

自由断面掘削機の発展の歴史

説明内容

1. はじめに
 - ・海外の初期の歴史
2. 発展の経緯
 - ・国内への導入経路
 - ・国内の変遷時期を3つに大別
3. 各年代順毎の自由断面掘削機
4. 海外からの導入自由断面掘削機(三作・カヤバ以外)
5. 自由断面掘削機の開発に伴う部品・システム
6. 今後の課題

二木 幸男
ニシオテイーアンドエム(株) アドバイザー

(元 カヤバシステム マシナリー(株)
(取締役建機部長)

2017年01月23日(改) (←2012年11月07日)

№1

1.はじめに

国内;自由断面掘削機が導入されて半世紀

ここで、海外の初期の歴史⇒簡略にまとめると・・・

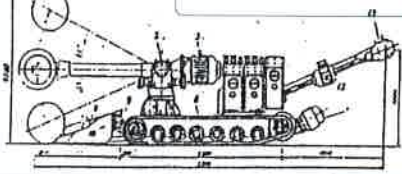
- 1.1940年後半、ハンガリーで自由断面掘削機が発案され、
 - ・F2(横軸式、カッター電動機出力;40kW)の開発
 - ・その後、F4、F5が開発された。
- 2.1960年代になり、ソ連でPK3(縦軸式、出力30kW)が開発され
 - ・更に、PK7、PK9が開発された。
- 3.1961年、英国では石炭片にPK3が導入。
 - ・1963年、MK3(縦軸式、49kW)を国産開発、Daw Mim炭鉱へ。
- 4.1960年代、オーストリアでもAlpine Monntan社が
 - F6A(横軸式、40kW),AM-50(横軸式、100kW)を開発した。

№2

1940年代 ハンガリーで開発された世界最初の掘削機

F2型:横軸式、カッター出力40kW その後、F4、F5型が開発された

ブーム式掘削機の原型



F4型



№3

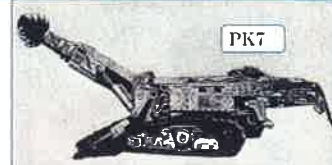
1960年 ソ連でPK3が開発された

縦軸式、カッター出力30kW



1961年 このPK3の掘削機が英国や日本へ導入された

更に、ソ連ではPK7、PK9を開発



Barbara Stack:Handbook of mining and Tunnelling Machinery (Wiley, 1982) . 549-565

№4

1960年代、オーストリアでも

F6A,AM-50の開発

←F6A:横軸式、カッター出力40kW

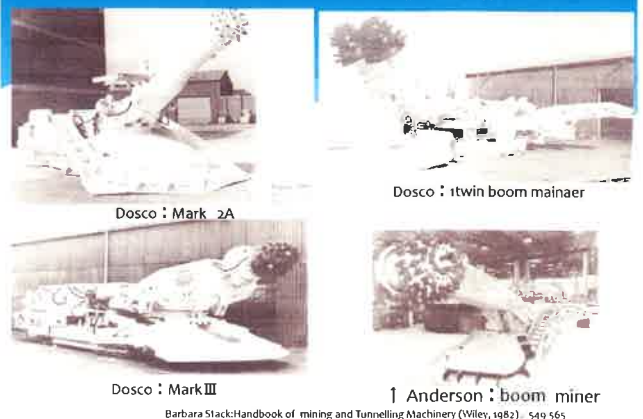
↑AM50:横軸式、カッター出力100kW



Barbara Stack:Handbook of mining and Tunnelling Machinery (Wiley, 1982) . 549-565

№5

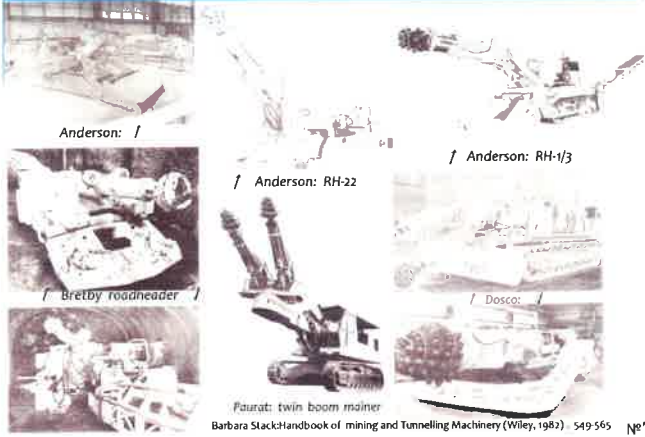
ヨーロッパ各所で掘削機の開発



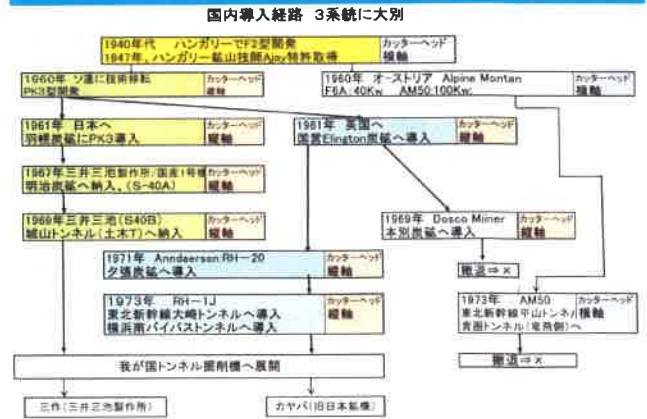
Barbara Stack:Handbook of mining and Tunnelling Machinery (Wiley, 1982) . 549-565

№6

ヨーロッパ各所で掘削機の開発



2.1 発展の経緯 * 国内への導入経路 3系統に大別



№8

2.1 発展の経緯

- * カッターヘッドの縦軸と横軸の形状(比較)
- 縦型カッターヘッド
- 横型カッターヘッド



№9

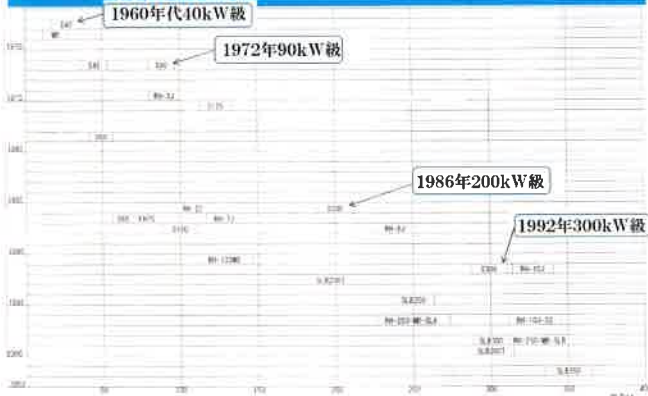
2.2 発展の経緯

- * 国内における自由断面掘削機の変遷を3つの時期に大別

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

№10

自由断面掘削機の開発変遷と出力



№11

I期(1962~1975年): 炭鉱用からトンネル用への用途拡大

- * 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、明治炭鉱の平山、元岐の両炭鉱へ納入した。
- (3) 1970年代に入り、トンネル工事発注増大⇒炭鉱からトンネルへ
- (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
- (5) 1977年(昭和52年)土木学会標準示方書の改定の際、現状の施工方式に対応する形で「機械掘削の実用化」が追加された

№12

I 期(1962~1975年):炭鉱用からトンネル用への用途拡大

* 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。



カッター出力:40kW
重量 : 14t

三井三池製作所提供資料より

No13

I 期(1962~1975年):炭鉱用からトンネル用への用途拡大

石炭業界の合理化を目的に坑道掘進機械化の要望

1969年鹿兒島本線/城山トンネルへ納入
MRH-10B、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)



写真提供:三作機

No14

I 期(1962~1975年):炭鉱用からトンネル用への用途拡大

1972年大成建設/早稲田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



三井三池製作所提供

No15

II 期(1976~1989年):
軟岩用から中硬岩用への適用範囲拡大

より強度の硬い岩盤に適用できる自由断面掘削機への要望

- (1)1970年代半ば、中硬岩対応の掘削機が輸入・開発された
- (2)日本鉾機は当初、英国の炭鉱メーカAnderson Strautheclydeから輸入
1985年に国産機RH-7J(132kW)を開発、佐藤工業白坂トンネルへ納入した
- (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
 - ②大断面用掘削機:カッター電動機出力は100~240kW
- (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。

No16

II 期(1976~1989年):軟岩用から中硬岩用への適用範囲拡大

(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/飯能トンネルへ
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



No17

II 期(1976~1989年):軟岩用から中硬岩用への適用範囲拡大

(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/
香川柳井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号線T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



No18

Ⅱ期(1976～1989年)： 軟岩用から中硬岩用への適用範囲拡大

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
カヤバ(旧日本鉱機、国産1号機)
:カッター出力132kW 上半先進掘削機



No19

Ⅱ期(1976～1989年)：軟岩用から中硬岩用への適用範囲拡大

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

上半先進掘削機 (カヤバ製)

1997年首組/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⇒横込み:他の手段(ドーザ型)・・・掘削専用機として

No20

Ⅱ期(1976～1989年)：軟岩用から中硬岩用への適用範囲拡大

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

三井三池製作所機提供

No21

Ⅱ期(1976～1989年)：軟岩用から中硬岩用への適用範囲拡大

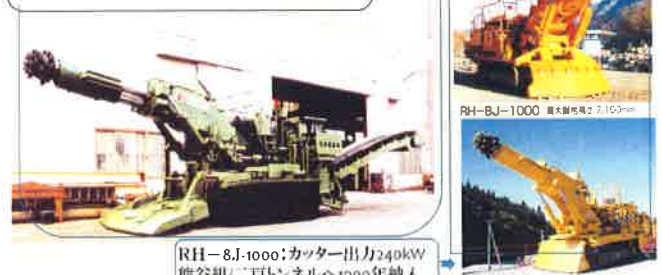
4) 現在も中心となっている200kW級の自由断面掘削機も開発された

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
(掘削専用で、横込みは他機種で併行作行)

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)



RH-8J-1000:カッター出力240kW
熊谷組/二戸トンネルへ1999年納入

RH-BJ-1000 最大掘削高さ2.169m

No22

Ⅲ期(1990～2018年)：能力向上と多様化

中硬岩への対応が可能となり、
機械掘削方式の適用範囲が広がった

- (1) 硬岩への対応: S300, SLB350, RH-10J
- (2) 全断面掘削 : RH-132-MB, RH-10J, RH-250MB-SL, SLB200, SLB300, SLB350
- (3) 高速掘進 : TWS, RH-250MB-SL, SLB350
- (4) 余振り低減 : 自動掘削装置、半自動掘削装置付掘削機
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50MPa以下の地山を対象に標準化 ⇒200kW級の自由断面掘削機の需要が伸びた。

No23

Ⅲ期(1990～2018年)：能力向上と多様化

(1) 硬岩への対応: S300, S350, RH-10J-S, RH-10J-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
掘削機
三作製



掘削高さ:6.5m

MRH-S300A
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

No24

Ⅲ期(1990～2018年):能力向上と多様化

(3) 全断面掘削機 :SLB200

1990年 大成/藤竹山トンネルへ納入
SLB200: ・カッター出力:200kW
・重量:70t (三作製)

掘削高さ:9m



№25

Ⅱ期(1976～1989年):軟岩用から中硬岩用への適用範囲拡大

1991年清水/里見トンネルへ納入
RH-132-MB:カッター出力132kW、

全断面掘削機

カヤバ製

1994年福田祖/若岡トンネルへ納入

1カントリーアーチセッター、吹付機を装備

系統:150t

RH-132-MB

掘削機に積込機を装備
(ギヤリングの外側の式の描きこみ)



№26

TWS(トンネルワークステーション)

1996年大林・福田JV/山王トンネルへ納入
* 掘削機・積込機・吹付機・アーチセッター等装備したトンネルの製造工場なるもの
* この装置の通過後はトンネル(一次覆工まで完了)が出来上がっている。

掘削機はカヤバ製



カッター出力:240kw



№27

Ⅲ期(1990～2018年):能力向上と多様化

中硬岩への対応が可能となり、機械掘削方式の適用範囲が広がった

1992年前田建設工業/竜ヶ岳トンネルへ納入

全断面掘削機

1995年栗村/高取山Tへ納入
・強化型に改良し、硬岩対応に開発

RH-10J
国産1号機

掘削高さ:8.7m

RH-10J-S



・カッター出力:330kW
・重量:120t

RH-10J-SS
カッター出力:330kW

1998年地崎工業/張碓トンネルへ納入
上半先進兼用全断面掘削機

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種

* 上半でも使用可として架台コンパクト

* 但し、掘削範囲は10J-Sと変わらず



№28

Ⅲ期(1990～2018年):能力向上と多様化

(4) 余掘り低減 : 自動掘削装置、半自動掘削装置付掘削機

1997年 戸田建設/金田一トンネルへ納入
RH-250MBSL、カッター出力:250kW

全断面掘削機
(カヤバ製)

切削中掘削中

最高月進
194m
新幹線断面

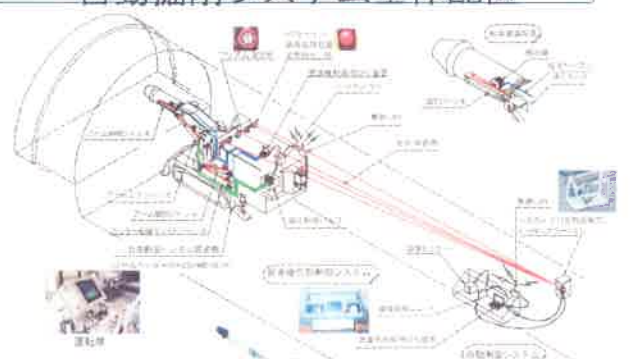
* 片側半分的位置にセットで機体は移動せず、1カットの掘削が出来る
* 反対側のセットして残り半分も同様に掘削して全体の1カット掘削完了

№29

Ⅲ期(1990～2018年):能力向上と多様化

1997年 戸田建設/金田一トンネルへ納入、RH-250MBSL (カッター出力:250kW)

自動掘削システム全体配置

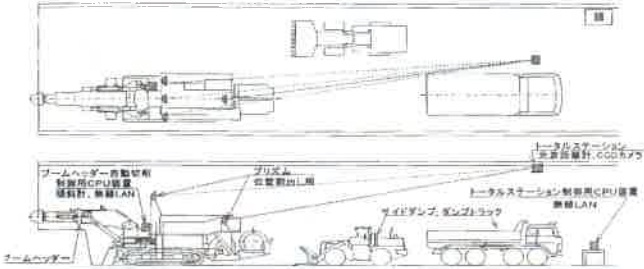


№30

Ⅲ期(1990～2018年)：能力向上と多様化

2000年 戸田建設/金田一トンネルへ納入、RH-250MBSL(カッター出力:250kW)

自動掘削システム



自動掘削装置の効果

- ① 正確なカット
- ② 熟練度に左右されない余掘量の確保
- ③ 無駄な余掘りを無くし、コンクリートの低減
- ④ プロファイル(全周)カットが1回で掘削効率UP
- ⑤ 切羽での安全作業(危険作業無し)

№31

Ⅲ期(1990～2018年)：能力向上と多様化

2000年 戸田建設/金田一トンネルへ納入(カッター出力:250kW) 自動掘削装置

開発の趣旨

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

技術の特徴

- ・ 簡単な操作で正確な自動掘削
- ・ 高精度掘削
- ・ 掘削中の塊体の位置・姿勢のリアルタイムフィードバック
- ・ 危険作業が無い
- ・ 高能率掘削

切羽での危険作業



№32

Ⅲ期(1990～2018年)：能力向上と多様化

中硬岩への対応が可能となり、機械掘削方式の適用範囲が広がった

1998年 大成/鳥越トンネルへ納入
SLB-300 ドーナツ型:カッター出力300kW
縦型カッターヘッド、重量:95t

全断面掘削機
(三作製)

2000年 大林長崎トンネルへ納入
SLB-300T: カッター出力300kW
横型カッターヘッド、重量:105t



掘削高さ:8.8m(S-300)±6.5m)

№33

Ⅲ期(1990～2010年)：能力向上と多様化

中硬岩への対応が可能となり、機械掘削方式の適用範囲が広がった

1999年 熊谷組/飯山トンネルへ納入、カッター出力:250kW
・ GLより約3m下のインバート部分を掘削可能
・ 切羽先端から6mのヘソ残しが可能

全断面掘削機:RH-250MBSL

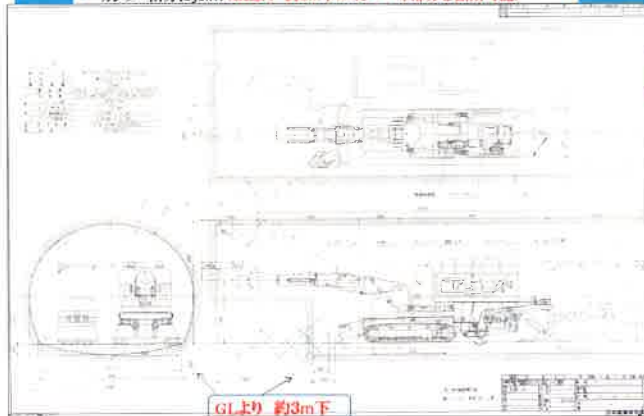
カヤバ製



№34

Ⅲ期(1990～2018年)：能力向上と多様化

1999年 熊谷組/飯山トンネルへ納入、RH-250-MBSL
カッター出力:250kW(GLより 約3m下のインバート部分を掘削可能)



GLより 約3m下

№35

Ⅲ期(1990～2018年)：能力向上と多様化

2019年 前田建設/渡島トンネル(南端工区)へ納入予定
(カッター出力:250kW)自動掘削装置付き



№36

Ⅲ期(1990～2018年):能力向上と多様化
中硬岩への対応が可能となり、機械掘削方式の適用範囲が広がった

全断面掘削機 : SLB-350

2002年 清水建設/峰山トンネルへ納入、
カッター出力UPして生産性を重視
カッター出力:350kW,重量:120t,・ドーザ型
・半自動の余掘り規制装置を装備、

2003年 清水建設/三豊トンネルへ納入
・カッター出力:350kW ・重量: 115t
・ギャザリング・コンベア付

SLB-350
(改良型)

最高進行:304m/月進
新幹線断面にて

三作製

№37

Ⅲ期(1990～2018年):能力向上と多様化
中硬岩への対応が可能となり、機械掘削方式の適用範囲が広がった

(3)全断面掘削機 : SLB350

1998年 清水建設/峰山トンネルへ納入、カッター出力:350kW
・半自動の余掘り規制装置を装備、カッター出力UPして生産性を重視

SLB350 自動掘削システム概念図

№38

4. 海外からの導入掘削機(三作・カヤバ以外)

他社(三作・カヤバ機以外)の掘削機の開発(発展の歴史)製品

開発年	名称	内容	納入先	備考
1 1969	DRCL型	カッター出力49kW	住友本別炭鉱	英商/Dooco Minerから導入
2 1973	AM-50	カッター出力110kW	青森トンネル/竜尾川トンネル	横軸式Alpine Montanから導入
3 1975	MA-50	カッター出力110kW		三菱重工がAlpineと技術提携して開発
4 1988	TM-60K	カッター出力150kW	鹿島建設/蛇尾川トンネル	三井造船アイムコから導入
5 1988	ET-300Q	カッター出力300kW	山崎建設/九州のトンネル	アトラスからの導入
6 1996	WAV-300	カッター出力300kW	佐藤工業/八甲田トンネル	タイクウがAlpine Westfalenから導入
7 2000	ATM-10S	カッター出力300kW	岩田建設/ウエンチクナイトンネル	コバヤシがVost Westfalenから導入
8 2000	ATM-70	カッター出力200kW	岩田建設/ウエンチクナイトンネル	コバヤシがVost Westfalenから導入

№39

4. 海外から導入掘削機(三作・カヤバ以外)

4.三作、カヤバ以外の自由断面掘削機(海外からの輸入機他)

1972年 日本車両 NH46

1975年三菱 MA50を国産
(アルピネ AM50模倣)

日本トンネル技術協会「トンネル工事用機械・機材の変遷史」(S62年 9月)

№40

4. 海外からの導入自由断面掘削機(三作・カヤバ以外)

1988年 鹿島/蛇尾川トンネルへ納入 TM-60K :カッター出力 150kW

1993年建設機械化技術・
公募型審査委員会を受けた
機材対応機種

鹿島建設より資料提供 ↓

№41

4. 海外から導入自由断面掘削機(三作・カヤバ以外)

1995年 大成建設/高取山トンネルへ納入、MM130R(機体重量:350トン)

1993年建設機械化技術・
公募型審査委員会を受けた
機材対応機種

大成建設機カテログ資料より

№42

4. 海外からの導入自由断面掘削機(三作、カヤバ以外)

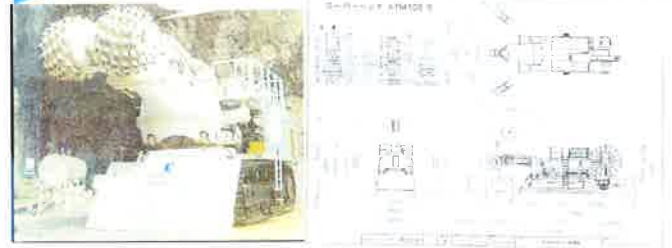
1996年 佐藤/竹岡トンネルへ納入 WAV-300 :カッター出力 300kW



佐藤工業様より資料提供
№43

4. 海外からの導入自由断面掘削機(三作、カヤバ以外)

コバヤシ ATM 105 :カッター出力 300kW



掘削高さ6.5mで硬岩掘削機の割に、全断面掘削工法にあわなくて、普及されず、国外へ転売した。

№44

5. 自由断面掘削機の開発に伴う部品・システム

各機械の仕様の変化と開発の背景

- 1) 掘削機の型式・形状の変化⇒掘削専用機となった
 - 1.ギヤリング方式からブレードタイプ(フロントリガー型)へ
 - 2.コンベヤも不要
 - 3.積み込みは自由断面掘削機以外で行う
- 2) 耐摩耗ピックの開発とともに、軟岩から中硬岩の掘削が可能に
- 3) ウォータージェット使用によるピックの冷却と粉塵抑制による生産性UP
- 4) 粉塵処理システムの確立により、坑内安全・環境良好で生産性UP

№45

5. 自由断面掘削機の開発に伴う部品・システム

2) 自由断面掘削機はピックの開発とともに、中硬岩の掘削が可能



図4-1 五からラジアル、クラブロック、コニカル型ビット

KYB提供資料
№46

5. 自由断面掘削機の開発に伴う部品・システム

各機械の仕様の変化と開発の背景

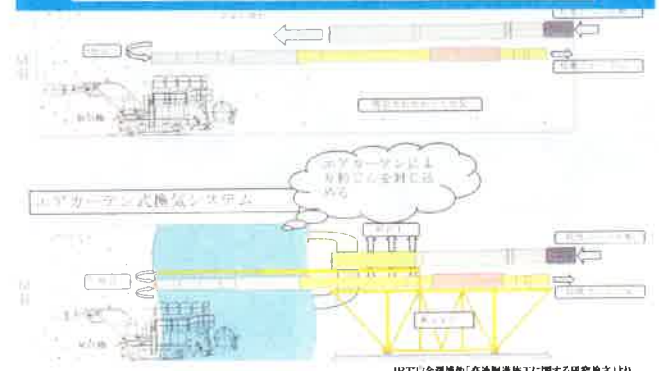
- 2) 自由断面掘削機はピックの開発とともに、中硬岩の掘削が可能に
- 3) ウォータージェット使用によるピックの冷却と粉塵抑制による生産性UP



№47

5. 自由断面掘削機の開発に伴う部品・システム

4) 粉塵処理システムの確立により、坑内安全・環境良好で生産性UP



JRTI/金沢博徳「高圧水噴射機に関する研究論文」より

№48

6. おわりに

今後の検討課題

- 1) 硬岩掘削対応
 - 2) 更なる耐摩耗ピックを開発し、中硬岩の掘削性能のUP!
 - 3) 集塵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対応
 - 5) 技術・製造コストに見合った役所価格の評価⇒技術の継承が無くなっていく
- * 次世代掘削機(計画図あり)
- (1) 中・硬岩掘削機 ⇒RH-12J(集塵システム対応装備)
 - (2) 超硬岩掘削機 ⇒ローラービット付カッターヘッド型
- * 100年後の地下空間構築の掘削技術向上の為
- (1) 軟岩から硬岩までスピーディな掘削可能な多機能機
 - (2) レーザービーム併用の硬岩大量掘削や強固で対磨耗性の高いピックの開発

100年後は、地上は原発に汚染され、大気圏外から落下からの防護の為、都市に地下空間および地下空間の連絡網が必要になっている為、早期の地下空間創造の要求がある。

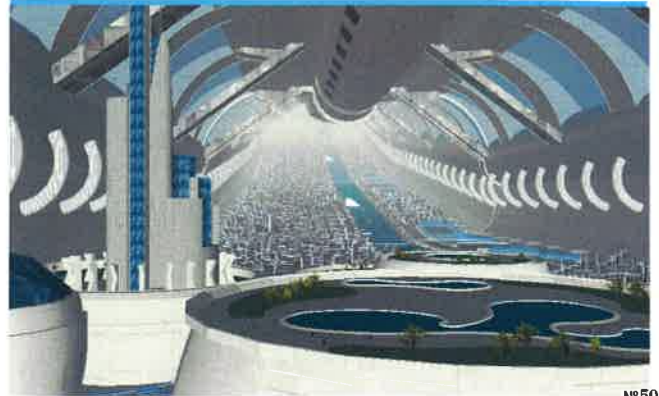


№49

6. おわりに

今後の検討課題

100年後は、地上は原発に汚染され、大気圏外から落下からの防護の為、都市に地下空間および地下空間の連絡網が必要になっている為、早期の地下空間創造技術の要求あり。



№50

泉沢トンネルの貫通掘削状況(S200に依る)⇒ 動画



№51

自由断面掘削機の発展の歴史

ご清聴ありがとうございました

