

## 解説

# 難工事を支える注入工 (滑材、添加材、裏込め材)

たけうち としひろ  
竹内 俊博(公社)日本推進技術協会  
調査部長

## 1 はじめに

近年、推進技術の進歩によって、より難易度の高い超長距離施工や急曲線施工が計画、設計、施工されるようになってきました。この技術の進歩は、下水道工事の普及に伴い急激に加速し、また、下水道以外の電気、ガス、通信、上水道等のインフラ整備工事においても、急勾配を含むような難度の高い工事を施工することによりさらに進歩しています。推進工法は、開発された当時には、考えられなかった1kmを超えるような超長距離推進や、推進管呼び径の50倍以下の曲線半径を複数含む急曲線推進も可能となり、種々のインフラ整備で活躍しています。

しかし、当然のことながら、トラブルも発生する機会が増えます。推進工事は、見えない地下を掘り進む推進工法の特異性から、なかなか完全にトラブルを消滅させることは困難ですが、トラブルの事前対策やリスクアセスメントの手法を用いて、トラブルの要因、原因を見つけ出して検討し、トラブルを消滅、あるいは軽減させることが重要です。

これらの事前対策やリスクアセスメントには、推進工法における各注入工も重要な要素となります。

本稿では、各注入工の基本や留意点を再確認したいと思います。

## 2 滑材注入工

滑材注入工は、掘進中、管と土との摩擦抵抗力を軽減し、あわせて地山の緩みを防ぐことを目的に行います。

推進工事において、推進力が増大して推進管の軸方向耐荷力、支圧壁反力等を超え、掘進停止となることがあります。その主たる要因は、管周面抵抗力の増大と考えられ、推進管と接触している土が圧密、脱水して管との接触面が増加し、管を締め付けたり、また、上部地山の緩みにより、管にかかる荷重の増加で推進力が上昇すると思われる。

これを防止するためには、滑材注入工が重要で、材料の選定や注入時の施工管理にいくつかの留意点があります。

### 2.1 滑材の材料

推進工法の初期段階では、ボーリング掘削時のようにベントナイト溶液を使用していたようです。ベントナイトの特性は、

#### (1) 膨潤性

水を吸収して3～8倍の体積に膨張する（保水性）。

#### (2) 粘性

微細な板状結晶粒子が水中で互いに密に接し、絡み合い高い粘性を示す。

#### (3) 懸濁性

ベントナイト粒子が水中で膨潤、分散して超微粒子の

コロイド状態となり懸濁する。

#### (4) チキソトロピー性

より濃度の高いスラリーでは、静止すればゲル状に固まり、力を加えれば元の流動性のあるゾル状に戻る（ゾル⇄ゲルに転化する性質）。

#### (5) 塩基交換性

結晶中のNa、Kイオンを放出してCaやMgイオンを取り入れるほか、有機性塩基とも交換する塩基交換性を持つ（㈱立花マテリアルカタログより）。

これらの特性を活かし、滑材として使用していたようです。

しかし、推進工法の需要が増えることにより、すなわち単に道路、鉄道、水路等の横断ではなく、下水道管路をはじめとする種々のインフラ管路の構築のための長距離化では、より推進力低下等の滑材効果を高める必要から、ベントナイト溶液に、黒鉛や油脂を混練りし使用していました。そして、推進距離が延長していくにつれ、地下水や時間経過による劣化を防ぐために、ハイゲル（ゲル化剤）やCMC（増粘剤）を混練りした標準型滑材が開発され、使用されました。また、礫地盤等の透水係数が大きな地盤では、さらにゲル化が必要になり二液を混合する固結型の滑材も開発されました。さらに、開放型の刃口式推進から密閉型の泥水式等に推進工法の主流が移行し、大深度（大土被り）で透水係数が高く多水量下での推進、粗石、巨石混りの礫質土、岩盤等々で超長距離や急曲線施工など、施工条件の難易度が高くなる中で、滑材に対する効果の期待はさらに高まり、種々の滑材が開発されました。

また、推進施工の長距離化により滑材の使用量が著しく増え、これまでの標準型滑材では、準備する材料の袋数も多くなり、混練り作業も煩雑になるため、一体型混合滑材が開発されました。この滑材の多くはベントナイトを主体とし、必要な材料が生産工場にてプレミックスされ現場に搬入されるので、作業性がよく、混練り状態もよい滑材が注入できるようになりました。その後、滑材効果に対しても要求が高くなり、地下水による希釈や経時変化により劣化が難しく、安全性が高く環境にやさしく、さらにテールボイドの維持ができ、周辺土圧に少なからず対抗でき、当然のことながら減摩効果に優れたも

のということで、高吸水性ポリマーを主成分とした粒状型滑材等が開発されました。現在滑材は、開発過程において、種々の地盤にも対応できるように改良されています。例えば、透水係数の大きな地盤では、地下水に希釈されにくく、より粘性があるものを、また、塩分を含む地下水のある地盤では、ベントナイト主体のものは、膨潤したベントナイトの構造を電解質溶液の塩水が変化させてしまい効果が減少してしまったり、ポリマー主体のものは、抱えた水分子の構造を変化させ効果を減少させてしまうので、耐塩性のものが開発された等が挙げられます。しかし、一長一短があるので、施工地盤や施工条件を踏まえて選定する必要があります。また、これらの材料選択だけでは対応できない、あるいは効果が十分ではない場合には、注入の施工技術によって補助してきました。次に、その施工管理について見てみます。

## 2.2 注入施工管理

土質条件や施工条件により、適切な滑材を選定しても、適切な施工管理ができなければ、滑材注入効果を得ることはできません。長距離施工となれば、一次注入だけでは、その効果の維持はできないので、二次（補足）注入が必要になります。

滑材の効果が得られない原因は、前述のように、地下水で希釈されたり、経時変化による劣化、地下水に含まれた塩分や金属イオンによる劣化、あるいは推進力増大等による管周囲の地山の脱水により滑材も脱水するなどが考えられ、これらを解消するためには、注入箇所を選定、注入圧、注入量の管理を適宜行わなくてはなりません。しかし、中口径では、管内の作業も容易ではないので、その管理にミスが出る可能性もあります。例えば、注入圧を一時的にかけ過ぎ、地盤の弱いところへ漏出させ、地上などへ噴出させてしまうと、管周囲には滑材が充填できなくなり、推進力を上昇させてしまうので、注入圧の変化の監視が必要です。また、あわせて注入箇所と注入量の関係もしっかり管理する必要があります。このような管理の手助けとなるような装置やシステム、注入工法も開発されています。一次注入で、テールボイドに固結型滑材を充填して維持し、その層と管体の隙間に減摩滑材を注入して、滑材効果を高める二層注入の方式、滑材と管周囲の土を積極的に混合し、