

木製外板衝撃安全率の実船への適用

永井 保・橋本 恒雄・川崎 祐二

Application of Safety Stress Factors to Bottom
Structures of Minesweepers

Tamotsu NAGAI, Tsuneo HASHIMOTO and Yuji KAWASAKI

Abstract

Using our proposed stress factors such as over 1.25 for frames and over 10 for plates, scantlings of bottom shell panels of transverse frames and bottom plate thickness are reasonably determined for two kinds of minesweepers.

1. 概 要

提案した木製外板衝撃応力安全率を用いて、掃海艇の船底横肋骨寸法と船底外板板厚を決定する手順について述べる。したがってこの手順は合理的な船底構造設計法ともいえる。

2. 序 論

(1) 大型掃海艇(以後 MSO と略す)の3層両矢羽根船底外板が水中爆発(距離1m以上4mまでの範囲の実験)により発生する最初の shock 圧による応答を検討した後、ガス体の収縮、膨張の反復により生ずる bubble 1回、2回による応答を検討する。

(2) いずれの場合においても計測ひずみと我々の計算ひずみとを比較し、安全率を検討する。

(3) 同様に中型掃海艇(以後 MSC と略す)の2層片

矢羽根船底外板についても述べる。

(4) (19)~(21)式により、外板の応力安全率を算出する。1例を除き全供試体が無損傷であったことから、この応力安全率の妥当性を確認する。

(5) NATO Standard に基づき決定した応力安全率を適用して船底横肋骨寸法と板厚とを求めた。

これらの成果は将来の検討事項である。

3. MSO-2 3層両矢羽根外板衝撃応答について

$a=45$ (cm), 8.2 項より, $T=6.406$ (cm), $E_e=0.968 \times 10^6$ (kgf/cm²), $\lambda=0.9375$, $N_w=361$ (Hz), $Z_e=6.840$ (cm³), $Z_2=10.410$ (cm³), $Z_5=5.964$ (cm³), $Z_8=4.179$ (cm³), $\beta_2=1$, $\beta_5=2$, $\beta_8=2$, (15)式より, $\varepsilon_2=142A_s \times 10^2$, (16)式より, $\varepsilon_5=124A_s \times 10^2$, (17)式より, $\varepsilon_8=177A_s \times 10^2$, (12)式より, $\bar{\varepsilon}_2=251P_d$, $\bar{\varepsilon}_5=219P_d$, $\bar{\varepsilon}_8=313P_d$

3.1 MSO-2 Shock-1 応答

R (■)	Table 8 $\Delta_{s,1}$	$\Delta_{s,1} \cdot N_w$	Table 5 L_s	Table 8 $P_{s,1}$	P_s	ϕ_s	Fig. 4.5 Λ_s	計測ひずみ値		
								表外板内面: μs	第2内層板内面: μs	第1内層板内面: μs
4	72.31	0.0261	0.0927	47.36	4.389	0.1035	6.650×10^{-2}	700	730	850
3	73.78	0.0266	0.0946	57.93	5.477	0.1292	9.700×10^{-2}	1000	1160	1460
2	75.91	0.0274	0.0973	76.94	7.485	0.1765	13.350×10^{-2}	1700	1750	2000
1	79.68	0.0288	0.1021	125.00	12.764	0.3010	23.000×10^{-2}	3700	3300	3050

1994年9月6日受理

* 機械工学科

R (mm)	Λs式計算ひずみ			Pa式計算ひずみ			(εs/μs)			(εs/μs)		
	εz	εs	εx	εz	εs	εx	Fz	Fs	Fx	Fz	Fs	Fx
4	944	825	1176	1100	960	1372	1.349	1.130	1.384	1.571	1.315	1.614
3	1377	1203	1716	1373	1198	1712	1.377	1.037	1.175	1.373	1.033	1.173
2	1896	1655	2362	1876	1637	2340	1.115	0.946	1.181	1.104	0.935	1.170
1	3266	2852	4069	3199	2792	3990	0.883	0.864	1.334	0.865	0.846	1.308

3.2 MSO-2 Bubble-1 応答 Table 11 より, $N_w=361$ (Hz)

R (mm)	Table9 Δs	Δs/Nw	Table5 Ls	Table9 P	Pa	ψs	Fig4.5 Λs	計測ひずみ値		
								表外板内面: μs	第2内層板内面: μs	第1内層板内面: μs
4	200.3	0.0685	0.2508	10.24	2.569	6.058×10^{-2}	4.500×10^{-2}	500	280	250
3	263.7	0.0902	0.3257	12.77	4.159	9.787×10^{-2}	7.220×10^{-2}	810	530	500
2	380.9	0.1303	0.4641	17.44	8.094	14.088×10^{-2}	14.350×10^{-2}	1630	1060	1000
1	686.3	0.2347	0.7599	29.73	22.592	53.279×10^{-2}	40.150×10^{-2}	2500	3550	3250

R (mm)	Λs式計算ひずみ			Pa式計算ひずみ			(εs/μs)			(εs/μs)		
	εz	εs	εx	εz	εs	εx	Fz	Fs	Fx	Fz	Fs	Fx
4	639	558	797	645	563	804	1.278	1.993	3.186	1.290	2.009	3.216
3	1025	895	1278	1042	909	1299	1.266	1.689	2.556	1.286	1.715	2.600
2	2038	1804	2540	2032	1773	2533	1.250	1.702	2.540	1.246	1.673	2.533
1	5701	5046	7107	5671	4948	7071	2.281	1.422	2.187	2.268	1.394	2.176

3.3 MSO-2 Bubble-2 応答 Table 11 より, $N_w=361$ (Hz)

R (mm)	Table10 Δs	Δs/Nw	Table5 Ls	Table10 P	Pa	ψs	Fig4.5 Λs	計測ひずみ値		
								表外板内面: μs	第2内層板内面: μs	第1内層板内面: μs
4	151.4	0.0547	0.1940	10.24	1.987	4.685×10^{-2}	3.480×10^{-2}	—	—	—
3	223.6	0.0807	0.2784	12.77	3.555	8.382×10^{-2}	6.300×10^{-2}	—	—	—
2	379.8	0.1371	0.4628	17.44	8.072	1.903×10^{-1}	14.350×10^{-2}	1380	1000	900
1	903.0	0.3260	0.9386	29.73	27.903	6.579×10^{-1}	50.000×10^{-2}	6500	16000	7000

R (mm)	Λs式計算ひずみ			Pa式計算ひずみ			(εs/μs)			(εs/μs)		
	εz	εs	εx	εz	εs	εx	Fz	Fs	Fx	Fz	Fs	Fx
4	494	432	616	499	435	622	—	—	—	—	—	—
3	895	781	1115	892	779	1113	—	—	—	—	—	—
2	2038	1779	2540	2026	1768	2527	1.477	1.779	2.822	1.468	1.768	2.808
1	7100	6200	8850	7004	6111	8734	1.092	0.388	1.264	1.078	0.382	1.248

4. MSC-2 2層片矢羽根外板衝撃応答について

$a=33$ (cm), $T=7.159$ (cm), $E_e=0.830 \times 10^5$ (kgf/cm²), $\lambda=0.9424$, $N_w=823$ (Hz), $Z_e=8.543$ (cm³), $Z_l=12.947$ (cm³), $Z_7=6.265$ (cm³)
 $\varepsilon_1=(10^6 \Lambda_s/0.9424) \cdot (7.159/33)^2 \cdot (8.543/12.947)=$

$$330 \Lambda_s \times 10^2,$$

$$\varepsilon_7=[(10^6 \Lambda_s)/(2 \times 0.9424)] \cdot (7.159/33)^2 \cdot (8.543/6.265) \\ =340 \Lambda_s \times 10^2,$$

$$\bar{\varepsilon}_1=(33^2 P_d)/(8 \times 12.947 \times 0.083)=127 P_d$$

$$\bar{\varepsilon}_7=(33^2 P_d)/(2 \times 8 \times 6.265 \times 0.083)=131 P_d$$

4.1 MSC-2 Shock-1 応答

R (mm)	Table8 Δs	Δs/Nw	Table5 Ls	Table8 P	Pa	ψs	Fig4.5 Λs	計測縦表外板内面ひずみ			計測斜板内面ひずみ	
								μs	μs	μs	μs	μs
4	72.31	0.0595	0.2113	47.36	10.005	5.129×10^{-2}	3.810×10^{-2}	280	410	380	480	—
3	73.78	0.0607	0.2129	57.93	12.335	6.323×10^{-2}	4.700×10^{-2}	880	660	750	660	—
2	75.91	0.0625	0.2187	76.94	16.824	8.624×10^{-2}	6.500×10^{-2}	1590	1590	1440	980	—
1	79.68	0.0656	0.2288	125.00	28.602	14.662×10^{-2}	11.050×10^{-2}	2980	2980	2540	1560	—

R (mm)	Λs式計算ひずみ		Pa式計算ひずみ		(εs/μs)				(ε̄s/μs)			
	ε ₁	ε ₇	ε̄ ₁	ε̄ ₇	F ₁	F ₂	F ₃	F ₇	F̄ ₁	F̄ ₂	F̄ ₃	F̄ ₇
4	1257	1295	1271	1311	4.489	3.066	3.308	3.408	4.539	3.100	3.845	2.731
3	1551	1598	1567	1616	1.763	2.350	2.068	2.131	1.781	2.347	2.089	2.448
2	2145	2210	2137	2204	1.349	1.349	1.490	2.255	1.344	1.344	1.484	2.249
1	3647	3757	3632	3747	1.224	1.224	1.436	2.408	1.219	1.219	1.430	2.402

4.2 MSC-2 Bubble-1 応答

$N_w=823$ (Hz), $\varepsilon_1=330\Lambda_s\times 10^2$, $\varepsilon_7=340\Lambda_s\times 10^2$, $\bar{\varepsilon}_1=127P_d$, $\bar{\varepsilon}_7=131P_d$

R (mm)	Table9 Δ _{ms}	Δ _{ms} ・N _w	Table5 L _s	Table9 P _{ms}	P _s	φ _s	Fig4.5 Λ _s	計測縦表外板内面ひずみ			計測斜板内面ひずみ
								μ ₁	μ ₂	μ ₃	μ ₇
4	200.3	0.1648	0.5369	10.24	5.498	2.818×10^{-2}	2.145×10^{-2}	350	280	330	130
3	263.7	0.2170	0.6740	12.77	8.607	4.412×10^{-2}	3.270×10^{-2}	630	480	630	250
2	380.9	0.3135	0.8150	17.44	14.214	7.287×10^{-2}	5.450×10^{-2}	1190	1090	1100	460
1	686.3	0.5648	1.3315	29.73	39.586	2.029×10^{-1}	15.300×10^{-2}	3650	3700	3500	2200

R (mm)	Λs式計算ひずみ		Pa式計算ひずみ		(εs/μs)				(ε̄s/μs)			
	ε ₁	ε ₇	ε̄ ₁	ε̄ ₇	F ₁	F ₂	F ₃	F ₇	F̄ ₁	F̄ ₂	F̄ ₃	F̄ ₇
4	708	729	698	720	2.023	2.604	2.145	5.608	1.994	2.493	2.115	5.538
3	1079	1112	1093	1128	1.713	2.248	1.713	4.448	1.735	2.277	1.735	4.512
2	1799	1853	1805	1862	1.512	1.650	1.635	4.028	1.517	1.656	1.641	4.048
1	5049	5202	5027	5186	1.383	1.365	1.443	2.365	1.377	1.359	1.436	2.357

4.3 MSC-2 Bubble-2 応答

$N_w=823$ (Hz), $\varepsilon_1=330\Lambda_s\times 10^2$, $\varepsilon_7=340\Lambda_s\times 10^2$, $\bar{\varepsilon}_1=127P_d$, $\bar{\varepsilon}_7=131P_d$, $\beta_1=1$, $\beta_7=2$

R (mm)	Table10 Δ _{ms}	Δ _{ms} ・N _w	Table5 L _s	Table10 P _{ms}	P _s	φ _s	Fig4.5 Λ _s	計測縦表外板内面ひずみ			計測斜板内面ひずみ
								μ ₁	μ ₂	μ ₃	μ ₇
4	151.4	0.1246	0.4219	10.24	4.320	2.215×10^{-2}	1.640×10^{-2}	—	—	—	—
3	223.6	0.1840	0.5873	12.77	7.500	3.845×10^{-2}	2.815×10^{-2}	—	—	—	—
2	379.8	0.3126	0.9079	17.44	15.834	8.117×10^{-2}	6.100×10^{-2}	1190	1130	1200	480
1	903.0	0.7432	1.4820	29.73	44.060	2.259×10^{-1}	17.250×10^{-2}	4850	6250	5200	3700

R (mm)	Λs式計算ひずみ		Pa式計算ひずみ		(εs/μs)				(ε̄s/μs)			
	ε ₁	ε ₇	ε̄ ₁	ε̄ ₇	F ₁	F ₂	F ₃	F ₇	F̄ ₁	F̄ ₂	F̄ ₃	F̄ ₇
4	541	558	549	566	—	—	—	—	—	—	—	—
3	929	957	953	983	—	—	—	—	—	—	—	—
2	2013	2074	2011	2074	1.692	1.781	1.678	4.321	1.690	1.780	1.676	4.321
1	5693	5865	5596	5772	1.174	0.911	1.095	1.585	1.154	0.895	1.076	1.560

5. MSO-2 3層両矢羽根外板衝撃
応力安全率について

$E_e=0.968\times 10^5$ (kgf/cm²), $\sigma_B=800$ (kgf/cm²), $\lambda=0.9375$, $a=45$ (cm), $T=6.406$ (cm), $Z_e=6.840$ (cm³), $Z_2=10.410$ (cm³), $Z_5=5.964$ (cm³), $Z_8=4.120$ (cm³), $Z_0=8.420$ (cm³), $\beta_2=1$, $\beta_5=2$, $\beta_8=2$, $\beta_0=1$,

(19) 式より, $\overline{SF}_{\Lambda n}=[(0.9375\times 800)/(0.968\times 10^5\cdot \Lambda_s)](45/6.406)^2(Z_n\cdot \beta_n/6.840)=(5.59Z_n\cdot \beta_n)/(\Lambda_s\times 10^2)$

(20) 式より, $\overline{SF}_{Pn}=(8\times 800/45^2)(Z_n\cdot \beta_n/P_d)$
 $=3.16(Z_n\cdot \beta_n/P_d)$,

(21) 式より, $\overline{SF}_{\mu n}=5956/\mu_n$

5.1 MSO-2 Shock-1 応力安全率

R (mm)	Λs	P _s	縦表板内面		第2内層板内面		第1内層板内面		縦表板外面		計測ひずみ安全率		
			SF _{Λ2}	SF _{P2}	SF _{Λ5}	SF _{P5}	SF _{Λ8}	SF _{P8}	SF _{Λ0}	SF _{P0}	SF _{μ2}	SF _{μ5}	SF _{μ8}
4	6.650×10^{-2}	4.389	8.750	7.495	10.025	8.588	6.927	5.933	7.078	6.062	6.605	8.117	6.971
3	9.700×10^{-2}	5.477	5.999	6.006	6.873	6.882	4.749	4.754	4.852	4.858	5.926	5.108	4.059
2	13.350×10^{-2}	7.485	4.359	4.395	4.994	5.036	3.450	3.479	3.526	3.555	3.486	3.386	2.963
1	23.000×10^{-2}	12.764	2.530	2.577	2.898	2.953	2.003	2.040	2.046	2.085	1.602	1.795	1.943

5.2 MSO-2 Bubble-1 応力安全率

R (mm)	Λ_s	P_s	縦表板内面		第2内層板内面		第1内層板内面		縦表板外面		計測ひずみ安全率		
			SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{us}	SF_{us}	SF_{us}
4	4.500×10^{-2}	2.569	12.931	12.805	14.815	14.672	10.236	10.136	10.460	10.357	11.851	21.163	23.702
3	7.220×10^{-2}	4.159	8.059	7.909	9.233	9.063	6.380	6.261	6.519	6.397	7.315	11.180	11.851
2	14.350×10^{-2}	8.094	4.055	4.064	4.646	4.657	3.210	3.217	3.280	3.287	3.635	5.590	5.926
1	40.150×10^{-2}	22.592	1.449	1.456	1.660	1.668	1.147	1.153	1.172	1.178	2.370	1.669	1.823

5.3 MSO-2 Bubble-2 応力安全率

R (mm)	Λ_s	P_s	縦表板内面		第2内層板内面		第1内層板内面		縦表板外面		計測ひずみ安全率		
			SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{us}	SF_{us}	SF_{us}
4	3.480×10^{-2}	1.987	16.721	16.555	19.156	18.970	13.236	13.104	13.525	13.391	—	—	—
3	6.300×10^{-2}	3.555	9.236	9.253	10.582	10.603	7.311	7.324	7.470	7.484	—	—	—
2	14.350×10^{-2}	8.072	4.055	4.075	4.646	4.670	3.210	3.226	3.280	3.296	4.294	5.926	6.584
1	50.000×10^{-2}	27.903	1.163	1.179	1.333	1.351	0.921	0.933	0.941	0.954	0.911	0.370	0.847

6. MSC-2 2層片矢羽根外板衝撃

応力安全率について

$E_e = 0.830 \times 10^5$ (kgf/cm²), $\sigma_B = 800$ (kgf/cm²), $\lambda = 0.9424$, $\rho_e = 0.6900$, $a = 33$ (cm), $T = 7.159$ (cm), $Z_e = 8.543$ (cm³), $Z_1 = 12.947$ (cm³), $Z_7 = 6.265$ (cm³), $Z_0 = 9.878$ (cm³), $\beta_1 = 1$, $\beta_7 = 2$, $\beta_0 = 1$,

(19) 式より, $\overline{SF}_{An} = [(0.9424 \times 800) / (0.830 \times 10^5 \cdot \Lambda_s)] (33 / 7.159)^2 (Z_n \cdot \beta_n / 8.543) = (2.26 Z_n \cdot \beta_n) / (\Lambda_s \times 10^2)$

(20) 式より, $\overline{SF}_{Pa} = (8 \times 800 / 33^2) (Z_n \cdot \beta_n / P_a) = 5.88 (Z_n \cdot \beta_n / P_a)$,

(21) 式より, $\overline{SF}_{\mu n} = 5926 / \mu_n$

6.1 MSC-2 Shock-1 応力安全率

R (mm)	Λ_s	P_s	縦表板内面		内層斜板内面		縦表板外面		計測ひずみ安全率			
			SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{At}	SF_{Pt}	SF_{Ao}	SF_{Po}	縦表板内面		内層斜板内面	
									SF_{us}	SF_{us}	SF_{us}	SF_{us}
4	3.810×10^{-2}	10.005	7.677	7.609	7.432	7.364	5.859	5.805	21.162	14.453	15.593	12.345
3	4.700×10^{-2}	12.335	6.223	6.172	6.025	5.973	4.750	4.709	6.734	8.979	7.900	8.979
2	6.500×10^{-2}	16.824	4.500	4.525	4.357	4.379	3.485	3.452	3.721	3.727	4.115	6.047
1	11.050×10^{-2}	28.602	2.647	2.662	2.563	2.576	2.020	2.031	1.989	1.989	2.333	3.798

6.2 MSC-2 Bubble-1 応力安全率

R (mm)	Λ_s	P_s	縦表板内面		内層斜板内面		縦表板外面		計測ひずみ安全率			
			SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{At}	SF_{Pt}	SF_{Ao}	SF_{Po}	縦表板内面		内層斜板内面	
									SF_{us}	SF_{us}	SF_{us}	SF_{us}
4	2.145×10^{-2}	5.498	13.636	13.847	13.202	13.401	10.408	10.564	16.930	21.163	15.593	45.581
3	3.270×10^{-2}	8.607	8.745	8.845	8.660	8.560	6.827	6.748	9.406	12.345	9.436	23.702
2	5.450×10^{-2}	14.214	5.367	5.356	5.196	5.183	4.096	4.086	4.980	5.436	5.386	12.882
1	15.300×10^{-2}	39.586	1.912	1.923	1.851	1.861	1.459	1.467	1.623	1.602	1.893	2.696

6.3 MSC-2 Bubble-2 応力安全率

R (mm)	Λ_s	P_s	縦表板内面		内層斜板内面		縦表板外面		計測ひずみ安全率			
			SF_{As}	SF_{Ps}	SF_{At}	SF_{Pt}	SF_{Ao}	SF_{Po}	縦表板内面		内層斜板内面	
									SF_{us}	SF_{us}	SF_{us}	SF_{us}
4	1.640×10^{-2}	4.320	17.835	17.622	17.267	17.055	13.612	13.445	—	—	—	—
3	2.815×10^{-2}	7.500	10.391	10.150	10.060	9.824	7.930	7.744	—	—	—	—
2	6.100×10^{-2}	15.834	4.795	4.808	4.642	4.653	3.660	3.668	4.887	5.243	4.938	12.345
1	17.250×10^{-2}	44.060	1.696	1.728	1.642	1.672	1.294	1.318	1.221	0.948	1.140	1.602

7. 適用例その1. MSO 実艦船底構造 設計値について

$E_e = 0.968 \times 10^5$ (kgf/cm²), $\sigma_B = 800$ (kgf/cm²), $\sigma_T = 1050$ (kgf/cm²), $\rho_m = 0.53$, $\rho_e = 0.8117$, $\rho_w = 1.025$, $\lambda = 0.9375$, $\Gamma = 1.0$, $k = 100$, $l_0 = 1440$ (cm), $l_B = 420$ (cm), $T = 6.406$ (cm), $S = 60$ (cm), $a = 45$ (cm), $J_2 = 0.0615$ (cm⁻² × 10⁴), $w = 907$ (kgf), $R = 91.4$ (m) $\Rightarrow d_x$

7.1 実艦船底横肋骨 $b_0 \times h_0 = 15 \times 37$ (cm)

(23) 式より,

$$N_w = \frac{1020 h_0 \sqrt{\frac{1.35 \times 10^5 \cdot h_0}{(60 \times 6.406 \times 0.8117 / 0.53 b_0) + h_0}}}{420^2 \sqrt{1 + \frac{1.025 \times 100}{0.8117 \times 6.406 \cdot \pi \sqrt{0.0615}}}}$$

$$= 0.414 \times 37 \sqrt{37 / [(588.6 / 15) + 37]} = 10.67 \text{ (Hz)}$$

(3) 式より,

$$\Delta_1 = 84 \times 907^{0.257} \times 91.4^{0.23} = 1366 \text{ (}\mu\text{s)}$$

(7) 式より,

$$\Delta_{B1} = (1.62 \times 907^{1/3}) / (91.4 + 10)^{5/6} = 0.334 \text{ (sec)}$$

(10) 式より,

$$\Delta_{B2} = (1.5 \times 10^4 \times 907^{1/3}) / [91.4^{1.15} (91.4 + 10)^{5/6}] = 17.2 \text{ (}\mu\text{s)}$$

(1) 式より,

$$P_1 = 510 (907^{1/3} / 91.4)^{1.1} = 43.15 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(5) 式より,

$$P_{B1} = \frac{40.05 (907^{1/3} / 91.4)^{1.13}}{[2 - (91.4 / 91.4)^2]^{1.39}} = 31.7 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(9) 式より,

$$P_{B2} = 53.64 (907^{1/3} / 91.4)^{0.769} = 9.54 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

Table 1.

	Δ_n (sec)	N_w (Hz)	$\Delta_n \cdot N_w$	L_d	P (kgf/cm ²)	P_d (kgf/cm ²)
Shock-1	1366×10^{-6}	10.67	0.01458	0.0517	43.15	2.231
Bubble-1	0.334		3.564	1.080	3.17	3.424
Bubble-2	17.2×10^{-6}		1.835×10^{-4}	6.515×10^{-4}	9.54	6.215×10^{-3}

(24) 式より,

$$\overline{SF}_F = \frac{12 \times 1050 \times 15}{6 \times 3.424 \times 60} \times (37/420)^2 = 1.190$$

$\overline{SF}_{Fd} = 1.25$ として h_0 を算定すると,

(25) 式より,

$$h_0 = 420 \sqrt{\frac{6 \times 3.424 \times 60 \times 1.25}{12 \times 1050 \times 15}} = 37.9 \rightarrow 38 \text{ (cm)}$$

したがって, 船底横肋骨設計値 $b_0 \times h_0 = 150 \times 380$ (mm) ($\overline{SF}_{Fd} = 1.279$)

(23) 式より,

$$N_{wd} = 0.414 \times 38 \sqrt{38 / [(588.6 / 15) + 38]} = 11.03 \text{ (Hz)}$$

Bubble-1 の時, $\Delta_n = 0.334$ (sec), $N_{wd} = 11.03$ (Hz), $\Delta N_w = 3.684$, $L_d = 1.060$, $P_{B1} = 3.17$, $P_d = 3.360$

(24) 式より,

$$\overline{SF}_{Fd} = \frac{12 \times 1050 \times 15}{6 \times 3.360 \times 60} \times (38/420)^2 = 1.279 > 1.25$$

妥当と考える

7.2 3層両矢羽根外板応力安全率

(20) 式より,

$$\overline{SF}_{Fn} = (12 \times 800 \times Z_n \cdot \beta_n) / (45^2 \times 3.36) = 1.411 Z_n \cdot \beta_n$$

$$\begin{aligned} \phi_F &= P_d (\lambda / E_e) (a / T)^4 \\ &= 3.36 (0.9375 / 0.968 \times 10^5) (45 / 6.406)^4 \\ &= 7.924 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

Fig. 6, 7 より, $\Lambda_F = 3.950 \times 10^{-2}$

(19) 式より,

$$\begin{aligned} \overline{SF}_{\Lambda n} &= \frac{0.9375 \times 800 \times 1}{3.95 \times 10^{-2} \times 0.968 \times 10^5} \\ &\quad \times \left(\frac{45}{6.406} \right)^2 \times \frac{Z_n \cdot \beta_n}{6.840} \\ &= 1.415 Z_n \cdot \beta_n \end{aligned}$$

$Z_e = 6.840$ (cm³), $Z_2 = 10.410$ (cm³), $Z_5 = 5.964$ (cm³), $Z_8 = 4.179$ (cm³), $\beta_2 = 1$, $\beta_5 = 2$, $\beta_8 = 8$, $\overline{SF}_{\Lambda n} = 1.415 Z_n \cdot \beta_n$, $\overline{SF}_{\Lambda 2} = 14.73$, $\overline{SF}_{\Lambda 5} = 16.88$, $\overline{SF}_{\Lambda 8} = 11.83$, $\overline{SF}_{Fn} = 1.415 Z_n \cdot \beta_n$, $\overline{SF}_{F 2} = 14.69$, $\overline{SF}_{F 5} = 16.83$, $\overline{SF}_{F 8} = 11.79$,

8. 適用例その2. MSC 実艇船底構造 設計値について

$E_e = 0.830 \times 10^5$ (kgf/cm²), $E_w = 1.350 \times 10^5$ (kgf/cm²), $\sigma_B = 800$ (kgf/cm²), $\sigma_T = 1050$ (kgf/cm²), $\rho_m = 0.53$, $\rho_e = 0.6900$, $\rho_w = 1.025$, $\lambda = 0.9424$, $F = 1.0$, $k = 100$, $l_0 = 1080$ (cm), $l_B = 380$ (cm), $T = 7.159$ (cm), $S = 45$ (cm), $a = 33$ (cm), $J_2 = 0.0778$ (cm⁻² × 10⁴), $w = 907$ (kgf), $R = 91.4$ (m) $\doteq d_x$, $Z_e = 8.543$ (cm³),

8.1 実艇船底横肋骨 $b_0 \times h_0 = 12 \times 28$ (cm)

(23) 式より,

$$N_w = \frac{1020 h_0 \sqrt{\frac{1.35 \times 10^5 \cdot h_0}{(45 \times 7.159 \times 0.69 / 0.53 b_0) + h_0}}}{380^2 \sqrt{1 + \frac{1.025 \times 100}{0.69 \times 7.159 \sqrt{0.0778}}}}$$

Table 2.

	Δ_n (sec)	N_w (Hz)	ΔN_w	L_d	P (kgf/cm ²)	P_d (kgf/cm ²)
Shock-1	1366×10^{-6}	5.584	7.628×10^{-3}	4.259×10^{-2}	43.15	1.838
Bubble-1	0.334		1.865	1.070	3.17	3.392
Bubble-2	17.2×10^{-6}		9.604×10^{-5}	3.410×10^{-4}	9.54	3.253×10^{-3}

(24) 式より,

$$\overline{SF}_F = \frac{12 \times 1050 \times 12}{6 \times 3.392 \times 45} \times (28/380)^2 = 0.896$$

$\overline{SF}_{Fd} = 1.25$ として h_0 を算定すると,

(25) 式より,

$$h_0 = 380 \sqrt{\frac{6 \times 3.392 \times 45 \times 1.25}{12 \times 1050 \times 12}} = 33.07 \rightarrow 32 \text{ (cm)}$$

(23) 式より,

$$N_w = 0.299 \times 32 \sqrt{32 / [(419.4/12) + 32]} = 6.615 \text{ (Hz)}$$

Bubble-1 の時, $\Delta_n = 0.334$ (sec), $N_w = 6.615$ (Hz), $\Delta_n N_w = 2.209$, $L_d = 0.980$, $P = 3.17$ (kgf/cm²), $P_d = 3.107$ (kgf/cm²),

(24) 式より,

$$\overline{SF}_F = \frac{12 \times 1050 \times 12}{6 \times 3.107 \times 45} \times (32/380)^2 = 1.278 > 1.25$$

したがって, 船底横肋骨設計値 $b_0 \times h_0 = 120 \times 320$ (mm) ($\overline{SF}_{Fd} = 1.278$) 妥当と考えられる。

$$= 0.299 \times 28 \sqrt{28 / [(419.4/12) + 28]} = 5.584 \text{ (Hz)}$$

(3) 式より,

$$\Delta_1 = 84 \times 907^{0.257} \times 91.4^{0.23} = 1366 \text{ (}\mu\text{s)}$$

(7) 式より,

$$\Delta_{B1} = (1.62 \times 907^{1/3}) / (91.4 + 10)^{5/6} = 0.334 \text{ (sec)}$$

(10) 式より,

$$\Delta_{B2} = (1.5 \times 10^4 \times 907^{1/3}) / [91.4^{1.15} (91.4 + 10)^{5/6}] = 17.2 \text{ (}\mu\text{s)}$$

(1) 式より,

$$P_1 = 510 (907^{1/3} / 91.4)^{1.1} = 43.15 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(5) 式より,

$$P_{B1} = \frac{40.05 (907^{1/3} / 91.4)^{1.13}}{[2 - (91.4 / 91.4)^2]^{1.39}} = 31.7 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(9) 式より,

$$P_{B2} = 53.64 (907^{1/3} / 91.4)^{0.769} = 9.54 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

8.2 2層片矢羽根外板応力安全率

$$\psi_F = P_d (\lambda / E_e) (a / T)^4$$

$$= 3.107 (0.9424 / 0.83 \times 10^5) (33 / 7.159)^4$$

$$= 1.593 \times 10^{-2}$$

Fig. 6, 7 より, $\Delta_F = 8.18 \times 10^{-3}$

(19) 式より,

$$\overline{SF}_{\Delta n} = \frac{0.9424 \times 800}{8.18 \times 10^{-3} \times 0.83 \times 10^5}$$

$$\times \left(\frac{33}{7.159} \right)^2 \times \frac{Z_n \cdot \beta_n}{8.543}$$

$$= 2.762 Z_n \cdot \beta_n$$

(20) 式より,

$$\overline{SF}_{Pn} = (12 \times 800 \times Z_n \cdot \beta_n) / (33^2 \times 3.107) = 2.837 Z_n \cdot \beta_n$$

$Z_e = 8.543$ (cm³), $Z_1 = 12.947$ (cm³), $Z_7 = 6.265$ (cm³), $\beta_1 = 1$, $\beta_7 = 2$, $\overline{SF}_{\Delta n} = 2.762 Z_n \cdot \beta_n$, $\overline{SF}_{\Delta 1} = 35.76$, $\overline{SF}_{\Delta 7} = 34.61$, $\overline{SF}_{Pn} = 2.837 Z_n \cdot \beta_n$, $\overline{SF}_{P1} = 36.73$, $\overline{SF}_{P7} = 35.55$

9. 結 論

木製外板の衝撃強度を論ずる時に必要な応力安全率を求めるため、掃海艦艇の船底外板に使われている縦表単板および複合外板の実物大単独パネルを供試材として、100 gf 火薬を用い、1 m から 4 m までの距離で水中爆発試験を行い、その際発生した水圧・加速度・外

板内面のひずみを計測した。これら計測値と NATO の基準式による水圧の計算値、我々のひずみ計算式による算定値と比較したが良好な一致を得た。以上の成果をもとにして実船の 2 層片矢羽根外板、3 層両矢羽根外板について解析をし、肋骨用の応力安全率 1.25 以上、また船底外板板厚用として 10 以上を提案した。なお、この提案による適用例を示した。