

総論

“トラブルを未然に防ぐ”には

ふなばし とおる
船橋 透
機動建設工業(株)
関東支店長
(本誌編集委員)



1 はじめに

推進工事は、昭和23年（1948）以来、下水道整備の普及とともに、目覚ましい技術発展を成し遂げ、現在まで多用されてきています。今日では、下水道以外の水道施設、電気、ガス等に採用され、推進工法の位置づけは確固たるものになりました。

しかし、このような発展とは裏腹に数多くのトラブルが発生していたことも否めません。これらのトラブルが、推進工法の技術の発展に寄与していること、すなわち、“失敗なくして成功にあらず”トラブルがあったからこそ克服し現在の推進工法が完成されていると思います。

そこで、今回の特集では、トラブルを未然に防ぐと題して、トラブルにはどのようなものがあるのか？ そのトラブルの失敗事例原因を追究・分類するとともに、実際にトラブルが生じたときの対処・対応を紹介し、そのトラブルによる社会的な損失を明らかにして、トラブルを未然に防止しなければならないことの重要性を理解していただくことにあります。また、トラブルを回避することも然りですが、地中での未知な部分における施工者側から「施工条件明示」の必要項目を提示し、泣き寝入りを阻止していくことも重要です。そのためには、事前調査の重要性を再認識し、設計時点での施工条件の明確化を図る必要があります。これにより、損害を最小限に留めることができるとともに、スムーズな設計変更実施への透明

性と公平性、容易性を確保することが可能となります。

2 トラブルとは？

英語ではトラブルの類似語として、アクシデント、ハプニング、サプライズがあります。

- ・アクシデントは、予期せぬ出来事で、事故または故障であり悪い事態が偶然起きてしまうこと。
- ・ハプニングは、良いことも悪いことも偶然起きてしまった不意の出来事。
- ・トラブルは、問題や困難を指す言葉。故意か偶然かには関係なく、困った事態が起きた時にトラブルにて表現。

広辞苑（第六版、岩波書店）にはトラブル=いざこざ、厄介なこと、悶着、故障とあります。現状では、通常でない状態になったことを動詞化してトラブると言ったり、その事象を元に戻す、改善する、直すことで、トラブルを回避する。といった使い方もします。このように、一般には、ひとくくりの言葉で“トラブル”として使われていると思います。

3 事前調査の重要性

事前調査の目的は、設計、施工にかかわる現場条件を調査・収集・整理し検討することにあります。事前調

査を十分履行することにより、安全性、施工性及び経済性のある設計計画が行われ、トラブルの発生回避につながります。

3.1 事前調査の留意点

事前調査の項目は大きく分けて4つあります。

(1) 立地条件の調査

この調査は、土地利用および権利関係、将来計画、道路種別と交通状況、工事用地確保の難易度、河川・湖沼・海域の状況、工事用電力および給排水設備などの項目を行うのが一般的です。

土地利用の調査は、現地調査により、市街地（居住、商業、工業）や農地、山林、河海等用途別土地利用の現状や市街化の程度を調査するものです。また、公共用地か民地かの各権利も入念に調査しなければなりません。

推進工事では道路下での施工が多く、道路管理者との協議のほか、一般車、バスなどの他企業との調整もあるため、調査に時間がかかる場合もあります。

また、立坑部の作業基地は、推進工のルート選定の段階から工事完了までを通じて、最も重要であり、この土地の確保のためには必要な手段を講じなければなりません。特に、大口径管推進工事の場合は、工法によって差異はありますが、必要最小限の用地確保が必要となります。

河川下や河川に近接する場合は、河川断面や堤防の構造および土質ならびに河川や橋梁の回収計画を調査し、十分な深度と離隔を取ることが必要です。

工事用電力、給排水施設の確保は重要であり、必要であれば予備電源の確保についても検討を必要とします。

(2) 支障物

路線のルート選定に先立って、直接支障があるかまたは、影響範囲にあるかについては、十分な調査をしなければなりません。

この調査は、推進工周辺設備の保全と推進工法の安全性の確保のために必要です。

地下構造物については、構造形式、基礎構造、地下室の有無等、確実な調査をすることです。他ではガス管、上下水道管、電力管、通信ケーブル等の埋設物の位置確認は、推進路線や立坑築造位置に大きく影響するため、調査と他企業者との協議打ち合わせが重

要となります。

防災井戸や古い住宅地などでは、井戸等が存在することもあり、推進時の滑材、裏込材の流出が発生することもあるため注意が必要です。

以前に施工した土留め材等H鋼やシートパイルの残置物も支障となるため、過去の工事の調査も確認することが重要です。

(3) 環境条件

推進工法は非開削で環境にやさしい工法と言われていますが、発進立坑や到達部においては開削で行うため、細心の注意を払うことが重要です。

その調査は、騒音・振動、地盤変状、地下水位、材料（薬液注入、滑材、裏込材）、泥水等地下水の影響、建設副産物の処理方法および再利用、土壌汚染等です。

環境保全のための調査では、推進工事により周辺環境へ影響を及ぼすと予測されるものに関しては、施工前と施工中に調査を実施し、環境保全のための設計および施工管理の資料として用いられます。

(4) 地形と地盤調査

地形および地盤調査は、次の項目について行わなければならないとされています。

- ①地形、古地形
- ②地層構成
- ③土質
- ④地下水
- ⑤酸欠空気、有毒ガス等の有無

これらの調査は、踏査、ボーリング等を適切な方法で行うものとし、調査位置や調査項目については、工事の内容や規模により決定します。

地形および地盤条件は、推進工法の設計、施工の難易度を左右するのでその調査は入念に行う必要があります。

推進工事での地形および地盤調査の概要は表-1の示す通りですが、工事の内容や規模によって追加や省略される場合があります。

予備調査では、既存資料の収集整理、現地調査等により路線全体の全般的な地盤状況の把握です。これにより、地層構成が単純であるか複雑であるか、施工上問題となる地盤条件の予想が可能となり、これに基づ

き基本調査の規模や内容を決定します。

基本調査は、標準貫入試験を伴うボーリングを主体とした地盤の把握です。ボーリングの本数、間隔、深さ等は、地形条件と予備調査から推定される地山条件、管の土被りおよび環境条件によって決められます。一般に1スパンに2か所を原則とし、長距離施工または土質の変化状況に応じ50～100m間隔とし、土質の状態が著しく変化すると考えられる場合は間隔を狭める必要があります。これらの調査結果をもとに地質縦断図が作成されます。

詳細調査は、予備調査や基本調査を補足するも

のであり、調査地点の追加や設計施工上問題となる地盤の詳細調査です。詳細調査の必要性が高い地盤条件は、粗石などの存在や有機質土が存在する場合があります。粗石の出現では大口徑調査孔等により粒径や礫率を調査することが必要です。

小口径管推進工法では、地盤条件や地中障害物等に起因するトラブルが掘進中に発生する頻度が高く、推進管内からの対応が不可能なため、トラブルを回避するためには事前に地盤条件等を確実に把握していく必要があります。そのためには、施工開始後においても、立坑築造時の掘削土等を確認し、土質の相違がないかを見極める必要があります。

①地形、古地形

地形は地下の地山条件を反映していることが多いため、地形観察が重要で、丘陵地や台地であれば、その地下に軟弱地盤や沖積層が無いなど、地層構成を把握できます。しかし、河川近傍や台地から低地に移

表-1 推進工事に於ける地形および地盤調査¹⁾

調査の種別	予備調査	基本調査	詳細調査
調査の目的	①地形、土質、地層構成、古地形の概要の把握 ②問題となる土質の予測および後の調査資料	①路線全体の地層構成および地盤状況の把握 ②地盤工学的諸性質の把握 ③地質縦断面図の作成	①地盤調査の補充 ②設計施工上問題となる地盤の詳細調査 ③地震、その他特殊条件の設計資料
調査の手法	①既存資料の収集、整理 ②近傍類似工事にかかわる資料収集、整理 ③文献調査 ④現地調査による観察	①ボーリング調査 ②標準貫入試験 ③サンプリング ④地下水位調査 ⑤間隙水圧測定 ⑥室内土質試験 (土の物理・力学試験)	①ボーリング調査 ②標準貫入試験 ③サンプリング ④間隙水圧測定 ⑤透水試験 ⑥室内土質試験 ⑦孔内水圧載荷試験 ⑧酸欠空気、有毒ガス、可燃性ガス調査 ⑨大口徑調査
調査の内容	<ul style="list-style-type: none"> ・地図類等文献調査(地形・地質・地盤図) ・地盤調査記録 ・既設構造物の工事記録 ・井戸、地下水 ・現地における地形、土質、周辺状況の観察 ・地盤沈下 	<ul style="list-style-type: none"> ・地層構成 ・N値 ・透水係数 ・地下水位、間隙水圧 ・粒度分布 ・含水比 ・土粒子の密度 ・土の湿潤密度 ・一軸圧縮強さ ・液性限界および塑性限界 ・強度定数(粘着力、内部摩擦角) ・圧密特性 	<ul style="list-style-type: none"> ・詳細な地層構成 ・N値 ・透水係数 ・地下水位、間隙水圧 ・粒度分布 ・含水比 ・土粒子の密度 ・土の湿潤密度 ・一軸圧縮強さ ・液性限界および塑性限界 ・強度定数(粘着力、内部摩擦角) ・圧密特性 ・地下水の流速、流向 ・遊離ガスおよび溶存ガスの種類と濃度 ・礫、粗石の径 ・地盤反力係数 ・弾性波速度 ・耐震設計上の基盤 ・R Q D値

行しているところ等、地層構成の変化が予想されるころでは、ボーリング間隔を狭める必要があります。

②地層構成

推進工事をを行う地域では、比較的既存資料に恵まれている場合が多く、地盤図、土地利用図や近傍での工事記録、地質調査結果等が収集しやすいので参考にします。標準貫入試験を伴うボーリングを主体とした基本調査から、地層の構成を記入した地質縦断図を作成し、地盤の問題点を洗い出し、状況に応じて詳細調査を行います。

③土質

近年では、あらゆる地盤で密閉型推進工法が主流となっています。泥水式の場合、粘性土ではカッタチャンパへの付着や閉塞が危惧され、また、緩い砂質土では泥膜が形成されず切羽が崩壊し、それに伴う地盤沈下や陥没が発生し、さらに礫質土では、ビットの摩耗や閉塞等により、掘進不能が生じる場合もあります。このため、

粒度分布（特に礫の場合は形状寸法、礫含有率、圧縮強度等）、透水係数等を調べる必要があります。また、土圧式でも同じように、カッタチャンバ内での適切な流動化条件、ビットの材質形状、スリットの形状、スクリューコンベヤ等の設計のために礫の形状寸法、粒度分布（特に細粒分の含有率）等を掌握する必要があります。

N値が1～2程度以下の軟弱なシルト・粘性土では、切羽が崩壊しやすく、周辺地盤の変状等の問題があるので、乱さない資料を採取し、一軸圧縮強さや変形特性を測定しておくことが望ましい。一般に柔らかい粘性土層の場合は、他に砂の含有率、含水比、粘着力、コンシステンシー等も測定しておく必要があります（表-2）。

④地下水

地下水位は通常ボーリング調査の際に測定されますが、中間層に存在するシルトや粘土層等不透水層の下に砂層や砂礫層等の帯水層が存在する場合は、帯水層の地下水位は必ずしも同一の静水圧分布をしているとは限りません。このため、それぞれの帯水層について間隙水圧を測定していく必要があります。山地や台

地の近くや扇状地等の砂礫層では、地表面より高い被圧地下水頭を持つ場合もあり、時には全く水頭を持たないこともあります。これらの地下水位や被圧地下水頭は、季節的な変動や人工的な要素により変動していることが多いので、長期的な水位変動に留意する必要があります。また、地形によっては、季節、降雨量でも数mに及ぶ場合もあるため、注意が必要です。帯水層の水圧が大きいつきは、切羽安定対策の設計の参考資料として、透水係数、地下水の流向、流速も必要となります。なお、透水係数は粒度分布から既略値はつかめますが、現場透水試験による測定が正確です。また、同時に地下水質として、塩分濃度、水素イオン濃度（PH）等の調査も使用材料の判断となります。

⑤酸欠空気、有毒ガス等の有無

深井戸、揚水等により大きく変動した履歴を有する砂礫層や不透水層の下に存在する砂層においては、これらの層の間隙中に有毒ガスや酸素が欠乏した空気が含まれていることがあります。災害防止の観点からガス湧出の可能性を調べる必要があります。

有毒ガスのうちメタンの湧出や坑内への湧水から遊離するメタンは爆発事故につながる恐れが高いため、メタンに関する予備調査として、掘削対象土質がメタンを生成する可能性のある土層（有機質土）であるか否か、付近に天然ガスや石炭、石油の採掘地がないかなどの地質学的な確認と共に近傍での工事記録を調査することが有効です。

地層の土粒子中の有機物が酸化し、間隙中の酸素を消費するとともに、外界からの新鮮な空気の供給が不足する場合に酸素欠乏の状態になるものと推

表-2 土質試験とその利用²⁾

名称	結果から求められるもの	結果の利用
標準貫入試験	N値 地層構成	地層の厚さ、強度・変形特性の推定 砂質土の内部摩擦角、粘性土の一軸圧縮強さの推定 推進力、地盤の支持力の検討
スウェーデン式貫入試験	貫入量 1m 当りの半回転数 (回/m)	土質の硬軟や締まり具合を推定
物理試験	土粒子の密度 含水比 土の湿潤密度	流体輸送の検討 土の締まり具合の判定、各種土圧の算定 立坑の設計計算、注入工法の検討
粒度試験	粒径加積曲線 有効径 均等係数	土の分類 透水性、透気性の推定 切羽の安定性の判定、添加材の検討
コンシステンシー試験	液性限界 塑性限界	細粒土の分類 切羽の安定性の推定
せん断試験 直接せん断 三軸圧縮 一軸圧縮	内部摩擦角、粘着力 内部摩擦角、粘着力 一軸圧縮強度、粘着力	土圧、支持力、安定の計算 立坑の設計、推進工法用管の設計計算 切羽の安定性の検討
圧密試験	間隙一荷重曲線、圧縮指数 圧密量-時間曲線、圧密係数	圧密沈下量、圧密沈下速度の計算、地盤沈下の検討
地下水調査	地下水位 間隙水圧	湧水対策の検討 掘進機設備能力の検討
現場透水試験 室内透水試験	透水係数	推進工法、薬液注入工法等の検討 排水方法の検討
地中ガス調査	ガスの種類 (有毒ガス、可燃性ガス等) ガス濃度	安全対策の検討 防爆対策、酸素欠乏症対策、有毒ガス中毒対策
弾性波速度 RQD値	P波速度	岩盤強度の推定 岩盤の割れ目頻度の評価

RQD値：(Rock Quality Designation)

定されます。従って、このような条件が予想される場合は、間隙中のガスの成分、濃度、含有量を調べ、ガス自動計測装置や警報装置の設置と十分な換気対策を講じることです。さらに、必要に応じて防爆対策を考慮しなければなりません。

3.2 調査結果の利用

近年では、施工業者等、実績をデータベース化し、実績として明示するなど、入札時等の利用に役立っていることも多いのではないのでしょうか。我々、推進工事に携わるものにおいて、トラブルを回避し、安全・安心な施工を行い、成果品として、自信をもって発注者に納めることが我々の使命です。将来は人口減少や既設管路の維持管理、また、改築工法等が行われていく中で、地下空間の調査では、今まで施工してきたデータをより分かりやすく収集整理し、それらに活かしていくことが必要と思われます。

4 推進工事の主なトラブル

推進工事において、トラブルは一つ発生すると連鎖的に他のトラブルを誘発させることが多いので、常に最新の注意を払い、その発生防止に努めることと、トラブルが発生したら初期の段階で原因究明と対策を講じることが重要です。主なトラブルとして以下のトラブルがあります。

- I. 推進工法用管の破損
- II. 地盤変位
- III. 支圧壁の変位、破損
- IV. 発進坑口の破損
- V. 掘進機・推進設備の破損等
- VI. 推進精度不良（蛇行）
- VII. 浸水、出水
- VIII. その他

表-3 推進工事の主なトラブル現象と要因、対策と留意点【I. 推進管破損】³⁾

現象	要因	事象対策と留意点
外圧の集中	先掘過不足	刃口式での掘削において地盤反力が集中し管破損 ⇒先掘を避けるか、推進管耐荷力の検討
	外圧耐荷力不足	
急激な蛇行修正	上載荷重	土被りが小さい場合に重機類の通過など想定以上の荷重が加わり管破損
	管端面点接触	管端面で点接触を起こし管破損 ⇒急激な蛇行修正の禁止
元押ジャッキ加圧方法	小口径管割れ	管径に比較して管が長い場合曲げモーメントが大きくなり破損。条件により半管を使用
	押輪剛性不足	管径に対し管長が短い場合、押輪の剛性不足等によって生じる管の外面左右にせん断ひび割れや管内面への引っ張り応力によるひび割れ発生 ⇒剛性の高い押輪の使用か、推進力伝達材の位置へのジャッキ配置にする
推進抵抗力増大	ジャッキ位置不足	
	カット面板開口率不適	粘性土による面板付着、軟弱地盤での管周辺付着による摩擦抵抗力増大 ⇒事前検討による開口率の設定や、推進速度に合わせた滑材注入による拡幅掘削部への滑材充填し拡幅掘削部の充填確保
	付着力の増大	
	滑材不足・選定不適	砂礫地盤では地下水による希釈や逸散により滑材効果の低減 ⇒地盤に適合した材料の選定と使用
曲線部側方地盤反力	ビットの摩耗破損	粗石・巨石地盤によるビット摩耗から推進抵抗力の増大により軸方向耐荷力超過による管破壊 ⇒計画時に地盤強度に適したビット選定、ビットの耐久性を考慮し交換目的の中間立坑または、ビット交換が可能な掘進機、到達立坑位置の再検討が必要
	流木等による閉塞	掘進中に流木に遭遇した場合や木杭の切削片による閉塞から取り込み不足を生じ推進力増大し管が破損 ⇒地盤改良などで流木と地盤を固定し、破砕可能な掘進機の採用
曲線部での管端面圧縮応力度	推進管選定不適	曲線部での推進力の分力から受ける側方反力の増大による管破壊 ⇒計画時に側方反力に対する管の耐荷力を検証し使用管種を選定
	推進力算定不適	曲線部での管目地が開き、管端部内側の限られた部分での推進力の伝達による最大圧縮応力度の増大により管破損 ⇒計画時曲線施工では、推進力の算定を適切に行い、管の軸方向耐荷力（許容圧縮応力度）以内で推進できるような推進力伝達材の検討や、推進力増大防止と圧縮応力度以下での施工
	推進管選定不適	
礫のくい込み	推進力伝達材選定不適	
	礫のくい込み	礫地盤では、管上部の礫が管と接触しながら前方に押され、くさび作用で管に集中荷重が作用し管破壊 ⇒施工計画時、管外周地山のゆるみ防止策を講じるなど防護工を考慮し、推進中の管の確認と固結滑材の充填や薬液注入などで地盤への影響抑制や、外圧強さの大きい特殊管の検討
推進設備の不良	押輪の剛性不足	管端部に作用する荷重が不均等となり管破損 ⇒十分な剛性のある押輪の使用
	刃口変形	掘進中に刃口が外圧等で変形による管への偏荷重による管破損 ⇒寸法、変形がないかの搬入時確認
	施工済み管防護不良	両発進での反力側の既設管破損 ⇒支圧反力が既設管に作用しないような防護対策
	支圧壁剛性不足	背面地盤に推進力を伝達させる支圧壁の耐力不足による、支圧壁の変形やクラックにより管に変圧がかかり管破損 ⇒推進反力に耐えうる剛性構造

表-4 推進工事の主なトラブル現象と要因、対策と留意点【Ⅱ. 地盤の変位】³⁾

現象	要因	事象対策と留意点
掘進土量と排土量のアンバランス	カッタチャンバ内圧力管理不足	切羽の土圧、水圧に対しカッタチャンバ内の圧力低下による地盤沈下や、圧力上昇による地盤隆起の発生 ⇒透水性が高い地盤では逸泥等圧力保持が難しいことから、掘進中は、切羽の土圧、水圧に見合うカッタチャンバ内の泥水や土圧の適正管理や、適正な材料によるカッタチャンバ内の圧力保持による逸泥防止。また、検討による兼注等補助工法の併用
	逸泥防止材・添加材選定不適	
	排土量管理不足	計画排土量と実施排土量の違いによる地盤への影響 ⇒切羽安定保持しながらの掘進では、計画排土量と実施排土量の均衡を保ち、取り込みすぎによる地盤沈下等が発生しないよう、掘進中の土量管理の監視
	軟弱・岩盤互層地盤や巨石等を含む砂質土・軟弱粘性土地盤でのとり込み過多	掘削断面に岩盤や巨石を含む場合の極端な掘進速度の低下、硬質部分と軟弱あるいは砂質土の互層では、掘進速度の低下により切羽の均衡を保持不良による切羽崩壊 ⇒土質の性状、改良後の強度・地盤特性や期待する改良効果により適切な地盤改良を選定による、切羽崩壊防止対策の実施。 また、岩盤互層地盤の掘進では、掘進機が激しく振動し上部の軟弱層の崩壊を招くので岩盤の着岩離岩位置の把握を改良
滑材、裏込め材の注入の過不足	滑材注入過不足	掘進中、滑材不足による、管外周テールボイド保持不足での周辺地盤を締めにより地盤の後続沈下の発生や注入量が過多による地盤隆起の発生 ⇒注入圧、量の綿密な管理と周辺地盤の監視 地盤変位が生じた場合での、注入量、圧力、材料の再検討
	裏込め注入過不足	裏込め注入の過不足による地盤変位 ⇒掘進完了後速やかに行うには、注入量、圧力を監視し、特に注入量の過不足がないような注入管理
掘進方式の不適合	推進工法選定不良	掘進方法（掘削および排土方法）の地盤の土質条件との不適合による切羽安定保持不良による掘進機前方での地山崩壊、地盤沈下 ⇒調査設計段階での地盤調査で、地質構成、礫（組石・巨石）の最大径、礫率、透水係数、粒度分布等の調査による掘進機の選定
	地盤調査不足	
地下水位の低下	補助工法の選定不適	地下水位低下工法を採用した場合での周辺地盤の圧密沈下 ⇒周辺地盤調査により、土質構成、透水係数に基づき適正な補助工法の選定
障害物遭遇による排土不足または過多	障害物遭遇	流木などの障害物に遭遇した場合、カッタ面材の閉塞を招き排土量の取り込み不足による掘進機前方での地盤隆起 また、コンクリートガラ等による取り込み閉塞時の解除作業時の土砂の過剰取り込みによる地盤沈下 ⇒予め障害物が予想される場合は、事前調査を十分に行い、地上からの障害物撤去や、障害物の撤去対応可能な掘進機の選定
	調査不足	
過剰な拉幅掘削	掘進機選定、調整不良	掘進機の掘削外径と推進管のクリアランスが必要以上に大きく滑材注入でのテールボイド確保が困難なため発生する地山崩壊や後続沈下 ⇒施工計画に必要とされる適正な拉幅量の設定

表-5 推進工事の主なトラブル現象と要因、対策と留意点【Ⅲ. 支圧壁の変位・破損】³⁾

現象	要因	事象対策と留意点
支圧壁背面地盤の緩み	背面裏込め不良	発達立坑構築においてライナープレートやオーガ併用圧入工法での、土留め材背面にゆるみの発生による、支圧壁に作用する推進反力に対し地盤の支持力の確保不足による支圧壁の変位破損 ⇒背面地盤に裏込め注入等の確実な実施
	立坑底盤改良不良	立坑掘削に伴うボウリングやヒービング現象による立坑周辺地盤のゆるみの発生。その後、支圧壁に推進力が作用した場合での立坑の変位や、ベースコン、支圧壁破損の発生 ⇒ボウリングやヒービングが生じた立坑は掘削完了後再度地盤改良を検討
支圧壁背面地山の支持力不足	地盤調査不足	支圧壁背面地山の土質が、軟弱や土被りが小さい場合における、地山の支持力<推進反力の場合での、支圧壁の機能不能 ⇒事前の地盤調査から計画総推進力に対し支圧壁背面地山支持力の検証により支持力不足への地盤改良の対応と、支圧壁の適正な強度と構造確保
	計画推進力の誤り	
	支圧壁能力算定の誤り	
設置精度不良	管軸との直角確保不良	支圧壁の設置精度不良による支圧壁への推進反力が不均等伝達による支圧壁の傾きや亀裂の発生 ⇒支圧壁構築は、推進方向に対し直角になるよう測量し、平滑にできているかを確認
	平滑精度不良	
	支圧壁設置方向不良	
バックキング	切羽土水圧によるバックキング	高水圧下の初期掘進での、バックキングに伴う坑口止水ゴムバックキンの反転や反転防止金具の破損 ⇒長距離時等管接手部に挿入された推進力伝達材が弾性領域内で推進している場合でのバックキングの発生 バックキングは十分な検討による、反力可能な対策
	推進力伝達材によるバックキング	
発達直後の管横ずれ	発達直後の曲線施工	曲線部での推進力分力により管を曲線外側に押し出す力の作用による、発達直後の曲線施工での坑口部分の管が外側に移動による発達坑口の破損 ⇒発達付近の曲線を避けるか直線区間の10m以上の確保
止水ゴムの反転、引き込まれ	掘進機や中押管（T）等外径に段差がある管の推進時における止水ゴムの反転や引き込まれによる止水ゴムの破損	掘進機や中押管（T）等外径に段差がある管の推進時における止水ゴムの反転や引き込まれによる止水ゴムの破損 ⇒段差がある管の推進は、止水ゴム反転防止金具の設置とボルトの緩み確認の実施
	管段差による引き込まれ	
	溶接等突起物による止水ゴム破損	
		初期掘進でのバックキング防止やローリングストッパー等掘進機外殻部に仮溶接した鉄板などの溶接跡が突起物による止水ゴムが破損 ⇒溶接跡等突起物のサンダー等による平滑処理の実施

5 トラブル要因

トラブルの主な要因と、その対策・留意点を表-3～10に示します。

- ①調査設計および施工計画に起因するもの → 赤
- ②推進設備および使用材料に起因したもの → 青
- ③施工管理に起因するもの → 黒

このように、トラブルが生じたときの要因は連鎖し、大きなトラブルに発展してしまうケースがあります。こういった要因を取り除き、トラブルを大きく発展させないことが重要です。

表-6 推進工事の主なトラブル現象と要因、対策と留意点【IV. 発進坑口の破損】³⁾

現象	要因	事象対策と留意点
管の浮き上がり	坑口部地盤の緩み	発進坑口部の地盤の緩みによる管の浮き上がりによりゴムを破損 ⇒発進部の地盤改良の実施
	支圧壁設置方向不良	支圧壁の加圧面が推進方向に対し直角でない場合や推進反力により支圧壁が傾いた場合での、立坑内の管が元押ジャッキの加圧により浮き上がりの発生
	支圧壁の推進反力による傾き	⇒支圧壁の設置精度の確保と発進坑口部に浮き上がり防止対策の実施
バックキグ	切羽土水圧によるバックキグ	初期掘進時での管接合時に生じるバックキグにより止水ゴムが反転や、反転防止金具破損
	推進力伝達材によるバックキグ	また、長距離推進施工で管接手部に挿入した推進力伝達材が弾性領域内で推進時でのバックキグの発生 ⇒施工計画時に、推進力伝達材の検討による対策実施
発進直後の管横ずれ	発進直後の曲線の施工	曲線部での推進力分力により管を曲線外側に押し出す力の作用による、発進直後の曲線施工での坑口部分の管が外側に移動による発進坑口の破損 ⇒発進付近の曲線を避けるか直線区間の10m以上の確保
止水ゴムの反転、引き込まれ	掘進機等段差による反転	掘進機や中押管（T）等外径に段差がある管の推進時における止水ゴムの反転や引き込まれによる止水ゴムの破損
	管段差による引き込まれ	⇒段差がある管の推進は、止水ゴム反転防止金具の設置とボルトの緩み確認の実施
	溶接等突起物による止水ゴム破損	初期掘進でのバックキグ防止やローリングストッパー等掘進機外設部に仮溶接した鉄板などの溶接跡が突起物による止水ゴムが破損 ⇒溶接跡等突起物のサンダー等による平滑処理の実施

表-7 推進工事の主なトラブル現象と要因、対策と留意点【V. 掘進機・推進設備の破損等】³⁾

現象	要因	事象対策と留意点
岩盤強度の相違	地盤調査不足	岩盤推進において地盤調査の個所数、調査内容等不十分な場合、 ⇒計画より実際の強度が大きかった場合での、選定した掘進機が不適合によるカットビットの早期摩耗による掘進機の破損 岩盤推進の場合での、事前調査における岩盤の種類、圧縮強度、RQD等を正確に把握し推進可能な工法、掘進機を選定
	岩盤強度認識不足	
	掘進機・ビット選定不適	
硬質粘土層の出現によるカット閉塞	地盤調査不足	掘進途中で想定外の硬質粘土が出現による掘進機の面板閉塞 ⇒地盤調査から土質変化を想定した、対応可能な工法や掘進機の選定
	硬質粘土による閉塞	
	掘進機選定不適	
礫、粗石、巨石層による掘進機破損	地盤調査不足	礫・粗石・巨石層では調査結果より大きな場合による掘進不能 ⇒調査の通常のボーリング調査以上となる大口径調査孔による最大粒径の調査や立坑掘削土質を直接確認する等正確な最大礫径を把握
	調査結果より大きな粒径の礫・粗石・巨石の出現	
ケーシング、スクリュ等の破損	使用前の点検不足	小口径管推進工法に使用するケーシング、スクリュ、誘導管等の掘進中での摩耗による機器の破損 ⇒摩耗する部材の使用前点検の実施と、交換の検討
	整備不良	
小口径推進での管内機器故障	中継ポンプ・電気ケーブルの損傷	小口径管推進工法での、管内設備の不具合や、劣化、故障等で掘進不能 ⇒管内に設置する機器の、事前の点検整備の実施や、不備なものの交換整備の実施
	耐用年数・耐用距離超過による劣化	

表-8 推進工事の主なトラブル現象と要因、対策と留意点【VI. 掘進精度不良】³⁾

現象	要因	事象対策と留意点
土質の不均一	互層地盤（軟弱土と硬質土、粘性土と砂質土）	掘進機の、軟弱土と硬質土、粘性土と砂質土等の硬さに差がある互層地盤に遭遇した場合での柔らかい土質に変位や礫・粗石・巨石等により蛇行の発生 ⇒測量頻度を多くするほか、掘進速度を調整や、薬液注入等で地盤改良工による、掘進機姿勢を安定化
	粗石乗り上げ	
切羽崩壊（施工管理不良）	カットチャンバ内圧力管理不良	切羽の土圧、水圧に対しチャンバ内の泥水圧や泥土圧の低下による切羽崩壊や、掘進機上部の地盤反力が喪失による掘進機の上向き制御不能 ⇒掘進中での掘削管理（泥水圧・泥土圧管理、掘削土量管理等）を厳密に行うとともに、切羽の土圧水圧に見合うような掘進管理の実施
	掘削土量管理不良	
掘進管理・方向制御不良	掘進機特性把握不良	掘進機の特長や方向制御ジャッキの制御量（ストローク）の過不足による蛇行 ⇒掘進機の直進方向に対する偏向の特性（クセ）や方向制御ジャッキの掘進地盤に対する傾き具合等早い段階からの把握ずれが小さいうち方向制御の実施。精度管理基準（許容範囲）を逸脱する場合での、速やかな掘進停止と原因追求による適切な対応
	方向制御量の過不足	
測量誤差	整備不良機器の使用	整備不良の測量機器の使用や、推進反力による測量基準点の変位、測量基準点の設置間違い等計画基準線からのズレの発生 ⇒測量回数を多くし、複数の人のチェック また、大深度の場合は、基準点の正確な設置のため高度な機器の使用
	基準点の変位	
	基準点の設置間違い	
地盤反力の不足	地盤調査不足	地盤が軟弱な場合において方向制御に必要な地盤反力が得られず方向制御ジャッキでの制御不能による、横滑り現象の発生 ⇒軟弱地盤は自沈や制御不能の対応に地盤改良工の考慮
	必要な補助工法不採用	
切羽崩壊（地盤特性）	地盤調査不足	均等係数が小さい粒径のそろった砂地盤や透水係数が高い礫地盤での、切羽保持困難 ⇒泥水式では、透水係数が概ね $K = 1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ より大きい地盤で逸泥による切羽圧力不均衡から切羽崩壊により方向制御不能 このような地盤では掘削管理のみでの対応が困難であるため、調査設計段階での綿密な地盤調査による地盤改良の適用検討
	崩壊しやすい土質	
	必要な補助工法不採用	
推進設備の設置精度不良	推進装置の据え付け方向不良	元押ジャッキ、小口径管推進装置の据え付け位置、支圧壁の設置方向等の不適切な設置のため、管への偏心荷重の作用による蛇行の発生 ⇒推進設備は推進方向に対し正確に据え付け、支圧壁は管の管軸に直角かつ平滑の設置
	支圧壁の設置方向不良	

表-9 推進工事の主なトラブル現象と要因、対策と留意点【VII. 浸水・出水】³⁾

現象	要因	事象対策と留意点
立坑への浸水・出水	大雨対策不足	大雨による立坑浸水 ⇒排水ポンプの追加、排水路の確保、管内流入防止用管蓋の設置、推進装置の引き上げ
	バックギングの発生	バックギングにより止水ゴムの捲れや破損により出水 ⇒バックギング検討による、対策実施
	蛇行による坑口止水器破損 推進時土留め壁変形	管の蛇行や坑口部での管の浮き上がりによる坑口止水器の破損や、土留め壁の変形による土砂の立坑内流入 ⇒発進直後の慎重に推進による急激な蛇行修正回避と曲線施工では発進から10m直線区間の設置
鏡切時の出水	地盤改良範囲不良	発進到達時の鏡切時の地盤改良不良による鏡部から出水 ⇒鏡切時前での探り穴による地盤改良効果確認の実施、改良効果が認められない場合の補足充填や、出水時の対策としてのポンプの増設や速やかな挿入可能な準備
	地盤改良効果未確認	
管内での出水	緊急ゲート設備・操作不適	土圧式や泥濃式で地下水位の高い地盤を推進する場合の停電等が発生時の排土ゲートや排泥バルブ不動作による、スクリュコンベアや排土口から出水し坑内および立坑水没 ⇒土圧式では手動式油圧ポンプの設置、泥濃式では非常用のゲート開閉装置を設置
	小口径管送排泥管接続不良	泥水式の小口径管推進工事で管内の送排泥管の外れにより管内に泥水が漏れ出し下り勾配での先導体の水没 ⇒使用機材（配管類等）の事前点検の実施と接続確認の徹底
調査計画不備	地上部冠水対策不足	立坑周辺の道路冠水による立坑への流入水没 ⇒冠水が予想される地域では、排水ポンプの増強、排水路確保だけでは対処困難のため、土留材の高上げや堤防等の設置
	周辺環境条件調査不足	
改良計画不備	改良範囲検討不足	礫・粗石・巨石が含まれる地盤での高圧攪拌工法での未改良部分の発生 ⇒地盤踏査データ、深度を正確に把握し改良範囲や本数や工法の適切な選定
	改良工法検討不足	
坑口計画不備	止水機能の不備	高水圧下での止水ゴムの地下水圧による押し戻され ⇒止水ゴム材質の強化や構造の変更など、適切な坑口止水器を選定
推進工法用管ゴム輪貼り付け不良	ゴム輪貼り付け不良	掘進中にゴム輪貼り付け不良や曲線施工に伴うゴム輪の変形による管接手部から管内に地下水や滑材が漏れ出しにより掘進作業への支障発生 ⇒管受け入れ時での、ゴム輪の接着が十分か立会確認と、不十分な場合での再接着による十分に養生を取ったもの使用
	接手部ゴム輪変形	

表-10 推進工事の主なトラブル現象と要因、対策と留意点【Ⅷ. その他のトラブル】³⁾

現象	要因	事象対策と留意点
掘進停止や曲線線形による推進抵抗力の上昇	粘性土の管付着や滑材層の劣化	推進設備の故障等長時間の推進停止の発生による再開時での推進抵抗力の増大 ⇒長距離施工では推進力の計算結果にかかわらず、中押設備の検討 また、長距離施工で急曲線が到達間際にある場合では、推進力の伝達遅延による中押などの考慮
調査不足による障害物との遭遇	事前調査不足	地下埋設物、地下構造物、基礎杭、旧護岸等や残置仮設鋼矢板等の遭遇による推進不能 ⇒事前調査を十分に行い、障害物の有無の確認による、事前に除去するか線形を変更する等の対策検討 支障物に遭遇し掘進不能と判断した場合での、掘進機前面の除去や、掘進機引き抜きし新たな線形で推進かの協議を実施
推進工法用管の取り扱いによるもの	取り扱い不十分	推進管を現場に搬入し吊下ろし時や、現場仮置き時での管の破損 ⇒再度外観等確認による、取り扱いには慎重な荷の扱い実施

6 おわりに

推進工事において、このようにトラブルは様々な条件で起こることが認識できたと思います。

推進工法の採用に当たり、発注者のニーズに対し、使用される管種、目的、用途、大きさ、距離によって違いがあり、施工条件も加わり工法が選定されます。推進選定に対し土質に最もふさわしい工法と十分に見合った掘進機が採用されなければ大なり小なりトラブルを発生させてしまいます。今後、推進工事に携わる技術者として、今までの実績からトラブル事例を数多く理解していただ

き、発生防止に努めていただけるよう期待いたします。推進工事もますます施工条件が制約されて、事前調査が限定的になってしまうと、経験からの想定も要求されることも多々ありえます。しかし、大切なのは、調査、踏査、立地条件等様々な制約の中でも誤った対応や選定、判断は絶対に避けなければなりません。そのためにもトラブルを未然に防止することだと思っています。

【参考文献】

- 1) 2) 3) 推進工法体系Ⅱ 計画設計・施工管理・基礎知識編 2019年度版」(公社)日本推進技術協会

