

解説 知っておくと得する

施工トラブルを避けるための 土質の事前調査・判断の仕方

ふなばし とおる
船橋 透

機動建設工業(株)
関東支部部長
(本誌編集委員)



はじめに

推進工事を安全に経済的に施工するためには、事前の調査が重要となります。事前調査には下記のような調査があります。

①立地条件調査

推進工事の計画路線付近の周辺環境を調査することで、主にルートを選定と推進工法採用の可否決定、推進工事の作業規模・内容の選定に用いられ、工事実施上の資料としても利用される。

②支障物件等調査

推進工事のルート選定において、直接支障があるかまたは、影響範囲にある諸物件についての調査です。

③地形および地盤調査

地形および地盤条件の調査は、推進工事の設計および施工の難易度を大きく作用する調査です。既存資料の収集、整理、現地踏査など全般的な地盤状況の把握を行う予備調査、ボーリング調査を主体とした地盤調査を行う基本調査、予備調査や基本調査を補足する詳細調査があります。

④環境保全のための調査

推進工事により周辺環境に影響を及ぼすと予測される項目（振動、騒音、

土壌汚染、水質汚濁等）についての調査です。

これらの調査は、推進工事の設計から施工そして、維持管理まで通して必要なデータとなるが、設計および施工において特に重要と考えられる地盤調査について、Q & A形式で説明します。

Q1 推進工事を設計する場合、地質調査（ボーリング調査）をどこで、どの程度実施しなければなりませんか？

A1 推進工事は、管路の用途や目的のための必要な呼び径（管の大きさ）と距離、埋設の位置（深さ）で計画設計をしますが、その決定をするためには土質資料を得ることが必要です。その工事を安全で経済的に完了することです。

そのための必要な調査として、地質調査（ボーリング調査）が必須となります。

従って、発進および到達立坑位置またはその付近で各一箇所及び、推進路線上またはその付近に、50～100m毎に土質調査をする必要があります。また、土質変化が著しいと思われる場所や巨石、岩盤が想定される場合では調査間隔を狭める必要があるため、可能な限りの調査をしましょう。

Q2 地質調査結果の柱状図には、土質の名称とN値しか示されていませんが、これから何を理解すればよいですか？

A2 柱状図とは、ボーリングによって得られたものを深度、土質の種類や色調、標準貫入試験等の結果を図に表わしたものです（図-3）。

この柱状図は、推進工事をする者にとって、一番重要な判断資料となるため、ここで柱状図を理解するための説明をしたいと思います。

表-1 粒径による土粒子の区分と名称

細粒分		粗粒分						石分	
粘土	シルト	砂			礫			石	
		細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石 (コブル)	巨石 (ボルダー)
粒径	0.005	0.075	0.25	0.85	2.0	4.75	19	75	300 (mm)

まず初めに、土の分類と名称です。

土は、大きささまざまな土粒子が集合してできたものです。その土粒子は粒径によって区分され、表-1に区分されます。土として扱う粒径は75mm以下の粒子をいいます。

また、シルトや粘土粒子が多い土は「細粒土」または「粘性土」、砂や礫粒子が多い土を「粗粒土」、砂が多い場合は「砂質土」、礫が多い場合は「礫質土」と呼んでいます。このように土木工事では土木用語を使います。

また、柱状図には、日本統一土質分類による柱状図用図式記号(図-1)によって、土質を明記します。

次に、N値とは、土の強さを表します。これは、標準貫入試験によって測定します。

標準貫入試験とは、所定の深さまでボーリングし、開けられた孔底に図の標準貫入試験用サンプラーを設置し、63.5±0.5 kgのハンマーを落下高76±1cmで自由落下させることで打撃を与え、サンプラーを30cm打込むのに要したハンマーの落下回数Nを測定します。その回数Nをその深さの地盤のN値といいます。また、その位置の土の試料も採取することができます。

以下に試験方法と、その結果の土質柱状図(参考)を説明します(図-3)。

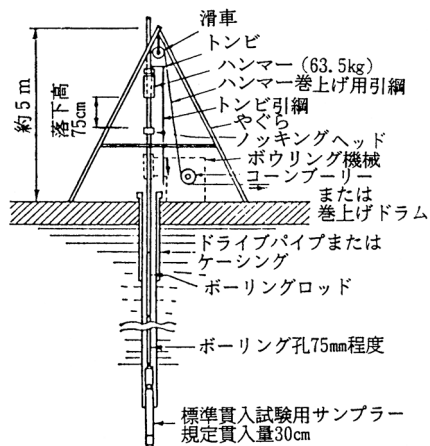


図-2 標準貫入試験

区分	分類名	電算機プリンター・コード	手書き図式記号	区分	分類名	電算機プリンター・コード	手書き図式記号
岩石質材料	硬岩	+++++	|||||	やや詳しい分類の例	きれいな礫{G}	GGGGGGG	○○○○○
	中硬岩	|||||	|||||		粗粒まじり礫{G-F}	GGGGGGG	○○○○○
	軟岩または風化岩	|||||	|||||		礫質土{GF}	GGGGGGG	○○○○○
	巨石(ボルダー)	BBBBBBB	○○○○○		きれいな砂{S}	YYYYYYY	.....
簡易分類	粗石(コブル)	CCCCCCC	○○○○○		粗粒分まじり砂{S-F}	GGGGGGG	.....
	礫{G}	GGGGGGG	○○○○○		砂質土{SF}	GGGGGGG	.....
	礫質土{GF}	GGGGGGG	○○○○○		粘質土{CL}	GGGGGGG	.....
	砂{S}	GGGGGGG	.....		粘土{CH}	GGGGGGG	.....
	砂質土{SF}	GGGGGGG	.....		有機質粘質土{OL}	YYYYYYY	.....
	シルト{M}	GGGGGGG	.....		有機質粘土{OH}	YYYYYYY	.....
	粘性土{C}	GGGGGGG	.....		有機質火山灰土{OV}	GGGGGGG	.....
	有機質土{O}	GGGGGGG	.....		(VH ₁), (VH ₂)は(V)の図式記号。ピート(Pt), 黒ぼく(Kb)は高有機質土(Pt)の図式記号を用いる。		
	火山灰質粘性土{V}	GGGGGGG	.....	特殊記号	貝殻	GGGGGGG	△△△
	高有機質土{Pt}	GGGGGGG	.....		浮石	GGGGGGG	△△△
	廃棄物{W}	GGGGGGG	{W}		表土・埋土	GGGGGGG	{SF}

図-1 日本統一土質分類による柱状図用図式記号

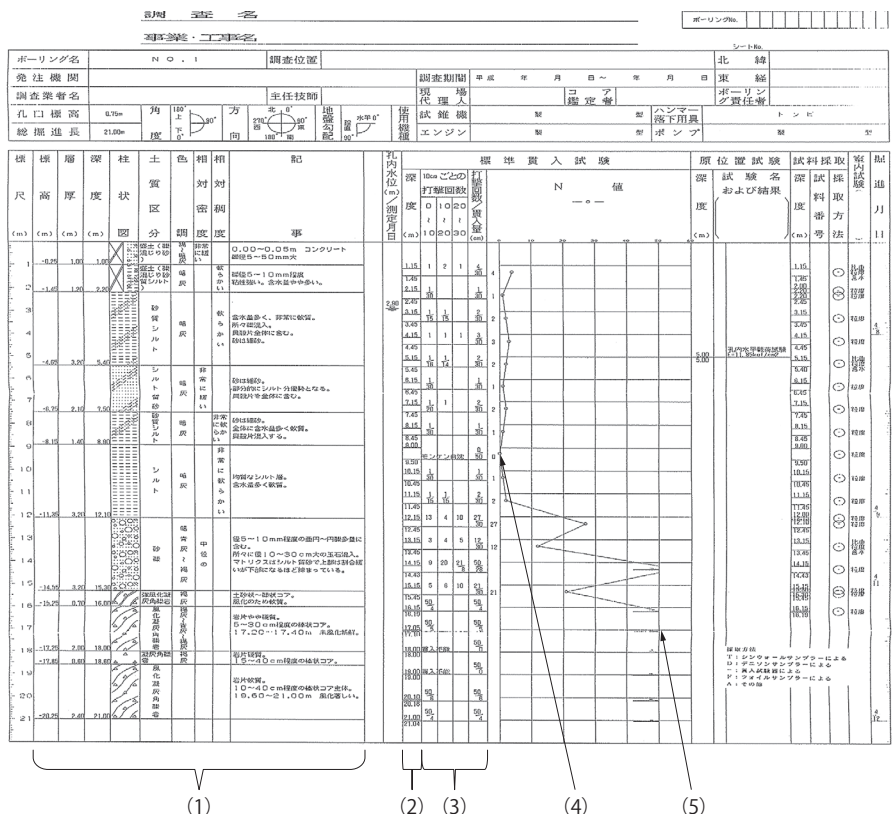


図-3 土質柱状図(参考)による見方

- (1) 地質調査士が、サンプラーを開けて中の土を観察し記録する。
- (2) N値の測定は、ふつう1mごとにを行う。
- (3) 貫入量10cmごとの打撃回数を記録する。この打撃回数がN値である。
- (4) N値が0とは、ロッドの重量またはハンマーとロッドの重量だけで、30cm以上貫入（予備貫入を15cm考慮すると45cm以上となる）してしまうことで、非常に軟弱であることを意味する。
- (5) 打撃回数は50回を限度とし、30cmに達しない場合は貫入量が記録されます。場合によっては、100回まで増えることもあります。

従って、N値の数字が小さいということは、少ない回数で貫入できるということであり緩い土質と判断します。反対に、N値が大きいということは、貫入するまで多くの回数を必要とするので土質は締まっているということになります。

このように、柱状図から読み取るのは、第一に、推進対象土質⇒粘性土、砂、礫、岩盤のどれ？

第二に、深度は？

第三に、地下水位（水圧）は？

第四に、N値（硬さ）は？

となります。それによって、敷設する管路に対し、推進の工法・管材の選定や、仮に計画した工法で施工可能であるか等、土質柱状図は、推進の設計施工にとって無くてはならない判断材料の一つです。

Q3 地下水位の高さ（深さ）から何を理解すればよいですか？ 地下水圧が高い場合、逆に地下水がない場合、推進工事の設計には何を注意しなければなりませんか？

A3 推進工事では、地下水圧の大きさによって、使用する推進管の仕様（継手性能）が決定され

表-2 土質と透水係数の相関関係（参考）

透水係数	$10^{-9} \sim 10^{-7}$	$10^{-7} \sim 10^{-3}$	$10^{-3} \sim 100$	$100 \sim 10^2$
土の種類	粘土	シルト、砂	砂、礫	洗浄な礫
透水性	不透水	非常に低い～低い	中位	高い
推進判断	可能	可能	10^{-2} 以上要検討	不可能

ます。また、推進工法の選定や残土搬出方式を決定する条件として重要な要素となります。

地下水圧の大きさは、水圧と同じ表現をしますので、地下水圧1mであれば0.01MPaとなり、10mでは0.1MPaとなるため、使用する管の種類での継手の性能で使い分けなければなりません。

地下水圧が高い場合とは、0.1MPaを基準としています。0.1MPa以上を高水圧、0.2MPa以上になれば特殊な条件となりますので、設計では高水圧対応の検討を要しますので注意してください。

逆に、地下水がない場合は、刃口式推進工法を選定するのが一般ですが、長距離推進や土質調査、現場の条件によっては、密閉型機械推進工法採用し、工事の安全性や工事期間の短縮を図ることもあります。

この時の注意点は、推進力です。推進力の低減を目的とした滑材注入を行いながら推進をしますが、地下水が無い地盤では、その滑材が推進管と地山の隙間にある隙間（クリアランス）に充填注入しても、管と地山の摩擦を抑える効果がなくなることがあります。地下水が無いということは、地盤の特性として透水性が高い（水はけが優れている）土質で、クリアランスの滑材が浸透しなくなってしまう現象や、滑材が脱水され、摩擦低減効果の性状が損なわれる現象等が起こり、推進力の増大が考えられます。その他にも、立坑の土留方式の設計で、地下水が無いので、親杭横矢板方式を採用する場合です。この立坑は水密性がないため、密閉型機械推進工法においては、安定液が立坑に流入

し切羽が安定保持不能に陥ったり、滑材が流入し推進力の増大になるので、設計においては施工性も考慮する必要があります。

Q4 地下水の流れの速さ（透水係数）は、推進工事の設計にどう影響しますか？

A4 透水係数kとは、地中の土質において地下水が透過する速度です。（単位：cm/sec）

表現は、 $5 \times 10^{-2} \text{cm/sec} = 0.05 \text{cm/sec}$ 。つまり透水速度が1秒間に0.5mmの速度となります（表-2）。

推進工事において、最も重要なのは切羽（先端掘削面）の圧力を保持しながら押し進めることです。その切羽の圧力保持ができない場合、例えば圧力が低下した場合は掘削土が多くなるため、先端上部の地盤が緩み地盤沈下を発生し、最悪は陥没を起こしてしまいます。逆に、切羽圧が高い場合は、地盤を圧密し、反対に地面が隆起してしまいます。推進工事は各工法によって圧力保持方法は変わりますが、透水係数によっては、その圧力保持ができない場合があり、推進停止を招くこともあるため、事前に調査することが大切です。従って、透水係数の高い土質は、推進可能かどうかの判断材料と言えるでしょう。

Q5 土質の種類や推進工法掘進方式の選定には、どのような地質項目に留意しなければなりませんか？

A5 土質の種類では、礫、巨石、岩盤での工法選定に留意する必要があります。

これらの土質地盤では、大きいものを小さくする。すなわち、先端で破碎（一次破碎）や、掘進機内部で破碎（二次破碎）し細かくすることは可能です。そのため、対象土質を破碎する特殊な刃先（ビット）が必要となります。また、そのビットは硬質な材質を用いますが、対象土質が硬ければビットの摩耗や欠損が生じます。その場合は推進途中に交換する方法を行いますが、一般的ではありません。従って、事前の詳細な検討が必要です。

礫、巨石、岩盤と対称な地盤として、N値が0の土質です。その代表的な土質は腐植土層です。特に、土質柱状図の中でモンケン自沈と表記してある場合は、超軟弱地盤のため、推進先端部（刃口、掘進機、先導体）の方向制御が困難となることが多いので、補助工法との併用を考慮するなどの設計に留意しなければなりません。

一般に、軟弱な粘性土では、地盤であれば、地盤沈下、切羽崩壊に注意し、付着防止に努めなければなりません。

砂地盤では、自立性が低いため地盤崩壊を起こしやすく、透水性が高ければ湧水や噴発をおこしやすいので、地下水位（水圧）を加味し検討します。

礫（粗石、巨石）地盤の中には、砂

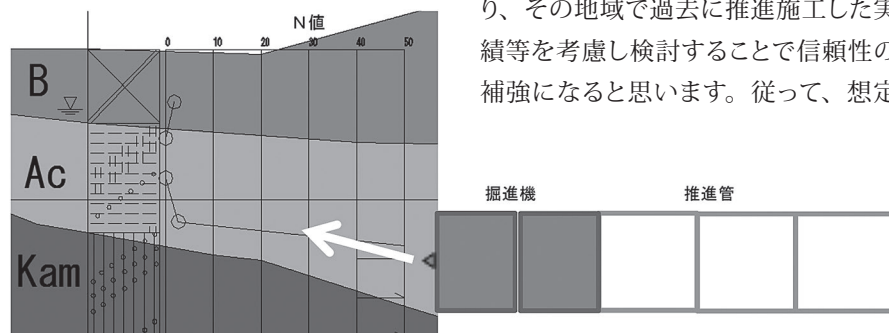


図-5 互層地盤推進時の掘進機乗上現象模式図

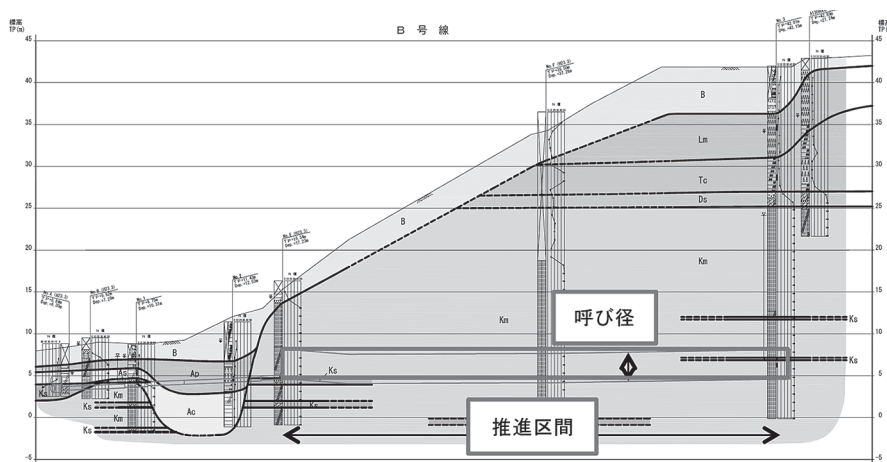


図-4 土質縦断想定図 (参考)

地盤と同様自立性はなく、崩壊しやすい場合があるので掘進機の選定に留意しなければなりません。

その他には、流木、貝殻の出現、混入する場合も、掘削方法、排土方式の選定条件となります。

Q6 土質縦断想定図がありますが、その信頼度、精度はどの程度と考えてよいですか？

A6 土質縦断想定図（参考）を図-4に示します。

想定図は、推進路線のボーリングデータを土質毎に結んだ図です。このように一定な土質においては、急激な土質変化はないと思われますが、あくまでも想定のため、信頼性はないといっていでしょう。従って、その地域の近接する他企業のボーリング調査等を収集したり、その地域で過去に推進施工した実績等を考慮し検討することで信頼性の補強になると思います。従って、想定

図の信頼度の高さは、調査位置の間隔が狭いほど大きいのは確かですが、それが不可能な場合は、実際に施工地域を踏査し、地表や地形によつての土質の変化を想定するようにしましょう。

Q7 よく「土質の互層」という言葉を聞きますが、これがどのようなもので、推進工事の場合、どのような影響がありますか？

A7 土質の互層は、推進する断面に対し、異なった土層が存在することです。

例えば、図-5のように、推進対象地盤において、下層部分に硬質な層を推進していく場合は、掘進機が硬い層を乗り越えてしまう現象が生じます。この場合は、推進速度を遅くし、方向修正を downward にします。また、逆の互層（下部に軟弱土質がある場合）は、掘進機は下がっていく現象が生じますが、同じように速度を落とし、方向修正を upward にします。それでも、方向制御ができない場合は、推進を中断し、軟弱な地盤に補強等の検討をしなければなりません。推進工事では、互層地盤の場合は、切羽の安定方法、掘進機の選定・仕様、方向制御を含めて工法の選定をしなければなりません。

Q8 立坑を掘削（築造）することは、言い換えれば“大きなボーリング調査”ともなりますが、ここでは何を確認すべきですか？

Q8 まず、第一に推進対象土質を目視することが肝要です。その時、土質調査結果と比較し、想定通りであるかを確認します。仮に、想定土質と相違があった場合は、計画の推進工法や掘削残土搬出方法を再検討しなければなりません。

また、対象土質をサンプリングすることで、その工法にあった切羽の安定をさせるための掘削添加材や安定液を選定し決定することができます。

特に、礫、巨石、岩盤の場合は、礫

の大きさ、頻度（対象土質に存在する量）等、地下水の湧水状況も確認することが最も重要になるため、立坑掘削中は現場に足を運んでください。

もし、想定外の土質であれば、強度試験（一軸圧縮強度試験）、成分分析等を行い再検討しなければなりません。

Q9 礫・玉石（巨石）・岩盤が想定された場合、土質調査では何を調べなければなりませんか？

A9 前にも述べましたが、礫や巨石を推進するためには、それを掘進機全面で丸呑みするようなことは困難であるため、破碎して小さくしなければ坑外に搬送できません。従っ

て、礫や巨石を破碎するためには、掘進機のビットの配置や形状、強度の検討を行います。その検討項目として必要な調査項目は、

- (1) 礫、巨石の大きさ、礫率（対象土質内の礫の占める割合）を見極める。
- (2) 硬さ（一軸圧縮強度）を調べる。
- (3) RQD 値（岩盤が対象）などが挙げられます。

(1) は礫率が高ければ、ビットの摩耗が著しいと判断します。

(2) 硬さ（一軸圧縮強度）はビット摩耗量の検討と推進速度すなわち日進量に大きく影響します。

その一軸圧縮強度ですが、以下の写真－1 のように行います。



現場礫採取状況



礫サンプル



成型後試料



一軸圧縮試験機



試験前の供試体



試験後

写真－1 礫や岩盤では、供試体を上からゆっくりと圧力をかけると、破裂破壊を起こします

図-6の左図に、圧縮強さが表記されていますが、これは2つの供試体で試験を行っています。この2つの平均を用います。図-6の右図は、現況の状態と供試体の形状寸法で、爆発的破壊という結果となっています。

このように、礫・巨石・岩盤を採取し硬さを測定するため、一軸圧縮強度試験は、重要な検討判断基準となりますので、正確な結果を必要とします。

(3) RQD 値 ですが、RQD (Rock Quality Designation) とは、ボーリングの調査で得られた岩盤の不連続性を表したもので、1m 区間に得られた10cm以上のコアの総長を百分率で表示します。 $RQD = (1\text{mあたりの } 10\text{cm以上のコアの長さの合計}) / 100\text{cm} \times 100 (\%)$

- ・測定に当たっては、掘削中や観察・整理中に生じた割れは除く。
- ・軟質な岩石には適さない。

すなわち、RQDが大きければ割れ目の無い硬質な岩盤であり、風化した岩盤などはRQDが小さい値を示します。これは、あくまでも参考ですが、N値、一軸圧縮強度と合わせて判断材料に加えると良いでしょう。

推進工事では、対象土質が礫、巨石、岩盤の場合や発進から到達までの距離が長い場合（長距離推進）では、掘進機の先端の刃先の摩耗が増大したり、急激な土質変化により掘進機の面板形状がその土質に合わず推進速度の低下や推進力の上昇が起こり、最悪の事態になれば推進不能になってしまいます。従って、土質調査結果を基にさまざまな

リスクを抽出し、工法、残土搬出方式の計画検討をします。特に、掘進機仕様や面板形状ビットの配置とその強度等においては、各工法や掘進機メーカー、ビットメーカーによって一様ではありませんが、土質調査結果と施工経験も加え、綿密な検討をし、最良な選択決定が必要です。

Q10 その他の土質項目で、特に推進工事に関連が深いものに何がありますか？

A10 以下に、推進に関わる土質試験とその結果から求めたものとの具体的な関係を表-3にします。

これらの調査測定結果を用いて、推進工事の設計、計画を行います。

岩 石 の 圧 縮 強 さ 試 験			
調 査 件 名		[(GL-16.0m付近)]	試 験 年 月 日
			試 験 者
地 点			
試 料 番 号	玉石①	玉石②	
深 度 (m)			
岩 種			
高 さ (cm)	6.750	9.980	
	6.740	9.965	
	6.750	9.980	
平 均 高 さ H (cm)	6.747	9.975	
上 部 直 径 (cm)	4.980	4.985	
	5.005	4.985	
中 央 部 直 径 (cm)	4.975	4.990	
	5.000	4.990	
下 部 直 径 (cm)	4.975	4.995	
	5.000	4.995	
平 均 直 径 D (cm)	4.989	4.990	
最 大 荷 重 P (N)	5.05E+05	5.12E+05	
圧 縮 強 さ q_u (MN/m ²)	258	262	
補正後の圧縮強さ q_u' (MN/m ²)	243		
高さによる補正係数	0.94		
供 試 体 形 状	直円柱	直円柱	
含 水 状 態	湿潤状態	湿潤状態	
供 試 体 作 製 方 法	コアリング・端面研磨	コアリング・端面研磨	
観 察 記 録			
特記事項			
JIS M 0302:2000 「岩石の圧縮強さ試験方法」に準拠			
直径と高さの比が1.8未満のため、下記の補正式により算出 (山口梅太郎・西松裕一：岩石力学入門(第3版)(財)東京大学出版会 1991)			
$q_u' = \frac{0.889 \times q_u}{0.778 + 0.225(D/h)}$			

圧 縮 試 験 供 試 体 状 況 ス ケ ッ チ			
調 査 件 名		試 験 年 月 日	
(GL-16.0m付近)		試 験 者	
玉石①	玉石②		
正面	正面	正面	正面
表面	表面	表面	表面
観察記録	観察記録	観察記録	観察記録
爆発的破壊 写真参照	爆発的破壊 写真参照		

図-6 一軸圧縮強度試験結果（参考）

表-3 土質試験とその利用

名称	結果から求められるもの	結果の具体的利用
試料採取	乱した資料の採取 乱さない資料の採取	・資料の観察および採取資料から試験 ・土質柱状図、地質縦断面図作成 ・地層全般の把握
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
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（泥水工法） ・土の締め具合の判定、土圧計算 ・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 ・切羽の安定性の計算（泥水工法） ・添加材の検討（土圧工法）
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 直接せん断試験 三軸圧縮 一軸圧縮	内部摩擦角 ϕ 、粘着力 C " " " " 一軸圧縮強度、粘着力	・土圧、支持力、安定の計算 ・立坑の設計、推進管の設計計算 ・切羽の安定性、ビット摩耗の検討等
地下水調査	塩分、PH、その他の成分分析 水位 間隙水圧	・安定液、滑材の検討 ・推進管、工法、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、地盤改良工法の検討 ・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、酸素欠乏対策、有毒ガス中毒対策
RQD 値 弾性波速度	P 波速度	・岩盤の割れ目頻度、ビット摩耗の評価 ・岩盤強度の推定

※ 太字：推進工事で最低限必要な項目

Q11 最大礫径を想定する場合、土質調査で出現した最大径の3倍とすることがありますが、何故ですか？また、3倍しなくてもよい場合はありますか？

A11 N値のところで説明した標準貫入試験によって、サンプラーから採取した土質に含まれる礫の大きさは、一般的に $\phi 75\text{mm}$ の直径によって採取されるため、礫の点在する数が少ないような場合では、削孔位置によっては礫を採取できなかったり、楕円であったり、仮に礫径が $\phi 500\text{mm}$ としてその端の部分を削孔した場合は、採取した長さ≠石の最大径になることも希ではありません。従って、概ねコアの長さの3倍が妥当であると、想定最大礫径として採用しています

(図-7)。

また、ある文献を抜粋すると、河川や海浜により違いはありますが、参考として、最大礫径 $\phi_{\text{max}} = \phi 0 \times 1.5$ (安全率) / 0.5 (平均球形度) = $\phi 0 \times 3$ 倍となっています(図-8)。

このように、3倍を考慮するのが一般

的な考え方ですが、前に述べたように、立坑掘削時に実際の掘削対象土質を目視し、その推進路線の地層とほぼ差異が無いと思われる場合においては、必ずしも3倍ではなく、実際に立坑内で確認した土質の最大礫径を採用してい

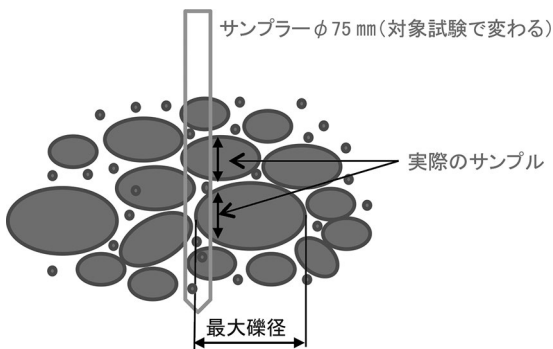


図-7 ボーリング調査位置と礫サンプリングの模式図

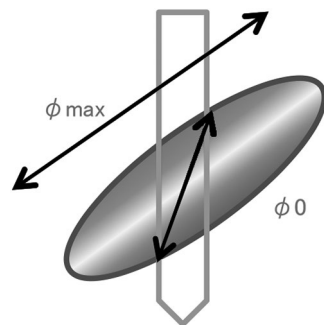


図-8 ボーリング掘削時の礫径

変更の必要性が生じた場合は、相違土質に見合ったビットの変更、注文製造のための期間が必要となり、そのための対応変更が可能ではありますが、工期の遅延等の障害が生じる場合があるので、事前調査による先行判断が重要となります。

Q12 土質調査における地下水位と実現場における地下水位が異なる場合がありますが、どのよ

うな理由からですか？

A12 確かに、地域によっては、土質柱状図に地下水位が複数表示されている場合があります。その一つは季節が影響する場合があります。路線付近に水田がある場合、田植えの時期では水位の上昇が顕著に現れ、稲穂が出る頃には水田には水を入れないので地下水位が下がります。

また、高低差の大きい地域では、地下水の流れに影響するため、冬期は地

下水位が低く、夏や雨の多い時期（梅雨・台風）でも変化しますし、港湾付近では潮の干満、河川付近では水位変動で顕著に現れます。その他に大規模な建設現場で掘削し、地下水位の低下工法（ディープウェル併用）している脇での地下水位は、当初その工事が行われていなかった時期の土質調査の地下水位で相違が生じる場合も稀にありますので注意してください。