

身近な金属の
マイクロ組織を読む
第●回
53

音の秘密 風鈴の大きさと音色

はじめに

風鈴は単純な形状をしています、その音色の多様性には奥深いものを感じます。NHKのテレビ番組「美の壺：風鈴(2006年7月14日放映)」では、風鈴がつくりだす音色の解明や我々の感性の受け止め方について、様々な角度から風鈴の面白さが紹介されました¹⁾。

音色には音の高さ、強弱、余韻の長さ、うなり、倍音(基音の整数倍の周波数の音)、和音、等々多くの要因が影響しています。音の高さは形状の影響が大きいことが示唆されました²⁾。铸铁製の南部風鈴について、その大きさによって音色はどのように変わるかを調査しました。

供試材

供試材は写真1に示すような南部風鈴を用いた。その高さは大:9cm、中:6cm、小:4cmである。化学成分は表1に示すように4%の炭素を含む硬い铸铁である。組織は写真2に示すように、鑄造後の冷却速度が大のために、パーライト(硬度:約HV300)とセメンタイト(硬度:約HV1100)からなる白鉄であり、平均硬度は約HV600と非常に硬い。

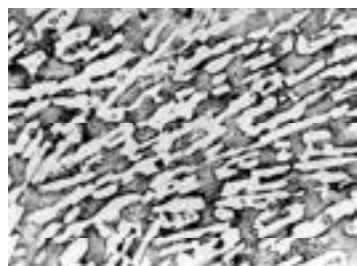


写真1 南部風鈴の外観

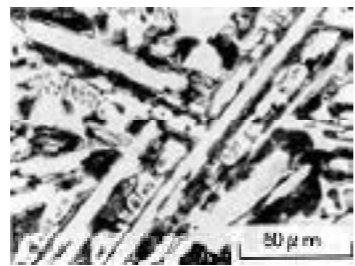
表1 南部風鈴の化学成分と硬度

供試材	化学成分(mass%)					硬度(HV)
	C	Si	Mn	P	S	
南部風鈴(大)	4.06	1.74	0.27	0.102	0.081	600
南部風鈴(小)	3.99	0.45	0.13	0.091	0.105	616

Cu<0.07 Ni<0.03 Cr<0.03 Mo<0.01 V<0.03



(a) 風鈴(小)の外表面



(b) 風鈴(大)の中央部

写真2 南部風鈴の光学顕微鏡組織

●シリーズ● 材料の素顔に迫る

●音の高さ

風鈴をインピーダンスハンマーで叩き、その音を収録して周波数分析と音の減衰状況を調査した²⁾。結果を図1~図3に示す。いずれも複数の周波数の音が励起している。周波数の低い音は低音で、周波数の高い音は高音である。大きい風鈴は励起する周波数の数が多く、複合音の音色が強いことが分かる。一方、小さい風鈴では周波数が高い音が励起され、その数も少ないので高い澄んだ音色である。これらの周波数の音の中で、低い周波数で強い音、余韻の長い音がその風鈴の基本音(基音)である。

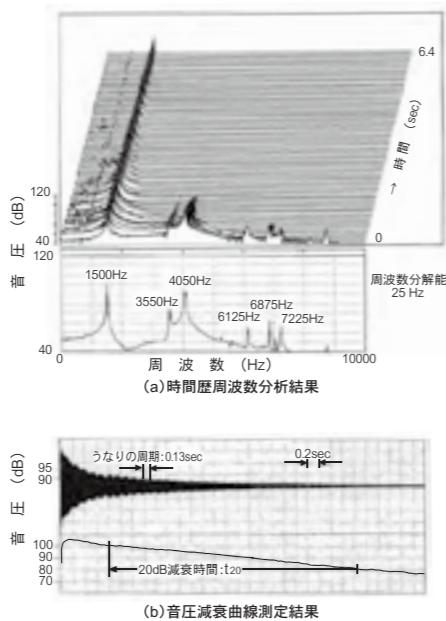


図1 南部風鈴(大)の周波数・音圧測定結果

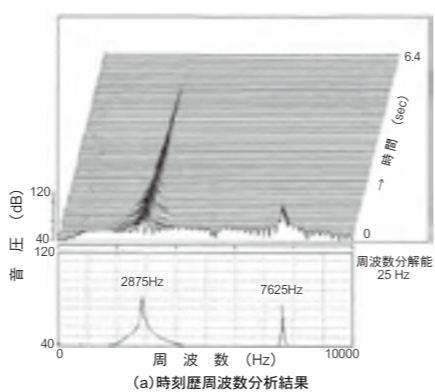


図2 南部風鈴(中)の周波数・音圧測定結果

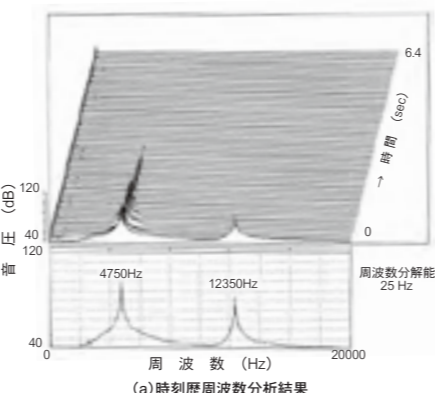


図3 南部風鈴(小)の周波数・音圧測定結果

図4に風鈴の大きさと励起される複数の周波数と基音を示す。大きい風鈴は小さい風鈴より基音が低音であることが分かる風鈴(中)や風鈴(小)よりも1~1.5オクターブ低い。

極端な例は梵鐘の音である。寛永寺(写真3)の音は170~500Hzの周波数の音が強く、さらに1300Hzまでの範囲にわたって10以上の多くの低い音が励起されている。風鈴(大)よりもさらに1オクターブ以上低い重厚な音色になっている。

铸铁製の南部風鈴は、その形状によって音色が全く異なります。一体何が違うのでしょうか。その正体を調べてみました。

住友金属工業(株)社友
工学博士 大谷 泰夫

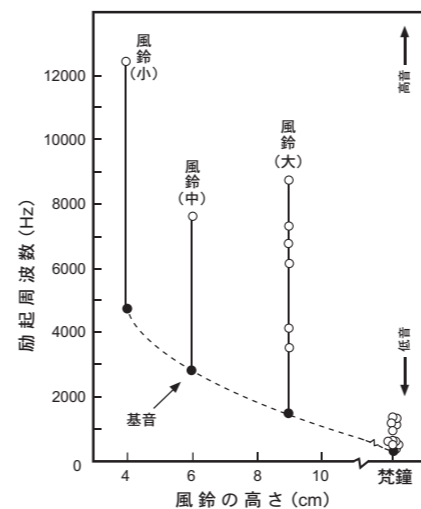


図4 風鈴を叩いた場合に励起する周波数



写真3 寛永寺の梵鐘

●余韻の長さ

音の減衰曲線から、余韻の長さの指数として音圧が定常的に低下する100dBから80dBまで減衰する時間(t20:秒)を図5に示す。大きい風鈴は余韻が長いことが分かる。

音は遠くに行くほど単位面積あたりのエネルギーが小さくなることや、音の媒体である空気によって減衰する。周波数の高い音ほどエネルギーの損失が大きいため減衰は早い。即ち、大きい風鈴は低音が基音であり、低音は周波数が高い高音よりも減衰が遅い。したがって大きい風鈴は小さい風鈴よりも余韻が長いことが理解できる。

●うなり

いずれの風鈴でも「うなり」が観察された。うなりは周波数が非常に近い音が干渉によって、互いに強めあったり、打ち消しあったりした緩やかな音の強弱の変化である。

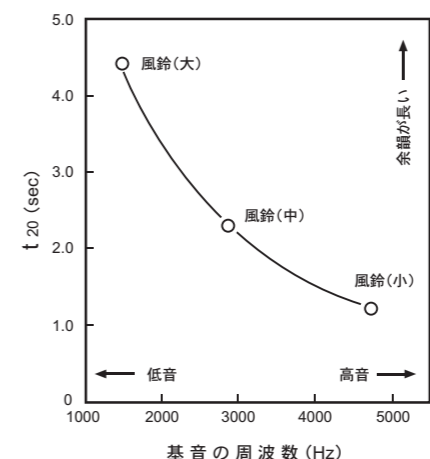


図5 基音の周波数と20dB減衰する時間

上記の周波数分析について基音近傍のスペクトルを詳細に観察すると、周波数が非常に近い2つの音(図6に例を示す)が出ていることが分かった。その周波数差は風鈴(大):8Hz、風鈴(中):18Hz、風鈴(小):25Hzであった(スペクトル分析の周波数分解能は5Hzであるので、うなりの周期から2つの音の周波数差を求めた:うなりの周期(sec)=1/周波数差(Hz))。2つの音の周波数差が小さい場合にはうなりの周期は長い。図7にうなりの周期を比較して示す。大きい風鈴の基音は低音であり、うなりの周期は長い。何故非常に近い周波数の音が出るのかは不明であるが、形状や表面の模様に工夫がなされているのであろう。

梵鐘では極めて多くの周波数の音が励起されるので、周期の短い小さなうなりと、周期が長く我々の耳でも感じるゆったりとしたうなりがいくつも重畳した重厚な音色である。

図8に風鈴(中)の風の動きに従った音の変化を示す。励起される周波数は変わらないが、間隔、音やうなりの強弱が不規則なゆらぎのある音色になっている。

今回の風鈴では、倍音は観察されなかった。今、音色を決めているのは主として、基音、うなり、余韻の長さであらう。

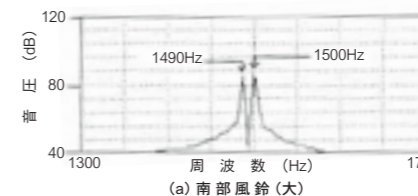


図6 うなりを生じる2つの近接した周波数(周波数分解能5Hz)

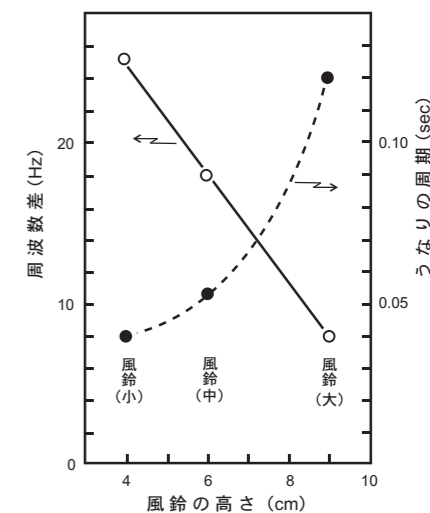


図7 うなりを生じる基音近傍の近接した音の周波数差とうなりの周期

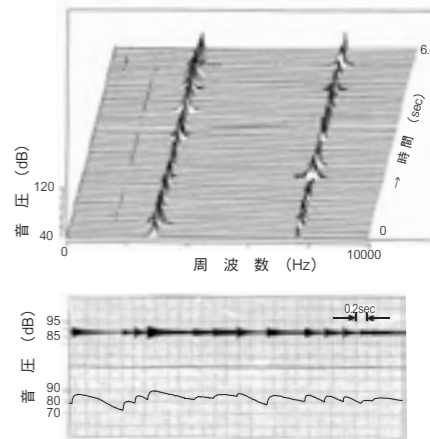


図8 風鈴(中)の実際の音状況

●おわりに

風鈴は同じ材料、類似の形状でもその大きさによって全く異なる音色を生んでいます。大きい風鈴は低くて余韻の長い音色、小さい風鈴は余韻が短く高く澄んだ音色が特徴です。身近にある鉄鋼材料や非鉄金属材料は強度や組織が様々です。これらの材料の音色の違いは大変興味深いものです。

*周波数分析は住友金属テクノロジー株式会社 鉄道産機事業部の担当部長谷本益久氏、室長付代慶伸一氏による。

参考文献

- 1) NHK「美の壺：風鈴」(2006年7月14日放映)
- 2)「つうしん」,(第40回:2003.7,第41回:2003.10.) 住友金属テクノロジー
- 3) 中村健太郎:音のしくみ,(2001),ナツメ社