

1. はじめに

崩壊の時期や危険範囲、対策工の検討を行うためには、崩壊規模を把握することが重要である。そのためには、崩壊予備物質となる表層土の性状と厚さの分布を面的に知ることが重要である。表層土厚の調査方法としては従来より貫入試験、ボーリング調査等があるが、広い範囲の面的調査には時間と労力がかかる。これを迅速かつ効率的に調査する方法として物理探査手法の適用が考えられる。本研究では、様々な物理探査手法のうち地面に非接触で行えるため簡便な探査が可能な電磁法探査について、表層と基盤の境界が明瞭な斜面において電気探査、簡易貫入試験等との比較対照により探査深度の検討を行った。

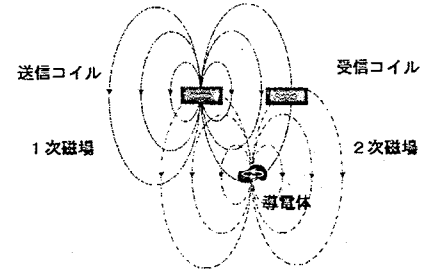


図-1 電磁法探査(ループ・ループ法)の原理

2. 電磁法探査の原理

電磁法探査は、大地の電磁応答を測定して地中の電気的性質の分布を求める手法であり、広義には様々な手法があるが、今回取り上げた手法は中でも比較的手軽な手法であるループ・ループ法による地上電磁法探査である。

この手法の原理を図-1に示す。送信コイルに交流電流等の時間変動する電流を流して磁場(これを「1次磁場」と呼ぶ)を発生させ地中に透入させると、ファラデーの電磁誘導の法則に基づき、地中に磁場の变化をうち消そうとする方向に渦電流が流れ、2次的な磁場(以下「2次磁場」と呼ぶ)が発生する。この2次磁場を受信コイルで捉え、これを1次磁場と同位相の同相成分及び90°位相のずれた離相成分に分解して記録し、離相成分の値から導電率(比抵抗の逆数として定義される)を求める。これは大地を均質と仮定した場合の値であるため、1次磁場の透入範囲内の平均的な導電率と見なされ、見掛導電率と呼ばれる。

探査深度はコイル間隔・配置など測定系の状態によって変わるので単純に定義できないが、電磁場を平面波と見なせる場合には、表皮深度 $\delta$ (平面波が均質導体中に垂直に入射したときに振幅が $1/e$ に減衰する深さ)が探査深度の目安として用いられる。しかしながら、送受信点の間隔が小さくなると電磁場を平面波と見なせなくなり、表皮深度を探査深度の目安とすることができない。

一方、コイル間隔 $s$ が表皮深度 $\delta$ に比べて十分小さい場合すなわちinduction number  $=s/\delta \ll 1$ の場合には、探査深度に対する送信周波数の影響は少なくなり、探査深度はコイル間隔に依存する。この状態の時の深さ毎の感度の強さ(相対レスポンス)及び深い方からの累積(累積レスポンス)の理論値(大地を均質と仮定)をそれぞれ図-2及び図-3に示す(McNeill, 1980)。コイル配置がHorizontal Coplanarの場合、コイル間隔の0.3~0.4倍付近の深さの感度が最も強い(図-2)。また、探査深度は一般にコイル間隔の約1.5倍程度(測定値の約70%に影響を与える深さに相当、図-3)が目安とされているが、明確な定義はない。

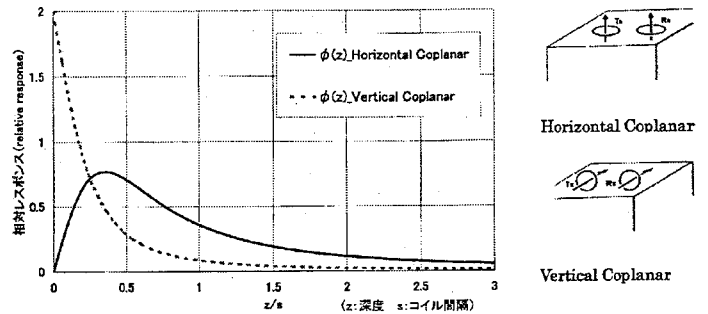


図-2 ループ・ループ法における相対レスポンス(McNeill,1980による)

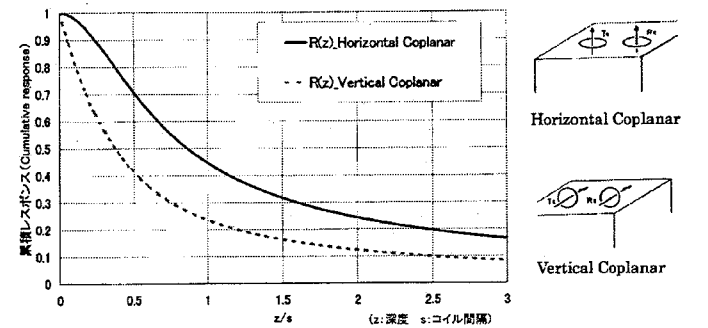


図-3 ループ・ループ法における累積レスポンス(McNeill,1980による)

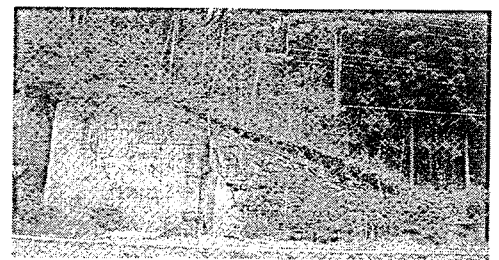


写真-1 探査斜面下の露頭

3. 探査内容

探査地は福島県白河市の斜面であり、表層との境界は明瞭である(写真-1)。この斜面に斜距離で15m(傾斜方向)×10mの探査範囲を設定するとともに、検証用の測線を縦断方向(斜面の傾斜方向)に1本と横断方向に2本設定した。電磁法探査は上記の測定範囲において面的探査を1m間隔で実施するとともに、縦断・横断測線の探査を再度1m間隔で実施した。用いた機器はコイル間隔1.3m固定のもので、探査周波数は3375Hz、5275Hz、8175Hz、12775Hz、19925Hzの5周波数を用いた。また、縦断・横断測線において電気探査(電極間隔50cm、深度10mまで)及び簡易貫入試験(1m間隔)を実施したほか、オーガボーリングによる土層の確認等を行った。

#### 4. 推定地質断面及び電気探査結果

図-4に簡易貫入試験、オーガボーリング等による縦断測線の推定地質断面を示す。簡易貫入試験結果のみに基づくと斜面上部において表層土厚が増大するが、オーガボーリングでは表土とその下のローム層等が区別された。電気探査結果(解析断面、図-5)では表層の深さ1m程度までの部分が1000~2000Ω・m程度とそれ以深に比べ高比抵抗であるが、ローム層以下の部分はこれに含まれず、電気的性質の断面は簡易貫入試験結果とは調和しない。また、斜面下部が上部に比べて高比抵抗の傾向にある。

#### 5. 電磁法探査結果

電磁法探査結果では、縦断測線での再探査結果(図-5)においては斜面上部が下部に比べて若干高導電率(低比抵抗)、面的探査においては逆に斜面下部が上部に比べて若干高導電率となった。なお、図-5における見掛導電率は探査範囲の近傍に設定した基準点との差で表示している。また、今回の測定における表皮深度は113~387m、induction numberは0.003~0.012と1より十分小さい。電磁法探査結果を電気探査結果と比較すると、縦断探査の方が調和的である。縦断探査と面的探査で逆の傾向になった原因としては、面的探査では終了までに30~40分程度を要し、その間にドリフト(測定回路、コイル等の温度変化など(必ずしも原因は明確でない)に伴う測定値のずれ)が生じた可能性が考えられる。一方、縦断探査は5分程度以内で終了している。

縦断探査の結果(図-5)と電気探査結果からの逆算により深さ毎に求めた地表までの平均導電率(図-6)を比較すると、電磁法探査の測定値に影響を及ぼしている範囲、すなわち探査深度は深さ1.1~1.8m程度までの範囲(コイル間隔の約0.85~1.38倍)と考えられ、ほとんど表層内の情報取得にとどまっている。これを図-3と比較すると測定値に約50~66%影響を与える範囲に相当する。したがって、より深い部分まで探査するには、より広いコイル間隔での探査が必要である。

なお、導電率は比抵抗の逆数と定義されるため、比抵抗が高くなると比抵抗の値の差異に対して導電率の値の差異が小さくなる。このため、ドリフトによる導電率への影響は、比抵抗の高い探査地では相対的に大きくなることになる。したがって、電磁法探査は今回の探査地のように比抵抗の高い条件での探査は不利といえる。

#### 5. まとめ

表層と基盤の境界が明瞭な斜面において電磁法探査実験を行い、電気探査結果等との比較を行った。その結果、探査に要する時間が長くなるとドリフトの影響が生じる可能性があること、比抵抗の高い探査地ではドリフトの影響が相対的に大きくなり、探査には不利となることがわかった。また、今回の探査では探査深度はコイル間隔1.3mで約1.1~1.8mであった。がけ崩れを対象とした場合には少なくとも3m程度の探査深度は必要と考えられることから、本手法ではより広いコイル間隔の機器での探査が必要となる。

#### 引用文献

McNeill, J.D. (1980) : Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Technical Note TN-6, Geonics Limited.

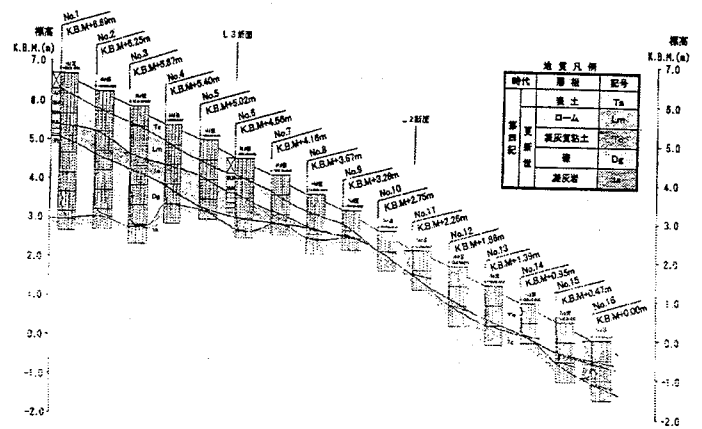


図-4 縦断測線の推定地質断面

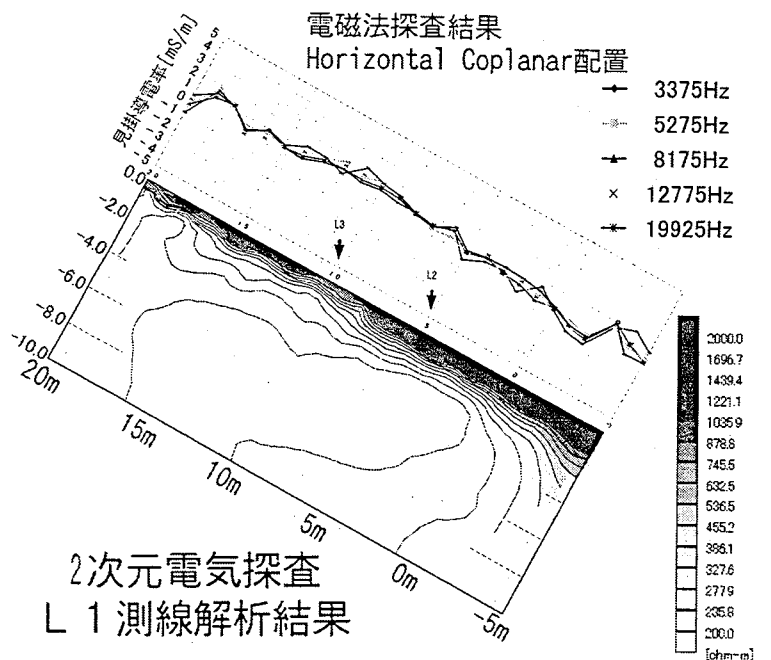


図-5 縦断測線の見掛導電率再探査結果及び電気探査結果(解析断面)

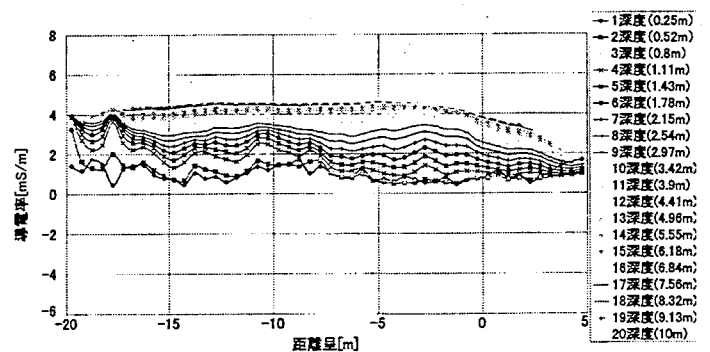


図-6 電気探査解析断面からの逆算により深さ毎に求めた地表までの平均導電率