

解説 排土排泥処理

複合式掘削・排土方式で掘削残土を削減 —ハイブリッドモール工法—

いとう けい
伊藤 啓

ハイブリッドモール工法協会
技術委員



1 はじめに

わが国最初の推進工事では推進延長は6mで鉄道の横断敷設であったが、推進工法の掘進方法も開放型（刃口）推進工法から密閉型推進工法へと進化し、道路を縦断する長距離推進が可能となった。掘進機で掘削した土砂の搬出も効率化され流体輸送、ポンプ圧送あるいは吸引（真空）排出されることになり、65年を経た現在の最長距離は1.5kmに迫ろうとしている。

大中口径管推進工法は、開放型と密閉型に分類されており、密閉型はさらに泥水式推進工法、土圧式推進工法と泥濃式推進工法に分類されている。各工法とも土質、線形および推進延長等の設計条件により選択されているが、土圧式推進工法と泥濃式推進工法は掘進機の先端から添加材または高濃度泥水（以下、掘削添加材）を注入して切羽の安定を図っているため、大量の掘削残土が産業廃棄物として排出される。産業廃棄物は、処理場への運搬により最終処分されるが近年、最終処理場の容量不足が逼迫しており、社会問題の一つとなっている。排出者責任として産業廃棄物の減量化を進めていくことが

重要な課題である。

ハイブリッドモール工法（以下、本工法）は大中口径管推進工法において、一般的な推進工法である泥水式および土圧式が有する各々の技術的特性を生かし、推進区間内の土質変化に応じて最適な方法に切り替えることで掘進機の切羽の安定性向上と掘削残土の分級と循環装置の開発による建設汚泥の大幅な減量化および掘削添加材のリサイクル化を実現した画期的な複合式推進工法である。以下にその掘削・排土の概要と施工事例等を紹介する。

2 密閉型推進工法の切羽安定と排土輸送方法

密閉型推進工法において掘進時の切羽の安定を図ることが周辺地盤への影響を軽減する上で最も重要な要素と考えられる。表-1に密閉型推進工法別の切羽の安定方法と排土輸送方法を示す。

ここに示すとおり、泥水式は安定液理論による切羽圧力の加圧で地山の土圧や水圧に抵抗させ、切羽を安定させる施工法であるが、泥土圧および泥濃式は掘削土砂との掘削添加材の攪拌・混合体による不透水壁をカット前面および室内に構築し、加圧を行うことで切

羽の安定を図る施工方法となっている。

泥水式推進工法においては、崩壊性や透水性が高い地盤の掘進では、切羽の安定のためには泥水圧と面板のみで圧力を保持することは難しく、送泥水の逸泥を招き排泥の分離沈降が発生しやすくなる。また、適正な泥水性状の確保に繊細な管理が求められ、過大に高濃度、高比重に変化した余剰泥水の搬出処理後は一変して低濃度泥水から掘進再開を余儀なくされるため、地山への最適な送泥水への迅速な対応が困難な場合も見受けられる。

逆に泥土圧（土圧）式の場合、切羽の安定の観点からは地山土粒子を積極的に活用した切羽性状は不透水性が確保されやすく、切羽に近い段階で目詰め効果が期待でき、切羽崩壊への対抗手段としては優位となるが、不適切な掘削添加材配合や注入量を削減した場合は、掘削地山との攪拌・混合が不十分となり、カットトルクや周辺摩擦力の上昇を招き、スクリュコンベヤから地下水の噴発や流動性の悪い土砂の滞留・閉塞が生じる場合も多い。

一方、泥濃式推進工法の場合は、泥水式と泥土圧式推進工法の間接的な切羽の土砂性状で安定を図っているが、

表－1 密閉型推進工法の切羽の安定・排土処理方法

工法分類		切羽の安定	制御方法	排土処理方法
密閉型推進工	泥水式	掘進機のカッターチャンバ内を送泥ポンプにより満たした泥水の圧力で切羽の土圧・水圧に対抗	送排泥ポンプの回転数を制御して切羽水圧、流量を調整	掘削土砂と混合された泥水を排泥管を通じて排泥ポンプで地上の泥水処理設備へ流体輸送。処理設備で土砂と泥水を分離し、土砂は一般残土として搬出。泥水は調整後切羽に送り再利用。
	土圧式	掘進機のカッターチャンバ内で掘削土砂と圧送した掘削添加材とを攪拌混合して塑性流動化した状態として、その泥土圧により切羽の水圧・土圧に対抗	スクリュコンベヤの回転数を制御し、推進速度に応じた排土量に調整	スクリュコンベヤより搬出される泥状の土砂はトロバケットで地上までそのまま排土したり、圧送管内を圧送ポンプにより地上まで排土
	泥濃式	掘進機前面およびカッターチャンバ内に圧送した掘削添加材と掘削土砂とを攪拌混合した流動性の泥土として、その圧力により切羽の土圧・水圧に対抗	排土バルブの開閉で間欠的に排土しながら管理範囲内に圧力を保持	泥状の掘削土砂は約70mmで分級し、細粒分は排土管を通じて地上の吸引装置で排土コンテナまで吸引排土、粗粒分はトロバケットで排土

掘削添加材の配合濃度や注入量によって、高濃度塑性流動体から貧配合液性（高含水比）まで領域範囲が拡大されすぎている。

次に、排土処理方法については、泥水式は排泥管という密閉空間を排泥ポンプで流体輸送し、地上の泥水処理設備において土砂と泥水に分離し、土砂は一般残土として処理し、泥水は比重調整等を行った後送泥ポンプで切羽に送り再利用する還流のシステムが確立している。ただし、比重調整時等で発生する余剰泥水は産業廃棄物として処理する。土圧式ではスクリュコンベヤより排出される泥土はトロバケットでそのまま地上の土砂ホッパまで排土されるか、圧送管内を圧送ポンプで地上の土砂ホッパまで圧送される。それらの泥土の性状はトロバケットの場合が5～12cm程度、圧送ポンプの場合で12～15cm程度のスランプを有する状態であるので、産業廃棄物として処理される。また、泥濃式では地山の礫混入率により掘削添加材の注入比率が異なるため排土バルブより搬出される泥土性状はスランプ8～22cm程度と範囲が広いものの、吸引排土された泥土は産業廃棄物として処理される。掘進機後方で分級された吸引されない粗石は一般残土である。

3 工法概要

本工法は、掘削方式と排土処理方法により表－2に示すように泥濃系ハイブリッドモル（NN方式、NS方式、SS方式）と土圧系ハイブリッドモル（SS方式、DS方式、DD方式）に分類され、各方式の土質使い分けを表－3に示す。

NS方式、DS方式が前述の密閉型推進工法と異なる方式であり、泥水式では切羽の安定保持が難しくなるような土質、しかしながらこの土質は泥水処理設備において分級効果が高い土質でもあるため、土圧式・泥濃式といった方式で全量産業廃棄物とするのがモットーに土質に適応する。

これら方式の模式図を図－1、2に示す。図－1、2で示した第2掘削室等は

着脱可能な構造であり、また、図－1のNS方式においては泥濃系のベースマシンの例であるが、泥水系をベースマシンとしたタイプも使用している。

本工法は、同一スパン内で土質が変化する場合においても、対象土質に応じて掘削方式と排土処理方法を組み合わせることが可能なことより安定した掘進と掘削残土の減量化が可能な工法ではあるが、ベースマシンの変更はできないため、スパン全体の土質条件、施工条件を勘案して選択している。

図－3に示すように岩盤、砂礫・玉石、粘性土と変化する土質のスパンでも、立坑を構築することなく、掘進機内で掘削方式と排土処理方法を組み替えることが可能である。

表－2 方式の分類

分類		掘削方式	排土処理方式	
泥濃系 ハイブリッドモル	NN方式	泥濃式	吸引式	吸排泥装置で排泥タンクにストック後、産廃処理
	NS方式	泥濃式	還流式	吸排泥ポンプで搬送し泥水処理にて分級後、高濃度泥水は再利用
	SS方式	泥水式	還流式	送排泥ポンプで搬送し泥水処理
土圧系 ハイブリッドモル	DS方式	土圧式	還流式	吸排泥ポンプで搬送し泥水処理にて分級後、添加材は再利用
	DD方式	土圧式	圧送式	圧送ポンプで搬送し泥水処理にて分級後、産廃処理