

打音検査による診断手法について

横井 雅之[†]

A Study on Diagnosis Method using Hammering Test

YOKOI Masayuki[†]

要旨

対象となる物をハンマなどで叩き、その音を聴いて対象物の状態を判断・判定することは打音検査と呼ばれている。センサー・計測機器・解析方法などが現在ほど十分でなかった時代には手軽にでき、結果の判定も人間の感性に依存することで多く用いられた。しかし結果の判定には熟練が必要であった。ただ現在では熟練者の不足、人手による多点計測の煩わしさなどから、ドローン技術やAIなどを用いた自動化の方向に向かっている。ここでは、打音検査による診断について、従来から行われてきた方法を検討した結果を比較した。

キーワード：打音検査、人間の感性、テストハンマ

1. はじめに

“ざんざり頭をたたいてみれば文明開化の音がする”これは明治維新後に流行った“半髪頭をたたいてみれば、因循姑息な音がする 総髪頭をたたいてみれば、王政復古の音がする ざんざり頭をたたいてみれば、文明開化の音がする”というざれ歌の一部である。⁽¹⁾頭を叩くことはさておき、物を叩いてその音によって、中身の状態(?)を知る事は重要であった。ここでは、対象物をハンマなどで叩いて対象物から発生する音(打音)を聴いて対象物の状態を診断し、正常・異常の判定を決める従来から行われている手法の特徴について述べる。最も

[†]大阪産業大学 元短期大学部 自動車工学科 教授

草稿提出日 10月9日

最終原稿提出日 10月9日

簡単にできる方法として、対象物を叩いてインパルス加振を加え、そこから発生する音を分析・診断する。この分析・診断を人間が行ってきたのが、いわゆる「打音検査法」である。この方法は簡単であるが、診断・判定するのに熟練が必要であること、検査個所が多くなると時間がかかるなどの短所もある。

「叩く」という現象は対象物（叩かれたもの）の固有振動数を比較的簡単に求める方法である。さらに、この固有振動数が対象物の状態によって変化することが分かっている。

例えば、ハンマでボルトを叩く時に、ボルトがしっかりと締まっていれば、叩いた時の音が澄んで聞こえるが、ゆるんでいれば、鈍い音がするなどわかる。さらに耳だけでなく、ハンマによる手の受ける感じによっても判別できる。「叩く」ことにより発生する「音」を耳で聴き、さらに手で振動を感じ、「聴覚」と「触覚」の2つの感覚によって、対象物の異常・正常の診断を行うことができる。人間の五感のうち、「聴覚」と「触覚」の二つを用いて判定する。この簡便さにより打音検査が長く使用されてきたと思われる。

音による診断の判定は、広い分野で使われている。医者が患者に対して聴診器を用いて、体内の音を聴いて病気診断に利用するのも一つの手法である。自動車、鉄道車両、建築物などの構成部品のゆるみや劣化などをテストハンマでたたいて、発生する音を聴いて異常・正常を判定していた。

本学では、短期大学部の自動車整備士資格取得のプログラムにおいて、2年生担当科目の「自動車工学応用実験」の「振動・音響による自動車の故障診断」というテーマで実験・実習を行ってきた。この中でタイヤのホイールナットのゆるみをテストハンマで体験させる試みを行った。

2. 打音検査の主な種類や内容

2.1 建物のコンクリートやトンネルの内壁の剥離・内部空洞・落下の点検

(テストハンマや打診棒による方法)

打音試験は建物の外壁やトンネルの内側のはがれ診断にも利用されている。図1はテストハンマを、図2は打診棒（打音診断棒：全長710mm、8段伸縮）を示す。従来、建物の外壁などはテストハンマでたたいていた。しかし近年では表面損傷の防止などを考えて打診棒では「叩くのではなく転がす」方法が用いられている。先端が回転するようになっていて、この音が清音か濁音かを聴き分けることによって、ゆるみや剥がれなどを判定する。先端の形状によって、「かぼちゃ玉」、「ニンニク玉」などがあり、測定する表面によって使い分けている。図3はタイル貼りの外壁においてタイルの下に剥離などによって空洞が発生していないかをチェックしている様子である。⁽²⁾手に持っているのが打診棒であり、これでタイル表面を転がすようにして、発生する音を聞き分けている。図4は音を周波数分析した結果である、図4(a)はタイルの下に空洞がない正常な場合、(b)は空洞がある場合である。⁽³⁾これは、正確には打音

というより擦過音と呼ぶべきと思われる。なお、最近では打音より擦過音の方が、劣化などを判別しやすいという結果も出ている。(4)



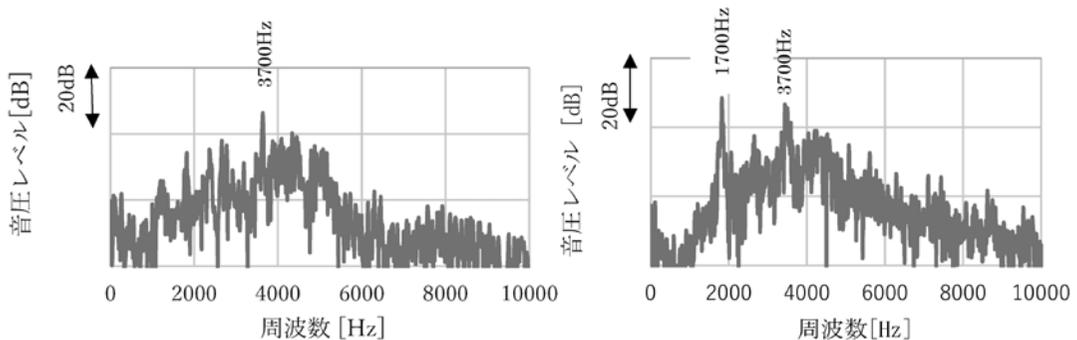
図1 テストハンマ（先端でたたく）



図2 打診棒（先端の球を転がす）



図3 打診棒によるタイル外壁の診断風景 (2)



(a) タイルの下に空洞がない場合

(b) タイルの下に空洞がある場合

図4 打診棒でタイルの浮きを検査した時の打音の周波数分析結果

図からわかるように、タイルの下に空洞がない場合ピーク周波数は3700Hzであるが、空洞があると、3700Hzおよび1700Hz付近の2つのピークが発生する。また、2つのピーク周波数があることで、濁った音に聞こえる。

2.2 タイヤホイールのナットや鉄道部品のゆるみ点検（テストハンマで検出）

トラックやバスなどの大型車両の始業点検のひとつとして、ホイールのナットゆるみをテス

トハンマによって行われている。また、鉄道車両においても、部品のゆるみなどのチェックに利用されている。テストハンマによる「ゆるみ」判定は耳で音の周波数変化を聴くとともに手に伝わる振動の感触も併せて感じていると言われている。以下では、乗用車のホイールナットのゆるみ判定の学生実験を例にとって説明する。

(1) モデルによるゆるみ判定

図5は製作したボルトゆるみ実験装置である。逆U字型金具（長さ170mm、幅27mm、厚さ2mm）はA、Bで示す2つのボルト（M8）で溝型鋼（幅100mm、高さ50mm、厚さ5mm、長さ150mm）に締め付けられている。2つのボルトは10Nmのトルクで逆U型の金具を溝型鋼に締め付けている。実験では、ボルトAは10Nmで締まったままで、ボルトBを1Nmずつ緩めながらテストハンマで、ボルトAとBの頭を交互に叩いて、音の変化を聴感によって見つけ出す。ボルトをゆるめると「カンカン」という高い音から「コンコン」という低い音に変化する。図6はボルトの締め付けトルクとゆるみ識別率の関係を示す。ボルトの締め付けが10Nm（100%）から7Nm（70%）程度にゆるむと約半数の人がゆるんでいると認識した。

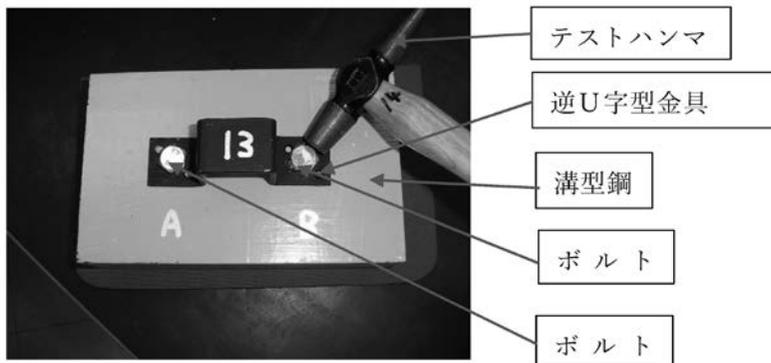


図5 試作したボルトゆるみ実験装置

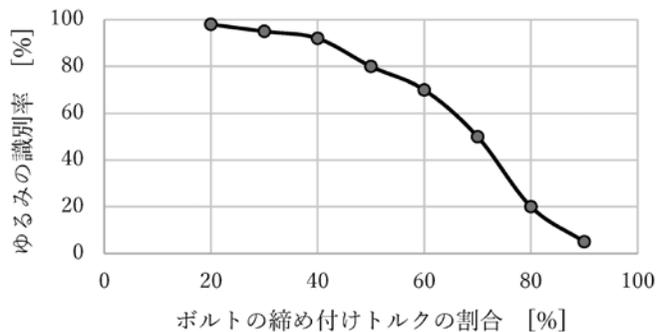


図6 ボルトの締め付けトルクによるゆるみの識別率の変化

(2) 実車のホイールナットのゆるみ判定



図7 ホイールナットのゆるみを診断している様子

図7は実車（乗用車）のホイールナットのゆるみをテストハンマにより診断している様子である。手をホイールナットに添え、さらにテストハンマでナットを締め付ける方向に叩く。ハンマの振動はハンマのところがった先につけた小型・軽量の加速度ピックアップによりそれぞれ測定した。打音は騒音計により測定した。

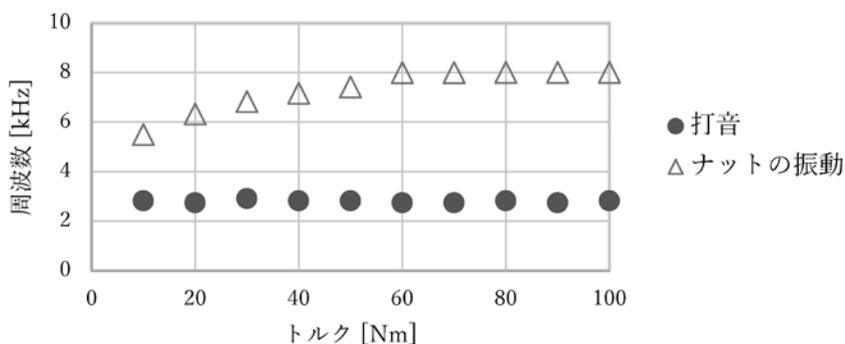


図8 締め付けトルクによる音とナットの振動数の変化



図9 サウンドスコープ



図10 改造したサウンドスコープ

図8より、ナットの振動周波数は締め付けトルクが60Nmまではほぼ一定値であるが、それより緩めるとナットの振動周波数は低くなるが、音の周波数はほぼ一定である。これでは、音を聞いても変化はあまりわからないと思われる。そこで、図9に示すサウンドスコープ（工業用聴診器と呼ばれる）を用いた。これは聴診器のチェストピースの代わりに先が細い金属製の棒状になっていて、狭い個所や比較的湿度の高い個所でも使用できるようにしたものである。

この両耳へあてる部分を図10のように改造して、片側に小型マイクロホンを挿入して、ナットの振動を音で聴こうとした。マイクロホンはB&K4135の1/4インチマイクロホン、プリアンプB&K2633およびアンプB&K2610を使用した。図11はこのようにして収録した音のトルク変化に対する特性である。図8と比較して明らかに音が50Nmでは低周波に変化する事がわかった。これは、ナットがゆるんでくると、音が低くなることに一致している。また、モデルによる実験とも傾向が一致する。

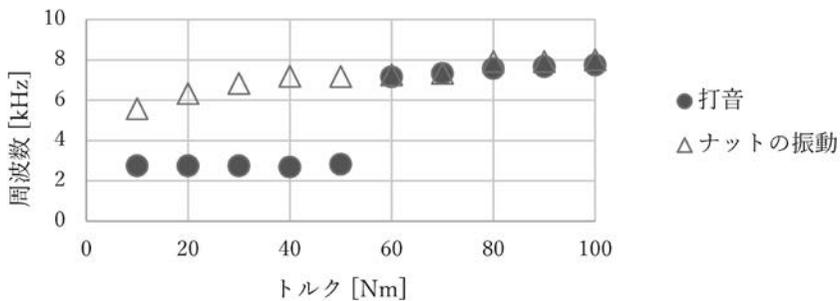


図11 改造したサウンドスコープによるマイクロホンを用いた音とホイールナットの振動の締め付けトルクによる変化

2.3 缶詰の打音検査（打検棒による判定）

打検士が缶詰の底や蓋の部分で打検棒（先端に小さい球がついている棒）で叩いて、発生した音と手に伝わる振動から不良品（膨張・漏れ・濁音・過量・軽量など）かどうかを判定する。図12に打検棒を示す（全長240mmで先端が直径9mmの球状になっている）。

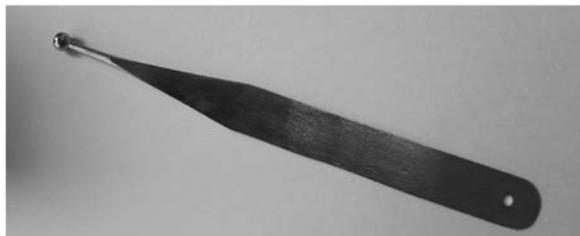


図12 打検棒

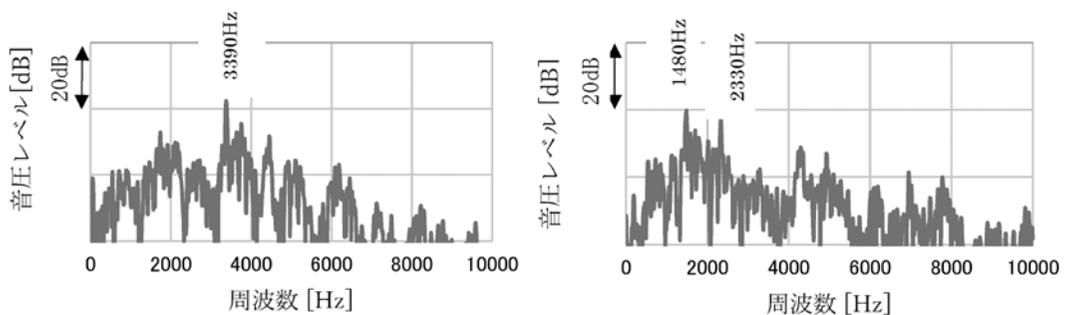
図13は缶詰工場での打検を行っている様子を示す。(5)



図13 缶詰工場における打音による検査風景



図14 打検棒を用いた実験風景



(a) 正常な缶

(b) 缶に小さな穴が開いている

図15 打検棒による缶詰の周波数分析結果

図14は打検棒を用いた実験の様子を示す。打検棒は約10mmの高さから振り下ろす。打音は缶詰の中央から約100mmに設置した騒音計（NL-31 RION製）で測定した。図15は打検棒で缶詰の蓋を叩いた時の打音の周波分析結果を示す。図15 (a) は正常、(b) は蓋の中央に直径約1mm程度の穴が開いている。図からわかるように、正常な場合は3390Hz付近にピークがある

が、穴が開いた場合にはピークは1480Hzおよび2330Hzと周波数が低下している。

現在では、打検士がいちいち缶詰を叩いてチェックするのでは、時間がかかるので、電磁パルスで缶に振動を励起して発生した音をマイクで収録し周波数分析を行い、不良品を発見するシステムに移行している場合が多い。

2.4 打音による熟れ具合のチェック（手で叩く、マレットで叩く）

昔は八百屋や果物屋のおじさんが手で西瓜を叩いて熟れ具合を判断して、「これは甘いよ」など言って売っていた。ポンポンと澄んだ音ならば完熟とのことである。西瓜だけでなく、メロン、梨なども打音による熟れ具合の判定を行っているようである。表1と図16は西瓜とメロンについて、「食べ頃（熟れ頃）」と「手による打音」、「糖度（熟れ具合）」の関係を示す。表1の「擬音語表現」は、人により表現の言葉が多少異なる事がある。表1の西瓜の擬音語表現でも2種類表示されている。音の周波数は熟れると低くなることはわかっているが、それをどのような言葉で表現するかが問題である。ここが個人の感覚および経験の多少に依存している。

表1 熟れ具合と擬音語表現

音（擬音語表現）			音の周波数	熟れ具合
西瓜	メロン			
ポンポン	パンパン		高い	早い
ポテポテ	ポンポン	ボンボン	↓	食べ頃
ボテボテ	ボンボン			低い

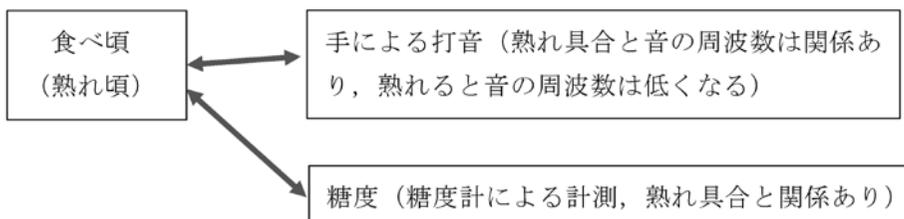


図16 食べ頃と打音・糖度の関係

図17は西瓜を叩いて熟れ具合を判定したものである。これはネットより録音した。⁽⁶⁾ 西瓜は個体差が大きいので、打音の周波数もばらつきが大きいために、熟れ具合の判定もある程度の目安である。図17 (a) はまだ熟れていない時、(b) はちょうどよい熟れ具合の周波数分析結果である。(a) では、ピーク周波数が100Hz、365Hzおよび550Hzであったものが、(b) では100Hzおよび250Hzになっている。とくに (a) の365Hzおよび550Hzの音が熟れるにつれて250Hzのみに移行することがわかる。

これは、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

K : 西瓜の中身をばねこわさに換算した値 [N/m]

M : 西瓜の質量 [Kg]

と仮定すると、西瓜が熟れ時になると、 M はほとんど変化しないが K は中身を見ればわかるように軟らかくなっている。すなわち K の値は小さくなっていると考えられる。したがって、 f の値は小さくなっていると考えられる。

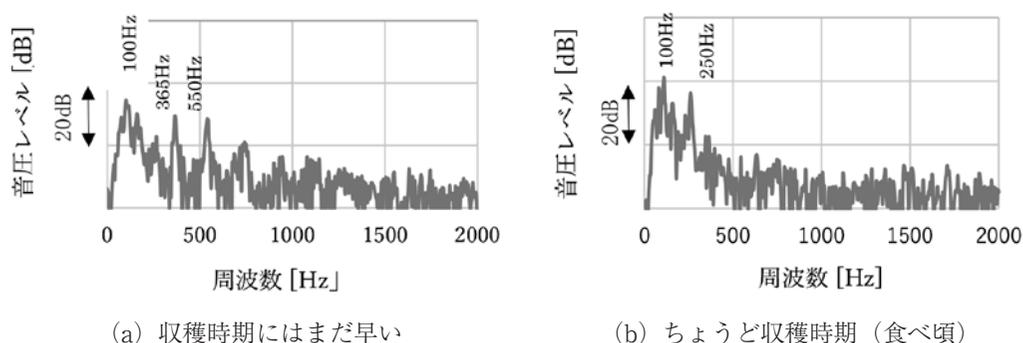


図17 西瓜の打音による周波数分析結果

メロンにおいて、割ばしで表面をたたき、周波数解析と果実の硬度の関係において、収穫後の日数（2日、6日、10日）と周波数の関係が図示されているが、ピーク周波数が低周波側に推移している。⁽⁷⁾ また、ばちでメロンの赤道上の5箇所をたたき、その音から振動数を測定、食べ頃までの日数を予測している。⁽⁸⁾ さらに梨についても打音検査についての研究成果が示されている。⁽⁹⁾ 図18はメロン表面を12点に分割して端がプラスチックのマレットで叩いた。図19はその時の音を周波数分析した結果を示す。図19 (b) は (a) より5日経過している。熟れていて冷やして食べたが、ちょうど熟れていて食べ頃であった。(a) ではピーク周波数は約440Hzであるが、(b) では440Hzの他に275Hzのピークが現れている。前述の西瓜と同様に、収穫してから食べ頃まで表面を叩いた音である程度熟れ具合がわかると思われる。

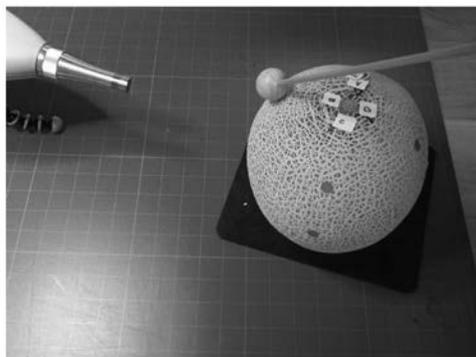


図18 メロンの表面を先端がプラスチックのマレットで叩く

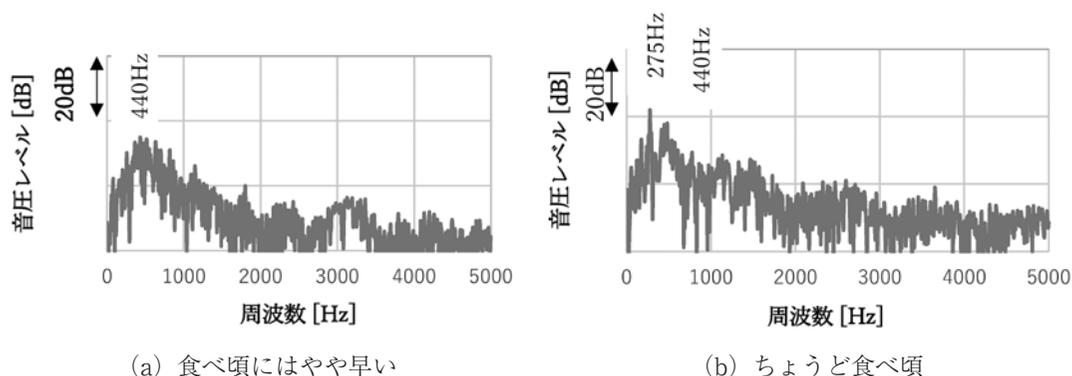


図19 メロンの打音による周波数分析結果

3. まとめ

打音による診断・判定について、現在広く使用されている方法を取り上げ、その実例を述べた。ここに示した4つの手法は特別な打診用具や分析器を必要とせず、人間の感性によって診断・判定ができることが最大の特徴である。しかし、判定に熟練が必要であることにより後継者の育成が難しいので将来的には機械化などの方向を採用せざるを得ない状況であると思われる。このような現状を踏まえ、現在行われている打音試験の、計測・診断についての基本的な考え方や結果の判定などを予め体験・理解しておくことは必要かと思われる。

参考文献

- (1) 例えば<https://history-land.com/bunmeikaika/> (参照日2020年9月30日)
- (2) https://www.youtube.com/watch?v=RSJ_K-eZlv8 (参照日2020年9月30日)
- (3) <https://www.youtube.com/watch?v=VE48OzzAfgc> (参照日2020年9月30日)
- (4) <https://www.youtube.com/watch?v=qrM4V6adB8c> (参照日2020年9月30日)
- (5) <https://www.youtube.com/watch?v=5aRz5kRSJDE> (参照日2020年9月30日)
- (6) <https://www.youtube.com/watch?v=1achcYxtnd8> (参照日2020年9月30日)

- (7) <https://ocw.kyoto-u.ac.jp/ja/faculty-of-agriculture-jp/5985000/pdf/08.pdf> (参照日2020年9月30日)
- (8) <https://www.agrnews.co.jp/p50313.html> (参照日2020年9月30日)
- (9) 農業機械化研究所研究報告, 第40号, 2011.2, pp.25-31