

東海大学第二工学部建設工学科 学生会員 首藤 浩一
 東海大学工学部土木工学科 正会員 極壇 邦夫
 伊藤建設(株) 正会員 岩野 聡史

1. まえがき

近年、「壊して造る」スクラップアンドビルドから「長く使う」ストックアンドフローの時代に移り変わってきている。そのためには、現存の建築物に対する健全性診断が重要だといわれている。衝撃弾性波法を用いて RC 板の厚さを求めるには、相関法と FFT を組み合わせる方法や最大エントロピー法(MEM)が有効だと言われているが解析プログラムの作成は難しい。MATLAB を利用すると、弾性波のパワースペクトルや時間一周波数解析(スペクトログラム)などは、コマンドを選択するだけで得られるので解析プログラムの作成が容易になり、種々の解析手法を評価できる。また、図の作成コマンドが豊富で、現象を視覚に訴えて相互関係を明確にしやすい。今回は実際の建築物を測定し、そのデータから MATLAB を用いて弾性波速度と固有振動数を決定し、コンクリート板の厚さを求める手法について報告する。

2. 測定方法と解析順序

測定サンプルは 3 点である。サンプル 1 は工場製作の PC コンクリート壁 220mm。サンプル 2 はプラスター仕上げ RC 壁厚さ 200mm。サンプル 3 は、モルタル波型仕上げのスロープ階段中央壁コンクリート厚さ 520mm (ただし中央部分は鉄筋コンクリート厚さ 460mm 両側の表層モルタル 30mm のもの)。弾性波速度の測定は、サンプル 1 と 3 は、加速度計を A, B2 個用いてサンプルを挟み加速度計近傍を打撃して A, B の時間差を測定する透過方式で弾性波速度を計算。サンプル 2 は壁構造で挟めなかったため、表面に加速度計を 30cm 間隔で並べて表面 P 波から弾性波速度を推定する表面 P 波方式を採用した。

測定は写真に示すように、加速度計をコンクリート板表面に手で押し付けて、加速度計の近傍 3-5cm を鋼球直径 10mm、16mm で打撃した。サンプリングクロックは 1 マイクロ秒でデータ数は 8192 である。コンクリート板の厚さは $D = V_p / 2f$ から計算する。ここに、D: コンクリート板の厚さ V_p : コンクリートの弾性波速度 f : 厚さの固有振動数 である。

圧電型加速度計で測定した加速度は、弾性波の瞬間エネルギーの値を示しているが、動的な波動エネルギーの大きさは加速度の大きさだけではなく、どれだけの時間持続したかに比例するので、(加速度) × (持続時間) = (速度)

で表すことにした。まず、加速度データに重みを付けて積分して速度波形を求めた。パワースペクトルの計算は、測定データからプレトリガのデータを取り除き、7000 個で計算した。スペクトル解析によく用いられる FFT 解析、データ数が少なくても分解能が良い MEM 解析、時間経過による振動数の変化がわかる MEM スペクトログラムを計算する。RC 板の厚さや剥離、コンクリートの硬さなどと打撃直後の波形などの関連を検討する。なお、MEM 解析および時間窓 MEM 解析には Burg 法を採用した。MEM スペクトログラムの計算は 1 ミリ秒のデータ 1000 個を 10 マイクロ秒ずつずらした。

3. 解析結果

(1)弾性波速度について 工場製 PC 板の弾性波速度は、板の両側を挟み透過方式で測定したが品質管理が容易なため弾性波速度は 4300m/s である。建築後 40 年経過したプラスター仕上げ RC 壁は、表面 P 波方式から推定した。10mm 鋼球で打撃したときの弾性波速度は 3320m/s。16mm 鋼球では、3400m/s となった。16mm 鋼球の表面 P 波は 10mm 鋼球の

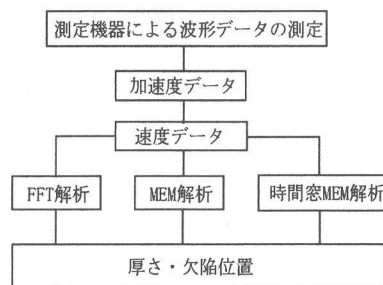
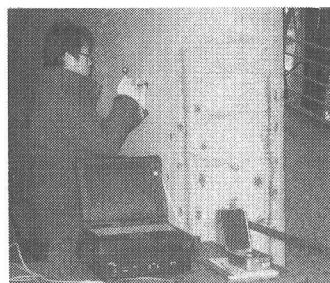


図1. 解析の流れ

キーワード: 衝撃弾性波法、コンクリート、厚さ測定、MATLAB、時間一周波数解析

連絡先: 平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 Tel&Fax 0463-50-2054 Email: gokudan@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

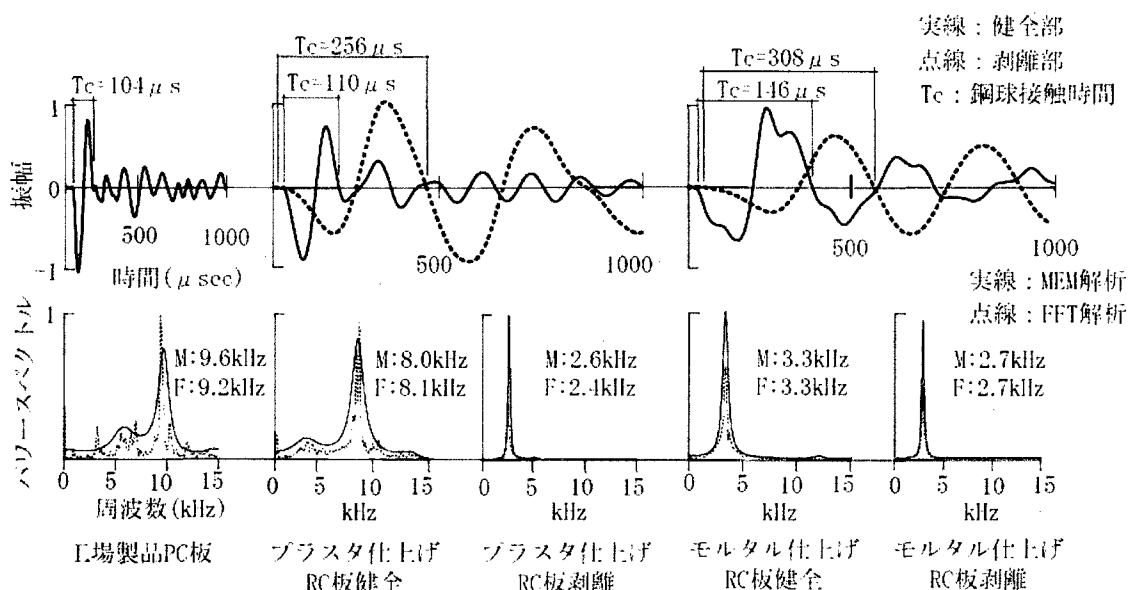


図2 各サンプルの速度波形及びFFT, MEM解析結果

場合よりも深い内部を通るので弾性波速度が速くなったものと考えられる。モルタル波型仕上げRC壁の弾性波速度は透過方式で測定した。表面のモルタルは雨風にさらされて風化して弾性波速度は遅いが、内部のコンクリートはモルタルよりはしっかりしているようで、透過した平均弾性波速度は3530m/sであった。

(2)打撃直後の波形観察 鋼球のヤング率はコンクリートよりも約10倍大きいので剛体とみなすと、打撃によって鋼球が接触している時間はコンクリート表面の弾性変形に対応する。打撃によって凹むので速度波形はマイナス側にふれ、つぎにコンクリートの弾性率、ひずみエネルギー容量などによって鋼球が押し戻されるので、ここに構造的な強さが反映される。鋼球接触時間とコンクリートの弾性率は密接な関係があり、コンクリートが硬くなるほど接触時間Tc(Contact Time)は短くなる。工場製のPC板は104μs、プラスタ仕上げRC板健全部は110μs、モルタル仕上げRC板健全部は146μsである。弾性波速度と対比すると、プラスタ仕上げは110μsと短めに、やわらかい表面モルタルによって146μsの接触時間となったものと思われる。表面が剥離した場合の波形は正弦波に近いきれいな波形となるが、これは剥離した薄い板の部分が、たわみ振動(曲げ振動)しているためと考えられる。

(3)厚さと剥離 FFTとMEMによる厚さの固有振動数を図2の下部に示した。データ数が7000個と多いので両者の最大振動数はほぼ一致している。 $D=V_p/2f$ より厚さを求めると、工場製PC板は224mm、プラスタ仕上げRC板は212mm、モルタル仕上げRC板は530mmと実際の厚さとほとんど一致している。ところが剥離している部分では、プラスタRC板212mmに対し648mm、モルタル仕上げRC板は530mmに対して654mmと、実際の厚さよりも厚く計算される。なぜ剥離部分では振動数が低くなり厚く計算されるかという剥離した薄い板のたわみ振動がおきるためと推測される。

(4)スペクトログラム 図3にモルタル仕上げRC板剥離部分のMEMスペクトログラムを示す。MATLABはこのような図を関数選択だけで作成できるので便利である。剥離部分の振動数約2kHzが大きなパワーを持って振動数が高く低くと変化しながら継続している。3.5kHz付近の振動数は厚さに対応するものであるがパワーが小さく約200μsで消滅している。

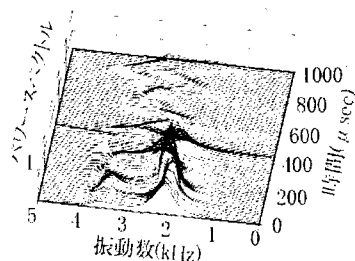


図3 スペクトログラム

4. まとめ

衝撃弾性波解析にMATLABを利用して鉄筋コンクリート板の厚さ測定を試みたが、コンクリートの動的挙動の理解が困難であった。しかし、初心者にとってMATLABは有効な解析手段と認識できたので今後とも活用したいと思う。