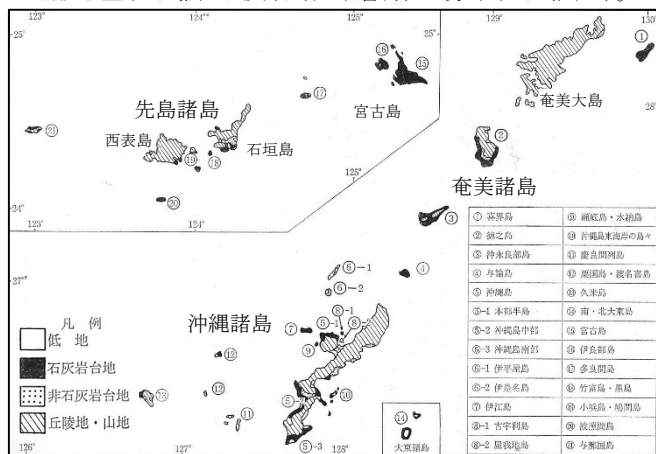


琉球石灰岩地帯における空洞調査事例

(株)日さく ○赤井一行、松永 智、久保範典、山本保則

1. はじめに

奄美諸島～沖縄諸島には、海成段丘状の緩やかな台地地形を呈する礁性石灰岩（琉球層群）が分布する（図-1）。

図-1 南西諸島の石灰岩台地の分布図¹⁾

琉球層群は、第四紀更新世の海水準変動、隆起・沈降といった構造運動の影響を受けて発達したサン礁の碎屑性堆積物からなり、数10～50m程度の層厚で分布する。岩相は軟質岩に分類される泥質および砂質の碎屑性石灰岩や、硬質岩となる岩塊状石灰岩層の互層からなる。この石灰岩中には大小の空隙および空洞が存在し、陸地化した石灰岩分布域ではドリネや鍾乳洞のような幼年期カルスト地形が認められる。これらの空隙が発達する石灰岩地域では、建設工事中に発生する重機などの陥没事故が問題となっており、施工時における基礎の支持地盤としての適用の検討、構造物および重機の荷重に対する検討が課題となっている。したがって、膠結度が弱く多孔質で間隙が多い碎屑性石灰岩の強度の把握や石灰岩中の空洞に対する対策のため、事前に空洞分布を把握しておく必要がある。本発表では、空洞分布調査として実施した比抵抗二次元探査（以降は高密度電気探査）について、探査結果と課題について事例紹介する。

2. 試験探査（予備調査）

高密度電気探査で琉球石灰岩内の空洞（空隙）が比抵抗値の変化として確認出来るかという課題があり、周辺の既知の鍾乳洞や空洞の2地点で試験探査を実施した。

(1) テスト地点①（鍾乳洞、地下水無し）

1地点目は戦時中、防空壕として利用された鍾乳洞で探査を実施した。地質条件は地表面から硬質な石灰岩岩盤が分布しており、G.L.-1.5m から高さ3m、幅10m、奥行き12m程度の空隙が広がっている。下床には数cm～1.0m程度の厚さで褐色粘性土が堆積し、内部は湿潤で下床面は水溜まりがみられる。解析の結果、空洞と一致する位置で10,000Ω・m以上を示す高比抵抗値の分布がみられた。周囲の岩盤の比抵抗値が1,000～5,000Ω・m程度に

対し、空洞部分は著しい高比抵抗値となる結果であった。



図-2 テスト地点①（鍾乳洞）の現地状況写真

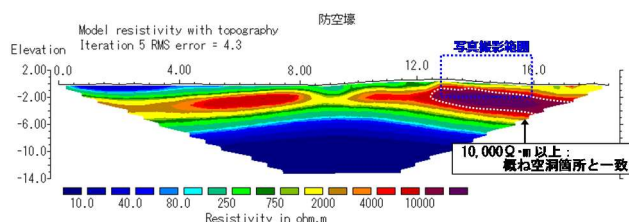


図-3 テスト地点①（鍾乳洞）の比抵抗値断面図

(2) テスト地点②（水源空洞、地下水有り）

2地点目は、100L/min程度の湧水がみられるトンネル状の空洞で探査を実施した。湧水は近隣集落の雑水の水源として利用されている。地形条件は地表面から数十cm～2.0m程度の厚さで褐色粘性土が堆積し、その下位に碎屑性石灰岩が分布している。空洞はG.L.-2.0mから高さ1.0m、幅1.0m、奥行き不明の空隙が広がっている。



図-3 テスト地点②（水源空洞）の現地状況写真

解析の結果、空洞部には顕著な比抵抗変化を確認することはできなかった。空洞位置での比抵抗値は250Ω・m程度の中比抵抗値を示し、石灰岩を示す塊状の中比抵抗値分布の左端にあたる。また、地下水（湧水）の比抵抗値は100Ω・m程度で、空洞部分は石灰岩や地下水の比抵抗値と近似した値を示した。また、比抵抗値は2000Ω・mを超える値は測定されなかった。したがって、地下水の存在によって、全体の比抵抗値が低比抵抗値側へ転じ

た。或いは、空隙のような極めて高い比抵抗値を示す箇所は検出されなくなる可能性があると考えた。

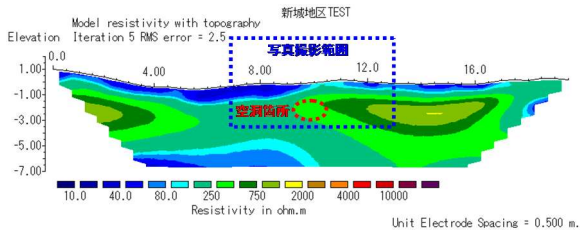


図-4 テスト地点②(水源空洞)の比抵抗値断面図

3. 試験探査結果と考察

試験探査結果から以下の条件下ならば、比抵抗値分布で空洞を認識できることが判明した。

- ① 地下水が存在しないこと。
- ② 10,000 $\Omega \cdot m$ 以上の著しい高比抵抗値分布。
- ③ 周囲層と急激な比抵抗値コントラストがある場合。

探査を行う作業床掘削現場の地下水位は、ボーリングなどの事前調査により、全箇所 G.L.-30m 以深で探査深度付近 (G.L.-7.0m 以浅) に地下水は存在しておらず、条件①を満たしていたため、高密度電気探査による空洞調査を実施した。

(1) A 測線探査結果(作業床掘削前、地下水位無し)

作業床掘削前の工区で、高密度電気探査を実施した。作業床掘削後、探査結果の比抵抗断面図と実際の作業床面の地層状況の対比・確認作業を行った。

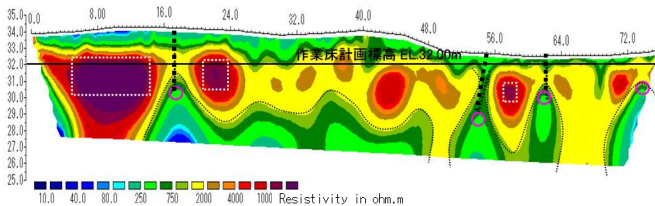


図-5 A 測線(作業床掘削前)の比抵抗値断面図

解析結果は、100 $\Omega \cdot m$ 未満の低比抵抗値を粘性土もしくは粘土質砕屑性石灰岩、100~1,000 $\Omega \cdot m$ の中比抵抗を礫質土もしくは砕屑性石灰岩、1,000 $\Omega \cdot m$ 以上を石灰岩の岩芯の高比抵抗値分布として評価した。また、10,000 $\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗値分布は条件③の空洞分布の可能性を排除しきれず、作業床掘削後、現地での確認作業を実施した。10,000 $\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗値分布は、やはり石灰岩の非常に硬質な岩芯部であった。一方、断面図に破線で示した箇所は、礫混じり粘土状の弱線部が確認され、石灰岩ではなく礫密集部であった。測線の距離定20m付近の破線部はその下の中比抵抗値分布の下端部に低比抵抗が分布しており、ドリーネ状の空洞を礫混じり粘土が充填している可能性がある。その視点で解析結果を再考察すると、2,000 $\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗値が硬質な石灰岩、1,000 $\Omega \cdot m$ 以上の比抵抗値分布は礫密集部もしくは砕屑性石灰岩で、それ以下の比抵抗値分布はドリーネや石灰洞の空隙を礫混じり粘土などが充填したものであり、カルスト地形の地質構造に起因した新たな空洞の分布形態が判明した。

(2) B 測線探査結果(作業床掘削後、地下水位無し)

作業床の掘削工が完了した工区で探査を実施した。探査結果が示す比抵抗値分布は、概ね一般的な粘性土および砂礫、石灰岩が示す値の範囲内であり、作業床面でみられる地層分布とほぼ整合していた。比抵抗断面図は、粘性土を示す低比抵抗値分布が多くを占め、砂礫および石灰岩を示す、中～高比抵抗値は部分的な分布となった。

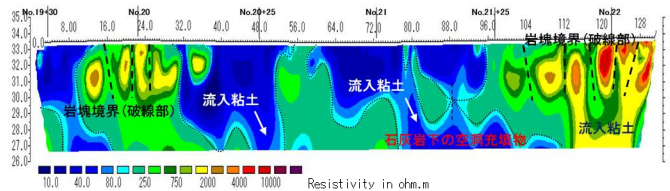


図-6 B 測線(作業床掘削後)の比抵抗値断面図

空洞分布について、10,000 $\Omega \cdot m$ を超える高比抵抗値の分布が認められないため、試験探査で認識できたような空洞の存在は無いと判断した。しかし、A 測線で判明したカルスト地形に起因し、粘性土によって充填された空洞が広く分布していることが判明した。また、これらの空洞は堅穴によって、さらに深部の空洞と繋がっており、地表面や作業床掘削面でみられる充填空洞の下位にさらに大きな空洞が広がっている可能性が判明した。しかしながら、高密度電気探査では充填粘土の地盤としての強度把握が不可能なため、深度分布の異なる空洞とそれらを繋ぐ堅穴を充填する粘性土の強度確認が課題となったが、ボーリング調査やその他の試験によって確認する以外に方法はないという結論に至った。

4. おわりに

高密度電気探査では比抵抗断面図における空洞分布について、以下の3形態のパターンが判明した。

- ① 地下水が存在しない場合、周囲と急激な比抵抗値コントラストを示す著しい高比抵抗値として分布する。
- ② 地下水が存在する場合、地下水の影響で比抵抗値が低減し、周辺地層と近似の比抵抗値分布を示し、空洞の分布が不明瞭となり判別が不能である。
- ③ 流入粘性土が空隙を充填する場合、礫質土および粘性土を示す中～低比抵抗値として分布する。

しかしながら、形態①は岩盤の芯部との区別が難しく、形態②はそもそも判別不能であり大きな課題となった。形態③では充填粘性土の強度評価が検討課題となった。

本業務では高密度電気探査でも、条件付きで空洞分布の把握は可能と判断した。しかしながら、空洞の有無や充填粘性土の強度確認のため、ボーリング調査など他試験による確認作業が必要であり、高密度電気探査の適用の可否を判断するために地形地質的な空洞の形成過程の把握が必要不可欠であると結論づける。

《引用・参考文献》

- 1) 農業用地下水研究グループ日本の地下水編集委員会編著:「日本の地下水」, 地球社, p.890, 1986.9.