

# 音響処理と画像処理を用いた打音検査法に関する研究

原 隆浩 山下 淳 金子 透 三浦 憲二郎 (静岡大学工学部機械工学科)

物体を叩きその発生音を利用した検査法を打音検査法と呼ぶが、人間の経験や感覚に基づかれているという問題点が挙げられる。そこで本研究ではその発生音を定量的に解析し、また画像処理を行うことで音の発生位置を特定する。この2つの結果を組み合わせた打音検査システムを提案し、その有効性を示す。

## 1. 緒言

物体の内部など目で見ることが不可能な部分の検査においては、音の利用が有効である。例えば物体を叩くと材質の違いや欠損の有無等によって発生する音は変わってくる。このように物体を叩いてその発生音で検査することを打音検査法という。しかし現在この検査は人間の経験と感覚に基づいて行われており、個人差もあるため客観性に欠けるという問題点がある。打音検査の研究例としては、トンネルなどの覆工コンクリートの検査を目的としたひび割れの有無について打音を用いて解析的に行う研究[1][2]があるが、これはトンネル内のコンクリートの剥離・ひび割れを検出するもので厚薄の判別を対象としていない。そこで本研究では、音の違いを判別できるように音が鳴っている時間と音の周波数の両面から音響信号の解析を行い、さら打音位置を特定するため画像信号の解析を行う。この2つの結果を組み合わせた打音検査システムを提案する。本稿では木板の厚さ分布を調べて厚さマップで表示した結果を示す。

## 2. 処理手順

本研究で取得する信号は音響信号と画像信号の混合信号であるが、便宜上これを共通する時間軸においてそれぞれ音響信号と映像信号とに分離する。

音響解析では音響信号を時間と周波数の両面から検討する。時間面の解析においては音波の減衰の様子を考えることにする。まず時間 $t$ において音の鳴り始めの時間 $T_s$ をゼロとするような音波 $y(t)$ を考え、その音波の絶対値 $\bar{y}(t)$ を求め、次式を考える。

$$\sum_{i=0}^{t_e} (\bar{y}(t + T_s) - A \times e^{-Bt})^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 $t_e$  : 音波の取り込み時間とする。  
音波の絶対値 $\bar{y}(t)$ と近似曲線 $A \times e^{-Bt}$ の差の二乗

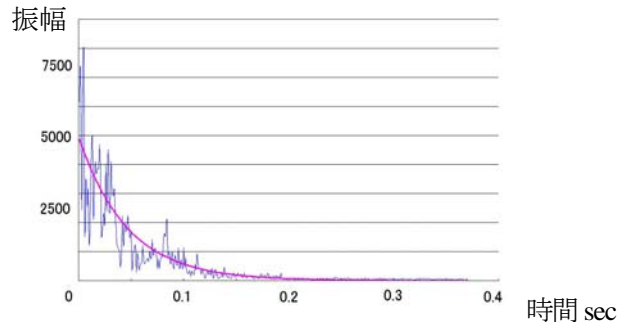


Fig.1 波形と近似曲線の様子

和が最小となるような係数 $A$ 、指数 $B$ を見つけ出す。結果例はFig.1のようになる。

また、周波数解析では音響信号に対して高速フーリエ変換 (FFT) を行い、各周波数におけるスペクトルの様子を見る。スペクトルの様子を比較するために(2)式のような周波数特徴量 $V_f$ を求め、周波数の広がりについて検討する。

$$V_f = \frac{1}{A_s} \sqrt{\sum_{i=0}^n \{(f_i - \bar{f})^2 \times A_i^2\}} \quad (2)$$

但し、 $f_i$  :  $i$ 番目の周波数、 $\bar{f}$  :  $f_i$ の平均値、

$n$  : データ数、 $A_i$  :  $i$ 番目の振幅、

$A_s$  : 各周波数における振幅の和 とする。

画像信号の解析では音が鳴り始めた時間 $T_s$ を検出し、打音位置を特定する。映像信号は微少時間における画像信号の集合であるため、 $T_s$ を用いて物体を叩いた瞬間の画像を取得することができる。この画像からハンマーの位置を特定することで打音位置を決定することが可能となる。但し、今回は実際に叩いたハンマーの面の部分とその反対側の面になる上の部分は射影した結果ほぼ同位置であるとみなせるため、打音位置は実際に叩いている面の反対部分とした。

板の厚薄を特定するために事前に厚さマップを作成する。あらかじめ厚薄のわかっている部分において、板が厚い部分と薄い部分をそれぞれ叩き、

データを取得する。各データにおいて音響信号の解析を行い減衰指数 $B$ をx軸、周波数特徴量 $V_f$ をy軸としてプロットした $B-V_f$ 図を作成する。それぞれの平均値 $(\bar{x}, \bar{y})$ を中心座標とし、中心座標間で色が変化していくようにする。この色を厚薄の信頼度とするような厚さマップを作成する。

厚薄を調べたい点を叩き、音響解析及び厚さマップによりその点の厚さを表す色が求まる。さらに画像処理により打音位置が求まる。板全体の厚薄を調べるためには、上記の工程を叩いた各点に対して行っていく。しかし、板全体を色表示するには隙間なく叩く必要がある。これは時間と労力の浪費であるため、叩く点の数をあらかじめ決定し、叩いた各点の間の色を線形補間法で補うことで、板全体の厚薄を表すこととする。

### 3. 実験及び結果

実験においては音響信号と画像信号を容易に抽出できるよう、デジタルビデオカメラを用いた。デジタルビデオカメラで撮影しながら、厚薄のある木製の板を同じ程度の力でハンマーを用いて叩いてパソコンに取り込んだ後、解析を行う。また、実験対象である木板については大きさを600mm×600mm、厚さは薄い部分を12mm、厚い部分を312mmとした。

まず厚さマップの作成を行う。厚い部分と薄い部分を100回づつ叩きデータを測定する。一定時間のデータ数 $N$ を220、取り込み時間 $t_c$ を0.372secとしたとき減衰指数 $B$ の平均及び分布度を求めるとTable 1のような結果が得られた。

またFFTを行う上で、減衰時間を知る必要がある。そこで減衰時間を音の鳴り始めの時間 $T_0$ と減衰指数 $B$ から推定する。その減衰時間を本実験では1周期と考え、FFTのデータ数は1周期のデータ数より大きい最小の2の累乗値 $2^n$ を代入する。本実験では $n$ を14とした。窓はハニング窓を利用した。結果は減衰指数 $B$ と同様Table 1に示す。

Table 1 の値を中心座標とした厚さマップをFig.2に示す。ここで、濃色で示されている部分は板が厚い部分、淡色で示されている部分は板が薄い部分を表している。

Fig.2の厚さマップを用いて、各点についての板の厚薄を調べる。板を7×7点について各点を数回ずつ叩き、音響解析、画像解析により色を決定した。さらに線形補間法を行うことでFig.3のような板全体の厚薄を表した結果が得られた。予備的な実験としては良好な結果が得られた。

### 4. 結言

本研究ではビデオカメラを用いて、音響処理と画像処理を融合させた自動打音検査システムについて提案した。減衰指数と周波数の広がりを用いて木板の厚薄を推定し、画像信号を用いることで位置をも考慮できることを検討した。予備的な実験で本手法の有効性を確認することができた。

### 参考文献

- [1] 伊東良浩, 魚本健人: "ひび割れを有する鉄筋コンクリート梁の打撃音", 土木学会論文集, Vol.35, No.564, pp.169-176(1997).
- [2] 榎本秀明, 稲川敏春, 鈴木文大, 松林弘智, 千鳥雅由: "ひび割れを有する鉄筋コンクリート梁の打撃音", 物理探査学会第104回学術講演論文集, pp.65-69(2001).

Table 1 減衰指数 $B$ と周波数特徴量 $V_f$ について

	厚い場合	薄い場合
減衰指数 $B$	16.7	25.0
周波数特徴量 $V_f$	175	211

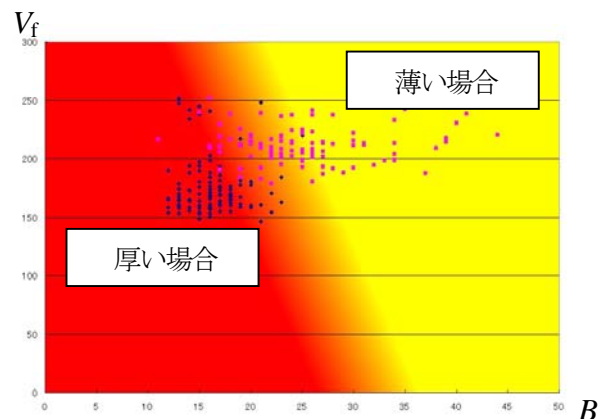


Fig.2 厚さマップ

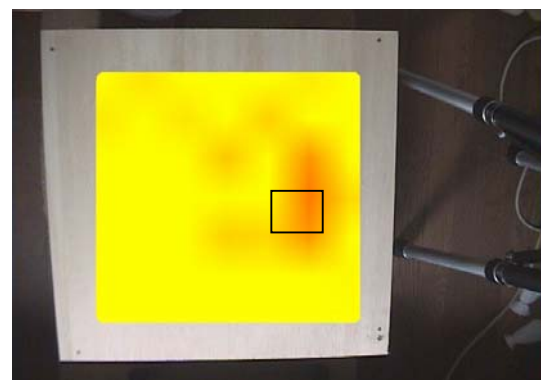


Fig.3 全体の木板の厚薄について  
黒枠：実際に厚い部分