

総論

土質変化への対応

なかの まさあき
中野 正明

(公社)日本推進技術協会
会長

1 はじめに

推進工法はその発祥時点から今日まで土との闘い、あるいは土と仲良く折り合いをつけるように努力してきた工法です。対象とする土（土質）がどのような状態かを想定して、それに適する施工方法を選択して適切な施工管理を行えば仲良く折り合える友達ですが、いったんその想定を誤ったり相手（土）の状態が変化してそれに対する対応がうまくいかなかったりする場合は友達どころか手ごわい難敵になります。そのため土質の把握と対応が推進工法の本質といっても過言ではないと思います。施工する路線が一定の土質で変化がなければ事前の把握はたやすく、施工計画も立てやすいのですが、路線途中で土質が変化する場合は事前の把握が困難であったり適切な施工方法の検討も困難になります。

東西（南北）に細長い日本列島は古代の地殻変動によってユーラシア大陸から切り離されたと思われますが、その後も様々な造山運動によって、隆起、褶曲しゅうきよくなどが繰り返されて複雑で急峻な地形になっています。そのため複雑な地盤状況になっているところが多く、その後の浸食、堆積作用も様々な様相を呈しているため地盤状況は一定のところが多い（変化するのが当たり前）のが現実です。

刃口式推進の時代には施工の成否を左右する土質変化＝切羽の崩壊という認識で、切羽が崩壊しなけれ

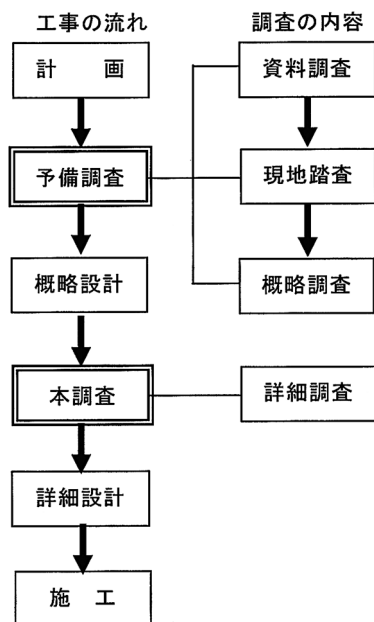
ば土質の種類の変化や礫率、粘着力、間隙率、稠密度（硬軟）などの変化は日進量には影響するものの施工不能に陥るような大きなトラブルにはなりませんでした。例えば切羽に巨礫や岩盤が突如出現しても、ブレーカで砕いたり極端な場合は火薬（発破）を使ったりしてでも施工は可能でした。しかし今日の密閉型機械式推進の時代には土質変化の対応を誤れば大きなトラブルになり、最悪は推進不能に陥るケースもあります。もちろん掘進機は人間よりも強力で耐久力もありますが、いったん適用外の土質に遭遇すると削土の取り込み不良、閉塞、切羽バランスの崩壊、ビットの摩耗などで打つ手がなくなる危険をはらんでいることも事実です。

本稿においては密閉型機械式推進における土質変化への対応をテーマとして、変化のパターンやその対応方法などを検討してみたいと思います。

2 土質変化と想定されるトラブル

土質変化の対応を考える前に重要な前提として、土質変化の情報が設計や施工計画段階で把握されていたものなのか、あるいは把握されずに施工途中で想定外に出現したのかという違いがあります。設計や施工計画段階で把握されていれば、当然事前検討でいろいろな対応が検討されるだろうし、地盤改良や掘進機の改造など事前の対応が可能です（図－1）。それに比べ

て施工途中で想定外に変化する場合は検討できる項目が限られ、地上の状況によっては機内からのみの対応にならざるを得ません。



図ー1 工事の流れにおいて実施される土質調査の内容

2.1 土質分類別変化のバリエーション

推進工法における土質分類はいろいろな提案がなされていますが、ここでは大まかに岩盤、粗石（巨礫）、砂礫、砂、粘性土、有機質土（軟弱土）に分類しておきます。それぞれの分類の中でさらに詳細に強度、粒径、稠密度、透水係数、地下水圧などの要素でその性状が変化すると考えます。そう考えると土質変化のバリエーションは無限にあり、上記の大まかな土質分類における変化だけでも岩盤→巨礫、岩盤→砂礫、岩盤→砂・・・粘性土→軟弱土あるいはその逆も含めると $6 \times 5 \times 2 = 60$ パターンはあるということです。それらのすべてをここに記載して検討することは困難であり、また大きなリスクではなかったり現実にはあまり起こりえなかったりする変化パターンも多くあります。

推進工法において問題となる土質変化としては、岩盤あるいは礫層から砂、粘性土、軟弱土などへの変化とその逆パターンおよび軟弱土にかかわるものがほとんどだと思います。そもそも使用する掘進機が岩盤、礫層とそれ以外の土質では異なりますので、普通土用の掘

進機を投入して岩盤や巨石に遭遇すれば大きなトラブルになります。また、反対に岩盤、巨石用の特殊面板の掘進機を投入して粘性土などに遭遇しても大きなトラブルになります。軟弱土はそのもの自体が推進工法で施工する場合多くのリスクを含んでいますので、他の土質に変化する場合はより一層の注意が必要です。

2.2 土質の状態（土質常数）の変化

先にも述べましたが土質分類は同じでもその性状が変化して、推進施工に影響する場合があります。

【強度】

岩盤や礫層においてはその強度が推進工に大きく影響します。岩盤では10MPaにも達しない強風化の軟岩から富士山の溶岩のように300MPaを超える超硬岩まであり、必要切削トルクやビット摩耗（交換回数）に大きく影響します。また礫層においても礫強度は岩盤と同じく数MPaから300MPa以上までの可能性があり、同じく掘進機のトルクやクラッシャの能力、耐久性に影響を与えます。

【粒径（礫径）】

礫層における推進工では最大礫径が重要な要素であり、礫率の変化も影響を与えます。掘進機内に取り込めない大きさの礫は、面板による一次破碎を行ってから取り込まなくてはなりません。また工法によっては粒度分布の変化に伴い添加材や作泥材の種類や配合および量を調整しなければなりません。

【稠密度（硬軟）】

同じ土質でも良く締まった硬い地盤か緩くて軟らかい地盤かによって、その性状は大きく変わります。一般的には沖積層は比較的緩い帯水層が多く、洪積層は良く締まった難透水層が多く見受けられますが、例外もあります。層境においては（上下）互層になりますので切羽の保持や方向制御に苦慮する場合があります。

【透水係数】

粒度分布の変化や稠密度の変化によって透水係数が大きく変動する場合があります。透水係数が $k > 1 \times 10^{-4}$ m/secより小さくなる場合は大きな問題はないようですが、それ以上大きくなるような場合は、切羽の保持や添加材、滑材の逸出などの検討が必要です（図ー2）。