

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○李 興洙  
大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎

佐賀大学大学院工学系研究科 正会員 内田 慎哉  
大阪大学大学院工学研究科 学生員 岩崎 俊樹  
リック (株) 正会員 岩野 聡史

1. はじめに

本研究では、コンクリートの版厚が異なる 2 体の床版供試体を対象に衝撃弾性波法による計測を行い、周波数解析方法の違いがコンクリートの版厚評価に与える影響について検討を行うことを目的とした。

2. 実験概要

2.1 対象としたコンクリート床版供試体

対象とした供試体は、厚さ 150mm×幅 900mm×長さ 900mm (写真-1 参照) および厚さ 280mm×幅 1800mm×長さ 1800mm の 2 体のコンクリート床版供試体である。

2.2 衝撃弾性波法による計測

弾性波の入力には、コンクリート中へ入力する弾性波の周波数を変化させることを目的に、直径の異なる鋼球を 5 種類 (直径 3.2, 6.4, 9.6, 12.8, および 19.1mm) 用いた。一方、弾性波の受信には加速度センサ (応答感度: 0.003~30kHz) を使用した。

2.3 適用した周波数解析方法

本研究では、加速度センサで受信した波形から周波数スペクトルを算出する際、高速フーリエ変換 (FFT)、最大エントロピー法 (MEM) および相互相関関数を算出後に MEM (本研究では「相互相関法」と呼ぶことにする) の 3 つの異なる周波数解析方法を適用した。

3. 実験結果および考察

3.1 FFT により算出した周波数スペクトルの特徴

図-1 に FFT により算出した周波数スペクトルを供試体ごとに示す。周波数スペクトル上の矢印は、理論上の版厚共振周波数の位置である。いずれの供試体においても、鋼球直径の大きさに関わらず、版厚共振周波数の位置近傍にピークが出現している。しかしながら、いずれのスペクトルにおいても、版厚共振周波数よりも高周波数の領域に周波数成分の分布が確認できる。特に、版厚 150mm で鋼球直径 3.2mm および版厚 280mm の鋼球 9.6mm のケースでは、版厚共振周波数の位置に出現したピークよりも、前述の高周波数領域におけるピークの方

がスペクトル強度が大きい。したがって、直径の小さい鋼球を使用して衝撃弾性波法による計測を行い、かつ FFT により周波数スペクトルを算出した場合、周波数スペクトル上に出現したスペクトル強度が最も大きいピークから版厚を推定することは困難であると考えられる。

3.2 MEM により算出した周波数スペクトルの特徴

MEM により求めた周波数スペクトルを図-2 に示す。いずれの場合においても、図-1 と同様に、版厚共振周波数の位置にピークが出現している。しかしながら、依然として、周波数スペクトル上に複数のピークが出現しているケース (版厚 150mm, 鋼球直径: 3.2mm および版厚: 280mm, 鋼球直径: 9.6mm の 2 ケース) があることも確認できる。したがって、MEM を活用した場合においても、使用する鋼球直径によっては、版厚共振周波数を特定することは困難である。

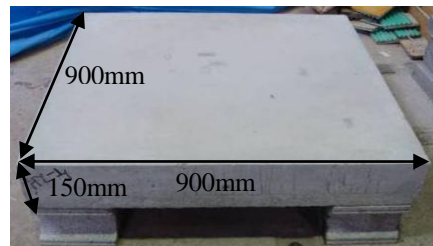


写真-1 版厚 150mm の供試体概要

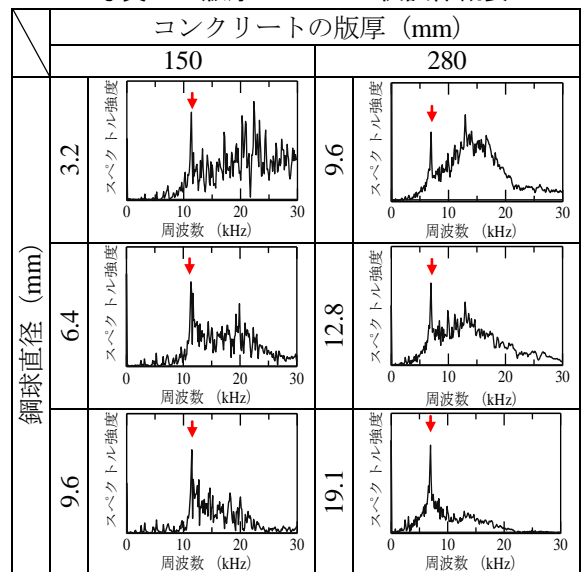


図-1 FFT により算出した周波数スペクトル

### 3.3 相互相関法により算出した周波数スペクトルの特徴

コンクリート版厚に対して入力する弾性波の波のエネルギーが弱い場合、打撃面側のコンクリート表面と底面との間で反射する弾性波が著しく減衰し、波の多重反射に起因するピークを周波数スペクトル上で把握することが困難となる。このことは、本実験における鋼球直径 3.2mm (版厚 150mm) および 9.6mm (版厚 280mm) の結果からも明らかである。そこで本研究では、これを改善することを目的に、「受信波形」とその受信波形から取り出した「コンクリート内部で版厚方向に一往復する波」から相互相関関数を算出し、その関数に対して MEM を行うこととした。図-3 に受信波形の一例を示す。図-4 には、図-3 に示した受信波形の波頭部分を拡大した時刻歴波形を示す。図-4 に示す 1 周期 (1 波長) 部分が「コンクリート内部で版厚方向に一往復する波」に相当する。この部分を「初期波形」と定義する。受信波形と初期波形から式(1)により、相互相関関数を算出した。

$$R(\tau) = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_1+T} \{y_1(t) - \overline{y_1(t)}\} \{y_2(t+\tau) - \overline{y_2(t+\tau)}\}}{\sqrt{\sum_{t=t_1}^{t_1+T} \{y_1(t) - \overline{y_1(t)}\}^2} \sqrt{\sum_{t=t_1}^{t_1+T} \{y_2(t) - \overline{y_2(t)}\}^2}} \quad (1)$$

ここで、 $y_1(t)$  は受信波形、 $y_2(t)$  は初期波形、 $\overline{y(t)}$  は  $y(t)$  の  $t = t_1 \sim t_1+T$  での平均値、 $\tau$  は時間差、 $R(\tau)$  は時間差  $\tau$  での相互相関関数、 $t_1$  は  $y_1(t)$  での振動の開始時間、 $T$  は初期波形の周期の 10 倍の時間とした。式(1)から求めた相互相関関数を MEM することにより計算した周波数スペクトルを図-5 に示す。いずれの周波数スペクトルにおいても理論上の版厚共振周波数近傍の位置のみにピークが出現している。しかも、ピーク周波数以外の周波数成分が極めて小さくなっていることも同時に確認することができる。以上のことから、本研究の範囲内では、相互相関法により周波数スペクトル上に出現したピークから版厚共振周波数を特定することが可能であった。

### 4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- 1) FFT および MEM により求めた周波数スペクトルには、理論上の版厚共振周波数の位置にピークが出現するもの、使用する鋼球直径が小さくなると版厚共振以外の周波数範囲にも強度の大きいピークが複数出現する。
- 2) 相互相関法により算出した周波数スペクトルには、単独の鋭いピークが出現する。しかもこのピークは、理論上の版厚共振周波数と概ね一致する。
- 3) 上記 1) および 2) より、本研究の範囲内では、周波数

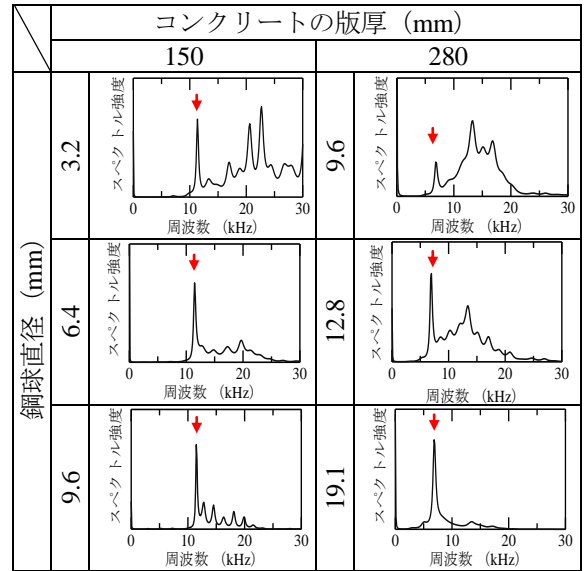


図-2 MEMにより算出した周波数スペクトル

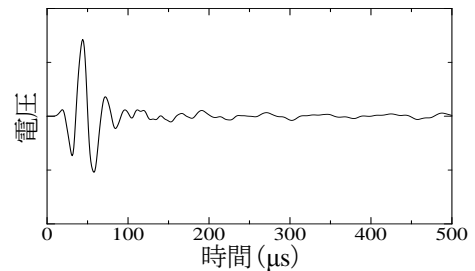


図-3 受信波形の一例

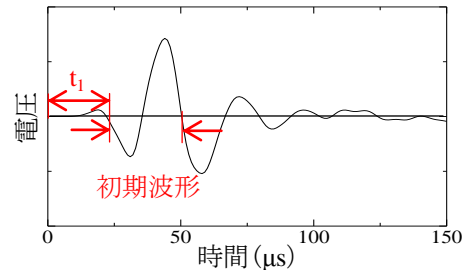


図-4 受信波形の波頭部分を拡大した時刻歴波形

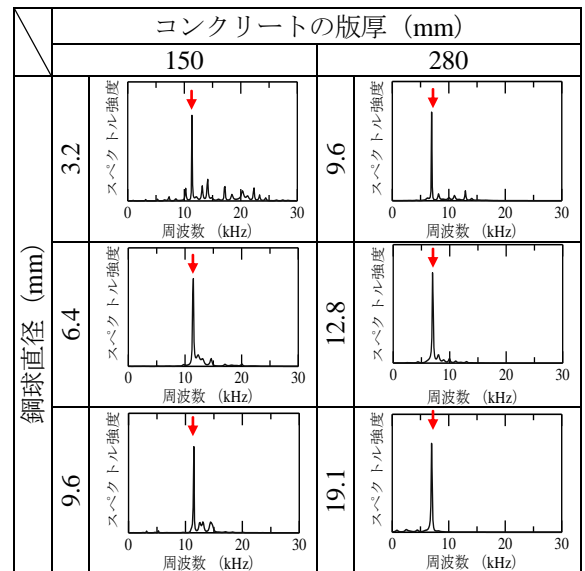


図-5 相互相関法により算出した周波数スペクトル  
スペクトル上に出現したピークのみから版厚を評価するには、周波数解析手法として相互相関法を用いることが有効であると考えられる。