

磁気検層による地質調査

本館 静 吾* 根岸 正 充**

1. はじめに

ボーリング孔内の種々の物理量を、深度に対応させて連続的に測定し、地層状態や孔内の性状を調べる技術を物理検層と呼び、従来多くの方法が開発されてきた。これらの物理検層によって、ボーリング孔内の地層や岩の密度、比抵抗、水理地質の特性、岩質、割れ目の状況などが推定され、地質の解釈に応用されている。

近年、ボーリング孔内における磁気的現象や性質を測定して地質解析のための情報を提供する検層技術が開発されつつあり、これを磁気検層と呼んでいる。

磁気検層の技術開発は1950年代後半に、フィンランド Otanmaki 鉱山の鉄鉱床開発に用いられたのが先駆的試みであり、その対象も磁性金属鉱床の探査に応用することを主たる目的としたものである。本格的に開発研究が始まったのは1980年代以降であり、このころより岩石磁気学への応用が試みられてきたが、その歴史は比較的新しく発展途上の技術といえる。

特に日本においては、土质地質分野における地質解析のために磁気検層が実施された例は少ない。今回、北海道内のダム建設予定地で磁気検層による地質調査を実施する機会を得たので、その一例を紹介する。

2. 検層の方法と岩石の磁気について

今回実施した検層は統合型磁気検層システムによるもので、磁気検層、電気検層、温度検層、テイルトメータ（傾斜角度計）検層も同時に可能である。

磁気検層では、ボーリング孔内の磁気的性質を連続的に測定したデータにより地質解析を行う。

ボーリング孔内で磁気的性質を測定するにはいくつかの異なる方法があり、その方法によって測定項

目も異なってくるが、今回用いたのは下記の磁気センサーを併置したマルチパラメータプローブ¹⁾である。

- 1) 孔内X, Y, Z 3軸磁気成分（フラックスゲート磁力計）
- 2) 孔内帯磁率（誘導型帯磁率計）

また、3軸磁気成分のベクトル和により孔内全磁力、地表に設置したステーション・プロトン磁力計により、バックグラウンド地磁気の全磁力および磁場変動（ドリフト）を測定した。

磁気検層システムブロックダイアグラムを、図-1に示す。今回実施した磁気検層によって得られたデータは、①X軸磁場成分②Y軸磁場成分③Z軸磁場成分④全磁力⑤帯磁率の5成分である。このうちX軸磁場成分、Y軸磁場成分、Z軸磁場成分、全磁力は、ボーリング孔内の磁場強度を示すものであり、帯磁率はこうした磁場強度とは無関係に測定される孔壁周辺の磁化されやすさ（帯磁率）を示す値である。

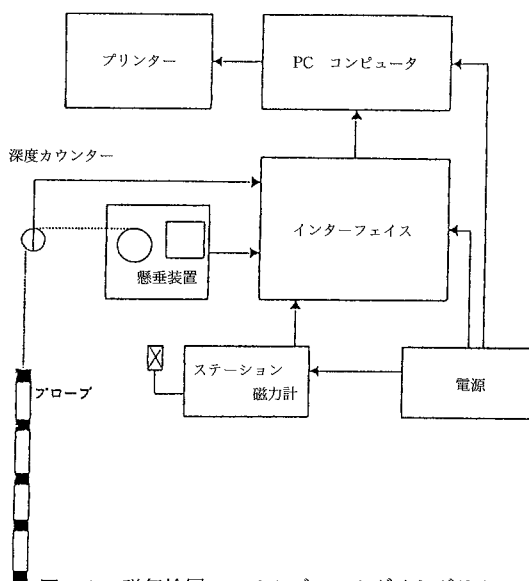


図-1 磁気検層システムブロックダイアグラム

* 地質研究室主任研究員 ** 同室長

ボーリング孔内の磁場は、地球磁場（日本付近では約 45,000 nT^{*2)}）と孔壁周辺の岩石のもつ特有の磁気によって作られる弱い磁場の合成ベクトルによってなり立っている。磁気検層では、これを便宜上 X 軸、Y 軸、Z 軸に分割して測定し、ベクトル和の絶対値（全磁力）を求める。

ひとつのボーリング孔では地球磁場の強度はほぼ一定と考えてよいので、もし孔内磁力が減少すれば、現在の地球磁場と逆方向の磁場を孔壁周辺の岩石が与えていることになり、一方増加すれば同方向の磁場を与えていることになる。

孔壁周辺の岩石の与える磁場は、岩石の誘導磁気による磁場と、自然残留磁気による磁場の和であり、前者は岩石の磁化されやすさ、後者は岩石の形成時の地磁気（古地磁気）に関係する。岩石の帯磁率は、岩石がある一定の磁場にさらされた場合、それによって磁化される程度（誘導磁化の比率）を示している。つまり、帯磁率が大きいほど強く磁化され、小さいほど磁化されにくく、岩石の単位体積当たり含有される磁性鉱物の量と質と大きさによって規定される。帯磁率は、磁性鉱物の量が多ければ多いほど大きく、磁性鉱物がマグネタイト（磁鉄鉱）などの磁性鉱物であると大きく、酸化されてマグヘマ

イトになると小さくなる。また、粒子の大きさはおおむね 10 ミクロン以下の微粒になると急速に弱くなる。一般に岩石中の磁性鉱物粒子の量は、火山性物質（凝灰岩など）の混入や、粗粒岩相での重鉱物の濃集などによっても変化する。また、磁性鉱物の質（種類）は、後背地の変化のほか風化変質によっても変化する。

3. 調査概要

今回調査を実施したのは留萌市幌糠町チババリ川右岸で、当地点には留萌ダムの築造が計画されている（図-2）。

調査地域の地質は、新第三紀鮮新世深川層群・幌加尾白利加層の下部相当層である。検層の対象としたのは細粒砂岩層である。この細粒砂岩は一般に軟質で一部に凝灰岩を挟むが、層理に乏しく均一な岩層である。

一般的には、地質構造をより正確に調べるためには、鍵層（キーベット）をみつけ、これをもとに地質構造を明らかにする必要がある。当地域においては、砂岩や泥岩の中に堆積する凝灰岩層が鍵層の役割を果たしてきた。一方、従来の岩石の室内測定では砂岩や泥岩に比較して、凝灰岩が磁気強い場合

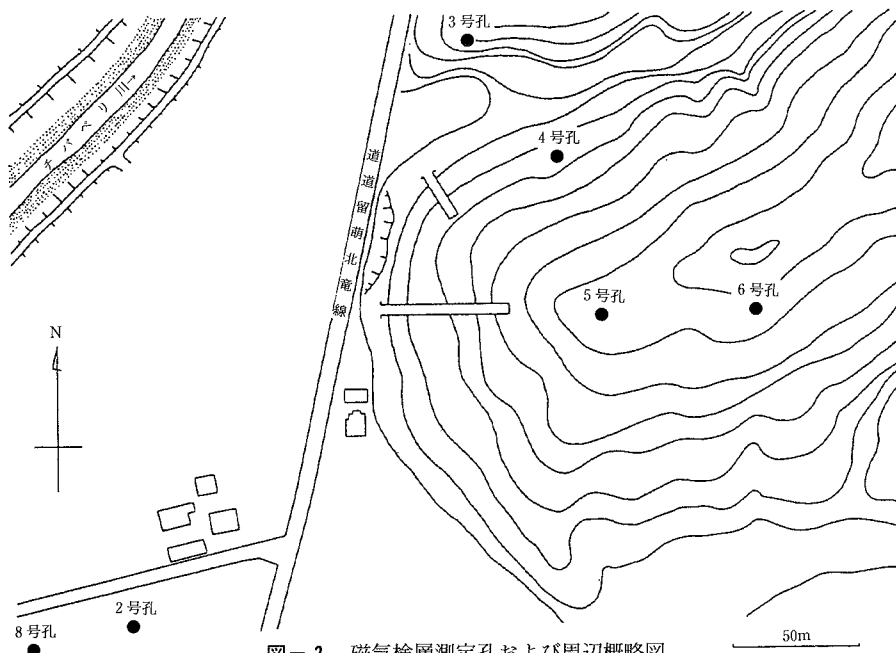


図-2 磁気検層測定孔および周辺概略図

* SI 単位系における磁束密度の単位で、1 tesla = 1 weber/m² = 1 newton/amp·m = 10⁴ ガウス = 10⁵ ガンマ、1 ナノテスラが 1 ガンマに相当する。地球物理学では、これを地球磁場の強さの単位として用いる。

が多いということが明らかになっている。これらのことから、今回磁気検層により鍵層となる凝灰岩層を検出し、地質構造の解析に役立てることを試みた。

測定は既設の5本のボーリング孔で実施した。測定した項目は磁氣的性質としてX、Y、Z軸磁気成分と孔内帯磁率の4項目である。なお、ボーリングコアを用いて岩石の自然残留磁気もあわせて測定した。

4. 解析結果

測定5孔のうち、現河床堆積物と細粒砂岩部、風化層と未風化層、凝灰質部と砂岩層などについて対比が可能な2号孔および3号孔についての解析結果について詳述する。

4.1 No. 2号孔

No. 2号孔の磁気検層結果を図-3に示す。帯磁率については深部ほど大きくなるが、11.5 m付近で変化率の転換(変化曲線の勾配の転換による屈局点)がある。全磁力は深度2 m前後および10~17 m付近において数100 nTから1,000 nT規模で低下する。また、7~8 m付近および20 m付近で増大する。岩相的には、4 m以浅での粘土層、4~9.5 mでの礫混じり砂層、9.5 m以深での均質な砂岩層が認められるが、現河床堆積物中礫混じり砂層部分での孔内全磁力の増大が認められる。この傾向は、堆

積層の違いに由来する磁性鉱物含有量・粒度の系統的な変化の反映であると考えられる。磁気検層結果に基づけば、2号孔の孔内全磁力はバックランド地磁気の全磁力に比べて、3,000 nT以上の正磁気異常を示す。この磁気異常成分は、ボーリング孔近傍の誘導磁場(外部磁場に誘導される磁場)と、自然残留磁場による磁場のベクトル和に起因するものである可能性がある。このうち誘導磁場は、帯磁率に比例して増減するので、誘導磁場の変化は帯磁率の変化曲線とほぼ相似と考えてよい。しかし、帯磁率の一貫した増大にも係わらず、全磁力が2~6 mおよ

表-1 磁気検層による磁氣的岩相層序区分表(2号孔)

深 度	孔内磁場の特徴	帯磁率の特徴	自然残留磁気
0~10 m 現河床堆積物	磁気異常は比較的顕著で、2 m付近を中心に低下する。これは粘度層にほぼ対応する。一方、7~8 m付近で全磁力は大きくなる。これは礫混じり砂層に対応する。	深くなるほど増加する。5 m前後で不規則に低下する。	自然残留磁気微弱
10~21 m 細粒砂岩	磁気異常は比較的小さく、17 m付近から増加する。	深くなるほど増加する。増加率の変化を示す屈曲あり。	帯磁率または自然残留磁気微弱。下部で正帯磁り。

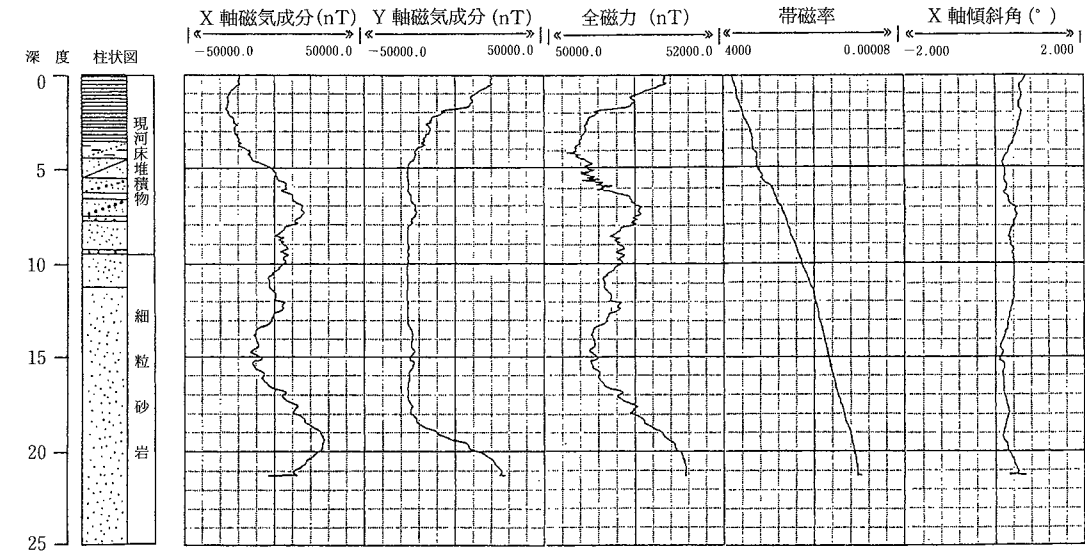


図-3 磁気検層結果ダイアグラム(2号孔)

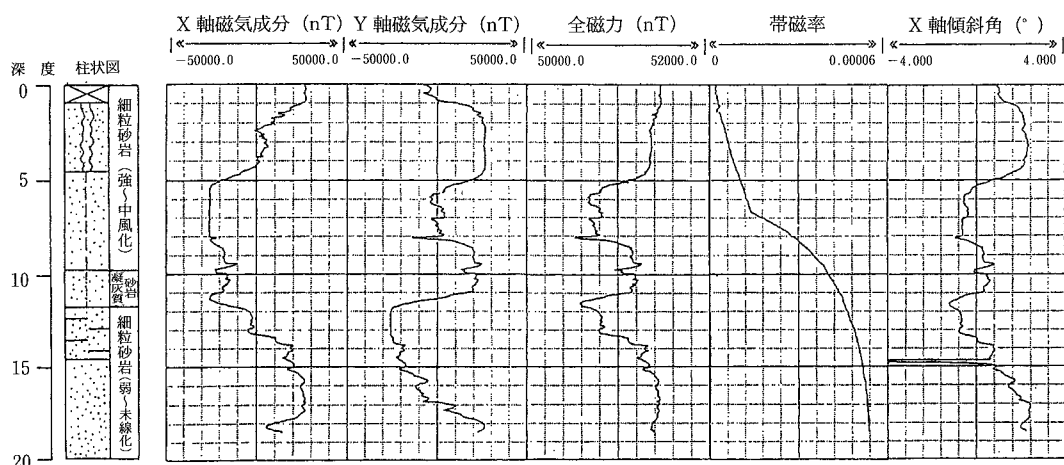


図-4 磁気検層結果ダイアグラム (3号孔)

び10~17m付近で低下することは、この層準での自然残留磁気による相対的逆極性の磁気異常(すなわち、自然残留磁気が他に比べてきわめて微弱ないし逆異常)を示唆する。9.5m以浅は現河床堆積物であり、逆帯磁の可能性はまずありえず、自然残留磁気がきわめて微弱であると考えられる。以上の結果を、磁気検層による磁気的岩相層序区分表として表-1に示す。

4.2 No.3号孔

No.3号孔の磁気検層結果を図-4に示す。帯磁率については地表から6.5m付近まで直線的に緩やかに増加し、6.5m~13m付近まで、より急速にカーブを描いて増加し、13m付近以深ではなだらかな変化のカーブとなる。岩相的には、4.5m以浅で完全風化した砂層、これ以深で砂岩層となる。また、4.5~12m付近でややシルト質、12~15m付近でシルト質になる。帯磁率測定値から考えて、4.5m以浅と以深の砂岩層には磁気的に明瞭な違いがあると考えられる。これは、磁気鉱物の風化による変質が原因しているのかもしれない。

全磁力については51,400 nT程度で推移するが、4.5~14mで不安定に変化し、11~14m付近においては数100 nT程度の規模で低下する。これはテイルトメータ検層の結果とかなりよく対応しているので、位置的な磁気異常の可能性が高い。ただし、こうした磁気強度の低下を起こす不安定部分(4.5~14m)は、シルト質の層準とおおむね一致するので、岩相の影響もある程度あるのかもしれない。孔内全磁力

表-2 磁気検層による磁気的岩相層序区分表(3号孔)

深 度	孔内磁場の特徴	帯磁率の特徴	自然残留磁気
0~6.5 m 細粒砂岩(強風化)	0~5 m付近安定。 5~6.5 m付近で低下するが、位置的磁気異常の可能性あり。	緩やかに直線的に増加する。 帯磁率は全体として小さい。	正帯磁
6.5~18 m 細粒砂岩	14 m付近まで変化しつつも全体的に小さい。 14 m以深で安定する。	急激に増加し、13 mでなだらかな変化曲線となる。	相対的逆帯磁、または自然残留磁気微弱

異常が位置的なものであるらしいことから、自然残留磁気成分について詳細に検討することができないが、帯磁率が6.5m以深で急上昇するにも係わらず、全磁力が最大時でも6.5m以浅と同じ水準であることから、相対的な逆帯磁、ないし自然残留磁気がきわめて微弱である可能性がある。以上の結果を表-2に示す。

5. おわりに

近年、開発された磁気検層による地質調査の結果を報告した。しかし、当所の凝灰岩は他の砂岩や泥岩と磁性におおきな差がなく、鍵層として明瞭に検出されなかった。一方、他の個所の調査例として、磁性鉱物を多く含む凝灰岩層が明瞭に検出され、地質構造の解析に大変役立った報告もある。

磁気検層は、速度検層や電気検層で区分できない地層を区分し、地質構造の解明に役立つ可能性がある。

る。このため、現在ボーリングコアの磁性を測定し、どの程度のものまで検層により検出可能かどうか検討している。

一方、測定した全磁力と帯磁率では、帯磁率は風化が著しいほど低下するが、今回の検層では各ボーリング孔でその特徴が認められ、風化層に関する情報を得ることができた。

磁気検層は興味ある新しい検層法であるが、現在のところ現場での計測例はきわめて少なく、どのよ

うな地質のところにより有効であるか明らかにしなければならない点も多い。今後、当調査法のより有効な使用法について、さらに検討を行っていきたい。

参 考 文 献

- 1) 吉田充夫ほか：岩石磁気の測定と解析法に関する研究，ジオサイエンス議研究報告，Vo. 4，1991 年 12 月。
- 2) 物理探鉱技術協会：物理探査用語辞典，(1979)。

*

*

*