トンネル覆工のはく落発生抑制技術 ガイドライン(案)

令和5年3月

国土交通省 道路局 国道•技術課

目 次

第 1	章	概要	. 1
第 2	章	対象技術	. 2
2.1	1	技術公募	. 2
2.2	2	対象技術の分類	. 3
第 3	章	技術の確認項目	. 4
3.1	1	性能確認項目の確認方法	. 6
	3.1.1	はく落抵抗性の概要	. 6
	3.1.2	曲げじん性試験	LC
	3.1.3	押抜き強度試験	L1
3.2	2	影響確認項目の確認方法	L4
	3.2.1	覆工コンクリートの圧縮強度	L4
	3.2.2	覆工コンクリートの引張強度	L4
	3.2.3	スランプ値・空気量・塩化物含有量の各試験	16
	3.2.4	付着強さ試験1	16
	3.2.5	視認性試験(覆工に生じた変色、漏水、ひび割れの確認)	[6
	3.2.6	視認性試験(シートや樹脂の変形、変色の確認もしくは直接目視の可否	ī)
			21
	3.2.7	耐火性試験2	25
3.3	3	耐久性・維持管理性の確認方法	24
	3.3.1	対象技術の劣化要因2	24
	3.3.2	対象技術の耐アルカリ性2	24
	3.3.3	対象技術の耐候性2	25
	3.3.4	対象技術の温冷繰り返しの耐久性2	25
	3.3.5	想定耐久年数2	26
	3.3.6	劣化後の性状2	26
	3.3.7	点検時のチェックポイント2	26
	3.3.8	塗継ぎ重ね長(シートの重ね継ぎ長)2	27
	3.3.9	再施工時の配慮事項	27
	3.3.1	0 再施工時の狭隘部での施工	27
3 4	1	施工方法の確認方法 2	28

3.4.1 施工条件	28
3.4.2 構造変化点等への適用性	28
3.4.3 標準施工仕様	28
3.5 経済性の確認方法	29
3.5.1 追加施工日数	29
3.5.2 施工費	29
3.5.3 効果発現に要する日数	29
第4章 技術の確認結果	31

第1章 概要

本ガイドライン (案) は、新設トンネルへ覆工のはく落抑制対策を適用する際の参考とするために、各種はく落抑制技術の特徴、性能、適用上の留意点等をとりまとめたものである。

道路トンネルでは覆工のはく落片により通行車両が損傷する等、いわゆる利用者被害の発生が懸念される。さらに、はく落が生じると、利用者被害の恐れだけではなく、通行止めを伴う緊急点検および応急措置を実施することが多く、道路交通への影響が懸念される。

はく落につながる覆工のうき・はく離は、定期点検時に打音検査やたたき落としに よる対応が必要となるが、これらは点検作業者への負担が大きい。

これに対し、新設時にはく落抑制対策を実施することにより、はく落による被害防止と定期点検時の打音検査、たたき落とし作業の軽減が期待される。

本ガイドライン(案)では、各種はく落抑制技術の性能や施工方法などについてとりまとめるとともに、試験結果を解釈する方法を記載している。これにより、各トンネル現場で適したはく落抑制技術の選定、あるいは類似技術を比較するための参考資料として利用することができる。

第2章 対象技術

本ガイドライン(案)は、国土交通省の「道路分野における新技術導入促進」の取り組みの中で計画されたテーマである「はく落の発生を抑制するとともにはく落の予兆を発見しやすい覆工技術」の成果として作成したものである。なお、ここでいう「はく落の発生を抑制する覆工技術」とは、『うき・はく離が生じても直ちに覆工コンクリート片がはく落(落下)しない技術』を指す。

同取り組みでは、上記テーマに合致する技術を公募し、テーマにそったリクワイヤメントについて試験等により確認を行った。以下に、本テーマで実施した公募の概要と対象技術の分類について記載する。

なお、公募の結果をとりまとめたものであるため、現存するはく落抑制技術の全て を対象としたものではなく、応募のあった技術を対象にとりまとめている。

2.1 技術公募

本テーマでは、はく落による利用者被害の抑制、点検等の維持管理作業の省力化を目的としていることから、新設トンネルへ適用可能なはく落抑制技術を対象とした。技術の公募にあたっては、はく落抑制技術のリクワイヤメントを設定した。表 2.1 に技術公募時に設定したリクワイヤメントの項目を示す。

表 2.1 はく落抑制技術のリクワイヤメント (技術公募時)

項目		材料等の添加技術	材料の塗布、貼付け技術
耐荷性(コンクリートの圧縮強度	E)	0	
耐荷性(コンクリートの引張強度	Ε)	0	
品質性(コンクリートのスランフ	就験)	0	
品質性(レディーミクストコンク	リート)	0	
付着性			0
耐久性			0
耐火性			0
視認性			0
はく落発生の抑制性能	曲げ靭性試験	0	
は、冷光土の抑制性能	押し抜き試験		0

2.2 対象技術の分類

技術公募により応募された技術の分類を表 2.2 に示す。本ガイドライン(案)では、はく落の発生を抑制することで、供用時の点検作業や利用者被害対策を目的としていることから、供用開始時点から効果が発揮される覆工のはく落発生抑制が可能な技術を対象とする。このため、新設トンネルで施工可能な技術を対象とするが、表 2.2 のうち「繊維シート+接着剤」および「表面被覆樹脂」の技術は、既設トンネルにも適用可能な技術である。

表 2.2 はく落抑制技術の分類

分類	細目	技術概要
材料の添加技術	繊維補強	コンクリートへ繊維を添加することで、繊維の架橋効果
		(コンクリートのひび割れ部において、繊維がコンクリ
		ートを繋ぎ止める効果)によりコンクリートのはく落を
		抑制する。
材料の塗布、	表面シート埋込	コンクリート表面に繊維シートを埋設することで、コン
貼付け技術		クリートのはく落を抑制する。
	繊維シート+接着剤	繊維シートを樹脂等の接着剤によりコンクリート表面へ
		貼り付けることで、コンクリートのはく落を抑制する。
	表面被覆樹脂	コンクリート表面を樹脂によって被覆することで、コン
		クリートのはく落を抑制する。

第3章 技術の確認項目

はく落抑制技術を新設トンネルへ適用する際、確認しておくべき項目を以下の5項目に分類する。

- ① 性能確認項目:はく落抑制の性能を確認する項目
- ② 影響 確認 項目:技術を適用することによる覆工構造や維持管理への影響の有無あるいは影響の度合いを確認する項目
- ③ 耐久性・維持管理性:技術の耐久性および維持管理における留意点等を確認する項目
- ④ 施 エ 方 法:標準施工仕様や施工条件を確認する項目
- ⑤ 経 済 性: 工期・工費を確認する項目

上記のうち、①~③は表 2.1 のリクワイヤメントに該当する項目であり、道路トンネルのはく落抑制技術として利用可能であるかを確認する項目となる。一方、④および⑤の項目は技術の詳細な検討の際に参考とする情報となる。

各項目の分類、確認の目的、技術の細目、確認方法および結果の読み方を表 3.1 に示す。なお、表 3.1 に示す確認方法は、新設の道路トンネルへ適用することを念頭におき、各技術を同一の視点で評価するために本ガイドライン(案)で設定したものである。また、表 3.1 の結果の読み方に記載できない詳細な記述については 3.1 以降に示す。

表 3.1 技術の確認項目と結果の読み方(1/4)

① 性能確認項目

分類	目的	技術細目	確認方法	結果の読み方	参照項
はく落発生の 抑制性能	ひび割れの進行抑制、はく落の 抵抗性	繊維補強	曲げじん性試験	曲げじん性係数が大きいほどひび割れが進行しにくく、うき・はく離の進行やはく落の発 生抑制効果を期待できる	3.1.2
		表面シート埋込、 繊維シート+ 接着剤、 表面被覆樹脂	押抜き強度試験	押抜き最大荷重が大きい技術は、より重量の大きいはく落塊の落下の抑止が期待できる。	3.1.3

② 影響確認項目

分類	目的	技術細目	確認方法	結果の読み方	参照項
構造	覆エコンクリートの強度低下		覆エコンクリートの圧縮	圧縮強度は、覆エコンクリートの設計基準強度以上であることが求められる。	3.2.1
	がないこと		強度		
		4+144+++344	覆エコンクリートの引張	圧縮強度の設計基準強度から推定される引張強度以上であることが求められる。	3.2.2
		繊維補強	強度		
	覆工に使用するコンクリート		スランプ値・空気量・塩化	試験項目の所定の基準値を満たすことで、覆エコンクリートに使用するコンクリートの	3.2.3
	の品質を有すること		物含有量の各試験	品質を満たしていると判断できる。	
	材料(シートや樹脂)がコンク	繊維シート+	付着強さ試験	覆エコンクリートの引張強度以上の付着強度があれば、コンクリートのはく落抵抗性よ	3.2.4
	リートのはく落抵抗性 (引張強	接着剤、		りも高い付着力があることが確認できる。	
	度) よりも大きいこと	表面被覆樹脂			
維持管理	材料(シートや樹脂)を施工し		視認性試験(覆工に生じた	覆工表面の変状の視認性の影響度合いを確認できる	3.2.5
	た場合の覆工表面の視認性		変色、漏水、ひび割れの確		
		繊維シート+	野		
	覆工表面のうき・はく離、はく	繊維シート+ 接着剤、	視認性試験(シートや樹脂	覆工表面のうき・はく離、はく落が生じた場合の材料(シートや樹脂)の変色等の発生状	3.2.6
	落が生じた場合の材料 (シート	表面被覆樹脂	の変形、変色の確認もしく	況が確認できる。材料(シートや樹脂)の変色等が認められれば、覆工表面にうき・はく	
	や樹脂)の変色等の有無	公 田政侵倒加	(は直接目視の可否)	離、はく落等の変状の発生が想定される。	
	火災時に延焼しないこと		耐火性試験	自己消火性(大気中で熱源が無くなった際に自ら消化する性質)を有する技術であれば、	3.2.7
				火災の発生時の延焼の危険性は低いと判断できる。	

表 3.1 技術の確認項目と結果の読み方(2/4)

③ 耐久性・維持管理性

分類	目的	技術細目	確認方法	結果の読み方	参照項
耐久性	技術の劣化要因		劣化要因のヒアリング	該当する劣化要因が存在すると想定される現場で対象技術を使用する際には留意する必	3.3.1
				要がある。該当する劣化要因は、第4章「技術の性能一覧表」に記載する。	
	技術および付着面の耐アルカ		耐アルカリ性試験実施の	各技術が実施した試験法・試験結果を第4章「技術の性能一覧表」に記載する。材料の	3.3.2
	リ性	(+h(/ H > 1)	有無のヒアリング	選定等の参考となる。	
	技術および付着面耐候性	繊維シート+	耐候性試験実施の有無の	(耐久性についてはリクワイヤメントの設定が困難であるため、各技術が実施した試験	3.3.3
		接着剤、	ヒアリング	を「技術の性能一覧表」に掲載している)	
	技術および付着面の温冷繰り	表面被覆樹脂	温冷繰り返し試験実施の		3.3.4
	返し耐性		有無のヒアリング		
	想定耐久年数		想定耐久年数の確認	更新サイクルやライフサイクルコストの検討の参考となる。	3.3.5
維持管理	材質が劣化することによる材		劣化後の性状	各技術の材質劣化時の性状を第4章「技術の性能一覧表」に記載する。材料の選定等の	3.3.6
	質の性状変化	繊維シート+		参考となる。	
	日常点検や定期点検の際に確	接着剤、	点検時のチェックポイン	各技術の点検時に確認すべき項目等ついて記載しているので、点検する際の参考となる。	3.3.7
	認すべきポイントや追加で点	表面被覆樹脂	F		
	検すべき項目				
再施工	樹脂が劣化、破損した場合の再		塗継ぎ重ね長(シートの重	再施工時には、第4章「技術の性能一覧表」に記載された塗継ぎ長(シートの重ね継ぎ	3.3.8
	施工時の継重ね長	6+1644 ~ I .	ね継ぎ長)	長)を設ける必要がある。	
	樹脂が劣化、破損した場合の再	繊維シート+ 接着剤、	再施工時の配慮事項	部分補修や再施工時に参考となる。	3.3.10
	施工時に留意すべき事項				
	狭隘部での再施工時に留意す	表面被覆樹脂	再施工時の狭隘部での施	ジェットファン背面、照明灯具背面などの狭隘部の施工の際に参考となる。	3.3.10
	べき事項		エ		

表 3.1 技術の確認項目と結果の読み方(3/4)

④ 施工方法

分類	目的	技術細目	確認方法		結果の読み方	参照項
	施工手順		施工手順	ヒアリング	対象技術の使用を検討する際の参考となる。	3.4.1
	施工時の施工条件		坑内温度	または		
# **		A 1+415	坑内湿度	施工要領書		
施工条件		全技術	覆工表面の含水率			
			施工時の覆工の状態			
			覆工打設後から技術を施工するまでの期間			
構造変化点等	うきが生じやすい目地部へ	繊維シート+	覆工目地部への適用性	ヒアリング	目地部への施工が可能であれば、当該箇所のは	
への適用性	の適用性	接着剤、			く落対策に寄与する。	
	非常駐車帯と標準部の境界	表面被覆樹脂	断面変化部への適応性	ヒアリング	断面変化部への施工が可能であれば、当該箇所	3.4.2
	等、うきが生じやすい箇所へ				のはく落対策に寄与する。	
	の適用性					
標準施工仕様	標準的な施工方法	繊維補強	添加量(投入量)	ヒアリング	施工において順守する必要がある。	3.4.3
			添加時(投入時)の条件	または		
		繊維シート+	断面図(施工層数確認)	施工要領書		
		接着剤、	プライマー工標準塗布量			
		表面被覆樹脂	プライマー工標準施工回数			
			プライマー工養生条件			
			プライマーエ可使時間(分)			
			接着剤可使時間(分)			
			表面被覆標準塗布量			
			表面被覆標準施工回数			
			表面被覆養生条件(温度・湿度・期間等)			
			表面被覆可使時間(分)			
			坑口部における保護塗装の要否			

表 3.1 技術の確認項目と結果の読み方(4/4)

⑤ 経済性

分類	目的	技術細目	確認事項	確認方法	結果の読み方	参照項
工期・工費	技術の施工に必要	全技術	追加施工日数	ヒアリング	施工期間を確認できる。	_
	な日数			※ヒアリング条件		
	施工費		経済性(施工費)	・トンネル延長:1,000m	施工費用を確認できる。	
				・覆工厚:30cm		
	技術の施工後、強		効果発現に要する日数	・覆工表面積:15,000m²	効果発現に要する日数を確認できる。	
	度発現に必要な日			※各社へのヒアリング結果であり、		
	数			労務費等積算条件が異なる可能性		
				があるため参考値扱い		

3.1 性能確認項目の確認方法

はく落抵抗性の概要 3.1.1

はく落抵抗性は、技術区分により2種類に分類される。1つは、ひび割れが発生し てもはく落しにくい技術であり、もう一方は、ひび割れが発生し、はく落が生じても 即座に落下することを抑制する技術である。はく落抵抗性の技術区分によるはく落抵 抗性の確認方法(試験方法)の違いを表 3.2 に示す。

表 3.2 はく落抵抗性の	の技術区分によるはく落抵抗性の確認に	方法(試験方法)
技術区分	技術概要	確認方法

技術区分	技術概要	確認方法
繊維補強	ひび割れが発生しても繊維の架橋効果*により、はく落(ひび割れが進展)しにくい技術(図 3.1.1 参照)	曲げじん性試験
表面シート埋込 繊維シート+接着剤 表面被覆樹脂	はく落が生じても即座に落下することを抑制することが可能な技術(図 3.1.2 参照)	押抜き強度試験

[※]架橋効果とはひび割れの始点と終点に引張に抵抗できる部材(繊維)があることでひび 割れの進展を抑制できる効果のことを示す。

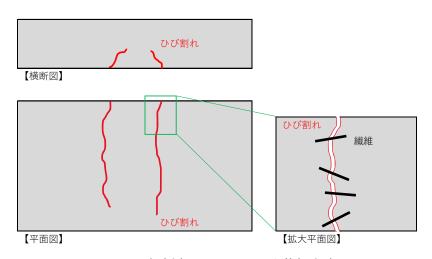


図 3.1.1 架橋効果によるはく落抑制効果



図 3.1.2 繊維シート+接着剤や表面被覆樹脂等によるはく落抑制効果

3.1.2 曲げじん性試験

(1) 目的

覆エコンクリートの繊維補強によるひび割れ発生後の進行抑制の性能を確認する (うき・はく離につながるひび割れの進行を抑制することで、はく落の発生を抑制する)。

(2) 対象技術

繊維補強

(3) 供試体・試験方法

覆工コンクリートのはく落抵抗性(曲げじん性試験)は、「繊維補強覆工コンクリートの曲げ靭性試験方法(JSCE-G 552-2007-NEXCO 試験法条件)」に準拠し評価する。

供試体は、JSCE-F 552-1999 の規定によって寸法 150mm×150mm×530mm で作成する。供試体は、図 3.1.3 に示す試験機に支承幅の中央において、スパンの 3 等分点に上部載荷装置を接触させる。供試体には、衝撃を与えないように一様に荷重を加える。最大荷重までの載荷速度は、JIS A 1106 に準ずる。

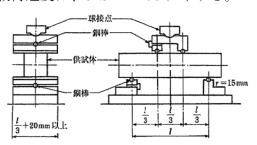


図 3.1.3 曲げ試験装置の一例

(4) 結果の読み方

試験結果から式 3.1.1 により曲げじん性係数を求める。曲げじん性係数は、破壊の進展しにくさを示しており、曲げじん性係数が大きいほどひび割れが進行しにくく、うき・はく離の進行やはく落の発生の抑制効果を期待できる。なお、NEXCO においては平均値で 1.40N/mm²以上が基準となっている。この基準値は、下記に基づいて設定されている。

① はく落を想定した円筒形モデル(ϕ 4.0m×0.3m)から縁引張応力(0.025N/mm2)を設定した。

② 縁引張応力に施工変動による割増係数、設計段階の安全率、品質管理段階の安全率を乗じたものから応力解析により求めた引張降伏強度を除して曲げじん性係数の基準値を求めた。

$$\bar{f}_b = \frac{T_b}{\delta_{tb}} \cdot \frac{l}{bh^2}$$
 ····· 式 3.1.1

 \bar{f}_b : 曲げじん性係数($^{
m N}\!\!/_{
m mm^2}$)

 $T_b: 図 3.4$ に示す斜線部の面積(N・mm)

 δ_{tb} : スパンの $\frac{1}{150}$ のたわみ(mm)

l: スパン(mm)

b:破壊断面の幅(mm)

h:破壊断面の高さ(mm)

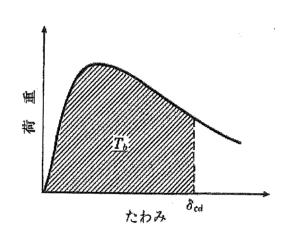


図 3.1.4 荷重たわみ曲線

3.1.3 押抜き強度試験

(1) 目的

シートや樹脂によるひび割れの進行やはく落に対する抵抗性を確認する。なお、繊維シート+接着剤と表面被覆樹脂において試験後の試験体は、3.2.6 に示すシートや樹脂の変形、変色の視認性の確認で使用する。

(2) 対象技術

表面シート埋込、繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 供試体・試験方法

はく落抵抗性(押抜き試験)は、NEXCOで覆工の小片はく落対策の評価として使用される「はく落防止の押抜き試験方法(NEXCO424試験)」に準拠し評価する。

供試体は図 3.1.5 に示す通りであり、試験方法は図 3.1.6 に示す通りである。

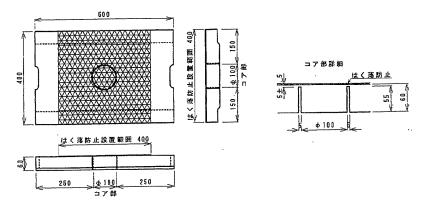


図 3.1.5 供試体標準図

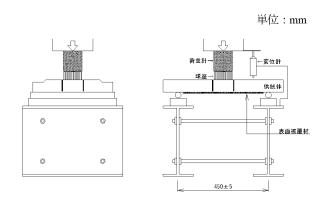


図 3.1.6 押抜き試験の載荷要領例

(4) 結果の読み方

はく落防止の押抜き試験結果は、同一条件で作製された3個の供試体の最大荷重の 平均値で評価する(図 3.1.7 参照)。押抜き最大荷重が大きい技術は、より重量の大 きいはく落塊の落下の抑止が期待できる。

押抜き最大荷重の基準値は、コンクリート特性や予想されるはく落の規模等を考慮して定める必要がある。押抜き最大荷重の基準値の一例として、NEXCO では無筋区間におけるはく落塊の形状と寸法を仮定し($0.2m\times0.2m\times$ 在来工法の設計覆工厚 0.55m の直方体)、コンクリートの単位容積重量を 22.5kN/m³ としてはく落塊の荷重を 0.5kN とし、これに安全率を見込んだ 0.7kN($0.5\div80$ %)としている。

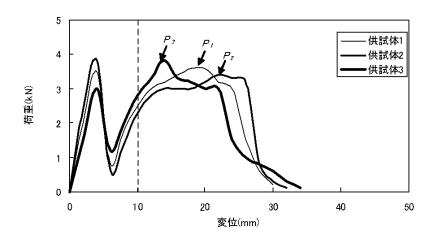


図 3.1.7 荷重一変位曲線の例

3.2 影響確認項目の確認方法

3.2.1 覆エコンクリートの圧縮強度

(1) 目的

コンクリートに繊維を添加しても、覆工に使用するコンクリートとしての圧縮強度 (18N/mm²) を確保できることを確認する。

(2) 対象技術

繊維補強

(3) 供試体・試験方法

コンクリート強度への影響は、「コンクリートの圧縮強度試験方法 (JISA 1108)」に準拠し評価する。コンクリートの圧縮強度試験の供試体は、JISA 1132 によって製作する。

(4) 結果の読み方

圧縮強度は、覆エコンクリートの設計基準強度以上であることが求められる。

3.2.2 覆エコンクリートの引張強度

(1) 目的

コンクリートに繊維を添加しても、覆工に使用するコンクリートとしての引張強度 (設計基準の圧縮強度から推定される引張強度)を確保できることを確認する。

(2) 対象技術

繊維補強

(3) 供試体・試験方法

供試体は、1,000mm×1,000mm×200mm のコンクリート版より直径 100mm×160mm のコアを抜くことで採取し、図 3.2.1 に示すように供試体の上下に鋼製の引張試験用治具を接着剤で取り付けることで製作する。その後、引張コンクリート強度への影響は、「付着性能試験(NEXCO 試験法 422:2004)」に準拠し評価する。なお、直径 100mm の供試体を直接製作しないのは、繊維が供試体の中心に密集してしまう恐れがあるため、コンクリート版から採取する方式で供試体を作成することとした。なお、引張強度の確認方法として付着性能試験を採用したのは、引張強度を確認するために利用されることが多い割裂試験では繊維の影響により荷重のピーク値を把握しにくいことによるものである。



図 3.2.1 引張試験供試体

また、小型の供試体では繊維が方向性をもって配置される可能性があり、この供試体で割裂試験を実施すると異方性(試験体の向きによって結果が変わる)を示すことが懸念されることから付着性試験を準用した。

(4) 結果の読み方

引張強度は、覆エコンクリートの設計基準強度の圧縮強度から求められる引張強度 以上であることが求められる。ここで、引張強度は式 3.2.1 より求められる。

$$f_{tk} = 0.23 f_{ck}$$
 · · · 式 3.2.1

ftk: 引張強度 (N/mm²)

 $f_{ck}^{'}$: 設計基準強度(N/mm²)

なお、上記の関係式は、普通コンクリートの圧縮強度と引張強度の関係式であり、 繊維補強コンクリートでも圧縮強度と引張強度に相関性はあるものの特性値が普通コンクリートとは異なるため、関係式を求めるためには試験等により別途適切な特性値を求めることが必要となる。

しかし、繊維補強が引張強度を低減させるような効果は考えられないことと、水セメント比が普通コンクリートより繊維補強コンクリートの方が小さくなることから、普通コンクリートより繊維補強コンクリートの引張強度が大きくなるものと考えられるため、圧縮強度が普通コンクリート以上であれば、引張強度試験を行わなくても引張強度も基準を満たすものと評価できる。

3.2.3 スランプ値・空気量・塩化物含有量の各試験

(1) 目的

コンクリートに繊維を添加しても、覆工に使用するコンクリートとしての品質を確保できることを確認する。

(2) 対象技術

繊維補強

(3) 供試体・試験方法

コンクリートのスランプ試験は「コンクリートのスランプ試験方法 (JIS A 1101)」に、空気量試験は「フレッシュコンクリートの空気量の 圧力による試験方法-空気室圧力方法 (JIS A 1128 (JIS A 1116、JIS A 1118 も可))」に、塩化物含有量試験は、「フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法 (JIS A 1144)」に準拠する。これらの品質の基準値は、「レディーミクストコンクリート(JIS A 5038)」に準拠する。

(4) 結果の読み方

各試験項目の基準値を満足すれば、覆工コンクリートに使用するコンクリートとしての品質を確保していると判断できる。

3.2.4 付着強さ試験

(1) 目的

材料(シートや樹脂)がコンクリートのはく落抵抗性(引張強度)よりも大きいことを確認する。試験用基板に貼り付けたシートまたは樹脂について直接引張試験を行い、界面破壊(シートまたは樹脂のはく離による破壊)ではなく母材破壊(試験用基板の引張破壊)であることを確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 供試体・試験方法

覆工コンクリートへの付着性は、「はく落防止の耐久性能試験方法(NEXCO 試験 法 425)」に準拠し評価する。

内のり寸法 $70 \times 150 \times 10$ mm の試験用基板を作成した後、コンクリート用カッタなどを用いて 40×40 mm の寸法に切断し、試験体を作成する(図 3.2.2 参照)。

図 3.2.3 に示す鋼製アタッチメントを図 3.2.4 に示すように試験体をはさむようにして、接着、固定し 24 時間静置する。この試験体で直接引張試験を実施する。

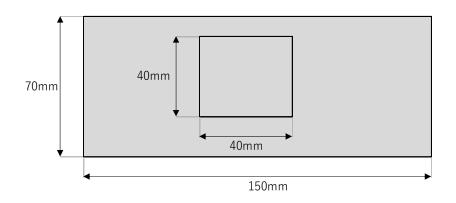


図 3.2.2 試験用基板

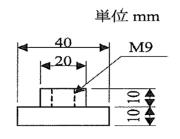


図 3.2.3 鋼製アタッチメント

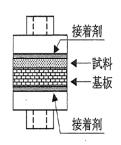


図 3.2.4 試験体の取付け

(4) 結果の読み方

覆エコンクリートの引張強度以上の付着力が確認できれば、はく落抑制対策として有効であると評価できる。試験用基板(モルタル)の引張強度は、一般的な覆エコンクリート(設計基準強度 18N/mm²)の引張強度よりも大きいと推定される(【試験用基板(モルタル)の強度と覆エコンクリートの強度について】を参照)。したがって、試験体の破壊状態が「母材破壊」であれば、シートや樹脂の付着力が覆エコンクリートの引張強度を上回っていると判断できる。

試験体の破壊状態には母材破壊、界面破壊があり、下記の通りに定義する。

母材破壊:母材(基板)内で破壊する形態(写真 3.1)であり、試料と母材の付着力が母材の引張強度以上であると判断できる。本ガイドライン(案)では、 試料に少しでも母材が付着している場合(写真 3.2)は、この場所から母 材破壊が生じた後に界面に破壊が進展したものとし、母材破壊と判定する。

界面破壊:母材(基板)と試料の境界面で破壊する形態であり、試料と母材の付着力が母材の引張強度以下であると判断できる。



写真 3.1 母材破壊の例



写真 3.2 母材破壊の例 (赤枠内が付着した母材) 【母材が際立つように色調補正実施】

【試験用基板(モルタル)の強度と覆工コンクリートの強度について】

試験用基板は、「セメントの物理試験方法(JIS R 5201)」に規定される方法で調整したモルタルで作製する(NEXCO 試験法 425)。このモルタルの配合は、質量比でセメント 1、標準砂 3、水 0.5(水セメント比=50%)である。「普通ポルトランドセメント(JIS R 5210)」や「高炉セメント(B種)(JIS R 5211)」は、このモルタルによる材齢 28 日での圧縮強さが、 42.5N/mm^2 以上であることが求められる。したがって、試験用基板を作製するためのモルタルに一般的な普通ポルトランドセメントや高炉セメント(B種)を使用すれば、その圧縮強さは必ず 42.5N/mm^2 以上となる。

一方、一般的な覆エコンクリートの材齢 28 日での設計基準強度は $18N/mm^2$ であり、配合強度としてはその $1.2\sim1.25$ 倍の $21.6\sim22.5N/mm^2$ 程度と推定される(レディーミクストコンクリート工場での圧縮強度のばらつきの程度によって異なる)。この配合強度は、上記の試験用基板(モルタル)の圧縮強さよりもはるかに小さい。

3.2.5 視認性試験 (覆工に生じた変色、漏水、ひび割れの確認)

(1) 目的

シートや樹脂を施工した後も、定期点検等では覆工の変状の進展状況を確認する必要があるため、シートや樹脂背面の覆工表面の近接目視による視認性の影響度合いを確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 供試体・試験方法

シートや樹脂背面の視認性に対する指標がないため、本ガイドライン(案)においては、全てのシートや樹脂について同じ視点から確認するために、同一の3人でシートや樹脂背面に設置したクラックスケール等を視認する方法により視認しやすさを確認することとした。

供試体は、300mm×300mm×60mmのコンクリート平板の表面にひび割れ幅を模擬するためのクラックスケールおよび漏水やさび等の変状を模擬した色付きのシートを貼り付け、その上から対象のシートや樹脂を施工したものとする(図 3.2.5 参照)。 試験は下記の手順により行う。

- ① 試験体を設置し、トンネル点検時に覆工直近でライトを当てた時の照度を想定した照度 300lx 以上を確保する。
- ② 近接目視を想定し、50cm 離れた箇所からクラックスケールのひび割れ幅、色調、変状色の観察を行う。ひび割れ幅は、確認できる最小幅を記録する。
- ③ 上記①、②の手順を任意の技術者 3 名で順番に視認する。 (写真 3.3 は、指示 役がクラックスケールを指し示し、それを観察者が視認している状況である。)
- ④ 供試体を視認性試験と同じ照度(300lx 以上)のもとに置き、画像撮影分解能 0.1mm/pix で撮影する。
- ⑤ 覆工に生じた変状の視認性の評価は、観察を行った3名のうち2名が視認できたクラックスケールの幅および色調をその技術において視認可能な幅および色調と判定する。

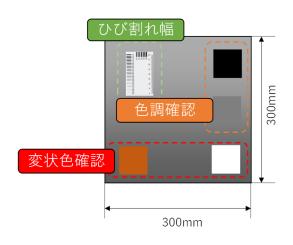


図 3.2.5 供試体標準図

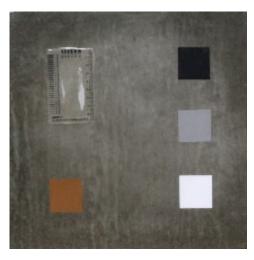


写真 3.3 覆工の模擬変状の視認状況

(4) 結果の読み方

各種色調およびクラックスケールの細い線を確認できる技術は、覆工表面の変状や ひび割れ幅の視認性への影響が小さいと考えられる。なお、ひび割れ幅については、 試験条件を一定とするためにクラックスケールを用いた評価としているが、クラック スケールと覆工コンクリートに生じるひび割れとは以下の相違点があることに留意す る必要がある。

- 実際のひび割れは、クラックスケールにあるひび割れ幅の線より長いことがほとんどである。
- クラックスケールのひび割れ幅の線は直線かつひび割れ幅が一定であるが、実際のひび割れは直線であることは稀であり、ひび割れ幅も同一のひび割れ内で変化するのが一般的である。



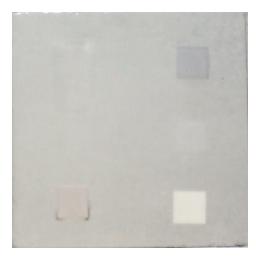


写真 3.4 視認性試験の供試体例

3.2.6 視認性試験(シートや樹脂の変形、変色の確認もしくは直接目視の可否)

(1) 目的

覆工表面のうき・はく離、はく落が生じた場合の材料(シートや樹脂)の変色等の 有無を確認する。変色等が生じることで、覆工表面に変状が発生している可能性があ ることを把握できる。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 供試体・試験方法

シートや樹脂の変形や変色の視認性に対する指標がないため、本ガイドライン

(案)における供試体は、NEXCO等で覆工の小片はく落対策の評価として使用される「はく落防止の押抜き試験方法(NEXCO424試験)」に準拠し、図 3.2.6 に示すように作成し、押抜き試験を実施する。この押抜きに伴うシートや樹脂の供試体からのはく離・破断等の変形や、色の濁り等の変色を目視で確認する。

シートの状態の視認性試験の評価は、樹脂が剥がれた範囲が視認できれば視認可と 判断する。

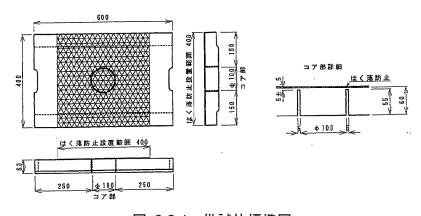


図 3.2.6 供試体標準図

(4) 結果の読み方

覆工表面のうき・はく離、はく落が生じた場合の材料(シートや樹脂)の変色等の発生状況が確認できる。材料(シートや樹脂)の変色等が認められれば、覆工表面に うき・はく離、はく落等の変状の発生が想定される。

なお、NEXCO 424 試験後の樹脂の状態は、樹脂が破断することなく広範囲にわたって剥がれるもの(樹脂非破断)と、樹脂が局所的に破断するもの(樹脂破断)に分けられる。樹脂が破断する技術は局所的な影響(局所的な抜け落ち)が想定されるの

に対し、樹脂が破断しない技術は広範囲に影響が及ぶことでシートの広範囲のはく離が想定される。いずれの技術を採用するかについては、現場条件や管理方法を踏まえて判断することが必要である。



写真 3.5 視認性試験の供試体例(押抜き試験後)

3.2.7 耐火性試験

(1) 目的

火災時に延焼しないことを確認する。

(2) 対象技術

表面シート埋込、繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 供試体・試験方法

耐火性の確認には、NEXCO等で耐火性の評価として使用される「トンネル補修材料の延焼性試験方法(NEXCO試験法 738)」に準拠し評価する。

供試体はケイ酸カルシウム板に技術を施工したものとし、試験方法は図 3.2.7 に示す 通りである。

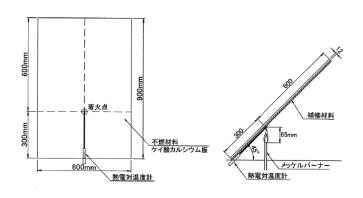


図 3.2.7 延焼性試験方法

(4) 結果の読み方

対象技術の接着剤および被覆材に着火し、バーナー消火後の消炎時間および延焼範囲を確認する。消炎時間と延焼範囲が規定範囲内であれば、そのシートや樹脂は自己消火性を有し、延焼の危険性は低いと判断できる。なお、ここで言う自己消火性とは、大気中で熱源が無くなった際に自ら消火する性質のことを示す。



写真 3.4 延焼性試験の供試体例(延焼性試験後)

3.3 耐久性・維持管理性の確認方法

耐久性・維持管理性についてはリクワイヤメントの設定が困難であることから、各 技術が実施した試験等の結果をヒアリングにより確認した。

3.3.1 対象技術の劣化要因

(1) 目的

耐久性については、各技術が想定するトンネル環境や技術の劣化要因がそれぞれ異なり、共通の試験による性能確認を行って耐久性に関する特徴を把握することが困難であるため、技術のメーカー等に対するヒアリング等によって、劣化要因(耐久性が低下する要因)を確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

ヒアリングで確認したアルカリ性項目を列記するので、該当する劣化要因が発生すると想定される現場で対象技術を使用する際には留意する必要がある。

3.3.2 対象技術の耐アルカリ性

(1) 目的

はく落防止性能はコンクリート片はく落防止対策の主性能であり、劣化の進行により発生するコンクリート片のはく落を確実に防止する性能を有さなければならない。 はく落防止性能が長期間保持できる評価基準として強アルカリであるコンクリートとの接着に対し性能を保持する「耐アルカリ性能」を有していることが必要であるため、シートや樹脂および付着面の耐アルカリ性の確認を行った試験の内容および結果をヒアリングにより確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

覆工コンクリートにおけるはく落防止対策の耐久性については基準がないため、本ガイドライン(案)では、各技術が実施した試験の試験法と試験の結果を記載する。 この結果は材料の選定等の参考となる。なお、対象技術の耐久性に関しては、経年劣化するのは、対象技術の材質のみではないので、「コンクリートの表面劣化」、「コ ンクリートと対象技術の付着力の劣化」、「対象技術の材質劣化」などを考慮するべ きである。

3.3.3 対象技術の耐候性

(1) 目的

はく落防止性能はコンクリート片はく落防止対策の主性能であり、劣化の進行により発生するコンクリート片のはく落を確実に防止する性能を有さなければならない。 はく落防止性能が長期間保持できる評価基準として紫外線等の自然光に対し性能を保持する「耐候性」を有していることが必要であるため、技術および付着面の対候性の確認を行った試験の内容および結果をヒアリングにより確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

覆エコンクリートにおけるはく落防止対策の耐久性については基準がないため、本ガイドライン(案)では、各技術が実施した試験の試験法と試験の結果を記載する。この結果は材料の選定等の参考となる。なお、対象技術の耐久性に関しては、経年劣化するのは、対象技術の材質のみではないので、「コンクリートの表面劣化」、「コンクリートと対象技術の付着力の劣化」、「対象技術の材質劣化」などを考慮するべきである。

3.3.4 対象技術の温冷繰り返しの耐久性

(1) 目的

覆工表面に塗布される樹脂には、「昼と夜」、「日射部分と日陰部分」、「夏と冬」 の温度差に耐えることが要求される。そのため、技術および付着面の温冷繰り返し耐 性の確認を行った試験の内容および結果をヒアリングにより確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

覆エコンクリートにおけるはく落防止対策の耐久性については基準がないため、本ガイドライン(案)では、各技術が実施した試験の試験法と試験の結果を記載する。 この結果は材料の選定等の参考となる。なお、対象技術の耐久性に関しては、経年劣化するのは、対象技術の材質のみではないので、「コンクリートの表面劣化」、「コ ンクリートと対象技術の付着力の劣化」、「対象技術の材質劣化」などを考慮するべきである。

3.3.5 想定耐久年数

(1) 目的

耐久性については、覆エコンクリートにおけるはく落防止対策の耐久性については 基準がないため、技術ごとにヒアリングにより想定耐久年数を確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

想定耐久年数については、根拠を明確にしておく必要があるため、想定年数とその年数を設定した根拠を記載する。この結果は、更新サイクルやライフサイクルコストの検討の参考となる。。

3.3.6 劣化後の性状

(1) 目的

材質劣化は耐久性に直結するので、材質が劣化することにより材質がどのように性 状が変化するかヒアリングで確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

各技術の材質劣化した際の性状について記載する。材料の選定等の参考となる。。

3.3.7 点検時のチェックポイント

(1) 目的

点検は、通常巡回時にパトロールカーなどから遠望目視を行う「日常点検」と5年に1回、打音検査や近接目視を行う「定期点検」に分類される。これらの点検時に確認すべきポイント(材料の変色など)や追加で点検すべき項目などをヒアリングにより確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

各技術の点検時に確認すべき項目等について記載する。点検において参考となる。

3.3.8 塗継ぎ重ね長 (シートの重ね継ぎ長)

(1) 目的

本ガイドライン(案)は新設トンネルを対象としているが、樹脂が劣化、破損した場合には、該当箇所を撤去して再施工が必要となる。そのため、再施工時の継重ね長(シートを含む場合はシートの重ね継ぎ長)についてヒアリングで確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

再施工時には、所定の塗継ぎ長(シートの重ね継ぎ長)を設ける必要がある。

3.3.9 再施工時の配慮事項

(1) 目的

本ガイドライン (案) は新設トンネルを対象としているが、樹脂が劣化、破損した場合には、該当箇所を撤去して再施工が必要となる。そのため、再施工時に留意すべき事項についてヒアリングで確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

部分補修や再施工時に参考となる。

3.3.10 再施工時の狭隘部での施工

(1) 目的

本ガイドライン(案)は新設トンネルを対象としているので、新設時には狭隘部の 施工は想定されないが、部分補修や再施工の際に狭隘部での再施工が必要となる。そ のため、狭隘部での再施工時に留意すべき事項についてヒアリングで確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

ジェットファン背面、照明灯具背面などの狭隘部の施工の際に参考となる。

3.4 施工方法の確認方法

施工方法の確認は、ヒアリングもしくは施工要領書により行った。

3.4.1 施工条件

(1) 目的

各技術の施工可能な条件(施工手順、坑内温度、坑内湿度、覆工表面の含水率等) を確認する。

(2) 対象技術

全技術

(3) 結果の読み方

対象技術の使用を検討する際の参考となる。

3.4.2 構造変化点等への適用性

(1) 目的

目地部や非常駐車帯と標準部の境界等のうきが生じやすい箇所への適用性を確認する。

(2) 対象技術

繊維シート+接着剤、表面被覆樹脂

(3) 結果の読み方

施工が可能であれば、当該箇所のはく落対策に寄与する。

3.4.3 標準施工仕様

(1) 目的

各技術の仕様(添加量、塗布量等)を確認する。

(2) 対象技術

全技術

(3) 結果の読み方

施工において順守する必要がある。

3.5 経済性の確認方法

経済性の確認はヒアリングにより行った。ヒアリングにおいては、トンネル条件を 以下のように設定した。

● トンネル延長:1,000m

● 覆工厚:30cm

● 覆工表面積:15,000m²

なお、ここで確認した結果は各社へのヒアリング結果であり、労務費等積算条件が 異なる可能性があるため参考値扱いとする。

3.5.1 追加施工日数

(1) 目的

通常の覆工コンクリートの施工に追加で必要な日数を確認する。

(2) 対象技術

全技術

(3) 結果の読み方

対象技術の施工期間が確認できる。

3.5.2 施工費

(1) 目的

通常の覆エコンクリートの施工に追加で必要な費用(機械、労務、材料)を確認する。

(2) 対象技術

全技術

(3) 結果の読み方

対象技術の工事費を確認できる。なお、施工費には維持管理費は含まれていないので、ライフサイクルコスト等を検討する際には、別途点検費用等の維持管理費を検討する必要がある。

3.5.3 効果発現に要する日数

(1) 目的

技術の施工後、強度発現に必要な日数を確認する。

(2) 対象技術

全技術

(3) 結果の読み方

効果発現に要する日数を確認できる。なお、繊維補強、表面シート埋込技術については、覆工施工と同時に施工するので、覆工打設日を基準とした日数とする。

第4章 技術の確認結果

本章では、公募された技術に対する第3章の各確認項目の結果を示す。確認項目は、 第3章で述べたように以下の5項目である。

- ① 性能確認項目:はく落抑制の性能を確認する項目
- ② 影響 確認 項目:技術を適用することによる覆工構造や維持管理への影響の有無あるいは影響の度合いを確認する項目
- ③ 耐久性・維持管理性:技術の耐久性および維持管理における留意点等を確認する項目
- ④ 施 エ 方 法:標準施工仕様や施工条件を確認する項目
- ⑤ 経 済 性: 工期・工費を確認する項目

このうち、①~②は「はく落の発生を抑制するとともにはく落の予兆を発見しやすい覆工技術」の技術公募をする際にリクワイヤメントとして求めたものであるため、 その結果を表 4.2~表 4.4 に「技術選定比較表」としてとりまとめている。

また、③~⑤については技術のカタログやヒアリング等により収集した情報であり、これらについては、①と②も含めて表 4.5~表 4.10 に「技術の性能一覧表」としてとりまとめている。また、表 4.5~表 4.10 の内容については、技術ごとに個票としてまとめている。

表 4.1 には、各はく落抑制技術の特徴を技術の分類ごとにとりまとめている。

表 4.1 はく落抑制技術の留意点

分類	細目	留意点			
材料の	繊維補強	●覆エコンクリートと同時に施工する。			
添加技術		●覆エコンクリートの表面は、通常の覆エコンクリートと同様である。			
材料の塗布、	表面シート	●覆エコンクリートと同時に施工する。			
貼付け技術	埋込	●覆エコンクリートの表面は通常の覆エコンクリートと同様である。			
		●コンクリート打設後、ジャンカの発生を防ぐために入念なバイブレーションが必要である			
		●施工にあたっては、コンクリート打込みの影響によって材料が移動しないように固定する必要がある。			
	繊維シート	●覆エコンクリート完成後に施工する。			
	+接着剤	●施工にあたっては十分な接着効果が発揮できるように、トンネル坑内の湿度、温度や覆工表面の含水率に			
		留意する必要がある。			
		●覆エコンクリートの表面が材料により覆われる。			
	表面被覆樹	●覆エコンクリート完成後に施工する。			
	脂	●施工にあたっては十分な接着効果が発揮できるように、トンネル坑内の湿度、温度や覆工表面の含水率に			
		留意する必要がある。			
		●覆エコンクリートの表面が材料により覆われる。			

表 4.2 技術選定比較表(材料の添加技術)

			++ 4+	- F7 / \	分類	トンネル	要求性能			材料	添加			
			坟仰	京区分	細目	技術基準 における一般値	における 目安			繊維	補強			
				番号		_	_	1		2		3		
				技術名		_	_	コンクリート用ポリプロ チップ JK」	1ピレン短繊維「バル	ポリス	トロン	コンクリート用ポリプロ チップPW・Jr」	ピレン短繊維「バル	
				NETIS番号		_	_	過去取得(KT-	100021-VE)	KT-160	098-A	過去取得(CG-C	070019-VE)	
				開発者		_	_	バルチップ	株式会社	大日製罐	株式会社	バルチップ	株式会社	
				共同開発者		_	_	_		_	-	_		
	基本情報			技術概要		_		維を添加することで、コン 止機能及び曲げタフネス(クリートに剥離・剥落防 靭性)を付与する技術で であり、生コンクリート ある。 ることにより、錆びるこ 優れ、コンクリート 世要領の基準を満たして	は、普通コンクリートで工 の活用により、供用後のコ 落を抑制することが可能と と第三者への安全性向上が	Éを混入する技術で、従来 □事をしていたが、本技術 □ンクリート片の剥離・剥 □なり、構造物の品質向上	短繊維 1 本の長さは 12mm	剥離・剥落防止機能を付であり、生コンクリート る。。 ることにより、錆びるこ 優れ、コンクリート中で 場で使われることが多い クリートや法面吹付けで	
				概要図・写真	*	-	-					(1 - a)		
項貨	抑は制	ш	げ靭性		平均最大荷重	_	_	36.8	kN	37.9)kN	33.2	«N	
目布	抑制性能		試験	JSCE G 552	曲げじん性 係数	_	1.4N/mm ² 以上 ^{※1}	2.14N/	/mm²	2.02N	I/mm²	0.58N/	/mm ²	
		コレ	耐荷性	圧約	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	18N/mm ^{2 ※2}	-	C)	C)	0		
影		コンクラ		スラ	ランプ	15cm程度 ^{※2}	_	С)	C)	0		
響確	構	リーラクス	品質性	空	気量	4.5±1.5% ^{※2}	_	C)	C)	0		
認項	造	\		塩化物	勿含有量	0.30以下kg/m ^{3 ※2}	_	С)	C)	0		
目			- 4	水セメント比		_	-	48.6	5%	58.	3%	51.5	%	
			记合例	繊維混入		_	_	0.3v	ol.%	0.3v	ol.%	0.05vol.9	%以上	
(2	上 実績)22年2		ンネル	既設トンネル	新設トンネル	_	-	0件	341件	0件	15件	0件	44件	
	寺点)	トン	ノネル以 の構造物	既設構造物	新設構造物	_	_	0件	1件	0件	0件	0件	614件	
	その他留意事項等					_	-	・材料を均一に分布させ 用と袋内での繊維の整身 ・繊維の架橋効果により 術であるため、繊維がな した場合、はく落する忍	川梱包を行う。 リはく落を抑制する技 よい箇所にうきが発生	・繊維の架橋効果により術であるため、繊維がなした場合、はく落するを	よい箇所にうきが発生	・材料を均一に分布させに水解紙(水に溶ける袋投入する。 ・繊維の架橋効果により 術であるため、繊維がなした場合、はく落する忍	(の) を用いて、袋ごとはく落を抑制する技い箇所にうきが発生	

※1 :NEXCOの施工管理要領における「坑門のはく落対策」としての規定値 ※2 :NEXCOのトンネル施工管理要領(繊維補強覆エコンクリート編)における「配合決定のための基準」であり、〇はトンネル技術基準における一般値を満たすことを示す。

表 4.3 技術選定比較表(材料の塗布、貼付け技術)

				分類	トンネル	要求性能					表面	被覆		
		技術	i区分	細目	技術基準における一般値	における 目安	表面シート埋む	Z			繊維シート	・+接着剤		
			番号		-	-	4		5		6		7	
			技 術 名		-	-	SAMM工法		無機接着剤 TS ボンド	40S 剥落防止工法	FF-TCC工法(V1	仕様, V2仕様)	超薄膜スケルトンはく	落防災コーティング
			NETIS番号		-	-	— (過去KT-020020で登録	録実績有り)	KT-16012	23-VR	KT-190	047-A	CG-1200	025-VE
			開発者		-	-	帝人㈱(2007年以降 帝人フロ 特許使用許諾を受け事業運営		株式会社シ	クソン	前田工織	株式会社	株式会社工.	ムビーエス
	[共同開発者		-	-	東日本高速道路㈱·中日本高 本高速道路㈱、三井住友建設		_		_	-	_	-
	基本情報		技術概要		-	-	本工法は、新設コンクリ防・地域 を埋設することで、刺客原全上機制 者被害を未然に助ぐ予防保全上法 が表する機能として、対象を確認しておる を民設構造物に対する連続繊維シー を民設構造物に対する連続繊維シー は相強工法は数多くあるが、それかり 理費用の大幅削減を可能としている。	Eを付与し、第三 たである。 いび割け与すること トに比較してSAMM にはまるで、SAMM にはまるで、SAMM にはまるで、SAMM	無機接着剤と繊維シート四線 作業が可能となり、工程短線 の向上が図れる。 実機接着剤は、不燃認定使用 シートも分かる。 生時に類様因ならる。 全性的向上が図れる。 また、施工級のコンクンテー の可視が可能のためメンシーのの可視が可能のためメンシー	宿・施工効率・経済性 収得しており、繊維 しているため、使用材 下燃性であり、火く安 事ガスの発生もなっ、ク	高伸度型シートとフレタン 小片は 久奈が度工法であり 能に合わせて仕様を選択す 特殊表明樹脂の採用により ト繁体状況が確認可能で認同能であ 上塗り塗装材の工程は不要 べて施工工程を短縮してし	」、対象構造物や要求性 「ることができる。」 」、施工後のコンクリー らる。 ■であり、従来技術に比	本技術は、透明特殊コーテ の含浸とよる金布接常型シト 構造物のはく落防止と劣 いる。 施工後も透明性を維持する 面の大力マーが不要な短 板上ではしたコンタート内の過行を と比較して施工期間を短線 サートカンの進行を	・ トエ法でコンクリー ・ トステート ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・
			概要図・写真	等	-	-	on the state of th	天沙五	祝認性試験	試験体	視認性試	■	視認性試	■ ■
項能	抑はく	押し抜き	NEXCO 424	平均最大荷重	-	0.7kN以上**1	2.57kN		2.92k	N	4.94	lkN	2.33	kN
目確認	性落	試験	NEXCU 424	平均最大荷重時 変位量	_	50mm以下**1	24.2mm		17.6m	m	48.7	mm	20.5	mm
	構造			コンクリートで 破壊されてい る。 ^{※2}			-		0		C)	С)
				確認項目 視認距離 (0.5m) 画像 (0.1mm/pix)	_	_	最小視認 ひび割れ幅(mm) 黒 グレー 0.10mm 0.15mm	変状色確認 - 白 茶	0.10mm O 0.15mm O	グレー 白 茶 O O O O O	最小視認 ひび割れ幅(mm) 黒 0.50mm 〇	確認 変状色確認 グレー 白 茶 O O O	ACT DOBO	確認 変状色確認 グレー 白 茶 O O O O O O
影響確認	維	視認性	目視試験 ^{※3} 目視試験 に対する コメント		_	_			クラックスケール: 視認 色調確認シート: 繊維の その他コメント: 色調確 置(視認距離3.0m程度)	隙間から視認可。 認シートも離れた位 からの確認は困難。	さが長くなれば、細いると考えられる。	可 のクラックのように長 ものも見えるようにな	クラックスケール:視認 色調確認シート:視認 その他コメント:ガラン が反射されるが、視認性	可 ス繊維シートにより光 生は良い。
項目	持管			シートの浮き 状況の視認	_	_			把握電 【樹脂非矾		把握 【樹脂訓		把握 【樹脂非	
	理	T1 11 144	NEVO0 722	消炎時間	-	30秒以下※4	0		0		C)	C)
		耐火性	NEXCO 738	上端方向 延焼範囲	_	600mm以下 ^{※4}	0		0		C)	C)
		耐久性	ヒアリング	紫外線への 耐久性試験結果 等	_	-	コンクリート内に埋め込む技 クリートと同様。	促進対候性試験 (JISB7 ウェザーメータ法)を3.0 「白亜化がなく、塗膜に のないこと」が確認でき)00時間実施し、 膨れ、割れ、剥がれ	促進対候性試験 (JSCE プ法) を2,500時間実施 がないことが確認できた	し、付着強度に影響		し、「白亜化がな	
			実績の時期				(2022年2月時点	Į)	(2022年2月	月時点)	(2022年2	2月時点)	(2022年2	月時点)
身	 長績	トンネル	既設トンネル	新設トンネル	_	-	0件	89件	10件	0件	38件	2件	136件	2件
		トンネル以 外の構造物	既設構造物	新設構造物	-	-	0件	2650件	18件	0件	46件	1件	603件	11件
		その他	留意事項等		-	-	・強度の高いアラミドFRPメッシ れるため、表面りび割れ幅の抑制 ある ・コンクリート表面より15mm以 ラに配慮が必要である。 ・コンクリート打設後、ジャンカ のに ・カレーションが必要である。 ・カレーションが必要である。 ・カレーションが必要である。 ・カレーションが必要である。	川や分散に効果が 内に配置出来るよりの発生を防ぐた ごある。 一る際には、埋込	・雨が降っている時間プラ 間は濡れないように養生した	ス、水が乾くまでの時 でおいた方が良い。	・施工条件は、施工雰囲気以下。養生期間に5℃を下なる。	温度5℃以上、温度65% 回った場合は硬化が遅く	・施工後、約12時間程度消 う必要がある。	

**1:NEXCOの施工管理要領における「小片はく落対策工の材料」の無筋コンクリートの目地部以外への施工としての規定値 **2:コンクリートで破壊 (母材破壊) されている場合は〇で示し、コンクリートと対象技術の境界面 (接着面) で破壊 (界面破壊) されている場合は△で示す。 **3:視認しているのは、模擬ひび割れ(クラックスケールの線)等であるため、実際のひび割れの見え方とは異なる。 **4:NEXCOのトンネル施工管理要領における「覆工のはく落対策」としての規定値であり、〇はトンネル施工管理要領における規定値を満たすことを示し、△は満たさないことを示す。

表 4.4 技術選定比較表(材料の塗布、貼付け技術)

				分類	トンネル	要求性能			表面被覆		
		技術	区分	細目	技術基準 における一般値	における 目安			表面被覆樹脂		
			番号		_	_	8	9	10	11	12
			技術名		_	_	ボンドKEEPメンテ工法 VMクリア	RTワンガードクリア工法	スケルトンクリアーコーティング	タフネスコート工法 クリア	ニューコートポリウレア ライニングシステム
			NETIS番号		_	_	KT-210065-A	CG-190009-A	CG-120025-VE	_	KT-190110-A
			開発者		_	_	コニシ株式会社	株式会社ダイフレックス	株式会社エムビーエス	タフネスコート技術研究会	金森藤平商事株式会社
			共同開発者		-	_	_	_	_	清水建設株式会社、三井化学産資株式会社	三倉工業株式会社 有限会社スタンス
			技術概要		-	-	強靭で耐候性のある透明のポリウレア樹脂をコン クリート表面に塗布することで、コンクリート片 のはく落を防止する工法である。 透明であるため下地の変式を視認することがで き、省工程で最短半日での施工も可能である。	本工法は、透明度の高い1成分形高強度ウレタン 塗膜を塗布することでコンクリートの表面保護・ はく落防止を目的とした工法である。 透明度の高いツレタン樹脂で構成されているため、施工後の劣化状況も確認が可能である。	本技術は、透明特殊コーティング材を塗布するだけの工法でコンクリート構造物の小片はく落防止工事や劣化因子の表面保護に用いる。 施工後も透明性を推持するため、コンクリート表面の状態を目根確認できる。 成後 を阻害しない。 また、プライマーが不要なため、従来の表面 被覆 工と比較して施工期間を組できる。 さらに、塗布したコンクリート内の過剰水分を水蒸気として放出するため、劣化の進行を遅延させる。	「タフネスコート工法 クリア」は、コンクリート構造物の表面に透明のタフネスコート(専用のボリウレア樹脂)を吹き付けることにより、コンクリート構造物に必要な機能(剥落防止、耐久性向上、貯水性体保、耐衡整性向上)を保持しながら 既設構造物のが沢確認も容易で合理的な維持管理、長寿命化を実現する技術である。	ボリウレアとは2種の樹脂素材の化学反応で生成されるウレア結合を基本とした樹脂化合物であり、防水性、耐薬品性、耐薬品性、耐薬品性、耐薬はた、対力があるが、様々な用途で対象物を保護するフィニング材であるが、一般では、一般では、一般では、一般では、一般では、一般では、一般では、一般では
			概要図・写真	等	-	-	視認性試験試験体	視認性試験試験体	视認性試験試験体	视認性試験試験体	視認性試験試験体
項能	抑は制く	押し抜き	NEXCO 424	平均最大荷重	_	0.7kN以上 ^{※1}	2.16kN	2.4kN	0.77kN	1.12kN	1.7kN
目確認	性落能	試験	平均最大荷重 変位量 コンクリート		_	50mm以下 ^{※1}	33.1mm	19.6mm	43.8mm	47.5mm	22.3mmm
	構造	付着性	NEXCO 425	コンクリートで 破壊されてい る。 ^{※2}			0	0	0	Δ	0
		視認性		確認項目 視認距離 (0.5m) 画像 (0.1mm/pix)	_	-	最小視認 ひび割れ幅(mm) 色調確認 果 グレー 白 茶 0.05mm 〇 〇 〇 0.05mm 〇 〇 〇	最小視認 ひび割れ幅(mm) 色調確認 果 グレー 白 茶 0.05mm 〇 〇 〇 0.10mm 〇 〇 〇	最小視認 ひび割れ幅(mm) 色調確認 果 グレー 白 茶 0.05mm 〇 〇 〇 0.05mm 〇 〇 〇	最小視認 いび割れ幅(mn) 色調確認 果 グレー 白 茶 0.25mm 〇 〇 〇 〇 0.25mm 〇 〇 〇 〇	最小視認 ひび割れ幅(mm) 色調確認 里 グレー 白 茶 判別不能 交状色確認 ○ ○ ○ ○ 判別不能 ○ × ○ ○
影響確認	оц		目視試験 ^{※3}	目視試験 に対する コメント	_	_	クラックスケール: 視認可 色調確認シート: 視認可 その他コメント: 特になし	クラックスケール:視認可 色調確認シート:視認可 その他コメント:特になし	クラックスケール: 視認可 色調確認シート: 視認可 その他コメント: 特になし	クラックスケール:視認可 色調確認シート:視認可 その他コメント:全体的に白くくすんでい る。	クラックスケール: 視認可 色調確認シート: 視認可 その他コメント: 樹脂の厚み薄くするなどし て、透過度を上げることが求められる。
項目	維持管			シートの浮き 状況の視認	_	_	把握 可 【樹脂破断】	把握 可 【樹脂破断】	把握可 【樹脂非破断】	把握可 【樹脂非破断】	把握可 【樹脂破断】
	理			消炎時間	-	30秒以下※4	0	0	0	0	0
		耐火性	NEXCO 738	上端方向延焼範囲	_	600mm以下 ^{※4}	0	0	0	0	0
	-	延焼範囲 紫外線への 耐久性 ヒアリング 耐久性試験結果 等		-	_	プ法)を1,200時間実施し、「白亜化がな	促進対候性試験(JSCE-K511-2007:サンシャインウェザーメータ法)を700時間実施し、「白亜化がなく、塗膜に膨れ、割れ、剥がれのないこと」が確認できた。	促進対候性試験 (JSCE-K511: キセノンラン ブ法) を3,000時間実施し、「白亜化がな く、塗膜に膨れ、割れ、剥がれのないこと」 が確認できた。	促進対候性試験 (JISK 7350-4:サンシャインウェザーメータ法)を2,000時間実施し、「引張り強度:89%、伸び率:103%」であることが確認できた。		
			実績の時期				(2022年12月時点)	(2022年2月時点)	(2022年2月時点)	(2022年2月時点)	(2023年3月時点)
実	績	トンネル	既設トンネル	新設トンネル	-	-	12件 0件	144 044	12件 0件	0件 0件	2件 0件
		トンネル以外の構造物	既設構造物	新設構造物	-	-	101件 0件	95件 0件	72件 0件	0件 0件	12件 0件
	その他留意事項等				-		・坑口付近での施工の場合は雨に対する養生が必要となる。 要となる。 ・均一に塗布する管理方法として、ウェットゲージを用いて、塗布しながら機厚を確認する。	・材料自体が湿気によって硬化していくので、水がかかっても特に問題ない。	・施工後、約12時間程度濡れないように養生を行う必要がある。 ・品質確保のため、ウェットゲージで膜厚管理を しながら施工する	・プライマーを塗布した段階でも硬化するまでの数日間は漏水に接触しない(雨に当たらない)ような養生が必要となる。 ・スプレーする回数で厚みを管理することに加え、針入式の膜厚計を用いながら小まめに塗膜厚さを測定しながら施工する。	・吹きつけてから最初の24時間あたりは、入りロ・出口を塞いで少しでも温かい環境で養生することが望ましい。
						¥:1	NEYCOの体工管理亜領における「小片けく」	」 落対策工の材料」の無筋コンクリートの目地部	リタッの体エトーての担定値	1	I .

表 4.5 技術の性能一覧表

□ リクワイヤメント確認試験等により確認した項目

基本	□		基本情報		性能確認	忍項目			影響確認	項目		
	T	T					覆エコンクリート	構造	覆エコンクリート		維持管理	
				該当技術	はく落排曲げじん性試験	押抜き試験	強度への影響	覆エコンクリートの品質 スランプ値・空気量・塩化物含 有量	への付着性 付着強さ試験	点検時の視 覆工に生じた変色、 漏水、ひび割れの確認	技術の変形、変色の確認もしくは直接目視の可否	対象技術の耐火性 耐火性試験
分類	技術名	開発者	概要図・写真等	試験方法等	(JSCE-G 552-2007)	(NEXCO 試験法424)	(JIS A 1108,NEXCO 試驗法422-2004)	スランプ: JIS A 1101 空気量: JIS A 1128 塩化物含有量: JIS A 1144	(NEXCO 試験法 425)	視認性試験 (独自試験)	(NEXCO 試験法 424)	(NEXCO 試験法738)
				繊維補強	0	-	0	0	-	-	-	-
				表面シート埋込	-	0	-	-	-	-	-	0
				繊維シート+接着剤	-	0	-	-	0	0	0	0
				表面被覆樹脂	-	0	-	-	0	0	0	0
	コンクリート用ポリブ ロピレン短機維「バワル チップ JK」	バルチップ株式会社			最大荷重: 36.8kN 曲げじん性係数: 2.14N/mm2	-	39.4N/mm2 2.2N/mm2	スランプ:17.0cm 空気量:5.5% 塩化物合有量:0.008kg/m3	_	_	-	-
繊維補強	ボリストロン	大日製罐株式会社			最大荷重: 37.9kN 曲げじん性係数: 2.02N/mm2	_	34.9N/mm2 2.6N/mm2	スランプ:16.0cm 空気量:4.2% 塩化物含有量:0.026kg/m3	_	-	-	_
	コンクリート用ポリブ ロビレン短機維「バリレ チップPW・Jr」	バルチップ株式会社	(1 - a)		最大荷重:33.2kN 曲げじん性係数:0.58N/mm2	_	39.1N/mm2 2.2N/mm2	スランブ:17.5cm 空気量:5.4% 塩化物含有量:0.033kg/m3	_	_	-	_
表面シート埋込	覆工表面シート埋込技 術	帝人爾	TEAN TO THE TANK THE		-	最大荷重:2.57KN 最大荷重時変位量:24.2mm	-	-	-	-	-	【参考】 耐火性有 消炎時間:0秒 上端方向延焼範囲: 126mm
	無機接着剤 TS ボンド 40S 剥落防止工法	株式会社シクソン			-	最大荷重:2.92KN 最大荷重時変位量:17.6mm	-	-	田材破壊	びび割れ視認:0.1mm 色調確認:視認可 ※視認しているのは、模 擬ひび割れ (クラックス ケールの線)等であるた め、実際のひび割れの見 え方とは異なる。	把握可	耐火性有 消炎時間:0秒 上端方向延焼範囲: 129mm
繊維シート+接着剤	FF-TCC工法(V1仕 様, V2仕様) ※V2仕様を記載	前田工繊株式会社			-	最大荷重:4.94KN 最大荷重時変位量:48.7mm	-	-	母材破壊	ひび割れ視認: 0.5mm 色調確認: 視認可 ※視認しているのは、模 扱ひび割れ (クラックス ケールの線) 等であるた め、実際のひび割れの見 え方とは異なる。	把握可	耐火性有 消炎時間:0秒 上端方向延焼範囲: 245mm
	起薄膜スケルトンは く落防災コーティン グ		_	最大荷重:2.33KN 最大荷重時変位量:20.5mm	-	_	母材破壊	ひび割れ視認:0.05mm 色調確認:視認可 ※視認しているのは、模 擬ひび割れ(クラックス ケールの線)等であるた め、実際のひび割れの見 え方とは異なる。	把握可	耐火性有 消炎時間:0秒 上端方向延焼範囲: 195mm		

表 4.6 技術の性能一覧表

カタログやヒアリングで確認した項目

基本	情報		基本情報							耐久性	・維持管理性						
								nd:	八性					維持管理		再施工	
				該当技術	対象技術の劣化要因 (紫外線、水、アルカリ 性、排ガス、塩分、温 度、湿度等)	対象技術の 耐アルカリ性 の耐久性	付着面の 耐アルカリ性 の耐久性	対象技術の 耐候性 の耐久性	付着面の 耐候性 の耐久性	対象技術の 温冷繰り返し の耐久性	付着面の 温冷繰り返し の耐久性	対象技術の耐久年数 (根拠のあるもの)	劣化後の性状	点検時の チェックポイント	再施工の可否 (途継ぎ重ね長)	車線規制下での施 工における配慮事 項	狭隘部の施工 (ジェットファン背 面、照明灯具背面な ど)
分類	技術名	開発者	概要図・写真等	試験方法等	ヒアリング	試験結果を ヒアリング	試験結果を ヒアリング	試験結果を ヒアリング	試験結果を ヒアリング	試験結果を ヒアリング	試験結果を ヒアリング	ヒアリング	ヒアリング	ヒアリング	施工要領、 ヒアリング等	ヒアリング	ヒアリング
				繊維補強	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				表面シート埋込 繊維シート+接着剤	- 0	- 0	- 0	- 0	- 0	0	- 0	- 0	- 0	- 0	0	0	- O
				表面被覆樹脂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート用ポリブ ロピレン短機維「バリレ チップ JK」	バルチップ株式会社			-	_	-	-	-	-	_	-	_	-	_	_	-
繊維補強	ポリストロン	大日製罐株式会社			-	_	-	-	-	_	-	-	_	-	_	-	-
	コンクリート用ポリブ ロピレン短機維「バリレ チップPW・Jr」	バルチップ株式会社	(1-a)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
表面シート埋込	覆工表面シート埋込技 術	帝人輿	TERM TO THE TERM T		-	_	-	-	-	_	-	-	_	-	-	-	_
	無機接着剤 TS ボンド 40S 剥落防止工法	株式会社シクソン			特になし		トンネルはく落防止用機維シート接着工の湿潤強さ試験方法 (NEXCO試験法735) (試験結果) 途膜内の凝集破壊 (2.0N/mm2)		-	-	シート接着工の湿潤強さ試験方法 (NEXCO試験法736) 【試験結果】		いが、細かいクラッ クが生じることが考 えられる。材料はガ ラスなので変色はほ とんどない。		再施工可 (100mm以上)	高所作業車のバケットに養生を行い、樹脂や粉塵が対向車線に飛散しないようにする。	手が届く範囲であれ
繊維シート+接着剤	FF-TCC工法(V1仕 様, V2仕様) ※V2仕様を記載	前田工織株式会社			特になし	-	方法 (NEXCO試験法425) [試験結果] 付着強度 (23℃): 4.13N/mm2 負荷前/負荷後の保持率	塗料一般試験方法 促進耐 候性及び促進耐光性 (キセ ノンランプ法) (JIS K 5600-7-7) 2,500時間 (試験結果) 表面のひび割れ剥がれを認 めず。	方法 (NEXCO試験法425) 【試験結果】 付着強度(23℃): 4.13N/mm2	-	方法 (NEXCO試験法425) [試験結果] 付着強度 (23℃): 4.13N/mm2 負荷前/負荷後の保持率 (23℃):113%	間まで変色等がないことを 確認している。ただし、試 験時間と耐久年数に相関関 係がかられるわけではない。 ので、耐久年数は不明である。 ※試験方法、環境、材料に よって耐久年数(試験時間 と耐久年数(試験時間 と耐久年数との相関関係)	えられる。	近接目視や触診により材料 の劣化や覆工からのうき等 を確認する。	再施工可 (50mm以上)		手が入る幅があり、 手が届く範囲であれ は施工可能
	超薄膜スケルトンは く落防災コーティン グ	株式会社エムビーエス			漏水、アルカリ、塩分	_	-	土木学会基準 表面被覆材 の性能評価に関する試験方 法 (JSCE-K511) 3,000時間 [試験結果] 白亜化がなく、塗膜に膨 れ、割がれのない事 が確認された。	-	-	シート接着工の湿潤強さ試験方法	耐候性試験により3,000時間まで変色等がないことを 確認しているので、JR等 の基準に即して20年程度 は耐火性があるものと想定される。 ※試験方法、環境、材料に よって耐久年数との相関関係) は変動する。	ಸ ರಿಗಿತ.	近接目視や触診により材料 の劣化や電工からのうき等 を確認する。	再施工可 (50mm以上)		手が入る幅があり、 手が届く範囲であれ ば施工可能

					表 4.7	技術(の性能-	一覧表						カタログやヒアリングで確	:n: +:150
基本	情報		基本情報											ガタログやピアリングで確認	総した項目
			OD-P- IN TA					<u> </u>	施工条件					構造変化点等への通	前用性
				該当技術			施工手順		坑内温度	坑内湿度	覆工表面 の含水率	施工時の 覆工の 状態	覆工打設後から技 術を施工 するまでの期間	覆工目地部	断面変化部
分類	技術名	開発者	概要図・写真等	試験方法等			施工要領、ヒアリング等		施工要領、ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	ヒアリング	ヒアリング
				繊維補強			0			-	7-	-	-	0	0
				表面シート埋込 繊維シート+接着剤			0		- 0	- 0	- 0	- 0	- 0	0	0
				表面被覆樹脂			0		0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート用ポリプ ロピレン短繊維「バル チップ JK」	バルチップ株式会社			速 組 根 投 入 元 保 投 入 元 保 分 間 の 成 か ら 高 速				通常の覆工 と同様	通常の覆工と同様	通常の覆工 と同様	_	-	ij	可
総維補強	ポリストロン	大日製羅株式会社			高 速 根 根 足 神 1 2 3 3 3 4 5 6 6 6 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	機 推 投 入 完 了 後 2 分 問 高 連			通常の覆工と同様	通常の覆工と同様	通常の覆工 と同様	_	-	១	可
	コンクリート用ポリプ ロピレン短機維「バル チップPW・Jr」	バルチップ株式会社	(1-a)		日 憲 接	商速搬拴 2~3分間			通常の覆工 と同様	通常の覆工と同様	通常の覆工 と同様	-	_	ij	គ
表面シート埋込	覆工表面シート埋込技 術	帝人闺	BASK (-)		シ ト の 切 断 加 工	シートの 固定			通常の覆工と同様	通常の覆工 と同様	通常の覆工 と同様	_	_	三角形目地:可 台形目地:上辺部にシート が添えば可能。折れ点が2 箇所あるため、添わせるの が困難であるため不可	
	無機接着剤 TS ポンド 40S 剥落防止工法	株式会社シクソン			下 地	断面 修復工	シ ト 貼 付	表 面 被 值 工	5°CIX.E	85%未満			が3週間以上	日地またぎでの施工可 日地またぎにすれば問題な く施工できる。日地部に注 入材を注入してから施工す ることが望ましい。	可
繊維シート+接着剤	FF-TCC工法(V1仕 様,V2仕様) ※V2仕様を記載	前田工機株式会社			下地処理工	投档機器下途の	シ ト 貼 付	灰面被重工	5℃以上 35℃以下	85%以下	8%以下	コンクリート表面に結番や潮水がないこと	RM#0466	目地またぎでの施工可 自由長(躯体に投着させず FRP化する区間)を設けた 施工実績があるため施工可	
	超薄酸スケルトンは く落防災コーティン グ	株式会社エムビーエス			下地のトトトルの大学を表現しています。	表面被覆工			2℃以上 35℃以下	90%未満	10%以下	漏水や結露等が ある場合は施工 不可	打設後の乾燥期間 が4週間以上目 つ、表面含水率 10%以下	日地またぎでの施工可 日地部を浮かして施工する ことが可能である。目地部 をまたいで施工した場合で もはがれ等は生じていな い。	. ਜ਼

表 4.8 技術の性能一覧表

■ カタログやヒアリングで確認した項目

基本	情報		基本情報							適用条件								(延長1.0	経済性 000m、覆工厚30cm、覆	夏工表面15,000m2)
										標準施工仕様								(,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	対象技術の工期・	
				該当技術	投入量	投入時の条件 (材料添加技術)	断面図	プライマーエ 標準 途布量	プライマーエ 標準 施工回数	プライマー工養生条件	プライマーエ 可使時間 (分)	接着剤可使時間(分)	表面被覆 標準 途布量	表面被覆 標準 施工回数	表面被覆 養生条件 (温度・湿度・ 期間等)	表面被覆 可使時間 (分)	坑口部における 保護途装の要否		経済性(標準覆工打設か ら追加となる施工費用 (機労材))	効果発現に 要する日数
分類	技術名	開発者	概要図・写真等	試験方法等	施工要領等	施工要領等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、 ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、	施工要領、ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、 ヒアリング等	施工要領、ヒアリング等	ヒアリング	ヒアリング 【2022年2月時点】	ヒアリング
				繊維補強	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
				表面シート埋込 繊維シート+接着剤	-	-	-	- 0	- 0	- 0	- 0	- 0	- 0	- 0	- 0	- 0	- 0	0	0	0
				表面被覆樹脂	-	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート用ポリブ ロビレン短機維「ハワレ チップ JK」	バルチップ株式会社			0.3vol% (2.73kg/m3)	4m3で3分間を目安にドラムを高速 回転しながら、繊維補強材を投入 し、投入完了後も2分間高速回転を 継続する。	-	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	0日	18,728干円+ トンネル 作業員×覆工施工日数	覆工打設後から28日
繊維補強	ポリストロン	大日製罐株式会社			0.3vol%	投入前に1分間後続攪拌し、4m3で 3分間を目安にドラムを高速回転し ながら、繊維補強材を投入し、投 入完了後も2分間高速回転を継続す る。	-	_	-	-	-	_	-	_	-	-	_	0日	14,500千円 + 10千円/日 ×覆工施工日数	覆工打設後から28日
	コンクリート用ポリブ ロビレン短機維「バリレ チップPW・Jr」	バルチップ株式会社	(1-a)		0.05vol% (0.455kg/m3)	アジテータ車のドラムを高速回転 しながら、1袋目を投入し、ドラム 内でこの袋が破れたことを確認したら(おおよそ10~20秒間隔)、 2袋目も同様に投入する。以降、同 様に必要量を投入し終えたら、そ の時点から2~3分間高速機準を継 続する。	I	_	I	-	_	_	_	_	-	-	_	0日	5,400千円 + トンネル作 業員×覆工施工日数	覆工打設後から28日
表面シート埋込	覆工表面シート埋込技 術	帝人闺	STEPA STATE OF THE		_	_	_		-	_	_	_	_	_	_	_	_	0日	11,937千円	覆工打設後から28日
	無機接着剤 TS ボンド 40S 剥落防止工法	株式会社シクソン			_	-	● では、 ● では、 ● では、対 ● では、対 ● では、対 ● では、対 ● では、対 ● では、対 ・ のは、対 ・ のは、が ・ のは、 ・ のは、	【下塗り工】 0.25kg/m2	【下塗り工】 1層	【下塗り工】 15分程度	【下塗り工】 15分程度	夏場:60分 冬場:90分	0.35kg/m2	1層	不要	夏場:60分冬場:90分	無機接着剤のため保護塗装は不要	88日	293,565千円	1日程度
繊維シート+接着剤	FF-TCC工法(V1仕 様, V2仕様) ※V2仕様を記載	前田工繊株式会社			_	_	# 選エコンクリート	0.15kg/m2	1層	指触硬化確認	20℃ : 30 分	_	FFダイン(下塗 り): 0.3kg/m2 FFシート: 1.1kg/m2 FFダイン(上塗 り): 0.2kg/m2	2層	5℃以上湿度 85%以下、結 霧無きこと。翌 日中には表面は 指触硬化。		不要	110日 【下地処理 エ、シート 貼付けエ: 4パーティ ブライマー エ:2パー ティ想定】	337,407千円 【下地処理工、シート 貼付け工:4パーティ プライマーエ:2パー ティ想定】	7日
	超薄膜スケルトンは く落防災コーティン グ	株式会社エムビーエス			_	-	■	ブライマー不要	ブライマー不要	_	_	塗布直後	【ベースコー ティングエ + ファイナルコー ティングエ】 0.7//m2	2層	指触較之操發症認	20℃、50%: 60分	不要	300⊟	250,386千円	7日

表 4.9 技術の性能一覧表

□ リクワイヤメント確認試験等により確認した項目

基本	情報		基本情報		性能確認	忍項目		構造	影響確認	項目 T	維持管理	
					はく落ま	·····································	覆エコンクリート	福垣 選エコンクリートの品質	覆エコンクリート	点検時の視		対象技術の耐火性
				該当技術	曲げじん性試験	押抜き試験	強度への影響 選工コンクリートの圧 縮・引張強度	スランプ値・空気量・塩化物合有量	への付着性 付着強さ試験	選工に生じた変色、 漏水、ひび割れの確認	技術の変形、変色の確認もしくは直接目視の可否	耐火性試験
分類	技術名	開発者	概要図・写真等	試験方法等	(JSCE-G 552-2007)	(NEXCO 試験法424)	(JIS A 1108,NEXCO 試験法422-2004)	スランプ: JIS A 1101 空気量: JIS A 1128 塩化物含有量: JIS A 1144	(NEXCO 試験法 425)	視認性試験 (独自試験)	(NEXCO 試験法 424)	(NEXCO 試験法738)
				繊維補強	0	-	0	0	-	-	-	-
				表面シート埋込	-	0	-	-	-	-	-	0
				繊維シート+接着剤	-	0	-	-	0	0	0	0
				表面被覆樹脂	-	0	-	-	0	0	0	0
	ボンドKEEPメンテエ 法 VMクリア	コニシ株式会社			-	最大荷重:2.16KN 最大荷重時変位量: 33.1mm	_	_	母材破壊	ひび割れ視認: 0.05mm 色調確認: 視認可 ※視認しているのは、模 擬ひび割れ (クラックス ケールの線) 等であるた め、実際のひび割れの見 え方とは異なる。	如据司	耐火性有 消炎時間:0秒 上端方向延焼範囲: 390mm
	RTワンガードクリア 工法	シーカ・ジャパン株式 会社			-	最大荷重:2.40KN 最大荷重時変位量: 19.6mm	_	_	母材破壞	でど割れ視認: 0.05mm 色調確認: 視認可 ※視認しているのは、模 類びび割れ (クラックス ケールの線) 等であるた め、実際のひび割れの見 え方とは異なる。		耐火性有 消炎時間:0秒 上端方向延焼範囲: 465mm
表面被覆樹脂	スケルトンクリアーコーティング	株式会社エムビーエス			-	最大荷重:0.77KN 最大荷重時変位量: 43.8mm	-	_	母材破壊	ひび割れ視認: 0.05mm 色調確認: 視認可 ※視認しているのは、模 擬ひび割れ (クラックス ケールの線) 等であるた め、実際のひび割れの見 え方とは異なる。	抑掘可	耐火性有 消炎時間:0秒 上端方向延焼範囲: 175mm
	タフネスコート工法 クリア	タフネスコート技術研 究会			-	最大荷重:1.12KN 最大荷重時変位量: 47.5mm	-	-	界面破壊	びむ割れ視認: 0.25mm 色調確認: 視認可 ※視認しているのは、模 擬ひび割れ (クラックス ケールの線) 等であるた め、実際のひび割れの見 え方とは異なる。		耐火性有 消炎時間:0秒 上端方向延焼範囲: 240mm
	ニューコートポリウ レアライニングシス テム		-	最大荷重:1.7KN 最大荷重時変位量: 22.3mm	_	_	母材破壊	ひび割れ視認:判別不能 色調確認:視認可 ※視認しているのは、模 接びび割れ(クラックス ケールの線)等であるた め、実際のひび割れの見 え方とは異なる。	- 四提司	耐火性有 消炎時間:0秒 上端方向延焼範囲: 480mm		

表 4.10 技術の性能一覧表

カタログやヒアリングで確認した項目

基本情報 基本情報 耐久性・維持管理性 耐久性 維持管理 再施工 対象技術の劣化要因 車線規制下での施 工における配慮事 面、照明灯具背面な 該当技術 対象技術の 付着面の 対象技術の 付着面の 対象技術の 付着面の (紫外線、水、アルカリ 対象技術の耐久年数 再施工の可否 耐アルカリ性 耐アルカリ性 耐候性 耐候性 温冷繰り返し 温冷繰り返し 劣化後の性状 性、排ガス、塩分、温 度、温度等) (根拠のあるもの) チェックポイント (塗継ぎ重ね長) 分類 技術名 開発者 試験結果を 試験結果を 試験結果を 試験結果を 試験結果を 試験結果を 施工要領、 試験方法等 ヒアリング ヒアリング ヒアリング ヒアリング ヒアリング ヒアリング ヒアリング等 ヒアリング ヒアリング ヒアリング 繊維補強 表面シート埋込 0 繊維シート+接着剤 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 表面被覆樹脂 0 0 0 0 0 候性及び促進耐光性(キセ)方法 ザー試験でも1,400時間 表面のひび割れが考め劣化や覆工からのうき等 ケットに養生を行 手が届く範囲であれ (NEXCO試験法425) (NEXCO試験法425) (NEXCO試験法425) (NEXCO試験法425) (NEXCO試験法425) (46年相当) 行ってお えられる。 を確認する。 、樹脂や粉塵が ば施工可能 ノンランプ法) 【試験結果】 【試験結果】 (JIS K 5600-7-7) 【試験結果】 【試験結果】 【試験結果】 変色等がないことを確 向車線に飛散し ボンドKEEPメンテエコニシ株式会社 | 塗膜にふくれ・われ・はが | 基板と塗膜間の界面破壊 | 塗膜にふくれ・われ・はが 基板と塗膜間の界面破壊 温冷の繰り返し、 1.200時間 基板破壊 認している。 再施工可 ないようにする。 付着強度:1.1N/mm2 ※試験方法、環境、材料に アルカリ性 れを認めない。 付着強度: 2.6N/mm2 【試験結果】 付着強度: 2.2N/mm2 れを認めない。 (50mm以上) 白亜化、割れ、膨れ、剥が よって耐久年数(試験時間 れ等の異常は見られない。 と耐久年数との相関関係) は変動する。 はく落防止の耐久性能試験 はく落防止の耐久性能試験 はく落防止の耐久性能試験 はく落防止の耐久性能試験 はく落防止の耐久性能試験 はく落防止の耐久性能試験 間傾性試験により3,000時 透明な材料なので、 近接目視により技術の劣化 方法 方法 方法 方法 あた 方法 間 (10年相当) まで変色 変色は目立たない や選工からのうき等を確認 高所作業車のバ 手が入る幅があり、 ケットに養生を行 手が届く範囲であれ (NEXCO試験法425) (NEXCO試験法425) (NEXCO試験法425) (NEXCO試験法425) (NEXCO試験法425) 等がないことを確認してい が、ひび割れが生じ する。 、樹脂や粉塵がぱ施工可能 [試験結果] (試験結果) 塗膜にふくれ・われ・はが 基板と塗膜間の界面破壊 (JSCE-K511) 【試験結果】 【試験結果】 【試験結果】 た場合でバ制れ周辺 対向車線に飛散し | 全膜にふくれ・われ・はが | 基板と塗膜間の界面破壊 | ※試験方法、環境、材料に が白く変色すること RTワンガードクリア シーカ・ジャパン株式 再施工可 700時間 基板破壊 ないようにする。 れを認めない。 付着強度: 2.70N/mm2 【試験結果】 付着強度: 3.04N/mm2 れを認めない。 付着強度: 2.31N/mm2 よって耐久年数(試験時間 が考えられる。 (150mm以上) 会社 白亜化はなく、塗膜に膨 と耐久年数との相関関係) れ・割れ・剥がれがない は変動する。 高所作業車のバ 手が入る幅があり、 ケットに養生を行 手が届く範囲であれ 土木学会基準 表面被覆材 トンネルはく落防止用繊維 耐候性試験により3,000時 材料表面の変色が考し近接目視や触診により材料 の性能評価に関する試験方 シート接着工の湿潤強さ試 間まで変色等がないことを えられる。 の劣化や覆工からのうき等 験方法 確認しているので、JR等 を確認する。 、樹脂や粉塵が ば施工可能 (NEXCO試験法736) (JSCE-K511) の基準に即して20年程度 対向車線に飛散し 【試験結果】 は耐久性があるものと想定 ないようにする。 3,000時間 表面被覆樹脂 株式会社エムビーエス 漏水、アルカリ件、塩分 【試験結果】 母材破壊 (150mm以上) ※試験方法、環境、材料に 白亜化がなく、途聴に膨 付着強度: 3.0N/mm2 れ、割れ、剥がれのない事 よって耐久年数(試験時間 が確認された。 と耐久年数との相関関係) は変動する。 耐候性試験により2,000時 材料表面の白亜化が 近接目視や触診により材料 高所作業車のバ 手が入る幅があり こよる暴露試験方法 間(10年相当)まで変色 考えられる。 の劣化や覆工からのうき等 ケットに養生を行 手が届く範囲であれ (JIS K 7350-4) 等がないことを確認してい を確認する。 、樹脂や粉塵がぱ施工可能 対向車線に飛散し 2,000時間 タフネスコート工法 タフネスコート技術研 【試験結果】 ※試験方法、環境、材料に 再施工可 ないようにする。 紫外線、背面からの漏水 クリア 引張強度:16.4N/mm2 よって耐久年数(試験時間 (現在検討中) と耐久年数との相関関係) 強度保持率:89% 高所作業車のバ 手が入る幅があり、 ケットに養生を行 手が届く範囲であれ 紫外線蛍光ランプウェサ 耐候性試験により4,000時 材料表面の変色 考 近接目視や触診により材料 試験機による試験 間 (10年相当) で初期の えられる。 の劣化や覆工からのうき等 を確認する。 い、樹脂や粉塵が ば施工可能 (ASTM G 154) 80%程度の強度が確保で きていることを確認して ニューコートポリウ 【試験結果】 再施工可 ないようにする。 レアライニングシス 金森藤平商事株式会社 特になし ※試験方法、環境、材料に 引張強度: 18.5N/mm2 (150mm以上) よって耐久年数(試験時間 伸び率:336% と耐久年数との相関関係) は変動する。

表 4.11 技術の性能一覧表

カタログやヒアリングで確認した項目 基本情報 基本情報 施工条件 構造変化点等への適用性 該当技術 **覆丁打設後から技** 施工時の 坑内 温度 覆工表面 施工手順 覆工目地部 断面変化部 覆工の 術を施工 湿度 の含水率 状態 分類 技術名 開発者 概要図・写真等 施工要領、 ヒアリング等 施工要領、 施工要領、 施工要領、 施工要領、 ヒアリング ヒアリング ヒアリング等 ヒアリング等 ヒアリング等 ヒアリング等 ヒアリング等 繊維補強 表面シート埋込 0 0 0 繊維シート+接着剤 0 0 0 0 0 0 0 0 表面被覆樹脂 0 0 0 0 0 ボンドKEEPメンテエコニシ株式会社 目地形状に沿っての施工可 -5℃以上 85%以下 8%以下 はけ等で樹脂を塗り、目地 法 VMクリア 40℃以下 形状に沿った施工が可能。 冬期:4週間 RTワンガードクリア シーカ・ジャパン株式 5℃以上 85%以下 8%以下 ある。 目地形状に沿っての施工可 スケルトンクリアー株式会社エムビーエス 2℃以上 表面被覆樹脂 90%未満 .0%以下 35℃以下 コーティング 目地形状に沿っての施工可 漏水や結露等が ある場合は施工 円 担間以上 目地形状に沿った施工が可 タフネスコート工法 タフネスコート技術研 5℃以上 能。かなりの突出圧力で材 料を吹き付けるので、三角 85%以下 8%以下 35℃以下 目地の先端も施工は可能で 漏水や結露等が 打設後の乾燥期 間が4週間以上 能 5℃以上 レアライニングシス 金森藤平商事株式会社 90%未満 20%以下 35℃以下

表 4.12 技術の性能一覧表

■ カタログやヒアリングで確認した項目

基	本情報		基本情報							適用条件								(延長1,0	経済性 000m、覆工厚30cm、覆工	表面15,000m2)
										標準施工仕様									対象技術の工期・工碁	
				該当技術	投入量	投入時の条件 (材料添加技術)	新面図	プライマーエ 標準 途布量	プライマーエ 標準 施工回数	プライマー工養生条件	プライマーエ 可使時間 (分)	接着剤 可使時間 (分)	表面被覆 標準 途布量	表面被覆 標準 施工回数	表面被覆 養生条件 (温度・温度・ 期間等)	表面被覆 可使時間 (分)	坑口部における 保護途装の要否		経済性(標準溜工打設か ら追加となる施工費用 (機労材))	効果発現に 要する日数
分類	技術名	開発者	概要図・写真等	試験方法等	施工要領等	施工要領等	施工要領、ヒアリング等	施工要領、	施工要領、 ヒアリング等	施工要領、	施工要領、 ヒアリング等	施工要領、	施工要領、	施工要領、	施工要領、	施工要領、 ヒアリング等	施工要領、	ヒアリング	ヒアリング 【2022年2月時点】	ヒアリング
				繊維補強	0	0	-	-	-	j	-	ij	j	-	-	-	-	0	0	0
				表面被覆樹脂	-	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
	ボンドKEEPメンテエ 法 VMクリア	コニシ株式会社			-	-	● 覆エコンクリート ● ブライマー - 炎出地復材	0.12kg/m2	1層	23℃: 1.0時間 ~5日 (指触で乾燥 を確認)	1成分形であ るため、可使 時間は設定な し	-	1.0kg/m2	1層	-5℃以上 85%以下	23℃: 60分以内	不要	76日 【5パー ティ2交替 を想定】	296,100千円 [5パーティ2交替を想 定]	14日
		シーカ・ジャパン株式 会社			_	_	● ■ 電エコンクリート ●	0.15kg/m2	1層	15~25℃: 0.5~3時間 (指触硬化確 認)	15~25℃: 60分以内	_	1.2kg/m2	1層	15~25℃: 12~18時間	15~25℃: 20分以内	不要	228日	247,155千円	7日
表面被覆樹脂	スケルトンクリアーコーティング	株式会社エムビーエス			-	_	●	プライマー不要	ブライマー不要	ブライマー不要	ブライマー不要	_	0.5l/m2	1層	20℃、50%: 1時間以上	20℃、50%: 1時間	不要	150⊟	143,114干円	7日
	タフネスコート工法 クリア	タフネスコート技術研 究会			_	_	■	開発中	開発中	開発中	開発中	_	開発中	開発中	開発中	開発中	開発中	265⊟	395,130千円	0.5⊟
	ニューコートボリウ レアライニングシス テム	金森藤平商事株式会社			_	_	● ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	0.275l/m2	1層	20 ℃:6~8 時間後	45 分	_	2.4I/m2	1層	5~35℃: 約24時間	ポリウレアは事前 に70℃に加温する ため、吹付後約30 秒で硬化する。	必要	100日	498,000千円	3日