

回転一様磁界プローブによる金属検知について

日大生産工(院)
日大生産工

○左近 敏和
小山 潔、星川 洋

1 まえがき

現在、地球上には 100 万個以上の地雷が埋設されており、その検知は主に金属検知器に反応する対象を地中レーダーにより地雷かどうか判別する方法で行われている。しかし、金属検知器に反応する対象全てについて判別を行うため、地雷の認識率は五千個に一個と低い。そこで、金属検知器に金属の有無だけでなく、形状や種類などいろいろな情報を得る能力を持たせる事で、地中レーダーの判別する対象を減らし、地雷の認識率を高める事が出来ると考える。

この金属探知器のセンサープローブとして、従来、円形コイルが用いられている。しかし、円形コイルを用いた方法は、金属片がない場合でも信号が発生するためバランス回路を必要とし、装置が複雑になってしまう。バランス回路を必要としないセンサーとして一様磁界プローブがあるが、金属片の長さを持つ向きにより検出感度が異なる。^[1]

そこで、本報告では、金属片の長さを持つ向きによる影響が小さく、多くの情報を得る事の出来る回転一様磁界プローブを用い、金属検知の精度の向上を図った。

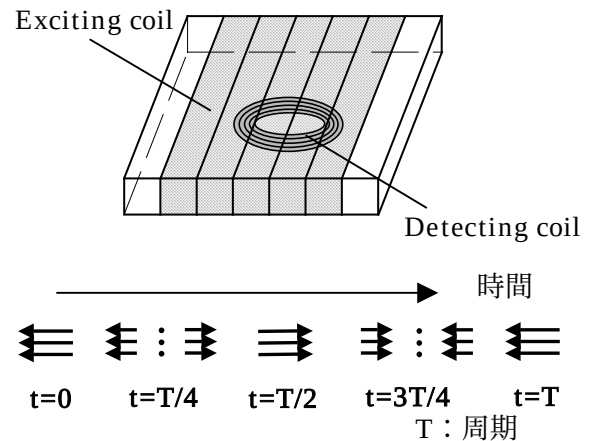


図1 一様磁界プローブの構造

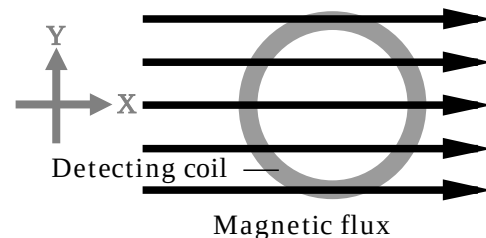


図2 一様磁界中に置かれた検出コイル

2 電磁誘導プローブによる金属検知の原理

2.1 一様磁界プローブの構造と原理

一様磁界プローブは、図1のように矩形縦置ききの励磁コイルとその中心下に配置した検出コイルから構成される。交流電流を流した励磁コイル下には、励磁コイル巻線と垂直方向に一様な磁界が発生する。

図2は一様磁界中に置かれた検出コイルを示している。金属片がない場合、一様な磁界

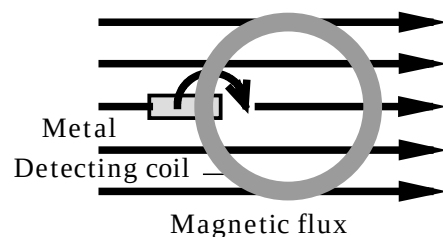


図3 磁束に平行な金属片の場合

中に置かれたとき円形の検出コイルの起電力は、検出コイルの面が磁界に対して平行なため磁束が検出コイルを鎖交せず発生しない。

金属片がある場合、磁性の金属片内を通る磁束と金属片に誘導される渦電流による磁束の合成磁束で空間磁界が乱れる。この金属片によって乱れた磁束が検出コイルの巻線を鎖交する事により検出コイルに起電力が発生する。この時、信号振幅が最も大きくなる位置は磁界が一様なため、常に磁界の向きと垂直になる検出コイルの左右の位置となる。図3のように、X方向に長さを持つ金属の場合、金属片を通る磁束の経路が長いため、検出コイルを鎖交する磁束も大きく、得られる起電力も大きい。図4のように、Y方向に長さを持つ金属片の場合、図3のX方向に長さを持つ金属片と比べて金属片を通る磁束の経路が短いため検出コイルを鎖交する磁束が小さく、得られる起電力も小さい。

2.2 回転一様磁界の構造と原理

回転一様磁界プローブは、図5のように2つの矩形縦置きコイルを十字に組み合わせた励磁コイルとその中心下に配置した検出コイルから構成される。この2つの励磁コイルにお互い 90 度位相の異なる交流電流を流す事により励磁コイル下には、時間と共に方向が回転する一様な磁界が発生する。

金属片がない場合、一様磁界プローブと同様に、円形の検出コイルが回転する一様な磁界中に置かれても検出コイルの面が磁界に対して平行なため磁束が検出コイルに鎖交せず発生しない。

金属片がある場合、磁性の金属片内を通る磁束と金属片に誘導される渦電流による磁束の合成磁束で空間磁界が乱れ信号が発生する。この時、信号振幅が最も大きく検出される位置は磁界が回転しているため、磁束の経路が最も長くなる金属片の長さを持つ方向に対応して変わる。図3のように、X方向に長さを持つ金属片の場合、一様磁界プローブの場合と同様に大きな起電力が得られ、信号振幅が最も大きく検出される位置も同じである。図6のように、Y方向に長さを持つ金属片の場合、磁界が回転しているため、X方向に長さを持つ金属片と比べても金属片を通る磁束の経路が短くならず、検出コイルを鎖交する磁束も小さくならないため、起電力も小さくならない。信号振幅が最も大きく検出される位置は磁束の経路が最も長くなる金属片の長さを持つ方向と垂直になる検出コイルの上下の位置となる。

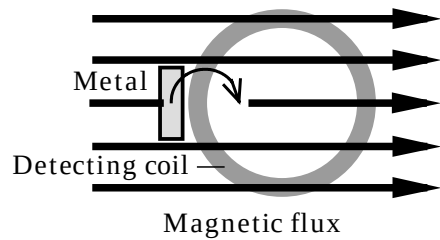


図4 磁束に垂直な金属片の場合

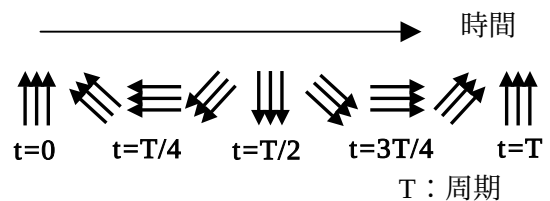
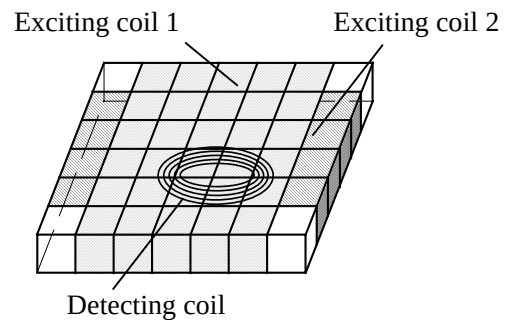


図5 回転一様磁界プローブの構造と回転磁界

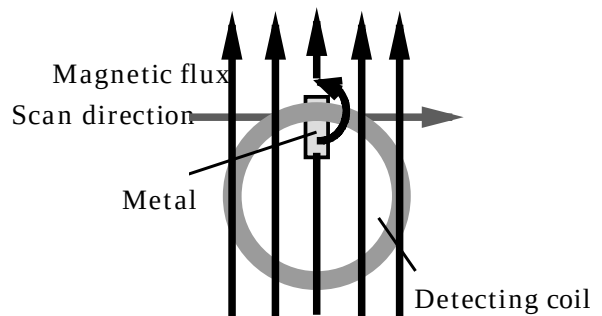


図6 走査方向と垂直に長さを持つ金属片

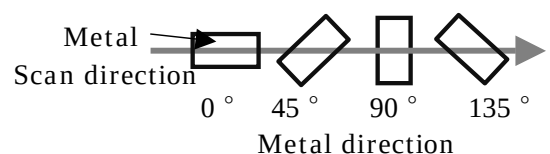


図7 走査方向に対する金属片の向き

3 実験条件と実験方法

試験体として縦 5mm、横 5mm、厚さ 5mm の立方体と縦 20mm、横 5mm、厚さ 5mm の直方体の二種類の形状の鉄を用いた。

一様磁界プローブは長さ 160mm、幅 150mm、高さ 30mm 巻線断面積 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ の矩形横置き of 励磁コイルと、外形 70mm、巻幅 10mm、巻厚 1mm の円形検出コイルから構成されている。

回転一様磁界プローブは二つのコイルを十字に組み合わせたそれぞれ長さ 160mm、幅 150mm、高さ 30mm 巻線断面積 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ の矩形横置き of 励磁コイルと、外形 70mm、巻幅 10mm、巻厚 1mm の円形検出コイルから構成されている。

プローブと試験体の相対距離(リフトオフ)は 10mm で、試験周波数は感度がもっとも高かった 5kHz、走査範囲は $x = -150 \sim 150 \text{ mm}$ 、 $y = -150 \sim 150 \text{ mm}$ で二次元に走査を行った。

金属片の向きは、図 7 に示すように X 方向に長さを持つ角度を 0° として、時計回りに 45° 、 90° 、 135° として測定を行った。

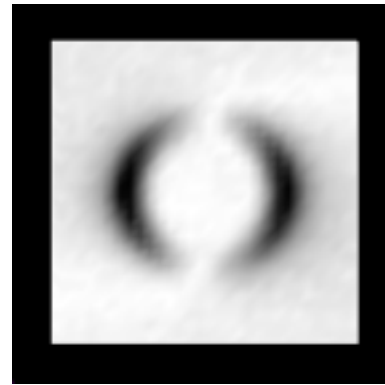
4 実験結果

4.1 金属片の形状特性

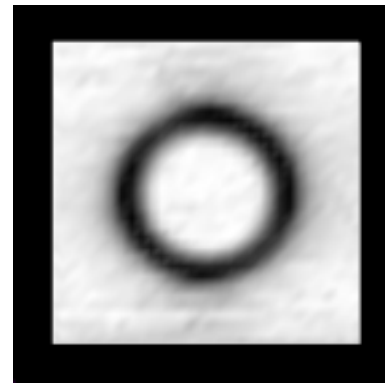
図 8 は立方体の金属片に対してプローブを二次元に走査させたときの結果である。図では信号振幅が小さい値ならば白く、信号振幅が大きくなるに連れて黒が濃くなるように示している。

図 8(a)は一様磁界プローブによる検知信号の信号振幅を示しており、図 8(b)は回転一様磁界プローブによる検知信号の信号振幅を示している。一様磁界プローブの場合、磁界が一様なため検出コイルの左右の位置で信号振幅が最も大きく検出されている。一方、回転一様磁界プローブの場合、磁界が回転しており、更に金属片の縦と横の長さが等しいため金属片を通る経路が検出コイルのどの位置でも等しく、信号振幅も等しく検出されている事がわかる。

図 9 は 0° 方向に長さを持つ直方体の金属片に対してプローブを二次元に走査させたときの結果である。図 9(a)は一様磁界プローブによる検知信号の信号振幅を示しており、図 9(b)は回転一様磁界プローブによる検知信号の信号振幅を示している。一様磁界プローブの場合、立方体の金属片の場合と信号振幅が大きく検出される検出コイルの位置は同じである。一方、回転一様磁界プローブの場合、縦と横の長さの等しい金属片の場合と比べ

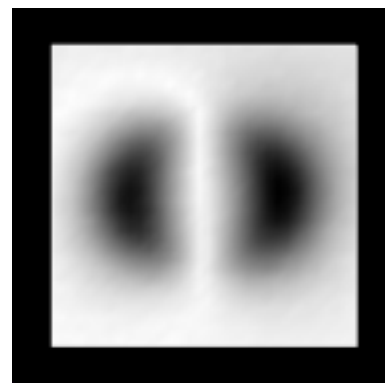


(a) 一様磁界プローブ

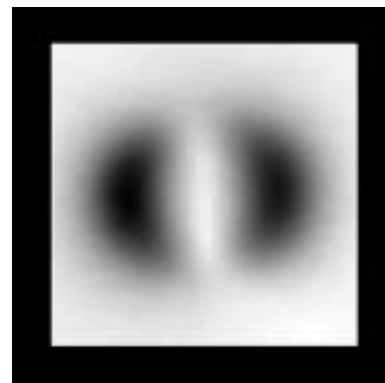


(b) 回転一様磁界プローブ

図 8 立方体の金属片の検知信号



(a) 一様磁界プローブ



(b) 回転一様磁界プローブ

図 9 0° 方向に長さを持つ金属片の検知信号

て、 0° 方向に長さを持っているため、検出コイルの左右の位置で信号振幅が最も大きく検出される。

図 10 は 90° 方向に長さを持つ直方体の金属片に対してプローブを二次元に走査させたときの結果である。図 10(a)は一様磁界プローブによる検知信号の信号振幅を示しており、図 10(b)は回転一様磁界プローブによる検知信号の信号振幅を示している。一様磁界プローブの場合、 0° 方向に長さを持つ直方体の金属片の場合と比べて磁束の経路が短くなっているため、検出コイルの左右の位置で検出される信号振幅が小さくなる。一方、回転一様磁界プローブの場合、 0° 方向に長さを持つ直方体の金属片の場合と比べて、 90° 方向に長さを持っているため、検出コイルの上下の位置で信号振幅が大きく検出される。

これらの結果から、金属片の形状に関しては、一様磁界プローブを用いた場合、金属片の形状によって検出コイルの信号振幅を最も大きく検出する位置は変わらない。それに対して、回転一様磁界プローブを用いた場合、金属片の形状によって検出コイルの信号振幅が最も大きく検出される位置が変わる事がわかる。

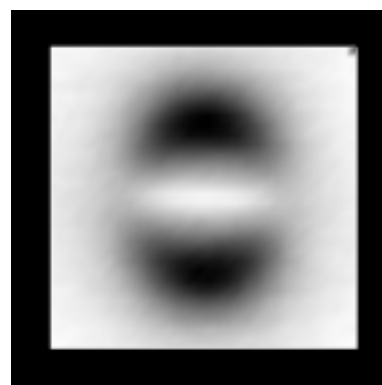
金属片の方向に関しては、図 11 の金属片の向きに対する正規化信号振幅の変化より、一様磁界プローブは金属片の向きが 90° になると信号振幅が小さくなっており、金属片の向きによって信号振幅が変化している事がわかる。それに対して回転一様磁界プローブでは金属片の向きが変化しても信号振幅は変化していない事がわかる。

5. まとめ

本研究では回転一様磁界プローブによる金属検知の精度向上について検討を行った。実験の結果、一様磁界プローブでは、金属片の形状が変化しても信号振幅が最も大きくなる位置は変わらず、金属片の方向が変化すると検出コイルと鎖交する磁束の量が変化するため信号振幅が大きく変化した。回転一様磁界プローブを用いた場合、金属片の形状が変化すると信号振幅が最も大きくなる位置が変わり、金属片の方向が変化しても検出コイルと鎖交する磁束の変化は小さいため、信号振幅の変化も小さい。このことから、回転一様プローブでは金属の向きによらず磁性の金属検知が行え、その検出信号の情報を用いれば、金属片のおおよその形状が判別できる事が確認できた。



(a)一様磁界プローブ



(b)回転一様磁界プローブ

図 10 90° 方向に長さを持つ金属片の検知信号

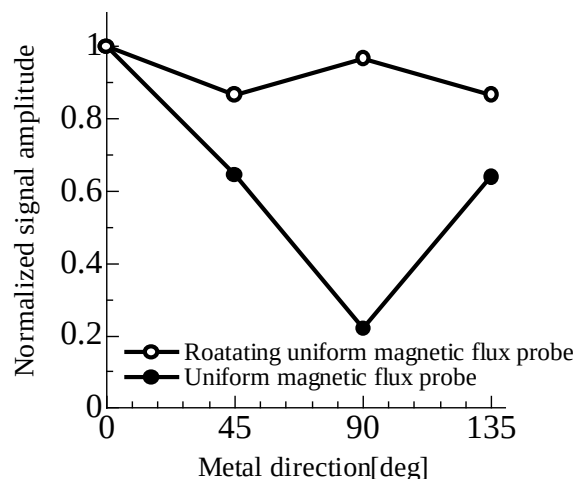


図 11 金属の向きに対する正規化信号振幅

「参考文献」

- 1) 左近敏和、小山潔、星川洋：「電磁誘導プローブを用いた金属検知に関する基礎的検討」学術講演会後援概要 No48,pp.9-10(2005)
- 2) 下井 信浩：「人道的地雷除去のための対人地雷検知技術」計測自動制御学会, Vol.6,pp55. 7-583(2001)