

# Accumulated-SIBIE 法の拡張に対する解析的検討

東北学院大学 工学部 学生会員 ○渡邊 凌  
東北学院大学 工学部 正会員 李 相勳

## 1. はじめに

Accumulated SIBIE 法<sup>1)</sup>は、衝撃弾性波法を用いてコンクリートの内部の欠陥を可視化する方法のひとつであり、2次元の画像で欠陥の位置や大きさを表すのに適している手法である。しかし、欠陥の大きさが比較的小さい場合や、材料の劣化など広く分布された損傷の場合では、厚さを表す周波数が卓越せずその位置が正しく表示されない場合がしばしばある。本研究では、衝撃応答解析を用いて損傷を有する様々なモデルに対して Accumulated SIBIE (A-SIBIE と略す) 法を適用し可視化を行う上で、可視化領域を部材厚さに限らず、低周波数領域まで拡張することで欠陥や損傷を検出するための情報量を増やし可視化手法の精度を高め、損傷度を評価することを試みた。

## 2. 衝撃弾性波法と衝撃応答解析

衝撃弾性波法とは、試験対象のコンクリート表面に鋼球やハンマー等で物理的な衝撃を与えることで弾性波を発生させ、対象コンクリート中を伝搬する弾性波を分析することで対象物に接触させたセンサで受信し測定した弾性波より、コンクリートの品質やコンクリート内部の欠陥、位置、寸法を測定する方法である。

本研究では有限要素動的解析プログラムによる衝撃応答解析を衝撃弾性波法に適用させ様々な検討を行った。解析時間短縮のため図-1 のように平面ひずみ要素として解析を行う。解析モデル図-2 には拘束条件が固定である最下端と対象物を想定する本体モデルの間に、剛性=0 である仮想の層を設けることで対象物下面の自由面を表現した。要素の大きさは高さ 2cm 幅 2cm である。測定方向の両端が自由の場合は、その区間の長さの半波長の整数倍に該当する周波数成分が共振式(1)の関係式が成立する。

$$f = \frac{V}{2D} \quad (1)$$

ここに、 $D$  : コンクリートの厚さまたは内部欠陥までの距離、 $f$  : 共振周波数、 $V$  : 伝播速度 である。



図-1 2次元モデル

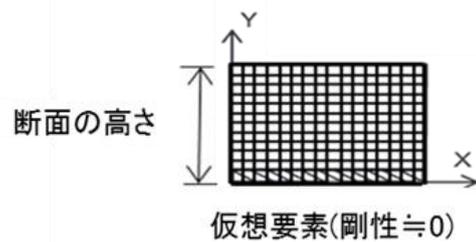


図-2 解析モデル例

## 3. コンクリート部材に対する衝撃応答解析

### 3.1 解析モデル

解析対象としてコンクリートの梁部材を想定してモデル化した。解析モデルは高さ 20cm、幅 80cm と幅 120cm の 2 種類の大きさがある。幅 80cm のモデルには欠陥なしと欠陥が 1 つの 2 種類と、幅 120cm のモデルについては、欠陥なしと欠陥が 1 つ、3 つ、5 つの 4 種類で、この総 6 パターンに対してそれぞれ解析を行った。すべてのモデルに対して欠陥の大きさは高さ 2cm 幅 4cm で、その位置は部材の中央にある。解析モデルの一部を図-3, 4 に示す。

### 3.2 予備解析と伝播速度

2 種類の大きさの各解析対象を可視化するときの伝播速度を推定するためモデルに対して、欠陥なしのモデルに対してそれぞれ衝撃応答解析を行った。各モデル中央上面における応答加速度波形に対するフーリエスペクトルからピーク周波数 (Hz) を求め式(1)から求めた各モデルの伝播速度は、幅 80cm が  $V=2821$  (m/s)、幅 120cm が  $V=2810$  (m/s) となった。この伝播速度を用いて可視化を行う。

キーワード : Accumulated SIBIE 法、衝撃応答解析、衝撃弾性波法、低周波数領域、コンクリートの欠陥

連絡先 : 〒986-8537 多賀城市中央 1-13-1 東北学院大学 環境建設工学科 TEL : 022-368-7213

#### 4. 拡張 Accumulated SIBIE 法を適用した可視化

これまでの可視化手法はその表示域を対象となる供試体の大きさの範囲内に留まることが一般的であった。このような場合、供試体内部の欠陥の大きさが相対的に小さい（例えば、PC 梁の断面に対するシースの大きさ：PC グラウト充填不良問題）ときはその欠陥が供試体の枠内に可視化されるのは非常に困難である。本研究では構造物が損傷すると強度が低下し、結局伝播速度の低下につながることに着目し、可視化領域を低周波数領域まで、すなわち供試体の外側に当たる位置まで拡張表示することを試みた。以上に述べた方法で幅 80cm と幅 120cm のモデルを可視化した結果をそれぞれ図-5、6 に示す。幅 80cm モデルと幅 120cm モデルに対する欠陥なしの拡張 A-SIBIE 図を見ると、供試体の下部境界面に赤色でハイライトされていることが分かる。これに対し欠陥ありの A-SIBIE 図では、供試体の大きさと欠陥の数に関係なく欠陥の下部に境界面にあたる赤色部が下方（低周波数領域）に移動している。このことは欠陥が断面の損傷として伝播速度に反映された結果と考えられる。また、図-6 の幅 120cm モデルの欠陥 5 つの A-SIBIE 図では、非損傷部の境界面を表す部分が実際より上方向に移動しており、損傷部との相対的な距離がもっと離れていることが分かる。次に、この相対的な距離を数値化することで損傷度を評価できるかを試みた。

#### 5. Accumulated-SIBIE 法の可視化による損傷度評価

図-6 の A 断面と B 断面について、横軸を供試体上面からの距離として赤くハイライトされた部分をプロットしたのを図-7 に示す。ここで縦軸は A-SIBIE 図を等高線として考えたときの山の高さに該当する。欠陥が 1 つ、3 つ、5 つと増加することで損傷部と非損傷部との距離が離れていることが分かる。このことより A-SIBIE 図の損傷部と非損傷部との相対的な距離測定をすることで、損傷部の損傷度を推定することができる。

#### 6. 結論

欠陥を有するコンクリート供試体に対して衝撃応答解析を用いて数値実験と拡張 A-SIBIE 法による可視化を行った。拡張 A-SIBIE 法による可視化手法は、大きさが比較的小さい欠陥の検出に有効であることがわかった。また、非損傷部と損傷部との相対的な距離より損傷部と損傷度を特定することができる。

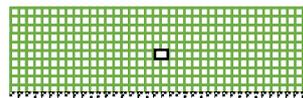


図-3 解析モデル：幅 80cm、欠陥 1 つ

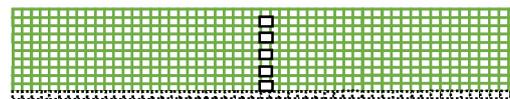


図-4 解析モデル：幅 120cm、欠陥 5 つ

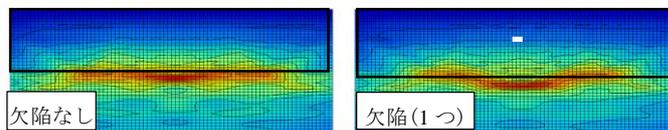


図-5 幅 80cm モデルに対する拡張 A-SIBIE 図

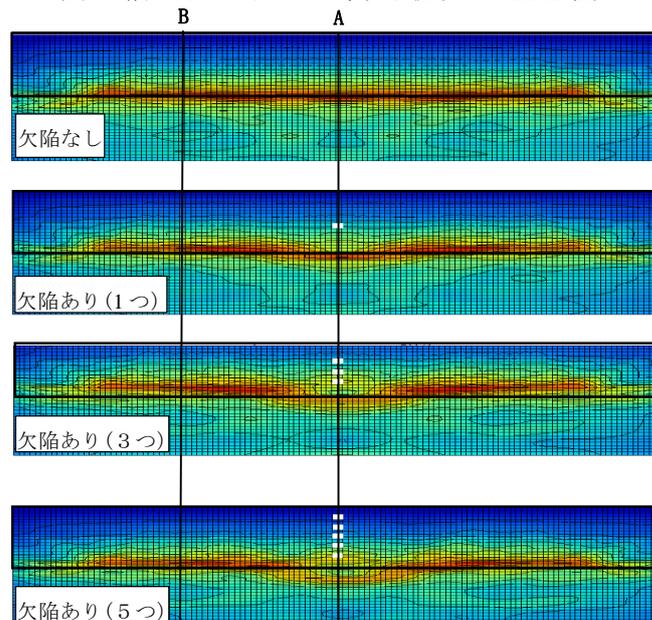


図-6 幅 120cm モデルに対する拡張 A-SIBIE 図

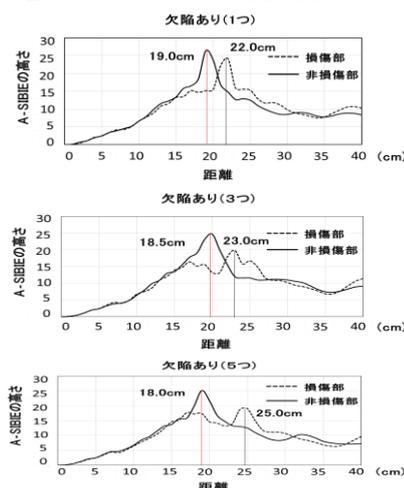


図-7 幅 120cm モデルに対する距離のグラフ

#### 参考文献

- 1) S. Lee, T. Kamada, S. Uchida, D. Linzell: Imaging defects in concrete structures using accumulated SIBIE, Construction and Building Materials, Vol. 67, Part B, pp180-185, 2014. 9