

鐘の余韻の解明

— 鐘の音の研究(1) —

寺嶋正義*

(1987年10月15日受理)

要 旨

いい余韻のある鐘の音をパソコンを使用し、高速フーリエ変換を用いて解析し、つぎのことがわかった。

(1) 相接近した2つ又は2つ以上の振動数で振動する時、うなり現象が発生するが、供試の鐘の場合第1のピークの振動数は1350~1390Hzであり、時間と共に多少変化する。

(2) 第2の振動数のピークは第1のピークの高い側に出たり、低い側に出たりし時間と共に変化する、その差は27.0~27.4Hzであり、これがうなりの振動数となり、うなりの波形も時間と共に変化する、最大振幅が時間と共に増大する時が一時的にある。

(3) 打撃直後の0~0.2sは乱れた波形であり、0~0.5sまでは高次の固有振動数3780, 4890, 4550Hzが出ているが、0.8sまでにいずれも減衰し、基本振動数1370Hz付近のみが残る。

1 緒 言

鐘は古くより色々な目的に使われて来た。いずれも減衰が小さく数秒から数十秒鳴るのが特徴である。この打撃後の振動音を余韻と言っていますが、この音色は人間に個性があると同様に鐘にも個性があり、一つ一つの鐘で音色が異なる。いい音色の余韻を出す鐘を求めて鑄造者は研究と経験を重ねて来たと考えられる。

しかし、どの部分をどのようにすれば、どのようないい音色の余韻が得られるかは十分に分っているとは言い難いと考えられる。

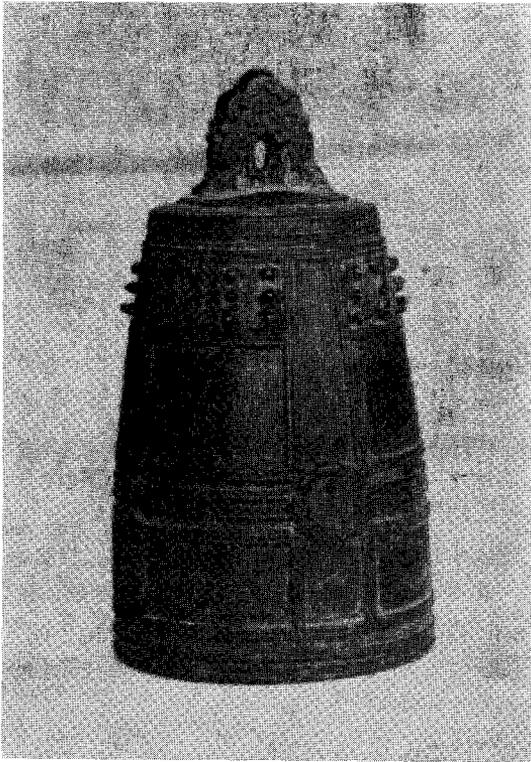
いい音色の鐘を作るためには、試行錯誤と共に、音を解析して色々な知見を得ることが大切と考えられる。得られる知見の内、余り利用出来ないものもあるかも知れないが、有用な知見が得られれば良品を作るのに役立つと考えられるので、基礎研究として、本学教育学部、特設美術科の上田教授から貸していただいた、非常によい余韻のある鐘の余韻についてマイクを用いて、テープレコーダーに録音して解析して見たので報告する。

2 余韻の測定、分析の方法

供試の鐘の写真を図1に示す。

この鐘は青銅製でありその大きさは、最下部の外径75mm、取手を除く最上部の外径は51

* 岩手大学教育学部



第1図 鐘の写真

mm, 高さは取手を除いて約108mmである。

この鐘を木ハンマーで下部を打つと振動して音を発するが、この際取手の部分はほとんど振動しないので、取手の部分を手に持って打撃しても音に影響を与えないと考えられる。

パソコンのデータ取込能力は0.5sで、分析能力は0.1sであり、これに対して一回の打撃にて鳴っている時間は数秒であるので打撃音を1回でデータを取り込めない。そこで打撃音を磁気カセットテープに取込み、それを何回も再生してデータ表示と周波数分析を行なった。

使用したテープレコーダーはビクター製R-5000テープデッキで、この周波数特性はメダルテープを用いた場合30Hz~16kHzまでフラットであるとなっており、マイクはソニー製エレクトレットコンデンサーマイクECM-260Fを使用した。このマイクの特性は60Hz~10kHzまでほぼフラットである。パソコンの分析能力は0~5kHzまでで

あり、鐘の主な固有振動数は1380~1390Hzであるので、マイクとテープレコーダーの能力は上記のもので十分と考えられる。

テープデッキの出力は交流であるので、電池により約2.2Vの直流電圧を印加して、出力がほぼ0~5Vの範囲に入るようにした。

音のレベルは大、小あるが増巾度を変えてほぼ出力が0~5Vになるように調節した。

テープデッキの出力に直流電圧2.2Vを加えてA-Dコンバーターに導入し、これをパソコンにて高速フーリエ変換(以下F.F.Tと略す。)した。データ表示は0~0.5sの間に取込んだものと、0.1sの間F.F.Tしたものと、0.1sの間のデータ表示をした。

F.F.Tについては前報¹⁾と同様の方法で行った。

A-Dコンバータはマイクロサイエンス社の8チャンネル差動入力12ビットA-DコンバーターDAS-1298-BPCを用いた。

データは0.1msで取込み、0.5s間のデータをグラフ表示した。

この0~0.5sの間のデータのうち0.3s~0.4sの間のデータを高速フーリエ変換して表示し、またこの間のデータも表示した、従ってF.F.Tの信頼できる分析範囲は約0~5000Hzである。

パソコンはNECのPC-9801Eを用い、フロッピーディスクドライブはPC-8031-2を、ディスプレイはPC-8853を、プリンターはPC-8822を用いた。

3 実験結果とその検討

初めの0~0.5sのデータはトリガースタートを用いたが、後のものはキースタートである。このための右側のマイクは上記のソニー製を用いたが、左側のマイクはビクターのダイナミックマイクMD-261を用い、これで録音し再生で左側はスピーカーで音にして、鐘の鳴った時にストップウォッチをスタートさせて、0.5s後にキーを押してデータを取り込んだ。

このため、出来るだけ正確を期したつもりですが、0.1s~0.3s位の誤差、遅れが生じたと思われる。このようにして取込んだデータのグラフ表示を第2図~第4図に示す。

第2図にて横軸は時間でパソコンがデータを取り込んだ時、スタート時を0として打出してある。(1)の図は0~0.5sのデータで、(2)の図は0.5~1.0sのデータである。縦軸は電圧(V)である。

打撃後0.2s位までは固有振動数は余りはっきりとは現われて来ない。これは打撃も一種の強制振動であり、打撃の高い振動数が表われている。0.3s以後は固有振動数で振動している。第2図の(2)ではうなり現象がだんだんとはっきり現れて来ている。

うなりの振動数は(1)では約27Hz、(2)では27.2Hzである。

第3図(1)は1.2s~1.7s、(2)は1.9~2.4sのものであり、うなりの底の振巾は第2図の(2)の右の方より大きくなっている。また最大振巾は(1)においても、(2)においても時間の経過と共に大きくなっている所がある。通常では振動は減衰するので時間の経過と共に減少するのが普通である。

うなり現象は二つの振動数の近い振動が重なって発生し、うなりの振動数は、その振動数の差の振動数となる。(1)ではうなり振動数は27.4Hz、(2)では27.0Hzであった。

第4図(1)は3.2~3.7s、(2)は4.0~4.5sのものであり、(2)では一坦大きくなった底の振巾が又小さくなっており、(2)では4.1~4.3sの所に少し振巾の大きくなる不規則振動があるが原因は不明である。

第5図の(1)は上がF.F.Tしたもので、下がデータのグラフ表示である。

F.F.Tしたものは、右側に20dB/DIV、 $20E+03/DIV$ とあるが、これは縦軸20dB/1目盛、横軸、 $0.20 \times 10^8/1$ 目盛(200Hz/1目盛)を意味する。

MAX. $27E+06$ はエネルギーの比較値で最大のエネルギー値が 0.27×10^6 であることを示すが、これは比較値であり絶対値ではない。

下の図は振動波形のグラフ表示であり、縦軸は電圧であり1目盛0.5V、横軸は時間であり1目盛0.01sである。右側に、5V/DIV、 $1E-02/DIV$ とあるのが、縦軸0.5V/1目盛、横軸 $1 \times 10^{-2}s/1$ 目盛を意味する。

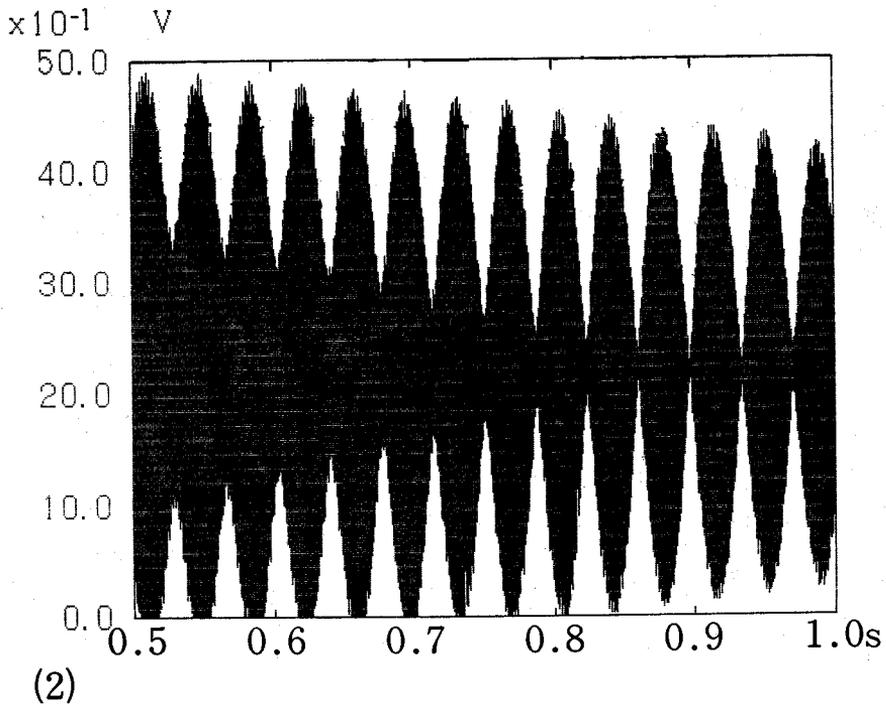
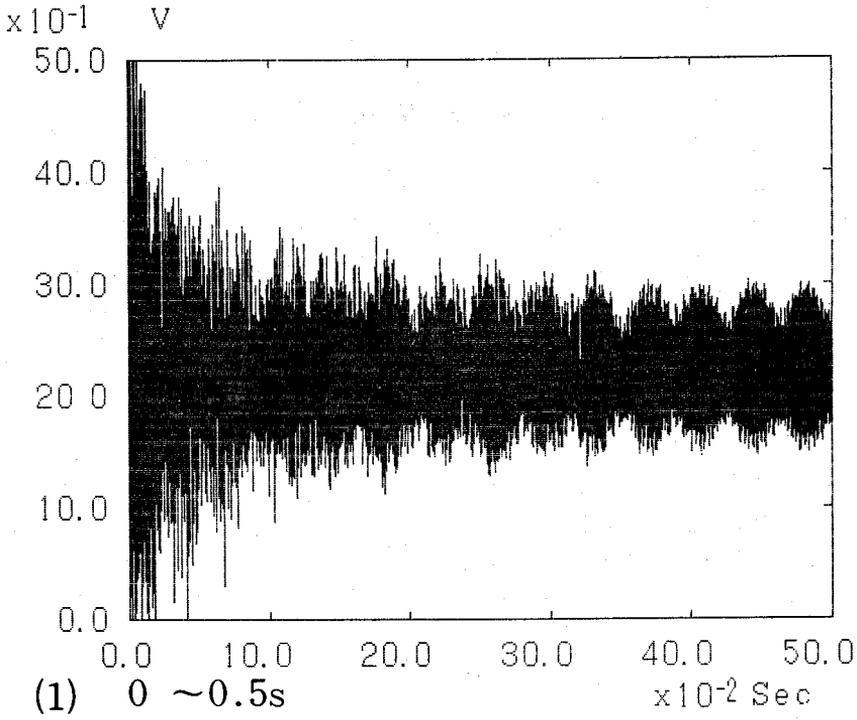
第5図のデータ表示を第1表に示す。

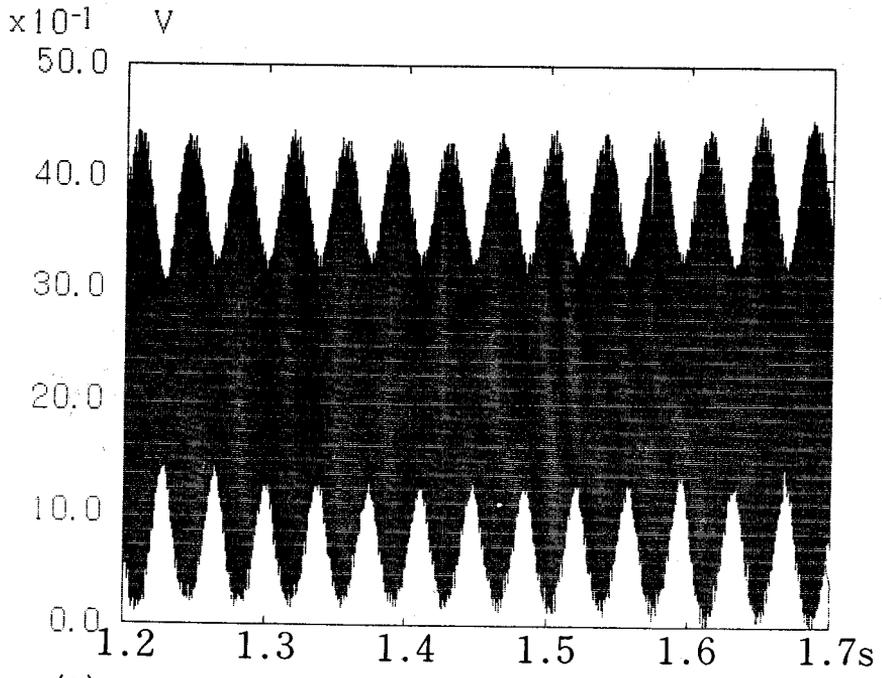
第1表(1)は第5図(1)のデータ表示である。

これによると1380、3780、4890Hzがこの順に大きいことが分る。3780、4890Hzも固有振動数と考えられるが、これは早く減衰することが第5図(2)、(3)よりわかるが、高い振動数のものは早く減衰することは当然予想される事である。

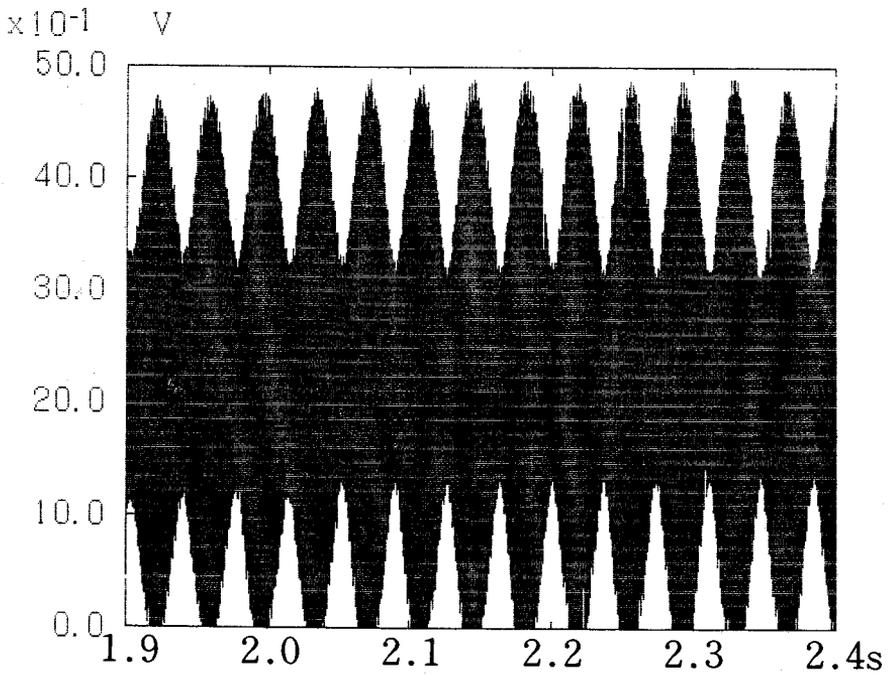
1380Hzのものは最後まで残る。

第5図(1)と第1表(1)では1380Hzのものはピークが1つであるが、第5図(2)、第1表(2)ではピークは1つでなく、1390、1400、1380Hzと2つ以上となり、(3)では1390、1370、1360Hzと

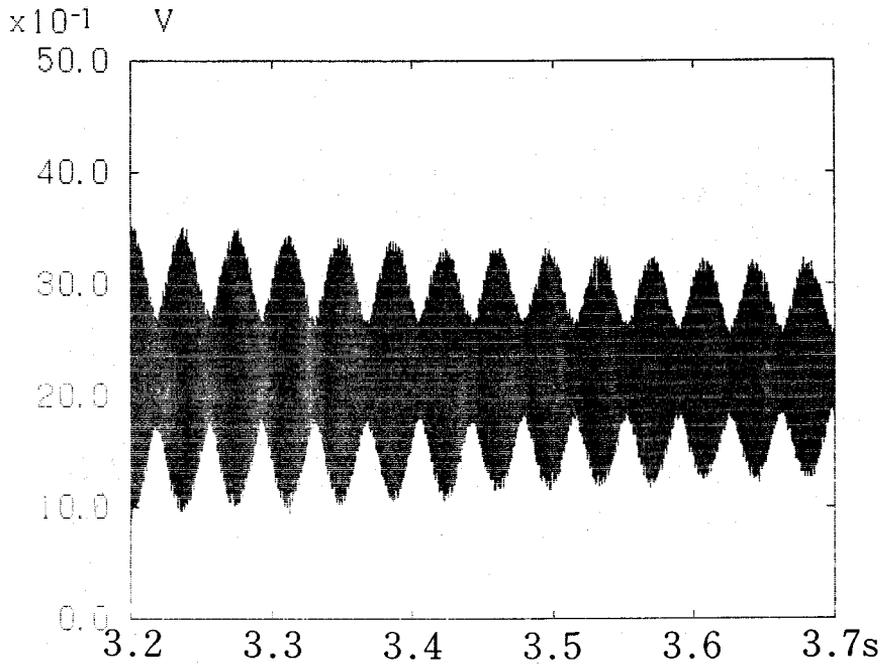




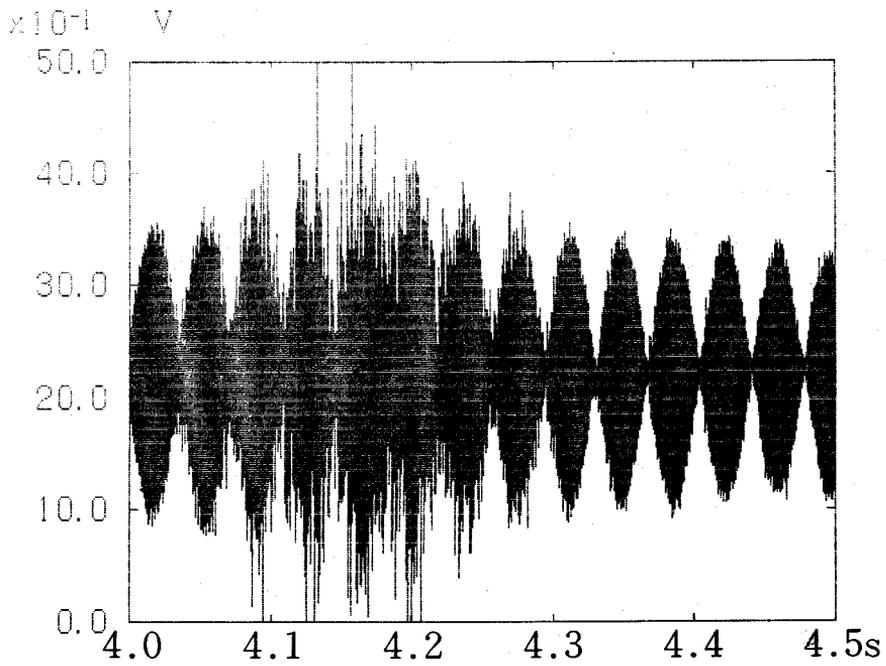
(1)



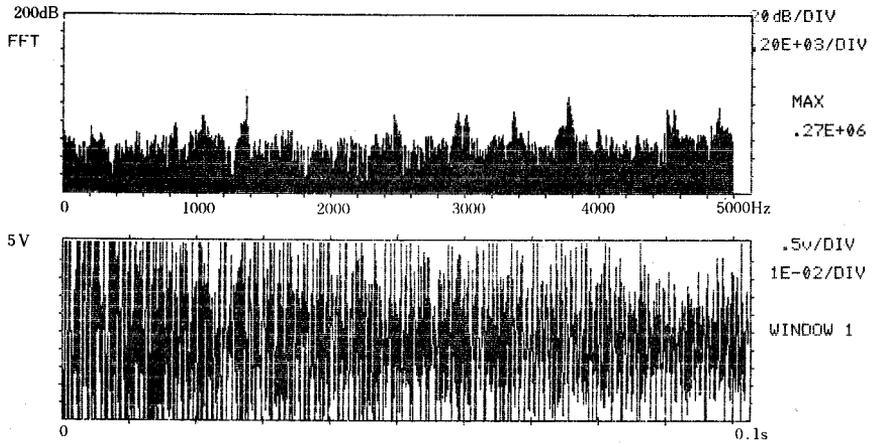
(2)



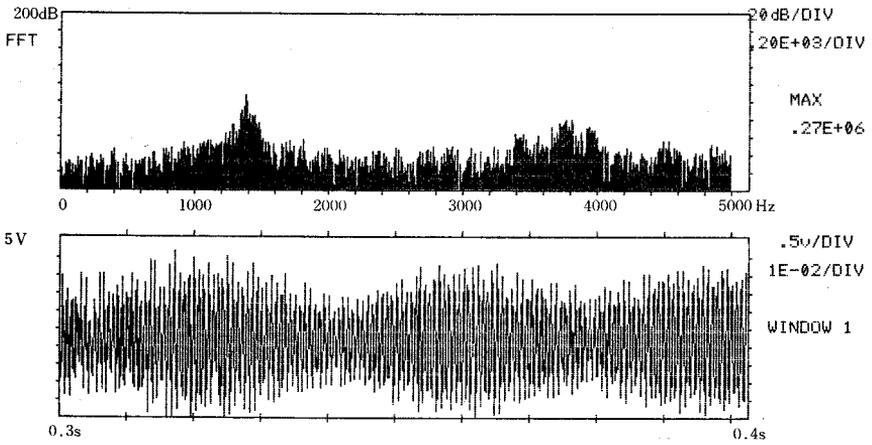
(1)



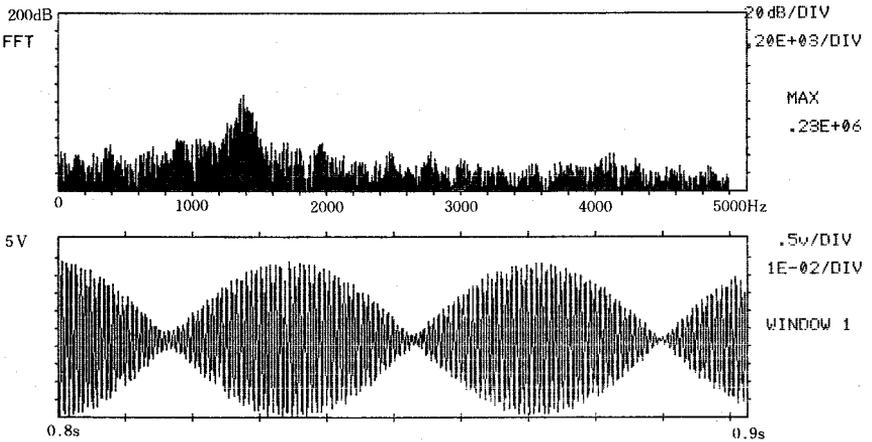
(2)



(1)



(2)



(3)

第 5 図

SAMPLE NO.	VALUE	FREQ NO.	COMPLEX REAL	TERM IMAGE	COS TERM	SIN TERM	POWER	COMPOSIT SIN AMPL	COMPOSIT SIN PHASE
0	1855	.138E+04	-351.5,	113.0i	-703	-226	0.2726E+06	738.43	72.18
1	0	.378E+04	-318.0,	146.0i	-636	-292	0.2449E+06	699.83	65.34
2	0	.377E+04	238.0,	83.5i	476	-167	0.1272E+06	504.45	-70.67
3	1140	.489E+04	-186.0,	92.5i	-372	-185	0.8630E+05	415.46	63.56
4	0	.379E+04	-6.5,	200.0i	-13	-400	0.8008E+05	400.21	1.86
5	4095	.455E+04	36.5,	-146.5i	73	293	0.4559E+05	301.96	13.99
6	4095	.450E+04	44.5,	-144.0i	89	288	0.4543E+05	301.44	17.17
7	4095	.337E+04	-132.0,	-50.5i	-264	101	0.3995E+05	282.66	-69.06
8	0	.296E+04	-39.0,	121.0i	-78	-242	0.3232E+05	254.26	17.86
9	0	.302E+04	-72.5,	93.5i	-145	-187	0.2800E+05	236.63	37.79
10	4095	.456E+04	28.0,	112.5i	56	-225	0.2688E+05	231.86	-13.98
11	0	.451E+04	11.0,	113.5i	22	-227	0.2601E+05	228.06	-5.54
12	4095	.247E+04	-69.5,	-87.5i	-139	175	0.2497E+05	223.49	-38.46

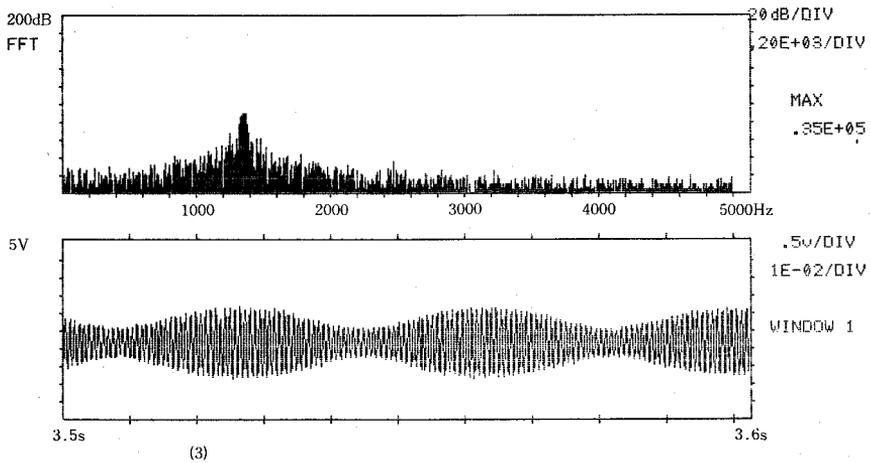
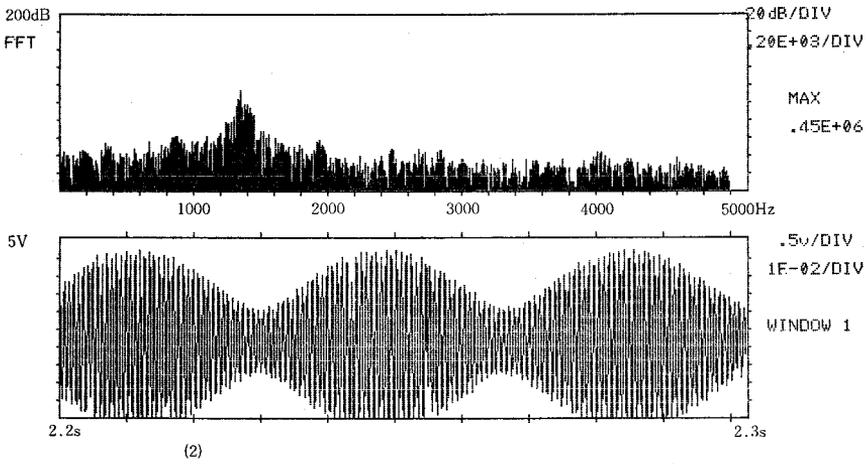
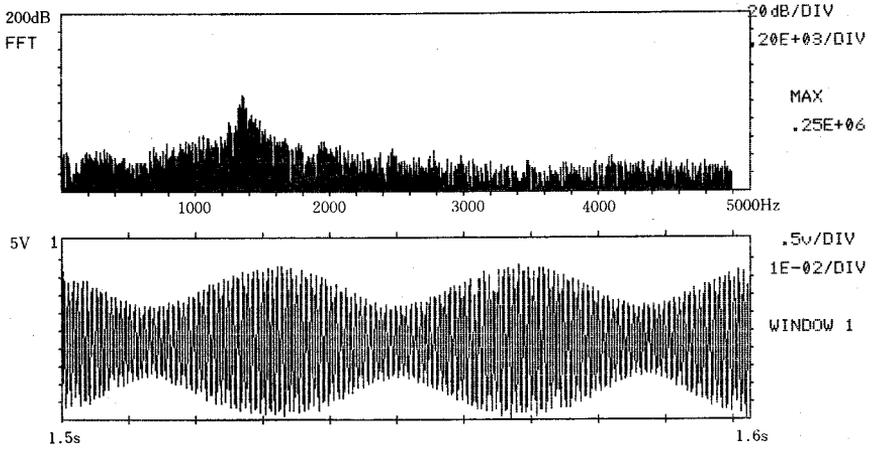
(1) 0~0.1sのF. F. T

SAMPLE NO.	VALUE	FREQ NO.	COMPLEX REAL	TERM IMAGE	COS TERM	SIN TERM	POWER	COMPOSIT SIN AMPL	COMPOSIT SIN PHASE
0	2025	.139E+04	47.5,	365.5i	95	-731	0.2717E+06	737.15	-7.40
1	714	.140E+04	64.5,	-214.5i	129	429	0.1003E+06	447.98	16.74
2	1486	.138E+04	121.5,	115.5i	243	-231	0.5621E+05	335.28	-46.45
3	896	.136E+04	73.5,	-101.5i	147	203	0.3141E+05	250.64	35.91
4	1651	.135E+04	71.5,	-75.5i	143	151	0.2163E+05	207.97	43.44
5	3269	.142E+04	-90.5,	28.0i	-181	-56	0.1795E+05	189.47	72.81
6	1842	.144E+04	-62.5,	67.0i	-125	-134	0.1679E+05	183.25	43.01
7	2492	.146E+04	9.5,	83.5i	19	-167	0.1413E+05	168.08	-6.49
8	1456	.145E+04	0.5,	84.0i	1	-168	0.1411E+05	168.00	-0.34
9	539	.137E+04	33.5,	-70.5i	67	141	0.1219E+05	156.11	25.42
10	1268	.382E+04	1.0,	76.5i	2	-153	0.1171E+05	153.01	-0.75
11	2421	.141E+04	-47.0,	57.0i	-94	-114	0.1092E+05	147.76	39.51
12	2939	.378E+04	69.5,	20.0i	139	-40	0.1046E+05	144.64	-73.95
13	1698	.377E+04	57.0,	17.5i	114	-35	0.7111E+04	119.25	-72.93
14	1874	.143E+04	-13.0,	57.0i	-26	-114	0.6836E+04	116.93	12.85
15	1231	.383E+04	38.5,	-42.5i	77	85	0.6577E+04	114.69	42.17
16	494	.148E+04	45.5,	31.5i	91	-63	0.6125E+04	110.68	-55.30
17	2283	.372E+04	52.5,	-14.0i	105	28	0.5905E+04	108.67	75.07
18	1643	.130E+04	-51.0,	13.5i	-102	-27	0.5567E+04	105.51	75.17
19	2668	.376E+04	-10.5,	-51.5i	-21	103	0.5525E+04	105.12	-11.52
20	2703	.146E+04	19.0,	48.0i	38	-96	0.5330E+04	103.25	-21.60

(2) 0.3~0.4sのF. F. T

SAMPLE NO.	VALUE	FREQ NO.	COMPLEX REAL	TERM IMAGE	COS TERM	SIN TERM	POWER	COMPOSIT SIN AMPL	COMPOSIT SIN PHASE
0	2666	.139E+04	288.5,	183.0i	577	-366	0.2334E+06	683.29	-57.61
1	1052	.137E+04	-212.0,	-208.0i	-424	416	0.1764E+06	594.00	-45.55
2	0	.136E+04	129.0,	154.0i	258	-308	0.8071E+05	401.78	-39.95
3	289	.142E+04	35.0,	158.0i	70	-316	0.5238E+05	323.66	-12.49
4	1309	.140E+04	-131.0,	-31.5i	-262	63	0.3631E+05	269.47	-76.48
5	2992	.143E+04	86.0,	82.0i	172	-164	0.2824E+05	237.66	-46.36
6	3599	.146E+04	114.5,	-6.0i	229	12	0.2629E+05	229.31	87.00
7	3016	.141E+04	11.5,	109.5i	23	-219	0.2425E+05	220.20	-6.00
8	1613	.144E+04	73.0,	79.5i	146	-159	0.2330E+05	215.86	-42.56
9	155	.145E+04	85.5,	40.0i	171	-80	0.1782E+05	188.79	-64.93
10	71	.134E+04	42.0,	-64.0i	84	128	0.1172E+05	153.10	33.27
11	896	.133E+04	-55.0,	-30.5i	-110	61	0.7911E+04	125.78	-60.99
12	2404	.148E+04	47.0,	-38.0i	94	76	0.7306E+04	120.88	51.04
13	3584	.135E+04	58.5,	-9.5i	117	19	0.7025E+04	118.53	80.78
14	3349	.127E+04	-35.0,	45.0i	-70	-90	0.6500E+04	114.02	37.88
15	2150	.130E+04	-29.0,	43.0i	-58	-86	0.5380E+04	103.73	34.00
16	571	.132E+04	-24.0,	-33.0i	-48	66	0.3330E+04	81.61	-36.03
17	0	.147E+04	37.5,	-13.0i	75	26	0.3151E+04	79.38	70.88
18	1786	.129E+04	8.0,	-38.0i	16	76	0.3016E+04	77.67	11.89
19	3246	.138E+04	15.0,	29.0i	30	-58	0.2132E+04	65.30	-27.35
20	3508	.146E+04	29.5,	7.5i	59	-15	0.1853E+04	60.88	-75.74

(3) 0.8~0.9sのF. F. T



2つ以上となる。F. F. Tでは(2)はピークが2つ, (3)は3つ見えている。これがうなり現象となる原因であるが, 何故このようになるのかは, この実験だけでは分からない。

(3)においては3780Hz等の高い振動数はすでに減衰してほとんど表れていない。

第6図(1)においてはピークは2つ認められる。このデータ表示第2表(1)でこれは1360, 1370 Hzであることが分る。

第6図(2)においてピークは3つ認められる。これは第2表(2)において1360, 1340, 1350Hzであることがわかる。

第6図(3)においてはピークは4~5つ認められる。この振動数は第3表(2)において1380, 1370, 1360, 1350, 1340, Hzであることがわかる。第7図においてピークは4つ認められるが, これは第3表において1350, 1380, 1360, 1370Hzであることがわかる。

SAMPLE NO.	VALUE	FREQ. NO.	COMPLEX REAL	TERM IMAGE	COS TERM	SIN TERM	POWER	COMPOSIT SIN AMPL	COMPOSIT SIN PHASE
0	287	.136E+04	-64.0	349.0i	-128	-698	0.2518E+06	789.64	10.39
1	372	.137F+04	211.5	-233.5i	423	467	0.1985E+06	630.09	42.17
2	1291	.134E+04	102.0	-164.0i	204	328	0.7460E+05	386.26	31.88
3	3396	.139E+04	-133.0	88.5i	-266	-177	0.5104E+05	319.51	56.36
4	2971	.133E+04	-31.5	-156.5i	-63	313	0.5097E+05	319.28	-11.38
5	1801	.135E+04	132.0	-79.0i	264	158	0.4733E+05	307.67	59.10
6	545	.138E+04	94.0	-110.5i	188	221	0.4209E+05	290.15	40.39
7	286	.143E+04	-44.0	84.5i	-88	-169	0.1815E+05	190.54	27.51
8	947	.146E+04	28.0	76.0i	56	-152	0.1312E+05	161.99	-20.22
9	2126	.142E+04	-70.5	30.5i	-141	-61	0.1180E+05	153.63	66.61
10	3158	.148E+04	12.0	70.5i	24	-141	0.1023E+05	143.03	-9.66
11	3134	.141E+04	-70.0	1.0i	-140	-2	0.9802E+04	140.01	89.18
12	2343	.126E+04	61.0	23.5i	122	-47	0.8547E+04	130.74	-68.93
13	1041	.144E+04	-38.5	51.5i	-77	-103	0.8269E+04	128.60	36.78
14	345	.145E+04	-27.5	53.5i	-55	-107	0.7237E+04	120.31	27.20
15	612	.127F+04	-42.5	-28.5i	-85	57	0.5237E+04	102.34	-56.15
16	1613	.131E+04	-49.5	-6.0i	-99	12	0.4973E+04	99.72	-83.09
17	2802	.146E+04	-38.0	27.0i	-76	-54	0.4346E+04	93.23	54.61
18	3184	.140E+04	25.0	-30.0i	50	60	0.3050E+04	78.10	39.81
19	2679	.147E+04	-11.0	37.0i	-22	-74	0.2980E+04	77.20	16.56
20	1530	.152E+04	12.5	36.0i	25	-72	0.2905E+04	76.22	-19.15

(1) 1.5~1.6sのF. F. T

SAMPLE NO.	VALUE	FREQ. NO.	COMPLEX REAL	TERM IMAGE	COS TERM	SIN TERM	POWER	COMPOSIT SIN AMPL	COMPOSIT SIN PHASE
0	2988	.136E+04	-25.5	-472.5i	-51	945	0.4478E+06	946.38	-3.09
1	2992	.134E+04	-145.0	251.5i	-290	-503	0.1686E+06	580.61	29.97
2	2193	.135E+04	-151.5	205.5i	-303	-411	0.1304E+06	510.62	36.40
3	1060	.139E+04	-9.5	205.0i	-19	-410	0.8423E+05	410.44	2.65
4	456	.141E+04	197.0	-18.5i	394	37	0.7830E+05	395.73	84.64
5	702	.133E+04	76.5	153.0i	153	-306	0.5852E+05	342.12	-26.57
6	1699	.143E+04	60.5	-141.5i	121	203	0.4737E+05	307.78	23.15
7	2710	.137E+04	-104.5	109.0i	-209	-218	0.4560E+05	302.00	43.79
8	3162	.140E+04	148.0	20.5i	296	-41	0.4465E+05	298.83	-82.11
9	2730	.144E+04	-19.0	-113.0i	-38	226	0.2626E+05	229.17	-9.54
10	583	.142E+04	70.0	-88.5i	140	177	0.2546E+05	225.68	38.34
11	412	.146E+04	-98.0	-25.0i	-196	50	0.2046E+05	202.28	-75.69
12	1070	.145E+04	-29.5	-83.0i	-59	166	0.1552E+05	176.17	-19.57
13	2246	.131E+04	87.5	-10.0i	175	20	0.1551E+05	176.14	83.48
14	3162	.138E+04	54.5	-40.5i	109	81	0.9221E+04	135.80	53.38
15	3120	.129E+04	35.0	54.0i	70	-108	0.8282E+04	128.70	-32.95
16	2234	.125E+04	51.0	33.5i	102	-67	0.7447E+04	122.04	-56.70
17	926	.126E+04	-40.5	-43.0i	-81	86	0.6979E+04	118.14	-43.29
18	311	.127E+04	48.5	27.0i	97	-54	0.6163E+04	111.02	-60.90
19	687	.152E+04	-27.0	-25.0i	-54	50	0.2708E+04	73.59	-47.20
20	1654	.150E+04	-9.5	-35.0i	-19	70	0.2631E+04	72.53	-15.19

(2) 2.2~2.3sのF. F. T

SAMPLE NO.	VALUE	FREQ NO.	COMPLEX REAL	TERM IMAGE	COS TERM	SIN TERM	POWER	COMPOSIT SIN AMPL	COMPOSIT SIN PHASE
0	1211	.138E+04	-78.5,	-107.5i	-157	215	0.3544E+05	266.22	-36.14
1	1245	.137E+04	-99.5,	-85.5i	-199	171	0.3442E+05	262.38	-49.33
2	1601	.136E+04	130.0,	-11.0i	260	22	0.3404E+05	260.93	85.16
3	2088	.135E+04	-118.0,	-3.5i	-236	7	0.2787E+05	236.10	-88.30
4	2341	.134E+04	-95.0,	29.0i	-190	-58	0.1973E+05	198.66	73.02
5	2237	.139E+04	-11.0,	62.5i	-22	-125	0.8055E+04	126.92	9.98
6	1809	.133E+04	-27.0,	56.0i	-54	-112	0.7730E+04	124.34	25.74
7	1367	.140E+04	-20.5,	-30.0i	-41	60	0.2641E+04	72.67	-34.35
8	1191	.126E+04	-14.0,	-33.5i	-28	67	0.2637E+04	72.62	-22.68
9	1375	.148E+04	24.0,	9.0i	48	-18	0.1314E+04	51.76	-69.44
10	1830	.146E+04	17.5,	-18.0i	35	36	0.1261E+04	50.21	44.19
11	2239	.131E+04	23.5,	8.5i	47	-17	0.1249E+04	49.98	-70.11
12	2331	.142E+04	-16.5,	11.0i	-33	-22	0.7865E+03	39.66	56.31
13	1611	.128E+04	-17.5,	6.0i	-35	-12	0.6845E+03	37.00	71.08
14	1252	.143E+04	16.5,	3.0i	33	-6	0.5625E+03	33.54	-79.70
15	1290	.119E+04	-16.0,	4.0i	-32	-8	0.5440E+03	32.98	75.96
16	1603	.125E+04	8.5,	13.0i	17	-26	0.4825E+03	31.06	-33.18
17	2048	.152E+04	14.5,	-3.5i	29	7	0.4450E+03	29.83	76.43
18	2274	.122E+04	-11.0,	-8.5i	-22	17	0.3865E+03	27.80	-52.31
19	2176	.115E+04	-13.0,	3.5i	-26	-7	0.3625E+03	26.93	74.93
20	1775	.132E+04	11.5,	-1.0i	23	2	0.2665E+03	23.09	85.03

(1) 3.5~3.6sの F. F. T

SAMPLE NO.	VALUE	FREQ NO.	COMPLEX REAL	TERM IMAGE	COS TERM	SIN TERM	POWER	COMPOSIT SIN AMPL	COMPOSIT SIN PHASE
0	789	.135E+04	-81.0,	-168.5i	-162	337	0.6991E+05	373.92	-25.67
1	1364	.138E+04	-117.5,	24.5i	-235	-49	0.2881E+05	240.05	78.22
2	2114	.136E+04	94.0,	62.5i	188	-125	0.2548E+05	225.76	-56.38
3	2636	.137E+04	96.5,	-5.0i	193	10	0.1867E+05	193.26	87.03
4	2646	.141E+04	-86.5,	-37.5i	-173	75	0.1778E+05	188.56	-66.56
5	2215	.142E+04	-74.0,	-2.0i	-148	4	0.1096E+05	148.05	-88.45
6	1259	.143E+04	-66.0,	22.0i	-132	-44	0.9680E+04	139.14	71.57
7	871	.145E+04	-18.5,	66.5i	-37	-133	0.9529E+04	138.05	15.55
8	1011	.140E+04	-17.5,	-60.5i	-35	121	0.7933E+04	125.96	-16.13
9	1828	.139E+04	42.5,	-45.5i	85	91	0.7753E+04	124.52	43.05
10	2449	.144E+04	-41.5,	35.0i	-83	-70	0.5895E+04	108.58	49.86
11	2774	.134E+04	-35.0,	26.0i	-70	-52	0.3802E+04	87.20	53.39
12	2364	.132E+04	23.5,	33.5i	47	-67	0.3349E+04	81.84	-35.05
13	1531	.133E+04	-23.5,	22.0i	-47	-44	0.2073E+04	64.38	46.89
14	867	.147E+04	13.5,	23.0i	27	-46	0.1423E+04	53.34	-30.41
15	1510	.146E+04	-2.0,	23.0i	-4	-46	0.1066E+04	46.17	4.97
16	2282	.129E+04	16.0,	-15.5i	32	31	0.9925E+03	44.55	45.91
17	2708	.128E+04	-8.5,	17.5i	-17	-35	0.7570E+03	38.91	25.91
18	2575	.126E+04	19.0,	2.5i	38	-5	0.7345E+03	38.33	-82.50
19	2005	.125E+04	-18.0,	-6.5i	-36	13	0.7325E+03	38.28	-70.14
20	1171	.889E+03	1.0,	-13.5i	2	27	0.3665E+03	27.07	4.24

(2) 4.3~4.4sの F. F. T

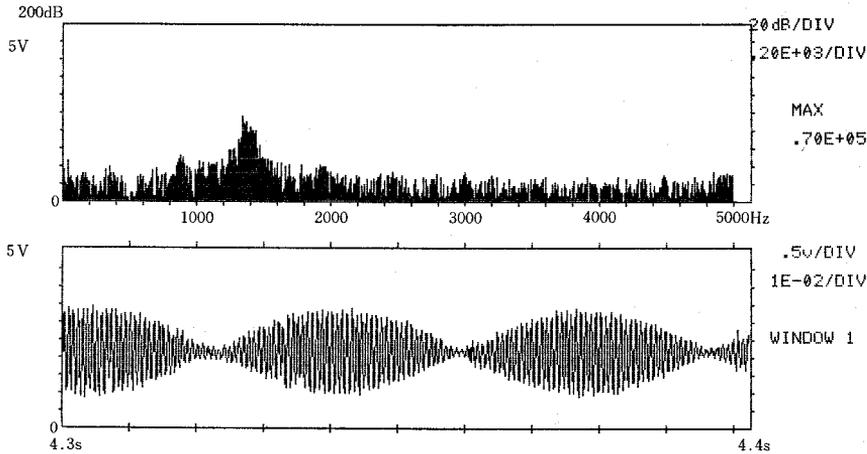
第 3 表

高速フーリエ変換の精度は1024点であるから、 $\pm 0.5\sim 1.0\%$ 位の精度はあると考えられる。測定した値は絶対的なものではないが、振動のグラフ表示と比較して考えると、或る傾向はつかめると思う。

振動のデータ表示は3ケタ目まで正確であると考えられる。

以上まとめると、1350~1390Hzの固有振動数は0~0.1sでは1380Hzと1つであるので余りうなりは発生していないが、それ以外は第1のピークがあり、この振動数は多少時間と共にずれるし、又第2のピークは第1のピークより低い側にも、また高い側に表れる場合もあり、また1つだけではない場合が多いことがわかった。

打撃による振動は、単なる単一の振動ではなく、波動となって鐘の円周を駆けめぐっていると考えられるが、特にうなりを発生する原因等を究明するには鐘の振動とそのモードを直接計測すれば色々のことが分ると思われる。



第 7 図

振動モードを知るためには、最近レーザーホログラフィー法が試みられているが、当研究室には、ホログラフィーはないのでこれは試みられないが、振動計等を用いて振動モード等を今後計測し、うなりの発する機構等を究明し、いい余韻を発する鐘の製作の基礎資料としたいと考える。

4 結 言

鐘の余韻を分析する目的で、その音を録音し、それを高速フーリエ変換を用いてパソコンにて解析した結果、つぎのことが分った。

(1) いい鐘の余韻はうなり現象である。

これは接近した固有振動数が2つ、又は2つ以上ある場合に発生し、供試の鐘では第一のピークの固有振動数は1350~1390Hzであり、時間と共に多少変化する。

(2) うなりの振動数は27.0~27.4Hzと多少時間とともに変化する。

うなりの波形も時間と共に変化する、減衰する訳であるが、一時的にもうなりの最大振幅が少しではあるが増大する時がある。

(3) 第2のピークは第1のピークの低い側に出る時もあり、又高い側に出る時もあり、時間の経過と共に変化する。

うなりの振動数の平均は27.2Hzで、2つの振動数の差とすると、その差は1.985%となり、1音階差 $12\sqrt[12]{2} = 1.05946$ は5.946%であり、これの約1/3となっている。

(4) 打撃直後の0~0.2sまでは乱れた波形であり、0~0.5sまでは高次の固期振動数3780, 4890, 4550Hzが出ているが、これは3780Hzを除いて0.3~0.4sまでは減衰する。

3780Hzも0.8sまでに減衰する。

以上のことがわかったが、うなりの現象も一見単純に見えるが、かなり複雑であり、その機構は直接、鐘の振動、振動モードを計測しなければ分らないので、今後これらのことを研究して行きたいと考える。

本研究が出来たのは、いい余韻のある鐘を貸していただいた、当学部特設美術科上田教授の御好意のお蔭であり、同氏に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 寺嶋：岩手大学研究年報，45—1，79~108，(1985)