Accumulated SIBIE によるコンクリート部材の厚さ評価のための可視化手法

大阪大学大学院 学生会員 〇李 興洙 立命館大学 正会員 内田 慎哉 大阪大学大学院 正会員 鎌田 敏郎 学生会員 西上 康平 東北学院大学 正会員 李 相勲

### 1. はじめに

著者らは、衝撃弾性波法による計測を有限要素法による 衝撃応答解析を用いてシミュレーションし、解析で得られ 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 SIBIE<sup>1)</sup> 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が一定のモデルを 2 次元画像によ り可視化する非破壊評価手法の検討を行ってきた<sup>2)</sup>. その 結果,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.しかしながら,上記の検討では,部 材の底版部分が傾斜したモデル(以降,変断面モデルと呼 ぶ)に関する本手法の適用可能性については不明確のまま であった.

そこで本研究では、変断面モデルにおける底版部分を、2 次元の画像として可視化し、厚さの違いが本手法に与える 影響について把握することを目的とした.

# 2. Accumulated SIBIE による可視化の原理

この手法は、まず、複数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) SIBIE<sup>1)</sup>

対象断面を図1 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*(=r1+r2)に対応した換算共振周波数*f*<sub>R</sub>を次式により算出する.

$$f_R = C_p / R \tag{1}$$

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1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2参照).

### (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. 衝撃応答解析の概要

衝撃弾性波法による計測を有限要素法による衝撃応答解 析を用いてシミュレーションした.図3に解析モデルを示 す.本研究で対象としたモデルは、変断面モデルである. モデルの平面ひずみ要素として計算した.また、モデル両 側面において弾性波が反射しないように、モデル両端部の 全ての節点を無反射となるように設定した.モデルの要素 寸法は、連続体中の弾性波の伝播と時間増分との関係式 (クーラン条件)に基づき 10×10(mm)とした.衝撃荷重の 入力は図3に示す部材上面とし、端部から100mmの位置に ある節点(端部 A)から1700mmの節点(端部 B)まで 100mm 間隔で入力位置を走査した.したがって、入力位置 は計17点となる.





キーワード 衝撃弾性波法,非破壊試験,コンクリート版厚, Accumulated SIBIE, 可視化, 衝撃応答解析 連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 TEL 06-6879-7618



弾性波の出力位置は、いずれの入力の場合も、入力位置から 50mm 離れた節点とした.

# 4. 衝撃応答解析の結果および考察

図4に、変断面モデルで得られた周波数スペクトルの一 部を示す.図中に示す矢印は、出力点直下のコンクリート 厚さに相当する縦波共振周波数を示している.縦波共振周 波数の位置にピークが出現しているものの、依然として縦 波共振周波数よりも高い周波数領域において、縦波共振周 波数の位置に出現したピークと同程度あるいはそれよりも 大きい強度を有するピークも複数出現している.しかもこ のような傾向は、コンクリートの厚さが小さくなるほど、 また既往の研究での版厚一定モデルよりも顕著となってい る.この原因としては、底面が水平でないことにより、底 面で反射して出力点で受信される弾性波の成分が減衰した ことが挙げられる.

# 5. Accumulated SIBIE による可視化

図5 に変断面モデルにおいて得られた可視化画像の結果 を鋼球直径ごとに示す. 図5より,底面が水平でない場合 であっても、Accumulated SIBIE により部材底版部を可視化 できることが明らかとなった. ただし, 鋼球直径 6.4mm の 場合は表層部分において鋼球とコンクリート表面との接触 に起因すると考えられる反射強度の高い領域が存在する. また、鋼球直径の違いによりコンクリート内部へ入力でき る弾性波の周波数範囲が異なるため、画像内の反射強度の 高い領域が直径によりそれぞれ異なっていることがわかる. これらの影響を改善するため、先の版厚一定モデル同様に 各鋼球直径で得られた画像を重畳処理することとした. そ の結果を図6に示す.図に示す可視化画像において、表層 部分における反射強度が、図5のそれと比較して小さくな っていることがわかる.また,選択した鋼球直径ごとに異 なった深さに出現していた反射強度の高い領域は、一つの 可視化画像にまとめることで、概ね底版位置においてのみ 出現していることが確認できる.

# 6. まとめ

本研究では、衝撃弾性波法による計測を有限要素法によ る衝撃応答解析を用いてシミュレーションし、解析で得ら れた周波数スペクトルに対して Accumulated SIBIE を適用し て、コンクリート部材の版厚を 2 次元画像により可視化す ることを試みた.その結果、厚さが変化するモデルにおけ る底版部分を、2 次元の画像として可視化できることを明 らかにした.



### 参考文献

- 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
- 西上康平,内田慎哉,鎌田敏郎,李興洙: Accumlated SIBIE によるコンクリート部材厚さの可視化のための 非破壊評価手法,平成 25 年度土木学会関西支部年次 学術講演会