

解説 岩盤に挑む

岩盤層における長距離・曲線推進を可能にする 複合推進システム

—CMT岩盤推進システム—

うちだ きんや
内田 欣弥

(株)推研
常務取締役



1 はじめに

推進の分野において、未だ岩盤に対して全断面掘削方式が無い時代に独自の掘進機は出来ないか？岩盤に対してどのような機能が必要なんだろう？岩の中での方向制御は・・・あれこれ考え、試行錯誤の連続で1981年に兵庫県三田市に於いて住宅都市整備公団((独)都市再生機構)発注の工事として1350mm、218m、2スパン工事で使用したのがCMT工法のスタートでした。掘削、方向制御、推進機能のみ

でコンベアへの手積みという全くシンプルな機構でした。

当時、岩盤強度としては20～30MN/m²の砂岩頁岩層を想定したものでしたが、30m程度推進した時点から、200MN/m²の礫塊を含む礫岩層に遭遇し、ビットの破損、カッタの破損等散々なデビューとなりました。

あれから29年が過ぎ、岩盤の推進実績も66,000mになりました。岩盤推進の実績が積重なるほどその難しさを感じており、まだまだ完成されたものではありませんが、今回の「岩盤に挑む」というテーマの一端でも担えればと考えCMT岩盤推進システムを紹介します。

2 CMT工法とは

複合推進工法(CMT工法)は単一システムの工法ではなく、推進システム、排土システム等を複合的に組み合わせ、いろいろな施工条件に対応する即ち「複合したシステムを組み合わせる」ということが所以であり、システムの総称です。

その代表的なものをあげると次のようになります。

- ①CMT 岩盤推進システム
- ②CMT 玉石・砂礫地盤推進システム
- ③CMT 超軟弱・流砂地盤推進システム
- ④CMT 長距離推進システム
(フローティングシステム)

表-1 施工推進延長 (m)

径	施工延長	岩盤施工延長
800	26,646	18,807
900	14,233	7,814
1000	50,353	21,972
1100	11,815	2,829
1200	9,341	6,533
1350	10,490	6,748
1500	2,067	623
1650	1,358	921
1800	461	
2000	97	
特殊	230	230
	127,091	66,477

2009年12月現在

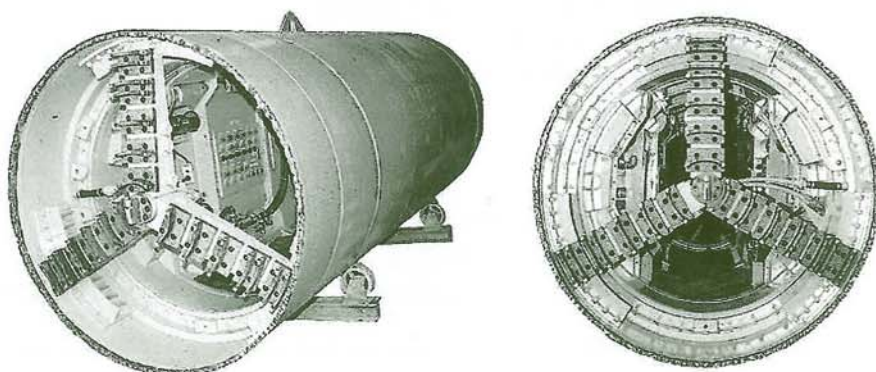


写真-1

- ⑤CMT 曲線推進システム
- ⑥CMT 切羽障害物撤去推進システム

これらのシステムの一つとして岩盤推進システムがあり、その概要と特長は以下のとおりです。

3 概要と特長

3.1 CMT岩盤推進システム

【特長1】

機内からビット交換ができます

CMT岩盤推進システムにおける複合掘進機は、機内からのビット交換を可能にしたことが最大の特長です。このことにより、非常に硬い岩盤推進においてもビットの磨耗による推進延長の制限は払拭されました。推進管の耐荷力をもつ限り岩盤内でも長距離推進が可能です。硬い岩盤を掘削・破碎しなければならない岩盤推進では『ビッ

トの磨耗』が最大の問題です。優秀なビットを取付けても、岩質によっては数10メートルの掘削によりビットが磨耗し掘削が不能になります。交換ができなければその時点で推進工は中断となります。

CMT岩盤推進システムでは、掘進機先端の点検扉を開き、カッターヘッドの裏側からビット交換をします。すなわち、CMT岩盤推進システムでは『推進可能な距離はビットの寿命に左右されません』。なお、岩盤推進においても切羽面からの湧水がある場合が多くあります。湧水量が多い場合は、掘進機内からの圧気工法などにより湧水量を減少させてビット交換を行います。そのための『圧気システム』も完備しております。

【特長2】

半岩半土地盤も掘進できます

一つのスパンの中に岩盤区間と土砂

区間が混在すれば、その境目においては半岩半土区間があります。また、岩線付近での推進でもこのような状態が多々あります。上下、左右の半岩半土状況においての方向制御は困難を極めます。岩盤推進に於ける難しさの一つです。CMT岩盤推進システムにおける複合掘進機は『低反力型のゲージカッターを採用して岩盤から受ける反力をおさえ、且つ、カッターヘッドの長さを機径以下に設計することにより操縦性を高め』半岩半土地盤での方向制御を可能にしました。

【特長3】

軟岩から硬岩までも掘進できます

岩質に最適な多種多様なカッターヘッドで圧縮強度20MN/m²以下の軟岩

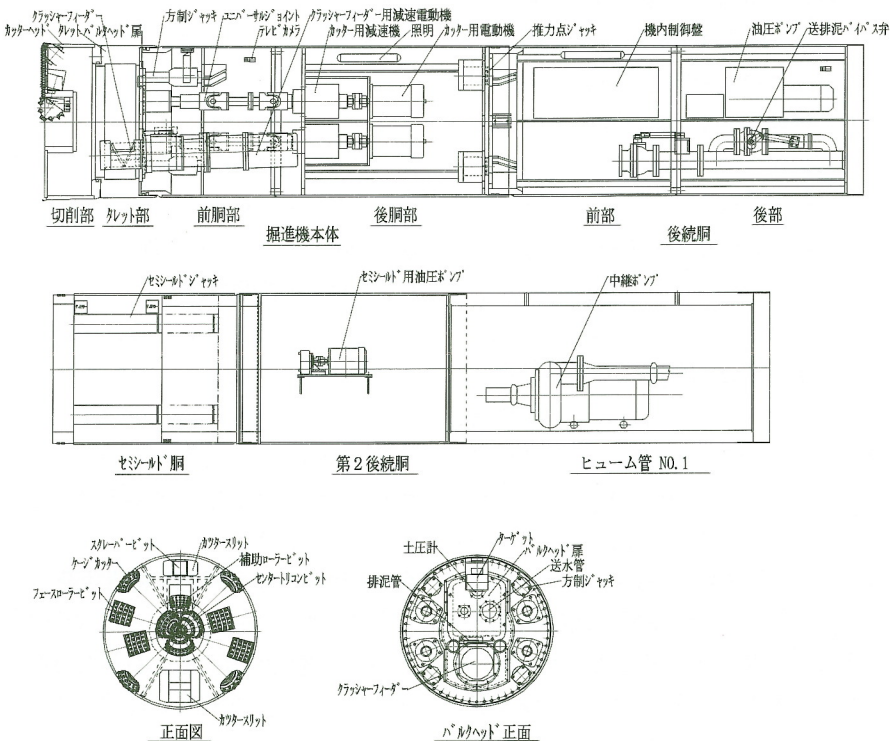


図-1

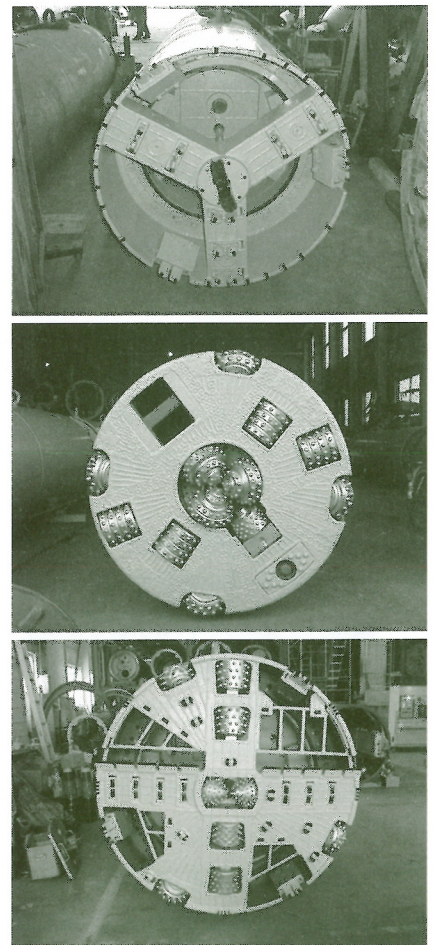


写真-2 岩質に最適な多種多様なカッターヘッドで

は切削型カッターヘッドで、圧縮強度20MN/m²以上の軟岩・中硬岩はローラ型カッターヘッドで、軟岩と硬岩を両方含む複雑岩盤にはマルチ型カッターヘッド、圧縮強度300MN/m²を超える超硬岩には特別仕様のカッターヘッド、また、圧縮強度ばかりではなく、岩盤を構成する岩質や成分によって、ビットに装着するチップの性質や型式の選択が可能です。超硬質の流紋岩や粘りてしかも硬い溶岩などの掘進実績も豊富です。

**【特長4】
岩盤曲進ができます**

中硬岩以上の岩盤推進の方向制御は土砂と異なり、いろいろ難しい技術が要求されます。いわんや、岩盤内で曲進することは非常に難しく、操縦性に優れた岩盤掘進機と高度に熟練したオペレータが不可欠です。複合掘進機はカッターヘッドが短く、掘進機本体胴は機長が長く、しかも多関節機能を持たせてありますから、安定性が高く操縦性に優れています。即ち、カッターヘッドが短いと容易に方向を変化させることができます。

また、掘進機前部の方向制御ジャッキと後尾部の推力点ジャッキを連動操作させることにより多関節機能を作動させて安定した高い曲進精度を保つことができます。

3.2 CMT式掘進機の特長

(1) 工法の選択が可能ですすべての土質条件・施工条件に対応できます

掘削設備、排土設備、推進力低減設備、補助工法設備などの組合せ・選定により、超軟弱地盤から岩盤まで、単一層地盤から互層地盤までのあらゆる地盤に対応できるほか、推進距離・急曲線・推進深さ・障害物など施工条件に最適のシステムを構築して工事を完遂します。

(2) 切羽の点検・ビット交換・障害物除去が可能です

小口径（管径φ800mm）といえども、切羽の点検扉を設置することができます。バルクヘッド中央部に大型の点検扉を設置することにより、岩盤・玉石掘削時のビット交換、面板の点検・修理、シートパイル・杭基礎・流木等の障害物除去、が可能です。湧水のある場合は、補助工法（薬液注入工、圧気工法等）の併用により切羽の点検等が可能です。

(3) 方向制御がしやすく高精度の施工ができます

カッターヘッドの寸法を短くしているので、微少な修正が可能です。多関節構造とし前部の方向制御ジャッキと後部の推進力点ジャッキとで、2段階の修正方式を採用していますので安定した方向制御・急曲線推進が可能です。掘進機の先端部にターゲットなど測量機能と制御機能を備えておりますので、高精度の推進が可能です。

(4) 機体の軽量化・後方重心位置が自沈・地盤沈下を生じさせません

複合掘進機は殻構造設計による軽量化と、機体中央部に機体重心を置くことに成功したことに加えて、モノスリットにより取込み量の完全制御の結果、超軟弱地盤での掘進機の自沈・先端降下（ノーズダウン）や土被りの少ない施工での地表変位を最小に抑えます。

(5) 安全・迅速を重視した設計です

機器の点検・確認測量などの作業以外は坑外からの遠隔操作（φ800～1350mm迄）で運転しますから坑内は無事です。操作は、全てシーケンス（コンピュータ）制御、押ボタン方式を採用し、短期間の訓練で運転操作ができるよう極力簡素化をしています。また、主要機器は全て本体及び後続胴に組みこむ構造なので発進到達等の作業は簡単です。

4 ビットの破損及び交換について

岩盤推進で必要最小限の条件は何かと問われれば我々は即座にビット交換が可能な機種でなければ仕事できないと答えるでしょう。過去三十年近く岩盤推進に取り組んできて、岩盤という地質の変化は一般土質の変化と同様か、むしろそれ以上に激しいと考えられます。砂岩頁岩層では、割と安定したものは期待できますが、それ以外の岩盤では高々100m程度であっても強度、節理等がコロコロ変化し、時に数十mでビット交換ということもありました。この様な事例からも、土砂と異なり岩盤の場合は交換作業ができないことはそれ以上の推進が不可能であるということです。ビットの寿命を〇〇mと設定しても岩盤が変化すれば変わってしまいます、故にビット交換用立坑の決定は非常に難しいことになります。

ここに実施工事に於けるビット交換の経緯を紹介します。

工事名：公共下水道工事松平2号
汚水幹線築造工事
(平和第1工区)

発注者：豊田市下水道部
呼び径：1100

施工延長：L=447m 河川横断

4.1 ビット交換状況

ヒューム管58本推進時急な推進力上昇と機体の振動の激しさよりオペレータは異常を察知し運転停止の後、切羽を点検するとビットの脱落、折損が発見され直ちにビット交換の準備作業に取り掛かる。

4.2 ビット交換時切羽岩盤状況

全体に白さが強く感じられる花崗岩である、花崗岩はおもに石英と長石からできており黒雲母を含んでいるのが普通でありゴマ塩のような模様をしている。これまでの豊田市の花崗岩は斜

長石が多く色合いも茶系の強い花崗岩であったが、今回は石英斑岩に近いと思われるほど石英分が多く白さが強い、このことは掘削土よりも明らかで透明度を持つ石英の多く含んだ岩片が多量に搬出されています。石英分が多いとビットの磨耗が激しいとされていますがこのことは今回の150m程度の推進距離にしては損耗の激しさの事実が証明されているように思います。また、現場推進状況から岩盤のRQDも高く80%以上の状態が続いていることも途中での点検から確認されました。

4.3 ローラビットにおける岩盤掘削

一般に30MN/m²以上の岩盤の掘削には、ディスクカッタかローラビットが使用されます。ディスクカッタは算盤玉のような形をしていて岩面押し付けてカッタヘッドを回転させるのでディスクカッタは線で岩を破碎していきます。したがって、均一な軟岩やRQDの低い岩盤の掘削には適するが硬岩やRQDの高い岩盤には適しません。本来はシールド等大口径のトンネル用でディスク径も大きく1個当たり1000KN程度の押付力を加えて、初めてその性能を発揮するものです。

これに対して、ローラビットは超硬チップの先の点で岩を破碎して行きますのでディスクカッタほどの大きな押付力を必要としません、このことは、沖積層の岩盤の施工が多いこと、いわゆる岩盤と普通土との互層部での施工が多い点を考えると、方向制御のコントロールも取りやすく利点が多いことよりCMT工法協会ではローラビットを岩掘削に採用しています。

4.4 ローラビットの構造

ローラビットは所定の位置に一定の間隔で超硬チップが圧入されています。超硬チップはタングステンカーバイドの焼結合金でダイヤモンドにつぐ硬さをもち、耐磨耗性の強い事が知ら

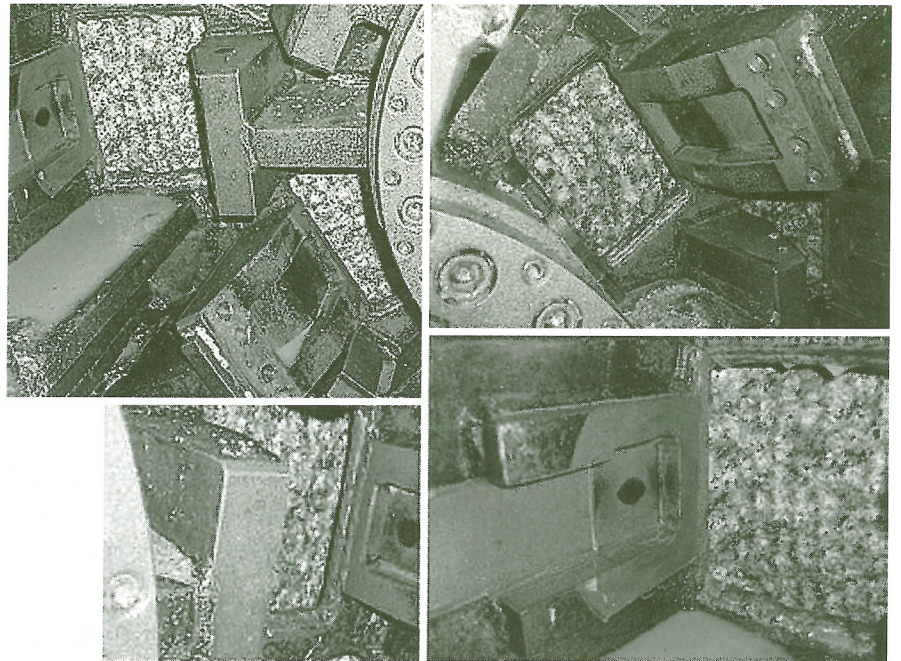


写真-3 平成16年6月14日 ビット交換時ヒューム管58本目切羽状況ローラビット取り外し後切羽の花崗岩状況により推察して白さが強く石英分が多量に含んでいることが伺える

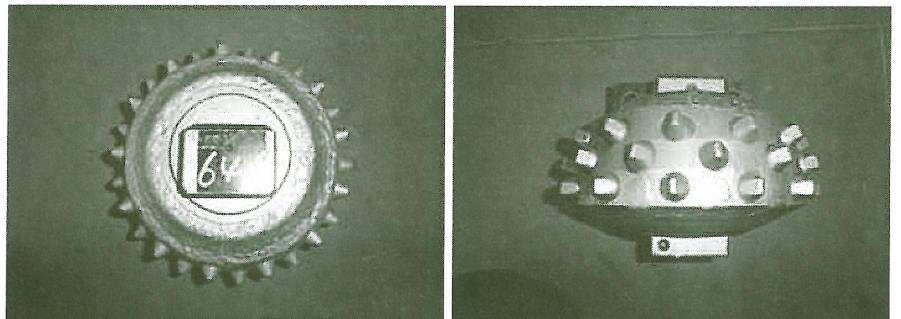


写真-4 ゲージカッタ3列

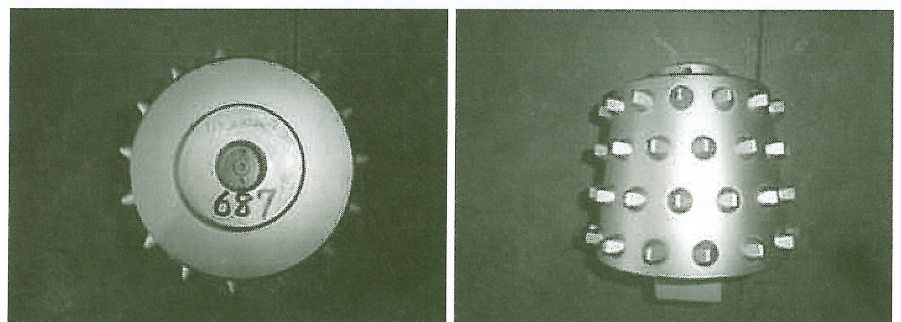


写真-5 フェイスローラ4列

れダイヤモンドの代用として鉬山土建用工具として開発されました。

この超硬チップがチップの径よりもわずかに小さい下穴に油圧で圧入してカシメられて、仕上げられています。通

常ビットメーカーは材料はじめ焼入れ硬度やチップの仕上げ等、また、下穴加工等厳密なる管理の元で製品を作っておりますが、岩種、岩盤強度等によりビットの損耗度合いは大きく変化します。

4.5 ビットの損耗について

ビットの損耗については、折損及び脱落の2種があります。

ビットの折損という現象は

- ①岩盤強度に節理、硬軟がある場合や、軟い岩盤から硬い岩盤に入るときに起こりやすい
- ②金属の踏みつけ等によってもこの現象が発生します
- ③均一な掘進機のスピードコントロールがとれない場合も結果として急激な押し付け力がビットの割れ欠けにつながります。

ビットの脱落という現象は、

- ④ビットの圧入される母材強度の不足
- ⑤適正な圧入力未確保
- ⑥連続衝撃荷重による母材の疲労

以上6点のことがビット損耗の要因と推定できます、これらの点について検証しますと、

- ①については現在推進施工の岩盤強度はほぼ高い強度で均一と判定できる

②については岩盤中に金属があるとも考えにくく部品の脱落も起きていない

③については当初よりコントロールの難しさが予想され元押ジャッキに微速度ポンプを設置し掘進速度を2mm/毎分程度のコントロールが取れるようにしています

④ビットの圧入される母材強度の不足についてはメーカ提出の「検査成績表」により焼入れ硬度等チェックするが異常性はなかった

⑤適正な圧入力の未確保についてはメーカ提出の「検査カード」により穴仕上げ精度チップ仕上げ精度等確認異常なし

上記の加工外として現場使用に伴い母材磨耗の進行によりチップの保持力が不足することがあります、通常シノウノーローと言って母材の磨耗により圧入面積が不足し衝撃等に対してチップが耐えられず抜け出すことで今回の交換したローラビットにはその現象は

見られませんでした。

⑥連続衝撃荷重による母材の疲労については、現場の岩盤強度、節理の有無(RQD)に応じてカッタの押付け力等がかかわる項目であります

実際の施工では常時岩盤強度、節理の状態等を確認することは難しく、設計時点の資料及びこれまでの経験、特にその地域での施工実績があればその運転状況を最重要視して施工管理を行います。

今回の設計時点の岩盤強度はボーリング資料による131MN/m²となっていること、及びこれまでの豊田市の工事实績等より判定し決定した掘進機の押付け力の数値とビットの実際可能な押付け力の数値にずれがあったように感じています。

その一つは、これまでの花崗岩と異なり石英分の多いどちらかと言うと石英斑岩に近いような節理の少ない高強度の岩盤であったこと、二つ目として普通数10mで強度の変化や節理の変化があることが、これまでの豊田市の岩盤の性状であると思い込んでいた点がビットの折損、脱落を引き起こした要因と考えられます。

4.6 ビットの破損状況より

岩強度の推定

ゲージカッタの破損状態がひどくチップの脱落及び折損が全体のビットに与えた影響は非常に大きい。カッタの回転中にゲージカッタのチップの脱落により、抜け落ちたチップをつぎのゲージカッタが踏みつけチップを破損させることが連続したと考えられます。同様にフェイスローラビットも外周側配置分は脱落チップが岩盤とローラビットに挟まれその反力によりローラビットの軸受けが破損したと推定できます。このことは岩盤強度の高さを推定出来ることと言えるでしょう。

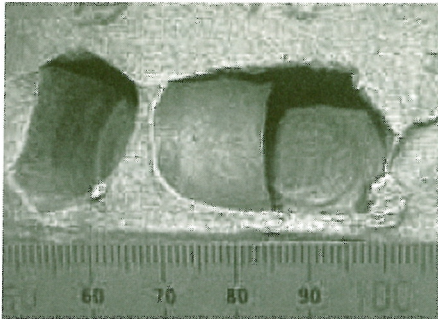
ビットメーカの試験よりも明らか



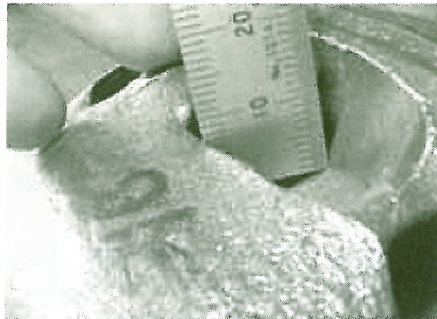
写真-6 チップ抜け部



写真-7 チップ欠損部



写真一8 座掘部 (チップで押されて座掘した後と思われる)



写真一9 平成16年9月21日ビット交換に伴う岩盤強度測定

なようにチップが岩盤とローラのボディーに挟まれ大きな刻印が付くほどの現象からして200MN/m²程度の岩盤強度がなければこのような状態がおこしにくいとも考えられます。

ローラビットの最大の利点はディスクカッターが押付力による線による圧壊に対して点による衝撃、圧壊により岩盤を効率よく破壊さす効果があります、しかしこの事は逆にチップに大きな力が連続して加わり、脱落及び折損につながる危険性があります。

掘進機メーカーとしては、岩盤掘削に対しディスクカッターを使うかローラビットを使用するかの選択をしなければなりません。CMT工法協会は、この問題に対しあえてローラビットの採用に踏み切りました、その理由は、ディスクカッターは押付け力が大きく掘削面土質が硬岩と軟岩の互層になったり、極端に岩と普通土の互層となった場合軟い方に流れてしまう傾向が出ることは避けて通れません、しかし、ローラビットは衝撃圧壊により小さな押付け力で岩を破碎することが可能となります、このような推進工事において重要な機体コントロールの理由により、CMT工法協会では、ローラビットの採用に踏み切ったわけです。

現在の推進工事では、一般に沖積層部における岩盤推進が多く豊田市でも、これまで花崗岩層の推進を10箇所以上施工して参りましたが、今回の

ようなRQDの高いまた圧縮強度の高い岩盤が続いたことはありません。もちろん、ローラビットのチップの脱落が今回のごとく多発したことはありません。

4.7 岩盤強度の測定

現在の岩盤強度を確認するため掘進機機内より、シュミット・ロックハンマによる測定を実施しました。

ビット交換時に、ローラビット等のはずした位置にて測定を実施するが、狭い中での計測ゆえ姿勢も悪くデータとしては低めのものになることは予測できる状況です。

4.8 測定結果

次のデータのように10点の計測を実施しました。

平均反発度は、

表一2

計測点数	反発度
1	69.5
2	55.5
3	48.5
4	61.0
5	54.0
6	64.0
7	63.0
8	60.0
9	57.5
10	63.0
計	596.0

平均反発度 X = 59.6

シュミット・ロックハンマ反発度と静弾性係数との関係図及び岩石テストピースにおける乾燥一軸圧縮強度と静

弾性係数との関係より、
 $\log Z = (0.0331X + 1.5112) / 1.0782$

Z = 乾燥一軸圧縮強度 Kgf/cm²

X = シュミットロックハンマ反発度

平均反発度 59.6 より平均強度を求めると

Z = 1703 Kgf/cm² (170 MN/m²)

4.9 総括

今回のビット交換に伴う切羽の岩盤の確認及び岩盤強度の計測等より推定して、施工中の岩盤の性状は、RQD100% 岩盤強度 170MN/m² 以上と位置付けるのが正常ではないかと考えられます。

5 おわりに

今回はCMT工法における岩盤推進について、工法の説明と特長をまとめると同時にビット交換について触れたものが過去に見当たらないので取上げてみました。実際のビット交換は狭い中での作業であり言葉では言い尽くせないほどの過酷な作業ですが、特に、今回は作業手順ではなくビット交換に至る原因追究についての報告としました、各社使用ビットの種類等も異なり全てに通用するものではありませんが、一つの参考にしていただければ幸いです。