



岩盤屋のたわごと

岩盤推進施工の留意点とCMT工法の解説

本間 良治

(株)推研
代表取締役
研究所所長



1. はじめに

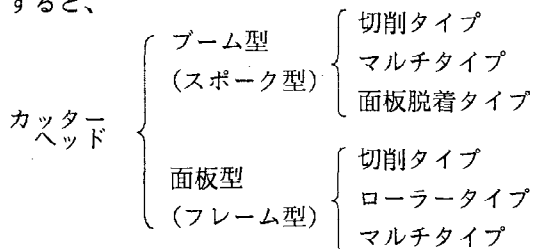
(株)推研で製作した複合掘進機(CMT)の1号機は兵庫県三田市の礫岩を掘削するための岩盤掘進機でした。鉱山学科を卒業以来岩盤を掘りつけて来た私は岩に対する執着が強く、それ以来ずっと十数年間岩盤掘進機を作ってきました。

岩盤掘進と言うと岩ばかり掘っている様に聞こえますが、実際には「岩の小粒になったもの」即ち「土」も岩盤掘進の技術の範囲です。岩盤掘進をしていると断層にともなう、破碎帯や泥土帯にぶつかります。又山岳トンネルと異り、岩盤推進の土被りは浅いので、表土と基盤の境目を岩に入ったり、土に出たりしながら掘進することも珍しくはありません。従って、岩盤掘進の技術と言うのは、岩から泥土までの複合地盤を掘進する技術なのです。「複合掘進機」と言う名称はここから来ています。

この世の中に、万病に効く薬が無い様に、掘進機も1つの型式で全ての岩盤や地盤を掘進出来るものはありません。そこで考えたのが基本となる掘進機本体に色々な機能要素を組合せて、色々な岩盤に対応出来るシステムを作り上げることです。

機能要素としては、カッターヘッド、フィーダー及び排土装置です。この3要素に各々、数種類の形式があり、それらの順列組合せで、何十通りものシステムを作ることが出来ます。そして、カッターヘッドのフレーム以外はすべて発進してからでも交換出来る様になっています。さらに機能要素の形式の中の部品も、多数の種類があり、交換出来る様になっています。

例えば機能要素のカッターヘッドについて説明すると、



の様な種類があります。岩盤を徹底的に調べあげ検討して、これらの中から最適なものを取付けます。さらに選定した1つのタイプのカッターヘッドに取付けるローラーカッターや切削ビットも多数の種類の中から選定します。しかし、これらの部品は発進してからでも変更交換が出来るので気

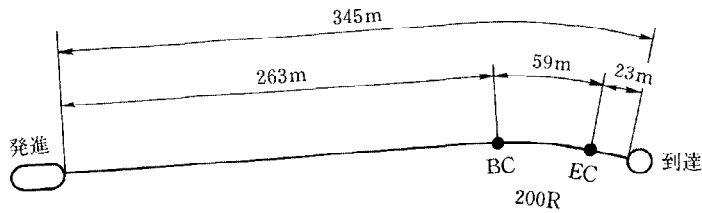


図-1 土岐市砂岩掘進工事線形

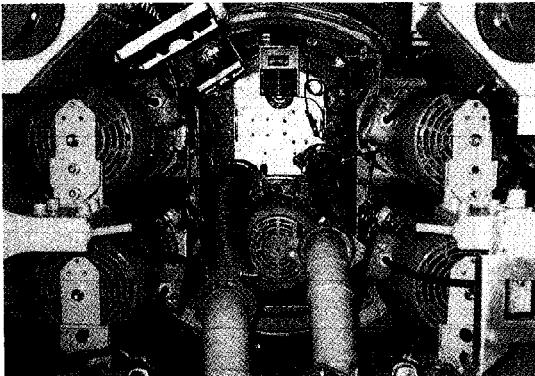


写真-1 掘進機内部構造

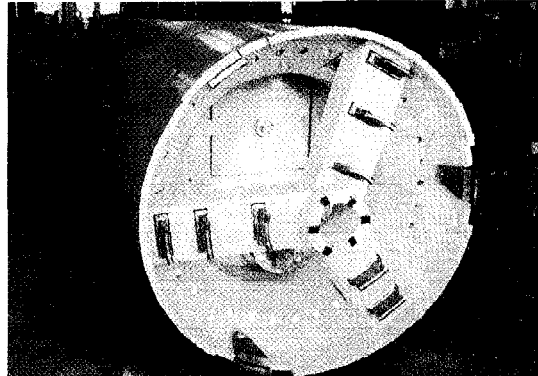


写真-2 ブーム型切削タイプの cutter

が楽です。

この様に機能要素や部品を組合せ交換出来る基礎には cutterヘッドを回転するための軸受けを外周駆動型とし、最もかさばる cutter駆動用原動機をコンロッドを介して掘進機後方の両壁に張りつけ(特許取得済)掘進機の中を前から後まですっぽりと空にした掘進機本体の構造にあります。この基本構造があればこそ、組合せのシステムが構築出来たのです。写真-1は複合掘進機の後方から前方を写したもので、バルクヘッドまですっぽり見えています。バルクヘッドのドアを開けばチャンバーで、ビット交換が出来ます。下には水力排土用のクラッシャー付フィーダーが付いていて、これも、スクリーフィーダーやリボンスクリュー等と入替えが出来ます。従って切羽防護方式も面板加圧、泥土圧方式と切替れます。

2. 施工例

岩盤関係の教科書を見ると、岩には水成岩、火成岩及び変成岩の3種類があると書いてますが、

岩は大自然で出来たもの、そんな、きっぱりとした種類があるわけではなく、ずっとつらなっているので、その中間的なものの方が圧倒的に多いのです。そのため、鉱山学の権威でも、今日は水成岩だと言っていたのに、その夜1杯飲んで明日になったら、変成岩だと言うことだってあるのです。

とはいえ、やはり、岩は、その生成源によって共通した性質をもっているのです、この分類に従って、1つずつ実施例をあげて、その特色を述べたいと思います。

3. 水成岩(堆積岩)の例(岐阜県土岐市)

1) 現場条件

岩 種	砂岩(柱状図)
上 載 土	細粒土、粘土シルト混り礫
土 被 り	約9m
岩 被 り	約0~3m
推 進 管	φ800mm S S P管
実推進延長	約345m
推 進 線 形	図-1 参照

カッター型式 ブーム型切削タイプ

・平坦な地形で、近くに切立った様な山や大きな川がありません。

・スパン中にボーリングが4本あり、岩層が安定していることが確認出来ました。

・岩の圧縮強度はボーリング資料では、30~150 kg/cm²、R Q Dは70前後とのことなので、砂岩にしては、おかしいなと思いました。なぜなら、砂岩にしてはR Q Dが高すぎるのです。

そこでボーリングのコアを見せてもらいに行きました。やはり泥質砂岩でした。

固結度から見て地質時代は新生代の後期と思われるものでした。

砂岩や泥岩と言えば、軟らかい岩の代名詞の様に言われていますが、古生代の砂岩は、実際には花崗岩より、はるかに破碎抵抗の大きなものがあります。しかもR Q Dが比較的大きく出るので、古生代の砂岩かと疑がったのです。圧縮強度が30~150kg/cm²と言うのは、どんな硬い岩でも節理や亀裂があれば、この様な値が出る事が多いので、あてにはなりません。

・日本は火山国なので、新生代の水成岩と言っても、その水成岩の層の中に、地下深部から熔岩が断層に沿って板状や枝状にあがって来て、水成岩層に接した部分を変成したところが多数あります。その様な所をダイクと呼んでいます。通常1m~4mぐらいの幅をもっています。この部分はもはや水成岩ではなく、変成岩や熔岩なので、ものすごい硬さをもっています。従って99%軟岩であっても、1%がダイクであれば、硬岩が掘進出来るカッターヘッドでなければ、100%の掘削は出来ません。

その不安があったので、現場を見に行きました。ダイクの有無を判断するための調査です。あまり大きな褶曲もなく断層らしきものもないので、ダイクはなしと判断しました。

2) 施工計画

(イ)カッター仕様

・複合掘進機はその名の通り、複合地盤を掘進するため色々なタイプのカッターヘッドやフィーダ

ーを色々組合せて、付け替が出来る様になっています。又、カッターヘッドのビットも色々な寸法様式のものに替えられる様になっています。これは変化の多い大自然の岩盤を1つのカッターヘッドで征服しようと言う様な、あつかましいことは、絶対にダメと言うことを、痛いほど知らされた結果です。出来ることなら、1つのタイプで全部いけることが夢だったのですが、長らく岩盤と、お付き合いする内に、すっかり、あきらめました。

従って、カッターヘッドとしては切削タイプのスプーク型カッターヘッドを選定しました。

泥質岩があるので切削ビットの長さを長くして、ズリが大割れする様にしました。泥質岩はズリを細かく砕くと粘土化して、排出ズリの処理がしくくなるからです。面板型をやめて、スプーク型にしたのも同様の理由です。

(ロ)排土仕様

泥質岩があるので、ズリの処理から考えれば水を使わない排土方法を採用したかったのですが、推進管径がφ800mmと小さいのに、推進延長が345mと長いので、ズリ出しがトロやバキュームでは、能率が悪すぎます。そのため止むを得ず水力排土方式を採用しました。

その代わりに、少しでも還流水の濃度が上るのを抑制するために還流型の遠心分離機を付けました。還流型の遠心分離機は、10ミクロン程度の粒子までしか回収出来ませんが、10ミクロン~75ミクロンぐらいの粒子を回収すると、それら大きな粒子に付着して、粘土粒子も回収されるので、泥水が長持ちします。

(ハ)その他

CMT工法協会では、曲線推進の場合、曲線長30m以下の到達カーブを除き、管径をφ1000mm以上にして頂く様お願いしています。

これは、技術的な問題ではなく、ヒューム管φ800mmの径の中で、Fに3Bの送排泥管が2条あると、管内トランシット測量する人が非常に苦しくつらい思いをしなければなりません。これを避けるための労働環境衛生の面から、きめています。しかし、この工事では、色々事情があって、坑内

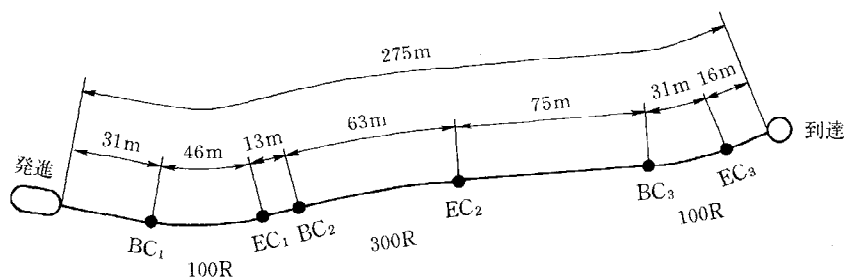


図-2 宝塚市花崗岩掘進工事線形

測量する人には申し訳ないけれど、中間カーブで、しかも、59mもある曲進長ですが、管径 $\phi 800\text{mm}$ で施工することになりました。

3) 施工結果

このスパンではスパン延長が長いので、切削ビットを途中で2回交換しています。軟岩ではビットは摩耗しないと思う人が多い様ですが、実際には硬い岩よりよく摩耗します。ただ摩耗して、刃先が丸くなったチップでも岩が軟らかいと、切削出来るので、結果的に長持ちした様に思うのです。又、軟質砂岩では、超合金のチップも摩耗しますが、それ以上にチップを支持しているシャンクの摩耗が激しく、そのため、交換が必要になることが少なくありません。

水成岩は層が安定していることが多いのに4本もボーリング資料がありかつ、ボーリングコアが良好な状態で保存されていて、見せてもらったので、着工前に最も岩盤に適合した、カッターヘッドや排土方法と排土処理を準備出来たので、極めて順調に施工出来ました。

もし仮に、簡単な柱状図に書いてある「砂岩」と言う文字だけで計画していたら、泥質砂岩で能率は上がらず、バキューム処理費はかさんで泣いていたでしょう。又、断層調査の推定がはずれて、途中でダイクに遭遇していたら切削タイプのカッターヘッドでは、その3~4mの掘進だけで数百万円のビット代をファイにしていたと思います。

岩盤推進ではちょっとした調査ミスや判断ミスで、大きな損をします。従って、「1にも調査2にも調査」です。調査が充分出来れば、私共岩盤を専門とする技術者は適確な判断が下せるので、

安心して、適正な、最小限の設備で施工します。しかし調査資料が少い時は、不安があるので、どうしても、過剰設備になり、工期も長くなります。

過剰な設備や装置が無駄になるだけでなく、多くの場合、邪魔になって、能率を阻害します。

4. 火成岩(火山岩)の例(兵庫県宝塚市)

1) 現場条件

岩 種	花崗岩、同風化岩	砂礫
上 載 土	風化岩、砂礫	
推 進 管	$\phi 1000\text{mm}$ S S P 管	
実推進延長	約275m	
推 進 線 形	図-2 参照	

・推進方向に向かって右側は岩肌に見える切立った岩山で、左側は川幅約80mぐらいの大きな川です。岩山の中腹を削って作った道幅3mぐらいの曲りくねった道路下の推進です。

従って、ボーリングも、道路の岩山寄をボーリングすれば岩であっても、川寄をボーリングすれば砂礫になると言う様な地形です。

岩山には道路にほぼ直角に谷があり、道路を横切っています。谷には小さな橋がかかっています。

・この様に岩山の中腹を切り取って道を作った様な所は、岩山の谷と峯とが交互に道を横切るので、3mピッチにボーリングしないことには岩線をつかむことは出来ません。

・岩の圧縮強度はボーリング資料によると未風化の部分で $660\sim 460\text{kg/cm}^2$ で、風化した部分では 20kg/cm^2 となっていました。しかし、発進立坑を掘った時点で切羽に出ている岩を調べたら、岩種は斜長石花崗岩で、圧縮強度は 1500kg/cm^2 引張強度は 80kg/cm^2 です。花崗岩の仲間では比較的軟質

な方です。

・地形から見て、ここの岩は基盤の花崗岩が褶曲により隆起して出来たもので、褶曲による応力破壊に加えて風化が入りこみ不安定な岩の分布を示しているものと判断しました。従って、前章の水成岩と異り、ここでは、引張強度が $150\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上もある様なダイクが出る可能性は全くないし、花崗岩質の熔岩が急冷して出来る流紋岩も、出ないと判断しました。

2) 施工計画

(イ)カッター仕様

この現場の岩は、基盤が花崗岩なので、見た目には墓の石の様に岩目のない硬そうな花崗岩に見えますが、花崗岩を構成している造岩鉱物の長石類の内、硬い正長石が少なく、比較的へき開面の発達した斜長石が圧倒的に多いので、圧縮強度が高い割に、引張強度が低く、ローラービットで圧壊しやすい岩です。従って、岩の掘削性能より、方向制御性を良くすることに、重点を於て、ローラービットのチップは先のとがった、背の高いものを選びました。

いくら引張強度が低いと言っても、前章で用いた切削ビットでは、切れはするけど、切削ビットの消耗が多くて、コストの面で、高くつくので、ローラービットタイプのカッターヘッドにしました。但し、この様な地形では、掘進途中で右半分は岩で左半分は砂礫と言う様な状態が必ず出てくるので掘削反力の大きいローラービットだけでは、カッターヘッドが川側に流れてしまつて方向制御が出来ない恐れがあるので、ローラービットと切削ビットと両方とも付いているカッター(マルチカッター)を採用しました。(写真-3参照)

又、掘進が岩山の谷に当たった時には、谷は上流からころげて来た大きな転石や礫で埋っているの、切羽の自立性が全くないことが予想されます。この様な地盤で地盤をゆるめず、転石を破碎しながら掘進するためには、面板が必要であり、そのために、面板に1ヶ所だけ取込口の付いたモノスリットタイプ(特許出願中)を選定しました。

従って、カッターヘッドの仕様はモノスリット、

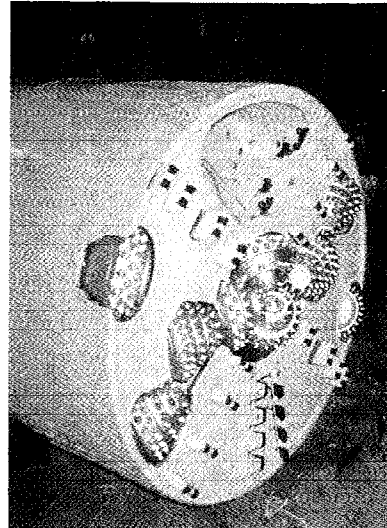


写真-3 マルチカッター

マルチカッタータイプになります。

(ロ)排土仕様

岩山沿いの道路では岩山の谷は現在では埋て道路になっていますが、昔の谷は転石や砂礫で埋まった自立性のない地盤です。その様な所を掘進する場合、水力排土にすると、送泥水が川に逃げてしまつて、排泥出来ない可能性があるの、泥土圧方式にして、トロバケット排土にすることが安全確実ですが、岩盤をローラービットで掘削するためには、どうしてもローラービットを水で冷却しなくてはならないために、水力排土を採用することにしました。もし送泥水が殆ど返ってこないほど、泥水が逃げてしまった時は、局部的に薬注で水を止めることを考えました。

逸泥があまり大きくないが、泥水量の減少が多い場合は送泥水におがくずやラゴメールを加えることも考えました。

(ハ)その他

この現場の様に圧縮強度が $500\text{kg}/\text{cm}^2$ もある岩盤が出たりなくなったりするところでは、切羽はその途中では、半分岩盤で半分土砂と言う状態になります。当然のことながら、半岩半土の所では、カッターヘッドはいくら真直ぐ掘進しようとしても掘進方向は土砂の方へ流れてしまします。

岩線が安定していて、半岩半土の区間が、はっきりしている場合は強度の出る地盤改良で、半岩半土区間の土砂側を地盤改良すれば、何とか、乗り切れるのですが、この現場の様に、1 m先の地盤が岩なのか、土なのか、わからない様な所では、もし地盤改良するとすれば、全部しなければならず、工費はたちまち2倍にはね上ります。

それでは、だめなので先にも述べた様にローラービットと切削ビットが併用出来るカッターヘッド(マルチカッターと呼びます)を用い、ローラービットの圧砕反力を切削ビットで抑制する方法をとることにしました。

3) 施工結果

火成岩の岩盤推進の場合、この施工例の様に岩山の中段に造成した道路の下への推進が少くありません。このような地形では岩線調査すると、火成岩の場合岩線そのものが2~3 mの高さで激しく上下しているので、確実に把握することは極めて困難です。そして、岩の谷には、岩山の上の方から転げ落ちて来た巨大な転石で埋まっているので、ボーリングで岩線調査するとその岩が、岩線なのか、直径1 m以上もある転石なのかは、少なくともボーリングが岩着してから2~3 m掘ってみなければわかりません。岩のボーリングはダイヤモンドクラウンでなければ掘れないので、ボーリング調査費ははね上ります。

過去の実績の中にも、5 mピッチで岩線調査して、岩盤の中を推進する計画だったのに、施工してみたら岩線と思ったのは、殆ど巨大転石だった例も有ります。又、それと逆に、岩線調査のボーリングを岩山の裾(谷寄りの道路脇)の方で行ったため、岩が出ない予定で普通推進で発進したら、すぐに岩に当たって四苦八苦と言う例もあります。

従って、このような現場では必ず山側と谷側で確認しなければなりません。唯、前章で述べた水成岩の場合は、よほど大きな褶曲や断層がない限り岩線が安定しているので、その必要はありません。

話は少々横道にそれましたが元に戻して、この工事では、発進して40 mぐらいは、安定した亀裂のない斜長石花崗岩で、日進量は1日3 mぐらい

と少ないものの、順調に進みました。しかし、その後は予定通り目まぐるしく地盤が岩、転石混り砂礫、砂と変り、掘進していても1 m先の地盤が何かわからない状態がつづきました。途中で予想もしなかった赤粘土(斜長石の加水分解粘土)まで出て来て、排土泥水の比重が上りすぎ、泥水ポンプが過負荷になったこともありました。

このような地盤変化の中で、実際に、いつ半岩半土になったのやら、完全に岩の中に入ったのやら確認する間もなく、結局、発進後40 mを過ぎてからは、カッターヘッドの外周側の切削ビットはずっと取付けて進まなくてはなりません。いくら斜長石花崗岩は正長石花崗岩より軟いと言っても、切削ビットで切れば半岩部分で半分切ってもヒューム管3本押すごとにビット交換しなくてはならず、切削ビットは予算より大幅に消費してしまいました。

岩盤推進の推進抵抗計算では大幅に経験を加味します。机上の計算では土圧ゼロなので、無茶苦茶に軽く押せるはずですが、実際にはテールボイドのあちことでソゲ(肌落した岩片)がヒューム管と岩盤の間にはさまれて、急に200 t~300 tも推力が上ったりします。大きなソゲが噛みこむとヒューム管の方がひび割れたり孔があいたりします。当工事では推力計算上も曲進点で900 kg/cm²管(S S P管)を必要としましたが、ソゲによる管の破損を防止するためにもガラス繊維入りの900 kg/cm²管を用いました。そのため、管の破損はまぬがれました。

唯、ヒューム管が岩の中でせり合って、推力が上ったので、予め入れておいた4ヶ所の中押の内、2ヶ所を作動しながら推進しました。

なお、測量のことですが、推進線形はカーブが3ヶ所あるのに、到達は小さな既設のマンホールであったため、上下左右3 cmぐらいの精度で到達しなければなりませんでした。

岩盤の中では急な方向制御は出来ないで、万一にそなえ到達20 mほど手前で元請と下請と全く別の測量専門の会社の人と3者が別々に基点からの測量をやりなおしてその結果をつきあわせ、到

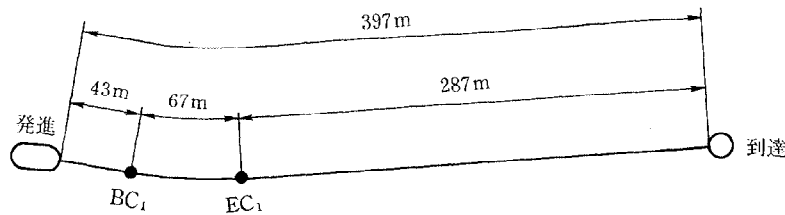


図-3 木曽川右岸粘板岩掘進工事線形

達方向を確認して到達しました。

5. 変成岩の例(木曽川右岸流域)

1) 現場条件

岩 種	粘板岩
上 載 土	砂礫、砂、砂まじり粘土
土 被 り	3m~11m(岩被り0~7m)
推 進 管	φ1000mm S S P 管
実推進延長	約397m
推 進 線 形	図-3 参照

・推進方向に向って左は100m程離れて木曽川が平行して流れており、右も100m程離れて、急峻な岩山があり、岩山と川に挟まれた200m程の上り坂道の下を推進する工事です。従って、前章の様に岩山の中腹を削って道路にした様な道ではありませんが、やはり山と川に挟まれた地形です。

・岩は古生代~中生代の粘板岩で、土質資料には圧縮強度 $145\sim1760\text{kg/cm}^2$ と書いています。RQDは40~90と、粘板岩としては珍しく高い値を示しています。粘板岩は粘土や砂質粘土が、熱と圧力の両方の変成を受けて出来た岩なので圧力により、板状の節理が良く発達しています。従って、強い変成を受けて硬くなっているもの程節理が発達し、硬く、脆くなっています。その為、圧縮強度 2000kg/cm^2 を越える硬いもの程RQDも低く、サンプルは礫状になって採取されます。こんな事情なので、粘板岩の圧縮試験はほとんど運良く節理のないところか、あっても加圧方向に直角な場合に、本当の硬さに近い値が得られることがありますが、あまり、あてに出来ません。

それより超音波試験の方がまだ岩そのものの硬さを示してくれます。年代が中生代にかかってい

ること、RQDが高いことを考え合せると変成の程度は中程度で、従って、実際の岩塊の硬さも、 1800kg/cm^2 を越える様な硬さではないと考えました。しかし粘板岩は動力変成(圧力変成)だけでなく、熱変成も受けているので、変成温度によっては造岩鉱物の1種の石英が熔けて球塊状に固り、「松岩」になっていることが有ります。よほど掘進速度を下げないと松岩にビットが当たった時、ビットがぞろりと破損します。

2) 施工計画

(イ)カッター仕様

粘板岩は動力変成を受けたために、辟開が発達し辟開にそって破碎するので、軟い岩の様に见えますが、岩のブロックそのものは、圧縮強度で 1800kg/cm^2 以上の強さをもっています。又、粘板岩に含まれる松岩は 2500kg/cm^2 以上の硬さをもっています。

当現場の粘板岩は変成程度が低いとは言え、切削ビットで掘進出来るものではなく、ローラビットを選定しました。又、粘板岩の辟開に水が廻って、砂礫状になっている所もあるはずなので、面板を付ることにしました。しかし、風化していない所で面板を付けるとズリの取込みが悪く、日進量が上らないのみならず、ビットの消耗も大きいので面板に設けたマンホールを開放し、取込口に出来る様にしました。本工事は掘進延長が400m近いので、途中でビット交換が必要です。従って、坑内からビット交換出来る様にしました。

(ロ)排土仕様

397mの推進距離の排土は、能率の点で水力排土に勝るものはないので、水力排土にしました。

排土ポンプを何台も直列運転するので、ズリがポンプにひっかかり詰まらないように、クラッシャーフィーダーは細く碎けるものを選定しました。

古生代から中生代の粘板岩なので、泥水比重はあまり上がらないと考えました。

(ハ)その他

推力計画としては、CMT式長距離推進システムを適用しました。これは粘土を主成分とする緩み土圧抑制材を管外周に充填して、そのずり抵抗で推進するシステムです。岩盤の場合は緩み土圧はかかりませんが浮き岩(ソゲ)が噛み込むことによって、推進抵抗が上るので、ソゲの噛み込み防止のために用いられます。

3) 施工結果

粘板岩とか片岩とか言う様な変成岩は動力変成を受けて、出来ています。従って、強い褶曲の中で生成しているので、元は水成岩で、水平であっても、褶曲のために、どんなにひねくれているか、わかりません。当工事ではボーリングが5本あり、層が安定しているかに見えましたが、発進して約20m進んだところで地盤が急に自立性のない泥土に変わり、約30mの間続きました。複合掘進機は重心が中央付近に設計されているので、ノーズダウンしませんでした。又カッターヘッドに面板を付けていたので路面を落とさませんでした。

当初は、さほど硬くはなかったのですが発進して200m進んだ頃から僻開が少なくなり、僻開面と平行な方向に掘削しなければならないので、ビットの摩耗が激しくなり、遂には、ビットの総入れ替をしました。複合掘進機は坑内から、ビットの交換が出来ますが、1ケの重さが40kgもあるビットを狭いチャンバー内で泥まみれになって交換する人は大変な御苦労です。

その上、カッターヘッドの最外周のゲージカッタービットは、松岩による損耗と思われるチップ欠損があり予定数を越えました。ビットは非常に高価なので数量超過は大変です。掘進は無事に終わりましたが、カッターヘッド本体はかなり摩耗していました。

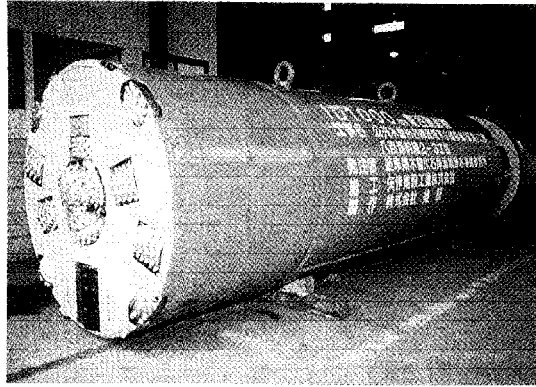


写真-4 坑内からビット交換ができる

6. むすび

以上で、3つ岩種の施工例をあげ、それぞれ、どんな問題があるかの一端を述べました。これら岩掘進の中で共通して言えることは、どんな仕事でもそうですが、現場の岩盤に対する十分な情報と、それを十分に生かして理解出来る岩盤に関する知識です。岩盤の専門家である私でさえ、与えられた資料を十分に調べ、合点のいかない時はサンプルをもらって当社にある色々な岩試験機にかけて岩の性格を調べ、現地に行って地形、露頭、断層あるいは褶曲を調査し、そのデータをもとに長い経験から判断して、1つ1つの現場の計画を決定しています。それでも年に1つや2つは予想が出来なかったことが出て、赤字を出す事があります。「岩の現場」は「土の現場」と異なり、1つ失敗すれば、その損失は大きく、1千万円を越えることが少なくありません。十分な情報資料があれば、適正な計画が立てられ安心して適正な見積が作れます。しかし、情報資料がない時は、1つ間違えば工事費が2倍かかってしまうこともあるので、どうしても、用心し過ぎて高い見積になります。

情報資料として何が必要かと言えば主として次の様なものです。

- ・コアのサンプル(岩種が異なるときは、その各々について2ケ以上)
- ・等高線の入った地形図(千分の1以上の縮尺)
- ・柱状図(水成岩では100mピッチ、火成岩、変成岩では25mピッチ以下の本数)

- ・その地域の地質年代
- ・弾性波試験
- ・引張強度試験

コアのサンプルを頂くと、岩種、造岩鉱物とその含有比率、結晶の大きさ、石基の状態、風化度合、R Q D等多くのことが解ります。又地形図

と柱状図から、褶曲や断層やダイクが推定出来ます。弾性波試験で巨視的な岩の硬さと風化度合がわかります。引張強度試験でカッタービットに加わる負荷がわかります。これが全部そろえば、安心して掘進出来ます。

