

周波数応答解析によるコンクリート構造物の健全性試験

伊藤建設(株) 正会員 岩野 聡史
東海大学 正会員 極檀 邦夫

1. はじめに

コンクリート構造物の健全性を非破壊的に試験するために、コンクリート板の表面を打撃したとき生ずる弾性波動の周波数応答を解析する研究を続けている。観測される弾性波動は表面波と反射波の複合波であり、板厚の計算に必要な反射波(共振振動数)はエネルギーの大きい表面波に埋没している。そこで、反射波を抽出するために、質量の異なる種類の鋼球で打撃し、そのパワースペクトルの合計値並びに位相差を併用する解析方法を考案した¹⁾。本研究では階段状に厚さを変え、一部分に空洞を入れた矩形コンクリート板を製作して、板厚、空洞までの深さ、板厚の変化する境界点の測定を行ったので報告する。

2. 測定方法

実験に用いたコンクリート供試体と測定点を図1に示す。板厚を t で、空洞までの深さを d で、厚さの変化する境界点を x で測定した。各測定点に2つのセンサー(ENDEVCO; 2225、測定 f ; 20kHz、共振 f ; 100kHz)を5cm間隔で貼付け、直線上に5cm離れた点を直径4mm~40mmの6種類の鋼球で約10cmの高さから落下させる。センサーが検知した振動をオシロスコープにサンプリングクロック2~4マイクロ秒で記録する。振動の初期部分に重点をおいてFFT処理し、各振動数成分でのパワースペクトルと位相差を求める。

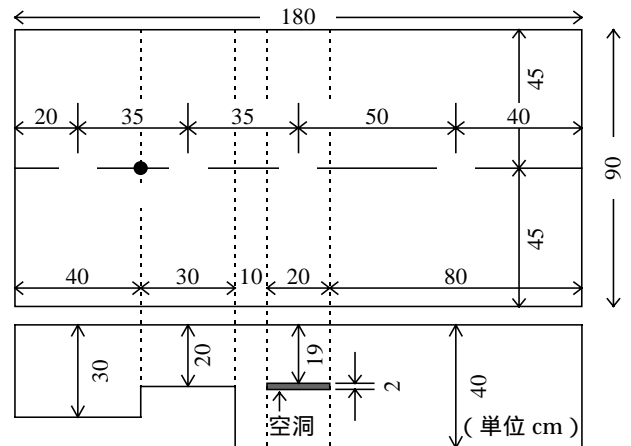


図1 供試体(平面図と正面図)と測定点(*)

3. コンクリート板の共振振動数の決定方法¹⁾

コンクリート板表面をバネと仮定すると、表面波の振動数 f_R は、バネの単振動と同様に考えられるので、鋼球の質量を m 、バネ係数を K とすると $f_R = \sqrt{K} / (2\pi\sqrt{m})$ となる。すなわち、表面波の振動数は、バネ係数を一定とすれば鋼球の質量の平方根に反比例する。一方、

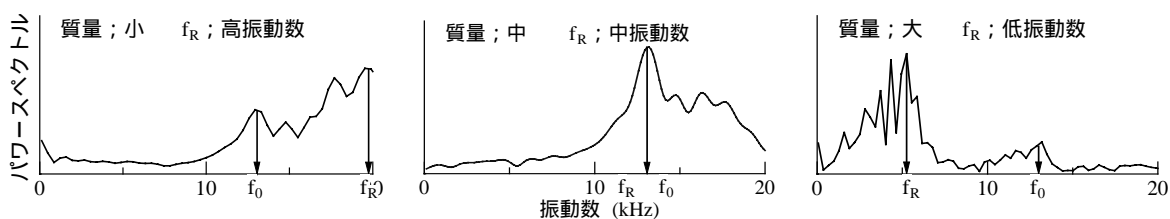


図2 鋼球の質量を変化させたときの、表面波の振動数 f_R と反射波の振動数 f_0

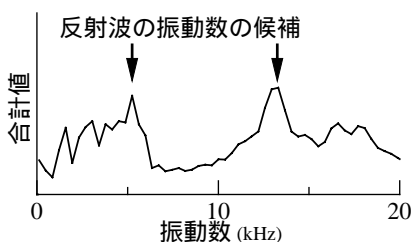


図3 反射波の振動数の候補

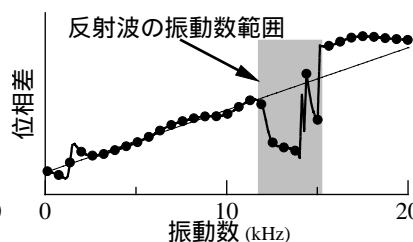


図4 反射波の振動数の範囲

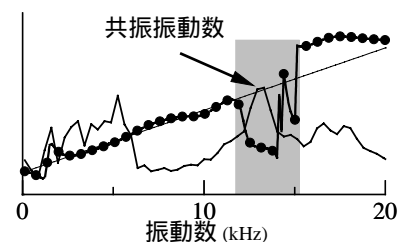


図5 共振振動数の決定

キーワード 周波数応答解析、健全性、パワースペクトル、位相差、共振振動数

連絡先 〒143-0015 東京都大田区大森西 1-19-1 伊藤建設技術研究所 TEL 03-5762-2058 FAX 03-3765-5190

〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-58-1211 (内線 4271) FAX 0463-50-2045

反射波の振動数 f_0 は板厚に反比例するが、反射波は厚さ方向に反射しながら伝播するので、鋼球の質量が変わっても板厚一定であれば変わらない(図2)。各鋼球で得られたパワースペクトルを正規化し合計すると、表面波の振動数は質量に対応して分散するが、反射波の振動数は一定なのでパワーは大きくなる。従って、パワースペクトルの合計値が大きい振動数が反射波の振動数の候補となる(図3)。位相差は2つのセンサーのズレから求める。波形が伝播する経路差を比べると、反射波は表面波の約1/10である。また、反射波速度は表面波速度の約2倍である。これから、反射波が近い方のセンサーに到達してから、遠い方のセンサーに到達するまでの時間差は、表面波の約1/20となる。従って、時間差に比例する反射波の位相差は、表面波と比較して極小となる。逆に言えば、位相差の極小範囲に反射波が存在する(図4)。従って、共振振動数 f_0 は、パワースペクトルの合計値の候補と位相差の極小範囲とを重ね合わせると確定できる(図5)。

4. 測定結果

図6に、測定点、
、
でのパワースペクトルの合計値と位相差を重ね合わせた結果を示す。

板厚 20cm では、共振振動数の候補は、パワースペクトルの合計値から約9kHzと約15kHzと分かる。また、位相差の解析から8kHz~10kHzの振動数が極小範囲となっているので、両者を重ね合わせて、共振振動数が9.40kHzと決定する。この値と反射波速度 $V_p = 3861(m/s)$ を $D = V_p/2f_0$ に代入すると、 $D = 20.5(cm)$ となり実際の板厚と良く一致した。

空洞の共振振動数を測定すると10.6kHzとなり、これから空洞での厚さは18.1(cm)と得られ、実寸19cmとほぼ一致する。しかし、7kHz以下の位相差は乱れた。この乱れは、空洞は板厚40cmのほぼ中央に位置しているが、波動が空洞を回折し、40cmの底面で反射する影響や、空洞周辺での乱反射の影響などによるものと思われる。

境界点上は、共振振動数の候補は約7kHzと約15kHzであるが、位相差の極小範囲は明確でないため共振振動数を決定できない。そこで、共振振動数を逆算すると、30cmの6.4kHzと7kHzは近いが、20cmの9.7kHzと15kHzは違う。また、位相差のズレは反射波がコンクリートの両面とも平面で反射するという前提条件を持っている。つまり、境界点での波動の分散・干渉がパワースペクトルと位相差に影響したと思われる。

全測定点での計算の結果を表1に示す。測定点、
において実際の板厚と良く一致した結果となった。

5. まとめ

階段状に厚さを変え、空洞を入れたコンクリート板を用いた実験結果を示す。1)板厚は誤差5%以内で測定できる。2)空洞までの深さは正確に測定でき、そのときの位相差は、底面での反射や空洞付近で乱反射の影響を受け、乱れるので空洞の判別ができると考えられる。3)板厚が変化する境界点では、波動の分散・干渉

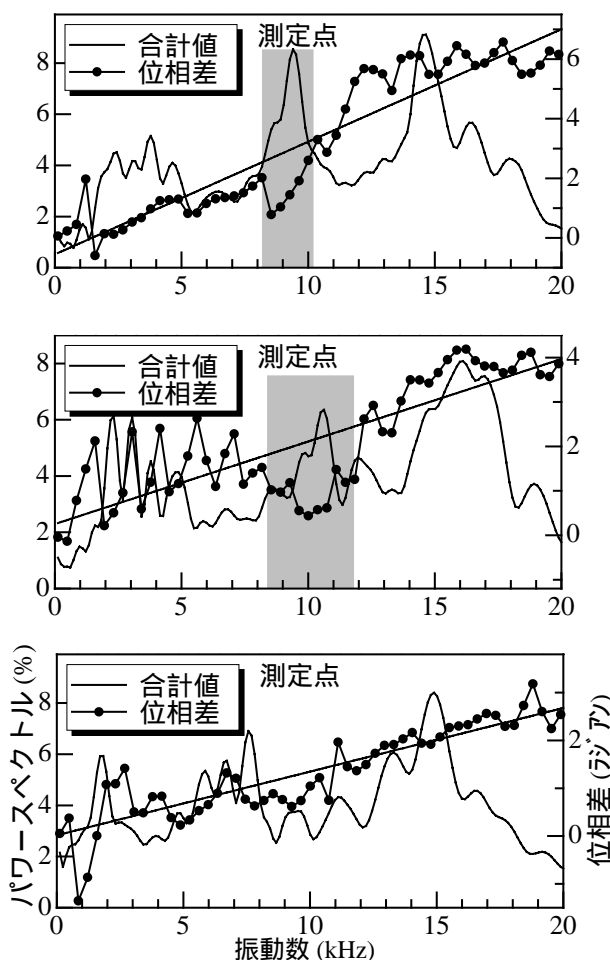


図6 パワースペクトルの合計値と位相差

表1 全測定点での計算結果

測定点	計算板厚 (cm)	実際の板厚 (cm)	誤差 (%)
	29.8	30	0.5
	20.5	20	2.6
	40.5	40	1.4
	18.1	19 (深さ)	4.5
	測定不能	境界点	-

