

解説 礫・玉石に挑む

礫・玉石推進に求められる掘削添加材および滑材の性能

もりなが えいじ
森長 英二

(株)機動技研
代表取締役



1 はじめに

推進工事における様々な施工条件のなかでも、礫・玉石推進は、非常に難易度が高い条件の一つで、その理由として下記の項目が挙げられます。

- ・地盤に間隙が多く、透水係数が大きくなること。推進用薬剤の性能維持の観点から見ると、掘削添加材や滑材は周辺地盤に逸失し易くなりますので、効果が発揮されにくくなります。
- ・巨礫や玉石がヒューム管に転動接触することにより、急激な推進力上昇と管割れが発生する可能性が高いこと。
- ・掘削土が沈降し易く搬送が難しいこと。

掘削添加材と滑材には、上記の問題に対応しうる性能が求められます。

そこで薬剤の供給サイドの視点から、礫・玉石地盤における掘削添加材と滑材の問題点と、求められる性能、及び当社の薬剤の開発経緯と性能、施工事例について述べたいと思います。

2 掘削添加材に求められる性能

掘削添加材は泥水式、泥土圧式、泥濃式など工法によって分別されます

が、礫・玉石地盤において、掘削添加材に求められる性能は共通して以下の機能であるものと考えます。

- ①地盤の間隙へ逸失しないこと
- ②対地下水の耐希釈性に優れること
- ③切羽圧を保持すること
- ④掘削土の沈降を防止し、搬送性、流体輸送性に優れること。

2.1 泥土圧式推進工法用の掘削添加材

泥土圧式はスクリュ排出+コンベア搬送+ズリ台車搬送もしくはポンプ圧送による1wayの排出方式です。近年では主一体型の掘削添加材が主流で、CMCを主成分とするものや、高吸水性ポリマを主成分としたものが多く、礫・玉石地盤においては前述の機能を付与するために高濃度・高粘性の配合とすることで対策しています。

2.2 泥濃式推進工法用の掘削添加材

泥濃式はバキューム式排出による1wayの排出方式であり、礫・玉石地盤では一体型の掘削添加材+目詰材という配合が一般的です。目詰材は新聞紙を粉碎したタイプやパルプ繊維を圧縮したタイプがありますが、地盤の間隙を目詰めし、高濃度泥水の逸失及び地下水からの希釈を防止する目的で使

用します。掘削添加材は高濃度・高粘性の配合とすることで掘削土搬送性を向上させますが、さらに高比重とするため粘土を併用する場合があります。

2.3 泥水式推進工法用の掘削添加材(泥水調整材)

泥水を切羽に送泥して切羽圧を保ちつつ掘削土とともに排泥し、地上設備にて砂礫を分離、再び泥水は送泥して循環する方式です。流体輸送には泥水の粘性、比重、流速が密接に関係しています。礫・玉石地盤においては、特に前述の①、②、③の切羽を安定させる機能を泥水に付与することが重要であると考えます。特に透水係数が 10^{-2} 以上となるような地盤である場合、ファンネル粘度の高粘性化、粘土による高比重化、そして目詰材を併用することで、大きな間隙への泥水の逸失を抑え、切羽圧を安定させることが不可欠です。そして④の流体輸送性を向上させるためには流速も重要となりますが、ただ流速を上げるだけでは掘削土の取り込みすぎに繋がる恐れがあるため、掘進速度とのバランスが重要であると考えます。従って、泥水調整材による流体輸送性の向上も重要となります。

弊社ではさらなる掘削添加材の性能向上を目指し、泥水の性能にはYV（イールドバリュー）が重要なファクターであることに注目しました。そして、ベントナイトやCMCに変わる一体化型の泥水調整材マッディ-Gを開発致しました。近年、アルティミット泥水式推進工法における主流な泥水調整材となってきております。

掘削攪拌時と、流体循環停止による圧力開放時に切羽やテールボイドの崩壊を防止すると同時に、流体輸送時は管内の流速を維持且つ振動節で容易に掘削土と分離します（図-1）。

礫・玉石地盤においても本流体特性を主軸とした泥水配合により実績を取っております。

れていますが、以下のように大きく分類しました。

- ①一液型滑材（粒状型・混合型）
- ②可塑材（水ガラス系二液固結型）
- ③流動性可塑材
- ④遅硬性滑材
- ⑤標準滑材

この中で、礫・玉石地盤で使用されている現在主流な滑材は①、②、③であると思われます。それぞれの滑材の特長と礫・玉石地盤への適応性について以下の如く解説します。

①一液型滑材

現在は粒状型が主流で、高吸水性樹脂を主成分とする少量型で作業性の良い最も一般的な滑材です。高吸水性樹脂によるベアリング効果・テールボイド保持効果と逸失防止効果が主な特長で、性能は各社品様々です。主に普通土～砂、砂礫層まで幅広く使用されています。礫・玉石地盤への適応性については、間隙の大きさや透水係数が非常に高いことに対応できるかがポイントになりますが、間隙への目詰りが完全に可能であるか、テールボイドを完全に保持できるかといった問題点もあり、単体で完全に対応するのは難しいのではないかと考えます（写真-1）。



写真-1 アルティ-K

3 泥水調整材マッディ-Gについて

マッディ-Gは少量の配合で高性能な泥水を作ることを目的とし開発したアルティミット工法泥水式の泥水調整材です（表-1）。従来の標準設計配合が粘土・ベントナイト等を多量に使用し比重1.25程度の泥水とすることで切羽の保持と流体輸送性等を向上させようとするのに対し、マッディ-Gは特長的な流体特性（高YV）により、

4 滑材に求められる性能について

礫・玉石地盤において特に、滑材に求められる性能は以下の機能と考えます。

- ①地盤の間隙へ逸失しないこと
- ②地下水からの耐希釈性に優れること
- ③テールボイドを確保し、玉石礫のヒューム管への接触を防止すること

5 滑材の種類と特長

現在、各社より様々な滑材が市販さ

表-1 マッディ-Gと標準設計配合の比較

	マッディ-G配合		標準配合	
配合 (1m ³ 当り)	マッディ-G 水	34kg 986L	笠岡粘土 ベントナイト CMC 水	300kg 100kg 1kg 839L
比重	1.02		1.24	
ファンネル粘度	65秒		65秒	
YV	33		16	

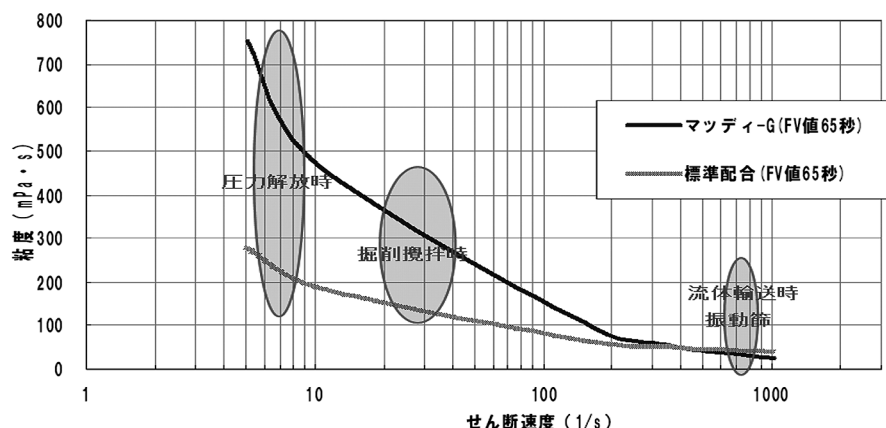


図-1 マッディ-Gと標準設計配合の流体特性比較

②可塑材

二液混合により約30秒で寒天状に固まるのが主な特長。テールボイドや地盤間隙で固まるので、特に透水係数の高い砂礫・玉石地盤で使用されています。ただし、固まる前に地下水が混入した場合、希釈されたまま固まることとなり性状低下の可能性があることや、固化物がテールボイド内の摺動で潰れることも考えられます。また水ガラスであるのでpHが高く環境面への影響も懸念されます。固化による地盤保持を目的とする側面が強いため、可塑材自体には潤滑性はあまりなく、一液性滑材を併用する場合が多いのも特長です（写真－2）。

③流動性可塑材

通常の可塑材の問題点を解決するべく、弊社独自に礫・玉石地盤対応を目的とし開発しました、新しいタイプの二液混合型滑材です（表－2）。専用の混合器を用いることにより数秒でゲルするため、テールボイドへ注入直後から地下水に希釈されない状態となることで、安定した性能を保つことが可能です（写真－3）。また、ゲル化物は固まることはなく、超高粘性を有しつつ流動化するため、摺動により破壊されることはなく、分裂しても再結合

する柔軟で安定した性状を保ちます。また、摩擦低減効果も低く、滑材としての性能も持ち合わせると同時に、高粘度ゲル体であるため、地盤の間隙への浸透性は小さく、透水係数が高い礫・玉石地盤においても逸失しにくい性能を持っています（図－2）。

6 流動性可塑材 アルティ・クレイの施工事例

工事名：足利市公共下水道西部
汚水幹線築造工事（第7工区）

工 法：泥濃式推進工法

延長L＝720m

土 質：玉石混り砂礫

礫率70% 砂分20%

シルト粘土分10%

礫径750～1,200mm

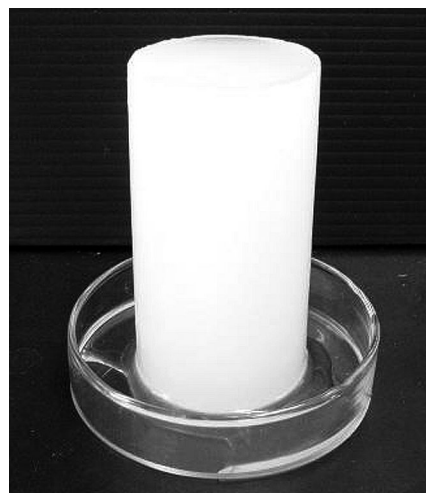
透水係数 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{cm/sec}$

土被り：6～7m

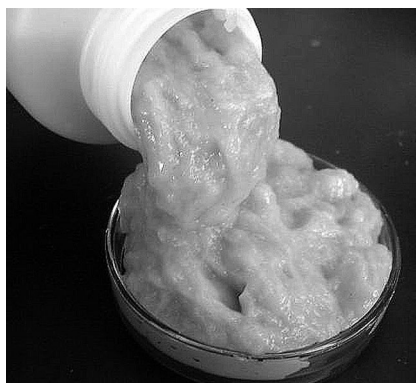
地下水位GL－5～6m

表－2 流動性可塑材アルティ・クレイの配合

	A剤水溶液	B剤水溶液
配 合	アルティ・クレイA剤 18kg 水 193L	アルティ・クレイB剤 3kg 水 197L
合 計	200L	200L
混合比	1	1
	ゲル化物	
合 計	400L	
粘 度	16,000mPa・s	



写真－2 可塑材



写真－3 流動性可塑材アルティ・クレイ

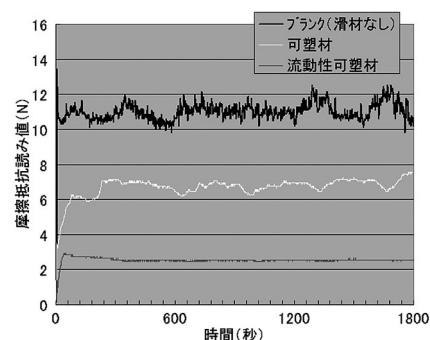
推進管：φ1000mm

管外径 φ1200mm

推進工法用ダクティル鑄鉄管

本現場は透水係数が非常に高い玉石混り砂礫地盤という、極めて過酷な条件下での推進工事でした。通常推進力は、最終的に約7.00kN/m（約1.86kN/m²以下）で推進されました（図－3）。

この現場においては、230m地点で滑材の注入量不足による一時的な推進力の上昇がありましたが、補足注入により2000kN近く推進力が低減しました。また、結果的に礫・玉石の存在、推進用ダグタイル鑄鉄管の継ぎ手部の構造の問題などの複合的要因で途中一部分推進力が上昇したものと思われます。特に今回の現場では、現場でのビット交換などにより、推進開始から完了



図－2 摩擦低減効果比較試験
※回転摩擦試験機により測定



写真－4 回転摩擦試験機

まで約165日間という長時間テールボイドを良好な滑材で充填しておく必要がありました。アルティ-クレイが確実に推進力低減効果を発揮することを実証したものと考察しております。

7 おわりに

近年ますます推進工事は長距離・急曲線など施工条件の難度が上がっており、それに加えて本テーマの礫・玉石地盤のような困難な地盤における推進工法が採用されるケースも増えてきています。推進技術は近年格段に進歩してきました。我々薬剤の供給者も、その一翼を担うものとして、新しいタイプの掘削添加材・滑材の開発を行って参りましたが、今後もますます尽力し、推進工事の施工品質の向上に努める所存です。

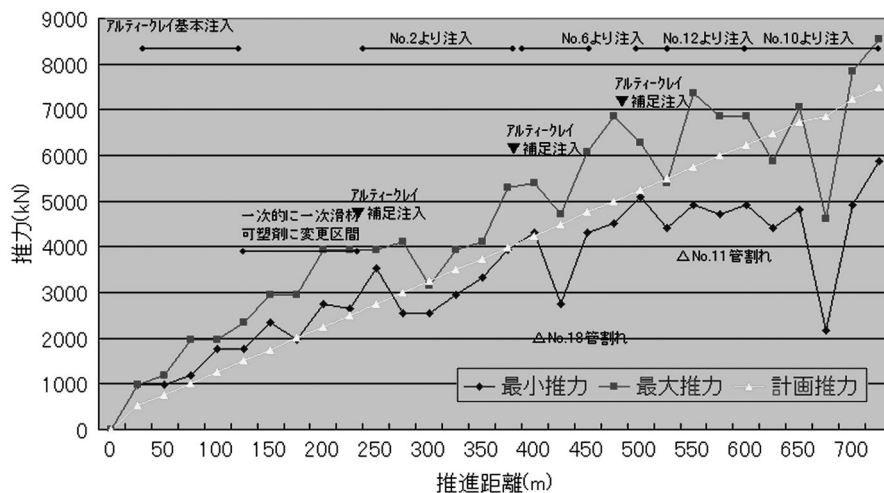


図-3 推進力図

【参考文献】

(財)日本下水道管渠推進技術協会：推進工
法用設計積算要領 泥水式推進工法編

○お問合せ先

(株)機動技研

〒553-0003 大阪市福島区福島4-6-31

Tel：06-6453-1857

Fax：06-6454-0274

<http://www.kidoh.co.jp/giken/>