

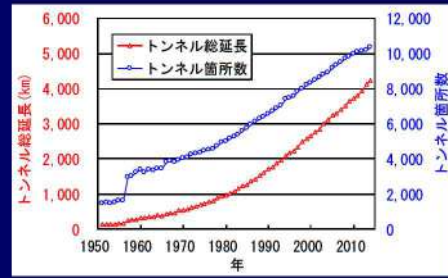
トンネルの補修技術 (NAV工法)



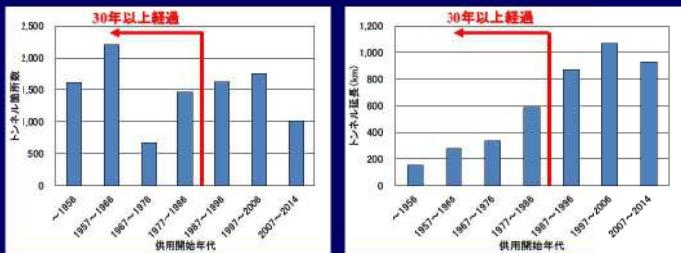
国立研究開発法人 土木研究所
つくば中央研究所 トンネルチーム 石村 利明

●道路トンネルの現況

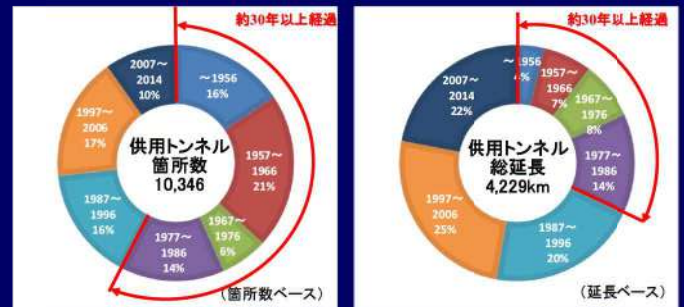
●全国の道路トンネル延長は年々増加
(平成26.4現在: 箇所数10,346箇所・延長4,229km)



●供用年代別 トンネル箇所数・供用延長



●供用年代別トンネル割合

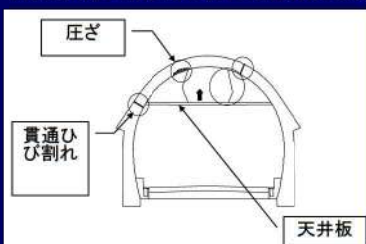


変状トンネルの事例(外力作用)

Aトンネル (約L=2500m)

中央部の30m区間に大きな変状が発生
覆工の圧ざ・クラック、天井板吊金具の変形

【対策工】
最終的にはこの区間の覆工の打直しの実施



変状トンネルの事例(ひび割れによるブロック化)



単一のひび割れが交差しブロック化



ひび割れと横断目地との組合せで半月状にブロック化



コールドジョイントと横断目地との組合せでブロック化



コールドジョイントとひび割れとの組合せでブロック化

トンネル変状対策工の分類と選定

トンネル変状対策工は期待する対策効果の点から、下記の3つに分類される

1. 外力対策

→トンネル補強技術

2. はく落防止対策

→トンネル補修技術

3. 漏水・凍結対策

7

トンネル補修技術の開発

●現状

・覆工コンクリートのひび割れ等によるはく落の可能性

覆工コンクリートに対して各種の補修工の実施

・炭素繊維シート接着工、鋼板接着工、ひび割れ注入工、L形鋼に当板工
繊維補強シートなどは、一度対策工を実施するとその後の覆工コンクリート表面の観察ができない

●新しい補修技術

民提案型共同研究

↓
押抜き載荷試験(耐荷力の把握)
促進負荷試験(耐久性の確認)
実大トンネル実験施設での試験施工(可視性の確認)

補修後も覆工コンクリート表面のひび割れが観察可能な補修工の開発

8

NAV工法

(Nylon Acrylics Visible工法)

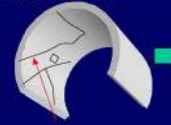
9

NAV工法

用途・概要 NAV工法とは

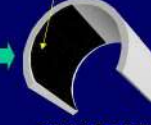
変状の発生したトンネル

大きな土圧は作用していないものの材料劣化などによりひび割れの発生したトンネル



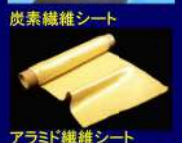
ひび割れの発生により剥落のおそれ

従来の補修工法



●補修効果の確認ができない
●その後の変状の進展の確認ができない

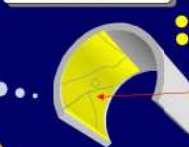
覆工表面の観察ができない



炭素繊維シート

アラミド繊維シート

NAV工法



●補修効果の確認ができる
●変状の進展の確認ができる

補修後も覆工表面が観察可能

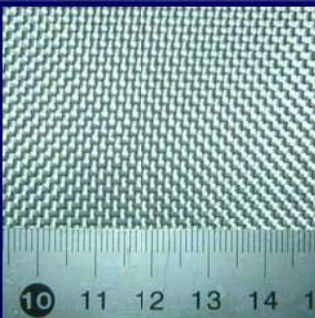
補修対策工後もトンネル覆工表面が確認できるような補修技術

10

NAV工法

用途・概要 NAV工法とは

透明性を有するアクリル樹脂によってナイロクロスをコンクリート表面に接着するはく落防止工



材料等	NAV工法の仕様
繊維シート	2方向ナイロクロス 繊維量:200g/m ²
コンクリートプライマー	アクリル樹脂0.2kg/m ² 粘度:300mPa·s
下塗り接着剤	アクリル樹脂0.3kg/m ² 粘度:4,000mPa·s
上塗り接着剤	アクリル樹脂0.2kg/m ² 粘度:300mPa·s

ナイロクロス

不透明 →

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

11

NAV工法

主な特徴

●可視性

・クロスは接着剤を含浸硬化すると透明度が高く、表面の可視性に優れる

●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し、工期短縮が可能

●経済性

・クロスは炭素繊維・アラミド繊維の価格の約1/3~1/5で経済性に優れる

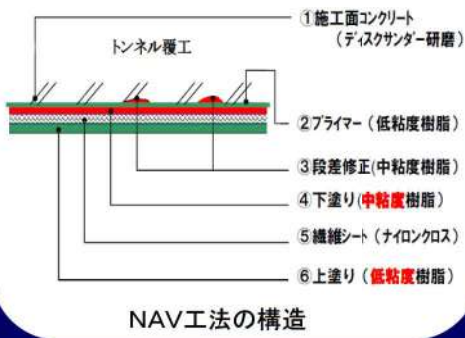
12

NAV工法

【施工手順】

- 準備工・前処理工
- 下地の変状観察・記録
- コンクリートプライマー塗布工
- 段差修正・不陸調整工
- 下塗り工
- ナイロンクロス貼付け工
- 上塗り工
- 硬化養生

一般的な繊維接着工法と同様の仕様



NAV工法



近接目視：
ひび割れ観察やひび割れ幅の計測が可能であり、施工後約11年経過時においてひび割れの進展が確認できる。

NAV工法の可視性

NAV工法

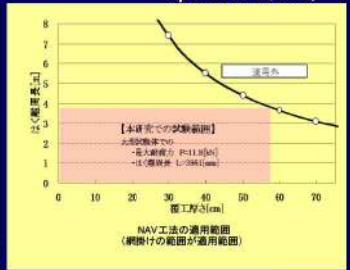
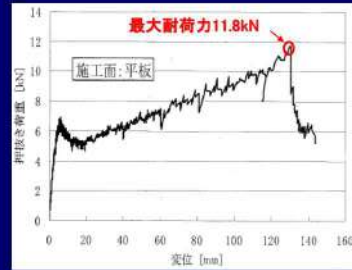


- 供試体
- コンクリート母材 1500×1500×150(mm)
 - コンクリート圧子(隙間5~8mm) 直径250, 500(mm)

押抜き載荷試験装置の概要

NAV工法

押し抜き荷重の増加に伴いシートが剥離進展する
耐荷力 約12kN
接着面積1.2m×1.2m, 押し抜き径φ500
はく離進展(単位ははく離強さ(押し抜き荷重をはく離周長で除した値)
Spo=3.17 N/mm)



押し抜き載荷試験による耐荷力 本工法の適用範囲

NAV工法の耐荷力と適用範囲

NAV工法

実現場での適用

【道路トンネル、鉄道トンネル等で適用】
適用面積：約58,000m²

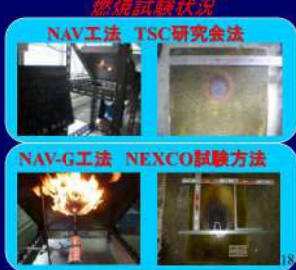


NAV工法の改良 耐火性能の向上【NAV-G工法】

- NAV工法の耐火性能:TSC研究会[※]による燃焼試験方法により確認済み
*TSC研究会法:FRPによるトンネル覆工剥落対策マニュアル 資料8 燃焼試験方法(案)
トンネル安全対策工法研究会(TSC研究会)
- NEXCOは23年7月にNEXCOトンネル施工管理要領を改訂
はく落対策工の規格を記載(耐火性能について火災の温度、燃焼時間がより厳しい条件)
→シートをガラス繊維とすることで、耐火性能の向上を図り、規格を満足
【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】
- 燃焼時に発生するガスの安全性
建築基準法に定める防火材料のうち「避難上有害な煙または有害ガスを発生しないこと」を満たすことを確認

燃焼試験項目の例

	TSC研究会法	NEXCOトンネル施工管理要領
被着体	コンクリート板 300×300×60mm	ケイ酸カルシウム板 600×900×12mm
火炎温度	≥1,000℃	≥1,200℃
延焼時間	30秒	10分
消炎時間	≤30秒	≤30秒
延焼範囲上端方向	-	≤600mm
発生ガスの安全性	-	マウスの行動時間 ≥6.8分



NAV工法の改良 耐火性能の向上【NAV-G工法】

NEXCOTンネル施工管理要領(23年7月)の基準試験に適合

【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】

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	
縦横接着系工法 はく落対策	押し抜き性能 試験法734 (フレキシブル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	OK	
		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	OK	
		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	OK	
	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)	OK
		試験法736 (温冷繰り返し接着強さ) (-2℃で3時間→50℃で3時間 →23℃で湿度90%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)	OK
	共通	延焼性- 自己消火性 試験法738	消炎時間:t≤30秒 延焼範囲:上壁方向:L≤600mm	消炎時間:t=0秒 延焼範囲:上壁方向: L=480mm, 450mm	OK
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)	OK

19

NAV工法の改良 耐火性能の向上【NAV-G工法】

●NAV-Gシート

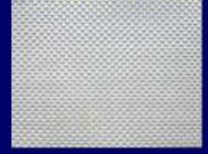
2軸織りメッシュシートでのガラスクロス
下地コンクリートへの追従性に優れ、施工性に優れる

NAV-Gシート



厚さ0.25mm×幅100cm×100m

シート拡大状況



●可視性

意図的にひび割れを発生させたコンクリート平板上の可視性を確認



施工前

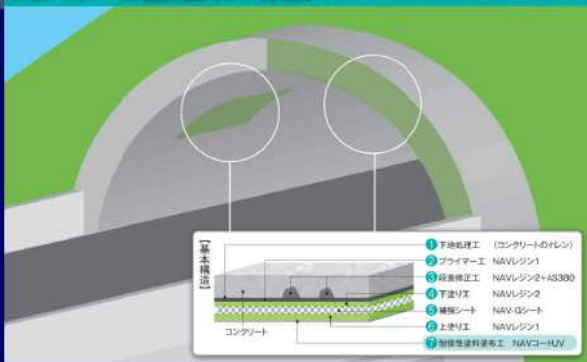
施工直後

施工後5日

20

NAV工法の改良 トンネル坑口部等への適用【NAV-G工法(UV仕様)】

NAV-G工法(UV仕様) トンネル坑口・坑門部等明かり部



21

NAV工法 工期・コストはどうか

施工面積100m²を想定した場合の試算例

工期はどうか

- ・従来工法(炭素繊維): 約10日
- ・NAV工法・NAV-G工法: 約5日(約5日間の工期短縮)
- NAV-G工法(UV仕様): 約6日(約4日間の工期短縮)

金額(施工単価)はどうか

- ・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
(約12,000円/m²の施工単価縮減)
- NAV-G工法(UV仕様): 約14,000円/m²
(約9,000円/m²の施工単価縮減)

22

問い合わせ先

NAV工法(トンネル補修技術)

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。

23