

自由断面掘削機の経緯と発展の歴史

二木 幸男

国内に自由断面掘削機が導入されて半世紀余りが経ち、著者もほぼ同時期の導入時期から、トンネルの小断面、上半断面、大断面用までの種々の自由断面掘削機の国産機の開発に携わってきたので、国内二社の開発経緯と他社が海外から導入した経緯も含めて述べる。

1. はじめに

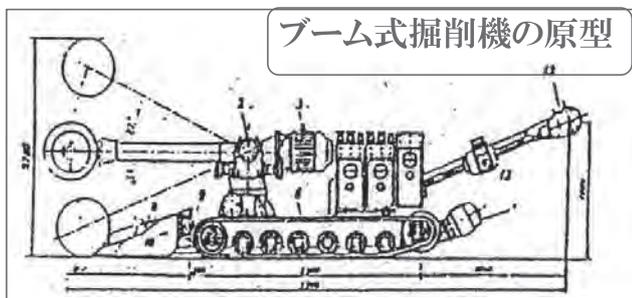
(1) 海外の初期の歴史

国内に自由断面掘削機が導入されて半世紀余り。海外の初期の歴史を簡単に纏めると以下の通り。

- ① 1940 年後半、ハンガリーで自由断面掘削機が発案、F2（横軸式、カッター出力:40 kW）の開発、その後、F4、F5 が開発された
- ② 1960 年代になりソ連で PK3（縦軸式、出力 30 kW）が開発され更に PK7、PK9 が開発された
- ③ 1961 年英国で石炭庁へ PK3 が導入され 1963 年 MK3（縦軸式：49 kW）を国産開発し炭鉱へ納入
- ④ 1960 年代オーストリアでも Alpine Monntan 社が F6A（横軸式 40 kW）、AM50（横軸式 100 kW）

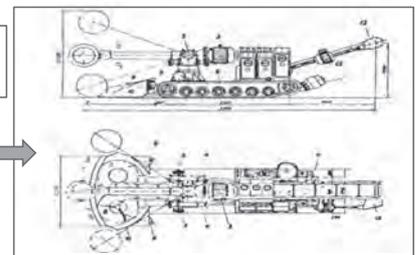
(2) 海外の掘削機の全体図・写真：

- ①ハンガリーで開発された最初の掘削機



F2型:横軸式、カッター出力40kW

F4型



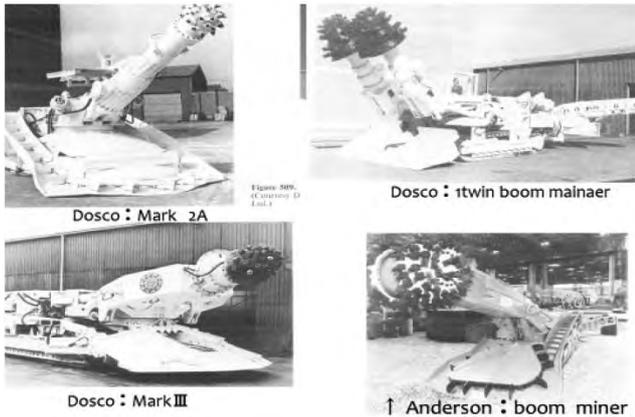
- ②ソ連で開発された PK3, PK7, PK9



- ③オーストリアで開発された F6A, AM50



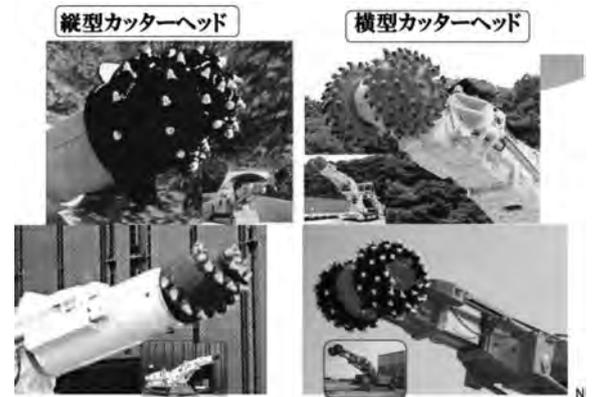
④-1：ヨーロッパ各所での掘削機の開発



④-2：ヨーロッパ各所での掘削機の開発



(2) カッターヘッドの縦軸型と横軸型の形状 (比較)



(3) 国内における自由断面掘削機の変遷

- 1) I 期 (1962 ~ 1975 年)
⇒炭坑用からトンネル用への用途拡大
- 2) II 期 (1976 ~ 1989 年)
⇒軟岩用から中硬岩用への適用範囲拡大
- 3) III 期 (1990 ~ 2018 年)
⇒能力向上と多様化

(3)-1) ① I 期 (1962 ~ 1975 年)

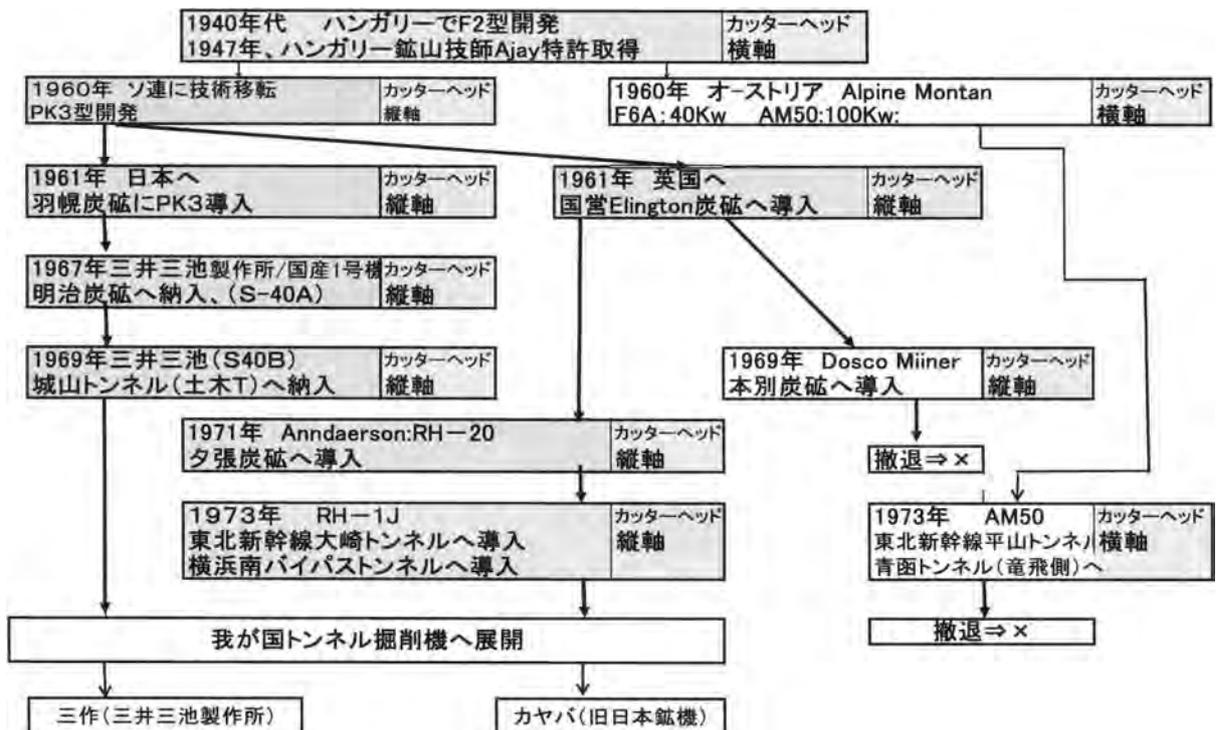
炭坑用からトンネル用への拡大

* 石炭業界の合理化を目的に坑道掘進機械化の要望

- ① 1962 年 8 月ソ連から PK3 を羽幌炭鉱へ導入された
- ② 1967 年 6 月、三井三池製作所は S40A を開発し、明治の炭鉱の平山、元岐の両鉱へ納入した
- ③ 1970 年代に入り、トンネル工事の発注増大
⇒炭鉱からトンネルへ

2. 発展の経緯

(1) 国内への導入経路 (3 系統に大別される)



④この時期に自由断面掘削機による機械掘削方式の基礎が確立した

⑤1977年(昭和52年)土木学会標準示方の改定の際、現状の施工方式に対応する形で「機械化掘削の実用化」が追加された

(3)-1) ② I 期 (1962 ~ 1975 年) : 炭鉱への試用

石炭業界の合理化を目的に坑道掘進機械化の要望

(2)1967年6月、三井三池製作所は S40A を開発し、明治炭鉱の平山、元岐の両炭鉱へ納入した。



三井三池製作所提供資料より

(3)-1) ③ I 期⇒炭鉱からトンネルへ

1969年鹿児島本線城山トンネルへ納入 MRH-40B、カッター出力:40kW 重量:14t (三作製)



1972年鉄道建設公団青函トンネルへ納入 MRH-S45、カッター出力:45kW 重量:17t (三作製)



(3)-1) ④自由断面掘削機による機械掘削方式の基礎確立

1972年大成建設/早トンネル瀬野へ納入 MRH-S90:カッター出力90kW、重量:40t (三作製)

上半先進掘削機



(3)-2) II 期 (1976 ~ 1989 年)

(a) 軟岩用から中硬岩用へ拡大

*より強度の堅い岩盤に適用できる自由断面掘削機の要望

1. 1970年代半ば、中硬岩対応の掘削機が輸入・開発された

2. 日本鉱機(カヤバG)は当初、英国の炭鉱メーカー Anderson Strautheclyde 社から輸入した RH-1/3J を参考に、1985年に国産機 RH-7J (カッター出力:132kW) を開発し、佐藤工業/白坂トンネルへ納入した

3. この時期に自由断面掘削機は中硬岩掘削対応の為、より高出力となった

①小断面用掘削機:カッター出力は49~90kW

②大断面用掘削機:カッター出力は100~240kW 現在も中心になっている300kW級の自由断面掘削機もこの時期に開発された

(b) 自由断面掘削機の開発変遷と出力

①小断面用自由面掘削機 1/2:(三作製)

(3)このII期に自由断面掘削機は中硬岩対応の為、より高出力となった

①小断面用掘削機:カッター電動機出力は49~75Kw

1976年 西松建設/福岡地下鉄トンネルへ納入 MRH-S125: カッター出力:125/75kW 重量:30t

小断面用掘削機 (三作製) 1987年大林/瀬田トンネルへ MRH-S65、カッター出力:65kW

RH-125

PH-75C型 パワーヘッド 1987年森組/滋賀湖南下水道へ納入 カッター出力:75/40kW 重量:30t

№17

①断面用自由面掘削機 2/2:(カヤバ製)

(3)このII期に自由断面掘削機は中硬岩対応の為、より高出力となった

①小断面用掘削機:カッター電動機出力は49~90kW

現在も小断面トンネルでは使われている

小断面用掘削機 ミゼットマイナー (カヤバ製)

1980年三菱建設/香月橋脚Tへ納入 MM-49型 カッター出力:49kW 重量:25t

1991年前田建設工業/西部1号トンネルへ納入 MM-90型 カッター出力:90kW 重量:27t

1985年間組 アルジェリア/ガルガルダムへ納入

№18

(c) この時期に種々の小断面から上半先進の掘削機が開発された

そして、

①機械のサイズに関わらず、より硬い岩石の掘削が出来るようになった。

②また、生産性も上がって行った。

③更に、生産性を上げる為、広い、上半に使用の掘

削機は積み込み装置を外し、掘削専用の機械化していく。

掘削と同時に大量のズリ積み込みをする為、サイドから、バックホウ等の使用で生産性が上がる様になった。

Ⅱ期（1976～1989年）軟岩用から中硬岩用への適用拡大

(C) - ①上半用自由断面掘削機：RH-7J（カヤバ製）

4) 現在も中心となっている200kW級の自由断面掘削機も開発された

1986年 佐藤/白坂トンネルへRH-7J納入
:カッター出力132kW 上半先進用掘削機



No1

(C) - ②上半用自由断面掘削機：RH-3J（カヤバ製）

1986年RH-3J:カッター出力90kW, 鉄建建設/信濃川発電所トンネルへ納入
上半先進用掘削機（カヤバ製）

1997年菅組/波多方トンネルへ納入
RH-3J-1000:カッター出力90kW

- ・ブームにアーチセッターと足場装備
- ・足回り広幅シューを標準化（軟弱地盤対策）
- ・ギャザリング・コンベア付

- ・ブーム長が長くへソ残し対応型
- ・フロントリガー型⇒積み込み:他の手段（ドーザ型）... 掘削専用機として

No2f

(C) - ③上半用自由断面掘削機：S200（三作製）

現在も中心となっている200kW級自由断面掘削機

1986年鹿島/武田山トンネルへ納入
MRH-S200:カッター出力200kW
上半先進用掘削機 三作製

1986年納入
MRH-S200:カッター出力200kW

ギャザリング・コンベア付

ドーザ型

三井三池製作所提供

(C) - ④上半用自由断面掘削機：RH-8J（カヤバ製）

4) 現在も中心となっている200kW級の自由断面掘削機も開発された

上半先進用掘削機 カヤバ(旧日本鉱機製) ギャザリング型⇒フロントリガー型へ (掘削専門で、積み込みは他機種で併行併行)

1989年鹿島/修善寺トンネルへRH-8J納入:
カッター出力240kW・ギャザリング:コンベア方式
・(RH-7Jを改良パワーアップした
200kW級の機種として開発)

1989年鹿島/修善寺トンネルへRH-8J納入:
カッター出力240kW
熊谷組/二戸トンネルへ1999年納入

RH-8J-1000 最大掘削高さ7.100m

No2g

(3) - 3) Ⅲ期（1976～1989年）：能力の向上と多様化：1/2

(a) 中硬岩への対応が可能になり、機械掘削方式の適用範囲拡大

1. 硬岩への対応：機種名, S300, SLB350, RH-10J
2. 全断面掘削：RH-132-MB, RH-10J, RH-250MB-SL, SLB300, SLB350
3. 高速掘進：TWS, RH-250MB-SL, SLB-350
4. 余掘り低減：自動掘削装置付き, 半自動掘削付掘削機 RH-250MB-SL, SLB350
5. 環境への配慮：粉塵抑制の為、大型集塵機の開発や局所集塵機の組合せ

* 発破工法に対して、騒音・振動の少ない機械掘削機が 50 MPa 以下の地山を対象に標準化
⇒ 200 kW 級の自由断面掘削機の需要が伸びた

(b) 大断面用自由断面掘削機の開発変遷と出力

1. 硬岩への対応：S300, S350, RH10J-S, RH10J-SS

1990年大林組/盾岩トンネルへ納入
MRH-S300A
カッター出力:300kW
重量:82t ギャザ・コンベア方式

上半先進用掘削機 三作製

掘削高さ:6.5m

MRH-300A
ドーザ型

1993年建設機械化技術・公募型審査証明を受けた硬岩対応機械

No2h

2. 全断面インバート掘削への対応：SLB200



(c) 1991年清水建設の里見Tへ掘削機とガントリーセットで納入

ガントリーは削岩機, 支保工組付機, 吹付機等を搭載
この装置の開発により

- ①掘削機で前断面を掘削しながら, 同時に
- ②ガントリーに装備のバックホウでの掘削ずりのかき寄せ
- ③そのズリは掘削のギャザリング機構を介して
- ④第1コンベヤ, 第2コンベヤで装置の後方へ搬出
- ⑤この方法で各装置はその位置を基本的に前後移動すること無くトンネルが出来上がっていく。

(c)-1) 掘削機とガントリーのセット



(c)-2) TWS (トンネルワークステーション)

*この装置の通過後はトンネル (一次覆工まで) 完了



(d)-1) 大断面用硬岩掘削機 (カヤバ製)

RH-10J RH-10-SS RH-10-S



(d)-2) 大断面用硬岩掘削機 (三作製)



(3)-4) Ⅲ期 (1976 ~ 1989年) :能力の向上と多様化:2/2

(a) 自動掘削装置付全断面掘削機

1) 開発の主旨

- ①熟練労働者の不足
- ②高精度で高品質なトンネル構築
- ③省力化
- ④掘削の効率
- ⑤安全施工⇒危険作業の回避

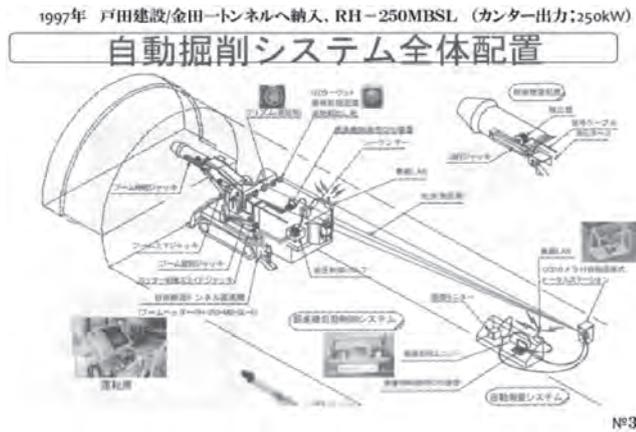
2) 技術の特徴

- ①簡単な操作で正確な自動掘削
- ②高精度で掘削
- ③掘削中の機体の位置・姿勢のリアルタイムでフィードバック
- ④掘削の効率
- ⑤安全施工⇒危険作業の回避

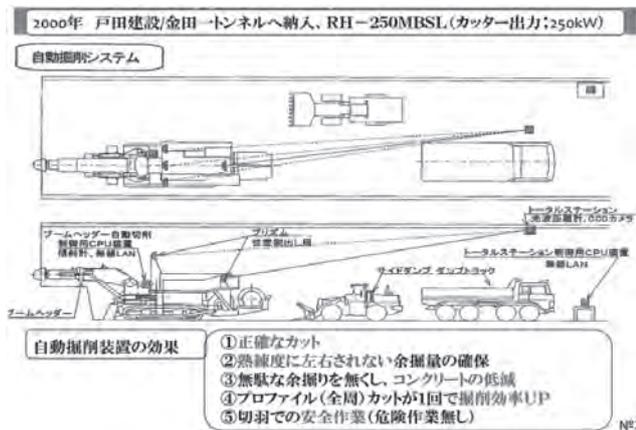
3) 自動掘削システム全体写真：カヤバ製 (1/2)



3) -1) 自動掘削システム全体配置図 カヤバ製 (1/2)



3) -1) 自動掘削システム全体配置図 カヤバ製 (2/2)

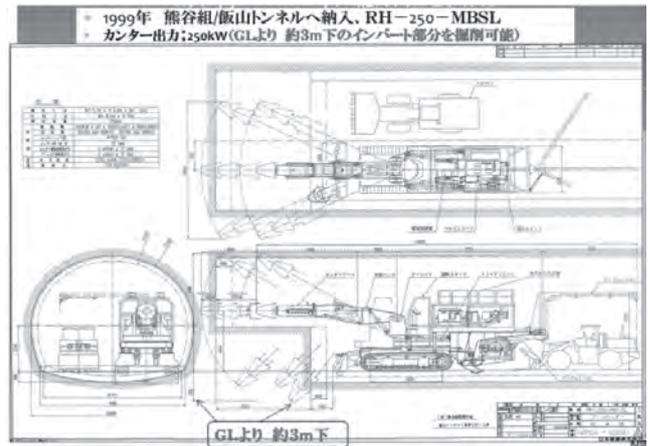


(b) -1) カッターブーム中折れ式 - 自由断面掘削機



特徴：

1. ブームのテレスコ1.2mとベースが2.2mスライドする
2. カッターブームが中折れ式でインバート(-2.9m)掘削可能
3. 定位置での上下の1枠間の掘削可で、即閉合(地山安定)

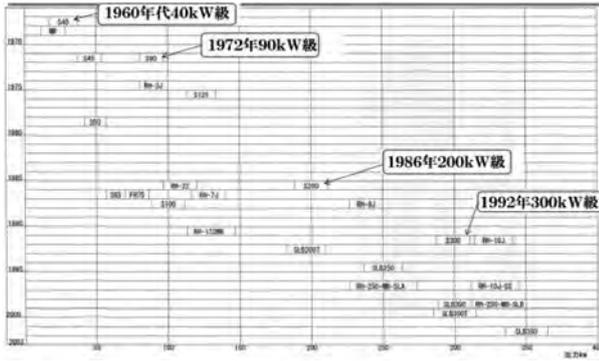


(b) -2) 自動掘削装置付全断面掘削機 (カッターブーム中折れ式)

↓ RH-250-MBSL (カッター出力：250 kW)



(c) 自由断面掘削機の変遷と実力



(3) - (5) Ⅲ期 (1976 ~ 1989年) : 能力の向上と多様化

(a) 自動掘削システム全体写真 (三作製) (1/2)



(b) 自動掘削システム全体配置図 (三作製) (2/2)



4. 海外から他社経由での導入自由断面掘削機

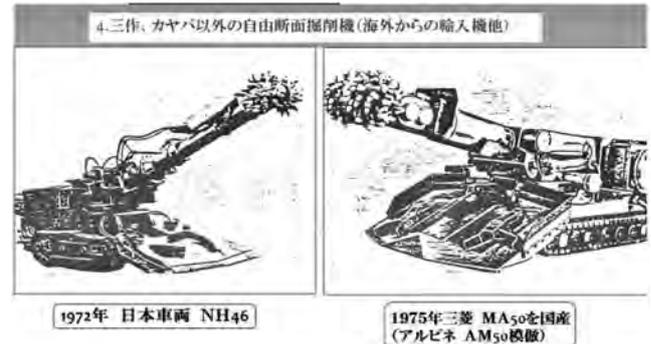
(1) 年代順リスト

他社 (三作・カヤバ以外) の自由断面掘削機 (海外からの導入)

No	開発年	名称	カッター出力	導入先	備考
1	1969	DRCL型	49 kW	住友/本別炭鉱	英国 Dosco Minne 型導入
2	1973	AM-50	110 kW	青函トンネル竜飛工区	横軸式 Alpine Montane が導入
3	1975	MA-50	110 kW		三菱重工が Alpine と技術提携して開発
4	1988	TM60K	150 kW	鹿島建設/蛇尾川 T	三井造船アイムコが導入
5	1988	ET-300Q	300 kW	山崎建設/九州の T	タイクウが Alpine Wesutfalia から導入
6	1995	MM130R	300 kW	大成建設/高尾山 T	大成建設がロビンス社から導入
7	1996	WAV-300	300 kW	佐藤工業/八甲田 T	タイクウが Alpine Wesutfalia から導入
8	2000	ATM-105	300 kW	岩田建設/ウエンチクナイ T	コバヤシが Vost Wesutfalia から導入
9	2000	ATM-70	200 kW	岩田建設/ウエンチクナイ T	コバヤシが Vost Wesutfalia から導入

(2) 海外からの導入掘削機種の写真 (三作・カヤバ以外)

↓ 1972 年炭鉱, ↓ 1975 年 AM50 → MA50

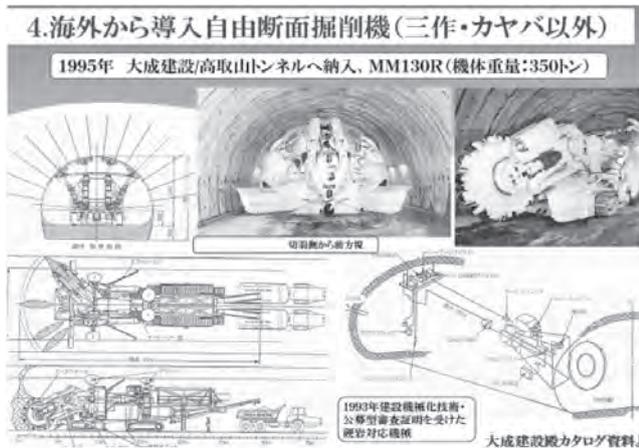


日本トンネル技術協会「トンネル工用機械・機材の変遷史」(S62年 9月)

(3) 1988 年: 壁固定式自由断面掘削機 TM60K (三井アイムコ)



(4) 1988年：硬岩用自由断面掘削機 MM130R (ロビンズ社)



(5) 1996年：大断面掘削機 WAV300 (ウエスファリア社)



(6) 2000年：上半用硬岩掘削機 ATM105 (ウエスファリア社)



5. 自由断面掘削機の開発に伴う部品・システム

5-1) 各機械の使用の変化と開発の背景

- 1) 掘削機の型式・形状の変化⇒掘削機専用機器となった
 - ①ギャザリング方式からブレード型 (フロントリガー) へ
 - ②第1, 第2コンベヤーも不要
 - ③積み込みは自由断面掘削機以外で行なう
- 2) 耐摩耗ピックの開発で, 軟岩から中硬岩の掘削が可能に
- 3) ウォータージェットでピック冷却と粉塵抑制で生産性UP
- 4) 粉塵処理の確立で坑内安全・環境良好で生産性UP

5-2) 自由断面掘削機のピック変遷

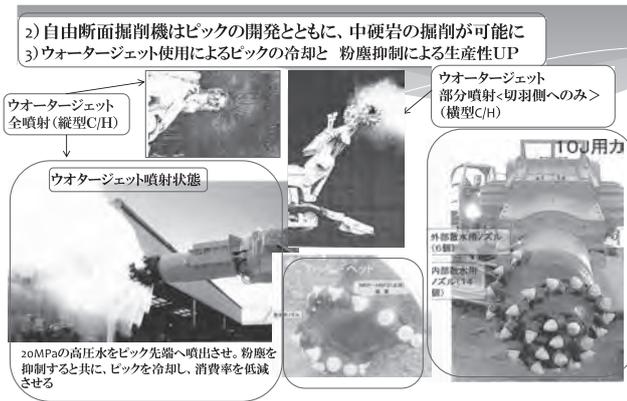


- 1) バイオネット型 (軟岩用)
 - ・ピック先端でカットするタイプ

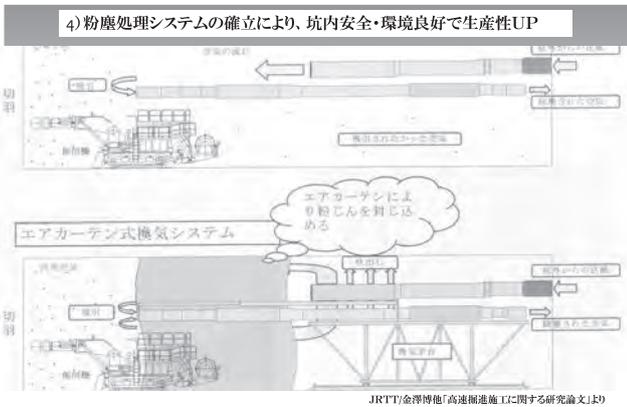
↓
- 2) タップロック型 (中硬岩用)
 - ・ピックの先端を岩石に叩き込む

↓
- 3) ラウンドピック型 (軟～硬)
 - ・ピックの先端部が岩石へ
 - 食い込みながら自体も廻りカット
 - 先端チップ径と母体サイズを変えて
 - 軟岩から硬岩で幅広く使用可能

5-3) WJの効果：ウォータージェットでピック冷却と粉塵抑制



5-4) 粉塵抑制システム



6. おわりに：今後の課題

- ① 硬岩掘削機の開発
- ② 更なる対摩耗ピックを開発し、中硬岩の掘削性能のUP!
- ③ 粉塵抑制システムを確立して坑内環境を良くして生産性を上げる
- ④ 高速掘進、坑内安全、周囲の環境重視型トンネル工事に対応
- ⑤ 技術・製造コストに見合った役所価格の評価が重要である
この評価が無いと技術の継承が無くなっていくと危惧する



[筆者紹介]
二木 幸男 (ふたつき さちお)
ニシオティーアンドエム(株)
アドバイザー