

土質条件に起因する トラブル事例からの考察

濱田 和人

(社)日本下水道管渠推進技術協会
技術委員
(五洋建設(株)土木部課長代理)

1. はじめに

近年、下水道をはじめとする管渠の埋設工事は、地上構造物の過密化や交通事情、地下トンネルの輻輳、地下埋設物、建設公害、作業環境、経済性などより、従来の開削工法にかわってシールド工法や推進工法が多く採用されている。

しかしながら、シールド工法や推進工法が、多く採用され、厳しい施工条件下での施工が求められる中、設計(調査・工法選定)、施工管理のミスなどにともなったいろいろなトラブルが発生していることは、否めない現状である。これらを克服すべく、多種の掘進機を含めた新工法開発が進められているが、より適正な調査、工法選定、積算、施工管理手法の確立を求める声も高まっているものと感ずる。

本文は、推進工事で見聞したトラブルをもとに、土質条件に起因する推進工法選定の苦悩について私見を述べる。

2. 見聞した推進工法のトラブルと原因

20年間のもぐら家業で見聞した推進工法におけるトラブルの代表的ものをあげる。

①推進中に予想外の土質に遭遇した。

②障害物に遭遇した。

③不測の出水が発生した。

④鏡切断時に出水、崩壊した。

⑤掘進速度がでない。

⑥掘進不能となった。

⑦掘進機が故障、破損した。

⑧管が蛇行した。

⑨管が破損、座屈した。

⑩カラーが破損した。

⑪地表面が変動し、陥没してしまった。

などがある。参考として、写真-1～4にトラブルの状況を示す。

これらのトラブルのうち、前記①の予想外の土質に遭遇してしまったケースが最も多く、予想外の土質分類で最も多いのは、玉石層や砂礫層である。これは想定した礫径が異なる(大きすぎる)場合も含む。

トラブルの原因を分類すると、

①設計に起因するもの

②施工管理に起因するもの

の2つに、大別できる。

本文は主に①の設計に起因するものについて述

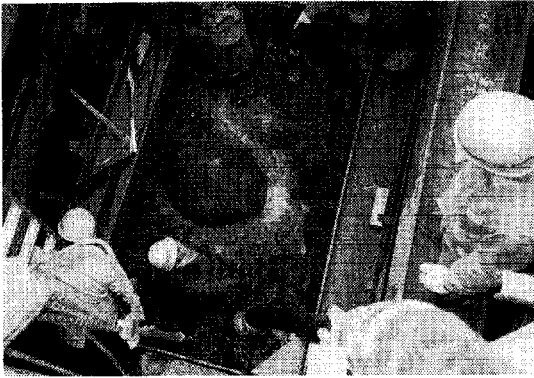


写真-1 トラブル例(1)
掘削断面に予想外の巨礫が出た。

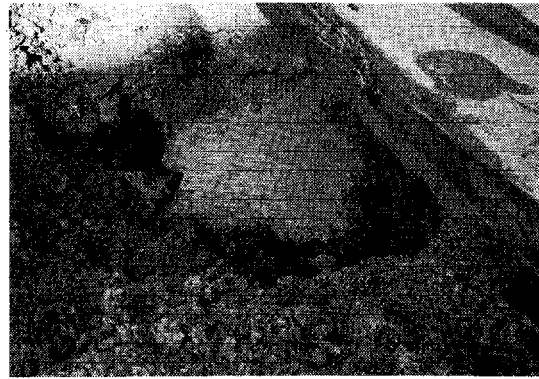


写真-3 トラブル例(3)
地表に泥水が噴発した。



写真-2 トラブル例(2)
掘削断面に予想以上の礫数、巨礫が出た。

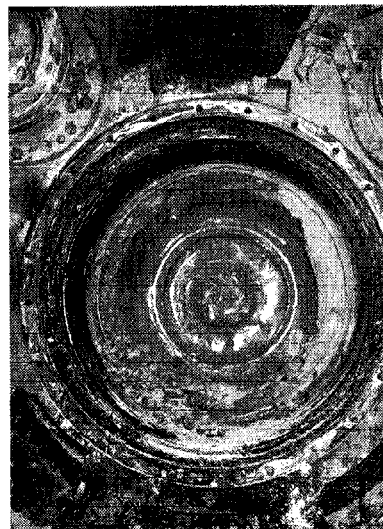


写真-4 トラブル例(4)
粘着力の高い粘土がチャンパー内に閉塞した。

べる。

2.1 設計に起因するもの

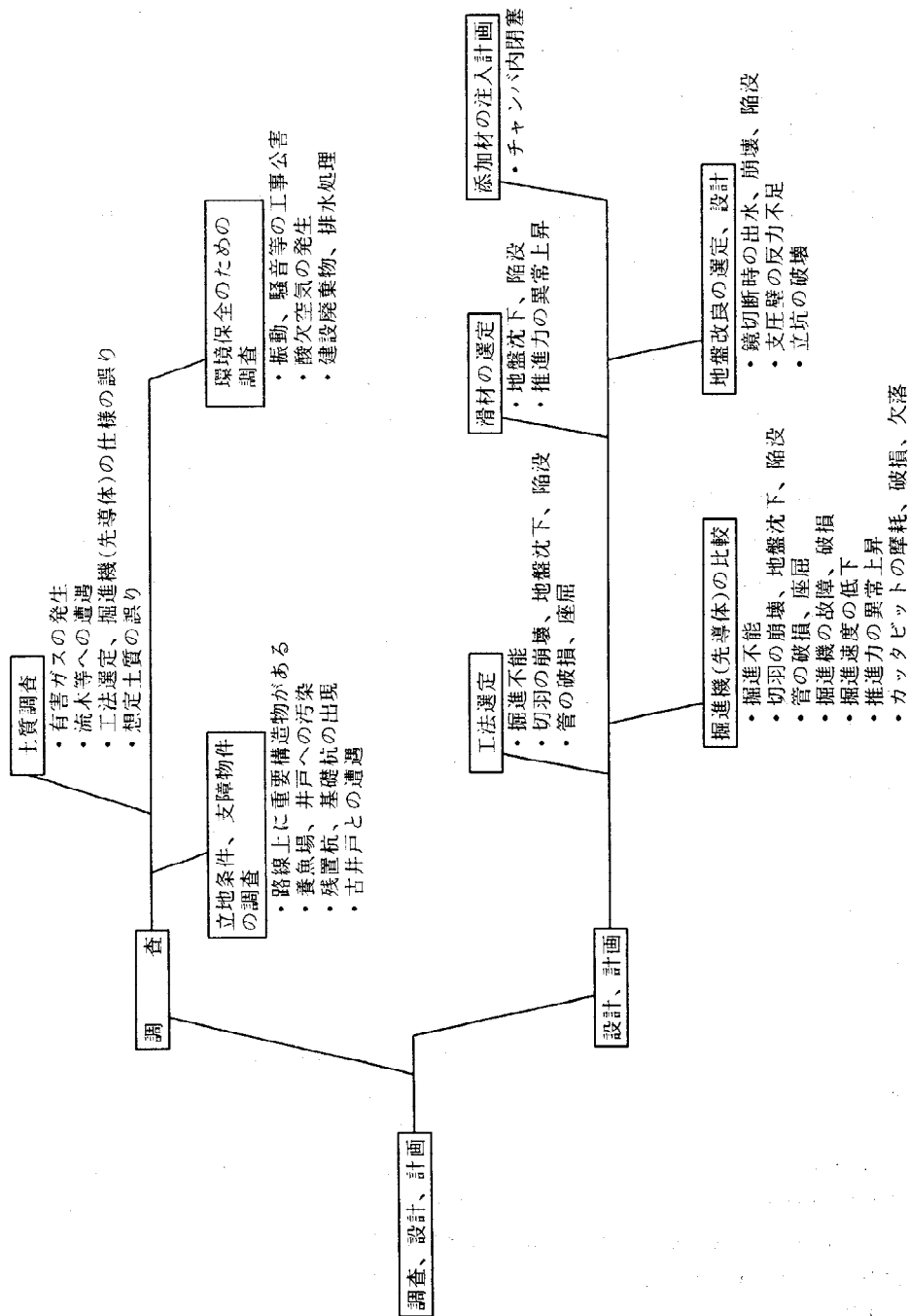
図-1に、設計に起因した主なトラブル例と原因を樹系図にしたものを示す。先に述べた、最も頻度の高いトラブルは、土質調査に起因する。また、土質調査での不備は、工法選定や掘進機(先導体)の仕様決定の誤りを誘発する最も重要なポイントであるといえる。

3. 設計時の留意点

3.1 調査

調査の結果は、路線選定や推進工法の選定、掘進機(先導体)の仕様決定、工事に伴う環境保全、完成後の管渠維持管理などの資料となる。従って、調査は、推進工事を安全に、かつ経済的に進めるための、欠くことのできない重要なものである。調査に不備があると、思わぬ障害物に遭遇し設計変更や工期延伸を余儀なくされたり、あるいは事故などの原因となる。

以上のことから、調査には十分な時間と費用をかけて、行うべきである。



図ー1 調査、設計、計画に起因するトラブル例と原因

表-1 推進工法における地形及び土質調査法

調査の 種 別	予 備 調 査		本 調 査	
	資 料 調 査	現 地 調 査	基 本 調 査	精 密 調 査
調査の 目 的	①地形、土質、地層構成の概要 ②問題となる土質の予測、以後の調査資料		①基本設計 ②土質縦断面図の作成 ③精密調査の資料	①詳細設計 ②施工法の決定
主な調 査手法	既存資料の収集、 整理	現地踏査による 観察	ボーリング調査	土質試験、各種ボ ーリング、特殊測 定試験
調 査 項 目	①地図類調査 ・地形図 ・地質図 ・地盤図 ②調査観測記録 ・土質調査記録 ・既設構造物の工 事記録、資料 ・井戸、地下水 ・地盤沈下	①地形、土質の 観察 ②地下水調査 ③地形の変化	①標準貫入試験 ②資料採取 ③地下水位調査	①土質試験 ・土の物理試験 ・土の力学試験 ②間隙水圧の測定 ③水質調査 ④酸欠空気、有害 ガス、可燃性ガ スの調査 ⑤地盤の変形係数 の測定 ⑥揚水試験 ⑦透気試験 ⑧地下水の流速、 流路調査 ⑨玉石の大きさの 調査

調査を大別すると

- ①立地条件調査
- ②支障物件調査
- ③地形及び土質調査
- ④環境保全のための調査

本文は、トラブルの大きな原因となっている③
地形及び土質調査の項について述べる。

(1) 地形及び土質調査

【目 的】

地形及び土質調査は、推進工法の設計、施工の

難易、工法選定、掘進機(先導体)の仕様決定に用
いる重要な資料となる。

土木学会：トンネル標準示方書では、推進工事
における地形及び土質調査法を予備調査および本
調査に分けて、種別を行っている。(表-1)

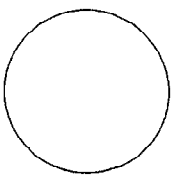
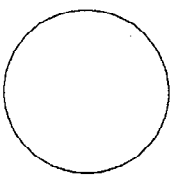
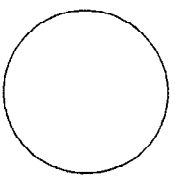
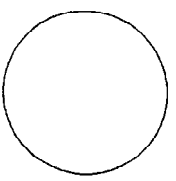
【調査項目】

① 地 形

・地形の観察と把握、地形的環境条件の考察、地
下の地山条件の推定。

② 地層構成

表-2 推進工事に必要な土質調査一覧表

調 査 項 目			No.	No.	No.	No.	No.
土 質 名 称							
粒 度	れき (mm)	300 mm～ (個/m ³)					
		200 mm～ 300 mm (個/m ³)					
		100 mm～ 200 mm (個/m ³)					
		50 mm～ 100 mm (個/m ³)					
		2 mm～ 50 mm (%)					
特 性		砂 (%)					
		シルト (%)					
		粘土 (%)					
		最大粒径 (mm)					
		均等係数					
コン シ ス テ 性		曲率係数					
		液性限界 (%)					
		塑性限界 (%)					
		塑性指数					
土 粒 子 の 真 比 重							
自 然 状 態		含水比 (%)					
		湿潤密度 (gf/cm ³)					
		間隙比					
		飽和度 (%)					
力 学 特 性		一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)					
		粘着力 (kgf/cm ²)					
		剪断抵抗角 (度)					
		圧密降伏応力 (kgf/cm ²)					
		圧縮指数					
そ の 他		N 値					
		透水係数 (cm/sec)					
		間隙水圧 (kgf/cm ²)					
		れきの圧縮強度 (kgf/cm ²)					
		れきの形状					
		地下水の特性					
		有害ガス等の有無					
		流木等の有無					
断 面 図	(m地点)		(m地点)	(m地点)	(m地点)		
							

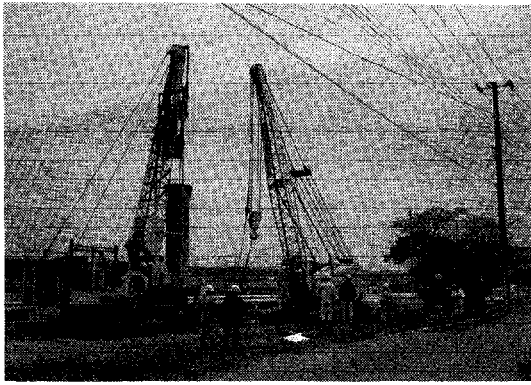


写真-5 大口径調査孔による調査状況

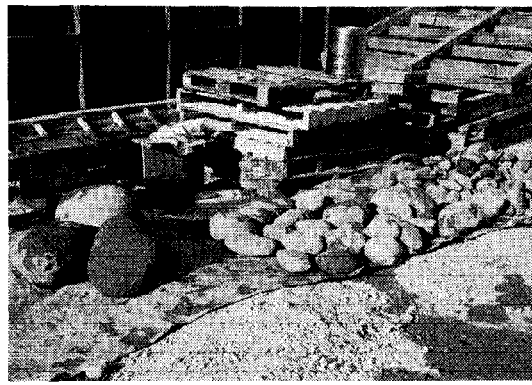


写真-6 礫径別による分類状況

・資料収集と踏査、比較路線を含む広範囲の地層構成の把握。

・標準貫入試験を伴うボーリングを主体とした本調査、土質縦断面図の作成、推進工法に関する土質上の問題点の明確化。

③ 土 質

表-2に推進工法選定に必要な土質調査一覧表を示す。

④ 地下水

・滞水層の有無、滞水層の間隙水圧、透水係数。

⑤ 酸欠・有毒ガスの有無

《調査における問題点》

調査は、どれを取っていても推進工事の設計において重要なものであり、欠くことのできないものである。

大断面のシールド工事の設計では、詳細な土質調査が行われているようであるが、小断面の推進工事の設計では、なおざりにされている傾向があるようである。礫の大きさを掘削断面積の比率で考えると、同じ大きさの礫を含む土を掘削することでは、小断面の推進工事の方がはるかに礫の取扱いは難しいと考える。

したがって、推進工事の設計にあたっての調査は、シールド工事と同等以上の内容が必要であると考える。

しかし、現状の推進工事の設計では、調査を厳密に行っていないと思われる。例えば、以下のよ

うな問題点が挙げられる。

①工事ごとの調査は、行われているが、工区ごとの調査がなされていない。

②ボーリング間隔が100～200m程度で、成層の不連続があっても、再調査しない場合がある。

③土質特性が不明な場合でも、詳細調査をしない場合がある。

④同地域での立坑掘削時などの土質データがうまく生かされていない場合がある。

⑤砂礫・玉石層での礫特性(最大礫長径・礫径別分布・礫形状・強度)調査をしない場合がある。

以下に、最も頻度の高いトラブルの原因である土質調査について、その留意点を示す。

《土質調査の留意点》

土質調査は、工法選定、掘進機(先導体)の仕様決定の上で、重要な資料となるものであり、特に入念に行われるべきものである。留意点を列記すると、

①ボーリング調査の間隔は、地山条件や推進延長、隣接環境条件などにより、制約を受けるが、成層が安定している場合は、50～100m程度が望ましい。

②地層の状態が著しく変化する場合は、ボーリング間隔を狭めて行い、より正確に地層構成を把握する。

③ボーリング深さは、管底よりも数m深くすることが望ましい。

表-3 大口徑管推進工法の選定法

地質	形式	セ ミ シ ー ル										工 法	
		刃口推進工法 (手掘り式)		機械掘り式		掘り式		式		式		式	
		補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法
分類	土質	含水比 (%)	N値	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無
沖積粘性土	有機質土 シルト・粘土 砂質シルト・粘土 砂質シルト・粘土	150以上 100~150 80以上 50以上	0 0~2 0~5 5~10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
洪積粘性土	ローム・粘土 砂質ローム・粘土 砂質ローム・粘土	50以上 50以上 50以上	10~20 15~25 20以上	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
軟岩	土丹・泥岩	20以下	50以上	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
砂質土	シルト粘土混じり砂 ルーズな砂 締まった砂	20以下	10~15 10~30 30以上	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
砂れき・玉石	緩い砂れき 固結砂れき 玉石混じり砂れき 玉石層	10~40 40以上	10~40 40以上	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

注) 1. 凡例

無：補助工法を使用しない場合

有：補助工法を使用した場合

A：薬液注入工法

B：止水工法(ディープウェル工法、ウエルポイント工法、圧入工法)

2. 主工法の選定は○が望ましいが部分的に土質が異なり適用せざるを得ない場合も含めて表示してある。

○：原則として条件に適合する。

△：適用にあたっては検討を要する。

×

ー：特に使用しなくてもよい。

表-4 小口径管推進工法の推進延長 (改訂)

推進距離 (m)		20	40	60	80	100	120	120
推進方式	一工程							
	二工程							
オ ー ガ	一工程							
	二工程							
	鞘 管							
水 平 ボ ー リ ン グ	一 重							
	二 重							
泥 水	一工程							
	二工程							
水 圧 バ ラ ン ス	一工程							
	二工程							

適 

可 

注) 可の範囲は土質条件に影響を受けるため、採用にあたっては、検討を要す。

④掘削断面に礫、玉石の出現する場合には、大口径調査孔により、粒度特性、礫の形状、寸法、強度、含有率を正確に把握する。写真-5～6に大口径調査孔による調査状況を示す。

⑤掘進機(先導体)の仕様を決定する上で、表-2の土質調査一覧表に示す調査項目が必要である。

⑥設計段階でしっかり土質調査をすれば、施工時のトラブル、設計変更などで悩まされなくてすむ。

⑦土質調査が必要でない新工法は、まだ開発されてない。

などがある。

3.2 工法選定

当然のことながら工法選定は、推進工事の根幹にかかわる重要なものであり、その誤りは、重大なトラブルを引き起こす。

しかし、現状は、

①調査で特に砂礫層など特殊な土質の詳細な土質調査がなされないまま、工法選定が行われてし

まう。

②数値による工法選定基準が確立されておらず、工法選定に個人差が生じてしまう。

③工法選定の手法が確立されておらず、熟練者の知識に頼ってしまう。

④十分な検討をせず、他工区と同じ工法を採用してしまう。

⑤新工法開発メーカーは、親心で誇大広告する傾向がある。また、その誇大広告を総合的・中立的に評価する機関がない。

などの問題があると思われる。

以上の諸問題を解決すべく(まだ、問題はあると思うが)提案された、(社)日本下水道管渠推進技術協会の工法選定を以下に示す。

(1) 大中口径管推進工法の選定

表-3に大中口径管推進工法の選定表を示す。

(2) 小口径管推進工法の選定

表-4に各小口径工法の適用可能1スパン推進延長を示す。

表-5 主な小口径管推進工法的方式別適用土質と補助工法の関係

地 質 分 類	方式別		圧入方式		オーガ方式		水平ボーリング方式		泥水方式		水圧バランス方式	
	土 質	N 値	含水比 (%)	二工程式	二工程式	二工程式	二工程式	二工程式	二工程式	二工程式	二工程式	二工程式
				補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法	補助工法
沖積粘性土	腐 植 土	0	150以上	○	△	○	△	○	△	○	△	○
	シルト粘土	0-2	100~150	○	△	○	△	○	△	○	△	○
	砂質シルト粘土	0-5	80以上	○	△	○	△	○	△	○	△	○
	砂質シルト粘土	5-10	50以上	○	△	○	△	○	△	○	△	○
洪積粘性土	ローム粘土	10-20	50以上	○	△	○	△	○	△	○	△	○
	砂質ローム粘土	15-25	50以上	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	砂質ローム粘土	20以上	20以上	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	砂質ローム粘土	20以下	20以下	×	×	×	×	×	×	×	×	×
軟 土	シルト粘土混り砂	10-15		○	△	○	△	○	△	○	△	○
	シルト粘土混り砂	10-30		△	○	△	○	△	○	△	○	△
	締まった砂	30以上		×	×	×	×	×	×	×	×	×
	緩い砂	10-40		×	×	×	×	×	×	×	×	×
砂 礫 土	締まった砂礫	40以上		×	×	×	×	×	×	×	×	×
	玉石混り砂礫			×	×	×	×	×	×	×	×	×
	玉石層			×	×	×	×	×	×	×	×	×
	玉石層			×	×	×	×	×	×	×	×	×

注) 1. 凡例 無 補助工法を使用しない場合 × 原則として条件に適合しない A 薬液注入工法又は噴射掘削工法
有 補助工法を使用した場合 - 特に使用しなくても良い B 地下水位低下工法
○ 原則として条件に適合する ※ 専用機種を用いて可能
△ 適用にあたっては検討を要する。

2. 工法の選定は○が望ましいが部分的に土質が異なり適用せざるを得ない場合も含めて表示してある。
3. 礫、玉石、転石層での施工はその粒径、含有率と推進管径によって制約を受けるため検討を要する。

粘土	シルト	砂	礫	玉石	転石
0.105	0.074	2.0	75	300	(単位: mm)
(日本統一土質分類)					

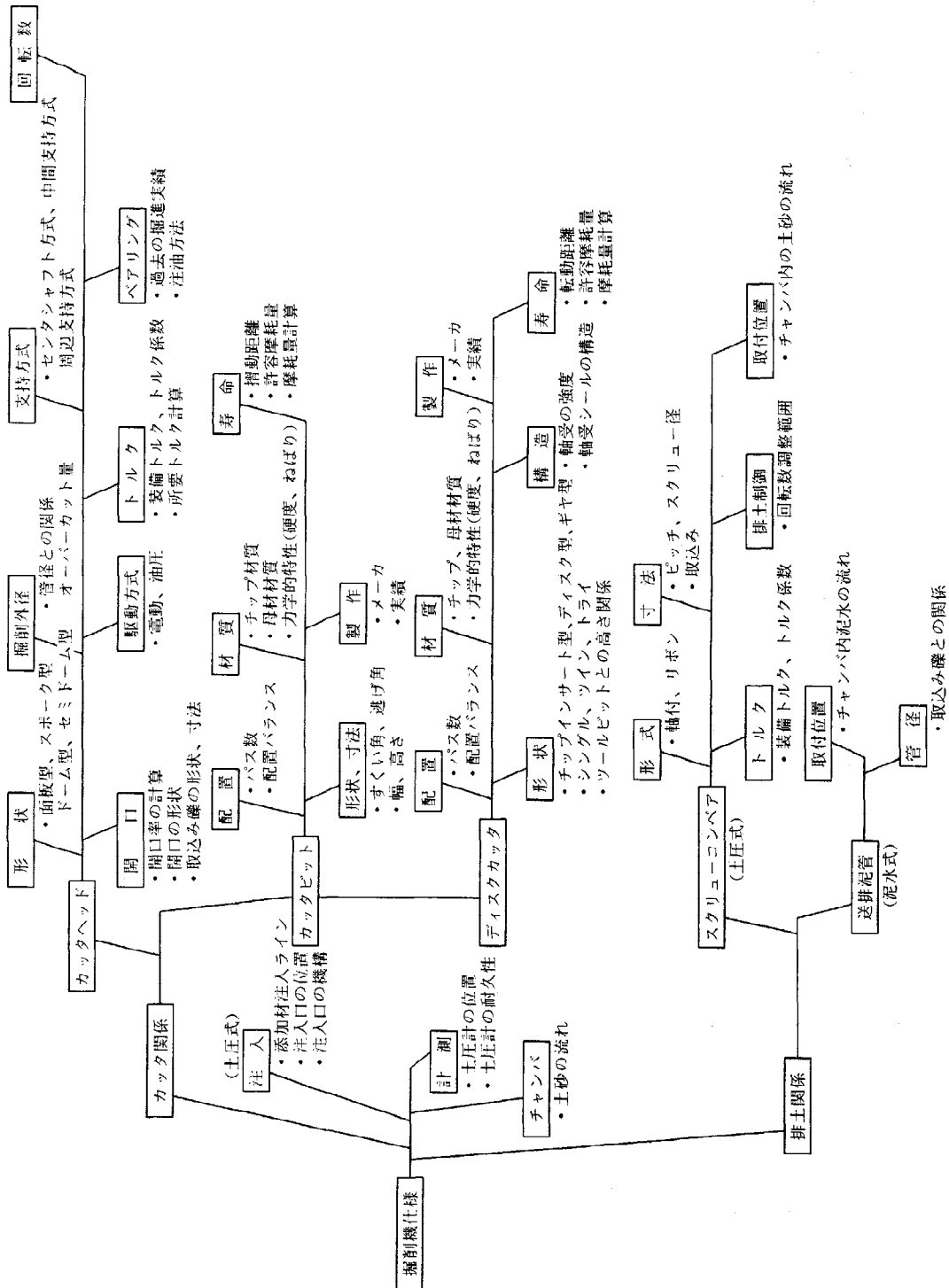


図-2 セミシールド工法掘進機検討項目

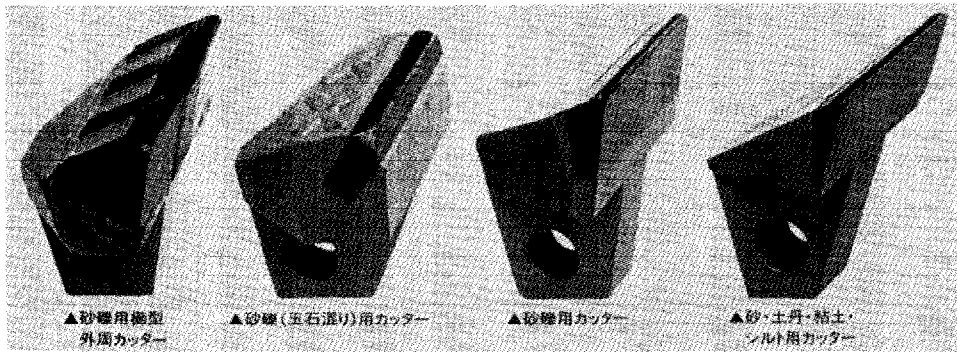


写真-7 カッタービット

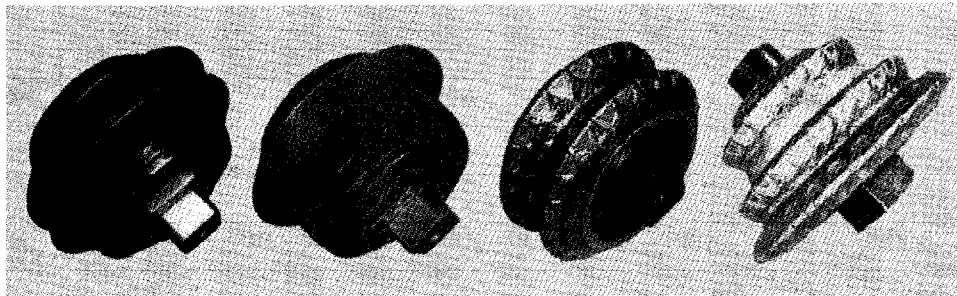


写真-8 ディスクカッター

表-5に小口径管推進工法の選定表を示す。

《今後の課題》

現在、推進工法は、従来、難しいとされていた滞水した、崩壊性の高い地盤や砂礫地盤などに対応できる工法が数多く開発されてきており、小口径管推進工法をみると、その数は取付管推進工法を含み約60種類もある。工法選定の手法もかなり明確化されてきており、より詳細な土質条件をもとに選定できるようになってきている。しかしながら、まだ数値的な判断による工法選定が確立していない部分があり、熟練者の判断を必要とするものがある。より数値化され、簡素な工法選定の手法の確立が望まれる。

3.3 掘進機(先導体)の仕様決定

(1) 現 状

推進工法での、掘進機(先導体)は、安全で、円滑な工事を行うために、施工条件、土質条件にあった仕様を決定あるいは改造を行うべきである。しかし、現状は、呼び径にあった掘進機(先導体)を探し、その機械を土質条件適否を検討せず使用し

ていることがあると思われる。このため、掘進機(先導体)に起因したトラブルが発生していると考え。

また、掘進機の定期整備も大切である。

(2) 掘進機(先導体)仕様決定の留意点

掘進機(先導体)の仕様検討は、シールド工法と同様のレベルまでに行われるべきものである。特にトラブルの多い砂礫層、玉石混り砂礫層については、詳細な項目にいたる検討が必要である。参考として図-2にセミシールド工法の掘進機仕様検討項目を示す。図が示すものは、仕様を決定する上で、最小限必要な検討項目である。これらの各項目をメーカーと共に、十分に検討をすべきと考え。

以下に、カッタービットとディスクカッターについて、その留意点を特筆する。

【カッタービット】

カッタービットは、写真-7に示す通り、掘削土砂によって種々の形状がある。施工者は、メーカーと共に、詳細な土質調査に基づく適正なカッタ

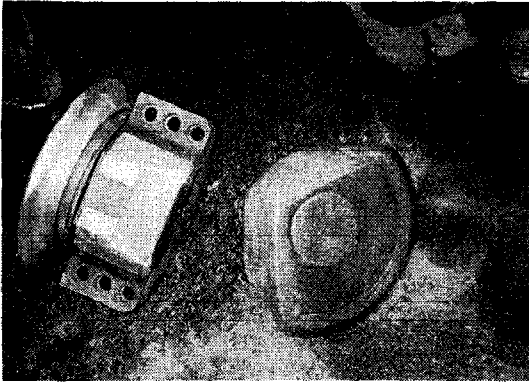


写真-9 ディスクカッターの偏摩耗

ービットを選択しなければならない。以下に、カッタービット検討における留意点を記す。

- ①ビットの形状(すくい角、逃げ角、ビット幅)
- ②チップ、母材の材質
- ③パス数
- ④各ビットの高さ構成(面板よりの高さ)
- ⑤チップの取付け方法(ろう付、埋込み)
- ⑥母材の摩耗対策(ハードフェイシング)
- ⑦寿命計算
- ⑧ビットの取付け方法(ボルト、溶接)
- ⑨製作メーカーの確認、実績

前記⑦の寿命計算では、推進工法の場合、その掘進距離が、比較的短いことから、軽視され易い項目であるが、トラブルを未然に防ぐ上にも、必ず必要なことと考えられる。

【ディスクカッター】

近年、ディスクカッターを搭載した礫対応型の掘進機が多く登場してきている。ディスクカッターも、写真-8に示す通り、種々のものがある。ディスクカッターにおいても、検討に不備があると、写真-9に見られるようなトラブルを引き起こすおそれがある。

検討における留意点は、基本的にカッタービットの場合と大差がないが、特記すべき点として、

- ①パス数、軸跡幅
- ②軸受けシール構造
- ③軸受けの強度

- ④リテーナ部の摩耗
- ⑤面板最外周部の取付け
- ⑥他のカッタービットとの高さ

などが挙げられる。

3.4 積算について

(1) 積算の現状

建設省下水道工事積算基準平成4年度版の標準歩掛は、以下の工法が記載されている。

①刃口推進工法

- ・元押し工法(呼び径800～3000)
- ・中押し工法(呼び径1000～3000)

②セミシールド工法

- ・泥水式推進工法(呼び径900～2000)

③小口径管推進工法

- ・仮管併用推進工法(呼び径250～700)
- ・オーガ掘削推進工法(呼び径250～700)
- ・オーガ掘削鋼管推進工法(呼び径400～800)

(2) 現状の問題点

現状の問題点を以下にまとめる。

①掘進機(先導体)に関わる改造費が、盛り込まれていない。

②適応できない工法が多々ある。

例：土圧推進工法、泥土圧推進工法

泥水式(小口径管)、

ボーリング方式、水圧バランス方式、

可撓管方式、など

③呼び径が適応できないものがある。

例：泥水式推進工法

呼び径800, 2200～3000

④土質条件に適応できないものがある。

例：泥水式推進工法

最大礫径20mmまで

(3) 今後の課題

現状の積算基準は、先に記した通り、適用できない工法、呼び径や土質条件がある。これらの問題点を解決するために(建設省下水道工事積算基準<平成4年度版>では、適用土質以外の地盤では、各地の実績などを勘案のうえ適正な積算を行うこととなっている。)、積算基準を整備していくことは、今後の重要な課題となる。

現状の問題に対応する方法として、(社)日本下水道協会「下水道用設計積算要領－管路施設(推進工法)編－(平成4年度版)」では、以下の通り説明がなされている。

本歩掛りにない800mmおよび2200～3000mmについては別途考慮し、例えば(社)日本下水道管渠推進技術協会の歩掛り表等を参考とする。(P203引用)

先に記した通り、掘進機(先導体)の仕様は、推進工事を円滑に、トラブルなく進める上で、重要な要素のひとつである。より、適切な、土質・施工条件にあった掘進機(先導体)を使用するためには、汎用の掘進機(全土質対応型の掘進機をリースしている場合もあるが、それも含め)に、それなりの改造を施さなければならない。掘進機(先導体)の仕様決定を円滑に行うためにも、積算基準上で、改造費の枠を設けることは、必要なことと考える。

4. おわりに

下水道などを中心に、推進工法が数多く採用され、より厳しい施工条件に対応した工法開発が進

む中、トラブルが相変わらず発生しているのは、否定できない現状であろうと思われる。

本文は、20年間のもぐら家業で見聞した推進工法でのトラブルをもとに、微力な対策について私見を述べたが、要するに、“しっかりした土質調査”“しっかりした工法選定”“しっかりした積算基準”があれば“土質条件に起因する推進工法選定の苦悩”は少なくなると思う。

皆さん頑張って苦悩の原因を減らし、夜は健やかな眠りにつきましょう。

<参考文献>

推進工法講座

－(社)日本下水道管渠推進技術協会

下水道推進工法設計資料集

－(社)日本下水道管渠推進技術協会

小口径管推進工法選択のポイント

－(社)日本下水道管渠推進技術協会

建設省下水道工事積算基準 平成4年度版

－(社)日本下水道協会

下水道用設計積算要領－管路施設(推進工法)編－

－(社)日本下水道協会

