

"浮遊式発煙筒の波浪中動揺"

No. 1

Date 56.4.11

別紙5枚

1. 要旨

試験海面における波浪階級3 は波高 $0.5 \sim 1.25$ を言い、その時の波長(λ) は $5 \sim 12.5^m$ と考えられ (波高は波長の $\frac{1}{10}$ を超えないので) $K_d = 0.667$ 1.2667 その周期 ($T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}}$) は $1.8 \sim 2.8 \text{ sec}$ と推定される。

今回の試作型の上下動 (heaving Oscillation) の固有周期は 2.08 sec と推定されるので、波周期と同調又はそれに近い状態を起して波面との相対変位が大きくなって冠水したと推定される。

一方、本製現用型の固有周期は 1.28 sec と推定され、波周期に比べてかなり小さくなっていくと考えられ、波と共に揺れて相対変位は小さくなり好成績を示すものと推定される。

この推定が正しいものとするならば、設計方針として、上下動固有周期を現用型程度まで小さくしておけば、所望の性能を示すものと考えられる。

上下動の固有周期 T_0 は

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\nabla}{g \cdot A_w}} \quad (1)$$

∇ : 排水容積

A_w : 水線面積

で与えられるので、その為には、水線面積を大きくすれば、
 よい。が、搭載上の制限から外径が制限されるので、
 結局、没水部を同径の円筒とするしかない。

その時は $V = A_w d$ (d :吃水) なので、式は

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{d}{g}}, \quad (1')$$

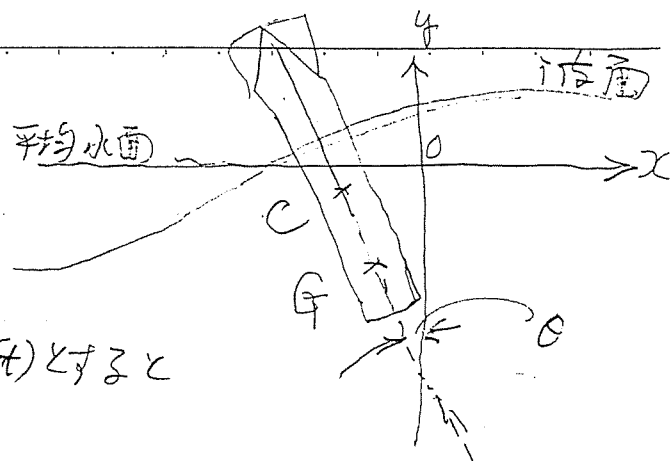
別表中央の計画型ではこのようにして $T_0 = 1.46 \text{ sec}$
 となり、不實現型には未だるばるなりが、試作型
 に較べればかなり改善され、又上述のように
 は浪階級3の範囲で予想される波周期から
 も一応外れているのでかなりの性能を期待出来るが
 さらに安全の爲に乾舷 (free board 浮上高) を
 出来るだけ大きくとる事としたい。

この時の動揺性能と波面との相対運動は
 次節において計算する。

なお波浪階級5においては又格段に波高が
 高くなり、随つて船初めの如く波周期も大きくなると
 考えられるので、波面との相対運動はさらに小さくなる
 から、冠水のおそきは、むしろ少なくなると考えられるが、
 風、飛沫等の影響もさうから、予断には十分小さい。

2. 動揺運動

重心点の静止位置
からの変位を x 方向に $x(t)$
 y 方向に $y(t)$, ねじり角 $\theta(t)$ とすると
運動方程式は



$$\left. \begin{aligned} (M+M_x)\ddot{x}_G + A_x \dot{x}_G &= F_x, \\ (M+M_y)\ddot{y}_G + A_y \dot{y}_G + \rho g A_w y &= F_y, \\ (I_G + I'_G)\ddot{\theta} + A_\theta \dot{\theta} + W \overline{GM} \theta &= M, \end{aligned} \right\} (2)$$

$M = W/g$: 質量, I_G : 重心周りの慣性モーメント

$M_x = k_x M$, x 方向の附加質量, $k_x = \frac{1}{2}$

$M_y = k_y M$, y 方向の附加質量, $k_y \neq 0$

I'_G : 重心まわりの附加慣性モーメント

A_x, A_y, A_θ : 減衰項

$\overline{GM}$: メタセンター高さ

F_x, F_y, M : 波の強制力とモーメント

今の場合 波長に比べて物体の寸法が大変小さい

ので 波の強制力は次のように近似される。

* 田才福造, 日本造船学会 第1回海洋工学シンポジウム, 昭和49年

* 別所征利, 防大理工学研究报告 第3巻第2号, 昭和40年

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \rho g a i H_1(k) e^{i\omega t} \\ F_y &= \rho g a H_2(k) e^{i\omega t} \\ M &= \rho g a H_3(k) e^{i\omega t} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \left(\begin{aligned} \omega &= 2\pi f \\ k &= \frac{\omega^2}{g} = \frac{2\pi}{\lambda} \end{aligned} \right) \\ & (a: \text{波の片振幅}) \end{aligned} \quad \dots (3)$$

$$H_1(k) = K(1+R_2) \nabla (1 - e^{-kd}) \quad \dots (4)$$

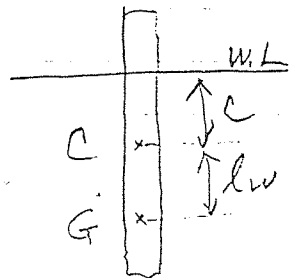
$$H_2(k) = A_w e^{-kd} \quad \dots (5)$$

$$H_3(k) = l_w H_1(k) \quad \dots (6)$$

2. l_w は左図の G と C との距離であり、

図の C なる距離は次式で与えられる。

$$C = \frac{\int_0^d y e^{-ky} dy}{\int_0^d e^{-ky} dy} = \frac{1}{k} [1 - (1+kd)e^{-kd}] / (1 - e^{-kd}) \quad \dots (7)$$



$$\left. \begin{aligned} C &\xrightarrow[kd \rightarrow 0]{} \frac{d}{2} \\ &\xrightarrow[kd \rightarrow \infty]{} \frac{1}{k} \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

今は波長が大きいので $C \approx \frac{d}{2}$ つまり波長の半分あたりより僅かに上の位置に波の強制力の中心があり、C 点に関して運動方程式を立てると縦ゆれ強制モーメントは 0 となり、縦ゆれはなくなる。同相点ではそうはならないけれどそれ以外では縦ゆれ

は無視に値いと思われろので以下考えな。い。

なお 縦ゆれの固有周期は別表に示すが原案の
重心高を床面から 0.35m 上方ではメタセーター高を
肩となろので 改ちめて 0.30m として計算した値は
約 4.3 sec 程度では長^約29 m のはと同張る。

またこの固有周期での自由揺れは減衰が無^いあるは
太^い太^い太^いので かなり太^いかも知れな^いからこれは
予測 不可能 なの^で 実験によつて性能を確かめろ
以外に方法はない。

さて 縦ゆれを無視し、さらにすべて正弦

運動をするものとして、

$x(t) = \text{Re}\{X e^{i\omega t}\}$, $y(t) = \text{Re}\{Y e^{i\omega t}\}$
のように複素表示する事に。 (2) 式1, 2式を次の
ように書き直す。

$$\left. \begin{aligned} [-K(1+k)\nabla + i\frac{\rho\omega}{\rho g}A_x] X &= ia H_1, \\ [-K\nabla + i\frac{\rho\omega}{\rho g}A_y + A_w] Y &= a H_2, \end{aligned} \right\} (9)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} A_x &= \frac{\rho\omega}{\gamma} k H_1^2 \\ A_y &= \frac{\rho\omega}{2} K H_2^2 \end{aligned} \right\} \dots (10)$$

なり関係があるから次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{X}{a} &= \frac{iH_1}{\frac{i}{4}K^2H_1^2 - K(1+k_x)\nabla} \\ \frac{Y}{a} &= \frac{H_2}{\frac{i}{2}K^2H_2^2 - K\nabla + A_w} \end{aligned} \right\} \text{----- (11)}$$

(4), (5)を代入して整理すると。

$$\left. \begin{aligned} \frac{X}{a} &= \frac{i(1-e^{-Kd})}{\frac{i}{4}K^3(1+k_x)\nabla(1-e^{-Kd})^2 - 1} \\ \frac{Y}{a} &= \frac{e^{-Kd}}{\frac{i}{2}K^2A_w(1-e^{-Kd})^2 + 1 - Kd} \end{aligned} \right\} \text{----- (12)}$$

波面の高さは a であるから 物体が実際に水に沈む量 S は

$$S = a - Y \quad \text{----- (13)}$$

別表二に計算値を示すが前表のように
はるばる表の10以上大きくなるので、実際の
相対沈下量 S の最大値として $|S| \times \frac{\pi}{20}$ を考慮する
よ、ので 別表の欄に示す (また $\frac{\pi}{10}$ となっているので半分に)

現象では 乾舷 260 mm 故、この表から 波長約
4 m (周期 1.6 sec) より大きい波に対しては安全と

考えられが、それより小さいはずで同調し、最大15cm
も下する計算になる(勿論この時は理論の仮定が成立
しないけれど)ので大変危険である。

現用不製のは垂直に対して可成傾斜に浮いて
ると言う説明があつたが、これからはメタセータが
負であると推定され、また傾けば水線面積も
増し、かつ上下動の減衰が増えて動揺も少なくな
る。

今度は重心を下げて静的安定性を確保する
と言う前提で考えて来ると、これらの点を考慮
するとむしろ少しく不安定とし(つまりメタセータを
重心点の僅か下にとり)かなり大角度傾斜を
保つようにする方がよいと考えられる。

原案での傾斜角は附録に見るよう88°という
大きいものになるので僅かに重心を下げる(重心調整
の精度が困難かも知れない)数十度程度と

する方がよい(乾舷が無くなっても困る)と思われる。

別表 1

要目表

項目	(現用木製)	計画型	(製作型)
全長 L	.516 m	.7908 m	.6908
外径 D	角 .129 m	.1200 m	.1200
水線面積 Aw	.01654 m ²	.01131 m ²	.005542 (0.084 φ)
吃水 d	.4087 m	.5305 m	.520
重量 W = PM	6.8 kg	6.000 kg	5.925
乾舷 f = L - d	.1093 m	.2603 m	.170
重心点 (底面上)	.360 L	.35L → .30L	.314 L
上下動固有周期 T ₀	1.28 sec.	1.46 sec	2.074 sec.
20秒の波長 λ ₀	2.56 m	3.33 m	6.72 m
たてゆれ固有周期 T _θ *		4.34 sec.	

波浪階級	波高 (波 trough 中の倍)
3	0.5 ~ 1.25 m
5	2.5 ~ 4.0 m
	25 ~ 40

.5305

* $T_{\theta} = 2\pi K / \sqrt{g \overline{GM}}$, $K = \sqrt{(I + I') / M} \approx 0.5L$

0 復原性能

$$\overline{GM} = \frac{D^2}{16d} + \frac{d}{2} - .35L = -.0098$$

.2670 = .338L

重心が " 高すぎ " て 静的安定性がない。

よって 重心点を 以下 0.3L とする。

$$\overline{GM} = \frac{D^2}{16d} + \frac{d}{2} - 0.3L = .0298$$

別表 2

K_d	c/d	$ X/a $	$ Y/a $	$ S/a $	λ in m	T in sec.	$ S/a \times \frac{\lambda}{10}$ in m	
0	0.5000	0	1	0	-	-	-	
0.1	0.4917	0.9516	1.0054	0.0054	33.3322	4.6205	0.0179	.00895
0.2	0.4833	0.1813	1.0234	0.0234	16.6661	3.2671	0.0390	.0195
0.3	0.4750	0.2592	1.0583	0.0583	11.1108	2.6676	0.0478	.0239
0.4	0.4668	0.3297	1.1172	0.1178	8.3331	2.3102	0.0977	.0489
0.5	0.4585	0.3935	1.2131	0.2131	6.6664	2.0663	0.1420	.0710
0.6	0.4503	0.4512	1.3720	0.3720	5.5553	1.8863	0.2066	.1033
0.7	0.4421	0.5034	1.6552	0.6552	4.7618	1.7464	0.3120	.156
0.8	0.4340	0.5507	2.2462	1.2462	4.1665	1.6336	0.5192	.2596
0.9	0.4260	0.5934	4.0590	3.0590	3.7036	1.5402	1.1329	.5066
1.0	0.4180	0.6321	45.8161	44.8161	3.3332	1.4611	14.9382	7.4691
1.1	0.4101	0.6671	3.3094	2.3094	3.3021	1.3931	0.6998	.3499
1.2	0.3946	0.7274	1.5022	0.5022	2.7777	1.3338	0.1340	.0670
1.3	0.3869	0.7533	0.9068	0.0931	2.5640	1.2815	0.0238	.0119
1.4	0.3794	0.7768	0.6153	0.3844	2.3809	1.2349	0.0915	.0457
1.5	0.3720	0.7980	0.4456	0.5544	2.2222	1.1930	0.1231	.0616
1.6	0.3647	0.8172	0.3359	0.6640	2.0833	1.1551	0.1383	.0692
1.7	0.3575	0.8346	0.2601	0.7394	1.9607	1.1206	0.1450	.0725
1.8	0.3504	0.8502	0.2062	0.7937	1.8518	1.0891	0.1470	.0735
1.9	0.3435	0.8644	0.1660	0.8341	1.7543	1.0600	0.1463	.0732
0.95		0.6228	7.6638	6.6638	3.5086	1.4991	2.3381	
0.975		0.6227	14.4657	13.4657	3.4187	1.4797	4.6035	
1.025		0.6412	13.5579	12.5579	3.2519	1.4432	4.0837	
1.050		0.6500	6.8792	5.8792	3.1745	1.4259	1.8663	

附録 2 センター位置が異なる場合の傾斜角

復原偶力は 浮心に置いて

$$W \left(\frac{d}{2} - \alpha L \right) \sin \theta, \quad (A.1)$$

こゝに αL は 重心位置の底面上高さ。

傾斜偶力は

$$\begin{aligned} 2\rho g \frac{\tan \theta}{2} \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} x^2 \sqrt{\frac{D^2}{4} - x^2} dx \\ = \rho g \tan \theta \times \frac{\pi}{32} D^4. \quad (A.2) \end{aligned}$$

よって 傾斜角 θ は

$$\begin{aligned} \cos \theta &= - \frac{D^2}{8d \left(\frac{d}{2} - \alpha L \right)} = \frac{\frac{1}{4} \left(\frac{D^2}{dL} \right) \left(\frac{d}{L} - 2\alpha \right)}{1.6708 - 2\alpha} \\ &= \frac{0.130}{1.6708 - 2\alpha} \end{aligned}$$

α	0.35	0.3416
θ	63.6°	0°

すなわち 重心が浮心より少し上にあると 急激に

傾倒しに及ぶ。このように 傾斜角が大きいと

上の計算は精度が悪い。

