

打音法によるRC構造物の部材厚さの評価について

- 振幅ならびに周波数を用いた方法 -

佐藤工業（株） 正会員 ○伴 享 歌川紀之 北川真也^{*1}

独立行政法人土木研究所 正会員 森濱和正^{*2}

1. はじめに

コンクリート構造物を打撃した時に生じる振動は、部材厚さが薄い場合には板の曲げ振動であり、厚さの違いによる振動音の振幅の大小から部材厚さを評価できる¹⁾。一方、部材厚さが厚くなると板の曲げ振動は小さくなり振動音の振幅による評価は難しくなる。コンクリート構造物の部材厚さなどを評価する場合、打撃によって生じる振動性状を適切に把握する必要がある。ここでは、それぞれ厚さや形状のことなる試験体を用いて測定を行い、本方法での部材厚さの評価方法について考察を行った。

2. 試験概要

測定対象試験体の形状を図-1、-2に示す。試験体はL型擁壁をモデル化した試験体（以下、L型試験体と呼ぶ）と直方体（縦1200×横1000×高さ800mm）の試験体（以下、ブロック試験体と呼ぶ）の2種類である。図に配筋図を示していないが、各試験体とも鉄筋コンクリート構造である。L型試験体は3体あり、試験体の支持条件は単純支持が2体、砂利・砂を混合した砕石支持が1体である。

測定位置は図に示すように、L型試験体が底版の2測線（5点/1測線）、ブロック試験体が上面、2側面の3面（8点）である。測定は材齢による測定結果の変化を把握するため、コンクリート打設後、7、14、28、91日に行った。

測定は、打撃をインパルスハンマーで、打撃音の収録はフード付きマイクにより行い、各測定位置にて5回試行した。

3. 試験結果

3.1 L型試験体底版厚さの評価結果

図-3に測定結果の一例として、3体あるL型試験体の内、1体の材齢91日における測定結果を示す。厚さの算出は振幅比と部材厚さの関係²⁾を用いた。図に示した結果は、5回試行の平均値である。図より各測線でバラツキが見られるが、概ね測定位置の部材厚さを評価できているものと考ええる。なお、他の2体の試験体においても同様な結果となり、支持条件の違いによる差は見られなかった。材齢の違いは、7、14日で算定値の平均が1割程度薄くなった。若材齢を対象とする場合には、弾性係数を用いて厚さの補正が必要になると考える。

ここで用いている振幅比が、どのような振動性状を評価しているのかを検討する。曲げ振動が支配的な状態での部材厚さの変化による打撃音振幅の違いは、その打撃位置での抵抗、つまりインピーダンスの変化を捉えていることになる。これは、コンクリート版を無限板と仮定したときの曲げ波のインピーダンスとして式(1)で表される³⁾。さらに、この関係式から密度と弾性係数を一定とした場合の部材厚さの変化によるインピーダンスレベル（ $20\log_{10}Z_b$ ）は、厚さが倍変化すると-12dB下がる関係となる。

$$Z_b = 4/\sqrt{3} \cdot \rho \cdot V_p \cdot h^2 = 2.31 \cdot \rho^{1/2} \cdot E^{1/2} \cdot h^2 \quad (1)$$

ここに、 ρ ：密度（ kg/m^3 ）、 V_p ：弾性波速度（ m/s ）、 E ：弾性係数（ N/m^2 ）、 h ：厚さ（ m ）

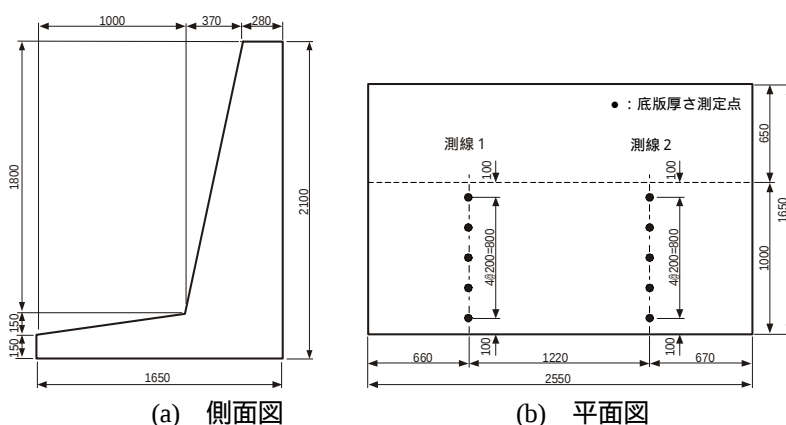


図-1 試験体外形図及び測定位置

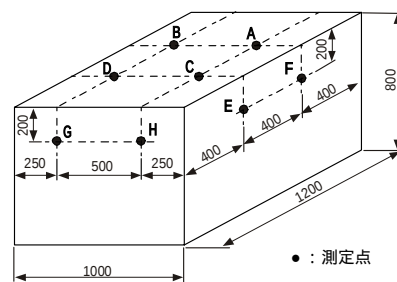


図-2 中型試験体外形図及び測定位置

キーワード：打音法，振幅比，衝撃インピーダンス，定量的評価

連絡先：*1: 〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-20

*2: 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6

Tel:03-3661-4794 Fax:03-3668-9484

Tel:029-878-6761 Fax:029-879-6799

振幅比をインピーダンスレベルで整理すると図-4 に示す結果となる。図より 1～2dB 程度のばらつきは見られるものの、インピーダンスレベルの関係線とほぼ同じであり、本方法における打撃衝撃力の振幅と打撃応答音の振幅との比つまり振幅比が、インピーダンスと等価なものであることがわかる。

3.2 ブロック試験体の厚さ評価

振幅比による評価は、部材厚さ 300mm 程度までは可能であるが、それ以上厚い部材に対しては曲げ振動の波が観測されにくいため適用が難しい¹⁾。一方、弾性波速度 (V_p) と縦波一次共振周波数 (f) との関係から部材厚さを算定する方法は弾性波法に属する数々の試験方法で用いられている。この方法では、弾性波速度の決定と縦波一次共振周波数の特定が重要となる。そこで、本方法により縦波共振一次周波数を用いて部材厚さを推定する方法の検討を行った。検討に用いた周波数分析結果は、個々の打撃力の違いを取除くことができる打撃音の周波数振幅を打撃力の周波数振幅で除した伝達関数を用いた²⁾。

試験体上面（部材厚さ 800mm）の A 点の伝達関数は図-5 に示すように様々な卓越周波数が生じ、この結果から縦波一次共振周波数の特定は難しい。そこで、同じ測定位置の 5 回の伝達関数を各々周波数ごとに相乗平均し、卓越周波数の特定を容易にすることを試みた。結果を図-6 に示す。

図-6 では図-5 と比較すると、卓越周波数がはっきり観察され、1600Hz 程度と 2500Hz 程度に存在することがわかる。一般的なコンクリートの弾性波速度 ($V_p=4000\text{m/sec}$) と部材厚さから縦波一次共振周波数を算定すると、2500Hz となり図-6 で観測される 2500Hz 程度の卓越周波数が縦波一次共振周波数であると推定することが出来る。1600Hz 程度の卓越周波数が他の測定位置でも同様に生じているが、フード付きマイク自体の共振ではないかと考えられる。他の測定位置でも 5 回の相乗平均により同様な結果となった。

このように、複数回の測定結果を相乗平均することで、縦波一次共振周波数の特定を容易にできる可能性があることがわかった。

4. まとめ

これらの結果より、以下のことが分かった。

- 1) 打音法における振幅比による評価は、振動試験における衝撃インピーダンスと同様である。
- 2) これは、無限板の仮定であるが、ここで用いた L 型試験体のような境界部が明確な構造物に対しても、成り立つことがわかった。
- 3) 打音法による縦波一次共振周波数を用いて部材厚さを推定する方法では、複数の測定結果を相乗平均することで卓越周波数が明瞭になり周波数の特定が容易になる。

両算定方法とも部材厚さの推定精度の向上を図るために今後も検討を行ってゆきたい。なお、本研究は独立行政法人土木研究所との共同研究で行ったものであり本稿は研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 歌川ら：打音法における欠陥検知に関する一考察、土木学会第 58 回年次学術講演会、2003（投稿中）
- 2) 伴ら：打音法によるコンクリート構造物の非破壊検査法の開発、佐藤工業（株）技術研究所報、No.27、2001
- 3) L.Cremer, M.Heckl, E.Ungar : Structue-Bone Sound, Springer-Verlag, p.264, 1973

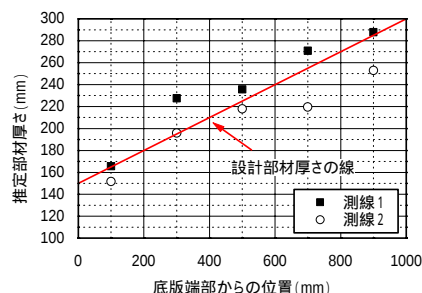


図-3 底版厚さの算定結果

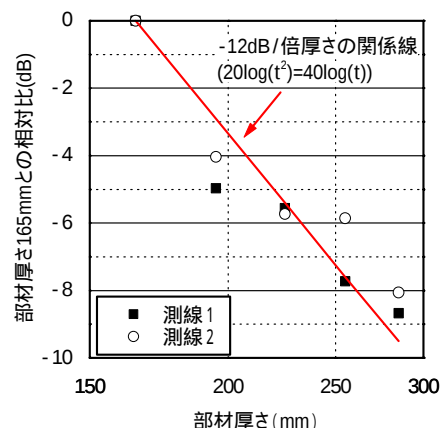


図-4 インピーダンスと部材厚さの変化

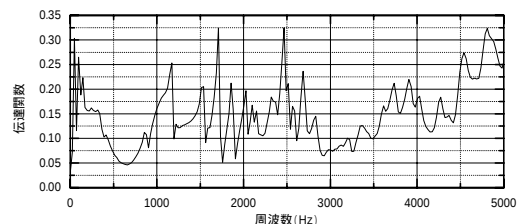


図-5 ブロック試験体上面の伝達関数

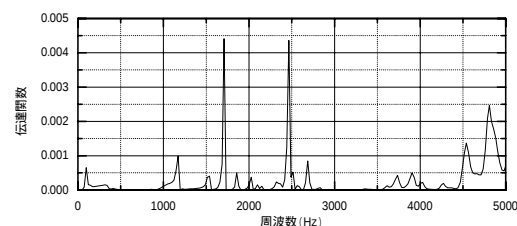


図-6 ブロック試験体上面の伝達関数の
5 回の相乗平均結果