

# コンクリート内埋設物の探査精度向上に関する 電磁波レーダ法の信号処理技術の検討

Investigation of signal processing technology for electromagnetic wave radar concerning exploration accuracy improvement of concrete buried objects

(株)四国総合研究所 岡部 克也 Katsuya OKABE

A large number of important structures such as electricity conduits are buried in reinforced concrete such as walls and floors of nuclear power plants, and it is necessary to explore the buried objects etc. when carrying out a concrete chipping work. Although the electromagnetic wave radar method is widely used for exploration of buried objects, detection may be difficult depending on the arrangement of buried objects.

As a countermeasure against this problem, a method of improving the buried object exploration accuracy of the electromagnetic wave radar method was examined by performing appropriate signal processing on the exploration data.

**Keywords:** ground penetrating radar, GPR, aperture synthesis, concrete inspection, non-destructive survey

## 1. 緒言

原子力発電所の壁や床等に使用されている鉄筋コンクリート内部には、電線管等の重要構造物が多数埋設されている。このため、はつり作業を行う場合には、埋設物探査などによってこれらの埋設物を避ける必要がある。電磁波レーダ法は、探査装置の性能向上等により近年広く使われるようになった埋設物探査方法であるが、埋設物の配置によっては探査が困難になる場合があり、何らかの対策が必要とされる。

この問題への対策として、探査データに適切な信号処理を行うことにより、電磁波レーダ法の埋設物探査精度を向上する方法を検討した。

## 2. 電磁波レーダ法

### 2.1 電磁波レーダ法

電磁波レーダ法の基本的な考え方を Fig.1 に示す。電磁波レーダ法では、一般に、電磁波の送信・受信アンテナとエンコーダ付きの車輪、ディスプレイを備えた探査装置を使用する。送信アンテナからコンクリートに向かって電磁波（周波数 800~2,600MHz のパルス波）を送信すると、コンクリート内に埋設物があれば、その表面で反

射した電磁波が受信アンテナで受信される。埋設物の探査深度は電磁波の往復伝搬時間から分かる。さらに、探査装置を前方に走査することにより、走査開始地点から埋設物までの水平距離を車輪のエンコーダを使って読み取ることができる。探査データは、通常、水平距離（エンコーダ値）と探査深度（往復伝搬時間）を行と列とする行列データ（B スキャン画像）として記録・表示される。埋設物がアンテナの指向角の範囲内にあれば、埋設物からの信号を受信できる。電磁波の往復伝搬時間は埋設物とアンテナが離れるほど長くなるため、各地点で得られる埋設物の信号は、アンテナが埋設物の真上にある時を頂点として、山型の双曲線を描く。

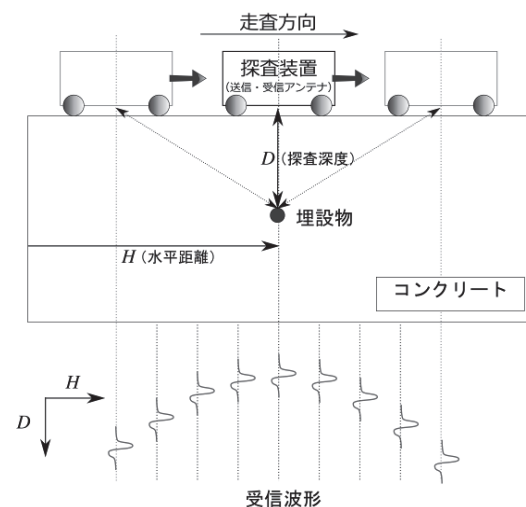


Fig.1 The principle of Ground Penetrating Radar (GPR) for concrete inspection

## 2.2 電磁波レーダ法の問題点

最新のコンクリート用電磁波レーダ探査装置は、最大深度30~40cmまで探査可能とされるが、埋設物の配置によっては、探査可能深度でも探査が困難な場合がある。

Fig.2 ①②に、探査が困難になる代表的な埋設物の配置を示す。

- ① 埋設物の直ぐ上にある鉄筋によって、電磁波がほとんど遮られるため、埋設物まで届きづらくなっている。埋設電線管の多くは鉄筋に結束されているため、このような配置になることは珍しくない。
- ② 2本の鉄筋の信号が交差しているが、交差個所では、干渉により信号が強め合うため、あたかも埋設物が存在するような擬似信号が生じることがある。逆に、同個所に埋設物がある場合には、干渉によって生じた擬似信号と誤認する可能性がある。

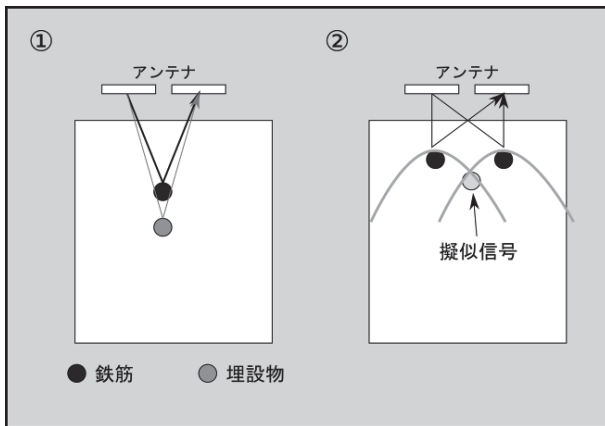


Fig.2 Examples of buried placement difficult to detect

## 3. 埋設物探査精度向上の検討

### 3.1 開口合成法の適用

開口合成法は、航空機や人工衛星などに搭載される空中レーダの分解能を向上させるために開発された手法で、近年は超音波により対象物の内部欠陥を可視化する手法としても注目を浴びている。ここでは、通常の走査で得た探査データに開口合成法を適用する方法について説明する。

Fig.3に開口合成法の概要を示す。信号処理の対象となる波形の水平位置をA地点とし、A地点に埋設物がある場合を考える。このとき、埋設物信号はA地点を中心として山型の双曲線を描く (Fig.3①)。ここで、全ての地点で信号深度が揃うような深度方向の座標変換を考える (Fig.3 ②)。これは、A地点と信号の相対的位置関係で決まる単純な幾何学的変換である。最後に、変換した信

号をA地点の信号に加算する。同じ計算を各走査位置で行う。すると、埋設物の位置にピークがあるような波形分布が得られる (Fig.3 ③)。

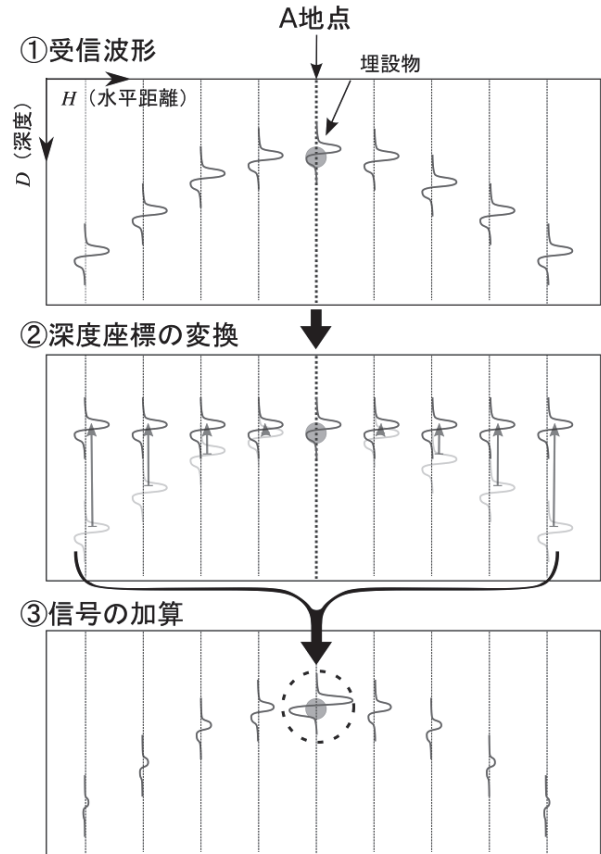


Fig.3 An overview of this aperture synthesis method

### 3.2 バックグラウンドノイズの低減

電磁波レーダ法では、コンクリート中の骨材や水分により電磁波が大きく減衰するため、埋設物の深度が大きくなるに従って、埋設物信号は急速に弱くなる。対策として、探査深度に応じて信号の増幅を行う方法が考えられるが、柱や梁に近いところでは、信号を増幅しただけではコンクリート表面の多重反射などによるバックグラウンドノイズが強調されてしまうことがある。そこで、バックグラウンドノイズの水平方向の変化が小さいことに着目し、元の波形から水平方向に平均化した波形成分を差し引くことによりバックグラウンドノイズの低減を図った (Fig.4)。

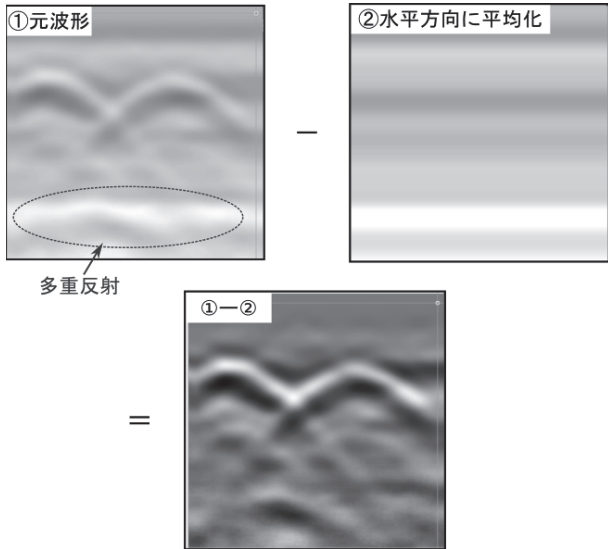


Fig.4 Reduction of background noise

#### 4. 信号処理適用例

Fig.5 は、鉄筋 4 本と金属電線管 1 本を埋設したコンクリート試験体の探索データに開口合成法を適用した例である。実波形では、鉄筋や電線管の信号の広がりが大きく、干渉により埋設物が無い場所に擬似信号が生じているが、開口合成法適用結果では、信号のピークが明瞭になり、干渉もほとんど消えていることが確認できる。

#### 5. 結言

電磁波レーダ法に開口合成法等の信号処理技術を適用することにより、鉄筋コンクリート内埋設物の探索精度を向上する手法について検討を行った。

今後、実用性が高い検査システムの構築を目指し、さらなる探索精度の向上に有効な信号処理技術や、高精度な埋設物の判定技術などについて検討を進める予定である。

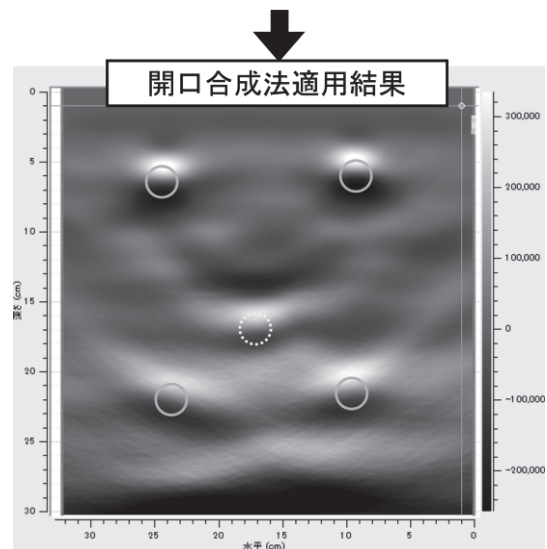
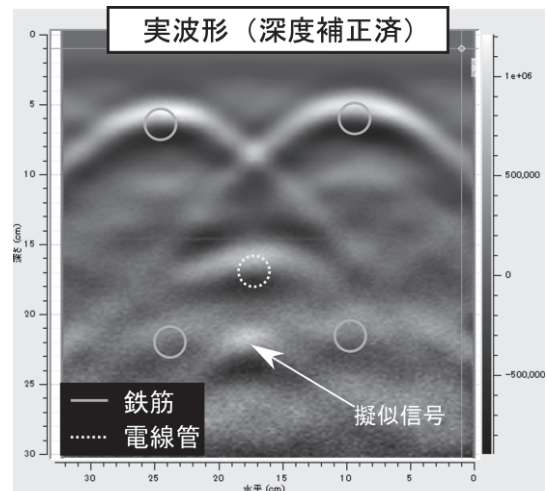


Fig.5 An example of the application results