

コンクリート埋設物探査技術の開発

Exploration for buried object in concrete using phased array method

(株)東芝	隅田 晃生	Akio SUMITA	Non Member
(株)東芝	尾崎 健司	Kenji OSAKI	Non Member
(株)東芝	正木 克実	Katsumi MASAKI	Non Member

Erroneous disconnection of buried pipe in reinforced concrete that cannot be found in the Existing radar type prospecting has occurring. However, it is very difficult to solve the problem which. For this purpose, we have developed a beam focusing radar system using the phased array method. Our development system shows to can be detected the buried object without interference to the rebar.

Keywords: severe accident, RC, concrete, exploration, buried object, electromagnetic wave, rebar

1. 諸言

国内原子力プラントでは再稼働に向けてシビアアクシデント対策規制[1]に基づく追加工事が順次進められている(Fig.1)。この際、原子炉建屋等のRC(Reinforced-Concrete)壁や床に注水ライン等を通すための貫通穴を開けるが、RC内には鉄筋の他、切断できない各種設備への給電管や接地線等が埋設されているため、ボーリング前に図面と埋設物探査機による埋設物調査を実施し、鉄筋との干渉を回避することで誤切断事故を未然に防止している。しかし、既存のレーダ式埋設物探査機は電磁波の干渉影響で鉄筋の下方等、探査が困難な領域が存在し、その領域に隠れた埋設物を発見できないことが問題となっている。

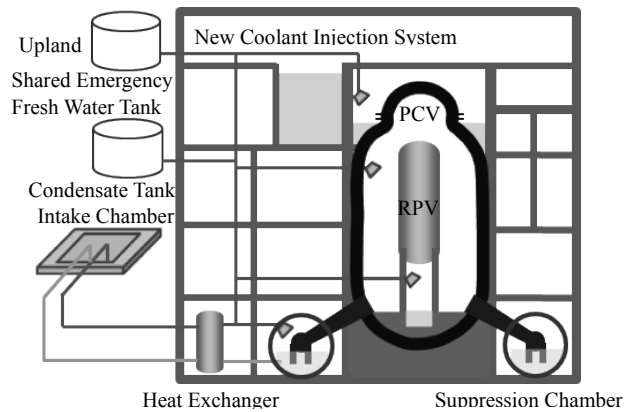


Fig.1 Countermeasure of BWR severe accident

Fig.2に探査困難な埋設物例を示す。井形鉄筋組の底部に存在する埋設物は多段に組まれた鉄筋の干渉により検出が困難である。

2. コンクリート埋設物探査技術の検討

2.1 埋設物探査の状況

埋設物調査を困難なものとしている要因は次の通りである。埋設物探査ではレーダ式埋設物探査機を使用するが鉄筋が密に配筋された裏側や鉄筋真下等の領域は電磁波の不要反射影響やその浸透が干渉されるため、その領域内に埋設物が存在していても検出できない場合がある。

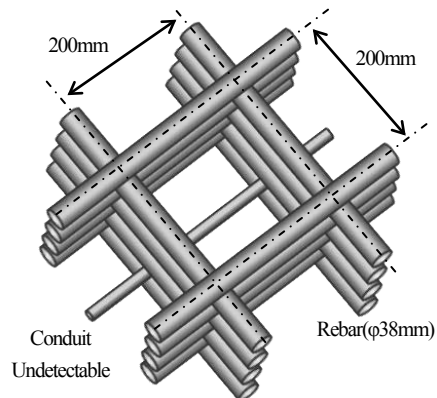


Fig.2 Examples of undetectable buried object

連絡先: 隅田 晃生
(株)東芝 電力・社会システム技術開発センター
〒235-8523 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8
E-mail: akio.sumita@toshiba.co.jp

市販の埋設物探査機で RC 模擬試験体を探査した結果を Fig.3 に示す。上筋から下の埋設物は検出されていない。

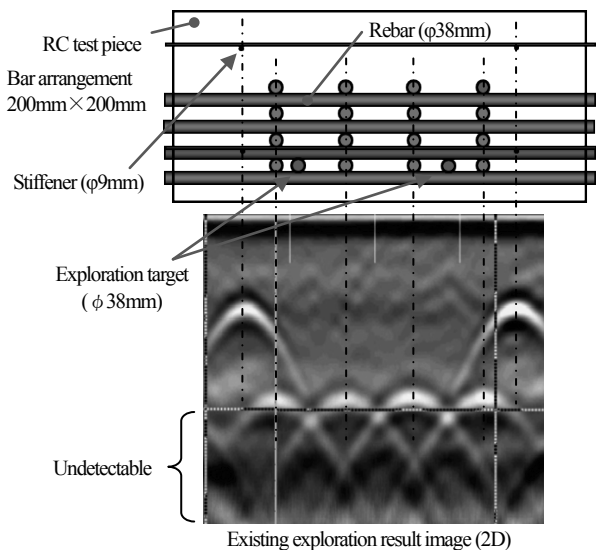


Fig.3 Performance of buried object spacecraft

2.2 フェーズドアレイアンテナの検討

鉄筋の干渉を避けて電磁波を浸透させるには電磁波をフォーカシングさせることが有効である[2]。任意方向に電磁波をフォーカシングする技術としてフェーズドアレイ法がある。これは、Huygens-Fresnel principle に基づく波の回折現象を利用して所望の指向性合成波を形成する技術である。Fig.4 にフェーズドアレイ法の原理を示す。

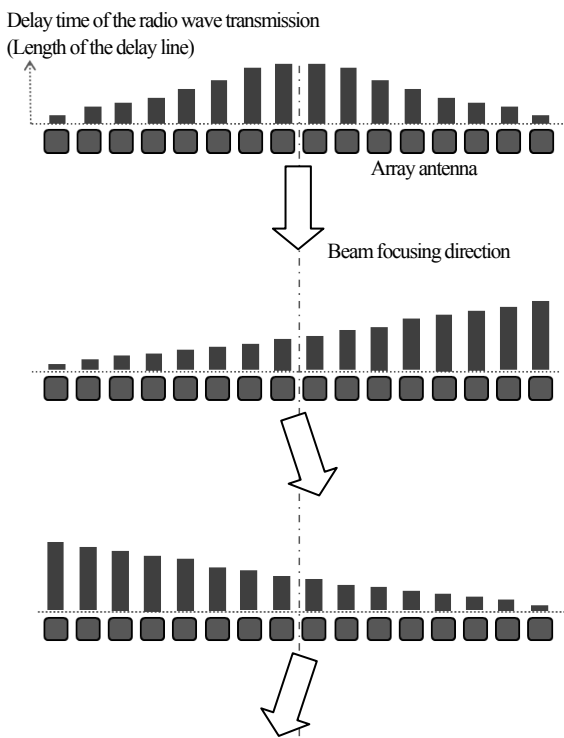


Fig.4 Beam scanning example of a phased array method

位相差を設けるには可変位相器やミキサ等を利用して電子制御できることが望ましい。ただし、フォーカシング領域を限定すれば遅延線の利用が可能である。この場合、挿入損失の増加や SN 比の低下を最小限に抑制できるため性能面で有利となる。ここで、コンクリート中を伝搬する電波速度 v_1 は比誘電率で決定され、 $v_1=c/\lambda \cdot \sqrt{\epsilon_r}$ で求まる。電磁波の波長は分解能に影響し、例えば周波数 3GHz、比誘電率が 8 の場合、波長は約 35mm と気中よりも短くなる。よって、埋設物探査の分解能を向上するには RC 内に浸透させる電磁波の周波数を高くすることが望ましい。しかし一方で RC 内を伝搬する電磁波の減衰はおよそ 15dB/15cm(1GHz)、30dB/15cm(3GHz)と周波数が高くなるに従い大きくなる[3]ため、周波数帯の選定にはトレードオフがある。よって今回は、ベクトルネットワークアナライザを利用して 1GHz~5GHz をステップ入力し、観測した反射信号を解析する際に周波数を選定できるようにした。アンテナは小型化が可能で埋設物の各境界からの反射波に時間的な広がり小さく、境界の深さを特定しやすいと言った特徴を重視してボウタイアンテナを選定した。アレイアンテナ素子数は、4,8,16,32 について検討した結果、サイズとフォーカシング特性を考慮して一次元列 16 素子とした。次に埋設物探査への適用性を確認する目的でコンクリート中を垂直方向にフォーカシング(焦点距離は 400mm と 600mm)できる遅延線長等のパラメータ条件を分析決定し、これを電磁界シミュレーションで解析した結果、コンクリート中で電磁波が垂直方向にフォーカシングできることを確認した。Fig.5 に焦点距離 400mm の条件で実施した電磁界シミュレーション解析結果を示す。

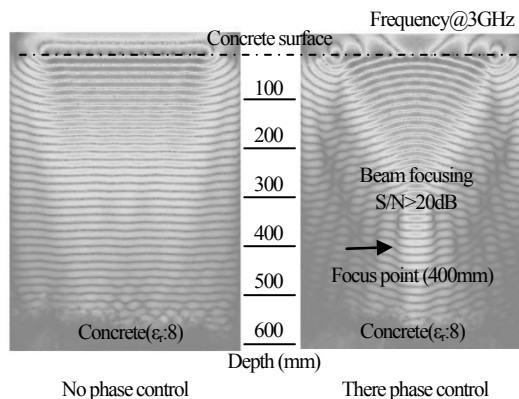


Fig.5 Electromagnetic field simulation analysis results

決定した各パラメータ条件を基に試作した埋設物探査装置を Fig.6 に示す。

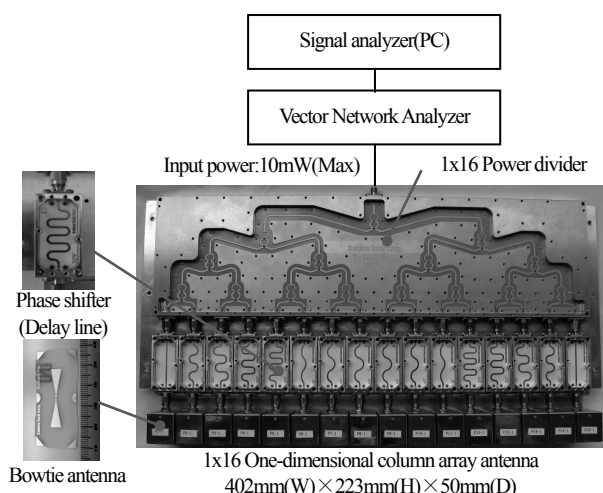


Fig.6 Prototype system of buried object exploration

測定は当該埋設物探査機を RC 上に置き、アンテナ面を RC 面に密着させた状態を維持しながら所定の距離と間隔で走査する。反射波信号の解析処理ソフトウェアは MATLAB™ を利用して開発した。更に解析処理した信号データは周波数選定と合成開口処理を行い探査結果のイメージをモニタ画面に出力表示するようにした。

3. 試験体系と性能試験方法

試作した埋設物探査機の電磁波フォーカシング特性を確認する目的で Fig.7 に示す試験体系を構築した。当該埋設物探査機は横向き水平となるように固定し、3次元ステージに受信アンテナを取り付けて、これを電磁波の放射領域で走査し、気中における電磁波分布を観測した(Fig.8)。

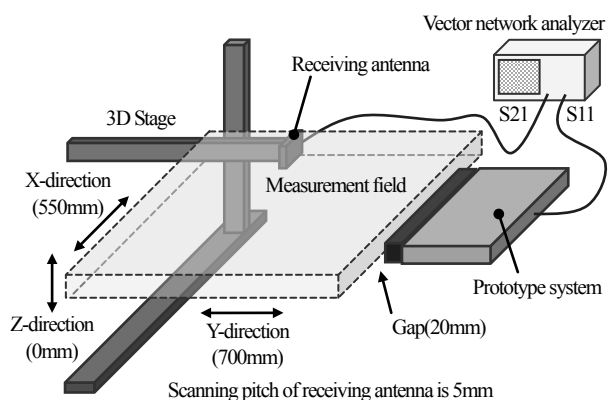


Fig.7 Performance test system of buried objects spacecraft

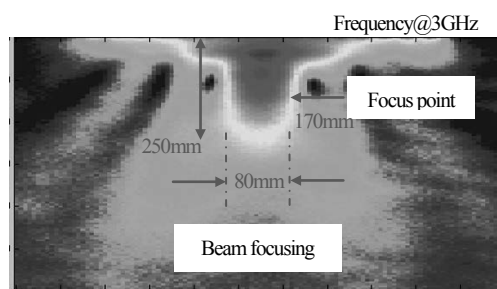


Fig.8 Electromagnetic wave distribution in the air

観測結果から電磁波のフォーカシングを確認した。気中の焦点距離は $1/\sqrt{8}$ になるため、コンクリート換算では約 480mm 相当になる。続いて、埋設物探査試験を実施する。今回は埋設物形状や構造、位置を変更できるように一様な比誘電率分布を再現できる珪砂槽を使用した。この珪砂槽中に $\phi 3.8\text{cm}$ アルミ管で 4 段組みの井形を形成し、その底部に探査目標とした $\phi 1.2\text{cm}$ と $\phi 3.8\text{cm}$ のアルミ管を置いて埋設した(Fig.9)。測定は XY ステージを利用して中央部を起点に距離 $\pm 25\text{cm}$ を 1cm 間隔で当該探査装置を走査した。

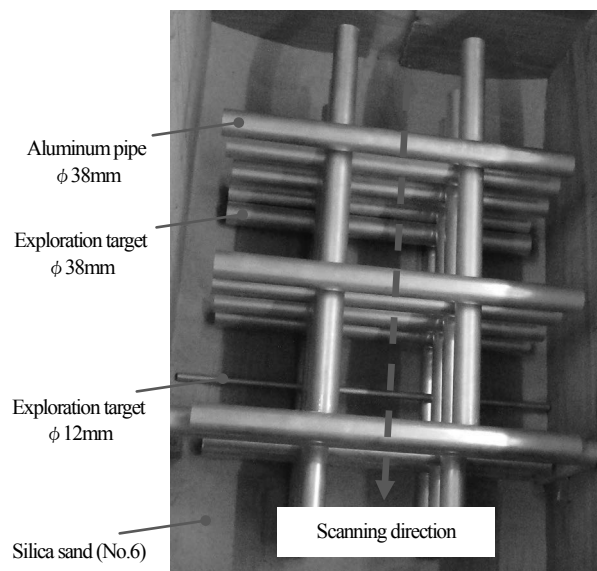


Fig.9 Test system of buried objects exploration

4. 試験結果

埋設物探査試験結果を Fig.10 に示す。垂直方向へのフォーカシングにより、上筋と井形鉄筋組底部に埋設した $\phi 1.2\text{cm}$ と $\phi 3.8\text{cm}$ のアルミ管が鉄筋に干渉されず検出で

きることを確認した。

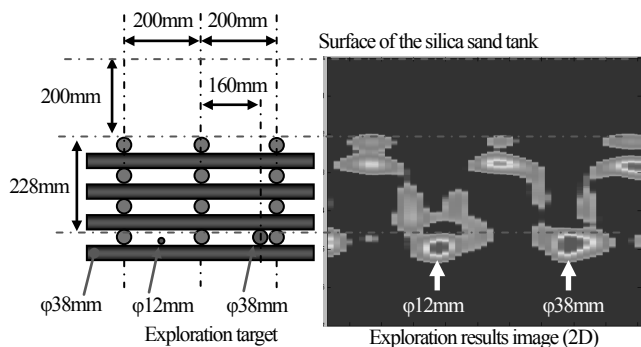


Fig.10 Buried object exploration test results

5. 結言

フェーズドアレイ法を応用したコンクリート埋設物探査機を開発した。本開発機と珪砂槽を使用して探査が困難と言われている井形鉄筋構造の底部に置かれた埋設物を検出できる可能性を示した。今後は、RCを使用した試験検証を進める。また、斜めのフォーカシング技術を開発して現在は探査不可と言われている鉄筋裏に密着した電線管等の埋設物検出にも取り組む予定である。

参考文献

- [1] “実用発電用原子炉に係る新規規制基準について-概要-”, 原子力規制委員会
- [2] 芝田三郎、船戸一寛、“フェーズドアレイ法による欠陥検出技術”、IIC REVIEW/2005/4, No.33、pp.27-35.
- [3] 吉野 涼二、遠藤 哲夫“屋内電波環境推定のための一般建築材料の透過反射特性に関する実験的検討”, 大成建設技術センター報 第38号(2005)