

(V-31) 異径鋼球打撃によるRC板の共振振動数の分離測定

伊藤建設(株) 正会員 岩野 聡史
東海大学 正会員 極壇 邦夫
伊藤建設(株) 塙 忠夫

1. はじめに 打撃弾性波共振法によって、土木構造物のコンクリート板厚を測定する研究^{1),2)}が行われてきた。コンクリート板を鋼球で打撃すると、主に2種類の振動が発生する。1つは鋼球の質量と板の表面の擬似的なバネ係数により生成される振動(表面波)で、もう1つは板厚に起因する振動(反射波)である。表面波の振動数は鋼球の質量により変化するのに対し、反射波の振動数は板に固有の共振振動数である。板厚の計算に必要な共振振動数は、表面波と反射波が複合した観測波形から得られるパワースペクトルの最大値であると判断すると、誤りとなる場合がある。本文は、異なった質量の鋼球を用いて、反射波と表面波を分離し板の共振振動数を特定する方法及び検証実験の結果を示す。

2. 測定方法

2-1 コンクリート板厚と共振振動数の関係式 打撃には直径4mm~62mmの13種類の鋼球を用いた。コンクリート板を打撃すると、反射波、表面波、セン断波の3種類の弾性波が発生するが、セン断波はエネルギーがかなり小さいので無視してよい。しかし、表面波は一般に最も大きいエネルギーを持っているので、反射波だけを振動波形から分離するのは困難である。いま、反射波だけを特定できれば、板厚D、反射波速度を V_p および共振振動数 f_0 とすると、その関係は $D = V_p / 2f_0 \cdots \textcircled{1}$ 式である。

2-2 2点センサー間の位相差¹⁾ 鉄筋コンクリート板にセンサーを5cm間隔で2つ取り付け、近い方のセンサーから距離5cm離れた点をインパルスハンマーで打撃する。この時、発生する表面波と反射波がセンサーに到達するまでの経路を図1に示す。センサーの受信波形をFFT処理し、各振動数成分の正弦波に分解し、2点センサー間の位相差を求める。この時、センサー間の時間遅れを Δt とすると、位相差 $\Delta \theta$ と振動数 f は比例関係にあり、その関係式は $\Delta \theta = 2\pi \cdot f \cdot \Delta t \cdots \textcircled{2}$ 式である。

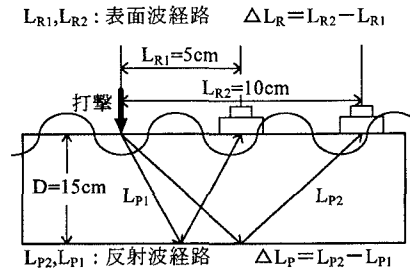


図1 表面波経路(L_R)と反射波経路(L_P)

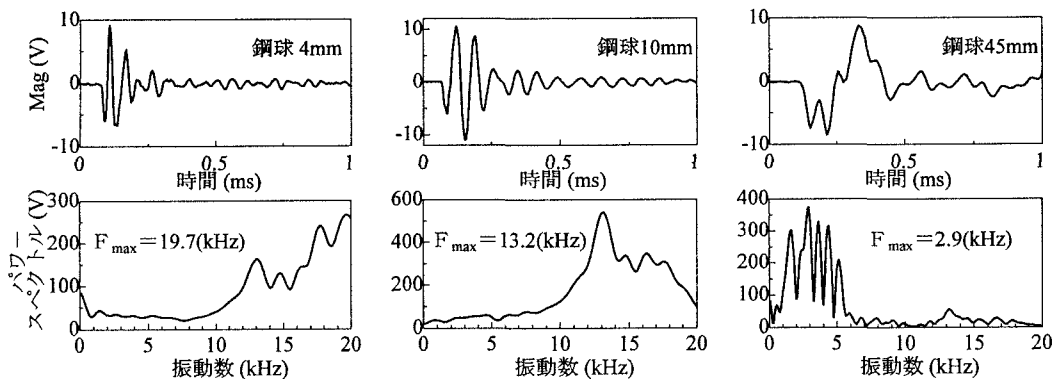


図2 振動波形(上図)とパワースペクトル(下図)

3. 測定結果および考察

3-1 異径鋼球による最大固有振動数の変動について 板厚15cmでの振動波形とパワースペクトルを図2に示す。パワースペクトルの結果によると、鋼球4mmでは $F_{max} = 19.7\text{kHz}$ 、鋼球10mmでは $F_{max} = 13.2\text{kHz}$ 、鋼球45mmでは $F_{max} = 2.9\text{kHz}$ 、と鋼球の質量が大きくなるに従い、振動数の最大値は低域へと移動する。

移動する原因は、鋼球の質量が大きくなると、鋼球の打撃エネルギー範囲が低域へ移動し、この範囲に対応して表面波の振動数が生成されるためである。この結果から分かるように、板の共振振動数はパワースペクトルの最大値であると単純に判断すると誤る場合がある。板の共振振動数は、板に固有のものであるから、複数の鋼球でのパワースペクトルにおいて、最大値とはならなくてもある程度の大きさを持つ。13種類の鋼球で打撃して得られたパワースペクトルを標準化した値の合計値を図3に示す。

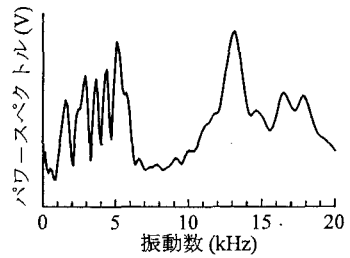


図3 パワースペクトルの合計値

3-2 位相差の解析 センサーで観測した振動は、表面波と反射波とが合成されたものと考えられる。表面波の位相差 $\Delta\theta_R$ は、表面波の時間遅れが $\Delta t_R = \Delta L_R / V_R$ (V_R は表面波速度) であるので、②式に代入し、 $\Delta\theta_R = 2\pi \cdot f \cdot \Delta L_R / V_R$ …③式 となる。同様に、反射波の位相差は $\Delta\theta_p = 2\pi \cdot f \cdot \Delta L_p / V_p$ …④式 となる。③、④式と図1から、経路長は $\Delta L_p < \Delta L_R$ かつ、速度は $\Delta V_p > \Delta V_R$ 。従って、任意の振動数に対し常に位相差は $\Delta\theta_p < \Delta\theta_R$ となる。図4の位相差－振動数スペクトルによると、位相差と振動数は12kHzまでは比例関係を示すが、12kHz～15kHzでは位相差が小さくなっている。これは、位相差が直線的に増加する12kHzまでは表面波だけと判断してよいが、反射波が混入すると、上記の条件が成立するので位相差は極めて小さくなる。従って、位相差が極小となる区間は、反射波が影響する板の共振振動数範囲であると推定できる。

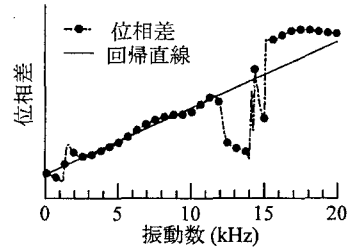


図4 位相差－振動数スペクトル

3-3 コンクリート板の共振振動数の分離確定 図5にパワースペクトルの合計値と位相差－振動数スペクトルを重ね合わせたものを示す。パワースペクトルの合計値は、約5kHzと約13kHzの2つの振動数が卓越しているので、パワースペクトルの合計値だけでは板の共振振動数の判定は難しい。そこで、この合計値と共振振動数範囲とを重ね合わせると板の共振振動数は13.184kHzと確定できる。

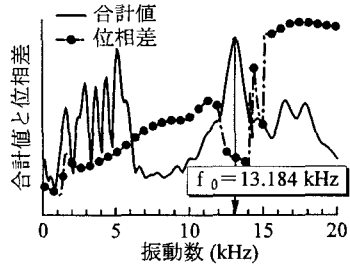


図5 重ね合わせによる共振振動数の分離確定

3-4 コンクリート板厚の推定 厚さ15cm, 20cm, 40cmの鉄筋コンクリート板の共振振動数を分離確定した。また、反射波の速度を透過法によって測定したところ3866m/sであった。この反射波速度と板の共振振動数を用いてコンクリート板厚を①式で計算した。その結果を表1に示す。全てのコンクリート板において誤差は5%以内という良好な結果を得た。

表1 コンクリート板厚の推定結果			
実際の厚さ(cm)	共振振動数(kHz)	推定値(cm)	誤差(%)
15	13.184	14.7	2.3
20	9.682	20	0.0
40	5.089	38	5.0

4. まとめ 厚さ15cm, 20cm, 40cmの鉄筋コンクリート板を用いた本研究を総括すると次の通りである。
 ① 質量の異なる鋼球で打撃し、パワースペクトルを標準化し、全鋼球での合計値を求め、共振振動数の候補をしぼる。
 ② 振動波形の位相差－振動数スペクトルから共振振動数範囲を決定する。
 ③ 両者を重ね合わせると、正確な板の共振振動数が得られる。
 ④ 透過法により求めた反射波速度を用いて板厚を計算すると誤差5%以内の結果を得た。今後は反射波速度を同時到達点法¹⁾を応用して求められるかを検討すると共に、コンクリートの裏込み状況を変えた実験やセンサーの開発を実施する計画である。

参考文献 1) 岩野、極値、填、打撃法によるコンクリート板厚の推定実験、第23回関東支部技術研究発表会講演概要集 P656
 2) C.Cheng, M.Sansalone, The impact-echo response of concrete plate containing delaminations Materials & Structure, PP274-285, 1993