

トンネルリニューアル工事 施工事例

2019年度版

一般社団法人 日本建設業連合会
インフラ再生委員会

リニューアル事例一覧 トンネル

No.	区分	技術名称	固有名称または事例名称	提供企業	ページ番号	2019年度の対応
1	点検	遠隔からの覆工ひび割れ調査	KUMONOS	大林組	4	
2	点検	既設トンネルの覆工背面調査技術	背面水圧コア+ポアホールカメラ	奥村組	6	
3	点検	誘電率算出によるトンネルの覆工厚の計測	自動速度解析型電磁波レーダー	鹿島建設	8	
4	点検	電磁波レーダ探査による覆工空洞発生防止	ラピダスⅢ	鴻池組	10	更新
5	点検	覆工コンクリートの走行型計測技術による初期点検	MIMM	鴻池組	12	
6	点検	可視画像と赤外線画像によるハイブリッド画像診断	ヒビダス	清水建設	14	
7	点検	既設トンネル覆工背面空洞調査システム	PVMシステム	清水建設	16	
8	点検	ひび割れ画像解析技術	ウェブレット変換を用いた画像解析技術	大成建設	18	
9	点検	電磁波による覆工背面空洞調査	トンネル覆工背面調査システム	東急建設	20	
10	点検	トンネル内舗装の調査技術		NIPPO	22	
11	点検	弾性波による地山探査法	トンネル浅層反射波法(SSRT)	フジタ	24	
12	点検	複数周波数によるトンネル背面の電磁波レーダー探査法	モールM・レーダー	三井住友建設	26	
13	点検	小口径削孔による覆工背面調査	モール・スパイグラス	三井住友建設	28	
14	点検	コンクリート表面のひび割れ調査	デジタル画像によるひび割れ調査法	村本建設	30	
15	点検	コンクリート表面の浮き・はく離調査手法	赤外線法	村本建設	32	
16	診断	下水道施設におけるコンクリート劣化予測	下水道構造物劣化診断システム	奥村組	34	
17	診断	トンネル掘削汎用機械を用いた岩石試料のサンプリング	切羽前方コアサンプリングシステム	五洋建設	36	新規
18	診断	3成分弾性波反射法によるトンネル切羽前方探査	TSP203システム	東洋建設	38	
19	診断	弾性波トモグラフィによる内部可視化・健全性診断	3次元構造物健全性診断システム『DaCS-3D』	飛鳥建設	40	
20	補修・補強	防菌剤混和モルタルによる防食被覆	防菌モルタル防食・補強工法	安藤・間	42	
21	補修・補強	プレキャストRC版によるトンネル覆工補強	PCL工法	大林組	44	
22	補修・補強	ポリマーセメントモルタルによるトンネル覆工補強・断面修復	ジョツクリート工法	大林組	46	
23	補修・補強	トンネル覆工の背面空洞充填	スペースパック工法	大林組	48	更新
24	補修・補強	高靱性セメントボードによるトンネル覆工内面補強	スムーズボード工法	大林組	50	
25	補修・補強	PP繊維入りポリマーセメントモルタルによる覆工内面補修	耐火型ジョツクリート工法	大林組	52	
26	補修・補強	2液性充填材による既設地下構造物の漏水対策	アクアカット	大林組	54	
27	補修・補強	角波サイディングを利用した道路トンネル漏水対策	化粧パネル工法	奥村組	56	
28	補修・補強	ウレア系樹脂吹付けによるトンネル摩耗対策(山岳用)	山岳トンネルUUライニング工法	奥村組	58	
29	補修・補強	ウレア系樹脂吹付けによるトンネル摩耗対策(シールド用)	シールドトンネルUUライニング工法	奥村組	60	
30	補修・補強	可塑性グラウトによる覆工背面の空洞充填	マジカルグラウト工法	鹿島建設	62	
31	補修・補強	ナイロクロスによる覆工コンクリート剥落防止	NAV工法	鹿島建設	64	
32	補修・補強	軽量薄肉パネルを用いたトンネル内巻き補強	マジカルボード工法	鹿島建設	66	
33	補修・補強	高靱性セメント複合材料による薄肉トンネル補強工法	ECCショット	鹿島建設	68	
34	補修・補強	急速施工が可能なトンネル覆工補強	サポートライニング工法	熊谷組	70	
35	補修・補強	フライアッシュ混合の長距離圧送が可能な可塑性注入材	スーパーエコマックス	熊谷組	72	
36	補修・補強	大型機械不要の急速施工が可能なトンネル覆工補強	ダクタイト覆工板工法	熊谷組	74	
37	補修・補強	高密度ポリエチレン表面部材による大断面水路の更生	パルテム・フローリング工法	鴻池組	76	

リニューアル事例一覧 トンネル

No.	区分	技術名称	固有名称または事例名称	提供企業	ページ 番号	2019年度の 対応
38	補修・補強	供用中の2車線高速道路トンネルにおける二重の安全対策工事	ロックボルト補強工	鴻池組	78	新規
39	補修・補強	狭隘な巻立空間の覆工コンクリートの打設	内部に鋼製支保工を含む巻立空間への打設	五洋建設	80	新規
40	補修・補強	1液性充填材による覆工裏込注入	アクアグラウト工法	清水建設	82	
41	補修・補強	親水性1液型ポリウレタン樹脂による注入止水工	ピングラウト工法	清水建設	84	
42	補修・補強	緩衝材を用いた炭素繊維シート補強	HiPer CF工法	清水建設	86	
43	補修・補強	内部補強と外部補強を組合せた供用中の地下鉄トンネル変状対策	みなとみらい線 高島トンネル補強工事	清水建設	88	新規
44	補修・補強	短繊維補強版を用いた補修技術	HMC版工法	大成建設	90	
45	補修・補強	連続炭素繊維シート複合パネル工法	CFパネル工法	大成建設	92	
46	補修・補強	高強度・耐摩耗性を有したプレキャスト版による覆工内巻き補強	PIC版工法	大成建設	94	
47	補修・補強	ハーフPCa版を用いた覆工補修	ハーフPCa(オムニア版)工法	大成建設	96	
48	補修・補強	予防保全技術のためのコンクリート混和材	バルチップ工法	大成建設	98	
49	補修・補強	紫外線硬化型FRPシートによる補修	タフシート工法	鉄建建設	100	
50	補修・補強	繊維シートによる簡易なコンクリート片はく落防止	タフメッシュ工法	鉄建建設	102	
51	補修・補強	繊維補強モルタル版による覆工内面補強	REDEEM工法	鉄建建設	104	
52	補修・補強	疎水性発泡ウレタン樹脂による止水工法	TWS工法	東急建設	106	
53	補修・補強	維持管理型導水樋工法	トール・ドレン工法	東急建設	108	
54	補修・補強	ボードによるシールドトンネルの補修・補強工法		東急建設	110	
55	補修・補強	超軽量発泡材による覆工裏込注入	PLAM工法	東急建設	112	
56	補修・補強	設備の移設が不要な耐震補強技術	TWJS補強工法	東急建設	114	
57	補修・補強	防水シート保護	ロックボルトキャップ	東洋建設	116	
58	補修・補強	バサルト繊維による覆工補修・補強	バサルト繊維補修補強工法	戸田建設	118	
59	補修・補強	ビニロン繊維混和モルタルによる覆工吹付け(山岳トンネル)	TDRショット工法	飛鳥建設	120	
60	補修・補強	シールドトンネルの吹付け覆工技術	TDRショットライニングシステム	飛鳥建設	122	更新
61	補修・補強	都市鉄道トンネルでの適用を目指した断面修復工法	TDRブレイブショット工法	飛鳥建設	124	新規
62	補修・補強	トンネル内舗装の補修技術	透水性レジンモルタル充填工法:パームス	NIPPO	126	
63	補修・補強	トンネル内舗装の補修技術	明色トンネルシール工法	日本道路	128	
64	補修・補強	トンネル内舗装の補修技術	明色薄層Tマックス(明色砕石マスチック舗装)	日本道路	130	
65	補修・補強	下水管路におけるコンクリート剥落防止	ネットバリアー工法	フジタ	132	
66	補修・補強	超長距離・大容量圧送による小断面トンネル覆工背面空洞充填工法	モール・グラウト工法	三井住友建設	134	更新
67	補修・補強	極小断面トンネル内におけるロックボルト補強施工システム	モール・ボルティング工法	三井住友建設	136	更新
68	補修・補強	小断面トンネル内プレキャスト補強部材運搬・組立て工法	モール・シールドビルダー工法	三井住友建設	138	新規
69	更新	プロテクターを使用したトンネル活線拡幅	活線拡幅工法	安藤・間	140	
70	更新	硬質塩化ビニル材による既設下水道内側への製管	SPR工法	安藤・間	142	
71	更新	既設トンネルからの活線分岐	活線分岐工法	大林組	144	
72	更新	立坑・開削工事不要のシールド発進	URUP工法	大林組	146	
73	更新	既設管を撤去しながら新設するシールド	バックフィルシールド工法	大林組	148	
74	更新	供用中高速道路トンネルのインバート打替え	インバート打替え工法	大林組	150	新規

リニューアル事例一覧 -トンネル-

No.	区分	技術名称	固有名称または事例名称	提供企業	ページ 番号	2019年度の 対応
75	更新	既設トンネル更新用のトンネルボーリング機	改修用TBM工法	奥村組	152	
76	更新	活線下でのレンガトンネルの拡幅	移動式プロテクター	奥村組	154	
77	更新	既設トンネルを供用しながらのトンネル拡幅	SD工法	奥村組	156	
78	更新	曲線函体推進工法による超大断面トンネルの築造	まがる一ふ工法	熊谷組	158	新規
79	更新	鋼繊維補強吹付けコンクリートによる覆工	AF低粉じん吹付工法	鴻池組	160	
80	更新	既設トンネルを直接切削するシールド地中接合	T-BOSS工法	五洋建設	162	
81	更新	既設構造物を直接切削する推進	MELIT工法	五洋建設	164	
82	更新	プロテクターを使用したトンネル活線拡幅	三日月工法	清水建設	166	
83	更新	複数の小断面シールドによる大断面トンネル築造	SR-JP工法	清水建設	168	
84	更新	小土かぶりに対応する矩形シールド	パドル・シールド工法	清水建設	170	
85	更新	PET繊維を混入した高曲げ靱性のRCセグメント	PETセグメント	清水建設	172	
86	更新	発破対応プロテクターを使用したトンネル活線拡幅	ELLTN工法	佐藤工業	174	
87	更新	鋼繊維を混入した高耐荷力・高耐久性のRCセグメント	RSFセグメント	大成建設	176	
88	更新	球体を利用してビット交換するシールド	クルン工法	大成建設	178	
89	更新	タテ、ヨコ連続して掘進可能なシールド	ホルン工法	大成建設	180	
90	更新	セグメント全体に防水シートを巻立て可能なシールド	ラッピングシールド工法	大成建設	182	
91	更新	地下から地上に向けて掘進可能なシールド	上向きシールド工法	大成建設	184	
92	更新	ガラス繊維メッシュで補強したRCセグメント	ガラス繊維メッシュ補強セグメント	大成建設	186	
93	更新	複数の小断面推進による大断面トンネル築造	ハーモニカ工法	大成建設	188	
94	更新	推進工法の技術を用いた太径曲線パイプルーフ	曲線パイプルーフ工法	大成建設	190	
95	更新	嵌合方式のコンクリート一体型鋼製セグメント	二次覆工省略型セグメント	大成建設	192	
96	更新	鋼枠と充填コンクリート合成のセグメント	Tハイブリッドセグメント	大成建設	194	
97	更新	硬岩に対して小断面掘削可能なドリル	FONドリル工法	フジタ	196	
98	更新	刃口推進の技術を用いた既設管渠の撤去	刃口推進工法	フジタ	198	
99	更新	泥土圧シールド工法における掘削土の分級処理		フジタ	200	
100	維持管理	トンネルの各情報をデータベース化して一元管理	4Dトンネルマネージャー	大林組	202	
101	維持管理	超音波振動センサによる構造物のモニタリング	光AEセンサ	大林組	204	
102	維持管理	センサによる構造物のモニタリングシステム	変状診断支援ソフト	東亜工業	206	
103	維持管理	トンネル等の閉鎖空間を連続形状計測	RaVi	東急建設	208	
104	維持管理	積算温度による覆工コンクリート強度管理	積算温度管理システム	東洋建設	210	
105	維持管理	光ファイバセンサによる構造物のモニタリング	FBG光ファイバセンサ	飛鳥建設	212	
106	維持管理	ICタグを用いたセグメント品質管理	ICタグ品質管理システム	フジタ	214	

① 点 検

遠隔からの覆工ひび割れ調査

《KUMONOS》

【株大林組】

■技術の概要

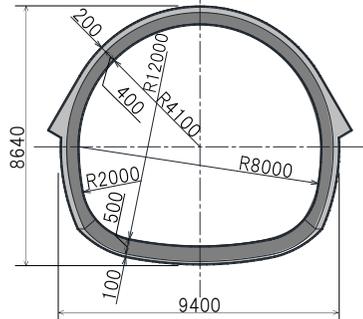
工事例：北大和トンネル建設工事（6k040m～7k140m 間）（奈良生駒高速鉄道株）

独自のクラックスケールを内蔵した光波測量器を用いて、離れた場所からコンクリート建造物に生じたひび割れの幅・長さ・3次元位置座標を測定し、CAD図面を自動描画する覆工ひび割れ調査技術。過去と現在の計測記録を比較することで、ひび割れの成長度合いなど経年変化を定量的に把握でき、効率的な維持管理に活用可能。本工事では、高品質な覆工構築を目的として試験施工した膨張コンクリートによるひび割れ抑制効果を効率よく把握するために採用。

トンネル位置図 (奈良県生駒市)



トンネル断面図



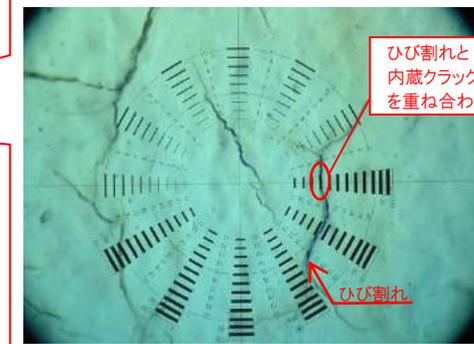
トンネル諸元

- 施工法: NATM
- 延長: 1,100m(内、NATM1,074m、明り巻 26m)
- 仕上内空: 50.5m²
- 覆工巻厚: 40cm、50cm
- 工法・方式: 上半断面先進工法・機械掘削
- 施工時期: 平成 13 年 2 月～平成 16 年 9 月

調査手順

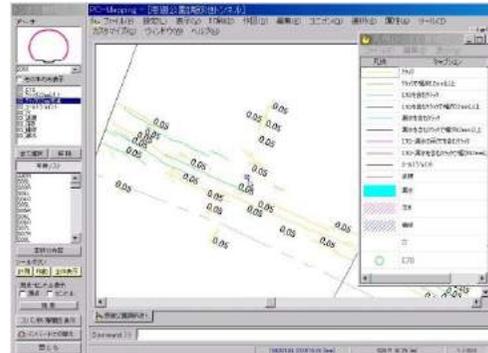
現場作業

①光波測量器によるひび割れ計測



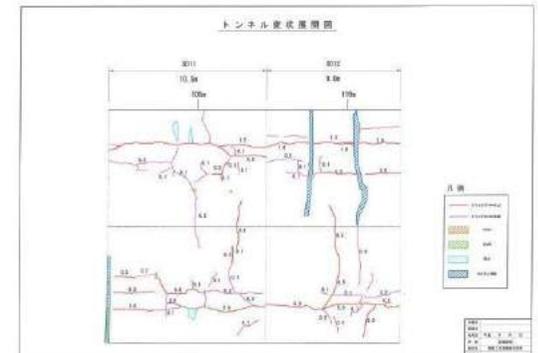
データ整理

②専用ソフトによるCAD図面自動描画



成果作成

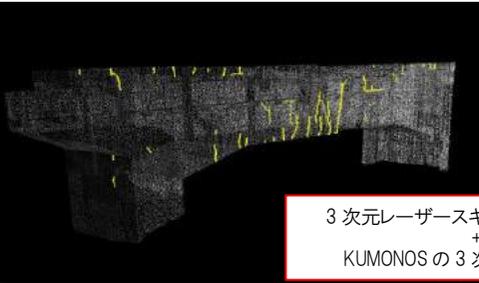
③提出形式に合わせて図面編集



① 点 検

KUMONOS

覆工ひび割れ調査

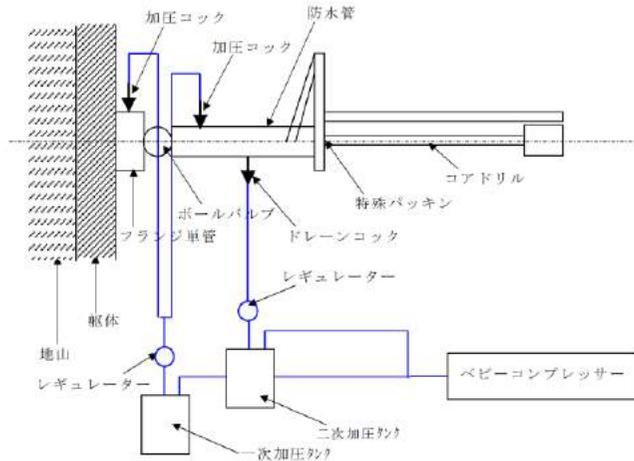
工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
維持管理	<p>ひび割れ計測システム (KUMONOS)</p> <p>■適用範囲</p> <ul style="list-style-type: none"> ・直接手が届かない場所 ・高所作業車や足場等の設置が困難な場所 <p>■計器</p> <p>「Leica TCR 1205+」</p> 	<p>■特 徴</p> <p>①安全</p> <ul style="list-style-type: none"> ・離れた場所から調査可能。測定者の安全を確保。 <p>②正確</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光波測量器により、全ての測点は3次元座標データとして記録。展開図も高精度に作成。 <p>③工期短縮</p> <ul style="list-style-type: none"> ・専用ソフトによる自動描画機能により、図面作成時間を大幅に短縮。 <p>④経済性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高所作業車や足場等の仮設費用が不要。調査コストを大幅に縮減。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・視準角度（コンクリート面と視準線との交角）が小さくなると器械の盛り替えが必要。（供用中に道路側部からの調査の場合で約20m） ・雨、雪、霧、陽炎等の気象条件により視準が妨げられる。 	<p>NETIS：KK-080019-V</p> <p>H24 準推奨技術（新技術活用システム検討会議）</p> <p>■主な適用実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・山形県道18号山形朝日線 鳥海トンネル（山形県） ・名神高速道路千里山トンネル（NEXCO 西日本）
<p>■応用事例 「3Dスキャナとの併用により、立体画像に出来ると共に、ひび割れ以外の損傷部検出も可能」</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>3次元レーザースキャナ</p>  </div> <div style="font-size: 2em;">+</div> <div style="text-align: center;"> <p>KUMONOS</p>  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>3次元レーザースキャナの点群データ + KUMONOSの3次元ひび割れ合成</p> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>従来が目視調査</p>  <p>KUMONOS</p>  </div>			

① 点 検

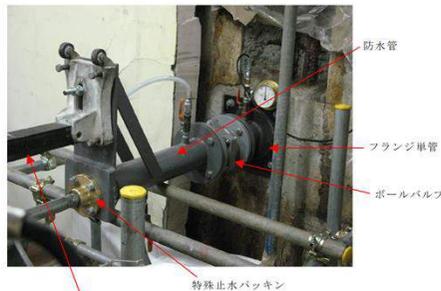
■技術の概要

背面水圧コア削孔

- ・高水圧下で躯体を貫通しコアをサンプリングする装置である。構築内側に防水装置と加圧装置を設置し、コンクリートコアドリルによりコンクリートコア供試体を採取できる。
- ・採取した削孔コアを用いて圧縮強度試験、中性化試験、塩化物イオン濃度試験などの各種試験を行うことができる。



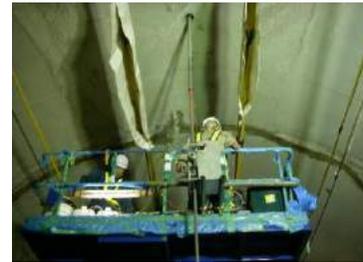
背面水圧コア削孔装置概略構成



背面水圧コア削孔状況

ボアホールカメラ

- ・ボアホールカメラシステムには、側壁を撮影する側方タイプと前方を撮影する前方タイプがあり、削孔したボアホールにカメラを挿入しながら孔内の状況を撮影する。
- ・側方視タイプで撮影した画像は孔壁展開画像に変換し覆工の厚さ方向の孔壁状況や亀裂の大きさなどを確認できる。
- ・前方視タイプは極小口径（外径7mm）の内視カメラを用いて、覆工背面の空洞の状況などを確認することができる。



覆工背面の調査状況



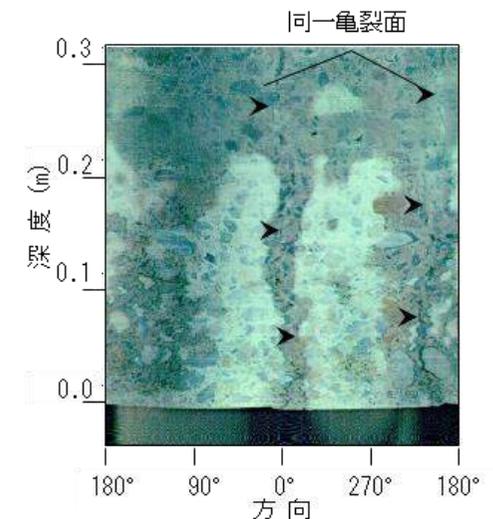
小口径 CCD カメラ
(前方視タイプ)



覆工背面の空洞画像（前方視タイプ）



孔壁画像撮影用プローブ
(側方視タイプ)

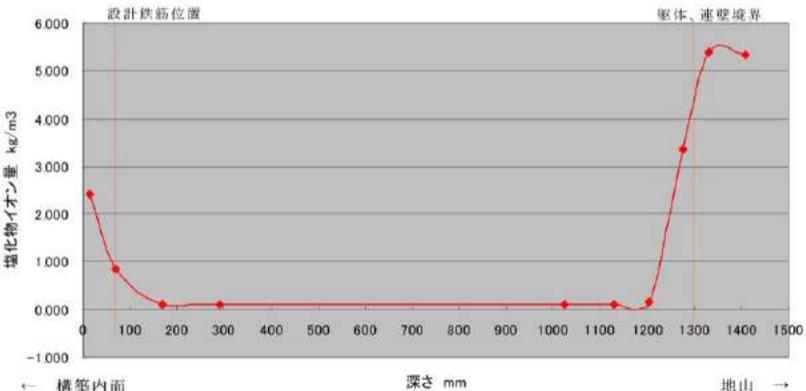


孔壁展開画像（側方視タイプ）

① 点検

既設トンネルの覆工背面調査技術

画像診断

工種	要素技術	特徴と課題	備考
調査	<p>背面水圧コア</p> <p>背面に水圧が作用しているコンクリート構造物において、安全にコアを採取できる。採取したコンクリートコアは強度や化学分析等により劣化状況を調査・診断できる。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 採取した削孔コアを用いて圧縮強度試験、中性化試験、塩化物イオン濃度試験などの各種試験を行うことができる。  <p>削孔コアにより測定した塩化物イオン分布</p>	
	<p>ボアホールカメラ</p> <p>削孔したボアホールにカメラを挿入しながら孔内の状況を撮影する。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ボアホールカメラにより、ボーリング孔壁の画像を撮影し、覆工内部のひび割れ分布や骨材状況を把握できる。直接、孔内を観察できるため、覆工背面の状況やコンクリートコアでわからなかったひび割れの方向や開口幅などを知ることができる。 	

③ 点検

誘電率算出によるトンネルの覆工厚の計測

《自動速度解析型電磁波レーダー》

【鹿島建設株】

■技術の概要

【自動速度解析型電磁波レーダー】

● 開発の背景

近年、供用中のトンネルの健全性調査及び変状の補修案件が急増している。簡易調査としての打撃法も行われているが、巻厚確認・背面空洞確認調査法としては、電磁波レーダー法が最もよく実施されており、特に、NATM以前の在来工法によるトンネルでは、高い精度の計測が求められている。

● 技術概要

電磁波速度は対象物に固有の比誘電率 ϵ で決定される。しかし、従来の電磁波レーダーは、比誘電率 ϵ を仮定する 경우가多く、深度推定にあいまいさが残っていた。本電磁波レーダーは、1つの発信アンテナに対し、複数の受信アンテナを配置することで、対象物の比誘電率 ϵ を自動的に算出し、より高精度に覆工厚や空洞分布を求めることができる。



自動速度解析型 電磁波レーダー

● 解析システム

T: 伝播時間、L: オフセット間隔、
D: 対象物深度、V: 伝播速度
の関係は、左のように表す。

$$T^2 = \frac{1}{V^2} (L^2 + 4 \cdot D^2)$$

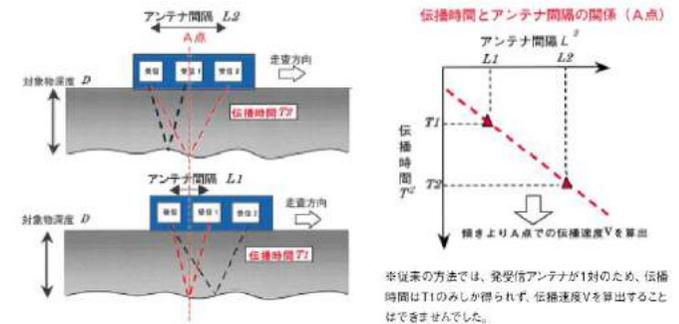
従って、右式の内、未知数であるD及びVを連立方程式で算出する。

■技術の特徴

- 比誘電率自動算出による高精度な覆工厚の計測
- コンクリートの乾湿等による見かけの比誘電率の変化にも対応可能（室内試験により検証済）
- 長期的経時計測を考慮し、軽量化を実現（アンテナ重量 約5kg）
- 従来と同等の計測コスト・計測時間で、高精度調査を実現



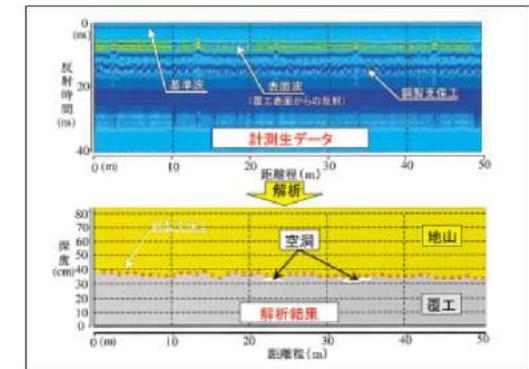
既設トンネル
における計測状況



電磁波伝播速度の算出法



NATMトンネルへの適用事例



解析結果一例

現場適用事例

(従来方法と同程度の計測時間 (2~3km/h) で計測が可能)

③ 点検

自動速度解析型電磁波レーダー

調査・診断

工種	要素技術	特徴と課題	備考
維持管理	<p>電磁波レーダー装置</p> <p>電磁波を利用したコンクリートの厚さ調査方法の原理は、コンクリート表面から電磁波を放射し、内部を透過した電磁波が奥の境界部から反射してくる反射波を受信器でキャッチして、厚さを調査する。</p>	<p>■特徴</p> <p>①装置と計測方法</p> <p>本装置は、アンテナ装置と制御・解析装置で構成されており、アンテナ装置には発信アンテナと受信アンテナが内蔵され、制御・解析装置にて電磁波速度を算出する。計測を行う際は、アンテナ装置をコンクリート面に接地させ測定方向へ走査する。</p> <p>従来の調査方法では、トンネル壁面の一部に穴をあけコンクリート巻厚を実際に調べる場合もあるが、開発した電磁波レーダー装置は連続的に厚さを測定できるため、構造物に損傷を与えることなく短時間の調査が可能。</p> <p>②従来装置の比較と電磁波速度</p> <p>巻厚は、電磁波がコンクリートを透過する正確な速度がわかれば算出が可能であるが、従来の装置は、電磁波を受信するアンテナ装置が1つであったために往復時間(T)しか計測できない。そのため、電磁波速度を仮定した上で、巻厚を算出している。</p> <p>開発した装置はアンテナ受信器(受信2)を増やしT1とT2の往復時間が計測できるため、正確な電磁波速度を算出することが可能。</p> <p>③電磁波のルート</p> <p>電磁波は、アンテナ装置の送信器から流れ、共通反射点※で跳ね返り2つの受信器アンテナ装置に戻る。また、背面空洞が発見される箇所は、電磁波がコンクリートを透過し背面空洞を越え岩盤(共通反射点)に到達するまでの空洞を透過する時間差により、特定の位置が確認できる。</p> <p>※共通反射点⇒電氣的性質が変わる部分で、コンクリートと岩盤の境目部分を言う</p> <div style="text-align: center;"> <p>【自動速度解析型電磁波レーダー装置全景】</p> <p>【トンネル上部の計測状況】</p> <p>中心周波数 800MHz 寸法 L325×W307×H124 重量 約5kg</p> <p><アンテナ装置> <制御・解析装置></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>従来の方法</p> <p>電磁波レーダー装置</p> <p>送信 受信1</p> <p>往復走時 T (ns)</p> <p>電磁波速度を 仮定</p> <p>開発した装置</p> <p>電磁波レーダー装置</p> <p>送信 受信1 受信2</p> <p>往復走時 T1 (ns) 往復走時 T2 (ns)</p> <p>2つの計測結果から電磁波速度を 算出</p> </div>	

① 点 検

■技術の概要

電磁波レーダ探査の測定方法には、**プロフィール測定**と**ワイドアングル測定**の 2 種類がある。プロフィール測定は、アンテナを測線に設置した距離メジャーに沿って移動させながら連続測定を行う方法である。一方、ワイドアングル測定は、測定対象の電磁波速度をとらえるための測定方法である。

1) **プロフィール測定**: アンテナを覆工面の測線位置に接触させながら、送信アンテナと受信アンテナの間隔を一定に保ち **1~2km/h** 程度の速度で測定する。地下レーダ探査システムは **SIR-10(G.S.S.I社製)**を用い、使用アンテナは一般的なトンネル覆工に適した **400~1500MHz** のものを使用する。

2) **ワイドアングル測定**: ワイドアングル測定は、送信アンテナを固定し、受信アンテナだけを一定速度で移動させながら測定する方法である。この測定結果から各反射区間（今回は覆工コンクリート）の電磁波伝播速度を算出する。電磁波伝播速度を得ることにより、反射記録（時間断面）を深度に換算することができ、後の解析の精度向上に寄与する。

3) **解析方法および結果**: データの解析は解析専用ソフトを用いて行う。

■実施例

1) 庄司渕トンネル覆工コンクリートの空洞探査(国土交通省東北地方整備局)

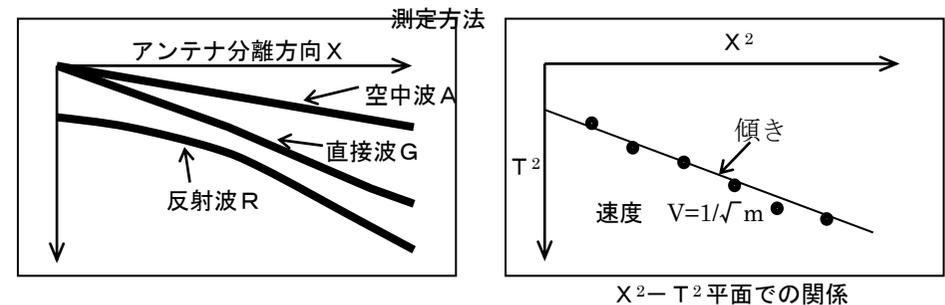
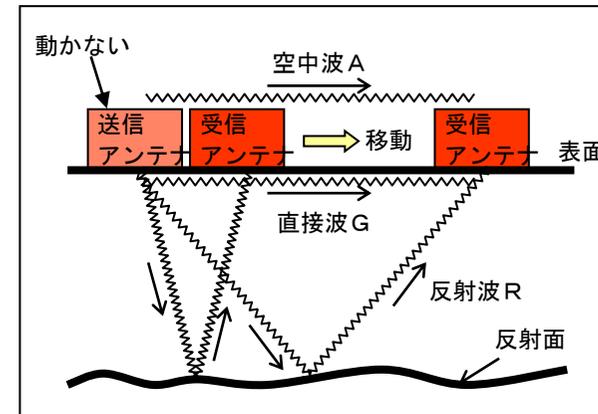
トンネル新設時に覆工背面の空洞探査を行った。トンネル延長は 929m であり、覆工 5 スパン(52.5m)毎に測定を行った。測定位置は、トンネルセンターから左右それぞれ 3m の範囲とし、周方向に 0.5m 間隔で計 13 測線とした。

2) 二郷山トンネル覆工コンクリートの空洞探査(国土交通省東北地方整備局)

トンネル新設時に覆工背面の空洞探査を行った。トンネルの延長は 311m であり、2 日間に分けて全線の測定を行った。探査測線は、周方向に 0.5m 間隔で計 11 測線とした。

二郷山トンネルの測定内容

ステップ	作業内容	各ステップの実施内容
①	1BL~14BL の測定	・プロフィール測定の実施 ・ワイドアングル測定の実施
②	15BL~30BL の測定	・プロフィール測定の実施 ・ワイドアングル測定の実施
③	測定と解析のまとめ	・測定データを解析し、覆工巻厚の確保および空洞の有無の確認。

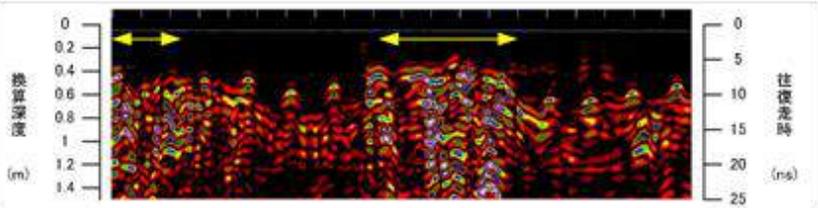
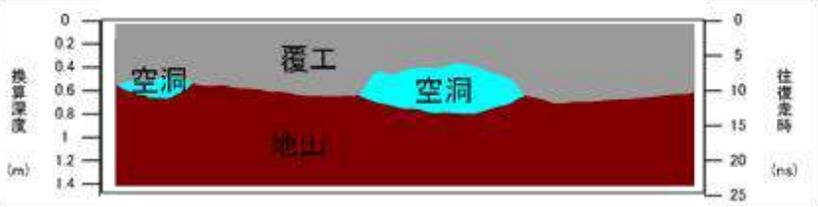


ワイドアングル測定の原理および模式図

① 点検

電磁波探査の技術

空洞探査

工種	要素技術	特徴と課題	備考
<p>点検・診断</p>  <p>ワイド角度測定により送信アンテナと受信アンテナの距離を変化させることにより電磁波伝播速度を算出し、反射記録をコンクリートの厚さ(深度)に換算する。</p> <p>解析方法</p> <ul style="list-style-type: none"> 測定記録により距離程(測定移動距離)及び反射波の速度を現地で記録する。 解析は、上記の記録から不要なノイズをフィルターにより除去する。この後、電磁波伝播速度を用いて反射時間を覆工厚に変換し、表示する。同時に反射波の異常箇所により空洞の存在の有無を確認する。 	<p>地中レーダ探査工法 探査方法</p> <p>プロファイル測定によりレーダアンテナをトンネル覆工面に連続的に接触させながら、覆工巻厚および背面空洞の測定を電磁波の反応速度の違いから測定する。</p>	<p>■特徴</p> <p>覆工巻厚や背面空洞を非破壊かつ短時間で連続的に探査できる。</p> <p>■課題</p> <p>①試験は、1～2km/h 程度の速度で路線を走行して行う。この場合、レーダのアンテナを一定の圧力で押し当てる必要から油圧駆動のブームを使用しているため測定箇所の下地(路盤)が2～3cm以内の精度で整形されている必要がある。ただし、アンテナ部分を取り外して高所作業車の荷台から測定機器を押し当てる方法により、未舗装路盤にも対応できる。</p> <p>②覆工コンクリートの脱砕後、養生を終えた定の強度を有するものが対象となるが、28日以前のコンクリートにおいては補正による測定データの調整が必要な場合がある。</p> <p><空洞の記録例と解釈例></p> <p>a) 記録例</p>  <p>b) 解釈例</p>  <p>記録例と解釈例</p>	<p>当初は、供用中のトンネルの覆工厚測定を目的として開発されたが、供用前の新設トンネルの探査にも採用されるようになってきている。</p>

① 点検

トンネル覆工コンクリートの初期点検に走行型計測技術 (MIMM) を採用 《工事例：新鹿トンネル工事》 【(株)鴻池組】

新鹿トンネル(国土交通省中部地方整備局)の技術提案項目の一つとして覆工コンクリートのひび割れ抑制対策(材料、締固め、養生、FEM 解析)を提案し、竣工時の履行確認として、目視とデジタルカメラによる手法に変えて走行型計測車によりひび割れ展開図を作成した。

本トンネルの延長は、734m であり走行型計測車の導入により現場での作業は 1 日で終了した。

走行型計測車による測定方法について

測定は、走行しながらトンネルの覆工面カラー画像と高精度な 3 次元空間位置データを効率よく取得できる MIS & MMS (Mobile Imaging Technology System & Mobile Mapping System) 愛称 MIMM (ミーム) を用いた。国内の道路トンネルは 8700 本ともいわれているが、建設後 30 年から 50 年を迎えるものが多く存在する。今後、これらの維持管理を効率的に実施することが必要で、コスト削減要求の中では効率の良い点検方法が求められている。

MIS&MMS の活用により社会インフラの維持管理の効率化、省力化、費用低減が実現化できる。

現場測定状況



走行型計測車 概要

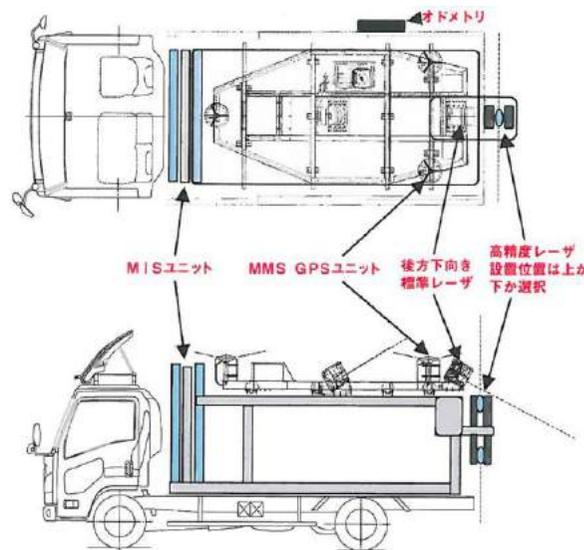


表 1 MIS&MMS 構成

	パーツ	台数	備考
MIS 部	LED 照明	18 台	240W
		6 台	120W
	カメラ	16 台	38 万画素
MMS 部	GPS	3 台	2 周波 1 台 1 周波 2 台
	I M U	1 台	3 軸 FOG/3 軸加速度計
	オドメトリ	1 台	右後輪
	レーザ	2 台	13575 点 / 秒
	カメラ	3 台	500000 点 / 秒
車 両	いすゞエルフ 3 トン		4WD エアサス仕様

表 2 MMS 部仕様

項目	仕様	条件
位置精度*	車両自己位置	0.06m(rms)
	レーザ点 (5m)	0.10m(rms)
高さ精度	0.15m(rms)	GPS 受信が良好で FIX 解が得られている場合
方位精度	0.18° (rms)	
ピッチ精度	0.36° (rms)	5 分間の良好な GPS 受信状態 が得られている場合 (静止時)
ロール精度	0.72° (rms)	
標準計測速度	~ 50km/h	舗装道路走行時
最高計測速度	80km/h	
段 差	最大 10cm	5km/h 以下の走行時

* 公共座標との差異

測定結果例

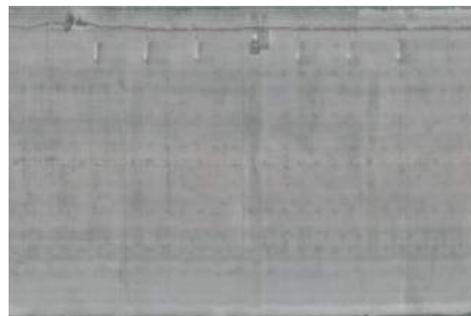
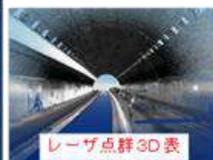
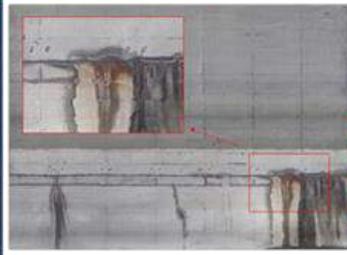
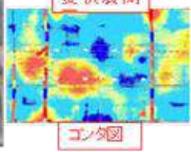


図 1 MIS&MMS 構造

① 点 検

走行型計測技術

ひび割れ調査

工 種	要素技術	現状と課題	備 考
点検・診断 (初期点検)	<p>走行型計測技術</p> <p>技術の特長</p> <p>【採用効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・時速 50 km で走行可能なため、トンネル計測に交通規制が不要（維持管理においては大きなメリット）。 ・長大なトンネルや連続するトンネルでも、短時間で現場作業が完了する。 ・調査データから、目視調査では困難であった定量的な経年変化の監視が可能となる（データの保存・継承も容易）。 ・異常個所の規模と箇所があらかじめ分かるので、詳細点検・補修作業計画の立案が正確にできる。 <p>【調査の概要】</p>  <p>◆MIMM2の外觀</p> <p>高精度レーザ100万点/秒 精度 0.1~0.5mm LED照明とカメラ</p> <p>◆走行型計測のアウトプットイメージ</p>  <p>レーザー点群3D表</p>  <p>画像展開</p>  <p>変状展開</p>  <p>コン外図</p>	<p>【現状】</p> <ol style="list-style-type: none"> ①計測は 50 km /h 程度の速度で走行型計測車（MIMM）を走行させてデータを収集する。 ②MIS にて撮影したカラー画像からは漏水箇所や、変色、0.2 mm幅以上のクラックが認識できる。 ③MMS にて計測した 3D 形状からは、横断形状や表面変状などを計算できる。 ④展開画像と変位コンター図等の 3D 形状を合わせて解析することにより、トンネルの異常個所が判別可能となる。 ⑤今後の維持管理に向けて現状の把握を効率かつ経済的に実施できる。 <p>【用途】</p> <p>道路トンネルの用途以外に</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大深度地下空間（地下調整池，地下河川，地下発電所） ・大規模下水管の調査 ・鉄道トンネル及び付帯設備の確認（電柱，植栽，法面，駅部プラットフォームを含む状況調査） ・地下鉄トンネルの枠図作成と経年管理 ・化学プラントのプラントマップ ・鉄道，道路などの資材管理（ガードレール，照明，距離程表示の位置と員数） ・道路台帳整備のための調査 <p>【実用化に向けた課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・走行型の壁面画像撮影は壁面直角方向を撮影するため、ジェットファンの裏側や非常駐車帯壁部、坑門工の前面など死角となり撮影できない箇所がある。 ・路面撮影用のカメラは搭載されていないため、路面のひび割れ等の変状は、目視観察が必要となる。 ・夏季（炎天下）では、レーザ計測装置の安全装置が作動するため温度条件、日射条件に留意する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・新設トンネルの初期点検はもとより、これまで点検データのなかった道路トンネルにおいて、今後の維持管理を確実に実施するための点検データを効率的に収集できる。 ・デジタルデータで保管するために保管や継承が容易であり、調査結果に関しても人為的なミスが少なくなる。 ・今後、道路トンネル以外での用途拡大が期待される。

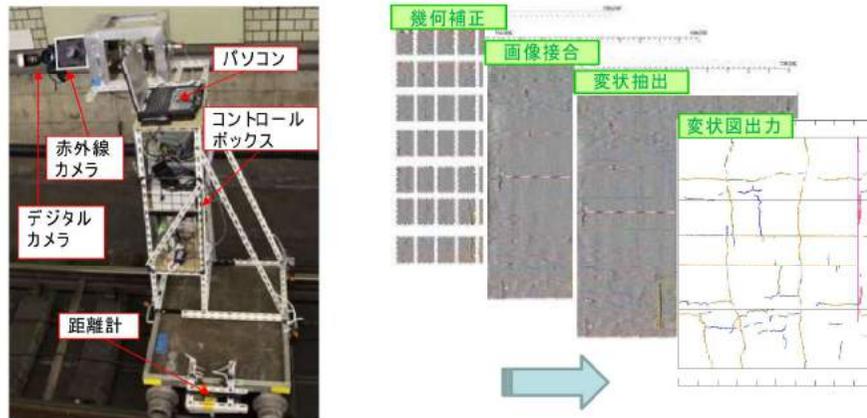
① 点 検

可視画像と赤外線画像によるハイブリッド画像診断 《HIVIDAS》

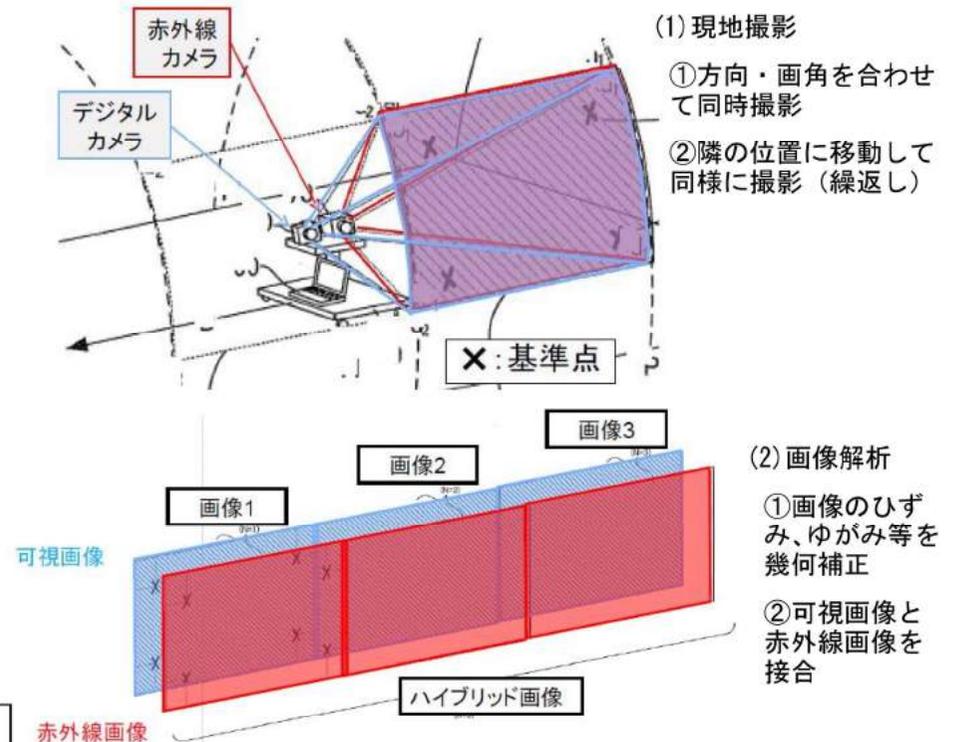
【清水建設(株)】

■技術の概要

- **コンクリート構造物の表面劣化を、非破壊・非接触で診断**
⇒足場が不要(安全)、現地調査が短時間(供用制限短縮)
- **赤外線画像と可視画像を同時に撮影し、これらの画像を重ね合わせたハイブリッド画像解析で診断**
⇒客観的な診断が可能(人によるエラー、バラつきが無い)



■診断の流れ

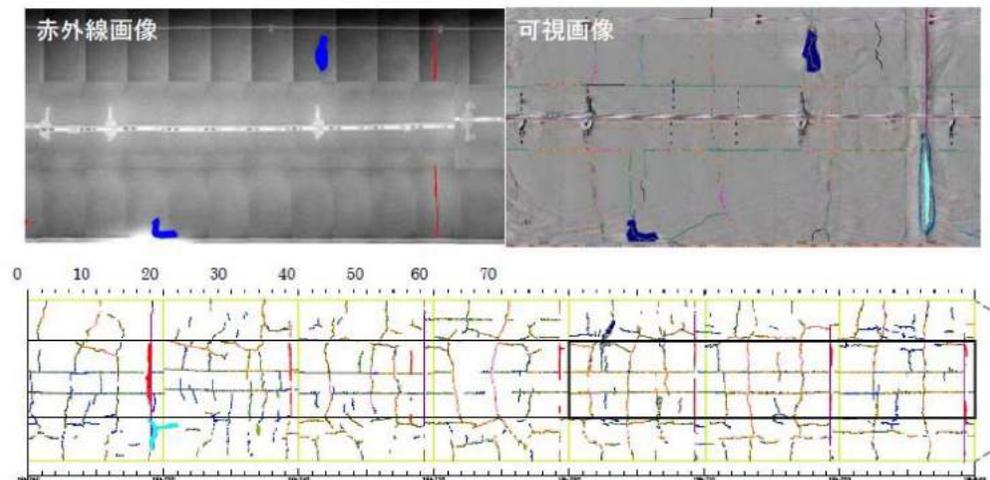


HIVIDAS(ヒビダス)

Hybrid (Infrared/Visible Image) Inspection & Diagnostic Analysis System

従来の目視・打音調査の代替となる非接触型画像診断技術で、可視画像と赤外線画像とを同時撮影し、画像処理により「ひび割れ」や「浮き・はく離」等を抽出し変状図を作成するシステムである。従来の目視・打音調査と比較して以下のメリットがある。

- ・客観的な画像解析により変状を抽出するため、調査員の技能や経験によって生じる診断結果のバラつきを防止できる。
- ・現地調査は撮影対象から離れた位置で撮影するだけで高所足場が不要なため、短時間で効率的であるとともに安全性の向上にも寄与する。
- ・調査結果は電子データとして蓄積されるため、経時的なデータを比較することによって変状の進行を把握でき、効率的な維持管理が行える。



① 点 検

HIVIDAS (ヒビダス)

画像診断

工 種	要素技術	現状と課題	備 考
調査、計測	<p>HIVIDAS (ヒビダス)</p> <p>従来の目視・打音調査の代替となる非接触型調査診断技術で、熱画像と可視画像を同時撮影し、画像処理により「ひび割れ」や「浮き・はく離」等を抽出し損傷展開図を作成するものである。</p>	<p>従来の目視・打音調査と比較して以下のメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・客観的な画像解析により変状を抽出するため、調査員のスキルによって生じる診断結果のバラつきを防止できる。 ・現地調査は撮影対象より離れた位置から撮影するだけで終了するため、短時間で効率的であるとともに安全性の向上にも寄与する。 ・調査結果は電子データとして蓄積されるため、経時的なデータを比較することによって変状の進行を把握でき、効率的な維持管理が行える。 	トンネル、護岸、防液堤等で実績あり。

① 点 検

既設トンネル覆工背面空洞調査システム

《PVMシステム》

【清水建設株】

PVMシステム

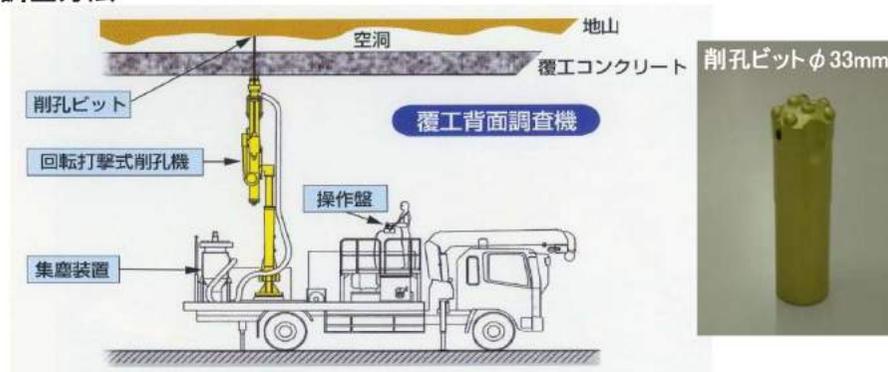
Percussive-drilled Void Measuring System

既設トンネルの覆工背面の空洞や地盤の緩みなどを高精度で調査することは、トンネルの適切な維持補強工法の選定にとって非常に重要である。従来はコアボーリングによって覆工に孔をあけ、背面を直接調べる方法が最も確実であるが、削孔に時間がかかる・孔が大きいといった課題があった。

PVMシステムは、高速度で覆工コンクリートおよび背面地山を小径で削孔するときの情報をもとに、覆工背面の状況を高精度に調査できる技術である。

- ・ 覆工厚や空洞高を**高い精度(±15mm)**で調査できる。
- ・ 削孔中の機械データをリアルタイムに採取し、客観的に判読する。
- ・ 調査精度は覆工厚や地下水などの外部条件に影響されない。
- ・ 回転と打撃を併用した削孔方式により**高速で確実な削孔**が可能。
- ・ **削孔径φ33mm**と小さく、トンネルの構造や管理への影響を最小限にできる。
- ・ 調査後に注入が計画されている場合、削孔した孔を**注入用に拡張**できる。

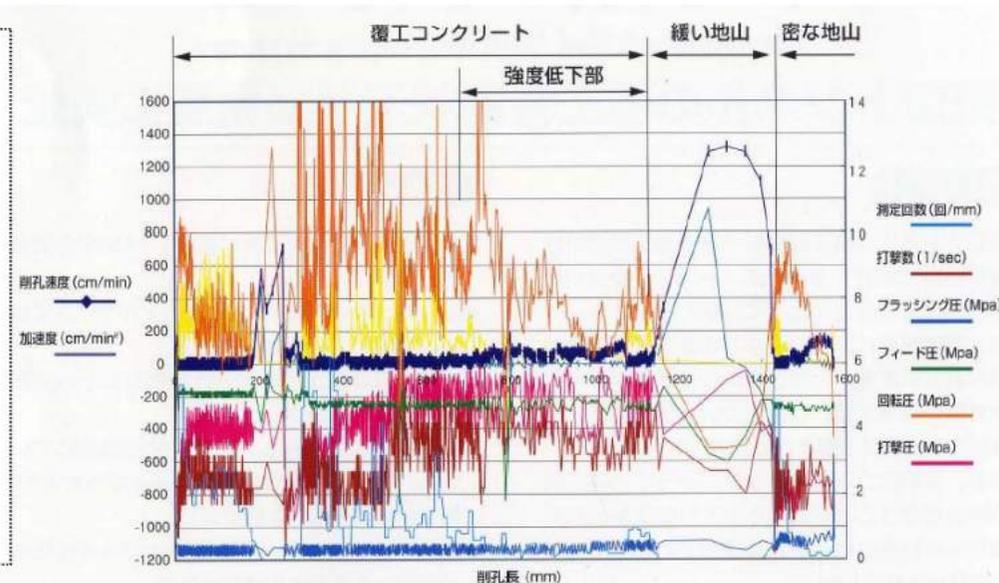
■調査方法



■PVM調査機の概要

番号	名称	番号	名称
①	打撃回転削孔機	⑦	発電機
②	ガイドシェル	⑧	コンプレッサ
③	ブーム	⑨	制御盤
④	削孔操作ボックス	⑩	空冷オイルクーラ
⑤	クレーン	⑪	油圧パック
⑥	ダストコレクタ		

■調査結果の例



① 点 検

PVM システム

更 新

工 種	要素技術	現状と課題	備 考
調査、計測	<p>PVMシステム</p> <p>既設トンネルの覆工背面の空洞の把握を目的として、高速度で覆工および背面地山を小径で削孔するときの情報をもとに、覆工背面の状況を高精度に調査する技術である。</p>	<p>メリット</p> <ul style="list-style-type: none"> ・覆工厚や空洞高を高い精度(±15mm)で調査できる。 ・削孔中の機械データをリアルタイムに採取し、客観的に判読する。 ・調査精度は覆工厚や地下水などの外部条件に影響されない。 ・回転と打撃を併用した削孔方式により高速で確実な削孔が可能。 ・削孔径φ33mmと小さく、トンネルの構造や管理への影響を最小限にできる。 ・調査後に注入が計画されている場合、削孔した孔を注入用に拡張できる。 	<p>トンネル覆工だけでなく、他のコンクリート構造物の背面調査にも適用できる。</p>

① 点検

ひび割れ画像解析技術

《ウェーブレット変換を用いたひび割れ画像解析技術》

【大成建設（株）】

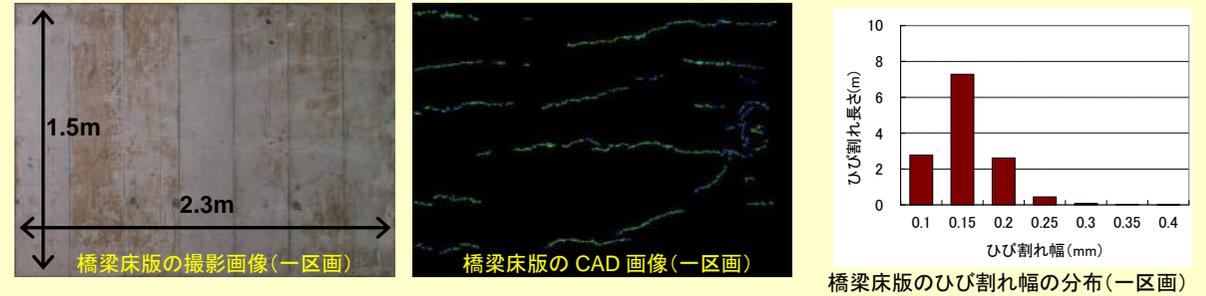
■技術の概要

コンクリート構造物のひび割れ調査をデジタルカメラ・ビデオカメラと画像解析技術を用いて行うことにより、調査の効率化・自動化・高精度化・安全性の向上を実現

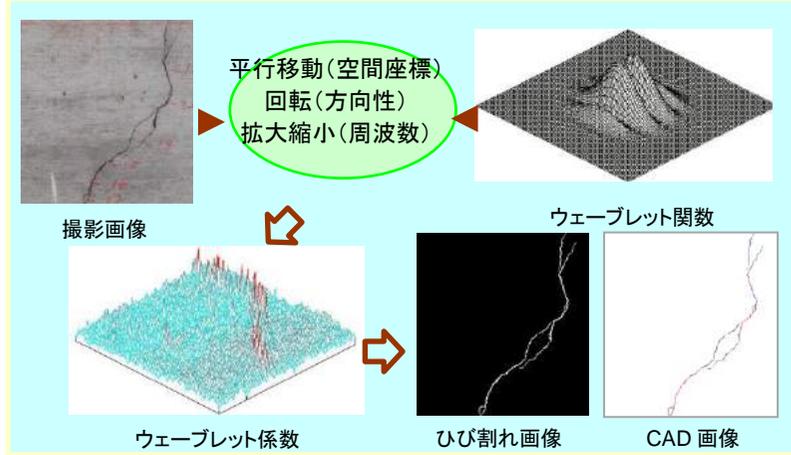
■デジタル撮影による現地調査



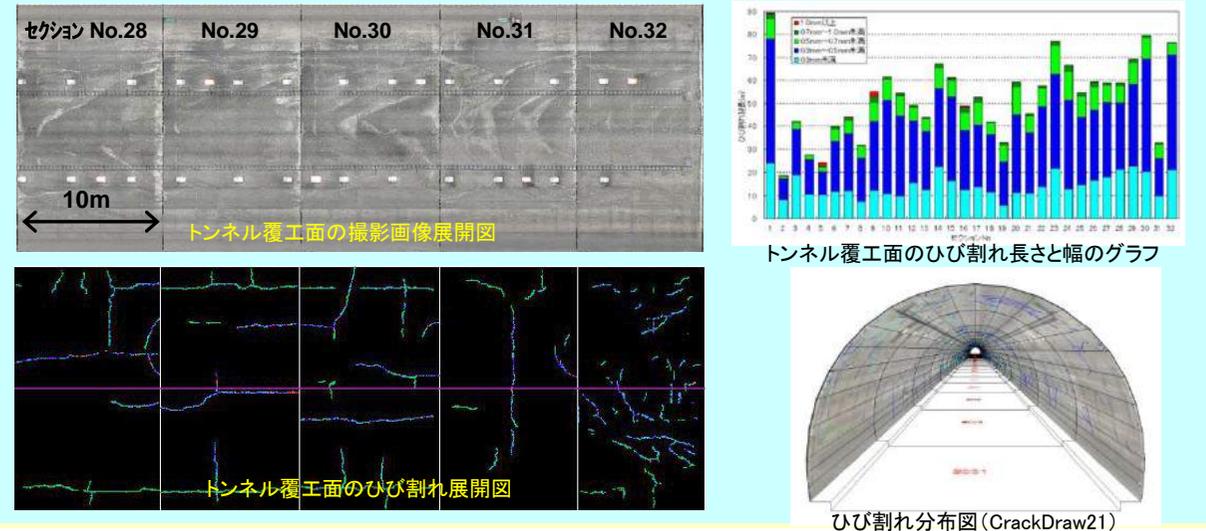
■橋梁への適用例



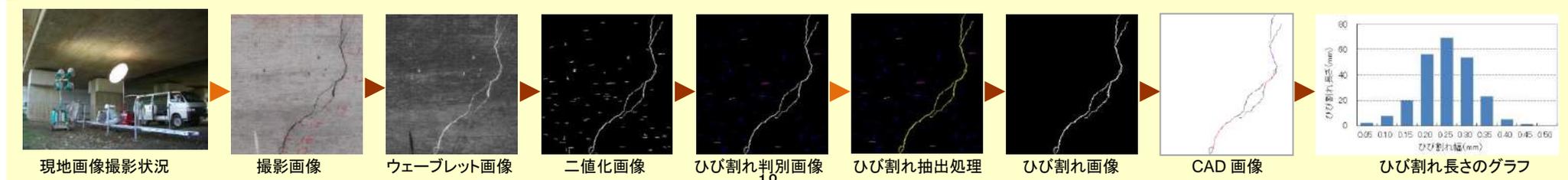
■ウェーブレット変換を用いた画像解析



■トンネルへの適用例



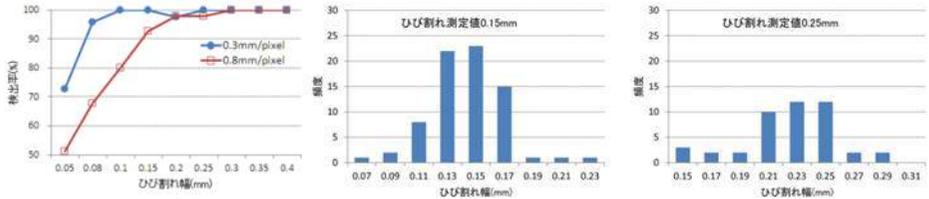
■画像処理概要



① 点検

トンネル点検・診断工

ひび割れ調査

工種	要素技術	特徴と課題	備考
<p>ウェーブレット変換を用いた画像解析</p>	<p>画像撮影技術 コンクリート表面のひび割れ等の変状をデジタルカメラやビデオカメラを用いて現地で撮影する技術</p> <p>画像解析技術 撮影画像にウェーブレット変換、統計手法および画像処理の技術を組み合わせて、ひび割れなどの変状を検出・評価する技術である。</p> <p>1) ウェーブレット変換 撮影画像にウェーブレット変換を適用して撮影画像の局所的な輝度情報を周波数と方向成分に分解し、撮影画像からひび割れの幅や方向を反映した特徴量を検出する。</p> <p>2) 回帰分析 ひび割れ幅とウェーブレット係数の高い相関性を利用して、ひび割れ幅の推定を要素単位で行う。</p> <p>3) 判別分析 多変量解析の一手法である判別分析を用いて、ひび割れ・剥離剥落などの変状や型枠跡などを判別する。</p> <p>4) CAD形式データファイル ひび割れ情報をCAD形式データファイルに保存する。</p>	<p>検出したいひび割れ幅の最小値、カメラの解像度およびカメラと対象物までの距離などの撮影条件から撮影する際のレンズ焦点距離を設定して、撮影画像の空間分解能を決定する</p> <p>①橋梁のように調査対象が連続的でない場合は、デジタルカメラ、各種レンズ、レーザ距離計などを用いて一区画ごとに撮影を行う。</p> <p>②トンネルのように調査対象が連続的な場合は、ビデオカメラを搭載した計測車で走行撮影を行う</p> <p>①ひび割れ検出精度 空間分解能 0.8mm/pixel と 0.3mm/pixel の撮影画像から、以下のひび割れ検出率が得られる。</p> <p>②ひび割れ幅の推定精度 空間分解能 0.8mm/pixel の測定ひび割れ幅 0.15mm および 0.25mm に対するひび割れ幅の推定精度は、測定値±0.05mmの範囲内に 90%以上が収まる。</p>  <p>③判別分析の精度 二値化画像から形状の特徴量を用いて、ひび割れや剥離剥落などの変状、型枠跡、コンクリート面の汚れや凹凸跡などの雑音を分類する。ひび割れと雑音の誤判別率は低いが、ひび割れと型枠跡の誤判別率は 15%程度である。</p> <p>【実用化に向けた課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 画像解析処理時間の短縮および低空間分解能の画像に対するひび割れ検出の高精度化を図る。 判別分析における誤判別するケースの多い、ひび割れと汚れなどの結合する場合やひび割れ検出が不十分で不連続となる場合などに対する改善が必要となる。 	<p>・従来の目視点検に比べて、コスト削減 30%、工期短縮 25%が見込める。</p> <p>・交通規制が不要となる。</p> <p>・高所作業や過酷な作業を軽減し、安全性の向上が図れる</p> <p>・従来の目視点検に比べて、コスト削減 25%、工期短縮 25%が見込める。</p> <p>・目視監察員の人為的な判断が大幅に減少できる。</p> <p>・客観的で定量的なひび割れ情報を正確かつ高精度で連続的に把握できる。</p>
	<p>可視化技術 画像解析で得られたひび割れの位置、幅や長さなどの情報を二次元CADソフトや三次元可視化ソフトなどを用いて、視覚的な表示を行う。</p>	<p>①二次元および三次元可視化 画像解析技術で作成したCAD形式データファイルを読み込み、二次元CADや三次元可視化ソフトで可視化する。</p> <p>②グラフ作成 画像解析技術で作成したテキストファイルを読み込み、EXCEL上でひび割れなどの数量計算やグラフを作成する。</p>	

① 点 検

トンネル覆工背面調査システム

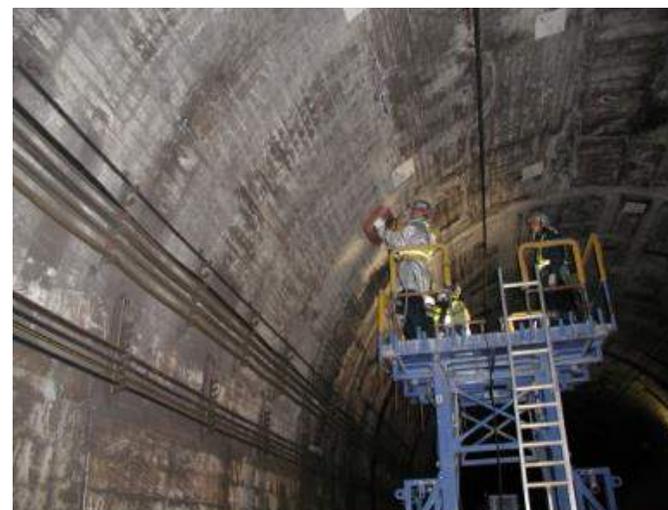
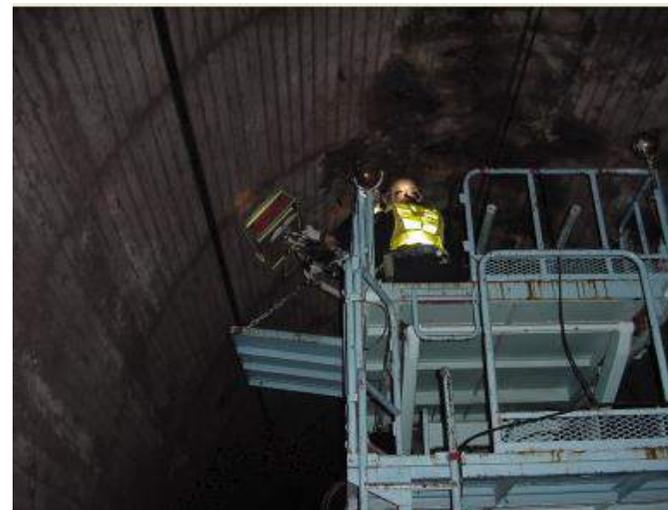
【東急建設株式会社】

■技術の概要

従来は目視・ボーリングで行っていたトンネルの覆工厚および覆工背面空洞の調査を非破壊で簡便に行う技術。電磁波反射法を用いることで信頼性の高い連続した豊富なデータが得られるほか、工期短縮、安全性の向上が図れる。



道路トンネル調査



鉄道トンネル調査

① 点 検



水路トンネル調査

トンネル覆工背面調査システム

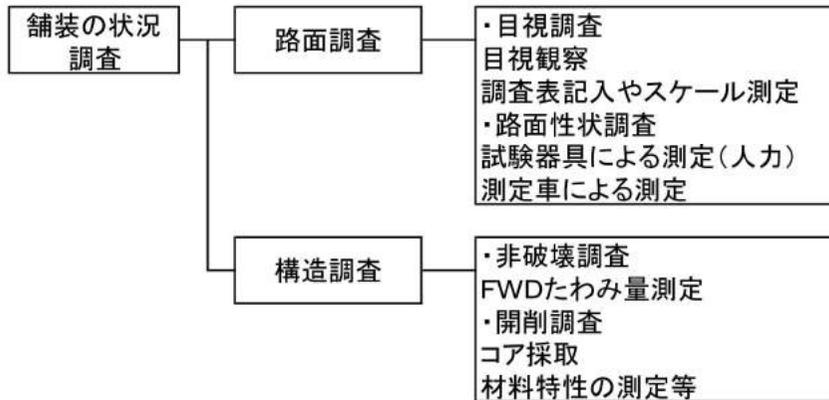
レーダー調査

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
調査	物質により異なる電磁波の反射・透過特性を利用し、構造物を傷つけることなくトンネルの覆工厚および覆工背面の空洞を調査するシステム。	<p>■ 特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> データの再現性が高く、常に安定したデータを提供できる リアルタイムで連続したデータ取得が可能 周辺の環境（ノイズ）から影響を受けにくく、周辺に及ぼす影響はない。 非破壊でトンネル調査が可能ことから、大規模な車線規制を必要とせず、迅速かつ正確に覆工厚および覆工背面調査ができる 道路、鉄道、水路などあらゆるトンネルに対応できる。 トンネル背面空洞調査以外に、擁壁背面、建物床下調査、路面下空洞・埋設管調査に適応可能 <p>■ 課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> 覆工内に金属がある場合はその裏側の情報は得られない。 電磁波の特性から深度方向に誤差が生じるため、より正確な調査にはコア採取などによるキャリブレーションを必要とする。 	(明朝、8ポイント)。

① 点検

トンネル内舗装の調査技術

【(株)NIPPO】



調査機器等による舗装路面の定量的調査

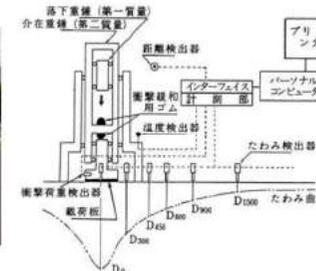
調査項目	測定項目	測定方法
ひびわれ	ひび割れ長さ	①スケッチによる方法
	ひび割れ位置	②路面性状測定車による方法
	ひび割れ深さ	①切削供試体による方法
	ひび割れ幅	①クラックスケール(カード式)による方法 ②ひび割れ幅測定器
わだち	わだち掘れ量	①横断プロフィールメータによる方法 ②直線定規または水系による方法 ③路面性状測定車による方法
縦断凹凸	縦断方向の平たん性	①3mまたは8mプロフィールメータによる方法 ②3m直線定規による方法 ③路面性状測定車による方法
透水	浸透水量	①現場透水試験による方法
すべり抵抗	すべり抵抗値	①ホーダブルスケルトレススタシスターによる方法 ②ダイナミックフリクションスターによる方法 ③すべり測定車による方法
たわみ(支持力)	たわみ量	①ベンケルマンビームによる方法 ②FWDによる方法
段差 その他	段差量	①水系、定規などによる方法 ②騒音計、振動計による方法

路面性状測定車(ひび割れ、わだち掘れ、縦断凹凸)



- ・国内で25台程度稼働(民間所有)
- ・夜間測定車と昼夜間測定車の2種類
- ・ベース車両:4tトラックタイプからワンボックスタイプ
- ・測定時の規制は不要
- ・縦断凹凸:IRI測定も可能な測定車有り
- ・地図情報とリンクする装置がほとんど

FWD (Falling Weight Deflectometer: 路面のたわみ)



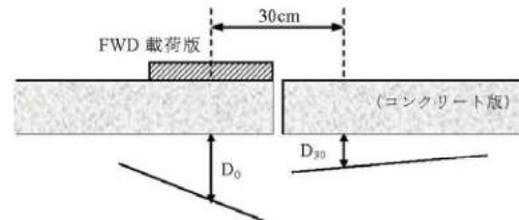
- ・国内で30台程度稼働(民間所有がほとんど)
- ・測定時の規制は必要
- ・荷重:49kN相当の衝撃荷重
- ・構造的な問題発生箇所を推定
- ・ひび割れ部、目地部の構造評価

MCI (維持管理指数:旧建設省土木研究所が開発)

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2}$$

C:ひび割れ率(%) ひび割れの面積割合で評価
D:わだち掘れ(mm) 5点(20m毎)のわだち掘れ量の平均値
σ:平たん性(mm) 100m区間の縦断凹凸量の標準偏差

ひび割れ部、目地部の荷重伝達率の評価



$$E_{gf} = \frac{D_{30}}{(D_0 + D_{30}) / 2} \times 100 (\%)$$

E_{gf} : 荷重伝達率 (%)

D_0 : 載荷中心のたわみ量 (mm)

D_{30} : 載荷中心から 30cm の位置のたわみ量 (mm)

① 点 検

舗装の調査

工 種	要素技術	現 状	備 考
調査、計測	<p>路面調査</p> <p>路面性状測定車</p> <p>ひび割れ、わだち掘れ、縦断凹凸（平坦性）の3要素を一般交通の中で計測ができる。</p> <p>昼夜間の何れの時間帯でも計測が可能で、路面画像、横断形状および縦断凹凸をカメラとラインレーザおよびレーザ変位計により測定するものである。</p>	<p>■特徴</p> <p>従来の人力測定調査と比較して以下のメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一般車両の交通規制が不要であり、安全に計測ができる。 ・一回の計測で多量のデータ収集ができる。 ・前方映像も撮影しており、計測場所の特定が容易である。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・車線幅員は最大4mである。 ・ひび割れ幅が1mm未満のひび割れは、1mm以上に比べて認識性能が低下する。 	<p>一般道の舗装に比べて実績は少ないが、トンネル内舗装の調査実績有り（縦断凹凸調査）。</p>
	<p>構造調査</p> <p>FWDによるたわみ量測定</p> <p>錘を路面に設置した平板に自由落下させ、平板中心およびその周辺の載荷によるたわみ量を計測する。</p> <p>舗装の支持力性能が推定できる。また、ひび割れ部や目地部の荷重伝達率が評価できる。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平板に載荷する荷重は、49kNが標準である（大型車の片側車輪相当）。 ・平板の直径は30cmが標準であり、たわみセンサーの数は7個で、計測はパソコン制御で行う。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計測は交通規制が必要である。 ・コンクリート舗装の場合、坑口付近はコンクリート版中の温度勾配の影響を受ける（版のそり等）。 	<p>トンネル内コンクリート舗装のひび割れ部や目地部の荷重伝達率の調査実績有り。</p>

① 点 検

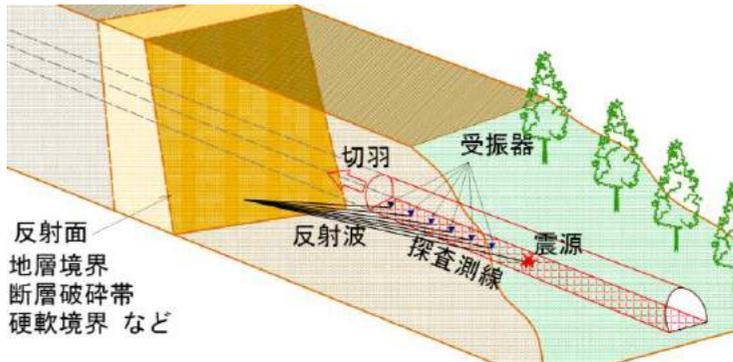
弾性波による地山探査法

《トンネル浅層反射波法 (SSRT)》

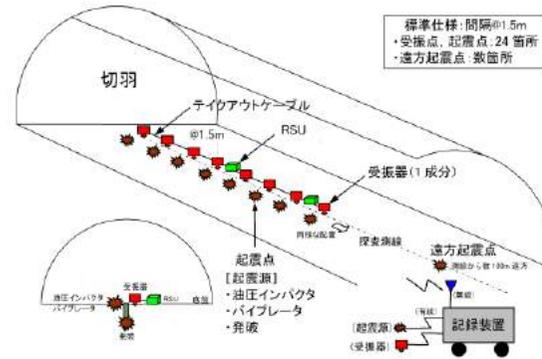
【株式会社フジタ】

■技術の概要

- ・トンネル坑内および坑外において弾性波反射法 (VSP 処理) を実施しトンネル周辺の地質を予測する技術です。
- ・機械震源で探査できるため、既設トンネル内、坑外からの探査可能な汎用性が高い探査法です。
- ・弾性波反射法 (VSP 処理) によるトンネル切羽前方探査は、人工的に弾性波を発生させて地盤からの反射波を受振することによって、前方地山の反射面 (破碎帯や地質変化面) の位置と強度等を推定する技術です。測定方法は直線上に震源・受振点を展開し、多点震源・多点受振でおこないます。



弾性波反射法の探査イメージ



測定配置



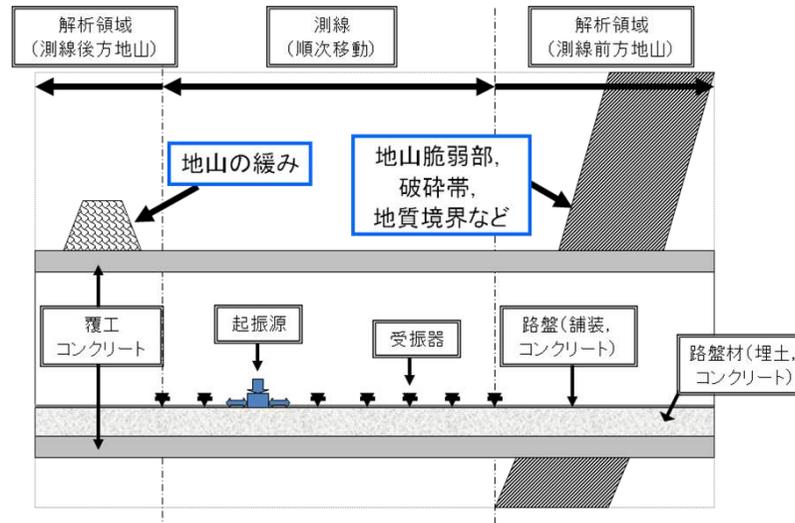
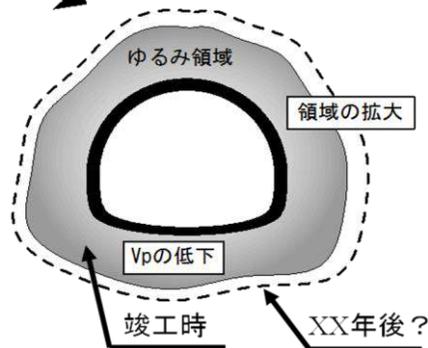
起震装置 (油圧インパクト)



起震装置 (バイブロサイズ)

■既設トンネル診断への適用

◎トンネル周辺地山状況の経年変化をみる事ができる



◎通行規制を最小限に抑えることができる
鉄道: 夜間,
道路: 片側車線

◎既設トンネル拡幅時の探査法としても利用できる

① 点 検

トンネル浅層反射波法 (SSRT)

地山探査

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
弾性波による地山探査	トンネル浅層反射法 (SSRT) <ul style="list-style-type: none"> ・機械震源を使用できる弾性波探査法で完成後のトンネルの地山評価にも適用できる。 ・坑外からの探査が可能。 ・種々の解析手法が適用可能 	<ul style="list-style-type: none"> ■特 徴 <ul style="list-style-type: none"> ・既設トンネルのうち施工時期の古いものについては、施工記録等が失われ、地山の状況が不明なものがある。また、完成後の地山の劣化等については情報を得るためにはボーリング調査が必要で調査に当たっては、長期間の通行止め等の措置が必要になる。 ・弾性波探査は、探査に要する時間が短く低コストであるが、従来の弾性波探査では、震源に探査発破を使用するため供用後のトンネルでは適用できない手法が多い。 ■課 題 <ul style="list-style-type: none"> ・現在は、トンネル施工時に前方探査手法として適用しており、完成後のトンネルの調査実績は少ないため、調査事例を積み上げて解析手法等の最適化が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・覆工背面の緩み領域探査実績有り。 ・NETIS 登録 KT-010159-A

① 点 検

モール・M レーダー

《複数周波数によるトンネル背面の電磁波レーダー探査法》

【三井住友建設】

■技術の概要

調査対象：民間所有の工業用水・発電水路・道路トンネル等

高度成長期に施工した民間所有トンネルは、その多くが竣工より 50 年近くが経過し、維持補修の時期にさしかかりつつある。近年の BPC 意識の高まりもあり、顧客より施工会社である当社にライフサイクルマネジメントを考慮したトンネル点検・調査の依頼が増加しつつある。

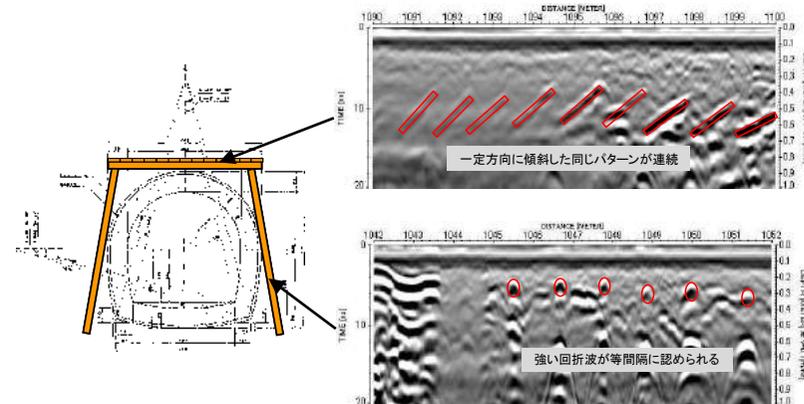
モール・M レーダー（複数周波数によるトンネル覆工背面のレーダー探査法）は、このようなトンネル点検・調査を高精度に実施し、維持補修に供することを目的として開発された電磁波レーダー探査法である。その特徴は、複数の周波数（500MHz、1GHz）を探査に用いることで、広範囲で勝つ詳細な反射波形解析が可能にある。このため、従来のレーダ探査のように、覆工厚と空洞幅だけでなく、鉄筋、矢板、木枠等の配置も探査でき、精度の高い補修計画作成が可能となった。また、覆工背面空洞充填材の充填状況も探査することができ、トンネル補修の施工管理に適用することが可能である。

探査レーダーとその使用



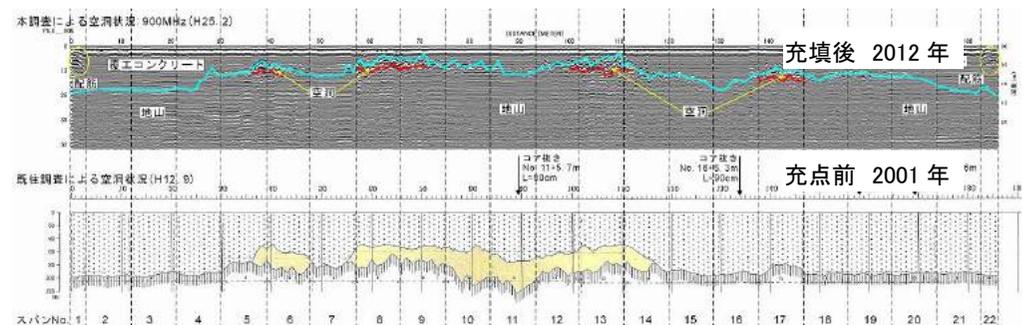
500MHz レーダー

1GHz レーダー



機器名	仕様	型式	製作所
送受信機 (含アンテナ)	周波数：1000MHz、250MHz 性能：160dB レンジ：50,100,150,200,300ns (2.5,5,7.5,10,15m)	Noggin plus 1000,250	Sens & Software
デジタル・ビデオロガー	分解能：16Bit 表示：LCDカラーディスプレイ 加算機能：1,2,4,8,16,・・・2048回	DVL-II	Sens & Software
解析装置 (PC)	CPU：PentiumIV 1.4GHz メモリ：512Mbyte 内蔵ハードディスク：80Gbyte DVD-RWドライブ	X31	IBM

矢板・木枠配置判読事例とその支保形態

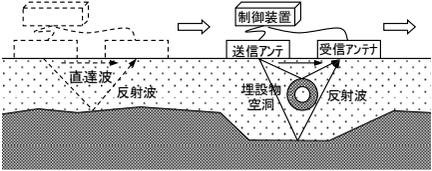


覆工背面空洞充填前後の覆工背面空洞の比較（充填前は他の調査法）

① 点検

モール・M レーダー

調査技術

工種	要素技術	現状と課題	備考
調査	<p>電磁波レーダー探査</p> <p>電磁波地中レーダーは、送信アンテナから地中に発射した電磁波が地中で反射して受信アンテナで捉えられるまでの伝播時間を計測して、地盤構造や埋設物の位置や形状を画像化する探査法である。</p>  <p>電磁波の反射波が、‘電気的性質が異なる媒質同士の境界面’で発生し、両媒質の比誘電率のコントラストが高いほど（比誘電率の差が大きい）反射波の強度は大きくなることを利用し、反射波を並べた断面または画像処理した断面に現れるパターンから、空洞および埋設物などの異物の存在や地下構造の形状を推定することができる。</p>	<p>【電磁波レーダー探査の現状】</p> <ul style="list-style-type: none"> 電磁波レーダーは、周波数が高いほど分解能が高く、精密な探査が可能となるが、到達深度は小さくなり、探査深度は限定される。現在の電磁波レーダーによる覆工背面調査は、1GHz の周波数で実施されることが多く、分解能が高いため反射波形の判読が容易だが、探査深度が 800mm 程度に限定されるため、覆工厚が大きいトンネル、あるいは空洞が大きいトンネルでは、地山まで電磁波が到達しない場合もある。 現在の電磁波レーダー探査は単一周波数帯の情報しかないので、比較検討による、探査データの検証が行えないだけでなく、矢板等の木製支保部材の同定等も困難である。 <p>【複数周波数を用いた電磁波レーダー探査における改良点】</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 GHz に加えて、500MHz の周波数帯を併用して電磁波レーダー探査を実施することで、探査深度が 2m 程度にまで拡大し、ほとんどの空洞が把握できる。 2つの周波数帯の反射波形を比較読影し、かつコントラストの変化させることで反射強度のオーダーが異なる物質の分布を把握できる。すなわち、コンクリートや岩盤の反射波形に隠れて読影が困難な、鉄筋や鋼製支保工など金属材料、矢板や木枠等の繊維質材料等のも配置も把握できる。 <p>【複数周波数を用いた電磁波レーダー探査の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 複数の周波数帯により探査するため、現地作業も解析作業も大幅に増大し、探査費用も増大する。特に、解析作業は比較読影、コントラスト変更作業も加わるため、大幅な作業工程・費用増となる。 500MHz の反射波計は分解能が粗いため、読影が困難なため、専門家に頼らざるを得ない。反射波形読影の自動化も困難な状況にある。 探査作業が、狭隘な坑内での作業となるため、安全管理嬢の負担が大きい。 	<p>現在、500MHz の反射波形の読影は、外部の資源探査の専門家に依頼している。</p>

① 点検

■技術の概要

調査例：潤井川発電所水路トンネル（王子エフテックス株式会社）

潤井川発電所水路トンネル(王子エフテックス株式会社)は、大正 11 年に竣工した内空断面 9.8m² の発電水路トンネルであり、3 箇所の発電所を擁する。竣工後 90 年近くを経て、今日も電力を供給し続けているだけでなく、今後も安定した電力供給源となることが期待されている。このため、全水路にわたり、健全性調査が実施され、全面補修が長期計画で進められている。小口径削孔による覆工背面調査(モール・スパイグラス)は、当該トンネルの覆工背面状況確認、および空洞充填確認のために用いられている。

モール・スパイグラスは、専用の削孔システムで削孔された小口径(φ25mm 程度)の観察孔から、専用のスキャナーを用いて、覆工背面を確認するシステムです。削孔水循環機能を備えたコンパクトなコア削孔システムの採用により、覆工や充填材に与える損傷を抑制でき、コア採取が難しい低強度の充填材でも充填確認が行えます。

モール・スパイグラスの調査手順

小口径スキャナーによる坑内の観察
所要時間: 2 minutes



小口径スキャナー撮影



定着アンカー打設

小口径削孔機定着アンカーの打設

所要時間: 3 minutes

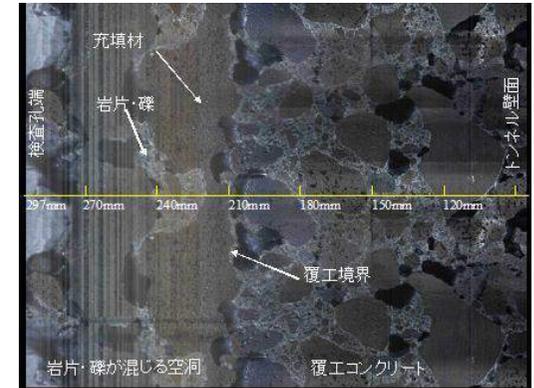
小口径削孔システム設置
所要時間: 5 minutes



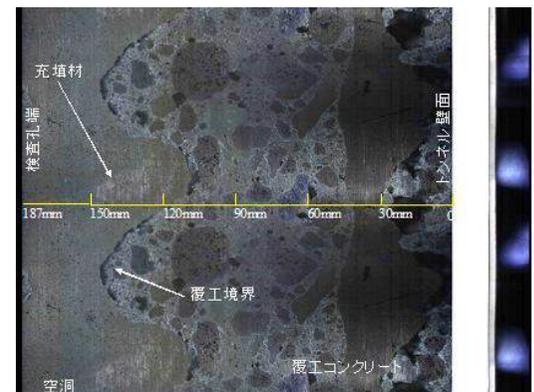
小口径削孔システム設置

検査孔削孔

所要時間: 5 minutes (300mm)
12 minutes (600mm)



礫等が介在する空洞での充填状況



礫等が介在しない空洞での充填状況

① 点検

モール・スパイグラス

トンネル点検技術

工種	要素技術	現状と課題	備考
調査	<p>【小口径削孔システム】</p> <p>人力で坑内を運搬可能な削孔システムで、削孔径φ25mmで600mmまでのコアを採取することができる。</p> <p>また、削孔水を集水し、フィルターで清浄後、再利用するシステムを採用したため、削孔水の供給が不要である。600mmの観察孔を22分程度で削孔できる。</p>	<p>【従来の観察孔削孔の問題点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・狭小な坑内へのボーリングマシンの搬入・運搬が必要なため、運搬設備等の準備が必要になる。また、調査が必要になった場合等に迅速に対応できない。 ・削孔系がφ50mmと比較的大きいため、覆工への負担が大きく、覆工圧が薄い箇所では損傷等の不具合が生じる場合もある。 ・坑内への水供給が必要なだけでなく、削孔後の汚濁した削孔水の処理、ならびに坑内清掃も必要となる。 <p>【小口径削孔システムによる改良】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人力で狭小な坑内へのボーリングマシンの搬入・運搬が必要なため、運搬設備等の準備が必要になる。また、調査が必要になった場合等に迅速に対応できない。 ・削孔系がφ25mmと従来の半分であるため、削孔面積が1/4となり、覆工への負担が大きく軽減できる。覆工圧が薄い箇所も損傷等の不具合が生じ難い。 ・削孔水を循環して使用するため、水供給が不要で、削孔水の後処理・坑内清掃も不要となる。 <p>【小口径削孔システムの問題点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・100Vの動力源が必要なため、水路トンネル等の調査では、これを、別途、敷設・撤去する必要がある。スメルター程度の原動機でも稼動可能だが、狭小断面トンネルでは喚起の問題があり、原動機を持ち込めない場合が多い。 	いずれの要素技術も市販製品をベースにしたものである。
	<p>【小口径ボアホールカメラ】</p> <p>線状に配置された CCD カメラを、観察孔内で360°回転させ、観察坑内の展開画像を容易に得ることができる。</p>	<p>【従来のボアホールカメラ観察の問題点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・φ50mm程度の観察孔が必要なため、ボーリングマシンによる削孔が必要となる。 ・ボアホールカメラ本体が大きいため、坑壁から1m程度の範囲は観察が困難である。 ・カメラ操作に習熟が必要で、展開画像作成にも時間が掛かる。 <p>【小口径ボアホールカメラによる改良】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・φ25mm程度の観察孔で坑内展開画像が得られるため、ボーリングマシンによる削孔が不要で、浅い観察孔であればハンドドリルでも削孔できる。 ・ボアホールカメラ本体が小さく、坑壁から400mm程度の範囲を精密には観察できる。 ・カメラ操作が容易で、原位置でノート PC 上に展開画像を作成できる。 <p>【小口径ボアホールカメラによる改良】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現在、坑壁から400mm程度の範囲しか観察できないため、覆工厚や空洞幅が大きい箇所では、有意な観察が行えない場合がある。 	

① 点 検

コンクリート表面のひび割れ調査

《デジタル画像によるひび割れ調査法》

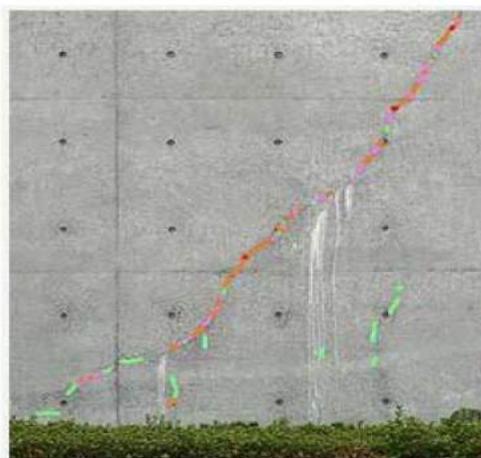
【村本建設(株)】

■技術の概要

デジタルカメラにより撮影されたデジタル画像を用いて、コンクリート構造物表面に発生しているひび割れの調査方法である。当調査方法では、ソフトウェアによる画像解析技術を用いて、ひび割れの有無や幅を把握することが可能である。



元画像



ひび割れ抽出画像

可視カメラ仕様例

メーカー名	CANON
型番	EOS 5D Mark II
有効画素数	21メガピクセル (5,616×3,744)
撮像素子	22.5mm×15mm サイズ RGB 原色 CCD
記録画素数	[L] 5,616×3,744 [M] 4,080×2,720 [S] 2,784×1,856
撮像感度	ISO 100～6400 相当
記録画像ファイル形式	Exif2.2 準拠、DCF 準拠、DPOF 準拠
画質モード	圧縮:JPEG-Baseline 準拠 非圧縮:8ビット TIFF-RGB/12ビット RAW
記録媒体	コンパクトフラッシュカード

【特長】

①ひび割れの自動抽出

撮影したデジタル画像よりひび割れを自動的に抽出し明示することが可能。

②ひび割れ幅と長さを自動計測

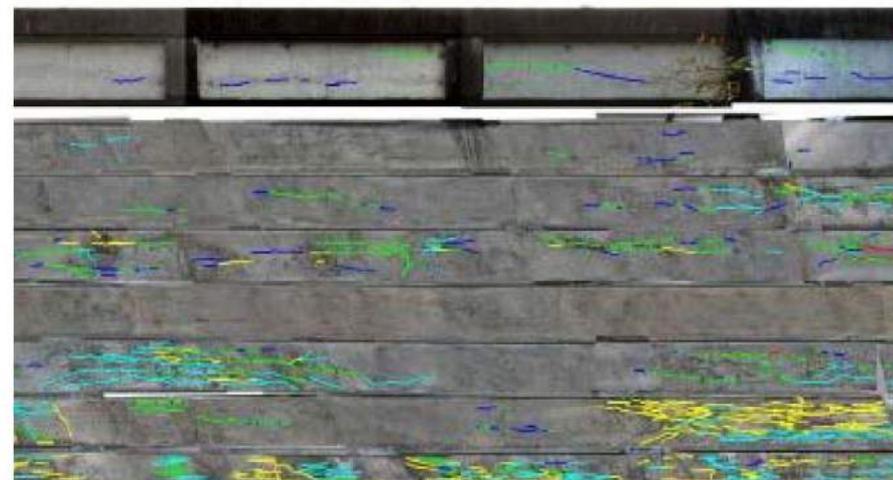
ソフトウェアにおいて、ひび割れを認識するだけでなく自動的に幅と長さを抽出することが可能。

③調査での仮設が不要

調査はデジタルカメラで撮影するだけであるため、撮影場所が確保できれば足場などの仮設は不要。

④精度の向上

レンズの収差補正、あおり補正などをスムーズに行うことができる。補正された画像を接合することで、正確な位置を把握することが可能。



床板調査例

① 点 検

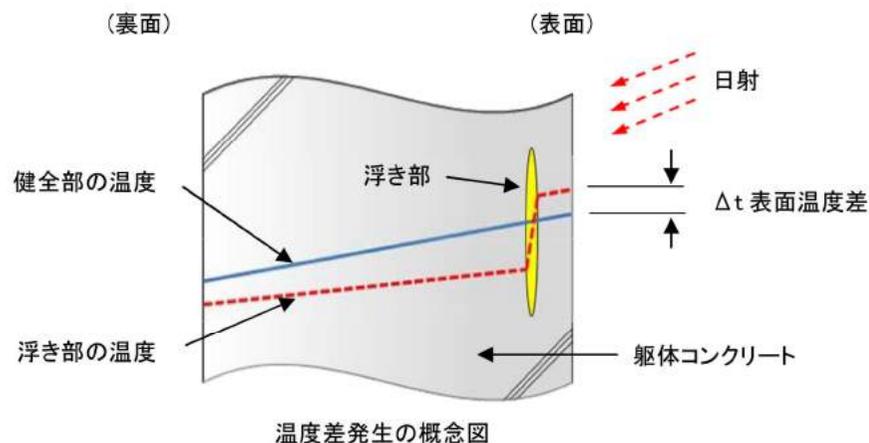
デジタル画像によるひび割れ調査 法

調 査

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
コンクリート表面の ひび割れ調査	対象構造物を撮影したデジタル画像を用いて、発生しているひび割れの幅・延長を認識する技術。	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> デジタル画像によるひび割れ調査法では、現地作業などの効率化を図ることが可能となる。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> 目視による方法ではひび割れの形状を手書きするとともに、ひび割れ幅を計測するために足場あるいは高所作業車等が必要となる。 電子成果の作成にあたっては手書きされたひび割れマップをCADへ転記入力する作業が発生する。 ひび割れ抽出精度の制約により使用機器と撮影距離の関係から制限を受けるため事前確認が必要である 	

■技術の概要

熱画像によるコンクリート浮き部の検出は、表面温度の時間変化が浮き部と健全部で異なることに注目している。概念図で示されるように浮き・はく離が発生するとその裏面に空気層が形成される。密閉された空気層は大きな断熱性を持っているため、浮き部では表面側と内部躯体との間の熱伝達が小さくなる。赤外線法ではこの表面温度差をサーモグラフィーで測定することにより劣化部の診断を行う。



赤外線カメラ仕様

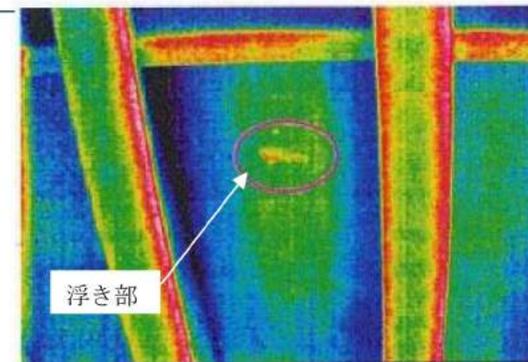
寸法・性能	
メーカー	フリーア(米国)
型番	SC620
検出方式	非冷却2次元マイクロボロメータ
最小温度分解能	0.065°C (30°Cにて)
検出波長	7.5~13 μm
有効画素数	640(H) × 480(V)
空間分解能	0.65 mrad 標準レンズ時
視野角	24° (H) × 18° (V) 標準レンズ時
可視カメラ	内蔵
ノイズリダクション	有り
又はS/N改善	

【調査の流れ】

- ①撮影計画書の作成
撮影位置・調査可能範囲を考慮した計画書の作成
- ↓
- ②赤外線サーモグラフィーによる現地撮影
計画書に基づき撮影を行う。浮き・はく離部と判断される変温部の熱画像および可視画像の記録
- ↓
- ③テストハンマーによる部分打診確認
熱画像より浮き・はく離と判断される部分のテストハンマーによる打診および赤外線調査結果の確認
- ↓
- ④熱画像の解析・診断
浮き・はく離範囲の抽出
熱画像の画像処理より、浮き・はく離部の特定
浮き・はく離部を明示した写真台帳の作成
- ↓
- ⑤調査結果の図面化
⑤で確認された浮き・はく離部を図示した調査結果図の作成
工事概要、調査条件、調査結果図、写真台帳などをとりまとめた報告書の作成
- ↓
- ⑥調査結果の報告



可視画像



熱画像

① 点 検

赤外線法

画像診断

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
コンクリート表面の 浮き・はく離	赤外線サーモグラフィを用いて対象とするコンクリート構造物の表面温度の違いを検知し、損傷（浮き・はく離）および漏水を把握する技術。	■特 徴 <ul style="list-style-type: none">・サーモグラフィによる赤外線法は表面温度の違いを検知することで比較的精度良く浮き部を把握することが可能である。また、遠方からの撮影であるため現地作業の安全性・効率を向上することができる。 ■課 題 <ul style="list-style-type: none">・打診調査は高所作業車等が必要であり現地調査に数日を要する。・日射や障害物の有無および撮影距離による制約を受けることから事前に条件の確認が必要である。	

■技術の概要

急速な経済発展とともに整備されてきた下水道施設のコンクリート構造物も歳月を経るうちに、予想以上の早さで劣化が進んでいます(写真-1)。中でも、深刻な問題とされているのが硫化水素によるコンクリート構造物の硫酸劣化です。コンクリートは連続した微細な空隙をもつ多孔質材料であり、硫酸イオン、炭酸水分などの浸透や移動が行われています。おかれる環境によっては、数年で劣化症状が現れてきます(図-1)。

本システムはコンクリート構造物の劣化の程度および補修工法を考慮した今後の劣化進行を評価診断することができます。



写真-1 下水道施設の腐食劣化事例

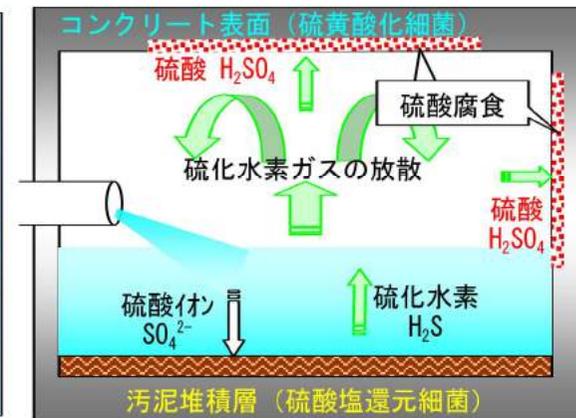


図-1 微生物による硫酸劣化機構

■特徴

1. 硫酸イオンの拡散とセメント水和物との反応を計算し、腐食生成物の二水石コウ、エトリンガイトの生成量の推定ができます(図-4)。
2. 腐食生成物量とコンクリート細孔空隙量との比較から、コンクリート表面の侵食予測ができます(図-5)。
3. 新設および補修後の硫酸劣化進行予測ができます(図-6)。
4. 補修工法の選定等、ライフサイクルコストを考慮したトータルな検討が可能です。

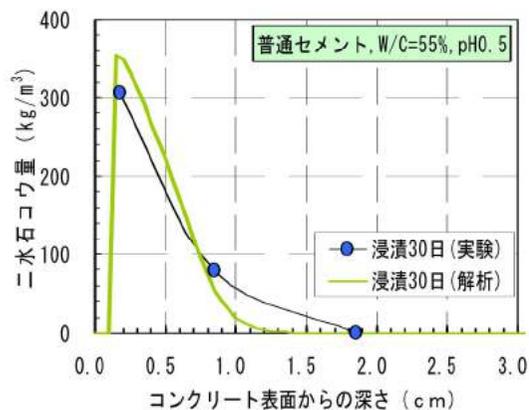


図-4 二水石コウ量の解析例

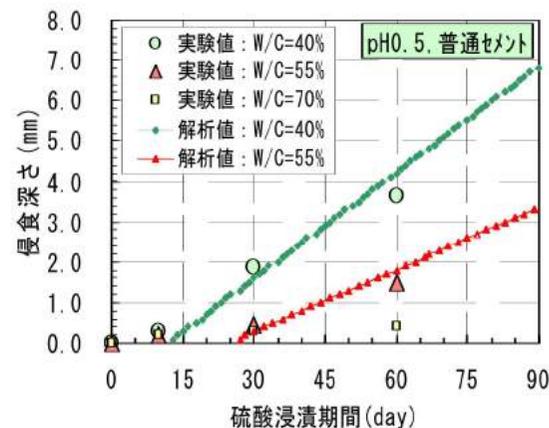


図-5 侵食深さの解

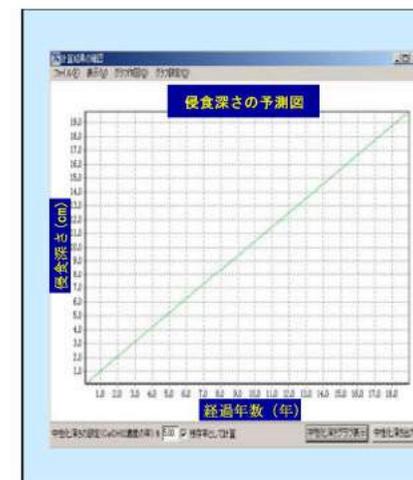


図-6 プログラムの出力画面例

■劣化機構と解析プログラムの概要

- ・微生物による硫酸はコンクリート中のセメントの水和生成物と反応し、低 pH 領域 (pH3 以下) では二水石コウ、高 pH 領域 (pH3~5) ではエトリンガイトとなり、コンクリートは破壊され剥離します。
- ・硫酸劣化に関係する 7 物質の濃度を二水石コウ、エトリンガイトとの反応拡散方程式を用いて有限要素法により求めています。
- ・コンクリート表面の侵食量は、要素毎にコンクリートの空隙が二水石コウとエトリンガイトにより充填、消失、剥離する判定を行い、剥離した要素を削除して求めています。

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
<p>点検・調査</p> <p>予 測</p> <p>評 価</p>	<ul style="list-style-type: none"> 事前調査 <ul style="list-style-type: none"> 設計図書の確認 環境条件の調査 外観目視点検 <ul style="list-style-type: none"> 打音点検 非破壊検査 <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋かぶり，配筋の推定，腐食状態，Ph 測定，硫酸濃度の測定 詳細調査 <ul style="list-style-type: none"> 圧縮強度，中性化深，はつり出しによる鋼材腐食グレードの観察 データ入力 <ul style="list-style-type: none"> W/C, CO₂ 表面濃度，硫酸濃度，セメント組成，セメント種類 <p>経年による浸食深さを予測</p>	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 下水道施設の場合には、硫酸による浸食のため、他の劣化に比べると浸食速度が速い。施設内に硫化水素が滞留し、結露によって硫酸が生成されるが、換気条件や季節によって腐食環境は大きく異なる。 劣化予測方法：理論式を基にして、各種パラメータを実験から確認している。(図-7、図-8) コンクリート表面の硫酸濃度として Ph を入力することになっている。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> 実施件数が少ない。 施設内の硫化水素濃度を測定することが多いが、実際にはコンクリート表面の Ph を測定することが難しい。現状では硫化水素濃度から硫酸濃度 (Ph) を推定している。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="831 727 1330 1206" style="text-align: center;"> <p>図-7 EPMAによる硫酸濃度分布</p> </div> <div data-bbox="1361 727 1662 1206" style="text-align: center;"> <p>図-8 腐食生成物 SEM 画像</p> </div> </div>	

② 診 断

トンネル掘削汎用機械を用いた岩石試料のサンプリング

《切羽前方コアサンプリングシステム》

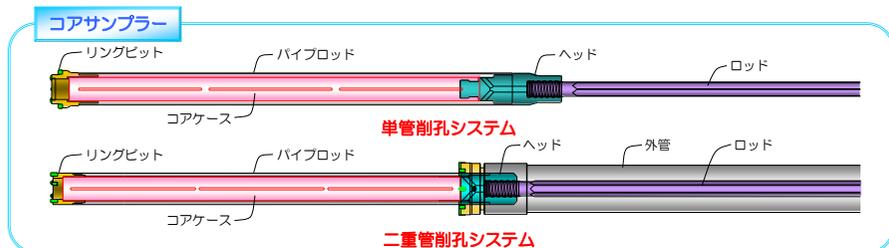
【五洋建設(株)】

■技術の概要

切羽前方コアサンプリングシステムは、ボーリング専用機械を用いることなく、トンネル掘削汎用機械（ドリルジャンボ）で切羽前方地山から迅速に岩石試料（コア）を採取できる技術です（NEXCO 西日本との共同開発、特許第 5510958 号）。

地質に応じて、以下の削孔方式を選択することができるため、効率的かつ経済的な探査が可能です。

- 単管削孔システム：孔壁が自立する地山
- 二重管削孔システム：孔壁が自立しない地山



切羽前方コアサンプリングシステム概要図



リングビット

コアサンプラーセット



採取コア (例)

コアサンプリング手順

順番	単管削孔方式	二重管削孔方式
①	ガイドビット・ロッドによる単管削孔（スライムの効率的な排出を考慮し、打設角度は2～4°） 	親子ビットによる先行削孔（L=30cm程度）
②	ガイドビット・ロッド引抜き 	外管の打設（スライムの効率的な排出を考慮し、打設角度は2～4°）
③	ロッドにリングビット付きパイプロッド（コアケース入り）の取付け 	インナービット・ロッドの引抜き（外管は地山内に存置）
④	孔内へのリングビット付きパイプロッド（コアケース入り）の挿入、1m削孔（コア採取長1m） 	ロッドにリングビット付きパイプロッド（コアケース入り）の取付け
⑤	リングビット付きパイプロッドの引抜き、コアケースの回収 	外管内へのリングビット付きパイプロッド（コアケース入り）の挿入、1m削孔（コア採取長1m）
⑥	孔内へガイドビット・ロッドの挿入（①の作業手順へ） 	リングビット付きパイプロッドの引抜き、コアケースの回収
⑦		外管内へインナービット・ロッドの挿入（②の作業手順へ）

② 診 断

切羽前方コアサンプリングシステム

地質調査

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
調査	<p>リングビット、パイプロッド、ヘッドおよびコアケースで構成されるコアサンプラーをロッド先端に取り付けて削孔し、地山から岩石試料（コア）を採取する技術である。</p> <p>本システムは、ボーリング専用機械を用いることなく、ロッド先端にコアサンプラーを取り付けることができる削岩機があれば、簡便に施工できる。</p>	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> トンネル掘削汎用機械（ドリルジャンボ等の削岩機）で岩石試料（コア）の採取が可能 トンネル作業員で実施可能 任意の断面位置・深度のコアを採取可能 地質に応じて削孔方式を選択することで、効率的かつ経済的な探査が可能。 採取したコアを用いて地山性状を直接的かつ定量的に評価可能 地山評価結果は、施工中だけでなく維持管理にも活用できる。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> 削岩機を用いたコアボーリングのため、削孔時の打撃によりコアが割れやすく、採取したコアにより RQD を評価することは困難。 粘土分や砂分は削孔水により流失しやすい。 探査可能深度や適用地質は、削岩機の能力に依存する。 	<ul style="list-style-type: none"> NETIS 登録技術（HR-140005-A） 採用実績 NEXCO トンネル工事：1 件 国土交通省トンネル工事：1 件

■技術の概要

探査には、反射法地震探査システムであるスイス・Amberg Technologies社製のTSP(Tunnel Seismic Prediction)203を用いた。TSP203は、3成分弾性波反射法に属するトンネル切羽前方探査法である。トンネル側壁に複数の発振孔を設け、発破を用いて順次振動を発生させ、断層等で反射した反射波を受振することにより、トンネル前方の地山状況を3次元的に評価・予測するものである。

トンネルの側壁で発破すると、その振動が岩盤内を球面状に拡大しながら伝播する弾性波として伝わる。そして、弾性波が地質不連続面に代表される岩盤強度(硬/軟)の変化面に到達すると、弾性波から岩盤強度(硬/軟)の変化量に応じた反射波を生じ、この反射波がトンネル側に戻ってくる。この現象を、トンネル側壁に設置した振動計(受振器)を用いて高精度に測定すると、反射波が戻ってきた方向と発破から要した所要時間(数ミリ秒～数十ミリ秒程度)が得られる。このデータを多数集めて立体的に分析することで反射面、すなわち岩盤強度(硬/軟)の変化面の位置を知ることができる。



■施工事例

工事名：志津川トンネル(西工区) 工事
 工期：2007年7月～2012年3月
 発注者：国土交通省 東北地方整備局

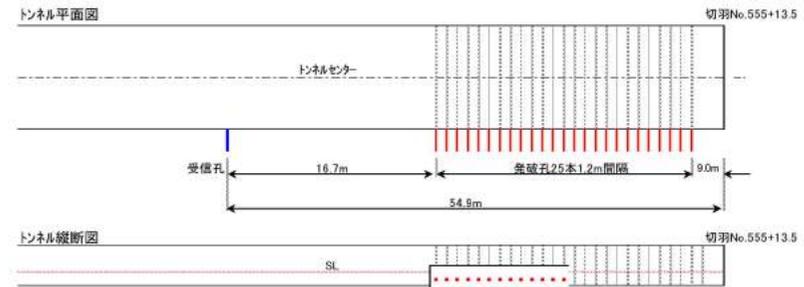


図2 受振器等配置

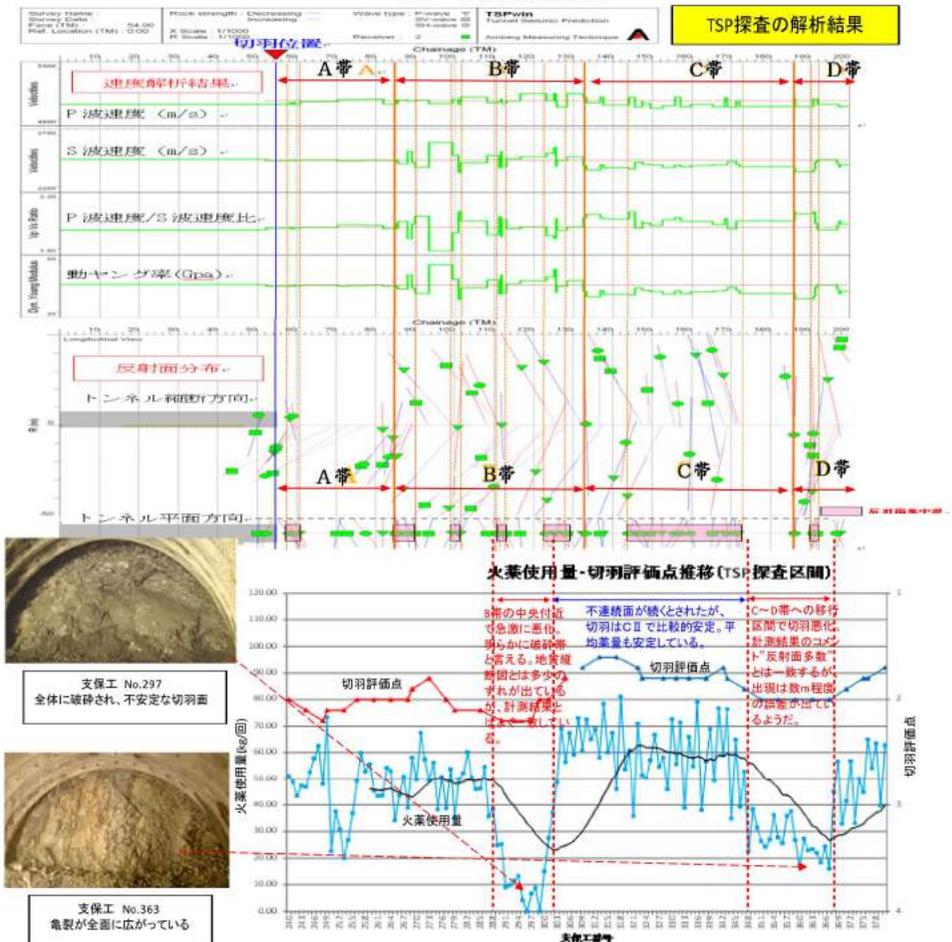
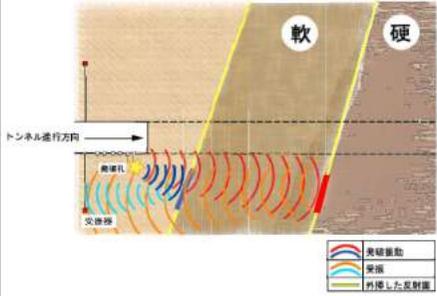
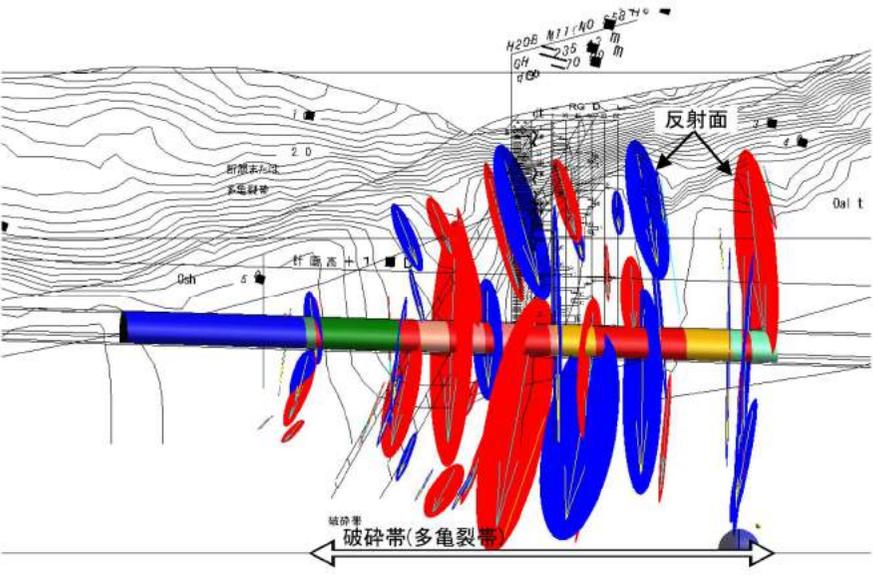


図3 探査結果

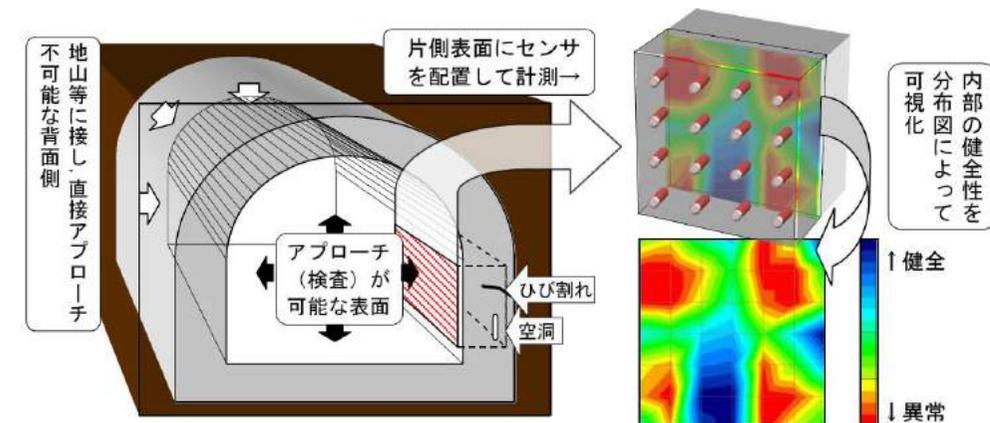
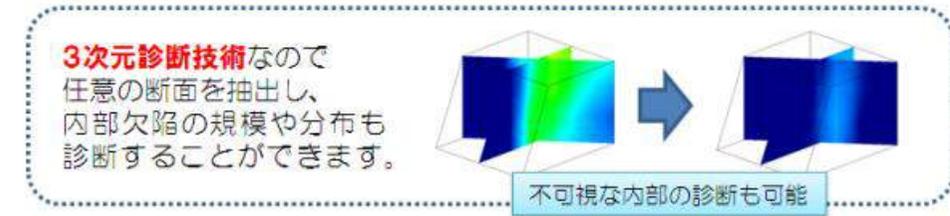
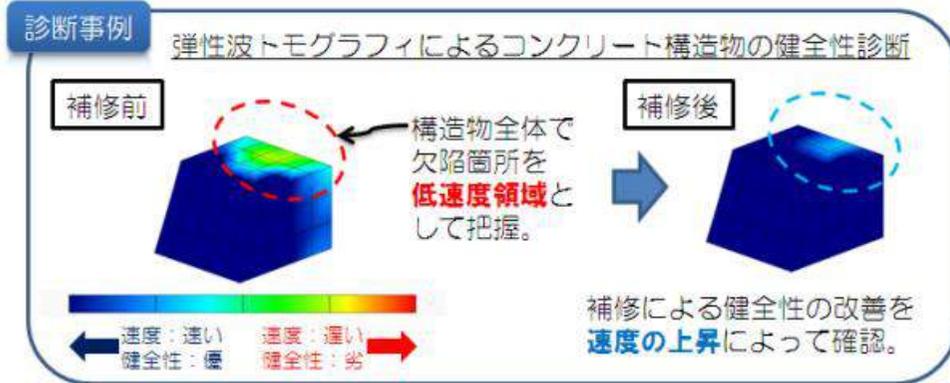
前方探査

工種	要素技術	特徴と課題	備考								
調査工	<p>トンネル前方の地山状況を掘進前に予測し、掘削時に適切な対応を図ることができるように事前調査を行う方法。</p> <p>TSP203 は、3成分弾性波反射法に属するトンネル切羽前方探査法である。トンネル側壁に複数の発振孔を設け、発破を用いて順次振動を発生させ、断層等で反射した反射波を受振することにより、トンネル前方の地山状況を3次元的に評価・予測するものである。</p>  <p>反射イメージと地山変化の関係</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 類似システムと比較した特長として、測定方法がトンネル用に特化され、受振器を少なくして探査を短時間の工程で済む。 解析手順を一定のフローに定めたパソコンプログラムを用いているため、探査結果が素早く報告できるものとなっている。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 探査可能範囲と探査精度は探査手法により異なるが、相反する要求性能となるため、目的に応じた手法の選定が必要になる。本手法の実績は、下表のとおりである。 <p style="text-align: center;">探査範囲と精度</p> <table border="1" data-bbox="1041 710 1451 829"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>探査範囲</td> <td>切羽から前方約100m~150m</td> </tr> <tr> <td>分解能</td> <td>± 5m程度</td> </tr> <tr> <td>精度</td> <td>±10m程度(脆弱層の場合)</td> </tr> </tbody> </table>  <p style="text-align: center;">破碎帯(多亀裂帯)とTSP 探査結果の反射面</p>	項目	内容	探査範囲	切羽から前方約100m~150m	分解能	± 5m程度	精度	±10m程度(脆弱層の場合)	実績多数、類似工法有り。
項目	内容										
探査範囲	切羽から前方約100m~150m										
分解能	± 5m程度										
精度	±10m程度(脆弱層の場合)										

② 診断

■技術の概要

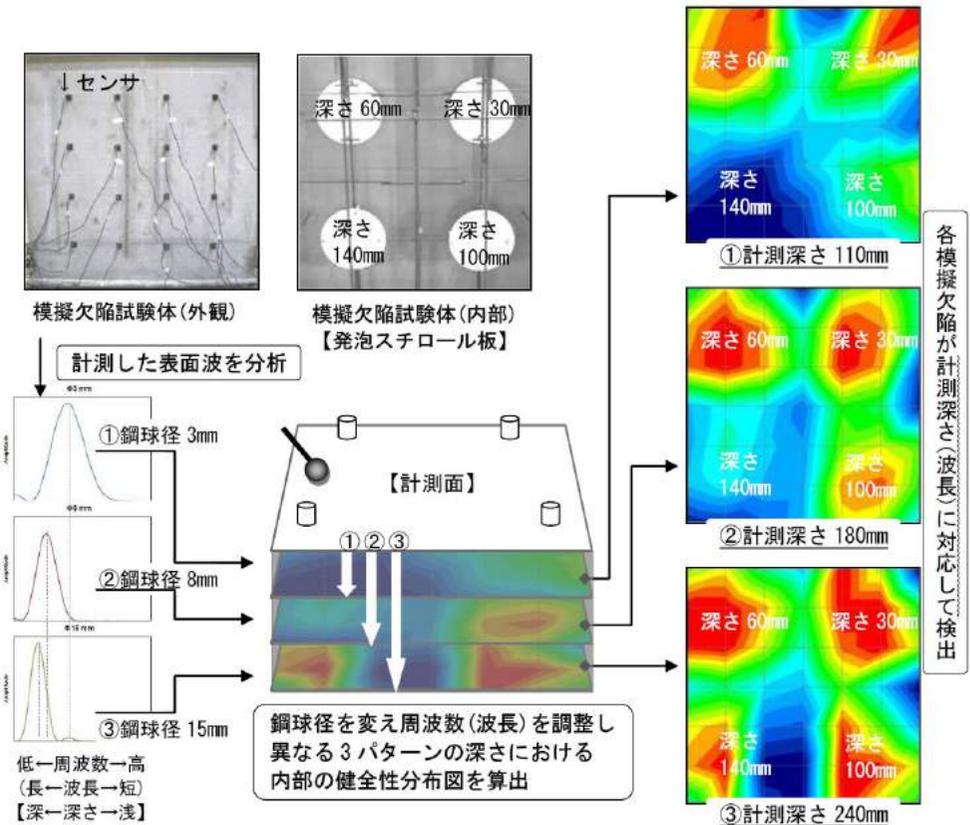
弾性波の表面波成分の特性を利用し、構造物の片側表面で計測した表面波速度の分布図として内部や背面側の健全性を可視化する技術です。センサで挟み込むことができない構造物(トンネル覆工コンクリートや橋梁床版など)に対しても弾性波トモグラフィによる広域的な健全性診断が可能です。



DaCS-3D(3次元構造物健全性診断システム)

Damage diagnosis system for Concrete Structures with 3D seismic tomography

コンクリートを伝播する弾性波の伝播挙動を示す弾性波パラメータ(伝播速度、減衰比など)は、損傷部やコンクリートの力学的特性など、評価対象となる物理的指標に依存して変化します。当技術はコンクリート構造物全体をこれらの弾性波パラメータの分布図として表すもので、構造物の健全性や損傷規模(程度、位置など)の推定が可能です。また、補修前後に適用し弾性波パラメータの変化量から補修効果を定量的に確認できます。



■ 表面波成分の特性を利用した一面配置型の弾性波トモグラフィにより、片側表面からの内部可視化・健全性診断が可能。

② 診 断

3次元構造物健全性診断システム 『DaCS-3D』

内部可視化・ 健全性診断

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
調査・計測	<p>3次元構造物健全性診断システム『DaCS-3D』</p> <p>コンクリートを伝播する弾性波の伝播挙動を示す弾性波パラメータ（伝播速度、減衰比など）は、損傷部やコンクリートの力学的特性など、評価対象となる物理的指標に依存して変化する。当技術はコンクリート構造物全体をこれらの弾性波パラメータの分布図として表すもので、構造物の健全性や損傷規模（程度、位置など）の推定が可能。また、補修前後に適用し弾性波パラメータの変化量から補修効果を定量的に確認できる。</p>	<p>■特 徴</p> <p>弾性波の表面波成分の特性を利用し、構造物の片側表面で計測した表面波速度の分布図として内部や背面側の健全性を可視化する一面配置型の弾性波トモグラフィ技術。</p> <p>センサで挟み込むことができない構造物（トンネル覆工コンクリートや橋梁床版など）に対しても弾性波トモグラフィによる広域的な健全性診断が可能。</p> <p>■課 題</p> <p>構造物表面（計測面）への直接アプローチ（センサ設置、打撃発信）が可能であることが適用の条件であり、足場や高所作業車等を要する。</p>	

③ 補修・補強

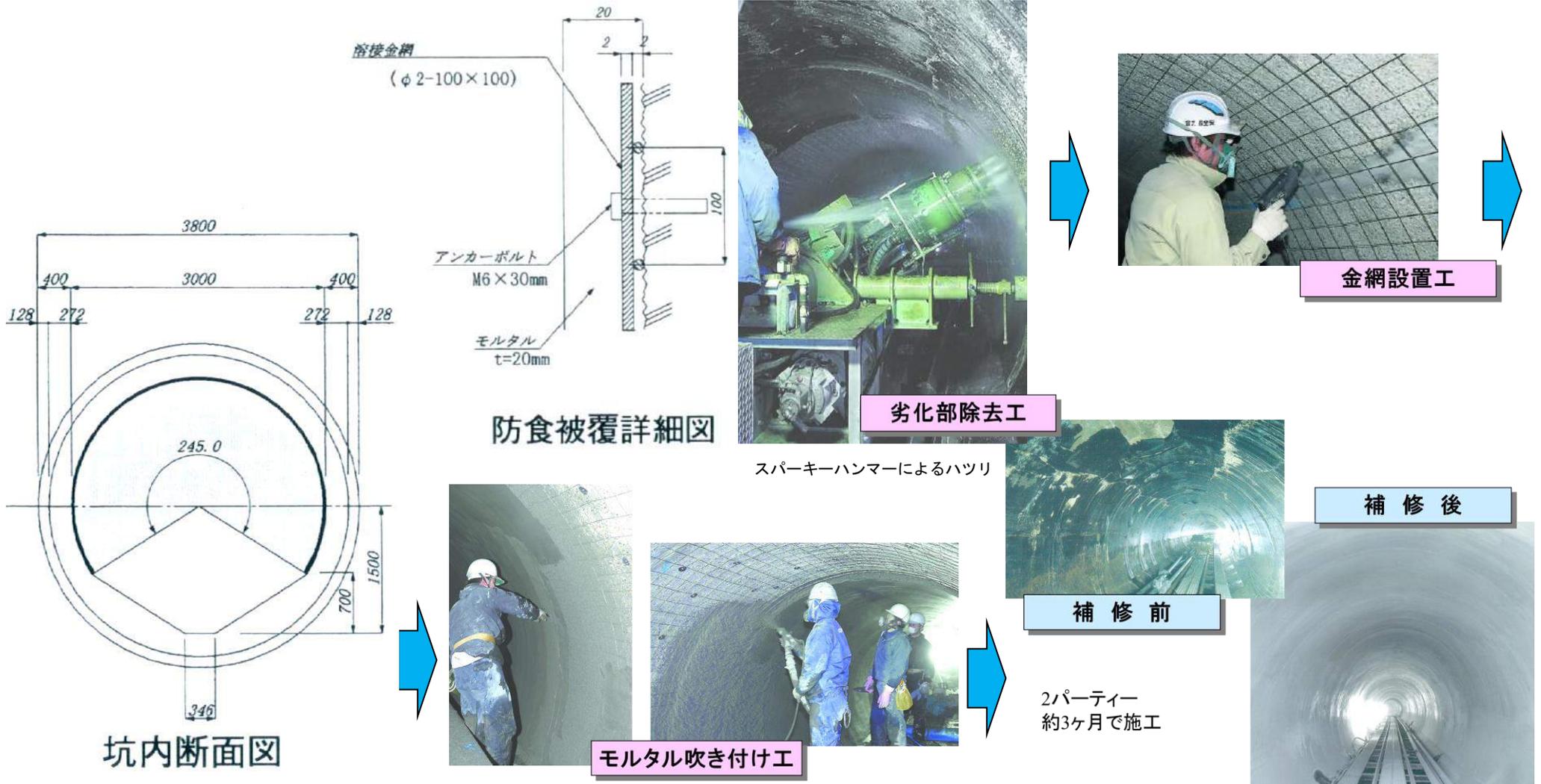
防菌剤混和モルタル防食被覆

《防菌モルタル防食・補強工法》

【(株) 安藤ハザマ】

■技術の概要

1. 延長 1,100m、仕上がり内径 $\phi 3,000\text{mm}$ の大規模下水道補修工事
2. スパイクハンマー付き専用ハツリ機を使用し二次覆工の劣化したアーチ部を除去 ($t=20\text{mm}$)
3. 硫黄酸化細菌による劣化を防ぐため、安藤ハザマが開発した防菌剤混和モルタル (スラスラモルタル) でハツリ面を吹きつけ・防食被覆、補強を実施



③ 補修・補強

防菌コンクリート耐震補強工法

二次覆工の補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
コンクリートはつり	スパイクハンマー付き専用はつり機	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・はつり機先端にスパイクハンマーを装着し、圧縮空気により上下動することで既設コンクリートを効率的に薄く削ることが可能（1回に削る厚さ7mm）。 ・内径2m以上、圧縮強度40N/mm²程度までの既設コンクリートのはつりに適用可能。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハンマーは打撃するだけであるが、ヘッドが回転することができれば、より均等にはつることが可能と思われる。また、作業時に大量の粉塵が発生するため、ハンマー部から放水を行うが、はつりガラ（粉塵）が水を含みトンネル底部に堆積するため、作業効率が低下する。 	
防食被覆+補強	防菌剤混和モルタル	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防菌剤を添加したモルタルを吹付けることで硫酸化細菌の活動を抑え、硫酸の発生を未然に防止できる。 ・断面修復モルタルは付着強度、圧縮強度が高いため、当初強度以上に回復でき、防食だけでなく補修・補強効果を有する。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・はつり面のひび割れ、清掃の不備および既設コンクリート面からの漏水による付着強度の低下などが懸念されるため、吹付け面の品質管理が重要となる。また、吹付け厚さの管理は作業員の感覚によるところが大きいため、出来形精度の管理方法が課題である。 	特許第 3044669 号 特許第 5242431 号

その他、シート防食を組み合わせた耐震・補強の実績も有り

③ 補修・補強

プレキャストRC版によるトンネル覆工補強

《PCL工法》

【株大林組】

■技術の概要

高品質なプレキャスト製RC版を専用機械で覆工コンクリート内面に設置することにより、トンネルを高耐久化する内面補強工法。本工事では、老朽化した道路トンネル2本の全線に渡り、耐用年数50年確保を図るため採用。覆工背面空洞充填工法（スペースバック）を施工後、交通量の少ない夜間に施工。坑口補強として覆工内面補強工法（スムーズボード）も施工。

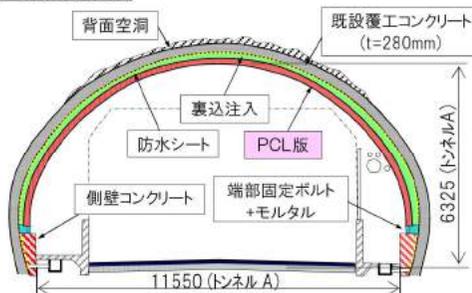
トンネル位置図（神奈川県横須賀市）



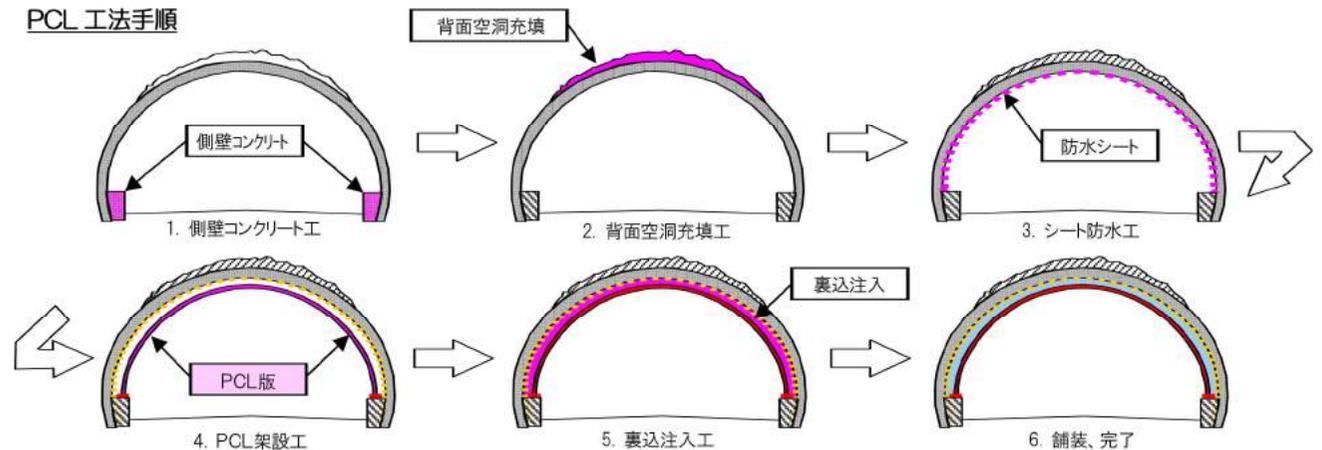
トンネル諸元

- ・施工法: 在来工法
- ・延長: 106.2m(トンネルA)、71.2m(トンネルB)
- ・仕上内空: 61m²(トンネルA)、64m²(トンネルB)
- ・覆工巻厚: 28cm(トンネルA・Bの実測平均値)
- ・吹付巻厚: (実測平均で)13cm(トンネルA)、6cm(トンネルB)
- ・施工時期: 戦前

PCL工法 構造概念図



PCL工法手順



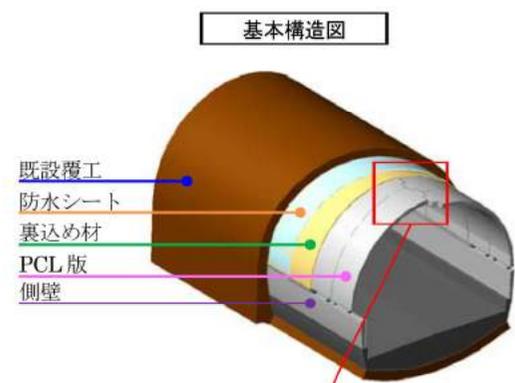
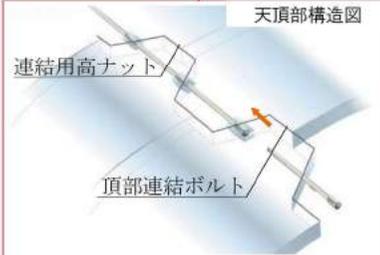
PCL工法施工実績

- ・1日当り施工量: 延長 9m/日 (PCLハネル 12枚/日)
- (施工条件): PCL 総面積 3,000 m²
- PCL 版仕様(弧長約 9m、厚さ 160mm、ハネル幅 1.5m、ハネル 2分割、ハネル重量 5.4t)
- 作業時間 8hr/日 (20:00~04:00)

③ 補修・補強

PCL工法

覆工内面補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考					
内面補強	<p>PCL工法 (プレキャストコンクリートライニング工法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャストのRC版(PCL版)を既設覆工コンクリートの内面に設置することにより高耐久の補強層を構築する内面補強工法。 ・PCL版の厚さや鉄筋量の調整により、想定荷重に対応した補強ができる。 ・施工条件に応じた架設方法を選択できる。 <p>■主な用途</p> <ul style="list-style-type: none"> ・トンネル覆工の補強 ・新設トンネルの覆工 	<p>■特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> ①高性能・耐久性 <ul style="list-style-type: none"> ・PCL版は厳密な品質管理のもとで工場生産される高品質な製品。 ②高い安定性 <ul style="list-style-type: none"> ・PCL版と既設覆工との間に裏込め充填するために安定性が高い。 ③施工性 <ul style="list-style-type: none"> ・専用据付機械の使用により工期短縮。 ・交通開放下での施工が可能。 ④経済性 <ul style="list-style-type: none"> ・従来技術(現場打ちコンクリート覆工補強)と比べ、施工延長30mで約30%コスト削減。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既設覆工耐力も考慮した合理的設計 ・側壁コンクリートの要らない全周PCL化 	<p>NETIS : HR-030003-A</p> <p>■主な適用実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国道47号鳴子トンネル(国土交通省東北地方整備局) ・国道39号武華トンネル(北海道開発局旭川開発建設部) ・国道160号沢野トンネル(国土交通省北陸地方整備局) ・国道160号殿トンネル(国土交通省北陸地方整備局)       					
PCL版の施工機械(架設機械)の選定目安								
施工機械の種類 施工条件		自走式 組立て 架台 方式	フォーク リフト 方式	架台 牽引 方式	側壁 走行 方式	トラック 搭載 簡易エレ クター 方式	専用 エレクター 方式	スピナーーム 方式
分割 条件	PCL版の割付(2分割)	○	○	○	○	○	○	○
	PCL版の割付(3分割)	○	△	△	△	△	△	△
交通 条件	全面交通規制	○	○	○	○	○	○	○
	片側交通規制	○	○	△	△	○	○	○
施工 規模	施工延長 ≤ 100m	△	○	△	○	○	○	○
	施工延長 > 100m	○	△	○	○	○	△	○

③ 補修・補強

ポリマーセメントモルタルによるトンネル覆工補強・断面修復 《ジョツクリート工法》

【株大林組】

■技術の概要

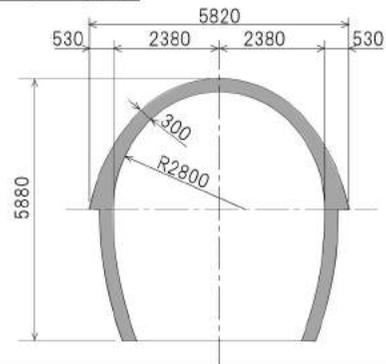
工事例：野岩鉄道山王トンネル改修工事（野岩鉄道）

高い初期強度と優れた接着耐久性により厚吹きが可能なポリマーセメントモルタルを用いた湿式吹付け工法。本工事では、老朽化した単線鉄道トンネルのうち、特に変状が激しい36m区間の補修・補強に採用。夜間機電停止中（21:35～04:30）の4.5時間/日で施工。

トンネル位置図



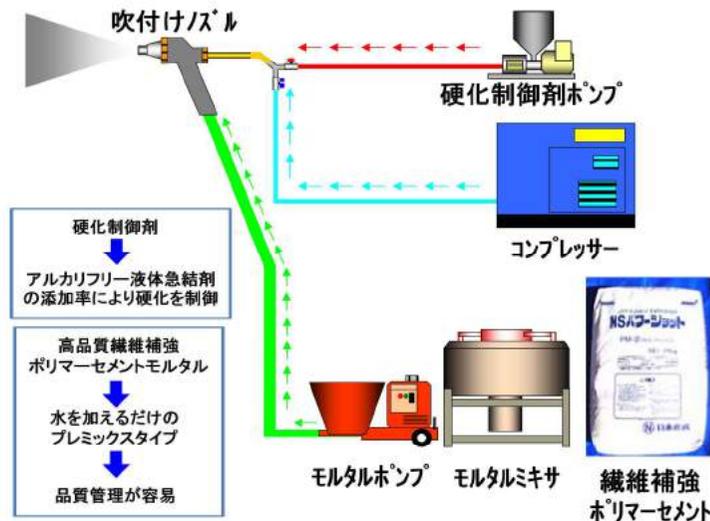
トンネル断面図



トンネル諸元

- ・施工法：在来工法
- ・延長：1,740m
- ・仕上内空：22m²
- ・覆工巻厚：30cm、45cm、60cm
- ・施工時期：昭和42年8月～昭和45年1月

ジョツクリートシステム



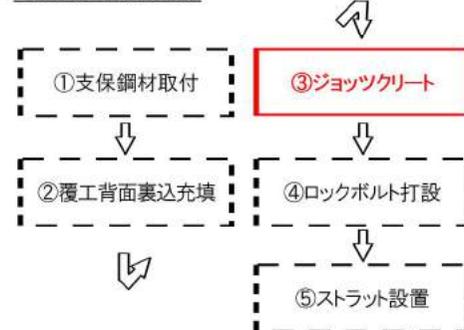
ジョツクリート施工状況



主要工事数量

- ・支保鋼材取付：778m(L-50x50x6)
- ・覆工背面充填：55.5 m³
- ・ジョツクリート：489m²(t=5cm)
- ・ロックボルト：360本(R32,L=5m)

覆工内面補強手順



ジョツクリート施工前



工事完了



③ 補修・補強

ジョツクリート工法

覆工内面の補強・断面修復

工種	要素技術	特徴と課題	備考																								
内面補強 断面修復	ジョツクリート工法 ・ジョツクリート工法はポリマーセメントモルタルの湿式急結剤併用吹付工法である。	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ポリマーセメントモルタルに非鋼繊維を混入した断面修復吹付工法 ・初期強度、接着耐久性に優れ厚吹きが可能 ・吹付後の左官仕上げも可能 ・覆工の劣化部補修、剥落防止、断面増厚等に適用 ・吹付ノズル先端で添加する液体急結剤の転化率により硬化を制御 ・繊維補強ポリマーセメントはプレミックスのため、品質管理が容易 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高圧縮強度、高付着強度の材料であるが、要求品質に応じた材料の開発 	<p>NETIS KT-060016-V</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材齢 28 日の圧縮強度 54.8N/mm² ・材令 1 日での付着強度 1.0N/mm²以上 ・材令 28 日での付着強度 2.0N/mm²以上 <p>(吹付は上向き方向、試験方法は建研式接着力試験方法に準拠)</p> <p>■主な適用実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地下鉄トンネル壁面補修 (試験工事) ・東大阪線生駒トンネル斜坑 (近畿日本鉄道) 																								
ポリマーセメント吹付工法比較表																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>湿式急結剤併用 (ジョツクリート工法)</th> <th>湿式吹付工法</th> <th>乾式吹付工法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>工法概要</td> <td>主にプレミックス材料ミキサにて水と練混ぜ、モルタルポンプで圧送し圧縮エアで吹き付ける。ノズル先端で液体急結剤を添加する。</td> <td>主にプレミックス材料ミキサにて水と練混ぜ、モルタルポンプで圧送し圧縮エアで吹き付ける。</td> <td>主にプレミックス材料練混ぜを行わず、粉体を大型の圧縮エアで圧送する。ノズル先端で水と急結剤を添加する。</td> </tr> <tr> <td>施工写真</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>施工性</td> <td>先端で急結剤と混合して吹付けるため、モルタルが比較的やわらかくポンプ圧送性は良好。最大圧送距離は約 100m。モルタルの可使時間は 60 分程度。</td> <td>接着させるため、材料は比較的粘性が高く硬い。そのため最大圧送距離は 30m 程度。モルタルの可使時間は夏期で 30 分程度。</td> <td>粉体のまま圧送するため、閉塞リスクは小さい。最大圧送距離は 200m 程度。ノズル先端で水と混ざるため、ホース内部の粉体は再利用可能。</td> </tr> <tr> <td>上向吹付厚</td> <td>1 層あたりの吹付厚さは上向きで最大 100mm 程度。</td> <td>1 層あたりの吹付厚さは上向きで最大 20~30mm。</td> <td>1 層あたりの吹付厚さは上向きで最大 100mm 程度。</td> </tr> <tr> <td>リバウンド等</td> <td>急結剤を使用するため、低リバウンド。粉塵は少ない。</td> <td>圧送を優先させた場合ダレ、剥落が多くなる。粉塵は中~少。</td> <td>粉塵、リバウンドは比較的大きい。粉塵は多い。</td> </tr> </tbody> </table>	種類	湿式急結剤併用 (ジョツクリート工法)	湿式吹付工法	乾式吹付工法	工法概要	主にプレミックス材料ミキサにて水と練混ぜ、モルタルポンプで圧送し圧縮エアで吹き付ける。ノズル先端で液体急結剤を添加する。	主にプレミックス材料ミキサにて水と練混ぜ、モルタルポンプで圧送し圧縮エアで吹き付ける。	主にプレミックス材料練混ぜを行わず、粉体を大型の圧縮エアで圧送する。ノズル先端で水と急結剤を添加する。	施工写真				施工性	先端で急結剤と混合して吹付けるため、モルタルが比較的やわらかくポンプ圧送性は良好。最大圧送距離は約 100m。モルタルの可使時間は 60 分程度。	接着させるため、材料は比較的粘性が高く硬い。そのため最大圧送距離は 30m 程度。モルタルの可使時間は夏期で 30 分程度。	粉体のまま圧送するため、閉塞リスクは小さい。最大圧送距離は 200m 程度。ノズル先端で水と混ざるため、ホース内部の粉体は再利用可能。	上向吹付厚	1 層あたりの吹付厚さは上向きで最大 100mm 程度。	1 層あたりの吹付厚さは上向きで最大 20~30mm。	1 層あたりの吹付厚さは上向きで最大 100mm 程度。	リバウンド等	急結剤を使用するため、低リバウンド。粉塵は少ない。	圧送を優先させた場合ダレ、剥落が多くなる。粉塵は中~少。	粉塵、リバウンドは比較的大きい。粉塵は多い。	
種類	湿式急結剤併用 (ジョツクリート工法)	湿式吹付工法	乾式吹付工法																								
工法概要	主にプレミックス材料ミキサにて水と練混ぜ、モルタルポンプで圧送し圧縮エアで吹き付ける。ノズル先端で液体急結剤を添加する。	主にプレミックス材料ミキサにて水と練混ぜ、モルタルポンプで圧送し圧縮エアで吹き付ける。	主にプレミックス材料練混ぜを行わず、粉体を大型の圧縮エアで圧送する。ノズル先端で水と急結剤を添加する。																								
施工写真																											
施工性	先端で急結剤と混合して吹付けるため、モルタルが比較的やわらかくポンプ圧送性は良好。最大圧送距離は約 100m。モルタルの可使時間は 60 分程度。	接着させるため、材料は比較的粘性が高く硬い。そのため最大圧送距離は 30m 程度。モルタルの可使時間は夏期で 30 分程度。	粉体のまま圧送するため、閉塞リスクは小さい。最大圧送距離は 200m 程度。ノズル先端で水と混ざるため、ホース内部の粉体は再利用可能。																								
上向吹付厚	1 層あたりの吹付厚さは上向きで最大 100mm 程度。	1 層あたりの吹付厚さは上向きで最大 20~30mm。	1 層あたりの吹付厚さは上向きで最大 100mm 程度。																								
リバウンド等	急結剤を使用するため、低リバウンド。粉塵は少ない。	圧送を優先させた場合ダレ、剥落が多くなる。粉塵は中~少。	粉塵、リバウンドは比較的大きい。粉塵は多い。																								

③ 補修・補強

トンネル覆工の背面空洞充填

《スペースパック工法》

【株大林組】

■技術の概要

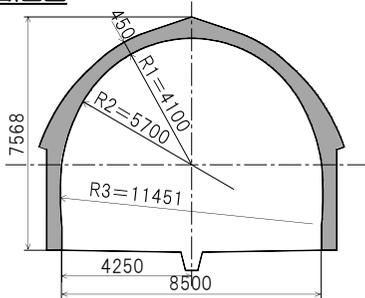
工事例：鍬台トンネル補修工事（国土交通省東北地方整備局）

限定注入に適した可塑性、高い水中分離抵抗性、収縮や材料分離が小さい、亀裂からの材料漏出が少ない等の特徴を有する1液性充填材を用いたトンネル覆工裏込注入工法。本工事では、老朽化した国道トンネルのうち、特に変状の進んだ約1/4区間のアーチ部覆工に採用。片側交互通行規制しながら夜間に施工し、昼間は一般車交通を開放。

トンネル位置図



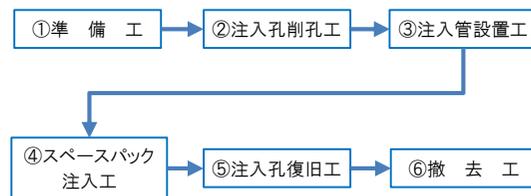
トンネル断面図



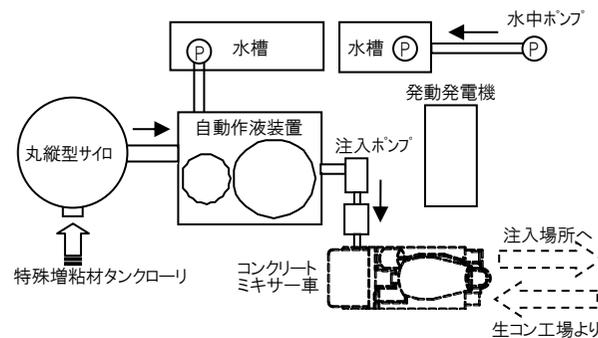
トンネル諸元

- ・施工法：在来工法
- ・延長：2,305m
- ・仕上内空：48m²
- ・覆工巻厚：45cm、60cm
- ・施工時期：昭和42年11月～昭和45年2月

スペースパック工法作業手順



増粘材スラリープラント配置図

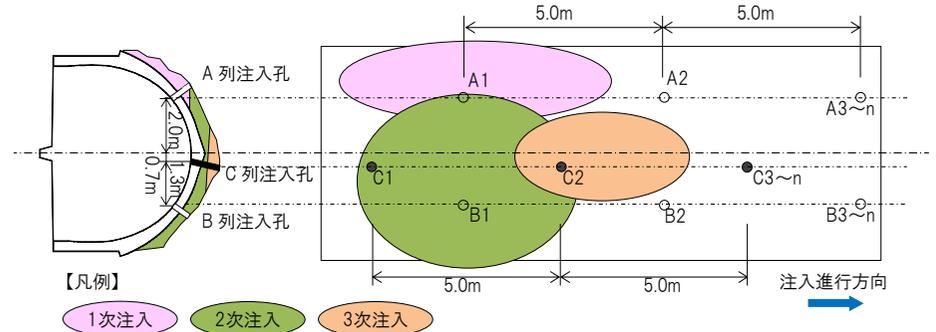


スペースパック標準配合

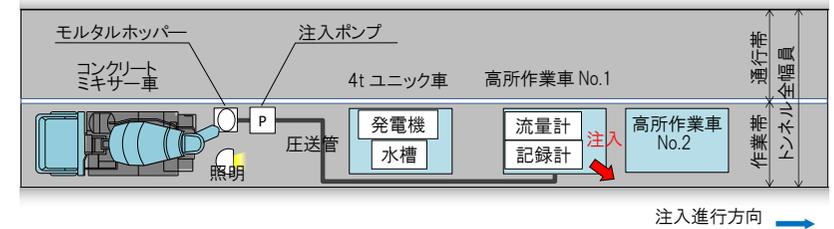
タイプ	区分	構成比率	比重	W/C (%)	単体量 (kg/m ³)					モルタルフロー値 (mm)
					W	C	B	S	GR	
トンネル (湧水有り)	モルタル (1:1)	0.275	1.41	294	92	261		262		130±25 (JHSフロー)
	増粘材スラリー	0.725			675		125		C×0~0.25%	

B:特殊増粘材 S:砂 GR:遅延剤

スペースパック注入順序



注入機械配置図



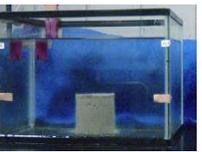
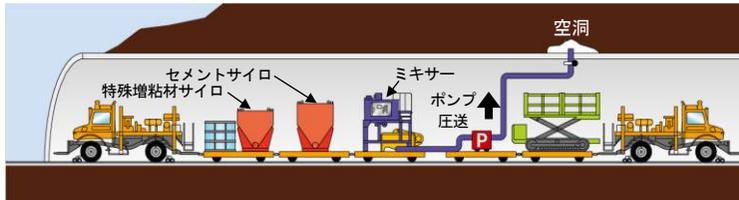
スペースパック施工実績

- ・日平均注入量:61 m³/日
- ・日最大注入量:97 m³/日(ポンプ2台)
- ・ポンプ1台当たり平均注入量:40 m³/日
- (施工条件):総注入量1,938 m³、注入延長657m、注入総日数32日、ポンプ台数1~2台、作業時間7.5hr/日(22:00~05:30)

③ 補 修・補 強

スペースバック工法

覆工背面空洞の充填

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考																																																																		
空洞充填	<p>1 液性可塑性注入材を用いた注入工法</p> <p>覆工背面空洞を可塑性材料（モルタル・ミルク）で充填する工法</p>	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・夜間施工や最寄りの生コン工場が無い場合はミルクタイプを、大量施工の場合はモルタルタイプを適用。 ①経済性 <ul style="list-style-type: none"> ・使用材料が少なく、安価。 ・市販モルタルに増粘材スラリーを投入し、ミキサー車で混合するシンプルな製造。 ・限定注入が可能で、材料漏洩も少ないので、材料ロスが少ない。 ②多機能性 <ul style="list-style-type: none"> ・注入材の流動性保持時間、設計基準強度、水中分離抵抗性が使用条件に応じて調整ができる。 ③高信頼性 <ul style="list-style-type: none"> ・1液性のため、注入材の品質確認が容易。 ・水中分離抵抗性が高く、水中または湧水空洞部でも安定した品質が確保できる。 ④環境影響 <ul style="list-style-type: none"> ・六価クロムが溶出しない。 ⑤製造・施工の高い自由度 <ul style="list-style-type: none"> ・施工条件によって製造システムの選択ができる（ミキサー車方式、現場プラント方式）。 ・長距離圧送が可能のため、坑内の施工設備を最小限化できる。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既設覆工耐力の評価と注入時の安全性確保。 ・一般車両の交通規制等を伴う場合、車両搬入経路の確保および製造設備のコンパクト化。 	<p>可塑性材料</p>  <p>静置状態 → 振動・加圧により流動（15回振動後）</p> <p>水中分離抵抗性</p>  <p>水中下でも分離せず形状保持</p> <p>■主な適用実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・道路トンネル裏込注入工事 ・鉄道トンネル裏込注入工事 ・水路トンネル裏込注入工事 ・土留め壁の背面充てん工事 等 																																																																		
<p>■作業フロー</p> <p><道路トンネル：生コン工場からモルタルを購入の場合></p>  <p>生コン工場 → モルタル製造 → 特殊増粘剤ミキサー → 特殊増粘剤+モルタル攪拌 → ポンプ圧送 → 空洞</p> <p><鉄道トンネル：坑内でミルクタイプ注入材を製造の場合></p>  <p>セメントサイロ → 特殊増粘剤サイロ → ミキサー → 特殊増粘剤+モルタル攪拌 → ポンプ圧送 → 空洞</p> <p style="text-align: right;">空洞充填工法比較表</p> <table border="1" data-bbox="1198 917 2094 1396"> <thead> <tr> <th>工法分類</th> <th>可塑性モルタル</th> <th>可塑性 エアモルタル</th> <th>発泡ウレタン</th> <th>普通モルタル</th> <th>水中不分離性 モルタル</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>代表的な 工法名</td> <td>スペースバック 工法</td> <td>エアバック工法</td> <td>RBSフォーム (12倍発泡)</td> <td></td> <td>アクアモルタル</td> </tr> <tr> <td>リーク（漏洩）</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>△</td> </tr> <tr> <td>限定注入</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>△</td> </tr> <tr> <td>水中分離</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>充填・流動</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> <td>△</td> </tr> <tr> <td>強度 (N/mm²)</td> <td>△ 2~7</td> <td>△ 1.5</td> <td>△ 1.0</td> <td>○ 20~40</td> <td>○ 20~40</td> </tr> <tr> <td>密度 (t/m³)</td> <td>△ 1.3~1.5</td> <td>△ 1.14</td> <td>○ 0.1</td> <td>△ 2.0</td> <td>△ 2.0</td> </tr> <tr> <td>長距離圧送</td> <td>○ 650m</td> <td>×</td> <td>×</td> <td>○ 500m</td> <td>△ 300m</td> </tr> <tr> <td>耐久性</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>経済性*1 (千円/m³)</td> <td>△ 35~40</td> <td>△ 45</td> <td>△ 130~140</td> <td>○ 30~35</td> <td>△ 37~42</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">*1 一般的な道路トンネルでの昼間施工概算直接工事費</p>				工法分類	可塑性モルタル	可塑性 エアモルタル	発泡ウレタン	普通モルタル	水中不分離性 モルタル	代表的な 工法名	スペースバック 工法	エアバック工法	RBSフォーム (12倍発泡)		アクアモルタル	リーク（漏洩）	○	○	○	△	△	限定注入	○	○	○	△	△	水中分離	○	○	○	×	○	充填・流動	○	○	○	×	△	強度 (N/mm ²)	△ 2~7	△ 1.5	△ 1.0	○ 20~40	○ 20~40	密度 (t/m ³)	△ 1.3~1.5	△ 1.14	○ 0.1	△ 2.0	△ 2.0	長距離圧送	○ 650m	×	×	○ 500m	△ 300m	耐久性	○	△	△	○	○	経済性*1 (千円/m ³)	△ 35~40	△ 45	△ 130~140	○ 30~35	△ 37~42
工法分類	可塑性モルタル	可塑性 エアモルタル	発泡ウレタン	普通モルタル	水中不分離性 モルタル																																																																
代表的な 工法名	スペースバック 工法	エアバック工法	RBSフォーム (12倍発泡)		アクアモルタル																																																																
リーク（漏洩）	○	○	○	△	△																																																																
限定注入	○	○	○	△	△																																																																
水中分離	○	○	○	×	○																																																																
充填・流動	○	○	○	×	△																																																																
強度 (N/mm ²)	△ 2~7	△ 1.5	△ 1.0	○ 20~40	○ 20~40																																																																
密度 (t/m ³)	△ 1.3~1.5	△ 1.14	○ 0.1	△ 2.0	△ 2.0																																																																
長距離圧送	○ 650m	×	×	○ 500m	△ 300m																																																																
耐久性	○	△	△	○	○																																																																
経済性*1 (千円/m ³)	△ 35~40	△ 45	△ 130~140	○ 30~35	△ 37~42																																																																

③ 補修・補強

高靱性セメントボードによるトンネル覆工内面補強 《スムーズボード工法》

【株大林組】

■技術の概要

工事例：追浜トンネル補強工事（横須賀市）

施工性・経済性・美観・耐久性に優れた薄肉軽量の高靱性セメントボードを埋設型枠として使用するトンネル内巻補強工法。本工事では、1933年に竣工した2車線道路トンネル（幅員6.5m、高さ6.5m、延長69m）のアーチ部覆工コンクリート剥落対策として採用。一般車交通を開放しながら、トンネルをリニューアル。



適用例：追浜トンネル（横須賀市） 849㎡



施工前（鉄骨フレームに化粧板で覆い）

本工法によるトンネル補強工事での実績

当社施工によるもの： リッカートンネル（米海軍横須賀基地）
魚沼トンネル（JR 東日本）

スムーズボード工法概要

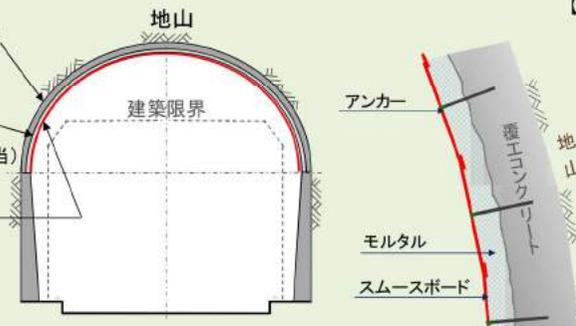
旧覆工コンクリート（劣化）

新覆工コンクリート
（無収縮モルタル）
 $\sigma=40\text{N}/\text{mm}^2$, $t=12.5\text{cm}$
（旧覆工コンクリート性能に相当）

スムーズボード

高強度薄型埋設型枠
（ $\sigma=80\text{N}/\text{mm}^2$, $t=8\text{mm}$ ）

曲げ強度、引張強度は
コンクリートの4～6倍



【特徴】

- ・薄肉化した覆工コンクリートで機能を復元
- ・長期耐久性の向上
- ・道路供用中の施工が可能

施工状況写真（施工手順）

①片側交互通行



④支保工組立て



②アンカー設置



⑤モルタル注入



③ボード設置



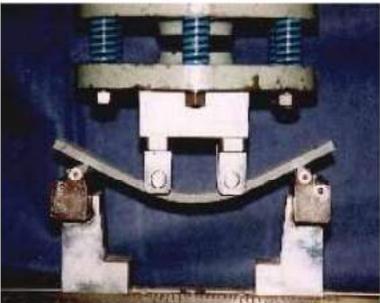
⑥完了



③ 補修・補強

スムーズボード工法

覆工内面補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
<p>内巻補強工</p>	<p>埋設型枠工法</p> <p>有機繊維を混入した薄型高靱性セメントボードを埋設型枠に使用し、既設覆工を補強する。塩害対策用に樹脂含浸型もある。※部分的な剥落対策(補修)にも適用できる。</p> <p>高靱性スムーズボード(曲げ試験)</p> 	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ボード幅を455mmとし、多角形でアーチ構造を形成する。 ・ボード1枚の形状は幅455×長さ1820×厚さ8mm(13kg/枚)(写真の定型ボードを1/2に現地切断)、これにより狭い箇所での施工を容易にし、片側交互通行での施工もできる。 ・高さ5cm径30cm円形支保工(カシオペア)を用い、組立て解体の省力化を図っている。 ・有害物質を浸透させない緻密で高強度な表面保護材である。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・埋設型枠を補強材の一部と考えた合理的な設計手法の確立。 <p>スムーズボード定型</p>  <p>カシオペア設置状況</p> 	<p>特許：「永久型枠用セメントボードの固着法」 特許公開2002-105198他</p>
	<p>モルタル充填工</p> <p>ブリーディングの少ない高強度モルタルを、小型モルタルポンプで埋設型枠と既設覆工の間に充填する。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・充填モルタルは、現地設置のプラントミキサー車で製造、自動計量機構により安定した品質を確保できる。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1打設高さの増加による更なる工期短縮(既設覆工耐力や型枠支保工等と関連) <p>プラントミキサー車</p> 	

③ 補修・補強

PP繊維入りポリマーセメントモルタルによる覆工内面補修 《耐火型ジョツクリート工法》

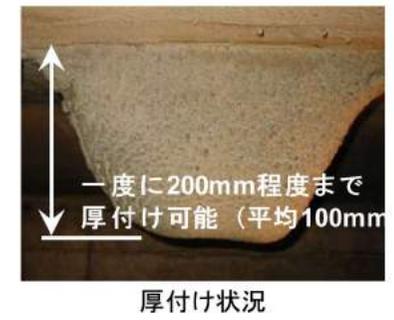
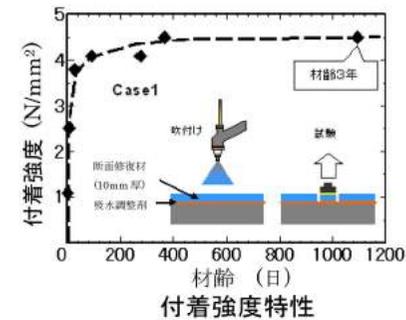
【(株)大林組】

■技術の概要

耐火型セグメントが火災により高温履歴を受けるとコンクリート強度が低下するため、高温履歴部を除去し断面修復を行う必要がある。構造体コンクリートの断面修復では、耐久性や一体性を確保する目的で、一般にポリマーセメントモルタル(以下、PCMと記述)が用いられるが、PCMは普通モルタルと比べ、爆裂抵抗性が低下することが懸念されている。耐火型ジョツクリート工法(NETIS KK-060016-V)は、爆裂抵抗性に効果を有するポリプロピレン短繊維(以下、PP繊維と記述)を混入したPCM(以下、耐火性PCM)を吹付けることにより、断面修復する工法である。

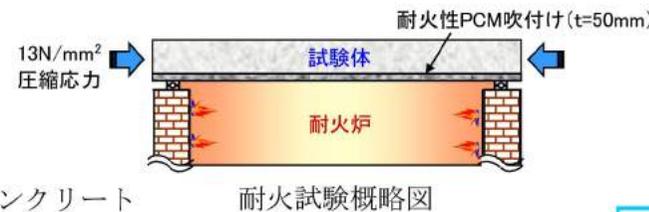
■基本性能(耐火性PCMを用いたジョツクリート工)

項目	概要	性能
圧縮強度	材令28日以降も強度増進し、長期的にも圧縮強度特性を確保できる。	材令7日:58N/mm ² 、材令28日:72N/mm ² 材令3年:84N/mm ²
付着強度	初期強度発現性が高く、初期・長期的にも付着強度特性を確保できる。	材令1日:1N/mm ² 、材令28日:3N/mm ² 材令3年:4.5N/mm ²
吹付け性	1層の吹付け厚さで、最大厚さ200mm程度までの厚付けが可能である。	平均厚付け厚さ:100mm程度 最大厚付け厚さ:200mm程度
施工性	吹付け性能と鉄筋背面充填性能が優れることから作業効率が向上し、工期短縮が図れる。吹付け後の左官仕上げが可能である。	ノズル突出量:0.35m ³ /hr (厚さ50mmの場合、7m ² /hr)

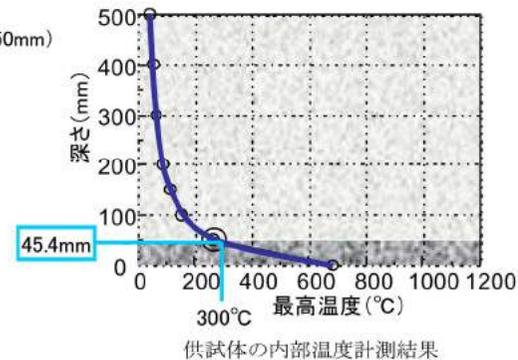


■耐火試験概要

耐火性PCMはプレミックス材料を使用し、ポリマーは酢酸ビニル・アクリル等の共重合樹脂を主成分とした再乳化粉体樹脂である。耐火試験は一面加熱、加熱条件はトンネル火災を想定してドイツ規格のRABT曲線を採用した。



RC構造における構造部材の許容耐火温度は、コンクリートが350℃以下、鋼材が350℃以下、鉄筋の付着強度が300℃以下となっている。本実験では、耐火性PCM吹付け供試体の爆裂抵抗性を実証するとともに、供試体内部温度を計測した。結果を右グラフおよび写真に示す。耐火性PCMにて被覆した供試体表面から45.4mm以深においては300℃を下回ることで、耐火試験後も爆裂していないことを確認した。



■耐火試験結果(耐火性ジョツクリート工法の効果)

- ポリマーセメントモルタルにポリプロピレン繊維を1.0vol%混入することで、RABT曲線による高温履歴を受けても、爆裂を抑制できる。
- 耐火被覆層としてポリマーセメントモルタルを50mm吹き付けることで、セグメント本体の温度を300℃以下に抑制できる。
- 耐火性ポリマーセメントモルタルを、劣化部分を除去したセグメントに被覆することで、セグメントの強度を確保し、かつ、耐火被覆層を形成できる補修が可能である。

③ 補修・補強

耐火型ジョツクリート工法

耐火型補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
吹付け補修工	耐火型ジョツクリート工法	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐火パネルのない道路シールドトンネル（耐火型セグメントまたは二次覆工コンクリート）において坑内火災が発生し、覆工体の劣化損傷が生じた場合、これまでの技術では復旧作業を早期に行うことは困難であった。 ジョツクリート工法は、繊維補強ポリマーセメントモルタルの湿式吹付けによる断面修復工法であり、火災後の劣化した部分を除去した後、既設トンネルと同等の品質を有する構造物として早期に修復することが可能である。 二次覆工の部分補修や内面補強にも適用可能である。 耐火仕様でないトンネルを、耐火仕様へ補強することが可能である。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 吹付け中の粉じん対策として、適切な換気設備の設置が必要である。 <div data-bbox="824 930 1684 1225" style="text-align: center;"> <p>急結剤ポンプ</p> <p>モルタルポンプ</p> <p>モルタルミキサ</p> <p>コンプレッサー</p> <p>吹付けPCM</p> <p>ノズル突出量: 0.35m³/hr, 7m²/hr (t=5cmの場合)</p> </div>	

■技術の概要

本工法は、既設地下構造物の漏水対策工事において、地下壁内側から構造物と外周地盤との境界に、無機系材料をゲル化させながら低圧注入（初期圧+0.3MPa程度）し、構造物背面に防水膜を形成する止水工法である。後施工で外防水膜を形成することから、従来工法（ひび割れ注入工法など）では対応できない、潜在ひび割れからの止水も可能となり、確実な止水が期待でき、漏水に対する水処理コストの軽減が期待できる。

鉄道シールドトンネルの試験工事では、セグメントジョイント部の漏水対策として、防水膜が想定通り、セグメント背面に薄く広がることを確認した。また、地下連続壁ジョイント部の漏水対策では漏水量を 600cc/分から 0cc/分と大幅に減少できた。



適用例：某鉄道シールドトンネル試験注入 12㎡



適用例：某駅地下連続壁ジョイント部 24㎡

本工法による漏水対策工事での実績

当社施工によるもの：某ビル地下壁、某駅地下電気室頂版部

アクアカット概要（セグメント背面イメージ）



【特徴】

- ・シリカゾルと超微粒子セメントを使用し、恒久的な止水が可能
- ・防水膜で構造物全体を覆うことで、確認できない潜在的なひび割れも止水
- ・低圧注入のため、既設構造物や埋設配管を傷めない
- ・構造物背面への施工のため、美観を損なわない

施工状況写真（施工手順）

①施工前



②口元管取付け



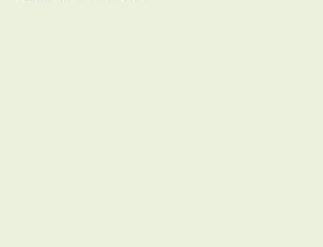
③注入口削孔



④一次・二次注入



⑤注入プラント



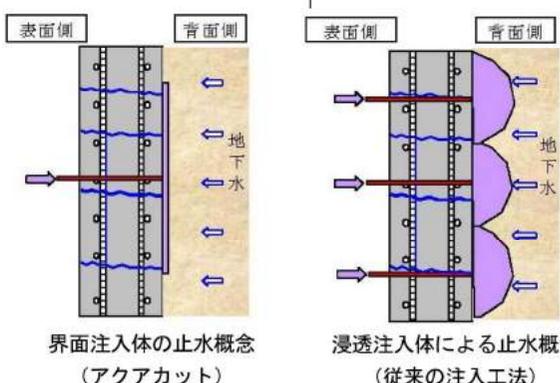
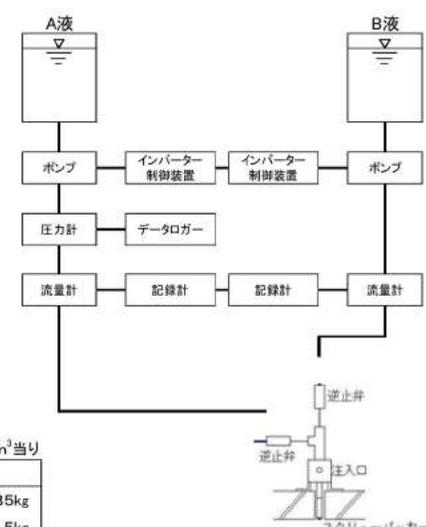
⑥完了



③ 補修・補強

アクアカット工法

既設地下構造物の漏水対策

工種	要素技術	特徴と課題	備考																
漏水対策工	<p>構造物背面注入工法</p> <p>地下構造物内側から躯体を貫通して構造物と地盤の界面に止水材料を注入し、効果の高い止水膜を躯体背面に形成する工法である。</p>	<p>■特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 2液混合注入で急硬材を使用し、注入材をゲル化させることで、地盤に浸透させず、構造物と背面地盤の間に界面止水膜（防水膜）を形成することができる。 ② 注入材をゲル化させ、止水材料の地盤への浸透、逸散を防止することで、注入量を低減できる。 ③ 発現強度とゲルタイムを調整した注入材を2回に分けて低压注入することで、止水効果の高い防水膜を地下構造物背面に広範囲（1箇所あたり直径3.0m程度）に形成することができる。 ④ 低压注入により、既設構造物や近接する埋設配管へ影響を与えない。 <p>■課題</p> <ol style="list-style-type: none"> ① ひび割れ追従性のあるエポキシ樹脂注入等との複合工法の確立。 	 <p>界面注入体の止水概念 (アクアカット)</p> <p>浸透注入体による止水概念 (従来の注入工法)</p>																
	<p>2液混合型注入工法</p> <p>セメント系の注入材料と急硬材を注入管内部で混合し、可使時間など注入材の性状を調整する注入工法である。</p>	<p>■特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 2液混合型注入により注入材を配合するため、発現強度やゲルタイムなどの性状を現場状況に応じて調整することで、要求される任意の止水膜の形成ができる。 <p>■課題</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 2液混合型注入システムのコンパクト化。 ② 既設周辺構造物への影響を最小限にするため、注入口削孔径の小径化（注入管径の縮小）および削孔数の低減。 <table border="1" data-bbox="806 1308 1344 1436"> <caption>二次注入材標準配合表 1.00m³当り</caption> <thead> <tr> <th colspan="2">A液 (500L)</th> <th colspan="2">B液 (500L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>超微粒子セメント</td> <td>225kg</td> <td>急硬材</td> <td>285kg</td> </tr> <tr> <td>混和剤</td> <td>3.38kg</td> <td>調整剤</td> <td>5kg</td> </tr> <tr> <td>水</td> <td>422L</td> <td>水</td> <td>250L</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">qu(d): 1.500N/mm²</p>  <p>注入システムフロー</p>	A液 (500L)		B液 (500L)		超微粒子セメント	225kg	急硬材	285kg	混和剤	3.38kg	調整剤	5kg	水	422L	水	250L	<p>特許：「既設地中構造物の止水工法および止水構造」 特許公開 2009-62779</p> <p>商標：「アクアカット」 第5240239号</p>
A液 (500L)		B液 (500L)																	
超微粒子セメント	225kg	急硬材	285kg																
混和剤	3.38kg	調整剤	5kg																
水	422L	水	250L																

③ 補修・補強

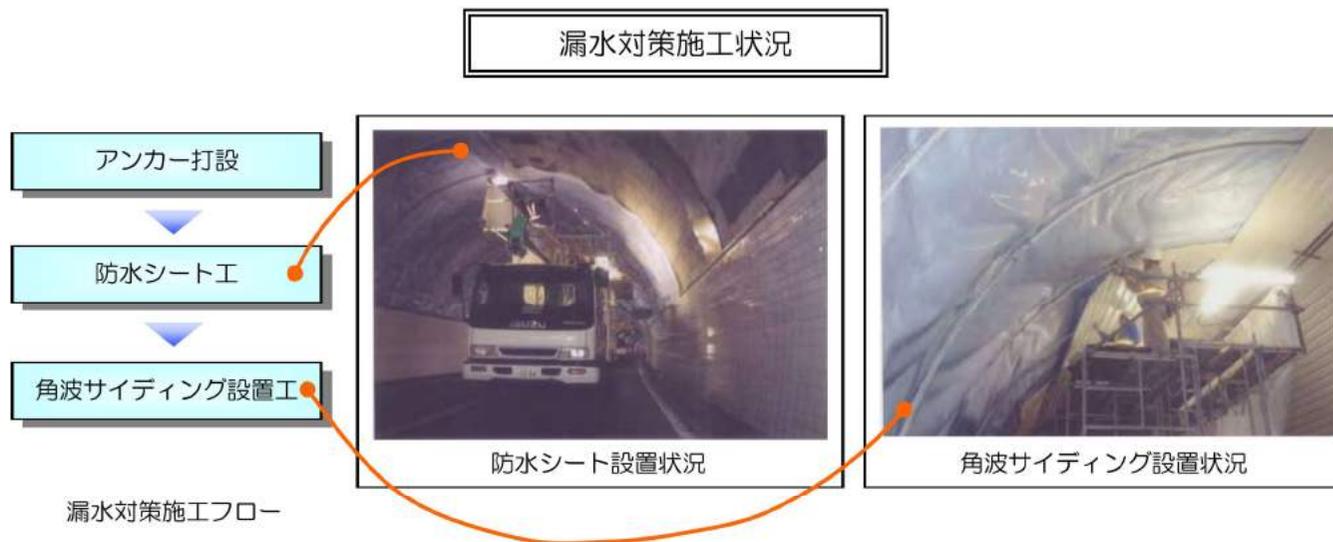
角波サイディングを利用した道路トンネル漏水対策 《化粧パネル工法》

【(株)奥村組】

工事例：六甲トンネル面導水（その2）2工区工事（芦有開発（株））



芦有道路 六甲トンネル施工完了写真



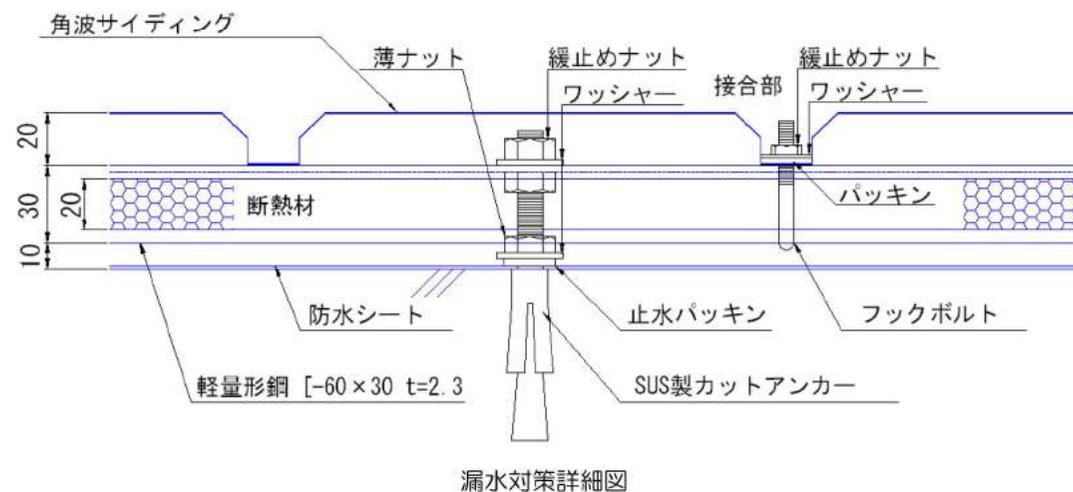
特殊技術

※道路トンネルにおける漏水対策

六甲トンネルでは、微細なひび割れからの漏水により、覆工コンクリートの劣化やつららによる冬期の交通障害が問題となっていました。

そのため、トンネルアーチ部を防水シートにより面的に導水するとともに、通常、建築構造物の外装材として使用される角波サイディングを化粧板として用いることで、美観にも配慮した施工を行いました。

漏水対策の詳細構造を右図に示します。



③ 補修・補強

道路トンネル漏水対策工事

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
漏水対策工	<p>防水シート・断熱材・化粧パネル</p> <p>防水シートによる1次止水、断熱材による結露防止を面的に施工することで、漏水対策とした。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・供用後のトンネル漏水対策には、Vカット止水や樋による線導水が行われているが、線的な対処となるため、漏水箇所の変化や周辺への滲みにより、新たな漏水が発生するなど抜本的な対策になっていないケースが散見される。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・化粧パネルにより、保守点検で覆工コンクリートが目視できなくなることが問題となる。 	<p>・芦有道路の六甲トンネルと芦有トンネルの2例の施工実績がある。</p>

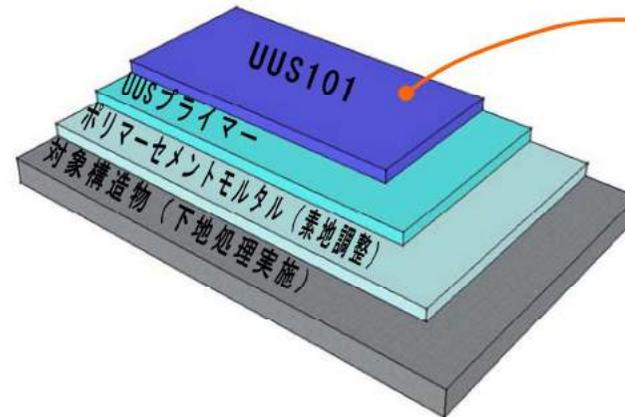
③ 補修・補強

ウレア系樹脂吹付けによるトンネル磨耗対策 《山岳トンネルUUライニング》

【(株) 奥村組】



排砂設備トンネル施工完了写真



UUライニング積層図

UUライニング施工状況



UUライニング吹付け状況

特殊技術

※UUライニングによる耐磨耗被覆工法とは

NETIS 登録番号：CB-100034-A)

ウレア系樹脂を専用吹付け機で被覆する工法であり、河川および水路内のコンクリート構造物表面を土砂混じりの流水による磨耗から保護するライニング技術です。

従来のウレア系樹脂吹付け工法より、吹付け厚さを増す※1 ことで耐磨耗を目的とした適用が可能となりました。

※1：実構造物実験から、対衝撃性を維持するために6mm以上の吹付け厚さの規定を設けている

【特徴】

①高い耐磨耗性

ウレアウレタンを使用することで、耐磨耗量が大幅に向上する。

耐磨耗性試験（掃流式磨耗試験）における磨耗量は、高強度コンクリートの約 1/7、普通コンクリートの約 1/10 と高い磨耗性を有する（以下、耐磨耗性試験比較表参照）。

②既存構造物への適用性

吹付け工法とすることで、既設構造物の補修においても形状を問わず適用可能である。

③工期の短縮

工場における加工・製作が不要となり、二次製品の製作期間を含める工期の短縮が可能である。

④簡便な維持管理

高い付着力と耐磨耗性により、ライフサイクルコストの縮減に寄与する。

また、UU ライニングを 2 層に色を分けて施工することにより、補強が必要な厚さまで磨耗したことを目視で判断できる。

【耐磨耗性試験比較表】

試験方法 \ 供試体	UU ライニング	高強度コンクリート (90N/mm ²)	普通コンクリート (36N/mm ²)
掃流式磨耗試験 (供試体厚さ：3mm)	0.023 (cm ³ /cm ²)	0.171 (cm ³ /cm ²)	0.247 (cm ³ /cm ²)
衝撃式磨耗試験 (供試体厚さ：3mm)	0.000 (cm ³ /cm ²)	0.085 (cm ³ /cm ²)	0.245 (cm ³ /cm ²)



③ 補修・補強

水路トンネル磨耗対策 (UUライニング工法)

磨耗対策

工種	要素技術	特徴と課題	備考
磨耗対策工	<p>UUライニング工法</p> <p>ウレタン樹脂を用いたライニング工法で、耐摩耗性に優れる。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 洪水時のみに使用する排砂機能をもった水路トンネルでは、インバート部の摩耗が激しく、高強度コンクリートを使用しても年間5cm以上磨耗することがある。 試験施工の結果、本工法のライニングにより、高強度コンクリート ($\sigma_{ck} = 70\text{N/mm}^2$) の1/7程度の摩耗量とすることができる。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリート表面が乾燥した状態でなければ、施工できない。 	<ul style="list-style-type: none"> NETIS登録技術 (CB-100034-A) UUライニング工法に使用するウレア系樹脂は、硬化反応が非常に早く、数十秒から数分で硬化する。また、経時的な性能低下が少なく優れた耐久性を有するとともに、エポキシ樹脂と同等の耐酸性耐アルカリ性を有している。更に、クラックや下地の変位・変形などに十分に追従できる伸びも有している。

③ 補修・補強

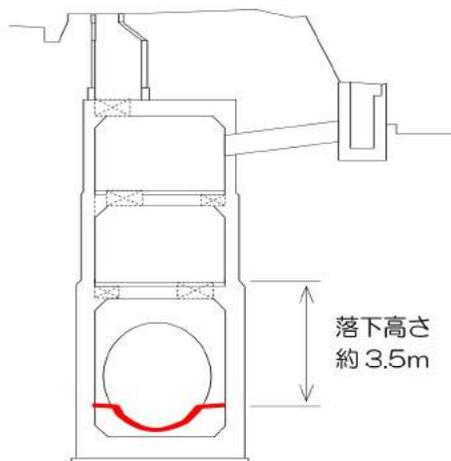
ウレア系樹脂吹付けによるトンネル磨耗対策 《シールドトンネル UU ライニング》

【(株) 奥村組】

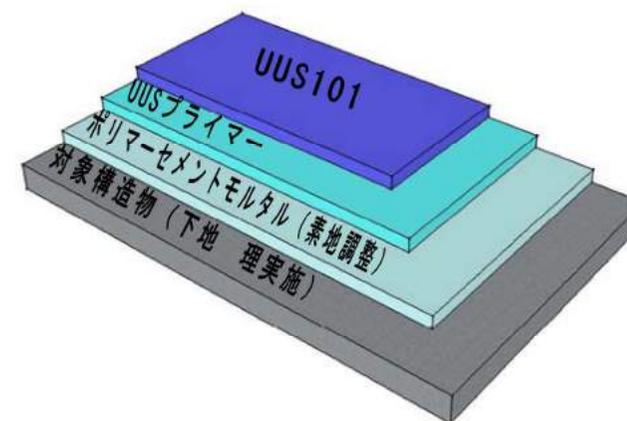
工事例：東部排水区（第 30 工区）工事（大東市）



人孔インバード施工完了写真



UU ライニング施工箇所



UU ライニング積層図

特殊技術

※UUライニングによる耐磨耗被覆工法とは
NETIS 登録番号：CB-100034-A)

ウレア系樹脂を専用吹付け機で被覆する工法であり、河川および水路内のコンクリート構造物表面を土砂混じりの流水による磨耗から保護するライニング技術です。

従来のウレア系樹脂吹付け工法より、吹付け厚さを増す※1 ことで耐磨耗を目的とした適用が可能となりました。

※1：実構造物実験から、対衝撃性を維持するために 6 mm 以上の吹付け厚さの規定を設けている

【特徴】

①高い耐磨耗性

ウレアウレタンを使用することで、耐磨耗量が大幅に向上する。

耐磨耗性試験（掃流式磨耗試験）における磨耗量は、高強度コンクリートの約 1/7、普通コンクリートの約 1/10 と高い耐磨耗性を有する（以下、耐磨耗性試験比較表参照）。

②既存構造物への適用性

吹付け工法とすることで、既設構造物の補修においても形状を問わず適用可能である。

③工期の短縮

工場における加工・製作が不要となり、二次製品の製作期間を含める工期の短縮が可能である。

④簡便な維持管理

高い付着力と耐磨耗性により、ライフサイクルコストの縮減に寄与する。

また、UU ライニングを 2 層に色を分けて施工することにより、補強が必要な厚さまで磨耗したことを目視で判断できる。

【耐磨耗性試験比較表】

試験方法	供試体	UU ライニング	高強度コンクリート (90N/mm ²)	普通コンクリート (36N/mm ²)
掃流式磨耗試験 (供試体厚さ：3mm)		0.023 (cm ³ /cm ²)	0.171 (cm ³ /cm ²)	0.247 (cm ³ /cm ²)
衝撃式磨耗試験 (供試体厚さ：3mm)		0.000 (cm ³ /cm ²)	0.085 (cm ³ /cm ²)	0.245 (cm ³ /cm ²)



掃流式磨耗試験機

③ 補修・補強

水路トンネル磨耗対策（UUライニング工法）

摩耗対策

工種	要素技術	特徴と課題	備考
特殊人孔の耐摩耗・ 衝撃緩和対策	UUライニング工法 ウレタン樹脂を用いたライニング工法で、耐 摩耗・衝撃緩和性に優れる。	■特徴 ・特殊人孔のインバートは、ゴム板による対策が多く採用されているが、複雑な形状であるため、はく離するおそれがある。 ・UUライニング工法は、吹き付けによってウレタン樹脂層を形成するため、どのような形状にも連続的な塗膜を形成できる。 ■課題 ・コンクリート表面が乾燥した状態でなければ、施工できない。	・NETIS 登録技術 (CB-100034-A) ・特殊人孔では他に 9 件の実施例がある。 ・UUライニング工法に使用するウレタン系樹脂は、硬化反応が非常に早く、数十秒から数分で硬化する。また、経時的な性能低下が少なく優れた耐久性を有するとともに、エポキシ樹脂と同等の耐酸性耐アルカリ性を有している。更に、クラックや下地の変位・変形などに十分に追従できる伸びも有している。

③ 補修・補強

可塑性グラウトによる覆工背面の空洞充填

《マジカルグラウト工法》

【鹿島建設(株)】

■技術の概要

【マジカルグラウト工法】

従来の背面充填にはエアモルタルなどが用いられていたが、空洞以外の箇所に逸走したり、施工中にコンクリートの亀裂からリークしたりと、施工性や品質に問題があった。マジカルグラウト工法は、エア混入タイプのマジカルグラウトAと非混入のマジカルグラウトBの2タイプであり、用途や施工箇所に応じた使い分けが可能である。両材料とも可塑性グラウトであるため、空洞内の限定注入に適しており、リークの少ない計画どおりの注入が可能。可塑性は打設位置の直前で添加し、1.5ショットで施工を行う。

■技術の特徴

●逸走防止性

可塑性を添加することで、主材は液状から可塑状を呈し、空洞以外の箇所に材料が逸走することを防止。

●リーク防止性

可塑性であることで、地山の亀裂やコンクリートのひび割れをつたって漏れてくる材料のリークを大幅に軽減する。リークは一度起こると止めるのが困難であるため、マジカルグラウト工法を用いて最初から防止しておくことが有効。

水中不分離性

注入直後早期にゲル化を呈するため、水中での高い不分離性を有する。すなわち、湧水や地下水によるたまり水があるような箇所での適用が可能となる。

マジカルグラウトAの利点

- 軽量であるため覆工への負荷が軽減
- 生コン練りのため作業性が良く、施工スピードが速い

密度 (Mg/m ³)	JHフロー (mm)	材令 28日強度 (N/mm ²)	単位数(kg/m ³)					
			主材(エアモルタル)				可塑性材	
			セメント	細砂	水	気泡剤		
1.18	115	1.5	300	600	230	16.8	30	

配合は一例であり、用途や状況により、フローや強度を調整することができる。

マジカルグラウトBの利点

- 汎用的な機械で施工でき、小規模工事から対応できる
- 強度など物性のバラツキが少ない
- 長距離圧送も可能
- 低強度～高強度の注入が可能

密度 (Mg/m ³)	JHフロー (mm)	材令 28日強度 (N/mm ²)	単位数(kg/m ³)						
			主材			可塑性材			
			セメント	フライ アッシュ	水	MAG100	MAG200	D-100 セッター	水
1.5	90	2	400	400	549	3	15	0.1	142

配合は一例であり、特に強度に関しては既設トンネルの覆工と同等の強度にも調整が可能である。



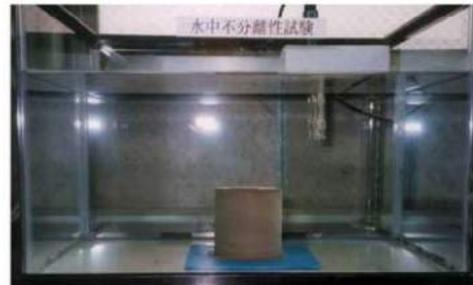
可塑性材添加前のフロー



可塑性材添加後のフロー



トンネル覆工背面への注入状況



水中不分離性の確認(マジカルグラウトB)



可塑性グラウトの性状

③ 補修・補強

マジカルグラウト工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
空洞充填	マジカルグラウト工法は、注入時のリークや材料分離が少ない、限定注入可能な効率的な空洞充填工法であり、エア非混入タイプと混入タイプをニーズにより選択できる。	<p>■特徴</p> <p>既設トンネルの覆工やコンクリート構造物の背面には、予測不可能な地山状況変化などにより、空隙の生じている場合がある。空隙の存在は安定性に悪影響を及ぼす恐れがあるため、早期に充填することが望ましいといえる。マジカルグラウト工法は、空隙内を効率的に充填することで、地山とコンクリート構造物を一体化させることができ、その結果、構造物としての安定性及び耐久性が向上し、利用者の安全を確保するとともに、長寿命化によるライフサイクルコストの削減にも有効である。</p>	

③ 補修・補強

ナイロクロスによる覆工コンクリート剥落防止 《NAV 工法》

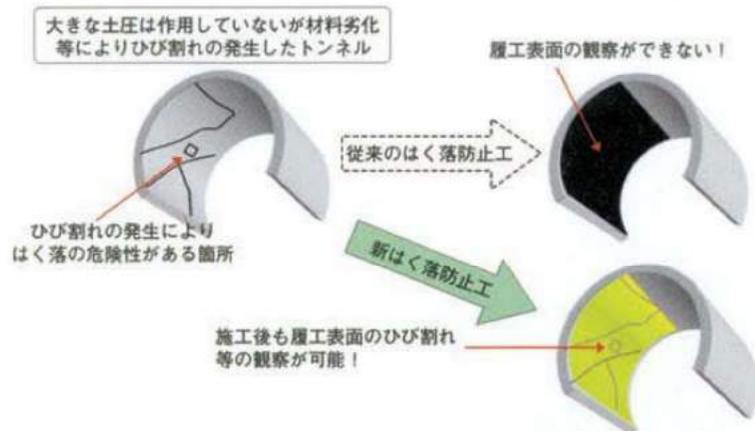
【鹿島建設株】

■技術の概要

【NAV (Nylon Acrylics Visible) 工法】

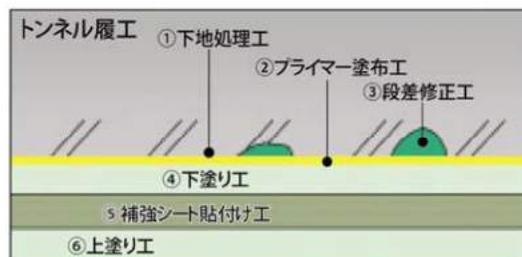
—補修後も覆工表面のひび割れ等が見える剥落防止工—

本工法は、ナイロクロスに環境安全性や速硬化性能に優れたアクリル系樹脂接着剤を塗布含浸することにより透明度の高いFRPを覆工表面に形成する新しい剥落防止工である。従来のあて板工と異なり、覆工表面に施工した後も、既存のひび割れの進展状況や、新たなひび割れの発生等を目視によって観察することができるため、日々の点検作業の中で、実施した対策工の効果を継続して確認し、追加対策工の必要性を判断することが可能となる。



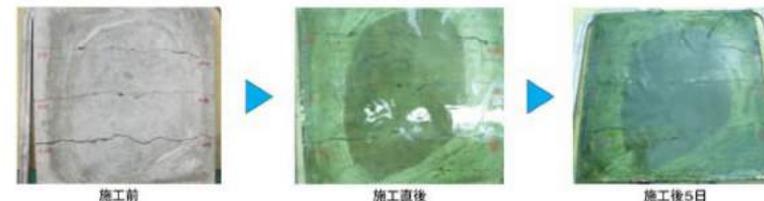
■基本構造

本工法の構造は一般的な繊維シート接着工法と同様であり、特殊な施工手順、施工機械を必要としない。指定の材料を適切に使用することにより、透明度の高いFRPが形成できる。



■技術の特徴

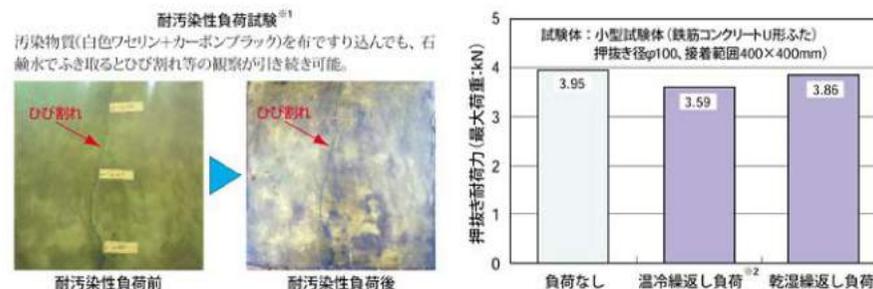
- 可視性能
意図的にひび割れを発生させたコンクリート平板上の可視性を確認。



- 耐荷力性能
小型試験体および独自の大型試験体により、耐荷力と特性を確認した。



- 耐久性能
各種荷重を与えた後の可視性や押抜き耐荷力の明らかな低下は認められなかった。



※1 首都高速道路公団「コンクリート塗装及びFRP補修基準(案)」

※2 JIS A 6909-2000 ※3 JIS A 6024-1998

③ 補修・補強

NAV 工法

剥落防止

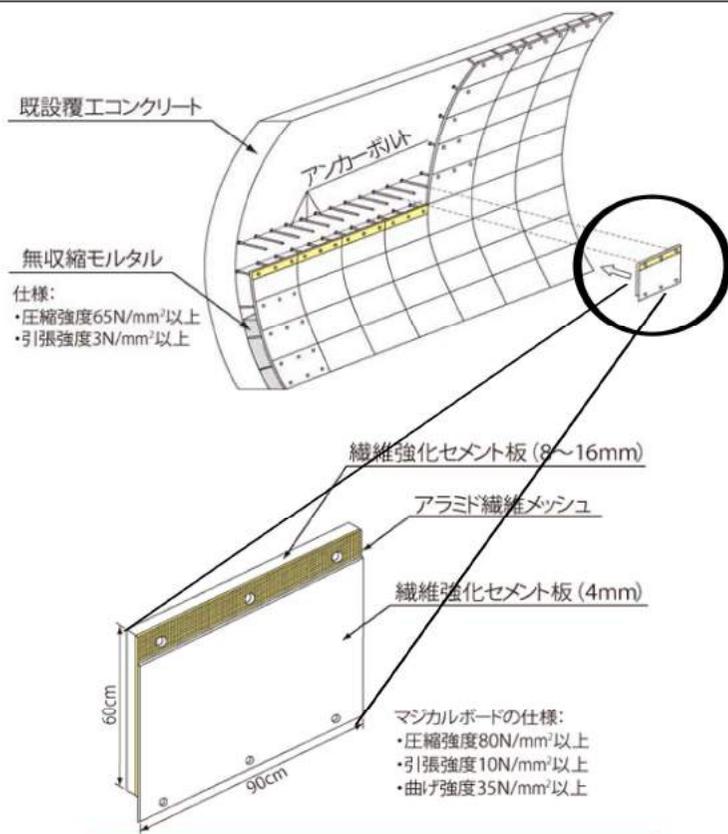
工種	要素技術	特徴と課題	備考
維持管理	補修後も覆工表面のひび割れ等が見える剥落防止工	<p>■特徴</p> <p>①可視性 従来の当て板工に無い透明性が確保される。 長期間にわたる可視性の持続が期待できる。</p> <p>②耐荷力 一般に実施されている規模の押抜き試験、接着性試験を実施し、必要な耐荷力を確認した。 独自の大型試験体による押抜き試験を実施し、その耐荷力と高い変位追従性を確認した。</p> <p>③耐久性 耐久性試験を実施し、可視性・押抜き耐荷力などに高い耐久性を確認した。</p> <p>④施工性 ナイロンクロスは柔軟で、施工面の凹凸に追従する。 アクリル系接着剤は速硬化性で、寒冷期、時間制限のある工事で工期短縮が期待できる。</p> <p>⑤安全衛生に優れる 接着剤は低皮膚刺激性で環境ホルモンを含まない。 施工後は難燃性であり火災の拡大原因にならない。</p> <p>⑥経済性に優れる ナイロンクロスは炭素繊維・アラミド繊維の価格の約10分の1で経済性に優れる。</p> <p>■課題 耐候性（紫外線劣化）の向上</p>	NETIS : KT-100023-A 特許 : 2005-167751 号

■技術の概要

【マジカルボード工法】

— 軽量薄肉パネルを用いた高強度・高じん性な埋設型枠 —

本工法は、高強度・高じん性の埋設型枠である『マジカルボード』を用いた薄肉の内巻き補強工法である。マジカルボードは、繊維強化セメント板とアラミド繊維メッシュの積層構造からなる複合部材で、軽量かつ圧縮・引張・曲げ強度に優れており、マジカルボードと既設覆工コンクリートの接合面には、無収縮の高強度モルタルを充填し、マジカルボードとモルタルと覆工が一体化した薄肉の補強層を形成する。



■技術の特徴

●優れた施工性

- 補強部材を薄肉化しており、建築限界に大きな余裕のないトンネルの補強にも適用可能。
- マジカルボードは人力で設置できるので、大型機械を必要とせず、狭隘な環境下でも施工が可能。
- 補強巻厚が一定でないような変状トンネルに対して、変状度合いに応じてボードの断面厚を変えることができる。
- 覆工に後施工のアンカーボルトを設置してボードを固定するため、大型の支保工は必要とせず、片側車線ずつなど部分施工ができる。このため、2車線道路トンネルでは、片側通行を確保しながらの施工が可能。
- 高強度の埋設型枠を使用しているため、ボードを固定するアンカーボルトの本数を少なく、現場作業時間が短時間で施工が可能。

■マジカルボードの仕様

主要材料の仕様

マジカルボードの仕様

- ・標準寸法 60×90cm、重さ 20kg/枚程度
 - ・圧縮強度 80N/mm²以上
 - ・引張強度 10N/mm²以上
 - ・曲げ強度 35N/mm²以上
- 無収縮の高強度モルタルの仕様
- ・圧縮強度 60N/mm²以上
 - ・引張強度 3N/mm²以上

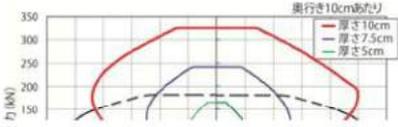


供用中トンネルでの施工状況

③ 補修・補強

マジカルボード工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
<p>内面補強</p>	<p>軽量薄肉パネルを用いた高強度・高じん性な埋設型枠</p> <p>マジカルボードは、繊維強化セメント板とアラミド繊維メッシュの積層構造からなる複合部材で、軽量かつ圧縮・引張・曲げ強度に優れており、マジカルボードと既設覆工コンクリートの接合面には、無収縮の高強度モルタルを充填し、マジカルボードとモルタルと覆工が一体化した薄肉の補強層を形成する。</p>	<p>■特徴</p> <p>①高い補強耐力 マジカルボードと無収縮の高強度モルタルによる厚さ約10cmの薄肉補強層で、設計強度18N/mm²、厚さ20cmの既設覆工と同等の補強耐力が得られる。</p> <p>②優れた施工性 【施工手順】 (1)アンカーボルト設置 墨出し位置にあわせて覆工にアンカーボルトを設置。マジカルボードと覆工との離隔が大きい場合は、継ぎナットでボルトを延長する。 (2)マジカルボード設置 脱落防止機能がついた専用のナットを用いてマジカルボードをアンカーボルトに設置。ボードの継手部には樹脂接着剤を塗布する。 (3)無収縮の高強度モルタル充填 マジカルボードに設けた注入孔より無収縮の高強度モルタルを圧入する。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>マジカルボードによる補強完了</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図 設計耐力曲線</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真 アンカーボルト設置</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真 マジカルボード設置状況</p> </div> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図 グラウト注入状況</p> </div>	<p>①「高強度埋設型枠を用いたトンネル内巻補強工法の開発」, 第12回岩の力学国内シンポジウム&第29回西日本岩盤工学シンポジウム, 2008</p> <p>②「トンネル内巻工法の開発」, 北陸地方建設事業推進協議会 平成20年度建設技術報告会, 2008</p>

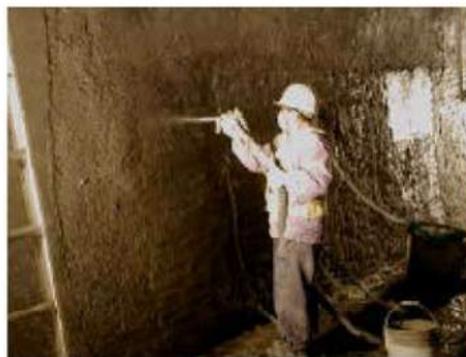
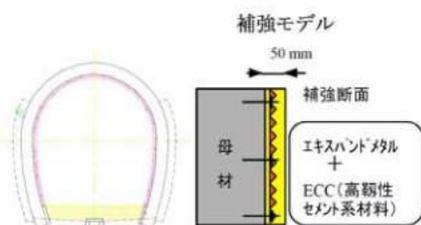
■技術の概要

【薄肉トンネル覆工補強工法】

『ECC (Engineered Cementitious Composite) 工法』

—優れた変形追従性・ひび割れ分散性を有する高靱性セメント複合材料—

本工法で使用する ECC は、従来のセメント系材料では考えられない鋼材に類似した伸び性能を示す材料で、ひび割れ発生後も繊維の架橋効果により引張力を負担するため、トンネル覆工に局所応力が作用した場合でも引張補強効果が期待できる。また、エキスパンドメタルなどの鋼材を、ECC 吹付け前に既設覆工コンクリートに相当数のアンカーで固定するため、補強部材の一体化がはかれるとともに、母材と補強材の界面が剥離したとしても補強部材の一部あるいは全体が剥離・剥落する危険が少ない。また、本工法は既設覆工にひび割れ等の弱面が存在す場合には当該箇所にも局所的な併用補強工として鋼板接着工を行った後に ECC 吹付けを行うことも可能で、補強厚は $t=50\sim 70\text{mm}$ を標準としている。また、ECC は中性化促進試験および凍結融解試験の結果から、一般のコンクリートと比較して、優れた耐久性を有することが示されており、補強層内部の鋼材が腐食する可能性は低い。また、コンクリートとの付着性能にも優れた材料で、凍結融解作用後の付着強度が低下しない。



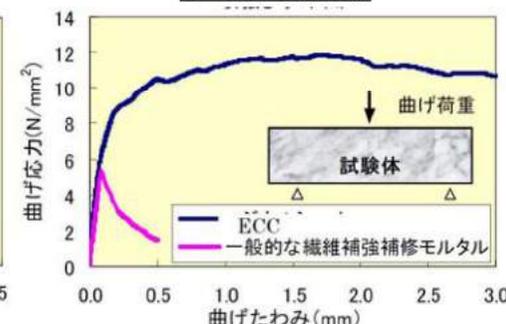
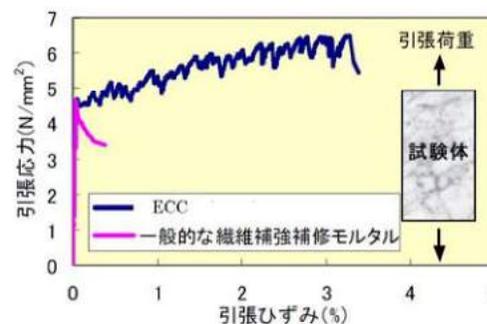
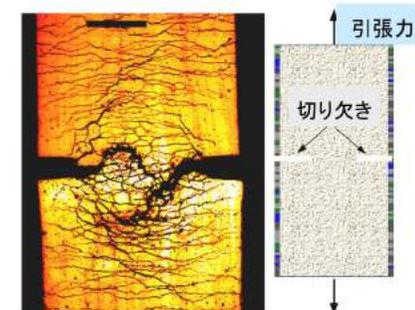
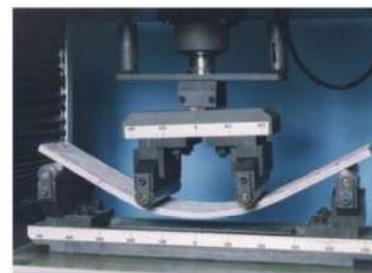
■技術の特徴

●優れた施工性

- 吹付けによる施工のため、広範囲にわたる大規模な補修にも適用が可能。また、構造物の下面や鉛直面への施工や、コテ塗りによる施工も可能。
- 粉体材料及び補強繊維はプレミックス化されているため、現場での製造を容易に行うことができる。

●優れた変形性能

- 一般的な補修材料は、初期ひび割れが発生した直後に破断してしまうが、本材料は、ECC 特有の多数の微細ひび割れ (ひび割れ幅 0.2mm 以下) を発生し、優れた変形性能 (引張ひずみで 0.2% 以上) を示す。

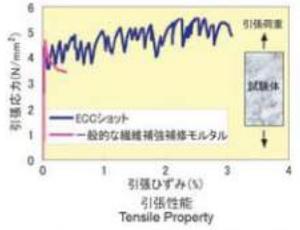
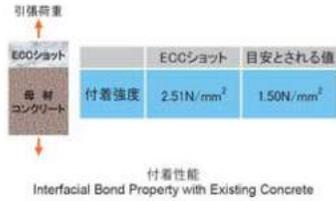
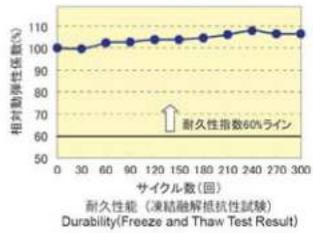


引張および曲げ性能

③ 補修・補強

薄肉トンネル覆工補強工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考						
<p>内面補強</p>	<p>高靱性セメント複合材料を用いた吹付け補修・補強工法「ECCショット」</p> <p>ECCとは、セメント、水、砂などのモルタル材料を、高強度の有機系繊維で補強した材料である。先端の力学モデルに基づいた配合設計を行うことで、従来の補修材料にないひび割れ分散性能及び高い引張・曲げ変形性能を実現した材料である。</p> <p>「ECCショット」は、現場で製造した材料(ECC)を、スクイズ式のモルタルポンプにて、吹付けノズル先端まで圧送し、圧搾空気により対象構造物に吹付ける湿式吹付け方式により施工を行う。</p>	<p>■特徴</p> <p>①練混ぜが容易 粉体材料及び補強繊維はプレミックス化されているため、現場での製造を容易に行うことができる。</p> <p>②施工性に優れる 吹付けによる施工のため、広範囲にわたる大規模な補修にも適用が可能。また、構造物の下面や鉛直面への施工、コテ塗りによる施工も可能。</p> <p>③優れた変形性能 一般的な補修材料は、初期ひび割れが発生した直後に破断してしまうが、本材料はECC特有の多数の微細ひび割れ(ひび割れ幅0.2mm以下)を発生することで、優れた変形性能(引張ひずみで0.2%以上)を示すことができる。</p> <p>④その他物性 ECCは30N/mm²以上の圧縮強度を有する。また、既設コンクリートとの一体性にも優れており、2.5N/mm²以上の付着強度を有し、目標とする1.5N/mm²を十分に満足する(既設コンクリートが健全で適切な表面処理を施した場合)。また、耐久性に関しても、凍結融解試験における300サイクル後の耐久性指数はほぼ100%であり、優れた凍結融解抵抗性を有する。その他、遮塩性、耐中性化、乾燥収縮などについても各種室内試験により優れた性能を有することを確認している。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="958 938 1227 1177">  <p>ECCショット製造プラント Production Plant</p> </div> <div data-bbox="1294 938 1594 1168">  <p>引張強度 引張ひずみ(%) 引張性能 Tensile Property</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="922 1200 1258 1401">  <p>引張荷重 ECCショット 母材 コンクリート</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td>ECCショット</td> <td>目安とされる値</td> </tr> <tr> <td>付着強度</td> <td>2.51N/mm²</td> <td>1.50N/mm²</td> </tr> </table> <p>付着性能 Interfacial Bond Property with Existing Concrete</p> </div> <div data-bbox="1281 1168 1594 1401">  <p>相対動弾性係数(%) サイクル数(回) 耐久性(凍結融解抵抗性試験) Durability(Freeze and Thaw Test Result)</p> </div> </div>		ECCショット	目安とされる値	付着強度	2.51N/mm ²	1.50N/mm ²	<p>学会論文発表実績</p> <p>「高靱性セメント複合材料を用いたトンネル補強工法の実大載荷試験」、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vo1. 60、2005年</p> <p>「高靱性セメント複合材料を用いたトンネル補修技術—中越地震で被災したトンネル補修工事への適用—」、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vo1. 60、2005年</p> <p>「高靱性セメント複合材料を用いたトンネル補強工法に関する研究」、トンネル工学報告集、Vo1. 15、2005年</p> <p>「高靱性セメント複合材料で上面増厚した鋼床版箱桁橋の実橋載荷試験」、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vo1. 60、2005年</p> <p>「下面増厚材料の力学的特性および耐久性に関する基礎試験」、コンクリート工学年次論文集、Vo1. 24、No. 1、2002年</p>
	ECCショット	目安とされる値							
付着強度	2.51N/mm ²	1.50N/mm ²							

③ 補修・補強

急速施工が可能なトンネル覆工補強

《サポートライニング工法》

【(株)熊谷組】

■技術の概要

劣化した既設トンネル覆工の内側に、鋼製アーチ支保工と現場打ちコンクリート内巻工により覆工を補強する工法。内巻工の型枠には薄肉の超高強度繊維補強コンクリート板（ダクト板）を埋設型枠として使用する。最小補強厚さは10cmである。内巻工としての裏込め充填材には高流動コンクリートや無収縮モルタルを基本とするが、たまり水のある場合や湧水箇所では水中不分離性のコンクリートやモルタルを使用する。



埋設型枠（人力施工用）

- (1) 形状:長さ1.47m×高さ45cm×厚さ1cm
- (2) 質量:約30kg
- (3) 材料:超高強度繊維補強コンクリート(ダクト板)
- (4) 強度特性
 圧縮強度:190~240N/mm²
 引張強度:35~40N/mm²

■施工事例

〔人力施工〕



鉄道トンネル（レンガ造）

〔機械施工〕



鉄道トンネル（在来工法）



導水路トンネル（在来工法）

■施工フロー

鋼製アーチ支保工建て込み

H型鋼を一定の間隔で設置、タイロッドで固定する。



埋設型枠設置

支保工に沿って埋設型枠（ダクト板）を1枚ずつ専用の対フランジ固定治具で仮固定する。



裏込め充填

埋設型枠を内巻コンクリートの側方圧力に耐えうる高さまで設置後、裏込め充填を行う。



埋設型枠設置・裏込め充填

天端まで埋設型枠の設置と裏込め充填を繰り返す。



仮固定治具の撤去



③ 補修・補強

サポートライニング工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
トンネル覆工補強工法	サポートライニング工法	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鋼製アーチ支保工とコンクリート（モルタル）の内巻き工により確実な補強効果が得られ、想定荷重に応じた補強工を設計できる。 ・補強設計により、支保工のサイズとピッチ、埋設型枠の厚さを決定する。 ・埋設型枠は高強度であるため厚さを薄く軽量化することが可能。そのため人力施工による小断面トンネルの補強にも適用可能。機械施工が行える大断面トンネルでは、大型枠による省力化施工が可能で工程短縮にも大きく寄与できる。 ・最小補強厚さを 10 cm にできるため、トンネルの機能上内空断面に余裕がないトンネルにも適用可能。 ・既存のトンネル補強工法より経済性に優れる。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内巻き工は、充填材料の側圧により 1 回当たりの充填高さに制約がある。 	

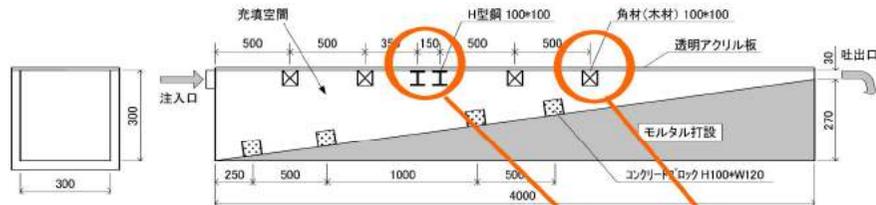
③ 補修・補強

フライアッシュ混合の長距離圧送が可能な可塑性注入材 《スーパーエコマックス》

【(株)熊谷組】

■技術の概要

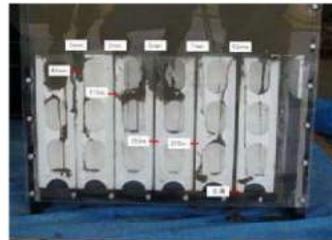
空洞充填材としての必要性能「充填性」「水中不分離性」「非漏出性」「非収縮性」を備えた可塑性注入材である。フライアッシュを大量に使用することで他の可塑性注入材より材料費を抑えている。さらに注入直前に基材と可塑性材を混合する形式を採用することで、3,000m程度の長距離圧送性能を確保している。



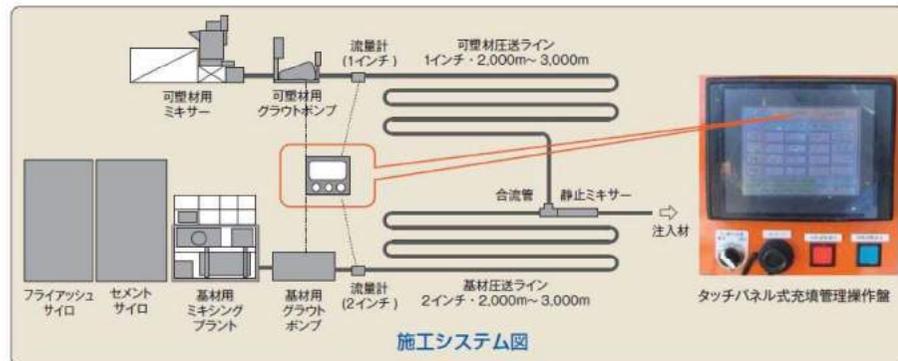
充填性試験状況



水中不分離性試験状況



非漏出性試験状況



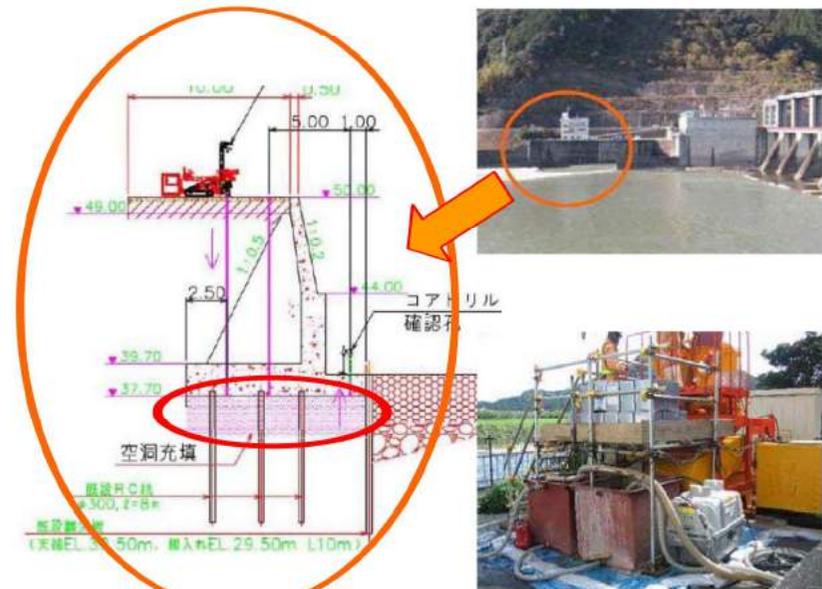
施工システム図

標準配合

1m当たり標準配合表

基 材					可塑性材			
セメント kg	フライアッシュ kg	水 kg	減水剤 kg	空気調整剤 kg	可塑性SC kg	可塑性SA kg	可塑性SB kg	水 kg
350	350	590	1.8	0.55	1.1	1.1	9.0	138

■施工事例 (ダム導流壁下部洗掘空洞部への充填)



可塑性材用ミキサー



フライアッシュ・セメントサイロ



基材用ミキシングプラント

③ 補修・補強

スーパーエコマックス

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
空洞充填工	スーパーエコマックス	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・フライアッシュを大量に使用するため他の可塑性充填材に比べ安価。 ・3,000m程度までの長距離圧送が可能。 ・トンネル空洞充填の場合は、坑外にプラントを設置するため小断面トンネルにも適用可能。 ・注入圧力、注入量をコンピュータ制御しており、材料品質の安定化と施工安全性の向上が図れる。 ・優れた水中不分離性を有するため、地下水が豊富な環境下でも品質を確保した充填が可能。 ・優れた非漏出性および非収縮性により、亀裂等からの漏出がなく必要な箇所に限定した確実な充填ができる。 ・地山相当強度（1.5N/mm²）以上の強度を発現。標準配合で2.4N/mm²。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・流水環境での充填は困難。 ・適用するフライアッシュ毎に試験練りにより配合を確定する必要がある。 	

③ 補修・補強

大型機械不要の急速施工が可能なトンネル覆工補強 《ダクタイトル覆工板補強工法》

【(株)熊谷組】

■技術の概要

劣化した既設トンネル覆工の内側に、ダクタイトル製覆工板を一枚ずつ組立て、覆工板1枚につきアンカーボルト1本で既設覆工面に固定。覆工板と既設覆工面の隙間には充填材を注入し、充填材と覆工板が一体となってアーチ効果により既設トンネル覆工を補強する工法である。



覆工板

- ①形状：幅420mm×長さ820mm×厚さ8mm(リブ高6mm 計14mm)
- ②質量：23kg/枚
- ③材質：FCD450 (JIS Z5502)
引張り強さ 450N/mm²以上
0.2%耐力 280N/mm²以上

内面側写真



背面側写真



■施工フロー

下部架台取付

覆工板を組立てる足付け部にL形鋼をアンカーボルトで固定する。

覆工板組立

既設覆工面に沿って覆工板同士の継手部をかみ合せて、覆工板を1枚ずつアンカーボルトで仮固定する。

根固めコンクリート打設

足付け部をコンクリートで根固めする。

裏込め充填用止枠設置

補強範囲の始点と終点の妻部に充填時用の止枠(曲げ加工したL形鋼)を設置する。

裏込め充填

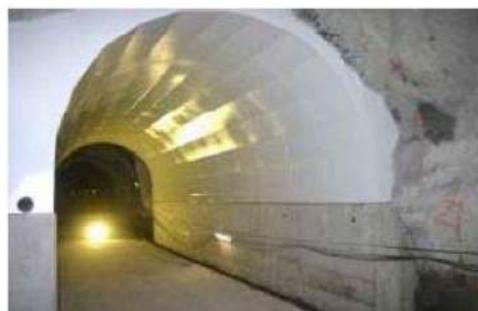
覆工板と既設覆工面の隙間に無収縮モルタルを充填する。



■施工事例



ベルトコンベアトンネル (素堀り)



鉱山連絡トンネル (素堀り)



導水路トンネル (在来工法)



覆工板組立イメージ

③ 補修・補強

ダクタイトル覆工板補強工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
トンネル覆工補強工法	ダクタイトル覆工板補強工法	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・覆工板の大きさが 42 cm×82 cm×厚さ 8 mm、重量 23 kg/枚と軽量である。そのため、通常の鋼板補強工法では 1 ピースあたりの重量が重く特殊運搬機械を用いて運搬・据付を行うのに対し、人力での施工が可能である。 ・覆工板同士の接合は特殊継手による機械式継手を採用しているため、現場での溶接作業が不要である。そのためトンネル内での専用の換気設備は不要であり、良好な作業環境が維持できる。 ・単リングモデルであるため一度に複数個所での組立が可能であり、工程短縮に寄与できる。 ・通常の鋼板補強がトンネル曲率に合わせた一品生産形式であるのに対し、鋼板規格が単一かつ形状がフラットなので製造費用が安価である。 ・補強厚さが最小で 45 mm なので、内空断面の減少が少ない。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・覆工板が平面形状であるため、補強断面が多角形になる。 	

③ 補修・補強

高密度ポリエチレン表面部材による大断面水路の更生 《パルテム・フローリング工法》

【(株) 鴻池組】

工事例：中信平二期農業水利事業 梓川幹線その4工事

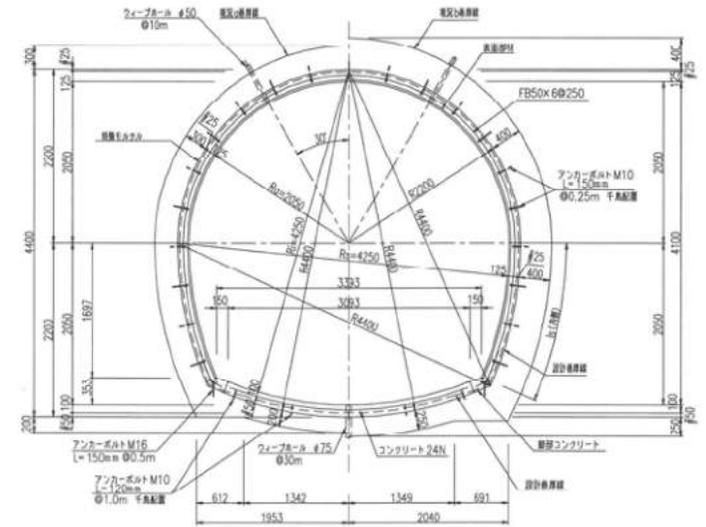
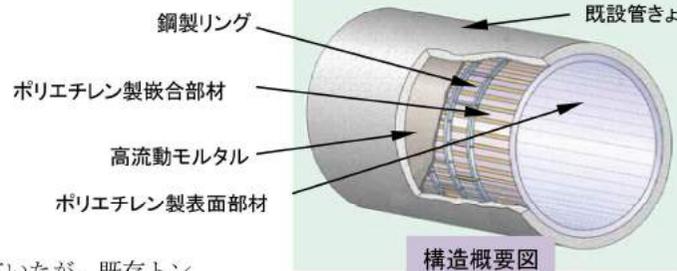
本工事は、農業水利施設の老朽化に伴う直轄改修事業で、昭和初期築造のコンクリート覆工トンネルの補強工事である。対象トンネルは、大断面（ $2R=4.4m$ ）の幹線導水路トンネルで、人力掘削トンネルのため、変化に富んだ線形と一定でない覆工厚が施工条件を厳しいものとしていた。

そこで、【大断面】【断面変化】に対応し、【耐力】【耐久性】に優れたパルテム・フローリング工法を採用した。

本工法は、既設管きよ及び既設構造物内で組立てた鋼製リングに高密度ポリエチレン製の表面部材を組付けて内面管を形成し、内面管と既設管路との間に高流動・高強度の特殊裏込材を充填することにより、既設管路の更生を行う工法である。

既設水路口径 馬蹄形 $4,400mm \times 4,400mm$

更生後口径 馬蹄形 $4,100mm \times 4,100mm$



標準断面図

■ 施工方法

① トンネル内仮設備、準備

② 事前測量

当初は、10m毎の内空断面の測量結果を元に設計されていたが、既存トンネル内面の不陸が大きいため、三次元スキャナを用いて全面測量した。

③ 既設トンネル覆工コンクリートはつり

三次元スキャナ測量により算定した鋼製リング組立に支障となる箇所の覆工コンクリートをはつり作業を行った。

④ 鋼製リング組立・取付け

大断面であるため、移動式架台を設置し、鋼製リングを組立、既存覆工コンクリートに取付けたアンカーボルトによって鋼製リングを固定した。

⑤ 脚部せん断補強筋組立・型枠組立

⑥ かん合・表面部材組み付け

表面部材の素材は高密度ポリエチレンで、木槌を用いて鋼製リングにかん合せた。

⑦ 脚部コンクリート打設

⑧ フローリングモルタル打設

充填モルタルは、流動性に優れ、ブリーディングの少ないモルタルで、坑口からポンプ圧送して注入し、充填状況を表面部材の上から目視確認した。



施工前状況



鋼製リング組立完了



表面部材組み付け



施工完了(坑口)

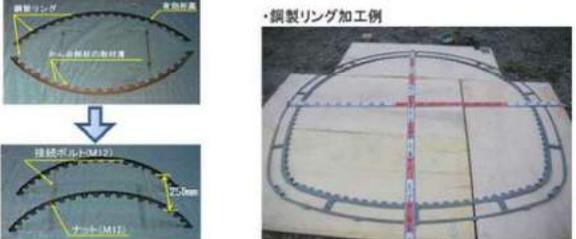
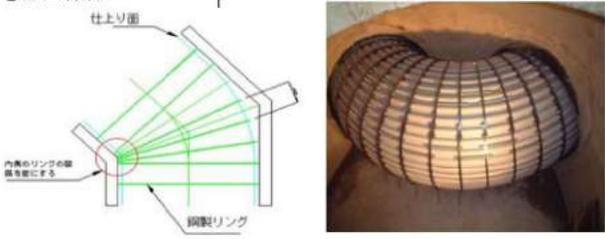
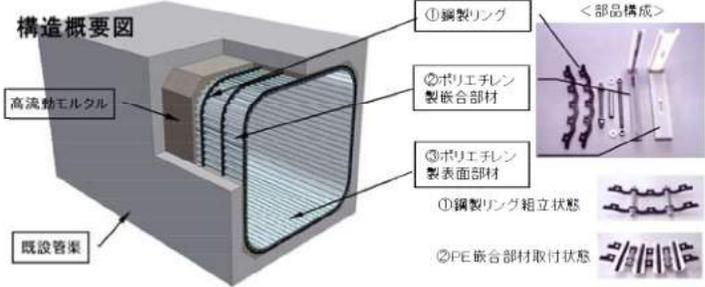


施工完了(坑内)

③ 補修・補強

パルテム・フローリング工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
<p>管更生工法</p> <p>①高強度構造</p> <p>○引張部材：鋼製リング SS400の鋼板からレーザーカットにより矩形・馬蹄形はもとより有効桁高についても、最適な形状に加工が出来ます。また、特殊な設備を必要とせずボルトとナットの締結により簡単に組み立てることが出来るため、組立間隔についても調整が可能(標準250mm)です。</p>  <p>○圧縮部材：フローリング充填材 セメントを主成分とした高流動無収縮モルタルを使用しており、必要な強度に応じて24N/mm²、2.40N/mm²を使用します。</p>  <p>②急曲線施工</p> 	<p>パルテム・フローリング工法</p> <p>既設管きよ及び既設構造物内で組立てた鋼製リングに高密度ポリエチレン製の表面部材を組付けて内面管を形成し、内面管と既設管路との間に高流動・高強度の特殊裏込材を充填することにより、既設管路の更生を行う工法。</p>	<p>構造概要図</p>  <p>①鋼製リング ②ポリエチレン製嵌合部材 ③ポリエチレン製表面部材</p> <p>①鋼製リング組立状態 ②PE嵌合部材取付状態 ③表面部材取付状態</p> <p>フローリング用モルタル1号: $\sigma_{sk} = 24\text{N/mm}^2$・フロー厚30cm高流動・高付着・ノンブリージング・無収縮・水中不分解</p> <p>■特徴</p> <p>①高強度構造 既設構造物の劣化状況に応じて、鋼製リングを引張部材、フローリング充填材を圧縮部材とする薄肉RC構造物として強度設計が可能。</p> <p>②急曲線・連続曲線の施工が容易 表面部材とかん合部材が、高密度ポリエチレンという樹脂から作られた非常に柔軟で弾性に富んでいることと、管路軸方向に材料を設置していくことから、内法半径R=0.9mまでの施工実績がある。 縦断変化にも対応可能。</p> <p>③大断面・門型形状の施工が可能 円形、馬蹄形、矩形のあらゆる断面形状に施工が可能。 頂部、側部のみ補強を行う門型三面施工が可能。</p> <p>④通水施工が可能 特殊な機械を必要とせず、モルタル打設時にも支保工を必要としないため作業空間が広く、断面の分割施工も可能なため、部分通水しながらの施工も可能。</p> <p>■課題 既設構造物の劣化状況による残存強度の判断を検討する必要がある。</p>	<p>(1)鋼製リング組立 人孔より分割されて搬入された鋼製リングをB/Nを締結して組立てます。</p> <p>(2)PE部材嵌合 嵌合部材・表面部材を人力で嵌め込みます。</p> <p>(3)高流動モルタル打設 布製の特殊妻料を使用し、打設個所の水分を排出します。 鋼製リングが支保工を兼ねます。</p>  <p>鋼製リング製作に約1.5ヶ月必要</p> <p>山岳トンネル・シールドトンネル・推進トンネルのいずれにも適用可能</p> <p>④通水施工</p> 

③ 補修・補強

供用中の2車線高速道路トンネルにおける二重の安全対策工事 《ロックボルト補強工》

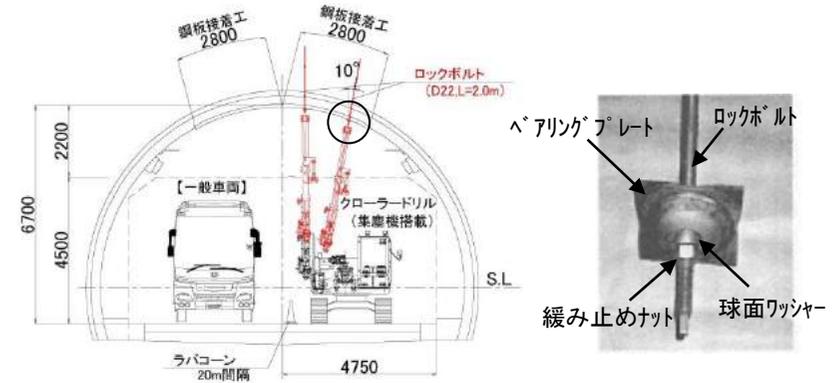
【(株) 鴻池組】

工事例：東海北陸自動車道小瀬子トンネル補強工事（中日本高速道路株式会社）

本工事は、供用中の2車線高速道路トンネルにおいて、天頂部に設置された補強鋼板（厚さ4.5mm、標準寸法1.5m×2.8m、全54枚）に、ロックボルトを打設して鋼板および覆工コンクリートの落下を防止するものです。本工事の主な特徴としては、①供用中のトンネルを交互に規制しながら狭小な作業エリアで工事を進めなければならないこと、②朝9:00から夕方17:00と限られた作業時間内にロックボルトを打設し、車線規制解除時にボルトの補強効果を発揮できるようにすることがあり、工事中の一般車両に対する第三者災害の防止と工事関係者の安全確保を最優先しながら確実に施工を行う必要がありました。

●設計上の検討事項

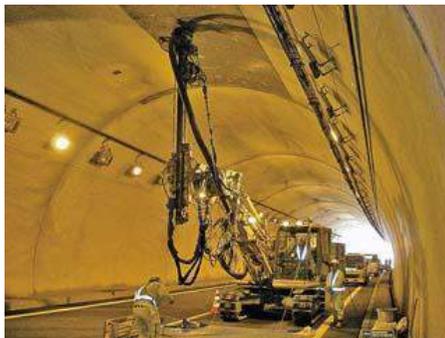
- ・ロックボルトの設計荷重は、鋼板および覆工コンクリートの自重に安全率3を乗じた値とし、**ロックボルト（D22、L=2m）を鋼板1枚につき2本配置**しました。また、打設方向はロックボルトの落下方向で、かつ削岩機の規制車線外へのはみ出しにも配慮して、鉛直方向としました。
- ・全鋼材は、**溶融亜鉛メッキによる防錆処理**を施したものを使用するとともに、ボルトの固定には**緩み止めナット**を採用し、将来的な脱落を防止しました。また、定着材は、早期に強度が発現する**カプセル式早強モルタル**を採用し、車線規制解除時の安全確保を図りました。



施工イメージ図

●施工上の検討事項

- ・削孔時のくり粉飛散対策として、**集塵機搭載型削岩機**を採用し、削孔中のトンネル壁面に**ゴムカバー**を押し付けながらくり粉を吸引することで飛散を防止しました。
- ・供用中の高速道路工事に慣れた監視員を配置するとともに、高所作業車における作業台の養生や、工具落下防止コイルの装着により、規制車線外への工具の飛来落下を防止しました。



ロックボルト削孔状況



くり粉の吸引状況



ロックボルト施工手順



高所作業車の作業台養生



施工完了全景

③ 補修・補強

ロックボルト補強工

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
ロックボルト補強工	溶融亜鉛メッキを施したロックボルト	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ロックボルト、ナット、プレートの全鋼材に溶融亜鉛メッキによる防錆処理を行うことで、本設のロックボルトとして長期的に耐久性を確保できます。 ・ベアリングプレートと球面ワッシャーを使用することで、トンネルアーチ部の曲面において鉛直方向にロックボルトを打設することができます。 ・緩み止めナットを使用することで、一般車走行時の振動によるナットの緩みを防止でき、ロックボルトの落下を防止できます。 	
	カプセル式早強モルタル	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カプセル式モルタルはバケツの水に浸すのみで水和反応が進行するため、練混ぜ設備や濁水処理設備が不要です。 ・材令3時間で10N/mm²以上の圧縮強度を発現でき、ロックボルトの定着効果を短時間で発揮できるため、車線規制を解除できます。 ・カプセル式であるため、モルタル流出による一般車両への飛散を防止できます。 ・湧水箇所に対応できます。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・孔壁が自立しない場合、カプセル式モルタルを挿入できないため、自穿孔ボルト及び後注入型定着材を検討する必要があります。 ・湧水が多い場合、モルタルの定着効果が低下するため、摩擦式の鋼管膨張型ボルト等を検討する必要があります。 	
	集塵機搭載型削岩機	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・削岩機の先端にゴムカバーを設置し押し付けながら集塵機でくり粉を吸引するため、一般車両へのくり粉の飛散を防止できます。 ・無水で削孔できるため、削孔水の流出による一般車両への飛散を防止できるとともに、濁水処理も不要になります。 	

③ 補修・補強

狭隘な巻立空間の覆工コンクリートの打設

《内部に鋼製支保工を含む巻立空間への打設》

【五洋建設株式会社】

■技術の概要

◎ 中流動コンクリートを使用した吹上げ方式と小口径の配管を引き抜きながらの打込み方式併用型での狭隘な空間へのコンクリートの打込み方法

- ・ 狭隘な巻立空間はコンクリートが十分いきわたらず充填不足になりやすい。例えばトンネルクラウン部は吹上げ方式で巻立空間にコンクリートを打込むが、巻立空間内に障害物や断面の変化点などがあるとコンクリートの充填が阻害され背面空洞が生じやすい。そのような箇所において従来方式の吹き上げ方式に加え、小口径配管を引き抜きながら打込む方式を併用した工法です。

■技術の特徴

- ・ 配管の筒先を移動させながらコンクリートを打ち込むため、直接打込み箇所にコンクリートを送ることができる。引抜き時期はセンサーで確認する。
- ・ 打込み箇所に直接コンクリートを打込むことで、狭隘な巻厚や巻厚内の障害物（鋼製支保工など）の影響を受けることなく、コンクリートを打込むことができる。
- ・ 小口径配管（3インチ以下）を使用することで、より狭隘な空間への打込みができる。
- ・ 中流動コンクリートを使用することで、小口径配管でも閉塞や極端な圧力上昇なく圧送できる。

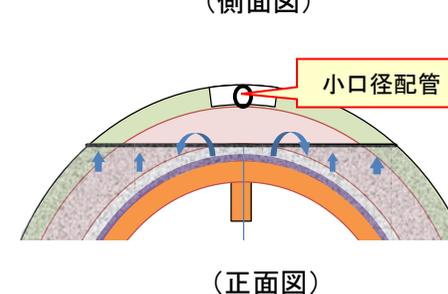
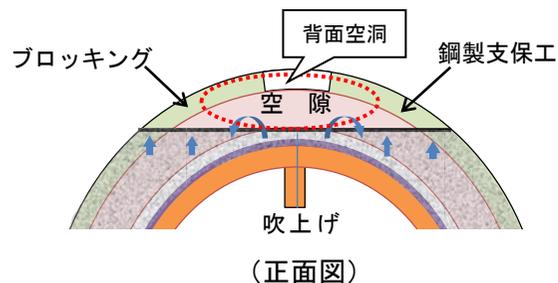
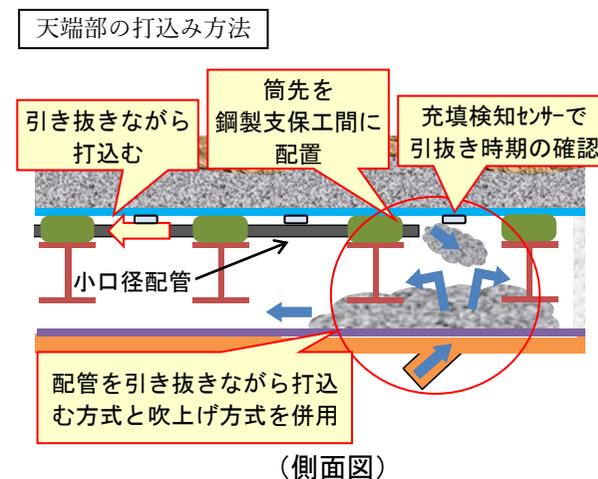
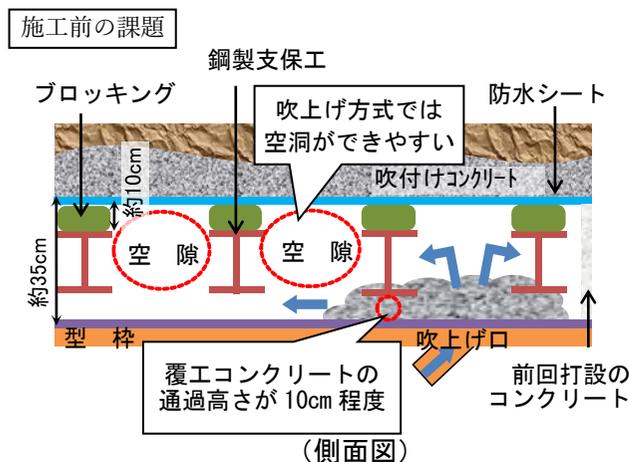
■技術の用途

- ・ 鋼製支保工によるセントル工法で地山補強された既設トンネルの内巻き覆工コンクリート（鋼製支保工が狭隘な巻立空間内の障害物となりコンクリートの充填を阻害）。
- ・ トンネル坑門工明巻きなど鉄筋が多いアーチ形状の構造物（鉄筋および箱抜きなどの断面形状変化部がコンクリートの充填を阻害）

■施工事例

- ・ 断面損傷がみられた既設トンネルの補強

施工前の坑内状況



③ 補修・補強

内部に鋼製支保工を含む巻立空間への打設

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
補修・補強	<p>吹上げ方式と小口径配管引き抜きによる打込み方式併用型のコンクリート打込み方法</p> <p>狭隘な巻立て空間において、配管を小口径にし、引き抜きながらコンクリートを打込むことで、打込み箇所へ直接コンクリートを打込むことが可能。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 配管の筒先を移動させながらコンクリートを打込むことで、任意の位置にコンクリートを打込むことができる。 従来の打込み方式である吹上方式と併用することで、コンクリートの圧入打設と狭隘部への直接投入が可能となる。圧入打設により打込み箇所の端部までコンクリートを充填できる。直接打設により、狭隘な巻厚や障害物の影響なく、打込み箇所へ直接コンクリートを打ち込むことができる。 小口径配管の引抜きのタイミングをあらかじめ設置した充填検知センサー等で確認しながら引抜くことで、打込み不足を防止できる。 小口径配管（3インチ以下）を使用することで、より狭隘な空間への打込みができる。 コンクリートの配合を中流動とすることで、小口径配管でも閉塞や極端な圧力上昇なく圧送できる。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 完全自動化。手動で制御している配管引抜きの速度、引き抜きの時期および吹上げ方式と引抜き方式の切替えを自動制御とすることで、品質が安定したコンクリート構築が可能となる。 筒先の移動方向を引抜きの1方向だけでなく、上下左右移動可能な構造にする。複雑な構造への対応やきめ細かい施工管理が可能となる。 <p>・ 施工 狭隘な巻立空間を空洞なくコンクリートを打込むことができた。</p>	<p>※施工事例（平成25年11月） 鋼製支保工によるセントル工法で地山補強された既設トンネルの内巻き覆工コンクリート</p> <ul style="list-style-type: none"> 試験練りと実機試験 室内での試験練りおよび実際に使用する材料、ポンプ車、配管と模擬型枠を使用した実機試験を行った。異常な圧力上昇、筒先での分離、鋼製支保工フランジ部まで空洞なく打込むことができることを確認。 <div data-bbox="1731 639 2130 866">  <p>ポンプ車 ↑配管 模擬型枠 ＜実機試験全景＞</p> </div> <div data-bbox="1637 892 2114 1142">  <p>＜圧送状況確認＞ ＜模擬型枠への打込み＞</p> </div> <div data-bbox="797 1203 2123 1453">  <p>＜配管設置状況＞ ＜施工状況＞ ＜施工前＞ ＜施工後＞</p> </div>

③ 補修・補強

一液性充填材 による覆工裏込注入

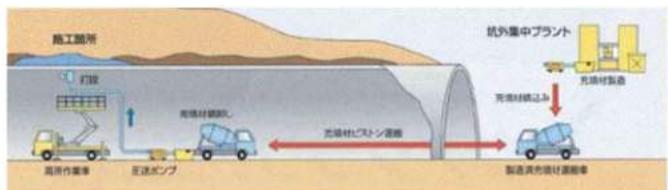
《アクアグラウト工法》

【清水建設株】

■技術の概要

- ◆限定注入に適した**可塑状**(力を加えると流動するが、力を加えないと静止する)
- ◆水に対する**分離抵抗性**が高い
- ◆充填材は**一液性**であり、施工管理・品質管理が容易
- ◆圧縮強度は3~4N/mm²(必要強度は1.0N/mm²)
- ◆坑内の設備はポンプ、高所作業車のみでコンパクト

可塑性試験(テーブル振動試験)



単位量(kg/m ³)			
水	セメント	アクアグラウト用 ベントナイト	アクアグラウト用 混和剤
777	350	285	5.0



【抗外プラント】

アクアグラウト工法

流動性のみならず粘性も高めた可塑状のグラウトで、亀裂等からの漏洩が少なく、限定注入が可能である。

- ・圧送を停止するとグラウトが静止するため、必要な箇所のみで限定した充填が可能である。
- ・粘性が高いために水中不分離性を有し、水質への影響が少ない。
- ・材料はプラントで練り混ぜて運搬するだけなので、2液タイプのグラウトに比べて管理が容易である。

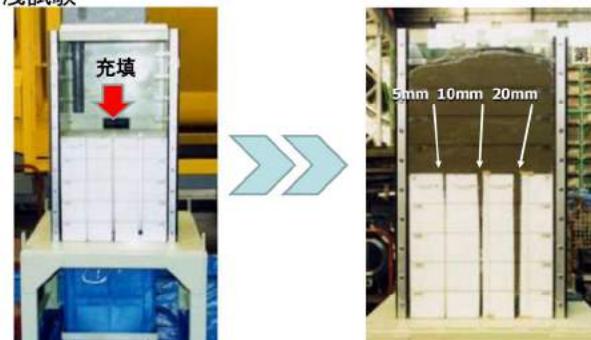
■トンネルを対象とした試験

①水中不分離性試験



【アクアグラウト (写真左) は分離しないので水が濁らない。エアモルタル (写真右) は分離して水が濁っている】

②亀裂漏洩試験



【アクアグラウトは幅10mmまでの亀裂ならば漏えいしないので、漏洩対策のためのシールが不要である】

■施工事例



③ 補修・補強

アクアグラウト工法

補修・補強

工種	要素技術	現状と課題	備考
空洞充填工	<p>アクアグラウト工法</p> <p>粘性を高めた可塑状のグラウトで、亀裂等からの漏洩が少なく、限定注入が可能である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 従来のエアモルタル等の充填材は、流動性が高いために覆工コンクリートからの漏洩が生じ、必要な箇所に対する充填性が低かった。 アクアグラウトは、充填材の粘性を高めることによって漏洩を少なくし、必要な箇所だけに限定した注入が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 道路、鉄道、水路トンネル等 100 件以上の実績あり。 NETIS 登録

③ 補修・補強

親水性一液型ポリウレタン樹脂による注入止水工法

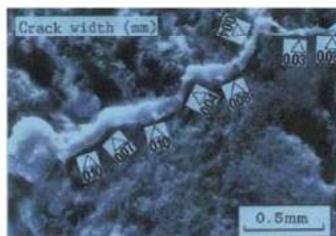
《ピングラウト工法》

【清水建設㈱】

■技術の概要

ピングラウト工法は、親水性一液型ポリウレタン樹脂（NLペースト）を用いた注入止水工法です。

NLペーストは、水と接触すると化学反応を起こして炭酸ガスを発生しながら発泡硬化します。この発泡時の膨張圧を利用して、コンクリートのひび割れや打継ぎの不連続面に樹脂を充填して止水します。



注入充てん性

NLペーストの基本物性

項目	NLペースト			
	NLペースト	NLペースト (S) 一般用	NLペースト (W) 冬期用	
樹脂	外観	暗褐色液体	暗褐色液体	暗褐色液体
	粘度 (mpa・s)	2000~3000	1100~1400	700~1000
	比重 (g/cm ³)	1.15	1.16	1.16
	危険物分類	第4類第4石油	第4類第4石油	第4類第3石油類
発泡体	独立気泡率	81.9	80.2	77.8
	圧縮強さ	0.30	0.19	0.15
	曲げ強さ	0.65	0.61	0.41
	引張強さ	0.71	0.67	0.50
	吸水率(%)	0.30	0.35	0.65

■技術の特徴

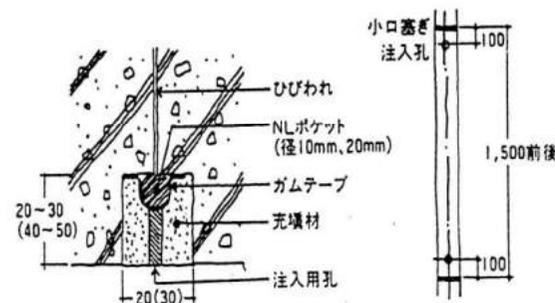
- ・漏水部の水との反応速度が遅いので、ひび割れ細部まで樹脂を充填できる。
- ・湿潤状態のコンクリート面との接着性に優れ、また、発泡硬化した樹脂の収縮が小さいため、肌分かれや空隙が生じて再漏水する可能性が低い。
- ・耐酸性、耐アルカリ性、耐塩水性等に優れている。
- ・注入ガン程度の簡易な工具でも施工が可能。
- ・二液型のように、主剤と硬化剤を混合後の可使用時間の制約がない。
- ・飲料水施設に使用しても安全性に問題がない※注）。
- ・ホルムアルデヒド放散等級区分 F☆☆☆☆取得済み

※注）：高粘度タイプのみ適用可能。低粘度タイプのNLペースト(S)、NLペースト(W)には環状石油系溶剤を使用しているため、現状では適用不可。

■工法の種類

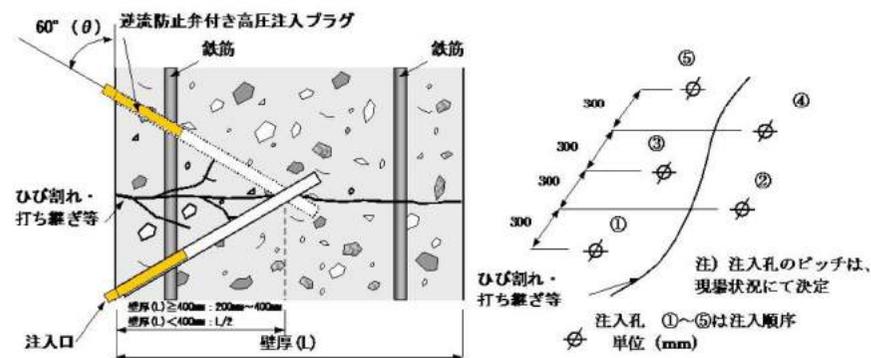
①ピングラウト工法

- ・NLペーストの膨張圧力のみで低圧注入する工法で、主に壁厚400mm以下の構造物が対象。
- ・使用材料は「NLペースト」。



②ピングラウトスマート止水工法

- ・逆流防止弁付きの注入プラグと注入機を用いて高圧注入する工法で、コンクリート躯体の細部にまで注入可能なため、主に壁厚400mm以上の構造物やコンクリート躯体にハツリ跡を残したくない構造物が対象。
- ・使用材料は「NLペースト(S)」または「NLペースト(W)」。



③ 補修・補強

ピングラウト工法

補修

工種	要素技術	現状と課題	備考
止水工	ピングラウト工法 コンクリート構造物に生じたひび割れや打ち継ぎ部等の不連続面からの漏水箇所に親水性一液型ポリウレタン樹脂を注入し、止水する工法。	<ul style="list-style-type: none">・漏水量が多い場合、流末に導水工の併用が必要である。・高圧注入方式を用いた工法（スマート止水工法）は、上水道設備での使用は、現在のところ材料の品質上不可。	<ul style="list-style-type: none">・実績 4,000 件以上・NETIS 登録（TH-000054）

③ 補修・補強

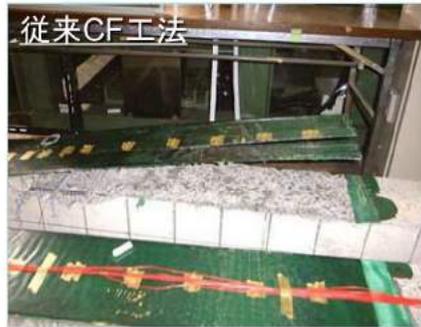
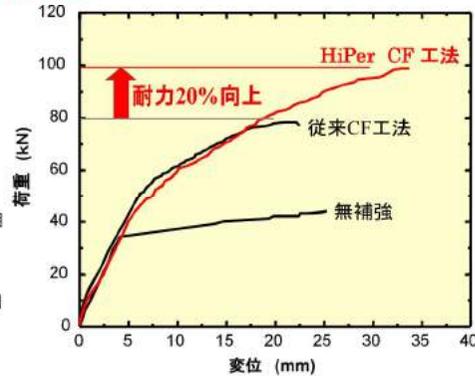
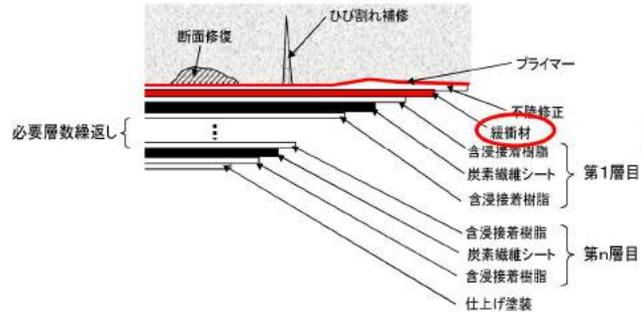
緩衝材を用いた炭素繊維シート接着工法

《HiPer CF工法》

【清水建設㈱】

■技術の概要

緩衝材※によりシートのはく離を抑制し、補強効果を向上 (※柔軟性エポキシ樹脂)



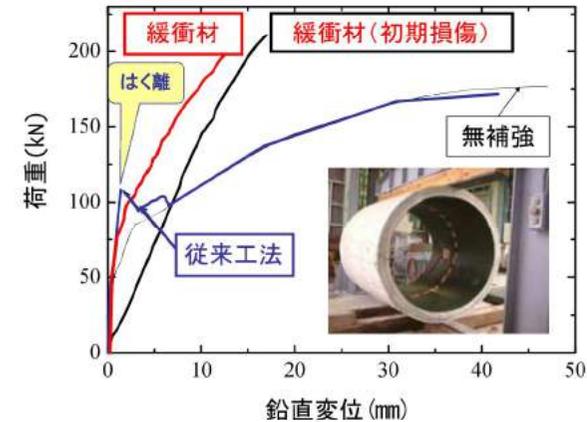
←シートのはく離



→シートの破断

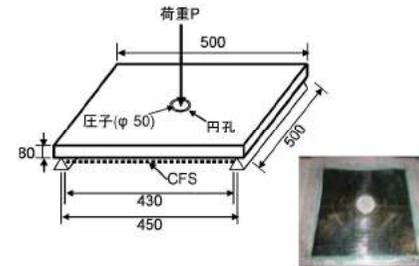
■トンネルを対象とした試験

①管の内面補強試験：内面補強でも効果を発揮



従来工法では100kNでシートがはく離して補強効果が期待できないが、HiPer CF工法ではシートがはく離せずに耐力が200kN以上まで向上。

②平板の押し抜き試験：はく離強さが向上



試験体	緩衝材の厚み (μm)	最大荷重 (kN)	最大変位 (mm)	はく離周長 (m)	単位はく離強さ (kN/m)
従来CF	-	6.66	25.3	1.07	6.66
HiPer CF	1,000	6.49	23.5	0.96	7.50

HiPer CF工法(ハイパーシーエフ) High Performance Carbon Fiber

柔軟性の緩衝材を用いた炭素繊維シート接着工法で、従来の接着工法に比べてシートのはく離抵抗性が向上し、補修・補強効果が向上する。同じ効果を期待する場合は、シートの貼付け量を減らすことができ、**工期・工費の削減**が可能となる。トンネル覆工コンクリートに適用する場合は以下のメリットがある。

- ・トンネル内面の湾曲面に接着した場合でも従来工法に比べてはく離が生じにくく、**高いはく落防止効果**が期待できる。
- ・従来工法では効果が期待できなかった、トンネル内面からの**曲げ補強にも効果**が期待できる。

■施工事例



③ 補修・補強

HiPer CF 工法

補修・補強

工種	要素技術	現状と課	備考
剥落防止工	<p>HiPer CF 工法</p> <p>緩衝材を用いた炭素繊維シート接着工法で、従来の接着工法に比べてシートとの剥離抵抗性が増し、はく落防止効果が向上する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 従来の炭素繊維シート接着工法は、トンネル内面の湾曲面に接着した場合、はく離が生じやすく、高いはく落防止効果が期待できなかった。 HiPer CF 工法は、シート接着前に柔軟性の緩衝材を塗布することによってシートのはく離を抑制し、高いはく落防止効果が期待できる。また、はく離しにくいことから、覆工コンクリートの曲げ補強にも有効である。 	<ul style="list-style-type: none"> 橋梁、栈橋、トンネル等 50 件以上の実績あり。 NETIS 登録 国土技術開発賞受賞

③ 補修・補強

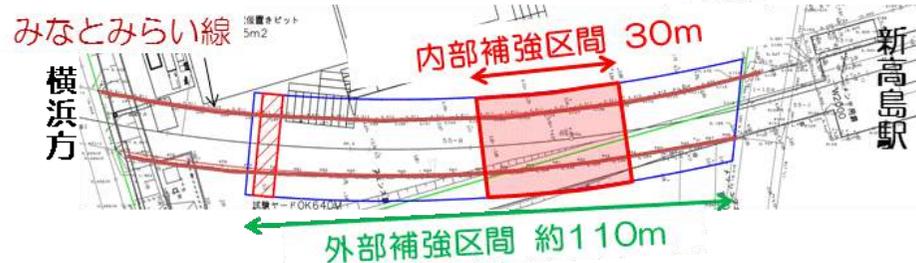
内部補強と外部補強を組合せた供用中の地下鉄トンネル変状対策

《みなとみらい線 高島トンネル補強工事》

【清水建設㈱】

■ 工事の概要

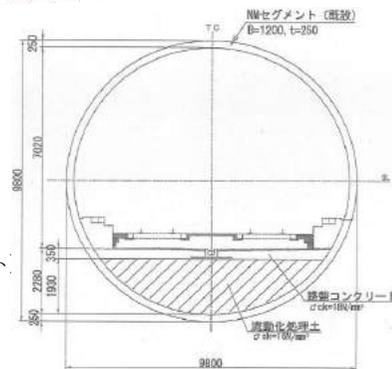
本工事は、トンネル直上で行われた宅地造成工事などの影響により変形したトンネルに対して、その恒久的な安全性を確保するために、**供用中という厳しい条件下で、高圧噴射攪拌工法による外部補強工事**と、補強区間のうち変形が特に大きい区間への**二次覆工による内部補強工事**を併用したトンネル補強工事である。



補強区間割付図

トンネルの概要

- ・トンネルの外径：9,800mm
- ・土被り：約23m
- ・一次覆工：厚さ250mm、幅1,200mm
- ・セグメント形式：嵌合セグメント（NMセグメント）
- ・二次覆工：なし



トンネル断面図

■ 営業線近接条件下での課題と対策

外部補強工

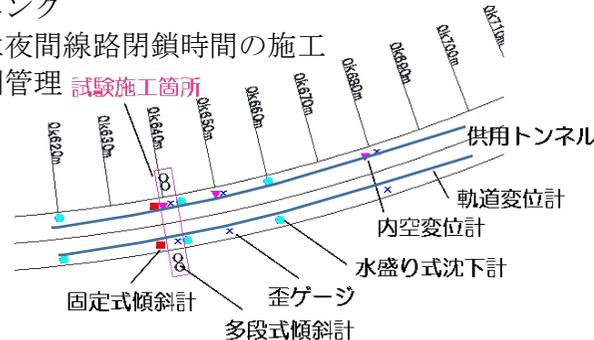
〔課題〕地盤改良に起因するトンネル周辺地盤の乱れによる列車運行への支障

〔対策〕①地盤改良のゾーニング

②トンネル近接部は夜間線路閉鎖時間の施工

③トンネル内の計測管理 **試験施工箇所**

④試験施工

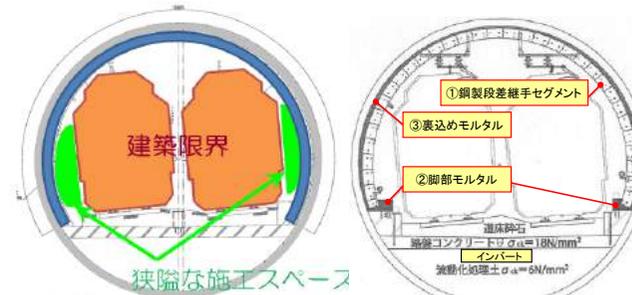


内部補強工

〔課題〕トンネル内で大規模な施工機械・設備を使用できない

〔対策〕①鋼製段差継手セグメントの採用

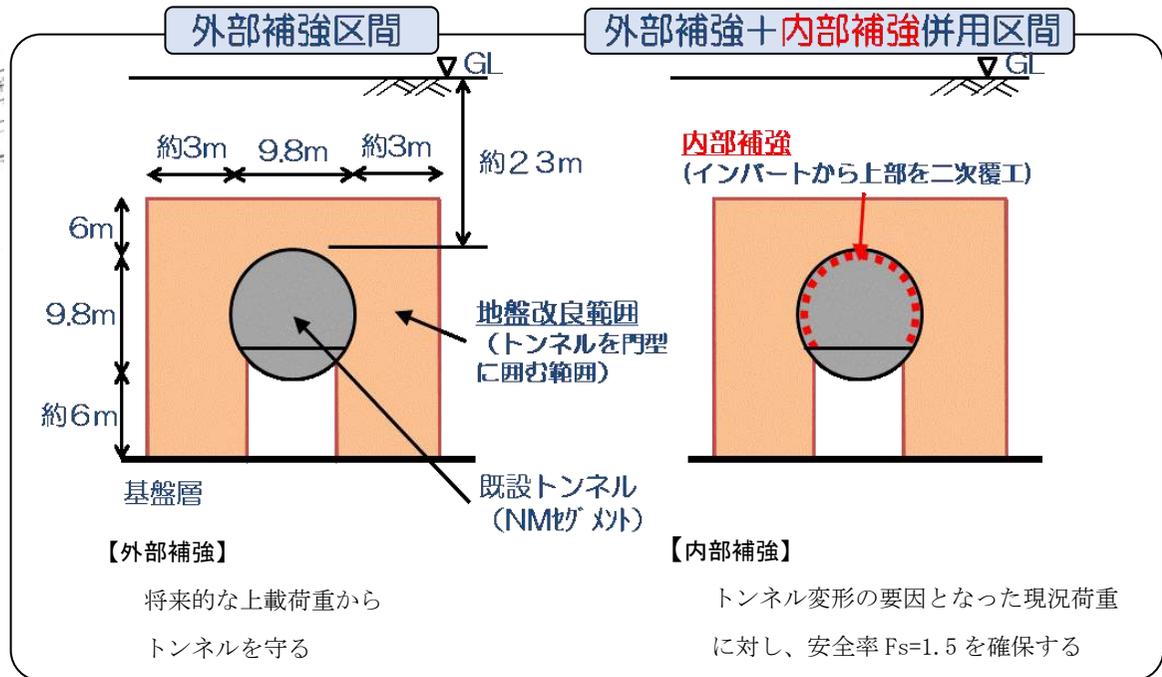
②限られた空間・小型機械で施工可能な組立方法を考案し試験施工を実施



内部補強工の構成図



内部補強工完了写真

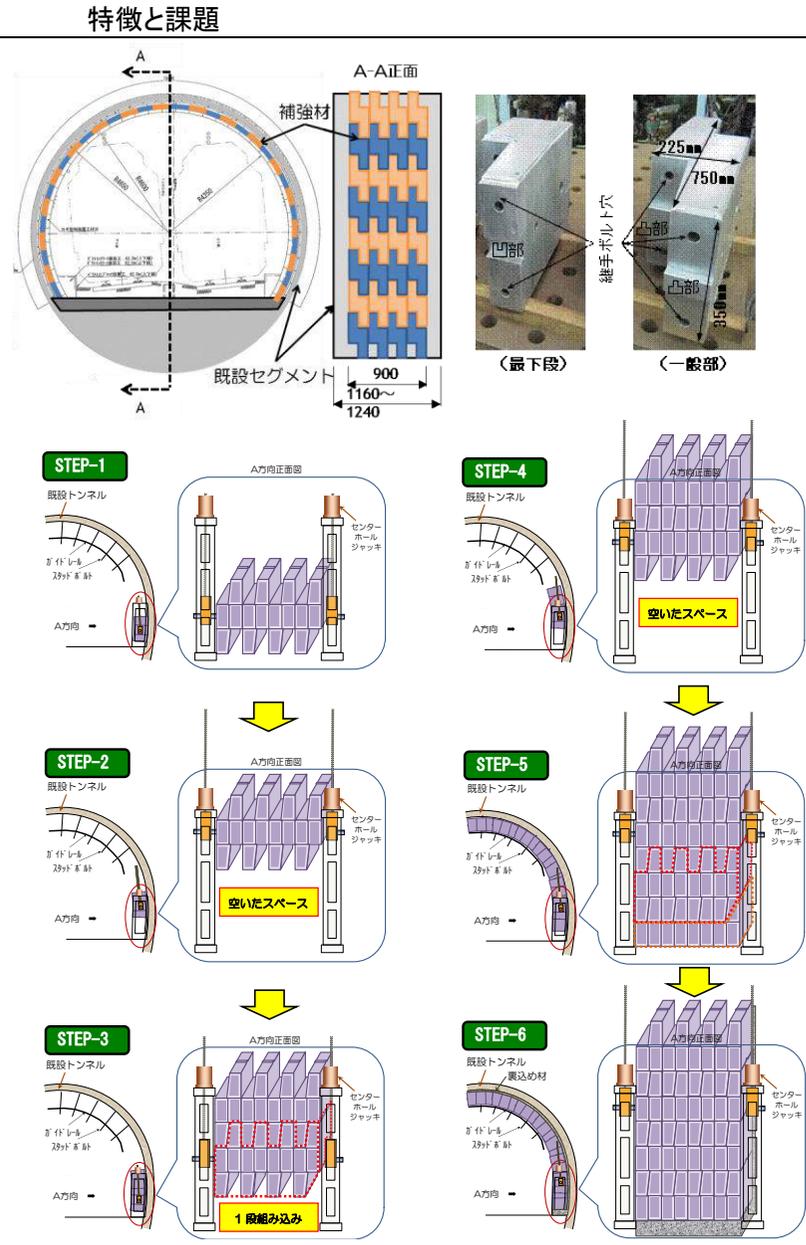


③ 補修・補強

シールドトンネルの補強工

鋼製段差セグメント

工種	要素技術	特徴と課題	備考
<p>二次覆工によるトンネル内部補強工</p>	<p>①鋼製段差継手セグメント</p> <p>②セグメント組立方法</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト部材により安定した品質確保。 ・高い剛性。 ・小型・軽量で幅広い作業条件に適合可能。 ・形状や部材厚を変えることで、多様なニーズに合わせた形状で製作が可能。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト部材を配置できるように建築限界に余裕が必要。 ・人力による運搬、組立て性能と経済性を考慮したセグメント分割形状の最適化。 <p>■特徴（方法の概要）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設置個所の最下段に1段分のセグメントを組み立てて、油圧ジャッキにてせり上げ、できたスペースにさらに1段分を組み立ててせり上げるという手順で、セグメントを下から順次組み上げて天頂部で閉合させて、1リングの補強材を組み立てる。 ・閉合する前の過程では、組み立てたセグメントが自立しない不安定な状態となる。このため、組立中のセグメントの安定性を保ち、かつ所定の位置まで正確にセグメントを誘導するガイドレールを設置。 ・さらに、ガイドレールが万が一破損してもセグメントが軌道内に落下しないように、ダブルセーフティとしての落下防止金具を設置。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・機械化、システム化による作業効率の向上。 	



③ 補修・補強

短繊維補強版を用いた補修技術

《HMC 版工法》

【大成建設（株）】

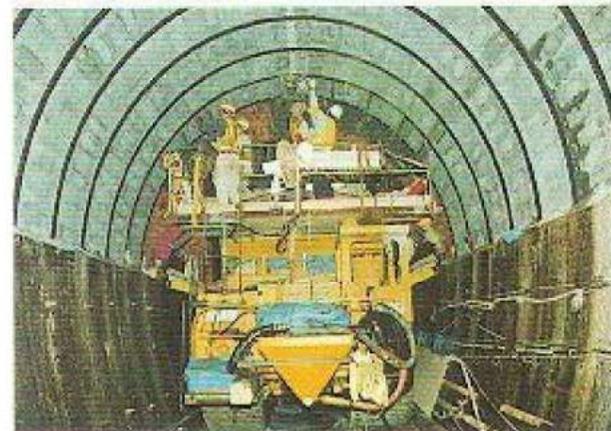
■技術の概要

HMC (Heat Melamine Composite) は、熱硬化性メラミン樹脂をセメント・微粒シリカ・特殊添加剤を配合した組成物に混入し、熱処理により得られる高比強度無機材料である。使用するHMC版は、ポリビニル樹脂系の短繊維により補強したプレキャスト製品(1,000×200×50mm)となる。HMC版による拡幅工法は、掘削直後にH形鋼とHMC版を配置し、その背面を軽量モルタルで充填し、短時間で掘削・支保・覆工する工法である。

■工法の特徴

HMC版によるトンネル拡幅工法は以下の特徴が挙げられる。

- ①高強度かつ耐久性に優れたHMC版により覆工を行うため、高品位な覆工コンクリートを施工することが出来る。
- ②H鋼にプレキャスト版(HMC版)を配置し、その背面を軽量モルタルで充填するため、吹付けなどと異なり短時間の養生でも剥落の危険性がない、安全な構造物を施工することが出来る。
- ③トンネルの一連の施工サイクル(掘削・支保・覆工)が短時間で完了できるため、作業時間が制約される活線でのリニューアル工事等に適している。



HMC 版施工状況

■HMC 版の諸元

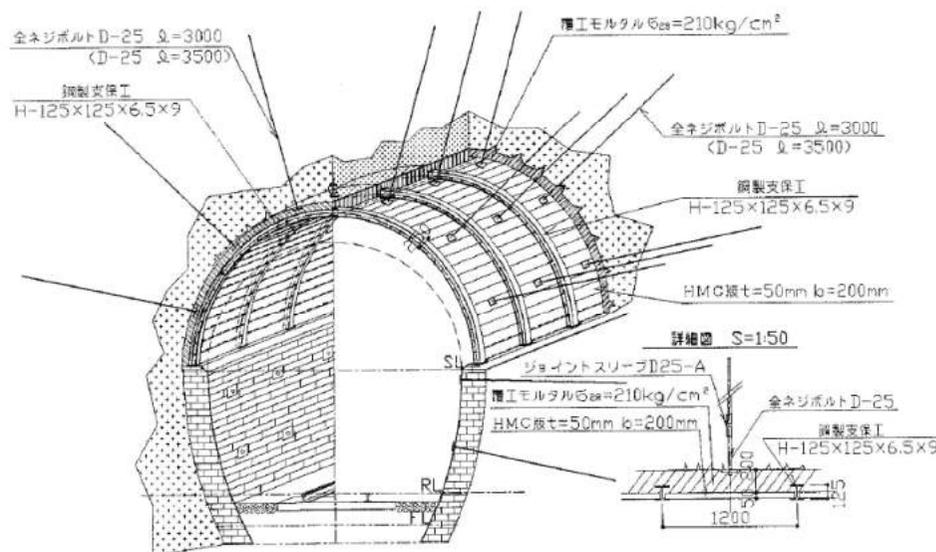
- ・圧縮強度: 100N/mm²
- ・曲げ強度: 15N/mm²

従来のモルタルやコンクリートの 3~4 倍の強度を有する

■実績

- ・荒神山トンネル

平成 5 年



改築工事概念図

③ 補修・補強

トンネル補修工

内面補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
内面補強工	HMC版工法 (Heat Melamine Composite)	<p>■特徴</p> <p>HMC (Heat Melamine Composite) は、熱硬化性メラミン樹脂をセメント・微粒シリカ・特殊添加剤を配合した組成物に混入し、熱処理により得られる高比強度無機材料である。使用するHMC版は、ポリビニル樹脂系の短繊維により補強したプレキャスト製品 (1,000×200×50mm) となる。HMC版による拡幅工法は、掘削直後にH形鋼とHMC版を配置し、その背面を軽量モルタルで充填し、短時間で掘削・支保・覆工する工法である。</p> <p>■工法の特徴</p> <p>HMC版によるトンネル拡幅工法は以下の特徴が挙げられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①高強度かつ耐久性に優れたHMC版により覆工を行うため、高品位な覆工コンクリートを施工することが出来る。 ②H鋼にプレキャスト版 (HMC版) を配置し、その背面を軽量モルタルで充填するため、吹付けなどと異なり短時間の養生でも剥落の危険性がない、安全な構造物を施工することが出来る。 ③トンネルの一連の施工サイクル (掘削・支保・覆工) が短時間で完了できるため、作業時間が制約される活線でのリニューアル工事等に適している。 	

③ 補修

連続炭素繊維シート複合パネル工法

《CFパネル工法》

【大成建設（株）】

■技術の概要

連続炭素繊維シートを内蔵した、高強度で軽量かつ耐候性に優れた成形パネル板で、コンクリート構造物を補強する工法です。

熟練技術を要せず、工場生産された高品質の補強材を使用でき、アンカー固定により、二重の落下防止事故対策を施すことができる

施工方法は、グラウト注入方式とエポキシ接着方式がある。



図 N' パネル概要図

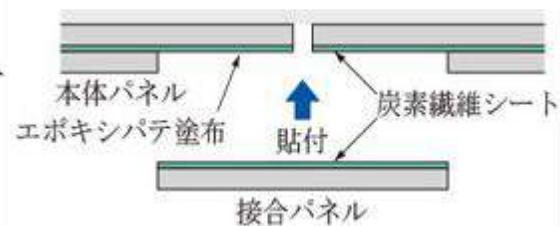


図 N' パネル間の接合方法

■工法の特徴

- ① 内蔵の炭素繊維シートが鉄筋と同様に働き、コンクリートを補強できる。
- ② 従来の直貼工法では連続炭素繊維シートのエポキシ樹脂含浸が環境や熟練度に左右されますが、N' パネル工法では工場生産の為、品質が安定する。
- ③ N' パネルをアンカーで固定後、エポキシ樹脂注入により躯体と一体化できる。
- ④ N' パネル表面にフレキシブルボード（繊維強化セメント板）を使用している為、耐火性・耐候性に優れる。
- ⑤ N' パネルはフレキシブル性があり、曲面に合わせて取付できる。
- ⑥ N' パネルは軽量なので作業性がよく、短い工期で施工できる。また、現場に合わせてパネルの切断加工等簡単に出来る。
- ⑦ 連続炭素繊維シートは全てN' パネル内部に内蔵している為、導電の心配がない。



写真 道路トンネルへの適用例



写真 水路トンネルへの適用例

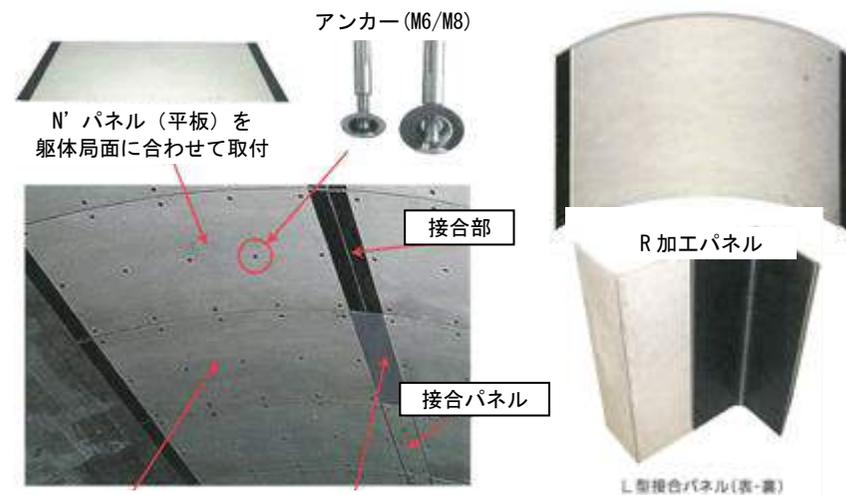
■技術登録

新技術情報提供システム(NETIS)登録 KT-010179

■実績

- ・吉浦トンネル補修工事(道路トンネル)
- ・徳山導水路トンネル(水路トンネル)
- ・片田原トンネル(道路トンネル)
- ・富士川導水トンネル(水路トンネル)

平成 24 年度
平成 24 年度
平成 23 年度
平成 23 年度
他多数



N' 注入材により躯体と一体 接合部にN' パテを塗布し接合

L型接合パネル(表・裏)

L型接合パネル

③ 補修

トンネル補修工

内面補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考																																																																				
N' パネル工法	N' パネル構成材料と施工材料	<p>N' パネル構成材料一覧</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>品名</th> <th>種類</th> <th colspan="2">特性</th> </tr> <tr> <th></th> <th>目付量(g/m²)</th> <th>設計厚さ(mm)</th> <th>引張強度(N/mm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">連続繊維シート</td> <td rowspan="2">200 (1方向)</td> <td>0.111</td> <td rowspan="2">3500以上</td> </tr> <tr> <td>0.167</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">高強度フレキシブル版 (t=3mm)</td> <td rowspan="3">方向</td> <td>比重</td> <td>曲げ強度(N/mm²)</td> </tr> <tr> <td>繊維方向</td> <td>1.4~1.7</td> <td>27以上</td> </tr> <tr> <td>繊維直角方向</td> <td></td> <td>16以上</td> </tr> <tr> <td>N' ボンド (含選材)</td> <td>エポキシ樹脂</td> <td>比重</td> <td>引張強度(N/mm²)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1.1±0.05</td> <td>40以上</td> </tr> </tbody> </table> <p>N' パネル施工材料一覧</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>品名</th> <th>種類</th> <th colspan="3">仕様</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>比重</th> <th>引張強度(N/mm²)</th> <th>接着強度(N/mm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">N' パテ</td> <td rowspan="2">エポキシ樹脂</td> <td>比重</td> <td>引張強度</td> <td>接着強度</td> </tr> <tr> <td>1.4±0.05</td> <td>27以上</td> <td>1.5以上</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">N' 注入材</td> <td rowspan="2">エポキシ樹脂</td> <td>比重</td> <td>引張強度</td> <td>接着強度</td> </tr> <tr> <td>1.4±0.05</td> <td>27以上</td> <td>1.5以上</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">アンカー</td> <td rowspan="3">ステンレス製</td> <td>サイズ</td> <td>引張最大荷重(kN)</td> <td>せん断最大荷重(kN)</td> </tr> <tr> <td>M5×25</td> <td>5以上</td> <td>2.7以上</td> </tr> <tr> <td>M5×30</td> <td>10以上</td> <td>1.8以上</td> </tr> </tbody> </table>	品名	種類	特性			目付量(g/m ²)	設計厚さ(mm)	引張強度(N/mm ²)	連続繊維シート	200 (1方向)	0.111	3500以上	0.167	高強度フレキシブル版 (t=3mm)	方向	比重	曲げ強度(N/mm ²)	繊維方向	1.4~1.7	27以上	繊維直角方向		16以上	N' ボンド (含選材)	エポキシ樹脂	比重	引張強度(N/mm ²)			1.1±0.05	40以上	品名	種類	仕様					比重	引張強度(N/mm ²)	接着強度(N/mm ²)	N' パテ	エポキシ樹脂	比重	引張強度	接着強度	1.4±0.05	27以上	1.5以上	N' 注入材	エポキシ樹脂	比重	引張強度	接着強度	1.4±0.05	27以上	1.5以上	アンカー	ステンレス製	サイズ	引張最大荷重(kN)	せん断最大荷重(kN)	M5×25	5以上	2.7以上	M5×30	10以上	1.8以上	トンネルや床版補強など面的に広がりのある箇所は補修補強に施工実績が多い。N' パネルは柔軟性があり自在に成形でき、また軽量で施工性に優れていることから、橋脚などの柱の耐震補強へも適用が期待される。
	品名	種類	特性																																																																				
		目付量(g/m ²)	設計厚さ(mm)	引張強度(N/mm ²)																																																																			
連続繊維シート	200 (1方向)	0.111	3500以上																																																																				
		0.167																																																																					
高強度フレキシブル版 (t=3mm)	方向	比重	曲げ強度(N/mm ²)																																																																				
		繊維方向	1.4~1.7	27以上																																																																			
		繊維直角方向		16以上																																																																			
N' ボンド (含選材)	エポキシ樹脂	比重	引張強度(N/mm ²)																																																																				
		1.1±0.05	40以上																																																																				
品名	種類	仕様																																																																					
		比重	引張強度(N/mm ²)	接着強度(N/mm ²)																																																																			
N' パテ	エポキシ樹脂	比重	引張強度	接着強度																																																																			
		1.4±0.05	27以上	1.5以上																																																																			
N' 注入材	エポキシ樹脂	比重	引張強度	接着強度																																																																			
		1.4±0.05	27以上	1.5以上																																																																			
アンカー	ステンレス製	サイズ	引張最大荷重(kN)	せん断最大荷重(kN)																																																																			
		M5×25	5以上	2.7以上																																																																			
		M5×30	10以上	1.8以上																																																																			
N' パネルの強度特性	<p>・パネルを既設構造物に適用するにあたり、必要な強度特性については試験により確認することを原則とする。パネルの強度特性の試験方法は、連続繊維シートを対象とした以下の試験方法をパネルに対して準用する。</p> <p>a) JSCE-E541-2000 連続繊維シートの引張試験方法 (案)</p> <p>b) JSCE-E542-2000 連続繊維シートの継手試験方法 (案)</p> <p>c) JSCE-E543-2000 連続繊維シートとコンクリートとの付着試験方法 (案)</p>																																																																						
N' パネルの設計の考え方	<p>・構造検討は、連続炭素繊維シートの直貼りと同等の考え方で行う。土木学会：コンクリートライブラリー101「連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強設計指針」を参照。</p> <p>なお、剥離・剥落防止に用いる場合には2方向の繊維が必要である。検討方法は、トンネル安全対策工法協会「FRPによるトンネル復興の剥落対策工マニュアル」を参照。</p>																																																																						
N' パネルの施工手順		<p>準備工 調査・測量等により、設計図と現況との確認を行い、パネルの配置・間隔を定め、パネルの工場加工を行う。</p> <p>下地ケレン工 ディスクサンダー、サンドブラストあるいは高圧洗浄機を用いてトンネルの壁面をケレンする。高圧洗浄圧力は、50~100kgf/cm²程度とする。ケレンの確認は目視によるものとする。</p> <p>プライマー塗布工 パネルを貼り付けるコンクリート面が湿潤な場合、乾燥機を用いて乾かす。その後、全面にプライマーとしてエポキシ注入剤を0.15kg/m²程度、刷毛で塗布する。</p> <p>本体パネル設置工 パネルの取付けはトンネル始点から終点、天端からインバート方向に行う。また、トンネル軸方向の曲線に対しては、パネルとパネルの目地幅で調整する。</p> <p>接合パネル設置工 接合パネルは、接合面にエポキシパテを塗布した直後に、アンカーを打設し、固定する。パネルとパネルの目地幅は1cmを標準とする。</p> <p>目地・端部シール工 目地及びアンカー頭部は、エポキシパテでシールする。</p> <p>エポキシ樹脂注入工 エポキシ樹脂の注入は、機械式低圧注入機を用いて行う。注入はパネルの下部から上部に、かつ両サイドから中央に向かって順次行う。</p> <p>充填検査工 壁面とパネルとの接着状況は、打音で検査を行う。小型ハンマー（50g程度）を用いてパネル全面を叩き、打音による確認を行う。</p>																																																																					

③ 補修・補強

高強度・耐摩耗性を有したプレキャスト版による覆工内巻き補強

《PIC 版工法》

【大成建設（株）】

■技術の概要

PIC(Polymer Impregnated Concrete) 版はポリマーを含浸させた厚さ15~40mmのコンクリートプレキャスト版で、高強度・耐摩耗性等に優れている。当工法は、このPIC版をトンネルの内面に設置する(内巻きする)ことにより、トンネルのライフサイクルを大幅に延ばすことを目的に行う。

■工法の特徴

- ①PIC版による内巻きは、厚さが薄く、背面のモルタル充填を含んでも約50mm~100mmであり、トンネル断面の減少が少ない。
- ②PIC版は粗度係数が小さく(0.012)、また、耐久性、耐摩耗性および耐薬品性に優れている。
- ③PIC版は軽量であり、現場での取付けが容易に行え、安全性が高い。
- ④古いコンクリートを取り壊して新しいコンクリートを打設する従来の方法に比べ、工期が短縮できる。

■PIC版の諸元

- ・圧縮強度:130N/mm²以上 曲げ強度:22.5N/mm²以上 引張強度:8.0N/mm²以上
- ・弾性係数:3.4~3.8×10⁴N/mm² ポアソン比:0.2 比重:2.4
- ・線膨張係数:1.1×10⁻⁵/°C



■PICフォームの表面



リニューアル前



リニューアル後

■実績

- ・小屋敷発電所導水路トンネル 平成11年
- ・忍野発電所導水路トンネル 平成6年

③ 補修・補強

トンネル補修工

内面補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
内面補強工	PIC 版工法	<p>■特徴</p> <p>PIC (Polymer Impregnated Concrete) 版は高緻密かつ高強度であることから塩害、凍害、摩耗あるいは酸性水等の化学作用の影響を複合して受けるような特に厳しい環境下においても、コンクリート構造物に耐久性を付与することができる。</p> <p>打設コンクリートとの付着面は粗骨材を埋め込んだ特殊な粗面構造となっており、アンカー等の取付治具を用いなくても、PICフォーム自体の付着性能によりコンクリートと確実に一体化する。その結果、構造物の有効断面ならびに内部鋼材の有効かぶりとして考慮できる。</p> <p>複雑で曲面形状など対象構造物の形状や歩合寸法に合わせた部材を提供できる。</p> <p>型枠の取付方法や支保工は一般の合板型枠を使用する場合とほとんど同様でよい。</p> <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・PIC版をコンクリート部材の圧縮縁に配置した場合の破壊形態や靱性。 ・プレキャストであるため、事前に割り付けやセパレータ用の孔位置等を設計検討しておくことが必要。 	

③ 補修・補強

ハーフPCa版を用いた覆工補修

《ハーフPCa工法（オムニア版工法）》

【大成建設（株）】

■技術の概要

ハーフPCa版とは、完全なプレキャストコンクリート版(PCa版)ではなく、施工上一部打設が必要となるプレキャストコンクリート版のことである。本技術では、ハーフPCa版の中でも、オムニア版を使用する。

オムニア版はオムニアトラスと称する上弦材、下弦材、および斜材により構成される三角形の断面を持つトラスを主筋の一部として使用する工場製作による鉄筋コンクリート版である。このプレキャストコンクリートフォームのオムニア版を覆工コンクリートの型枠として利用し、背面に打設した後打ちコンクリートとオムニア版とを一体化させることにより、そのまま構造部材として使用する方法により覆工コンクリートの施工を行う。

オムニア版は背面側に設置されるガイド支保工(主としてH鋼)に専用の治具を用いて固定され、その背面に裏込めコンクリートが打設される。この専用治具の使用により、ガイド支保工に取りつけ穴等を開ける必要がなく施工性が良い。また、オムニア版を支える内張が不要となり、裏込めコンクリートの打設を待たなくても、短時間で路線の使用が可能になるため、既設の営業線のトンネルにおいても覆工コンクリートのリニューアルが可能となる。

■工法の特徴

オムニア版を用いたトンネルリニューアルは以下の特徴が挙げられる。

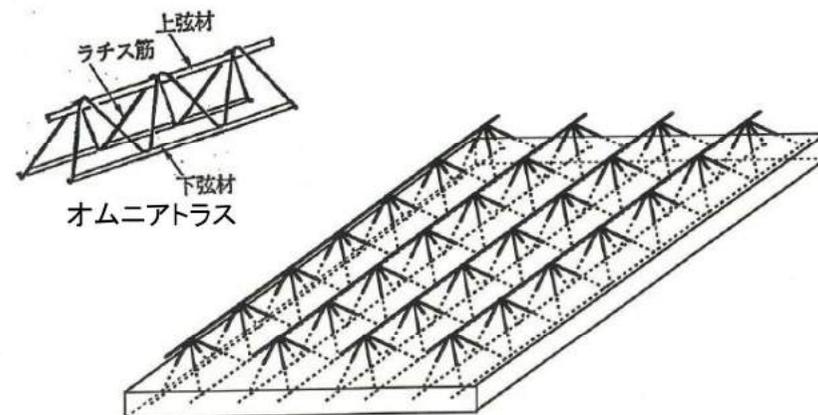
- ①オムニア版自体を型枠としてコンクリートを打設するため、専用のセントルを必要としない。
- ②オムニア版は鉄筋で補強されているため曲げ耐力が大きく、その剛性でコンクリートの流動圧に耐えられる設計が可能のため、コンクリート打設時の内張を必要としない。そのため、営業線のトンネルにおいて内空を侵さずに施工が可能。
- ③鉄筋必要区間においては、オムニア版の鉄筋量を増やすことにより対応でき、覆工コンクリート打設場所での鉄筋組立作業が不要となる。
- ④専用のパネルエレクタによる施工の効率化が可能。
- ⑤現場打ちではなく工場二次製品であるため高品質を維持できる。

■ハーフPCa版(オムニア版)の諸元

- ・圧縮強度: 60N/mm²
- ・鉄筋 主筋: D16@100, 配力筋: D16@300, トラス筋: φ6~13

■実績

- ・高取山トンネル 平成 10 年



ハーフPCa版(オムニア版)模式図



ハーフPCa版(オムニア版)



ハーフPCa版(オムニア版)適用例

③ 補修・補強

トンネル補修工

内面補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
内面補強工	ハーフ PCa 版（オムニア版）工法	<p>■特徴</p> <p>ハーフ PCa 版（オムニア版）はオムニアトラスと称する上弦材、下弦材、および斜材により構成される三角形の断面を持つトラスを主筋の一部として使用する工場製作による鉄筋コンクリート版である。このプレキャストコンクリートフォームのオムニア版を覆工コンクリートの型枠として利用し、背面に打設する後打ちコンクリートとオムニア版とを一体化させることにより、そのまま構造部材として使用する方法により覆工コンクリートの施工を行う。</p> <p>オムニア版は背面側に設置されるガイド支保工（主としてH鋼）に専用の治具を用いて固定され、その背面に裏込めコンクリートが打設される。この専用治具の使用により、ガイド支保工に取りつけ穴等を開ける必要がなく施工性が良い。また、オムニア版を支える内張が不要となり、裏込めコンクリートの打設を待たなくても、短時間で路線の使用が可能になるため、既設の営業線のトンネルにおいても覆工コンクリートのリニューアルが可能となる</p> <p>オムニア版を用いたトンネルリニューアルは以下の特徴が挙げられる。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①オムニア版自体を型枠としてコンクリートを打設するため、専用のセントルを必要としない。 ②オムニア版は鉄筋で補強されているため曲げ耐力が大きく、その剛性でコンクリートの流動圧に耐えられる設計が可能のため、コンクリート打設時の内張を必要としない。そのため、営業線のトンネルにおいて内空を侵さずに施工が可能。 ③鉄筋必要区間においては、オムニア版の鉄筋量を増やすことにより対応でき、覆工コンクリート打設場所での鉄筋組立作業が不要となる。 ④専用のパネルエレクタによる施工の効率化が可能。 ⑤現場打ちではなく工場二次製品であるため高品質を維持できる 	

③ 補修・補強

■技術の概要

「バルチップ」はコンクリートの曲げタフネスの向上および剥離・剥落防止のための混和材として開発されたコンクリート補強繊維です。素材はポリオレフィン系繊維であるポリプロピレンで、錆びることがなく、かつ軽量で高い施工性を有している。廃棄物処理において鋼繊維と異なりコンクリートと同等の処理ができ、さらに燃焼時においてもダイオキシン等の発生がない「環境にやさしい」混和材である。

■バルチップの特徴

- ・素材はポリプロピレン 100%で、耐アルカリ性に優れ、錆びが発生しない。また比重は、0.91 と極めて軽量。
- ・表面形状は、特殊なエンボス加工により凹凸になっているため、コンクリートからの繊維の抜けが起こりにくく、曲げタフネスが大幅にアップする。
- ・繊維は特殊な親水処理がなされ、セメントとの界面接着力を大きくしている。また、コンクリート内での分散性に優れ、鋼繊維と比較して、ファイバーボール(塊)は殆ど発生しない。
- ・引張強度は、450N/mm²で軟鉄より少し大きな値である。
- ・バルチップコンクリートは、プレーンコンクリートと比較して、曲げタフネスが 200～400 倍になる。
- ・吹付け作業中等、はね返ったり、落下したりした繊維を踏んでも怪我をしない。
- ・コンクリートと同色のグレーなので、繊維が目立たない。
- ・耐薬品性に優れている。
- ・ミキサやポンプ車のシリンダーや配管の損耗は極めて小さく、繊維を入れないコンクリートと同等程度である。

■バルチップの適用例

1997 年吹付けコンクリート用として開発されたバルチップは、トンネル覆工コンクリート用繊維として進化し、各方面に使用されている。また、NEXCO (旧日本道路公団)は、トンネル覆工コンクリートの剥離・剥落対策として、繊維補強コンクリートを採用し、その繊維としてバルチップ JK を認定しました。

■技術登録

新技術情報提供システム(NETIS)登録 KT-990079



バルチップ(袋詰め)



現場混入状況



バルチップ



バルチップ拡大図

③ 補修・補強

予防保全技術

バルチップ

工種	要素技術	特徴と課題	備考
コンクリート工	バルチップ	<p>■特徴</p> <p>「バルチップ」はコンクリートの曲げタフネスの向上および剥離・剥落防止のための混和材として開発されたコンクリート補強繊維です。素材はポリオレフィン系繊維であるポリプロピレンで、錆びることがなく、かつ軽量で高い施工性を有している。廃棄物処理において鋼繊維と異なりコンクリートと同等の処理ができ、さらに燃焼時においてもダイオキシン等の発生がない「環境にやさしい」混和材である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・素材はポリプロピレン 100%で、耐アルカリ性に優れ、錆びが発生しない。また比重は、0.91 と極めて軽量。 ・表面形状は、特殊なエンボス加工により凹凸になっているため、コンクリートからの繊維の抜けが起こりにくく、曲げタフネスが大幅にアップする。 ・繊維は特殊な親水処理がなされ、セメントとの界面接着力を大きくしている。また、コンクリート内での分散性に優れ、鋼繊維と比較して、ファイバーポール（塊）は殆ど発生しない。 ・引張強度は、450N/mm² で軟鉄より少し大きな値である。 ・バルチップコンクリートは、プレーンコンクリートと比較して、曲げタフネスが 200～400 倍になる。 ・吹付け作業中等、はね返ったり、落下した繊維を踏んでも怪我をしない。 ・コンクリートと同色のグレーなので、繊維が目立たない。 ・耐薬品性に優れている。 ・ミキサやポンプ車のシリンダーや配管の損耗は極めて小さく、繊維を入れないコンクリートと同等程度である。 	

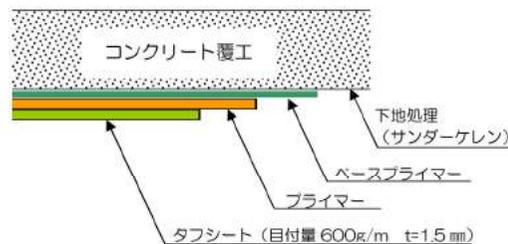
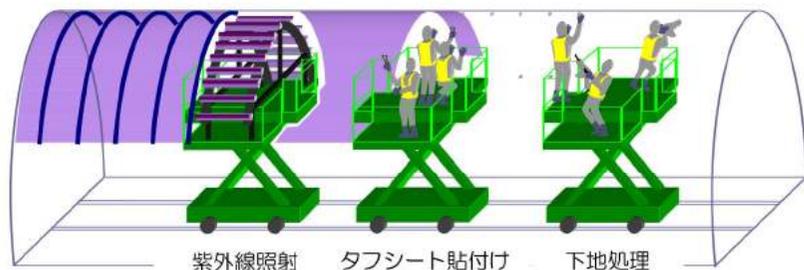
③ 補修・補強

紫外線硬化型FRPシートによる補修

《タフシート工法》

【鉄建建設（株）】

■概要



〈トンネル補修の例〉

トンネルの既設覆工面に、「タフシート(紫外線硬化型FRPシート)」を貼付け、コンクリート片等の剥落を防止するとともに、遮水性・耐薬品性に優れた防食被覆層を形成するものです。鉄道や道路トンネル、高欄の補修や、下水道施設の防食被覆工事に適用できます。

また、橋脚柱に積層して巻き付けることにより、既設RC柱の耐震補強にも適用できます。

■特徴

1. 樹脂の含浸作業が不要で、シートの硬化時間も短いので、作業時間に制約を受ける場所での施工に適しています。
2. 補強材としてガラス短繊維マットを使用しており、どの方向に対しても同一の強度があります。
また、現場で自由に裁断でき、部分的な補修が可能です。
3. シート自体は透明で耐久性に優れており、補修後もコンクリート面の状態が確認できます。
4. 電気絶縁特性を有しているため、電気設備の絶縁低下や電食の問題がありません。
5. 耐熱劣化特性・耐熱衝撃性に優れ、自己消火性も備えています。



〈中央自動車道小仏トンネル集中工事施工状況〉

■施工例

箇所	鉄道トンネル(上越新幹線)	道路トンネル(東名高速道路)	下水道内面被覆(下水道幹線)	橋脚耐震補強(東海道新幹線)
工事名	上越幹、浦佐・長岡間妙見T災害応急工事 (中越地震)	東名高速道路日本坂トンネル補修工事	新赤坂幹線工事	西大井・新川崎間東海道新幹線高架橋耐震補強
発注者	東日本旅客鉄道株式会社	日本道路公団 東京管理局	清水・りんかい日産・佐伯建設JV (東京都下水道局)	東日本旅客鉄道株式会社
工期	平成16年11月～12月	平成16年7月21日～平成17年3月7日 (右ルート閉鎖は平成16年8月29日～12月19日)	平成17年4月	平成18年10月～平成21年2月
工事場所	新潟県小千谷市妙見	静岡県静岡市小坂～静岡県焼津市野秋	港区赤坂2、3、5、6丁目	東海道新幹線西大井・新川崎間 東京都品川区
工事数量	妙見トンネル: 10.05 × 55m = 552.75 m ² 滝谷トンネル: 10.05 × 9m = 90.45 m ²	トンネル延長 2,045mのうち、 円周約 13.2m × 延長 1,028m = 13,547 m ²	仕上がり内径φ2.7m × 施工延長 83.78m ≒ 710 m ²	63基(126本) = 23,000 m ²
写真	〈妙見トンネル〉			〈施工中〉

③ 補修・補強

既設コンクリート構造物の補修技術 [タフシート工法] <<鉄建建設(株)>>

工種	要素技術	特徴と課題	備考
剥落防止工	<p>■トンネル補修工法 NEXCOトンネル施工管理要領（はく落一小片を超えるはく落対策工の材料）</p> <p>■下水道内面被覆工法 下水道防食技術指針シートライニング工法（D₂種）適合</p> <p>■既存RC柱耐震補強工法 既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計・施工指針PPS巻補強編（鉄道総合技術研究所）</p>	<p>■特徴 補強繊維に樹脂を含浸させる繊維接着工法と比較して以下のメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施工面にプライマー（接着樹脂）を塗布し、すぐにシートを貼付け、シート表面に紫外線を照射して約20分で硬化する。短時間で容易に施工できるため、作業時間に制約を受ける場所での施工に適している。 ・補強繊維にガラス短繊維マットを使用しており、どの方向に対しても同一の強度が得られ、現場で容易に裁断できる。そのため、施工箇所に合わせて現場で加工ができ、部分的な補修にも対応できる。 ・シート自体は透明で耐久性に優れており、補修後もコンクリート面の状態が確認できる。 ・電気絶縁特性を有しているため、電気設備の絶縁低下や電食の問題がない。 ・耐熱劣化特性・耐熱衝撃性に優れ、自己消火性も備えている。 <p>■課題 補強繊維に樹脂を含浸させる繊維接着工法と比較して以下のデメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・硬化前のシートは折り目やしわが残りやすいため、運搬や施工場所への持ち込みに注意が必要。 ・硬化に紫外線蛍光灯が必要で、照度や照射時間の管理が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・NETIS登録（KT-010065-A） ・技術審査証明取得（下水道技術）

③ 補修・補強

繊維シートによる簡易なコンクリート片はく落防止 《タフメッシュ工法》

【鉄建建設（株）】

☆国土交通省

【NETIS 登録工法・KT-110012-A】

☆特長

■ 施工性がよい

- ①タフメッシュ工法は、接着樹脂を使用した直後にシートを施工可能です。
[施工工程は含浸プライマーを入れても実質2工程]
- ②地処理後または含浸プライマー硬化後即日ではく落対策工が完成します。
- ③供用中の道路規制回数の低減が可能
- ④シートが工場で作成されているため、品質が安定

■優れた耐候性

シートに耐候性を付与。トップコートが不要。
5,000hの促進耐候試験で光沢度保持率 89%

■補修後もコンクリート面を観察可能

シートが透明なので、補修後もコンクリート表面の状況を観察することが可能です。

■ NEXCO の橋梁とトンネル双方に適合

NEXCO3 社：

構造物施工管理要領、はく落防止適合
トンネル施工管理要領、小片はく落適合

◎同じ材料で、トンネルと橋梁のはく落対策ができる

☆タフメッシュ工法的主要材料と性能☆



タフメッシュシート
(TMS-1810) t=0.5mm

1m×30m(両面PETフィルム付き)で提供
試験法 424 はく落防止の押抜き試験
+50℃で 2.1kN、-30℃で 2.3kN
(規格値 1.5kN 以上)



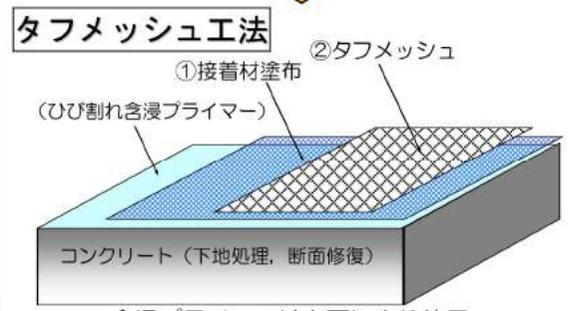
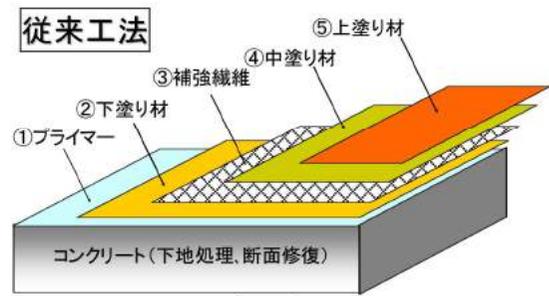
粘性が高いので入隅・出隅の貼付けが比較的容易です。

接着材(アルプロンXL-1902)

主剤：硬化剤=2：1
10kg+5kg=15kgで提供
付着強さ試験：JSCE-E545-2000 準拠
温冷繰返し 30日養生 2.7N/mm²
(規格値 1.5N/mm² 以上)

実績：国土交省・NEXCO3社・JR東日本・JR九州他、2万㎡以上

◇工法比較◇



*含浸プライマーは必要により使用

施工手順



③ 補修・補強

既設コンクリート構造物の補修技術 [タフメッシュ工法] <<鉄建建設(株)>>

工種	要素技術	特徴と課題	備考
コンクリート 構造物剝落防 止工	<p>■トンネル補修工法 NEXCOトンネル施工 管理要領（はく落-小片 はく落対策工の材料）</p> <p>■橋梁等の補修工法 NEXCO構造物施工管 理要領</p>	<p>■特 徴</p> <p>1. 施工性がよい</p> <p>①タフメッシュ工法は、接着樹脂を使用した直後にシートを施工可能です。 [施工工程は含浸プライマーを入れても実質2工程]</p> <p>②よって下地処理後または含浸プライマー硬化後即日ではく落対策工が完成します。</p> <p>③供用中の道路規制回数の低減が可能</p> <p>④シートが工場で成型されているため、品質が安定</p> <p>2. 優れた耐候性</p> <p>シートに耐候性を付与。トップコートが不要。 5,000hの促進耐候試験で光沢度保持率89%)</p> <p>3. 補修後もコンクリート面を観察可能</p> <p>シートが透明なので、補修後もコンクリート表面の状況を観察することが可能。</p> <p>4. NEXCOの橋梁とトンネル双方に適合</p> <p>NEXCO3社：構造物施工管理要領、はく落防止適合。トンネル施工管理要領、小片はく落 適合</p> <p>◎同じ材料で、トンネルと橋梁のはく落対策ができる</p> <p>■課 題</p> <p>・シート状に成型されているため、複雑な形状には貼り付けにくくなる傾向がある。</p>	<p>・NETIS登録 (KT-110012-A)</p>

③ 補修・補強

■技術の概要

REDEEM 工法とは

(Revival technique using Ductility mortar in Effective and Efficient Maintenance of concrete structures)

セメント系繊維補強材料によるコンクリート構造物の補強工法
繊維混入率の高い繊維補強モルタル版およびセメント系埋め込み型枠を用いたコンクリート構造物の新しい補修・補強工法。
繊維の効果により、ひび割れ抵抗性、ひび割れ分散効果に優れているため、強度特性およびじん性の向上を図ることができる。特に、橋梁床版、トンネル覆工などの圧縮および引張側で耐力の向上が求められるところに補強効果を発揮する。

施工概要

既設コンクリートの表面にPVA（ポリビニルアルコール）繊維をマット状に成形したリディームマット（高じん性マット）を取付け、その表面にPVA繊維で補強したリディームボードを埋め込み型枠としてアンカーで固定して取付ける。この状態でリディームマット部分にモルタルを順次注入する。モルタルは、リディームマットの隙間に浸透・充填し、そのまま硬化して、じん性に優れたダクティリティモルタル（セメント系繊維補強モルタル版）を形成することにより、コンクリート構造物を補強する工法。詳細を右図に示す。

施工実績

REDEEM工法は、これまで、周辺地山の変圧などに起因する覆工の変状抑制、耐力の低下した覆工の健全性向上、地震により圧挫を受けた覆工修繕を目的とした工事に適用され、10件以上の施工実績がある。

施工条件も高速道路供用下、鉄道き電停止間合いでの実績がある。

施工順序



③ 補修・補強

REDEEM工法

トンネル内巻き工

工種	要素技術	特徴と課題	備考
トンネル内巻き工	(繊維補強コンクリート)	<p>■特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 作業エリアを防護すれば、作業期間中も隣接車線の通行が可能。 2) リディームボードは曲げ性能が良いため、覆工の曲面に追随することが可能で、事前の曲げ加工が不要。(実績として半径2m) 3) 補強繊維がマットとして均一に配置されるため、性能のばらつきがない。 4) グラウト剤は流動性が良く、隙間なくマット内に充填可能。 5) いずれの作業も、大型の機械を用いることなく施工が可能。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現地練りのため、グラウト性状の管理が必要。 ・ボードとマットが受注生産のため、納入に数ヶ月を要する。 ・ボード固定材料にアンカーボルト、座金、ナット、バタパイプ、パッキン材など小物の材料の種類が多く資材管理が手間 	

③ 補修・補強

疎水性発泡ウレタン樹脂による止水工法

《TWS 工法》

【東急建設(株)】

■技術の概要

コンクリート内部に漏水経路となる欠陥がある場合、表面部分のみを止水しても、別のルートから漏水を起すため、再漏水する場合があります。TWS工法は、ひび割れなど構造物内部の漏水欠陥に、加水分解しにくい疎水性発泡ウレタン樹脂を直接注入し、漏水経路をほぼ完全に塞ぎ、二次漏水のない止水工を実現する工法です。

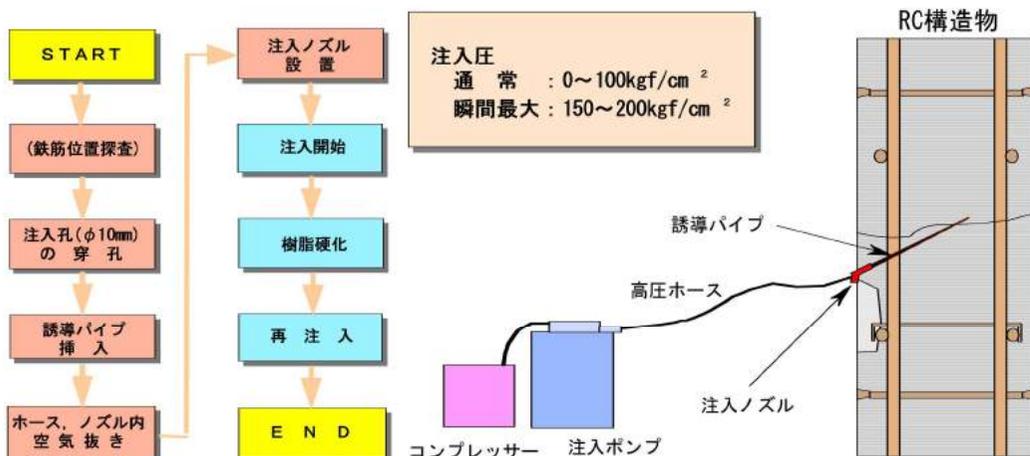


図1 施工フロー

図2 施工概要図

◇鉄筋周辺の微細な空隙にまで止水材料を充填でき、二次漏水のない止水が可能(図3、図4)。

◇止水材料を注入する際、誘導パイプを構造物内に挿入して施工するため、かぶりコンクリートを傷めず、強度や耐久性に対して悪影響しない(図5)。

◇構造物の美観を損なわない(写真1)。

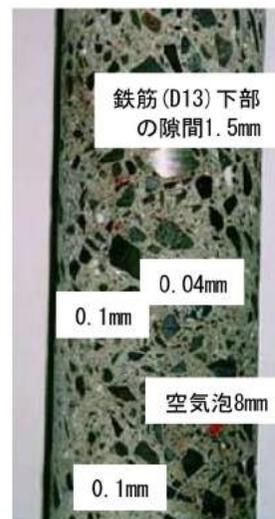


図3 注入後のコア供試体 ※0.04mmの微細ひび割れ、空隙に充填
〈赤色が着色した注入材料〉

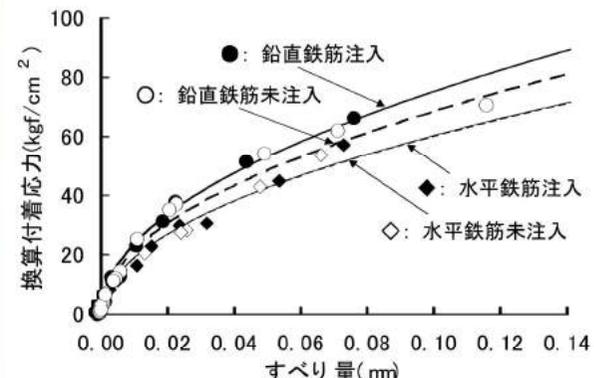


図4 注入後の鉄筋引抜き試験結果
※鉄筋周囲に充填されても鉄筋の付着強度の低下はない

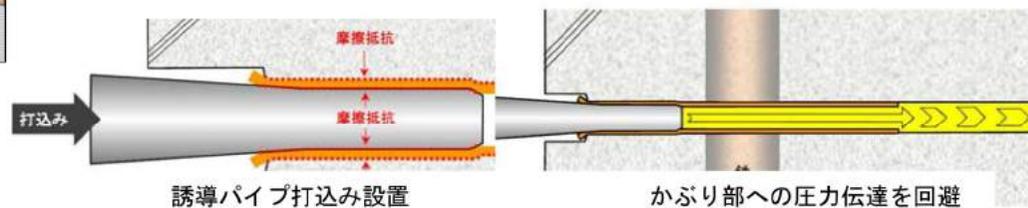


図5 誘導パイプ



写真1 施工事例

③ 補修・補強

TWS 工法

工種	要素技術	特徴と課題	備考
止水注入工	<p>TWS 工法</p> <p>誘導パイプの仕様により、コンクリートを痛めることなく、加水分解しにくい疎水性発泡ウレタン樹脂を直接注入し、漏水経路をほぼ完全に充填する。</p>	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 構造物内部の漏水欠陥に止水材料を注入するため、鉄筋周辺の微細な空隙にまで止水材料を充填でき、二次漏水のない止水が可能。 ・ 施工時における前後処理作業の削減と機械化により、工期の短縮が可能。 ・ 止水材料を注入する際、高圧が発生することがありますが、誘導パイプを構造物内に挿入して施工するため、かぶりコンクリートを傷めず、強度や耐久性に対して悪影響しない。 ・ Vカットやシーリングを行わず、注入孔もほとんど目立たないため、構造物の美観を損なわない。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 老朽化した構造物でひび割れ内部等に水垢等の生成物が発生している場合、止水効果が持続しないことがある。 	<p>鉄道、共同溝等で実績多数。</p>

③ 補修・補強

維持管理型導水樋工法

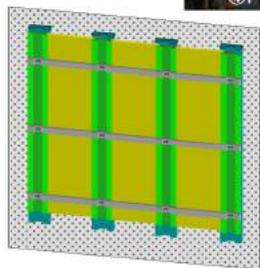
《トール・ドレン工法》

【東急建設(株)】

■技術の概要

トール・ドレン工法は、トンネル・カルバート・地下構造物等における施工ジョイント、コンクリートのひび割れ箇所からの漏水を速やかに導水処理し、目詰まりしても簡単に取り外して清掃できるため、構造物の維持管理のコスト削減が期待できます。

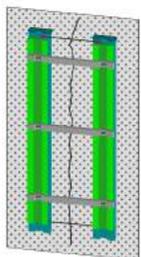
- アンカーボルトによる固定なので、短時間で施工可能
- ドレンバンドにより列車通過によりパネルが離脱することがない
- 内空断面積が大きいので目詰まりしにくい
- 取付け、一時取外し作業に熟練工が必要ない
- 多少の凹凸も適当厚のドレンシーラーの設置で漏水を防ぐ
- 遊離石灰等で目詰まりしても、パネルを取り外して清掃可能
- パネル内には汚れ防止剤が塗布されており、短時間に清掃可能
- 透明タイプは、表面(ひび割れなど)の点検確認が容易にできる
- パネルの幅を自由に選択でき、並列に組み合わせ面導水も可能
- 耐衝撃性硬質塩化ビニル製で耐久性が高い



パネルを並列させた面導水



透明パネルによる可視化



■適用工事例

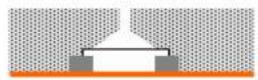
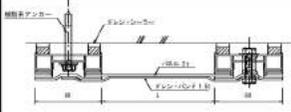


シールドトンネル



ボックスカルバート

■他工法との比較

工法	従来導水樋工法	発砲ゴム埋込導水工法	トール・ドレン工法
概要			
主要材料	硬質塩化ビニルなど	クロロプレンゴム(発泡材)	耐衝撃性硬質塩化ビニル
建築限界	数cmの厚みを持つ	表面に突出しない	数cmの厚みを持つ
施工性	アンカーボルトによる固定のみであり、簡単に施工できる。表面の凹凸が大きい場合、隙間ができて導水できない。	はつり作業等により粉じんが発生する。施工に時間が掛かる。	アンカーボルトによる固定のみであり、簡単に施工できる。独立気泡を持つシーラー材により表面の凹凸を吸収できる。
維持管理性	導水部が小さく、遊離石灰などにより目詰まりする。	導水部が小さく、目詰まりしやすい。内部の確認が難しく、取替時にゴムの切断作業が必要。	パネルを取り外して、内部を簡単に清掃できる。透明パネルにより内部確認もできる。
評価	○	○	◎

③ 補修・補強

トール・ドレン工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
樋設置工	トール・ドレン設置	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・従来のドレン材は、エフロレッセンスや鉄バクテリアによる堆積物、塩分を含む湧出物などによって目詰まりしてしまうため、撤去して取り替える必要があった。 ・新たに開発した新型ドレン材は、パネル部を取り外して清掃できることから維持管理のコストを縮減することが可能となる。 ・パネル部に透明パネルを使用することで内部の状況を目視にて確認することができる。 <p style="text-align: center;">取付け時(1連導水樋設置)</p> <p style="text-align: center;">←-----</p>	特許第 4980313 号「導水樋装置」

③ 補修・補強

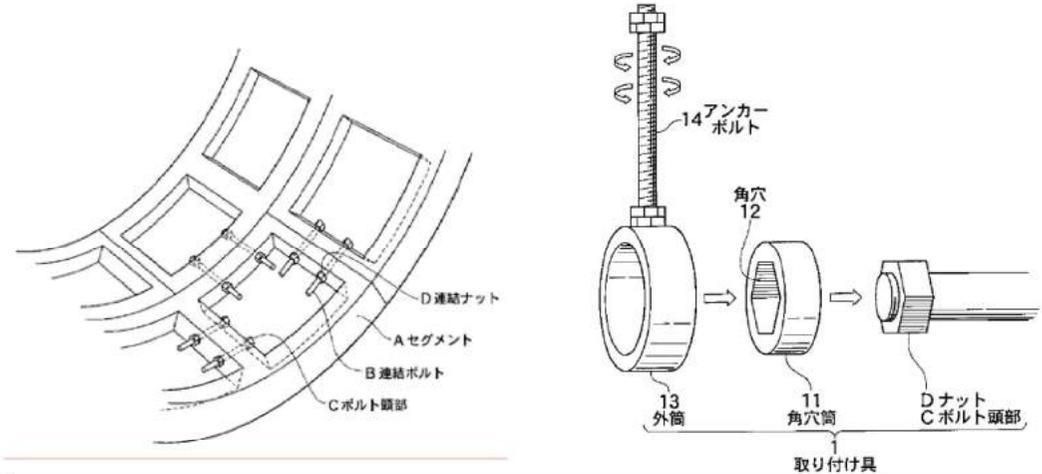
ボードによるシールドトンネルの補修・補強工法

【東急建設(株)】

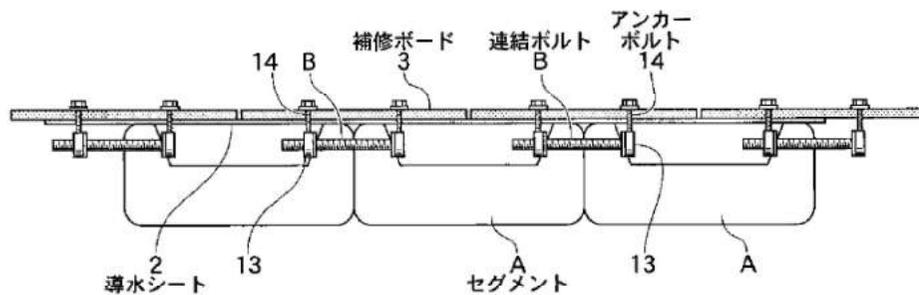
■技術の概要

- ・セグメント継手とリング継手のボルトから**特殊な治具**を用いてアンカーを取り、ボードを取り付けてシールドトンネルを**補修**または**補強**する工法。
- ・本技術のポイントは「特殊な治具」にある。
- ・「補修タイプ」はボードのみ、「補強タイプ」にはセグメントとボードの間にH形鋼などの補強鋼材を設置する。
- ・ボードは外型枠兼用になる。

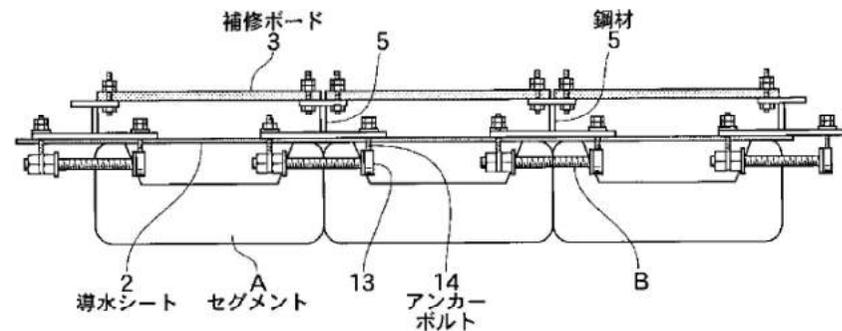
★施工順序



・セグメント継手、リング継手ともナット頭部の角度はさまざまであり、アンカーボルトを所定の位置に設置するためには、ナットの形状に合った「角穴筒」の外周にアンカーボルトが設置された「外筒」をかぶせてアンカーボルトをねじ込むことで外筒を固定する。



補修タイプ



補強タイプ

③ 補修・補強

ボードによるシールドトンネルの補修・補強工法

補修、補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
補修、補強	ボードによるシールドトンネルの補修・補強工法	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ①セグメント継手とリング継手のボルトから特殊な治具を用いてアンカーを取る。 ②アンカーの取り付けが容易で時間がかからないため工期短縮を実現できる。 ③補強鋼材の部材設計がフレキシブルなため、建築限界とボード設置スペースとの関係からをすることで狭隘なスペースでも設置可能。 ④ボードは外型枠兼用である。 ⑤ボードの内側に導水シートを貼り付けることで外水圧が作用しない。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ①二次覆工のあるトンネルへの適用。 ②鉄道の場合、鉄道設備の盛替をしながらのボード設置になる。 	

③ 補修・補強

超軽量発泡材による覆工裏込注入

《PLAM 工法》

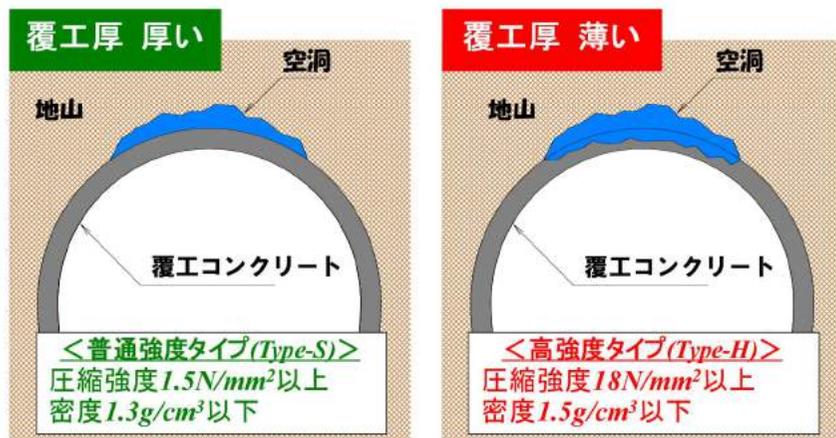
【東急建設(株)】

■技術の概要

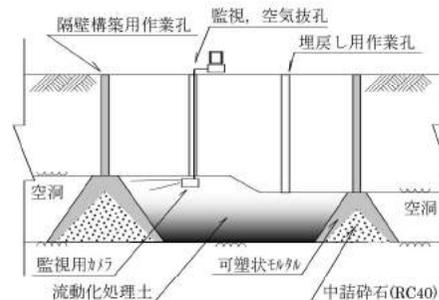
PLAM 工法は、矢板工法で構築されたトンネル覆工コンクリートの背面に存在する空洞を充填し、トンネルの安定性、信頼性を向上させる工法である。既存覆工厚が不足している場合、架線固定用アンカー等の信頼性が低くなる。本工法の適用により覆工コンクリートの健全性が大きく向上する。

PLAM 工法は、既存覆工コンクリートの厚さに応じて、充填材の性能(強度)を選択できるただ一つの工法である。

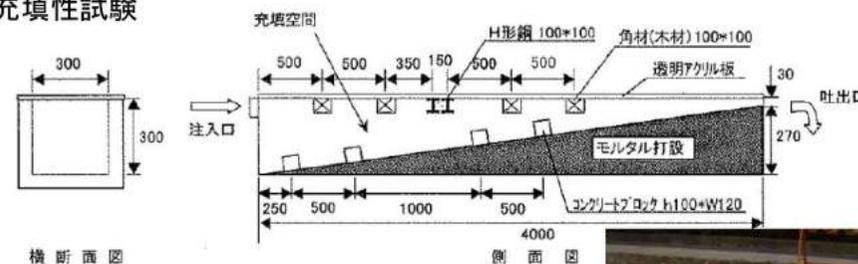
- 従来工法の充填材料の強度が地山程度の強度(1.5N/mm²)であるのに対し、必要に応じてコンクリートと同程度の強度を有する高強度タイプ(Type-H: 18N/mm²)と普通強度タイプ(Type-S: 1.5N/mm²)から選定が可能。
- 両タイプともに同じシステム(機械)で施工可能。
- 両タイプともにセメントミルクと超軽量発泡材(容積比4:1)で構成され、適切な可塑性を示し限定注入が可能。
- 水中不分離性を有する。
- 材料構成が単純であり、施工管理・品質管理が簡単。
- 「矢板工法トンネルの背面空洞注入工 設計・施工要領 NEXCO」の各種性能試験に適合。
- 既設トンネル覆工背面の充填のほか、防空壕などの地下空洞、擁壁の裏込めなどにも適用可能。



■適用工事例(地下空洞充填工事)



■充填性試験



「矢板工法トンネルの背面空洞注入工 設計・施工要領 NEXCO」の各種性能試験に適合



③ 補修・補強

PLAM 工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
<p>背面空洞充填工</p>	<p>PLAM 充填</p> <p>覆工コンクリートの厚さが設計厚以上確保されている場合は、従来工法と同等の強度が地山程度の強度普通強度タイプを選定する。</p> <p>覆工コンクリートの厚さが設計厚以下の場合は、コンクリートと同程度の強度を有する高強度タイプを選定する。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 覆工厚が極端に薄い場合(例えば 200mm 以下)、強度 1.5N/mm²程度の充填材では、架線固定用、剥落防止ネット等のアンカーの信頼性が確保されないが、高強度タイプで充填することでアンカーの信頼性が確保される。 覆工厚が極端に薄い場合(例えば 200mm 以下)、高強度タイプで充填することで覆工コンクリートの耐荷性能が向上する。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="831 695 1137 922" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1160 708 1675 1114" data-label="Figure"> </div> </div> <p style="text-align: center;">1/4モデル試験体による載荷試験</p>	<p>備考</p>

③ 補修・補強

設備の移設が不要な耐震補強技術

《TWJS 補強工法》

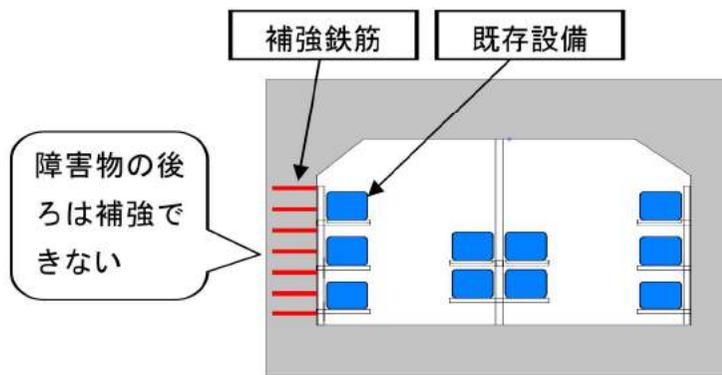
【東急建設(株)】

■技術の概要

TWJS(Tokyu Water Jet Method for Seismic Retrofitting)補強工法は、コンクリート部材にケーブル等の設備が設置されていても、設備を移設することなく、耐震補強が可能となる工法です。ウォータージェットによる狭い場所での切削と、特殊冶具を用いたせん断補強鉄筋の配置により、狭隘部での耐震補強を可能とし、設備の移設に伴う工費や工期の削減が計れる優れた工法です。

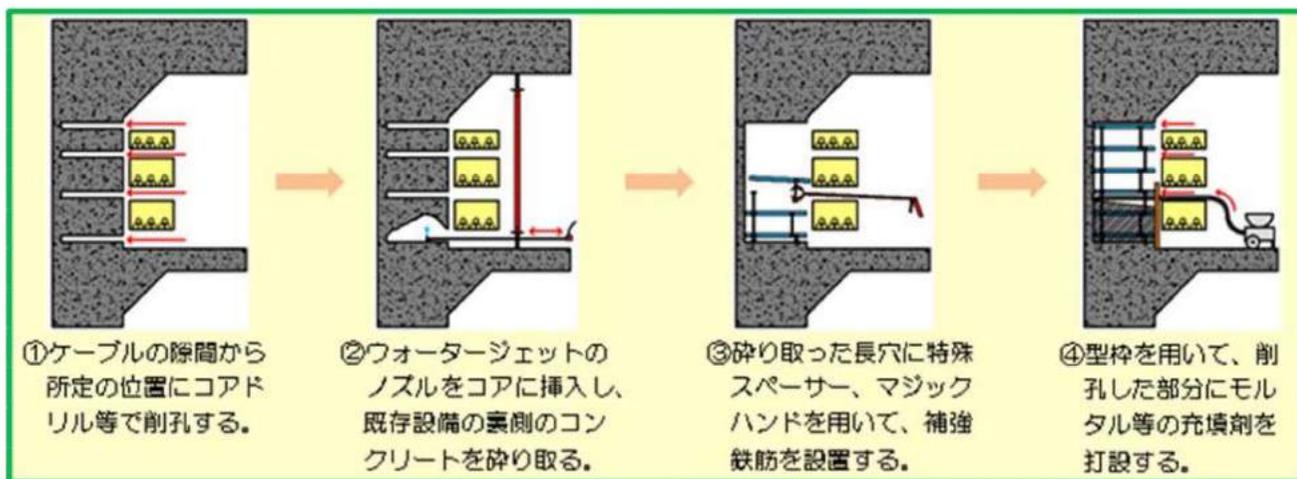


補強前の状況(共同溝)



補強例(共同溝)

■施工の手順



■施工状況



ウォータージェット砕り状況



ウォータージェット砕り完了



補強鉄筋

鉄筋設置状況

③ 補修・補強

□TWJS 補強工法（区分または要素技術名）

補強技術

工種	要素技術	特徴と課題	備考
補強技術	TWJS 補強工法 障害物を移設することなく、躯体のせん断補強を可能とする補強技術。	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・障害物の存在によりこれまで補強が困難であった部位にも補強が可能である。 ⇒構造上の弱点の解消 ・補強対象部材前面側に各種設備や障害物がある場合でも、設備を移設することなく補強が可能です。 ⇒工費および工期の削減 ・高圧水によりコンクリートを切削するため、既存鉄筋を傷つける心配がありません。また、既設コンクリートに振動や圧力が加わらないため、既設コンクリートを痛めることはありません。 ⇒品質の保持 ・補強鉄筋の形状への制約が小さいため、フックの付いた補強鉄筋を取り付けることも可能であり、十分な補強を行うことができます。 ⇒十分な補強効果 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラントを設置するためのヤードが必要である。 ・障害物の移設費用が少ない場合、移設した方が経済的となる。 ・人力施工のため、切削精度が作業員の技量に大きく関係する。 	共同溝で2件の実績あり。

■技術の概要

防水シートは、施工時の損傷や、長期的な変状による材料劣化を伴った変形や損傷が懸念される。そうした原因の一つとして、ロックボルト頭部での損傷が挙げられる。ロックボルトの頭部は突起状で、施工時に破損の原因となり易い。そこで、従来は不織布等を頭部に巻き付け、釘等で固定して保護するが、施工性が悪いことや、釘等によるシートの損傷や釘の落下による安全性能の低下が懸念される。これを解消するため、専用のキャップを用い、ロックボルトの頭部を保護する工法である。専用の保護具は、プラスチック製の丸型キャップで、ワンタッチで固定できるため、施工性は良く、安全性も高い。



■施工事例

工事名：真里谷第2トンネル工事

工期：2005年3月～2007年7月

発注者：国土交通省 関東地方整備局



ロックボルトキャップ



③ 補修・補強

ロックボルトキャップ

防水シート保護

工種	要素技術	特徴と課題	備考
防水工	<p>ロックボルトの頭部は突起状で、施工時に破損の原因となり易い。そこで、従来は不織布等を頭部に巻き付け、釘等で固定して保護するが、施工性が悪いことや、釘等によるシートの損傷や釘の落下による安全性能の低下が懸念される。これを解消するため、専用のキャップを用い、ロックボルトの頭部を保護する工法である。専用の保護具は、プラスチック製の円形キャップで、ワンタッチで固定できるため、施工性は良く、安全性も高い。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 取付がワンタッチで、施工性が良い。 ・ 固定用の釘等の治具が不用で、落下等の危険がなく、安全性が高い。 ・ プラスチック製で、耐久性に優れている。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 専用の材料を使用するため、コストがかかる。 ・ 角座金によるシートの損傷を保護できない。 	実績多数、類似工法有り。

③ 補修・補強

バサルト繊維による覆工補修・補強 《バサルト繊維補強プレートを用いた内面補強工法》

【戸田建設(株)】

■技術の概要

【バサルト繊維補強工法の特徴】

バサルト繊維補修補強工法は、帯板状のバサルト繊維補強プレートを補強材として用いた内面補強工法の一つである。鋼板接着工法やRC巻立て工法、プレキャストコンクリート板による補強法と比較して、内空への支障が小さく、プレートを任意の間隔で接着することで、施工後も覆工内面の変状を目視確認可能であるなどの特徴を有する。また、バサルト繊維で製造した剥落防止ネットを併用することで、コンクリート片の剥落を防止することができる（写真1参照）。



写真1 工法概要

【バサルト繊維プレートとは】

バサルト繊維プレートは幅50mm、厚さ2mmであり、トンネル延長方向への設置間隔として0.5~1.0mを標準としている。表1に物性一覧を示す。線膨張係数がコンクリートと同等であることや絶縁性などの特徴を有する。

表1 バサルト繊維プレートの物性（参考：炭素繊維プレート）

繊維補強材料	バサルト繊維	炭素繊維
引張強度(N/mm ²)	1,120	2,400
弾性係数(kN/mm ²)	45	156
破断時伸び(%)	3.0	1.0
線膨張係数(10 ⁻⁶ /°C)	7~8	-1.0~0.5
化学的抵抗性	○	○
電氣的性質	絶縁性	導電性

【施工概要】

表2に主な使用材料を示す。

表2 使用材料の一覧

材料名	材質・仕様
補強プレート	バサルト繊維製
剥落防止ネット	バサルト繊維製 目開 25mm
接着剤	エポキシ樹脂
固定金具	プレート SUS製 140×40×3mm ケミカルアンカー:M8mm

【施工順序】

- ①下地処理(汚れ、脆弱部の除去)とプレート位置の墨出し
- ②固定金具用ケミカルアンカーの設置
- ③不陸調整、プライマーの塗布
- ④BFPおよび剥落防止ネットの設置、固定金具設置



③ 補修・補強

バサルト繊維補強プレートを用いた内面補強工法

工 種	要素技術	現状と課題	備 考
補修補強工	<p>『バサルト繊維補修補強工法』</p> <p>トンネル覆工コンクリート内面にバサルト繊維製のプレートおよびネットを設置することで、補強効果とコンクリート片等の剥落を防止する。</p>	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バサルト繊維は玄武岩を熔融し繊維状に加工した連続繊維であり、高強度（1000N/mm²）、高耐久性、非腐食性、非電導性等の特徴を有する。 ・バサルト繊維プレートは幅 50mm、厚さ 2mm を標準とし、覆工内面円周方向に 0.5m ピッチで設置することで、無補強と比較して 1.3 倍程度の耐荷、変形性能を付与できる。また、バサルト繊維ネット（目開 25mm）を上記プレートの上に設置することでコンクリート片等の剥落を防止できる。 ・バサルト繊維プレートは円周方向に 0.5m ピッチで設置することで、施工後も覆工コンクリート表面を目視観察できるなど、維持管理上の利点もある。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現在トンネル覆工内面の補修補強工法として開発しているが、バサルト繊維プレート形状や曲げ加工等の工夫により、柱部材や梁部材等の補強へも利用することが可能であるが、この場合は製造方法の検討や補強効果の確認等が課題となる。 	<p>なお、本工法の開発は鉄道総合技術研究所との共同開発工法である。</p>

③ 補修・補強

ビロン繊維混和モルタルによる覆工吹付け

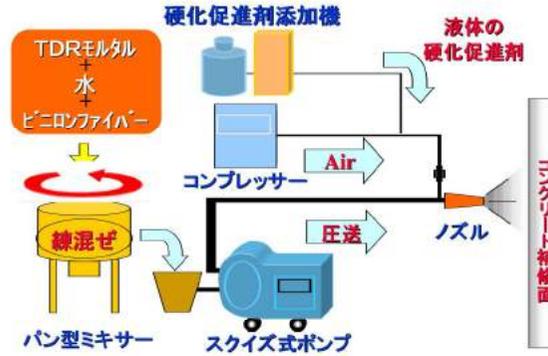
《TDRショット工法》

【飛島建設(株)】

■工法・工事概要（北九州自動車道 北41工区トンネル改築工事その1 H17.9～20.3）

本工法は、断面修復工として活用されている工法で、ポリマーを使用せずに高品質の混和材料を適性添加した、さらに液体の硬化促進剤を圧縮空気に添加することで厚付けを可能にした。

当該工事では昭和30年代に造られており、坑口の構造が擁壁構造と特殊で、さらに覆工厚さが15cmと薄く、補強を必要とした。既存の覆工壁面に樹脂塗装鉄筋を配置し、当該工法で薄肉のライニングを施工し、既存覆工の一体化を図ることで、トンネル構造の健全化を行った。



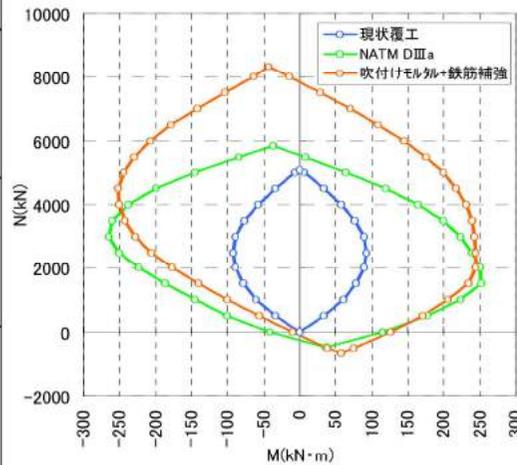
■覆工補強設計

CASE	基本条件		概略図	
現状覆工	コンクリート	設計基準強度	40 (N/mm ²)	
		覆工厚さ	150 ^(※) (mm)	
	鉄筋	なし		
N A T M	コンクリート	設計基準強度	18 (N/mm ²)	
		覆工厚さ	350 (mm)	
	鉄筋	D19@200		
吹付けモルタル + 鉄筋補強	高性能吹付けモルタル	設計基準強度	40 (N/mm ²)	
		覆工+モルタル厚さ	150 ^(※) +80 = 230 (mm)	
	鉄筋	D19@200		

※ 現状覆工厚さは、最小巻厚でモデル化した。

検討モデル

吹付けシステム



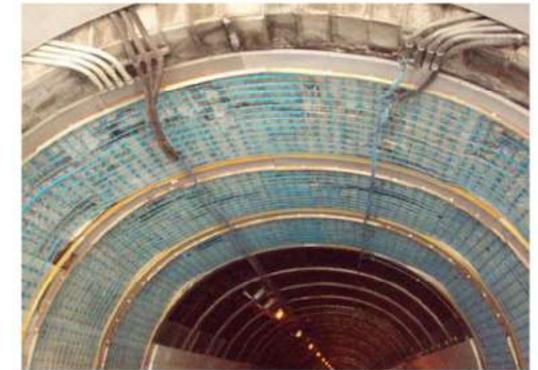
M-N耐力線比較図

坑口部の覆工厚は、設計覆工厚500mmに対し、追越し車線側の天端から肩部にかけて150～200mmの厚さの箇所が比較的広く分布しており、局所的に150mmを下回る箇所があった。NATMの坑口覆工と同等の構造性能とするため、増し厚工の耐荷力を照査している。「鉄筋配置+高性能吹付けモルタル」による補強は、NATMと許容可能な曲げモーメントがほぼ同一であり、現状覆工を補強することで、同等の耐荷力を有する構造に回復できる。また、補強部材の終局状態での一体性を曲げせん断試験で確認した。

■その他施工実績

・ 神流川沿岸農業水利事業児玉幹線改修その1工事：農林水産省関東農政局

山岳トンネル覆工面吹付け状況



樹脂塗装鉄筋配置状況



覆工補強完成状況

③ 補修・補強

覆工補修・補強技術

吹付け覆工補修

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
覆工補修	TDRショット工法 (KT-050010V)	<p>■特 徴</p> <p>以下にTDRショット工法の特徴を示す。</p> <p>①硬化促進剤を用いることで15cm程度の厚付けが可能であり、施工が効率化された。</p> <p>②早期強度の増進が早く、振動下での施工に強い。補修部材の早期の再利用にも対応できる。</p> <p>③モルタルの流動性が高く、約50mの長距離圧送ができる。</p> <p>④硬化促進剤の添加量を調整することでコテ仕上げが可能で、平滑な部材表面が形成できる。</p> <p>⑤湿式工法で粉塵・リバウンドが少なく、市街地や道路供用下での施工にも対応できる。</p> <p>⑥良質な混和材料を配合したことで、硬化収縮特性、耐久性は、ポリマーセメントモルタル（PCM）に匹敵する性能を有しています。</p> <p>⑦施工能力の向上、材料単価の圧縮により、PCMよりローコストを実現した。</p> <p>⑧従来のPCMと比較して、マクロセル腐食が発生しにくく、再劣化に対する抵抗性を有している。</p> <p>以下にTDRショットを活用した補強部材の特徴を示す。</p> <p>①荷重-変位曲線およびひび割れ発生状況より、終局状態に至るまでのどの段階においても、既存コンクリートと高性能吹付けモルタルの界面剥離は発生しない。</p> <p>②既存コンクリートを高性能吹付けモルタルで補強すれば、一体型コンクリートと同等以上の曲げ、せん断耐力を得ることができる。</p> <p>③既存コンクリートと高性能吹付けモルタルの界面剥離が発生しないことから、平面保持の仮定を用いて、曲げ、せん断耐力、変形性能を検討することができる。</p> <p>④NATMの坑口補強と同等の保有耐力を得ることができる。</p> <p>⑤断面形状に合わせた補修部材の構築が可能で、建築限界の厳しい条件で効果を発揮できる。</p> <p>■課 題</p> <p>・覆工面に漏水がある場合や壁面が排気ガス等で汚れている場合は、予め止水・導水、壁面洗浄を行う必要がある。</p>	

③ 補修・補強

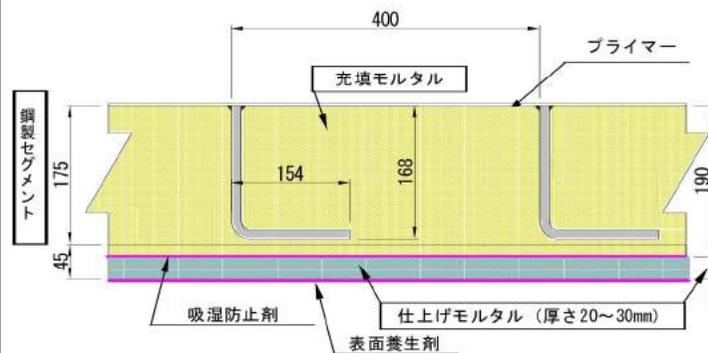
シールドトンネルの吹付け覆工技術

《TDRショットライニングシステム》

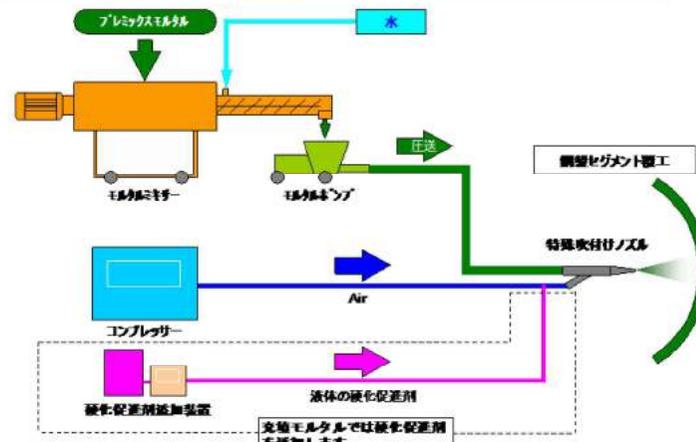
【飛鳥建設(株)】

■ 施工概要

本工法は、近年RCセグメント仕上がりが普及する中で、急曲線部、分岐合流部に適用されるかぶりの少ない鋼製セグメント区間を高性能な吹き付けモルタルでライニングする技術。表層の仕上げにシールドトンネルの用途（下水、水路、共同溝）に応じた高品質なモルタルを適用する。覆工の劣化、例えば下水の硫酸劣化を起こしているようなトンネルの補修・補強方法（管更生方法）としても活用できる。

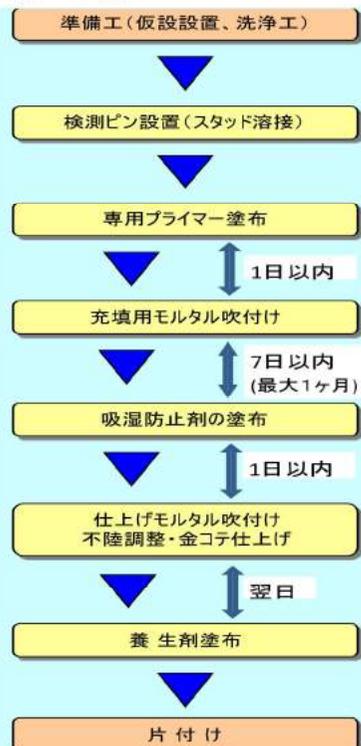


断面構成



吹付けシステム

■ 施工手順

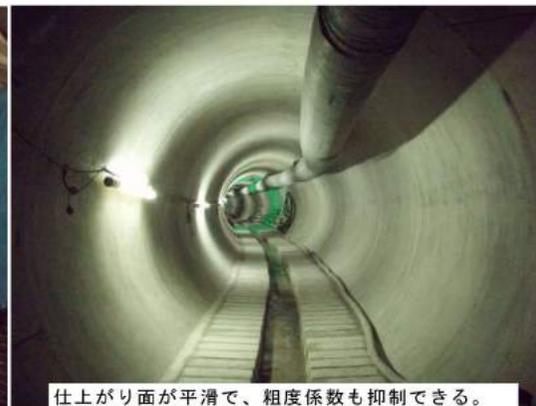


充填モルタル



耐硫酸モルタル

粉塵が少なく、吹付け状況を確認しながら施工できる。



仕上がり面が平滑で、粗度係数も抑制できる。

鋼製セグメントのリップ内は、充填モルタル（TDR充填モルタル）を吹付け・充填し、さらに表層から20～30mmまでをこの充填モルタルで吹付け、粗仕上げを行う。その後、表層の薄肉部は、構造物の目的に適應した仕上げモルタルを吹付け・左官仕上げを施す。

充填モルタルの吹付けは、大容量の吹付けを可能にする連続練りミキサとスネーク式のポンプを用い、さらに施工効率を向上させるため、吹付け直前の圧搾空気に硬化促進剤を添加し、吹付け時の厚付け性能を向上させている。

■ 施工実績 (全21件、飛鳥建設8件、他社13件)

- ・目黒側右岸低地部排水施設整備工事 (その3工事) : 東京都品川区
- ・金沢共同溝工事 (その2) : 国交省関東地整
- ・木戸排水区雨水貯留施設築造工事 : 新潟県
- ・古川地下調節池工事 (その1) : 東京都財務局
- ・尼崎市丸島雨水幹線等建設工事その1 2 : 日本下水道事業団
- ・古川地下調節池工事 (その2-2) : 東京都財務局
- ・市川市市川南7号幹線建設工事 : 日本下水道事業団
- ・善福寺流域合流改修貯留施設設置工事 : 東京都下水道局

③ 補修・補強

覆工更新技術

吹付けライニング工法

工種	要素技術	特徴と課題	備考
覆工補修	TDRショットライニングシステム	<p>■特徴</p> <p>以下に工法の特徴を示す。</p> <p>①覆工コンクリートの打設では、充填が困難な鋼製セグメントのリブ裏の充填を可能にすると共に、作業員が充填状況を確認しながら施工できる。</p> <p>②急曲線部の鋼製セグメント区間や、分岐合流部や断面変化部などの特殊な形状に対しても臨機応変に対応できる。</p> <p>③硬化促進剤の効果により、上向き吹付けでも安定した施工を可能にした。さらに硬化促進剤の添加量を調整することで、表面の仕上げ性能を確保できる。</p> <p>④表面を被覆するモルタルは、シールドトンネルの使用目的に応じ、所定の性能が得られる材料を選定する。下水施設の場合は、耐硫酸モルタル（サントイトF：吹付け用、K：コテ塗り用）、水路施設の場合は、耐摩耗モルタル（スプリードエースアクア）、共同溝施設の場合は、劣化したコンクリート構造物の断面修復材（TDRモルタル）を適用する。</p> <p>⑤連続練りミキサを用いることで大容量の吹付け施工を可能にした。また、施工設備が簡便で他工種との並行作業が可能である。</p> <p>⑥表面の仕上げ層のモルタルに予めナイロン繊維を添加することで、高いはく離・はく落抵抗性、ひび割れ抵抗性を実現した。</p> <p>■技術認証など</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2011年 コンクリート工学会技術賞受賞 ・2014年 建設技術審査証明取得 ・NETIS登録 KT-150074A ・東京都建設局新技術登録 1301011 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・管更生としては、施工箇所がドライアウト状態でなければならない。 	



③ 補修・補強

都市鉄道トンネルでの適用を目指した断面修復工法 《TDRブレイブショット工法》

【飛鳥建設(株)】

■都市鉄道トンネルの作業環境

都市鉄道の補修工事は、深夜 24 時以降の最終列車が通過後、き電停止を行い、さらに早朝 5 時前の始発電車が通過するまでに、前準備を含め、全ての作業を完了させなければならない、実質の作業は 2～3 時間しかない。また、作業完了後直ちに列車が通過するという厳しい施工環境である。

■都市鉄道トンネルにおける断面修復工事の課題

▶トンネル内での列車交差時、離反時の風圧で施工直後の補修材に危険な圧力が作用する

トンネル内で列車が交差する場合、さらに離反する場合でトンネル壁面に±10kPa 程度の圧力が作用することが検証されている。これによって施工直後の未硬化の断面修復材に危険な圧力が作用し、浮き、ひび割れ、剥落などの損傷リスクが生じ易くなる。

▶施工時間内での補修厚さの確保が難しい

鉄道函渠構造物の補修厚さは通常 100mm を超える。一般的に用いられる PCM では、一度の吹付け厚さでは約 30mm 程度の増厚が限界であり、時間をおいて何層かに分けて、所定の施工厚さを確保する方法をとる。鉄道トンネルの場合、施工時間が 2～3 時間と限られるため、その日の内に仕上がり面まで増厚することが難しく、必ず弱点となる層境が生ずる。

▶施工直後の補修部材のができない

鉄道トンネル内は橋梁下面と異なり、施工直後の養生ができない。断面修復材は、施工直後より表面から水分が蒸発します。水分の蒸発が大きいと収縮が大きくなったり、適切な水和反応が得られないために強度、耐久性などの品質が低下し、浮き・ひび割れの発生要因となる。

■技術の概要

①硬化促進剤の効果により厚付けが可能

TDRブレイブショット工法のベースとなる「TDRショット工法」は、高品質の混和材を配合した無機系プレミックスモルタルを用い、ノズル近傍にて硬化促進剤を混合し、圧縮空気により補修面に吹き付ける。硬化促進剤の効果により、モルタルが瞬時に可塑性することで補修部材の厚付けを可能にした。

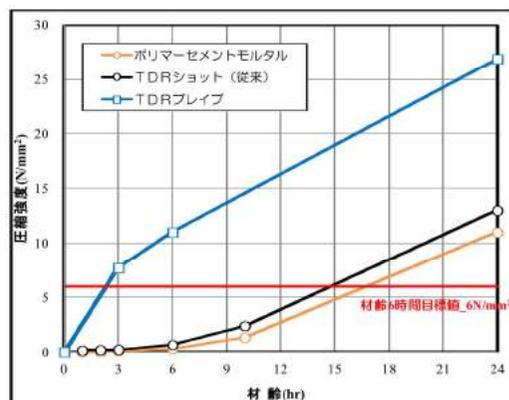
②早期の強度発現を実現

TDRショット工法のモルタル配合に、新たに高性能な急硬材（カルシウムアルミネート系）をプレミックスし、これに遅延剤（オキシカルボン酸系）を配合している。さらに、吹付け時に圧縮空気に添加した硬化促進剤（アルカリフリー液体急結剤）を混合する。左官仕上げ時間を有しつつ、3 時間で圧縮強度 6N/mm²、付着強度 0.6N/mm²を実現し、初電通過時にも十分な強度を得ることができる。強度が速く出現することで、風による初期乾燥の影響を受け難く、さらに作業完了前に被膜養生材の塗布が可能で、養生の効果が期待できる。



吹付け状況

(連続にて、施工厚さ 15cm 以上に増厚)



時間経過と圧縮強度の増進状況

(3時間で6 N/mm²)24



鉄道駅舎部の断面修復工事

- ▶構造種類/地下駅、1931年開業、函渠構造
- ▶施工環境・数量
深夜作業時間 2 時間、
初電 5 時
施工面積 40.276m²
施工数量 6.993m³
(0.54m³/日)
平均深さ 174mm

③ 補修・補強

覆工補修・補強技術

吹付け覆工補修

工種	要素技術	特徴と課題	備考
覆工補修	TDRブレイブショット工法	<p>■特徴</p> <p>以下にTDRブレイブショット工法の特徴を示す。</p> <p>①15cm程度の厚付けが可能で、1日2時間程度の作業でも仕上げ面まで施工できる。</p> <p>②早期強度発現が3時間で6 N/mm²と早い。これによって、従来、懸念されてきた以下のリスクが解決できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施工直後の列車通過時の風圧、振動に対抗できる。 ・列車風による初期乾燥を抑制でき、乾燥によるひび割れ、浮きなどのリスクが低減できる。また、膜養生材などの、乾燥防止などの手当ても可能となる。 <p>③吹付け後、15分程度の左官仕上げの時間が確保でき、平滑な仕上げ面が形成できる。</p> <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・覆工面に漏水がある場合や壁面が排気ガス等で汚れている場合は、予め止水・導水、壁面洗浄を行う必要がある。 ・既存コンクリートに潜在的なクラックが生じないように、付着面では丁寧なはつりを行う必要がある。 	

③ 補修・補強

トンネル内舗装の補修技術

《透水性レジンモルタル充填工法：パームス》

【(株)NIPPO】

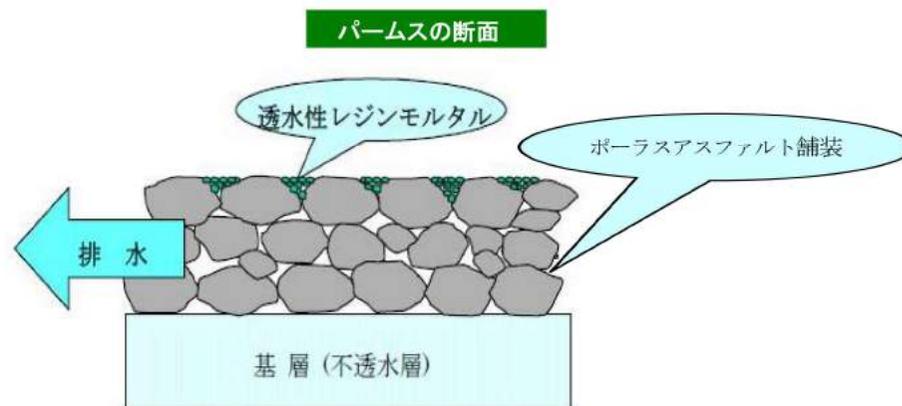
パームスとは

セラミック系人工骨材と特殊エポキシ樹脂を混合した透水性レジンモルタルを、ポーラスアスファルト舗装の表面空隙に充填する工法です。

ポーラスアスファルト舗装の骨材飛散や空隙づまりを抑制し、その機能を長期間にわたって維持することができます。

パームスの特長

- ①骨材の飛散防止: 表面空隙に充填した透水性レジンモルタルが骨材の飛散を防止します。
- ②空隙づまりの防止: 透水性レジンモルタルがフィルター層として働き、土砂の侵入を防ぎます。
- ③すべり抵抗の向上: セラミック系骨材が路面のすべり抵抗を向上させます。
- ④タイヤ騒音の低減: 細かなキメが騒音を低減します。



工事例

高速道路のトンネルにおいて、既設コンクリート舗装の改良工事にパームスが採用されました。

セラミック系人工骨材には白色の骨材を用いました。



走行車線の施工完了後

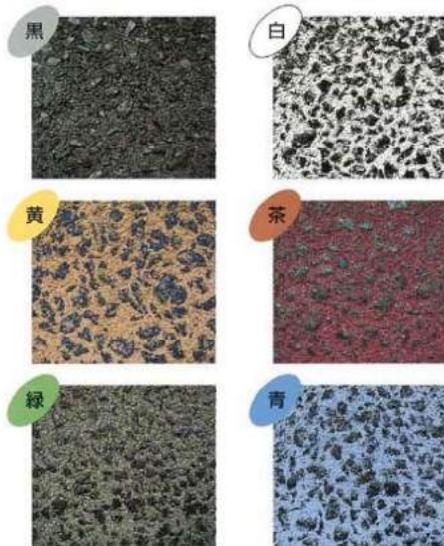
(PRMS[®]工法: Permeable Resin Mortar System)



供用約 10 年の状況 (明色性を維持)

協議会会員: NIPPO, 日本道路, 他 16 社)

カラーバリエーション



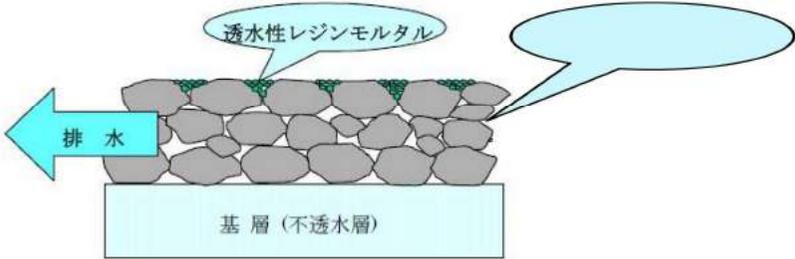
パームスの施工手順



③ 補修・補強

トンネル内舗装の補修技術

明色舗装工法

工種	要素技術	現状	備考
<p>トンネル内明色舗装</p> 	<p>透水性レジンモルタルシステム (PRMS) セラミック系人工骨材と特殊エポキシ樹脂を混合した透水性レジンモルタルを、ポラスアスファルト舗装の表面空隙に充填する工法です。ポラスアスファルト舗装の骨材飛散や空隙づまりを抑制し、その機能を長期間にわたって維持することができます。</p>	<p>透水性レジンモルタルシステムの断面と特長</p>  <p>①骨材の飛散防止:表面空隙に充填した透水性レジンモルタルが骨材の飛散を防止します。 ②空隙づまりの防止:透水性レジンモルタルがフィルター層として働き、土砂の侵入を防ぎます。 ③すべり抵抗の向上:セラミック系骨材が路面のすべり抵抗を向上させます。 ④タイヤ騒音の低減:細かなキメが騒音を低減します。</p>	<p>トンネル内明色舗装は今後、多くのトンネル内舗装で維持修繕時期を迎える状況でトンネル舗装の効果的な修繕工法です。</p>

③ 補修・補強

トンネル内舗装の補修技術

《明色トンネルシール工法》

【日本道路(株)】

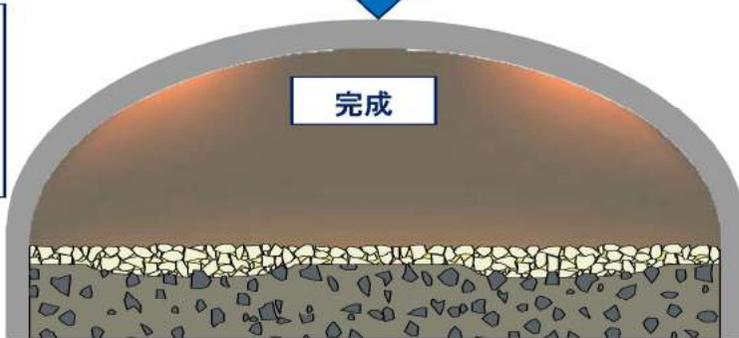
■技術の概要

ー視認性向上・工期短縮・コストダウンが期待できる、トンネル内コンクリート舗装の補修工法ー

既設コンクリート舗装
騒音の増加
輝度の低下
すべり抵抗の低下
わだちの進行



明色舗装
騒音の低減
輝度の改善
すべり抵抗の回復
わだちの解消



トンネル内の舗装は、耐久性の高いコンクリート舗装が用いられることが多いですが交通量の増大、長期供用により、路面が徐々に摩耗し、騒音の増加、すべり抵抗の低下、わだちの進行が起こり、走行時の快適性、安全性が低下し、維持修繕時期を迎えます。

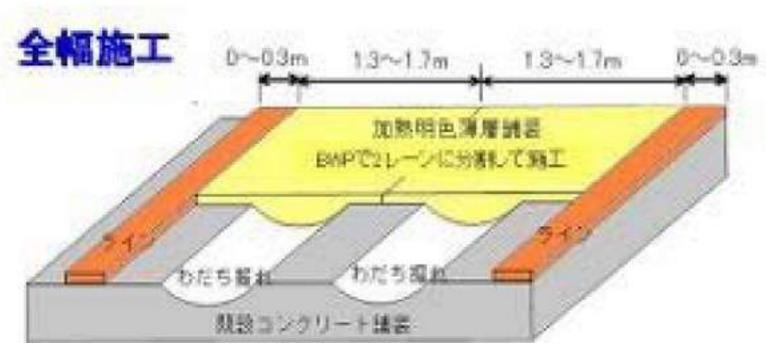
トンネル内の維持修繕工法は、作業空間、作業環境等の制約の中で工事規制期間が短く、さらには耐久性、明色性、すべり抵抗等の表層機能を満足する補修工法が求められます。

明色トンネルシール工法はこれらのニーズに応えるために開発した工法で、路面切削を行わずに薄層で施工する工法です。

施工厚さは 10～25mm 程度なので、既設路面の切削等を必要としません。そのため、建設廃材の発生を抑制でき、作業環境改善に寄与できます。

今後、多くのトンネル内舗装で維持修繕時期を迎える状況の中、トンネル内舗装の効果的な修繕工法です。

トンネル内コンクリート舗装の補修イメージ図



③ 補修・補強

明色トンネルシール

トンネル路面の修繕

工種	要素技術	特徴と課題	備考
舗装工	<p>・明色トンネルシール</p> <p>脱色バインダーと白色顔料、明色骨材などを用いて明色化したアスファルト舗装である。</p> <p>良好な明色性を有すると同時に、高い耐久性を有する舗装である。</p>	<p>■特徴</p> <p>トンネル内の舗装は、耐久性の高いコンクリート舗装が用いられることが多いが、交通量の増大や長期供用により、路面が徐々に摩耗し、騒音の増加、すべり抵抗の低下、わだちの進行が起り、走行時の快適性・安全性が低下し、維持修繕時期を迎える。</p> <p>トンネル内の維持修繕工法は、作業空間、作業環境等の制約の中で工事規制期間が短く、さらには耐久性・明色性・すべり抵抗等の表層機能を満足する補修工法が求められる。</p> <p>「明色トンネルシール」は、トンネル内路面の補修工法として、以下の特徴を有している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・薄層施工が可能なので、既設路面の切削等を必要としない。 ・そのため、廃材の発生量を抑制できる。また、粉塵等が発生しないので、施工時の作業環境改善に寄与できる。 ・コンクリート舗装のような養生を必要とせず、舗設した混合物の温度が低下すれば交通開放ができる。そのため、長期にわたる車線規制が不要となる。 ・白色顔料等の効果により、新設のコンクリート舗装と同等の明色性を有する。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アスファルトプラントからの運搬時間が長い場合（気象条件等にもよるが1.5時間を超える場合）は、所定の品質を確保しにくくなる。 ・漏水の多いトンネルでは、既設路面との接着力を確保するために、路面の乾燥等の十分な対策を必要とする。 	

③ 補修・補強

トンネル内舗装の補修技術

《明色薄層Tマックス（明色砕石マスチック舗装）》

【日本道路(株)】

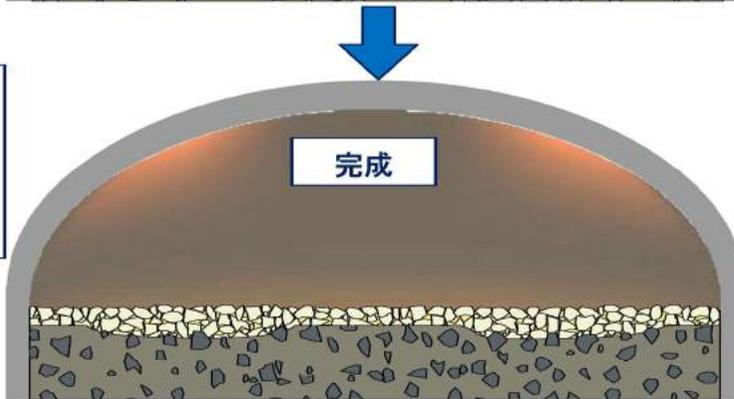
■技術の概要

ー視認性向上・工期短縮・コストダウンが期待できる、トンネル内コンクリート舗装の補修工法ー

既設コンクリート舗装
騒音の増加
輝度の低下
すべり抵抗の低下
わだちの進行



明色舗装
騒音の低減
輝度の改善
すべり抵抗の回復
わだちの解消



トンネル内の舗装は、耐久性の高いコンクリート舗装が用いられることが多いですが交通量の増大、長期供用により、路面が徐々に摩耗し、騒音の増加、すべり抵抗の低下、わだちの進行が起こり、走行時の快適性、安全性が低下し、維持修繕時期を迎えます。

トンネル内の維持修繕工法は、作業空間、作業環境等の制約の中で工事規制期間が短く、さらには耐久性、明色性、すべり抵抗等の表層機能を満足する補修工法が求められます。

明色薄層Tマックス工法はこれらのニーズに応えるために開発した工法で、路面切削を行わずに薄層で施工する工法です。

標準施工厚さは20～25mm程度なので、既設路面の切削等を必要としません。そのため、建設廃材の発生を抑制でき、作業環境改善に寄与できます。

今後、多くのトンネル内舗装で維持修繕時期を迎える状況の中、トンネル舗装の効果的な修繕工法です。

トンネル内コンクリート舗装の補修イメージ図



③ 補修・補強

明色薄層 T マックス

トンネル路面の修繕

工種	要素技術	特徴と課題	備考
舗装工	<p>・明色薄層 T マックス</p> <p>脱色バインダーと白色顔料、明色骨材などを用いて明色化したアスファルト舗装である。</p> <p>良好な明色性を有すると同時に、高い耐久性を有する舗装である。</p>	<p>■特徴</p> <p>トンネル内の舗装は、耐久性の高いコンクリート舗装が用いられることが多いが、交通量の増大や長期供用により、路面が徐々に摩耗し、騒音の増加、すべり抵抗の低下、わだちの進行が起り、走行時の快適性・安全性が低下し、維持修繕時期を迎える。</p> <p>トンネル内の維持修繕工法は、作業空間、作業環境等の制約の中で工事規制期間が短く、さらには耐久性・明色性・すべり抵抗等の表層機能を満足する補修工法が求められる。</p> <p>「明色薄層 T マックス」は、トンネル内路面の補修工法として、以下の特徴を有している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・薄層施工が可能なので、既設路面の切削等を必要としない。 ・そのため、廃材の発生量を抑制できる。また、粉塵等が発生しないので、施工時の作業環境改善に寄与できる。 ・コンクリート舗装のような養生を必要とせず、舗設した混合物の温度が低下すれば交通開放ができる。そのため、長期にわたる車線規制が不要となる。 ・白色顔料等の効果により、新設のコンクリート舗装と同等の明色性を有する。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アスファルトプラントからの運搬時間が長い場合（気象条件等にもよるが 1.5 時間を超える場合）は、所定の品質を確保しにくくなる。 ・漏水の多いトンネルでは、既設路面との接着力を確保するために、路面の乾燥等の十分な対策を必要とする。 	<p>NETIS 登録</p> <p>QS-040001-V (T マックスシリーズ)</p>

③ 補修・補強

下水管路におけるコンクリート剥落防止

《ネットバリアー工法》

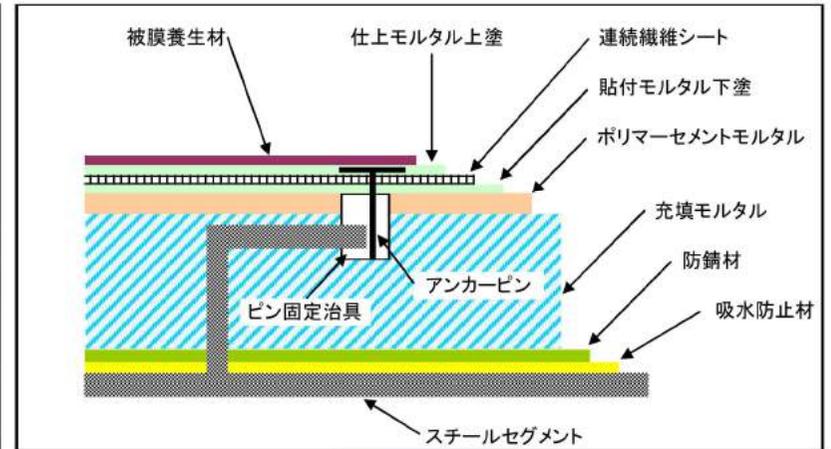
【(株)フジタ】

工事例：栄処理区東俣野幸浦線(第4工区)下水道整備工事(横浜市環境創造局)

補修に用いられるネットバリアー工法を下水管路の二次覆工(新設)として採用した。既設二次覆工やRCセグメント部の補修として実施する場合は、充填モルタルを省略することもある。



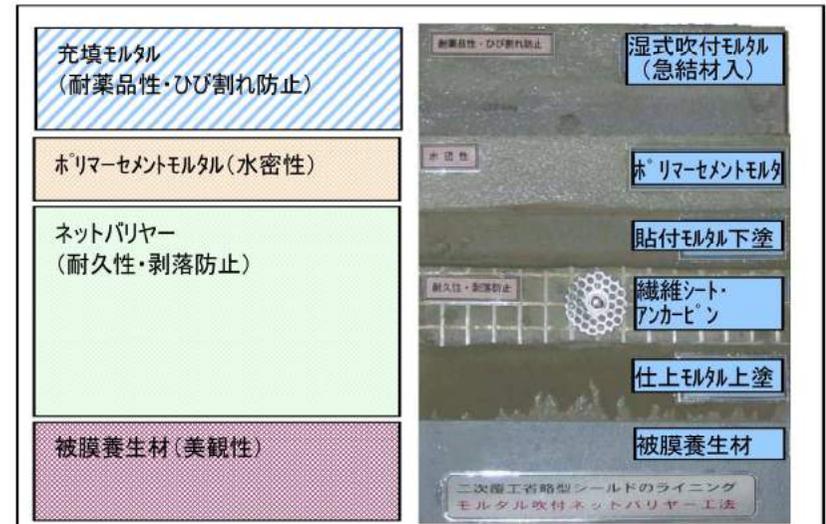
施工箇所位置図



施工断面図



施工手順



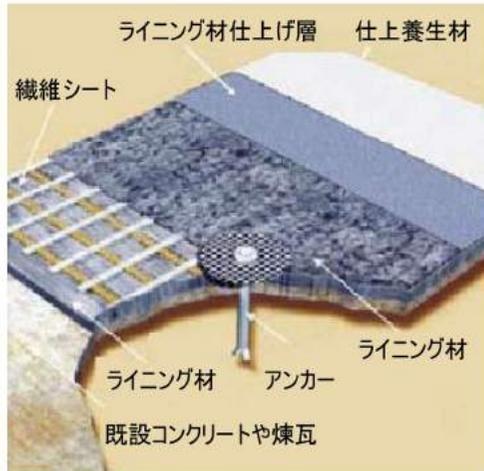
使用材料

③ 補修・補強

工事に適用した技術

劣化コンクリートの剥落防止工法

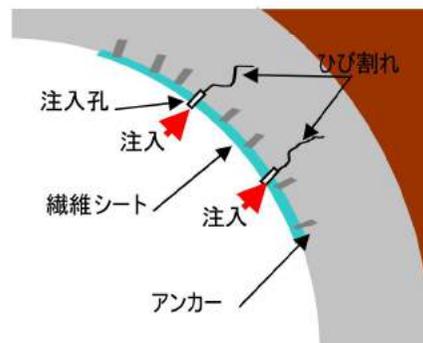
工種	要素技術	現状と課題	備考
コンクリート補修工	ネットバリアー工法 ポリマーセメントモルタルをライニング材として用い、繊維シートを接着する工法 繊維シートは、アラミドとビニロンの格子状ネットにポリプロピレンの不織布を一体化させた立体網目不織布	無機系のポリマーセメントモルタルを使用するネットバリアー工法は、樹脂系の接着剤を使用して繊維シートを接着する工法と比較すると、下記の利点がある。 ・構造物表面の小さな凹凸や段差への不陸修正が不要 ・湿度が高く表面が湿潤状態でも施工可能 ・紫外線などに対する劣化対策が不要 ・コンクリートとの界面に滞留する水分を適度に発散 ・有機系溶剤を使用していないので、人体や周辺環境に及ぼす影響が少ない 【実用化に向けた課題】 ・特になし	



工法の概要

■ひび割れの後注入も可能

■発生しているひび割れに注入処理が必要な場合には、繊維シート貼付けの際に前もって注入孔を設置しておくことで、後注入も可能となる。



後注入の施工イメージ

コンクリート劣化要因の遮断性能と試験結果

項目	中性化抑止性	水蒸気透過性	酸素遮断性	塩化物イオン透過性
試験方法	JIS A1153に準拠 (※促進10週)	JIS Z0208に準拠	ASTM D1434に準拠	JIS K5400に準拠
ネットバリアー工法	0.0 mm	1.1 mg/cm ² ・日	0.04 mg/cm ² ・日	0.0 mg/cm ² ・日
各機関の基準値	東海道新幹線	3.0 mm以下	10.0 mg/cm ² ・日	-
	JR東日本	1.2 mm以下	-	0.05 mg/cm ² ・日
	JR西日本	1.2 mm以下	-	1.0mol/cm ² ・日
	首都高速道路	1.0 mm以下	-	-
	NEXCO	-	-	-

各機関による剥落防止性能基準値と試験結果

機関名	付着強度(N/mm ²)		押し抜き荷重(kN)	
	標準養生 (材令7日)	促進耐候 試験後	基準値 (材令28日)	備考
ネットバリアー工法	2.3	2.1	2.1	-
東海道新幹線	1.0	0.7	1.5	最大荷重
JR東日本	1.0	0.7	-	最大荷重
首都高速道路	1.5	1.5	1.5	変位10mm以上
NEXCO	1.5	1.5	1.5	変位10mm以上

※各試験は、各機関が定めた基準、規格により実施

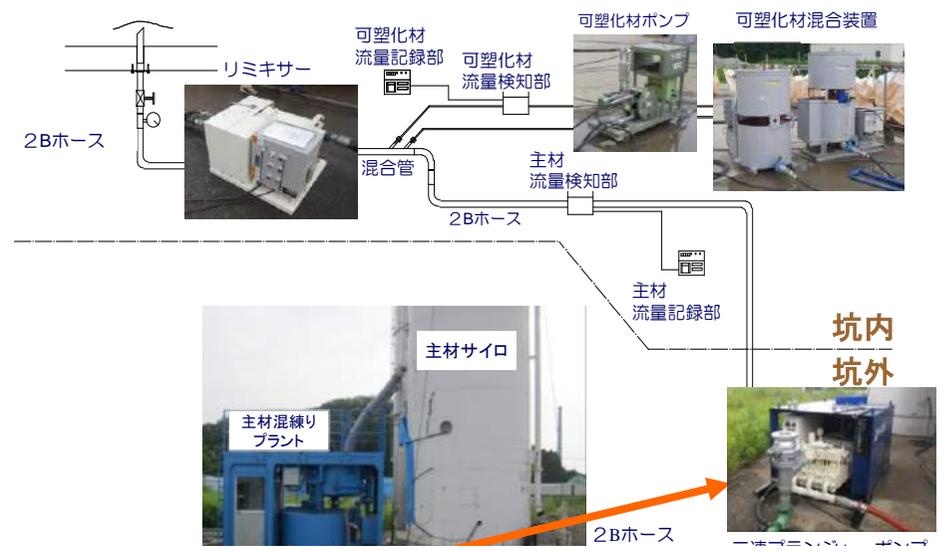
③ 補修・補強

超長距離・大容量圧送による小断面トンネル覆工背面空洞充填工法 《モール・グラウト工法》 【三井住友建設株式会社】

■技術の概要

内空断面 10m² 未満の小断面トンネルでは、大型設備を坑内に搬入できないため、トンネル覆工背面空洞の充填は坑外からの長距離圧送工法に依らなければなりません。モール・グラウト工法は、日本で始めて 3km 以上の超長距離圧送を実現した工法です。

モール・グラウト工法には、毎時 20m³ 以上の大容量 (large Quantity) 超長距離圧送性と、高い充填品質 (high Quality) を兼ね備えたモール・グラウト WQ 工法と、1 系統の混練り・圧送設備と 1 系統配管の軽設備 (Light utility) で、5km 以上の超々長距離圧送性 (Long-distance pumpability) を兼ね備えたモール・グラウト WL 工法があり、施工条件に適した圧送工法の選択が可能です。



【モール・グラウト WQ 工法システム構成図】

モール・グラウト WL 工法は、フライアッシュのベアリング工法を利用して、固化材を超々長距離圧送し、充填直前に坑内で可塑化材と可塑保持材を添加後、攪拌・混合し、充填します。

フライアッシュ材料の違いによる流動性のばらつきを調整する流動化調整剤の採用により、ほとんどのフライアッシュ材の使用が可能となりました。

③ 補修・補強

モール・グラウト工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考																																						
覆工背面空洞充填技術	可塑性充填材	<p>■特徴</p> <p>モール・グラウト WQ 工法に採用されている可塑性充填材は、下表に示されるように「矢板工法トンネルの背面空洞注工-設計施工指針：中日本高速道路株式会社」で要求される充填材品質を高いレベルで満たします。特に、固化後の溶出特性は蛇口等の水道機器と同等であることが証明されており、地下水等への環境負荷を大きく低減できます。</p> <table border="1" data-bbox="846 464 1809 967"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>規格項目</th> <th>規格値</th> <th>MOLE-Grout/WQ充填材</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">流動性</td> <td>フロー値 (静置時)</td> <td>フロー値:80~155mm (MG工法自主規格値:100±20mm) 60分後のフロー値:100mm以下</td> <td>x=105mm x=82mm</td> </tr> <tr> <td>フロー値 (打撃時)</td> <td>フロー値:130~205mm 60分後のフロー値:170mm以下</td> <td>x=171mm x=129mm</td> </tr> <tr> <td>比重</td> <td>比重</td> <td>$\rho = 1.1 \sim 1.5$ (エア系以外)</td> <td>$\rho = 1.28$</td> </tr> <tr> <td>強度</td> <td>一軸圧縮強度</td> <td>$\sigma_{28} = 1.5\text{N/mm}^2$以上</td> <td>$\sigma_{28}^{av} = 2.1\text{N/mm}^2$</td> </tr> <tr> <td>充填性</td> <td>目視観察</td> <td>容器内全体に注入材が充填され、角材やH型鋼との間にも隙間なく蜜実に充填がなされていること。</td> <td>角材やH型鋼との間も隙間な充填されている。</td> </tr> <tr> <td>非漏出性</td> <td>隙間への非漏出性</td> <td>60分経過後において5mm以下の隙間に完全流出があつてはならないこと。</td> <td>全ての空隙で完全漏出は発生しない</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">水中分離抵抗性</td> <td>濁度</td> <td>分光光度計により測定した光透過率の値により濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と投入後60分経過後の水の測定値の増減比率が±2%であること。</td> <td>Max 0.1%</td> </tr> <tr> <td>PH</td> <td>注入直後からの60分経過後のPH測定比率が±10%であること。</td> <td>Max 2.47%</td> </tr> <tr> <td>非収縮性</td> <td>収縮量</td> <td>28日硬化後の収縮量が2cm以下であること。</td> <td>Max 0.6cm</td> </tr> </tbody> </table>	項目	規格項目	規格値	MOLE-Grout/WQ充填材	流動性	フロー値 (静置時)	フロー値:80~155mm (MG工法自主規格値:100±20mm) 60分後のフロー値:100mm以下	x=105mm x=82mm	フロー値 (打撃時)	フロー値:130~205mm 60分後のフロー値:170mm以下	x=171mm x=129mm	比重	比重	$\rho = 1.1 \sim 1.5$ (エア系以外)	$\rho = 1.28$	強度	一軸圧縮強度	$\sigma_{28} = 1.5\text{N/mm}^2$ 以上	$\sigma_{28}^{av} = 2.1\text{N/mm}^2$	充填性	目視観察	容器内全体に注入材が充填され、角材やH型鋼との間にも隙間なく蜜実に充填がなされていること。	角材やH型鋼との間も隙間な充填されている。	非漏出性	隙間への非漏出性	60分経過後において5mm以下の隙間に完全流出があつてはならないこと。	全ての空隙で完全漏出は発生しない	水中分離抵抗性	濁度	分光光度計により測定した光透過率の値により濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と投入後60分経過後の水の測定値の増減比率が±2%であること。	Max 0.1%	PH	注入直後からの60分経過後のPH測定比率が±10%であること。	Max 2.47%	非収縮性	収縮量	28日硬化後の収縮量が2cm以下であること。	Max 0.6cm	
項目	規格項目	規格値	MOLE-Grout/WQ充填材																																						
流動性	フロー値 (静置時)	フロー値:80~155mm (MG工法自主規格値:100±20mm) 60分後のフロー値:100mm以下	x=105mm x=82mm																																						
	フロー値 (打撃時)	フロー値:130~205mm 60分後のフロー値:170mm以下	x=171mm x=129mm																																						
比重	比重	$\rho = 1.1 \sim 1.5$ (エア系以外)	$\rho = 1.28$																																						
強度	一軸圧縮強度	$\sigma_{28} = 1.5\text{N/mm}^2$ 以上	$\sigma_{28}^{av} = 2.1\text{N/mm}^2$																																						
充填性	目視観察	容器内全体に注入材が充填され、角材やH型鋼との間にも隙間なく蜜実に充填がなされていること。	角材やH型鋼との間も隙間な充填されている。																																						
非漏出性	隙間への非漏出性	60分経過後において5mm以下の隙間に完全流出があつてはならないこと。	全ての空隙で完全漏出は発生しない																																						
水中分離抵抗性	濁度	分光光度計により測定した光透過率の値により濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と投入後60分経過後の水の測定値の増減比率が±2%であること。	Max 0.1%																																						
	PH	注入直後からの60分経過後のPH測定比率が±10%であること。	Max 2.47%																																						
非収縮性	収縮量	28日硬化後の収縮量が2cm以下であること。	Max 0.6cm																																						
	圧送・充填機器 混練りプラント 圧送ポンプ リミキシングポンプ	<p>■特徴</p> <p>坑内に専用のリミキシングポンプを設置することで、確実な攪拌・混合を実施し、かつ注入圧・注入量を柔軟に制御できます。</p>  <p>リミキシングポンプ</p> <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大容量圧送を前提とするため混練りプラントが大型化し、資材置場と併せて 100m² 程度のヤードが必要です。このため、水路トンネル等では坑口近傍にヤードを確保することが難しい場合があります、また坑外配管が急勾配となる場合もあります。 ・リミキシングポンプに動力を供給するため 100V の電線ケーブルを敷設・撤去する必要があります。 	<p>■課題の克服</p> <ul style="list-style-type: none"> ・急勾配でも閉塞しない配管法を開発しています。 ・電線敷設作業を注工削孔作業等と並行作業かすることで、全体サイクルを遅延させません。 																																						

③ 補修・補強

極小断面トンネル内におけるロックボルト補強施工システム 《モール・ボルティング工法》 【三井住友建設株式会社】

■技術の概要

ロックボルト補強は、主要なトンネル補強工の一つでありながら、内空断面 3m² 未満の極小断面トンネルでは、既存機器が使用できないためほとんど施工されていません。モール・ボルティング工法は、極小断面トンネルでのロックボルト施工のため開発された削孔システムで、空気配管一つで打撃・回転・フィードの削孔作業、削孔機器の側方固定、削孔粉塵の集塵・浄化までを行います。

粉塵は、集塵パットを通して孔から、直接、サイクロンで集塵され、その廃棄をフィルターで浄化後、排気するため、坑内環境を清浄に保ちます。立坑からでも搬入搬出が可能な軽量・コンパクトなタイプ-Aと、全方向削孔可能で強力なエアモーター・フィードを備えたタイプ-Bがあります。

モールボルティング・システム		タイプ-A	タイプ-B
削孔装置	削岩機	YS-14 打撃数 2,300BPM 空気消費量 2.3m ³ /min ジャンク形状 22H×83mm 全長 505mm 重量 16.5kg	YS-23 打撃数 2,300BPM 空気消費量 2.9m ³ /min ジャンク形状 22H×108mm 全長 585mm 重量 23.5kg
	フィード機構	ロッドレスシリンダー機構	チェーンブロック機構 (エアモーター駆動)
	回転機構	治具交換による角度固定	減速機による自由回転
適用トンネル断面幅 B		1.3m < B < 1.6m	1.6m < B < 2.3m
推奨最大削孔長 L		L = 2.0m	L = 3.0m
可能削孔角度 δ		0 < δ < 45°	360°対応



モールボルティング工法によるロックボルト補強事例

③ 補修・補強

モール・ボルトニング工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
ロックボルトによる覆工縫付け補修	モール・ボルトニング穿孔システム	<p>■特徴</p> <p>モール・ボルトニング穿孔システムは動力や削孔水の供給が困難な極小トンネル内において、空気圧だけで無水穿孔を可能とするシステムです。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・穿孔作業、粉じん吸引、反力確保を空気圧だけで作動できるため、空気供給管敷設だけで施工が可能です。 ・無水穿孔のため削孔水が生じず、坑内汚除作業や濁水処理が不要です。 ・穿孔により生ずるクリコ等の粉じんを当社開発のサイクロン-バキューム直列式吸じんシステムで処理するため浮遊粉じんも生じず、清浄な作業環境が確保できます。 ・クロスビットの採用により矢板などの木材も穿孔できます。 ・150MPa 程度の硬岩まで穿孔実績があります。 <p>■課題</p> <p>無水削孔のため、粘土化した断層等の削孔時にフラッシングホールが閉塞することがあります。</p>	

③ 補修・補強

小断面トンネル内プレキャスト補強部材運搬・組立て工法 《モール・シールドビルダー工法》 【三井住友建設株式会社】

■技術の概要

断水・落水期間が限定される水路トンネルの内面補強工には、プレキャスト部材による施工がしばしば行われています。一般に、プレキャスト部材による内面補強工では、専用機械により部材が運搬・組み立てられますが、水路トンネルの坑口近傍には水門等の水路構造物が設置され、専用機械の搬入・搬出が行えない場合があります。また、内空断面 10m² 未満の小断面トンネル内では内燃機関の仕様も限定されます。

モール・シールドビルダーは、このような小断面水路トンネルの施工条件を考慮して開発された、専用機械を用いないプレキャスト部材運搬・組み立て工法です。着脱式車輪などの専用運搬機構・治具類の開発と、施工過程を考慮した部材への治具類取付け位置の設計により、高率な運搬・組立てを可能にしました。小型電動台車や電動ウインチ等だけで施工が可能で、ほとんどの小断面水路トンネルの内面補強工に対応できます。



(1)アーチ部材地組み



(2)着脱式車輪取付



(3)アーチ部材坑内運搬



(4)アーチ部材設置



(5)着脱式車輪回収



(6)インバート材搬入



(7)インバート材設置



(8)部材位置微調整



プレキャスト補強部材組立て終了後
(サポート材は背面充填時浮上り防止)

③ 補修・補強

モール・シールドビルダー工法

補修・補強

工種	要素技術	特徴と課題	備考
トンネル内面補強工	<p>プレキャスト部材運搬組み立てのための専用機械を不要とするために開発した運搬機構・治具類、および施工過程を考慮した治具取り付け位置設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・着脱式車輪 ・部材位置誘導治具 ・ねじり防止仮連結治具 ・裏込め注入孔を併用した治具取付け孔 <p style="text-align: center;">etc</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・着脱式車輪の装着により、専用台車が不要です。 ・運搬時にねじりの発生しない仮連結治具の開発により、組立精度を保持したままプレキャスト補強部材を坑内運搬できます。 ・誘導治具の採用により、設置精度の向上と設置作業の省力化が可能です。 ・一日に10基(約20m)以上のプレキャスト補強部材の運搬組立てが可能です。 ・PC版、鋼板を問わず全てのプレキャスト補強部材の運搬組立てに適用できます。 <p>■課題</p> <p>現時点では、人力に頼る苦渋作業がまだまだ残るため、動力利用による省力化・自動化を志向しているが、狭小な坑内での重量物運搬・組立作業であるため、油圧機器や電動機器を安易に導入すると、事故、特に挟まれ事故を誘発する可能性が高い。</p> <p>安全性を確保した上での、動力の利用を種々検討している。</p>	<p>民間発電水路補修工事において、毎年暗渠部を毎年約50m区間程度、7年連続して補強しています。毎年の施工期間は5日程度で、今後も継続して3.7kmの水路のリニューアルをお手伝いして行きます。</p>

④ 更 新

プロテクターを使用したトンネル活線拡幅

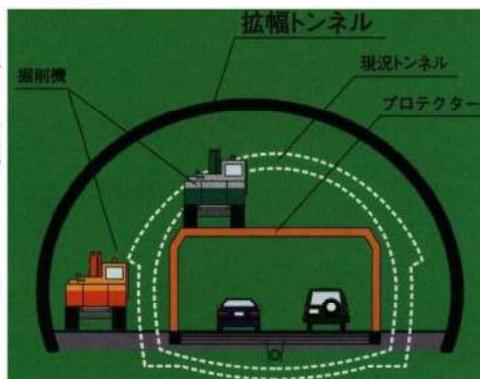
【安藤ハザマ】

■工事例：北九州高速4号線 大蔵トンネル拡幅工事

— 日本初の2車線高速道路トンネルの3車線化 —

交通渋滞と新たな路線からの乗り入れに対応するため、トンネルの上り2車線をそのまま使いながら3車線に更新する拡幅工事です。トンネル坑内に車両保護のためのプロテクターを設置し、プロテクターの周囲を掘削するという斬新な工法と二重三重の安全管理体制によって、自動車専用道路では日本初となる2車線供用下でのトンネル拡幅工事を実現しました。

(平成15年2月竣工)



トンネル断面の拡幅方法

■工事例：県道81号線(市原天津小湊線)札郷トンネル拡幅工事

— 狭隘トンネルの拡幅 —

大型車の通行が不可能であった狭隘トンネル(高さ3m、幅員3m制限)を、2車線、歩道付きのトンネルに更新する拡幅工事です。拡幅トンネルの掘削中は、既設トンネル内に設置したプロテクターで交通を確保しました。本拡幅工事により、特に紅葉狩りなどの観光時期に問題となっていた県道81号線の交通渋滞の緩和が見込まれています。

(平成17年3月竣工)



既設トンネルと拡幅断面(着工前)



プロテクターの搬入状況



プロテクター設置完了



プロテクターの設置状況



掘削中の坑口状況



拡幅トンネルの坑内状況(掘削完了時)



拡幅トンネル坑口(左上:拡幅前)



拡幅トンネルの掘削状況

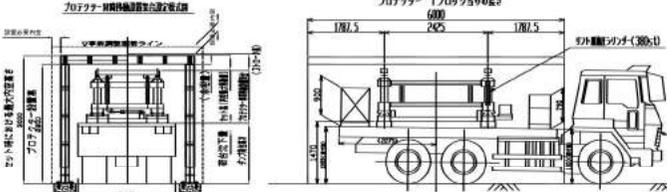
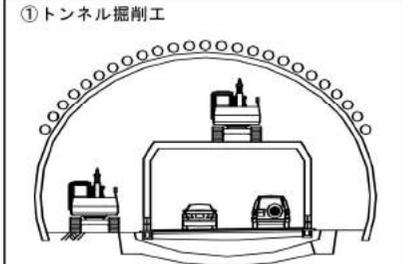
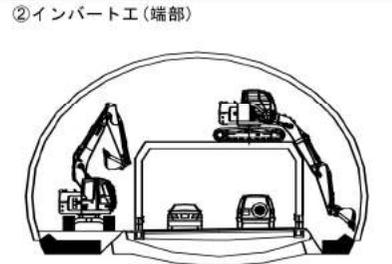
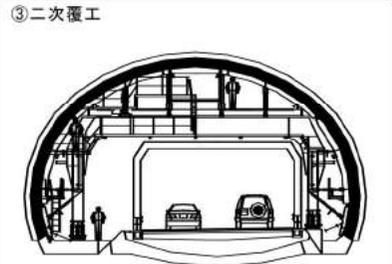


拡幅トンネル坑口

④ 更 新

道路トンネルの活線拡幅

施工方法

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
活線拡幅工事	プロテクター設置	<p>■特 徴 坑外で組み立てたプロテクターを、専用車両を用いて坑内に搬入し設置する。 プロテクターの大きさ（内空断面）によっては、特殊な車両が必要な場合がある。</p>   <p>ユニットドーリ（大蔵トンネル）</p> <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プロテクター設置作業中は、車両通行止めとする必要がある。 ・設置作業中は夜間通行止めにする例が多いが、1日の施工数量について綿密に検討する必要がある。坑外の施工ヤードの広さにより施工数量に制約が生じる場合がある。  <p>特殊ジャッキを装備した10t ダンプトラック（札幌トンネル）</p>	
掘削		<p>■特 徴 プロテクターの外側でトンネル掘削を行う。</p> <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プロテクター外側の掘削作業に必要なスペースを考慮して、新設トンネルの断面を検討する必要がある。 ・掘削中の一時的な車両通行止めが不可能な場合には、発破掘削が適用できない。このため、硬岩地山では割岩工法を適用する必要がある。 ・プロテクターの左右の掘削は、特に狭隘な空間での作業になるため施工効率が大幅に低下する。 	
覆工・インバート		<p>■特 徴 掘削完了後に、覆工コンクリートとインバートの施工を行う。</p> <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・インバート、覆工、プロテクター撤去の順序について検討する必要がある。  <p>①トンネル掘削工</p> <p>施工時期：2001年2月12日～9月22日 施工時間：昼夜 交通規制：なし 車線：切り直しなし</p>  <p>②インバート工（端部）</p> <p>施工時期：10月3日～11月2日 施工時間：昼夜 交通規制：なし 車線：切り直しなし</p>  <p>③二次覆工</p> <p>施工時期：2001年11月31日～2002年4月13日 施工時間：昼間 交通規制：なし 車線：切り直しなし</p> <p>大蔵トンネルのインバートと覆工の施工順序（覆工完了後にプロテクター撤去）</p>	

④ 更新

硬質塩化ビニル材による既設下水道内側への製管

《SPR工法》

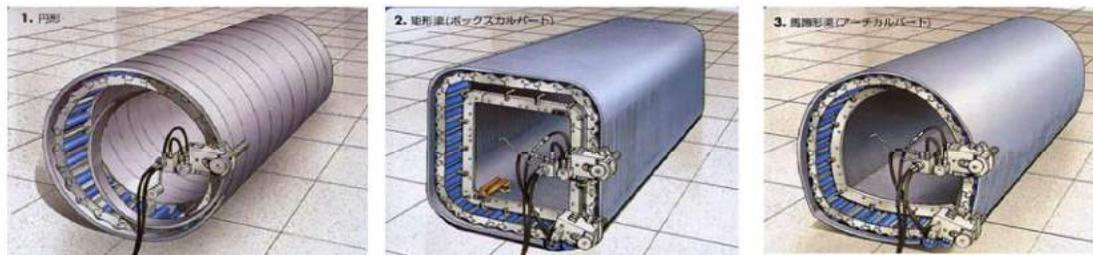
【安藤ハザマ】

■技術の概要

SPRとは『Sewage Pipe Renewal』の略で、硬質塩化ビニル製のプロファイルという材料を使用し、更正管として既設下水管の内側に製管する工法です。製管方式には「自走式製管方式」、「元押し式製管方式」の両方式があり、現場の状況に応じて選択します。

工法の特徴

- ・ 非開削で施工できる。
- ・ 下水を通水しながら施工できる
- ・ 長距離・曲線施工に対応できる。
- ・ 円形、矩形、馬蹄形などあらゆる断面形状に適用できる。
- ・ 更生後の流下能力は、更生前の設計流量と同等以上に復元することが可能。
- ・ 更生後の管渠強度は新管と同等以上に復元することが可能。



円形

矩形

馬蹄形



①施工前



②製管状況

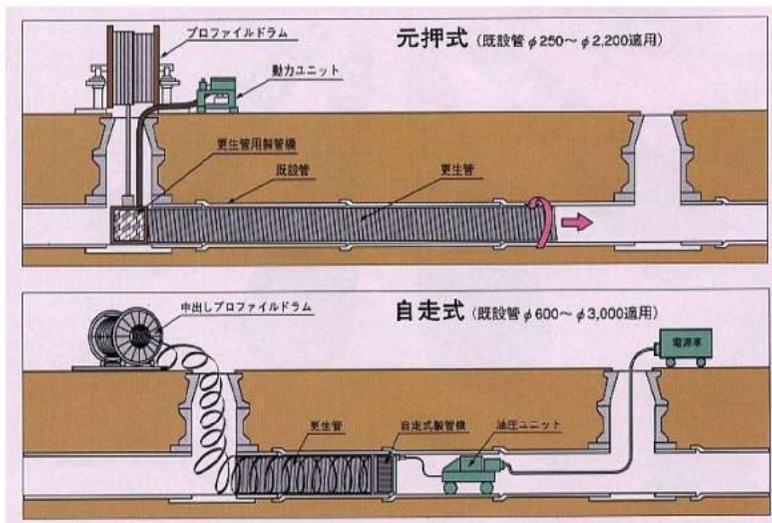


③浮上り防止兼用支保工



④施工完了

SPR工法 施工順序



SPR工法 概要図

④ 更新

SPR工法

管渠更生

工種	要素技術	特徴と課題	備考
管渠更生	SPR工法	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンパクトな製管機を既設人孔の中に入れて製管するので、非開削で施工できる ・下水を通水しながら施工できる（管径の30%程度まで）。 ・円形、矩形、馬蹄形などあらゆる断面形状に適用できる。 ・長距離・曲線施工にも対応できる。 ・製管を任意の位置で、停止・再開ができるため、施工時間の制限に柔軟に対応できる。 ・更生管・裏込め材・既設管を一体化した複合管は、耐久性に優れ、新管と同等以上の強度に復元することが可能。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・降雨時の安全対策 ・布設コストの低減 	

■技術の概要

工事例：一般国道 336 号えりも町第 2 宇遠別トンネル工事（国土交通省北海道開発局）

大雨や雪崩等による岩盤崩壊等の危険箇所解消（既設トンネルの終点側抗口付近）を目的として、3,215m の既設トンネルを延長 4,941m のトンネルに延伸。
 常時一般車両の通行を確保しながら既設トンネル内に分岐部を施工し、起点側（分岐部）および終点側より 1,927m の新トンネルを施工して一体化。
 トンネルによる道路改良において、既設トンネルを利用したい場合や坑口を確保できないケースに有効。

トンネル位置図

施工手順

【既設トンネル】
拡幅区間・超近接区間
既設トンネル仮設備移設

【既設トンネル】
拡幅区間・超近接区間
補強ロックボルト打設
固定式プロテクタ設置

【拡幅区間】
移動式プロテクタ設置

【拡幅区間】
移動式プロテクタを利用
既設トンネル覆工撤去

【拡幅区間】
分岐部 2-① ⇒ 2-③
移動式プロテクタを利用
拡幅部機械掘削・支保

【拡幅区間】
移動式プロテクタ撤去

【超近接区間・近接区間】
新設部機械掘削・支保
制御発破掘削・支保

【新設トンネル】
起点側・終点側より
発破掘削・覆工・舗装

【新設トンネル】
新設トンネルへ交通切替

【拡幅部】
拡幅部 2 次覆工

完了

分岐部姿図

分岐部断面図

施工状況

トンネル諸元

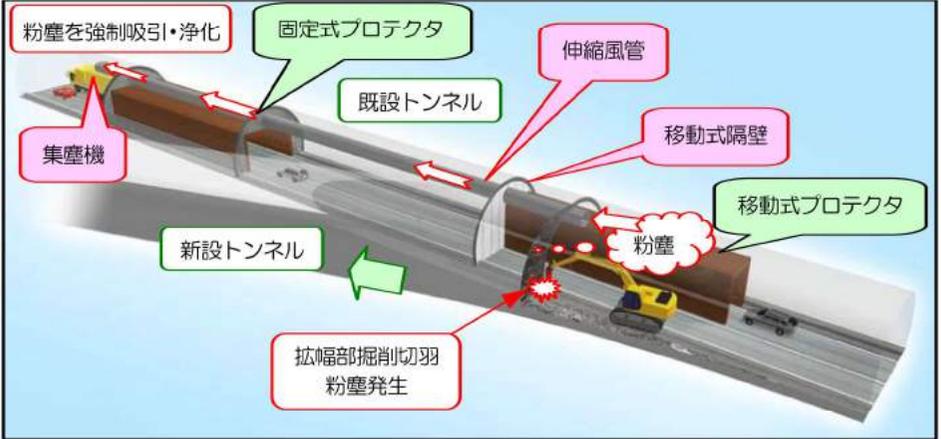
- ・既設トンネル: 3,215m (宇遠別トンネル、NATM 工法)
- ・新設トンネル: 1,927m (第 2 宇遠別トンネル工事、NATM 工法)
- ・工事完成後: 4,941m (えりも黄金トンネル)
- ・仕上り内径 R1=4.80m、仕上り内空断面積 52.6~73.5m²
- ・掘削方式：拡幅部: 機械掘削、新設部: 発破掘削
- ・地質：ホルンフェルス
- ・施工時期：平成 19 年 3 月～平成 21 年 2 月

黄金道路
写真①(既設トンネル終点側抗口状況)

④ 更新

トンネル内での活線分岐

トンネル更新

工種	要素技術	特徴と課題	備考
<p>活線分岐工事</p>	<p>1 般車両の通行・安全性確保</p> <ul style="list-style-type: none"> ・移動式プロテクタ (L=24m) で常時 1 車線の一般車両通行を確保しながら、順次拡幅部を掘削。 ・発破バルーンによる隔壁を新設トンネル入口に設置し、新設部トンネルの発破掘削時に飛石や粉塵・ガスが一般通行車線に流入することを防止。 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>移動式プロテクタを専用トレーラーで短時間に搬入</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>移動式プロテクタの設置完了</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>発破バルーンにより、新トンネル発破時の飛石を防止</p> </div> </div>	<ul style="list-style-type: none"> ・プロテクタの天板部・側壁部に鉄板を隙間なく設置することで、掘削ズリやコンクリート片の通行車両上への落下を防止。 ・容易に移動可能な発破バルーンを採用することで、分岐部から 250m までの新設トンネルの発破掘削時における飛石の防止。
<p>既設トンネルの坑内環境維持</p> <ul style="list-style-type: none"> ・移動式隔壁を移動式プロテクタ端部に設置して拡幅部掘削切羽で発生した粉塵が拡散するのを防止。 ・集塵機を使用し、移動式風管に設置した伸縮風管を通して粉塵を強制吸引して浄化。 	<p>トンネルの安定性確保</p> <ul style="list-style-type: none"> ・拡幅部では既設トンネルへ動的（発破）影響を抑制するためブレーカによる機械掘削を採用。 ・超近接区間における新設トンネルでは制御発破を併用した機械掘削を実施。 ・各種自動計測によりトンネル安定性の確認を実施。 	<div style="text-align: center;">  <p>粉塵を強制吸引・浄化 固定式プロテクタ 伸縮風管 移動式隔壁 移動式プロテクタ 既設トンネル 新設トンネル 集塵機 拡幅部掘削切羽 粉塵発生</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>拡幅部施工</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>超近接施工</p> </div> </div> <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・狭隘な箇所から扁平大断面まで変化する分岐拡幅部に対する施工機械の最適化 ・扁平大断面における合理的設計手法 	<div style="text-align: center;">  <p>伸縮風管 移動式隔壁 移動式プロテクタ</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ・拡幅施工箇所（移動式プロテクタ端部）に移動式隔壁を設置し、伸縮風管付き集塵機で施工箇所の粉塵を強制的に吸引処理し、車道部粉塵濃度は 0.5mg/m³ を確保。 ・A 計測 5m 間隔、B 計測 3 断面実施による自動計測管理。 ・固定式プロテクタに応力計を設置し、超近接区間掘削時の既設トンネルへの影響を監視。

■URUP 工法の概要

URUP(Ultra Rapid Under Pass)工法は、地上からの発進・地上への到達(低土被り施工)を実現することにより、立坑・開削工事が不要となり、アプローチ区間を含めたトンネル全線の連続施工が可能な工法である。また、立坑・開削工事が不要なため、工期が大幅に短縮できる。その結果、工事による交通渋滞、騒音・振動などが低減され、環境負荷を小さくすることができる。さらに、シールドトンネル断面形状は、用途と条件に応じた選択が可能である。

■アクセス通路 新設工事への適用

近年、既設構造物の維持・更新・高機能化など、様々なニーズによってリニューアル事業が行われている。一例として、地下駅等のアクセス通路増設工事へのURUP工法の適用が考えられる。

URUP工法は、地上から直接発進し、低土被り区間も特別な防護工を必要としないため、地上構造物・交通への影響を最小限にすることができる。地下構造物周辺においては、トンネルの到達口を作る等の必要最小限の対策をすることにより、地下構造物の機能を生かした状態で施工が可能である。

下図にアクセス通路の施工および完成イメージを示す。



地下駅アクセス通路 施工および完成イメージ図

《URUP工法の施工実績》

【中央環状品川線大井地区トンネル工事】

中央環状品川線のうち橋梁構造の大井ジャンクションとトンネル構造の中央環状品川線とを接続する工事

発注者：東京都
 施工場所：東京都品川区八潮一丁目地内
 シールド外径：φ13,600mm
 シールド延長：886m(336m+550m)



工事概要図



シールドマシン設置



地上発進状況



地上到達状況



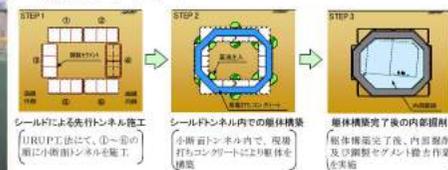
掘削土 塑性流動状況

施工実績：中央環状品川線大井地区トンネル工事
 特徴：地上発進・地上到達、低土被り、Uターン施工

【東関東自動車道谷津船橋インターチェンジ工事】



＜施工ステップ＞



STEP 1 シールドによる先行トンネル施工 (URUP工法にて、①～④の間に小断面トンネルを施工)

STEP 2 シールドトンネル内での躯体構築 (小断面トンネル内で、現業打ちコンクリートにより躯体を構築)

STEP 3 躯体構築完了後の内装掘削 (躯体構築完了後、内装掘削及び鋼製セグメント敷き作業を実施)



トンネル貫通後 内部躯体構築完了



竣工

施工実績：谷津船橋インターチェンジ工事
 特徴：分割掘削・切り上げ、低土被り、Uターン施工、超近接施工

④ 更新

URUP 工法

地下駅等へのアクセス通路増設工事への適用（リニューアル工事）

工種	要素技術	特徴と課題	備考
非開削工法	URUP工法	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・【地上発進】 立坑・開削工事を行わないので、工事による交通渋滞や騒音・振動を最小限にすることができる。 ・【掘削断面の自由度】 掘削断面を目的構造物の形状に合わせた最適断面に設定することが可能である。 ・【小土被り掘進】 きめ細かい掘進管理を行うことにより、小土被り掘進を可能にし、地上構造物への影響を低減することができる。 ・【近接施工】 きめ細かい掘進管理を行うことにより、既設構造物への近接施工も可能である。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地下駅側にシールドマシン到達用のスペースが必要である。 ・地下駅周辺には地下埋設物が多く、施工前に防護または移設等の検討が必要である。 	<p>当社特許(特許第 4165531 号) NETIS : KK-050117-A 2011 年 土木学会賞 技術開発賞</p>

■技術の概要

工事例：(高負) SJ21 工区～SJ23 工区既設とう道撤去工事 (首都高速道路公団)

昭和 45 年に施工された「とう道」(直径約 3.3m、延長約 1,000m、電話線等収容トンネル)が、首都高速道路中央環状新宿線工事において本線シールドマシンが通過するルートに存在しており、工事の支障となっていた。本工法は、当工事のために開発された世界初のバックフィルシールド工法であり、今後見込まれる老朽トンネル等の更新事業において有用な技術である。(三井住友建設(株)との共同研究)

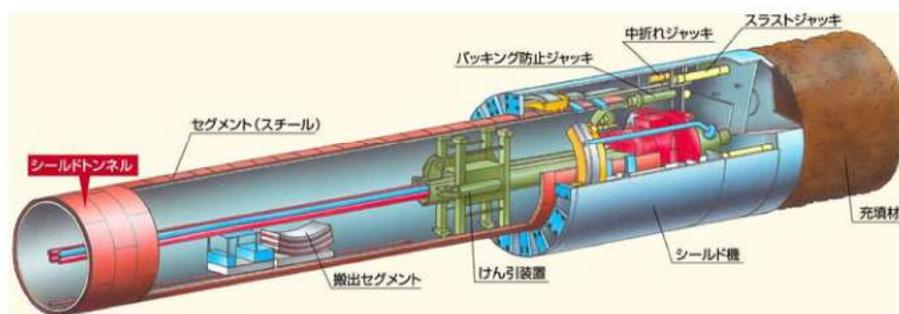
■工事概要図



地質縦断面



本線トンネル工事と既設トンネルの支障イメージ図



シールド機概要図

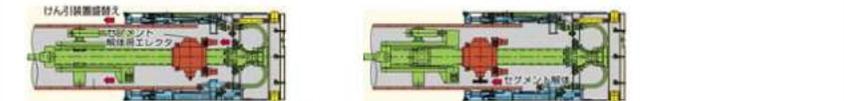
■施工サイクル図



I 掘進準備
切羽の泥水圧力を保持するために設けた、セグメントとシールド機間の2列の加圧式シールドにおいて、後部の掘進用シールドを拡張し、前部の盛替用シールドを収縮します。続いて、切羽面と充墳面の面積差によるシールド機の自走を防止するため、バックリング防止ジャッキをセグメント端面に押し付け、前胴掘進の反力となるけん引装置を固定し、切羽への泥水循環を行った後、カッタを回転させます。

II 前胴掘進
けん引固定された後胴を反力にし、スラストジャッキを伸張し、前胴を掘進させます。この掘進速度に同調させて、バックリング防止ジャッキを締め方向制御を行うとともに、泥水圧力を保持している後部の掘進用シールドをセグメントに固定装置するために、シールドリングジャッキを同様に伸縮させます。

III 後胴掘進・充墳材注入
掘削完了後、背面に充墳材をくまなく注入しながら、けん引装置により後胴を引寄せます。けん引速度は、注入量に同調させ、けん引ジャッキを伸張させながらスラストジャッキを収縮させます。この際、泥水保持のシールドは前部の盛替用シールドを拡張し、後部の掘進用シールドは、掘削による損傷を防止するため収縮させて、前方へ盛替え後、拡張します。



IV けん引装置置き換え・セグメント解体準備
充墳材注入、後胴掘進を完了後、次の掘進サイクルに備え、けん引装置をリング分前方へ盛替えます。また、機内スペースを確保するため、後方に格納しているセグメント解体用のエレクタを、解体場所へ移動します。

V セグメント解体・搬出
スチールセグメントの解体は、K ビース、B ビース、A ビースの順に、1 ビースずつボルトを外し解体します。解体したセグメントは、エレクタ装置の自走機能で前方に搬出。セグメント解体時間を充墳材の養生時間とし、解体中も背面に変状を与えないよう、けん引装置で固定します。

■二次覆工コンクリートこわし <中硬岩掘削機(ミゼットマイナー)>



「とう道」撤去に先立ち、「とう道」内の二次覆工を撤去する中硬岩掘削機・ミゼットマイナー。二次覆工コンクリート巻き厚(300mm)の内、セグメントの内側(約 175mm)を撤去するものです。

■ボルト部はつり機 <スパイキハンマー>

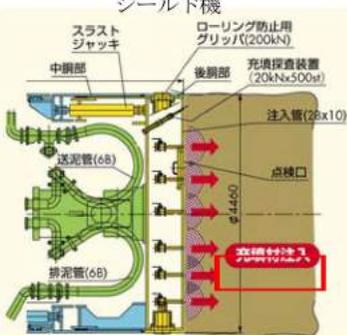
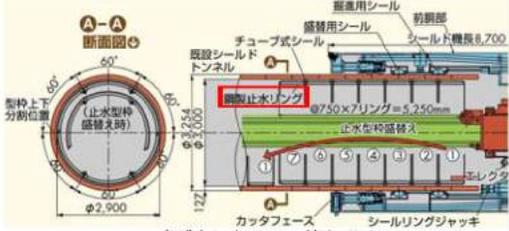
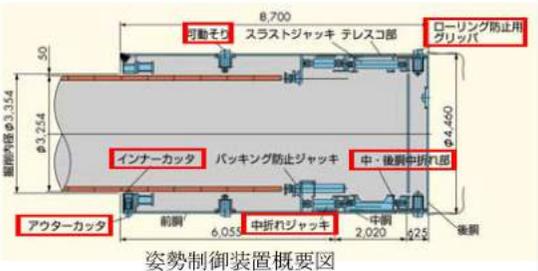


セグメント撤去工事の省力化と安全性を追求し開発されたスパイキハンマー。中硬岩掘削機・ミゼットマイナーが二次覆工コンクリートを切削した後、スチールセグメントとボルト周囲のコンクリートを事前に露出させ、効率よくボルト出しができるようにボルトの回りを4本のチップを埋め込んだロッド式のハンマーを圧縮空気で打撃を行い、φ70mmの穴をあけます。その後、穴の周囲を人力にて整形し、ボルトを出します。スチールセグメントまで貫通させないように制御装置を組み込んであります。

④ 更新

バックフィルシールド工法

既設トンネルの更新

工種	要素技術	特徴と課題	備考
既設トンネル撤去工	バックフィルシールド工法	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 【推進反力】 特殊けん引装置を装備しています。<u>けん引反力受爪</u>をセグメントに引っ掛けて、<u>センターホールジャッキ</u>にて、<u>けん引伝達ロッド</u>を把持して推進します。 【土水圧対策】 泥水輸送自動制御装置により、土水圧を制御します。シールド機内面とセグメント間に設ける2列の<u>加圧式シール</u>(<u>掘進用シール/盛替用シール</u>)により、圧力を保持します。 【埋戻し】 掘削終了後、掘進により前進した前胴と中胴に、後胴を引き寄せながら、後胴端部の注入孔より注入します。充填材は可塑性固結状態を15~40分間保持できる充填材を使用します。 【緊急止水対策】 不測の出水に備え、<u>鋼製止水リング</u>を備えています。 【方向制御】 既設セグメントとの離隔を保ちながら掘進する必要があり、きめ細かい方向制御ができるよう姿勢制御装置を搭載しています。(中折れ装置、<u>アウターカッタ</u>、<u>前胴可動そり</u>、<u>後胴グリッパ</u>) 【二次覆工コンクリートこわし】 中硬岩掘削機(ミゼットマイナー)を用いて、二次覆工コンクリートの撤去を行います。 【ボルト部はつり機】 セグメント撤去工事の省力化と安全性を追求し開発されたスパイクハンマーを使用します。効率よくボルト出しができるようにボルト廻りを4本のチップを埋め込んだロッド式ハンマーを圧縮空気で打撃を行い、穴をあけます。既設スチールセグメントまで貫通させないように制御装置を組み込んでいます。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> シールド機内面とセグメント間のクリアランスを設定するために、事前に既設セグメントの組立精度を測定する必要があります。 	<p>シールド機</p>  <p>埋戻し概要図</p>  <p>鋼製止水リング概要図</p>  <p>姿勢制御装置概要図</p>  <p>コンクリートこわし状況</p>  <p>ボルト部はつり状況</p> 

④ 更新

供用中高速道路トンネルのインバート打替え 《インバート打替え工法》

【(株)大林組】

■技術の概要

工事例：上信越自動車道 佐久管内トンネル変状対策工事（東日本高速道路株式会社）

上信越自動車道 日暮山トンネルは平成 14 年 10 月に完成し供用を開始したが、平成 22 年にインバート設置済み区間で最大 50mm の路面隆起が確認され、その後も年間 20mm 程度隆起が進行した。膨張性を有する泥岩に水が供給されていることが原因であると突き止め、その対策として、供用中の高速道路では前例の少ない、片側車線規制下においてインバートの打替え工事を実施した。

工事概要

工事名称：上信越自動車道 佐久管内トンネル変状対策工事

発注者：東日本高速道路株式会社

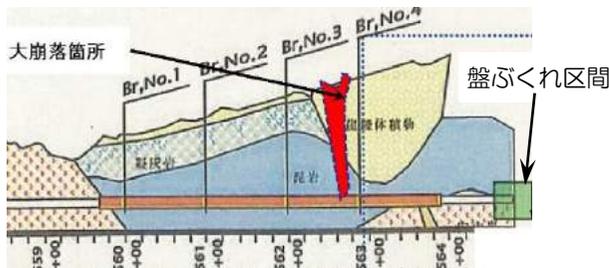
工期：平成25年1月11日～平成26年7月4日

場所：日暮山トンネル下り線（Ⅱ期線）

主要工種：インバート改修工事（延長 41.5m）



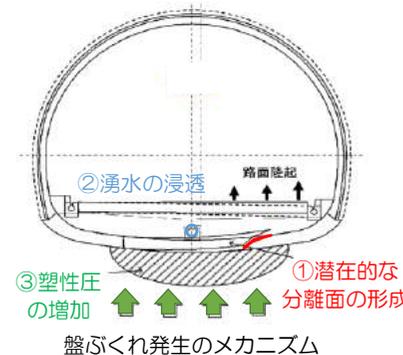
第三紀層(砂岩,泥岩,礫岩など)
新第三紀の玄武岩,安山岩,流紋岩,ダリンノなど
トンネル位置図



地質縦断面図（トンネル建設時）

盤ぶくれの発生メカニズム

- ① 建設段階で若材齢時のインバートコンクリートに地圧が作用し、潜在的な分離面が形成
- ② 供用後、中央排水(有孔管)に集まった湧水が、分離面を通してインバート下部の膨張性を有する泥岩に浸透
- ③ 水の供給により強度低下を起し、長い時間をかけて塑性圧が増加し、インバートが損傷



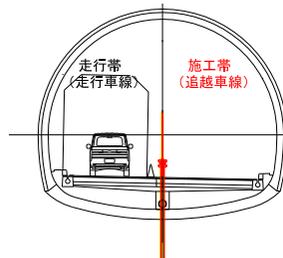
盤ぶくれ発生のメカニズム



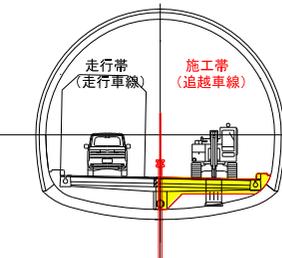
インバート損傷状況

インバート打替え施工手順

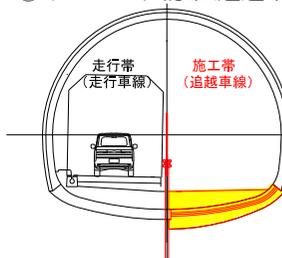
①土留め杭打設



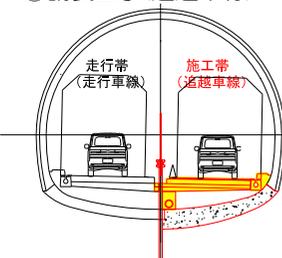
②舗装等撤去(追越車線)



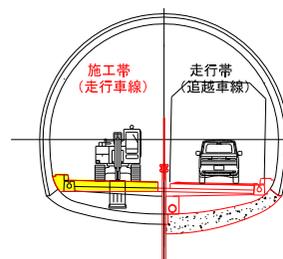
③インバート構築(追越車線)



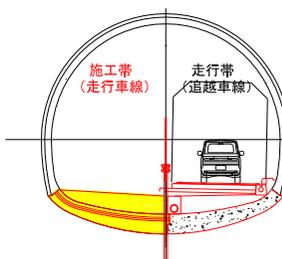
④舗装工事(追越車線)



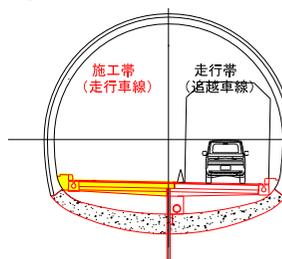
⑤舗装等撤去(走行車線)



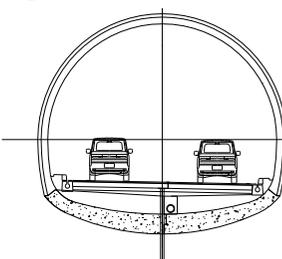
⑥インバート構築(走行車線)



⑦舗装工事(走行車線)

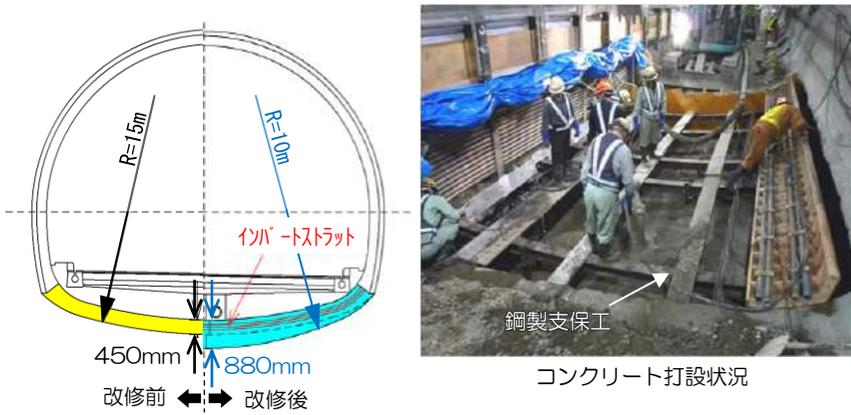
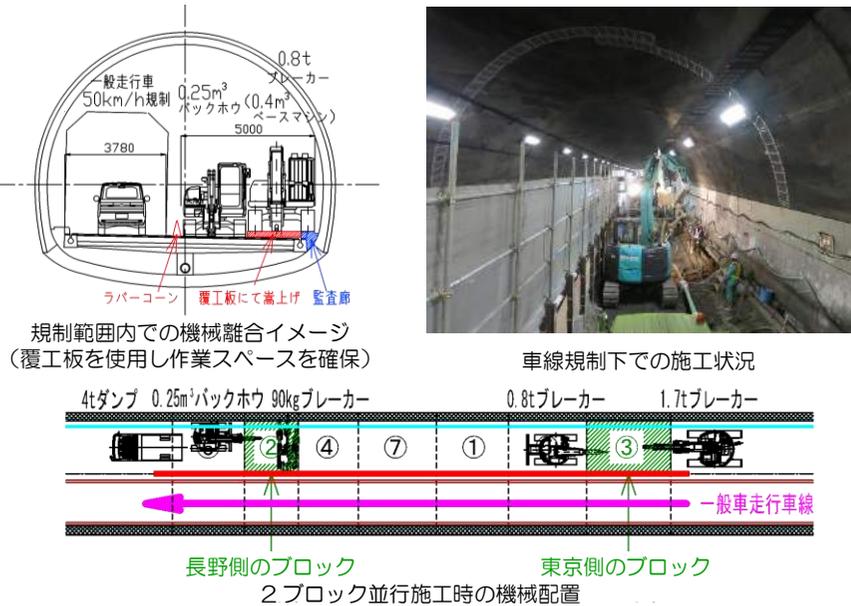


⑧完了(土留め杭は残置)



インバート打替え工法

インバート打替え

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
インバート打替え	<p><u>変状区間の長期安定性確保</u> 支保形状と支保材料を変更し、構造的安定性を向上</p> <ul style="list-style-type: none"> インバート半径の変更 (15m⇒10m：上半半径の約2倍) インバートコンクリート厚の変更 (450mm⇒880mm) ※トンネル中心での部材厚 コンクリートの配合を変更 (28日強度 18N/mm² ⇒1日強度 24N/mm²、7日強度 50N/mm²、早強コンクリート) コンクリートに鋼製繊維を追加 (0.5vol%) インバートストラットの追加 (HH-154×151×8×12@1.5m) 	<p>特徴と課題</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 日暮山トンネルと同様に膨張性指標の大きい地山が原因で盤ぶくれが発生した「釜山トンネル」の事例と数値解析により設計 計測の結果、コンクリートの応力は許容値内に収まっており、十分な安全率を保っている
	<p><u>車線規制下での早期断面閉合</u> 2ブロック/3日でのインバート構築による早期断面閉合の実施</p> <ul style="list-style-type: none"> 1ブロック以上離して掘削（隣接ブロックの同時掘削を回避）することで変状リスクを低減 2ブロック同時施工可能な掘削機械の選定 早強コンクリートの使用とジェットヒーターを用いた養生による、早期脱型および埋戻しの実施 (5時間強度 1.0N/mm²) <p><u>安全管理</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 全自動追尾式トータルステーションにより、内空変位と天端沈下および路面隆起を1時間毎に自動計測 異常発生時に迅速な対応ができるよう、関係者へ警報メールを一齐に自動送信するシステムを導入し、現地での変状と一般車両の通行安全性を確認 	<p>特徴と課題</p>  <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 車線幅が狭く、車線規制下でのインバート再構築の適用が困難なトンネルが多い 安全対策を十分に行った場合でも一般車が規制帯に接触する等の事故リスクがある 	

④ 更 新

既設トンネル更新用のトンネルボーリング機 《改修用 TBM 工法》

【(株) 奥村組】

昭和 15 年の運転開始以来半世紀以上を経過し発電所設備の老朽化が著しいことと、河川流況の変化から使用水量の増加が望めることから、最大出力を増強する工事である。再開発にあたっては、既設設備を最大限に利用し、建設コストを低減するために、既設導水路を拡幅して再利用することになった。経済性、安全性、作業環境、工程などを総合的に検討した結果、既設トンネル改修用 TBM 工法による施工を採用することになった。



改修後の水路

改修前の水路

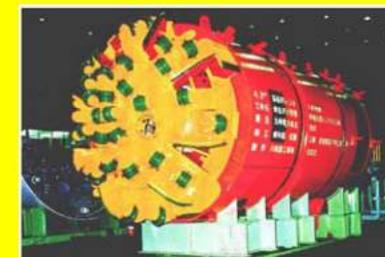
施工延長：1,509m（1号導水路）、4,319m（2号導水路）
直径約3.0mの導水路トンネルを4.3mに拡幅。
最大月進517.9m、最大日進61.4mを実現。

既設トンネル改修用 TBM

掘削ずりの前出し、後出しや全断面掘削ができる改修用 TBM は、既設トンネルの事前調査法、さらに覆工や地山の補強方法を加味した総合的な技術である。

◆ずり後出し方式

通常の TBM 同様、掘削ずりを TBM 後方へ排出する。拡幅掘削してきた坑内をずり運搬路として使用する。



◆ずり前出し方式

面盤の中央部を取りはずし、ずりシュートを取り付ける。掘削したずりは、ずりシュートによって TBM 前方に排出する。既設トンネルをずり運搬路として使用する。



発破工法と改修用 TBM 工法との比較

項 目	発破工法(切上げ)	改修用 TBM 工法
急速施工への対応	月進100~300m程度	月進200~700m程度
環境への対応	騒音・振動が大きい	騒音・振動はほとんど発生しない
地山の安定性	発破によるゆるみが坑壁に生じる	坑壁のゆるみがほとんど発生しない
施工の安全性	すでに緩んでいる地山を掘削するため危険性を伴う	切羽に人が入らないので安全性が高い

④ 更 新

急速施工が求められる水路トンネルの改修(改修用TBM工法)

拡幅・改築

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
拡幅・改築	改修用TBM 老朽化した水路トンネルを、高い作業効率で安全に拡幅・改築する技術	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・TBMのカッターヘッドは中空構造のため、掘削ずりを前方、後方のどちらからでも排出することができ、急速施工への対応が可能である。 ・カッターヘッドの中空部にセンターローラを装着することにより、全断面掘削が可能で、途中でのルート変更にも対応が可能である。 ・TBMは、前・中・後胴の3部分からなる中折れ構造のため、急曲線施工にも対応が可能である。 ・グリッパジャッキの接地圧が小さく、ストローク長が大きいため、既設トンネル周辺地山の緩みや余掘にも対応が可能である。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・断層破砕帯などの弱層部では、TBM本体の沈下や天端部の崩落などのトラブルが発生する可能性があり、事前調査および事前対策工が重要である。 <div data-bbox="828 782 1680 1228" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">改修用TBMの構造 (ずり前出し方式)</p>	

④ 更 新

活線下でのレンガトンネルの拡幅

《レンガ撤去工法》

【(株) 奥村組】

工事例：山陰線明神山 T 改築 1、2 工事（西日本旅客鉄道（株））

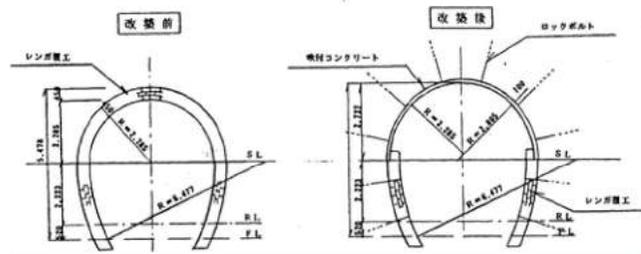
本工事は、JR 山陰線の高速電化に伴いトンネルの内空断面を拡幅する工事である。トンネルは明治 40 年頃にレンガで築造され、約 100 年が経過し目地などに老朽化が見られた。改築工事はトンネルの覆工背面の状況などの事前調査から行い、裏込注入、ロックボルト、レンガ防護、掘削、支保工建込み、吹付けコンクリートと順次行った。



延長 L=331.9m
 断面 改築前 19.6m²
 改築後 22.5m²
 構造 改築前 レンガ造り
 改築後 上半 吹付けコンクリート
 下半 レンガ造り（現状）



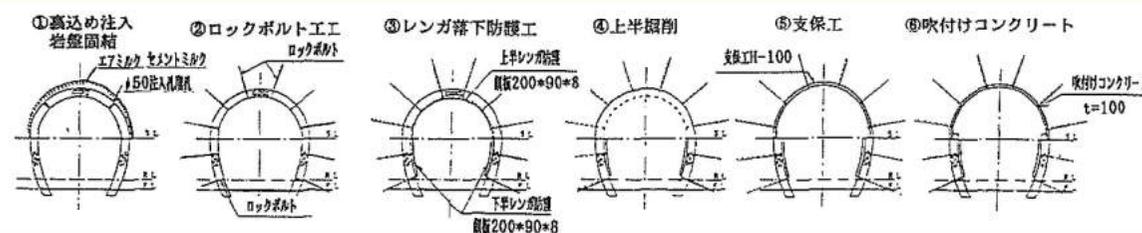
着手前



トンネル断面図

【施工手順】

- ①レンガ覆工背面の空洞をエアミルク、セメントミルクで充填。
- ②上半部、側壁部のレンガの上に、直接パターンボルトを打設。
- ③未施工部分のレンガ落下防護工の実施。
- ④上半掘削・レンガ覆工の取り壊し、地山掘削。
- ⑤鋼製支保工の建て込み。
- ⑥早強のファイバーコンクリートの吹付け。列車防護用移動式プロテクタの設置。



施工手順図



レンガ落下防護



ブレイカー掘削



プロテクタ設置

④ 更新

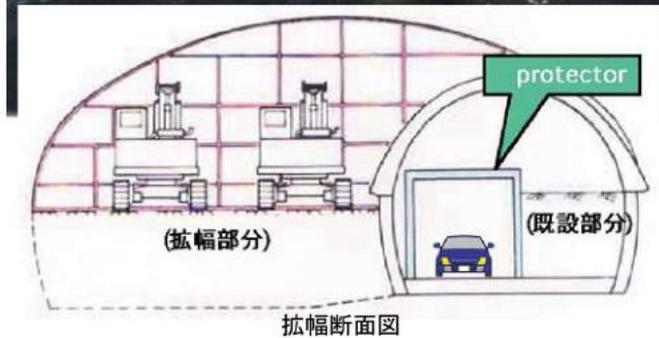
活線下でのレンガトンネルの拡幅（レンガ撤去工法）

拡幅・改築

工種	要素技術	特徴と課題	備考																																																	
拡幅・改築	<p>レンガ撤去工法</p> <p>一進行分のレンガ覆工を油圧ブレーカー等で研り、吹付けコンクリートの施工を行った後に上半部に移動式プロテクタを設置してレンガやコンクリートの落下から通過列車を防護することにより、安全性を確保しながら施工した。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・限られた線路閉鎖時間内での作業となることから、施工の効率化が必要であった。 ・吹付け直後に列車が通過するため、事前調査による地山性状の把握・レンガ背面の裏込注入を確実にし、吹付けコンクリートの付着力を確保する必要がある。 ・移動式のプロテクターを設置し、列車に落下物が絶対にならないようにした。 <table border="1" data-bbox="824 544 1711 778"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>0:00</th> <th>1:00</th> <th>2:00</th> <th>3:00</th> <th>4:00</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>準備工</td> <td>15</td> <td>33</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>18分</td> </tr> <tr> <td>掘削</td> <td>33</td> <td></td> <td>53</td> <td></td> <td></td> <td>80分</td> </tr> <tr> <td>支保工</td> <td></td> <td></td> <td>53</td> <td>17</td> <td></td> <td>24分</td> </tr> <tr> <td>吹付</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>11</td> <td>59</td> <td>15 54分</td> </tr> <tr> <td>計測</td> <td></td> <td></td> <td>17</td> <td>11</td> <td></td> <td>16分</td> </tr> <tr> <td>片付け</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>59</td> <td>48分</td> </tr> </tbody> </table>	項目	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00		準備工	15	33				18分	掘削	33		53			80分	支保工			53	17		24分	吹付				11	59	15 54分	計測			17	11		16分	片付け					59	48分	
項目	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00																																															
準備工	15	33				18分																																														
掘削	33		53			80分																																														
支保工			53	17		24分																																														
吹付				11	59	15 54分																																														
計測			17	11		16分																																														
片付け					59	48分																																														

工事例：第2布引トンネル（第一工区）工事（神戸市道路公社）

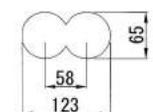
西神戸有料道路のうち、特に渋滞の激しい布引トンネル区間に第2布引トンネルを増設し、新神戸トンネルとの共用区間で南坑口からL=283.8mを既存の2車線から3～4車線に拡幅した工事である。拡幅工事期間中は、プロテクターにより1車線を供用しながらの施工であった。活線工事のため、硬岩の布引花崗岩を発破を使わずに、SD工法で施工した。



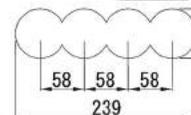
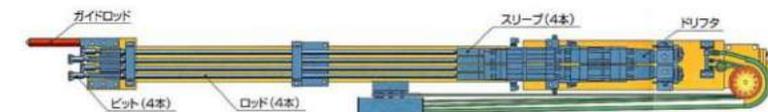
低振動・低騒音・低粉じんを実現するSD工法

SD工法（SD：Slot drilling）は、スロットドリルによりトンネルの外周に沿って溝（スロット）を設け、トンネル掘削によって生じる振動や騒音が、周辺に伝播するのを大幅に低減する工法である。

SD機には、スロットスター（2連式ドリル）とSDⅢ型機（4連式ドリル）とがあり、適用する現場の条件によって使い分けることができる。



スロットスターの姿図とスロットの形状



SDⅢ型機の姿図とスロットの形状

SD工法によるコンクリート構造物解体

SD工法の特徴を生かして、既設構造物に影響することなく構造物を解体できる。



スロット削孔状況

ブロック分割状況

④ 更 新

既設トンネルを供用しながらのトンネル拡幅工事 (SD 工法)

拡幅・改築

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
拡幅・改築	<p>SD (Slot Drilling) 工法</p> <p>トンネル断面周縁部および切羽にスロット(溝)の自由面を形成し、自由面で区切られたブロックを油圧くさびで一次破碎し、油圧ブレーカで二次破碎することを基本とする安全かつ低公害の岩盤掘削工法である。</p>	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・SD工法(無発破)は爆薬を使わないため、既設構造物に損傷を与えず、また、市街地でも振動・騒音公害を発生することなく施工を行える。 ・スロット発破工法では、トンネル外周にスロットを設けることにより、掘削自由面が飛躍的に増え、通常発破工法より爆薬量を少なくできるため、低振動で掘削できる。 ・従来の無発破掘削工法では適用が困難であった小断面(6m²)のトンネルにも適用可能である。 ・各種コンクリート構造物の解体や明かりの岩盤掘削工事を低振動・低騒音で施工できる。 ・大規模地下空洞や大断面トンネルでは、岩盤をほとんど緩めないため支保を軽減できる可能性があるとともに、坑壁が平滑に仕上がるため余掘りが少なくなる。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・切羽ごとに岩質を評価し、掘削効率が上がるようにスロットの削孔パターンを決定することが重要である。 	<p>NETIS 登録</p> <ul style="list-style-type: none"> ・KT-980073 ・KT-010214

④ 更 新

曲線函体推進工法による超大断面トンネルの築造

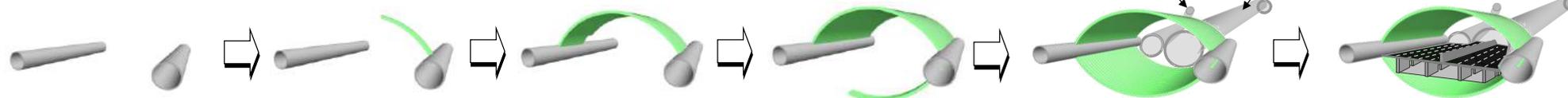
《まがる一ふ工法》

【株熊谷組】

■技術の概要

「まがる一ふ工法」は、あらかじめ設置した小さなトンネル（導坑）から、必要な大きさに合わせた曲線の函体を推進させて連続体を構築することで、大断面トンネルの支保工を掘削前に先行設置するものです。

・ 施工の順序



①左右に小さなトンネル（導坑）を2本造ります。

②片方のトンネルから曲線函体を発進させて、もう一方のトンネルまで推進します。

③曲線函体を連続して施工します。

④トンネルの下の方にも曲線函体を施工します。

⑤曲線函体の設置が完了後に、ランプトンネルを施工します。（本線トンネルやランプトンネルが先行する場合があります。）

⑥内部を掘削し、構造物を構築します。

・ 施工機械



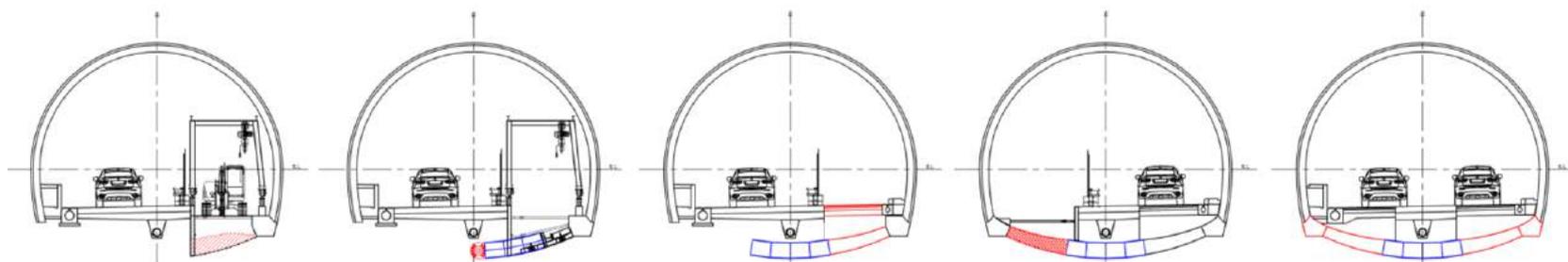
掘削装置を先頭函体に設置した状態（前面）



掘進機組立て完了初期掘進状況

■応用例・・・既設トンネルのインバート増設工事への適用

長野自動車道一本松トンネルの盤ぶくれ対策工事において、当社が都市部における大断面トンネルの施工技術として開発を進めていた「まがる一ふ工法」の技術を基礎に、供用線下におけるインバートの新設として構造細目及び施工法などの検討を東日本高速道路会社と共同で進め、平成25年11月に無事工事を完了しました。従来は同様の盤ぶくれ対策を行うのに14日間の通行止めが必要と考えられていましたが、「まがる一ふ工法」の採用により、基本的に1車線規制だけで供用中のトンネルにインバートを新設することができました。



①追越車線側規制
インバート端部掘削

②トンネル中央部
まがる一ふ工施工

③追越車線側
インバートコンクリート・舗装施工

④走行車線側規制
インバートコンクリート施工

⑤走行車線側
舗装施工・規制解除

④ 更新

まがる一ふ工法

トンネル更新

工種	要素技術	特徴と課題	備考
その他	まがる一ふ工法	<p>■特徴</p> <p>①矩形鋼管の連続体による先行支保 鋼管は矩形とすることで、連続体の構築を容易にしました。 また、複数の鋼管を連結して、同時に推進することも可能です。 連続体が可能なことで地盤改良・止水に必要な薬液注入や凍結を軽減できます。</p> <p>②地下水面下で施工可能な密閉構造 掘削機械の後方に隔壁を設けて密閉構造にしています。 排泥は、泥水循環方式、泥濃方式などへの対応が可能です。</p> <p>③掘削機械は汎用機を利用 掘削機械は軟岩掘削で使われているツインヘッダーを用いました。リース可能な汎用機械を使うことで、掘削機械のコストを抑えるとともに、複数台の同時施工による工程短縮を図ります。</p> <p>④推力伝達方式 先端牽引方式、元押し方式のどちらにも対応可能です。 先端牽引方式の場合、推力の伝達は先端部分に限定されるため、後続の函体の肉厚を軽減することが可能です。</p> <p>■課題</p> <p>特になし</p>	<p>・既設トンネルのインバート施工方法について NEXCO 東日本と共同開発</p>

工事例：白木トンネル改修工事

本工事は、昭和初期に築造された覆工の老朽化が顕著なトンネルの改築工事である。本トンネルは断面、延長ともに小規模であることから、工期短縮とコスト低減を目的に吹付コンクリート仕上げとした。

- トンネル延長 50.2m
- 既設トンネル幅員 2.67m
- 改築トンネル幅員 3.00m

■施工方法

①掘削工

NATM工法により、掘削、吹付コンクリート、ロックボルト施工

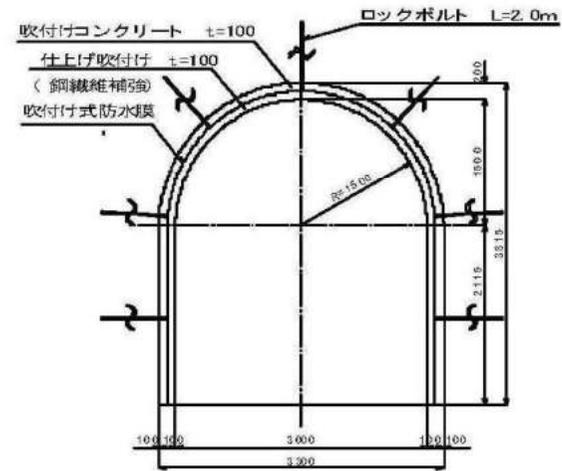
②防水工

一般的な防水シートでは吹付コンクリートが付着し杭ことが懸念されたため、吹付け防水を採用した。
吹付け防水：アクリル酸塩を主体とする2液からなる薬剤を重合反応させて、アイソレーションと防水の機能を持った膜を形成する。

③仕上げ吹付け

鋼繊維補強コンクリートを採用し、覆工厚を10mmに低減した。
仕上げ吹付けコンクリートの配合は下表の通りである。
急結剤は、粉塵・はね返りを極力低減でき、さらに長期的な強度・耐久性を確保できる**アルカリフリー液体急結剤**（AFK-777）を用いた。

最大 骨材寸法 (mm)	W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				鋼繊維 SF (kg)	高性能減水剤 FlowAce2100 (C×%)
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
15	55.0	75	215	390	1249	427	80	1.5



標準断面図



吹付け状況

改築

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考																	
二次覆工	<p>吹付け仕上げ 吹付け防水膜とアルカリフリー液体急結剤を用いた鋼繊維補強吹付けコンクリートによる覆工</p>  <table border="1" data-bbox="360 730 743 858"> <tr> <td>・粘 性</td> <td>50±5 mPa.s</td> </tr> <tr> <td>・pH</td> <td>3.0±0.5</td> </tr> <tr> <td>・固形分含有率</td> <td>51±3%</td> </tr> <tr> <td>・比 重</td> <td>1.43±0.03</td> </tr> </table>	・粘 性	50±5 mPa.s	・pH	3.0±0.5	・固形分含有率	51±3%	・比 重	1.43±0.03	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発生粉じんや跳ね返りが少ない→小断面トンネルや都市部での施工に有効。 ・アルカリフリー（弱酸性）で人体に優しい。 ・長期強度が大きく、経時低下がない。 ・工期短縮、コスト縮減になる。 ・小規模トンネル改築工事において、シングルシェル構造は施工の合理化になる。 <table border="1" data-bbox="990 616 1429 737"> <thead> <tr> <th>急結剤の種類</th> <th>粉じん濃度 (吹付け位置)</th> <th>跳ね返り率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>粉体急結剤※1</td> <td>42mg/m³</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>液体急結剤※2</td> <td>0.8~1.7mg/m³</td> <td>10~15%</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">粉じん濃度・跳ね返り率</p> <p>■課 題</p> <p>シングルシェル構造を適用するにあたり、一次支保工である吹付けコンクリートが掘削時に受けた荷重を算定し、覆工としての健全性を評価することや、仕上げ吹付け厚みの妥当性を検討できる方法が確立されていない。</p>	急結剤の種類	粉じん濃度 (吹付け位置)	跳ね返り率	粉体急結剤※1	42mg/m ³	30%	液体急結剤※2	0.8~1.7mg/m ³	10~15%	
・粘 性	50±5 mPa.s																			
・pH	3.0±0.5																			
・固形分含有率	51±3%																			
・比 重	1.43±0.03																			
急結剤の種類	粉じん濃度 (吹付け位置)	跳ね返り率																		
粉体急結剤※1	42mg/m ³	30%																		
液体急結剤※2	0.8~1.7mg/m ³	10~15%																		

工事例：飛鳥山幹線その5工事【発注者：東京都下水道局 北部建設事務所】

工事場所：東京都板橋区加賀1丁目～北区王子1丁目
 工期：平成16年10月～平成17年8月
 工事内容：泥水式シールド工法（施工延長：1077m）
 地盤改良工（発進側・到達側）
 到達工〔地中接合（T-BOSS工法・S方式）〕
 施工者：五洋・みらい・りんかい日産JV

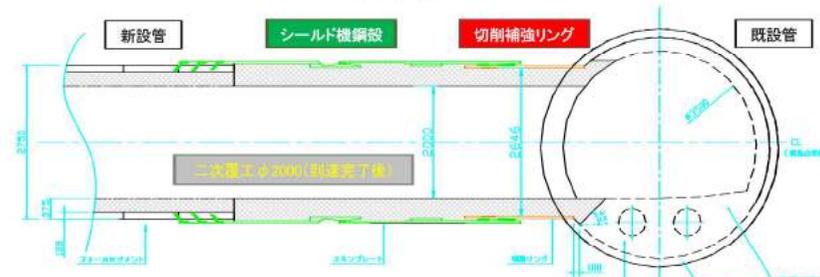
既設管側仕様：一次覆工〔鋼製セグメント〕（外径4300mm、内径4000mm）
 二次覆工（内径3500mm、巻厚145mm）
 接続管側仕様：一次覆工〔鋼製セグメント〕（外径2750mm）
 二次覆工（内径2000mm）
 接合位置：〔接合方向〕 既設管トンネル軸線に対して直交
 〔接続管中心位置〕 既設管中心線より上方100mm（偏芯）
 施工条件：〔土質〕 砂及び砂礫層（接合位置でN値40～50程度）
 〔地下水位〕 GL-1.5m
 〔接合位置深度（接続管中心）〕 GL-30m程度



<施工位置拡大図>



<施工位置図>



<到達工(地中接合)接合図>



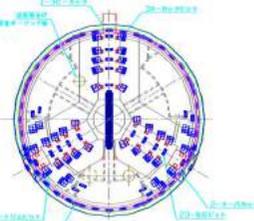
<シールド機外観>

T-BOSS 工法 選定の背景

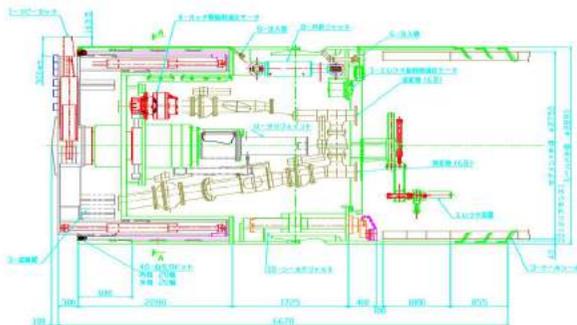
既設管との接合箇所直上の道路周辺には住宅地が近接し、接合用の立坑の建設が困難であったため、**地中作業のみで接続が可能**である本工法が採用

当該工事における主な検証事項（着眼点）

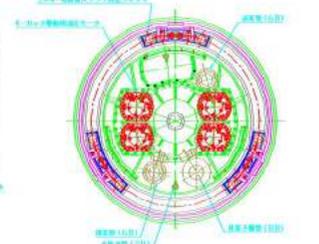
- ① 切削補強リングの回転機構（切削トルク）
- ② 切削補強リングの押し出し機構（押し込み力）
- ③ 既設トンネルへの影響
- ④ 自生刃ビットの切削能力と摩耗状況



<シールド機断面図(正面)>



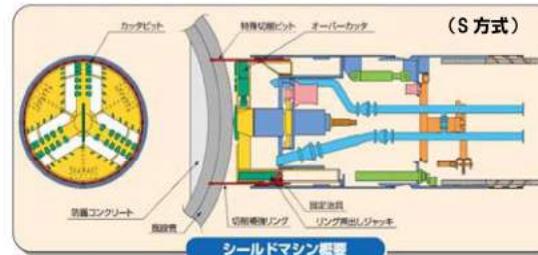
<シールド機側面図>



<シールド機断面図(A-A 断面)>

T-BOSS 工法とは

シールド内に格納装備した**特殊切削(自生刃)ビット付の円筒形鋼板リング(切削補強リング)**により既設トンネルを**直接切削・貫入**し、新設トンネルを既設トンネルに、**T字形に機械的接合**するシールド地中接合工法である。【下図参照】

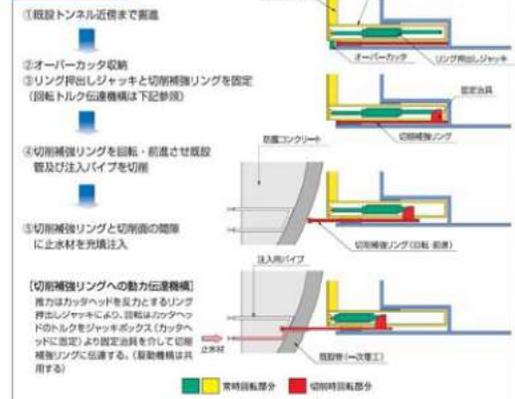


シールドマシン概要

- (特徴)
- ① 接合部地上からの作業が不要
 - ② 地山を緩めず安全な作業が可能
 - ③ 補助工法(地盤改良等)低減が可能

特殊切削ビット構造図

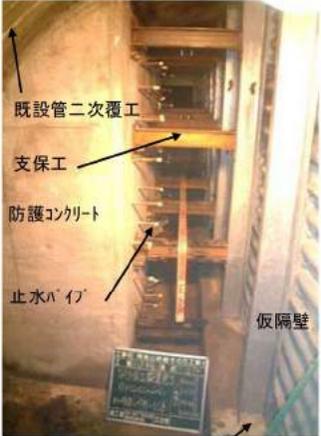
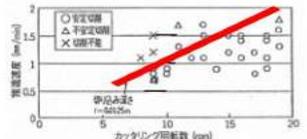
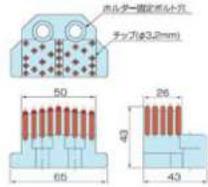
切削手順 (S方式)



④ 更新

実証工事の技術

T-BOSS 工法

工種	要素技術	現状と課題	備考
<p>到達工 (管接続工)</p>	<p>T-BOSS 工法</p> <p>先端に切削ビットを装着した切削リングをシールド機先頭部に装備。カッタースポークの回転を切削リング伝達して回転させることにより、既設管渠側面を直接切削し、新設管渠に直接接合することが可能。</p>  <p>写真1 準備工 [既設トンネル内] (防護コンクリート・止水パイプ等)</p>	<p>【現状及び確認事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 切削補強リングの上下端部が切削部に当り出す時点でロッキングが生じたが、切削トルクは全般的に緩やかな上昇となった。トルクの大きさは想定値の60%程度となり、切削は良好であった。 ② 切削補強リングの押込み力は、切削中の数値変動は見られたが、押込み量増加に伴う変化はない。 ③ 泥水圧等による切削中の既設トンネルへの影響（既設トンネル切削面の防護コンクリートに配置した支保工の軸力増分を計測）は、想定された負荷より小さいことを確認した。 ④ 準備工及びシールド機の解体時の作業が煩雑であり、比較的労力を要する。 <p>【今後の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 既設トンネル内での作業を必要とする準備作業の軽減（写真1、2 参照） ○ 施工完了後のシールド機解体作業の簡素化 ○ 既設管に対して接続管が斜角を持つ場合、①切削中リングに不均一な力が発生、②リングの断面左右での貫入長の相違 ⇒ 切削補強リングの回転機構及び押し出し機構に検討が必要  <p>写真2 準備工 [既設トンネル内] (仮壁工・支保工等)</p>  <p>写真3 到達工施工完了状況 (防護コンクリート撤去後)</p>	<p>※事前開発実験（モデル実験）について</p> <p>水平配置した大口径岩盤掘削機のボーリングロッドの先端に、自生刃ビット付き切削補強リング(φ1400)を取付けて切削実験を実施</p>  <p>（実験主要部品） ●カッタリング外径φ1,400mm ●鋼製セグメント φ3,150mm</p> <p><セグメント切削実験状況></p> <p>当該実験により、以下を確認</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 自生刃ビットの形状、超硬チップの配列及び突出長 ② 自生刃ビットの配置（配置数及び内・外周ビット配置比率等） ③ 切削時の切り込み深さ ④ 切削時のトルク ⑤ 自生刃ビットの摩耗量の算出方法 ⑥ 切削時のビットの発熱に対する冷却方法  <p><カッタリング回転数と推進速度の相関図></p>
	<p>自生刃ビット（特殊切削ビット）</p> <p>母材に埋め込まれた超硬チップ（刃）は、先端のみが突出した状態で配置。チップの摩耗に追従して母材も損耗するため、常にチップが一定量突出した状態となり、切削に適切な形状を保持。</p>  <p><自生刃ビット構造図></p>	<p>【現状及び確認事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 自生刃ビットの摩耗状況 <ul style="list-style-type: none"> ・ 設計摩耗量10mmに対して実施工では1/3～1/2程度となった（写真4参照）。 ・ 周道距離の長い外周側で摩耗量が大きくなる傾向を確認した（摩耗量は5mm程度）。 <p>【今後の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 自生刃ビットのコストが比較的高い。 ⇒ 自生刃ビットの改良とビット設置数の低減  <p>写真4 自生刃ビット(内周側)</p>	 <p>写真5 自生刃ビットの配置</p>

■ 技術の概要

◎ 密閉式推進工法の推進機に**切削リング**を装備し、**非開削**により既設管渠への**直接切削接合**が可能

- ・ 切削リングの先端（円周上）に切削ビット（自生刃ビット）を配列し、推進機のカッターの駆動力で切削リングを回転させながら、推進機を押し出すことで、既設管渠へ機械的に直接切削接合する工法です。
- ・ 本工法では接続作業用の立坑が不要となり、コストや工期等についての改善が図られる他、地山空間での人力作業を省略できるため、作業時の安全性が向上します。

※本工法は、五洋建設（株）、（株）協和エクシオ、（株）アルファシビルエンジニアリングの共同開発による技術であり、『T字接合シールド工法（T-BOSS 工法）』の推進工法用としてメニュー化されています。

■ 技術の特徴

★ 既設管渠の直接切削接合による安全な施工

- ・ 切羽で既設函渠を機械的に切削しながら接続管を直接貫入させるため、危険性の高い坑外作業を排除できる。

★ 立坑の省略及び大規模な地盤改良の不要に伴う工事費・工期の改善

- ・ 推進機で切羽を保持したまま、管を既設管に直接接続するため、接続作業用の立坑が省略できる。また、施工中に切羽を開放することがないため、接続作業に係る地盤改良（地盤の強化等）を削減することができる。

★ 機内側からの（切削）接合作業・駆動部を発進立坑側で一括回収／地上の利用等の周辺環境への負荷の低減

- ・ 切削接合作業から掘進機（駆動部）の回収までの作業を機内側から行うことで、接合箇所（直上）での地上の利用が不要となるため、周辺環境への影響を抑制できる。

■ 技術の用途

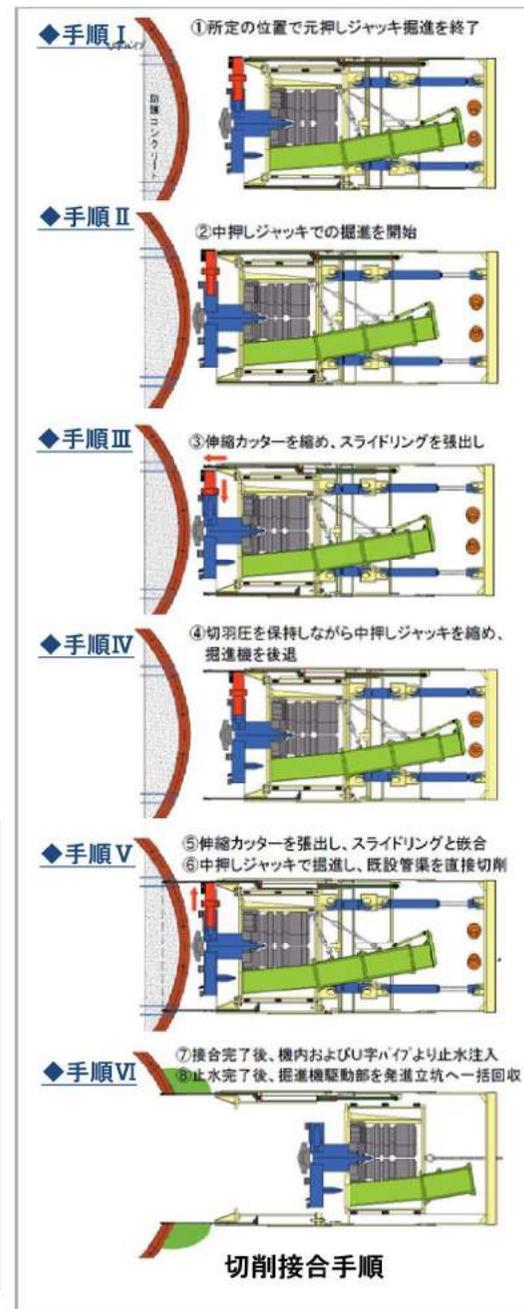
★ 雨水幹線路網（増補幹線等を含む）の整備 など



推進機既設管接合イメージ図



MELIT 工法（推進機切削リング押し出し状況）



④ 更 新

MELIT 工法

管接続工

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
<p>到達工 (管接続工)</p>	<p>MELIT 工法</p> <ul style="list-style-type: none"> 先端に切削ビットを装着した切削リングを推進機先頭部に装備し、カッタースポークとの勘合・回転により、既設管渠側面を直接切削し、新設管渠に直接接合することが可能。 <p>自生刃ビット (切削ビット)</p> <ul style="list-style-type: none"> 超硬鋼チップ (刃) が母材に埋め込まれて先端部のみが突出した状態で配置。チップの摩耗に追従して母材も摩耗するため、常にチップが一定量突出した状態となり、切削に適切な形状を保持。 	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 従来の推進工から既設管への接続まで機械的かつ連続的に施工することが可能。 管接続時に切羽を開放する必要がないため、立坑の築造および地山補強等に大規模な地盤改良を省略できる。また、これに関する工期についての短縮が図られる。 接続作業完了後、推進機駆動部は機内で解体し、発進立坑まで引き戻すことができるため、基本的に地上での作業帯を要しない。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> 既設管への接続は、切削リングで切削しながら貫入させることで行うため、既設管に対して直角に接続することが望ましい。斜角をもって侵入する場合、切削リングが片当たりしたり、切削リングが長くなり機構的な問題が生じるため、対応に難がある。 既設トンネル内の作業 (防護コンクリート打設等) については、既設トンネルの供用状況により別途検討が必要。 <p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> チップが一定量突出した状態を保持できるため、常に健全に切削できる状態を保持できる (自生できる)。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> 自生刃ビット 1 個当たりの金額が比較的高い。 ⇒ 自生刃ビットの改良とビット設置数の低減 	<ul style="list-style-type: none"> 「T 字接合研究会・推進部会」で対応している技術 実証要素実験 (平成 16 年 12 月) 被切削体 (RC 推進管) を対象とした切削状況、切削速度、切削後のビットの状況について「良好」であることを確認した。  <p style="text-align: center;"><実験状況></p>

④ 更新

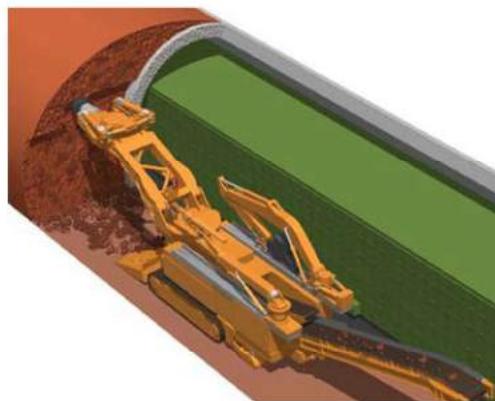
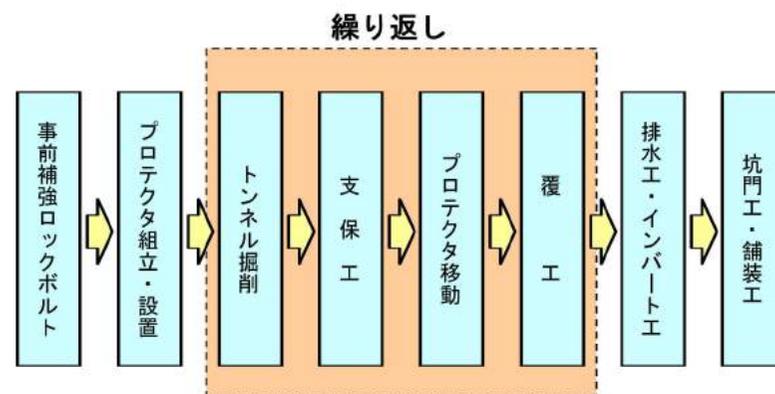
プロテクターを使用したトンネル活線拡幅

《三日月工法》

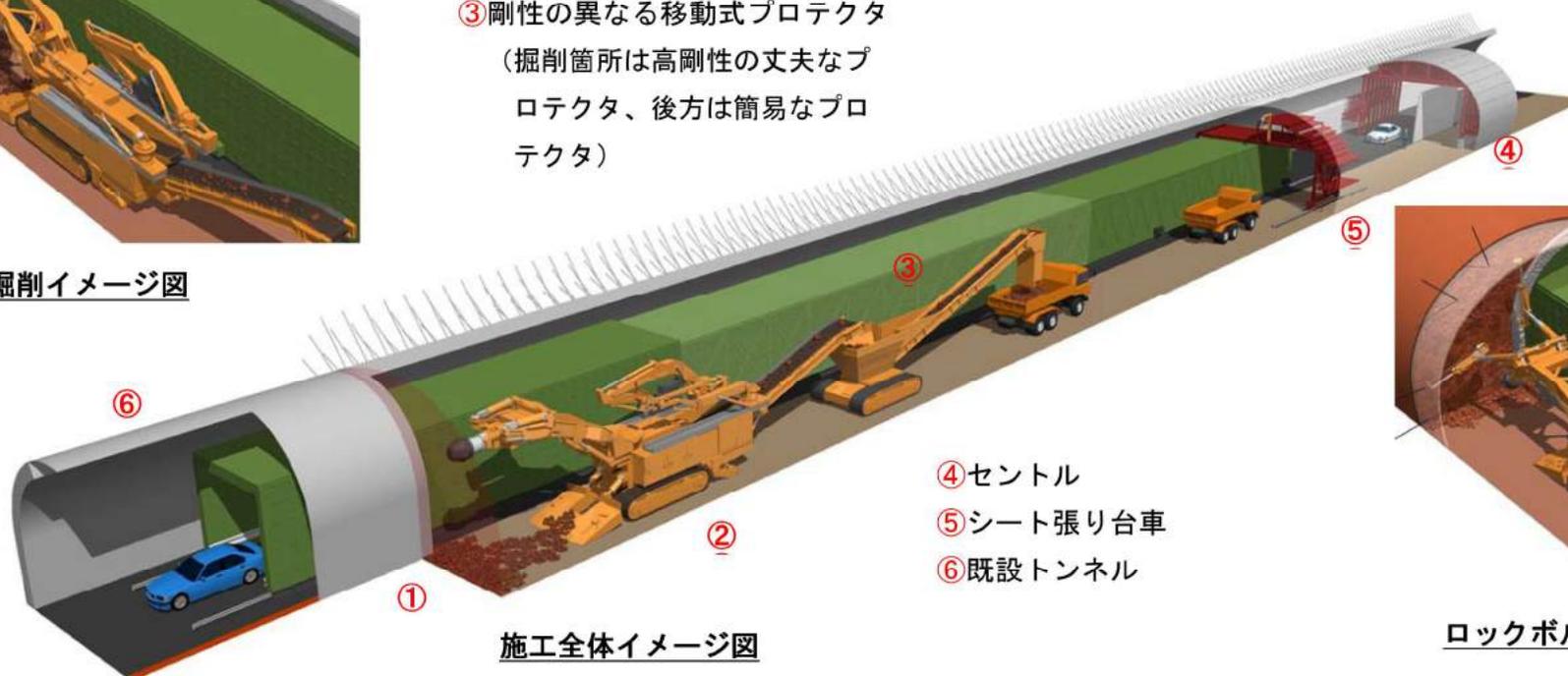
【清水建設(株)】

■技術の概要

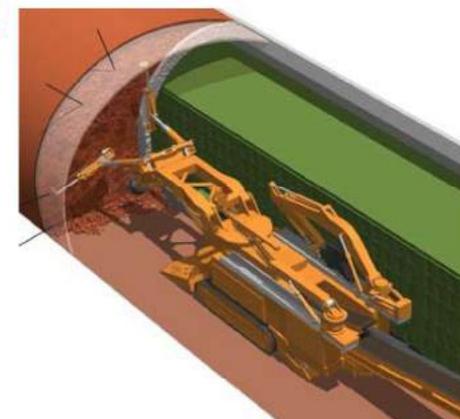
- ① 既設トンネルの片側のみを拡大するため比較的大きな作業スペースがとれ、大型重機の導入で工期短縮となります。
- ② 既設覆工の一部を拡大トンネルの一次支保部材として利用し、覆工の取り壊しや新設の支保部材が低減しコスト縮減となります。
- ③ 延長約 130mの移動式プロテクタで、プロテクタ費用の低減が図れます。
- ④ 様々な機能を1台のマシンに取り付けたマルチタイプ掘削機（専用自由断面掘削機）で、効率的な作業が行えます。



掘削イメージ図



施工全体イメージ図

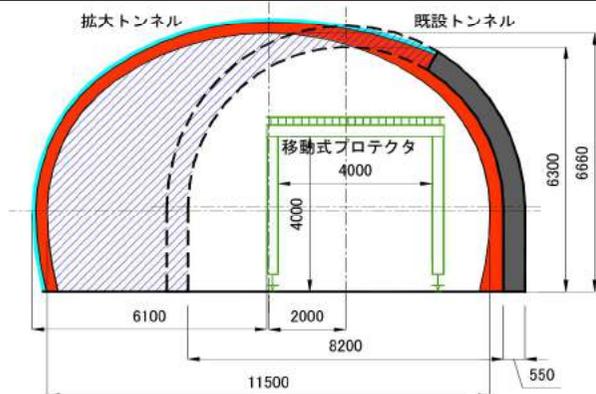


ロックボルト打設イメージ図

④ 更新

拡大トンネル断面

- トンネルの片側に三日月型に拡幅掘削します。
- 作業スペースを確保するため、プロテクタから拡幅後の坑壁までは約 5m 以上離れている必要があります。
- 右図の場合、拡幅工事完成後のトンネルセンターは 2m の移動となります。

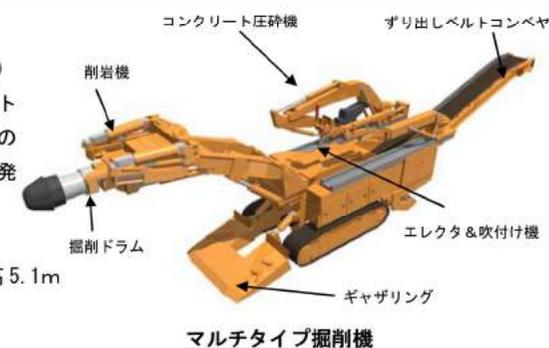


要素技術

◆マルチタイプ掘削機（専用自由断面掘削機）

掘削、覆工取り壊し、吹付け、ロックボルト打設、エレクタ、ズリ掻き寄せの機能を 1 台のマシンに取り付けたマルチタイプ掘削機を開発しました。

- 機体寸法：全長 23.2m × 全幅 3.2m × 全高 5.1m
- 全重量：約 105ton



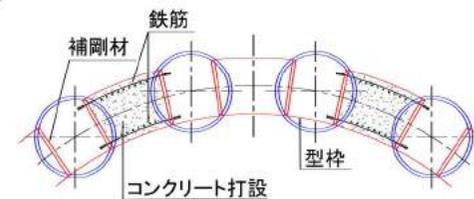
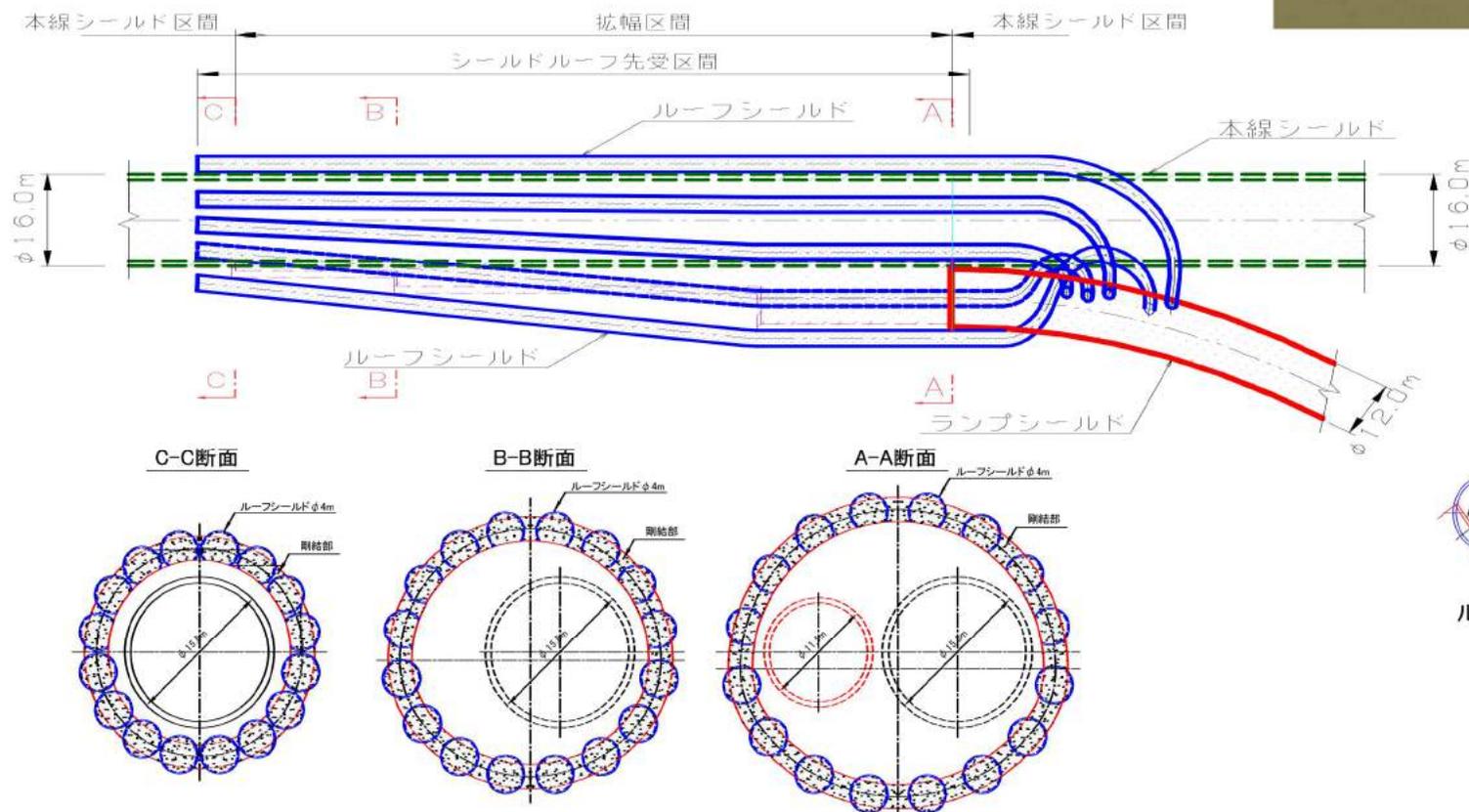
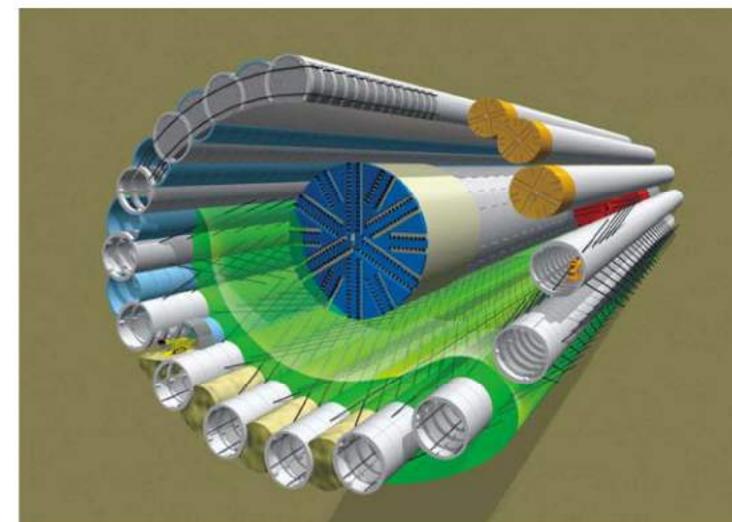
三日月工法

更新

工種	要素技術	特徴と課題	備考
トンネル活線拡幅	<ul style="list-style-type: none"> マルチタイプ掘削機 <p>狭い作業空間で効率的に掘削、既設覆工取壊し、ずり出し、鋼製支保工建て込み、吹付け、ロックボルトの作業を行うため、機械の入れ替えを必要しないマルチタイプ掘削機を使用する。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 片側拡大とすることで広い作業スペースがとれ、大型重機を使用することができるので、中硬岩までの効率的な掘削が可能となり、工期の短縮が図れる。 掘削から支保までの作業が 1 台のマシンで可能。 移動方式のプロテクタとしたため、プロテクタ費の削減が可能。 プロテクタの上を重機や車両が走行することがないので、落石の危険がある掘削箇所以外は、簡易なプロテクタでよく、プロテクタ費の削減が可能。 既設の覆工コンクリートの一部を一次支保の部材として使用するので、既設覆工の取壊しと産廃処分の数量が減少、また新設の一次支保（吹付けコンクリート）の量も減るので、工費の削減が図れる。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 片側に拡幅掘削するため、拡幅前と拡幅後で、トンネルセンターが 2m 程度ずれる。坑外の明かり部のすり付け区間は、新しいトンネルセンターに合わせて設計する必要がある。 	<p>■実績</p> <p>マルチタイプ掘削機を模型製作。施工実績はなし。</p>

■技術の概要

- ・複数の小断面シールドをランプシールドから発進させ、断面が漸次変化する分岐合流部外周部の形状に沿って構築する。
- ・シールド機は主要部材が回収できる構造とし、所定の位置に到達、切羽防護した後、引き抜き、転用する。
- ・止水凍結や薬液注入で防護した後、シールド間を掘削し、躯体コンクリートを施し、各々のルーフシールドを接合する。
- ・最後に、ルーフシールド内にコンクリートを充填し、本設覆工を兼ねた高剛性のリングを形成する。
- ・本線通過後、大規模に内部掘削を行い、分岐合流部の大断面構築を完成させる。



ルーフシールドの連結(高剛性リングの構築)

④ 更新

SR・JP 工法

施工方法

工種	要素技術	特徴と課題	備考
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の小断面シールドを断面が漸次変化する分岐合流部外周部の形状に沿って構築する。 ・シールド機は所定の位置に到達、切羽防護した後、引き抜き、転用する。 ・止水凍結や薬液注入で防護した後、シールド間を掘削し、躯体コンクリートを施し、各々のルーフシールドを接合する。 ・次に、ルーフシールド内にコンクリートを充填し、本設覆工を兼ねた高剛性のリングを形成する。 ・内部を大規模掘削し、分岐・合流部の大断面構築を完成させる。 	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内部掘削の支保・止水機能とともに分岐合流部本設覆工構造体として本体利用でき、施工断面も覆工厚さを縮減できるため、経済的である。 ・シールド、凍結、接合掘削等全ての工事が既存技術であり、実現性の高い工法である。 ・先着シールドトンネル（ランプシールド想定）からルーフシールドを先行し、本線シールドを待たずに先受工を構築し、ルーフシールド、凍結止水工、掘削接合などの各工程も併行作業できることから、工期の縮減が図れる。 ・本設覆工高剛性リングにより地表面沈下量を極めて小さく抑え、内部掘削も大規模施工ができる。 <p>■課題</p>	<p>実物大のルーフシールド間で、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・凍土の機械掘削 ・止水構造と鉄筋配置の実証を行っている。

④ 更新

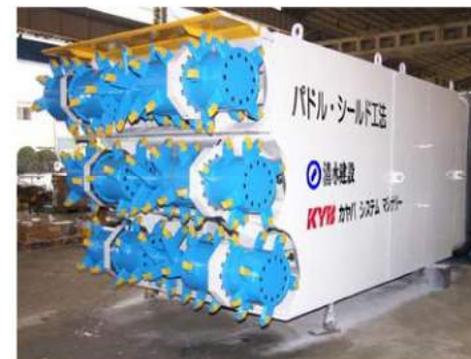
小土かぶりに対応する矩形シールド機

《パドル・シールド工法》

【清水建設(株)】

■技術の概要

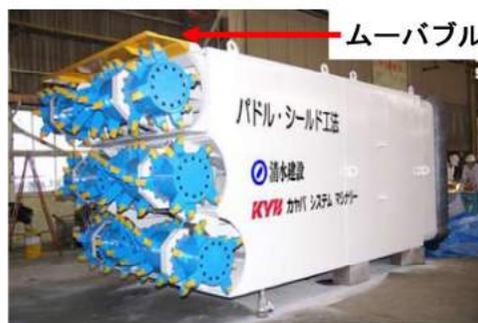
高速道路のランプ部や立体交差部、地下通路などでは、小土かぶりや各種埋設管の存在などにより、矩形断面形状の非開削トンネルが計画される場合がある。これに対応するため、従来のシールド機にはない画期的なカッタ形状を装備した新しい密閉型の矩形シールド工法（パドル・シールド工法）を開発、実用化した。



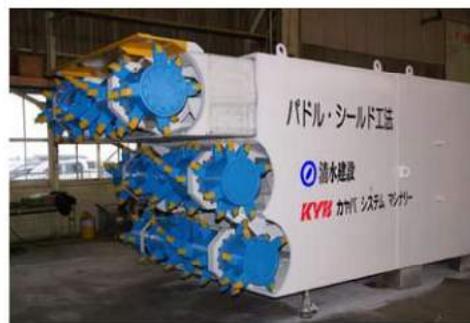
■技術の特徴

- ・シンプルな軸付きの横配置のカッタの採用により、掘削機のコストを低減できる（従来の3割減）。
- ・上段のカッタの前方へのスライド機構およびフードにより、先受け効果が発揮でき、地表面沈下を大幅に抑制できる。
- ・カッタおよび背後のパドルスクリーンの強制攪拌により、チャンパー内での土砂の塑性流動化が得られ、地山を保持できる。
- ・上下に独立した土砂チャンパーを保有し、緻密な土圧管理が可能である。
- ・汎用品のモータやベアリングなどを使用しているため、製造工期が従来の矩形シールドに比べ、大幅に短縮できる。

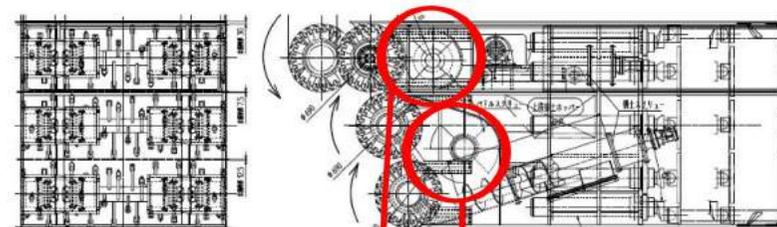
掘削のメカニズム



上段カッタ収納時



上段カッタ前方スライド時



- ・カッタの役割：前面地山を切削する
- ・パドルスクリーンの役割：切削土砂を攪拌するとともに、スクリーコンペアに受け渡す
- ・スクリーコンペアの役割：切削土砂を排出する

④ 更 新

パドル・シールド工法

施工方法

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
その他	<p>高速道路のランプ部や立体交差部、地下通路などでは、小土かぶりや各種埋設管の存在などにより、矩形断面形状の非開削トンネルが計画される場合がある。</p> <p>これに対応するため、従来のシールド機にはない画期的なカッタ形状を装備した新しい密閉型の矩形シールド工法（パドル・シールド工法）を開発、実用化した。</p>	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シンプルな軸付きの横配置のカッタの採用により、掘削機のコストを低減できる（従来の3割減）。 ・上段のカッタの前方へのスライド機構およびフードにより、先受け効果が発揮でき、地表面沈下を大幅に抑制できる。 ・カッタおよび背後のパドルスクリュウの強制攪拌により、チャンバー内での土砂の塑性流動化が得られ、地山を保持できる。 ・上下に独立した土砂チャンバーを保有し、緻密な土圧管理が可能である。 ・汎用品のモータやベアリングなどを使用しているため、製造工期が従来の矩形シールドに比べ、大幅に短縮できる。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ローリング制御方法 ・ 	<p>実工事に適用済み □2.1×2.1m、L=70m 河川横断が完了</p>

■技術の概要

シールド工事で使用される RC セグメントは経済的ではあるが、元来、曲げ靱性と耐衝撃性が低く施工時のひび割れの問題が懸念されていた。

今回、従来は廃棄処分となる PET ボトルを溶融・成型した再生 PET 繊維をコンクリートに混入して曲げ靱性を高めた RC 系の新型セグメントを開発・実用化した。

これにより、施工時に懸念されるひび割れを抑制して、従来は不向きとされた小口径や内水圧トンネルへの RC 系セグメントの適用を拡大し、環境負荷低減や PET ボトルのリサイクル、建設コストの低減に大きな効果を上げることが可能とした。



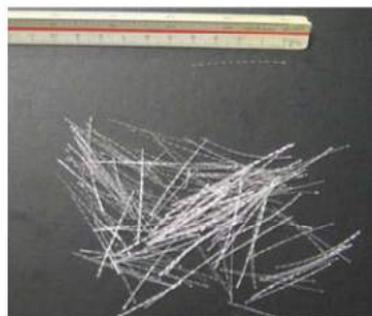
PET 繊維混入 RC 系セグメント

【開発に使用した PET 繊維】

廃 PET ボトルを洗浄・粉砕後、溶融して押し出し成型したものである。各種の形状と太さ・長さを比較実験した結果、太さ 0.7mm・長さ 40mm で、表面にインデント加工（凸凹を付ける加工）したものを選定した。引張り強度は 450N/mm² 以上、比重は 1.32g/cm³ である。

再生 PET 繊維の基本特性は、以下のとおりである。

- ・親水性：コンクリートとの付着のため表面が親水状態にある必要があるが、他の繊維より親水性が高い。
- ・耐アルカリ性：コンクリートに混入するので耐アルカリ性が必要だが、アルカリ水溶液（pH12.5）に浸漬させた後の引張り試験で強度劣化はない。
- ・燃焼特性：将来的に道路トンネルに適用する場合、火災時に有毒ガスを出さないことが求められる。JIS K 7217 燃焼ガスの分析で有毒ガスの発生は無い。



PET 繊維（φ0.7mm、L=40mm）

■性能の確認：以下の試験と現場適用で確認した。



平板実物大曲げ試験状況



耐衝撃性試験状況



都水道局：東南幹線に適用

④ 更新

PET セグメント

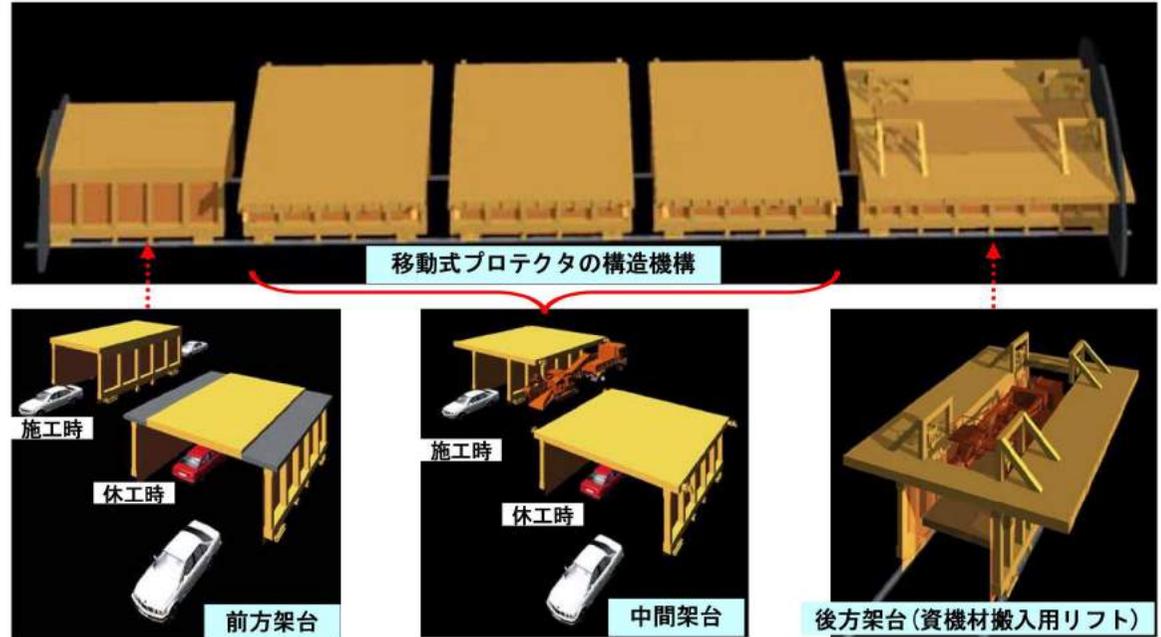
施工方法

工種	要素技術	特徴と課題	備考
その他	<p>PET セグメント</p> <p>従来は廃棄処分となる PET ボトルを溶融・成型した再生PET繊維をコンクリートに混入して曲げ靱性を高めた RC 系の新型セグメントを開発・実用化した。</p> <p>これにより、施工時に懸念されるひび割れを抑制して、従来は不向きとされた小口径や内水圧トンネルへの RC 系セグメントの適用を拡大し、環境負荷低減や PET ボトルのリサイクル、建設コストの低減に大きな効果をもたらすことを可能とした。</p>	<p>■特徴</p> <p>従来の RC セグメントに比較して以下のメリットがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 大きさ・用途を問わずにシールド工事に適用でき、鉄鋼系に比べて大きな環境負荷低減効果がある。 ・ 従来の RC 系セグメントに比べて、曲げ靱性、降伏荷重と最大荷重、ひび割れ幅抑制の効果が確認でき、トンネルの将来的な耐久性の向上に寄与できる。 ・ 同じく従来セグメントの耐衝撃性を混入量 0.5vol%で 5.5 倍に高め、施工時のひび割れ防止を可能とした。 ・ 再生 PET 繊維は比重 1.32 と 1.0 (水) に近く、また本適用では混入量が少ないため、コンクリート混入時の繊維分散性や練混ぜ時のスランブロスに問題はない。 ・ 使用材料は、全て容易に国内で供給できます。鉄鋼系のように海外需要による原料の調達状況、価格変動に左右されずに、安定した製造・価格維持が可能である。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ PET 混入量によりスランブロスがある。 	<p>シールドトンネルで 2 件の実績あり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 都水道局 東南幹線 φ2.71m、L=2394m ・ 川崎市 五反田川放水路 (内水圧トンネル) φ9.30m L=2006m

工事例：一般国道 229 号岩内町敷島内トンネル工事（国土交通省北海道局小樽開発建設部）

一般国道 229 号岩内町敷島内トンネル工事は、移動式プロテクタを用いた発破によるトンネル活線拡幅工法を初めて導入して施工したものである。

エルトン(Enlargement of Live Line Tunnel Method)は、プロテクタを移動式とし、発破掘削が可能なトンネル活線拡幅工法であり、移動式プロテクタは、作業時には一車線の交互交通を確保し、休工時に脚壁が広げられ車線を増やすことが可能な構造である。

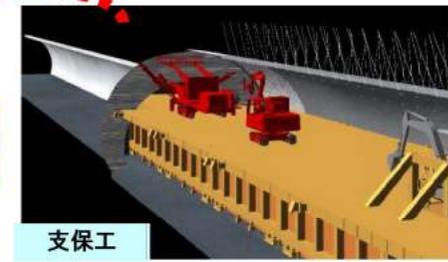
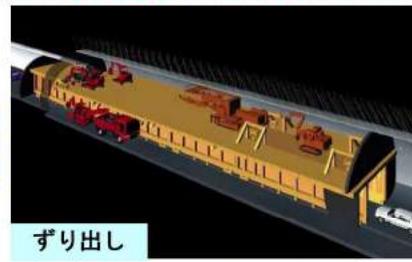
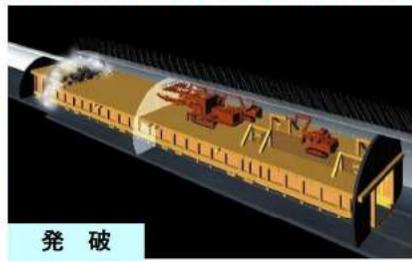


エルトン工法と従来拡幅工法との比較

工事内容 : 内空断面積 32.0㎡ ⇒ 62.9㎡
 幅員 6.0m ⇒ 9.75m
 延長 146m ⇒ 137m
 工期 自平成 13 年 2 月 27 日
 至平成 14 年 2 月 6 日

項目	従来拡幅工法 (全線防護)	エルトン工法
施工延長	短い (100m 以下が多い)	中長大トンネル
掘削方式	ほとんどが機械掘削	発破工法と機械掘削の選択・併用が可能
施工性	硬岩地山では割岩工法必要	硬岩地山でも発破工法が採用できる
効率性	覆工・インパートは掘削完了後	覆工・インパートの掘削との併進作業可能
プロテクタ	全線に渡る設置。発破工法に変更する場合当該部分全長にわって強化必要。	移動式であるため 55m と短く、発破影響部分のみの局所的強化でよい。
交通規制	交通規制が必要なプロテクタ設置撤去に時間が掛かる。	プロテクタが短いので設置撤去が短時間。(敷島内 t 実績設置 3 週間、撤去 4 週間) 休工時には 2 車線解放可能
工費		300m で 9% 低減 (対全線防護試算)
工期		300m で 1.3% 低減 (対全線防護試算)

④ 更新



概算工事費の比較

■エルトン工法の算出条件

1. 既設トンネル(32㎡)を拡幅(65㎡)する
2. 支保パターン 両坑口より20mはDⅢパターン
その他区間CⅡパターン
3. 掘削方式 発破工法
4. 掘削工法 補助ベンチ付き全断面工法
5. 施工時はプロテクタで常時1車線の交通確保
6. 移動式防護ステージはスライドセントルの考えにより換料扱
7. 工事中の交通保安員として4人/方
8. 坑口からの二次運搬は工事費に計上しない

■新設トンネル

国土交通省土木工事積算基準に準じて算出

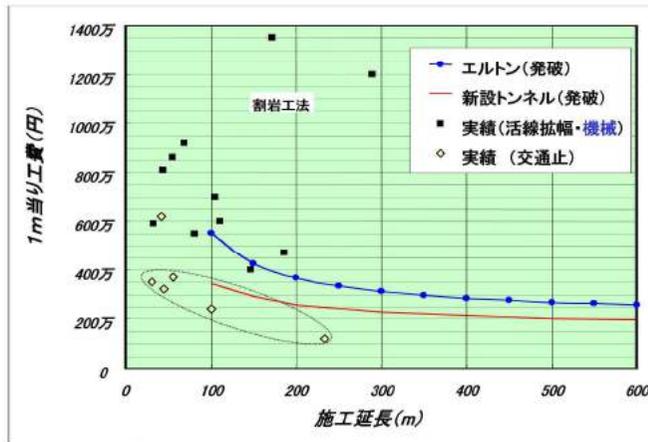
■実績

既設トンネルの断面拡大工法の開発に関する共同研究
(国土交通省土木研究所)平成12年度中間報告書より

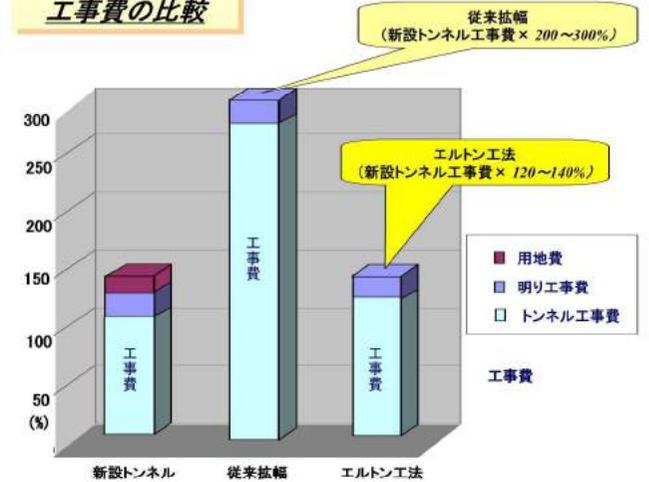
■工種

- 掘削工
- 吹付けコンクリート工
- ロックボルト工
- 金網工
- 鋼製支保工
- コンクリート巻立工
- 防水工
- インパート工
- 排水工
- 舗装工
- 交通保安員
- 坑門工
- 固定仮設備費
- 拡幅移動ステージ

比較結果



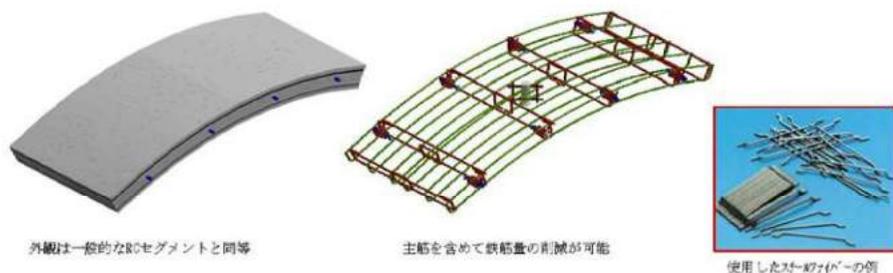
工事費の比較



工種	要素技術	現状と課題	備考
移動式プロテクタ (エルトン工法)	トンネル全線にわたるプロテクタでなく、必要延長のプロテクタを移動しながら使用する。切羽に近い部分は補強し、発破に耐える構造である。	<ul style="list-style-type: none"> ・新規にトンネル掘削するのに比べると割高になる。 ・ただし、代替ルートを選定が困難な路線、特に長大トンネルでは全線プロテクタを設置するより経済的となる。 ・試算では延長300mのトンネルで全線プロテクタを施工した場合に比べ、コスト約9%低減。工期約13%低減。 ・NETIS No. HR-030017-A 	

■技術の概要

セグメントのコンクリートに鋼繊維を混入することで、コンクリートの耐力と耐久性の向上を図りました。



目的

シールドトンネルに使用する鉄筋コンクリートセグメントに対して、品質の向上と経済性の追求を目的とし開発を行いました。

特徴

鉄筋コンクリート（RC）セグメントのコンクリートにスチールファイバー（SF）を混入させることで以下のような効果を発揮します。

- ①コンクリートによる主鉄筋の拘束効果が高まることで、配筋筋やフープ筋の省略を可能としました。
- ②セグメント本体の耐力が高まることで、同等の耐力を有するRCセグメントに対して、主鉄筋の低減を可能としました。
- ③コンクリート固有の問題であるひび割れや角欠け（特にセグメント組立時やシールドジャッキ押し付け時の施工時荷重を原因とする。）への抵抗性を増すことで耐久性の向上を図りました。
- ④セグメントの部分的剥落によるコンクリート片の落下を防止します。

展開

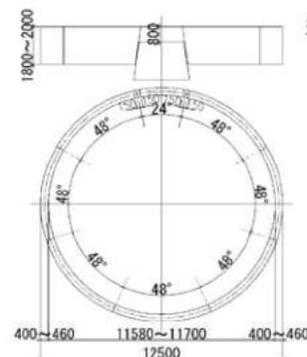
RCセグメントが成立する条件であれば、すべてのトンネルに適用可能です。耐火対策が必要な道路トンネルにも適用できるように、有機繊維の混入も可能です。

セグメント組立時の施工時荷重によるひび割れや角欠けに対してコンクリート自身が抵抗性を有しているため、高い耐久性や止水性を要求される場合に効果的です。

特に、セグメントに発生する断面力が軸力卓越となる、大深度トンネルの場合、コスト削減効果が高くなります。

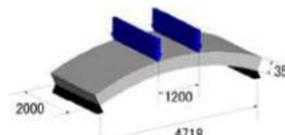
適用例 1

RSFセグメントは、東京工業大学二羽教授のアドバイスをいただきながら、多くの要素試験、実物大試験及び解析によるシミュレーションを行い、その性能を把握し設計手法を確立しています。本手法を用い、道路トンネルに使用すべく、設計及び実験を行いました。



提案セグメント仕様

セグメント仕様	
セグメントタイプ	RSFセグメント
覆工外径	12500mm
覆工厚さ	400mm
覆工幅	2000mm
コンクリート強度	54N/mm ²
分割数	8分割 (Kセグメント縮小型)
セグメント継手	突合せ継手
リング継手	サン・クイックジョイント



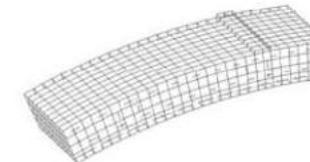
曲げ試験実物大供試体



破壊エネルギー試験状況



実物大曲げ実験状況



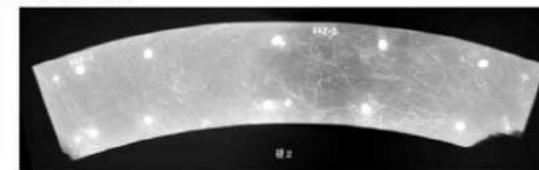
三次元解析モデル図

適用例 2

関西支店の配水管布設工事において、曲線施工部（R=80m）のRCセグメント（外径φ1800 厚さt=125）に採用する予定です。使用目的は、t=125mmと非常に薄いRCセグメントにSFを0.4%混入することで、曲線施工時のひび割れや角欠けを防止するものです。



載荷試験状況



SFの分散状況 (X線撮影画像)

④ 更新

セグメント本体の補強

RSFセグメント

工種	要素技術	特徴と課題	備考
シールド工	RSFセグメント	<p>■特徴</p> <p>鉄筋コンクリート（RC）セグメントのコンクリートにスチールファイバー（SF）を混入させることで以下のような効果を発揮します。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①コンクリートによる主鉄筋の拘束効果が高まることで、配力筋やフープ筋の省略を可能としています。 ②セグメント本体の耐荷力が高まることで、同等の耐荷力を有するRCセグメントに対して、主鉄筋の低減を可能としています。 ③コンクリート固有の問題であるひび割れや角欠け（特にセグメント組立時やシールドジャッキ押し付け時の施工時荷重を原因とする。）への抵抗性を増すことで耐久性の向上を図っています。 ④セグメントの部分的剥落によるコンクリート片の落下を防止します。 <p>■課題</p> <p>なし。</p>	

④ 更新

球体を利用してビット交換するシールド

《ク룬工法》

【大成建設株】

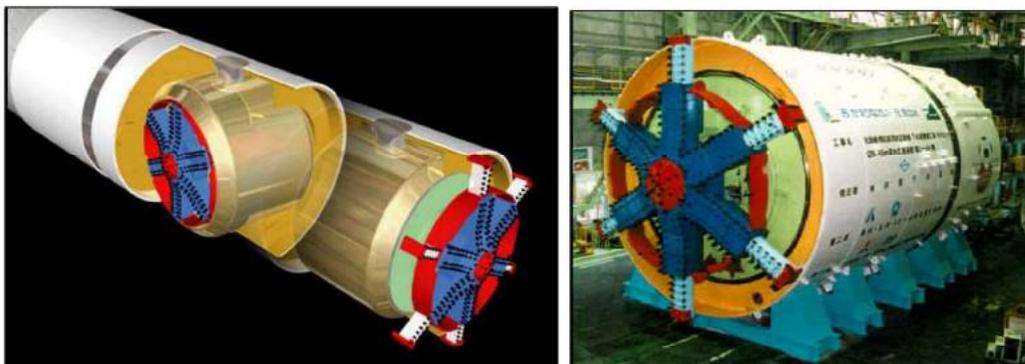
■技術の概要

大深度地下トンネル、海底横断トンネルなどに威力を発揮する
球体を利用した長距離掘進技術 — ビット交換用立坑が不要の「ク룬工法」

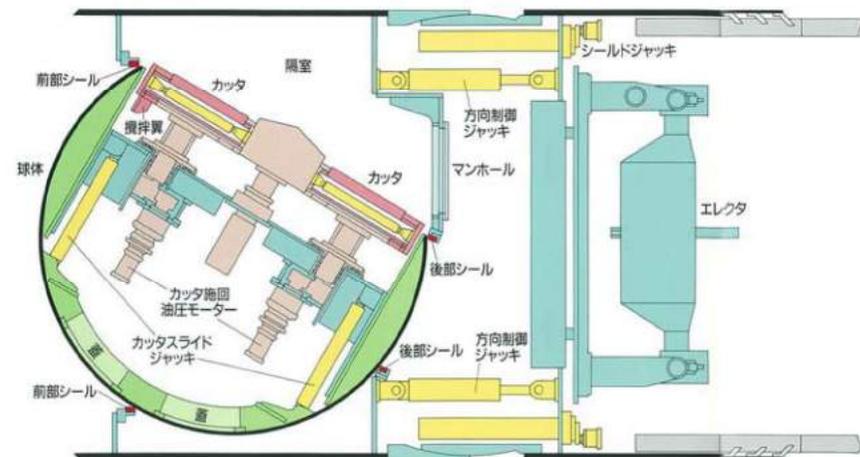
従来のシールドの掘進可能距離の実績からトンネルを立案すると、どうしても、途中いくつかの立坑設置や地盤改良が必要になります。

しかし、球体を利用してビット交換する「ク룬工法」は、それらを必要とせず、長距離連続掘進に威力を発揮します。

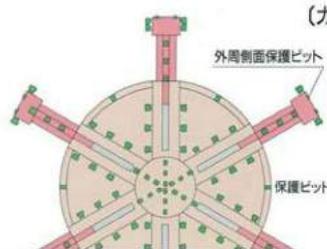
そして、短縮される作業工程とそのユニークな工法が、経済性と安全性を実現します。



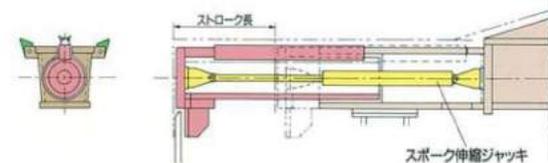
ク룬シールド



(カッタフェース正面図)



(カッタ断面図)



施工手順

1 カッタ縮小	2 カッタ収納	3 球体回転	4 ビット交換
<p>スポーク伸縮ジャッキにより、カッタ径を縮小します。</p>	<p>カッタスライドジャッキにて、カッタ及び駆動装置を球体内に収納。配管等をはずし、球体に蓋をします。</p>	<p>隔壁内に泥水を注入し、切り刃側と同圧力になった状態で球体を回転します。</p>	<p>隔壁内の泥水を抜き、安全なビット交換を実行します。</p>

④ 更新

接合部・分岐部の補修・補強

クラン工法

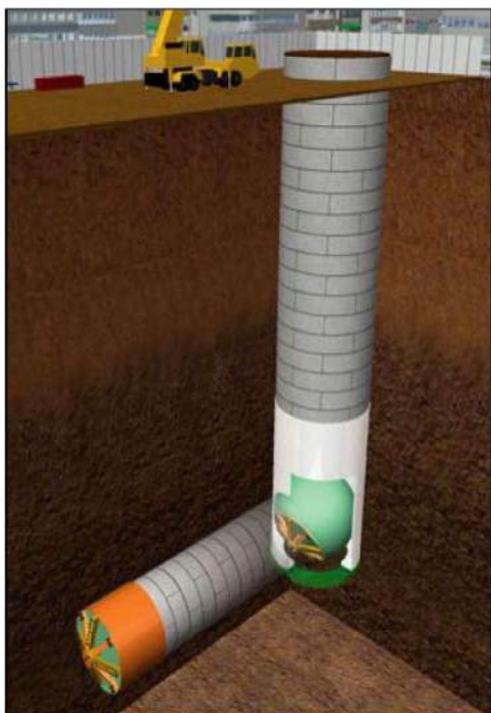
工種	要素技術	特徴と課題	備考
シールド工	クラン工法	<p>■特徴</p> <p>①交換は必要な時にいつでも可能 交換立坑の用地が不要。 凍結、地盤改良のための地上用地が不要。 土圧式でも泥水式でも適応可能。 シールド外径φ3メートル以上で適応可能。</p> <p>②作業日数の大幅短縮 作業が容易。 地盤改良等の工種がないため、速やかに交換作業にかかれる。 トンネル作業員が継続して作業を行える。</p> <p>③非常に高い安全性と確実性 マシン内での作業のため、安全性が高い。 ビットだけでなくカッタ全体の補修が可能。 不安定な土質でも作業環境を容易に確保できる。</p> <p>④群を抜く経済性メリット シールドは高価格になるが交換費用が安価なため、交換回数が多いほどメリットが大きい。 深度によって立坑や地盤改良は費用が増加するが、その影響が非常に少ない。</p> <p>■課題 なし。</p>	

■技術の概要

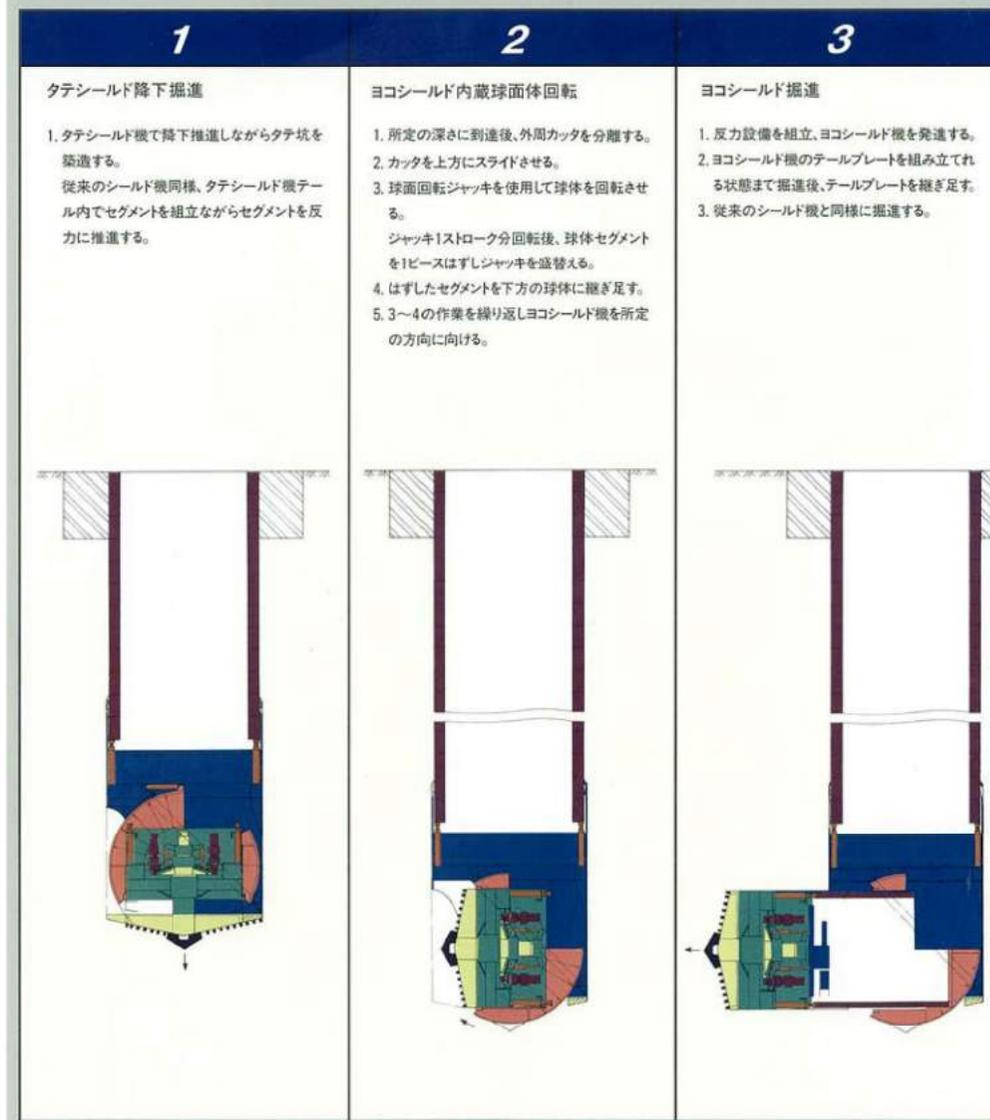
タテ・ヨコ連続シールド工法(ホルン工法)。そのトンネルの形態が、管楽器のアルプスホルンに似ていることから名付けられたこの工法は、シールド機を球状の回転体内に収めたことで、自在に掘進方向を変えられるというものです。

まず、地表面から垂直に掘り進み、目標地点に達すると先端部分を回転させ、横方向にトンネルを掘っていく仕組みは、従来シールド工法でトンネルを掘る場合、地中に一度ケーソンなどでタテ坑を掘り、その地底でシールド機を組み立てヨコ坑を掘り進むという方法を採用するため、タテ坑の口径がどうしてもおおきくなり、作業期間やコストがかかり過ぎるといった欠点がありました。

これに対し「ホルン工法」は、一台のシールド機でタテ、ヨコ連続して掘るためタテ坑の口径を2分の1にでき、50メートルの深度の場合、期間にして5分の1というハイスピードで施工することができます。



施工手順図



④ 更 新

接合部・分岐部の補修・補強

ホルン工法

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
シールド工	ホルン工法	<p>■特 徴</p> <p>①コンパクトなタテ坑 ヨコシールド機外径1に対しタテ坑外径1.2～1.5とすることが可能。 構造体をセグメントとすることで薄くできるため、掘削土量が少なくなるばかりでなく、狭い用地での施工が可能。</p> <p>②タテ坑工期短縮 シールド工法で築造するため高速施工が可能。</p> <p>③大深度地下で経済的 70mを超えるタテ坑築造が可能。 ケーソン、連続地中壁に代わるタテ坑として、深くなるほど経済的。</p> <p>④大深度における信頼性 タテ坑からヨコシールドへ機械的に回転できるため、発進坑口部の地盤改良、鏡切断等が不要。これらに掛かる費用の低減効果はもちろん、大深度地下における確実な施工の安全性につながる。</p> <p>■課 題 なし。</p>	

④ 更新

セグメント全体に防水シートを巻き立て可能なシールド 《ラッピングシールド工法》

【大成建設(株)】

■技術の概要

ラッピングシールド工法は、完全な止水を追求することで、ライフサイクルコストを低減します。

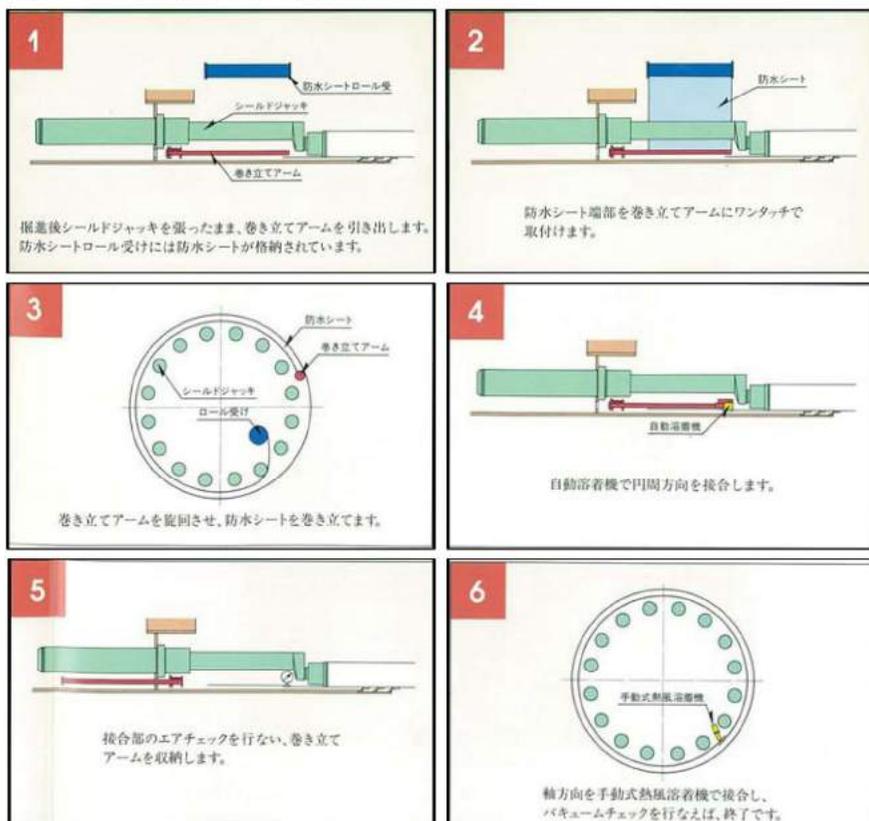
都市部の地下空間には、すでに膨大なインフラ施設が埋設されています。従って、これらのトンネル工事は、ますます大深度化が進み、耐高水圧性と長距離掘進のための高速施工が要求されています。

「ラッピングシールド工法」はそれらのニーズに応えるべく、完全な「止水」を目指して開発された工法です。

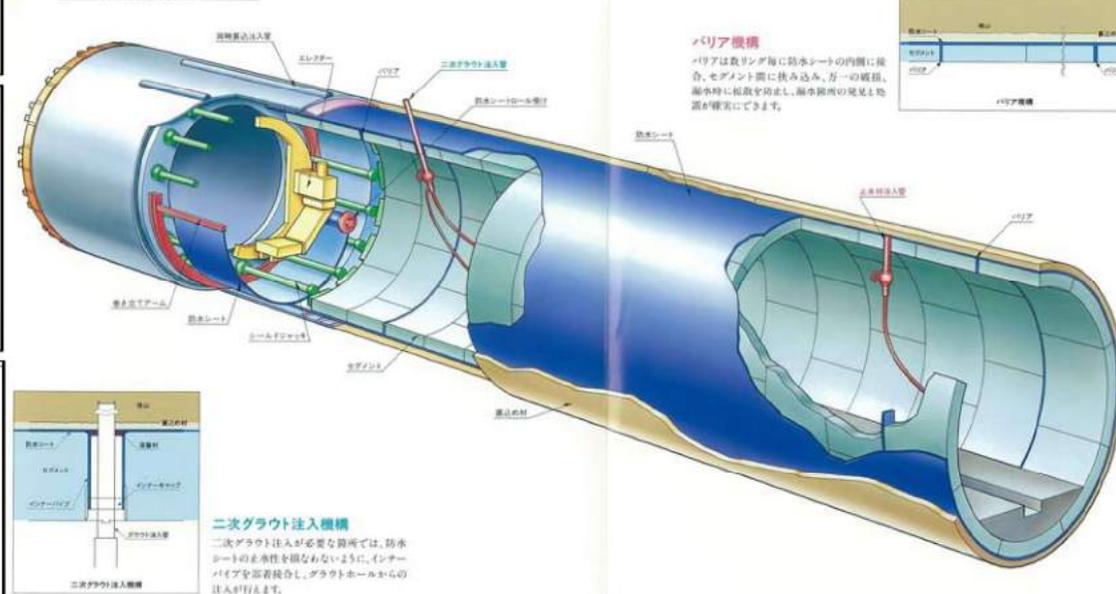
■「ラッピングシールド工法」とは

トンネルのセグメント全体をすっぽりと包むように防水シートを巻き立てて、完全止水のシールドトンネルを構築するものです。この工法は防水シート巻き立て装置、バリア機構、二次グラウト注入機構から構成されています。

■防水シート巻き立て装置とその施工手順



シールド機構造図



④ 更新

セグメント本体の補強

ラッピングシールド工法

工種	要素技術	特徴と課題	備考
シールド工	ラッピングシールド工法	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none">①2～4mm の厚い防水シートをセグメント全体に巻き立てるため、漏水を防止することができます。②漏水による構造物、施設の劣化がないので、ライフサイクルコストの大幅ダウンが期待できます。③完全に近いカタチで止水できますので、排水のためのランニングコストの削減が可能です。④地下水の変動、地盤沈下などの環境変化を防止できます。⑤二次覆工を省略することができるので、大幅な工期短縮、コストダウンが実現します。 <p>■課題</p> <p>なし。</p>	

④ 更新

地下から地上に向けて掘進可能なシールド

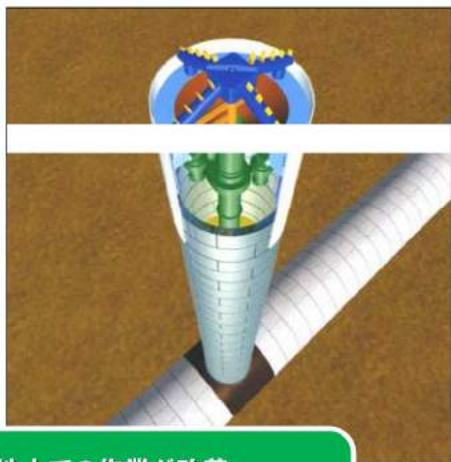
《上向きシールド工法》

【大成建設(株)】

■技術の概要

ビル街・繁華街・鉄道線路敷内・道路部・山頂・海洋部など、立坑を造る事が難しい場所でも、地下から地上に向けてスムーズな施工が可能。

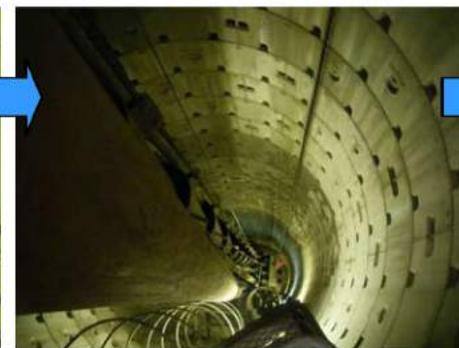
(NETIS 登録番号:KT010215)



地上での作業が改善

1. 省スペースで浅い掘削
2. 大幅な作業時間の短縮

地上での交通規制や騒音振動の影響を低減



施工手順(シールド方式)

発進準備工: 反力架台・エントランスバック金の取付 (発進部補強は別途考慮)

前調部据付	前調部押し上げ	二重セグメントの切削	後調部組立	初期掘進完了	本掘進
内側のスチールセグメントを撤去し、前調部を所定の位置に据え付けます。	前調部を押し上げ、カッタを無筋コンクリート部に押し付けてPC鋼線を抜きます。	カッタで無筋コンクリートを切削しながら、掘進します。	前調部で掘進を行い、下部スペースに後調部を組み立てます。	上向きシールドのテール部がエントランス部に入った時点で初期掘進が完了です。	掘削深度や地層の変化に対応させ、切羽土圧の管理を行いながら到達まで掘進します。

※シールド機の一体発進の場合は後調部組立を省略できます。

利用方法

上向きシールドの利用方法には以下のような構造物が考えられます。

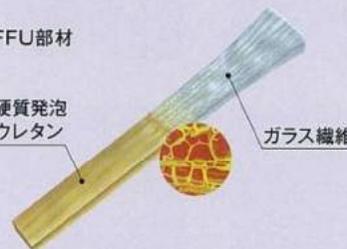
■地下管渠	■共同溝	■鉄道	■道路	■海洋部	■地下空間
流入立坑/管理立坑 (下水道・地下河川)	ガス/ケーブル/水道等分岐立坑	換気立坑/管理・避難立坑 駅部エレベーターシャフト	換気立坑 管理・避難立坑	基礎坑/取水口/放水口	基礎坑/換気立坑 管理・避難立坑 エレベーターシャフト

上向きシールド発進坑口 (FFUセグメント)

FFU部材

硬質発泡ウレタン

ガラス繊維



- FFUセグメントは薄材のFFU(硬質発泡ウレタンをガラス繊維で強化したもの)をR状に接着してセグメント形状とします。
- 発進部分に組立てたFFUセグメントを、上向きシールド機で切削し、発進します。

④ 更 新

接合部・分岐部の補修・補強

上向きシールド工法

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
シールド工	上向きシールド工法	<p>■特 徴</p> <p>①道路など、地下占用期間が短い 地下構造物から発進するため、到達準備や到達時以外は地上作業が不要です。</p> <p>②安全で高い確実性 地下構造物から発進するため、接合精度も含め、発進・到達接合部の止水性能が高く安全・確実です。</p> <p>③経済性に優れる 地上からの立坑掘削に比べ、施工期間が短く、深いほどメリットが発揮されます。また、シールド機を再利用して複数の立坑を構築することも可能です。</p> <p>④多様な方式が可能 施工条件により、シールド方式・推進方式を選択できると共に、掘進反力をセグメントに取るか反力ケーシングに取るかの選択もできます。</p> <p>⑤発進部防護が不要 発進部セグメントは、シールド機で直接切削できる二重セグメントを使用するため、地盤改良が不要です。</p> <p>■課 題</p> <p>なし。</p>	

④ 更新

ガラス繊維メッシュで補強したRCセグメント

《ガラス繊維メッシュ補強セグメント》

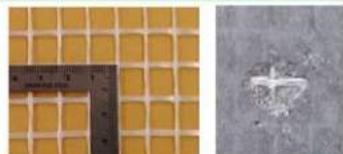
【大成建設(株)】

■技術の概要

鉄筋コンクリートセグメントの内面に、耐アルカリ性ガラス繊維のメッシュを設置することで、コンクリート片の剥落を防止しました。



セグメント内面状況



ガラス繊維メッシュ セグメント表面状況



コンクリート打設前の状況

目的

鉄道トンネルや道路トンネルなど、一般の人や車両が通行に使うトンネルでは、供用時にコンクリートが剥落した場合大きな問題となる。近年、シールド工法により構築されたこれらのトンネルには二次覆工コンクリートを施工せず、一次覆工のセグメントがそのままトンネル内面となっている。一方、コンクリートセグメントは、供用時の荷重変動やジャッキ推力に代表される施工時荷重の影響などで、クラックや剥離を内在する可能性がある。この欠陥が点検で見逃された場合には、時間経過とともに欠陥が進展し、剥離し事故となる可能性がある。そこで、セグメント表面のコンクリートに引張抵抗力を附加するとともに、剥離が発生しても落下することがない、剥離防止セグメントを開発した。

特徴

- ①セグメント内面に耐アルカリ性ガラス繊維からなるメッシュ（日本電気硝子 BA MESH 11mm×13mm）を設置することで、剥落片の落下を防止する。
- ②ガラス繊維メッシュを折り曲げることで、最も欠けやすいセグメントのコーナー部を完全に保護できる。
- ③ガラス繊維メッシュは微少な浮きを確保できる構造であるため、セメントペーストが確実に回り込み表面は平滑となる。
- ④コンクリートの配合は、スランプ3cm程度の硬練りコンクリートで特殊な対応は不要である。

配合例 ($\sigma_{ck}=45N/mm^2$)

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水/セメント W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	総骨材 S	粗骨材 G	微骨材
20	3±1.5	1+1.5 -1.0	33.7	40	143	424	741	1132	1.91

製造方法

①ガラス繊維メッシュの切断・製作

- ・ロール (1m×50m) から所定の形状を切り出す。



②型枠内へのセットとコンクリート打設

- ・型枠に剥離材を塗布後、メッシュを設置し、鉄筋籠を組み込み、コンクリートを打設する。



性能確認

セグメント内面側に剥落が発生させるため、端部集中載荷試験を行った。通常状態では、コンクリート片が砕け散り落下するのに対し、ガラス繊維メッシュが存在することでコンクリートのほく落を防止できることを確認した。



端部集中載荷試験



メッシュがある場合の状況



メッシュがない場合の状況

④ 更新

セグメント本体の補強

ガラス繊維メッシュ補強セグメント

工種	要素技術	特徴と課題	備考
シールド工	ガラス繊維メッシュ補強セグメント	<p>■特徴</p> <ol style="list-style-type: none">①セグメント内面に耐アルカリ性ガラス繊維からなるメッシュを設置することで、剥離片の落下を防止する。②ガラス繊維メッシュを折り曲げることで、最も欠けやすいセグメントのコーナー部を完全に保護できる。③ガラス繊維メッシュは微少な浮きを確保できる構造であるため、セメントペーストが確実に回り込み表面は平滑となる。④コンクリートの配合は、スランプ 3cm 程度の硬練りコンクリートで特殊な対応は不要である。 <p>■課題</p> <p>既設セグメントの補強を可能とする開発が必要である。</p>	

■技術の概要

交通集中となっている原宿交差点において、通過する交通の約80%を占める直進車を立体化(アンダーパス化)して分離させることにより、渋滞を軽減させるための工事。



宿交差点立体化工事におけるハーモニカ工法のイメージ図 (実際の計画とは異なる場合があります)

当工事におけるハーモニカ工法の特長

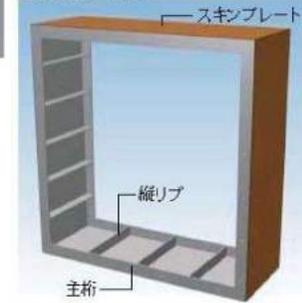
- ・平面線形R=320m、縦断線形R=1000mの複合曲線
- ・掘進延長 L=73m × 4団体 (二次施工分)
※6団体は一次施工にて施工済
- ・ハーモニカ掘削機1台の繰り返し転用による施工
- ・低土被り (最小被りH=2m) での施工
- ・地下埋設物との近接施工



▼ハーモニカ掘削機(回転式矩形掘削機)

▼ハーモニカ掘削機仕様

掘削形式	掘削形式
外寸法	H3980×W3830×L4060 mm
全装荷重量	80 t



▼鋼殻の仕様

外寸法	H3980×W3830×L1250 mm
主桁	H=222mm, t=32 mm
縦リブ	H=222mm, t=8,9,12,14,16,19 mm
スキンプレート	t=3 mm
1台当りの重量	上段1.5 t、下段2.5 t

立体化工事のうち、交差点直下の非開削部には、低土被りでも路面への影響抑制ができ、100mを超える曲線施工が可能な「ハーモニカ工法」が採用された。

ハーモニカ工法の施工手順

(二次施工) 4団体

- ① 一次施工では、6団体の小断面トンネルを掘進し、その内部にボックスカルバートを構築しました。平成21年4月より、暫定上り線のトンネルとして供用中です。
- ② 一次施工で施工済みの団体に沿って、まずは下段内部から掘進を開始します。横浜側立坑を掘進立坑とし、藤沢側立坑に向かって掘進します。
- ③ 元押ジャッキにより掘削機と鋼殻を一緒に地山へ押し出しながら掘進します。1団体の掘進が完了すると、ジャッキを締め、次の鋼殻をセットして再び掘進します。これを繰り返します。
- ④ 藤沢側立坑にハーモニカ掘削機が到達したら、立坑内でマシンを回転させ、今度は横浜側立坑に向かって掘進します。上段もこれを繰り返します。
- ⑤ 上段の外側の掘進が完了し、二次施工分の4団体の小断面トンネルの掘削が完了しました。
- ⑥ ハーモニカ掘削機の解体及び設備の撤去を行い、ハーモニカ掘進作業は全て完了です。
- ⑦ 底板及び側壁の鉄筋を組立てる前に、それぞれの横接したスキンプレートのうち、構築工と干渉する部分を切断撤去します。
- ⑧ 底板・側壁の鉄筋を組立てます。一次施工で構築したボックスカルバートとは、機械式継手にて一体化します。
- ⑨ 底板のコンクリートを打設します。
- ⑩ 上床版の鉄筋を組立てる為に、上床版部分の隣り合った鋼殻のスキンプレートを撤去します。
- ⑪ 上床版の鉄筋を組立てます。底板同様、既設の構造物とは、機械式継手にて一体化します。側壁のコンクリートも順次打設します。
- ⑫ 上床版のコンクリートを打設します。
- ⑬ コンクリートの硬化を待つ、支保工として働いていた内部の鋼殻を撤去し、構築工事が完了します。
- ⑭ 舗装工事及びトンネルの設備工を行い、上下線トンネルの完成となります。

④ 更新

実証工事の技術

ハーモニカ工法

工種	要素技術	特徴と課題	備考
アンダーパス工	ハーモニカ工法	<p>■特徴</p> <p>小さな矩形掘削機を繰り返し使いながら、連結・積み上げにより、大きな空間を安全に、安く造る。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆小断面密閉型掘削機による効果 <ul style="list-style-type: none"> ・低土被り施工が可能 ・掘削機が低価格のため、工事費は安価となる ・切羽の安定が図れ、路面の先行沈下を抑制できる ◆矩形断面による効果 <ul style="list-style-type: none"> ・函体同士を接触させて掘削できる ◆推進方式による効果 <ul style="list-style-type: none"> ・100mを超える距離の施工が可能 ・テールボイドが少ないため路面への影響を抑制できる ・テールボイドが少ないことも函体同士の接触に有利 ◆その他 <ul style="list-style-type: none"> ・曲線施工が可能 ・小断面函体の掘削完了で、トンネルの土工事が終了する ・内部に支保工等を設置する工程が不要 ・分割施工のため、部分供用も可能で交通渋滞緩和に寄与 ・鋼殻を本体利用することで、経済効果が増える <p>■課題</p> <p>なし。</p>	

④ 更新

推進工法の技術を用いた太径曲線パイプルーフ

《太径曲線パイプルーフ工法》

【大成建設(株)】

■技術の概要

二本のシールドトンネルを非開削で地中接合する新技術です。
 推進技術を取り入れたパイプルーフの曲線施工と太径化を実現です。
 施工箇所さえ通過すれば、シールド施工時でも作業可能です。
キーワード＜推進／太径曲線／パイプルーフ／非開削／地中接合＞

開発目的

昨今の道路事情は、ニーズがあるにもかかわらず道路予定地の不足等の問題があり実施までこぎつけていないのが現状です。先に施行された大深度法により地下部への道路建設思考が活発化しています。

都市部における双設シールドにて施工される地下道路のランプ部の計画がされても、建設予定地上に構造物が存在し、開削によりアプローチが不可能となるのが現状でした。

そこで、非開削で双設シールドの接合を可能な工法として太径曲線パイプルーフ工法を開発しました。

本工法と凍結工法を併用することで双設シールド間をつなぐことにより、安全にシールド間の地中掘削を可能としました。

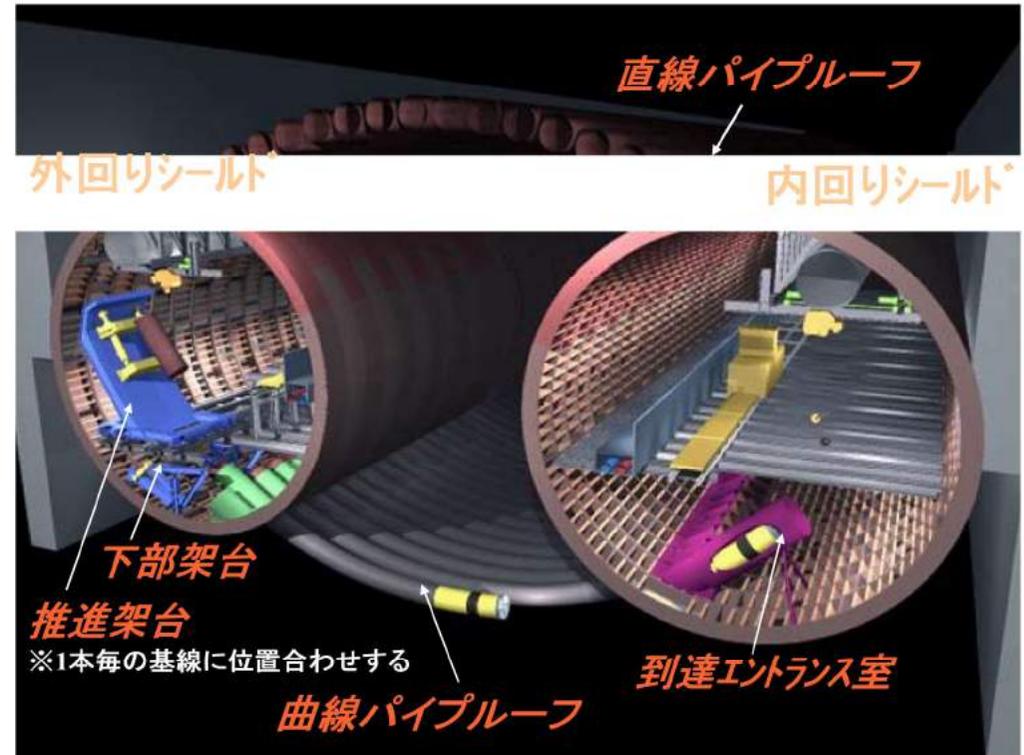
特長

1. 既設シールド内から施工が可能。
2. 地上からのアプローチを必要とせず非開削で施工可能。
3. 本線シールド施工中でも、太径曲線パイプルーフ施工区間さえ過ぎれば施工ができ、工程上クリティカルにならない。
4. 推進工法の技術を用いたパイプルーフの施工により施工精度の確保が可能。
5. 凍結工法併用により、地下水位以下での施工でも水位低下を抑え、地表面沈下抑制が可能。

施工方法

接合対象区間のセグメントに推進用のエントランスを取付け口元止水対策を講じ、セグメント主桁間の切削部を推進機で切削、太径曲線パイプルーフの施工を行う。施工後、目的の接合部を切り開き、双設シールドの接合を完了するものです。

このパイプルーフの施工には、確実な止水性能の確保と正確な計測による到達精度の確保が不可欠です。止水性能の確保については、凍結工法と併用した止水や、止水壁を設けドライアップしてからの切り広げ等の施工法が考えられます。



④ 更新

接合部・分岐部の補修・補強

太径曲線パイプルーフ工法

工種	要素技術	特徴と課題	備考
推進工	太径曲線パイプルーフ工法	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none">①既設シールド内から施工可能。②地上からのアプローチを必要とせず非開削で施工可能。③本線シールド施工中でも、太径曲線パイプルーフ施工区間さえ過ぎれば施工でき、工程上クリティカルにならない。④推進工法の技術を用いたパイプルーフの施工により施工精度の確保が可能。⑤凍結工法併用により、地下水位以下での施工でも水位低下を抑え、地表面沈下抑制が可能。 <p>■課題</p> <p>なし。</p>	

④ 更新

嵌合方式のコンクリート一体型鋼製セグメント 《二次覆工省略型セグメント》

【大成建設株】

■技術の概要

白子川の河川改修として、1時間に50mm規模の降雨に対応するため、昭和55年度から構築が進められてきた白子川調整池群のひとつ。

構築済の比丘尼橋下流調節池で補えきれない洪水を一時的に貯留するための地下調節池を構築する工事。内径10m、延長3.2kmのトンネルがそのまま地下調節池となる。



トンネルは、シールド工法によって構築され、そのセグメントには、二次覆工省略型のセグメントが採用されている。



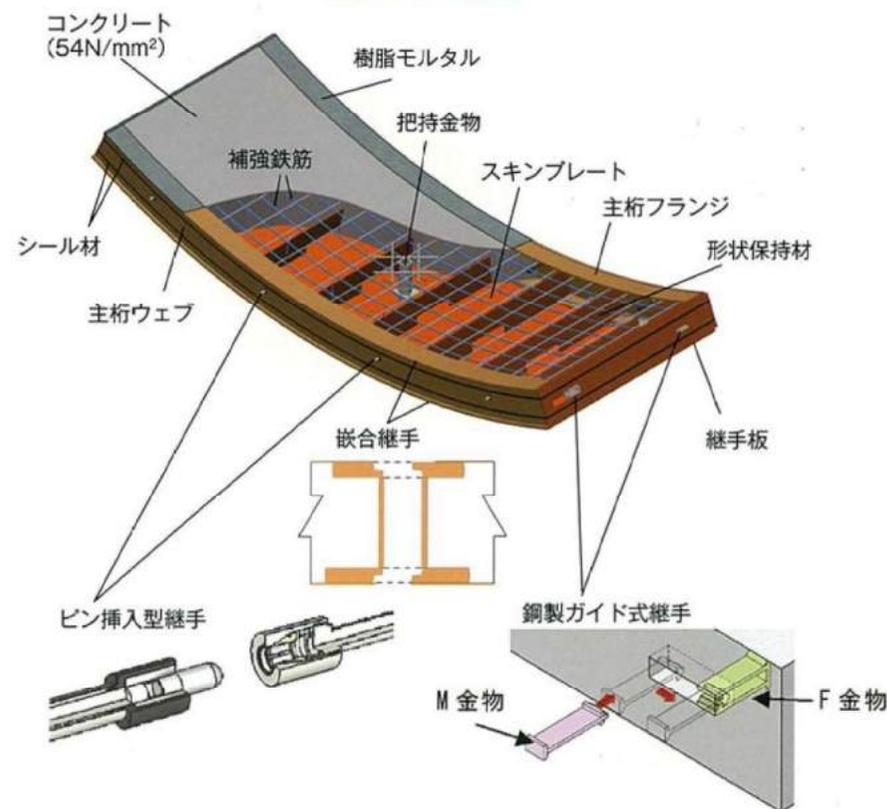
【嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメント】

本工程では、鋼材で補強した枠の中にコンクリートを充填し、鉄とコンクリートを一体化した合成セグメントを使用します。主桁フランジ、主桁ウェブ、鉄筋により補強されており、十分な耐力と内水圧に抵抗する性能を確保しています。また、リング間には、嵌合構造（かみ合い構造）を有しています。

《セグメント寸法・数量》

名称	タイプ	外径(mm)	桁高(mm)	幅(mm)	リング数
嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメント	I-V	φ10600	300	1,200	244
	II-IV	φ10600	300	1,800	1,596
	接続用	φ10600	300	750	2
鋼製セグメント		φ10600	250	1,200	11
合計					1,853

《セグメント仕様》



④ 更新

実証工事の技術

二次覆工省略型セグメント

工種	要素技術	特徴と課題	備考
シールド工	二次覆工一体型セグメント	<p>■特徴 嵌合方式の、合成セグメント（コンクリート一体型鋼製セグメント）。 十分な耐力を有し、内水圧にも抵抗する性能を有する。</p> <p>■課題 なし。</p>	

④ 更新

鋼枠と充填コンクリート合成のセグメント

《Tハイブリッドセグメント》

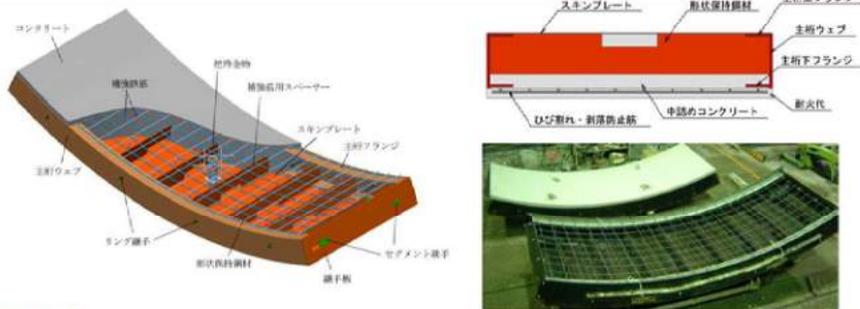
【大成建設(株)】

■技術の概要

鋼枠と充填コンクリートの合成構造により、高強度・高剛性的な合成セグメントを開発し、実際の構造物に適用しました。

④ 更新

セグメントは、合成構造としての設計手法が適用できることを実物大載荷実験にて確認し、トンネルでの使用を見据えた耐火実験も行い、その耐火性能を把握しています。



目的

シールドトンネルにおいて、局所的に大きな耐力を必要とする区間では、セグメントの厚さを変えないで利用できるセグメントが必要になります。現状では、高価なスチールセグメントか、S社独占の合成セグメントを採用する他なく、入札時の価格競争力が発揮できません。そこで、大成建設としてコスト競争力が発揮できる、鋼とコンクリートから構成される「Tハイブリッドセグメント」の開発が急務となります。

特徴

このセグメントは、セグメント両側に溝形状の鋼材を配し、内部にコンクリートを充填することにより合成構造を成立させています。具体的な特徴は以下の通りです。

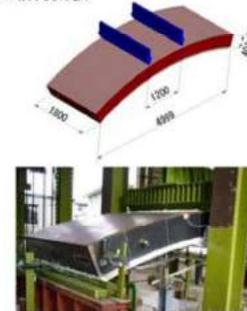
- ①セグメント間継手については、ワンバスタイプの継手を採用し高速組立を実現します。
- ②ジャッキ推力は充填コンクリートで支持するため、STセグメントのような縦リブを不要とします。
- ③道路トンネルでの使用を前提に、耐火代として厚さ60mmのコンクリートで鋼材は覆われており、コンクリートには耐火性能をもたせるため、ポリプロピレン繊維を混入しています。
- ④リング間継手にはRCセグメントと同じ継手を使用できるため、セグメントタイプの切り替えが容易であります。

展開

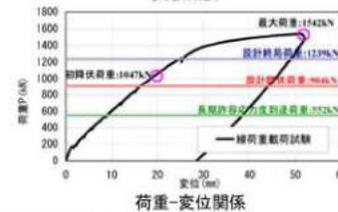
S社の独占状態となっている高強度・高剛性セグメントの市場において、コスト競争力のあるセグメントとして実用展開を図ります。特に技術提案で、部分的に高耐力が求められる区間にこのセグメントの採用を促すことで、大成建設のコスト競争力と技術提案力を発揮できます。また、入手済みの物件についてもVE提案することで、収支の改善、工事評価額の向上に寄与します。

性能確認

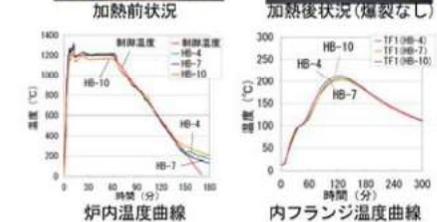
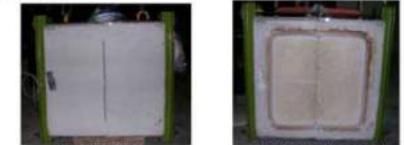
実物大載荷実験



実験概要



耐火実験

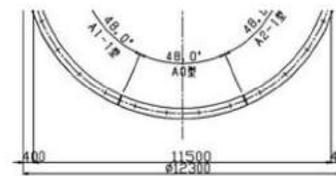


製作性実験

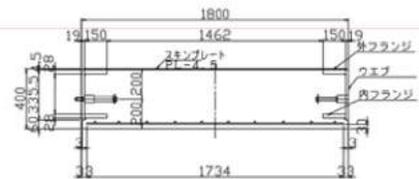


適用例 1

東京支店の中央環状品川線シールドトンネル工事(外径φ12300mm、t=400mm)にて、延長約800mの内、耐震上高耐力が必要な区間と偏荷重のため高耐力が必要な区間、合計約250Ring(約350m)に採用が決定しています。



組立図



本体構造	Tハイブリッドセグメント
覆工外径	12300mm
覆工厚さ	400mm
覆工幅	1800mm 1200mm
分割数	8分割(K縮小)
コンクリート強度	$f'_{ck}=42\text{N/mm}^2$
セグメント継手	ワンバスタイプ
リング継手	サン・クイックジョイント
耐火工	ポリプロピレン繊維 1.82kg/m ³ 混入

④ 更新

セグメント本体の補強

Tハイブリッドセグメント

工種	要素技術	特徴と課題	備考
シールド工	Tハイブリッドセグメント	<p>■特徴</p> <p>セグメント両側に溝形状の鋼材を配し、内部にコンクリートを充填することにより合成構造を成立させています。具体的な特徴は以下の通りです。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①セグメント間継手については、ワンパスタイプの継手を採用し高速組立を実現します。 ②ジャッキ推力は充填コンクリートで支持するため、S Tセグメントのような縦リブを不要とします。 ③道路トンネルでの使用を前提に、耐火代として厚さ 60mm のコンクリートで鋼材は覆われており、コンクリートには耐火性能をもたせるため、ポリプロピレン繊維を混入しています。 ④リング間継手にはRCセグメントと同じ継手を使用できるため、セグメントタイプの切り替えが容易です。 <p>■課題</p> <p>なし。</p>	

④ 更新

硬岩に対して小断面掘削可能なドリル

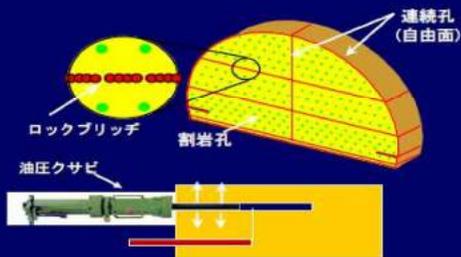
《FON ドリル工法》

【(株)フジタ】

工事例：日野山トンネル避難連絡坑、金近トンネル避難連絡坑（旧日本道路公団）

営業下の高速道路において避難連絡坑を構築するには、掘削方式として発破工法は採用不可能となるが、避難連絡坑はトンネルの中心部に構築されるため掘削対象が硬岩となる。このため、掘削方式としては割岩工法を採用し、自由面を切羽に形成後、割岩によりトンネルを掘削するが、片側一車線を通行させながら 10~20m²という小断面を掘削することになるため、使用可能な建設機械は極めて限定される。ここで、FONドリル工法は、あらゆる汎用ドリルジャンボに適用可能な簡便な自由面形成工法であり、このような小断面から普通断面まで幅広く適用できる点に特長がある。

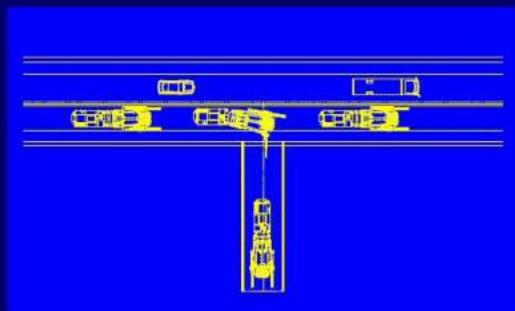
割岩工法とは



割岩工法とは、トンネル切羽に自由面（溝）を形成し、この自由面を利用して油圧クサビなどにより切羽岩盤を破碎する。

割岩工法では、この自由面形成の形成効率と、自由面の連続性の精度の高さ（ロックブリッジを残さない）が重要なポイント。

営業線下の施工における課題

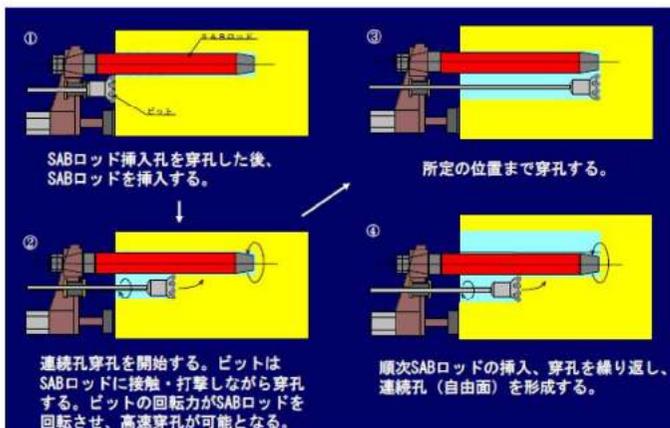


片側一車線通行中、小断面トンネルに直角に進入するため、使用機械が極めて限定される。

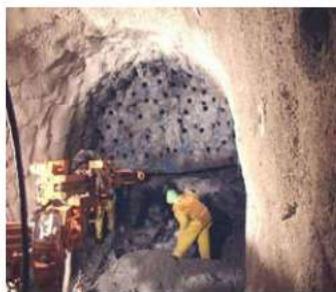
使用機械の比較

使用機械	日野山トンネル(約20m ²)	金近トンネル(約10m ²)
ドリルジャンボ	2ブームホイール式中折れタイプ ドリフタ重量150kg級	1ブームキャタピラ式 ドリフタ重量140kg級
割岩機	0.45m ³ BH搭載油圧クサビ1台	0.45m ³ BH搭載油圧クサビ1台
ブレーカ	ブレーカ重量300kg級	ブレーカ重量400kg級
ホイールローダ	サイドダンプ式山積0.8m ³ 級	サイドダンプ式山積0.8m ³ 級

FON ドリル工法とは



汎用のドリルジャンボに「SAB ロッド」を装着するのみの機構なため、あらゆるドリルジャンボに装着可能であり、簡便に自由面形成を可能とした工法



FON ドリル工法による
自由面形成状況
(金近トンネル)



大型油圧クサビによる
一次破碎（割岩）状況
(日野山トンネル)



ブレーカによる
二次破碎状況
(日野山トンネル)

④ 更新

FON ドリル工法

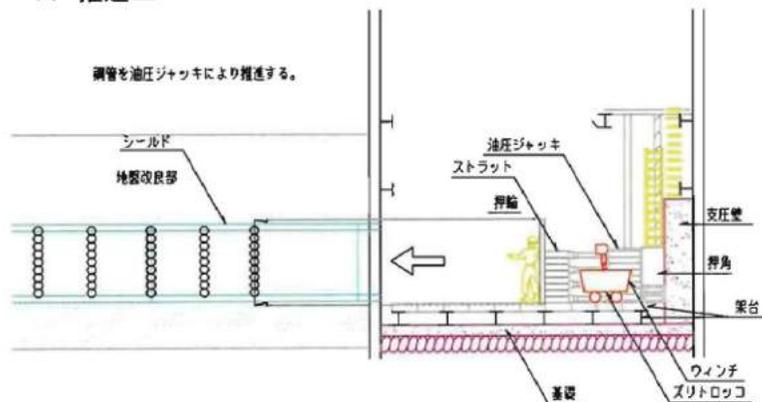
自由面形成工法

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
<ul style="list-style-type: none"> トンネル掘削 既設コンクリートの掘削／撤去 	FON ドリル工法 ・汎用機械（ドリルジャンボ）を使用した連続孔削孔工法	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 既設トンネルを供用させながらトンネルを改築する場合、既設コンクリートの取り壊しまたは岩盤を掘削する際に通常発破は使用できない。 FON ドリル工法は、汎用のドリルジャンボに SAB ロッドと呼ばれるガイドとなるロッドを取り付けることにより、連続的な穿孔を可能としており、この連続孔を自由面として利用することにより油圧クサビ等を使用して岩盤・コンクリートを静的に破砕することを可能としている <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> 汎用のドリルジャンボを導入できないような小断面では適用できない。 	<ul style="list-style-type: none"> NETIS 登録 KT-980302-A

工事例:首都高速 SJ31 工区(2)西新宿南連結路トンネル工事

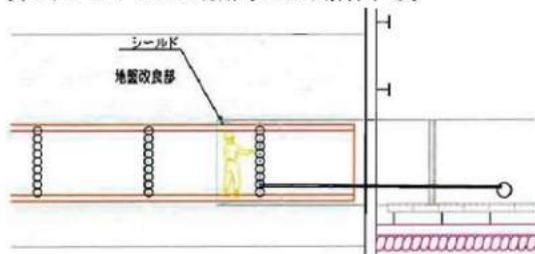
■技術の概要:

1. 推進工



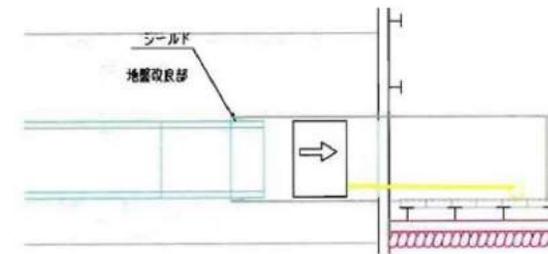
2. 既設管解体

既設管と刃口が所定のラップ幅を確保する位置で既設管の解体を行う。
二次覆工はコア抜き・はつり等により、鋼製セグメントはガス切断等により解体する。

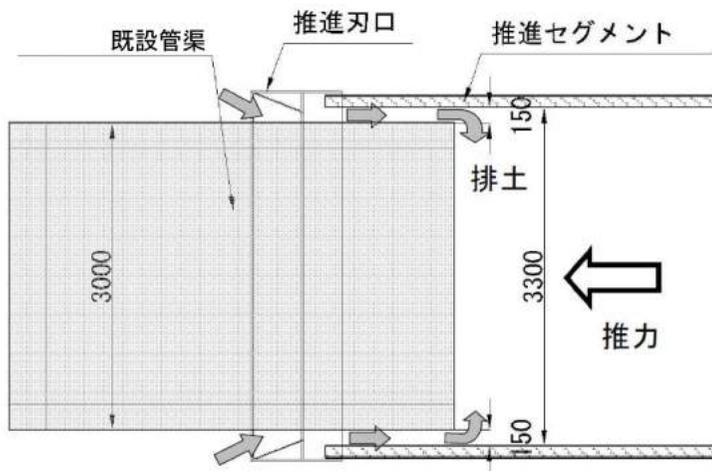


3. 既設管引戻し・撤去

セグメントをウィンチ等で引き戻す。



施工手順 概要図



刃口推進工 掘削イメージ



既設管渠撤去状況 (坑口まで引戻し)

④ 更新

既設管渠撤去工

刃口推進工

工種	要素技術	特徴と課題	備考
刃口推進工	既設管渠撤去工	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 既設管渠を撤去または更新する際、開削により地上から撤去する方法、地盤改良後にタヌキ掘りにて撤去する方法等が考えられるが、本工法では既設管渠より一回り大きな刃口推進にて新たな管渠を被せながら撤去する。既設管渠を更新するのであれば、新規の推進管を更新後の管とし、撤去であれば、既設管渠の撤去終了後に、刃口部より流動化処理土等を充填しながら、推進管を引き戻すことが可能である。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 地山の掘削は、既設管渠と刃口の隙間から行うため、効率的な掘削方法の開発が必要である。 所謂タヌキ掘りに比べ、地盤改良範囲・強度は小さくできると考えられるが、既設管渠と刃口の隙間の適切な量（クリアランス）の設定など、実例を積み重ねた検討が必要である。 	

泥土圧シールド工法における掘削土の分級処理

【(株)フジタ】

工事例: 北部幹線水路(板東・萩原工区)建設工事

■技術の概要

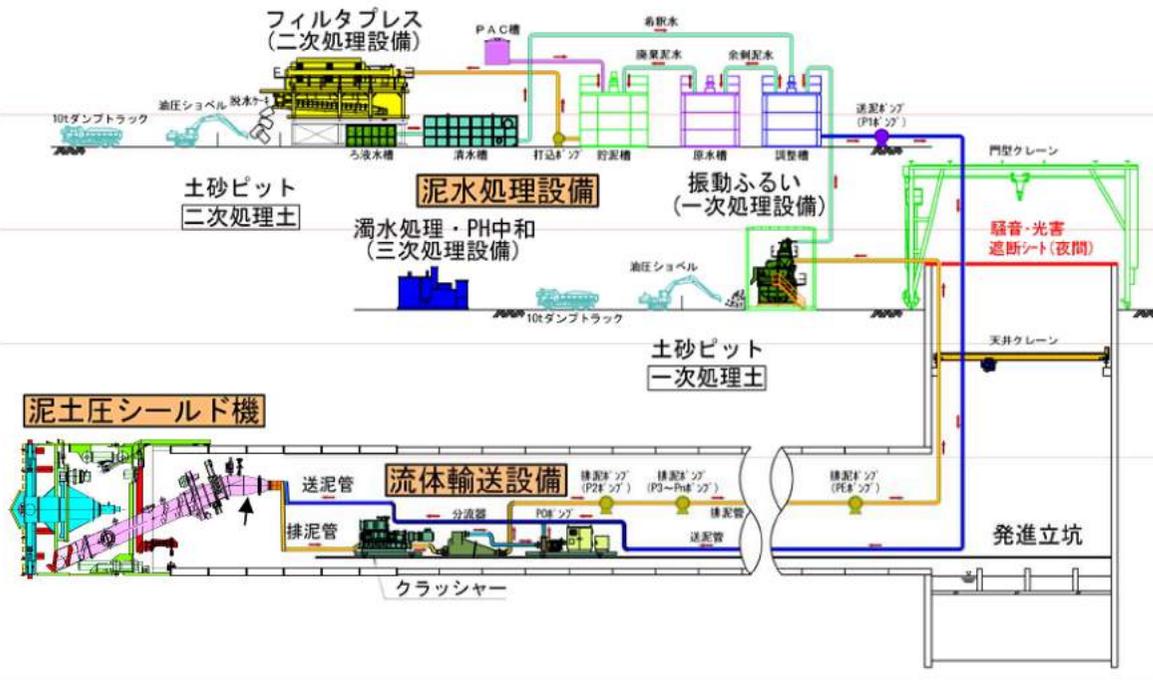


図-1 泥土圧シールド工法の掘削土流体輸送・分級処理概念図



写真-1 発進基地分級処理設備と一次処理土(建設発生土) 建設汚泥の発生抑制(約 5200m3)



写真-2 一次処理土の港湾埋立

④ 更新

掘削土の分級処理

建設汚泥の発生抑制

工種	要素技術	特徴と課題	備考
泥土圧シールド工法	掘削土の分級処理	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・従来、建設汚泥(産業廃棄物)として処理されてきた泥土圧シールド工法による掘削土から土砂(建設発生土)を取り出し、有効利用することで、建設汚泥の発生を抑制する。 ・切羽の安定保持は泥土圧シールド、掘削土の輸送方式は泥水式シールドで用いられる流体輸送方式を組み合わせたシステムである。 ・掘削土が建設汚泥か土砂かの判断は、施工場所の各自治体の環境部局の判断に委ねられているが、掘削土の分級処理が有効な場合(砂礫・砂が主体)では、一次処理土が建設発生土と判断される可能性が大きい。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一般的な泥土圧シールドに比べ、プラント設備のコストが高くなる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・泥土圧シールドで一般的な気泡シールドの場合、気泡材を含む掘削土は流体輸送される中で気泡が再発生するなど、設備等への悪影響があり、抑泡・消泡技術が組合せが必要となる。

⑤ 維持管理

トンネルの各情報をデータベース化して一元管理 《4Dトンネルマネージャー》

【株大林組】

■技術の概要

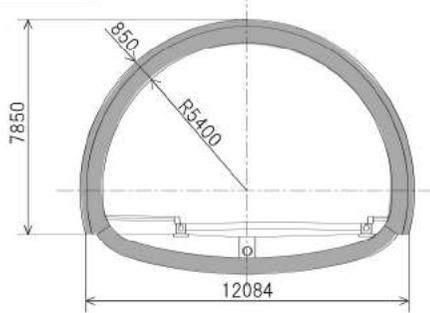
工事例：黄檗山手線（トンネル区）道路築造工事（京都府宇治市）

設計図面や支保パターンなどの設計情報、地質・計測結果・品質管理などの施工情報、3次元レーザースキャナーおよびノンプリズム測距儀によるトンネル形状やクラック等の維持管理情報をデジタル値でデータベース化し一元管理するシステム。本工事では、効率の良いトンネル維持管理に活用する為に導入。

トンネル位置図（京都府宇治市）



トンネル断面図



トンネル諸元

- ・施工法:NATM
- ・延長:610m(内、NATM554m、明り巻56m)
- ・仕上内空:62.8m²
- ・工法・方式:上部半断面先進工法・機械掘削
- ・施工時期:平成13年6月～平成16年12月

4Dトンネルマネージャーのコンセプト

- ・最新の測量技術を導入
- ・ビジュアル・取り扱いに優れたコンピュータ・データベース



- ・3次元座標に時間データを加えた4次元データでの変状の記録
- ・3次元レーザースキャナーによる構造物形状の測定・記録
- ・トンネル建設時の地質情報や施工情報、点検・調査時の調査情報

適用手順

トンネル建設時

- ①トンネル建設時の設計・施工情報
 - ・設計図面、支保パターンなどの設計情報
 - ・地質情報、計測結果、施工写真などの施工情報入力



- ②トンネル建設時の調査、点検情報のデジタル化
 - ・トンネル形状情報の記録:3次元レーザースキャナー
 - ・クラック等の点検記録:ノンプリズム測距儀



維持・管理期間

- ③維持管理時の調査・点検・危険度の判定の参考
 - ・ノンプリズム測距儀によるクラック、変状の追跡調査
 - ・既存データとの比較による危険度の判定
 - ・既存データを基にした変状原因の推定

トンネル平面図

壁面展開図

漏水・クラック等の情報

3次元スキャナー

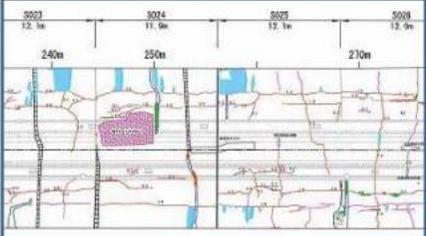
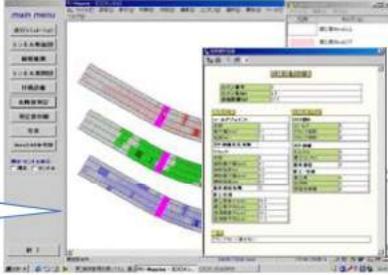
施工（地質・計測等）情報

切羽観察記録

⑤ 維持管理

4Dトンネルマネージャー

維持管理データベース

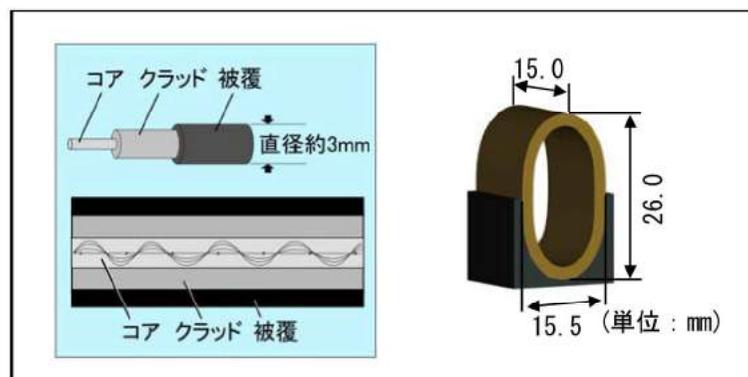
工種	要素技術	特徴と課題	備考
<p>維持管理</p>	<p>4Dトンネルマネージャー</p> <p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 覆工コンクリートの内表面に見られる変状やクラックの特徴を3次元座標および線として測量・認識した上で、時間経過データを加味してデータベース化を行う。 定期的に行うトンネル調査の情報をシステムに蓄積していくことにより、経時的な変状等の変化をデジタル的に管理することができる。 このシステムに建設時やメンテ時の地山観察データ、計測データ、設計図面、施工写真等の施工情報を取り込み一括管理することで効率的にトンネルを維持管理できる。 <p style="text-align: center;">変状展開図例</p> 	<p>現 状</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>背景</p> <p>トンネル構造物の老朽化進行 トンネル維持管理の増大</p> <p>↓</p> <p>維持管理の合理化・最適化 アセットマネジメントシステム</p> <p>↓</p> <p>課題</p> <p>構造物の健全度判定 適切なタイミングでの補修・更新の意思決定</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>情報管理データベースの必要性</p> <p>構造物の健全度判定・劣化診断</p> <p>↓</p> <p>変位・変状等の調査データのみでは不十分 地質情報・設計情報・施工情報等を統合したデータベースが必要</p> <p>↓</p> <p>様々な情報を一元管理 ビジュアルで容易なインターフェイス 3D計測結果を表示</p> </div> </div> <p>4Dトンネルマネージャーのコンセプト</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>目的</p> <p>健全度判定をサポートするシステム トンネル構造物に関する維持管理用データベース 3D計測結果を表示</p> <p>↓</p> <p>必要な要素</p> <p>経時的な変状情報を管理できるシステム 客観的・定量的な情報の取得 各種情報の一元管理 使いやすいインターフェイス、操作性</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>手法</p> <p>最新の測量技術を導入 ビジュアル・取扱いに優れたコンピューターデータベース</p> <p>↓</p> <p>内容</p> <ol style="list-style-type: none"> 3次元座標に時間データを加えた4次元データでの変状記録 3次元レーザースキャナによる構造物形状の測定・記録 トンネル建設時の地質情報や施工情報、点検・調査時の調査情報の一元管理 </div> </div> <p>→</p> <p>課題</p> <ol style="list-style-type: none"> システム内での構造物健全度判定 評価判断基準の確立 変位情報だけではなく、総合的情報の評価システム <p>→</p> <p>危険度に応じて色分けなど</p> 	<p>■システムの仕様</p> <p>①入力データ</p> <ul style="list-style-type: none"> トンネル延長・線形・形状等基本データ 覆工内面3次元スキャナ座標データ 覆工クラック3次元データ 不具合発生箇所3次元データ その他写真、PDFデータ、CADデータ <p>②パソコン</p> <ul style="list-style-type: none"> Windowsの動く環境 <p>③出力</p> <ul style="list-style-type: none"> 覆工変状調査展開図 覆工3次元形状図 時系列の変状データ推移 その他写真、PDFデータ、CADデータ <p>■主な適用実績</p> <ul style="list-style-type: none"> 京阪奈良線北大和トンネル (奈良生駒高速鉄道) 総合治水対策特定河川事業鶴見川恩廻公園調節池(本坑)建設工事 (神奈川県川崎治水事務所)

■技術の概要

岩盤、コンクリートおよび金属のような固体材料が塑性変形あるいは破壊する際、超音波振動（AE）を放出する。この AE の発生頻度や規模、さらには発生が集中する位置を測定することで、対象物の破壊損傷度合いを評価できる。

従来、電気式のピエゾ AE センサが主に利用されてきたが、湿度の高い環境下での長期モニタリングや可燃性ガス噴出環境下での防爆処置に課題があった。光 AE 計測では、AE センサから計測経路全域を光ファイバで構成している。本計測では、コアと称される高密度ガラス繊維中をレーザ光が透過するため、電気を使用しない計測となる。したがって、特別な防水や防爆処置を施すこと無く、モニタリングする事が可能となる。また、光ファイバは耐食性に優れることから長期モニタリングが可能になり、トンネルをはじめとするインフラ構造物の長期モニタリングに展開する。

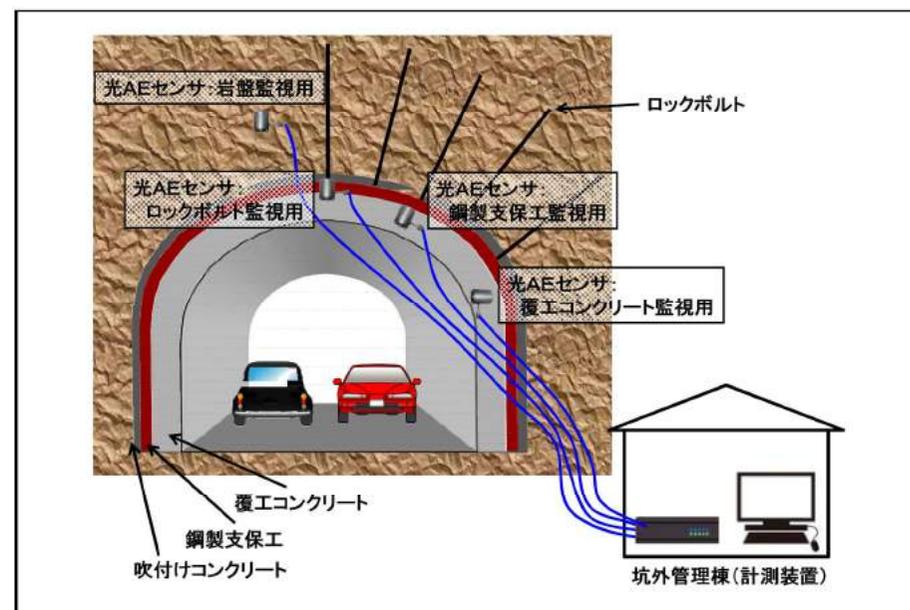
光ファイバと光 AE センサ



光ファイバは、コア、クラッド、被膜から構成される。この内、コアを積層の楕円形に巻きつけ、片端にはエポキシ樹脂による脚部（AE 受波面）を設置したものが光 AE センサである。現場での使用に際しては、金属筐体などの保護ケースに入れて AE 受波面側を計測対象物に接着し用いる。

計測対象物からの AE がセンサに伝播されると、センサは微小伸縮を生じ、コアを透過するレーザ光の周波数が変調する。この変調量を計測することで、AE を検出する。

光 AE 計測によるトンネルでのモニタリング案

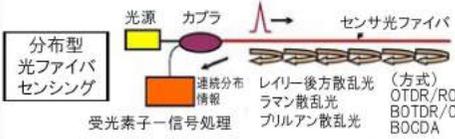
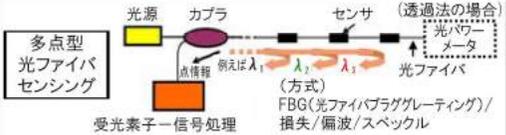
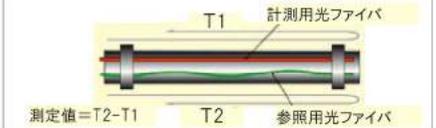
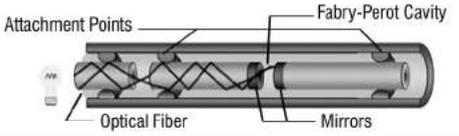
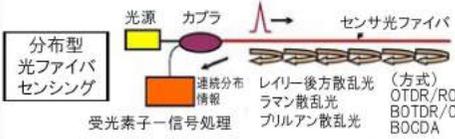
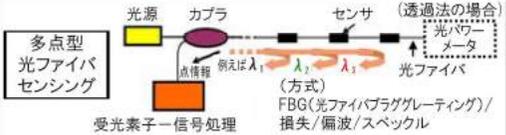
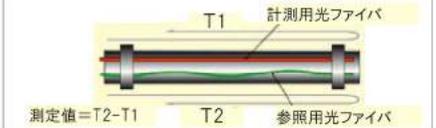
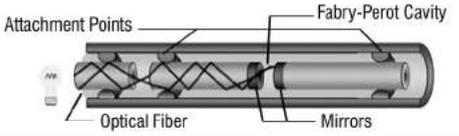
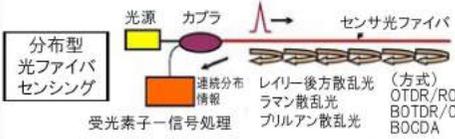
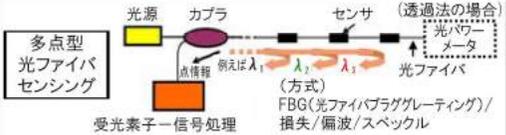
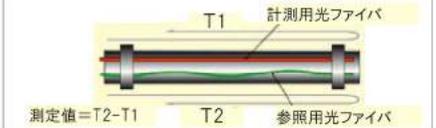
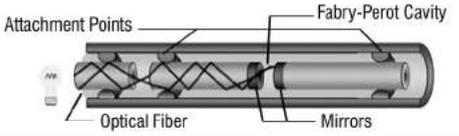
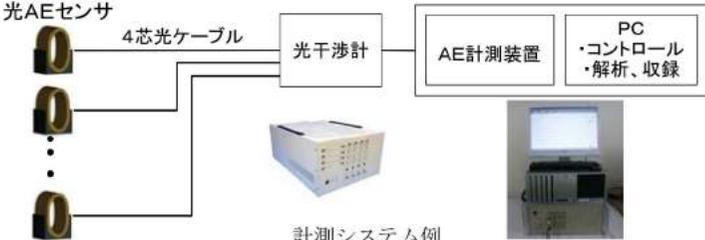


光 AE センサを岩盤、覆工コンクリート、鋼製支保およびロックボルトに取り付け、供用中の構造物変化や劣化状態を長期にわたりモニタリングする。

⑤ 維持管理

長期モニタリング

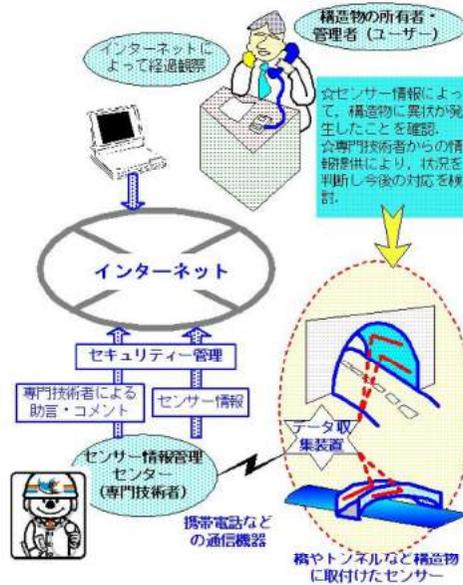
光AE計測

工種	要素技術	特徴と課題	備考															
維持管理モニタリング	<p>■光AE計測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・岩石、岩盤、コンクリート、金属など固体材料であれば如何なるものでも対応可能。 ・センサー設置方法は、埋設式、表面設置式など対応可能。 ・AE発生頻度、規模、位置標定から構造物の破壊損傷度合いや進展状況をリアルタイムで評価。 ・光伝送損失が小さいため、坑外への長距離伝送が可能。 ・光信号を扱うため、雷など電磁場の影響を受けない。 ・高湿度条件下や可燃性ガス噴出条件下で特別な処置を施すことなく長期モニタリングが可能。 	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサーを複数個設置することで、2次元もしくは3次元的な損傷判断が可能。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・健全度判定方法および基準値の設定 ・実構造物での適用と実証 ・他の光計測技術との連動、計測諸量（ひずみ、力など）との組み合わせによる総合評価 <p>光AE方式以外の光ファイバーセンシング方式</p> <table border="1" data-bbox="817 545 1704 1166"> <thead> <tr> <th>方式</th> <th>測定対象</th> <th>概要</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BOTDR方式</td> <td>ひずみ (温度)</td> <td>  </td> </tr> <tr> <td>FBG方式</td> <td>ひずみ (温度)</td> <td>  </td> </tr> <tr> <td>SOHO方式</td> <td>変位</td> <td>  </td> </tr> <tr> <td>ファブリペロー方式</td> <td>ひずみ (温度)</td> <td>  </td> </tr> </tbody> </table>	方式	測定対象	概要	BOTDR方式	ひずみ (温度)		FBG方式	ひずみ (温度)		SOHO方式	変位		ファブリペロー方式	ひずみ (温度)		<p>■主な適用実績</p> <p>光AE計測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・波方国家石油ガス備蓄基地（ブタン／プロパン兼用貯槽） <p>AE計測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・波方国家石油ガス備蓄基地（ブタン／プロパン兼用貯槽） ・神岡鉱山地下実験場 ・釜石鉱山地下実験場
方式	測定対象	概要																
BOTDR方式	ひずみ (温度)																	
FBG方式	ひずみ (温度)																	
SOHO方式	変位																	
ファブリペロー方式	ひずみ (温度)																	
	<p>■システムの仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光AEセンサ 形状：楕円積層構造型、周波数領域：20～90kHz ・光干渉計 レーザー波長：1550nm、干渉方式：光ヘテロダイン方式 ・AE計測装置 周波数特性：1kHz～500kHz、波形出力：16bit 	<p>光AEセンサ</p>  <p>計測システム例</p>																

特殊技術

センサ計測情報提供システムの概要

本システムは、コンクリート構造物の維持管理の省力化・効率化を目的として、構造物に設置した複数のセンサから得られる連続的なデータと、異常値が得られた時の専門技術者による具体的な対処方法を、インターネット技術を介して構造物所有者・管理者（ユーザー）に提供する技術である。



本システムの概要



導電性塗料

トンネルの点検診断業務の現状と課題

- ① 暗所⇒目視点検では高度な点検診断を行えない
- ② 広範囲⇒日常的な構造物の状態把握が難しい
- ③ 供用に支障を来さない範囲での点検となる
- ④ 様々な変状が生じるに対する点検項目が必要

上記課題に対し、点検診断の高度化を目的としてセンサモニタリングの併用も採られているが、大量かつ広範囲の構造物群に設置した複数のセンサ情報の分析等に多くの時間や労力を要している。

トンネルの点検診断業務への本システムの有効性

本システムは、上記のセンサモニタリングを効率的に行うことを可能にしたシステムである。

- ① 構造物に想定される変状検知に適した複数のセンサ情報を連続的に入手できるため、点検データの種類、頻度(本システムでは構造物の変状に対するリアルタイム情報を常に監視できる)等の面で、従来の目視点検よりも高度なレベルでの維持管理を実現できる。
- ② ①に付随して、構造物変状の発生リスクの低減や、変状の早期発見に大きく貢献できる。
- ③ 従来のセンサモニタリングと比較して、点検診断に必要なデータ回収～報告書作成までの時間と労力を大幅に軽減できる。

本システムの特徴（従来のセンサモニタリングとの違い）

- 1) センサ情報の分析や整理作業を省略
 (従来の方法) センサ情報の回収後にデータ分析や報告書作成作業を伴う。
 (本システム) センサ情報の回収と同時に**分析や整理作業を自動化**
- 2) センサの最新情報をいつでも閲覧可能
 (従来の方法) センサ情報の回収から関係者全員が情報を把握するまでにタイムラグが生じる(分析や報告書作成作業を伴うため)。
 (本システム) **関係者全員がWEB画面を通じてセンサ最新情報をいつでも閲覧可能。**
 (データ回収と同時にセンサ情報を自動更新する)
- 3) 構造物に設置した複数のセンサ情報の確認作業を簡便化
 構造物に設置した複数のセンサ情報をリストとして一覧表示し、センサ毎に変状発生を識別するしきい値をあらかじめ設定して、変状を検知したセンサ欄の色を自動で変化させることで、**管理者のセンサ情報確認の労力を軽減。**
 ⇒ 構造物の変状の早期発見、臨時(緊急)点検等の**迅速な対応が可能。**

複数のセンサ情報を一度に確認可能
 ※センサ情報から得られた構造物変状の有無を色により識別

ブロック名	データ取得箇所	部位	センサの種類	状況	判定
A1	A1-S-3	-	振動センサ	正常	正常
F1	F1-S-1	-	電気センサ	正常	異常
F1	F1-S-2	-	電気センサ	正常	正常
F1	F1-S-3	-	電気センサ	正常	正常
F1	F1-S-4	-	電気センサ	正常	正常
F1	F1-S-5	-	電気センサ	正常	正常
F1	F1-S-6	-	電気センサ	正常	正常
F1	F1-S-7	-	電気センサ	正常	正常

- 4) 構造物の予防維持管理を実現するための維持管理体制の強化
 - ・大規模な劣化に至る前に、**計画的かつ予防的な対策検討を実施するための時間的余裕を確保可能**(定期的なWEB画面の情報確認により、センサ情報に基づく構造物変状の発生やその進行の速さを把握できる)。
 - ・専門技術者のサポートにより、対策の実施時期・方法に関する適切なアドバイスを提供できる体制を構築(**関係者間で密に情報交換を行える**)。
 - ・施設管理担当者が変わる場合でも、過去の維持管理情報を確実に伝達できる(過去の維持管理情報がいつでも閲覧できるように記録管理される)。

⑤維持管理

特殊技術

センサーモニタリング情報提供システム

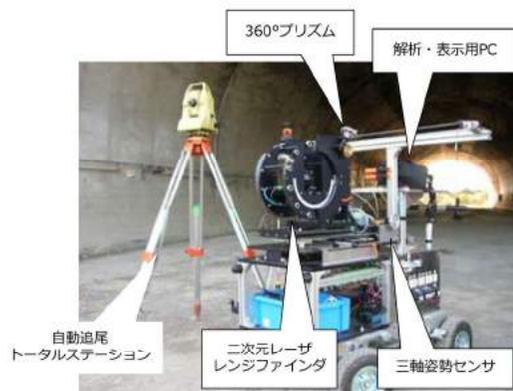
工種	要素技術	現状と課題	備考
センサー/遠隔システム 設置工 (システム導入段階)	① モニタリング対象とする変状の種類・の絞り込み ② 変状検知センサーの選択 ③ 構造物へのセンサーの設置 (配線またはデータ伝送装置等の設置含む) ④ センサー情報の回収機器と情報管理センターとの通信機器の設置 ※回収したセンサー情報を情報管理センターに自動転送する遠隔システムの設定	①構造物の種類, モニタリング対象とする変状の種類, モニタリング開始時の変状の程度により使用するセンサーは異なるため, センサーの種類や個数, 設置箇所等は, 管理者と協議して決定する必要がある。 ②センサー設置後の数ヶ月間は, センサー情報の回収機器と情報管理センターとの通信機器の電源確保の方法 (商用電源を確保できない場合はソーラーシステム等の導入) および通信状況の確認が必要である。 ③運用途中に別途新規センサーを追加する場合などは, そのセンサーに適するデータ回収装置および遠隔操作等の通信状況の確認が必要となる場合がある。	【本システムの導入実績】 当該橋橋では施設全体 (橋橋延長約 140m) に塩害劣化が顕在化したため, 平成 18 年度に補修・補強工事が実施された。そのうち, PC 桁 (77 本) に対して電気防食工法 (施工面積 633m ²) が適用された。そこで, 広範囲の電気防食システムの維持管理方法として, 橋橋下での点検が省略でき, さらに専門技術者が日々の防食システムの稼働状況を確認しながら信用性の高い維持管理情報をリアルタイムに提供できる本システムを採用した。
WEB 画面等システム 構築業務 (システム導入段階)	① 設置したセンサー種類, 設置位置, 各センサー情報をインターネットに表示するための WEB 画面の作成 ② センサー情報を WEB 画面上で自動更新させるシステム構築 ③ 変状検知時の関係者への自動警告発信システムの設定 (構造物の変状の早期発見に繋げるためのシステム) ④ 情報管理センターへのサーバーアクセス権 (ID とパスワード) 発行 ※関係者間のみでの情報開示を前提	①本システムでは, 構造物に設置した複数のセンサー情報を WEB 画面上に一覧表示させ, 設置したセンサー毎にあらかじめ「しきい値」を設定しておき, しきい値を基準としてセンサー情報から判定される構造物の状態を一覧のセルの色を変化させて自動で表示させる。 ②ただし, センサーの種類によっては, 気象条件等の変化により計測値が変動するものもあるため, センサー情報から構造物の変状の有無や進展を自動判定するための評価手法 (しきい値の設定など) の構築が必要な場合もある。	<p>海側</p> <p>陸側</p> <p>PC桁77本に対して, 4回路に分けて電気防食工法を適用</p>
点検診断業務 (運用段階)	① 専門技術者によるデータ確認, コメント記入 ② モニタリング情報のセキュリティー管理		<p>※照合電極の情報を約7年間モニタリング中 (2013/4時点) ※本システム導入により, 電気防食システムの不具合を早期発見・復旧を実現</p>

【技術の概要】

① 移動計測型三次元形状計測機

2次元レーザスキャナを計測台車上に上下2台搭載し、断面方向の形状データを取得する。台車を連続的に前進させることで、周辺構造物の三次元形状を取得する。

レーザスキャナの位置及び台車の傾きは自動追尾トータルステーション及びジャイロで計測して、形状データに反映する。



システム機器構成		
機器名称	機種名	メーカー名
自動追尾トータルステーション	TCA2003	ライカジオシステムズ
光ファイバージャイロ	JGS7402-A	日本航空電子
レーザレンジファインダ	LMS-511	SICK
データ処理PC	CF-30	Panasonic

② リアルタイム評価システム

計測対象物の設計データをあらかじめ入力しておくことで、計測と同時に設計と計測データの差異を算出し、差異の大きさによりデータ表示色を変化させるため、計測結果の評価を直感的に行うことができる。

リアルタイム評価システム概要

現地計測

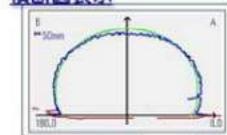
台車を移動させながら計測対象物形状を計測する。



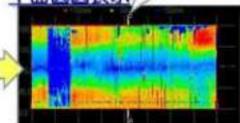
現地即時評価

平面図・鳥瞰図・横断面を見ながら現場で即時に設計との差異を評価できる。

横断面図表示



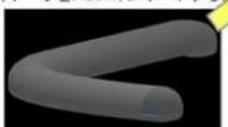
平面図図表示



平面図上で、横断位置を指定することで、任意の位置での横断面図表示が可能である。

設計データ入力

事前にLandxml形式の三次元設計データをPCにインポートする



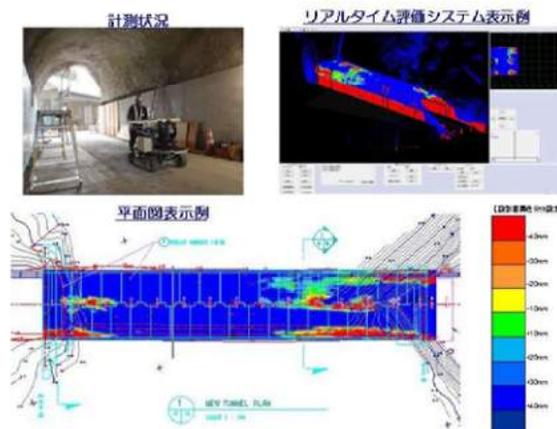
計測と同時に計測データが設計との差異に応じて色分けで表示される。表示形式は、平面図・鳥瞰図・横断面

【技術の適用事例】

① 既設トンネル補修工事における適用事例

既設トンネルを補修するため、トンネル吹付け面の内側にプレキャストコンクリート覆工版を設置する工事を実施した。

その際に、凹凸の激しい吹付け面を計測し、プレキャストコンクリートが設置可能な空間が確保されているかを確認した。



② 鉄道建築限界内の仮設構造物確認事例

新設軌道の建築限界付近に存在すると考えられる仮設構造物の限界との離隔を確認した。

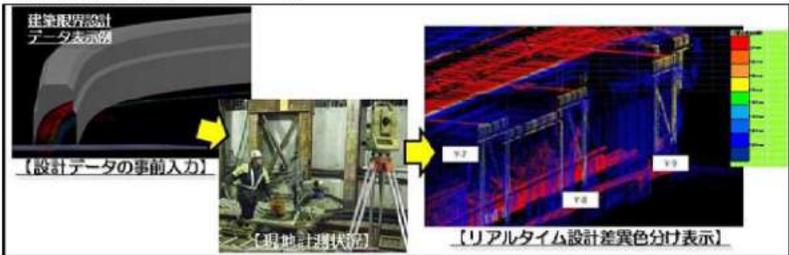
鉄道線形が曲線区間であり、軌道面に勾配があるため、連続的な確認や高い位置での建築限界確認が容易になった点が有効であった。

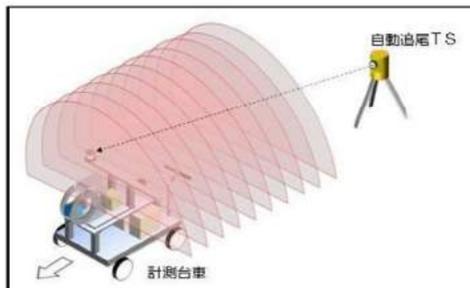


⑤ 維持管理

三次元形状計測システム「RaVi」

出来形調査

工種	要素技術	特徴と課題	備考
トンネル出来形調査	<p>三次元形状計測システム「RaVi」</p> <p>移動計測型三次元レーザスキャナを用い、計測と同時に設計との差異の確認を可能にしたシステム。</p> <p>設計との差異が現地で即座に確認できることから、構造物の変状および変状範囲を迅速に把握することが可能である。</p>	<p>■特徴</p> <p>①移動計測型の三次元計測機</p> <p>三次元形状計測システム「RaVi」は、一般的に普及している三脚タイプの三次元レーザスキャナと異なり、移動しながら計測できることで、狭隘部・閉鎖空間での計測効率を飛躍的に向上している。</p> <p>また、トンネル等の細長い閉塞空間の形状取得に優れた機動性を発揮するため、施工中または計測時間が限定される場所の出来形情報を迅速に取得することが可能である。</p> <p>さらに、様々な計測条件に対応するため、下記の通りの計測仕様を開発している。</p> <p><三次元形状計測システム「RaVi」の計測仕様></p> <div data-bbox="857 738 1532 884" style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div> <p>②リアルタイム評価システムの搭載</p> <p>設計断面あるいは建築限界データを事前にソフトウェアに入力しておくことにより、計測と同時に設計との差異を算出する。また、設計との差異を色分け表示する機能を搭載することで、現地で即座に設計との差異の判断が可能となっている。</p> <div data-bbox="835 1050 1624 1305" style="text-align: center;">  <p>【設計データの事前入力】 → 【現地計測状況】 → 【リアルタイム設計差異色分け表示】</p> </div> <p>リアルタイム評価システム鉄道建築限界適用事例</p> <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 計測データのばらつきを処理する機能の搭載が必要である。 計測データ（点群）をモデル化して、BIM/CIM等の三次元設計データに反映させる機能が必要である。 	<p>◆実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新設トンネル計測 3件 ・既設トンネル改修 1件 ・鉄道建築限界調査 1件 ・地下構造物形状調査 1件 ・既設建築物形状調査 3件 ・地下空洞調査 1件 <p>◆その他</p> <ul style="list-style-type: none"> ・NETIS 登録申請準備中



三次元形状計測システム「RaVi」計測概念図

■技術の概要

トンネル覆工のコンクリート打設において、施工段階で発生するひび割れは、構造物の安全性、水密性、耐久性を低下させ、美観を損なう恐れがある。さらに、供用後に発生する内部空洞や浮き、剥離、欠落、漏水の原因となることから、補修が必要となり、その補修には多額のコストや時間がかかる。したがって、コンクリート硬化初期段階における有害なひび割れの発生を抑えることが、構造物の耐久性、耐荷性、水密性、美観などの使用性能の確保において重要となる。そこで、施工時に温度低下などの要因が発生しても、脱型強度を確保し品質のよいコンクリートを打設するために、積算温度管理システムを使用した強度管理により行う。積算温度管理システムでは、温度解析により求めた覆工コンクリートの温度経時変化から圧縮・引張強度の経時変化を算出し、骨組解析により求めた覆工発生応力と比較することにより、安全に脱型できる時期の検討を行う。また、施工時にコンクリート温度を直接測定し、養生方法や期間、脱型時期などを適切に選定する。

■施工事例

工事名：家田第一
トンネル工事
工期：2009年3月
～2011年3月
発注者：国土交通省
九州地方整備局

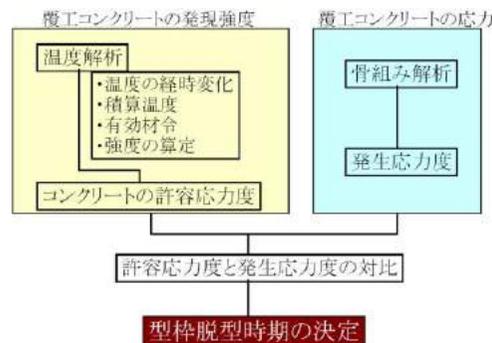


図1 覆工型枠脱型時期の検討概要
(積算温度管理システムの一部)

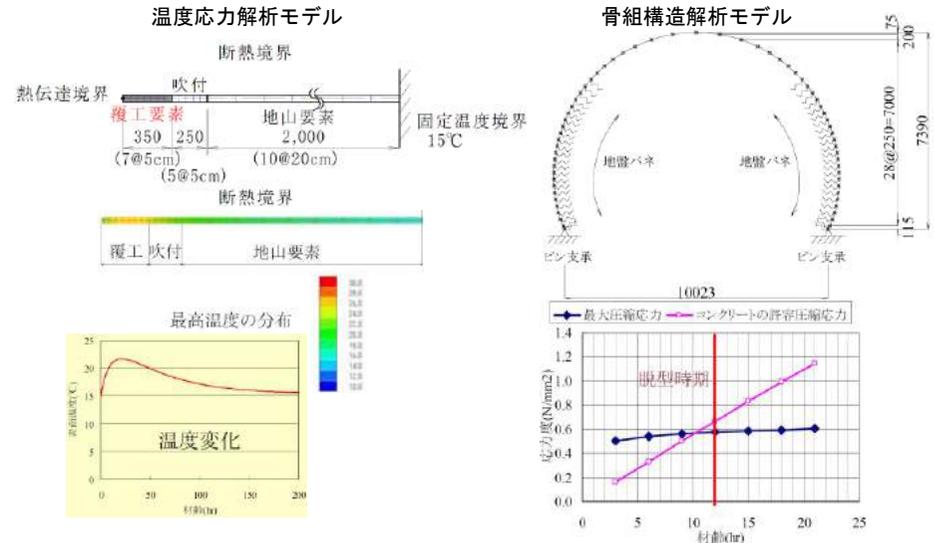


図2 覆工型枠脱型時期の検討

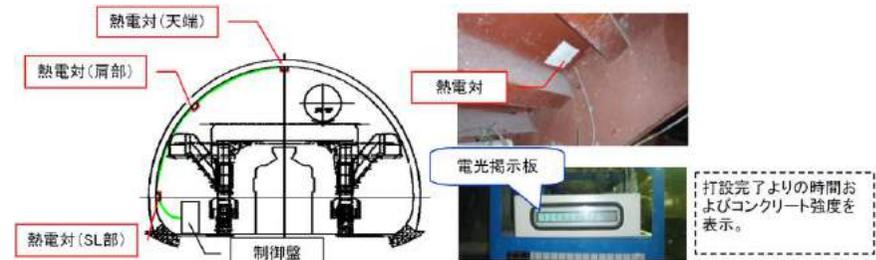


図3 施工時のコンクリート温度計測

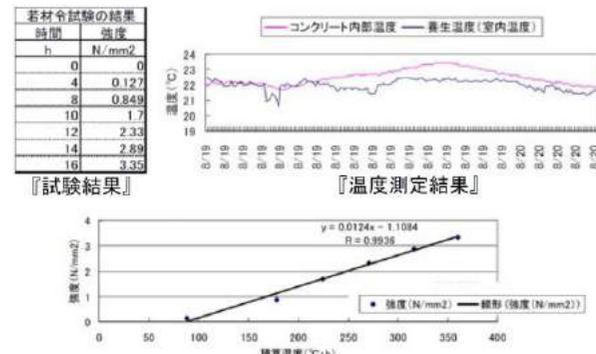


図4 施工時のコンクリート温度計測結果

覆工・躯体(裏込め含む)

積算温度管理システム

型枠脱型時期の検討

工種	要素技術	特徴と課題	備考
覆工	<p>コンクリートの打設時期が冬期になると換気およびトンネル貫通により坑内温度が極端に低下することが懸念され、時間管理では脱型強度に達しない可能性がある。このため温度低下などの要因が発生しても脱型強度を確保し、品質のよいコンクリートを打設するために、積算温度管理システムを使用した強度管理を行う。</p> <p>■技術概要</p> <p>トンネル覆工コンクリートの脱型時期は、解析により「材齢とコンクリート強度の関係」、「脱型時に発生するコンクリートの発生応力」を算出して比較し、脱型可能時期を設定する(図 2)。解析から求めた積算温度と強度の相関と、実供試体とで比較キャリブレーションを実施する(図 2)。コンクリート温度を測定する熱電対を天端、肩部、SL部の3箇所設置する。(図 3) 積算温度測定による強度管理を行い、最適な脱型時間で脱型する(図 4)。</p>	<p>■特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 構内環境に応じた適切な脱型時間を設定することにより、覆工コンクリートの長期耐久性を向上させることができる。 ・ 坑内温度が急激に変化し強度発現が遅れた場合でも、積算温度によるコンクリート強度発現まで脱型しないことで高品質のコンクリートを打設することができる。 <p>■課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 温度計測に手間とコストが掛かる。 ・ トンネルの大断面化に伴いトンネル形状の扁平率が大きくなり、発生応力度が増大するが、扁平形状での実績が乏しく、予測精度に不安が残る。 	<p>施工実績は豊富である。</p> <p>自社の充填管理システム等との併用も可能で、均等・密実なコンクリートが施工できる。</p>

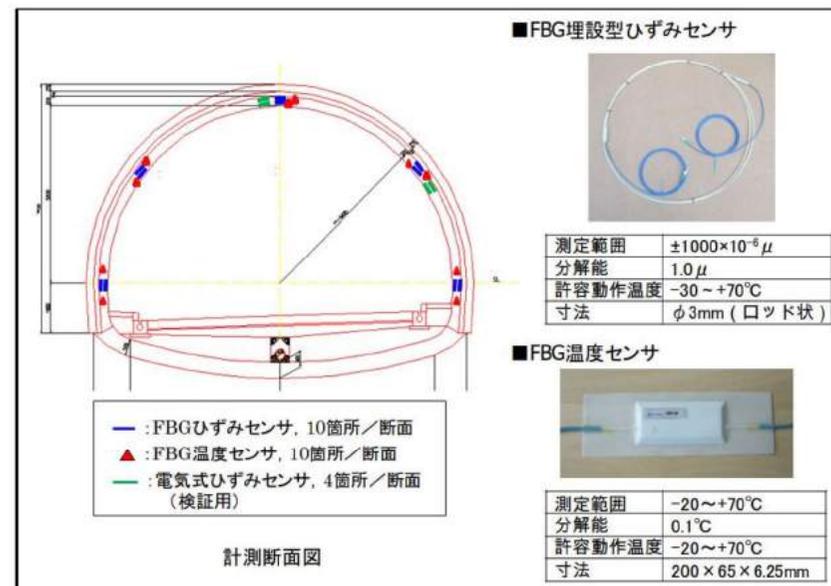
⑤ 維持管理

光ファイバセンサによる構造物のモニタリング 《FBG 光ファイバセンサ》

【飛島建設(株)】

■技術の概要

二次覆工コンクリート内に FBG 埋設型ひずみセンサを設置し、坑口に設置した FSI ユニット(光測定器)でひずみを計測します。



光ファイバセンシング技術の特徴

- 耐久性 センサはガラス製の光ファイバなので、腐食による劣化が少ない。
- 信頼性 光ファイバセンサは電気信号を用いないので、水分の介在による異常値の発生はない。
- 電磁場内での適用 センサの計測データは、光信号により計測機器に送信されるので、計測場所では電磁場の影響を受けない。
- 防爆 計測個所に電気信号を用いないので、引火物の近くでも使用可能である。
- 計測範囲 光信号は伝送損失が小さいので、数kmの範囲の計測を行うことが可能。

⑤ 維持管理

FBG光ファイバセンサ

覆工計測

工種	要素技術	特徴と課題	備考
調査、計測	FBG 光ファイバセンサ	<p>■特 徴</p> <p>FBG光ファイバセンサは、構造物のひずみや変位、傾きなどのさまざまな特性の変化を計測する技術です。</p> <p>光ファイバセンサを用いて、対象構造物に適したさまざまな計測器を開発しており、以下の計測が可能です。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・トンネルの覆工コンクリートの経年劣化 ・高架橋・橋梁の柱の損傷・不同変位 ・斜面の地すべり ・軌道の沈下・隆起・側方移動 <p>■課 題</p> <p>センサ・機器の初期コストが比較的高いです。長期間の使用が可能のため、設置から計測までのトータルコストは安くなります。</p>	トンネルはじめ、30件以上の適時用実績があります。

⑤ 維持管理

ICタグを用いたセグメント品質管理

《ICタグ品質管理システム》

【(株)フジタ】

工事例：東京都砂町水再生センター雨水放流渠工事

■技術の概要：

シールドトンネルのセグメントには、材料・製造工程・施工(掘進・組立)に関わる情報が膨大にある。このため供用開始後、万一不具合が発見された場合に、製造・施工のどの段階に原因があるのかを即座に究明することは困難なことが多い。ICタグは非接触で情報の読み書きが可能であり、製造・施工等各段階の情報を随時書き込むことができる。また点検中に不具合が発見されたセグメントの情報も、その場で読み出すことが可能であり、オンサイトでのトレーサビリティ確保が可能となる。

記録されるデータのイメージ

水中養生完了日 ミルシート 出荷時検査 気象データ

練り混ぜ情報
コンクリート試験
脱型日

IC タグ

IC タグ入りモルタル
スペーサー

コンクリート打設状況

セグメント

Bluetooth

データ読み書き状況

端末上でのデータ呼び出し状況

セグメント中に配置される
モルタルスペーサーおよび IC タグ

セグメント断面図
鉄筋かご
スペーサー
ICタグ
ベース

スペーサー正面図
スペーサー側面図

⑤ 維持管理

IC タグ

品質管理

工 種	要素技術	特徴と課題	備 考
シールド工法	IC タグを用いたセグメントの品質管理システム	<p>■特 徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグをモルタル製鉄筋スペーサー内に埋め込むことで、検知範囲内に確実に配置可能になり、位置特定が容易になる。 ・ IC タグに、ミルシート・コンクリート配合計画書・打設条件(気温等)の製造情報や、ジャッキ推力・クリアランス等の施工時情報、内空寸法等の出来形情報等を記録することが可能であり、紙ベースの膨大な資料なく、現場の携帯端末で資料を確認することができる。 ・ 供用後の点検時に、点検記録データを IC タグに追記することが可能である。 <p>■課 題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ データ読み書き機のさらなる小型軽量化が求められている。 	