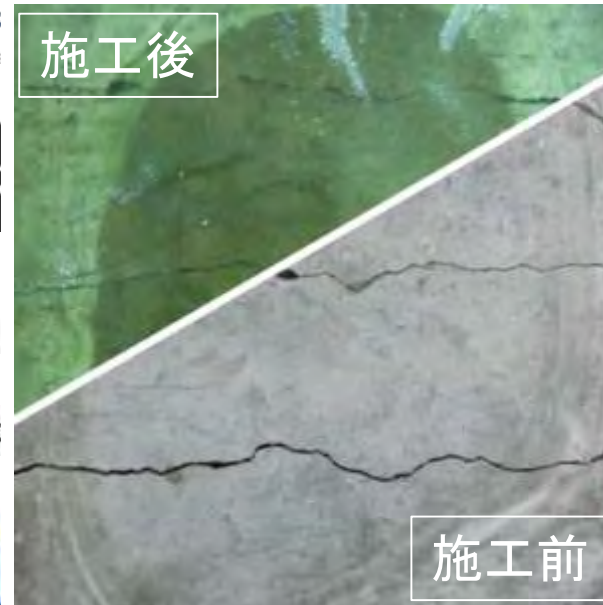
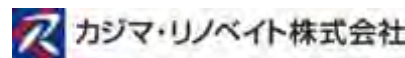
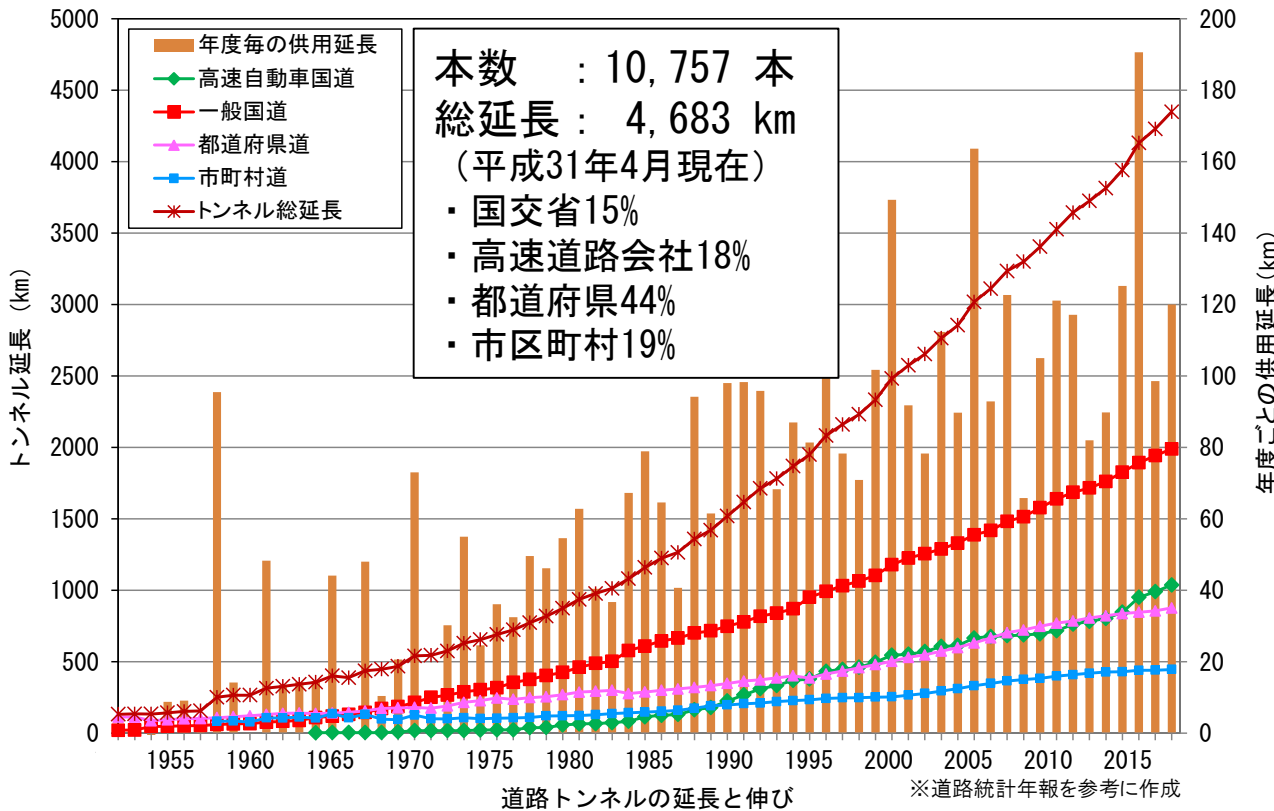


# トンネルの補修技術(NAV工法) ー可視性の高い覆工コンクリート片はく落対策工法ー

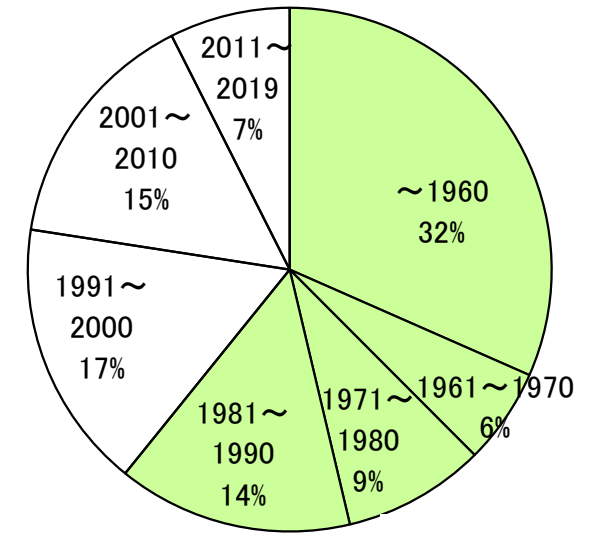


(国研)土木研究所 つくば中央研究所  
道路技術研究グループ(トンネル)  
主任研究員 森本 智

- 全国の道路トンネル延長は年々増加  
総本数10,757本, 総延長4,683km(平成31年4月現在)  
→ **膨大なストック**
- 30年以上経過は, 総本数の約6割をしめる  
→ **老朽化の進行**



建設後30年経過  
→全体の約6割



※道路統計年報を参考に作成

年代別トンネル箇所数の比率

- 道路メンテナンス年報<sup>1)</sup>によると、1巡目の点検結果では、判定区分の割合は、「I 2%」、「II 56%」、「III 41%」、「IV 1%」としている
  - 修繕の着手・完了率は、「事後保全型(III, IVの修繕)は58%」、「予防保全型(IIの修繕)は14%」としている
- **早期措置の実施**

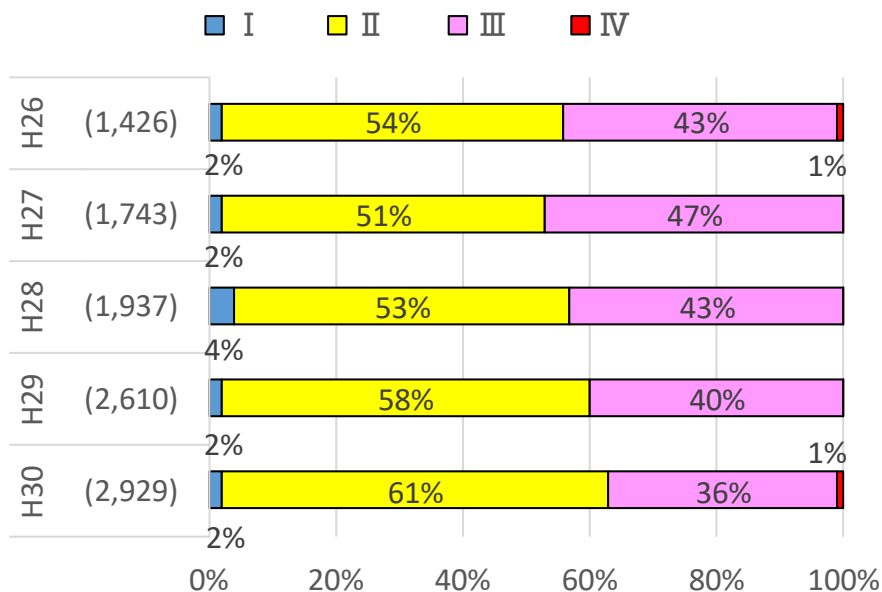


図 トンネルの判定区分の割合(年度毎)<sup>1)</sup>

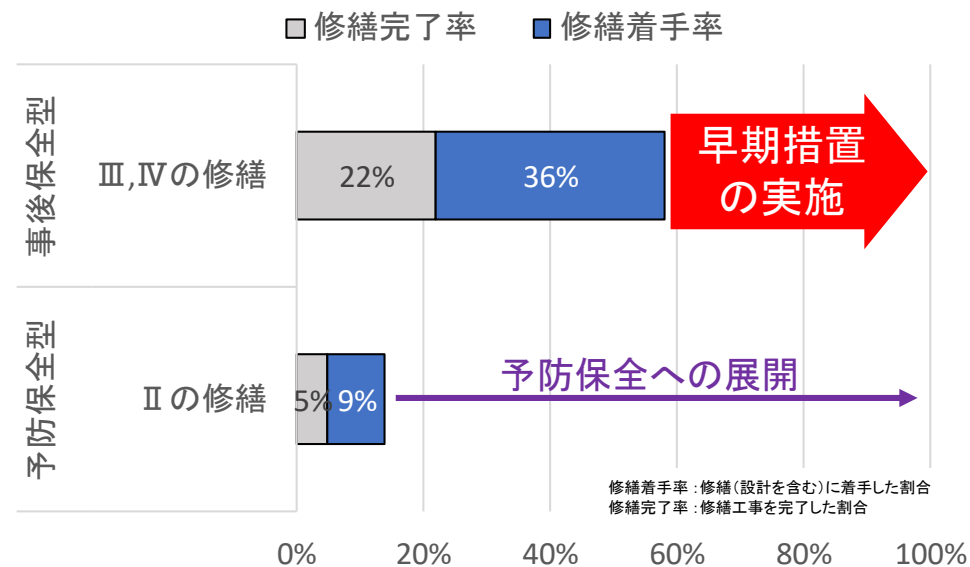
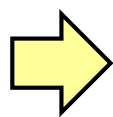


図 事後保全型、予防保全型の修繕着手率・完了率<sup>1)</sup>

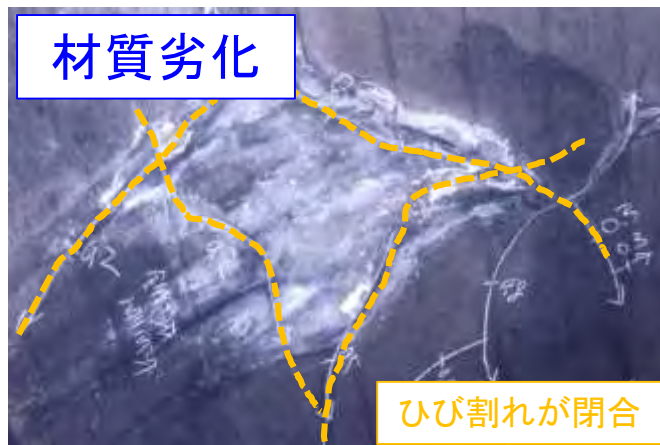


**経済性(やすい)・施工性(はやい)の優れた補修技術が求められている**  
→限られたリソースの有効活用, **交通規制の抑制**に寄与

- 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



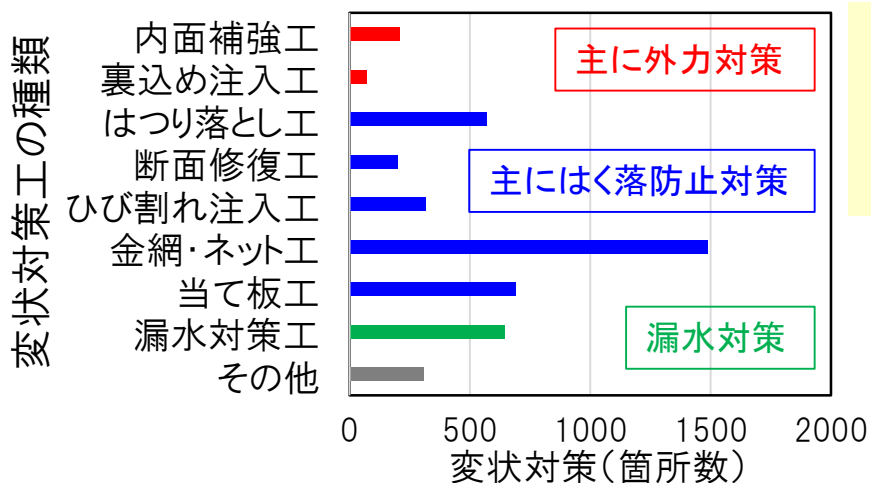
→構造の安定性が低下  
【補強対策工が必要】



→ブロック化し落下のおそれ  
【はく落対策工が必要】



→ブロック化し落下のおそれ  
【はく落対策工が必要】



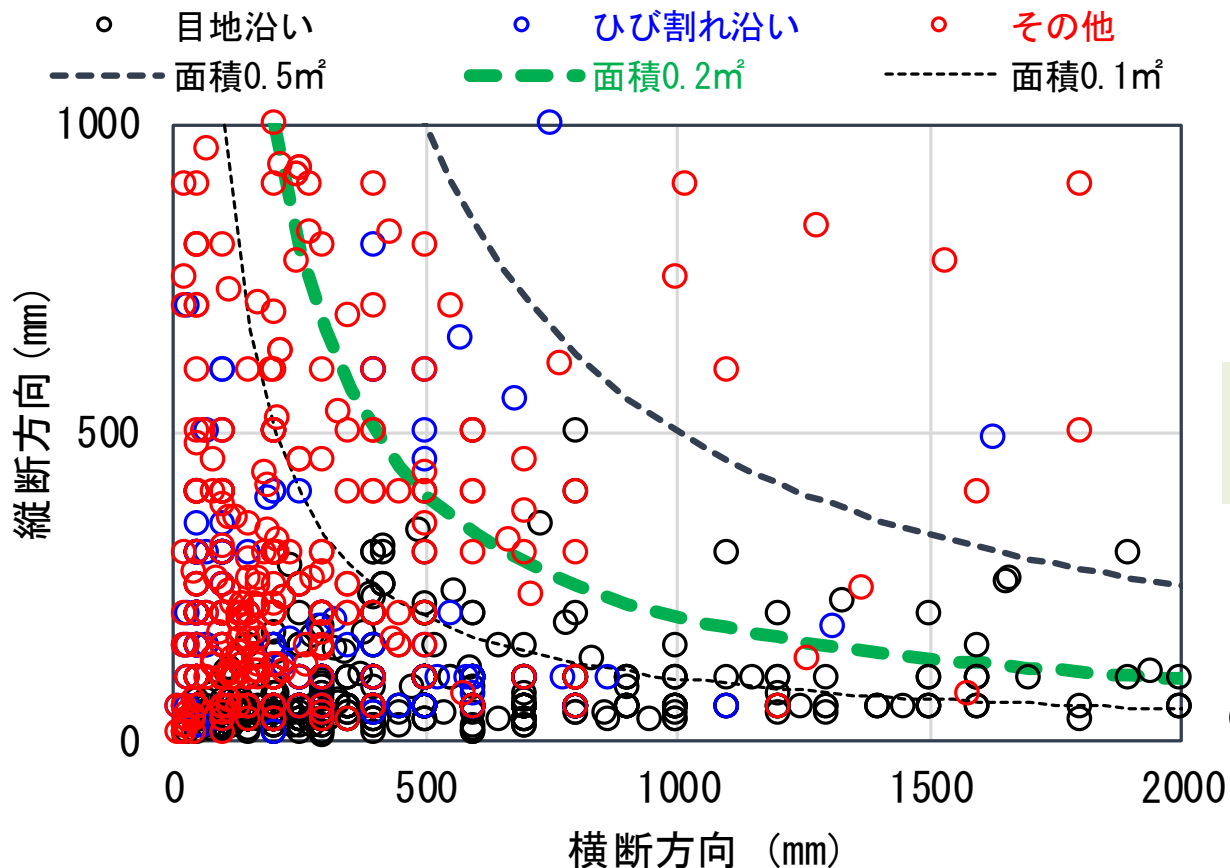
## 変状対策工の適用実績

- ・はく落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

- 山岳トンネル工法(いわゆるNATM)に発生する変状は、「**ひび割れ**」や「**うき・はく離**」が多くを占める
- うき・はく離の面積は、**0.2m<sup>2</sup>以下の小規模のものが多い**<sup>2)</sup>
- はく落による**利用者被害**のおそれ→早期にはく落対策工による補修対策を実施する必要がある



0.2m<sup>2</sup>未満のうき等の割合は【全体の95.5%】を占める

2,066箇所  
(/1,927スパン)

<sup>2)</sup> 森本智, 日下敦, 吉岡知哉, 長谷川慶彦: 道路トンネルにおける材質劣化に起因する変状実態に関する一考察: トンネル工学報告集, 第28巻, I-17, 2018.11

## ● 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い→可視性に優れる

## ● 工期

接着剤のアクリル樹脂は、速硬化性を有する→工期短縮が可能(はやい)  
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の約1/3程度の価格で経済性に優れる(やすい)

## ● 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

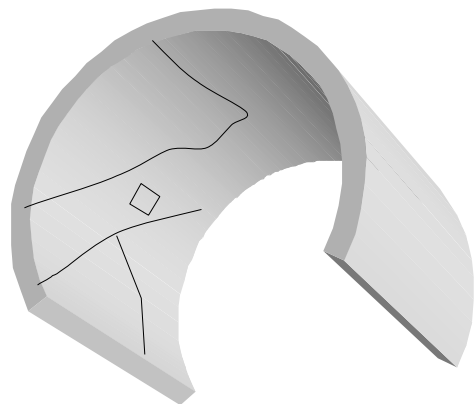
## ● 施工性

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  
接着剤のアクリル樹脂は、低温硬化性で寒冷地での施工が可能

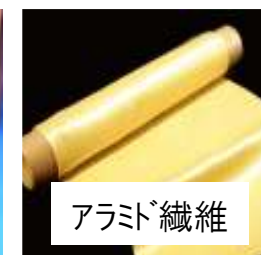
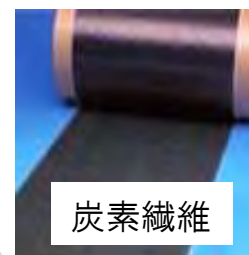
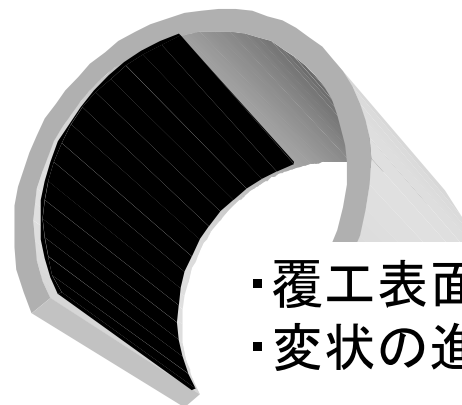


- 従来のはく落対策工※は、対策後、覆工コンクリート表面の**観察ができない**(※例)炭素繊維シート, アラミド繊維シート等)
- 対策後においても、覆工コンクリート表面の**変状観察が可能な**はく落対策工の開発が必要 → **NAV工法**の開発

材質劣化による変状が発生したトンネル



従来技術



- ・覆工表面の観察が不可能
- ・変状の進展の確認ができない

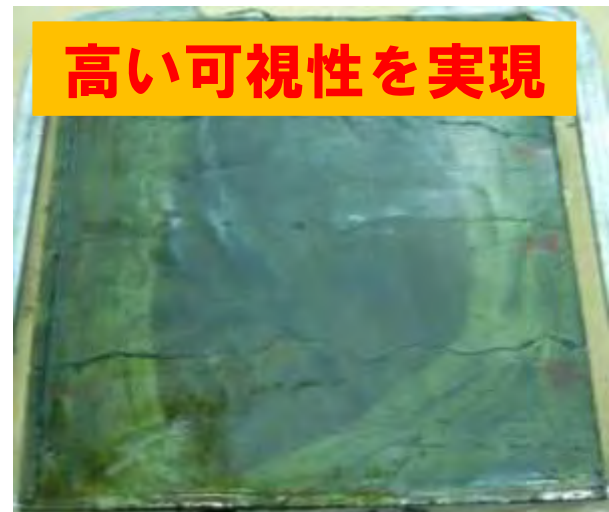
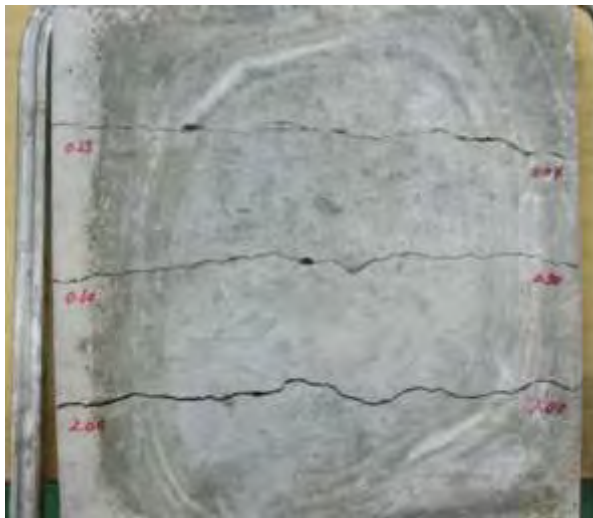
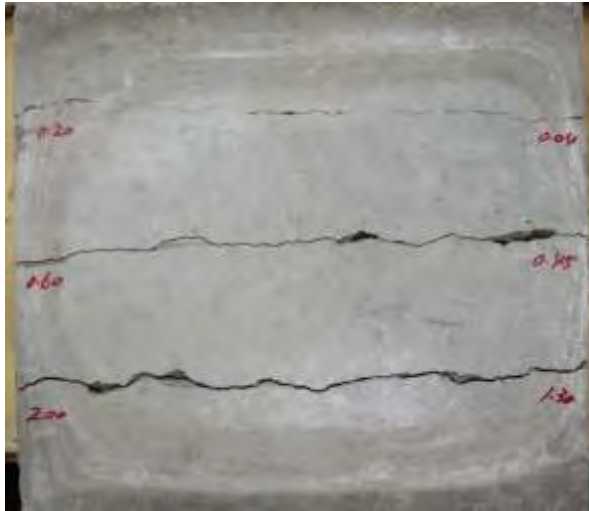
うき・はく離等, コンクリート片の落下のおそれ  
【はく落対策工が必要】

NAV工法



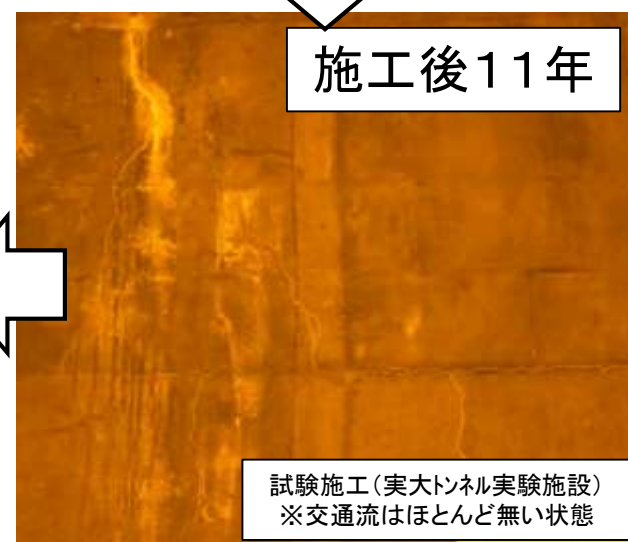
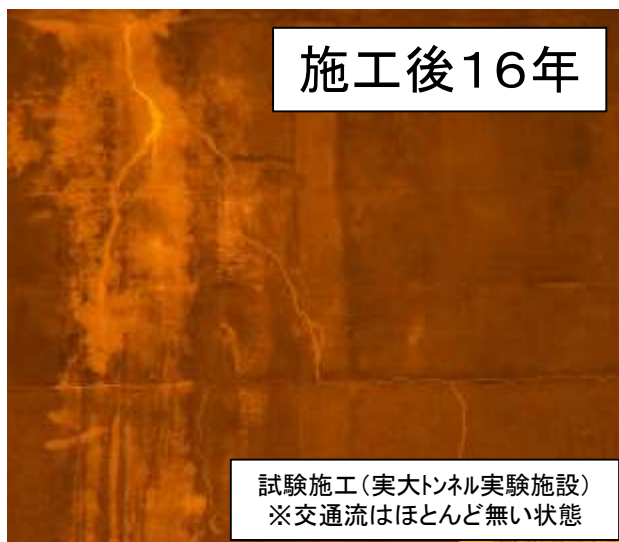
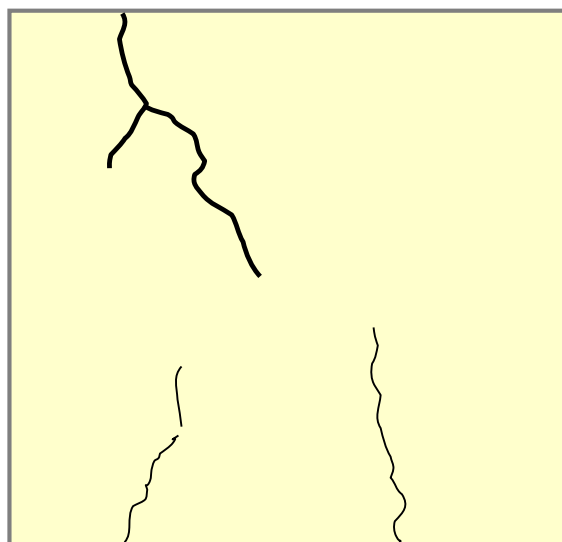
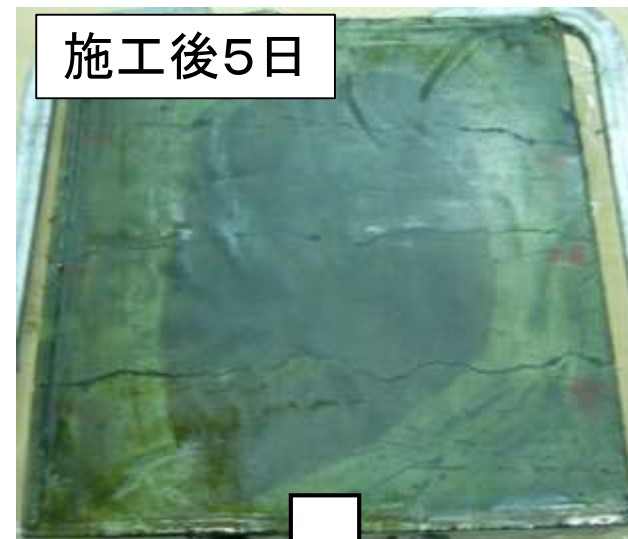
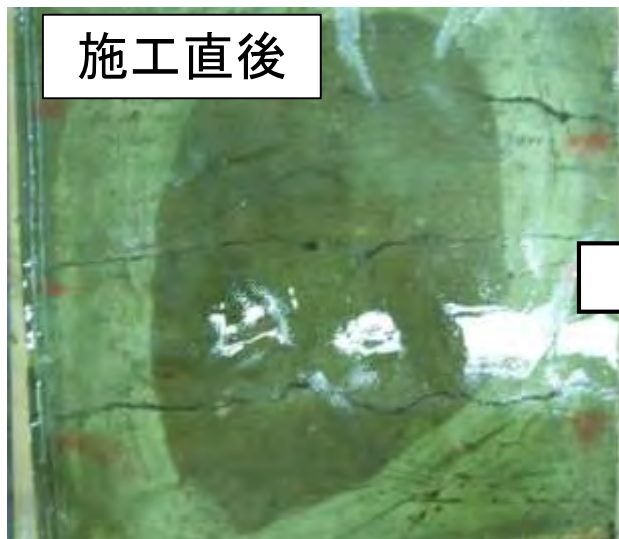
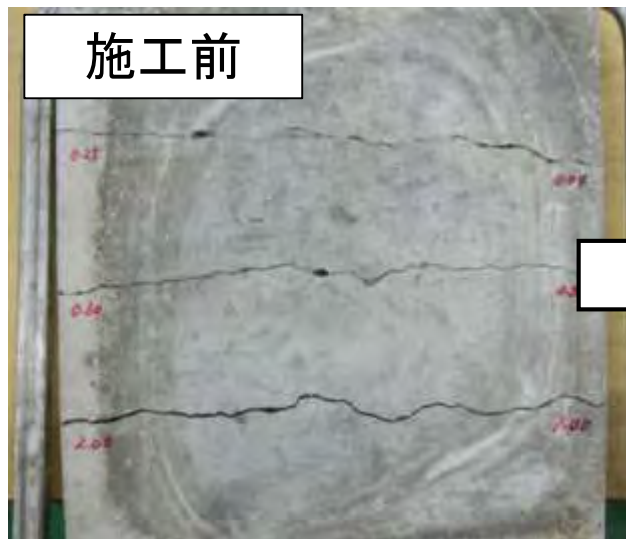
- ・覆工表面の観察が可能
- ・変状の進展の確認ができる

- 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





- 施工直後から短期の段階において、可視性を確認
- 長期経過の段階では、可視性の耐久性を確認(漏水箇所課題)



【施工面積100m<sup>2</sup>を想定した場合の試算例】

## ● 工期

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

## ● 経済性

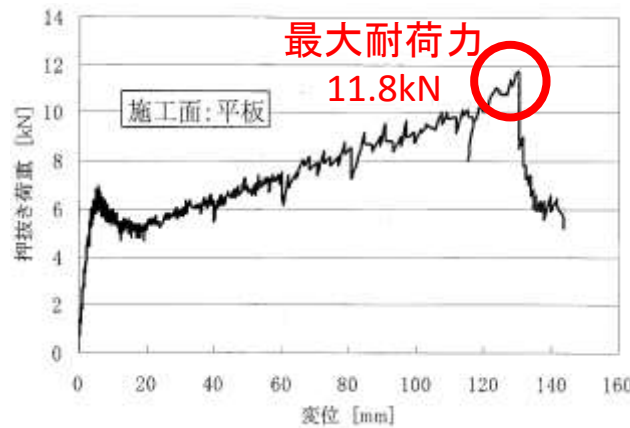
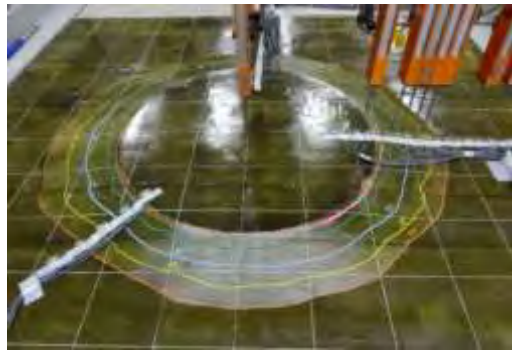
従来工法(炭素繊維) : 約23,000円/m<sup>2</sup>  
 NAV工法・NAV-G工法 : 約11,000円/m<sup>2</sup>  
 NAV-G工法(UV仕様) : 約14,000円/m<sup>2</sup>

- ・ 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レジンは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

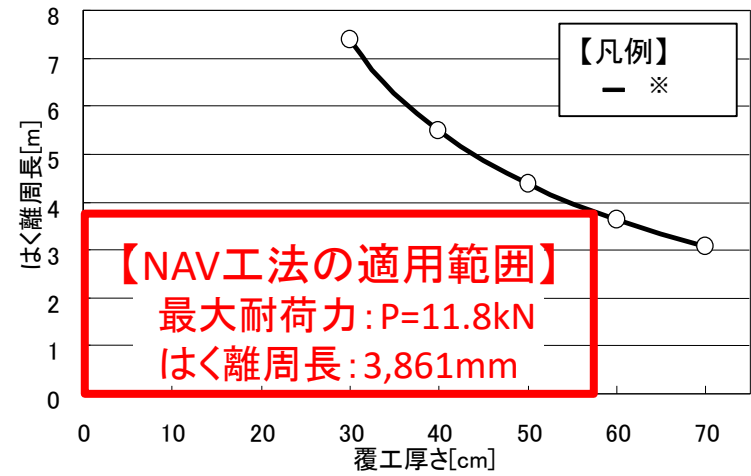
項目	NAV-G工法 (UV仕様)	従来技術	単位
プライマー工	1,520	1,480	円/m <sup>2</sup>
不陸修正工	2,830	6,480	円/m <sup>2</sup>
シート接着工	7,260	14,760	円/m <sup>2</sup>
塗装工	2,010	-	円/m <sup>2</sup>
合計	13,620	22,720	円/m <sup>2</sup>

- ・ 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100m<sup>2</sup>以上
- ・ 1日の実作業時間は6時間以上

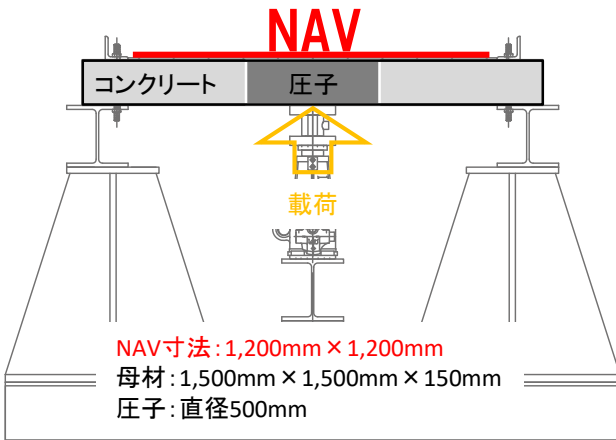
- 押抜き載荷実験により、**はく落防止性能(耐荷力)**を確認
- 載荷荷重の増加に伴い、シートがはく離進展する形態
- 最大耐荷力は約12kN、適用範囲ははく離周長約3.8mとなる



耐荷力



適用範囲



実験状況

- 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

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

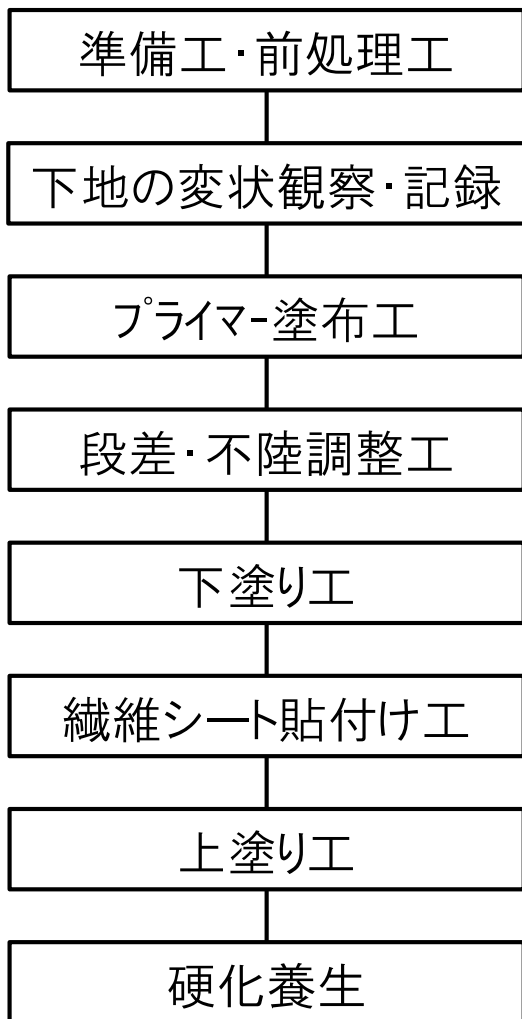
(ただし、最大荷重11.8kNを上回ってはならない)

- 適用範囲は、はく離周長3,861mmとなる

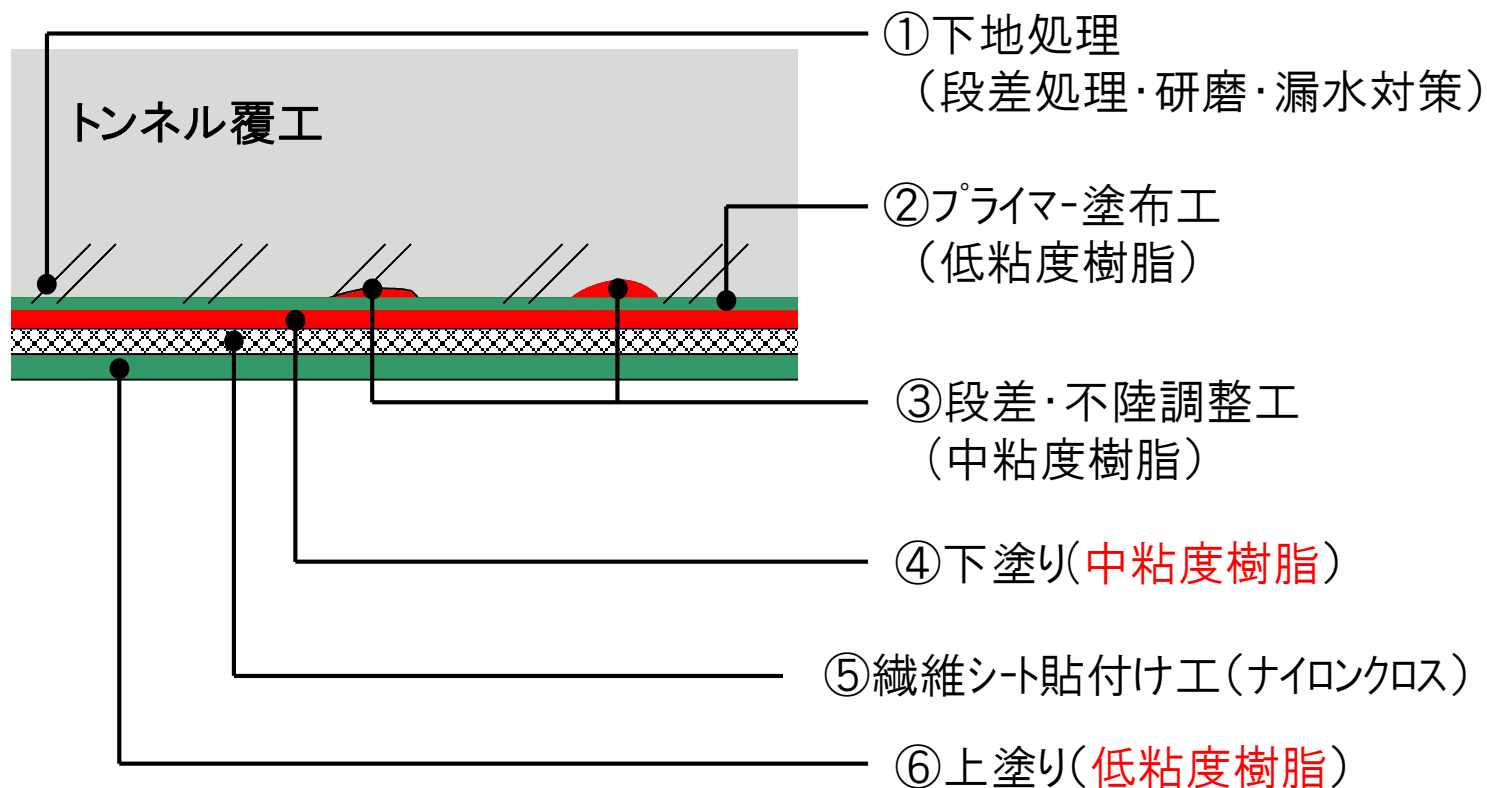
適用範囲は、(式1)から、最大荷重が11.8kNのとき、はく離周長3,861mmとなる。

- 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】



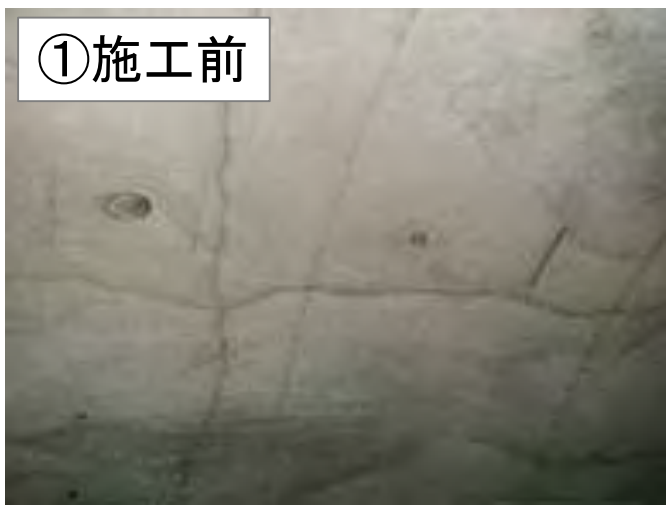
## 【NAV工法の構造】



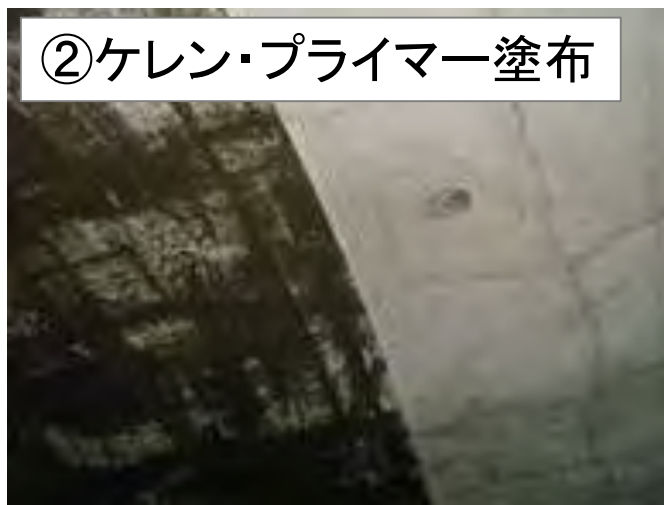


- 一般的な繊維接着工法と同様の施工手順  
→ 特殊な施工手順，機械を必要としない

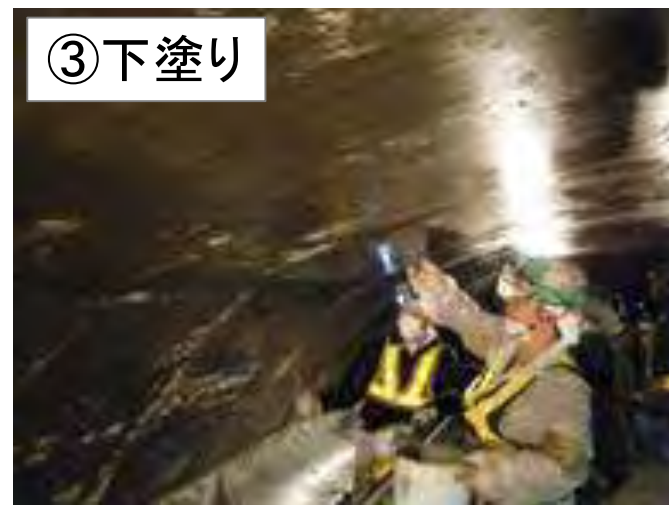
① 施工前



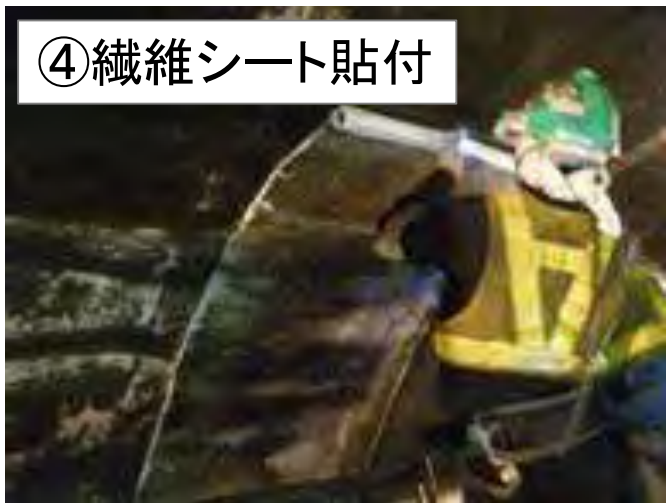
② ケレン・プライマー塗布



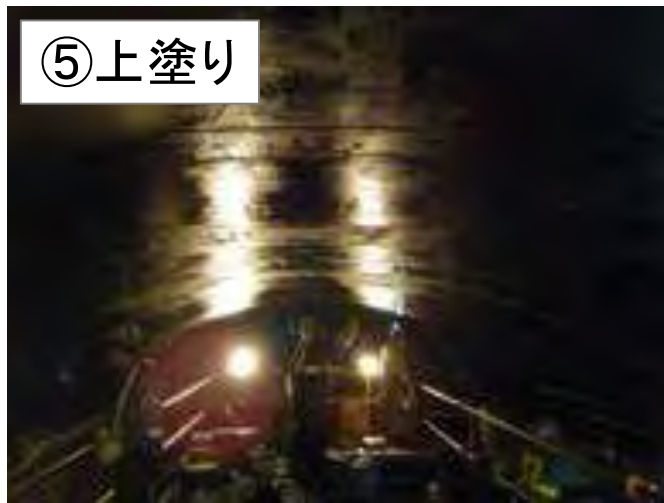
③ 下塗り



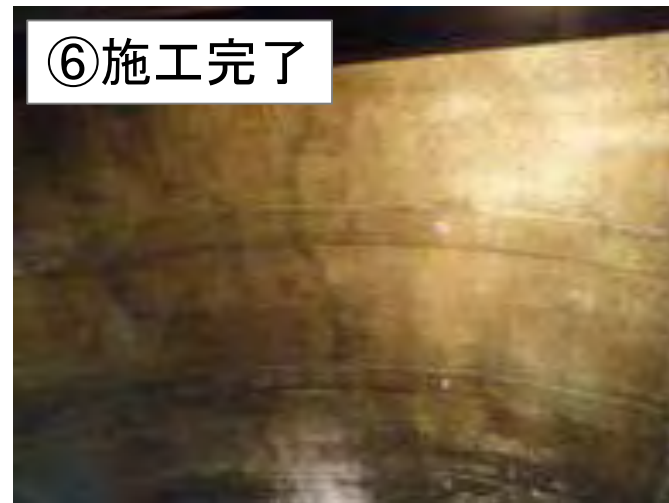
④ 繊維シート貼付



⑤ 上塗り



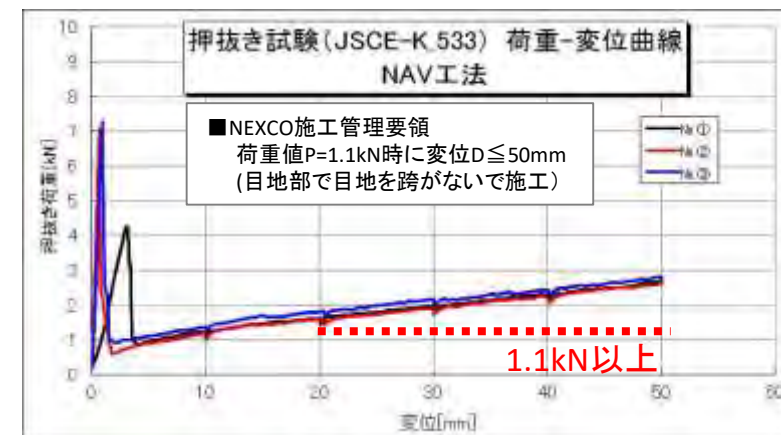
⑥ 施工完了



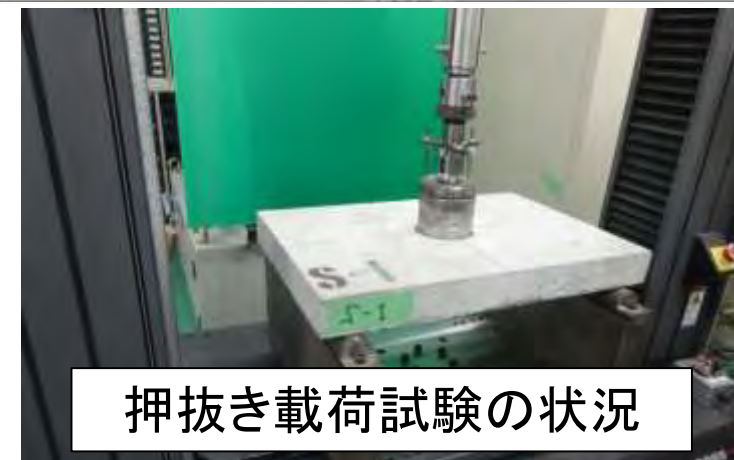
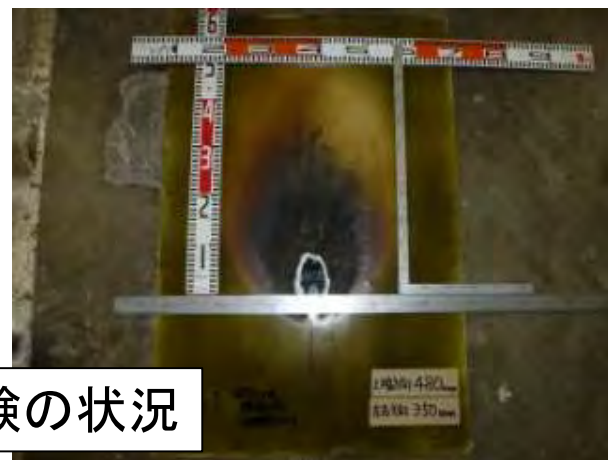


- 「NEXCOトンネル施工管理要領」の規格適合を目的に改良
- **耐火性能の向上**を図るため、NAV-G工法を開発
- 難燃性の高い繊維シートに変更(ナイロクロス → **ガラスクロス**)
- 燃焼試験により**自己消火性**、**発生ガスの安全性**を確認
- NAV-G工法の押し抜き性能、付着強さ性能も確認

	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	$\leq 30$ 秒	適合
延焼範囲上端方向	480mm	$\leq 600$ mm	適合
発生ガスの安全性	8.1分	マウスの行動時間 $\geq 6.8$ 分	適合



燃焼試験の状況



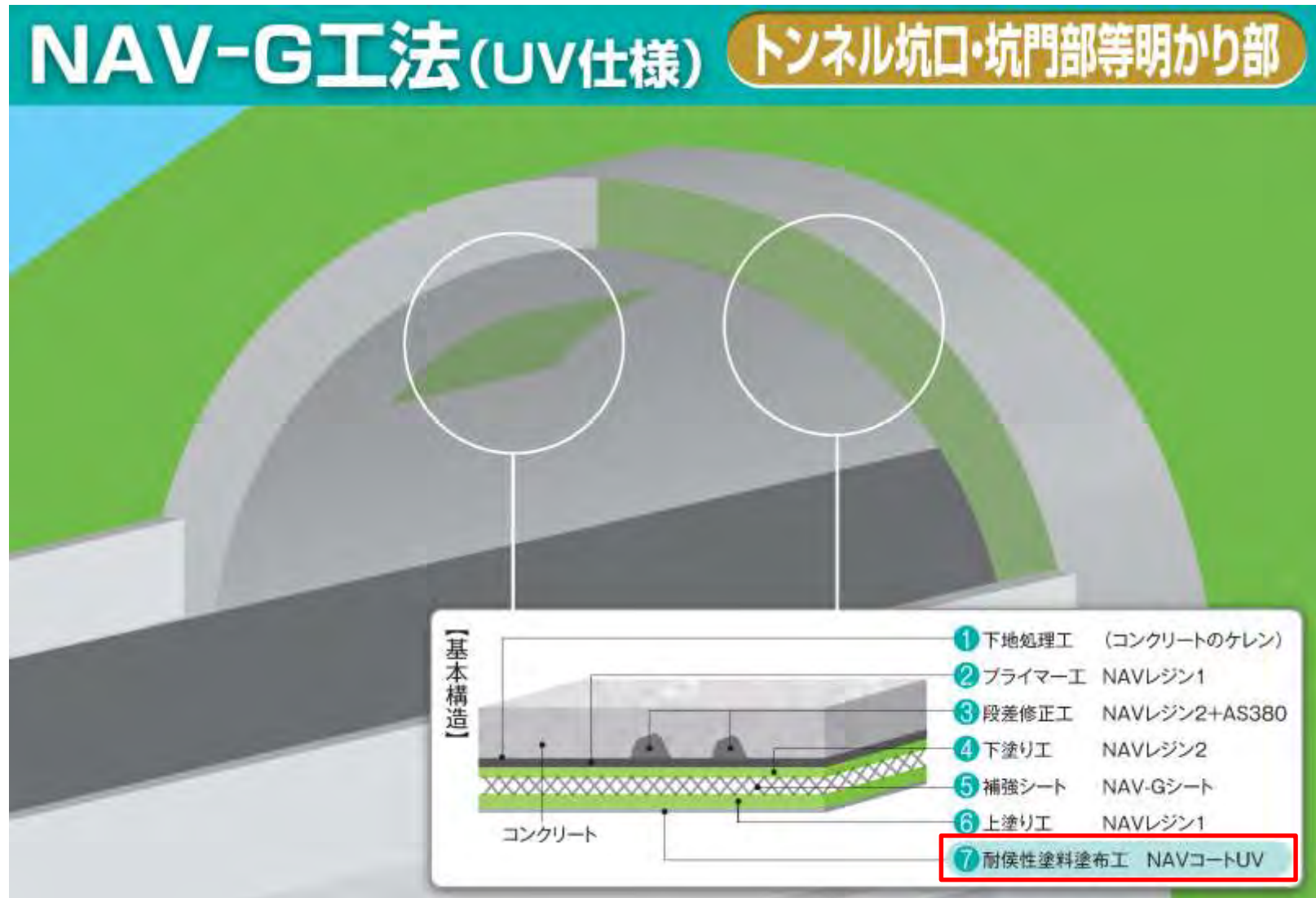
押し抜き載荷試験の状況

## ● 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	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	
	はく落対策	付着強さ	試験法735 (湿潤接着強さ)	1.5N/mm <sup>2</sup> 以上	4.8N/mm <sup>2</sup> (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 <sup>2</sup> 以上	4.2N/mm <sup>2</sup> (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	適合	
		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

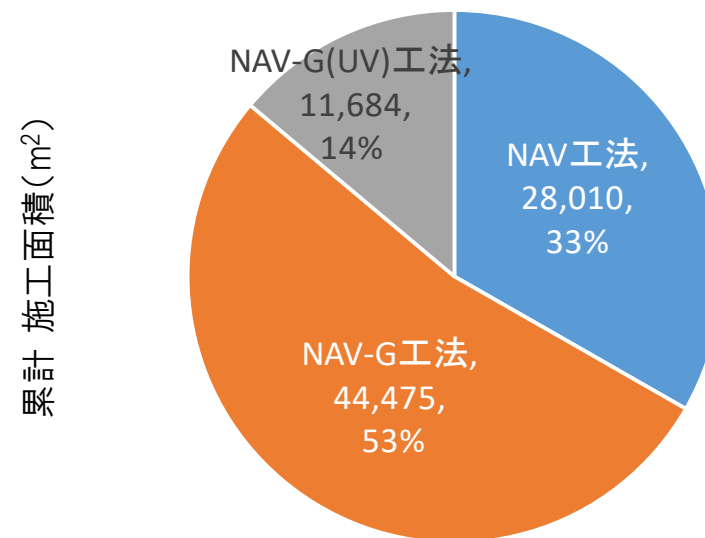
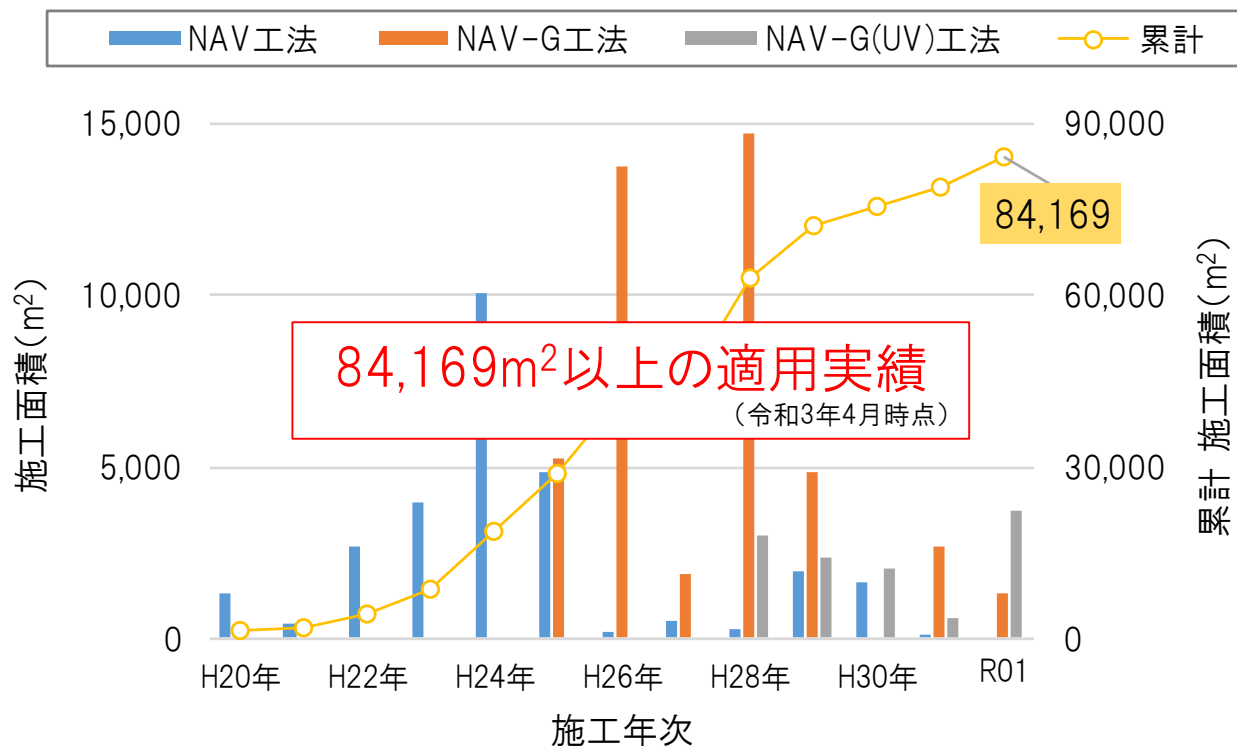
- 坑口部等への適用を想定し, NAV-G工法(UV仕様)を開発
- 表面に耐候性塗料を塗布することにより, **紫外線劣化**に対応







- 平成20年に適用後，令和3年4月時点で，84,169m<sup>2</sup>以上の適用
- 今後においても，うき・はく落に対する利用者被害の防止，対策工  
施工後の継続監視の観点から，多くの適用が見込まれる





## ● 技術名称

NAV工法・NAV-G工法・NAV-G工法(UV仕様)

## ● NETIS登録

KT-100023-VE (活用促進技術) ※R3.3.31に掲載期間終了

## ● 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。

# 以下, 参考資料



## ① 準備工・下地処理工

- ・コンクリート表面の下地処理・事前処理等を行う。
- ・コンクリート表面に大きな段差や欠損部がある場合は、ディスクサンダーを用い研磨処理やパテで修正を行う。
- ・必要に応じて、事前処理として断面修復やひび割れ注入を行う。
- ・シート接着範囲を墨出しし、周囲をテープ養生する。
- ・コンクリート表面の研削粉等を清掃する。

## ② 下地の変状観察・記録

- ・ひび割れ等の下地の変状を観察・記録し、補修後の維持管理のための初期情報とする。

## ③ プライマー工

- ・テープ養生した範囲に、ローラーもしくは刷毛等で、アクリル系樹脂を塗布する。
- ・施工時および養生時の温度、湿度等の施工環境条件を十分考慮し、コンクリート表面部分を強化するとともに、コンクリートとシートとの接着性が確保できるように施工する。

## ④ 不陸修正工

- ・粘度調整用の増粘材を必要量加えたアクリル系樹脂接着剤を不陸修正材として、コンクリート表面の型枠目違い程度の不陸を修正する。

## ⑤ シート接着工

- ・下塗り材としてアクリル系樹脂接着剤をローラーや刷毛で塗布する。
- ・シートの裁断はラップ部分を含めて寸法採りを行う。
- ・下塗り材塗布後、直ちにシートを貼付け、ゴムベラやローラーで押さえて下塗り材を含浸させる。
- ・シートを貼付け後、上塗り材としてアクリル系樹脂接着剤をローラーや刷毛で塗布し、含浸させる。
- ・可視性を最大とするために、余分な材料をそぎ落とし、表面を平滑化する。

## ⑥ 塗装工

- ・上塗り材の硬化後、耐候性塗料をローラーで均一に塗布する。

## ⑦ 養生

- ・仕上げ後、硬化が完了するまで、雨掛かり・結露等の水・粉塵に触れないよう養生をする。

## ①設計時

- ・事前調査によって変状の原因を把握し、剥落対策工法で対応できる状態であることを確認すること。

## ②施工時

- ・施工前にコンクリート表面の付着物や浮き部を除去すること。
- ・漏水等の影響がある場合には、施工前に適切な防水工・導水工を行うこと。
- ・施工時のコンクリート表面は乾燥状態とすること。
- ・コンクリート表面に欠損や大きな不陸がある場合は、事前に断面修復を行うこと。
- ・アクリル系樹脂接着剤は、施工時温度に応じて夏用(20～35℃程度)、春秋用(5～20℃程度)、冬用(-10～5℃程度)を使い分けること。
- ・剥落が想定される範囲全体をナイロクロスまたはガラスクロスで覆い、かつ、外周部に十分な定着長を確保すること。
- ・施工完了後はアクリル系樹脂接着剤及び耐候性塗料が完全に硬化するまで結露・粉塵の付着などがないように養生すること。

## ③維持管理等

- ・煤煙等の付着がある場合には、洗浄後に調査・点検を行うこと。
- ・洗浄は、傷付けを避けるために布製モップやスポンジモップなどの柔らかい道具と洗浄剤を用いて行うこと。

## ④その他

- ・変状の進行などによってナイロクロスまたはガラスクロスに剥離や破れが生じた場合には、損傷範囲を除去して貼り直しを行うこと。
- ・貼り直しを行う場合には、十分な定着長や継ぎ重ね幅を確保すること。