

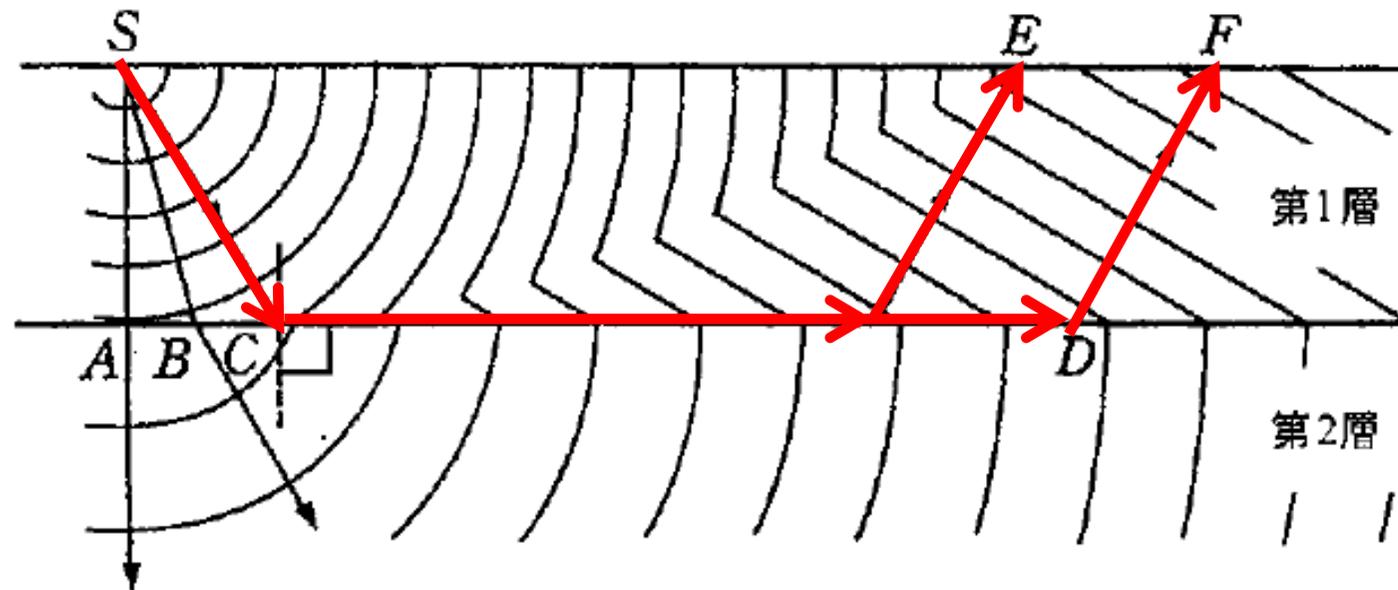
屈折法弾性波探査の目的と概要

目的

- 地下構造の推定

概要

- 地表付近で発破やカケヤ等によって人工的に発生させた弾性波(地震波)を用いて地下構造を推定する。利用するのは弾性波のうちの屈折波



『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成・引用・加筆

屈折法弾性波探査 探査計画時の留意点

測線配置計画

- 測線は、速度層構造を求めたい地点の直上に直線状に配置
- 測線は、なるべく等高線に直交するように設定
- 測線長は、探査深度の5倍～10倍以上
- 調査対象構造物の計画線が直線でない場合には、測線を分割
- 測線を分割する際には交差部を作り、それぞれの測線を十分長くする
- 想定される断層や地質構造にはなるべく直交するようにする
- 想定される断層や地質構造に斜交、平行になる場合には、副測線を設ける

発破計画(受振点・起振点計画)

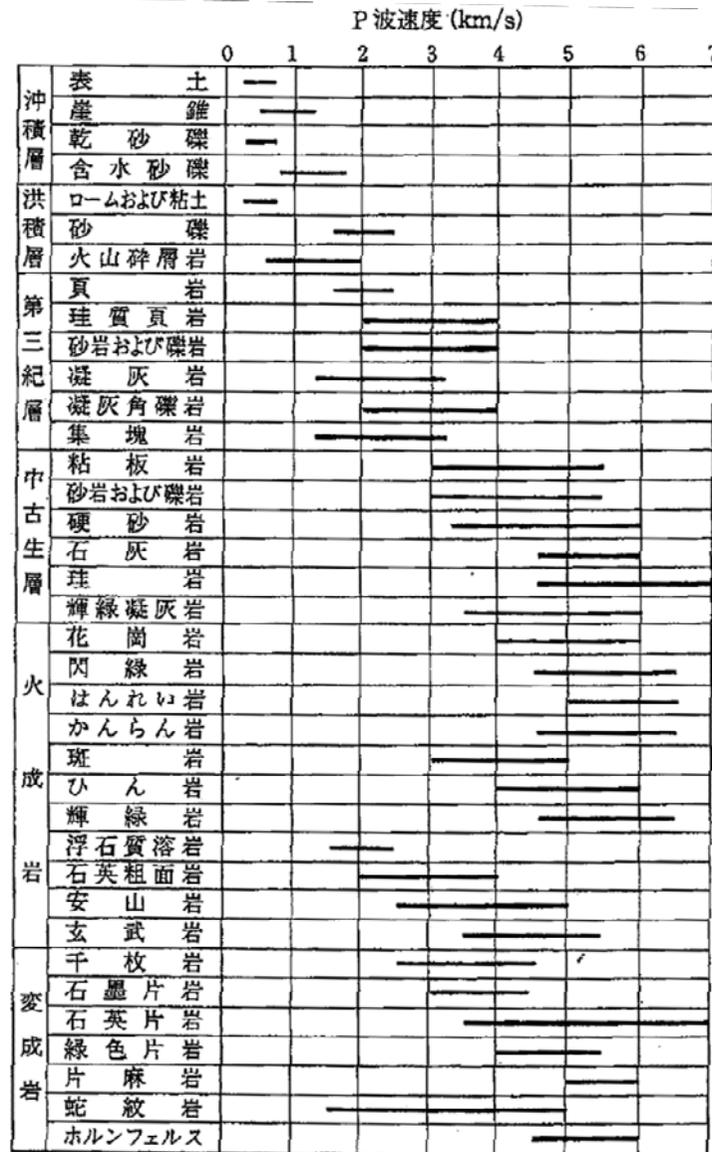
- 測線の両端、展開の両端付近に起振点を配置する
- 1展開の中の、ほぼ等間隔に起振点を配置する
- 地形の変化点(尾根、谷)等に起振点を設ける
- 測線長が長く取れない場合には、遠隔起振点を設ける

起振方法

- 探査深度、測線長を踏まえて、適切な起振方法を選択する

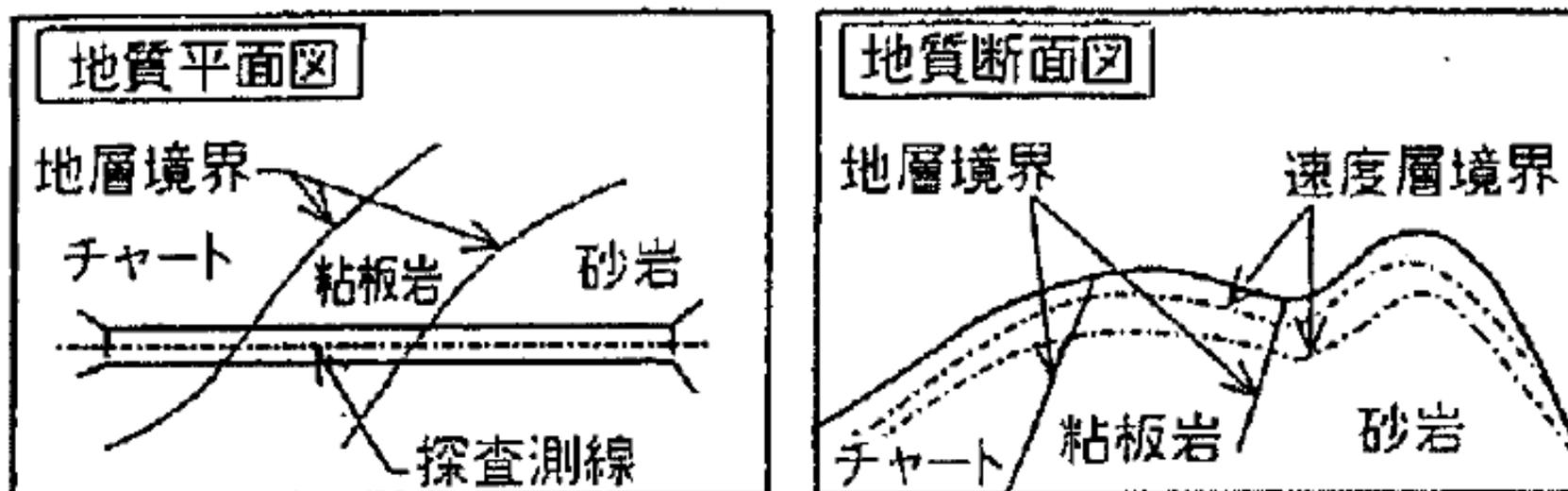
『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成

主要地質・岩石の原位置弾性波伝播速度



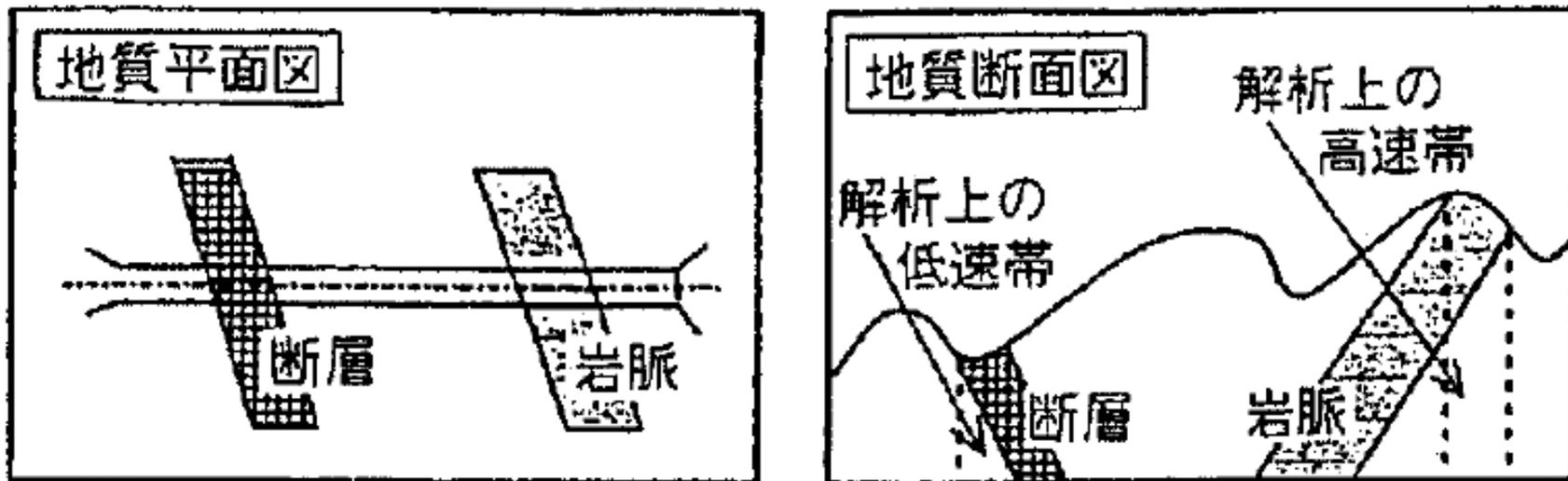
『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』より引用

屈折法弾性波探査における解析が困難な事例(1)



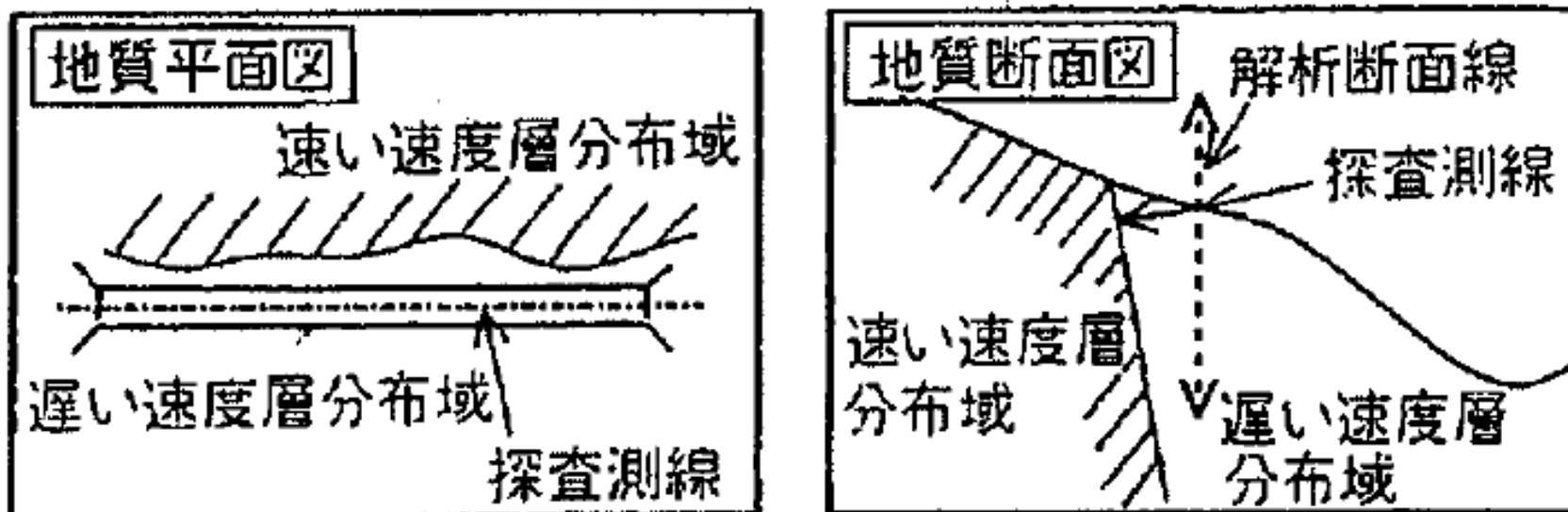
地層の境界と弾性波の速度境界は異質なもの

屈折法弾性波探査における解析が困難な事例(2)



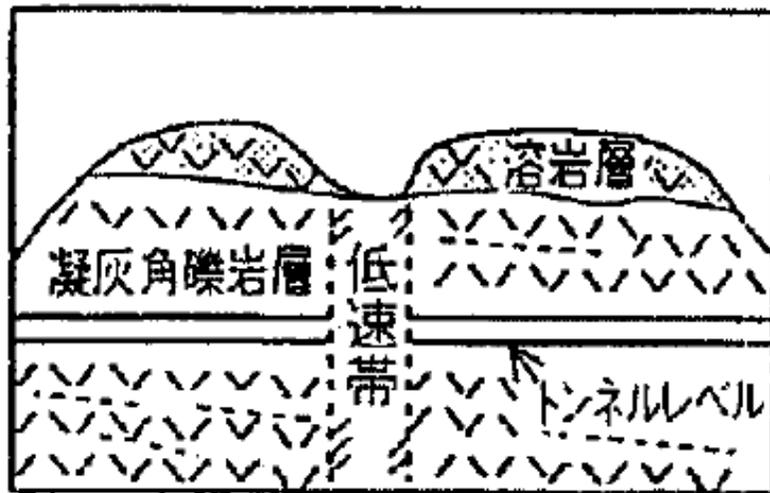
断層や岩脈の傾斜角・傾斜方向は解析できない

屈折法弾性波探査における解析が困難な事例(3)



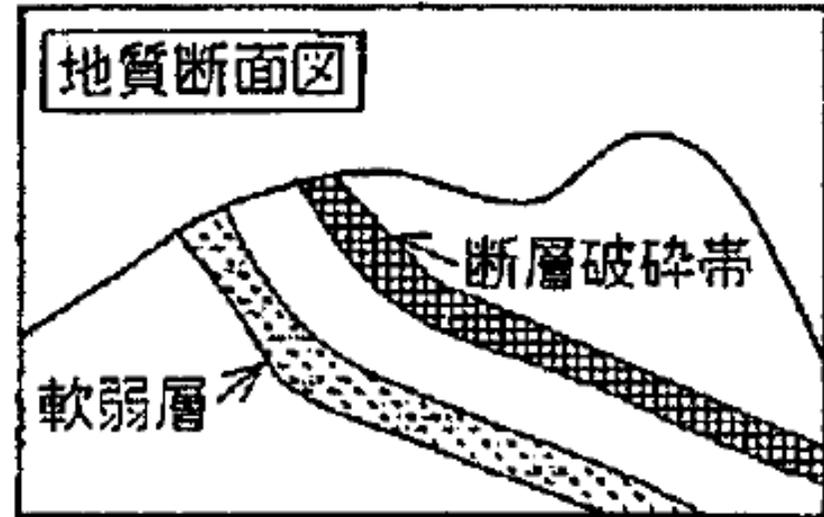
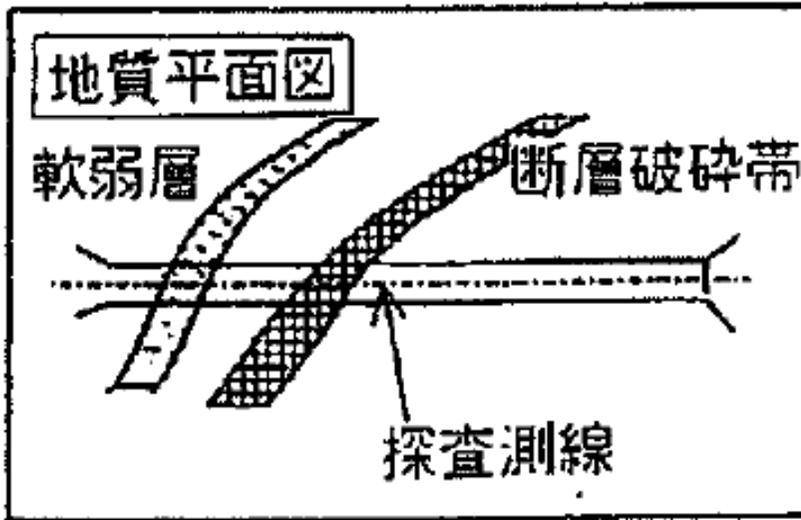
測線下の遅い速度層より測線近くの速い速度層を検出する

屈折法弾性波探査における解析が困難な事例(4)



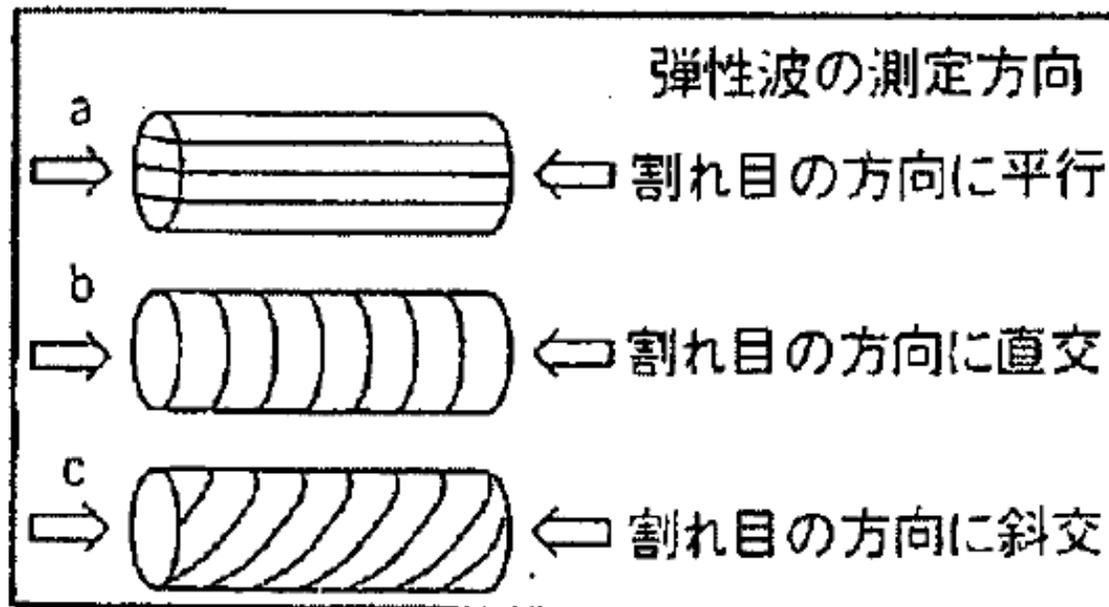
水平に近い緩い地質構造をなす場合で、上位に密度の大きい地層(溶岩層など)が分布し、下位に密度の小さい地層(凝灰角礫岩など)が分布するような地層構成の場合には、トンネルレベルの弾性波速度は解析できない。図の例のように、溶岩層が途切れていたりすると、低速帯として解析される。

屈折法弾性波探査における解析が困難な事例(5)



破砕帯や軟弱層が緩やかな傾斜をなす場合には、
その傾斜角・傾斜方向は解析できない

屈折法弾性波探査における解析が困難な事例(6)



異方性の強い岩盤の場合、割れ目に対する測定方向によって検出される速度値には差がでる。
速度値 = $a > c > b$ の順で解析されてくる。

屈折法弾性波探査測定時の 主なトラブルと対策

トラブル・原因	対策
受振器の設置不良	地盤にしっかり固定 ある程度掘って設置 急傾斜地等では接続部を固定 接続部を杭にのせる等
ケーブル類の接続不良	測定前のノイズモニタ等で状態を確認
断線やリーク	測定前のノイズモニタ等で状態を確認 雨天時の測定は避ける(リーク) ケーブルを木に掛ける 接続部をビニール等で覆う
発破の不発	発破母線、電気雷管の脚線の接続状態を確認 確認時には発破母線を発破器から外して末端を短絡
飛石	薬量を少なく。分散発破 発破作業前に警戒作業をする 防爆シートを使用する

『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成

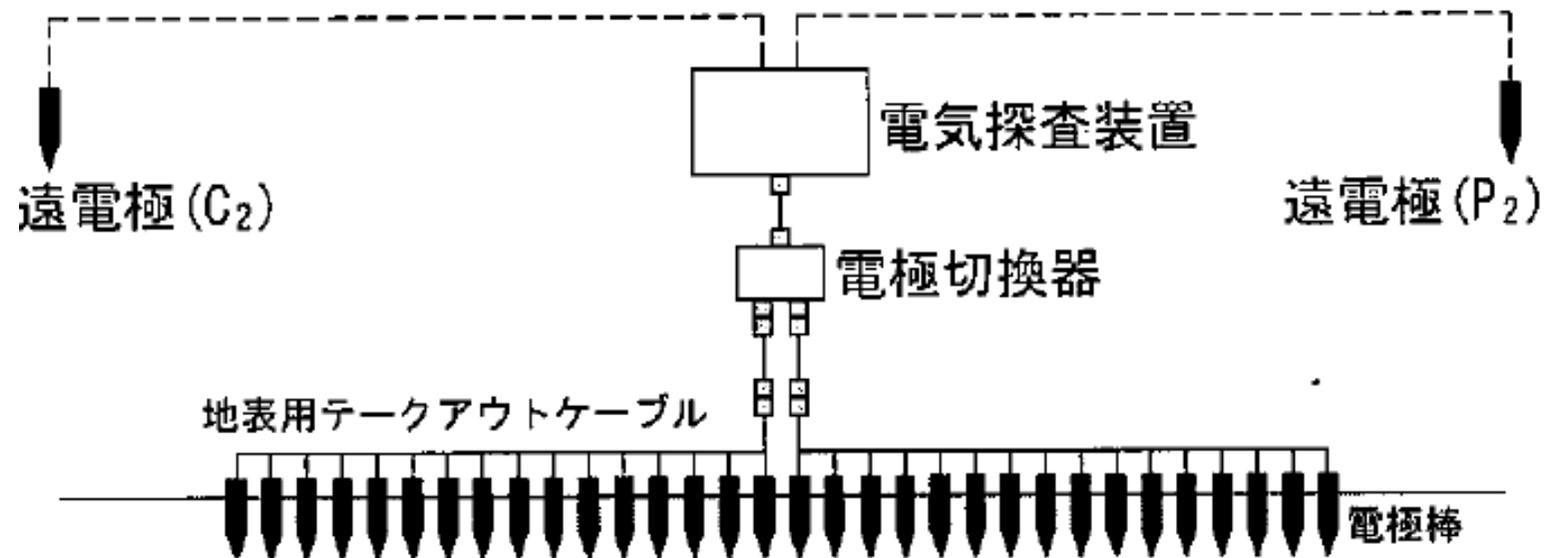
電気探査（比抵抗法二次元探査）の目的と概要

目的

- 地下の比抵抗分布を求めること

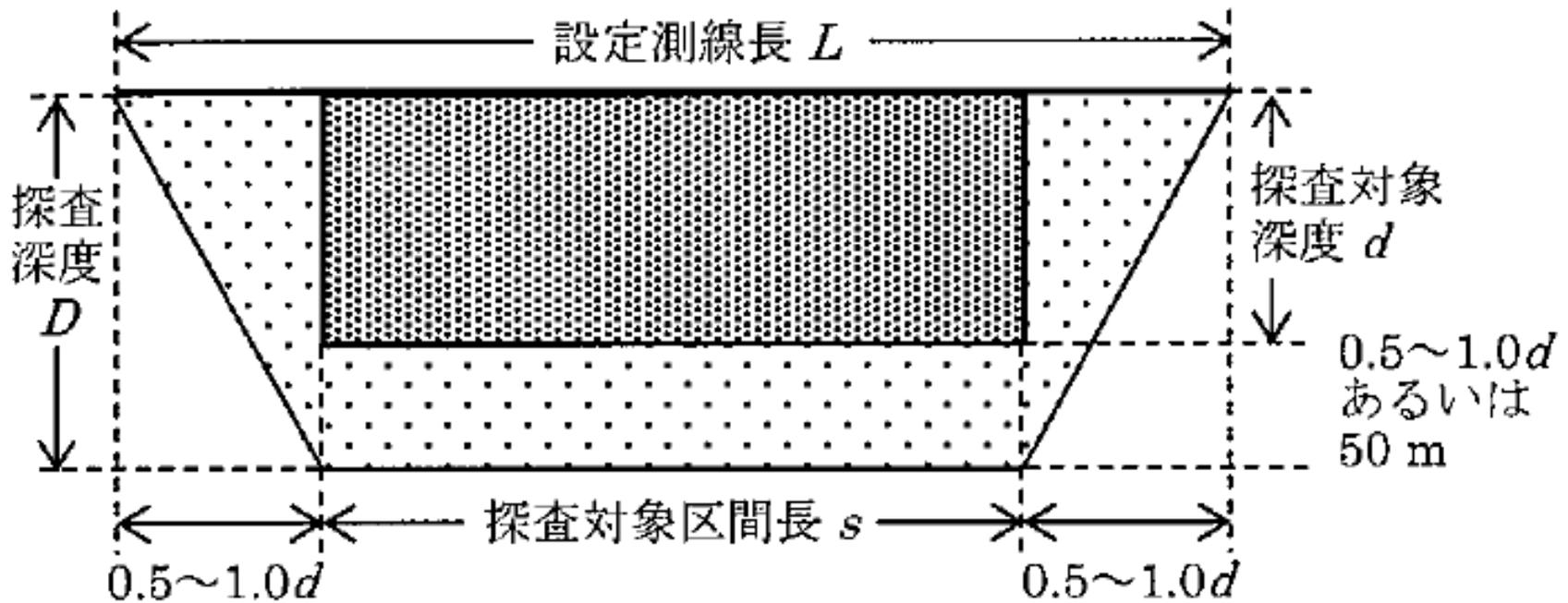
概要

- 地表に設置した電極から電気を流し、地下の電気的性質を把握する

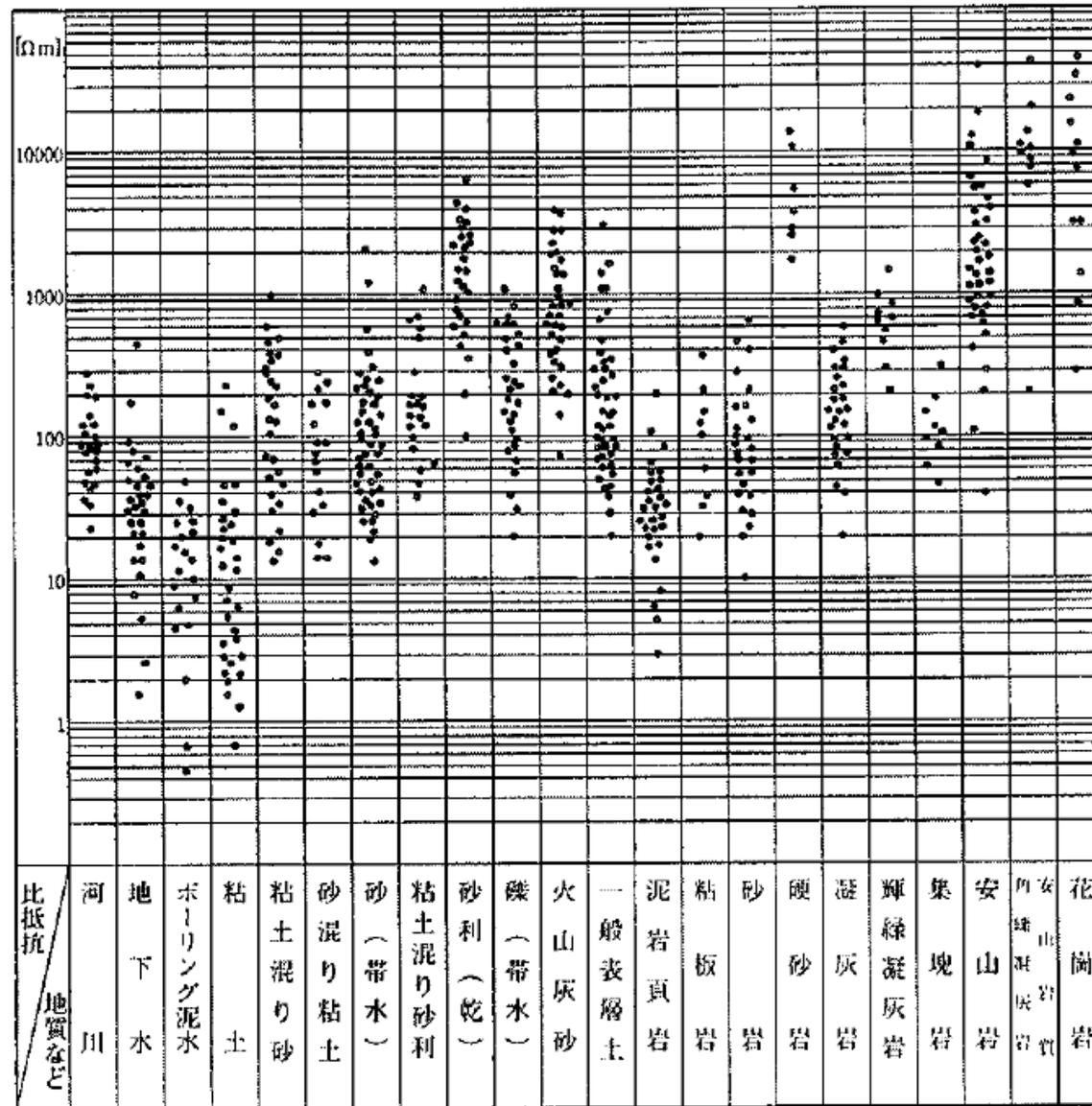


『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成・引用

測線長と探査領域の目安



代表的な地質・土質の比抵抗



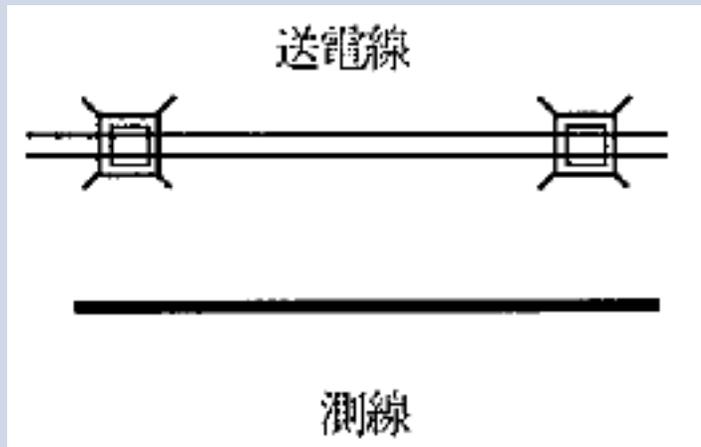
『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』より引用

地盤の状態と比抵抗変化の傾向

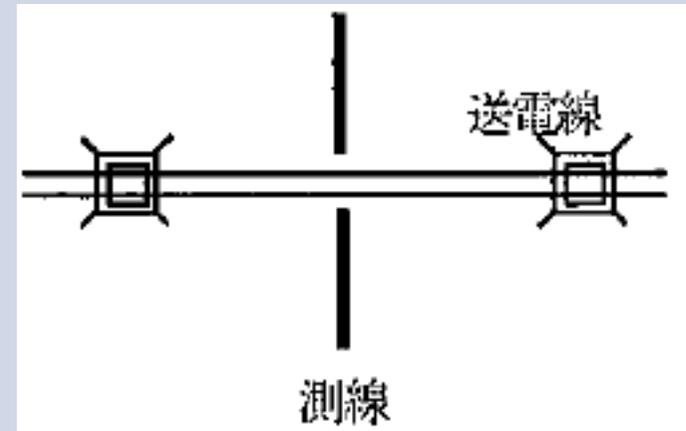
地盤の状態	地盤の比抵抗変化 低 ←————→ 高
間隙率(飽和状態) 水飽和度 粘土鉱物含有量 風化・変質の程度	大 ←————→ 小 多 ←————→ 少
地下水の比抵抗 間隙水の比抵抗	低 ←————→ 高
温度	高 ←————→ 低

電気探査 障害物周辺での 測線、測点の設定と要領例(1)

避けたい



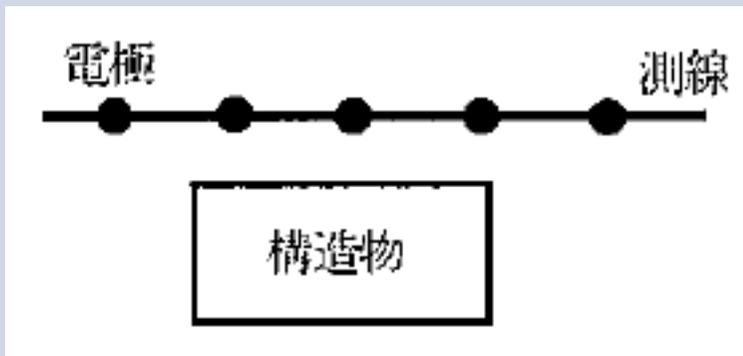
望ましい



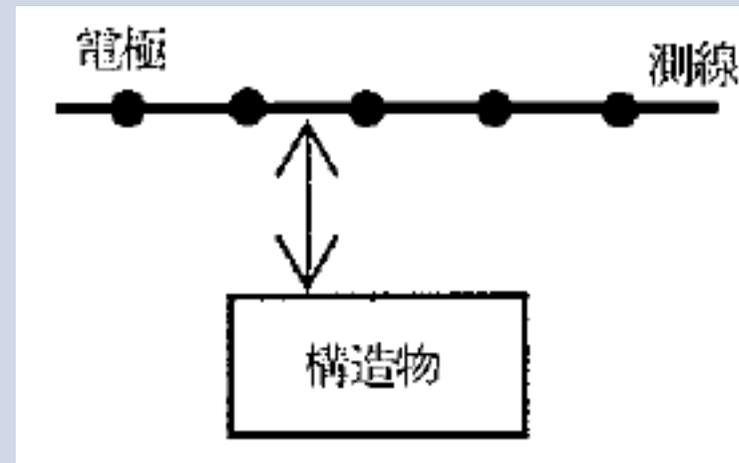
できるだけ送電線に直交させる
鉄塔を避ける

電気探査 障害物周辺での 測線、測点の設定と要領例(2)

避けたい



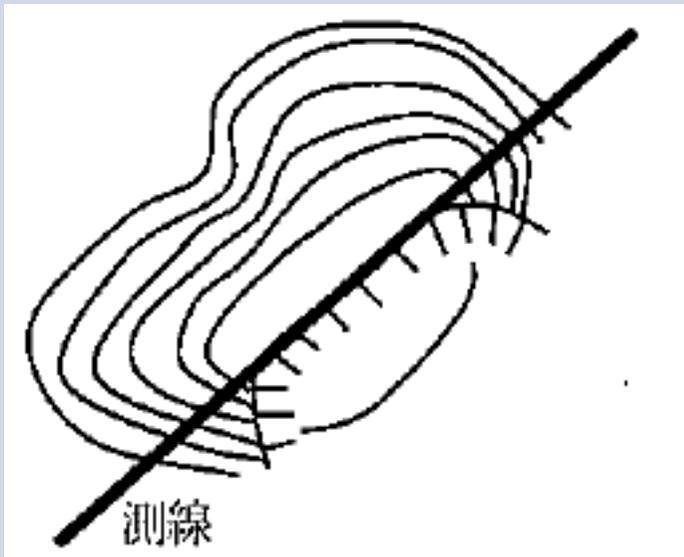
望ましい



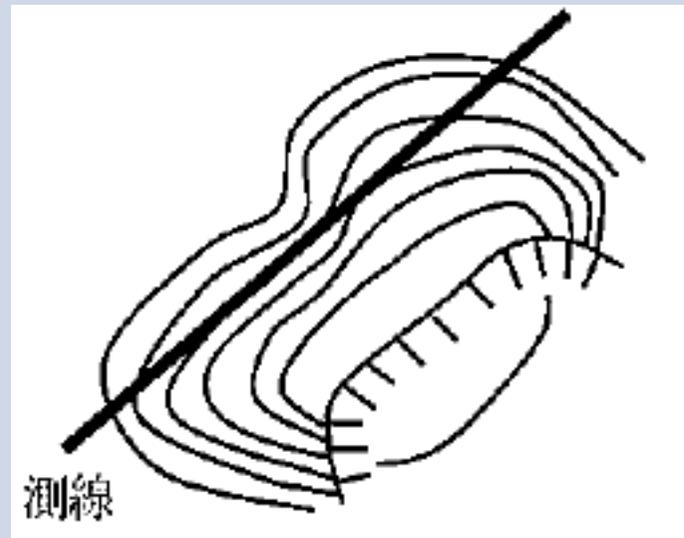
測線を、構造物から探査深度以上に離す

電気探査 障害物周辺での 測線、測点の設定と要領例(3)

避けたい



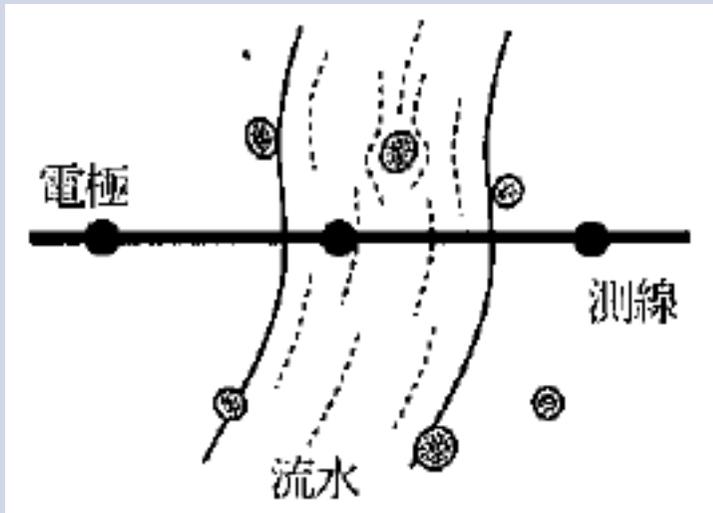
望ましい



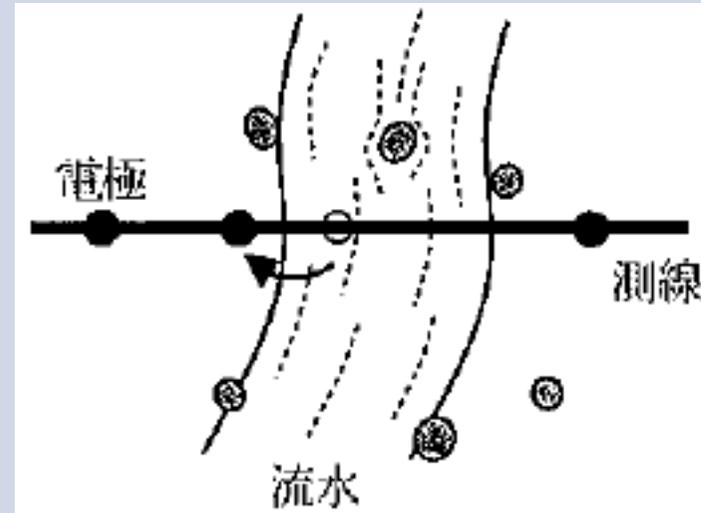
測線は、できるかぎり地形の急変部を避ける

電気探査 障害物周辺での 測線、測点の設定と要領例(4)

避けたい



望ましい



小川などの流水部に電極を設置することを避ける

電気探査 実施上の留意点

測定対象、目的を明確に

探査深度と調査地の比抵抗値を勘案して、測定装置を選択

電極を設置できない箇所(岩盤等)では粘土などを利用

電極間隔を小さくした場合には、電極の長さ、太さに留意

雨天時は測定中止(雨天時の測定はトラブルのもと)

荒天候時(雷等)は測定中止

測定データの品質チェックは現場で実施し、必要に応じて再測定

解析範囲は広くとる(測線・断面の端部の解釈には注意必要)

『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成

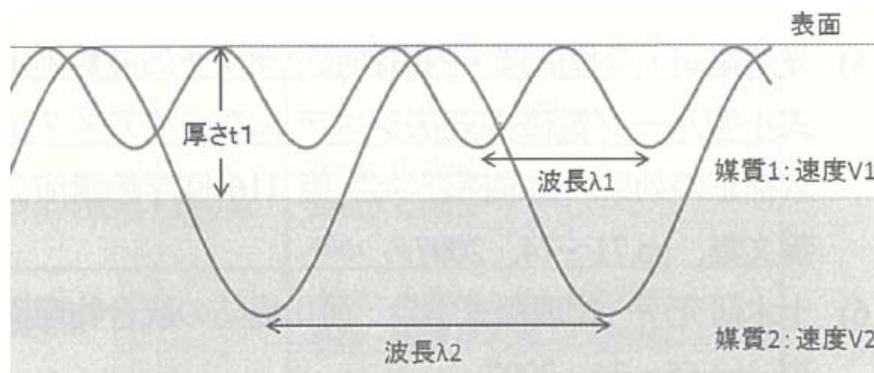
表面波探査の目的と概要

目的

- 表層地盤のS波速度構造を推定する

概要

- 地表付近を伝播する波動を観測し、表面波の分散曲線からS波速度構造を推定する。
- S波速度分布は、概略の土質構成や強度特性の推定に用いる。



表面波伝播のイメージ

表面波は波長に応じた深度内で運動しながら伝播していく。不均質な層状構造では、波長（周波数）によって伝播速度が異なる分散現象が起きる。

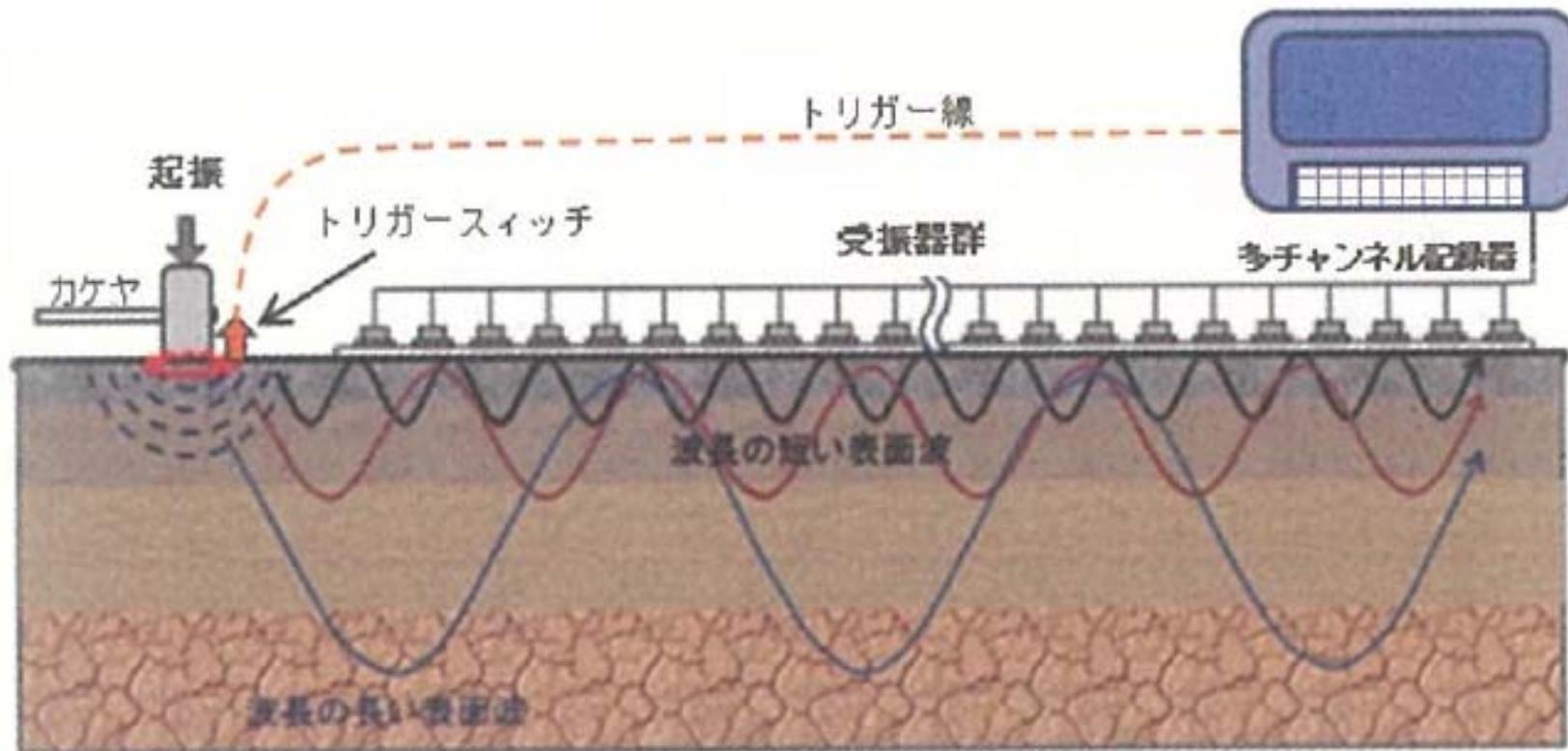
厚さ t_1 の媒質 1 内を伝わる波長 λ_1 の表面波は速度 V_1 で伝わるが、 t_1 よりも長い波長 λ_2 の表面波は、媒質 V_1 と媒質 V_2 の両方の速度の影響を受けながら伝わる。

主な表面波探査法の種類と特徴

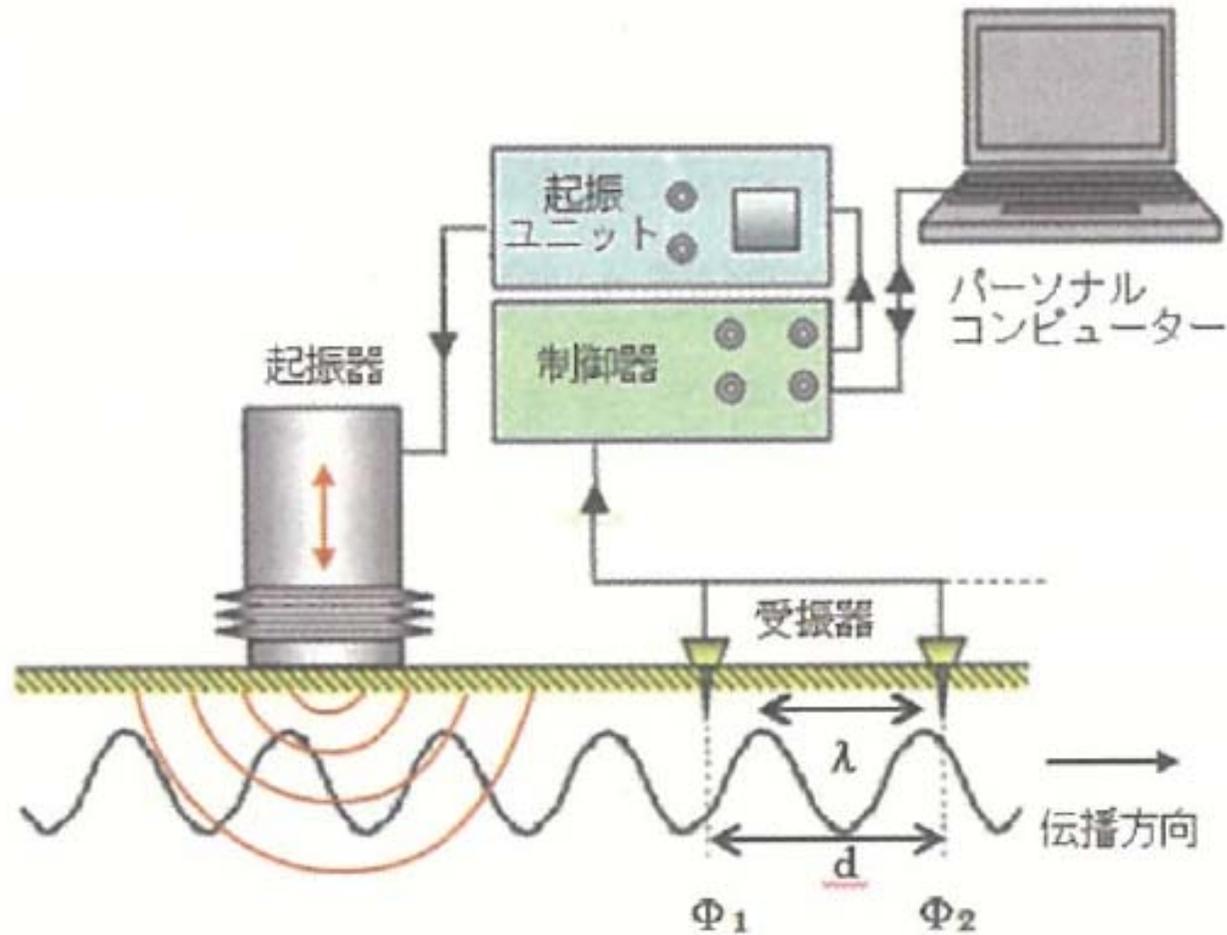
大分類	能動的手法		受動的手法
探査手法の名称	2次元表面波探査	定常式表面波探査	微動アレイ探査
振源	カケヤ、重錘、起振器等 測線上で起振	専用振源 (周波数制御) 測線上で起振	常時微動利用
受信器配置 ・数	直線配置 24個以上	直線配置 2個以上	アレイ配置 4個以上
対象深度	20～30m程度	20～30m程度	数m～数km 地震計固有周期・ アレイサイズによる
解析結果	疑似2次元 S波速度構造	1次元/1測線 S波速度構造	1次元/1アレイ S波速度構造

『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成

2次元表面波探査イメージ

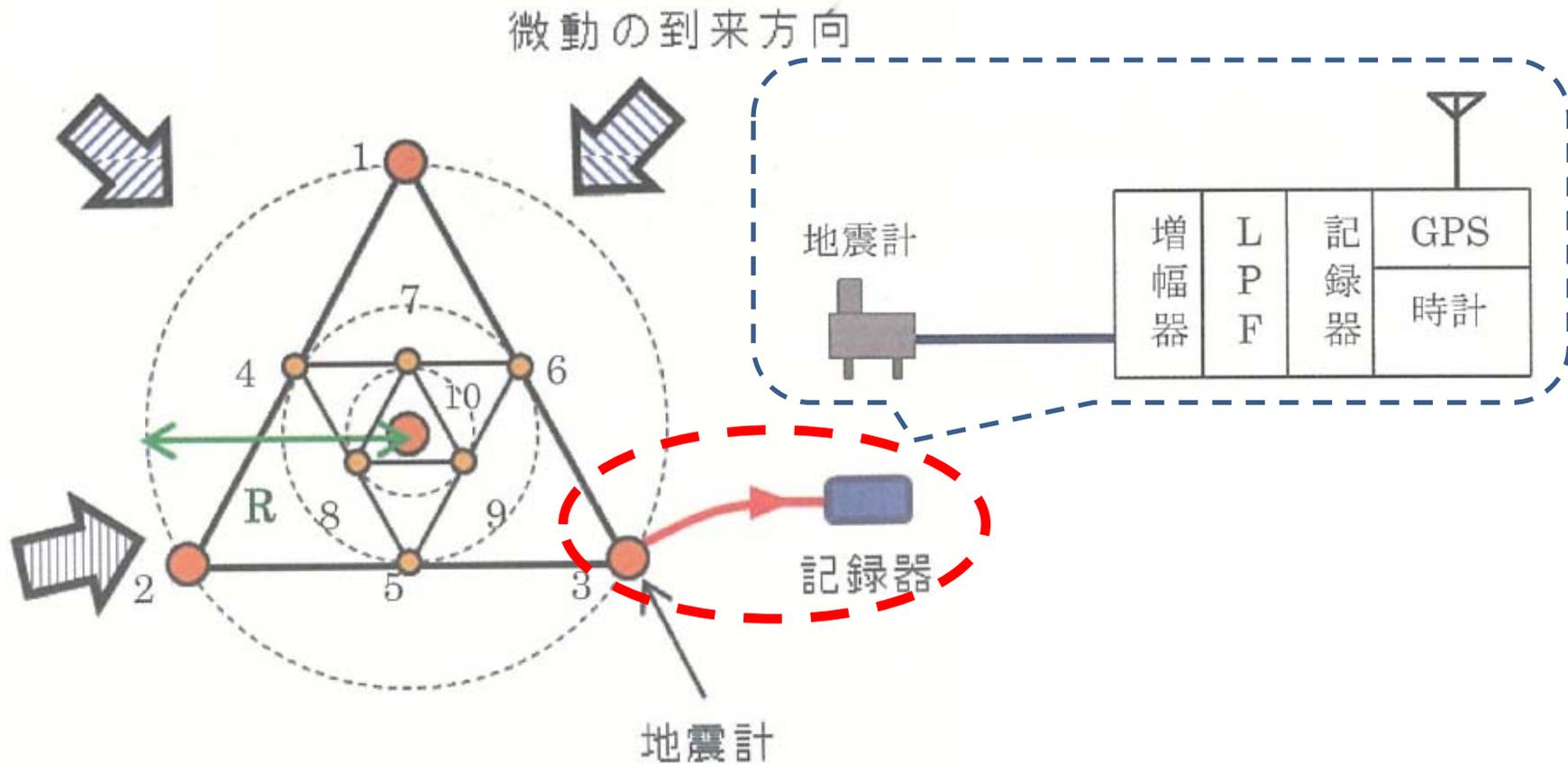


定常式表面波探査イメージ



『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』より引用

微動アレイ探査イメージ



典型的な3重同心円正三角アレイ
アレイの外側から微動が伝播する配置が望ましい。

『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』より引用

表面波探査 実施上の主な留意点

計画段階

- 構造が急変する場所には向かない【1次元探査、2次元探査】
- 岩盤が浅い場合には向かない(表面波が発生し難いため)【能動的探査】
- 軟弱層が厚い場合には目的の深度まで把握できない場合あり(探査に使用する地震計の適用限界)【能動的探査】

実施段階

- 地震計の設置状況重要(浮かないように、他者に触られないように)
- ノイズ側に振源を配置▼交通ノイズ大きい場合には夜間作業を検討▼工事ノイズが大きい場合には工事業者と調整▼定常的にノイズが大きい場合には、起振方法を工夫したりスタッキングしたりする【能動的探査】
- アレイ内部に振動源がないように。地震計設置位置近傍には振動源がないように【微動探査】

解析段階

- 観測分散曲線と理論分散曲線の誤差が小さいものが最適モデルとは限らない
- 他の調査結果なども検討して総合的に説明できるモデルが良い など

『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成

ジオトモグラフィの概要

概要

- 地下の調査対象領域を取り囲むように測定して、調査対象領域内部の物性分布を可視化する手法

主な種類

- 弾性波トモグラフィ
- 音響透水トモグラフィ
- 比抵抗トモグラフィ
- 電磁気トモグラフィ
- 電磁波トモグラフィ

『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成

ジオトモグラフィの種類①

種別		概要	得られる物性値	測定ジオメトリ
弾性波	走時	弾性波の初動走時を用いる	弾性波速度	孔(坑)－孔(坑) 地表－孔(坑)
	振幅	弾性波の初動部分の振幅を用いる	減衰率	孔(坑)－孔(坑) 地表－孔(坑)
	屈折	屈折法弾性波探査で得られた初動走時を用いる	弾性波速度	地表－地表
	反射	反射法弾性波探査で得られた反射波の走時を用いる	弾性波速度	地表－地表
	表面波	表面波の位相速度または群速度を用いる	弾性波速度 (S波)	地表－地表
	回折	初動以降の波動の回折・散乱現象による散乱場が解析対象	弾性波速度	孔(坑)－孔(坑) 地表－孔(坑)
	フルウェーブ	弾性波の波形全体を用いる	弾性波速度 (P波、S波)、 密度、減衰率	孔(坑)－孔(坑) 地表－孔(坑)

『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成

ジオトモグラフィの種類②

種別		概要	得られる物性値	測定ジオメトリ
音響透水		高周波の音響波の初動走時、最大振幅を用いる	弾性波速度 減衰率 透水係数 間隙率	孔(坑)－孔(坑)
比抵抗	比抵抗	電流電極対から電流を流し、電位電極対で測定した電位差データを用いる	比抵抗	孔(坑)－孔(坑) 地表－孔(坑)
	IP	電流切断後の電位の減衰を用いる	比抵抗 充電率	孔(坑)－孔(坑) 地表－孔(坑)
電磁気		送信源より発生させた幅広い周波数帯域における磁場を、受信点で測定・使用する	比抵抗 帯磁率	孔(坑)－孔(坑) 地表－孔(坑)
電磁波		電磁波の初動走時や振幅を用いる	電磁波速度 減衰率	孔(坑)－孔(坑) 地表－孔(坑)

『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成

ジオトモグラフィ 実施上の留意点

共通的事項

- 調査目的、調査対象、既存資料を十分把握・検討、概略の地質構造・対象深度を想定
- 直交方向に地質構造の変化がないよう測線設定
- 現地測定前に現地踏査し、現地状況把握
- 孔内水の状況把握、ジャミングに注意、探査手法に応じた保孔対策実施
- ケーブル類、測定機器の保護、作業員の安全対策を実施、落雷注意、現地でデータバックアップ

弾性波トモグラフィ

- 騒音、振動状況把握した対策実施(測定時日、昼間/夜間など)
- 起振、受振座標等を正確に記録、機器パラメータ設定確認、気象状況によるノイズ注意(電氣的ノイズの混入、リーク)
- 現場で波動チェック

比抵抗トモグラフィ

- 電氣的ノイズ発生源把握、影響少ないような測線設定
- 遠電極・電線類の養生、結線チェック、接地抵抗下げる、気象状況によるノイズに注意(電氣的ノイズの混入、漏電)
- 現場で測定データの品質チェック

『改訂版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル』を参考に作成