

弾性波法を用いた入力波長と部材寸法の関係が弾性波伝播速度に及ぶ影響についての検討

徳島大学大学院 学生員 ○西岡 啓介
徳島大学大学院 正会員 渡辺 健
徳島大学大学院 正会員 橋本 親典
徳島大学大学院 学生員 野上 茜

1. はじめに

弾性波を用いた非破壊検査では正確な弾性波伝播速度の計測が非常に重要になるが、実際の計測においては入力波長や部材寸法によってみかけの弾性波伝播速度が変化することが指摘されている¹⁾²⁾。そこで、アコースティック・エミッション(AE)計測装置を用いた透過法による計測により、側面に設置したセンサを移動させながら計測を行い実験的に検討することにした。

2. 実験概要

2. 1 実験方法

本実験では、波長と部材寸法の関係を調べるため、長さの異なる供試体を3本用いた。断面寸法をそれぞれ100mm×100mmとして、部材長さが400mm、600mm、1200mmの供試体とした。波の入力には、直径の異なる鋼球と周波数の異なる超音波発振子、また重さの異なる2種類のテストハンマを用いた。ここで、これらの方法により入力される周波数、波長を表-1に示す。なお、鋼球を用いた機械的な衝撃力により発生する弾性波の上限周波数は、鋼球とコンクリート表面の接触時間により決定され、以下の式で表すことができる。

$$T_c = 0.0043D \quad (1) \quad f_c = 1.25/T_c \quad (2)$$

表-1 上限周波数

入力方法		入力可能な上限周波数(kHz)	波長(mm) ($C_p=4025\text{m/s}$)
鋼球による衝撃力	5.5mm	52.9	76.1
	9.5mm	30.6	131.5
	15.9mm	18.3	219.9
	19.0mm	15.3	263.1
超音波発振子	200kHz	200	20.1
	28kHz	28	143.8
テストハンマ	大(8oz)	10kHz前後	約402.5
	小(4oz)		

本実験ではセンサを2つ用いて透過法により計測を行ったが、その際に側面に設置したセンサを100mmずつ移動させながら計測を行い、入力波長とセンサ間距離が弾性波伝播速度に与える影響について検討を行った。その概略図を図-1に示す。

2. 2 弾性波伝播速度の算出方法

図-1において入力点からセンサ1までの距離点をセンサ1までの距離をA、センサ2までの距離をBとする。また入力した時間を t_0 、センサ1に到達するまでの時間を t_1 、センサ2に到達するまでの時間を t_2 とすると、弾性波伝播速度 C_p は、式(3)、(4)として表される。

$$C_p = \frac{A}{t_1 - t_0} \quad (3) \quad C_p = \frac{B}{t_2 - t_0} \quad (4)$$

これらの式を整理すると、

$$C_p = \frac{B - A}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

となる。このときの t_1 および t_2 については、それぞれ波形よりよみとった初動到達時間である。今回は、超音波の入力では10回の計測における平均値を、鋼球による衝撃力の入力では20回繰り返してその平均値を C_p としている。

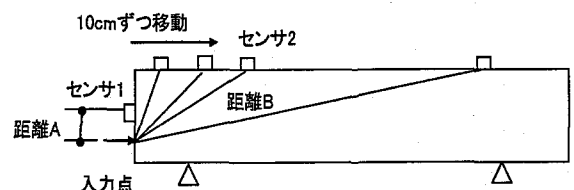


図-1 実験概略図

3. 結果

図-2に各種入力方法における伝播速度の実験結果を示す。入力波長の短い200kHzの入力では、センサ距離が変化してもわずかに伝播速度の減少がみられるが、3900m/s付近で安定した値となっている。一方、入力波長の長い鋼球入力ではセンサ距離が短いと伝播速度は大きく計測されているが、センサ距離が400mm以上で3800m/s～3700m/s付近で安定している。最も入力波長の長いテストハンマ入力では見かけの伝播速度は最も不安定な値となっており、センサ距離が700mm以上において伝播速度3300m/s付近で安定している。このことから入力波長が長くなると、長さの同じ供試体においてもセンサ間隔によりみかけの伝播速度が変化することがわかる。なお、今回の計測の範囲では、鋼球5.5mm入力以外では入力波長の2倍～3倍のセンサ距離があれば十分正確な伝播速度の計測が可能であることがわかった。

また、入力波長が長くなるにつれてみかけの弾性波伝播速度が低下しており、同じ伝播速度を計測しているつもりでも異なる結果となった。ここで、断面寸法と波長の比(断面/波長)と伝播速度の関係を図-3に示す。図-3より断面寸法に対して波長が短いほど伝播速度は大きくなり、長くなると伝播速度は小さくなることから分かる。波長が短い200kHz発振子では3次元弾性体を伝わる速度 C_p 、波長の長いテストハンマでは棒のような1次元弾性体を伝わる速度 C_l と仮定すると、これらの関係は以下で表される。

$$C_l = C_p \sqrt{\frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}} \quad (6)$$

式(6)に $C_p=3900\text{m/s}$ 、 $C_l=3300\text{m/s}$ を代入すると動ポアソン比は約0.32となり、一般的な動ポアソン比といわれている0.25～0.4の範囲を満たしている。このことから波長が部材断面よりも十分短いと3次元弾性体を伝わる波が卓越し、波長が部材断面よりも長くなるにつれて1次元弾性体を伝わる速度が卓越する傾向が実験的に示された。

4. まとめ

- (1) センサを側面に設置した透過法による計測において、センサ間隔を入力波長の2～3倍とすると精度のよい弾性波伝播速度の計測ができる。
- (2) 弾性波の進行方向と直交方向の断面寸法に対して波長が短くなるにつれ3次元弾性体を伝わる弾性波が卓越し、断面寸法よりも波長が長くなるにつれて1次元弾性体を伝わる弾性波が卓越する。

5. 参考文献

- 1) British Standards Institution: BS1881 Part203. 1986
- 2) 斉藤秀樹、吉荒俊克、長井辰之、松沢英俊：マルチチャンネル衝撃弾性波法によるコンクリートの非破壊試験、物理探査学会第109回(平成15年度秋季)学術講演会論文集、2003.10

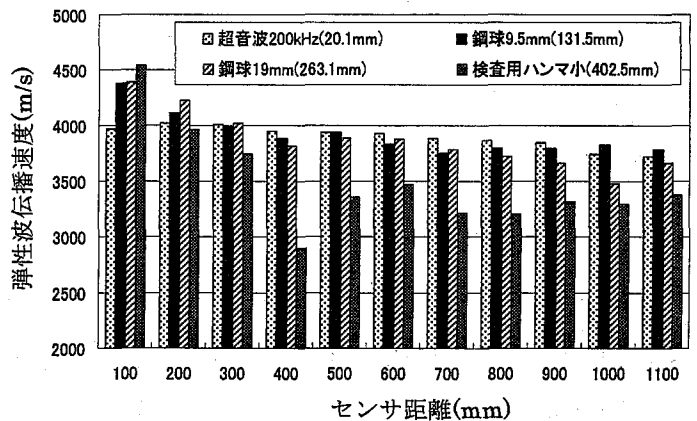


図-2 各種入力によるセンサ距離と伝播速度の関係

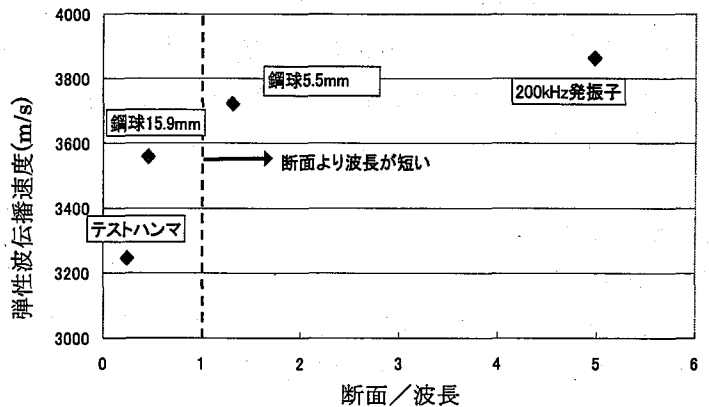


図-3 断面寸法/波長と弾性波伝播速度の関係