

# 山岳トンネル工事に用 建設機械の現状と将来の展望

平成13年10月

(社)日本建設機械化協会  
トンネル機械技術委員会  
山岳トンネル班



# 講演内容

1. 山岳トンネルの現状
  1. 工種の分類と内容・メーカー
  2. 各工種毎の新技術について
2. 各工種毎の将来の展望
3. 建設会社ホームページ掲載記事
4. 各種資料

# 山岳トンネルの現状

→ 最近の山岳トンネルでは  
鉄道、自動車、農水道、上下水道を問わず

1. 急速施工
2. 安全施工
3. コスト低減

等にコンセプトを置き、建設機械も  
新技術・新工法の開発がなされている。

# 工種および機種の分類 (標準)

	工 種		機 種 (下線の機種が今回採用)
1	掘削工	掘削	<u>自由断面掘削機</u> 、その他
		削孔	<u>油圧ジャンボ</u> 、その他
		装薬発破	<u>油圧ジャンボ</u> のマンケージ使用、自動装薬機、その他
		ズリ出し	<u>積込機</u> 、 <u>重ダンプトラック</u> 、コンベヤ、その他
2	支保工	吹付コンクリート	<u>コンクリート吹付機</u> 、 <u>吹付ロボット</u> 、その他
		支保工建込み	<u>油圧ジャンボ</u> の支保ホルダー使用、 <u>エレクター台車</u> 、その他
		ロックボルト打設	<u>油圧ジャンボ</u> 、モルタル注入機、その他
3	防水工	防水シート張り	シート張り台車、その他
4	覆工	覆工	スライドセントル、その他
5	仮設備	仮設備	<u>吹付プラント設備</u> 、 <u>換気設備</u> 、濁水処理設備、その他
6	TBM	T B M	<u>全断面トンネル掘進機</u> 、ズリ処理、その他

# 工種・機種の種類とメーカー及び提携会社

	工種	機種	メーカー(提携会社)
1	掘削工	1 自由断面掘削機	日本鋳機、三井三池、タイクウ
		2 油圧ジャンボ	古河機械、TCM(アトラス)、タムロック
2	ズリ出し	1 積込機	コマツ、TCM、新キャタピラ三菱
		2 重ダンプトラック	コマツ、TCM、新キャタピラ三菱、ボルボ、アイムコ
3	吹付コンクリート	1 吹付機	古河機械、TCM、アリバ、KBC
		2 バッチャープラント	日工、ジーエスケー、名岐機器、丸友機器、北川機工
4	支保工建込み	エレクター台車	古河機械、TCM、KBC
5	換気設備	大型ブロア(送風機)	三井三池、エヌジェイアクシベイン、流機エンジニアリング
		大型集塵機	松下電工、エルデッタ、流機エンジニアリング、三井三池
6	TBM	全断面トンネル掘進機	川崎重工、三菱重工、コマツ、IHI、日立造船、日立建機
7	新工法	トンネル工法	ゼネコン各社 / 協力メーカー
		TWS	大林・福田JV / 古河機械、日本鋳機、三井三池、佐賀工業

# 1. 掘削工 1 自由断面掘削機

- ⇒ 一軸圧縮強度 …… 20MPa 50MPa
- ⇒ 上半先進 …… 90Kw 200Kwクラスが主流  
RH-8J、S-200
- ⇒ ミニベンチ …… 250Kw ~ 300Kwクラス  
RH-250-MB、SLB-250
- ⇒ 全断面 …… 250Kw ~ 300Kwクラス  
RH-10J、SLB-300、WAV300
- ⇒ ブレーカー …… 生産性を上げるため、補助的に使用  
2 ~ 4tonクラス

# 1. 掘削工

# 1 自由断面掘削機

(上半先進掘削工法)

日本鋤機

RH-8J

出力 240Kw

自重 55ton

掘削高さ 6.2m

中硬岩用

鉄道、道路トンネル



# 1. 掘削工

# 1 自由断面掘削機

(上半先進掘削工法)

三井三池

S-200

カッター出力: 200Kw

自重 50ton

掘削高さ 6.0m

中硬岩用

鉄道、道路トンネル



# 1. 掘削工

## 1 自由断面掘削機 (大断面用)

日本鉦機

RH-10J-S

出力 330 Kw

自重 120 ton

掘削高さ 8.7 m

中硬岩用

鉄道、道路トンネル



# 1.掘削工 -2 油圧ドリルジャンボ

- ⇒ 打撃出力増大 …… 100 Kg級 150 Kg級
- ⇒ 回転トルク …… 45 Kg-m 55 Kg-m
- ⇒ 省力化
  - 上半 …… 100Kg級 2ブーム 150Kg級 1ブーム
  - 全断面 …… 150Kg級 3ブーム

# 1.掘削工 -2 油圧ドリルジャンボ

古河機械

3ブーム2ケージ

自重 44 ton

さく孔範囲 幅 13 m  
高 8.6 m

新幹線、鉄道トンネル

マイクロベンチ工法  
全断面工法対応



## 2.ズリ出し -1 積込機

- 大型化している

### ⇒ 運搬機の大型

サイクルタイムの改善

バケット容量の大型化

### ⇒ 坑内環境改善・安全確保のため

連続ベルトコンベヤ登場

従来のズリ出し方法に変化

## 2.ズリ出し -1 積込機

新キャタピラ三菱

966G

定格出力 : 175 Kw

自重 : 24.2 ton

バケット容量 : 3.1 m<sup>3</sup>

最小旋回半径 : 6.3 m

トンネル仕様



## 2.ズリ出し -2 運搬機

### 1. トンネルの長大化

斜坑・横坑による運搬距離の長距離化

70m<sup>2</sup>以上の断面 重ダンプ(20ton以上)が一般的

### 2. ズリ処理時間の短縮目的

トンネル内での小旋回性能向上  
ベッセル部分のコンテナ化

### 3. 100m<sup>2</sup>以上の断面(第2東名、名神T)

30tonダンプが主流 40tonも計画検討

## 2.ズリ出し -2 重ダンプトラック

新キャタピラ三菱

M26B

定格出力 : 260 ps

自重 : 19.7 ton

最大積載量 : 22 ton

ベッセル容量 : 13 m<sup>3</sup>

最小旋回半径 : 6.0 m



トンネル仕様



# 3. 吹付コンクリート -1 吹付機

古河機械

CJM2200E

自重 : 22 ton

コンプレッサ搭載

4WSステアリング

最大吹付高 : 9.7 m

大断面对応



# 3.吹付コンクリート -2 バッチャープラント

## 傾向

- 単位セメント量UPによる計量器の大型化
- サイクルタイムの短縮化
- 繊維の定量供給
- スランプ管理
- 省人化

# 3.吹付コンクリート -2 バッチャー-プラント

丸友機械

強制攪拌型(コンピュータ制御)



# 4. 支保工建込み

## ⇒ 従来

トンネルではジャンボのブーム先端の支保工受アタッチメントで建込み

不具合 採用拒否

- 支保工の落下、ズレによる災害
- 微調整の難易度による施工サイクルの遅れ
- エレクター台車の投入のコストUP
- 切羽付近の煩雑化

## ⇒ 大断面トンネル 100m<sup>2</sup>以上

- 支保工大型化による重量の増大
- 取廻しの難易
- 作業の安全性

専用台車の必要性

第2東名、名神、大断面トンネルでは半数以上採用

# 4. 支保工建込み エレクター台車

古河機械

マルチエレクタホイール

2エレクタ

最大建込高 : 7.6 m

チャージングケージ

最大高 : 10.9 m





# 5 . 換気設備 -1 大型ブロア (送風機)

エヌ・ジェイ・  
アクシベイン  
可変ピッチ軸流送風機

電動機 : 110 Kw × 2

自重 : 5.6 ton

能力 : 2000 m<sup>3</sup>/min

静圧 : 500 mmAq (60Hz)

騒音値 : 85 dB



# 5 . 換気設備 -2 大型集塵機

- 大断面に応じて大型化している

1200m<sup>3</sup>/min

1800m<sup>3</sup>/min

3000m<sup>3</sup>/min

- 軽量コンパクト      トラック搭載、移動・盛替が簡単

- 省エネルギー

- 集塵効率UP      90 ~ 100% 近く

- 電気集塵機

- 湿式集塵機

- 乾式集塵機

- 自動運転      ……      ダストセンサーによる

# 5 . 換気設備 -2 大型集塵機

流機エンジニアリング

RE-2000P

動力 : 80 Kw × 2

自重 : 13 ton

定格風量 : 2,400 m<sup>3</sup>/min

運転圧力 : 180 mmAq

適用断面 : 130 m<sup>2</sup>



# 6 . T B M (トンネル・ボーリング・マシン)

⇒ 環境保全・安全性・経済性の各面からTBM工法のニーズ大

⇒ TBM工法の特徴

- 施工速度が早く、工期短縮      掘削とズリ出し同時連続
- 優れた方向制御性
- 覆工にムダがない      岩盤に弛みなく安全で、余掘り少ない
- 無公害      振動、騒音などが少なく、周辺住民や構造物に影響を与えない
- 省力化・無人化がはかれる      機械掘削のため

月進最高	769m/月	H.12年10月	鹿島JV 鈴鹿T
	886m/月	H.13年 8月	西松JV 鈴鹿T

# 6. TBM (トンネル・ボーリング・マシン)

三菱重工

外形: 4.88m

工事延長: 12km

掘削期間: 16ヶ月

岩強度: 10 ~ 100MPa

石灰岩、泥灰岩、  
石英系砂岩・粘土

スペイン・カディス



# TBM (ダブルシールド型)

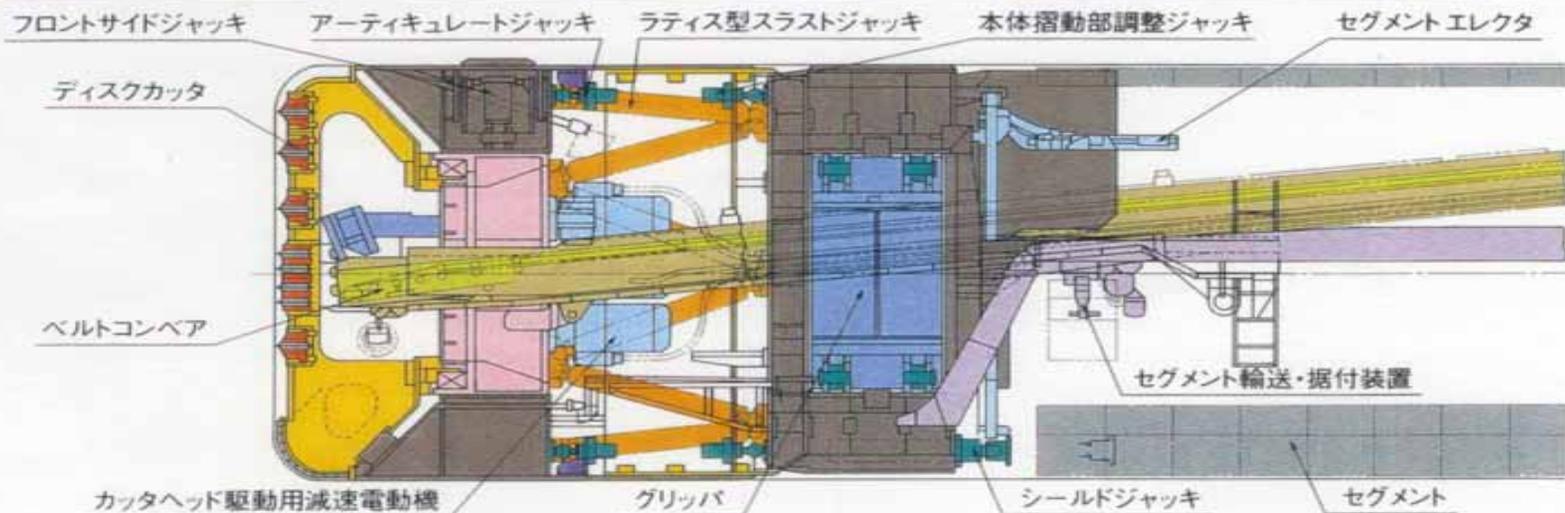


## 特長

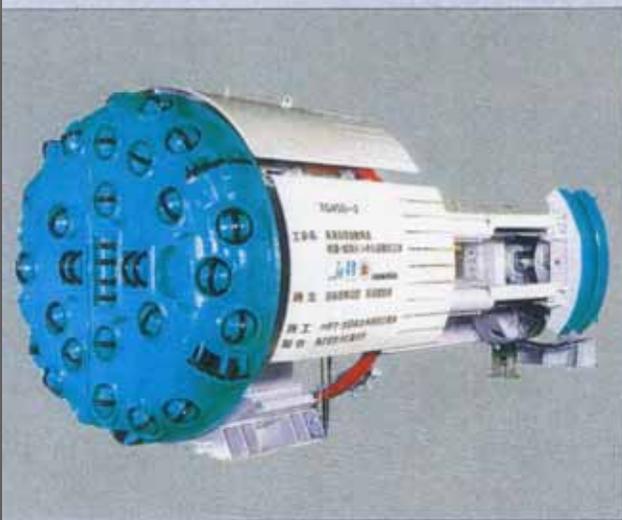
1. 健岩部ではグリッパで坑壁に反力をとって、ラティス型スラストジャッキで掘進。軟弱地層ではセグメントに反力をとって、シールドジャッキで掘進します。
2. 方向修正は掘進中にラティス型スラストジャッキにて行います。
3. 機体外周の全長に沿ってシールドを設けているので、自立しない不良地山でも機体を完全に防護します。
4. 独自のシールド構造により、後シールド盛替え時のズリの詰まりがなく、スムーズな盛替えが行えます。

## 適用地質

軟岩から中硬岩及び破碎帯、軟弱地層との互層まで適用可能です。



# TBM(オープン型)

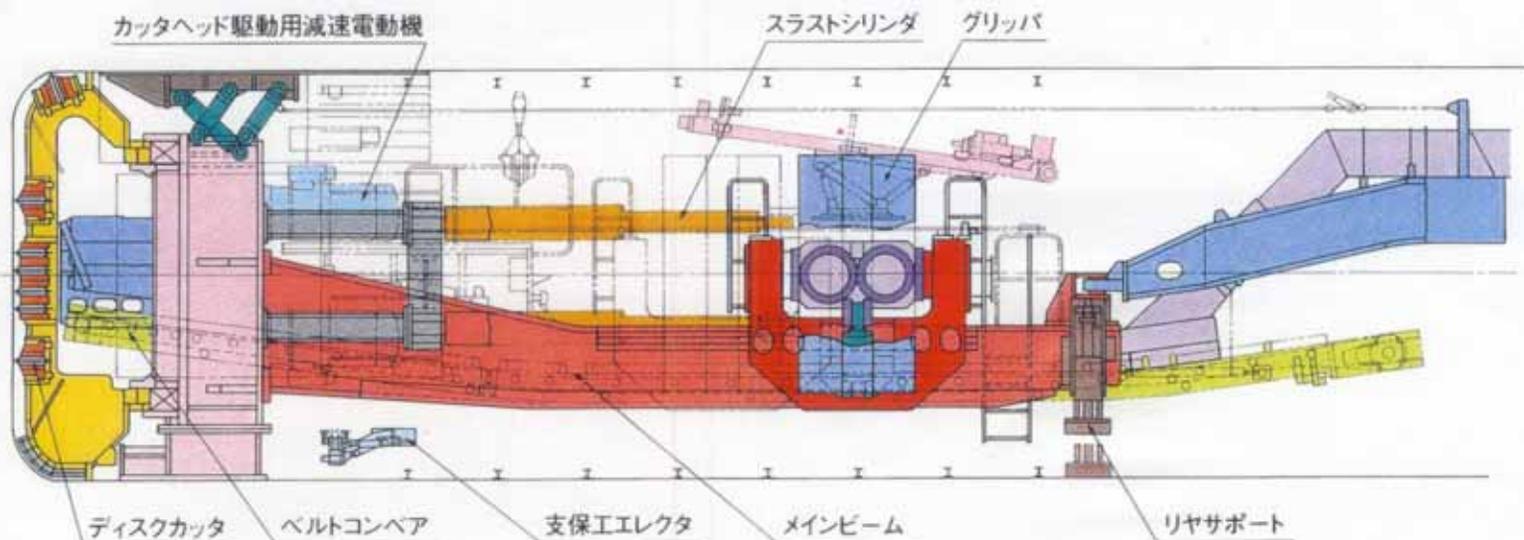


## 特長

1. グリッパを坑壁に押しつけ固定し、これに反力をとり、スラストジャッキを伸ばして機体を掘進させます。
2. 方向修正は掘進中にメインビームを介して行います。
3. 切羽直後での支保作業や補助工法が可能です。
4. 掘削完了後、一部の部品を取り外すことにより、坑内を後退・搬出できます。

## 適用地質

軟岩から硬岩まで良好な地質に最適。カッターヘッド形式の選定などによって短距離の不良地山にも対応できます。



# 7. 新工法

## 1. トンネル工法

- ゼネコン各社 / メーカー

## 2. TWS (トンネル・ワーク・ステーション)

- 掘削機搭載型

大林・福田JV / 山王トンネル

古河機械・日本鋳機・三井三池・佐賀工業

- 掘削機分離型

大林・飛島・奥村JV / 長崎トンネル

# 7. 新工法 TWS (トンネル・ワーク・ステーション)

## 1) TWSの開発コンセプト

1. 早期閉合によるトンネルの長期安定性の向上
2. 機械設備の集約化による切羽人力作業の軽減
3. 機械設備の集約化と並行作業によるロス時間・作業時間の短縮

## 2) TWSの機能

1. 切羽作業からインバート閉合までの一連作業が出来る機械システム
2. 切羽作業機械をガントリーに集約して設備し作業の合理化を行う
3. 一次吹付と二次吹付を分離、ガントリー後部で二次吹付 (NTL) を掘削作業と並行して作業時間を短縮する

# TWS (トンネル・ワーク・ステーション)



# 新工法 TWS

全長 110 m

全重量 594 ton

掘削 : 自由断面掘削機

ズリ積み : 特殊積込機

: 油圧排土板

ズリ出し : ベルトコンベヤ

: ダンプトラック

吹付け : 吹付ロボット

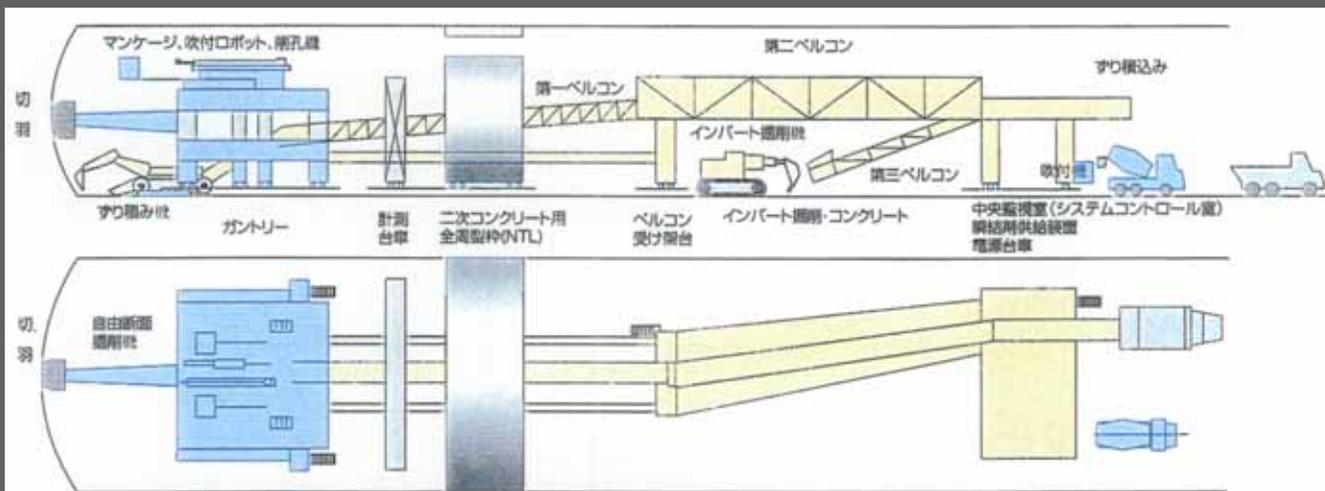
ロックボルト : 削孔機 × 3

: マンケージ × 2

二次コンクリート : 全周型枠

インバート : 特殊バックホー

: 特殊ツインヘッダー



TWS(山王丸):先端~全周型枠付近

自動掘削システム搭載  
自由断面トンネル掘進機 システム図

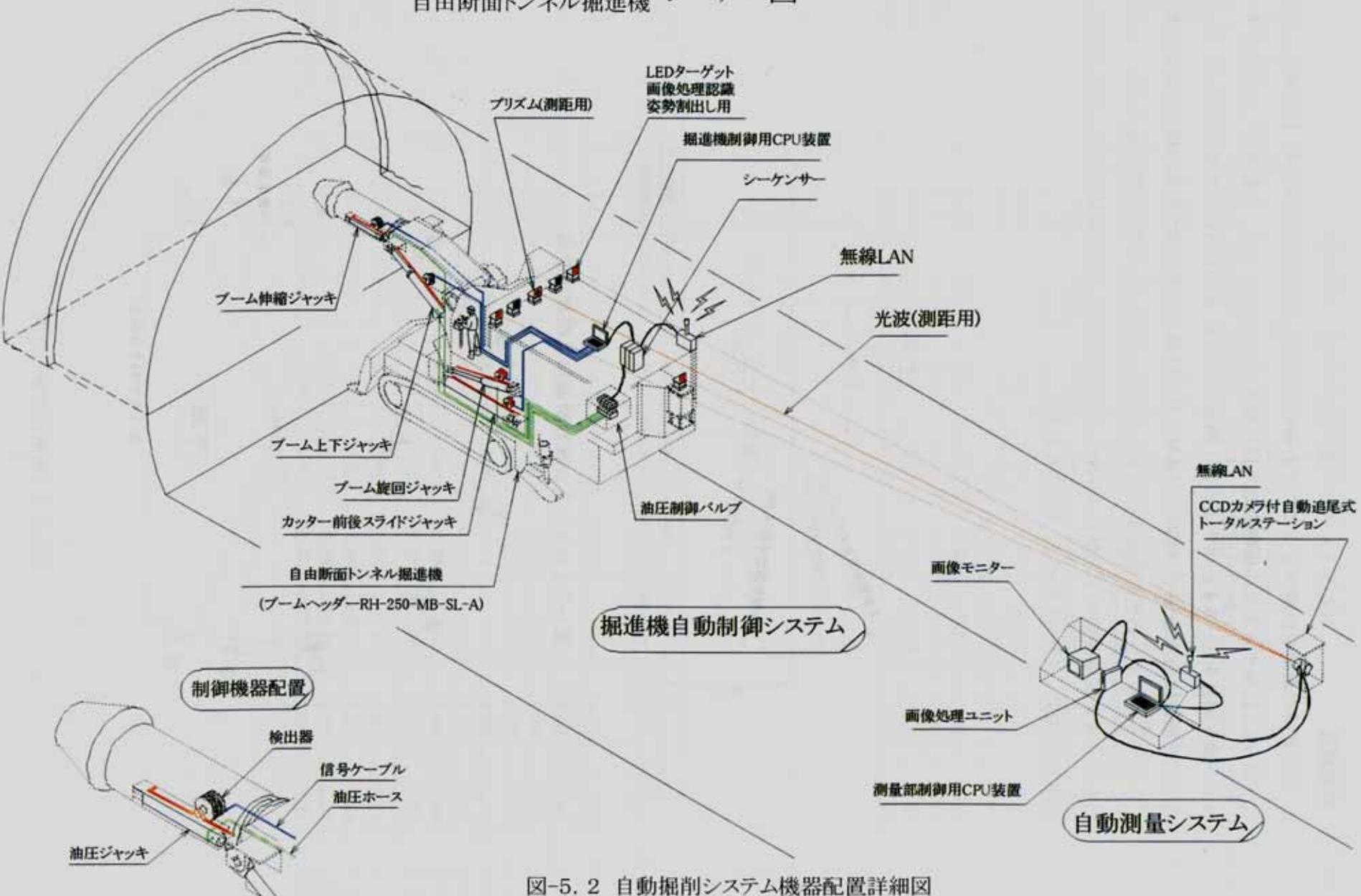


図-5.2 自動掘削システム機器配置詳細図

# 自動掘削

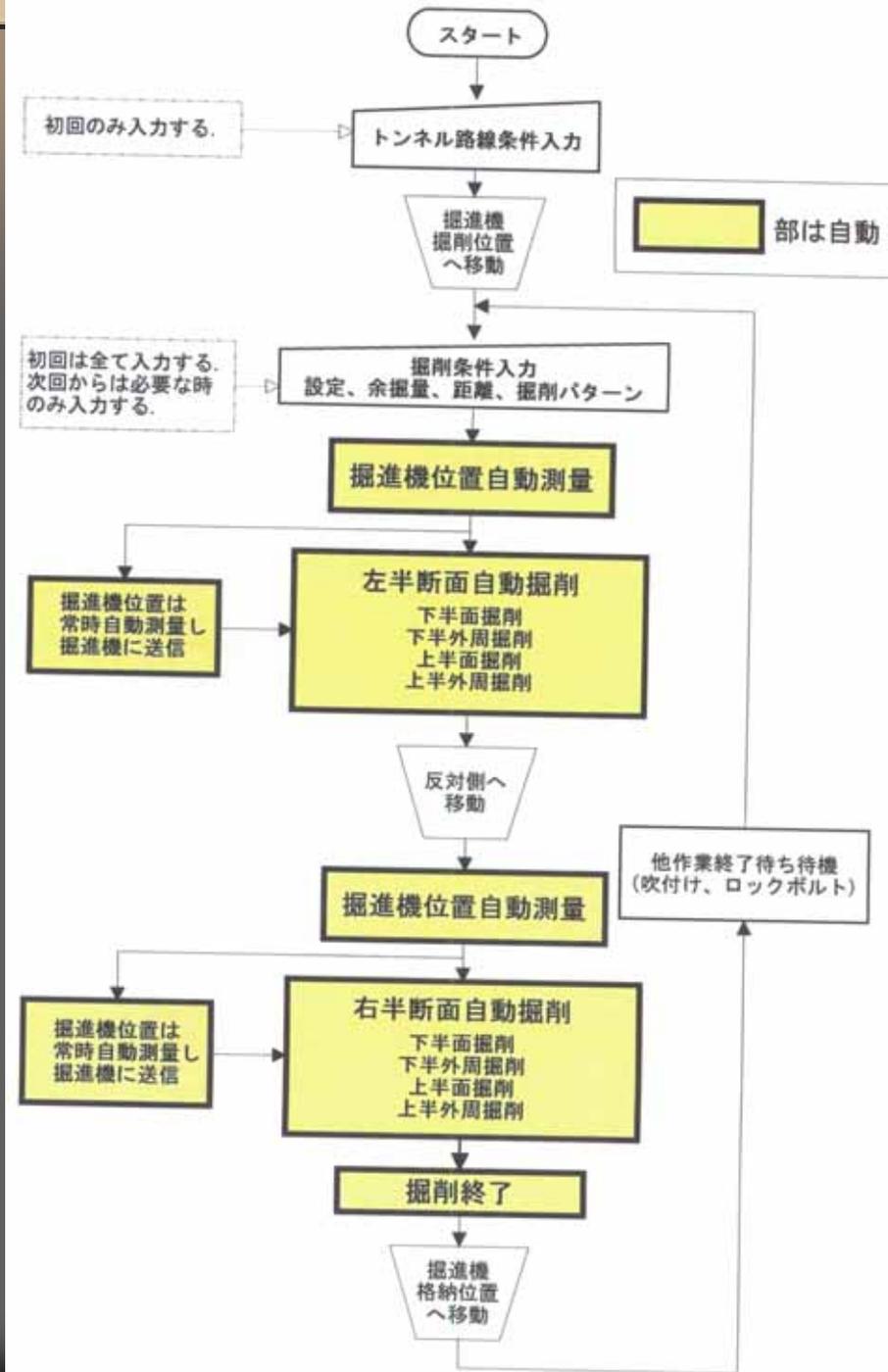
## 初回のみ条件入力

- トンネル路線条件
- 掘削条件  
余掘量、距離、掘削パターン

## 掘削作業

1. 掘削機位置自動測量
2. 自動掘削
3. 移動

- 1～3の繰り返し



# 自由断面トンネル掘進機 自動掘削手順図

[ブームヘッドer 型式 RH-250-MB-SL-A]

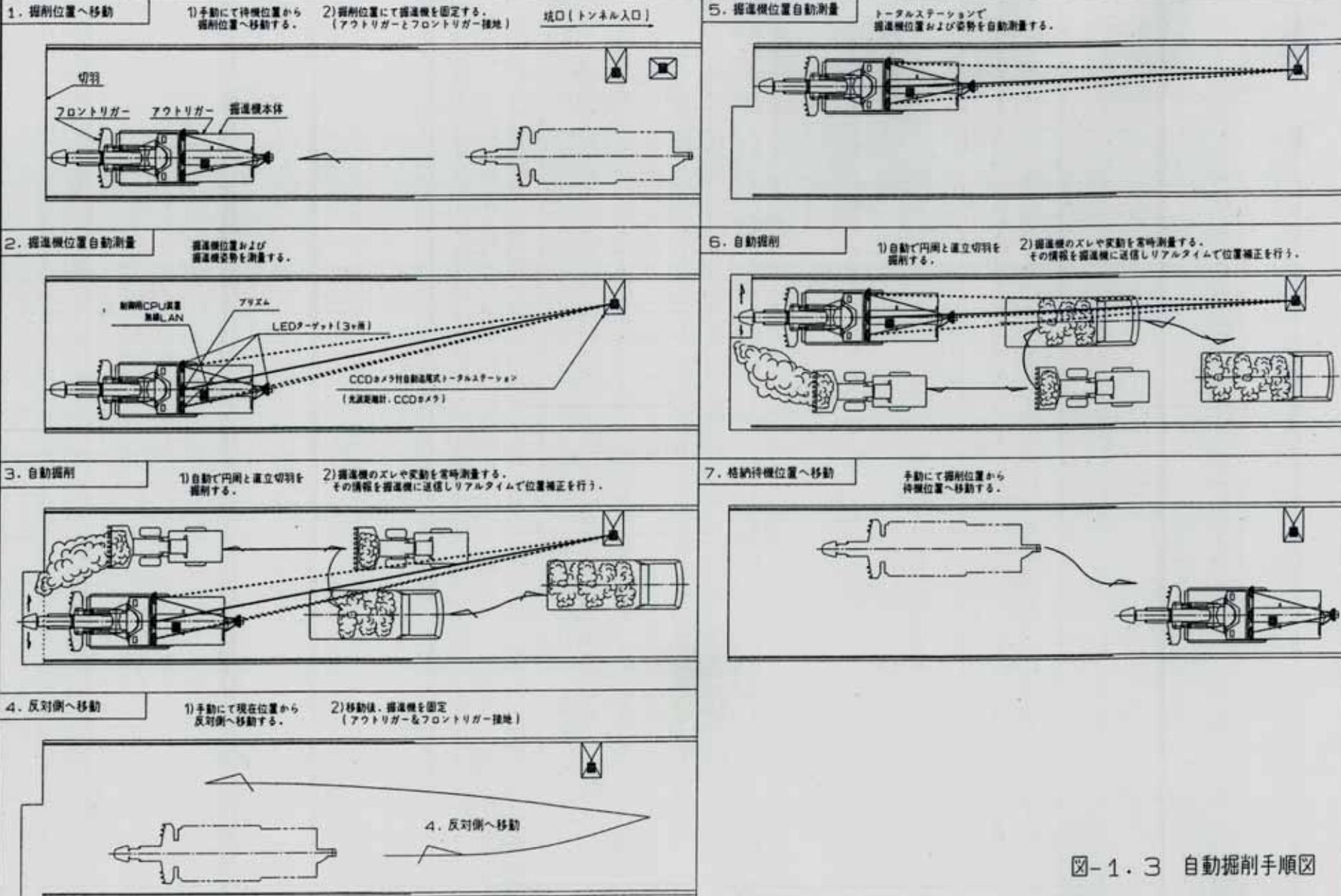


図-1.3 自動掘削手順図

# ・ 各工種毎の将来の展望

1. 急速施工
2. 安全施工
3. コスト低減

# 1.掘削工 -1 自由断面掘削機

⇒ 長大トンネルの急速施工化

全断面、ミニベンチ工法の増加

⇒ 硬岩対応

50MPa      100 ~ 120 MPa

⇒ 集塵システムの確立

クリーンなトンネル作業環境

中硬岩での自動掘削システム

# 1.掘削工 -2 油圧ドリルジャンボ

⇒ 大断面の急速施工

大型ジャンボ

⇒ 不良地山穿孔

インパクトオーガー

⇒ AGF工法対応

⇒ N J D工法

⇒ コスト縮減

コンピューターシステム

輪郭精度管理、孔尻精度管理

## 2.ズリ出し工 -1 積込機

⇒ 大断面对応

大型化

排出ガスの増加  
(坑内環境の悪化)

電動化

## 2. ズリ出し工 -2 運搬機

⇒ 大断面对応

重ダンプトラック

坑内環境・安全対策

⇒ 長距離対応

ベルトコンベア

イニシャルコスト低減

# 3.吹付コンクリート -1 吹付機

大断面、大容量対応

エアコンプレッサー搭載型

多機能型

高強度・高品質コンクリートの採用

# 3. 吹付コンクリート -2 バッチャープラント

高強度・高品質コンクリートの採用

強制練ミキサーの能力アップ

# 4. 支保工建込

大断面对応

エレクター台車専用機

安全性・利便性

通常断面への採用

# 5. 換気設備

従来の換気設備 + 中型集塵機  
(300m<sup>3</sup>/min ~ 500m<sup>3</sup>/min)

「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」 H12/12/26

大型ブロー + 大型集塵機  
(1,500m<sup>3</sup>/min ~ 3,000m<sup>3</sup>/min)

## 6. TBM

1. 急速施工      工期短縮
2. 安全性が高い
3. 無駄が少ない
4. 断層破砕帯、軟弱層でトラブル
5. マシンのコスト高      短距離では採用難

不良地山への対応性

# 7. コスト縮減

- ⇒ ポイント・・・大断面、長距離化、急速施工  
ロボット化、自動化、省力化  
大型化、作業の安全及び坑内環境
- ⇒ トンネル地山の地質、性状を勘案
- ⇒ 最も適合した機械・工法の組合せ
- ⇒ 作業のフローの中で、ラインのバランスが取れる機械の選定

# 建設会社ホームページ掲載記事

- 資料 22頁～29頁

# 資料

機械メーカー各社の主な機種カタログ

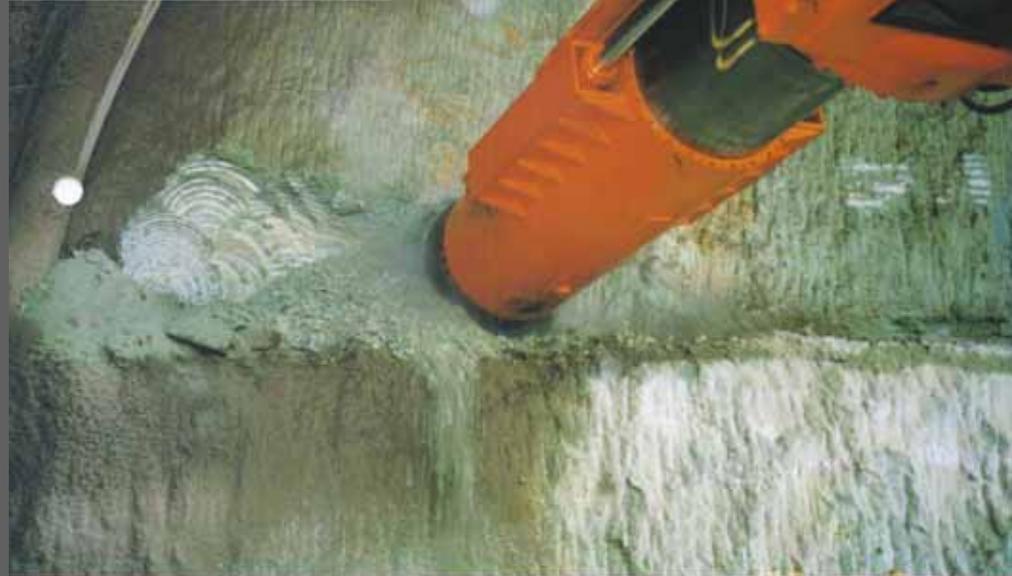
■資料 30頁～

ミニベンチ工法両用型ショートベンチ工法

強力型ブームヘッダー

**RH-10J-S**

カッター出力330kW



# 自由断面掘削機

⇒ 日本鉦機

■ ブームヘッダ

RH-10J

カッター出力 : 330 Kw

自重 : 120 ton

ミニベンチ、ショートベンチ工法

油圧カヤバの建機部門

 日本鉦機株式会社

建機部

# 自由断面掘削機



- 日本鋤機
- ブームヘッダー  
RH-10J (330 kw)

# 自由断面掘削機

⇒ 日本鋳機

■ ブームヘッダー

RH-250-MB-SL

カッター出力 : 250 Kw

自重 : 102 ton

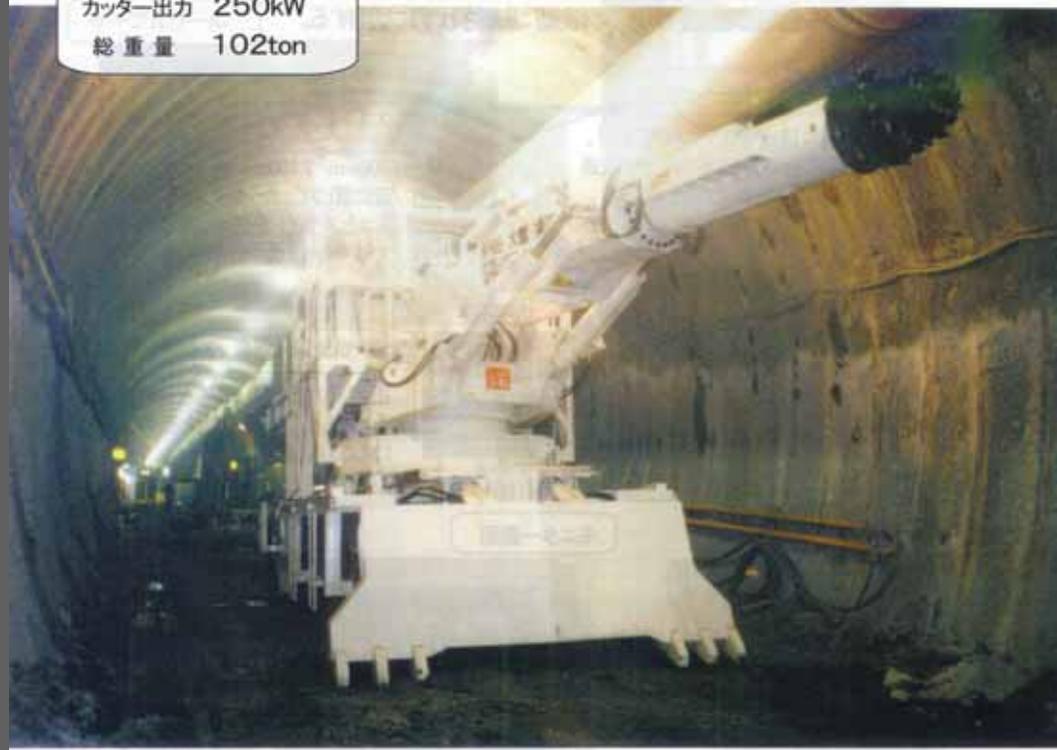
全断面・ミニベンチ工法

全断面・ミニベンチ掘削工法

boom header

## RH-250-MB-SL

カッター出力 250kW  
総重量 102ton



油圧カヤバの建機部門

◎ 日本鋳機株式会社

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

# 自由断面掘削機

⇒ 三井三池

■ ロードヘッド

SLB-300S

カッター出力 : 300 Kw

自重 : 92 ton

全断面、上半断面掘削工法

MITSUBI  
MIIKE



## SLB-300S型 ロードヘッド®



特長

- 1 最大8.6mまでの切削高さを有し、新幹線及び高速道路トンネルの全断面掘削及び上半断面掘削が可能です。
- 2 軟岩から1000kgf/cm<sup>2</sup>の中硬岩までの広範囲の岩質に適用でき、低振動でのトンネル掘削を実現できます。
- 3 300kWの強力な切削動力により、高効率の掘削が達成できます。又、2速切換式により岩質に応じてドラム回転数を選択できますので、広範囲の岩質に対応可能です。
- 4 ビック先端への高圧水噴射により、粉塵抑制とビック消耗の軽減が可能です。又、高圧水の水量は使用条件に応じて増減でき、下盤の軟弱化を防止します。
- 5 運転操作は機体中央の運転台の他、リモートコントロール装置により、どの場所からも運転操作（全操作）が可能です。
- 6 ケーブルリールの装備により、電源ケーブルの取扱いが容易となり、短時間での移動が可能です。
- 7 モニタリングディスプレイの表示により、各部の異常状況を点検でき、故障防止とメンテナンスが容易となります。
- 8 モード切替式パワーコントロール装置により、岩質、運転状況に応じて、パワーコントロールの作動設定の変更が可能です。
- 9 ビック部にオイルレスパッキンを採用したことにより、グリースアップ作業が大幅に短縮でき、日常のメンテナンスが容易となっています。

# 自由断面掘削機

⇒ タイクウ

■ パワーカッタ

WAB300H

カッター出力 : 300 Kw

自重 : 85 ton

最大切削断面 : 78 m<sup>2</sup>

# TAIKU WAV300H パワーカッタ



株式会社 **タイクウ**

# 油圧ジャンボ

⇒ 古河機械

■ ホイールジャンボ

HD190型ドリフタ搭載

打撃数 : 2800 ~ 3800 /min

回転数 : 0 ~ 250 /min

FURUKAWA

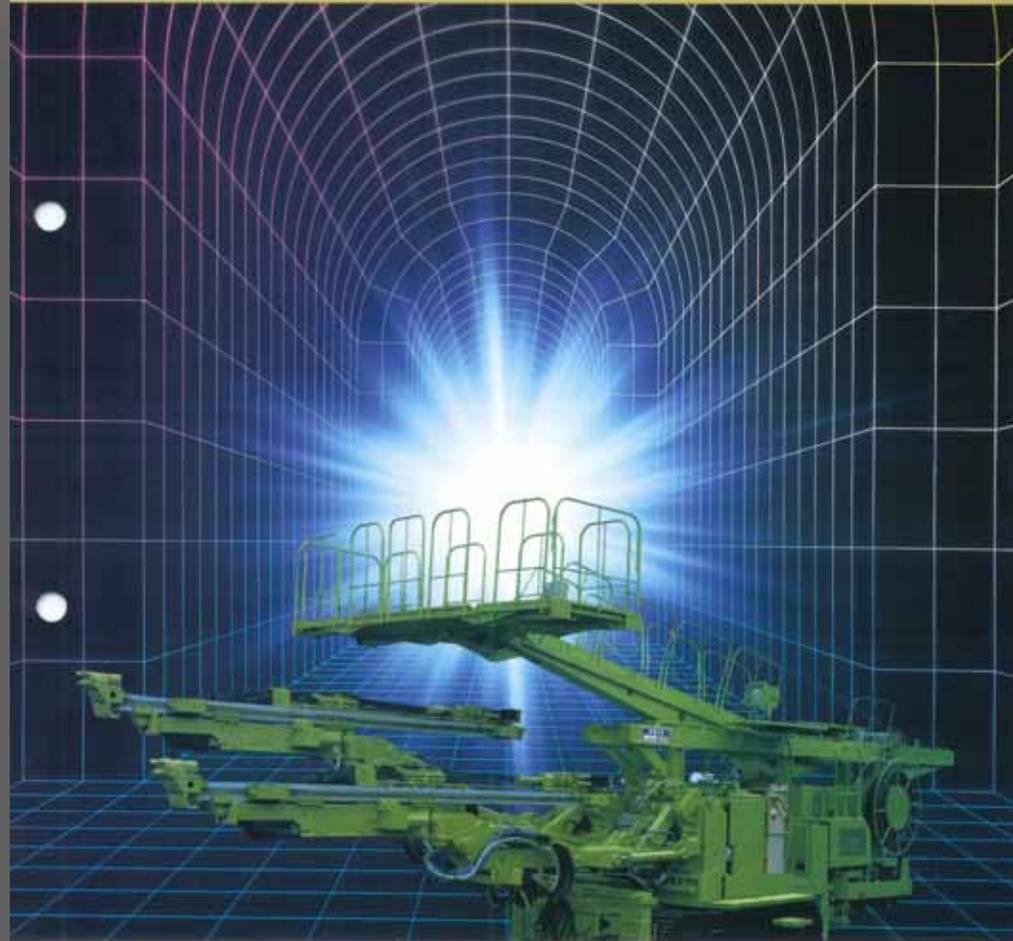
HD190型ドリフタ搭載 排出ガス対策型建設機械  
油圧式ホイールジャンボ



# 油圧ジャンボ

- ➡ 東洋さく岩機
    - さく孔ロボット
- THCJ-2350

**TOYO·SYSTEMAD**  
さく孔ロボット



**TOYO**  
ROCK DRILL

# 油圧ジャンボ

## ⇒ コトブキ技研工業

KEMCO タムロック

- 油圧モータージャンボ

マキシマティック325

# 積込機

## ⇒ TCM

- ホイールローダー
  - サイドダンプバケット
  - エジェクタバケット

トンネル仕様

# 積込機

⇒ 新キャタピラー三菱

■ ホイールローダー

980G

両サイドダンプバケット

容量 : 4.1m<sup>3</sup>

トンネル仕様

# 積込機

⇒ コマツ

■ ホイールローダー

WA350-3E TNL

両サイドダンプバケット

容量 : 2.3m<sup>3</sup>

トンネル仕様

# 積込機

⇒ コマツ

■ ローディング式

PC400ST-6

バケット容量 : 3.0m<sup>3</sup>

トンネル仕様

# 運搬機械

## ⇒ TCM

### ■ ベッセルダンプ

DV25

積載量 : 25ton

自重 : 26.4 ton

DV35

積載量 : 33 ton

自重 : 41.5 ton

トンネル仕様

# 運搬機械

## ⇒ 三菱

### ■ ダンプトラック

積載量 : 22 ton

自重 : 19.7 ton

トンネル仕様

# 吹付機

⇒ TCM

■ コンクリート吹付ロボット

TS27C

吹付能力 : 27m<sup>3</sup>/H

アーム作動高 : 7.3m

吹付範囲 : 115m<sup>2</sup>

# 吹付機

## ⇒ K B C マシナリ

### ■ コンクリート吹付ロボット

G M B 35 C

吹付能力 : 18 m<sup>3</sup>/H

アーム作動高 : 9.9 m

吹付範囲 : 120 m<sup>2</sup>

# 吹付機

## ⇒ 古河機械

### ■ コンクリート吹付ロボット

CJM2200 E

吹付能力 : 23.7m<sup>3</sup>/H

アーム作動高 : 7.2m

吹付範囲 : 120m<sup>2</sup>

# 吹付機

- ⇒ アリバ(富士物産)
  - コンクリート吹付機  
アリバ285

吹付能力 : 21 m<sup>3</sup>/H

**aliva**

SHOTCRETE AND GUNITE

## アリバ285 コンクリート吹付機

(スイス製・世界主要国特許出願済)



# エレクトラ台車

⇒ 古河機械

- ホイール式マルチエレクトラ

# エレクトラ台車

⇒ TCM

■ TCMエレクトラ

TE10

# エレクトラ台車

- ⇒ KBCマシナリー
  - エレクトラジャンボ  
怪力

# 集塵機

⇒ 松下電工

■ 電気集塵機

クリンジェット

能力 : 2000m<sup>3</sup>/min

送風機 : 37Kw

荷電静電沈降式

# 集塵機

⇒ エルデック

能力 : 2000m<sup>3</sup>/min

送風機 : 45Kw

湿式ノイルフト電気式

# 集塵機

## ⇒ 流機エンジニアリング

能力 : 2400m<sup>3</sup>/min

送風機 : 37Kw × 4

バグフィルター式

# 集塵機

⇒ 三井三池

能力 : 2000m<sup>3</sup>/min

送風機 : 110Kw × 2

ターボフィルター式

# T B M

## ⇒ コマツ

製作実績	: 43 台
稼働現場	: 57 現場
総掘進距離	: 161 km
最大トンネル長	: 8.9 km
最大岩強度	: 318 MPa

# T B M

## ⇒ 川崎重工

稼働現場 : 99 現場  
総掘進距離 : 218.1 km  
最大トンネル長 : 20 km  
最大岩強度 : 370 MPa

# T B M

## ⇒ 三菱重工

稼働現場 : 19 現場  
総掘進距離 : 76 km  
最大トンネル長 : 17 km  
最大岩強度 : 294 MPa

# T B M

## ⇒ 日立建機

稼働現場 : 現場

総掘進距離 : km

最大トンネル長 : km

最大岩強度 : MPa

# T B M

⇒ IHI

- ヘレンクニヒト社と提携

稼働現場 : 15 現場

総掘進距離 : 108 km

最大トンネル長 : 23 km

最大岩強度 : MPa

# 建設機械の現状と将来の展望

山岳トンネル編

終り

