

表面で観測される弾性波の位相速度に着目したコンクリート内部欠陥探査方法

(株)東洋計測リサーチ 正会員 ○山下健太郎

オリエンタル白石(株) 正会員 手塚 正道

(一財) 首都高速道路技術センター 正会員 深山 大介・正会員 繪嶋 武史

首都高速道路(株) 正会員 蒲 和也

1. はじめに

衝撃弾性波法を用いたコンクリート構造物の内部欠陥探査技術では、これまで、探査対象の断面形状が板状であることを前提としており、厚さ方向に弾性波が多重反射することによって生成される定在波の周波数と縦弾性波速度の関係から、部材の厚さと内部欠陥の有無を判定することに主眼が置かれていた¹⁾。したがって、PC 橋梁桁の下フランジ部のように、板状でない断面の構造物へのこれらの技術の適用は困難であった。その対策として、筆者らは特定の周波数のトーンバースト信号を用いて計測を行い、内部欠陥からの反射波が測定波形に重畳した場合に、その位相変化に異常な変動が発生する現象を手掛かりとして内部欠陥探査を行う方法について検討を行ってきた²⁾。本報告では、打撃によるパルス信号を入力に用い、構造物表面に複数設置した測定点間の見かけの位相速度の分散性から、内部欠陥の有無、或いは、その深さを推定する手法について、数値計算によって検討した結果を示す。

2. 内部欠陥からの反射波の検出

2.1 位相速度の計算

位相速度は、表面の任意の2点間を伝搬する波動の位相差から算出される。コンクリート構造物の表面に単一の波動のみが伝搬している場合、位相速度の分散性、すなわち周波数による位相速度の変化は無い。しかし、同一周波数構成の波動であっても位相が異なる

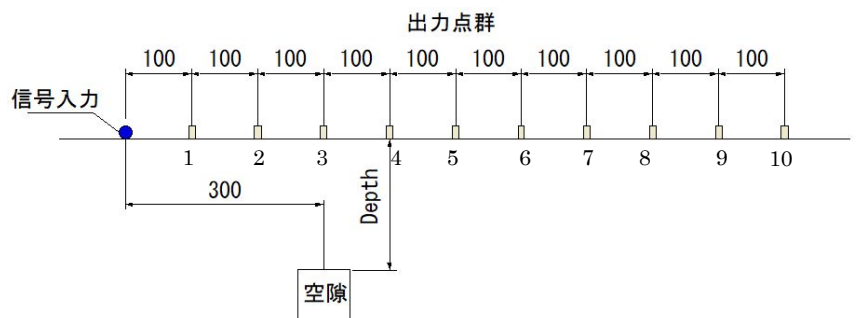


図1 信号の入出力点，空隙の配置

波動がそこに重畳したり、表面を伝搬する波動に内部欠陥からの反射波が重畳したりする場合、見かけの位相速度に分散性が生じることとなる。数値計算には、2次元固体弾性波動方程式の有限差分による数値解法³⁾を用いた。入力信号は、周波数 20kHz の半波正弦波、出力点（測定点）は図1に示すように、入力点から 100mm 間隔で 10 点設置した。計算領域は、表面を除く境界からの反射波の影響がない広さ(幅 16m, 高さ 8m)とした。差分時間間隔は $1\mu\text{s}$ 、計算ステップ数は、1000 とした。位相速度は周波数 f の関数として、相隣接する出力点での位相差から式(1)により計算した。

$$V_R(f) = \frac{2\pi f \Delta L}{\Delta \theta} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta \theta$ は、2点間の周波数 f での位相差、 ΔL は2点間の距離である。

2.2 位相速度の分散性

図2に数値計算で得られた位相速度と周波数の関係を示す。(a)は、空隙が無い場合、(b)は空隙がある場合である。空隙がない場合においても、わずかではあるが周波数によって位相速度の計算値が異なっている。一方、空隙がある場合では、位相速度は周波数によって変動し、また周波数軸上での周期性が観測される。ここで、表面を伝搬する波動が一つのみであり、かつ伝搬過程での摩擦抵抗がない場合、二つの出力点での

キーワード 非破壊試験, 衝撃弾性波法, 数値計算, 表面波, 位相速度, 分散性

連絡先 〒300-2635 茨城県つくば市東光台 1-6-6 (株) 東洋計測リサーチ TEL029-848-0065

波形は相似となり、位相速度が周波数によって異なることはない。空隙がない場合であっても位相速度に分散性が生じるのは、出力波形は表面波(レーリー波)だけではなく、当然表面を伝搬する縦弾性波も含まれており、それぞれの伝搬速度が異なることによって、隣接する出力点で波形が完全な相似でなくなったためと考える。一方、空隙がある場合には、周波数毎のみかけの位相速度の変動が激しい。すなわち、見かけの位相速度に周波数変動がある場合には、内部欠陥の存在を疑うことができることが示された。

次いで、図 2(b)の変動に見られる、周期性や変動幅について、内部欠陥を決定するどのような特性と結びついているか、検討を試みた。

図 3 は、空隙の設定深さと位相速度の周波数変動の分散の関係を求めたものである。図に示されるとおり、空隙が深い程、分散が小さくなる傾向を示す。すなわち、図 2(b)の位相速度の変動は、空隙による反射波の強さに影響されていることがわかる。またこれは、位相速度の周波数変動量から空隙の大きさあるいはおよその深さを推定できる可能性を示唆している。図 4 は、測定面と空隙の間を縦弾性波が一往復する周期と、位相速度の周波数特性に現れた周波数の変動間隔の関係を示したものである。周波数と周期は、反比例の関係にあるが、図は、これを示している。すなわち、図 2(b)に見られる位相速度の周波数変動の周期(周波数間隔)は、測定面と空隙での縦弾性波の多重反射に起因していること、また測定点と空隙の間での多重反射の周期ではないことが示された。図 3、図 4 の関係から、位相速度の周波数変動周期によって空隙の深さとおよその大きさが推定可能であることがわかった。

3. まとめ

2次元弾性固体内の波動方程式の有限差分による解法を用いた数値計算により、見かけの位相速度の分散性に着目して内部欠陥を検知する方法について検討を行った。

その結果、みかけの位相速度に周期的な周波数変動が見られる場合、内部欠陥が存在することが示唆され、その変動周期から欠陥の深さ、また、変動の大きさから空隙からの反射波の強さ(空隙の大きさ)を推定できる可能性が示された。

参考文献

- 1) 例えば, Mary J. Sansalone William B. Streett : IMPACT-ECHO Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry 1997
- 2) 山下健太郎他: 弾性波の位相変化に着目した内部欠陥からの反射波の検出, 土木学会 第 71 回年次学術講演会 V-457
- 3) 山下健太郎他: 2次元波動方程式の分解法及びひび割れ深さ測定方法の検討, コンクリート工学年次論文集 Vol.38, No1, 2016

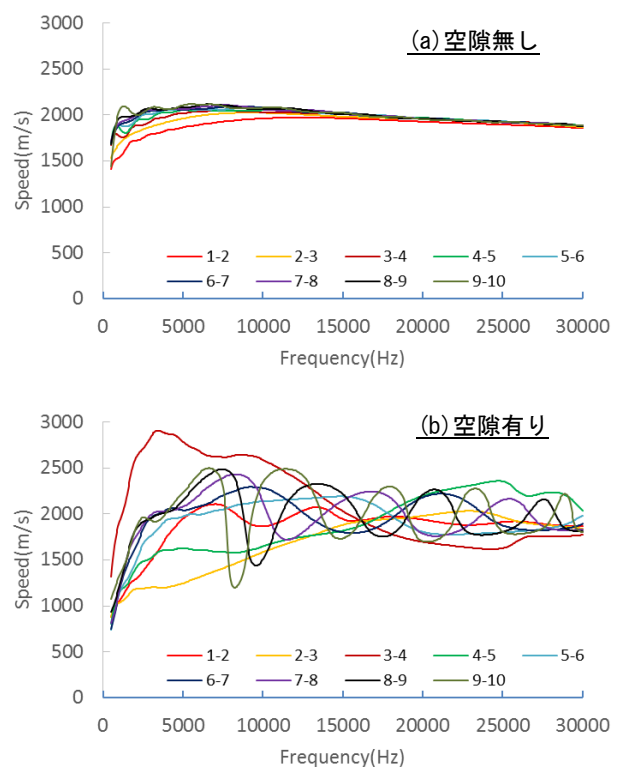


図 2 計算された位相速度 (a) 空隙無し, (b) 深さ 80mm に 80mm×80mm の空隙有り)

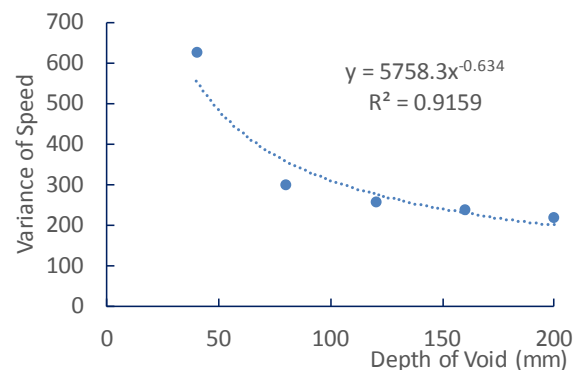


図 3 空隙深さと位相速度の分散

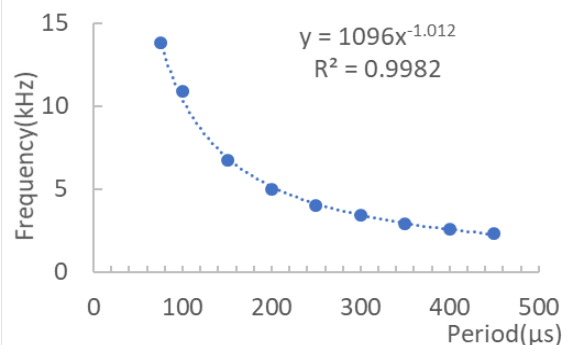


図 4 位相速度の周波数変動周期