

令和 7 年 4 月 24 日

公益信託 N E X C O 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱 U F J 信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：コンクリート床版の非破壊検査のための位相情報を活用した
超音波イメージング法の開発と実装

研究代表者：愛媛大学大学院理工学研究科 教授 中畑和之

1. 研究の目的

橋梁のコンクリート床版は、交通事情の変化や経年劣化等によって、コンクリート部材の抜け落ちや土砂化等が問題になっている。舗装下の損傷は直接目視できないため、非破壊検査が必要となる。電磁波レーダ検査は、地面からアンテナを離して電磁波を固体内部に送受信できるが、超音波検査の場合、探触子を対象物に接触させて超音波を内部に発生させる必要がある。このため、電磁波レーダのようにアンテナを車載し、高速移動しながら検査することは困難であった。そこで、本研究では、アレイ探触子を移動しながら超音波を発生する機構を提案し、その治具を製作した。また、超音波はコンクリート中では波動減衰の影響を強く受けるため、振幅強度が小さい場合でも良好に映像化できる手法が望ましい。そこで、ここでは、散乱波から位相を抽出し、位相の変化に着目した映像化を試みた。特に、音響インピーダンスの異なる部分から散乱する場合、例えば、空隙等の反射と鉄筋等の介在物からの反射は、反射波の位相が異なる。この位相情報を活用できれば、床版内部の鉄筋と腐食部の識別が期待できる。本研究では、コンクリート試験体を作製し、移動式アレイ探触子の治具と位相情報を用いる超音波映像化手法の性能を検証したので、それを報告する。

2. 位相情報を利用したアレイ映像化手法

低周波超音波を利用した映像化手法である全波形サンプリング処理(Full-wave sampling and processing: FSAP)方式については、「H31 年度助成 公益信託 N E X C O 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金」を受けて開発し、論文等で報告している[1]。従来の FSAP 方式は、散乱波の振幅情報を用いるものであったが、本研究では位相情報を元に映像化を行う FSAP に改良を行った。位相情報を用いた映像化は、各受信素子からの位相の整合を指標化する[2]ものである。

3. 移動式アレイ探触子と治具作成

超音波を固体内に入射させるには、素子と固体を接触させる必要がある。通常はジェル状のカプラントが使われるが、ここでは、検査後に影響が出ないように、水を利用することとした。移動式アレイ探触子の治具を図 1(a)に示す。この治具にはタイヤがついており、このタイヤによって素子

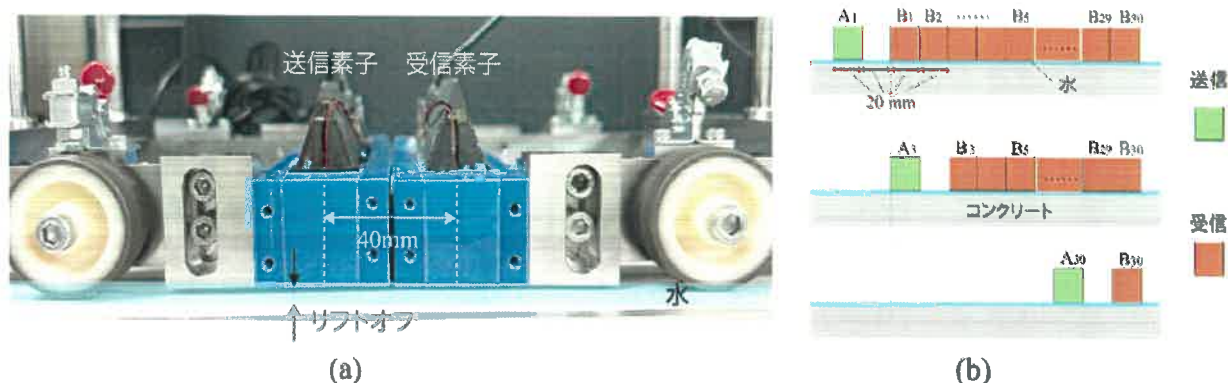


図 1: (a) 試作した移動式アレイ探触子と(b)送受信素子の移動の組み合わせ

をリフトオフしている。リフトオフは最大 10mm までは可能である。素子は、本来ならアレイ状に多数配列させるが、軽量化のため、送信と受信の 2 素子を作製し、この位置を変えながら図 1(b)のように超音波を送受信することで全波形パターンを取得した。FSAP 方式では、送・受の波形の組み合わせが得られれば画像再構成が可能であるため、この 2 つの素子を任意に配置すれば、FSAP の実行は可能である。また、移動式にすることで、ピッチや開口を任意に変更できるのは利点でもある。受信素子と送信素子は、それぞれ独立してスムーズに移動できるようになっている。素子は、中心周波数は 70kHz、素子幅が 20mm であり、これは「H31 年度助成」で作成したものを活用した。

4. コンクリート試験体での実証試験

作製したコンクリート供試体の仕様を図 2(a)に示す。コンクリート供試体は、骨材の最大粒径が 20mm の一般的な配合とした。供試体の x 方向の長さは 1000mm、 y 方向は 300mm、 z 方向は 500mm であり、音速は 4.04km/s である。内部に設置した欠陥モデルとして、深さと幅が異なる 3 つの貫通空隙（スリット）を作製した。スリットはそれぞれ 50mm、100mm、150mm であり、それらは底面から 50mm、110mm、170mm の位置に作製した。スリットの厚さは 10mm とした。図 1(b)のように、素子の移動数は 30 とした。まず、送信素子を A_1 とし、受信素子の位置を 20mm 間隔で番号 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_{30}$ と移動していく。それぞれの位置で受信が終わると、次に送信素子を A_2 に移動して、 $B_2, B_3, \dots, B_{30}$ と受信を繰り返す。波形記憶マトリクスに保存される波形の総数は、 $30 + 29 + 28 + \dots + 2 + 1 = 465$ 波形である。実験では、電圧=250V で 1 波の矩形信号を励起した。サンプリング周波数 2MHz である。リフトオフ（水の層）を 1mm に設定した時の振幅情報を用いた FSAP 方式の映像化結果を図 2(b)に示す。スリットだけでなく、底面底部も映像化されている。位相情報で映像化する場合、深部からの振幅が小さい散乱波でも映像化が可能であることを示した。

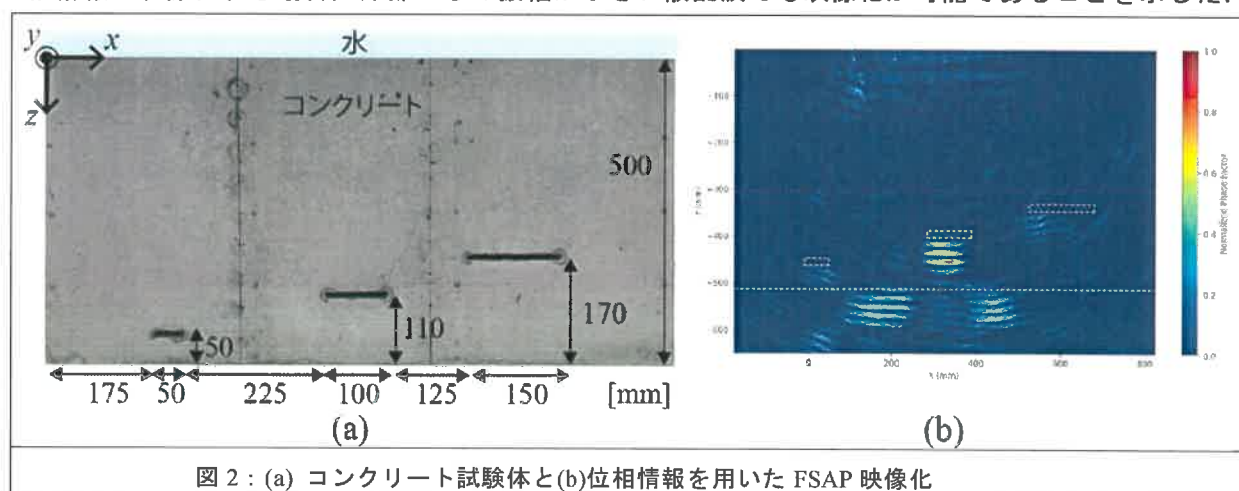


図 2 : (a) コンクリート試験体と(b)位相情報を用いた FSAP 映像化

5. まとめと展望

本研究では、アレイ探触子を移動しながら超音波を発生する機構を提案し、その治具を製作した。超音波はコンクリート中では波動減衰の影響を強く受けるため、振幅強度が小さい場合でも良好に映像化が機能するように位相情報による映像化を試みた。FSAP 映像化を検証した結果、人工欠陥の位置を精度良くイメージングできた。

今後は、位相情報をさらに活用するために、空洞と鉄筋等、音響インピーダンスが異なる散乱体を同時に映像化し、本手法の有用性を検討していきたい。さらに、フルアレイ探触子を製作し、アレイ探触子自体を車載して移送しながら広領域の可視化を検討していくことが課題である。

参考文献

- [1] 中畑和之, 武藤健太, 橋爪謙治, 大平克己, 低周波アレイ探触子を用いたアスファルト舗装内部の超音波映像化, 非破壊検査, Vol.71, No. 2, pp.95-102, 2022.
- [2] Camacho, J., Parrilla, M. and Fritsch, C., Phase coherence imaging, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, Vol.56, pp.958-974, 2009.