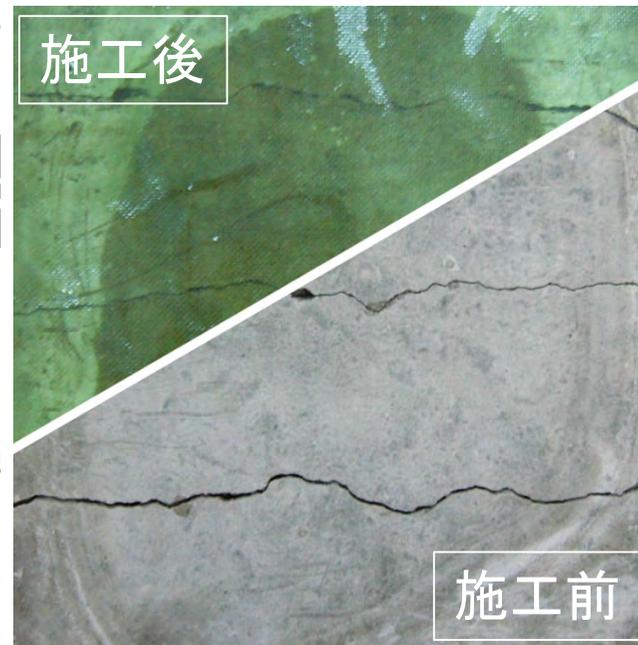


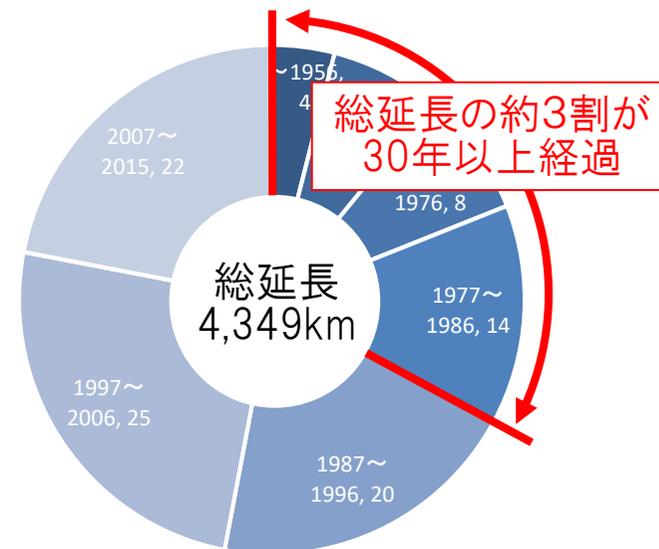
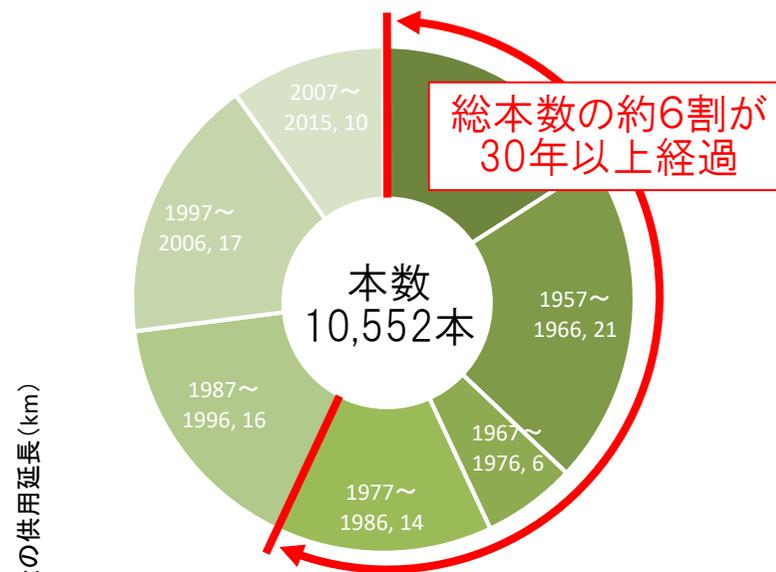
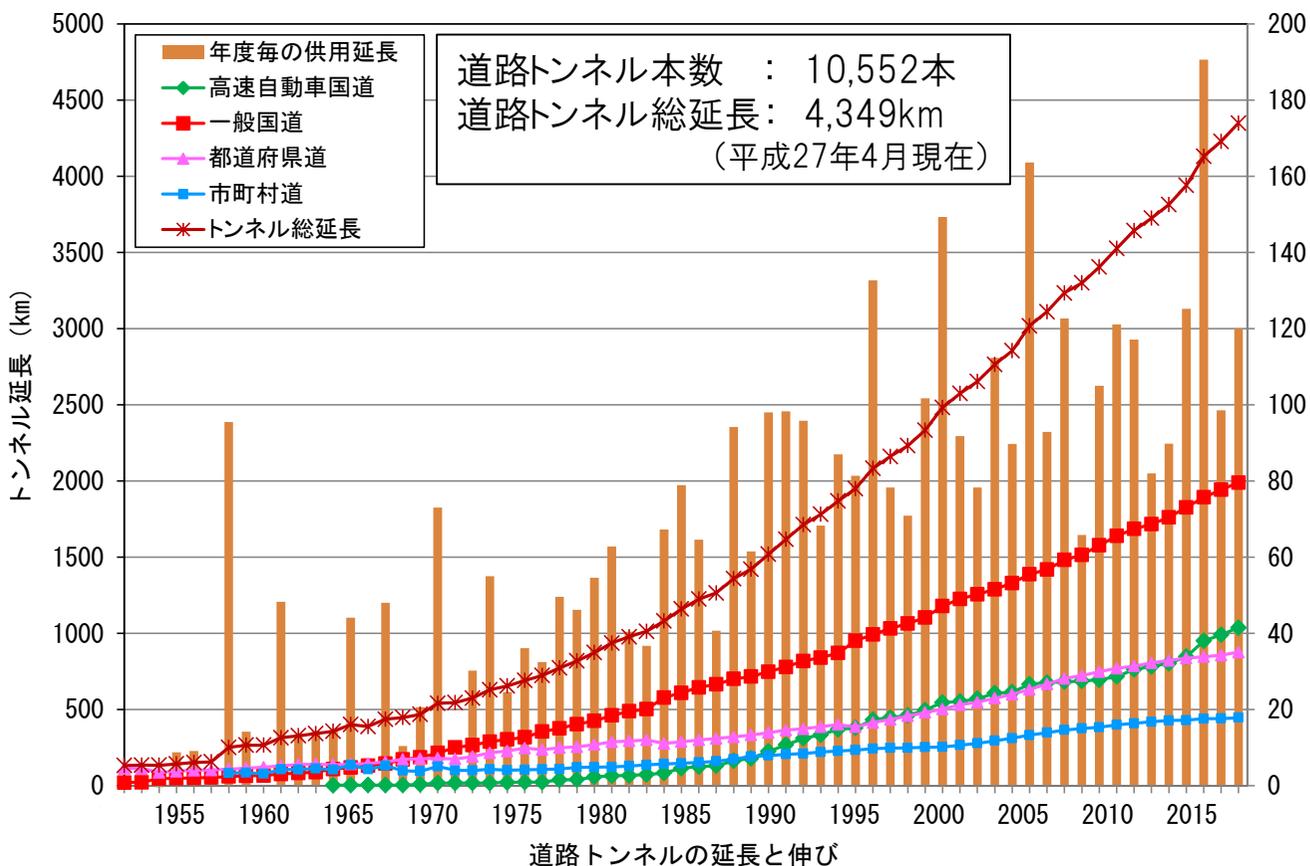
トンネルの補修技術(NAV工法)

—可視性の高い覆工コンクリート片はく落防止対策工法—



(国研)土木研究所 つくば中央研究所
道路技術研究グループ(トンネル)
交流研究員 坂本 昇

- 全国の道路トンネル延長は年々増加
総本数10,552本, 総延長4,349km(平成27年4月現在)
- 30年以上経過は, 総本数の約6割, 総延長の約3割をしめる



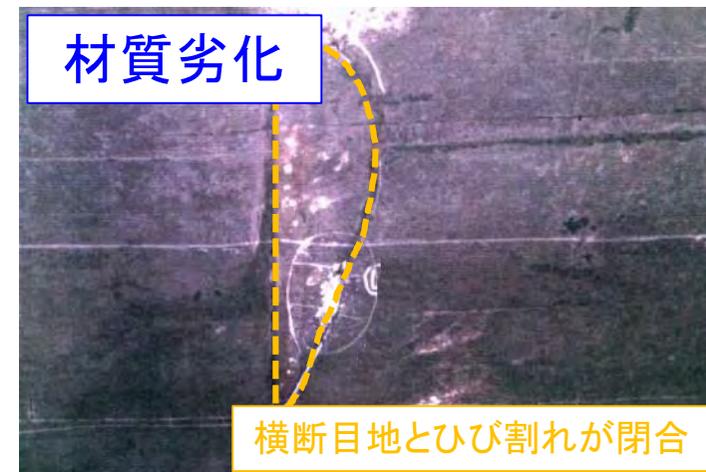
- 変状は、「外力」、「材質劣化」、「漏水」に区分
- 材質劣化による変状が多い。「はく落防止対策工」が多く適用



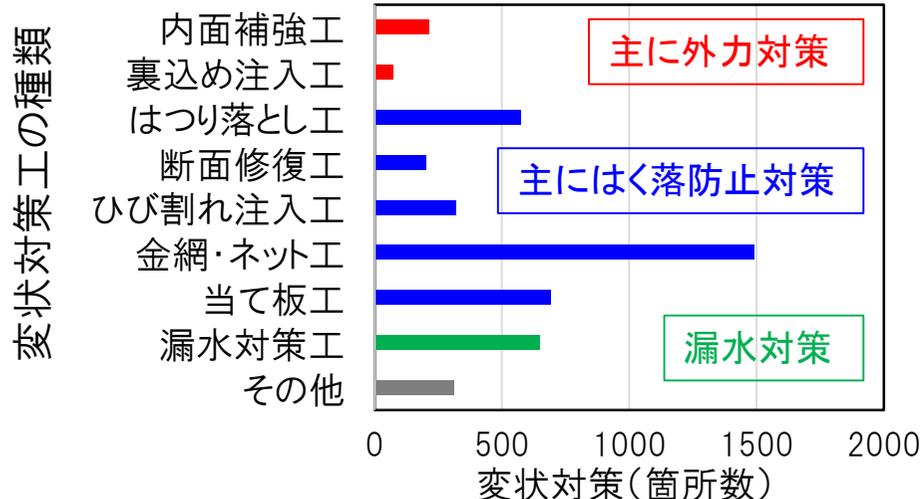
→構造の安定性が低下
【補強対策工が必要】



→ブロック化し落下のおそれ
【はく落防止対策工が必要】



→ブロック化し落下のおそれ
【はく落防止対策工が必要】



● 変状対策工の適用実績

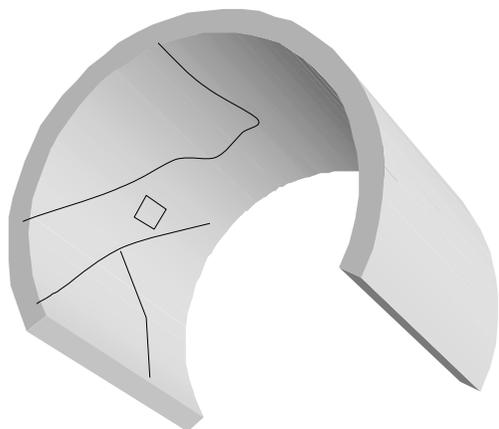
- ・はく落防止対策工の適用が多い
- ・金網・ネット工について、当て板工が多い

【データ数】

矢板工法 266本
NATM 157本
変状対策箇所数 4,521箇所

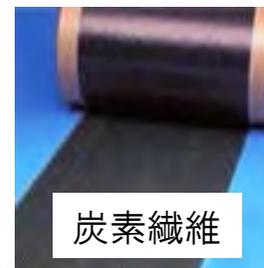
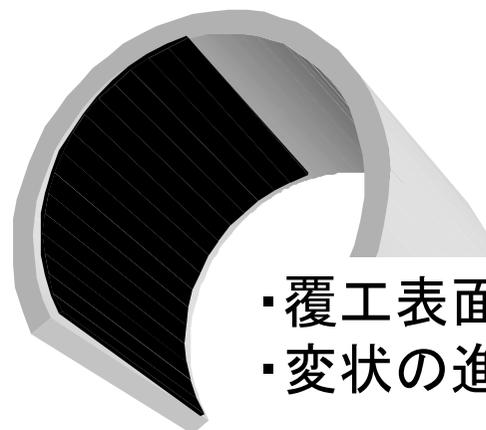
- 従来のはく落防止対策工※は，対策後，覆工コンクリート表面の観察ができない（※例）炭素繊維シート接着，アラミド繊維シート接着，鋼板接着等）
- 対策後においても，覆工コンクリート表面の変状が観察可能なはく落防止対策工の開発が必要 → **NAV工法の開発**

材質劣化による変状が発生したトンネル

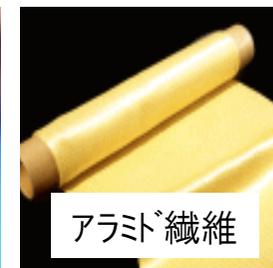


うき・はく離等，コンクリート片の落下のおそれ
【はく落防止対策工が必要】

従来技術



炭素繊維



アラミド繊維

- ・覆工表面の観察が不可能
- ・変状の進展の確認ができない

NAV工法

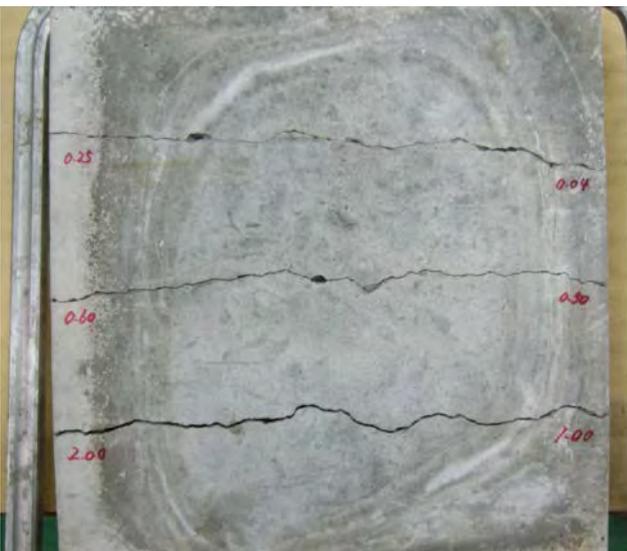
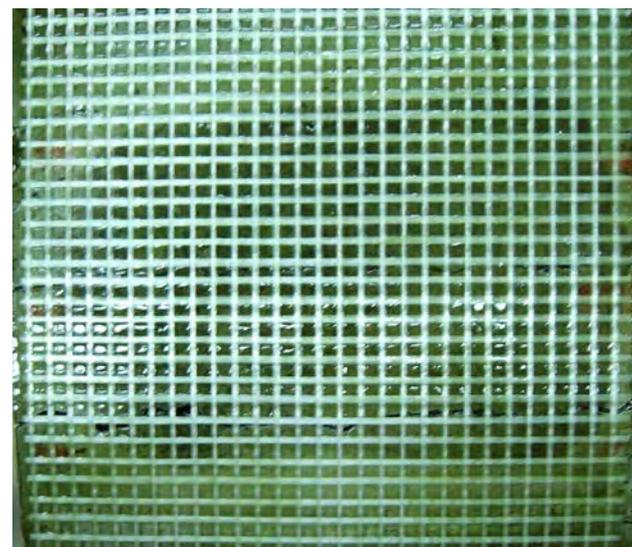


- ・覆工表面の観察が可能
- ・変状の進展の確認ができる

- NAV工法 (**N**ylon **A**crylics **V**isible工法)
- ナイロクロス(不透明な繊維シート)に、接着材料を繊維のフィラメント間に十分含浸させる ⇒ **可視光透過FRPの形成**

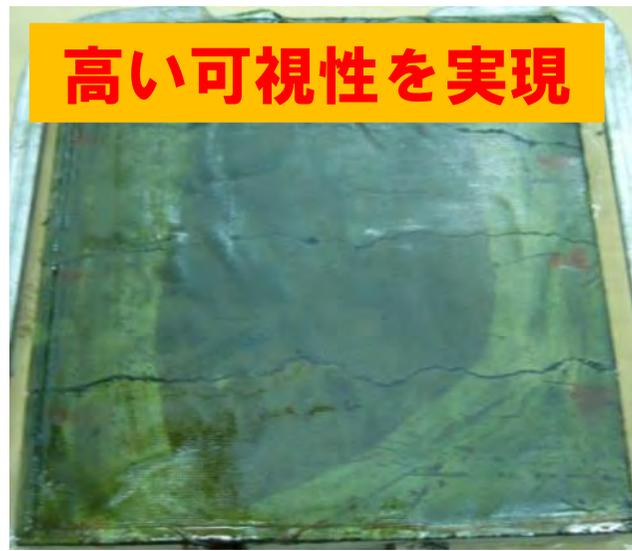


従来技術



NAV工法

高い可視性を実現



● 可視性

ナイロクロスは接着剤を含浸硬化すると透明度が高く、可視性に優れる

● はく落防止性能

押抜き載荷試験等によりコンクリートへの接着性、押抜き耐荷力を確認

● 施工性

材料が柔らかいので、施工面の凹凸に対する追従性が高い
接着剤として用いるアクリル樹脂は、低温硬化性で寒冷地での施工が可能

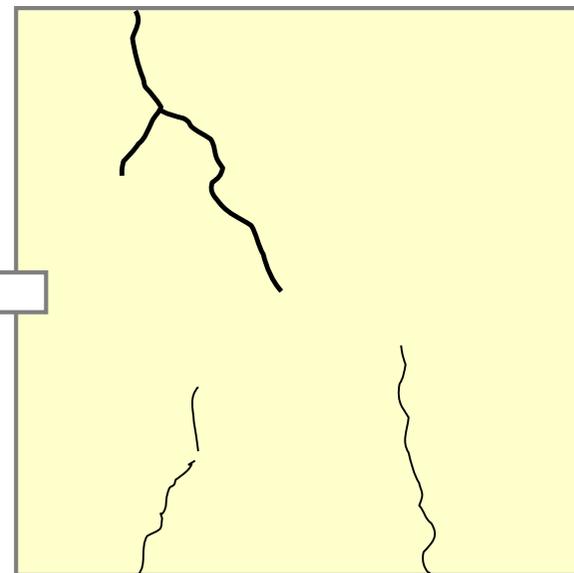
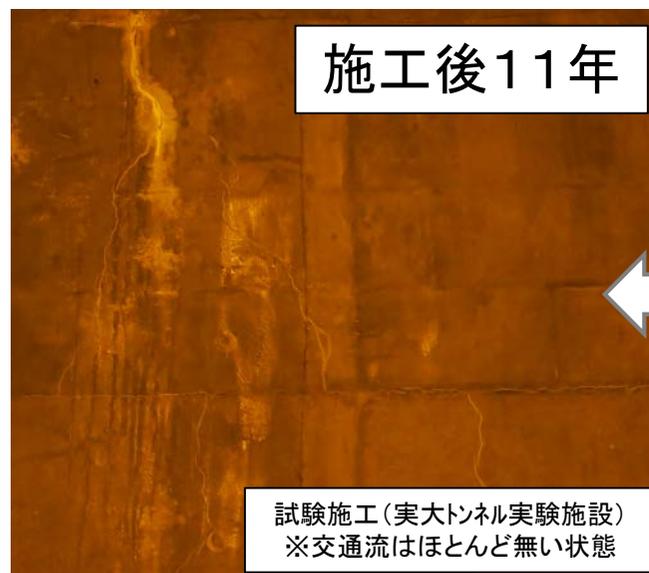
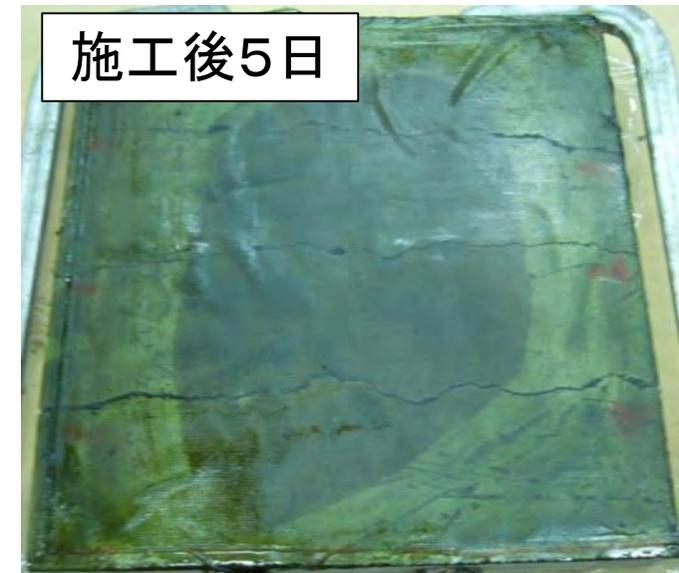
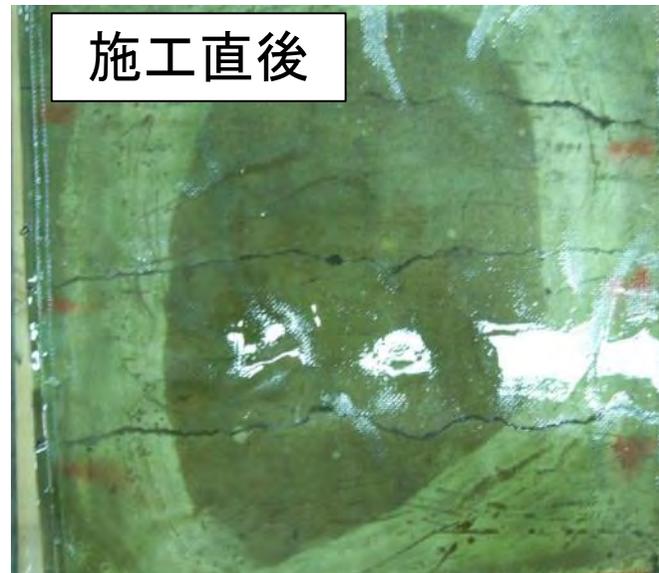
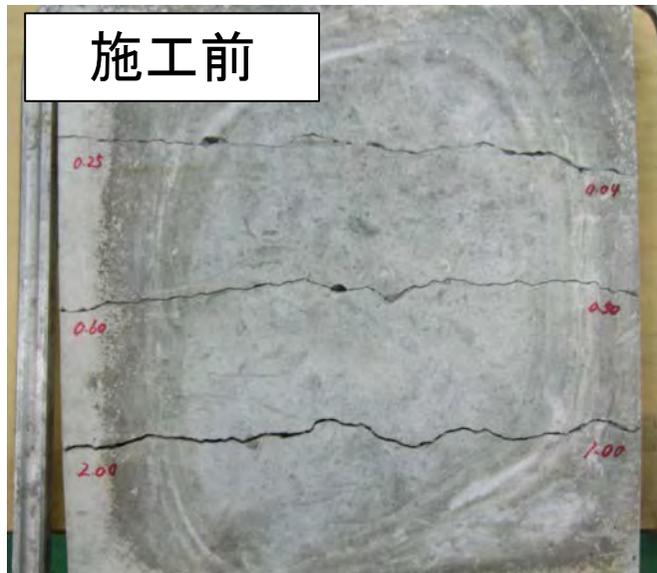
● 工期

接着剤として用いるアクリル樹脂は、速硬化性を有するため工期短縮が可能
凹凸に追随しやすいため、不陸修正と接着の工程を短縮可能

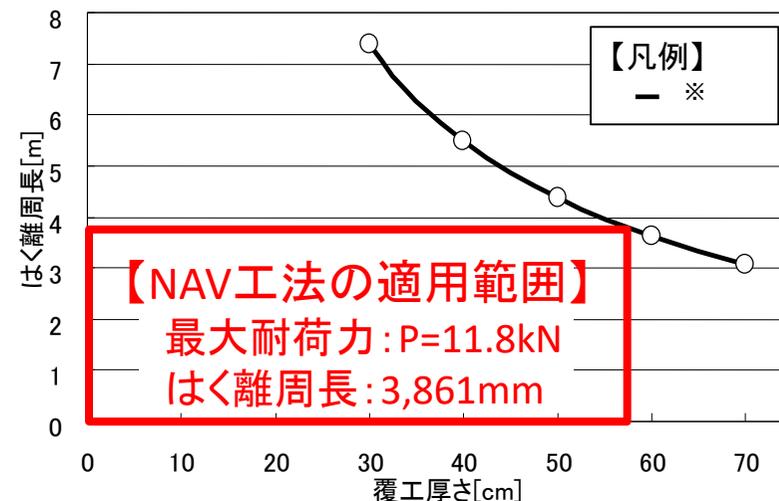
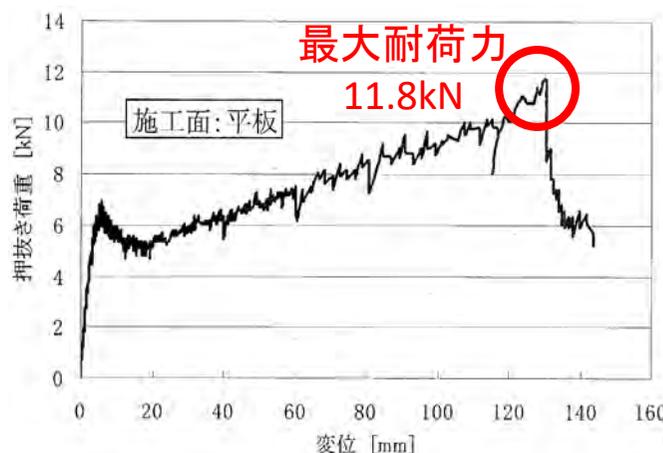
● 経済性

ナイロクロスは炭素繊維・アラミド繊維の価格の約1/3～1/5程度
経済性に優れる

- 施工直後から短期の段階において、可視性を確認
- 長期経過(約11年)の段階においても、可視性の耐久性を確認



- 押抜き载荷実験により, はく落防止性能(耐荷力)を確認
- 载荷荷重の増加に伴い, シートがはく離進展する形態
- 最大耐荷力は約12kN, 適用範囲ははく離周長約3.8mとなる



※「覆工厚さを考慮したはく離周長」と「耐荷力」の関係

適用範囲

- 耐荷力は, 式(1)により算出可能

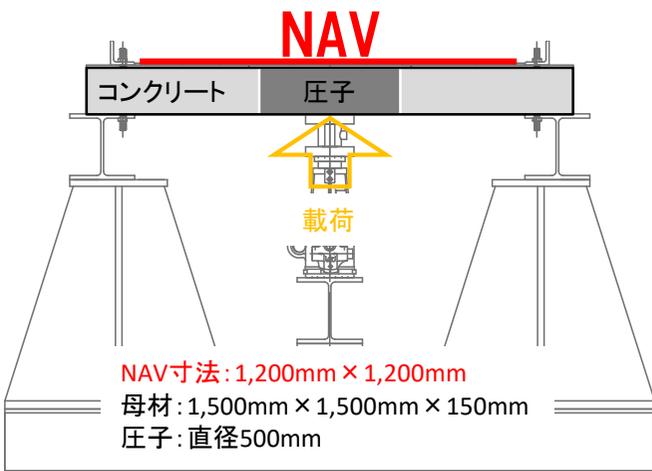
耐荷力:Pは, 「単位はく離強さ:S(N/mm)」と「はく離周長:L(mm)」の積で評価が可能
NAV工法の場合, 実験結果から, 単位はく離強さ:Sは「3.17(N/mm)」が得られた
よって, NAV工法の耐荷力:Pは式(1)により算出が可能

$$\text{耐荷力 } P(\text{N}) = 3.17 \times \text{はく離周長 } L(\text{mm}) - 440(\text{切片}) \quad \text{---(式1)}$$

(ただし, 最大荷重11.8kNを上回ってはならない)

- 適用範囲は, はく離周長3,861mmとなる

適用範囲は, (式1)から, 最大荷重が11.8kNのとき, はく離周長3,861mmとなる。

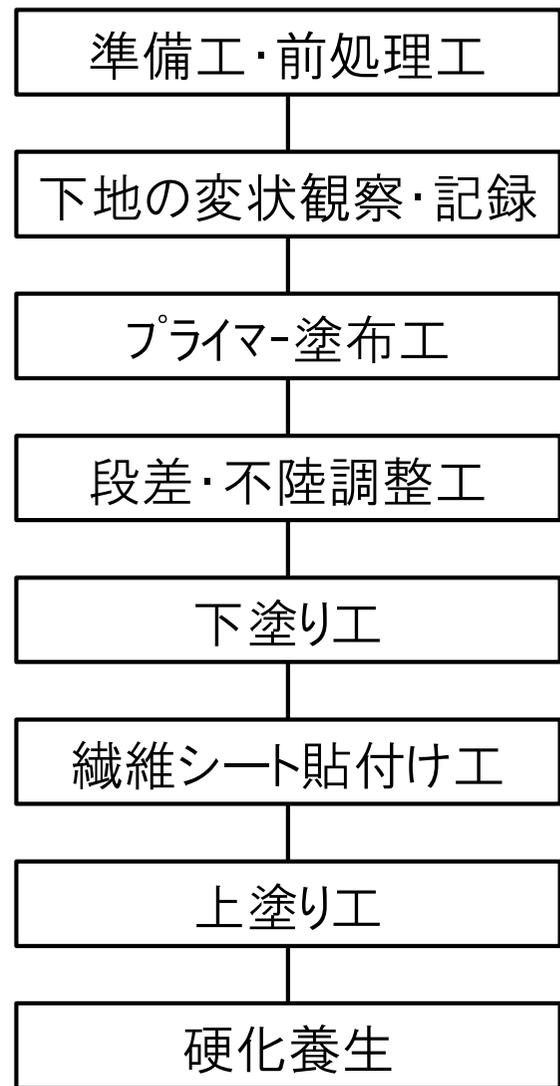


実験状況

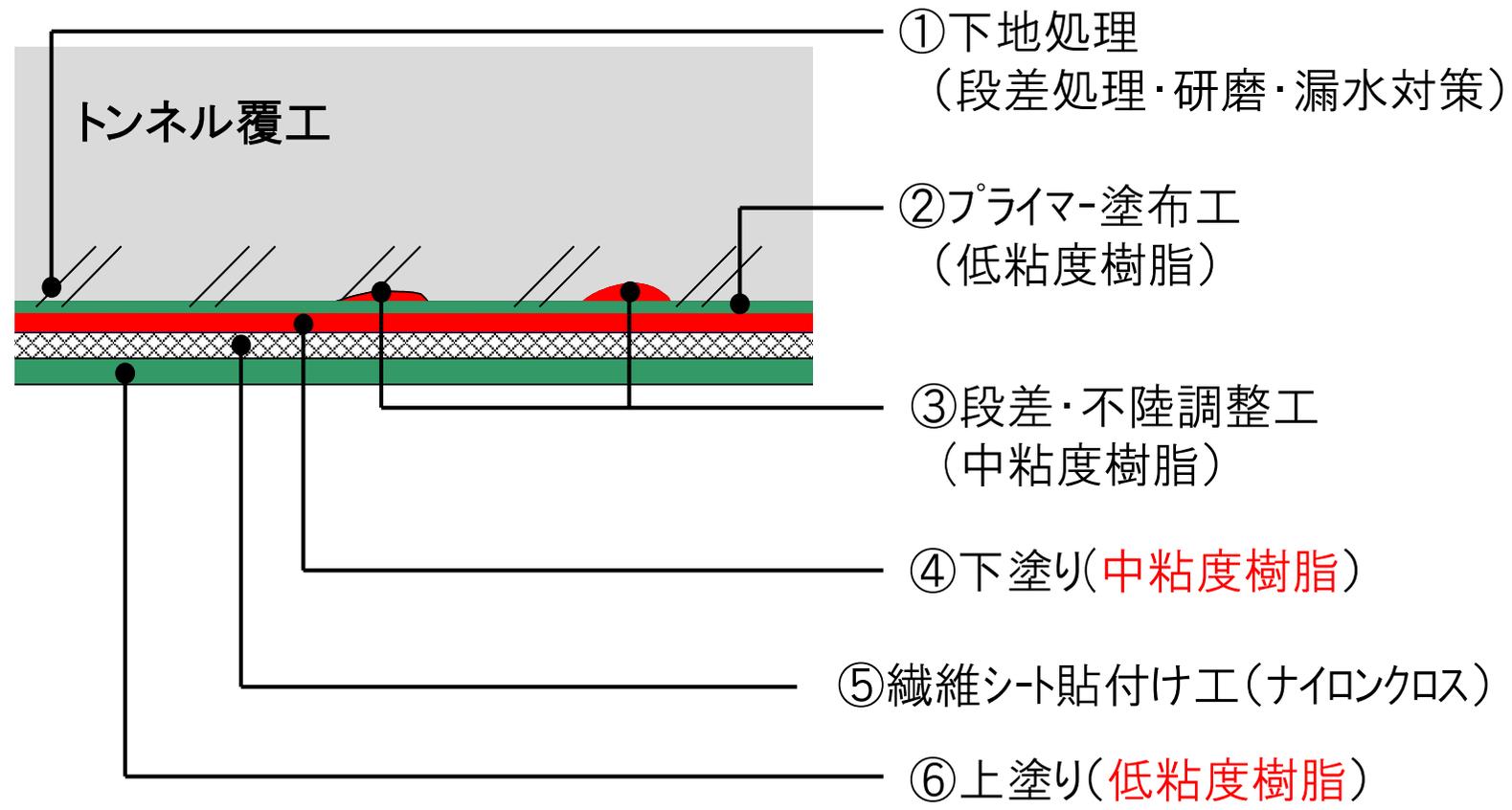
耐荷力

● 一般的な繊維接着工法と同様の施工手順
→ 特殊な施工手順, 機械を必要としない

【施工手順】



【NAV工法の構造】



- 一般的な繊維接着工法と同様の施工手順
→ 特殊な施工手順, 機械を必要としない

① 施工前



② ケレン・プライマー塗布



③ 下塗り



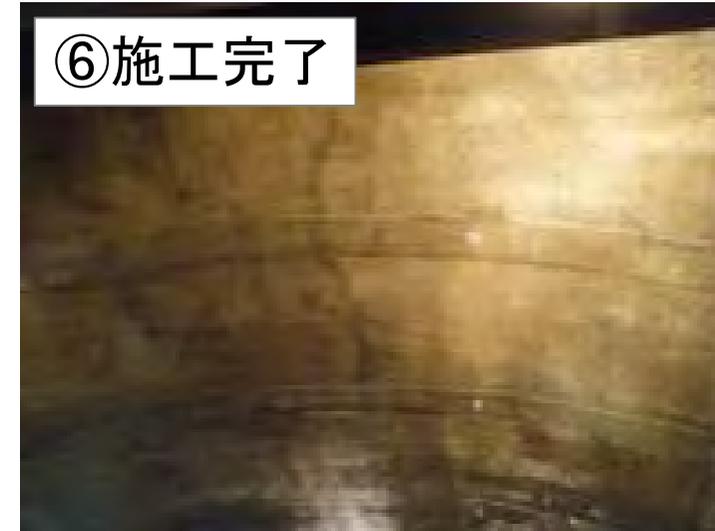
④ 繊維シート貼付



⑤ 上塗り

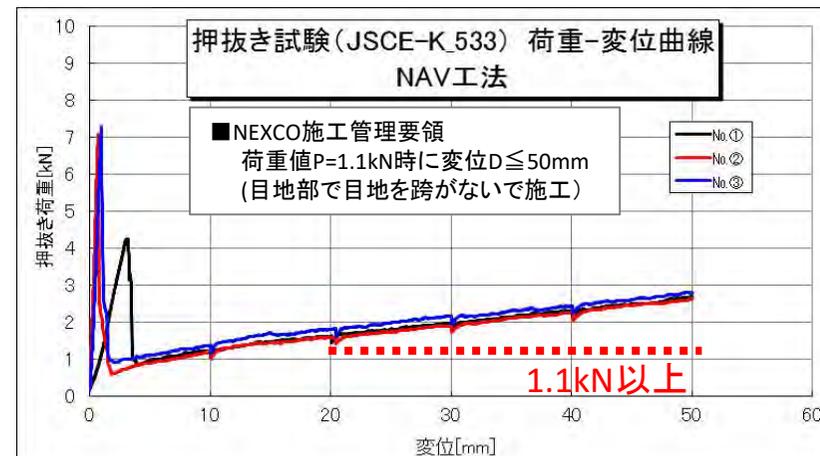


⑥ 施工完了

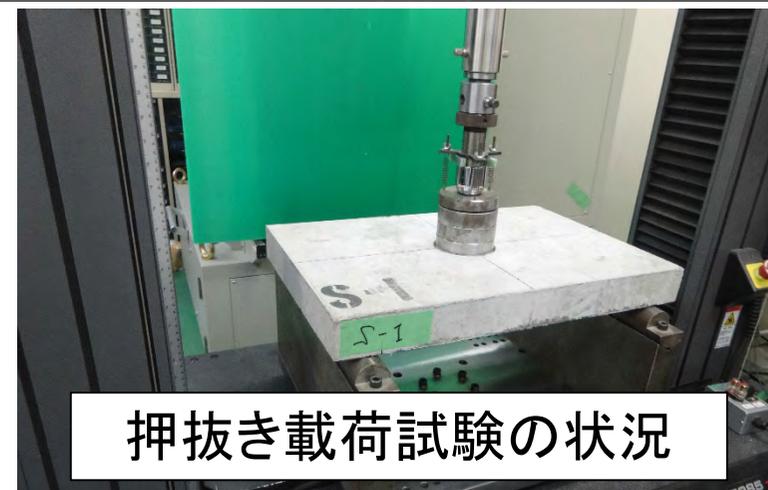
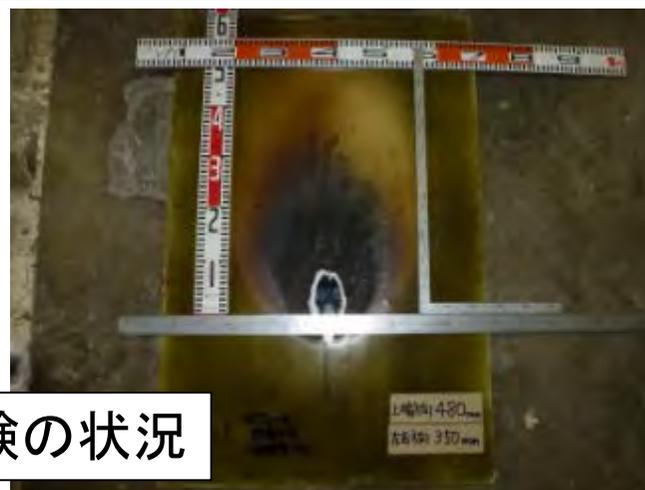


- 「NEXCOトンネル施工管理要領」の規格適合を目的に改良
- 耐火性能の向上を図るため、NAV-G工法を開発
- 難燃性の高い繊維シートに変更(ナイロクロス → ガラスクロス)
- 燃焼試験により自己消火性、発生ガスの安全性を確認
- NAV-G工法の押し抜き性能、付着強さ性能も確認

	NAV-G工法試験値	NEXCOトンネル施工管理要領	判定
被着体	—	ケイ酸カルシウム板	
火炎温度	—	$\geq 1,200^{\circ}\text{C}$	
延焼時間	—	10分	
消炎時間	0秒	≤ 30 秒	適合
延焼範囲上端方向	480mm	≤ 600 mm	適合
発生ガスの安全性	8.1分	マウスの行動時間 ≥ 6.8 分	適合



燃焼試験の状況



押し抜き載荷試験の状況

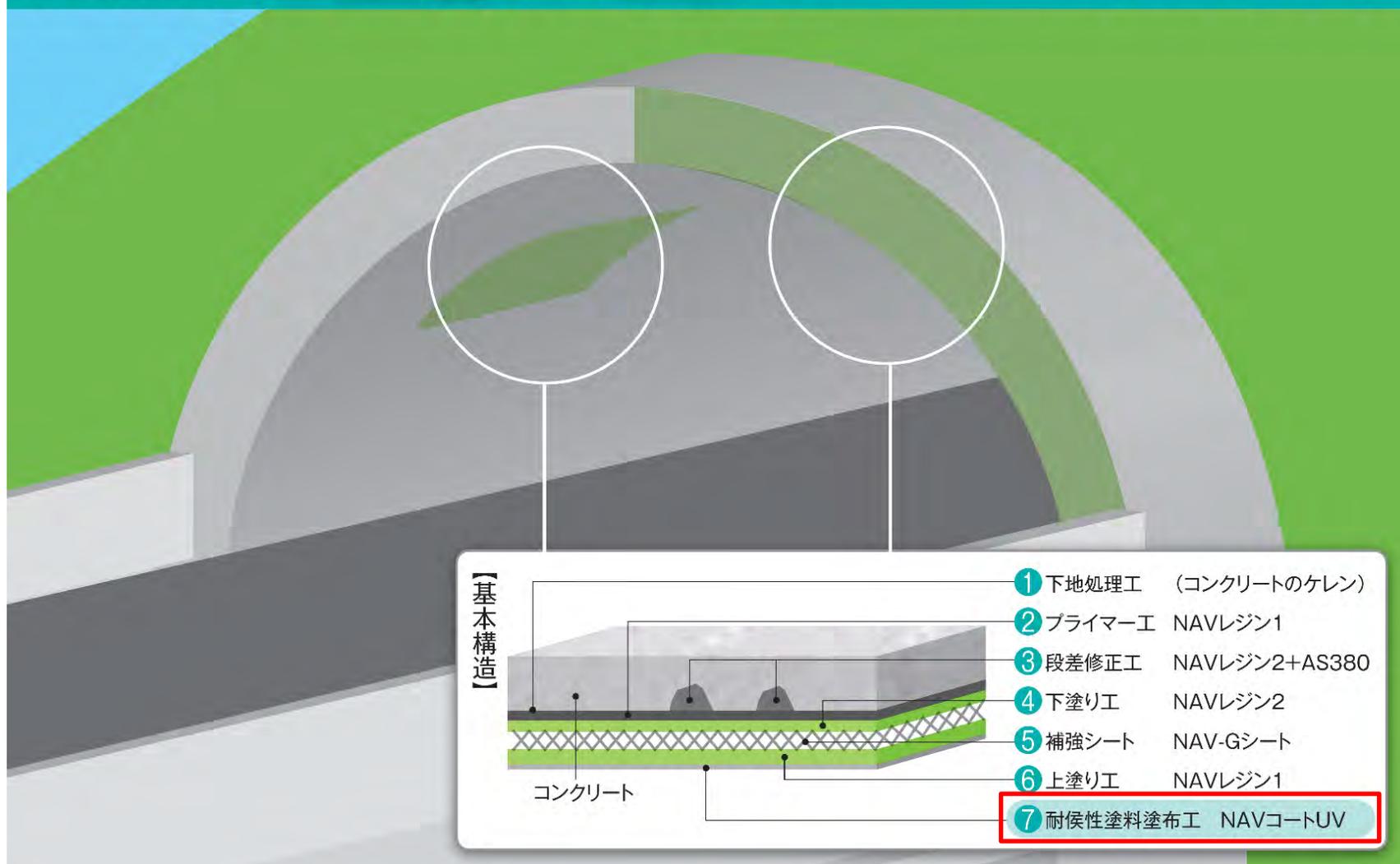
● NEXCO施工管理要領の基準試験(「押し抜き試験」,「湿潤接着強さ試験」,「温冷繰り返し接着強さ試験」,「延焼性試験」)に適合

規定値と試験結果一覧

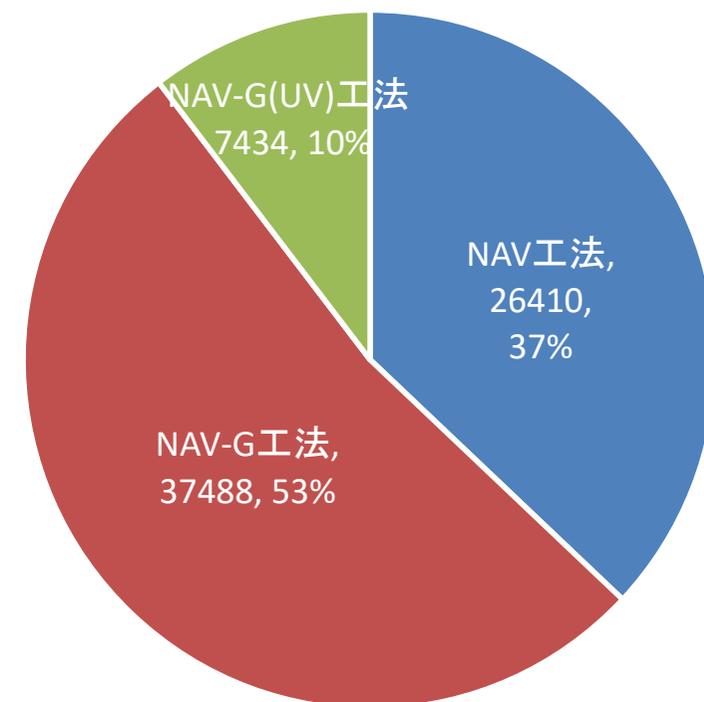
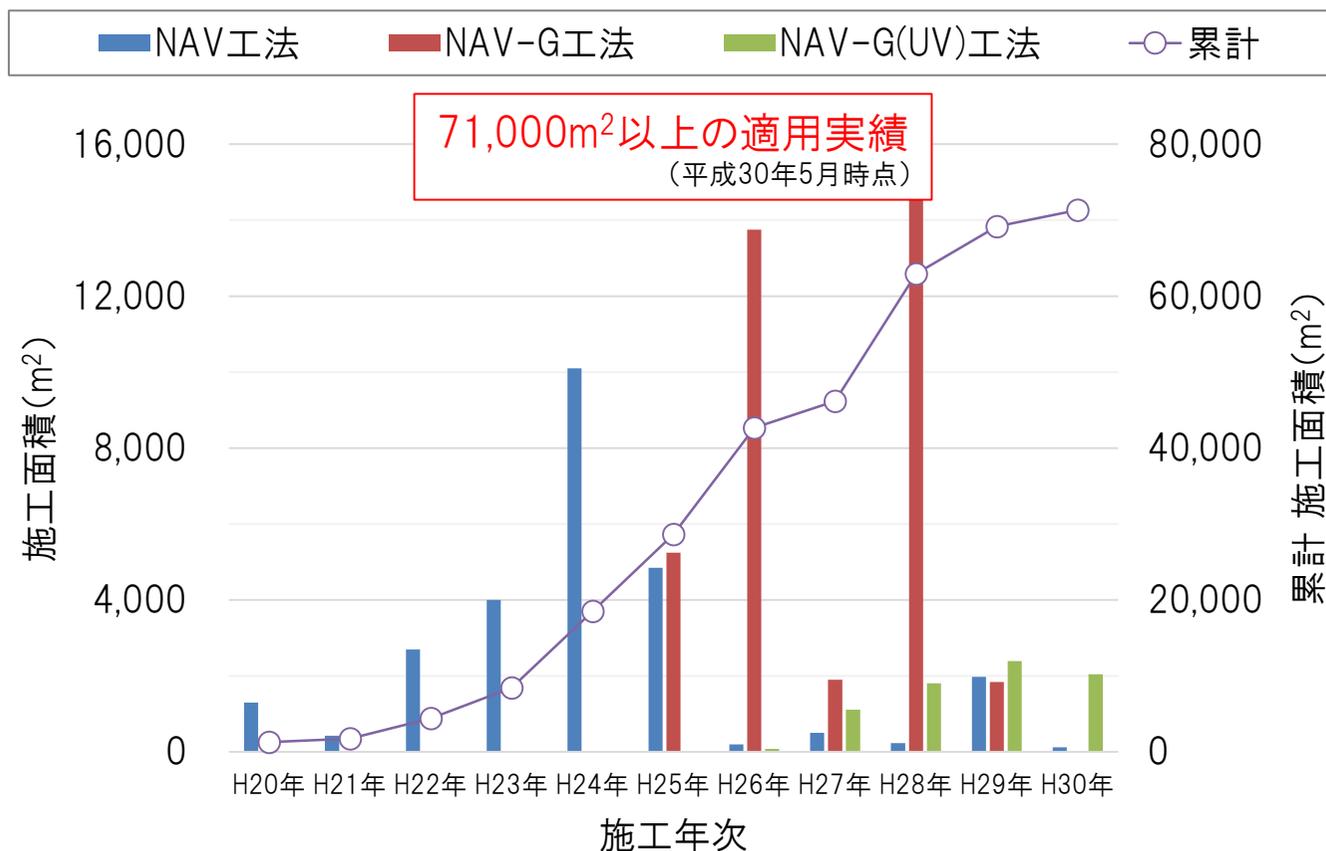
種別		試験方法		規定値	試験結果	判定
はく落対策	繊維接着系工法	小片はく落対策工の材料	押し抜き性能 試験法734 (プレキャスト鉄筋コンクリート版: 400×600×60mmを用いて 直径100mm孔の押し抜き)	荷重値P=0.7kN時に変位D≤50mm (目地部以外に施工)	荷重値P=0.7kN時に変位 D=0.61mm	適合
				荷重値P=0.8kN時に変位D≤50mm (目地部で目地を跨いで施工)	荷重値P=0.8kN時に変位 D=0.64mm	適合
				荷重値P=1.1kN時に変位D≤50mm (目地部で目地を跨がないで施工)	荷重値P=1.1kN時に変位 D=1.48mm	適合
		付着強さ	試験法735 (湿潤接着強さ)	1.5N/mm ² 以上	4.8N/mm ² (最大荷重7.6kN)	適合
	試験法736 (温冷繰り返し接着強さ) (-20℃で3時間→50℃で3時間 →23℃湿度80%で18時間)を1サイク ルとして30サイクル		1.5N/mm ² 以上	4.2N/mm ² (最大荷重6.1kN)	適合	
	共通	材料	延焼性・自己消火性	試験法738	消炎時間:t≤30秒 延焼範囲上端方向:L≤600mm	消炎時間:t=0秒 延焼範囲上端方向: L=480mm, 450mm
発生ガスの安全性			—	建築基準法に定める防火材料の性能 要求基準のうち「避難上有害な煙又は ガスを発生しないこと」を満たす	マウスの平均行動停止時間 8.4分, 7.8分 (6.8分以上)	適合

- 坑口部等への適用を想定し, NAV-G工法(UV仕様)を開発
- 表面に耐候性塗料を塗布することにより, 紫外線劣化に対応

NAV-G工法(UV仕様) トンネル坑口・坑門部等明かり部



- 平成20年に適用後，平成30年5月時点で，適用実績は，71,000m²を越える
- 今後においても，うき・はく離部の落下による，利用者被害の防止の観点から，引き続き，多くの適用が見込まれる



【施工面積100m²を想定した場合の試算例】

● 工期

従来工法(炭素繊維) : 約10日 / 100m²
 NAV工法・NAV-G工法 : 約5日 / 100m²
 NAV-G工法(UV仕様) : 約6日 / 100m²

● 経済性

従来工法(炭素繊維) : 約23,000円/m²
 NAV工法・NAV-G工法 : 約11,000円/m²
 NAV-G工法(UV仕様) : 約14,000円/m²

- ・ 接着剤のNAVレジンは速硬化性
→直ちに施工可能
- ・ 少ない使用材料
→NAVレジン1・2, NAV-Gシートの3種類
- ・ 最短2日
→①下地処理～上塗り工, ②耐候性塗料塗布工

項目	NAV-G工法 (UV仕様)	従来技術	単位
プライマー工	1,520	1,480	円/m ²
不陸修正工	2,830	6,480	円/m ²
シート接着工	7,260	14,760	円/m ²
塗装工	2,010	-	円/m ²
合計	13,620	22,720	円/m ²

- ・ 足場・交通規制等の仮設費用は含まない。
- ・ 施工数量は連続した箇所100m²以上
- ・ 1日の実作業時間は6時間以上

- NETISへ登録（登録NO. 「**KT-100023-VR**」）
- 「有用な新技術」として、「活用促進技術」に位置付け
- 国交省「新素材繊維接着工(コンクリート剥落対策技術)」へ応募
→ NETISテーマ設定型「新素材繊維接着工」技術比較表に掲載

NETIS 新技術情報提供システム
New Technology Information System

NETISとは | 新技術の検索 | 新技術の最新情報 | 新技術の申請方法 | NETISのRSS | BSS | サイトマップ

新技術概要説明情報

「概要」「従来技術との比較」等のタブをクリックすることでそれぞれの内容を閲覧することができます。関連する情報がある場合は画面の上部にあるリンクをクリックすることができます。

ものづくり日本賞	国土技術開発賞	建設技術賞	他機関の評価結果
----------	---------	-------	----------

2018.05.24現在

技術名称	「NAV工法」・「NAV-G工法」・「NAV-G工法(UV仕様)」	事後評価済み技術 (2017.08.29)	登録No.	KT-100023-VR
事前審査	事後評価	技術の位置付け(有用な新技術)		
試行実証評価	活用効果評価	推奨技術	評価促進技術	活用促進技術
有	有			(2017.3.31~)
活用効果調査入力様式		適用期間等		
-VR 活用効果調査入力システムを使用してください。		活用促進技術 平成29年3月31日~ A→VR 平成29年3月31日~ VR→VR 平成29年9月14日~		

上記※印の情報と以下の情報は申請者の申請に基づき掲載しております。申請情報の最終更新年月日: 2017.03.31

副題	トンネルにおける施工後下地を可視化した剥落防止工法	区分	工法
分類1	道路維持修繕工 - トンネル補修補強工 - その他		
分類2	道路維持修繕工 - その他		

概要

①何について何をする技術なのか?
トンネル覆工またはトンネル坑口・坑門部等に対して、コンクリート片の剥落を防止する可視化補修技術。

②従来はどのような技術で対応していたのか?
・炭素繊維等を用いた連続繊維シート接着工法。

③公共工事のどこに適用できるのか?
トンネル覆工またはトンネル坑口・坑門部等のコンクリート片の剥落防止対策。

④その他
・旧登録技術名称トンネル覆工コンクリート剥落防止工法「NAV工法」(～H27.6.30)

	NAV工法	NAV-G工法	NAV-G工法(UV仕様)
補強シート	ナイロンクロス	ガラスクロス	ガラスクロス
接着剤	アクリル系樹脂	アクリル系樹脂	アクリル系樹脂
耐水性塗装	-	-	NAVコートUV
用途	トンネル内覆工コンクリート	トンネル内覆工コンクリート	コンクリート構造物全般

新規性及び期待される効果

①どこに新規性があるのか(従来技術と比較して何を改善したのか)?
・炭素繊維等の連続繊維シートとエポキシ系樹脂接着剤の組合せを、ナイロンクロスまたはガラスクロスとアクリル系樹脂接着剤の組合せに変えることによって、対策面の可視化を実現した。

NETISテーマ設定型「新素材繊維接着工」技術比較表

1. 基本情報

番号	16	17	18	19	20		
技術名	「NAV工法」・「NAV-G工法」・「NAV-G工法(UV仕様)」	タフガードスマートBeメッシュ工法	ショーボンドハイブリッドシート工法	二方向アラミドシート補修・補強工法 (ファイブメッシュ工法)	はく離防止対策工法 FF-VSE工法		
副題	ガラスクロスとアクリル樹脂による透明性を有するFRPを形成する剥落防止工法	試験用シート接着はく離防止工法	特殊フミネートシートを用いたはく離工法	炭素および炭状トンネル等の補修・補強工法 (ファイブメッシュ工法)	-----		
NETIS番号	KT-100023-VR	KT-150051-VR	掲載期間終了 (TH-G10017-V)	掲載期間終了 (CB-000024-VE)	掲載期間終了 (KT-060137-VR)		
応募者 (共同開発者)	デンカ㈱ (特)土木研究所、藤原建設㈱	日本ペイント㈱	ショボンド建設㈱ 東京支店	大成工務㈱ (ファイブックス㈱)	前田工務㈱		
技術概要	トンネルのコンクリート壁面に剥離防止工法として、ガラスクロスとアクリル樹脂を塗り重ね、透明なFRPを形成する。従来のFRPは黒色で目立ち、また、施工後の養生期間が長い。本工法は透明なFRPを形成するため、目立ちにくく、養生期間も短縮できる。また、施工後の養生期間も短縮できる。また、施工後の養生期間も短縮できる。	コンクリート壁面に剥離防止工法として、Beメッシュシートを貼付し、アクリル樹脂を塗り重ね、透明なFRPを形成する。従来のFRPは黒色で目立ち、また、施工後の養生期間が長い。本工法は透明なFRPを形成するため、目立ちにくく、養生期間も短縮できる。また、施工後の養生期間も短縮できる。	トンネルのコンクリート壁面に剥離防止工法として、ショーボンドハイブリッドシートを貼付し、アクリル樹脂を塗り重ね、透明なFRPを形成する。従来のFRPは黒色で目立ち、また、施工後の養生期間が長い。本工法は透明なFRPを形成するため、目立ちにくく、養生期間も短縮できる。また、施工後の養生期間も短縮できる。	トンネルのコンクリート壁面に剥離防止工法として、二方向アラミドシートを貼付し、アクリル樹脂を塗り重ね、透明なFRPを形成する。従来のFRPは黒色で目立ち、また、施工後の養生期間が長い。本工法は透明なFRPを形成するため、目立ちにくく、養生期間も短縮できる。また、施工後の養生期間も短縮できる。	トンネルのコンクリート壁面に剥離防止工法として、はく離防止対策工法を施工する。従来のFRPは黒色で目立ち、また、施工後の養生期間が長い。本工法は透明なFRPを形成するため、目立ちにくく、養生期間も短縮できる。また、施工後の養生期間も短縮できる。		
仕様等	比較表掲載仕様 - NAV-G工法 (UV仕様) - NAV-T法 - NAV-GT法	-	-	-	-		
新素材繊維等固定方法	接着剤	接着剤	接着剤	接着剤	接着剤		
外形状況							
項目 ¹⁾	備考	単位					
耐荷重 ²⁾	試験測定値	kN	2.46	2.39	3.25	3.24	4.84
耐荷重 ²⁾	試験測定値	kN	-	-	-	-	-
耐荷重 ²⁾	試験測定値	kN	3.3(JSC E K533)	2.85以上 (JHS424)	1.5(貫筋量)	3.78(JHS734)	6.57以上(JHS424)
施工厚max	建築基準等を考慮	mm	0.7	1.2	1	0.6	2型域
伸び性能	試験時の最少変位測定値	mm	17	11.4	27.1	20	34.6
曲面施工可否	本体構造上の形状を考慮	-	可	可	可	可	可
寒冷地T (気温5℃以下)の可否	条件・養生未施工	-	可	可	可	可	可
耐紫外線性	紫外線劣化を考慮	-	有	有	有	有	有
耐熱性	トンネル内火災等を考慮	-	有	不明	有	有	有
耐凍性	凍結融解等を考慮	-	有	有	有	不明	有
透過性	本体構造上の形状を考慮	-	有	有	有	有	有
コンクリート表面の接着条件	コンクリート表面含水率	%以下	8	8	8	8	8
作業日数	試験施工結果	日/m ²	2/2.1		3/1.7	3/1.6	3/1.7
作業単価		円/m ²	1,362,000/100	4,860,000/300	12,050/1	18,396/1	14,350/1
推奨使用可能年数		年	15	10~15	20	20	20
長期履歴試験による1年後の状況	試験施工結果	円	○	○	○	○	○
資料工中における施工実績		-	3	2	36	107	9

※1 着色項目は、試験施工(※1)交差箇所確認済み)の結果による。
また、無着色は、NETIS情報、応募資料等による。

※2 JSC E:土木学会標準 JHS: NEXCO試験方法
貫筋量: 首都高速道路(株)試験方法 JR: 東日本旅客鉄道(株)試験方法を示す。

● 技術名称

NAV工法・NAV-G工法・NAV-G工法(UV仕様)

● NETIS登録

KT-100023-VR (活用促進技術)

● 連絡先

NAV工法研究会

- | | |
|-------------------|--------------|
| ・研究会事務局(デンカ(株)) | 03-5290-5363 |
| ・(国研)土木研究所トンネルチーム | 029-879-6791 |

※NAV工法研究会

(国研)土木研究所, 鹿島建設(株), オリエンタル白石(株), カジマ・リノベイト(株), デンカ(株)

※各技術の詳細等は, 上記連絡先等へお問合せ下さい。

※NETIS登録技術は, NETIS新技術情報提供システムのHPで詳細情報が確認できます。