

論文 複鉄筋コンクリート床版への電磁波レーダの適用に関する検討

吉沢 勝*¹・朴 錫均*²・魚本 健人*³

要旨：電磁波レーダ法は、コンクリート内部の状態を検査するのに、非接触で連続的に測定することが可能であり、測定結果をディスプレイ上ですぐに知ることができる利点を有している。本研究では、電磁波レーダ法を鉄筋コンクリート床版へ適用するための基礎研究として、複鉄筋構造における電磁波の透過について実験を行い、計測画像予測シミュレーションと比較して下端鉄筋の検出の可能性について検討を行った。これにより上端鉄筋以深の鉄筋検出が可能であることが明らかとなった。

キーワード：電磁波レーダ、鉄筋コンクリート

1. はじめに

電磁波レーダ法はコンクリート内部を検査するのに、非接触で連続的に測定することが可能であり、疑似画像で測定結果をすぐに知ることができる将来有望な技術である。電磁波レーダ法をコンクリート構造物に適用した例としては、トンネル背面の空洞調査の実績が報告されている[1-2]。また、鉄筋コンクリートに適用した場合には、外側に配置された鉄筋の内側の検出は困難であるとされている[3]。しかし、電磁波レーダ法を鉄筋コンクリート床版に適用した場合、鉄筋コンクリート床版の損傷の多くは鉄筋コンクリート床版内部もしくは下面にあり、これらの欠陥部を検出することが重要であると考えられる。そこで本研究では、電磁波レーダ法を鉄筋コンクリート床版に適用するための基礎研究として、複鉄筋構造の鉄筋コンクリート中での電磁波の透過に関する実験およびシミュレーションを行い、電磁波レーダへの複鉄筋の影響について検討を行った。

2. 実験概要

実験供試体は、レーダ装置のアンテナ部の大きさから1200mm×900mm×300mmとした。上端鉄筋の間隔による電磁波への影響を考慮して図-1に示すような上端鉄筋をそれぞれ100mm、200mm、300mm間隔に配置したもの3

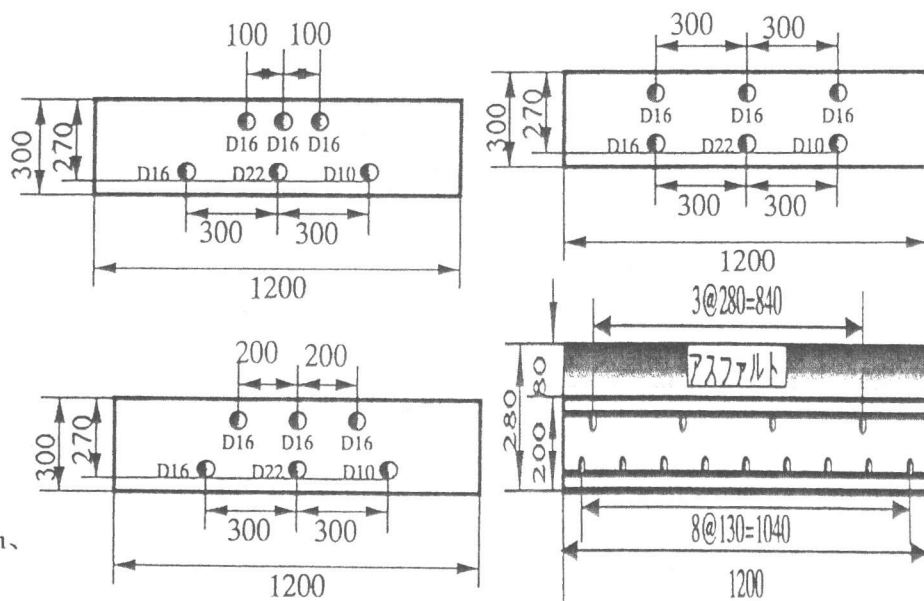


図-1 供試体

- * 1 (財)首都高速道路技術センター, 開発研究部開発研究課(正会員)
- * 2 東京大学大学院, 土木工学専攻(正会員)
- * 3 東京大学教授, 生産技術研究所第5部, 工博(正会員)

種類を作成した。また、実橋への適用を考慮して鉄筋を交差配置しアスファルト舗装を施した供試体を作成した。測定機器としては、表-1に示すような鉄筋の方向検知も可能な3素子ダイポールアンテナを有する発振周波数帯域20MHz~1GHzの高分解能型地中探査用レーダ装置を用い、測定間隔は10mm間隔で測定を行った。測定は、図-2に示すように鉄筋方向に対して鉛直方向に測定を行った。

表-1 レーダ装置仕様

アンテナ方式	3素子ダイポール 3モード動作
周波数帯域	20MHz~1GHz
計測速度	1.5Km/h
測定間隔	10mm
データ記録量	500m

3. シミュレーション

実験を行うにあたっては、測定画像が雑信号を含むものでその判断が容易ではないため、各供試体における計測画像予測シミュレーションを行った。そのシミュレーションモデルの概念図を図-3に示す。実際の計測の場合、式(1)によりアンテナから放射された電磁波が目標物で反射してアンテナで受信されるまでの時間 t を、電磁波の伝搬速度 V で目標物との距離 Z に置き換えて、ディスプレイ上に表示している。

$$Z = V \times t / 2 \quad (1)$$

本シミュレーションモデルではこの作業をコンクリート内での電磁波の速度を一定として、レーダ装置の移動に伴う各点においてアンテナより放射される電磁波の幅によって、電磁波の測定範囲内に入ってくる鉄筋の座標を求め、アンテナから鉄筋までの距離を算出してアンテナ直下の点としてプロットするものとしてシミュレーションしている。電磁波の伝搬条件としては、鉄筋によって電磁波が全反射をするものとし、電磁波が目標物まで伝搬したとするときの予測モデルを得るために、コンクリート中における電磁波の減衰はないものと仮定した。

4. 実験結果及び考察

4.1 上端鉄筋の間隔による影響

上端鉄筋の間隔を変えて作成した供試体の測定結果とシミュレーション結果とを図-4~6に示す。測定画像には雑信号が多く含まれており、その結果のみから判断するのは容易ではない。しかし、シミュレーション結果と比較することによって雑信号を除いて判断することができる。図-4に示すように上端鉄筋間隔100mmで配置した場合には、上端鉄筋は鉄筋間隔が狭いため深さ10cm付近に全て一連の画像として検出され、個々を識別することは困難であったが、下端鉄筋は深さ30cm付近に個々の鉄筋として検出されているのがわかる。これは①電磁波がアンテナから放射されるときに指向性をもって放射されるが、その指向性がアンテナによってある幅を持つことまた、②シミュレーション結果からわかるとおり、放射された電磁波に対して上端鉄筋の除となる部分は上端鉄筋が電磁波を反射するため検出されないが、それ以外の部分で検出されることが

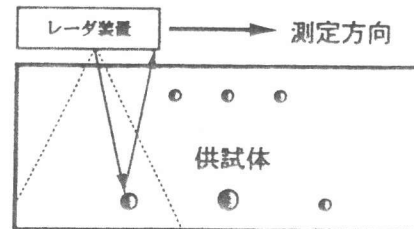


図-2 測定方法

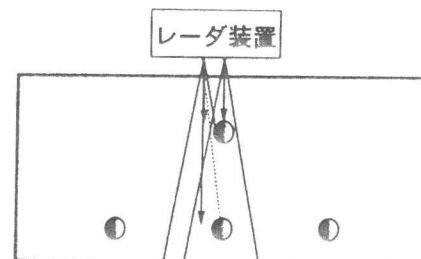


図-3 シミュレーション概念図

原因であると考えられる。図-5は、上端鉄筋間隔200mmで配置した供試体の結果であるが、深さ10cm付近に上端鉄筋が、深さ30cm付近に下端鉄筋が検出されている。これは上端鉄筋の配置間隔が広くとられている分、下端鉄筋の検出精度が向上した結果となっており、シミュレーション結果ともよく一致している。図-6は、上端鉄筋間隔300mm

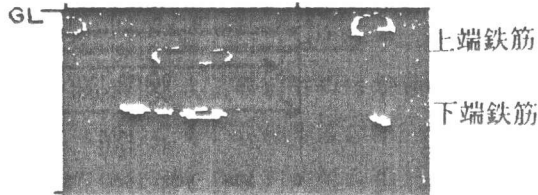


図-4 上端鉄筋間隔100mm

としたときの結果であり、深さ10cm付近に上端鉄筋が、深さ30cm付近に下端鉄筋が検出されている。この図から鉄筋間隔をさらに広げたときの結果とともに、上端鉄筋と下端鉄筋が同一直線上に配置されたときの結果をみる事ができる。この結果から上端鉄筋の間隔が広がるため、下端鉄筋の検出が容易になった反面、下端鉄筋各

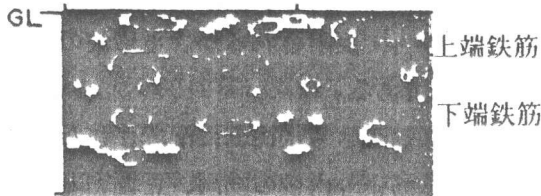


図-5 上端鉄筋間隔200mm

々がその直上にある上端鉄筋の影響を受けるため、結果として検出が難しくなっているといえる。とくに、上端鉄筋よりも小さな径となるD10鉄筋においては、シミュレーション結果と異なり全く検出されなかった。鉄筋の検出がシミュレーション結果と異なっている理由としては、今回のシミュレーションでは条件より削除した電磁波の減衰によるものと思われる。

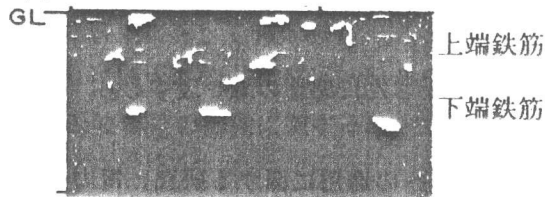
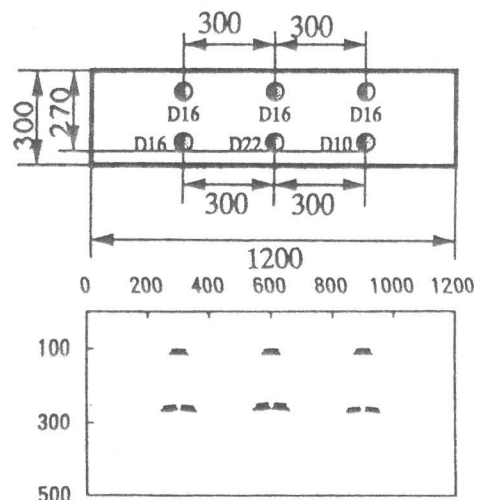
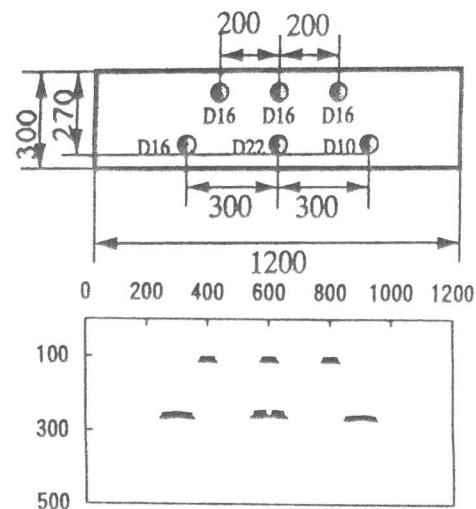
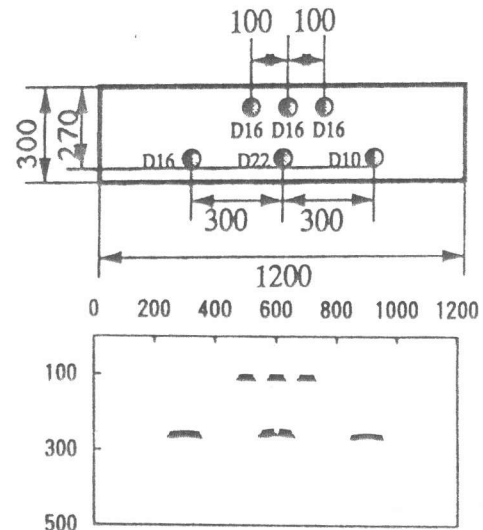


図-6 上端鉄筋間隔300mm



4. 2鉄筋の交差配置による影響

鉄筋を交差して配置した供試体の測定結果とシミュレーション結果とを図-7に示す。測定面

像を見ると深さ10cm付近にアスファルト舗装とコンクリート表面との境界面と思われる画像がある。また深さ15cm付近に2本の、30cm付近には1本の鉄筋と思われる画像があった。この測定画像をシミュレーション結果と比較すると、深さ10cm付近の画像がアスファルトとコンクリートの境界面からの影像であることが確認できる。また深さ15cm付近の上側の画像が上端鉄筋からの映像と判断できる。さらに、深さ30cm付近の画像が下端鉄筋であることがわかる。しかし、鉄筋の交差配置の影響によって計測画像では縦鉄筋と横鉄筋との判別がつかないという結果となった。また、深さ15cm付近下側の画像は、リングング等の影響によるものと思われる。

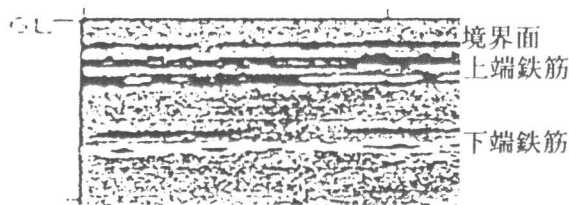
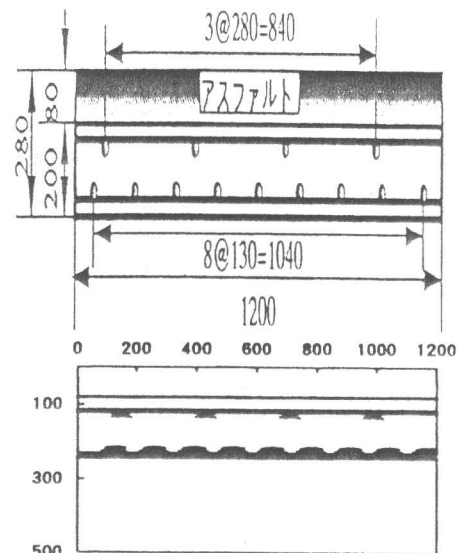


図-7 鉄筋交差配置



5. まとめ

本研究では、複鉄筋コンクリート床版における電磁波の上端鉄筋より内側での透過に関する実験および計測画像予測シミュレーションを行った。その結果をまとめると以下のものである。

- (1) 複鉄筋配置されている場合、電磁波は上端鉄筋によって反射されるが、電磁波の一部が鉄筋間を透過伝搬し、その内側の計測を行うことも可能である。
- (2) 本研究では、鉄筋コンクリート床版において上端鉄筋のさらに内側に配置された鉄筋が検出可能であるかを検討してきたが、今後さらに上端鉄筋より内側の空洞、豆板等の検出について検討を行う必要があると思われる。そのためには、地中探査用レーダよりもアンテナを小さく周波数帯域を高くして分解能を上げるとともに、画像処理等のソフトウェア変更を加えたコンクリート探査用レーダの開発が必要と思われる。
- (3) 予測シミュレーションを行うことによって、計測画像から雑信号を容易に見分けることが可能となった。今後、シミュレーションにアンテナの大きさや電磁波の周波数、減衰等の要因を反映させることによってさらに高精度のシミュレーションが可能になるとと思われる。しかし、反射については検討が必要であると思われる。

謝辞

実験に際して御助力を得た芝浦工業大学卒論生齋藤啓子さんに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 江川顕一郎ほか：地中レーダーの水路トンネル調査への適用に関する研究、電力土木No. 203別刷、1986. 7
- 2) 木村憲明ほか：電磁波によるトンネル覆工厚と空洞検査技術の開発、三井造船技報第141号別刷、pp. 11-18
- 3) 建設省土木研究所ほか：コンクリート構造物の健全度診断技術の開発に関する共同研究報告書、共同研究報告書第106号、pp. 53-70、1994. 7