ピアノの1本唸の研究(第1報)

—偽唸について—

柳 沢 猛** 中 村 喜 十 郎**

Beats of a String of Piano (1st Report)

—On the False Beats—

Takesi YANAGISAWA, Kijuro NAKAMURA

Up to the present, it is believed that beats of one string of piano are false beats (defined by W.B.White) caused by inharmonicity. This paper discusses particularly the relationship between false beats and inharmonicity for a certain piano.

It is shown from the experimental results that the beats of one string of a piano consist of false and true beats. The ratio of false to true beats is small, and it is 2/11 in this experiments. The false beats of a string do not exist in the soprano part, and the beats in the soprano part are the true beats. Deformation of a support of string decreases the false beat-rate.

1. ま え が き

ピアノのただ1本の絃から生ずる音に含まれる唸音はこれを1本唸と称して知られている。これは2個の同音の干渉唸(真唸と仮称)と感覚が類似していて、唸音を手掛りとする調律を困難にし、時にはその楽音の品質を損うものである。

最近のピアノ絃の振動の研究は、その倍音のビッチが基音の整数倍からずれている現象を inharmonicity と称し、この偏差の量を数式によって説明し、近似計算式を作った。ところで1本唸についてはまだ物理学的な研究は見当たらない。ただWhiteがその著書²⁾の中で、1本唸は inharmonicity に原因する偽唸であって、その原因はおそらく絃またはその支持部の欠陥によるものであらうと記述している。これに対してわれわれの研究では上述と多少異なり、1本唸は主として真唸の場合が多く、偽唸の場合は少ないという結果を得た。

本報はこれを証明する測定と偽唸の詳しい内容について述べたものである。

2. 測 定 と 考 察

ピアノ音に含まれる多数の倍音は打ち方の違いによってその振幅と周波数が異なり、また減衰とともに変化する。高次倍音はその測定に際して隣接次倍音が混入しやすい。目的が唸周波数の測定であるからわずかな混入も好ましくない。

図1はこの研究に用いた測定法を示すブロックダイアグラムである。ピアノの1本絃の音をエンドレステープに記録して時間をかけて測定した。テープの回転むらは機構を工夫して 0.2cent/s (440cps で 0.05cps) 以内に

図1 測定装置

* 昭和41年6月、東海支部浜松地方講演会にて発表

** 正会員 静岡大学工業短期大学部

図2 倍音の減衰形

おさえた。また別のチャンネルに基準周波数を同時に記録して周波数測定の基準とし、またこれを専用のストロボビッチテストに接続することによってテープの回転むらを常時監視した。

高次倍音の測定は可変バンドパスフィルタを2個直列に用い、まず高次倍音と等しい周波数の定常波周波数を通して、そのフィルタの総合特性をシンクロスコープで調べながら、最適の状態になるよう両フィルタをそれぞれその都度調節し、測定する倍音の周波数がバンドパス特性曲線の頂上平坦部の中央に位置するようにセットした。

図2はある標準の88鍵アブライトピアノのA, C, Fの各音について測定した例である。なお低音部は1本絃の構造であるが、一般に同音の2本または3本の絃が並列している中音部以上では唸音の最大のものを1本選んで掲げた。また、この測定は約8,000cpsまで行ない、したがって低音部では f_{27} まで測定したが紙面の都合で図2には f_{11} 以上の掲載を省略した。

この図2から唸周波数を読みとって表1を作った。この表1に記入の唸周波数は全部聞きとれるわけではな

い。特によく耳に聞える唸周波数と各音の総合減衰形を直接対照して、唸の種類を判別記入すると表2ようになる。表2によって偽唸の場合と真唸の場合が2:11の割合であることを知る。

一般に2個の正絃波形の低周波発振器周波数を混合してブラウン管でみると、その合成波形は表3のようになる。表3における1の場合は真唸、2, 3の場合は偽唸に対応する。それで特にピアノの倍音間では、混合倍音と唸周波数と唸の形は表4のようになる。

ピアノ音は図2のように多数の倍音を含み、またピアノのどの倍音間にもすでに知れるように inharmonicity があるから、ピアノ1本絃の音には多数の偽唸が含まれている。通常これらの唸が混合してピアノ楽音特有の複雑微妙な感じを与える。

図2, 表1の測定に用いたピアノの偽唸を調べるために表5のような測定を行ない、表6に掲げる計算を行なった。

偽唸の聞える C_{16} と A_{25} は偽唸の微弱な他の絃の音に比較すると、その偽唸の強い理由がわかる。すなわち C_{16} には約3cpsの偽唸が2個あり、 A_{25} にも約2cpsの

表1 倍音に含まれる唸周波数 (cps)

	A ₁	C ₄	F ₉	A ₁₃	C ₁₆	F ₂₁	A ₂₅	C ₂₈	F ₃₃	A ₃₇	C ₄₀	F ₄₅	A ₄₉	C ₅₂	F ₅₇	A ₆₁	C ₆₄	F ₆₉	A ₇₃	C ₇₆
f					3.0		2.0													
f_1														3.2	2	0.7	1.0	2.0		
f_2											0.5	0.5	0.6					4.0		
f_3												0.7	0.9							
f_4				0.8						0.4		0.8	0.9							
f_5										0.5		1.2	1.8							
f_6	1.6			1.8		1.6		3.3		0.8		1.2								
f_7	2.7		1.5									2.0								
f_8										1.0										
f_9										2.0										
f_{10}										1.0										
f_{11}																				
f_{12}							0.6													
f_{13}							0.6													
f_{14}							0.6													
f_{15}				0.6																
f_{16}					0.7															
f_{17}																				
f_{18}																				
f_{19}																				
f_{20}							1.0													
f_{21}	0.6			1.0																
f_{22}	0.8			1.6																
f_{23}	0.7	0.8		1.5																
f_{24}	1.0	0.9		1.7																
f_{25}	0.9																			
f_{26}																				
f_{27}																				

注 f の欄は偽唸, f_n の欄は真唸

表2 減衰形と唸(cps)

音名 cps	減衰形 	耳に聞える唸	唸の種類 と倍音	音名 cps	減衰形 	耳に聞える唸	唸の種類 と倍音
A ₁ 27.50				C ₄₀ 261.63			
C ₄ 32.70				F ₄₅ 349.23		0.5	真唸 f_2
F ₉ 43.65		1.5	真唸 $f_7, f_{22}, f_{23}, f_{24}$	A ₄₉ 440.00		0.9	真唸 f_3, f_4
A ₁₃ 55.00		0.8	真唸 f_4, f_{16}	C ₅₂ 523.25		3.2	真唸 f_1
C ₁₆ 65.41		3	偽唸	F ₅₇ 698.46		2	真唸 f_1, f_2
F ₂₁ 87.31		1.6	真唸 f_6	A ₆₁ 880.00		0.7	真唸 f_1
A ₂₅ 110.00		2	偽唸	C ₆₄ 1046.50		1	真唸 f_1
C ₂₈ 130.81				F ₆₉ 1396.91		2	真唸 f_1
F ₃₃ 174.61				A ₇₃ 1760.00			
A ₃₇ 220.00		0.8	真唸 f_5, f_8	C ₇₆ 2093.00			

表3 正弦波形の混合

	A	B	唸波形	唸数	唸の種類
1	f	$f+2$		2	真唸
2	f	$2f+2$		2	偽唸
3	f	$3f+2$		2	偽唸
4	f	$4f+2$		2	偽唸

表4 ビアノ倍音の混合による偽唸

混合倍音	唸周波数	唸の形
f_1, f_2	f_2-2f_1	屈曲形
f_1, f_3	f_3-3f_1	蛇腹形
f_2, f_4	f_4-2f_2	屈曲形
f_3, f_6	f_6-2f_3	屈曲形
$\vdots$	$\vdots$	

表5 ビアノ音の倍音周波数(cps)

n	A ₁	C ₄	F ₉	A ₁₃	C ₁₆	F ₂₁	A ₂₅	C ₂₈	F ₃₃	A ₃₇
1	26.64	31.77	39.57	53.81	64.54	85.91	107.4	127.0	170.3	214.9
2	53.50	63.80	79.42	108.1	129.6	172.7	215.7	254.5	340.7	430.2
3	80.29	96.23	119.2	162.5	195.4	259.1	324.3	381.9	511.3	646.1
4	107.4	128.6	159.2	217.2	262.1	345.6	433.4	510.1	682.9	861.9
5	134.9	161.5	199.2	271.5	328.1	432.7	542.6	637.9	855.0	1082.8
6	162.4	194.3	239.6	326.8	394.7	519.6	651.3	766.1	1027.3	1298.1
7	190.6	227.8	280.2	381.3	460.8	606.6	760.8	895.4	1201.4	1519.8
8	219.0	261.3	320.8	435.5	527.2	693.6	868.9	1022.6	1375.3	1739.8
9	247.4	289.5	360.8	488.2	594.5	780.8	979.3	1152.2	1551.8	1963.6
10	276.5	329.6	430.5	548.6	660.8	868.4	1089.7	1280.2	1729.3	2188.2

n	C ₄₀	F ₄₅	A ₄₉	C ₅₂	F ₅₇	A ₆₁	C ₆₄	F ₆₉	A ₇₃	C ₇₆
1	249.5	336.0	430.7	506.0	661.5	865.4	1018.5	1324.6	1761.8	2034.6
2	499.6	671.9	862.4	1012.6	1326.1	1737.8	2045.2	2666.1	3479.6	4121.2
3	749.9	1009.1	1296.6	1522.5	2000.2	2620.3	3091.0	4045.8	5316.8	
4	1001.6	1347.8	1734.2	2036.9	2680.0	3518.0	4158.5	5469.4	7246.2	
5	1254.6	1690.3	2176.9	2560.0	3371.8	4447.0	5249.8	6987.4		
6	1507.6	2033.4	2621.8	3087.4	4081.0	5669.0	6272.0			
7	1762.0	2315.6	3072.3	3623.1						
8	2021.7	2730.0	3532.2	3896.7						
9	2278.5	3043.2	3999.3							
10	2548.0	3394.2								

表6 偽 唸

音名	1 : 2				1 : 3	
	f_2-2f_1	f_4-2f_2	f_6-2f_3	f_8-2f_4	f_3-3f_1	f_6-3f_2
A ₁	0.2	0.4	1.8	4.3	0.4	1.9
C ₄	0.9	1.0	1.8	4.1	0.9	2.9
F ₉	0.3	0.4	1.1	2.5	0.5	1.4
A ₁₃	0.5	1.0	1.9	1.1	0.9	2.5
C ₁₆	0.5	2.9	3.8	3.0	1.8	5.9
F ₂₁	0.9	2.0	1.5	2.4	1.3	1.5
A ₂₅	0.8	2.0	2.6	2.0	2.0	5.0
C ₂₈	0.5	1.2	2.2	2.4	0.8	2.7
F ₃₃	0	1.6	4.7	9.5	0.3	5.3
A ₃₇	0.5	1.5	6.0	16	1.5	7.5
C ₄₀	0.6	2.4	7.8	19	1.3	8.7
F ₄₅	0	3.9	15	34	1.2	18
A ₄₉	1.0	9.4	27	64	4.5	33
C ₅₂	0.6	12	42		4.5	50
F ₅₇	3.0	28	81		16	103
A ₆₁	7.2	42			24	
C ₆₄	8.2	68			32	
F ₆₉	17					
A ₇₃	36					
C ₇₅	52					
F ₈₁	111					

偽唸が2個ある。C₁₆の f_2 と f_4 は図2によると特に振幅が大きいのでこの f_2 と f_4 の混合による偽唸が特に強い。しかもこの絃には偶然真唸が存在しないために、この偽唸が特に強調される。A₂₅は f_2, f_3, f_4, f_5, f_6 が強勢である。これを別々にとりだしてそのうちの2個を同時に混合すると図3のようになる。A₂₅には2.5cpsの強い偽唸もあるが、2cpsの偽唸の方が比較して強く、また構成倍音も低次であるのでこの方が主調として聞えて、2.5cpsの偽唸は2cpsの偽唸を助勢する役割をしている。このように絃音には inharmonicity があるから、必ず偽唸が存在するが、それがことごとく必ず耳に聞えるというわけではない。

偽唸を構成する2個の倍音がそれぞれ強勢である場合は偽唸が強いが、いずれか一つが弱いと偽唸も弱くなる。また偽唸が2個以上あってその唸周波数が近似しているときは、重複して強調される。しかし唸周波数が唸としてよく聞きとれる範囲の数cpsの範囲でなければ唸の感覚が生じない。また同一絃に強い真唸があると、真唸の方がよく聞えて偽唸は主役となることはない。

図2、表1から偽唸は低音部に多く高音部にはないことが知られる。表6は測定値からこの意味を理解するためにも作ったものである。8cps以上の唸は唸感とならないから、この試料ピアノでは第65鍵より高音側には偽唸が存在しない。この理由は高音絃においては inharmonicity の度合が大きすぎるからである。

White は偽唸は低音部と高音部に多いと記述している

混合倍音	$f_2 f_4$	$f_3 f_6$	$f_4 f_8$
唸波形
唸周波数	2	2.5	2

図3 A₂₅の偽唸

混合倍音	$f_1 f_2$	$f_2 f_4$	$f_3 f_6$	$f_4 f_8$
しごき前
しごき後

図4 しごきの影響(A₂₅)

が、高音部の唸は実は偽唸ではなく真唸である。

偽唸は inharmonicityにより、inharmonicity は支持条件に依存するならば、支持条件に変形を与えて偽唸を変化させることができるはずである。図4はこの試みを示したものであって、A₂₅の絃の駒に近い部分を強く押しつけてしごき、絃の支持部分を変形させてその前後の偽唸を観測したものである。これによって偽唸の周波数はかなりの低下をみた。

3. む す び

以上を要約すれば

- 1) 1本唸は偽唸と真唸とからなる。
- 2) われわれの測定したピアノではその割合は2:11で偽唸は少ない。
- 3) 偽唸と inharmonicity との実際の詳しい関係。
- 4) 偽唸は低音部にあって高音部にはない。
- 5) 高音部の1本唸は真唸である。
- 6) 絃の支持部分を変形させて偽唸を低くすることができる。

なお1本唸における真唸については第2報で詳しく述べる予定である。

(1966, 7月25日受付)

参 考 文 献

- 1) H.Fletcher: Normal Vibration Frequencies of a Stiff Piano String, JASA, Vol. 36 No.1 (1964) 203.
- 2) W.B.White: Piano Tuning and Allied Arts, BOSTON, (1950).

討 論

〔編集委員〕図1のようにマイクを響板のごく近くに置いたのでは響板の部分的特性に左右された音が聞え、ピアノ本来の音とは異なったものが捕えられるのではない。

〔著者の答〕マイクの位置によってその成分の高次倍音の分量は大いに影響される。しかし唸に関しては低次

倍音が主役となり、耳で聞かぎり高次倍音はほとんど関係ない。その理由は基音より倍音が強くても基音が音階感の中心となる聴覚の性質もあり、また高次倍音は基音の整数倍からのずれが大きすぎて唸として感ずる8cpsをはるかに越してしまうためでもあろう。唸に関しては常に耳で確かめながら測定と比較しているので誤認のおそれはほとんどない。

—— 表紙説明 ——

小 形 工 具 顕 微 鏡

三豊の小形実用工具顕微鏡は測定室専用の定置形ではなく、現場で手軽に使える精密測定のための工具顕微鏡です。

特 長

1. ジャイアントマイクロヘッド付。

しかも正逆目盛で零調整式

一般の工具顕微鏡のものより、はるかに精度が高く、しかも直径48mmの大形 シンプル付、測定範囲0～25mm正逆目盛付零調整式のマイクロメータヘッドを付けてありますから、任意の所に零点を移して目盛を正確に読みとることができます。しかも最小目盛は0.005mmです。

2. X. Y方向にストロークが50mm

小形で大形なみの50mmのストロークと、広いテーブルをもち、ブロックゲージを使用する場合も、ブロックゲージに直接スピンドルの回転面が当たらないようにブロックゲージの摩耗止めをつけてあります。

3. 対物レンズから明視の位置までが75mm

対物レンズから、明視の位置までの距離が75mmありますので、いままでの小形工具顕微鏡の性能よりはるかに大きな物まで測定ができます。

4. 使いやすく美しく、丈夫でコンパクトなデザイン

バーニヤの零点調整が自由にできる角度円盤を接眼鏡部に付けるなどの全く新しい考え方を美しくコンパクトなデザインで実現させました。

5. ワンタッチ フォーカス

粗動と微動とがただ一つの上下ハンドルでできるので操作が実に簡単です。しかも接眼鏡部の上下動は、角支柱とラックによる方式を採用してありますから、平行がよく、スムーズな上下動で高精度を約束しております。

6. 無段階に調整できる光源の光度

段階をつけて調整する場合には、被検物の微細な状態を見逃がすることがありますが、ミみつとよミのは無段階に、しかも反射光度を左右それぞれ独立して調整できますからあらゆる状態を観察することができます。

7. 視野中の像は正立です

用 途

工場の現場用としてはもちろんのこと、測定室などにおいても

- 精密な部品の寸法測定
- ネジのピッチ、有効径、角度などの測定
- 治具、刃具などの寸法や角度の測定
- 加工面の仕上状態の検査

など各種の測定に使用できます。

仕 様 (特別付属品を除く)

本体	ベースの寸法	: 200mm×300mm
	支柱の高さ	: 200mm
	全体の高さ	: 300mm
	クロステーブル移動距離	: 50mm×50mm
	テーブルの大きさ	: 150mm×150mm
	ガラス板の直径	: 80mm
	接眼鏡の倍率	: 15×
	対物鏡の倍率	: 2×
	零調整式	}
	角度円盤	: 最小読取り副尺6'
	正逆目盛付零調整式	
	マイクロメータヘッド	: 最小目盛0.005mm
照明	: 電源100Vトランス内蔵二次側	6.3V
	十字線テンプレート	: 1個組込
	フイルタ	: 淡緑色、赤色2種付
	予備ランプ	: 3ヶ
	ビニール製カバー	: 1枚
	重量	: 12kg

株式会社 三豊製作所

本社 東京都港区芝5丁目33番7号(徳栄ビル)

電話 東京(453)3331番(大代表)