

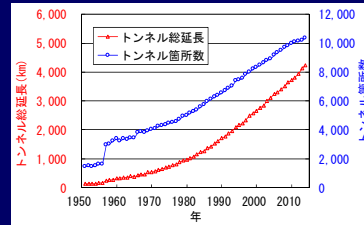
トンネルの補修技術 (NAV工法)



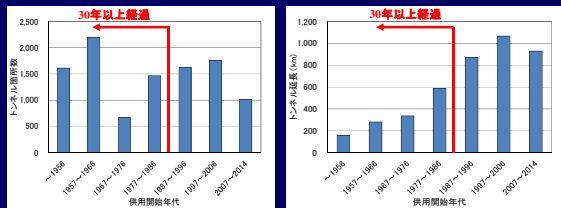
国立研究開発法人 土木研究所
つくば中央研究所 トンネルチーム 石村 利明

●道路トンネルの現況

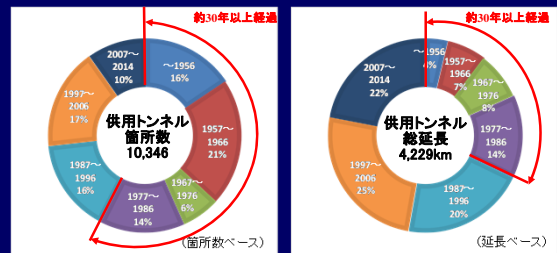
● 全国の道路トンネル延長は年々増加
(平成26.4現在: 箇所数10,346箇所・延長4,229km)



● 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



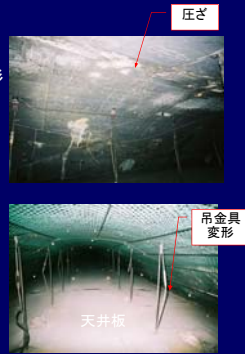
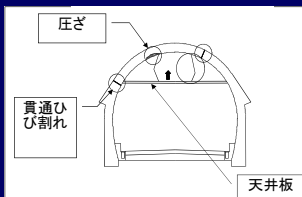
変状トンネルの事例 (外力作用)

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)



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

変状が発生したトンネル

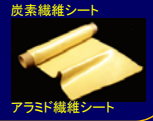
次なる土圧は使用していないものの
 の付着劣化などによりひび割れ
 の発生したトンネル

従来の補修工法



ひび割れの発生により剥落のおそれ

●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



炭素繊維シート

アラミド繊維シート

補修後も覆工表面が観察可能



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

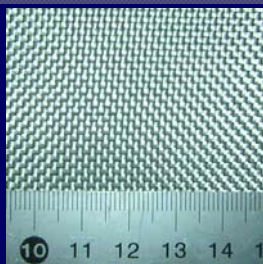
補修対策後もトンネル覆工表面が確認できるような補修技術

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ンクロスを
 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方向ナイロンクロス 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

ナイロンクロス

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 → 可使光透過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

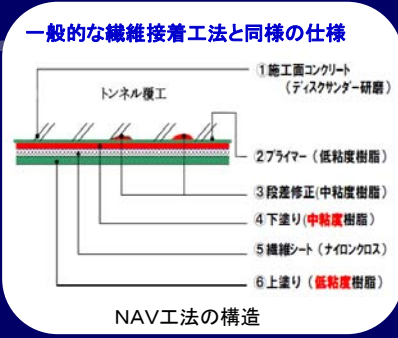
12

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

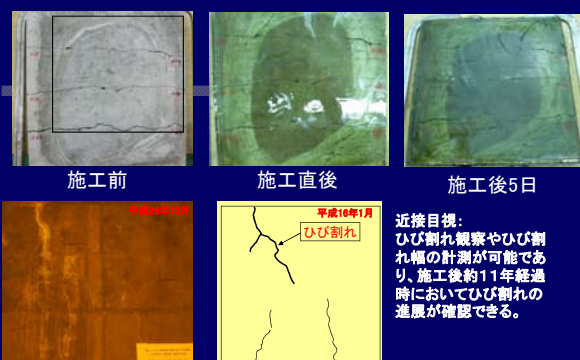
一般的な繊維接着工法と同様の仕様



NAV工法の構造

- 1 施工面コンクリート (ディスクサンダー研削)
- 2 プライマー (低粘度樹脂)
- 3 段差修正 (中粘度樹脂)
- 4 下塗り (中粘度樹脂)
- 5 繊維シート (ナイロンクロス)
- 6 上塗り (低粘度樹脂)

NAV工法



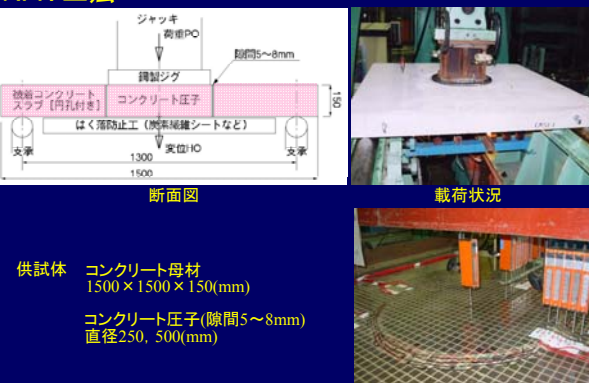
施工前 施工直後 施工後5日

施工後約11年経過 (実大トンネル実験施設での試験施工)

NAV工法の可視性

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1年経過時においてひび割れの進展が確認できる。

NAV工法



断面図

荷重状況

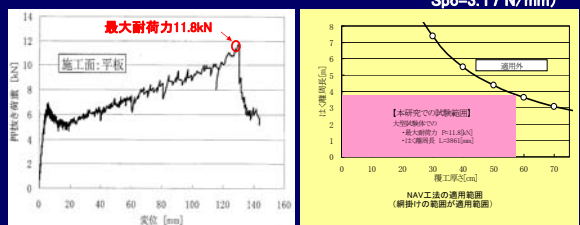
供試体

- 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)

押抜き荷重試験装置の概要

NAV工法

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



最大耐荷力11.8kN

押し抜き荷重 [kN]

変位 [mm]

比はく離進展 [mm]

押し抜き荷重 [kN]


NAV工法の適用範囲 (網掛けの範囲が適用範囲)

押抜き荷重試験による耐荷力 本工法の適用範囲

NAV工法の耐荷力と適用範囲

NAV工法

【道場での適用】 (道路トンネル、鉄道トンネル等で適用)
適用面積：約43,000m²



1. 施工前
2. ケレン・プライマー塗布
3. 下塗り
4. NAVシート貼り付け
5. 上塗り
6. 施工完了

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研究会法¹⁾による燃焼試験方法により確認済み
* TSC研究会法: FRPI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
はく離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

燃焼試験結果の例

	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
火災温度	≥ 1,000°C	≥ 1,200°C
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

燃焼試験状況

NAV工法 TSC研究会法

NAV-G工法 NEXCO試験方法

NAV工法の改良 耐火性能の向上【NAV-G工法】

NEXCOト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	
縦横接着工法の材料はく剥離試験	押し抜き性能 試験法734 (714×818鉄筋シート1枚: 400×600×60mmを用いて直径100mm孔の押し抜き)	荷重P=0.7kN時に変位D≦50mm (目地部以外に施工)	荷重P=0.7kN時に変位D=0.61mm	OK	
		荷重P=0.8kN時に変位D≦50mm (目地部で目地を跨いで施工)	荷重P=0.8kN時に変位D=0.64mm	OK	
		荷重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) 試験法736 (温冷繰り返し接着強さ) (20℃で3時間→60℃で3時間→23℃湿度80%で16時間)を1サイクルとして3サイクル	試験法735	1.5N/mm ² 以上	4.8N/mm ² (最大荷重7.6kN)	OK
		試験法736	1.5N/mm ² 以上	4.2N/mm ² (最大荷重5.1kN)	OK
	共通材料	延焼性・自己消火性 試験法738	消炎時間:t≦30秒 延焼距離:上端方向:L≦600mm	消炎時間:t=0秒 延焼距離:上端方向: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「濃煙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】

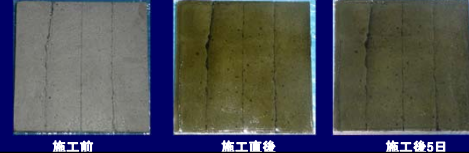
●NAV-Gシート

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



●可視性

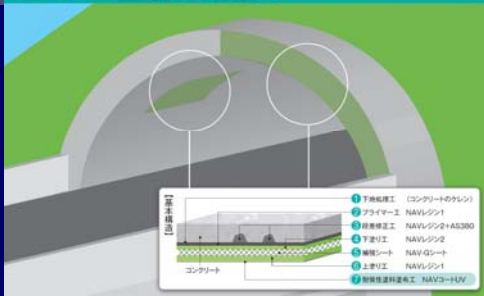
意図的にひび割れを発生させたコンクリート平板上の可視性を確認



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

問い合わせ先

トンネル補修技術(NAV工法)

技術名称 : NAV工法・NAV-G工法・NAV-G工法(UV仕様)

NETIS登録: KT-100023-A

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(HP)で詳細情報が確認できます。

22