

SIBIE 法におけるコンクリート内部欠陥検出の BEM 解析

熊本大学工学部社会環境工学科 学生会員 ○山本 隼也

熊本大学大学院自然科学研究科博士後期課程 学生会員 山田 雅彦

熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程 学生会員 大久保 太郎

熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程 学生会員 田 籠 慶一

熊本大学大学院自然科学研究科教授 フェロー会員 大津 政康

1. 序論

インパクトエコー法はコンクリート構造物の内部欠陥を検出する非破壊検査手法の一つである。しかし、実際にインパクトエコー法による欠陥の同定は困難な場合も多く、現状では非破壊検査および評価技術として確立されているとは言い難い。そこでインパクトエコー法により得られる弾性波の周波数スペクトルを、SIBIE という断面画像化手法を研究中である¹⁾。ここでは、プレストレストコンクリート内のシースのグラウト充填状況の評価について 2 次元 BEM 解析、実験結果との比較により考察を行った。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は図-1 に示す。図中の円形または太い二重線は連続する充填または未充填のシース管を黒線は鉄筋を示している。このうち、図中に四角線で囲んだ、未充填シース管直上に鉄筋が配筋された部分について、図-2 のような半無限モデルを作成した。解析に用いた物性値はそれぞれ密度 2500kg/cm^3 、ポアソン比 0.23、弾性波速度 $C_p=4000\text{m/s}$ である。

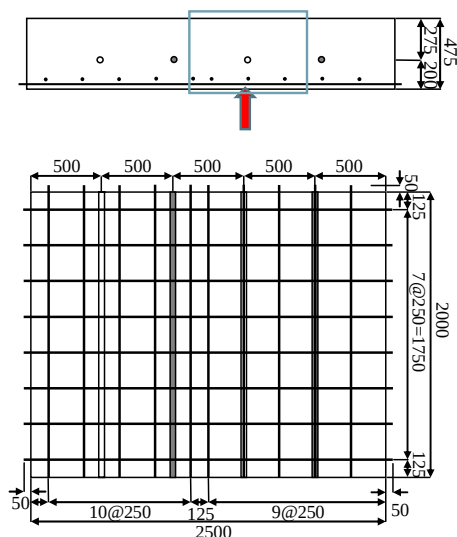


図-1 実構造物モデル

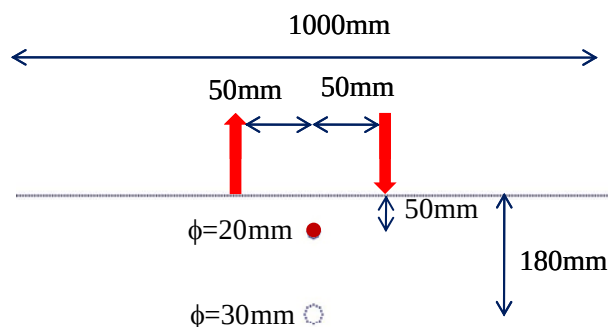


図-2 半無限体 BEM モデル

なお、モデルの境界間隔は 5mm、サンプリング周波数は実験と合わせて 122Hz とした。

以上の条件より、周波数スペクトルをおよび SIBIE 結果について実際の実験結果との比較を行い鉄筋の影響を考察した。

3. 解析

インパクトエコー法によれば図-3 に示すように板厚による共振周波数 f_T 、内部欠陥反射による f_{void} が出現するとされている。供試体中を伝わる P 波の伝播速度を C_p とすると、出現するピーク周波数は図-3 に示す値を用いることにより以下の式で表される。

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

$$f_{\text{void}} = C_p / 2d \quad (2)$$

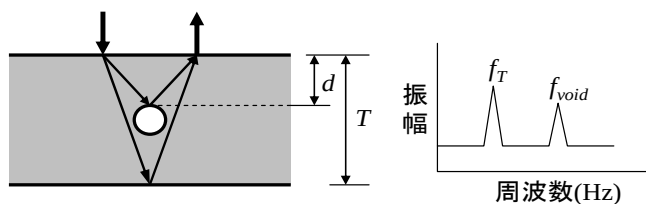


図-3 インパクトエコー法における欠陥検出の原理

周波数スペクトルのピーク周波数は、理論的には入力された弾性波が不連続面で反射することにより生じる。しかし、実際には様々なスペクトルピークが現れ、

どれが f_T 、 f_{void} であるかの判断は困難である。そこで、供試体断面での弾性波の反射位置を画像化するためにスペクトルイメージング：SIBIE(Stack Imaging of spectral amplitudes Based on Impact Echo)という画像処理法を考案した。まず手順としては図-4に示すように解析対象の断面を正方形要素に分割しモデル化する。次に、分割された各要素の中心からの弾性波の反射による共振周波数を求める。その際、弾性波は入力点から要素中心そして出力点といった伝播経路を通るが、その最短伝播経路を R とすると式(3)のように表される。その周波数における相対振幅値を、インパクトエコー法によって得られた周波数スペクトルから算出し、足し合わせることで要素値とし、各要素からの反射の強さとして2次元画像化して表される。また解析における上限周波数は20kHzとした。

$$R = r_1 + r_2 \quad (3)$$

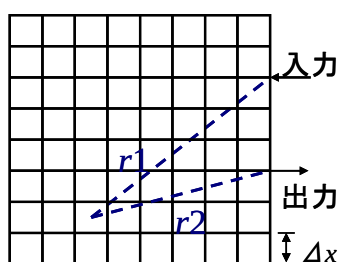


図-4 SIBIE 解析イメージングモデル

4. 結果・考察

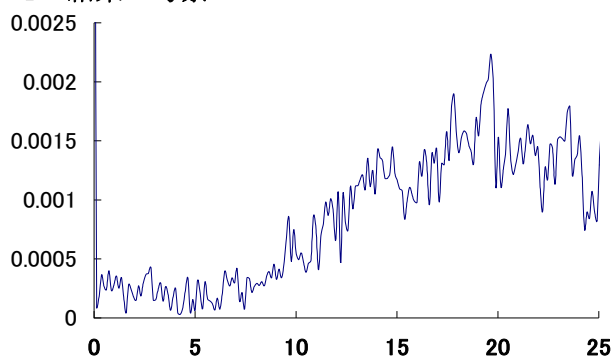


図-5 モデル実験により得られたスペクトル図

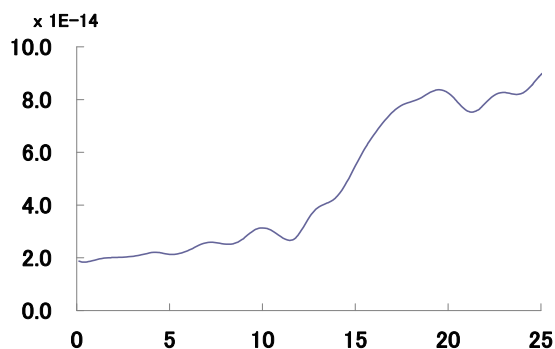
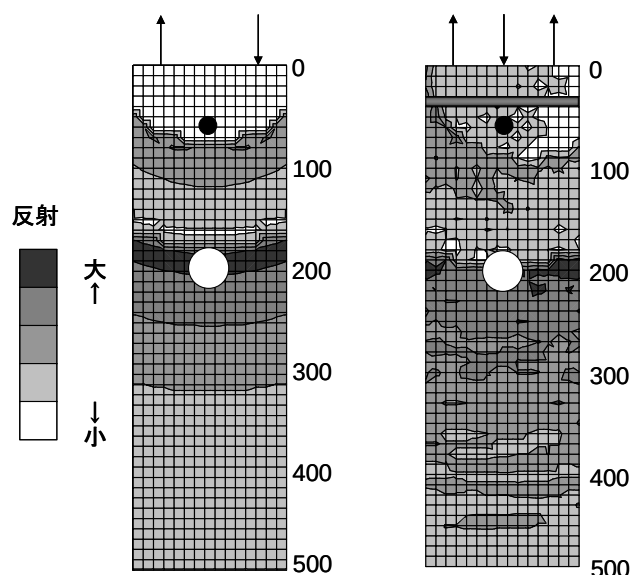


図-6 BEM 解析により得られたスペクトル図

モデル実験によって得られたスペクトルを図-5、BEM解析によって得られたスペクトルを図-6に示す。グラフの横軸は周波数（kHz）縦軸は振幅とする。インパクトエコー法によれば鉄筋の共振周波数は20.0kHz、シース管の共振周波数は10.9kHzに現れるとされている。2つのスペクトル図を見比べると結果はよく一致している。

次にモデル実験により得られた周波数スペクトルを用いてSIBIE解析で得られた結果とBEM解析によって得られた周波数スペクトルをSIBIE解析したものを図-7に示す。SIBIE結果図の見方としては、5段階中上位2段階がシース周りに顕著に表れた場合シースによる反射が検出できたとする。鉄筋による反射についても同様とする。



BEMによる解析結果 モデル実験により得られた結果

図-7 SIBIE 解析結果図

モデル実験により得られた結果はシース周りに反射を確認することができる。BEMによる解析結果では鉄筋が配置されていてもシース管を精度よく評価することができた。このようにして、SIBIE法によれば鉄筋の影響を受けずに内部の未充填シースを検出可能であることが、BEM解析によっても確認できた。

5. 参考文献

- 1)山田雅彦・大久保太郎・大津政康・内田昌勝; SIBIE による PC グラウト未充填部のモデル試験による検討, コンクリート工学年児論文集, vol.31, 2047-2052, 2009