

解

説

進化した推進技術

滑材・掘削添加材・裏込め材に期待するものは

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

推進工事が安全にかつ経済的に完遂されるためには、推進工法に不可欠な基本的な管理手法が的確に行なわれるという条件が付く。刃口式推進工法が主流であった時代、切羽の安定掘削、方向制御、それに推進抵抗力の低減のための管理手法は、推進工法では基本の中の基本とも言えるもので極めて重要であったが、これは現在の密閉型にも異論無く当てはまるものである。しかし、密閉型が対象としている地盤は刃口式と比べ多種多様で、施工ははるかに難しくなっていることもあり、これらの一つでも欠けると、現在の推進工事はほぼ成功はないと断言できる。切羽を安定掘削させるということは、後続の推進管と地山との空隙の安定に通じるものがあるし、蛇行を含めた方向制御や推進抵抗力とも関係する。そして、これら適切な施工にとって、本テーマである滑材・掘削添加材や裏込め材が極めて重要な役割を担っているのは間違いない。

2 滑材は摩擦低減材としてスタート

2.1 滑材の使用目的

推進工法では、発進立坑から順次推進管が押し出され、所定の本数分が押し出されることで管路が構築される。押し出されて敷設される先頭の推進管は、小口径では先導体、大口径では掘進機と連結されており、先導体や掘進機のカッタ面に作用した先端抵抗力がそのまま後続の推進管に伝達されることとなる。また、推進管の外周面には、地盤から土圧・水圧が周面抵抗力として作用し、推進管の重さから生じる摩擦抵抗力も加わり、それらが推進時の抵抗となるが、これには、元押ジャッキの推進力で対抗する。

刃口式推進が主流であった時代でも、滑材効果の重要性は多くの施工者にとって一致した認識であった。ただ、各施工者は創意工夫を重ねた現場経験から、独自の技術を生み出してはいたが、滑材に対する考え方を積極的に公表することはなかった。工法団体の発足とともに、標準的な技術・積算体系の確立が求められるようになり、さらには計画設計段階で、発注者の認識を引き出すために、しだいにその内容が明

らかにされることになった。滑材効果への期待は、あきらかに推進抵抗力の低減であったが、当時は推進管表面に潤滑材を塗布する程度の扱いで、表面にグリスやマッドオイルをゴム手袋や刷毛によって塗りつけていた。そこには、まだ推進管と地山との空隙に滑材を注入するという発想はなかった。このため、推進抵抗力の減少は限定的なものとなり、方向制御を含めて、推進距離の限界は著しく、最大延長も150m程度が一般的な推進距離と見なされていた。

推進管と地山との摩擦抵抗力の減少に滑材が果たす役割は極めて大きい。一方で、滑材は、地山と推進管の外周面とに生じた空隙部分に留まることで、地山の切削部分の崩落を防止する役割も果たした。刃口時代の人力による掘削と異なり、密閉型ではカッタ回転により切羽面がほぼ正確な円形状に掘削されることから、アーチング効果が期待できるわけだが、実際には、崩落し易い地盤も存在する。均等係数の小さい砂層や、礫を挟在する砂礫地盤では、むしろ掘削した形状が確実に保持できるとは思われないし、アーチング効果は期待薄である。空洞部分には掘削した土砂や、推進にともなって崩落し

表－1 ベントナイトを主体とした滑材

(m³あたり)

区分	配合例						
混合（標準）型	荷重材 増粘材 (kg)	潤滑剤 (?)	ゲイル化材 (kg)	増粘材 (kg)	(kg)	(?)	
	ベントナイト (250メッシュ)	マッドオイル または MSオイル	固化材	CMC	石こう	水	適用
	100 80 80	40 20 20	2 — 2	2 2 —	— 1～4 1～2	0.90 0.95 0.95	(標準) 地下水のない粘性土 地下水のある砂質土

た土砂が滞在する。さらに、切羽から流入した泥水や泥土の一部などと混在状態になっている。このような箇所に滑材を注入して必要な効果を得るのは難しい。

2.2 滑材の種類

滑材の種類としては、①一体型混合滑材、②粒状型滑材、③固結型滑材、④遅効性滑材がある。前述した推進工法の黎明期の滑材は、各施工業者は任意の配合を決め、それを現場で攪拌混合して使用していた。表－1は、いわゆる一般的に使用されているベントナイトを主体とした滑材ということで、あくまでも「参考」というような表記となっている。ただ、地上で一体混合化すると粘性が高くなりすぎ、ポンプ圧送できないことがある。

しかし、①のように、現場に持ち込んで、現場で攪拌混合するということは、施工管理上煩雑であるばかりか、でき上がった材料の性状にバラツキが生じる恐れがある。そこで、工場出荷時にブレミックスされた材料に、現場で所定の量の水を加えて攪拌混合すれば注入材としてバラツキの少ない滑材を容易に作り出すことができるということになる。

②の粒状滑材は、吸水性ポリマを主成分とした材料で、数mm程度の粒状弾性体のベアリング効果によって管周面抵抗力の減少効果を発揮することになる。ポリマ粒子は水分を吸収しやすい構造で、紙オムツに用いられていること

がよく知られている。吸水性ポリマは自重の数百倍の水を吸収することができることから、従来のベントナイト滑材と比較しても作液作業ははるかに容易である。吸水して体積膨張した粒の弾性強度の高い性質が摩擦力低減に役立つのであるが、粒子の内部に吸収された水分は、逆に外部の塩分濃度が高いと、放出され、弾性体としての機能を失ってベアリング効果が得られなくなる。耐久性を維持するためには、追加注入が必要となるが、耐塩用添加材を別途添加することで粘性の低下を防止する方法もある。いずれにしても、推進路線部の地下水および希釈水として地下水を用いる場合、塩分濃度を十分確認しておく必要があり、塩分濃度が高いことが予想される場合には、調査の上、結果を計画設計時に示しておくことも求められる。

③固結型滑材

本滑材は、二液混合タイプで、混合後に早期にゲル状態となる。可塑性滑材とも呼ばれている。透水性の高い地盤において間隙水の中に浸透しながら固結するため、砂礫層で用いられる他、滑材を切羽に流出させたくない場合での使用も多い。ただし、早期のゲル化は、推進管と背面地山との空隙を確実に充填できないことがある他、また、推進管底部では、推進管に作用する土荷重に耐えられず、脱水現象によって容積変化を生じて空隙を保持する機能を失



写真－1 液性固結型滑材用プラント

うとともに、滑材効果も減少することがあるとの報告もある¹⁾。その他、固結型滑材を一次注入材として注入し、不透水ゾーンを構築した後に、液性の滑材を別途注入するという二層注入方式が採用されることもある。

④遅効性滑材

本滑材は、滑材効果の他に、推進終了後に固化して裏込め材としての機能を有している。

裏込め注入が不可能な小口径管推進工法や、大口径管推進工法における裏込め注入作業の省略などの利点はあるが、配合材として固化材料を用いているため、使用にあたっては、材料配合から硬化性状（硬化時間、強度、使用時の粘性など）を十分把握しておく必要がある。しかし、今のところ当協会では、推進停止という大きなトラブルが生じたという情報は得ていない。

⑤その他の滑材

③の固結型滑材の項で、一次注入で、まず不透水ゾーンを構築した後に、液