

"浮遊式発煙筒の波浪中動揺"

No. 1

Date 56.4.11

別紙2枚

1. 要旨

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

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してかなり小さくなってゐると考えられ、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なれ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

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

∇ : 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
よいか、塔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 $\nabla = A_w d$ (d :吃水) なので、式は

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

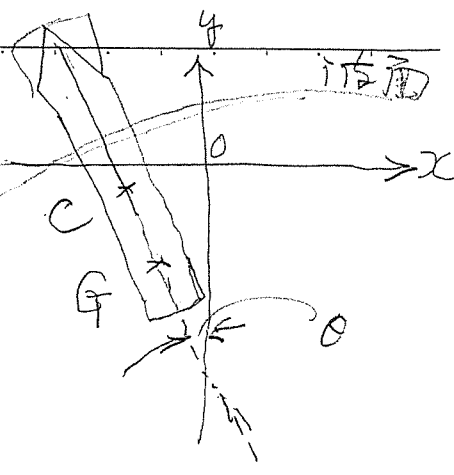
別表中央の計画型ではこのようにして $T_0 = 1.46 \text{ sec}$
となり、不製現用型には未だ「るばる」なりの試作型
に較べればかなり改善され、又上述のように
波浪階級の海面で予想される波周期から
も一応外れているのでかなりの性能を期待出来るが、
さらに安全の爲に乾舷 (free board 浮上部分) を
出衆だけ大きくとる事とする。

この時の動揺性能と海面との相対運動は
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、従つて船初にのべた如く波周期も大きくなると
考えられるので、海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思つて、
風、飛沫等の影響もあつたから予断は許さぬ。

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



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

$M = W/g$; 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} : メタセータ高さ.

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.*

* 田本福造, 日本造船学会 第1回海洋工学シンポジウム, 昭和49年
 * 別野正利, 防大理工学研究报告 第3巻第2号, 昭和40年.

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

(a: i 波の片振幅)

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

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

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

2、12 l_w は右図の G と C との距離であり、
14) の c なる距離は次式で与えられる。

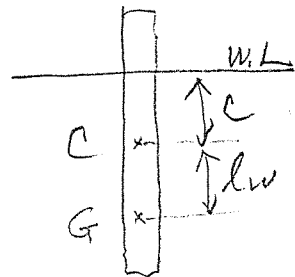
$$c = \frac{\int_0^d y e^{-ky} dy}{\int_0^d e^{-ky} dy}$$

$$= \frac{1}{k} [1 - (1+kd)e^{-kd}] / (1 - e^{-kd}), \quad \dots (7)$$

よれば

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

今は波長が大きいので $c \approx \frac{d}{2}$ つまり 12 の点
あたりより僅かに上の部分に波の強制力の中心が
あり、C 点に於い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。
同調点ではこうはならないけれど、それ以外では縦ゆれ



は無視して良いと思われるので以下考えない。

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 $0.35L$ 上方ではメタセンター高が負となるので改訂めて $0.30L$ として計算した他は約 4.3 sec 程度では長径 29 m のはと同調する。

上記の固有周期での自由揺れは減衰が無いあるいは大盛小さいのでかなり大きいかも知れなから、これは予測不可能なので実験によって性能を確かめる以外に方法は無い。

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) の 1, 2 式を次のように書き直す。

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

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

係数関係があるから次のようにする。

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

(4), (5)を代入して整理すると。

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

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

$$S = a - Y \dots (13)$$

別表之に計算値を示すが前述のように波高は波長の 1/10 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 $|\frac{S}{a}| \times \frac{a}{20}$ を考えればよいので最後の欄に示す (また $\frac{a}{10}$ となるので半分は)

観察では乾舷 260 mm 的、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翔し、最大15m
も下がる計算になる(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、これからはメセタ-層が
負であると推定され、また傾けば水線面積も
増し、かう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たが、これらの点を考慮
するとむしろ少しく不安定とし(つまりメセタ-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
大きいものになるので僅かに重心を下げ(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(乾舷が無くても困る)と思われ
る。

以上

別表 1

要目表

項目	(現用木製)	計画型	(鐵作型)
全長 L	.516 m	.7908 m	.6908
外径 D	角 .129 m	.1200 m	.1200
水線面積 Aw	.01664 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)	—	.35L → .30L	.314 L
上下動固有周期 T ₀	1.28 sec.	1.46 sec	2.074 sec.
20Hzの波長 λ ₀	2.56 m	3.33 m	6.72 m
たてゆり固有周期 T ₀ *		4.34 sec.	

波浪階級	波高 (波揺中の倍)
3	0.5 ~ 1.25 m
5	2.5 ~ 4.0 m.

* $T_0 = 2\pi \kappa / \sqrt{g GM}$, $\kappa = \sqrt{(I+I')/M} \approx 0.5L$

0. 復原性能

不足 GM = 2.20^{0m}.

$$\overline{GM} = \frac{D^2}{16d} + \frac{d}{2} - .35L = \underline{\underline{-0.0098}}$$

.2670 = .338L

重心が^m高丁を^て静的安定性が^{ない}。

よ^り故^に重心点を以下 0.3L とする。

$$\overline{GM} = \frac{D^2}{16d} + \frac{d}{2} - 0.3L = \underline{\underline{0.0298}}$$

別表 2

Kd	c/d	$ X/a $	$ Y/a $	$ S/a $	λ in m	T in sec	$ S/a \times \frac{\lambda}{\%}$ in m
0	0.5000	0	1	0	-	-	-
0.1	0.4917	0.9516	1.0054	0.0054	33.3322	4.6205	0.0179
0.2	0.4833	0.1813	1.0234	0.0234	16.6661	3.2671	0.0390
0.3	0.4750	0.2592	1.0583	0.0583	11.1108	2.6676	0.0478
0.4	0.4668	0.3297	1.1172	0.1178	8.3331	2.3102	0.0977
0.5	0.4585	0.3935	1.2131	0.2131	6.6664	2.0663	0.1420
0.6	0.4503	0.4512	1.3720	0.3720	5.5553	1.8863	0.2066
0.7	0.4421	0.5034	1.6552	0.6552	4.7618	1.7464	0.3120
0.8	0.4340	0.5507	2.2462	1.2462	4.1665	1.6336	0.5192
0.9	0.4260	0.5934	4.0590	3.0590	3.7036	1.5402	1.1329
1.0	0.4180	0.6321	45.8161	44.8161	3.3332	1.4611	14.9382
1.1	0.4101	0.6671	3.3094	2.3094	3.3021	1.3931	0.6998
1.2	0.3946	0.7274	1.5022	0.5022	2.7777	1.3338	0.1340
1.3	0.3869	0.7533	0.9068	0.0931	2.5640	1.2815	0.0238
1.4	0.3794	0.7768	0.6155	0.3844	2.3809	1.2349	0.0915
1.5	0.3720	0.7980	0.4456	0.5544	2.2222	1.1930	0.1231
1.6	0.3647	0.8172	0.3359	0.6640	2.0833	1.1551	0.1383
1.7	0.3575	0.8346	0.2601	0.7394	1.9607	1.1206	0.1450
1.8	0.3504	0.8502	0.2062	0.7937	1.8518	1.0891	0.1470
1.9	0.3435	0.8644	0.1660	0.8341	1.7543	1.0600	0.1463
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

$$M = \iiint x \, d\tau, \quad x = z \cos \theta + r \sin \theta.$$

$$\iiint_D (u \Delta v - v \Delta u) \, d\tau = \iint_S (u \frac{\partial v}{\partial n} - v \frac{\partial u}{\partial n}) \, dS$$

$$u = 1, \quad v = \frac{z^3}{6}$$

$$m_1 = \iiint z \, d\tau = \frac{1}{2} \iint_S z^2 \frac{\partial z}{\partial n} \, dS$$

$$m_2 = \iiint S \, d\tau = \frac{1}{2} \iint_S r^2 \frac{\partial r}{\partial n} \, dS$$

$$2m_1 = \iint_{S_2} z^2 \frac{\partial z}{\partial n} \, dS + \iint_{S_3} z^2 \frac{\partial z}{\partial n} \, dS$$

$$2m_2 = \iint_{S_1} r^2 \frac{\partial r}{\partial n} \, dS + \iint_{S_3} r^2 \frac{\partial r}{\partial n} \, dS = \iint \left\{ r^2 - \left(\frac{r}{2}\right)^2 \right\} d\theta d\eta$$

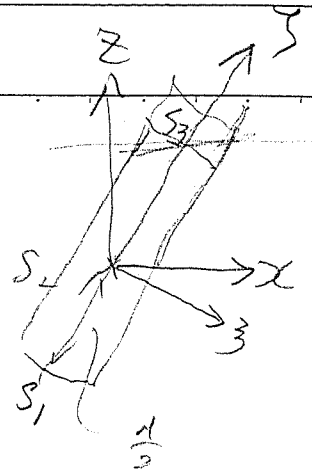
$$r = \frac{D}{2} + z \sin \theta.$$

$$2m_2 = \iint (\cancel{z} \sin \theta + z^2 \sin^2 \theta) \, dz \, d\eta = \int \eta (\cancel{z} \sin \theta + z^2 \sin^2 \theta) \, dz$$

$$= \sin^2 \theta \int z^2 \, dz \, \eta = \left(\frac{D}{2}\right)^4 \sin^2 \theta \int_0^\pi \cos^2 \theta \sin^2 \theta \, d\theta.$$

$$= \frac{\pi}{8} \left(\frac{D}{2}\right)^4 \sin^2 \theta, \quad \int_0^\pi \frac{\sin^2 2\theta}{4} = \frac{1}{8} (1 - \cos 4\theta)$$

$$\begin{aligned} \iint_{S_3} z^2 \frac{\partial z}{\partial n} \, dS &= \iint_A z^2 \, d\theta \, dz = \int_0^\pi z^2 \, dz \int_0^\pi \eta^2 \sin^2 \theta \, d\theta \\ &= \left(\frac{D}{2}\right)^4 \sin^2 \theta \int_0^\pi \eta^2 \, d\eta = \frac{\pi}{8} \left(\frac{D}{2}\right)^4 \sin^2 \theta. \end{aligned}$$



$$\int_{S_2} z^2 \frac{\partial z}{\partial n} dS = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{D}{2}\right)^2 \frac{\partial z}{\partial n} (d + \frac{2}{3} r \sin \theta) ds \quad dS = d\phi ds$$

$$z = \frac{D}{2} \cos \theta, \quad \frac{\partial z}{\partial n} = -\cos \theta, \quad ds = \frac{D}{2} d\theta$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{D}{2}\right)^2 \frac{\partial z}{\partial n} ds = \left(\frac{D}{2}\right)^3 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \cos^3 \theta d\theta d\phi = 0$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{D}{2}\right)^3 ds \frac{\partial z}{\partial n} = \left(\frac{D}{2}\right)^4 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \cos^4 \theta d\theta d\phi = \left(\frac{D}{2}\right)^4 \left[\int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi} \cos^4 \theta d\theta \right]$$

$$= \left(\frac{D}{2}\right)^4 \frac{3}{4} \pi$$

$$\begin{aligned} \cos^2 \theta &= \frac{1 + \cos 2\theta}{2} \\ \cos^4 \theta &= \frac{1 + 2\cos 2\theta + \cos^2 2\theta}{4} \\ &= \frac{1 + \frac{1 + \cos 4\theta}{2}}{4} \\ &= \frac{3}{8} + \frac{\cos 4\theta}{8} \end{aligned}$$

$$2M_1 = \left(\frac{D}{2}\right)^4 \left(\frac{7\pi}{8} + \frac{3\pi}{4}\right) r \sin \theta = \frac{7\pi}{8} \left(\frac{D}{2}\right)^4$$

$$M = \frac{7\pi}{16} \left(\frac{D}{2}\right)^4 r \sin \theta \cos \theta + \frac{\pi}{16} \left(\frac{D}{2}\right)^4 r^2 \sin^2 \theta$$

$$\frac{7\pi}{16} \frac{D^4}{16}$$

