

解説 泥濃式編

泥濃式掘進機の基本と 既設構造物への到達事例



ふじい あきこ
藤井 昭彦
ツーウェイ推進工法協会

1 はじめに

推進工法の種類と泥濃式の解説をお話しますが、むづかしい理論や数式的な解説は先輩諸兄の皆様にお任せすることとし、推進工の概要的なお話をしたいと思います。推進工は地下にトンネルを構築する手法のひとつで、施工中の推進管は常に可動状態にあります。ただし、元押ジャッキからの推進力や地山から応力を受けるため自由状態ではありません。推進管に掛かる応力を分析し施工計画を立てる必要があります。

はじめて推進工と接する方々は計画を立てる上で専門書籍を多く読まれることでしょう。この解説が取り掛かり口になれば幸いです。本文解説の中では考え方が前後することや本質からやや外れる箇所がありますが、推進工を理解する上での入門用として概要的なことを中心にしたいと思います。

2 推進工法とシールド工法

シールド工法に対して元押工法と表現されることがあります。シールド機は推進ジャッキを持ち自力で前進します。推進工では掘進機と呼ぶそのマシンは

掘削機構や方向修正能力は持つものの、前進する機構を持ちません。発進立坑に設置された元押ジャッキが推進管を押し込む力を背中に受けて前進します。ゆえに推進工では掘進機と元押ジャッキは一對を成すものです。

3 推進工法の発達

推進工法は刃口式推進から密閉式推進へと進化した歴史があります。刃口式推進とはトンネル先端掘削部（以下、切羽）が解放されており、掘削工具を操作して人力で直接掘削する方式をい開放型とも呼ばれます。古典的な掘削手法ではありますが、条件次第では現在においても多く用いられ、さらに改良発展した方式もあります。しかしながら刃口式推進は切羽が解放されることから地下水が存在する箇所では補助工法、つまり地盤改良や圧気工法による対策手段が必要となります。そこで補助工法を必要としない密閉型推進が開発されていきます。

4 密閉型推進の発達

地下水に対抗するため送水圧力を

使って対抗する方法が考えられました。切羽と大気圧空間を隔壁で遮断し地下水以上の水圧をかける方式です。自ら積極的に加圧を送り込むことから密閉された機械となり、隔壁より先端に掘削カッタ、内部に方向修正機器などを備えて掘進機となりました。

地下水に対して送水圧力で対抗する場合、ひとつ問題があります。地下水圧が掛かると言うことは、こちらからの送水圧も地山間隙に浸透流出するということです。これでは水圧をかけても周辺の地下水以上に圧力が上がらず暖簾に腕押し状態となり、必要とする水量も莫大となります。また、こうした状態では切羽に十分な応力が働かず掘削断面に緩みが生じます。地下水に対抗するためには加える水圧を維持する方法が必要となります。

この問題の解決にはボーリング理論が活用されています。石油掘削ボーリングや地中連続壁工法で実証されており安定液理論とも呼ばれる考えです。安定液は清水に粘土粒子を加えて泥水を作り、粘性粘着分としてベントナイトとCMCを加えたものです。推進工ではこれを送泥水と呼びます。切羽では送泥水へ地下水圧プラス2.0m以上の圧力

を与えることで掘削断面が安定するとい
うものです（図-1、2）。

掘削断面の安定メカニズムは、

- ①送泥水が切羽に与えられると地山方向への浸透水流が発生する
- ②送泥水に含まれる粘土微粒子などの成分が掘削断面に泥膜を形成する
- ③この泥膜は不透水性の性質を持ち、やがて浸透水流を遮断する
- ④地山へ浸透拡散する水流が遮断されたことにより掘削断面内は地下水以上の加圧状態となる
- ⑤掘削断面を受圧（加圧）状態に保てることにより土粒子の移動を最小限に抑え緩みを発生させないとなります。軽い表現だと、「地下水圧に対抗するため「泥膜バリア」を発生させ掘削面を加圧防護します」という辺りでしょうか。

こうした考えに基づく工法としては泥水式推進と泥濃式推進があります。

5 各工法を簡単に比較しながら解説

泥水式は送泥水による泥膜形成とカッタ面板保持力による相乗効果で切羽を保ち、地上プラントと切羽を循環する流体還流により掘削土が搬送される。ゆえに掘削土はすみやかに連続的に搬出されます。

土圧式（以下、泥土圧とする）は掘削地盤の粒度分布の不足分を補う（粒度分布の均一化）考えにより添加材を調合注入し掘削残土を混練します。できあがる塑性流動化泥土がカッタチャンバ内で隔壁により加圧されることで切羽の安定を図っており、排土はスクリュコンベヤでチャンバ内の圧力を保持しながら排出されます。排泥土の搬送はトロバケットまたはモルタルポンプなどによる圧送が行われています。

泥濃式では泥水式よりも高濃度な送泥水を使って切羽圧力の保持をおこな

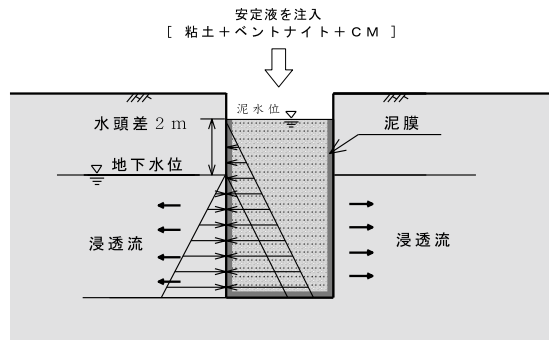


図-1 掘削断面に泥膜を形成

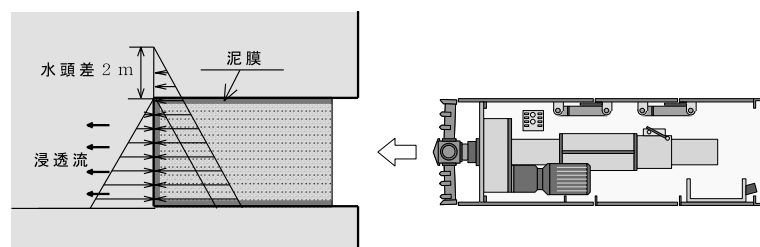


図-2 ボーリング理論を横向きに応用した泥水加圧式（泥水式・泥濃式）

います。本工法の場合ではこの泥水はカッタアーム先端とカッタハブ（中心）から注入されます。カッタチャンバ内では送泥水と掘削土が混練され流動化泥土ができます。この流動化泥土は推進管外周面のテールボイド（余掘り空間）に充填（充填率50%）され、推進管の外周面抵抗の抑制と周囲の掘削断面保護に寄与しています。泥濃式ではこのテールボイド充填に使用された残りが掘削残土として排泥ピンチバルブから間欠的に排出されます。排泥土の搬送は吸泥排土設備による吸引搬送（プラグ流体輸送）となります。

話はそれますが、掘削残土をそのまま泥水還流にて排出する泥水式と比較して、掘削残土を一旦攪拌混練して切羽保持材料のひとつとして扱う泥土圧式と泥濃式は単位時間当たりの掘削土排出量が少なめです。掘削土排出にかかる時間は日進量に影響を与える部分ですが、推進工は土質や諸条件による施工安定性の検証と経済比較が必要であり単純な優劣はつきません。

6 泥濃式推進工法の特徴的設備と滑材掘進機の機構部から排泥ピンチバルブ

各工法の掘進機はカッタ面板にも特徴が現れますが、内部構造上で特徴的なものは排泥ピンチバルブです。このバルブはゴム膜の開閉を空気圧により調整することから礫または異物を噛んだ状態でも閉鎖が可能です。バルブ内径がほぼ直接取り込める礫径となるため一般的には玉石礫の破碎機構を必要とせず、普通土から砂礫土までの幅広い土質に対応可能です（図-3、写真-1）。

排泥ピンチバルブは圧縮空気によるバルブ操作を行いますのでコンプレッサによる空気圧の供給が必要となります。コンプレッサは作業時停工時に関わらず24時間運転により空気圧を保つように制御されていますが、停電など不測の事態に備えて掘進機内部にリザーバタンクを搭載しています。

本工法では停電などにより空気圧が基準値以下になった場合には緊急回路が自動でリザーバタンクからピンチバルブへ閉鎖用空気圧を供給、警報機を発