

総論

トラブルを回避し 適切な施工を約束する 事前調査の必要性

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

推進工法の歴史は、昭和23年（1948）に兵庫県尼崎市において日本ではじめて施工されてから74年が経過しました。当時の掘削方式は開放型の刃口式推進工法で人力による手掘り掘削でした。それ以降、社会のニーズに応え、様々な管径、材質、延長、土質、施工条件などに対応し、現在の地下のライフラインを形成しています。しかし、これまでの実績や技術は一夜にして成し遂げられたわけではなく、先人たちの血と汗と涙の結晶によるものです。これまで様々なトラブルを克服してきたからこそ現在の推進技術が確立されてきた結集であり、推進工事を携わるものとして深く感銘を受けます。

本特集では、推進工事において適切な施工をするためには事前調査が最も必要であることをこのあとに掲載されている座談会でも強調しています。本稿では、推進工法の安全・安心なライフラインの提供を可能にしていくための必須項目として、事前調査において何が必要なのか、それをどう理解し、共有、活用していかなければならないかを述べたいと思います。

2 推進工事のトラブル

推進工法はナショナルミニマムとして昭和40年代以降、下水道普及率向上の国の政策とともに発展してきま

した。昭和40年代以前の下水道工事は、開削工事が主で、昭和40年代当時は推進工事でも刃口式が主流でしたが、徐々にその頃から地下水の多い現場など刃口式が不得意な施工条件が増え、主要幹線の道路や鉄道等を横断敷設する工法としての機械式密閉型の推進工法が採用されるようになりました。

開放型の刃口式は、切羽の確認ができるため土質変化や支障物の対応がしやすい工法で、推進設備が簡易なこともあり、大きなトラブルに発展しにくい工法でした。逆に機械式密閉型は地下水に強い反面、切羽の目視が難しいことから新たな問題も生じましたが、先人たちは、その問題に「諦めない精神」をもって対応し、様々な技術や施工の開発によって、トラブルを徐々に回避できるようになってきました。

今では、トラブル防止の施策は迅速かつ的確に行われるようになってきていますが、土質の変化に対応しきれない場合も多々あり、推進工事のトラブルが根絶されたわけではありません。見えない地中を掘り進むため、わからないこと（土質が直接見えない）が多いのは明白で、それを補うものこそ事前調査であるので、その重要性がわかると思います。

2.1 推進工事の主なトラブルと対策

推進工事における大きなトラブルは「推進工法用管の破損」「支圧壁や坑口の破損」「掘進機の破損」「推進管精度の蛇行」「立坑の浸水」等があります。トラブ

ルはひと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、常に細心の注意を払い、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。具体的なトラブル事例は「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)日本推進技術協会発行のP249～271(第4章「トラブルと対策」)を参照してください。

2.2 トラブルの要因は、大きく3つに大別

- ①調査設計および施工計画に起因
- ②推進設備および使用材料に起因
- ③施工管理に起因

このうち②③では、十分な知識と経験があれば、トラブルを回避させることは比較的容易にできるものと思われていますが、①では、設計段階から施工に至るまで、大きなウエイトを占めています。設計前の調査において、必要な項目が調査されなければ、適切に設計がされずトラブルを招くのは当然です。以下の項で事前調査について述べたいと思います。

3 事前調査の重要性

事前調査は、設計、施工にかかわる現場条件を調査・収集・整理し検討されます。重要なのは、安全性、施工性や経済性のある施工計画が行われなければなりません(図-1)。

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・海の状況、工事用電力および給排水設備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、公共用地か民地の各権利も入念に調査しなければなりません。推

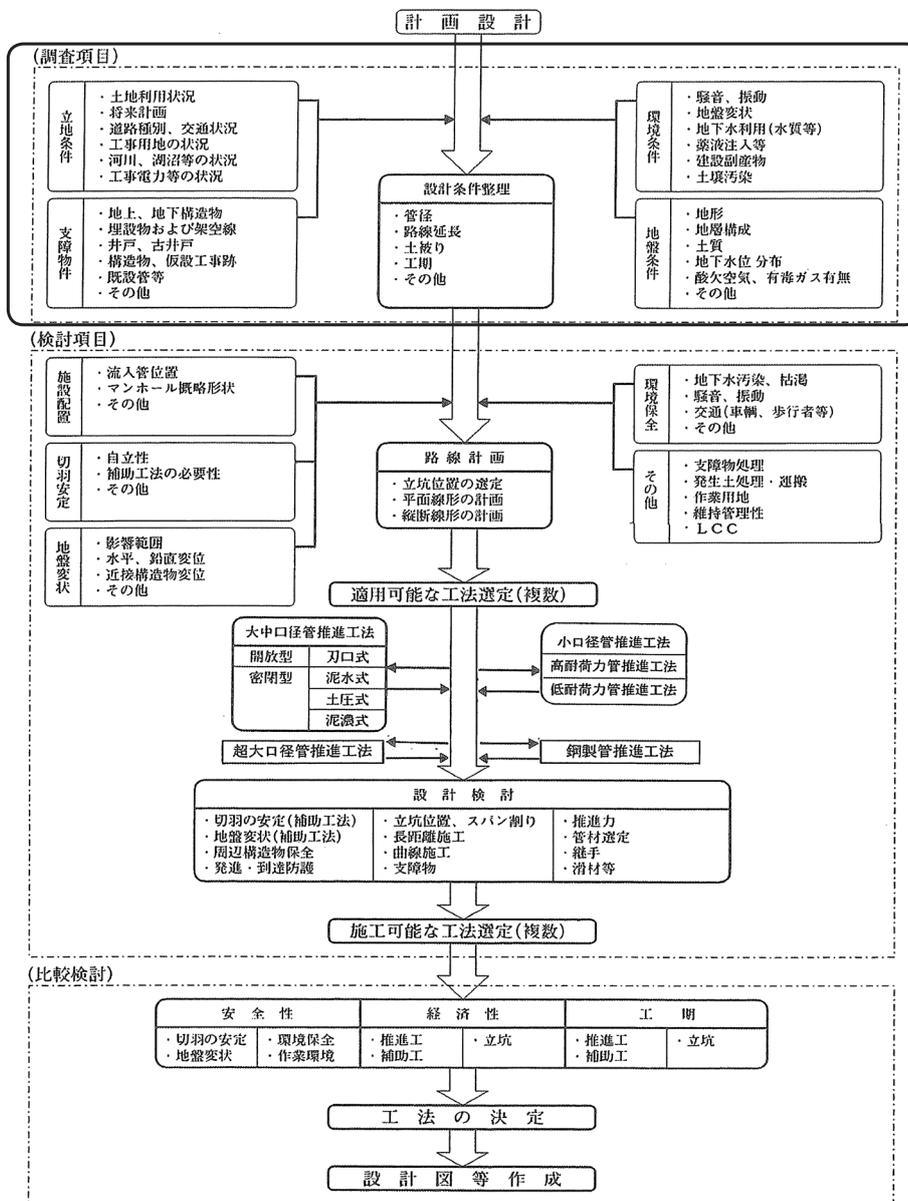


図-1 推進工の設計手順¹⁾

進工事では道路下での施工が多く、道路管理者との協議等、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なければなりません。

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改修計画を調査し、十分な深度と離隔をとることが必要です。

工食用電力、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。

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、裏込め材の流出が発生することもあるため注意が必要です。

最近、過去に施工した土留め材等の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も重要です。

(3) 環境条件

推進工法は環境にやさしい工法といわれていますが、発進立坑や到達部においては、他工法と同様に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、裏込め材）、泥水等による地下水の影響、建設副産物の処理方法および再利用、土壤汚染等です。

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5項目が最も重要です。

- 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べきです。

推進工事では地形および地盤調査の概要は表-1に示します。

予備調査は、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が予想できるかで、これに基づき基本調査の規模や内容を決定します。

基礎調査は、標準貫入試験を伴うボーリングを主体とした地盤の調査です。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箇所を原則とし、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げられ、粗石については大口径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



表-1 推進工事における地形および地盤調査²⁾

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以後の調査資料	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孔内水平載荷試験 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 既設建造物の工事記録 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

ますが、標準貫入試験を伴うボーリングを主体とした基本調査で地層の構成を記入した地質縦断面図を作成し、地盤の問題点を洗い出し、状況に応じて詳細調査を行う必要があります。

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、粘性土ではカットチャンバへの付着や閉塞による掘進不能、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、礫質土では、ビットの摩耗や閉塞等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

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、その地下に沖積層はなく、軟弱地盤ではない等で、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行しているところ等地層構成が著しく変化していると予想されるところでは、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

ますが、標準貫入試験を伴うボーリングを主体とした基本調査で地層の構成を記入した地質縦断面図を作成し、地盤の問題点を洗い出し、状況に応じて詳細調査を行う必要があります。

また、土圧式でも同じように、カット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）等です。

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です。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いく必要があります(表-1)。

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では、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ことが必要です。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、時にはまった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ときは、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概略値はつかめませんが、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。

⑤酸欠空気、有毒ガスの有無

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とも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

表-2 土質試験とその利用³⁾

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あたりの半回転数 (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	粒度加積曲線 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-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

不足する場合に酸素欠乏の状態になるものと推定されま
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

土質試験とその利用について表-2を参照してくだ
さい。

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
に携わるものにとって、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わ
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 おわりに

トラブルの回避には、トラブル事案とその要因を理解し、見極めることです。また、過去の事例から学ぶことです。日々のリスク管理を心がけることによって最小限に食い止めることも可能です。また、現場をサポートするバックアップ体制の確立も重要となります。

私の若い頃には、推進工事は「押してみなければわからない」とっていた先輩もいましたが、それは経験の蓄積を活かしていなかったのだと思います。近年の施工実績が1kmを超えるような超長距離推進や急曲線の施工があたりまえのようになりました。それは事前調査を確実に実施し、土質の把握、地下埋設物が支障にならないか、推進力低減の施策、測量等正確性の向上等、

細部までリスクを洗い出し、トラブルを回避するための検討がなされてこそ完成されるのです。これに加え、今後はICTやAIなどによってトラブルの予兆を検出しトラブルを未然に防いだりすることが可能になっていくのではないかと思います。シールド工法は最先端の機械設備等あらゆる実施策がなされている都市技術の最高峰だといわれていますが、推進工法に携わる技術者のほうが総合的な判断力や実行能力は、シールド工法のそれに勝るとも劣らない技術力だと思っています。

【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