解説　長距離推進

長距離推進工法における推進力低減について「管を優しく推す」

森長（もりなが）　英二（えいじ）
機動建設工業㈱
機動技研　所長

1　はじめに

長距離推進には様々な技術が要求される。事前調査で、設計施工に関わる全ての条件を洗い出し、掘進機や排土方式等の選定が行われ、滑材も選択される。その全ての機材の性能がその推進工事の成否を決める。その中で、滑材は化学的な性能を発揮することが望まれるゆえ、施工者はそれらの化学的性能を把握して、施工条件に適合させることが必要となる。今回はアルティミット工法における長距離推進の実施例を紹介し「管を優しく推す」推進力低減のための現状の課題と対策を述べる。

2　長距離推進で滑材に求められる性能

（1）推進力の低減効果と管周面地盤の保持機能

長距離推進に使用する滑材にはまず管周面抵抗力を低減する効果が期待される。

全延長でその効果を維持するために、水溶性が小さく、地下水中に含まれる金属イオンの影響を受けにくい性質も必要となる。また、掘進機で作った掘孔と、後続する管材との間のテールボイドと呼ばれる間隙に充填され、周面地盤を保持する機能も要求される。

（2）無公害

水質汚濁防止法や自治体条例等に定められた、人の健康に係る被害を生ずるおそれがある物質（重金属、有機化学物質など）や水の汚染状態を示す項目（pH、BOD、COD、浮遊物質量など）の規制値を上回らないことが求められる。

※水質汚濁防止法：公共用水域の水質汚濁の防止に関する法律

（3）軽量化

少量の配合で必要性能を発揮する材料の使用により、現場での保存性・作業性が改善すると共に、仮置ヤードが省面積化する等のメリットがある。さらに作業所内や近隣への粉塵の飛散リスクも減少するので、作業環境も向上し、近隣への影響も低減する。

また、推進工事では推進管等の成果品として定置するものと、滑材等の仮設的材料とを現場まで運搬する必要がある。使用材料の重量と現場までのトラック等による運送量は比例し、それはそのまま運搬費と運送手段によるCO_2排出量に比例するので、せめて仮設的資材は軽量化を充分図りたい。

滑材の軽量化はコストの低減だけではなく、温室効果ガスのCO_2排出量の削減に繋がることになる。

（4）作業性が良い

現場では、運搬された材料に希釈水を加え、ミキサー等で混練し、その水溶液をポンプで管内配管内を一定時間に定量送る作業が繰り返し行われる。そのため、上記の軽量化もその一つの要素だが、水に溶けやすく、ミキサー1バッチ単位での計量、作液が容易で取り扱いやすい材料が望まれる。

（5）流動性、流体輸送性が高い

滑材の水溶液は発進立坑部から推進管内の配管を利用して掘削機および管内注入箇所に一液か二液で送られる。通常、推進工法での管内配管は切離しと接続が管推進一本毎に行われるため、その作業性からできる限り管径が小さいものが望まれる。また、長距離推進でも測量、作業員や機材の移動、作業環境の保全からもできるだけ配管径を小さくしたい。そのため、滑材水溶液はできるだけ粘性が小さく、圧力損失が少ないもので、配管径が小さくても長距離を圧送できる流動性・運搬性の高い材料が望まれる。

3 長距離推進事例

3.1 事例1 大口径多曲線長距離推進

工　　法：アルティミット泥水式推進工法
推進管径：φ2,600mm
推進延長：L＝774.3m
土 被 り：約13m
土　　質：風化・強風化花崗岩
　　　　　砂礫土（一部）
曲線半径：7連曲線（R＝400、400、2000、2000、300、4000、180m）
滑 材 名：一次注入用　流動性可塑剤アルティークレイ
　　　　　二次注入用　アルティーK
滑材注入方式：ULIS（アルティミット滑材充填システム）

アルティミット滑材充填システム（ULIS）は施工条件に最適な滑材を適位置に適量を自動注入するシステムで、その継続的な滑材注入の結果、一次注入滑材に採用した流動性可塑剤アルティークレイは、1.5ショット方式で容易に管外周の空間に充填され、テールボイドを維持し、二次注入滑材として注入したアルティーKはアルティークレイと管外周面管の隙間で減摩効果を発揮し、大幅な周面抵抗力の低減となった。

流動性可塑剤アルティークレイは曲線推進時にも管材に優しく推進力を大幅に低減することができる。それは流動性を有するため、管材の曲線通過時に変化するテールボイド幅にフレキシブルに対応し、かつその超高粘性で砂礫地盤でも逸失せず、側方反力を分散するため管に優しく、推進抵抗も小さくすることができる。多曲線推進にも関わらず、最終計画推進力28,000kNに対し、最終実推進力は約9,600kNと約34%で到達し、当初計画した2箇所の中押装置は使用しなかった（**図－1**）。

3.2 事例2 海底長距離推進

工　　法：アルティミット泥水式推進工法
推進管径：φ1,650mm
推進延長：L＝412m
土 被 り：4.4～1.1m
土　　質：推進延長412mのうち、約300mまでは珊瑚礁岩を含む砂礫層地盤、残り112mは珊瑚礁岩層の全延長海底地盤。
曲　　線：水平曲線
　　　　　R＝192m　1箇所
　　　　　鉛直曲線
　　　　　R＝800m　1箇所
勾　　配：－33.77～0.0‰
滑 材 名：一次注入用　流動性可塑剤アルティークレイ
　　　　　二次注入用　アルティーK
滑材注入方式：ULIS（アルティミット滑材充填システム）

管と地盤の空隙に過不足のない注入量管理ができるアルティミット滑材充填システム（ULIS）で計画実施。一次注入材として、超高粘性で耐塩性に優れた流動性可塑剤アルティークレイを使用して塩分による滑材の変質と地中への逸失を防止した。二次注入材としては、減摩効果に優れた高粘性滑材アルティーKを推進管の外周と超高粘性滑材の間に充填して、推進抵抗力を効果的に低減させた。なお、珊瑚の海の環境保全の問題から、一次注入材、二次注入材ともに安全性が高い中性の滑材となっている（**写真－2**のようにアルティークレイは海水中でも長期間影響を受けない）。

最終計画推進力8,247kNに対し、最終実推進力は約3,000kNと約36%で到達し、当初計画した1箇所の中押装置は使用しなかった（**図－2**）。

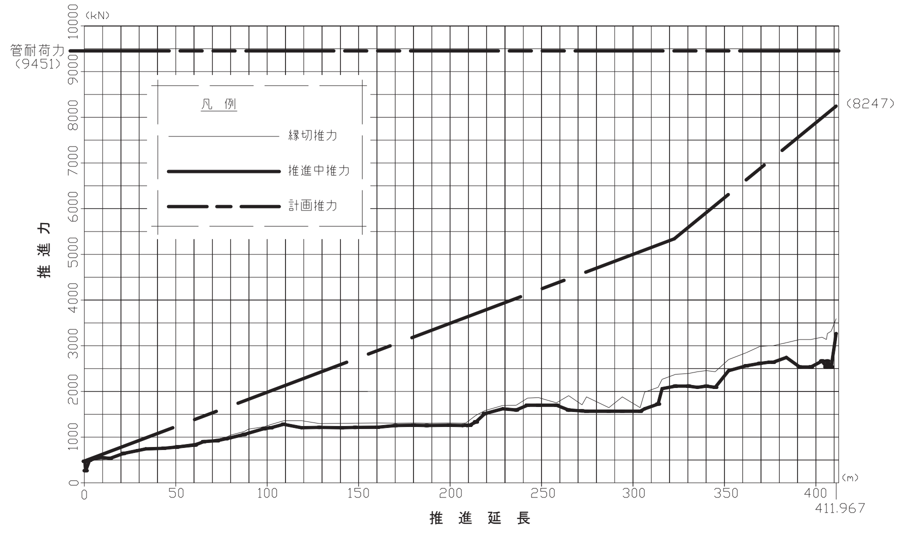
図－1　推進力管理図

3.3　事例３　小土被り長距離推進

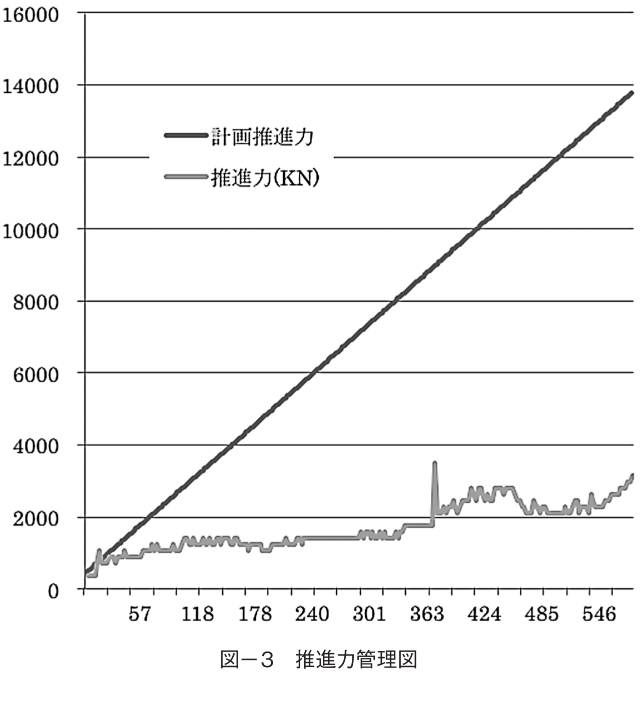
工　　法：アルティミット泥水式推進工法
推進管径：ϕ1,800mm
推進延長：L＝583.7m
土 被 り：最小1.65m
土　　質：シルト混り砂礫層
曲　　線：R＝192m
　　　　　CL＝211m　１箇所
滑 材 名：一次注入用　流動性可塑剤アルティークレイ
　　　　　二次注入用　アルティーK
滑材注入方式：ULIS（アルティミット滑材充填システム）

本工事は小土被りで地上への噴出や地山の崩壊が懸念されることから、一次注入滑材としては超高粘性を維持し地中への逸失が無く、地盤から受ける圧力に対しても高い圧縮強度を発揮する性質が必要であった。そこで、一次注入には1.5ショット方式で充填性能と減摩性の両方に優れた超高粘性の流動性可塑剤アルティークレイを使用し、掘進機後方の推進管外周部オーバカット部（テールボイド）に、初期発進時から注入を確実に行った。二次注入にはベアリング作用による潤滑効果が働き、地盤と管の減摩性能が特に優れた高粘性滑材のアルティーKを、アルティミット滑材充填システム（ULIS）にて推進延長25mピッチで適位置に適量注入することで、推進管外周地盤への逸失や劣化に対する補足を自動的に行った。その結果、大きな減摩効果を得ることができ大幅な周面抵抗力の低減が図れた。なお、両滑材は、中性で安全性が高いため地中環境の保全でも優れている。

最終的には、計画所要推進力13,700kNに対し実績推進力は4,200kNと計画の約30％で到達させることができ、設置していたシールド筒や中押装置を使用することはなかった（**図－3**）。

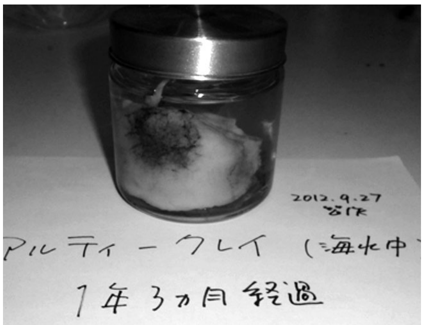


図－２　推進力管理図



図－３　推進力管理図

写真－１　流動性可塑剤アルティークレイ　PAT.



写真－２　流動性可塑剤アルティークレイ（海水中）
（海水内で１年以上経過後も変化無く性能を維持。表面には食品のように黴が付着）

4 現状の課題と今後の方向性「管を優しく推す」

滑材性能等の推進工法の技術が向上し、長距離推進が可能になってきたが、中口径管のこれ以上の長距離化は作業環境や安全の観点から望まない。

φ1,500mm程度以上の大口径管は、作業環境的には問題は少ないので、滑材の推進力低減効果の面だけからみた場合、今以上の長距離化は可能と思われる。ただ、長距離化が管材に推進力やその地盤反力等でダメージを与えることは、良質なライフラインを築造する手段としての推進工法自体の存続意義を失わせてしまう。製造工場で認定された品質を維持したまま、地中の設計位置にその管材を正確に設置するのが推進工法の役割。

良質な長距離ライフラインを安全に構築する「管を優しく推す」というテーマを推進力低減面から見た場合に下記の配慮が必要となる。

4.1 地盤調査

土質調査ポイントを多くして透水係数等の地盤条件を特定していただくことが滑材の最適な選定と注入量の計画の円滑化を可能とし、トラブル回避に繋がる。当然、障害物調査も全延長でパーフェクトに行われる必要がある。

4.2 地下水調査

工事途中で推進力が急に大きくなったため、立坑部で湧出している地下水を調査すると塩分濃度が高いことが判明することがある。応急的に滑材に耐塩添加剤を入れ、注入量を増やす等の処置で対応するが、一度上昇した推進力は下がらないため、長距離推進では致命的になる。

一液性滑材等の推進工法の注入材は殆ど水から組成されているために、地下水質が注入材に大きな影響を与え、それがそのまま推進工法の品質に影響を与える。塩分濃度等の地下水の調査は事前に行い、材料の選定と注入量の決定の根拠にしたい。

4.3 滑材の希釈水の水質

工事中、ミキシング後の滑材の水溶液の粘性が所定より小さいことがわかり、確認すると滑材の希釈水に現場内の井戸水を利用していることがある。

ベントナイト、吸水性樹脂、高分子系材料等の薬剤は希釈水の水質の影響を大きく受ける。施工条件で井戸水や河川水（塩分を含む水や硬水）を希釈水として利用する場合は事前に塩分・金属イオン濃度試験をするか、注入材の水溶液試験をして、異常がある場合は、水道水等を運搬使用する必要がある。

4.4 滑材の計画注入量の決定

滑材の計画注入量は管径と推進距離により決定されている場合が多い。

実際には透水係数等の地盤条件や地下水質や地下水量、掘進機の掘削拡幅によるテールボイド量、推進経過時間による滑材の劣化等を考慮する必要がある。滑材の選定と注入量は現場の様々な施工条件により事前に決定し、不足が無いように数量管理しながら所定位置に所定量を注入する必要がある。

長距離推進では、推進力の上昇後に、滑材の注入量を増やす等のその場しのぎの反応的な対応は致命傷になる。

4.5 裏込め充填

推進終了後にもテールボイドには滑材が残存する。そのスペースに裏込め材を注入することになるが、残存する滑材の流動性が小さい場合は、所定量が注入できない場合がある。特に、土被りが小さく、地盤保護のために固結型可塑材を一次注入で使用する場合にも、可塑材もいずれ劣化することを想定し、掘進機による拡幅量をできるだけ小さくする等の配慮は近接埋設管や地表面に影響を与えないために必要となる。

【参考文献】

1）「推進工法における注入技術」月刊推進技術Vol.26. No.12（2012年12月号）他

2）「大中口径管推進技術、適用分野の拡大　海底推進と掘進機の海中からの回収」No-Dig Today No.76（2011年7月号）他