

9. 地質調査法・試験法

9.1 建設工事の流れと地質調査の流れ

地質調査の目的は、人工改変をした時に自然がどのように反応するかを予測することです。この予測には地山の岩盤や土砂がどのような応答をするかということがあります。しかし、それだけでなく周辺環境への影響にも考慮する必要があります。

例えば大規模なダムを造って広い貯水池ができた場合、周辺の微気候や植生・生息動物がどう変化するか、河川系全体としてさらに河口周辺の海にどんな影響が出るかと言ったことも含みます。このような広い視野を持つことが、これからの第三世代の応用地質学には求められています。

工事と調査の流れ

地質調査は大きく次の3つに分けられます。

- 1) 設計・施工計画のための事前調査
- 2) 施工中の調査
- 3) 施工後の調査（維持管理のための調査を含む）

例として、トンネル建設と調査の流れを示します。この図を参考にして、それぞれの段階での調査の要点を述べます。

工事と調査の流れ	比較路線の検討			
	路線選定のための調査	路線の決定	設計・施工計画のための調査 工事着手	施工中の調査 工事竣工
主な目的	・地形・地質・その他の環境条件に適合した路線を選定するために必要な資料を得る。 ・次の段階の調査立案の基礎資料を得る。	・当初設計、工事計画、積算等に必要の基礎資料を得る。	・施工中に発生する問題点の予測・確認 ・設計変更のための現場資料収集 ・施工監理 ・補償および完成後のための資料を得る。	・施工中・施工後に生じた問題点の確認 ・補償あるいは変状対策のための資料を得る。
調査の内容	・地形・地質調査 ・環境調査 ・その他調査 ・一般的に概括的な調査	・地形・地質調査 ・環境調査 ・精密な地質調査・具体的な周辺対策を考えた調査・工事関係諸設備等のための調査など	・地形・地質調査 ・計測・環境調査 ・切羽観察・支保工挙動観測 ・トンネル周辺の環境調査・計測は工事による影響および対策の効果判定が主体	・地質調査・計測・環境調査 ・トンネル周辺の環境調査 ・計測は工事による影響および対策の効果判定が主体
調査範囲	・比較検討の路線を含む広範囲	・トンネルとその周辺で関係があると推定される箇所	・トンネル内および工事により影響を受ける恐れのある範囲	・問題箇所を中心とする影響範囲

【図 9.1 トンネル建設と調査の流れ（土木学会，1996，12P）】

(1) まず、1:5,000 くらいの縮尺の広域的な地形図で、いくつかの道路線形を引きます。平面線形だけでなく縦断線形も考慮してその道路の規格を満たすものとします。可能な限り既存資料を収集して、大規模な地すべり、土地利用（特に墓地は基本的に避ける）、遺跡の分布など、避けなければならない地点（コントロール・ポイント*1）を特定しておきます。この精度をどれだけ上げられるかは、手戻りが出るかどうか大きく響いてきます。

これが路線選定のための調査で、道路予備設計です。

(2) 概略の路線が決定したあとは、その路線を基本として地質調査を行います。概略設計のための調査、

*1 コントロールポイント(control point)：道路等の平面線形や縦断線形を設定する場合、線形決定に大きな制約条件となる場所のことです。自然条件、関連公共事業、環境条件、文化財、公共施設等に関するものに大別でき、回避しなければならない地点、特別な配慮を必要とする地点、あるいは必ず通過しなければならない地点があります。

詳細設計のための調査、補足調査に分けられます。特に詳細設計では調査との連携を密に行うことにより効率的な設計が可能になります。

概略設計では設計協議用図面の作成が重要です。これをもとに地元との協議を行って了解を取り、道路用地を確定する幅杭設計を行います。

詳細設計が出来上がると用地測量を行い土地の買収に入ります。

一般に、設計担当者は地形図と調査担当者から上がってきた地質情報をもとに設計を行います。そのため、実際の施工にかかろうとすると設計図通りに施工できないということが発生します。このような非効率を防ぐためには、設計者も一度は自分の目で現地を見てポイントとなる点を把握しておくことが重要です。

(3) 施工中の調査では動態観測を併用しながら必要に応じて設計変更をします。大規模な切土工事、橋梁工事、トンネル工事では地下水を枯渇させる場合があります、その補償のための継続調査も重要です。

トンネルの場合、切羽観察、内空変位の計測、地中変位計測などを行いながら掘削を進めます。掘削ズリに砒素などの有害金属が含まれている場合には、土壤汚染対策法に準拠して処理しなければなりません。施工中に有害金属が発見され周辺に影響を与えることが判明した場合、工事が数ヶ月以上にわたって止まることになり大きな損失になります。

施工中の工事記録は供用後の維持管理の重要な情報です。最近はデータベースとして整備されつつあります。

(4) 施工後の調査は、定期点検と問題が発生した場合に行う調査とがあります。それぞれの構造物により点検方法が決められています。特に、近年問題となったトンネルでは、完成直後の調査(1~2年以内)から始まって5年おきくらいに一斉点検を行う体制となっています。橋梁、のり面などについても同様の頻度で点検を行います。

施工後調査では建設後の年数が経過している構造物は、当然古い設計要領にもとづいて建設されているため、これらの資料を整えておく必要があります。例えば、1996年改訂のトンネル標準示方書ではトンネル覆工コンクリートの強度は180~240kgf/cm²です。1977年改訂版では180~210kgf/cm²、それ以前の示方書では160~200kgf/cm²となっています。

また、のり面などが大雨で崩壊することもあります。このような場合は緊急に調査を行い、できるだけ早く対策工を行って交通を確保しなければなりません。

9.2 地質調査

地質調査の典型的な方法は、沢を歩き露頭を探し観察・記載しルートマップを作り、それらをつなげて地質平面図や地質断面図を作ることです。また、物理探査やボーリングを行って深度方向での地質の構成を把握します。しかし、調査の流れで示したようにそれだけではありません。文献調査から始まって構造物供用後の維持管理までのすべてに地質調査が関わってきます。

以下、順番に各調査方法の目的、調査にあたっての注意事項について述べます。物理探査については7.3で述べます。

予備調査

基本的には既往文献を収集し、構造物設置計画地点周辺の地質の概要を知って、地形・地質上の問題点を把握し、構造物の設置位置や施工方法・工費・工期について概略の見当を付けます。

検討する方法としては文献調査、地形図読図および空中写真判読、概略地質踏査です。これらの結果をまとめて、工学的留意点に焦点を当てながら図面を作成します。

予備調査の要点は以下のとおりです。

- (1) 大規模な断層・破碎帯、活断層など構造物にとって地質上致命的な欠陥となる現象を把握します。
- (2) 大規模な地すべり、崩壊の有無と活動履歴を把握します。特に、大規模地すべりはどんな対策工を行っても対抗できない規模の力が発生する場合がありますので、この段階での判断が重要です。

- (3) 広範囲にわたる被覆物（河成段丘堆積物，崖錐堆積物，河床砂礫層など）の分布と性状を把握します。
- (4) 構造物の基礎岩盤として問題となる堆積性軟岩（支持力不足やすべりの発生），蛇紋岩（すべりの発生），石灰岩（空洞形成），第四紀溶岩（大量湧水）などの分布と性状を把握します。
- (5) マサのような広範囲に深くまで達する風化層の分布と性状を把握します。

文献調査

既存文献を収集して計画地帯一帯の概略的な地質状況を把握することを目的として実施します。

(1) 地質資料

1) 地質図

・ 5 万分の 1 地質図幅・同説明書：「地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅」という名称となっている地域もあります。

・ 表層地質図

・ 各地方別地質図（近々，「北海道地方土木地質図」が発行されます）

・ 地質調査総合センターの「地質 Navi」が 2013 年 5 月 10 日（地質の日）から正式公開されました。

このウェブサイトの特徴は次のとおりです。

a) 地質図の基本は 20 万分の 1 シームレス地質図です。全国统一凡例で表示されています。そのため，図幅で用いられている地域ごとの地層名は表示されません。例えば，シューパロダム貯水池周辺の「函淵層」は，「後期白亜紀後期(K22)の海成砂岩優勢層 説明：約 8600 万年前～6500 万年前に海で形成された砂岩優勢層」と表現されます。

b) 一番の特徴は，上記のことを補うように，既存の地質図が表示できることです。上の例では「5 万分の地質図幅 大夕張」が表示でき，判読に困らない精度の地質図と凡例を見ることができま

す。

c) 背景の地図は，国土地理院電子国土，Google 航空写真，Google 地形などに切り替えることができます。電子国土表示で拡大していくと 2 万 5 千分の 1 地形図が出てきます。地質図は，8 万分の 1 程度の縮尺まで表示され，それより詳細な縮尺となると地質図は表示されません。しかし，かなり正確に場所を特定できるので便利です。

・ 地域別地質図（例えば，天竜川流域の地質図など）

・ シームレス 20 万分の 1 地質図：地質調査総合センターのウェブサイト

<<http://www.aist.go.jp/RIODB/db084/>>

で見ることができます。RIO-DB 版ではグーグルアースと地質図が重ね合わされていて使いやすいです。また，地質図上にマウスを置くと，マウス位置の緯度・経度，時代，岩相，地質の説明が，地質図脇の欄に表示されます。

・ 2012 年から「地質図 Navi」が同じく地質調査総合センターのウェブサイトで試験公開されています。

<<http://gsj-seamless.jp/geonavi/gm/geonavi.php>>

ここでは，50 万分の 1 から 5 万分の 1 までの地質図幅，海洋地質図や火山地質図などの特殊地質図まで見ることができます。シームレス地質図のほかに，5 万分の 1 地質図幅そのものを同じ画面で見ることができ，凡例も含め十分な解像度を持っています。

2) 各種地質論文

・ 地質学雑誌（日本地質学会）：地質関係の主要雑誌です。

・ 応用地質（日本応用地質学会）：応用地質関係の主要雑誌です。

・ 日本地すべり学会誌（日本地すべり学会）：地すべり関係の主要雑誌です。

- ・地球科学（地学団体研究会）：地域地質についての論文が多い雑誌です。

これらの文献は、国立情報研究所の「GeNii 学術コンテンツ・ポータル」
 <<http://www.nii.ac.jp/service/general/>>で検索することができます。

特に、地質学会誌はオープンアクセス（無料で本文を読むことができる）となっています。

また、北海道の場合は、<<http://www.gsh.pref.hokkaido.jp/library/library.html>> で検索して道立地質研究所の図書館に行けば借り出すことができます。

さらに、グーグルスカラーも使い勝手がよく、うまく使うと必要な情報を効率よく得ることができます。

<<http://scholar.google.co.jp>>

(2) 地形図読図

地球の表面は山あり、谷あり、平野あり、海底面ありで起伏に富んでいます。このような地表面の起伏形態を地形と呼びます（鈴木，1997，39-40）。地形は地球表面の起伏形態ですから地形を構成する岩石（地質）と不離不可分の関係にあります。地形の変化は地質条件だけに制約されるわけではありません。地形変化を起こしている基本的な要素は地表面を構成する岩石（土と岩）の移動です。地質は地形を形成する一つの要素ではあるのですが、これだけですべてが決まるわけではありません。

例えば、同じ花こう岩地域でも砂漠のような乾燥地帯と日本のような湿潤温帯地域では形成される地形は違います。日本では風化により形成された土砂は比較的速やかに運ばれますが、乾燥地帯では風によるほかは、時たま起こる洪水によって運ばれるだけだからです。

地形図読図の最良の教科書は、「建設技術者のための地形図読図入門 第1巻読図の基礎」（鈴木隆介，1997，古今書院）です。これは、ぜひ手元に置いて必要なときに参考にとすると良いと思います。

1) 地形図はすべての調査の基礎となるもので、予備調査では一般に、1:25,000～1:5,000の縮尺の図面が用いられます。本調査では、1:2,500～1:1,000の図面が用いられます。これらはいずれも空中写真から図化したものですので、誤差が含まれています。航測図では1:1,000の縮尺の図面でも、高さが10mくらい違っていることは珍しくありません。これは、樹木の高さを読み間違える場合が多いようです。また、沢の樹木は生育がいいので、幅20mほどの沢が空中写真では判別できなくて、まったく抜けていることもあります。

2) 最近多く用いられるようになってきた航空レーザー測量による図面は、精度が高く微細な地形も表現できます。路線変更のような重要な変更が必要な場合は、航空レーザー測量を実施することも検討するとよいと思います。

3) すぐに入手可能な地形図としては国土地理院発行の地形図などがあります。

表 9.1 すぐ入手可能な地形図

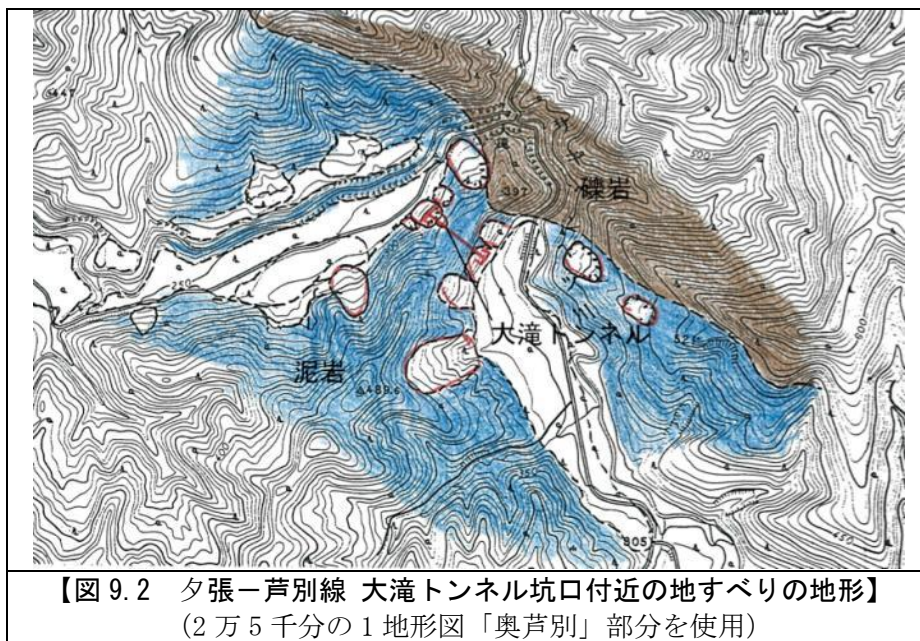
名称	縮尺	記事
国土地理院地勢図	1:200,000	広範囲の地形を概観するのに使う。
国土地理院地形図	1:50,000 1:25,000	調査地域を中心にある程度広域的な地形、地質状況を把握するのに使う。 1:25,000は地すべり地を抽出するのに十分な精度を持っている。 大規模な人工改変前の地形図を手に入れることも可能である。
国土基本図	1:5,000 1:2,500	日本地図センターで入手できる。都市周辺のみで山間部は作られていない。 受注生産であるので注文してから10日ほどかかる。 < http://www.jmc.or.jp/sale/map.html >
森林基本図	1:5,000	日本全国の山間部を対象としている。 民有林は都道府県の林務担当部局、国有林は各地方森林管理局で入手できる。

都市計画図	1:2,500	各市町村で作成している大縮尺の図面で，市役所などで入手できる。
数値地図	1:2,500 ～ 1:200,000 まで	1:25,000 の数値地図は全国的に整備されている。また，50m メッシュの標高データも全国で整備されている。 航空レーザースキャナによる 5m メッシュの標高データは，現段階では都市圏から整備され始めている。

3) 地形図読図は，調査地域の地形図を用いて地すべり，崩壊，扇状地，段丘，リニアメント，遷急線，遷緩線などを判読する作業です。

2万5千分の1の地形図は50m規模の地形であれば，かなり精度よく判読できます。地すべり地形，小規模な扇状地，段丘，地質の差異が読み取れます。

とにかく丹念に地形図を眺め異常な地形を拾い出すと建設工事に役立つ情報が得られます。



地すべり地では，斜面上部に尾根側に凸の密な等高線があり，その下に等高線の間隔が開いた地形があり，斜面下部に谷側に凸の等高線があるという組み合わせが典型的なものです。つまり，地すべりの古い滑落崖とその下の移動土塊頭部，そして押し出した移動土塊という組み合わせが見られます。2万5千分の1地形図で，このような地形を抽出し現地を確認することで，典型的な地すべり地形は把握することができます。

図 9.2 の左上の泥岩分布地域では細長い段丘が発達し，沢の出口に小規模な扇状地が形成されています。この地域では斜面が急な地形を示す右上側には礫岩（茶色）が分布し，左下側には泥岩（水色）が分布していて，泥岩地域で地すべりが多発しています。

大滝トンネルの夕張側坑口（左上）は小規模な地すべりブロック内に位置していました。対策工として押え盛土を行い，坑口付近は側壁導坑で施工しました。それでも天端崩落が発生しました。

(3) 空中写真判読

空中写真判読では，とにかく異常地形をすべて拾い出すことです。直線状に並んだ凹地（ケルンコル）や凸状地形（ケルンバット），直線的な谷の連なり，特定方向に平行する谷や尾根，谷に平行な連続した急崖，川の流路の急変部，支谷の本谷に対する逆流，格子状あるいは直線状の水系，斜面の傾斜変換点の直線的配列，崩壊・湧水点などの直線的配列などがあります。

1) 空中写真判読は、実体視できる空中写真を用いて地形判読を行う作業です。実体視することにより地形が強調されて見えるために、微地形を判読することができます。また、植生の違い、沢の発達具合なども詳細に判読することができます。

空中写真は地表踏査の前に見ておくと、現地に行った時に前に来たことがあるような錯覚に陥ることがあります。また、現地踏査のあとで見ると非常に鮮明に歩いたあとを思い出することができます。

2) 空中写真を実体視して地形、地質、土質、植生等を判読し、地すべり、斜面崩壊、土石流などの疑いのある地域を抽出します。

3) 空中写真は日本地図センターで販売していますが、それぞれの事業で撮影した空中写真もありますので、それらを利用することもできます。例えば、予備設計の段階では、たいいていの場合、縮尺 1:1,000 の地形図を作るために、1:7,000 程度の空中写真を撮影しています。

4) 最近の人工改変の進行は著しく、自然状態の地形がつかめない場合があります。その場合は、戦後すぐに米軍が撮影した空中写真が役に立ちます。

5) 災害が発生した場合は、直後に航空測量会社が空中写真の撮影を行います。これらの写真を入手できると被災状況を詳細に知ることができます。

表 9.2 空中写真の種類と入手方法

撮影計画機関	撮影区域	撮影年次	縮尺	申込先
国土地理院 (国土基本図用)	平野部	1960～	一部 1:10,000 大部分 1:20,000	日本地図センター http://www.jmc.or.jp/index.html
国土地理院	ほぼ日本 全域	1964～	約 1:40,000	日本地図センター
国土地理院 (国土整備事業用)	全国 (カラー)	1974～	平野部 1: 8,000 山地部 1:10,000 ～1:15,000	日本地図センター
林野庁および 都道府県林務課	山地部	1952～	約 1:20,000	各地方森林管理局 都道府県庁
米軍	日本全域	1946～ 1948	約 1:40,000	日本地図センター
米軍	鉄道沿線 主要平野部	1946～ 1948	約 1:10,000	日本地図センター

(4) 空中写真判読上の留意点

以上のように、空中写真判読では様々な地形を判読できますが、建設工事に係わって重要なのは、次の点です。

1) 地すべり地形の抽出：これは多少経験を積むと典型的なものは容易の判読できます。特に、建設工事では地すべりで移動した土砂や岩塊が斜面に残っているかどうかの判断が重要です。また、切土や盛土と地すべり移動土塊の関係も把握しておく必要があります。

2) 崩壊地形の抽出：崩壊地形というのは土砂の移動速度が速いものを呼んでいます。ですから、建設工事で崩壊地形の末端を切土すると、瞬間的に土砂や岩塊が崩壊してくるので注意が必要です。最

悪の場合、犠牲者が出る場合があります。

- 3) 大規模な破砕帯：地質的にも知られている大規模な破砕帯は既存資料で確認できますが、実際の位置と構造物との関係は地形図読図や空中写真判読で特定する必要があります。大規模な破砕帯に遭遇した場合、地質が劣化しているだけでなく大量の湧水を伴い工事が難航します。大量湧水で周辺の水源地が枯渇することもあるので、広い範囲の地質構造を把握する必要があります。

空中写真判読では岩盤の性状を判読するのはかなり難しいですが、これを覆っている段丘堆積物や崖錐堆積物などの被覆物の分布は判読できます。被覆物の判読の要点は次のようなものがあります。

- 1) 河川に沿って河床より高い位置に棚状の平坦面がある場合は河成段丘で、円礫・砂・シルトなどで構成されています。段丘堆積物は崖錐堆積物と違って円礫を含んでいて細粒分の粒度が揃っているという特徴があります。
- 2) 山の中腹に棚状の地形があり、しかもいくつかの地形が一定の比高（河床からの高さ）を持っている場合は、ほぼ河成段丘と判断できます。このような場合は、斜面上方からの土砂が堆積している場合があり、河川沿いのもの比べると平坦さが劣ることが多いのが特徴です。また、北海道などでは氷期に凍結融解作用によって運ばれてきた土砂が溜まって一定の傾斜を持った山麓緩斜面を形成することがあります。
- 3) 山腹の急斜面と河川（谷）の平坦面との間に緩傾斜地がある場合は崖錐であることが多いです。崖錐は角礫、砂、シルト、粘土などから構成されています。
- 4) 尾根が丸みを帯びたり、ほぼ平坦な地形を示したりする場合には岩盤が深くまで風化して土砂化していることが多いです。花こう岩地域ではマサが厚く堆積しています。
- 5) 自然でできた台地状の地形は溶岩で形成されていることが多く、表層部には火山灰や火山砕屑物が堆積していることがあります。
- 6) 谷が山地から出る位置にある扇状の緩傾斜地は扇状地で、水により押し出された巨礫を混じえた円礫・亜角礫と砂、シルトなどから構成されています。
- 7) 川幅が広く流路が蛇行している河川では河床部に厚く砂礫層が堆積していることが多いです。

地質資料の入手方法

前のところで多少触れたので重複する部分がありますが、地質資料の入手方法についてまとめて述べます。最近では電子データが豊富に公開されていて状況がどんどん変わってきています。ウェブサイトを丹念に検索すると、かなりの情報を得ることができます。

- (1) ほとんどの学会誌を網羅しているのは、国立情報学研究所のジニイ(GeNii)です。
<<http://ge.nii.ac.jp/genii/jsp/index.jsp>>
学会員であれば無料で利用できるサービスがあり、文献検索には有効です。例えば、「地質学会誌」は全巻無料で全文を見ることができます。
- (2) 地質の既存資料として、全国どこでも一応の地質構成を掴むための資料としては、「日本の地質」シリーズ（共立出版）があります。北海道から九州まで全9巻からなり、ほぼどの地域でも広域的な地質を把握することができるほか、これをもとに参考文献を探し出すことができます。
- (3) さらに、「日本地方地質誌」シリーズ（朝倉書店）が刊行されました。最新の地質情報を得るには、現在最も信頼できる本です。北海道はシリーズ1として2010年11月に発行されました。
- (4) 地質文献の検索はインターネットで「地質文献データベース」（産総研 地質調査総合センター）
<<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/DB011/index.html>>
に接続して検索するのが最も早い方法です（無料）。ここには様々な地質情報データベースが整えられています。
- (5) J-Stage は、科学技術振興機構が運営する日本国内の科学技術情報関係の電子ジャーナル発行を支援

するシステムです。地質学雑誌，地学雑誌，水文・水資源学会誌，情報地質，地震第2輯，岩鉱，岩石鉱物科学，資源地質，資源と素材，地盤工学ジャーナル，石油技術協会誌，堆積学研究，第四紀研究，ダム工学，地下水学会誌，地理学評論，土木学会論文集，日本地すべり学会誌，日本水文科学会誌，水環境学会誌，水資源・環境研究，陸水学雑誌などの本文を見ることができます。

<<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja>>

「地質学会誌」，「応用地質」，「地すべり学会誌」（旧「地すべり」）は Journal@rchive

<http://www.journalarchive.jst.go.jp/japanese/top_ja.php>で全巻見ることができます。

(6) JdreamII は，科学技術振興機構が運営している有料のデータベースで，科学技術に関する文献や研究テーマ情報などを，インターネットを通じて直接データベースにアクセスして，5,600 万件を越すファイルの中から，必要な情報の所在を探し出すことができます。

アドレスは<<http://pr.jst.go.jp/jdream2/index.html>> です。

(7) 国立国会図書館の「資料の検索」<<http://www.ndl.go.jp/jp/data/opac.html>>は，最後の拠り所でしょう。

(8) 土木図書館<<http://www.jsce.or.jp/library/index.html>>（土木学会）もインターネットでの文献検索が出来ます。

(9) 各学会のホームページ

例えば，地すべり学会のホームページ

<<http://www.landslide-soc.org/>> では学会誌のタイトル検索や研究発表会の講演集が電子化されています。

(10) トンネルに関しては，「トンネルと地下」の目次が土木工学社

<<http://www.tunnel.ne.jp/>> のホームページで検索できます。

トンネルに関する記事はこの雑誌と「地盤工学会誌」（地盤工学会，旧「土と基礎」）に載っているのがほとんどです。

(11) 空中写真は下の枠内のところで入手できます。

最近は国土地理院の空中写真閲覧サービス

<<http://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html>> あるいは

国土交通省の航空写真画像情報所在検索・案内システム

<<http://airphoto.gis.go.jp/aplis/Agreement.jsp>> から空中写真をダウンロードできます。

(財) 日本地図センター 東京都目黒区青葉台 4-9-6

TEL:0298-51-6657~8 FAX:0298-52-4532

URL: <http://www.jmc.or.jp/>

林野庁>分野別情報 > 空中写真及びデジタルデータ等の入手方法について

URL: http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/index.html

*ランドサット，イコノスなどの衛星写真の入手先

(財) リモートセンシング技術センター

東京都港区六本木 1 丁目 9-9

六本木ファーストビル 12 階

TEL:03-5561-9771 FAX:03-5561-9540

URL:<http://www.restec.or.jp>

これらの検索は，キーワードを入力すると目的のものが検索できる使いやすいものから，多少検索技

術を要するものまでいろいろです。いずれにしても、インターネットを利用しての情報収集、文献収集はヒットすると非常に有効で、無駄な労力を省くことができます。

その他の資料としては、温泉調査や地下水調査等のボーリングデータが刊行されている場合があります。これらは地質図に比べると地下深部の地質状況を直接確認できる点で利用価値が高い資料です。

金属鉱床や昔の石炭探鉱のための広域調査図幅と説明書、水理地質図等も資料としては有用です。特に、金属鉱業事業団の広域調査図幅は年代測定値を含むデータが豊富です。

国土地盤情報検索サイト（KuniJiban：<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html>）は、全国のボーリングデータや試験データを検索することができます。北海道内は、残念ながら情報の数が少ないです。しかし、地盤情報検索サイトは日々進化していますから、ウェブサイトを目を光らせ情報を収集しておく必要があります。

資料利用上の留意点

公表されている文献は、引用元を示して使用することは勿論ですが、資料そのものが持っている限界を十分理解しておく必要があります。

なお、地質用語を統一する点では、「地質学用語辞典-和英・英和-」（日本地質学会編，2004，共立出版）や「地質基準」（日本地質学会地質基準委員会編著，2001，共立出版）が参考になります。また、「新版地学事典」（地学団体研究会，1996，平凡社）、「土木用語大辞典」（土木学会，1999，技報堂）も必須の図書です。土木用語大辞典は電子辞書版が出ていますので、これを手元に置くのが良いと思います。

既存資料を読む上での留意点としては、次のようなことがあります。

- (1) 地質図幅は、その地域の地質を広域的に統一した観点で記述することを目的としており、トンネル建設のような比較的狭い範囲の地質については、必ずしも現地の地質を正確に表現していないことがあります。したがって、自分で踏査して納得のいく地質構成・地質構造を把握することが必要です。
- (2) 図幅中に、走向・傾斜がきちんと記載されているものは信頼性が高いと考えて良いです。
- (3) 火山岩地域では構造がはっきりしないことが多く、図幅作成者の解釈に大きく左右されることがあります。火山岩類は成因、形成条件を念頭に置いて分布、性質を把握する必要があります。
- (4) その地域に分布している地質の産状が非常に大切です。火山岩であれば、貫入岩なのか溶岩なのか、堆積岩であれば、正常堆積物なのか付加体堆積物なのかといったことです。
例えば、トンネル調査で地山区分を行う場合、貫入岩であれば地山区分はかなり上位に（軽い支保構造に）位置づけてもあまり問題はないですが、溶岩であれば一般には亀裂が開き噴出单元ごとに自破碎部を含むことが多く、地山としては不安定です。また、堆積岩が付加体堆積物である場合は、深部まで破碎されていたり掘削によって予想しない応力解放が発生したりする場合があります。事前調査では、弾性波速度が実際の地山状況よりかなり大きく出る傾向にあり、地山区分には注意が必要です。
したがって、既存資料は、できる限り最新の地質解釈を取り入れたものを手に入れることが重要となります。
- (5) この20年ほどの地質学の進歩は幾つかの重要な地質的見解を発展させてきました。特に、付加体の地質学は、土木地質に大きな問題を投げかけています。踏査段階では露頭には硬質な砂岩が見られ良好な地山と判断されたものが、実際にボーリングを行ってみると砂岩のブロックを包んで破碎された泥質岩が分布していることがあります。このような付加体の地質では弾性波速度が目で見ただけよりも速くなるのが特徴で、トンネルなどの地山区分には十分注意し、少なくとも1ランク下げておく（例えば、CI→CII）必要があります（ジェオフロンテ研究会，2005，「付加体地質とトンネル施工」や土木学会関西支部，2005，「地盤の可視化とその評価法」などを参照してください）。

- (6) 付加体では低角の衝上断層が形成されます。切土斜面にこのような衝上断層が出現すると斜面中段に地質の不連続が現れることになるので注意が必要です。また、トンネルでは、地表に現れている地質とトンネル断面に出現する地質が異なることとなります。
- (7) 地質用語は、できるだけ成因を含めた正しい名称を用いるように習慣づけます。例えば、碎屑性堆積物の粒度区分と堆積岩の名称、火山碎屑性堆積岩の分類などです。一般には、火山碎屑岩は強度が小さく不透水層となっていることが多いのに対し、溶岩は亀裂が多く亀裂からの湧水が比較的多いという違いがあります。溶岩と火山碎屑岩が互層している場合には、評価が難しい地山となるので、成因を十分考慮して広域的な岩相の変化を追跡する必要があります。
- (8) 建設工事で問題となる地質の一つに変質帯があります。その問題点は次の通りです。
- 1) 変質帯ではスメクタイト（モンモリロナイトを含む膨潤性粘土鉱物）が含まれることが多く、膨潤圧が作用しやすく地山の劣化が早くなります。また、トンネルでは、いわゆる“後荷（あとに）”がかかり、トンネルの長期的安定性を損なう場合があります。
 - 2) 変質帯の中には有害な重金属類が含まれることがあります。最もやっかいなのは砒素です。この点は、最近の建設発生土リサイクルとの関係で注意が必要となっています。つまり、掘削で発生した土を道路盛土などに流用する場合、有害金属を含んでいないことを確認する必要があります。
 - 3) 変質帯中では、そこを通過してきた地表水や地下水が強酸性となる可能性があります。このような場合、少なくとも排水基準を満足する状態（pH5.8～8.6）で排出する必要があります。
- (9) 海底や湖底に噴出した水底火砕岩類（ハイアロクラスタイト＝水冷破碎溶岩や枕状溶岩）も比較的良好に出会う地質です。豊浜トンネルの岩盤崩落は、給源岩脈の近くの水底火砕岩類が崩落したものです。水底火砕岩類の特徴の一つは、全体に亀裂が少ないのでトンネル坑口で崩落した場合などは大事故につながりやすい地質です。

地表地質踏査

ここまでの準備を行って実際に現地に行き、川、沢、尾根、道路のり面など地表露頭の現れている箇所を調査しルートマップを作成します。なお、露頭が極端に少ない場合は地表に転がっている石（転石）を叩いて大まかな分布をつかむ必要があります。

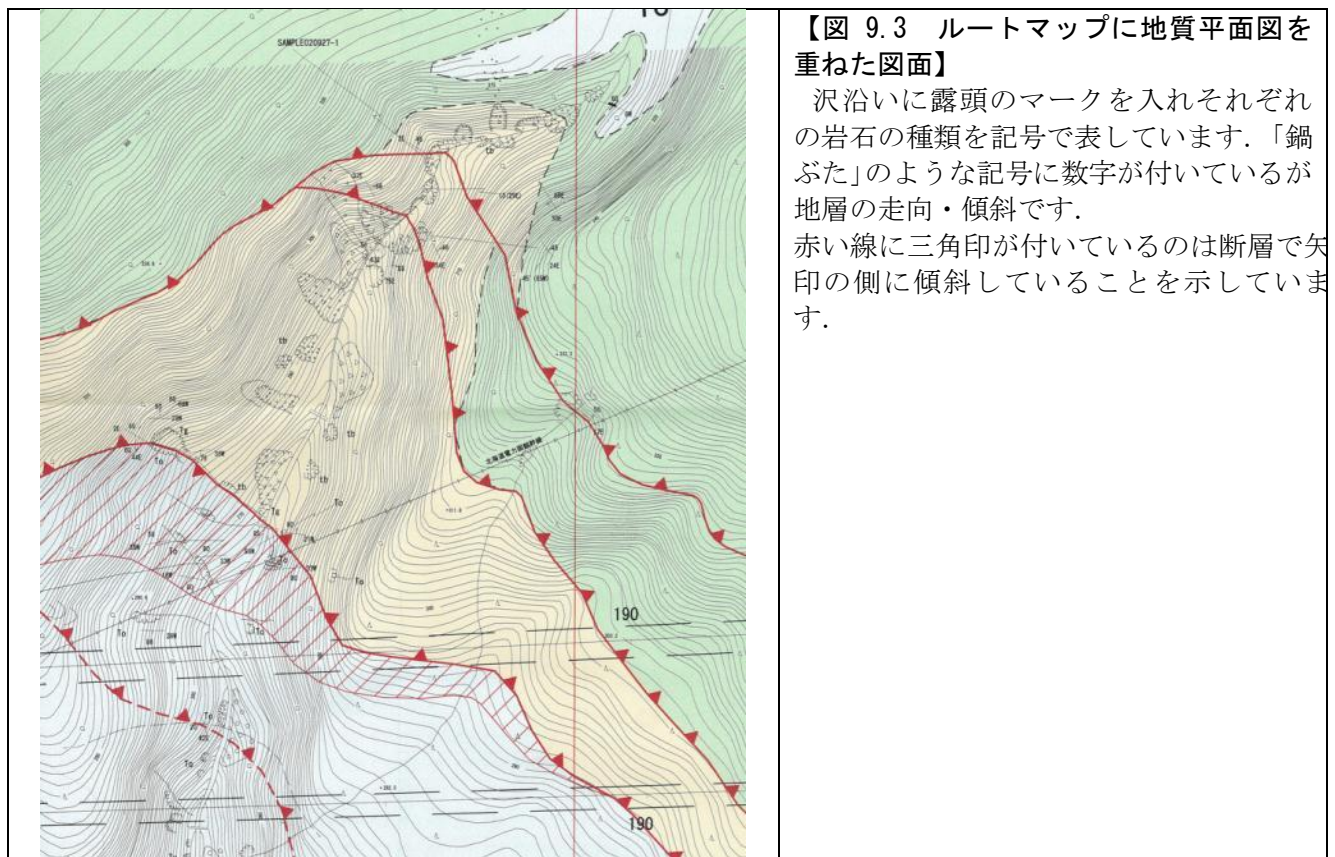
手順としては、最初に地域全体に分布する地質を把握し、大規模な構造あるいは地すべり地形などを概略把握します。その後、構造物との関係で地質を詳細に見ていきます。湧水点、斜面上部の不安定岩塊の把握も大事です。

ルートマップに記載する事項は次のとおりです。

表 9.3 ルートマップに記載する事項

岩石の種類	砂岩、頁岩、安山岩などの名称を記載する。最終的には平面的な地質の分布図（地質平面図）と構造物周辺の断面図を作成するので、ある露頭の地質が他の露頭のどの地質とつながるかある程度考えながら記載する必要がある。
岩石の色、硬さ	岩石の色は風化程度の重要な指標であり、重要な記載事項である。硬さは工学的評価に欠かせない。露頭ではハンマーの打撃音で硬岩か軟岩かの区別をおこなう。必要であればシュミットロックハンマーや針貫入試験器で推定強度を求める。
岩石の分布状態	前後の岩石との関係をできるだけ露頭規模で把握することが重要である。同じ露頭でも岩石が変わったと思ったら戻ってその境界を探し相互の関係を決定する。
層理・節理・片理の状態	地層の走向・傾斜、片岩類の片理面の走向・傾斜などを測定し記載する。また、層理面などの間隔も記載する。層理や節理などの間隔は工学的に重要な要素である。
割れ目の状態	割れ目に粘土が挟まっていないか、擦ったような跡（擦痕や鏡肌）がないかなどを観察する。割れ目の平滑さも工学的に効いてくる。もちろん、走向・傾斜も押さえる。
風化・変質の状態	地表付近が風化・変質している場合、工学的には岩盤条件が悪い。どの程度の深さまで風化しているかを観察できれば記載しておくに役立つ。
特殊な現象	鉱化変質や熱による変成作用などがあれば記載する。また、空洞の存在は特に透水性の問題として重要である。
褶曲構造	地層が褶曲している場合、主要な不連続面が変化するので切土などの場合、重要な要素と

	なる。また、一般に褶曲構造を示している場合は、岩盤に亀裂が多くなり劣化していることが多い。
断層の分布・性質	断層の規模、走向・傾斜、粘土化・破碎の程度などを記載する。地質調査のおもしろさの一つは断層のような顕著な構造がどのように連続するかを追跡することである。
流水・湧水状況	特にトンネルの場合、周辺の沢の流量はトンネル湧水量を推定する重要な根拠になる。地表踏査の段階では目分量で毎分何リットルくらいかを記載しておく。踏査時に水温・pH・電気伝導度を測定しておくことも必要である。 湧水点をきちんと記載しておくことも重要である。その場合、最低、手で触って水温を、口に含んで特殊な成分を含んでいないかのチェックをしておく。
植生	植林地なのか自然林なのかと言ったことも含めて、針葉樹、広葉樹、草だけ、笹が多いなどを記載する。



9.3 物理探査

物理探査というのは、弾性波、電気抵抗、重力、磁気、放射能、地温など地盤の物理的性質を測定して、地中の物質の性質と分布を明らかにする探査方法です。

物理探査の種類は次のような方法があります。これらのうち、土木分野でよく利用されているのは弾性波探査と電気探査です。

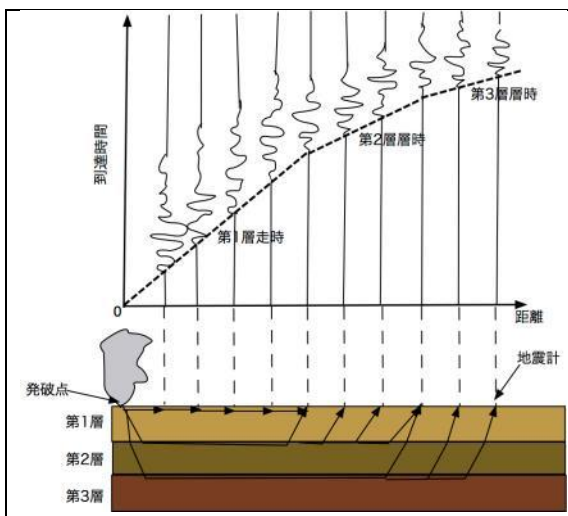
- (1) 弾性波探査
- (2) 電気探査
- (3) 重力探査
- (4) 音波探査
- (5) 磁気探査
- (6) 放射能探査
- (7) 地温探査

以下弾性波探査と電気探査について述べます。

弾性波探査

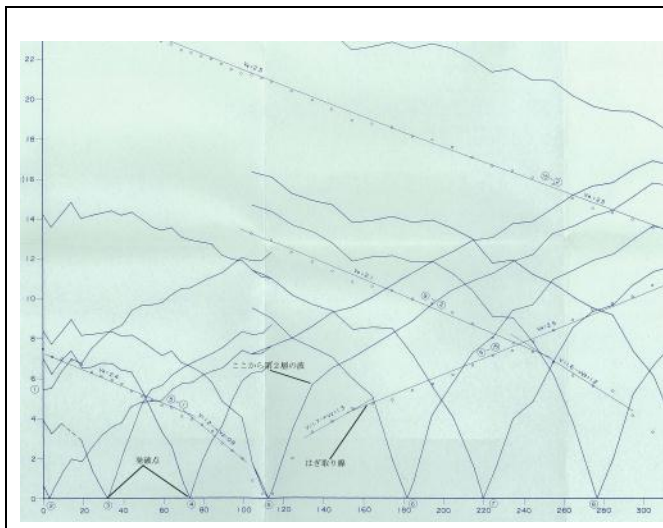
一般に土木関係で使われている弾性波探査の方法は屈折法と呼ばれています。地表に一定間隔で受振器を置き、発破などで人工的な振動を発生させて、その波の到達時間を測ります。地層の境界で屈折した弾性波のうち、最も早く受振器に到達したP波を測定します。発破点から受振器までの距離を横軸に、地震波の到達時間を縦軸にとってグラフを書きます。これを走時曲線と言います。

弾性波探査は、地盤が層構造をしていて深部に行くほど弾性波速度が大きくなるという仮定のもとに解析します。ですから、表面に速度の大きな層、例えば溶岩が表面にあり、その下に速度の遅い泥岩があるような場合は、解析が困難になります。



【図 9.4 弾性波探査の模式図 (菊池, 1990, 50p による)】

地表に置いた受振器(地震計)に発破などによる人工地震の波が到達する時間を精密に測定します。発破点からある距離以上になると、より下の層を通ってきた波の方が早く到達します。この絵の場合、5番目の受振器までは地表を伝わってきた波が早く到達していますが、それより離れると第2層の表面を通ってきた波の方が先に到達します。8番目の受振器より遠いものでは第三層の表面を伝わってきた波が速く到達します。このように、最初に受振器に到達する弾性波の時間で、それぞれの地層の厚さ、弾性波の通しやすさ(弾性波速度)が分かります。



【図 9.5 走時曲線の例】

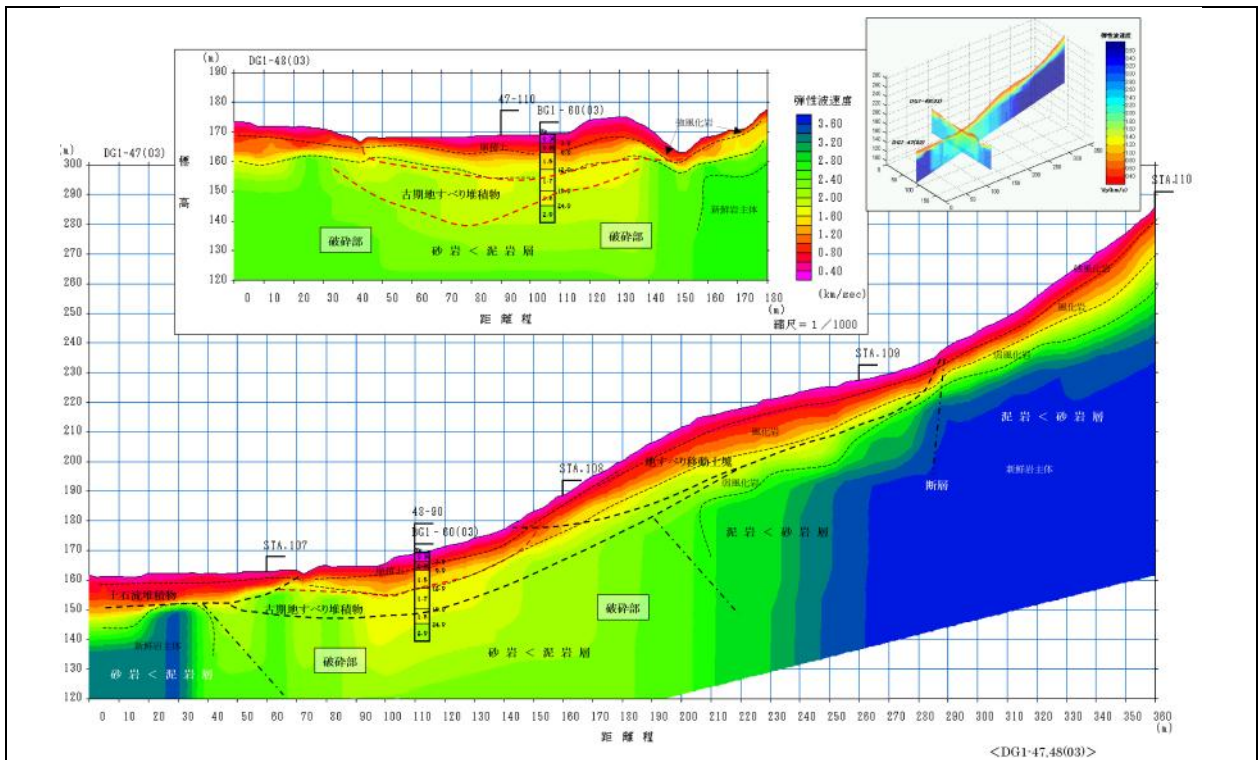
横軸は距離、縦軸は時間です。曲線がV字型に立ち上がっているところが発破点です。この例では大体40m間隔で発破をかけています。縦軸の数字の単位は1/100秒です。曲線の傾斜が急なほど距離に対して弾性波の到達する時間がかかっているため波の速度は遅いこととなります。逆に傾斜の緩い線ほど速い速度層を示しています。はぎ取り線が、それぞれの速度層の弾性波速度を示しています。

今は、ほとんど見られなくなりましたが、切土のり面やトンネル切羽での簡易弾性波探査の解析に使えます。



【図 9.6 弾性波探査の道具一式】

コンピュータの発達によって、弾性波探査の解析法は大きく進歩しました。つまり、探査する地盤をメッシュに分けて、それぞれの速度をいろいろと仮定して、もっとも合理的な解を出す方法が発達しました。この方法は、高密度弾性波探査あるいはトモグラフィ的解析を用いた弾性波探査と呼んでいます。また、測定装置も進歩したため、地表に400点くらいの受振器を1度に設置し、さらにボーリング孔内にも受振器を吊るして測定が出来るようになりました。この方法により、これまで解析が困難であった、上に速度の速い層がある地山でも、ある程度の精度で解析できるようになりました。



【図 9.7 トモグラフィ的解析を行った弾性波探査の例】

地すべり地にトンネルが突込む箇所の弾性波探査で、比較的きれいにすべり面が検出されています。上の図はトンネルに直交する横断図です。ここではボーリングは1孔しか実施していませんが、地表踏査と合わせて、この弾性波結果で地すべりの規模（奥行、幅、すべり面深度）を決めることができました。

電気探査

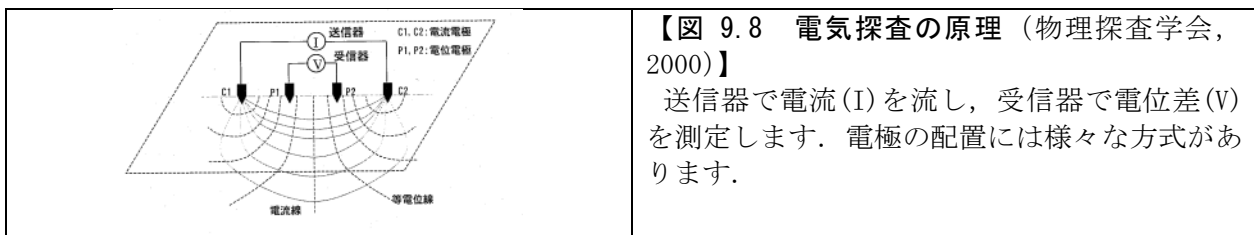
電気探査は、地中に電気を流して地下の比抵抗 (ρ) 分布を求めます。地盤が等方均質と仮定した場合、流した電流 (I) と測定される電位差 (V) から

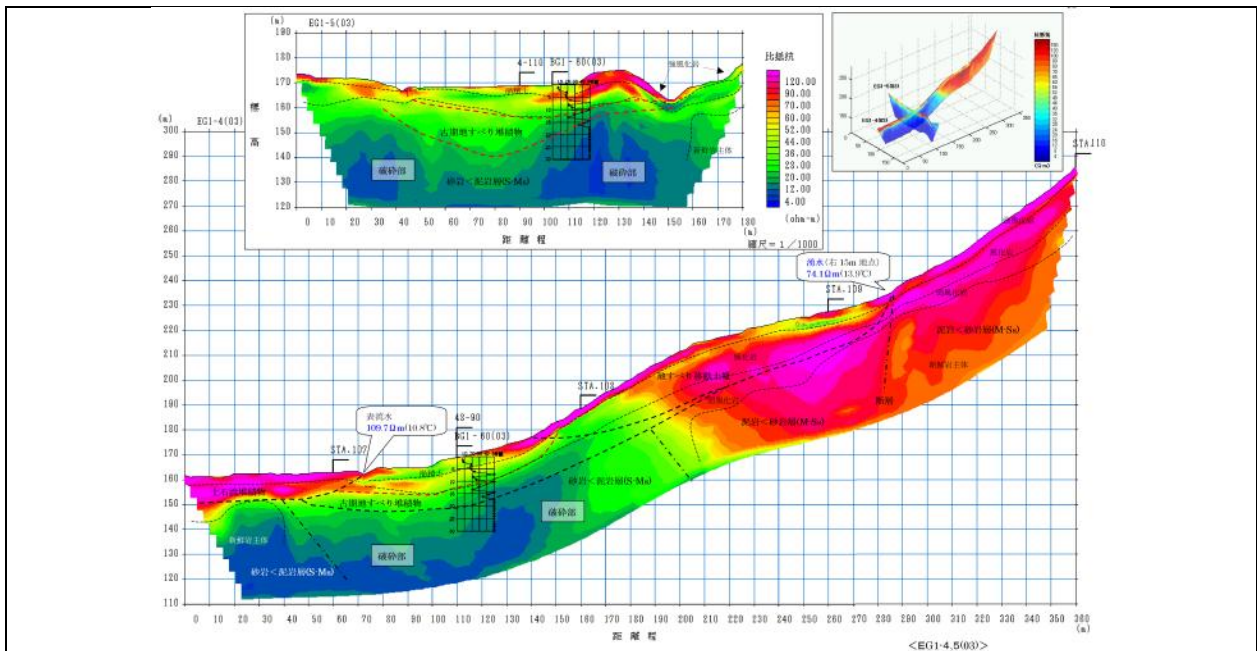
$$\rho = K \times (V/I) \quad (\Omega \cdot m)$$

となります。ここで、 K は電極の配置によって決まる係数です。ここで求められる地盤の抵抗値は地下の構造、電極の配置、電極間隔などによって異なるため、真の抵抗値ではありません。それで、この値を見掛け比抵抗と呼びます。

現在は、比抵抗二次元探査（比抵抗映像法）と呼ばれる方法により、断面的に比抵抗分布を求めることが出来るようになってきました。

電気探査も弾性波探査と同じ方法で解析することにより、これまでよりも精度が格段に向上しました。電気探査の場合は、比抵抗二次元探査あるいは比抵抗映像法、高密度電気探査と呼んでいます。





【図 9.10 比抵抗二次元探査の解析結果の例】

比抵抗の低い青色の部分は含水比が高い領域です。断層があるか水が溜まっていると推定されますが、周辺の地質状況から粘土化の著しい断層を示していると推定されます。弾性波速度もこの部分で低下しています。

右側の比抵抗の高い部分は砂岩優勢の地層が分布しており、中間の色が急激に変わる箇所は右傾斜の断層が推定されます。

なお、物理探査学会の電子ブック「図解 物理探査 eBook」は、
 <http://www.segj.org/~kashima_admin/bookdata/04/index.html#>でカラー版を閲覧できます。
 1992年発行の同名図書（第3刷）の電子版です。

9.4 ボーリング調査

ボーリング調査というのは、地下の地質を把握するために直径 66mm とか 86mm の孔を掘って土質や岩盤の試料を採取する調査法です。この孔を利用して現位置試験や検層などを実施すると、より精度の高い地質的・工学的な情報が得られます。

ボーリング調査の特徴と限界

ボーリング調査の特徴は次のとおりです。

- (1) ボーリングコアでは地下の地質試料を直接観察できるので、地層の積み重なり方、風化の深度や程度、岩盤の硬さや亀裂の性質などについての情報を得ることができます。必要であれば数 100m の深度まで試料を採取できるので、大深度の地質情報が必要な建設工事でも掘削工法を工夫することによって利用できます。
- (2) ボーリング掘削中や掘削完了後の孔内水位は重要な地下水情報です。掘削中の水位を正確に観測することによって地下水層の構成が分かる場合があります。また、被圧水がある場合、水頭を観測することが重要です。
- (3) 掘削したボーリング孔は孔内水平載荷試験のような各種試験を行うことができる上に、工事の時の地山変位や地下水の挙動を観測することができます。地すべりやトンネル工事では動態観測は非常に有効です。

- (4) ボアホールカメラを使うと地層や節理などの不連続面の走向・傾斜，開口幅，粘土などの挟在を確認できます。特に，周辺に露頭が少ない場合にはこの情報は貴重です。
- (5) 適切な配置でボーリングを行えば広域的な地質構造を解明できます。特徴的な地層の広がりや原理的には3本のボーリングで把握することができます。
- (6) 断層や破碎帯，地すべりのすべり面などを直接観察できます。同時に，地下水の胚胎状況も把握できるので施工前に対策を立てるのに有効です。
- (7) ボーリングは，原理的には鉛直だけでなく上下左右どの方向でも掘削できます。トンネルのような線状構造物では水平ボーリングを行って切羽前方の地質確認を行うことができます。また，傾斜した断層などは，それに直角方向に斜めボーリングを行うことにより正確に位置と規模を把握できます。

ボーリング調査の限界もあります。

- (1) 基本的にはある箇所での深度方向への線状の情報であり，平面的な広がりについては地表踏査や物理探査で補わなければなりません。当たり前のことですが，構造物は三次元ですから，地層の分布を三次元的に把握する技術が必要となります。地形変化の激しい山岳地帯では数m離れただけで岩盤線が10数m違ってくこともあります。これは，山地では浸食と崩壊が激しく古い谷地形が隠れているために起こります。このようなことが発生する可能性は，地形や地質を詳細に見ることによってある程度防ぐことはできますが，施工してみないと分からないこともあります。
- (2) 地下の地質をコアで直接見ることはできますが，ボーリングコアの状況と実際に掘削した岩盤の状況とでは，どうしても違いが出てきます。この点も，ある程度の規模の露頭観察などからイメージを修正する必要があります。
- (3) ボーリングの掘削技術はオペレーターの個人的な技術に左右されます。特に，脆弱な岩盤（破碎した粘板岩など）や水で流れやすい地山（あまり固結していない砂岩など）では技術の劣るオペレーターは水を使わずに掘ります（無水掘削という）。岩盤を無水掘削するとボーリングの回転により採取されたコアが乱されて岩盤だか土砂だか判断がつきにくくなり，岩盤としての評価ができなくなります。

ボーリングコアの観察

ボーリングコア観察での留意点を列挙します。

- (1) ボーリングコアの観察では，工学性に関する項目と地質学的な項目とを記載することが肝心です。つまり，礫混じり土砂が崖錐堆積物なのか段丘堆積物なのかといったことを記載しておく必要があります。崖錐堆積物であれば，その分布範囲は斜面の下部に限られてきます。一方，段丘堆積物であれば地形的に平坦面を作りますから分布はある程度広くなります。当然，段丘堆積物の上に崖錐堆積物が載っていることもあるわけで，礫の種類，円磨度，粒度などの記載が大切になります。
- (2) 岩盤コアの場合，1mのコア箱に収めるために2mのコアは切断しなければなりません。この時，ハンマーで叩き割るのではなく，カッターで切断する必要があります。叩いて割っている場合は，その部分のコアの評価—最大コア長，RQD，採取率—の評価に注意が必要です。
- (3) 土質コアの場合，コアチューブを上げる前にコアの落下を防ぐために先端を焼きつかせます。この部分ではコアは乱れ，硬くなっています。多少の経験を積めば問題はありませんが，この点にも注意が必要です。
- (4) ボーリング掘削技術はかなり進歩しています。以前であれば流出してしまうような礫質土，亀裂の著しく多い岩盤などの採取率も向上しています。また，極端に柔らかい地質では打ち込み方式によって乱れの少ない良質なコアを採取することが可能となっています。このようなボーリング掘削技術に対応した精度の高いコア観察が求められます。
- (5) 上記のことと関連して，コア観察時の準備も大切です。多くの場合，コアの表面が泥水などで覆われています。ですから，岩盤であればコア表面の泥を落とす，土質であればコアを割って観察することがどうしても必要です。

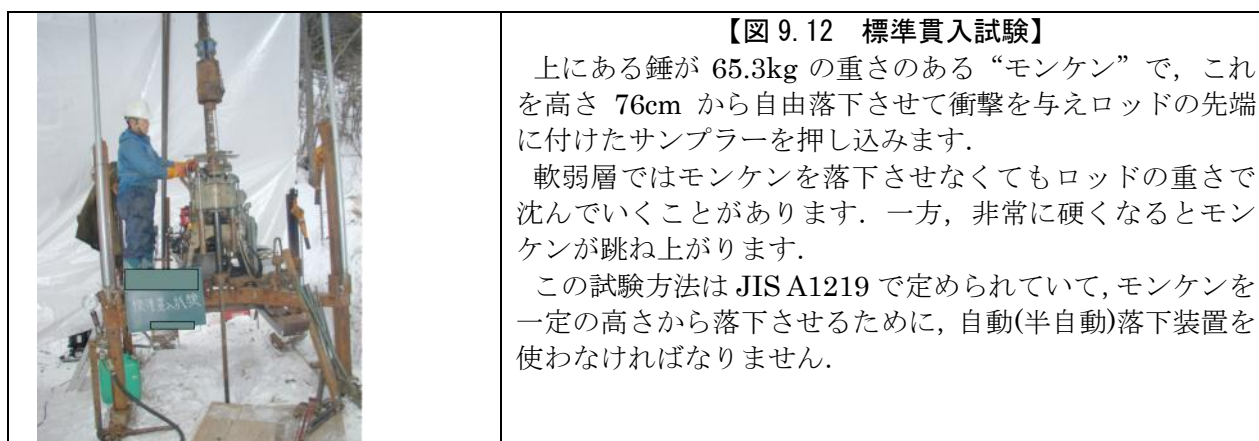
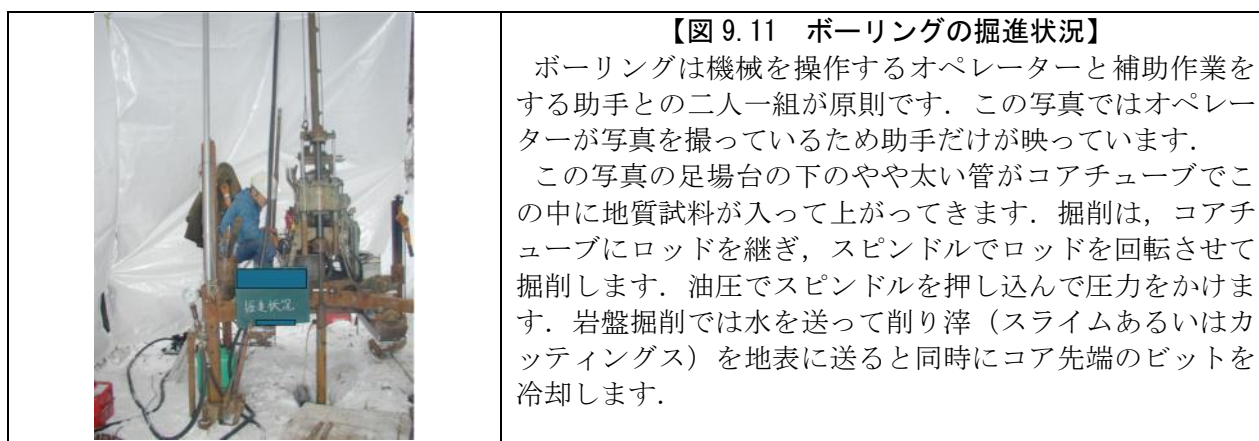
ボーリングコアの記載要領

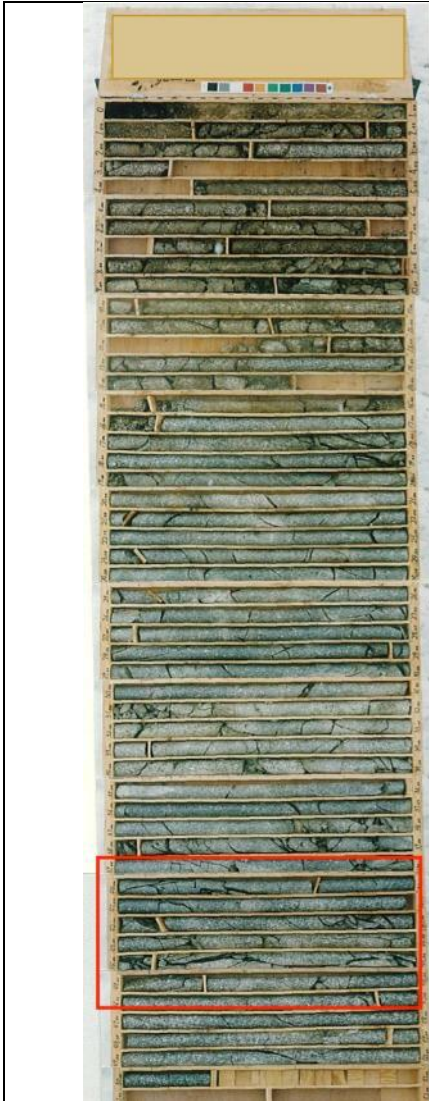
ボーリングコアは1m毎に仕切られたコア箱に入れられます。この状態でコア観察を行います。その際、記載する事項は岩盤と土質で異なります。

岩盤の場合は、岩種、色調、硬軟、コアの形状、割れ目の状態、風化、変質、コア採取率、最大コア長、RQD、岩級区分、孔内水位などを記載します（図7.15、図7.16参照）。

土質の場合は、土質区分、色調、相対密度、相対稠度、孔内水位、標準貫入試験などです（図7.17参照）。

これらの柱状図作成要領は、(財)日本建設情報総合センターから「ボーリング柱状図作成要領(案)」(1995)が出されており、ボーリング柱状図を作成するためのパソコン用ソフトが市販されています。





【図 9.13 ボーリングコアの例】

(送水掘削：掘削径 66mm：掘進長 50m)

これは、トンネルのコア写真で、地質は日高変成帯中に貫入している花こう岩です。

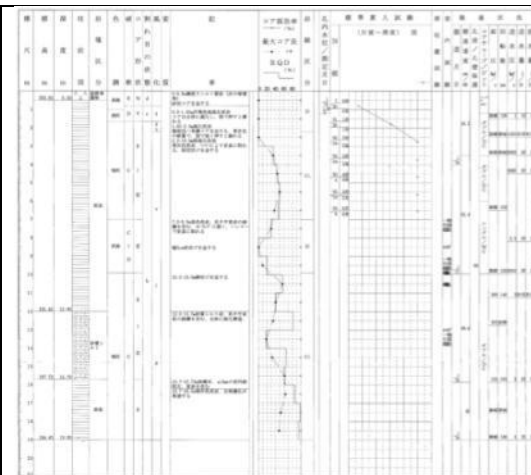
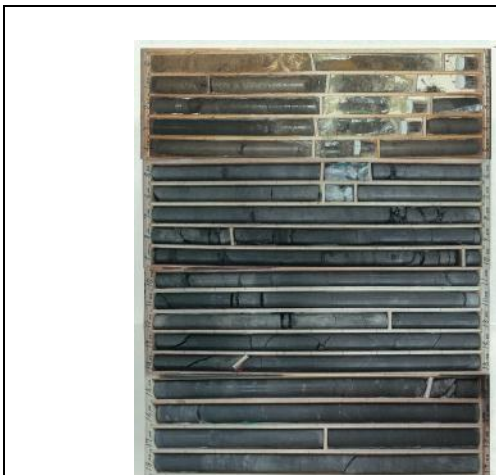
表面から 1.3m くらいまでは土砂化したマサで、それ以下は風化花こう岩です。深度 17m 付近で、ほぼ風化帯を抜けて新鮮な岩盤となっています。

赤枠で囲った深度 39m～47m の間がトンネル断面に相当します。亀裂が多くあまり良好な岩盤ではありません。

この写真でも分かるとおり、ボーリングでは水平に近い節理などは、よく捉えることができますが、鉛直に近い節理は正確には捉えられません。露頭観察で節理の間隔、走向・傾斜を測定し補正することになります。

この花こう岩の地山弾性波速度は 4.6km/sec、供試体の弾性波速度は 5.0～5.4km/sec、一軸圧縮強度は 52MN/m²、透水係数は 7×10⁻⁸m/sec です。

花こう岩の地山弾性波速度としてはやや小さい値となっています。一軸圧縮強度もコアの状態から推定される値より小さくなっています。透水係数から推定されるトンネル湧水は、ほとんどないと推定されます。



【図 9.14 泥岩の柱状図とコア写真】

(送水掘削：掘削径 66mm：掘進長 20m)

一つのコア箱は 1m×5=5m です。掘削径は 66mm で、採取されるコアの径は大体 50mm です。供試体の長さは、一軸圧縮試験では約 10cm、圧裂引張強度試験の場合は 2.5cm で行います。



【図 9.15 砂・シルト・砂礫の柱状図とコア写真】

(無水掘削：掘削径 86mm：掘進長 9m)

一つのコア箱は 1m×3=3m です。5.20m 付近に沖積層と洪積層の境界（年代としては約 1 万年前）があります。岩盤の場合と異なり，土砂の場合は標準貫入試験（N 値）のグラフを描きます。

9.5 標準貫入試験

標準試験は，打撃に対する地盤の抵抗性によって地盤の物性を評価するもので，得られる N 値から単位体積重量，一軸圧縮強度，変形係数，粘着力，内部摩擦角などを推定できます。適用範囲は土砂だけでなくサンプラーを 5cm 打ち込むのに 50 回以下（換算 N 値 300）であれば軟岩などにも適用できます。

試験方法

標準貫入試験は，重量 63.5kg のハンマーを 75cm の高さから自由落下させて標準貫入試験用サンプラーを 30cm 打ち込みます。この時に要する打撃回数を N 値といいます。

表記としては N 値 5 の場合は，“5/30”（30cm 貫入するのに 5 回打撃した）とします。30cm 以上打ち込めない場合は 50 回打撃した時の貫入量を N 値とします。表記は同様にして例えば，“50/10”（50 回の打撃で 10cm 貫入した）とします。

標準貫入試験の装置や試験方法の詳細は，JIS A1219:2013 に規定されています。閲覧だけであれば，下のウェブサイトで可能です。

<<http://www.jisc.go.jp/app/JPS/JPSO0020.html>>

標準貫入試験では地質・土質の試料を採取できること，N 値から土の締まり具合，硬さ，地耐力，力学的定数などを求めることができます。

また，この試験は回転させないで打ち込みによって試料を採取するので，比較的乱されない状態の試料（貫入試料）を得ることができます。特に，土砂で無水掘削の場合は，貫入試料を観察しないと土質の判定を間違えることになります。

表 9.4 N値適用上の注意点

地層	運用上の問題点
軟弱粘土	N<1 の粘土については、N値はあまり意味がない。締まりの悪い粘性土や泥炭層では自沈（ハンマーを落下させないでも沈下）する。
硬い粘土	軟・硬を知る上でN値は有効である。
砂	砂の工学的性質を知る上でN値が最も広く用いられる。砂の場合、サンプリングが難しく室内試験が出来にくいので、N値は重要なデータである。
砂礫	ある程度緩い密度の場合は使えるが、礫に当たると大きな値になってしまうためN値は使えない。最低N値を重視する。
風化軟岩	風化や亀裂の状態をある程度判定できる。
軟岩	ほとんどのN値は意味をなさない。軟岩でもN値が 50/5(=300/30)以下であれば工学的性質を推定することが出来る。

注) 50/5 は 5cm 貫入させるのに 50 回打撃したということなので、これを 30cm 貫入させるには 300 回の打撃回数が必要になります。それで、この場合“換算N値 300”と言います。

表 9.5 砂地盤の相対密度

砂の相対密度		
相対密度	N値	現場における判別方法
非常に緩い	0～4	・鉄筋（φ13mm）が容易に手で貫入できる。
緩い	4～10	・ショベル（スコップ）で掘削可能である。
中ぐらい	10～30	・鉄筋を 5 ポンドハンマーで容易に打ち込める。
密な	30～50	・鉄筋を 5 ポンドハンマーで 30 cm 貫入できる。
非常に密な	50 以上	・鉄筋を 5 ポンドハンマーで 5～6 cm 貫入できる。 ・掘削にツルハシが必要で、打ち込み時は金属音を発する。

*相対密度は、土質の柱状図に記載欄があります。土砂の締まり具合の目安になります。

$$Dr=208\sqrt{N/(\sigma_v'+69)} \quad (\text{Meyerhof の式})$$

ここに、 Dr : 相対密度 (%)
 σ_v' : 有効上載圧 (kN/m²)

$$\log_e Dr=0.478\log_e N-0.262\log_e (0.01 \sigma_v')+284$$

(Shulutze & Menzenbach の式)

図 9.16 N値による砂の相対密度の算出式(地盤工学会, 2013, 305 pによる)

最大粒径 50mm 以下の密な砂礫地盤について

$$Dr=25.7N^{0.43} \cdot \sigma_v'^{-0.1} \quad (\text{吉田・国生の式})$$

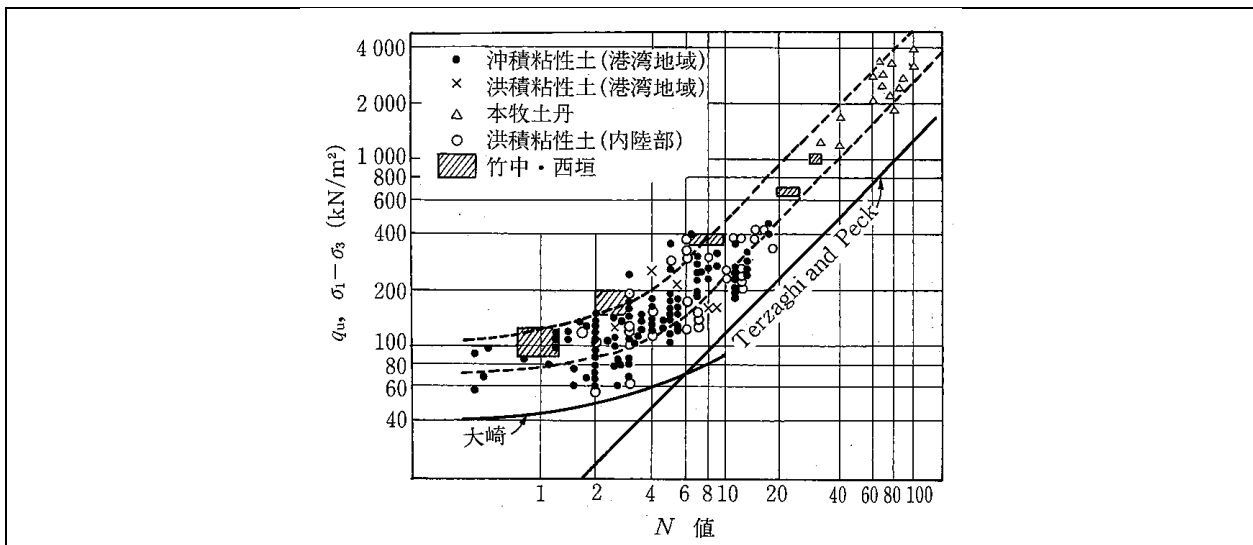
ただし、 $50 \leq \sigma_v' \leq 6,000 \text{ kN/m}^2$

(地盤工学会, 2013, 305 pによる)

表 9.6 細粒土の相対稠度

相対稠度 (コンシステンシー)	N 値	一軸圧縮強度 (q_u :kN/m ²)	現場判定法
非常に柔らかい	0~2	0~25	・握り拳が 10 cm ほど容易に入る.
柔らかい	2~4	25~50	・親指が 10 cm くらい容易に入る.
中位	4~8	50~100	・中位の力で親指が 10cm くらい入る.
硬い	8~15	100~200	・親指で凹むが貫入には力が要る.
非常に硬い	15~30	200~400	・爪で印が付く. 鋤で除去できる.
固結した	30 以上	400 以上	・爪で印が付けにくい. 除去にツルハシを要する.

* 一般に, $q_u=12.5N$ (kN/m²)です. ただし, N は N 値.



【図 9.17 日本の粘土の N 値と一軸圧縮強さの関係】

(地盤工学会, 2005, 111 p : 原典は奥村, 1982)

N 値が 10 以上では直線的な関係となります. 10 以下では N 値が低下しても一軸圧縮強さは, それほど低下しません.

両対数表示になっていることに注意.

N 値と変形係数

N 値 (N) と孔内水平載荷試験値 (E_p)・平板載荷試験値 (E_s) との関係求めて経験式が求められました. 基準類に取り入れられた N 値と変形係数の関係は次のようになります (地盤工学会, 2004, ? p).

(1) 道路橋示方書

$$E_s=2,800N \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(2) 鉄道構造物等設計標準

$$E_s=2,700N \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$E_p=700N$ として, $E_s=3E_p\sim 4E_p$ の平均で設定.

(3) 建築基礎構造設計指針

過圧密の砂 (地下水面以浅) : $E_s=2,800N \text{ (kN/m}^2\text{)}$

正規圧密の砂 (地下水面以浅) : $E_s=1,400N \text{ (kN/m}^2\text{)}$

参考値

過圧密の砂（地下水面以深）： $E_s=1,400N$ （k N/m²）

正規圧密の砂（地下水面以深）： $E_s=700N$ （k N/m²）

孔内水平載荷試験から求めた変形係数（ E_p ）と N 値の関係式は次の通りです。

$$E_p=0.678N^{0.9985} \text{ (MN/m}^2\text{)}$$

*この式は、砂、粘土ではかなり相関性が高くなっています。シルト質砂・ロームではややばらつきます。砂礫は N 値が 20 以上で割合まとまっています。

換算 N 値と強度定数

換算 N 値が 300 までの岩盤について、 N 値と強度定数との関係が求められています。これは数多くの地盤での N 値を統計的にまとめて得た推定式です。ですから、これらの値を使うときにはコア観察と合わせ地盤状況を見ながら慎重に適用する必要があります。問題があると判断した場合は、原位置試験を提案し実施するのが賢明です。

表 9.7 岩種毎の換算 N 値と強度定数
(地盤工学会, 2007, 48 p. 原典は NEXCO 設計要領第二集.)

岩種	砂岩・礫岩・深成岩類	安山岩	泥岩・凝灰岩 凝灰角礫岩
強度定数			
粘着力: C (kN/m ²) (標準偏差)	$15.2N^{0.327}$ (0.218)	$25.3N^{0.334}$ (0.384)	$16.2N^{0.606}$ (0.464)
せん断抵抗角: ϕ (°) (標準偏差)	$25.31\log N+29.3$ (4.40)	$6.8211\log N+21.5$ (7.85)	$0.8881\log N+19.3$ (9.78)

*粘着力の標準偏差は対数軸上の値。

換算 N 値と単位体積重量

軟岩や風化した硬岩については、 N 値から単位体積重量を求める経験式が提案されています。これらは、これまでのデータを整理したものです。

$$\gamma_t=(1.173+0.4\log N)\times 9.807 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

(NEXCO, 2006, 設計要領 第二集 (橋梁建設編), 4-8)

9.6 孔内検層

孔内検層というのは、ボーリング孔を利用して物理的な地盤の性質を調べる試験で、地盤の工学性を把握する上で欠かせないものです（表 7.8 参照）。

土木工事に関わる調査でよく使われる検層は速度検層と電気検層です。これは弾性波探査と電気探査をボーリング孔内で実施していることになります。

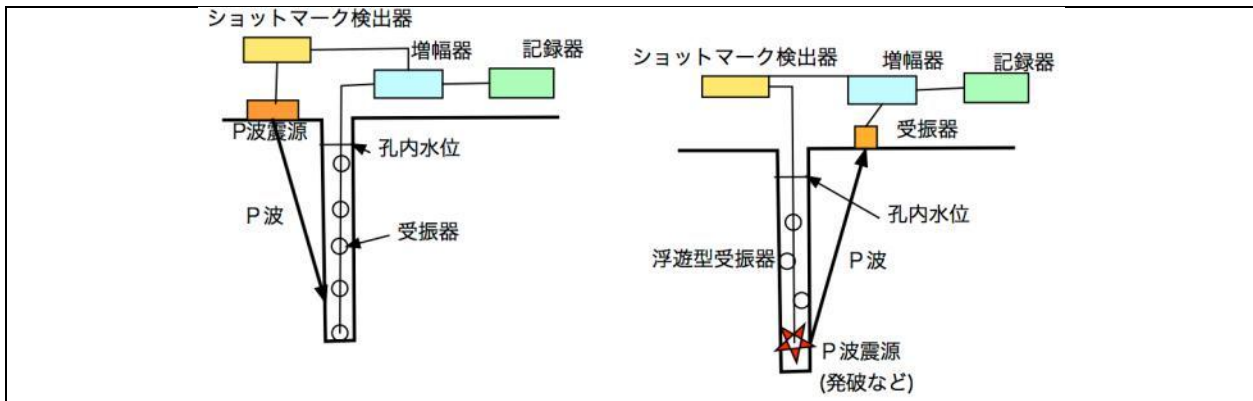
受振点間隔は弾性波探査が 5m もしくは 10m であるのに対し、速度検層では 1 ないし 2m 間隔で行います。

電気検層は電極間隔を変えたゾンデをボーリング孔内で移動させながら連続的に比抵抗を測定します。

やや特殊な試験法になりますが、地すべりなどでは孔内に食塩を投入し、孔内水の比抵抗を一度下げたからその経時変化を見て水が流動している区間を特定する方法が採られます。この検層を食塩検層と呼んでいます。

表 9.8 物理検層一覧（地盤工学会，2004，80p）

検層名	着目する物理量	主な対象	説明
速度検層	弾性波速度	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の物性および振動挙動 地盤分類 杭・鋼矢板の根入れ深さ 	<ul style="list-style-type: none"> 地表または孔内で発振 S 波も測定する PS 検層もある
電気検層 (ノルマル法)	比抵抗	<ul style="list-style-type: none"> 地層構成・地層対比 帯水層・湧水箇所検出 弱層判定 地盤改良効果判定 物理探査結果の検証 	<ul style="list-style-type: none"> 裸孔あるいは有孔塩ビ管内で測定 地下水面以下でのみ測定可能 マイクロ検層，自然電位検層もある
密度検層 (ガンマ・ガンマ検層)	密度	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の固結度・締固め度の評価 地盤の間隙率評価 	<ul style="list-style-type: none"> RI を利用した現地密度測定 放射線に関する法令順守
孔内温度検層	孔内水温 地温 示差温度	<ul style="list-style-type: none"> 帯水層・湧水位置の判定 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水面下で実施 保護管内で測定可能 温度差（示差温度）に着目
音波検層	音波速度	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤評価 亀裂位置検出 	<ul style="list-style-type: none"> 音波を発信し受振する測定器を孔内に挿入する 100m以上の深度でも適用可
自然放射能検層	ガンマ線	<ul style="list-style-type: none"> 地層対比 密度検層のガンマ線強度補正 	<ul style="list-style-type: none"> ガンマ線を使用する密度検層より前に実施 ケーシング内でも測定可能
中性子検層	ガンマ線	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の含水比 間隙率評価 	<ul style="list-style-type: none"> RI（ラジオアイソトープ）を利用する現地水分率測定 放射線に関する法令順守
孔径検層 (キャリパー検層)	孔径	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤の亀裂検出 他の物理検層の孔径補正 	<ul style="list-style-type: none"> 裸孔部のみで実施 2 方向での孔径測定が望ましい
ボアホールレーダー	電磁波速度	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤評価 亀裂形状 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊な地中レーダー探査（反射法） 裸孔または塩ビ製ケーシング内



【図 9.18 速度検層の概念図（旧日本道路公団，1992 による）】

右：ダウンホール法と呼ばれる方法で，地表で起振して孔内で受信します。

左：アップホール法では孔内で起振して孔内および地表で受信します．この場合，震源と孔内の受振器を一定の間隔で一緒に挙げてきます。

浮遊型受振器を用いる場合は，地下水面以下でしかデータが取れません．地下水面より上で実施する場合は，受振器を孔壁に密着させることで測定が可能となります。

9.7 孔内水平載荷試験

孔内水平載荷試験はボーリング孔内に加圧装置の付いた変位検出器を降ろして応力-変位曲線を求める試験です。

加圧方式の違いで様々な装置が開発されていますが，等圧分布載荷方式と等変位載荷方式があります。

等圧分布載荷方式：ゴムチューブで孔壁全体に加圧する方式で，この方式を採用している試験器が多いです。

加圧には窒素ガスなどを用い，最大加圧力は約 20MPa です．LLT，プレシオメーターがこの方式です。

等変位載荷方式：孔壁に密着できる「かまぼこ型」の載荷板で孔壁に加圧する方式で，加圧には油圧ポンプを用います．最大加圧力は 30～60MPa で硬質な岩盤でも測定できます．KKT がこの方式です。

孔内水平載荷試験に詳細については，「土木学会岩盤力学委員会編（2000）原位置岩盤試験法の指針-平板載荷試験法/せん断試験法/孔内載荷試験法」を参照して下さい．書店では手に入りませんが，地質研究所の図書室にはあります。

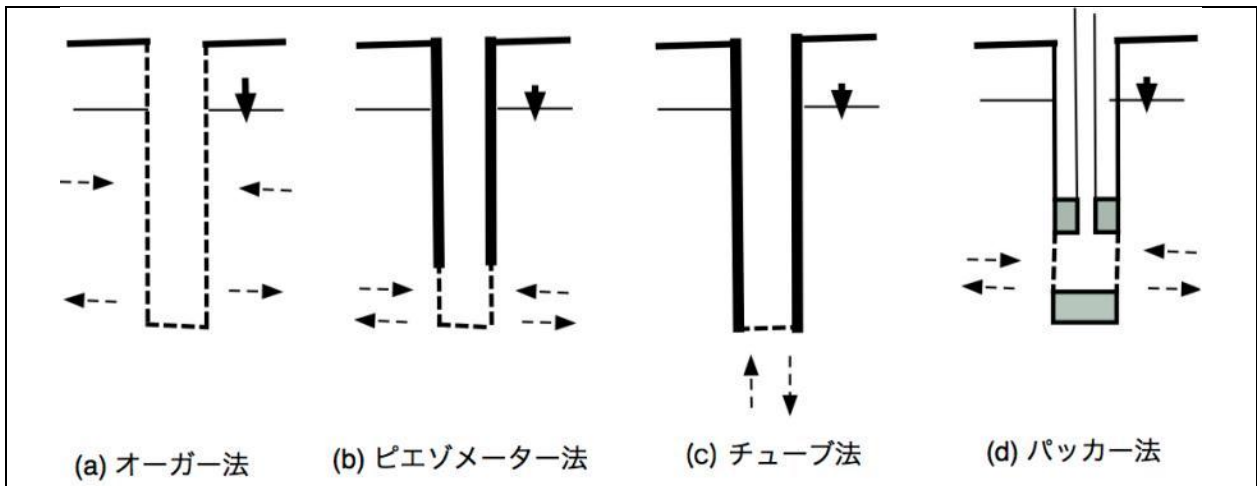
9.8 地下水の孔内試験

ボーリング孔を利用した地下水の試験には次のようなものがあります。

(1) 単孔を利用した透水試験

非定常法：測定パイプ内の水位を一時的に低下または上昇させ平衡状態に戻る時の水位変化を経時的に測定して地盤の透水係数を求める方法。

定常法：揚水または注水して測定パイプ内の水位が一定になった時の流量を測定して透水係数を求める方法。



【図 9.19 単孔式透水試験の方法（地盤工学会，2013，521 p による）】

オーガー法ではボーリング孔の全区間から地下水が流入してきます。

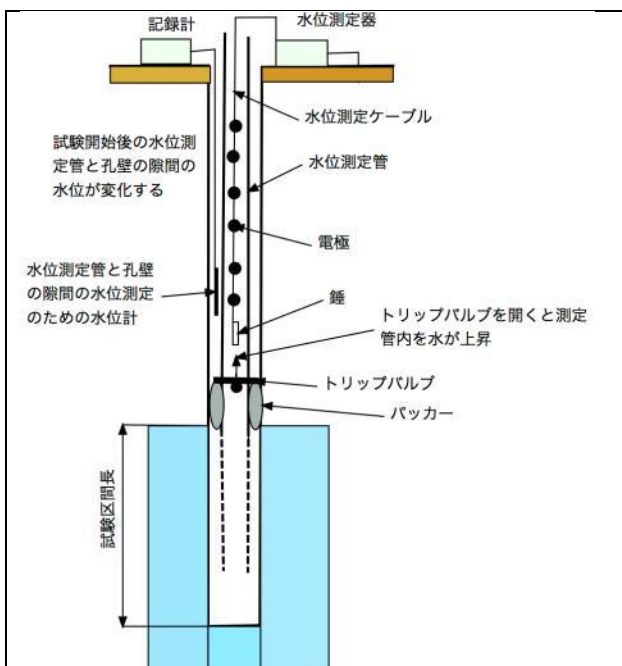
チューブ法は孔底からのみ水が流入する方式です。

パッカー法では、決めた区間の上下にパッカーをかける場合は横からの地下水流入だけに限定できます。

一般に使われる方法は**ピエゾメーター法**で、水平方向の流れ成分の影響が強いと考えられています。この方法は地盤工学会の基準化された方法となっています（GJS 1314-2003）。地すべり調査でもこの方法で 3m 置きくらいに試験を行って透水性と同時に流動層を把握すると対策工に役立ちます。

(2) 孔内水位回復法による岩盤の透水試験

パッカーとトリップバルブを先端部に取り付けた水位測定管をボーリング孔内に挿入し、パッカーを膨らませて任意の試験区間に区切ったあと、トリップバルブを開放して水位測定管内の水位を回復させ水位と時間との関係から透水係数を求めます。同時に、水位回復が停止し平衡状態になった水位も求めます。方法としては非定常法です。



【図 9.20 岩盤での孔内水位回復法（地盤工学会，2013，568p による）】

いわゆる湧水圧試験（JFT）です。この図では、上昇して来た水が電極に触れることによってスイッチが入り回復水位と時間を測定します。トリップバルブというのは、パッカーから下の区間の水を閉じこめておく装置でこれを開くとパッカー区間の水が上昇してきます。

水位上昇を検出するのに電極を使わずパッカーの直下に水圧計を付けておく装置もあります。

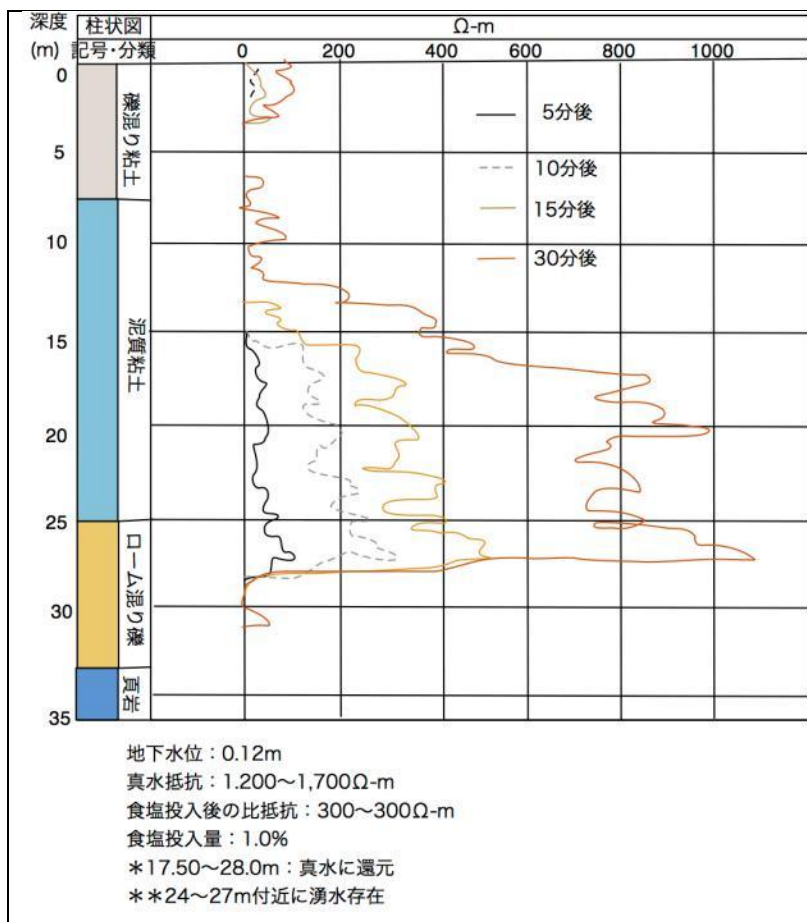
パッカーから下の一定区間の水頭を正確に測定できるのでトンネル調査の標準的な透水係数測定法となっています。

(3) トレーサーによる地下水流動層検層

孔内に食塩などのトレーサーを投入してよく攪拌し孔内水の電気抵抗などを変化させたあと、電気抵抗などの経時変化を測定し流動層を検出する方法。水を用いて温度変化を起こさせることも行われています。

(4) ルジオンテスト

これはダムで使われる注入法です。パッカーをかけて注入圧力を変えながら水を注入し 1.0MPa までかけたあと、今度は圧力を下げながら注入します。その注入量と有効圧力の関係からルジオン値を求めます。それぞれのダムのよって異なりますが、ダム基礎岩盤からの漏水を防止できる改良ルジオン値を決め、ルジオン値を目安にグラウト工の深度などを決定し施工計画を立てます。



【図 9.21 食塩検層の測定例

(地盤工学会, 2013, 625p による)】

このグラフは食塩投入直後の値を0として、一定時間をおいて測定した比抵抗値の変化をプロットしたものです。

約 17m から 28m の区間で比抵抗が増大しています。それより下では、ほとんど地下水が動かないので比抵抗値は変化していません。17~28m に地下水流動層があります。この場合、この泥質粘土は攪乱されていて著しく空隙に富んでいるため透水層となっていると判断されました。

地質調査の方法については、地盤工学会の「地盤調査の方法と解説」（2013年3月）に、ほとんど網羅されています。

2004年に最初に発行されましたが、2013年3月に改訂版が発行されています。今回の主な改定点は次のように述べられています（地盤工学会ウェブサイトより）。

- ①「土」の規格・基準に加えて「岩」の基準を大幅に増やしたことにより収録した規格・基準の数が大きく増えた。
- ②ISOの進捗や技術の進歩に合わせた規格・基準及び解説の見直しを行った。
- ③基準の書式を日本工業規格(JIS)に合わせた。
- ④基準の統合や廃止を検討することで分類と基準番号の整理を行った。

目次を示します。

地盤調査の方法と解説
(2013年3月, 地盤工学会)

目次

- 第1編 地盤調査の計画
- 第2編 概略調査
- 第3編 物理探査・検層
- 第4編 ボーリング
- 第5編 サンプリング
- 第6編 サウンディング
- 第7編 地下水調査
- 第8編 載荷試験
- 第9編 現場密度試験
- 第10編 現地計測
- 第11編 地盤汚染調査の方法
- 第12編 地盤環境調査