

総論 滑材裏込め材

名わき役の起用と意義

ふなばし とおる
船橋 透

機動建設工業(株)
関東支部部長
(本誌編集委員)



1 はじめに

推進工法の発展は、名わき役が縁の下の力持ちとなって築かれてきました。では、推進工事の名わき役は何か？その一つは滑材です。今日の推進工事がさまざまな土質や施工条件に見合った工法の対応や長距離・急曲線を施工できるのは、材料や注入装置等の推進力低減システムの開発が大きく担っています。二つ目は、各工法に使われる泥水や掘削添加材、高濃度泥水材も各工法の特色を最大限に発揮するための名わき役であり必要不可欠な存在となります。また、裏込め注入材もその一つとなります。ここではその名わき役のエキストラたちにスポットライトを当てたいと思います。

2 滑材について

推進工事で大切なのは、計画・検討→施工プロセスが肝要であり、想定内の到達が最大の目的です。従って、滑材注入工は、名わき役の筆頭に値することは言うまでもないでしょう。

滑材注入は、推進中、管と土の摩擦抵抗を減じ、併せて地山の緩みを防ぎ、

かつ、地下水流入防止として行うもので、注入にあたっては、滑材の種類、注入圧、注入量等十分に検討し、さらに土質の変化等に対応した適切な判断をして施工する必要があります。

2.1 滑材の目的と効果

(1) 滑材注入工＝推進力低減

推進工法は、シールド工法と大きく異なり、到達するまで推進管を押し進めなければなりません。そのため、掘削した地山の中を推進管が移動し、常に、地山の中で推進管との摩擦抵抗が生じます。

その摩擦抵抗を低減させるのが、滑材注入工の目的であり、滑材の役目となります。

(2) テールボイド保持の重要性

推進力低減を目的とする滑材注入工は、テールボイド（掘進機または先導体と推進管の隙間）が無いと滑材注入ができないため、一般的に20mmのクリアランスに充填します。また、注入量は、掘進機または先導体後方にすみやかにクリアランスに充填することによって、テールボイド保持を確実に発揮することができます。その考え方は、シールド工法の裏込め注入と同様、掘進速度に合わせた充填制御することで、推

進管全体に斑なく均等に充填し、推進管追従性保持や周辺地盤の緩み防止対策となります。

(3) 地下水流入防止

そのテールボイドに確実に充填された滑材は、地下水とは異なる保水性、粘性、逸水性が高い性状の材料を使用することにより、発進坑口リングパッキンや推進管継手からの地下水の流入を防止する効果も期待できます。

(4) 成分保持継続

滑材効果の持続性は、地下水による希釈、地山や地下水に含まれる金属イオンや塩化物イオン等、化学反応から生じる成分劣化と、時間と共に生じる経時変化、曲線施工等推進管移動に伴うクリアランス内の変位による滑材効果の劣化等、常に外的要因を抱えながら推進しなければなりません。従って、事前調査や、土壌、地下水成分調査が重要であり、また、推進中の土質変化によっても考慮する必要があります。

(5) 環境に配慮

推進工事に使用する材料に限らず、水質汚濁防止法や各自治体の条例など、人の健康に係る被害を生ずる恐れのある物質（重金属、有機化学物質など）や水質汚染基準の規制値内をク

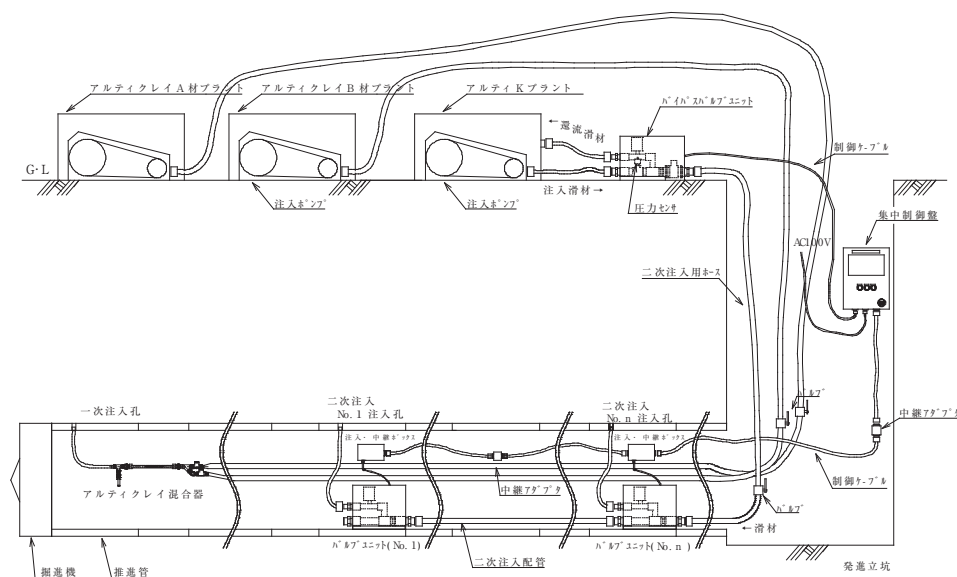


図-1 ULIS二系統方式概要図

リアするためのコンプライアンスによって、各社さまざまな取り組みと開発をしてきています。この配慮も大きな推進技術の発展に寄与しています。また、作業性や経済性も伴ってきています。

2.2 滑材の分類と選定

(1) 滑材の分類

滑材は、標準型滑材が設計積算基準となっていますが、約20年前から一体型混合滑材が採用されています。あらかじめ工場でプレミックスされ、紛体や液体で、作業性の向上に寄与してきました。成分は、ベントナイトを含有し高粘性型となります。

粒状型滑材は、高吸水性ポリマを主成分とし、粒状弾性体のベアリング効果を発揮する滑材で、性能品質が高い特長があります。また、無公害性で軽量化であるため、一体型混合滑材に代わる滑材として広範囲に採用されています。ただし、主成分のポリマは、金属、塩化物等の含有に対し、滑材効果が発揮されなくなるので注意する必要があります。

次に、固結型滑材ですが、二液混合タイプで、混合後早期ゲル状態になる

滑材です。可塑性ともいい透水性の高い地盤や、泥濃式、長距離推進等に採用されています。また、液状の滑材と合わせて注入方式を採用する場合があります。

最後に、遅硬性滑材は、推進中は滑材としての役割を果たし、推進完了後には固化して裏込め材としての機能を有する滑材です。しかし、推進距離、現場環境によっては様々な条件化での推進において、滑材効果期間を超える可能性の場合のリスク回避の防止対策の選択としての採用可否の判断や滑材効果としての成分追求と、相反する経時変化が長距離での推進力低減を果たせるかの疑問がありますが、今後の技術開発を期待します。

(2) 滑材の選定

滑材に何を選定するかは、第一に推進対象土質にふさわしいことです。すなわち、確実に推進力の低減を見込める材料を選択しなければなりません。

まず最初は、どの工法を採用するかから始まります。そのためには、土質調査データを十分に検討することと、経験データの複合判断を選定基準とし、よ

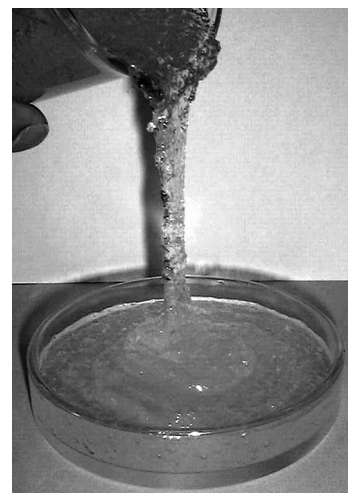


写真-1 アルティ K 標準配合溶液



写真-2 アルティクレイ標準混合流体

り確実な計画と推進工程や経済性を見出すことが可能となるでしょう。

滑材の種類は、材料メーカー、土質の分類、性質等によってさまざまな材料が開発されています。また、各工法による選定、各工法協会、推進業者、推進担当者によって選定や採用は十人十色が実情です。従って、滑材の選定は、同じ条件で比較実験をすることで、土質に見合った推進力低減効果の材料を選定することができる判断材料を調査することが大切です。

2.3 推進力低減方式の開発

推進工事の超長距離化の発展に寄与したのは、滑材注入工における材料と推進力低減方式の開発採用によって実現してきました。その方式の特長等を四つの注入方式に分類しています。



写真-3 回転式滑材注入装置

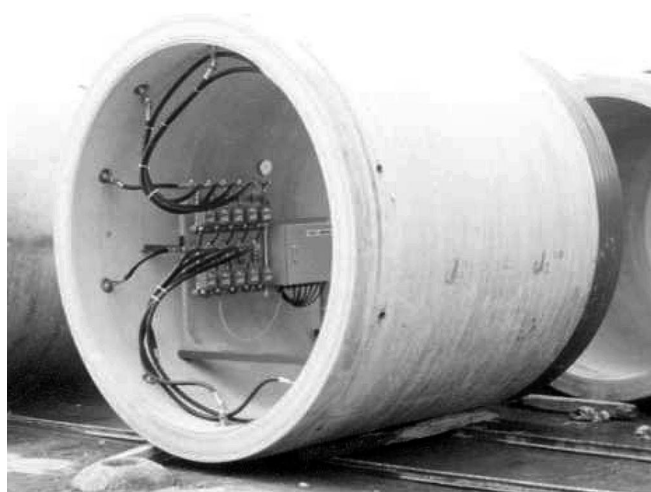


写真-4 中間滑材注入装置

(1) 一次・二次滑材注入方式

掘進機の切削による孔壁を保持して滑材効果を持続させるために、適切な間隔で先導管および後続の推進管から滑材を行う方式です。二系統配管で一次は管と地山の間隔分を注入し、二次は注入上限圧と時間を設定し自動的に注入するため、注入孔の数が増えても、注入位置の選定、注入順序、一か所あたりの注入量・注入時間・注入圧力等が任意に設定でき、確実な周面抵抗力の低減効果を得ることができるシステムです（図-1、写真-1、2）。

(2) 滑材・地山混合層形成方式

推進管先頭部から推進速度に合わせ、同一周上に一定量の滑材を順次注入すると同時に注入孔後方の攪拌装置によ

り地山と滑材を混合して滑材・地山混合層を形成させる工法です。滑材・地山混合層が長時間滑材効果を保持できるテールボイド層となり、この層で推進管を覆うことにより周面抵抗力の低減を図ることができます（図-2、写真-3、4）。

(3) 二層滑材層形成方式

掘進機の外径を制御管より大きくし、掘進に伴って発生するテールボイドに固結型滑材を一次注入し、その後方の一次滑材層と推進管の間隔に液状型の二次滑材溶液型を同時注入することで、推進管の周囲に二層の滑材層を形成する方式です。一次滑材により二次滑材

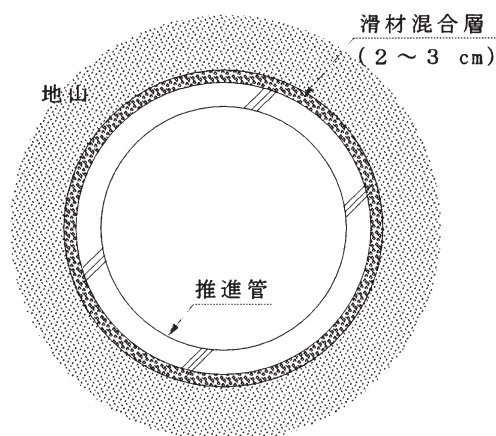


図-2 滑材混合層模式図

の地山への逸散や地下水との希釈が防止でき、液状型滑材の効果により周面抵抗力を低減することができます（写真-5、6、図-3）。

(4) 機械的テールボイド再拡幅、修復方式

推進管のカラー部に特殊排土板を設置し、閉塞したテールボイドを機械的に拡幅し、そこに、テールボイド安定材を注入する方法や、推進管外周に装備したビット付きチェーンが回転し、閉塞したテールボイドを機械的に修復することで、周面抵抗力を低減することができます（写真-7～9）。



写真-5 ナックスG性状

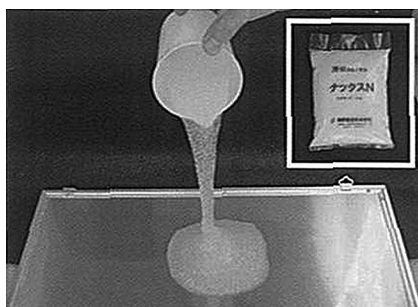


写真-6 ナックスN性状

NUCSシステムの基本概念

NUCSシステムの基本はマンパワーによる集中管理システム
地上操作盤へのデータ集積・表示を確認して、システムを稼働

- ① 注入時期一元押データを参照
- ② 所定注入量・注入圧力カーブ設定
- ③ 注入孔
既注入量及び注入圧力データを参考に、決定
注入量・注入圧力を監視しながら注入
所定注入量・注入圧に達したら、注入孔変更
- ④ 注入中断期・終期一元押データを参照

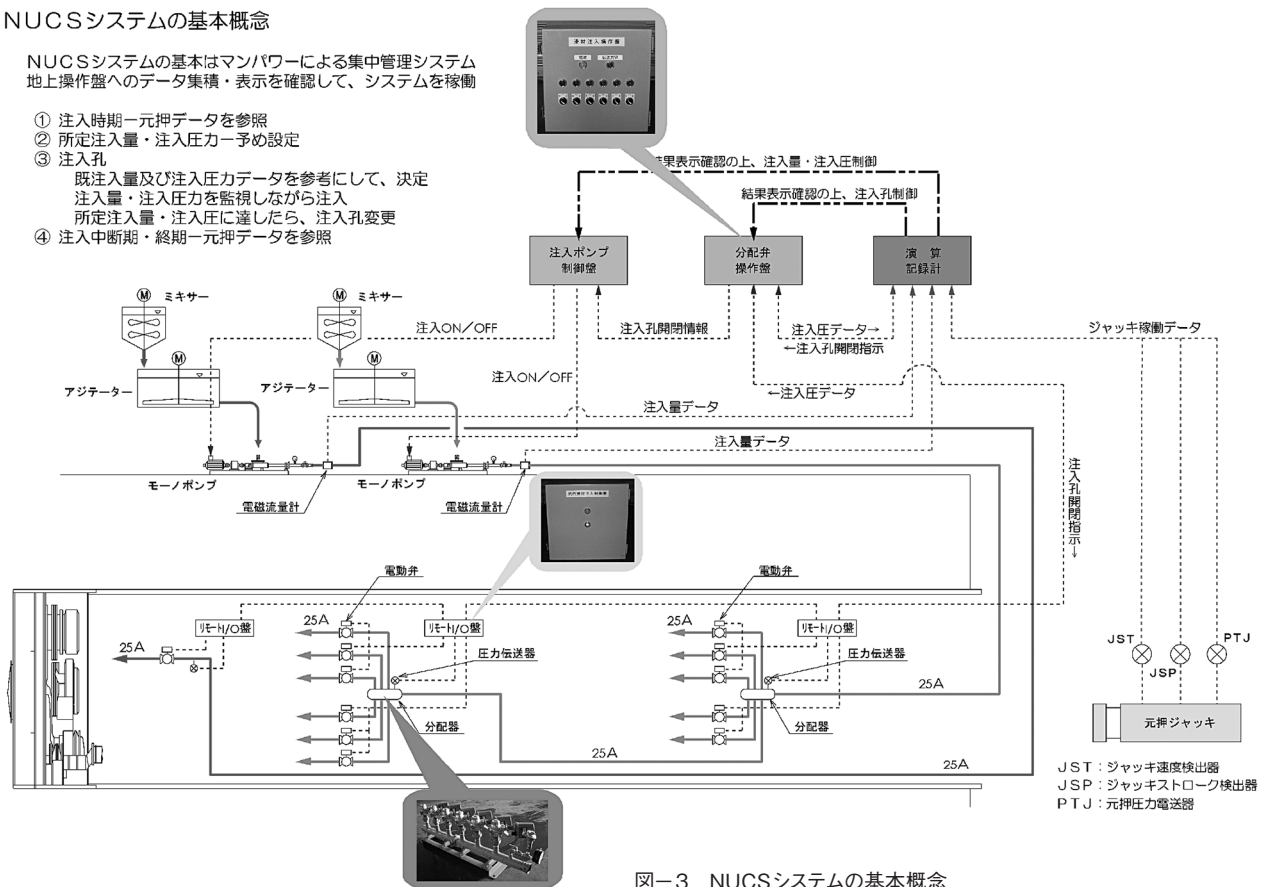


図-3 NUCSシステムの基本概念



写真-7 チェーン回転式摩擦低減装置



写真-8 ローラチェーンとピン



写真-9 中間摩擦低減装置

3 泥水式推進工法の作泥材

泥水式推進工法にとって切羽の安定は、泥水の泥膜形成が図れなければ成り立ちません。そこで、重要なのは泥水の成分となります。主成分はベントナイトですが、その性状をより高品質にするために、CMCや高分子の増粘材を用いたりもします。各材料メーカーによって一体型作泥材が主流となっていますが、砂礫、巨石地盤などで使用する泥水は、高粘性、高比重を求められます。一般的な作泥方法は、作泥槽にてベントナイトや粘土、増粘材を混合しますが、透水性の高い地盤においては逸泥が激しいため、高粘性の泥水を大量に作泥する必要があります。場合によってはジェットミキサなどの装置を使用し対応しています。そのため、掘削地盤崩壊防止材としてのベントナイトの成分は重要となります。

ベントナイトは、モンモリロナイトを主成分としたコロイド状の粘土であり、水分を含むと膨張する性質を特長とします。また、ゲル化特性を有しているため、粘性、イールド・バリュー、ゲル・ストレングスなどのレオロジー（塑性流動）特性や泥壁形成性、潤滑性などといった泥水の機能があります。産地や採取位置に品質のばらつきがありますが、イールド・バリューが大きく、少量で高い粘性を示し、泥壁形成の優れているものが良好なベントナイトと言われます。ちなみに、ベントナイト（bentonite）はアメリカ合衆国ワイオミング州のフォートベントン（Fort Benton）から命名されたようです。

この様に、安定した切羽の泥膜形成を行うためには、材料選定は安易に考えてはなりません。

4 泥土圧式推進工法の掘削添加材

泥土圧式推進工法では、対象土質お

よび土砂搬出方法によって掘削添加材の選定が、非常に難しい対応となります。

添加材の選定は、粘土、シルト、砂（細、中、粗）、礫混り、砂礫、巨石等対象土質によって異なります。また、土砂搬送方式でもバケット方式やベルコン方式、圧送方式によっても選定が異なります。

土砂圧送方式の場合、連続排土ができる大きな利点となりますが、土砂圧送状態の見極めがとても重要となるため、事前検討とテーブル試験は必ず行うことと、推進中の土質変化には細心の監視と対応を必要とします。

また、滑材と同様に地下水の性状にも左右されるため、事前調査をし、高分子ポリマを含有する添加材に対応可能かを判断することも重要です。特に、圧送配管内の土砂搬送が生コンのポンプ圧送と同じピストン圧送であるため、レオロジー（塑性流動）特性を保持した状態でなければなりません。その簡易判断として、掘削混練された泥土を直接握り指の隙間からの流動性をみる握り試験を行い、手の平に圧密された土砂が無くなることも添加材がふさわしいかの判断となります。なおかつ、経時変化に伴いブリージングを生じない泥土であることです。混練された泥土をブリージング袋に採取し経時変化を観察することで、下部の土砂の圧密沈降度合から材料の適合判断を行うことも重要です。

このように、土砂圧送方式の添加材の選定と配合は、十分な検討項目となりますので重要なわき役となります。

5 泥濃式推進工法の高濃度泥水材

泥濃式推進工法では、工法の特長を十分に生かすため、高濃度泥水の配合・注入量が重要となります。

基本的には、吸引排土方式での安定

した泥土の搬送を確実にすることです。掘進機の後方にて人が排土補助を兼ね備えているので、掘進排土状況の判断は早い対応になります。一般的に高濃度泥水はベントナイトを主成分とした材料が主流となっています。

掘削攪拌された泥土の排土状況は、吸引排土を優先にしているため、高濃度泥水注入率を高くし、土質変化にも対応がしやすい工法となっています。また、礫等吸引排土不能ものの分別、礫破碎機能を装備した掘進機での対応が行われますが、粘土・シルトの含まれない砂層（均等係数の低い土質）での真空排土では、配管内での分離沈降の度合いが高くなる恐れがあり、材料の配合や注入量の対策検討が必要となります。

また、泥濃式推進工法において、対象土質によっては、掘削泥土を一次処理機によって産廃量の低減を図り、高濃度泥水の再利用をする場合もあります。今後は、高濃度泥水の再利用が大きく貢献すると思われます。

6 裏込め注入材

裏込め注入は、推進完了後速やかに管と地山の空隙を充填し地山の緩みを防止する目的で行います。標準配合では、セメント、フライアッシュ、粉末粘土、ベントナイト、分散剤を混練していましたが、昨今、作業性から取り扱いの容易な混合型が主流となっています。この混合型は、地山同等以上の強度を有し、注入配管内の分離を最小減にしたり、ブリージングを少なくする対応等、現場での取り扱いを重視した材料になっています。また、環境にも配慮し、六価クロムの溶出が問題にならないものとして幅広く採用されています。



写真-10 コーティング材の本剤

7 推進管摩擦低減塗布材

一般的にマニキュア材と言われるもので、推進管のコンクリートと地山との摩擦を低減するものとして推進管のコンクリート部分に直接塗布し、表面の摩擦抵抗力の低減と、土粒子の付着を防止する材料です。また、撥水効果もあり、滑材注入効果をより向上させるために使用します。

通常の使用法は、現場での塗布に頼っているため、塗布から乾燥の時間と作業を伴うことと、推進管が濡れた状態での塗布効果はなくなってしまいます。よって、乾燥完了した状態であればその後雨などで濡れても効果が低減することはないので、今後は、推進管製造後に工場での塗布をすることで、安定した製品としての供給ができると思われます。また、摩擦係数データを推進力計算に提案できるようになることも考えていきたいと思います(写真-10~13)。



写真-11 コーティング材の塗布作業状況



写真-12 コンクリート管マニキュア剤



写真-13 マニキュア剤塗布前後のコンクリート管

8 おわりに

以上、推進技術の名わき役を紹介しました。推進工事は、映画やドラマを創りあげるのと同様に、さまざまな土質、

施工条件に対応するため、我々は日々奮闘努力し、これまでの実績を積み重ね、今日があります。今後、新たな技術開発をしていくためにも、あらゆる角

度から施工実績の分析を行い、改良改善され、より良いものとするため、さらなる名わき役を発掘し起用していけることを希望します。