

振動モードを考慮した衝撃弾性波法によるコンクリート部材厚さ測定の 解析的検討

東北学院大学 工学部 学生会員 ○後藤 駿介
東北学院大学 工学部 学生会員 高橋 翔太
東北学院大学 工学部 正会員 李 相勲

1. はじめに

衝撃弾性波法を用いてコンクリート部材の寸法や欠陥の有無を測定するには、伝搬速度＝2・部材厚さ・共振周波数の式が用いられている。この式では測定対象の形態や境界条件などが考慮されておらず、一部の形状に対して形状係数を乗ずることで対応しているのが現状である。本研究では、測定により求められる共振周波数と対象物の形状から決められる振動モードの固有振動数との関係をさまざまな形状に対するモード解析や衝撃応答解析で明らかにし、寸法測定に対する衝撃弾性波法の適用性と精度を高めることをその目的とする。

2. 衝撃弾性波法と衝撃応答解析

衝撃弾性波法とは、試験対象のコンクリート表面に鋼球やハンマー等で物理的な衝撃を与えることで弾性波を発生させ、対象コンクリート中を伝搬した弾性波を、対象物に接触させたセンサで受信し測定した弾性波より、コンクリートの品質やコンクリート内部の欠陥、位置、寸法を測定する方法である。

本研究では有限要素動的解析プログラムによる衝撃応答解析を衝撃弾性波法に適用させ様々な検討を行った。解析時間短縮のため棒部材以外は図1のように平面ひずみ要素として解析を行う。解析モデル図2には拘束条件が固定である最下端と対象物を想定する本体モデルの間に、剛性≒0である仮想の層を設けることで下面の自由面を表現した。解析条件は、密度 2300kg/m³、ヤング係数 2.0×10¹⁰N/m²、ポアソン比 0.2、時間間隔 2.0μs とした。要素の大きさは一律 1cm×1cm である。測定方向の両端が自由の場合は、その区間の長さの半波長の整数倍に該当する周波数成分が共振し式(1)の関係式が成立する。

$$f = \frac{V}{2D} \quad (1)$$

ここに、 D : クリートの厚さまたは内部欠陥までの距離、 f : 共振周波数、 V : 伝搬速度



図1 2次元モデル

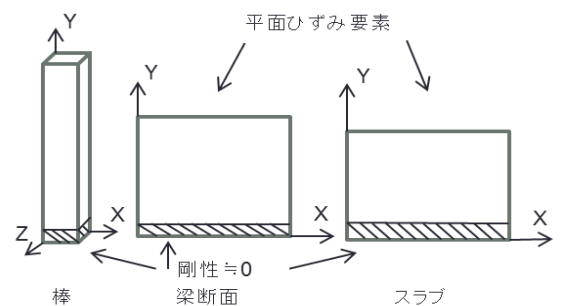


図2 解析モデル例

3. 衝撃弾性波法によるコンクリート部材に対する 衝撃応答解析と寸法測定

測定対象の形状による影響を調べるために棒部材、梁部材、スラブ部材を使い解析を行った。

3.1 解析対象

棒部材では(5×5×40,50,60)cm、梁部材では(50×1×40,50,60)cm、スラブ部材では(55×1×20,25,30)cmの解析モデルを作り解析を行った。

3.2 入力する衝撃波

各解析モデルに与える衝撃は図2に示すように(-)y軸方向に図3の衝撃波を用いて動的応答解析を行った。ベル型波形の幅はインパクトの接触時間に該当する。棒部材に対しては①の接触時間 0.000025sのみ与え、梁・スラブ部材には全ての衝撃波を与えた。

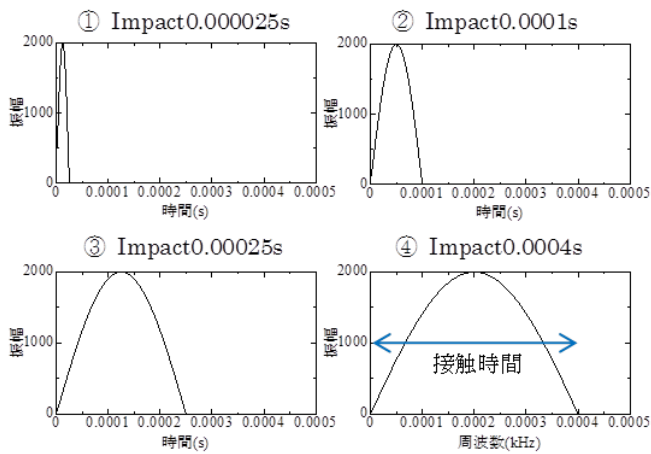


図3 インパクトの接触時間

3.3 縦波伝搬速度の計算

比較のため、棒部材のような一次元弾性体中の縦弾性波速度と固体内部の P 波縦弾性波速度の理論値をそれぞれ式(2)と式(3)を用いて求める。

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2) \quad , \quad V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-\nu)}} \quad (3)$$

ここに、 V_p ：縦弾性波速度、 E ：ヤング係数
 ν ：ポアソン比

3.4 解析結果

棒部材、梁部材、スラブ部材に対する解析から得られたスペクトルをそれぞれ図 4,5,6 に示す。縦の破線で示すのは理論的周波数、点は解析で得られた共振周波数のピーク値である。スペクトルの共振周波数を用いた縦波伝搬速度を求め表 1 に示す。表 1 より棒部材については棒の長さの変化が伝搬速度にそれほど影響していなかった。しかし梁部材とスラブ部材についてはそれぞれの寸法によって伝搬速度が大きく変化している。このことは伝搬速度の計算時に式(1)に形状係数を取り入れる必要があることを示している。一方、図 7 は接触時間ごとの梁部材(50×1×50)cm に対するスペクトルを示したものである。接触時間 0.000025s と 0.0001s のスペクトルでは厚さの周波数が最大ピークで捉えておらず 0.00025s と 0.0004s では厚さの周波数が最大ピークで捉えていることが分かる。これは正確な伝搬速度を見出すには適切な入力波の接触を用いる必要がある。

4. 結論

衝撃弾性波法による測定には対象物の形状を考慮する必要がある。また、正確な伝搬速度を見出すには適切な接触時間を入力波を用いる必要がある。

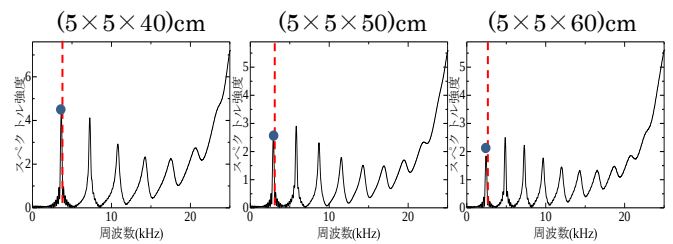


図4 棒部材 Impact0.000025s の使用

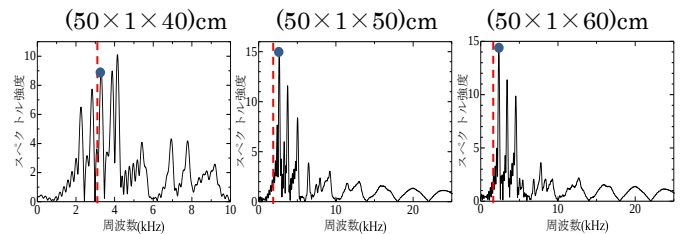


図5 棒部材 Impact0.00025s の使用

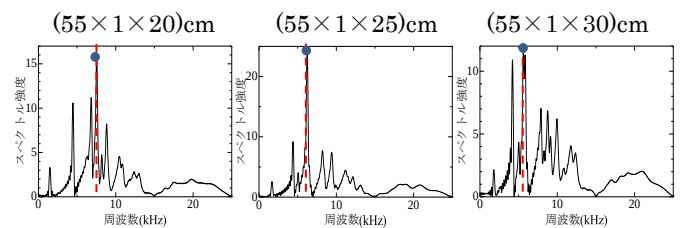


図6 スラブ部材 Impact0.0001s の使用

表 1

棒部材の縦波伝搬速度(m/s)			
寸法(横×奥行き×高さ)cm			
接触時間(s)	(5×5×40)	(5×5×50)	(5×5×60)
0.000025	2913	2927	2936
梁部材の縦波伝搬速度(m/s)			
寸法(横×奥行き×高さ)cm			
接触時間(s)	(50×1×40)	(50×1×50)	(50×1×60)
0.00025	2644	2670	2822
スラブ部材の縦波伝搬速度(m/s)			
寸法(横×奥行き×高さ)cm			
接触時間(s)	(55×1×20)	(55×1×25)	(55×1×30)
0.0001	3018	3117	3378

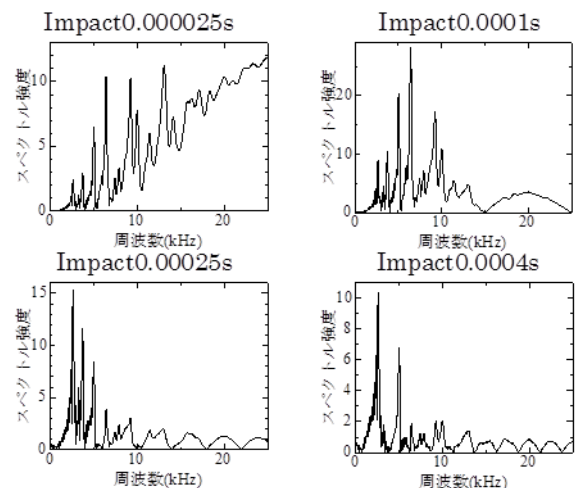


図7 接触時間の違いによるスペクトルの変化