重構造 FRP 艇強度設計法の 60 m GFRP 艇主強度計算への適用

永井　　保*・橋本　恒雄**・川崎　祐二*

Application to 60 m GFRP Craft Strength Design

Tamotsu NAGAI, Tsuneo HASHIMOTO and Yuji KAWASAKI

Abstract

Design formulae which were previously developed for the structural strength use of heavy FRP crafts are applied to the calculation of strength members and so on of a 60 m GFRP craft, and their calculated results are examined reasonably by the sea test of partial full scale model.

1. 概　　要

前述した重構造 FRP 船設計法の 60 m GFRP 船主強度計算への適用について述べる。主強度の妥当性を実物大部分模型による洋上試験により検証した。

2. 主要設計要目（1 甲板強力甲板＋船楼非強力甲板）

$L_{OF}=57.7$ m　$B=9.40$ m　$D=4.20$ m　$W=560$ ton　$L_{WL}=55.0$ m　$Bc=8.02$ m　$d=2.50$ m

2.1　肋骨心距等

船底（ロンジ方式），船側（トランス方式），甲板（ロンジ方式）のコンバインド方式の心距。特設肋骨，特設側肋骨，特設ビーム

最大 540(cm)　最小 270(cm)　標準 450(cm)　中間側肋骨 90(cm)

特設中間側肋骨，甲板ビーム 180(cm)

2.2　設計水圧等

船底　$P_1=\dfrac{1.025}{10}(d+0.025\,L_{WL})=0.397$　(kgf/cm²)

主船殻側板　$P_{21}=\dfrac{1.025}{10}(d+0.025L_{WL}-h_C)=0.294$　(kgf/cm²)

非強力側板　$P_{22}=P_{21}/2=0.147$　(kgf/cm²)

強力暴露甲板／重作業船甲板　$P_{31}=\dfrac{1.025}{10}\times1.50=0.154$　(kgf/cm²)

平成 3 年 10 月 2 日受理

* 機械工学科

** 元日立造船株式会社

一般船甲板　$P_{32}=0.07(0.02L_{WL}+0.76)$ (kgf/cm²)

非強力暴露甲板
被覆強力甲板　} $P_{83}=0.077$ (kgf/cm²)

その他の甲板　$P_{34}=0.038$ (kgf/cm²)

2.3 船殻縦曲げモーメント・最大剪断力

Table 1. 船殻縦曲げモーメント・最大剪断力値

	M_H (Tf-M)	M_S (Tf-M)	F_H (Tf)
$L/20$ Trochoidal	$W^{1.225}/L^{0.1015}$	$W^{1.107}/L^{0.101}$	$W^{0.667}D_0^{0.251}$
$Q=10^{-6}OSM$	$0.975L^{0.82}W^{0.75}$	$0.976LW^{0.57}$	$0.997W^{1.05}/D_0^{0.821}$
$Q=10^{-8}OSM$	$0.97L^{1.05}W^{0.67}$	$1.01L^{1.15}W^{0.56}$	$W^{1.08}/D_0^{0.697}$

$L=57.7$ m, $D_0=4.2$ m, $W=562$ ton の $L/20$ Trochoidal 値。
$M_H=1{,}548$(tonf・m), $M_S=735$(tonf・m), $F_H=97.8$(tonf)

2.4 $L/20$ Trochoidal Moment の各部縦曲げ応力

Table 2. $L/20$ Trochoidal Moment の各部縦曲げ応力

		Skeg	Bottom	Deck
Z_H (cm²-m)		14.472	18.610	13.280
$M_H=1548$ (Tf-M)	σ_H (kgf/cm²)	−107	−83.2	117
$M_S=735$ ($Tf-M$)	σ_S (kgf/cm²)	50.8	39.5	−55.3

2.5 MR-FRP 42% G・C 強度特性

$E=1.17\times10^5$ (kgf/cm²)　　$\sigma_{B0^\circ}=1{,}980$ (kgf/cm²)
$G=0.234\times10^5$ (kgf/cm²)　　$\sigma_{B90^\circ}=1{,}890$ (kgf/cm²)
$\tau=810$ (kgf/cm²)　　$\sigma_{T0^\circ}=1{,}440$ (kgf/cm²)
$\mu=0.27$　　$\sigma_{T90^\circ}=1{,}350$ (kgf/cm²)
$\lambda=0.9271$　　$\sigma_{C0^\circ}=1{,}000$ (kgf/cm²)
$\rho_m=1.54\times10^{-3}$ (kgf/cm³)　　$\sigma_{C90^\circ}=1{,}800$ (kgf/cm²)

3. 船底外板設計 (Longi. System)

3.1 パネル寸法

主機械室　$b_{max}=540$ (cm)
掃海発電機室　$b_{mean}=450$ (cm)
主機械室等　$b_{min}=270$ (cm)

Table 3. パネル寸法

Panel No.	1	2	3	4
S (cm)	82.0	120.0	95.0	110.0
b_2 (cm)	29.5	30.0	30.0	35.0
a (cm)	52.5	90.0	65.0	75.0
a_d (cm)	90.0			

3.2 撓み設計

$a=90$ (cm)　$M_H=1{,}548$ (tonf・m)　$N=35\,L^{0.6}$　$M_H{}^{0.62}/a=421$　$b/a=(540/90)=6$
$\bar{K}_2=1$

$$t_1=0.314\ a\sqrt[3]{\frac{\overline{K_2}P_1N}{E_b}}=0.314\times 90\sqrt[3]{\frac{1\times 0.397\times 421}{1.17\times 10^5}}=3.183\quad(\mathrm{cm})$$

3.3 応力設計

$\sigma_{HC}=83.2$ (kgf/cm^2)　$\sigma_Y=\sigma_C=1800$ (kgf/cm^2)
$J_2=0.343,\ L>35$ (m), $\overline{SF_L}=6$

$$t_2=a\sqrt{\frac{J_2P_1}{\left(\dfrac{\sigma_C}{\overline{SF_L}}\right)-\sigma_{HC}}}=90\sqrt{\frac{0.343\times 0.379}{\left(\dfrac{1800}{6}\right)-83.2}}=2.256\quad(\mathrm{cm})$$

3.4 縦座屈設計

$M_H=1548$ (tonf・m)
$\sigma_{HC}=83.2$ (kgf/cm^2)　$\overline{SF_L}=5$

$$t_3=\frac{a}{\pi}\sqrt{\frac{12\lambda\sigma_{HC}\overline{SF_L}}{1.1E\left(3+2\mu+4\lambda\dfrac{G}{E}\right)}}=\frac{90}{\pi}\sqrt{\frac{12\times 0.9271\times 83.2\times 5}{1.1\times 1.17\times 10^5\times 4.28168}}=2.625\quad(\mathrm{cm})$$

3.5 船底外板厚設計

$t_1=3.183$ (cm)　$t_{\max}=t_1=3.183$ (cm)
$t_2=2.256$ (cm)
$t_3=2.625$ (cm)
$t_d=(M600+R860)\times 14+M600=(0.22\times 14)+0.12=3.20$ (cm)

4. 船側外板設計（Combined Trans 部）

$P_{21}=0.294$ (kgf/cm^2): 主船殼側板　$F_H=97.8$ (tonf)
$P_{22}=0.147$ (kgf/cm^2): 非強力側板　$M_H=1{,}548$ (tonf・m))
$a=(S-b_2)=(90-18)=72$ (cm)　$b=320$ (cm)
$b/a=4.44$　$\overline{K_2}=1.0$　$C_a=11.94$

4.1　撓み設計

$$N_1=0.95L^{1.5}MH^{0.68}/ac=0.95\times 57.7^{1.5}\times 1548^{0.68}/72C=\left(\frac{853}{C}\right)$$

$$t_1=0.314a\sqrt[3]{\frac{K_2P_nN_1}{E}}$$
$$=0.314\times 72\sqrt[3]{\frac{1\times 853P_n}{1.17\times 10^5C}}$$
$$=4.38\sqrt[3]{\frac{Pn}{C}}$$
$$=\begin{cases}2.824\ \ (\mathrm{cm})\ \ \text{主船殻側外板：}P_{21}=0.294\ \ (\mathrm{kgf/cm^2})C=1.1\\1.457\ \ (\mathrm{cm})\ \ \text{非強力側外板：}P_{22}=0.147\ \ (\mathrm{kgf/cm^2})\end{cases}$$

4.2　剪断座屈設計

主船殻側板 $C=1$，非強力側板 $C=8$，$H=320$　(cm)　　$\overline{SF_\tau}=1.88L^{0.425}/C=\left(\frac{10.54}{C}\right)$

$$t_2=10\sqrt[3]{\frac{3\lambda a^2F_H\overline{SF_\tau}}{2HEC_a}}=10\sqrt[3]{\frac{3\times 0.9271\times 72^2\times 97.8\times 10.54}{2\times 320\times 1.17\times 10^5\times 11.94C}}$$
$$=\frac{2.552}{\sqrt[3]{C}}=\begin{cases}2.552\ \ (\mathrm{cm})\ \ \text{主船殻側板}\\1.276\ \ (\mathrm{cm})\ \ \text{非強力側板}\end{cases}$$

4.3　応力設計

$L\geqq 35$ m　　$\overline{SF_L}=6$　　$\sigma_T=1350$　(kgf/cm²)

$J_1=0.500$　　$\sigma_{HT}=117$　(kgf/cm²)

主船殻側板　　$P_{21}=0.294$　(kgf/cm²)　　$C_\sigma=0.75$

非強力船楼側板　$P_{22}=0.147$　(kgf/cm²)　　$C_\sigma=0.50$

$\sigma_{HT}=\sigma_{bK}C_\sigma=109C_\sigma$　(kgf/cm²)

$$t_s=a\sqrt{\frac{J_1P_n}{\left(\frac{\sigma_T}{SF_T}\right)-\sigma_{HT}}}=72\sqrt{\frac{0.5P_n}{\left(\frac{1350}{6}\right)-117C_\sigma}}=4.707\sqrt{\frac{P_n}{1.923-C_\sigma}}=\begin{cases}2.356\ \ (\mathrm{cm})\\1.513\ \ (\mathrm{cm})\end{cases}$$

4.4　船側外板設計値

主船殻側外板

$t_1=2.824$　(cm)　　$t_{\max}=t_1=2.824$　(cm)

$t_2=2.552$　(cm)　　$(MR\times 13)+M$

$t_3=2.356$　(cm)　　$t_d=2.98$　(cm)

非強力船楼側板

$t_1=1.457$　(cm)　　$t_{\max}=t_3=1.513$　(cm)

$t_2=1.276$　(cm)　　$(MR\times 7)+M$

$t_3=1.513$　(cm)　　$t_d=1.66$　(cm)

5.　甲板プレート設計（Longi. System）

$a=(S-b_2)=(60-15)=45$　(cm)　　$b=(180)$　(cm)

$M_H=1{,}548$　(tonf・m)　　$M_s=735$　(tonf・m)

$(b/a)=4.0 \qquad \overline{K_2}=1.0 \qquad \overline{K_3}=1.0$

5.1 撓み設計

$N=4.9L^{1.5}M_H{}^{0.6}/ac=3523/c$

$$t_1=0.314a\sqrt[3]{\frac{\overline{K_2}P_nN}{Eb}}=0.314\times45\sqrt[3]{\frac{1\times3.523P_n}{Eb}}=4.40\sqrt[3]{\frac{P_n}{C}}$$

Main Deck : $C=1.1$, $P_3=0.154$ (kgf/cm²), $t_1=2.285$ (cm)

Fcle Deck : $C=4$, $P_3=0.077$ (kgf/cm²), $t_1=1.179$ (cm)

5.2 集中荷重撓み設計

$N=100$

$$t_2=1.655\sqrt[3]{\frac{\overline{K_3}Na^2}{Eb}}=1.655\sqrt[3]{\frac{1\times100\times45^2}{1.17\times10^5}}=1.987 \quad (\mathrm{cm})$$

5.3 乗員撓み設計

$W_m=90$ (kgf/cm²) $\qquad N=200$

$$t_3=0.6316\sqrt[3]{\frac{\overline{K_3}aW_mN}{Eb}}=0.6316\sqrt[3]{\frac{1\times45\times90\times200}{1.17\times10^5}}=1.204 \quad (\mathrm{cm})$$

5.4 応力設計

Main DecK $\quad C_\sigma=1 \quad P_{31}=1.154$ (kgf/cm²) $\quad \sigma_{DK}=117$ (kgf/cm²)

Fcle DecK $\quad C_\sigma=0.65 \quad P_{33}=0.077$ (kgf/cm²) $\quad \overline{SF}=6$

$J_2=0.343$

$$t_4=a\sqrt{\frac{J_2P_n}{\left(\frac{\sigma_y}{\overline{SF}}\right)-\sigma_H}}=45\sqrt{\frac{0.343P_n}{\left(\frac{1350}{6}\right)-\sigma_{DK}C_\sigma}}=26.35\sqrt{\frac{P_n}{225-117C_\sigma}}=\begin{cases}0.995 \quad (\mathrm{cm}) \quad \text{Main DecK}\\0.599 \quad (\mathrm{cm}) \quad \text{Fcle DecK}\end{cases}$$

5.5 甲板プレート縦座屈設計

$\overline{SF_L}=4$

C_σ: Main Deck=1, Fcle Deck=0.65

$\sigma_{DK}=109$ (kgf/cm²)

$$t_5=\frac{a}{\pi}\sqrt{\frac{12\lambda\sigma_{DK}\overline{SF}_L}{1.1E\left\{3+2\mu+4\lambda\left(\frac{G}{E}\right)\right\}}}=\frac{45}{\pi}\sqrt{\frac{12\times0.9271\times4\sigma_{DK}C_\sigma}{1.1\times1.17\times10^5\times4.28168}}=0.129\sqrt{\sigma_{DK}C_\sigma}$$

Main DecK $\quad t_{51}=0.129\sqrt{117\times1}=1.395$ (cm)

Fcle DecK $\quad t_{52}=0.129\sqrt{117\times0.65}=1.125$ (cm)

5.6 甲板プレート設計値

Main DecK	Fcle DecK
$t_1=2.285$ (cm)	$t_1=1.179$ (cm)
$t_2=1.987$ (cm)	$t_4=0.599$ (cm)
$t_3=1.204$ (cm)	$t_5=1.125$ (cm)
$t_4=0.995$ (cm)	
$t_5=1.395$ (cm)	

$t_{max}=t_1=2.285$ (cm)	$t_{max}=t_1=1.179$ (cm)
$MR\times 10+M$	$MR\times 5+M$
$t_d=2.32$ (cm)	$t_d=1.22$ (cm)

6. スケグ設計

$P_1=0.397$ (kgf/cm^2), $S=82$ (cm), $l_0=1{,}080$ (cm), $l_{max}=540$ (cm), $l=450$ (cm)

ウェブトランス数 $\varepsilon=2$

撓み指数 $N_1=52.5\times 1.05^{\varepsilon}L=3{,}340$

$$I_L=\frac{P_1 S l^3 N_1}{C_2 E_t}=\frac{0.397\times 82\times 540^3\times 3{,}340}{384\times 1.17\times 10^5}=381{,}079\ (\mathrm{cm}^4)$$

スケグのウエブ板厚は底外板と同一とし，芯材にレジンコンクリートを充填して入梁荷重に強化する。

外板の有効フランジ幅は $t_1=3.20$(cm)のフランジ有効幅 b_e として扱う。$t=3.20(\mathrm{cm})=(M600+R860)\times 14+M600$ $n=14$

$$be=f_0\left\{1+\frac{n}{4}\left(\frac{n+0.1}{n+0.5}\right)\right\} \qquad f_0=5$$

$$=5\left\{1+\left(\frac{14\times 14.1}{4\times 14.5}\right)\right\}=22.0\ (\mathrm{cm})$$

スケグの外形寸法は 57.7 m あわしま形スケグの形状にならう。

	(cm^2) a	(cm) l	(cm^3) m	(cm^4) i	(cm^4) i'
① 3.2×81	259.2	−4.8	−1244.2	5,972.0	
② 3.2×22×2	140.8	−1.6	−225.3	360.4	
③ 43.72×3.2×2	279.8	21.86	6,116.4	133,705.1	44,568.4
④ 6.28×29	182.1	46.86	8533.2	399.866.0	
	861.9		Σa) 13,180.1	584,471.9	
			15.29		

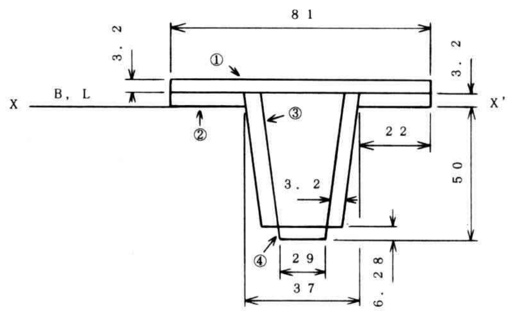

Fig. 1. スケグ外形寸法

$I_d = 382{,}973$ (cm^4) $Y_I = 34.71$ (cm) $Z_d = 11{,}034$ (cm^3) $I_{Req} = 381{,}079$ (cm^4)

$a_0 = \Sigma_a -$ ② $= 721.1$ (cm^2) $m_0 = 13405.4$ (cm^3) $e_0 = \dfrac{m_0}{a_0} = 18.59$ (cm) $= 0.186$ (m)

7. 船底ロンジハット（No. 1〜No. 3 ロンジ）

主機室：$l = 540$ (cm) $\varepsilon = 2$ $N_L = 3{,}340$

掃発室：$l = 450$ (cm) $\varepsilon = 1$ $N_L = 3{,}181$

$N_L = 52.5 \times 1.05^{\varepsilon} L = 3{,}029.3 \times 1.05^{\varepsilon}$ $\overline{SF} = 8$

設計は $l = 450$(cm) に対して 2 段ハットとして計画し，$l = 540$(cm) に対しては上段に木芯材を入れて強度剛性を保持する。（航走設計）（内ハットを 1，外ハットを 2 の符号にて表示する。）

7.1 一般船底ロンジ撓み設計

$$I_{LReq} = \frac{P_1 S l^3 N_L}{C_2 E t} = \frac{0.397 \times 100 \times l^3 N_L}{384 \times 1.17 \times 10^5} = \frac{l^3 N_L}{1{,}131{,}688}$$

主機室 $I_L = 464{,}730$ (cm^4)

掃発室 $I_{LReq} = 256{,}138$ (cm^4)

7.1.1 内側ハット設計

$I_1 = I_{Req} \times 0.2 = 256{,}138 \times 0.2 = 51{,}228$ (cm^4)

$b_2 = b_f = 25$ (cm) $b_{f1} = b_f - 2 \times 1.66 = 21.7$ (cm) $H_W = 36$ (cm) $t_{f1} = 2.68$ (cm)

$A_{f1} = 38$ (cm^2)

$$t_{fc} = \left\{ \frac{t_f + 12\left(\dfrac{A_f}{H_W}\right)}{1 + 12\left(\dfrac{b_f}{H_W}\right)} \right\} = \left\{ \frac{2.68 + 12\left(\dfrac{38}{36}\right)}{1 + 12\left(\dfrac{25}{36}\right)} \right\} = 1{,}644 \text{ (cm)}$$

$t_{fd} = (M600 + R860)7 + M = (0.22 \times 7) + 0.12 = 1.66 = t_{wd}$

$b_p = 40 t_1 + b_2 = (40 \times 3.2) + 25 = 153$ (cm) $\rightarrow S_{\min} = 95$ (cm)

外板付きフランジは外側ハット部に算入する。

			a	l	m	i	i'
外板	①	3.2×95	304.0	1.6	−486.4	778.2	
ウェブ-1	②	36×1.66×2	119.5	18.0	2,151.0	38,718.0	12,906.0
クラウン-1	③	1.66×21.7	36.0	36.83	1,325.9	48,832.2	
			459.5		Σa)2,990.5	101,234.4	
					6.51		

$I_1 = 81{,}761$ (cm^4)

7.1.2 外側ハット設計

$I_2 = I_{Req} - I_1 = 256{,}138 - 81{,}761 = 174{,}377$ (cm^4)

$H_W = 54$ (cm) $t_{f2} = 2{,}875$ $A_{f2} = 42.5$ (cm^2) $b_{f2} = 25$ (cm)

$$t_{fc} = \left\{ \frac{2.875 + 12\left(\dfrac{42.5}{54}\right)}{1 + 12\left(\dfrac{25}{54}\right)} \right\} = 1.879 \text{ (cm)} \qquad tfd_2 = MR \times 8 + M = 1.88 \text{ (cm)} = t_{wd}$$

外板付きフランジ

$t_{wd} = t_{w1} + t_{w2} = (1.66 + 1.88) = 3.54$ (cm) $n \doteqdot 15$

$b_e = f_0\left\{1+\frac{n}{4}\left(\frac{n+0.1}{n+0.5}\right)\right\} = 23.3$ (cm)　　$f_0 = 5$

掃発室船底ロンジ計算

		a	l	m	i	i'
①~③	459.5	459.5		2,990.5	101,234.4	
④	3.54×23.3×2	165.0	1.77	292.1	516.9	
⑤	54×1.88×2	203.0	27.0	5,481.0	147,987.0	49,329.0
⑥	1.88×25	47.0	54.94	2,582.2	141.865.0	
		874.5		Σa)11,345.8	440,932.3	
				12.97		

$I_{L1d} = 293{,}823$ (cm⁴)　$Y_F = 42.91$ (cm)　$Z_{L1d} = 6{,}847$ (cm³)　$I_{L1\mathrm{Req}} = 256{,}138$ (cm⁴)

$A_{0L} = 571$ (cm²)　$Ip_a = 64{,}535$ (cm⁴)　$r_a = 42.91$ (cm)

$a_0 = \Sigma_a -$ ① $= 570.5$ (cm²)　$m_0 = \bar{z}m -$ ① $= 11{,}832.2$ (cm³)

$e_0 = \frac{m_0}{a_0} + tp = 23.9$ (cm) $= 0.239$ (m)

$h_T = 54 + 1.88 = 55.88 \rightarrow 56$ (cm)　$A = 874.5$ (cm²)　$A_w =$ ②+⑤ $= 322.5$ (cm²)

7.2　主機室内木芯挿入設計　$(E_W/E_F) = \left(\frac{1{,}850}{1{,}170}\right)$

		a	l	m	i	i'
①~⑥	874.5	874.5		11,345.8	440,938.3	
⑦	10×25×1.15	287.5	49.0	14,087.5	690,287.5	2,395.8
		1,162.0		Σa)25,433.3	1,133,615.6	
				21.89		

$I_{L3d} = 576.818$ (cm⁴)　$Y_F = 33.99$ (cm)　$Z_{L2d} = 16.970$ (cm³)　$I_{LZ\mathrm{Req}} = 464.730$ (cm⁴)

$A_{OL} = 858$ (cm²)　$r_a = 33.99$ (cm)

$I_{pa} = \left(\frac{3.2}{2} + 21.89\right)^2 \times 3.2 \times 95 = 167.741$ (cm⁴)

7.3　応力設計安全率　$\sigma_{HC} = 83.2$ (kgf/cm²)　$C_1 = 12$

$$\overline{SF_L} = \frac{C_1 Z_L \sigma_c}{P_1 S l^2 + C_1 \sigma_{HC} Z_L} = \frac{12\times1800\times Z_L}{(0.397\times100\times l^2)+(12\times83.2\times Z_L)} = \frac{544 Z_L}{l^2 + 25.15 Z_{L0}}$$

一般ロンジ：$l = 450$ (cm), $Z_{Ld} = 6.847$ (cm³), $\overline{SF_L} \geqq 8$, $\overline{SF_L} = 9.94$

主機台下ロンジ：$l = 540$ (cm), $Z_{Ld} = 16.970$ (cm³), $\overline{SF_L} \geqq 8$, $\overline{SF_L} = 12.85$

7.4　船底ロンジ縦座屈安全率　$\sigma_{HC} = 83.2$ (kgf/cm²)

$$\overline{SF_B} = \frac{EI_L}{A\sigma_{HC}}\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \Big/ \left\{1+\frac{E}{G}\frac{I_L}{A_W}\left(\frac{\pi}{l}\right)^2\right\} = \frac{1.17\times10^5\times\pi^2}{83.2}\left(\frac{I_L}{Al^2}\right) \Big/ \left\{1+\frac{1.17\pi^2}{0.234}\left(\frac{I_L}{A_W l^2}\right)\right\}$$

$$= \frac{13{,}879 I_L}{Al^2} \Big/ \left\{1+\frac{49.35 I_L}{A_W l^2}\right\} \geqq 3$$

Table 4. $\overline{SF}_B$（船底ロンジ縦座屈安全率）

	I_{Ld}	1	A	A_W	$\overline{SF}_3 \geqq 3$
一般ロンジ	293823	450	874.5	322.5	18.84
主機室ロンジ	576818	540	1162.0	610.0	20.37

7.5　船底ロンジ撓み指数

$$N_L=\left(\frac{C_2EI_L}{P_1Sl^3}\right)=\frac{384\times1.17\times10}{0.397\times100}\frac{I_L}{l^3}=1.13\times10^6\left(\frac{I_L}{l^3}\right)$$

$N_{\text{Req}}=3029.3\times1.05^{\varepsilon}$

Table 5. N_{Req}, N_C, δ（船底ロンジ撓み指数および計算撓み）

	I_{Ld}	1	Σ	N_{Req}	N_L	δ
一般ロンジ	293823	450	1	3181	3649	1.23
主機室ロンジ	576818	540	2	3340	4146	1.30

7.6　船底ロンジ耐爆設計値

（15.3.5）項にて船底防撓構造動荷重係数，設計水圧を求めている。

掃発室　$L_d=1.032$　$P_{X2d}=4.96$　(kgf/cm²)

$$Z_{LX2}=\frac{P_{X2}L_dSl^2\overline{SF}_{LX2}}{12\sigma_{C0'}}=\frac{4.81\times1.632\times100\times450^2\times1.5}{12\times1800}=6981\quad(\text{cm}^3)$$

木芯入り　木芯なし

$Z_{L2d}=16{,}970$　(cm³)　$Z_{L1d}=6{,}847$　(cm³)

$Z_{L2}d>Z_{LX2}>Z_{L1d}$ であるので，耐爆船底設計では，全船について木芯材入り $Z_{L2d}=16{,}970$ (cm³) を使用する。

8.　甲板構造設計

8.1　甲板一般ロンジ設計

$P_3=0.154$ (kgf/cm²)　$S=60$ (cm)　$l=180$ (cm)　$\sigma_{Ht}=117$ (kgf/cm²)

$M_H=1{,}548$ (tonf・m)

$N_L=2L^{1.25}$　$M_H{}^{0.36}=4{,}475$　$\overline{SF}=8$

$$I_L=\frac{P_3Sl^3N_L}{C_2Et}=\frac{0.154\times60\times180^3\times4475}{384\times1.17\times10^5}=5{,}367\quad(\text{cm}^4)$$

$$Z_L=\frac{P_3\ S\ l_2}{C_1\left(\frac{\sigma_{E0}}{SF_1}-\sigma_{Ht}\right)}=\frac{0.154\times60\times180^2}{12\left(\frac{1{,}440}{8}-117\right)}=396\quad(\text{cm}^3)$$

$I_L=5{,}367$ (cm⁴)　$Z_L=396$ (cm³)

H_W (cm)	14	=	14	
t_f (cm)	2.125	>	1.85	$b_2=b_f=15$ (cm)
A_f (cm²)	2.75	>	22.0	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=\left\{\frac{2.125+12\left(\frac{27.5}{14}\right)}{1+12\left(\frac{15}{14}\right)}\right\}=1.854 \quad (\mathrm{cm})$$

$t_{fd}=MR\times 8+M=1.88$ (cm)

$t_{wd}=MR\times 4+M=1.00$ (cm)　　($n=4$)

$$b_e=5\left\{1+\frac{n}{4}\left(\frac{n+0.1}{n+0.5}\right)\right\}=5\left\{1+\left(\frac{4.1}{4.5}\right)\right\}=9.6 \quad (\mathrm{cm})$$

$b_P=40t_P+b_2=(40\times 2.32)+15=107.8$ (cm) → $S=60$ (cm)

		a	l	m	i	i'
①	2.32×60	139.2	−1.16	−161.5	187.3	
②	1.0×9.6×2	19.2	0.5	9.6	4.8	
③	14×1.0×2	28.0	7.0	196.0	1,372.0	457.3
④	1.88×15	28.2	14.94	421.3	6,294.3	
		214.6		Σa)465.4	8,315.7	
				2.17		

$Id=7305$ (cm^4)　　$Y=13.71$ (cm)　　$Z_d=533$ (cm^3)　　$I_{\mathrm{Req}}=5367$ (cm^4)

$Z_{\mathrm{Req}}=396$ (cm^3)

甲板ロンジ設計値

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=(140\times 150/150\times 18.8/10)$ (mm)

$a_0=75.4$ (cm^2)　　$m_0=626.9$ (cm^3)　　$e_0=\frac{m_0}{a_0}+t_P=0.111$ (m)

$h_T=14+1.88=15.88\rightarrow 16$ (cm)

8.2 甲板一般ビーム設計

$P_{31}=0.154$ (kgf/cm^2)　　$S=180$ (cm)　　$l_B=310$ (cm)　　$C_1=12$　　$C_2=384$

$\overline{SF_T}=5$　　$N_T=12L=692$　　$h_T=16$ (cm)

$$I_T=\frac{0.154\times 180\times 310^3\times 692}{384\times 1.17\times 10^5}=12{,}719 \quad (\mathrm{cm}^4)$$

$$Z_T=\frac{0.154\times 180\times 310^2\times 5}{12\times 1{,}350}=822 \quad (\mathrm{cm}^3)$$

$$A_\tau=\frac{0.154\times 65\times 180\times 6}{810}=13.3 \quad (\mathrm{cm}^2)$$

貫通残存ウェブ

$h_{W\tau}=\frac{A_\tau}{2t_W}=\frac{13.3}{2\times 1.66}=4.0$ (cm)　　$H_{W\tau}=(h_{W\tau}+h_T)=(4+16)=20$ (cm)　　$\beta_0=0$

$I_{\mathrm{Req}}=12{,}719$ (cm^4)　　$Z_{\mathrm{Req}}=822$ (cm^3)

H_W (cm)　　20=20

t_f (cm)　　2.375>2.25　　$b_2=b_f=18$ (cm)

A_f (cm^2)　　32.5>30.6

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=1.854 \quad (\mathrm{cm})$$

$t_{fd}=(M+R)\times 7+M=1.66$ (cm) $=t_{wd}$ $n=7$ $f_0=5$

$b_P=40+b_2=(40\times 2.32)+18=110.8$ (cm)

		a	l	m	i	i′
①	2.32×110.8	257.1	−1.16	−298.2	346.0	
②	4×1.66×2	13.3	18.0	239.4	4,309.2	17.7
③	1.66×18	29.9	20.83	622.8	12,973.3	
		300.5		Σa)564.0	17646.2	
				1.88		

甲板一般ビーム設計値

$I_d=16.585$ (cm^4) $Y_F=19.78$ (cm) $Z_d=838$ (cm^3) $I_{\mathrm{Req}}=12.719$ (cm^4)

$Z_{\mathrm{Req}}=822$ (cm^3)

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=(200\times 180/180\times 16.6/16.6)$ (mm) $A_{W\tau}=13.3$ (cm^2) $=A_\tau$

$h_T=(210+1.66)=21.66\rightarrow 22$ (cm)

8.3 甲板ガーダ設計（Longi System, DK Longi, 桁）

$P_{31}=0.154$ (kgf/cm^2) $l_0=1{,}080$ (cm) $M_H=1{,}548$ (tonf・m)

縦桁の S は方粗幅の 1/2 $S=\dfrac{310}{2}=155$ (cm)

$N_1=L^{1.12}M_H^{0.23}/P_{31}=3{,}301$ $\overline{SF_L}=8$ $\sigma_{Ht}=117$ (kgf/cm^2) $C_1=24$ $C_2=384$

$$l_L=\frac{1.1\,l_0}{1+\xi}=\frac{1.1\times 1{,}080}{1+2}=396 \text{ (cm)}$$

$$I_L=\frac{P_{31}Sl_L^3N_1}{C_2E_t}=\frac{0.154\times 155\times 396^3\times 3{,}301}{384\times 1.17\times 10^5}=108{,}910 \text{ (cm}^4)$$

$$Z_L=\frac{P_{31}Sl_L^2}{C_1\left(\dfrac{\sigma_{T0^\circ}}{\overline{SF_1}}-\sigma_{HT}\right)}=\frac{0.154\times 155\times 396^2}{24\left(\dfrac{1{,}440}{8}-117\right)}=2{,}476 \text{ (cm}^3)$$

$$A_\tau=P_{31}fS\frac{\overline{SF_\tau}}{\tau_F}=\frac{0.154\times 310\times 180\times 6}{810}=63.7 \text{ (cm}^2)$$

(a) $H_W=45$ (cm) $I_{\mathrm{Req}}=108{,}910$ (cm^4) $Z_{\mathrm{Req}}=2{,}476$ (cm^3)

H_W (cm)	45	= 45	
t_f (cm)	2.75	>4.25	$b_2=b_f=20$(cm)
A_f (cm^2)	40	> 30	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\dfrac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\dfrac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=\left\{\frac{2.75+12\left(\dfrac{40}{45}\right)}{1+12\left(\dfrac{20}{45}\right)}\right\}=2.118 \text{ (cm)}$$

$tfd=MR\times 9+M=2.1$ (cm) $=t_{Wd}$ $h_T=$ 22 (cm) (Beam) $hw=(H_W-h_T)=(45-22)=23$ (cm)

$Dp=40tp+b_2=(40\times 2.76)+20=130$ (cm)

		a	l	m	i	i′
①	2.32×150	348.0	−1.16	−403.7	468.3	
②	23×2.1×2	96.6	33.5	3,236.1	108,409.4	4,258.5
③	2.1×20	42.0	64.05	1984.1	89,065.3	
		486.6		Σa)4,815.5	202,201.5	
				9.90		

$I_c=154{,}510$ （cm^4） $Y=37.20$ （cm） $Z_c=41.53$ （cm^3）

$I_{Req}=108{,}910$ （cm^4） $Z_{Req}=2{,}610$ （cm^3）

$H_{Wd}=45\sqrt[3]{\dfrac{108{,}910}{154{,}810}}=40$ （cm） $H_{Wd}=45\sqrt{\dfrac{2{,}616}{4{,}153}}=35.6$ （cm） $H_{Wd}=39$ （cm）にて修正する。

$h_W=(H_{Wd}-h_T)=(39-22)=17$ （cm）

		a	l	m	i	i'
①	2.32×130	348.0	−1.16	−403.7	468.3	
②	17×2.1×2	71.4	30.5	2,177.7	66,419.9	1719.6
③	2.1×20	42.0	40.05	1682.1	67,368.1	
		461.4		Σa)3,456.1	135,975.9	
				7.49		

$I_d=110{,}091$ （cm^4）, $Y_F=33.61$ （cm）, $Z_d=3{,}276$ （cm^3） $I_{Req}=108{,}916$ （cm^4）, $Z_{Req}=2{,}610$ （cm^3）

甲板ガータ設計寸法

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=(390\times200/200\times21/21)$ （mm）

$a_0=113.4$ （cm^2） $m_0=3{,}859.8$ （cm^3）

$e_0=\left(\dfrac{m_0}{a_0}+t_P\right)=\left(\dfrac{3859.8}{113.4}\right)+2.76=36.8$ （cm）$=0.368$ （m） $A_W=71.4$ （cm^2）$>A_\tau=63.7$ （cm^2）

9. 中央部横断面係数計算

9.1 中央部横断面係数計算（A, N, A_X は，Base line 上 2.00 m）

Table 6. 中央部横断面係数計算値（中立軸より上方）

		a (cm^2)	l (m)	m (cm^2・m)	i (cm^2・m^2)	h (m)	$ah^2/12$ (cm^2・m^2)
船側外板	2.98×325	968.5	0.625	605.3	378.3	3.250	852.5
船側外板ギヤー部補強	0.44×90	39.6	1.760	69.7	122.7	0.900	2.7
甲板プレート	2.32×270	626.4	2.350	1472.0	3459.3	—	—
甲板ストリンガー部補強	0.66×50	33.0	2.270	74.9	170.0	—	—
甲板ストリンガー部2次接着	3.42×50	171.0	2.300	393.3	904.6	—	—
ストリンガーアングル	3.42×15	51.3	2.206	113.2	249.6	—	—
船側ストリンガーアングル	3.42×15	51.3	2.317	118.9	275.4	—	—
No. 1 D_K L	75.4	75.4	2.132	160.8	342.7	—	—
No. 2 D_K L	75.4	75.4	2.182	164.5	359.0	—	—
No. 3 D_K L	75.4	75.4	2.242	169.0	379.0	—	—
No. 4 D_K L	75.4	75.4	2.252	169.8	382.4	—	—
甲板ガータ	113.4	113.4	1.992	225.9	450.0	—	11.2
TOTAL	—	2356.1	—	3737.3	7473.0	—	866.4

Table 7. 中央部横断面係数計算値（中立軸より下方）

		a (cm²)	l (m)	m (cm²・m)	i (cm²・m²)	h (m)	$ah^2/12$ (cm²・m²)
スケグ	721.1×1/2	360.6	2.186	788.3	1723.2	—	38.5
キール部外板補強	0.66×60	39.6	1.950	77.2	150.6	—	—
船底外板	3.2×15	1328.0	1.498	1989.3	2980.0	1.005	11.8
船底外板チャイン部補強	0.66×80	52.8	1.068	56.4	60.2	—	—
No. 1 BTM L	570.5	570.5	1.639	935.0	1532.5	—	29.4
No. 2 BTM L	570.5	570.5	1.294	738.2	955.3	—	29.4
No. 3 BTM L	570.5	570.5	1.064	607.0	645.9	—	29.4
船側外板チャイン部補強	0.66×100	66.0	0.500	33.0	10.5	0.936	4.8
TOTAL	—	3558.5	—	5224.4	8064.2	—	243.3

※I_H=32.549 (cm²・m)
Y_{skeg}=2.249 (m)　Y_{BTM}=1.749 (m)　Y_{DK}=2.451 (m)
Z_{skeg}=14.472 (cm²・m)　Z_{BTM}=18.610 (cm²・m)　Z_{DK}=13.280 (cm²・m)

Table 8. Longitudinal Bending Stress Trochoidal

		Skeg	Bottom	Deck
Z_H (cm²-m)		14472	18610	13280
M_H=1548 (T-M)	σ_H (kgf/cm²)	−107	−83.2	117
M_S=735 (T-M)	σ_S (kgf/cm²)	50.8	39.5	−55.3
		強力側外板	非強力甲板	非強力側外板
$C\sigma \cdot \sigma_{DK}$		$0.75\sigma_{DK}$	$0.65\sigma_{DK}$	$0.5\sigma_{DK}$

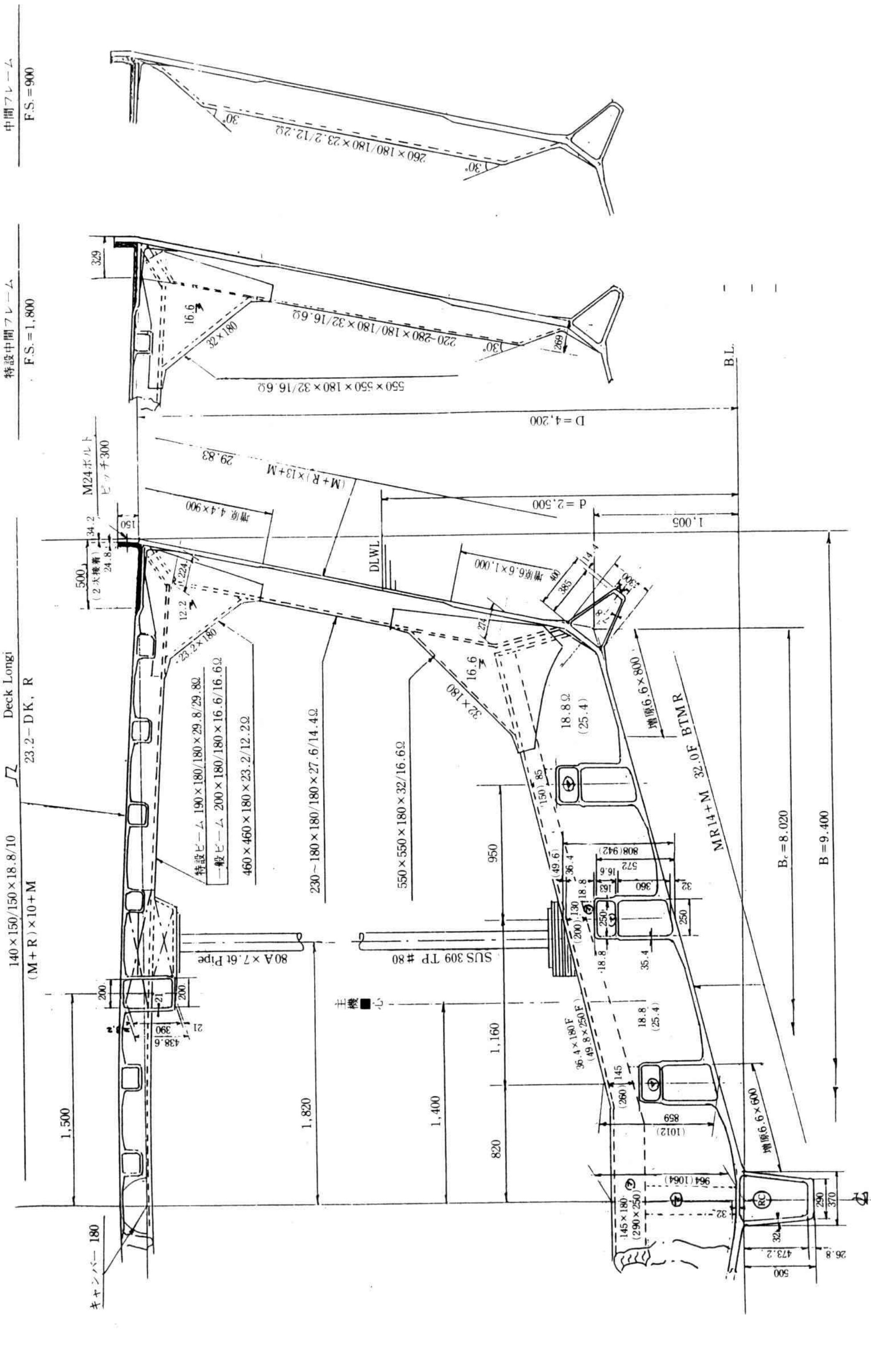

Fig. 2. 57.7 (m) GERP Midship Section (L/20) Trochoidal Wave Moment.

10.　主機械室ウェブリング設計

10.1　特設肋板　$b_W=f_{max}=450$　(cm)

（掃発室）：$f=405$　(cm)

10.1.1　貫通する船底ロンジの高さ　$\beta=14.78°$（船底傾斜角）

$$h_T=\left[H_W+t_f+\frac{b_2}{2}\tan\beta°+C\right]=\left[54+1.88+\frac{25}{2}\tan 14.72°+1.84\right]=61\quad(\mathrm{cm})$$

10.1.2　フロアクラウン剪断設計（No. 2 B_{TH} Longi, 交点）

$f=405$　(cm)　　$S=100$　(cm)　　$\tau_F=810$　(kgf/cm²)　　$l_B=400$　(cm)

変断面設計（一般航走設計）

$$\overline{SF_\tau}=7F_A=7\left\{1+2\left(\frac{x}{l_B}\right)\right\}=\frac{7(200+x)}{200}$$

$P_1=0.397$　(kgf/cm²)　　$b_f=18$　(cm)　　$t_W=1.88$　(cm)　　$\beta_0=(h_o/h_W)=1.0$

ロンジ貫通による残存肋板断面積：A_τ

$$A_\tau=\frac{P_1 f_S \overline{SF}_\tau}{\tau_F}=\frac{0.397\times450\times100\times7(200+x)}{810\times200}=0.772(200+x)$$

$$h_{Wa}=\frac{A_\tau}{2t_W+\beta_0 bf\left(\dfrac{E_W}{E_F}\right)}\qquad x_a=210\quad(\mathrm{cm})$$

$$=\frac{0.772(200+x)}{(2\times1.88)+1\times18\left(\dfrac{1{,}350}{1{,}170}\right)}=\frac{(200+x)}{31.77}=12.9\rightarrow13\quad(\mathrm{cm})$$

10.1.3　肋板の設計要求値，$C_E=1$

$b_W=450$　(cm)　　$l_B=400$　(cm)　　$C_1=8$　　$\sigma_t=1{,}350$　(kgf/cm²)

$$\overline{SF}_T=3.2\times F_A=3.2\left(1+2\frac{x}{l_B}\right)=\frac{3.2(200+x)}{200}$$

$$Z_T=\frac{P_1 b_W l_B^2 \overline{SF}_T}{C_1\sigma_{C90°}}$$

$$=\frac{0.397\times450\times400^2\times3.2(200+x)}{8\times1800\times200}=31.76(200+x)\quad(\mathrm{cm^3})$$

撓み設計（単材）　　$C_F=1$

$$N_{1T}=15.4LF_AC_F=15.4\times57.7\frac{(200+x)}{200}=4.44(200+x)$$

$$I_{1T}=\frac{P_1 b_w l_B{}^3 N_{1T}}{C_2E}=\frac{0.397\times450\times400^3\times4.44(200+x)}{184.6\times1.17\times10^5}=2{,}350(200+x)\quad(\mathrm{cm^4})$$

格子構造平板撓み設計，$C_F=1$

$$N_{2T}=27LF_AC_F=7.79(200+x)$$

$$I_{2T}=\frac{P_1 b_0{}^3 l_L N_{2T}}{C_5E(n+1)\pi^4}-I_L\left(\frac{m+1}{n+1}\right)\left(\frac{b_0}{l_L}\right)^3=\frac{0.397\times400^3\times1{,}080\times7.79(200+x)}{3\times1.17\times10^5\times3\pi^4}-\frac{289{,}512\times4}{3}\left(\frac{400}{1{,}080}\right)^3$$

$$=2084(191+x)\quad(\mathrm{cm^4})$$

肋板設計一般式

$Z_T=31.76(200+x)$　　$I_{1T}=2{,}350(200+x)$　　$I_{2T}=2{,}084(191+x)$

10.1.4 〔$x=210$(cm)〕No. 2 船底ロンジ交点の設計

$b_P=(400t_P+b_2)=(40\times3.2)+18=146$ (cm)

$(E_W/E_F)=\left(\frac{1,350}{1,170}\right)=1.15$ $t_P=3.20$ (cm)

$t_W=1.88$ (cm) $t_f=3.64$ (cm) $b_2=b_f=18$ (cm) $h_{Wa}=13$ {cm)

(1) $x=210$ (cm) 第2ロンジ交点

		a	l	m	i	i′
①	3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1,196.0	
②	13×1.88×2	48.9	67.5	3,300.8	222,800.6	688.7
③	13×18×1.15	269.1	67.5	18,164.3	1,226,086.9	3,789.8
④	3.64×18	65.5	75.82	4,966.2	367,499.5	
		850.7		Σa)25,683.8	1,822,061.8	
				30.19		

$I_{Td}=1,046,703$ (cm⁴) $Y_F=47.45$ (cm) $Z_{Td}=22,059$ (cm³) $I_{T\mathrm{Req}}=963,500$ (cm⁴)

$A_{DT}=372.9$ (cm²) $Z_{T\mathrm{Req}}=13022$ (cm³) $I_{Pb}=472154$ (cm⁴) $\gamma_b=47.45$ (cm)

$h_{Wa}=13$(cm) が良好なる計算値を示した。

$h_{Wx}=h_{Wa}\left(\frac{I_X}{I_a}\right)^{1.5}_{\mathrm{Req}}=13\left(\frac{I_X}{963,500}\right)^{1.5}$ とする。

$H_W=h_T+h_W=(61.0+h_W)$ (cm)

$H_F=h_T+t_{fd}+h_W=(64.7+h_W)$ (cm)

10.1.5 肋板設計要求値

Table 9. Z_{Req}, Z_d, I_{Req}, I_d（肋板設計要求値と設計値）

x (cm)	0	105	210	325	400
Z_{Req} (cm³)	6352	9687	13022	16674	19056
I_{Req} (cm⁴)	470000	716750	963500	1233750	1410000
h_W (cm)	(8.5)	8.5	13	14.5	14.5
H_W (cm)	65	69.5	74	79	(86.4)
H_F (cm)	68.7	73.2	77.7	82.6	90
Z_d (cm³)	14406	16316	22059	25563	28542
I_d (cm⁴)	678685	807950	1046703	1247465	1504186

チャインより x(cm) に於ける肋板設計要求値と設計値。

(2) $x=0$ チャイン部

		a	l	m	i	i′
①	3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1,196.0	
②	8.5×1.88×2	32.0	60.75	1,944.0	118,098.0	192.7
③	8.5×18×1.15	176.0	60.75	10,692.0	649,539.0	1,059.7

		a	l	m	i	i'
④	3.64×18	65.5	62.62	4,662.3	251,944.5	
		740.7		Σa)15,950.8	1,022,029.9	
				21.53		

I_d=678,685 (cm⁴)　Y_F=47.11 (cm)　Z_d=14,406 (cm³)　I_{Rgq}=470,000 (cm⁴)
Z_{Req}=6,352 (cm³)

(3) x=105(cm) 第3ロンジ交点 $\left(\frac{E_W}{E_F}\right)=\left(\frac{1,350}{1,176}\right)=1.15$

		a	l	m	i	i'
①	3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1196.0	
②	8.5×1.88×2	32.0	65.25	2,088.0	136,242.0	192.7
③	8.5×18×1.15	176.0	65.25	11484.0	749,331.0	1,059.7
④	3.64×18	65.5	71.32	4671.5	333,168.5	
		740.7		Σa)17,496.0	1,221,189.9	
				2,362		

I_d=807,950 (cm⁴)　Y_F=49.52 (cm)　Z_d=16,316 (cm³)
I_{Req}=716,750 (cm⁴)　Z_{Req}=9,687 (cm³)

(4) x=325(cm) 第1ロンジ交点

		a	l	m	i	i'
①	3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1,196.0	
②	14.5×1.88×2	54.5	71.75	3910.4	280,569.4	954.9
③	14.5×18×1.15	300.2	71.75	21,539.4	1,545,448.4	5,259.8
④	3.64×18	65.5	80.82	5,293.7	427,837.6	
		887.4		Σa)29,996.0	2,261,266.1	
				33.80		

I_d=1,247,465 (cm⁴)　Y_F=48.80 (cm)　Z_d=25,563 (cm³)
I_{Req}=1,233,750 (cm⁴)　Z_{Req}=16,674 (cm³)

(5) x=400(cm) 船体中心線

		a	l	m	i	i'
①	3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1196.0	
②	14.5×1.88×2	54.5	79.15	4,313.7	341,427.4	954.9
③	14.5×18×1.15	300.2	79.15	23,760.8	1,880,669.7	5,259.8
④	3.64×18	65.5	88.18	5,775.8	509,309.2	
		887.4		Σa)33,102.8	2,238,817.0	
				37.30		

I_d=1,504,186 (cm⁴)　Y_P=52.70 (cm)　Z_d=28,542 (cm³)
I_{Req}=1,410,000 (cm⁴)　Z_{Req}=19,056 (cm³)

10.2 船側特設肋骨（変断面，上下端肘板固着）

$P_{21}=0.294$ (kgf/cm²)　$S_{max}=270$ (cm)　$C_1=12$　$C_2=384$
$l_B=(D-h_C-h_T-h_B)=(420-100-68-25)=227$ (cm)
$F_B=\left(1.5+\frac{x}{l_B}\right)$（ガンネル部 $x=0$，チャイン部 $x=l_B$）

$$\overline{SF}_T = 2.3F_B = \frac{2.3}{227}(341+x) = \frac{(341+x)}{98.7}$$

$$N_{1T} = \frac{F_B}{2}(L^{7.3}/D^{15.6}) = \frac{(341+x)}{2\times 227}(57.7^{7.3}/4.2^{15.6}) = 3(341+x)$$

$$I_T = \frac{P_{21}Sl_B{}^3N_{1T}}{C_2E} = \frac{0.294\times 270\times 227^3\times 3(341+x)}{384\times 1.17\times 10^5} = 62(341+x)\quad (\mathrm{cm}^4)$$

$$Z_T = \frac{P_{21}Sl_B{}^2\overline{SF}_T}{C_1\sigma_t} = \frac{0.294\times 270\times 227^3\times (341+x)}{12\times 1350\times 98.7} = 2.56(341+x)\quad (\mathrm{cm}^3)$$

10.2.1　チャイン部特設肋骨設計　　$x = l_B = 227$ (cm)

$I_{\mathrm{Req}} = 35{,}216$ (cm^4)　$Z_{\mathrm{Req}} = 1{,}454$ (cm^3)

H_W (cm)　26　$=26$

t_f (cm)　3.125　>2.75　$b_2 = b_f = 18$ (cm)

A_f (cm^2)　47.5　>40

$$t_{fc} = \left\{\frac{t_f + 12\left(\dfrac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\dfrac{b_f}{H_W}\right)}\right\} = 2.691\quad (\mathrm{cm})$$

$t_{fd} = (M600 + R860)\times 12 + M600 = 2.76$ (cm)

$t_{Wd} = (M600 + R860)\times 6 + M600 = 1.44$ (cm): $n=6$

$b_P = (2.98\times 40) + 18 = 137.2 \rightarrow S = 90$ (cm)

$$b_e = 5\left\{1 + \frac{n}{4}\left(\frac{n+0.1}{n+0.5}\right)\right\} = 12\quad (\mathrm{cm})$$

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.44×12×2	34.6	0.72	24.9	17.9	
③	26×1.44×2	74.9	13.0	973.7	12,658.1	4,219.4
④	2.76×18	49.7	27.38	1360.8	37,258.3	
		427.4	Σa)	1,959.8	54,749.1	
				4.61		

$I_c = 45{,}666$ (cm^4)　$Y = 24.15$ (cm)　$Z_C = 1{,}891$ (cm^3)

$I_{\mathrm{Req}} = 35{,}216$ (cm^4)　$Z_{\mathrm{Req}} = 1{,}454$ (cm^3)

$H_{Wd} = 26\sqrt[3]{\dfrac{35{,}216}{45{,}666}} = 23.8$ (cm)　$H_{Wd} = 26\sqrt{\dfrac{1{,}454}{1{,}891}} = 22.8$ (cm)　$H_W = 23$ (cm)にて修正する。

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.44×12×2	34.6	0.72	24.9	17.9	
③	23×1.44×2	66.2	11.5	761.3	8,755.0	2,918.3
④	2.76×18	49.7	24.38	1,211.7	29,540.9	
		418.7	Σa)	1,598.3	41,827.5	
				3.82		

チャイン部特設肋骨設計値

$I_d = 35{,}718$ (cm^4)　$Y = 21.94$ (cm)　$Z_d = 1{,}628$ (cm^3)

$I_{\mathrm{Req}} = 35{,}216$ (cm^4)　$Z_{\mathrm{Req}} = 1{,}454$ (cm^3)

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd} = (230\times 180/180\times 27.6/14.4)$ (mm)

10.2.2 ガンネル部特設肋骨設計 $x=0$

$I_{\text{Req}}=62(341+x)=21142$ (cm^4) $Z_{\text{Req}}=2.56(341+x)=873$ (cm^3)

H_W (cm)	22	=	22
t_f (cm)	2.75	>	2.05 $b_2=b_f=18$ (cm)
A_f (cm^2)	40	>	26

$$t_{fc}=\left\{\frac{2.75+12\left(\frac{40}{22}\right)}{1+12\left(\frac{78}{22}\right)}\right\}=2.271 \text{ (cm)}$$

$t_{fd}=MR\times12+M=2.76$ (cm)

$t_{Wd}=MR\times6+M=1.44$ (cm)

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.44×12×2	34.6	0.72	24.9	17.9	
③	22×1.44×2	63.4	11.0	697.4	7,671.4	2557.1
④	2.76×18	49.7	23.38	1,162.0	27,167.2	
		415.9		Σa)856.7	38,009.0	
				2.06		

$I_C=36{,}244$ (cm^4) $Y=22.7$ (cm) $Z_C=1{,}597$ (cm^3)

$I_{\text{Req}}=21{,}142$ (cm^4) $Z_{\text{Req}}=873$ (cm^3)

$$H_{Wd}=22\sqrt[3]{\frac{21{,}142}{36{,}244}}=18.4 \text{ (cm)}$$

$$H_{Wd}=22\sqrt{\frac{873}{1597}}=16.3 \text{ (cm)}$$

$H_{Wd}=18$ (cm) にて修正する。

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.44×12×2	34.6	0.72	24.9	17.9	
③	18×1.44×2	51.8	9.0	466.2	4,195.8	1,398.6
④	2.76×18	49.7	19.88	963.2	18,666.5	
		404.3		Σa)1,054.7	24,874.2	
				2.61		

ガンネル部特設肋骨設計値。

$I_d=22{,}120$ (cm^4) $Y_F=18.15$ (cm) $Z_d=1{,}219$ (cm^3)

$I_{\text{Req}}=21{,}142$ (cm^4) $Z_{\text{Req}}=873$ (cm^3)

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=(180\times180/180\times27.6/14.4)$ (mm)

Table 10. I_d, Z_d（特設肋骨設計値）

	$H_W\times(b_f/d_2)\times(f_{fd}/t_{Wd})$ 単位：(mm)	I_d (cm^4)	Z_d (cm^3)
チャイン部	230×(180/180)×(27.6/14.4)	35718	1628
ガンネル部	180×(180/180)×(27.6/14.4)	22120	1219

10.3 特設ビーム（ウェブリングビーム）

$P_{31}=0.154$ (kgf/cm^2) $b_W=1.5\times180(\text{cm})=270$ (cm)

$l_B=300$ (cm) $\overline{SF}_T=5$ $N_T=18_L=1{,}039$

$t_P=3.2$ (cm) $\overline{SF}_\tau=5$

甲板ガーダを貫通するため，外型寸法は一般ビームと同様とする。

$$I_T=\frac{P_{31}b_wl_B{}^3N_T}{C_2E_t}=\frac{0.154\times270\times300^3\times1{,}039}{384\times1.17\times10^5}=25{,}963 \quad (\text{cm}^4)$$

$$Z_T=\frac{P_{31}b_Wl_B{}^2\overline{SF}_T}{C_1\sigma_c}=\frac{0.154\times270\times300^2\times5}{12\times1{,}800}=866 \quad (\text{cm}^3)$$

$$A_\tau=\frac{P_{31}fS\overline{SF}_\tau}{\tau_{EN}}=\frac{0.154\times180\times65\times5}{810}=11.1 \quad (\text{cm}^2)$$

$I_{\text{Req}}=25963$ (cm^4) $Z_{\text{Req}}=866$ (cm^3)

H_W	(cm)	19	=	19
t_f	(cm)	3.5	>	2.375 $b_2=b_f=18$ (cm)
A_f	(cm^2)	55	>	32.5

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{B_f}{H_W}\right)}\right\}=3.09 \quad (\text{cm})$$

$t_{fd}=MR\times13+M=2.98$ (cm) $=t_{Wd}$ $h_T=16$ (cm)

$h_W=H_W-h_T=(19-16)=3$ (cm)

$b_P=40t_P+b_2=(40\times2.76)+18=128$ (cm)

		a	l	m	i	i'
①	2.76×128	353.3	−1.38	−487.6	672.8	
②	3×2.98×2	17.9	17.5	313.3	5,481.9	13.4
③	2.98×18	53.6	20.49	1098.3	22,503.4	
		424.8		Σa)924.0	28,671.5	
				2.18		

$I_d=26{,}653$ (cm^4) $Y=19.8$ (cm) $Z_d=1{,}346$ (cm^3)

$I_{\text{Req}}=25{,}963$ (cm^4) $Z_{\text{Req}}=866$ (cm^3)

$H_W\times b_f/b^2\times t_{fd}/t_{Wd}=(190\times180/180\times29.8/29.8)$ (mm)

10.4 特設中間フレーム（チャインスニップ，ガンネル肘板）

$P_{21}=0.294$ (kgf/cm^2) $b_W=180$ (cm) $C_3=\left(\frac{120}{7}\right)$ $C_4=327$

$l_B=D-h_C-h_B=420-100-25=295$ (cm)

$$F_B=\left(1.5+\frac{x}{l_B}\right)=\left(\frac{443+x}{295}\right)$$

$$\overline{SF}_T=2.3F_B=\left(\frac{443+x}{128}\right)$$

$$N_T=\frac{F_B}{2}(L^{7.3}/D^{15.6})=\left(\frac{443+x}{2\times295}\right)(57.7^{7.3}/4.2^{15.6})=2.3(443+x)$$

$$I_T=\frac{P_{21}b_wl_B{}^3N_T}{C_4E}=\frac{0.294\times180\times295^3\times2.3(443+x)}{372\times1.17\times10^5}=81.67(443+x) \quad (\text{cm}^4)$$

$$Z_T=\frac{P_{21}b_W l_B{}^2\overline{SF}_T}{C_3\sigma_T}=\frac{0.294\times180\times295^2\times(443+x)\times7}{120\times1350\times128}=1.55\times(443+x)\quad(\mathrm{cm}^3)$$

10.4.1　ガンネル部特設中間フレーム　$l_B=x=295$　(cm)

$I_{\mathrm{Req}}=60{,}272$　(cm^4)　$Z_{\mathrm{Req}}=1{,}147$　(cm^3)

H_W (cm)	30	$=30$
t_f (cm)	3.5	>2.0　$b_2=b_f=18$(cm)
A_f (cm^2)	55	>25

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=3{,}110\quad(\mathrm{cm})$$

$t_{fd}=(M600+R860)\times14+M600=3.20$　(cm)

$t_{Wd}=(M+R)\times7+M=1.66$　(cm)　$n=7$

$b_e=5\left\{1+\left(\frac{7\times7.1}{4\times7.5}\right)\right\}=13.3$　(cm)

$b_P=(40t_P+b_2)=(40\times2.98)+18=137$　(cm)→ $S=90$　(cm)

ガンネル部計算

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.66×13.3×2	44.2	0.83	36.7	30.4	
③	30×1.66×2	99.6	15.0	1,494.0	22,410.0	7,470.0
④	3.2×18	57.6	31.6	1,820.0	57,517.1	
		469.6		Σa)2,951.3	88,022.9	
				6.28		

$I_c=69{,}503$　(cm^4)　$Y=26.92$　(cm)　$Z_c=2{,}582$　(cm^3)

$I_{\mathrm{Req}}=60{,}272$　(cm^4)　$Z_{\mathrm{Req}}=1{,}144$　(cm^3)

$H_{wd}=30\sqrt[3]{\frac{60{,}272}{69{,}503}}=28.6$　$H_{wd}=30\sqrt{\frac{1{,}144}{2{,}582}}=20.0$

$H_{wd}=28$(cm)にて修正設計

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.48	−399.6	595.4	
②	1.66×13.3×2	442	0.83	36.7	30.4	
③	28×1.66×2	93.0	14.0	1,302.0	18,228.0	6,076.0
④	3.2×18	57.6	29.6	1,705.0	50,466.8	
		463.0		Σa)2644.1	75,396.6	
				5.71		

$I_d=60{,}301$　(cm^4)　$Y=25.49$　(cm)　$Z_d=2{,}366$　(cm^3)

$I_{\mathrm{Req}}=60{,}272$　(cm^4)　$Z_{\mathrm{Req}}=1{,}144$　(cm^3)

ガンネル部設計寸法

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=(280\times180/180\times32/16.6)$　(mm)

$H_F=H_W+t_{fd}=312$　(mm)

10.4.2　チャイン部特設中間フレーム（スニップエンド）　$x=0$　(cm)

$I_{\mathrm{Req}}=36{,}180$　(cm^4)　$Z_{\mathrm{Req}}=687$　(cm^3)

H_W (cm)	24	=	24	
t_f (cm)	3.25	>	1.75	$b_2=b_f=18$(cm)
A_f (cm^2)	50	>	20	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=2.825 \quad \text{(cm)}$$

$t_{fd}=MR\times14+M=3.20$ (cm)

$t_{Wd}=MR\times7+M=1.66$ (cm)：$n=7$

$$b_e=5\left\{1+\left(\frac{7\times7.1}{4\times7.5}\right)\right\}=13.3 \quad \text{(cm)}$$

$b_P=(40\times2.98)+18=137$(cm) → $S=90$ (cm)

ガンネル部計算

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.66×13.3×2	44.2	0.83	36.7	30.4	
③	30×1.66×2	99.6	15.0	1,494.0	22,410.0	7,470.0
④	3.2×18	57.6	31.6	1,820.2	57,517.1	
		469.6		Σa)2,951.3	88,022.9	
				6.28		

$I_c=69{,}503$ (cm^4)　$Y=26.92$ (cm)　$Z_c=2{,}582$ (cm^3)

$I_{Req}=60{,}272$ (cm^4)　$Z_{Req}=1{,}144$ (cm^3)

$H_{wd}=30\sqrt[3]{\frac{60{,}272}{69{,}503}}=28.6$　　$H_{wd}=30\sqrt{\frac{1144}{2{,}582}}=20.0$

$H_{wd}=28$(cm)にて修正設計

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.48	−399.6	595.4	
②	1.66×13.3×2	44.2	0.83	36.7	30.4	
③	28×1.66×2	93.0	14.0	1,302.0	18,228.0	6076.0
④	3.2×18	57.6	29.6	1,705.0	50,466.8	
		463.0		Σa)2,644.1	75,396.6	
				5.71		

$I_d=60{,}301$ (cm^4)　$Y=25.49$ (cm)　$Z_d=2{,}366$ (cm^3)

$I_{Req}=60{,}272$ (cm^4)　$Z_{Req}=1{,}144$ (cm^3)

ガンネル部設計寸法

$H_w\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{wd}=(280\times180/180\times32/16.6)$ (mm)

$H_F=H_W+t_{fd}=312$ (mm)

10.4.3　チャイン部特設中間フレーム（スニップエンド）　$x=0$ (cm)

$I_{Req}=36{,}180$ (cm^4)　　$Z_{Req}=687$ (cm^3)

H_W (cm)	24	=	24	
t_f (cm)	3.25	>	1.75	$b_2=b_f=18$(cm)
A_f (cm^2)	50	>	20	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=2.825 \quad (\mathrm{cm})$$

$t_{fd}=MR\times 14+M=3.20$ (cm)

$t_{wd}=MR\times 7+M=1.66$ (cm)：$n=7$

$$b_e=5\left\{1+\left(\frac{7\times 7.1}{4\times 7.5}\right)\right\}=13.3 \quad (\mathrm{cm})$$

$b_p=(40\times 2.98)+18=137$ (cm) → $S=90$ (cm)

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.66×13.3×7	44.2	0.83	36.7	30.4	
③	24×1.66×2	79.7	12.0	956.4	11,476.8	3,825.6
④	3.2×18	57.6	25.6	1,474.6	37,748.7	
		449.7		Σa)2,068.1	53,676.9	
				4.60		

$I_C=44{,}161$ (cm⁴)　$Y=22.60$ (cm)　$Z_C=1{,}954$ (cm³)

$I_{\mathrm{Req}}=36{,}180$ (cm⁴)　$Z_{\mathrm{Req}}=687$ (cm³)

$$H_{Wd}=24\sqrt[3]{\frac{36{,}180}{44{,}161}}=22.5 \quad (\mathrm{cm})$$

$$H_{Wd}=24\sqrt{\frac{687}{1{,}954}}=14.2 \quad (\mathrm{cm})$$

$H_{Wd}=22$(cm)として修正設計する。

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.66×13.3×2	44.2	0.83	36.7	30.4	
③	22×1.66×2	73.0	11.0	803.0	8,833.0	2,944.3
④	3.2×18	57.6	23.6	1359.4	32080.9	
		443.0		Σa)1,799.5	44,484.0	
				4.06		

$I_d=37{,}182$ (cm⁴)　$Y_F=21.14$ (cm)　$Z_d=1{,}759$ (cm³)

$I_{\mathrm{Req}}=36{,}180$ (cm⁴)　$Z_{\mathrm{Req}}=687$ (cm³)

特設中間フレームチャイン部寸法

$H_W\times bf/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=(220\times 180/180\times 32/16.6)$ (mm)

$H_F=H_W+t_{fd}=(220+32)=252$ (mm)

10.5 中間フレーム（両端スニップ）

$P_{21}=0.294$ (kgf/cm²)　$S=90$ (cm)　$l=295$ (cm)

$b_f=18$ (cm)　$\overline{SF}=5$　$N_T=18_L=1{,}039$

$C_3=9\sqrt{3}$　$C_4=153$

$$I=\frac{P_{21}Sl^3N_T}{C_4E_{10^\circ}}=\frac{0.294\times 90\times 295^3\times 1{,}039}{153\times 1.17\times 10^5}=39{,}427 \quad (\mathrm{cm}^4)$$

$$Z=\frac{P_{21}Sl^2\overline{SF}}{C_3\sigma_T}=\frac{0.294\times 90\times 2.95^2\times 5}{9\sqrt{3}\times 1{,}350}=547 \quad (\mathrm{cm}^3)$$

$I_{Req}=39{,}427$ (cm^4)　　$Z_{Req}=547$ (cm^3)

H_W (cm)	30	=	30	
t_f (cm)	2.75	>	1.25	$b_2=b_f=18$ (cm)
A_f (cm^2)	40	>	10	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=2.287 \quad \text{(cm)}$$

$t_{fd}=MR\times10+M=2.32$ (cm)

$t_{Wd}=MR\times5+M=1.22$ (cm)　　$n=5$

$$b_e=5\left\{1+\frac{n}{4}\left(\frac{n+0.1}{n+0.5}\right)\right\}=18.8 \quad \text{(cm)}$$

$b_P=(40\times2.98)+18=137$ (cm) → $S=90$ (cm)

中間フレーム

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.22×18.8×2	45.9	0.61	28.0	17.1	
③	30×1.22×2	73.2	15.0	1,098.0	16,470.0	5490.0
④	2.32×18	41.8	21.16	1,302.5	40,585.5	
		429.1		Σa)2,028.9	63,158.0	
				4.73		

$I=53{,}558$ (cm^4)　　$Y=27.59$ (cm)　　$Z=1{,}941$ (cm^3)

$I_{Req}=39{,}427$ (cm^4)　　$Z_{Req}=547$ (cm^3)

$$H_{Wd}=30\sqrt[3]{\frac{39{,}427}{53{,}558}}=27.0 \quad \text{(cm)}$$

$$H_{Wd}=30\sqrt{\frac{547}{1{,}941}}=15.9 \quad \text{(cm)}$$

$H_{Wd}=26$ (cm) として修正する。

		a	l	m	i	i'
①	2.98×90	268.2	−1.49	−399.6	595.4	
②	1.22×18.8×2	45.9	0.61	28.0	17.1	
③	26×1.22×2	63.4	13.0	824.2	10,714.6	3,571.5
④	2.32×18	41.8	27.16	1,135.2	30,834.4	
		419.3		Σa)1,587.8	45,733.0	
				3.79		

中間フレーム設計値

$I_d=39{,}710$ (cm^4)　　$Y=24.53$ (cm)　　$Zd=1{,}619$ (cm^3)

$I_{Req}=39{,}427$ (cm^4)　　$Z_{Req}=547$ (cm^3)

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=(260\times180/180\times23.2/12.2)$ (mm)

10.6 ウェブリング肘板設計

10.6.1 肘板モーメント

$d=2.5\text{ m}$ $g=100$ (cm) $b_{S1}=\frac{540}{2}=270$ (cm)

$b_{S2}=450$ (cm)

$h=(100d+2.5L-g)=294$ (cm) $>l=230$ (cm)

$J=(h-l)=(294-230)=64$ (cm)

$$W_1=\frac{1.025Jb_{S1}}{1,000}=17.7 \quad (\text{kgf/cm})$$

$$W_2=\frac{1.025lb_{S1}}{1,000}=63.7 \quad (\text{kgf/cm})$$

$$M_1=\frac{l^2}{60}(5W_1+2W_2)=188,589 \quad (\text{kgf}\cdot\text{cm})$$

$$M_2=\frac{l^2}{60}(5W_1+3W_2)=243,869 \quad (\text{kgf}\cdot\text{cm})$$

$$M_{T1}=\frac{P_3b_{S1}l_{T1}^2}{12}=\frac{0.154\times270\times300^2}{12}=311,850 \quad (\text{kgf}\cdot\text{cm})>M_1$$

$$M_{T2}=\frac{P_1b_{S2}l_{T2}^2}{12}=\frac{0.397\times450\times200^2}{12}=595,500 \quad (\text{kgf}\cdot\text{cm})>M_2$$

$\overline{SF}=12$ ガンネル部 $M_I=311850$ (kgf・cm)

チャイン部 $M_{II}=595500$ (kgf・cm)

10.6.2 ガンネル部肘板 $b_2=b_f=18$ (cm)

$$f_I=1.414M_I\frac{\overline{SF}}{\sigma_{T90}(30t_w^2+18t_f)}=\frac{1.414\times311850\times12}{1,350(30t_w^2+18t_w{}^2)}=\frac{218}{1.67t^2{}_w+t_f} \quad (\text{cm})$$

Table 11. ガンネル部肘板厚

n	4	5	6
$t_W=MR\times n+M$ (cm)	1.00	1.22	1.44
$t_f=MR\times2n+M$ (cm)	1.88	2.32	2.76
fI (cm)	61.4	45.4	35.0

（注） $M600$ の時，$t=0.12$ (cm)
$R860$ の時，$t=0.10$ (cm)

設計寸法

$f_I\times f_I\times b_f\times t_{fd}/t_{Wd}=(460\times460\times180\times23.2/12.2)$ (mm)

$A_T=(2.32\times18)+(30\times1.22^2)=86.4$ (cm²)

$$\overline{SF_{Id}}=0.707\frac{\sigma_tA_If_I}{M_I}=\frac{0.707\times1,350\times86.4\times46}{311,850}=12.16>12$$

10.6.3 チャイン部肘板

$b_f=18$ (cm) $M_{II}=595,500$ (kgf・cm)

$$f_{II}=\frac{1.414\times595,500\times12}{1,850(30t^2{}_w+18t_f)}=\frac{416}{1.67t^2{}_w+t_f} \quad (\text{cm})$$

Table 12. チャイン部肘板厚

n	6	7	8
t_w (cm)	1.44	1.66	1.88
t_f (cm)	2.76	3.20	3.64
tII (cm)	66.8	53.3	43.6

設計寸法

$f_{II} \times f_{II} \times b_f \times t_f / t_W = (550 \times 550 \times 180 \times 32/16.6)$ (mm)

$A_{II} = (3.2 \times 18) + (30 \times 1.66^2) = 140.3$ (cm^2)

$$\overline{SF}_{IId} = \frac{0.707 \times 1{,}350 \times 140.3 \times 55}{595{,}500} = 12.37 > 12$$

10.7 特設中間フレームガンネル肘板

$h = (100d + 2.5L - g) = 294$ (cm) $< l = 295$ (cm) $J = 1$ (cm)

$$W_2 = \frac{1.025hb_s}{1{,}000} = \frac{1.025 \times 294 \times 180}{1{,}000} = 54.24 \text{ (kgf/cm)}$$

$$R_1 = \left\{ \frac{W_2}{4hl^3}(l^5 - J^5) - \frac{W_2}{8hl}(l^4 - J^4) + \frac{3W_2 l}{8} \right\} = 7.275 \text{ (kgf)}$$

$$M_1 = \frac{W_2 h}{6}(2l + J) - R_1 l = |-575{,}389| \text{(kgf・cm)} > M_{T1}$$

$$M_{T1} = \frac{P_3 b_S l_{T1}^2}{12} = \frac{0.154 \times 180 \times 300^2}{12} = 207{,}900 \text{ (kgf・cm)}$$

$M_I = 575{,}389$ (kgf・cm) $b_f = 18$ (cm)

$$f_1 = \frac{1.414 \times 575{,}389 \times 12}{1{,}350(30t^2{}_w + 18t_f)} = \frac{402}{1.67t^2{}_w + t_f} \text{ (cm)}$$

Table 13. 特設中間フレームガンネル肘板厚

n	6	7	8
t_w (c]	1.44	1.66	1.88
t_f (cm)	2.76	3.20	3.64
tI (cm)	64.6	51.5	42.2

特設中間フレームガンネル肘板設計値

$A_{1d} = (3.2 \times 18) + (30 \times 1.66)^2 = 140.3$ (cm^2)

$$\overline{SF}_d = \frac{0.707\sigma_T A_{1d} f_1}{M_I} = 12.80 > 12$$

ウエブリングチャイン部肘板と同一寸法である。

$f_I \times f_I \times b_f \times t_{fd} / t_{Wd} = (550 \times 550 \times 180 \times 32/16.6)$ (mm)

11. 主船殻波浪中縦曲げ剛性値

$L/20$ Trochoidal Moment

$M_H=1{,}548$ (ton・m)　$F_{1f}=97.8$ (ton)　$C=16$

平均外板厚さ　t_m (mm)

　　　船底外板　　　船側外板　　　チャイン部補強　　シャー部補強

$$t_m=\frac{1}{4.2}\{\ (32\times1.005)\ +\ (29.8\times3.25)\ +\ (6.6\times1.00)\ +\ (4.4\times0.9)\ \}=33.23\ \mathrm{mm}$$

$$N_{H\mathrm{Req}}=\left(\frac{160L^{1.2}}{L-10}\right)=436$$

$$I_{H\mathrm{Req}}=\frac{M_H L\times10^6}{CE_t\left\{\left(\frac{1000}{N_H}\right)-\left(\frac{F_H\times10^5}{4G\ t_{m1}\ D_0}\right)\right\}}\quad(\mathrm{cm^2\cdot m^2})$$

$$=\frac{1548\times57.7}{16\times0.117\left\{\left(\frac{1{,}000}{436}\right)-\left(\frac{97.8}{4\times0.234\times33.23\times4.2}\right)\right\}}=30{,}884\quad(\mathrm{cm^2\cdot m^2})$$

$I_{H\mathrm{ship}}=32{,}549$ $(\mathrm{cm^2\cdot m^2})>I_{H\mathrm{Req}}=30{,}884$ $(\mathrm{cm^2\cdot m^2})$

$$N_{H\mathrm{ship}}=\frac{1{,}000}{\left(\frac{M_H L\times10^6}{CE_t\ I_{Hd}}\right)+\left(\frac{F_H\times10^5}{4Gt_mD_0}\right)}=\frac{1{,}000}{\left(\frac{1{,}548\times57.7}{16\times0.117\times32{,}549}\right)+\left(\frac{97.8}{4\times0.234\times33.23\times4.2}\right)}=452>N_{H\mathrm{Req}}=$$

436

$$\delta_{H\mathrm{ship}}=\delta_M+\delta_\tau=\left(\frac{M_H L^2\times10^6}{C\ E_t\ I_{H\mathrm{ship}}}\right)+\left(\frac{F_H L\times10^5}{4G\ t_m\ D_0}\right)=\left(\frac{1548\times57.7^2}{16\times0.117\times32549}\right)+\left(\frac{97.8\times57.7}{4\times0.234\times33.23\times4.2}\right)$$

$$=84.58+43.22=127.8\quad(\mathrm{mm})$$

12. 支柱，SUS309TP

12.1　主機械室支柱

$W_P=P_3a_Pb_P=0.154\times300\times405=18{,}711$ (kgf)

$l=260$ (cm)　$\overline{SF}=2$

12.1.1　弾性域座屈設計

$$t_3>\frac{W_P}{62l}=\left(\frac{18{,}711}{62\times260}\right)=1.16\quad(\mathrm{cm})$$

$$(d_0-t_3)<\frac{l}{40.3}=6.45\quad(\mathrm{cm})$$

$$\overline{SF_3}=\frac{2.1\times10^6\times t_3\{\pi(d_0-t_3)\}^3}{8W_Pl^2}=\frac{2.1\times10^6\times\pi^3t_3(d_0-t_3)^3}{8\times18{,}711\times260^2}=\frac{t_3(d_0-t_3)^3}{155.4}\geqq2$$

適当なるパイプ寸法が存在しない。

12.1.2　塑性域座屈設計

$$(d_0-t_4)>\frac{l}{40.3}=6.45\quad(\mathrm{cm})$$

$$\overline{SF_4}=\frac{6{,}597t_4}{W_P}\left\{(d_0-t_4)-\frac{1\ l^2}{6{,}709(d_0-tm)}\right\}=0.353\left\{(d_0-t_4)-\frac{10}{(d_0-tm)}\right\}\geqq2$$

$$\sigma_{cr}=\frac{W_P\ \overline{SF}_4}{\pi\ t_4(d_0-t_4)}=\frac{5956\overline{SF_4}}{t_4(d_0-t_4)}\geqq1590\quad(\mathrm{kgf/cm^2})$$

Table 14. SUS309TP Schedule80 80A×7.6t Pipe

d_0 (cm)	6.05	7.63	8.91	10.16
t_4 (cm)	0.55	0.70	0.76	0.81
(d_0-t_4) (cm)	5.50	6.93	8.15	9.35
$\overline{SF}\geqq 2$	1.30	1.94	2.44	2.92
$\sigma_{CY}\geqq 1590$ (kgf/cm²)	—	—	2346	2296
$40\geqq(d_0/t_4)$	—	—	11.7	12.5

12.2 船楼内科員食堂中央支柱

$$W_P=P_{32}a_Pb_P=0.077\times380\times220=6{,}487 \quad (\mathrm{kgf})$$

$$l=197 \quad (\mathrm{cm}) \qquad \overline{SF}=2$$

12.2.1 弾性域座屈設計

$$t_B>\frac{W_P}{62l}=\frac{6{,}437}{62\times197}=0.527 \quad (\mathrm{cm})$$

$$(d_0-t_3)<\frac{l}{40.3}=4{,}888 \quad (\mathrm{cm})$$

$$\overline{SF_3}=\frac{2.1\times10^6\times\pi^3t_3(d_0-t_3)^3}{8\times6437\times197^2}=\frac{t_3(d_0-t_3)^3}{30.69}\geqq 2$$

$$\sigma_{cr}=\frac{2.1\times10^6}{8}\left\{\frac{\pi(d_0-t_3{}^3)}{l}\right\}^2=66.76(d_0-t_3)^2\leqq 1{,}590 \quad (\mathrm{kgf/cm^2})$$

弾性域座屈応力の発生する Pipe は存在しない。

12.2.2 塑性域座屈設計

$$(do-t_4)>\frac{l}{40.3}$$

$$\overline{SF}_4=\frac{6{,}597t_4}{W_P}\left\{(d_0-t_4)-\frac{l^2}{6{,}709(d_0-t_4)}\right\}=1.025t_4\left\{(d_0-t_4)-\frac{5.78}{(d_0-t_4)}\right\}\geqq 2$$

$$\sigma_{cr}=\frac{W_P\overline{SF}_4}{\pi t_4(d_0-t_4)}=\frac{2{,}049\overline{SF}_4}{t_4(d_0-t_4)}\geqq 1{,}590 \quad (\mathrm{kgf/cm^2})$$

$$40\geqq\left(\frac{d_0}{t_4}\right)$$

Table 15. SUS309TP Schedule40 65A×5.2t Pipe Piller

d_0 (cm)	6.05	7.63	8.91
t_4 (cm)	0.39	0.52	0.55
(d_0-t_4) (cm)	5.66	7.11	8.36
$\overline{SF}\geqq 2$	1.85	3.36	4.32
$\sigma_{CY}\geqq 1590$ (kgf/cm²)	—	1860	1927
$40\geqq(d_0/t_4)$	—	14.7	16.2

13. 船楼構造（非強力長船首楼）

〔非強力構造の防楼材設計の $\overline{SF_\sigma}$, N は要求値の 1/2 として設計する。〕

13.1 側外板・甲板板厚と設計水圧値

〔4〕より船側外板 $t=1.66$ (cm) $P_{22}=0.147$ (kgf/cm²)

〔5〕より船楼甲板 $t=1.22$ (cm) $P_{33}=0.077$ (kgf/cm²)

13.2 船楼特設側肋骨

1 甲板下側肋骨の連続材で 1 甲板 $bf=18$ (cm)

01 甲板ガンネルにて $b_f=18$ (cm)の変断面肋骨とする。

$S=180$ (cm) $l=220$ (cm) $C_1=12$ $C_2=384$

$$\overline{SF}_T=\frac{1}{2}\times 2.3F_B=1.15\left(1.5+\frac{x}{l}\right)=\frac{1}{191}(330+x)$$

$$N_T=\frac{1}{2}\times\frac{F_B}{2}\left(L^{7.3}/D^{15.6}\right)=\frac{1}{4}\left(1.5+\frac{x}{l}\right)\left(57.7^{7.3}/4.2^{15.6}\right)=\frac{1}{880}(330+x)\times 1361=1.55(330+x)$$

$$\frac{P_{22}Sl^2\overline{SF}_T}{C_1\sigma_t}=\frac{0.147\times 180\times 220^2\times(330+x)}{12\times 1{,}350\times 191}=0.414(330+x)\quad(\text{cm}^3)$$

$$\frac{P_{22}Sl^3N_T}{C_2E}=\frac{0.147\times 180\times 220^3\times 1.55(330+x)}{384\times 1.17\times 10^5}=9.72(330+x)\quad(\text{cm}^4)$$

船楼上端部, $x=0$ cm, $Z=137$ (cm³), $I=3{,}208$ (cm²), $b^2=b_f=15$ (cm)

船楼下端部, $x=220$ (cm), $Z=228$ (cm³), $I=5{,}346$ (cm⁴), $b_2=b_f=18$ (cm),

13.2.1 船楼側肋骨上端部設計

	$I=3208$ (cm⁴)		$Z=137$ (cm³)	
H_W (cm)	18	=	18	$b_2=b_f=15$ (cm)
t_f (cm)	1.2	>	0.95	
A_f (cm²)	9	>	4	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=\left\{\frac{1.2+12(9/18)}{1+12(15/18)}\right\}=0.655\quad(\text{cm})$$

$t_{fd}=t_{wd}=(M600+R860)\times 2+M600=0.56$ $n=2$

$b_P=(40t+b_f)=(40\times 1.66)+15=81.4$ (cm)

$$b_e=f\left\{1+\frac{n}{4}\left(\frac{n+0.1}{n+0.5}\right)\right\}=5\left\{1+\left(\frac{2\times 2.1}{4\times 2.5}\right)\right\}=7.1\quad(\text{cm})$$

		a	l	m	i	i'
①	1.66×81.4	135.1	−0.83	−112.1	93.1	
②	0.56×7.1×2	8.0	0.28	2.2	0.6	
③	18×0.56×2	20.2	9.0	181.8	1636.2	545.4
④	0.56×15	8.4	18.28	153.6	2806.9	
		171.7		Σa) 225.5	5,082.2	
				1.31		

$I_c=4{,}788$ (cm⁴) $Y=17.25$ (cm) $Z_C=278$ (cm³)

$$H_{Wd}=18\sqrt[3]{\frac{3208}{4788}}=15.8\ (\text{cm})\qquad H_{Wd}=18\sqrt{\frac{137}{27}}=12.6\ (\text{cm})$$

平均値 $H_{Wd}=14$(cm) として修正する。

		a	l	m	i	i'
①	1.66×81.4	135.1	−0.83	−112.1	93.1	
②	0.56×7.1×2	8.0	0.28	2.2	0.6	
③	14×0.56×2	20.2	9.0	181.8	1,636.2	545.4
④	0.56×15	8.4	14.28	120.0	1,712.9	
		171.7		Σa)191.9	3,988.2	
				1.12		

船楼上端部設計寸法

$I_d=3{,}773$ (cm^4)　$Y=13.44$ (cm)　$Zd=281$ (cm^3)

$I_{\mathrm{Req}}=3{,}208$ (cm^4)　$Z_{\mathrm{Req}}=137$ (cm^3)

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=140\times150/150\times5.6/5.6$ (mm)

13.2.2 船首楼側肋骨下端部設計（主船殻特設側肋骨との連続により $H_{wd}=18$ (cm)）

$I=5346$ (cm^4)　$Z=228$ (cm^3)

H_{wd}(cm)	18	=	18	$b_2=b_f=18$(cm)
t_f(cm)	1.75	>	1.15	
A_f(cm^2)	17.5	>	8	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12(A_f/H_W)}{1+12(b_f/H_W)}\right\}=\frac{1.75+12(17.5/18)}{1+12(18/18)}=1.032 \quad \text{(cm)}$$

$t_{fd}=(M600+R860)\times4+M600=1.00$ (cm)

$t_{Wd}=(M600+R860)\times2+M600=0.56$ (cm)

$b_P=85.4$ (cm)　$b_e=7.1$ (cm)

		a	l	m	i	i'
①	1.66×81.4	135.1	−0.83	−112.1	93.1	
②	0.56×7.1×2	8.0	0.28	2.2	0.6	
③	18×0.56×2	20.2	9.0	181.8	1,6,36.2	545.4
④	1.0×18	18.0	18.5	333.0	6,160.5	
		181.3		Σa)404.9	8,435.8	
				2.23		

$I_d=7{,}534$ (cm^4)　$Y_F=15.77$ (cm)　$Z_d=478$ (cm^3)

$I_{\mathrm{Req}}=5{,}346$ (cm^4)　$Z_{\mathrm{Req}}=228$ (cm^3)

数値は大きいが，下部よりの連続材として採用する。

設計寸法

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=(180\times180/180\times10/5.6)$ (mm)

13.3 船楼中間フレーム（上下端スニップ）

$P_{22}=0.147$ (kgf/cm^2)　$b_f=b_2=18$ (cm)　$S=90$ (cm)　$l=220$ (cm)　$C_1=8$

$C_2=76.8$

$\overline{SF}=\frac{1}{2}\times5=2.5$　　$N=\frac{18L}{2}=519$

$$Z=P_{22}Sl^2\frac{\overline{SF}}{C_1\sigma_{T0'}}=\frac{0.147\times90\times220^2\times2.5}{8\times1{,}440}=139 \quad (\mathrm{cm}^3)$$

$$I=\frac{P_{22}Sl^3N}{C_2E}=\frac{0.147\times 90\times 220^3\times 519}{76.8\times 1.17\times 10^5}=8137 \quad (\mathrm{cm}^4)$$

$I_{\mathrm{Req}}=8{,}137$ (cm⁴)　$Z_{\mathrm{Req}}=139$ (cm³)

H_W(cm)	16	=	16	$b_2=b_f=18$ (cm)
t_f(cm)	2.375	>	1.0	
A_f(cm²)	32.5	>	5.0	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12(A_f/H_W)}{1+12(b_f/H_W)}\right\}=\left\{\frac{2.375+12\left(\frac{32.5}{16}\right)}{1+12(18/16)}\right\}=1{,}845 \quad (\mathrm{cm})$$

$t_{fd}=(M600+R860)\times 8+M600=1.88$ (cm)

$t_{Wd}=(M600+R860)\times 4+M600=1.00$ (cm)　　$n=4$

$b_p=(40t+b_2)=(40\times 1.76)+18=88.4$ (cm)

$$b_e=5\left\{1+\left(\frac{4\times 4.1}{4\times 4.5}\right)\right\}=9.6 \quad (\mathrm{cm})$$

		a	l	m	i	i'
①	1.66×81.4	135.1	−0.83	−112.1	93.1	
②	1×9.6×2	19.2	0.5	9.6	4.8	
③	16×1×2	32.0	8.0	256.0	2,048.0	682.7
④	1.88×18	33.8	16.94	572.6	9,699.4	
		220.1		Σa)726.1	12,528.0	
				3.30		

$I_c=10{,}131$ (cm⁴)　$Y=14.58$ (cm)　$Z_D=695$ (cm³)

$I_{\mathrm{Req}}=8{,}187$ (cm⁴)　$Z_{\mathrm{Req}}=139$ (cm³)

$$H_{wd}=16\sqrt[3]{\frac{8{,}187}{10{,}131}}=14.9 \qquad H_{Wd}=16\sqrt{\frac{139}{695}}=7.2 \quad (\mathrm{cm})$$

$H_{Wd}=14.5$ (cm)として修正する。

$H_{Wd}=14.5$ (cm)による修正計算

		a	l	m	i	i'
①	1.66×81.4	135.1	−0.83	−112.1	93.1	
②	1×9.6×2	19.2	0.5	9.6	4.8	
③	14.5×1×2	29.0	7.25	210.3	1,524.3	508.1
④	1.88×18	33.8	15.44	521.9	8,057.7	
		217.1		Σa)629.7	10,188.0	
				2.90		

$I_d=8{,}362$ (cm⁴)　$Y=13.48$ (cm)　$Zd=620$ (cm³)

$I_{\mathrm{Req}}=8{,}132$ (cm⁴)　$Z_{\mathrm{Req}}=135$ (cm³)

船楼中間フレーム寸法

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=145\times 180/180\times 18.8/10$ (mm)

$I_d=8{,}362$ (cm⁴)　$Z_d=620$ (cm³)　$H_F=16.5$ (cm)

13.4　船楼中間特設フレーム（下端スニップ，上端肘板）

$P_{21}=0.147$ (kgf/cm²)　$S=180$ (cm)　$l=220$ (cm)

$C_1=8$　$C_2=184.6$　$\overline{SF}=\frac{5}{2}=2.5$　$N=\frac{24}{2}L=692$

$$Z_{\mathrm{Req}}=\frac{P_{22}Sl^2\overline{SF}}{C_1\sigma_{T0'}}=\frac{0.147\times180\times220^2\times2.5}{8\times1{,}440}=278\quad(\mathrm{cm}^3)$$

$$I_{\mathrm{Req}}=\frac{P_{22}Sl^3N}{C_2E}=\frac{0.147\times180\times220^3\times692}{184.6\times1.17\times10^5}=9{,}027\quad(\mathrm{cm}^4)$$

$I=9{,}027$ (cm⁴)　　$Z=278$ (cm³)

H_W(cm)	18	=	18	$b_2=b_f=15$ (cm)
t_f(cm)	2.2	>	1.25	
A_f(cm²)	29	>	10	

$$t_{fc}=\left\{\frac{2.2+12\left(\frac{29}{18}\right)}{1+12\left(\frac{15}{18}\right)}\right\}=1{,}958\quad(\mathrm{cm})$$

$t_{fd}=MR\times8+M=1.88$ (cm)　　$b_P=(40\times1.76)+15=85.4$ (cm²)

$t_{Wd}=MR\times4+M=1.00$ (cm)　　$b_e=5\left\{1+\left(\frac{4\times4.1}{4\times4.5}\right)\right\}=9.6$ (cm)

		a	l	m	i	i'
①	1.66×81.4	135.1	−0.83	−112.1	93.1	
②	1×9.6×2	19.2	0.5	9.6	4.8	
③	18×1×2	36.0	9.0	324.0	2,916.0	972.0
④	1.88×15	28.2	18.94	534.1	10,116.0	
		218.5		Σa)755.6	14,101.9	
				3.46		

$I_c=11{,}486$ (cm⁴)　　$Y=16.42$ (cm²)　　$Z_c=700$ (cm³)

$I_{\mathrm{Req}}=9{,}027$ (cm⁴)　　$Z_{\mathrm{Req}}=296$ (cm³)

$H_{Wd}=18\sqrt[3]{\frac{9{,}027}{11{,}486}}=16.6$ (cm)　　$H_{Wd}=18\sqrt{\frac{296}{700}}=11.7$ (cm)

$H_W=16$ (cm)と修正設計を行なう。

船楼中間特設フレーム修正計算

		a	l	m	i	i'
①	1.66×81.4	135.1	−0.83	−112.1	93.1	
②	1×9.6×2	19.2	0.5	9.6	4.8	
③	16×1×2	32.0	8.0	256.0	2,048.0	682.7
④	1.88×15	28.2	16.94	477.7	8,092.4	
		214.5		Σa)631.2	10,921.0	
				2.94		

修正設計値

$I_d=9{,}067$ (cm⁴)　　$Y=14.94$ (cm)　　$Z_d=607$ (cm³)

$I_{\mathrm{Req}}=9{,}027$ (cm⁴)　　$Z_{\mathrm{Req}}=296$ (cm³)

$H_W\times b_f/b_2\times t_f/t_W=(160\times150/150\times18.8/10)$ (mm)

$h_T=180$ (mm)

13.5　船楼甲板ロンジビーム

$P_{33}=0.077$ (kgf/cm²)　$S=60$ (cm)　$l=180$ (cm)　$C_\sigma=0.65$

$\sigma_{HC}=55.3\times C_\sigma=35.9$ (kgf/cm²)

$\sigma_{Ht}=117\times C\sigma=76$ (kgf/cm²)

$L/20$ Trochoid $\overline{SF}_L=8/2=4$

$M_H=1{,}548$ (tonf・m)

$$N_L=\frac{2}{2}L^{1.25}M_H^{0.36}=1\times57.7^{1.25}\times1{,}548^{0.36}=2{,}238$$

$t_p=1.44$ (cm)

$$Z_L=\frac{P_{33}Sl^2}{C_1\left\{\left(\frac{\sigma t}{SF_L}\right)-\sigma_{Ht}\right\}}=\frac{0.077\times60\times180^2}{12\left\{\left(\frac{1{,}350}{4}\right)-117C_\sigma\right\}}=\left(\frac{167}{2.88-C_\sigma}\right)=47.8\ (\text{cm}^3)$$

$$I_L=\frac{P_{33}\ S\ l^3\ N_1}{C_2\ E}=\frac{0.077\times60\times180^3\times N_L}{384\times1.17\times10^5}=1{,}342\ (\text{cm}^4)$$

$I_{\text{Req}}=1{,}342$ (cm⁴)　$Z_{\text{Req}}=47.8$ (cm³)

H_W(cm)	12	=	12	$b_2=b_f=15$ (cm)
t_f(cm)	1.2	>	0.825	
A_f(cm²)	9.0	>	1.5	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=\left\{\frac{1.2+12\left(\frac{9}{12}\right)}{1+12\left(\frac{15}{12}\right)}\right\}=0.64\ (\text{cm})$$

$t_{fd}=MR\times3+M=0.78$ (cm)　$t_{Wd}=MR\times2+M=0.56$ (cm)

$b_P=(40\times1.22)+15=63.8\rightarrow S=60$ (cm)　$n=2$

$$b_e=5\left\{1+\left(\frac{2\times2.1}{4\times2.5}\right)\right\}=7.1\ (\text{cm})$$

		a	l	m	i	i'
①	1.22×60	73.2	−0.61	−44.7	27.2	
②	0.56×7.1×2	8.0	0.28	2.2	0.6	
③	12×0.56×2	13.4	6.0	80.4	482.4	160.8
④	0.78×15	11.7	12.39	145.0	1,796.1	
		106.3		Σa)182.9	2,467.1	
				1.72		

$I_c=2{,}153$ (cm⁴)　$Y=11.06$ (cm)　$Z_c=195$ (cm³)

$I_{\text{Req}}=1{,}342$ (cm⁴)　$Z_{\text{Req}}=47.8$ (cm³)

$$H_{Wd}=12\sqrt[3]{\frac{1{,}342}{2{,}153}}=10.3\ (\text{cm})\qquad H_{Wd}=12\sqrt{\frac{47.8}{195}}=6.0\ (\text{cm})$$

$H_{Wd}=10$ (cm)として修正する。

修正計算		a	l	m	i	i'
①	1.22×60	73.2	−0.64	−44.7	27.2	
②	0.56×7.1×2	8.0	0.28	2.2	0.6	
③	10×0.56×2	11.2	5.0	56.0	280.0	93.3
④	0.78×15	11.7	10.39	121.6	1,263.0	
		104.1		Σa)135.1	1,604.1	
				1.30		

甲板ロンジ寸法

$I\gamma=1{,}428$ （cm^4） $Y=9.48$ （cm） $Z_d=181$ （cm^3）

$I_{Req}=1{,}342$ （cm^4） $A=104.1$ （cm^2） $A_W=11.2$ （cm^2）

$Z_{Req}=47$ （cm^3）

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=100\times 150/150\times 7.8/5.6$ （mm）

甲板ロンジ縦座屈安全率

$\sigma_{HC}=55.3$ $C_\sigma=55.3\times 0.65=35.9$ （kgf/cm^2）

$$\overline{SF}_B=\frac{EI_L}{A\sigma_{HC}}\left(\frac{\pi}{l_0}\right)^2\Big/\left\{1+\frac{EI_L}{GA_W}\left(\frac{\pi}{l_0}\right)^2\right\}$$

$$=\frac{1.17\times 10^5\times 1428}{104.1\times 35.9}\left(\frac{\pi}{360}\right)^2\Big/\left\{1+\frac{1.17\times 1428}{0.234\times 11.2}\left(\frac{\pi}{360}\right)^2\right\}=3.25>3$$

船楼ロンジビーム寸法

$H_W\times b_f/b_2\times t_f/t_W=(100\times 150/150\times 7.8/5.6)$ （mm）

$I_d=1{,}428$ （cm^4） $Z_d=151$ （cm^3） $h_T=110$ （mm） $a_0=30.9$ （cm^2）

13.6 船楼ビーム $h_T=11$ （cm）

$P_{21}=0.077$ （kgf/cm^2） $b_W=180$ （cm） $l_B=235$ （cm）

$C_1=12$ $C_2=384$ $\overline{SF}_T=\frac{5}{2}=2.5$ $N_T=\frac{18}{2}L=519$ $t_P=1.44$ （cm） $b_f=b_2=18$ （cm）

$$Z_{T\,Req}=\frac{P_{21}b_Wl_B^2\times\overline{SF}_T}{C_1\sigma_t}=\frac{0.077\times 180\times 235^2\times 2.5}{12\times 1{,}350}=118 \quad (cm^3)$$

$$I_{T\,Req}=\frac{P_{21}b_Wl_B^3N_T}{C_2E}=\frac{0.077\times 180\times 235^3\times 519}{384\times 1.17\times 10^5}=2{,}078 \quad (cm^4)$$

$$A_\tau=\frac{P_{21}fS\overline{SF}_\tau}{\tau_F}=\frac{0.077\times 180\times 60\times 6}{810}=6.2 \quad (cm^2)$$

	$I_{T\,Req}=2078$ （cm^4）		$Z_{T\,Req}=118$ （cm^3）	
H_W(cm)	17	=	17	$b_2=b_f=15$ （cm）
t_f(cm)	0.975	>	0.875	
A_f(cm^2)	4.5	>	2.5	

$$H_{W\tau}=\left(h_T+\frac{A_\tau}{2t_{Wd}}\right)=\left(11+\frac{6.2}{2\times 0.56}\right)=16.54\rightarrow 17 \quad (cm)$$

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=\left\{\frac{0.975+12\left(\frac{4.5}{17}\right)}{1+12\left(\frac{15}{17}\right)}\right\}=0.358 \quad (cm)$$

$t_{fd}=(M600+R860)\times 2+M600=0.56$ （cm）$=t_{Wd}$

$b_P=(40\times 1.22)+15=63.8$ （cm）

$h_W=(H_W-h_T)=(17-11)=6$ （cm）

$A_{\tau d}=2h_Wt_W=(2\times 6\times 0.56)=6.7$ （cm^2）$>A_\tau=6.2$ （cm^2）

		a	l	m	i	i'
①	1.22×63.8	77.8	−0.61	−47.5	28.9	
②	6×0.56×2	6.7	14.0	93.8	1,313.2	20.1
③	0.56×15	8.4	17.28	145.2	2,508.2	
		92.9		Σa)191.5	3,870.4	
				2.06		

$I_d=3{,}476$ (cm^4) $Y=15.80$ (cm) $Z_d=224$ (cm^3)
$I_{Req}=2{,}078$ (cm^4) $Z_{Req}=118$ (cm^3)

ウエブの剪断設計のため，I, Z, はやや大きいが，設計値として採用する。

$H_W\times b_f/b_2\times t_f/t_W=(170\times150/150\times5.6/5.6)$ (mm)
$h_T=17+0.56=17.56$ (cm)→ 18 (cm)

13.7 船楼甲板ガーダ

$C_\sigma=0.65$ $h_T=18$ (cm) $\zeta=1$
$P_{21}=0.077$ (kgf/cm^2) $\sigma_{Ht}=117C_\sigma=76.1$ (kgf/cm^2)

$$\overline{SF}_L=\overline{SF}_\tau=\frac{6}{2}=3 \qquad N_1=L^{1.12}M_H^{0.23}/2P_3=3{,}879$$

$\sigma_{HC}=55.3C_\sigma=35.9$ (kgf/cm^2) $S=155$ (cm) $l=200$ (cm)

$$Z_L=\frac{P_{21}Sl^2}{C_1\left\{\left(\frac{\sigma_t}{\overline{SF}_L}\right)-\sigma_{Ht}\right\}}=\frac{0.077\times155\times200^2}{12\left\{\left(\frac{1{,}350}{3}\right)-76.1\right\}}=106 \quad (\text{cm}^3)$$

$$I_L=\frac{P_{21}Sl^3N_L}{C_2E}=\frac{0.077\times155\times200^3\times3{,}301}{384\times1.17\times10^5}=7{,}015 \quad (\text{cm}^4)$$

$$A_\tau=\frac{P_{21}fS\overline{SF}_\tau}{\tau_F}=\frac{0.077\times160\times90\times3}{810}=4.1 \quad (\text{cm}^2)$$

$$H_{w\tau}=\left(h_T+\frac{A_\tau}{2\,t_{Wd}}\right)=18+\left(\frac{8.2}{2\times1.44}\right)=20.84 \quad (\text{cm})\rightarrow 21 \quad (\text{cm})$$

$I_{Req}=7{,}015$ (cm^4) $Z_{Req}=106$(cm^3) $t_{fd}=t_{Wd}=1.0$(cm)

H_W(cm)	21=	21	$b_2=b_f=12$(cm)
t_f(cm)	1.525>	0.800	
A_f(cm^2)	15.5>	1.0	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=\left\{\frac{1.525+12\left(\frac{15.5}{21}\right)}{1+12\left(\frac{12}{21}\right)}\right\}=1.32 \quad (\text{cm})$$

$t_{fd}=(M600+R860)\times5+M600=1.22$ (cm)$=t_{Wd}$
$b_P=(1.22\times40)+12=60.8$ (cm) $h_W=H_W-h_T=3$ (cm)

		a	l	m	i	i'
①	1.22×60.8	74.2	−0.61	−45.3	27.6	
②	3×1.22×2	7.3	19.5	142.4	2775.8	5.5
③	1.22×12	14.6	21.61	315.5	6,818.1	
		96.1		Σa)412.6	9,627.0	
				4.29		

甲板ガーダ設計値

$I_d=7{,}858$ (cm^4) $Y=17.93$ (cm) $Z_d=438$ (cm^3)
$I_{Req}=7{,}015$ (cm^4) $Z_{Req}=10.6$ (cm^3)
$A=96.1$ (cm^2) $A_W=7.3$ (cm^2)$>A_\tau=4.1$ (cm^2)
$H_W\times b_f/b_2\times t_f/t_W=(210\times120/120\times12.2/12.2)$ (mm)
$H_F=(H_W+t_{fd})=(210+12.2)=222.2$ (mm) $A_0=21.9$ (cm^2)

甲板ガーダ縦座屈安全率

$I_d=7{,}858$ (cm^4) $A=96.1$ (cm^2) $A_W=7.3$ (cm^2)

$\sigma_{HC}=\sigma_{DKC}C_\sigma=(55.3\times0.65)=35.9$ (kgf/cm^2)

Smithの縦座屈式

$$\overline{SF}_B=\frac{EI}{A\sigma_{HC}}\left(\frac{\pi}{l_0}\right)^2\Big/\left\{1+\frac{E}{G}\frac{I}{A_W}\left(\frac{\pi}{l_0}\right)^2\right\}$$

$$=\frac{1.17\times10^5\times7{,}858}{96.1\times35.9}\left(\frac{\pi}{400}\right)^2\Big/\left\{1+\frac{1.17\times7{,}858}{0.234\times7.3}\left(\frac{\pi}{400}\right)^2\right\}=12.34>3$$

13.8 船楼甲板格子構造撓み指数

$I_L=1{,}428$ (cm^4) $I_T=3{,}476$ (cm^4) $l_0=810$ (cm)

$P_{31}=0.077$ (kgf/cm^2) $m=14$ $n_0=7$

$C_5=1.8$ $b_0=940$ (cm) $\zeta=2$

$$l_L=\left(\frac{1.1\,l_0}{1+5}\right)=\left(\frac{1.1\times810}{1+2}\right)=297\ (cm)$$

$$n=\frac{n_0-\zeta}{1+5}=1.7\rightarrow2$$

$N_{2T\mathrm{Req}}=11L=635$(非強力構造の $N_{2T\mathrm{Req}}$ は規定値の 1/2)

$$N_{2T}=\frac{C_5EI_L(m+1)}{P}\left(\frac{\pi}{l_L}\right)^4\left\{1+\left(\frac{I_T}{I_L}\right)\left(\frac{n+1}{m+1}\right)\left(\frac{l_L}{b_0}\right)^3\right\}$$

$$=\frac{1.8\times1.17\times10^5\times1{,}428\times15}{0.077}\left(\frac{\pi}{297}\right)^4\left\{1+\frac{3{,}476}{1{,}428}\left(\frac{3}{15}\right)\left(\frac{297}{940}\right)^3\right\}$$

$$=745>N_{2T\mathrm{Req}}=635$$

13.9 船楼甲板格子構造縦座屈安全率

$l_L=297$ (cm) $m=14$ $n=2$ $I_L=1{,}428$ (cm^4) $I_T=3{,}476$ (cm^4) $t_P=1.22$ (cm)

$b_0=940$ (cm)

$C_l=1$ $K_l=1$ $C_\sigma=0.65$

$\sigma_{HC}=\sigma_{DK}C_\sigma=(55.3\times0.65)=35.9$ (kgf/cm^2)

$\overline{SF}_B=4$

$$\overline{SF}_B=\frac{C_lEI_T(n+1)l_L\pi^2}{t_P\sigma_{HC}b_0{}^4}\left\{\frac{I_L}{I_T}\left(\frac{m+1}{n+1}\right)\left(\frac{b_0}{l_L}\right)^3+K_l\right\}$$

$$=\frac{1\times1.17\times10^5\times3476\times3\times297\pi^2}{1.22\times35.9\times(940)^4}\left\{\frac{1428}{3476}\left(\frac{15}{3}\right)\left(\frac{940}{297}\right)^3+1\right\}$$

$$=6.92>4$$

13.10 船楼ビーム肘板設計

$L_{WL}=55$ (m) $d=2.5$ (m) $D_d=4.2$ (m)

$b_{S01}=180$ (cm) $h=\left(\dfrac{L_{WL}}{22.04}+d-D_d\right)\times100=79.5$ (cm)

$l=220$ (cm) $J=(l-h)=140.5$ (cm)

$$W_2=\frac{1.025h\ b_{SO1}}{1{,}000}=\frac{15\times79.5\times180}{1{,}000}=14.67\ (kgf/cm)$$

$$M_{01}=\frac{W_2h^3}{60l^2}(2l+3J)=\frac{14.67\times79.5^3}{60\times220^2}\{(2\times220)+(3\times14.05)\}=2187\ (kgf\cdot cm)$$

$$M_{T01}=\frac{P_3\ b_{S01}\ l_{T01}^2}{12}=\frac{0.077\times180\times235^2}{12}=63{,}785\ (kgf\cdot cm)>M_{01}$$

$M_N=63{,}785$ (kgf・cm)

$f_n=\dfrac{1.414\ M_N\ \overline{SF}}{\sigma_T(30t^2{}_w+t_fb_f)}$　　$b_f=15$ (cm)

$=\dfrac{1.414\times 63{,}785\times 12}{1350(30t_W{}^2+15t_f)}=\dfrac{53.4}{(2t^2{}_w+t_f)}$

$t_W=(MR\times n+M)$　　$t_f=(MR\times 2n+M)$

t_W(cm)$=0.34, 0.56, 0.78$　　t_f(cm)$=0.56, 1.00, 1.44$　　f_n(cm)$=6.75, 32.8, 20.1$　　$f_d=33$ (cm)

$A_{nd}=30t^2{}_w+t_fb_f=30\times(0.56)^2+(1.0\times 15)=24.4$ (cm²)

$\overline{SF}=0.707\dfrac{\sigma_t\ A_{nd}\ f_d}{M_N}=\dfrac{0.707\times 1{,}350\times 24.4\times 33}{63{,}785}=12.05>12$

船楼甲板梁肘設計値

$f_1\times f_I\times b_f\times t_f/t_w=(330\times 330\times 150\times 10/5.6)$ (mm)

$\overline{SF}_d=12.05>12$

14. 主機室前部横隔壁設計

区画深さ　$d_s=(D_d-0.1)=(4.2-0.1)=4.1$ m

設計水圧

下端水圧　$P_B=\dfrac{1.025}{10}d_s=\dfrac{1.025\times 4.1}{10}=0.420$ (kgf/cm²)

上中段水圧　$P_T=\dfrac{3}{4}P_B=0.315$ (kgf/cm²)

Base line より 1.8 m の高さまでを下端水圧 P_B, これ以上の margine line までを上中段水圧 P_T として計画する。

14.1 隔壁板設計

$E=1.17\times 10^5$ (kgf/cm²), $\sigma_{b0}=1{,}980$ (kgf/cm²)　$\lambda=0.9271$, $\Gamma=1.5$

14.2 中心線防撓材（両端スニップ）

$l=400$ (cm)　$b_S=90$ (cm)　$C_3=9\sqrt{3}$　$C_4=153$

$t=0.78$ (cm)　$P_B=0.42$ (kg/cm²)　$\overline{SF}=3$　$N=100$

$Z=\dfrac{P_Bb_Sl^2\overline{SF}}{C_3\ \sigma_t}=\dfrac{0.42\times 90\times 400^2\times 3}{9\sqrt{3}\times 1350}=862$ (cm³)

$I=\dfrac{P_Bb_Sl_3N}{C_4E}=\dfrac{0.42\times 90\times 400^3\times 100}{153\times 1.17\times 10^5}=13{,}514$ (cm⁴)

$I_{\mathrm{Req}}=13{,}514$ (cm⁴)　$Z_{\mathrm{Req}}=862$ (cm³)

H_w	24	=	24	$b_2=b_f=10$(cm)
t_f	1.875	<	2	
A_f	22.5	<	25	

$t_{fc}=\left\{\dfrac{t_f+12\left(\dfrac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\dfrac{b_f}{H_W}\right)}\right\}=\dfrac{2+12\left(\dfrac{25}{24}\right)}{1+12\left(\dfrac{10}{24}\right)}=2{,}417$ (cm)

$t_{fd}=MR10+M=2.32$ (cm)　　$t_{Wd}=MR5+M=1.22$ (cm)

$b_P=(1\times 40)+10=50$ (cm)

Table 16. 隔壁板厚設計値（$\overline{SF}=3$, $N=35$）

Panel No.	下　段	上　段
	2	3
S (cm)	115	125
$a=(S-b_2)=(S-10)$ (cm)	105	115
P (kgf/cm^2)	0.420	0.315
$\theta=(P\cdot E_{b0}/\lambda)(\overline{SF}/\sigma_{b0}\cdot\Gamma)^2$	5.40×10^{-2}	4.06×10^{-2}
$\Omega=(a/t)\lambda\cdot\Gamma\cdot\sigma_{b0}/E_{b0}\cdot\overline{SF}$	8.70	11.30
(w/t)	2.09	2.75
$t=(a/\Omega)\lambda\cdot\Gamma\cdot\sigma_{b0}/E_{b0}\cdot\overline{SF}$ (cm)	1.069	0.901
ガラス構成（M600, R860）	$MR5+M$	$MR4+M$
t_d (cm)	1.22	1.00
$N=(a/t_d)/(w/t)$	41.1>35	41.8>35
$\Psi=(P\cdot\lambda/E_b)(a/t)^4$	1.826×10^2	4.366×10^2
$\Lambda=(\sigma_{max}\cdot\lambda\cdot\Gamma/E_b)(a/t)^2$	52.60	94.00
$\overline{SF}=(\sigma_{b0}\cdot\lambda\cdot\Gamma/\Lambda\cdot E)(a/t)^2$	3.31>3	3.31>3

$$b_e=5\left\{1+\left(\frac{5\times5.1}{4\times5.5}\right)\right\}=10.8 \quad (\text{cm})$$

		a	l	m	i	i'
①	1.0×50	50.0	−0.5	−25.0	12.5	
②	1.22×10.8×2	26.4	0.61	16.1	9.8	
③	24×1.22×2	58.6	12.0	763.2	8438.4	2,812.8
④	2.32×10	23.2	25.16	583.7	14,686.2	
		158.2		Σa)1,278.0	25,959.7	
				8.08		

$I_d=15,631$ (cm^4)　$Y=18.24$ (cm)　$Z_d=857$ (cm^3)

$I_{Req}=10,554$ (cm^4)　$Z_{Req}=673$ (cm^3)

防撓材寸法$H_W\times b_f/b_2\times t_f/t_W=$〔240×100/100×18.8/10〕(mm)

$h_T=260$ (mm)

14.3 No.1防撓材（No.3防撓材）（上端クリップ，下端肘板）

No.1船底ロンジ及び甲板一般ロンジを支持する。　$\varphi_0=2$（船底ロンジで設計）

$P_B=0.42$ (kgf/cm^2)　$b_S=99$ (cm)　$l=345$ (cm)

$\overline{SF}_0=2\sim4$　$N=300\left(\frac{E_K}{E_G}\right)=300$　$C_3=15$

$C_4=419$　$l_L=450$ (cm)　$b_L=100$ (cm)　$\overline{SF}_1=2$　$\overline{SF}_2=3$

$$Z_0=\frac{P_B b_S l^2\overline{SF}_0}{C_3\,\sigma_t}=\frac{0.42\times99\times345^2\,\overline{SF}_0}{15\times1,350}=244\overline{SF}_0 \quad (\text{cm}^3)$$

$$b_P=(40t_P+b_2)=(40\times1.0)+10=50\quad(\mathrm{cm})$$

$$b_e=5\left\{1+\frac{n}{4}\left(\frac{n+0.1}{n+0.5}\right)\right\}=5\left\{1+\left(\frac{3\times3.1}{4\times3.5}\right)\right\}=8.3\quad(\mathrm{cm})$$

$$A=t_{fd}b_{fd}+t_Pb_P+2t_{wd}(H_W+b_e)$$

$$Z_c=\frac{P_Bb_Sl^2}{C_3\left(\frac{\sigma_t}{2.5}-\frac{P_1b_Ll_L}{\varphi_0A}\right)}=\frac{0.42\times99\times345^2}{15\left\{\left(\frac{1{,}350}{2.5}\right)-\left(\frac{0.397\times100\times450}{2A}\right)\right\}}=\left(\frac{611}{1-\frac{16.54}{A}}\right)\quad(\mathrm{cm}^3)$$

$$C_X=\frac{(Z_{ac}-Z_{a0})}{(Z_b-Z_a)_0+(Z_a-Z_b)_c}$$

$$I_C=\frac{P_Bb_Sl^3N}{C_4E}=\frac{0.42\times99\times345^3\times300}{764\times1.17\times10^5}=5{,}730\quad(\mathrm{cm}^4)$$

Table 17. No. 1 防撓材安全率

$\overline{SF}_0$	2	3	4
Z_0 (cm³)	488	732	976
H_W (cm)	22	30	37
t_f (cm)	1.5		
A_f (cm²)	15		
t_{fC} (cm)	1.50		
$MR,\ t_{fd}$ (cm)	(M600+$R$860)×7+$M$600=1.66		
$n,\ t_{wd}$ (cm)	(M600+R860)×4+M600=1.00　$n=4$		
$b_f\times b_e\times(t_p\times b_p)$ (cm)	10×8.3×(1.0×50)		
A (cm²)	169	182	193
Z_c (cm³)	677 $(a)_c$	672 $(b)_c$	668
Z_0 (cm³)	488 $(a)_0$	732 $(b)_0$	976
C_X	0.759		

$$Z_C=(677-672)\times0.759+672=676\quad(\mathrm{cm}^3)$$

$$H_w=(30-22)\times0.759+22=28\quad(\mathrm{cm})$$

		a	l	m	i	i'
①	1×50	50.0	−0.5	−25.0	12.5	
②	1×8.3×2	16.6	0.5	8.3	4.2	
③	28×1×2	5.0	14	784.40	10,976.0	3658.7
④	1.66×10	16.6	28.83	478.6	13,797.4	
		139.2		Σa)1245.9	28,448.8	
				8.95		

$I_C=17{,}299$ (cm⁴)　$Y_F=20.71$ (cm)　$Z_C=835$ (cm³)

$I_{\mathrm{Req}}=5{,}730$ (cm⁴)　$Z_{\mathrm{Req}}=676$ (cm³)

$$H_{wd}=H_W\sqrt{\frac{Z_{\mathrm{Req}}}{Z_C}}=25\quad(\mathrm{cm})$$

$H_{Wd}=25$ (cm)にて修正計算を行う。

		a	l	m	i	i'
①	1×50	50.0	−0.5	−25.5	12.5	
②	1×8.3×2	16.6	0.5	8.3	4.2	
③		50.0	12.5	625.0	7,812.5	2,604.2
④	1.66×10	16.6	25.83	428.8	11075.3	
		133.2	Σa)	1,037.1	21,508.7	
				7.79		

$Id=13{,}426$ (cm^4) $Y_F=18.87$ (cm) $Z_d=711$ (cm^3)

$I_{Req}=5{,}730$ (cm^4) $Z_{Req}=676$ (cm^3)

No. 1, No. 3 防撓材設計値

$H_W\times b_f/b_2\times t_f/t_W=250\times100/100\times16.6/10$ (mm)

$A=133.2$ (cm^2) $A_W=50.0$ (cm^2) $I_d=13{,}426$ (cm^4) $Z_d=711$ (cm^3)

応力安全率

$$\overline{SF}_1=\frac{\sigma_t}{\dfrac{P_Sb_Sl^2}{C_3Z_d}+\dfrac{P_1b_Ll_L}{\varphi_0A}}=\frac{1350}{\left(\dfrac{0.42\times99\times345^2}{15\times711}\right)+\left(\dfrac{0.397\times100\times450}{2\times135.2}\right)}=2.50>2$$

座屈安全率

$n_P=0.7\fallingdotseq(0.6991)$

$$\overline{SF_2}=\frac{E_bI_d}{P_1b_Ll_L}\left(\frac{\pi}{n_pl}\right)^2\Big/\left\{1+\frac{EI_d}{GA_W}\left(\frac{\pi}{n_Pl}\right)^2\right\}$$

$$=\frac{1.17\times10^5\times13{,}426}{0.397\times100\times450}\left(\frac{\pi}{0.7\times345}\right)^2\Big/\left\{1+\frac{1.17\times13{,}426}{0.234\times50}\left(\frac{\pi}{0.7\times345}\right)^2\right\}=12.12>3$$

撓み指数

$$N=\frac{C_4E_tI}{P_Bb_Sl_S^3}=\frac{419\times1.17\times10^5\times13{,}426}{0.42\times99\times345^3}=385>300$$

14.4 No. 2 防撓材（両端肘板）

$N=200$ $\overline{SF}_1=2$ $\overline{SF}_2=3$ $C_3=20$ $C_4=764$ $\varphi_0=2$

No. 2 船底ロンジ，甲板ガーダを支持する。

$P_B=0.420$ (kgf/cm^2) $b_S=105$ (cm) $l_S=280$ (cm) 隔隔壁防撓材

$P_1=0.397$ (kgf/cm^2) $b_L=100$(cm) $l_L=540$ (cm) 船底ロンジ

$P_3=0.154$ (kgf/cm^2) $b_G=235$ (cm) $l_G=396$(cm) 甲板ガーダ

防撓材概算式

$$Z_0=\frac{P_Bb_Sl^2\overline{SF}_0}{C_3\sigma_t}=\frac{0.42\times105\times280^2\overline{SF}}{20\times1350}=128\,\overline{SF}_0\ \text{(cm}^3\text{)}$$

$$A=t_{fd}b_f+t_Pb_P+2t_{Wd}(H_W+b_e)$$

$$Z_c=\frac{P_Bb_Sl^2}{C_3\left(\dfrac{\sigma_{t90}}{2.5}-\dfrac{P_1b_Ll_L}{\varphi_0A}\right)}=\frac{0.42\times105\times280^2}{20\left\{\left(\dfrac{1350}{2.5}\right)-\left(\dfrac{0.397\times100\times450}{2A}\right)\right\}}=\frac{320}{\left(1-\dfrac{16.54}{A}\right)}\ \text{(cm}^3\text{)}$$

$$C_x=\frac{(Z_{aC}-Z_{a0})}{(Z_b-Z_a)_0+(Z_a-Z_b)_C}$$

$$I_C=\frac{P_B b_S l^3 N}{C_4 E_t}=\frac{0.42\times105\times280^3\times300}{764\times1.17\times10^5}=3{,}249 \quad (\mathrm{cm}^4)$$

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12\left(\frac{A_f}{H_W}\right)}{1+12\left(\frac{b_f}{H_W}\right)}\right\}$$

$$b_e=5\left\{1+\frac{n}{4}\left(\frac{n+0.1}{n+0.5}\right)\right\}$$

$$b_P=(40t_P+b_2)\leqq S$$

Table 18. No. 2 防撓材安全率

$\overline{SF}_0$	2	3	4
Z_0 (cm³)	256	384	512
H_W (cm)	12	18	23
t_f (cm)	1.25		
A_f (cm²)	10		
b_f (cm)	1.0		
t_{fd} (cm)	1.031	1.033	1.040
MR, t_{fd} (cm)	(M600＋R860)×5＋M600＝1.22		
n, t_{wd} (cm)	(M600＋R860)×5＋M600＝1.22　$n=5$		
b_e (cm)	5{1＋(5×5.1/4×5.5)}＝8.3		
b_p (cm)	(40×1.0)＋10＝50		
A (cm²)	130	132.5	145
Z_c (cm³)	367 $(a)_c$	366 $(b)_c$	361
Z_0 (cm³)	256 $(a)_0$	384 $(b)_0$	512
C_x	0.860		

$$Z_0=(Z_b-Z_a)_0\times C_x+Z_{a0}=(384-256)\times0.860+256=366 \quad (\mathrm{cm}^3)$$
$$Z_c=(Z_b-Z_a)_c\times C_x+Z_{ac}=(366-367)\times0.860+367=366 \quad (\mathrm{cm}^3)=Z_0$$
$$H_{Wd}=(H_{Wb}-H_{Wc})\times C_x+H_{Wa}=(18-17)\times0.81+17=17.86\rightarrow18 \quad (\mathrm{cm})$$

		a	l	m	i	i'
①	1×50	50.0	−0.5	−25.0	12.5	
②	1.22×10.8×2	26.4	0.61	16.1	9.8	
③	18×1.22×2	43.9	9	395.1	3,555.9	1,185.3
④	1.22×10	12.2	18.61	227.0	4,225.3	
		132.5		Σa)613.2	8,988.8	
				4.63		

$I_d=6{,}148$ (cm⁴)　$Y=14.59$ (cm)　$Z_d=421$ (cm³)

$I_{\mathrm{Req}}=3{,}249$ (cm⁴)　$Z_{\mathrm{Req}}=381$ (cm³)

No. 2　防撓材設計値

$I_d=6{,}148\ (\mathrm{cm}^4)\quad Z_d=421\ (\mathrm{cm}^3)\quad A=132.5\ (\mathrm{cm}^2)\quad A_W=48.9\ (\mathrm{cm}^2)$

$H_W\times b_f/b_2\times t_{fd}/t_{Wd}=(180\times100/100\times12.2/12.2)\ (\mathrm{mm})$

応力安全率

$$\overline{SF}_1=\frac{\sigma_t}{\left(\frac{P_B b_S l_S^2}{C_3 Z_d}\right)+\left(\frac{P_1 b_L l_L}{\varphi_0 A}\right)}=\frac{1{,}350}{\left(\frac{0.42\times105\times280^2}{20\times421}\right)+\left(\frac{0.397\times100\times450}{2\times132.5}\right)}=2.82>2$$

座屈安全率

$$\overline{SF}_2=\frac{EI_d}{P_1 b_L l_L}\left(\frac{\pi}{n_P l}\right)^2\Big/\left\{1+\frac{I_d E}{A_W G}\left(\frac{\pi}{n_P l}\right)^2\right\}$$

$$=\frac{1.17\times10^5\times6148}{0.397\times100\times450}\left(\frac{\pi}{0.5\times280}\right)^2\Big/\left\{1+\left(\frac{6148\times1.17}{43.9\times0.234}\right)\left(\frac{\pi}{0.5\times280}\right)^2\right\}=14.99\gg3$$

撓み指数

$$N=\frac{C_4 E_t I_d}{P_B b_S l_S^3}=\frac{764\times1.17\times10^5\times6{,}148}{0.42\times105\times280^3}=554>300$$

14.5　No. 4 防撓材（上端クリップ，下端スニップ）

$P_3=0.42\ (\mathrm{kgf/cm^2})\quad b_s=90\ (\mathrm{cm})\quad l=290\ (\mathrm{cm})$

$t_p=1.0\ (\mathrm{cm})\quad C_3=9\sqrt{3}\quad C_4=153\quad \overline{SF}=3\quad N=100$

$$Z=\frac{P_B\ b_S\ l^2\overline{SF}}{C_3\ \sigma_t}=\frac{0.42\times90\times290^2\times3}{9\sqrt{3}\times1350}=453\ (\mathrm{cm}^3)$$

$$I=\frac{P_B b_S l^3 N}{C_4 E}=\frac{0.42\times90\times290^3\times100}{153\times1.17\times10^5}=5{,}150\ (\mathrm{cm}^4)$$

$I_{\mathrm{Req}}=5{,}150\ (\mathrm{cm}^4)\quad Z_{\mathrm{Req}}=453\ (\mathrm{cm}^3)$

H_W(cm)	22	=	2	$b_2=b_f=10$ (cm)
t_f(cm)	1.225	<	1.44	
A_f(cm²)	9.5	<	14	

$$t_{fc}=\left\{\frac{t_f+12(A_f/H_W)}{1+12(b_f/H_W)}\right\}=\left\{\frac{1.44+12\left(\frac{14}{22}\right)}{1+12\left(\frac{10}{22}\right)}\right\}=1{,}406\ (\mathrm{cm})$$

$t_{fd}=(M600+R860)\times6+M600=1.44\ (\mathrm{cm})$

$t_{wd}=MR\times3+M=0.78\ (\mathrm{cm})\quad n=3$

$b_P=(40\times1)+10=50\ (\mathrm{cm})$

$$b_C=5\left\{1+\left(\frac{3\times3.1}{4\times3.5}\right)\right\}=8.3\ (\mathrm{cm})$$

		a	l	m	i	i'
①	1.0×50	50.0	−0.5	−25.0	12.5	
②	0.78×8.3×2	12.9	0.39	5.0	2.0	
③	22×0.78×2	34.3	11.0	377.3	4,150.3	1,383.4
④	1.44×10	14.4	22.72	327.2	7,433.3	
		111.6		Σa)684.5	12,981.5	
				6.13		

$I_d = 8{,}788$ （cm^4） $Y = 17.31$ （cm） $Z_d = 508$ （cm^3）

$I_{Req} = 5{,}150$ （cm^4） $Z_{Req} = 453$ （cm^3）

$H_W \times b_f / b_2 \times t_{fd} / t_{Wd} = (220 \times 100 / 100 \times 14.4 / 7.8)$ （mm）

$H_F = 235$ （mm）

14.6 No. 1 防撓材下部肘板（No. 3 防撓材肘板にも適用）

$h = (100D_d - g - 10) = \{(100 \times 4.2) - 100 - 10\} = 310$ （cm）

$l = 345$ （cm）$> h = 310$ （cm）

$J = (l - h) = 35$ （cm）

$$W_2 = \frac{1.025h\ b_S}{1{,}000} = \frac{1.025 \times 310 \times 99}{1{,}000} = 31.5 \quad (\text{kgf/cm})$$

$$R_1 = \frac{W_2}{40}\left(\frac{h}{l}\right)^3 (5l - h) = \frac{31.5}{40}\left(\frac{310}{345}\right)^3 \{(5 \times 345) - 310\} = 808 \quad (\text{kgf})$$

隔壁水圧モーメント

$$M_2 = \frac{W_2 h^2}{6} - R_1 l = \frac{31.5 \times 310^2}{6} - (808 \times 345) = 225{,}765 \quad (\text{kgf} \cdot \text{cm})$$

船底ロンジモーメント

$$M_{2L} = \frac{P_1\ b_L\ l_L^2}{12} = \left(\frac{0.397 \times 100 \times 450^2}{12}\right) = 669{,}938 \quad (\text{kgf} \cdot \text{cm}) > M_2$$

最大モーメント $M_{2L} = M_{II}$

$M_{II} = 669{,}938$ （kgf・cm） $b_f = 12$ （cm）

$$f_{II} = \frac{1.414 M_N \overline{SF}}{\sigma_T(30t^2{}_W) + b_f t_f} = \frac{1.414 \times 669938 \times 12}{1350(30t_W{}^2 + 12t_f)} = \frac{702}{(2.5t^2{}_W + t_f)} \quad (\text{cm})$$

t_W(cm)$= 1.88, 2.10, 2.32$ t_f(cm)$= 3.64, 4.08, 4.52$ f_{II}(cm)$= 56.3, 46.5, 39.1$ $f_d = 50$(cm)

肘板ハット有効断面積

$A_2 = (4.08 \times 12) + (30 \times 2.1^2) = 181$ （cm^2）

肘板応力安全率

$$\overline{SF}_2 = 0.707\left(\frac{\sigma_t A_2 f_d}{M_2 L}\right) = \frac{0.707 \times 1{,}350 \times 181 \times 50}{669{,}938} = 12.89 > 12$$

肘板設計寸法

$f_{II} \times f_{II} \times b_f \times t_f / t_W = (500 \times 500 \times 120 \times 40.8 / 21)$ （mm）

14.7 No. 2 防撓材両端肘板

$h = (100D_g - g - 10) = \{(100 \times 4.35) - 110 - 10\} = 315$ （cm）

$h = 315$ （cm）$> l = 280$ （cm） $J = h - l = 35$ （cm）

$$W_1 = \frac{1.025(h - l)b_S}{1{,}000} = \frac{1.025(315 - 280) \times 10^5}{1{,}000} = 3.77 \quad (\text{kgf/cm})$$

$$W_2 = \frac{1.025 l b_S}{1{,}000} = \frac{1.025 \times 280 \times 10^5}{1{,}000} = 30.14 (\text{kgf/cm})$$

$$M_1 = \frac{l^2}{60}(5W_1 + 2W_2) = \frac{280^2}{60}\{(5 \times 3.77) + (2 \times 30.14)\} = 103{,}397 \quad (\text{kgf} \cdot \text{cm})$$

$$M_2 = \frac{l^2}{60}(5W_1 + 3W_2) = \frac{280^2}{60}\{(5 \times 3.77) + (3 \times 30.14)\} = 142{,}779 \quad (\text{kgf} \cdot \text{cm})$$

$$M_{L1}=\frac{P_3 b_G l_B{}^2}{12}=\frac{0.154\times235\times396^2}{12}=472931\quad(\text{kgf}\cdot\text{cm})=M_I>M_1$$

$$M_{L2}=\frac{P_1 b_L l_L{}^2}{12}=\frac{0.397\times100\times450^2}{12}=669{,}938\quad(\text{kgf}\cdot\text{cm})={}_{\text{II}}M_{\text{II}}>M_2$$

(a) 上部肘板（船楼甲板ガーダ支持）

$M_I=472{,}931$ 〔kgf・cm〕　$b_f=12$ （cm）

$$f_I=\frac{1.414\times472{,}931\times12}{1{,}350(30t^2{}_w+12t_f)}=\frac{495}{(2.5t^2{}_w+t_f)}$$

t_W(cm)=1.44, 1.66, 1.88　t_f(cm)=2.76, 3.20, 3.64　f_I(cm)=62.3, 49.1, 39.7　$f_{Id}=50$ （cm）

肘板有効断面積

$A_{nd}=(30\times1.66^2)+(3.2\times12)=121.1$ （cm²）

肘板応力安全率

$$\overline{SF_1}=0.707\left(\frac{\sigma_t\ A_{nd}\ f_I}{M_{LI}}\right)=\frac{(0.707\times1350\times121.1\times50)}{472{,}931}=12.22>12$$

上部肘板設計値

$f_I\times f_I\times b_f\times t_f/t_W=(500\times500\times120\times32/16.6)$ （mm）

$\overline{SF_1}=12.22>12$

(b) 下部肘板 $M_{II}=669{,}938$ （kgf・cm）はNo. 1防撓材下部肘板と同一である。

$f_I\times f_{II}\times b_f\times t_f/t_W=(500\times500\times120\times40.8/21)$ （mm）

15. 耐水中爆発設計

15.1 直下型水圧

$W_x=230$ （kgf)TNT　$R_x=d_x=40$ （m）

(1) Gas Globe 圧

$$P_{x2}=\frac{40.05\left(\frac{W_X{}^{\frac{1}{3}}}{R_X}\right)^{1.13}}{\{2-(d_X/R_X)^2\}^{1.39}}\quad(\text{kgf/cm}^2)=4{,}807\quad(\text{kgf/cm}^2)$$

(2) 水圧持続時間

$$\varDelta_2=\frac{1.62\,W_X{}^{\frac{1}{3}}}{(dx+10)^{\frac{5}{6}}}\quad(\text{sec})$$

$=0.3810$ （sec）

15.2 船底ロンジ設計

(1) 航走設計　主機室（$\varepsilon=2$）　掃発室（$\varepsilon=1$）

$N_L=52.5\times1.05^{\varepsilon}L=3{,}340$ or 3,181

$$I_{L\text{Req}}=\frac{P_1 S_a l^3 N_L}{384\ E_{t0}}\ (\text{cm}^4)$$

$$I_{L1\text{Req}}=\frac{0.397\times100\times450^3\times3{,}181}{384\times1.17\times10^5}=256{,}138\quad(\text{cm}^4)\qquad\text{掃発室}$$

$$I_{L2\text{Req}}=\frac{0.397\times100\times540^3\times3{,}340}{384\times1.17\times10^5}=464{,}730\quad(\text{cm}^4)\qquad\text{主機室}$$

2段ハットとして基準8章により．本計算書7.1 7.2項によると，掃発室 $I_{L1d}=293{,}823$ (cm^4) $Z_{L1d}=6{,}847$ (cm^3) $A_{oL1}=571$ (cm^2) $I_{Pa1}=64{,}535$ (cm^4)（I_{L1d}に頂部木芯材を含めて主機室用とする。）

主機室 $I_{L2}d=576{,}818$ (cm^4) $Z_{L2d}=16{,}970$ (cm^3)

$A_{0L2}=828$ (cm^2) $I_{Pa2}=167{,}741$ (cm^4)

航走設計では掃発室 I_{L1d}，主機室 I_{L2d} で充分である。

(2) 耐爆設計 基準15.3.(2)項より

$$Z_{LX2}=\frac{P_{X2}L_dS_al^2\overline{SF}_X}{12\sigma_{C0}}=\frac{4.807\times1.010\times100\times540^2\times1.5}{12\times1{,}800}=9{,}832\ (\text{cm}^3)<16{,}970\ (\text{cm}^3)=Z_{L2d}$$

$Z_{L2d}>L_{X2}>Z_{L1d}$ である。

よって $Z_{L2d}=16{,}970$ (cm^3)を船底全般に耐爆設計で使用する。

15.3 船底助板設計

15.3.1 ロンジ貫通孔高さ h_T と肋板剪断設計

$$h_T=\left(H_W+t_f+\frac{b^2}{2}\tan\beta^\circ+C\right)\ (\text{cm})=\left(54+1.88+\frac{25}{2}\tan 14.72^\circ+6.8\right)=66\ (\text{cm})$$

15.3.2 フロアクラウン剪断設計

$f=450$ (cm) $S=100$ (cm) $\tau_F=810$ (kgf/cm^2) $l_B=400$ (cm)

$$\overline{SF_\tau}=1.2\quad F_A=1.2\left\{1+2\left(\frac{d}{l_B}\right)\right\}=\frac{1.2(200+x)}{200}$$

$$A_\tau=\frac{P_{X2}fS\overline{SF}_\tau}{\tau_F}=\frac{4.81\times450\times100\times1.2(200+x)}{810\times200}=1.6(200+x)\ (\text{cm}^2)$$

15.3.3 ハットウェブ高さ

$$H_W=(h_T+h_{WX})=66+\frac{(200+x)}{21.2}\ (\text{cm})$$

15.3.4 肋板設計要求値

$$\overline{SF_{TX}}=0.744\left\{1+2\left(\frac{x}{l_B}\right)\right\}\left(\frac{l_B}{2x}\right)^{0.385}=0.744\left(\frac{200+x}{200}\right)\left(\frac{200}{x}\right)^{0.385}=\frac{(200+x)}{34.96x^{0.385}}$$

$$Z_{TX\text{Req}}=\frac{P_{X2}S_bl_B{}^2\overline{\text{SF}}_{TX}}{8\sigma_Y}=\frac{4807\times450\times400^2(200+x)}{8\times1{,}800\times34.76x^{0.385}}=688\left(\frac{200+x}{x^{0.385}}\right)\ (\text{cm}^3)$$

$$x=0,\ \left(\frac{l_B}{2x}\right)^{0.385}=1.66\quad \overline{SF_{TXd}}=\frac{8\sigma_YZ_L}{\Gamma_{x2}S_bl_B{}^2}\quad \overline{SF}_{Tk}=1{,}235$$

$$Z_{TX\text{Req}}=\frac{4{,}807\times450\times400^2\times1{,}235}{8\times1{,}800}=29{,}683\ (\text{cm}^3)$$

$(E_W/E_F)=(1350/1170)=1.15$

$[x=210\ (\text{cm})]$ $h_{Wd}=20$ (cm) $H_W=86$ (cm) $Z_{TX\text{Req}}=35980$ (cm^3)

		a	l	m	i	i'
①	3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1,196.0	
②	20×2.54×2	101.6	76	7,721.6	586,841.6	3366.7
③	20×25×1.15	575.0	76	43,700.0	3,321,200.0	19,166.7
④	4.96×25	124.0	88.48	10,971.5	970,760.1	
		1,267.8	Σa)	61,645.6	4,902,531.1	
				48.62		

Table 19. 肋板設計要求値

x	0	105	210	325	400
$\overline{SF_{TX}}$	1.235	1.454	1.497	1.620	1.709
Z_{TXReq} (cm^3)	29683	34947	35980	38937	41076
h_{WX} (cm)	9.4	14.4	19.3	24.8	28.3
h_{Wd} (cm)	10	15	20	26	29
H_W (cm)	76	81	86	93	95
Z_{TXd} (cm^3)	30892	35175	36773	39258	47989
$\overline{SF_{TXd}}$	1.285	1.463	1.530	1.633	1.997
I_{TXd} (cm^4)	1424734	1614188	1905573	2299762	2704155

$I_d=1,905,573$ (cm^4)　$Y_p=51.82$ (cm)　$Z_d=36,773$ (cm^3)
$\gamma_b=42.34$ (cm)　$I_{Pb}=1,178,301$ (cm^4)　$A_{0T}=801$ (cm^3)
[$x=0$]　$hwd=10$ (cm)　$H_W=76$ (cm)　$Z_{TXReq}=29,683$ (cm^3)

	a	l	m	i	i'
① 3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1,156.0	
② 76×2.54×2	386.1	38	14,671.8	557,528.4	185,842.8
③ 10×25×1.15	287.5	71	20,412.5	1,449,287.5	2,395.8
④ 4.96×25	124.0	78.48	9,731.5	763,729.7	
	1,264.8		Σa)44,068.3	2,959,980.2	
			34.84		

$I_d=1,424,734$ (cm^4)　$Y_F=46.12$ (cm)　$Z_d=30,892$ (cm^3)
[$x=105$ (cm)]　$h_{Wd}=15$ (cm)　$H_W=81$ (cm)　$Z_{TXReq}=34,947$ (cm^3)

	a	l	m	i	i'
① 3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1196.0	
② 15×2.54×2	76.2	73.5	5,600.7	411,651.5	1,428.8
③ 15×25×1.15	431.3	73.5	31,700.6	2,329,990.4	8,086.9
④ 4.96×25	124.0	83.48	10,351.5	864,144.9	
	1,698.7		Σa)46,905.3	3,616,498.5	
			42.69		

$I_d=1,614,188$ (cm^4)　$Y_p=45.89$ (cm)　$Z_d=35,175$ (cm^3)
[$x=325$ (cm)]　$h_{Wd}=26$ (cm)　$H_W=93$ (cm)　$Z_{TXReq}=38,937$ (cm^3)

	a	l	m	i	i'
① 3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1,196.0	
② 26×2.54×2	132.1	80	10,568.0	845,440.0	7,441.6
③ 26×25×1.15	747.5	80	59,800.0	4,784,000.0	42,109.2
④ 4.96×25	124.0	95.48	11,839.5	1,130,437.4	
	1,470.8		Σa)81,460.0	6,810,624.2	
			55.38		

$I_d=2{,}299{,}762$ (cm^4)　$Y_p=58.58$ (cm)　$Z_d=39{,}258$ (cm^3)

〔$x=400$ (cm)〕　$h_{Wd}=29$ (cm)　$H_W=95$ (cm)　$Z_{TXReq}=41{,}076$ (cm^3)

		a	l	m	i	i'
①	3.2×146	467.2	−1.6	−747.5	1,196.0	
②	95×2.54×2	482.6	47.5	22,923.5	1,088,866.3	362,955.4
③	29×25×1.15	833.8	80.5	67,120.9	5,403,282.5	58,435.5
④	4.96×25	124.0	97.48	12,087.5	1,178,291.4	
		1,907.6	Σa)	101,384.4	8,092,977.1	
				83.15		

$I_d=2{,}704{,}155$ (cm^4)　$Y_p=56.35$ (cm)　$Z_d=47{,}989$ (cm^3)

15.3.5　肋板耐爆設計要求最低値（第 2 船底ロンジ交点肋板寸法）

$$Z_{TXmReq}=\frac{P_{X2}S_b l_B^2\,\overline{SF}_X}{8\sigma_{CO}}=\frac{4{,}807\times450\times400^2\times1.5}{8\times1{,}800}=36{,}053\ (\mathrm{cm}^3)<36{,}773\ (\mathrm{cm}^3)=Z_{TXd}$$

$$Z_{TXnReq}=\left(\frac{S_aS_B}{Z_{L2d}}\right)\left(\frac{P_{X2}\ l_B^2\ \overline{SF}_X}{8\sigma_{CO}}\right)^2=\left(\frac{45{,}000}{16{,}970}\right)\left(\frac{4{,}807\times400^2\times1.5}{8\times1{,}800}\right)^2=17{,}021\ (\mathrm{cm}^3)<36{,}773\ (\mathrm{cm}^3)$$
$$=Z_{TXd}$$

肋板耐爆設計値は　Z_{TXd} である。

15.4　動荷重係数と設計水圧

$$N_{WX2}=\frac{0.827x\sqrt{\dfrac{E_{90g}}{\rho_m}}\sqrt{\dfrac{I_{Ld}(m+1)/l_0^3+I_{Td}(n+1)/l_B^3}{(l_0l_Bt_P)+(l_0A_{0L})(m+1)+(l_BA_{0T})(n+1)}}}{\sqrt{1+\left(\dfrac{\rho_W}{\rho_m}\right)\dfrac{200}{t_P\pi\sqrt{J_2}}}}$$

$$J_2=\left(\frac{1}{l_0^2}+\frac{1}{l_B^2}\right)\times10^4\qquad \rho_m=1.54\times10^{-3}(\mathrm{kgf/cm^3})$$

$$\rho_w=1.025\times10^{-3}(\mathrm{kgf/cm^3})$$

$$N_{wx2}=\frac{708{,}926}{\sqrt{1+\dfrac{13.24}{\sqrt{J_2}}}}\sqrt{\frac{4I_{Ld}/l_0^3+I_{Td}(n+1)/400^3}{1{,}280\,l_0+l_0A_{0l}(m+1)+(400A_{0T})(n+1)}}$$

15.5　船底ロンジの Plate Theory による耐爆解析

15.5.1　外板付きフランジの白化剝離

$t_W=(1.66+1.88)=3.54$ (cm)　$t_P=3.2$ (cm)

$$K_1=\frac{E_{to}}{\lambda\Gamma\varphi\sigma_{TO}}=\frac{1.17\times10^5}{0.9271\times1.5\times0.467\times1{,}440}=125$$

$$\Psi=P_d\,\frac{\lambda}{E_{b0}}\left(\frac{a}{t_P}\right)^4=P_d\,\frac{0.9271}{1.17\times10^5}\left(\frac{90}{3.2}\right)^4=4.96P_d$$

$$t_{W\mathrm{Req}}=t_P\sqrt{K_0K_1\overline{SF}_W\left(\frac{t_P}{a}\right)^2-1}=3.2\sqrt{0.237K_0}-1$$

$$\overline{SF}_W=\frac{1}{K_0K_1}\left(\frac{a}{t_P}\right)^2\left\{1+\left(\frac{t_W}{t_b}\right)^2\right\}=\left(\frac{14.07}{K_0}\right)$$

Table 20.　動荷重係数と設計水圧

	掃海発電機室		主機械室	
	航走設計寸法	耐爆設計	航走設計寸法	耐爆設計
l_0/l_B (cm)	900/400		1080/400	
J_2	0.0748		0.0711	
m/n	3/1		3/2	
I_{Ld} (cm^4)	293823	756818		
I_{Td} (cm^2)	1046703	1905573	1046703	1905573
A_{0L} (cm^2)	571	828		
A_{0T} (cm^2)	384	801	384	801
N_{WX2}	11.23	12.98	9.65	12.36
$\Delta_2 N_{WX2}$	4.30	4.94	3.68	4.71
L_d	0.975	1.030	1.075	1.010
$P_d=P_{X2}\cdot L_d$ (kgf/cm^2)	(4.69)	4.95	(5.17)	4.86

（　）内は，航走寸法に於ける耐爆計算による設計水圧

Table 21.　外板付きフランジの白化剥離

	掃　発　室	主　機　室
P_d (kgf/cm^2)	4.95	4.86
$\Psi=4.96P_d$	24.55	24.11
K_0	10.15	10.05
t_{WReq} (cm)	3.79	3.76
t_{Wd} (cm)	3.54	
$\overline{SF}_{Wship}\geqq 1.2$（許容値）	1.39	1.40

15.5.2　ハットウェブ剪断座屈　$Ca\fallingdotseq 12$　$C_T=2$

$$K_2=\sqrt[3]{\frac{2C_aE_{b0}C_T}{3\lambda}}=\sqrt[3]{\frac{2\times12\times1.17\times10^5\times2}{3\times0.9271}}=126$$

$$t_{W\mathrm{Req}}=\frac{\sqrt[3]{P_dH_WSl\,\overline{SF}_\tau}}{K_2}=\frac{\sqrt[3]{P_dl\times36\times100\times1.5}}{126}=\frac{\sqrt[3]{P_dl}}{7.18}$$

$$\overline{SF}_{\tau d}=\frac{(t_{Wd}\ K_2)^2}{P_dH_WSl}=\frac{(3.54\times126)^3}{P_dl\times36\times100}=\left(\frac{24,650}{P_dl}\right)$$

Table 22. ハットウェブ剪断座屈

	掃 発 室	主 機 室
P_d (Kgf/cm^2)	4.95	4.86
l (cm)	450	540
$t_{WReq}=\sqrt[3]{P_d \cdot l/7.18}$ (cm)	1.82	1.92
t_{Wship} (cm)	3.54	
$\overline{SF}_d=(24.650/P_d \cdot l)\geqq 1.5$	11.07	9.39

15.5.3 ハットクラウン曲げ座屈

耐爆設計では全ロンジ頂部木芯材挿入のため座屈はない。

15.6 船底外板耐爆応力安全率

$t_P=3.2$ (cm) $A_1=90$ (cm) $A_2=S=100$ (cm)

$$\Psi=P_d\frac{\lambda}{E_0}\left(\frac{a_n}{t_P}\right)^4 \quad \Lambda,\ (W/t),\ \overline{SF}_{PX1}=\frac{\sigma_{B0}\lambda\Gamma}{\Lambda E b_0}\left(\frac{a}{t}\right)^2$$

木掃外板水圧試験によると，高水圧では $A=S$ の応力が発生する。

$N=(a/t)/(N/t)\geqq 35$ $\overline{SF}_P$：設計値 1.5，許容値 1.2，破壊 1.0

Table 23. 船底外板耐爆応力安全率

	a	P_d	Ψ	Λ	$\overline{SF}_{PX2}$	(w/t)	$N\geqq 35$
掃発室	100	4.95	37.41	16.10	1.43>1.2	0.780	40.1
	90		24.54	11.20	1.66>1.5	0.582	48.3
主機室	100	4.86	36.73	16.00	1.44>1.2	0.770	40.6
	90		24.10	11.05	1.68>1.5	0.580	48.5

Schade 式の記号

K_1：外板中央における撓み係数

K_2：外板中央における短辺方向の板の曲げ応力係数

K_3：外板中央における長辺方向の板の曲げ応力係数

K_4：外板中央における短辺方向フロアフランジの曲げ応力係数

K_5：外板中央における長辺方向ロンジフランジの曲げ応力係数

K_6: 外板端部中央の板の曲げ応力係数

K_7：外板端部中央のロンジフランジの曲げ応力係数

15.7 Schade 式による船底格子構造平板耐爆解析

Table 24. Schade 式による船底格子構造平板耐爆解析

	掃海発電機室		主　機　室	
	航走設計寸法	耐爆設計	航走設計寸法	耐爆設計
P_d (kgf/cm^2)	4.69	4.95	5.17	4.86
a/b (cm)	900/400		1080/400	
S_a/S_b (cm)	100/450		100/405	
$I_a=I_{Ld}$ (cm^4)	293823		576.818	
$I_b=I_{Td}$ (cm^4)	1046703	1905573	1046703	1905573
I_{Pa} (cm^4)	64535	167741	64535	167741
I_{Pb} (cm^4)	472154	1178301	472154	1178301
γ_a (cm)	42.91		33.99	
γ_b (cm)	47.45	42.34	47.45	42.34
i_a (cm^3)	2938		5768	
i_b (cm^3)	2326	4235	2584	4705
$\rho=(a/b)\sqrt[4]{i_b/i_a}$	2.12	2.08	2.21	2.57
$\eta=\sqrt{I_{Pa}\cdot I_{Pb}/I_L\cdot I_T}$	0.315	0.424	0.225	0.424
K_1	0.0113	0.0130	0.0123	0.0123
K_2	0.1300	0.1210	0.1380	0.1355
K_3	0.0695	0.0665	0.0700	0.0595
K_4	0.1095	0.0995	0.1165	0.1170
K_5	0.0300	0.0300	0.0280	0.0180
K_6	0.1400	0.1380	0.1412	0.1385
K_7	0.1265	0.1250	0.1270	0.1262
$\delta_1=\dfrac{P_d\cdot b^4\cdot K_1}{E_{90}\cdot i_b}$ (cm)	$441K_1$	$256K_1$	$438K_1$	$226K_1$
$\sigma_m=\dfrac{P_d\cdot b^2\cdot\gamma_b\cdot K_m}{100i_b}$ (kgf/mm^2) $m=2, 4$	$153K_m$	$79.2K_m$	$152K_m$	$70.0K_m$
$\sigma_n=\dfrac{P_d\cdot b^2\cdot\gamma_a\cdot K_n}{100\sqrt{i_a\cdot i_b}}$ (kgf/mm^2) $n=3, 5, 6, 7$	$123K_n$	$54.5K_n$	$68.5K_n$	$50.7K_n$
δ_1 (cm)	4.99	3.32	5.38	2.78
σ_2 (kgf/mm^2)	19.90	9.58	20.98	9.49
σ_3 (kgf/mm^2)	8.55	3.62	4.80	3.02
σ_4 (kgf/mm^2)	16.76	7.88	17.71	8.19
σ_5 (kgf/mm^2)	3.69	1.64	1.92	0.91
σ_6 (kgf/mm^2)	17.22	7.52	9.67	7.02
σ_7 (kgf/mm^2)	15.56	6.81	8.70	6.40
$N_1=400/\delta_1$	80.2≒80	120>100	74.3<80	144>100
$\overline{SF}_2=19.8/\sigma_2$	0.99<1.0	2.07	0.94<1.0	2.09
$\overline{SF}_3=18.9/\sigma_3$	2.21	5.21	3.94	6.27
$\overline{SF}_4=14.4/\sigma_4$	0.86<1.0	1.83>1.5	0.81<1.0	1.76>1.5
$\overline{SF}_5=14.4/\sigma_5$	3.90	8.81	7.51	15.78
$\overline{SF}_6=18.9/\sigma_6$	1.10<1.2	2.51	1.95>1.5	2.69
$\overline{SF}_7=18.0/\sigma_7$	1.16<1.2	2.64	2.07	2.81

	設計値	許容値	破断値
$\overline{SF}$	1.5	1.2	1.0
N	100	80	—

よって耐爆設計基準によれば，$N>100$，$\overline{SF}>1.5$ となり安全性が験証された。

16. 結　　語

この論文では 60 m GFRP 船の主強度計算結果につき詳述したが，前述の設計式が利用できることが明らかになったので，今後は Kevlar/Glass Hybrid FRP 船他への適用について述べてみることにする。