

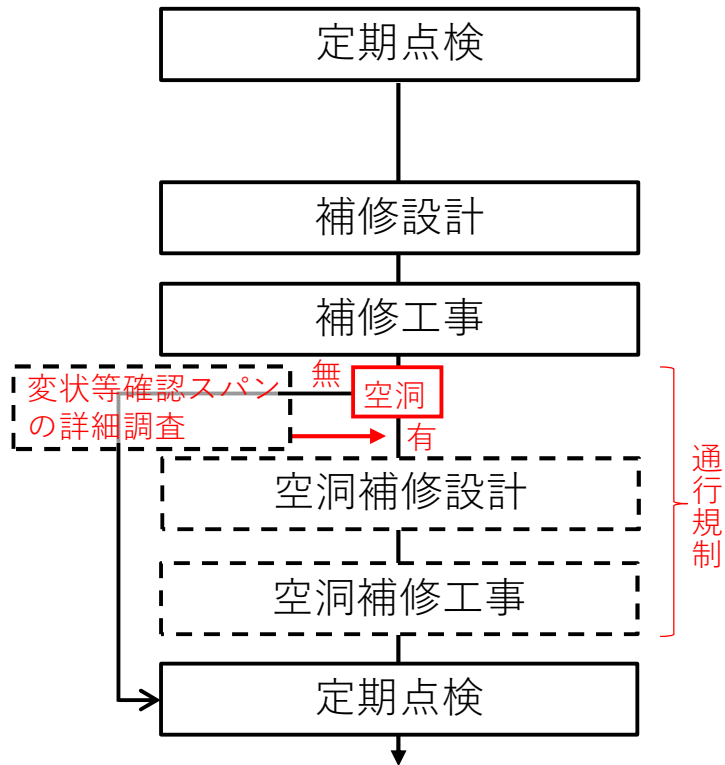
## 4. 空洞補修対策工法の考え方

### 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)

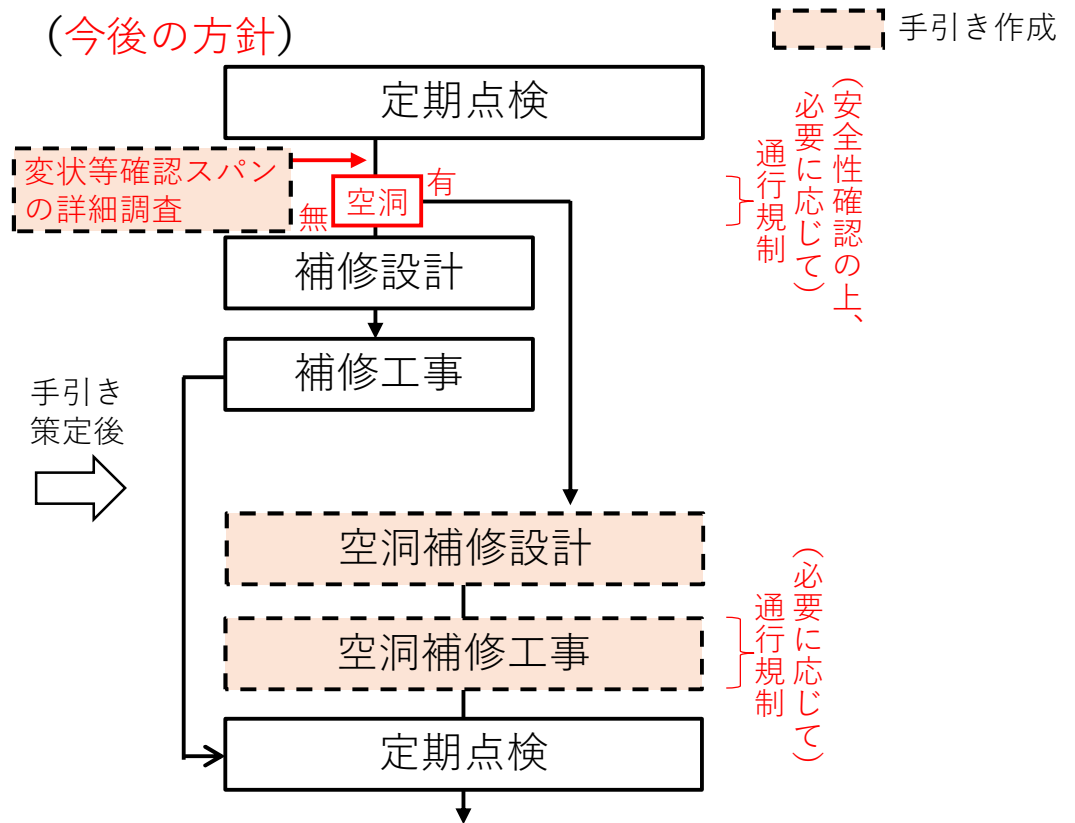


図4.1.1 トンネル頂部の空洞確認時の事務フロー

## 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。

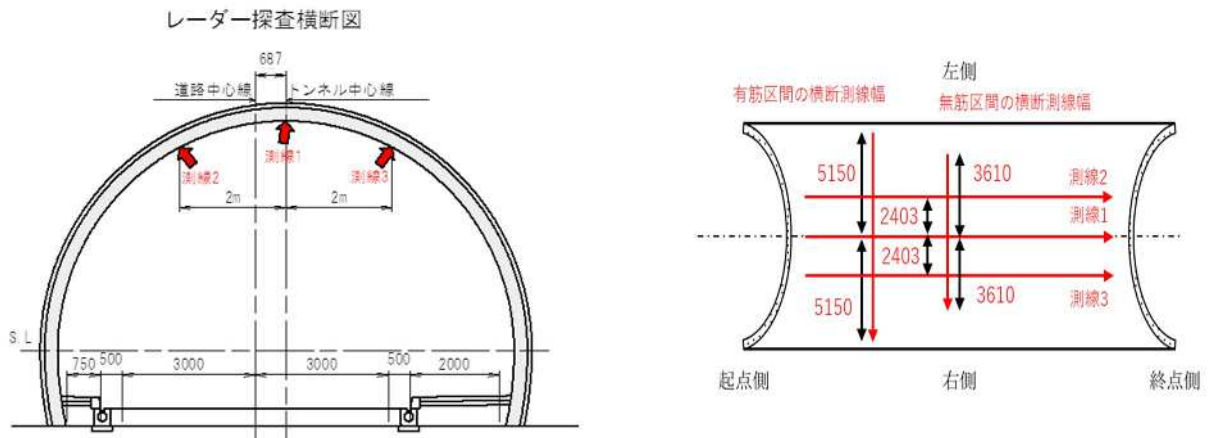


図 4.2.1 電磁波探査測線のイメージ



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。

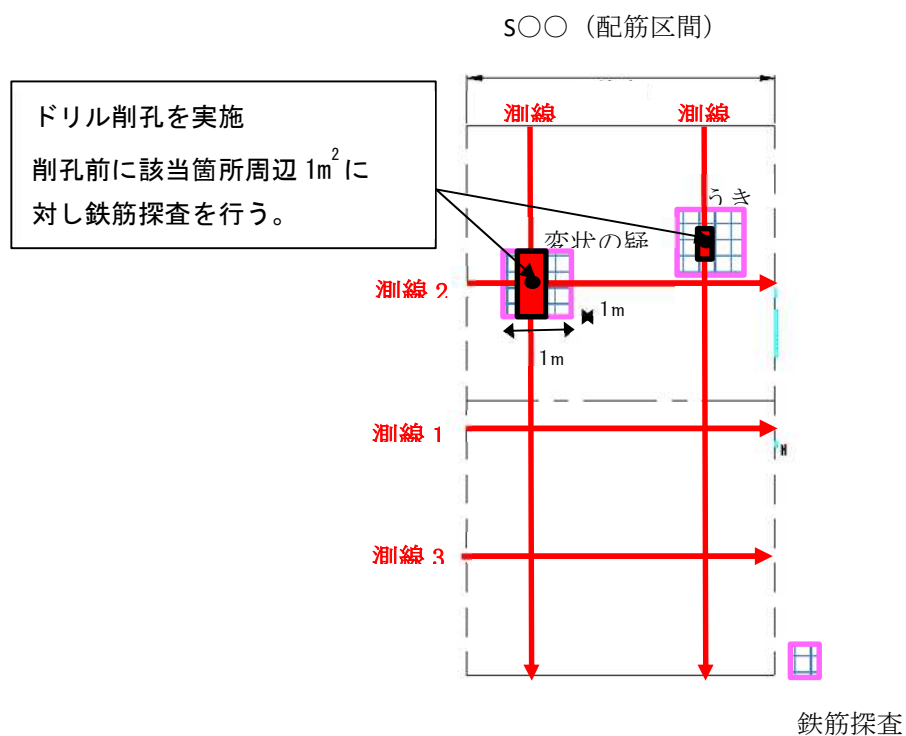


図4.2.2 鉄筋探査とドリル削孔のイメージ図



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

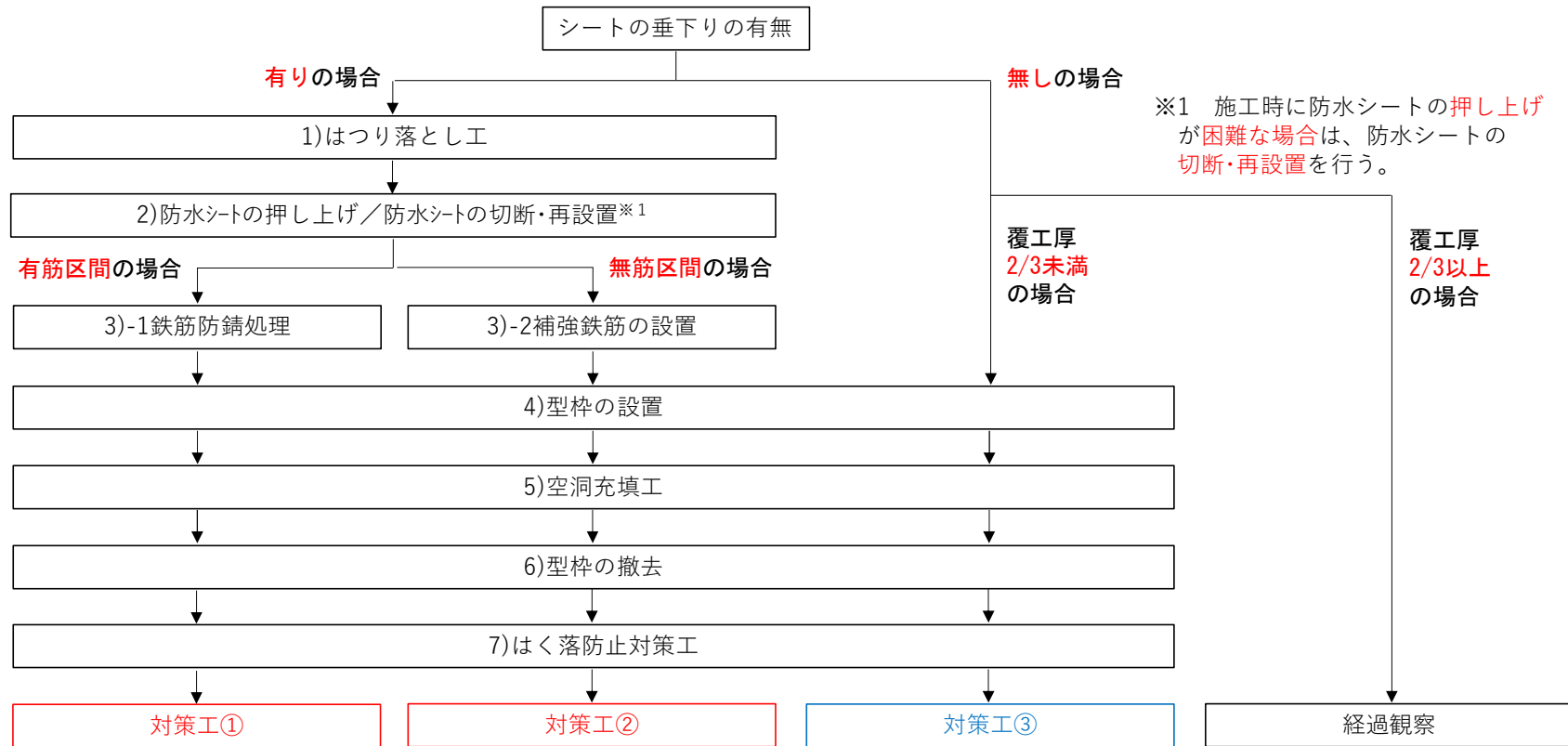


図4.3.3 恒久対策選定フロー

## (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。

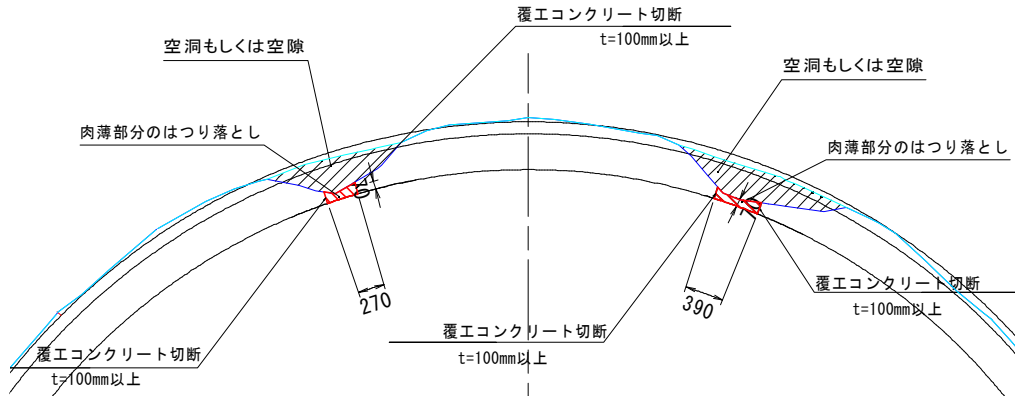


図4.3.4 断面図(有筋区間)

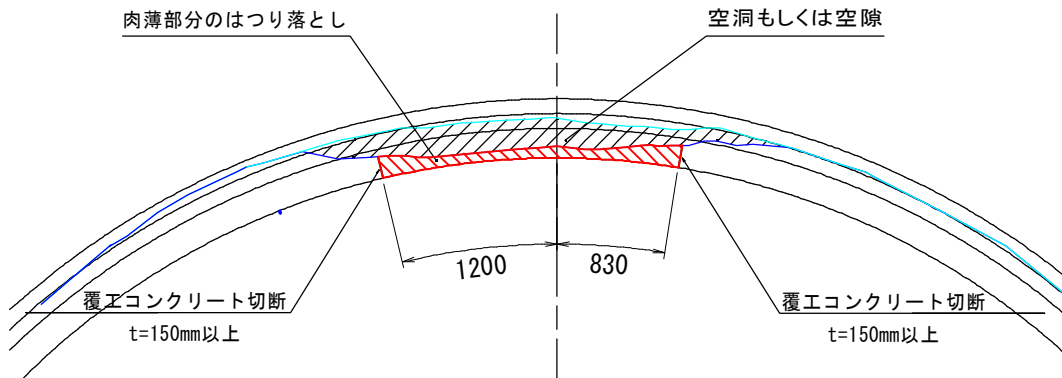


図4.3.5 断面図(無筋区間)



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。

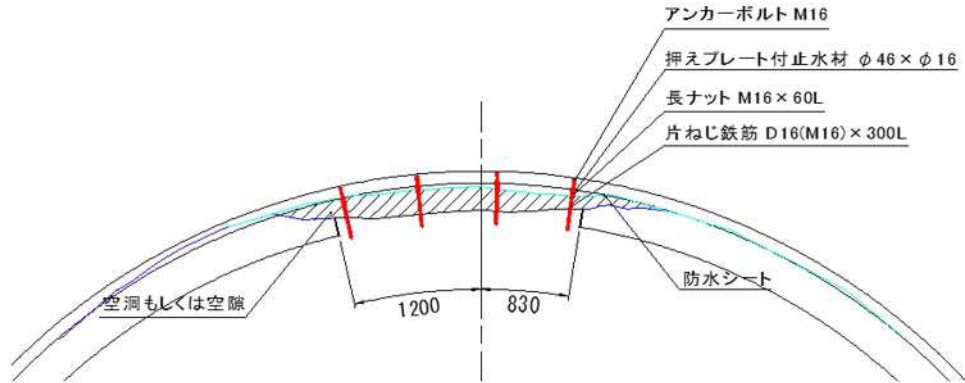


図4.3.6 断面図

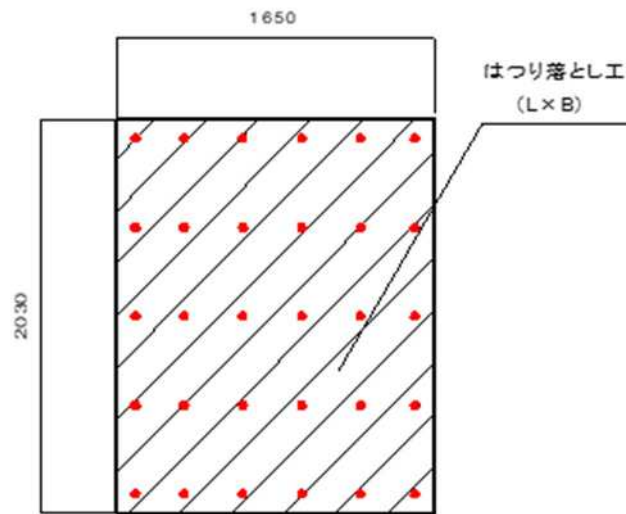


図4.3.7 展開図

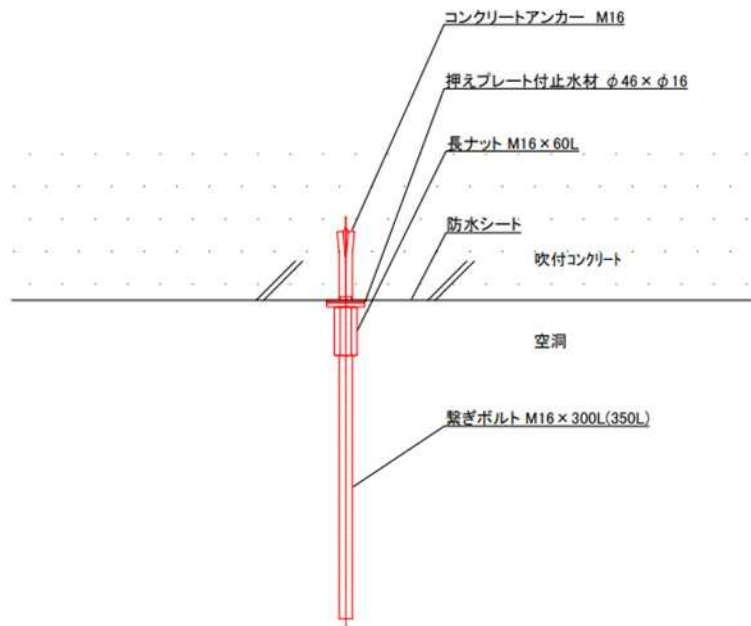


図4.3.8 アンカー詳細図

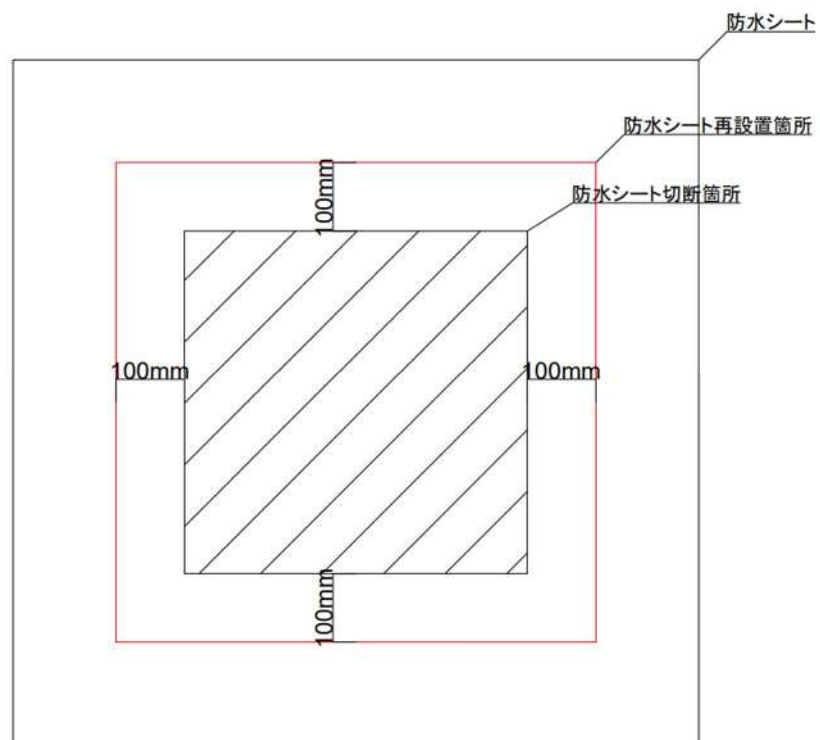


図4.3.9 防水シート切断・再設置イメージ図



## 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。

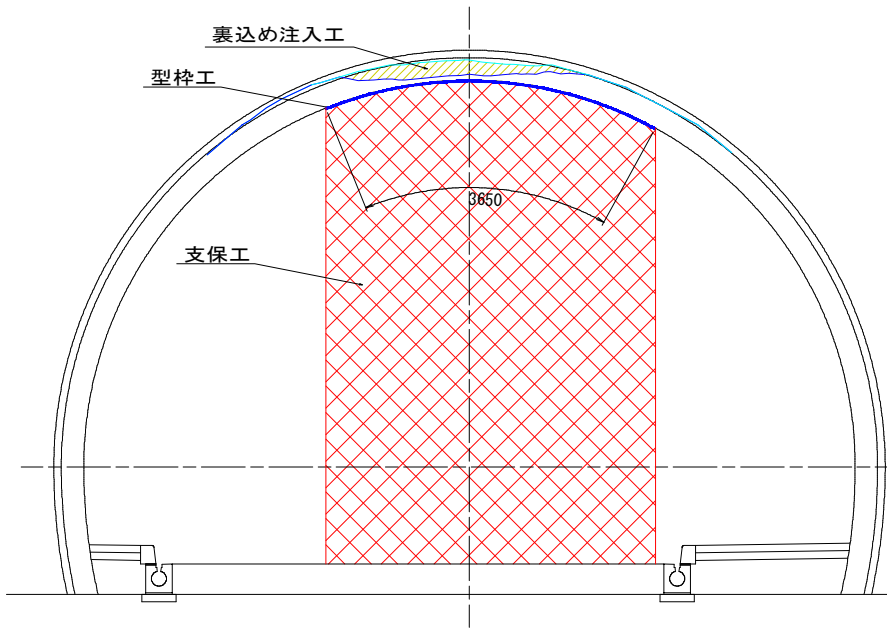


図4.3.12 断面図

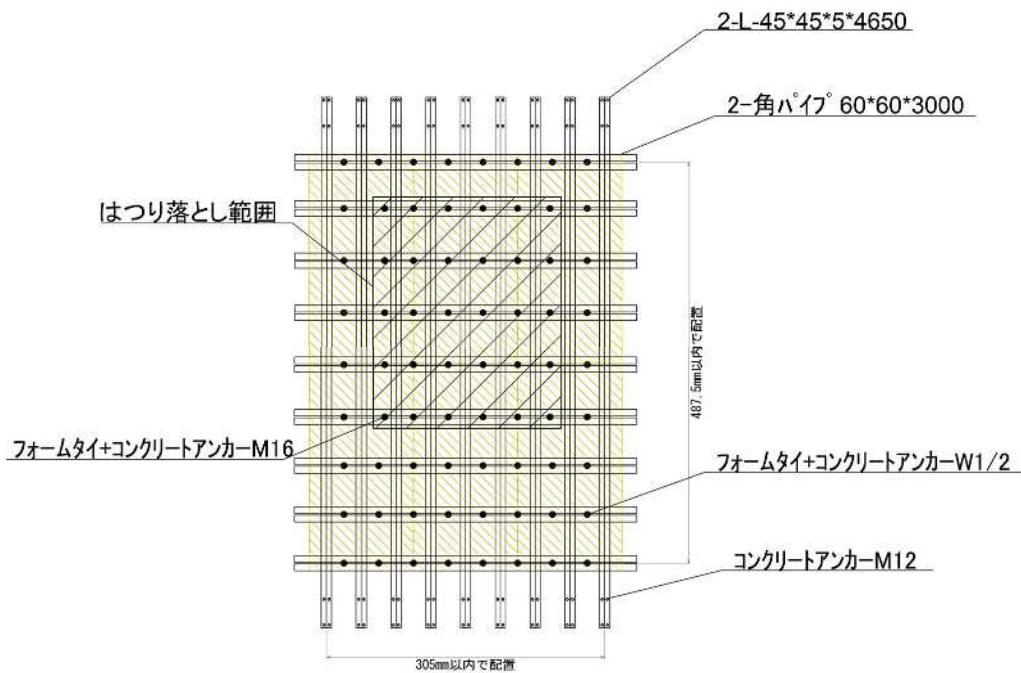
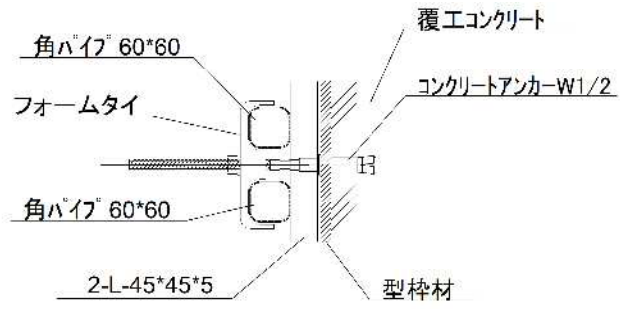


図4.3.13 展開図

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

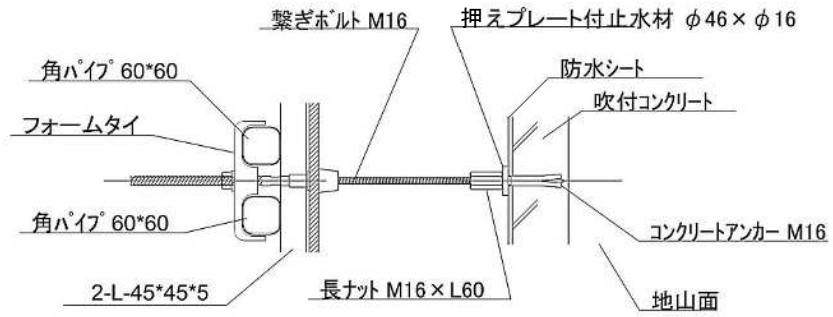


図4.3.14 フォームタイ詳細図

## 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)

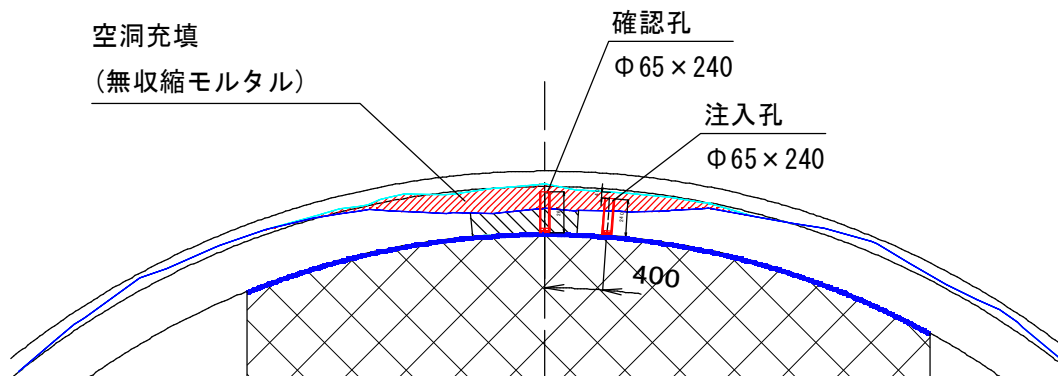


図4.3.15 断面図

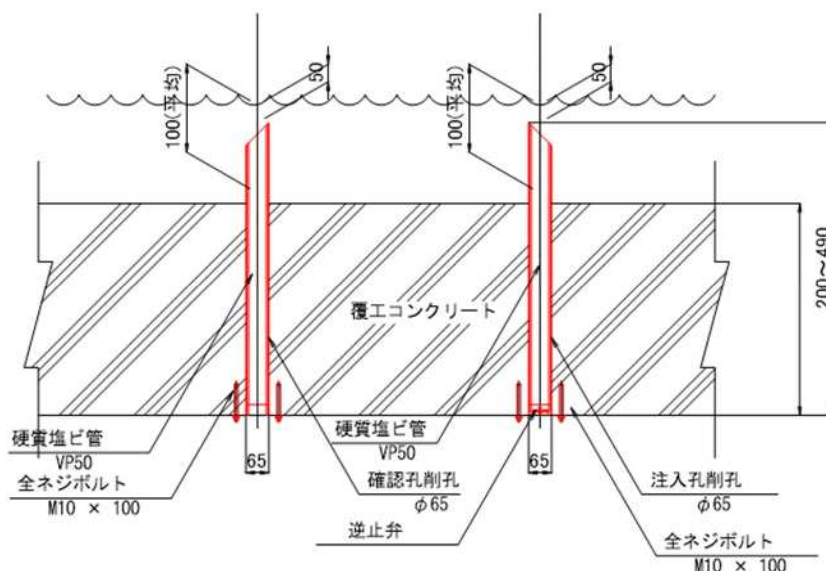


図4.3.16 注入孔・確認孔詳細図

### (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。

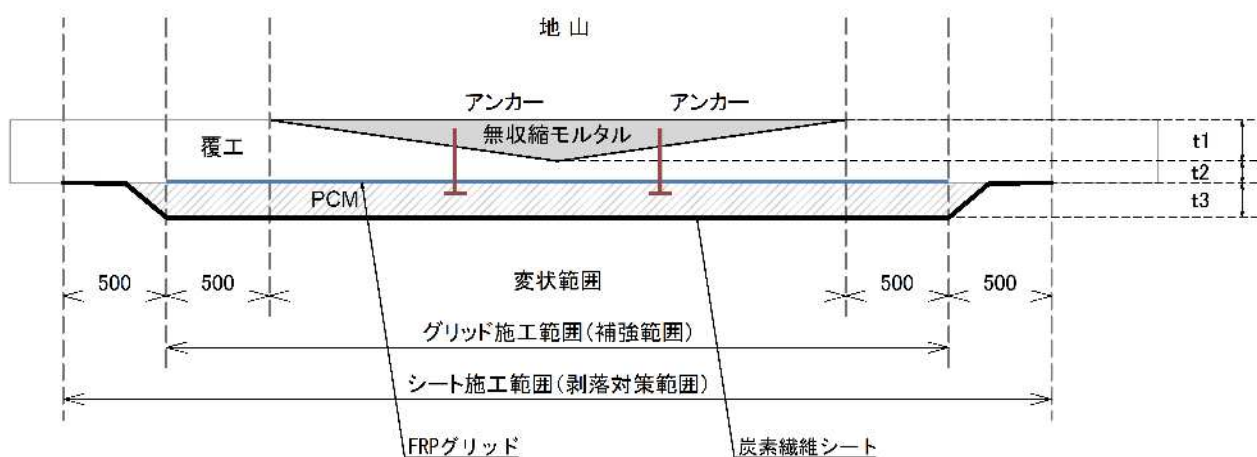


図 4.3.18 施工概要図

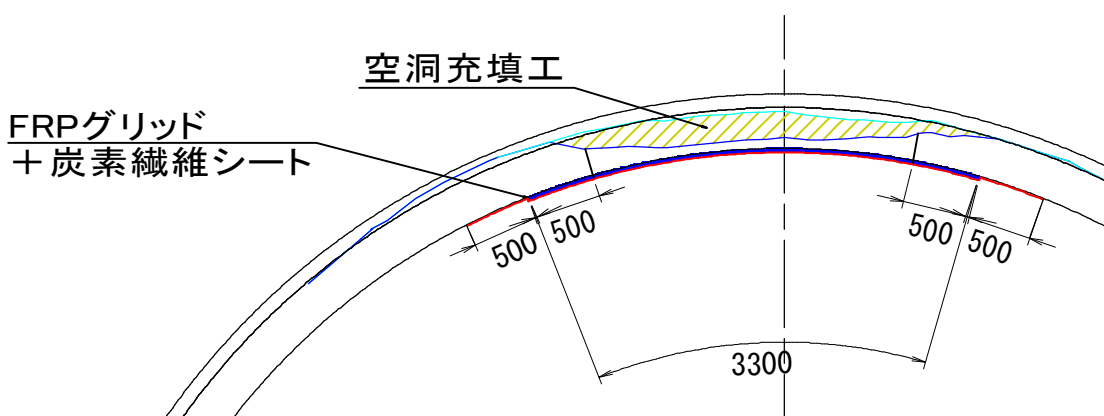


図 4.3.19 断面図