

画像・音響信号処理による打音検査法に関する研究

原 隆浩^{*1} 山下 淳^{*2} 金子 透^{*2} 三浦 憲二郎^{*2}

^{*1}静岡大学大学院理工学研究科 ^{*2}静岡大学工学部機械工学科

〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

Tel/Fax : 053-478-1070

E-mail : {f0230069, tayamas, tmtkane, tmkmiur}@eng.shizuoka.ac.jp

あらまし

物体の内部など目で見る事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音で検査することを打音検査法という。しかし現在このような検査は人間が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。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、さらにこれに画像信号の解析結果を組み合わせた打音検査システムを提案する。本稿では予備的な実験として、木板の厚さ分布を調べて色マップで表示した結果を示す。

キーワード 打音検査, 周波数解析, 減衰時間, 画像解析, 色マップ

A Study on the Hammering Test by Image and Sound Signal Processing

Takahiro HARA ^{*1}, Atsushi YAMASHITA ^{*2}, Toru KANEKO ^{*2} and Kenjiro T. MIURA ^{*2}

^{*1}Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

^{*2}Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

3-5-1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8561 Japan

Tel/Fax : +81-53-478-1070

E-mail : {f0230069, tayamas, tmtkane, tmkmiur}@eng.shizuoka.ac.jp

Abstract

It is effective to use the sound in inspecting the inside of objects where it is unable to see. For example, when we knock objects, the sound changes by the difference of the material and with or without the deficit. This technique is called the hammering test. However, such inspection is done with the experience and sense of a human operator, and has the individual difference, which results in the lack of the objectivity. In this study, we analyze the sound signal in the time and frequency domain to distinguish the categories of the sound, and combine the image signal with the hammering test. In this paper, the results that are given in a color map representation about the thickness of a wood board are reported as a preliminary experiment.

Keyword Hammering Test, Frequency Analysis, Decay Time, Image Analysis, Color Map

1. 緒言

日常生活において音は必要不可欠なものである。それは聴覚をもった動物すべてに対して言えることである。例えばイルカやコウモリなどは通信手段として超音波を利用している。ヒトも同様に耳を使って音の違いを聞き分けることができる。その例として、物体を叩いてその音の違いを聞き分けることで厚薄や材質の違い、欠損の有無等を調べることができる。この聴覚を用いた検査法を打音検査法と呼び、非破壊で簡易的に行えるという長所がある。ヒトは聴覚により、さまざまな現象における発生音の音圧レベルや周波数などを記憶し、これと対比することでさまざまな判断を行うことができるため、打音検査が行えるのである。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]など種々の研究があるが、音響解析と画像解析を同時に考慮した研究は行われていない。

そこで本研究では、物体を叩いて発生する打音の解析を行って音の違いを判別し、さらに画像処理により打音位置も特定し、色マップを用いて検査結果を空間的分布表示する打音検査システムを提案する。

2. 処理手順

打音検査法の処理手順について Fig.1 に示すような流れで処理を行う。

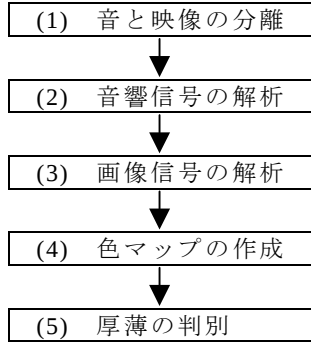


Fig.1 本研究の処理手順

(1) 音と映像の分離

解析をするに際し、便宜上音響信号と映像信号とに分離する。

(2) 音響信号の解析

音響解析では時間と周波数の両面から検討する。

まず時間面として減衰時間 T_d を求める。室内音響学においては、減衰時間は振幅が 60dB 減少するまでの時間、すなわち振幅が 1000 分の 1 まで減少する時間と定義されている。しかし、屋外環境や周囲の音の大きさ

が様々な条件において打音の解析を行う場合には音圧レベルを考えるとこれを適用することは難しいため、これにできる限り準じるよう以下のように定義する。急激に音圧レベルが大きくなった瞬間の時間を音が鳴り始めた時間 T_s とする。また、音の最大音圧レベル $p \times 10^M$ と静音時における平均音圧レベル $q \times 10^N$ とを比較し、 $p > q$ ならば $20 \times (N-M)$ dB 減少したときの時間、 $p < q$ ならば $20 \times (N-M-1)$ dB 減少したときの時間を音が鳴り終わった時間 T_e とする。そして減衰時間 T_d をこの 2 つの差と定義して求める。

$$T_d = T_e - T_s \quad (1)$$

周波数解析では音響信号に対して FFT（高速フーリエ変換）を行い、各周波数におけるスペクトルを見る。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 を求める。

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

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 : 各振幅の和 とする。

(3) 画像信号の解析

音響信号の解析により音が鳴り始めた時間 T_s を検出することで、映像信号を用いてその瞬間の画像を取得することができる。この画像より打音位置を特定することが可能となる。

(4) 色マップの作成

板の厚薄を特定するために事前に色マップを作成する。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により減衰時間 T_d と周波数特徴量 V_f を求めることができるので、 T_d を x 軸、 V_f を y 軸として各値をプロットした T_d-V_f 図を作成する。それぞれの点より下式のような楕円を描く。

$$\frac{(x - \bar{x})^2}{a^2} + \frac{(y - \bar{y})^2}{b^2} = 1 \quad (3)$$

但し、 $\bar{x}$: T_d の平均値、 $\bar{y}$: V_f の平均値、

a : T_d の分布度、 b : V_f の分布度 とする。

ここで a 、 b は分布度としたがそれぞれ標準偏差によって求める値とする。(3)式より厚い場合、薄い場合にそれぞれ別の色を割り当てて楕円内に色を塗る。これを中心の楕円として a 、 b それぞれ 2σ 、 3σ の楕円を描き、中心から離れるごとに色を変えて楕円内に塗る。

(5) 厚薄の判別

厚薄を調べたい点を叩き、音響の解析により同様に減衰時間 T_d と周波数特徴量 V_f を求めた上で、これを色マップに対応させてその点の色を求める。さらに画像信号の解析により打音位置が求められるので、これより叩いた点の厚さを色で表すことができる。また、色

マップ上で点が楕円の外部にあるために色の抽出が行えなかった点においては、それぞれの楕円の中心との距離を比較し色を表すようにする。最後に、各点の間の色を線形補間法で補い、板全体の厚薄を表す。

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き、パソコンに取り込む。パソコンに取り込まれたデータは AVI ファイルとして保存され、このファイルを音響信号と映像信号（無音声）とに分割する。ここで音響信号は WAVE ファイル、映像信号は AVI ファイルとする。

WAVE ファイルの情報は

- ・サンプリング周波数：44.1kHz
- ・チャンネル数：1（モノラル）
- ・ビット数：16 ビット（2 バイト）

とした。また、木板について大きさを 600mm×600mm、厚さは薄い部分を 12mm、厚い部分を 312mm とした。

Fig.2 に WAVE 波形を示す。図より厚い板と薄い板に波形の違いがあることがわかる。また Fig.3 に FFT

に周波数分布の違いがあることがわかる。これを数値的に判別できるように本手法を用いて検討する。

まず色マップの作成について、厚い部分と薄い部分を 100 回叩きデータを測定し、減衰時間 T_d の平均及び分布度を求めると次のような結果が得られた。但し、音圧レベルを考慮した上で今回は音が鳴り終わった時間 T_e を 40dB 減少したときの時間、すなわち振幅が 100 分の 1 まで減少したときの時間とした。

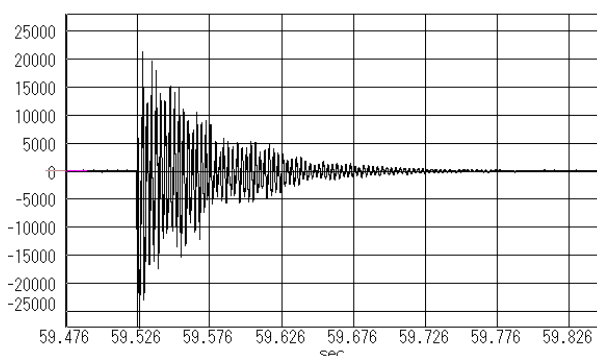
Table1 減衰時間 T_d について

	厚い場合	薄い場合
減衰時間 T_d	308	238
T_d の分布度	25.0	15.7

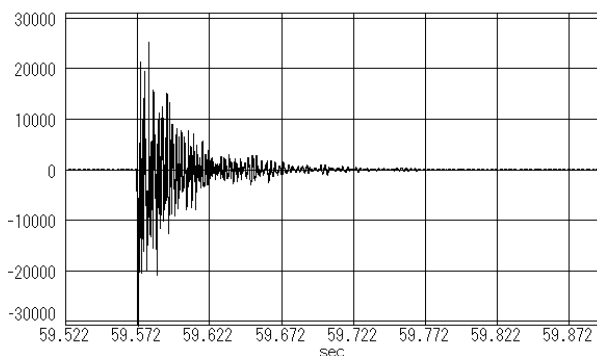
また FFT を行う上で、本研究では減衰時間を 1 周期と考え、データ数は 1 周期のデータ数より大きい最小の 2 の累乗値を代入する。よってデータ数については $2^n > T_d \times (\text{サンプリング周波数}) \times (\text{チャンネル数}) \times (\text{バイト数})$

(4)

の関係を満たすような最小の n を求めることで、FFT のデータ数を決定した。窓はハニング窓を利用した。



(a) 厚い板の場合の例

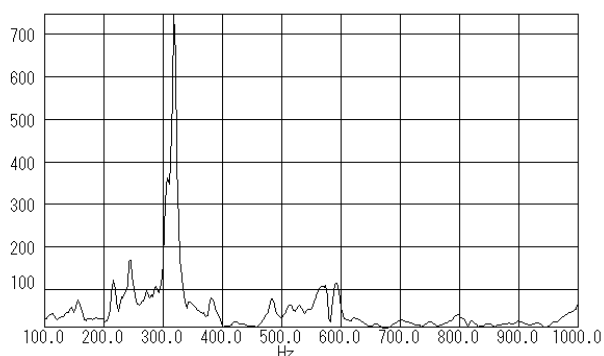


(b) 薄い板の場合の例

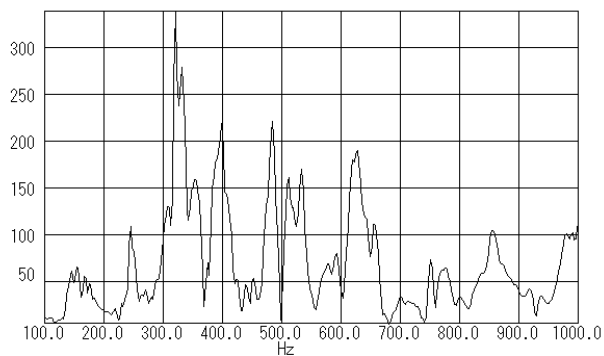
横軸：時間， 縦軸：リニア表示の振幅

Fig.2 WAVE 波形

による周波数スペクトルを示す。こちらも図より両者



(a) 厚い板の場合の例



(b) 薄い板の場合の例

横軸：周波数， 縦軸：リニア表示の振幅

Fig.3 FFT による周波数スペクトル

本実験では、特に変化の著しい 100 Hz から 1kHz ま

でのスペクトルの周波数特徴量 V_f を求めた. この結果, V_f の平均及び分布度は以下になる.

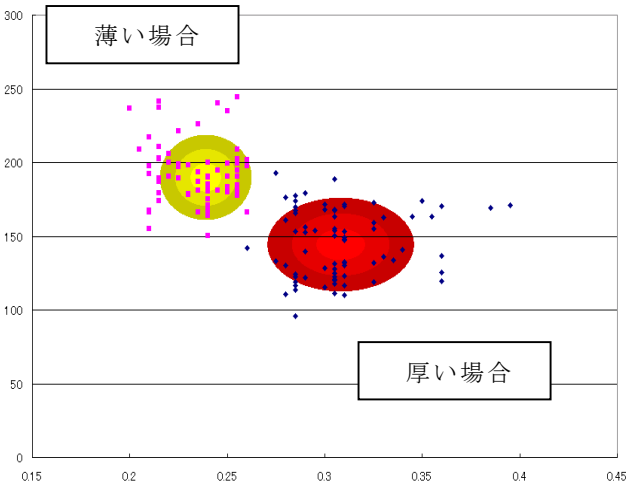
Table2 周波数特徴量 V_f について

	厚い場合	薄い場合
周波数特徴量 V_f	145	190
V_f の分布度	21.3	19.3

Table1 より厚い場合と比較して薄い場合には, 減衰時間 T_d が小さくなる傾向にある. これは今回変化の著しかった周波数帯において, 周波数が大きいほど吸音率が大きくなり, 音が早く減衰していくためと思われる. また, Table2 より厚い場合と比較して薄い場合には, 周波数特徴量 V_f が大きくなる傾向がある. これは高周波数域に特徴が見られたためである.

Table1, Table2 の値より中心座標及び長軸・短軸の値を決定できるので, Fig.4 に示すような色マップを作成した. 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. この図より厚い部分と薄い部分とが2分割されていることがわかる.

この色マップを用いて, 各点についての板の厚薄を調べる. 板を7×8点について各点数回ずつ叩き, 音響解析, 画像解析により色を決定した. これにより各点それぞれの厚薄を色として提示することができた. さらに線形補間法を行うことで Fig.5 のような結果が得られた. これにより板全体の厚薄を表すことができた. 本手法で板の厚薄を推定した結果と, 実際の厚薄とを比較するとほぼ同位置であり, 良好な結果が得られたと思われる.



横軸：減衰時間 T_d , 縦軸：周波数特徴量 V_f
Fig.4 色マップ

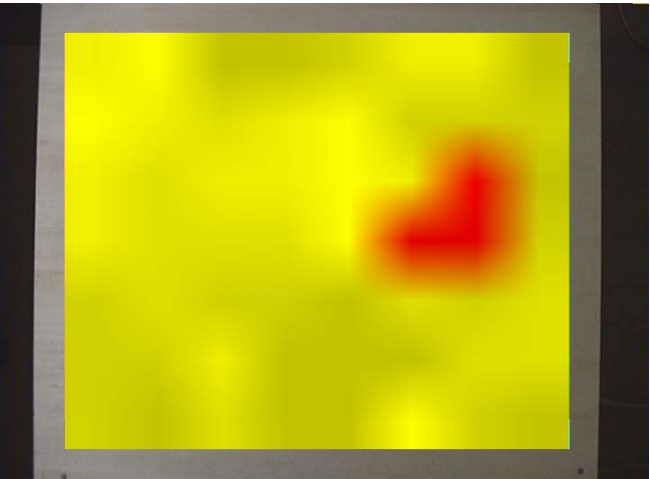
4. 結言

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. 減衰時間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. 予備的実験で本手法の有効性を確認することができた.

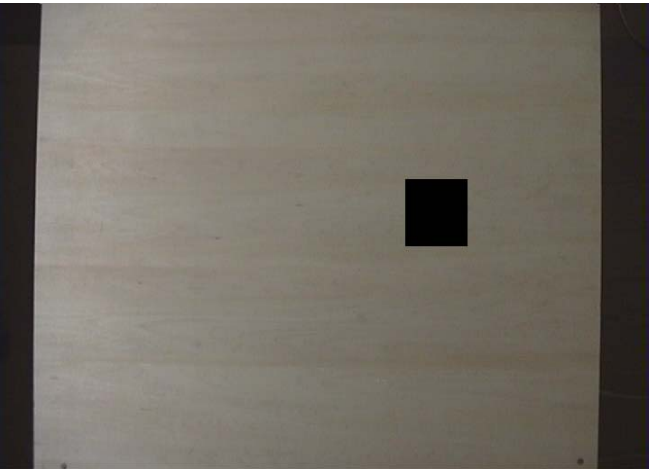
今後の課題としては, 音響解析において今回は減衰時間と周波数の広がりという2つの特徴量を用いたが, これ以外の新たな特徴量を用いることにより精度の向上を図ることや, 材質の違いなど様々な対象物にも対応すること等が挙げられる.

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, No.564 /V-35, pp.169-176 (1997.5).



(a) 本研究の実験結果



黒部：実際の厚い部分
(b)実際の板の様子

Fig.5 木板の厚薄について