

関西大学工学部 正員 ○谷口敬一郎
関西大学工学部 正員 楠見 晴重
関西大学大学院 学生員 入口 和明

1. はじめに

盛土や埋め立て地の地表面において観測される沈下量は、地下の各部の収縮の総和として現れたもので、地下構造が一様でない場合には各層ごとの収縮率が異なり、単一層の沈下理論では推論することができない。したがって、沈下の経年変化や最終沈下量の予測もつげがたく、またその対策等についても問題が残されることがある。このような意味あいから、近年深度別あるいは層別に収縮量を測定することができる沈下計の必要性が唱えられている。筆者等は先にこの目的のための電磁誘導式深度別沈下計¹⁾について報告したが、今回は全く別の原理に基づいて、磁気を利用した深度別沈下計を考案したので、以下にその基礎的研究結果について報告する。

2. 原理

この方法の原理は永久磁石片をボーリング孔から地層中に挿入し、その位置を磁気的に正確に測定することにより磁石の経時的変位量を求め、これをもって深度ごとの収縮量とする考えによっている。磁気の測定には、従来の磁石型、飽和鉄心型、核磁気共鳴型等が挙げられるが、せまいボーリング孔内における小型・高精度の無定位置型磁力計の開発や、磁石片を地中に挿入する方法が困難であったことが原因して、上述の発想を実現するには至らなかった。最近になって、半導体型のきわめて精度の高い磁気抵抗素子が製造市販されるようになり、これを用いることにより所期の目的を果すことが可能な測定器を設計することができた。

磁気抵抗素子とはホール効果を利用した半導体で、図-1に示されるように電流Iを流しておき、これに直角方向の磁界Hを与えると、両者に垂直な面内に電位差が生じ、AC間に電流iが流れる。この現象をホール効果といい、ホール効果により生ずる電流を不平衡電流とよび、その起電力は次式で表わされる。

$$E = R \cdot I \cdot H / d \text{ (V)} \quad \text{———— (1)}$$

ただし、Rはホール定数である。すなわち、起電力Eは半導体に加えられる磁界の強さによって増減するので、AC間の電流iも変化し見掛け上半導体の抵抗が外部磁界によって変化することになる。本研究で使用した磁気センサーはSONY製DM209(SDME)で、図-2に示されるように4個の磁気抵抗素子Ra、Rb、Rc、Rdがブリッジに組まれており、図の矢印の方向にバイアスマグネットが埋め込まれて、出力の安定化が計られている。図-3の外形図に示されるように、本体部は5mm未満の寸法であることから、検出部をきわめて小型に作成することができる。メーカー側が発表しているこのセンサーの電気的特性は表-1に示されている通りである。

3. 磁石の作る磁界

小さな棒磁石が作る磁界は図-4に示されるような座標系を用いれば、

$$H_r = \frac{m}{4\pi\mu_0} \left\{ \frac{r - (1/2)\cos\theta}{\{r^2 + (1/2)^2 - r\cos\theta\}^{3/2}} - \frac{r + (1/2)\cos\theta}{\{r^2 + (1/2)^2 + r\cos\theta\}^{3/2}} \right\} \quad \text{———— (2)}$$

$$H_\theta = \frac{m}{4\pi\mu_0} \frac{1}{2} \cdot \sin\theta \left\{ \frac{1}{\{r^2 + (1/2)^2 - r\cos\theta\}^{3/2}} + \frac{1}{\{r^2 + (1/2)^2 + r\cos\theta\}^{3/2}} \right\} \quad \text{———— (3)}$$

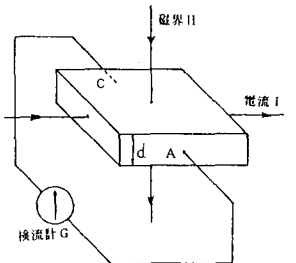


図-1 ホール効果原理図

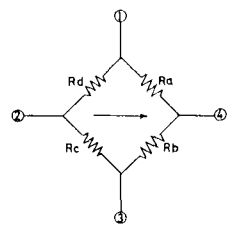


図-2 DM209 の内部回路

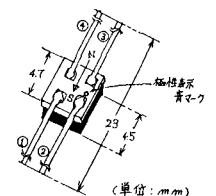


図-3 DM209 の外形図

で与えられる。ただし、 m は磁極の強さ、 μ_0 は真空中の透磁率である。

x 軸上($\theta=0$)において、 $r \gg l$ であれば、

$$H_r \approx ml / 2\pi\mu_0 r^3, \quad H_\theta = 0 \quad \text{--- (4)}$$

となり、磁界の強さは磁石と測定点との距離 r の3乗に逆比例することになる。また、図-5に示されるように磁石の側を磁軸と直角に横切る線上では、周囲に示される曲線と同傾向の磁界変化が生じる。

4. 測定器

DM209 1個を用いて図-5のようにブリッジ回路を組み、永久磁石片の側を移動させると、検流計には図に示されるような電流 I_g が流れる。磁石の中心位置と素子の中心とが一致したときに I_g は最大値を示すので、検流計の振れが最大となった位置を磁石の位置と決定することができるが、素子と磁石との間隔が大きい場合には、この曲線が平坦化してその最大値の決定に誤差が生じやすい。このような影響を避けて精度を高めるために、このセンサー部では2個の素子をたがいに向背に配置して並列に結線することにより、零位法によって位置決めする方法を採用した。すなわち、図-6に示されるように、同一磁石に対して逆向きに配置されてあるセンサーには、たがいに逆向きの I_g が流れるので、結果的には正負の電流の合成値 ΔI_g が生ずることになり、2個の素子の中線上に磁石が位置したとき ΔI_g が0となる。

素子間の間隔はボーリング孔径や磁石の強さおよび大きさに関係するが、実験的には40mmとした場合がもっとも適しており、このときの感度は0点付近で1mmの移動量に対し約0.3mAの変化が得られる。

図-7は測定器の回路を示したもので、2つの磁気抵抗素子はアクリルの円柱に封じこまれてボーリング孔中を上下するプローブとされており、その出力である ΔI_g をOperation Ampで直流増中し、 ± 1 mAの電流計で読みとるようになっている。測定可能なプローブと磁石の距離は約15cmで、この距離が5cm以内となるとメーターがスケール・オーバーするので、感度を低める直列抵抗を入れて適宜調節するようにしてある。

使用する永久磁石片は特別なものである必要はなく、ここでは市販のFe-Cr-Co系住友金属製のCKSP磁石を使用した。この磁石の特性は残留磁束密度約6KG、保持力700Oeである。

5. むすび

小型高感度の磁気抵抗素子を磁場検出のセンサーとして用いることにより、実用上きわめて簡便、低廉な深度別沈下量測定が可能となった。今後この測定法を実地に多く適用して、その性能を吟味したいと考えている。

参考文献

- 1) 谷口敬一郎他：電磁誘導式深度別沈下計の開発とその応用について、土と基礎、1982年12月

表-1 DM209 の電気的特性

項目	記号	条 件	最小値	標準値	最大値	単位	備考
出力 電圧	V_0	電圧100 $\pm$ 5mV $V_{cc}=10V$ ($\theta=-90^\circ$) ($\theta=+90^\circ$)	300	300		mV	
不平衡 電圧／出力 電圧	r	電圧0 $V_{cc}=10V$			± 10.0	%	断続値
入出力抵抗	RT		600	660	800	Ω	
出力電圧温度係数	TCV	$-20 \sim +70^\circ C$		± 1 以下		%/ $^\circ C$	
入出力抵抗温度係数	TCR	$-20 \sim +70^\circ C$		± 1 以下		%/ $^\circ C$	

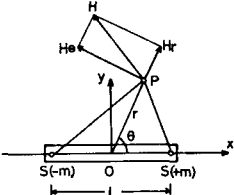


図-4 棒磁石の磁界

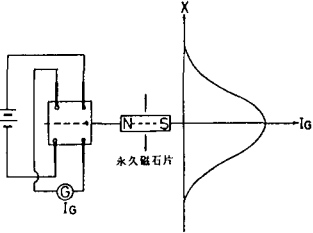


図-5 磁気抵抗素子ブリッジの原理図

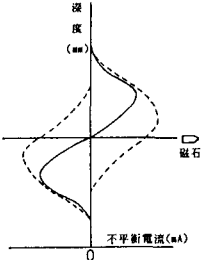


図-6 零位法原理図

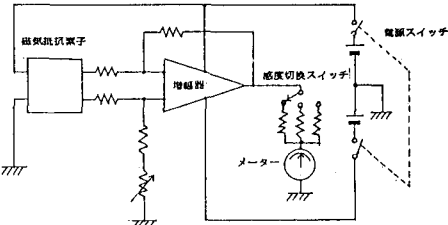


図-7 測定器回路図

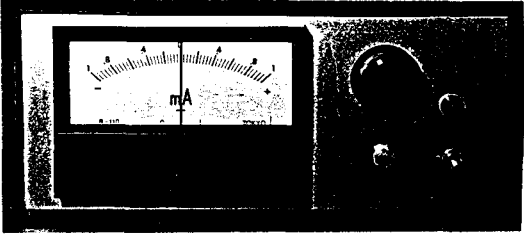


写真-1 測定器概観図