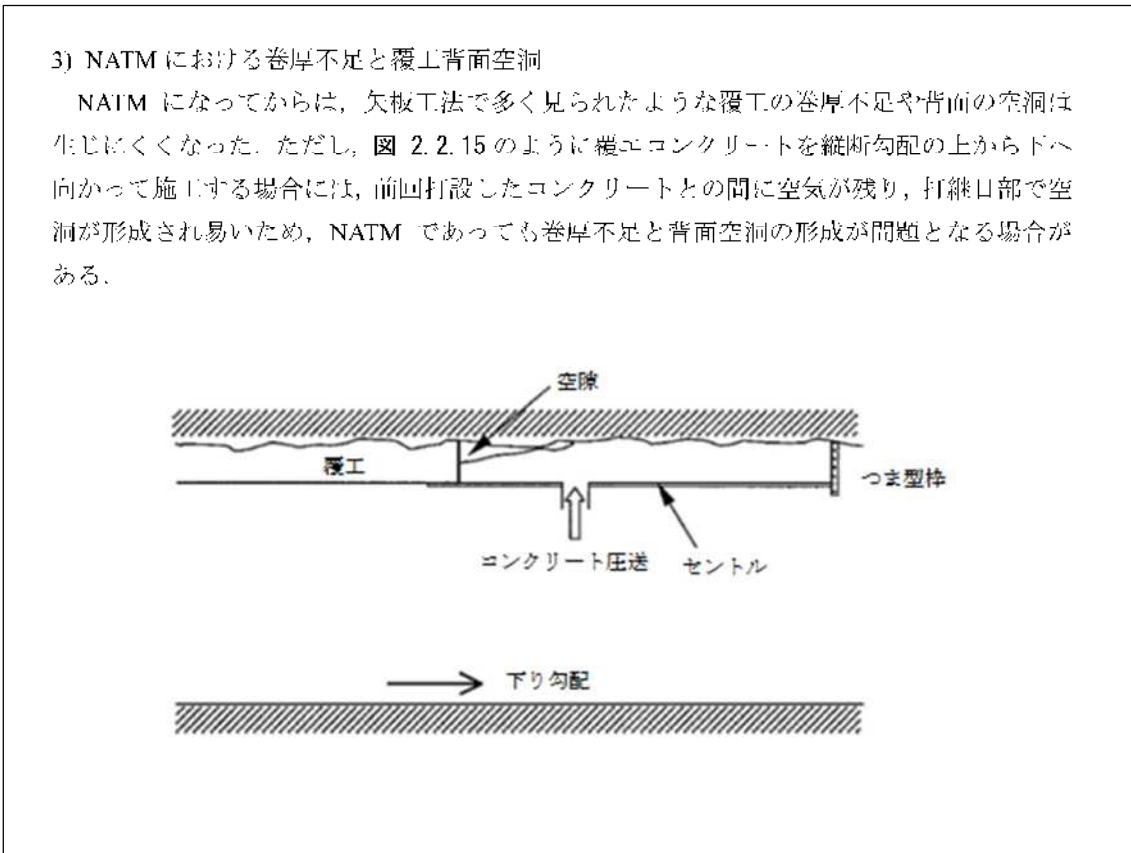


図1.2.3 覆工コンクリートの打設方法と空洞の文献

出典：トンネル覆工補強対策に関する手引き 令和5年3月 中日本高速道路㈱

## (2) 本トンネルにおける原因の推察

### 1) 本トンネルにおける原因の推察

- ①-1 アーチクラウン部の巻厚が大きい場合  
→本トンネルはNATMであり、アーチクラウン部の覆工厚が大きいとは言えないため、今回の原因とは考えにくい。
- ③覆工を縦断勾配の上から下へ向かって施工する場合、空気が残りやすい箇所  
→覆工コンクリートに出ているコンクリートの流動跡から、縦断勾配の下(終点側)から上(起点側)に向かって施工されていると推察されるため、今回の原因とは考えにくい。

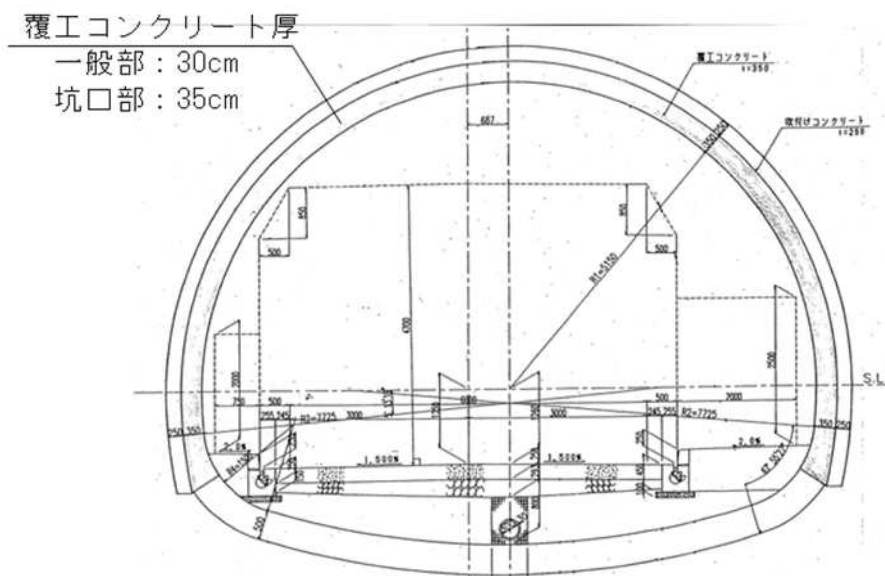


図1.2.4 標準断面図

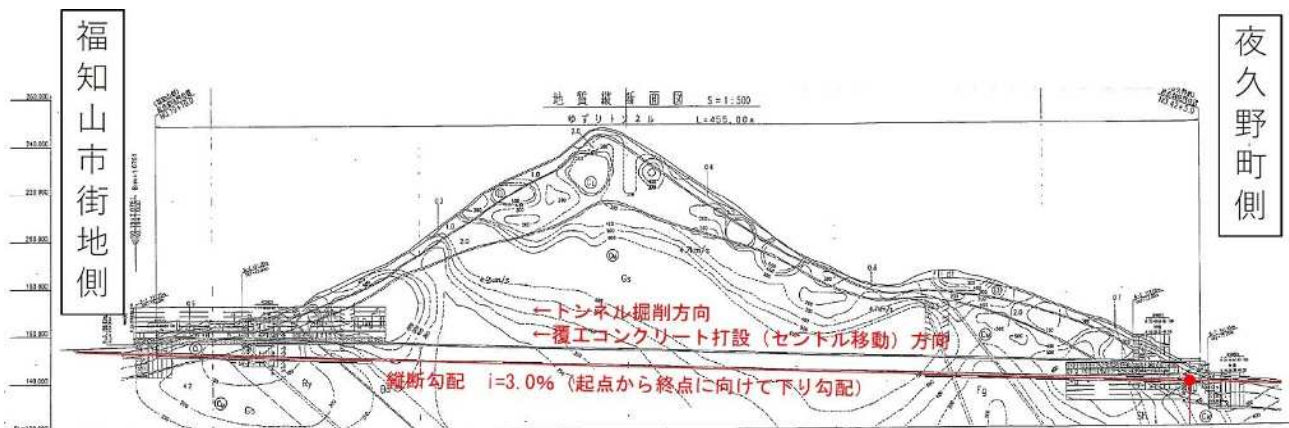


図1.2.5 ゆずりトンネル地質縦断図

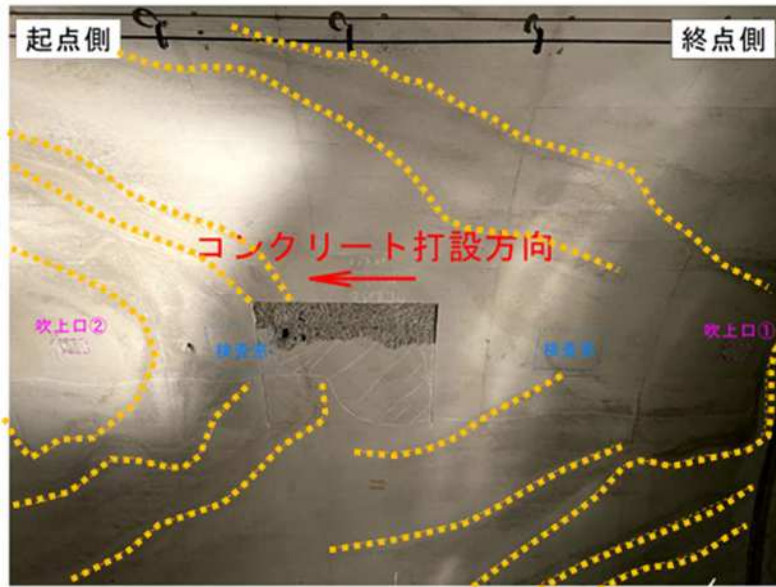


写真 1.2.1 コンクリートの流動跡

・ S004、S005、S006（坑口部）の箇所

→坑口部の支保パターンがDⅢaの区間であるため、「①-2吹上口周辺にコンクリートがたまり、十分に充填ができない場合がある箇所 鉄筋区間」に該当し、また、「②-1コンクリートの充填が困難で、施工上空隙が生じやすい箇所 アーチクラウン部（既設コンクリート側）」にも該当するため、空洞が生じたものと推察される。

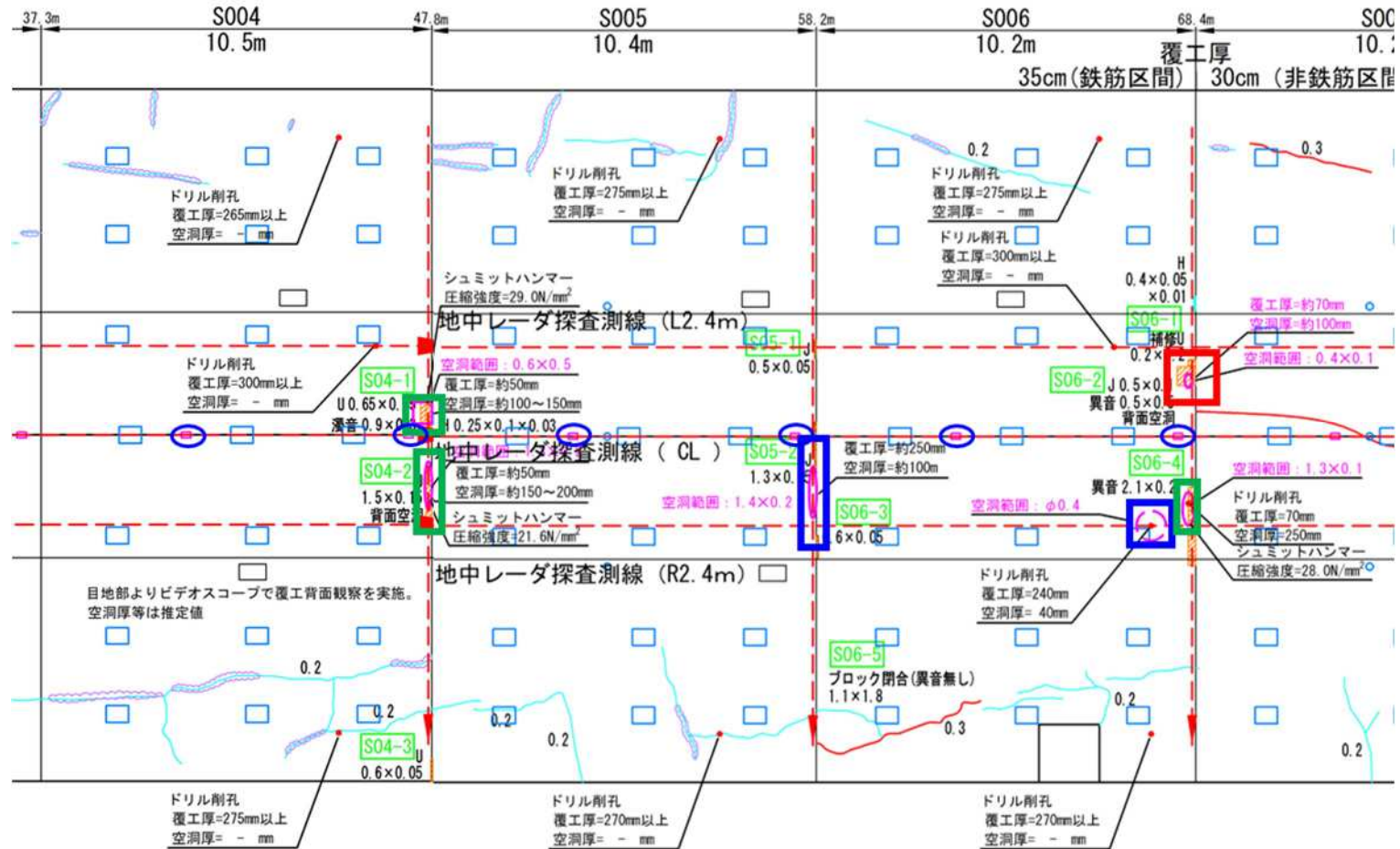


図1.2.6 ゆずりトンネル展開図(1)

・ S008、S027、S031+1.0、S033、S038+0.7の箇所

→ 「②-1 コンクリートの充填が困難で、施工上空隙が生じやすい箇所 アーチクラウン部（つま側）」に該当するため、空洞が生じたものと推察される。

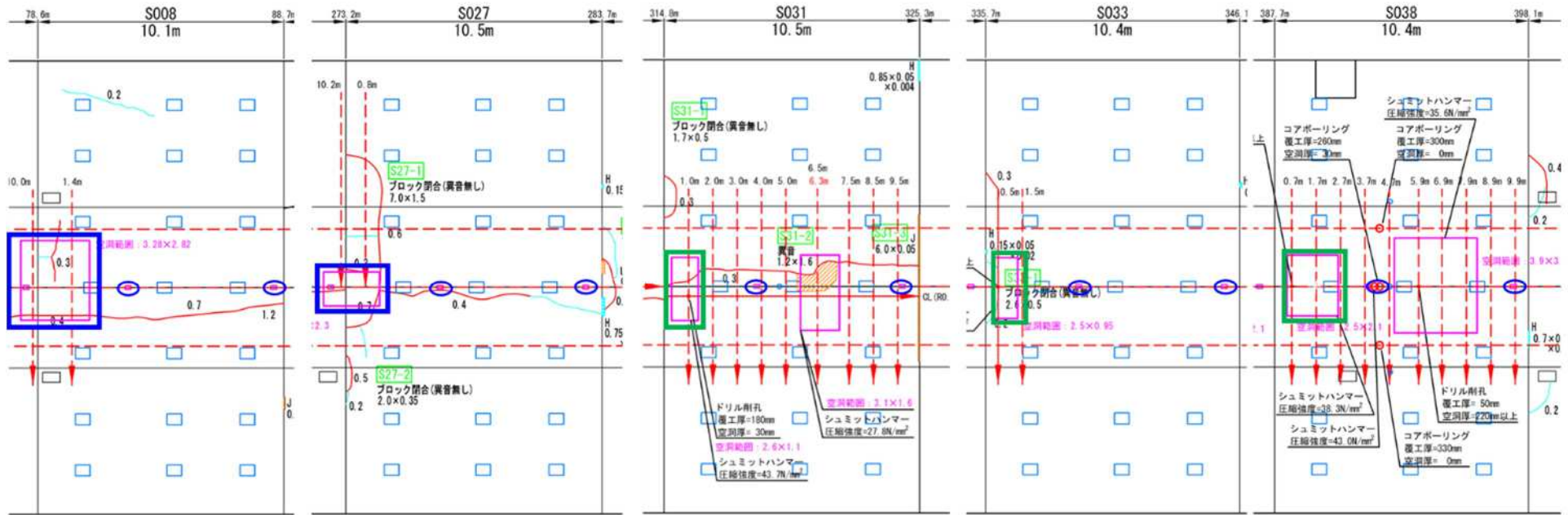


図1.2.7 ゆずりトンネル展開図 (2)

・ S009、S031+6.3、S037、S038+5.9の箇所

→覆工コンクリート表面に現れているコンクリートの流動跡から、吹上口を2箇所使用していることが推察されるため、「②-2コンクリートの充填が困難で、施工上空隙が生じやすい箇所 吹上口を2箇所使用する場合、その中間部」に該当し、空洞が生じたものと推察される。

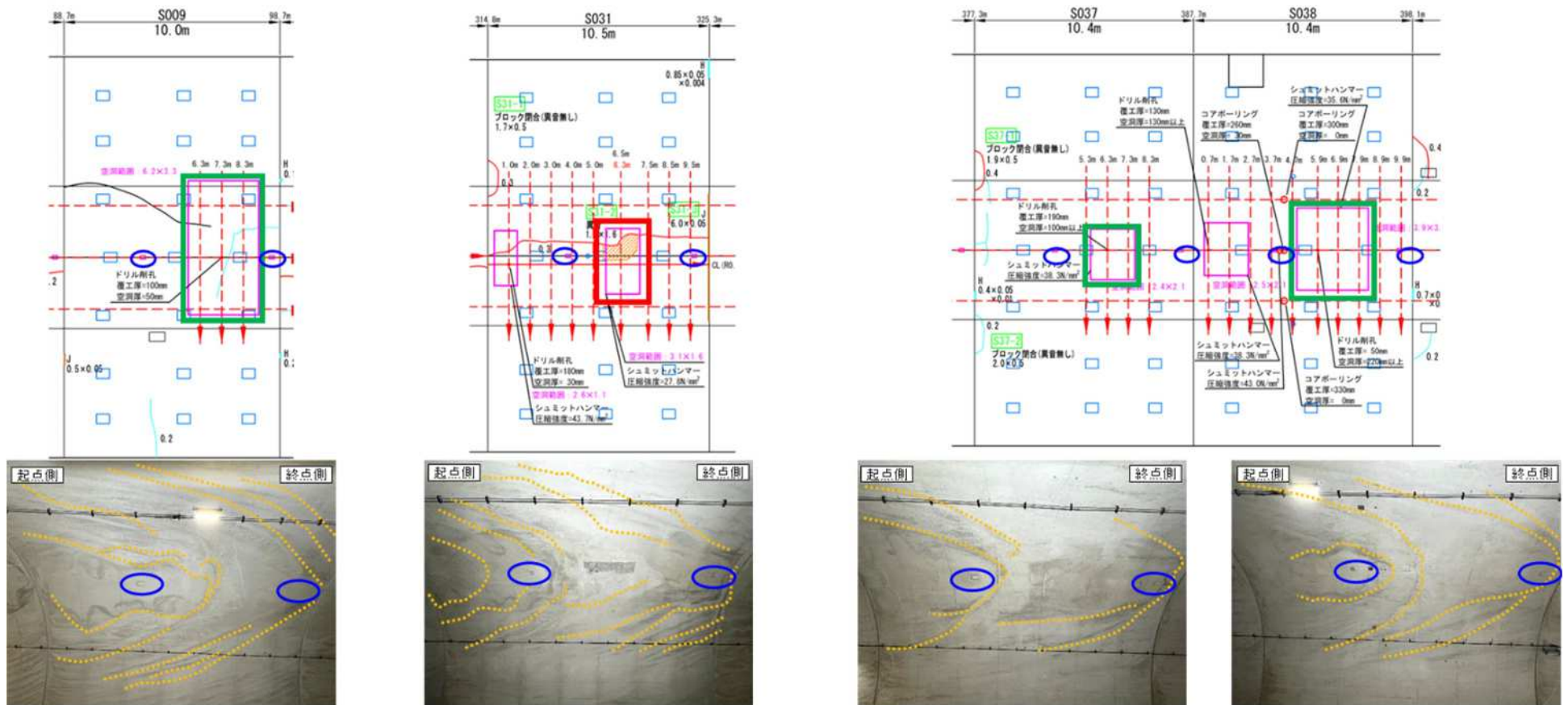


図1.2.8 ゆずりトンネル展開図 (3)

・ S012+3.8、 S012+8.3、 S015、 S018、 S020の箇所

→覆工コンクリート表面に現れているコンクリートの流動跡から、吹上口を2箇所使用していることが推察されるため、「②-2コンクリートの充填が困難で、施工上空隙が生じやすい箇所 吹上口を2箇所使用する場合、その中間部」に該当し、空洞が生じたものと推察される。防水シートの垂れ下がりにより片側に偏った充填になっている可能性がある。

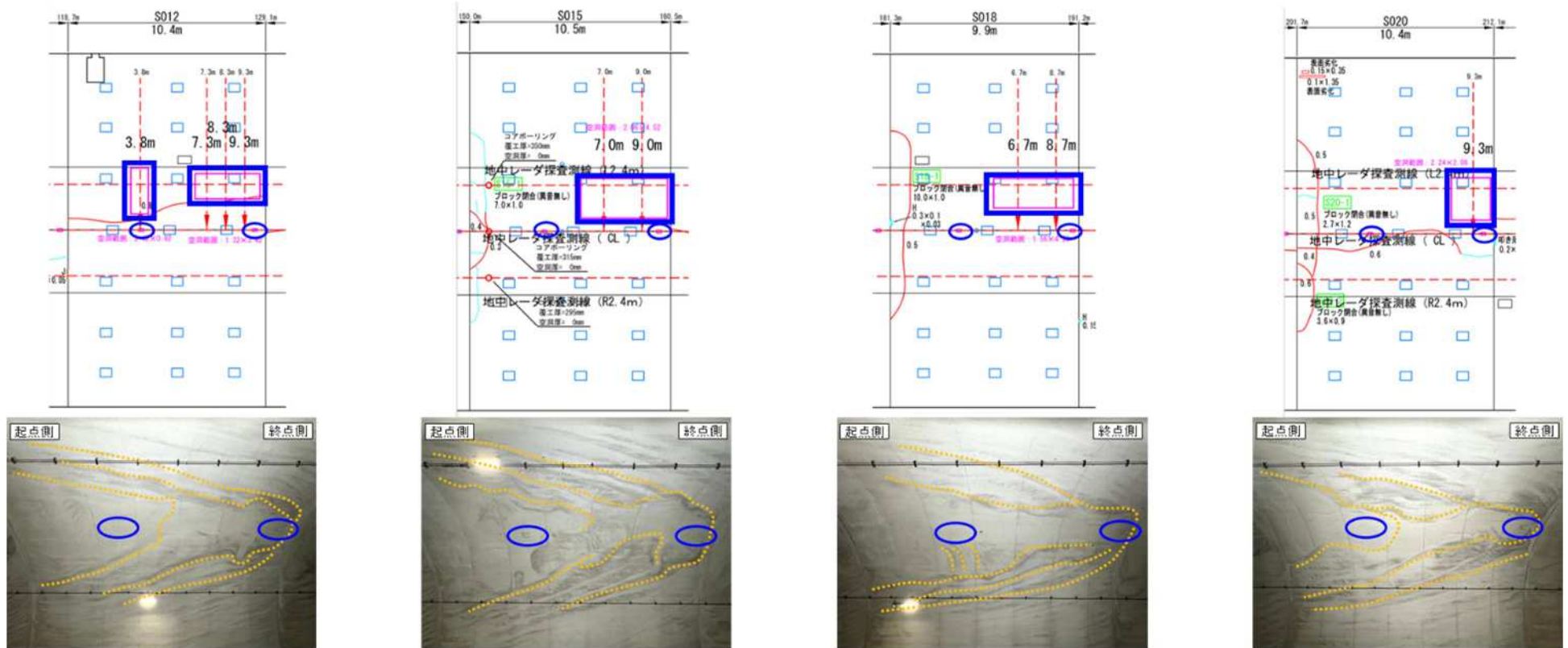


図1.2.9 ゆずりトンネル展開図 (4)

### 1.3 当時基準の分析

第2回委員会においては、発生した事象の検証を行い、当時の基準に基づき適切に施工されていたことを確認した。なお、現行の基準は、トンネル技術の発展に伴って知見や技術を取込み改正されている。

#### 1.3.1 京都府の施工管理基準

##### (1) 京都府土木請負工事必携

施工業者は、設計図書において特に定めのない事項については、下記の基準類によらなければならない。

##### (2) 適用すべき諸基準

表 1.3.1 当時（平成12年3月契約時点）の適用基準

基準書	発行元	発行年
土木請負工事必携	京都府	平成9年2月
道路トンネル技術基準	建設省	平成元年5月
道路トンネル技術基準（構造編）・同解説	日本道路協会	平成元年6月
トンネル標準示方書（山岳編）	土木学会	平成8年7月
コンクリート標準示方書（施工編）	土木学会	平成8年3月

表 1.3.2 当時の近隣他公所における適用基準

基準書	発行元	発行年
土木請負工事必携	近畿地方整備局	平成10年4月

表 1.3.3 現行（令和7年3月時点）の適用基準

基準書	発行元	発行年
土木工事共通仕様書（案）	京都府	令和6年4月
道路トンネル技術基準	建設省	平成元年5月
道路トンネル技術基準（構造編）・同解説	日本道路協会	平成15年11月
トンネル標準示方書（山岳編）	土木学会	平成28年7月
コンクリート標準示方書（施工編）	土木学会	令和5年9月

表 1.3.4 現行（令和 7 年 3 月時点）の近隣他公所における適用基準

基準書	発行元	発行年
土木工事共通仕様書(案)	近畿地方整備局	令和 6 年 4 月

(3) 検証対象となる京都府設計図書等

ゆずりトンネルの工事成果物については、概ね保存基準通りの資料が確認でき、下記の保存資料とともに施工管理の妥当性について検証した。

表 1.3.5 検証対象となる京都府設計図書等

設計図書等
契約書
特記仕様書
契約図面
検査報告書
工事写真（概要）
工事写真
施工計画書
承認願い（重要構造物）
出来形管理表
出来形管理図
品質管理表

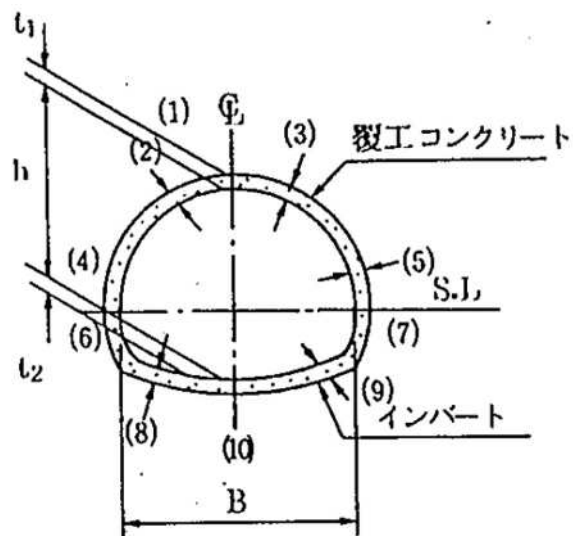
### 1.3.2 出来形管理の検証

#### (1) 京都府の施工管理基準（出来形管理基準及び規格値）

- 1) 施工業者は、京都府が定める「土木工事施工管理基準及び規格値」により施工を行い、その記録及び関係書類を請負者の責任と費用により直ちに作成、保管し、監督職員等の請求があった場合は直ちに提示するとともに、検査時に提出しなければならない。

表 1.3.6 覆工コンクリートに関する当時・現行の土木工事施工管理基準及び規格値

測定項目	規格値	調査箇所
基準高（拱頂） 幅 B（全幅） 高さ h（内法）	±50 -50 -50	施工延長40m毎につき 1 箇所
厚さ（イ） t1	設計厚以上	コンクリート打設前における 1 打設長の巻立空間を、終点は図の各点、中間部はコンクリート打設口で測定
厚さ（ロ） t1	設計厚以上	コンクリート打設後における 1 打設長の端面を、図の各点
厚さ（ハ） t1	設計厚以上	検測孔による巻厚の測定を、（1）は40mに 1 箇所、（2）及び（3）は100mに1箇所



※インバートがないため  
(8)～(10)は測定無し

図1.3.1 厚さ（イ）（ロ）測定位置

出典：土木請負工事必携 平成9年2月 京都府

(2) 近隣他公所の出来形管理基準

表1.3.7 覆エコンクリートに関する1断面あたりの測定箇所数

公所	打設前 終点・中間部	打設後 端面	打設後 検測孔
[当時]京都府	1(40m毎)	7	1(40m毎), 2(100m毎)
[当時]近畿地方整備局	1(40m毎)	7	1(40m毎), 2(100m毎)
[現行]京都府	1(40m毎)	7	1(40m毎), 2(100m毎)
[現行]近畿地方整備局	1(40m毎)	7	1(40m毎), 2(100m毎)

(3) 出来形管理の検証結果

1) 出来形管理については、当時・現行基準に差異はなく、管理項目の回数や規格値は基準を満足していた。

表1.3.8 覆エコンクリートに関する土木工程施工管理基準及び規格値と出来形

測定項目	管理基準断面数	出来形断面数	検証結果
基準高 幅B、高さh	12	12 (±0) 12 (±0)	満足
厚さ(イ) t1 終点	44	44 (±0)	満足
厚さ(イ) t1 中間部	44	52 (+8)	満足
厚さ(ロ) t1	44	44 (±0)	満足
厚さ(ハ) t1 (1)	12	13 (±1)	満足
厚さ(ハ) t1 (2)(3)	5	10 (+5)	



S042 (No. 40+18.9~No. 41+9.3) 基準高



S017 (No. 27+18.9~No. 28+9.3) 幅B



S035 (No. 37+6.1~No. 37+16.5) 高さh



S031 (No. 35+4.5~No. 35+14.9) 厚さ(イ)



S031 (No. 35+4.5~No. 35+14.9) 厚さ(ロ)



S006 (No. 21+17.6~No. 22+8.0) 厚さ(ハ)

写真1.3.1 施工状況

### 1.3.3 当時の施工状況の検証

#### (1) 検証方法について

- 1) 当時の施工管理が当時の基準に対して適切であったかを成果品や業者からの聞き取りにより検証
- 2) 当時の施工方法が標準的な方法に対して逸脱したものでなかったかを成果品や業者からの聞き取りにより検証
- 3) 当時の施工により発生した施工不良に故意がなかったかを成果品や業者からの聞き取りにより検証

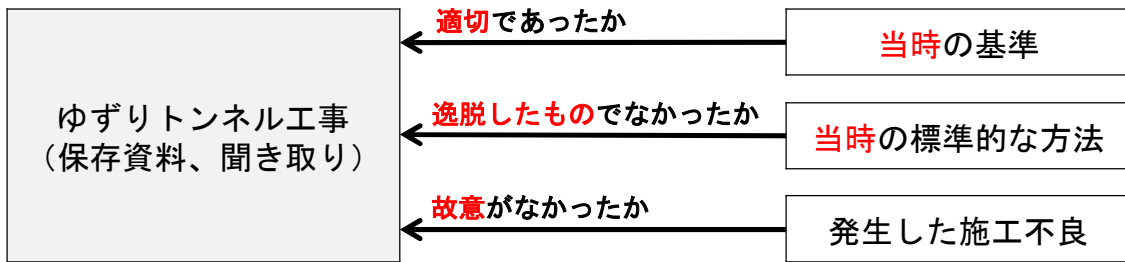


図1.3.2 検証方法

#### (2) 検証対象

- 1) 施工状況を検証する対象は、トンネル掘削が完了してから坑内付帯工を着手するまでの防水工、型枠工、コンクリート工とする。

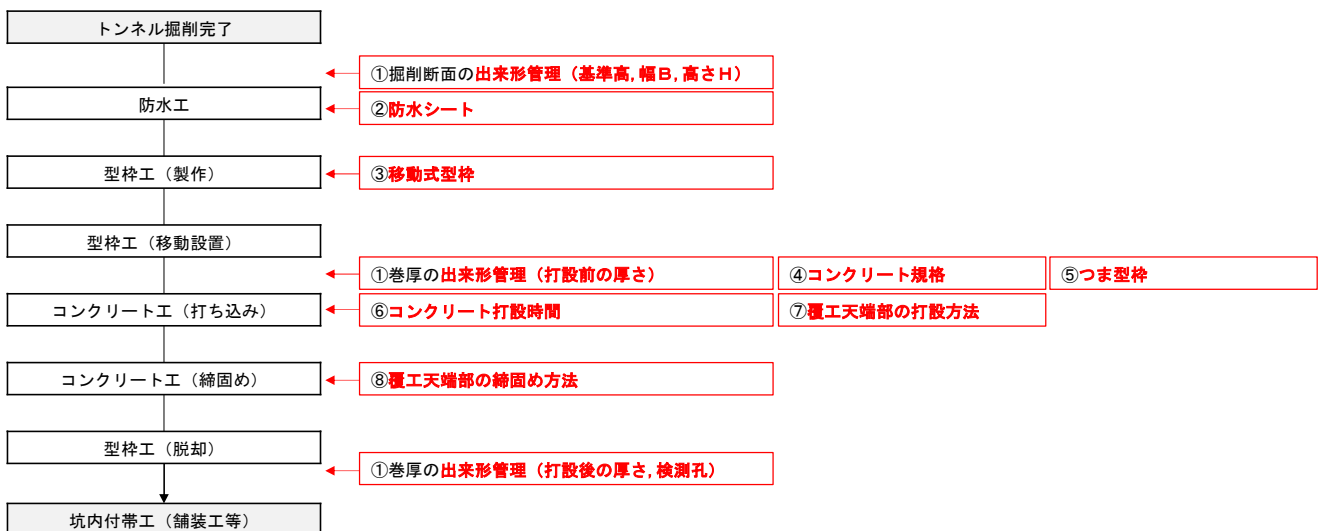


図1.3.3 施工状況の検証対象工種と検証内容

(3) 検証

1) 施工管理の検証項目

表1.3.9 当時基準による施工管理の検証項目

検証内容	検証項目	結果
①出来形管理	基準高、幅、高さ、厚さの規格値及び管理断面数	適切
②防水シート	防水シートの余裕度、間隔、長さ	適切
③移動式型枠	作業窓、検測孔及び吹上口の位置、型枠材質、形式、長さ	適切
④コンクリート規格	スランプ、混和剤、混和材	適切
⑤つま型枠	モルタル漏れ	適切
⑥コンクリート打設時間	練混ぜ～打設及び練混ぜ～荷卸しの時間、運搬車両規格	適切
⑦覆工天端部の打設方法	打設形式、打設方法	適切
⑧覆工天端部の締固め方法	締固め機械、締固め方法	適切

## 2) 施工方法の検証項目

### ・防水シート

- ①下地面の仕上げ及び突起物処理
- ②湧水処理
- ③シート防水材の取付け
- ④防水シートの接合
- ⑤端末処理

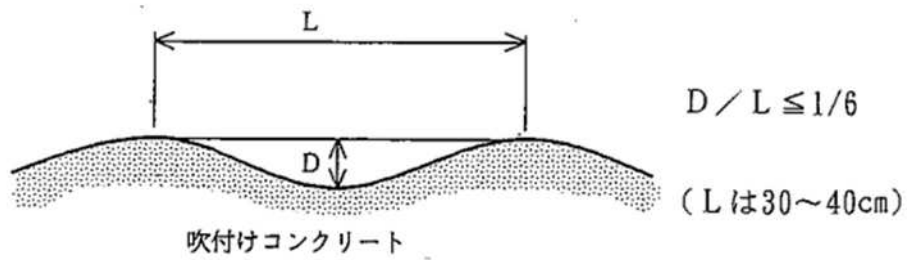


図1.3.4 下地面の仕上げ

出典：山岳トンネル工法における防水工指針（社）平成8年2月 日本トンネル技術協会

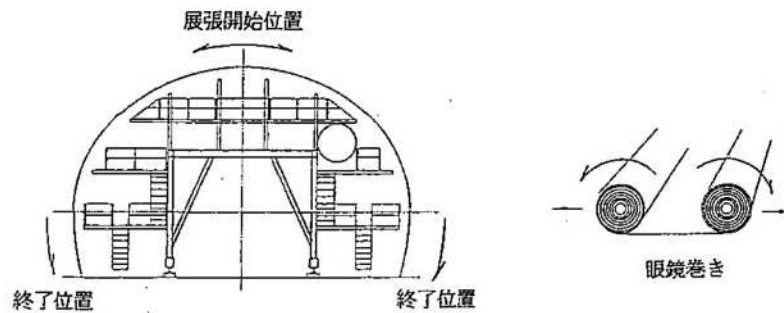


図1.3.5 シート防水材の取付け

出典：山岳トンネル工法における防水工指針（社）平成8年2月 日本トンネル技術協会

・覆工コンクリート

- ①検査窓から側壁部へ左右対称に打込み
- ②検査窓から側壁部～アーチ部へ左右対称に打込み
- ③吹上げ口からアーチ部へ左右対称に打込み
- ④吹上げ口から天端部へ左右対称に打込み

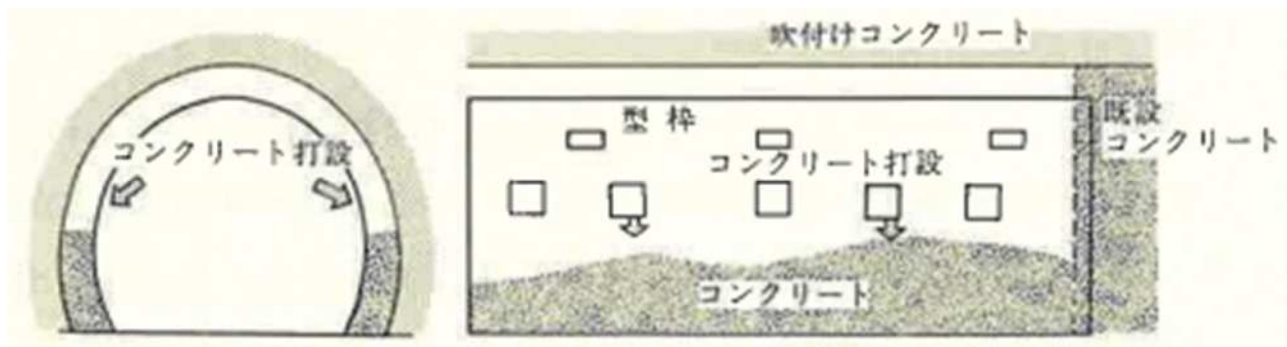


図1.3.6 検査窓からの打設方法

出典：トンネルコンクリート施工指針（案）平成12年7月 土木学会

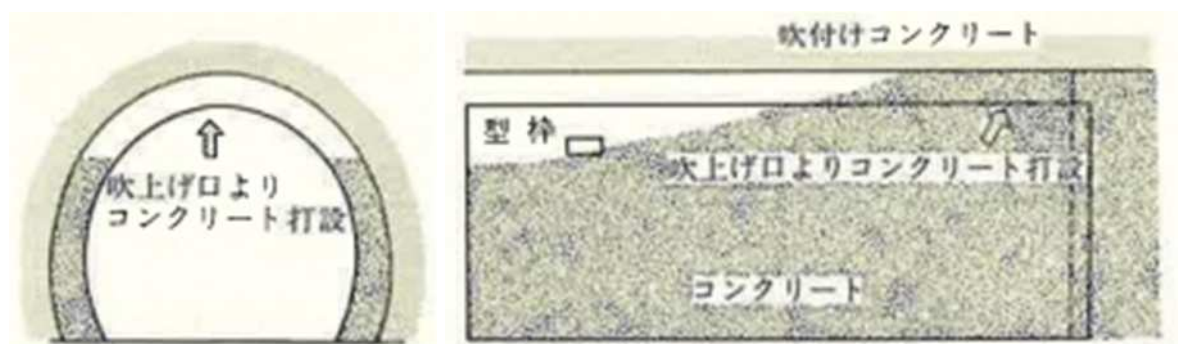


図1.3.7 吹上口からの打設方法

出典：トンネルコンクリート施工指針（案）平成12年7月 土木学会

### 3) 施工方法の聴取結果（業者間取り、写真確認）

#### ・防水シート

- a) 吹付け表面が平滑であり、突起物を処理・保護を確認
- b) 防水シートに余裕をもたせながら、トンネル中央部より両サイドに向かい取付け
- c) 湧水の位置を確認し、湧水処理
- d) 防水シートを鉋等で固定し、溶着機でシート端部がラップするよう溶着
- e) コンクリート打設時に防水シートがめくれぬよう裏面排水工に取付け

区間	区間	区間	区間	区間	区間
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102

写真 1.3.2 湧水の位置



写真 1.3.3 湧水処理



写真 1.3.4 下地面



写真 1.3.5 防水シート取付け



写真 1.3.6 防水シート接合



写真 1.3.7 端末処理

・覆工コンクリート

- a) コンクリートの打設方向は、縦断方向の下から上(終点側から起点側)に向かって施工
- b) コンクリートについては下段の打設口→中段の打設口→吹上口の順で打設
- c) 締固めは検査窓から行き、最終は妻部の型枠の天端で充填を確認
- d) 吹上口は、基本的に終点側の1箇所を使用し、圧送が困難となった場合のみ吹上口(予備)を使用
- e) 生コンは、設計どおりの18-12-40BBを使用(流動性を上げる等はしていない)
- f) 充填確認は目視で実施(センサー等は設置していない)

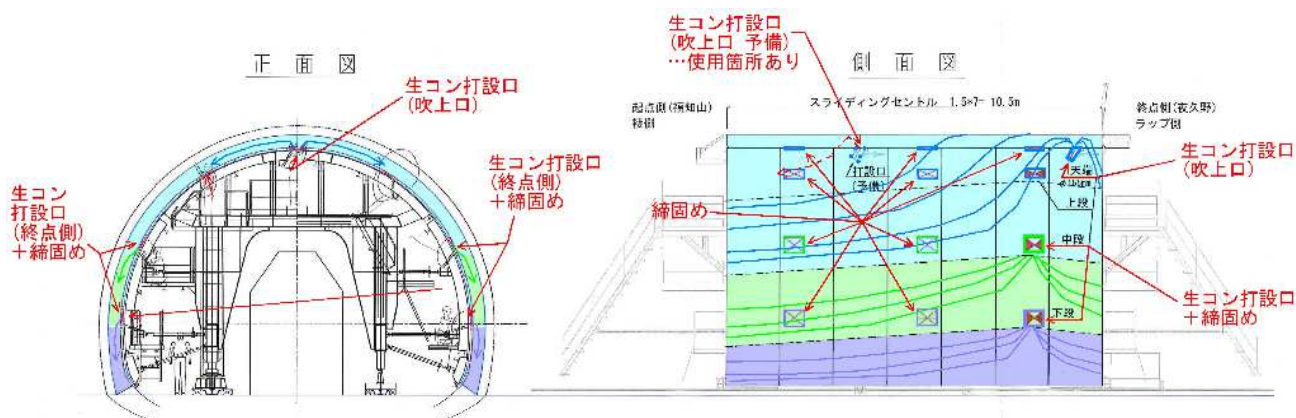


図1.3.8 聞き取りした施工状況図

#### (4) 施工方法の聴取結果

- 1) 施工状況を聞き取りした結果、施工方法は当時の標準的な施工方法に対して逸脱したものではなかったといえる。
- 2) 充填状況については、流動化剤や充填確認用センサーの使用等はされておらず、作業員の目視による締固めを行っていたが、結果として文献等で記載されているような空洞が発生しやすい箇所で空洞・覆工厚不足が発生したものと考えられる。
- 3) 施工業者から報告があった内容と現地の覆工コンクリートの流動跡の状況は一致しており、聞き取り内容に虚偽はないと推察される。

## (5) 検証結果

- 1) 当時の施工管理は、当時の基準に対して、適切であったといえる
- 2) 当時の施工方法は、標準的な方法に対して、逸脱したものでなかったといえる
- 3) 当時の施工により発生した施工不良は、故意とは確認できなかった

## (6) 基準改正の変遷

- 1) 現行の基準は、トンネル技術の発展に伴って知見や技術を取込み改正されてきた

以上のような条件から、覆工コンクリートの配合は次の範囲で行うのが一般的である。

スランプ：機械施工の場合	<u>12~15cm</u>
機械施工の場合以外	5~8cm

出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 平成元年6月 日本道路協会に加筆

以上のような条件から、覆工コンクリートの配合は次の範囲で行うのが一般的である。

スランプ：	ポンプ施工の場合	<u>15cm程度</u> （アーチ・側壁コンクリート）
		8cm程度（インパートコンクリート）

出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 平成15年11月 日本道路協会に加筆

『平成8年版トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説「改訂の序」』  
**当時の基準**

昭和39年制定のトンネル標準示方書は、昭和44年の第1回改訂後2回の改訂を経て、昭和61年版「トンネル標準示方書(山岳編)・同解説」として広く利用されてきている。

この標準示方書が発刊されてからほぼ10年を経過したが、この間、ロックボルトと吹付けコンクリートを主体にするトンネル工法が標準工法として定着するとともに、都市域においても、この工法が使用されるケースも増えてきた。

また、この間におけるトンネル技術の進歩と発展も目ざましいものがあり、これらの成果を新たに標準示方書に取り込む必要が生じてきた。

今回の改訂にあたっては、従来と同様に技術の進展に対応し、より安全で、より経済的に工事を施工できるように考慮したことはもちろんであるが、単位に関する法律の改正、都市域においても山岳工法が使用されるケースが増えてきた等、工法を取りまく情勢の変化した事項も考慮して内容を改めた。

**新たに普遍化した技術や知見を取込み**

『[2006年制定]トンネル標準示方書 [山岳工法]・同解説「改訂の序」』

昭和39年制定のトンネル標準示方書は、昭和44年版（第1回改訂）に続き、昭和52版（第2回改訂）にて山岳編を独立し、その後の昭和61年版（第3回改訂）を経て、平成8年版の『トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説』として現在、広く利用されている。

この平成8年版の発刊以降10年が経過するなかで、従来では適用が難しいとされた都市部の土砂地山等にも山岳工法を適用する実績が増加するなど、トンネル技術の更なる発展に伴って新たに普遍化した技術や知見を標準示方書に取り込む必要が生じてきた。 また周辺環境への影響やトンネル坑内の作業環境の改善が重要視され

**トンネル標準示方書の変遷**

出典：トンネル標準示方書 [山岳工法]・同解説 平成28年7月 土木学会に加筆

図1.3.9 基準の変遷に関する文献

表1.3.10 基準の変遷内容

検証内容	主な基準の改定内容	
	当時基準	現行基準
防水シート	適度な余裕	→ 余裕のない状態や余裕過多によるたるみがないよう適度な余裕
移動式型枠	作業窓は適切な位置に設置	→ 作業窓は横断方向に7箇所、縦断方法に5列又は7列
コンクリート規格	スランプ12cm～15cm	→ スランプ15cm程度
つま型枠		→ エア抜き金具やブリーディング水进行处理できる型枠を推奨
覆工天端部の締め固め方法	バイブレーターを使用	→ 内部振動機を原則として引抜き式や伸縮式の天端バイブレーターの使用事例有

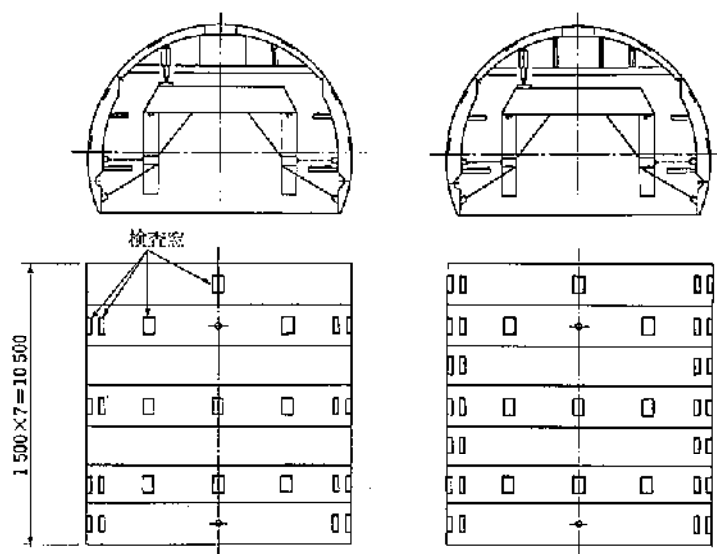


図1.3.10 型枠の作業窓の設置例

出典：コンクリートライブラリー102 トンネルコンクリート施工指針（案）

平成12年7月 土木学会

#### 1.3.4 まとめ

##### (1) 第1回技術検討委員会結果

- 1) 府道談夜久野線ゆずりトンネル技術検討委員会設置（案）について
  - ・要綱（案）について委員全員が了承
  - ・委員長は、委員の互選により朝倉委員を選出
- 2) 【原因の分析、補修すべき箇所の特定に関する審議】：空洞調査結果の報告
  - ・覆工コンクリートの厚さ不足と空洞の存在は、地山の変状などが要因ではなく、施工時の問題と断定
- 3) 【補修方法の選定に関する審議】：応急対策（案）、恒久対策方針（案）について
  - ・応急対策については妥当であることを確認
  - ・恒久対策では、地山と一体となるようセメント系の材料で空洞を充填する対策を検討すること
- 4) その他
  - ・日交通量が1,500台ある中、府民の生活を考慮し、できるだけ早く通行止めを解除できるよう努めていくことを確認

##### (2) 第2回技術検討委員会結果

- 1) 第1回技術検討委員会のふりかえりについて
  - ・第1回技術検討委員会の議事内容を再確認
- 2) 恒久対策（案）の工法について
  - ・恒久対策の工法については妥当であることを確認
  - ・恒久対策は一般的な工法であり、一般的な技術力でも対応可能
- 3) 恒久対策（案）の施工管理方法について
  - ・恒久対策の施工管理方法については妥当であることを確認
  - ・補修工事は、京都府による厳格な監督体制のもと実施すべき
- 4) 当時の施工状況の検証について
  - ・検証の手法と内容については妥当であることを確認
  - ・覆工コンクリートの厚さ不足と空洞の存在は、当時の技術レベルでは生じる可能性のある施工不良であると推察
- 5) その他
  - ・日交通量が1,500台ある中、府民の生活を考慮し、できるだけ早く通行止めを解除できるよう努めていくことを確認

### (3) 第3回技術検討委員会結果

- 1) 第2回技術検討委員会のふりかえりについて
  - ・第2回技術検討委員会の議事内容を再確認
- 2) 補修工事の結果について
  - ・第2回技術検討委員会で妥当であると確認された補修工法及び施工管理方法に基づき、補修工事が適切に実施されたことを確認した
- 3) 今後の再発防止策について
  - ・再発防止策の方針は妥当である
  - ・トンネル覆工の品質を確保するため、施工時に活用できるチェックシートは有効に機能することが期待されることから、積極的に取り入れるべき
  - ・ゆずりトンネルでは長期に渡り通行止めを余儀なくされ、利用者に不便が生じる事態となったことから、今後は安全性を確保しつつ、通行止め期間を短くする取組みを進めていくべき
- 4) その他
  - ・今後、京都府として再発防止に向けた手引き書を作成し、令和7年度末を目途に公開する
  - ・第3回技術検討委員会を以って、委員会を閉会する

## 2. 課題の整理

### 2.1 トンネルの不具合発生状況

京都府が所管するNATMトンネルの覆工コンクリートにおいては、空洞に起因する不具合は発生していないものの、維持管理の段階で問題になる変状の中には施工の不具合に起因するものもあるので、それらを極力無くすような施工上の配慮が必要である。

#### 2.1.1 不具合の発生状況

(1) 道路トンネルの覆工コンクリートにおいては、主として以下のような不具合や変状が発生している。特に、覆工コンクリートの充填不良・背面空洞は、覆工コンクリートの構造安定性が損なわれる他、覆工コンクリートのはく落のおそれがあるため重要な課題である。

- ・ 覆工コンクリートの充填不良・背面空洞
- ・ 施工目地部の周辺に発生するうき、はく離、剥落及びひび割れ
- ・ 側壁、アーチ部の縦断方向及び横断方向のひび割れ
- ・ 天端部の縦断方向のひび割れ
- ・ 表面の水はしり、砂すじ及び気泡
- ・ コンクリート打継目の打重ね線、色むら及びコールドジョイント

(2) 図2.1.1 に、トンネル覆工コンクリートに発生しやすい不具合や変状を模式的に示す。

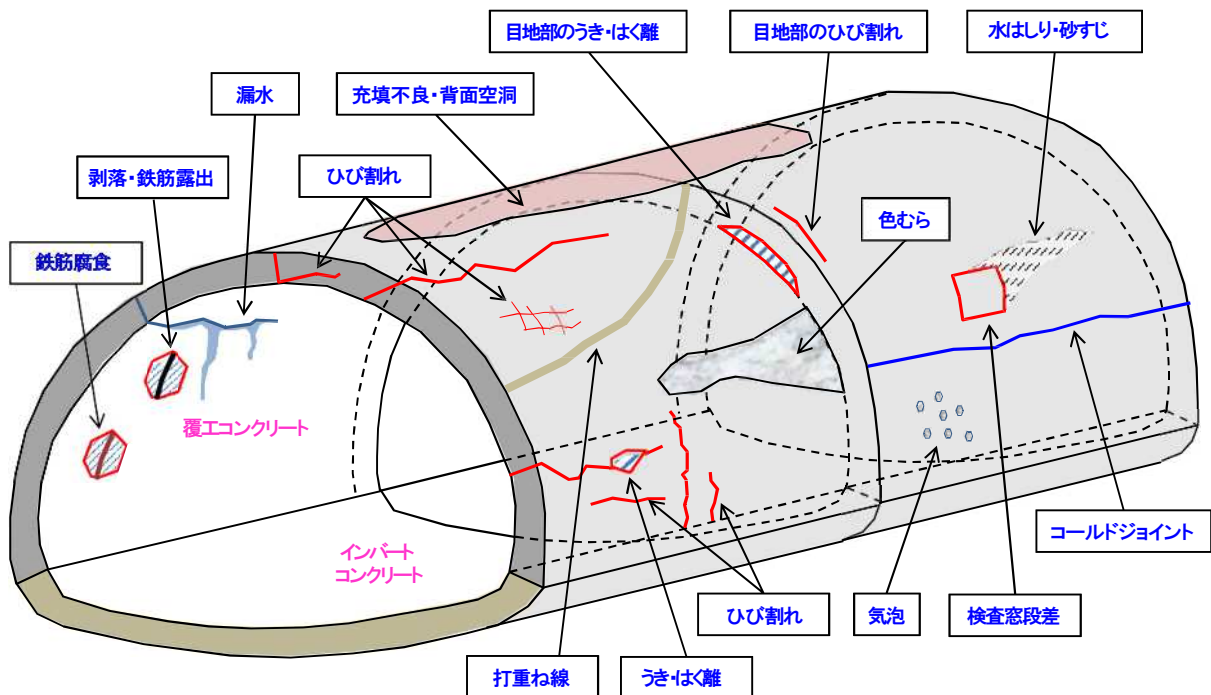


図2.1.1 トンネル覆工コンクリートに発生しやすい不具合や変状

出典：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）  
 国土交通省東北地方整備局 平成28年5月に加筆

(3) 本手引き（案）では、覆工コンクリート各部の名称を以下のとおり表記している。

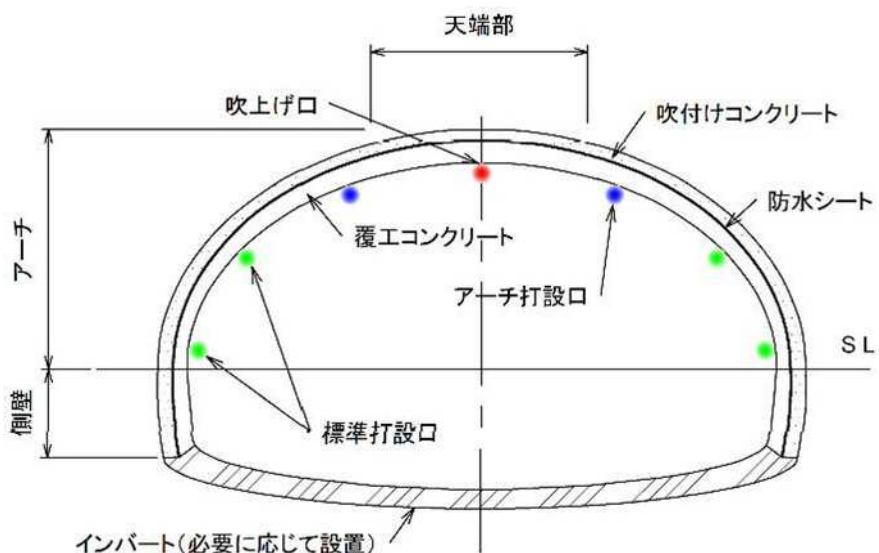


図2.1.2 覆工コンクリート各部の名称（横断方向）

出典：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）  
 国土交通省東北地方整備局 令和5年3月に加筆

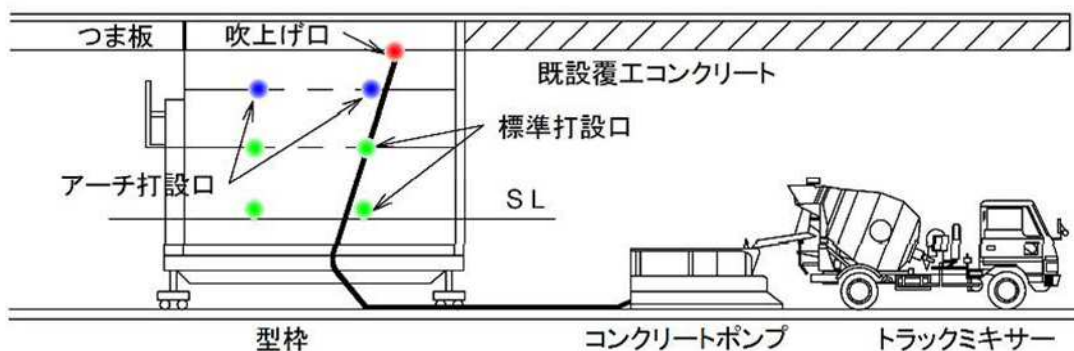


図2.1.3 覆工コンクリート各部の名称（縦断方向）

出典：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）  
 国土交通省東北地方整備局 令和5年3月

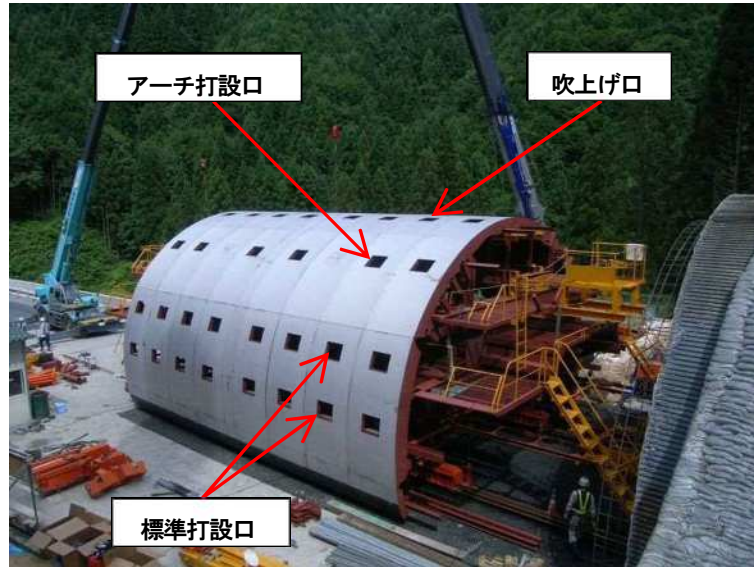


写真2.1.1 型枠（セントル）

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）  
国土交通省四国地方整備局 令和2年3月

## 2.1.2 インフラ長寿命化計画

### (1) 施設の現況

- 1) 京都府が管理するトンネルは64本（令和7年3月31日時点）あり、そのうち、50年以上経過しているトンネルが13本（全体の22%）、20年後、50年以上経過するトンネルが31本（全体の53%）となる。

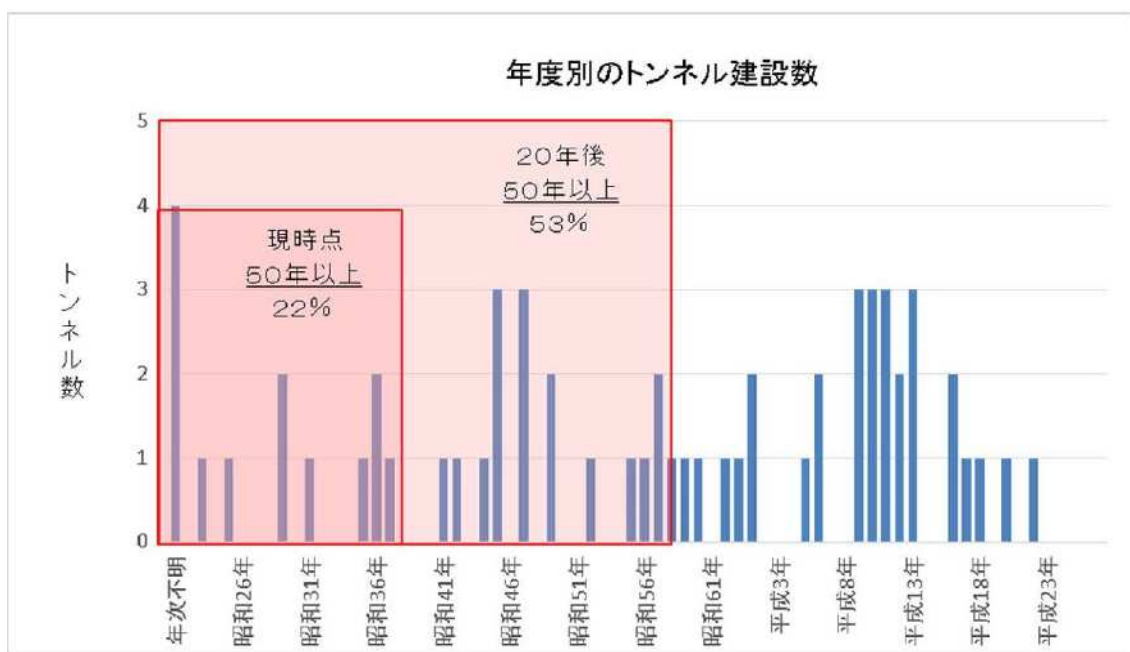


図2.1.4 建設年次別、京都府管理のトンネル数（京都府管内）

出典：京都府建設交通部インフラ長寿命化計画策定委員会 京都府 平成26年11月

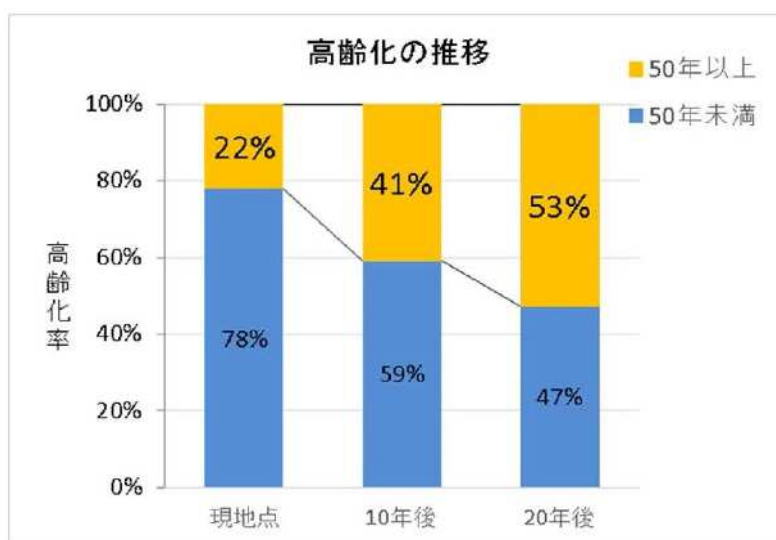


図2.1.5 建設から50年経過するトンネル割合推移（京都府内）

出典：京都府建設交通部インフラ長寿命化計画策定委員会 京都府 平成26年11月

- 2) 京都府におけるトンネル点検マニュアル（京都府）の点検結果判定区分を以下に示す。全59トンネルのうち「B：概ね健全」が21本（全体の36%）であり、「A：劣化進行はない、若しくは軽微」が35本（全体の59%）であり、「AA：補修が必要（現在補修中）」が3本（全体の5%）である。

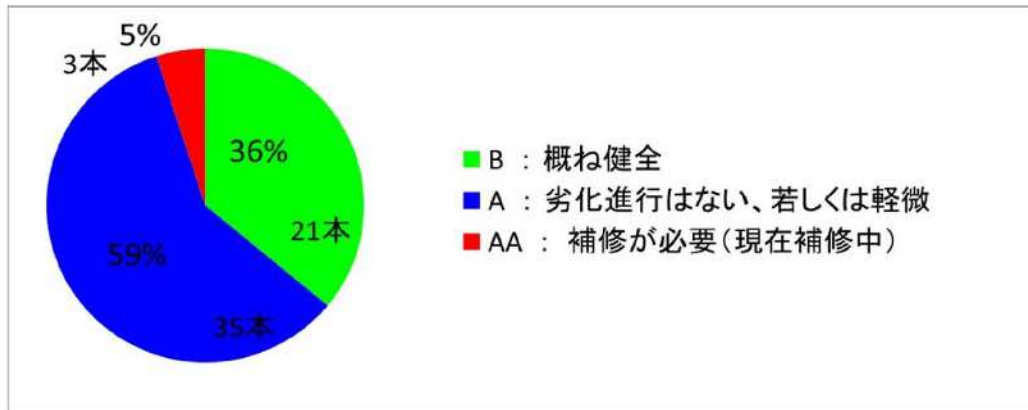


図2.1.6 トンネル点検結果判定区分の割合（京都府内）

出典：京都府建設交通部インフラ長寿命化計画策定委員会 京都府 平成26年11月

- 3) 京都府管理の主なNATMで施工された代表的なトンネルとして、2001年に完成した府道談夜久野線ゆずりトンネル（L=455m）がある。



写真 2.1.2 府道談夜久野線ゆずりトンネル（L=455m）

(2) 点検・補修等の実施状況

1) 計画

- ・ H17：「京都の道・長寿プラン」策定  
→長寿命化、維持管理コストの縮減のため、道路施設の維持管理にアセットマネジメントの考え方を導入
- ・ H17：「京都府道路施設維持管理基本計画」策定  
→計画的な維持管理を実施するため、施設や地域の特性を考慮した維持管理の方針を策定
- ・ H18：「京都府道路施設維持管理実施計画」策定（H20改訂）  
→劣化予測が困難な施設であるため、定期的な点検により、致命的な損傷となる前に速やかに補修することとし、そのための点検方法や頻度を設定

2) 点検

- ・ H18：「京都府トンネル点検マニュアル」策定（H20改訂）  
→日常点検：道路パトロールなどにより主に遠望目視による点検を実施  
→定期点検（職員）：年1回、徒歩による目視点検と可能な範囲で詳細点検を実施  
→定期点検（委託）：建設年次や施工方法に基づき5～10年に1回、近接目視。打音検査等による詳細点検を実施
- ・ H26.6：「道路トンネル定期点検要領」（国土交通省）  
→道路法改正等を踏まえ、H14.4定期点検要領が見直されたもの

[改正内容]5年に1回の定期点検、健全性の判定区分

表2.1.1 点検の状況

	H21	H22	H23	H24	H25	(本) 平均
職員点検	44	47	50	51	39	46
委託点検	5	4	5	5(15)	4(39)	5(11)
計	49	51	55	56(15)	43(39)	51(11)

( ) 内数値は付属施設点検を実施したトンネル数

出典：京都府建設交通部インフラ長寿命化計画策定委員会 京都府 平成26年11月

### 3) 補修

- ・定期点検結果の判定区分により緊急性を有するものから優先的に補修箇所を選定

### 4) データベース

- ・H21：「道路施設管理システム」を構築し、トンネルをデータベース化

→台帳、GIS位置情報、点検履歴、点検データ、補修履歴等データベース化しデータ蓄積実施中

### (3) 維持管理に係る課題

#### 1) 適切な点検・補修による利用者被害の未然防止

- ・トンネルは覆工の剥落や付属施設の落下等により、甚大な利用者被害や長期の交通規制が懸念される施設であることから、きめ細かな点検により適切な補修を実施するメンテナンスサイクルの確立が必要と考えられる。

#### 2) トンネル本体のメンテナンス

- ・トンネル本体は劣化予測が困難であり、災害等により、突発的に大規模な補修が必要となる恐れがあることから、弾力的な予算確保と長期的なコスト算定が大きな課題である。
- ・変状の適切な判定、点検結果の適切な評価、最適な補修工法の選定等、専門的なトンネル技術の向上が課題である。

#### 3) トンネル付属施設のメンテナンス

- ・中央自動車道笹子トンネルの天井版崩落事故を教訓に、照明設備・換気設備・非常用通報設備などの付属施設についても点検～補修・更新のメンテナンスサイクルの確立が必要と考えられる。
- ・機械、電気設備等付属施設は、トンネル本体と比較して老朽化の進展が早く、更新にも多大な費用が必要となるため、予算の安定的な確保が課題である。

#### 4) データベースの機能強化

- ・適切な補修時期を見極めるため、点検データや補修履歴等の着実な更新と蓄積が必要と考えられる。

#### (4) 取組の方向性

##### 1) 個別施設計画（京都府道路施設維持管理実施計画の改定）の策定

- ・個々のトンネル状況に応じた点検方針、修繕、更新等の対策内容、対策の優先順位の考え方、対策費用の概算等、個別施設計画を策定し、点検～補修～履歴蓄積のメンテナンスサイクルを構築する。

##### 2) データベースシステムの強化

- ・道路施設管理システムを強化し、経年変化による変状等が確実に把握できるよう、点検データや補修履歴を着実に蓄積する。

## 2.1.3 トンネルのメンテナンスの基本的な考え方

### (1) トンネルのメンテナンス

- 1) 「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について（答申）」（平成25年12月）において、現在の技術や仕組みによる維持管理状況が概ね継続する場合を前提として、今後10年後、20年後の維持管理・更新費の推計が試算されており、その結果によると、2013年の維持管理・更新費は約3.6兆円、10年後は約4.3～5.1兆円、20年後は約4.6～5.5兆円程度になると推定している。
- 2) 厳しい財政状況の中で効果的・効率的な維持管理を進めるため、トンネルの点検については、下記の定期点検要領等に基づき、5年に1度、近接目視による点検を実施し、結果については、4段階で区分する。

#### ①定期点検要領等

- ・道路トンネル定期点検要領（国土交通省 道路局 国道・技術課 R6.9）

#### ②道路トンネル毎の健全性の診断

表2.1.2 健全性の診断区分

区 分		状 態
I	健全	道路トンネルの機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	道路トンネルの機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

出典：道路トンネル定期点検要領 国土交通省 令和6年9月

※ただし、施設形状等により、上記点検要領によらない場合がある

## (2) トンネル定期点検（5年に1回）

1) トンネル点検は、以下の方法でトンネル本体工と附属物の固定状態を確認する。

- ・近接目視：点検対象に点検員が近づいて状態を確認
- ・打音検査：コンクリートや取付金具の個所をハンマーで打診し、剥落等の危険性を把握
- ・触診：コンクリートや取付金具の個所を点検員が手で触れて、変状の程度や対策の要否を確認

### <トンネル点検対象>

※トンネル附属物は取付状態の確認を行う

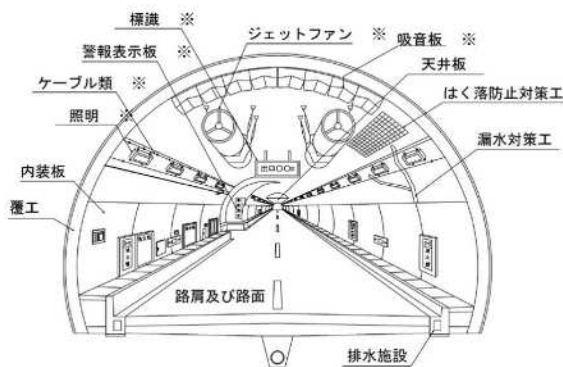


図2.1.7 トンネル点検の対象

出典：道路トンネル定期点検要領 国土交通省 令和6年9月

2) 点検時に変状が見つかった場合、適切な措置を施すとともに必要に応じてトンネルの通行規制や安全性を把握するための調査、応急対策を講じる。点検の結果は、点検調書に記録し、トンネル維持管理の基礎資料として活用する。

3) 点検支援技術による新技術を活用し、省力化・効率化を図ることが望ましい。

### (3) 点検結果の診断




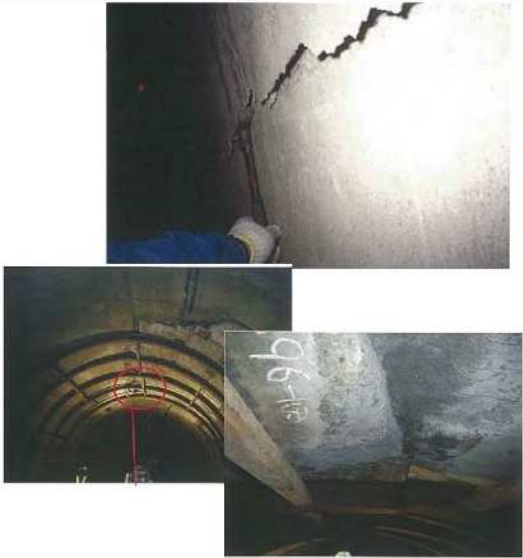
1) 定期点検では、道路トンネルの変状の状況から、変状毎に対策区分による判定を行う。

表 2.1.3 対策区分

区分	定 義
I	措置を必要としない状態。
II	II b 監視 <sup>*1</sup> を必要とする状態。
	II a 重点的な監視 <sup>*2</sup> を行い、予防保全の観点から計画的な対策を必要とする状態。
III	早期に措置を講じる必要がある状態。
IV <sup>*3</sup>	緊急に対策を講じる必要がある状態。

出典：道路トンネル定期点検要領 国土交通省 令和6年9月

表 2.1.4 対策区分判定例（ひび割れの判定抜粋）

対策区分		変状写真	変状概要
II	II b		ひび割れがあり、その進行が認められないが、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、監視を必要とする状態
	II a		ひび割れがあり、その進行が認められ、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III			ひび割れが密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が低下しているため、早期に措置を講じる必要がある状態
IV			ひび割れが大きく密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が著しく低下している、または圧ざがあり、緊急に対策を講じる必要がある状態

出典：道路トンネル定期点検要領 国土交通省 令和6年9月

(4) 損傷事例

【トンネル】 (所管課: 道路管理課)

資料

**本体損傷**

**ひびわれ**




覆工のひびわれ

目地部の剝離




坑門の部ひびわれ

剝落防止工事  
国道173号 曹木トンネル  
(京丹波町八田地区)

**漏水・滞水**




漏水の流下

漏水の滞水




漏水の滞水

漏水対策工  
国道178号 栗田トンネル  
(宮津市上町～波路地区)

**覆工空洞**



対策事例

空隙部モルタル充填工  
国道173号 曹木トンネル  
(京丹波町八田地区)

**附属施設損傷**

**排水施設損傷**




集水網の破損

集水網の閉塞

**設備関係**






照明器具の腐食

非常電話の破損

ジェットファン老化による更新

対策事例

ジェットファン交換工  
国道178号 宮津トンネル  
(宮津市杉東～須津地区)

**路面損傷**



コンクリート舗装路面の段差

出典：京都府建設交通部インフラ長寿命化計画策定委員会 京都府 平成26年11月

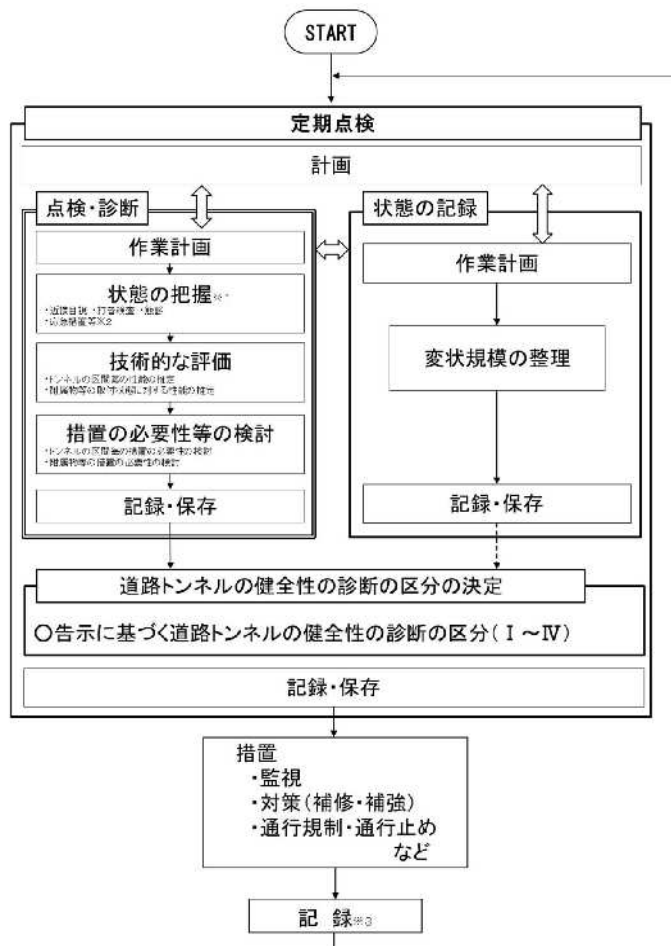
図2.1.8 損傷事例

## 2.2 定期点検時の課題

打音検査においては、覆工コンクリートの厚さが十分にある場合、内部に空洞が存在していても濁音や異音が発生しにくい。

### 2.2.1 定期点検の目的

- (1) 定期点検は、次回の定期点検までの措置の必要性の判断を行う上で必要な情報を得るために、予め定める頻度で、近接目視を基本として道路トンネルの最新の状態の把握を行い、かつ、道路トンネル毎の健全性の診断の区分の決定をする一連の行為をいう。
- (2) 道路トンネルの定期点検は、メンテナンスサイクルの基本的なフロー（図2.2.1）により点検を実施している。



※1 トンネル内の附属物等の定期点検は、附属物（標識、照明施設等）の定期点検に適用する要領により行う。ただし、これとは別に、附属物等の取付状態については、トンネルの定期点検時にも状態の把握を行うことを基本とする。

※2 通行規制・通行止め等が必要となる場合には、道路管理者の判断の下で行う。

※3 記録

措置の実施内容及び措置後の「対策区分」や「道路トンネル毎の健全性の診断の区分」の再評価の結果については、定期点検結果の記録とは別に記録する。

図2.2.1 定期点検を対象としたメンテナンスサイクルの基本的なフロー

出典：道路トンネル定期点検要領 国土交通省 令和6年9月

## 2.2.2 定期点検時の異音・濁音

- (1) 定期点検は、建設後1年から2年の間に初回を行い、2回目以降は、5年に1回の頻度で行うことを基本とする。点検方法としては、電磁波探査等の詳細調査は実施せず、基本的に近接目視にて覆工表面の変状を点検ハンマーによる打音調査により判定するものである。
- (2) トンネルの維持管理において、打音検査によるうきが確認（濁音・異音）されたあとの対策として、はつり落とし工があるが、NATMの場合で5cm、矢板工法の場合で10cmとしているため、一般的なうきは、5～10cm程度以下の範囲となる。そのため10cm程度以上の覆工厚となる場合には、打音検査で異音が発生しにくい。
- (3) ゆずりトンネルにおいては、これまでの定期点検の結果でも打音検査では覆工厚の薄い箇所や空洞分布を把握できなかった。

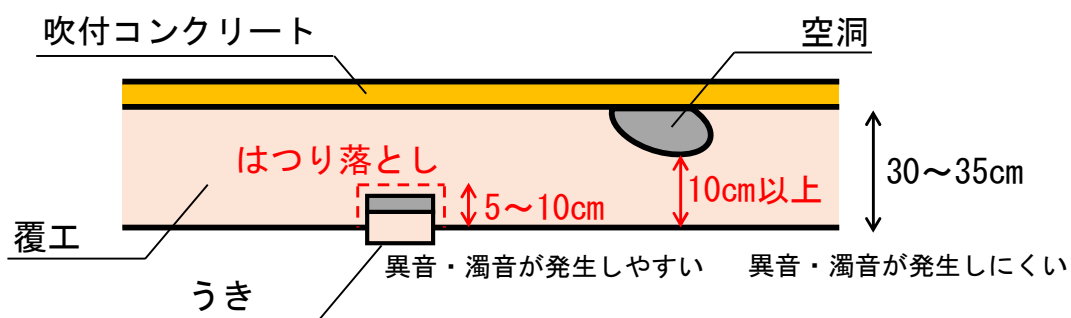


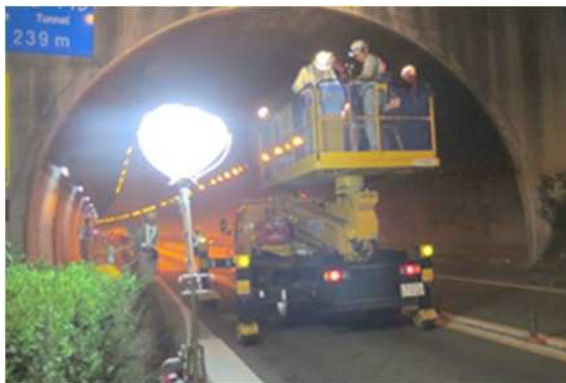
図2.2.2 空洞が把握困難である模式図



トンネル点検車による点検



打音検査



電磁波探査測定状況の例



地中レーダー装置外観

図 2. 2. 3 定期点検

## 2.3 調査、設計及び施工時の課題

各種基準における具体的な調査手法やその評価、これに基づく設計について、各段階での調査の重複防止や対策工実施に向けた考え方の統一を図ることで、維持管理の効率化、コスト縮減及び通行止め期間の最小限化を図る。

- (1) 道路トンネルの供用期間が長期化する中、覆工コンクリートの材質劣化や背面空洞に起因するコンクリート片の剥落、さらには突発的な崩壊への対応が急務となっている。トンネルの維持管理は、「道路トンネル維持管理便覧」及び「道路トンネル変状対策工マニュアル（案）」、「道路トンネル定期点検要領（案）」等に沿って実施されてきた。これらのマニュアルは、道路トンネルの点検・調査、補修、補強対策設計、施工の流れのなかで、その方向性や考え方を示したものであるが、具体的な調査手法やその評価、これに基づく設計は各担当者の判断に委ねられているのが現状である。
  
- (2) このため、京都府として、点検、調査、補修・補強対策設計、施工の流れのなかで、各段階での調査の重複や対策工の実施に向けた考え方等の統一性を図ることで、維持管理の効率化やコスト縮減、通行止め期間の最小限化を図ることとする。

### 3. 適用の範囲、参考とする図書

#### 3.1 トンネルの適用範囲

本手引き（案）は、NATMトンネルの覆工に関する補修工を対象とする。

- (1) 本手引き（案）は、京都府内における供用中の道路トンネルの維持管理に適用する。この手引きは、京都府が定める道路トンネル覆工コンクリート【NATM】に関する仕様書を補完するものである。京都府による道路トンネル【NATM】の維持管理工事には、この手引きを参考にするとよい。
- (2) 本手引き（案）は、主に背面空洞の起因する（外力に起因しない）突発性崩壊及び材質劣化を対象とした覆工背面の空洞充填対策及びはく落防止対策に関する具体的な調査、設計、施工を対象とする。
- (3) 本手引き（案）では、覆工背面への空洞充填対策及びはく落防止対策の調査・設計段階における具体的な対応及び施工時の留意点を記述するものである。個別の具体的内容は、「3.2参考とする図書」に準拠する。
- (4) 矢板工法その他工法の補修工については適用外とする。

## 3.2 参考とする図書

参考とする図書は下記のとおりとする。

- ・道路トンネル維持管理便覧 R2 日本道路協会
- ・道路トンネル変状対策工マニュアル（案） H15 土木研究所
- ・トンネル補修工法に関する手引き（案） H19 国土交通省中国地方整備局
- ・山岳トンネル覆工の現状と対策 H14 土木学会
- ・トンネル覆工補強対策に関する手引き R5 中日本高速道路(株)
- ・道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 H15 日本道路協会
- ・トンネル標準示方書（山岳工法編） H28 土木学会
- ・トンネル施工管理要領（本体工編） H27 東日本・中日本・西日本高速道路(株)
- ・設計要領第三集 トンネル編 H28 東日本・中日本・西日本高速道路(株)

- (1) 本手引き（案）は、ゆずりトンネルの事象を受けて作成されているが、技術や情報は進歩することから、本手引きは常に更新し、活用していく。

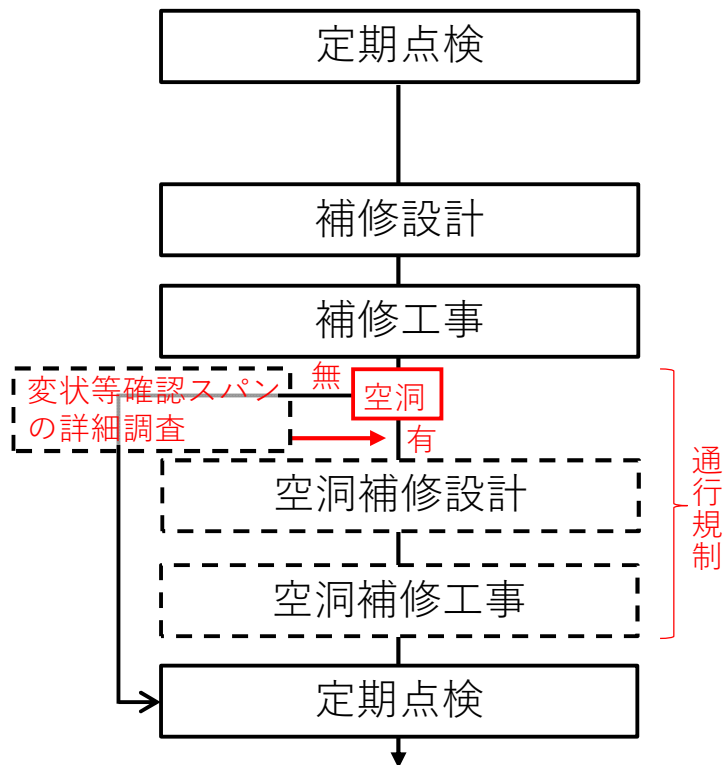
## 4. 空洞補修対策工法の考え方

### 4.1 トンネル頂部の空洞確認時の事務フロー

定期点検において覆工に変状等が確認され、その原因を推定することが困難な場合、補修設計前に変状等が確認されたスパンの詳細調査（電磁波探査等）を実施する。

- (1) 旧来は、NATMトンネルにおける空洞の存在を想定していなかったことから、定期点検後に補修工事を着手し、その過程で空洞が確認された場合には通行止めを実施した上で詳細調査を行い、空洞補修設計及び空洞補修工事を実施していた。今後の方針としては、空洞が存在する可能性を念頭に置き、定期点検において覆工に変状等が確認された場合に、当該変状の原因が空洞に起因しないと断定できず、かつ近接目視で得られる情報のみでは原因推定に明らかに不足する場合には、詳細調査を実施するものとする。
- (2) 詳細調査および空洞補修工事の際は、必要に応じて通行止めを実施する。
- (3) 詳細調査において空洞が確認された場合、安全性を確認し、通行止めを検討する。
- (4) トンネル頂部の空洞確認時の事務フロー（図4.1.1）を参考すること。

(旧来)



(今後の方針)

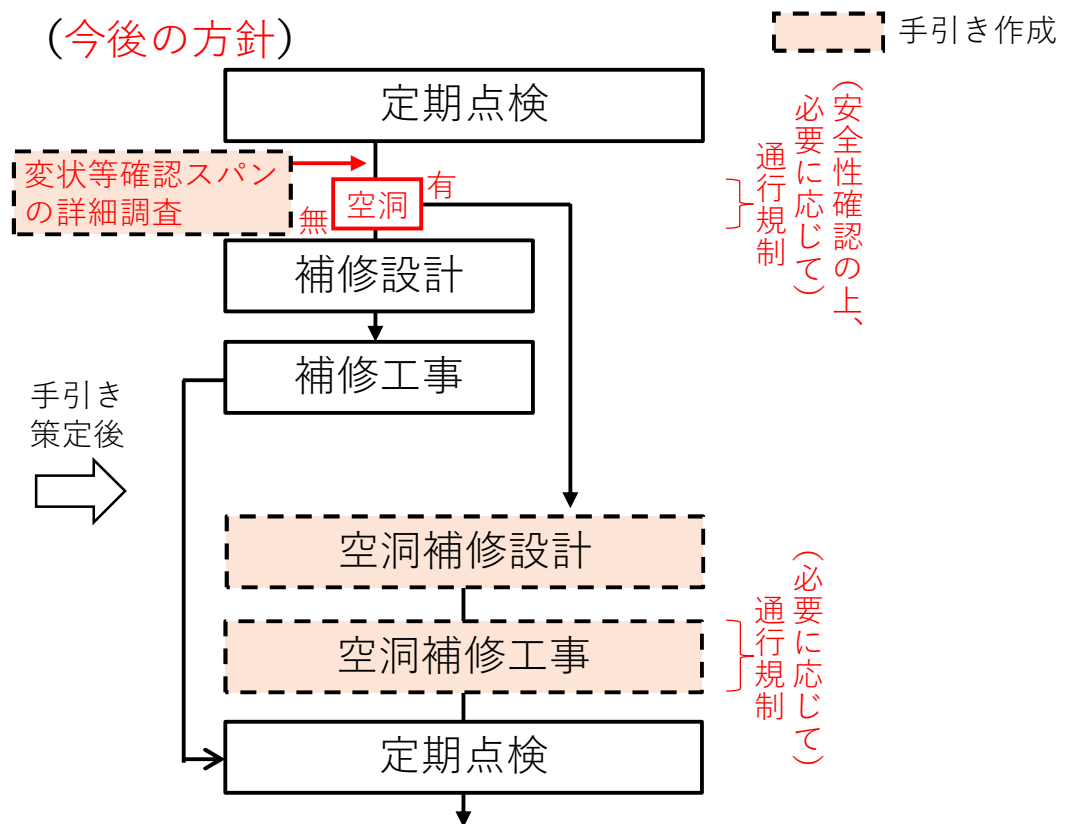


図4.1.1 トンネル頂部の空洞確認時の事務フロー

## 4.2 空洞の可能性がある場合に必要調査方法・数量

詳細調査では、電磁波探査等の手法により調査を実施する。

### (1) 調査目的及び調査箇所

表 4.2.1 調査目的と調査箇所

調査手法	目的	調査箇所
電磁波探査	覆工厚と覆工背面の空洞の有無を確認するため (縦断方向の調査後、解析を経て横断方向の調査の有無を判断する。解析が確定までにそれぞれ約3週間を要するため、時間がかかる)	縦断方向 3測線 横断方向 (縦断方向で空洞を確認した箇所すべて)
コアボーリング	電磁波探査で得られた覆工厚と背面空洞のキャリブレーションを行うため	縦断方向・横断方向の空洞確認箇所のうち3箇所に1箇所程度の頻度で実施
ファイバースコープ	覆工背面の空洞状況を確認するため	コアボーリングの実施箇所
ドリル削孔	ドリル削孔で覆工厚を確認するため (広い空洞箇所については、ドリル削孔の追加を協議変更とすること)	縦断方向・横断方向の空洞確認箇所すべて
室内試験	覆工コンクリートの劣化度合を確認するため、中性化試験、一軸圧縮試験を行う。	コアボーリングの実施箇所

## (2) 調査方法（電磁波探査（地中レーダ装置））

### 1) 測線位置の設定

- ・電磁波探査は定期点検において覆工に変状等が確認されたスパンを対象として天端部及び左右アーチ部の縦断方向（3測線）にて電磁波探査を実施する。測線の位置は、図4.2.1を参考にする。
- ・縦断測線上で空洞が確認された場合、横断方向に調査を実施する。

### 2) 電磁波探査の測定

- ・高所作業車にセットした探査治具（アンテナ部）を覆工表面の探査測線上に設置した後、高所作業車を低速で移動し、アンテナを走査する。スパン毎に得られた波形データを、探査装置内部の記憶メモリに登録する。探査においては起点から終点に向かって、トンネル軸方向に行く。
- ・対象とするトンネルの損傷については、漏水その他空洞の存在に起因しない損傷を除く。

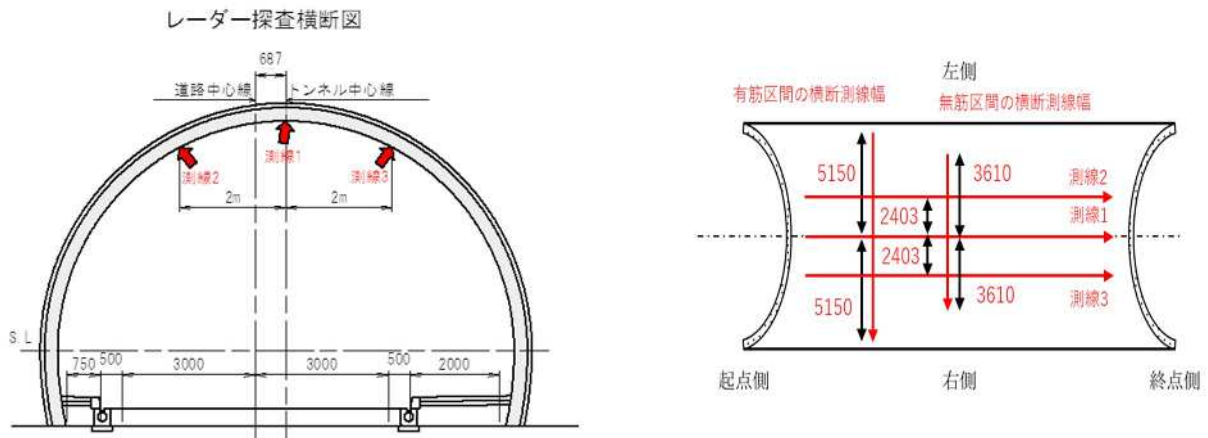


図 4.2.1 電磁波探査測線のイメージ



写真 4.2.1 電磁波探査測定状況の例



写真 4.2.2 地中レーダー装置外観

### 3) 調査方法（ボーリング調査、背面空洞調査）

- ・電磁波探査のキャリブレーション用として削孔ボーリングを縦断1測線につき3箇所（100mに1箇所を目安）にて、覆工厚及び背面空洞を確認する。背面空洞確認は、ファイバースコープを用いて背面空洞状況を確認する。
- ・削孔調査では、簡易コアボーリングマシンで覆工コンクリートを穿孔し、覆工厚及び覆工背面の空洞厚をスケール等で直接測定する。削孔調査で得られた値は、電磁波探査解析時の誘電率算出資料として必要となる。
- ・ボーリング孔に高画質ビデオ内視鏡を挿入し、覆工背面側の状況を観察すると同時に、写真撮影を行う。また採取したコアに関しては、持ち帰り室内試験（中性化試験、一軸圧縮試験）を実施する。
- ・コア（ドリル）削孔後、ファイバースコープで防水シートの垂れ下がりの有無を確認し、防水シートの垂れ下がりが確認された時点で、防水シートの押上が必要となるため、はつり落としを実施する。



写真 4. 2. 3 簡易ボーリングコアマシン



写真 4. 2. 4 ファイバースコープ 装置一式

#### 4) 調査方法（鉄筋探査とドリル削孔）

- ・うき及び背面空洞が確認されている箇所、及び電磁波探査によって空洞の疑いがある箇所は、覆工厚及び背面空洞確認について調査が必要である。
- ・電磁波探査を実施した後、ドリル削孔を行い覆工厚及び背面空洞深さを確認する。なお、鉄筋区間は、ドリル削孔時に鉄筋のあたりや切断などが懸念されるため、鉄筋探査を行い、位置を確認する。
- ・鉄筋の探査範囲として変状が疑いのある箇所の中心から周囲1m<sup>2</sup>を対象として実施する。鉄筋位置確認後ドリル削孔を行い、覆工厚及び覆工背面の空洞厚をスケール等で直接測定する。
- ・孔内にはファイバースコープを挿入し、覆工背面側の状況を観察すると同時に、写真撮影を行う。

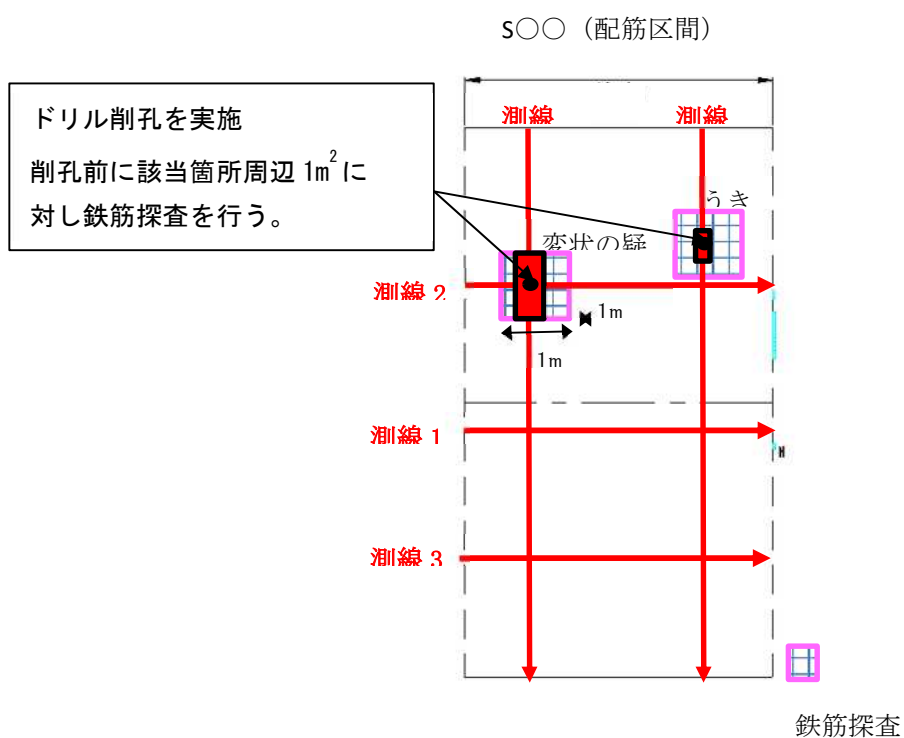


図4.2.2 鉄筋探査とドリル削孔のイメージ図



写真 4.2.5 鉄筋探査装置外観



写真 4.2.6 ハンマードリル

### 4.3 恒久対策に必要な判断基準・方法・数量・図面

実測覆工厚／設計覆工厚の割合によって対策の必要性を判断し、恒久対策フローに従って対策工を実施する。

#### 4.3.1 判断基準

##### (1) 建設時の設計思想

##### 1) 覆工コンクリートの機能

- ・山岳トンネルの標準支保パターンを以下に示す。一般部覆工厚30cm、坑口部覆工厚35cmである。

表4.3.1 標準的な支保構造の組み合わせ（一般部）に関する文献

(内空幅 10m 程度, 上部半断面工法の場合)

地 山 等 級	ロックボルト			鋼アーチ支保工			吹 付 け 厚 (cm)	覆 工 厚 (cm)	イン バー ト 厚 (cm)
	長 さ (m)	施 工 間 隔		上 半 部	下 半 部	建 込 間 隔 (m)			
		周 方 向 (m)	延 長 方 向 (m)						
A	地山条件によって大幅に異なるのでそれぞれ検討する。								
B	3.0	1.5 (上半のみ)	2.0	なし	なし	-	5	30	-
CI	3.0	1.5	1.5	なし	なし	-	10	30	(40)
CH	3.0	1.5	1.2	H-125 U-21	なし	1.2	10	30	(40)
DI	4.0	1.2	1.0	H-125 U-21	H-125 U-21	1.0	15	30	45
DII	4.0	1.2	1.0以下	H-150 U-29	H-150 U-29	1.0 以下	20	30	50
E	地山条件によって大幅に異なるのでそれぞれ検討する。								

一般部  
覆工厚  
  
30cm

出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 平成元年6月 日本道路協会に加筆

表4.3.2 標準的な支保構造の組み合わせ（坑口部）に関する文献

掘 削 工 法	鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆 工 厚 (cm)		
	上半部	下半部	建込間隙 (m)		アーチ部	側壁部	インバー ト部
上部半断面工法 (核 残 し)	H-200	H-200	1.0	25	35	35	50
側壁導坑先進工法 (核 残 し)	H-200	-	1.0 以 下	25	35	*	50 以 上

坑口部  
覆工厚  
  
35cm

出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 平成元年6月 日本道路協会に加筆

(2) 覆工厚不足が確認された場合の対応

1) NATMにおける覆工厚に関する文献

- ・中硬岩や硬岩地山における吹付けコンクリートや堅硬な地山の部分的な突出がある場合は、部分的にやむを得ない場合は覆工厚の1/3を限度として支保工や地山が入ることを認めている事例もある。(トンネル標準示方書(山岳工法編)2016 土木学会)
- ・次の場合は、設計覆工厚の2/3以上を確保していればよいとある。(トンネル施工管理要領(本体工編) H27 東日本・中日本・西日本高速道路株)
  - a) 堅硬な岩盤における部分的な突出部
  - b) 偏土圧等による覆工厚不足で、型枠の据付け時には安定が確認され、かつ別途構造的に覆工の安全が確認されている場合
  - c) 鋼アーチ支保工やロックボルトの突出部
- ・外力作用がない場合において、覆工厚/設計覆工厚が1/2未満、1/2以上2/3未満の場合に区分がされている。(トンネル覆工補強対策に関する手引き R5 中日本高速道路株)

表4.3.3 覆工の巻厚不足に対する標準的な対応表 (NATM) に関する文献

地山等級	有効巻厚/設計巻厚		備考
	1/2 未満	1/2 以上 2/3 未満	
DII	個別設計		
DI		内面補強工	
CII			
CI		無対策 (部分補強)	
B			

出典：設計要領第三集トンネル編 平成28年 東日本・中日本・西日本高速道路株

- ・「顕著な構造欠陥」とは、以下の場合をいう。
- ・極端な巻厚不足・材質不良の場合、有効巻厚（一軸圧縮強度 $18\text{N/mm}^2$ 以上の部分）が設計巻厚の2/3未満

## 2) 覆工厚不足に対する対策区分判定

- ・矢板工法の覆工厚不足に対する判定の目安があり、覆工厚/設計覆工厚が1/2未満、1/2以上2/3未満、2/3以上で区分が設定されている。

表4.3.4 巻厚の不足または減少に対する判定の目安例（矢板工法）に関する文献

箇所	主な原因	有効巻厚/設計巻厚 <sup>注1), 注2)</sup>			対策区分
		1/2未満	1/2以上 2/3未満	2/3以上	
アーチ・側壁	経年劣化 凍害 アルカリ骨材反応 施工の不適切, 施工 に起因する不具合等			○	Ⅱb
			○		Ⅱa, Ⅲ
		○			Ⅲ, Ⅳ

注1) 有効巻厚/設計巻厚が1/2未満は対策区分Ⅲ, 1/2以上2/3未満は対策区分Ⅱaを基本とするが, 巻厚不足に起因するひび割れや変形の発生が認められる場合, 対策区分をそれぞれⅣ, Ⅲへ1ランク上げて判定することが考えられる。

注2) 有効巻厚に関しては, 採取したコアの健全な部分を有効巻厚とみなす場合が多い。健全な部分はコンクリートの設計基準強度以上の部分とし, 設計基準強度が不明な場合は15N/mm<sup>2</sup>以上の部分を目安とする。

出典：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】 令和2年8月 日本道路協会に加筆

- ・水圧や偏土圧等の外力作用がない場合、覆工厚/設計覆工厚が 1/2 未満、1/2 以上 2/3 未満、2/3 以上 1 未満、設計覆工厚以上に分けて、対策の要否の目安を設定している。「NATM トンネルでも参考にする」とある。

表4.3.5 覆工背面空洞充填対策の要否判定の目安（1）に関する文献  
（空洞に平面的広がりがある区間）

（スパン単位）

空洞の平面的連続性 【全体的に分布】		最小覆工巻厚 <sup>1)</sup> （設計巻厚に対して）			
		設計巻厚以上	2/3 以上～ 1 未満	1/2 以上～ 2/3 未満	1/2 未満
最大空洞厚	10 以上～ 20cm 未満	B	B	A	A
	20 以上～ 30cm 未満	B	B	A	2 A
	30cm 以上	A	A	2 A	3 A

※ 注 1) 有効巻厚とする。

出典：トンネル補修工法に関する手引き(案) 平成19年 国土交通省中国地方整備局

表4.3.6 覆工背面空洞充填対策の要否判定の目安（2）に関する文献  
（空洞に平面的広がりがなく、局所的な区間）

（スパン単位）

空洞の平面的連続性 【局所的】		最小覆工巻厚 <sup>1)</sup> （設計巻厚に対して）			
		設計巻厚以上	2/3 以上～ 1 未満	1/2 以上～ 2/3 未満	1/2 未満
最大空洞厚	10 以上～ 20cm 未満	B	B	B	A
	20 以上～ 30cm 未満	B	B	B	A
	30cm 以上	A <sup>注2)</sup>	A	A	2 A

※ 注 1) 有効巻厚とする。

※ 注 2) 空洞厚が大きくても地山の自立性が良い場合はBと判断する場合もある。

覆工背面空洞充填対策の必要性の判定は、トンネルの覆工コンクリートの打設スパン毎に表 2.3.1 及び表 2.3.2 に示す覆工背面空洞充填対策の要否判定の目安に基づき、A ランク以上で覆工背面空洞充填対策の検討を行うことを標準とする。

覆工表面のひび割れの判定が A～B の区間で、空洞に平面的な広がりがある場合は、表 2.3.1 により、空洞に平面的な広がりがなく局所的な区間では表 2.3.2 を標準とする。

なお、覆工巻厚は有効巻厚（覆工コンクリート巻厚のうち、コンクリートの設計基準強度以上の部分とし、設計基準強度が不明の場合は、15N/mm<sup>2</sup> 以上の部分）で判定する。

また、覆工ひび割れの判定が 2 A～3 A の場合や、ひび割れに進行性のある場合には、外力性の変状が懸念されるため、覆工背面空洞充填対策を含め、別途検討を行う必要がある。

今回、覆工背面空洞充填対策工の要否判定の目安で使用している判定区分は突発性の崩壊および材質劣化に対する評価のために設定した判定区分である。

出典：トンネル補修工法に関する手引き(案) 平成19年 国土交通省中国地方整備局

### 1.3 適用範囲

- (1) 本手引き書（案）は、中国地方整備局管内における供用中の道路トンネルの維持管理に適用する。
- (2) 本手引き書（案）は、主に背面空洞に起因する（外力に起因しない）突発性崩壊および材質劣化を対象とした覆工背面空洞充填対策および覆工内面補強対策に関する具体的な調査、設計、施工を対象とする。
- (3) 本手引き書（案）では、覆工背面空洞充填対策および覆工内面補強対策の調査・設計段階における具体的な対応および施工時の留意点を記述するものである。個別の具体的内容は、「道路トンネル維持管理便覧」および「道路トンネル変状対策工マニュアル（案）」に準拠する。
- (4) 主に、矢板工法のトンネルに関する補修工を対象とするが、NATMによるトンネルにも参考とする。

図4.3.1 トンネル補修工法に関する手引き（案）の適用範囲

出典：トンネル補修工法に関する手引き（案）平成19年 国土交通省中国地方整備局

(3) まとめ

- 1) 以上の文献では、覆工厚/設計覆工厚が1/2未満、1/2以上2/3未満、2/3以上で区分して判定を行っている。

表4.3.7 道路トンネル維持管理便覧とトンネル補修工法に関する手引きの比較

			最小覆工厚（設計覆工厚に対して）			
			1/2未満	1/2以上 2/3未満	2/3以上 1未満	設計厚 以上
道路トンネル 維持管理便覧	ひび割れ、変形	無	Ⅲ	Ⅱ a	Ⅱ b	
		有	Ⅳ	Ⅲ		
トンネル補修工法 に関する手引き	全体的	空洞10以上20cm未満	Ⅱ a	Ⅱ a	Ⅱ b	Ⅱ b
		空洞20以上30cm未満	Ⅲ	Ⅱ a	Ⅱ b	Ⅱ b
	局所的	空洞10以上20cm未満	Ⅱ a	Ⅱ b	Ⅱ b	Ⅱ b
		空洞20以上30cm未満	Ⅱ a	Ⅱ b	Ⅱ b	Ⅱ b

※着色部（黄色）は、類似箇所を示す

- 2) トンネル補修工法に関する手引きは、中国地方の硬質岩を対象にしており、京都府内トンネルの地山条件に合致しないことから、より安全側の判定となる「道路トンネル維持管理便覧の対策区分」を準用して、下記のとおり判定することとする。

<p>&lt;京都府内トンネルにおける対策区分&gt;</p> <p>覆工厚/設計覆工厚</p> <p>2/3 以上               : 対策区分判定Ⅱ b</p> <p>1/2 以上 2/3 未満 : 対策区分判定Ⅱ a (Ⅲ)</p> <p>1/2 未満               : 対策区分判定Ⅲ (Ⅳ)</p> <p>※ ( ) は、覆工厚不足に起因するひび割れや変形が認められる場合を示す</p>	
---	--

図4.3.2 京都府内トンネルにおける対策区分

表4.3.8 対策区分の判定区分

区分		定 義
I		措置を必要としない状態。
II	II b	監視 <sup>※1</sup> を必要とする状態。
	II a	重点的な監視 <sup>※2</sup> を行い，予防保全の観点から計画的な対策を必要とする状態。
III		早期に措置を講じる必要がある状態。
IV <sup>※3</sup>		緊急に対策を講じる必要がある状態。

出典：道路トンネル定期点検要領 国土交通省 令和6年9月

#### 4.3.2 恒久対策工法の選定

(1) 恒久対策工法については、下記の恒久対策選定フローにより対策工を決定する。

対策工①	はつり落とし、防水シートの押し上げ、鉄筋防錆処理、型枠設置、空洞充填、型枠撤去、はく落防止対策
対策工②	はつり落とし、防水シートの押し上げ、補強鉄筋設置、型枠設置、空洞充填、型枠撤去、はく落防止対策
対策工③	型枠設置、空洞充填、型枠撤去、はく落防止対策

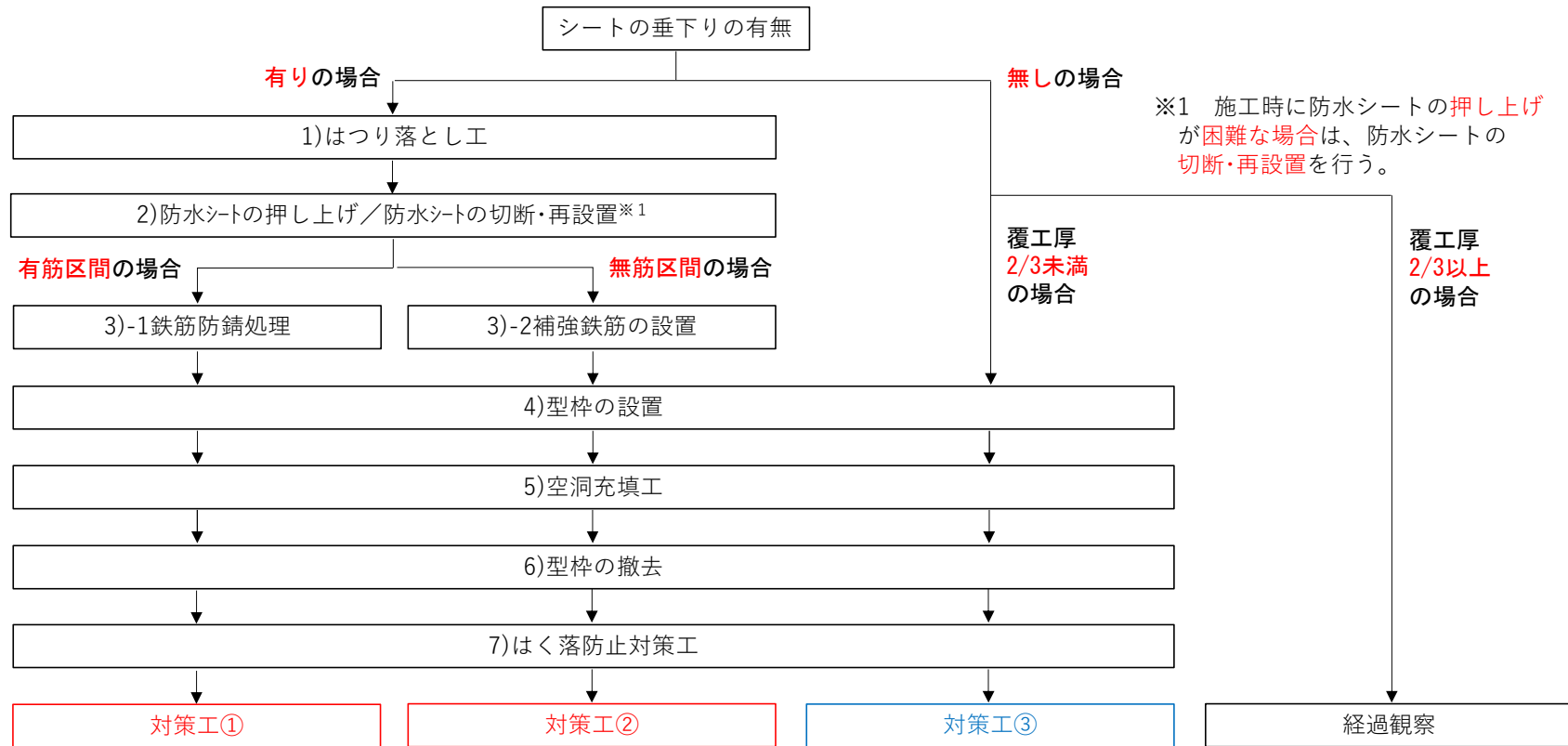


図4.3.3 恒久対策選定フロー

## (2) 恒久対策の手順

### 1) はつり落とし工

- ・有筋区間は厚さ10cm程度、無筋区間は厚さ15cm程度のはつり落としを実施する。

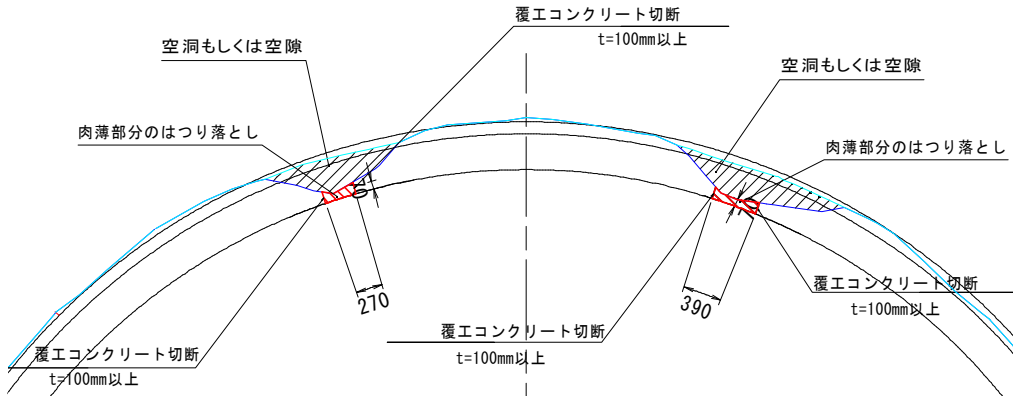


図4.3.4 断面図(有筋区間)

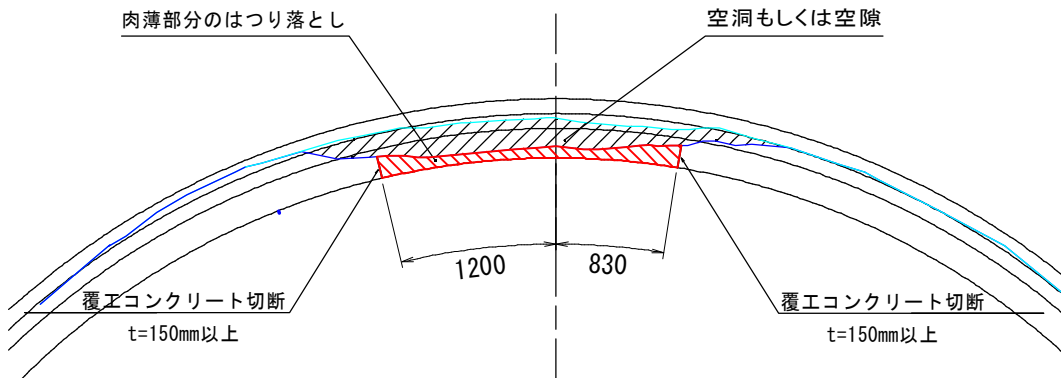


図4.3.5 断面図(無筋区間)



写真 4.3.1 はつり落とし工の機材

## 2) 防水シートの押上げ/防水シートの切断・再設置

- ・垂れ下がっている防水シートを吹付けコンクリート面に持ち上げて、アンカーで吊り下げて固定する。
- ・アンカー打設時に防水シートに穴が開くため、押えプレート付止水材で対策する。防水シートを持ち上げられない場合、防水シートを切断し、新しく防水シートを吹付けコンクリート面に再設置したのち、既設の防水シートと溶着する。

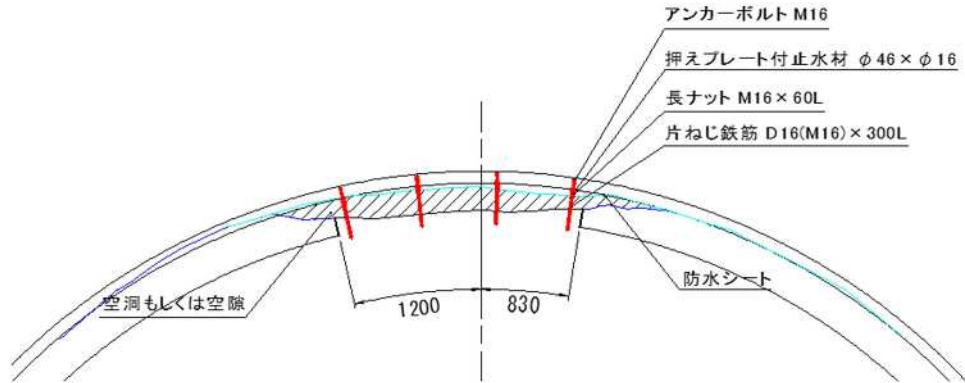


図4.3.6 断面図

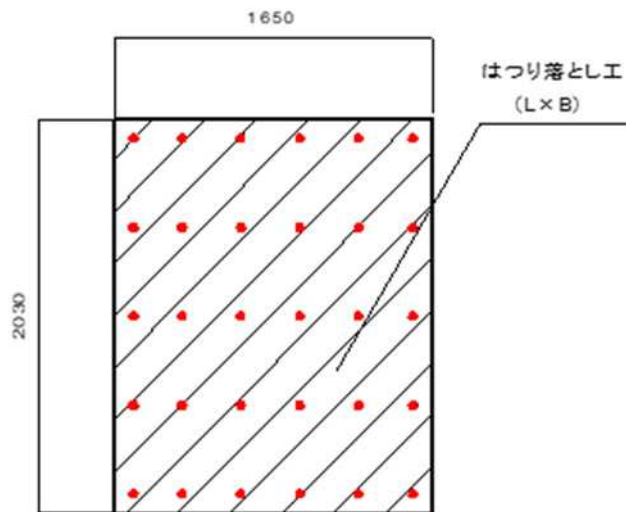


図4.3.7 展開図

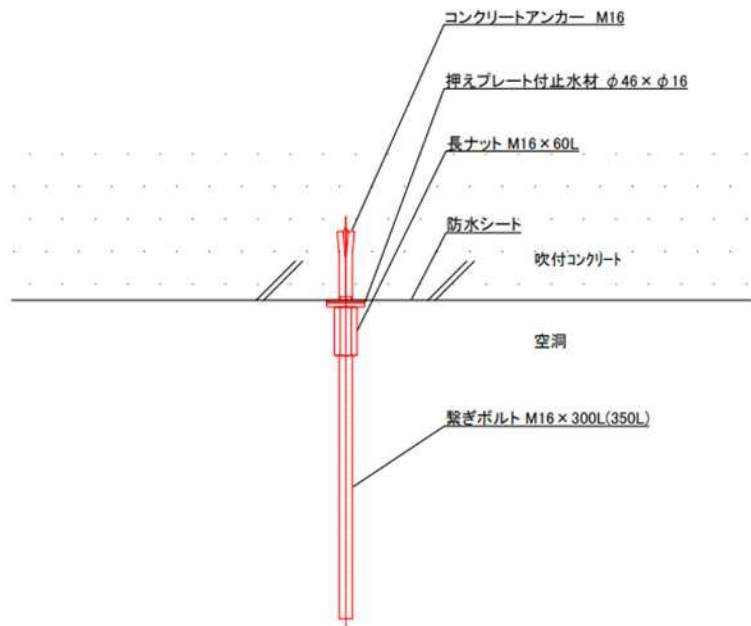


図4.3.8 アンカー詳細図

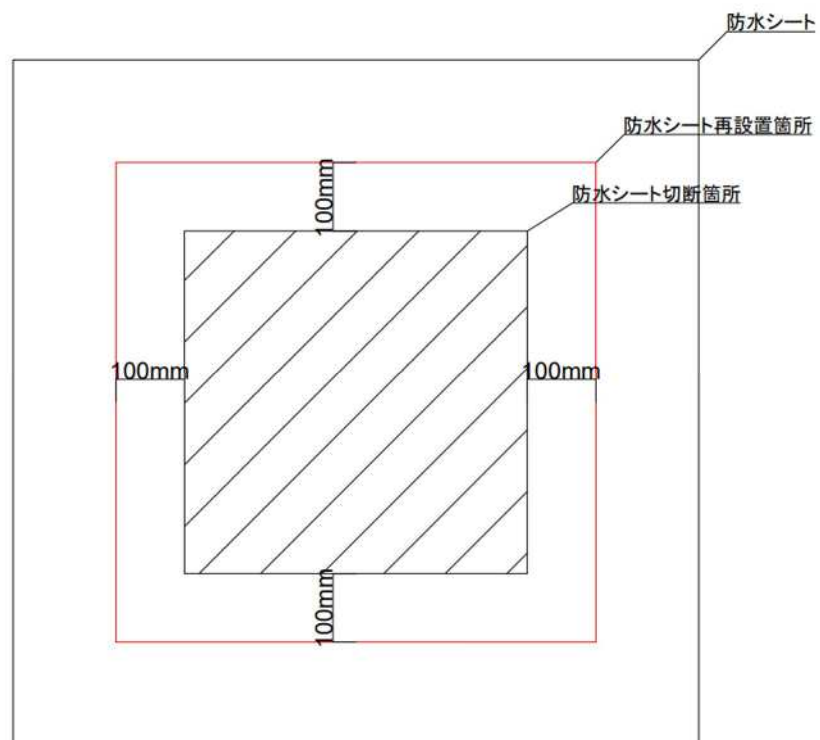


図4.3.9 防水シート切断・再設置イメージ図

### 3) 防錆処理（有筋区間）

- ・鉄筋防錆剤を既設鉄筋に塗布する。

### 4) 補強鉄筋設置（無筋区間）

- ・はつり面整形後、既設覆工コンクリートにアンカーを打設する。
- ・アンカー打設後、補強鉄筋を設置する。

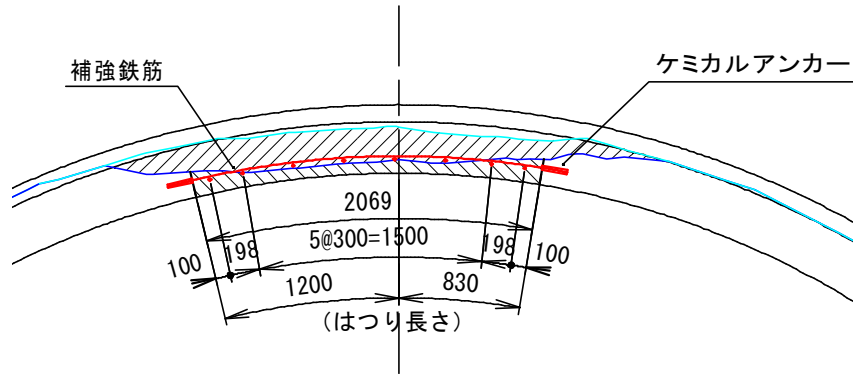


図4.3.10 断面図

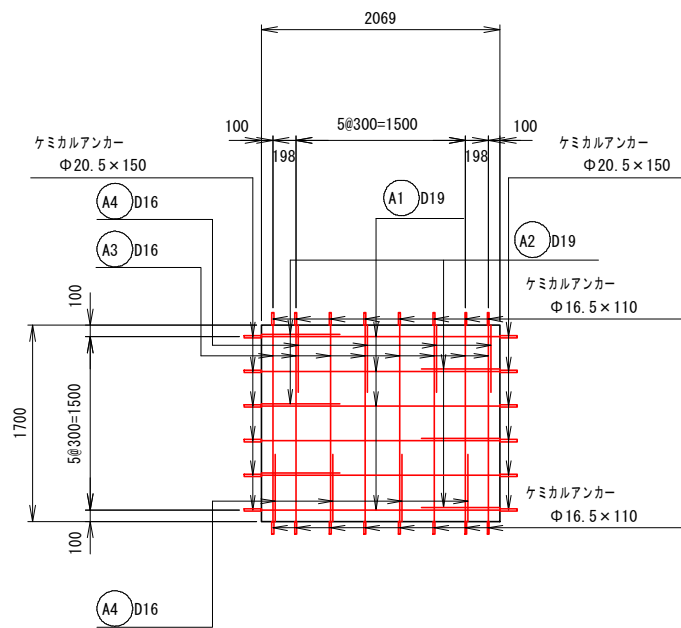


図4.3.11 展開図

## 5) 型枠の設置

- ・型枠を支保工等により固定する。
- ・型枠の設置と併せて、注入用の注入パイプ及び確認パイプを設置する。
- ・圧力に対抗するために標準的な型枠の設置方法として全面通行止めとすることを想定する。ただし、別途検討した上で通行止めをせず対抗できる方法があれば通行止めしなくてよいこととする。

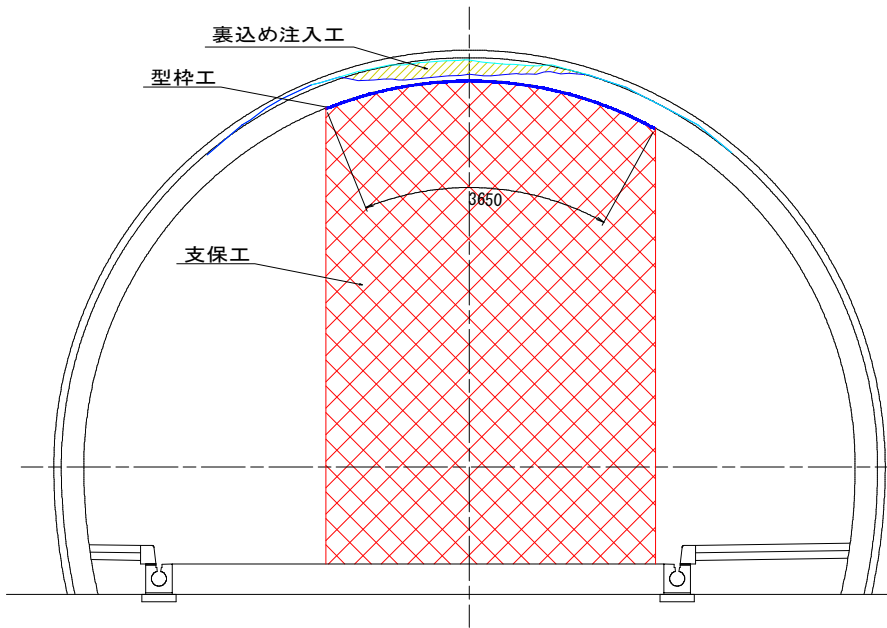


図4.3.12 断面図

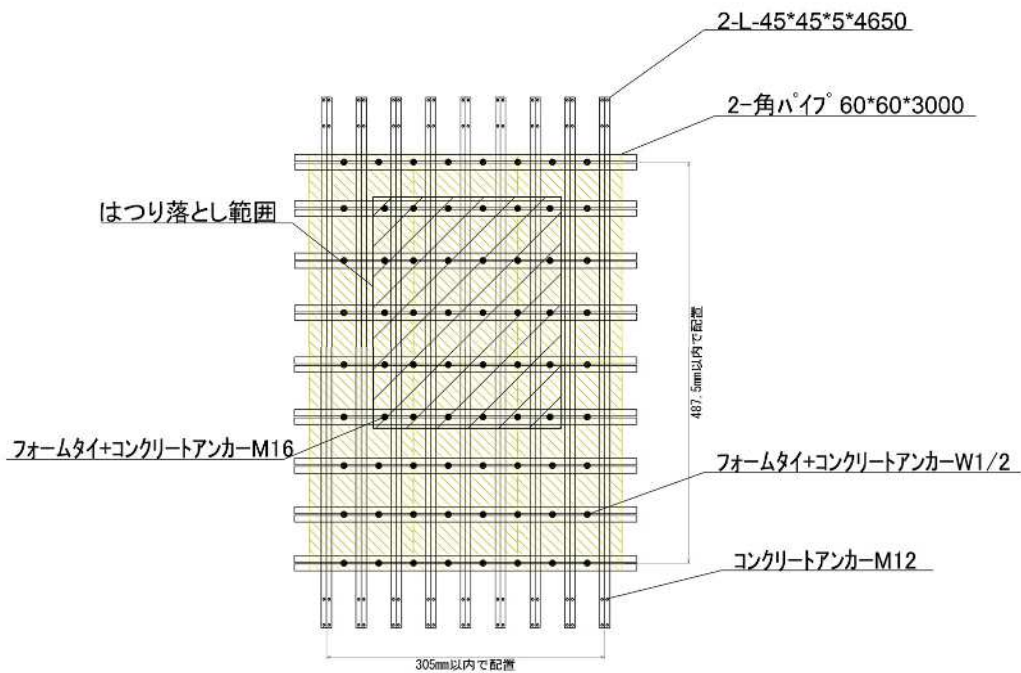
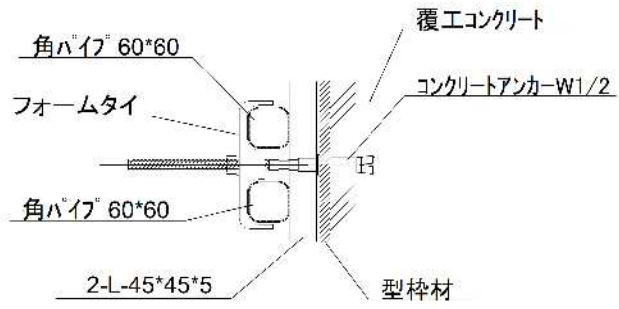


図4.3.13 展開図

フォームタイ+コンクリートアンカー-W1/2



フォームタイ+アンカーボルトM16

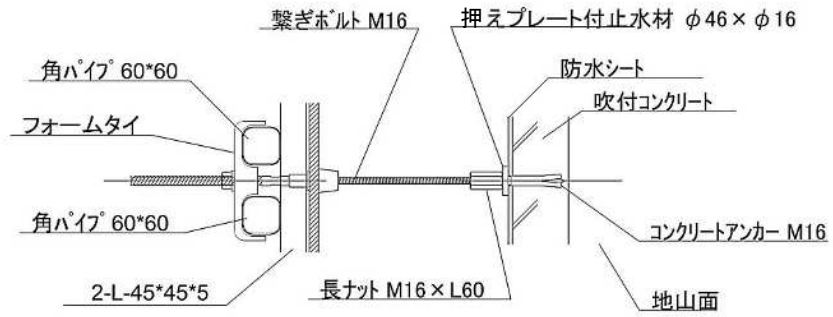


図4.3.14 フォームタイ詳細図

## 6) 空洞充填工

- ・設置した注入孔から無収縮モルタルを注入する。
- ・注入は圧力注入とし、設計注入量及び注入圧0.2MPaを確認し、注入完了する。  
(ゆずりトンネル補修工事時は、型枠は問題なく耐えうる注入圧であった)

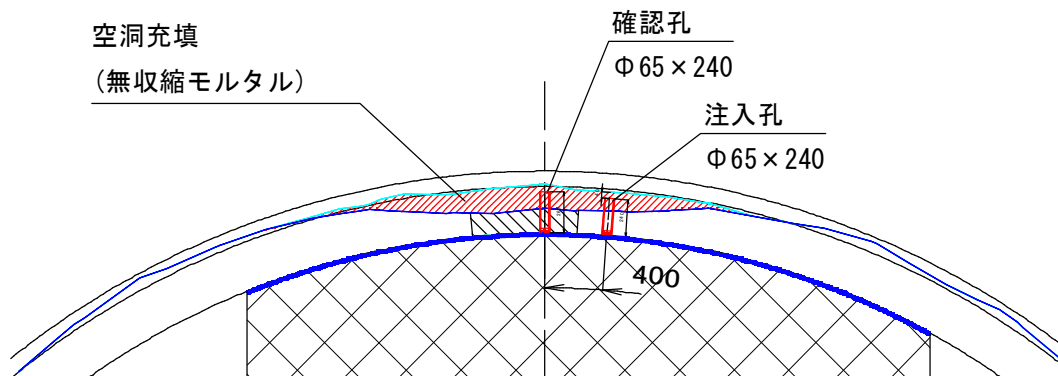


図4.3.15 断面図

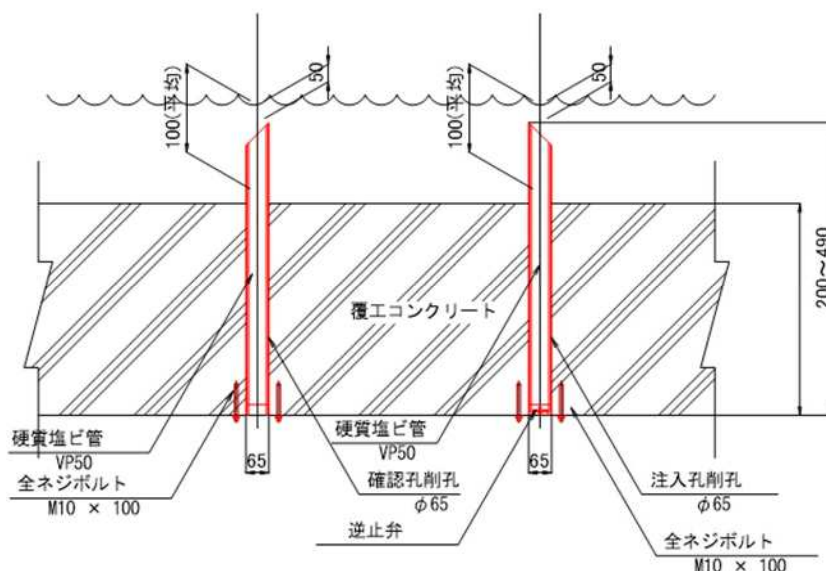


図4.3.16 注入孔・確認孔詳細図

### (3) 充填確認方法

- ① 隣接の注入管（確認孔）から注入材が流出（リーク）した場合。
- ② 注入圧力が0.2MPaまで上昇した場合。

ただし、注入量が設計数量の1.5倍に達した場合には、当該箇所での注入を一度中断して、周辺の他の注入箇所の注入を行った後に再度その箇所に戻って注入する。また、それでも充填が確認されない場合は、覆工および地山状況を確認のうえ、打ち止めとするか、肩部付近を粘性の高い充填材で堰状に固めバルクヘッドを形成させ注入を続けるかの判断を行うものとする。

### 図4.3.17 充填確認方法に関する文献

出典：矢板工法トンネルの背面空洞注入に関する調査設計・施工要領  
東・中・西日本高速道路株式会社

## 7) 型枠撤去

- ・所定の期間養生(覆工と同等の強度発現の確認)を行い、型枠を撤去する。

## 8) はく落防止対策工

- ・長期的な覆工の材質劣化などを考慮し覆工厚2/3未満の端部から50cmの余裕しろを設けて2/3以上確保できる範囲を対象とする。
- ・既設コンクリートと新設部材の一体化及び覆工表面の下地処理としてのFRPグリッド工とはく落防止として炭素繊維シート工を計画している。

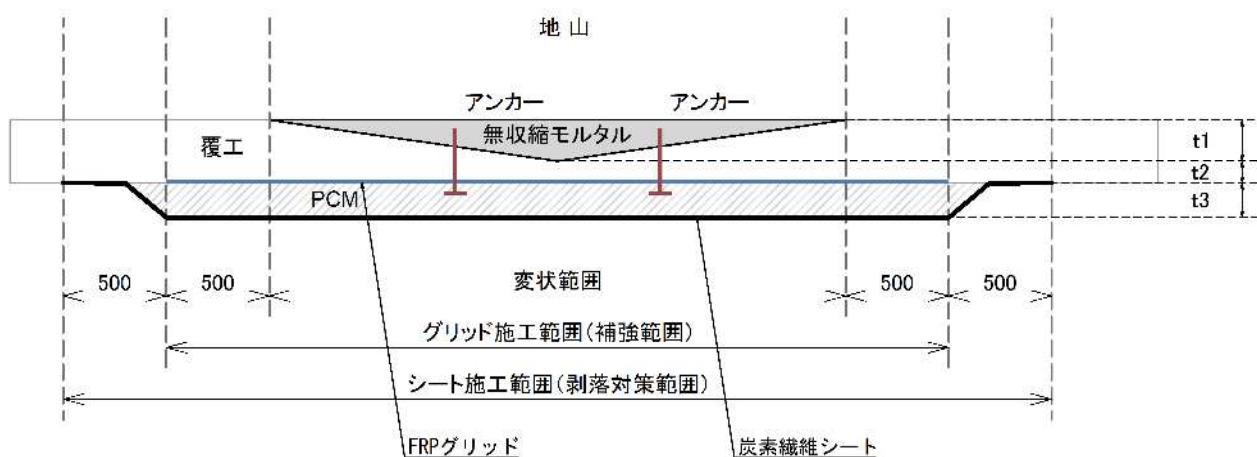


図 4.3.18 施工概要図

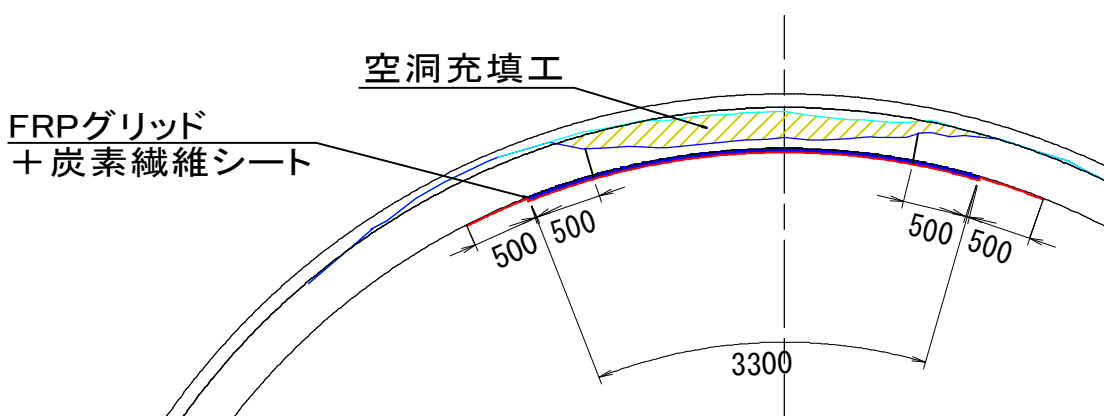


図 4.3.19 断面図

## 5. 補修工事における留意事項

### 5.1 補修工事における留意事項

施工前に決定した工法及び施工管理方法については、記録様式を活用しながら施工時に適切な見直しを行い、必要に応じて受注者及び発注者間で協議を行うこと。

#### (1) 補修範囲

- 1) 計画、補修設計段階では、覆工表面からの電磁波探査とキャリブレーションボーリングによる覆工厚及び空洞深さを推定しているが、小さな空洞（防水シートの波うち等）については、事前に把握が困難である。はつり落としが必要な箇所においては、はつり落とし後に覆工厚及び空洞深、防水シートの設置状況を確認し、適切なはつり落とし範囲の見直しを行い、必要となる対策範囲の見直しを行うこと。

#### (2) はつり落とし工

- 2) はつり落とし形状は、四角形を基本とする。

#### (3) 補強鉄筋工

- 1) 小規模の狭い範囲ではつり落としを行う場合は、補強鉄筋の重ね継手長が確保できない場合があるため協議を行うこと。
- 2) 離隔距離の確保についても協議を行うこと。
- 3) 引き抜き試験についても、試験機器の設置が困難な場合については、協議を行うこと。
- 4) 開口幅が狭く、継手長の確保が難しく、溶接機械が入らない場合、580mm(D16)もしくは680mm(D19)の差し筋で対応すること。

#### (4) 防水シート

- 1) 防水シートの押上げが困難な箇所については、防水シートの切断が必要となる。防水シートの引張状況として、横断方向に下側から覆工打設時の重さで引っ張られていると想定され、縦断方向に切り込みを入れることで横断方向の引張力は、解消されるものと想定される。
- 2) 防水シートの張り具合にもよるが、注入圧0.2MPaについては、水頭圧20mの水圧となるため大きな圧力が作用する。基本的には、注入圧により、ある程度のたわみがあれば防水シートが吹付け面に接着可能と判断するが、注入圧作用時には、大きな圧力が作用するため段階的な注入が望ましいと判断する。そのため、注入については、注入圧力を確認し、変状の有無を確認しながら施工する管理が必要となる。変状発生の場合には、0.2MPaに達しなくても、注入を停止するなどの対応が必要である。

#### (5) 空洞充填工

- 1) 無収縮モルタルについて、1注入施工日当たり1回、圧縮強度試験、コンシステンシー試験を確認する。
- 2) 確認孔からモルタルが流出することを確認する。
- 3) 設計注入量及び注入圧0.2MPaの圧力上昇を確認する。なお、打ち止めしないこと。
- 4) 空洞面積1㎡以上ではつり落としを実施する箇所について、充填検知センサーにより充填を確認する。
- 5) 注入圧作用時に型枠外の覆工面にひび割れなどの変状が生じないことを目視確認する。
- 6) 背面空洞規模にもよるが、小規模な空洞充填となるため小口径の削孔(φ33mm)及び注入管(φ25mm程度以下)にて慎重に隙間の充填を行う。注入材は、無収縮モルタルとする。

#### (6) はく落防止対策工 (FRP グリッド)

- 1) 覆工コンクリートとポリマーセメントモルタルの接着強度を求めするため、接着試験を実施して接着強度を確認する。

#### (7) はく落防止対策工 (炭素繊維シート)

- 1) 覆工コンクリート及びポリマーセメントモルタルと炭素繊維シートの接着強度を求めため、接着強度を確認する。
- 2) トンネル立地条件によっては、気象影響等からトンネル坑内の湿度が高くなる場合があるため、換気設備が必要となる場合には、協議を行うこと。

## 6. 巻末資料

### 巻末資料－1

ゆずりトンネル技術検討委員会資料（第1回）

### 巻末資料－2

ゆずりトンネル技術検討委員会資料（第2回）

### 巻末資料－3

ゆずりトンネル技術検討委員会資料（第3回）

### 巻末資料－4

補修工事における覆工品質の確認方法（記録様式例）

### 巻末資料－5

ゆずりトンネル 是正計画図面

### 巻末資料－6

ゆずりトンネル 数量計算書