

ウェーブレット変換と自己相関係数を併用した衝撃弾性波法に基づくコンクリート版厚推定手法

大阪大学大学院 正会員 ○内田慎哉 正会員 鎌田敏郎 学生会員 前 裕史
大阪大学大学院 学生会員 岩崎俊樹 学生会員 角田 蛍

1. はじめに

著者らはこれまでに、版厚共振周波数からコンクリートの版厚を推定する手法についての検討を行ってきた¹⁾。その結果、Sansalone ら²⁾が定義している弾性波の入力に使用する鋼球直径により変化する上限周波数と版厚共振周波数の関係を満足する条件下でも、周波数スペクトル上に出現するピークから版厚推定を行なうことが困難な場合があることを明らかにしている¹⁾。

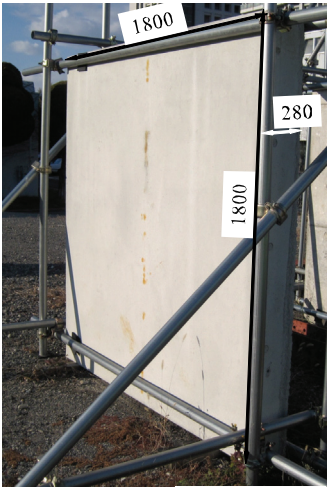
そこで本研究では、離散ウェーブレット変換と自己相関係数を併用することにより、コンクリートの版厚推定における上記の問題点を改善することを試みた。

2. 実験概要

図-1 にコンクリート版供試体を示す。供試体寸法は、1800mm×1800mm×280mm である。弾性波の入力に使用した3種類の鋼球直径と Sansalone ら²⁾によって定義された上限周波数との関係を図-2 に示す。弾性波の受振には、加速度、速度および変位センサの3種類を使用した。打撃により生じた弾性波は、各センサで同時に受振することとした。弾性波の入力位置と各センサまでの距離はそれぞれ約100mmである。コンクリートの縦波速度は、超音波法の透過法により測定し、4090m/sであった。

3. FFTにより算出した周波数スペクトルでの版厚共振周波数の特定とその問題点

各センサで受振した時刻歴波形(電圧波形)をFFTすることにより算出した周波数スペクトルを図-2に示す。図中では、使用した鋼球の直径: D 、およびその鋼球における弾性波の上限周波数: f_{max} を併せて示している。周波数スペクトル上の矢印は、理論上の版厚共振周波数である。弾性波の受振方法に関わらず、入力する弾性波の上限周波数が小さくなるにしたがって、理論上の版厚共振周波数の近傍に単独のピークが出現する傾向を示した。これに対して、弾性波の上限周波数が大きくなると、周波数全域にわたって成分が分布し、しかも複数のピークが出現しているため、版厚共振周波数を特定することは困難な場合(図-2中の太枠内の4ケース)があった。そこで、このような条



[単位: mm]

図-1 供試体概要

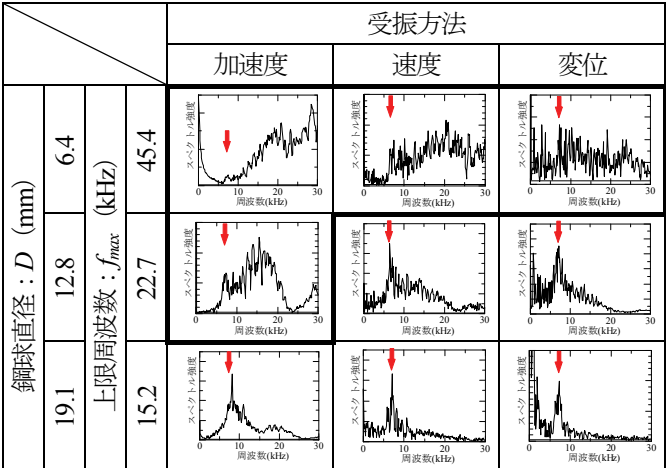


図-2 FFTにより算出した周波数スペクトル

件下においても版厚を推定するため、離散ウェーブレット変換および自己相関係数を併用することで、既往の手法の改善を試みた。詳細は次章に示す。

4. ウェーブレット変換および自己相関係数の併用による版厚推定手法の改善

センサで受振した電圧波形(元波形)から版厚共振周波数に相当する周期を持つ波形を抽出することを目的に、元波形に対して離散ウェーブレット変換を行なった。使用したマザー・ウェーブレット関数は、Daubechies ウェーブ

表-1 離散ウェーブレット変換および自己相関係数を併用した版厚推定の結果

受振方法	鋼球径： D (mm)	自己相関係数における 極大値の最大値	時間： $t_{\max}$ (μs)	ピーク周波数 (kHz)	推定版厚 (mm)	版厚共振 周波数	実際の版厚 (mm)
加速度	6.4	0.658	132	7.4	278	7.3	280
	12.8	0.878	134	7.5	274		
速度	6.4	0.713	132	7.6	270		
変位	6.4	0.753	148	6.8	303		

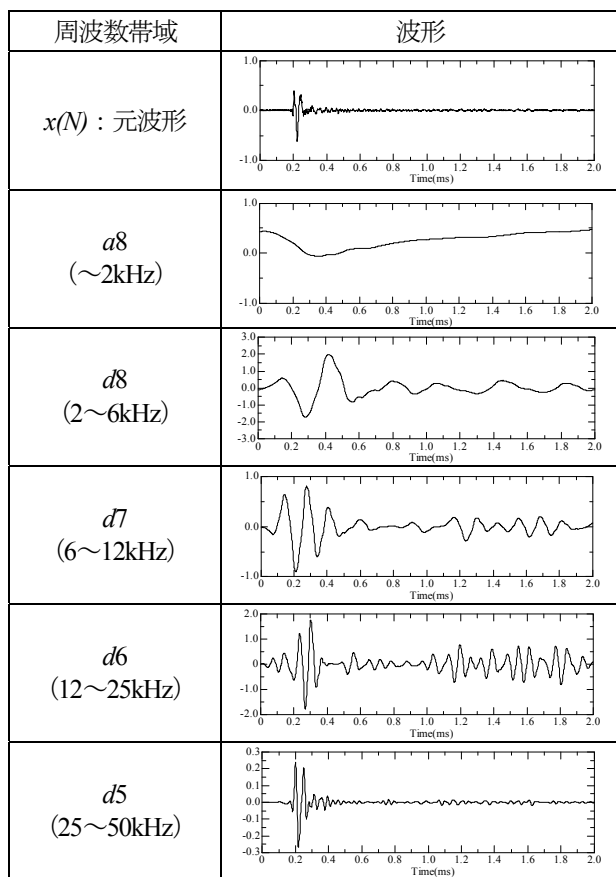
 a : approximation d : detail

図-3 元波形および離散ウェーブレット変換により周波数帯域ごとに分解された波形

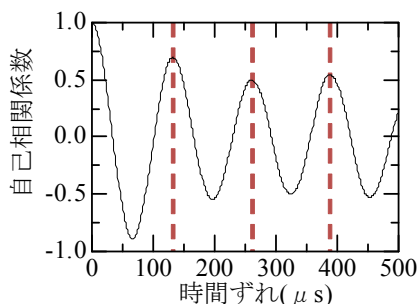


図-4 コレログラム

ット³⁾である。本研究では、レベル 8 となるまで Daubechies ウェーブレットすることとした。鋼球直径 6.4mm, 加速度センサで受振した元波形に対して、離散ウェーブレット変換した結果を図-3 に示す。ここでは、鋼

球直径 6.4mm で入力される弾性波の上限周波数が 45.4kHz であることを考慮し、レベル 5~8 で分解された波形のみを示した。図中のレベル 7 波形は、版厚共振周波数を含んだものである。そこで、レベル 7 波形において、版厚共振による周期的な信号を抽出するため、この波形に対して自己相関係数の算出を行なった。レベル 7 波形のコレログラムを図-4 に示す。図より、一定の間隔ごとに自己相関係数が大きくなっていることがわかる。この相関係数が大きくなる時刻(図-4 中の点線)を版厚共振による周期であるとし、この値(図より 132 μs)からコンクリートの版厚を推定した。その結果と速度および変位センサで受振した場合の計算結果を表-1 に併せて示す。いずれの場合においても、推定した版厚と実際の版厚はおおむね一致していることが明らかとなった。

5. まとめ

入力する弾性波の上限周波数が版厚共振周波数よりも大きくなる条件を満たすにも関わらず版厚共振によるピークが確認できないケースに対して、受振波形を離散ウェーブレット変換により周波数帯域ごとに分解した。得られた波形に対して自己相関係数を算出し、相関係数が極大値を示す時刻から版厚の推定を試みた結果、推定版厚と実際の版厚はおおむね一致することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 鎌田敏郎, 内田慎哉, 前 裕史, 山本健太: 弾性波の入力方法がインパクトエコー法によるコンクリート版厚推定に与える影響, 材料, Vol.58, No.8, pp.684-690, 2009.8.
- 2) Sansalone, M. J. and Streett, W. B.: Impact Echo, Bullbrier Press, Ithaca, N.Y., pp.159-166, 1997.
- 3) 例えば, 榊原 進: 数理科学 ウェーブレットビギナーズガイド, 東京電気大学, 2003

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(若手スタートアップ 21860055)の援助を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表する。