

# トンネル補修・補強技術



独立行政法人 土木研究所  
つくば中央研究所 トンネルチーム

## 本技術の適用

- ・地震等による被災トンネルの補修・補強
- ・供用後の変状トンネルに対する補修・補強

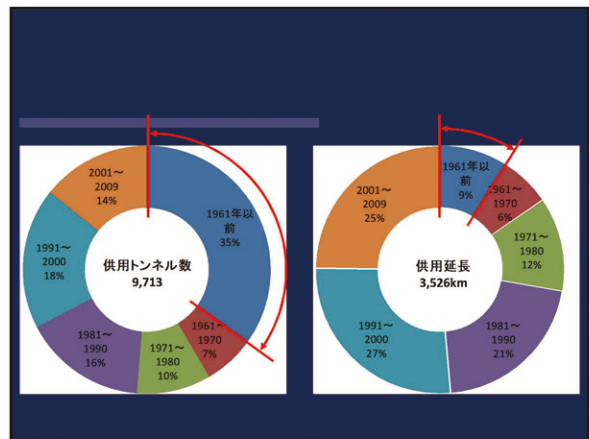
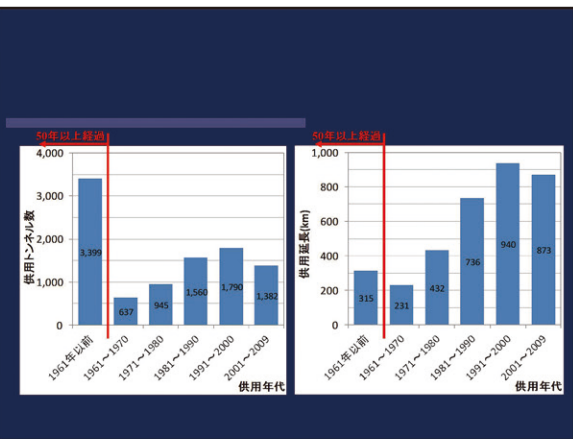
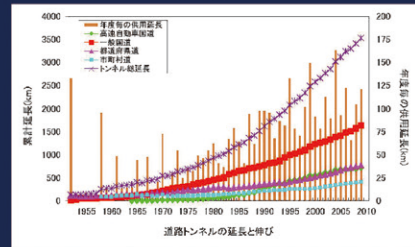
## 技術紹介 — 目次 —

1. 道路トンネルの現況
2. トンネル補強技術の開発
3. トンネル補修技術の開発
4. 本技術の適用にあたって

# 道路トンネルの現況

## ●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20.4現在: 箇所数9,713箇所・延長3,526km)



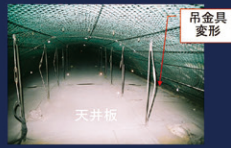
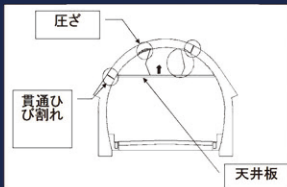
## 変状トンネルの事例(外力作用)

Aトンネル(約L=2500m)

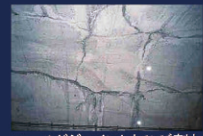
中央部の30m区間に大きな変状が発生  
覆工の圧ざ・クラック、天井板吊金具の変形

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、

### 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

の3つに分類される

## トンネル補強技術の開発

## トンネル補強技術の開発

### ●背景

・過大な土圧の作用によって変状したトンネルが存在



覆工コンクリートに対して各種の補強対策の実施

内空断面に余裕がない場合の十分な補強  
効果が期待できる補強対策がない

### ●新しい補強技術

民提案型共同研究



載荷パターンを想定した実物大の載荷試験の実施  
耐荷力および破壊形態を明らかにし補強効果を確認

薄肉で十分な耐荷力が確保できる補強工の開発

## 補強技術の共同研究グループ

●鋼材と高靱性セメント複合材料(ECC)を用いた  
薄肉吹付けトンネル補強工法【NETIS登録KT-090004-A】

(独)土木研究所・鹿島建設(株)

●部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法  
【NETIS登録HR-030003-A】

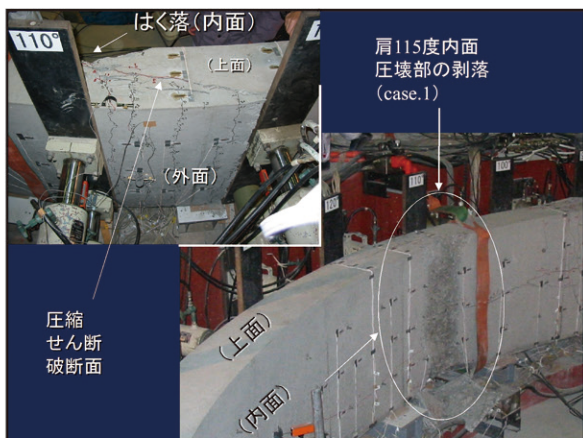
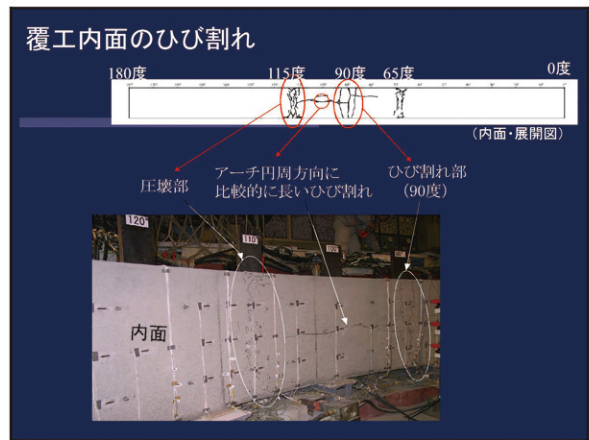
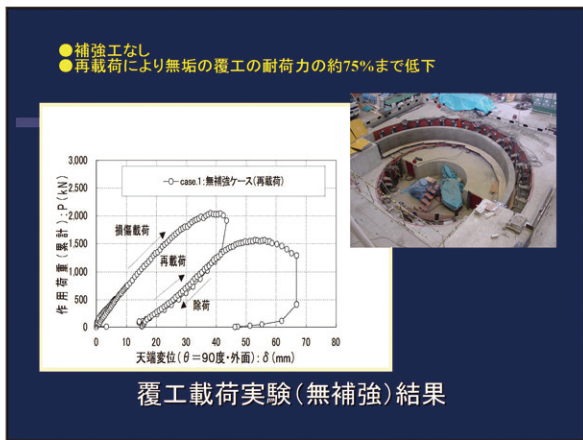
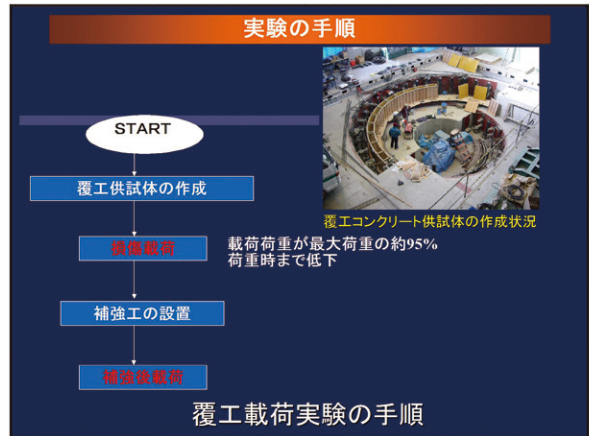
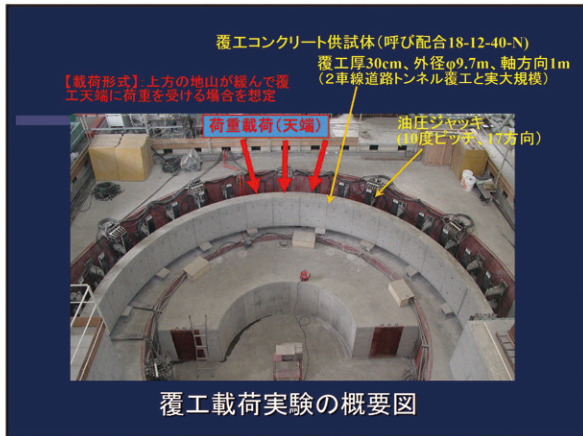
(独)土木研究所・石川島建材工業(株)・日本コンクリート工業  
(株)・日本サミコン(株)・ジオスター(株)

●連続繊維メッシュ入り短繊維混入モルタル内巻き工  
【NETIS登録KT-090051-A】

(独)土木研究所・鉄建建設(株)・(株)クラレ

●ポリプロピレン短繊維補強吹付けコンクリート工

(独)土木研究所・戸田建設(株)・西松建設(株)

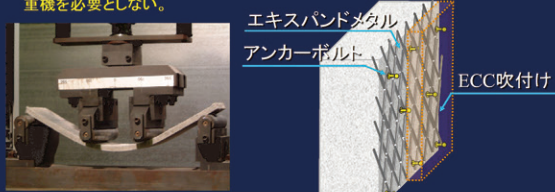


鋼材と高靱性セメント複合材料(ECC)を用いた  
 薄肉吹付けトンネル補強工法



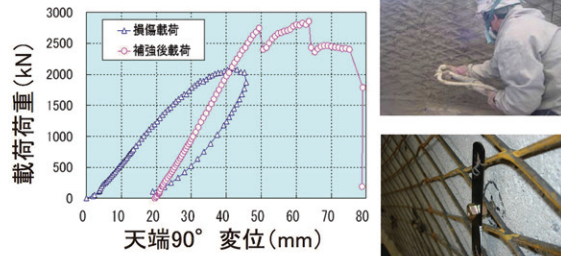
覆工内面にエキスパンドメタルを設置した高韌性セメント複合材料 (ECC:Engineered Cementitious Composites)を吹付ける工法

- 補強厚:  $t=50\sim 70\text{mm}$ を標準
- ECCの力学特性: PVA繊維の混入率2%volの場合、圧縮強度 $30\text{N/mm}^2$ 、引張強度 $2\text{N/mm}^2$ 以上であり、鋼材降伏ひずみの10倍程度(約2%)に相当する引張ひずみが作用しても引張力を保持する特徴を持つことから変形追随性に優れる。
- 施工方法: 予めプレミックスしたECC材料を吹付ける方法。型枠が不要で大型重機を必要としない。



鋼材と高韌性セメント複合材料(ECC)を用いた薄肉吹付けトンネル補強工法の概要図

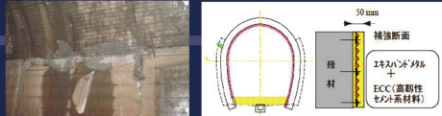
- 補強工:  $t=50\text{mm}$
- 損傷を受ける前の覆工 ( $300\text{mm}$ 、圧縮強度 $18\text{N/mm}^2$ )と比較して、耐力が約1.4倍向上することを確認



鋼材と高韌性セメント複合材料(ECC)を用いた薄肉吹付けトンネル補強工法の載荷試験結果

実現場での適用

JR上越線天王トンネル(単線) 延長285m  
37m区間に適用(約500m<sup>2</sup>) 新潟中越地震(2004年)  
工期短縮(実働10日間)、工費の削減を達成



①覆工表面処理

切削 ひび割れ注入  
ロックボルト

②鋼材設置

エキスパンドメタルをアン  
カーで固定

③ECC吹付け

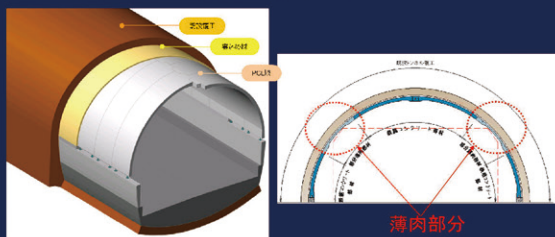
50mmを4~5層に分けて  
ECC吹付け

鋼材と高韌性セメント複合材料(ECC)を用いた薄肉吹付けトンネル補強工法

部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法

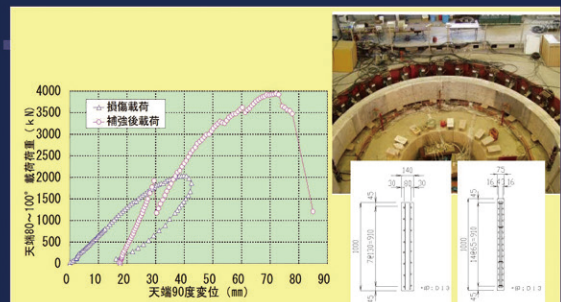
建築限界を侵す可能性の高いトンネル肩部のみを薄肉化した部分のPCL版を用いた工法

- PCL版: 肩部は鉄筋入りの超高強度鋼繊維補強コンクリート
- 肩部以外は従来のPCL版と同様のRC部材(圧縮強度 $40\text{N/mm}^2$ )
- 部材厚: 肩部は75mm、肩部以外は140mm(ただし、既設コンクリートとの隙間に厚さ50mmの裏込め注入を実施)
- 出来高厚: 肩部は125mm、肩部以外は190mm
- 施工方法: 通常のPCL版と同様な方法で施工



部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法の概要図

- 補強工: 肩部は75mm、肩部以外は140mm
- 損傷を受ける前の覆工 ( $300\text{mm}$ 、圧縮強度 $18\text{N/mm}^2$ )と比較して、耐力が約1.9倍向上することを確認



部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法の載荷試験結果

**実現場での適用** 鳴子トンネル(一般国道47号 225m) 約40m区間で適用

準備工  
 ↓  
 PCL版脚部金具取付  
 ↓  
 架設機械据え付け  
 ↓  
 PCL版設置工  
 ↓  
 脚部補強工  
 ↓  
 裏込め注工  
 ↓  
 施工完了

PCL板 架設状況(1車線規制)

PCL板 施工完了

部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法

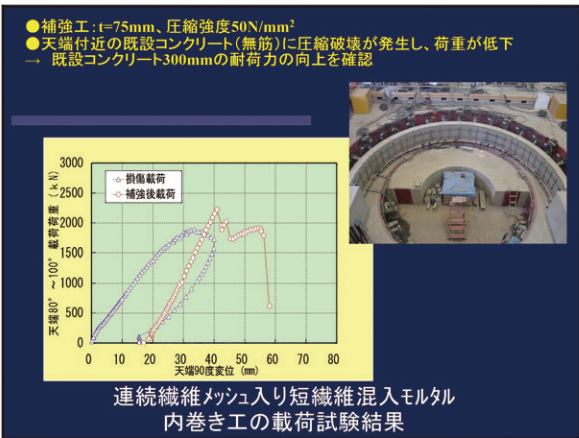
**連続繊維メッシュ入り短繊維混入モルタル内巻き工**

圧縮強度とじん性に優れた短繊維混入モルタルと引張補強材として連続繊維メッシュ(厚さ1.5mm、引張強度88N/mm<sup>2</sup>)を合わせた工法

- 補強厚: t=50~100mmを標準
- 短繊維混入: PVA繊維、標準的な混入率2%vol
- モルタル: 自己充填可能な高流動モルタル、圧縮強度40~60N/mm<sup>2</sup>
- 連続繊維メッシュ: 短繊維モルタル部の内面・外面(既設覆工内面側)
- 施工方法: 短繊維混入モルタルの型枠ボードを用いてモルタル注入省スペースでの施工が可能、片側車線規制での施工が可能

型枠ボード  
 連続繊維メッシュ  
 既設覆工  
 短繊維混入モルタル

連続繊維メッシュ入り短繊維混入モルタル内巻き工の概要図



**ポリプロピレン短繊維補強吹付けコンクリート工**

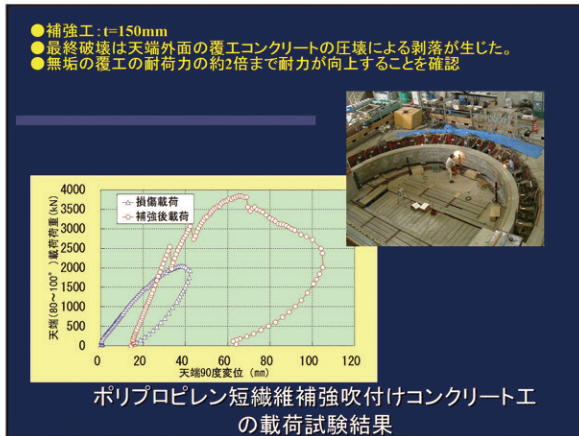
覆工表面に繊維混入コンクリートを吹付ける工法

- 補強厚: t=125mmを標準
- 繊維混入コンクリート: 繊維の混入率0.3%vol、圧縮強度40~60 N/mm<sup>2</sup>、曲げ強度4 N/mm<sup>2</sup>程度以上
- 施工方法: 吹付コンクリートの付着を良好にする目的で溶接金網またはメッシュ鉄筋を覆工表面に取付けて吹付ける。型枠が不要。

アンカー 段取筋  
 補強鋼材(鉄筋金網等)  
 地山側  
 坑内側  
 覆工  
 吹付け面  
 繊維混入吹付けコンクリート

混入する繊維  
 繊維の断面

ポリプロピレン短繊維補強吹付けコンクリート工の概要図



## トンネル補修技術の開発

### 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

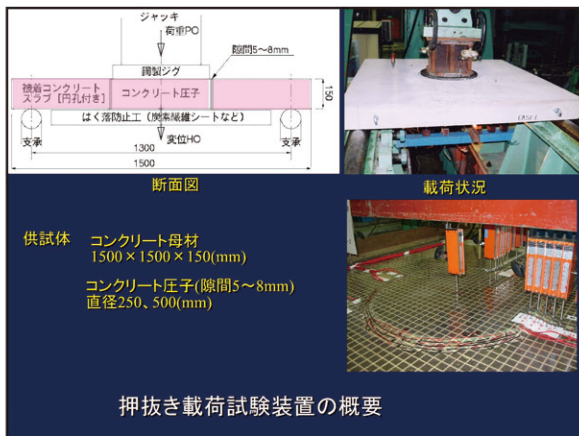
- ・炭素繊維シート接着工、鋼板接着工、ひび割れ注入工、L形鋼に当板工
- 繊維補強シートなどは、一度対策工を実施するとその後の覆工コンクリート表面の観察ができない

- 新しい補修技術
  - 民提案型共同研究
  - 押抜き載荷試験(耐力力の把握)
  - 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

### 補修技術の共同研究グループ

- NAV工法 【NETIS登録:KT-100023-A】
  - (独)土木研究所・鹿島建設(株)・電気化学工業(株)
- 光ネット可視工法 【NETIS登録:KT-100108-A】
  - (独)土木研究所・清水建設(株)・昭和電工(株)
  - ・倉敷紡績(株)



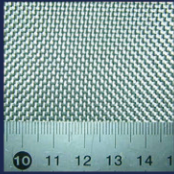
## NAV工法



### ●NAV工法

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

- ナイロ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
- はく落防止性能としてコンクリートの接着性、押抜き耐荷力が高い
- 材料が柔らかいので施工面の凹凸に対する追従性がある
- 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
- 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で経済性に優れる



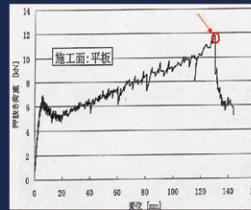
ナイロクロス

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 <sup>2</sup>
コンクリートプライマー	アクリル樹脂0.2kg/m <sup>2</sup> 粘度: 300mPa·s
下塗り接着剤	アクリル樹脂0.3kg/m <sup>2</sup> 粘度: 4,000mPa·s
上塗り接着剤	アクリル樹脂0.2kg/m <sup>2</sup> 粘度: 300mPa·s

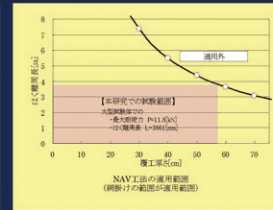
NAV(=Nylon Acrylics Visible)工法の概要

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

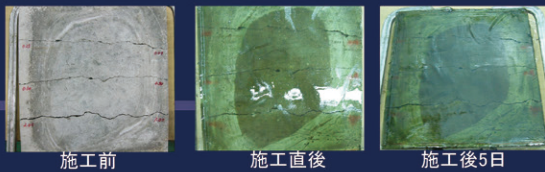


押し抜き荷重試験による耐荷力



本工法の適用範囲

NAV工法の耐荷力と適用範囲



施工前

施工直後

施工後5日



施工後約1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年経過までの可視性の低下は認められない。

### 光ネット可視工法

### ●光ネット可視工法

光硬化型ビニルエステル樹脂を用い、高密度ポリエチレン二軸ネットをコンクリートに貼り付け、可視光で硬化させるはく落防止工(工法1)。さらに、二軸ネットの上に光硬化型シートを貼り付け、工法1に比べてより高い耐荷力を有するはく落防止工(工法2)

- 透明性がある樹脂を使用し、ネット貼り付け後もコンクリート表面の観察が可能
- 光硬化型シートを併用することで耐荷力、可視性をさらに向上することが可能
- 照射後には樹脂の硬化が終了しており、直ちに性能を発揮することが可能
- 材料は下地コンクリートへの不陸への追従性高く、軽量で取り扱いが容易



二軸ネット



光硬化型シート

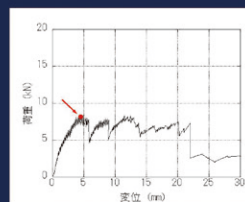
光ネット可視工法の概要

材料等	光ネット可視工法の仕様
繊維ネット	高密度ポリエチレン二軸ネット 幅100cm、目合2cm 目付量45g/m <sup>2</sup>
光硬化型シート	ガラス繊維補強光硬化型シート
プライマー	2液型エポキシ樹脂
含浸樹脂	可視光硬化型ビニルエステル樹脂

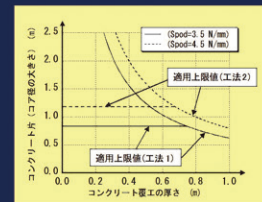
押し抜き荷重の増加に伴って 繊維ネットの破断(工法1)

繊維ネットと光硬化型シートが破断(工法2)

耐荷力 約8kN(工法1)、約17kN(工法2)  
接着面積1.2m×1.2m、押抜き径φ500  
単位ははく離強さ(小型供試体) Spo=3.5 N/mm(工法1)、Spo=4.5 N/mm(工法2)



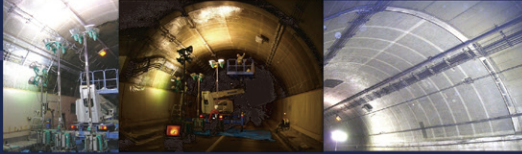
押し抜き荷重試験による耐荷力



本工法の適用範囲

光ネット可視工法の耐荷力と適用範囲

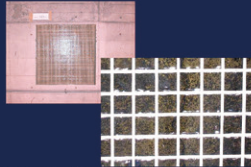
**実現場での適用** 【一般国道231号 増毛日方泊トンネル】  
適用面積: 120m<sup>2</sup>



実大トンネル実験施設での試験施工

**可視性の状況**

- ・近接目視: 繊維ネットが重なった部分を除いてクラックゲージ0.2mm幅のクラックに対しても確認が可能
- ・工法2の光硬化型シートの使用により可視性が向上



光ネット可視工法の適用実績・可視性

本技術の適用にあたって

**連絡先一覧**  
トンネル補強技術

技術名称	連絡先	TEL
鋼材と高靱性セメント複合材料(ECC)を用いた薄肉吹付けトンネル補強工法【NETIS登録:KT-090004-A】	鹿島建設(株)技術研究所	042-489-7081
部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法【NETIS登録:HR-030003-A】(PCL工法)	PCL協会事務局 石川島建材工業(株)	03-6271-7327
連続繊維メッシュ入り短繊維混入モルタル内巻き工【NETIS登録:KT-090051-A】	鉄建建設(株)エンジニアリング本部 技術企画部	03-3221-2184
ポリプロピレン短繊維補強吹付けコンクリート工	西松建設株技術研究所 戸田建設株環境ソリューション部	03-3502-0249 03-3535-6299

**トンネル補修技術**

技術名称	連絡先	TEL
NAV工法【NETIS登録:KT-100023-A】	電気化学工業(株)	042-721-3650
光ネット可視工法【NETIS登録:KT-100108-A】	NIRネット工法研究会事務局 プラス産業(株)	03-5821-0591

※各技術の詳細等の問い合わせは、土研トンネルチーム、もしくは上記連絡先等へ連絡して下さい。  
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。