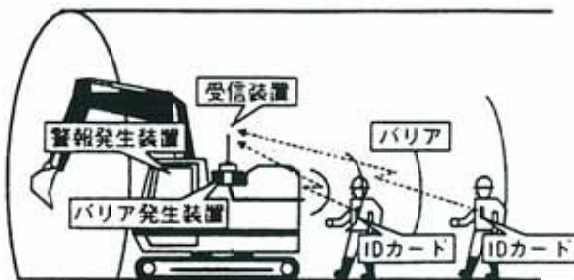


トンネル新技術の紹介

トンネル工事作業員の安全システム

特徴 本システムは建設機械と作業員の接触事故防止を目的として開発した、機械周辺の作業員認識システムをトンネル工事で実用化したものである。狭い切羽付近で、建設機械の運転席からは確認しにくい場所にいる複数の作業員を検知し、それが誰であるかを識別し、一定の距離に設定したバリア内に入ると警報を発するシステムである。原理的には建設機械周辺に静電界を発生させ一定の検知領域を形成し、検知用IDカードを携帯した作業員が進入した時検知し、機械側に無線送信する事で作業員を確認する。また、坑口に検知領域を作り坑内への入退場管理にも利用している。特徴としては

- ①複数の作業員を同時に検知できる。
- ②IDカードは装置によるバリアのみを検知する為、ノイズに強く、誤動作の恐れが少ない。
- ③バリア範囲は最大10mまでの設定が可能
- ④検知速度が速く300km/H程度の移動物体を検知し、認識できる。



システム概要図

利用方法 建設機械周辺の作業員認識、トンネル坑内への入退出など所在管理、機械・車両などの運行管理、立入り禁止区域での警報発生。

使用実績 宮城県清水沢トンネル工事

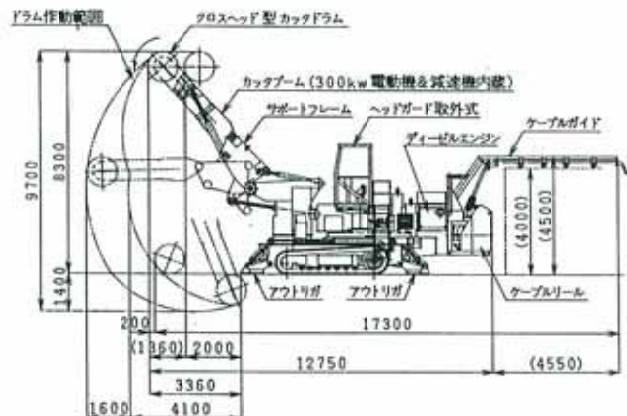
問合せ先 鹿島札幌支店土木部 TEL 011-231-7501

中硬岩対応、大型自由断面掘削機

WAV300H/パワーカッタ

特徴 WAV300Hパワーカッタはドイツから導入した中硬岩対応の大型自由断面掘削機であり、一軸圧縮強度が50～150Mpaの中硬岩から硬岩の掘削が可能である。軟岩から硬岩までの日本特有の地質に対応し全断面、補助ベンチ付き全断面、上半先進等のトンネル掘削工法に適用可能である（機体定位置で50～80㎡のトンネル掘削可能）。施工環境条件の厳しい市街地等に対応可能な低騒音・低振動の掘削機械である。

利用方法 軟岩から硬岩地山での低騒音・低振動トンネル掘削に利用可能。



WAV300H パワーカッタ図

使用実績 富津・館山道路 竹岡第一トンネル
高速道路オルベトンネル（ドイツ）他多数

問合せ先 佐藤工業技術部門トンネルグループ
TEL 03-3661-4794

アクアグラウト工法

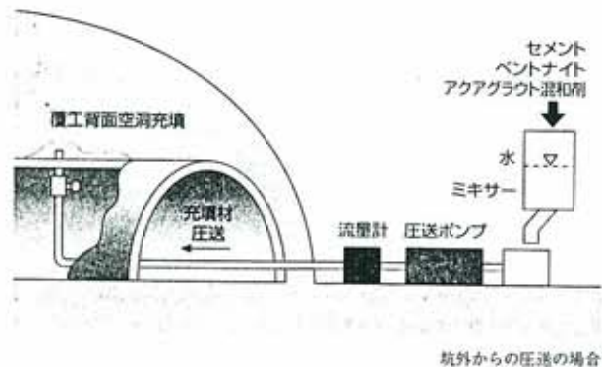
特徴 従来トンネル覆工裏空洞充填材として、エアーモルタルやエアーミルクを注入するのが一般的であった。本工法で使用する充填材は、特殊吸水性ポリマー、セメント、ベントナイト、急結剤からなり、特徴としては

- ① 地山の亀裂や覆工のクラックなどへの逸脱が少なく限定注入が可能。
- ② 地下水などの水に対する分離抵抗が高い。
- ③ 軽量（比重1.3～1.4）であり、且つ十分な強度を有する（1.5N/mm以上）
- ④ 1系統の圧送であるため施工設備が小規模ですむ。
- ⑤ 材料が全て粉末で水と混ぜるだけで製造でき、施工および施工管理が簡単。

などである。また、各種実験及び実施工後のコア抜き検査で高い充填性が確認されている。

利用方法 従来工法によるトンネル覆工背面充填等

使用実績 JR舞鶴線第一真倉トンネル、JR北陸本線第2外波トンネル、琴川発電所導水路、鬼怒川災害復旧、栗山発電所導水路他



問合せ先 清水建設土木本部 技術開発部

TEL 03-5441-0518

トンネルーロメモ

あれこれ初めて物語

【鋼製支保工】

1954年、国鉄飯田線の付替工事で、テレスコピック・スチール・フォームが使用されたのが最初で、冷間加工のレール支保工を用いたものであった。現在一般的に用いられているH形鋼については、映画『黒部の太陽』で有名な関西電力黒部水力発電所大町トンネル工事で初めて使用され、その後1961年から東海道新幹線のトンネル工事を経て全国的に普及した。

【サイロット工法】

1960年から1963年の間に施工された東海道新幹線泉越トンネル工事において開発された新工法で、サイド・パイロット（側壁導坑）の意味から命名されたものである。引続き山陽新幹線の由比、音羽山、六甲の各トンネルでも用いられた。その後本工法は改良され、青函トンネルを初めとする我が国の多くのトンネルで実用化されるに至った。

【全断面工法】

東京電力関幸知水力発電所の水路工事において米国の技術を応用して成功をおさめたのが最初であり、トンネル施工の機械化のはしりといわれている。本格的に大型機械が使用されたのは、1953年から1956年の間に相次いで施工された中部電力（株）の東上田水力発電所第10号トンネル（延長3,644m）、佐久間ダム圧力トンネル（1,196m）、大原トンネル（5,063m）においてである。大原トンネルでは、日進11.9m、月進260.4mを記録した。

【トンネルに関する技術書】

我が国におけるトンネルに関する技術書の第1号は、1922年、田辺朝郎著『とんねる（丸善、219p）』である。彼の業績、特に琵琶湖疎水建設については田村喜子著『京都インクライン物語』において詳しく描かれている。

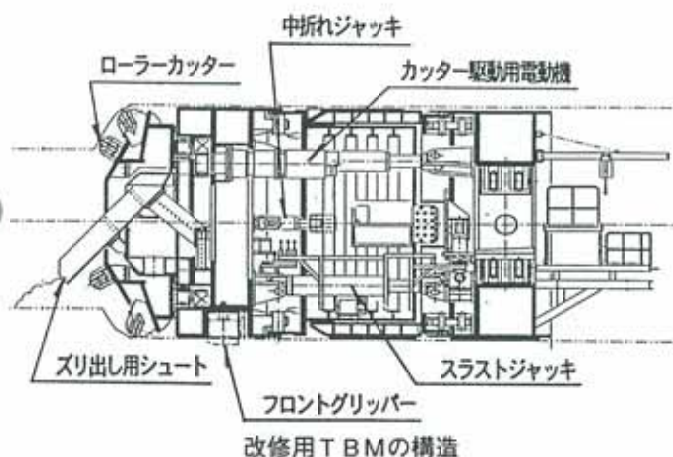
トンネル新技術の紹介

既設トンネル改修用TBM工法

特徴 本工法は老朽化したトンネルを安全で効率的に改修することを目的として開発したものであり、改修用TBM、既設トンネルの事前調査法、覆工や地山の補強方法からなる総合技術である。

特徴としては

- ①掘削はTBMによる掘削のため低騒音・低振動であり周辺環境への影響が少ない。
- ②掘削ずりは掘削機の前、後方のどちらからでも排出することができ、急速施工に適する（月進200～700m程度）。
- ③カッターヘッドの改造により全断面掘削が可能となり、途中でのルート変更ができる。
- ④掘削機の中折れ構造により、急曲線施工ができる。
- ⑤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できる。
- ⑥坑壁のゆるみがほとんど発生しない。



利用方法 水路トンネルなどの改修工事

使用実績 九州電力新五木川発電所 延長5,700m

問合せ先 奥村組 本社土木部 TEL 06-6625-3603

「先端集塵換気システム」

トンネル集塵機Pシリーズ

特徴 送風機による送気風量と、切羽後方に設置した大容量集塵機との風量差により、集塵機から切羽側にエアーカーテンゾーンを形成し、効率良く浮遊粉塵を捕集、除塵し、坑内作業環境を向上させるシステムである。

また、大容量フィルターに付着した粉塵の払い落とし方式にパルス方式（エア衝撃波）を採用しており、フィルター全面に作用することから、フィルター清掃のいらぬメンテナンスフリーとなっている。



効果としては、以下があげられる。

- ①高い集塵効果が切羽で確保され、坑内が大気レベルに清浄化される。
- ②坑口近隣への粉塵公害がなく、大気公害汚染に役立つ。
- ③長大、大断面トンネルで送風量が少なく動力の低減ができ、大幅な省エネができる。
- ④排気方式併用する場合に、排気ファン容量を減少でき、設備電力コストが軽減できる。
- ⑤設備内のフィルターの清掃等が自動化されており、維持・保守が容易である。
- ⑥集塵機からの発生騒音が、吸込及び吐出サイレンサーの採用により大幅に低減できる。

利用方法 送気式ファン風量の1.3～1.5倍以上の集塵機を選定する。→集塵機のダクト延長は、トンネル等価直径の5倍以上を確保する。→粉塵拡散防止のため、できるだけ切羽近傍に設置する。

使用実績 小樽開発建設部 茂岩トンネル他
全国で40数ヶ所(1,000m³/min以上)

問合せ先 ㈱流機エンジニアリング
TEL 03-3452-7400

トンネルずり出し用「連続ベルトコンベアシステム」

トンネル工事において、発破掘削で発生する様々な形状のずりを、切羽後方50m付近に設置した自走式クラッシャーで最大径20cm以下に破碎し、後続の連続コンベアで坑外まで搬出するシステムである。ベルトコンベアは、切羽側テールプリー部に運転中でも機長を延伸できる機構を有し、坑口部に設置されたベルト収納機構にストックされているベルトが、コンベア先端の移動に合わせて自動的に引き出される。

特徴：

- (1)ダンプを使用しないため、煩雑な交通量による接触事故等の危険性が激減する。
- (2)ずり出し時の排気ガス、走行粉塵等による坑内空気の汚染がなく視界が非常に良い。
- (3)狭い坑内を長時間運転することによる運転者の肉体的・精神的苦痛がない。

実績：

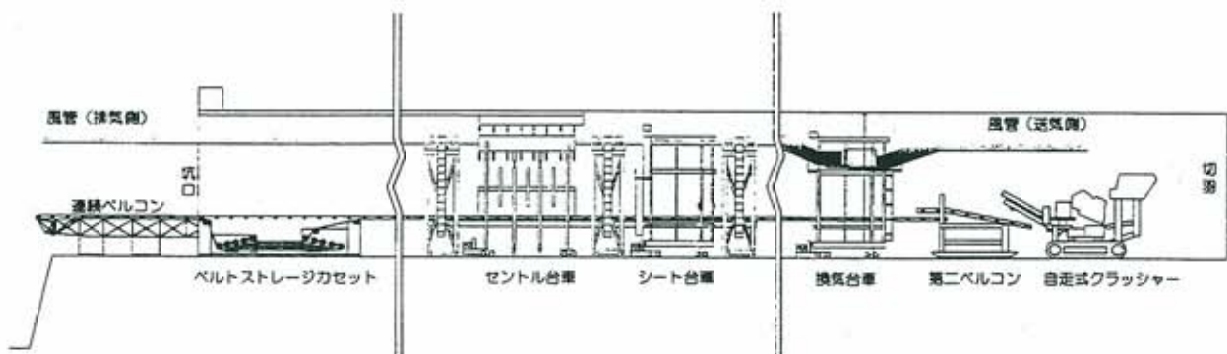
九州新幹線田上トンネル(北)工事

延長5,242m、掘削断面74.5m²

使用期間 平成10年10月～平成14年6月

問合せ先 大成建設土木技術部トンネル技術室

TEL 03-5381-5283



システム概略図

トンネル一口メモ

世界の長いトンネルあれこれ

【給水トンネル】

ニューヨークのウェスト・デラウェア給水トンネルが最長で、すべてのトンネルのなかで最も長い。直径4.1mで、ロングアウト貯水池からヨンカーズ市のヒルヴュー貯水池まで、全長169kmを結んでいる。1937年に起工し、完成は1944年。

【鉄道トンネル】

日本の青函トンネルが最長で、全長53.85km。津軽海峡の海面下240m、海底下100mを、本州の竜飛岬から北海道の福島まで貫いている。海面下部分の試掘(23.3km)が1964年に始まり、起工は1972年。1983年1月27日に貫通。1988年3月13日に最初の試運転が行われた。世界最長の海底トンネルは、英国のフォークストーンとフランスのカレーをむすぶ英仏海峡トンネルで、1987年12月1日に起工し、1990年12月1日に貫通した。1994年5月6日、エリザベス女王とミッテラン大統領によって正式に開業した。2本の鉄道トンネルは直径7.6m、全長は49.94kmで、海底部分は14.7kmあって、これは青函トンネルよりも長い。

【地下鉄トンネル】

切れ目なしのトンネルとしては、モスクワ地下鉄のメドベドコヴォとピツェフスキー公園をむすぶ線が最長で、全長37.9km。1990年はじめに完成した。

【道路トンネル】

スイスのゲシェンとアイロロをむすぶサン・ゴタル・トンネルが最長で、全長が16.32kmあり、2車線の道路が通る。開通は1980年9月5日。起工は1969年。

【最大直径の道路トンネル】

米国サンフランシスコ湾のヤーバ・ブエナ島を貫くトンネルが最大で、幅24m、高さ17m、長さ165m。1日に約25万台の車が2階建て車線の道路を通過する。

【水力発電用トンネル】

南アフリカのオレンジ=フィッシュ・リヴァーズ・トンネルが最長で、全長82.9km。1967～73年に工事が行われ、トンネルの直径は5.33m。

ベルーで建設中のマヘス・ダム計画では、全長98kmに達する発電・給水トンネルが設けられる予定である。

【機械掘削トンネル】

米国ジョージア州アトランタ市のために建設されたスリー・リヴァーズ給水トンネル。全長9.37km(直径3.2m)を、1980年4月から82年2月の間に完成させた。

(イアン・カステロ=コルテス、マイケル・フェルドマン編著、大出 健訳、ギネスブック'97より)

トンネル新技術の紹介

ハンディーハンガー工法

(鉄筋吊り金具の採用)

覆工コンクリート施工後、漏水の発生は、美観上好ましくなく、補修の際にも余計な費用がかかる。従来の鉄筋吊り金具の取り付け方法は、止水パッキン、水膨張ゴム等で止水を図っているが防水シートを貫通した構造(図-1参照)の為、施工の仕方によっては完全でない。そこで防水シートを貫通しないハンディーハンガーを採用した。

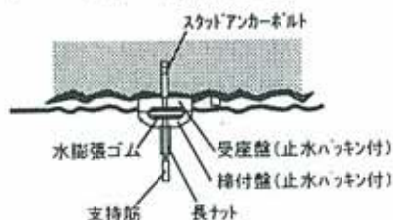
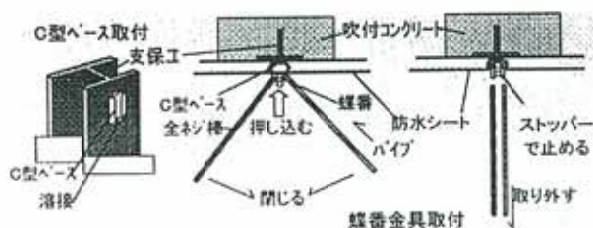


図-1



利用方法

- ・鋼製支保工にC型ベースを取付ける。
- ・防水シート・螺番金具を取付パイプと全ネジ棒を使ってC型ベースに押し込みストッパーで止める。
- ・ナットと固定金具をネジ棒に取付け段取り筋を固定する。

留意点

- ・鋼製支保工の建込ヶ所にも適用可。

使用実績 群馬県三峰トンネル工事

価 格

当初設計 52.5本/10.5m×1,396m×1千円=6,980千円

改善後 18.0本/10.5m×1,396m×2千円=4,790千円

2,190千円

問合せ先 阿部工業(株) TEL 0164-42-3111

渡会 宰

電動式ローディングショベル

山岳トンネルの発破ずり積込み作業に使用する積込機で、作業環境を低下させず安全性を重視し、施工性を追及したものである。

特徴としては、

- ①定位置で連続積込みが可能であり、安全性に優れている。
- ②電動機搭載により騒音・排気ガス・排熱等が抑制でき坑内環境の改善・維持がはかれる。
- ③機械本体の運動量が比較的少なく、消耗部もバケットのみでありランニングコストで経済的である。
- ④電源コードリール(100m)を装備し、ジャンボや吹付け機械の電源盤と兼用でき作業性が向上されている。
- ⑤底開きバケットの装備により、積込み半径が小さく狭い坑内でもダンプへの横積みが可能である。また積込みサイクルも向上し、作業の効率化がはかれる。

利用方法 発破工法の山岳トンネル全般

使用実績 北陸新幹線朝日トンネル(東)工事 他

問合せ先 清水建設(株) 土木本部機械技術部

TEL 03-5441-0568

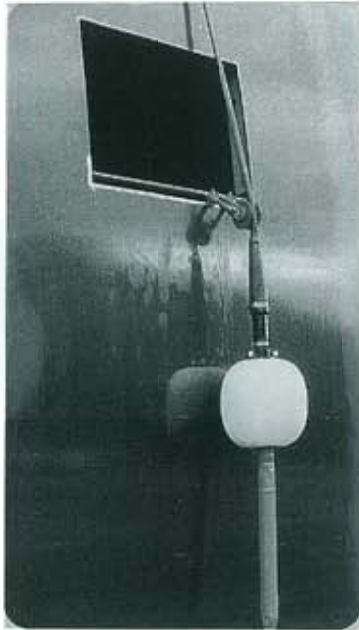


フロートパイブレーター

トンネル覆工コンクリートの締固め作業の省力化・省人化を目的として開発した。

特徴としては

- ①コンクリート打設の省力化・省人化が可能となる。
 - ・2人で打設できる。
 - ・作業手順が簡単なので素人でもマスターできる。
 - ・多能工によりコストダウンが可能。
 - ・時短が可能。(昼休みは交替で休める)



フロートパイブレーター専用棒状パイブレーターを開発し装備している。

②手動・自動運転が可能で、理想的なパイブレーター作業ができる。

③フロートがコンクリートの浮力を利用してパイブレーターの位置が確保できる。

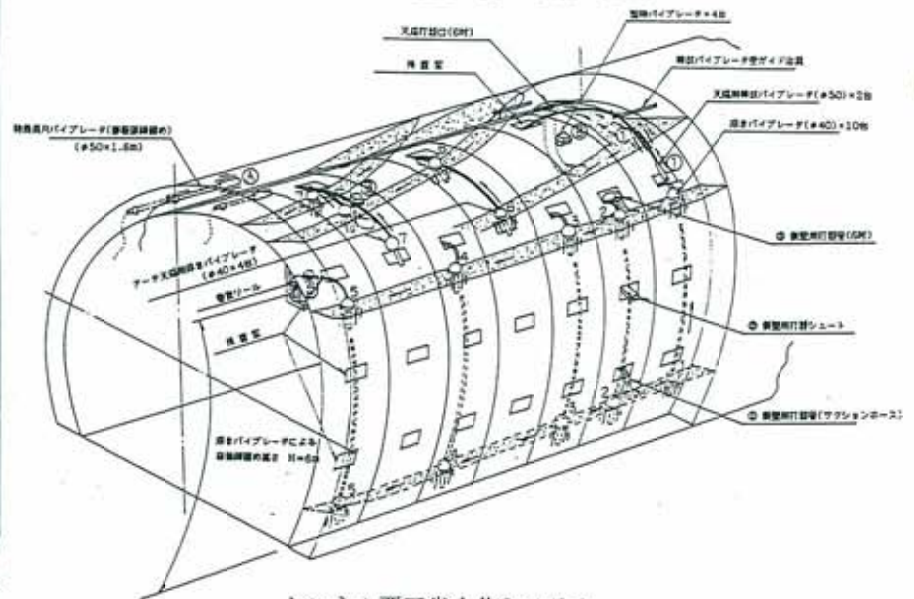
④パイブレーターと型枠が干渉しないため、コンクリート仕上がりが綺麗になる。

⑤作業員の振動病予防対策になる。

⑥構造がシンプルでメンテナンス(水洗いのみでOK)が容易にできる。

問合せ先 前田建設工業(株)本店機械部

TEL 03-5276-9419



トンネル覆工省人化システム

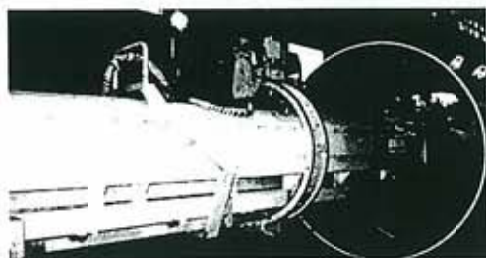
トンネル新技術の紹介

TBM自動吹付システム

トンネル用吹付ロボットの自動化システムは、吹付システム・断面測定システム・吹付厚管理システム・測量システムからなり、掘削断面測量、掘削坑壁面への吹付け、吹付断面計測、吹付厚算出作業を全自動で行います。自動吹付けシステムの開発によって、TBMの掘削と併行して吹付けによる覆工が行える掘削・覆工一体型TBM工法が可能になりました。特長としては、

- ①コンピュータ制御による吹付厚管理により目標吹付厚を確実に確保し、高品質な吹付けを可能とします。
- ②掘削工事と吹付工事を同時に行えることができるため、全体工期が短縮でき、掘削直後の吹付けが可能で地山の緩みを最小限に抑えトンネル施工の安全性を向上します。
- ③吹付作業の全自動化により作業空間の無人化が図れ、吹付作業に伴う粉塵などから作業員が解放されます。

使用実績：新大長谷第一発電所建設第1工区工事



問合せ先：佐藤工業(株)土木本部技術部門
TEL:03-3661-4794 FAX:03-3669-9484
E-mail:lmaoka@satokogyo.co.jp

トレンチャーによるトンネル中央排水溝の急速施工
特長：トレンチャーとは回転ベルトにビットが多数取り付けられている大きなカッターにより溝掘削を行う機械である。トレンチャーによる中央排水溝の掘削では以下のような利点がある。

- 1) 急速施工が可能である。
- 2) 余掘り量の減少
- 3) 集塵機・黒煙浄化マフラーの取り付けによる坑内環境の改善
- 4) 中央配水管敷設部の路盤湧水処理が不要



利用方法：インバート掘削を行う前に路盤の位置から幅0.85m、深さ1.9mの溝を連続掘削する。掘削の深さは3.0mまで、掘削幅は0.25・0.91mまで可能である。岩の強度は、一軸圧縮強度が70MPa程度の岩であれば施工速度は安定している。

100MPaを超える硬岩に対してはブレイカー、発破工法を併用する。

使用実績：九州新幹線田上トンネル作業所他

問合せ先：大成建設土木技術部トンネル技術室

tel 03-5381-5283

気泡削孔技術

特 徴：当技術はトンネル工事における地山削孔時の孔荒れ対策として、原因の一つである削孔水の使用を抑制するために、削孔水の代わりに気泡を用いたものである。原理としては、起泡剤と圧縮空気を気液二相流体状（気体と液体が交じらない状態）で削孔用ドリルのビット先端に圧送し、噴出後にこれらを発泡させてドリルの冷却や粉塵防止、孔壁の自立、ズリの排出促進等を図るものである。特徴は以下の通りである。

①水と異なり気泡の粒子は地山に浸透しにくく、孔壁の自立を確保することができ、水を用いた場合と比べて削孔時間を短縮することが可能である。

②起泡剤はアニオン系界面活性剤を使用、短時間のうちに無機化するので安全性が高い。

③従来技術に比べ、簡易な設備で、ランニングコストも小さく経済的である。

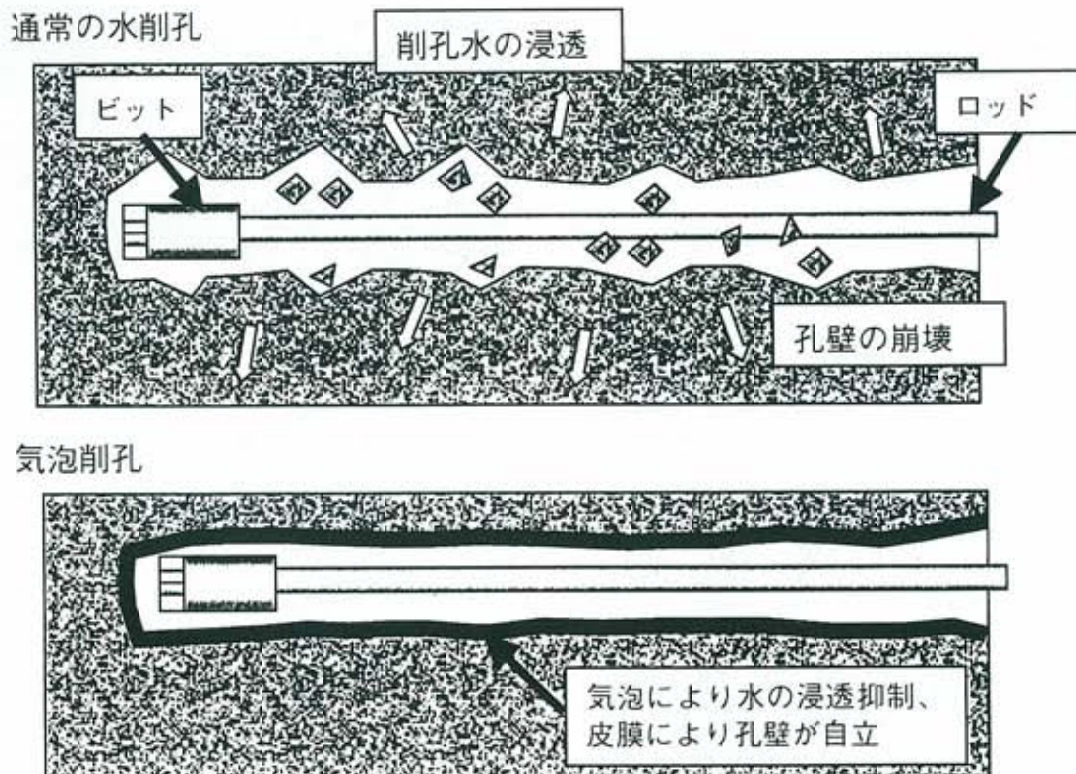
④削孔水の浸透により切羽等の滑りを起こし易い地山に対し、気泡削孔では削孔水の浸透を防ぎ、滑りを誘発しない。

利用方法：ロックボルト、ケーブルボルトの穿孔、発破等火薬類装薬用の穿孔、フォアボーリング等先受け工の穿孔

使用実績：名神梶原トンネル工事、九幹吉尾トンネル工事、圏央道菅生トンネル工事 他多数

問合せ先：大林組土木技術本部技術第二部

TEL 03-5769-1320



作用効果概念図

トンネル新技術の紹介

最適トンネル発破設計システム

特徴 近年、長大トンネルや大断面トンネルなどの硬岩掘削工事において、余掘りの低減や地山を緩めない施工方法を求められる機会が多くなっています。これらの施工方法は、急速施工の組合わせによってコストダウンのニーズにつながるものであり、余掘りやゆるみ域の低減を満足する「発破によるトンネル掘削技術」は重要な意味を持ちます。

しかしながら、山岳トンネルにおける発破作業は作業員の経験に左右される場合も多く、十分な合理化が図られていたとは言えません。そこで固有技術である「削孔検層」を発破作業に適用する事によって、対象地山を定量的に評価しながら最適発破（薬量低減、余掘り低減）を行う手法を開発しました。

システム 本システムは以下に示す2つのサブシステムから構成されています。

〔削孔検層データ収録システム〕

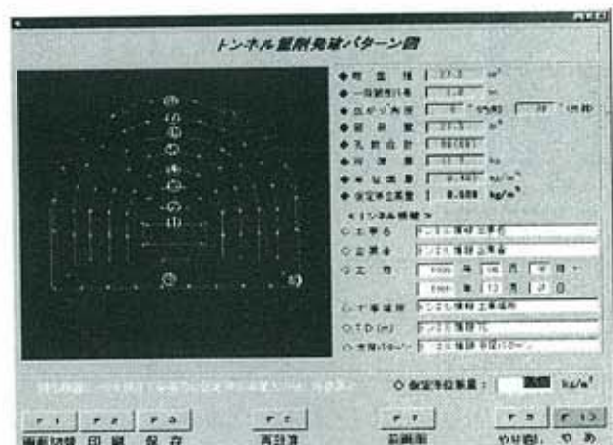
- ・大量の発破削孔データを迅速に記録し、トンネル坑内に持ち込んだ携帯パソコンに転送する「無線伝送収録方式」を導入しました。
- ・記録装置を切羽から離すことが出来るため、安全にデータを記録する事が出来ます。
- ・従来のメモリーカード記録方式では必要であった、パソコン用にデータを変換する手間をなくしました。
- ・リアルタイムで切羽の地質状況を定量的に把握できるようになりました。

〔発破設計システム〕

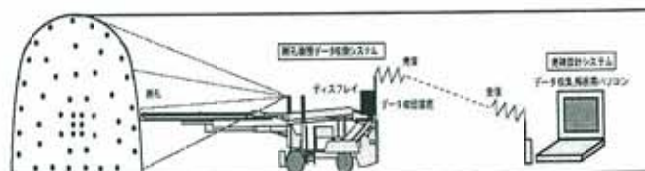
- ・削孔時のロッドのジャミング等に起因する測定データ上のノイズを自動的に除去するソフトを開発しました。
- ・リアルタイムに削孔データを評価するため、現場に持ち込んだパソコン上でデータ収録と並行して散布図や削孔データの統計量（平均値・標準偏差）の表示ができるソフトも開発しました。これにより、即座に岩盤の状況を把握する事が可能となりました。
- ・削孔検層システムで得られたデータを基に地山の状況を定量的に評価する事によって自動的に発破パターンの設定を行います。
- ・装薬及び発破効果に関するデータとの収集・対比を行って、余掘りが少なく、地山を緩めない最適な発破パターンの設定を行う事が出来ます。
- ・急速施工を可能にし、コストダウンにつながります。

現場での適用効果

- ・切羽の状況を現場で評価できるため、この情報に基づいて装薬の調整が出来ます。
- ・起砕状況を確認し、次の発破にデータをフィードバックすることにより、効率的な発破を実施できます。
- ・上記の結果大断面トンネル等において作業員の経験に余り左右されずに、余掘りの低減や地山を緩めない施工が出来、急速施工・コストダウンのニーズが満足できる。



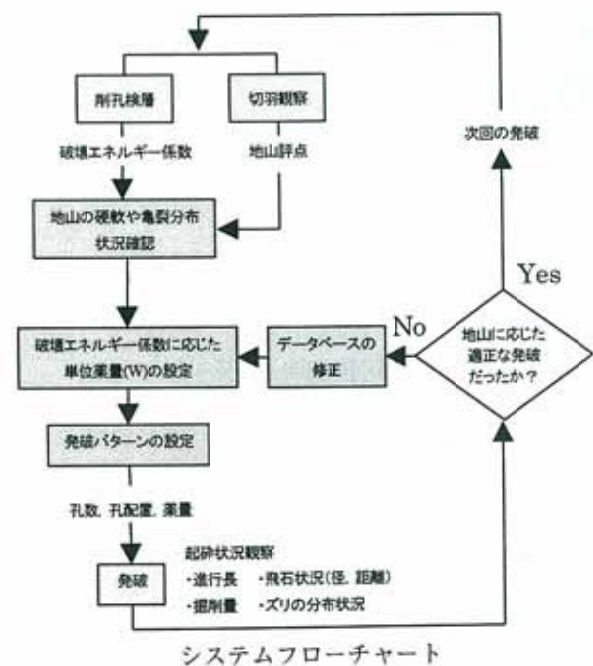
発破設計システム



最適トンネル発破設計システム概念図

使用実績 鬼が城トンネル（実証試験工事）

問合せ先 鹿島札幌支店土木部 TEL 011-231-7521



システムフローチャート

吹付システム付エレクタージャンボ

特徴 一次吹付作業から支保工建込み作業へ移る際に機械の入替えを省くことにより作業能率を向上させ、確実な一次吹付を実現する。また、本機械のブーム先端にはキャッチャーが装備されており、H形鋼をつかみながら建込み位置へ移動させるため安全性が高い。

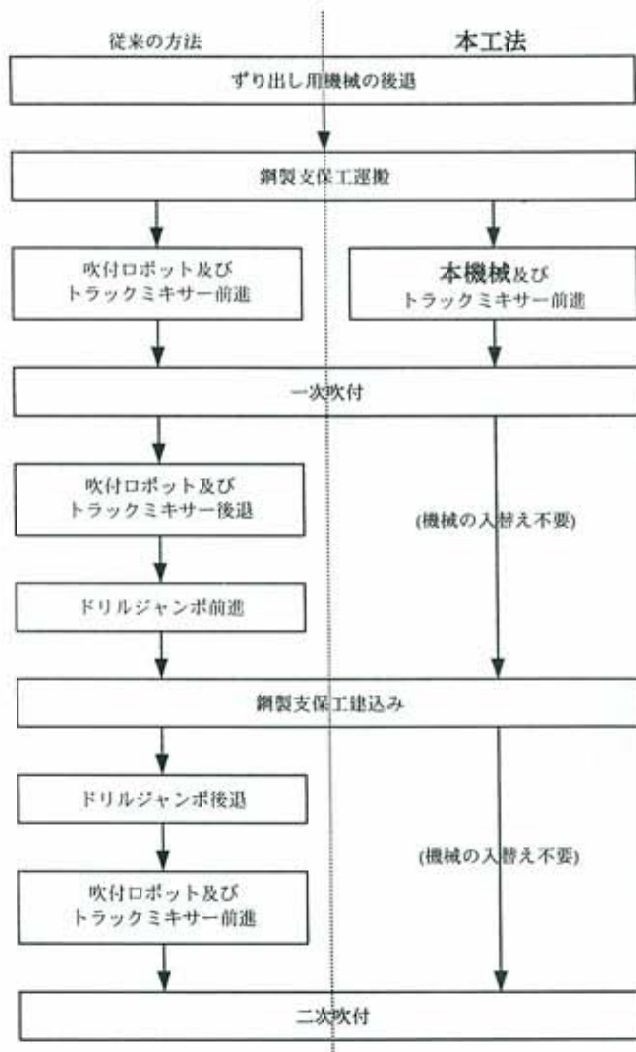


図1 施工フロー比較

利用方法 一次吹付及び鏡吹付が不可欠な、未固結地山、亀裂の多い岩盤等において、作業能率を落とさずに確実な吹付作業を行う。



写真1 一次吹付及び鏡吹付状況



写真2 鋼製支保工建込み状況

使用実績（北海道）

モセカルベツトンネル

発注者：釧路土木現業所

施工者：佐藤・間・宮坂JV

小平トンネル

発注者：留萌開発建設部

施工者：大林・岩田・堀口JV

その他数件

問合せ先 ㈱コバヤシ

TEL 0133-72-5110

トンネル新技術の紹介

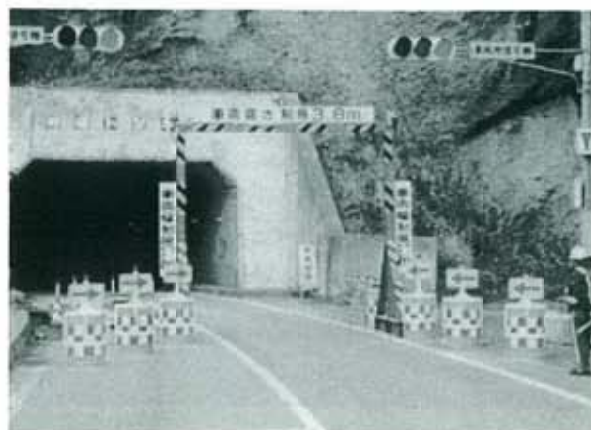
クッションドラム一体型方向標識

概要：既設トンネル拡幅作業等の狭隘な工事における片側交互通行規制の際、車線減少への一般車両の誘導において、安全と視認性を向上させたものである。

特徴：

- ①従来、クッションドラム・矢印看板、保安灯など個々に設置していたものを一体化することにより煩雑化をなくした。
- ②クッションドラムの重量により矢印看板の風による転倒・移動をなくした。
- ③矢印看板の高さを替えられることで、省スペースでの視認性が向上した。
- ④クッションドラム上に矢印看板・保安灯がある為に冬の除雪などでの破損や見え難いということがなくなった。

以上のように安全対策とイメージアップの両方を兼ね備えた工事看板である。



使用実績 狩場3号トンネル工事

価 格 42,000円/個

問合せ先 (株)地崎工業土木部 Tel 011-511-8114

プレキャストパネルを用いたトンネル接合部の覆工工法

本工法は、供用中のトンネル内で覆工を構築するための工法である。

通常のセメントを用いる覆工では、終日交通規制が必要となるが、本工法では、夜間の片側交通規制での施工が可能となる。

特徴：

- ①プレキャストパネルには、SEEDフォームと称する「高耐久性埋設型枠」を使用する。
SEEDフォームとは、財団法人研究センターの審査証明を取得したプレキャスト型枠で、
・型枠材として、コンクリートの側圧に耐える十分な曲げ強度、剛性を有する
・打設されたコンクリートと一体化し、鉄筋のかぶりとして考慮できるとともに、圧縮材の一部としても適用できる
等の特徴を持つ。
- ②比較的小さな部材(1.5×2.0m t=5cm、120kg/m²)を用いるので、運搬及びトンネル坑内での部材の積卸し、組立等の取り扱いが容易である。
- ③パネル取り付け用機械を、0.8級小旋回バックホウに取り付ける事により、規制車線(1車線)内での施工が可能となる。

下図に、豊浜トンネルでの施工平面図及び、断面図を示す。



図-1 平面図

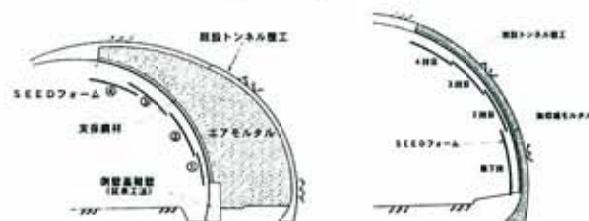


図-2 中壁部断面図



図-3 打増し部断面図

利用方法 トンネル接合部、トンネル拡幅、トンネルリニューアル工事

使用実績 小樽開発建設部 豊浜トンネル工事 1,500m²

問合せ先 前田建設工業(株) 北海道支店 土木部 Tel 011-551-1810

坑内仮設備架台

従来の坑内仮設備（集塵機、受変電設備、吸気設備）はトラック搭載型を多く採用しているが、当現場では当初の予想に反し坑内湧水が多く路盤の脆弱が予想され設置スペースの維持管理が困難な為、仮設架台を計画し実施した。

特徴：

- ①レール方式のため設置スペースの維持管理が楽である。
- ②作業状況に応じて前後の移動時間短縮が可能。
- ③設置スペース（延長）が従来の $\frac{1}{4}$ 程度で済む。
- ④坑内のスペースを有効に活用できる。

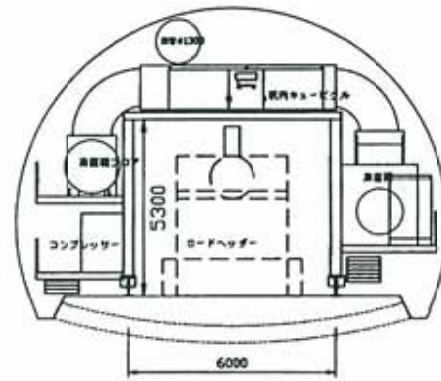
留意点

使用実績が無く今後、施工が進むにつれ利点、欠点が発生すると思うがその都度対処し改善してゆく。

問合せ先 大林・岩田・福津JV

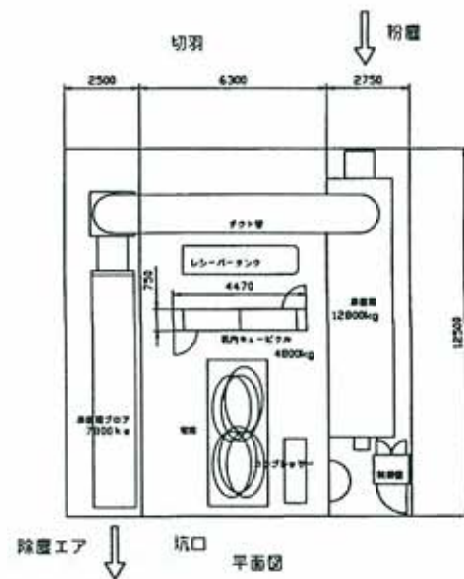
沖トンネル工事

TEL 0135-41-2992



断面図

坑口より切羽を見る



除塵エア

坑口 平面図



トンネル新技術の紹介

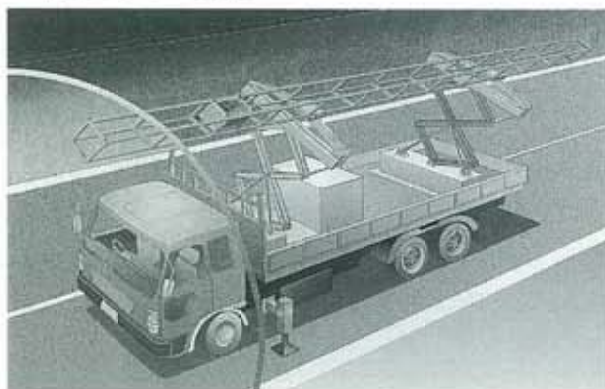
トンネル覆工打音検査自動化システム

概要 本システムは、従来の手作業によるたたき検査の問題点を解決するために、加振力を検出できるインパルスハンマーを用いてコンクリート構造物を打撃し、フード付きマイクロフォンを用いて発生する打撃音を測定する打音法である。打音測定部分をユニット化することにより1回の打撃と打撃音の収録・評価を自動化して、連続的かつ効率的な打音測定が行えるようにシステム化した。

特徴

- ①打撃音の分析を瞬時にを行い、変状箇所と判断された箇所にマーキングをするので、リアルタイムで変状箇所の位置を目視確認できる。
- ②打音検査を自動化することで省人化が行え、人件費を低減できる。
- ③従来の手作業によるたたき検査に比較して検査時間が短縮できる。
- ④高所作業が不要なため作業の安全性が向上する。
- ⑤トンネルの断面や形状に左右されず検査が行える。

利用方法 非破壊試験法として詳細な調査に利用、また定期点検として実施される目視検査と打音検査の代替としての利用。

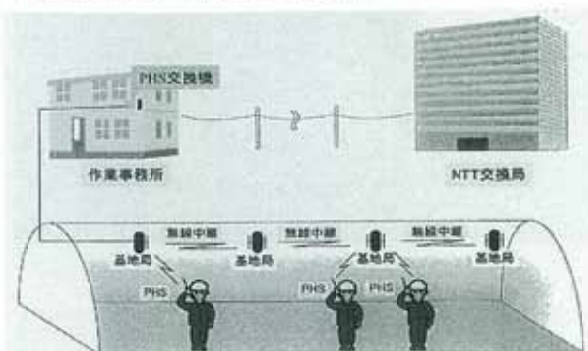


問合せ先 佐藤工業(株)中央技術研究所土木研究部門
TEL 046-241-2172

PHSを用いた「トンネル内無線通信システム」 (移設が容易な無線中継方式のPHS基地局を坑内に設置した事例)

概要 一般にトンネル内では無線が不向きとされており、有線方式の使用が大半でしたが、トンネル掘削と共に作業場所が進行することから、電話機の移設を頻繁に行う必要があり、また火災や落盤などの緊急時には通信線の切断などにより通信できなくなる心配もありました。このような理由から坑内でも使用できる無線通信システムとしてPHS通信システムが開発されました。

開発された本システムは坑内に設ける基地局自体が無線中継方式であり、小型軽量で移動しやすく、その設置位置を工事の進捗に合わせて簡単に移設できるのが大きな特徴で、子機には汎用のPHSを利用しています。



無線中継方式によるトンネル通信システム

特徴

- 1) 基地局が無線中継方式であり、小型軽量であるため移動がしやすく、その設置が容易であり、設置工事費がほとんど掛からない。
- 2) トンネル延長に合わせて基地局を設置することにより長大トンネルにも適用できる。
- 3) 火災、落盤などによる断線の心配が無く、緊急時にも有効に利用できる。
- 4) 手持ちのPHSを登録することにより、子機はいくらでも増やせる。

利用方法

トンネルならびに地下発電所などの地下構造物全般での作業箇所間、職員同士の連絡、および電話交換機と接続し外線と直接個々のPHS子機を接続し、得意先・商社等外部との直接連絡を行う。また、場内一斉放送、コントラファンの遠方運転制御も可能であり、坑口が二ヶ所ある場合でも交換機の増設により事務所・両坑口・プラントなどの連絡が確保できる。

能力・留意点など

交換機とアンテナ間の距離に制約があるがトンネル延長1,800m程度は使用可能。

坑口と事務所が離れている場合、有線で専用回線を延長する必要がある。

使用実績

- * JH関門トンネル補修工事(約1,700m区間)
- * 東電神流川発電所工事(トンネル総延長10,200m)
- * 小樽開発建設部刀掛トンネル工事
(トンネル延長2,754m、両坑口設置)

問合せ先

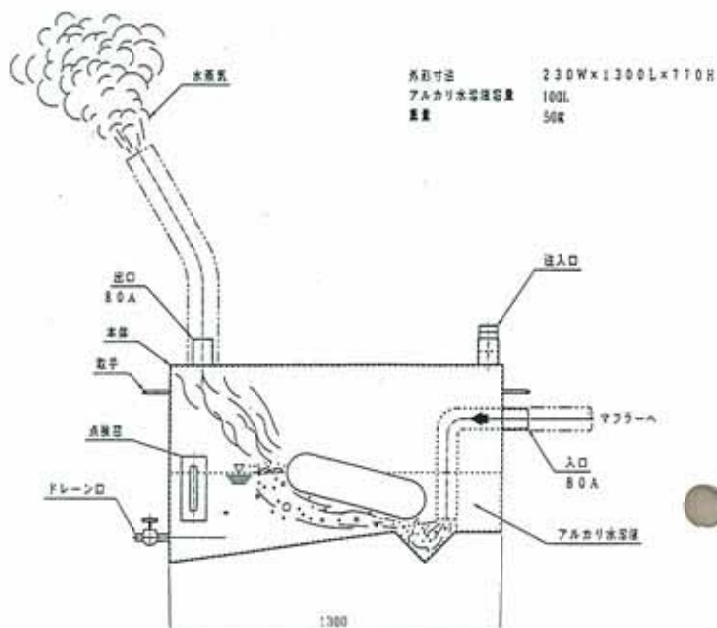
鹿島札幌支店土木部技術課 TEL 011-231-7521
日通工(株) TEL 011-511-7151

トンネル新技術の紹介

クリーンなトンネル坑内の環境を作る

私たちを取り巻く大気中には、さまざまな粒子が浮遊している（酸素、窒素、二酸化炭素、二酸化窒素、ばいじん、ディーゼル黒煙、土壌粒子）。このうち粒径の小さいものは、大気中に長時間滞留し、特に粒径が10ミクロン（0.01ミリ）以下のものは、気管支、肺の深部に沈着し呼吸器に影響を及ぼすと言われている。これを浮遊粒子物質（SPM）と呼んでいる。

今回使用した排気ガス浄化装置は、貫通後のトンネル内の大気環境保全のため、ディーゼルエンジンより排出される有害物質（黒煙、白煙、窒素酸化物、硫黄酸化物、ハイドロカーボン）を簡単に除去し、クリーンな作業環境、生活環境作りに役立てました。



坑内据え置き型排気ガス浄化装置概要図

排気ガス浄化装置

概要

この装置は、本体タンク内にアルカリ水溶液が入っており、各重機に搭載されたディーゼルエンジンから噴出された排気ガスを直接タンクに噴射し、アルカリ水溶液と反応させ浄化させるものです。

また、装置には車両に搭載した搭載型とポンプ車のように移動しない車輛用の坑内据え置き型があります。

よって、坑内での吹付け時、覆工時におけるトラックミキサーやポンプ車に最適です。



除去できる排気ガス中の有害物質

有害物質	除去率
黒 煙	75%
二酸化窒素 NO ₂	75%
亜硫酸ガス	75%

その他の効果

排熱エネルギーを除去できます。

アルカリ水溶液消費量

10 ℓ/h

使用方法

- 1) アルカリ水溶液（炭酸ソーダ 2% 溶液）をタンクに注入します。
- 2) 次にマフラーからホースを装置に接続します。
- 3) 通常の運転を行えば浄化されたガスが本体より噴出します。
- 4) 定期的にアルカリ水溶液を補充します。
- 5) アルカリ水溶液は別の容器にて粉末の炭酸ソーダを水にとき本体注入口より注入します。

アルカリ水溶液

水	炭酸ソーダ
1 ℓ	20 g

使用実績

札幌開発建設部 太島内トンネル工事

使用による効果、施工性、経済性

面倒であると言うことで移動・設置の遅れがあったが、排気ガス濃度の減少効果が明らかになり、使用の徹底が図られた。本装置の購入費は、160万円/1基程度であり、坑内環境の良化、強いては健康上において大きな効果があったと思われる。

問合せ先

(株)熊谷組北海道支店土木事業部

TEL 011-261-7271

横移動式インバート栈橋

全線インバート覆工が計画されているトンネルにおいてトンネル掘削とインバート覆工を併行して施工するため、施工性を考慮したものである。

特徴としては、自動で左右に移動出来る構造となっており、掘削の容易さ、鉄筋・防水シートの施工性を追求している。

利用方法

横移動手順

- ・施工箇所セットした状態で、タイヤを横スライド（400mm）する。
 - ・アウトリガーを縮め、タイヤを接地する。
 - ・フロアーを横スライド（800mm）する。
 - ・アウトリガーを張り、タイヤを浮かせる。
 - ・タイヤを横スライド（800mm）する。
- 以後、同様に所定の位置まで横移動する。



能力 最大許容通過重量 30t

価格 約 3,000万円/1基

使用実績 北海道旭川土木現業所 羽衣トンネル工事

問合せ先 大成建設(株)札幌支店土木部

TEL 011-241-1201

トンネル新技術の紹介

既設トンネル覆工背面の高精度調査法

PVMシステム

概要 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に調査することは、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。一般に、空洞調査には電磁波などの物理探査手法が用いられているが、覆工コンクリートが厚い場合や背面に崩落土砂が堆積している場合などでは調査精度の低下が危惧されていた。

PVMシステムは高速度で覆工および背面地山を削孔することにより、高精度に覆工背面の状況を調査できるシステムである。

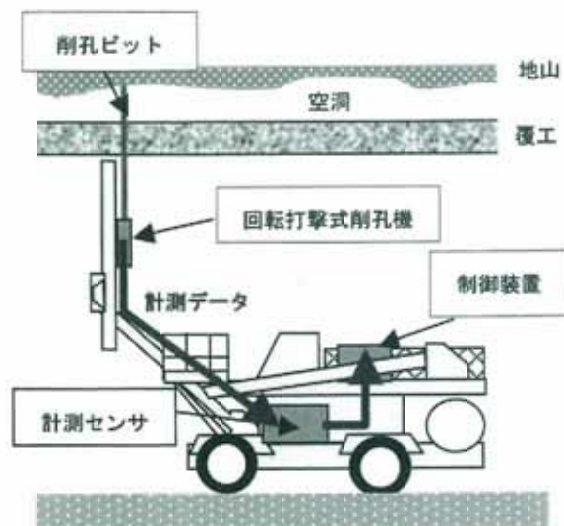


図-1 システム概要

本システムはロータリーバーカッションドリルにより高速で削孔し、削孔中の種々のデータをリアルタイムに計測し、制御装置へ自動的に送信、図化・解析を行うものである。

削孔速度、打撃圧、回転圧、フィード圧、打撃数、エアフラッシング圧、ストロークの7項目のデータを、削孔中に0.2秒間隔で自動計測・保存する。さらにこれらの多くの機械データを一定のルールに従って判読して、覆工背面の空洞を把握する。

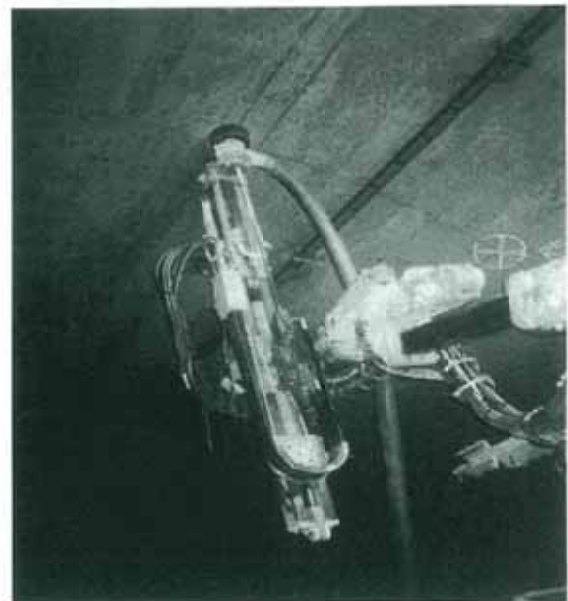


写真-1 回転打撃式削孔装置

特徴

- ① 覆工厚や空洞高などを高い精度で調査が可能である。
- ② 削孔中、種々の機械データをリアルタイムに採取し、客観的に判読・調査できる。
- ③ 調査精度は覆工厚や地下水の存在などの外部条件に影響を受けない。
- ④ 回転と打撃を併用した削孔方式を採用しているため、高速で確実な削孔が可能となる。(1箇所あたりの削孔は5分以下)。
- ⑤ 削孔径はΦ33mmと小さく、トンネルの構造面や管理面への影響を最小限にできる。
- ⑥ 調査後、注入が計画された場合、本システムを用いて削孔した孔を拡径して注入用を使用できる。

工事所有権など

- ・特許出願中
- ・日本道路公団・清水建設㈱・古河機械金属㈱の3社の共同開発

問合せ先 清水建設株式会社 土木事業本部技術開発部

TEL 03(5441) 0518

トンネル新技術の紹介

断面修復用湿式吹付け工法 「TDRショット工法」

概要

中性化や塩害などにより劣化した橋梁、高架、浅橋、上下水道施設、トンネル覆工などのコンクリート構造物の補修用に広く活用できる技術として、断面修復工法がある。

「TDRショット工法」は、セメント及び細骨材を主成分としたプレミックスタイプの無機系特殊モルタルを現場にて練混ぜて吹き付ける補修工法である。硬化促進剤を用いることにより、はく落のない安定した厚吹付けが可能であると共に、粉じんやはね返りの発生が少ないクリーンな作業環境を実現した。また、ポリマーセメントモルタルに匹敵する硬化収縮抵抗性を持つなどの高品質な補修部材の構築が可能である。



写真-1 吹付け状況

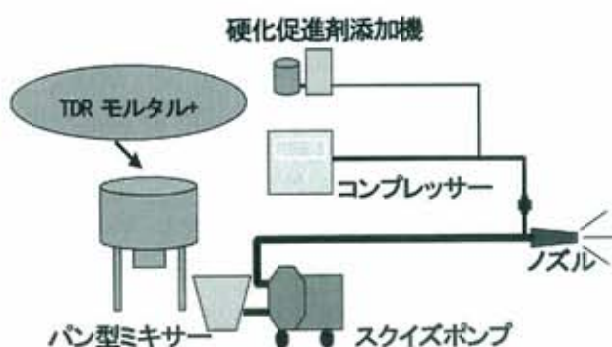


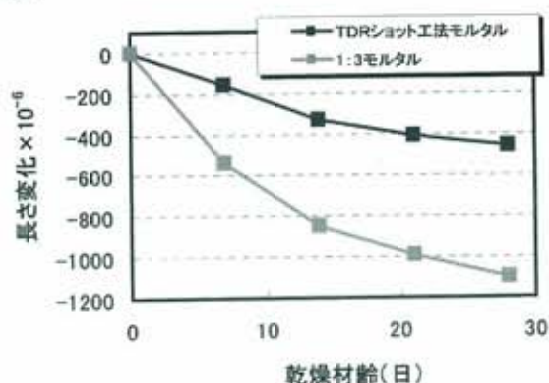
表-1 標準配合

単位量 (kg/m ²)		硬化促進剤
TDRモルタル	水	(kg)
1900	266	28.5

特徴

- ①粉じんやはね返りの発生が少ない。

- ②上向きで15cm程度まで厚吹付けが可能。
③ポリマーセメントモルタルに匹敵する乾燥収縮抵抗性を実現。
④良好な鉄筋背面への充填性を実現。
⑤コテ仕上げが可能であることから、きれいな部材表面を実現。
⑥補強繊維の添加により高いじん性を実現。
⑦従来の断面修復用吹付け工法によりローコストを実現。



硬化促進剤添加率：TDRモルタル×1～2%

図-2 硬化収縮抵抗性 (JHS-416法)



図-3 作業手順

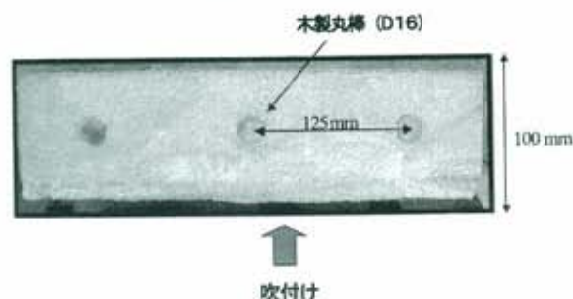


写真-2 鉄筋裏充填状況

工業所有権 特許出願中
問合わせ先 飛鳥建設株式会社 土木本部土木技術部
TEL 03 (5214) 7083

トンネル新技術の紹介

坑外集中型換気及び集塵設備

概要 小断面NATM（最小掘削断面積 6.09㎡）において、掘削延長が1,500m程度のトンネルの効率的な換気と、良好な作業環境の両立をねらい、換気及び集塵設備を実現させたものである。

特徴

- ① 坑内に換気機器を設置しないため、設置作業が省略され、狭小な空間を専有しない。
また、坑内騒音が発生しない。
- ② 車両限界を侵さないよう、換気管を2本配置し、内空断面への影響を最小限とした。また、2本とすることは管内断面積を大きくすることにな

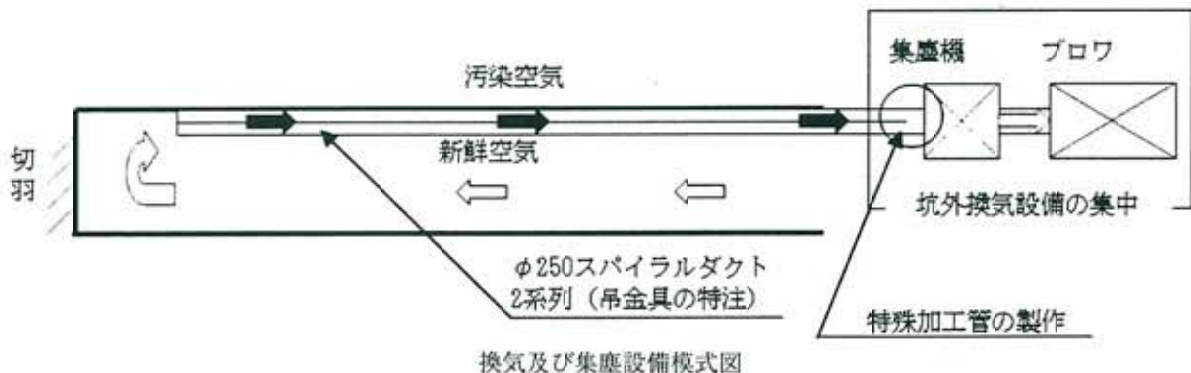
り、管内流速を抑え摩擦低減により換気効率を向上させる。

- ③ 坑外に集塵機を組み込むことにより、作業員へのじん肺防止はもとより、大気汚染を防止できる。
- ④ 管を差し込み式にして、漏風防止テープを用いることで、漏気防止効果が高まり、静粛性と換気効率を向上させる。

使用実績 中里注水工第1工区建設工事

問合せ先 戸田建設(株)札幌支店土木部

TEL 011 (231) 9600



トンネル新技術の紹介

アルカリフリー型液体急結剤

「MAPEI社 AFK -777J を用いた吹付けコンクリート」

概 要

アルカリフリー型液体急結剤「AFK -777J」を吹付けコンクリートに用いることにより、粉じん発生を抑制し作業環境の保全を主目的に採用が増加されている。

更に、平成12年12月に厚生労働省から「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」が公示され、具体的な粉じん濃度の目標値 3 mg/m^3 （切羽から50m後方）が提示されたことで、トンネル工事における粉じんを積極的に減らす対策として液体急結剤の使用の気運が高まった。

特 徴

① 粉じんの発生が極めて少ない

吹付けコンクリートの付着性が良く、また吹付けノズルまでコンクリートをポンプ圧送し、液体急結剤を少量のエアで混合し、且つ、そのエアで吹付けを行うため、従来の粉体急結剤と比較して粉塵の発生が非常に少ない。

② リバウンドが少ない

液体急結剤であるため、コンクリートとの混合性が良く、従来の粉体急結剤と比較しリバウンドが少ない。

③ 仕上がり面が滑らか

少量のエアで吹付けを行うため、仕上面が滑らか。

④ 人体や環境に優しい

弱酸性（pH 2～4）で、人体や環境に優しい。

⑤ 管理が容易である

液体であるため、液体急結剤添加量の管理が容易であり、液体急結剤の補充作業が容易である。

⑥ 主成分 硫酸塩アルミニウム

外 観 透明または弱濁水溶液

比 重 $1.40 \sim 1.46 (\text{g/cm}^3)$

実 績

（現在施工中）

道道夕張新得線道路改良工事（赤岩トンネル）工事 他

問合わせ先 株式会社 エイチ・アール・オー

TEL 011-821-5868 担当者 杉 村

施 工 例

配 合

(kg/m^3)

トンネル名	w/c	s/a	水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能減水剤	スチールファイバー	液体急結剤添加率(%)
A	40.0	57.5	180	450	950	713	5.4	40.0	9.0
B	46.3	64.0	185	400	1125	628	6.2	—	10.7

コア圧縮強度測定 (N/mm^2)

トンネル名	材齢28日
A	44.0
B	40.9

リバウンド率測定 (%)

トンネル名	リバウンド率
A	8.9
B	11.5

発生粉じん量測定 (mg/m^3)

トンネル名	切羽より50m後方	切羽より10m後方
A	1.05	1.28
B	1.30	2.39



AFK-777J を用いた吹付け状況

トンネル新技術の紹介

「トンネルバルーン」

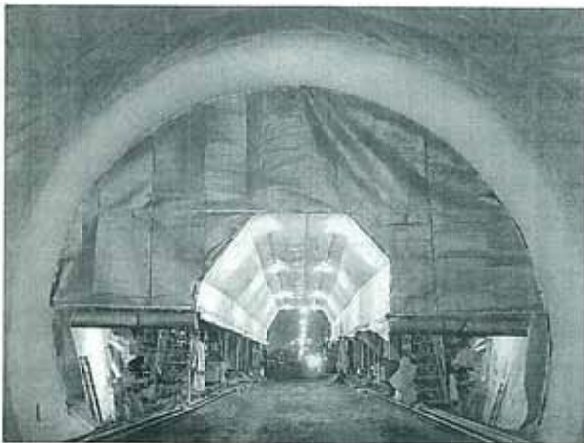
覆工コンクリートトータル養生工法

概要 従来トンネルの覆工コンクリートは、コンクリート打設後15～20時間程度で脱型され、その後はほとんど養生が行われておりませんでした。

しかし近年、トンネル施工では粉塵等の作業環境を考慮して坑内換気量を増大させるケースが多くなっているため、打設したコンクリートに十分な温度、湿度が確保できずに覆工コンクリートに悪影響を及ぼす恐れがあります。

本工法は、覆工コンクリートを外気から遮断することで、この問題を解決し高品質な覆工コンクリートの施工が可能な養生システムであります。

高品質なコンクリートが得られることで、維持・補修が少なくなり、ライフサイクルコストの低減につながります。



セントル養生全景（武華トンネル）

特徴 セントル養生

1、密閉性

バルーンが覆工面、防水シート面にフィットして空気の流れを確実に遮断することにより、機密性が高く、保温性に優れています。

2、容易な作業性

セントルに組み込まれてので、容易にセットできます。

効果

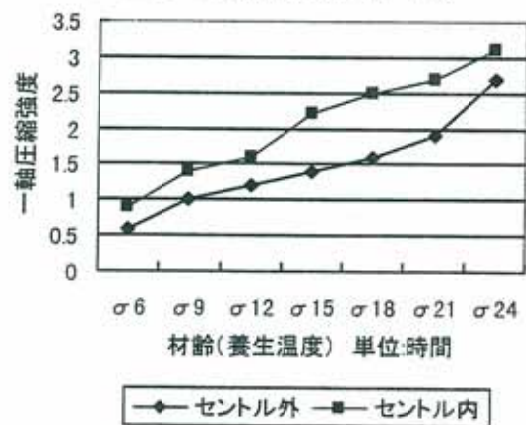
1、初期強度の向上

2、高品質コンクリート（脱型時の剥離が少ない）

3、サイクルタイムの短縮

4、洗いの水の滴下防止

養生温度と初期強度比較（図-1）



条件

配合：18-15-40

養生温度（平均）セントル内温度25℃

セントル外温度15℃

※現場：北陸新幹線（飯山トンネル）

特徴 コンクリート養生

1、密着性

脱型後のコンクリート表面にエアークラフトのバルーンを完全に密着させます。

2、容易な作業性

バルーンを専用台車に搭載することで移動が容易
但し、予めレールを敷設します。



コンクリート養生全景（赤岩トンネル）

効果

- 1、湿潤状態を保ちます⇒乾燥収縮の軽減。
- 2、コンクリート表面と内部の温度差がありません。
⇒内部拘束（温度応力）の軽減
- 3、ひび割れ発生率の低減。

道内実績

セメント養生

- 1、赤岩トンネル
- 2、下白滝トンネル
- 3、武華トンネル
- 4、新川汲トンネル
- 5、磯谷トンネル

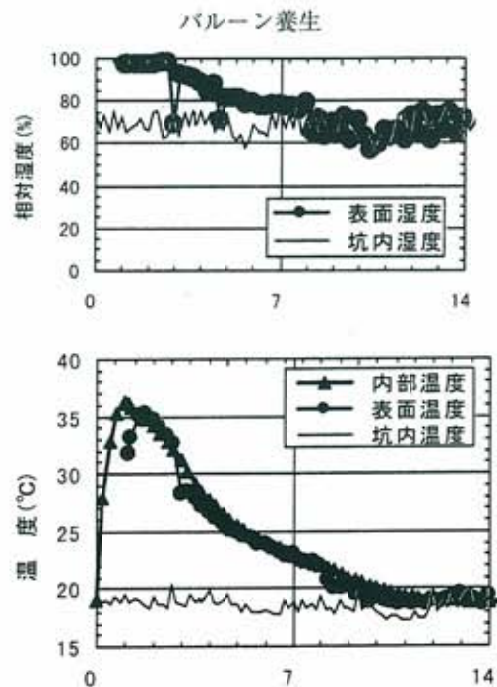
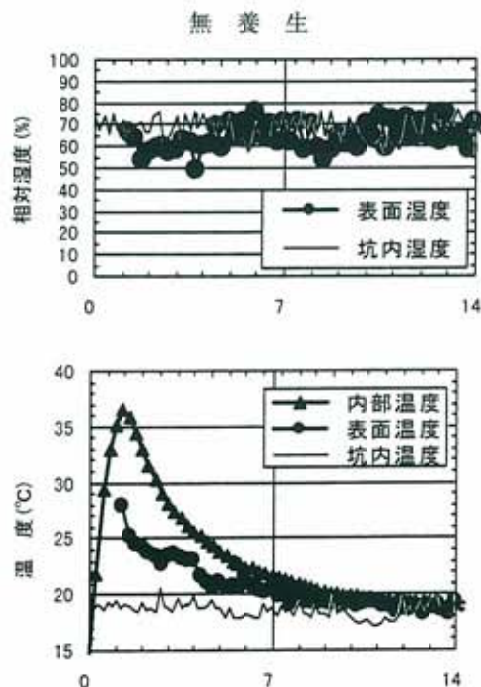
コンクリート養生

- 1、赤岩トンネル
- 2、日方泊トンネル

国内実績

セメント養生15現場

コンクリート養生13現場



問合せ先 西松建設(株) 技術研究所

TEL 046-275-0286

FAX 046-275-6796

(株)東宏

TEL 011-742-3331

URL: <http://www.k-toukou.jp/>

トンネル新技術の紹介

断面修復用湿式吹付け工法 「TDRショット工法」

概要

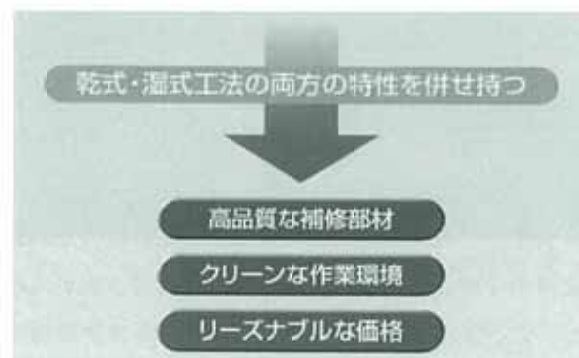
中性化や塩害などにより劣化した橋梁、高架橋、栈橋、上下水道施設、トンネル覆工などのコンクリート構造物の補修に広く活用できる技術として、断面修復工法がある。

「TDRショット工法」は、セメント及び細骨材を主な構成材料としたプレミックスタイプの無機系特殊モルタルを現場にて練り混ぜて吹付ける断面修復工法である。

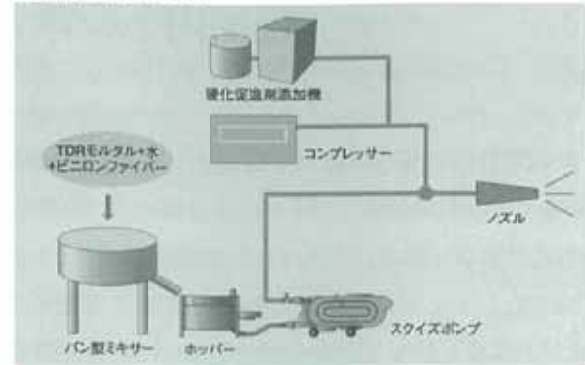
会報№36（平成15年11月）でも紹介されているが、より詳しいデータを追加して今回再掲させていただくことになった。

工法の特徴

- ① 粉じん・はね返りの発生が少ない。
- ② 硬化促進剤の効果で、上向きで15cm程度までの厚吹付けが可能である。
- ③ 補強繊維の添加により、高いはく離・はく落抵抗性を実現した。
- ④ ポリマーセメントモルタルに匹敵する硬化収縮特性を実現した。
- ⑤ 良好な鉄筋背面への充填性を実現した。
- ⑥ 効果促進剤の添加量を調整することで、コテ仕上げが可能で、きれいな部材表面を実現した。
- ⑦ 圧送距離50mでの施工が可能である。
- ⑧ 特殊ノズルを開発し、橋梁支承周りのような狭小部位も施工可能である。
- ⑨ 従来の断面修復吹付け工法より、ローコストを実現した。



基本施工システム



従来工法との比較

	乾式吹付け工法	湿式吹付け工法 ポリマーセメントモルタル	TDRショット工法
施工能力	○	△	○
はね返り	△	○	○
粉じん	△	○	○
耐久性	△	○	○
経済性	○	△	○

R C床版下面の吹付け状況



吹付け厚さ10cmの場合、基層（仕上げ層約1.5cmを除く全厚）、仕上げ層の2層で吹付けを行う。基層の硬化促進剤の量は、モルタル重量比で2%、仕上げ層は1%以下で施工する。

支承周り狭隘部吹付け状況



高さ20cm程度の支承周りの狭隘な空間での施工を可能にするために、ノズル先端が自在に屈曲する狭隘部専用ノズルを開発し、狭隘部の施工を可能にした。

仕上り状況



仕上げ層における硬化促進剤の添加量を調整し、仕上げのハンドリング時間を確保することで、平滑で美しい部材表面を実現した。

技術データ

1. 標準配合

単位水量 (kg/m ³)		硬化促進剤 (kg)	ビニロンファイバー (kg)
TDRモルタル	水		
1,900	266	19~57	6.5~13.0

※硬化促進剤添加量は、標準でモルタル重量比2%、仕上げの場合は、1%以下にする。

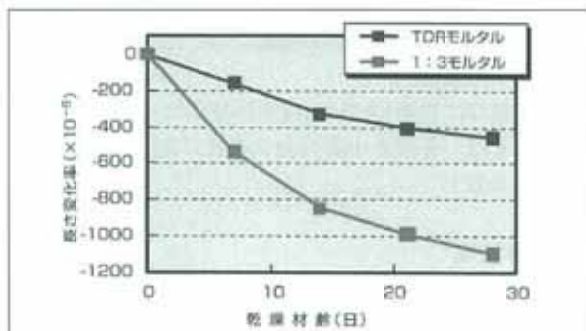
ビニロンファイバーは、体積比で0.5~1.0vol%添加する。

2. 強度特性 (JHS-416)

強度特性 (N/mm ²)	材齢				
	1時間	3時間	1日	7日	28日
圧縮強度	0.25	0.44	12.8	30.5	42.3
曲げ強度	—	—	3.1	5.9	7.8
付着強度	—	—	1.2	1.6	2.1
耐アルカリ性試験後	—	—	—	—	1.6
凍融繰り返し試験後	—	—	—	—	1.5

※初期の圧縮強度、付着強度が高く、材齢28日でRC構造の設計強度を十分に満足している。

3. 硬化収縮特性 (JHS-416)



※JHS-416 (旧道路公団断面修復材の品質基準) の -500μ 以下の基準を満足している。

4. 耐久性

項目	試験方法	試験結果
透水性	JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」に準拠し、電気物イオン透過率を測定した。	コンクリート (245/mm ²) : 6mm ポリマーセメントモルタル : 3mm TDRモルタル : 2mm
中性化抵抗性	JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠し、中性化深さを測定した。	コンクリート (245/mm ²) : 18.6mm TDRモルタル : 6.7mm
凍結融解抵抗性	JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し、相対動弾性係数を評価した。	300サイクル終了後、相対動弾性係数88.7%

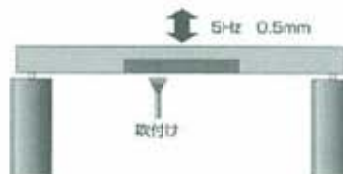
※各耐久性の指標において、高い性能を有している。

5. 充填性試験



モデル試験体への吹付け状況(写真左)、モデル試験体の切断面(写真右)
※D19ダブル、100mmピッチの格子状配筋。このような厳しい条件でも、鉄筋背面への高い充填性を有している。

6. 振動負荷試験



※交通振動を模擬した試験で、振幅0.5mm、5Hzで振動を与えながら吹付け施工を実施した。振動下でもひび割れ等の損傷もなく、1.5N/mm²以上の付着強度(材齢28日)を有している。

この技術に関するお問い合わせ先は...



飛島建設株式会社

土木本部 土木部 環境・リニューアブルグループ
防災R&D センター 技術研究所 第三研究室

<http://www.tobishima.co.jp>

〒102-8332 東京都千代田区三番町2番地
〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472

Tel.03-5214-7085 Fax.03-5276-2526
Tel.04-7198-7559 Fax.04-7198-7586

トンネル新技術の紹介

切羽補強工法

- ・長尺GFRP 鏡補強工「FIT 工法」
- ・小口径長尺鋼管先受け工「Me 工法」

■ 背景

近年、山岳トンネルでは坑口部や低土被り部等の脆弱な地山状況下で切羽の安定性、周辺環境への影響を考慮したトンネル掘削が要求される機会が多くなってきている。そのような背景の中で、長尺先受け工や長尺鏡補強工など切羽の安定性確保や先行変位の抑制を目的とした各種補助工法が注目されている。3次元数値解析を用いた切羽周辺地山のシミュレート結果を図-1 に示す。

図-1 の解析結果に示されるように切羽の不安定現象はトンネル掘削時に解放面となる鏡部の挙動により発生することから、鏡部前方地山の補強が効果的であることが実証されていた。削孔技術の進歩から長尺鋼管先受け工、GFRP 管による切羽補強工「FIT 工法」、小口径薄肉鋼管を用いた長尺先受け工「Me 工法」が開発され、「FIT 工法」についてはこれまで250件以上の施工実績がある。図-2 に各工法の概要図を示す。

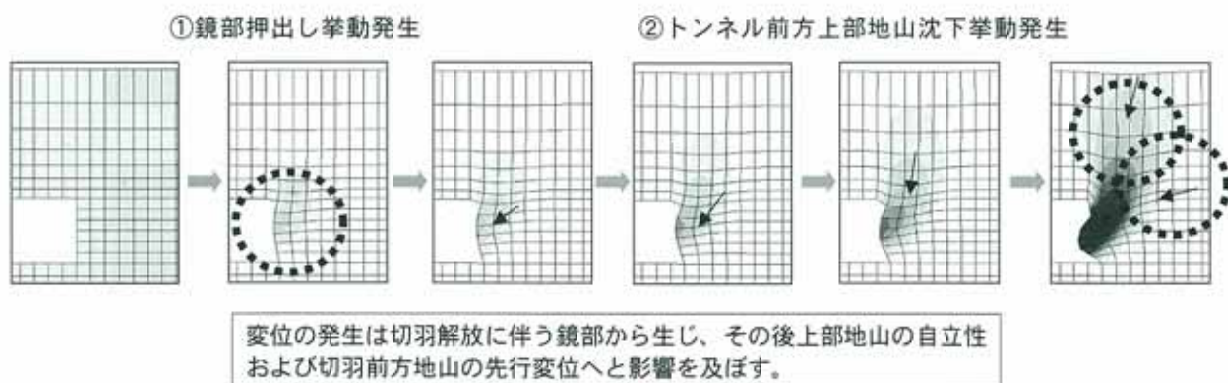


図-1 切羽の不安定現象（3次元解析結果より）

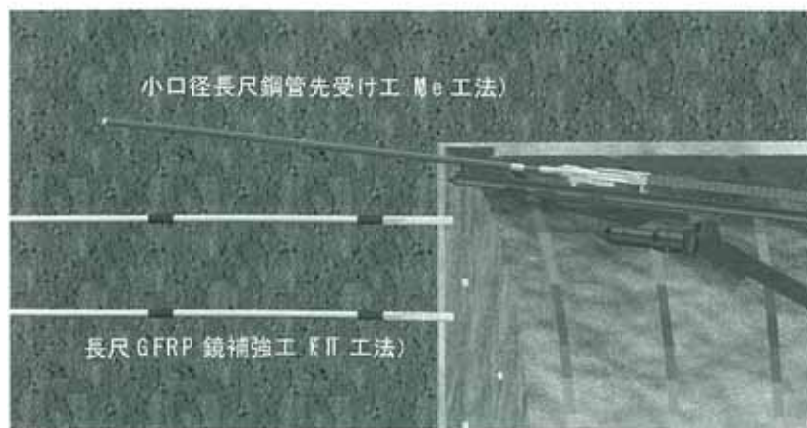


図-2 FIT 工法・Me 工法の概要図

■「FIT工法」の特徴

「FIT工法」はGFRP チューブを補強部材とした二重管方式による削孔システムを用いた切羽の安定、先行変位の抑制を目的とした工法である。以下に「FIT工法」の特徴を示す。

- ・切除可能かつ注入材による定着の確保と十分な軸剛性をもつGFRP 管により切羽から全方位への補強が可能。
- ・ドリルジャンボによる施工ができ、軽量で小口径であることから作業効率が良い。

図-3に「FIT工法」の施工パターン概要図、表-1に補強材となるGFRP チューブの諸元について示す。また、図-4に施工状況を示す。

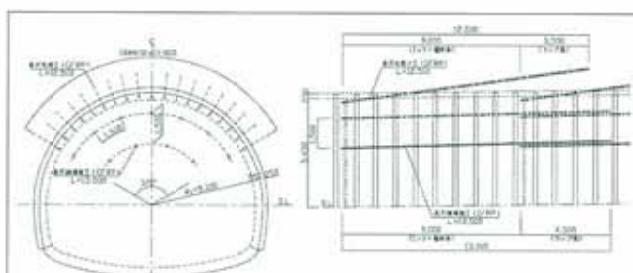


図-3 FIT工法の施工パターン概要図

表-1 GFRP管の諸元

	形状寸法	mm	76/60
	素管断面積	mm ²	1,702
	引張強さ	kN	1,000
	せん断強さ	kN	170
	断面係数	cm ³	26.35
	単位重量	kg/m	3.0



(FIT 工法施工前)

(FIT 工法施工後)

図-4 FIT工法の施工状況

FIT 工法



株式会社 ケー・エフ・シー



株式会社 ケー・エフ・シー マスディック

■「Me工法」の特徴

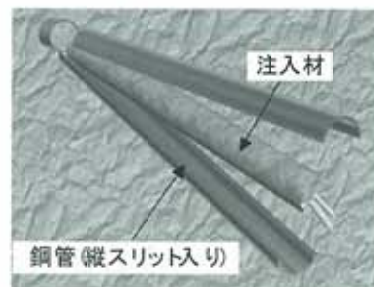
「Me工法」は長尺鏡補強工による切羽周辺時山の塑性化抑制効果に伴う先受け工部材の低減を図る目的から開発された小口径薄肉鋼管(φ76.3mm×4.2mm)を用いた長尺鋼管先受け工である。以下に「Me工法」の特徴を示す。

- ・長尺鏡補強工を併用した小口径鋼管を用いることにより施工性、経済性の向上が図れる。
- ・小口径鋼管のネジ部耐力(拡張)は通常のφ114.3mmの鋼管と同等の引張耐力を有する。
- ・端末管はトンネル掘削時に切除と分別が容易な特長をもっている。

図-5にMe鋼管の接続部、端末管切除状況、表-2に各鋼管の接続部引張耐力について示す。



(鋼管接続部)



(鋼末管：分別処理が可能)

図-5 Me工法の接続部、端末管切除状況

表-2 鋼管接続部の引張強度比較表

サイズ	ネジ部引張荷重	摘要
φ114.3×6.0t	324kN	(JIS G3444)
φ101.6×4.2t	284kN	
φ76.3×4.2t	168kN	
φ76.3×7.0t	312kN	
φ76.3×4.2t	* 343kN	* 拡張

Me 工法

お問合せ先 株式会社 ケー・エフ・シー マスディック
〒007-0834 札幌市東区北34条東9丁目1-1
TEL(011)751-3221 FAX(011)751-3899

トンネル新技術の紹介

吹付けコンクリート工法

・石炭灰原粉を用いた吹付けコンクリート工法「EP(エコパウダー)ショット工法」

国土交通省新技術情報提供システム (NETIS) 登録番号: CG-050020

■ はじめに

平成17年度の石炭火力発電所から発生した石炭灰は、約800万トンである。この10年間に於いて、石炭灰の発生量が前年度を下回ったのは平成10年度のみであり、引き続き増加の傾向を示している。このような背景のもと、様々な石炭灰の有効利用技術が研究、実用化されている。

EPショット工法は、石炭灰の有効利用技術のひとつとして中国電力(株)と共同開発した吹付けコンクリート工法で、平成16年3月にグリーン購入法特定調達品目に認定されている。

石炭灰はコンクリート用混和材として、比較的古くから用いられてきたが、原料炭の生産地、発電所の設備、季節による燃焼温度の調整などから品質が安定せず、JIS規格に適合させるためには燃焼後に集塵した灰(原粉)を一度、分級する必要がある。電気事業者にとってこの処理を省略することはコストダウンに直結することから、本工法ではこの燃焼後に集塵されたままの原粉を吹付け材料に利用することを前提としている。中国電力では、この原粉をエコパウダー (Eco Powder) (写真-1) と呼んでいることから工法名を『EPショット工法』とした。

■ 概要

EPショット工法は、吹付けコンクリート材料のうち、セメントと細骨材の一部を安価な石炭灰に置きかえた吹付けコンクリート工法である。

石炭灰は、同一のワーカビリティを得るための単位水量を低減することができ、強度を増加させる性質を有している。混和材として石炭灰を用いたコ

ンクリートは、初期の強度発現がやや遅れるものの、その後強度は継続的に増進し、長期強度はセメントのみの場合に比べて大きくなる。この傾向は、吹付けコンクリートに使用した場合でも同様である(図-1)。このような石炭灰の材料特性を十分活かした配合設計を行うことで、必要強度を確保することができ、長期材齢での強度の伸びが大きく、吹付け時のね返し量を低減することが可能となる。

EPショット工法の特長のひとつに粉塵発生量の抑制がある。EPショット工法の施工状況を写真-2に、吹付け作業時における粉塵濃度の計測結果を図-2に示す。粉塵濃度は、通常の吹付けコンクリートに比べ切羽から10m後方地点で約2割減少、切羽から50m後方地点(厚生労働省のガイドラインで規定された粉塵濃度測定位置)で約3割減少している。これは、石炭灰を混合することによりベースコンクリートの粉体量が増加して粘性が上がり、吹付け作業中に急結剤やセメント粒子の気中への飛散が減るためである。

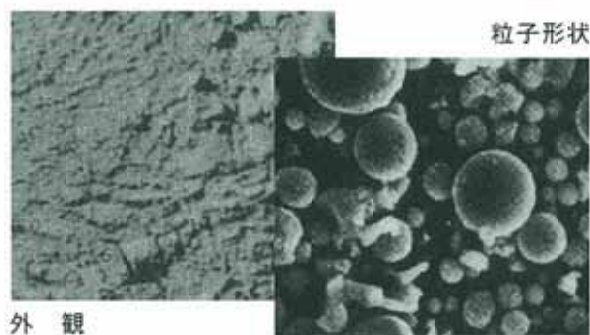


写真-1 石炭灰原粉 (エコパウダー)

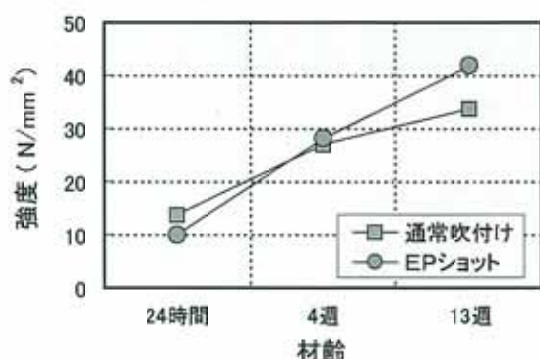


図-1 強度発現性状の比較

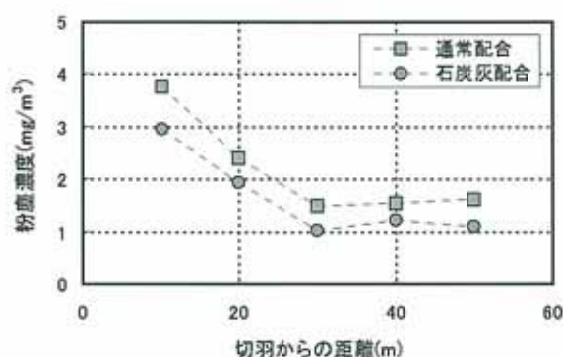


図-2 粉塵濃度測定結果

■ 特長

適切な量の石炭灰を混合することにより、次の特長が得られる。

1. 吹付け時のはね返り量が低減する。
2. セメントのみの場合に比べて、粉塵発生量を低減できる。
3. セメントのみの場合に比べて、長期強度が増進し、組織が密実になる。
4. 収縮量が減り、耐摩耗性などの耐久性が向上する。
5. 季節ごとの温度変化による強度への影響を受けにくくなる。



写真-2 EPショット工法の施工状況

■ EPショット工法の種類

湿式吹付け用、乾式吹付け用、モルタル吹付け用の3種類がある。

● EPショット-W (湿式吹付けコンクリート)

あらかじめ製造したベースコンクリートを搬送し、吹付ける直前に急結材を添加します。

● EPショット-D (乾式吹付けコンクリート)

石炭灰・セメントと骨材を空練りし、吹付ける直前に急結材と水を添加します。

● EPショット-M (吹付けモルタル)

石炭灰を加えたモルタルを壁や法面に吹付けます。急結剤は使う場合と使わない場合があります。

方式	W/C %	CA/(C+CA) %	単位量(kg/m³)					備考
			水	セメント	石炭灰	細骨材	粗骨材	
EPショット-W	71	30	200	280	120	1070	692	粉体急結材 25~30kg/m³
EPショット-D	91	50	210	230	230	998	640	
EPショット-M	68	30	230	337	144	1409	—	

■ おわりに

EPショット工法は、石炭灰のリサイクルと吹付け工事のコストダウンを両立させた技術であり、今後採用されるトンネル工事の増えることが期待される。

中国地方では、中国電力グループの(株)エネルギー・エコ・マテリアルが石炭灰の供給と配合に関するアドバイスを発行しており、円滑な利用システムが確立されている。



お問い合わせ先 (技術本部)

<http://www.okumuragumi.co.jp>

〒108-8381 東京都港区芝5-6-1

TEL. 03-5427-2316 FAX.03-5427-8104

トンネル新技術の紹介

孔曲り計測システム「孔の助」



CCDカメラ



管内状況



測定機器

NATMの先受け工法の長尺化や耐震補強の斜杭などの施工において、ボーリング先端の位置計測、削孔方向制御などの高精度な施工技術の開発が求められている。ボーリング先端の位置計測にはジャイロや地磁気センサを応用したものが用いられているが、それらには課題がある。ジャイロは高価で取扱いが難しく、土木現場には不向きである。また、地磁気センサは計測精度が低く、磁性体が存在する場所では使用不可となる。

孔の助はセンサの低価格化、計測精度と施工性の向上を目的とし、加速度センサと回転角度センサ、位置解析技術を応用して、ボーリング先端の位置を計測するために開発した孔曲り計測システムである。

特長) 三次元計測が可能、高精度な計測が可能、短

時間で計測が可能、耐環境性が高い。さらに、測定機器がよりコンパクトになり、現場計測や運搬が便利になった。また、オプションのCCDビデオカメラを取り付けることによって、管内状況がパソコン画面で確認できる。

原理) 計測ステップ毎の水平方向にヨー角、鉛直方向にピッチ角及び、回転にロール角の測定によって、孔の先端位置（座標値）を算出する。

効果) 先進ボーリング孔の線形計測、葉注管の線形計測、制御削孔位置確認計測に効果の発揮を期待できる。

セーフティコール

目的) 作業員が重機の作業半径内に入らずにオペレータに自分の存在を知らせることを可能にすること。

特徴) 作業員が送信機のボタンを押すと、光と音で重機のオペレータに自分の存在を通知することが可能である。

また、受信機1台あたり255台の送信機、送信機1台あたり4台の受信機を登録することができるため大規模な工事現場にも適用することができる。

効果) “人”と“重機”の接触事故を未然に防ぐことができる。

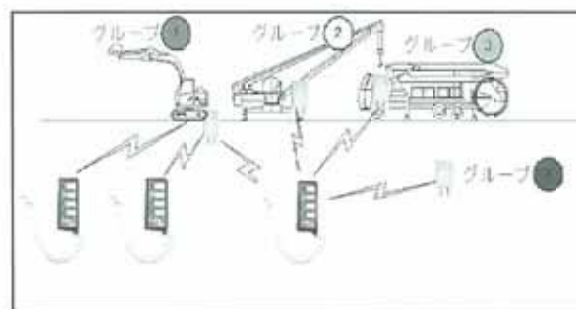


図-1 セーフティコール概念図



お問い合わせ:(株)エーティック 〒063-0801 札幌市西区二十四軒 1-5-6-1
<http://www.a-tic.co.jp> TEL. 011-644-2851 FAX. 011-644-2895

トンネル新技術の紹介

超長尺トンネル先受け工法 (ELPS工法)

▶ 概要

近年、都市部における土被りが小さいNATMトンネル工事の事例が増えており、補助工法としての長尺先受け工の採用が考えられる。従来の先受け工は、一般に12.5mで削孔中の方向制御は行わないため、30mを超えるような長尺先受けの施工では精度の低下が危惧される。そこで、削孔中にボーリング先端の位置を高精度に計測し、その結果をもとに50m級の長さでも方向制御できる長尺先受け「ELPS工法」(Extremely Long Pre-Supporting Method)を開発した。

本工法は、鋼管の位置を計測しながら方向制御削孔することで施工精度の向上を図り、かつ1シフト当たりの先受け長を長くすることで、よりいっそう地表面沈下を抑制し、施工サイクルの短縮により工程を圧縮することを目的とする。

▶ 特徴

- ① 先端に回転打撃を与える削孔方式(ダウンザ・ホール・ハンマー)を採用し、長距離でも高速での削孔が可能である(図-1)。
- ② 先端に取り付けたテーバービットの向きを調整することにより方向制御を行う(図-3)。
- ③ 削孔中の先端位置をジャイロ計測器により高精度に把握し、これをもとに修正削孔を行う(写真-1)。
- ④ 従来の長尺先受け工法(12.5m)に比べ、地表面沈下を10%以上低減できる。
- ⑤ トンネル線形が曲線の場合、これに合わせたカーブ施工が可能である。

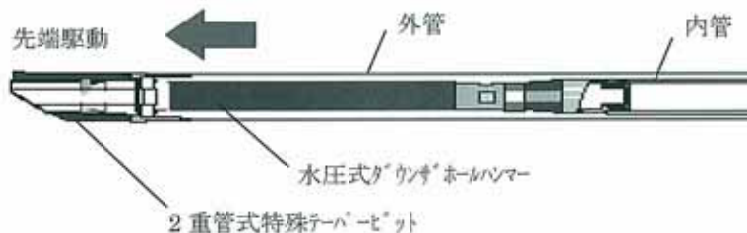


図-1 ロッド先端部構造図

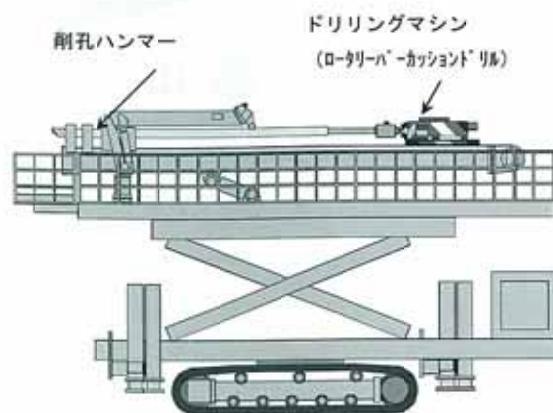


図-2 ELPS施工機

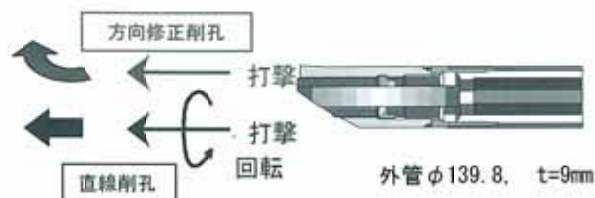


図-3 方向制御機構

▶ 工業所有権 特許出願中

▶ 実績

- ・道路トンネル工事(岩手県)の到達坑口部補強
【先受け長50m】
- ・道路トンネル工事(岐阜県)の発進坑口部補強
【先受け長26m】

▶ 問合せ先

清水建設株式会社 土木技術本部技術開発部

〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3

電話: 03 (5441) 0518, Fax: 03 (5441) 0543



写真-1 挿入式ジャイロ計測器

トンネル新技術の紹介

「計測結果見える化プロジェクト」

—山岳トンネルにおける「光る変位計」の適用—

1. 山岳トンネル用「光る変位計」

概要 現場へ適用した山岳トンネル用「光る変位計」は神戸大学の芥川教授（大学院工学研究科市民工学専攻）と北斗電子工業株式会社が共同で開発した5色に変わる発光ダイオード（LED）を使い、変位量の大きさに応じて色を変化させ、危険度を作業員へ認識させることができる装置である。トンネルの変形（縮み）に対して十分な硬さを持ったケーブルに10cm間隔でLEDを取り付け、バネの長さの変化をLEDの光の色に変換する仕組みで、例えば、普段は青色に設定し、変位が大きくなり危険度が高まるにつれて赤色に変化する。

計器の設置が容易であり、検測部のバネの変形能力を変化させることで測定範囲を変えることができる。

また、初期の設置状況により伸び、縮みどちらの変位に対しても色を変化させることが可能であり、地山の変形モードに合わせて容易に設定が可能である。

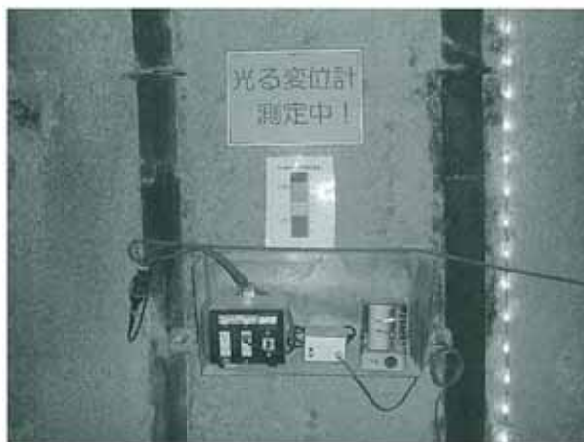
㈱鴻池組は、土被り300mを越える大土被りの蛇紋岩地山という大変形を生じやすい特殊地山条件下で施工中の北海道横断自動車道穂別トンネル西工事（鴻池・飛島特定建設工事共同企業体）において、現場における安全管理技術向上の目的で山岳トンネル用「光る変位計」を国内で初めて山岳トンネル工事に適用した。写真－1に現場での切羽設置状況を示す。

特徴 本工法の特徴は、以下のとおりである。

- ①トンネル内で簡単に設置、移動することができ、知りたい場所の変位が容易に確認できる。
- ②切羽付近や変状箇所等知りたい位置の変位量の大きさに応じて異なる光の色を発するため、作業員自身が変化を判断できる。
- ③電源は電池仕様とし、繰り返し充電可能であるため、特別な電線は不要である。
- ④トンネルの変形はアーチであるため測定位置によ



写真－1 切羽設置状況
(天端：赤色、左側壁：黄色、右側壁：青色)



写真－2 側壁設置状況（初期色 紫色）

て伸び、縮み様々であるが、設定により伸び、縮みどちらの変形についても対応が可能である。

- ⑤掘削作業に支障がない位置に設置可能であり、設置後は作業に影響することなく観察が可能である。

効果 本工法採用による効果は以下のとおりである。

- ①照明が暗い坑内においても知りたい箇所の変位量を発光ダイオード（LED）の光の変化で明確に認識できる。
- ②変位データを事務所で処理して判断する現状の計測工に比べ、掘削直後の危険性を作業員が直接現場で判断できる。

③機械騒音の大きい切羽作業でも目視により安全の確認が可能である。

2. 斜面用「光る変位計」

概要 現場へ適用した斜面管理用「光る変位計」は、フルカラー発光ダイオード（LED）を使い、変位量の大きさに応じて光の色を5段階（青、シアン、緑、黄、赤）で変化させ、危険度を作業員へ認識させることができる装置である。対象斜面に設置した任意の2点間に生じる相対変位（伸び）に対応し、LEDの光の色を変化させる仕組みで、例えば、普段は青色に設定し、変位が大きくなり危険度が高まるにつれて赤色に変化する。また、トンネル坑口部において斜面のLEDと同調させた観測用のLEDを設置することで、昼間の見にくい時間帯にも確実に判断できるように工夫した。

㈱鴻池組は北関東自動車道佐野東工事（出流原（いずるはら）トンネル：仮称）鴻池組・本間組・矢作建設工業特定建設工事共同企業体において、斜面用の「光る変位計」を長大法面に近接する山岳トンネル坑口部に適用した。本工事はトンネル坑口部に長大法面が近接し、斜面安定対策として法枠工やアンカー工が施工されていた。

トンネルの施工では長大法面の法尻を並行に掘削するため、掘削時の緩みに伴う斜面への悪影響が懸念されていた。平成21年6月末現在、トンネルの施工は、上り線L=279mの掘削を完了している。

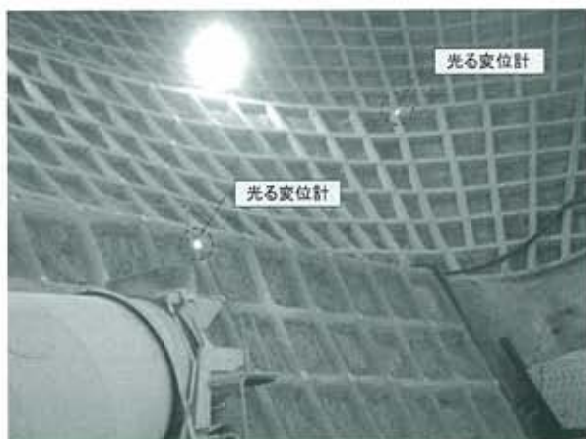


写真-3 切羽設置状況（夜間）

特徴 本工法の特徴は、以下のとおりである。

①対象となる斜面上で簡単に設置、移動することが

でき、知りたい場所の変位が容易に確認できる。

②電源は電池仕様とし、繰り返し充電可能であるため、特別な電線は不要である。

③計器や電池は完全防水仕様となっており、集中豪雨時や計測した降雨時でも確認が可能。

効果 本工法採用による効果は以下のとおりである。

①変位量に応じて色が変わるため、切土直後の危険性を「いつでも」、「どこでも」、「誰でも」目視で直接判断できる。それにより、斜面の安定性をリアルタイムに確認でき、安全性が飛躍的に高まる。

②山岳トンネル工事は一般に昼夜で作業を行うが、夜間であっても作業員自身が光の色で斜面の安定性を目視で確認できるため、不測の事態の発生が回避できる。

③工事中の安全管理技術としてだけでなく、メンテナンスや防災分野における監視・計測技術としての実用化により、将来的には多岐にわたる応用が期待される。

3. 使用用途

【安全管理技術】

- ・道路、鉄道、水路、電気ガス等山岳トンネル変位管理
- ・斜面崩壊、地すべり監視
- ・小土被り地表面沈下監視
- ・近接施工時の構造物への影響監視

【防災技術】

- ・既設の法面・構造物の監視
- ・災害時・緊急時の二次災害防止

4. 国内実績

【山岳トンネル用】

北海道横断自動車道穂別トンネル西工事

【斜面用】

北関東自動車道佐野東工事

（仮称：出流原（いずるはら）トンネル）

5. 問い合わせ先

㈱鴻池組 大阪本店土木技術部

TEL 06-6343-3290

URL: <http://www.konoike.co.jp>

トンネル新技術の紹介

「地下空洞の情報化施工における無線センサの利用」

1. 計測装置の無線化

トンネルや地下空洞の情報化施工においては、切羽近傍で変状計測を開始することが重要である。そのためには、多くの計測点から出る多量のケーブルを掘削進捗に合わせて合理的に配線する必要がある。これらケーブル配線の手間や発破時のケーブルへのダメージを考慮すれば、計測装置を無線化することのメリットは大きい。現在建設中の京極地下発電所（北海道虻田郡）地下空洞掘削工事において、大成・佐藤・北電興業・三井住友共同企業体はアンカーおよびロックボルトの計測に地球観測株式会社（大阪大学ベンチャー）開発の小型無線計測ユニットを採用している。

2. 小型無線計測ユニット（KWS）の特長

- 1) 指向性が小さいことから障害物などの影響を受けにくい。
- 2) 通信距離が1km程度（見通し）。
- 3) 電圧、電流、ひずみ、いずれのタイプのセンサでも接続が可能。（例えば、傾斜、変位、温度、湿度、圧力、ガス濃度など）
- 4) 1台に最大16CH測定が可能。（電圧、電流の場合）
- 5) 短期であれば小型電池での運用が可能。
- 6) 基地局1台に対し、KWS100台の運用が可能。
- 7) 自動リトライ機能によりデータの欠落を防止。

3. 現場での有効性

- 1) KWSは突起物の無い設計で、発破防護用の金属製ケースに入れた状態で計測ができる。その際、通信環境に支障は見られていない。
- 2) KWSから基地局が見通せない状況においても欠落なくデータが受信されている。

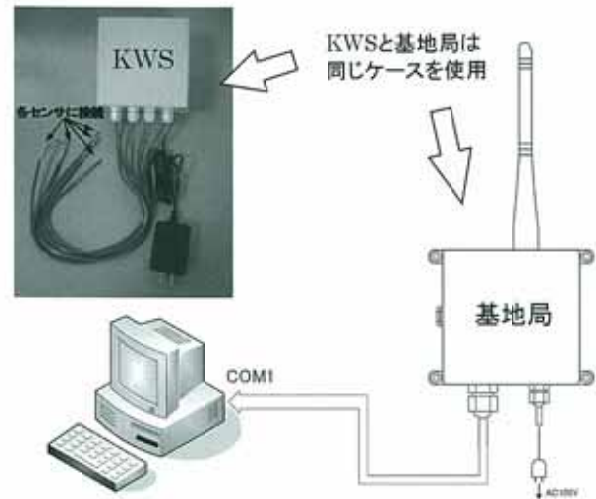


写真-1 小型無線計測ユニット（KWS）



写真-2 KWS内蔵の発破防護取り付け状況

- 3) 有線式の従来型計測装置に比べ、設置に要する工数が軽減された。また、無線化することにより長期計測時のケーブルの腐食問題なども低減され、メンテナンスの簡便性とローコスト化を実現。
- 4) 無線のため、発破によるケーブル損傷が無い。
- 5) 現在約30台が1時間間隔で連続稼働しているが、重機運転や塵埃の影響もなく、通信障害やデータの異常など大きなトラブルは発生していない。随時計測点を増やし、60台が稼働する予定。



写真-3 対象現場状況写真



写真-4 基地局の設置状況

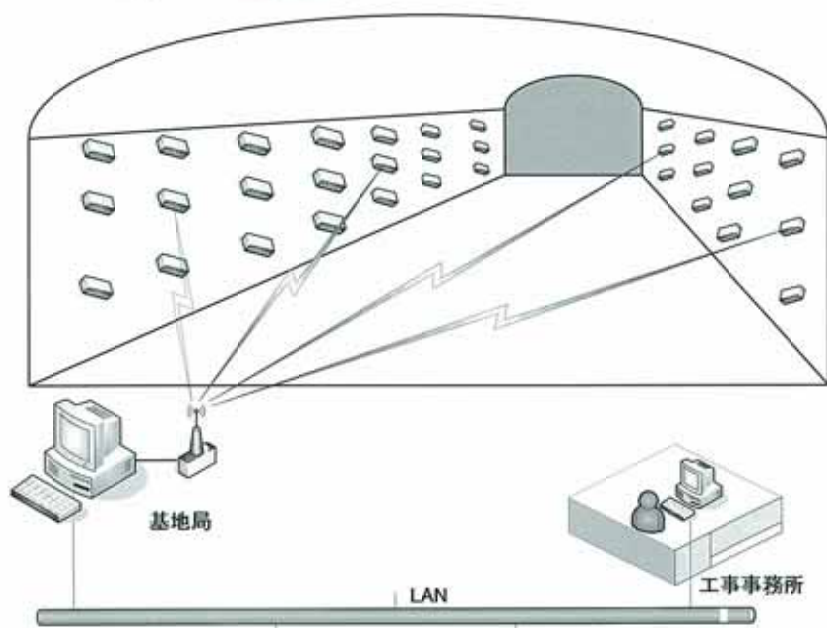


図-1 本無線計測システム

4. 使用用途

- 1) トンネル・地下空洞施工現場での計測全般
- 2) 斜面災害（なだれ、地滑り、崩壊）監視

- 3) メタンガスなどのガス検知
- 4) 廃棄物処分場での環境監視
- 5) 構造物の劣化診断

5. 本無線計測ユニットの適用実績

- ・「産業廃棄物処分場環境計測」 計測項目：地中温度、地盤沈下量、水位、酸素濃度
- ・「道路のり面地すべり監視」 計測項目：間隙水圧、土壌水分、水位、温度、湿度、降水量
- ・「道路盛土応力計測」 計測項目：エクステンションシートひずみ
- ・「鍾乳洞岩盤変位モニタリング」 計測項目：変位、温度

6. 問合せ先

◇地球観測㈱（〒530-0042 大阪市北区天満橋3-3-5 TIL311号, TEL. 06-6242-8400）

◇㈱エーティック（〒063-0801 札幌市西区二十四軒1-5-6-1, TEL. 011-644-2803）