表面波を用いたコンクリート構造物の長さ測定に関する実験的検討

(株)東洋計測リサーチ　正会員　○山下健太郎
アプライドリサーチ(株)　正会員　境　友昭
一般社団法人ｉＴＥＣＳ技術協会　正会員　極檀　邦夫
一般社団法人ｉＴＥＣＳ技術協会　正会員　池端　宏太

１．まえがき

衝撃弾性波法を用いて，土中に埋設されるなど端部の状況が不明な構造物の「長さ」を測定する方法として，反射波の周期性あるいは，反射第一波の時間遅れに着目した測定法がある．しかしながら，縦波を計測の対象とするこれらの手法では，周面摩擦や波動自体の減衰により測定精度が充分に担保されない場合がある．

そこで，本論では比較的面積が広い構造物の「長さ」を表面波の伝搬に着目して推定する手法を検討した．表面波は縦波に比べ，減衰が小さく，また，振幅が大きいため，波形の読取り安定性も向上するものと考える．

さらに，波形の読取りによる測定方法は客観性に乏しい面もあるため，一定距離離して設置した 2 つのセンサで記録した波形の相互相関関数を求め，そのずれに着目して反射位置を推定する方法を MC ナイロン供試体及び，実構造物においてそれぞれ試行した結果を報告する．

２．ＭＣナイロン供試体を使用した検討

等方均質とみなせる MC ナイロン板（長さ：1500mm，幅：150mm，厚さ：30mm）を使用して図 1 に示す条件で測定を行った（L_1:100mm，L_2:1250mm）．

供試体表面に 2 つの測定点およびその延長上に打撃点を設け，打撃点に近い方のセンサを 1ch，遠い方を 2ch とした．センサには特性の揃った 2 つの加速度計（100mv/G）を用い，ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ速度 10μs で 10ms 間波形を記録した．波動の入力には直径 20mm の鋼球を用いた．

ここで，打撃によって発生した波動（入力波）は，1ch に届き，次いで 2ch センサに到達するが，端部からの反射波は 2ch，次いで 1ch の順に到達することになる．

観測波形（加速度波形）の例を図 2，共分散波形を図 3 に示す．

反射波の影響が少ない範囲で，1ch と 2ch の相互相関を求め，そのラグタイムとセンサ間距離（L_1:100mm）から，波動の伝搬速度を推定することが可能である．

図 3 から時間遅れは 100μs（図中矢印位置）と推定され，波動の伝搬速度はこの場合 1000m/s と計算される．

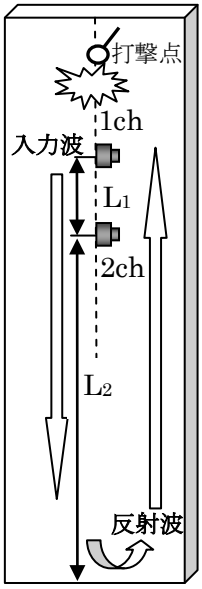

図 1　測定イメージ

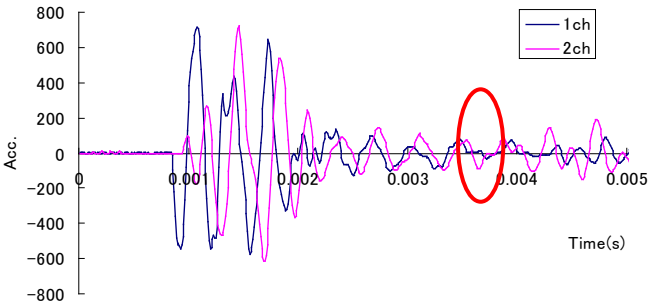

図 2　観測波形例

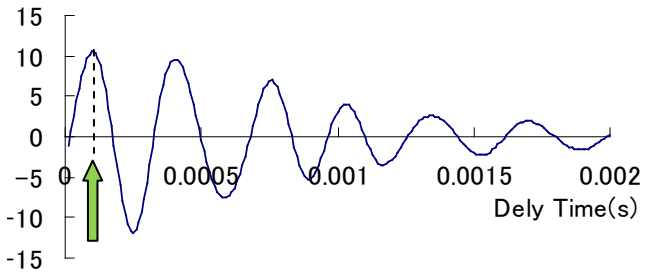

図 3　共分散波形

キーワード　表面波，長さ測定，局所相互相関関数
連絡先　〒300-2633　茨城県つくば市遠東 904-1　(株)東洋計測リサーチ　ＴＥＬ029-848-0065

３．反射位置の解析

前述の通り，端部からの反射波は 2ch 側ｾﾝｻから 1ch 側に波動が伝搬する．図 2 では，3.6ms 前後（図中丸印）に 1ch と 2ch の波形が交錯する時刻があるが，この時刻で反射波が 2ch センサに到達していると推察できる．波形の発生時刻が約 1.05ms であるから，伝搬時間は 2.55ms であるので，波動速度から推定する測定点と反射面の距離は 1.275m となり，おおよその反射面の位置を推定することができた．

一方で，観測波形の時間遅れから推測する方法では，客観的な基準での判定が難しく，推定誤差の要因となる可能性が考えられる．

そこで，1ch と 2ch の観測波形の局所的な相互相関関数から，反射位置を同定する手法を検討した．

1ch および 2ch の時間波形から切り出し時刻をそれぞれに変化させて，任意の区間を抽出し，その切り出した波形での相互相関関数を求める方法である．

1ch と 2ch の波形が進行波(1ch 側から 2ch 側にのみ伝搬する波動)のみの場合には，1ch と 2ch の波形の切り出し時刻のずれ(Offset)の分だけ相互相関関数にずれが生じる．

しかし，後退波(2ch 側から 1ch 側に進行する反射波)が混入すると，相互相関関数には位相の変化が生じると考えられる．図 4 は，このようにして求めた相互相関関数のコンター図であり，縦軸が 1ch 側信号，横軸が 2ch 側信号の Offset を示している．

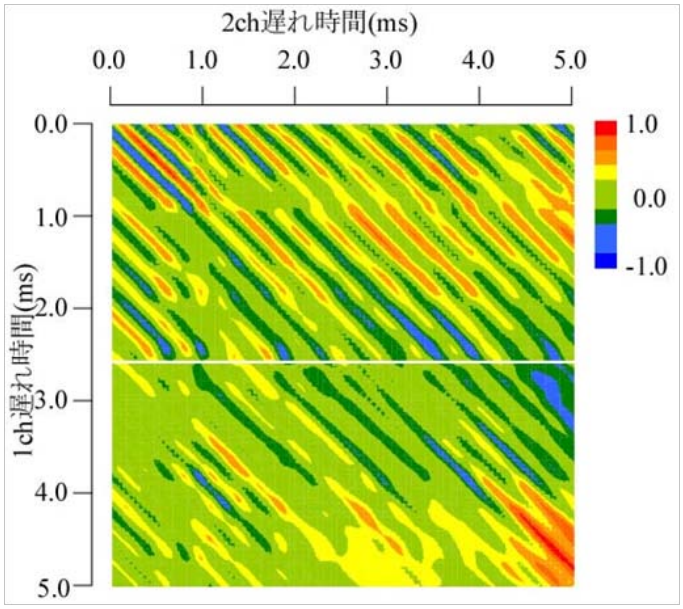

図 4　相互相関関数コンター図

1ch 側の Offset 時間が 2.60ms（図中白線）で，相互相関関数に最初の位相変化が見られた．

この時間が反射波(後退波)の到達時間と推定され，これから反射面の位置は，1.30m 離れた位置にあると判断され，実際の反射面の位置とも大凡一致した．

４．実構造物での試行

前述の測定解析手法を用いて，実構造物（厚さ 2.0m，幅 12.0m,高さ 2.5m の内 1.0m は土中）で土中の埋設深さを測定した結果を図 5 に示す．

予測される位相変化位置を破線で示すが，明瞭な変化は見られなかった．当該構造物の土中端部はフーチングと一体となっており，固定端とみなされる状態であったため，反射波の位相の変化が生じなかったものと推察され，本手法に対する適用限界の一つが示された．

また，図中実線部において，位相のずれが見られたが厚さ方向からの反射波の影響の可能性も考えられる．

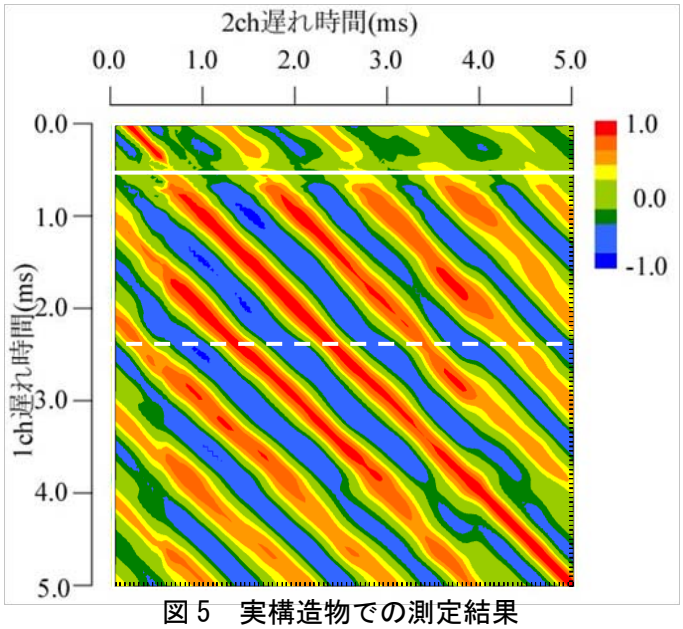

図 5　実構造物での測定結果

５．まとめ

構造物の隠れた部分の寸法の概略を把握しようとする方法として，表面波の反射に着目した手法について実験的に検討した．反射波の到来時刻の同定方法として，局所的相互相関関数の空間分布を得，視覚的に反射波の到来時刻を判定する手法を検証した結果，相互相関関数の位相反転時刻から反射波の到来時刻を客観的に推定できることがわかった．

一方で，実構造物へ適用する場合には，端部の形状や拘束条件，あるいは波形の切出し時間の設定などについて検討の余地があることがわかった．