

解説

進化した推進技術

滑材・掘削添加材への期待 —滑材・掘削添加材は推進技術のかなめ—

かわい あきら
川相 章

(公社)日本推進技術協会
技術部長
(本誌編集委員)



1 はじめに

推進工法は掘進機や先導体を管体の先端部分に接続し、それらを発進立坑の元押ジャッキによって押し出して管きよを構築する工法である。推進工法の黎明期においては、道路や鉄道の横断敷設が主な用途であったが、施工実績を重ねるうちに次第に道路を縦断する長距離推進が可能となった。次の時代には、刃口推進工法から密閉型推進工法へと進化した。掘進機で掘削した土砂は流体輸送、ポンプ圧送あるいは真空排土によって連続的に排出されることになり、必然的にさらなる長距離推進への可能性を抱かせた。しかし、長距離推進が抱える課題としては、距離に比例して増大する推進管周面抵抗力で、これによって元押設備や支圧壁背面地盤の強度そして管体の耐荷力が大きな制約を受けることになる。推進管周面抵抗の減少は長距離推進には欠かせないテーマでもあって、この解決なしに長距離推進は成功することはあり得ず、多くの関係者がそのために多大な労力を払った。

通常、推進工法で注目されるのは、掘進機や先導体、推進管、立坑内に設

置する元押設備、立坑上の処理設備やクレーン設備のような資材・機材設備である。しかし、滑材や掘削添加材が工事の良否を左右する大きな要因になっていることもまた事実である。特に密閉型推進工法が主流となっている現在、掘削添加材は、滑材効果としても、さらには切羽の安定掘削の上でも極めて重要な役割を果たしている。以下では、推進工法における滑材や掘削添加材併せて裏込め材にスポットをあて、それらの役割について再検証する。

2 滑材への期待は時代と共にエスカレート

滑材効果への期待は、間違いなく推進抵抗力の低減である。以前は「潤滑材」という扱いで、潤滑材を推進管の表面に塗布する。すなわち、推進管の表面にグリスやマッドオイル（廃油）を人力（ゴム手袋や刷毛を介して）で塗りつけ、推進管と地山との接触面でのすべり効果を期待する程度であった。推進管の途中からの注入というイメージではないため、当然ながら推進距離の限界はあった。

推進管の継手構造に起因する問題や精度管理技術の未熟さも要因の一つで

あったが、泥水式、土圧式そして泥濃式の密閉型推進工法が全て世に出そろった昭和時代後半においても、一般的な評価は、せいぜい最大推進延長150mであった。

これまで、推進管と地盤との接触によって生じる摩擦力を減少させるため、種々な方法が試みられた。推進管と地山との空隙であるテールボイド量が大きくなるように掘削して、そこに流動性を有する材料を充填することで、推進管と地山との摩擦抵抗力を減少させる。反面、そのテールボイドが大きすぎると、地盤の緩みを生じさせ、その分だけ推進管に作用する緩み土圧が増大し、抵抗力の増大原因となり得た。一方、推進管と地山との空隙であるテールボイド量を極力なくすることで、地山の自立性を期待し、抵抗力を低減できるという発想もあった。この場合は掘進機の径以上に余分な掘削はしないが、当然ながら推進距離に制約を受ける。

前記に述べた「潤滑剤」を人力によって塗布する作業は、一時的には管周面抵抗力の減少を期待できるであろうが、作業環境や安全性を低下させる欠点の方が大きかったと言えよう。やは

り、現在主流となっている「滑材注入」というイメージのほうが、より滑材効果を期待できるのは当然であろう。

2.1 当初の滑材配合

刃口推進が主流であった昭和50年当時、関東推進工事業協会（昭和45年設立）では、滑材の性状は、推進施工会社がその公開を渋っていることもあり、参考として下記のような滑材の配合を標準的なものとして示した（表-1）。

ここで、マッドオイルとは油と乳剤あるいは有機粘土などを混ぜた泥水状のもので、本来は油井で摩擦低減剤として使用されていたものである。ハイゲル（商品名）は、ゲル化することで、空隙に注入された滑材の逸散防止効果や緩衝剤としての期待がある。また、CMCは増粘材として用いることで、滑材成分の分離防止効果や摩擦力低減効果を得るものである。刃口式推進工法で、推進管背面に注入した滑材が開放状態の切羽へある程度流出することは承知の上で、推進抵抗力を減少させることを優先した配合と言えよう。いずれにしても、ここではまだ対象土質の違いによって配合を変えるという考えはない。

現在の配合は、表-2のように示されているが、多種多様な地盤条件を考慮しながら、適切な配合とするよう設計者の判断にまかせているところが昭和時代と大きな違いである。

この配合は、社団法人 日本下水道協会発行 2008年下水道用設計積算要領 管路施設（推進工法）編に掲載されているものである。一行目の配合は、昭和50年当時と全く同様なもので、あくまでも刃口推進工法における標準的な配合であるとしている。二行目の粘性土層の場合と三行目の砂質土層ではマッドオイルの量を半減している。粘性土層では逸散防止の役割があ

表-1 刃口推進工法滑材標準配合

(1m³当り)

ベントナイト	マッドオイル	ハイゲル	CMC	水
100kg	40ℓ	2kg	2kg	0.9m ³

表-2 刃口推進工法配合例（2008年版下水道協会）

(1m³当り)

ベントナイト (kg)	マッドオイル (ℓ)	ハイゲル (kg)	黒鉛	中性洗剤 (ℓ)	CMC (kg)	石こう (kg)	水 (m ³)	備考
100	40	2	—	—	2	—	0.9	標準
100	20	—	—	—	2	1～4	0.95	粘性土
100	20	2	—	—	—	1～2	0.95	砂質土
—	—	—	300～400	2～3	5～6	—	0.98	粗砂、砂礫

表-3 昭和50年当時の標準的な滑材注入量

(ℓ/m)

800	900	1000	1100	1200	1350	1500	1650	1800	2000
64	71	78	85	93	104	115	126	136	151

表-4 2008年：下水道用設計積算要領刃口推進工法滑材注入量

(ℓ/m)

800	900	1000	1100	1200	1350	1500	1650	1800	2000
77	87	96	105	114	128	142	155	168	187

るハイゲルの使用はない。粗砂、砂礫において黒鉛が多量に使用されているが、黒鉛は層状の結晶鉱物で、潤滑性が優れている他、耐摩耗性、耐熱性もあり、金属の熱間鍛造用潤滑剤として広く用いられてきた。黒鉛は粘土と混ぜて鉛筆の芯として使用されていることは広く知られている。ここではその潤滑性を有する特徴を推進工法の摩擦力低減に利用している。比重が2.2を超える材料を1m³当り300～400kgと多量に使用して、中性洗剤を混ぜることでその水溶性（ままこ状態になることを避けるため）を促進させている。滑材濃度を高めにし、間隙の大きな粗砂や砂礫地盤向きの配合としている。

この他、ここでは除外したが、2008年版では、粘土鉱物の一種セリサイトを用いる配合例もある。セリサイトは、粒状の白雲母でセラミック材料や耐熱性の潤滑材として用いられているものである。なお、推進技術協会では、現

在の推進工事で用いられていないこれらの配合例は削除している。

2.2 当初の滑材注入量

推進管のA-2規格から呼び径600、700が削除される以前の前記関東推進工事業協会の資料によると、推進管の外側から50mmを空隙とし、その40%を滑材充填するものとして注入量を求めている。現在規格の呼び径800～2000までの現在の標準的な注入量と比較して見る（呼び径2200～3000は除く）（表-3、4）。

ここでの滑材注入量は、裏込め注入量との関係から、推進管の外側から25mm程度を滑材で、また40mm程度を裏込め量と想定して値を示している。いずれの呼び径においても、昭和50年当時とは、推進管背面の空隙が大きくなっているが、刃口推進工事の実態から、より実情に近い注入量に変更したということであろう。

滑材効果は、管周面の推進抵抗力低