

UHF 帯地中レーダによる鉄筋コンクリート床版の 自動損傷検知アルゴリズムの開発

東京大学大学院工学系研究科 学生会員 ○中村 渚

東京大学大学院工学系研究科 正会員 水谷 司

株式会社土木管理総合試験所物理探査事業部 正会員 垂水 稔

1. はじめに

鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）の効率的な非破壊検査方法として有望と考えられる技術に、非接触・高速での計測が可能な電磁波を用いた地中レーダ技術がある。コンクリートの抜け落ち等の深刻な損傷に繋がらうる床版の損傷として、上側鉄筋とかぶりコンクリートの間付近に発生する 1 mm 以下の幅の「水平クラック」やそれが進展してできた「土砂化」が挙げられるが、本研究では、地中レーダとして主に用いられる UHF 帯アンテナを用いて RC 床版内部に発生するこれらの損傷を自動的に検知するアルゴリズムの開発を行った。構築したアルゴリズムの妥当性の検証には、内部に理想的な損傷を模擬した実物大 RC 床版での計測結果を用いた。

2. 地中レーダによる RC 床版内部の損傷検知アルゴリズム

電磁波レーダ計測には、UHF 帯の地中レーダの一つであるマルチチャンネル式ボータイアンテナ(3D-Radar 社製 VX-Series ultra-wideband antenna arrays : ModelVX2429)を用いる。アンテナの周波数帯域は 50MHz~3 GHz, チャンネル数 29, チャンネル間隔 75mm, 有効測定幅は 2,100 mm である。図-1 に示すように、本アンテナを計測専用車両に設置し、車両を走行させながら各チャンネルの送受信アンテナの間で信号を送受信することで、チャンネル方向、深度方向、走行方向からなる RC 床版内部の三次元的データを得る。計測は Stepped Frequency-modulated Continuous Wave レーダ方式¹⁾ (以下、SF-CW レーダ方式) により行われ、計測された周波数領域信号を時間領域信号へ逆フーリエ変換することで RC 床版内部の反射係数分布を推定する。

レーダにより得られた RC 床版内部の反射係数分布の推定結果から図-2 に示すフローに従って RC 床版内部の損傷の平面的位置同定を行う。本研究では、床版上部の損傷に注目するため、まず鉄筋位置を基準として深度方向の一定の範囲のデータを抽出する。次に、健全部と損傷部での反射波の波形が異なることに注目し、相関演算を行うことで相対的異常箇所を検知し、その異常の程度の定量化を行う。最後に、異常の程度を表す値に対して統計的な外れ値検定を行うことで、より発生確率の低い異常値を持つ部分を損傷箇所とみなし計測範囲内における損傷箇所の平面的な位置同定を行う。



図-1 計測専用車両

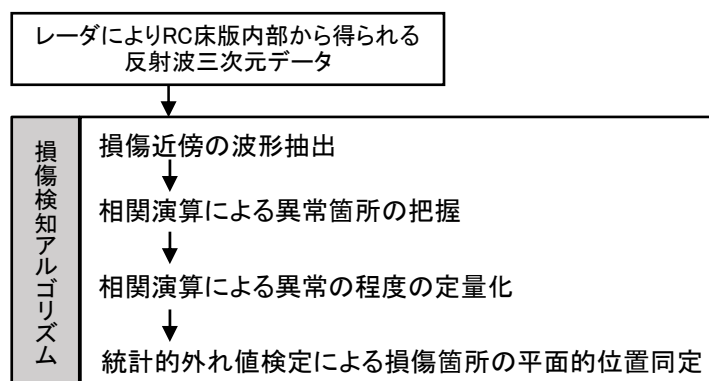


図-2 構築した損傷検知アルゴリズムのフロー

キーワード 非破壊検査, 地中レーダ, 鉄筋コンクリート床版,

連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷7丁目3番1号 東京大学本郷キャンパス一号館 TEL03-5841-6099

3. 理想的損傷を有する実物大 RC 床版試験体へのアルゴリズム適用実験

図-3 に水平クラックおよび土砂化を模擬した損傷を埋め込んだ実物大 RC 床版試験体の概略図を示した。クラックの模擬の仕方は比誘電率が空気と近いと考えられるアクリル板の埋め込みによる方法と中空部の作成による方法の二通りで行い、そのクラック幅はアクリル板が 1 mm と 10 mm, 中空部によるものが最大で 1~2 mm 程度, 5~10 mm 程度, 10~15 mm 程度とした。また、晴天時と雨天時・雨天後の状態を模擬するために中空部が空気の場合と水で満たされた場合の二通りで計測を行った。

図-4 に損傷検知アルゴリズム内で得られる異常度カラーマップと損傷判定図を示した。幅が 10 mm~15mm 以上の中空のクラック, 厚みが 10mm のアクリル板, 土砂化については水がない場合においても損傷箇所を検知可能であることを示した。一方で, 水を含ませた場合においては, 現実的なクラックの幅に近い幅 1~2 mm 程度のクラックも損傷として検知された。

まとめと今後の課題

今回理想的な模擬損傷を埋め込んだ試験体により検証を行い、特定の条件下、特に雨天時・雨天後における UHF 帯域の電磁波レーダを用いた本自動損傷検知アルゴリズムの有効性を確認した。今後さらに現実的な損傷を埋め込んだ試験体および実橋梁での計測結果に本手法を適用しアルゴリズムの検証・改良をする必要がある。また次のステップとしてレーダの広帯域化等のハード面からの開発も行い、最終的により微小な損傷をも捕捉可能な RC 床版内部の自動損傷検知システムを構築したい。

参考文献

- 1) Iizuka, K., Freundorfer, A., Wu, K., Mori, H. Ogura, H. and Nguyen, V. : Step frequency radar, J. Appl. Phys., Vol. 56, No.9, pp.2572-2583, 1984.

謝辞

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」（管理法人：JST）によって実施されました。

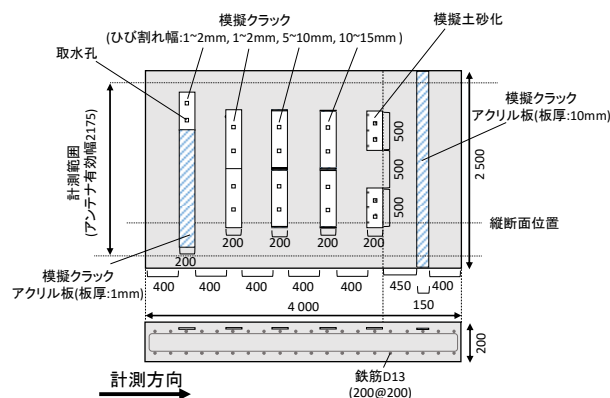
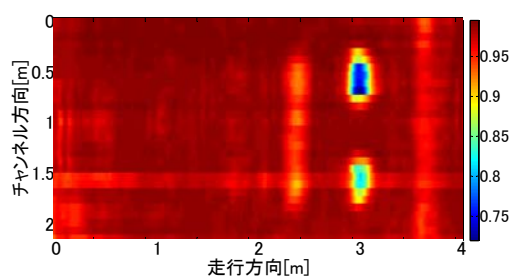
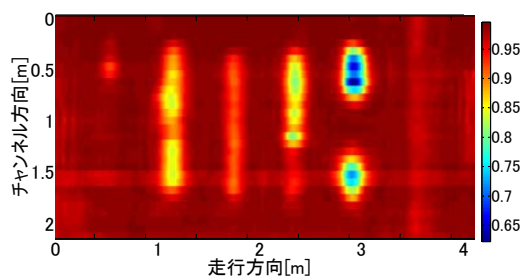


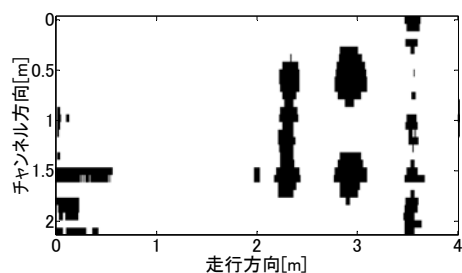
図-3 実物大 RC 床版試験体概略図



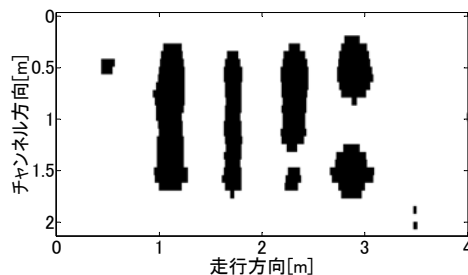
(a) 水なし異常度カラーマップ



(b) 水あり異常度カラーマップ



(c) 水なし損傷判定図



(d) 水あり損傷判定図

図-4 中空部に水なし・ありの場合の異常度カラーマップおよび損傷判定図