

7.1 巻末資料－1 不具合の抑制対策の事例

施工段階での不具合抑制対策事例を参考にして、施工時の留意点を明確化し施工に活用することが望ましい。

7.1.1 施工段階における不具合の抑制対策の事例

(1) 施工段階における不具合の抑制対策の事例として、以下の視点から代表事例を抽出し、表 7.1.1 に示した。

- 1) 近年では標準的となっている対策の事例
- 2) 施工業者へのヒアリングや有識者への意見聴取による対策の事例
- 3) 近年開発されている新技術による対策の事例

(2) 各対策事例の詳細については、次ページ以降に記載する。なお、養生方法については、本編「5.3 養生による緻密性の向上」中に記載している。また、各事例には、関連する施工状況把握チェックシートのチェック項目番号を併記している。

表 7.1.1 施工段階における不具合の抑制対策の事例

対策の目的	対策の事例
型枠設置時の不具合の抑制対策	型枠の過度な押し上げ防止
打設時の不具合の抑制対策	圧力センサーによる充填状況の確認
	加圧充填による再充填
	充填検知センサーによる充填状況の確認
	目視による充填の確認
	打設時間管理表による打込み管理
締固め時の不具合の抑制対策	天端引抜きバイブレーターによる締固め
	伸縮式バイブレーターによる締固め
	型枠振動バイブレーターによる締固め
	型枠への透水性シート貼付による気泡排出
脱型時の不具合の抑制対策	型枠の表面処理
	F R P 製型枠の採用
ブリーディング水の排除	有孔型枠によるブリーディング水の排除
	吸引チューブによるブリーディング水の排除
	不織布テープによるブリーディング水の排除
施工目地の不具合の抑制対策	施工目地の付着低減
	施工目地の形状変更
	施工目地への目地材設置
覆工背面の平滑化	防水シートの損傷防止
	緩衝材付き防水シートによる覆工背面の平滑化
	覆工背面平滑型ライニング工法による覆工背面の平滑化
施工方法の工夫	坑口部の後施工
	上り勾配での打設
覆工背面からの漏水対策	裏面排水材の設置
坑口部の不具合の抑制対策	表面含浸材の塗布
	ひび割れ低減ネット
	鉄筋防錆塗装

7.1.2 型枠設置時の不具合の抑制対策

(1) 型枠の過度な押上げ防止（準備工-2）

- 1) 型枠の過度な押上げによる施工目地部の損傷防止については、押上げ防止センサーにより型枠設置時の電動油圧ジャッキの操作の誤りを防ぐ方法が主流となっている。ただし、これはあくまで補助的なものであるため、最終的には作業員の目視による確認が重要である。
- 2) 最近ではレーザー計測により型枠の離隔を検知し、接近しすぎた場合は型枠の操作を自動停止させる方法も開発されている。



写真 7.1.1 押上げ防止センサー²³⁾に加筆

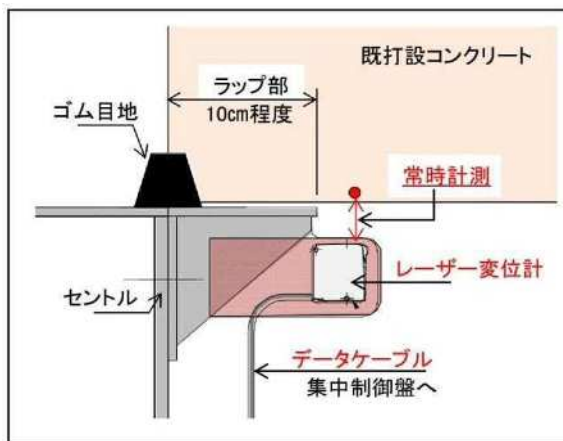


図 7.1.1 自動監視システムの概要¹²⁾



写真 7.1.2 自動監視システムの事例¹²⁾

7.1.3 打設時の不具合の抑制対策

(1) 圧力センサーによる充填状況の確認（準備-9, 10、打設-1~8）

- 1) 近年では、型枠に取り付けた圧力センサーにより、コンクリートの充填状況を検知し、数値化することで充填管理を行う方法が主流となっている。

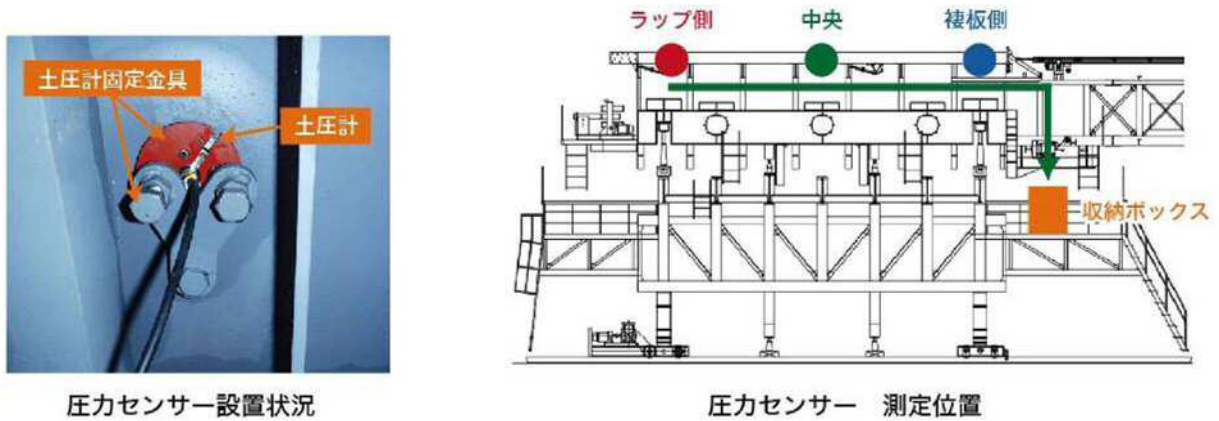


図 7.1.2 圧力センサーの配置事例 ²⁴⁾

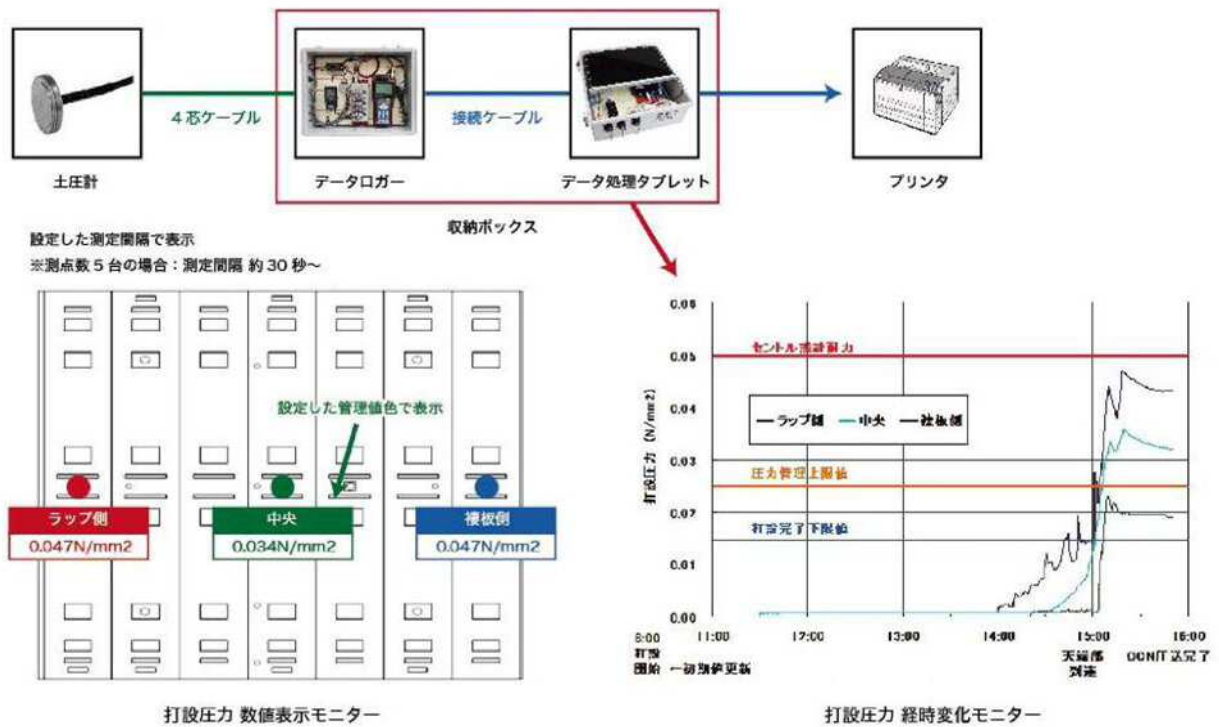


図 7.1.3 圧力センサーによる充填状態の確認例 ²⁴⁾

(2) 加圧充填による再充填（準備-9, 10、打設-1~8）

- 1) 天端部コンクリートを打設して締固めた後に、圧力センサーにより型枠への作用圧を確認しながら、型枠の耐力範囲内において加圧により再度充填を行うことで、コンクリートの密実性を向上させるものである。

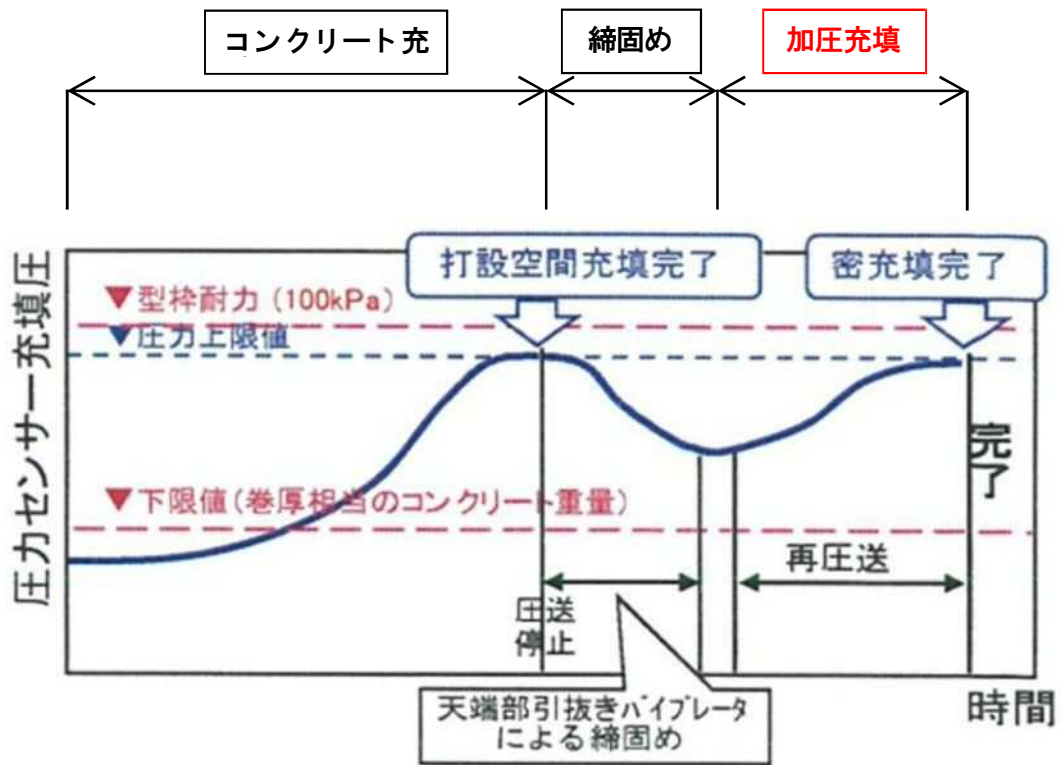


図 7.1.4 再加圧による加圧充填の概要

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

(3) 充填検知センサーによる充填状況の確認 (準備-9, 10、打設-1~8)

- 1) 型枠に取り付けた充填検知センサーを振動させ、その周波数の特性から、コンクリートと水および空気の混ざり具合を検知する方法や、材料の電気抵抗を計測し、センサーに触れている物質を識別する方法などでコンクリートの充填管理を行う方法が採用されている。

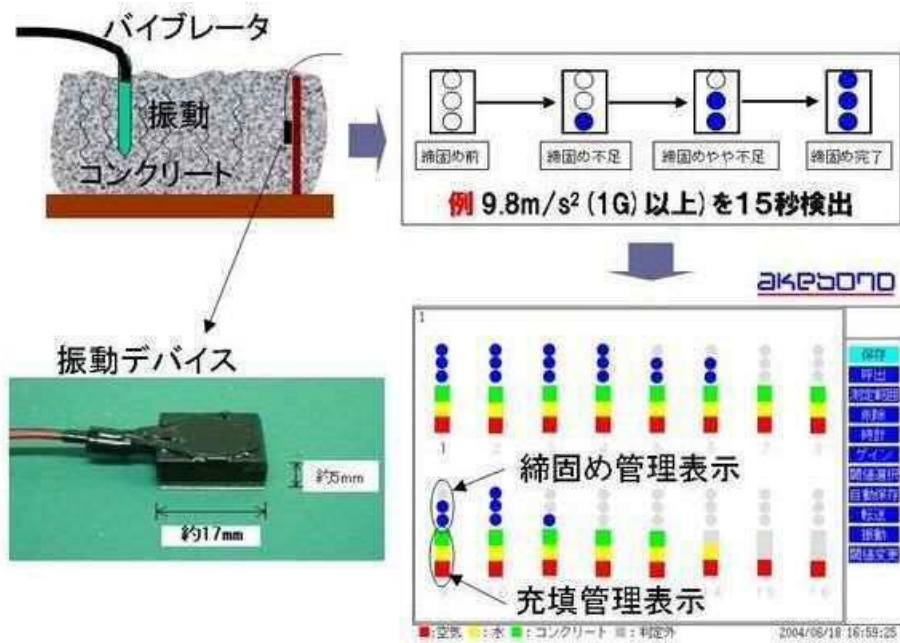


図 7.1.5 充填検知センサー（周波数による検知）の概要 ²⁵⁾

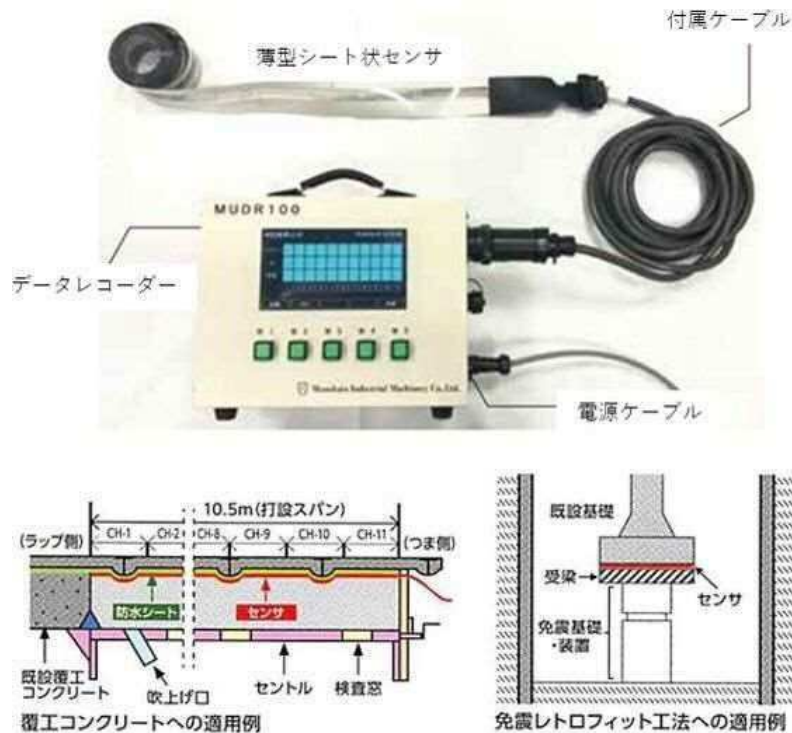


図 7.1.6 充填検知センサー（電気抵抗による検知）の概要 ²⁶⁾

(4) 目視による充填の確認（準備-9, 10、打設-1~8）

- 1) 妻型枠の一部に透明妻型枠を使用することで、妻部のコンクリート充填状況を目視で確認する方法も採用されている。

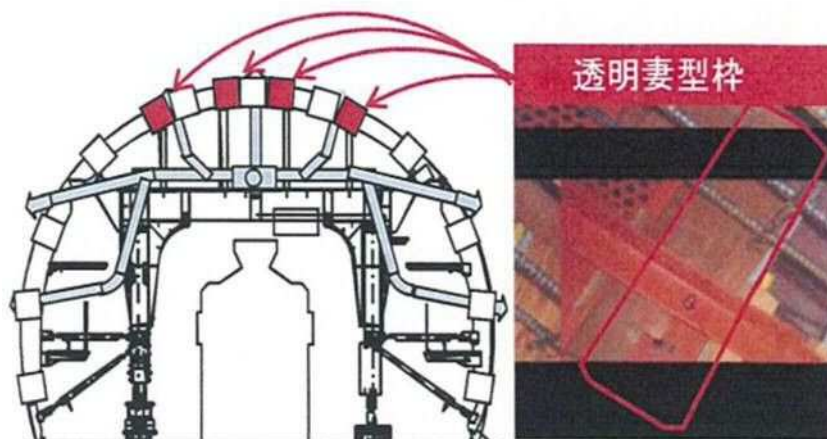


図 7.1.7 透明妻型枠の配置事例



写真 7.1.3 透明妻型枠の状況（充填前）



写真 7.1.4 透明妻型枠の状況（充填後）

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

(5) 打設時間管理表による打込み管理（運搬-1、打設-2）

- 1) 覆工コンクリートの打設時間管理表は、施工者が事前に作成し、生コンクリート工場へ出荷指示書として提出する。工場は、指示された時間での現場到着を目標として出荷を行う。
- 2) この打設時間管理表を打込み箇所近傍に掲示し、打込み開始および終了時間を記入して打込み状況の管理を行うことで、打込みおよび生コンクリート供給の待機時間を無くして、打込み作業の効率化や打継時間の適正化により、不具合の発生を抑制することができるほか、施工の不具合のトレーサビリティにも利用することができる。

車番	打設箇所	工場発	現場着	打込み開始	打込み終了	車番	打設量	打設時間	目標スランプ
1	4	7:30	7:20	7:30	7:35	1	3.5	15~16	16~17
2	8	7:24	7:44	7:46	7:51	2	3.5	15~16	16~17
3	12	7:41	8:01	8:03	8:08	3	3.5	15~16	16~17
4	16	7:58	8:18	8:20	8:25	4	3.5	15~16	16~17
5	20	8:14	8:34	8:36	8:41	5	3.5	15~16	16~17
6	24	8:31	8:51	8:53	8:58	6	3.5	15~16	16~17
7	28	8:48	9:08	9:10	9:15	7	4	16~17	16~17
8	32	9:02	9:22	9:24	9:29	8	4	16~17	16~17
9	36	9:17	9:37	9:39	9:44	9	4	16~17	16~17
10	40	9:31	9:51	9:53	9:58	10	4	16~17	16~17
11	44	9:46	10:06	10:08	10:13	11	4	16~17	16~17
12	48	10:00	10:20	10:22	10:27	12	5	16~17	16~17
13	52	10:12	10:32	10:34	10:39	13	5	16~17	16~17
14	56	10:24	10:44	10:46	10:51	14	5	16~17	16~17
15	60	10:38	10:58	10:59	11:04	15	5	16~17	16~17
16	64	10:47	11:07	11:09	11:14	16	5	16~17	16~17
17	68	10:59	11:19	11:21	11:26	17	5	16~17	16~17
18	72	11:11	11:31	11:33	11:38	18	5	16~17	16~17
全体計 30分									
19	76	11:52	12:12	12:14	12:19	19	5	16~17	16~17
20	80	12:06	12:26	12:28	12:33	20	5	16~17	16~17
21	84	12:17	12:37	12:39	12:44	21	5	16~17	16~17

写真 7.1.5 打設時間管理表 7)

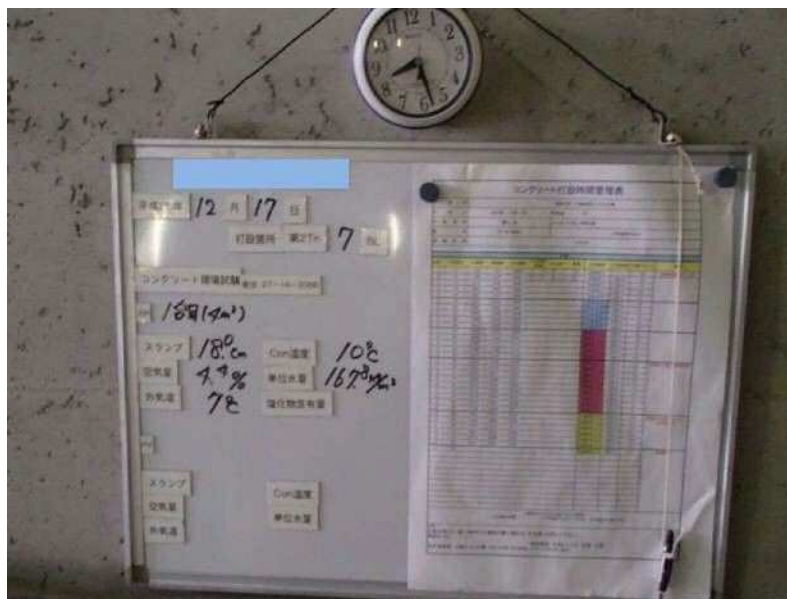


写真 7.1.6 打設時間管理表の打込み箇所付近への掲示 7)

7.1.4 締固め時の不具合の抑制対策

(1) 天端引抜きバイブレーターによる締固め（準備工-9,10、打設 1~8）

- 1) 天端部にあらかじめ水平方向に引抜きバイブレーターを設置しておき、天端部コンクリートの充填後、水平方向にバイブレーターを引き抜きながら締固めを行い、天端部の確実な締固めを行うものである。

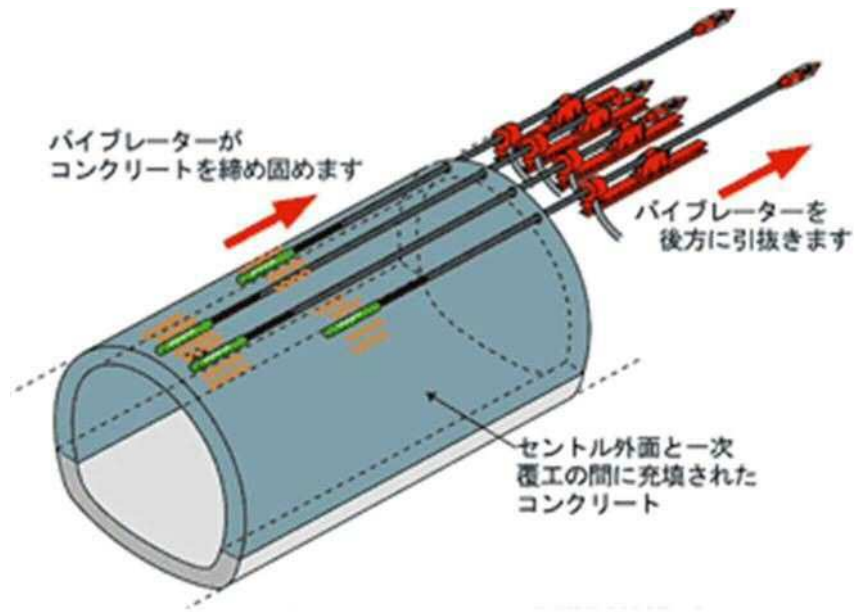


図 7.1.8 天端引抜きバイブレーターの概要 ⁴⁸⁾



写真 7.1.7 天端引抜きバイブレーターの事例 ⁴⁸⁾に加筆

(2) 伸縮式バイブレーターによる締固め（準備工-9, 10、打設 1~8）

- 1) 型枠断面から垂直方向に突出させたバイブレーターにより、検査窓からの締固めが困難となる部分を、型枠の内部から締固めを行うものである。
- 2) 使用後は、型枠内部方向へ格納することにより、型枠表面に収まる。



写真 7.1.8 伸縮式バイブレーター 45)に加筆

(3) 型枠振動バイブレーターによる締固め（準備工-9, 10、打設 1～8）

- 1) 締固め不足を軽減するために、型枠に型枠振動バイブレーターを取り付け、高周波で型枠自体を振動させて、コンクリートの締固めを行うものである。



写真 7.1.9 型枠振動バイブレーター 46)に加筆

(4) 型枠への透水性シート貼付による気泡排出 (準備-1, 3, 5, 6、打設-3, 4, 5)

- 1) トンネル断面が大きい場合、曲率の関係からSLより下側で締固めが困難な場所が発生する。このような場合、型枠に透水性シートを張り付けて、気泡や余剰水を排出することで、コンクリート表面のあばた発生を抑制する方法がある。

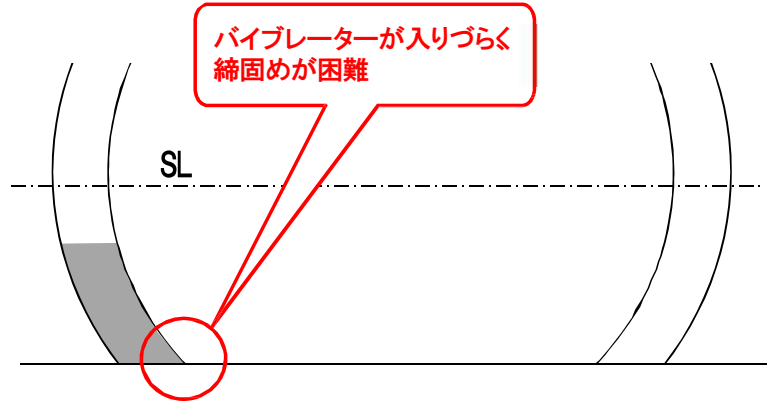


図 7.1.9 S L下側の締固めが困難な箇所

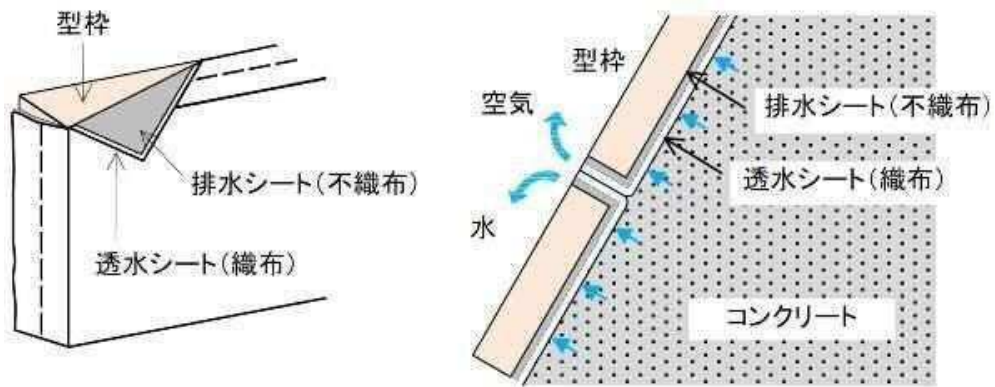


図 7.1.10 透水性シート ³⁰⁾



写真 7.1.10 型枠への貼付け状況 ³⁰⁾

7.1.5 脱型時の不具合の抑制対策

(1) 型枠の表面処理（準備工-5,6）

1) 型枠の表面に処理を施すことで、脱型時の剥離性を向上し、コンクリート表面の仕上がりの品質向上を図る方法として、表7.1.2のような方法がある。

表 7.1.2 型枠の表面処理方法

方法	樹脂コート	ステンレス溶射	セラミック溶射	ブラスト処理
概要	<ul style="list-style-type: none"> スキンプレート表面に特殊樹脂を塗布又は吹き付け焼き付け加工する。 短距離履工および中古フォームに施す場合が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> スキンプレート表面にステンレス(316L)を溶融噴射し、ステンレス皮膜を形成する。 	<ul style="list-style-type: none"> アルミナを主成分として1760℃以上にて燃焼加工した粉末を、スキンプレート表面に溶融噴射し、セラミック皮膜を形成する。 	<ul style="list-style-type: none"> スチールグリッドを吹き付け、表面の酸化皮膜を除去し、表面に細かい凹凸を作る。
効果	<ul style="list-style-type: none"> 樹脂コーティングをすることによりスキンプレート表面が円滑化されコンクリートの剥離性が向上すると共に打設表面の仕上がりが向上する 	<ul style="list-style-type: none"> ステンレス溶射によりスキンプレートに細かい空隙を有する層が形成され剥離剤が浸透しやすく剥離性が良く耐久性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> セラミック溶射によりスキンプレート上に細かい空隙を有する層が形成され、剥離剤が浸透しやすくなり剥離性が良く耐久性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 再利用フォームの表面仕上げに適し、表面はセラミック溶射に類似する。 剥離剤の保持力が高く、剥離性に優れる。
欠点	<ul style="list-style-type: none"> 耐久性・衝撃性に難点があり延長の短い覆工に適する。(打設回数30回を目安とする) 	<ul style="list-style-type: none"> 溶射によりステンレスがバーナーと化合し耐蝕性が欠け、錆が発生しやすい。 セラミック溶射同様にスキンプレートに水分が浸透すると錆が発生し仕上り表面に付着する場合がある。 セラミックに比べ高価な上、硬度が低いため耐久性に難点がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化物の本質的欠点である脆性(ゼイセイ)破壊を起こしやすく、パイプレーター打撃による破壊剥離や衝撃による破壊などが発生する。 スキンプレートまで水分が浸透すると錆が発生し、仕上り表面に付着する場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化皮膜がないため、発錆し易い。 長距離施工時に、表面の凹凸が少なくなり、平滑になる。



写真 7.1.11 樹脂コートの事例 ⁴³⁾



写真 7.1.12 セラミック溶射の事例 ⁴²⁾

(2) FRP製型枠の採用（準備工-5,6）

- 1) 近年では、型枠自体の材質を従来の鋼製からFRP製に変更した事例（工法）もある。
この場合は、脱型時の剥離性の向上のほか、半透明であるFRP製型枠にライトを当てることで、コンクリートの充填状況が確認できるというメリットもある。



写真 7.1.13 FRP製型枠⁴⁴⁾



写真 7.1.14 セトルへの取付け状況⁴⁴⁾

7.1.6 ブリーディング水の排除

(1) 有孔型枠によるブリーディング水の排除（打設-9）

- 1) コンクリート打設後、妻部に集積してくるブリーディング水の排出としては、従来は木製型枠の隙間を空ける簡易な方法や、検査窓からバキュームポンプで除去する方法などがとられてきたが、最近では、鋼製や透明アクリル製のパンチング加工を施した型枠が主流となっている。



写真 7.1.15 木製型枠の隙間を空けた事例



写真 7.1.16 バキュームポンプによる除去



写真 7.1.17 鋼製パンチングメタルの事例



写真 7.1.18 ブリーディング水の排出状況



写真 7.1.19 透明型枠の事例



写真 7.1.20 ブリーディング水の排出状況

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) 吸引チューブによるブリーディング水の排除（打設-9）

- 1) 型枠内に設置した吸引チューブにより、打設後のコンクリート内の余剰空気およびブリーディング水の積極的な排除を行うことにより、覆工コンクリートの充填性向上および品質向上を図る方法がある。

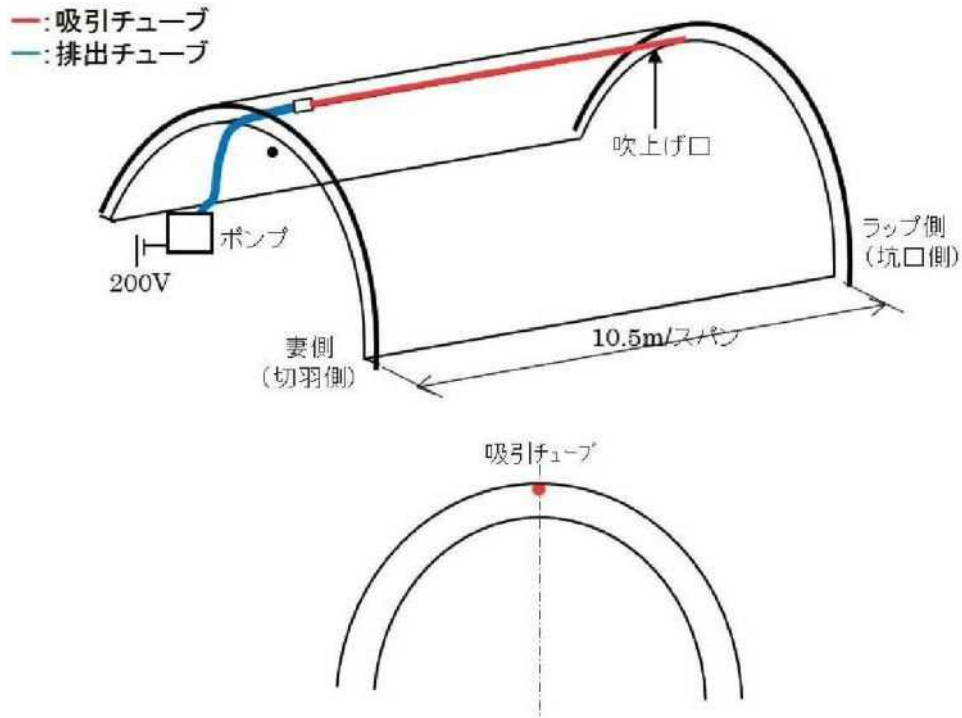


図 7.1.11 吸引チューブの配置図 ¹³⁾

ブリーディング水



写真 7.1.21 ブリーディング水の排出状況 ¹³⁾

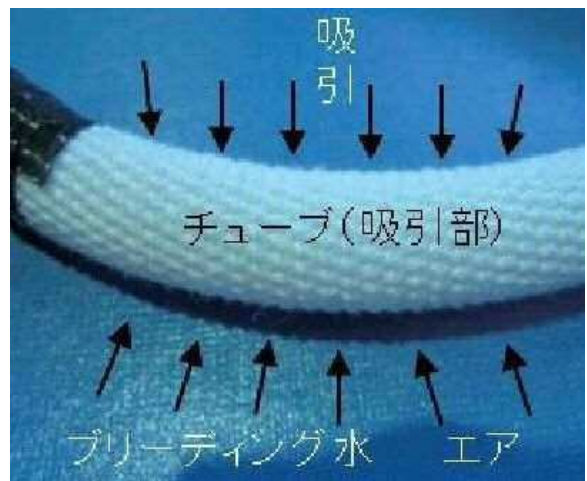


写真 7.1.22 吸引チューブ ¹³⁾

(3) 不織布テープによるブリーディング水の排除（打設-9）

- 1) 型枠内に設置した不織布テープにより、打設後のコンクリート内の余剰空気およびブリーディング水の積極的な排除を行うことにより、覆工コンクリートの充填性向上および品質向上を図る方法がある。

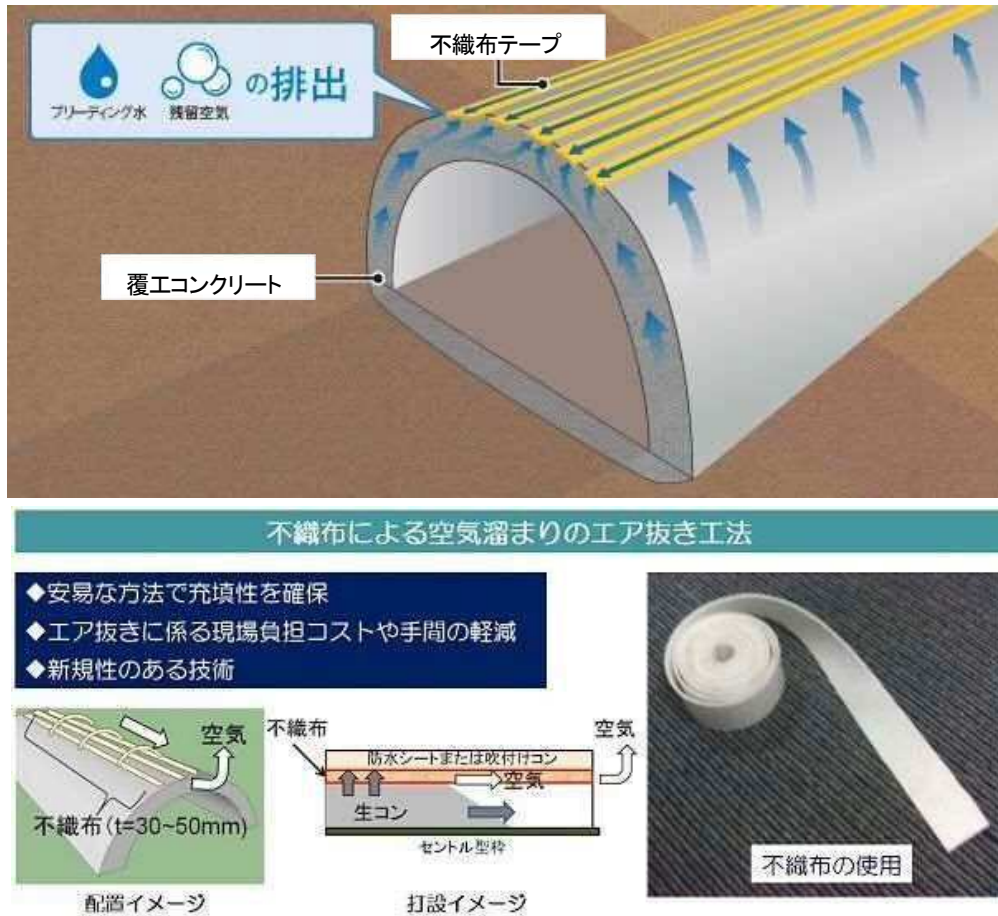


図 7.1.12 不織布テープの概要³¹⁾

7.1.7 施工目地の不具合の抑制対策

(1) 施工目地の付着低減（準備工-7）

- 1) 先打ちコンクリートと後打ちコンクリートとの付着力を低減するために、施工目地部に付着低減剤を塗布する方法がある。



写真 7.1.23 既設目地部への付着低減剤の塗布 ³²⁾



写真 7.1.24 付着低減剤の塗布なしの場合 ³²⁾



写真 7.1.25 付着低減剤の塗布ありの場合 ³²⁾に加筆

(2) 施工目地の形状変更 (準備工-7)

- 1) 中国地方整備局の事例では、型枠脱型時および乾燥収縮に対して、弱点となりやすい頂辺部がない三角形目地とすることとしている。

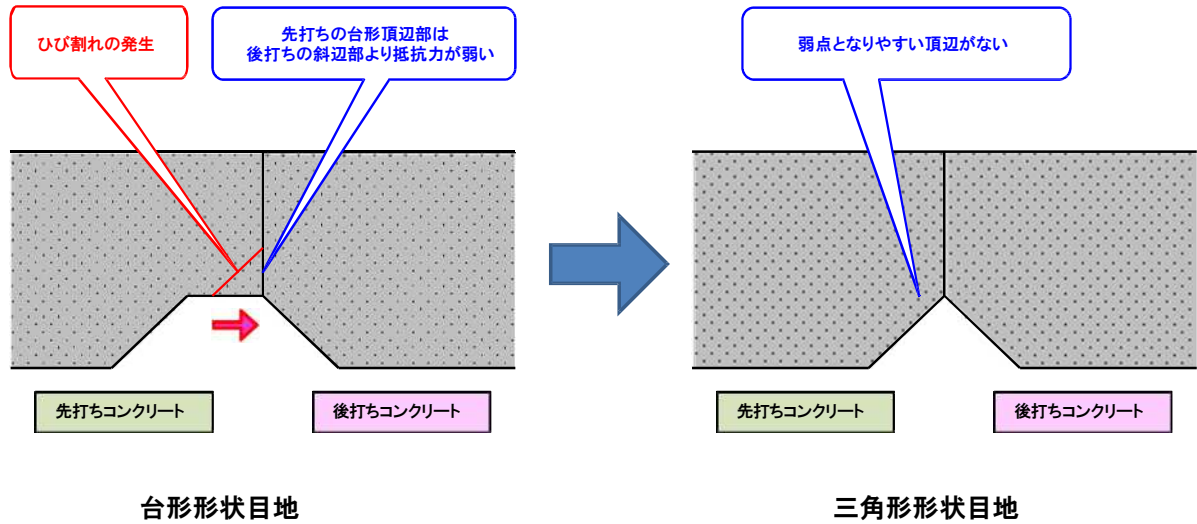


図 7.1.13 目地形状変更の概要

(3) 施工目地への目地材設置 (準備工-7)

- 1) 中国地方整備局の事例では、乾燥収縮による引張力に対応するために、目地材を設置することとしている。

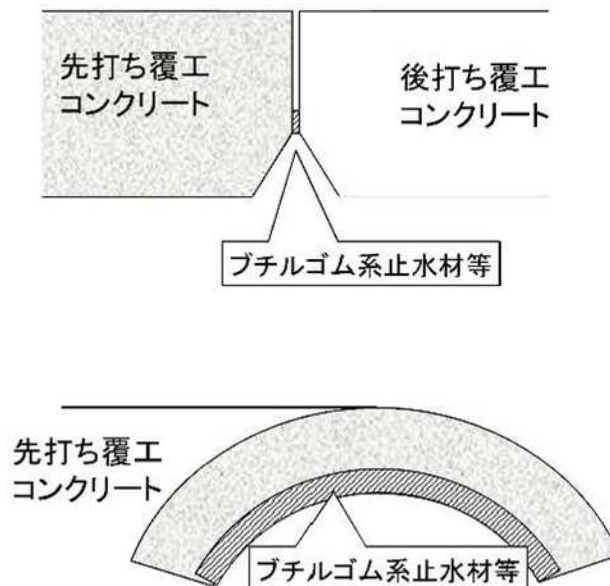


図 7.1.14 目地材設置の概要 ⁴⁷⁾

7.1.8 覆工背面の平滑化

(1) 防水シートの損傷防止（準備工-4）

- 1) 突出部の形状を工夫したロックボルトや、ロックボルトの突出部を滑らかにするキャップなどの使用により、防水シートの損傷を低減する方法がある。



図 7.1.15 突出レスロックボルト ³³⁾

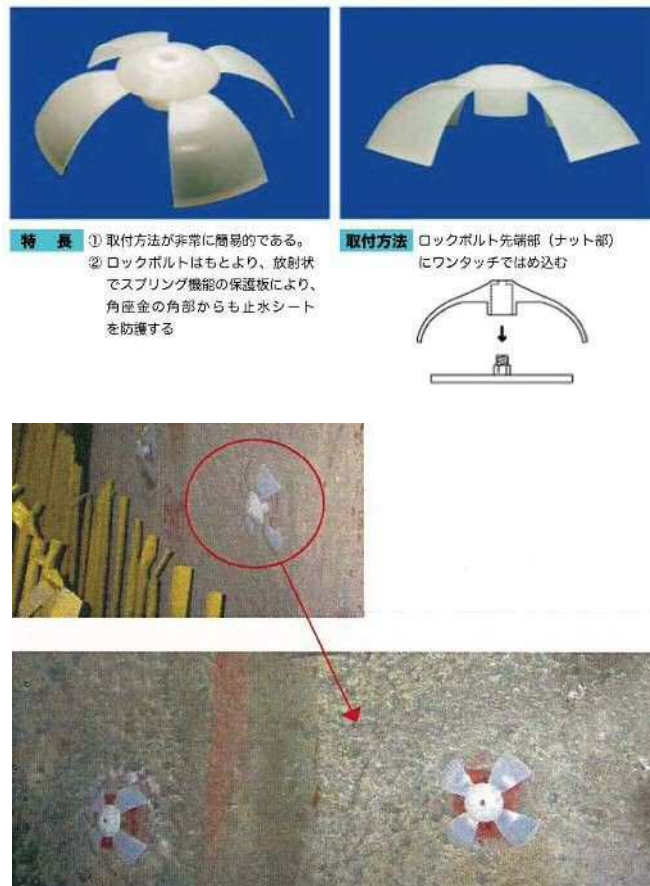


図7.1.16 ロックボルトキャップ ³⁴⁾

(2) 緩衝材付き防水シートによる覆工背面の平滑化（準備工-4）

- 1) 吹付面を完全に平滑化することは困難であることから、防水シートの背面側に貼付けた緩衝剤が凹凸に追従することで、防水シートの平滑化を確保する事例もある。

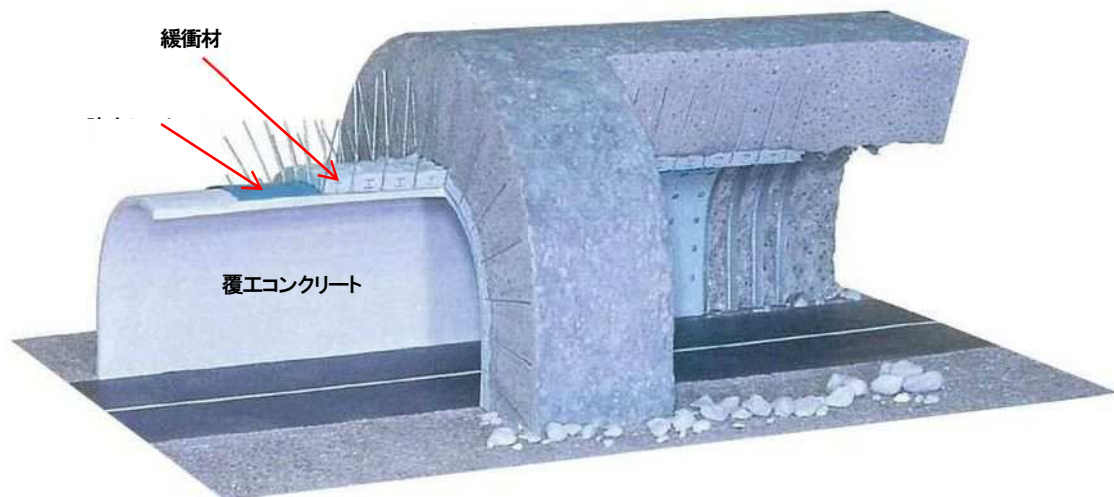


図 7.1.17 緩衝材付き防水シートの概要 ⁴⁰⁾に加筆



写真 7.1.26 施工事例 ³⁷⁾

(3) 背面平滑型トンネルライニング工法による覆工背面の平滑化（準備工-4）

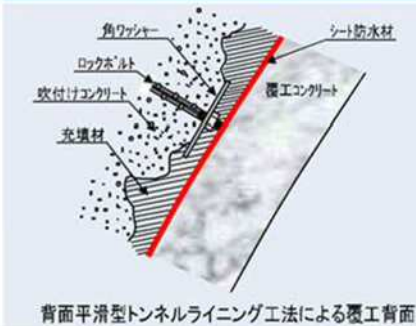
- 1) あらかじめ型枠面に防水シートを貼り付けたのち、防水シート背面の空隙部に充填材を充填して固定することで、防水シートの仕上がり面を平滑化する事例もある。

■ 背面平滑型トンネルライニング工法の特長



- ◇ 高いインシュレーション効果による覆工のひび割れ低減
- ◇ 覆工巻厚の均一化
- ◇ 幅広シートにより現場溶着不良箇所の低減
- ◇ 覆工打設中の防水シート引き込み現象によるクラウン部の防水シート裏面の空隙根絶
- ◇ 防水シート表面が平滑であるため覆工コンクリートの流動性が阻害されことなく空隙の低減向上
- ◇ 防水シート表面が平滑であるため鉄筋組立作業時に防水シートを傷付ける危険性減少
- ◇ 寒冷地での断熱材設置区間の覆工品質向上
- ◇ シート展張架台によりシート作業時の工安全性向上

■ 背面平滑型トンネルライニング工法概要図



背面平滑型トンネルライニング工法での防水工の利点

- ① 吹付け厚さは設計巻厚で良く、平滑にするために余吹きする必要がない。
- ② ロックボルト頭部、支保工継手板等の突起部による防水シートの損傷の危険性がない。
- ③ 現場での溶着箇所が少なく、しかも波打っていない防水シートの溶着となるため、溶着接合を失敗する危険性が低い。
- ④ 寒冷地でシート表面に断熱材を設置（断熱材吹付け・板状断熱材貼り付け）する場合、裏面に空隙が残る危険性が低い。

一般工法による防水工の問題点

- ① ロックボルトキャップ部に空隙が生じ易い。特に自穿孔ボルトや鋼管膨張型ボルト等頭部の高さが高いボルトの場合には、空隙が生じる。
- ② 防水シートが波打っていると、鉄筋を組み立てる場合に鉄筋の端部が防水シート面に接触して傷付ける危険性が高い。
- ③ 下図のように覆工コンクリートの打設により防水シートが下に引き込まれ、クラウン部での防水シートの裏面に空隙が残ってしまう。
- ④ 防水シートが大きく波打っている場合には、シート同士の間での溶着接合を失敗する確率が高い。

■ 一般工法概要図(問題点)

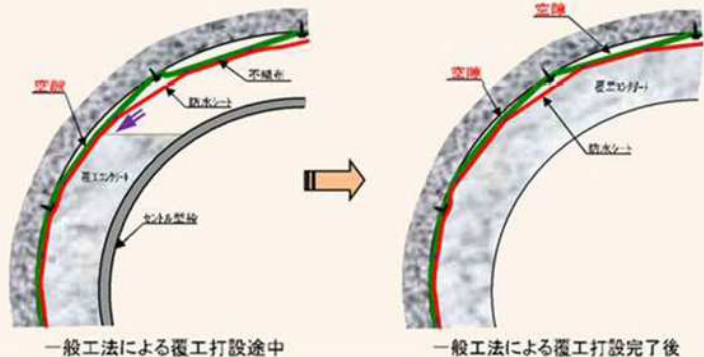
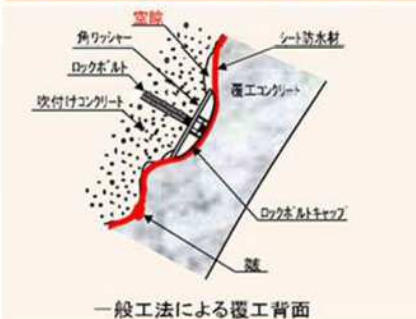


図 7. 1. 18 背面平滑型トンネルライニング工法（FILM 工法）³⁹⁾

7.1.9 施工方法の工夫

(1) 坑口部の後施工

- 1) 工事の初期には作業員がまだ作業に慣れていないことに加え、坑口部は環境条件が一般部より厳しいことなどから、施工による不具合が生じやすい。このため、東北地方整備局管内のトンネル工事では、一般部から先に施工を行い、作業に慣れた段階もしくは最後に坑口部の施工を行うことで、坑口部の品質向上を図っている事例もある。

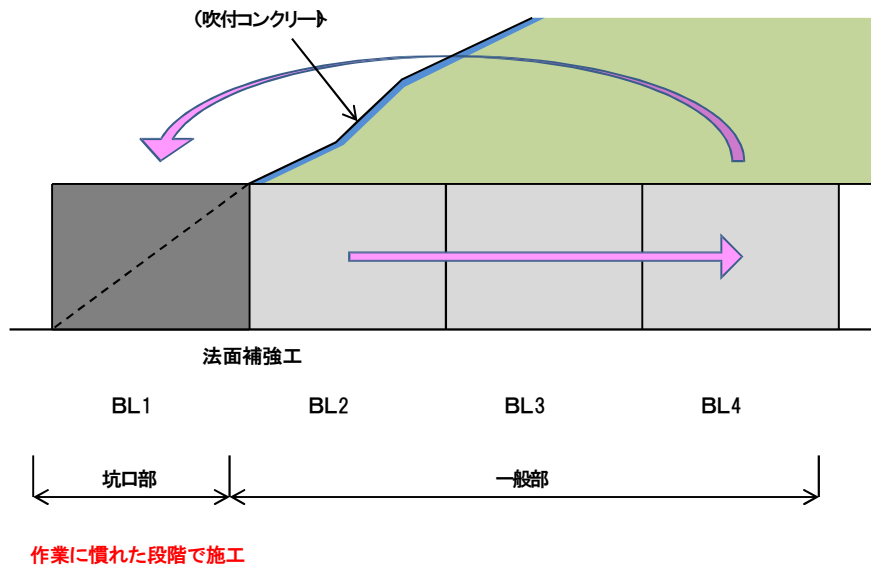


図 7.1.19 坑口部の後施工の概要

(2) 上り勾配での打設

- 1) トンネルの縦断勾配が急な場合、縦断の上り勾配方向に向かって打設を行うことで、充填性の向上を図ることが必要である。

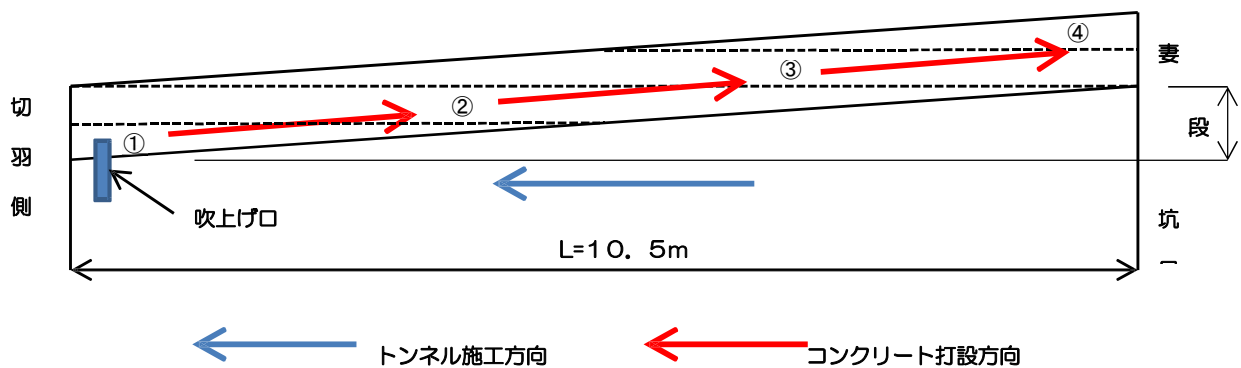


図 7.1.20 上り勾配による覆工コンクリートの打設

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

7.1.10 覆工背面からの漏水対策

(1) トンネル裏面排水材の設置

- 1) 施工不良などにより、覆工背面の防水シートが損傷・劣化して十分に機能していない場合、施工目地などから漏水が発生する事例が数多く見受けられる。このような漏水の防止対策として、覆工コンクリート打設前に、排水機能を向上させるために裏面排水材を設置しておく方法も実施されている。



図 7.1.21 裏面排水材の一例 ³⁶⁾

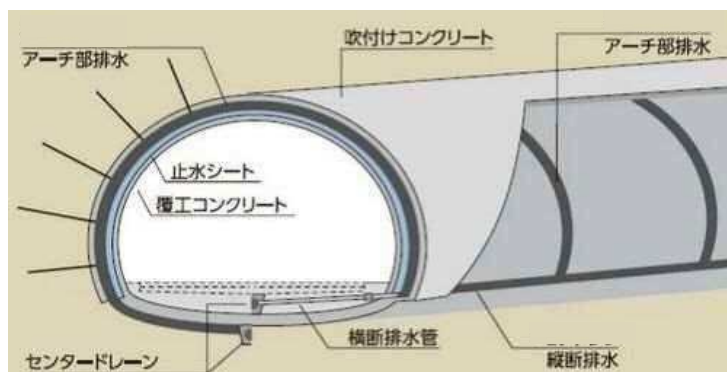


図 7.1.22 裏面排水材の施工概要図 ³⁶⁾

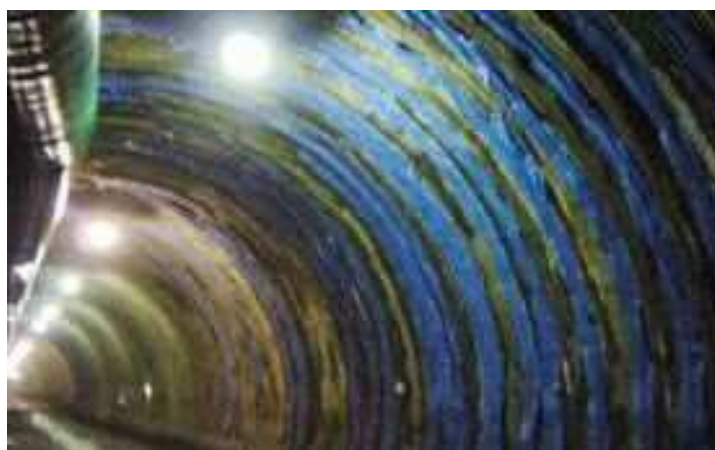
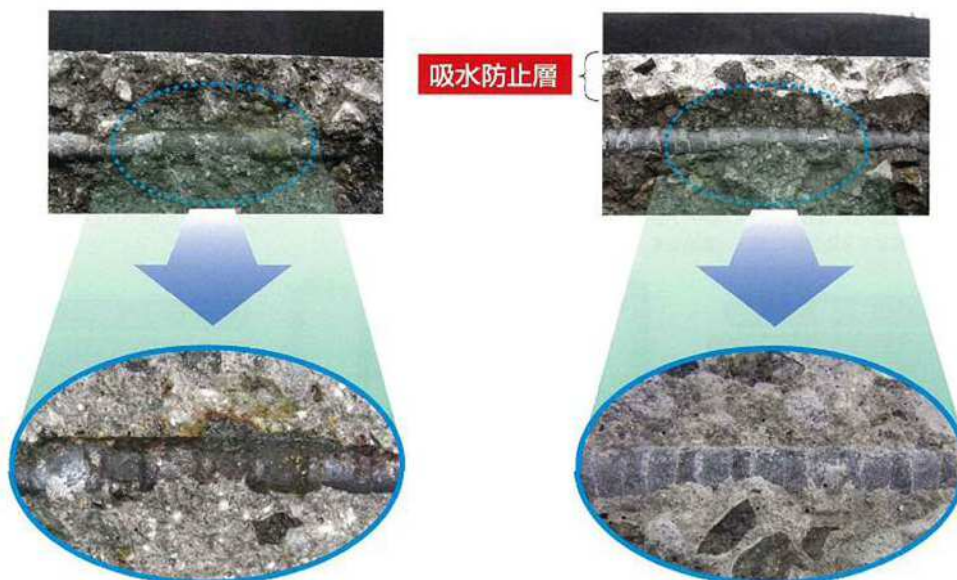


写真 7.1.23 トンネルでの施工事例 ³⁷⁾

7.1.11 坑口部の不具合の抑制対策

(1) 表面含浸材の塗布（準備工-11, 12、打設-10）

- 鉄筋区間であるトンネル坑口部においては、コンクリート表面に表面含浸材（シラン系）を塗布し、コンクリート表面に吸水防止層を形成することで、鉄筋腐食を防ぐことも実施されている。



表面含浸材塗布なしの場合

表面含浸材塗布ありの場合

図 7.1.24 表面含浸材による鉄筋腐食防止効果（促進試験の結果）²⁷⁾



写真 7.1.27 トンネル覆エコンクリートへの施工事例²⁸⁾

(2) ひび割れ低減用ネット（準備工-11, 12、打設-10）

- 1) インバートの拘束によるひび割れを防止するために、高い引張剛性とコンクリートとの良好な付着性能を持ったひび割れ低減ネットを用いることも実施されている。

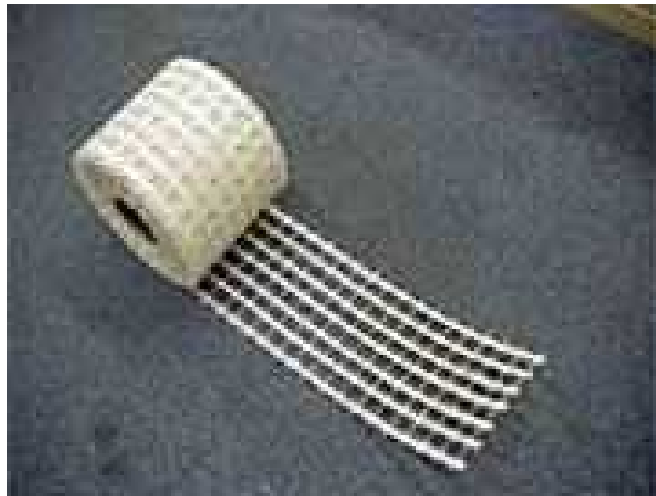


写真 7.1.28 ひび割れ低減用ネットの一例 ³⁵⁾



写真 7.1.29 トンネル覆工コンクリートへの施工事例 ³⁵⁾

(3) 鉄筋防錆塗装（準備工-11, 12、打設-10）

1) 坑口部の鉄筋腐食の防止対策として、エポキシ樹脂系などの防錆塗装を施すことも実施されている。



写真 7. 1. 30 トンネルにおける補強鉄筋への防錆塗装の施工事例

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