

東洋大学工学部 正員 本間 仁

○ 岡 上 正員 荻原国宏

[1] はじめに

一昨年度、感潮河川の河口ゼキのゲート操作上、ゲート下流の水位測定用の水位計で波浪の影響を受ける場合に、波浪の影響をできるだけカットして、平均水位のみを測定するには、水位計の水槽、連絡パイプの断面積、その長さをいかにすれば良いかについて実験する機会があった。この問題はU字管振動系への波浪による強制振動の問題である。そこで昨年度さらにU字管系の最も代表的な模型を加えて実験してみた。これは流体減衰力の問題、非線型減衰力の問題として興味ある問題である。ここにまとめたものは、これを線型の減衰の問題として整理した結果どのような問題があるかをまとめたものである。現在これに基づきスペクトル解析をして応答系の解析を進めている。

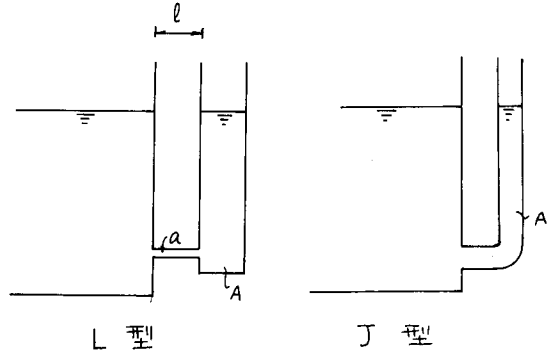
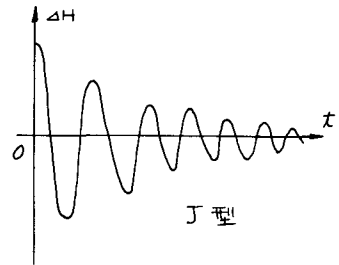


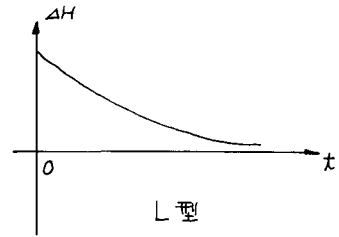
図 1

[2] 模型、実験について

模型としては図-1に示すごとくL型(水位計水槽断面積Aと連絡パイプの断面積aが異なる場合)と丁型(A=aの場合)の2種で連絡パイプの長さを変え、又断面積A, aを変えて表-1に示した36種の模型について実験した。波の条件は周期4種、波高4種の組合せ16種の波について考えた。水位変動の測定は手製の抵抗線型水位計をキャリブレーションして測定した。



まず系の固有振動数、減衰係数の測定のため自由振動をさせてそれらの値を求めた。その場合の記録は図-2のようになっている。L型は過減衰であり丁型は減衰振動である事が判る。



[3] 振動方程式

この系の波(Sin波)による強制振動の方程式は

$$\frac{d^2\eta}{dt^2} + 2\sigma \frac{d\eta}{dt} + \omega_n^2 \eta = \frac{ga}{Al} \cdot \frac{H}{2} \sin \omega t \quad (1)$$

H:波高, $2\sigma = f \frac{L}{R} \left| \frac{d\eta}{dt} \right| \cdot \frac{A}{2a}$, $\omega_n^2 = \frac{ga}{Al}$, $R = \frac{d}{4}$, d連絡パイプの直径, fは摩擦損失係数で与えられる。自由振動は(1)式で右辺の0とおいた式で表はせる。

図 2

その式で $\delta^2 - \omega_n^2 > 0$ のとき $\frac{\Delta H}{H}$ は過減衰で、これが L 型に相当する。又 $\delta^2 - \omega_n^2 < 0$ の場合は減衰振動であって J 型に相当する。この減衰がパイプの抵抗則にしたがうとすれば、 δ は $\alpha \sqrt{\frac{d}{\omega}}$ に比例することになり、(1) 式は非線型の振動方程式になる。しかし、ここでは δ はコンスタントであるとして線型振動としてデータ解析して、その相違を検討してみることにした。 δ をコンスタントとすれば (1) 式の解は線型 1 自由度の強制振動の解であるので、次のようになる。

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4\delta^2 \omega^2}{\omega_n^2} + \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2}} \quad (2)$$

[4] 実験結果

自由振動の実験結果より固有振動数、減衰定数を求めたのが表-2 である。た

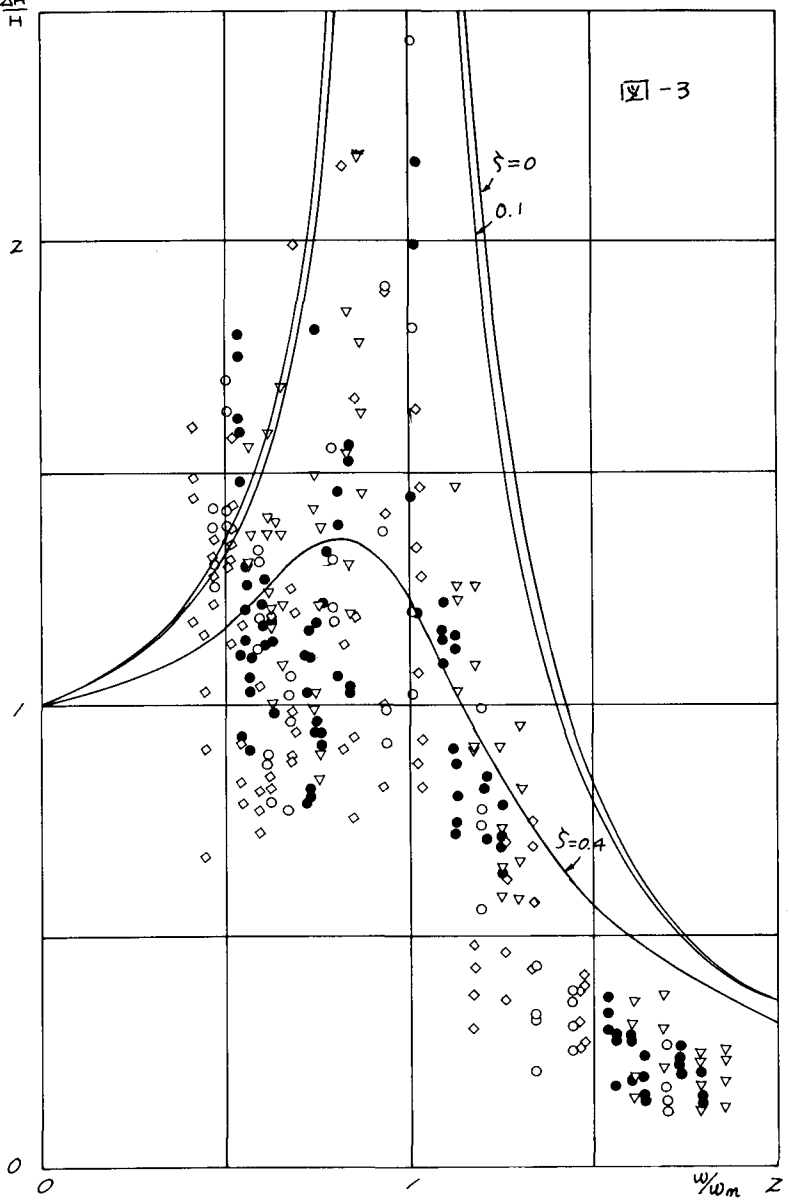


表 - 1

Type	LS			LL			JS		JL		
	l cm	A cm ²	a cm ²	l cm	A cm ²	a cm ²	l cm	A cm ²	l cm	A cm ²	
1	0.20	7.07	0.0491	0.25	28.3	0.196	21.0	4.91	21.8	13.2	
2	2.50	"	"	5.00	"	"	23.4	"	24.2	"	
3	5.00	"	"	10.00	"	"	25.6	"	26.4	"	
4	0.20	"	0.196	0.25	"	0.785	27.9	"	28.7	"	
5	2.50	"	"	5.00	"	"	30.2	"	31.0	"	
6	5.00	"	"	10.00	"	"	32.5	"	33.3	"	
7	0.20	"	0.442	0.25	"	1.77	34.8	"	35.6	"	
8	2.50	"	"	5.00	"	"	37.1	"	37.9	"	
9	5.00	"	"	10.00	"	"	39.4	"	40.2	"	

だし、L型の w_m は実験よりおまらないので、 $w_m = \sqrt{30 \rho / A}$ によって計算した値である。この値は時間の経過とともに変化している。表-3にL型、J型の各代表的な値を示してあるが、これから判るごとく、必ずしもこれはコンスタントでない事が判る。

又強制振動について、その応答についてまとめたのが図-3、図-4である。図-3はJ型のものであり、図-4はL型のものである。同図中に実線で示した曲線群は線型振動としての応答曲線であり、図-3では $\delta = \delta/w_m$ 、0、0.1、0.4の各曲線を示してある。又同図中には実験値がプロットしてあるが、これは、下の表-2からも判るごとく、JS、JL いずれの形においても $\delta = 0.025 \sim 0.04$ までの値であるので、線形応答であれば、図-3中の $\delta = 0$ 、 $\delta = 0.1$ の曲線の間に実験値がプロットされなければいけないことになる。実際には、これらがかなりウケはなれて、 $\delta = 0.4$ の曲線程度の応答になっていて、線型の応答でない事がわかる。同様に図-4のグラフでも同様な

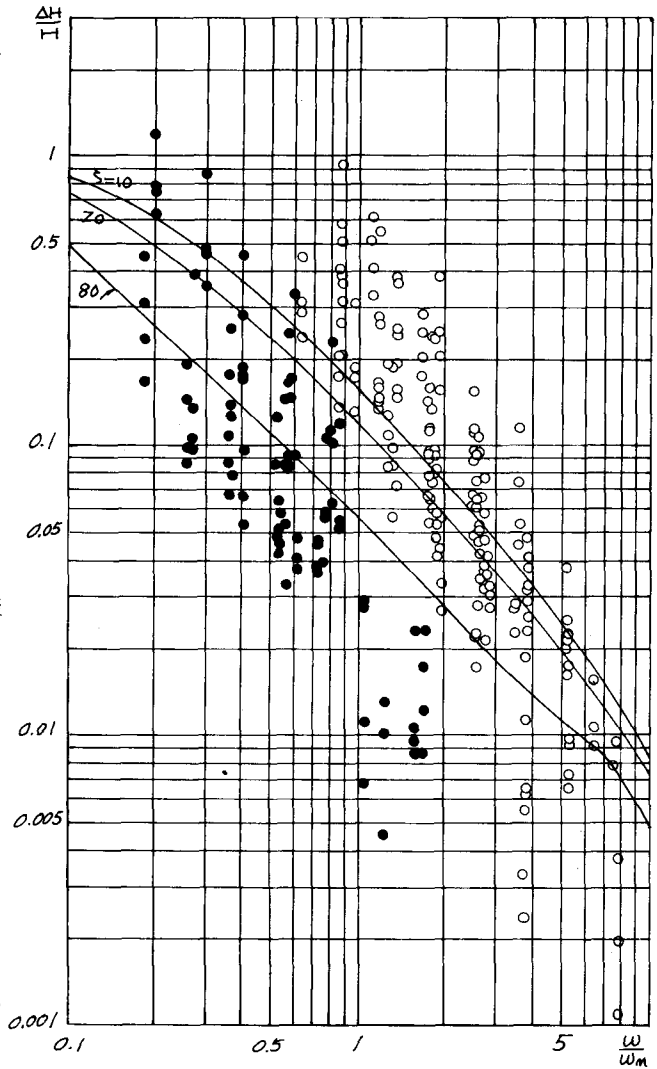


表-2

図-4

	L S		L L		J S		J L	
	w_m	δ/w_m	w_m	δ/w_m	w_m	δ/w_m	w_m	δ/w_m
1	5.83	34.7	5.22	35.8	7.10	0.0206	6.72	0.0163
2	1.65	9.60	1.17	5.50	6.74	0.0206	6.22	0.0153
3	1.17	6.36	0.823	5.51	7.67	0.0185	5.81	0.0181
4	11.6	14.3	10.3	12.3	6.16	0.0192	5.76	0.0171
5	3.27	3.20	2.33	2.10	6.10	0.0192	5.56	0.0140
6	2.32	2.41	1.65	1.59	5.61	0.0172	5.32	0.0140
7	17.5	12.8	15.7	10.0	5.51	0.0177	5.28	0.0158
8	4.95	2.78	3.51	1.55	5.19	0.0172	5.02	0.0136
9	3.51	1.64	2.48	0.883	5.02	0.0178	4.83	0.0125

傾向があるが、ここで黒実と白実がかなり明瞭にわかれて
 いる事が判る。黒実とは表-2の中でLS, 1.4, 7, LL, 1.4, 7に相
 当して、表-1でも判るごとく連絡パイプの長さ 0.2cm
 と極端に短い場合である。白実とは他の場合であって、表-2
 から判るが、 $S = \sigma/\omega_m$ の値が黒実と相当する場合には、
 20~70 程度で、白実の3~10の値に比してかなり大きい。
 図-4中に書かれた曲線の $S=80$ と黒実、 $S=10$ と白実の傾向
 は、一応その付近を通過はしているが、良い相関を示してい
 るとはいえない。

又黒実の ω_m の値をおおよそ4倍してやると、白実の一群
 の中に入ってしまう傾向である。この実を考慮すると ω_m の値
 がLL, LSの1.4, 7では過大であるのかもしれない。したが
 ってこのずれの主体はむしろ $\omega_m = \sqrt{g\alpha/A\ell}$ の中にあり、特に ℓ
 にあるのではないかと考えられる。すなわち図-5で書いて

	γ	δ	$d\gamma/dt$
LS5	0.9	16.32	0.3
	0.75	11.28	0.35
	0.55	8.96	0.35
	0.40	9.27	0.25
	0.30	8.47	0.19
	0.21	9.85	0.13
	γ	δ	$d\gamma/dt$
LL2	0.76	7.39	0.07
	0.69	7.28	0.065
	0.63	6.04	0.07
	0.55	5.93	0.065
	0.50	6.81	0.05
	0.45	5.01	0.06

あるように、 ℓ と d が同程度か d が大きくなると、水の出入
 りの慣性によって ℓ の長さはまだ管束となって流れている事が想像
 される。したがって、このような場合の ℓ は $\ell + \ell'$ として ω_m を計算
 しなければいけないのではないかと考える。前記の ω_m の値を4倍する
 と合うと言う事は $\ell' = 15\ell$ と言う事になり少し過大となる。

いづれにしても $\gamma = \text{const}$ として線型解析したのではまずい事が、J型
 L型のいづれについて云える。そこで γ の値はどの程度変化するの
 かを自由減衰振動、過減衰の記録よりおめてみたのが表-3、表-4
 である。表-3はL型の過減衰のものである。 γ は水位計内の水面の
 位置で、 $d\gamma/dt$ はその下降速度、 δ は減衰係数の値であり、水面下降速
 度が小さくなるにしたがって、 δ の値も小さくなる傾向を示している
 。表-4はJ型のもので、 Z, γ は水面の上昇実、下降実の水位を示し
 ていて、 δ はその実での減衰係数である。この場合も振中の減少にし
 たがって δ の値が減少していている。したがって(1)式の下で $2\alpha = f \times$
 $\frac{1}{\ell} \left| \frac{d\gamma}{dt} \right| \frac{A}{2\alpha}$ とい相関にあるとも考えられる。この辺については今な
 おデーター整理中で何とも云えない。現在この現象も非線型振動問題
 として解く事と、スペクトル解析によって、もう少し応答系の解析も
 ようと進めている所である。何かあたり前のことを並べたと云う形に
 なりましたが、現在までの中間報告としてここにまとめました。

なおここに使用したデーターはS47年卒業生、井ヶ田嗣夫(三井協
 同コンサルタント)の卒業のものを使用させていたをさしました。

リ河川水位計の応答消波に関する実験、林、渡辺、荻原、S46年、満、II-III。

表-3 ↑

	Z, γ	δ
J55	1.3	0.395
	-0.88	0.279
	0.72	0.183
	-0.50	0.144
	0.42	0.096
	-0.30	0.082
	γ	δ
JL9	0.41	0.0997
	-0.33	0.0613
	0.25	0.0422
	-0.22	0.0307
	0.17	0.0230
	-0.16	0.0153

表-4 ↓

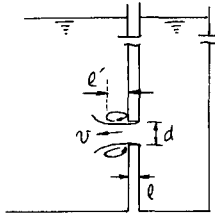


図-5