

構造物調査における弾性波探査の利用事例

大地コンサルタント株式会社 ○濱田 納智, 大和田 敦

1. 事例の概要

道路事業における構造物の詳細設計のため、各層の強度や支持層の把握を目的として地質調査を実施した。ボーリング調査時、地形には表れない弱部が分布することが認められた。弱部は未風化部に比べ強度が低く、ボーリング調査のみではその分布範囲を把握することは難しく、地層区分の決定や基礎位置選定の際に問題となる。

弾性波探査は、弾性波の速度分布から地盤の強度分布を推定できる手法である。そこで、弱部の分布範囲の把握を目的として弾性波探査を実施し、構造物設計についての検討材料とした。

2. 地形・地質概要

調査地点は、第四紀の火山群の山麓部にあたる。

新第三紀 中新世の堆積岩(泥岩)を基盤岩とする。沢部では露岩が確認されるも、大部分は上位の第四紀 火山噴出物の被覆層が分布する。

表-1 地質構成表

地質時代	地層名	地質	地質記号	N値(平均)	コア写真
第四紀	沖積世 産鐘堆積物	礫混じり粘性土	dt	2~7	
	洪積世 火山山麓堆積物	礫混じり火山灰質シルト	Nf1	4~6	
新第三紀	中新世 堆積岩	泥岩 強風化部	Sh(w3)	1~5 (1~3)	
		泥岩 風化部	Sh(w2)	4~39 (23~26)	
		泥岩 未風化部	Sh(w1)	50~136 (74~91)	

3. ボーリング調査

事業は詳細設計の段階であり、本調査は支持層の確認・強度について把握する業務である。予備設計により構造物の基礎位置について計画されており、ボーリングの調査位置も計画基礎位置に基づいて決定した(図-1)。

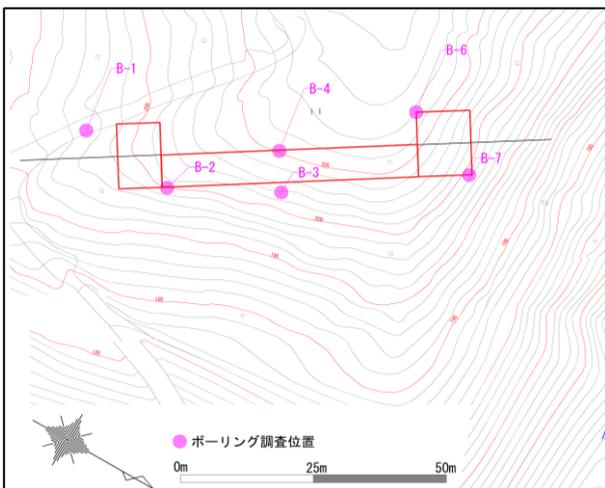


図-1 ボーリング調査位置図

予備調査の段階では、図-1に示す B-1・B-2・B-7で調査が行われており、支持層となる泥岩未風化部はおおよそ水平方向に分布すると予想された。しかし、本調査で実施した B-3・B-6のボーリング調査結果より、泥岩未風化部の分布は想定された水平方向に対して大きく凹むような分布を示した(図-2)。また、B-3に関しては深度50m程度まで調査を行ったが、泥岩未風化部は確認されなかった。

未風化部が確認されていない箇所は、短柱状で採取されるも風化色を呈し、N値は50を下回る傾向にある。また、RQDは亀裂が発達していることから、良好な未風化部に比べて低い傾向である(写真-1)。この区間を弱部として区分した。弱部は地表から順に受ける風化作用と違い、極端に鉛直方向へ風化作用を受けている。

ボーリング調査では弱部の分布範囲が把握しきれていないため、構造物基礎位置の選定に必要な地質情報が得られなかった。

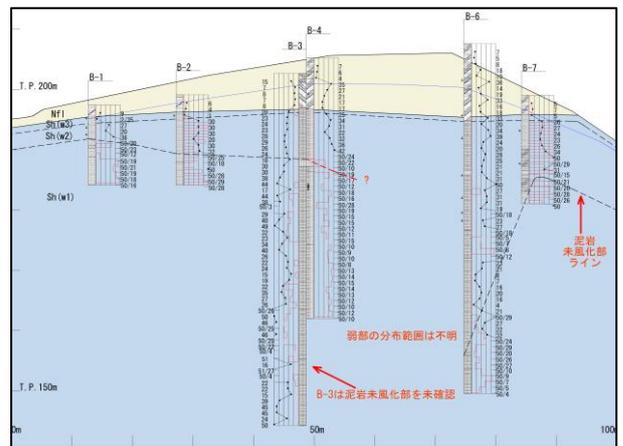


図-2 地質断面図



写真-1 コア写真(左:B-3、右:B-4)

4. 弾性波探査

弱部が認められた新第三紀 堆積岩は新第四紀の火山噴出物に覆われているため、地形から弱部の規模や分布を把握することが難しい。ボーリング調査から想定され

る弱部は、計画構造物に対して交差するような分布を予想した。

以上から、弱部の分布範囲を把握するために、縦断方向にL・R側の2測線を設定した弾性波探査を計画した。弱部は未風化部に比べて亀裂が発達し、N値が低い値を示すことから、速度差が表れると予想した。測線長は100mとした。

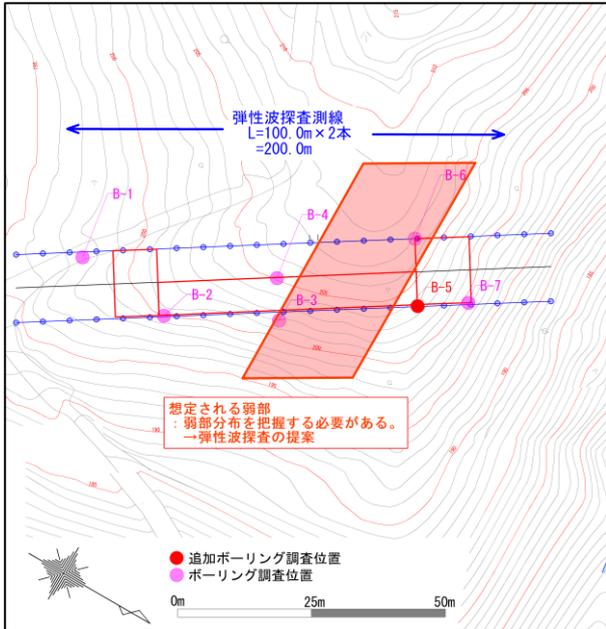


図-3 弾性波探査測線

弾性波探査結果図を図-4、図-5に示す。ボーリングで確認された泥岩未風化部の弾性波速度は1700m/sを示すのに対し、表層から風化が進む泥岩中風化部は1000m/sを示した。ボーリングで確認された弱部の弾性波速度は1100m/sを示し、泥岩中風化部程度の値を示した。

ボーリング調査で確認された弱部は、弾性波探査で確認された低速度帯の位置とおおよそ合致している。弱部の傾斜や方向はボーリング調査結果から推察した。

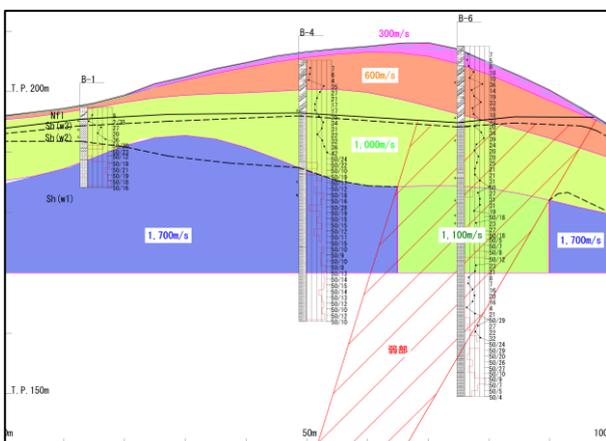


図-4 L側速度帯

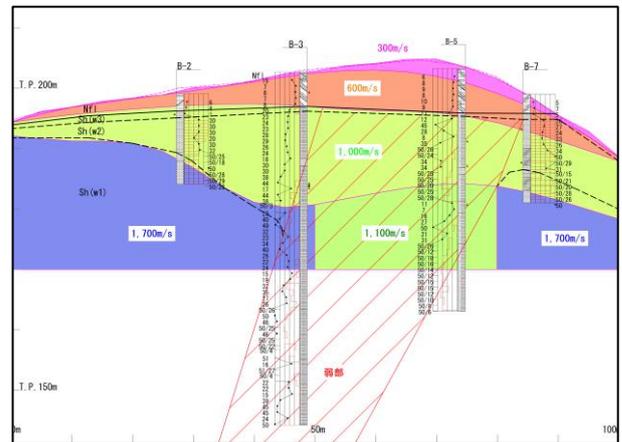


図-5 R側速度帯

5. まとめ

今回のように地質情報が地形に現れない場合、地形から弱部を推定することは難しい。そのためボーリング調査で確認された弱部を、弾性波探査を用いて低速度帯から分布範囲を明らかにした。これらのデータは地質断面図に反映され、構造物設計のための検討資料として提出した。

ここからは推察になるが、弱部の発生は第四紀の火山活動における構造運動により、新第三紀の基盤岩内に亀裂が生じ、その割れ目に沿って風化が進んだと考えられる。

今後も、調査時におけるイレギュラーな地質に対して、様々な調査手法を用いて必要な地質情報を得られるような調査提案を迅速に実行していきたい。

公園用地における弾性波探査の工夫

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 金指 和将

1. はじめに

本業務はトンネルの計画にあたり、弾性波探査を行い、のちのトンネル詳細設計に必要となる地山の弾性波速度を把握するために実施された。探査対象となるトンネルは最大土被り厚 100m を有する山岳トンネルである。事前破線解析結果から発破法での探査が必要となったが、探査測線上には公園用地及び保安物件が存在し、火薬の消費ができない状態であった。そのため本調査では火薬の代わりに破砕剤、重錘、カケヤを組み合わせて弾性波探査を実施した。

2. 地形・地質概要

調査地周辺は標高約360m の小起伏山地に位置する。調査地の地質は基盤岩として第四紀中新世中期の砂質シルト岩及びシルト岩が分布し、更新世中期の段丘堆積物に被覆されている (図-1)。

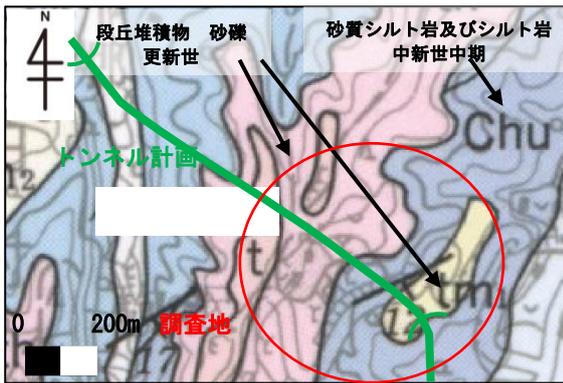


図-1 調査地付近の地質図¹⁾

3. 調査方法

計画されているトンネルの形状はカーブしているため、測線は2分割し、計0.94mの測線長であり、受信点間隔は高密度に5m 間隔で設置した (図-2)。

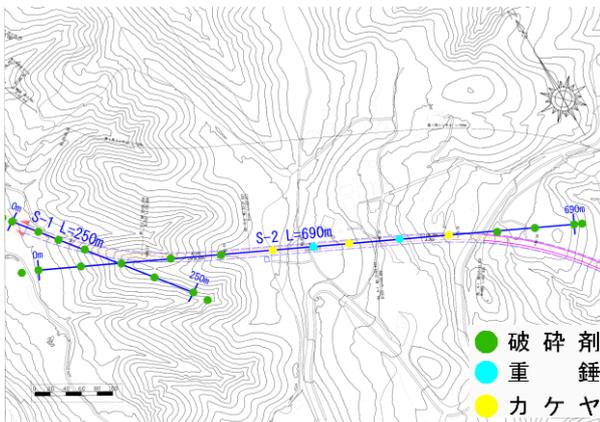


図-2 弾性波探査計画 起振点

探査前に実施した事前破線解析結果より、測線1では解

析破線がトンネル計画高まで通過することを確認できる (図-3) が、測線2において解析破線はトンネル計画高を通過していないため (図-4)、解析精度を確保できない状態となっている。そのため当初の計画では解析精度を確保するために、火薬と破砕剤の使用を想定していた。しかし探査測線上の公園内、民家での火薬の使用許可が下りなかったこと、用地付近に道路があること等の理由から火薬は使用できない状態にあった。

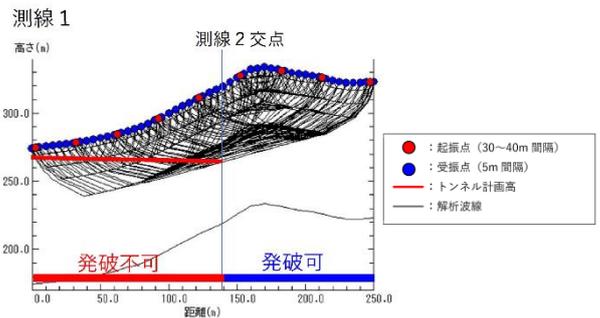


図-3 測線1 事前破線解析

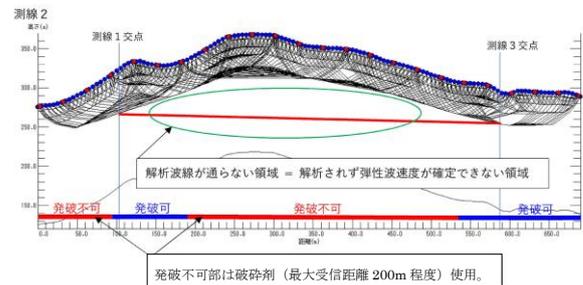


図-4 測線2 事前破線解析

その一方で地山の状況を確認するために現地踏査を実施したところ、比較的標高の高い沢部で露岩していることが確認された (写真-1)。以上のことから起震の際に発生する弾性波の岩盤への到達が早くなることから、探査精度はある程度確保可能と判断し、破砕剤、重錘、カケヤでの探査を計画した。

破砕剤では起振の際に発生する起振エネルギーが火薬より劣るため、事前破線解析結果よりも更に探査精度が落ちることが懸念される。そのため安全上問題のない沢部において、破砕剤の量を倍量にすることで解析精度の確保を図ることとした。また公園用地内は発破ができないため、重錘落下装置 (写真-2) 及びカケヤでの起振を実施した。



写真-1 泥岩層と段丘砂礫層の境界



写真-2 重錘落下装置

4. 調査結果

弾性波探査解析にはトモグラフィ法を実施した。トモグラフィ法では解析結果として地盤の速度分布と破線の分布が得られることから、破線が通過していない格子の解析結果については妥当性がないこととなる。よってトンネル計画高を破線が通過しているかどうか重要となる。図-5に示すように、測線1では210m～250m 区間において破線のトンネル計画高の通過は認められない。トンネル計画高において破線が通過する割合を示す破線通過率は約84%である。また測線2では距離140～270m 区間において破線のトンネル計画高の通過は認められず、破線通過率は約81%となった（図-6）。

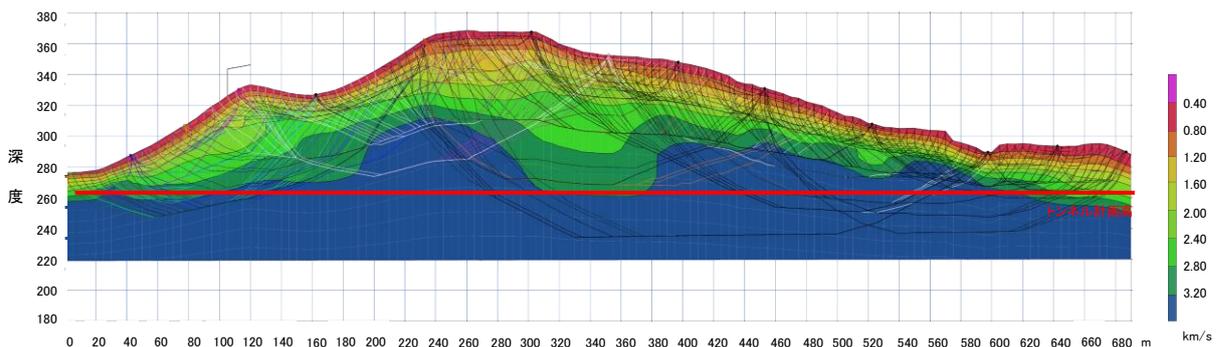


図-6 測線 2 破線図

2つの測線上の破線通過率はどちらも80%を超えており、高密度解析結果図としてはおおむね妥当である結果を得られた。

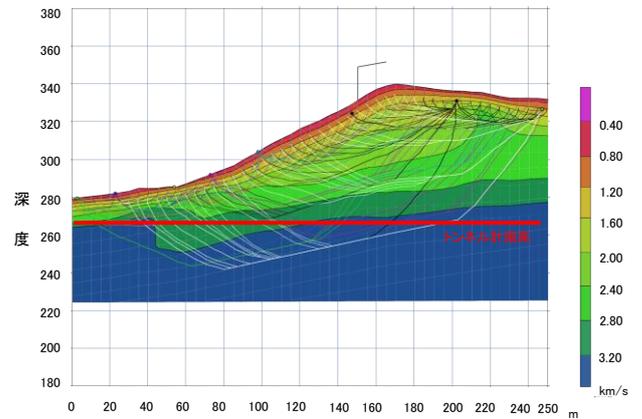


図-5 測線1破線図

5. 考察

破砕剤を使用した本弾性波探査だが、トンネル計画高の通過率は約80%以上となった。事前破線解析結果より破線通過率が増加した要因として、破砕剤の量を増加したこと、比較的標高の高い沢部で露岩していたこと及び岩盤の速度値が高かったことから破線通過率が増加したと考えられる。

6. おわりに

本弾性波探査は、土被り100m以上のトンネル計画の弾性波探査において、公園や民家等の保安物件が近く、火薬の使用が不可な場所での破砕剤、重錘落下装置、カケヤでの弾性波探査を実施した事例である。

調査地の地質条件を踏まえたうえで探査計画を立てることの重要性を本業務から学ぶことができた。

《引用・参考文献》

- 1) 5万分の1地質図幅 寄居 (1992) (に加筆)

急斜面での弾性波探査における独立型記録装置の適用事例

サンコーコンサルタント株式会社 ○根本 和秀, 江元 智子, 赤嶺 辰之介, 山中 義彰

1. はじめに

トンネル設計のための地質調査には弾性波探査が有効な手段のひとつである。道路整備事業が進められる中で、急峻な山岳地でのトンネル建設事業が計画され、通常のテイクアウトケーブルを使用した受振器の設置が困難な急斜面を含む事例もある。この場合、受振点を減らすとデータの品質低下に関わり、一方で設置作業に際してザイルワークによる作業を強行すると危険性が増す可能性がある。本発表では、急斜面での受振点設置のため、テイクアウトケーブルが不要な独立型記録装置の適用事例を紹介する。

2. 背景

調査地は尾根と谷が連続する急峻な山岳地で、一部に傾斜70～80°の急斜面や、オーバーハングが見られる急崖が存在したため、受振器の設置が出来ない場合90mの欠測区間が生じてしまうことから、ザイルワークによって急斜面を昇降し、受振器を運搬する措置をとった。しかし、通常の探査で用いるテイクアウトケーブルや電話線は長くて取り回しが難しく、ザイルと干渉したり、運搬中に受振器を落下させたりするなど安全性が確保できない懸念があった。また、調査地が奥地にあるため、作業時間に制約があり、ザイルワークをしながら測定準備に関わる複雑な作業を短時間で行うのは困難であると考えられた。

3. 方法

安全性と作業の複雑さの課題を解決するため、独立型記録装置を用いた(図-1)。この記録装置は一辺15cm程度、重量1.6kgで、取り回しが簡便であり、一台につき受振器を一個接続できる。独立型記録装置の電源を起動するとデータ収録が自動で開始され、内蔵されたSDカードに記録されるため、複雑な操作やテイクアウトケーブルが不要である。測定時の時刻は、独立型記録装置に付属するGPSによって取得した。測線のうち、急斜面の区間で独立型記録装置を使用し、それ以外の区間は通常のケーブルを用いて展開した。

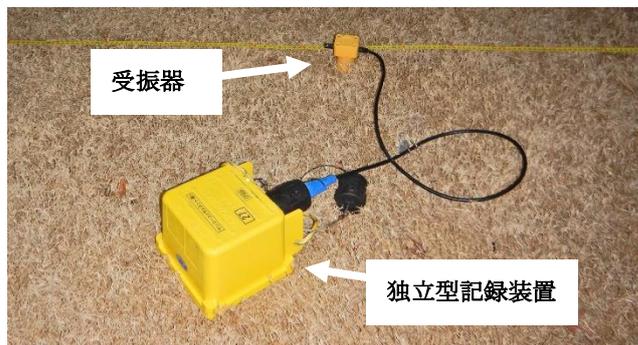


図-1 独立型記録装置

4. 適用による効果

(1) 記録装置設置作業への効果

急斜面の昇降および独立型記録装置の運搬はザイルワークで行った(図-2)。装置はリュックに入れて運搬できたため、ザイルワークの支障にならず、作業の安全性を確保することができた。

さらに、前項で述べたようにデータ収録が簡便であるため、ザイルワークによる設置作業から測定に至るまでの作業を円滑に進めることができた。

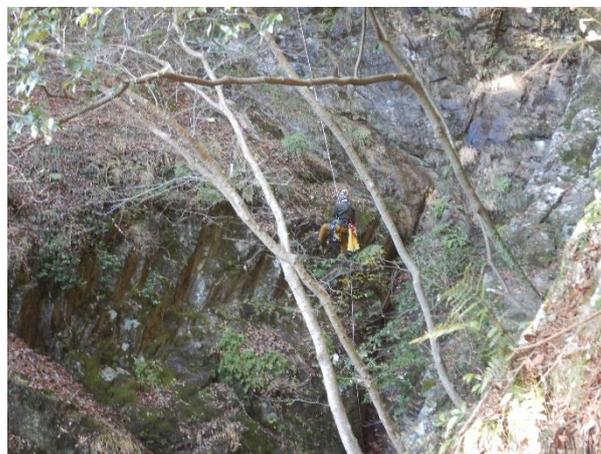


図-2 ザイルワークでの急斜面移動の様子

(2) データ収録への効果

探査作業では、受振点間隔を10mとして、独立型記録装置を12点に設置した。うち3点は通常のテイクアウトケーブルによる展開の区間とオーバーラップさせ、波形記録の時刻同期に用いた。

テイクアウトケーブルを用いる探査方法では9点の受振点が欠測区間となることが想定されたが、記録装置を用いることでこれらの受振点のデータを得ることが出来た。

(3) 解析結果への効果

解析に際し、独立型記録装置を用いた展開の区間および通常のテイクアウトケーブルによる展開の区間の両方で、初動走時の読み取りを行った。独立型記録装置の波形記録は時系列データとなっているため、オーバーラップさせた有線区間のデータの初動走時と照合することで、オーバーラップさせた受振点以外の初動走時を算出した。測定した波形記録は初動を明瞭に読み取ることができ(図-3)、走時曲線を作成するのに十分な品質のデータであった。

はざとり法解析の結果、当該測線は4つの速度層に分けることができ、急斜面の区間は第一層から第三層までの層厚がきわめて薄いことがわかった。急斜面はほとんどが岩盤斜面となっており、はざとり法解析の結果は現場状況と整合する。また、地山の色速度値が5.2km/s と高い値を示し、地山状況は良好と考えられた。独立型記録装置で得られたデータも通常通りの解析に使用することができ、通常のテイクアウトケーブルによる展開の区間と同様の精度の解析結果を得ることができた。

5. まとめ

急斜面での弾性波探査に独立型記録装置を用いた事例で、次のような知見が得られた。

- ①長いケーブル類(テイクアウトケーブル)が不要なため、ザイルワークの支障にならず、作業の安全性を確保できた。
- ②テイクアウトケーブルを用いる通常の探査方法では欠測区間にせざるを得ない場所に受振点を設置できたため、当初の探査計画通りの受振点数を確保することができた。
- ③測定した波形記録は、テイクアウトケーブルを用いる通常の波形記録と同様に、初動読み取りに十分なデータ品質であった。
- ④解析結果は現場状況とも整合し、テイクアウトケーブルを用いる通常の展開方法と同様の精度の解析結果を得ることができた。

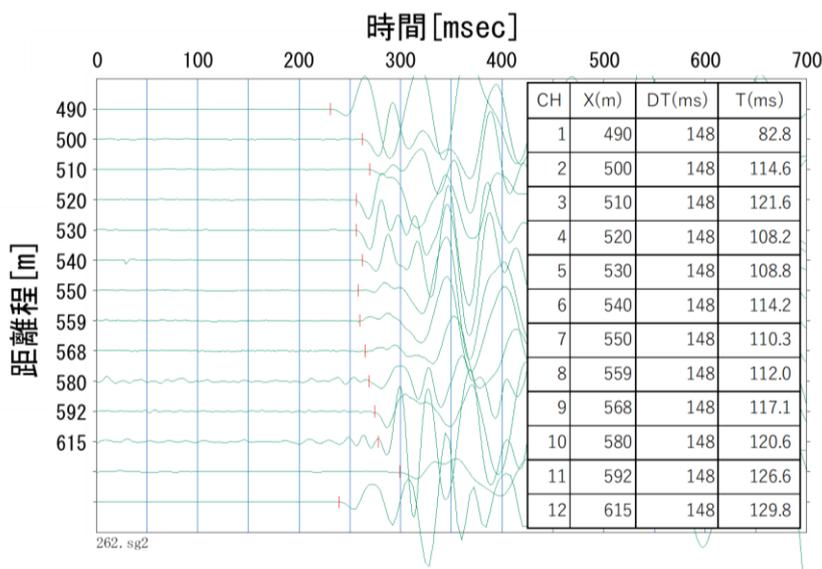


図-3 独立型記録装置で得られた波形記録

牽引式電気探査による堤体及び基礎地盤の効率的な調査

応用地質株式会社 ○田中 悠暉, 上野 俊幸, 謝 建明

1. はじめに

長大な線形の防災構造物である河川堤防は、1箇所での越水や決壊でも堤内地に甚大な浸水被害をもたらすことから、効果的かつ効率的な維持管理が求められる。沖積河川では氾濫平野や旧河道といった複雑な基礎地盤上に堤防が整備されるが、堤体も嵩上げや拡幅等が繰り返されて現在の形状となっており、堤体および基礎地盤の構造を把握することが重要である。

そこで本論文では、牽引式電気探査を用いた堤体および基礎地盤の土質構造の把握事例を紹介する。A川およびB川において牽引式電気探査を実施し、電気探査から得られる比抵抗値と簡易ボーリングの採取試料から得られる細粒分含有率の関係から土質区分の閾値の参考とし、さらに地下水位の影響も考慮して土質構造を把握した。

2. 牽引式電気探査の概要

電気探査は地盤内に電気を流し、電気の流れにくさ(電気抵抗)を測定し、地盤内の比抵抗値を推定するものである。一般的に、高比抵抗値を示す場合は砂質土や礫質土と推定され、低比抵抗値を示す場合は粘性土として推定される。牽引式電気探査はキャパシタ電極を利用することにより、電極棒を地盤内に打設することなく測定ができる。このため、牽引式電気探査は従来の電極設置型の電気探査と比較して測定時間が1/2~1/3程度と短く作業効率が良いほか、探査費用も電極設置型の電気探査よりも1/2程度に抑えられる。

図-1は牽引式電気探査の測定状況である。牽引式電気探査の測定深度は、同図の送受信機の間隔により変更でき、必要な深度までの比抵抗値が得られるように同一測線で複数回測定する。なお、1日あたりの探査可能な測線長は1km程度である。

電気探査は地盤の比抵抗値を連続的に把握することができるが、飽和度や鉱物等によって比抵抗値は変化する。このため、対象地の土質構造を把握するためには、土質と比抵抗値を比較する必要がある。なお、土質構造の把握は、仮設が不要な簡易ボーリングによって確認した。

3. A川における探査事例

図-2はA川での調査範囲および周辺の迅速測図である。明治初期において、当該地点の堤防は既に整備されており、堤防川裏は水田として利用されてきた。

図-3a), b)はそれぞれ地下水位以下の比抵抗値コンターを明確にするため、比抵抗値の表示レンジを変化させた比抵抗値の堤防縦断分布図である。なお、同図には簡易ボーリングや既往ボーリング調査結果、地下水位も示



図-1 牽引式電気探査の測定状況例

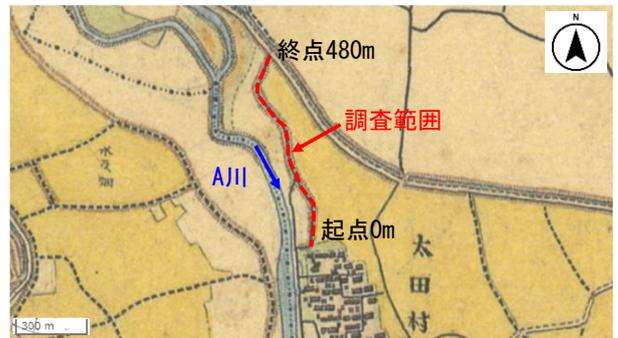
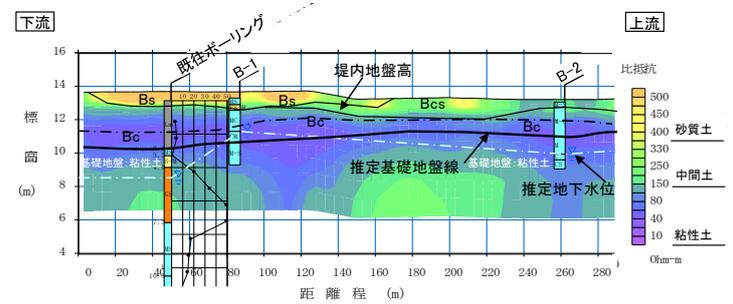
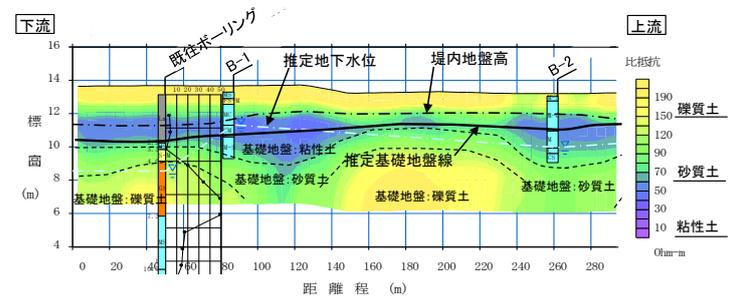


図-2 A川の調査範囲及び周辺の土地利用状況 1)に加筆



a) 比抵抗値と F_c のみで閾値を設定した場合



b) 地下水位の影響も考慮した場合

図-3 A川における調査結果の抜粋(縦横比 1:10)

している。また、図-4はA川での比抵抗値と細粒分含有率 F_c の関係を示し、図中に示す土質区分の閾値を参考として図-3b)の土質区分を行った。

まず、地下水位を考慮しないレンジ幅の広い比抵抗分布図-3a)に着目すると、天端からGL-1.0m程度までは

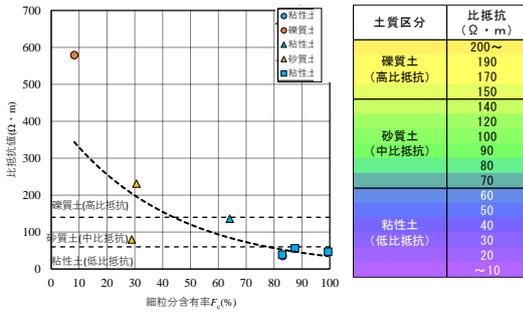


図-4 A川における比抵抗値と F_c の関係

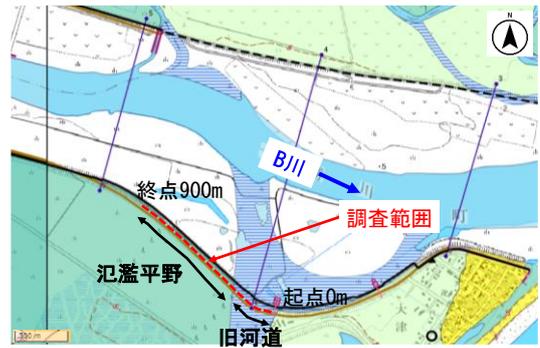


図-5 B川の調査範囲及び地形地質分類図 2)に加筆

比抵抗値が $150 \Omega \cdot m$ 程度以上と相対的に高比抵抗であるが、土質は砂質土を混入する粘性土が主体である。特に距離程 $0 \sim 120m$ での高比抵抗部では、堤防天端の砂利舗装により高比抵抗値を示したものと推察した。また、GL-1.0~2.0m 程度までの比抵抗値は $50 \sim 120 \Omega \cdot m$ 程度と相対的に低比抵抗で、土質は粘性土が主体であり探査結果と整合する。

一方、地下水位以深に着目したレンジ幅の狭い比抵抗分布図-3b)では、比抵抗値が $30 \sim 70 \Omega \cdot m$ 程度の粘性土の下層に $70 \sim 150 \Omega \cdot m$ 程度の砂質土および $150 \Omega \cdot m$ 以上の礫質土が分布していると推察でき、簡易ボーリングおよび既往ボーリング結果で確認された土質区分と整合し、網羅的に土質構造を把握できた。

4. B川における探査事例

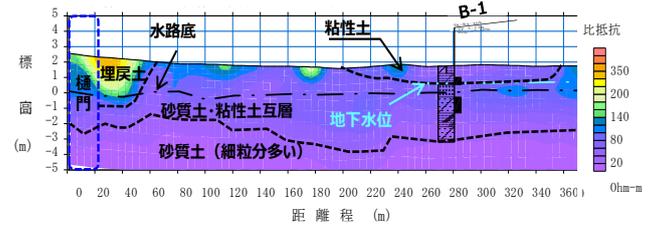
図-5 は B 川での調査範囲および地形地質分類図である。当該地点、氾濫平野および旧河道に該当する。

図-6a), b) はそれぞれ比抵抗値の表示レンジを変化させた比抵抗値の堤防縦断分布図である。なお、同図にも簡易ボーリングにより作成した柱状図と、地下水位を示している。また、図-7 は B 川での比抵抗値と F_c の関係を示し、図中に示す土質区分の閾値を参考にして図-6a) の土質区分を行った。

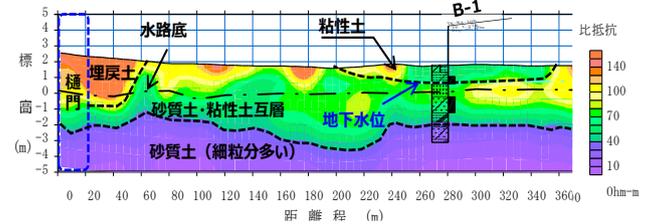
まず、地下水位を考慮しないレンジ幅の広い比抵抗分布図-6a)に着目すると、全体的に比抵抗値が $20 \sim 100 \Omega \cdot m$ 程度と相対的に低比抵抗であるが、土質は砂質土も主体としている。これは、簡易ボーリングを実施した地点の地下水位が GL-1.15m と浅く、深さ方向に対して土質と比抵抗値が整合していないことが影響していると推察した。一方、地下水位以深に着目したレンジ幅の狭い比抵抗分布図-6b)に着目すると、距離程 $60 \sim 180m$ 付近の地表面付近では $100 \Omega \cdot m$ 以上と相対的に高比抵抗であり、砂質土を主体とする。また、標高+2~-3m 付近では比抵抗値が $40 \Omega \cdot m$ 以下となっており、簡易ボーリング結果で確認された土質区分と整合性が高く、地下水位以下で判別が困難な土質構造を把握できた。

5. まとめ

河川毎に比抵抗値と細粒含有率 F_c の関係を整理し



a) 地下水位を考慮しない場合



b) 地下水位を考慮した場合

図-6 B川での調査結果の抜粋(縦横比 1:10)

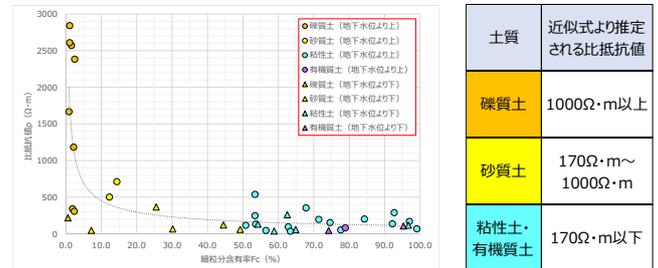


図-7 B川における比抵抗値と F_c の関係

て土質の閾値を設定することで、土質構造を縦断方向において連続的に把握することができた。

また、地下水位以深の基礎地盤の土質構造の把握では、比抵抗値の閾値と表示レンジを狭くすることで、基礎地盤の土質区分の違いを把握しやすくすることができた。

《引用・参考文献》

- 農研機構農業環境研究部門：歴史的農業環境閲覧システム(最終閲覧日2024. 5. 24), https://habs.rad.naro.go.jp/habs_map.html?zoom=13&lat=36.08382&lon=140.19843&layers=B0
- 国土地理院:地形地質分類図(最終閲覧日2024. 5. 24), <https://maps.gsi.go.jp/#15/42.689786/143.639545/&base=ort&ls=ort%7C1cmfc2&blend=0&disp=11&vs=c0glj0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1d&m>