

## 打音解析法の検証と評価法の適用事例（その1：試験および解析結果）

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 稲葉智明  
 同 上 正会員 羅 休  
 同 上 正会員 羽矢 洋

### 1. はじめに

コンクリートの劣化、施工不良等によるコンクリート片の剥落が問題となっているが、このような不良箇所の抽出に関しては、人間の聴覚に頼るところの「打音検査」が中核を成している。筆者らは打音法における打音の聴き分けを人間の聴覚に代わりマイクロフォンとパソコンに担わせることを目的に研究を行い、これまでに解析法および評価法の提案を行ってきた<sup>1),2)</sup>。本報告は、平成13年度に実施した高欄供試体を使用した打音試験結果と提案してきた手法の検証結果を紹介するものである。なお、(その1：試験および解析結果)では、試験の概要と打音の解析結果を紹介し、続く(その2：評価法概要および評価結果)では、評価法の考え方および評価結果について紹介する。

なお、この実験は(財)生産技術研究奨励会「コンクリート構造物の劣化診断に関する研究」委員会(委員長 魚本健人東京大学教授)の活動の一環として実施したものである。

### 2. 打音の収録条件

筆者らが提案する診断法では、可聴域の周波数帯域である20kHzまでの周波数特性に着目し、44.1kHzという比較的高い周波数サンプリングを行っている。サンプリング時間は、一般的な打音の収束時間を考慮し100msecとした。また、打音収録には一般的な指向性を持ち、周波数特性として50kHzまで平坦性を保証する米国のアースワーク社製のマイクロフォンを用いた。なお、打音収録ではマイクロフォンの集音部をボール状の容器で覆うような集音装置は用いず、マイクを打撃面に接近させた状態で収録を行った。また、打撃は構造物の大きさ、打撃面の状況、境界条件(空洞の有無、浮き、部材の厚さ等)に応じ、適切な方法により行う必要があるが、従来の打音法で用いられている鋼製ハンマーと人力による打撃力は、概ね妥当なものと考え、本試験法でもこの方法によった。

### 3. 打音の分析方法

構造部材の状態を表す特徴として、打音波形の wavelet・逆 wavelet 解析結果より得られる周波数成分の短時間変化および減衰性を図1に示す3次元図の概念で捉え、健全度評価はこれらの指標に基づき行うこととした。

a) Aゾーンは、被試験材料の強度特性(硬さ)を表す特徴で、強度が高ければ高いほど音の周波数帯は高い。また、この性状は後述する他の2ゾーンと比べ音の強さ(音圧)は圧倒的に高く、打撃直後から数 msec 以内の非常に短い時間で減衰する特徴を持つ。

b) Bゾーンは被試験体の材料欠陥を表す特徴で、図のようにあたかも三角形の音圧分布となる。なお、欠陥が無いものは、このBゾーンの顕著な現出は見られない。

c) Cゾーンは被試験体の境界条件を表す特徴である。空洞等が発生したような状況にある構造物は、あるスパンで支持された状態にあり、そのため打撃によって構造物は曲げ振動を呈し、打音はその振動数で長い時間残留する。

なお、毎回異なる人力による打撃力については、逆 wavelet 変換で得られる各レベル毎の実効値(逆 wavelet 変換波形の移動平均振幅)を打撃時から2 msec の範囲にわたって加算し、これを規準化スコアと定め、これにより打撃力の違いに対し規準化を図った。

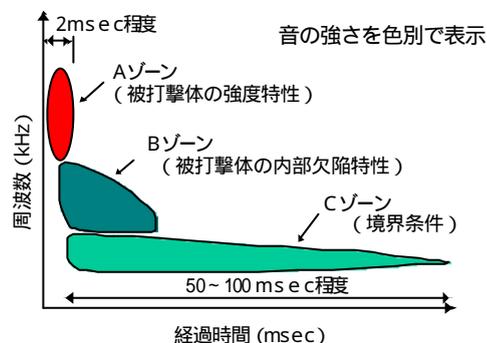


図1 解析結果に見られる打音の特徴

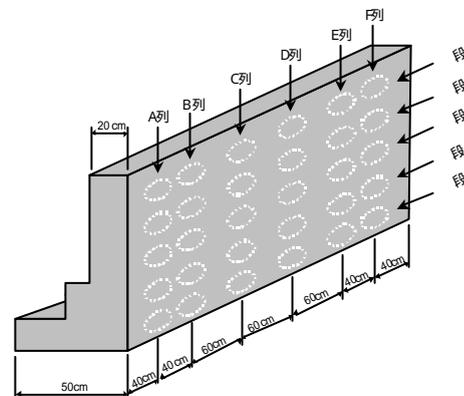


図2 高欄供試体概要

キーワード：打音法、診断、非破壊、ウェーブレット解析

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 TEL 042-573-7261, FAX 042-573-7248

#### 4. 検証結果

今回、実験に用いた供試体は、道路の実物コンクリート高欄から切り出した供試体（図2）で、この供試体の下端近傍（段目）は部材厚が50cmと最も厚く、境界条件としては固定度の高い状態にある。一方、上方部の部材厚は20cmと薄く、そのため残留振動を生じやすい、固定度の低い境界条件であるといえる。さらに左右両端の上部においては、更に固定度が低い状態にあることがわかる。つまり、今回の実験はCゾーン（境界条件の違い）に着目した検証実験を目的とするものと捉えた。

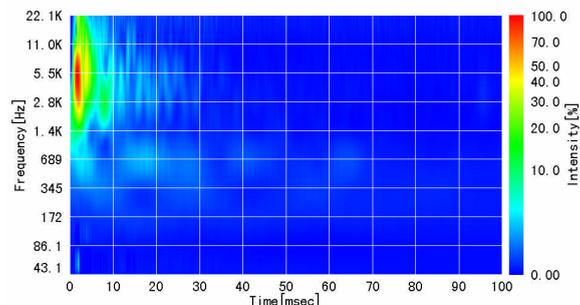
図3および図4に打音の解析結果を示す。図1の説明で述べたように、逆wavelet変換結果を表したもので、音の強弱の表示（色別）は、規準化後の逆wavelet変換波形中、最大値を100%と定め（濃い赤色）、その比率に応じた色別で表示している。

図3(a)～(c)は、C列の最下端部（段目）と中間部（段目）、最上端部（段目）の打撃音の解析結果である。最も部材厚が大きい（固定度が高い）段目の解析結果を見ると、5.5kHzを中心とする高い音圧域が3msecの短時間に現れる（Aゾーン）が、BゾーンあるいはCゾーンと考えられる音圧域は全く現れていないことがわかる。次に段目の結果を見ると、Cゾーンの現れ始めと考えられる689Hz付近の音圧域の発生が認められる。一方、段目の結果（図3(c)）では明瞭なCゾーンが689Hz付近に形成されていることがわかる。これらのことから、段目から

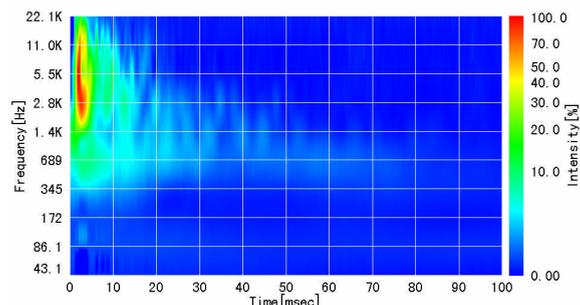
段目に向かい、漸次、支持条件（境界条件）が固定状態から開放状態になっていき、その結果、明瞭な残留音がCゾーンとして現出してきたことがわかる。また、Aゾーンについては、段目から段目まで概ね同様の現れ方となっており、このことから、高欄を構成するコンクリートの強度特性の違いはないものと判断できる。なお、5.5kHzを中心とする高い（赤色表示）音圧域と689Hz付近の残留音の間に、あたかも三角形をした音圧分布（Bゾーン）域らしきものが見取れるが、この部分の音の強さはAゾーンのものとは比べて25%以下と概して小さく（色分布では緑色で表現されている）、このことから、これがコンクリートの材料欠陥を示す特徴であるBゾーンの現出とは判定できない。同じく5段目でも供試体外側（左右端）の結果とC列段目の結果を比較すると、Cゾーンの残留時間に顕著な差異が認められる。つまり、供試体内側のC列段目の結果では、689Hz付近の残留音の残留時間が50msec程度であるのに対し、図4に示す供試体左端の結果（A列段目）では、残留音が70msec以上の長さで継続していることがわかる。これは、左右端が内側に比べより開放的な固定条件にあることから、残留音が残留しやすい（Cゾーンの継続時間が長い）状態にあることによるものと考えられる。

#### 【参考文献】

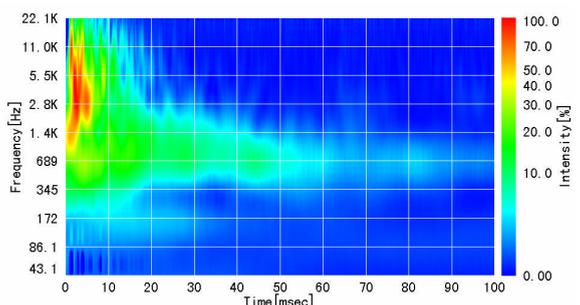
- 1) 羽矢, 長谷川: 打音解析法の提案と変状発生箇所への適用事例(その1、2)、第56回土木学会年次学術講演会、2001.10
- 2) 渡部, 羽矢他: 打音解析法の提案と変状発生箇所への適用事例、第24回日本道路会議、2001.10



(a) C列 段目の結果



(b) C列 段目の結果



(c) C列 段目の結果

図3 高欄の打音解析結果（その1）  
（固定端から自由端の違い）

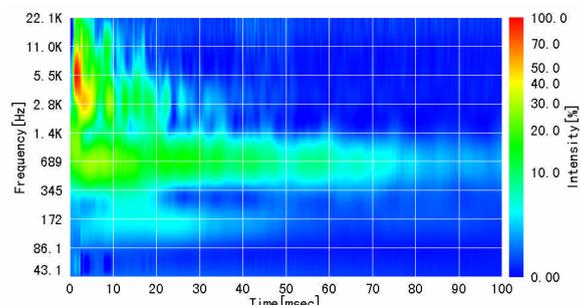


図4 高欄の打音解析結果（その2）  
（供試体左端の結果：A列 段目）