

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○西上 康平
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 李 興洙
東北学院大学工学部環境建設工学科 正会員 李 相勲

1. はじめに

本研究では、衝撃弾性波法で得られた周波数スペクトルを対象として、調査対象断面内における弾性波の反射源を画像化することが可能な SIBIE¹⁾ に対して周波数スペクトルの平滑化、入射角補正および画像の重畳処理を新たに加えた「Accumulated SIBIE」を適用し、コンクリート部材の厚さを可視化する非破壊評価手法の検討を行った。

2. 衝撃弾性波法に基づくコンクリート部材厚さの可視化手法の概要

コンクリートの部材厚さを可視化する手順としては、まず、複数の計測点において衝撃弾性波法による計測から周波数スペクトルを求める。その後、得られた全てのスペクトルを対象に Accumulated SIBIE を適用し、部材断面の 2 次元画像を取得する。以下にそれぞれの詳細を示す。

2.1 衝撃弾性波法による部材厚さの評価原理

衝撃弾性波法による部材厚さの評価原理を図-1 に示す。この手法では、鋼球を用いてコンクリート表面を打撃することによりコンクリート内部に弾性波を伝搬させ、打撃面と底面との間で多重反射する波を、打撃面に設置したセンサにより受信し、これを周波数解析することにより得られるピーク周波数に基づき、コンクリートの厚さ： T (mm) を推定することができる。厚さに相当する理論上の共振周波数： f_T (Hz) (以降、縦波共振周波数と呼ぶ) は、以下の式により算出できる。

$$f_T = C_p / 2T \quad (1)$$

ここで、 C_p ：コンクリートを伝搬する縦波速度(m/s)である。

2.2 Accumulated SIBIE による可視化の手順

この手法は、まず、複数の点で算出した周波数スペクトルそれぞれに対して①平滑化を行った後、②SIBIE により弾性波の反射源を画像化する。その後、各画像に対して③入射角補正により反射強度を再計算する。最後に、

全画像を④重畳し、調査対象断面の 2 次元画像を求める。以下にそれぞれの詳細を示す。

(1) 周波数スペクトルの平滑化

受信波形に対してラグ・ウィンドウによる処理後に高速フーリエ変換を行うことで平滑化処理を行った。

(2) SIBIE¹⁾

対象断面を図-2 に示すように正方形要素に分割する。続いて、弾性波の入・出力位置と要素中心との距離 R ($= r_1 + r_2$) に対応した換算共振周波数 f_R を次式により算出する。

$$f_R = C_p / R \quad (2)$$

この式により求めた換算共振周波数を、衝撃弾性波法により算出した周波数スペクトル上から検出し、その強度を各要素における反射強度と設定し、弾性波の反射源を

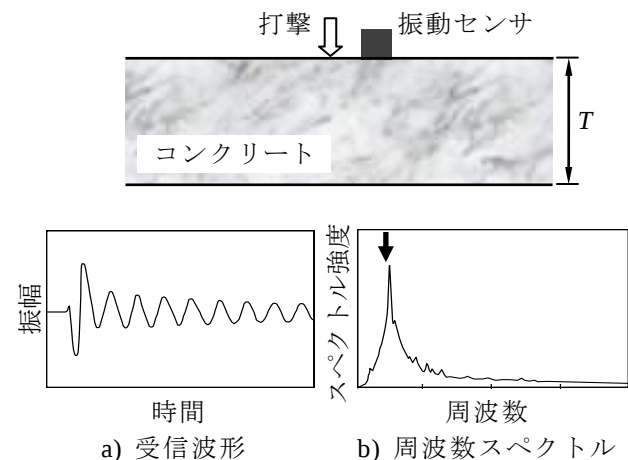


図-1 衝撃弾性波法による部材厚さの評価原理

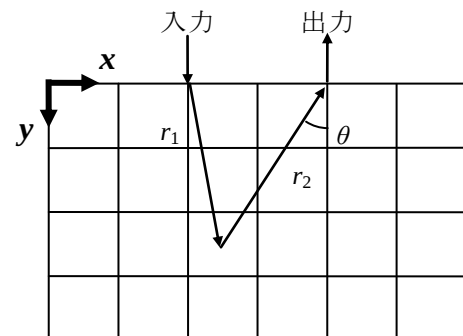


図-2 SIBIE の断面モデル

可視化する。

(3) 入射角補正

加速度センサの感度を考慮し、要素全てに対して、各要素の反射強度に方向余弦（図-2 中の θ ）を乗じて垂直成分を求め、これを反射強度と再定義した。①および③単独での効果を確認するため、②のみで求めた画像との比較を行った（図-3 参照）。

(4) 画像の重畳

複数の断面画像における各要素の反射強度をそれぞれ足し合せ（重畳）、1枚の2次元画像を求めた。

3. 実験概要

供試体は、厚さ 180mm、幅と長さが 2000mm 以上ある版状の鉄筋コンクリート部材である。弾性波の入力には、直径の異なる鋼球を 3 種類（直径 6.4、9.6 および 12.8mm）用いた。弾性波の受信には加速度センサ（周波数応答：0.003～30kHz）を使用した。打撃点とセンサ設置位置との距離は 20mm、計測点を供試体長さ方向に 50mm 間隔で走査し、全 15 点での計測を行った。

4. 計測結果および考察

衝撃弾性波法により算出した周波数スペクトルの一例を鋼球径ごとに図-4 に示す。図中の矢印は、縦波共振周波数の位置を示している。図-5 に、各鋼球での Accumulated SIBIE による断面画像の結果をそれぞれ示す。対象断面の寸法は、厚さ 200mm、長さ 800mm とした。また、断面内の正方形要素 1 辺の寸法は 5mm である。いずれの図においても、対象供試体の厚さに相当する位置（約 180mm）での反射の大きさがそれ以外と比較して大きくなっている。なお、鋼球 6.4mm の場合では、比較的浅い位置（約 70mm の位置）にも反射強度の大きい領域が出現しているものの、180mm の位置でのそれと比較して小さいことがわかる。これは、図-4 から明らかとなっており、 f_t よりも高い周波数領域に周波数成分の分布が見られたためである。以上のことから、Accumulated SIBIE 法では、コンクリート部材の底面を 2 次元の画像として表現できる可能性があることが明らかとなった。

5. まとめ

本研究では、衝撃弾性波法で得られた周波数スペクトルに対して、Accumulated SIBIE 法を適用して、コンクリートの厚さを 2 次元画像により可視化することを試みた。その結果、本手法では、部材の底面を 2 次元の可視画像として適確に把握できることがわかった。

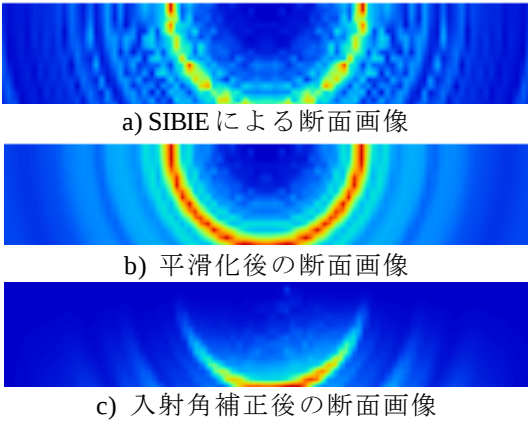


図-3 断面画像の比較

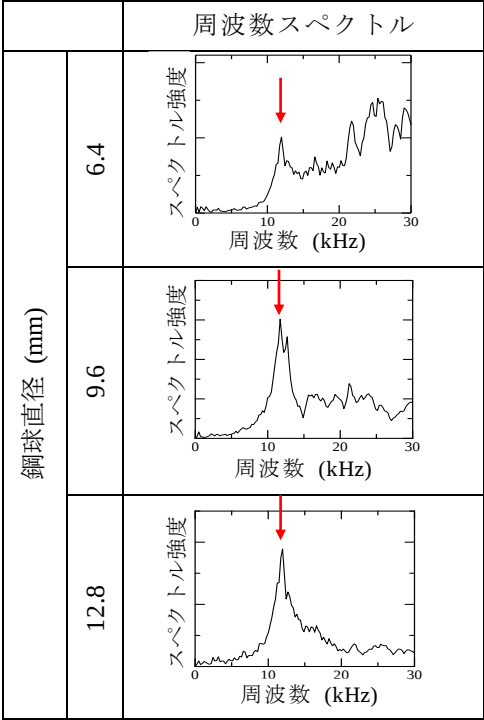


図-4 周波数スペクトル

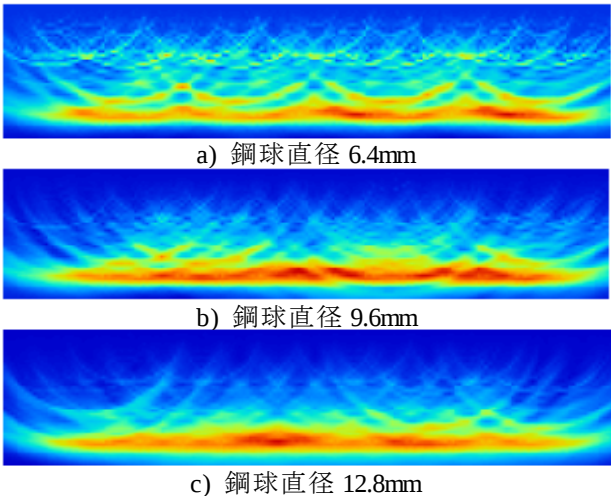


図-5 Accumulated SIBIE による断面画像

参考文献

1) Ohtsu, M. and Watanabe, T.: Stack Imaging of Spectral Amplitudes Based on Impact-Echo for Flaw Detection, NDT&E Int., Vol.35, pp.189-196, 2002.