

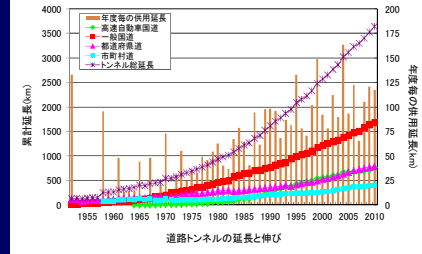
## トンネルの補修・補強工法 (NAV工法・部分薄肉化PCL工法)



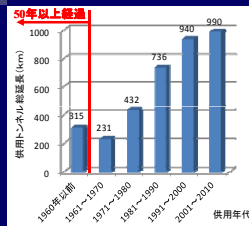
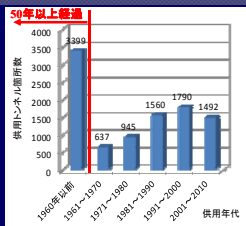
独立行政法人 土木研究所  
つくば中央研究所 トンネルチーム

## ●道路トンネルの現況

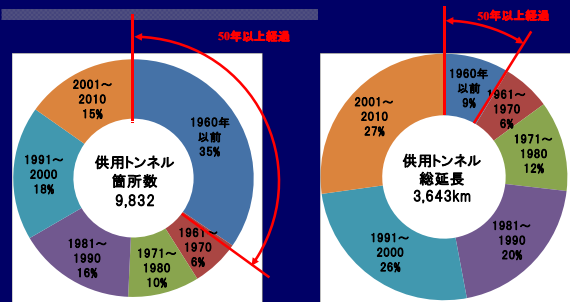
全国の道路トンネル延長は年々増加  
(平成21.4現在: 箇所数9,823箇所・延長3,643km)



## ●供用年代別トンネル数



## ●供用年代別トンネル割合



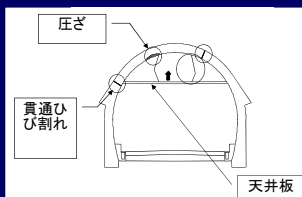
## 変状トンネルの事例(外力作用)

Aトンネル (約L=2500m)

中央部の30m区間に大きな変状が発生  
覆工の圧さ・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、

### 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

### ●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  
耐力力および破壊形態を明らかにし補強効果を確認

薄肉で十分な耐力力が確保できる補強工の開発

## 部分薄肉化PCL工法

### ●部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法

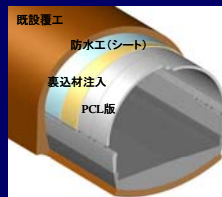
【NETIS登録HR-030003-A】(PCL工法)

(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)

### 部分薄肉化PCL工法

用途・概要 PCL工法とは

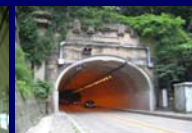
- ① プレキャスト製コンクリートアーチを組立て、トンネルの補修、補強を行う工法
- ② PCL版はアーチ構造で自立
- ③ トンネル内部での専用重機による据付け
- ④ 片側交互交通開放下による施工が可能
- ⑤ 新設トンネルの2次覆工としても使用可



①施工写真



②完成写真



③完成写真

### 部分薄肉化PCL工法

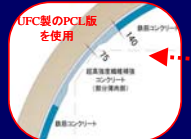
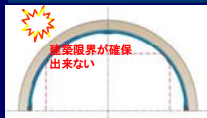
用途・概要 部分薄肉化PCL工法とは

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

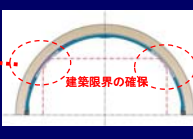
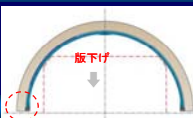
◆内空断面に余裕がない場合でのPCL工法

◆薄肉部分に超高強度繊維補強コンクリート(UFC)を使用

現状では建築限界確保が困難



確保のため、路盤を下げるなど



### 部分薄肉化PCL工法

用途・概要 部分薄肉化PCL工法とは



#### 普通部材

部材厚  $t=140\text{mm}$   
鉄筋コンクリート構造  
 $f_{ok} = 40\text{N/mm}^2$



#### 薄肉部材


部材厚  $t=75\text{mm}$  (140mm)  
UFC (RPO由来)構造  
 $f_{ok} = 200\text{N/mm}^2$

### 部分薄肉化PCL工法

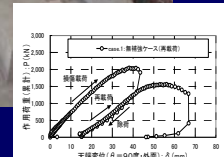
覆工コンクリート供試体(呼び配合18-12-40-N)  
 覆工厚30cm、外径φ9.7m、軸方向1m  
 (2車線道路トンネル覆工と実大規模)

【電荷形式】:上方の地山が緩んで覆工天端に荷重を受ける場合を想定

荷重載荷(天端) 油圧ジャッキ (10度ピッチ、1方向)




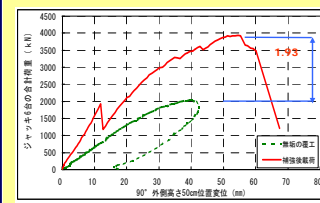
覆工載荷実験の概要



### 部分薄肉化PCL工法

●補強工:肩部は75mm  
 肩部以外は140mm

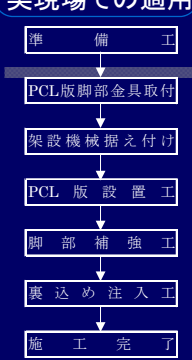

●損傷を受ける前の覆工(300mm、圧縮強度18 N/mm<sup>2</sup>)と比較して、耐力が約1.9倍向上することを確認

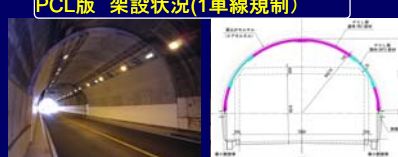
部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法  
 載荷試験結果

### 部分薄肉化PCL工法 実現場での適用

- 田代トンネル 約35m区間で適用
- 鳴子トンネル 約40m区間で適用

PCL版 架設状況(1車線規制)



PCL版 施工完了

部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法

### 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

## NAV工法

●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)

### NAV工法 用途・概要 NAV工法とは

変状の発生したトンネル

従来の補修工法

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

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

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

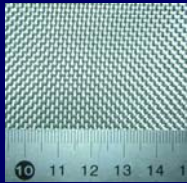
補修対策後もトンネル覆工表面が確認できるような補修技術

### 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

- 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

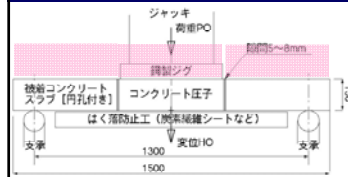


ナイロクロス

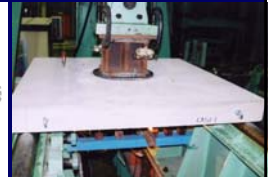
NAV(=Nylon Acrylics Visible)工法の概要

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工法



断面図



載荷状況

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

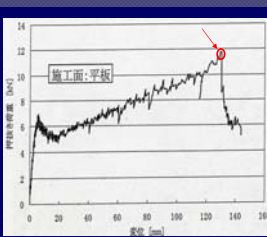
### NAV工法

押し抜き荷重の増加に伴いシートが剝離進展する

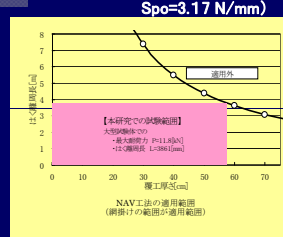
耐荷力 約12kN

接着面積1.2m × 1.2m、押抜き径φ500

はく離進展(単位はく離強さ(押し抜き荷重をはく離周長で除した値))



押し抜き載荷試験による耐荷力



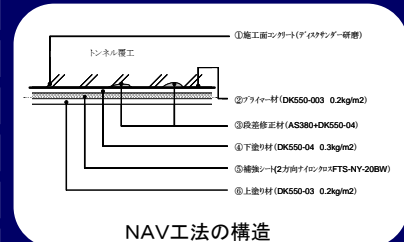
本工法の適用範囲

NAV工法の耐荷力と適用範囲

### NAV工法

#### 【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
- ナイロクロス貼付け工
- 上塗り工
- 硬化養生



NAV工法の構造

### NAV工法



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。

### 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23,000m<sup>2</sup>



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

## 問い合わせ先

### トンネル補強技術(部分薄肉化PCL工法)

技術名称	連絡先	TEL
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㈱	03-6271-7327

### トンネル補修技術(NAV工法)

技術名称	連絡先	TEL
NAV工法 【NETIS登録:KT-100023-A】	電気化学工業(株)	03-5290-5137

※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。