

## CA 法を用いた打音検査に関する基礎的研究

環境防災研究室 学部 4 年 大毛利亮  
指導教員 宮木康幸

### 1. 研究の背景

近年、多くの構造物が老朽化しており、補修などによる適切な維持管理が求められる。しかし、従来の非破壊検査法として挙げられるものは、非常に高価な計測機器を用いる必要がある場合や、ある理想とされる条件下における計測でなければならない等の問題を有している。そのため橋梁などの構造物は基本的に目視による調査が主体となっている。また、ハンマーで打撃を加え、その発生音で劣化具合を判断する打音調査も低コストで実施可能であるため、従来から利用されてきた。しかし、打音調査は打撃方法や打撃音の判断に熟練性を必要とし、広範囲を検査対象とする場合には多大な労力と時間を要するなどの短所も有している。

本研究では、媒質中の圧力変動が計算可能な CA(セルオートマトン法)プログラムの改良を行い、模擬的欠陥による圧力変動の変化の確認を持って、打音検査の有用性を検討する。

### 2. 研究対象・実験概要

CA を用いた解析を行う前に、実際に打音実験を行い、実測値の測定を行った。本実験は、15×40×15cm の直方体、モルタル供試体を用いて行った。表面を各 6 ヶ所、できる限り鉛直に、一定の強さ、一定の時間間隔で打撃を加え、10 秒間ずつ計測した。支持条件は供単純支持で、騒音計は計測可能最大音圧レベルを 120dB、最大周波数を 20kHz とし、床から 45 cm (三脚をもっとも縮めた高さ)に設置した。測定したデータは、既存プログラムを用いて csv ファイルに変換し、Excel にて各供試体の 1 打撃音毎にデータを 4096 ずつ抽出して音圧の比較を行う。その後、それを用いて FFT 解析を行い、周波数分析を行った。

### 3. 打音実験結果

実験で得られた時間-音圧の関係の一部を図 1～図 3、FFT 解析を行い、得られた周波数-音圧の関係の一部を図 4～図 6 に示す。時間-音圧の関係は、図のような減衰性を持った概形が標準的なものとなり、周波数-音圧の関係もそれぞれ同じような概形をしているが、打撃点によって温室の違う部分が出てきていることがわかる。

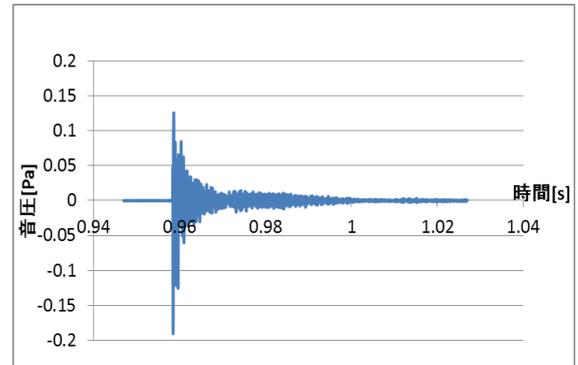


図-1 打音点 1 音圧

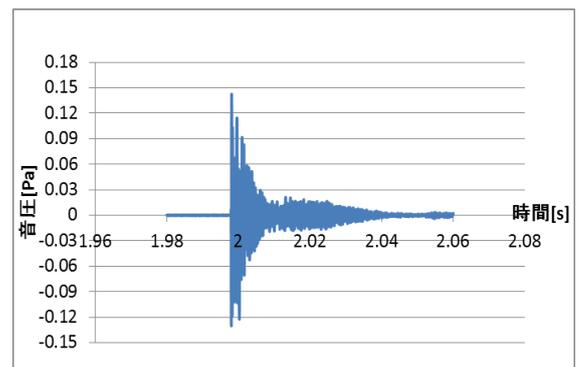


図-2 打音点 2 音圧

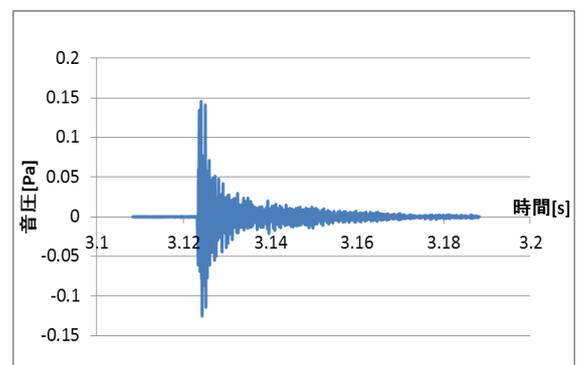


図-3 打音点 3 音圧

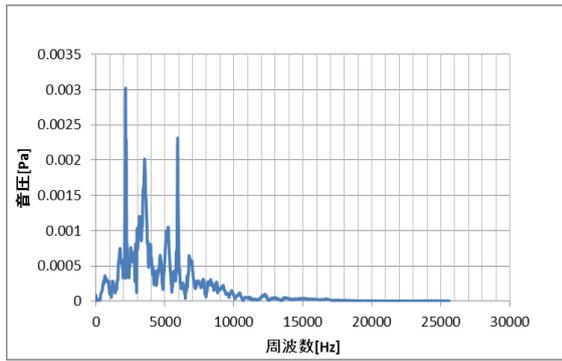


図-4 打音点 1 周波数

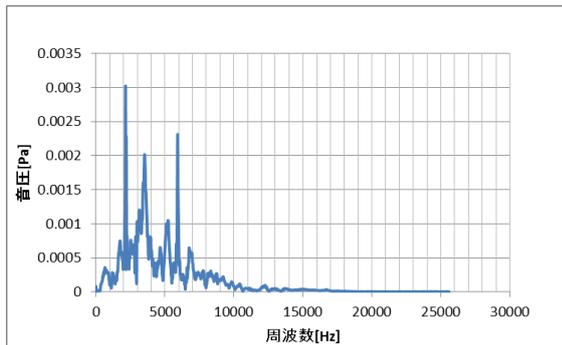


図-5 打音点 2 周波数

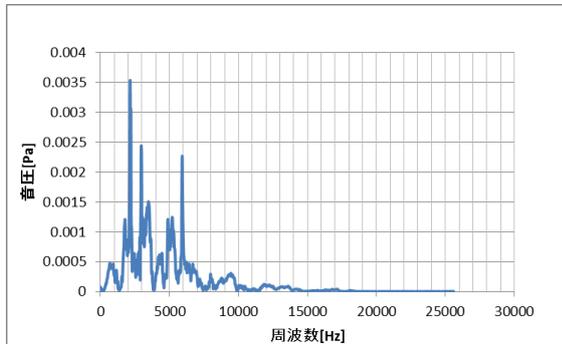


図-6 打音点 3 周波数

#### 4. 解析モデルの境界条件

CA 法を用いて解析を行うに当たり、供試体モデルの生成と境界条件の設定をした。まず解析モデルは、打音実験で用いた供試体と同じ大きさの  $15 \times 40 \times 15$  (cm) と設定する(図-7)。さらに境界条件に関して、妥当性を検証するため、実測値のデータと類似する結果となる境界条件を設定し、実測データに近い結果となった場合、その境界条件を用いることとした。境界条件の候補となるセルは、完全反射となるもの(S=1: 壁セル), 完全透過となるもの(S=2: 境界セル)の 2 つである。そこで両者をそれぞれ境界条件として解析をおこなった結果が図-7, 図-8 となる。壁セルの

場合、完全反射の影響でエネルギーが減衰せず、グラフの概形から妥当背はないことがいえる。また、境界セルの場合、完全透過であるため著しく減衰が進んでしまい、初期入力圧力との差が問題となってしまった。

そこで、完全透過のセルに条件を付け、1%の力を透過するよう設定し、解析したところ、実測データのグラフと概形が類似する形となった。よって本実験で取り扱う境界として、S=2(条件付)となった。S=2(条件付)によるグラフを図-9 とする。

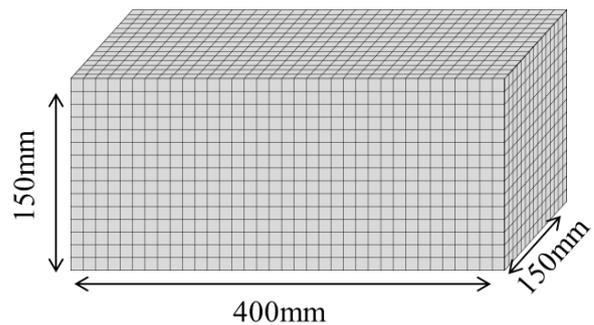


図-7 供試体解析モデル

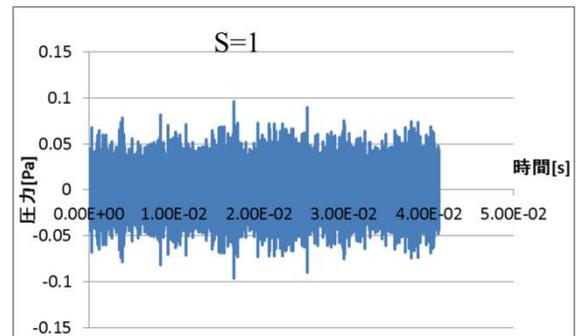


図-8 境界条件壁セル時の圧力変動

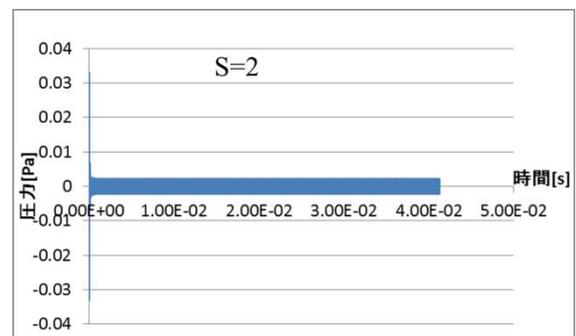


図-9 境界条件境界セル時の圧力変動

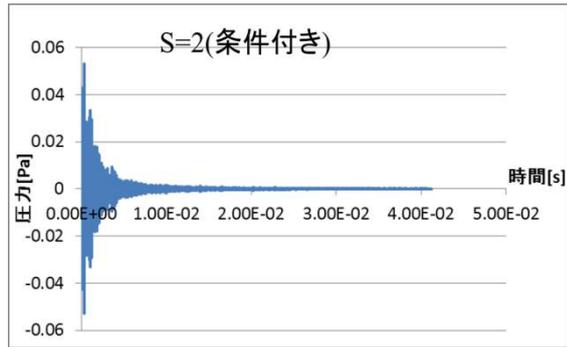


図-10 境界条件境界セル(条件付)時圧力変動

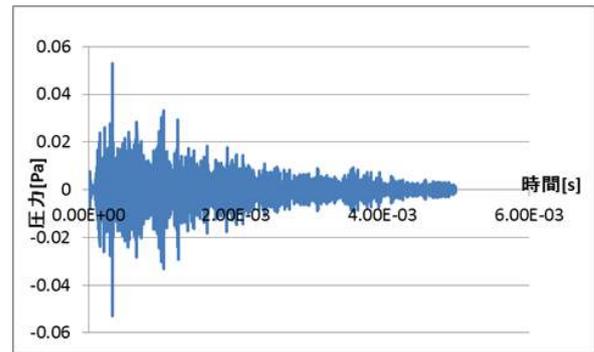


図-12 欠陥なしの圧力変動

### 5. 欠陥の有無・配置パターンによる違い

CA 法を用いてモデルを解析にかける際に、模擬的欠陥をモデルに設置し解析することで、欠陥の有無や配置、大きさによる内部圧力変動の変化が確認する。設定した欠陥パターンを図-11 に示す。

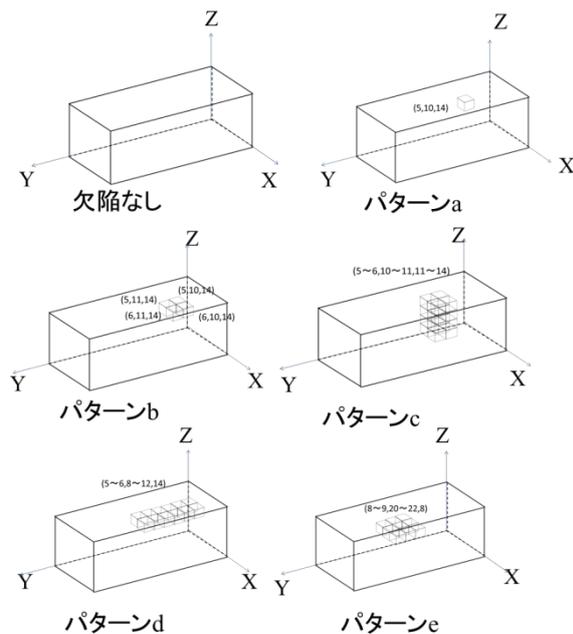


図-11 供試体モデルの模擬欠陥配置パターン

欠陥の有無、配置パターンによる圧力変動を示す。欠陥の種類によって減衰性や挙動に差異が生じていることが読み取れる。また、パターン e に関しては、供試体モデルの表面全体の圧力変動を示したものを検証する。わずかながら至る所に欠陥の有無による圧力変動の変化が確認される。

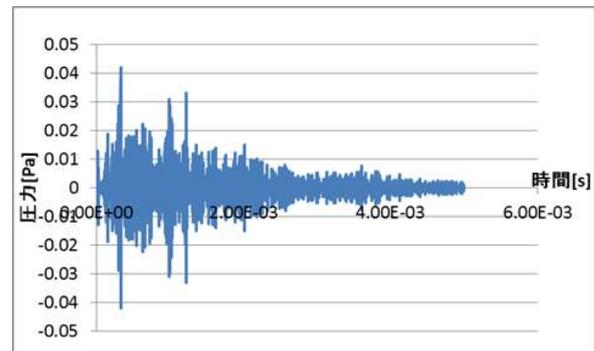


図-13 欠陥パターン a 圧力変動

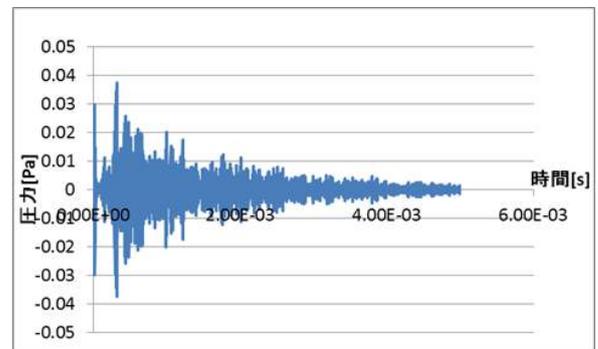


図-14 欠陥パターン b 圧力変動

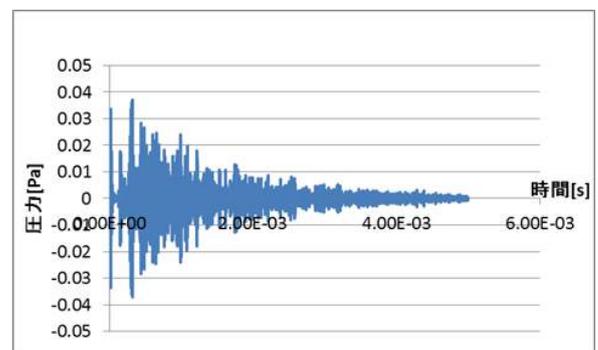


図-15 欠陥パターン c 圧力変動

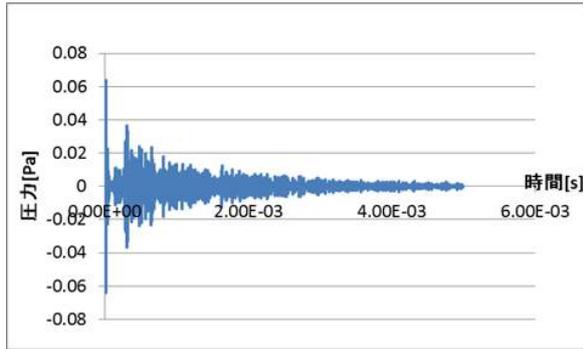


図-16 欠陥パターン d 圧力変動

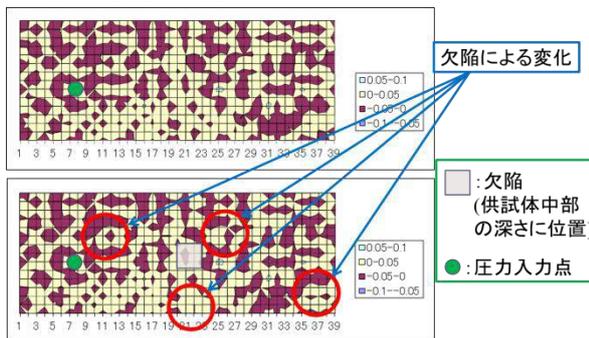


図-17 欠陥パターン e 内部圧力変動

## 6. 結論

以下に、本研究の結論をまとめる。

- ① CA 法を改良し、打音の波形に近い減衰を表現できた。
- ② 境界セル(条件付き)のセルを用いてグラフの減衰性を表すことができ、また欠陥を表すことができた。
- ③ 模擬欠陥を配置することで任意のセルの圧力変動に変化が見られたことから、打音により欠陥の有無、或いは位置の把握まで分かる可能性が考えられる。

## 7. 今後の課題

今後の課題を以下に示す。

- ① CA 法では表面の圧力変動のみが対象となるが、各表面・箇所から出力された波形を、空气中を介してマイクロホンに届くまでの変化を含めた“音”までを対象とできるように、改良していく必要がある。
- ② 既知の欠陥のある供試体を用いた打音実験で得られた実測データを用いる必要がある

## 8. 参考文献

- 1) 三好茜, 園田佳巨, 川端健太: 打音特性を用いた劣化診断に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, 2009
- 2) 金森正樹, 飯坂武男, 菊川浩治, 梅原秀哲: コンクリートの打音による健全性の評価について, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, 2001
- 3) 一富哲也, 玉井宏樹, 園田佳巨: コンクリートの強度が打音特性と表面振動に与える影響に関する基礎的研究, 土木学会西武支部研究発表会, 2010
- 4) TOKKYOKIKI CORPORATION, [http://www.tokkyokiki.co.jp/technology/course\\_01.html](http://www.tokkyokiki.co.jp/technology/course_01.html)
- 5) ブライアン・ガウ(富永大介:訳): FFT アルゴリズム, May 1997(訳: May 12,2010)
- 6) 山崎翔太: セルオートマトン法による 3 次元騒音伝搬解析, 長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文, 2013
- 7) 小野太士: 効果的な先端改良型遮音壁形状に関する屋外模型実験, 長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文, 2008.