

中部ミニフォーラム
優秀賞・奨励賞



優秀賞

老朽化した ダム減勢工における電気探査事例

中央開発株式会社中部支店 ○山下 大輔 / 中央開発株式会社関西支社 矢野 晴彦

1.はじめに

本論文は、完成から長期間が経過し老朽化したダムの減勢工部において、顕在化した変状の原因解明および対策工のための基礎資料を得る目的で実施した地質調査事例である。減勢工は特に左岸側で変状が大きく、コンクリート継目で最大200mmのズレを生じていた。また、導流壁には隅角部を中心にクラックが分布しており、恒常的な湧水を生じていた。これら変状の発生原因を特定するため、減勢工導流壁背面において電気探査と調査ボーリングを実施した。

2.電気探査測線の設定

当該ダムの基盤地質は丹波層群II型地層群に区分され、砂岩・頁岩が主体をなす。丹波層群中には、水平変位量が100mに達し、厚い破碎帯を伴う「F-0断層」が左岸側導流壁を横断して分布することが知られていた。また、導流壁の背面は埋土が施工されている。

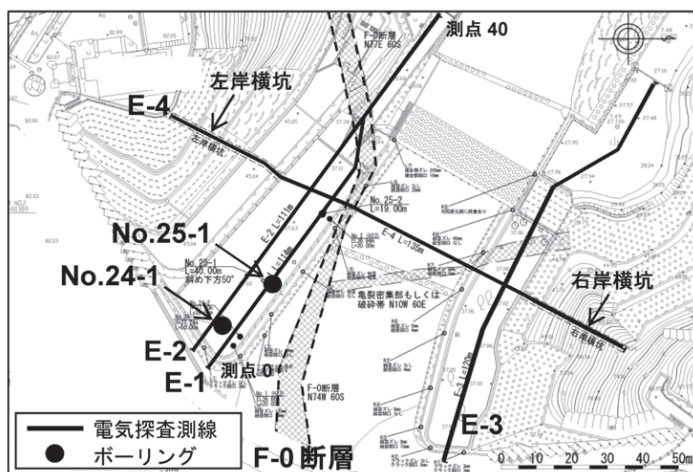
探査測線の設定に当たっては、埋土層の状態及びF-0断層の分布を把握できるような配置とした(図-1)。

なお、現場はV字型の谷地形に建設されたダムの直下流にあたり、減勢工自体も河床からの比高が約20mと非常に起伏に富んだ地形であり、電気探査測線を展開するのに不利な条件であった。このため、図-2に示すように、縦断測線(E-1・E-2・E-3)では測線端部を導流壁の下に設置することで深部のデータを与え、データ欠損の補完を行った。また、横断測線(E-4)では左右岸減勢工背面に位置する横坑を利用することで測線の起伏を抑え、深部まで高精度なデータ取得ができるように工夫した。

電気探査は電極間隔を3mとし、水平方向の地質構造に解像度が良いウェンナー配列と、垂直方向の地質構造に解像度が良いエルトラン配列の両者を併用することで、探査精度の向上に努めた。

これらに加え、減勢工の変状の一因と考えられる導流壁背面の埋土層中の地下水の状態を把握するため、「比抵抗差分法」を採用した。

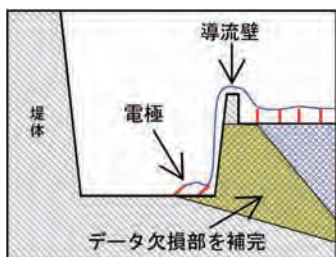
※比抵抗差分法:電極配置をそのままに、1回目の測定に対し測定電圧を変化させて2回目の測定を実施する。この電圧変化により電流電位の発生箇所が蓄電(チャージ)さ



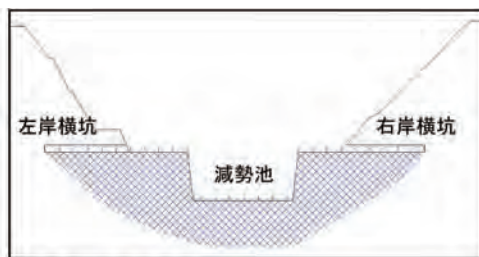
測線諸元

測線名	測線長 m	測点間隔 m	備考
E-1	114	3	左岸側 縦断測線
E-2	111	3	左岸側 縦断測線
E-3	120	3	右岸側 縦断測線
E-4	135	3	横断測線
合計	480		

図-1 電気探査およびボーリング配置平面図



※縦断測線の端部は、データの欠損を補完するために、電極を導流壁の下に設置した。



※埋土部と横坑は同レベルにあり、測線の起伏を押さえることができる。減勢池下部の十分な深度まで、精度の良い探査が可能となった。

図-2 深部までデータ取得するための工夫

れ、さらに大きな電流電位が生じ、結果として比抵抗値がより小さく変化する。これを分布図として表わすことで、断面分布上で地中水の被圧流動の大きさが比抵抗変化率の大きさとして取り出すことができる。

3.調査結果

例として、E-1測線における調査結果を図-3に示す。また、図には電気探査結果を踏まえて実施した調査ボーリング(No.25-1;L=40m, 45°斜め下方)結果および既存ボーリング結果を合わせて示す。

電気探査による比抵抗分布とボーリング結果による地質区分は良い対応を示し、比抵抗コンターが水平に近い箇所が埋土層、垂直に近い箇所が岩盤にそれぞれ対応した。また、埋土中の玉状～層状高比抵抗部は玉石層、レンズ状をなす低比抵抗部が粘性土層にそれぞれ対応した。

測点No.18～22付近に不明瞭であるが比抵抗コンターの屈曲部が分布するが、これをF-0断層と想定した。ボーリングを実施した結果、粘土～砂～礫状を呈する2条の断層破砕帯を確認した。

比抵抗差分法の結果、GL-10m(HL+27m)以浅の埋土中に玉状の地下水流動部が複数認められた。ボーリング結果と比較すると、粘性土層上面を中心に分布することが分かった。既設水位観測孔による地下水位はGL-15m(HL+22m)付近に確認されているため、これらは地下水位より上位に分布するものと考えられる。左岸側で実施したE-1・E-2測線の比抵抗変化率分布が大きい箇所を比較した結果、両測線で対比可能であったことから、これらは水みちをなしている可能性が高いと考えられる。

また、調査ボーリングの結果、埋土層は非常に不均質であり、礫間の細粒分が流失し、緩んだ箇所が随所で認められたほか、比抵抗差分法による比抵抗変化率が大きかった箇所では、含水により軟質化した粘土混じり砂礫層として確認された。

4.減勢工の変状原因

調査の結果、減勢工の変状原因として、①不均質な埋土層において緩みや空隙等の存在により土粒子間のせん断強度が低下し、埋土層が不安定化したこと、②地下水および水みちにより土層に間隙水圧が作用することで、減勢工で最も応力が集中しやすい隅角部に大きな変状を発生したことが、主な要因であると考えられる。

5.今後の展望

本論文で実施した「比抵抗差分法」は、近年、道路トンネルの地下水調査や深層崩壊地の水みち調査等に利用されるケースがあるが、現時点ではオーソライズされた手法ではない。今回の調査結果では、特に浅層において地質構成、地中水の状態と非常に良い相関を示したことから、地下水・水みち等の調査において有効な手法であると考えられ、今後、広く展開されていくことが望まれる。

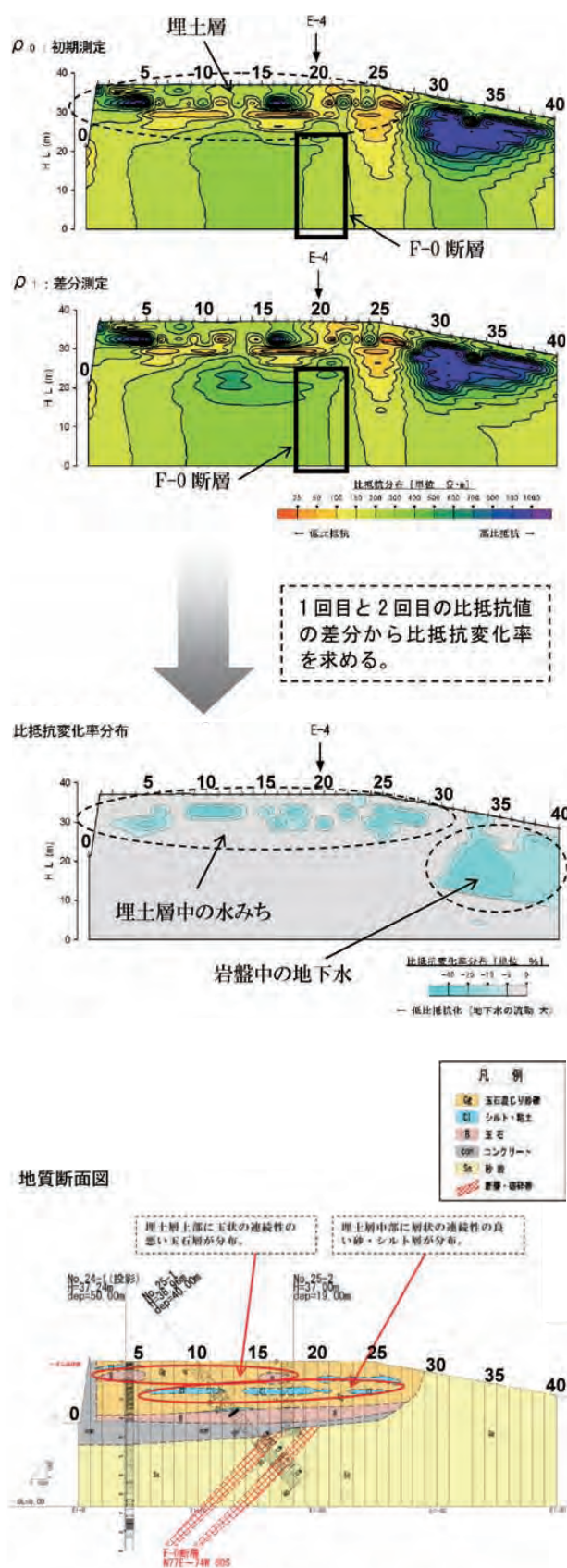


図-3 E-1測線調査結果

奨励賞

弾性波探査による 老朽化した吹付法面の調査事例

応用地質株式会社 ○鈴木 和也 / 応用地質株式会社 青木 龍一郎

1.はじめに

昭和30年代後半から整備されてきたコンクリートやモルタル吹付法面は、建設後40年以上が経過しており、その多くで老朽化が進行している。また、老朽化に伴う法面の崩壊事故が発生した事例もあり、南海トラフによる地震も切迫している昨今では、法面の健全度を評価するための調査が積極的に実施されている。

老朽化した吹付法面の健全度調査としては、熱赤外線映像法やハンマー打診法、調査ボーリング、弾性波探査等の手法が挙げられる。これらの中でも弾性波探査は、現地踏査や他の調査結果と組み合わせることにより、簡便かつ面的に背面地山の状況を推定することができるため、有効な調査手法の一つといえる¹⁾。

本報文では、老朽化した吹付法面の健全度調査における、弾性波探査の適用事例について報告する。

2.調査地の概況

調査地周辺の地形は、比高差200m程の急峻な山地と海岸沿いの狭隘な低地に大別され、宅地の多くは、海岸沿いの低地に密集している。このため、宅地の背面では多くの箇所に、吹付によって保護された法面が整備されている。

地質は、白亜紀後期の四万十帯からなり、成層した砂岩泥岩互層で構成される。地表に露出する岩盤の多くは、土砂状～網目状に割れ目が発達し、風化により岩芯まで軟質化している。

調査の対象とした吹付法面は、昭和50年代に整備された法面であり、多数のヘアークラックが認められる他、一部では吹付のはらみ出しも生じている。

3.調査手法の検討

調査は、クラックやはらみ出しの原因および対策の要否を判定する目的で実施した。

クラックの原因としては、主に吹付自体の劣化と法面背面の地山の劣化に起因する変状が考えられる。そのため、吹付自体の劣化についてはハンマー打診法および目視観察による法面調査を実施した。

法面背面の地山に対しては、弾性波探査を実施することとした。法面の掘削によって地山の劣化が生じると、地山の速度構造は掘削前の状況から変化し、法面に沿って低速度部が垂れ下がるような構造になることが多い(図-1)。

そのため、掘削によって地山の劣化が生じている場合、吹付法面縦断方向の弾性波速度構造を把握することで、地山の劣化の有無を推定することができる。

そこで、法面背面の地山状況については弾性波探査と現地踏査を併用した調査を行うこととした。

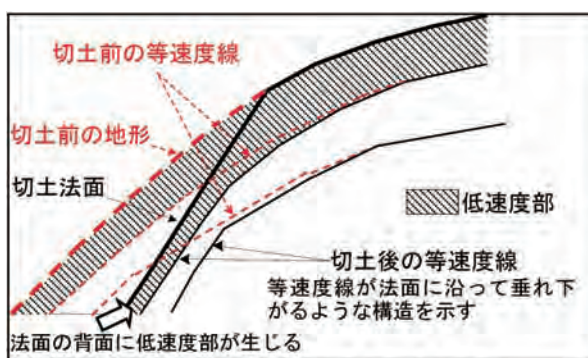


図-1 経年劣化による弾性波速度構造の変化

4.弾性波探査の概要

弾性波の起振には、一般に火薬を使うことが多いが、調査対象の吹付法面直下には民家が近接しているため、振動や騒音による影響の少ないカケヤによる起振を行った。地震計は、表層地盤の詳細な速度層の把握が重要であるため、吹付法面上では1.0～2.0mの間隔で設置し、その上方斜面では2.5～5.0mの間隔とした。なお、吹付区間の測定に当たっては、吹付の影響を排除するため、吹付に径3cm、深さ20cm(吹付厚+10cm程度)の孔を穿孔し、地山内に地震計を挿入することで対応した(図-2)。

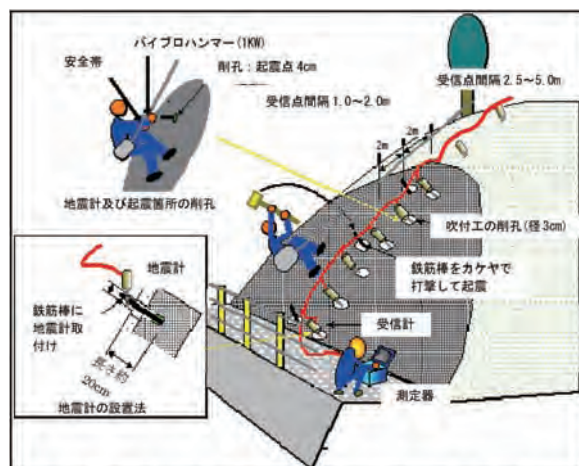


図-2 弾性波探査の測定概要(吹付法面区間)

5.弾性波探査結果

背面地山の弾性波速度は最深部で約4.0km/secとなっており、等速度線の間隔は概ね3.0~5.0mとなっている。

法面部では3.0km/sec以下の等速度線が深度4.0m未満の間で密になっており、表層1.0m程度の範囲には、0.9km/sec以下の低速度部が認められる(図-3)。

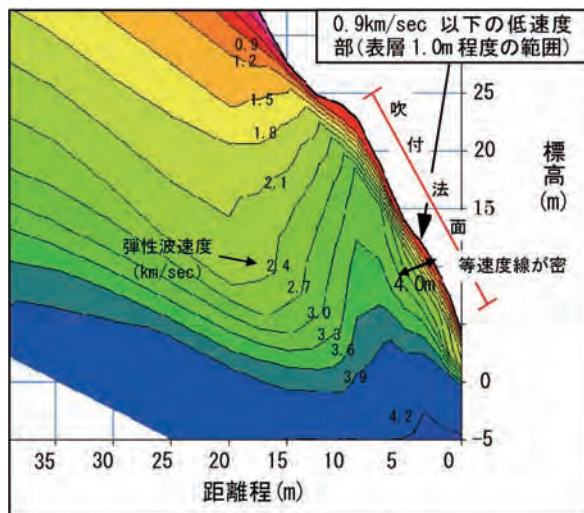


図-3 弾性波探査結果図

6.クラックの発生原因及び対策の要否に関する検討

現地踏査の結果、吹付法面上方の地山表層には土砂化した強風化岩が分布し、その下部には、風化により岩芯まで軟質化した、開口亀裂が多数発達する岩盤が分布していることが明らかとなった(写真-1)。

これらの岩盤が分布している範囲では、傾斜30°程度の

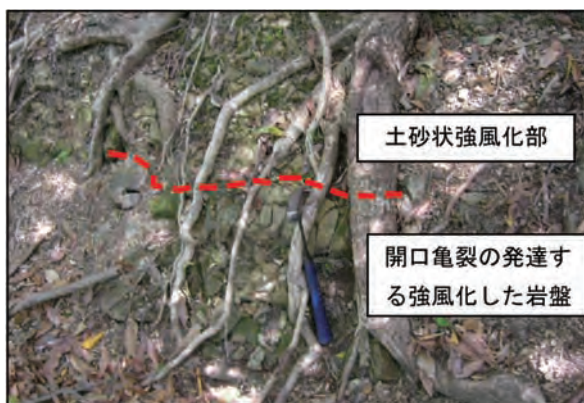


写真-1 土砂状強風化部と開口亀裂の発達する岩盤の境

自然斜面でも崩壊している様子が認められた。このことから、これらの岩盤が傾斜60~70°の法面部に分布している場合、変状の原因となっている可能性があり、将来的にも不安定化する可能性があると考えた。

そこで、弾性波探査結果を利用し、法面部におけるこれらの岩盤の存在の有無について検討することとした。

現地踏査結果によると、土砂状強風化部の厚さは、吹付法面上方の斜面表層で1.0m程度となっている。一方弾性

波探査結果では、表層1.0m程度の範囲に対応する速度は、0.5km/sec以下であるため、0.5km/sec以下の範囲を土砂状強風化部とした。

土砂状強風化部の下部に分布している緩みの進んだ強風化岩の厚さは、既往の崩壊深および現地の露出状況から、厚さは1.0~3.0m程度と推定し、弾性波探査結果で同程度の深度及び厚さに相当する0.5~0.7km/secの範囲を、緩みの進んだ強風化岩部とした。なお、0.7km/sec以上の範囲については、現地状況から安定な岩盤と推定した。

上記の推定に基づくと、法面部では土砂状強風化部と想定される0.5km/sec以下の範囲は認められないものの、緩みの進んだ強風化岩部と想定される0.5~0.7km/secの範囲は深度1.0m程度まで認められる(図-4)。

以上から、吹付法面に生じている変状は、吹付面自体の劣化に加え、背面地山の劣化に起因している可能性があるため将来的にも不安定化が進むと判断し、補強等の安定化対策が必要と判定した。

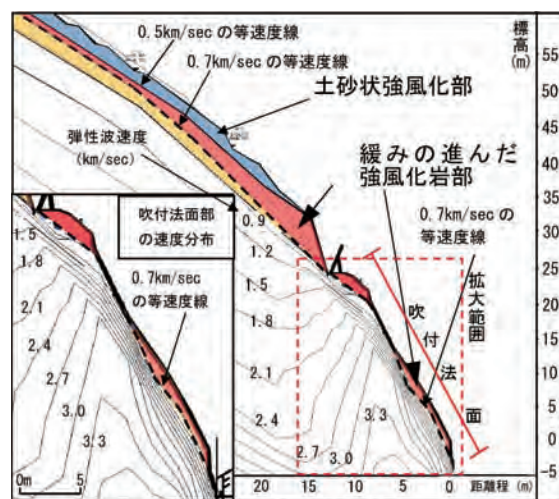


図-4 推定地質断面図

7.おわりに

本報文では、老朽化した吹付法面の健全度調査に弾性波探査を適用した事例を紹介した。

弾性波探査は背面地山の劣化の有無や、その範囲を推定することが出来るため、老朽化した法面の健全度調査においても有用な手法の一つである。

中部地域は、他の地域に比べると急峻な斜面が多くみられる地域であるといえ、海岸沿いの斜面に限らず、これまでに多数の吹付法面が整備されている。これらの多くが今後更新期を迎えることから、弾性波探査による吹付法面の健全度調査も今後増加するものと考えている。

私は、今回の調査で得た経験を活かし、一人の技術者として安全、安心な社会の構築に貢献していけるよう努めていきたい。

引用・参考文献

- 1) 社団法人物理探査学会斜面等健全検討研究委員会：老朽化吹付け法面の調査・対策の手引き, pp.31~59, 2006.9