

解説

土質の変化への対応 —アルティミット工法—

す どう ひろし
須藤 洋

アルティミット工法協会



1 はじめに

筆者が推進工事に従事し始めて3年が経過した頃の話です。小口径管推進工法（呼び径300泥土圧式）に携わっていたおり、到達まで約20mという位置で土質が砂質シルトから砂礫に変化し掘進不能に陥ったことがありました。最終的に中間立坑を築造のうえ工法を変更して再発進し到達しましたが、竣工検査の際に発注者から言われた一言をよく思い出します。その一言は「今度施工する時はどんな土質にも対応できる掘進機（先導体）を用意するように」でした。その時は経験も知識も不足していたためか、「世の中にはそんな掘進機があるのだろうか」程度のことしか考えなかったように記憶しています。

今回の特集は互層地盤を含めた土質の変化への対応ということで、事前に想定される場合とそうでない場合とがありますが、泥水式について施工事例をまじえて記述させていただきます。

2 土質の変化への対応

長距離掘進が進んだ現在では、発進から到達までが同じ土質となることは稀です。また、推進工法が自然流下を対象とした下水道管路だけではなく電力関連、水道さや管、海水取水管等でも採用されていることから縦断

方向曲線や急勾配での施工もあり、このような施工では土質の変化が顕著なのが実情です。そのため、土質の変化に対応できるように掘進機のカッタ形状を検討する必要がありますが、変化前と変化後の土質の組合せによって想定される課題や検討内容が変わってきます。基本はより厳しい土質条件に合わせた掘進機およびカッタ形状を選定することになるため、その他の土質に対してどのように対応するかという検討になります。以下に代表的な検討例を示します。

2.1 岩盤と普通土での変化

カッタ形状は岩盤に合わせる必要があるため、全断面にローラカッタを配置した形状となります。普通土対応については、土質条件によりローラカッタと切削用ビットでのビット交換が適していると考えます。ただ、この場合に注意が必要なのが岩質をこれからの掘進区間に残している可能性があることです。過去の施工では岩質の残りを想定して、外周部はローラカッタを残しフェース部のみ切削用ビットに交換した事例があります（図-1、写真-1、2）。

また、必ずビット交換が必要になるとは言い切れず過去の施工でも軟弱土または砂質土が対象の場合、または残りの延長も考慮してビット交換を実施しなかった事例もあります。

固定ビットについては、岩盤を主に考えれば（硬さorビット高にもよりますが）ローリングを助長することになるため

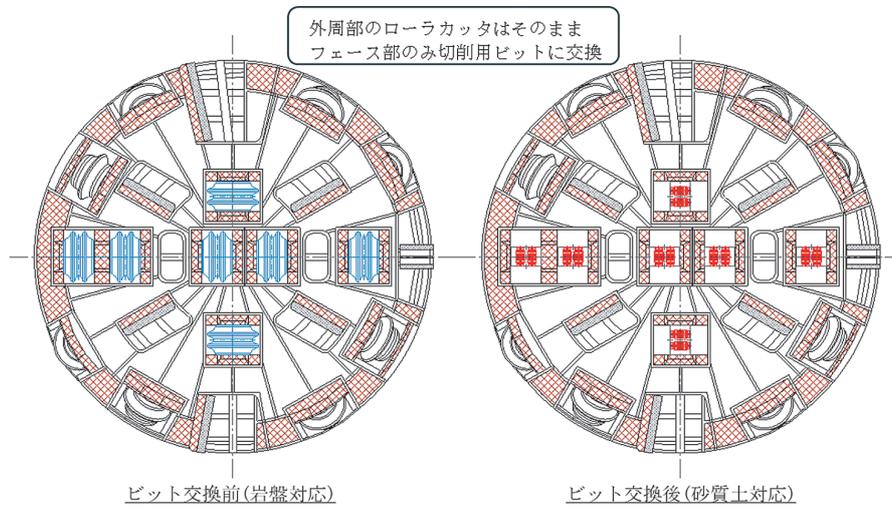


図-1 ビット変更によるカッタ形状比較



写真-1 ビット交換前（岩盤対応）

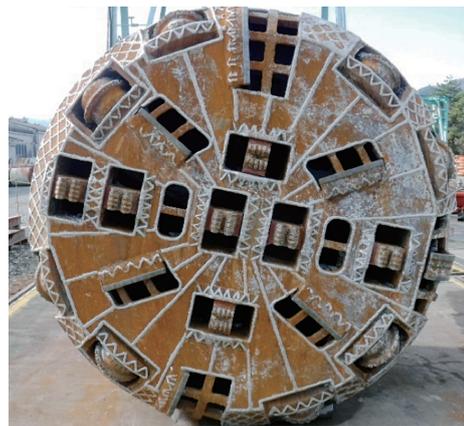


写真-2 ビット交換後（砂質土対応）

控えることが多いですが、普通土対応のことも考えれば検討する必要があります。

2.2 岩盤性状の変化

アルティミット工法では200MN/m²までの岩盤に対応可能としており、表-1のとおりに分類しています。

表-1 岩盤分類

一軸圧縮強度 MN/m ²	軟岩	中硬岩	硬岩
	<10	<80	≤200

一軸圧縮強度の数値のみで判断すれば中硬岩および硬岩ではローラカッタ、軟岩では切削用ビットを適用することになるため掘進途中で岩盤性状の変化がある場合は、岩盤と普通土での変化同様にローラカッタと切削用ビットでのビット交換が適していると考えます。ただし、

硬い岩質が残っている場合があるため全数交換またはフェース部のみの交換についての検討が必要となります。また、軟岩の性状によっては面板閉塞が懸念されることから面板洗浄機構も必要と考えます。

岩盤性状の変化に対しても必ずビット交換が必要になるわけではなく、一軸圧縮強度と合わせて岩質および性状で判断する必要があります。ローラカッタによる過去の施工事例でも砂岩 (23MN/m²) から風化砂岩 (10MN/m²以下) への変化がありましたが、硬い岩質を残している可能性があること、泥土化の可能性が小さいことからビット交換は行いませんでした。

2.3 岩盤または巨石土と硬質粘性土での変化

これは非常に難しい組合せで、このような案件の検討ではいつも悩みます。課題として挙げられるのは次の内

容です。

- ・ カッタに掘削土砂が堆積または付着することで切削能力の低下や面板閉塞が発生
- ・ ローラカッタが回転せずに偏摩耗が発生

この場合はローラカッタと切削用ビットでのビット交換が必要だと考えます。また、ビット交換だけでは切削能力の低下や面板閉塞の防止が難しいため、面板洗浄機構を有した掘進機を選定するようにしています(写真-3)。

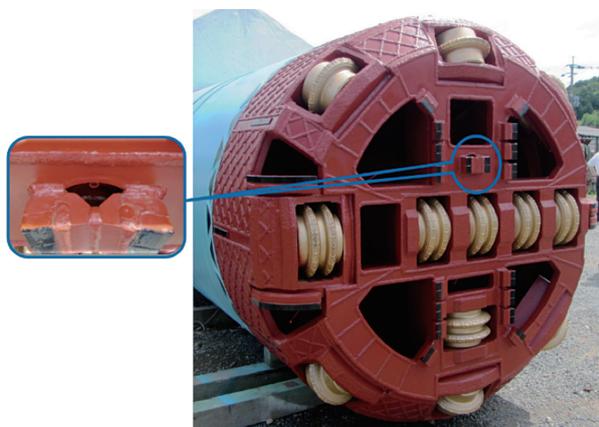


写真-3 面板洗浄機構吐出孔

2.4 砂質土と粘性土

筆者が施工に従事し始めた頃は、開口率10~12%でカッタ形状は同じとして泥水の性状の調整による対応が多かったように記憶しています。個人的な考え方かもしれませんが、粘性土については開口数が多く開口率としては高くても、テースビットに付着し近接している開口部を閉塞させることが懸念されることから、開口数を増やすのではなく開口を大きく設けて取り込む方が良く考えます。開口を大きく設けて取り込みやすくすることで面板閉塞を防止し、日進量の低下防止にもつながると考えます。ただ、この場合は排泥管口の閉塞防止対策が必要となります。

2.5 互層地盤

互層地盤で難度が高いのは、掘削断面の下半が岩盤で上半が砂質土または礫質土の場合だと考えます。この条件は岩盤層から一般的な地盤への変化区間またはその逆において対象となることが予想されます。課題として挙げられるのは次の内容です。

- ・ 上半部地盤の取込過多の発生
- ・ 下半部岩盤層に乗り上げることによる精度不良の発生

この場合、掘進速度は岩盤層に合わせるようになるため、取込過多防止措置として掘削断面が完全に变化するまでの区間において、地盤改良が必要になると考えます。ただし、この変化区間を見極めることが難しく、土質調査結果を基に作成された地質縦断面図だけでは改良区間が不足することが懸念されます。より確実な地盤改良のためには詳細調査が必要だと考えます。

2.6 施工途中での想定外の土質の変化

想定外の土質の変化や相違が発生した場合、その対応にかなり苦慮することになります。最悪の場合、掘進不能にも陥ることが懸念されますが、主なパターンとしては次のようなものがあります。

- ・ 岩盤の出現
- ・ 普通土対応掘進機での施工中に礫の出現
- ・ 岩盤または巨石対応掘進機での施工中に硬質粘性土の出現
- ・ 礫破碎型掘進機の対応能力を超える大きさの石の出現および礫率の上昇

土質調査では確認されなかった土質の変化がある場合は、当然事前の対応ができていないためかなり難しい問題に発展します。ただ、土質調査では確認されていなくても事前に予見するチャンスはあるはずで、そのためには次の内容の事前確認が重要となります。

- ・ 近接地での施工事例
- ・ 発進および到達立坑での管路高さの土質確認
- ・ 施工条件に対して土質調査が十分でない判断できる際の追加調査の実施

アルティミット工法での直近の施工で巨石対応掘進機において想定外の粘性土が出現した事例がありました。この施工事例では、1回目ビット交換時に掘進機構造を利用してチャンバ内超高压噴射設備の設置と切羽還流増流量ポンプの設置¹⁾にて対応しました。設計時の土質調査は比較的管路に近い位置で実施されており玉石混り砂礫でしたが、粘性土が出現したことと粘性土がどこまで続くのか把握するため追加調査を実施したところ、管路の半分以上となることが判明しました。

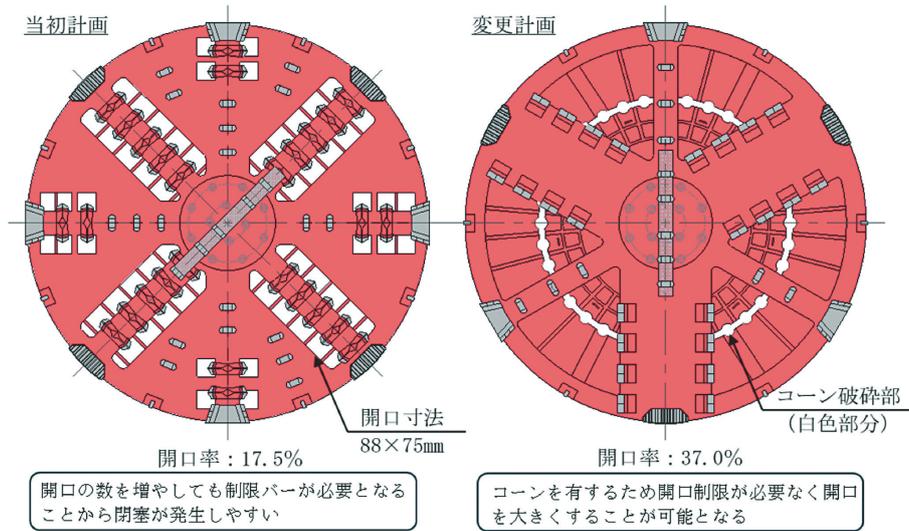


図-2 カッタ形状変更比較

3 施工事例

3.1 砂質土と粘性土の施工事例

工 法：泥水式推進工法（アルティミット工法）

工事場所：滋賀県

呼び径：1350

管 種：外殻鋼管付きコンクリート管 400、500L
推進工法用鉄筋コンクリート管
半管、標準管

推進延長：138.8m

曲 線：R=30m、VR=up300m、R=15m

土 被り：4.0～8.3m

対象土質：砂、砂質シルト、粘性土 N値12～20

発進勾配が下り12.7%で最初のR=30m区間にて砂質土から比較的N値の高い粘性土に変化し、VR=up300mを経て上り2.9%勾配で到達するまで粘性土が対象となることが判明しました。砂質土と粘性土の条件は表-2のとおりです。また、粘性土区間では輻輳した埋設管および構造物に加え国道1号とJR高架下を横断することから、粘性土による面板閉塞を引き起こした場合は地上からの対応が難しいことが懸念されました。そのため、面板洗浄機構を有する掘進機が望ましいと考えましたが、呼び径1350の急曲線対応機は減速機付きのセンタモータ構造のため改造ができません。そのため、当初の普通土用掘進機（砂質土対応カッタ）から開口

表-2 土質条件

	N値	粒度構成	対象延長
砂質土	16	0.0-76.4-23.6%	39.4m
粘性土	18	0.0-1.8-98.2%	99.4m

※粒度構成は、粗粒、中粒、細粒径の3種

の大きい礫破碎型掘進機に変更することを提案しました（図-2）。

この変更提案については社内で異なる意見もあり、承認に時間を要したことを記憶しています。なお、礫破碎型掘進機の場合は粘性土によるコーン破碎部の目詰まりの可能性があることから、チャンバ内の洗浄機構としてJET吐出孔を装備しました（写真-4）。



写真-4 コーン内JET吐出試験

施工結果として、粘性土による面板閉塞およびコーン部閉塞が発生することはない、また発進および到達の鏡防護（高圧噴射攪拌工法）区間においても破砕片による閉塞もなく順調に掘進することができました。

3.2 巨石土と硬質土の施工事例

工 法：泥水式推進工法（アルティミット工法）

工事場所：福岡県

呼 び 径：2000

管 種：外殻鋼管付きコンクリート管 標準管
高耐圧対応コンクリート推進管 標準管

推進延長：468.6m

曲 線：VR=up1000m

土 被 り：10.5～6.9m

対象土質：凝灰岩礫、凝灰質砂 N値50以上

追加ボーリング調査によって凝灰岩礫層で最大190mmのコア状の礫が採取されたことから、最大礫径は3倍想定で570mm程度と想定されました。また、凝灰質砂層は分類上では砂地盤ですが細粒分が31%程度含まれておりN値も高いことから掘削土砂が泥土化し面板閉塞を引き起こすことが懸念されました。凝灰岩礫層および凝灰質砂層の条件を表-3に、土質変化の対応策を次に示します。

表-3 土質条件

	N 値	粒度構成	対象延長
凝灰岩礫	50超	53.1-21.9-25.0%	105.7m
凝灰質砂	50超	7.6-61.0-31.4%	362.9m

※粒度構成は、粗粒、中粒、細粒径の3種

(1) 面板形状およびビット配置

面板閉塞を防止するには開口を大きくとることが有効となりますが、この場合ローラカッタによる軌跡の確保が難しくなります。そのため、可能な限りローラカッタの軌跡を確保したうえで開口を比較的大きくしました（開口率30.0%）。固定ビットの配置については凝灰質砂層のN値が50以上で対象延長も長いことから、強化型ビットの軌跡を全断面確保する配置としました。なお、強化型ビットの損傷を防止するためビット高さは外周部を除いてローラカッタと合わせることとしました（写真-5）。



写真-5 巨石土+硬質土カッタ形状

(2) 面板洗浄機構

凝灰質砂層において掘削土砂の泥土化によるビットへの付着とコーン部の目詰まりを防止するために、面板正面に泥水吐出孔を設けました（写真-6）。



写真-6 面板正面泥水吐出孔

(3) 破砕用コーンの強化

凝灰岩礫層の対象距離は短いですが破砕用コーンの摩耗および損傷が懸念されたことから、インナーコーンのチップインサート改造を実施しました。

施工結果として、凝灰岩礫層掘進中はカッタトルクが大きく振れることもありましたが、凝灰質砂層掘進中は懸念されたコーン部目詰まりやビットへの付着による切削能力の低下が発生することなく当初計画以上の日進量を確保することができました。

4 おわりに

冒頭での発注者からの一言については現場を離れるまでは忘れていましたが、現在の業務内容に携わるようになってから思い出しました。土質変化または互層地盤の検討のたびに考えますが、正直難しい要望なのではないかと思えます。仮に可能だとしてもスペック的にはかなり高く経済性の観点からも良くないのではないかと考えます。

互層地盤を含めた土質の変化に対応するうえで重要となるのが土質調査結果を基に作成された地質縦断図ですが、これはあくまで想定図であり土質変化の位置や地盤の傾き等を正確に特定することは難しいのが実情です。ただ、この地質縦断図の精度を上げるためには細かい間隔でのボーリング調査が必要となります。ボーリング調査は一般には1スパンに2箇所となりますが、長距離施工や土質の変化状況に応じ50～100m間隔とすることが必要とされています。設計段階でより精度の高い地質縦断図となるようにボーリング調査を実施していただき、施工計画時に土質の変化に対して検討できるようになることを願います。

本稿は筆者の主観的な部分もまじえて記述させていただきました。当然、読者の方々の中には否定的な考えを持たれる方もおられるかと思いますが、本稿が土質変化について検討する際の一助になれば幸いです。

【参考文献】

- 1) 「玉石砂礫層の長距離推進を機内ビット交換で施工したアルティミット工法施工報告」吉浜秀昇・中村光伸、月刊推進技術 Vol.38 No.7 (2024年7月)

○お問い合わせ先

アルティミット工法協会

<https://www.ultimate-method.jp>

E-mail : info.ult@ultimate-method.jp

[東京事務局]

〒101-0035 東京都千代田区神田紺屋町 38

エスポワールビル6F

Tel : 03-5289-4774 Fax : 03-5294-1281

[大阪事務局]

〒553-0003 大阪市福島区福島4丁目6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-7087 Fax : 06-6454-0274