

第7章 防水工・断熱工・排水工

第7章 防水工・断熱工・排水工

7.1 防水工	4-7-1
7.2 ひびわれ対策	4-7-4
7.3 断熱材	4-7-5
7.3.1 断熱材の設計	4-7-5
7.3.2 断熱材の施工	4-7-18
7.4 断熱材の表面防火処理	4-7-23
7.5 坑内排水工	4-7-24

第7章 防水工・断熱工・排水工

7.1 防水工

覆工内面への漏水を防ぐため防水工を設けることを原則とする。使用する材料は防水シート(t=0.8mm以上)と透水性緩衝材(t=3mm、300g/m²)との組合された物とし、吹付けコンクリートと覆工の間になじみ良く設置する。

防水工作業台車は半径4~6m、長さ6.0mを標準とし、設置期間は覆工開始から覆工完了までとする。

防水工施工時にロックボルトによる防水シートの損傷を防ぐためロックボルト頭部に保護工を施す事。

【解説】

防水工の設計に当たっては、湧水量、防水工を施す下地面の状態、施工性等を十分考慮する必要がある。

防水工は、シート工法、吹付け工法、塗布工法の3工法が代表的であり、現在用いられているものは、シート工法が最も多いが、いずれについても漏水防止という本来の目的のほかに、吹付けコンクリートと覆工コンクリートとの絶縁と、これによる覆工のクラックの発生防止としての効果を期待するためにも使われている。トンネル防水シートは、高温、低温時にも物性値が変化してはならない。特に柔軟性を失わないこと。

シートの厚さは、0.8mmEVAシートの品質はJIS K6924-1(1997) 3種の1又は2類とする。

EVAシートの物性値は、下表のとおりとし、試験時の室温は20℃±2℃とする。シートの厚さの規格値は-5%以内とする。

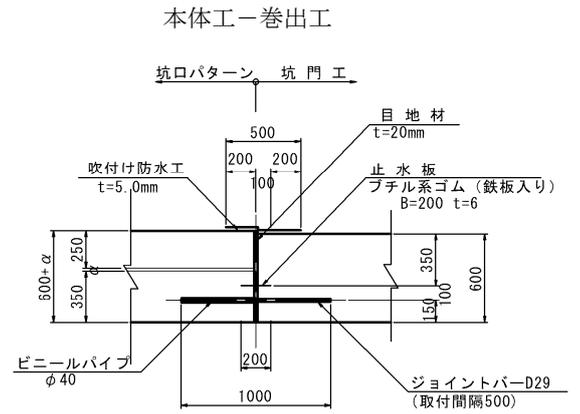
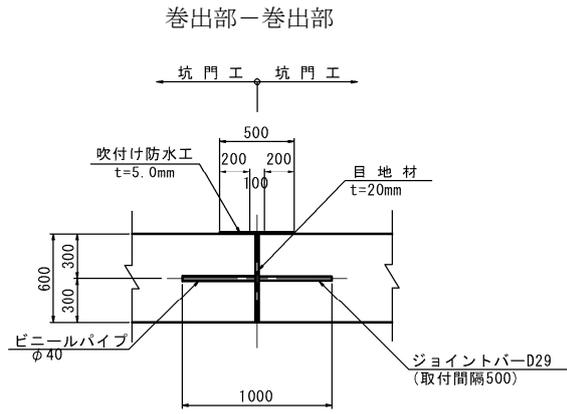
また、都市部においてトンネルを防水型(非排水構造)とする場合は、トンネル全周を防水シートで巻立て、地下水を抜かないで、地盤沈下など周辺環境条件への影響抑止を行う。このような、トンネル坑内に水を入れない場合は、防水シートの厚さを2.0mm程度のシートを用いる等、コンクリート打設などによる損傷を受けにくくする方法もある。

表7.1.1 EVAシートの物性規格(常温)

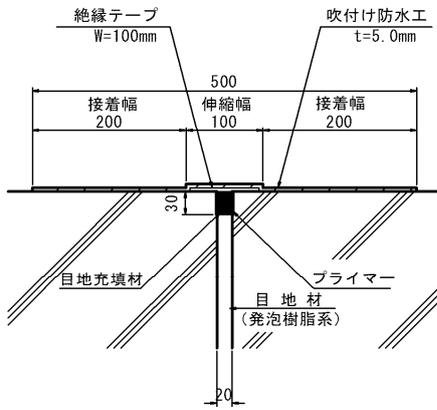
試験項目	EVA	試験方法
比重	0.95±0.05	JIS K 6773-2007
硬さ	98以下	JIS K 6773-2007
引張り強さN/mm ²	20℃で15.7以上	JIS K 6773-2007
	-10℃で29.4以上	JIS K 6773-2007
伸び(%)	20℃で600以上	JIS K 6773-2007
	-10℃で500以上	JIS K 6773-2007
引裂強さkN/cm	0.49以上	JIS K 6252-2007
耐薬品性(アルカリ)質量変化率(%)	±1以下	JIS K 6773-2007
柔軟性(℃)	-30以下	JIS K 6773-2007
脆化温度(℃)	-30以下	JIS K 7216-1980

また、透水性緩衝材と組み合わされた防水シートは、吹付けコンクリートにピン等で内打鉋方式で固定させ、漏水のないよう結合させなければならない。

また、巻出工の目地防水は、従来よりシートタイプが採用されてきたが、端部の波打ちや覆土時の破損など防水面での確実性に劣るため、施工性状況により以下の吹付けタイプを標準とする。



断面詳細図



断面詳細図

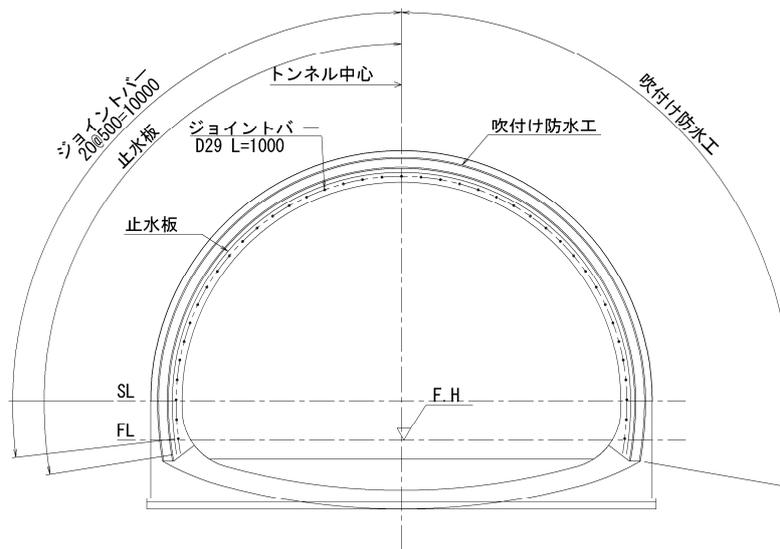
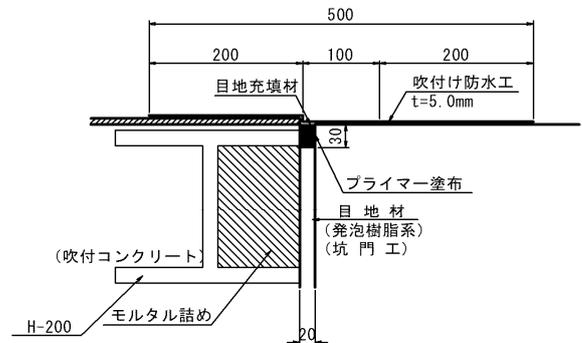


図7.1.1 吹付けタイプ参考図

ロックボルトの頭部保護の施工方法としては下記の2タイプ等を用いて施工する。

- ・ TYPE (A) …ボルト頭部を不織布(3.0mm250×250)により覆い打錠固定する。
- ・ TYPE (B) …ボルト頭部に発泡スチロール(150×150×20)を差し込む。

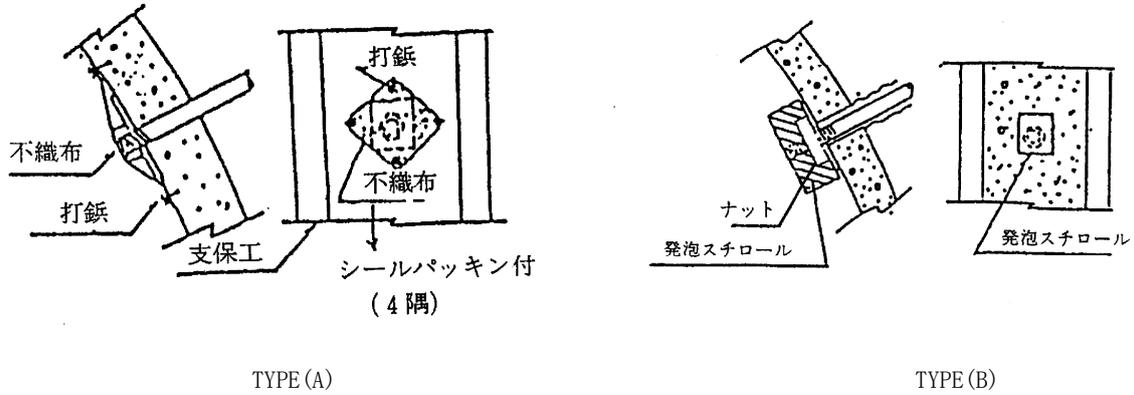


図7.1.2 ロックボルトの頭部保護工

防水工の溶着接合部検査は、「山岳トンネル工法における防水工指針 H8.2:社団法人日本トンネル技術協会」に準拠するものとする。

表7.1.2 溶着接合部検査

検査方法	検査頻度	基準値	摘要
加圧検査試験	覆工コンクリート打設スパンごとに1回以上。	防水シート厚が0.8～1.5mmの場合は加圧0.15～0.20N/mm ² 、1.5mmを超える場合は加圧0.20～0.29N/mm ² で2分間保持し、漏気がなく、圧力低下率が20%以内であること。	覆工コンクリート打設前に実施する。

7.2 ひびわれ対策

覆工コンクリートのひびわれ対策として、吹付けコンクリートと覆工の間に透水性緩衝材(t=3mm)を設置する。

【解説】

覆工には、過大な荷重が作用した場合の変状に伴う亀裂とは別に、主としてコンクリートの収縮ひずみが吹付けコンクリート等によって外部拘束されるために生じる引張応力に伴うひびわれが発生しやすい。

覆工コンクリートのひび割れは、覆工の強度特性を低下させるとともに、コンクリートの水密性を著しく低下させ、漏水、つらら、凍結融解の原因となって覆工の耐久性、安全性や本来の機能等を害することとなる。覆工コンクリートに収縮ひずみが発生する主な要因には、次のものがある。

- (1) コンクリートの硬化温度の低下による温度収縮
- (2) トンネル内温度の低下による温度収縮
- (3) トンネル内湿度の低下による乾燥収縮

覆工コンクリートにひび割れの発生するおそれがある場合には、トンネルの使用目的、使用条件、環境条件等を考慮して、ひびわれ抑制工等の適切なひび割れ対策を講じなければならない。特に、湧水の多い区間や外気の影響を受けやすい坑口付近や延長の短いトンネルでは、十分な検討が必要である。

ひび割れ対策の検討にあたっては、漏水・防水対策との関連を考慮することが必要で、シート防水は当然ひび割れ防止対策となる。また、ひび割れ防止対策は設計上の配慮のみでなく、コンクリートの温度管理など施工上の配慮も重要であることを忘れないようにする必要がある。

7.3 断熱材

7.3.1 断熱材の設計

極寒地におけるトンネルについては標高、凍結期間等を考慮し、断熱材を設けるものとする。

【解説】

覆工背面の凍結・融解は覆工本体におびたしい悪影響を与えることになり、クラック、漏水ひいては変状の原因となる。したがって、覆工本体を凍結・融解から保護する目的で断熱材を設置するのが望ましい。設置区間については、地質性状、気象条件を十分吟味し決めなければならない。

設置位置は次図のとおりである。

なお断熱材料は、吹付け断熱材と板状断熱材があるが、両者の熱伝導率が異なるため、材料の選定にあたっては、それぞれの必要厚を求め、経済比較を行うことによって決定する。

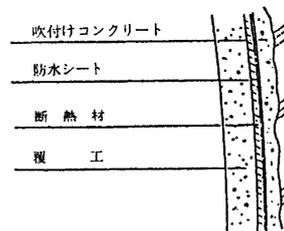


図7.3.1 断熱材の設置位置

(1) 断熱材厚の算定

- 1) 設計法は、準定常熱伝導解析に基づく温度略算式によるものとする。
- 2) 計算に使用する気温因子は平年値に基づくものとする。
- 3) 吹付けコンクリート背面温度の許容値は -0.5°C を標準とする。
- 4) 原則として標高補正を行うものとする。
- 5) 日較差の項は計算上省略しても良い。
- 6) 入力物性値は表7.3.1を標準とする。

表7.3.1 熱伝導率と熱容量

		熱伝導率 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$ 【解説参照】	熱容量 $\text{kJ}/\text{m}^3\cdot\text{k}$
地 山		1.163 ^{注1)}	2093
コンクリート		1.512	2093
断熱材	板	0.040	41.86
	吹付け(新発泡材(HFO))	0.035	41.86

注1) 未風化の花崗岩、粘板岩は2.0とする。

注2) 吹付け断熱材は、新発泡材(HFO)とする。

【解説】

上表に示す熱伝導率については、実験結果等から判断し、大部分の材料がこれを上回らないよう設定したものである。

吹付け断熱材においてはフロンガスが問題となるが、既に1995年に特定フロンが製造中止となり、2003年には代替フロンも製造中止となった。また、2004年4月1日以降、法規制に基づき、オゾン破壊係数(ODP)0の次世代フロンを暫定的に使用してきたが、2019年に製造中止となった。2012年4月1日以降、ノンフロン材を導入してきたが、2015年に新発泡材(HFO)のJIS規格が確立され、施工性、断熱性能とともに優れていることから、新発泡材(HFO)を採用する。

① 断熱材厚さの算定は次式を満足するように行えばよい。

$$U_4 = U_m - A_y \cdot \text{Max}(U_4^Y) - A_D \cdot \text{Max}(U_4^D) \geq -0.5^\circ\text{C}$$

U : 吹付けコンクリート背面温度 (°C)

U_m : 年平均気温(平年値) (°C)

Max(U₄^Y) : U₄の最大値

$$\text{Max}(U_4^Y) = \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}}$$

$$A = 1 + \alpha, \quad B = \alpha + \beta$$

$$\alpha = 0.52723 \cdot \left(\frac{\ell_1 + \ell_3}{K_1} + \frac{\ell_2}{K_2} \right) \sqrt{(\rho c)_4 K_4 (P/2)}$$

$$\beta = 0.27797 \cdot \left(\frac{(\ell_1 + \ell_3)^2}{2K_1} + \frac{\ell_2 \ell_3}{K_2} \right) P (\rho c)_1$$

$$P = 2\pi / (365 \times 24) \approx 7.1726 \times 10^{-4}$$

A_D · Max(U₄^D) は計算上無視してよい。

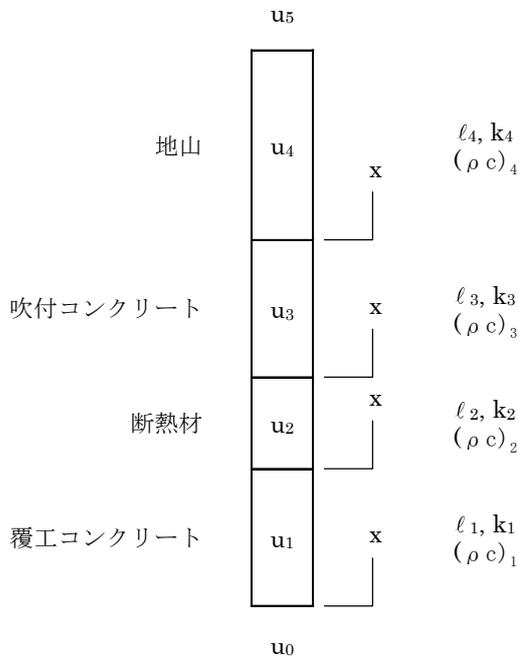


表7.3.2 記号の定義および単位

K	熱伝導率	W/m·k
ρ	比熱	kJ/kg·K
C	密度	kg/m ³
(ρC)	熱容量	kJ/m ³ ·k
ℓ	長さ	m
U	温度	°C
α	熱伝達率	W/m ² ·k
P	角速度	rad/h
t	時間	h

② 気温データは別表(観測地点毎の一覧表「表7.3.5～表7.3.18」)による。

③ 計算手順は、厚さを仮定し、温度を照査する試行のくり返しで行う。

ただし、厚さはcm単位とし、mm単位の調整は避ける。

吹付けコンクリート背面温度の許容値は-0.5°C以上とし、下回る場合は設置する。

トンネル背面が非凍上性岩盤あるいは湧水が少ないなど、凍上の可能性が少ないと予想されても許容値を下回る場合は、原則として断熱材を設置する。しかし、許容温度については、若干下げてもよい。

④ 標高補正については、標高差の小さい場合(100m)以下は行わなくてもよい。

標高補正は、+100mにつき-0.6°Cとする。

[断熱材厚さ計算例] ～吹付け断熱材（新発泡材（HFO））～

気象データは、建設予定日最も近い気象観測所のものを用いる。

表7.3.3 年平均気温と年振幅の例

年平均気温(Um)	年振幅(Ay)
7.0℃	11.6℃

各物性値は以下の通りである。

表7.3.4 熱伝導率と熱容量

	厚さ(m)	熱伝導率 (W/m・k)	熱容量 (kJ/m ³ ・k)
二次覆工	$l_1=0.30$	$K_1=1.512$	$(\rho C)_1=2093$
断熱材	l_2	$K_2=0.035$ (吹付)	$(\rho C)_2=41.86$
吹付コンクリート	$l_3=0.15$	$K_3=1.512$	$(\rho C)_3=2093$
地山	$l_4=\infty$	$K_4=1.163$	$(\rho C)_4=2093$

吹付け材0.030mの場合

$$\alpha = 0.52723 \cdot \left(\frac{0.30+0.15}{1.512} + \frac{0.030}{0.035} \right) \sqrt{2093 \times 1.163 \times (7.1726 \times 10^{-4}/2)} = 0.5688$$

$$\beta = 0.27797 \cdot \left\{ \frac{(0.30+0.15)^2}{2 \times 1.512} + \frac{0.030 \times 0.15}{0.035} \right\} \times 7.1726 \times 10^{-4} \times 2093 = 0.0816$$

$$A = 1 + 0.5688 = 1.5688 \quad B = 0.5688 + 0.0816 = 0.6504$$

$$\text{Max}(U_4^y) = \frac{1}{\sqrt{1.5688^2 + 0.6504^2}} = 0.59$$

$$U_4 = 7.0 - 11.6 \times 0.59 = 0.156 > -0.5 \quad \text{OK}$$

以上より、断熱材厚を3cmに決定する。

なお、 $l_2=0.0\text{m}$ とすると断熱材のない場合の吹付けコンクリート背面温度が得られる。

上の例では、 $U_4(l_2=0.0) = -2.976\text{℃}$ となる。

(2) 設置範囲

設置延長は、下図に示す坑内温度分布図を参考に考える。各トンネルの延長、風向、風速などにより、一概にはいえないが、この図によれば、外気温の影響は坑口から100m程までに、急激に減少することがわかる。したがって外気温の最も受けやすい、坑口から100m程度と考えられる。

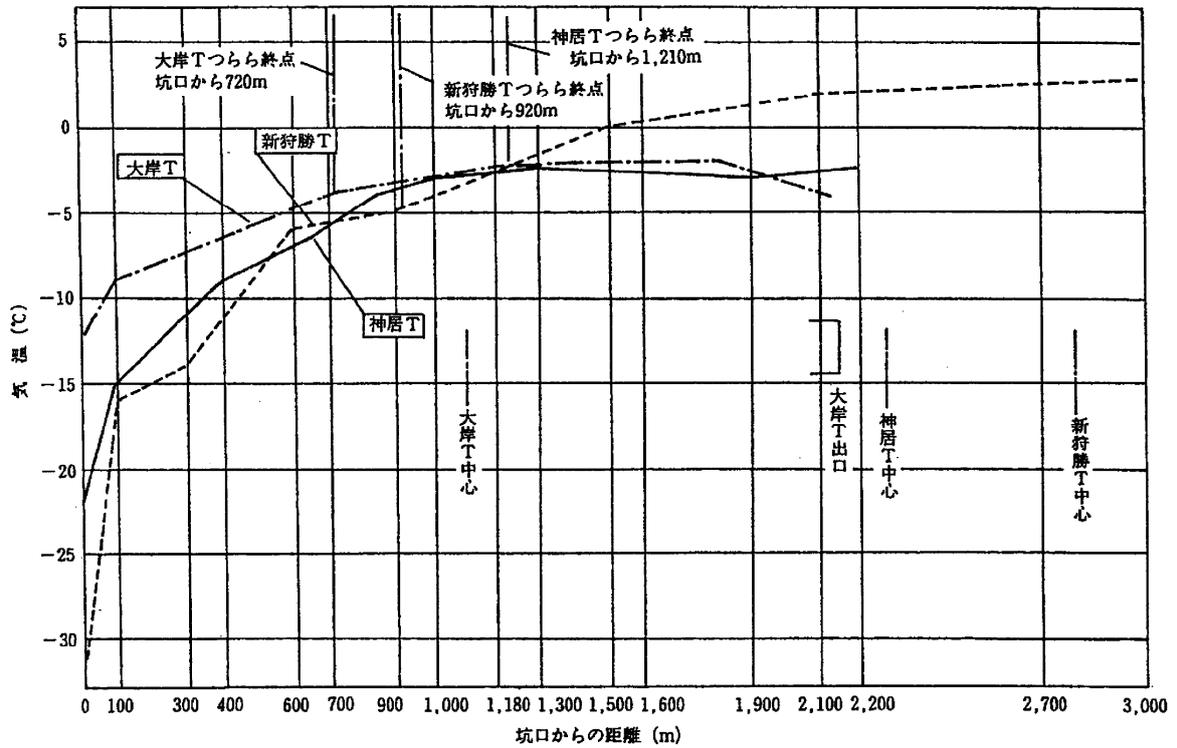


図7.3.2 トンネル坑内気温分布とつらら発生終点位置(北海道)

(3) 各気象管内の年平均気温及び年振幅

- ・年平均気温及び年振幅の値について

気象庁では、「平均的な気候の状態を表す指標および現在の気候の状態を把握する指標」として使用。

世界気象機関(WMO)では、西暦年の1位が1の年から数えて連続する30年間の平均値を「平年値」として定め、これを10年ごとに更新している。

2021年～2030年の間(2020年統計)は、1991年から2020年(平成3年～令和2年)の資料から算出された30年間(統計期間)の平均値を使用する。

参考文献等

気象庁HP(報道発表資料、平年値ダウンロード)

表7.3.5 宗谷地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
宗谷岬	稚内市宗谷岬	26	6.4	11.7
稚内	稚内市開運 稚内地方気象台	3	7.0	11.9
礼文	礼文郡礼文町大字香深村トンナイ	65	6.9	12.2
声問	稚内市大字声問村字声問 稚内航空気象観測所	8	6.3	12.4
浜鬼志別	宗谷郡猿払村浜鬼志別	13	5.6	12.2
本泊	利尻郡利尻富士町鴛泊字本泊 利尻航空気象観測所	30	7.1	12.2
沼川	稚内市声問村字沼川	23	5.6	12.8
沓形	利尻郡利尻町沓形泉町	14	7.4	12.0
豊富	天塩郡豊富町豊富東2条	14	6.3	12.8
浜頓別	枝幸郡浜頓別町クッチャロ湖畔	18	6.0	12.7
中頓別	枝幸郡中頓別町上駒	25	5.3	13.8
北見枝幸	枝幸郡枝幸町本町 北見枝幸特別地域気象観測所	7	6.3	12.3
歌登	枝幸郡枝幸町歌登東町	14	5.3	13.6

表7.3.6 上川地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
中川	中川郡中川町中川	22	5.9	13.5
音威子府	中川郡音威子府村音威子府	40	5.7	13.8
美深	中川郡美深町西町	77	5.8	14.4
名寄	名寄市大橋	89	5.8	14.3
下川	上川郡下川町南町	143	5.4	14.1
士別	士別市武徳町	135	6.1	14.3
朝日	士別市朝日町中央	225	6.0	14.0
和寒	上川郡和寒町日ノ出	150	6.4	14.4
江丹別	旭川市江丹別町芳野	140	5.6	14.6
比布	上川郡比布町北2線	164	6.4	14.5
上川	上川郡上川町栄町	324	5.4	13.9
旭川	旭川市宮前1条 旭川地方气象台	120	7.2	14.1
東川	上川郡東川町北町	215	6.5	14.3
東神楽	上川郡東神楽町東2線 旭川航空気象観測所	211	6.4	14.4
志比内	上川郡東神楽町志比内	310	5.9	14.1
美瑛	上川郡美瑛町原野5線	250	5.9	14.4
上富良野	空知郡上富良野町大町	220	6.7	14.5
富良野	富良野市東町	174	6.7	14.6
麓郷	富良野市麓郷市街地	315	5.8	14.2
幾寅	空知郡南富良野町幾寅	350	5.6	13.8
占冠	勇払郡占冠村中央	332	5.0	14.6
朱鞠内	雨竜郡幌加内町朱鞠内	255	4.7	13.9
幌加内	雨竜郡幌加内町幌加内	159	5.8	14.2

表7.3.7 留萌地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
天 塩	天塩郡天塩町川口	9	6.8	12.5
遠 別	天塩郡遠別町幸和	7	6.9	12.9
初 山 別	苫前郡初山別村初山別	27	7.5	12.4
焼 尻	苫前郡羽幌町焼尻白浜	38	8.1	12.0
羽 幌	苫前郡羽幌町南3条 羽幌特別地域気象観測所	8	8.0	12.6
達 布	留萌郡小平町達布	30	6.8	13.5
留 萌	留萌市大町 留萌特別地域気象観測所	24	8.0	12.5
増 毛	増毛郡増毛町別荘	20	8.4	12.1
幌 糠	留萌市幌糠町	20	6.6	13.4

表7.3.8 石狩地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
浜 益	石狩市浜益区川下	3	8.5	12.3
厚 田	石狩市厚田区別狩	5	8.0	12.3
新 篠 津	石狩郡新篠津村第46線北	9	7.3	13.5
山 口	札幌市手稲区手稲山口	5	8.6	12.7
石 狩	石狩市生振	5	7.9	12.8
江 別	江別市江別太	8	7.3	13.7
札 幌	札幌市中央区北2条西 札幌管区气象台	17	9.2	12.8
恵庭島松	恵庭市下島松	30	7.2	13.4
支笏湖畔	千歳市支笏湖温泉番外地	290	6.9	12.1
千 歳	千歳市美々 新千歳航空測候所	22	7.4	13.5

表7.3.9 空知地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
石狩沼田	雨竜郡沼田町緑町	63	6.5	14.0
深川	深川市一已町一已	55	6.8	14.0
空知吉野	樺戸郡新十津川町吉野	100	6.6	13.7
滝川	滝川市南滝の川	50	7.0	13.8
芦別	芦別市北2条東	91	7.4	13.9
月形	樺戸郡月形町知来乙	50	7.1	13.4
美唄	美唄市北美唄町二区	16	7.3	13.9
岩見沢	岩見沢市5条東 岩見沢特別地域気象観測所	42	7.9	13.3
長沼	夕張郡長沼町本町北	13	7.5	13.6
夕張	夕張市鹿の谷山手町	293	6.4	13.1

表7.3.10 後志地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
美 国	積丹郡積丹町美国町船濶	75	7.7	12.3
神 恵 内	古宇郡神恵内村神恵内村	50	9.1	11.9
余 市	余市郡余市町豊丘町	20	8.3	12.6
小 樽	小樽市勝納町 小樽特別地域気象観測所	25	8.8	12.4
共 和	岩内郡共和町南幌似	15	8.5	12.4
蘭 越	磯谷郡蘭越町蘭越	39	7.8	12.6
俱 知 安	虻田郡俱知安町南1条東 俱知安特別地域気象観測所	176	7.2	13.0
寿 都	寿都郡寿都町新栄町 寿都特別地域気象観測所	33	8.9	11.8
真 狩	虻田郡真狩村美原	440	5.8	12.8
喜 茂 別	虻田郡喜茂別町伏見	264	5.9	13.4
黒 松 内	寿都郡黒松内町黒松内	27	7.5	12.3

表7.3.11 網走・北見・紋別地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
雄武	紋別郡雄武町雄武 雄武特別地域気象観測所	14	6.0	12.5
興部	紋別郡興部町興部	8	5.8	12.8
西興部	紋別郡西興部村西興部	120	5.7	13.4
紋別	紋別市南が丘町 紋別特別地域気象観測所	16	6.7	12.3
紋別小向	紋別市小向 紋別航空気象観測所	18	6.5	12.7
湧別	紋別郡湧別町東	5	6.1	13.1
滝上	紋別郡滝上町滝ノ上原野5線南	165	5.6	13.7
常呂	北見市常呂町岐阜	3	6.3	13.3
遠軽	紋別郡遠軽町東町	80	6.0	13.9
佐呂間	常呂郡佐呂間町西富	54	5.6	14.0
網走	網走市台町 網走地方気象台	38	6.9	12.5
宇登呂	斜里郡斜里町ウトロ高原	144	6.4	12.4
白滝	紋別郡遠軽町白滝北支湧別	475	5.0	13.5
生田原	紋別郡遠軽町生田原	199	5.3	14.1
北見	北見市広郷	104	6.4	14.1
女満別	網走郡大空町女満別中央 女満別航空気象観測所	33	6.4	14.1
小清水	斜里郡小清水町泉	52	6.4	13.2
斜里	斜里郡斜里町以久科南	15	6.2	13.2
留辺蘂	北見市留辺蘂町大和	325	5.1	14.1
境野	常呂郡置戸町豊住	184	5.5	14.4
美幌	網走郡美幌町福住	60	5.8	14.0
津別	網走郡津別町豊永	100	6.0	14.2

表7.3.12 根室地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
羅 臼	目梨郡羅臼町栄町	15	6.1	11.3
標 津	標津郡標津町北2条西	3	6.0	11.8
上 標 津	標津郡中標津町上標津	160	5.7	12.6
中 標 津	標津郡中標津町桜ヶ丘	50	5.8	12.5
根 室 中 標 津	標津郡中標津町北中 中標津航空気象観測所	65	5.6	12.9
別 海	野付郡別海町川上町	23	5.7	12.4
根 室	根室市弥栄町 根室特別地域気象観測所	25	6.6	10.6
納 沙 布	根室市温根元	12	6.3	10.3
厚 床	根室市西厚床	41	5.6	11.8

表7.3.13 釧路地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
川 湯	川上郡弟子屈町川湯駅前	158	4.7	13.6
弟 子 屈	川上郡弟子屈町弟子屈原野	170	5.2	12.6
阿寒湖畔	釧路市阿寒町阿寒湖温泉	426	4.3	14.0
標 茶	川上郡標茶町開運	20	5.4	13.2
鶴 居	阿寒郡鶴居村鶴居東	38	5.9	12.9
中 徹 別	釧路市阿寒町徹別中央34線	80	5.7	13.3
榺 町	厚岸郡浜中町榺町	2	5.8	11.3
鶴 丘	釧路市鶴丘 釧路航空気象観測所	95	6.4	12.0
太 田	厚岸郡厚岸町太田	85	5.8	11.8
白 糠	白糠郡白糠町西2条北	9	5.8	12.0
釧 路	釧路市幸町 釧路地方气象台	5	6.7	11.5
知 方 学	釧路郡釧路町仙鳳趾村知方学	149	5.9	10.8

表7.3.14 十勝地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
陸別	足寄郡陸別町陸別原野分線	207	4.8	15.1
ぬかびら 源泉郷	河東郡上士幌町ぬかびら源泉郷北区	540	4.0	14.0
上士幌	河東郡上士幌町東3線	287	5.8	13.3
足寄	足寄郡足寄町南1条	90	6.2	14.6
本別	中川郡本別町新町	67	6.3	14.5
新得	上川郡新得町4条南	178	6.9	13.0
鹿追	河東郡鹿追町緑町	206	6.6	13.2
駒場	河東郡音更町駒場北町	112	6.3	13.9
芽室	河西郡芽室町西3条南	90	6.3	14.1
帯広	帯広市東4条南 帯広測候所	38	7.2	13.6
池田	中川郡池田町清見	42	6.1	13.8
浦幌	十勝郡浦幌町桜町	20	6.6	13.2
帯広泉	帯広市泉町西9線中 帯広航空気象観測所	149	5.8	14.5
糠内	中川郡幕別町五位	70	5.4	14.6
上札内	河西郡中札内村元札内西1線	251	5.4	13.5
更別	河西郡更別村更別南2線	185	5.8	13.9
大津	中川郡豊頃町大津寿町	4	5.7	12.8
大樹	広尾郡大樹町柏木町	87	5.6	13.8
広尾	広尾郡広尾町並木通東 広尾特別地域気象観測所	32	7.2	11.4

表7.3.15 胆振地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
厚 真	勇払郡厚真町朝日	20	7.0	13.6
穂 別	勇払郡むかわ町穂別	56	6.5	14.3
大 滝	伊達市大滝区本町	390	5.6	13.2
森 野	白老郡白老町森野	170	6.8	12.3
苫 小 牧	苫小牧市しらかば町 苫小牧特別地域気象観測所	6	7.9	12.0
大 岸	虻田郡豊浦町大岸	4	7.7	12.4
白 老	白老郡白老町高砂町	6	7.6	11.9
鷓 川	勇払郡むかわ町豊城	10	7.1	13.2
伊 達	伊達市館山下町	3	8.9	12.3
登 別	登別市札内町	197	7.4	11.9
室 蘭	室蘭市山手町 室蘭地方气象台	40	8.9	11.2

表7.3.16 日高地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
日 高	沙流郡日高町本町東	280	6.3	13.9
日 高 門 別	沙流郡日高町富浜	47	7.6	12.7
新 和	新冠郡新冠町新和	60	6.9	13.9
静 内	日高郡新ひだか町静内山手町	10	8.2	12.1
三 石	日高郡新ひだか町三石美野和	10	7.3	12.3
中 杵 臼	浦河郡浦河町上杵臼	98	6.6	13.2
浦 河	浦河郡浦河町潮見町 浦河特別地域気象観測所	37	8.2	11.2
え り も 岬	幌泉郡えりも町東洋	63	7.4	10.0

表7.3.17 渡島地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
長万部	山越郡長万部町栄原	10	7.7	12.4
八雲	二海郡八雲町本町	8	8.1	12.1
森	茅部郡森町姫川	125	8.2	12.4
川汲	函館市川汲町	25	8.7	11.4
北斗	北斗市本町	25	8.6	12.5
函館	函館市美原 函館地方气象台	35	9.4	12.3
高松	函館市高松町 函館航空気象観測所	34	9.0	12.1
木古内	上磯郡木古内町字本町	10	8.9	12.0
松前	松前郡松前町建石	30	10.5	11.6
熊石	二海郡八雲町熊石根崎町	12	9.4	12.0

表7.3.18 檜山地方

観測所名	所在地	標高 (m)	年平均気温 (Um)	年振幅 (Ay)
せたな	久遠郡せたな町瀬棚区本町	10	9.1	11.7
今金	瀬棚郡今金町今金	19	8.1	12.4
奥尻	奥尻郡奥尻町稲穂	5	10.3	11.5
米岡	奥尻郡奥尻町字米岡 奥尻航空気象観測所	49	9.7	11.9
鶉	檜山郡厚沢部町鶉町	53	8.2	12.5
江差	檜山郡江差町姥神町 江差特別地域気象観測所	4	10.3	11.6

7.3.2 断熱材の施工

(1) 吹付け断熱材

1) 施工概要

- ① 吹付け断熱材の施工は、下地面に合わせて必要厚さを確保し、できるだけ均一な厚さとする。
- ② 防水シートの表面に1㎡当たり4本以上の施工厚管理ピンを取付る事とする。
吹付け断熱材に使用する防水シートは、吹付け断熱材用防水シートを用い、たるみがなく、吹付けコンクリート面となじみ良く設置されていなければならない。
- ③ 吹付け断熱用防水シートは、標準の防水シートの規格を用い、更に吹付け断熱材との接着性の向上を目的とした表面処理を行った物を標準とする。
- ④ 吊り鉄筋部及び防水シートたるみ防止等の為、アンカーでやむを得ず防水シートを貫通する場合は、ブチルゴム等を用いて止水処理を行い漏水には十分注意を払わなければならない。
- ⑤ 吹付け断熱工の施工にあたっては、施工時の気温が材料特性及び規格に悪影響を及ぼす事が考えられ支障がない様十分考慮する必要がある。
特に冬季間のトンネル出入口部の施工については、坑口部の養生を行い外気を遮断し、施工箇所内の坑内温度を+5℃以上に保つ必要がある。
- ⑥ 吹付け断熱工は、下地面(吹付けコンクリート及び防水シート)の仕上げに大きく影響を受ける為、吹付けコンクリートは極端な凹凸がないよう施工する必要がある。
又、防水シートにたるみが生じた状態で吹付け断熱材の施工を行った場合には、覆工コンクリートの打設時の荷重でクラックが生じる事も考えられ、防水シートの施工には十分注意を払う必要がある。
以上の点を考慮し吹付け断熱工の最小施工厚は15mm以上とする。
- ⑦ 吹付け断熱材施工厚管理用ピン参考図

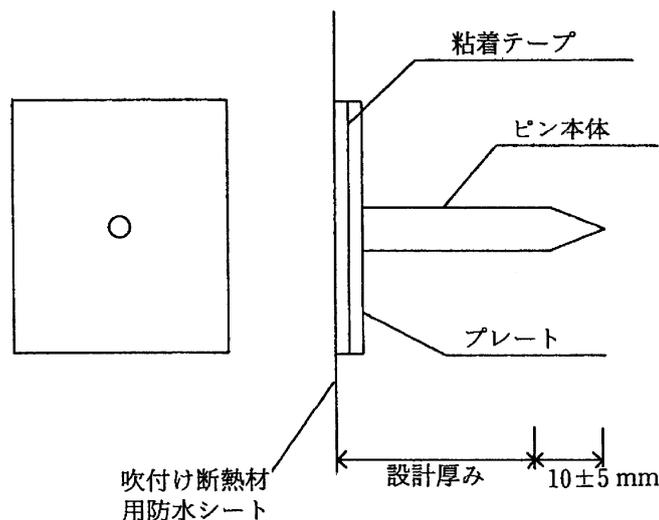


図7.3.3 吹付け断熱材施工厚管理用ピン参考図

2) 現場簡易燃焼試験

吹付け断熱工は、現場発泡工事のため品質等の確認試験を行い管理する必要がある。

① 試験供試材 採取寸法 厚さ30mm×182mm×257mm(B5版)×3枚

吹付け断熱材供試材作成方法

下図寸法のコンパネ上に現場発泡し、表皮はつけたままのサンプルを中央部分から採取する。

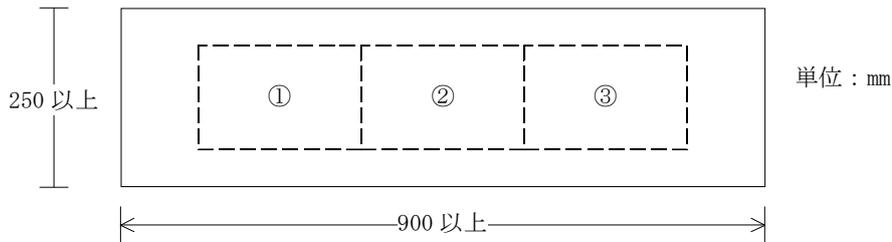


図7.3.4 供試材作成方法

② 試験方法

下図に示す鉄道車両材料の燃焼試験装置を使用し、B5版の供試材(182mm×257mm)を45° 傾斜に保持し、燃焼容器の底面の中心が供試材の下面中心の垂直下方25.4mm(1インチ)のところへくるようにコルクのような熱伝達率の低い材質の台にのせ、純エチルアルコール0.5ccを入れて着火し、燃料が燃え尽きるまで放置する。試験は空気の流動の無い状態で行う。供試材は表皮面を下に向けて設置する。

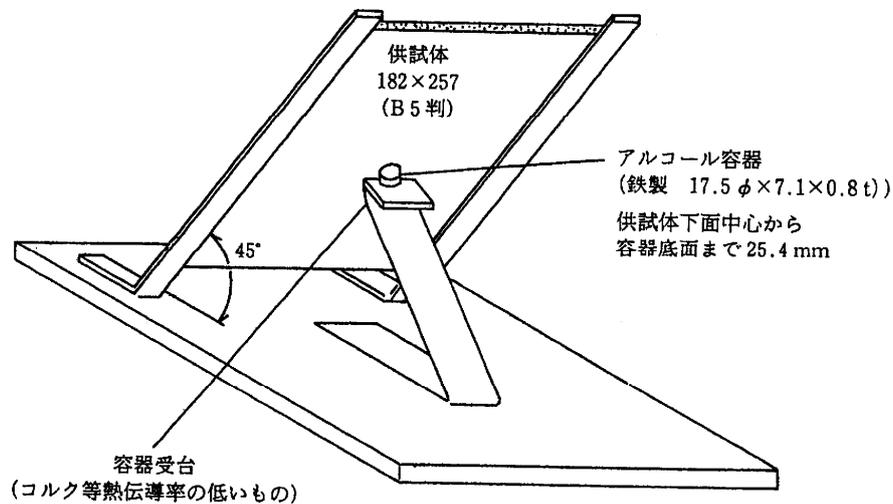


図7.3.5 現場燃焼試験方法

③ 燃焼性判定

燃焼性判定はアルコール燃焼中と燃焼後に分け、3回の試験結果が下記基準に合格すること。不合格の場合は、原因を究明の上再試験を行う。

④ 記 録

アルコール燃焼後、自己消火までの時間を記録すること。
(現地品質管理試験)

3) 管理基準等

吹付け断熱材の現地品質管理及び現場管理の基準を下記の通りとする。

- ① 現場簡易燃焼試験を施工日毎に当日施工前に試料を1回採取実施し、難燃性の確認を行ったのち施工を行うこと。
- ② 施工条件と同様の場所で覆工コンクリート1スパン(10.5m)につき3ヶのサンプリングを行い現場簡易試験を実施すること。
- ③ 密度

試験供試材 49.61cm²×1cm 3ヶ

右記治具で採取した供試材の重量を測定し密度を算出する。

$$\text{密度 (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{重量 (g)}}{\text{容積 (cm}^3\text{)}}$$

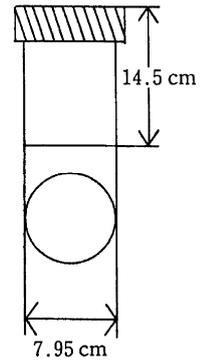
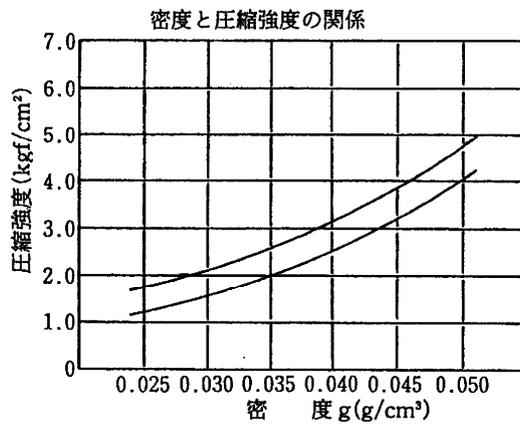


図7.3.6 供試材採取用治具

④ 試験結果判定

現場簡易試験で密度、圧縮強さを図7.3.7で品質の適合の確認を行い施工開始すること。
また、熱伝導率は第三者機関による試験を一回以上行うこととする。



注) 次世代フロンの密度と圧縮強度の関係図を示す。

図7.3.7 吹付け断熱材密度関係図

4) 現場管理

- ① 吹付け断熱材は難燃材料品であるが可燃物であり、発火源がある場合は燃焼する。又、セントルに使用する剥離材が吹付け断熱材に付着した個所に着火した場合は、勢いよく燃焼する。そのため吹付け断熱材の表面防火処理を行っているが坑内作業の為、特に火災には十分に注意を払わねばならない。よって吹付け断熱材の施工中は施工区間及び前後5m位を火気使用禁止区間とし、看板等で表示を行うと同時に施工箇所及び前後に消火器を設置しなければならない。施工完了後も吹付け断熱材の施工区間は、覆工コンクリート打設後迄は火気使用禁止とする。
- ② 吹付け断熱材の原液であるイソシアネート(B液)は、可燃物のため現地に保管する事はできるだけ避ける事が望ましいが、やむを得ず現地で保管する場合は火気使用禁止の表示を行い消火器を設置し、消防法で定める指定数量2000ℓ以下(届け出不要の範囲)とする。吹付け断熱材は空気圧で施工するため飛散した小さな原材料は風管等による風で周囲に浮遊し付着する場合があります、近くで作業をしている場合は体質にもよるが目がちかちかしたり、軽い気管支炎を起こす場合もある。したがって、吹付け断熱材の施工近辺では他の作業は行わない事が望ましい。
- ③ 吹付け断熱材を施工する作業員は必ずマスク等を着用することとし、近くで他の作業を行う作業員もマスク等を着用する事が望ましい。また、浮遊した吹付け断熱材は接着力が強く、施工区間近辺の人及び車輛や機械に付着した場合は、除去が困難であり養生等の対策が必要である。特に改修工事の場合は、一般車輛が通行する事が多く対策が必要である。

(2) 吹付け断熱材（新発泡材（HF0））

新発泡材（HF0）の材料特性及び規格値は下表による。

表7.3.19 断熱材料の材料特性及び規格値

項 目		新発泡材（HF0）
最 小 施 工 厚	mm	15以上
密 度	kg/m ³	25以上
圧 縮 強 さ	N/cm ²	8以上
熱 伝 導 率 【材料規格値】	W/m・K 平均温度(20±5℃)	0.030
吸 水 量	(厚さ25mm)g/100cm ²	3.0以下
燃 焼 性		JISA1321に規定する難燃3級または建築基準施工令第1条第6号に規定する難燃材料相当。
現 場 燃 焼	アルコール燃焼中	炎が常時、試料の上端を越えないこと。
	アルコール燃焼後	40秒以内に自己消火すること。

(3) 板状断熱材

材料特性及び規格値は下表による。

表7.3.20 断熱材料の材料特性及び規格値

項 目		板状断熱材
最小施工厚	mm	10
密度	kg/m ³	33以下
圧縮強さ	N/cm ²	3.2以上
熱伝導率	W/m・K 平均温度(20±5°C)	0.040
吸水量	(厚さ25mm)g/100cm ²	0.7以下
燃焼性		UL94HF-1適合品とする。

板状断熱材の施工は、厚み30mm未満と30mm以上の場合では異なる施工方法を採用。又、板状断熱材は定型品の為、継目の処理が必要である。

1) 厚み30mm未満の場合

防水シートと一体型になっており、防水シートの施工と同時に施工となるが継目は熱融着又は接着剤で重ね合わせ又は突き合わせで施工するが、突き合わせの場合の厚み10mm、幅100mm以上の接着剤付板断熱材で貼りあわせる。

注) 防水シート板状断熱材の一体型には、三層一体型(板状断熱材+EVAシート+不織布)と分離一体型(板状断熱材+EVAシートと不織布)の2タイプがある。

2) 厚み30mm以上の場合

防水シートを施工後、プチルゴム等を用い止水処理を行いアンカーボルトを固定し板状断熱材を取り付け、継目を突き合わせとし厚み10mm、幅100mm以上の接着剤付板状断熱材で貼り合わせる。

(図7.3.8)

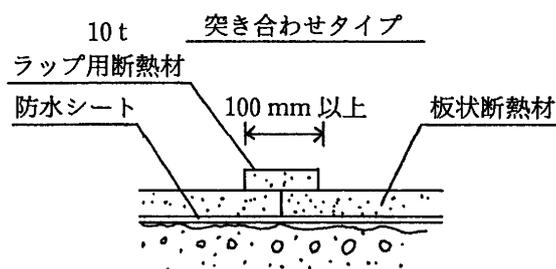


図7.3.8 継ぎ目の処理法

3) 品質管理

施工着手前に、1現場1回吹付断熱材と同様の現場簡易燃焼試験を実施し、UL94HF-1適合品である事を確認し、製造後の品質試験表を提出するものとする。

7.4 断熱材の表面防火処理

断熱材への着火による坑内火災を防止するため、断熱材全施工区間において表面防火処理を実施することとする。

また、表面防火処理は、断熱材施工後、直ちに実施しなければならない。

【解 説】

- (1) 処理方法
ロックボルト接着用ドライモルタル吹付けによることとし、平均仕上り厚は2.0mmとする。
- (2) ドライモルタルの標準配合
ドライモルタル 1袋(20kg)に対し、水4.0ℓ
W/C=42.7% 1袋当り練上り量10.0ℓ
- (3) 管理方法
表面防火処理の平均厚は2.0mmとしているが、厚さ測定が困難なため、プレミックスモルタルの使用袋数を伝票、写真にて検収、確認すること。

7.5 坑内排水工

- (1) 坑内排水工の考え方
坑内の排水は路面排水工と、トンネル周辺湧水処理工との2系統に分割して考えることとする。
- (2) 路面排水工
両側縁石前面に設置した路側集水樹と、円形水路等による両側排水方式を標準とする。また、集水樹の設置間隔は60m程度とする。
ただし、必要に応じて、片側排水方式を検討することとする。
円形水路の蓋は、道路利用状況に応じて設置の有無を検討するが、一般的に一般国道は蓋を設置し、高規格道路（自動車専用道路）は不要とする。
- (3) 周辺湧水処理工
有孔高密度ポリエチレン管による中央集排水方式を標準とし、トンネル周辺の湧水は透水マット等により路床面下を導水して中央集排水管へ直結するものとする。なお、高密度ポリエチレン管は、たわみ性管であるため、埋め戻し材の転圧を行い、安定させなければならない。
中央排水管は原則インバート上面に設置するものとするが、坑口より100m程度は、トンネル建設箇所の凍結深（従来、舗装の設計期間20年より、20年確率とする）を考慮し、インバート下面に設置するのが望ましい。なお、インバート施工時に湧水が多い場合には、インバートの下に仮排水工を併設する。
管径は湧水量、延長等の現場条件を勘案のうえ決定することとし、最小径はφ300mmとする。中央地下排水の労務編成は坑内作業とする。
インバート下面に中央排水管を設置する場合は、工事中の点検、清掃用として、樹（I型A）を概ね150m間隔に設置し埋め殺す。
- (4) ウイープホールを設置する場合は、1スパン(10.5m)に2個程度を標準とする。

【解説】

- (1) 坑内排水工の考え方について
従来のトンネル排水施設は、路面排水処理を目的として路側に集水樹を設置し、トンネル周辺の地山湧水は、地山へ直接設置した排水材と防水シート背面の排水材(不織布)を利用して、インバート上面の中央排水管に導水するものとする。
- (2) 路面排水工について
トンネル内の路面排水は、主として清掃水、その他の維持用雑排水を処理する目的で設置することとしたため、さほど大きい管径を要しない。従って、管内清掃の便などを考慮して最小管径を200mmとした。
集水樹の間隔は、清掃水程度の排水であることから60m間隔程度とした。ただし、必要に応じて、片勾配でトンネル延長が短い場合など、省略することにより維持管理上障害とならないか、検討するものとする。
円形水路の溝（取水開口部）は、歩行者、自転車および原動機付自転車等が安全に利用できるように蓋を設置することを基本とするが、高規格道路（自動車専用道路）などその利用がない場合は、経済性に配慮し蓋を不要とした。
- (3) 樹を埋設する場合は、T-25対応とする。

(4) 周辺湧水処理工について

周辺湧水処理工は路面下に布設され、将来の点検・清掃維持管理が困難なため、湧水が少ないと思われる場合でも十分余裕のある断面とすることが望ましい。

湧水が多いと思われる場合の管径の決定にあたっては次式を参考にするとよい。

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times A / 3$$

Q : 通水流量 (m³/sec)

n : 粗度係数

R : D/4径深 (m)

D : 管径 (m)

I : 勾配

A : 満水時の通水断面積 (m²)

ここでは、路面排水工と分離した、トンネル周辺湧水処理工について「インバートがある場合」、「インバートが無い場合」それぞれの排水系統を具体的に解説する。なお、本湧水処理例は標準的なものを示すものであり、実際の設計にあたっては現地条件を勘案の上、適宜設計のこと。

1) インバートがある場合の排水系統

図7.5.1『トンネル湧水処理工図 (インバート有りの場合)』を参照。

① 地山からの湧水処理

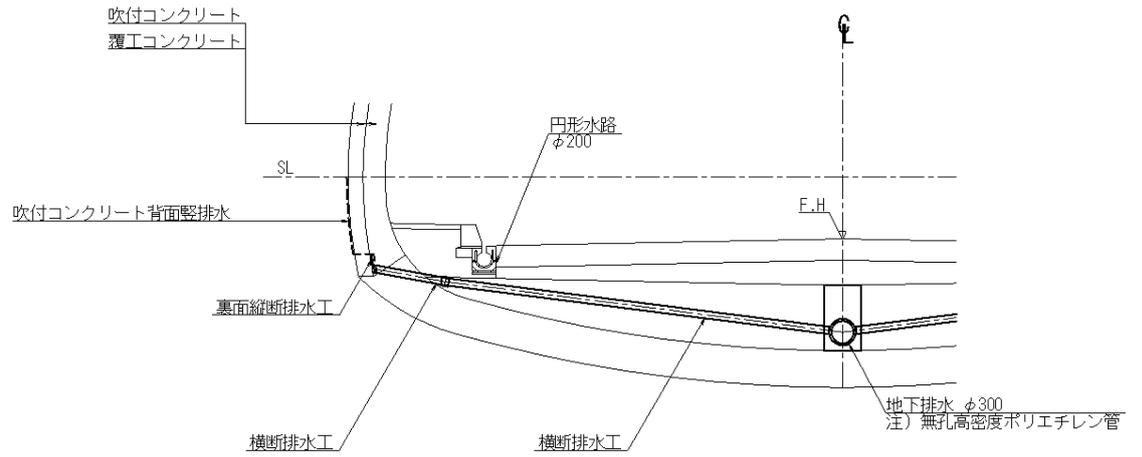
湧水が認められる箇所の下半部には、地山に排水材を直接設置した後、一次吹付けコンクリートを行い、排水材は下半吹付けコンクリート下の表面より20～30cm出しておき、後で施工する横断排水へ接続してセンタードレンへ導水する。横断排水の設置間隔については、図7.5.2のように湧水の有無に関わらず30m程度に設置し、湧水が認められる個所については追加設置する。このことは、トンネル掘削により、地山の水道(みずみち)が変わった場合、トンネル延長方向に広範囲な影響を及ぼすのを防止するためである。

また、必要に応じて凍結対策を考慮するものとする。

② 吹付けコンクリート表面(防水シート背面)の水処理

吹付けコンクリート表面の水処理として多いのは、ロックボルト打設に伴って湧水が発生することであり、湧水が少量の場合は防水シート背面の不織布により、多い場合はさらに排水材を設置して下まで導水することとなる。従来までは、この湧水を防水シート最下段の流末処理シートから、両サイドの路面排水管へ直接導水していたが、本解説冒頭に述べた凍結等の問題から、この方法を変更してインバート下面横断排水へ導入する。この際に、インバートコンクリートと一次支保工(鋼製支保工、吹付けコンクリート)の間を、全断面覆工と同種配合のコンクリートで接続し、防水シート下部の止水性(止水材及びピンで施工した部分)を高めると同時にトンネルの早期閉合を計る。

なお、インバート下面横断排水への導水性を高めるため、吹付けコンクリート表面縦断排水材を設置する。



注) 湧水量の多い場合は、有孔管を使用するものとする。
また、必要に応じて凍結対策を考慮するものとする。

図7.5.1 トンネル周辺湧水処理工図（インバート有りの場合）

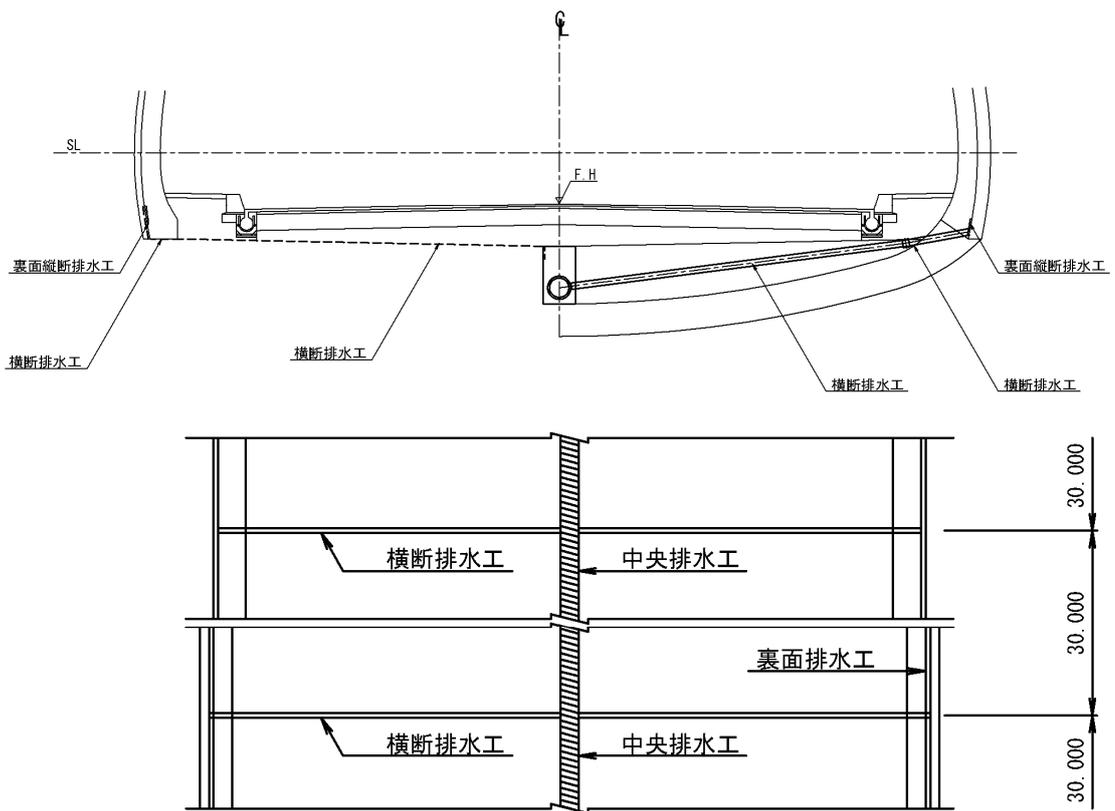


図7.5.2 排水管の位置

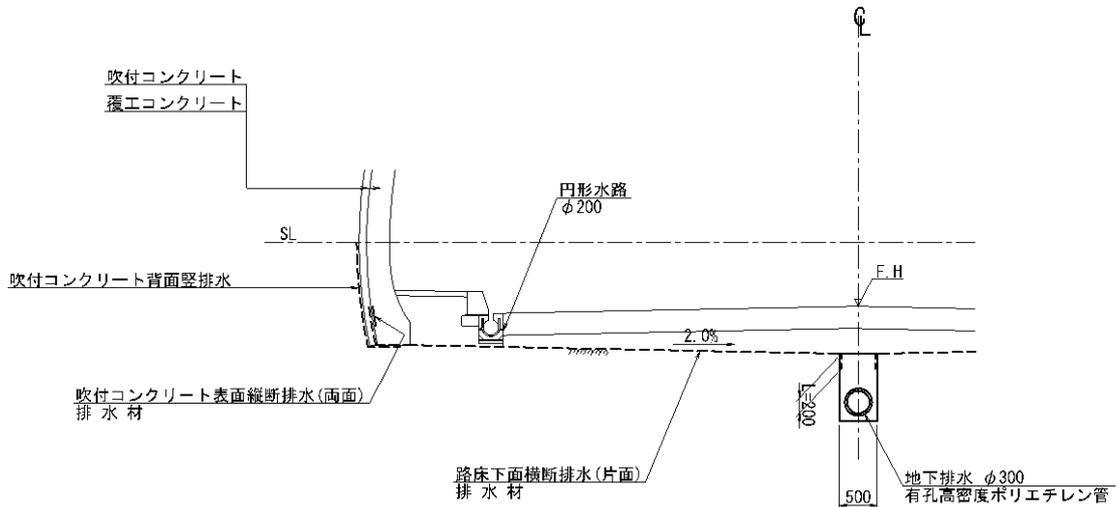
2) インバートが無い場合の排水系統

図7.5.3『トンネル湧水処理工図(インバート無しの場合)』を参照。

① 地山からの湧水及び吹付けコンクリート表面(防水シート背面)の水処理

基本的には、インバートがある場合と同様であるが、路床面をできるだけ残すという観点から、図7.5.2のように路床下面横断排水の間隔は30m程度とするが、湧水がある箇所は別途考慮する。

また、必要に応じて凍結対策を考慮するものとする。



注) 吹付けコンクリート背面縦排水は、湧水が認められる箇所の下半部に設置する。

注) 湧水量の多い場合は、横断排水に有孔高密度ポリエチレン管を使用するものとする。

また、必要に応じて凍結対策を考慮するものとする。

図7.5.3 トンネル周辺湧水処理工図(インバート無しの場合)

3) 材料の仕様

- ① 吹付けコンクリート背面縦排水材
集水面…片面、耐圧強度…20%歪 50t/m²
- ② 吹付けコンクリート表面縦断排水材
集水面…両面、耐圧強度…20%歪 5t/m²
- ③ インバート下面(路床下面)横断排水材
集水面…片面、耐圧強度…20%歪 2t/m²

左記を満たす製品としては数社あるが、材料の選定に際しては、耐圧強度と透水流流量等を勘案して適宜選定すること。

④ 防水シート端部処理材

シート…本体シートと同じ、止水材…20×60mm、押さえピン(φ40mm、ワッシャー付き)…ピッチ30cm

※ 耐圧強度の目安は下記を参考とした。

- ① 吹付けコンクリート圧縮強度の一般的な実績値29.4N/mm² (設計17.7N/mm²)の押し抜き剪断許容応力0.49N/mm² (鉄筋コンクリートを準用)
- ② コンクリート打設圧
- ③ インバートコンクリートの荷重23.0N/m³×D I 0.45orD II 0.50≒1.1~1.2t/m²

4) 高密度ポリエチレン管のフィルター材の施工

フィルター材の施工は、3層以上(基礎、側部、管の上面)に分けて転圧を行い、基礎部は管に偏圧が生じないように平坦に敷き均し、転圧を行うものとする。施工図(例)を図7.5.4に示す。

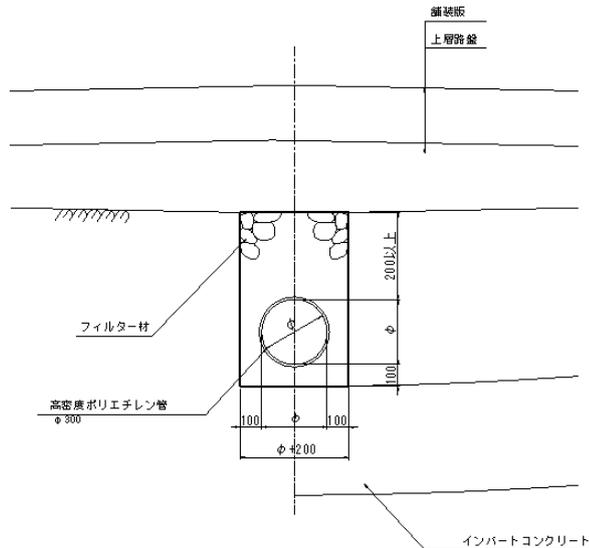


図7.5.4 高密度ポリエチレン管の施工図（例）

5) 柵（I型）の設置

インバート下面に中央排水管を設置する場合、排水施工中において、管先端から汚泥が流入することは、ある程度避けられず、完成直前あるいは施工途中に管内清掃を実施する必要がある。ただし、排水工完成後については、周辺地下水の集排水が目的となるため、管内清掃は不要となるため、柵（I型A）を設置するものとする。埋殺することとするが、インバート上面より10cm以上突出させるものとする。なお、施工中の管内清掃については、現場条件に応じて必要な時期に実施するものとする。

6) 地下排水のすりつけ

中央排水管をインバート下面に設置した区間にはさまれるインバート無しの区間は、図7.5.5のように地下排水をすりつけて、地下排水の掘削が大きくなるようにする。

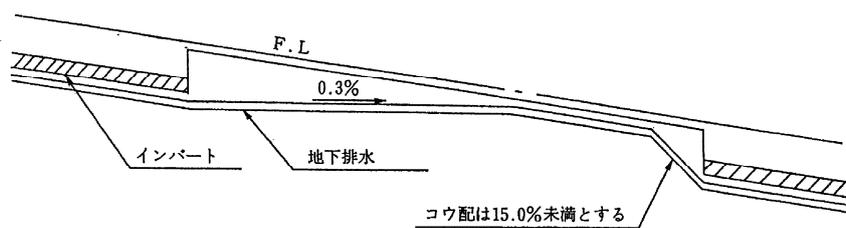


図7.5.5 地下排水のすりつけ

7) 歩道部などで載荷重が小さい場合は塩化ビニール管又は透水管を使用する。

8) 中央地下排水の積算にあたり、掘削単価はインバート有無を問わずインバート掘削単価と同一のものを使用する。岩石補正が必要のある場合は考慮するものとする。

また、管設置及びフィルター材填充歩掛は労務職種を坑内作業員とする。ただし、施工費を下半サイクルタイムに組入れる早期閉合施工の場合は除外する。