

衝撃弾性波法による厚さ測定値に与える背面材料の影響

Influences of back fill material on thickness measurement by impact elastic wave method

○一般社団法人 iTECS 技術協会 池端 宏太 (株)大進コンサルタント 勇 秀忠
Kouta Ikebata(iTECS Association) Hidetada Isami (Daishin Consultant)
一般社団法人 iTECS 技術協会 極檀 邦夫 アプライドリサーチ(株) 境 友昭
Kunio Gokudan(iTECS Association) Tomoaki Sakai(Applied Inc.)
(株)東洋計測リサーチ 山下 健太郎
Kentaro Yamashita (Toyo measurement and research Inc.)

概 要

衝撃弾性波法による厚さ測定では対向反射面が自由端であることを前提としているが、実際の構造物では、背面側に土や水など音響インピーダンスを無視できないものが存在していることがある。そこで、背面側に密着している物質の音響インピーダンスの違いが、衝撃弾性波法による厚さ測定値に及ぼす影響の有無について理論的、実験的検討を行った。本論では、その結果について報告する。

キーワード：衝撃弾性波，音響インピーダンス，背面状況，厚さ測定

1. はじめに

衝撃弾性波法(iTECS 法)による厚さ測定では、測定対象となる板状構造物の背面は測定面と同様に自由面であるとの仮定がある。したがって、背面が土や水など、音響インピーダンスが無視できない物質と接している場合、厚さ測定が困難となる場合がある。そこで著者らは、コンクリートと背面接触物質との音響インピーダンス比と測定される見かけの「厚さ」の関係について、波動論による数値計算を行うとともに、背面に接している物質を水、塩水、泥水と変え、厚さ測定値がどのように変化するか、実験的検討を行った。その結果、音響インピーダンスが大きくなるにつれて計算される厚さは実際よりも厚めになること、すなわち、測定される周波数が低下することがわかった。

2. 測定原理

衝撃弾性波法は、測定面に入力された弾性波が構造物の厚さ方向に多重反射することを前提としている。図1に測定方法の概念を示す。図1に示すように、衝撃波動は、鋼球などでコンクリート表面を打撃して入力し、コンクリート内部の波動現象を打撃点近くに設置した高感度加速度計によって測定する。波動が多重反射すると、往復時間を周期とする固有振動数が見られるようになる。すなわち、音響学というフラッターエコー現象である。測定されたコンクリート表面の振動の周期 (T)、コンクリートの厚さ (D) およびコンクリート中の弾性波速度 (V_p) の間には、

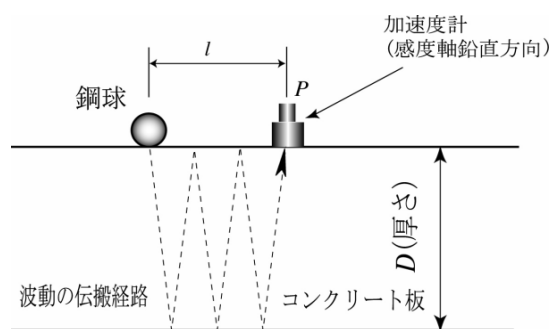


図1 衝撃弾性波法の測定概念

$$D = \frac{1}{2} V_p T \quad (1)$$

の関係があり、周期 (T) が得られると、コンクリート板の厚さが測定されることになる。実際的な衝撃弾性波法では、測定波形が正弦波に近くなるように入力波形を調整し、

$$D = \frac{1}{2} \frac{V_p}{f_0} \quad (2)$$

として厚さ測定をしている。なお、 f_0 は、パワースペクトルにおいてピークとなる周波数である。

3. 数値解析

図2に数値計算のイメージ図を示す。2つの異なる音響インピーダンスを持つ1次元の棒を仮定し、その音響インピーダンスを0から2程度まで変化させ、そのとき棒の頭部での振動速度の時間波形を1次元波動方程式で数値計算した。実際的な計算方法は、参考文献¹⁾を参照されたい。棒は、実験結果を反映させるよう、頭部側の長さを200mmのコンクリート長とし、接続する下側の棒の終端は無有限長境界とした。この条件の場合、下側の棒に伝達された波動は頭部側の棒には戻らないことになる。

数値計算の結果を図3に示す。図から、インピーダンス比が大きくなるにしたがって、固有振動数は低下し、インピーダンス比が0.9を越えるとその傾向が顕著であることがわかる。インピーダンス比が2を越えると、振動数はほぼ自由端の場合の1/2となる。すなわち、衝撃弾性波法での「厚さ」測定方法では、「厚さ」が2倍になったとことになる。また図3から、インピーダンス比が0.9未満であれば、厚さ測定値に対する影響は、それほど大きくはないことがわかる。

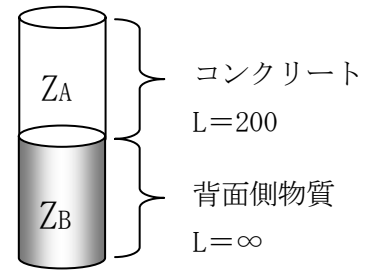


図2 数値計算のイメージ

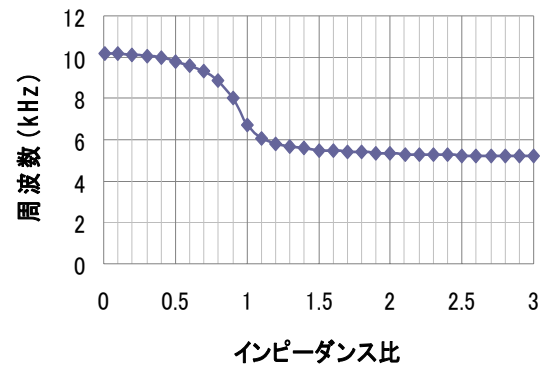


図3 インピーダンス比と周波数

4. 実験概要

図4に実験装置の模式図を示す。実験に用いた供試体は、長さ200mm、直径100mmの円柱供試体であるが、ほぼ1次元の棒とみなすことができる。背面側物質は各種100mm、300mm、400mmと厚さ(深さ)を変化させ、円柱供試体の底面から10mm浸水させ測定を行った。入力は、円柱供試体の中央を直径10mmの鋼球で打撃し、受信は打撃点の近傍に高感度の加速度センサー(100mv/G)を接着材で固定させ、サンプリング速度を10μsで測定を行った。塩水は海水を模擬し、塩分濃度3.5%に設定した。泥水は、含水率100%に設定したカオリンクレーを用いた。また、御影石は円柱供試体と、モルタルを用いて密着させた。表1に各測定の実験条件を示す。

背面側物質	背面側物質の厚さ(L)
水	100mm・300mm・400mm 3種類
塩水	
泥水	
泥土	100mm
御影石	150mm

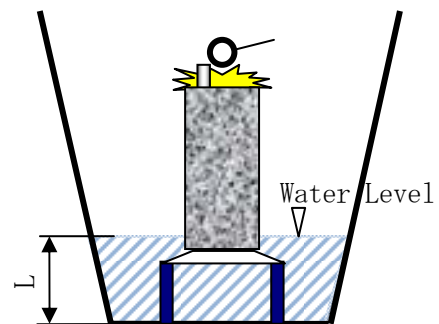


図4 実験装置の概要

5. 実験結果・考察

各条件において数値計算によって求めた波形と周波数スペクトル、及び実際に観測された波形とスペクトルの比較を図5に示す。図5(1)より、対向反射面が自由端の場合には、多重反射による共振振動数の生成がみられる。図5(2)より底面が水に接している場合では、波動の減衰が大きくなるのがわかる。一方、周波数はやや低減するものの、顕著ではない。また、図5(3)より底面が御影石と接している場合、スペクトルのピーク周波数は、自由端の場合の約1/2となり数値計算の結果とほぼ一致することがわかる。

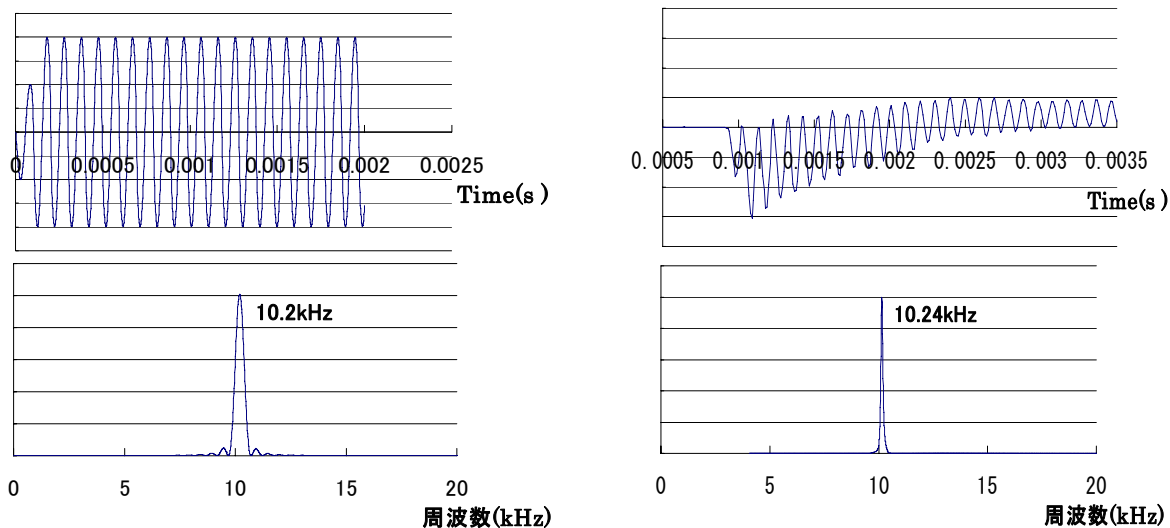


図 5(1) 気中での計算波形・測定波形と周波数スペクトル
(左列：計算波形・右列：測定波形)

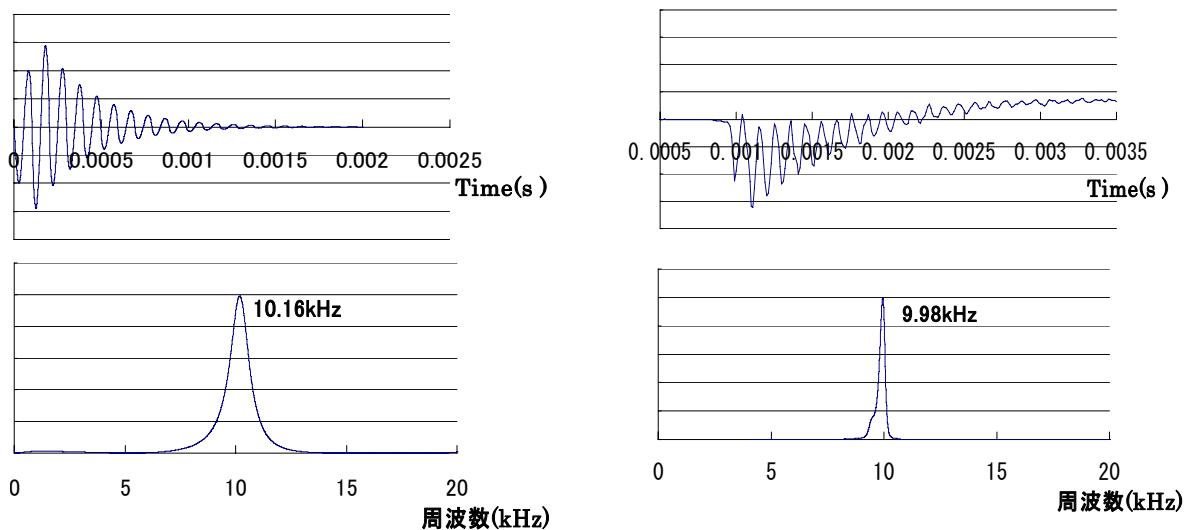


図 5(2) 水に接する場合の計算波形・測定波形と周波数スペクトル
(左列：計算波形・右列：測定波形)

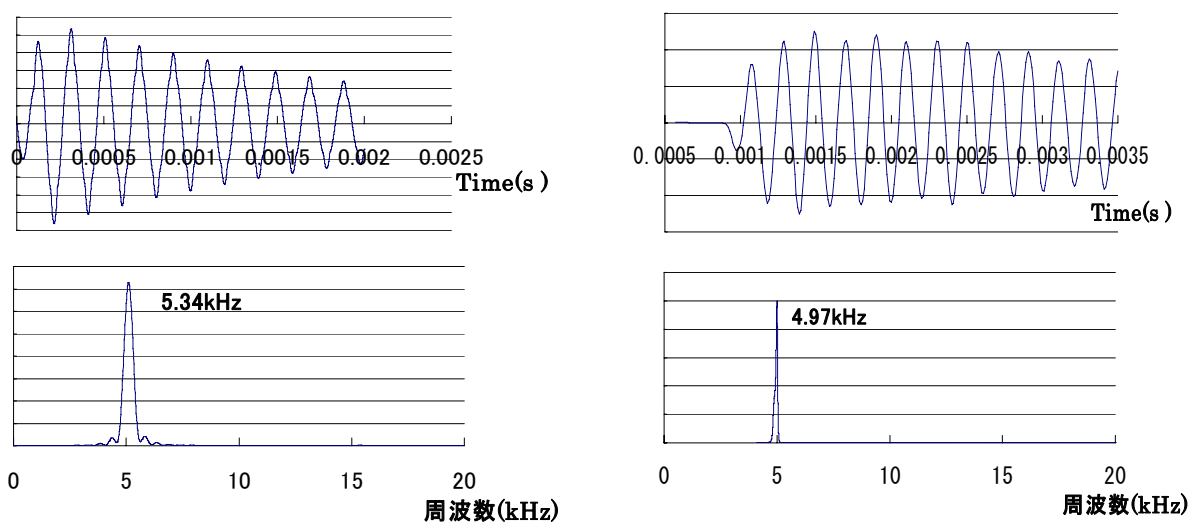


図 5(3) 御影石の場合の計算波形・測定波形と周波数スペクトル
(左列：計算波形・右列：測定波形)

背面状況と卓越周波数の関係を図 6 に示す。気中の場合の周波数が最も高く、底面に接している材料の音響インピーダンスが大きくなるほど、周波数が低くなっていることがわかる。

次に、背面側物質の厚さごとの卓越周波数を図 7 に示す。背面側物質の厚さが厚くなるにつれ、卓越周波数が低くなる傾向がみられる。数値計算結果でも同様の傾向を示している。波動は背面側物質を含めた「厚さ」の間で多重反射し、見掛けの長さが厚くなった分、周波数は低下すると考える。

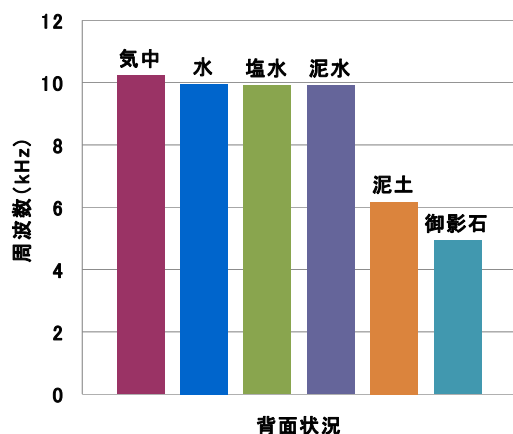


図 6 背面状況と卓越周波数

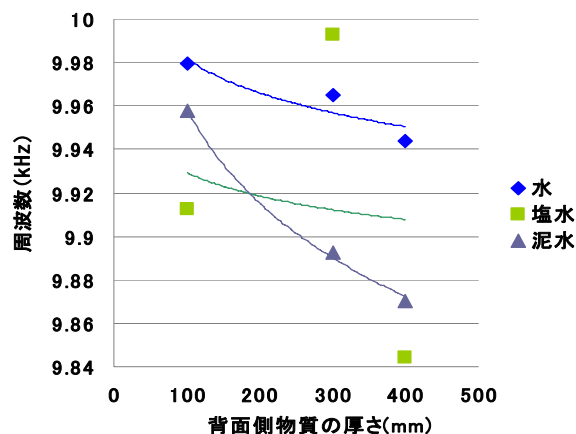


図 7 背面側物質の厚さと卓越周波数

6. まとめ

多重反射が成立すると仮定して、その時の卓越周波数からコンクリート構造物の「厚さ」を測定しようとする場合、背面側が地盤や水に接していると、測定される周波数がやや低下する傾向、すなわち実際の「厚さ」よりも厚めに観測されることは、これまでも知られていた²⁾。本論では、その原因について理論的、実験的に検討した。その結果、次のような結論が得られた。

- ① 背面側物質の音響インピーダンスが大きくなるほど、卓越周波数は低下する。
- ② 背面側物質の「厚さ」が厚くなるほど、卓越周波数の低下が大きくなる。
- ③ 背面側物質の音響インピーダンスがコンクリートのそれに近づくと、波動の減衰が大きくなる。

実際の測定では、擁壁や橋台等のコンクリート構造物の背面状況を測定前に把握することは不可能であるが、今回の検討の結果から、厚さ測定値の分布を綿密に調べることによって、背面に空洞があるか、地盤と接しているかなどの状況を分析出来ることがわかった。

また、本実験において、水位の変更のための注水、あるいは泥水の攪拌作業後に、作業に伴い混入した微小な気泡が供試体底面に付着している状態が確認された。この状態での測定では、背面側物質の影響をほとんど受けない事が分かったため、実験上の留意点として最後に報告する。

参考文献

- 1) 境友昭；杭打ち解析のための波動方程式の数値解法，土木学会論文集第 424 号／Ⅲ-14, pp. 75-83, 1990 年 12 月
- 2) 首藤浩一，極檀邦夫，境友昭 岩野聡史；衝撃弾性波法による厚さ測定でのコンクリート背面の影響，2005 年(社)土木学会 関東支部，2005