

総論

巨石・岩盤層の掘削機構の解明 および技術的課題

しまだ ひでき
島田 英樹

九州大学大学院工学研究院
地球資源システム工学部門教授

ささおか たかし
笹岡 孝司

九州大学大学院工学研究院
地球資源システム工学部門准教授

1 はじめに

推進工法は、「刃口、掘進機または先導体に推進管を後続させ、立坑内に設置した推進設備または推進装置のジャッキの推進力により、管を地中に圧入して管きよを敷設する工法である」と定義されている¹⁾。推進工法は、口径によって、呼び径150～700の小口径管推進工法と人間が入ることができる呼び径800～3000の大口径管推進工法に分類されている。推進工法の掘進機（先導体）は、一般に自らの推進装置を持たず、発進立坑で推進管を継ぎ足してジャッキにより管を押しこむことで掘進力を得て進行し、地山掘削は人力あるいは動力（掘削機）で行われる。

推進工法の歴史は、1896年のアメリカ北太平洋鉄道軌道下の排水管横断工事に始まり、これ以後の既設鉄道下の横断鑄鉄管を押し込む工事に採用された²⁾。欧州においては、第二次世界大戦後、1950年代に推進工法の技術は多くの国で用いられ、その中でもイギリス、ドイツ等で積極的に採用された。

我が国では、1948年の国鉄尼崎港線の軌道横断工事（ガス管のさや管としてφ600mmをL=6.0m）に初めて手掘り式（刃口式）推進工法が採用され、この後、中押工法（1953年）、動力式ジャッキ装置（1959年）の実用化、続いて水平掘削機（1963年）の導入、

フロントジャッキング工法およびセミシールド工法（1965年）の開発等の技術革新が成されてきた³⁾。また、シールド工法において、1961年にフランスで泥水式が考案され、1972年に日本で土圧式が開発されると、このシールド工法の技術が推進工法に転用され、1981年には泥水加圧推進工法の開発と施工開始に始まり、1986年には曲線施工能力を飛躍的に向上させた高濃度泥水加圧推進工法が開発された。現在では元押しのみで1,000m、曲線半径10mの施工も可能となっている。一般に、地下構造物の有効径3m程度以下で施工距離350m程度までにおいては、シールド工法に比べて安価な場合が多いため、現在では地下構造物の敷設工法としての地位をほぼ確立している⁴⁾。

これまで、推進工法は都市部やその周辺地域での沖積層を中心に適用されてきた。しかしながら近年、地方都市や山間部に向けてのインフラ整備が増加し、地山条件が従来の沖積層から複合地盤や岩盤層、玉石・砂礫層へ移行し、厳しい施工環境での適用性拡大が求められている⁵⁾。そのため、推進工法において効果的な破碎機構を有した掘進機の開発が必要とされている。現在、巨石・岩盤層等の地盤では面盤タイプの破碎型掘進機が主流であるが、長距離での複合地山や急曲線を含む推進施工では、スリット閉塞による前面抵抗の増大、全面破碎に対応したビット寿命の予測手法

が未確立等、未だ多くの技術的課題を残している。さらに、推進工法の長距離化および施工コスト削減の実現には、このような地山におけるビット寿命の予測手法およびその向上が必要不可欠である。しかしながら、これら施工のほとんどが未だ現場経験に頼った施工管理が行われており、工学的な検証や実態の把握がまだ不十分であると考えられる。

そこで、本論説では、巨石および岩盤掘進に関する現状および検討すべき技術的課題について論じることを目的とする。

2 巨石・岩盤の掘削機構

2.1 破碎型掘進機による破碎機構

一般的な岩盤・巨礫層での破碎機構は大別すると以下のとおりである。

① 押付け力による破碎

ディスクやローラビットを岩層や玉石に押し付けることで破碎

② くさび効果による破碎

岩層や玉石にディスク等を押し付けることで、くさび効果により破碎

③ 表面剥離や小破碎チップングの繰返し工程による破碎

岩相や玉石の表面を小規模に破碎しながら、き裂を発生・進展させる破碎

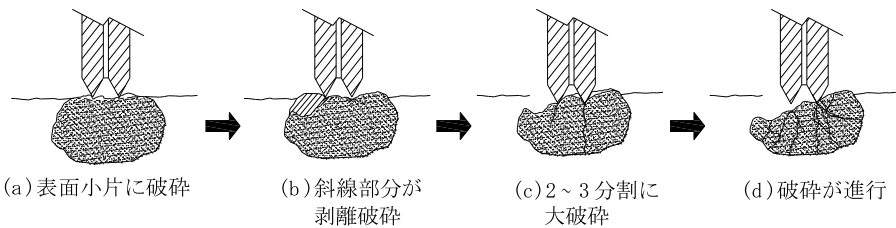
④ 玉石・岩片の衝突破碎

カッタの回転による切羽全面での破碎片や玉石の衝突を期待した破碎

⑤ カッタ回転の衝撃力による破碎

カッタの回転力により、衝撃力が発生することで破碎
以上のメカニズムから、巨礫等の破碎はせん断力と衝撃効果を併せた破碎と考えられる。

① ディスクカッターによる破碎進行過程



② ローラビットによる破碎進行過程

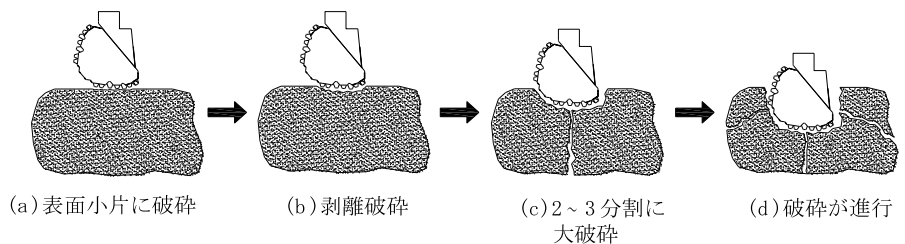


図-1 巨礫の破碎進行過程概念図

次に、巨礫の破碎機構の概念図を図-1に示す。この図に示す通り、礫や岩の破碎は①表面破碎から始まり、剥離は弱部を中心に斜面すべり状に破碎が進行する。②V字割裂が進行して破碎に至る。③カッタ回転による衝撃力や破碎片同士の衝突破碎が発生して大割される。これらの破碎機構は、これまでの長い経験を有するシールド工法やTBMの施工実績から明らかとなっている。

2.2 ローラビットによる巨礫破碎

プロトジャコ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1977年、1983年の2回実施した礫破碎実験の比較グラフ⁶⁾を図-2に示す。この図に示

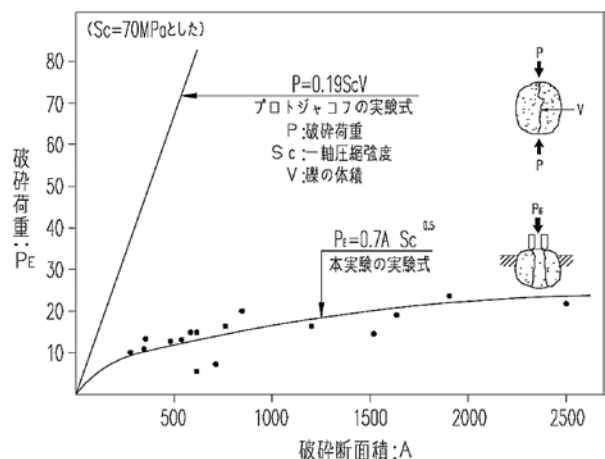


図-2 礫断面と圧縮荷重の関係