

# 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)  
 $\delta$ : 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 ( $\text{min}^{-1}$ )

2. 計算条件

1) 呼び径	$\phi = 1000 \text{ mm}$
2) カッタ回転速度	$N = 4.0 \text{ min}^{-1}$
3) ビット取付径	$D = 0.773 \text{ m}$
4) $\delta$ 値	$\delta = 10 \text{ mm}$
5) k 値	$k = 0.025 \text{ mm/km}$
6) 推進速度	$v = 30.0 \text{ mm/min}$
7) 推進延長	$L = 1069.0 \text{ m}$

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

◎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)  
 $\delta$ : 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 ( $\text{min}^{-1}$ )

2. 計算条件

1) 呼び径	$\phi = 1000 \text{ mm}$
2) カッタ回転速度	$N = 4.0 \text{ min}^{-1}$
3) ビット取付径	$D = 1.25 \text{ m}$
4) $\delta$ 値	$\delta = 18 \text{ mm}$
5) k 値	$k = 0.025 \text{ mm/km}$
6) 推進速度	$v = 30.0 \text{ mm/min}$
7) 推進延長	$L = 1069.0 \text{ m}$

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

◎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