

【18】

電気検層を用いた琉球石灰岩の比抵抗特性とコア形状評価

株式会社日さく ○ 神庭 崇彰, 久保 範典

1. はじめに

本報告の背景について、琉球石灰岩を帯水層とする複数の揚水井の揚水能力を把握するため、揚水試験を実施した結果、帯水層中の鉛直方向で透水性の違いが確認された。琉球石灰岩における帯水層中の透水性は、帯水層の性状（コア形状、流入粘土等）の違いが示唆され、新設した観測孔ならびに既設観測孔を用いて電気検層を実施し、地盤の電気的特性を把握することにした。

本発表では、電気検層の結果である比抵抗分布ならびに透水性状を、各調査地点のボーリング結果であるコア形状区分を基に、鉛直方向の透水性状の違いを比較・検討し、定量的にとりまとめた。

2. 調査の概要と諸元

(1) 調査地点の概要

調査地は、沖縄県内の地下ダム流域内における琉球石灰岩帯を対象としている。対象孔は、新設および既設孔の18孔で、調査孔の端から端までは約4kmに渡る。

(2) 調査ボーリング孔の諸元および評価基準

電気検層を実施した新設および既設孔の諸元を表-1に示す。

表-1 調査孔の諸元

|     |                     |          |
|-----|---------------------|----------|
| 対象孔 | 18孔(新設孔：6孔/既設孔：12孔) |          |
| 孔径  | φ50 / φ65 / φ100    |          |
| 削孔水 | 清水                  |          |
| 観測孔 | 材質                  | ポリ塩化ビニル管 |
|     | 開口率                 | 10%以上    |
|     | その他                 | 砂防ネット巻き  |

(3) 流入粘土とコア形状

通常の地質判読に加えて、「流入粘土区分」と「コア形状区分」を評価している。コア観察結果から、帯水層の性状を流入粘土とコア形状の特徴から区分した。表-2に流入粘土区分、表-3にコア形状区分を示す<sup>1)</sup>。

表-2 流入粘土区分一覧表

| 区分   | 流入粘土の特徴等                                   | 記号  |
|------|--|-----|
| 粘土のみ | コア形状区分：e「粘土」と同じ                            | a   |
| 粘土充填 | 空隙・割れ目・基質が粘土で完全に充填されている                    | b-1 |
| 粘土付着 | 空隙・割れ目・基質に粘土がフィルム状に付着する(張付く程度で空隙間を閉塞していない) | b-2 |
| 粘土なし | 粘土を含まない<br>(コア形状区分：f「空隙」もこれに含まれる)          | c   |
| 不明   | コアが採取されていないため区分不可能なもの                      | ?   |

表-3 コア形状区分一覧表

| 区分  | コア形状名・特徴等                                     | 記号    |
|---|---|-------|
| 記号 a<br>棒状:コア長10cm以上で概ね0.5m以上の区間に連続するグループ | 棒状 - 極めて多孔質 - (化石の溶脱等)不規則な形状の空隙が発達(空洞が互いに連結)  | a-1-1 |
|   | 棒状 - 極めて多孔質 - 粒子間空隙が発達                        | a-1-2 |
|   | 棒状 - 多孔質 - (化石の溶脱等)不規則な形状の空隙が発達               | a-2-1 |
|   | 棒状 - 多孔質 - 粒子間空隙が発達                           | a-2-2 |
|   | 棒状 - 緻密(空隙がほとんど無い)                            | a-3   |
| 礫・岩片状                                     | :コア長10cm以下で細粒分(マトリックス)をあまり含まない                | b     |
| 土砂状                                       | :bと比較して細粒分を多く含む(砂・シルト・粘土の混在するもの)              | c     |
| 砂状  | :ほとんどが砂粒子からなる(碎屑性の砂、有孔虫等で未固結、指で容易に崩せる)        | d     |
| 記号 e<br>粘土:石灰岩中の空洞を2次的に充填しており、粘土のみからなる    | 粘土(流入粘土):褐色の粘土のみからなる(岩片をほとんど含まない)             | e-1   |
|   | 粘土(風化粘土):白色の石灰岩風化起源の粘土のみからなる                  | e-2   |
| 空隙  | :粘土に充填されていない状態の空洞で掘削時のボーリングロッドの落ち込みにより確認されたもの | f     |
| 不明  | :コアが採取されていないため区分不可能なもの                        | ?     |

(4) 電気検層

電気検層は、ノルマル検層で実施した。ノルマル検層の電極間隔は、0.25m(青色)、0.50m(緑色)、1.00m(赤色)を表す。測定は、ボーリング孔内でゾンデを昇降させ、往路と復路で計測し測定の精度を高めた。

3. 調査結果

(1) コア判読結果

a) 流入粘土区分

新設した6孔の採取したコアから、コアの流入粘土状況を一覧表の特徴をもとにとりまとめた。

評価したコアの流入粘土状況は、表-2で区分した特徴に適した代表となるコア写真状況を表-4に示す。

表-4 流入粘土区分結果(代表)







|      |  |
|------|--|
| 粘土のみ |  |
| 粘土充填 |  |
| 粘土付着 |  |
| 粘土なし |  |

b) コア形状区分

調査対象地の地質区分は、上位から「粘土層」、「琉球石灰岩」、「含不純物石灰岩」、「島尻泥岩」に大別される。

加えて、前述の流入粘土区分とコア形状の違いによる組合せに分けられる。表-5に、表-3で区分した特徴に適した代表となるコア写真状況を示す。

表-5 コア形状区分結果(代表)

|       |     |   |
|-------|-----|---|
| 棒状    | a-1 |  |
|       | a-2 |  |
|       | a-3 |  |
| 礫・岩片状 | b   |  |
| 土砂状   | c   |  |
| 砂状    | d   |  |
| 粘土    | e   |  |

(2) 電気検層結果

電気検層の結果を、ボーリング柱状図と併記してとりまとめ、代表地点の結果を図-1に示す。新設孔の柱状図および既往柱状図のコア状況を踏まえ、調査地域の比抵抗特性とコア形状評価として以下の特徴が判明した。

a) 地質区分について

検層を実施できた地下水面以下の地質は、「琉球石灰岩」、「含不純物石灰岩」、「島尻泥岩」であり、比抵抗値の範囲は、以下の結果となった。

- ① 琉球石灰岩 : 100 ~ 1,000 ( $\Omega \cdot m$ )
- ② 含不純物石灰岩 : 50 ~ 100 ( $\Omega \cdot m$ )
- ③ 島尻泥岩 : 50 ( $\Omega \cdot m$ ) 以下

なお、それぞれの一般的な比抵抗値<sup>2)</sup>は、石灰岩で60 ~ 500,000 ( $\Omega \cdot m$ )、泥岩で100 ( $\Omega \cdot m$ ) 以下とされており、大別的な括りでは経験値内に収まる結果となった。

b) コア形状区分および流入粘土の関係について

コア形状および流入粘土の分布が、比抵抗値と最も相関関係がある結果が得られた。以下にコア形状と流入粘土における比抵抗値の特徴を示す。

- ① 比抵抗値の範囲は、コア形状区分の土砂状(c) ~ 礫・岩片状(b)と棒状(a)とに大別でき、粘土の有無によっても変化する傾向を示した。  
具体的な数値の変化は、表-6に示した。
- ② コア形状区分が、土砂状(c) ~ 礫・岩片状(b)かつコア状態が一様であれば、グラフは低比抵抗かつ直線系を示す。
- ③ コア形状区分が、棒状(a)であれば、緻密の程度で150 ~ 500 ( $\Omega \cdot m$ ) の範囲で変化する傾向を示す。
- ④ 全体的な傾向として、粘土の付着が無くなると、比抵抗値が100 ( $\Omega \cdot m$ ) 程度ベースアップする。
- ⑤ 水みちとしての帯水層(推定)は、同一コア形状・同一粘土区分でありながら、比抵抗値が150 ~ 300 ( $\Omega \cdot m$ ) の範囲でグラフが凸状に示されると考えられる。

4. まとめ

琉球石灰岩に対し電気検層を実施した結果、流入粘土の付着状態やコア形状の違いで、比抵抗値は比較的定量的に区分できる特徴を示すことが明らかとなった。また、それら種々の特徴から、コア判読以外で透水性状の違いを判別できる可能性が示唆された。

今後、調査数や流入粘土とコア形状の組合せの母数が増えると、比抵抗値および帯水層区分の精度を向上させることができると考えられる。

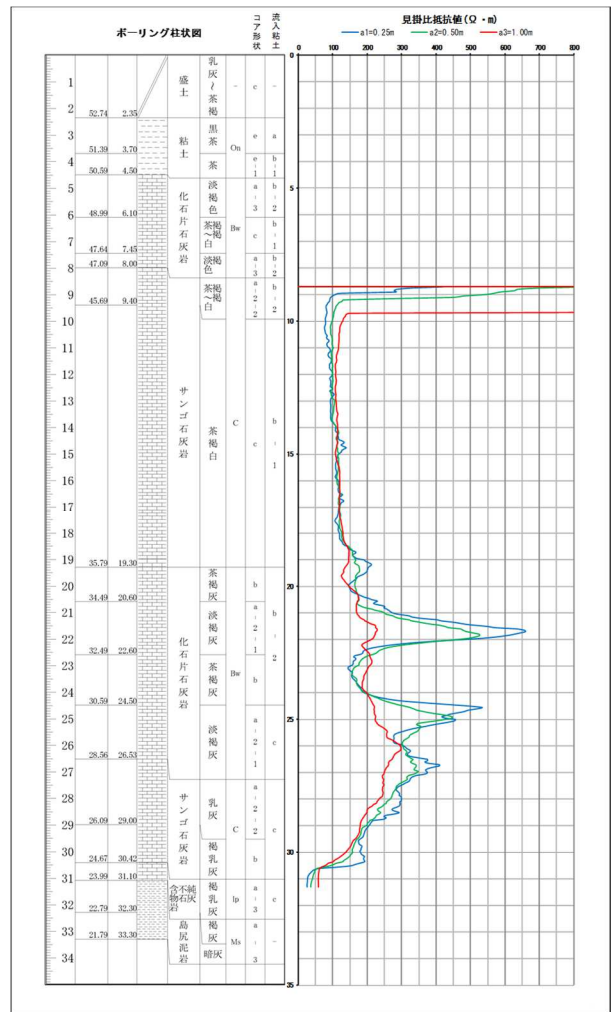


図-1 ボーリング柱状図-比抵抗図(代表)

表-6 比抵抗値と地質(流入粘土・コア形状区分)の関係

| 地質区分        | コア形状区分        | 流入粘土区分        | 推定比抵抗値 ( $\Omega \cdot m$ ) | 推定帯水層区分          |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------------|------------------|
| 琉球石灰岩 (B,C) | b ~ c         | a ~ b         | 100 ~ 200                   | 帯水層<br>150 ~ 300 |
|             |               | c             | 100 ~ 400                   |                  |
|             | a-1, a-2, a-3 | a ~ b         | 150 ~ 400                   | 帯水層~裂か帯水層        |
| c           | 200 ~ 500     |               |                             |                  |
| 琉球石灰岩(岩塊)   | a-2, a-3      | c             | 500 ~ 1000                  | 裂か帯水層~難帯水層       |
| 含不純物石灰岩(lp) | b ~ c         | -             | 50 ~ 100                    | 難帯水層             |
|             |               | a-1, a-2, a-3 | -                           |                  |
| 島尻泥岩(Ms)    | -             | -             | 50以下                        |                  |

《引用・参考文献》

- 1) 宮古伊良部農業水利事業所: 宮古伊良部地区ボーリング柱状図の記載について, p.4~7, 2017.3
- 2) 志村 馨: 電気探査法[第3版], p.64, 1969.4