

総

論

世界が認めた

我が国の推進工法に関わる 研究課題ならびに今後の展望

—世界が認める推進技術の継承のために—

NO-DIG 2007 AWARD WINNER

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准教授



1 はじめに

今日、都市開発事業において、深度の浅い空洞の開発、維持に関するニーズが急速に高まり、安全かつ効果的に空洞を開発、維持、管理するためには、深度の浅い空洞やその周辺領域の変形・破壊挙動を解明する必要がある。深度の浅い空洞の変形・破壊挙動は、空洞周辺に作用する重力の影響や不均質な地圧、地下水圧の影響が複雑に関係しているため、これらの要因を十分把握した上で厳密に検討しなければならない。筆者は1990年代より石炭鉱山の岩盤掘削に関する研究を行ってきたが、石炭鉱山の閉山に伴いそれまで培ってきた技術や蓄積してきた知見を資源開発の他分野に拡張するために推進工法に関わる研究を開始し、現在、推進工法を対象とした理論、実験および実測による検討を行っている。研究開始当時、泥水加圧式推進工法をはじめとする推進工法を研究テーマとして取り扱われた例は国内外とも極めて少なく、施工中に発生した様々な現象を未だ経験的に解決しているのが実状であったため、これの適用現場の安定性の評価、低推力推進メカニ

ズム、低推力で推進できる泥水の開発などの3つの分野に分けて実験、実測および解析を行い、2007年ローマで開催された国際非開削技術協会でNO-DIG AWARDを受賞した。本報告では、筆者がこれまで実施してきた研究状況、本研究テーマの課題、解決法などに絞って簡単にまとめた内容について示す。

2 推進工法の概要

推進工法は、「推進管の先端に先導体を取り付け、発進立坑内に推進力の反力受けを設置し、ジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して、刃口部で土砂の掘削・搬出を行いながら、順次推進管を継ぎ足して管きよを敷設する工法等」と定義されている¹⁾。推進工法は、内径φ150～700mmの小口径管推進工法と人間が入ることができるφ800～3,000mmの大中口径推進工法に分類されている。推進工法の先導体は、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す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（掘進機）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、その後、中押工法（1953年）、動力式ジャッキ装置（1959年）の実用化、続いてホリゾンタルオーガ（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¹⁴⁾。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500m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施工法としての地位をほぼ確立している³⁾。

推進工法において推進力の確保を可能にするためには、充填材（滑材）とその注入システム、さらにテールボイドの適切な形成と保全、等の技術が必要である。ここで、滑材は推進管外周面と地山の摩擦を減じるため、両者間の境界に注入、充填されるものである。また、テールボイドは推進工程を円滑かつ適正に管理する上で最も重要であり、推進期間を通じての維持・管理が推進工法の成否を左右することは広く認識されている。

推進工法では、掘進機に地下水圧および土圧を受け、この圧力に対して掘進中はジャッキの推進力で対抗している。

しかし、推進管をセットする際、一時的にジャッキを引戻すため、切羽前面に作用している圧力により掘進機・推進管が後退する。このため、掘進機前面に空域が発生し、水圧・土圧に対抗した圧力が保持できなくなり、切羽が崩壊する状況が発生する恐れもある。したがって、テールボイドの確保とともにこのような状況への対応も必要となる。

推進工法は、最近まで工学的に脚光を浴びてこなかったためか、既に数多くの施工実績はあるものの系統적かつ普遍的な検討が見られず、現場経験に依っている部分が多いのが実状であった。また、地山の安定性、低推進力システム、低推力泥水の開発等の多くの未解決課題が残され⁴⁾、長距離化・急曲線化、さらに大深部化の要求に伴い、これらの解明への現場からの要請も大きくなっている。このような背景から、推

進工法においては、推進開始から、推進中および推進終了後まで半永久的に周辺地山の安定性が確保され、安全かつ効率的な施工が行うことができるような施工指針確立のための知見が強く求められている。

3 推進工法における地山への影響

一般に推進工事は、シールド工法と同様に、既設の他のトンネル、ガス管や水道管等の地下埋設物、ビルや鉄道・橋梁等の各種重要施設物の基礎等と近接・交差して施工されることが多い。さらに地上には各種施設・道路等が密集している。したがって、掘進に際してはこれらの近接構造物に変状を与えないことが厳しく要求されている。近年技術力も向上し、年々難しくなる地質条件、施工条件を克服できるようになっては来たが、施工に伴う沈下問題の解決は未だ十分とは言えず、古くて新しい課題として残されている^{5) 6)}。

シールド工法や推進工法における地山変状の実態に関しては、掘削に伴う地山変状の要因として、直接的・間接的な要因が複数に重なり、掘進や裏込め注入等の工程による時間の経過とともに段階的に生じると考えられている^{7) 8)}。シールド工法の掘進による周辺地山に及ぼす影響は、図-1、2のように模式的に示されているが、推進工法においても同様である。また、図-3には泥水式推進工法の縦断面方向の地山の変位のイメージを示す。

シールド工法は、一次覆工となるセグメントの組立機構やテールシールドの必要寸法のため100～150mm程度の大きなテールクリアランスを必要としている。一方、推進工法はテールボイド厚さが30～50mm程度であり、シールド工法と比較した場合、地山の沈下に対し有利とも考えられるが、通常シールド

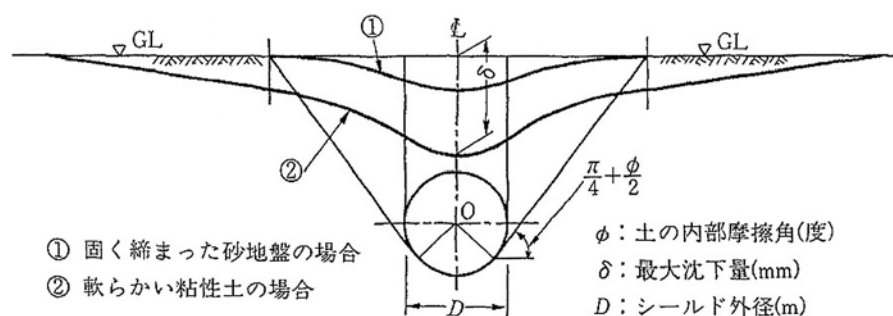


図-1 シールド横断方向に伴う地表面変位⁸⁾

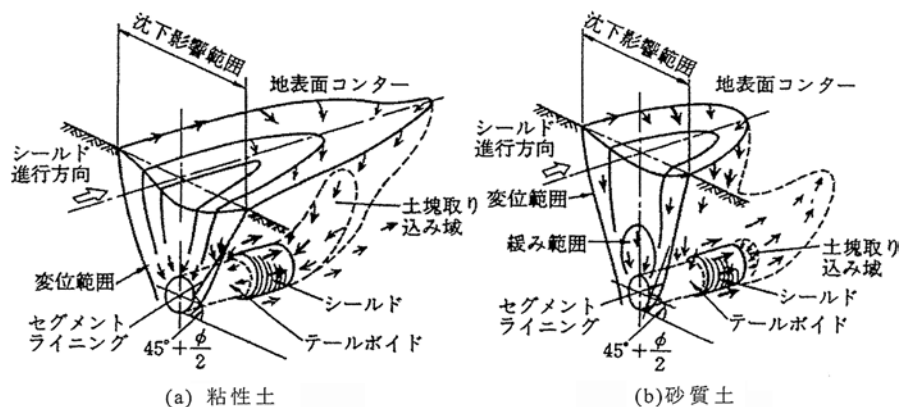


図-2 切羽周辺の地山における変位の三次元イメージ⁹⁾