

空洞（防空壕）を検出するための物理探査の適用

—高周波 CSMT 法と γ 線測定 の併用—

復建調査設計株式会社 吉村辰朗 後藤啓治 フェロー会員 福田直三

1. はじめに

調査地である標高 30m 程度の丘陵地は、小規模な台地状地形を呈する。平坦地の地下約 13m には戦時中に掘削された防空壕が存在する。今回は、この平坦地に構造物が建設される計画があったため、防空壕の分布確認調査を行なった。物理探査手法としては、防空壕の存在深度からレーダー探査は困難と考え、高周波 CSMT 探査を実施した。CSMT 探査の結果、防空壕が存在すると想定される箇所が 20 点と多数あったため、断層を検出している可能性が高いと考えた。そこで断層調査手法である γ 線測定（放射能探査）を実施し、両探査のクロスチェックで選定した異常地点でボーリングを行ない、防空壕を 2 箇所確認した。

2. 調査地の地質と防空壕跡

調査地付近には新第三紀鮮新世の宇佐火山岩類が分布し、その上位に段丘堆積物・沖積層が堆積する。宇佐火山岩類は、安山岩・凝灰岩・凝灰角礫岩などから構成される。調査地に分布する段丘堆積物は、砂・砂礫から構成され、 $\phi 5 \sim 30\text{mm}$ の硬質な亜円礫を多く含む。構造物が計画されている平坦地の地下約 13m の所には戦時中に掘削された防空壕が分布する。現在防空壕は入り口が 2 箇所確認されており、その大きさは高さ 3m 程度と推定されていた。防空壕はほとんど埋まっており、防空壕の正確な平面分布・鉛直分布は不明であった。

3. 高周波 CSMT 法の測定方法と探査結果

高周波 CSMT 探査とは、地下に電磁波を流し、その電磁波を受信して大地の比抵抗値を測定する物理探査である。電気探査と類似しており、空洞（防空壕）では高い比抵抗を示すことが報告されている¹⁾。送信機の設置は、地面にループ状に水平に設置する垂直磁場双極子アンテナである。受信機は測線方向に電場センサー（地電流電極）、測線に直交方向に磁場センサー（インダクションコイル）を設置し、電場と磁場方向は直角を保った。測線は 5 測線 (L=300m) 設け、測点間隔は 1m とし、地電流電極間隔も 1m とした。測線設定位置を図-1 に示す。測定結果の一例 (B 測線) を図-2 に示した。高比抵抗値を示し、防空壕の可能性のある位置を矢印で示した。5 測線で高比抵抗値が検出された地点（防空壕の可能性のある地点）は、20 点であった。



図-1 高周波 CSMT 探査測線位置図

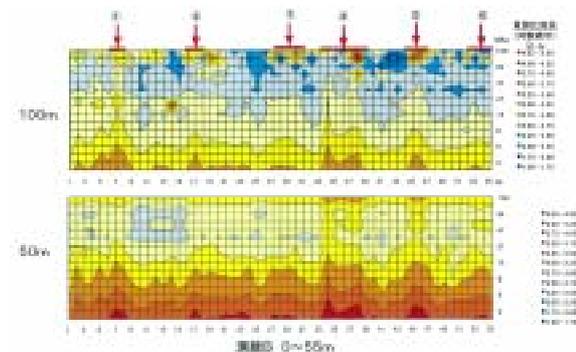


図-2 高周波 CSMT 探査 測定結果図

4. 併用した γ 線測定の測定方法と探査結果

高周波 CSMT 探査によって検出された異常点（高比抵抗値箇所）が 20 点と多数であったため、地質構造の異常帯である断層を検出した可能性が高いと判断し、断層検出の探査手法である γ 線測定（放射能探査）を実施した。測定方法と結果を以下に示す。

γ 線測定（放射能探査）は、天然放射性同位元素が崩壊過程で放出する γ 線をシンチレーションサーベイメータ (TCS-151, アロカ社製) で検出し、その強度（放射線の数）を全計数法で計測する方法である。分布地質が同一と判断され、同一測定状況で測定した場合には、地質の異常帯（断層破碎帯）において異常値が検出される^{2) 3)}。測線は、A 測線 (L=30m)・B 測線 (L=40m)・C 測線 (L=45m) を設けた (図-4)。測点間隔は 1m とし、異常値が出現した箇所付近では 10 cm 間隔とし、異常値（破碎帯）の規模を把握した。 γ 線測定結果図の縦軸には γ 線強度 ($\times 10^{-2} \mu\text{SV/h}$)、横軸には測点 (m) を示した。赤色で異常値（断層破碎帯）を

示し、破線で地質分帯を示した。

図-3に地表 γ 線測定結果(A測線)を示す。砂礫の平均 γ 線強度は5.97、標準偏差は0.10である。破碎帯と判断される γ 線強度異常値は相対的に低い。 γ 線強度は同一の地質体で固有の値を有する。また、磁化しやすい層(帯磁率が高い層)ほど γ 線強度が低くなる傾向がある。断層運動で粒子の再配列が起こる場合、磁気異方性が生じ γ 線の吸収する機構が変化し、断層において相対的に高くなったり、低くなったりする。当地では4条の断層が検出され、断層の走向はN60°E~N70°E(東北東方向)である。破碎帯の規模を表す破碎幅を表-1にまとめた。破碎幅は、1m前後で規模は小さい。

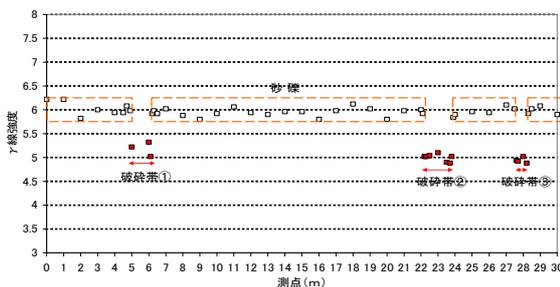


図-3 地表 γ 線測定結果図

表-1 γ 線測定で検出した破碎帯

破碎帯名	分布区間	破碎幅
破碎帯①	A 測線 5.0~6.1m	1.1m
破碎帯②	A 測線 22.2~23.8m	1.5m
破碎帯③	A 測線 27.6~28.2m	0.6m
破碎帯④	B 測線 0.4~1.5m	0.9m
破碎帯⑤	C 測線 14.5~15.5m	1m

5. ボーリングによる防空壕確認とレーザー計測・孔内カメラ観測による空洞状況把握

総合解析図(防空壕の平面分布図)を図-4に示す。調査地では、 γ 線測定によって東北東方向の破碎帯が4条確認された。破碎帯の延長部が高周波CSMT法探査の高比抵抗測点と一致している箇所が数か所認められ、これを除くと防空壕の入口と残りの高比抵抗測点の位置関係から防空壕の位置が想定され、ボーリングにより2箇所の防空壕を確認した。高周波CSMT法探査の高比抵抗検出部が破碎帯を指示する理由は、破碎により地層が砂質土状となり空隙が多くなることで説明でき、また当地の破碎帯幅が1m前後であり、高周波CSMT法探査の測点間隔と同様であったことが多くの異常点が検出された一因と考えられる。図-5に防空壕の鉛直分布を示す。また、ボーリング孔を利用して、レーザー計測と孔内カメラ観測を実施し、分布方向と空洞状況を把握した(図-6)。

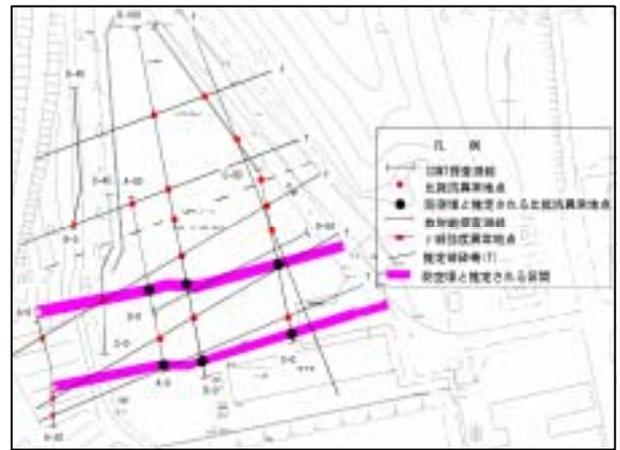


図-4 総合解析図(防空壕の平面分布)



図-5 防空壕の鉛直分布



図-6 孔内カメラによる防空壕撮影

[引用文献]

- 1) 板井秀典・半田 駿・北村良介・吉田雄司(2005) : 高周波 CSMT 装置を用いたニアフィールド領域での地下壕探査, 物理探査, Vol. 58, No. 2, p. 147-155.
- 2) 吉村辰朗(1992) : 活断層調査のための γ 線測定方法, 活断層研究, No. 10, p. 73-83.
- 3) 吉村辰朗・後藤啓治・福田直三(2009) : 構造物基礎部に存在する破碎帯への放射能探査の適用, 平成 20 年度西部支部研究発表会.