

総論 礫・玉石に挑む

礫・玉石地盤、 トラブルのない施工のために



やはぎ もとひこ
矢萩 元彦

機動建設工業(株)
関東支店工事部

1 はじめに

近年の推進工法は長距離・急曲線・大深度・超大口径施工など、10年ほど前には想像もしなかった技術困難な案件が計画・設計・発注され、さまざまな課題を克服しながら施工されています。施工困難と思われる案件に関しても、考えられる問題点をひとつひとつ解決しながら総体としての技術力は著しく進歩しています。

しかしながら、現実の施工現場では大なり小なりのトラブルが発生して、苦勞しながら到達させているのが事実だと思われます。掘進する土質で特に課題が多くトラブルの発生が多いのは礫地盤であり、施工距離の長距離化や急曲線施工・大深度施工の増加と相まってトラブルが多発し、時には取り返しのつかない事態に陥っているケースもあります。

今後の推進工法における開発・改善すべき課題のひとつとして「礫・玉石地盤のトラブルの無い施工」が挙げられますので、以下の章ではその要因と考えられる項目について記述していくことにします。

2 トラブル要因（施工の困難性）

2.1 ビット・クラッシャの摩耗

礫・玉石地盤における施工トラブルの要因としては、岩盤推進と共通する「ビット・クラッシャなどの摩耗」がありますが、事前に礫率や礫強度などを把握したうえで検討計算しなければなりません。その一例を図-1、2に示します。

このような検討計算によって推進可能距離<施工距離となる場合は、推進途中でのクラッシャやビットの補修・交換などを考慮しなければなりません。交換の方法としては中間立坑による外側からの交換と機内からの交換があります。中間立坑による方法は立坑築造場所の確保がポイントであり、都市部の道路上での施工の場合は困難なケースが多くあります。機内からの交換の場合は掘進機に設けたマンホールを開いてチャンバ内に作業員が入って交換作業をしなければなりませんので、薬液注入による地盤改良や圧気による止水や切羽崩壊の防止が必要です。

また、この問題で礫地盤に固有の問題としては摩耗ではなく「礫との衝突」によるビットの欠け(欠損・脱落など)

があり、ビットの材質・形状(角度)などを含めて事前に検討する必要があります。

2.2 礫地盤に固有の問題

礫地盤に固有の問題としては間隙の状況や透水係数による推進工法の適否、礫・玉石の性状把握と破碎方法の検討、外周付近の礫の切削・取り込み、掘進機通過後の礫の転動による推進管の破損、推進力の増大などです。

これらの問題については土質の性状および礫の状況を十分に把握した上で、個別に検討する必要があります。以下に個別問題の検討について記述します。

3 推進工法の適否

礫地盤の推進においてまず検討するのは推進工法の選定ですが、そのポイントとしては間隙率および透水係数や推進距離などによる工法の適否と経済比較です。

機械推進の場合は泥水推進が適応できれば日進量(工期)や工事費および長距離施工の適用性などの点で優位ではあるが、透水係数Kが 10^{-2} cm/secより大きい場合は泥水の還流が困難で

あるため、他の工法（泥濃式・土圧式）を採用するか補助工法（薬液注入による間隙の充填）を併用します。

また、間隙率が大きく切羽および上部砂礫地盤の保持が困難な場合も、レベル方向制御の確保などのために薬液注入による地盤改良を検討する必要があります。

4 礫・玉石の性状把握と 破碎方法の検討

推進工法が決まれば次の問題は礫破碎方法の選定であり、そのためには最大礫径・礫率などの把握が必要です。破碎方法としては面板（ビット）での前面破碎とクラッシャによる後方破碎がありますが、最大礫径が推進管径の1/4～1/3以上の玉石地盤においては面板での一次破碎とクラッシャでの二次破碎を併用する場合があります。それは面板（ビット）への負荷と

クラッシャへの負荷を分散することによって可能推進距離を延ばすとともに、掘進機のトルクを効率よく礫・玉石にかけることによって輸送可能な大きさにスムーズに破碎するためです。

ビットによる破碎にはローラ型が一般的でチップや母材には各メーカーによってさまざまな材質・形状がありますが、礫地盤に特有の問題としてはチップの欠け（欠損）と母材および取り付け部の摩耗があります。礫との衝突によってチップが欠落して急速に摩耗が進行するケースと、チップは健全でも母材や取り付け部の摩耗でローラカッタ自体が脱落するなどのケースがあります。いずれにしても礫の性状によって適切な材質のチップや母材を使用するとともにその形状（ビットの角度）や取り付け方法も十分に検討する必要があります。

また、クラッシャには面板直後の

コーンクラッシャやブレードタイプと機内のラインクラッシャやジョークラッシャなどがありますが、小中口径推進ではその効率からコーンクラッシャが多く用いられます。大口径では面板での一次破碎と併用してラインクラッシャを採用する場合があります。コーンクラッシャやブレードタイプのウィークポイントとしては粘性土に対しては閉塞しやすくなることです。クラッシャの裾部のスリットは流体搬送可能な寸法に制限するため15～30mmが一般的ですが、粘性土が多くなるとスリットでの閉塞が発生しチャンバ全体および面板スリットも完全に閉塞するケースもあります。そのためジェット水による洗浄などの工夫が必要な場合がありますが、根本的な解決の手段は見あたらない現状ですので、今後の技術開発が必要と思われます。

コーンクラッシャー取付の超硬チップがある摩耗量に達すると、2次破碎の能力が著しく低下し運流不能となる。
これがコーンクラッシャーの寿命とされ、土質条件・推進距離等により決定される。

1. 推進可能距離の計算式

$$L = \frac{\delta \cdot v}{k \cdot \pi \cdot D \cdot N}$$

ここに、
L: 推進可能距離 (m)
δ: 摩耗量 (mm)
v: 推進速度 (mm/min)
k: 摩耗係数

土質	摩耗係数 mm/km
粘性土	0.013～0.009
砂	0.021～0.010
砂礫	0.025～0.012
軟岩	0.031～0.012

D: ビット取付径 (m)
N: コーンクラッシャー回転速度 (min⁻¹)

2. 計算条件

1) 呼び径	φ = 1000 mm
2) カッタ回転速度	N = 4.0 min ⁻¹
3) ビット取付径	D = 0.773 m
4) δ値	δ = 10 mm
5) k値	k = 0.025 mm/km
6) 推進速度	v = 30.0 mm/min
7) 推進延長	L = 1069.0 m

$$L = \frac{\delta \cdot v}{k \cdot \pi \cdot D \cdot N} = 1235.4 \text{ m}$$

◎以上の計算結果より推進可能距離は1235.4mとなります。
本推進可能距離は実績を基に計算しています。
土質条件によっては変化しますので施工を保證するものではありません。

図一1 コーンクラッシャ摩耗計算例

カッタの刃先がある摩耗量に達すると、掘削能力が著しく低下し推進不能となる。
これがカッタ寿命とされ、土質条件・推進距離等により決定される。

1. 推進可能距離の計算式

$$L = \frac{\delta \cdot v}{k \cdot \pi \cdot D \cdot N}$$

ここに、
L: 推進可能距離 (m)
δ: 摩耗量 (mm)
v: 推進速度 (mm/min)
k: 摩耗係数

土質	摩耗係数 mm/km
粘性土	0.013～0.009
砂	0.021～0.010
砂礫	0.025～0.012
軟岩	0.031～0.012

D: ビット取付径 (m)
N: カッタ回転速度 (min⁻¹)

2. 計算条件

1) 呼び径	φ = 1000 mm
2) カッタ回転速度	N = 4.0 min ⁻¹
3) ビット取付径	D = 1.25 m
4) δ値	δ = 18 mm
5) k値	k = 0.025 mm/km
6) 推進速度	v = 30.0 mm/min
7) 推進延長	L = 1069.0 m

$$L = \frac{\delta \cdot v}{k \cdot \pi \cdot D \cdot N} = 1375.1 \text{ m}$$

◎以上の計算結果より推進可能距離は1375.1mとなります。
(本推進可能距離は実績を基に計算しています。実際と多少異なる場合があります。)

図一2 ビット摩耗計算例

5 外周付近の礫の切削・取り込み

礫・玉石地盤の推進において外周付近に存在する礫（玉石）を取り除かなければ、蛇行したり推進抵抗が増大したりで掘進することが困難になります。

大きな玉石以外の礫は基本的に切削することが困難で取り込むこととなりますので、掘進機あるいは掘進機直後で速やかに取り込んだ後の空隙を充填することが重要なポイントになります。充填する滑材は充填性能を重視して選定しますので、2液でショットする固結滑材や高粘性滑材が採用されるケースが一般的です。

大きな玉石が外周付近に存在する場合は、切削するか取り込むかは大きな問題ですが切削することができればそれにこしたことはありません。大きな玉石を取り込んでしまえば残土量が多くなり大きな空隙ができますので、充填・保持することが非常に困難になります。しかし、切削するためには玉石が移動しないこと、切削用のビットが外周に配置されていること、切削中も切羽のバランスが崩れないことなどが重要です。比較的締まった礫層であれば玉石は切削中に動くことはありませんが、緩い砂礫層であれば切削中に玉石が動くことがあり、そうなれば切削は困難になりますので、薬液注入などで玉石を固定することもあります。外周のビットの配置は必ず必要ですが、とりわけ礫地盤の場合は外周には主ビットより先行し外周オーバカットを確実にこなすためのローラビット（ゲージカッタ）を装備します。ゲージカッタの形状・寸法や取付角度は礫・玉石の性状によって適切な配置を検討しなければなりません。また、玉石の切削時はジャッキスピードを遅く

しなければならぬため、切羽のバランスが崩壊する可能性があります。そのため、礫・玉石層を掘進する場合全てについて必要なことですが、切羽圧の管理を徹底する共に泥水の比重・粘性などの管理を厳格に行なわなければなりません。また、排出される土量の状況を監視して変化がある場合は早めの対策を講じる必要があります。

6 管外周礫転動による推進管の破損防止

礫・玉石地盤の推進施工での重要管理項目として、推進管の破損防止があげられますが、そのケースは曲線部にさしかかる管体や推進力が増大した場合など、破損する要因は施工現場により異なります。掘削対象土質が礫・玉石の場合は管外周部への転石による締め付けでの推進力の増加や管内面へのひ

び割れ発生等など、防止対策項目が必要となります。

掘進機の面板外周切削により発生する拡幅掘削（テールボイド）は、地山締め付け防止など推進には必要不可欠ですが、礫対応により掘進機面板に備え付けたゲージカッタやシェルビットによる切削の影響も大きく、礫破碎などでの掘進スピードの低下により掘進機が通過した地山は非常に脆く、崩れやすい状態になっています。

しかし、礫層での推進の場合には掘進機通過後のテールボイド部に残留した礫の落下や周面摩擦抵抗により移動しようとする転石が、推進管と地山との間に噛み込み作用が発生します。噛み込んだ転石は推進摩擦により移動しようとするので、推進管外周と地山との間にクサビ効果を生じさせ、推進力の多大な増加となります。また、その

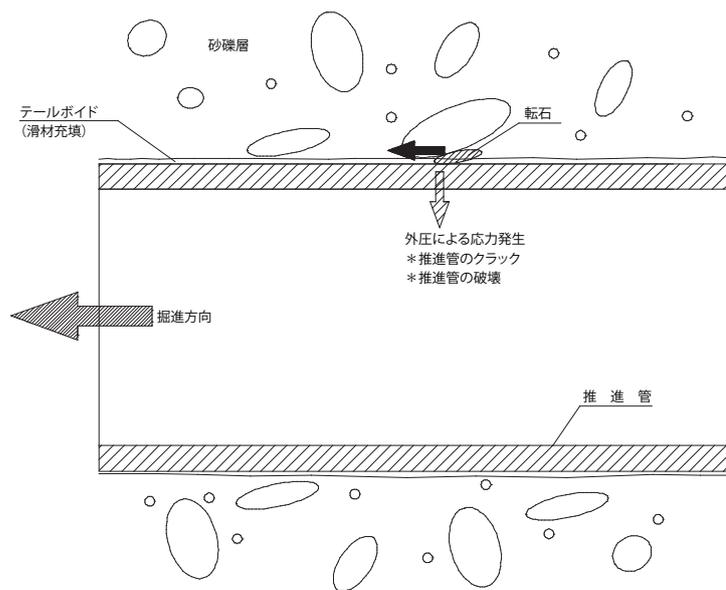


図-3 転石による推進管への影響

クサビ効果により地山の礫と転石が接触し滞留してしまう場合には、推進管に外圧が加わり内面にクラックや表面剥離が発生してしまいます。特に外径の曲率が大きく管径に対して管厚の薄い大口中径管ではコンクリートの部分の破壊が起こります。

防止対策としては、いかに掘進機通過後のテールボイドの保持をするのが問題となります。テールボイドの保持材としては推進工のため、滑材にて対応します。切羽切削により発生した推進管外周のテールボイドには、注入作業により滑材が充填されていますが、礫層での施工の場合には液体性の滑材では自立強度が弱く、また地山間隙への逸液などによりテールボイドの保持は難しいと思われれます。

滑材は施工性・コスト面・性能など著しい進歩がみられますが、特に長期

間や長距離での礫の落下防止や転石防止に適しているのは、テールボイドに残留性の高い、2液ショットタイプの半固結から固結する滑材が望ましいと思われれます。

またテールボイドを確実に維持することにより、地表面の沈下防止や地下埋設物への影響防止になるものと考えられます。(半固結から固結する滑材の選定は、施工路線での近接構造物や埋設物の重要性などや、後に行う裏込注入に関して置換しやすい滑材等にて決定する)

そのような滑材の使用により、残留礫の落下や転石を防止し、推進力の増大防止や推進管の品質保持、埋設物等への影響が少なくできるものと考えられます。

7 おわりに

礫・玉石層の推進施工には特有の技術困難さがありますが、その困難性が設計や施工計画に十分に反映されているとは言い難い状況があります。その原因としては発生しているトラブルの内容が一般的に公開されるケースが少なく、むしろ内々で処理することに起因しているように感じています。

今後もますます礫・玉石層での長距離施工や急曲線施工・大深度施工などの要請が増加すると思われれますので、より確実な礫・玉石層における推進技術の確立が望まれます。このような技術の確立にはトラブルの内容を十分に検討して、推進施工者・設計コンサル・掘進機メーカー・推進管メーカー・滑材メーカーなどがそれぞれの立場で研究開発すると共に共同して問題の解決に当たる必要があるとおもいますので今後の協力をお願いして結びとします。

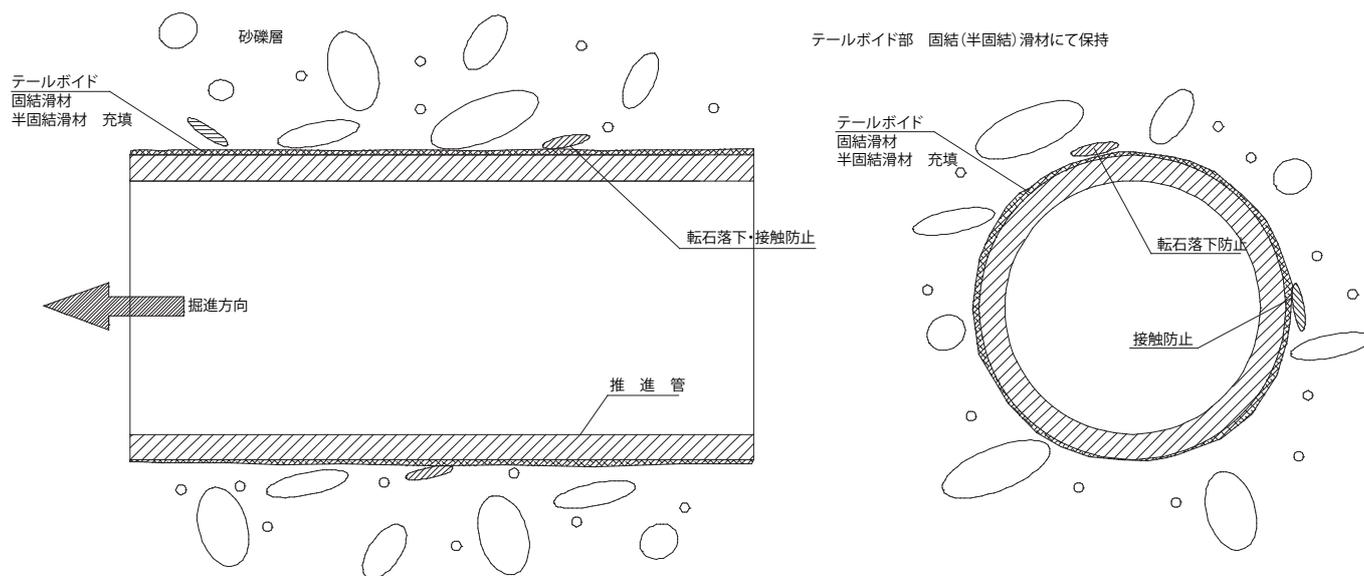


図-4 転石による推進管への影響防止