

II-143 砂防ダムの鳴音の研究

三井造船 正員 西川 秀利

1 ま え が き

砂防ダムに発生する鳴音は、水脈とダムとの間に空間を有する場合は、常に発生しうるもので、通常はそれが小さい音であるが、問題はないが、その空間に存在する気柱と水脈とが特定の条件にある場合は、水脈振動を伴う大きな鳴音を発生し、しばしば公害の対称となりうるものである。後者の例としては、昭和33年設置された富山県福光町小矢部川の土生砂防ダムの実例がある。これは溢流中31m、高さ1.8m、溢流高1.2mの砂防ダムであるが、雪融けの2～3月に連日鳴音を伴う水脈振動を起し、近くの家屋の戸障子が深夜又は風速の小さい時に鳴動し、地え民に非常な不安を与えた。その時の調査結果の1例を引用すると、次のように報告されている。

- i) 鳴音の周波数は3～5%である。家鳴時には水脈振動と先の戸障子の振動波長はよく似ており、水脈には落水時の異状の横縞が現われ、水脈の落水時間0.5秒に対して、表面に3～4條の縞が現れた。
- ii) 水脈は気圧が低く、風速の小さい時に起り易い。ダムと直角の風向き時は風速15%でも起る。
- iii) 溢流水深28～70cmの範囲で起るが、溢流水深40～55cm、風速3%以下で強振動が起る。

検討の結果、砂防ダム附近の家の鳴動は水脈振動による共鳴であると認められ、スロイヤーと5ヶ所設置した結果、振動は完全に止ったが、エプロンコンクリートは大きく破壊していた。

又、国外の例では、溢流水深2½ft以下で鳴音が発生し、1マイル半以内の家屋の窓が振動し、その振動数は6～20%であった例がある。他に実験例として、溢流水深2inch以下で、落差が約3ft6inchでは強度の水脈振動を起すと報告されている。又、落差が3ft以下ならば水脈の足えに迷風するとやはり水脈振動を起すという報告がある。このように水脈振動を伴う鳴音の実例及び水脈振動についての研究は既にあるが、鳴音を音響的に捉えて解析し、気柱振動の立場よりこれを説明したものは、まだないようである。そこで本研究では、まず実際の砂防ダムの小さな鳴音を実測解析し、次にモデルによりダムの気柱の固有振動性状を測定した結果、砂防ダムの鳴音が水脈の内側に形成される気柱の振動であることと明かにした。又、大きな鳴音と関連のある水脈振動についても簡単な実験を行なった。

2 鳴音の実測例

小さい鳴音を実際に発生している実例として、溢流中2m、高さ0.3mの小型砂防ダム(写真1)について、流量、溢流中、端条件を変えて鳴音の計測を行なった。鳴音の計測方法は、水脈の外側と内側とにより、音響マイクロフォンにより発生音を記録し、これと周波数分析することによって、鳴音の主要な周波数成分及びその対称するモードを求めた。



写真 1

2-1 実測結果

- i) 水脈の外側における鳴音の分析例と図1に示す。この場合、鳴音の主要な周波数成分は、1, 2, 3, 4, 次成分であることが判る。

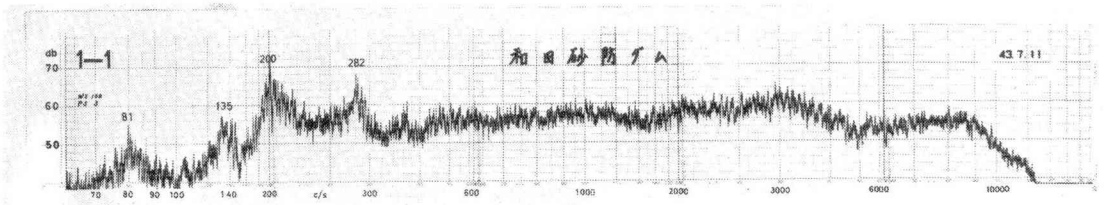


図 1

ii) 水脈内側の鳴音成分と、
外側の鳴音成分とは完全に一致している。

iii) 水脈内側の気柱振動に対して、水脈両端の条件及び、溢流中の及ぼす影響を測定した結果を表1に示し、その対応するモードを図2に示す。

iv) 表1の各端条件における

振動成分のうち、1次のみをプロットしたものを図3に示す。両端開の気柱振動数(1次)
 $f = \frac{a}{2L} \%$ (a = 音の伝播速度, L = 溢流巾)の計算値と略一致している。ここで前述の土生砂防ダムについて気柱振動数を求めてみると $f = \frac{331}{2 \times 31} = 5.3 \%$ となるが、これは調査結果の鳴音の周波数 $f = 3 \sim 5 \%$ とは一致している。以上により砂防ダムの鳴音は水脈の内側に形成される気柱の振動に由来していることが判る。

3 モデルテスト

上の実測例に対して、モデルテストでは水脈の内側に形成される気柱の上下中の影響、すなわち、ダムの落差が気柱振動に及ぼす影響、同じく落差が水脈振動に及ぼす影響を測定した。このモデルは溢流巾 1.2 m, 落差 0.18 ~ 0.64 m, 溢流水深 12 mm, 頂部水頭 20 mm (写真 2) である。測定方法は実測例と同様、鳴音と周波数分析すると共に、水脈の内側に形成される気柱を単一周波数で励振して共鳴させ、その気柱の固有振動数と振動モードを測定した。又、水脈振動は、水脈の足元にダム正面より送風して水脈振動を起させ、その振動数を測定した。

3-1 実験結果

i) 水脈の外側における鳴音の周波数分析結果を図4に示す。低落差では6次までの気柱振動成分が認められるが、高落差では3次成分までしか認められぬ。

ii) 鳴音の周波数分析結果から得られた主要な音響成分と、共鳴によって求めた水脈内側の気柱の固有

砂防ダム鳴音の成分

端条件	溢流巾 L	落差 H	f ₁ 1次	f ₂ 2次	f ₃ 3次
和田砂防ダム					
両端開	2 m	0.22 m	85	135	206
一端開	1.9	"	92	150	225
両端開	1.8	"	108	180	260
一端開	1.5	"	98	160	250
一端開	"	"	110	185	285
一端開	2	"	81	135	200
"	1.76	"	90	125	180
"	1.1	"	128	220	340
"	0.8	"	150	290	
モデル					
一端開	1.2	0.18	160	260	370
両端開	"	"	180	285	400
"	"	0.32	170	275	400

表 1

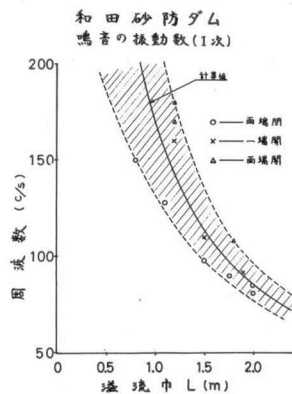


図 3

和田砂防ダム振動モード

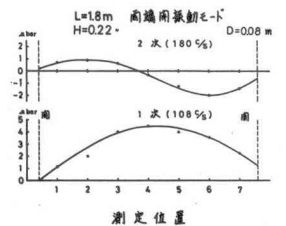
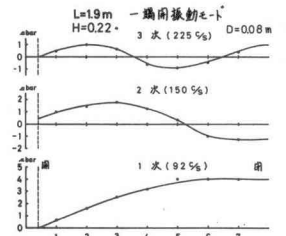
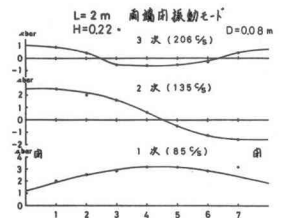


図 2

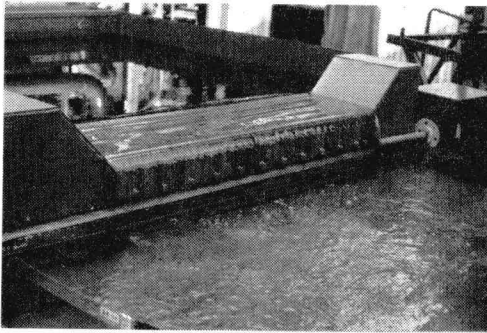


写真 2

振動成分とは完全に一致している。

iii) 共鳴によって求めた気柱の固有振動数を図5に示す。気柱の水平方向の固有振動数はダムの落差にかかわらずほぼ一定値を示した。

すなわちこの振動数は溢流中のみによって決る性質のものである。

iv) 気柱振動は一般には水平方向(溢流中)と上下方向(落差)の振動成分より成るが溢流中に対して落差が小さくなると上下方向の振動成分が支配的となる。各落差における振動モード例と図6, 7, 8に示す。

v) 水平方向及び上下方向の振動成分が一致するか、ないしは接近している場合は両者が混在したモードを示す場合がある。

図8を例にとると、

- 1'次モード = 1'次モード(上下1節) + 3次モード(水平)
 3'次 " = 3'次 " (") + 4次 " (")
 4'次 " = 4'次 " (") + 5次 " (")
 3''次 " = 3''次 " (上下2節) + 6次 " (")

落差H	下流水深D	水脈振動数
475 mm	160 mm	10.8 %
525	110	10.3
580	60	9.9
630	20	12.6
640	0	12.2

表 2

vi) 高落差において、1m離れたダム正面より風速7%の風と水脈の足えに送ると、水脈振動と発生するが(表2, 写真3), 風速4.5%以下では発生しない。低落差では、風速7%でも水脈振動は発生しないが水量を減じ、水脈と等くするとやはり水脈振動と発生する。このことから、水脈は、流速、溢流水深、落差、風速によって決るいくつかの固有の振動数を持つことが推定される。

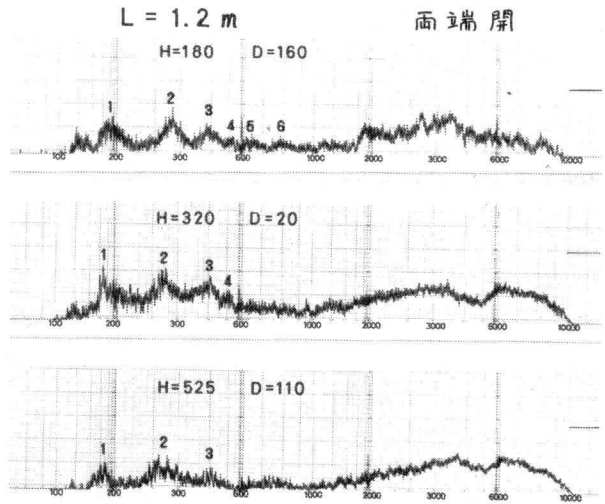


図 4

砂防ダム気柱振動数

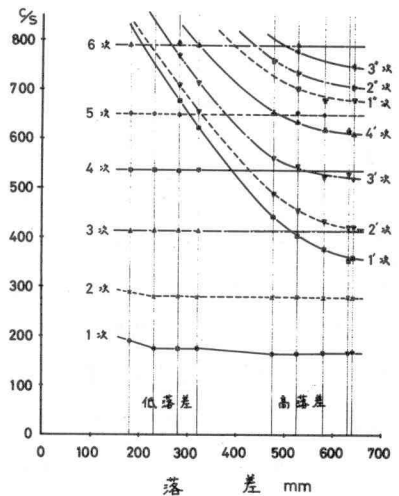


図 5

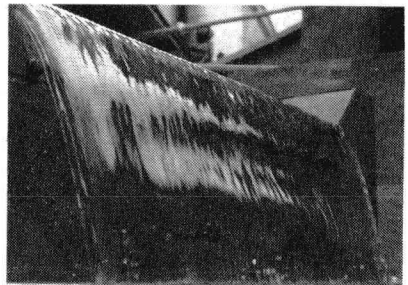


写真 3

砂防ダム気柱振動モード
(両端固)
落差 $H=180$ 水深 $D=160$

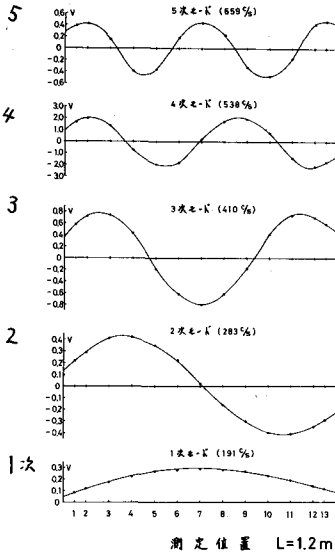


図 6

砂防ダム気柱振動モード
(両端固)
落差 $H=320$ 水深 $D=20$

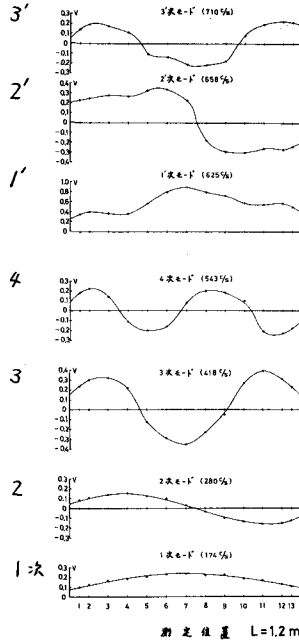


図 7

砂防ダム気柱振動モード
(両端固)
落差 $H=525$ 水深 $D=110$

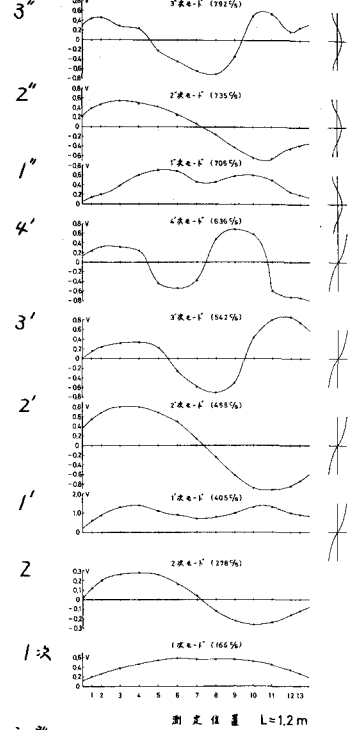


図 8

4 結 論

- 砂防ダムの小さな鳴音は、水脈内側の気柱振動であり、落下水脈から発生する空気中の乱れ（水音もその1種）に含まれる周波数成分に対して、気柱が選択的に共振したものであり、水脈に乱れが少なく、又水沫も少ない場合は鳴音も小さい。
- 砂防ダムの大きな鳴音も気柱振動に他ならないが、これは水脈振動の振動数が気柱の重として1次の固有振動数に一致した場合であり、気柱は共振して大きな鳴音を発生すると推定される。それは水脈も気柱と相互に共振する結果、気柱内部には強度の乱れが発生し、その乱れの重要成分である水脈振動の整数倍成分に、気柱の固有振動成分が選択的に共振するなり鳴音が大きくなるものと考えられる。したがって、水脈振動の実例における家屋の戸障子の振動は気柱の1次又は2次の低い振動によるものであり、人の耳に低い音として聞える部分は気柱の高次の成分である。
- 以上より鳴音及び水脈振動と防止するには、重として気柱の1次の固有振動数が既存の水脈振動の振動数の範囲外にあるようにスポイラー間隔を選び、気柱を分割すればよい。

参考文献

- 山本村井, 水門鉄管 No 31 (昭38-7) 砂防ダムの水脈振動
- H. Iran. Schwartz: "Edgetones and Nappe Oscillation" *The Journal of The Acoustical Society of America* Volume 39, No 3 1966.
- " : "Some Observation on Models of Oscillating Nappes" *Die Sireale Ingenieur in Suid-Afrika* Julie 1962
- " : "A Contribution to the Study of Nappe Oscillation" *The Civil Engineer in South Afrika* September 1963
- " : "Projected Nappes Subjected to Harmonic Pressures" *Proc. Inst. Civil Engr. (London)* 28. 1964.