技術の解説シート

一般財団法人エンジニアリング協会
地下開発利用研究センター
計測技術研究会

エクセルベースの計測技術検索サービスに記載されている計測手法のうち主なものを A4 版 1 枚にまとめて解説しています。検索サービス利用にお役だてください。

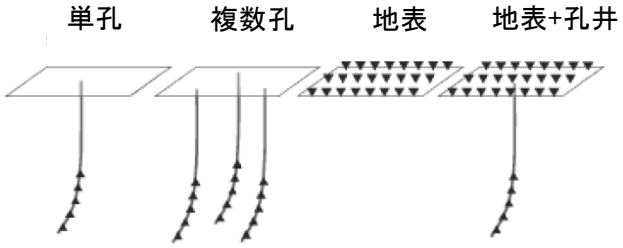
目次

AE（Acoustic Emission）　・・・・・・・ 1
VSP（Vertical Seismic Profiling）　・・・・ 2
速度検層（PS 検層、音波検層）　・・・・・ 3
海上音波探査　・・・・・・・・・・・・・ 4
切羽前方探査　・・・・・・・・・・・・・ 5
屈折法地震探査(弾性波探査)　・・・・・・ 6
反射法地震探査　・・・・・・・・・・・・ 7
微動探査（微動アレイ探査）　・・・・・・ 8
表面波探査　・・・・・・・・・・・・・・ 9
温度検層　・・・・・・・・・・・・・・・10
ジオトモグラフィ　・・・・・・・・・・・11
地中レーダ　・・・・・・・・・・・・・・12
電気検層　・・・・・・・・・・・・・・・13
放射能検層　・・・・・・・・・・・・・・14
流向流速測定　・・・・・・・・・・・・・15
磁気探査　・・・・・・・・・・・・・・・16
重力探査　・・・・・・・・・・・・・・・17
静的貫入試験　・・・・・・・・・・・・・18
電気探査　・・・・・・・・・・・・・・・19
電磁探査　・・・・・・・・・・・・・・・20
放射能探査　・・・・・・・・・・・・・・21

＜引用文献＞

物理探査学会(2008)：新版物理探査適用の手引き，pp.19-65，pp.67-89，pp.91-109，
pp.111-125，pp.127-199，pp.201-280，pp.281-299，pp.301-321，pp.323-362，
pp.373-469，pp.471-481，pp.483-509，pp. 511-519，pp.521-525
物理探査学会(2016)：物理探査ハンドブック増補改訂版，pp.183
地盤工学会(2013)：地盤調査の方法と解説，pp.338，pp.343
関東地質調査業協会(2015)：改訂版現場技術者のための地質調査技術マニュアル，
pp.180-185

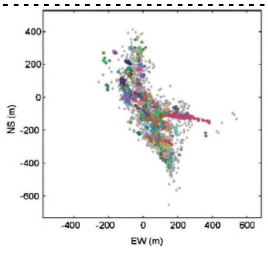
調査手法	AE（Acoustic Emission）
技術の概要	AEとは物質の破壊や変形に伴い放出される弾性波であり、それを音響学的な手法で観測し工学的に用いる手法がAE法である。
目　的	鉱山の山はね、ダム湛水による誘発地震、地下空洞・地滑り等の監視に用いられるほか、CCSにおけるCO2圧入時のモニタリングやシェールガス開発における水圧破砕のモニタリングにも用いられている。



Event detectability	high		low	
Accuracy	low	high	med	high
Cost	med	high	low	med+

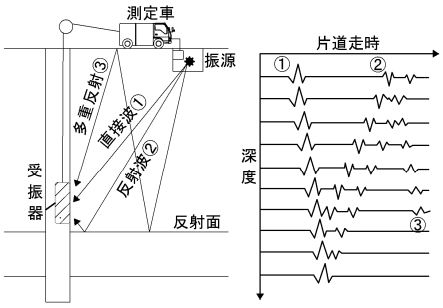
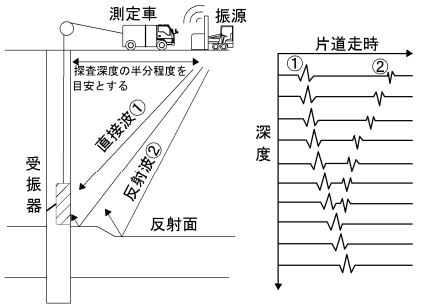
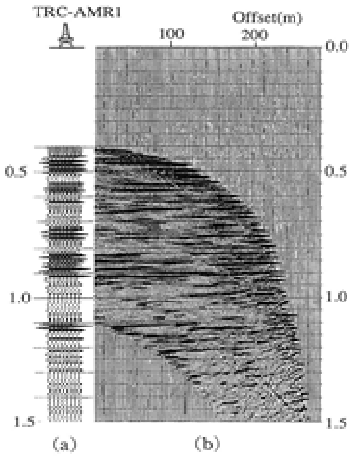
AE観測ネットワークのいろいろ

調　査　方　法	**調　査　結　果**
・上図に示したように、地表面や孔井に受振器のネットワークを設置しAEを観測する。受振器としては、速度型地震計や加速度計等が用いられる。 ・解析処理は基本的に自然地震の震源決定の手法が用いられる。	解析で求められたAEの発生位置を平面図あるいは断面図として表示し、その分布より地下の状況を推定する。



水圧刺激で発生したAEの位置の平面表示例

適用上の留意点など	・観測のネットワーク、データ収録方法、観測期間、解析内容等の詳細は観測の目的や観測に費やされる費用・人員等に依存する。 ・人工的にAEを発生させる調査では、何も負荷を与えていない状態（バックグラウンド）の観測も重要である。

調査手法	VSP(Vertical Seismic Profiling)
技術の概要	 ゼロオフセット VSP 模式図  オフセット VSP 模式図  (a)ゼロオフセット VSP 結果、 (b)オフセット VSP 結果 解析結果例
目　的	VSPは、ボーリング孔を利用した反射法地震探査の一種である。ボーリング孔周辺の反射構造を明らかにすることができるため、主に反射法地震探査のコントロールデータとして用いる。

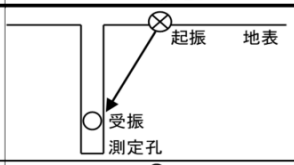
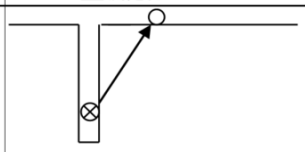
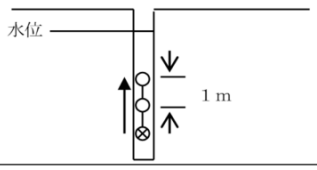
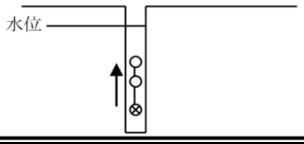
調　査　方　法	調　査　結　果
・ゼロオフセットVSP 振源をボーリング孔近傍の地表部に設置して、孔内の受振器で直接波および反射波を測定する。目的に応じてP波振源あるいはS波振源を用いる。 ・オフセットVSP 振源を受振孔から離して設置して測定を行う。通常複数の起振点で探査を実施することが多い。	・ゼロオフセットVSP ボーリング孔近傍の1次元的反射構造が求められる。反射法地震探査結果（反射断面）における、反射イベントの同定に使われる。またP波（あるいはS波）速度の深度分布が得られる。 ・オフセットVSP 反射法断面のイベントの同定に使われる他、単独で実施してボーリング孔周辺の地層構造を把握することができる。

適用上の留意点など	・調査の目的、既存資料（特に反射断面）を十分に吟味し、得られた結果の妥当性を評価する。必要に応じて検層との併用も計画する。 ・調査地域の地形や地質条件および作業性を考慮して探査計画を決定する。

調査手法	速度検層（PS検層、音波検層）

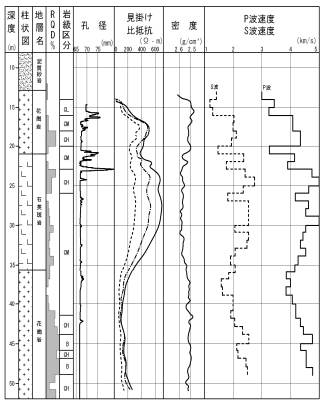
技術の概要

速度検層は、単一のボーリング孔を利用して地盤内を伝播する弾性波の速度を求める物理探査法であり、大きく以下の4種の方法がある。

種類	概念図	概要
ダウンホール法 (PS 検層)		孔口近くの地表で起振し孔内で受振する。深度と伝播時間の関係から走時曲線を作成し、地盤の速度構造を求める。手軽で確実な方法であり、一般に用いられている。
アップホール法		ダウンホール法とは逆に孔内で起振し孔口近くの地表で受振する。実用的なＳ波孔内震源がなく、Ｓ波検層においては現状ではあまり利用されていない。
サスペンション法 (PS 検層)		起振と受振が一体となったゾンデを孔内に挿入し、１ｍ区間毎のＰ波速度およびＳ波速度を求める。伝播距離が短いため深くなっても起振力を増大させる必要がない
音波（ソニック）検層		圧電式の起振および受振器を組込んだゾンデを孔内に挿入し連続的に孔壁のＰ波速度を求める。高い周波数を用いるので分解能に優れ、微細な速度変化を捉えられる。

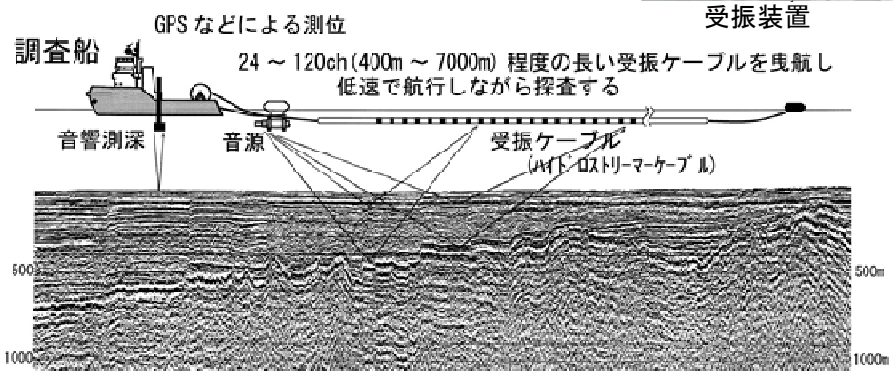
目　的

P波速度は主に岩盤の土木工学的特性を評価する指標として、 S波速度は、土木構造物の耐震設計や地震動予測において設計地盤モデルの物性値設定に用いる。

調　査　方　法	調　査　結　果
・ダウンホール法(PS検層)では、地表に板たたき振源や起振車(バイブレータ等）を設置、孔内に速度型の受振器を固着して測定行う。 ・サスペンション法（PS検層）では、起振と受振が一体となったゾンデを孔内に吊り下げた（Suspend）状態で測定する。 ・音波検層も起振と受振が一体型のゾンデを用いるもので、主に石油孔井の検層に用いられる。	深度毎のP波速度あるいはS波速度を図のようにボーリング柱状図やその他の検層結果と合わせて表示することが多い。(図はサスペンションPS検層の例) 

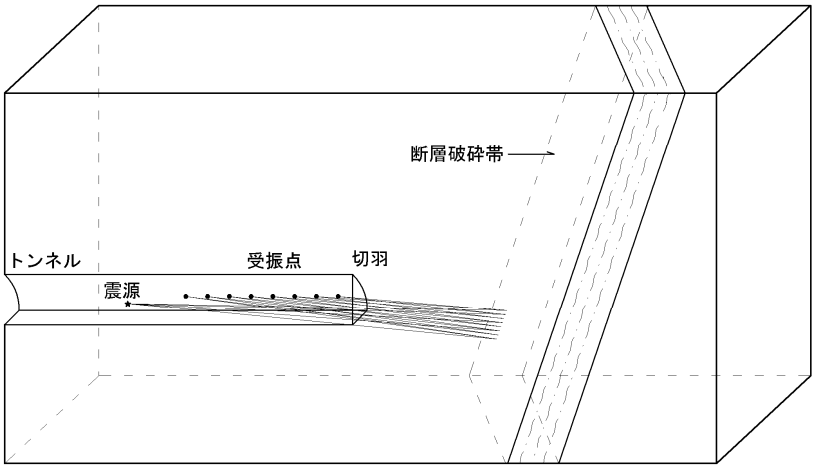
適用上の留意点など

・サスペンション法（PS検層）および音波検層は地下水位以浅では測定が出来ないので注意が必要である。
・ダウンホール法に必要な起振装置を地表に設置できない場合や深度が深い場合はサスペンション法が用いられることが多い。

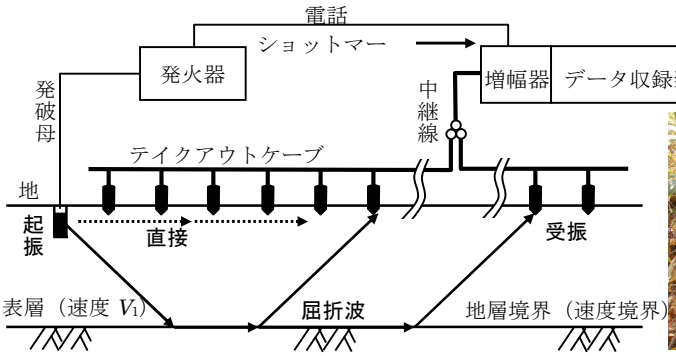
調査手法	海上音波探査
技術の概要	海面付近で音波を発生させ、海底及び海底下で発生した反射波を捉えることにより、地質構造を探査する方法である。 音源 受振装置  マルチチャンネル音波探査の概念図
目　的	海底下の地層境界を断面図としてとらえることが出来るため、活断層を含む海底地質構造調査に用いられる。

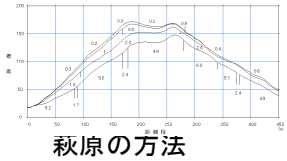
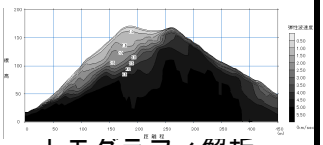
調　査　方　法	調　査　結　果
・低速度で航走する調査船よりエアガン、ウォーターガン、ブーマー、チャープなどの音源およびシングルあるいはマルチチャンネルのハイドロフォン（受振装置）を曳航し、音源より発振した音波が海底や地層境界で反射して戻った波をとらえて地層構造を求める探査手法である。 ・音波探査装置は、音源の種類・受振器のチャンネル数・反射波の収録方法などの組合せによって多くの機種や手法がある。	・音波探査記録は、上図のように海底および海底面下の音響インピーダンス境界を2次元断面として表現したものである。 ・収録装置で得られた多量の波形記録を専用の解析ソフトウェアで処理することにより、最終的な断面が得られる。 ・得られた海底下の地層境界の形状と既存の地質情報・ボーリング柱状図などとを対比することによりデータの解釈を行う。

適用上の留意点など	・探査深度に応じて音源を選択する。例えばエアガン、ウォーターガン、ブーマー、チャープの順に探査深度が浅くなる。一方この順で探査の分解能が高くなる。 ・電子機器の発達のため、一部の浅層部探査以外はマルチチャンネルの探査が行われることが多くなっている。 ・音波散乱層が存在するとそれ以深の構造を求めることができない。

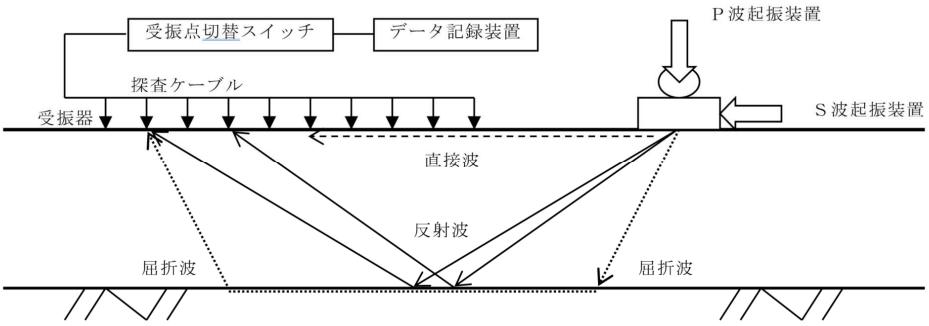
<table>
<tr><td>調査手法</td><td colspan="2">切羽前方探査</td></tr>
<tr><td>技術の概要</td><td colspan="2">切羽前方探査は、トンネルの未掘削区間の切羽前方の地層（地山）状況を把握する手法である。一般的に施工中のトンネルで実施される。
 

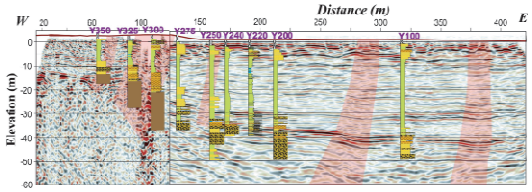
測定の模式図</td></tr>
<tr><td>目　的</td><td colspan="2">切羽から100m程度先の地山状況を調査する目的で実施される</td></tr>
<tr><td>調　査　方　法</td><td>調　査　結　果</td></tr>
<tr><td>・切羽前方探査は、施工中のトンネル内で発破をかけて人工的に振動を発生させ、同じくトンネル内に配置した受振器で反射波をとらえる手法である。
・原理的にはVSP探査の技術を、トンネル内の探査に応用したものである。</td><td>得られた前方の反射面のイメージより、
①断層破砕帯等の地質急変部が存在するか否かの確認
②事前調査で確認された断層破砕帯等のトンネル坑内での位置確認
③断層破砕帯等の規模（坑内での分布距離）の把握
等を行う。</td></tr>
<tr><td>適用上の
留意点など</td><td colspan="2">・得られる結果は前方の反射面（境界面）のトンネル延長方向に対する傾斜や距離であるため、既存資料の地質構造（地層の走向傾斜、断層破砕帯、地下水、岩相の変化等）の概要を把握した後に測定、解釈を行う必要がある。
・切羽前方探査には先進ボーリングを用いるもの、電気探査、電磁探査などを様々な手法があるが、ここでは一般的な弾性波を用いる方法を紹介した。</td></tr>
</table>

調査手法	屈折法地震探査（弾性波探査）
技術の概要	屈折法地震探査は、地表付近で爆薬などによって人工的に弾性波（地震波）を発生させ、地表に設置した測定装置で屈折波を得ることにより地下の速度構造を求める探査法である。 なお、石油業界では反射法地震探査を弾性波探査と呼ぶことがある。  測定装置の模式図 測定装置
目　的	トンネル路線沿いの地山評価、ダムの基礎岩盤の評価、のり面勾配の決定など土構造物の基礎調査、不安定土塊に係わる工学的判断の重要な指標を得るための調査などに用いられる。

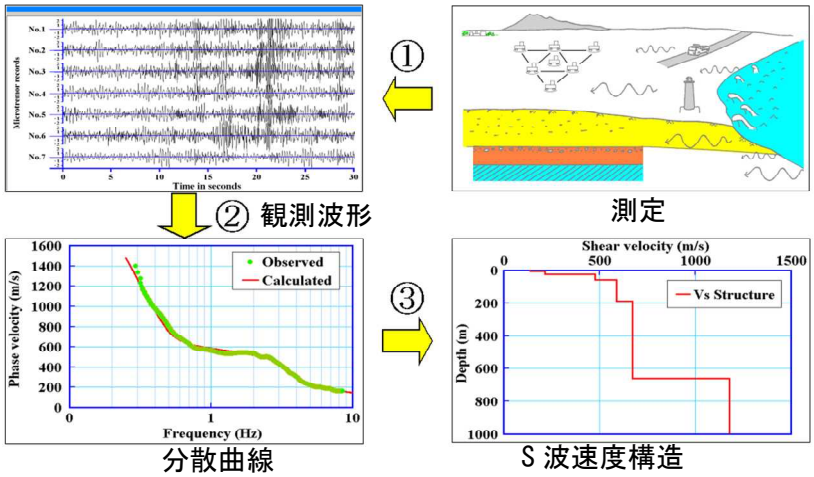
調　査　方　法	調　査　結　果
・地表に直線状に測線を設置し、受振器（速度型地震計）を一定間隔で設置、測線上あるいは外側の複数点で発振を行いデータを取得する。大規模な調査では爆薬を、小規模な調査ではかけや等が用いられる。 ・古くは萩原の方法、現在ではレイトレーシングを用いたトモグラフィー解析で速度層構造を求めることが多い。	図のようにP波速度の分布が断面図として求められる。地質図や既存調査データ、室内試験、速度検層等の測定データなどを使用して総合的に解釈する。  萩原の方法  トモグラフィ解析

適用上の留意点など	・弾性波速度（P波速度）と岩種、岩の風化度、一軸圧縮強度等についての関係を示す様々な既往データを用いて結果をまとめる。 ・結果の信頼度は、観測した走時（屈折波の到達時間）と得られた速度構造から数値計算で求まる走時の差で検証する。 ・屈折波を用いるため、深度とともに速度が増加するという前提が崩れると正しく解析できない。

<table>
<tr><td>調査手法</td><td>反射法地震探査</td></tr>
<tr><td>技術の概要</td><td>地表付近で人工的に振動を起こし、地下の地層境界の構造を求める探査法である。
 

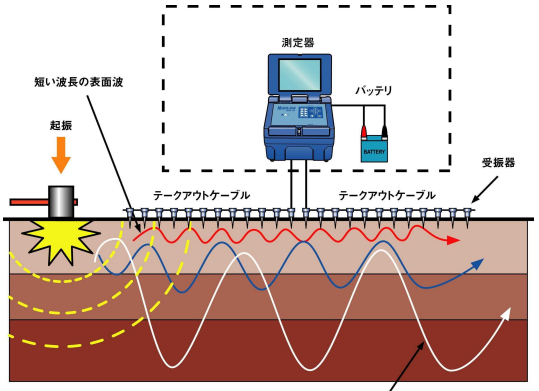
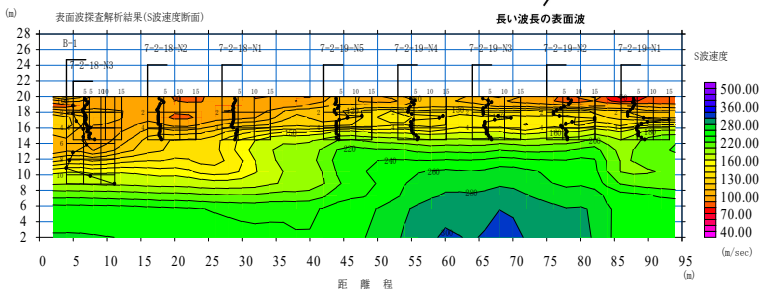
反射法地震探査測定概念図</td></tr>
<tr><td>目　的</td><td>沖積平野浅層部を対象とした地質構造調査、断層活動に伴う浅部地盤調査、地盤改良効果判定やグラウト効果判定、比較的規模の大きい空洞調査や旧坑道調査等に用いられる。</td></tr>
<tr><td>調　査　方　法
・地表付近で人工的に弾性波（地震波）を発生させ、地下の地層境界や弾性波速度境界で反射して再び地表に戻ってきた反射波を、地表に多数設置した受振器で測定して、地下の反射面イメージから地下構造を推定する探査法である。
・探査の規模に応じて、バイブレータ起振車やかけやなど様々な振源を用いる。
・P波振源だけではなく必要に応じてS波振源も用いられる。</td><td>調　査　結　果
図のように地下の層構造が2次元の断面として得られる。近傍にボーリングデータがある場合は、それと合わせて解釈を行う。
 

反射法地震探査の調査結果例</td></tr>
<tr><td>適用上の
留意点など</td><td>急峻な地形や地表面が凹凸に富む所では適用が難しいので、できるだけ平坦な場所を選んで実施する。
P波速度のコントラストが小さい未固結地盤を対象とした調査では、S波振源を用いた探査が行われることが多い。
反射法地震探査は石油探鉱の主要な手法として3D探査を含め、大規模な調査が行われているが、ここでは土木調査を目的とした浅層部の探査に絞って記載した。</td></tr>
</table>

調査手法	**微動探査（微動アレイ探査）**
技術の概要	波浪等の自然現象や交通振動等の人間活動により引き起こされた地面の微小な揺れ（微動）を地表で観測し、地下のS波速度構造を推定する探査手法。  **微動アレイ探査の主な流れ**
目　的	地盤のS波速度構造を求め、強震動予測や耐震設計など地震防災のための基礎資料として利用する。

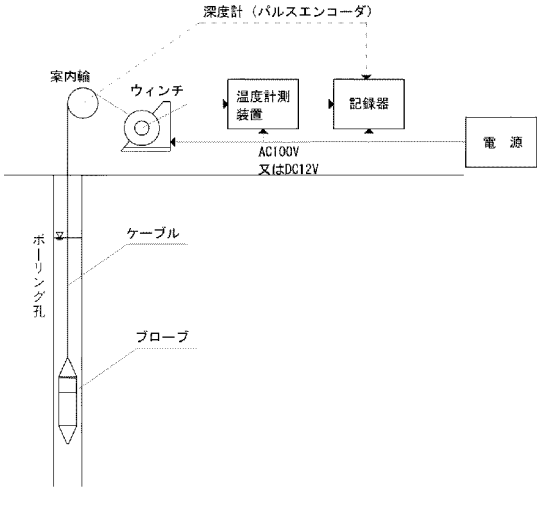
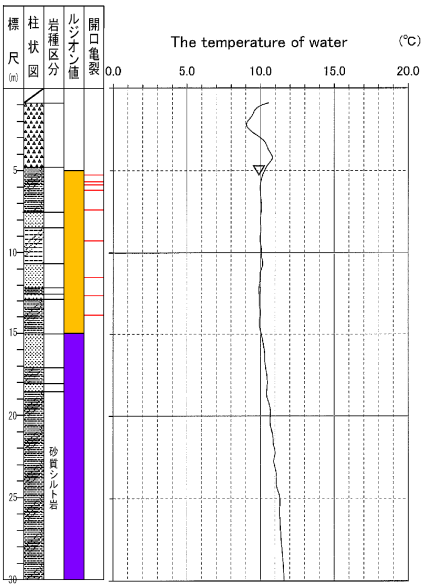
調　査　方　法	**調　査　結　果**
上図の探査の流れに従い、 ①地表において複数の地震計をアレイ配置し（正三角形の頂点及びその重心が基本）、同時刻の地面の微小振動を観測する。 ②観測データから地下構造を反映する表面波の分散特性（位相速度）を抽出する。 ③表面波の位相速度から地下におけるS波速度構造を一次元構造として推定する。	解析で得られたS波速度の一次元構造（水平成層構造）と既存情報を比較検討し、最終的な地下構造モデルを作成する（上図右下）。通常はグラフだけでなく数値データとして一覧表にまとめる。

適用上の留意点など	・能動的に振動を起こさないので環境に負荷を与ない。 ・生活や生産活動が密集する市街地でも適用可能 ・展開するアレイサイズにより探査深度が決まる。深度数m～数千mの探査が可能。 ・2010年代の後半より、海底での探査も行われるようになってきた。

調査手法	表面波探査
技術の概要	人工的に起こした表面波（地表面付近を伝わるレイリー波）を観測して、深度20m程度までのS波速度分布を求める探査法  測定の概念図  解析結果例（二次元Ｓ波速度構造）
目　的	深度20m程度までの下記の項目を対象に、主として土質地盤の地質調査に適用する。①河川堤防、②宅地地盤、③埋立地、④支持層や岩頭線の確認等

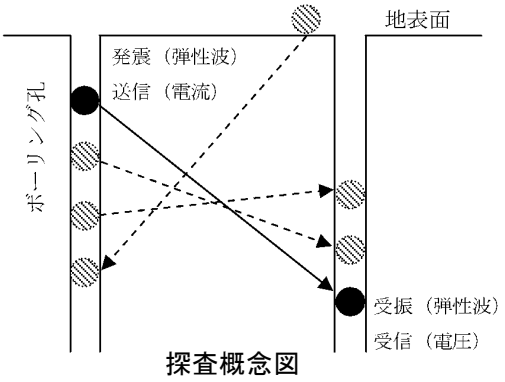
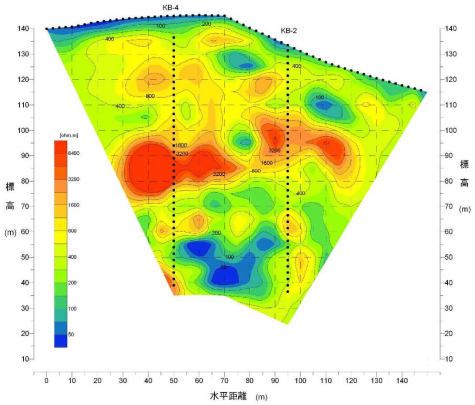
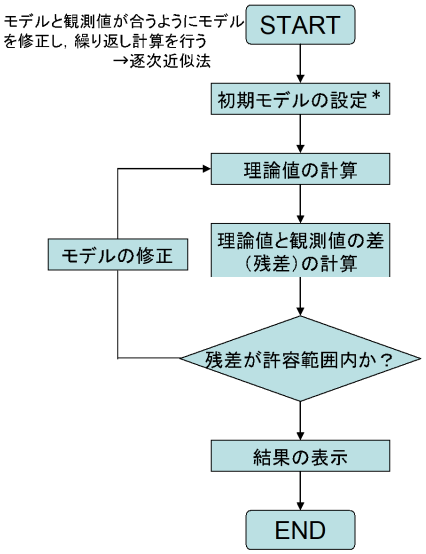
調　査　方　法	調　査　結　果
・起振は、かけやによる地表面打撃あるいは重錘落下等が用いられる。 ・受振は等間隔で並べた速度型受振器（4.5Hz以下の周波数）を用いる。 ・測定器の成分数は多いほど良いが、通常12～24成分のものを用いる。 ・測定した波形より周波数と位相速度の関係を示す分散曲線を求め、逆解析によりS波速度構造を求める。	・上図の様に、S波速度を色合いで示す2次元断面として解析結果が得られる。 ・同時に行ったボーリングや貫入試験などがある場合は合わせて断面を作成する。 ・解析結果の妥当性を示すため、観測分散曲線と理論分散曲線の比較図を示すのが一般的である。

適用上の留意点など	・表面波探査の分解能や信頼性は、一般に浅部ほどが高く深度が大きくなるにつれて低くなるため、解析結果の解釈においてはこのような特徴を考慮することが必要がある。 ・表面波探査の解析は水平成層構造を仮定して行うため、地形の変化が大きい調査地や水平方向の変化が大きい地盤では適用が難しい。

調査手法	温度検層
技術の概要	 測定概念図  探査記録例
目　的	温度検層は、ボーリング孔内の温度分布を測定するもので、地下の温度が重要な指標となる地熱調査や温泉調査で実施される。

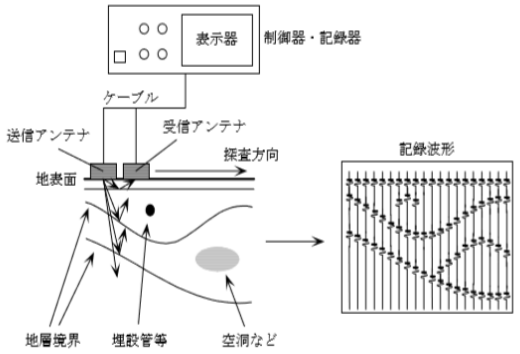
調　査　方　法	調　査　結　果
・測定装置は、ゾンデ、ケーブルウインチ、案内輪（深度計付き）、データ記録装置から構成され、ボーリング孔を利用して深さ方向の温度を連続して測定する。 ・ボーリング掘削終了後、泥水循環を停止して長時間放置してから実施する。 ・裸孔またはストレーナやスリット加工したパイプ内で行うことができる。	・ボーリング孔内（孔内水）の深度方向の温度分布が得られる。 ・土木分野では、地下水調査にもよく利用され、孔内水の温度分布の変化をもとに湧水および逸水等の評価も行われる。 ・電気検層や密度検層等と同時に実施される場合が多く、地質柱状図と対比した検層柱状図に整理される。

適用上の留意点など	・他の検層と同時に行う場合には先に実施し、孔内水の攪乱が起こらないようにゾンデ降下時に測定を行う。 ・測定装置のキャリブレーションが必要な場合は、事前に標準温度計を用いて行う。 ・検層速度、孔内水位、孔径、ストレーナやスリット加工のパイプの有無と区間、その他孔内測定状況を記録し、解析時の参考とする。

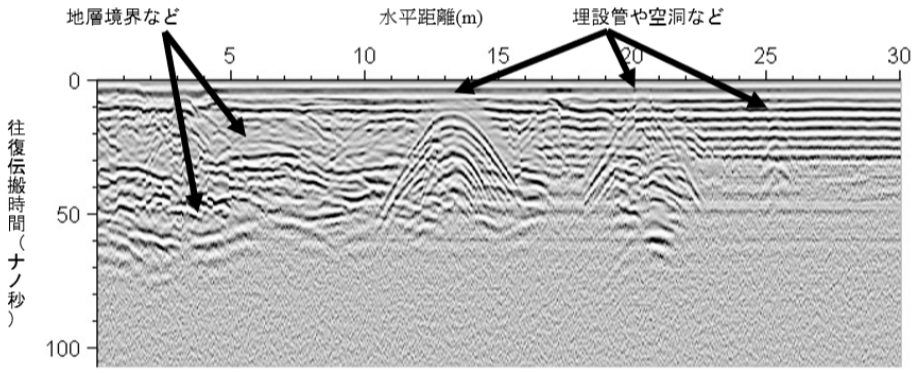
調査手法	ジオトモグラフィ
技術の概要	 探査概念図  解析結果例 （比抵抗トモグラフィ）  解析の流れ
目　的	ジオトモグラフィは、ボーリング孔や地表などを利用して、断面の物性値を可視化する技術である。利用する物性量や測定方法により様々な手法がある。

調　査　方　法	調　査　結　果
・探査断面の大きさは、対象とする構造（ターゲット）の規模を考慮して設定する。 ・対象領域の周囲に受発振点（電極）を設置して、様々な組み合わせの測定を行う。 ・解析では、探査領域をモデル化し、初期値から測定データから反復計算により修正を繰り返していく。	・「弾性波トモグラフィ」では探査領域の弾性波速度構造、「比抵抗トモグラフィ」では比抵抗構造が画像化される。 ・得られる物性断面図は、地質構造、断層、空洞調査や地盤状態のモニタリングに適用される。

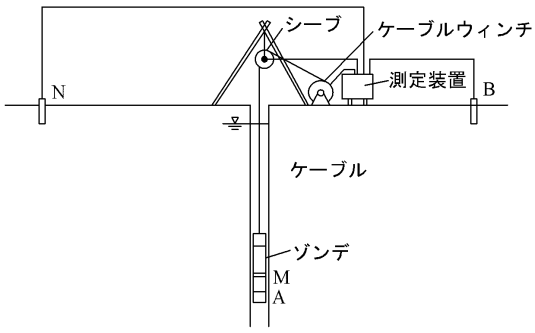
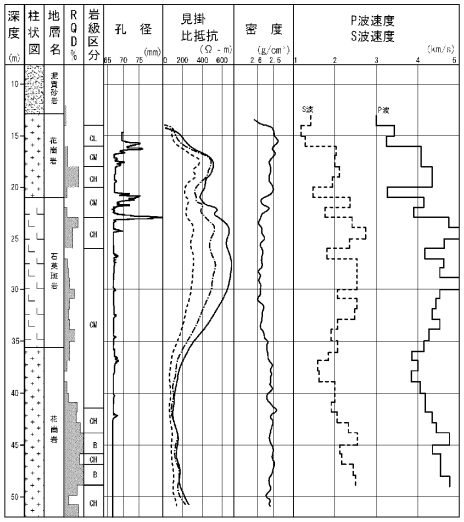
適用上の留意点など	・測定配置やターゲットの構造によっては、解析上正しく物性値が得られず偽像が発生してしまう可能性があるため、事前計画の段階で十分に検証する必要がある。 ・測定点の位置情報は、地表の測量とともに必要に応じてボーリング孔の孔曲がり測定も実施する。

<table>
<tr><td>調査手法</td><td colspan="2">地中レーダ</td></tr>
<tr><td>技術の概要</td><td colspan="2"> 

探査概念図

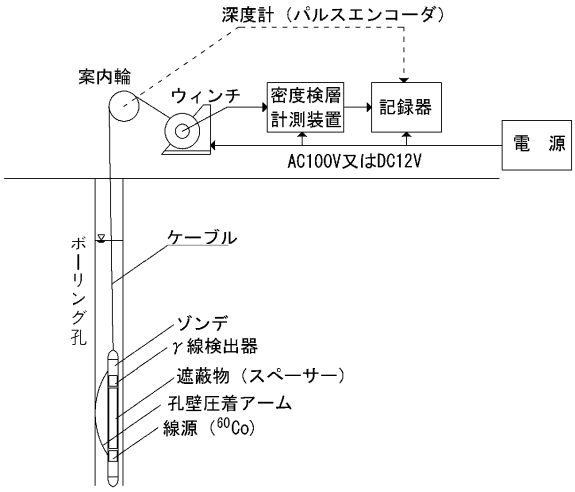
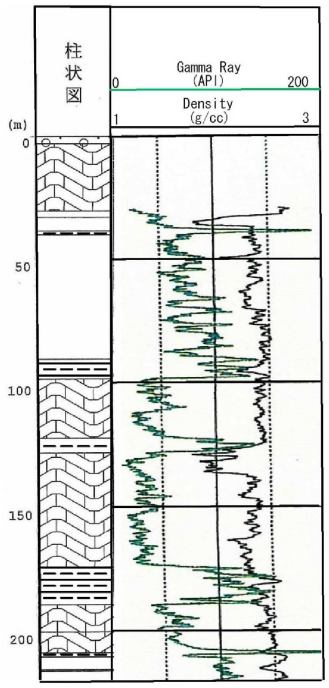
探査状況


探査記録例</td></tr>
<tr><td>目　的</td><td colspan="2">地中レーダの適用対象は、地中の埋設物（ライフライン）の位置や路面下の空洞・ゆるみの調査、地層の境界面や岩盤中の破砕帯や断層の調査など非常に広い。</td></tr>
<tr><td colspan="2">調　査　方　法</td><td>調　査　結　果</td></tr>
<tr><td colspan="2">・埋設管など直線状の対象物の位置を探査する場合、想定される対象物の延長方向に対してできる限り直角に測線を設定する。
・対象物の平面的な形状や分布などを把握するには、複数の平行な測線を設ける。
・測点の間隔は、対象物の大きさや必要とする水平分解能に応じて決定する。</td><td>・記録断面に対して垂直に交わる埋設物は、下向きに開いた双曲線状の反射パターンを示し、地層境界など広がりを持つ面は、レーダの記録上では連続した反射面として検出される。
・地中レーダにより得られた反射パターンから地層境界、埋設管、空洞などを解釈し、平面図等にまとめる。</td></tr>
<tr><td>適用上の
留意点など</td><td colspan="2">・適用対象に応じて測線の配置や、アンテナの中心周波数・取得データの密度など十分検討する必要がある。
・地盤条件によっては（特に地盤の比抵抗が低い場合や海水の混じった地下水が存在する場合）探査深度が極端に低下、または適用不可能な場合がある。高い周波数を用いれば小さなものまで検出できるが探査深度は浅く、低い周波数を用いればその逆となる。</td></tr>
</table>

調査手法	電気検層
技術の概要	 測定概念図  電気検層結果の取りまとめ例
目　的	電気検層は、ボーリング孔を利用した地質調査法であり、孔内と地表面に電極を設置して、孔壁を構成する地層の比抵抗を測定する方法である。

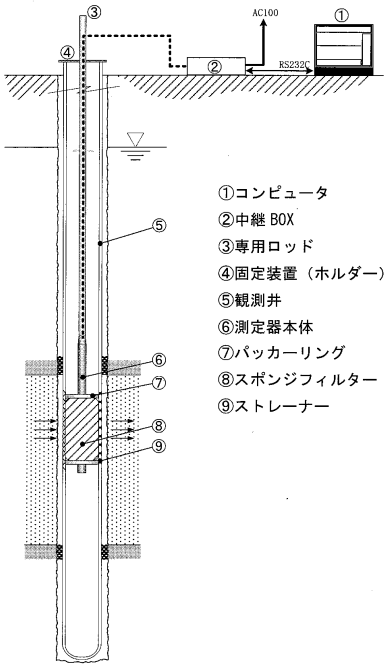
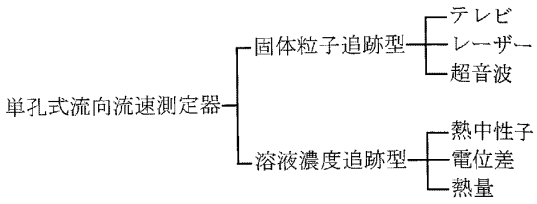
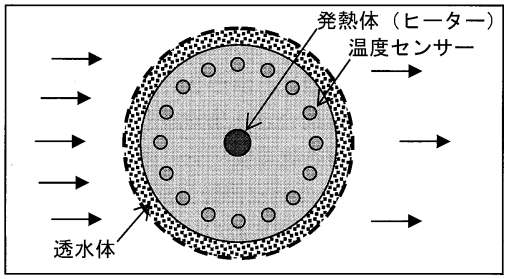
調　査　方　法	調　査　結　果
・測定装置は、ゾンデ、ケーブルウインチ、案内輪（深度計付き）、データ記録装置から構成され、ボーリング孔を利用して深さ方向の比抵抗を連続して測定する。 ・電気検層には、電極間隔の異なるノルマル検層とマイクロ検層がある。 ・裸孔またはストレーナやスリット加工したパイプ内で行うことができる。	・ボーリング孔内の深度方向の見掛比抵抗曲線および自然電位曲線が得られる。 ・土木分野では、地下水調査にもよく利用され、見掛比抵抗・自然電位曲線の変化をもとに、帯水層や不透水層等の評価も行われる。 ・温度検層や密度検層等と同時に実施される場合が多く、地質柱状図と対比した検層柱状図に整理される。

適用上の留意点など	・ボーリング孔は裸孔かつ孔内水位以深であることが測定条件である。裸孔が困難であれば開口率5%程度以上の塩ビストレーナ管を挿入して測定する。 ・発電所・変電所・工場などの高圧電流発生源が近接すると測定データが影響を受ける恐れがある。

調査手法	放射能検層
技術の概要	 測定概念図  自然放射能・密度検層の結果例
目　的	放射能検層は、自然放射能検層と密度検層、中性子検層があり、地層の自然ガンマ線またはボーリング孔壁周辺の密度分布を測定する方法である。

調　査　方　法	調　査　結　果
・測定装置は、ゾンデ、ケーブルウインチ、案内輪（深度計付き）、データ記録装置から構成され、ボーリング孔を利用して深さ方向の自然ガンマ線または密度分布を連続して測定する。 ・放射線源には、セシウム137またはコバルト60が多く用いられる。 ・測定される係数率から、校正曲線を用いて地層の密度に換算される。	・自然放射能検層は、線源を使用せず地層に含まれている自然放射能を測定するものであり、密度検層の際のバックグラウンド測定に用いられる。 ・係数率から密度換算のための校正曲線は、孔径の大きさ、ケーシングの有無、孔内水の有無の各条件に従って作成される。

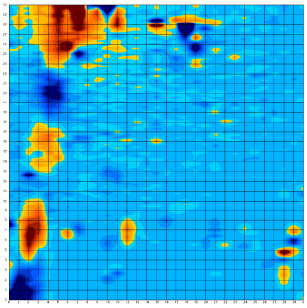
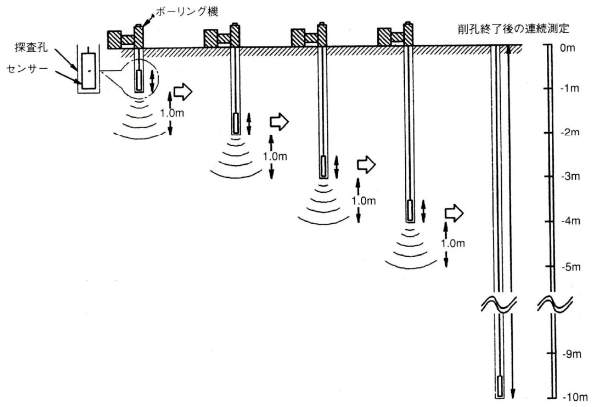
適用上の留意点など	・測定にさきがけて自然放射能検層を実施する。 ・測定はゾンデを上昇させながら実施する。 ・放射線源は、セシウム137では線源量1×104Bq以上、コバルト60では1×105Bq以上が法規制の対象となる。 ・線源の取扱いでは、法を順守しなければならない。特に、孔内抑留事故には十分注意する。

調査手法	流向流速測定
技術の概要	 測定器設置図  単孔式流向流速測定器の分類  熱流式の測定原理図
目　的	流向流速測定は、地下水の流れる方向と流れる速さを求めることを目的とする。地下水の流向と流速は、建設工事の計画、水源の確保、地すべり、堤防漏水の対策、土壌・地下水汚染などを検討する際に必要であり、地下水調査の重要な項目の一つである。

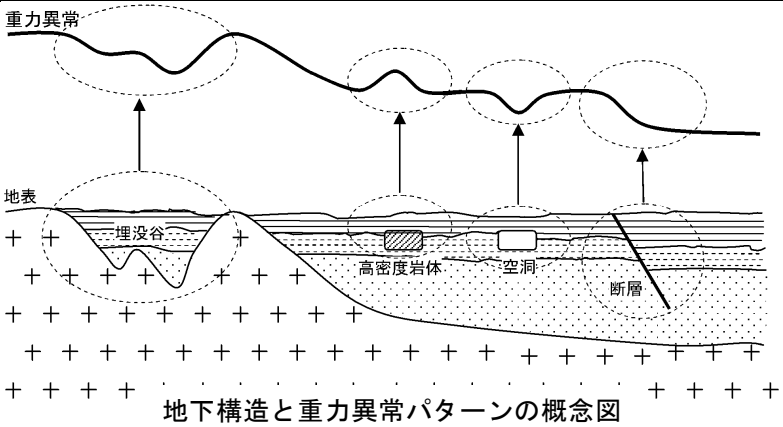
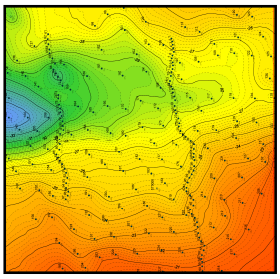
調　査　方　法	調　査　結　果
・測定方法は、浮遊粒子の軌跡を追う固体粒子追跡型と、溶液の移動を追跡する溶液濃度追跡型の２つに大別される。 ・代表的な熱流式では、測定器の本体中央に発熱体を設置し、その発熱体を中心に円柱周りに16個の温度センサーを設置している。発熱体を加熱し、周囲の温度センサーの温度上昇過程を計測する。	・流向流速測定器で得られる流速は、孔内における流れを測定した値で、地盤内を流れている地下水の流速とは異なる。そのため補正手段を用いてダルシー流速または真の流速に換算する必要がある。 ・磁石による方位測定は、真北と異なるため、西偏の角度は補正する。

適用上の留意点など	・試験孔の削孔に際しては、清水掘りが望ましく、やむを得ず泥水を使用した場合は、入念な洗浄を行う必要がある。 ・スクリーンを設置する場合は、地下水の流れに対する抵抗が小さく、かつ流速に変化を生じさせないものを使用する。開口率は30%以上のスクリーンが望ましい。 ・試験孔の内外で、測定に影響するような鉛直方向の流れを発生させないために、対象区間以外を十分に遮水した試験孔の構造とする。

<table>
<tr><td>調査手法</td><td>磁気探査</td></tr>
<tr><td>技術の概要</td><td>

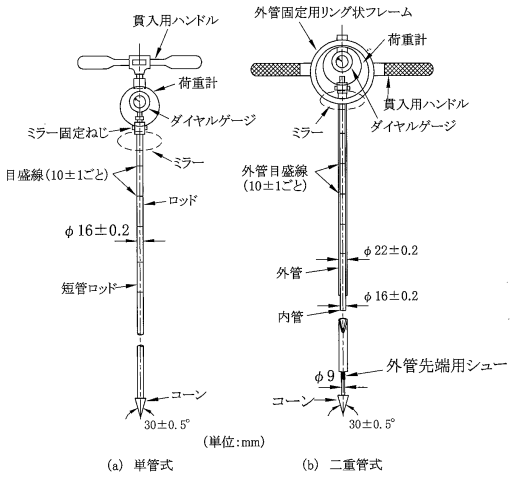
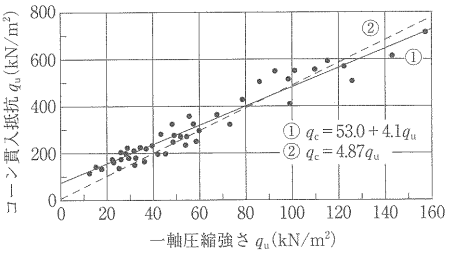
陸上水平磁気探査の測定状況

磁気コンターマップ


鉛直磁気探査による孔底下の確認</td></tr>
<tr><td>目　的</td><td>磁気探査は、磁気探査機を用いて地中に埋設・埋没している金属（主に鉄類）人工物を探査する方法である。金属探知機を用いた金属埋設物調査を、広義の磁気探査に含めることがある。地中埋設物には、不発爆弾・残存機雷や遺棄弾などの危険物、埋設管、基礎杭、鋼矢板やH型鋼、鉄筋コンクリートガラ、鉄くずなどがある。</td></tr>
<tr><td colspan="2">
<table>
<tr><th>調　査　方　法</th><th>調　査　結　果</th></tr>
<tr><td>・探査方法は、水平磁気探査（陸上・海上）、鉛直磁気探査、金属探査機による探査に大別される。
・水平磁気探査は、測線上を測定員が歩行または船で移動して測定を行う。
・鉛直磁気探査は、深部の埋設物を対象としてボーリング孔を堀り、孔内に磁気センサーを挿入して測定を行う。</td><td>・水平磁気探査は、測線ごとの磁気異常記録波形を解析し、異常点としてまとめる。または、探査区域の磁気コンターマップを作成し、異常点を解析する。
・鉛直磁気探査は、ボーリング削孔時に孔底下の安全確認を１ｍごとに行う。
・危険物探査の場合は、磁気異常点の評価値として磁気量等の値も解析する。</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>適用上の
留意点など</td><td>・磁気センサーを持って移動する測定員は、できるだけ鉄類を身に付けないようにし、移動速度は一定であることが望ましい。
・近接する既設構造物や埋設管、鉄くず等は磁気異常として測定されることから、これらの位置や大きさに関する情報も有効に活用する。
・危険物探査の場合は、磁気量などの解析結果をもとに、危険物の可能性があるか否かの判定を行う。</td></tr>
</table>

調査手法	重力探査
技術の概要	 地下構造と重力異常パターンの概念図 重力計写真  重力図の例
目　的	重力探査は、地表で重力計を用い重力加速度を測定して、微小な重力加速度の変化から地下の密度構造を求める探査法である。

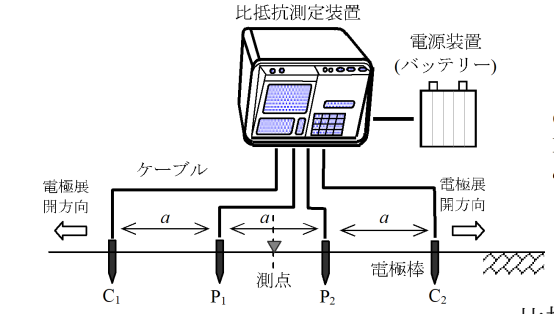
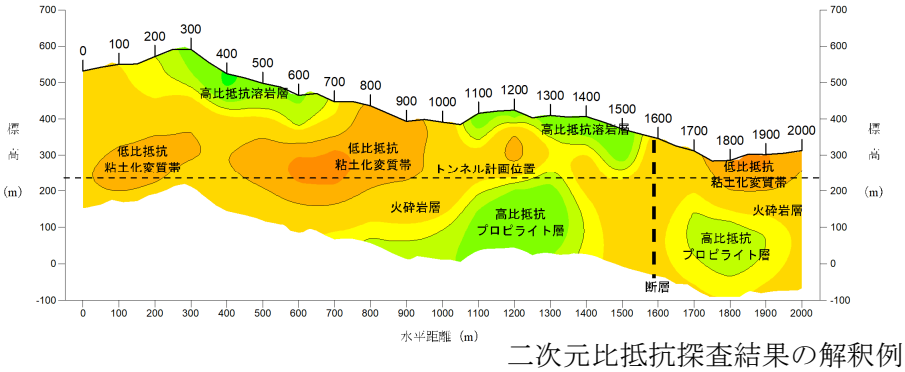
調　査　方　法	調　査　結　果
・探査方法は、重力探査法、微重力探査法、重力偏差法がある。土木分野で対象とする深度数100m程度以浅では微重力探査法が適用されることが多い。 ・微重力探査では、測点間隔は数m～数10mとし、探査範囲は対象とする構造の深度の5倍以上とする。なお必ずしも絶対重力値を求めなくてもよい。 ・測点の標高を1cm以下の精度の水準測量で求める。	・土木分野で重力探査が適用される調査は、空洞、地中構造物、浅部の地層調査（埋没谷、活断層など）、地盤改良モニタリングである。 ・重力値の計算には、潮汐補正、機械高補正、ドリフト補正を行う。 ・重力異常の計算には、緯度補正、大気補正、地形補正、高度補正を行う。 ・測点位置に重力異常値をプロットして、等重力線を描いた重力図が得られる。

適用上の留意点など	・地形の影響を受けるので、なるべく平坦なほうがよい。またできるだけ固い地面で測定するほうが望ましい。 ・測定時に地面が振動していると高精度の測定ができないため、幹線道路や工場などの振動源から離れたほうがよい。 ・空洞を対象とする場合は、検出限界についても事前に確認する。

調査手法	静的貫入試験
技術の概要	 ポータブルコーン貫入試験機  $q_c \fallingdotseq 5\ q_u = 10\ c_u$ ここに, q_u：一軸圧縮強さ(kN/m²) q_u：非排水せん断強さ(kN/m²) ポータブルコーン貫入試験による qcとquの関係
目　的	静的貫入試験は、円錐状の先端（コーン等）を荷重で地面に貫入することにより、土の種類、硬軟または締まり具合を判定することを目的とする。標準貫入試験のように打撃せずに、荷重や回転により貫入させる静的試験である。比較的簡易な装置が用いられる。

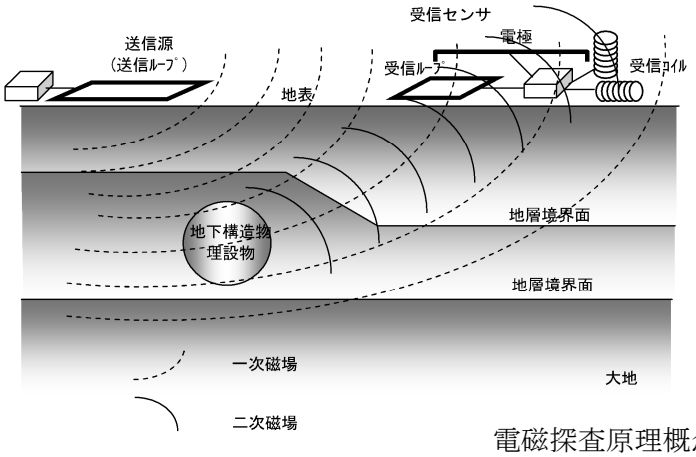
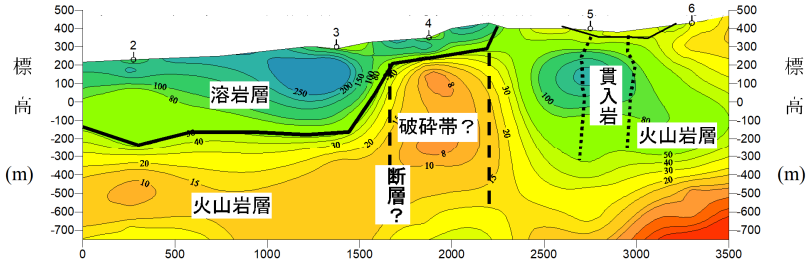
調　査　方　法	調　査　結　果
・試験方法は、コーン貫入試験とスウェーデン式サウンディン試験に大別される。 ・コーン貫入試験は、貫入先端が円錐状のコーンを圧入により貫入し、測定値から各深度の貫入抵抗を求める。 ・スウェーデング式サウンディング試験は、貫入先端がスクリューポイントとなり、圧入に回転を併用した貫入が行われる。 ・人力で貫入を行うポータブルコーン試験機や機械式コーン貫入試験機がある。	・試験結果は、主に浅部の地質判別やN値、支持力の推定に用いられる。 ・ボーリング調査に比べて安価で簡便に実施できるため、ボーリング地点間の補完調査として利用される。特にポータブルコーン貫入試験機は、サウンディングの中で最も軽量で携帯に便利という作業性から、地質調査や土工管理の現場において多用される。

適用上の留意点など	・簡易な装置であるため、密な砂質土層、礫・玉石層もしくは固結地層などには貫入が小さいことに留意する。例えば、スウェーデン式サウンディング試験では、深さ10m程度の軟弱地盤層の場合に適用する。 ・試験結果から関係式で推定されるN値や支持力、一軸圧縮強さ等の地盤定数は範囲にばらつきがあることを念頭において利用する。

調査手法	電気探査
技術の概要	 C1，C2：電流電極 P1，P2：電位電極 a：電極間隔 比抵抗法の測定模式図  二次元比抵抗探査結果の解釈例
目　的	電気探査は、地層を構成する物質の比抵抗、誘電率または電気化学的性質の違いに着目し、人工的あるいは自然的要因により発生した電位を測定し、地下構造、地下資源の存在などを調査するものである。

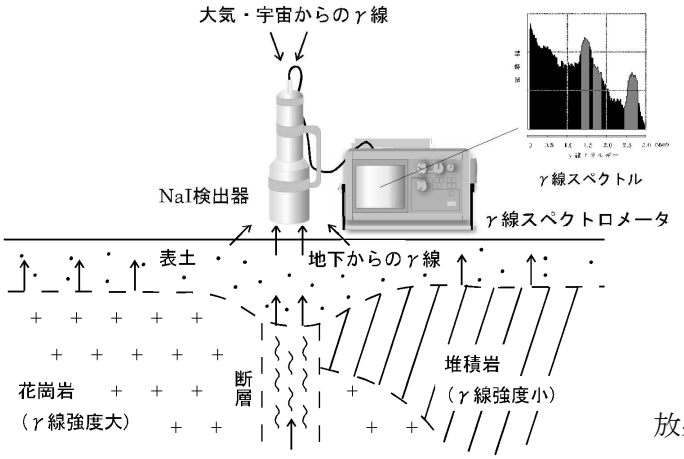
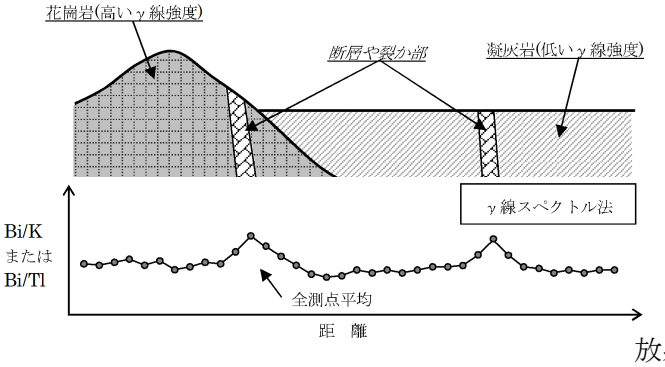
調　査　方　法	調　査　結　果
・調査方法は、主に以下の手法に大別される。 ① 比抵抗法 ② 自然電位法（SP法） ③ 強制分極法（IP法） ④ 人工電位法（流電電位法） ・土木建設分野においては、比抵抗法を指すことが多い。比抵抗法は、人工的に地盤へ電流を流し、このとき発生した電気を測定することで地盤の比抵抗分布を求める。 ・比抵抗法の探査方式には、鉛直探査、水平探査、二次元および三次元探査があり、最近は二次元比抵抗探査の適用が多い。	・電気探査（二次元比抵抗探査）は、下記のような多くの調査に適用できる。 ① 地下水調査 ② 地すべり調査 ③ トンネル調査 ④ ダム調査 ⑤ 空洞調査 ⑥ 河川堤防 ⑦ 断層、風化変質帯等の地質構造調査 ⑧ 地盤状態のモニタリング ⑨ 廃棄物投棄量調査

適用上の留意点など	・人工的な電気ノイズ源が密集する市街地には適用できない。 ・比抵抗は地盤の電気的特性を示す物理量であるため、強度や変形性を示す物理量とは異なる。したがって土木建設分野における電気探査結果は、定性的な解釈に用いられる。

調査手法	電磁探査
技術の概要	 電磁探査原理概念図  CSAMT法による比抵抗断面例
目　的	地層を構成する岩石の種類によって電磁波（電波）に対する反応が異なる性質を利用し、地層、地下水、石油・天然ガス、石炭、鉱物等の地下資源および断層・褶曲等の地質構造を調査する。

調　査　方　法	調　査　結　果
調査方法は、主に以下の手法に大別される。 ① MT・AM法：断層・温泉・山岳トンネル ② CSAMT法：断層・温泉・山岳トンネル ③ TEM法：断層・温泉・埋設物 ④ 空中電磁法：斜面・断層・温泉 ⑤ ループ・ループ法：地下水・浅層 ⑥ VLF法：地下水：浅層・埋設物 ・電磁探査は電磁場の変化から岩石中で誘導される二次磁場を、コイルのような磁気センサーや電極を用いた電場センサーで観測し、地下の比抵抗分布を求める。	・電磁探査は左記のように多くのバリエーションがあるため、探査目的、探査深度、対象地域の地質、環境に適した手法を選択する。 ・効率的な探査が行える手法が多く、主に概略調査に適用され、電気探査による詳細調査等で保管することも多い。 ・電磁探査は高導電率（＝低比抵抗）の地質構造や異常体の検出に優れているため、断層・温泉・地下水・埋設物調査に広く適用される。

適用上の留意点など	・電磁ノイズ発生源や地表付近の金属構造物が密集する市街地やその近傍には適用できない。 ・比抵抗は地盤の電気的特性を示す物理量であるため、強度や変形性を示す物理量とは異なる。したがって土木建設分野においては電気探査と同様に、定性的な解釈に用いられる。

調査手法	放射能探査
技術の概要	 放射能探査測定模式図  放射能探査の結果例
目　的	放射能探査は、地球内部から放出される放射線の強度を測定することにより、断層や地層境界などの地質情報を検出する手法である。概略調査や予備調査に適した手法である。

調　査　方　法	調　査　結　果
・地質（造山鉱物）により放射線強度に差異があることを利用して、地層境界や断層の把握に適用される。 ・放射能探査には、γ線トータル法とγ線スペクトル法があり、後者の方が開口亀裂の検出能力が高く、採用されることが多い。	・探査結果は、測点毎の測定値である全γ線量およびK、Bi,Tlの3核種のスペクトル比を折れ線グラフで図示される。 ・放射線強度やスペクトル比の高異常値の分布傾向から、断層や地質境界を推定する。

適用上の留意点など	・開口亀裂が発達した断層では検出能力は高いが、粘土化している断層では検出精度があまり高くない場合がある。 ・探査結果は地表面での強度分布を示すもので、深度方向の情報は得られていないことに留意する。 ・人工構造物が密集するような地域（市街地や工場など）での適用は困難である。