

解説

進化した推進技術

岩盤などの 高強度、高硬度への対応進化

さとう とおる
佐藤 徹

(株)イセキ開発工機
工事本部副本部長
(本誌編集委員)



1 はじめに

私は「ここまで進化した推進技術」特集で、地山・地盤への挑戦と題して、推進技術の進化と現状について述べてきた。

そして、克服されていない掘削困難な地山として、次のようなものを取り上げ、どのように進化・発展しているかについて記述している。

- ①崩壊性の高い地山、巨石地盤
- ②岩盤地盤
- ③粘土、砂、礫、岩盤層が混在する複合地盤
- ④土以外の地中物
- ⑤腐食土層などの軟弱土

3年目の今回は、この内の、高強度、硬度の掘削技術が必要とされる、②岩盤地盤、④土以外の地中物について、推進業者、掘進機メーカー等の取り組み例と著者の意見を述べながら、さらに掘り下げて、今後の推進技術の発展性について述べてみたい。

2 岩盤推進のための地質調査と留意点

推進工事が対象とする地山は、まず岩盤と土砂などの土質地盤に分けられ

る。ここで岩盤とは、岩石の集合体が連続して分布している地層である。層や割れ目のないものを想像しがちであるが、亀裂、層境や破碎帯などを包含したものも岩盤と称している。特に日本の岩盤は、プレート運動などの地殻変動によって堆積した付加体の影響などもあり、断層や亀裂が不規則に発達していることが特長である。したがって、日本における岩盤推進については、岩盤亀裂、層境や破碎帯に対しても十分考慮した施工が求められる。

岩盤の掘削効率を左右する特性には、強度、硬度（鉱物構成）、割れ目の間隔と方向がある。強度についての尺度は、一軸圧縮強度、圧裂試験、点载荷試験など、硬度についての尺度については、岩石中の鉱物構成、モース硬度や石英含有率、割れ目の間隔と方向には、弾性波探査などの物理探査、ボーリング調査によるRQDや調査坑による目視調査が利用される。

表-1に代表的な岩石の硬さによる区分¹⁾、表-2に主な火成岩の平均化学組成²⁾を示す。岩盤分類については、道路系と鉄道系、その他分野（電力、水路トンネル、農水関係など）で異なる岩盤分類が用いられているので

留意が必要となる。表-1で区分している軟質岩、中硬質岩、硬質岩の区別は、道路トンネルにおける地山分類で、新鮮な状態で、一軸圧縮強度が80N/mm²以上が硬質岩、20～80N/mm²が中硬質岩、20N/mm²未満が軟質岩である。また岩石中の鉱物構成では、ビット摩耗に大きく影響する石英（SiO₂）含有率に注目する必要があるが、表-2からは岩盤推進では花崗岩、流紋岩に留意する必要があることが分かる。

3 岩盤に適合する掘削方式

推進工法における代表的な岩盤に適合する掘削方式を表-3に示す³⁾。この表は、月刊下水道で1994年8月号の特集「岩をも穿つ推進工法」で掲載されていた表を本誌Vol.24. No5(2010年5月号)で特集した「岩盤に挑む、推進技術」での推進業者、メーカー等の見解を元に加筆修正したものである。岩石、岩盤を掘削する掘削方式は、切削方式、圧砕方式、圧裂方式、打撃方式に分けられる。各々の掘削方式の掘進機写真例を写真-1～4に示す⁴⁾。

この表の中では口径の大きさの相違を区分けしていないが、TBMのよう

表ー1 代表的な岩石の硬さによる区分

新第三紀の堆積岩 (新第三紀は2,500万年前～200万年前。500万年前以前を中新世、以後を鮮新世という)	泥岩 頁岩 砂岩 礫岩 凝灰岩 火山礫凝灰岩	軟質岩 軟質岩～中硬質岩 土 砂～中硬質岩 軟質岩～中軟質岩 軟質岩～硬質岩 軟質岩～硬質岩	(代表的な軟質岩) (グリーンタフ、大谷岩など)
古第三紀の堆積岩 (古第三紀は7,000万年前～2,500万年前)	頁岩 砂岩 礫岩	中硬質岩 中硬質岩～硬質岩 中硬質岩～硬質岩	
中生代・古生代の堆積岩 (中生代は2億2,000万年前～7,000万年前。古生代は6億年前～2億2,000万年前。秩父帯、四万十帯は代表)	頁岩 粘板岩 千枚岩 砂岩 礫岩 チャート 石灰岩 凝灰石	中硬質岩 中硬質岩 中硬質岩～硬質岩 硬質岩 硬質岩 硬質岩 硬質岩 中硬質岩～硬質岩	(変成作用で石英が多いものは特に硬質) (緑色岩、シャールスタイン等)
火山岩	溶岩 火山角礫岩 凝灰角礫岩 火山礫凝灰岩 凝灰岩 溶結凝灰岩	硬質岩 硬質岩 軟質岩～硬質岩 軟質岩～硬質岩 軟質岩～硬質岩 硬質岩	(岩質により、流紋岩、デイサイト、安山岩、玄武岩に区分される)
貫入岩 (岩脈、岩板など)		硬質岩	(流紋岩、デイサイト、安山岩、玄武山、石英斑岩、_岩、粗粒玄武岩など)
深成岩		硬質岩	(花崗岩、花崗岩閃緑岩、閃緑岩、斑れい岩など)
変成岩	結晶片岩 ホルンフェルス 片麻岩 蛇紋岩	中硬質岩～硬質岩 硬質岩 硬質岩 中硬質岩	(山岳地帯に存在)

な大口径の掘進機と中小口径掘進機では、岩盤に対する掘削方式の選定に相違がある。大口径掘進機では、スペースが確保できるためビットの交換が比較的容易であり、ローラカッタも外径が大きいものを装着できることから、硬質岩に対しては、圧裂方式（ディスクカッタ）を使用することが多い。しかし、中小口径掘進機では、圧砕方式（ボタンビットなどを埋め込んだローラカッタなど）の採用が主流である。中小口径では取付けられるローラカッタの大きさに限度があることや構造制限から片軸型カッタで軸強度が低いカッタが取付けられるため、カッタにかけられる推進力が小さくなる。その少ない推進力で効果的に掘削するためには、点で圧砕できるボタンビットが適しているためであると考えられ、トリコンビットのような形式のビット配

表ー2 主な火成岩の平均化学組成（wt%）（R.A.Daly,1933）

	花崗岩	閃緑岩	流紋岩	安山岩	玄武岩
Si O ₂	70.18	56.77	72.80	59.59	49.06
Ti O ₂	0.39	0.84	0.33	0.77	1.36
Al ₂ O ₃	14.47	16.67	13.49	17.31	15.70
Fe ₂ O ₃	1.57	3.16	1.45	3.33	5.38
Fe O	1.78	4.40	0.88	3.13	6.37
Mn O	0.12	0.13	0.08	0.18	0.31
Mg O	0.88	4.17	0.38	2.75	6.17
Ca O	1.99	6.74	1.20	5.80	8.95
Na ₂ O	3.48	3.39	3.38	3.58	3.11
K ₂ O	4.11	2.12	4.46	2.04	1.52
H ₂ O	0.84	1.36	1.47	1.26	1.62
P ₂ O ₅	0.19	0.25	0.08	0.26	0.45
合計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

置を採用しているものが多い。

圧砕方式を採用するのは、ビット摩耗の激しい岩盤では耐用延長を長くするためでもある。ローラカッタの損耗は、ローラビットの母材の摩耗によるボタンチップの抜けだし現象によるも

のがほとんどであることから、近年では、浸炭焼入れ処理を施したビットが使用されることでさらに耐用延長を伸ばすことが可能となっている。またボタンチップ等のチップが飛び出したローラカッタの損耗は、ボタンの配列