

わが国の礫地山の 泥水式推進工法に関する状況について

キーワード

岩盤推進技術, 破碎型掘進機, 玉石砂礫層, 岩盤層

島田 英樹

SHIMADA Hideki

九州大学
大学院工学研究院教授



1. はじめに

近年、推進工法は玉石砂礫層や岩盤層を含む土質への適用性の拡大が望まれていることから、推進工法においても効果的な破碎メカニズムを有した掘進機の開発が必要とされている¹⁾。しかしながら、その多くは事前調査のサンプリング数の少なさや不明瞭さなどから現場経験に頼っているのが現状で工学的な検証や実態の把握はまだ不十分と考えられる。そこで、本報告では、岩盤推進に関する実状および今後の動向について論じる。

2. 破碎型掘進機による破碎メカニズム

2-1 巨石・岩盤層での破碎型メカニズム

一般的な巨石・岩盤層での破碎のメカニズムは大別して以下の通りである。

- ① 押付け力による破碎……ローラービット等を玉石や岩層に押し付けることで破碎
- ② 楔効果による破碎……岩部にディスクを押し付けることで、楔効果により破碎
- ③ 表面剥離や小破碎チッピングの繰り返し工程によ

る破碎……玉石・岩の表面を小破碎の継続を行いながらクラックを促進させる破碎

④ 玉石・岩片の衝突破碎……カッター回転による切羽前面での破砕片や玉石の衝突を期待した破碎

⑤ カッター回転の衝撃力による破碎……カッター回転力により、衝撃力が発生することでの破碎

このような背景から、巨石等の破碎はせん断力と衝撃効果を組み合わせた破碎と考えることができる。

次に巨石の破碎メカニズムの概念図を図-1に示す。この図に示すとおり、礫や岩の破碎パターンは①表面破碎から開始され、剥離は弱点部が中心に斜面すべり状に破碎が進行する。②V字割裂が進行して大破碎に至る。③カッター回転による衝撃力や破砕片同士の衝突破碎が発生して大割される。これらの破碎メカニズムは、長い経験を有するTBMやシールド工法の実績から分かっている。

2-2 ローラービットによる礫破碎

プロトジャコノフの実験による礫の断面積と圧縮荷重の関係や「コマツ」が昭和52年、昭和58年の2回実施した礫破碎実験の比較グラフ²⁾を図-2に示す。この図に示すとおり、「コマツ」の実験式からはプロトジャコノフの実験式にみられるような礫の破碎断面

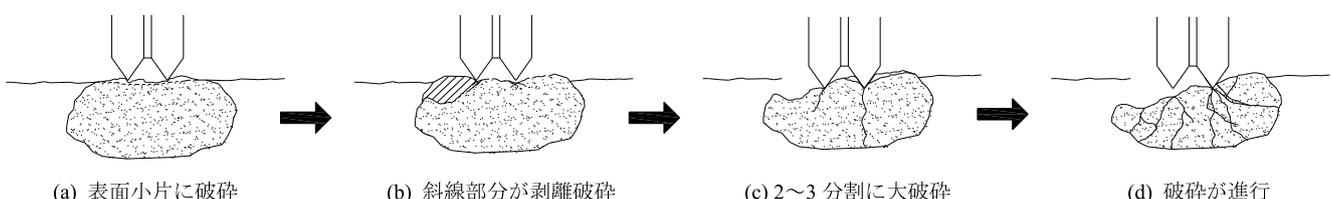


図-1 巨石の破碎進行メカニズム概念図（楔効果による破壊）

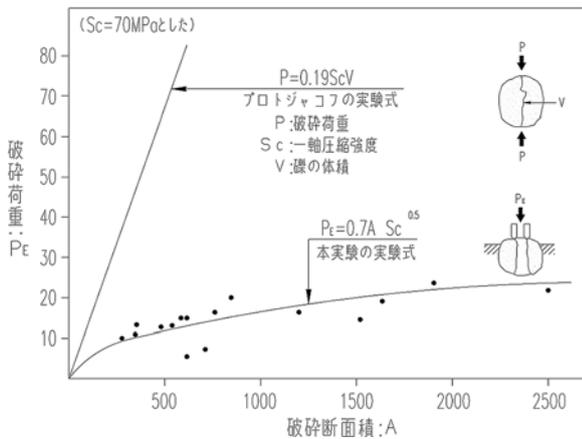


図-2 礫断面と圧縮荷重の関係

の増加と破砕荷重の比例関係とはならないことが分かる。この実験結果から破砕断面が5倍となったときに必要な破砕荷重は2倍程度となっており、小さな圧砕力で破砕されることが分かっている。また、ローラービットの礫破砕時の転動抵抗力(水平力)は垂直荷重の30%を示し押し付け力よりかなり低い荷重で破砕に至ることが分かっている。そのグラフを図-3に示す。

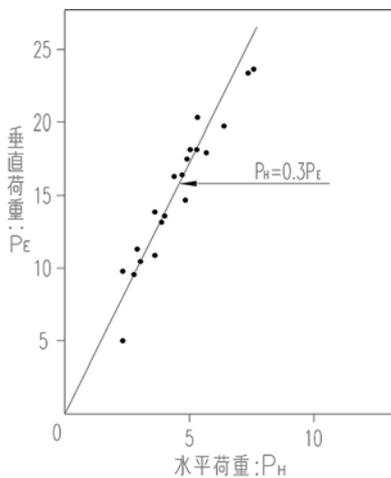


図-3 転動抵抗力(垂直・水平力)の関係

次に、点荷重と一軸圧縮強度の関係を図-4に示す³⁾。この図に示すとおり、円柱状の岩石試料に対し、直角方向に60°の挟み角と接触先端部を5mmの曲線半径の最荷球で加圧した場合、試料に対して効果的に引張応力が発生して比較的低い荷重で破断されるとの見解が示されている。この実験結果から効果的な破砕を行った場合、岩盤は一般の一軸圧縮強度より非常に小さい荷重で破砕に至ることが確認されている。

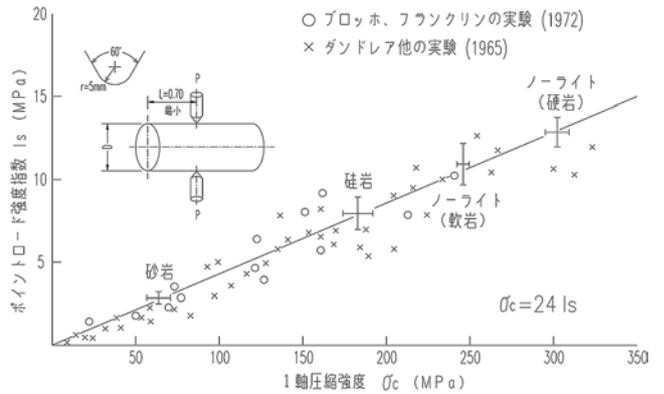


図-4 ポイントロード指数と一軸圧縮強度の関係³⁾

さらに歯先の挟み角に着目すると図-5に示すとおり、100°の挟み角より70°と鋭角な挟み角の方が切り込み量が深いことが分かる⁴⁾。以上のことからローラービットにおいては、60~70°の挟み角を有した歯先が効果的であることが分かる。

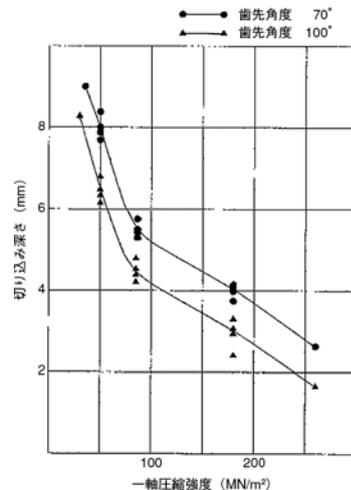


図-5 一軸圧縮強さと切り込み深さの関係⁴⁾

3. 破砕型カッターフェイスの形状別の掘進速度の実態

過去の実験において同一地盤における泥水式破砕型掘進機のカッターフェイスの形状の違いによる掘進速度の調査を行った⁵⁾。対象掘進地盤は①コンクリート(一軸圧縮強度33.3MPa)、②コンクリート(一軸圧縮強度81.5MPa)、③巨石(φ700mm、一軸圧縮強度130MPa)の3パターンで実験を行った。使用した面盤フェイス型掘進機を写真-1に、ビット単体型掘進機を写真-2に示す。この写真に示すとおり、面盤フェイスの場合は、ビット突出率、面盤開口率が小さく、ビット単体型は逆にそれぞれ大きい形状となって



写真-1 面盤フェイス型：破碎型掘進機



写真-2 ビット単体型：破碎型掘進機

いる。

実験の結果を表-1に示す。この結果に示すとおり、いずれの岩盤においてもビット単体掘進機の掘進速度が1.5倍ほど速いことが分かる。このことは、突出率、開口率を大きくすることでローラービット全体が岩内に挿入され、効果的な破碎が可能となるが面盤型はビット突出率が30%程度しかないため、破碎効率が悪くなっていることに起因している。ただし、過去の経験から掘進機カッターフェイスの保護の観点からは面型の方が優位と考えられている。

表-1 破碎型カッターフェイスの形状の違いによる掘進記録

	面盤フェイス		ビット単体型	
	掘進速度 (mm/min)	カッタートルク (A)	掘進速度 (mm/min)	カッタートルク (A)
①コンクリート (qu = 33.3MPa)	12	22	18	22
②コンクリート (qu = 81.5MPa)	9	26	15	28
③巨石 (花崗岩 qu = 130MPa)	8	26	12	28

4. ボタン型ローラービットの摩耗状況の実態

ボタン型ローラービットによる掘削は、カッターヘッドの回転により地山に押し付けられたボタン型ローラービットが自転することで掘削断面に万遍なくボタンを打撃破碎することにより行われる。岩盤の掘削では、岩盤を打撃する超合金チップ部が摩耗し、超合金の摩耗は岩の強度、石英の有無、SiO₂の含有量によって異なり、ローラービットの摩耗箇所は岩盤の種類によって異なる。

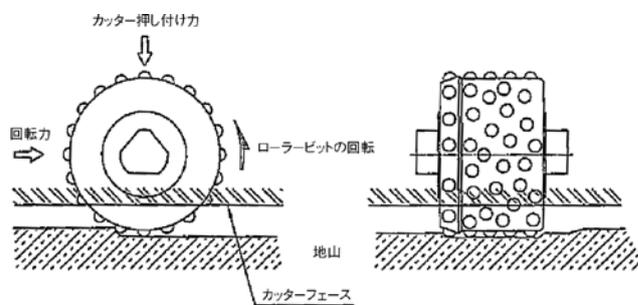


図-6 岩盤の破碎進行メカニズム概念図 (カッター回転の衝撃による破碎)



図-7 ボタン型ローラービットの摩耗の経過

表-2に過去の岩盤掘削の施工におけるローラービットの摩耗量測定結果例を示す。外周ローラービットと内周ローラービットを比較すると、摩耗量に差が

表-2 ボタン型ローラービット摩耗量測定結果

	摩耗量 (mm)		
		チップ	母材
内周ローラービット②	外側	1.8	1.6
	内側	1.3	0.1
外周ローラービット⑨	外側	4.2	6.4
	内側	3.3	6.2

推進距離：330 m
土質：粘板岩、安山岩、礫岩
岩盤の一軸圧縮強度：最大150 MPa、平均70 MPa

あるのは、カッター1回転におけるローラービットの転動距離が異なるためである。しかし、ボタン型の超硬合金チップと母材の摩耗量比に着目すると、外周ローラービットの母材の摩耗量は超硬合金チップ部を超える摩耗量となっている。これは、岩盤を掘削した切削片が掘進機下部に沈降滞留することが起因している摩耗であると判断できる。他の施工においても同様なデータ結果があり、外周部のローラービットにおいては、特に母材の耐摩耗性の向上を図る必要があること、掘進機下部に沈降滞留する岩盤掘削片のスムーズな排出が、ビット耐久性にとって重要であることが分かる。

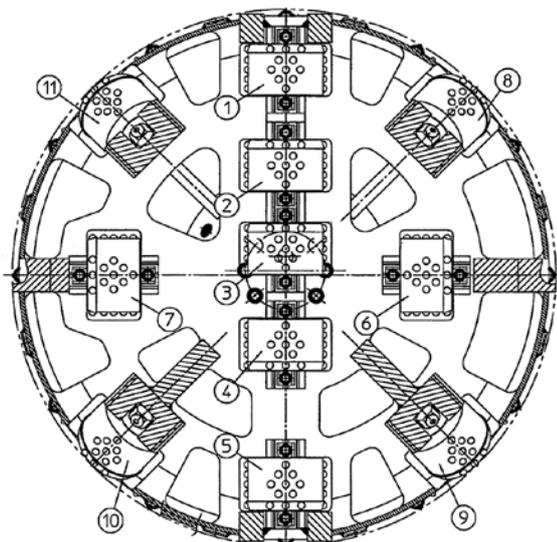


図-8 岩盤用泥水掘進機ボタン型ローラービット配置図

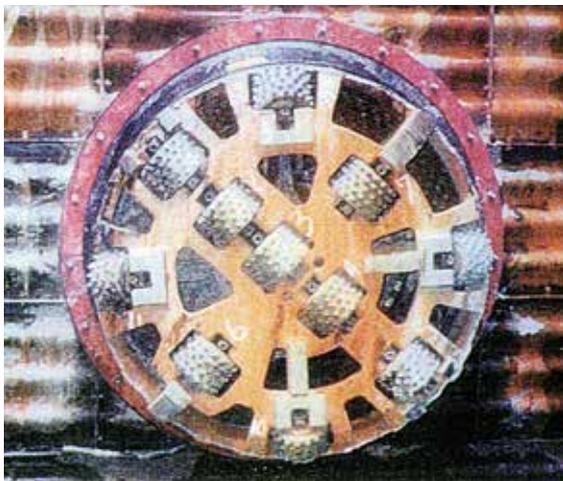


写真-3 岩盤用泥水掘進機アングルモールスパー到達状況

5. 岩盤推進における課題

推進工法が非開削における管路埋設工法の先導的な役割を担ってから既に30年程度経過しようとしている。特に、下水道事業の進展・拡大が各工法の技術的な水準を引き上げ、安定した管路埋設工法へと発展させたことは周知の事実である。

今後、推進工法が適用される用途としては、昨今の雨水災害に伴う浸水防止対策のための地下調整池や貯留管の築造が急務であるため、推進工法とシールド工法の併行工法などが拡大していくと考えられる。一方、下水道普及率が既に70%を越えており、他の生活関連整備に伴う管路の構築においても再構築や改築を除き一段落の傾向にあるため、推進工法の従来からの管理設工法への適用は減少傾向にあると推察される。

このような現状を打破し、推進工法の新たな適用事例として、①シールド管渠内からの分割組立型セグメント推進工、②山岳NATM工法における地盤変状抑止のための先受け対策工、③地下空間構築としてボックス掘進機を活用した水平土留壁の築造工、等の実施工が行われている。このような現場では岩盤推進を対象とした現場が多く認められているため、前述のような課題を克服する必要があると思われる。

筆者らの経験によると、インタクトな岩盤層であれば、ビット寿命に関する問題を克服できればシールド掘進機を模したカッター形状および押し付け力により掘進が可能であると考えられるが、強度の大きな玉石混じりの礫層のような場合、岩盤中に軟弱な地山と礫が認められ、この掘進をコントロールするのが極めて困難であると思われる。したがって、実施工を通じてこのような課題を克服し、岩盤推進技術が確立することを期待する。

6. おわりに

推進工事は、シールド工法に比べて工事規模が小さく、施工期間が短く、市場の拡大が急速であったことなどから技術的な検証はほとんど実施工に委ねられてきた。そのために工学的な検証や理論の構築が後回しとなり、平準化されていないメカニズムも実施工の中でしばしば見受けられる。今後増加が予想される巨礫の混入の多い沖積層や洪積層地盤に対し、従来の考え

方では対応不可能な場合も考えられ、安易な事前の土質調査のみに頼った工法選定や掘進機選定は、大きなトラブルの原因となりやすい。したがって、今後は土質の精査がますます重要となることを再認識すべきである。また、そのような土質に対応するために破碎型掘進機のビット交換距離や急曲線施工能力の検証を引き続き行っていく必要があると考えられる。

(特集・技術記事お問合せ先は本誌77頁に掲載)

【参考文献】

- 1) (社)日本下水道管渠推進技術協会, 2008
- 2) 勝沼清: 第37回「特殊な条件下を掘る」pp.1~2, 日本プロジェクトリサーチ, 1993
- 3) 鈴木光: 岩盤の計測と解析, pp.33~36, 土木工学社, 1982
- 4) 推進工法用設計積算要領「泥濃式推進工法編」pp.226, (社)日本下水道管渠推進技術協会, 2006
- 5) 酒井栄治, 森田智, 島田英樹, 松井紀久男: 第33回岩盤力学に関するシンポジウム pp.391~396, (社)土木学会, 2004

生命の水を守ります。



公益(社)全国上下水道コンサルタント協会 会員
一般(社)管路診断コンサルタント協会 会員

●調査●事業計画●実施設計●施工監理●診断●コンピューター解析



代表取締役社長 山崎 義広

本社/大阪支社	〒530-0005	大阪市北区中之島6丁目2番40号	TEL.(06)6447-8181(代)	FAX.(06)6447-8196
東京本社/支社	〒112-0002	東京都文京区小石川5丁目5番5号	TEL.(03)5976-9060(代)	FAX.(03)5976-9077
西部支社	〒810-0801	福岡市博多区中洲5丁目6番28号	TEL.(092)282-7050(代)	FAX.(092)282-7055
東北支社	〒981-0912	仙台市青葉区堤町1丁目1番2号	TEL.(022)728-7205(代)	FAX.(022)728-7207
中部支社	〒460-0002	名古屋市中区丸の内3丁目13番1号	TEL.(052)684-9300(代)	FAX.(052)684-9301