

多点測定による相互相関関数を利用した周波数解析方法の検討

リック (株) 正会員 岩野 聡史
 リック (株) 非会員 實藤 大夫
 リック (株) 非会員 坂本 良憲

1. はじめに

衝撃弾性波法による試験方法に多重反射の周波数特性を利用した方法(以下, 多重反射法という)がある¹⁾。多重反射法では, コンクリート表面から入力した弾性波の往復時間の逆数となる周波数(以下, 基本周波数という)を測定波形に対する周波数解析結果から測定し, コンクリート内部の弾性係数の指標値, コンクリートの厚さ, 内部欠陥の有無, これらを評価することができる。筆者らは既往の研究において, 相互相関関数を利用した周波数解析方法を提案し²⁾, 厚さ 2400mm まで適用可能であることを確認している。さらに, 多重反射法には, 片側表面から測定できることから背面が埋設された構造物などに適用できること, 内部の鉄筋で反射する弾性波の影響を受けないこと, これらの特長がある。しかしながら, 周波数スペクトルでは, 測定対象の構造物の形状によっては, 複数の周波数が極大値となり, 基本周波数の決定や前述の評価において課題となることがある。そこで, 今回の実験では, 複数の周波数が極大値となりやすい形状のコンクリートを対象として, 測定方法および解析方法の改善を検討したので, その結果について報告する。

2. 実験内容

今回の実験した測定対象物および測定状況を図1, 表1に示す。複数の周波数が極大値となりやすい形状として, 厚さ 1500mm 以上のコンクリートである側壁と, 幅・長さが厚さに対して十分に大きい版形状ではない曲げ試験片で測定した。受信点を 2ch まで設定できる測定器により, 1 回目は ch.1 から ΔL 離間した位置に ch.2 を設定して測定した。2 回目, 3 回目は, さらに ΔL ずつ離間した位置に ch.2 を設定して(これを ch.3, ch.4 という)測定した。以上のとおり, ch.1~ch.4 までの測定波形を得た。サンプリング間隔は 10 μ s である。

今回の実験では相互相関関数を利用した解析方法を検討した。この方法の概要を以下に示す²⁾。コンクリート表面を鋼球で打撃すると背面で反射した弾性波(以下, 反射波という)が表面の受信点に到達する。受信点にはこの他に表面を伝搬するレイリー波なども測定される。コンクリートが厚くなると, 反射波の振幅は微弱となることから, 測定波形に対して FFT を行い, 周波数スペクトルを得ても, 基本周波数を判断することが出来ない場合がある。ただし, 反射波は弾性波の入力時の振動(以下, 初期振動という)と比較して振幅は小さくなるものの, 周波数の等しい同様の形状の振動である。このことから, 式(1)により初期振動と測定波形との相互相関関数を求めると, 弾性波が到達する時刻度に相関係数は高くなり, 相互相関関数には反射波の往復時間と一致する周期性が生じる。従って, 相互相関関数に対して FFT を行い, 周波数スペクトルを得れば, 基本周波数を判断することができる。

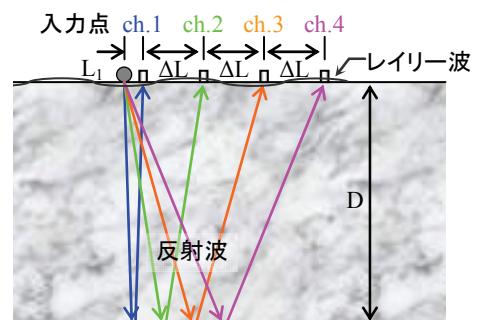


図1 測定点設定状況

表1 測定対象物の状況および測定状況

名称	側壁	曲げ試験体
呼び強度	27	21
セメント種類	BB	N
厚さ: D	1600mm	150mm
形状	版形状	150×150×530
表面弾性波速度	4150m/s	3600m/s
使用鋼球	63mm	10mm
L ₁	50mm	25mm
ΔL	200mm	25mm
実験課題	厚さ1500mm以上の測定	版形状以外での測定

$$R(\tau) = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_1+T} \{y_1(t) - \overline{y_1(t)}\} \{y_2(t+\tau) - \overline{y_2(t+\tau)}\}}{\sqrt{\sum_{t=t_1}^{t_1+T} \{y_1(t) - \overline{y_1(t)}\}^2} \sqrt{\sum_{t=t_1}^{t_1+T} \{y_2(t+\tau) - \overline{y_2(t+\tau)}\}^2}} \quad (1)$$

ここで, 時刻 $t_1 \sim t_1+T$ までの $y_1(t)$ は初期振動, $y_2(t)$ は解析

キーワード: 衝撃弾性波法, 多重反射, 周波数解析, 大型構造物, 柱形状

連絡先: 〒143-0004 東京都大田区昭和島 2-4-3 TEL 03-5762-2058 FAX 03-3765-5190 E-mail siwano@ri-k.co.jp

対象の測定波形， τ は時間差， $R(\tau)$ は時間差 τ での相互相関係数である。 T は初期振動の周期の1.5倍程度の時間とする。この方法は，厚さ2400mmまで弾性波の往復時間が測定できる方法として提案されている。

3. 測定結果および考察

側壁での測定波形を図2に，ch.1の初期振動と各chの測定波形との相互相関関数を図3に示す。図3で相関係数が最初に高くなる時刻は，ch.2:0.10ms，ch.3:0.17ms，ch.4:0.26msと受信点によって異なる。これは，各chで最初に相関係数が高くなるのはレイリー波の到達によるものであり，レイリー波の伝搬距離が受信点によって200mmずつ異なることによる。その後の相互相関関数では，全chともに0.9ms付近，1.6ms付近，2.4ms付近と共通した時刻で相関係数が高くなった。これは，これらが反射波の到達によるものであり，反射波の伝搬距離は，ch.1:1601mm，ch.2:1619mm，ch.3:1662mm，ch.4:1727mmと受信点によって大きな差が無いことによる。

相互相関関数は，反射波の到達毎に高くなるが，反射波の到達時以外でも，例えばch.1での0.4ms付近などで極大となっている。従って，ch.1の相互相関関数の周波数スペクトルを図4上図に示すと，複数の周波数が極大となり，基本周波数の判断が困難となる。この問題を解消するため，全chでの相互相関関数を加算した波形の周波数スペクトルを求めた。その結果を図4下図に示すと，周波数1.32kHzのみが卓越し，これが基本周波数であると判断できる。同様に曲げ試験体での周波数スペクトルを図5に示すと，版形状でないことから，ch.1の相互相関関数の周波数スペクトルでは，複数の周波数が極大となっている。これに対して，相互相関関数を加算した波形の周波数スペクトルでは12.8kHzのみが卓越している。

前述のとおり，反射波以外の振動の発生時刻は受信点によって異なるが，反射波の到達時刻は受信点による大きな差が無い。異なる受信点での相互相関関数を加算することにより，反射波以外の振動の影響を除去して，反射波の到達による周期性を強調できるものと考えられる。

4. まとめ

衝撃弾性波法の多重反射法は，その特長から，部材厚さの厚い構造物での健全性評価や欠陥探査への活用が期待される。そのためには，コンクリートの形状による誤差要因を除去することが必要であり，今回は多点測定での相互相関関数を利用する方法を検討して一定の成果を得た。今後は，本法が適用できる構造物の形状について更に検証していきたい。

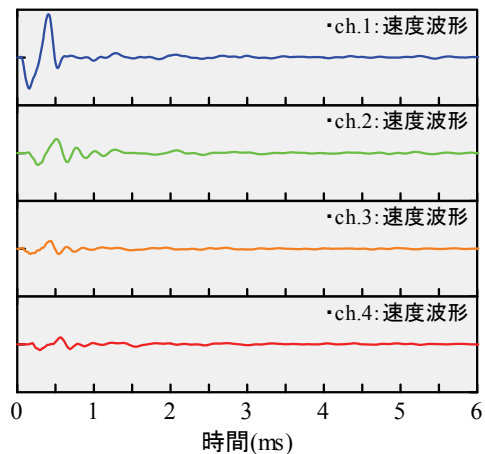


図2 測定波形（側壁）

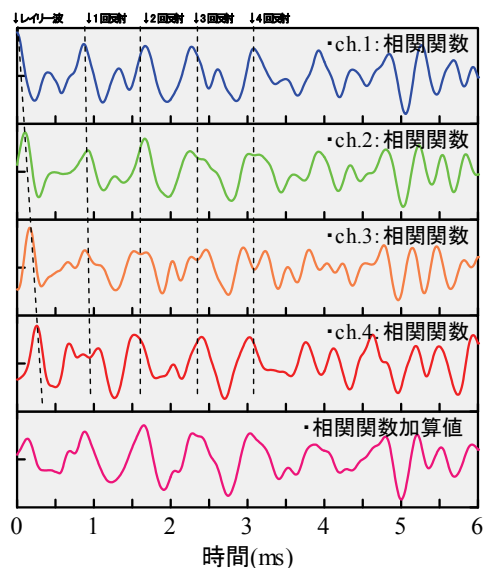


図3 ch.1の初期振動と各測定波形との相互相関関数（側壁）

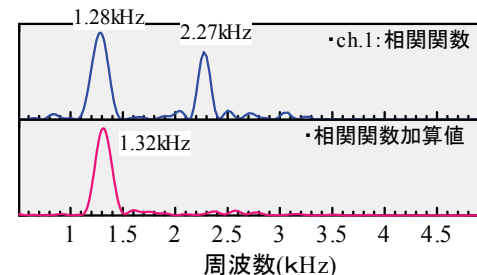


図4 相互相関関数に対する周波数解析結果（側壁）

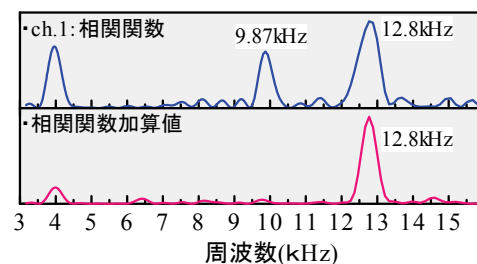


図5 相互相関関数に対する周波数解析結果（曲げ試験体）

参考文献 1) NDIS 2426-2: コンクリート構造物の弾性波による試験方法—第2部: 衝撃弾性波法, 社団法人日本非破壊検査協会, 2009. 2) 岩野聡史, 森濱和正: コンクリート部材を打撃して得られた振動波形の周波数解析方法に関する検討, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.67, No.2, pp.297-308, 2011.