

土木研究所資料

道路トンネル変状対策工マニュアル(案)

平成15年2月

独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ (トンネルチーム)

Copyright © (2003) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

道路トンネル変状対策工マニュアル（案）

独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ

上席研究員（トンネル） 真 下 英 人

主任研究員（トンネル） 石 村 利 明

要 旨

本報告書は、覆工コンクリートにひび割れなどの変状が発生している道路トンネルが増えてきているため、変状対策が的確に実施されるように「はく落防止対策」、「漏水対策」、「覆工背面空洞充填対策」の各変状対策工について、適用範囲、実施手順、具体的な実施内容等を「道路トンネル変状対策工マニュアル（案）」として示したものである。

キーワード：道路トンネル，変状対策工，マニュアル

序

現在、供用中の道路トンネルの中には各種の原因により覆工コンクリートにひび割れなどの変状が発生し、コンクリートの剥落などによるトンネル利用者への被害を未然に防止するための適切な対策を必要とするトンネルが現れてきている。また、今後、高度成長期に大量に建設された道路構造物の老朽化が進むなどの要因により、変状対策を必要とする道路トンネルが大幅に増加することが予想されている。

これまで、道路トンネルの維持管理は「道路トンネル維持管理便覧」((社)日本道路協会、平成5年11月)により実施されてきたが、「道路トンネル維持管理便覧」発刊後も多くの新しい変状対策技術が開発されてきていることや「道路トンネル維持管理便覧」においては個々の変状対策工の適用範囲および選定方法に関する記述が少ないために、今後増加することが予想される変状トンネルへの対策を的確に実施する上で「道路トンネル維持管理便覧」を補完する必要が生じてきた。

本マニュアル(案)は、このような要請に応えるため、変状対策の中でも採用される頻度が高いと考えられる「はく落防止対策」、「漏水対策」、「覆工背面空洞充填対策」の各変状対策工について、最新の知見を取り入れながら、適用範囲、選定方法、実施手順、具体的な実施内容などをとりまとめものである。

最近のトンネル維持管理技術の進歩にはめざましいものがあるため、今後、さらに最新の情報を加えて内容を充実させていく必要もあるが、本マニュアル(案)が、今後の道路トンネルの維持管理に大いに活用され、維持管理業務をより合理的に進めるための一助となれば幸いである。

最後に、本マニュアル(案)の作成にあたり、トンネル変状対策工の現状技術の問題点、対策工の適用条件・留意点等について検討を進めるために、(財)道路保全技術センターに「トンネル変状対策工検討委員会」(委員長：今田徹 東京都立大学名誉教授)を設置(平成12～13年度)し、御意見を賜った。ここに、深甚なる謝意を表す次第であります。

土木研究所

基礎道路技術研究グループ(トンネルチーム)

真下 英人

石村 利明

トンネル変状対策工検討委員会 委員名簿

委員長	今田 徹	東京都立大学名誉教授
委員	魚本 健人	東京大学国際産業共同研究センター教授
	宇治 公隆	東京都立大学工学部土木工学科助教授
	小島 芳之	財団法人鉄道総合研究所構造物技術研究部トンネル担当主任研究員
(前)	鈴木 幾雄	日本道路公団試験研究所トンネル研究室主幹
	中田 雅博	日本道路公団試験研究所トンネル研究室主幹
(前)	西谷 亨一	日本道路公団保全交通部保全企画課長
	小林 健	日本道路公団保全交通部保全企画課長
	樋野 勝巳	(財)道路保全技術センター道路構造保全研究会トンネル施工部会委員(ショーボンド建設株式会社補修工学研究所長)
	平野 逸雄	(財)道路保全技術センター道路構造保全研究会トンネル施工部会委員(大成建設株式会社技術研究センター 土木技術開発部プロジェクト室長)
行政委員	(前) 上野進一郎	国土交通省道路局国道課道路保全対策官
	安藤 淳	国土交通省道路局国道課道路保全対策官
	柳橋 則夫	国土交通省道路局国道課企画専門官
(前)	橋場 克司	国土交通省道路局高速国道課高速道路調整官
	木谷 信之	国土交通省道路局高速国道課高速道路調整官
	笹森 秀樹	国土交通省道路局地方道・環境課企画専門官
	中神 陽一	国土交通省道路局企画課道路防災対策室建設専門官
	河野 広隆	独立行政法人土木研究所技術推進本部主席研究員(構造物マネジメント技術)
	真下 英人	独立行政法人土木研究所基礎道路技術研究グループ上席研究員(トンネル)
(前)	菅原 道治	国土交通省東北地方整備局道路部道路情報管理官
	手塚 信弘	国土交通省東北地方整備局道路部道路情報管理官

役職名は平成13年度時点のものを、(前)は前任者を示す。

道路トンネル変状対策工マニュアル（案）

目 次

1. 総則編.....	1
1.1 目的.....	1
1.2 適用範囲.....	2
1.3 用語の定義.....	4
1.4 対象となる変状.....	8
1.4.1 はく落、漏水に関する変状.....	8
(1) 変状の種類と点検での判定区分.....	8
(2) はく落、漏水に関する変状の原因.....	9
1.4.2 覆工背面空洞に関する変状.....	15
1.5 対象とする対策工.....	16
1.5.1 期待する対策効果からみた対策工.....	16
1.5.2 「応急対策工」と「本対策工」.....	16
1.6 変状対策実施手順.....	18
1.6.1 はく落防止対策、漏水対策.....	18
1.6.2 覆工背面空洞充填対策.....	19
 2. はく落防止対策編.....	 21
2.1 はく落防止対策の概要.....	21
2.1.1 はく落防止対策の適用.....	21
2.1.2 はく落防止対策工の実施手順.....	21
2.1.3 対策方針の検討.....	23
(1) 現地確認.....	23
(2) 変状原因の考察.....	23
(3) 対応方法の検討.....	23
2.2 対策工設計.....	28
2.2.1 応急対策工と本対策工の分類.....	28
2.2.2 応急対策工の選定と設計.....	28
2.2.3 本対策工の選定と設計.....	29
2.2.4 変状規模・部位による「はく落防止対策工」適用の考え方.....	32

(1) 覆工コンクリート（アーチ部、側壁部）	32
(2) 既設補修・補強材	33
(3) 横断目地（止水板）・水平打継ぎ目（目地モルタル）	33
(4) 遊離石灰等の落下	33
(5) その他の変状	34
2.3 はく落防止対策工各論	35
2.3.1 共通事項	35
(1) 設計	35
(2) 施工	35
2.3.2 はつり落とし工	35
2.3.3 断面修復工	37
2.3.4 ひび割れ注入工	41
2.3.5 金網・ネット工	45
(1) 金網・ネット工の概要	45
(2) 金網工	45
(3) ネット工	50
2.3.6 当て板工	52
(1) 当て板工の概要	52
(2) 形鋼系当て板工	55
(3) パネル系当て板工	57
(4) 繊維シート系当て板工	60
2.3.7 補強セントル工	68
3. 漏水対策編	72
3.1 漏水対策の概要	72
3.1.1 漏水対策の適用	72
3.1.2 漏水対策工の実施手順	73
3.1.3 対策方針の検討	75
(1) 目的	75
(2) 現地確認	75
(3) 漏水個所の変状原因の考察	75
(4) 対応方法の検討	76
3.2 対策工設計	76
3.2.1 応急対策工と本対策工の分類	76
(1) 応急対策	76

(2) 本対策	77
3.2.2 主な漏水対策工の特性	79
3.2.3 応急対策工の選定と設計	80
3.2.4 本対策工の選定と設計	80
3.3 漏水対策工各論	82
3.3.1 導水樋工	82
3.3.2 溝切り工	85
3.3.3 止水注入工	88
3.3.4 止水充填工	90
3.3.5 防水パネル工	92
3.3.6 防水シート工	93
3.3.7 防水塗布工	95
3.3.8 地下水位低下工	97
(1) 水抜きボーリング	97
(2) 水抜き孔	99
(3) 排水溝	100
4. 覆工背面空洞充填対策編	102
4.1 覆工背面空洞充填対策の概要	102
4.1.1 覆工背面空洞とトンネル変状との関係	102
4.1.2 覆工巻厚・覆工背面調査が必要となるトンネル	102
4.1.3 覆工背面空洞充填対策を適用するトンネル変状	103
4.2 覆工背面空洞充填対策の実施手順	104
4.3 対策方針の検討	105
4.3.1 判定区分による対策範囲の設定	105
4.3.2 裏込め注入工適用に際しての留意点	105
4.4 裏込め注入量の算定	106
4.4.1 注入量の算定方法	106
4.4.2 注入量算定に際しての留意点	106
4.5 裏込め注入工の設計	107
4.5.1 裏込め注入材料の種類と特性	107
(1) セメント系注入材	107
(2) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）	108
4.5.2 裏込め注入材の選定	109
4.5.3 設計基準強度と配合	111

(1) セメント系材料	111
(2) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）	112
4.5.4 注入孔配置	112
(1) セメント系注入材	112
(2) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）	112
4.5.5 その他、設計上の留意点について	113
4.6 裏込め注入工の施工	114
4.6.1 施工手順	114
(1) セメント系注入材	114
(2) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）	115
4.6.2 施工時の注入管理	116
(1) 注入量の管理	116
(2) 注入圧の管理	117
4.6.3 施工上の留意点	118
4.6.4 新技術・新材料の動向	119

付属資料

付属資料－１．トンネルの変状原因と特徴	付属-1
1-1 外力による変状	付属-1
1-2 材質劣化による変状	付属-5
1-3 漏水による変状	付属-9
1-4 その他	付属-10
付属資料－２．はく落防止対策工の適用規模検討結果	付属-12
付属資料－３．トンネル変状対策工設計に関する参考文献	付属-13

1.総則編

1.1 目的

山岳工法で建設された道路トンネルの維持管理は、これまで平成5年に日本道路協会から刊行された「道路トンネル維持管理便覧」（以下「便覧」）に沿って実施されてきた。

しかし、近年、道路トンネルの供用期間が長期化し覆工コンクリートの材質劣化等が進行する中で、道路トンネルの維持管理上、コンクリート片のはく落などによる利用者被害を未然に防ぐための円滑な対応が求められるようになってきた。このため徒歩目視を主体とした覆工コンクリートの点検方法や、外力に起因する変状対策を主とした「便覧」の記述が十分とは言えない状況となってきた。

このような理由から、「道路トンネル定期点検要領（案）」（平成14年4月 国土交通省道路局国道課、以下「点検要領（案）」）が作成され、近接目視を主体とした定期点検の方法、内容について「便覧」の補完がなされた。

本マニュアルでは「点検要領（案）」の内容を受け「便覧」の内容を補完する目的で、「はく落防止対策」「漏水対策」「覆工背面空洞充填対策」の各変状対策に関して、応急対策と標準調査等のプロセスとの関連を再検討し、以下の事項について新たな記述を行った。

- (1) 「はく落防止対策」「漏水対策」「覆工背面空洞充填対策」の各変状対策の実施手順、具体的な実施内容等を規定した。
- (2) 「応急対策」を即応性があり、標準調査を妨げないものと規定し、それ以外の対策を「本対策」と規定した。
- (3) 「応急対策」が必要とされるはく落、漏水に関する変状を、既設対策工の車両による破損など原因が明らかで標準調査を要しない変状とそれ以外とに分類し、維持管理の効率化のため前者に対しては「応急対策」・「標準調査」を省略して「本対策」を実施でき、後者に対してのみ「応急対策」を実施することを規定した。

図-1.1.1に本マニュアルと、「便覧」、「点検要領（案）」との関係を整理して示す。

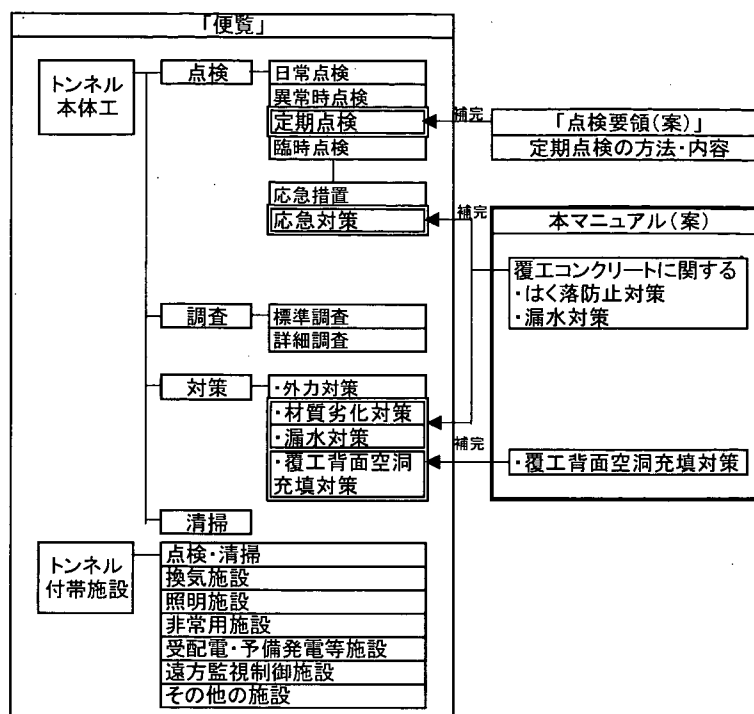
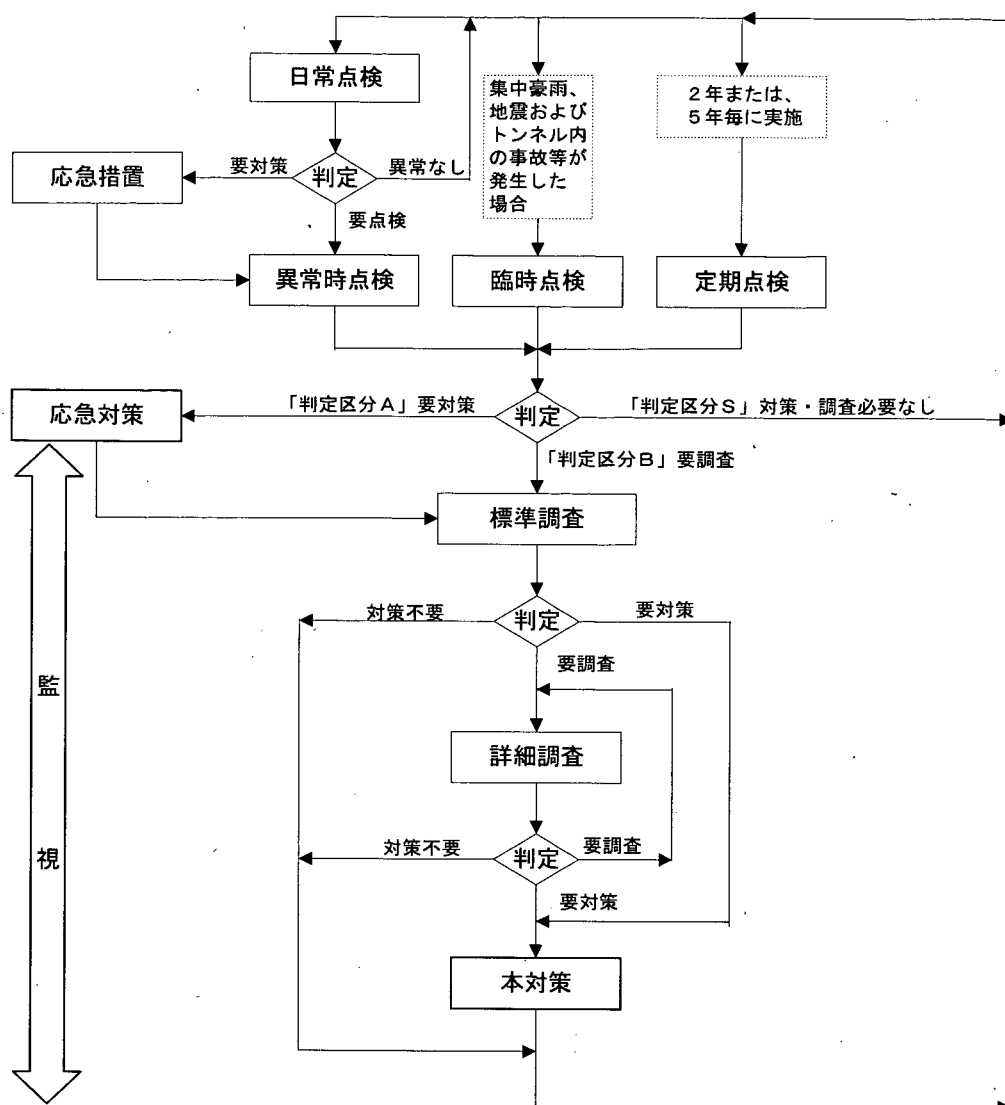


図-1.1.1 本マニュアルの「便覧」との位置づけ

1.2 適用範囲

- (1) 本マニュアルは「図-1.2.1 道路トンネル本体工の維持管理の手順」に示す「応急対策」・「本対策」において実施される、山岳工法で施工されたトンネル本体工（覆工コンクリート）の「はく落防止対策」、「漏水対策」および「覆工背面空洞充填対策」に適用するものとする。
- (2) 本マニュアルの記述内容は、「応急対策」・「本対策」における「はく落防止対策」「漏水対策」および「覆工背面空洞充填対策」の合理的な計画、対策工法の選定、設計および施工方法とし、加えて「応急措置」、「定期点検」、「日常点検」「異常時点検」、「臨時点検」、「標準調査」、「詳細調査」、「監視」の各プロセスとの関係についても記述した。ただし「応急対策」「本対策」以外の各プロセスの個別的・具体的な内容については「便覧」の記述に従うものとした。
- (3) 本マニュアルで取り扱う「はく落防止対策」「漏水対策」に関しては、覆工コンクリート（RC 構造の覆工も含む）を念頭に置いており、その他の覆工材料（レンガ、石材他）に関しては適用範囲外とした。

図-1.2.1 道路トンネル本体工の維持管理の手順（文献¹⁾掲載を加筆修正）

1.3 用語の定義

以下に本マニュアルで用いる用語を定義する。

1)変 状

覆工コンクリートや覆工の補修材・補強材のひび割れや変形、漏水、材質劣化等により、トンネル構造物としての安全性や耐久性および快適性等の道路トンネルとしての機能が低下している状況の総称。

2)トンネル本体工

支保工、覆工、坑門、排水施設、路肩およびトンネル内の路面を総称してトンネル本体工とよぶ。

3) アーチ部、側壁部、横断目地、水平打継ぎ目

覆工の部位の呼び名。それぞれの位置は「図-1.3.1 覆工部位説明図」に示す。

4)利用者被害

トンネルの変状によって、管理に従事する者以外で道路トンネルを利用する歩行者や通行車両等が直接的あるいは間接的に被る事故、被害をいう。

5)日常点検

原則として道路の通常巡回を行う際に併せて実施する点検をいう。日常点検は原則としてパトロールカーから視認できる範囲でトンネルおよびその周辺の状況を把握する。点検項目を「表-1.3.1 日常点検の点検項目」に示す。

6)定期点検

変状状況やその進行性を把握し、トンネルの保全を図るとともに、利用者被害を未然に防止する観点も含めて概ね2～5年に1回程度の頻度で定期的な実施する点検をいう。点検方法を「表-1.3.2 定期点検の点検箇所と点検方法」に示す。

7)異常時点検

日常点検等により異常が発見された場合に実施する点検をいう。異常時点検は徒歩による遠望目視を主体に行う。点検項目を「表-1.3.3 異常時および臨時点検の点検項目」に示す。

8)臨時点検

集中豪雨、地震およびトンネル内事故等が発生した場合に実施する点検をいう。臨時点検は、異常時点検と同様に徒歩による遠望目視を主体に行う。点検項目を「表-1.3.3 異常時および臨時点検の点検項目」に示す。

9)点検作業

日常点検、定期点検、異常時点検、臨時点検の総称。

10)調 査

点検作業で得られた変状に関する情報を補うために変状状況を把握し、変状原因、通行者・通行車両に対する安全性や構造物としての安全性、維持管理作業に及ぼす影響、対策工の要否および緊急性、適切な対策工の種類・範囲・数量等に関する情報の収集を行うことで、標準調査・詳細調査に区分される。

11)標準調査

点検等により調査が必要と判断された場合に、まず優先的に実施する調査をいう。トンネル本体工を対象とする標準調査には、実施することが望ましい標準調査Aと状況に応じて実施の要否を判断する標準調査Bとがある（「表-1.3.4 標準・詳細調査の調査項目」参照）。

12)詳細調査

標準調査の結果、必要と判断された場合に、標準調査よりも精度のよい情報を得るために実施する調査をいう（「表-1.3.4 標準・詳細調査の調査項目」参照）。

13)判定区分

点検作業および調査で把握された変状に対し、今後の対応を段階的に定めた区分をいう。

14)判定基準

各変状の状態から「判定区分」を定めるために設けた基準をいう。

15)変状対策

トンネル変状に対して、本対策または応急対策により、覆工等の補修・補強を行うことをいう。

16)本対策

標準調査・詳細調査の結果、トンネル構造物としての安全性等の機能が低下し、対策が必要と判定された変状に対して、中～長期的にトンネルの機能を回復・維持することを目的として適用する補修・補強対策をいう。

17)応急対策

利用者被害を与えるような覆工コンクリートのうきやはく離、漏水等の変状が発見された場合、標準調査・詳細調査が実施されている期間や、本対策が実施されるまでの期間など、短期的にトンネルの機能を維持することを目的として適用する対策をいう。

18)応急措置

日常点検、異常時点検、臨時点検、定期点検の結果、利用者被害を与えるような覆工コンクリートのうき・はく離等の変状が発見された場合に、応急対策が実施されるまでの間、被害を未然に防ぐために講じられる措置をいう。応急措置には通行規制や応急的に行う、うき・はく離箇所等のハンマーでの撤去の措置などがある。

19)対策方針の検討

異常時点検、臨時点検、定期点検で「要対策」と判定されたトンネル覆工の変状に対し、点検記録に基づき現地確認を行い、変状原因を考察した上で、「応急対策」「本対策」の適用性を検討して、対象となる変状への対応を検討することをいう。

20)はく落防止対策

覆工コンクリートや覆工の補修材等の変状箇所で、覆工コンクリート等のうき、はく離、はく落等を防止し、または修復する対策をいう。

21)漏水対策

地下水がトンネル坑内側へ漏出することにより生じた、漏水、つらら、滞水等に対する対策をいう。

22)覆工背面空洞充填対策

覆工背面に残存する空洞に対し、それを裏込め注入により充填する対策をいう。

23)外力対策

覆工に地圧や水圧等の外力が作用して、覆工の変形やひび割れ等の変状が生じている場合に、覆工の耐荷力性能の向上、作用荷重の低減を目的として適用する対策をいう。

24)補修対策

覆工の変状箇所において、主に覆工の材質劣化や漏水によって低下した機能を回復・維持するために行う対策をいう。

25)補強対策

覆工の変状箇所において、主に覆工の構造的安全性を回復・維持するために行う対策をいう。

26)監視

応急対策を実施した箇所もしくは未対策の箇所の挙動を追跡的に調査することをいう。内容によっては日常点検で実施する場合から、詳細調査と同程度の内容が必要となる場合がある。

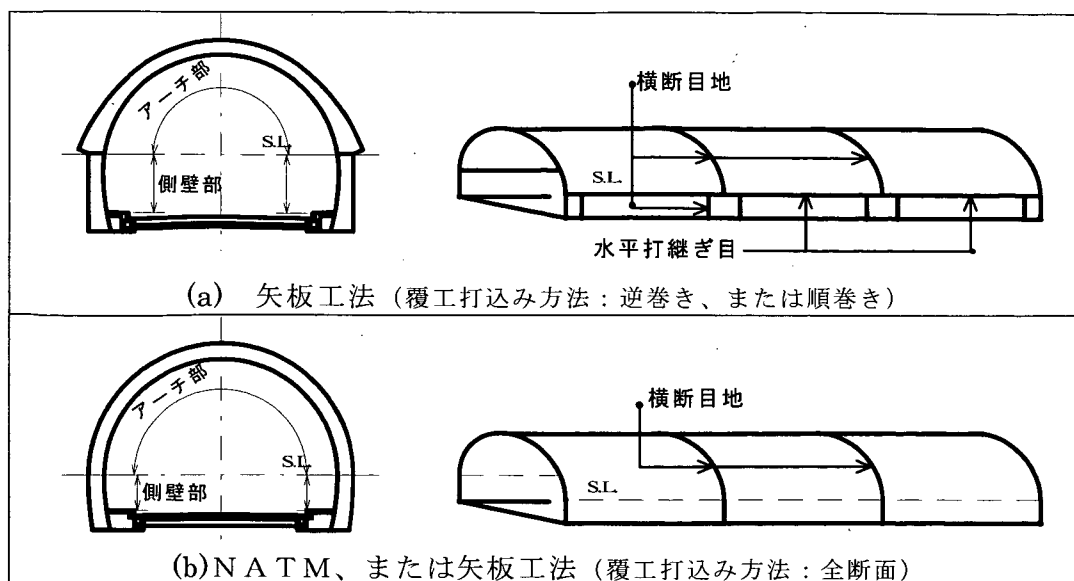


図-1.3.1 覆工部位説明図

表-1.3.1 日常点検の点検項目¹⁾

区 分	点検対象(注)
覆 工	はく落、漏水、つらら、側水
坑 門	はく落、つらら
内 装 板	破損
天 井 板	破損、漏水
排 水 設 備	滞水、側溝破損
舗 装 路 面	落下物、滞水、氷盤、路面・路肩変状

(注)点検対象は車上目視で確認できる程度のもので、小規模なものは除く。

表-1.3.2 定期点検の点検箇所と点検方法²⁾

点検箇所	変状の種類	点 検 方 法
覆 工	ひび割れ、段差	近接目視点検、打音検査
	うき、はく離、はく落	近接目視点検、打音検査
	傾き、沈下、変形	近接目視点検
	打継目の目地切れ、段差	近接目視点検、打音検査
	漏水、つらら、側水	近接目視点検、漏水量測定
	豆板やコールドジョイント部のうき、はく離、はく落	近接目視点検、打音検査
	補修材のうき、はく離、はく落	近接目視点検、打音検査
坑 門	ひび割れ、段差	近接目視点検、打音検査
	うき、はく離、はく落	近接目視点検、打音検査
	傾き、沈下	近接目視点検
	鉄筋の露出	近接目視点検、打音検査
	豆板やコールドジョイント部のうき、はく離、はく落	近接目視点検、打音検査
	補修材のうき、はく離、はく落	近接目視点検、打音検査
内装板	変形、破損	近接目視点検
天井板 (コンクリート製)	変形、破損	近接目視点検
	ひび割れ、段差	近接目視点検、打音検査
	うき、はく離、はく落	近接目視点検
	漏水、つらら	近接目視点検
舗装および 排水施設	滞水、氷盤、沈砂	近接目視点検
	ひび割れ、段差、変形	近接目視点検

表-1.3.3 異常時および臨時点検の点検項目¹⁾

区 分	徒歩目視
覆 工	ひび割れ、段差、うき、はく離、はく落、 横断目地の段差・目地幅拡大、水平打継 ぎ目のひび割れ 漏水、つらら、側氷
坑 門	ひび割れ、段差、うき、はく離、はく落 傾き、沈下、鉄筋露出、着色
内 装 板	変形、破損
天 井 板	変形、破損、漏水
舗装路面および排水設備	滞水、氷盤、沈砂、段差、 ひび割れ、路面・路肩変状

表-1.3.4 標準・詳細調査の調査項目（文献¹⁾掲載に一部追記）

調査対象		調査項目	標準		詳細	調査内容、使用機械
			A	B		
既存資料		資料調査	○		○	設計図書、施工記録、変状調査記録
気象		トンネル内外の気温調査			○	気温（温度計など）
地表面・地山		踏査	○			周辺地形・地質の観察、近接工事の調査
		地形・地質調査			○	地形、地質、地下水条件等
		地山挙動調査			○	地中変位、地すべり変位、傾斜測定
		地山試料試験			○	物理試験、力学試験
構造物・背面	全般	観察調査	○		○	覆工ひび割れ観察、漏水調査、クラック展開図（カメラ、巻尺、ノギス、ハンマーなど）
	ひび割れ	ひび割れ簡易調査	○			ひび割れ幅の変化、長さ（モルタルパット、機械式ひび割れ計、標点等）
		ひび割れ形状変化調査			○	幅、段差、深さの進行（電気式ひび割れ計、コアボーリング等）
	漏水	漏水水質試験			○	水温、水質化学分析、pH試験、電導度試験
	覆工巻厚	簡易ボーリング調査		○		巻厚、背面空洞、背面地山状況の観察（簡易ボーリング機等）
	覆工背面	覆工厚、背面地山調査			○	巻厚、背面空洞の測定、背面地山状況の観察（ファイバースコープ、ボアホールカメラ、地下レーダー等）
	材質	簡易覆工強度調査	○			打診（ハンマー、コンクリートテストハンマ）
		覆工強度調査		○		強度試験（コアボーリング等）
		覆工コンクリート材質試験			○	強度、中性化、アルカリ骨材反応、鉄筋の劣化調査等
	形 状	簡易トンネル断面測定		○		トンネル断面測定（メジャーボール等）
		覆工断面の形状変化調査			○	内空断面測定、内空変位測定、（投影式、レーザー式、コンバージェンステープ等）
		トンネル内の測量			○	路面や監査廊等の高さ、（レベル、トランシット等）
	荷重	覆工応力、背面土圧			○	覆工応力、背面圧力（ひずみ計、土圧計）
その他		補強工検討のための調査			○	ゆるみ領域調査、補強工の効果判定調査など（ボーリング、孔内検層、坑内弾性波探査等）

1.4 対象となる変状

以下に、道路トンネルの覆工に発生する主な変状現象のうち、本マニュアルで対象となるはく落、漏水、覆工背面空洞に関する変状を整理する。

1.4.1 はく落、漏水に関する変状

(1) 変状の種類と点検での判定区分

本マニュアルにおいて「はく落防止対策」および「漏水対策」に関して取り扱う変状は、表-1.4.1に示す判定区分に従って、変状の発生原因（外力、材質劣化、漏水、その他）に係わりなく、トンネルを通行する車両に対する危険の有無を基準として「判定区分A」および「判定区分B」とされた変状とする。

なお、「判定区分S」の変状に対しては日常点検による管理を行うことにより、一連の変状に関する対応が完了する手順となる。

表-1.4.1 点検結果の判定区分²⁾

判定区分 ^{注)}	判 定 の 内 容
A	変状が著しく通行車両の安全を確保できないと判断され、応急対策を実施した上で補修・補強対策の要否を検討する標準調査が必要な場合
B	変状があり、応急対策は必要としないが補修・補強対策の要否を検討する標準調査が必要な場合
S	変状はないか、あっても軽微で応急対策や標準調査の必要がない場合

注) 判定区分の具体的な内容は下記のとおりである。

- A：利用者被害の可能性がある変状であり、うき・はく離箇所をハンマー等で撤去する応急措置が講じられたとしても、今後も利用者被害の可能性が高く、はく落防止対策等の応急対策を実施した上で、補修・補強対策の要否を検討する標準調査が必要な場合（打音検査で濁音はあるものの、うき・はく離箇所をハンマー等で撤去できない場合もあるが、利用者被害の可能性があると判断されるものは、はく落防止対策などの応急対策を必要とするA判定とする）
- B：利用者被害の可能性は低い変状で、はく落防止対策等の応急対策は必要としないが、今後変状が進行すると利用者被害の可能性が考えられ、補修・補強対策の要否を検討する標準調査が必要な場合
- S：S判定は以下に示すような状況である。
- ①変状はなく、特に問題のない場合
 - ②軽微な変状で進行性や利用者被害の可能性はなく、特に問題がないため応急対策も標準調査も必要ない場合
 - ③軽微なうき・はく離箇所であるが、ハンマー等で撤去する応急措置が講じられたため、利用者被害の可能性はなく、特に問題がないため、はく落防止対策等の応急対策や標準調査の必要ない場合

上記判定区分で、「判定区分A」および「判定区分B」に関する、はく落、漏水の変状状態を表-1.4.2に整理する。なお「判定区分S」の変状については省略した。

表-1.4.2における番号1から4までがはく落に関する変状であり、番号5が漏水に関する変状である。

表-1.4.2 本マニュアルで対象とするはく落、漏水に関する変状

番号	変状の種類 ^(注)	判定区分 A	判定区分 B
1	覆工コンクリートのひび割れ	急激にひび割れが進行しており、ブロック化して落下する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合	天端や肩部で幅 3mm 以上、延長方向に 5m 以上の規模を有する場合、またはひび割れが多い場合
2	覆工コンクリートのうき、はく離、はく落	コンクリートのはく離・はく落が発見された場合、あるいは、うきの部分がはく落する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合 (コールドジョイント、豆板の周囲ではく離、はく落が発見された場合も含む)	はく落に結びつく、うき(圧ぎ)が発見された場合
3	打継目の目地切れ、段差	目地のずれ、開き、段差などにより止水板や目地モルタルが落下し、引き続きその可能性があり交通の支障となるおそれがある場合	左記の場合で交通に支障のない場合
4	既設補修・補強材のうき、はく離、はく落	補修された箇所ではく離、はく落が発見された場合、あるいはうきの部分がはく落する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合	左記の場合で交通に支障のない場合
5	漏水、つらら、側水	大規模な漏水・つらら・側水で交通に支障がある場合	左記の場合で交通に支障のない場合

注)変状の種類では「点検要領(案)」で記述されている種類のうち、外力に係わる変状として「傾き、沈下、変形」に関しては除外している。

(2) はく落、漏水に関する変状の原因

本マニュアルにおいて、特に「はく落防止対策」「漏水対策」を検討する際には、変状の状態から原因を考察することが重要となる。「便覧」では変状原因を「外力」「材質劣化」「その他」に大別して取り扱っている。

しかし変状現象と変状原因は必ずしも一対一で対応するものではなく、点検時に確認できる覆工表面に現れる変状現象のみで、変状原因を特定することは困難な場合が多いのも事実である。

ここでは変状原因を考察する際に参考となるように、変状現象と変状原因との概略的な関係を整理する。なお、各変状原因とそれに伴う変状現象の詳細に関しては「便覧」もしくはそれを要約した「付属資料－1 トンネルの変状原因と特徴」を参考にされたい。

1) 覆工コンクリートのひび割れ

a) ひび割れの変状原因と特徴

覆工コンクリートにひび割れが発生している場合に、考えられる主な変状原因とそれに対応したひび割れの特徴を表-1.4.3に整理した。特に「はく落防止対策」「漏水対策」を検討する際には、対象とするひび割れが外力に起因するか、材質劣化に起因するかを推定することが重要になる。

変状原因毎の特徴は表-1.4.3に示すとおりであるが、一般的に外力に起因するひび割れは以下の特徴を有している場合が多い。

- ① 横断目地・水平打継ぎ目をまたいで、ひび割れが連続している（コンクリートの打込み時期が個々に異なるにもかかわらず、連続してひび割れが発生している場合は、覆工構築後に外力が作用している可能性が高い）。
- ② 卓越する方向性を持った連続するひび割れがあり（並行して複数、ひび割れが発生する場合もある）、その近傍で、場合によっては外力作用に伴い覆工が変形している徴候（横断目地の段差・目地幅拡大、水平打継ぎ目の段差・ひび割れ等）が確認される。
- ③ ひび割れの形態が、開口量が大きい（数 mm 以上）引張ひび割れか、もしくはせん断ひび割れ、圧縮ひび割れとなっている。

b) 注意を要するひび割れ

「判定区分A」となる覆工コンクリートのひび割れは、「急激にひび割れが進行しており、ブロック化して落下する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合」である。

このような状態はひび割れが複合して、あるいはひび割れとコールドジョイント、横断目地、水平打継ぎ目とが組み合わさって、覆工コンクリートの一部がブロック状に分離して落下する、あるいはその恐れがある状態であり「はく落防止対策」上、特に注意を要するひび割れとして認識しておく必要がある。

上記のような覆工コンクリートのブロック化に関し、その一例を写真-1.4.1に示す。

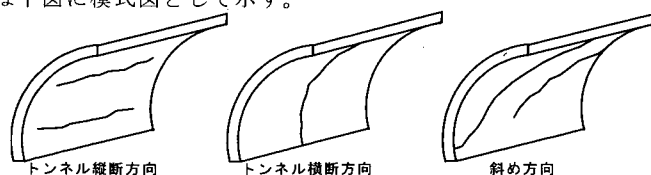
表-1.4.3 ひび割れの原因と特徴

原因	ひび割れの主な変状 原因 ^{注1)}	特 徴											備 考	
		ひび割れ形態												
		主な発生位置					主な方向 ^{注2)}							
		アー チ 天 端 部	アー チ 側 壁 部	側 壁 部	位 置 は 問 わ な い	そ の 他	ト ン ネ ル 縦 断 方 向	ト ン ネ ル 横 断 方 向	斜 め 方 向	そ の 他	特 徴			
外力	緩み土圧	○	△				○					主に引張りひび割れが発生		
	突発性の崩壊	△								△		集中荷重の場合は放射状ひび割れ発生	覆工にひび割れが発生しない場合もある。	
	偏土圧・斜面爬行		○				○		△			主に引張り、せん断ひび割れ	覆工の変形、横断目地の段差、水平打継ぎ目のひび割れ等が発生する場合がある。	
	地すべり				○					○		すべり面位置との関係で形態が異なる。		
	膨張性土圧	△	○	△			○		△			主に引張りひび割れ	盤ぶくれが発生する場合もある。泥岩、断層等膨張性地山に多い。	
	支持力不足	○ ^{注3)}						○	△			水平打継ぎ目をまたいで発生	路面に横断方向ひび割れが発生する場合がある	
	水圧・凍上圧	△	○	△			○		△			主に引張りひび割れ	漏水（跡）が発生している場合もある。	
材質劣化	凍害				○					○		亀甲状ひび割れ	スケールが発達する場合もある。漏水（跡）が見られる。	
	塩害、鉄筋腐食、				○					○		R C覆工で、方形状ひび割れが発生	錆び汁が発生している場合がある。	
	アルカリ骨材反応				○					○		不規則な引張りひび割れ	漏水が多い箇所で行進している場合がある。	
	使用材料				○					○		不規則で微細なひび割れ		
	施工方法	急激な打込み、型枠早期脱型				○		○					横断目地で消失	
		型枠の過度な押し上げ	○	△							○		横断目地近くで三日月形のひび割れ発生	
		打込み不足	○	△							○		横断目地近くで巻厚が不足してひび割れ発生	巻厚不足による打音異常がある。
		コンクリートジョイント				○		△		○			打込み跡と一致する不連続面	不連続面で豆板が発生する場合もある。
		温度・乾燥収縮（外気と地山の温度差）	○ ^{注4)}					△	○				アーチ中央付近に発生（水平打継ぎ目で消失）	固化中にコンクリートの体積収縮が大きい場合に地山に拘束されて発生する。

○：主に発生する、△：場合によって発生する

注1) 変状原因の区分は「便覧」を参考にしている。

注2) ひび割れの方向は下図に模式図として示す。



注3) 横断または斜め方向のひび割れが側壁からアーチ天端にかけて連続して発生する。路面にもひび割れが発生している場合がある。

注4) 横断方向のひび割れがアーチ部または側壁部で発生するが、水平打継ぎ目を境に消失する。路面にはひび割れは発生しない。

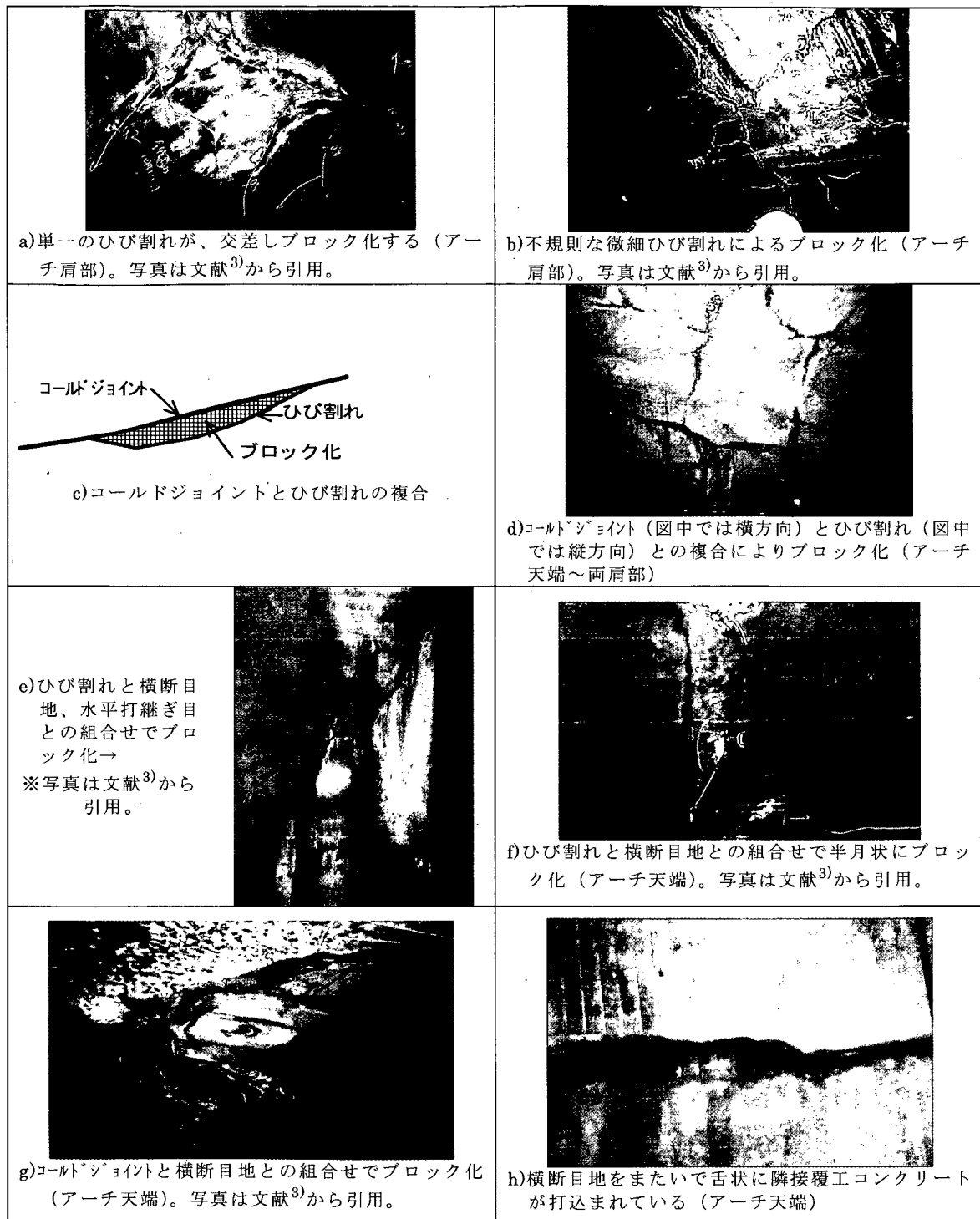


写真-1.4.1 覆工コンクリートのブロック化事例

2) 覆工コンクリートのうき、はく離、はく落

ひび割れに起因せず、材質劣化に伴って発生した覆工コンクリートのうき、はく離、はく落について、考えられる主な変状原因とそれに対応した特徴を表-1.4.4に整理する。

表-1.4.4 うき、はく落の主な原因と特徴

主な原因 ^{注1)}		特 徴	備 考
材質劣化	凍害	ポップアウト ^{注2)} 、スケール ^{注2)}	寒冷地で漏水がある場合に良くみられ、ポップアウトは骨材の品質が良くない場合に、スケールはコンクリートのペースト部分が劣化するものである。
	塩害	コンクリートの多孔質化	海岸に近いトンネル
	有害水	漏水箇所でのコンクリート劣化、遊離石灰の溶出等	温泉・鉱床地帯中のトンネルで強酸性水が流出している場合等
	使用材料 (低品質骨材、有害鉱物の含有、アルカリ骨材反応)	ポップアウト ^{注2)}	・主に寒冷地に発生。 ・非寒冷地の場合にまれにアルカリ骨材反応等によって発生。
	施工方法		
	不均質なコンクリート打込み	豆 板	
	型枠の設置不良	横断目地をまたいで舌状に隣接覆工コンクリートが打込まれている状態	写真-1.4.1 h) 参照

注1) 「便覧」 p.44～58、1-3 変状の原因および特徴を参考に行っている。

注2) 寒冷地における変状形態を図-1.4.1に示す。

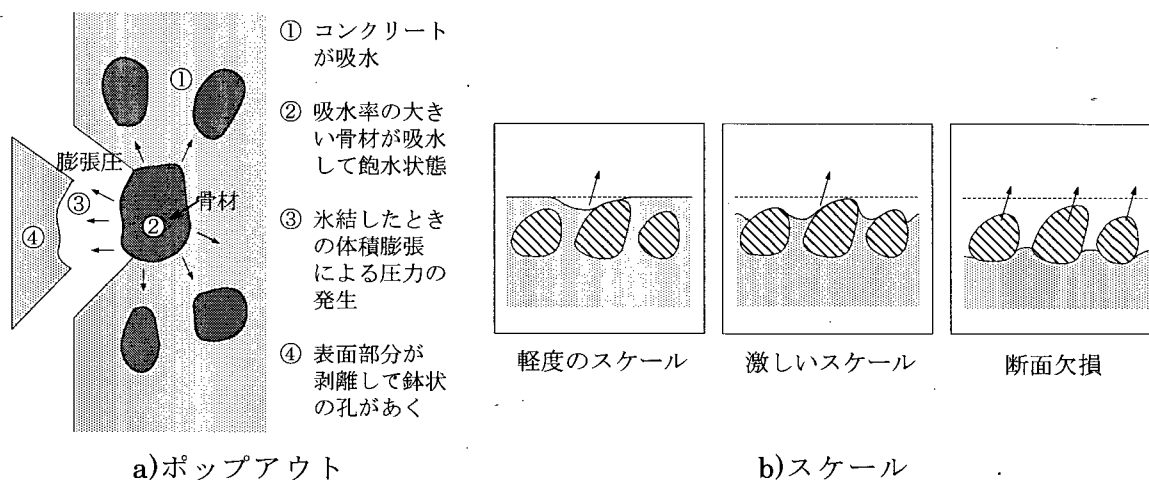


図-1.4.1 ポップアウト、スケール

3) 打継ぎ目の目地切れ・段差

覆工コンクリートの水平打継ぎ目や横断目地に発生する変状現象に関し、原因別の特徴を表-1.4.5に整理する。

表-1.4.5 打継ぎ目の目地切れ、段差の原因と発生状況の特徴

原 因 ^{注1)}		特 徴 ^{注1)}
外 力		・横断目地、水平打継ぎ目の延長上で、近傍のアーチ・側壁部・路面に外力に起因すると考えられるひび割れが発生している場合がある。 ・トンネル外の地表部で、偏圧地形、地すべり地形等を呈している場合がある。
材質劣化	施工方法	・施工時の型枠設置不良、あるいはコンクリートの気温変動に伴う膨張・収縮に起因して発生したと考えられる水平打継ぎ目の「迫め」部のひび割れ、段差、横断目地部の段差等で、近傍に外力に起因すると考えられるひび割れは認められない。

注1) 「便覧」 p.20～58、1-3 変状の原因および特徴を参考に行っている。

4) 既設補修・補強材の変状

既設の覆工補修・補強材に発生する変状の特徴を表-1.4.6に整理する。

表-1.4.6 既設補修・補強材と変状現象

原因	既設補修・補強材				
	はく落防止対策、外力対策 ^{注1)}			漏水対策 ^{注1)}	
	鋼材系	F R P系	セメント系	導水材	止水材
原因	金網工、当て板工（鋼板、形鋼） 鋼板内巻工、鋼材内巻工	ネット工、当て板工・内面補強工（FRPパネル、繊維シート）	断面修復工、塗布工、吹付け工、場所打ち工、フレキスト工	導水樋工、溝切り工、防水パネル工、防水塗布工	止水充填工（Vカット充填）
外力	近傍の覆工に外力に起因すると考えられるひび割れ、覆工変形、横断目地の段差・目地幅拡大、水平打継ぎ目のひび割れ等が発生 ・金網、ネット工の網目の伸張 ・鋼材、FRPパネルの変形、浮き上がり、固定ボルト破断 ・繊維シート系材料のひび割れ沿いのうき、破断				
材質劣化	鋼材の発錆による固定不良、欠損	当て板工、内面補強工からの局所的な漏水と、漏水個所での補修・補強材のはく離等	材質劣化に起因すると考えられるひび割れ、うき、はく離、はく落が発生	材料自体あるいは固定材が材質劣化している状態	充填材料が欠損しているが、他に異常が認められない場合

注1) 対策工分類は表-1.5.1 参照

5)漏水に関する変状

漏水に関する変状については、漏水そのものが問題となる場合と、漏水に伴って二次的に変状が発生する場合（土砂流入、噴泥、沈砂、滞水、石灰分の溶出、つらら、側氷、氷盤）とがある。また漏水が他の変状現象の原因となっている場合（土砂流入に伴う覆工周辺地山の空洞化、寒冷地での凍害等）もある。

以下に漏水の変状現象と変状原因を整理する。

a)漏水量による変状現象の分類

漏水量による変状現象の分類を表-1.4.7 に示す。同表では漏水量と漏水状態により4つに区分している。本マニュアルでは対策工法を考える上で、漏水量を多量・少量の2つに区分して取り扱うものとする。

表-1.4.7 漏水状態の分類（文献¹⁾ 掲載を一部加筆修正）

漏水量区分	多 量		少 量	
漏水状態	①噴出 多量に吹き出している	②流下 流れ出している	③滴水 滴下している	④にじみ にじみ出している
模式図				

b)漏水形態の分類

漏水は漏水発生個所での漏水形態から、大別して線状と面状の漏水に分類される。それぞれの漏水形態を表-1.4.8 に示す。

表-1.4.8 漏水箇所による漏水形態の分類

漏水発生箇所	漏水発生箇所での漏水形態	漏水形態分類
アーチ、側壁	複数ひび割れからの漏水	面状
	豆板等覆工の材質劣化部分からの漏水	
	単一ひび割れからの漏水	
横断目地	横断目地からの漏水	線状
水平打継ぎ目	水平打継ぎ目からの漏水	

c) 漏水原因の分類

山岳工法による道路トンネルは一般に、覆工背面から排水溝・排水管に地下水を導いて排水させる構造となっている。トンネル坑内に漏水が発生する原因は、トンネルの防水・排水機能が損なわれた場合、あるいは排水能力が不足する場合である。またこれらの原因は、トンネルの建設工法（NATM、矢板工法）によっても異なる。表-1.4.9に、これら原因の詳細を整理する。

表-1.4.9 トンネル建設工法と漏水原因の分類

建設工法 漏水原因の分類	NATM	矢板工法
防水機能の低下	・ 防水シートの破損 （材質劣化、施工時の破損、供用中の覆工変形に伴う破損）	・ 覆工コンクリートのひび割れ、材質劣化、コールドジョイント（不連続面）等 ・ 横断目地で設置された止水板の劣化、破損 ・ 水平打継ぎ目の存在（構造的に遮水性が確保できない）
排水機能の低下	・ 横断排水管、中央排水管内の堆砂、破損等	・ 裏面排水材（側壁）の目詰まり ・ 排水側溝、中央排水管内の堆砂、破損等
排水能力の不足	・ 流入する地下水の水量に対し排水能力が不足（排水管等の通水能力の不足、中央配水管の未設置等）	

d) 注意を要する漏水現象

漏水が多量に発生している場合で、トンネルの安全性に影響を与える恐れがあり、注意を要する変状現象を下表に整理する。

表-1.4.10 注意を要する漏水の変状現象

漏水現象	説明
漏水に濁り、土砂流出が認められる場合	地山に空洞が拡大している恐れがある。 （覆工表面や歩道部に漏水が流下して、これに坑内の粉塵・土砂が吸着して、一見、土砂が流出しているように見える場合があるため、これと区別して判断する必要がある）
急激に漏水量が増えた場合 多量漏水が恒常的に持続する場合	漏水量増加の原因が明らかな場合（季節変動、融雪、豪雨で漏水を繰り返す場合）を除き、その原因を確認する必要がある。
NATMで施工されたトンネルで、漏水箇所近傍の覆工に外力に起因すると推定されるひび割れの変状等が発生している場合	基本的にNATMでは覆工に外力は作用しないため、左記現象が確認される場合、外力（水圧等）が覆工に作用している可能性がある。
路面、路肩、および側溝で、噴泥、沈砂、滞水、自噴が発生している場合	トンネル排水機能が低下し、周辺で地下水が滞水している恐れがある。

1.4.2 覆工背面空洞に関する変状

本マニュアルにおいて、覆工背面空洞に関して取り扱う変状は、標準調査・詳細調査の結果、覆工背面に空洞が残存することが判明し、表-1.4.11に示す太枠で示される「判定区分3A、2A、A」とされた変状とする。

覆工背面空洞は一般に、はく落や漏水に関する変状と異なり、覆工コンクリート表面には変状が確認されないことが多い。覆工背面空洞の存在とトンネル変状の関係については、「4.1.1 覆工背面空洞とトンネル変状との関係」を参照されたい。

表-1.4.11 判定区分の内容¹⁾

判定区分	変 状 の 状 態
3 A	変状が大きく、通行者・通行車両に対して危険があるため、直ちに何らかの対策を必要とするもの
2 A	変状があり、それが進行して、早晚、通行者・通行車両に対し危険を与えるため、早急に対策を必要とするもの
A	変状があり、将来、通行者・通行車両に対して危険を与えるため、重点的に監視をし、計画的に対策を必要とするもの
B	変状がないか、あっても軽微な変状で、現状では通行者・通行車両に対して影響はないが、監視を必要とするもの

1.5 対象とする対策工

1.5.1 期待する対策効果からみた対策工

- (1) 各種のトンネル変状対策工については、期待する対策効果の点から「外力対策」「はく落防止対策」「漏水対策」の3つに区分を行った。

表-1.5.1に、対策工毎に3つの対策効果のうち主として効果を期待するものに○、副次的に効果があるものに△を付けて整理した。

- (2) 本マニュアルでは、表-1.5.1で期待する対策効果の欄で「はく落防止」「漏水」に○が付けられているものについて、対策工の選定、設計・施工方法の考え方について記述する。

外力対策を主目的として効果を期待するもの、およびその他の対策工の選定、設計・施工方法などについては、「便覧」並びに各参考文献（付属資料－3参照）の記述に従うものとする。

- (3) 「覆工背面空洞充填対策」の裏込注入工に期待する対策効果は「外力対策」であるが、本マニュアルで取り扱うものとする。

1.5.2 「応急対策工」と「本対策工」

本マニュアルでは、「はく落防止対策」ならびに「漏水対策」についてはさらに、以下に示すように「応急対策工」と「本対策工」を規定し、分類するものとする。

- (1) 「はく落防止対策」「漏水対策」それぞれの変状対策工を、即応性が高く標準調査・詳細調査を妨げない工法とそれ以外の工法とに区分し、前者を「応急対策工」、後者を「本対策工」とする。

表-1.5.1 トンネル変状対策工の分類と対策効果

期待する対策効果 ^{注1)}			対策区分	対策工法	
外力	はく落防止	漏水			
	○		はく離部の事前除去対策	はつり落とし工	
	○		はく落除去後の処理対策	断面修復工	
	○		覆工の一体性の回復対策	ひび割れ注入工	
	○		支保材による保持対策	金網・ネット工	金網工、エキスパンドメタル工
					FRP ^{注2)} グリット工、樹脂ネット工
				当て板工	形鋼系(平鋼、山形鋼、溝型鋼)当て板工
					パネル系(鋼板、FRP ^{注2)} 板)当て板工
					繊維シート系 ^{注3)} 当て板工
				補強セントル工	鋼アーチ支保工
○	△		覆工内面の補強対策	内面補強工	鋼板内面補強工
					繊維シート ^{注3)} 内面補強工
					FRP ^{注2)} パネル内面補強工
				内巻補強工	塗布工
					吹付け工
					場所打ち工
					プレキャスト工法
					鋼材(ライナープレート等)内巻補強工 ^{注4)}
		○	漏水対策	線状の漏水対策工	導水樋工
					溝切り工
					止水充填工(Vカット充填)
					止水注入工(ひび割れ注入)
				面状の漏水対策工	防水パネル工
					防水シート工
					防水塗布工
△水圧凍上圧				地山注入工	薬液注入工
				地下水水位低下工	水抜きボーリング、水抜き孔
○凍上圧		△	凍結対策	断熱工	線状・面状漏水対策の導水材に断熱材を適用
					表面断熱材処理工法、2重巻断熱材処理工法
○			覆工背面の空洞充填対策	裏込め注入工	エアモルタル、エアミルク
					可塑性型エアモルタル、可塑性型ポリマーセメント
					モルタル、セメントベントナイト
					発泡ウレタン
○	△		地山への支持対策		ロックボルト工
○	△	△	覆工改築対策	部分改築工	アーチ部、側壁部
				全面改築工	インバート新設
					NATM改築

注1) ○：対策の主目的として効果を期待するもの、△：対策を行うことで同時に効果が期待できるもの

注2) FRP: Fiber Reinforced Plastic

注3) 現在トンネル覆工の補修・補強に使用されている繊維材料には、炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維がある。

注4) 補強セントル工に対し鋼材内巻工は、ライナープレート等(鋼アーチ支保工と組み合わせる方法もある)を覆工内空側に設置し、鋼材と覆工面の間にエアモルタル等を充填し、両者の一体化を図る工法であり、工法分類では両者を区分している。なお補強セントル工に吹付け工または場所打ち工を組合せて内巻補強を行う場合もある。

注5) 本マニュアルでは表中、太枠内の対策工法に関し記述している。

- (2) 「表-1.5.2「応急対策工」と「本対策工」が有すべき特徴」に示すように「応急対策工」は即応性を必要とし、標準調査・詳細調査を妨げない工種であることが要求されるが、対策効果や耐久性に関しては限定的、短期的で良いという特徴を持つ。
- (3) 一方、「本対策工」は、即応性は必要としないが、対策効果や耐久性に関しては本質的、中長期的なものである必要がある。また「本対策工」は標準調査・詳細調査実施後に施工されるため、これら調査への影響を考慮しなくても良いという特徴を持つ。

表-1.5.2 「応急対策工」と「本対策工」が有すべき特徴

	即応性	対策効果・耐久性	標準・詳細調査への影響
「応急対策工」	必要	限定的・短期的でよい	調査を妨げないことが必要
「本対策工」	特に必要としない	本質的・中長期的であることが必要	影響の有無を問わない

1.6 変状対策実施手順

1.6.1 はく落防止対策、漏水対策

- (1) 異常時点検、臨時点検、定期点検の結果、「判定区分A」と判定されたはく落、漏水関連の変状に対しては「応急対策」が行われる。
- (2) ただし、点検結果で「判定区分A」とされた変状の中には、過去の点検記録などの資料収集や現地確認のみで変状の原因や範囲が特定でき、適切な対策が取れるものがある。そのような変状については「応急対策」や標準調査を省略して直接「本対策工」を実施した方が交通規制の回数を減らすことができる等の利点が多く、トンネルの維持管理において合理的であると考えられる。

このような考え方から本マニュアルでは、図-1.6.1に示すように「判定区分A」とされた変状に対し対策工を実施する際に、対策工の設計者が資料収集や現地確認を行うことにより変状原因・範囲を特定できるかどうか検討し、「応急対策」・「本対策」のどちらを実施することが合理的かを判断する手順を「対策方針の検討」と名付け、対策工の実施手順に盛り込んだ。

- (3) なお、はく落と漏水が同時に発生している場合については、それぞれの「対策方針の検討」結果でどちらか一つでも「応急対策」と決まった場合には、他方についても「応急対策」を行うものとする。
- (4) 「判定区分A」とされた変状は、通行車両の安全が確保できない変状であり、「応急対策工」または「本対策工」のいずれを実施するにせよ、うき・はく離がある場合は「応急措置」（ハンマー等による撤去）が実施されていることを前提とする。
- (5) 上記「対策方針の検討」も含め、異常時点検、臨時点検、定期点検を受けて「判定区分A」および「判定区分B」と判定された「はく落防止対策」「漏水対策」に関する実施手順を、図-1.6.1に整理して示す。

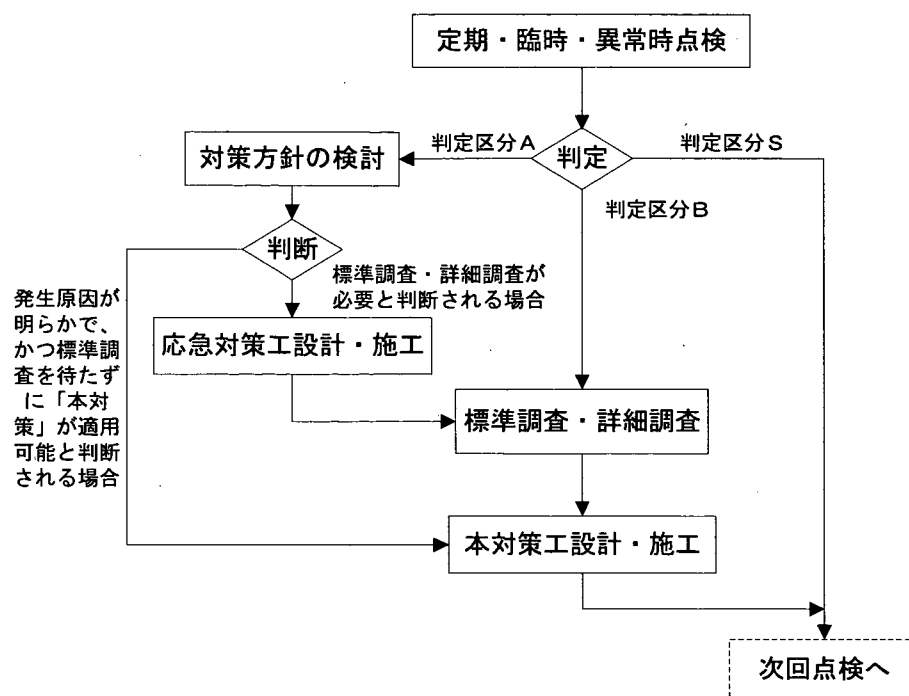


図-1.6.1 「はく落防止対策」、「漏水対策」の実施手順

1.6.2 覆工背面空洞充填対策

「覆工背面空洞充填対策」は、「はく落防止対策」「漏水対策」と異なり、標準調査・詳細調査の結果、判定区分3A、2A、A（表-1.4.11参照）と判定された変状に対し実施される。「覆工背面空洞充填対策」における「対策方針の検討」では、対策が必要な区間毎の優先度、他の外力対策・漏水対策の併用やそれらへの影響等について総合的に検討する。

「覆工背面空洞充填対策」の、標準調査・詳細調査以降における対策実施手順を図-1.6.2に示す。

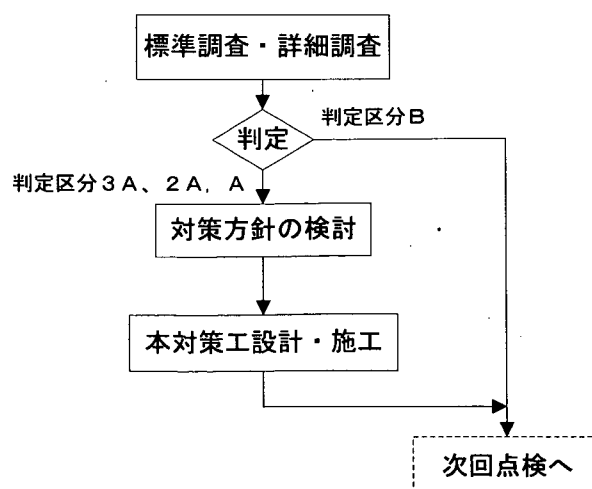


図-1.6.2 「覆工背面空洞充填対策」の実施手順

【参 考 文 献】

- 1) (社) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧、平成 5 年 11 月
- 2) 国土交通省道路局国道課：道路トンネル定期点検要領（案）、14 年 4 月
- 3) 国土交通省道路局国道課：道路トンネル定期点検要領（案）（参考資料）、14 年 4 月

2. はく落防止対策編

2.1 はく落防止対策の概要

2.1.1 はく落防止対策の適用

「はく落防止対策」が必要とされるのは、覆工コンクリートや覆工の補修材・補強材にうき、はく離等が発生する場合であるが、その原因には外力によるものと材質劣化によるもの、その他どちらか不明なものなどがある。

外力によるもの、またはその他どちらか不明なものについては、点検記録等の資料収集や現地確認のみで変状の原因や範囲を特定できないことから、道路トンネルの標準的な維持管理手順に従って「応急対策」を行い、標準調査・詳細調査を実施して変状原因等を把握した上で「本対策」を適用する手順とする。

従って「応急対策」には、直ちに変状に対して対処できる即応性があると同時に、標準調査・詳細調査を妨げないという特性が要求される。また、「はく落防止対策」の効果には「落下防止」と「変状拡大防止」があり、「応急対策」にはこのうちの「落下防止」の効果は必ず必要であるが、「変状拡大防止」の効果については必ずしも要求されないことになる。

一方、材質劣化によることが明らかな場合においては、変状の種類によっては標準調査・詳細調査を実施するまでもなく変状原因等が把握でき、「応急対策」や標準調査・詳細調査を省略して直接「本対策」を実施する方が合理的な場合がある。

このような考え方にに基づき、本マニュアルでは「判定区分A」と判定された変状に対して、対策工の設計者が「対策方針の検討」によって「応急対策」もしくは「本対策」のいずれを適用するかを判断し、適切な「はく落防止対策」を適用することを基本方針としている。

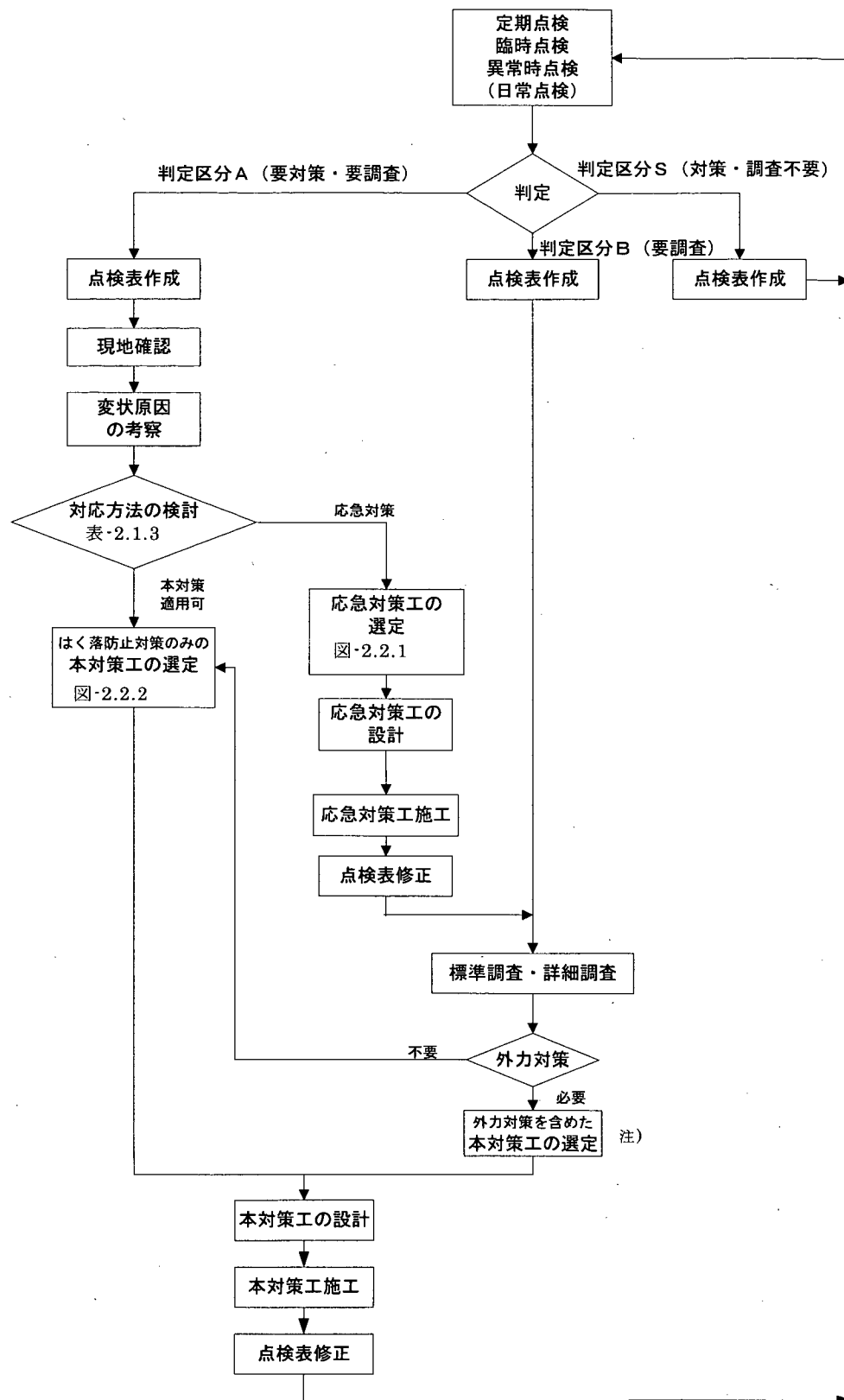
なお、以上の基本方針に基づいて「はく落防止対策」を適用する場合、「応急対策」と「本対策」とでは、対策工法に要求される特性や効果が異なる。これらを整理して表-2.1.1に示す。

表-2.1.1 対策工法に要求される特性・効果

特性 対策区分	即応性	はく落防止の効果		対策実施後に 標準調査・詳細調査 が可能
		落下防止	中～長期的な 変状拡大防止	
応急対策	必要	必要	特に必要でない	必要
本対策	特に必要でない	必要	必要	特に必要でない

2.1.2 はく落防止対策工の実施手順

定期点検他の判定結果に基づいて「はく落防止対策工」を実施する際の作業区分、作業責任、作業手順を図-2.1.1に示す。



注) 外力対策工の選定は「便覧」等に基づいて行う。

図-2.1.1 点検による判定区分別の「はく落防止対策」実施手順

2.1.3 対策方針の検討

「判定区分A」と判定された変状に対して、対策工の設計者が対象となる変状に関する「はく落防止対策」について「応急対策」を実施し、それに続く標準調査を行うか、標準調査を待たずに「本対策」を実施するかについての対応方法を検討するプロセスが「対策方針の検討」である。「対策方針の検討」は、以下に示す手順で実施する。

- ① 現地確認
- ② 変状原因の考察
- ③ 対応方法の検討

(1) 現地確認

1) 目的

現地確認は、対策工の設計者が対象変状に対し、変状原因の考察ならびに対処方針の検討を行う上で必要となる変状規模等の情報を把握するために実施する。

2) 方法

対策工の設計者は変状を近接目視し、寸法計測、打音検査等によって表-2.1.2に示す項目を確認し、変状箇所の覆工展開図等を作成して必要事項を記載する。

表-2.1.2 現地確認時の確認項目

確認項目	内容	目的
変状規模	面積および形状	対策規模の確定
変状位置	距離程、アーチスパン番号、路面からの高さ、横断目地・水平打継ぎ目からの離隔、照明設備等からの離隔等	対策工の配置計画
変状の形態	ひび割れの形態（引張、せん断、圧縮）、材質劣化の有無、横断目地の段差・目地幅拡大、水平打継ぎ目の段差・ひび割れ	変状原因の考察
漏水状態	漏水（跡）の有無、漏水量、漏水の濁り・土砂流出の有無、つらら・側氷・氷盤の有無等	同上 漏水対策の計画
変状箇所周辺の覆工の状態	周辺での他の変状の有無、材質劣化状態、覆工の品質・巻厚の状態（打音検査による確認）等	支持材の固定条件確認
対策工施工時の支障物の有無	換気設備、照明ケーブル、内装版等	対策工の配置計画 施工条件の確認

(2) 変状原因の考察

対策工の設計者は現地確認で得られた情報に基づき変状原因を考察する。

変状原因の考察は「1.4.1(2) はく落、漏水に関する変状の原因」、「便覧」の「1-3 変状の原因および特徴」、もしくはその内容を要約した「付属資料－1 トンネルの変状原因と特徴」等を参考に行う。

なお変状原因を考察するための情報が不足する場合、あるいは変状原因が複数考えられ明確な判断ができない場合は、あえて変状原因を特定する必要はない。

(3) 対応方法の検討

対策工の設計者は、変状原因の考察結果に基づいて、表-2.1.3に示す区分に従って、

「応急対策」または「本対策」のいずれを適用するかについての「対応方法の検討」を行うものとする。

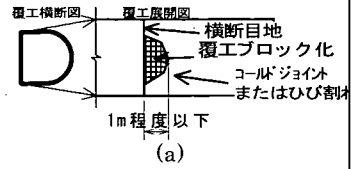
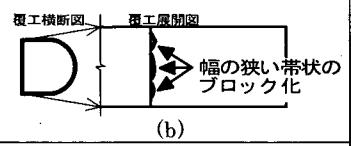
「判定区分A」と判定されたはく落に関する変状に対し、「本対策」を適用できる場合は以下の条件を満たす場合とする。

- ① 変状原因が変状形態によって判別できる。
- ② トンネルの構造的安定性を損なう重大な変状ではなく、比較的軽微な対策が適用できる。
- ③ 標準調査・詳細調査の結果に係わらず、対策が一義的に決定できる。

上記の考え方に基づいて、本マニュアルでは下記に示す変状に関して「本対策」を適用できるものとし、その具体的な分類を表-2.1.3にまとめた。

- ① 覆工コンクリートに発生するひび割れのうち、横断目地周辺に限定的に発生するひび割れ（横断目地とひび割れが半月状もしくは帯状にブロック化したもの）
- ② 「覆工コンクリートのうき・はく離」、「止水板・目地モルタルの落下」のうち、凍害によるスケール、施工に起因する豆板によるもの
- ③ 補修材の材質劣化・車両破損によるもの

表-2.1.3 「判定区分A」の変状に対する「応急対策」「本対策」の適用判定区分

番号	変状の種類	はく落に関する変状分類		応急対策適用	本対策適用
		変状原因	変状形態		
①	覆工コンクリートのひび割れ	横断面目地の施工方法	型枠の過度な押し上げ 打ち込み不足 型枠設置不良 コールトジョイント (①-1)横断面目地とコールトジョイント、あるいはひび割れとで閉合された半月状ブロック (トンネル延長方向 1m 程度以下×周長方向 8m 程度、面積 4 m²程度以下の覆工ブロック化箇所、右図(a)参照) もしくは横断面目地沿いの幅の狭い帯状のブロック化箇所 (右図(b)参照)  		○注1)
		上記以外	(①-2)上記以外でひび割れが複合して、あるいはひび割れとコールトジョイント、横断面目地、水平打継ぎ目が複合して、覆工コンクリートがブロック化した状態	○	
②	覆工コンクリートのうき、はく離、はく落	凍害	(②-1)スケールの発達（寒冷地で漏水個所に発生）		○注1)
		不均質なコンクリート打ち込み	(②-2)豆板の形成		
		上記以外	(②-3)上記以外の覆工コンクリートのうき、はく離（ひび割れ沿いのうき・はく離も含む）	○	
③	打継ぎ目地の切れ、段差	凍害	(③-1)スケールや豆板の形成によって止水板（横断面目地）や目地モルタル（水平打継ぎ目）の落下の恐れがあるもの		○注1)
		不均質なコンクリート打ち込み			
		上記以外	(③-2)上記以外で、止水板（横断面目地）や目地モルタル（水平打継ぎ目）が変形、または材質劣化して落下の恐れがあるもの	○	
④	既設補修・補強材のうき、はく離、はく落	発錆、漏水、凍害、経年、車両接触	(④-1)補修材 ^{注2)} が材質劣化・車両接触によって、はく離、脱落する恐れがあるもの		○注1)
			(④-2)補強材 ^{注2)} が材質劣化・車両接触によって、はく離、脱落する恐れがあるもの	○	
		上記以外	(④-3)補修材、補強材を問わず、上記以外で、材料が変形、はく離、脱落する恐れがあるもの	○	
⑤	その他	溶出物の落下	(⑤-1)遊離石灰等が溶出し、それが落下する恐れのあるもの		○
		上記以外の変状	(⑤-2)上記変状分類に該当しない変状	○	

注1) 「本対策」が実施可能でも、近傍に外力に伴う変状が確認された場合は、標準調査・詳細調査を行ってこれと一括して「はく落防止対策」にも対応できる「外力対策」を実施するケースも考えられる。このような場合は「応急対策」で対応する。なお近傍とは、アーチ部（または側壁部）のコンクリート1打込み区間（1スパン）内を指す。

注2) 補修材は、「表-1.5.1 トンネル変状対策工の分類と対策効果」において、「はく落防止」または「漏水」対策として適用される対策工材料であり、補強材は同様に「外力」対策として適用される対策工材料を指す。

<表-2.1.3の補足説明>

表-2.1.3に記載した「応急対策」「本対策」の適用判定の要旨は以下の通りである。なお表中の各項目の変状現象が外力、または材質劣化のいずれに起因するかを判断する場合は表-1.4.3～表-1.4.6を参考に行う。

(1) 覆工コンクリートのひび割れ

覆工コンクリートのひび割れが「判定区分A」となる場合は、ひび割れが複合して発生し、あるいは横断面目地、水平打継ぎ目と組合わされることで、覆工コンクリートがブロック状に分断される場合である。

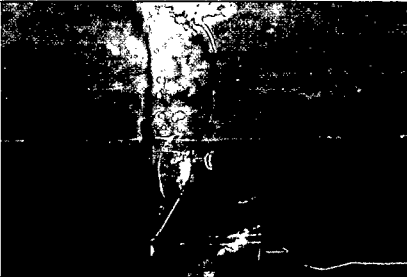
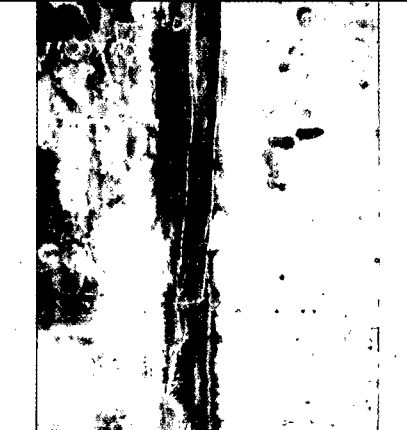
覆工コンクリートがブロック化する場合の変状原因は、外力に起因する場合が多いため、原則として「応急対策」を実施することとし、引き続き標準調査を実施するものとする。

ただし、表-2.1.4に示すように横断面目地付近でブロック化した箇所で、その幅（トンネル軸方向）が1m程度以下でトンネル横断方向の長さが8m程度以下（面積は $1 \times 8 / 2 = 4 \text{ m}^2$ 程度以下）であれば標準調査を待たず「本対策」を実施できることとした。これは、こうした変状の原因が覆工コンクリート打ち込み時の横断面目地付近の打ち込み不良または型枠据え付け時の過

度な押し上げ等、施工に起因するものであり、原因が明確であるためである。

なおこうした横断目地付近も含めブロック化面積が4㎡程度以上の場合は、ブロック化した覆工重量が大きくなるため、標準調査等による覆工の巻厚確認、支持方法の検討が必要であり、「応急対策」を適用することとした。ブロック化面積の上限値を設けた理由は、ブロック化した覆工のはく落荷重が大きくなり、本マニュアルで規定した標準的な対策工の耐荷力を越えるケースが考えられるからである。

表-2.1.4 「本対策」が適用できる覆工コンクリートのひび割れ例

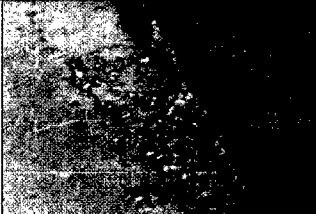
変状原因	変状事例写真	変状形態
型枠の過度な押し上げ		ひび割れと横断目地との組合せで半月状にブロック化（アーチ天端）。写真は文献 ¹⁾ より引用。
打ち込み不足		横断目地付近で覆工コンクリートの巻厚が不足し、ブロック状にコンクリートが欠落
型枠設置不良		横断目地をまたいで舌状に隣接覆工コンクリートが打込まれている状態（アーチ天端）
コールドジョイント		コールドジョイントと横断目地との組合せでブロック化（アーチ天端）。写真は文献 ¹⁾ より引用。
その他		横断目地沿いに、幅10cm程度の帯状に覆工コンクリートがブロック化（一部はコンクリートが欠落）

(2) 覆工コンクリートのうき、はく落

覆工コンクリートのうき、はく落は外力に起因するものと、材質劣化に起因するものがある。ここでは後者の場合で、点検時に変状範囲が特定できかつ変状原因が明らかなものとして「凍

害」(スケール)、「不均質な打込み」(豆板)を挙げ、それらに関しては標準調査を待たず「本対策」を実施できるものとした(表-2.1.5参照)。

表-2.1.5 「本対策」が適用できる覆工コンクリートのうき、はく離例

変状原因	変状事例写真	変状形態
凍害		スケールの進展により、骨材が露出 (寒冷地で、漏水個所に発生しやすい)
不均質な打込み		豆板の発生

(3)打継目の目地切れ・段差

打継目の目地切れ・段差によって目地モルタル(水平打継ぎ目)や止水板(横断目地)のうき、はく落が発生している場合についても、「凍害」(スケール)、「不均質な打込み」(豆板)に起因している場合には、標準調査を待たず「本対策」を実施できることとする。

(4)既設補修・補強材のうき、はく落

既設補修・補強材のうき、はく落に関して、材質劣化・車両破損に起因するものに關し、「本対策」が適用できることとする。ただし既設補修・補強工にはその適用目的が「はく落防止対策」として施工されたものと、「外力対策」で施工されたものがある(表-2.1.6参照)。

表-2.1.6 既設補修・補強材の適用目的と変状原因別の対応

既設補修・補強材の 変状原因	外力に起因または 不明(要調査)	材質劣化または 車両破損に起因
既設補修・ 補強材の適用目的		
外力対策	応急対策	応急対策
はく落防止対策		本対策

ここでは上表に示すように、標準調査を待たず「本対策」を実施できるのは「はく落防止対策」として実施された既設補修材の材質劣化・車両接触に起因した変状の場合である。同様な原因で「外力対策」として実施された既設補強材が変状している場合は、補強方法を再検討する必要があるため「応急対策」を実施することとする。

なお、「はく落防止対策」「外力対策」の判別は「表-1.5.1 トンネル変状対策工の分類と対策効果」に従うが、両者の判別が困難な場合(例えば規模の大きい当て板工(鋼板)と、内面補強工(鋼板)は類似した形態となるため、設計図書を確認しないと対策目的が判断できない等)は「応急対策」を実施することとし、引き続き標準調査を実施するものとする。

(5)その他の変状

「点検要領(案)」に記述されていない変状現象で、「本対策」が適用できるものとして「溶出物の落下」を明示した。

(6)注意点

「本対策」が実施可能な変状でも、近傍に外力に起因する変状がある場合、標準調査・詳細調査の結果で、これらを含め一括して「はく落防止対策」にも対応できる「外力対策」を実施するケースも考えられることから、調査結果を受けて対策する場合は「応急対策」で対応する。

2.2 対策工設計

2.2.1 応急対策工と本対策工の分類

表-2.2.1に、はく落防止対策の一覧と「応急対策工」と「本対策工」の分類を示す。
分類にあたっては、対策後の「標準調査」等への影響、即応性、はく落防止の効果の種類を考慮した。

表-2.2.1 はく落防止対策における応急対策工と本対策工の分類

はく落防止 対策工法		項目	対策後の 標準・詳細調査と の関係	対策の 即応性 注 1)	はく落防止の効果		対策工の位置づけ
					落下防止	変状拡大 防止	
応急 対策 工	はつり落とし工	調査可能	○	○	×	小規模な変状箇所の除去	
	金網・ネット工		○	○	×	うき、はく落箇所の保持	
	当て板工(形鋼系)		○	○	○	変状規模が大きい場合の、変状箇所、あるいは金網・ネット工の支持	
	補強セントル工		○	○ (覆工ブロック化箇所)	×	同上 変状規模 4 ㎡程度以上のアーチ部の覆工ブロック化箇所に適用	
本 対 策 工	はつり落とし工	調査可能	○	○	×	小規模な変状箇所の除去および他工法適用に際しての、変状箇所の事前除去	
	断面修復工	調査不可	×	○	○	覆工欠損箇所の修復(当て板工(パネル系、繊維シート系)を併用注 2))	
	ひび割れ注入工		×	—	○	当て板工(パネル系、繊維シート系)の下地処理または、RC覆工に適用注 3)	
	当て板工		形鋼系	調査可能	○	○	○
		パネル系 または 繊維シート系	調査不可	×	○	○	うき、はく落箇所の保持および覆工との一体化

○：あり、×：なし

注1) 即応性とは施工準備および効果の発現の両方の点で迅速性を有することを意味する。

注2) 既往の断面修復工が施工された箇所で、長期的に修復材が材質劣化して新たなはく落を招く事例が報告されていることから、本マニュアルでは、断面修復工は必ず当て板工(パネル系、繊維シート系)を併用することを原則としている。

注3) ひび割れ注入は覆工の一体化を図る対策工であるが、その対策効果を事後に確認できないことや、長期間経過したひび割れ内部は粉塵等が付着してひび割れ注入を行っても覆工を十分一体化できない、といった問題がある。このため、本マニュアルでは1) RC覆工の鉄筋の防錆目的もしくは、2) 当て板工(パネル系、繊維シート系)の下地処理で連続的な接着面を形成する目的に限定して、本工法を適用することを原則としている。

2.2.2 応急対策工の選定と設計

「応急対策」は、当面の利用者被害を防止すると共に、後の標準調査・詳細調査の際の変状状況確認が容易となるように、原則として「金網・ネット工」を適用することとし、変状規模によって「当て板工(形鋼系)」または「補強セントル工」を併用する。

図-2.2.1に変状形態に応じた応急対策工選定の目安を示す。

「応急対策工」の設計に際しては図-2.2.1によって対策工の組合せを選定し、「2.3

はく落防止対策工各論」に基づいて設計を行う。

また「はく落防止対策」箇所において「漏水対策」が必要となる場合（漏水が「判定区分A」）は、原則として「はく落防止対策」を優先して適用し、これが適用された状態で実施可能な「漏水対策」を計画する。

なお、図-2.2.1 は標準的な「応急対策工」選定の目安を示すものであり、下記の場合は本図の適用外とし、図中①～④の応急対策工を参考に有効と考えられる対策工を個別に選定する。

- a) 図中で規定されていない変状形態の場合
- b) 覆工の巻厚不足、材質劣化によって対策材料の固定が確実にできない場合
- c) 広範囲または深部にわたって覆工コンクリートの材質劣化が著しく、覆工の構造的安定性が確保できない状態にある場合

2.2.3 本対策工の選定と設計

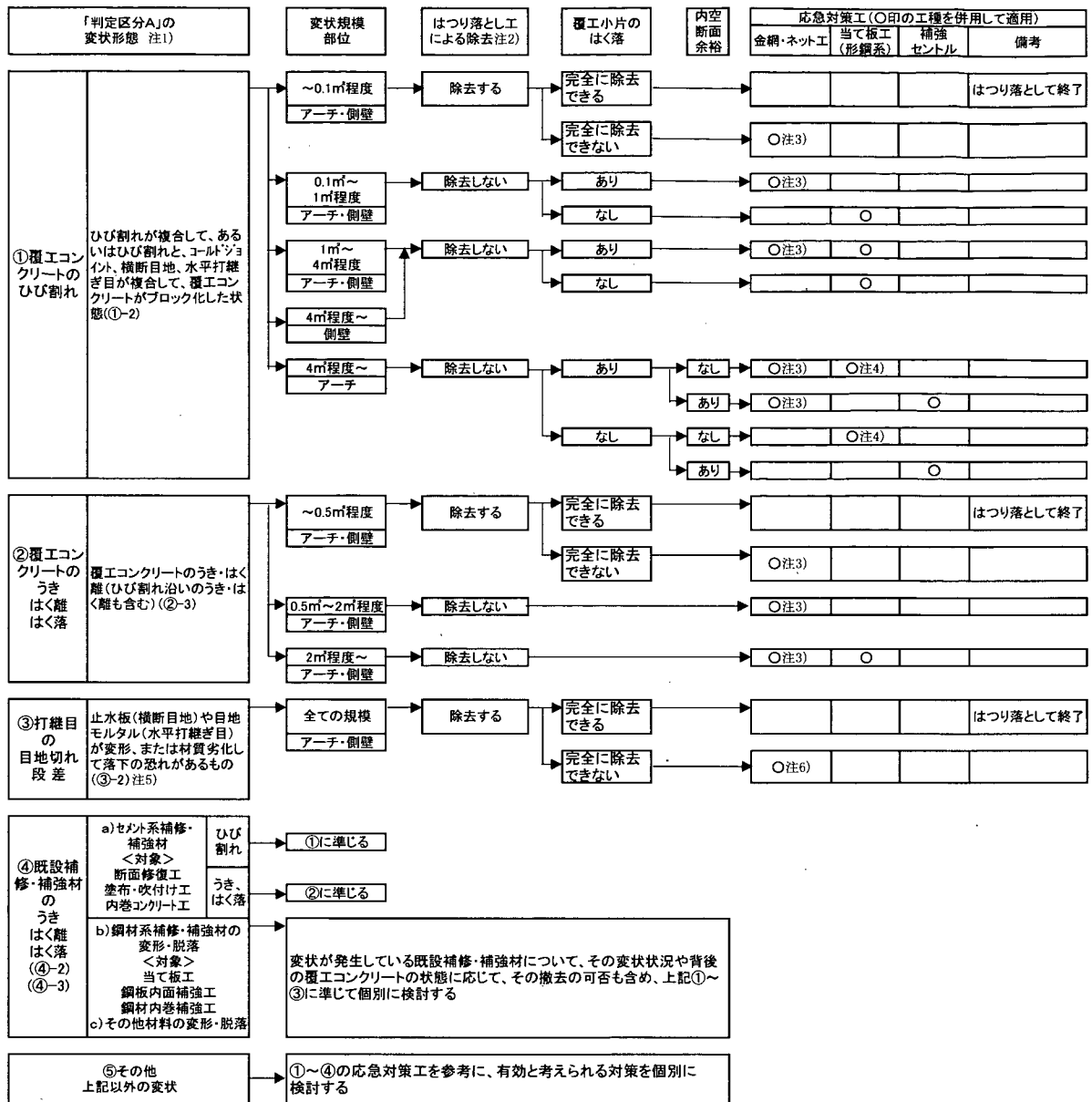
「本対策」が実施できるとされた変状については、図-2.2.2 を用いて対策工法の選定を行う。また「判定区分A」の変状で「応急対策」が実施されたもの、および「判定区分B」と判定された変状についても、標準調査・詳細調査の結果、外力対策の必要がない場合は図-2.2.2 を用いることができる。

「本対策工」の設計に際しては図-2.2.2 によって対策工の組合せを選定し、「2.3 はく落防止対策工各論」に基づいて設計を行う。本マニュアルでは、「はく落防止対策」の「本対策」として、「当て板工（パネル系、繊維シート系）」を基本的な対策工法としている。

なお、図-2.2.2 は標準的な「本対策工」選定の目安を示すものであり、下記の場合は本図の適用外とし、図中①～⑤の本対策工を参考に有効と考えられる対策工を個別に選定するものとする。

- a) 図中で規定されていない変状形態の場合
- b) 覆工の巻厚不足、強度不足で対策材料の固定が確実にできない場合
- c) 広範囲または深部にわたって覆工コンクリートの材質劣化が著しく、覆工の構造的安定性が確保できない状態にある場合
- d) 多量の漏水が発生して漏水の「応急対策」が必要な場合

< 応急対策工 >



注1) () 内番号は表-2.1.3に対応する。

注2) はつり落としを行っても良い深さは、覆工表面より 5cm 程度以下(NATM)または、10cm 程度以下(矢板工法)とする。

注3) 覆工コンクリートの細片が落下しないよう適切な編み目を選定する。これが不可能な場合は金網・ネットに代えて当て板(パネル系、ただし樹脂接着は用いない)で対応する。

注4) はく落荷重が大きくなるため形鋼の配置、形鋼支持方法(ロックボルトの採用)等を個別に検討を要する。なお内空断面余裕が無い場合でも、大規模な外力の作用下(地すべり等)のトンネルでは、やむを得ず通行規制(片側交互通行等)を行って、応急的「外力対策」を主目的とした補強セントル工を適用する場合がある。

注5) 横断目地、水平打継ぎ目に連続して発生し、規模(面積)を規定できないうきはく離も含む。

注6) 変状箇所でも漏水がある場合は、金網・ネットに代えて漏水応急対策工(樋工)で「はく落防止対策」も対応することができる(ただし内空断面余裕がある場合に限る)。

図-2.2.1 変状形態による応急対策工(はく落防止対策)選定の目安

＜本対策工＞

変状形態 注1)		変状規模 (部位は アーチ・ 側壁共通)	はつり落とし 工他による 除去注2)	対策工(○印の工種を併用して適用)				備考
				断面修復工	ひび割れ 注入工 注4)	当て板工 形鋼系 パネル系 or繊維 シート系		
①覆工コン クリートの ひび割れ	「判定区分A」 ・横断目地部の施工方法に 起因する変状(①-1) ・(①-2)の変状で調査後に 外力対策不要とされたもの 「判定区分B」で外力対策が不要なもの	～0.5m程度	除去する	○注3)	○		○注3)	
		0.5m～1m程度	除去しない		○		○	
		1m～4m程度	除去しない		○	○注5)	○	
		4m程度～	除去しない	個別に検討する				
②覆工コン クリートの うき はく離 はく落	「判定区分A」 ・覆工コンクリートのスケール (②-1)、豆板(②-2) (②-3)の変状で調査後に 外力対策不要とされたもの 「判定区分B」で外力対策が不要なもの	～0.5m程度	除去する	○注3)	○		○注3)	
		0.5～1m程度	除去する	○	○		○	
		1～4m程度	除去しない		○		○	
		4m程度～	除去しない		○	○注6)	○	
③打継目の 目地切れ 段 差	「判定区分A」 ・スケールや豆板による止 水板(横断目地)や目地モ ルタル(水平打継ぎ目)の 落下(③-1) ・(③-2)の変状で調査後に 外力対策不要とされたもの 「判定区分B」で外力対策が不要なもの	変状規模に特に 制限は設けない 注7)		○注8)			○注8)	注9)
				○注8)			○注8)	注9)
④既設補 修・補強材 の うき はく離 はく落	「判定区分A」 ・補修材が材質劣化・車両 接触により、はく離、脱落 する(④-1) ・(④-2、④-3)の変状で調 査後に外力対策不要とされ たもの 「判定区分B」で外力対策が不要なもの	変状した補修材の撤去の可否も含め、覆工コンクリートおよび既 設補修・補強材の変状状況に応じて、上記①～③に準じて個別に 対応する ・材料の選定に当たっては、補修材の材質劣化等の変状原因を考 慮した上で材料、防錆対策等を計画する必要がある						
⑤その他	「判定区分A」 ・遊離石灰等溶出物の はく落(⑤-1) ・(⑤-2)の変状で調査後 に外力対策不要とされ たもの 「判定区分B」で外力対策が不要なもの	除去する						はつり落とし て終了
		覆工コンクリートの変状状況に応じて、上記①～④に準じて個別に 対応する						

注1) () 内番号は表-2.1.3に対応する。なおRC覆工に関しては必要に応じて別途、鉄筋の防錆対策を考慮する。

注2) 断面修復工を併用するため、はつり落としてもよい深さについては、特に制限を設けない。

注3) 変状規模が小規模なものや、横断目地付近の帯状のブロック化部分について、対策工の設計者が「はつり落とし工」のみで「本対策」を完了できると判断した場合は、「断面修復工」と「当て板工」を省略できる。この場合、下地処理の「ひび割れ注入工」も省略する。また、はつり落とした部分の表面に、劣化防止コーティング剤を塗布することが望ましい。

注4) RC覆工の鉄筋防錆対策または当て板工(パネル系、繊維シート系)の下地処理としてのみ適用し、単独で用いない。

注5) 当て板工にパネル系(鋼板)を適用する場合は、繊維シート系に比べ剛性が高いため、対策工の設計者の判断で形鋼の併用を省略できる。

注6) 当て板工(パネル系または繊維シート系)単独で対策効果が得られると対策工の設計者が判断した場合は、形鋼の併用を省略できる。

注7) 横断目地、水平打継ぎ目に連続して発生し、規模(面積)を規定できないうき、はく離も含む。

注8) 注3)と同様であるが、目地モルタル(水平打継ぎ目部)にはアーチ覆工の荷重を円滑に側壁に伝達する役割があり、こうした「はつり落とし工」のみで対応する場合は、除去する目地モルタルの範囲を覆工アーチ1スパン当たり、そのスパン長の1/3程度以下とする。

注9) 横断目地、水平打継ぎ目に漏水が発生している場合、導水樋工、溝切り工の適用によって、はく落箇所防護もしくは除去ができる場合があるので「漏水対策」も含めて対策を検討する。

図-2.2.2 変状形態による本対策工(はく落防止対策)の選定の目安

2.2.4 変状規模・部位による「はく落防止対策工」適用の考え方

前述の図-2.2.1および図-2.2.2に記載した、「はく落防止対策工」の変状規模・部位の目安に関しては、既往実績や対策工各材料の効果を考慮して以下のように設定している。なお詳細については「付属資料-2 はく落防止対策工の適用規模検討結果」に示す。

(1) 覆工コンクリート（アーチ部、側壁部）

以下に、覆工コンクリートのブロック化に伴うコンクリート塊の落下、ならびにうき、はく離に関して、変状規模（面積）と対策工の適用の考え方を応急対策工、本対策工別に整理した結果を述べる。

1) 応急対策工

表-2.2.1に示す応急対策工を保持効果の小さい順に並べると、はつり落とし工、金網・ネット工、当て板工（形鋼系）、補強セントル工となる。

① 覆工コンクリートのブロック化

落下するブロック重量と対策工の保持効果を考慮して、変状面積を 0.1m^2 以下、 $0.1\sim 1.0\text{m}^2$ 、 $1.0\sim 4.0\text{m}^2$ 、 4.0m^2 以上に区分し、前記対策工の組み合わせで対応に差をつけることとした。また、 4.0m^2 以上については重量が大きいことからアーチ部と側壁部で対策工に差をつけたが、 $0.1\sim 4.0\text{m}^2$ の場合は差をつけないこととした。

② うき、はく離、はく落

落下する重量が①より小さいことから、主にはつり落とし工、金網・ネット工で対応し、当て板工（形鋼系）は金網・ネット工の補強対策としてのみ用いることとした。また、補強セントル工は小片の落下防止効果が期待できないことから用いないこととした。対応すべき変状規模を、落下物の重量を考慮して、 0.5m^2 以下、 $0.5\sim 2.0\text{m}^2$ 、 2.0m^2 以上に区分した。

③ はつり落とし深さの制限

①②の両方について、はつり落とし工を単独で行う場合には、はつり落とし深さの制限を設けた。制限値は、「便覧」表-2.3.19(p.132)を参考に、安全側に有効巻厚／設計巻厚を最低 $3/4$ 以上確保するものとして、下記の値とした。

a) NATMトンネルの場合

覆工厚は 30cm が一般的であり、断面欠損 $30\times 1/4=7.5\text{cm}$ なので、制限値は 5cm 程度以下とする。

b) 矢板工法トンネルの場合

覆工厚は $40\text{cm}\sim 70\text{cm}$ 程度と支保パターンにより幅がある。許容できる断面欠損 $(40\sim 70)\times 1/4=10\sim 17.5\text{cm}$ なので、制限値は 10cm 程度以下とする。

2)本対策工

表-2.2.1に示す本対策工を保持効果の小さい順に並べると、はつり落とし工、断面修復工、当て板工（パネル系、繊維シート系）、当て板工（形鋼系）となる。ただしひび割れ注入工は効果の検証に疑問があることから適用範囲を限定した。

・① 覆工コンクリートのブロック化

落下するブロックの重量と対策工の保持効果を考慮して変状面積を 0.5m^2 以下、 $0.5\sim 1.0\text{m}^2$ 、 $1.0\sim 4.0\text{m}^2$ 、 4.0m^2 以上に区分した。

② うき、はく離、はく落

落下する重量と対策工の保持効果を考慮して変状規模を 0.5m^2 以下、 $0.5\sim 1.0\text{m}^2$ 、 $1.0\sim 4.0\text{m}^2$ 、 4.0m^2 以上に区分した。

③ はつり落とし深さの制限

本対策工でははつり落とし工と断面修復工が必ず併用されることとしたため、はつり落とし深さについては特に制限しないこととした。

(2)既設補修・補強材

1)セメント系補修・補強材

既設のセメント系補修・補強材（断面修復工、塗布工、吹付け工、内巻コンクリート工等）の材質劣化等が発生して「はく落防止対策」が必要となる場合は、前述の「(1)覆工コンクリート（アーチ部、側壁部）」に準じて、変状規模に応じた対策工を適用する。

2)鋼材系補修・補強材

既設の鋼材系補修・補強材（鋼板当て板工、鋼板内面補強工等）が変状して、「はく落防止対策」が必要な場合は、変状した補修・補強材の撤去が可能かの判断も含め、覆工コンクリートおよび既設補修・補強材の変状状況に応じて、個別に対応する必要がある。

(3)横断目地（止水板）・水平打継ぎ目（目地モルタル）

横断目地（止水板）ならびに水平打継ぎ目（目地モルタル）のうき、はく落といった線状の変状に関しては、はつり落とし深さの制限（ただし「応急対策」のみ）を設けるのみで、対策工適用に際しての変状面積は規定しない。これら変状に対しては、「応急対策」では「金網・ネット工」を、「本対策」では「当て板工（パネル系、繊維シート系）」を標準として適用する。

(4)遊離石灰等の落下

坑内に溶出した石灰分等の除去に関しては、覆工の構造に影響ないため、「はつり落とし工」による除去のみで対応し、変状規模の制限はない。

(5) その他の変状

その他の変状は全て「応急対策」で対応することになり、個別に対応することを基本とする。

2.3 はく落防止対策工各論

2.3.1 共通事項

はく落対策に用いる各対策工の設計・施工に関して共通事項を下記に整理する。

(1) 設計

- ① 「はく落防止対策工」に用いる鋼材系材料には、必ず防錆対策を施す必要がある。本マニュアルでは防錆効果の持続性を考慮して、ステンレス鋼を使用することを基本としている。ただし「応急対策」においては、対策効果を期待する期間（「本対策」までの期間）が短い場合や、塩害の恐れが少ない立地条件の場合など、防錆対策をあまり考慮しなくても良いケースもあるため、ステンレス鋼に替えて、防錆塗装、溶融亜鉛めっき処理等も検討できることとした。

表-2.3.1 鋼材の防錆対策

区分	材料（対策工）	応急対策	本対策
主要鋼材	エキスパントメタル、クリップ金網（金網工）	ステンレス鋼(SUS304)を基本とするが、「本対策」までの期間等を考慮して、設計者の判断で防錆塗装、溶融亜鉛めっき処理(HDZ350以上) ^{注1)} 等の防錆対策に変更できる。	—
	等辺山形鋼、鋼板（当て板工）		
固定補助鋼材	平鋼（金網工、ネット工、当て板工共通）	ステンレス鋼(SUS304)	ステンレス鋼(SUS304)
固定金具	コンクリートアンカープラグ（金網工、ネット工、当て板工共通）		

注1) 溶融亜鉛めっき（補修材）とステンレス（コンクリートアンカー）で電食現象が起こる可能性があるが、「応急対策」であることから、この組合せを許している。

- ② 各対策工法の使用材料の仕様は、他機関の指針等で明確にされている材料ならびに既存の施工実績等によって確実な効果が得られると判断した材料に関してのみ、本マニュアルに記載している。

(2) 施工

- ① 各対策工法の施工に際しては、特に片側交互通行条件で施工する場合に、施工中の利用者の安全通行確保を最優先に考え、材料の飛散防止、粉塵対策等に十分配慮する必要がある。
- ② 対策工施工箇所の照明やケーブル等の付帯設備については、事前に仮移設を行う。それらの取り外し、再取付け時には破損や脱落が無いように十分、注意する必要がある。

2.3.2 はつり落とし工

1) 工法概要

はく落防止対策工の最も基本的な対策工法であり、応急対策工、本対策工の前処理としても行われる。

ハンマー、電動ピック、ディスクサンダー、ウォータージェット等を用いて、覆工

コンクリート表面の劣化部および、劣化した既設補修・補強材を除去する工法である。

2)設計方法

a)対策範囲と工法の選定

- ① 除去範囲は目視観察に加え、打音検査も併用して決定する。
- ② 使用する機器は除去対象面積、使用機材、適用性等を考慮して下表を参考に選定する。

表-2.3.2 はつり落とし工の機材の比較

	ハンマー	電動ピック	ディスクサンダー
適用施工面積	局所	局所～0.5 m ² 程度	局所～0.5 m ² 程度
施工概要	浮いている箇所を、ハンマーで叩き落す。	電動ピックを用い、浮いている箇所をはつり取る。	① ディスクサンダーを用い、浮いている箇所を削り取る。 ② ハンマー、電動ピックで除去した後の施工面の平滑化にも使用される。
使用機材	高所作業車	発電機・高所作業車	発電機・高所作業車
粉塵対策	不要	必要	必要
片側交互通行規制時の施工	可能	可能	可能
適用性	覆工表層部のうき、はく離箇所の除去のみに適用できる。	ある程度の深さまで対応できる。 一様な仕上げ面は期待できない。	覆工表層部のうき、はく離箇所の除去、ならびに他の機材で除去したはつり落とし施工面の平滑化に適用できる。 作業員の熟練度により、仕上がり、施工速度が変化する。

- ③ 「はつり落とし工」単独で「本対策」を行う場合（図-2.2.2、注 3）参照）は、はつり落とした部分の覆工コンクリート表面に、劣化防止コーティング剤（セメント系または樹脂系）を塗布しておくことが望ましい。

3)施工方法

a)施工上の留意点

- ① 施工の際には、適切な照明下で劣化部の範囲を確認しながら施工する。また、金網・ネット工や当て板工の準備として周辺のコンクリートの状態を確認する。
- ② 除去範囲が目視点検と打音検査のみで決定されている場合、覆工内の劣化範囲は詳細に把握できていないことがあるため、はつり作業の中で最終的な範囲を決定するといった柔軟な対応が必要である。
- ③ 骨材とセメント部の強度が大きく異なるコンクリートの場合、ディスクサンダーを用いるとはつり面が平滑にできる（ノズルが機械で回転するタイプのウォータージェットも同様）。
- ④ 片側通行規制下の施工等、利用者がトンネルを通行する状態での作業は、必ず落下等の飛散・落下防止および粉塵が発生する場合は必ず粉塵対策措置を講ずる。

4)対策効果の確認

目視、点検ハンマーの打音検査により周辺部を含めた覆工コンクリート表面に浮き、はく離部分が残っていないことを確認する。「応急対策」で、「図-2.2.1 注 2）」に示すはつり落としの深さ制限まで覆工コンクリートを除去しても、対策効果が確認でき

ない場合は、金網・ネット工を適用する。

5)新工法・新技術

ウォータージェットを用いたコンクリート表面研磨機が実用化され、トンネル補修工事にも今後、適用実績が増えるものと考えられる。

ウォータージェット工法は、高圧水（機種によっては研磨剤を混ぜるタイプがある）でコンクリートを切削除去する工法であり、はつり落としの対象面積が大規模な場合、非常に施工効率が良い。また粉塵が発生しないという利点を有する。

施工方式ではガンタイプ（手動式）と、遠隔操作でノズルを移動するタイプ（機械式）があり、さらに後者の中には排水を自動回収できるタイプが開発されている。

当工法を道路トンネルで適用する場合は、坑内照明設備等の防水、切削水の回収方法と汚濁水の処理、施工中の供用車線への水の飛散防止等に十分配慮する。また、施工後の状態を必ず目視および打音検査で確認する必要がある。

2.3.3 断面修復工

断面修復工は「本対策」のみで実施される。当工法は施工箇所の覆工の不良部分をはつりとした後の部分、もしくは既に脱落した部分の断面を復旧させるために用いる工法である。断面修復工に用いる材料には、断面修復材と覆工コンクリートとの一体化を確保するため、十分な接着力を持ち、覆工コンクリートと同程度以上の強度が必要とされる。

1)工法概要

はく落やはつり落とし工施工により生じた覆工コンクリートの断面欠損部で修復が必要な箇所に、モルタル系材料を用い、断面修復を行う。写真-2.3.1に横断目地に対して実施した断面修復工の事例を示す。



写真-2.3.1 断面修復工事例

2)設計方法

a)使用材料

断面修復に使用するモルタルまたはコンクリートは表-2.3.3、表-2.3.4に示す品質規格を満足するものとする。

表-2.3.3 モルタル工の品質規格²⁾

試験項目	試験体の履歴条件	規格	試験方法
硬化時間 ^{注1)}	—	1時間以上	日本道路 公団規格 JHS416
厚塗り性	—	たれ、ずれ、はがれ、ふくれのないこと	
断面修復材の外観 (塗装なし)	温冷繰り返し試験後	均一で、われ、はがれ、ふくれのないこと	
硬化収縮性	—	硬化収縮率 0.05%以下 硬化に伴う発熱により、反りかえりがないこと	
熱膨張性	硬化収縮試験後	熱膨張係数 $2.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 以下	
コンクリートとの 付着性	湿潤時 耐アルカリ性試験後 温冷繰り返し試験後	付着強度 $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上	
圧縮強度	—	(既設覆工コンクリートの設計基準強度以上)	

注1) 硬化時間は、施工条件等を勘案の上、必ずしも基準値を満足する必要があるものと判断される場合には、参考値として取り扱うことができる。

表-2.3.4 型枠コンクリートの品質規格²⁾

区分	試験項目	規格	試験方法
グラウトモルタル	流動性 ^{注1)}	20~75(s)	土木学会基準 (JSCE-F521-1999)
	ブリージング率	0.0~1.0(%)	土木学会基準
	膨張率	0.0~5.0(%)	(JSCE-F522-1999)
硬化コンクリート	圧縮強度	既設覆工コンクリートの 設計基準強度以上	土木学会基準 (JSCE-G522-1999)
	乾燥収縮性	5×10^{-4} 以下 (3ヶ月)	JIS A 1129
	繊維シートとの付着性	$1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上 (繊維シート系当て板工 を併用する場合)	JHS 416

注1) 施工条件等を勘案の上、必ずしも基準値を満足する必要があるものと判断される場合には、参考値として取り扱うことができる。

b) 設計方法

- ① 補修幅の1辺が30cm程度を越える場合には防錆対策を施した補強筋 (D10~13) を併用するのが望ましい。補強筋の固定には樹脂アンカー (埋め込み深さ100mm以上) 等で確実に周囲の覆工コンクリートに固定する (図-2.3.1参照)。
- ② 横断目地に適用する場合には、目地板 (ゴム発泡体等) を併用する。

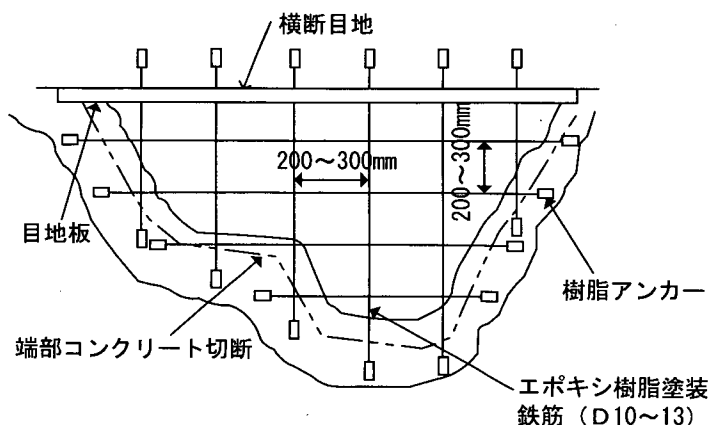


図-2.3.1 補強筋の参考配置図 (平面図)

c)漏水の処理

断面修復工施工箇所には漏水がある場合は、まず水抜き孔等により漏水量を低減させ、ひび割れからの少量漏水は止水（止水注入工）もしくは導水（パイプ等）して、修復箇所を乾燥状態にする。

d)設計上の留意点

- ① 修復材の劣化によりそれ自体が落下することがあるので、必ず当て板工と併用する。

注) 写真-2.3.2に示すように、施工後数年経過した断面修復箇所では、ひび割れ、うきが発生し、新たな「はく落」を招く事例があるため、本マニュアルでは原則として当て板工（パネル系、繊維シート系）を併用することとしている。

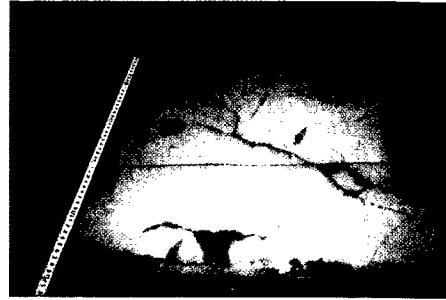


写真-2.3.2 断面修復工の事例

- ② 修復材料は、当て板工（パネル系、繊維シート系）併用を原則とするため、長期的な付着性はそれほど要求されない。経済的にはモルタル（無収縮）が有利である。ただし、施工中に一時的に車両通行規制を解除する場合は、こうした修復材が落下して利用者被害が発生する可能性があり、使用材料の特性や養生方法等を十分考慮した上で材料を選定する。

- ③ トンネル横断目地部は縁切りを行う。横断目地をまたぐ施工は、温度収縮によりひび割れが発生しやすいため（写真-2.3.3参照）、予め目地板を設ける等の配慮が必要である。



写真-2.3.3 横断目地をまたいで施工された断面修復工の破損事例

- ④ トンネル水平目地部は縁切りを行う。水平打継ぎ目をまたいでアーチ部と側壁部を断面修復する場合は、ひび割れが生じやすいため（写真-2.3.4参照）、予め目地板を設ける等の配慮が必要である。

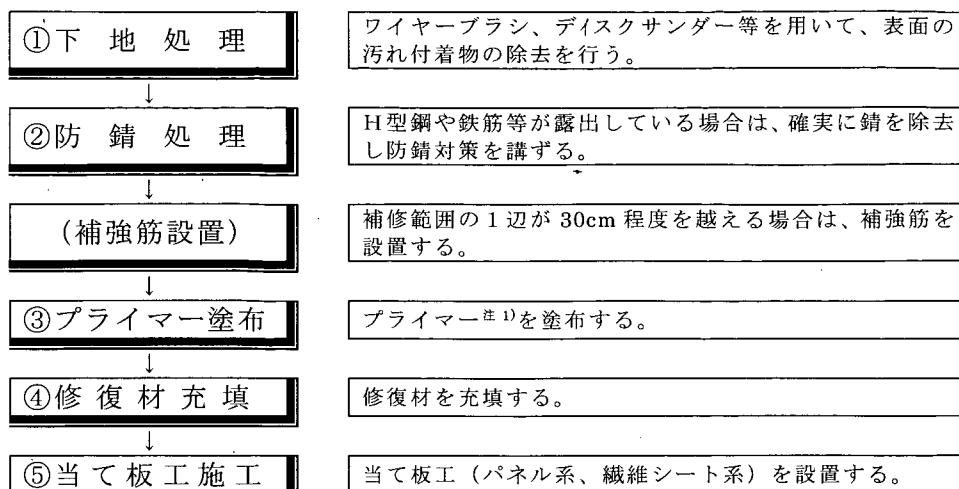


写真-2.3.4 水平打継ぎ目をまたいで施工された断面修復のひび割れ事例

- ⑤ RC 覆工の場合は、ひび割れ注入工など別途、鉄筋の防錆対策を考慮する。
- ⑥ 併用する当て板工（パネル系、繊維シート系）は、「2.3.6 当て板工」を参照すること。

3)施工方法

a)施工手順



注 1)プライマーは「2.3.6 当て板工 (4)繊維シート系当て板工」を参照

b)施工工法

施工工法として代表的なものは、モルタル工法（手練り工法、左官工法）と、型枠工法（場所打ち工法）、プレパクトコンクリート工法がある。以下にそれぞれの工法の概要を述べる。

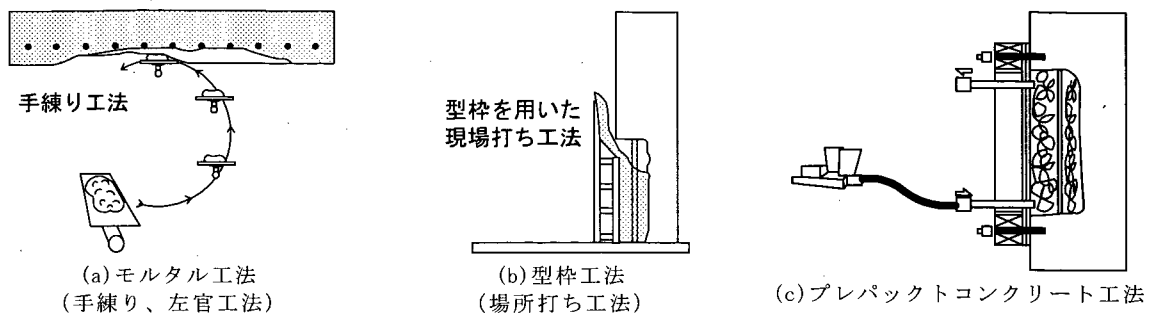
- ① モルタル工法は、補修断面が比較的小さく、修復深さが5cm未満の場合や、他の工法を適用しにくい場合に用いられる。この工法を用いた場合には、コテ、ヘラあるいは指によって、モルタル等を数回にわたって塗込む作業が中心となる。
- ② 型枠工法（場所打ち工法）は補修断面が大きい場合に用いられる工法であり、修復材料としては覆工コンクリートと同等以上の強度のコンクリートやモルタルを使用する。この工法による施工は、型枠設置、コンクリート打込み、型枠脱型の順序で行われる。
- ③ プレパクトコンクリート工法は、補修断面が大きい場合に用いられる工法である。この工法による施工は型枠設置、修復部への粗骨材充填、注入材の注入、養生、型枠脱型の順序で行われる。同工法は後から注入材を注入するため、覆工コンクリートが欠損して背面の地山が露出している箇所、あるいは横断目地・水平打ち継ぎ目をまたぐ箇所では、注入材が覆工背面にリークして十分な充填はできない。

工法選定の際には、修復断面の大きさ、深さ、施工性、経済性を考慮して適切な工法を選定する必要がある。工法選定の目安を表-2.3.5に、各工法の概念図を図-2.3.2に示す。

表-2.3.5 断面修復工の施工方法選定の目安

施工方法	アーチ部		側壁部	
	修復深さ(mm)		修復深さ(mm)	
	50以上	50未満	50以上	50未満
モルタル工法 (手練り、左官工法)	×	○	×	○
型枠工法 (場所打ち工法)	○	△	○	△
プレパクトコンクリート工法	△	×	△	×

○：適する、△：大量に施工する場合に適用可、×：適さない

図-2.3.2 断面修復工の各種施工方法概要図³⁾

c) 施工上の留意点

- ① 下地処理は、修復材の付着性を向上させるためのものであるため念入りに行う。
- ② 冬期、夏期の高温・低温期に施工する場合は、使用材料のメーカーの保証温度を確認した上で施工する。
- ③ 事前に漏水処理を確実にを行う。
- ④ 施工後に交通解放を行う場合は、未固化状態の修復材が落下しないように十分注意し、落下防止の為の必要な措置を講ずる。また落下に耐える初期付着強度を有する材料でなければならない（特に手練り左官工法の場合）。

4) 効果の確認

a) 当て板工施工前

- ① 漏水が発生していないことを確認する。
- ② 表面にひび割れが発生していないことを確認する。
- ③ 修復材と周囲の覆工コンクリートとが密着していることを確認する。

b) 当て板工施工後

当て板工（パネル系もしくは繊維シート系）に準ずる。

5) 新工法・新技術

高価であるが、厚塗り仕様の特殊なポリマーセメントモルタル（付着力が強い）が開発されている。

2.3.4 ひび割れ注入工

1) 工法概要

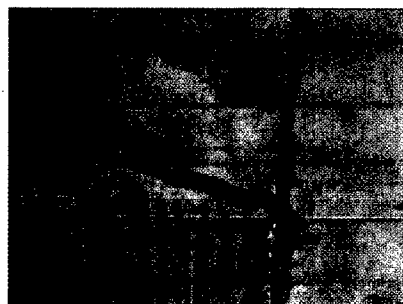
ひび割れ注入工は、ひび割れが発生したRC構造の覆工での鉄筋防錆対策、もしくは

は当て板工（パネル系、繊維シート系）の下地処理対策の「本対策」として適用する。

当工法は一般的には、ひび割れの発生したコンクリートの一体化を目的として適用される補修工法である。しかし、トンネルの覆工コンクリートの補修に当工法を用いた場合、下記に示す問題があるため、本マニュアルでは、RC 構造覆工の鉄筋防錆対策のためのひび割れ閉塞、および当て板工の下地処理に限定して当工法を適用することとした。

- ① 写真-2.3.5(a)に示すように覆工コンクリートの一体化（接着効果）の確認が困難である。
- ② ひび割れが覆工コンクリート背面まで到達している場合、注入材が覆工背面に漏出し、注入管理ができない。
- ③ 長期間放置された覆工コンクリートのひび割れ面には、粉塵、土砂等が付着して事前にこれを完全に除去できないため、期待する接着効果が十分得られない恐れがある（写真-2.3.5(b)に示すように、施工後漏水が発生する事例がある）。

なお、覆工コンクリートの一体化に関しては、別途「はく落防止」効果の高い当て板（パネル系、繊維シート系）で対応する。



(a)事例1（覆工コンクリートが一体化しているか事後に確認できない）



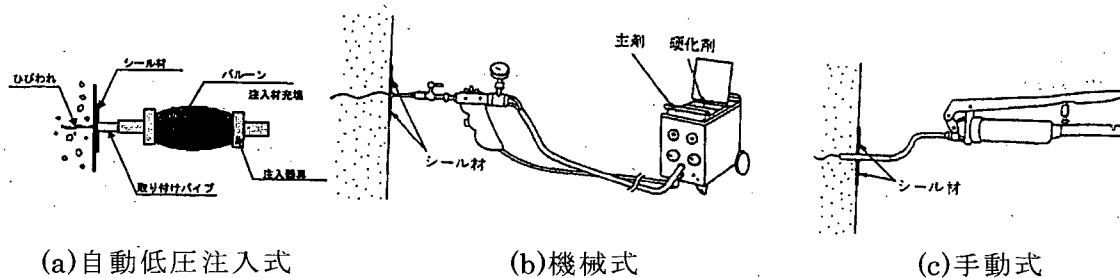
(b)事例2（漏水が発生し覆工コンクリートの一体化が図られていない）

写真-2.3.5 ひび割れ注入工事例

2)設計方法

a)工法選定

- ① 自動低圧注入式、機械式、手動式があるが、自動低圧注入式を基本とする（図-2.3.3 参照）。
- ② ひび割れ幅が広い場合や、自動低圧注入式で完全な充填が困難と考えられる場合には、機械式や手動式を用いてもよい。



(a)自動低圧注入式

(b)機械式

(c)手動式

図-2.3.3 注入方式の例²⁾

b) 使用材料

① エポキシ樹脂または、超微粒子無機系セメントを用いる。

その選択は、経済性およびひび割れの状態により、表-2.3.6を参考に選定する。

表-2.3.6 ひび割れ注入材料選定表

	エポキシ樹脂系	超微粒子無機系
ひび割れ部が湿潤状態 (漏水が滲み程度)	△ (湿潤面用エポキシ樹脂は適用可)	○
ひび割れ部が乾燥状態	○	△ (事前にひび割れ部に水等を先行注入する必要がある)
ひび割れ幅変動あり	○	×
ひび割れ幅変動なし	○	○

○：適用可能、△：場合により適用可能、×：適用不可

② 使用する注入材は表-2.3.7、表-2.3.8に示す規格を満たしたものをを用いることとする。

表-2.3.7 ひび割れ注入工用エポキシ樹脂系注入材の品質規格（文献²⁾から一部引用）

項 目			単 位	1 種	試験方法
ひ び 割 れ 進 行 区 分			—	進行度 A 注)	—
ひ び 割 れ 幅			mm	0.2～5.0	—
未硬化の 注入材	粘 度 (×10 ⁻³)		Pa・S	1,000 以下	JIS K 6833
	チキソトロピック係数		—	—	JIS K 6833
	可 使 時 間		min	30 以上	JIS A 6024
	収 縮 率		%	3.0 以下	温度上昇法
硬化した 注入材	伸 び 率		%	—	JIS K 7113
	モルタル付着強さ	乾燥面	N/mm ²	6 以上	JIS A 6024
		湿潤面	N/mm ²	3 以上	JIS A 6024
	付着力耐久性保持率		%	60 以上	JIS A 6024

注)進行度 A：日変化または温度変化によるひび割れの挙動および構造に起因するひび割れの発生を対象とし、異常なひび割れ幅の進行がないもの

表-2.3.8 ひび割れ注入工用超微粒子無機系セメント注入材の品質規格²⁾

項 目			単 位	超微粒子無機系	試験方法
ひ び 割 れ 進 行 区 分			—	進行度 A 注)	—
ひ び 割 れ 幅			mm	0.2～2.0	—
未硬化の 注入材	流 下 時 間	1 回 目	秒	30 以内	JHS414
		2 回 目	秒	45 以内	
	保 水 係 数		—	0.30～0.65	
	収 縮 率		%	3.0 以下	
硬化した 注入材	接 着 強 さ		N/mm ²	4 以上	
	曲 げ 強 度		N/mm ²	4 以上	
	吸 水 率		%	15 以下	

注)進行度 A：日変化または温度変化によるひび割れの挙動および構造に起因するひび割れの発生を対象とし、異常なひび割れ幅の進行がないもの

c) 設計方法

注入パイプ（台座）の設置間隔は、ひび割れ幅により1つの注入孔で注入できる範囲が変化するため、下表を目安として、注入パイプ（台座）を設置する。

表-2.3.9 注入孔設置間隔例²⁾

ひび割れ幅(mm)	注入孔の間隔(mm)
0.3 以下	50～100
0.3～0.5	100～200
0.5～1.0	150～250
1.0 以上	250～300

d)設計上の留意点

シール材は注入孔の間のひび割れを中心として、両側とも50mm以上の幅で施工し、注入材が覆工コンクリート表面にリーク（漏出）しないよう確実に施工（図-2.3.4参照）。

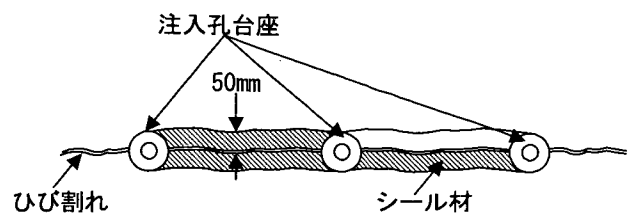


図-2.3.4 ひび割れシールの概要

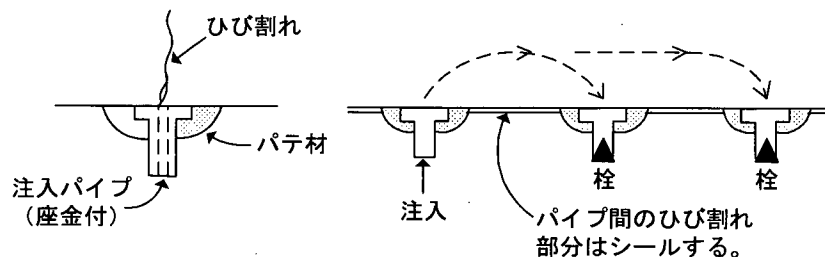
3)施工方法

a)施工手順

①下地処理	ひび割れ周辺を、ワイヤーブラシ、ディスクサンダー等を用いて、表面の汚れ、付着物除去を行う。
②台座設置	注入孔位置を決定し、台座を設置する。
③シール	台座位置以外のひび割れ部にシール材を塗布し、確実にシールする。
④注入	注入材を注入する（自動低圧注入式の場合は、注入タンクを台座に設置する）。
⑤養生	注入材が十分硬化するまで、養生する。
⑥注入器具撤去	注入器具、台座を取り外し、ディスクサンダー等を用い、シール材を完全に除去する。

b)施工上の留意点

- ① ひび割れ幅が小さい場合は、図-2.3.5に示すような順序で施工を行う。

図-2.3.5 ひび割れ幅が小さい場合の施工例⁴⁾

- ② 写真-2.3.6に示すように、施工後にシール材、台座等を残すと、これがはく落する恐れがあるため完全に除去する。



写真-2.3.6 シール材の残存事例

- ③ 注入材が大量に入る場合は、注入材が覆工背面に逸散している恐れがあるため、注入を中断し別途対策を考える。
- ④ 施工時の気温により可使時間が変化するので十分注意する。可使時間の過ぎた

材料は使用してはならない。

- ⑤ ひび割れ注入材は原則として、周辺気温が 5～30℃で使用する（具体的には使用材料のメーカー規定によること）。
- ⑥ 二液タイプの材料は、規定された主材と硬化剤の適合量を守り、十分攪拌を行う。
- ⑦ ひび割れ注入材が所定の強度を発現するまで、雨水の進入防止、適正な温度管理、衝撃の防止等、適切な養生を行う。
- ⑧ 施工中に周囲の漏水等、水の浸入が予想される場合は、別途これに対処する。
- ⑨ コンクリート表面にレイトンス、塵埃、油脂類、塩分等が付着している場合や、脆弱部があるとひび割れシール材の接着性能に悪影響を及ぼすことが多いため、これらの有害物は確実に除去する。
- ⑩ コンクリート表面が、濡れていたり湿ったりしている場合は、ひび割れシール材の接着性に悪影響を及ぼすため、コンクリート表面の含水率は、高周波水分計で 8%以下であることを確認する（エポキシ樹脂系の場合）。

4)対策効果の確認

- ① ひび割れからの漏水は、接着が不完全であることを示すものであり、漏水が発生した場合は、別途、止水注入工（3. 漏水対策編参照）を適用する。
- ② シール材除去後、ひび割れ幅全体にわたって注入材が充填されていることを目視により確認する（ひび割れ深部の充填の有無に関しては確認できない）。

2.3.5 金網・ネット工

(1)金網・ネット工の概要

金網・ネット工は、即応性があると同時に標準調査を妨げないが、変位拡大防止効果がほとんどないことから、「応急対策」のみに使用できる工法である。

金網・ネット工に求められる材料特性としては、応急対策工であるため、即応性や施工性が求められる。なお材料としての耐久性は不可欠な要求条件ではない。金網・ネット工で使用する材料は、道路トンネルへの適用実績、材料剛性、材料特性、および市場流通性等を考慮して、金網工としてはクrimp金網、エキspandメタル、ネット工としてはFRPグリッド、樹脂ネットとする。各材料の適用性を表-2.3.10に示す。

(2)金網工

1)工法概要

覆工表面にコンクリートアンカーと平鋼を使用して金網を固定し、覆工表面の落下防止を行うものである。原則として「応急対策」として用いる。

表-2.3.10 「金網・ネット工」の各材料の適用性比較

工法・材料 項 目		金網・ネット工				備考
		金網工		ネット工		
		クリンプ金網	エキスパント [*] メタル	FRP [*] リット [*]	樹脂ネット	
適用区分		応急対策				
防止するはく落小片の規模（径）		径10mm程度以上		50mm程度以上	20mm程度以上	後述する標準的な各材料の編み目サイズで変更可
部位	アーチ	×	○	×	×	内空断面に余裕がない場合、車両接触により破断しにくい材料を用いる。
		○	○	○	○	内空断面に余裕がある場合
	側壁	○	○	○	○	
	横断目地	○	○	○	○	
	水平打継ぎ目	○	○	○	○	
保持効果	たわみ	少		やや大	大	
	覆工面への密着性	良好		良好でない		
	材料の耐荷重量	中		大	極めて小	
耐久性	塩害	△	△	○	○	
	耐酸性・耐アルカリ性	△	△	○	○	
施工性	アーチ部（曲面）の施工性	○	○	○	○	
	アーチ天端部付近の施工性	○	○	○	○	片側通行規制で左右交互に施工する場合
	凹凸部の施工	○	○	○	○	
	冬期間施工	○	○	○	○	
	下地処理	不 要				
	漏水処理	不 要				
	施工期間	1 工程（設置）				
変状の継続監視		可 能				
資材調達期間		既製品あり		△受注生産	既製品あり	
道路トンネルでの適用実績		多い		少ない		
選定上の留意点		① 金網工の適用を基本とする。 ② 複数の変状箇所を対策する場合は同一材料を用いることを基本とする。 ③ ネット工は海岸付近で発錆が著しい場合に適用を考慮する。				

○：適用可能、△：場合により適用可能、×：適用不可

写真-2.3.7、写真-2.3.8に示すように金網には様々なタイプのものがあるが、剛性、部材厚さ、網目の適度な細かさ、材料の入手の容易さ、実績等から、本マニュアルではエキスパントメタルおよび、クリンプ金網を使用することとした。

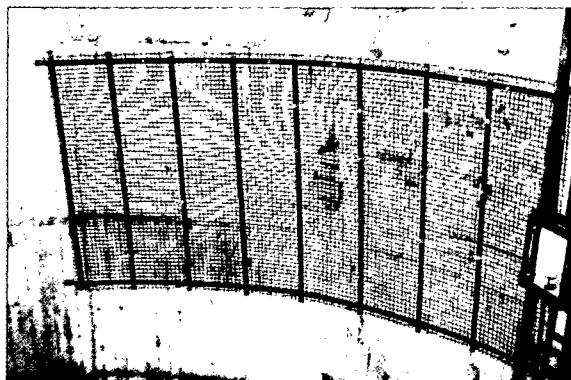


写真-2.3.7 金網工事例1

(「クリンプ金網」の使用例：覆工に密着してはく落片を保持している。)

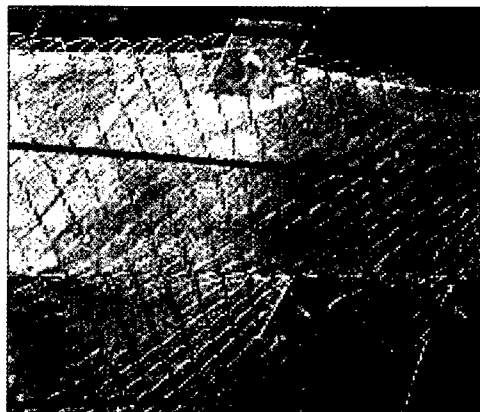


写真-2.3.8 金網工事例2

(網目が粗く、剛性の低い「ひし形金網」を使用しているため、金網がたわみ覆工に密着していない。)

2)設計方法

a)使用材料

使用材料は、表-2.3.11に示す「エキスパンドメタル」または「クリンプ金網」を基本とし、現地で入手し易い材料を選定する。

ただし、適用部位がアーチ肩部の場合には、車両衝突による破損のおそれがあるため、網目のズレがないエキスパンドメタルを適用することを基本とする。

表-2.3.11 金網工使用材料例

金網種類	エキスパンドメタル ⁵⁾	クリンプ金網 ⁵⁾
概要図		
規格	一般用 XS シリーズ (JIS G 3351)	亜鉛めっき鉄線製 CR-G1 (JIS G 3553)
使用標準 編目	XG-32、SW12mm×LW30.5mm 注1)	線径 2.0mm×編目 10mm 注2)
保持できる はく落小片 の規模	径 10mm 程度以上 (上記編目を適用した場合)	
固定補助 鋼材	平鋼：(幅 50mm×厚さ 3mm)程度以上	
固定金具	コンクリートアンカー M10×70 程度以上 (覆工の劣化が激しくコンクリートアンカーの固定が不可能な場合は、別途検討する)	
鋼材の 防錆対策	表-2.3.1参照	

注1) エキスパンドメタル寸法は表-2.3.12に示すサイズがあり、はく落小片サイズにより適当な寸法を採用する。

注2) クリンプ金網寸法は表-2.3.13に示すサイズがあり、はく落小片サイズにより適当な寸法を採用する。

表-2.3.12 エキスパンドメタル寸法 (文献⁵⁾から一部引用)

記号	品番	メッシュ寸法(mm)		ストランド寸法(mm)		単位重量 Kg/m ²	備考
		SW	LW	T	W		
XS	3 1	12	30.5	1.2	1.5	2.36	溶融亜鉛めっき不可
	3 2			1.6	2.0	4.19	
	3 3			2.3	3.0	9.03	
	4 1	22	50.8	1.6	2.0	2.28	
	4 2			2.3	2.5	4.10	
	4 3			3.2	3.5	8.00	
	以下 93 まで						

表-2.3.13 クリンプ金網寸法⁵⁾ (単位: mm)

編目 線径	9	10	12	15	18	20	25	30	38	50	60
1.60	○	○	○	○	○	○					
2.00	○	○	○	○	○	○	○				
2.30		○	○	○	○	○	○	○			
2.60				○	○	○	○	○	○		
3.20						○	○	○	○	○	
4.00						○	○	○	○	○	○
5.00						○	○	○	○	○	○

b) 設計方法

図-2.3.6を参考に、金網配置を計画する。クリンプ金網の場合も同様とする。

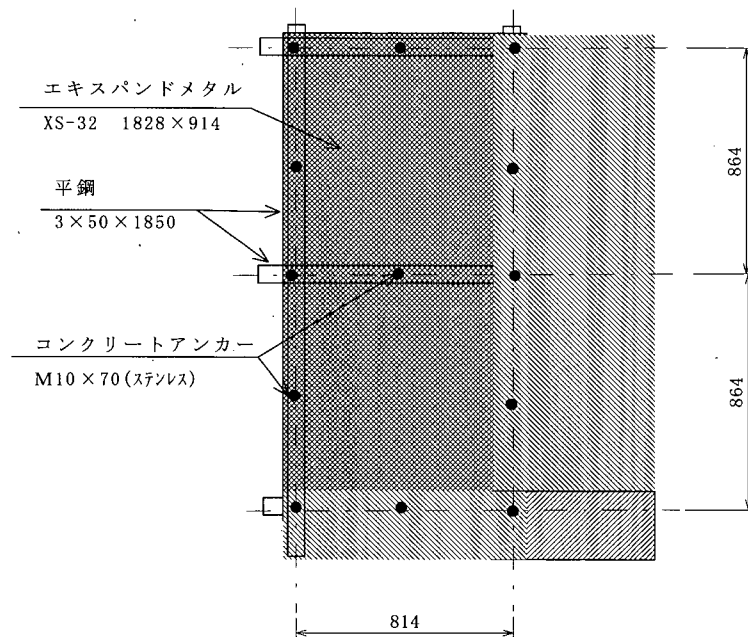


図-2.3.6 金網工参考図 (エキスパンドメタル)

① 施工範囲

変状箇所を包括し、四方に最低 50cm 以上の設置余裕しろを確保する。

② 平鋼設置間隔

一辺 1m 程度以下の格子を描くように設置する。固定用コンクリートアンカーは 40～50cm 間隔程度に 1 本とするが、覆工曲率、凹凸により増減させる。

③ 継ぎ手

金網の継ぎ手は、十分重なるように配慮し、網目の 2 倍以上かつ 50mm 以上ラップさせる。また、その部分は平鋼で押さえる。

c) 漏水の処理

金網工適用箇所で「応急対策」が必要な漏水がある場合は、先に金網工を適用し、その上から漏水の「応急対策」（防水シート等）を実施する。これは標準調査・詳細調査時点で必要に応じて防水シートを一次撤去して変状箇所を確認できるようにするためである。なお、防水シート等の固定は金網の編み目の間にコンクリートアンカーを設置して行う。

d)設計上の留意点

① 平鋼は、一辺が 1m 以下の格子状に配置する。コンクリートアンカーは、ステンレス製を使用し、40～50cm 間隔に 1 本とする（写真-2.3.9は非ステンレス製コンクリートアンカーの発錆事例）。

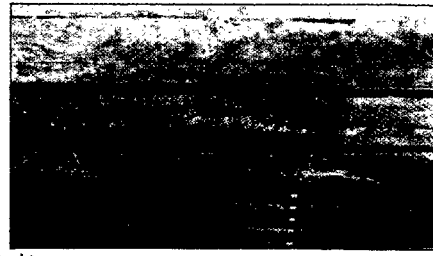


写真-2.3.9 コンクリートアンカーの発錆

② 内空断面余裕が採れないアーチ肩部で、車両接触の危険性のある箇所は、たるみの少ないエキスパンドメタルを使用し、コンクリートアンカー間隔を 20cm 程度以下に密に設置する（写真-2.3.10参照）。

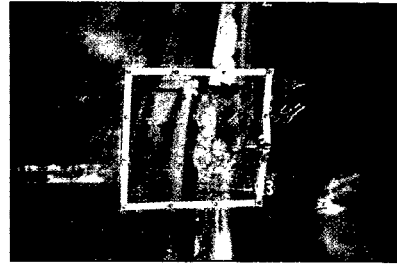


写真-2.3.10 車両接触事例

エキスパンドメタルを使用しコンクリートアンカー間隔を密にしているため落下するに至っていない。

③ 金網による応急処置は、変状の進展が見えるといった利点を持っている。この利点を損なうような対策工との併用はできるだけ避ける（写真-2.3.11はビニルシート併用により、変状箇所が全く確認できない事例）。

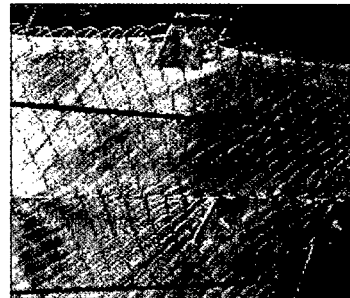
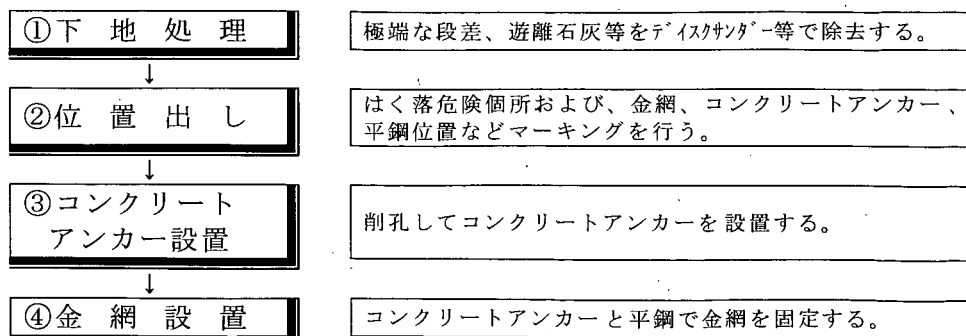


写真-2.3.11 ビニルシート併用事例

④ 網目より細かい小片の崩落の危険性がある場合は、網目の細かな材料を併用するか、別途当て板工の適用（この場合は鋼板の樹脂接着は行わない）を検討する。

3)施工方法

a) 施工手順



b) 施工上の留意点

- ① 覆工表面の凹凸が激しい場合や、覆工アーチの曲率が小さい場合は、アンカーの数を適宜増して覆工表面と金網を密着させる。
- ② 片側通行規制で施工する場合は、天端部で確実に金網の仮止めを行った上で、上下線の施工ヤード移動を行う。

4) 効果の確認

- ① 覆工コンクリート表面に密着し、確実に金網が固定されているか、網を手で引っ張るなどして確認する。
- ② ボルト、ナットの緩みがないか、点検ハンマー等で軽打して確認する。
- ③ 網目から、覆工片の抜け落ちがないか確認する。

(3) ネット工

1) 工法概要

覆工表面にコンクリートアンカーを使用して、FRP グリッド・樹脂ネットを固定し、覆工表面の落下防止を行うものである。

海岸近傍のトンネルのように、設置した金網が短期間に発錆して、対策効果が維持できないような場合に用いる。

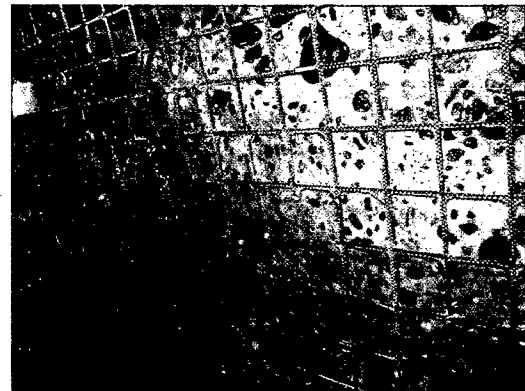


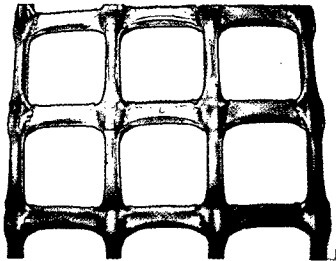
写真-2.3.12 ネット工施工例
(FRP グリッド)

2) 設計方法

a) 使用材料

使用材料を表-2.3.14に示す。なおネット材料は各種あるため、ここではその一例を示す。

表-2.3.14 ネット工使用材料の例

区 分	FRP グリッド ⁶⁾	樹脂ネット ⁷⁾
写 真		
材 質	ガラス	高密度ポリエチレン
サイズ	編み目 50×50mm (GFRP 格子筋#4)	編み目 25×25mm
保持できる はく落小片 規模	径 50mm 程度以上 (主にコンクリート塊の落下防止対策として用いる)	径 25mm 程度以上 (主に覆工コンクリートの小片のはく落防止対策として用いる)
固定補助 鋼材	平鋼：(幅 50mm×厚さ 3mm)程度以上	
固定金具	コンクリートアンカー M10×70 程度以上 (覆工の劣化が激しくコンクリートアンカーの固定が不可能な場合は、別途検討する)	
鋼材の 防錆対策	表-2.3.1参照	

b) 設計方法

図-2.3.7 を参考に、ネット配置を計画する。

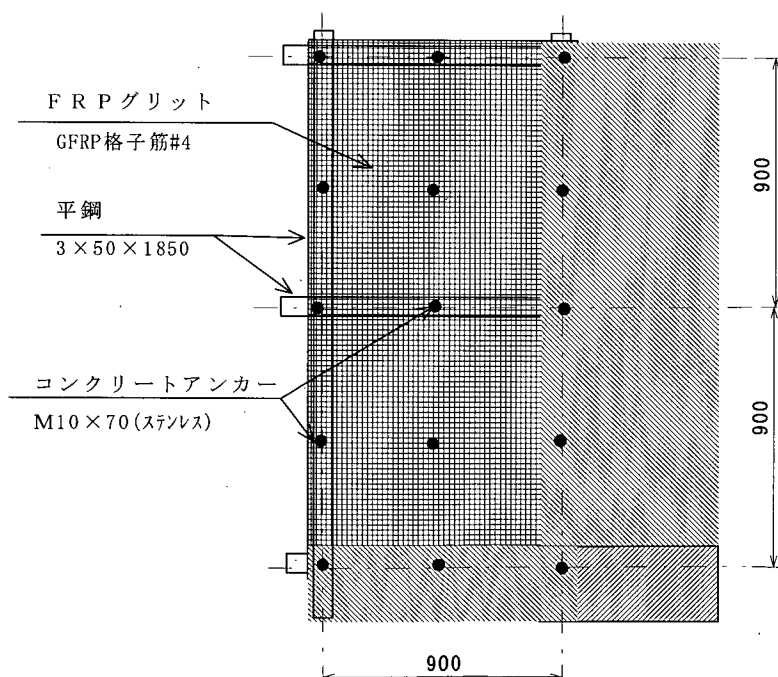


図-2.3.7 ネット工参考図 (FRP グリッド)

① 施工範囲

変状箇所を包括し、四方に最低 50cm 以上の設置余裕しろを確保する。

② 平鋼設置間隔

一辺 1m 以下の格子状に配置する。固定用コンクリートアンカーは 40～50cm

間隔に 1 本とするが、覆工曲率、凹凸により増減させる。なおネットは金網に比べたわみやすいため、平鋼設置個所以外でも、40～50cm の格子点位置に固定用コンクリートアンカーを設置する。)

③ 継ぎ手

金網の継ぎ手は、十分重なるように配慮し、以下の通り 50mm 以上ラップさせ、平鋼で押さえる。

a) FRP グリッド：網目 1 倍以上

b) 樹脂ネット：網目 2 倍以上

c) 漏水の処理

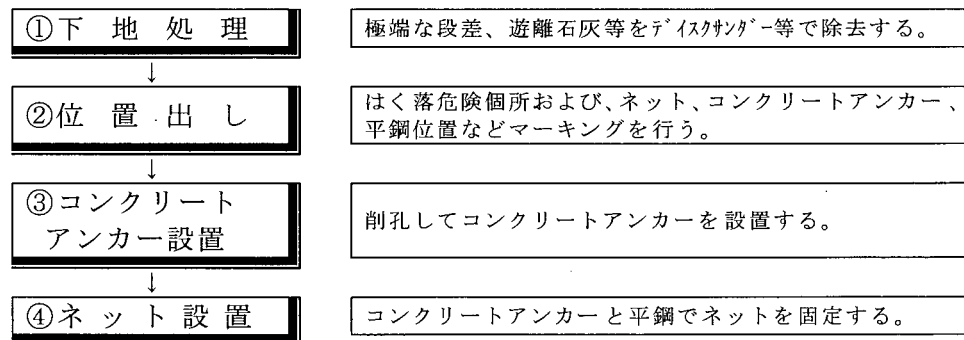
「(2)金網工 c)漏水の処理」に準ずる。

d) 設計上の留意点

「(2)金網工 d)設計上の留意点」に準ずる。

3) 施工方法

a) 施工手順



4) 効果の確認

「(2)金網工 4) 効果の確認」に準ずる。

2.3.6 当て板工

(1) 当て板工の概要

当て板工には、形鋼系、パネル系、繊維シート系がある。このうちパネル系、繊維シート系は「本対策」でのみ用い、形鋼系は「応急対策」「本対策」双方に用いることができる。各材料の適用の考え方を以下に示す。

1) 形鋼系当て板工

形鋼には平鋼、山形鋼、溝型工、H型鋼等各種の形状があるが、はく落防止対策に用いる形鋼は、剛性、施工性（軽量でハンドリングが容易、コンクリートアンカーの固定が容易）、市場流通性を考慮し、等辺山形鋼を用いることを基本とする。

また平鋼は、金網工・ネット工および当て板工（繊維シート系）の固定補助材とし

て用いる。

2)パネル系、繊維シート系当て板工

パネル系、繊維シート系の各材料の特性を表-2.3.16に示す。本マニュアルでは、これまでの道路トンネルへの適用実績を踏まえ、パネル系は鋼板、繊維シート系は炭素繊維シートの適用を基本としている。

両者の優位性は対象とするトンネルの、変状発生部位、施工条件、環境条件等に関し、どの条件を優先的に考えるかによって個々に異なる。ここでは参考までに、パネル系（鋼板）と繊維シート系（炭素繊維シート）との特性を表-2.3.15に要約する。

パネル系（鋼板）と繊維シート系（炭素繊維シート）のいずれを選択するかは、表-2.3.15を参考に、施工性や耐久性、対策効果の確実性等を総合的に判断して決定する必要がある。

表-2.3.15 代表的な当て板工の特性比較

	パネル系当て板工（鋼板）	繊維シート系当て板工（炭素繊維シート）
対策効果 の 発現方法	コンクリートアンカーおよび接着樹脂で鋼板と覆工の一体化を図り、主に鋼板のせん断強度ではなく落片を保持する。	繊維シートを覆工表面に接着し、繊維シートの引張り強度ではなく落片を保持する。
利点	- 剛性が高く、ブロック化したコンクリート塊の固定に優れる。 - 繊維シートに比べ、覆工表面付近の品質がある程度不良でも対応できる。 - 車両接触があっても、材料が落下する恐れは少ない。	- 覆工コンクリート表面の材質劣化部の品質改善に優れる。 - 材料厚が極めて薄く、内空断面を侵さない。 - 材料が軽量で搬入、人力施工、分割施工に優れる。 - 材料自体の劣化、品質低下は少なく維持管理が容易である。 - 対策後にロックボルト等の追加施工が必要になった場合、鋼板に比べ穿孔等の施工が容易にできる。
欠点	- 曲面部の密着が容易でない（施工性が悪い）。 - 段差部の鋼板密着が十分できない。 - 材料自重が重く人力での施工性が悪い。 - 材料、コンクリートアンカーの発錆の恐れがあり、長期的に維持補修を要する。	- ブロック化コンクリート塊の落下防止効果は、周辺部で繊維シートのはく離の有無で規制されるため、鋼板に比べ耐荷力が小さく、また覆工の品質に左右されやすい。 - 極力施工基面を平滑にする必要がある。 - 車両接触によって容易に破断する。
適する 条件	- 小規模施工 - 資材搬入条件が良好 - 塩害による発錆の恐れが少ない地域	- 中規模施工 - 資材搬入条件が不良 - 塩害による発錆の恐れがある地域

表-2.3.16 当て板工（パネル系、繊維シート系）材料の適用性比較

項 目		材 料		繊維シート系			備考	
		パネル系		炭素	アラミド	ガラス		
防止するはく落小片の規模（径）		全ての規模						
変状 形態	覆工	○	○	△	△	△		
	ブロック化	○	○	△	△	△		
	うき・はく離	△	△	○	○	○		
部位	アーチ（肩部）	○	△	△	△	△	内空断面余裕がない場合	
		○	○	○	○	○	内空断面余裕がある場合	
	側壁	○	○	○	○	○		
	横断目地	○	○	○	○	○		
	水平打継ぎ目	×	×	○	○	○		
保持 効果	たわみ	ほとんどない		繊維シートのはく離が発生しなければほとんどない				
	材料の耐荷力	大	中	中		小		
	形鋼との組み合わせ	適正な剛性の材料を用いることで省略可能		大規模な覆工コンクリート塊のはく落対策の場合は必要				
耐久 性	塩害	△	○	○	○	○		
	耐酸・耐アルカリ性	△	○	○	○	△		
施工 性	アーチ部（局面）の施工性	△	△	○	○	○		
	アーチ天端付近部の施工性	△	○	○	○	○	片側通行規制で左右交互に施工する場合	
	段差部の施工	×	×	△	△	△	段差1cm程度以上を想定	
	覆工表面劣化が著しい箇所の施工	○	○	△	△	△	下地処理に労力を必要とする場合	
	車両による資材搬入困難な箇所の施工	×	△	○	○	○	天井版上方の作業等	
	冬期間施工	△	△	△	△	△	接着樹脂の性能	
	下地処理	必要		必要				
	漏水処理	必要		必要				
	施工期間	4 工程 ^{注1)}		5 工程 ^{注2)}				
変状の継続監視		不可		不可				
資材調達		既製品あり	受注生産	既製品あり				
道路トンネルでの適用実績		多い	少ない	多い	少ない			
選定上の留意点		①複数の変状箇所を対策する場合は原則として同一材料を用いる。						
		②パネル系は鋼板を基本とするが、海岸付近で発錆が著しい場合にはFRP板の適用も検討する。		④繊維シートは実績の多い炭素繊維を標準とし、特殊環境（導電性が問題となる場合等）では別途、材料検討を行う。				
		③鋼板は設置時の人力施工（1枚当たりの材料重量）に配慮する必要がある。						

○：適用可能、△：適用に工夫を要する、×：問題があり適用できない

注1) 下地処理（漏水処理）、プライマー塗布、設置、接着樹脂注入

注2) 下地処理（漏水対策）、プライマー塗布、下塗り、上塗り、仕上げ塗装

(2) 形鋼系当て板工

1) 工法概要

形鋼をアンカーで固定し、既設覆工を一体化させる。

型鋼には、山形鋼、溝形鋼、H型鋼、I型鋼など様々なものがあるが、剛性強さと、線状の材料を直接コンクリートアンカーで覆工に固定するため、ナット固定が容易なこと（施工性）から、等辺山形鋼を用いることを基本とする。

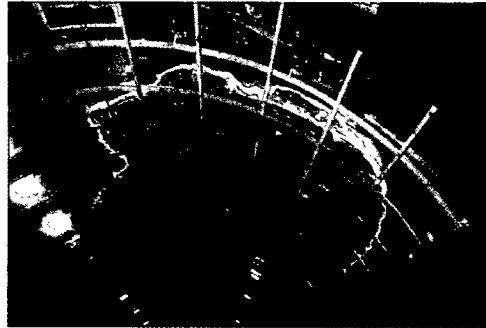


写真-2.3.13 形鋼系当て板事例（等辺山形鋼+平鋼）

2) 設計方法

a) 使用材料

使用材料例を表-2.3.17に示す。ここで「応急対策」に使用する形鋼材料は、単独で用いられること、およびより大きな支持荷重（覆工コンクリート塊）を想定していることから、「本対策」よりサイズアップしたものを使用することとしている。

表-2.3.17 形鋼系当て板工の使用材料例

適用区分	応急対策	本対策
形鋼	等辺山形鋼 75×75×6	等辺山形鋼 50×50×6
形鋼形状	直材	
形鋼材質	一般構造用圧延鋼材(SS400)	圧延ステンレス鋼(SUS304)
固定補助鋼材	平鋼：(幅 50mm×厚さ 3mm)程度以上	
固定金具	コンクリートアンカー M12×100 程度以上（引き抜き耐力 2t 以上） (覆工の劣化が激しくコンクリートアンカーの固定が不可能な場合は、別途検討する)	
鋼材の防錆対策	表-2.3.1参照	

b) 設計方法

下記に示す基本事項を満足するように等辺山形鋼を設置する（「応急対策」、「本対策」共通）。参考までにこれら事項を満足する形鋼の配置例を図-2.3.8に示す。なお 4 m²以上（ブロック化したコンクリート塊の保持）の場合は、別途、落下荷重を考慮した構造計算により、等辺山形鋼の断面や配置、固定方法を設計する必要がある。

- ① 等辺山形鋼は変状箇所を包括した上で、健全部分に 50cm 以上の固定余裕長を見込んで配置する。また、この固定余裕長の範囲で必ず 2 箇所以上、コンクリートアンカーで固定する。
- ② 等辺山形鋼は施工性を考慮して基本的に直材を用い、トンネル縦断方向に並行に設置する。ただし、変状部位や形状により横断方向への配置が効果的であると判断される場合にはこの限りではない（この場合は曲げ加工が必要になる）。

- ③ 固定補助材として平鋼をトンネル横断方向に組み合わせて配置すると良い（金網・ネット工では一般に平鋼を併用するので、金網・ネット工と併用する場合はトンネル縦断方向の平鋼を等辺山形鋼に変更する）。
- ④ 施工範囲は、横断目地、水平打継ぎ目をまたいでも構わない。
- ⑤ 等辺山形鋼の設置間隔は 50cm を標準とする。
- ⑥ コンクリートアンカーの設置間隔は 50cm を標準とする。
- ⑦ 変状箇所周辺の覆工コンクリートの材質劣化が著しく、コンクリートアンカーの引き抜き耐力が 2t 以上確保できない場合には、ロックボルト等（併せて防錆対策も考慮）を検討する。

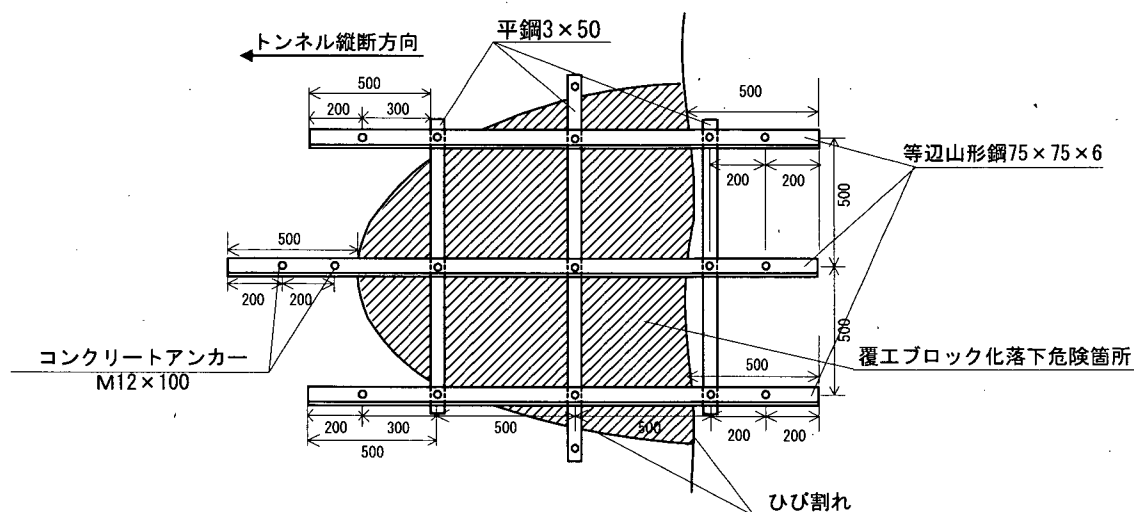


図-2.3.8 形鋼系当て板工配置参考図

c) 漏水の処理

基本的に対策箇所に漏水が発生していても、漏水の処理は必要ない。

d) 設計上の留意点

- ① ブロック化したコンクリート塊の面積が 4 m^2 を超える場合は、鋼材の応力計算を行い、適切な形状の山形鋼または溝形鋼等を適用する。また固定方法はロックボルトの併用等を検討する必要がある。
- ② アーチ肩部で内空断面余裕がない場合は、等辺山形鋼の設置位置を建築限界の外側に変更して配置する(図-2.3.9 参照)。
- 

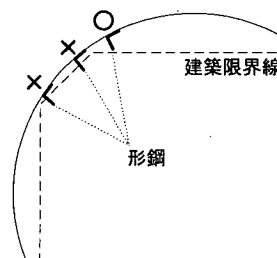
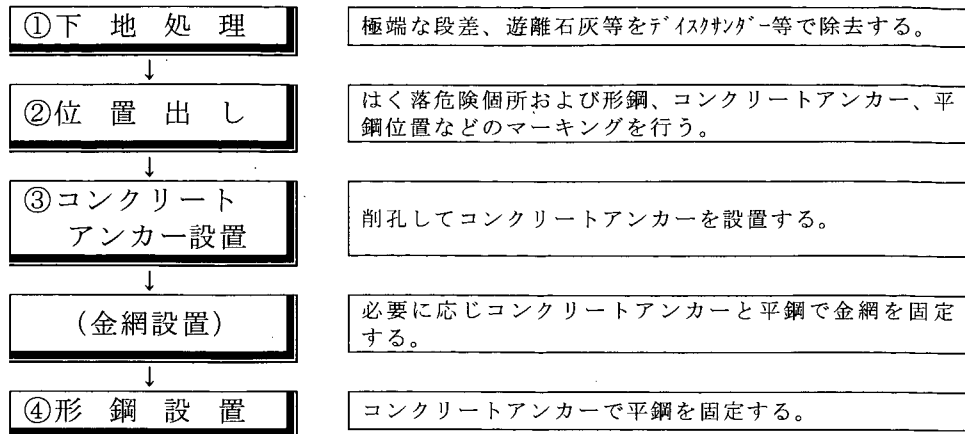


図-2.3.9 肩部の形鋼配置

3)施工方法

a) 施工手順



b) 施工上の留意点

- ① 等辺山形鋼の孔加工等は、めっき処理前に行う。現地合わせ等でめっき処理後に加工を行った場合は、必ず防錆剤を塗布する。
- ② 等辺山形鋼の設置範囲に段差がある場合は、ナット等により段差を調整するなど処置を施す。

4) 効果の確認

- ① 確実に鋼材が変状箇所に密着してこれを固定しているか、点検ハンマー等で打診して確認する。
- ② ボルト、ナットの緩みがないか、点検ハンマー等で軽打して確認する。

(3) パネル系当て板工

1) 工法概要

パネル系の当て板をコンクリートアンカーや接着剤で覆工に接着し、はく落を防止する。なお当て板材料としては現在、鋼板や FRP 板等が用いられるが、本マニュアルでは施工実績から鋼板を標準とする。



写真-2.3.14 パネル系当て板工事例
(鋼板)

当対策工は変状箇所を覆ってしまうため、原則として「本対策」にのみ適用される。ただし、細かな覆工コンクリート片のはく落に対し、金網・ネット工で編み目サイズを調整しても対応できない場合は、代替えとして「応急対策」に適用してもよい。「応急対策」に適用する場合は、後の標準調査・詳細調査で変状箇所を確認できるように、接着材固定は行わない。

2)設計方法

a)使用材料

使用材料例を表-2.3.18に示す。

表-2.3.18 当て板工（鋼板）使用材料例

区分	応急対策	本対策
鋼板	一般構造用圧延鋼材(SS400)	圧延ステンレス鋼(SUS304)
厚さ	3.2mm	4.5mm
固定金具	コンクリートアンカーM10×70 程度以上	
接着樹脂	—	エポキシ樹脂系
鋼材の防錆対策	表-2.3.1参照	

b)設計方法

パネル系当て板工の平面配置の参考図を図-2.3.10に示す。

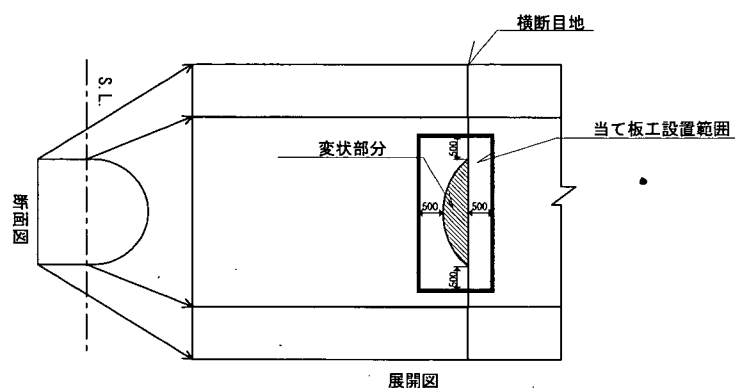


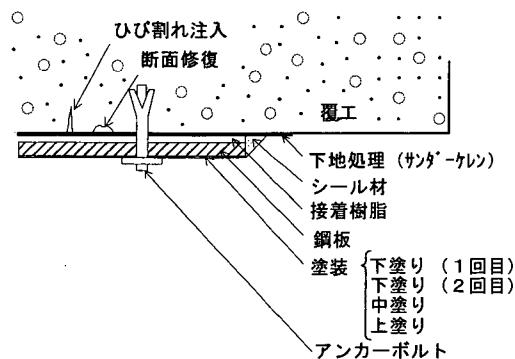
図-2.3.10 パネル系当て板工（鋼板）配置参考図

① 設置範囲

変状部分を包括し、周囲に最低 50cm は固定余裕長を設ける。

② 固定方法

ステンレス製コンクリートアンカーM10×70（7本/㎡程度使用）による固定を標準とする。なお、コンクリートアンカーの設置間隔は最大 50cm 以下とし、格子状に配置する。また、コンクリートアンカーで固定後に端部をシールし、接着材を注入して固定する。なお、金網・ネット工の代替え工として「応急対策」に適用する場合は、接着材固定は行わない。

図-2.3.11 鋼板設置概要図（文献⁸⁾を一部加筆修正）

③ 継ぎ手部

継ぎ手は突き合わせ継ぎ手とする。

c)漏水の処理

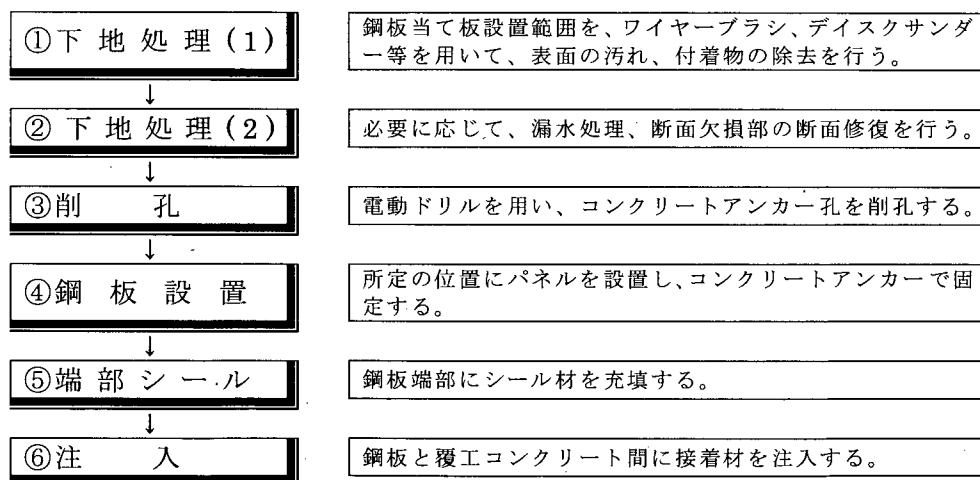
- ① 対策箇所ではび割れからの漏水がある場合は、地下水位低下工法や止水注入工（ひび割れ注入）もしくは止水充填工（Vカット充填）等による漏水対策を行って、対策箇所を乾燥状態にする。
- ② 対策箇所が横断目地あるいは水平打継ぎ目をまたぐ場合で、目地等から漏水がある場合は、溝切り工を適用する。

d)設計上の留意点

- ① 開口量の大きなひび割れ、段差、横断目地等に施工する場合は、これらに接着材がリークしないようシーリング材を考慮する。
- ② 繊維シートと異なり鋼板の場合はせん断剛性が高いため、規模が大きくても形鋼を併用しなくても良い場合があるので、設計者の判断で形鋼併用を省略できる。

3)施工方法

a)施工手順



b)施工上の留意点

- ① 写真-2.3.15に示すように、鋼板がたわみ、覆工への密着性が悪いと、確実な対策効果が得られないため、必要に応じて事前の不陸修正やコンクリートアンカーの増量を行う。

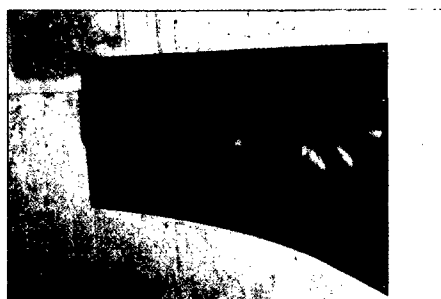


写真-2.3.15 覆工への密着性が悪い例

- ② 鋼板のアンカー固定用穴加工は、めっき処理の前とする（溶融亜鉛めっき加工の場合）。
- ③ 片側通行規制で施工する場合は、天端部で確実に当て板の仮止めを行い、上下線の施工ヤード移動を行う。

④ 施工時の気温について

鋼板固定のための接着材使用に関して、施工時の気温が問題となる。接着材料はエポキシ樹脂系を用いるため、施工時の気温に関しては炭素繊維シートと同様な制約があり、注意が必要である（「(4)繊維シート系当て板工、b)施工上の留意点」参照）。

4)効果の確認

注入材硬化後、点検ハンマーで接着状況を確認する。不良箇所（未接着箇所）は再注入を行う。

5)新工法・新技術

最近、パネル系材料として FRP 板、あるいはFRPを芯材として2枚のセメント系フレキシブル板の間に挟込んで接着成形したパネルを用いる事例が報告されている。こうした材料は鋼板に比べ軽く、施工性に優れる。また錆びることがないため、塩害の被害が激しい箇所での施工に向く。ただし製品は受注生産であり、個別に断面強度を設定して設計を行う必要がある。

(4) 繊維シート系当て板工

1)工法概要

繊維シートを既設覆工コンクリートに接着し覆工を一体化することで、はく落を防止する。繊維シートには、炭素繊維シート、アラミド繊維シート、ガラス繊維シートがあるが、本マニュアルでは、道路トンネルにおける補修に実績の多い炭素繊維シートを標準とする。ただし、この分野の開発は早いテンポで進んでいるため、常に最新技術や施工実績に関する情報収集に努め、炭素繊維シート以外の材料でも効果・施工性・安全性・経済性に優れると判断できる場合には採用できるものとする。当対策工は変状箇所を覆ってしまうため、「本対策」にのみ適用される。

なお、繊維シート系当て板工は、トンネルへの適用実績が 10 年程度しかない新しい工法であるため、横断目地部への適用方法等については研究段階にあることに留意する必要がある。

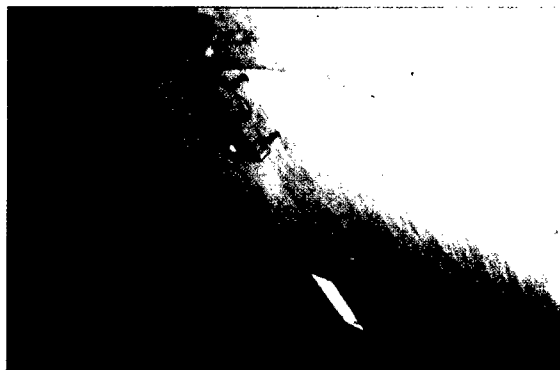


写真-2.3.16 繊維シート系当て板事例（炭素繊維シート）

2)設計方法

a)使用材料

① 炭素繊維シートには、繊維を1方向に配置した「1方向繊維シート」と、繊維を編み込んだ「2方向クロス繊維シート」がある。「外力対策」が必要な覆工コンクリートの補強を目的として炭素繊維シートを用いる場合には、「1方向繊維」を直交するように、交互に貼り合わせて炭素繊維シートを設置する。一方「はく落対策」では繊維シート材にそれほど引張力を必要としないことや、複数層を貼り付ける施工手順が不要で経済的に有利であることから、「2方向クロス繊維シート」の適用を標準とする。使用する炭素繊維シートは、表-2.3.19に示す品質規格を満足しなければならない。

表-2.3.19 炭素繊維シート（2方向クロス繊維シート）の品質規格⁹⁾

項 目	規格値	試験法
ヤング係数	$1.9 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 以上	JIS K7073
引張強度	2400N/mm^2 以上	JIS K7073
繊維重量	200g/m^2 以上	JIS K7071 または JIS R7602

② 下地処理として断面修復を行う場合は、表-2.3.20を参考に修復材料を選択する。

表-2.3.20 断面修復材の選択(文献⁹⁾掲載を一部加筆修正)

修 復 材 料	大面積の欠損				小面積の欠損		
	補 修 深 さ(mm)				補 修 深 さ(mm)		
	3程度	3～12	12～25	25以上	3程度	6～12	12～25
コンクリート・モルタル			△	○			△
ポリマーセメントモルタル		○	○			○	○
樹脂モルタル	○	○			○	○	
エポキシパテ	○				○		

○：適用可能、△：他材料に比べ覆工コンクリートへの付着性能が低い

③ プライマーは、表-2.3.21に示す品質規格を満足するものとする。

表-2.3.21 プライマーの品質規格⁹⁾

項 目	規格値	試験用基板	試験法
接着強度	1.4N/mm^2	モルタル板	JIS K5400 に準ずる

④ 不陸修正材は、表-2.3.22の規格に適合しなければならない。また、不陸修正材は、プライマー、含浸・接着樹脂と十分な接着が確保できるものでなければならない。さらに、不陸修正材は、覆工表面の段差や比較的小さな凹凸を平滑化するのに適度な粘度、粘着性を有し、塗布作業に適した性状を持つものでなければならない。

また、繊維シートと覆工との一体化を確保するために、プライマーと同等の接着強度を有するエポキシ樹脂系のものが望ましい。

表-2.3.22 不陸修正材の品質規格⁹⁾

項目	規格	試験用基板	試験法
接着強度	1.4N/mm^2 以上 (15kgf/cm^2 以上)	モルタル板	JIS K5400に準ずる

⑤ 含浸・接着樹脂（エポキシ樹脂）は、上向き作業にも適した粘度を有するもので、表-2.3.23に示す品質基準を満たすものでなくてはならない。

表-2.3.23 含浸・接着樹脂（エポキシ樹脂）の品質規格⁹⁾

項 目	規格値	試験法
引張強度	29N/mm ² 以上	JIS K7113
曲げ強度	39N/mm ² 以上	JIS K7203
引張りせん断強度	9.8N/mm ² 以上	JIS K6850

⑥ 仕上げ塗装材は、耐候性塗料による塗料仕上げとする。炭素繊維シートの施工実績は表-2.3.24に示す塗装材料があり、経済性、不燃性、現地での施工性等を考慮したものとする。

表-2.3.24 仕上げ塗装材の諸元、品質一覧表

仕上げ方法	塗装材種類（耐候性塗料）
塗装仕上げ	ウレタン系
	アクリル系
	フッ素系
	エポキシ系

注)塗布量、施工間隔は各製品に依って異なる

⑦ 上記の各材料は、炭素繊維シートを覆工コンクリートに接着した完成形の状態で、自己消火性（熱源が無くなると自然に消火する性質）を有するものでなければならない。

b) 設計方法

繊維シート系当て板工の平面配置の参考図を図-2.3.12に示す。

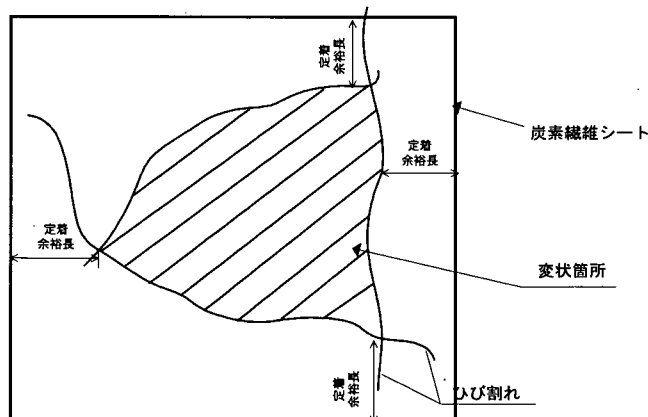


図-2.3.12 繊維シート系当て板工配置参考図

① 施工範圍

アーチ部では、変状部の周囲に覆工巻厚（実際の覆工巻厚が不明な場合は設計巻厚）+20cm 以上（最低 50cm 以上）の定着余裕長を確保する。ただし横断目地部をまたぐ場合は、横断目地の気温変動に伴う開閉によって周辺部の繊維シートがはく離する恐れがあるため、覆工巻厚+40cm 以上（最低 70cm 以上）の定着余裕長を確保する。

側壁部では、はく落塊の全重量を繊維シートで直接保持することにはならないので、アーチ部に適用する場合に比べ定着余裕長は短くできる。側壁部の定着余裕長は設計者の判断で個別に設定する（ただし定着余裕長の最小値は 20cm 以上とする）。

② 配置

炭素繊維シートは、長方形（場合によっては正方形）の各辺をそれぞれトンネル縦断方向および横断方向に合わせるように配置することを標準とする。

③ 断面構成

断面構成は、図-2.3.13に示すような断面構成を標準とする。

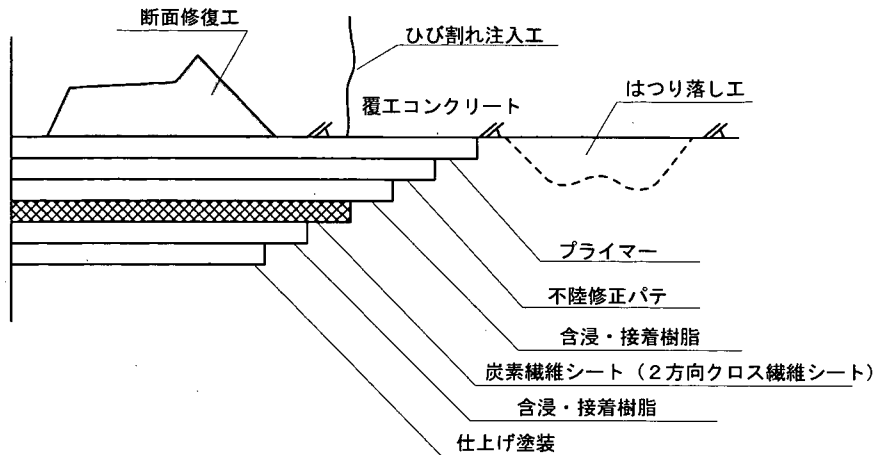


図-2.3.13 断面構成

④ 防湿孔

漏水が多いトンネルの場合は、止水対策を行っても繊維シート背面に再漏水することで繊維シートが剥離する場合がある。特に、寒冷地ではこれが凍結膨張して容易に繊維シートが浮き上がる恐れがある。こうした現象を防止する目的で、防湿孔を設けることが望ましい。

防湿孔は、仕上げ塗装前に直径 10mm で深さ 10mm 程度の孔をドリル等で削孔するもので、下図に示すように 50cm 間隔で設けることを基本とする。

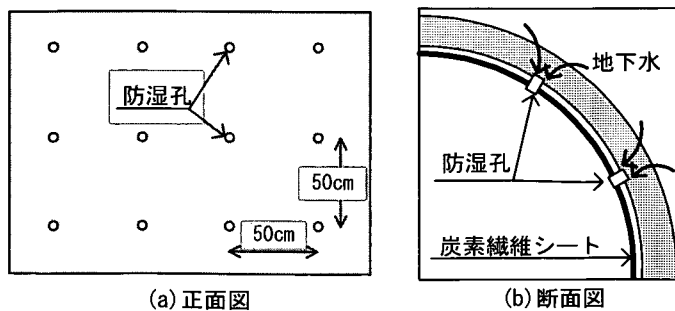


図-2.3.14 防湿孔配置の例

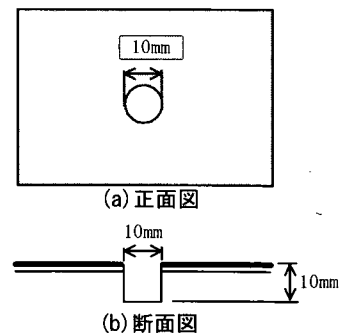


図-2.3.15 防湿孔の形状例

写真-2.3.17は寒冷地のトンネルで、炭素繊維シートを施工する際、防湿孔を設けた事例であるが、防湿孔により繊維シートと覆工の間に水がたまることなく、漏水が排水されている。また繊維シートには、浮き、はく離はなく、対策効果が持続している。



写真-2.3.17 防湿孔の事例

(防湿孔から漏水が発生しているが繊維シートは密着している)

⑧ 下地処理

本工法は含浸・接着樹脂による接着耐久性が、工法の信頼性、耐久性を左右するという特性がある。このため、施工範囲の覆工コンクリート表面の汚れ、劣化、レタンス等を適切に除去するために適切な下地処理を計画しておく必要がある。

下地処理としてはディスクサンダー、高圧水洗浄、サンドブラスト、ドライアイスブラストによる方法があり、一般にはディスクサンダー処理が標準⁹⁾である。ただし、道路トンネルで広範囲に繊維シートを施工する場合は高圧水洗浄が効率的になる場合がある。

また、施工範囲に漏水が無くひび割れがある場合についても、繊維シートの接着状態が均一になるように、ひび割れ注入工（「2.3.4ひび割れ注入工」参照）による補修を行っておくことが望ましい。ひび割れ注入工を計画する場合は既往の実績や、耐荷力への影響が及ぶ可能性があるとしてされている幅 0.5mm 以上のひび割れを対象として同対策工を計画することを標準とする（幅 0.5mm としたのは文献²⁾を参考にした）。

c)漏水の処理

① 対策箇所が多量の漏水がある場合は、対策箇所の下方で水抜き孔等により漏水量を低減させ、ひび割れからの漏水は止水注入工（ひび割れ注入）で止水して、対策箇所を乾燥状態にする。なお、止水充填工（V カット充填）は止水効果が持続しない可能性があり、繊維シート系当て板工の漏水処理は止水注入工（ひび割れ注入）を標準とする。

② 対策箇所が横断目地もしくは水平打継ぎ目をまたぐ場合で、それから漏水がある場合は溝切り工を併用する。ただし、溝切り工は、最終的に横断目地両側の覆工表面と平滑になるような材料形状のものでなければならない。溝切り工の設計は

「3.3 漏水対策工各論 3.3.2 溝切り工」に準拠して行う。

d) 設計上の留意点

① 横断目地部

横断目地部では、気温変化に伴う目地の伸縮や、漏水が発生することがあるため、横断目地をまたいでの施工はできるだけ避ける。しかし横断目地部に覆工コンクリートのブロック化部分が隣接する場合は、はく落防止効果を得るために、横断目地をまたいで繊維シートを適用することもある。この場合の設計は、以下の事項に配慮する。

- 横断目地部をまたいで繊維シート当て板工を適用した事例は少なく、またこうした箇所での繊維シートの付着効果に関しては未解明な部分もある。このため定着長には、温度変化等による横断目地部の伸縮を緩和させる余裕長 20cm を加算する。また図-2.3.16に示すように平鋼を併用して繊維シートを固定する（これは今後、横断目地部での繊維シートの適用性に関し、実績の蓄積や付着特性の解明によって標準設計ができるまでの経過措置である）。

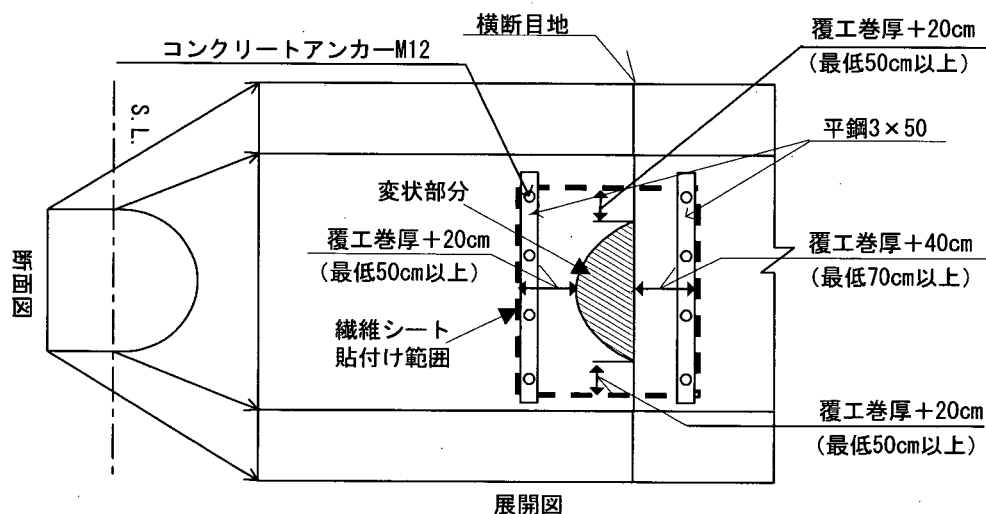


図-2.3.16 横断目地部の繊維シート設置参考図

- 横断目地部から漏水がある場合は、図-2.3.17 に示すように溝切り工を下地処理として用いる。

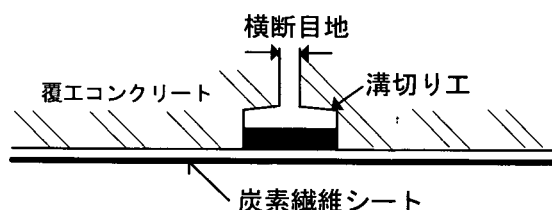


図-2.3.17 横断目地部の処理例1

- 横断目地に漏水の無い場合は、図-2.3.18に示すようにゴムシートやシリコンコーキング材等の柔軟性を有する材料を用いて、横断目地の下地処理を行う。

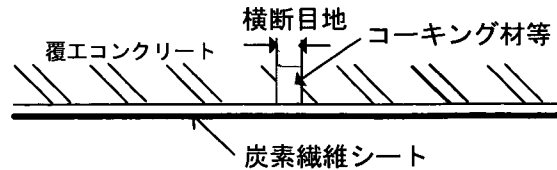


図-2.3.18 横断目地部の処理例 2

② 水平打継ぎ目部

水平打継ぎ目部は特に漏水が多いので、溝切り工を適用し漏水処理を行う必要がある。また水平打継ぎ目部のモルタルは特にはく落し易いので、繊維シート設置の下地処理として、これを除去し断面修復を行う必要がある。

なお、水平打継ぎ目部の繊維シートの定着余裕長は、最小 20cm 以上確保する。

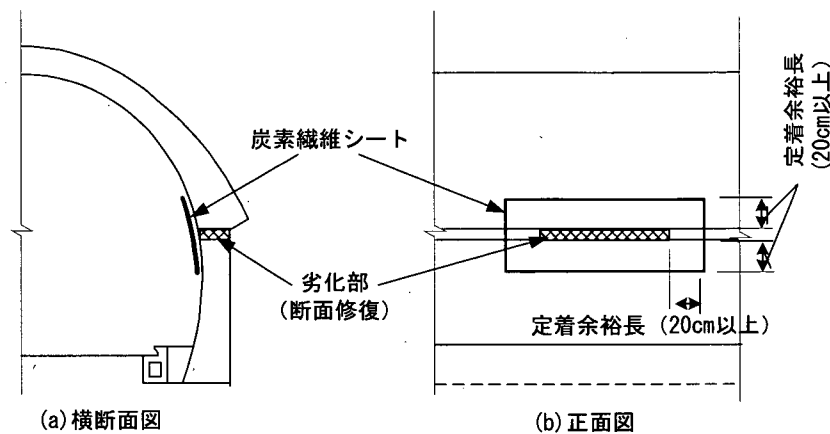


図-2.3.19 水平打継ぎ目部の施工概要

③ オーバーラップによる材料ロス率

2 方向クロス繊維シートは、それぞれの繊維方向に 10cm の重ね合わせ (オーバーラップ) が必要である。オーバーラップ位置を設計図面上に明記する必要はないが、2 方向クロス繊維シートは、一般に 1m 幅の製品が多いため、設置面積が $1\text{m} \times 1\text{m}$ を越える場合は、下図に示すように、トンネル縦断方向、横断方向にそれぞれ 10cm のオーバーラップロスとして 10% のロスを見込む必要がある。

←トンネル縦断方向→

↑トンネル横断方向↓

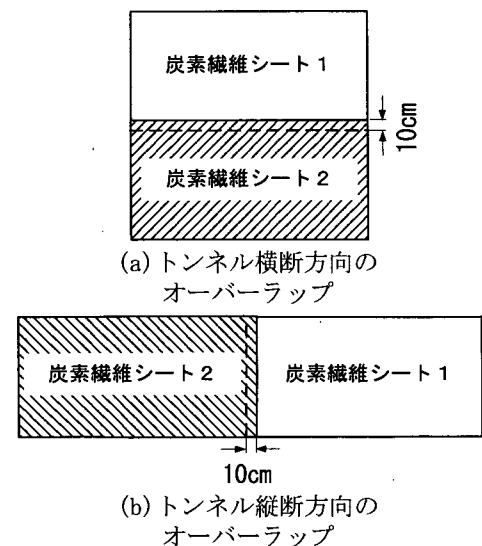


図-2.3.20 2方向クロス繊維シートのオーバーラップ解説図

④ 炭素繊維シートの適用除外条件

炭素繊維自体は導電性を有しているため、以下のような条件化では、非導電性のアラミド繊維、ガラス繊維を用いる必要がある。

- 繊維シート接着面に鋼材が配置されている場合。鋼アーチ支保工とコンクリートによる内巻補強工（写真-2.3.18参照）等で、炭素繊維シートを内面に接着した場合、炭素繊維を介して鋼材に電流が発生し、鋼材の電腐が進む恐れがある。

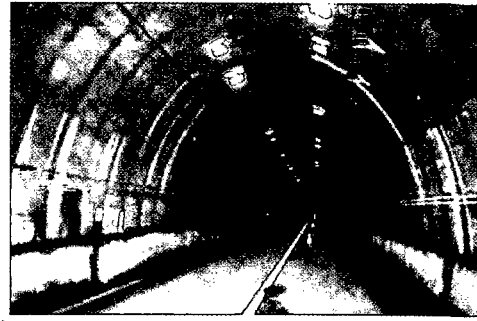
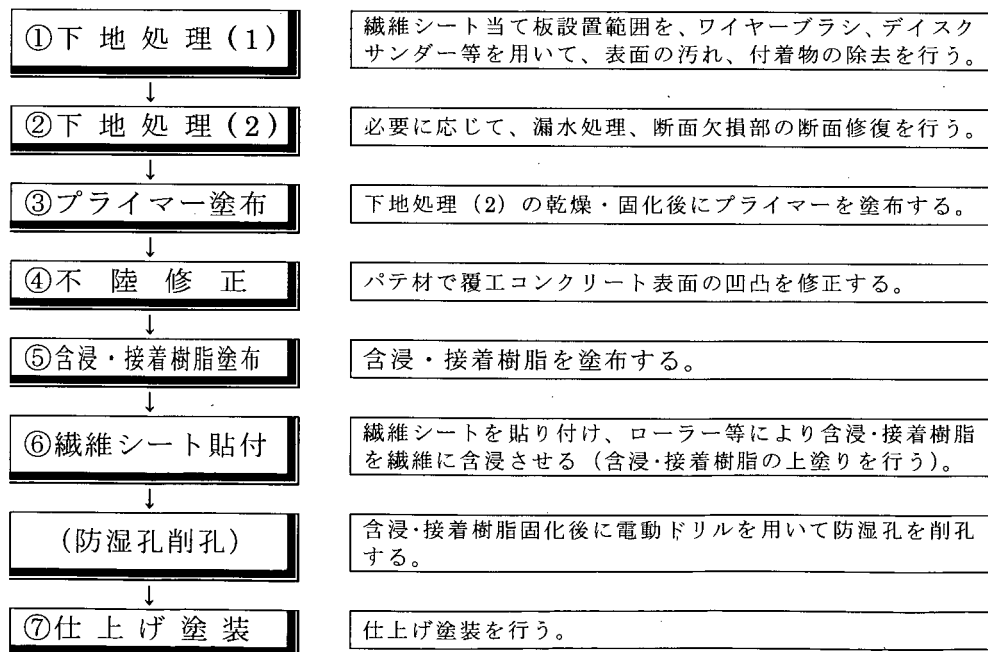


写真-2.3.18 鋼アーチ支保工による内巻補強工

- 炭素繊維シートが万一はく離した場合、短絡事故が発生する恐れがある場合。道路トンネルではこうした可能性はほとんどないが、鉄道トンネルでは、架線・軌道に炭素繊維シートが落下し事故が発生した事例がある。
- 炭素繊維シートの現場での切断に伴って炭素粉が発生する。電気モーター等がこれを吸引すると短絡して故障の原因になるため、地下換気所等では使用を避ける。

3) 施工方法

a) 施工手順



b) 施工上の留意点

① 施工時の気温について

- 炭素繊維シートの含浸・接着樹脂は、一般にエポキシ樹脂が使用されており、この施工可能な最低気温、最高気温は以下の通りである。

最低気温：5℃

最高気温：上限はないが、気温が高いと樹脂の可使時間が短くなるので注意が必要となる。

- 5℃以下で施工を行う場合は、加温養生を行い、環境温度を 5℃以上に保つ必要

がある（冬用含浸・接着樹脂を使用）。

- ・ 樹脂性能上は 35℃を越えた施工を行っても問題ないが、可使時間が極端に短くなるので、含浸時に十分注意を払う必要がある（夏用含浸・接着樹脂を使用）。
- ・ 近年 5℃以下でも連続繊維シート施工が可能な樹脂（MMA 樹脂や低温硬化エポキシ樹脂等）が開発されており、-10℃までの気温までは加温養生無しで施工可能な場合がある。この場合、樹脂メーカーにより施工可能温度や施工方法が大きく異なるため、各メーカーの指示に従った施工が必要である。

② 含浸・接着樹脂は強度発現に時間を要する。このため施工直後に大型車の高速走行やジェットファン稼働による風圧上昇等によって、繊維シートがはく離する恐れがある場合は、一時的に平鋼等で端部を仮押さえしておく必要がある。

③ 防湿孔を設ける場合は必ず仕上げ塗装前に削孔して、削孔時の繊維の“ほつれ”等を仕上げ塗装で固定する。

4)効果の確認

漏水や接着不足による繊維のうき、はく離がないことを、近接目視およびプラスチックハンマー（通常の点検ハンマーでは、打撃によって繊維を切断する恐れがあるためプラスチックハンマーを用いる）で確認する。

2.3.7 補強セントル工

1)工法概要

補強セントル工は地圧対策および大規模にブロック化した覆工アーチ部のコンクリート塊の崩落防止を目的として用いられる対策工法であり、鋼アーチ支保工を建て込み、矢板等をブロッキング材として覆工コンクリートを保持する。当工法は内空断面の縮小を余儀なくされ、また、セントルと覆工との一体化が図れないことから「応急対策」に限定して実施する（本マニュアルでは「補強セントル工」と、鋼アーチ支保工と吹付けコンクリート等を併用した「内巻補強工」とは区分している）。

またセントル材の間で、覆工コンクリート片のはく落が生じる場合は、金網・ネット工を併用する必要がある。

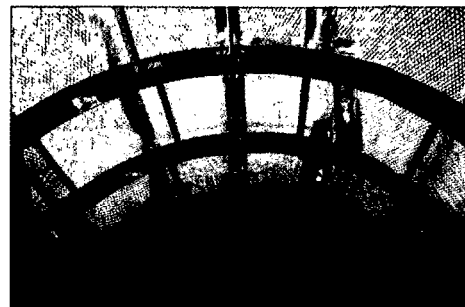


写真-2.3.19 補強セントル工対策例（エキスパンドメタル併用）

2)設計方法

a)使用材料

使用材料は表-2.3.25 に示す鋼材の中から、変状規模を考慮し、適切な材料を選定する。

表-2.3.25 補強セントル諸元

種別	呼称寸法 (mm)	断面積 A(cm ²)	単位質量 w(kg/m)	断面二次 モーメント I _x (cm ⁴)	断面係数 Z (cm ³)	最小曲率 半径 R(cm)
H 形 鋼	H-100×100×6×8	21.59	16.9	378	75.6	120
	H-125×125×6.5×9	30.00	23.6	839	134	150
	H-150×150×7×10	39.65	31.1	1,620	216	200

表-2.3.26 補強セントル使用材料

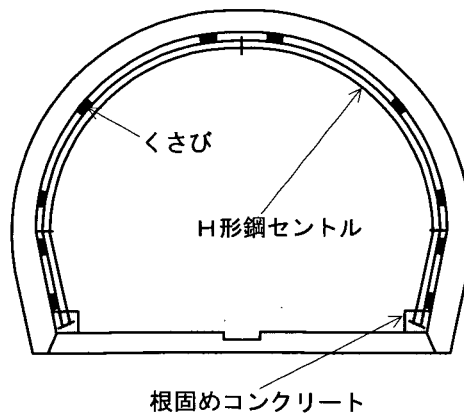
鋼材	H 型鋼
材質	一般構造用圧延鋼材(SS400)
曲げ加工	冷間曲げ加工
継ぎ材	内張り STK φ 42.7×2.3×994 タイロッド φ 16×1150
継ぎ手板	PL12×135×135 (H125 の場合)
鋼材の防錆対策	「応急対策」のみに適用するため、一般には防錆対策を考慮しない

b)設計方法

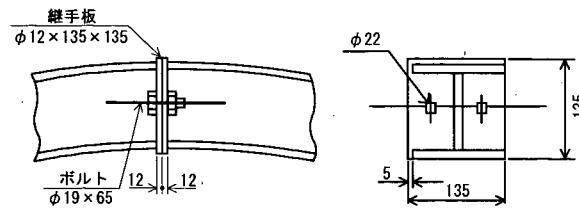
- ① セントル補強工は曲げ加工性や坑内の作業性等から、H-100～H-150 を 1～1.5 m 間隔で建て込むのが一般的である。下表を参照の上、選定する。

表-2.3.27 セントル補強工のサイズおよび建て込み間隔¹⁰⁾

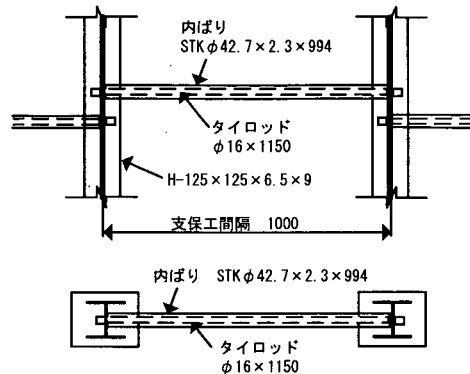
適用種別	断面種別	セントル補強工のサイズ		建て込み間隔 (m)
		半径 4m 程度まで	半径 4m 以上	
覆工片のはく落防止		H・100	H・125	1.0～1.5
応急的な地圧対策		H・125	H・150	1.0～1.5

図-2.3.21 補強セントル工参考断面図⁴⁾

- ② セントル補強工の継ぎ手は、構造上の弱点となりやすいため、位置および連結機構は、適切に設計しなければならない（図-2.3.22 参照）。

図-2.3.22 H型鋼継ぎ手の例¹⁰⁾

- ③ つなぎ材はセントルのトンネル縦断方向の剛性を確保する観点から、内ばり式を用いる（図-2.3.23 参照）。

図-2.3.23 セントル補強工のつなぎ材（内ばり式）の例¹⁰⁾

- ④ セントル補強工脚部は、底板（PL200×200 程度）を H 形鋼に溶接し、そのプレートを通してボルトで確実に固定する。

c)漏水の処理

基本的に、対策箇所に漏水が発生していても施工可能である。

d)設計上の留意点

- ① セントル補強工脚部は、既設覆工側壁に差し筋アンカー等を用い固定する
車両衝突の危険性や、脚部沈下の可能性がある場合、また、大きな外力の影響でセントル補強工脚部の転倒の危険性がある場合は、根固めコンクリートを施工する。
- ② 内空断面余裕が少なく車両接触等が危惧される場合、チューブライト等の保安設備の設置にも配慮する。

3)施工方法

a)施工手順

① 事前準備	セントル設置位置の位置出しと、必要に応じ照明・ケーブル等の移設、セントル鋼材基礎部の処理を行う。
② 建て込み	セントル鋼材を所定の位置に建て込む。
(金網・ネット工)	必要に応じ金網・ネットを設置する。
③ セントル固定	ブロッキング材（くさび等）で鋼材を覆工コンクリートに密着・締め上げる。
④ 根固め	必要に応じ、根固めコンクリートの打込みを行う。

b)施工上の留意点

- ① 覆工コンクリートとセントル補強工との隙間は、くさび等のブロッキング材によって確実に締め上げ、荷重をセントルに確実に伝達させる。
- ② 原則として全面通行規制下で施工（建て込み）を行う。
- ③ ブロッキング材が緩んで落下しないように、確実に固定する。

4)効果の確認

- ① 確実にセントルが固定され覆工コンクリートに密着しているか、近接目視、打音調査等で確認する。
- ② つなぎ材の緩みがないかを確認する。
- ③ ブロッキング材（矢板等）は時間が経過すると、緩んで落下する恐れがあるため、定期的に点検する必要がある。

【参 考 文 献】

- 1)国土交通省道路局国道課：道路トンネル定期点検要領（案）（参考資料）、14年4月
- 2)日本道路公団：コンクリート片はく落防止対策マニュアル、平成12年11月
- 3)ピーターH・エモンズ：イラストで見るコンクリート構造物の維持と補修、鹿島出版会、1996
- 4)（財）鉄道総合技術研究所：トンネル保守マニュアル（案）、平成12年5月
- 5)（財）日本規格協会：JISハンドブック2鉄鋼Ⅱ、平成14年1月31日
- 6)日鉄コンボジット：トゥグリッドパンフレットより引用
- 7)タキロン：トリカルネットパンフレットより引用
- 8)日本道路公団：設計要領第三集 保全編、平成10年10月
- 9)炭素繊維補修・補強工法技術研究会：トンネル部会：炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修・補強 設計・施工マニュアル（案） トンネル覆工編、平成9年4月
- 10)（財）鉄道総合技術研究所：変状トンネル対策工設計マニュアル、平成10年2月

3.漏水対策編

3.1 漏水対策の概要

3.1.1 漏水対策の適用

漏水対策においても、漏水原因の究明や、漏水箇所で漏水以外の変状で「判定区分A」とされたものに対する標準調査・詳細調査が必要となる場合には、それらを極力妨げない対策工法として「応急対策」が求められる。一方、漏水原因が明らかで、標準調査・詳細調査を省略して「本対策」を実施した方が合理的な場合もあると考えられる。この様な考え方から本マニュアルでは、以下の3つの例外を除いて、「はく落防止対策」と同様に対策工の設計者が「対策方針の検討」を行い、「応急対策」と「本対策」のどちらを適用するかを判断することとした。

(1) つらら、側氷、氷盤の取り扱い

漏水に関して「応急対策」が必要と判定された「判定区分A」の漏水には、「多量の漏水」または「つらら、側氷、氷盤」があるが、「つらら、側氷、氷盤」については冬期の低温下での漏水対策の施工が困難であることから、表-3.1.1に示すように「応急対策」は適用せずに融氷剤散布と監視によって安全を確保し、温暖期を待つ適切な「本対策」を行うものとする。

表-3.1.1 「判定区分A」の漏水状態の区分と対応

「判定区分A」の漏水状態	対 策
多量の漏水が発生し、通行車両の安全を確保できない	「対策方針の検討」により、「応急対策」「本対策」を判断
漏水量が少量であっても冬期につらら、側氷、氷盤が発生して通行車両の安全を確保できない	危険物の除去（叩き落とし）を行った上で、温暖期を待つ「本対策」

(2) NATMトンネルの取り扱い

周知のように、矢板工法（在来工法）とNATM（標準工法）とでは、トンネルの防水構造が異なる。矢板工法で施工されたトンネルではNATMトンネルと異なり覆工コンクリート背面に防水シートを設置しておらず漏水が発生しやすい。したがって、本マニュアルでの漏水対策は、主として矢板工法で施工されたトンネルを念頭に記述するものとする。

一方、NATMトンネルでは防水シートが覆工コンクリート背面に設置されているので通常、漏水は発生しない。このためNATMトンネルで漏水が発生する場合の原因は、表-3.1.2に示すように防水シートの遮水機能が失われていることが考えられる。

表-3.1.2 NATMで施工されたトンネルの漏水発生（防水シート破損）原因

破損時期	想定される破損原因
施工時	・防水シートの溶着不良 ・コンクリート打込み時のシート破損（ボルト頭部や、極端な吹付け面の凹凸部等で防水シートに余裕がない場合、コンクリート自重によってシートが引っ張られ破損する。）
供用時	・外力（近接施工、地すべり等）による覆工の変形に伴ってシートが破損する。 ・中央排水管、横断排水管に土砂が流入する等の現象により、これらの通水機能が低下し、トンネル周囲の地下水位が上昇する。この結果発生した水圧・凍上圧によってシートが破損する。

このためNATMトンネルにおける漏水対策は、表-3.1.3に示すように漏水状態に応じて対応を分けることとする。

すなわちNATMトンネルにおいて、覆工コンクリートに変状がなく、横断目地部からのみ漏水が発生している場合は、防水シートの破損個所が坑内側から探知できないことや、仮に破損位置が判明しても破損したシートの遮水性を回復させる対策が困難なことから、漏水がある横断目地部での「本対策」を行うこととする。

一方、横断目地以外で覆工にひび割れ等の変状があり、そこから漏水しているような場合においては、ひび割れ等の原因調査が必要となるので、「応急対策」を行うこととする。

表-3.1.3 NATMトンネルでの漏水対策

「判定区分A」の漏水状態	漏水対策
覆工コンクリートに変状がなく、横断目地部からのみ漏水	漏水がある横断目地部に「本対策」を実施
覆工コンクリートにひび割れ等の変状があり、そこから漏水	「応急対策」を実施

(3) 特殊な条件のトンネルの取り扱い

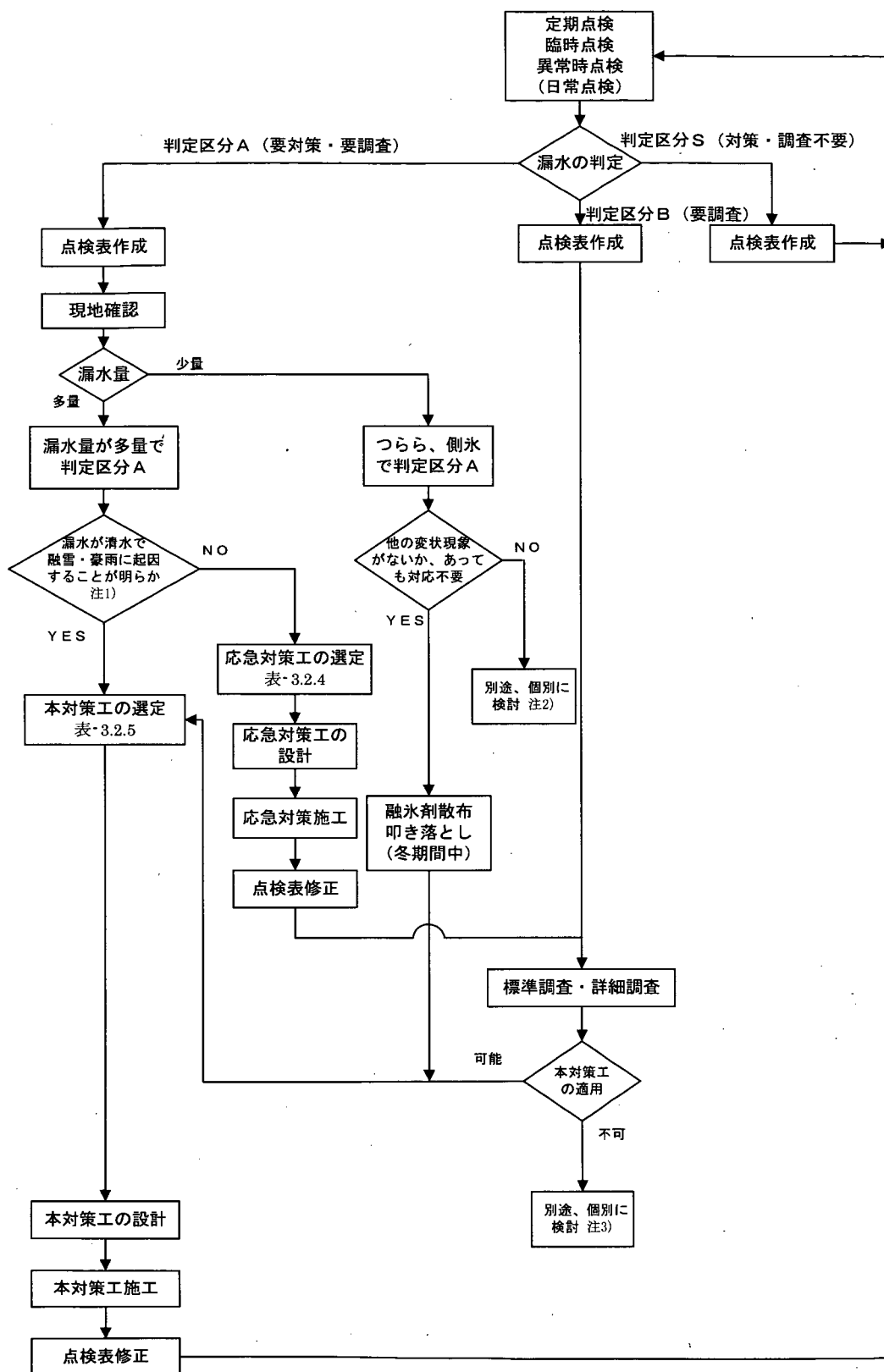
本マニュアルにおける漏水対策の考え方は、山岳工法で施工された道路トンネルの湧水処理の一般的な考え方に従って、トンネル覆工内へ漏出する地下水は止水せず、覆工コンクリート背面に水圧が作用しないように導水して坑外へ排出するという考え方をとる。

このため下記に示す特殊な条件のトンネルについては別途個別に漏水対策を検討する必要があるため、本マニュアルの適用範囲外とする。

- 防水型トンネル（供用後に坑内に地下水を流入させない構造を有するもの）
- 近傍の河川、ダム湖等から浸透した地下水がトンネルに供給されるような条件下で、排水による水位・水圧低下が期待できないトンネル
- 近傍で地下水が利水されており、積極的な水位低下によって利水に影響が生じる恐れがあるトンネル

3.1.2 漏水対策工の実施手順

定期点検他の判定結果に基づいて「漏水対策工」を適用する場合の対応手順を図-3.1.1に示す。



注1) 図-3.1.2参照

注2) 漏水個所で他の変状現象（外力、はく落防止）に対応が必要な場合は、応急対策（融氷剤散布、叩き落とし）で対処し、他の変状現象への対応（応急対策、調査）を別途検討する。

注3) 漏水に濁りや土砂流出がある場合は、覆工背面空洞充填対策等を含めて、別途対応を検討する必要がある。

図-3.1.1 点検による判定区分別の漏水対策実施手順

3.1.3 対策方針の検討

(1) 目的

「判定区分A」と判定された変状に対して、対策工の設計者が対象となる漏水について、「応急対策」を適用しそれに続く標準調査を行うか、標準調査を待たずに「本対策」を行うかについての対応を確定することが、「対策方針の検討」の目的である。なお対策方針の検討は、以下に示す作業手順で実施する。

- ① 点検情報に基づく現地確認
- ② 漏水個所の変状原因の考察
- ③ 対応方法の検討

(2) 現地確認

1) 目的

対策工の設計者による現地確認は、点検結果「判定区分A」と判定された漏水に対して、漏水原因の考察、対策方針の検討、および対策工設計を行う上で必要となる漏水規模等を把握するために実施する。なお対策工の設計者が点検者と同一である場合は、点検時に併せて実施することができる。

2) 方法

対策工の設計者は漏水個所を近接目視し、寸法計測、打音検査等によって表-3.1.4に示す項目を確認する。また漏水箇所の覆工展開図等を作成して必要事項を記載する。

表-3.1.4 現地確認時の確認項目

確認項目	内容	目的
変状規模	面積および形状	対策規模の確定
漏水位置	距離程、アーチスパン番号、路面からの高さ、横断目地・水平打継ぎ目からの離隔、照明設備等からの離隔等	対策工の配置計画
漏水の状態	漏水の量、漏水の濁り・土砂流出の有無、つらら・側水・氷盤の発生状況と範囲	漏水原因の考察 漏水対策の計画
漏水以外の変状の形態	ひび割れの形態（開口、せん断、圧縮）、材質劣化の有無、目地部の目違い・段差等	変状原因の考察
漏水箇所周辺の覆工の状態	周辺での他の変状の有無、材質劣化状態、覆工の品質・巻厚の状態（打音検査による確認）等	支持材の固定条件確認
対策工施工時の支障物の有無	換気設備、照明ケーブル、内装板等	対策工の配置計画 施工条件の確認

(3) 漏水個所の変状原因の考察

対策工の設計者は現地確認によって「判定区分A」と判定された漏水が発生している変状箇所において、漏水の状態を把握し（濁りの有無、量の増減、発生時期、凍結状況等）、さらにひび割れ等の変状がある場合はその変状原因を考察する。

変状原因の考察は「1.4.1(2)はく落、漏水に関する変状の原因」、「便覧」の「1-3 変状の原因および特徴」もしくはその内容を要約した「付属資料-1 トンネルの変状原因と特徴」等を参考に行う。なお、変状原因を考察するための情報が不足している場

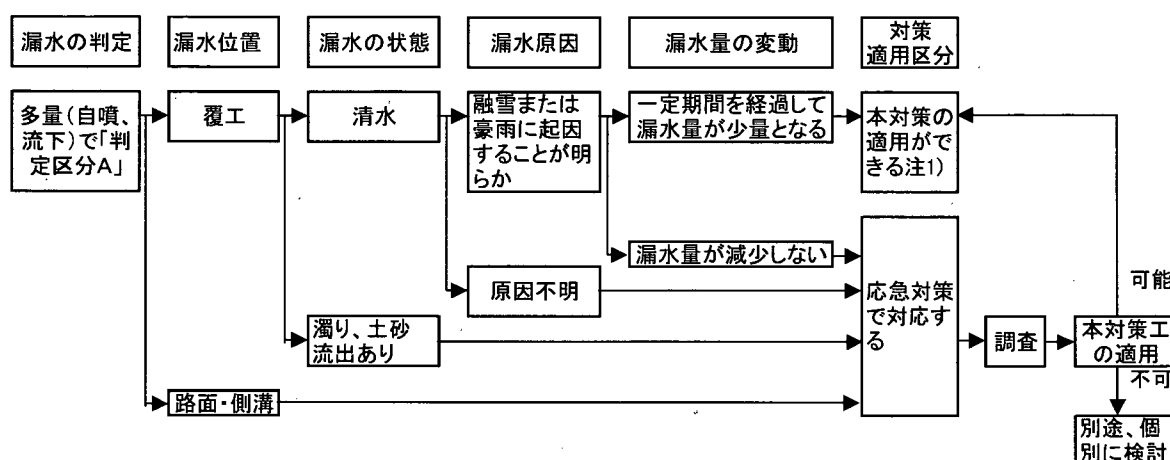
合、あるいは変状原因が複数考えられ、明確な判断ができない場合はあえて変状原因を特定する必要はない。

(4) 対応方法の検討

対策工の設計者は、漏水個所の変状原因の推定結果に基づいて、「判定区分 A」とされた漏水に対して、以下の条件の場合は「本対策」を適用し、この条件に当てはまらない場合は「応急対策」を実施する。

＜漏水の「本対策」が適用できる条件＞

- ①「多量漏水」の場合は図-3.1.2に示すように、明らかに融雪または降雨に起因する清水が、一定期間多量に漏水した後減少する場合（ただし、漏水個所で他の変状への対応が必要な場合や、路面等からの自噴・滞水は除く）



注1) NATMトンネルでは、「表-3.1.3 NATMトンネルでの漏水対策」に基づいて、「応急対策」「本対策」の適用判別を行う。

図-3.1.2 覆工からの多量漏水の場合の「応急対策」「本対策」適用判定

- ② 「つらら・側氷」の場合は、その発生箇所において、他の変状に対しての「応急対策」・「調査」が不要な場合（ただし冬期の低温下では「応急措置」（叩き落とし）や融氷剤散布等で対応し、施工可能な時期に「本対策」を実施する）
- ③ 既設の漏水対策工が破損して、「多量漏水」や「つらら・側氷」が発生している場合

3.2 対策工設計

3.2.1 応急対策工と本対策工の分類

(1) 応急対策

「応急対策」には即応性や「表-1.4.7 漏水状態の分類」に規定する「多量」の漏水中での施工性、および対策後に引き続いて実施される標準調査・詳細調査を極力妨

げない特性が求められることになる。本マニュアルでは、こうした即応性、施工性および調査を妨げない特性を有するものとして、表-3.2.1に示す対策工法を「応急対策」として位置づけた。

表-3.2.1 本マニュアルで「応急対策」として取り扱う漏水対策工

応急対策工法		適用（漏水凍結条件下は除く）
①線状の漏水対策工	導水樋工	横断目地、単一ひび割れ等からの線状の大量漏水
②面状の漏水対策工	防水シート	複数ひび割れ、豆板等からの面状の大量漏水
③地下水低下工	水抜きボーリング、水抜き孔	漏水量の低減

なお上表で①、②については対策工適用によって後の調査を妨げるが、必要に応じて撤去が可能な特性を有しているため、「応急対策」として扱う。

(2) 本対策

「本対策」としては、図-3.2.1に示すように、a)トンネル全面改築、b)盤下げを併用した内巻工のどちらかによってNATMトンネルの防水機構を再構築する方法がある。

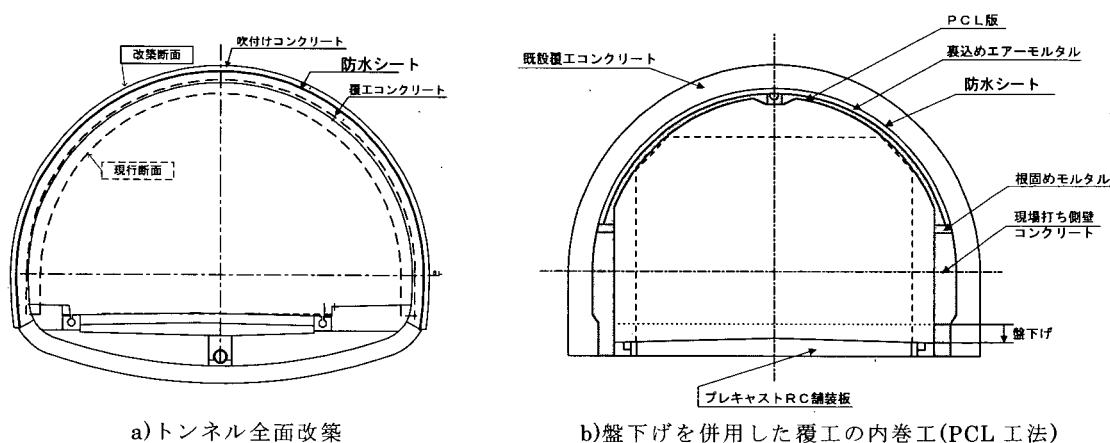


図-3.2.1 抜本的な漏水の「本対策」（全面改築、内巻工による防水シート設置）

上記に示す抜本的な漏水の「本対策」は、現状では、漏水対策と外力対策あるいはトンネルリニューアル対応（所定の建築限界の確保等）とが複合して求められる場合に実施されることが多い。ただし漏水対策が単独で求められる場合であっても短期間に漏水対策工の補修が繰り返し行われているような場合は、このような対策も視野に入れて漏水対策を検討する必要があると考えられる。

しかし、このような抜本的な漏水の「本対策」は、トンネルの前後区間を含めた道路改良計画に係わる問題をも含んでおり、トンネルの変状調査に加え、道路線形の見直しやライフサイクルコスト等の総合的な検討が必要となることから、本マニュアルでの取り扱い範囲を超えるものと考えた。

このため本マニュアルにおいて漏水対策に関しては、耐用年数、対策効果の持続性には限界があるが、適切な維持管理と補修・再設置等を行うことで、対策効果を持続させることができる漏水対策工法を「本対策」として考えることとする。

なお、本マニュアルでは、「表-1.5.1 トンネル変状対策工の分類と対策効果」に示した「漏水の対策工法」区分に分類される各種の対策工法のうち、表-3.2.2に示す工法を「本対策」として取り扱う。

表-3.2.2 本マニュアルで「本対策」として取り扱う漏水対策工

対策項目	漏水対策工法		「本対策」適用に際しての留意点
漏水対策	線状の漏水対策工	導水樋工	
		溝切り工	
		止水充填工（Vカット充填）	充填材が欠落する恐れがあるため、当て板工（パネル、繊維シート）の下地処理に限定して適用する。
		止水注入工（ひび割れ注入）	
	面状の漏水対策工	防水パネル工	
		防水塗布工	
	地下水低下工	水抜きボーリング、水抜き孔	
		排水溝	
凍結対策	断熱工	線状・面状漏水対策の導水材に断熱材を適用	

注) 表-1.5.1 に示す漏水対策として区分した対策工のうち、下記に示す工法は除外している。

- ① 防水シート工：耐久性が期待できないため除外
- ② 薬液注入工：周辺地山の止水対策を必要とするような特別の条件下の場合に適用する対策である。このため個別に詳細調査を行い、適用性を検討する必要があることから除外する。
- ③ 断熱工のうち表面断熱材処理工法他は、極寒冷地で覆工の改築と併用して適用するような、特別の条件下の場合に適用する対策であり、適用に際しては個別に検討を要するため、除外する。

3.2.2 主な漏水対策工の特性

表-3.2.3に主な漏水対策工の特性を整理する。

表-3.2.3 主な漏水対策工の特性比較

漏水対策工 選定項目		線状の対策 ^{注1)}			面状の対策			地下水 低下	備考
		導水 樋工	溝切り 工	止水注 入工	防水パ ネル工	防水シ ート工	防水 塗布工	水抜き ホーリン グ・水抜 き孔	
対策の即応性		○	×	×	×	○	×	○	
調査時の一時撤去		可	不可	不可	不可	可	不可	—	変状の確認の可否
適用区分	応急対策	○				○		○	
	本対策	○	○	○	○		○	○	
漏水が凍結する地域 への適用		○	○	○	○	×	×	○	
部位	アーチ (肩部)	○	○ ^{注2)}	○	○	○	○	○	内空断面余裕が十分あ る場合
		△ ^{注3)}	○ ^{注2)}	○	×	△ ^{注3)}	△	○	内空断面余裕が十分な い場合
	側壁	○	○	○	○	○	○	○	
	横断目地	○	○	×	○	○	○	○	
	水平打ち 継ぎ目	○	○	×	○	○	○	○	
対策効果の持続性		中	中	中	大	小	中	中 ^{注4)}	
施工性	天端部の 施工	○	○	○	△	○	△	—	片側通行規制で施工す る場合
	凹凸部の 施工	×	○	○	△	○	△	—	
	冬期間 施工	×	×	×	×	×	×	○	
変状の継続監視		△	×	△	×	△	×	○	
即応性を要する場合		○	×	×	×	○	×	○	
その他			当て板（パネル 系、繊維シート 系）下地処理へ の適用可能						

○：適用可能、△：場合により適用可能、×：適用不可

注1) 表-3.2.2に示すように、止水充填工は将来、充填材が欠落する恐れがあり、当て板の下地処理に適用を限定するため、本表から除外している。

注2) 覆工アーチ部への溝切り工の適用は可能であるが、覆工巻厚が薄い場合や、外力が作用しているひび割れ箇所では、溝切りによる断面欠損によって覆工の耐荷力が低下する恐れがあり、適用に注意を要する。

注3) 「応急対策」時に車両破損の恐れがある場合は、通行規制等必要な破損予防措置を講じた上で施工するものとする。

注4) 目詰まりによって、排水効果が低減する場合がある。

注5) 本表に記載した他に、恒久的な漏水対策としては図-3.2.1に示した防水シート併用の改築工・内巻工がある。

3.2.3 応急対策工の選定と設計

漏水に対する「応急対策工」（多量漏水の場合）は、当面の利用者被害を防止すると共に、後の標準調査・詳細調査が可能な「防水シート工」「導水樋工」「水抜きボーリングまたは水抜き孔」を適用することとする。

表-3.2.4に漏水に対する応急対策工選定の目安を示す。ここでは応急的な取り扱いのため、内空断面余裕については特に考慮していない。

はく落防止対策工と併用する場合は、はく落防止対策工の施工を優先させた上で適用できる漏水応急対策工を選定する必要がある。

表-3.2.4 漏水形態による応急対策工選定の目安

漏水箇所	漏水形態		応急対策工（該当工法を併用して適用）		
			線状の対策	面状の対策	地下水低下 ^{注1)}
			導水樋工	防水シート	水抜きボーリング 水抜き孔
アーチ覆工 側壁	面状の 漏水	・複数ひび割れからの漏水		○	△
		・豆板等からの漏水			
横断目地	線状の 漏水	・単一ひび割れからの漏水	○		△
		・横断目地からの漏水			
水平打継ぎ目		・水平打継ぎ目からの漏水			
路面・側溝		・噴泥、沈砂、滞水、自噴等	帯水の切り回し等、個別に検討する		

○：適用可能、△：場合により適用する

注1) NATMトンネルでは、削孔によって防水シートが破れ防水性能が低下する恐れがある。防水シートと覆工コンクリートとの隙間に浸水して水圧が発生する現象を防ぐため、削孔位置はなるべく低い位置に設ける等の配慮が必要である。

漏水の「応急対策工」の設計に際しては、表-3.2.4によって対策工の組合せを選定し、「3.3 漏水対策工各論」に基づいて各対策工の設計を行う。

3.2.4 本対策工の選定と設計

漏水に対する本対策工の選定に際しては、表-3.2.5に示すように、漏水箇所、漏水形態、漏水量、断面余裕、気候条件その他の適用条件などを考慮して選定を行う。ここで漏水の「本対策」に関しては、「応急対策」と異なり少量の漏水の場合にも実施される。また、表-3.2.6に、既設の漏水対策工での再漏水が発生した場合の対応について、補修履歴を考慮した対策工法の考え方を示す。

また、表-3.2.5に示す対策工法の選定表は、「判定区分A」の漏水で「応急対策」が実施されたもの、および「判定区分B」と判定された漏水に対しても適用できる。

ただし「はく落防止対策工」の「本対策工」と併用する場合は、同対策工の下地処理として「漏水対策工」が適用される場合があることから、両者の施工方法を十分に検討した上で、漏水対策工を選定する必要がある。

漏水の「本対策工」の設計に際しては、表-3.2.5によって対策工の組合せを選定し、「3.3 漏水対策工各論」に基づいて各対策工の設計を行う。

表-3.2.5 漏水形態による本対策工選定の目安

漏水箇所	漏水形態	漏水量 注2)	内空 断面 余裕	本対策工（該当工法を併用して適用）注1)						備考
				線状の対策			面状の対策		地下水低下	
				導水 樋工 注3)	溝切り 工注3)	止水注 入工	防水パ ネル工 注3)	防水 塗布工	水抜き ボーリン グ・水抜 き孔注4)	排水溝
アーチ 覆工 側壁	面状の 漏水	多量	あり				○		△	
			なし		○	○		△注5)	△	
		少量	あり				○		△	
			なし		○	○				
		多量	あり				○		△	
			なし					△注5)	△	
	豆板等の 材質劣化 部からの 漏水	多量	あり				○			
			なし							
		少量	あり				○			
			なし							個別検討注7)
横断 目地	線状の 漏水	多量	あり	○		△注8)			△	
			なし		○	△注8)			△	
		少量	あり	○		△注8)				
			なし		○	△注8)				
		多量	あり	○					△	
			なし		○				△	
水平 打継ぎ目	打継ぎ目 からの漏 水	多量	あり		○		○		△	注9)
			なし		○				△	
		少量	あり		○		○			注9)
			なし		○					
路面	滞水、自噴	—	—						△	○
既設漏水対策工の劣化・破損				—	表-3.2.6参照					

○：適用可能、△：一定条件の下で適用可能

注1) 表-3.2.2に示した「本対策」適用工法のうち、止水充填工（複数または単一ひび割れからの漏水に適用される対策工法）は将来、充填材が欠落する恐れがあり、当て板等の下地処理に適用を限定するため、本表から除外している。

注2) 漏水量少量：滴水、にじみ程度、多量：噴出、流下。湧水量少量で「判定区分 A」となるのは漏水が凍結（つらら、側氷発生）する場合であり、この場合「本対策」は寒冷地のみに適用される。

注3) 導水樋工、溝切り工、防水パネル工には断熱材製品があり、寒冷地で断熱工として適用できる。

注4) 漏水量が非常に多い場合は、水抜きボーリング、水抜き孔を併用することで漏水量の低減を図る。

注5) 内空断面余裕が30mm程度あれば「防水塗布工」を適用できる。ただし「3-7 防水塗布工」に示すように、直塗り（吹付け含む）タイプは適用できない。また低温下の気象条件（防水シート背面で漏水が凍結膨張し、ひび割れが発生する恐れがある）では原則として適用を避ける。

注6) 内空断面余裕がほとんどない場合の方法。溝切り工と止水注入工を適宜組み合わせる。なお各工法の適用に際しては「5-2 溝切り工」、「5-4 止水注入工」を参照すること。

注7) 標準的に適用できる対策工法がないため、部位や状況を考慮した上での個別検討が必要である。

注8) ひび割れが複雑に屈曲している場合で、直線的な樋工、溝切り工の適用が困難な場合に併用する。

注9) 通常は溝切り工を用いるが、内装機能も持たせる場合は防水パネル工を適用する場合がある。

注10) 本表に示す漏水の対策工法の組み合わせは、標準的な漏水対策を想定しており、下記の条件では個別に検討する必要がある。

① 「3.1.1漏水対策の適用（3）特殊な条件のトンネルの取り扱い」に示す本マニュアル適用除外のトンネル

② 覆工コンクリートの巻厚が極めて薄く、あるいは材質劣化が進行していて、漏水対策材料の固定不良や、溝切り工等による断面欠損によって極端な覆工耐荷力の低下が予想される場合

③ 「はく落防止対策」ならびに「外力対策」の「本対策」を併用する場合

④ NATMで施工されたトンネルで、点検結果を受けて標準調査を待たずに行う「本対策」については、「表-3.1.3 NATMトンネルでの漏水対策」より、漏水の発生状況が横断目地部からの漏水の場合に限定して本表を適用

⑤ 寒冷地で断熱型導水材を用いても漏水が凍結する、あるいは凍上圧対策が必要な場合

表-3.2.6 既設漏水対策工からの再漏水箇所への対応

既設の漏水対策工		再漏水箇所への対応方法	
		補修材料の劣化に起因する場合	車両破損に起因する場合
線状の対策	導水樋工	再施工 (屈曲の改善 ^{注1)} 、通水断面の増加 ^{注2)})	工法変更 (溝切り工+止水注入工の組合せ)
	溝切り工	再施工 (屈曲の改善 ^{注1)} 、通水断面の増加 ^{注2)})	—
	止水充填工 (Vカット充填)	工法変更(劣化部を除去) (溝切り工+止水注入工の組合せ他)	—
	止水注入工 (ひび割れ注入)	再施工と工法追加 (溝切り工等の併用; 止水された水の排水経路を確保する)	—
面状の対策	防水パネル工	再施工(劣化部を除去)	工法変更(破損箇所) (溝切り工+止水注入工の組合せ)
	防水シート工	本工法は緊急を要する場合に適用するものであり、他の漏水対策へ変更する	
	防水塗布工	工法変更(劣化部を除去) 小規模; 溝切り工+止水注入工の組合せ 大規模; 防水パネル工	工法変更(塗布材の除去) (溝切り工+止水注入工の組合せ他)

注1) 屈曲部を設けるとそこで帯水して再漏水の原因となり易いため、極力直線状に設置する。

注2) 樋工・溝切り工の幅を大きくし、通水断面を広げて目詰まりを防止する。

なお漏水対策工に関しては工法毎に各種の材料がメーカー・協会から提案されているため、材料選定の際には複数の材料について資料を収集し下記の事項を比較検討する必要がある。

- ① 対策工のトンネルへの適用実績
- ② 対策工の効果持続性
- ③ 対策工施工条件(通行規制、坑内気温等)
- ④ 既設漏水対策の履歴(再漏水しにくい工法への変更)

3.3 漏水対策工各論

以下に本マニュアルで取り扱う漏水対策工である導水樋工、溝切り工、止水充填工、止水注入工、防水パネル工、防水シート工、防水塗布工、地下水低下工法(水抜きボーリング工、水抜き孔、排水溝)について、その概要、設計方法、施工方法、効果の確認方法、新工法・新技術を記述する。

3.3.1 導水樋工

1) 工法概要

覆工表面に発生した漏水を、樋により排水溝に導く工法で、線状の漏水対策工として「応急対策」および「本対策」に用いる。樋の構造は下図に示すように種々のタイプのものがある。

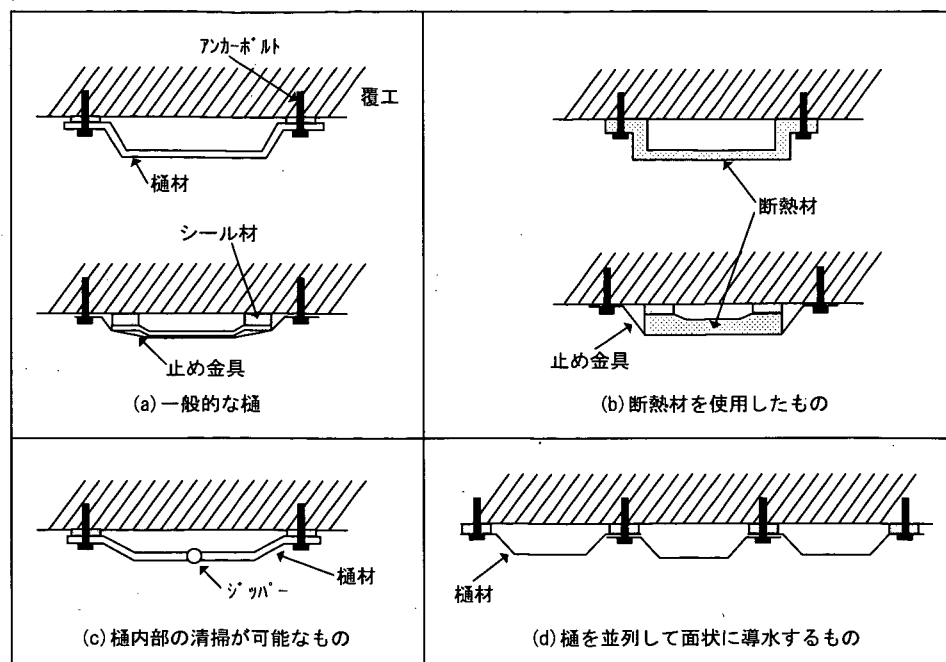


図-3.3.1導水樋工概要図（文献¹⁾掲載を一部加筆修正）

導水樋工は樋材を覆工表面にアンカーボルトで固定するだけの簡易な工法なので大量出水時の即応性が高く、設置後の脱着も容易なので「応急対策」として用いることが可能であり、内空断面に余裕がある場合には「本対策」としても用いることができる。

工工の適用に際しては、誤った設計・施工方法のために比較的短期間でも漏水が発生する場合があるため、以下の設計、施工の留意点をよく考慮することが重要である。

2)設計方法

a)使用材料

- ① 樋は、耐久性に優れるものを使用する（塩化ビニール樹脂、合成ゴム系のものが多く使用されている）。
- ② シール材は、確実に漏水を防ぐことができ、耐久性に優れるものを使用する。
- ③ 樋材よりも先に樋の固定に用いるコンクリートアンカー、平鋼などの固定材料が腐食することが多いので、とくに「本対策」に使用する固定材料は防錆材料であるステンレス製を用いるものとする。

b)断面形状

漏水量、漏水箇所、内空断面の余裕を考慮し、適切な断面形状のものを用いる。

c)設計上の留意点

- ① 漏水範囲が広い場合は、幅の広い樋を並列に取り付ける方法（図-3.3.1(d)参照）があるが、この場合は対策効果、経済性等について他の「面状の漏水対策工」との比較検討が必要である。

② 樋工を屈曲させて配置すると、屈曲部が弱点となり、ここで再漏水が発生する場合がある（写真-3.3.1参照）。樋工は極力、鉛直方向に配置して流末まで導水するように配置する。



写真-3.3.1 樋工の屈曲部の再漏水

③ 「本対策」の場合は必ず流末を既設排水溝等まで連結する。これはアーチ部から側壁まで導水しても流末処理が不完全だと、トンネル内の粉塵等が付着し、樋工の流末を閉塞するなどの問題が生じるからである（写真-3.3.2参照）。



写真-3.3.2

樋流末を歩道へ導いている例

④ トンネル壁面に遊離石灰が多く見られる箇所に対しては、樋内部の目詰まりを起こす可能性が高いため、導水断面積の大きな材料を用いるか、樋内部の洗浄が可能なもの（図-3.3.1(c)）を用いるなどの配慮が必要である。

⑤ 内空断面余裕の小さいトンネルでは、最も余裕のないアーチ肩部で大型車両による接触破損の事例が多い（写真-3.3.3参照）。やむを得ずこうしたトンネルへ樋工を設置する場合は、この箇所だけ溝切り工を適用する等の工夫を要する。

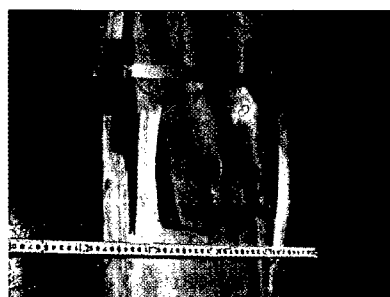


写真-3.3.3 車両による破損

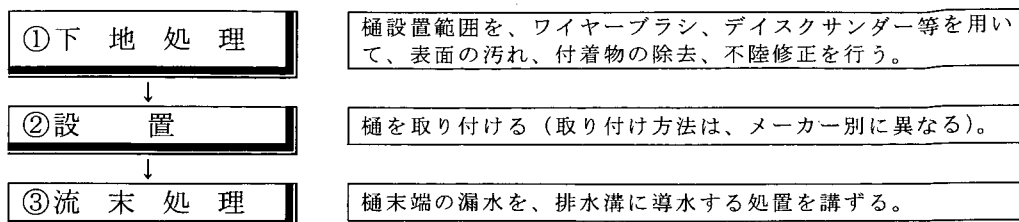
⑥ 歩道部に設置する場合は、歩行者に対し通行の障害にならないよう、施工位置、材料を選定する。

⑦ 冬期間に凍結が予想される場合は、断熱性を考慮した材料を使用する。ただし、樋材の断熱効果には限界があるので、凍結が著しい箇所では他の工法を検討する。

⑧ 大量の漏水がある場合は、別途水抜き孔等を設け、ひび割れからの漏水量を低減する処置を計画する。

3)施工方法

a) 施工手順



b) 施工上の留意点

- ① シール材が覆工コンクリートに密着するように、下地処理を確実に行う。
- ② 覆工コンクリートとシール材の境界部から漏水しないよう、均等かつ確実に固定する。

4) 効果の確認

- ① 施工後に、樋の固定状況、および樋脇からの漏水がないことを確認する。
- ② 日常点検時には導水機能が持続しているかを確認する。漏水に含まれる石灰分やバクテリアスライム等により、施工後1年と経たずに目詰まりを起こした事例が報告されている。

3.3.2 溝切り工

1) 工法概要

溝切り工は線状の漏水対策の一種であり、標準調査を妨げる度合いは低い。しかし大量出水時の即応性が低いので「応急対策」として用いることには難があり、「本対策」へのみ適用する工法である。

溝切り工は、V型断面（漏水発生箇所のひび割れをピックではつり、溝を形成）や、U型断面（ひび割れに沿ってカッターで切り込みを入れた後ピックではつり、溝を形成）の中にパイプやゴムで導水溝を設け、表面をセメント系充填材やゴム系シール材を用いてシールする工法である。V型、U型の溝切り工の例を図-3.3.2に示す。

本マニュアルでは、このうち耐久性に優れ、通水断面が比較的大きいU型の溝切り工を標準とする。

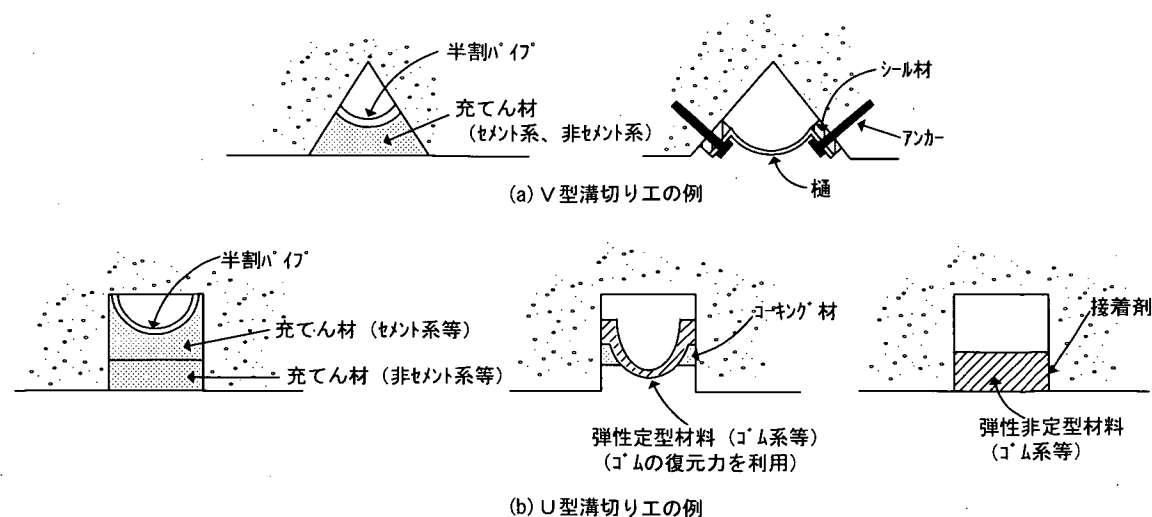


図-3.3.2 溝切り工概略図¹⁾

2)設計方法

a)使用材料

- ① U型溝切り工を標準とする。
- ② ゴム系シール材は、覆工コンクリートとの密着性、覆工コンクリートの温度収縮に対しての追従性、および耐久性に優れる材料を選定する。
- ③ セメント系充填材およびコーキング材は、補修材のはく落が発生しにくい耐久性の高い材料を選定する。
- ④ パイプやプラスチック製樋は、耐久性に優れるものを使用する。

b)断面形状

- ① 漏水箇所、漏水量等を考慮して適切な導水面積があるものを選定する。
- ② 横断目地に施工する場合や、機能を失った既設の漏水対策工を補修する場合、目地幅や既設漏水対策工の幅等を考慮し、通常より一回り大きい断面形状とする。

c)設計上の留意点

- ① 覆工コンクリートの有効断面積を減ずるという特性があるため、切り込み深さは覆工有効巻厚の3分の1以下とする必要がある。覆工厚さが設計値より薄い可能性がある場合は十分調査を行った上で適用する必要がある。充填材やコーキング材を用いるタイプのものは、それ自体が将来はく落する危険性があるため、あらかじめ当て板工との併用を行う等、予防策を講じておく必要がある。
- ② 冬期間に凍結が予想される場合は、断熱性を考慮した材料を使用する。
- ③ アーチ部から側壁まで導水しても流末処理が不完全だと、流末部にトンネル内に浮遊する粉塵等が付着し、溝切り工流末を閉塞させるなどの問題があるため、必ず流末を既設排水溝等まで連結する。
- ④ 溝切り工は鉛直方向以外では、シール材の劣化に伴って再漏水する場合があるため、漏水箇所下方に水抜き孔を配置するなどして極力、漏水量を低減させる必要がある。また鉛直方向以外のひび割れには、他の漏水対策工として止水注入工の適用も検討する。
- ⑤ 逆T型やL型に屈曲させると屈曲部で閉塞し、漏水するケースが多いので（写真-3.3.4参照）、できるだけ直線にする。



写真-3.3.4

アーチ部と水平打継ぎ目との逆T字形の接続

- ⑥ 写真-3.3.5に示すようなアーチ部への連続的な適用は覆工の耐荷力を低下させる恐れがあり、止水注入工との併用を検討する。



写真-3.3.5

アーチ部への連続的な溝切り

- ⑦ 写真-3.3.6のようにブロック化したひび割れ部で溝切りを行うと、このコンクリート塊が落下する可能性がある。このような箇所では、止水注入工で対応するか、溝切り工に当て板工（パネル系、繊維シート系）を併用する。



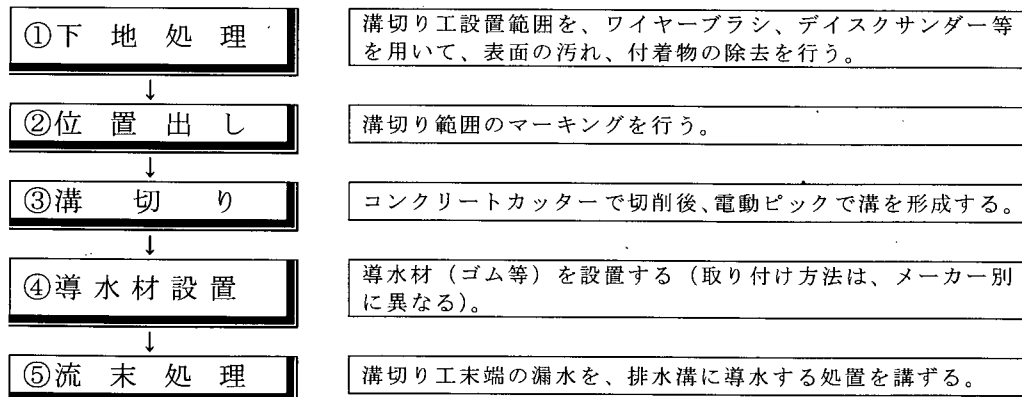
写真-3.3.6

覆工のブロック化箇所への溝切り工の適用事例

- ⑧ 大量の漏水がある場合は、別途水抜き孔等を設けひび割れからの漏水量を低減する処置を計画する。

3) 施工方法

a) 施工手順



b) 施工上の留意点

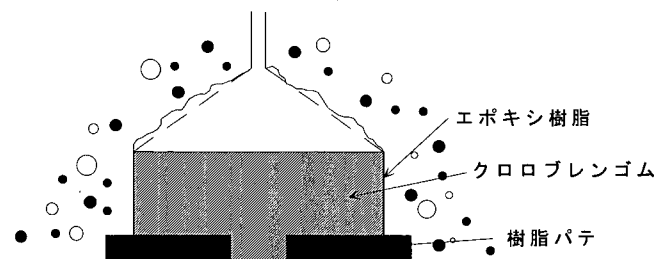
- ① ゴム系シール材と覆工コンクリートを直接接着させる場合、平滑な接着面が必要であるので、カッターを用いた U 型溝切りとする必要がある。
- ② ピックを使用する場合には、カッターによる平滑な切断面を傷つけないように留意する。
- ③ 片側通行規制を行って施工する場合、通行車両に対する安全性を確保するため、坑内の粉塵対策、コンクリート小片の落下飛散措置を考慮する。

4) 効果の確認

導水材の変形、浮き上がり、接着面からの漏水がないことを確認する。

5)新工法・新技術

従来の溝切り工では、導水ゴムと覆工コンクリートとの接着効果が持続せず、接着面からの再漏水、導水ゴムの脱落といった事例が報告されている。図-3.3.3に示す樹脂パテで導水材を固定する U 型溝切り工法は、これまでの溝切り工に比べ接着面の耐久性が向上し、材料のはく落の事例も現在のところ報告されていない。既設の溝切り工が再漏水し補修を繰り返しているような場合は、こうした工法に変更することで、導水効果がより長く持続するものと考えられる。

図-3.3.3 U型溝切り工の例²⁾

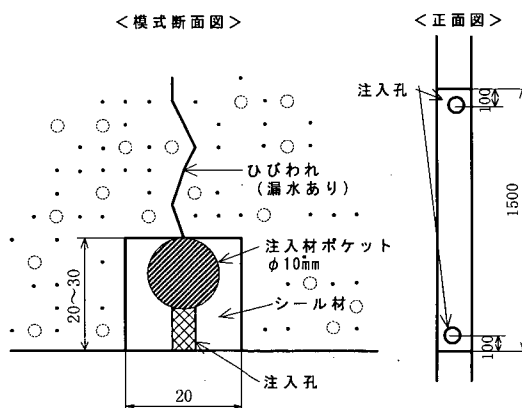
3.3.3 止水注入工

1)工法概要

本工法は線状の漏水対策工であり、大量出水時には施工できないので「応急対策」としては用いず、「本対策」のみに適用する。

本工法はひび割れ沿いに溝切りを行った後、ひび割れに沿って注入孔（注入パイプ）を設置し、モルタル等で埋戻す。設置した注入孔に注入材を注入し、パイプからひび割れに浸透させ、ひび割れを深部まで充填する工法である。

止水注入工には各種の工法があり、その一例を図-3.3.4に示す。

図-3.3.4 止水注入工例（その1）³⁾

2)設計方法

a)使用材料

使用する注入材は表-3.3.1に示す材料が用いられる。材料選定に際しては各メーカーで規定する止水効果の高いもので、トンネル覆工に適用された実績のある材料を選

定する。

表-3.3.1 止水注入材の区分⁴⁾

区分	一般名称	主要組成	特徴
無機系	急結性止水材	超速効性無機系化合物、セメント	短時間硬化、緻密な硬化体、 接着性大
有機系	耐久性注入止水材	アクリル系ポリマー水溶液	二液反応硬化型、耐久性大
	樹脂注入止水材	一液型ポリウレタン	コンクリート面の接着性大 耐久性大

b) 設計上の他留意点

- ① 施工後その箇所から漏水していた水は、付近の弱点箇所にもわるため、現在漏水がみられない付近のひび割れ等にも対策を検討する必要がある。
- ② 流末部では、溝切り工等の導水工と組み合わせ、止水箇所端部に集まる水を適切に排水することが望ましい（写真-3.3.7参照）。

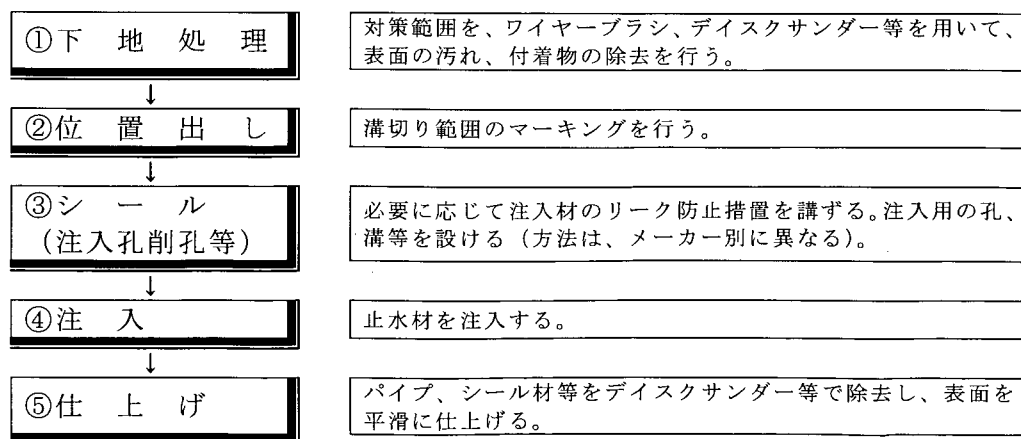


写真-3.3.7 止水注入工と溝切り工の併用例

- ③ 大量の漏水がある場合は、別途水抜き孔等を設けひび割れからの漏水量を低減する処置を計画する。

3) 施工方法

a) 施工手順



b) 施工上の留意点

- ① 施工後に、シール材、パイプ等を残すと、これがはく落する恐れがあるため、完全に除去する。
- ② 注入材が大量に入る場合は、これが覆工背面に逸散している恐れがあるため、注入を中断し、別途対策を考える。

③ 注入箇所で大量の漏水がある場合は、水抜き孔等で漏水量を低減させてから施工する。

④ ひび割れ表面にレイタンス、塵埃、油脂類、塩分等が付着している場合は、これらを確実に除去してから注入を行う。

4)効果の確認

漏水が完全に止水できていることを確認する。

5)新工法・新材料

図-3.3.5に示すように、覆工中心まで、ひび割れを貫通する様に電動ドリル等で穿孔し、中心部から注入することにより覆工厚全体に止水注入剤を充填する方法が実用化されている。

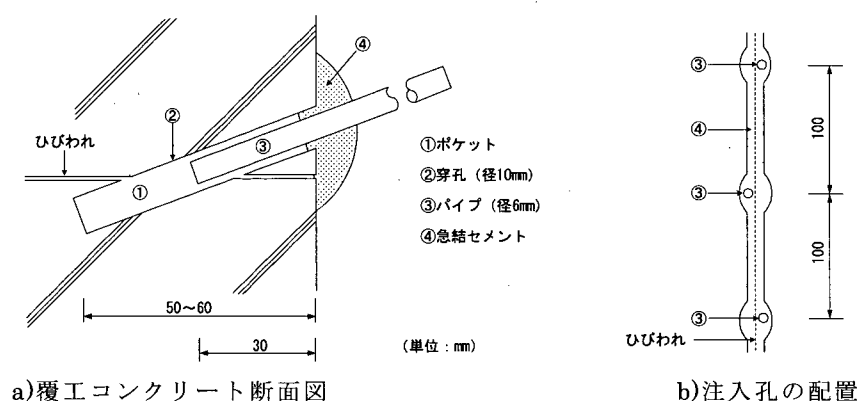


図-3.3.5 止水注入工例 (その2) ³⁾

3.3.4 止水充填工

1)工法概要

ひび割れ沿いに溝切りを行いその部分にモルタル等を充填し、止水を行う線状の漏水対策工であり、これまでトンネルの止水対策として多数実績がある。しかし止水充填工は大量出水時には施工できないので「応急対策」としては用いることができない。また、施工後数年で充填材が劣化し、はく落する事例もあるため (写真-3.3.8参照)、本マニュアルでは、「本対策」として用いる場合は、はく落対策の当て板工 (パネル系) の下地処理で漏水対策が必要な場合に適用を限定している。

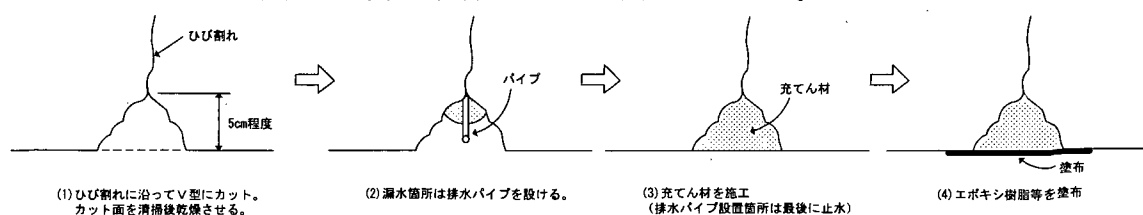


図-3.3.6 止水充填工概略図 ¹⁾

2)設計方法

a)使用材料

使用する充填材は特に規定しないが、確実な止水効果が得られることが条件である。材料選定の際は、トンネル覆工に適用しその効果が得られた実績がある材料である必要がある。

b)設計上の留意点

- ① ひび割れからの漏水を止水すると、地下水が周辺を迂回して別の場所から漏水することが多いため、近傍に排水経路を確保する対策（樋、溝切り工、水抜き孔等）を併用する必要がある。
- ② 止水注入工に比べ、止水効果が持続しない。また充填材のはく落、落下事例が多く確認されている（写真-3.3.8）ことから、使用する場合は、本対策工の当て板工（パネル系）の下地処理としてのみ適用することを基本とする。

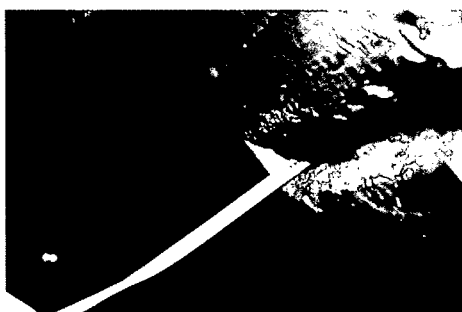
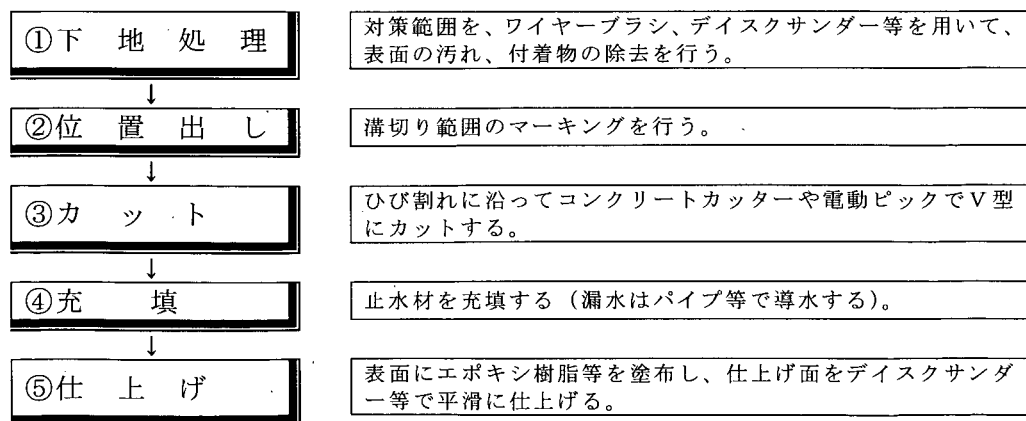


写真-3.3.8 Vカット充填工箇所の充填材のはく落事例

3)施工方法

a)施工手順



b)施工上の留意点

- ① 漏水が多く、パイプ等では水処理が不可能な場合は、別途溝切り工等の導水工の適用を検討する。
- ② 急結セメント等で乾燥収縮が激しい材料を充填材として用いると、ひび割れが発生して止水効果が損なわれることがあるので、このような材料の使用を避ける。

4)効果の確認

- ① 充填箇所材からの漏水がないことを確認する。
- ② 充填材とコンクリートが密着していることを確認する。

3.3.5 防水パネル工

1)工法概要

面状の漏水に対する対策工で、標準調査を妨げるため「本対策」に適用する。

防水パネル工は面状の導水対策の一種であり、工場製作されたパネルを覆工表面に取り付け、パネルと覆工コンクリートの間に空間を設けて導水する工法である。

防水パネル工は、施工後の調査を妨げる度合いが大きいので「応急対策」としては用いない。一方、当工法は耐久性が高く防水効果も確実であることから本対策として用いる。なお防水パネル施工後は背面の覆工状況が確認できなくなるため、将来ひび割れの進展等の変状が進行しないと判断した箇所に適用する工法である。

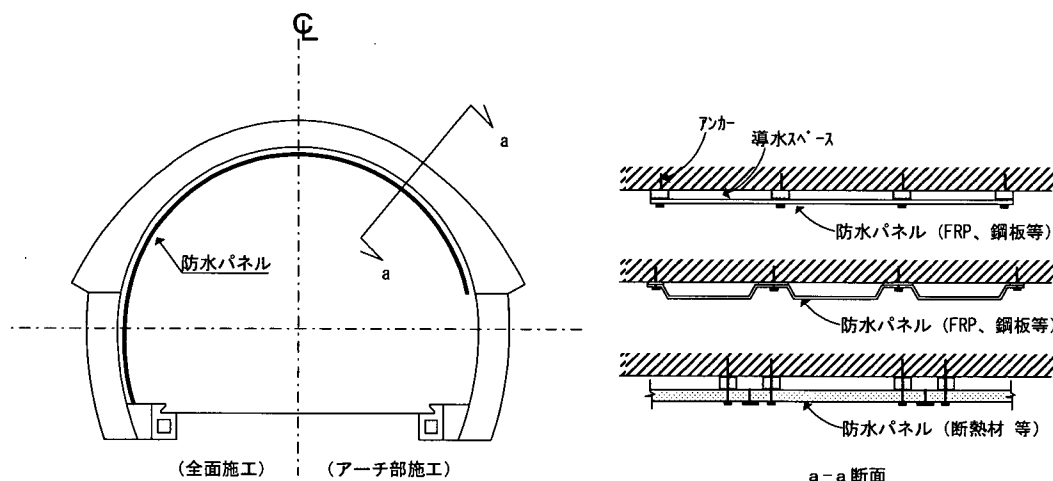


図-3.3.7 防水パネル工概要図 1)

2)設計方法

a)使用材料

曲げ加工して防錆処理を施した鋼製ライナープレート、鋼製デッキプレートやFRP板、プラスチック（塩化ビニル製）等のものがあるが、その中から、厚さ、施工性、経済性、沿岸部であれば耐食性等を考慮して選定する。

b)設計上の留意点

- ① ひび割れ等の変状が進展している場合には用いない。
- ② 内空断面をできるだけ減少させないため、仕上がり厚さの薄いものを選定する。
- ③ 内空断面余裕が無く、大型車の肩部の接触が危惧される箇所へやむを得ず適用する場合には、適切な保護等を検討する。
- ④ 歩道部に設置する場合は、歩行者の通行の障害とならないよう、施工位置、材

料を選定する。

- ⑤ 流末処理を行い確実に排水溝へ導水する。鋼製の場合、水が滞留すると発錆の原因となる（写真-3.3.9）。



写真-3.3.9 防水パネル（鋼材系）端部の水の滞留による錆の発生

- ⑥ 冬期間に凍結が予想される場合は、断熱性を考慮した材料を使用する。ただし、断熱効果には限界があるので、凍結が著しい箇所では他の工法を検討する。
- ⑦ 大量の漏水がある場合は、別途水抜き孔等を設けひび割れからの漏水量を低減する処置を計画する。

3) 施工方法

a) 施工手順

① 下 地 処 理	対策範囲を、ワイヤーブラシ、ディスクサンダー等を用いて、表面の汚れ、付着物の除去を行う。
↓	
② 位 置 出 し	防水パネル範囲のマーキングを行う。
↓	
③ 削 孔	電動ドリル等で、材料固定用コンクリートアンカーの削孔を行う。
↓	
④ パネル 設 置	防水パネルを設置する。
↓	
⑤ 流 末 処 理	防水パネル末端の漏水を、排水溝に導水する処置を講ずる。

b) 施工上の留意点

設置時および設置後の材料のゆがみ、変形を防止するため、設置前に覆工面の極端な凹凸に対する不陸修正を行う。

4) 効果の確認

- ① 流末処理部から排水溝までの導水が確実か、その他の部位で漏水がないか等を目視により確認する。
- ② パネルと覆工面との間の不要な隙間やパネルのゆがみ、変形等がないことを目視により確認する。
- ③ パネルの確実な固定がなされているかを、プラスチックハンマー等を用いた軽い打音検査を行って確認する。

3.3.6 防水シート工

1) 工法概要

多量の面状漏水に対する「応急対策」として用いる工法である。

防水シート工は面状の漏水対策工の一種であり、覆工表面に防水シートを貼り付け、車線等に漏水が滴下することを防ぐ工法である。

大量出水時の即応性が高く、設置後の脱着も容易なので「応急対策」として用いることは可能であるが、耐久性に劣るので改めて耐久性のある対策工を本対策として実施する必要がある。

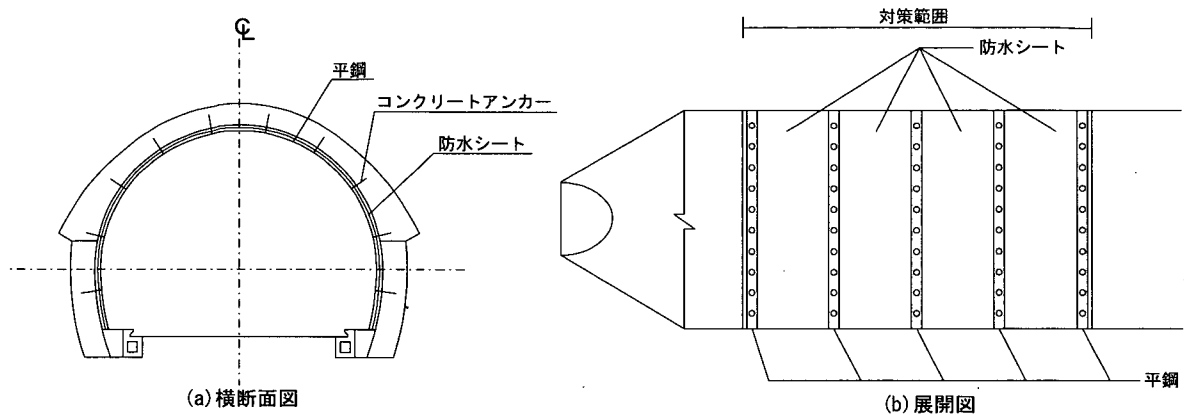


図-3.3.8 防水シート工概要図

2)設計方法

a)使用材料

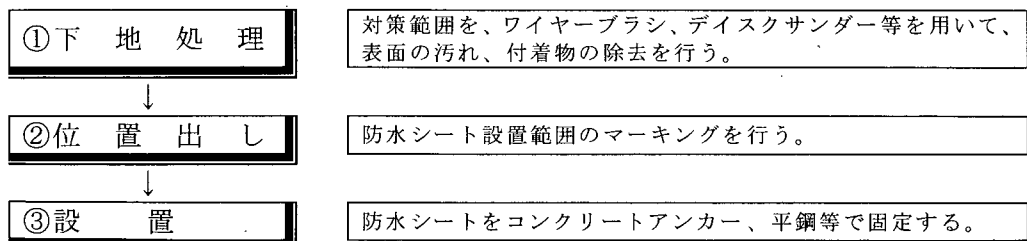
- ① 緊急性の高い応急処置で用いるため、強度があればビニールシート等、簡単に入手できる材料を用いる。
- ② 「応急対策」に限定されるので、固定に用いるボルト、ナットもステンレスである必要はない。

b)設計上の留意点

内空断面余裕が無い場合、車両接触によりシートが破損しないよう平鋼を併用するなどして、確実に固定する。

3)施工方法

a)施工手順



b)施工上の留意点

- ① 水圧や風圧等でシートが剥がれないよう、コンクリートアンカー単独でのシートの固定は避け、固定補助材（平鋼等）を適切に配置する。
- ② シートで導水した漏水は、適切に排水溝等に導水する。
- ③ 防水シートをトンネル横断方向に分割して施工する場合には、上方から順に設置し、シートラップ部分から水が漏れない様にする（図-3.3.9参照）。

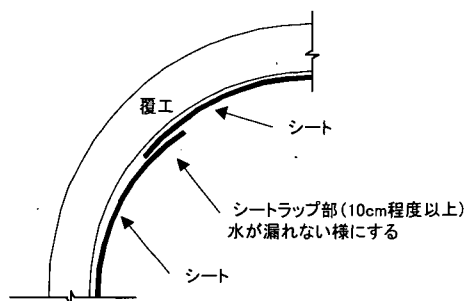


図-3.3.9 防水シートの分割施工方法

4)効果の確認

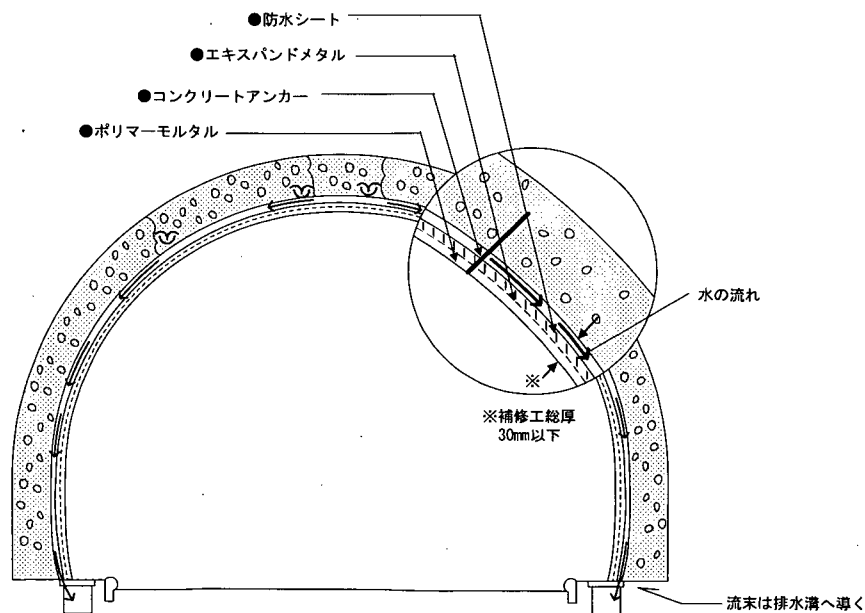
- ① 多量の漏水の車線外への確実な導水状況を目視確認する。
- ② シート材の固定状況を目視で確認する。

3.3.7 防水塗布工

1)工法概要

覆工に発生している面状の漏水に対する対策工で「本対策」にのみ適用する工法である。

防水塗布工は面状の漏水対策の一種である。覆工に発生している面状の漏水に対し、図-3.3.10に示すように裏面排水層として防水シートを有するモルタル層（補強筋入り）を覆工内面に構築して導水する工法であり、防水パネル工より厚さが薄い導水工法である。したがって内空断面の余裕がない場合に有利な工法であるが通水断面が小さいことから、少量の漏水のみに適用することを基本とする。

図-3.3.10 防水塗布工対策例⁵⁾

なお従来、止水対策を目的として用いられた、覆工に防水塗布材を直接塗布する工法（吹付けを含む）に関しては、ひび割れや再漏水が発生し易く、塗布材がはく落する恐れが高いため、このタイプの防水塗布工は適用しない。

また、低温下の気象条件では防水シート背面で漏水が凍結膨張し、ひび割れが発生する恐れがあるため、原則として適用を避ける。

2)設計方法

a)使用材料

- ① 塗布材料は、ポリマーモルタルや繊維混合モルタル等、はく落に対して耐久性の高い材料を用いることを原則とし、吹付けで行う場合は、表-3.3.2の品質を満たす材料を用いる。
- ② 補強筋としてエキスパンドメタル（XS-31 程度）や溶接金網（ $\Phi 2.6 \times 50 \times 50$ 程度）を使用する。なお材料には防錆対策を考慮する。
- ③ 補強鉄筋の固定にはコンクリートアンカー（ $M6 \times 20\text{mm}$ （SUS304）程度、6 本/ m^2 程度）を用いる。
- ④ 防水シートは、N A T Mで用いられるトンネル用防水シート（厚さ 0.8mm）と同等品とする。

表-3.3.2 塗布材料諸元⁶⁾

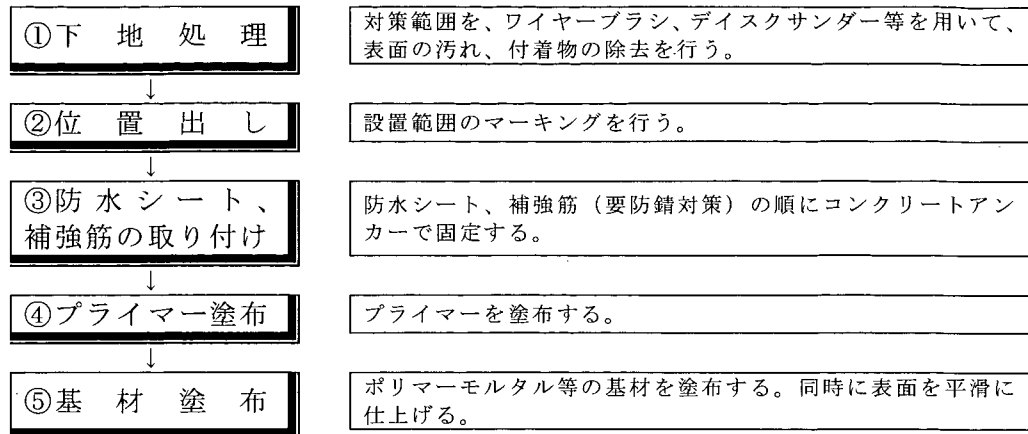
試験名称	規格	基準値（4週強度）
付着試験	建研式	1.7N/mm ² 以上
圧縮試験	JIS R 5201	27.0N/mm ² 以上
曲げ試験	JIS R 5201	6.0N/mm ² 以上
引張り試験	JIS A 1113	2.5N/mm ² 以上
静弾性係数	ASTM C 469	$1.5 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 以下

b)設計上の留意点

- ① 補強筋（エキスパンドメタル等）の塗布材被覆厚は 10mm 程度確保する。また使用する補強筋は防錆対策を考慮する。
- ② 外力によるひび割れ進展や、覆工の変形の進行がみられる場合は適用しない。
- ③ 流末は確実に排水溝まで導水する。
- ④ 寒冷地において防水シート内で漏水が凍結する場合には、水の凍結膨張で塗布材にひび割れが発生する恐れがあるため、適用しないこととする。
- ⑤ 覆工に車両の接触痕があるような、内空断面の余裕が全くない箇所では、施工直後に破損する恐れがあり、このような箇所での適用は避ける。

3) 施工方法

a) 施工手順



b) 施工上の留意点

- ① 吹付けで行う場合は、坑内の粉塵対策、飛散防止措置を講ずる。
- ② 補強筋で防水シートを確実に固定し、塗布材を平滑に仕上げる。

4) 効果の確認

- ① 漏水、ひび割れがないか近接目視で確認する。
- ② 塗布材に塗りむら、ひび割れ等がないか確認する。

3.3.8 地下水位低下工

地下水位低下工法には、覆工の背面に滞留する水を排水する水抜き孔と、地山から積極的に排水する水抜きボーリング工、さらに地下水位を路面下に保つ排水溝がある。

このうち、水抜きボーリング工と水抜き孔は、大量出水時の即応性は高く引き続き行われる調査への支障もないことから、「応急対策」として位置づけることができる一方で、「本対策」にも効果的な工法である。排水溝は設計に際し、路面下の地下水位の状態等を標準調査・詳細調査で把握する必要があり、「本対策」に適用することを基本とする。

(1) 水抜きボーリング

1) 工法概要

「応急対策」および「本対策」に適用する工法である。

本工法はボーリング孔をトンネル内部から削孔し、周辺地山の保有する水を、ボーリング孔で集水し、トンネル内部に導きトンネル周辺の地下水を排水させる、もしくは地下水位を低下させる工法である。

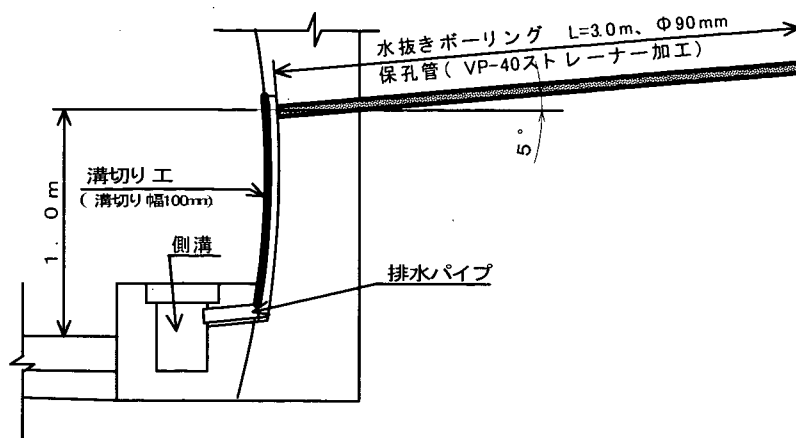


図-3.3.11 水抜きボーリング概要図例

2)設計方法

a) ボーリング長

水抜きボーリングの長さは、トンネル周囲の緩み領域に地下水が浸透してくるものとして、表-3.3.3等を参考にトンネル周囲の緩み領域を想定し、ここで円滑な排水ができるようにボーリング長を設定する。

表-3.3.3 緩み領域の目安⁷⁾

岩盤等級	ゆるみ領域(m) (W:トンネル幅)			
	在来工法		NATM工法	
	W=5m	W=10m	W=5m	W=10m
A	0.8	1.3	0.4	0.7
B	1.5	2.3	0.8	1.2
CH	1.9	2.9	1.0	1.5
CM	2.3	3.5	1.2	1.8
CL	2.3<	3.5<	1.2<	1.8<
D				

b) ボーリング間隔

トンネル延長方向の間隔については、通常の地すべり防止工（横ボーリング工、ボーリング先端間隔を5～10m程度離す）に準ずることを基本とする。ただし横断面目の線導水工を水抜きボーリング工の流末として利用するのが経済的であることから、水抜きボーリングの施工間隔は横断面目地位置を基本に設定し、漏水状況に応じてその間隔を密あるいは疎に配置する。

c) ボーリング位置

地下水位低下を促進させるため、削孔位置の高さは極力、側壁の下方に設ける。ただし、削孔機の機械高さを確保するため、水抜きボーリング工削孔位置は路面から1.0m程度の位置に設置している事例が多い。

d) ボーリング方向および角度

排水を円滑にするため、仰角約5°程度で削孔する。

e) 削孔径

φ60mm～φ90mmを標準とする。

f) 構造細目

- ① 保孔管（VP40以上の管径を有するストレーナー加工管）設置を原則とする。
- ② 樋工または溝切り工を併用し、流末処理を確実に行う。

3)施工方法

a)施工手順

①削孔機械設置	レッグハンマー、ボーリングマシン等の削孔機械を設置する。
②削 孔	所定の深度まで削孔する。
③保孔管設置	保孔管（VP-40等の有孔管）を設置する。必要に応じ吸い出し防止材を併用する。
④流 末 処 理	孔内の漏水を、排水溝等に導く処置を講ずる。

b)施工上の留意点

ストレーナの穴より小さい土砂が保孔管内に流入してくる可能性がある場合は、保孔管の周りに吸い出し防止材（ジオテキスタイル等）を巻く。

4)効果の確認

- ① 削孔中～後に出水した場合は、その水量を計測し経時的に減少することを確認する。
- ② 出水量の低減が思わしくない場合は、追加して水抜きボーリングを追加する。
- ③ 多量の漏水が発生していた箇所で、漏水量が減少することを確認する。
- ④ 施工時期によっては必ずしも出水しない場合もある。この場合は、年間を通じて日常点検の中で対策効果を確認しておく必要がある。

(2) 水抜き孔

1)工法概要

「応急対策」および「本対策」に適用する工法で、トンネル周囲に滞留する地下水を、トンネル外部へ排水する工法である。水抜き孔は、坑内の漏水個所の下方に設けることが基本である。

アーチ部のひび割れ箇所などからの漏水はアーチ脚部付近に、水平打継ぎ目からの漏水は側壁部に、それぞれ水抜き孔を配置する。図-3.3.12に概要図を示す。

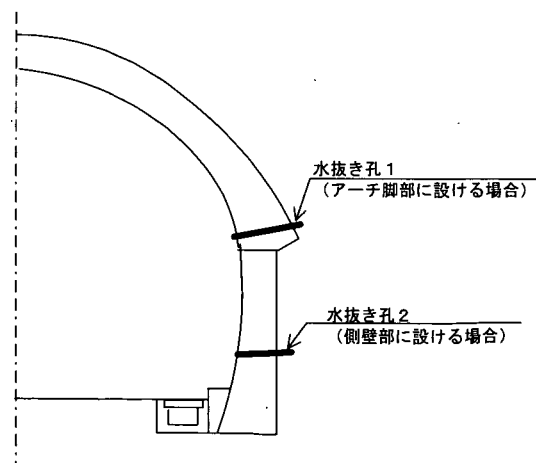


図-3.3.12 水抜き孔概要図

2)設計方法

a)削孔長および径

① 削孔長：約 1.0m 程度（覆工背面まで孔を貫通させる）

② 削孔径：φ 32～42mm 程度

b)設計上の留意点

① 覆工のなるべく低い位置に孔を配置する。

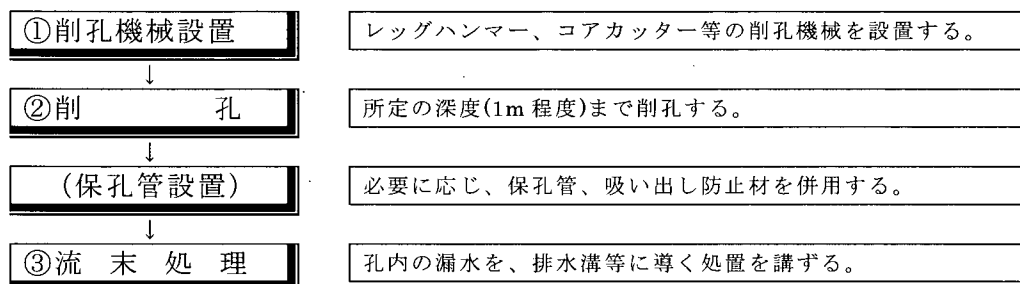
② 孔径はφ 32～42mm のなるべく小さなものとする。

③ 地質によっては水抜き孔等から地山中の細粒分の流出を伴う場合があるので吸い出し防止材を用いることを検討する。

④ 「本対策」において孔口からの湧水は、樋工あるいは溝切り工等で確実に流末の排水溝等に導く。

3)施工方法

a)施工手順



b)施工上の留意点

① 水量が減少しない場合には、水抜きボーリング工の適用を検討する。

② 地山からの細粒分が漏出する場合には、吸い出し防止材を挿入する。

4)効果の確認

削孔中、削孔後の孔内湧水量を確認する。覆工コンクリート表面の漏水量が減少するかどうか確認する。

(3) 排水溝

当工法は、「本対策」に適用する工法であり、現地条件に応じて個々に検討を要するため、以下に概要のみを示す。

路面や路盤、インバートコンクリートと地山との境界面よりも地下水位が高い場合や、車両通行による繰り返し荷重等により土砂が排出される場合等では、地下水位を低下させる目的で、既設の排水溝の底盤を下げる、あるいは新たに排水溝を設置して漏水をトンネル坑外、またはセンタードレーン等に導く溝を設置する。排水溝の一例を図-3.3.13に示す。

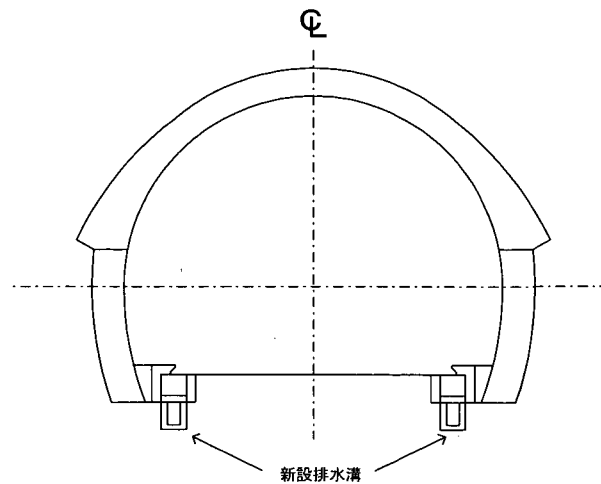


図-3.3.13 排水溝概要図

排水溝の設計は標準調査・詳細調査によって、地下水の供給方向、水圧等を把握した上で、排水系統を考慮して最も効率的な位置に配置する必要がある。

【参 考 文 献】

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所：トンネル補修・補強マニュアル、平成 2 年 10 月
- 2) 東和産業株式会社：スリーエス工法パンフレットより引用
- 3) ピングラウト協議会：ピングラウト工法パンフレットより引用
- 4) 炭素繊維補修・補強工法技術研究会 トンネル部会：炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修・補強 設計・施工マニュアル（案） トンネル覆工編、平成 9 年 4 月
- 5) 積水樹脂株式会社：ジスロンTMM工法パンフレットより引用
- 6) R C 構造物のポリマーセメントモルタル吹付け補修・補強工法協会：ポリマーセメントモルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル（案）、平成 12 年 9 月
- 7) (社) 日本トンネル技術協会：トンネル掘削による緩み領域の調査報告書、昭和 57 年 3 月

4.覆工背面空洞充填対策編

4.1 覆工背面空洞充填対策の概要

4.1.1 覆工背面空洞とトンネル変状との関係

山岳工法で施工されたトンネルのうち、特に矢板工法で施工されたものは当時の覆工コンクリート打込み方法の特徴から、アーチ部の覆工コンクリート背面に空洞が残しやすい。

覆工背面に空洞が残ることで、直ちにトンネルの構造的安定性が損なわれるわけではないが、以下のような場合には覆工コンクリートの変状を助長する要因となる。

- ① 外力（膨張性地圧、偏圧等）が覆工に作用する場合、空洞部で覆工の受働土圧が作用しないため、本来圧縮部材である覆工コンクリートの外側で引張応力が発現し引張ひび割れが発生する（内側では圧縮ひび割れ、圧ざとして確認される）。
- ② 空洞部では、覆工による周辺地山の保持ができないため、空洞上方の地山が小崩落して長期的に地山の緩み領域が広がり、鉛直緩み圧の増加を招く。また地震・豪雨等が引き金となって大量の土砂崩落が突発的に発生した場合、覆工巻厚が十分でないと覆工が破壊して落盤事故を招く恐れがある。

4.1.2 覆工巻厚・覆工背面調査が必要となるトンネル

覆工巻厚不足あるいは覆工背面空洞は、定期点検等の打音調査で発見される場合もあるが、一般的には坑内側からの点検等では把握できない。このため覆工背面空洞充填対策は、標準調査・詳細調査を実施してその要否が判定されるため、「応急対策」ではなく「本対策」として位置づけられる。

(1) 矢板工法で施工されたトンネル

矢板工法で構築された全てのトンネルでは、覆工背面に空洞が残っている恐れがあり標準調査・詳細調査を要する。これらトンネルでの点検作業の結果、「判定区分A」または「判定区分B」とされた変状について、下記条件に当てはまる場合は、覆工巻厚・覆工背面調査を行うことを原則とする。

- ① 「1.4.1(2)はく落、漏水に関する変状の原因」で記述した外力作用による変状現象が確認される箇所
- ② 外力作用の兆候は見られないが、覆工コンクリートの材質劣化が著しく、耐荷力が十分でないと判断される箇所
- ③ 覆工コンクリート表面に変状現象は確認されないが、打音検査で異音があり巻厚不足や背面空洞が推定される箇所
- ④ 多量漏水があり、漏水に濁り・土砂流入が確認され、覆工コンクリート背面に

空洞が拡大している恐れがある箇所

なお矢板工法で施工されたトンネルでは、特に変状がない場合でも坑内側からの点検・目視では覆工巻厚・背面空洞を把握できないことを考えると、適切な時期に覆工巻厚・覆工背面空洞調査を実施しておくことが望ましい。

(2) NATMで施工されたトンネル

NATMでは圧力管理を行って覆工コンクリートを打込むため、覆工背面に大規模な空洞が残る可能性は少ない。

しかし、NATMで施工されたトンネルであっても、下記の変状現象が認められる場合は標準調査・詳細調査において覆工巻厚・覆工背面空洞調査を検討する必要がある。

- ① 覆工コンクリート背面に空洞が残っている可能性を示唆する状況が確認される場合（例えばアーチ天端付近で打音異常が確認される等）
- ② 横断目地付近で打音異常、豆板等が認められ、コンクリートの打込みが不十分と推定される場合（横断目地付近のみの調査）
- ③ 多量の漏水があり、漏水に濁り・土砂流入が確認され、覆工背面に空洞が拡大している恐れがある箇所

なお、NATMで施工されたトンネルでは覆工背面全周に防水シートが施工され、これが防水機能を果たしている。このため簡易ボーリング等でこれを破損すると漏水が発生する恐れがあり、調査方法には工夫を要する。

4.1.3 覆工背面空洞充填対策を適用するトンネル変状

覆工背面空洞充填対策は標準調査・詳細調査で覆工巻厚・覆工背面調査の結果、「判定区分3A～A」とされたトンネル区間において、「本対策」として適用する。

その際、空洞の状態が「4.1.1覆工背面空洞とトンネル変状との関係」で述べた①、②の場合で対策の目的が若干異なるため、これを整理して下表に示す。

表-4.1.1 覆工背面空洞充填対策の目的と対象とする空洞の状態

対策目的	対象となる覆工背面の空洞の状態
①外力作用下で、覆工の耐荷力を回復・向上させる。	覆工に外力に起因すると考えられるひび割れ等が発生し、覆工の耐荷力が低下している箇所で、特に空洞深さに係わらず、残っている空洞全てが対策範囲となる。
②上方地山の緩みを防ぎ、特に突発的な崩壊を防止する。	「アーチ部の覆工背面に30cm程度以上の空隙があり、有効な覆工厚さが30cm以下で、背面の地山が岩塊となって崩落する可能性があるもの」 ^{注1)} もしくは「覆工側面に空隙があり、今後洗掘等で空洞が拡大する可能性があるもの」 ^{注1)} 。

注1) 「便覧」P.129より引用

また「判定区分3A～A」に対する対応の違いは対策時期の差であり、どの範囲までを対象として覆工背面空洞充填対策を行うかについては、対策工の設計者が判断する必要がある。

4.2 覆工背面空洞充填対策の実施手順

覆工背面空洞充填対策に関する設計・施工の実施手順を図-4.2.1に示す。覆工背面空洞充填対策は「本対策」で行われ、これに用いる対策工法は「裏込め注入工」のみである。

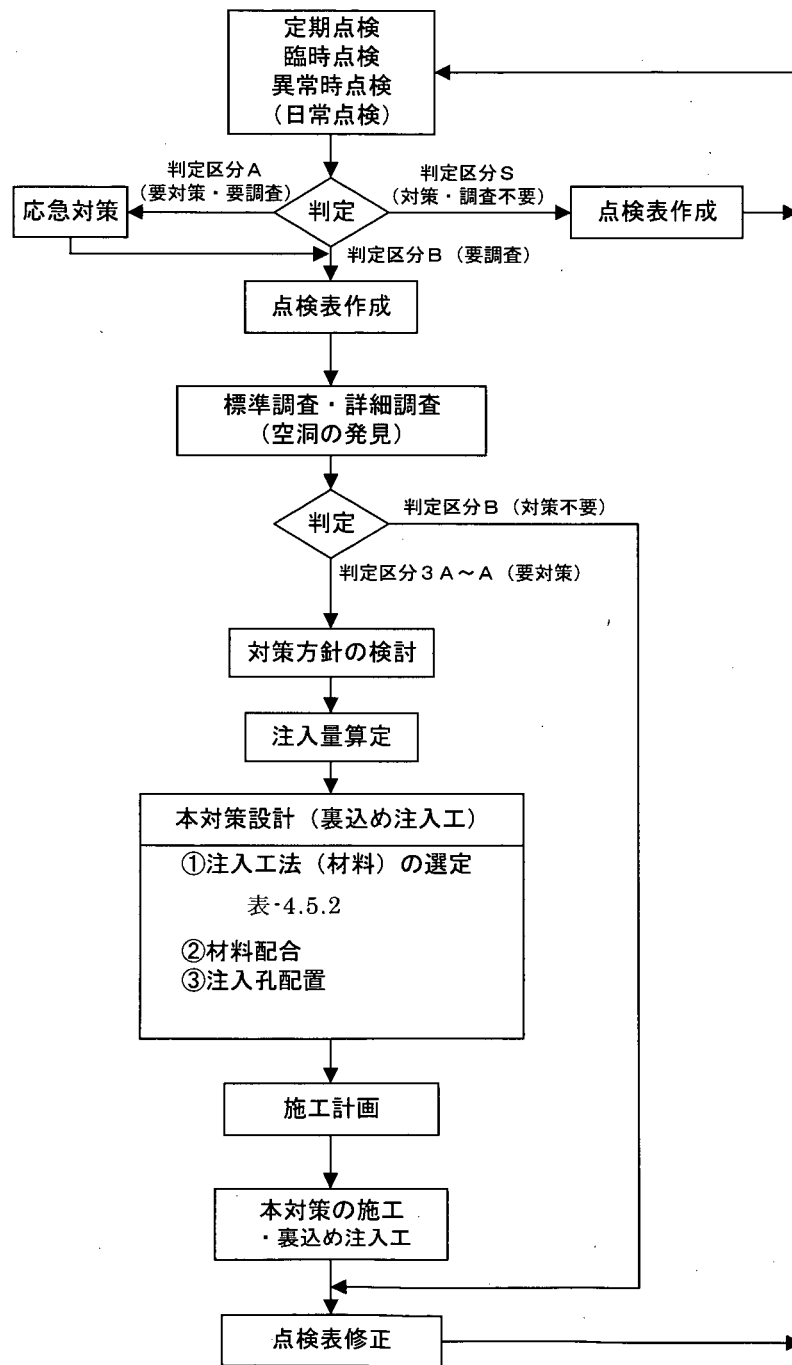


図-4.2.1 覆工背面空洞充填対策の実施手順

4.3 対策方針の検討

4.3.1 判定区分による対策範囲の設定

裏込め注工は、標準調査・詳細調査の結果「判定区分3 A～A」と判定され、対策工の設計者が「覆工背面空洞充填対策」を必要と判断した範囲について実施する。

通常、標準調査・詳細調査による判定は、トンネルを一定の区間（一般的には覆工アーチコンクリート1打込みスパン毎）に区切って行われる。従ってこの区間毎に裏込め注工実施の要否を検討するものとする。

また、裏込め注工は変状対策としては最も基本となる対策工であり、他の変状対策工が併用される場合でも、それに先行して施工することを原則とする。このため、他の変状対策工の実施に伴う手戻り作業が生じないよう、それらに十分配慮して施工計画を立案する必要がある。とくに漏水対策を併用する場合は、漏水対策の後に裏込め注工を行うと、漏水対策工内部に裏込め注入材が流出して導水系統の閉塞を生じ、再度漏水対策をやり直すなど手戻りが生じる場合があるので、施工順序を十分検討する必要がある。

4.3.2 裏込め注工適用に際しての留意点

裏込め注工の適用に際しては、覆工の状態などによる適用制限があるため、表-4.3.1を参考に対応方法を検討するものとする。

表-4.3.1 裏込め注工適用に際しての留意点

（文献¹）掲載を一部修正加筆）

裏込め注工の適用に問題がある状態	留意点・対応
大量の湧水がある場合	注入材の選定に十分考慮し、さらに、水抜き孔などの水位低下工法等の併用を検討する。
覆工巻厚が不足している場合	有効巻厚が20cm以下の場合は、裏込め注入材の自重によって覆工に発生する増加応力を考慮した上で内巻工、内面補強工等の併用を検討する。
覆工材質が不良な場合	一軸圧縮強度が、10N/mm ² 以下の場合は、内巻工、内面補強工等の併用を検討する。場合によっては覆工改築も含めた検討が必要である。
覆工のひび割れあるいは断面欠損が著しく、注入材がトンネル内に流出する恐れがある場合	断面修復あるいは他の流出防止策を先行して講ずることが必要となる。
裏面排水工（側壁部；矢板工法）を閉塞し、トンネルの排水機能が低下することが問題となる場合	漏水が多いトンネルでの裏込め注工によって、裏面排水工を閉塞する恐れのある場合は、裏込め注工施工後に水抜き孔等の地下水位低下工法を併用する。
環境上、特にトンネル周辺の地下水の汚染、水質変化が問題となる場合	代替水源の確保等、総合的な判断を必要とする。場合によっては裏込め注工を適用せず他の工法で対応する。

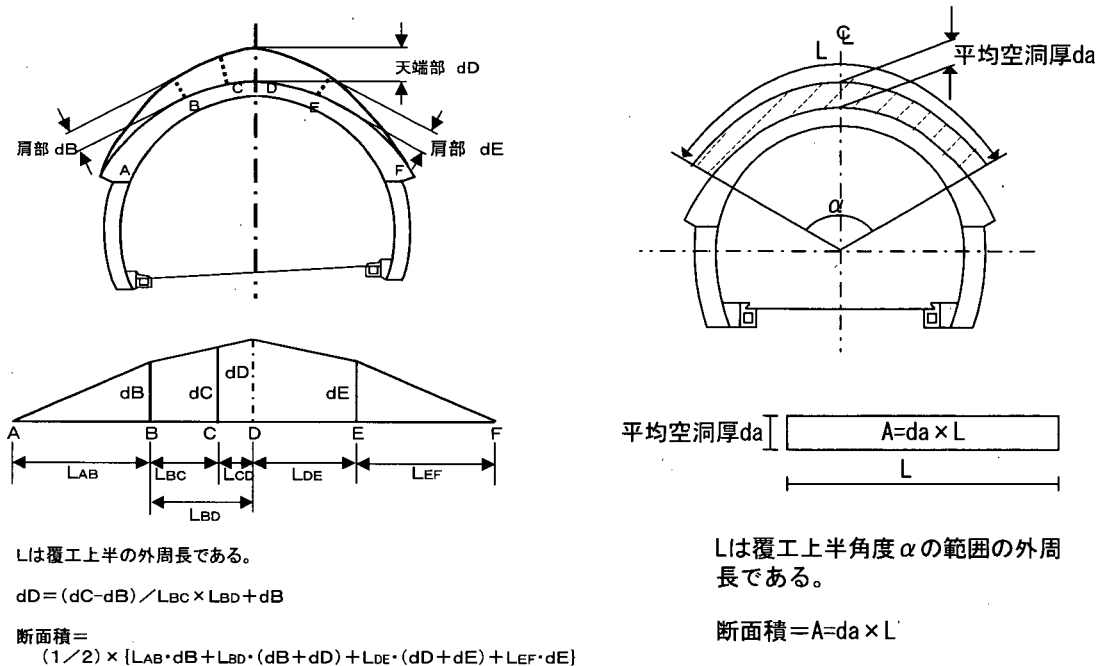
4.4 裏込め注入量の算定

4.4.1 注入量の算定方法

注入量は一般に背面空洞調査結果をもとに、次式で算定する。

$$\text{設計注入量} = \Sigma (\text{空洞断面積} \times \text{施工区間長}) \quad \cdots \text{算定式(1)}$$

空洞断面積の算定方法は一般的に下記に示す2つの方法がある。



(a) 空洞断面積を多角形の面積の総和で求める方法²⁾ (b) 平均空洞厚を求め空洞断面積を算定する方法

図-4.4.1 空洞断面積の算定方法

4.4.2 注入量算定に際しての留意点

既往の裏込め注入実績では、設計注入量に対し実際の注入量が3倍以上になる事例も報告されている。このような設計注入量と施工実績とに大幅な差異が生じる原因としては以下の事項が考えられる。

- ① 矢板工法におけるトンネル施工方法上の特性（矢板と地山との間に隙間があり、基本的にアーチ部覆工背面は排水構造となっている）
- ② 空洞の調査方法や測定精度、測定間隔（くり抜き本数、レーダー測線数）
- ③ 空洞量算定方法（空洞範囲 α の設定；特に平均空洞厚で空洞を算定する場合）
- ④ 岩盤の亀裂内への裏込め注入材の逸走（地質状況）
- ⑤ 側壁部の裏面排水工やトンネル縦断方向への裏込め注入材の逸走
- ⑥ 湧水による裏込め注入材の流出
- ⑦ 注入材別の材料特性

このため本マニュアルでは、設計注入量と施工実績とに極力、差が生じないようにするための方法として、下記の方法を提案する。

- a) 裏込め注入工設計段階では、注入対象範囲の設定を主とし、注入量に関しては施工段階で削孔された注入孔で空洞厚を把握し、注入量を算定するという方法を採用（前述の②③で空洞量の測定精度が向上する）。
- b) 注入区間が長い場合は、事前に代表的な区間で試験施工を行って、注入量の実態を把握し、全体の注入量を予測する。
- c) 区間を限定しての裏込め注入、あるいは亀裂開口量が大きい地山状況等、注入材が大量に逸走する可能性のある場合は、材料特性の異なった複数の裏込め注入材料を組み合わせる（例えば粘性が高く逸走しにくい材料で隔壁を形成し、その間を流動性のある別な材料で充填する等）。

4.5 裏込め注入工の設計

注入材は、覆工コンクリートが外力を受けて変形する際に、覆工背面に均等な受働土圧が発現するように、覆工コンクリートと周辺地山との応力伝達を確実にする役割を果たすものである。従って、地盤と覆工とが注入材によって密着するよう細部まで充填でき、また地盤反力を十分に覆工に伝達できる材料を選定する必要がある。

4.5.1 裏込め注入材料の種類と特性

注入材には、セメント系材料と非セメント系材料がある。セメント系材料はさらに、モルタル系材料と可塑性材料に分けられ、それぞれさらにエアー系と非エアー系材料に分類される。セメント系注入材の適用実績としては、最近では可塑性材料（エアー系または非エアー系）が多く用いられるようになってきている。

また非セメント系材料は従来、各種の材料が用いられてきたが、最近では発泡ウレタン系の材料が多用されるようになってきており、本マニュアルでは非セメント系材料として発泡ウレタンについて取り扱う。

表-4.5.1にこれら各材料の分類と特性をまとめる。

以下に各材料の概要を述べる。

(1)セメント系注入材

1)従来型の注入材

従来、トンネルの裏込め注入材としてはモルタルが古くから用いられたが、モルタルでは空洞を充填するための流動性が不十分で大量施工に向かないため、流動性を改善する目的でベントナイトを混合したセメントベントナイトや、気泡を混入したエアミルク、エアモルタルがトンネルの裏込め注入材として用いられるようになった。

ただし、ベントナイトモルタルの場合（モルタルも同様であるが）、単位体積重量が 20kN/m^3 程度と重く、覆工の荷重負担が大きいため、トンネルの裏込注入材としては難点がある。

これに対しエアミルク、エアモルタルは、水より軽いか同程度の単位体積重量を持ち流動性が高いため、細部の空洞や亀裂への充填性が良いことや、大量施工に向いていることから、矢板工法で施工されたトンネルの裏込注入材として多用されるようになった。ただし、同材料は逆に流動性が良いために、岩盤の開口亀裂等に逸走し易く、また水で希釈され易い特性を有する。とくに地下水が多いトンネルなどでは材料分離が生じて十分な空洞充填ができない場合もある。

2)可塑性注入材

可塑性注入材とは、モルタル、エアモルタルのそれぞれが持つ利点を生かしつつ、その弱点を克服するように開発された裏込め注入材料で、エアモルタルに可塑剤を添加し水に希釈しにくくしたもの、またはポリマーをモルタルに混入させてモルタルの流動性を高めたものが開発されている。可塑性とは加圧あるいは揺動させることにより固体と液体の中間の性質（ゲル状態）を呈することを意味する。

可塑性注入材の特徴は以下の通りである。

- ① エアモルタルやエアミルクのように岩盤の亀裂内部まで浸透するような流動性はないが、加圧することにより空洞への充填が可能な流動性をもつ。
- ② さらに、地下水など湧水中でも材料分離が生じにくい性質があるため、湧水の多い箇所や、圧力を止めると流動は止まるため局所的な限定注入に有効である。
- ③ 単位体積重量はエアモルタルと同程度であるがポリマーセメントを用いたものは若干重い。フロー値は $80\sim 150\text{mm}$ 程度であるが、ポリマーセメントを用いたものは $80\sim 120\text{mm}$ と若干小さい値を示す。

(2) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）

非セメント系の裏込注入材では発泡ウレタンの適用実績が多い。発泡ウレタンは2液を混合することにより化学反応で発泡する性質を有する。2液の混合割合により発泡倍率は異なり、 $12\sim 30$ 倍に発泡するものが通常使用されている。

発泡ウレタン注入材の特徴は以下の通りである。

- ① 単位重量がセメント系注入材に比べて極めて小さく、注入材の自重によって覆工に与える負荷が小さい。
- ② 湧水による材料分離が生じにくい。
- ③ 施工機材が軽量・コンパクトで、施工性（搬入・移動）に優れる。
- ④ 発泡が始まってから硬化するまで注入孔を中心として直径 $1.5\sim 2\text{m}$ 程度しか流動しないため注入孔の間隔はセメント系に比べて狭くする必要がある。

表-4.5.1 裏込め注入材の材料特性一覧

材料 選定項目	セメント系				③非セメント系
	①従来型の注入材		②可塑性注入材		
	非エア－系	エア－系	エア－系	非エア－系	
	モルタル、 ベントナイト モルタル	エアモルタル、 エアミルク	エアモルタル ＋添加剤	ポリマーセ メント	
材料の特徴	モルタルや、そ れにベントナ イトを混合し て流動性を良 くしたもの	モルタルやセメ ントミルクに、空 気を混入し流動 性を良くしたも の	エアモルタル に可塑剤を加 えたもの	セメントベントナ イト等ポリマー材 料を混入し流動 性を高めたもの	発泡ウレタンを 用いた注入剤
単位体積重量 (kN/m³)	20 程度	11～14;エアモル タル 6 程度;エアミル ク	11～12	13～15	0.4～1.0 (発泡倍率 12～ 30)
ゲルタイム	数時間～1日 程度	数時間～1日程 度	注入直後から 可塑性	注入直後か ら可塑性	1～3分程度 (硬化時間)
フロー値 (mm)	15～20sec (P ロート法)	200±20mm (シリンダ法)	80～150 mm (シリンダ法)	80 ～ 120 mm (シリンダ 法)	—注 1)

注 1) 発泡ウレタンの場合、発泡しながら硬化するため特にフロー値はない。

4.5.2 裏込め注入材の選定

注入材の選定は、以下に示す注入箇所への適用性、施工性の他に、施工条件や注入量によって経済性に差がでるため、単に材料単価のみの比較でなく概算工事費を比較検討して選定する必要がある。

- ① 覆工への影響（覆工巻厚が不足する場合）
- ② 注入箇所の湧水状況
- ③ 空洞細部への充填性
- ④ 坑内の施工ヤードの状況（片側通行規制で実施されることが多いため、内空断面の小さいトンネルでは搬入機材に制約を受ける場合がある）
- ⑤ 坑外の仮設ヤードの確保（材料の生コン取りができない場合）
- ⑥ 環境に与える影響（主に坑内排水の水質に与える影響が問題となる場合）

上記の条件に関し、表-4.5.2に裏込め注入材料の適用性による選定の目安を示す。

表-4.5.2 裏込め注入材料の適用性による選定の目安

選定項目		材料	セメント系				③非セメント系
			①従来型の注入材		②可塑性注入材		
			非エアース	エアース	エアース	非エアース	
			モルタル、セメントベントナイト	エアモルタル、エアミルク	エアモルタル+添加剤	ポリマーセメント	
覆工への影響	荷重増加	大	中			小	
	巻厚不足箇所への適用	内巻工、内面補強工等の検討を要する					可
湧水箇所への適用性		適	不適 (材料分離しやすい)	適			
空洞細部への充填性		充填しにくい	微細部まで充填できる	加圧により充填できる		注入孔を設けることで充填できる	
片側通行規制下での施工機材配置		内空断面が小さい場合には要注意 ^{注1)}					施工機材が小規模で特に注意を要しない
坑外仮設ヤード		生コン取りできない場合必要					不要
施工後の坑内排水pH変動		変動する可能性あり					変化しない ^{注2)}
冬期施工		可					10℃以下の場合には注意を要する ^{注3)}
備考		機械化による大量施工に向かない		近年、新材料の開発、適用事例が増えている			

注1) これまでの実績では、材料に関係なく道路幅6.5m以上のトンネルで片側通行規制の実績がある。

注2) 注入材固化後（ポリマー状態）では水質への影響はほとんどないが、未固化状態（モノマー状態）の注入材が坑内水へ溶出した場合は、環境上問題となる場合があるため、水質が重要視される場合は適用に十分注意を要する。

注3) 発泡ウレタンは10℃以下になると、粘性が増し注入機械への過剰負担と、固化不足が懸念されるため、暖める必要がある。

また注入材の選定にあたっては、表-4.5.2に示す事項も含め、以下の点に留意する必要がある。

- ① 材料分離、ブリージングが少なく、また、注入後の体積収縮が少ないものを選定する。
- ② セメント系注入材に混和する材料には、分散、気泡、膨張（発泡）およびセメント量を少なくすることを目的とするものなど種々の製品があるので目的に応じて適宜選定する。セメント量を少なくする材料には、フライアッシュ等があり、施工性を向上させるための材料としては、ベントナイトなどがあげられる。また分散作用を促進させる、あるいは注入材の流動性を向上させるためには、一般的に減水剤が用いられる。
- ③ セメント系注入材の起泡材は、それぞれ特徴があるのでセメント等の種類に応じたものを選ぶ必要がある。また、膨張材には、一般にアルミニウム粉末が用いられる。これは、注入材がまだ固まらないうちに膨張して収縮を打ち消す作用をするため、適当な発泡速度となるよう管理する。発泡が早すぎると硬化が始まる前に発泡してガスが逃げることになり、また遅すぎると膨張せずひび割れが発生することになる。

- ④ 非セメント系の注入材（発砲ウレタン）は、他の材料での空洞充填が困難で、緊急性を要する場合に適用される。使用材料は、取り扱う作業者の安全、周辺環境への影響、火災への安全を考慮して十分安全な材料を用いる必要がある。
- ⑤ 大規模な裏込め注入工を計画する場合は、事前に一部区間で複数材料により試験施工を実施して、最も効率の良い材料を選定するなどの配慮が必要である。

4.5.3 設計基準強度と配合

(1)セメント系材料

1) 設計基準強度

注入材料の一軸圧縮強度の目標値はセメント系材料の場合、一般に品質管理上 1N/mm^2 以上あればよいといわれている。ただし施工時には湧水があったり、過度に注入材が流動したりすることが考えられ、注入後の材料品質のばらつきを少なくするために、余裕を見込んで設計基準強度（28日強度）を 1.5N/mm^2 以上とする。

2)配合

各材料種別の配合例を表-4.5.3～表-4.5.5に示すが、これらは、参考配合であるため、現地で所定の品質が得られるように配合試験を実施する必要がある。

表-4.5.3 エアモルタル配合例（ 1m^3 当たり）²⁾

フロー値	空気量	セメント	水	細骨材	起泡剤	水セメント比	設計基準強度
(mm)	(%)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(%)	(N/mm^2)
200 ± 20	50 ± 5	250	210	500	3.1	84	1.5

注) 生コン取り時のモルタル 1m^3 当たり配合は下表による。なお、エアモルタル 1m^3 当たり生モルタル使用量は 0.485m^3 を基準とする。

C : S	セメント (kg)	細骨材 (kg)	水 (kg)
1 : 2	515	1,031	433

表-4.5.4 可塑性注入材（エアモルタル系）配合例（ 1m^3 当たり）²⁾

A 液					B 液		設計基準強度
空気量	セメント	水（希釈水【20倍】を含む）	細骨材	特殊起泡材	可塑剤	水	
(%)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(N/mm^2)
43 ± 5	288	226	577	1.27	22.62	27.2	1.5

注) 生コン取り時のモルタル 1m^3 当たり配合は下表による。なお、可塑状注入材 1m^3 当たり生モルタル使用量は 0.523m^3 を基準とする。

C : S	セメント (kg)	細骨材 (kg)	水 (kg)
1 : 2	551	1,102	395

表-4.5.5 可塑性注入材（ポリマーセメント系）配合例（ 1m^3 当たり）²⁾

セメント (kg)	ベンナイト (kg)	混和剤 (kg)	水 (kg)	設計基準強度 (N/mm^2)
350	285	8.4	774	1.5

(2) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）

1) 設計基準強度

発泡ウレタン系の場合には、より小さな強度でも品質管理が可能であるため、対策の目的（外力対策、地山の突発性崩壊対策等）により、対策工の設計者が個別に設計基準強度を設定する（前述のセメント系注入材の設計基準強度は、材料の品質管理上の理由から設定された値であり、一律にこれに準じて同じ値を用いる必要はない）。

2) 配合

非セメント系は、各メーカーの定めた参考値に従って、薬液の配合比率を定めるものとする。表-4.5.6に発泡倍率と単位重量、強度の一例を示す。

表-4.5.6 発泡ウレタンの発泡倍率と強度との関係例

発泡倍率	1.0	1.2	2.0	3.0
発泡後 単位重量 (kN/m ³)	1.2	1.0	0.6	0.4
発泡後 一軸圧縮強度(N/mm ²)	1.3	1.0	0.5	0.2

4.5.4 注入孔配置

(1) セメント系注入材

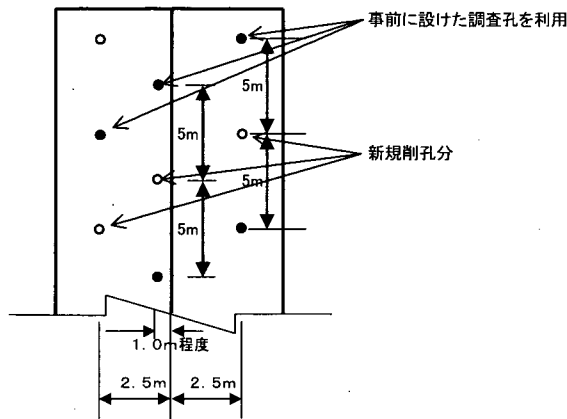
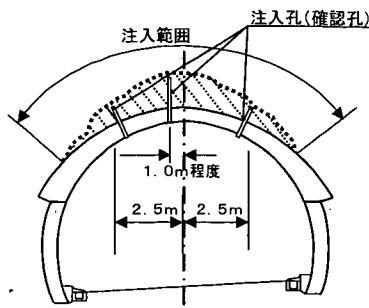
注入孔配置は、施工条件（片側通行規制の有無）を問わず、覆工アーチ部の背面空洞を確実に充填するために、アーチ肩部に注入孔を設置し、そこから注入した材料が流出して充填状況を確認できる確認孔をアーチ天端付近に配置する計画とする。なお確認孔は注入材の充填確認とともに、注入材料が閉塞空間に充填された場合、注入圧力が上昇して覆工に圧力負荷が加わる現象を防ぐ役割も持っており、必ず設置しなければならない。

注入孔の配置の例を図-4.5.1に示す。

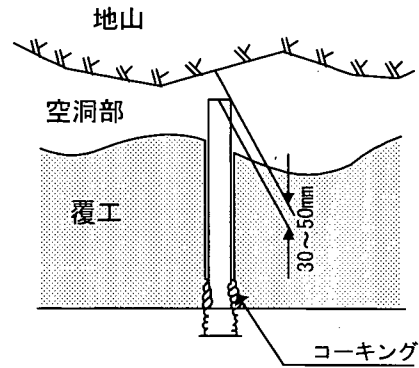
(2) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）

発泡ウレタンの場合には、一般的な条件下においては直径 2m 程度流動すると言われているため、図-4.5.2に示す様な注入管の配置を検討し注入孔を割り付ける。

なお、注入孔間隔がセメント系注入材に比べて狭いため、確認孔は隣接する注入孔で代用できる。ただし覆工巻厚が極めて薄く、注入圧やウレタンの発泡圧で覆工に負荷が加わる恐れのある場合は別途確認孔を配置するか、注入孔間隔を密にするなどの配慮が必要である。

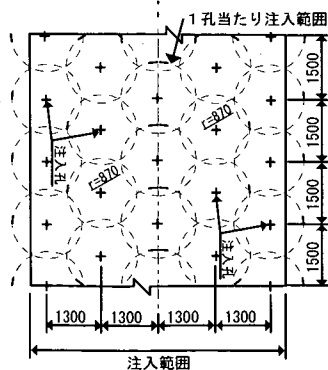
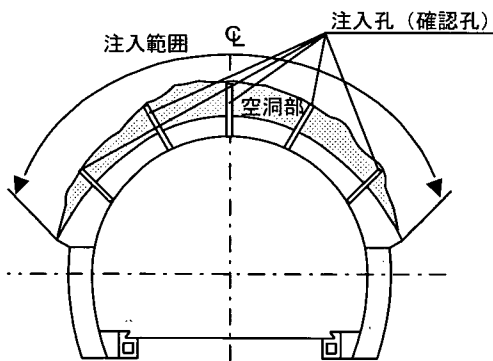


(a) 注入管配置²⁾

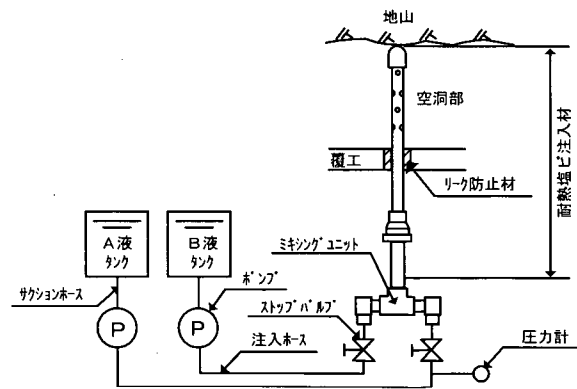


(b) 注入管取付け詳細

図-4.5.1 注入孔設置例 (セメント系注入材)



(a) 注入管配置例 (発泡ウレタンの場合)



(b) 注入孔取付け詳細

図-4.5.2 注入孔設置例 (発泡ウレタン)

4.5.5 その他、設計上の留意点について

「4.5.2裏込め注入材の選定」で述べた注入材料選定の留意点に加えて、設計上留意

する点を以下に示す。

- ① 注入予定区間および付近に漏水対策工がある場合は、この排水機能を極力妨げないような材料を選定する（ただし完全に排水機能を妨げず裏込め注入を行うことは困難であり、新たに地下水位低下工法を併用する等、別途十分な排水対策に配慮する必要がある）。
- ② 供用車線への注入材の漏出、飛散には十分注意し、横断目地部や大きなひび割れからのリーク（漏出）防止措置を講ずる必要がある。

4.6 裏込め注入工の施工

4.6.1 施工手順

(1)セメント系注入材

標準的な注入工手順は下記のとおりである。

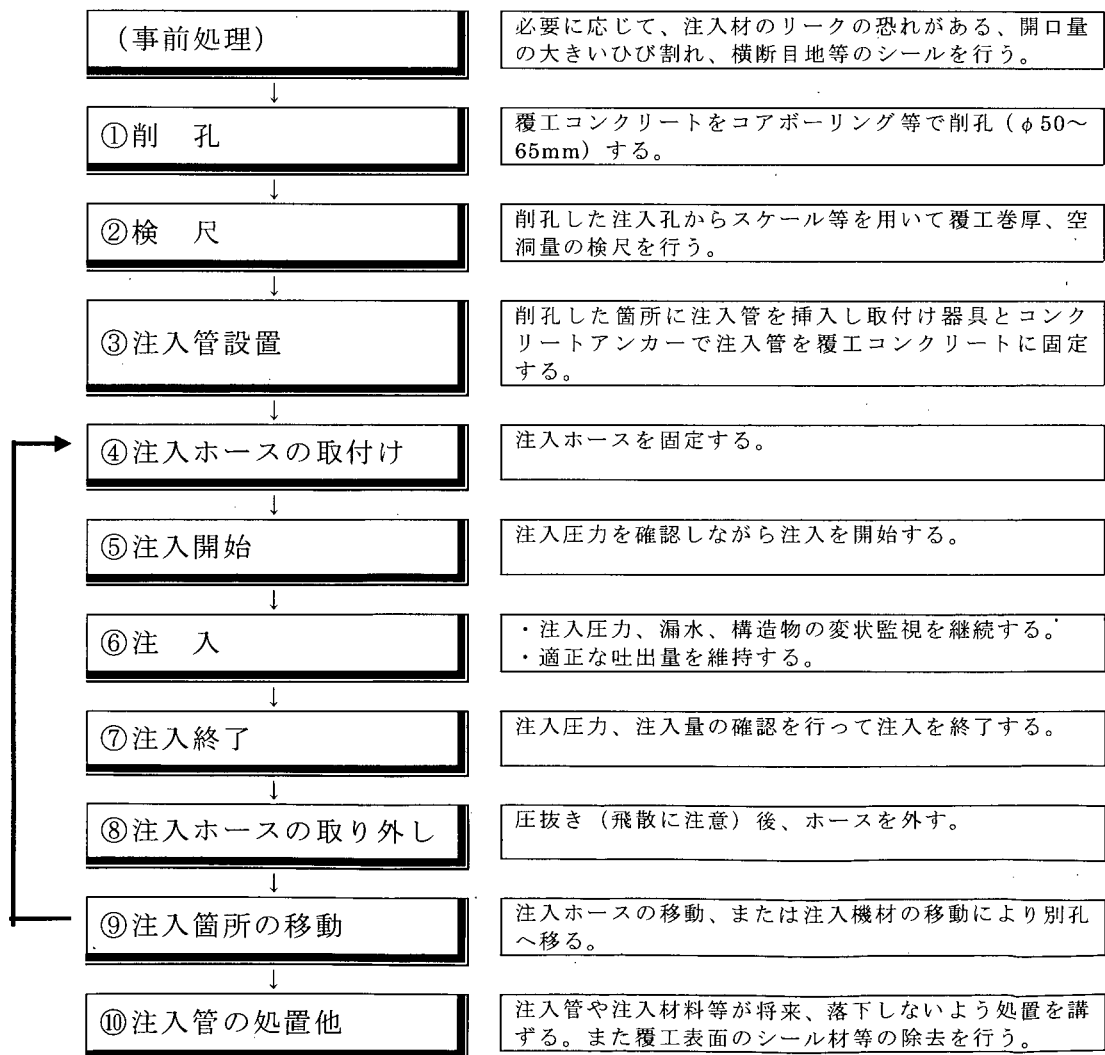


図-4.6.1 注入施工フロー（セメント系注入材の場合）

注入順序はトンネル縦断方向で高低の低い方から高い方に片押しで施工するものとする。一般的には図-4.6.2に示すように、片側通行規制によって一次注入（A列）、二次注入（B列）の順に注入し、注入材のリークが確認されなかった確認孔（C）については三次注入（C列）を行う方法が採られる。ただし覆工巻厚が薄く、注入材の片寄りによって覆工コンクリートが変形し、新たなひび割れが発生する恐れのある場合は、交互に注入（A1→B1→A2→・・・）し、バランスのとれた注入計画を立案することが必要である。

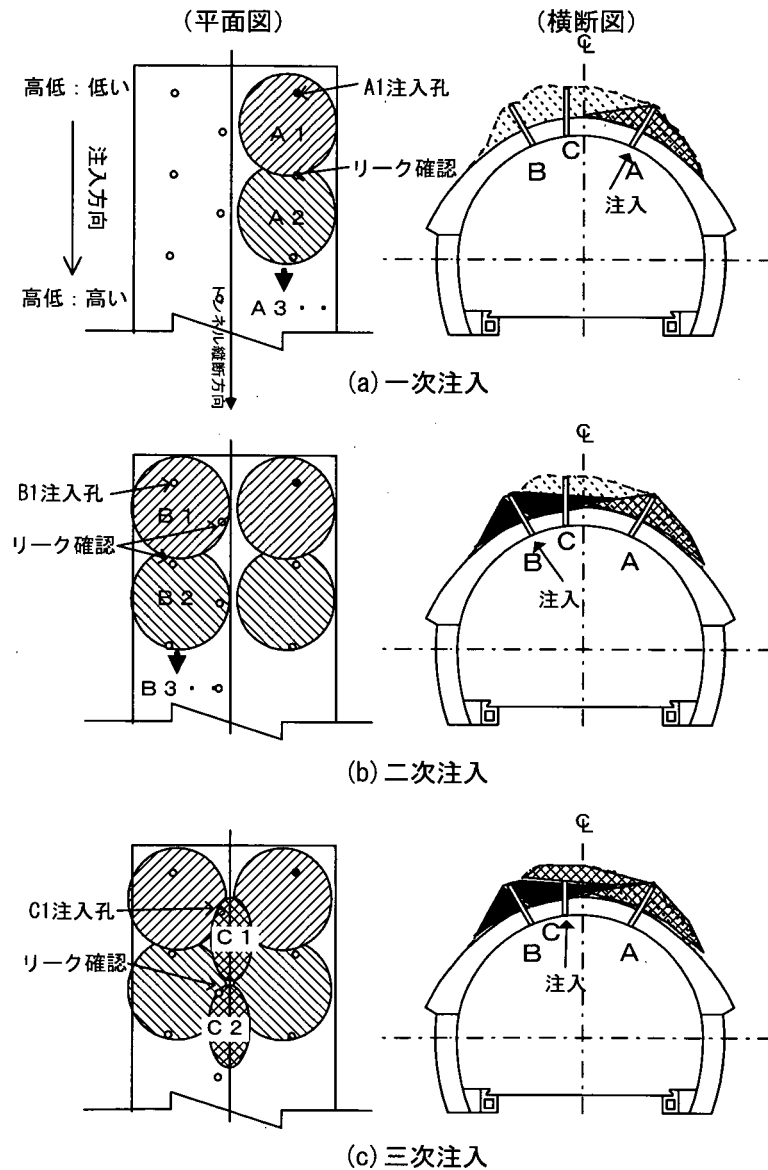


図-4.6.2 注入施工順序の例（文献²⁾を加筆修正）

(2) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）

標準的な注入工手順は図-4.6.3のとおりである。

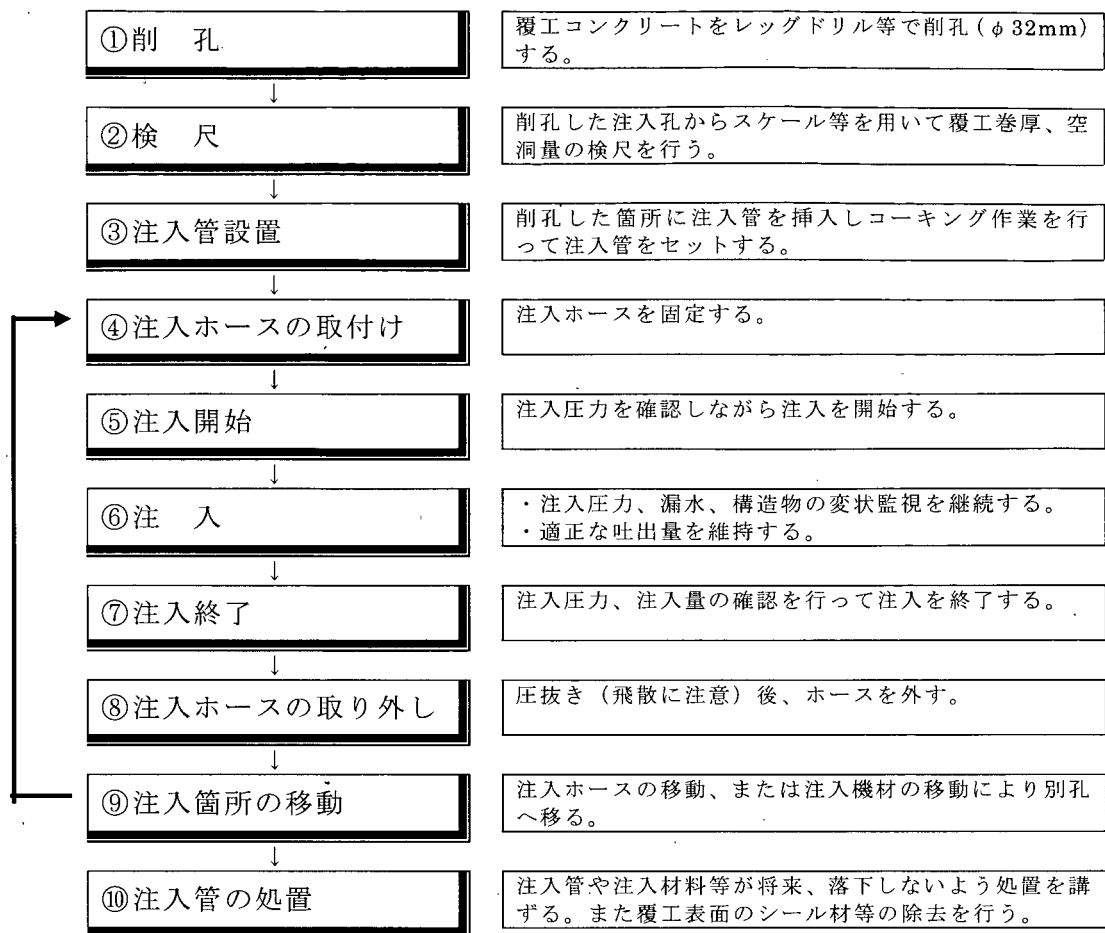


図-4.6.3 注入施工フロー (発泡ウレタンの場合)

注入順序に関しては、図-4.6.2に示したセメント系注入材と同様な方法で順序を計画する。

4.6.2 施工時の注入管理

裏込め注入工では空洞調査での限られた情報のみから、設計時に注入量を正確に求めることが難しいため、施工時の注入孔の削孔検尺結果等を利用して設計注入量の修正を実施することが望ましい。また、施工中に覆工背面の充填状態を詳細に確認することが困難なため、充填確認方法として注入量と注入圧を同時に監視しながら注入作業を進める必要がある。以下に、充填確認方法について、注入量と注入圧それぞれに分けて説明する。

(1) 注入量の管理

1) 施工前準備

- ① 設計時の注入量は一般に精度が低いことが多いので、注入孔・確認孔削孔時に空洞状態の再確認を実施し設計注入量を修正する。
- ② また、この時点で1孔当たりの注入量と最大注入量 (一孔から注入する最大量

の目安)を定めておく。

2)充填確認方法

- ① 確認孔（発泡ウレタンの場合は隣接の注入孔）から注入材が流出（リーク）した場合、次の注入孔に移動する。
- ② 施工前に定めた1孔当りの注入量を一定量上まわるようであれば、当該注入孔箇所での注入を一時中断し、周辺の注入孔に移る。このような作業を繰り返し、最終的に事前に定めた1孔当りの注入量が注入されなかった範囲を特定し、再度注入孔を設けて注入を行う。この注入孔の再施工は残存する空洞の未充填範囲・量を特定する意味もある。
- ③ ただし周辺注入孔での注入で圧力上昇を確認できた場合、あるいは最終的に確認孔から充填して圧力上昇した場合は、②の再注入作業を省略できる。

(2)注入圧の管理

1)裏込め注入時の圧力

注入圧力は、覆工コンクリートに0.2 MPa程度以上の圧力が加わらないように管理する必要がある。また覆工に新たなひび割れ等の変状を発生させないように監視をしながら注入する必要がある。

湧水圧がある場合は、水抜き孔等を設けて湧水圧を前もって下げる等適切な処置を実施してから注入する。

2)施工前準備

圧力測定用の圧力計は0.01MPa以上の精度のあるものを用いる必要がある。特にグラウトポンプは、注入管内の材料の速度、圧力などによって注入能率および効果に影響するので、ミキサの容量、ポンプの能力および管径の決定には十分注意して、相互にバランス良く検討する必要がある。

3)充填確認方法

- ① 覆工コンクリートに0.2 MPa程度以上の圧力が作用した場合、直ちに注入を中止し次の注入孔に移動する。
- ② 注入開始当初の数孔においては相当広範囲に注入材が広がり易いので、1孔当りの設計注入量に達しても注入圧力が上がらない場合が多い。このような場合は1孔当り設計注入量に達したら圧力上昇が認められなくても隣接孔に移り、所定の範囲の注入が終了した時点で、注入材のリークが確認できなかった確認孔から最終的に注入を行って注入圧の上昇を確認する（図-4.6.2に示す三次注入を実施する）。
- ③ 三次注入によっても圧力上昇が確認できない場合は、一旦注入を中断し、確認孔を追加削孔して充填状況を確認するとともに、その追加孔を利用して再注入を行う等の対応を検討する。

4.6.3 施工上の留意点

- ① 注入箇所の作業員は、注入孔、確認孔及び覆工表面を常時監視し、覆工の変形、ひび割れの進展等の異常が発生した場合は、直ちに注入を停止し、状態に応じて個別に必要な処置を行う。
- ② 覆工背面空洞がトンネル縦断方向に連続する区間で、部分的に裏込注入を行う場合は、注入区間両側に粘性の高い充填材で隔壁を形成させる等の措置を検討する。
- ③ 供用車線への注入材の漏出、飛散には十分注意し、大きなひび割れからのリーク（漏出）防止措置を講ずる必要がある（ひび割れのシール、シート養生他、注入材の特性によって対応は異なる。リーク防止措置として、横断目地部等をシールした場合には、施工後にシール材を確実に撤去する必要がある）。
- ④ 注入材が流出する恐れのある側溝あるいは中央排水管等についても注入作業中および毎日の作業終了時に点検し、注入材が流出していないことを確認する。またトンネル坑内の排水に注入材が混入することで環境に影響を及ぼす可能性がある場合は、事前に排水の水質基準・監視方法を定めて、これに準じて監視を行う。
- ⑤ 多量の漏水がある場合、水抜き孔等で水を切り回す等の措置が必要である。また、降雨などによりトンネル内の漏水が増加している場合には、注入作業中断の検討が必要である。
- ⑥ 覆工面などに付着した注入材は、硬化後にはく離し落下する恐れがあるので、完全に取り除く必要がある。
- ⑦ 横断目地やひび割れに樋工や溝切り工等が適用されている場合には、裏込注入により通水断面が閉塞し導水機能が低下する場合や、漏水位置が変化する場合がある。このため注入後に漏水状況を確認し、必要に応じ漏水対策工の追加を行う。
- ⑧ 注入管や注入孔内に残った注入材料等が将来、落下しないよう以下に示すいずれかの処置を講ずる必要がある。
 - a) 注入管の設置時に、取付け器具を用いコンクリートアンカーで注入管を覆工コンクリートに固定する。また注入後にネジプラグ（接着剤をネジ部に塗布し将来、緩まないように処置）で管を閉塞する。
 - b) 覆工コンクリートより突出した注入管は切断し、樹脂モルタル等で孔口を平滑に仕上げる。また樹脂モルタル等が将来はく落しないようにステンレス板（ステンレス製コンクリートアンカー併用）で覆う。
 - c) 注入孔位置で、引き続き当て板工（パネル系、繊維シート系）等の対策によって、注入管や注入材が落下する恐れがない場合はこの限りでない。各対策工の下地処理工に準じて個別に処置する。

4.6.4 新技術・新材料の動向

新技術・新材料の動向として近年、可塑性型裏込め注入材の技術開発が進んできており、各種の工法が提案されるようになった。

最初の可塑性型裏込め注入材は、エアモルタルに可塑性剤を混合するタイプのものであったが、現在はこれも含め以下の材料の混合により可塑性という性質を作り出している。

- ① エアモルタル＋可塑性剤
- ② モルタル＋可塑性剤
- ③ モルタル＋増粘剤
- ④ ベントナイトモルタル＋ポリマー材

現在の段階では、どの可塑性型裏込め注入材も優劣はつけがたく、現場に適した材料を選定するのが望ましいといえる。

【参 考 文 献】

- 1)日本道路公団：設計要領第三集 保全編、平成 10 年 10 月
- 2)日本道路公団技術部：矢板工法トンネル背面空洞注入工設計・施工指針、平成 14 年 10 月

付 属 資 料

付属資料－1. トンネルの変状原因と特徴

以下に道路トンネル維持管理便覧（（社）日本道路協会 平成5年11月）より引用し、トンネル変状原因と特徴を要約する。

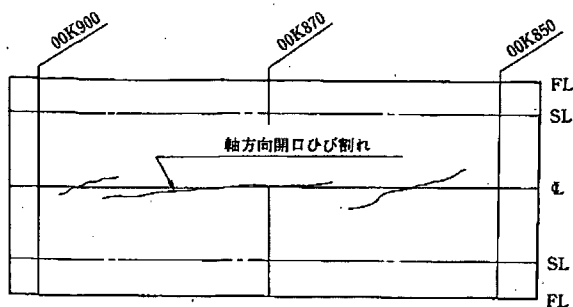
1-1 外力による変状

表 1.1 変状の原因と特徴一覧表

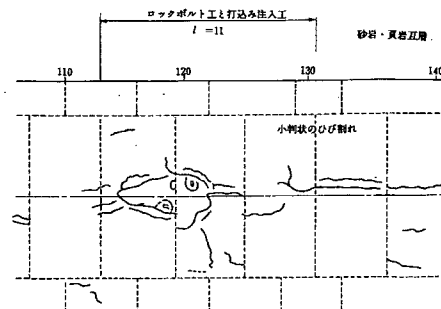
原因	概要	備考
外力による変状	緩み土圧	緩み土圧は、地山が自然に緩み、自重を支えられなくなり、覆工に荷重として作用する鉛直圧を主体とするものである。このため、アーチの天端にトンネル縦断方向の開口性ひび割れを生じるものが多い。 (鉛直圧) (展開図)
	突発性の崩壊	トンネルの上部に比較的大きい空けきがあり、空けきの上部の岩塊が何らかの理由で地山と分離し落下し、場合によっては衝撃的に覆工に衝突する。覆工の強度が十分でなければ覆工を破壊し、岩塊もろともトンネル内へ落下する崩壊をいう。集中荷重になる場合がある。 (集中荷重) (展開図)
	偏土圧・斜面葡萄行	斜面下や、傾斜した片理や直下方向に緩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。山側アーチ肩部に水平開口ひび割れ、段差が生じることが多い。 (斜め圧) (展開図)
	地すべり	地すべり粘土に地下水が作用して強度を低下させ、すべり面に沿って地すべり土塊を滑動させ、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) すべり面とトンネル
	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目がある場合には段差が生じることがある。 (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同沈下である。前者の場合、輪切り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伴い、斜め方向のひび割れを生じる。 (縦断図) 不同沈下によるひび割れ発生
	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。 (側圧) (展開図)

(1) 緩み土圧

緩み土圧は、地山が自然に緩み、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開口性ひび割れを生じるものが多い。



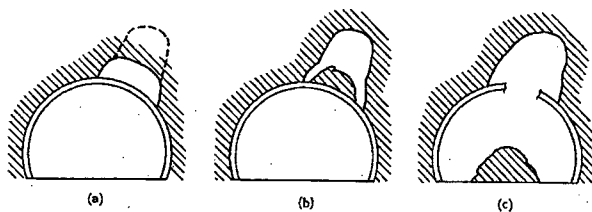
変状展開図の例 1



変状展開図の例 2 (局所的に作用する場合)

(2) 突発性の崩壊

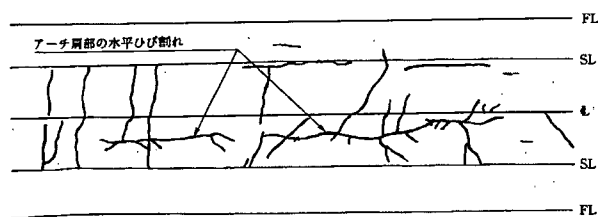
トンネルの上部に比較的大きい空げきがあり、空げきの上部の岩塊が何らかの理由で地山と分離し落下し、場合によっては衝撃的に覆工に衝突する。覆工の強度が十分でなければ覆工を破壊し、岩塊もろともトンネル内に落下する崩壊をいう。集中荷重になる場合がある。



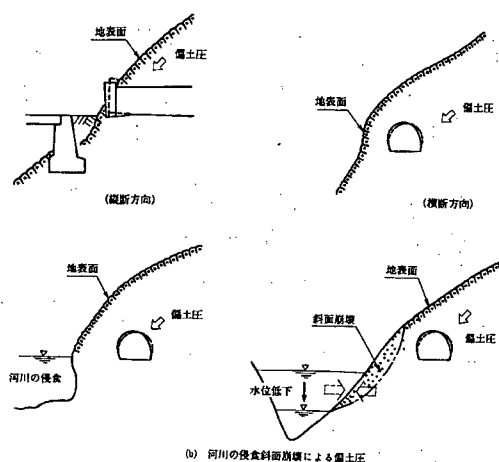
崩壊メカニズム

(3) 偏土圧、斜面^{しゃめんほうこう}崩行

斜面下や、傾斜した片理や直交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。山側アーチ肩部に水平開口性ひび割れ、段差が生じることが多い。



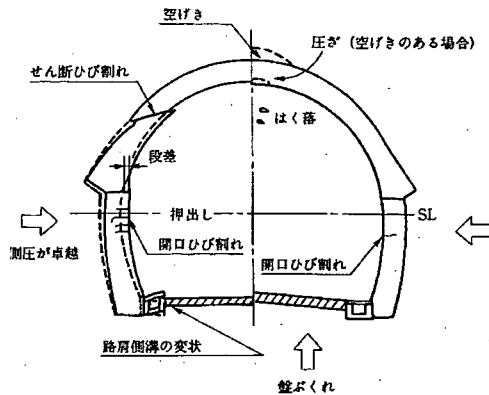
変状展開図の例



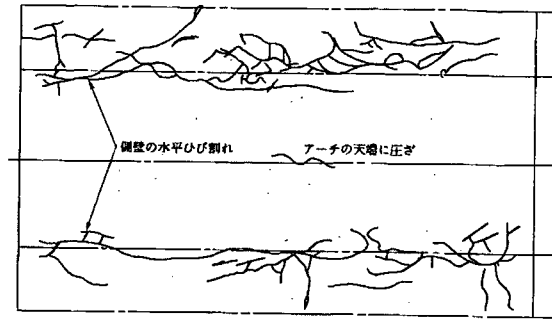
偏圧の発生メカニズム

(4) 膨張性土圧（側壁、盤ぶくれ）

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目がある場合には段差が生じることがある。



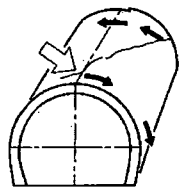
模式断面図



変状展開図の例

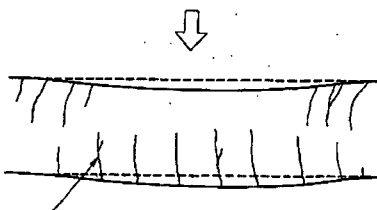
(5) 支持力不足

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同沈下である。前者の場合、輪切り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伴い、斜め方向のひび割れを生じる。



トンネルの左右で岩種が異なっているか、風化・変質が非対称的な場合

(a) 坑口部 谷側が沈下



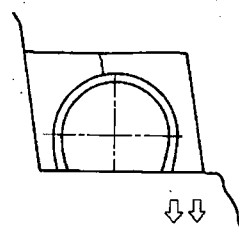
不同沈下により輪切りクラックが発生

(b) 断層や破碎帯



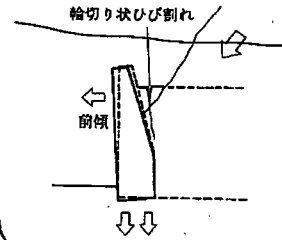
(c) 坑口部の不同沈下

変状形態の例



トンネルの左右で岩種が異なっているか、風化・変質が非対称的な場合

(a) 不同沈下による変状



坑口部の支持力不足

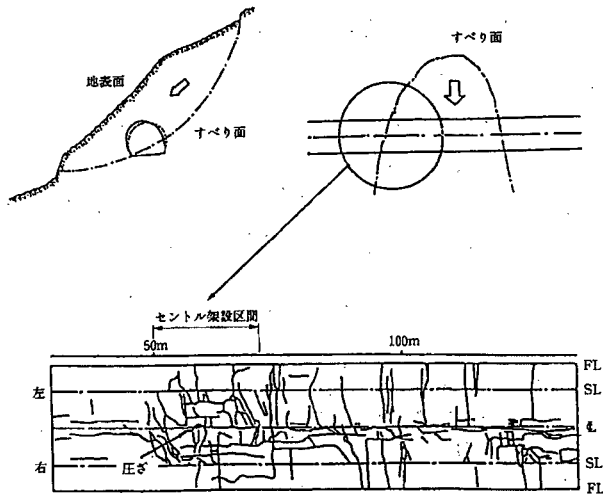
坑口面壁が坑口部の覆工と分離した構造の場合

(b) 坑門の前傾 (半重力式の坑門)

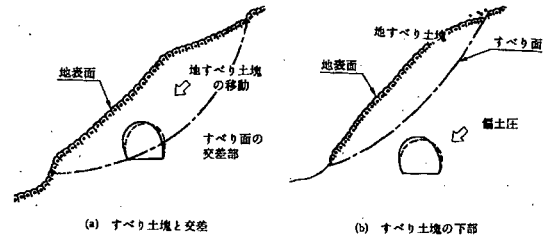
坑門の支持力不足の例

(6) 地すべり

地すべり粘土に地下水が作用して強度を低下させ、すべり面に沿って地すべり土塊を滑動させ、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形態が異なる。



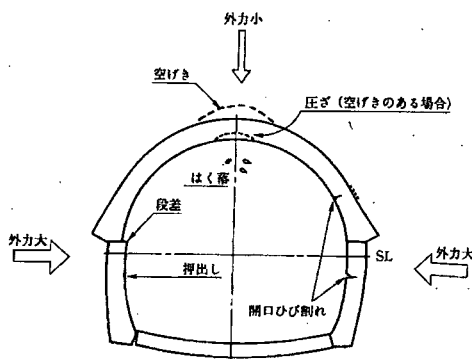
変状展開図の例



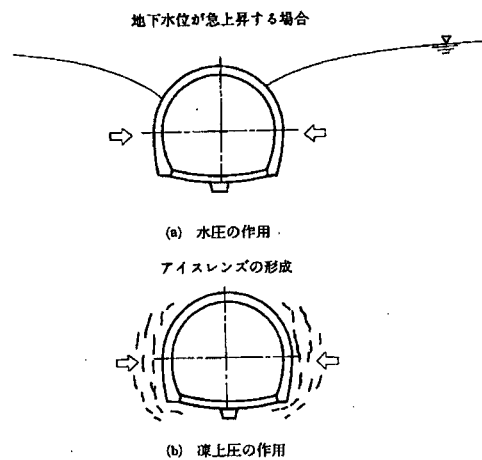
トンネル位置と地すべり面の関係

(7) 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。



凍上圧作用の横断面模式図

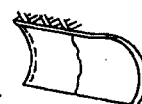


水圧・凍上圧発生メカニズム

1-2 材質劣化による変状

表 1.2 変状の原因と特徴一覧表

原因	概要	備考
材質劣化による変状	経年劣化	ここで経年劣化はコンクリートの中性化を主たる内容とする。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。
	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最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伴う体積膨張にある。
	塩害	塩害による変状には、コンクリート中の鋼材腐食、海水とコンクリートの反応によるコンクリートの多孔質化などがある。
	有害水	背面地山中の地下水には、火山地帯に見られる弱酸性水などのように、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。
	使用材料 施工方法	使用材料および施工条件に起因する変状は、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、セメントの異常膨張などがある。施工条件に起因する変状として、セメントの水和熱による温度変化とそれに伴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考えられる。
	鋼材腐食	坑門等の鉄筋コンクリート構造物では、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・耐力低下を生じる可能性がある。
	アルカリ 骨材反応	トンネル覆工ではこれまでのところアルカリ骨材反応による変状事例は少ない。
	火災	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。
	その他	通行車両の排気ガスや媒煙に含まれる窒素酸化物など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。これまでのところ煙害による直接的変状の例は少ない。



乾燥収縮および外気と
地山の温度差によるひび割れ

表 1.3 材質劣化に関するひび割れ発生の要因

大分類	中分類	小分類	原因
材料	使用材料	セメント	セメントの異常凝結・異常膨張 セメントの水和熱（温度応力）
		骨材	骨材中の泥分・低品質骨材 反応性骨材
	コンクリート		コンクリート中の塩分 コンクリートの沈下・ブリーディング コンクリートの乾燥収縮
施工	コンクリート	練混ぜ	不十分あるいは長時間の練混ぜ
		運搬	ポンプ圧送時の配合変更
		打込み	不適当な打込み順序 急速な打込み
		締固め	不十分な締固め
		養生	硬化前の振動や載荷 初期養生中の急速な乾燥 初期凍害
		打継ぎ	不適当な打継処理
	鉄筋	配筋	配筋の乱れ、かぶり厚さの不足
	型枠	型枠	型枠のはらみ、早期除去 型枠からの漏水
		支保工	支保工の沈下
使用・ 環境条件	物理的	温度・湿度	環境温度・湿度の変化 部材内の温度差 凍結融解の繰返し 火災・表面加熱
	化学的	化学作用	酸・塩類の化学作用 中性化による内部鉄筋の腐食 浸透塩分化合物による内部鉄筋の腐食

(1) 経年劣化

覆工の材質劣化は原因に関係なく、時間の経過とともに進行するが、ここでの経年劣化はコンクリートの中性化を主たる内容とする。

コンクリートの中性化は、コンクリートの密実性を損なうとともに、コンクリート中の鋼材が錆を生じる原因となる。コンクリート覆工は無筋コンクリートが主体であるため、中性化そのものが重大な問題を引き起こす可能性は小さいと考えられるが、坑門等の鉄筋コンクリート構造物では鋼材腐食の原因ともなりうる。

(2)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。凍害による変状では、あばた・ひび割れのほか、骨材を中心としたコンクリートのポップアウト現象、モルタルおよびコンクリート部のスケーリング等の現象が見られるのが特徴である。一般的には、変状の進行は冬期を含む寒冷気候前後での進行という季節的な変動が顕著に認められる。

(3)塩害

塩害による変状には、コンクリート中の鋼材腐食、中性化およびアルカリ骨材反応の助長、海水中に含まれる塩素イオン・硫酸イオン等とコンクリートの水酸化カルシウムの反応によるコンクリートの多孔質化、ひび割れ、表面はく離がある。

(4)有害水

背面地山中の地下水には、覆工にとって有害成分を含むものがあり、とくに、それが酸性を示す場合には覆工劣化をもたらす原因となる。

有害成分を含む地下水には以下のようなものがある。

- ①火山地帯に見られる強酸性の温泉水
- ②鉱床を伝わって湧出する地下水
- ③炭酸ガスが水中に溶存する地下水
- ④植物の遺骸等の不完全分解による腐食酸を含む地下水

有害な地下水に直接さらされる覆工背面、あるいはなんらかの理由により生じたひび割れからの漏水に接する覆工内部、内空表面では劣化の進行、強度低下をもたらす可能性がある。

(5)使用材料および施工方法に関する変状

1) 特徴

使用材料および施工条件に起因する変状はトンネル構造物としての寿命に比較すると発生時期は早期なものが多い。また、変状が生じて、直ちに構造物としての安定性が損なわれる可能性は小さいと考えられる。ただし、一度生じた変状は他の要因による影響を助長する可能性があることに注意が必要である。

2) 発生機構および発生しやすい条件

使用材料の不適切な選定が変状、主としてひび割れの発生につながる場合がある。アルカリ骨材反応、コンクリート中の塩化物等による変状も材料に原因がある場合の変状であるが、それを除くと下記の原因が挙げられる。

- ①セメントの異常凝結・異常膨張
- ②骨材に含まれる泥分・低品質骨材
- ③コンクリートの沈下、ブリーディング
- ④コンクリートの温度変化・乾燥収縮等

コンクリート覆工では、セメントの水和熱による温度変化とそれに伴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考えられる。いわゆる温度ひび割れであるが、これはセメントの種類、単位セメント量、覆工厚、坑内環境の影響を受ける。乾燥収縮によるひび割れは、コンクリートの配合（とくに単位水量が大きいほど乾燥収縮は大となる）、坑内温度、通風量等が影響する。

温度応力、乾燥収縮によるひび割れは、トンネル横断方向に見られるものが多いが、時間の経過とともに、縦断方向に発生する場合もある。温度応力では、コンクリート打設後、1～2週間程度、乾燥収縮では、コンクリート打設後数十日以降に生じることが多く、いずれも覆工の供用年数に比較すると早期なものである。したがって、供用後ある程度の年数が経過した条件下では、変状の進行は小さく、季節的な温度変動の影響を受ける程度である。

コンクリートの施工条件に関する変状の要因としては、下記の項目が考えられる。

- ①練混ぜに関するもの：混和材料の不均一な分散、長時間の練混ぜ等
- ②運搬、打込みに関するもの：ポンプ圧送時の配合の変更、不適当な打込み順序、過大な運搬時間等
- ③締固め、養生に関するもの：不十分な締固め、硬化前の振動や載荷、初期養生中の急激な乾燥、初期凍害、不適当な打継ぎ処理等
- ④鉄筋、型わくに関するもの：型枠のはらみ、移動、型枠からの漏水、型わくの早期除去、支保工の沈下等

図1.1は、使用材料および施工条件に関わるひび割れの特徴を示したものである。

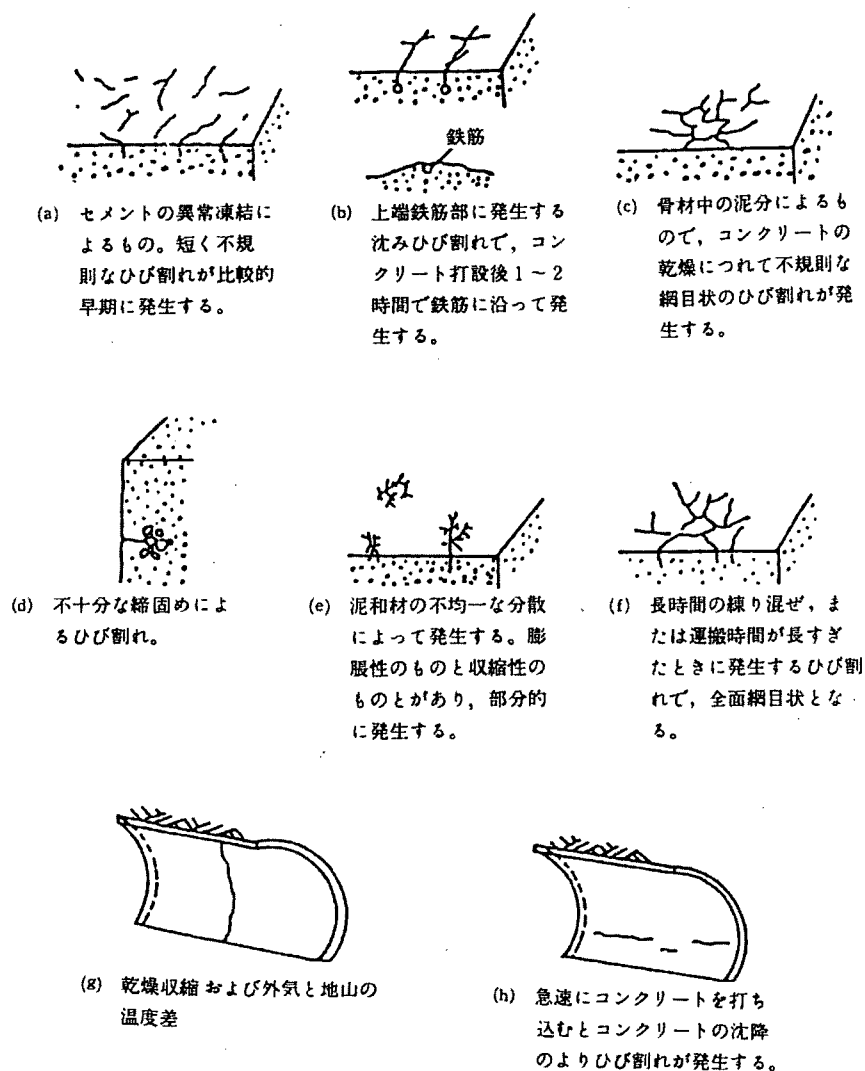


図1.1 使用材料・施工方法に関係するひび割れ

(6)鋼材腐食

1) 特徴

覆工コンクリートは無筋コンクリートが主体であるが、坑門等では鉄筋コンクリート構造が採用されるなど、コンクリート中に鋼材を含む構造物もある。この種の構造物では、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と、それにもなう構造の耐力低下を生じる可能性がある。

2) 発生機構および発生しやすい条件

鋼材腐食の原因としては、コンクリートのかぶり厚さ、中性化深さ、塩化物含有量等の要因が関係する。中性化に伴う経年劣化、塩害と密接な関係を有する。

(7)アルカリ骨材反応

トンネル覆工では、これまでのところアルカリ骨材反応（我が国ではアルカリシリカ反応が多い）による変状事例は少ない。

アルカリ骨材反応が進行するとコンクリートにはひび割れ、ゲル（反応生成物）のしみ出し、部材のずれや移動等の劣化が生じる。無筋コンクリートでは、亀甲状のひび割れが、鉄筋コンクリートでは鉄筋に沿ったひび割れが多く見られる。これらのひび割れが生じても構造物としての耐力が直ちに低下するものではないが、凍害や化学的浸食に対する抵抗性が低下する。

(8)火災

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、コンクリート表面および内部での爆裂現象、はく落、ひび割れ等が考えられる。また、鉄筋コンクリート構造物では、鉄筋とコンクリートとの付着強度の低下等がある。事故による火災の被害を受けた場合には、覆工材料のサンプリング等により、十分にその強度・耐久性等の品質を調査する必要がある。

(9)その他（煙害）

通行車両の排気ガスや煤煙に含まれる窒素酸化物（ NO_x ）や亜硫酸ガス（ SO_2 ）が漏水中の水分と化合して硝酸・硫酸等の強い酸性水を生成する可能性がある。コンクリートやモルタル（目地材）は固有の性質として強酸に対する抵抗性は期待できないため、覆工の劣化につながる可能性がある。

交通量、排煙・排気状態、トンネル延長等が要因となるが、これまでのところ煙害による直接的変状の例は少なく、また、劣化が急激に進行する可能性は小さいと考えられる。

1-3 漏水による変状

表 1.4 変状の原因と特徴一覧表より抜粋

原因	概要	備考
漏水	漏水は、外力による変状の原因にもなるが、それ以外にも漏水自体が問題となる場合がある。	

漏水は、覆工コンクリートの材質劣化の原因や、背面の土砂の流出による緩みの増加等により外力による変状の原因にもなるが、それ以外にも、漏水自体が問題となる場合がある。たとえば、路面の滑りは交通安全上望ましくなく、トンネル内の付属施設への悪影響、さらに通行車両の快適性および美観上の観点から望ましいものではない。また寒冷地域では、路面の凍結やつららが発生する場合があります、とくに問題が大きい。

漏水の原因は、背面地山の地下水の存在、および防水工、排水工の不良等がある。現在の標準的な山岳工法では、一般に覆工コンクリート背面に防水シートを施工することにより、ほぼ完全な漏水対策が可能であるが、従来用いられてきた矢板工法等では、背面の湧水処理が技術的に困難であるため、漏水が発生する割合が高い。

1-4 その他

表 1.5 変状の原因と特徴一覧表

原因		概要	備考
その他	背面の 空げき	覆工背面の空げきは、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。	
	巻厚	設計巻厚が小さいことにより、想定される土圧が作用しても変状が発生する場合がある。	
	インバート なし	施工時には大きな土圧の作用がなくインバ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土圧が増大し、インバートを設置していないことにより変状が発生することがある。	

(1)背面の空げき

矢板工法では、一般に覆工背面と地山の間に空げきが生ずる。この空げきは、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。また、土かぶりが薄い場合には、地山を緩め、地表沈下など地表面に悪い影響を与える。矢板工法によるトンネルの建設時に、地質の悪い場合等には、覆工背面の空げきに裏込め注入を行うこととしているが、建設時に裏込め注入を実施しなかった区間では、ほとんどの場合覆工背面に空げきが存在していると考えられる。このような区間において、土圧が増大した場合、背面の空げきが二次的な変状原因として作用し、変状が発生する場合がある。

(2)巻厚

覆工コンクリート打設時に、型わく内に十分にコンクリートが充填されずに巻厚が設計値よりも少なくなっているケースがある。この場合には、あわせて覆工背面において、コンクリートで充填されるべき箇所に空げきが残ることにもなる。巻厚が不足していることにより、設計上想定した土圧が作用しても変状が発生する場合がある。

(3) インバート

施工時には大きな土圧の作用がなく、インバ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、施工後になんらかの要因により土圧が増大し、インバートを設置していないことにより、側圧や盤ぶくれ圧に耐えられなくなり変状が発生する場合がある。この場合には、土圧が一次的な変状原因であり、インバートを設置していないことが二次的な変状原因として考えることができる。また、インバートを設置している場合においても、インバート厚さや曲率が不適切な場合には同様に変状が発生する場合もある。

付属資料－2. はく落防止対策工の適用規模検討結果

表 2.1 はく落防止対策工の適用規模検討結果（参考値 注）

項目	はつり落とし工（応急対策、本対策に適用）	金網・ネット工（応急対策に適用）	当て板工 パネル系・繊維シート系（本対策に適用）	断面修復工（本対策に適用）
実態調査結果				
覆工コンクリートのひび割れへの適用	・単独で覆工ブロック化箇所に施工した実績は、図－a に示すように 1.0 ㎡以下の 3 例があるが、覆工ブロック化箇所では浮き・はく離・はく落箇所と異なり落下するコンクリートの厚さおよび単位面積当たりの重量が大きいと考えられることから、外力起因の可能性がある応急対策では 0.1 ㎡／箇所を、外力起因の可能性がない本体策では 0.5 ㎡／箇所を上限とした。 ・応急対策、本体策ともに上記を超える場合は、はつり落としとしないこととした。	・単独で覆工ブロック化箇所に施工した実績は、図－b に示すように 1 例（2.0 ㎡）のみである。下記の「覆工コンクリートのうき・はく離・はく落への適用」で 2.0 ㎡／箇所としたため、覆工ブロック化の場合はこれより大きな重量が作用すると考え、安全側を考慮し 1.0 ㎡／箇所以下とした。 ・当て板工（形鋼系）を併用する場合は、補強効果が十分であるとと考えられることから、1.0～4.0 ㎡／箇所での施工可とした。 ・4.0 ㎡／箇所を越える場合は、はく落荷重が大きくなるため、当て板工（形鋼系）を併用した金網・ネット工は側壁部のみに適用できることとした。 ・4.0 ㎡／箇所以上でアーチ部の場合には、形鋼の配置、形鋼支持方法や補強セントル等、他の対策工の適用を別途検討することとした。	・単独で覆工ブロック化箇所に施工した実績は、図－c に示すように 1 例（10.0 ㎡）のみである。覆工ブロック化箇所では浮き・はく離・はく落箇所と異なり落下するコンクリートの厚さおよび単位面積当たりの重量が大きいと考えられることから、本マニュアルでは浮き・はく離・はく落より小さい 1.0 ㎡／箇所程度を上限とした。 ・当て板工（形鋼系）を併用する場合は、補強効果が十分であるとと考えられることから、1.0～4.0 ㎡／箇所での施工可とし、4.0 ㎡／箇所以上では規模が大きいことから、別途検討を行うこととした。	・単独で覆工ブロック化箇所に断面修復工を施工した実績は、図－d に示すように 1 例しかない。本マニュアルでは本対策として中長期的に考えた場合、修復材が落下する危険性が高いことを考慮し、単独での使用は避けるものとした。 ・当て板工を併用する場合でも、はつり落とし工の制限と同様、0.5 ㎡／箇所より大きい面積では施工しないこととした。
覆工コンクリートのうき・はく離・はく落への適用	・単独で浮き・はく離・はく落箇所に施工した実績は、上図に示すように大半が 1.0 ㎡／箇所以下となっている。応急対策では外力に起因する可能性があるので、0.5 ㎡／箇所を超える場合は、はつり落としとしないこととした。本体策では 0.5 ㎡～1.0 ㎡／箇所の面積の場合、断面修復工及び当て板工を併用してはつり落とし工を適用するものとし、1.0 ㎡／箇所より大きい面積でははつり落としとしないこととした。	・単独で浮き・はく離・はく落箇所に施工した実績は、上図に示すように大半が 2.0 ㎡／箇所以下となっているため、2.0 ㎡／箇所とした。 ・当て板工（形鋼系）を併用する場合は、さらに補強効果が加わることを考慮して、2.0 ㎡／箇所以上でも施工可とし、上限は設けないこととした。	・単独で浮き・はく離・はく落箇所に施工した実績は、上図に示すように大半が 5.0 ㎡／箇所以下となっている。本マニュアルでは当て板材料の強度と安全性を考慮し、4.0 ㎡／箇所以下とした。 ・当て板工（形鋼系）を併用する場合は、補強効果が十分であるとと考えられることから、4.0 ㎡／箇所以上でも施工可とし、上限は設けないこととした。	・単独で浮き・はく離・はく落箇所に施工した実績は、上図に示すように大半が 2.0 ㎡／箇所以下となっているが、本マニュアルでは本対策として中長期的に考えた場合、修復材が落下する危険性が高いことを考慮し、単独では用いないこととした。 ・当て板工を併用する場合は、はつり落とし工の制限と同様、1.0 ㎡／箇所以下とし、それより大きい面積では施工しないこととした。
その他	【はつり落とし深さの制限】 「便覧」表-2.3.19(p.132)では、有効巻厚／設計巻厚が 2/3 以上あれば「判定区分 B」（監視のみ）としていることから、本マニュアルでは、はつり落とし後にさらに劣化が進行しても「判定区分 B」の範囲に留まるように有効巻厚／設計巻厚を最低 3/4 確保する必要があると考えた。ただし、応急対策時には覆工の巻厚が不明な場合が多い中で安全性を確保するため、はつり落とし深さの目安を下記の通りに設定した。 ① NATMで施工されたトンネルの場合、覆工厚は 30cm が一般的なので、許容はつり落とし深さは 30×1/4＝7.5cm と計算され、安全率を考慮して 5cm 程度以下とした。 ② 矢板工法で施工されたトンネルの場合、覆工厚は 40cm～70cm 程度の幅がある。許容はつり落とし深さは（40～70）×1/4＝10～17.5cm と計算され、安全率を考慮して 10cm 程度以下とした。			

注）本表に示す適用規模の値は、今後の実績等に基づいて改良の余地がある参考値として位置づけている。

付属資料－3. トンネル変状対策工設計に関する参考文献

参考文献リスト

文献名	編集者	発刊年月
トンネル補修・補強マニュアル	(財) 鉄道総合技術研究所	平成 2 年 10 月
変状トンネル対策工設計マニュアル	(財) 鉄道総合技術研究所	平成 10 年 2 月
設計要領第三集トンネル保全編	日本道路公団	平成 10 年 10 月
トンネル保守マニュアル (案)	(財) 鉄道総合技術研究所	平成 12 年 5 月
矢板工法トンネルの背面空洞注入工 設計・施工指針	日本道路公団	平成 14 年 10 月
コンクリート片はく落防止対策マニュアル	日本道路公団	平成 12 年 11 月
炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修・補強設計・施工マニュアル (案) トンネル覆工編	炭素繊維補修・補強工法技術研究会 トンネル部会	平成 9 年 4 月