

琉球石灰岩中の空洞・流入粘土の物理探査事例

日本物理探査株式会社 ○金城亜祐美, 高久和彦, 田中剛, 千鳥雅由

1. はじめに

沖縄県中南部に分布する琉球石灰岩は、空洞を形成することが多く、沈下や陥没等の被害をもたらす問題がある。今回、新設道路の掘削工事にて、琉球石灰岩中に粘性土露頭が切土面に表れた(図-1白点線内)。この粘性土



図-1 流入粘土が表れた切土面

による道路の沈下や空洞による陥没の危険性が懸念されたため、その分布(範囲、深度)を調べることとなった。

2. 沖縄島中南部の地質

沖縄島中南部は、概ね難透水層である島尻層群泥岩を基盤とし、その上位に透水性の高い琉球石灰岩、地表を島尻マーヅと呼ばれる粘性土が被覆する3層構造となっている(図-2)。雨水は、島尻マーヅや琉球石灰岩の中を浸透して島尻層群泥岩上面を流下しており、空洞や鍾乳洞はその過程で形成されると考えられている。

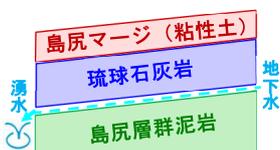


図-2 地質概略図

3. 調査手法の選定

掘削工事で確認された粘性土分布の把握を目的に、既存地質資料に基づき調査深度を想定した。また、現地の特徴を踏まえて、表-1に示す3種類の調査手法を選定した。

電気探査は、粘性土確認区間を中心に道路縦断方向に4m間隔でL=160m×3 測線とし、地中レーダ探査は周波数200MHzのHS(ハイパースタッキング)アンテナを用いて区域L120m×W=7mを1m間隔で探査を行った(図-3)。

表-1 計画した調査手法とその特性・長所・短所

項目	電気探査 (2極法)	地中レーダ探査 200MHzHS777	調査ボーリング
調査深度	10m (泥岩深度まで)	約3m (琉球石灰岩中)	10m (泥岩確認)
特性	2次元的な比抵抗分布を得る	電磁波の反射から地下の情報を得る	土層構成と空洞の有無を把握
長所	地形補正可 調査深度10~	簡易で安価 2次元平面図化可能	客観的な土質情報 地下水位確認
短所	琉球石灰岩硬質部と空洞の区別不可	調査深度が浅い 平坦地のみ探査可	点の情報



図-3 電気探査(左)と地中レーダ探査(右)

4. 物理探査及び調査ボーリングの結果

(1)電気探査

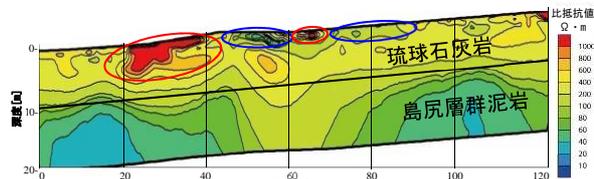


図-4 電気探査断面図

図-4に示すように、地表部に高比抵抗部(○)と低比抵抗部(○)の分布が確認された。また、既存地質資料を参考に、GL-10m付近を琉球石灰岩と島尻層群泥岩の地層境界と推定した。

(2)地中レーダ探査

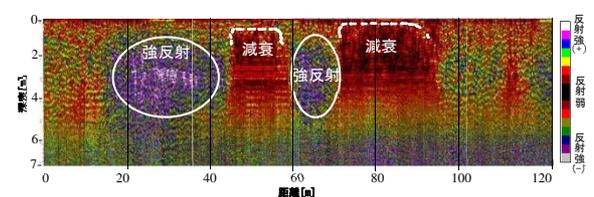


図-5 地中レーダ探査断面図

図-5に示すように、レーダ波の強反射部(白紫)と減衰部(赤黒)のコントラストが明瞭に表れ、想定よりも深いGL-5m程度までの反射信号が得られた。しかし、減衰区間では地表部のみデータしか得られなかった。

電気探査と地中レーダの結果を比較すると、高比抵抗帯と強反射区間、低比抵抗帯と減衰区間が一致することが判った(図-4,5)。調査ボーリングを行う地点は、各探査の代表的な異常箇所を選定した。

(3)調査ボーリング



図-6 ボーリングコア(B1)

図-7 ボーリングコア(B2)

①B1(図-6)…レーダ波が強反射し、電気探査にて高比抵抗を示した深度は、琉球石灰岩中に多数の空洞が確認された。なお、硬質で密な結晶質石灰岩は確認されなかった。

②B2(図-7)、B3…レーダ波が減衰し電気探査にて高比抵抗を示した箇所では、琉球石灰岩の割れ目を埋めるように粘性土が確認された。また、B2においては、琉球石灰岩と島尻層群泥岩層境界を、付近のボーリングで確認された深度より1.55m深い位置にて確認し、その1.55m区間にはその深度と同じ厚さの地下水層があった。以上から、この地下水は島尻層群泥岩上面を流下する“水みち谷”となっている可能性を示している。

5. 結果のまとめ・物理探査の整合性

表-2に示したとおり、今回実施した電気探査、地中レーダ探査及び調査ボーリングの結果から、それら2つの物理探査手法には整合性が認められる。

表-2 物理探査結果と調査ボーリング結果の対比

探査結果		調査ボーリング結果
電気探査(図-4)	地中レーダ(図-5)	(図-6,7)
高比抵抗(暖色)	強反射(白紫)	空洞
低比抵抗(寒色)	減衰(赤黒)	琉球石灰岩 +粘性土

6. 考察: 粘性土の分布と水みちについて

電気探査の高比抵抗帯と地中レーダ探査の強反射区間の拮がりを平面的にとらえることにより、粘性土の分布範囲の把握を試みた。

(1)電気探査結果

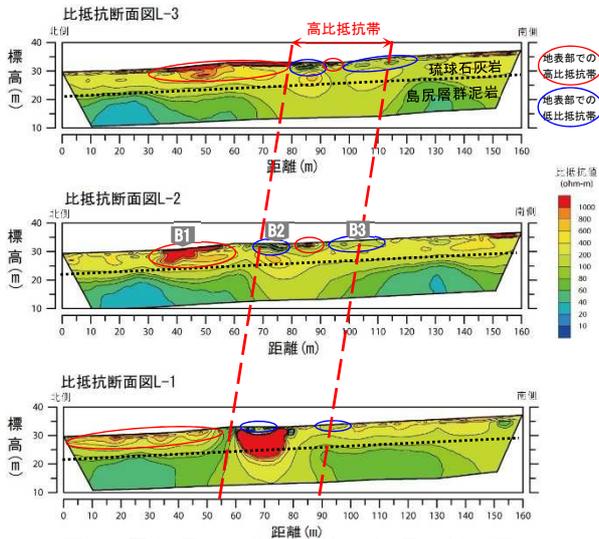


図-8 電気探査(2次元比抵抗法)探査断面図

図-8の赤点線に示すように、測定した3測線の中心付近で高比抵抗帯が連続的に斜行していることが見受けられる。

(2)地中レーダ探査結果

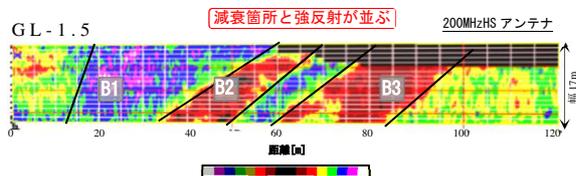


図-9 地中レーダ探査タイムスライス平面図

任意の深度での平面構造を把握するため、複数の探査側線を利用し平面図(タイムスライス)を作成した。今回、図-9にGL-1.5mのタイムスライス平面図を示す。同深度においては、調査地中央部の2箇所で減衰区間の赤色部分が一定の幅で調査地を斜めに横断していることが見受けられる。

図-10は、本調査地の隣接工区にて実施した地中レーダ探査(400MHz)の結果をタイムスライス平面図にしたものである。

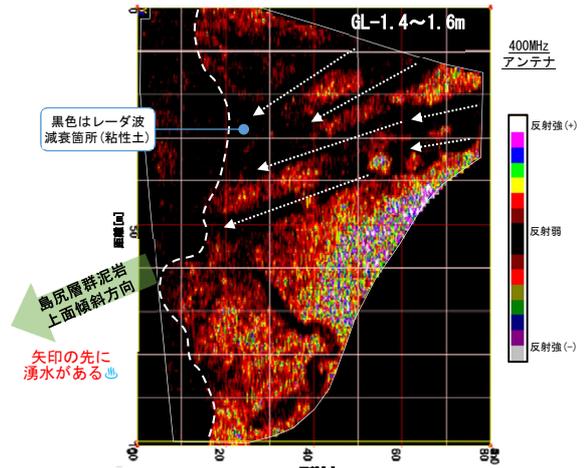


図-10 隣接工区での地中レーダ探査タイムスライス平面図

(3)粘性土と水みち

図-10で示したレーダ波減衰帯(白矢印)は定常的な湧水箇所に向かって伸びていることから(図-11)、電気探査および地中レーダ探査で

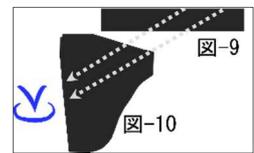


図-11 図の配置

検出した今回の異常は、水みちと関連して形成されたものと推定される。つまり、水みちが石灰岩を溶蝕し、空洞を成長させ、空洞上部が重力崩壊により空隙の多い地盤となる(図-8の斜行する高比抵抗帯の発生、図-4の高比抵抗部、レーダ強反射部)。その際、初期に発生した空洞は崩壊土砂により緩く埋積される。その後、特に空隙の多い区間に雨水が水みちを形成し、流入粘土で空隙を埋めたと考えられる(図-9、10のレーダ減衰箇所)。図-12にて、流入粘土の模式断面図を示す。

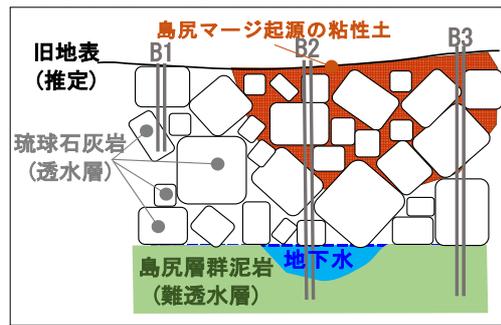


図-12 土壌構成と成り立ちの推定模式図

7. 今後の課題

沖縄県で空洞調査を計画する際には、調査地周辺の地形・地質(琉球石灰岩の分布状況、地下水の有無、不透水層の深度及び傾斜方向等)を考慮して、探査手法及び測線位置や測点間隔(探査深度)を選定する必要がある。なお、今回の探査結果により、粘性土が分布しない琉球石灰岩切土部にて200MHzのHSアンテナを使用することで、深度約5mまで探査が可能な場合もあることが判明した。

沖縄県内では、「深度10m以内の空洞調査を精度よく行いたい」との要望が多い。今後も種々の物理探査手法を活用し、これらの期待に応えていきたい。