対向対称測定点間の差分波形・位相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・正会員　渡瀬　博
（一財）首都高速道路技術センター　正会員　深山　大介・正会員　繪鳩　武史

１．はじめに

筆者らは特定の周波数のトーンバースト信号を入力に使用して計測を行い、内部空隙からの反射波が測定波形に重畳した時刻に、その位相の変化に異常が見られる現象を手掛かりとして空隙を検知する方法について検討を行ってきた [1)]。この方法は、周波数解析を用いた方法と比べて、測定対象の断面形状の影響を受けづらい手法であるといえるが､表面波の到来といった外乱の影響により空隙の検出が難しくなる場合もある。そこで、本報告では，入力点から対向対称位置に設置した 2 つの受信点の測定波形の差分及び、位相差の変化に着目して、空隙の検出精度を向上させる手法について、数値計算及び、供試体実験により検討した結果を示す。

2. 数値計算による内部欠陥からの反射波の検出法の検討

2.1 対となる波形の差分に着目した方法

波動の入力点から対向対象に配置した二つの測定点では、近傍に部材の端部や内部欠陥といった反射面が無ければ、同位相の波形が測定されることとなり、その差分は 0 となる。逆に、掃引測定を行い、片側の測定点に内部欠陥からの反射波等、入力と別の信号が重畳した場合には、両波形の差分としてこれを検出することができると考えられる。図 1 に示すように、信号の入力点から等距離の対称な位置に二つの測定点を配置し、掃引した際に測定される空隙からの反射波の行路差（L_D）を基に、差分波形の振幅を計算すると、式(1)及び、図 2 に表される。

$$A = \sin\left(2\pi \frac{L_D}{\lambda}\right) \qquad (1)$$

ここで λ は縦弾性波の波長である。これより、2 つの測定波形の振幅の差分に着目することで内部欠陥の有無を検知できる可能性がある。図 3 には 2 次元弾性固体波動方程式の数値解法（2D-WAVE）[2)]を用いて、図 1 に示す条件を仮定して得られた数値計算波形の振幅差分の累積値の計算結果を示すが、図 2 と同様の傾向が確認された。なお、内部欠陥の直上で信号を入力した場合、伝搬する表面波、および内部欠陥で反射する縦弾性波とも、同位相の波形が測定されることとなり、対となる測定波形の差分はほぼ 0 となるが、内部欠陥が無い場合には、すべての測定位置で波形の差分は 0 となるはずであるから、掃引測定を行うことによって、両者の区別は可能である。

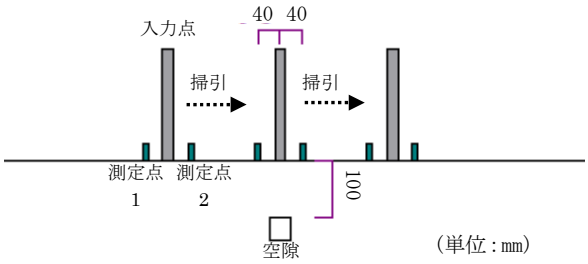

図 1 信号の入出力点，空隙の配置

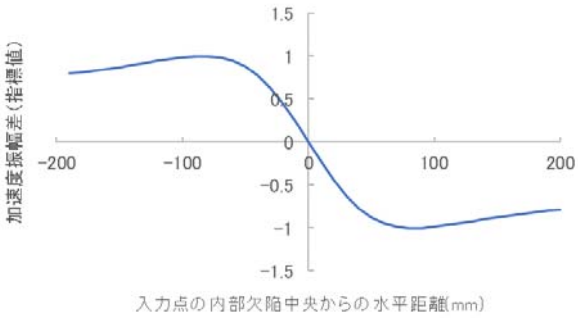

図 2 差分波形の振幅

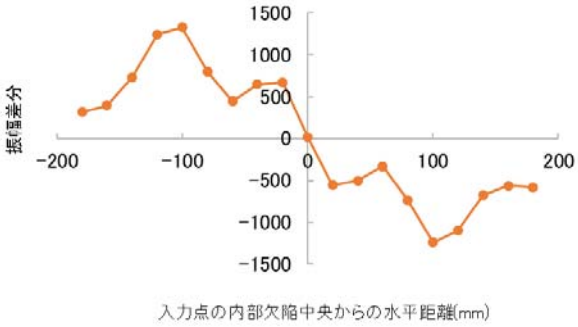

図 3 対となる計算波形の差分

キーワード　非破壊試験，衝撃弾性波法，対称対向測定点，差分波形，位相差, 内部欠陥探査
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

© Japan Society of Civil Engineers

2.2 対となる波形の位相の変化に着目した方法

現実の測定では、測定される波形の振幅は使用するセンサの感度やセンサ接地面の接触インピーダンスの影響により、単に測定波形の振幅の差分だけで反射波の到来を検出できない可能性も考えられる。そこで、波形の位相変化の差に着目した方法の検討も行った。図 4 には入力点を空隙前後 20mm の位置、及び、空隙直上位置とした場合の計算波形の位相差を示す。位相情報は計算波形に対してヒルベルト変換を施して導いた。空隙直上での入力の場合、二つの測定点に到達する波動の位相は同じであり、位相差はほぼ 0 となるが、欠陥の前後で入力した場合は、位相差が生じ、さらにその変化の向きが逆になっており、位相特性に着目した方法でも内部欠陥の有無を推定可能であることがわかった。

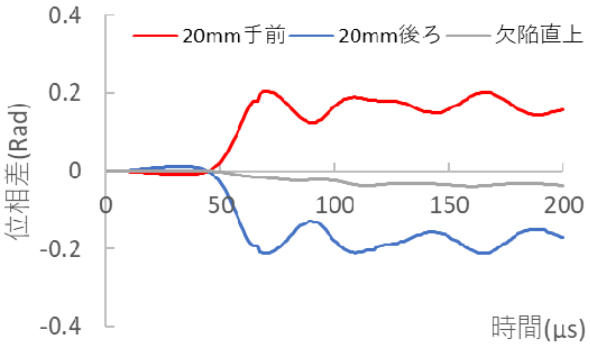

図 4 計算波形の位相差

3. 供試体実験

MC ナイロン製の板状供試体（幅 60mm, 長さ 1200mm, 厚さ 600mm）に深さ 70mm の位置にφ40mm の空隙を設けたものを用いて検討実験を行った。入力には 12.8kHz のトーンバースト信号を用い、入力点から 50mm 離れた位置に 2 つの加速度センサを接着して設置し、P01～P25 まで 25mm 間隔で掃引して測定を行った。サンプリング間隔は 0.5μs で 2ms 間の波形を記録した。なお、供試体の弾性波速度は 1960m/s 程度である。図 6 には二つの測定波形の振幅差分の和の変化を示しているが、数値計算結果と同様に、測定点が内部欠陥上に設置される測点（測点 P11 や測点 P15）近傍において、この値が極大（極小）となることが確認された。また対となる測定点の測定波形間の位相差の計算結果を図 7 に示すが、P11、P15 近傍の測定点では、逆向きのトレンドを示すことが確認され、それ以外の測定点では位相差が 0 あるいは平均値が 0 に収束するような挙動が確認された。

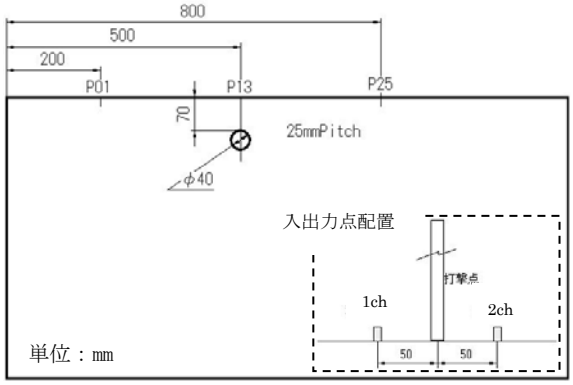

図 5 信号の入出力点，空隙の配置

図 6 測定波形の振幅差分

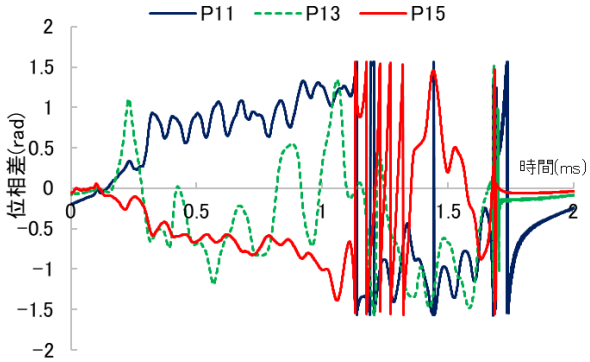

図 7 測定波形の位相差

4. まとめ

測定波形の位相差に着目した内部欠陥の検出において、欠陥からの反射波以外の波動の影響を低減する目的で、二つの受信センサを入力点から対向対象位置に設置し、測定波形の差分波形や振幅の差分に着目して内部欠陥を探査する方法について検討を行った。その結果、掃引測定を行って、差分波形や位相差にみられる特異な傾向を手掛かりにして内部欠陥の有無及び、位置を検知できる可能性が示された。

参考文献

1) 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
2) 山下健太郎他：2 次元波動方程式の差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

© Japan Society of Civil Engineers