

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
ニシオティーアンドエム(㈱) アドバイザー

(元 カヤバシステム マシナリー(㈱)
(取締役建機部長)

2017年01月23日(改) (←2012年11月07日)

No1

1.はじめに

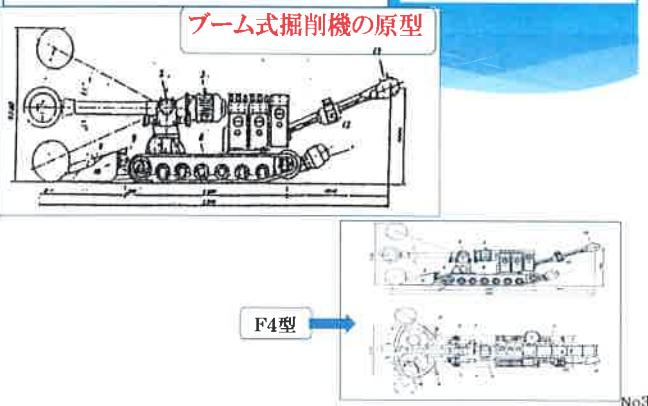
国内;自由断面掘削機が導入されて半世紀

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、英国では石炭庁でPK3が導入。
・1963年、MK3(縦軸式、49kW)を国産開発、Daw Mim炭礎へ。
- 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。

No2

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



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

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

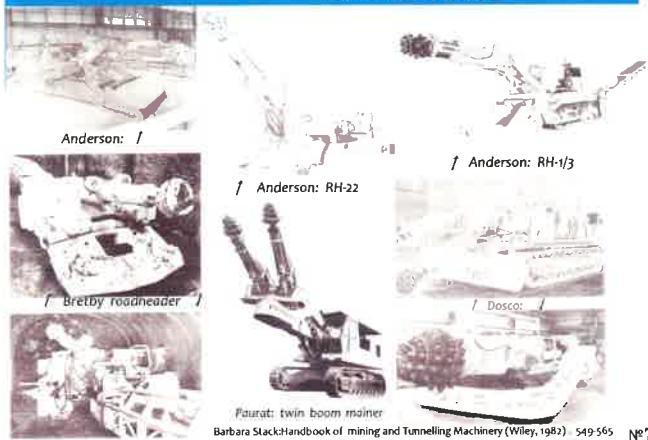
ヨーロッパ各所で掘削機の開発



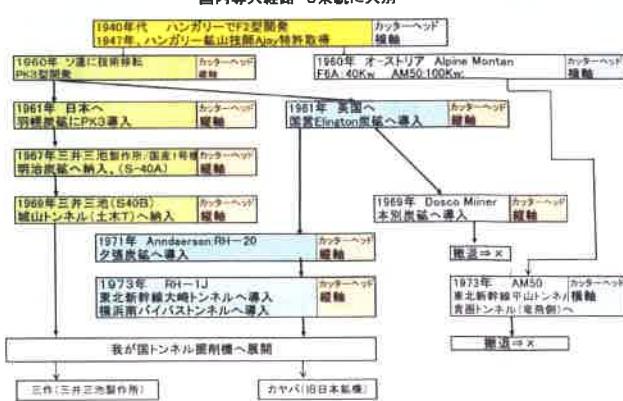
Barbara Stack:Handbook of mining and Tunnelling Machinery (Wiley, 1982). 549-565

No6

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)



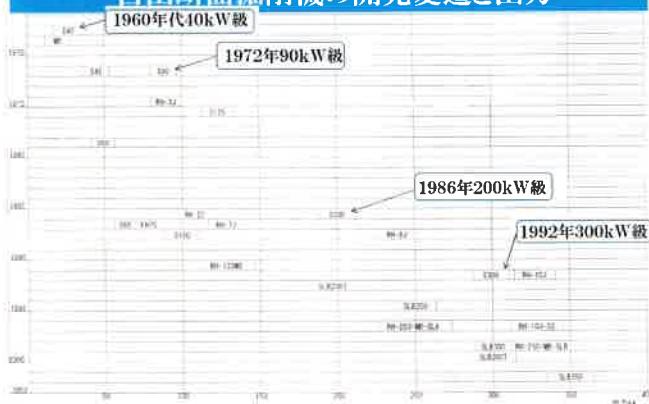
2.2発展の経緯

- * 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

- I期(1962~1975年):炭礦用からトンネル用への用途拡大
- II期(1976~1989年):軟岩用から中硬岩への適用範囲拡大
- 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



I期(1962~1975年): 炭礦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

- 1962年8月、ソ連からPK3を羽幌炭鉱へ導入された。
- 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。
- 1970年代に入り、トンネル工事発注増大⇒炭礦からトンネルへ
- 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
- 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

№11

№12

I期(1962～1975年)：炭礦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。



三井三池製作所機器提供資料より

No.13

I期(1962～1975年)：炭礦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)



写真提供:三作機

No.14

I期(1962～1975年)：炭礦用からトンネル用への用途拡大

1972年大成建設/早稲田湖野へ納入
MRH-S90:カッター出力90kW、
重量:40t (三作製)

上半先進用掘削機



三井三池製作所機器提供

No.15

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) 日本鉱機は当初、英国の炭鉱メーカーAnderson Strathclyde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。

No.16

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



1987年森組/
滋賀湖南下水道へ納入
・カッター出力:
75/49kW
・重量:30t

PH-75C型
パワーヘッダ



RH-125



No.17

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年三菱地所/
香川橋橋下へ納入
MM-49型
カッター出力:49kW
重量:25t



1991年川崎重工業/
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



No.18

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 上半先進用掘削機



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
上半先進用掘削機 (カヤバ製)

1997年蒼組/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

・ブーム長が長くヘソ残し対応型
・フロントリガーモード⇒積込み: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-5200:カッター出力200kW
上半先進用掘削機 三作製

1986年納入
MRH-5200:カッター出力200kW



ギャザリング・コンベア付

ドーザ型

三井三池製作所製提供
N°21

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=フロントリガーモード
(掘削専門で、積込みは他機種で併行作業)

1989年鹿島/修繕寺トンネルへ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



N°22

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) 余掘り低減 : 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
用掘削機
三作製



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

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/横須賀山トンネルへ納入
SLB200 : カッター出力:200kW
・重量:70t (三作製)

掘削高さ:9m



No.25

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・アーチセッター等設備した「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。



No.27

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)



No.29

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年福田組/若狭トンネルへ納入
RH-132-MB

・ガントリーへアーチセッター、吹付機を装備



No.26

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
カヤバ製

RH-10J
国産1号機

掘削高さ:8.7m

1995年奥村/高取山Tへ納入
・強化型に改良し、硬岩対応に開発

カヤバ製

RH-10J-S



RH-10J-SS

カッター出力:330kW

・重量:120t



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



* 上半でも使用可と
して架台コンパクト

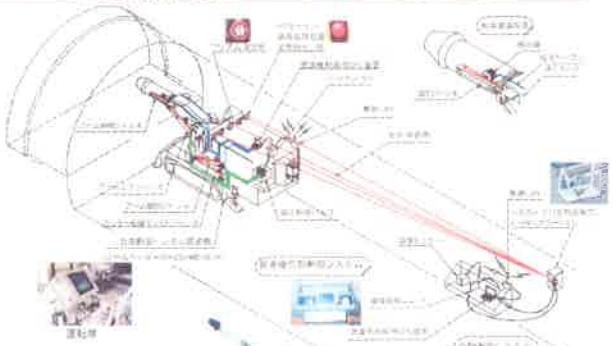
* 但し、掘削範囲は
10J-Sと変わらず

No.28

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

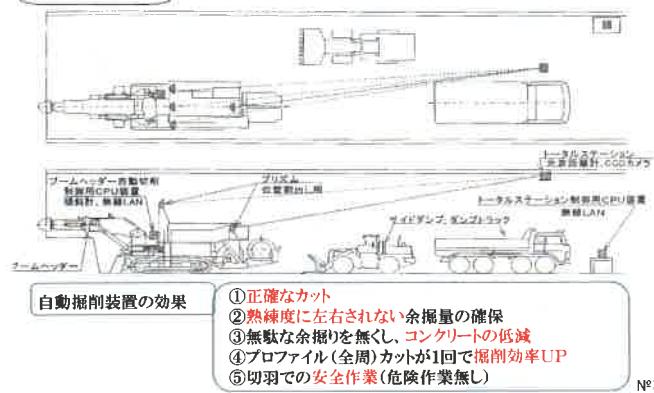


No.30

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



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(センター出力: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
- ・掘削中の機体の位置・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



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 ドーザ型: 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



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、センター出力: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

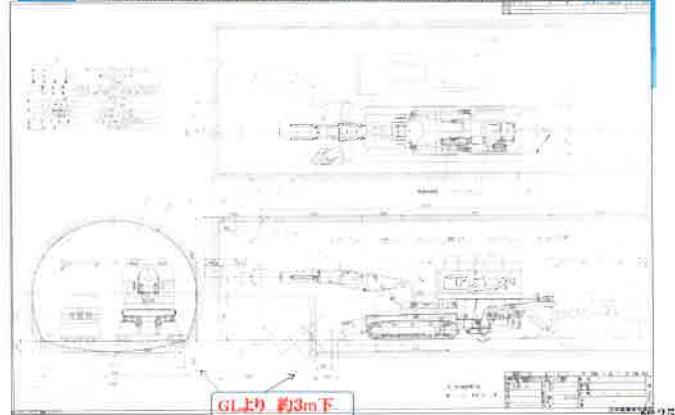
全断面掘削機: RH-250MBSL

カヤバ製



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
・センター出力:250kW(GLより 約3m下のインバート部分を掘削可能)



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(南郷工区)へ納入予定
(センター出力:250kW)自動掘削装置付き



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。



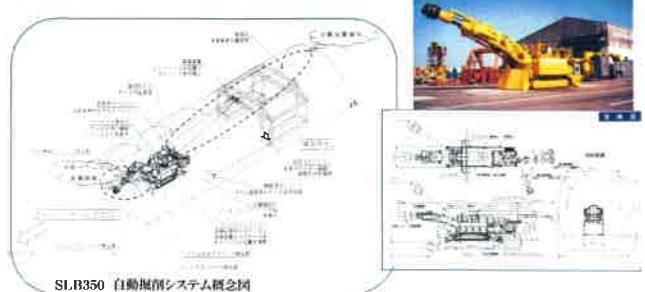
Nº37

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/林山トンネルへ納入、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



Nº38

4. 海外からの導入掘削機(三作・カヤバ以外)

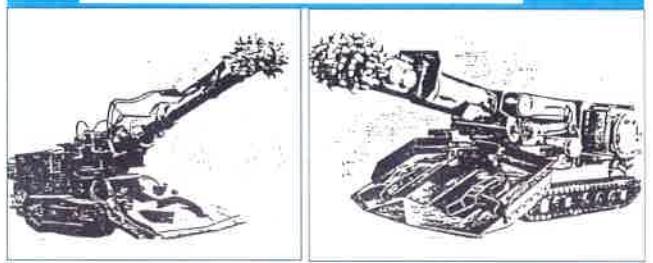
他社(三作・カヤバ以外)の掘削機の開発(発展の歴史)製品

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Dossco Minimから導入
2 1973	AM-50	カッター出力110kW	青森トンネル電気TRX	横軸式Alpine Montanが導入
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	三井造船アイムコが導入
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/八戸川トンネル	タイクウがAlpine Westfaliaから導入
7 2000	ATM-105	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 Westfalia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 Westfaliaから導入

Nº39

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)



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)

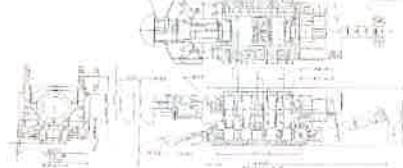
Nº40

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



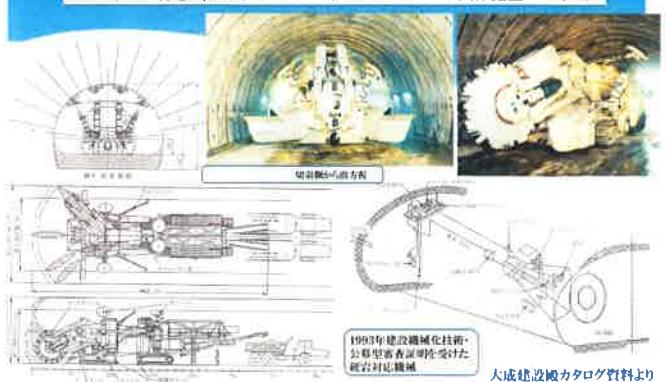
鹿島建設㈱より資料提供↑



Nº41

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:350t)



大成建設㈱カタログ資料より

Nº42

4. 海外からの導入自由断面掘削機(三作、カヤバ以外)

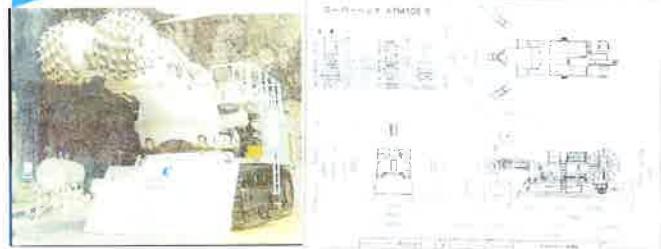
1996年 佐藤/竹岡トンネルへ納入 WAV-300 :カッター出力 300kW



佐藤工業㈱より資料提供
Nº43

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 I 05 :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、国外へ輸出した。

Nº44

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. ギザギザ方式からブレードタイプ(フロントリガーモード)
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う

2) 耐摩耗ビ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ビ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

Nº45

5. 自由断面掘削機の開発に伴う部品・システム

2) 自由断面掘削機はビックの開発とともに、中硬岩の掘削が可能



KYB提供資料
Nº46

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) 自由断面掘削機はビックの開発とともに、中硬岩の掘削が可能に

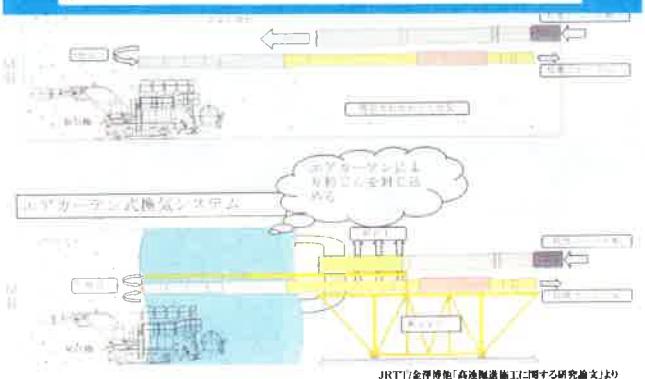
- 3) ウォータージェット使用によるビックの冷却と 粉塵抑制による生産性UP



Nº47

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



Nº48

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技術の要求がある。



Nº49

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がある。



Nº50

泉沢トンネルの貫通掘削状況(S200に依る)⇒ 動画



Nº51

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

