

軽構造 FRP 艇船殻設計法

永井 保*・橋本 恒雄**・川崎 祐二*

Hull Strength Design Formulae of Light FRP Crafts

Tamotsu NAGAI, Tsuneo HASHIMOTO and Yuji KAWASAKI

Abstract

We propose computational formulae necessary to the light-weight FRP crafts at the foremost phase, when constructed by using recently developed FRP materials.

Computational formulae are first described, and then their applications to 23(m) and 5.6(m) Kevlar/Glass Hybrid crafts follow.

Because we introduced empirical formulae obtained by using many past test performance data concerning same kinds of FRP crafts into our computational formulae of dynamic design concept, our formulae will be usable for designers before beginning further precise design calculations.

1. 概 要

最近の成形加工技術により設計加工された FRP 材料を用いて、軽量化を目的とする FRP 艇の簡易船殻構造設計法を提案する。

先ず初めの論文では、精密な設計を施工する以前に必要なとする初期の概略構造設計用設計法について述べ、続く 2 つの論文では、Kevlar/Glass Hybrid 艇の 2 つの適用例について述べることにする。

提案した設計法の妥当性については、将来の洋上試験成績並びに就航後の継続、損傷結果を長期にわたり検討する必要がある、船の安全性より十分に論じられなければならないことは当然である。

しかしながら我々が現在迄に入手した、この種 FRP 艇の就航状況資料を基にして分析した結果によれば十分な安全性を見込んだ我々のこの動的設計法は、理論上十分な妥当性があるものと考え自信をもって提案する。この方面の資料として少しでも役立てば幸いである。

記 号

- A : 外板有効幅を含むハット断面積 (cm^2)
- A_e : ハット外板付きフランジの断面積 (cm^2)
- A_F : 船首衝撃加速度 (g)
- A_f : 設計チャートによるハット頂辺断面積 (cm^2)
- A_n : 肘板有効断面積 (cm^2)
- A_p : パイプ支柱断面積 (cm^2)
- A_w : 集成材断面積 (木材) (cm^2)
- A_r : ハット交差部の残存ウェブ断面積 (cm^2)
- A_0 : 外板を含みぬハット材断面積 (cm^2)
- a : パネル短辺長 (cm)
- 又は I/Y 計算の断面積値 (cm^2)
- a_0 : パネル動的設計用短辺長 (cm)
- a_d : パネル板幅設計用有効幅 (cm)
- a_f : ハット頂部と水平防撓材の間隔 (cm)
- a_L : ロンジ方向パネル幅 (cm)
- a_P : 支柱の甲板荷重分担縦長さ (cm)
- B : 艇の最大幅 (m)
- B_C : チャイン幅 (m)
- B_H : 甲板開口幅 (m)
- b : パネル長辺長さ (cm)
- b_C : チャイン幅 (cm)
- b_D : 格子構造甲板幅 (cm)
- b_d : 格子構造甲板設計用の甲板開口側線外幅

1992 年 9 月 24 日受理

* 機械工学科

** 元日立造船株式会社

(cm)

- b_e : ハットフランジ有効幅 (cm)
 b_F : 肘板フェース幅 (cm)
 b_f : ハットクラウン(頂辺)幅 (cm)
 b_P : 外板の有効幅又は支柱分担甲板幅 (cm)
 b_T : トランス方向パネル幅 (cm)
 b_o : 板材の長辺長さ (cm)
 b_s : スプレーストリップ幅 (cm)
 C_a : FRP 平板剪断座屈応力係数
 C_f : ハットクラウン曲げ圧縮座屈端末条件係数
 C_N : Niwa の船底衝撃水圧分布係数
 C_n : 船底外板板厚の速度係数
 C_X : 水圧を受ける防撓構造の端末係数
 C_t : ロンジ支点剪断力の端末支持条件係数
 D : 艇の型深さ (m)
 D_{LT} : 板の曲げ剛性 ($\text{kgf} \cdot \text{cm}$)
 D_S : サンドイッチ板の曲げ剛性 ($\text{kgf} \cdot \text{cm}$)
 D^* : 船体中央部型深さ (m)
 d : 吃水 (m)
 d_1 : D^* 又は $2d^*$ のうち小なる方の値 (m)
 d_o : 支柱パイプ外径 (cm)
 d^* : 船体中央部吃水 (m)
 d_c : カーボン比重量 (gf/cm^3)
 d_f : ガラス比重量 (gf/cm^3)
 d_k : ケブラー比重量 (gf/cm^3)
 d_r : 樹脂比重量 (gf/cm^3)
 E : 縦弾性係数 (kgf/cm^2)
 E_{CL} : 芯材 L 方向ヤング率 (kgf/cm^2)
 E_{CT} : 芯材 T 方向ヤング率 (kgf/cm^2)
 E_f : FRP 材ヤング率 (kgf/cm^2)
 E_{f0° : FRP 材ヤング率 (kgf/cm^2)
 E_{f90° : FRP 材ヤング率 (kgf/cm^2)
 e : 開口による甲板応力有効率
 e_o : 外板を含めぬハットの外板上重心高さ (cm)
 F_a : トランス部材変断面係数
 F_H : 最大剪断力 (Tonf)
 F_X : 梁曲げモーメント係数
 F_n : 船体縦曲げモーメント係数
 F_K : 固着度係数
 F_s : 最大モーメント式の係数
 f : 円弧曲板キャンパー値 (cm)
 f_B : 横ビーム心距 (cm)
 f_n : ブラケット脚長 (cm)
 f_o : ハットフランジ有効幅係数
 G : 横弾性係数 (kgf/cm^2)
 G_C : サンドイッチ芯材横弾性係数 (kgf/cm^2)
 g : 重力加速度 (cm/sec^2)
 H : K/G Hybrid 層数
 H_0 : 水面落下試験水面上落下高さ (mm)
 H_C : トランスパネル縦座屈応力係数
 H_S : チャイン・ガンネル間側外板高さ (cm)
 H_W : ハットウェブ高さ (cm)
 h : 船側水圧水頭 (cm)
 h_B : 隔壁下端水頭 (cm)
 h_n : 船底, 船側外板の特定板厚部の高さ (cm)
 h_T : 交差部貫通ハットの高さ (cm)
 h_o : ハット木芯材高さ (cm)
 h_w : ハット交差部残存ウェブ高さ (cm)
 I : 断面 2 次モーメント (cm^4)
 I_d : 設計断面 2 次モーメント (cm^4)
 I_H : 船殻横断面 2 次モーメント (cm^4)
 I_L : ロンジ部材断面 2 次モーメント (cm^4)
 I_T : トランス部材断面 2 次モーメント (cm^4)
 I_o : パイプ支柱の断面 2 次モーメント (cm^4)
 i : ハット断面係数計算の断面 2 次モーメント (cm^4)
 J_P : 船底水圧のパネル中央歪よりの解析値の精度
 J_σ : 船底外板最大応力のパネル中央歪よりの解析値の精度
 J_T : 均等水圧設計係数 (Trans System)
 J_L : 均等水圧設計係数 (Longi System)
 J_C : 応力集中係数
 j : ベースライン上船底ロンジ頂面高さ (cm)
 K : サンドイッチ甲板のリンクリング発生図パラメータ
 K_C : 一軸圧縮座屈係数
 K_E : サンドイッチパネル設計係数
 K_N : Niwa 水圧式の船底傾斜角修正値
 K_s : サンドイッチパネルの四辺支持条件下の剪断座屈係数
 K_0 : パネルエッジ曲げ応力係数
 K_X : 船底外板板厚設計係数
 K_1 : 四辺支持小撓み異方性平板撓み係数
 K_2 : 四辺固定小撓み異方性平板撓み係数
 K_3 : 四辺支持小撓み異方性平板撓み係数
 k_d : 防撓材動荷重係数
 k_n : 防撓材動荷重係数基数値
 k_o : 慣動半径 (cm)

- L : 艇の全長 (m)
 L_d : 設計動荷重係数
 L_{dL} : 設計動荷重係数
 L_{dk} : 設計動荷重係数
 L_{dP} : 設計動荷重係数
 L_H : 水面落下衝撃動荷重係数
 L_{HL} : 水面落下衝撃動荷重係数
 L_{HX} : 水面落下衝撃の動荷重係数推定値
 L_n : L_{dP} 又は L_{HL} 単独板又は防撓平板動荷重係数
 L_0 : 船体縦曲げ試験支持点スパン (m)
 l : 防撓材長さ設計値 (cm)
 l_B : キール・チェーン間距離 (cm)
 l_N : Niwa 水圧最大点と船首端間の距離 (m)
 l_n : 部材長さ (cm)
 l_{Tn} : ビーム又はフロアーの支点間距離 (cm)
 l_{T1} : ビーム部材長さ (cm)
 l_{T2} : フロアー部材長さ (cm)
 l_0 : 横隔壁間距離 (cm)
 l_s : 船側横肋骨長さ (cm)
 M : チョップドストランドマット
 M_S : 船体縦曲げサグモーメント (Tonf・m)
 M_H : 船体縦曲げ Hog モーメント (Tonf・m)
 M_{Ln} : ロンジの曲げモーメント (kgf・m)
 M_N : M_n , M_{Tn} の大なる方の値 (kgf・m)
 M_n : 船側水圧荷重モーメント (kgf・m)
 M_{Tn} : 横部材曲げモーメント (kgf・cm)
 m : パネルのロンジ本数又は I/Y 計算のモーメント値 (cm³)
 m_d : 横隔壁間のロンジ荷重係数
 m_{L0} : 両玄ロンジ部材本数
 m_M : マットの単位面積当たり重量 (gf/m²)
 m_R : ローピングの単位面積当たり重量 (gf/m²)
 m_S : 船側ロンジ本数
 m_0 : 外板を含めハットモーメント値 (cm³)
 又はパネル縦方向振動半波長数
 N : 撓み指数
 N_H : 撓み指数
 N_S : 撓み指数
 N_{\min} : 最低撓み指数設計値
 N_σ : パネル最大応力 (歪) 倍数
 N_w : 片面接水振動数 (Hz)
 N_{WL} : ロンジ防撓平板片面接水振動数 (Hz)
 N_{WP} : 単純平板片面接水振動数 (Hz)
 n : パネルの横防撓材数又はパネル座屈モード半波長数 (整数値)
 n_1 : 設計船底外板のロンジと剛結するスプレーストリップ本数
 n_0 : 横隔壁間のトランス材数又はパネルの横方向振動半波長数
 n_P : 支柱末端条件係数
 n_T : トランス部材本数
 P : 水圧荷重 (kgf/cm²)
 P_B : 隔壁下端水圧 (kgf/cm²)
 P_d : 設計水圧 (kgf/cm²)
 P_H : 水面落下衝撃水圧 (kgf/cm²)
 P_N : Niwa 式の船底衝撃水圧値 (kgf/cm²)
 P_n : 規定水圧値 (kgf/cm²)
 P_T : 隔壁板上中段水圧値 (kgf/cm²)
 P_X : 航走水圧又は水面落下衝撃水圧 (kgf/cm²)
 P_{10} : 船底外板航走水圧値 (kgf/cm²)
 P_0 : 水平船底外板 Niwa 水圧式値 (kgf/cm²)
 P_1 : 船底外板水圧 (kgf/cm²)
 P_2 : 甲板水圧 (kgf/cm²)
 P_3 : 船側水圧 (kgf/cm²)
 Q : リンクリング発生応力図縦座標
 q : リンクリング発生応力図表座標軸係数
 R : ウーブンローピング (ローピングクロス)
 R_H : ホギングモーメント分布係数
 R_n : 支点反力 (kgf)
 R_s : サギングモーメント分布係数
 R_0 : 円弧の半径 (cm)
 R_1 : 側肋骨ガンネル部支点反力 (kgf)
 R_2 : 側肋骨下端部支点反力 (kgf)
 R_X : 水中爆発物と船底の直線距離 (m)
 S : 防撓材分担幅又はフレームスペース (cm)
 S_{Cr} : 剪断座屈荷重 (kgf/cm²)
 \overline{SF}_x : 外板板厚ステップ部応力安全率
 \overline{SF} : 応力安全率
 \overline{SF}_n : 応力安全率
 \overline{SF}_B : 圧縮座屈安全率
 \overline{SF}_b : パネル曲げ応力安全率
 \overline{SF}_H : 水面落下の外板曲げ応力安全率
 \overline{SF}_w : リンクリング発生安全率
 \overline{SF}_w : 外板付きハットフランジの白化剝離安全率
 \overline{SF}_τ : 剪断座屈安全率
 T_F : サンドイッチ合計表皮材厚 (cm)
 t, t_n : 板厚 (cm)
 t_c : サンドイッチ芯材厚さ (cm)

t_d : サンドイッチ全厚さ (cm)	ϵ : 横隔壁間のウェブリング数。又は歪値 (μ)
t_F : サンドイッチ表面材板厚 (cm)	ϵ_A : 船内船底外板パネル中央横歪値 (μ)
t_f : ハットクラウン(頂板)板厚 (cm)	ϵ_F : 四辺固定平板撓み係数
t_w : ハットウェブ又はフランジ板厚 (cm)	ϵ_L : ロンジ方向支柱列数
t_1 : 船底外板欠損板厚値 (cm)	ϵ_S : 四辺支持平板撓み係数
t_P : 外板板厚値 (cm)	ϵ_T : トランス方向支柱列数
t_D : 層間増厚部板厚 (cm)	μ : ポアソン比
t_τ : ハットウェブ剪断設計板厚 (cm)	ξ : 円弧外板 1/2 包括角 (deg)
t_m : 船底船側外板平均板厚値 (mm)	σ : 応力 (kgf/cm ²)
t_X : 航走時板厚又は水面落下時板厚 (cm)	σ_A : 船内面パネル中央横応力値 (kgf/cm ²)
t_x : 外板板厚増厚ステップ部の板厚 (cm)	σ_B : 曲げ強度 (kgf/cm ²)
V : 計画速力 (KT)	σ_b : 曲げ応力 (kgf/cm ²)
V_f : 繊維の体積含有率 (%)	σ_C : 圧縮強度 (kgf/cm ²)
v : 速力 (m/sec)	σ_c : 圧縮応力 (kgf/cm ²)
W : 排水量 (Tonf)	σ_{Cr} : 座屈応力 (kgf/cm ²)
W_N : 常備排水量 (Tonf)	σ_F : FRP-Base 応力 (kgf/cm ²)
W_P : 支柱荷重 (kgf)	σ_f : 使用材の σ_T , σ_C の小なる値 (kgf/cm ²)
W_f : 設計ガラス重量含有率 (%)	σ_{fc} : FRP の圧縮強度 (kgf/cm ²)
W_0 : 船殻ロンジ支持の隔壁板荷重 (kgf)	σ_{fT} : FRP の引張り強度 (kgf/cm ²)
W_f : 繊維基材の単位面積重量 (gf/cm ²)	σ_H : 船体縦曲げ応力 (kgf/cm ²)
x : 支持端又はチェーンより計算点までの距離 (cm)	σ_{HC} : 船体縦曲げ圧縮応力 (kgf/cm ²)
y : 中立軸より計画面までの距離 (cm), (m)	σ_{Ht} : 船体縦曲げ引張り応力 (kgf/cm ²)
Z : 断面係数 (cm ³)	σ_i : パネル最大曲げ応力 (kgf/cm ²)
Z_{BL} : 基準線(船底外板)部の断面係数 (cm ² ・m)	σ_L : 船底ロンジによる隔壁応力 (kgf/cm ²)
Z_{DK} : 甲板部推定断面係数 (cm ² ・m)	σ_{max} : パネル最大応力 (kgf/cm ²)
Z_{skek} : スケグ断面係数 (cm ² ・m)	σ_P : 比例限応力(金属) (kgf/cm ²)
α_0 : 船体曲げ撓み係数	σ_{Pe} : ビーリング(剝離応力) (kgf/cm ²)
α_N : 丹羽水圧式加速度修正値	σ_T : 引張り強度又は船底フロア応力 (kgf/cm ²)
α_r : 平板振動数四辺条件係数	σ_t : 引張り応力 (kgf/cm ²)
α_w : サンドイッチ板表面板の凹凸変形指数	σ_{wc} : 合板ベース縦曲げ圧縮応力 (kgf/cm ²)
β : 船底傾斜角 (deg)	σ_Y : 耐力(金属)又は強度(FRP) (kgf/cm ²)
β_F : 四辺固定平板応力係数	τ : 剪断強度 (kgf/cm ²)
β_f : 円弧曲板座屈係数	τ_w : 集成材の剪断強度 (kgf/cm ²)
β_t : 船首より l_N 点の β 値 (deg)	ρ_C : 芯材の密度 (kgf/cm ³)
β_0 : 船殻剪断撓み係数	ρ_f : FRP 材の密度 (kgf/cm ³)
β_S : 四辺支持平板応力係数	ρ_w : 海水の密度 (kgf/cm ³)
β_t : トランザムの傾斜角 (deg)	ϕ : フランジ白化剝離応力係数
Γ : March 式応力に対する材料別係数	ζ : 推定船底動荷重指数
γ_0 : 甲板アスペクト比	η : March の式の係数
γ_N : March 式最大応力比	ω : 撓み値 (cm)
Δ, Δ_n : 走行時船底衝撃水圧持続時間 (sec)	
Δ_H : 水面落下衝撃水圧持続時間 (sec)	
δ : ハット材の最大撓み (cm), (mm)	

添 字

 a : 短辺長さ

B : 破断値, 下端値

b : 幅, 長辺長さ, 曲げ値

C : 計算値, 芯材値, チェイン値, 圧縮値

DK : 甲板部, 甲板値

d : 設計値

e : 有効値

F : フェース (面材) 値, 函数値

f : FRP 材値

H : 水面落下値, ホギング値

L : ロンジハット値, ロンジ防撓板値

M : チョップドストランドマット値

max: 最大値

mean: 平均値

min: 最小値

N : 常備排水量値, 丹羽式の値

n : 部材番号, 連続番号値

O : 基準値, 素材値, 最終値

P : 比例限値, 水圧値, パイプ値, 支柱値, 外板値

R : ロービングクロス値, 有効値, 樹脂値

S : サンドイッチ値, サギング値, 船側値, スプレー
ストリップ値

T : 横方向値, 上中段値, 引張り値

t : 板厚値, 引張り値

W : 木材の値, 圧屈発生値

W : ウェブ値, ハットフランジ白化剝離値, 海水値

x : 計算点の値

Y : 耐力値 (金属) 又は, 強度 (FRP)

CL : 中央集中荷重値

Cr : 座屈値

τ : 剪断値

$*$: 船体中央値

Table 1. 主要材料標準強度特性値

	MR-FRP (425G)	べいまつ合板	合板	べいまつ集成材
E_t (kgf/cm ²)	1.0×10^5 (1.3×10^5) 厚板	0° 0.69×10^5 90° 0.43×10^5	0° 0.84×10^5 90° 0.53×10^5	1.35×10^5
G (kgf/cm ²)	0.234×10^5	0.05×10^5		0.09×10^5
σ_s (kgf/cm ²)	2000	0° 432 90° 328	0° 618 90° 570	800
σ_t (kgf/cm ²)	1600	360	550	1050
σ_c (kgf/cm ²)	EW 1950 IL 230	EW 325 FW 264	0° 370 90° 328	400
τ (kgf/cm ²)	EW 870 IL 230			FW 100 IL 75
μ	0.27	0.0387 { 0.083 0.018 }		
λ	0.9271	0.9985		
ρ_s (kg/cm ³)	1.54×10^{-3}	0.55×10^{-3}	$0.59 \sim 0.60 \times 10^{-3}$	0.52×10^{-3}

※EW: Edge wise. FW: Flat wise. IL: Inter laminar.

Table 2. 防撓材設計端末条件係数: C_x

C_x	荷重	部材別	内容	両端固定	上端固定下端支持	上端支持下端固定	両端支持
C_1			応力	12	8	8	8
C_2		単独防撓材	撓み	384	184.6	76.8	76.8
C_3		格子構造平板	撓み	3	(1.8) ※1	($\pi/4$) ²	
C_4			応力	20	120/7	15	9/3
C_5		単独防撓材	撓み	764	327	419	153

U1: Uniform loading.

TL: Tapered waterhead loading. ※1: 両端固定・支持の平均値

Ship: 実艇値

Req: 要求値

2. 設計荷重

2.1 水圧荷重

2.1.1 航走時衝撃水圧 (Niwa¹³⁾ 式)

船首端より l_N の位置までの (1) 式による水平船底外板 (キール部等) の水圧 P_0 及び P_1 [船首より l_N の位置の船底傾斜に基づく衝撃水圧] が最大の設計水圧荷重となる。船首より x の任意点の水圧は, 任意の係数 C_N を用いて P_0 , P_1 を修正する事で求められる。Deep V 船形で, Hell slamming を考慮して K_N を β_t 値で修正しているが, Uplight slamming にて計測した場合の実艇解析する場合は, $\beta_t = 0$ とした K_{25} を使用する。

$$P_0 = (V^2/1,000) + (1 + \alpha_N \cdot A_F)W / (L \cdot B_c) \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (1)$$

$$l_N = (L/10) \{ 4 + (V/10W^{1/6}) \} \quad (\text{m})$$

$$\alpha_N = 1 + 0.05(\beta_t^\circ - 5), \alpha_{N\max} = 1.5, \alpha_{N\min} = 1.0$$

$$K_N \begin{cases} V/W^{1/6} \leq 10; & K_{10} = 5/(\beta^\circ - 5)^{2/3} \\ V/W^{1/6} \geq 25; & K_{25} = 5/(\beta^\circ - \beta_t^\circ - 5)^{2/3} \\ 25 > V/W^{1/6} > 10; & K = K_{10} + (K_{25} - K_{10})(V/W^{1/6} - 10)/15, \\ & K_{\max} = 1.0 \end{cases}$$

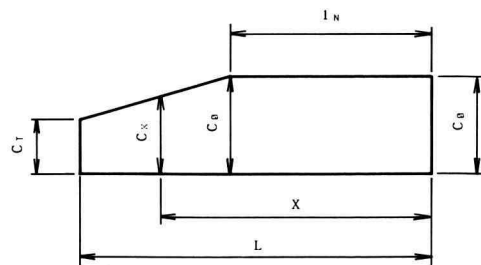


Fig. 1

$$C_N \begin{cases} \text{船首より } l_N \text{ まで, } C_0=1.0 \\ \text{船尾} & C_T = V/25W^{1/6}, \quad C_{T\max}=1.0 \\ l_N \text{ より船尾までの } x \text{ 点} \\ & C_x = 1 - (1 - C_T)[(x - l_N)/(L - l_N)] \end{cases}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{船底水圧; } P_1 = P_0 \cdot K_N \cdot C_N \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ \text{甲板水圧; } P_2 = 0.026(0.02L + 0.76) \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ \text{船側水圧; } P_3 = (1/4)(P_1 + 2P_2) \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \end{array} \right] \quad (2)$$

2.1.2 水面落下衝撃水圧¹¹⁾

船底前半部は β_1 , 船尾部は β_t を使用し, 後半部は挿入法による。

$$\left[\begin{array}{l} P_H = 0.014 H_0^{0.819} [5/(\beta - 5)]^{2/3} \\ P_{HC2500} = 8.493 [5/(\beta - 5)]^{2/3} \end{array} \right] \quad (3)$$

2.2 船体縦曲げモーメント式等

2.2.1 縦曲げモーメント式 ($\beta_{t\min}=5^\circ$, $\beta_{t\max}=20^\circ$)

$$\begin{aligned} M_S &= W \cdot L / C \approx F_n \cdot W \cdot L (A_F + 1) / (29 - \beta_t) \\ F_n &= (29 - \beta_t) / [C(A_F + 1)] \text{ (Niwa 式は } F_n \approx 0.57) \\ F_\beta &= (29 - \beta_t) / (39 - \beta_t) \\ M_S &= W \cdot L (A_F + 1) / 60 F_\beta \text{ (Tonf} \cdot \text{m)} \\ M_H &= M_S \cdot R_H \text{ (Tonf} \cdot \text{m)} \end{aligned} \quad (4)$$

$$(5)$$

Table 3. F_n 式

β_t	A_F	C	F_n	F_n 式
20°	6 (g)	4	0.32	(39 - β_t) / 60
5°		6	0.57	

2.2.2 甲板断面係数推定値〔船体断面 2 次モーメント推定値は, (199) 式による。〕

$$Z_{DK} = \frac{L^{0.9} t_m^{1.1} D^{3.44} (V/W^{1/6})^{0.21}}{M_s^{0.34} (E_f/10^5)^{0.35}} \text{ (cm}^2 \cdot \text{m)} \quad (6)$$

t_m は (200) 式, M_s は (4) 式による。

2.2.3 甲板開口の縦曲げ甲板応力への効果; e

$$e = 1.25 \{1 - (B_H/B)\}, \quad e_{\max} = 1.0, \quad e_{\min} = 0.5 \quad (7)$$

前部に科員室大型開口 B_{CQ} を有し, 主機室開口 B_{EH} がその後方にある場合, $B_H = (B_{CQ} + B_{EH})/2$ とする。

2.2.4 甲板縦曲げ応力推算式

$$\sigma_{DK} = \frac{M_s^{1.34}}{L^{0.9} t_m^{1.1}} \frac{e(E_f/10^5)^{0.35} \times 10^3}{D^{3.44} (V/W^{1/6})^{0.21}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (8)$$

2.2.5 最大剪断力式

$$F_H \approx M_S/L = W(A_F + 1)/60 F_\beta \text{ (Ton)} \quad (9)$$

F_β は, (4) 式による。

3. 船底外板板厚設計⁽¹⁾

$$t_X = K_X \cdot a \cdot \overline{C_n} \sqrt{P_X \cdot SF_b / \sigma_B} \quad (10)$$

(底外板近似解析値)

$$\overline{SF_b} = (\sigma_B / P_X) [(t_X / (K_X \cdot a \cdot \overline{C_n}))^2] \quad (11)$$

Table 4. 船底外板板厚の速度係数: $\overline{C_n}$

$V/W^{1/6} \geq 25$	$\overline{C}_1 = (0.558 - V/515)$	$\overline{C}_{1\max} = 0.50$
$25 > V/W^{1/6} \geq 12$	$\overline{C}_2 = 0.04 (41.25 - V)$	$\overline{C}_{2\max} = 0.60$ $\overline{C}_{2\min} = 0.45$
$12 > V/W^{1/6} \geq 4$	$\overline{C}_3 = 0.10 (27.5 - V)$	$\overline{C}_{3\max} = 1.30$ $\overline{C}_{3\min} = 0.60$

Table 5. 船底外板板厚設計係数

	A_F (g)	K_X	P_X	SF_b	N
敷設時	$25 > V/W^{1/6} \geq 4$	1.5~6	0.316 / $(E_f \times 10^{-5})^{0.125}$	2.5	35
	$V/W^{1/6} \geq 25$	6~30			30
水面落下衝撃時	(H=2500mm)		P_s	1.25	25

* (底外板厚解析は, 3.4 章による。)

3.1 FRP 板厚とガラス構成

MR-FRP では, その強度・板厚及び樹脂含浸性の点より見て, 42% G・C の積層を標準としてガラス構成を決定し, 設計板厚 t_d を算出する。

$$\begin{aligned} t_M &= 0.12(m_M/600) \text{ (cm)} & t_R &= 0.10(m_R/860) \text{ (cm)} \\ (t_M + t_R) \cdot n + (t_M) &\geq t_C \text{ (cm)} \end{aligned}$$

単位面積当り全繊維重量

$$\omega_f = (\sum \omega_M + \sum \omega_R) \text{ (gf/cm}^2\text{)}$$

ガラス体積含有率 $V_f = \omega_f / (d_s \cdot t_d)$

ガラス重量含有率 $d_r = 1.20$, $d_f = 2.58 \text{ (gf/cm}^2\text{)}$

$$W_f = V_f \cdot d_f / \{d_r - V_f(d_r - d_f)\} = 0.42 = (42\%)$$

$$t_d = \omega_f \{1 - W_f(1 - d_r/d_f)\} / (d_r \cdot W_f) = 1.538 \omega_f \quad (12)$$

4. 外板防撓構造の動的設計

4.1 動荷重係数

動的水圧を受ける高速艇船底構造には, Table 6 に示す種類の動的荷重係数と設計水圧が存在する。

Table 6. 動的設計水圧: P_d

設計項目	P_{se} (kgf/cm ²)	P_{se}			P_{se}
		単独平板	スプレーストリップ付平板	防撓平板 (航走時)	防撓平板 (水面落下衝撃時)
外板パネル	$a \times b$	$a \times b$	$l_s \times l_s$	$l_s \times l_s$	
外板プレート解析	$(\Delta N_x)_x$	$\Delta_x N_{xp}$	$\Delta_x N_{xi}$	$\Delta_x N_{xi}$	$\Delta_x N_{xi}$
フランジ白化試験	L_s	L_{sp}	L_{xi}	L_{xi}	$(L_{xp}) L_{xi}$
ハット梁理論設計 ウェブ剪断応力 クラウン繊維応力	P_s	$P_s L_{sp}$	$P_s L_{xi}$	$P_s L_{xi}$	$P_s L_{xi}$
	L_s	k_s			$(L_{xp}) L_{xi}$
	P_s	$P_s k_s$			$P_s L_{xi}$

Table 7. 板材動荷重係数: L_d

$0.06 > (\Delta N_x)_x > 0$	$3.55 (\Delta N_x)_x$	設計最低値 $L_{dmin} = 0.1$
$0.14 > (\Delta N_x)_x \geq 0.06$	$1/70 \{1 + 2.29 (\Delta N_x)_x\}$	
$0.24 > (\Delta N_x)_x \geq 0.14$	$1/9.65 \{1 + 2.5 (\Delta N_x)_x\}$	
$(\Delta N_x)_x \geq 0.24$		

Table 8. 防撓材動荷重係数: k_d

$300 > L \cdot V/W^{1/3}$	$30^\circ > V$	$k_1 = 0.34 \{1 - (V-10)/23\}$
$L \cdot V/W^{1/3} \geq 300$	$V \geq 30^\circ$	$k_2 = 0.12 \{1 - (V-22)/28\}$
k_{min}		0.040
$(1/S) \geq 4$		$k_s = k_a$
$4 > (1/S)$		$k_s = 2.95 k_a / (1/S)^{0.778}$

4.2 衝撃水圧持続時間

4.2.1 航走時持続時間¹⁾Table 9. Δ_n

$150 \geq L \cdot V/W^{1/3}$	$\Delta_1 = (182 - L \cdot V/W^{1/3}) / 704$	$\Delta_{min} = 0.020$
$L \cdot V/W^{1/3} > 150$	$\Delta_2 = (677 - L \cdot V/W^{1/3}) / 15000$	$\Delta_{min} = 0.010$
$V/W^{1/3} > 25$	$\Delta_3 = (642 - L \cdot V/W^{1/3}) / 24390$	$\Delta_{min} = 0.005$
波浪衝撃の最大値	$2\Delta_n$	$SF_{min} = 1.2$ とする。

4.2.2 水面落下衝撃持続時間¹⁾Table 10. Δ_H

$(a/t) \geq 35$	$\Delta_{H1} = 0.015 \{1 - (H_0/3750)\}$
$35 > (a/t)$	$\Delta_{H2} = 0.009 \{1 - (H_0/5143)\}$
	$\Delta_{Hmin} = 0.0065$

4.3 片面接水振動数

4.3.1 単独平板パネル1次振動数式⁹⁾

〔高次振動数は(22)式による。ロンジハットと剛結するスプレーストリップのある場合、パネル幅はそのストリップの1/4幅を減じた値とする。外板板厚の動的設計には、パネルは四辺支持の α_r を使用する。〕

$$N_{WP} = \frac{\alpha_r \cdot J_1 \cdot t \cdot \pi \sqrt{(g/3)} [E/(\rho \cdot \lambda)]_f}{4\sqrt{1 + (\rho_w/\rho_f)200/(t \cdot \pi \sqrt{J_1})}} \quad (13)$$

$$N_{WP} = \frac{11.88 \alpha_r \cdot t \cdot J_1}{\sqrt{\{1 + (\rho_w/\rho_f)[200/(t \cdot \pi \sqrt{J_1})]\}} \times \frac{1}{\sqrt{(10^5/E_f)(\lambda_f/0.9271)(\rho_f \times 10^3/1.54)}}} \quad (14)$$

Table 11. 平板振動数四辺条件係数: α_r

b/a	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
四辺支持	2.00	1.40	1.24	1.16	1.10
四辺固定	3.62	2.78	2.52	2.41	2.36

4.3.2 防撓平板の片面接水振動数⁽²⁾

船底片舷のロンジを含む防撓平板あるいは中間にスプレーストリップを含む単独外板の場合の片面接水振動数は、 $l_B \times l_0$ (スプレーストリップの場合 $a \times b$ と読みかえる)の振動として水面落下試験(瞬時にガンネルまで水没する)あるいは航走時のスプレーストリップ付き平板用に使用される。〔Sandwich Panelは(70)式による。〕

(1) 一般式

$$N_{WL} = \frac{C \cdot \pi \sqrt{\frac{E_f \cdot g}{\rho_f}} \sqrt{\frac{I_L(m+1)}{(l_B \cdot t_X) + A_0(m+1)}}}{l_0^2 \sqrt{1 + (\rho_w/\rho_f)200/(\pi \cdot t_X \cdot \sqrt{J_2})}} \quad (15)$$

(四辺固定支持の平均) $C = 0.827$

$m=1$ の場合 $(m+1)=8/3$ として扱うものとする。

(2) $m=1$ の場合

$$N_{WL1} = \frac{1.85 \times 10^6 \sqrt{I_L/[(3l_B \cdot t_X) + 8A_0]}}{l_0^2 \sqrt{\{1 + (1.54 \times 10^{-3}/\rho_f)42.37/(t_X \times \sqrt{J_2})\}}} \times \frac{1}{\sqrt{(10^5/E_f)(\rho_f/(1.54 \times 10^{-3}))}} \quad (16)$$

(3) $m=2$ の場合

$$N_{WL2} = \frac{1.14 \times 10^6 \sqrt{I_L / [(l_B \cdot t_X) + 3A_0]}}{l_0^2 \sqrt{\{1 + (1.54 \times 10^{-3} / \rho_f) 42.37 / (t_X \sqrt{J_2})\}}} \times \frac{1}{\sqrt{(10^5 / E_f) (\rho_f / (1.54 \times 10^{-3}))}} \quad (17)$$

(4) $m=3$ の場合

$$N_{WL3} = \frac{1.31 \times 10^6 \sqrt{I_L / [(l_B \cdot t_X) + 4A_0]}}{l_0^2 \sqrt{\{1 + (1.54 \times 10^{-3} / \rho_f) 42.37 / (t_X \sqrt{J_2})\}}} \times \frac{1}{\sqrt{(10^5 / E_f) (\rho_f / 1.54 \times 10^{-3})}} \quad (18)$$

ここで, $\{(1/l_0^2) + (1/l_B^2)\} \times 10^4 = J_2 (cm^{-2} \times 10^4)$ 但し, 単独平板のスプレーストリップ付きの場合は, J_2 は J_1 と読み換える。

4.4 外板設計板厚の解析

$$\Psi = P_n \cdot L_a \cdot (\lambda/E)_f \cdot (a/t)^4$$

$$A = \sigma_{\max} \Gamma (\lambda/E)_f (a/t_P)^2$$

応力安全率

$$\overline{SF}_b = [(\sigma_B \cdot \lambda \cdot \Gamma) / (A \cdot E_b)] (a/t_P)^2 \quad (19)$$

撓み指数

$$N = (a/t) / (\omega/t) = (a/\omega) \quad (20)$$

Table 12. Γ

	FRP	合板
Γ	1.5	1.0

P_n, L_a は Table 6 による。設計係数は Table 13 による。

4.5 水面落下時の船底防撓平板構造の推定動荷重係数; L_{HX}

水面落下時は瞬時にガンネルまで水没するので, 船底防撓平板として外板とロンジを支配する L_{HL} を, ロンジ設計以前に推定する必要がある。

$$L_{HX} = [k_a \cdot L_{aP}] (\zeta / (V/W^{1/6})) \quad (21)$$

k_a は, Table 8 による。 ζ は, Table 14 による。 L_{aP} は単独平板として, あるいはスプレーストリップ付き底板としての L_{aP} 又は L_{aL} として, Table 6, Table 7 に示される。 (ΔN_{WP}) 又は (ΔN_{WL}) より求め

Table 13. 船底外板動的設計係数値

	船首傾加速度 A_f (g)	設計水圧 P_f (kgf/cm ²)	曲げ安全率 SF_b	撓み指数 N
航	$2.5 > V/W^{1/6} \geq 4$	1.5~6		
走	$V/W^{1/6} \geq 2.5$	6~30	P_1, L_{aP}	2.5 3.0
時	$V/W^{1/6} \geq 4$	(1.5~20) ※1		(1.2) ※1 (2.0) ※1
水面落下時	$H=2500$ (mm)	P_n, L_{aL} (P_n, L_{aP})	1.25	2.5

※1 (Table 9. による, $\Delta_{max} = 2\Delta$ の条件, Table 49 により計算のこと。)

Table 14. ζ 係数

$\zeta = 2.9 \{1 - (V/W^{1/6} - 1.0) / 5.25\}$
$\zeta_{max} = 2.9, \zeta_{min} = 6.9$

る。)

ロンジの寸法決定と L_{HL} 計算を行った後は, L_{HX} の使用は終了するものとする。

船底外板高次振動数式

$$N_{WP} = \frac{11.88 \alpha_f \cdot t \cdot J_N}{\sqrt{\{1 + 65.25 / (\rho_f \cdot t \sqrt{J_N})\} (10^5 / E_f)}} \times \frac{1}{\sqrt{(\lambda_f / 0.9271) (\rho_f / (1.54 \times 10^{-3}))}} \quad (22)$$

$$J_N = \{(m_0/a)^2 + (n_0/b)^2\} \times 10^4$$

m_0, n_0 はモードの半波長の数 (正の整数)

4.6 外板甲板 (平板) 設計式⁵⁾ と図表^{1,8)}

4.6.1 設計水圧と応力安全率を与えてパネル寸法 (a/t) と撓み比 (ω/t) を求める図表式 (march-Hasimoto 式)

$$\theta = P_a (E/\lambda_f) \{ \overline{SF} / (\sigma_B \cdot \Gamma) \}^2$$

$$= \frac{32(\omega/t) \{1 + (23/32)(\omega/t)^2\}}{\{\alpha(\omega/t) + (\eta^2/3)\}^2} \quad (23)$$

$$\mathcal{Q} = (a/t) \sqrt{(\sigma_B \cdot \Gamma / \overline{SF}) (\lambda/E)_f}$$

$$= \sqrt{\alpha(\omega/t) + (\eta^2/3)} \quad (24)$$

ここで, $\eta = 1 / [0.366(\omega/t)]$,

$P_a = P_n \cdot L_a, P_{Ha} = P_H \cdot L_{HL}$ Γ は, Table 12. による。

$$\alpha = \{4\eta(\eta \coth \eta - 1) / (\eta - 2 \tanh \eta / 2)\}$$

(23), (24) 式より設計チャートを得る。

P_a は, Table 6 による。

4.6.2 設計水圧とパネル寸法を与えて, パネル最大

応力 σ_{\max} と撓み比 (ω/t) を求める図表式。

$$P_d(\lambda/E)_f(a/t)^4 = 32(\omega/t)\{1 + (23/32)(\omega/t)^2\} = \psi \quad (25)$$

$$\sigma_{\max} \Gamma(\lambda/E)_f(a/t)^2 = \alpha(\omega/t) + (\eta^2/3) = A \quad (26)$$

(25) 式, (26) 式より設計チャートを得る。

P_d は, Table 6 による。

4.7 円弧曲板キールプレート設計

Nicolai の両端固定円弧アーチの均等水圧による座屈水圧式¹⁴⁾を用い, 動荷重係数は円弧の玄長 a , パネル長さ b , 板厚 t の平均値 Table 6, L_{dP} 値に比例するものとして, 第2パネルの板厚 t_1 について $t = 1.5t_1$ の値を中心としたその前後の板厚について座屈安全率を計算し, 標準値 Table 15 となる板厚を求める。

$$\overline{SF}_B = \{(\beta_f^2 - 1)/12P_d\}(E/\lambda)_f(t/R_0)^3 \quad (27)$$

$$R_0 = (f/8)\{4 + (a/f)^2\} \quad (28)$$

$$\zeta = \sin^{-1}(a/2R_0) \quad (29)$$

式中の β_f は Table 16 による。

Table 15. \overline{SF}_0

A _f (g)	1. 5~4	5~6	7~30
\overline{SF}_0	1. 15	1. 25	

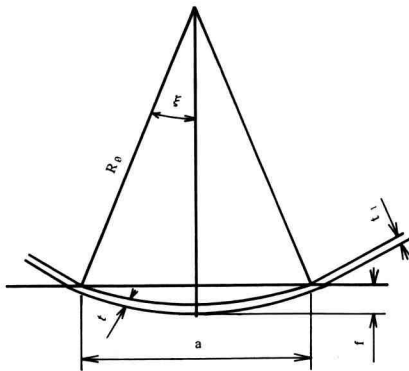


Fig. 2

Table 16. β_f

ζ (deg)	10°	12. 5°	15°	20°	30°	60°	90°
β_f	25. 757	20. 612	17. 133	12. 898	8. 621	4. 375	3. 000

5. 船側外板設計

5.1 船側外板分割方式 (単板ロンジ方式)

船側外板は次式の最低値によってパネル幅に分割する。

(30)式により, 剪断座屈方式 $a_1 = 7.58\sqrt{H_s \cdot C_a \cdot t_P^3 / F_H}$ ただし, F_H は (9) 式による。

(31) 式より, 水圧応力方式 $a_2 = 0.632t_P\sqrt{\sigma_B / (P_3 \cdot k_d)}$

(32) 式より, 水圧撓み方式 $a_3 = 0.945t_P\sqrt{E_f / (P_3 \cdot k_d)}$

(33)式より, 片支船側ロンジ本数 $m_s \geq (H_s/a_{nmin}) - 1$

(34) 式より, パネル幅 $a = (H_s - m_s \cdot b_2) / (m_s + 1)$

(35) 式より, 船底ロンジスペース $S = (a + b_2)$

5.2 船側外板板厚設計

5.2.1 縦座屈設計⁴⁾ {Transverse System の値は, (58), (59) 式による。 σ_{HC} は甲板応力の 75% とする。}

$$t_1 = \frac{(a-f)}{\pi} \sqrt{(\lambda/E)_f \cdot 12\sigma_{HC} \cdot \overline{SF}_1 \cdot e / 1.1(3+2K_f)}$$

$$= 1.15(a-f)\sqrt{(\lambda/E)_f \cdot \sigma_{HC} \cdot e / (3+2K_f)} \quad (36)$$

$$\overline{SF}_1 = \{t \cdot \pi / (a-f)\}^2 \cdot (E/\lambda)_f \cdot (3+2K_f) 1.1 \div (12\sigma_{HC} \cdot e) \quad (37)$$

$\overline{SF}_1 = 1.2$ とする。

5.2.2 剪断座屈設計⁵⁾ $\overline{SF}_2 = 1.5$, F_H は (9) 式による。

$$t_2 = 10\sqrt[3]{(\lambda/E)_f \cdot 3(a-f)^2 \cdot F_H \cdot \overline{SF}_2 / (2C_a \cdot H_s)} \\ = 13.1\sqrt[3]{(a-f)^2 \cdot F_H \cdot (\lambda/E)_f / (C_a \cdot H_s)} \quad (38)$$

$$\overline{SF}_2 = (1/1500)\{C_a \cdot H_s \cdot t^3 / F_H(a-f)^2\}(E/\lambda)_f \quad (39)$$

5.2.3 水圧応力設計⁹⁾

$\overline{SF}_3 = 5$, β_f は Table 17, k_d は Table 8 に示す。

$$t_3 = (a-f)\sqrt{\beta_f \cdot P_3 \cdot \overline{SF}_3 \cdot k_d / \sigma_B} \quad (40)$$

$$\overline{SF}_3 = \{t / (a-f)\}^2 \cdot \sigma_B / (\beta_f \cdot P_3 \cdot k_d) \quad (41)$$

5.2.4 水圧撓み設計⁹⁾

$N = 50$, $\epsilon_P \approx 0.028$, k_d は Table 8 に示す。

$$t_4 = (a-f)\sqrt[3]{\epsilon_P \cdot N \cdot P_3 \cdot K_d / E_f} \\ \approx 1.12(a-f)\sqrt[3]{P_3 \cdot k_d / E_f} \quad (42)$$

$$N = \{t / (a-f)\}^3 \cdot E_f / (\epsilon_P \cdot P_3 \cdot k_d) \quad (43)$$

Table 17. 等方性平板四辺固定応力係数: β_F

(b/a)	1. 0	1. 1	1. 2	1. 3	1. 4	1. 5
β_F	0. 308	0. 349	0. 384	0. 412	0. 436	0. 454
(b/a)	1. 6	1. 7	1. 8	1. 9	2. 0	∞
β_F	0. 468	0. 480	0. 487	0. 493	0. 498	0. 500
β_1	チェーン部船底外板傾斜角度 (deg)					
β_2	船側外板の垂直に対する傾斜角度 (deg)					

5.2.5 船側外板突き上げ座屈設計⁽⁵⁾

$$t_5 = b \sqrt[3]{\frac{P_1 \cdot k_d \cdot \overline{SF}_5 \cdot (\lambda/E)_f \cdot (S/b)}{4H_c \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2)}} \quad (44)$$

$$\overline{SF}_5 = \frac{4H_c \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2)(E/\lambda)_f \cdot (b/S)(t/b)^3}{P_1 \cdot k_d} \quad (45)$$

$$H_c = (\pi^2/12) \{ (\gamma_0/n)^2 + (n/\gamma_0)^2 + 2K_f \}$$

$$\gamma_0 = \{ (a-f)/b \}, \sqrt{n(n+1)} > \gamma_0 > \sqrt{n(n-1)}$$

MR-FRP は, $2K_f = 1.408$ $\overline{SF}_5 = 1.2$

S: 船底パネル幅 (cm),

a, b, f: 船側外板パネル寸法 (cm)

6. 甲板プレート設計

6.1 単板方式甲板板厚設計

 σ_{HC} は FRP Base, σ_{WC} は合板 Base の縦圧縮応力。6.1.1 縦座屈設計 (Longi System)⁽⁴⁾ $\overline{SF}_1 = 2$ (合板甲板では $\overline{SF}_1 = 3$)

$$t_1 = (a/\pi) \sqrt{\frac{12\sigma_{HC} \cdot \overline{SF}_1 \cdot (\lambda/E)_f}{1.1(3+2K_f)}} \quad (46)$$

MR-FRP $t_1 = a\sqrt{\sigma_{HC}}/464$ 米松合板 $t_1 = a\sqrt{\sigma_{HC}}/324 = a\sqrt{\sigma_{WC}}/269$

$$\overline{SF}_1 = (t \cdot \pi/a)^2 (1.1/12\sigma_{HC})(E/\lambda)_f (3+2K_f) \quad (47)$$

MR-FRP $\overline{SF}_1 \doteq 4.3 \times 10^5 (t/a)^2 / \sigma_{HC}$ 米松合板 $\overline{SF}_1 = 2.1 \times 10^5 (t/a)^2 / \sigma_{WC}$
 $= 1.45 \times 10^5 (t/a)^2 / \sigma_{WC}$ 6.1.2 縦座屈設計 (Transverse System)⁽⁵⁾ $\overline{SF}_2 = 2$ (合板甲板では $\overline{SF}_2 = 3$)

$$t_2 = b \sqrt{(\lambda/E)_f \cdot \sigma_{HC} \cdot \overline{SF}_2 / H_c} \quad (48)$$

$$\overline{SF}_2 = (H_c / \sigma_{HC})(E/\lambda)_f (t/b)^2 \quad (49)$$

$$H_c = (\pi^2/12) \{ (\gamma_0/n)^2 + (n/\gamma_0)^2 + 2K_f \}$$

$$\gamma_0 = (a/b), \sqrt{n(n+1)} > \gamma_0 > \sqrt{n(n-1)}$$

(n は, 正の整数値)

MR-FRP: $2K_f = 1.408$, 米松合板: $2K_f = 0.367$ Table 18. t_2 and \overline{SF}_2

MR-FRP	べいまつ合板
$t_2 = \frac{b}{23.2} \sqrt{\frac{\sigma_{HC}}{H_c}}$	$t_2 = \frac{b}{15.2} \sqrt{\frac{\sigma_{WC}}{H_c}}$
$\overline{SF}_2 = (1.079 \times 10^4 H_c / \sigma_{HC}) (t/b)^2$	$\overline{SF}_2 = (0.69 \times 10^4 H_c / \sigma_{WC}) (t/b)^2$

6.1.3 人員荷重に対する撓み設計⁽⁵⁾

$$t_3 = 0.63 \sqrt[3]{K_3 \cdot a \cdot W \cdot N_1 / E_f} \quad W = 75(\text{kgf}) \quad (50)$$

MR-FRP $t_3 \doteq 0.0572 \sqrt[3]{K_3 \cdot a \cdot N_1}$ 米松合板 (0°) $t_3 \doteq 0.0648 \sqrt[3]{K_3 \cdot a \cdot N_1}$

$$N_1 = 4(E_f \cdot t_3^3) / (K_3 \cdot a \cdot W) \quad (51)$$

MR-FRP $N_1 \doteq 5333 t_3^3 / (K_3 \cdot a)$ 米松合板 (0°) $N_1 = 3680 t_3^3 / (K_3 \cdot a)$ Table 19. N_1

	N_1
乗客が雑踏する甲板	200
乗客が散見する甲板	150
乗員のみが乗る甲板	100

6.1.4 水圧撓み設計⁽⁹⁾ $N_2 = 100$

$$t_4 = a \sqrt[3]{\varepsilon_P \cdot P_2 \cdot N_2 / E_f} \quad (52)$$

MR-FRP $t_4 \doteq 0.0304 a \sqrt[3]{P_2}$ 米松合板 $t_4 \doteq 0.0344 a \sqrt[3]{P_2}$

$$N_2 = E_f (t/a)^3 / (\varepsilon_P \cdot P_2) \quad (53)$$

MR-FRP $N_2 \doteq 3.57 \times 10^6 (t/a)^3 / P_2$ 米松合板 $N_2 \doteq 2.46 \times 10^6 (t/a)^3 / P_2$ 6.1.5 水圧応力設計⁽⁹⁾ $\overline{SF}_3 = 4$

$$t_5 = a \sqrt{J_n \cdot P_2 \cdot \overline{SF}_3 / (\sigma_B - \sigma_{HC} \cdot \overline{SF}_3)} \quad (54)$$

$$\overline{SF}_3 = \sigma_B / [J_n \cdot P_2 \cdot (a/t)^2 + \sigma_{HC}] \quad (55)$$

Table 20. 四辺支持等方性平板の均等水圧設計係数: J_s, ε_P

(b/a)	1. 00	1. 25	1. 50	1. 75	2. 00	∞
Trans system (J_s)	0. 308	0. 398	0. 454	0. 484	0. 498	0. 500
Longi system (J_s)	0. 308	0. 335	0. 342	0. 343	0. 343	0. 343
ε_P	0. 014	0. 020	0. 024	0. 027	0. 028	0. 028

7. Sandwich Panel 構造設計⁽¹⁰⁻¹²⁾MR-FRP 表皮 $\rho_m = 1.54 \times 10^{-3} (\text{kgf/cm}^3)$ $E_f = 1.0 \times 10^5$ $\sigma_{FT} = 1,600$ $\sigma_{FC} = 1,950 (\text{kgf/cm}^2)$ Balsa-Coa $\rho_c = 0.15 \times 10^{-3} (\text{kgf/cm}^3)$

$$\begin{aligned} E_{CT} &= 1,500 & E_{CL} &= 0.45 \times 10^5 & G_C &= 562 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ \text{PVC-Coa} & \rho_C &= 0.15 \sim 0.2 \times 10^{-3} \text{ (kgf/cm}^3\text{)} \\ E_{CT} &= 360 & G_C &= 250 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

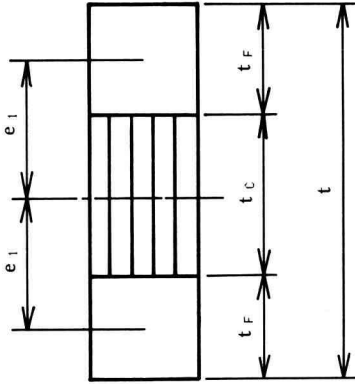


Fig. 3

7.1 Sandwich Panel の縦座屈設計

$$\sigma_{HC1} = (\sigma_{fc} / \overline{SF}_1) \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (56)$$

船底外板 (Slamming 荷重) 表皮材

$$\begin{aligned} t_F &= 0.35 K_X \cdot a \cdot \overline{C_n} \sqrt{P_n \cdot \overline{SF}_1 / \sigma_B} \text{ (cm)} \quad (57) \\ K_X; \text{ Table 5} \quad \overline{C_n}; \text{ Table 4 による。} \end{aligned}$$

甲板・船側外板表皮材板厚

(甲板のみ, $P_d = P_n = 2P_2$ とする。)

$$t_F = (C_6 \cdot P_n \cdot a \cdot E_f) / [12 C_1 \cdot N_1 \cdot (\sigma_{HC1})^2] \text{ (cm)} \quad (58)$$

ガラス構成により, t_{Fd} を決める。

$$\begin{aligned} \text{計画全厚 } t &= (C_1 \cdot a \cdot \sigma_{fc} \cdot N_1) / (C_7 \cdot E_f \cdot \overline{SF}_1) \text{ (cm)} \\ (59) \end{aligned}$$

$$(t_{\min} = 2.7 t_{Fd})$$

$$\text{計画芯材厚 } t_C = t - 2 t_{Fd} \text{ (cm)} \quad (60)$$

設計芯材厚 t_{Cd} を Table 21 等により定める。

$$\text{設計全厚 } t_d = t_{Cd} + 2 t_{Fd} \text{ (cm)} \quad (61)$$

$$e_{1d} = (1/2)(t_{Cd} + 2 t_{Fd}) \text{ (cm)} \quad (62)$$

Sandwich Panel 曲げ剛性

$$D_s = (E_f \cdot t_{Fd} / 6 \lambda_f) (t_{Fd}^2 + 3 e_{1d}^2) \text{ (kgf} \cdot \text{cm)} \quad (63)$$

$$V_s = [D_s / (t_{Cd} \cdot G_C)] (\pi / b_T)^2 \quad (64)$$

縦座屈安全率 $\overline{SF}_2, \overline{SF}_3, N_1$ が不足の場合は t_{Cd} を増

大する。

$$\overline{SF}_2 = [K_C \cdot D_s / (2 t_{Fd} \cdot \sigma_{HCd})] (\pi / b_T)^2 \quad (65)$$

$$t_{Cd2} = t_{Cd1} (\overline{SF}_{2\text{Req}} / \overline{SF}_{2C})^{1.2} \text{ (cm)} \quad (66)$$

Sandwich 有効ヤング率

$$E_e = 12 \lambda D_s / t_d^3 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (67)$$

FRP-Base Sandwich 有効板厚

$$T = \sqrt{2 t_{Fd} (t_{Fd}^2 + 3 e_{1d}^2)} = t_d \sqrt{E_e / E_f} \text{ (cm)} \quad (68)$$

有効密度

$$\rho_e = (2 t_{Fd} \cdot \rho_f + t_{Cd} \cdot \rho_C) / T \text{ (kgf/cm}^3\text{)} \quad (69)$$

船底ロング外板片面接水振動数: N_{WL} (Hz)

$$N_{WL} = \frac{0.827 \pi \sqrt{g(E/\rho)_f} \sqrt{\frac{I_L}{l_B \cdot T \cdot \rho_e} + A_{ol}}}{l_0^2 \sqrt{1 + [200 \rho_w / (\rho_e \cdot T \cdot \pi \sqrt{J_2})]}} \quad (70)$$

$$J_2 = [(1/l_0^2) + (1/l_B^2)] \times 10^4$$

$m=1$ のとき $(m+1)=8/3$

船側 Sandwich Panel 片面接水振動数: N_{WP} (Hz)

$$\begin{aligned} N_{WP} &= \frac{11.88 a_r \cdot T \cdot J_1}{\sqrt{\{1 + (200 \rho_w / (\rho_e \cdot T \cdot \pi \sqrt{J_1})\} \times (10^5 / E_e) \\ &\times \frac{1}{\sqrt{(\lambda_f / 0.9271) (\rho_e / (1.54 \times 10^{-3}))}} \quad (71) \end{aligned}$$

a_r は Table 11 による。(四辺支持)

$$J_1 = [(1/a_L^2) + (1/b_T^2)] \times 10^4$$

(Δ_n, N_w) を用いて, Table 6, Table 7 より動荷重係数 L_d を求める。 Δ_n は, Table 9. による。

設計有効水圧 $P_d = P_n \cdot L_d$, $L_{d\min} = 0.10$ (設計時のみ)

Sandwich 水圧曲げ応力安全率 [船底ロング方式に於ける \overline{SF}_3 は, (76)式による。] [$\sigma_{fT} > \sigma_{fc}$ の時, σ_{fT} は σ_{fc} , σ_{HTd} は σ_{HCd} と読みかえる。]

$$\overline{SF}_3 = \frac{\sigma_{fT}}{[(P_d \cdot a_L^2) / (C_1 \cdot t_{Fd} \cdot t_d)] + \sigma_{HTd}} \quad (72)$$

Sandwich 水圧撓み指数 [N_1 が Table 23 より小なる場合, t_{Cd} を (74) 式とする。]

$$N_1 = \frac{C_7 \cdot E_f \cdot G_C \cdot t_{Fd} (t_d)^2}{P_d \cdot a \{ (C_8 \cdot E_f \cdot t_{Fd} \cdot t_d) + (G_C \cdot a^2) \}} \quad (73)$$

$$N_1 \text{ が不足する場合, } t_{Cd2} = t_{Cd1} (N_{\text{Req}} / N_1)^{1.1} \quad (74)$$

7.2 端末圧縮を受けない Sandwich Panel 設計

〔 $\sigma_{fT} > \sigma_{fc}$ の場合, σ_{fT} は σ_{fc} , σ_{HT1} は σ_{HC1} とする。〕

(58) 式より, ガラス構成により t_{Fd} を定める。

計画表皮厚 $t_F = (C_6 \cdot P_d \cdot a \cdot E_f) / [2C_1 \cdot N_1 (\sigma_{HT1})^2]$

$$\sigma_{HT1} = (\sigma_{fT} / \overline{SF_1}) \quad (75)$$

(59) 式より,

$$\text{計画全厚 } t = (C_1 \cdot a \cdot \sigma_{fT} \cdot N_1) / (C_7 \cdot E_n \cdot \overline{SF_1})$$

(60) 式より, 計画芯厚 $t_c = (t - 2t_{Fd})$

Table 21 等を用いて, t_{cd} を決める。 $\overline{SF_2}$, $\overline{SF_3}$, N_1 が不足の場合は t_{cd} を増大する。

(61) 式より, 設計全厚 $t_d = (t_{cd} + 2t_{Fd})$

水圧曲げ応力安全率

$$\overline{SF_3} = (C_1 \cdot \sigma_{fT} \cdot t_{Fd} \cdot t_d) / (P_d \cdot a^2) \quad (76)$$

(73) 式より, 設計撓み指数

$$N_1 = \frac{C_7 \cdot E_f \cdot G_C \cdot t_{Fd} \cdot t_d^2}{P_d \cdot a \{ (C_8 \cdot E_f \cdot t_{Fd} \cdot t_d) + (G_C \cdot a)^2 \}}$$

7.3. Sandwich 船側外板剪断座屈設計

四辺単純支持条件にて,

$$\left. \begin{aligned} A &= (a/b)^2 \leq 1 \\ (1/A + 1) &\geq V_s \geq 0; K_s = \frac{4(4 + 3A)}{3 + (13 + 9A)V_s} \\ V_s &> (1/A + 1); K_s = (1/V_s) \end{aligned} \right\} \quad (77)$$

$$\text{剪断座屈荷重 } S_{cr} = K_s \cdot D_s (\pi/a)^2 \text{ (kgf/cm)} \quad (78)$$

$$\text{剪断荷重 } F_\tau = (F_H \times 10^3 / 2H_s) \text{ (kgf/cm)} \quad (79)$$

面内剪断座屈安全率

$$\overline{SF_\tau} = S_{cr} / F_\tau = (\pi/a)^2 \cdot 2K_s \cdot D_s \cdot H_s / (F_H \times 10^3) \geq 6 \quad (80)$$

Table 21. 市販バルサコア芯材 (カンタコア) 寸法

t (inch)	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1
t (cm)	0.63	0.95	1.27	1.58	1.90	2.54

Table 22. Sandwich Panel 四辺条件係数

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
固定	12	32	192	24
支持	8	9.6	38.4	4.8

Table 23. Sandwich Panel 設計係数値

四辺条件		P _s (kgf/cm ²)	SF ₁	SF ₂	SF ₃	N ₁
船底外板	固定	P ₁	2.50/KE	2	520 (V/W ^{1/4}) ^{1.12}	340K (V/W ^{1/4}) ^{1.12}
応力	船底外板	P ₁	2.35/KE		SF _{max} = 1.5	N _{1,1.5} = 100
撓み	強力甲板	2P ₂	16/KE		SF _{max} = 1.5	600
応力	非強力甲板	2P ₂	10.85 √E _r × 10 ⁻⁴		4	100
撓み	甲板支天端	0.012				40

(注) Sandwich Panel の防撓材有効板厚は、防撓材付き表面の単独FRP層のみとする。

7.4 座屈発生安全率⁽¹²⁾

MR-FRP; $E_f = 1.0 \times 10^5$ (kgf/cm²)

Peeling 強度; $\sigma_{pe} = 25$ (kgf/cm²)

(1) 近似座屈発生式による値

近似座屈発生応力

$$(\sigma_{cr})_w = 0.43 \sqrt[3]{E_f \cdot E_{CT} \cdot G_C} \quad (81)$$

最大負荷応力

$$\sigma_{max} = (C_7 \cdot E_f \cdot t_d) / \{ (C_1 \cdot a_L \cdot N_1) + \sigma_{HCd} \} \quad (82)$$

座屈発生安全率

$$\overline{SF}_w = (\sigma_{cr})_w / \sigma_{max} \geq 3 \quad (83)$$

(2) 表皮材の初期撓みに基づく値〔 $\sigma_{fT} > \sigma_{fc}$ の場合, σ_{fT} は σ_{fc} と読みかえる。〕

表皮材の初期撓みを $\delta \leq (a_w \cdot t_F) = 0.05 t_F$ と規定する。

$$Q = \sigma_{fT} \sqrt[3]{(1 - \mu_f^2) / (E_f \cdot E_{CT} \cdot G_C)} \quad (84)$$

$$\begin{aligned} q &= G_C (t_{cd} / t_{Fd}) \sqrt[3]{(1 - \mu_f^2) / (E_f \cdot E_{CT} \cdot G_C)} \\ &= (t_{cd} \cdot G_C \cdot Q) / (t_{Fd} \cdot \sigma_{fT}) \end{aligned} \quad (85)$$

座屈発生安全率 $\alpha_w = 0.05 = (\delta / t_{Fd})$

$$\overline{SF}_{w2} = (\sigma_{pe} \cdot t_{cd} \cdot K) / (a_w \cdot t_{Fd} \cdot E_{CT}) \geq 1.5 \quad (86)$$

8. 防撓ハット材設計

8.1 Beam Theory に基づく設計式

8.1.1 ロンジハット

(1) 撓み設計

$$I_L = (P_n \cdot S \cdot l^3 \cdot N_L \cdot L_d) / (C_2 \cdot E_f) \quad (87)$$

$$N_L = (C_2 \cdot E_f \cdot I_L) / (P_n \cdot S \cdot l^3 \cdot L_d) \quad (88)$$

(2) 応力設計(船底ロンジについては, タイムラグにより, $\sigma_H = 0$ と扱う)

$$Z_L = (P_n \cdot S \cdot l^2 \cdot L_d) / \{ C_1 [(\sigma_Y / \overline{SF}_L) - \sigma_H] \} \quad (89)$$

$$\overline{SF}_L = (C_1 \cdot \sigma_Y \cdot Z_L) / (P_n \cdot S \cdot l^2 \cdot L_d + C_1 \cdot \sigma_H \cdot Z_L) \quad (90)$$

(3) 縦座屈設計⁽⁴⁾ (船底ロンジについては適用せず)

$$I_L = \frac{(l/\pi)^2 \cdot A \cdot \sigma_{HC} \cdot \overline{SF}_{2L} / E_f}{[(A \cdot \sigma_{HC} \cdot \overline{SF}_{2L}) / (A_w \cdot G_f)] - 1} \quad (91)$$

$$\overline{SF}_{2L} = \frac{(\pi/l)^2 \cdot E_f \cdot I_L / (A \cdot \sigma_{HC})}{[(\pi/l)^2 \cdot E_f \cdot I_L / (A_w \cdot G_f)] + 1} \quad (92)$$

A: 外板有効幅を含むロンジ断面積 (cm²), $\overline{SF}_{2L} = 2$

Table 24. σ_Y and σ_H

	C ₁	σ_Y	σ_H	σ_{WC}
一端固定他端支持	8	σ_c	-	+
両端固定	12	σ_c	-	+
両端支持	8	σ_T	+	-
両端固定 (中央部)	24			

※ハット材外圧にて、 $Z_f \geq Z_o$ の場合。

Table 25. 設計係数

	\overline{SF}_L	\overline{SF}_{Lmin}	N _L	N _{Lmin}	L _d
船底ロンジ	キールソソ (円弧部)	1.5	1.25	125	k _d
	一般ロンジ	2.5	2.0	250	
	主機台下ロンジ	4.0	2.5	280 L ^{0.83}	
船底独立スプレーストリップ	1.25	2.5L	30	k _d /2	
船側ロンジ	2.0	1.5	2.5 L ^{1.25}	200	k _d
甲板ロンジ	4.0	2.0	8 L ^{1.56}	250	1

※k_d は、Table 8. 参照。

Table 26. C₁ and C₂

	C ₁	C ₂
両端固定	12	384
船底ロンジ水面落下	16	
一端固定他端支持	8	184.6
両端支持	8	76.8

8.1.2 一段ハット防撓材の設計手法

(1) I_{Req} , Z_{Req} を算出し、共に共通の H_w についてのハット寸法 H_w , t_f , A_f を読み取り大なる値の方を採用する。

(2) 設定した H_w , t_f , A_f と設計者がセットする b_2 , b_f 値を用いて、クラウン板厚 t_{fc} を (93) 式により求める。ガラス構成により t_{fd} を設定する。

$$t_{fc} = [t_f + 12(A_f/H_w)] / [1 + 12(b_f/H_w)] \quad (93)$$

(3) 他材によりウェブを貫通される被貫通ハットでは、 h_T と (93) 式による t_{fc} を用いて残存ハットウェブ板厚 t_{wc} を (94) 式により求め、ガラス構成により t_{wd} を定める。被貫通ハットでは、通常は $t_{fd} = t_{wd}$ とする。

$$t_{wc} = (t_{fc} \cdot H_w) / (H_w - h_T) \leq 2t_{fc} = t_{wmax} \quad (94)$$

(4) 設定した t_{fd} のガラス構成の n_1 値に対して、 t_{wd} の n_2 値を定める。大寸法一般ハットの場合、 n_1 が偶数の場合は $n_2 = (n_1/2)$, n_2 が奇数の場合は $n_2 = [(n_1-1)/2] + 1$ とする。小寸法ハットでは、 $t_{fd} = t_{wd}$ とする場合が多い。

(5) ウェブを貫通されない一般ハットの外板付きフランジの有効幅は (95) 式、又外板有効幅は (96) 式による。

$$b_e = f_o \{1 + (n/4)(n+0.1)/(n+0.5)\} \quad (95)$$

$$b_p = (40t_1 + b_2) \leq S \quad (96)$$

Table 27. f_o 値

	f_o
M ≥ 500 (gf/m ²) R ≥ 600 (gf/m ²)	5
500 (gf/m ²) > H 600 (gf/m ²) > R	3.5
Kevlar/G, Hybrid Cloth	3

(6) 以上のハット寸法により I/Y 計算を行い、 I_c , Z_o , A_{wc} を求める。この値は、 I_{Req} , Z_{Req} , A_{wT} をクリヤしなければならない。その値の差が大なる場合は、

$$H_{wd} = H_w \sqrt[3]{I_{Req}/I_c} \text{ or } H_{wd} = H_w \sqrt[3]{Z_{Req}/Z_c} \quad (97)$$

上記 (97) 式を用いてウェブ高さのみ変更する。

(7) 被貫通ハット等の場合 ($t_{wd} = t_{fd}$) とするが、なお差のある場合は

$$b_{fd} = b_f (I_{HReq}/I_c)^3 \text{ or } b_{fd} = b_f (Z_{Req}/Z_c)^2 \quad (98)$$

として、 b_f を変更する。

(8) 大きく不足する場合や、一般ロンジを主機械台下ロンジとする場合には、8.1.7 項による集材材 (米松) を挿入する。

(9) 以上の計算によって精度の高い 1 段ハットが設計される。8.2 章の Plate theory による解析を行い、損傷の発生しないハット型防撓材とする。

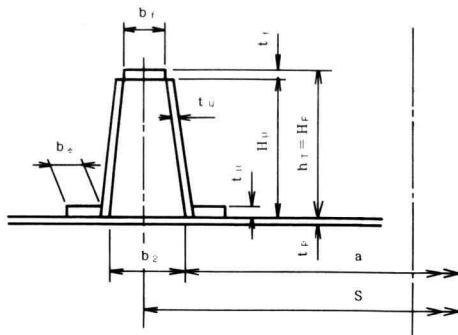


Fig. 4

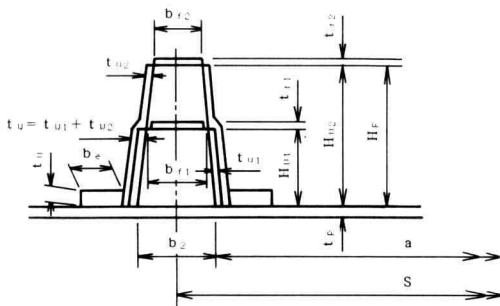


Fig. 5

8.1.3 2段ハット防撓材の設計手法

(1) 大型の2段ハットは、主として撓み設計に支配されるので、 I_{Req} について内ハットを1, 外ハットを2の記号にて表示する。 H_{w1} , H_{w2} は、主機械台の設計による制限で、 I_{Req} に基づいて設定される。

(2) I_1 の計算には外板付きフランジ($b_e \times t_{w1}$)は算入せず、 I_{Total} の計算で $t_w = (t_{w1} + t_{w2})$ として採用する。

$$I_1 = 0.2 I_{Req} \quad (99)$$

$$I_2 = (I_{Req} - I_1) \quad (100)$$

(3) I_1, I_2 共に(8.1.2項)の手法で、(94)式を用いて寸法を定める。 I/Y 計算による I_{1c} の精度は問はずとも良く、(100)式でカバーする。 b_{f1} は最初に設定する b_2, b_{f2} より挿間値として与える。

$$b_{f1} = \{(b_2 - b_{f2})(H_{w1}/H_{w2}) + b_{f2}\} \quad (101)$$

(4) 主機械台下の大スパンロンジは、一般スパンの2段ロンジの上段にマと記す米松集成材の木芯を挿入して剛性を設計する。木芯材の A_{wd} は、 $A_{wd} =$

$A_w(E_w/E_F)$ の等価剛性値にて I/Y 計算を行うものとする。

(5) I_1, I_2 の寸法を求め、全体の $(I/Y)_{Total}$ 計算を行う。ここで、フランジ幅 b_e は、 $t_w = (t_{w1} + t_{w2})$ について(95)式で求めた値である。

設計値 I_d, Z_d は I_{Req}, Z_{Req} を満足する値とし、(97)(98)式による修正も(8.1.2項)と同様である。

8.1.4 KeelsonとSkegの一体ハット設計

(1) 大型船の特殊艇には、KeelsonとSkegの一体防撓材としての設計を行う場合がある。

算式上では、Skegを3, Keelsonを4と示す。また、Base lineを仮定中立軸とする。

(2) 各々の断面積を、 A_3, A_4 , 仮定中立軸上の各重心高さを、 e_3, e_4 とする。

$$I_d \geq I_{Req} = I_3 + I_4 + [A_3 \cdot A_4 (e_3 + e_4)^2 / (A_3 + A_4)] \quad (102)$$

I_3 の寸法は線図、外板板厚によって決まるので、直接 I/Y 計算を行って、 I_3, A_3, e_3 を算出する。

(3) I_4 の近似式として I_{Req}, I_3 を用いた(103)式により I_{40} を求める。

$$I_{40} = (I_{Req}/1.35) - I_3 \quad (103)$$

8.1.2の手法によって I_{40} について H_w, t_f, A_f を求め、(94), (95), (96)式による寸法により I_4, A_4, e_4 を算出する。ここで、($I_{40} > I_4$)となるのも可とする。

(4) 以上の(I_3, A_3, e_3)(I_4, A_4, e_4)を用いて(102)式により、 I_d を算出する。一体防撓材としての新中立軸のベースライン上の高さは、(104)式による。

$$\varepsilon_0 = (A_4 \cdot e_4 - A_3 \cdot e_3) / (A_3 + A_4) \quad (104)$$

($\varepsilon_0 > 0$ はベースライン上方、 $0 > \varepsilon_0$ はベースライン下方)

ε_0 より、KeelsonとSkegの各頂面までの最大レバーを出し、 I_d, Z_d を求める。

(5) I_d, Z_d が、 I_{Req}, Z_{Req} をクリアしない場合は、(103)式による A_4, e_4 を用いた I_4 について、8.1.2項の(97)(98)式による手法で I_d をクリアさせる。

(6) Skegは入梁荷重によるウェブ座屈について8.2項のPlate Theoryによる解析を行うが、重量軽減の制限のない場合には、レジンコンクリートにより充填する。

8.1.5 甲板横梁材設計・隔壁水平防撓材設計

$$I_T = (P_2 \cdot S \cdot l^3 \cdot N_T) / (C_2 \cdot E_f) \quad (105)$$

$$N_T = (C_2 \cdot E_f \cdot I_T) / (P_2 \cdot S \cdot l^3) \quad (106)$$

$$Z_T = (P_2 \cdot S \cdot l^2 \cdot \overline{SF}_T) / (C_1 \cdot \sigma_f) \quad (107)$$

$$\overline{SF}_T = (C_1 \cdot \sigma_f \cdot Z_T) / (P_2 \cdot S \cdot l^2) \quad (108)$$

l ; {強力甲板は, $l=50B$ (cm)。非強力甲板隔壁は, 支点間長さ (cm)}

σ_f は, σ_{fT} 又は σ_{fC} の小なる値。 $N_T=200$, $\overline{SF}_T=4$ 。

8.1.6 甲板下縦桁設計

$$I_L = (P_2 \cdot S_0 \cdot l^3 \cdot N_L) / (C_2 \cdot E_f) \quad (109)$$

$$N_L = (C_2 \cdot E_f \cdot I_L) / (P_2 \cdot S_0 \cdot l^3) \quad (110)$$

$$Z_L = (P_2 \cdot S_0 \cdot l^2) / \{C_1[(\sigma_Y / \overline{SF}_L) - \sigma_H]\} \quad (111)$$

$$\overline{SF}_L = (C_1 \cdot \sigma_Y \cdot Z_L) / (P_2 \cdot S_0 \cdot l^2 + C_1 \cdot \sigma_H \cdot Z_L) \quad (112)$$

l は $l_L = (1.5l_0/1 + \varepsilon)$ と l_{max} の大なる方の値, $\varepsilon=0$ の場合は, $l=l_0$

Table 28. σ_Y and σ_H

	C	σ_Y	σ_{HT}	σ_{HC}
一端固定他端支持	8	σ_c	-	+
両端固定	12	σ_c	-	+
両端支持	8	σ_t	+	-
両端固定(中央部)	24	σ_t	+	-

※ハット材外圧にて, $Z_f \geq Z_p$ の場合。

N_L ; Table 34 値の (l_0/b_D) 倍とする。

$C_3=1.8$, $L_d=k_d$,

甲板の横隔壁間のトランス方向に ε_T 条の支柱列を設ける場合。 $l_c = (1.5l/1) + \varepsilon_T$, n_c : l_c 内のトランス本数, $n_{cmin}=1.0$, $N_L = (l/\delta)$ 又は (l_c/δ) , $m=1$ 又は $\{n=1, n_c=1\}$ の場合, $(m+1)$ 又は $\{(n+1), (n_c+1)\}$ は $(8/3)$ とする。 b_D は 100 B とする。

8.1.8 格子構造平板式による縦座屈設計⁹⁾

$$I_L = I_T[(n+1)/(m_d+1)](l_0/b_d)^3 \{b_d^4 \cdot t \cdot \sigma_{HC} \times \overline{SF}_{3L} / [C_l \cdot \pi^2 \cdot E_f \cdot I_T \cdot l_0(n+1)] - K_l\} \quad (116)$$

$$\overline{SF}_{3L} = [C_l \cdot E_f \cdot I_T(n+1)l_0 \cdot \pi^2 / (t \cdot \sigma_{HC} \cdot b_d^4)] \times \{(I_L/I_T)[(m_d+1)/(n+1)](b_d/l_0)^3 + k_l\} \quad (117)$$

$\overline{SF}_{3L}=4$, m_d : b_d 甲板幅内のロンジハットの本数。

b_d : 甲板開口側線外の有効甲板幅, Trans System では, 50B 幅 (cm)。

t : サンドイッチでは, $t=T$ (68) 式とする。

Table 30. 格子座屈式の C_l and K_l

	C_l	K_l
四辺支持	1	1
四辺固定	4	1
L辺支持T辺固定	4	(3/16)

座屈応力安全率

$$\overline{SF}_{2L} = \frac{[E_f \cdot I_L / (A \cdot \sigma_{HCd})](\pi/l_0)^2}{1 + [E_f \cdot I_L / (G_f \cdot A_w)](\pi/l_0)^2} \quad (113)$$

Table 29. 甲板ガーダ設計係数値

	単板トランス方式	単板ロンジ方式	サンドイッチ方式
S_0 (cm)	$S/2$	$3S$	S
l (cm)	l_L または、支点間長さの大なる方の値		
N_L	$295L^{0.15}$	$8L^{1.58}$	
\overline{SF}_L	4	5	
\overline{SF}_{2L}	2		

8.1.7 I_T を設計後の I_L 撓み設計⁹⁾

$$I_L = \frac{P_2 \cdot b_D \cdot l^3 \cdot N_L \cdot L_d}{C_3 \cdot E_f (m+1) \pi^4} - I_T(n+1/m+1)(l/b_D)^3 \quad (114)$$

$$N_L = [C_3 \cdot E_f \cdot I_T(n+1) / (P_2 \cdot L_d)] \times (\pi/b_D)^4 \times \{1 + (I_L/I_T)[(m+1)/(n+1)](b_D/l)^3\} \quad (115)$$

8.1.9 格子構造ハット交差部の剪断応力設計

ハットの高さが異なるものとして, 一方は貫通し, 他方はウェブ残存部にて剪断設計する。

甲板ガーダ残存ウェブ設計のみ $P_n=2P_2$ とする。集成木材を含めぬ場合 ($\tau_w=0$, $C=1$), 含む場合 ($C=2$)

$$A_{\tau C} = P_n \cdot S \cdot l \cdot \overline{SF}_{4L} \cdot L_d / \tau_f \quad (118)$$

$$A_{\tau C} = h_w[2t_w + b_f(\tau_w/\tau_f)(E_w/E_f)] \quad (119)$$

$$h_w = A_{\tau C} / [2t_w + b_f(\tau_w/\tau_f)(E_w/E_f)] \quad (120)$$

$$\overline{SF}_{4L} = [\tau_f \cdot h_w / (P_n \cdot S \cdot l \cdot L_d)] \times [2t_w + b_f(\tau_w/\tau_f)(E_w/E_f)] \quad (121)$$

Table 31. ハット交差部剪断安全率

	船底	船側	甲板
\overline{SF}_{4L}	5	4	7

8.1.10 特設横部材設計

Combined System, Transverse System, Longitudinal System の Web Ring member の設計に適用する。変断面の設計は (122) 式に示す F_a 値を含む式を用いて設計を行う。一定断面として設計式を使う場合は、 $(x/l)=0.7$ として計算する。

$$F_a = [1.5 + (x/l)] \quad (122)$$

Table 32. 変断面設計に使用する部材長さ

	Floor	Side Trans	Web Beam
l (cm)	Chine~Keel	Chine~Gunnel	DK Girder~Gunnel

撓み設計式

$\{C_1, C_2$ は Table 2 に N_T , \overline{SF}_T は Table 33 に示す。
 $\{\text{ロンジ甲板の場合, } S \text{ は分担幅とし, } l \text{ は } 50B \text{ (cm)}$

とする。

$$I_T = (P_n \cdot S \cdot l^3 \cdot N_T \cdot L_d) / (C_2 \cdot E_f) \quad (123)$$

$$N_T = (C_2 \cdot E_f \cdot I_T) / (P_n \cdot S \cdot l^3 \cdot L_d) \quad (124)$$

Table 33. 単材特設横部材設計係数 N_T and \overline{SF}_T

	両端支持	両端固定	一端固定他端支持	L_d
船底	$265 L^{0.15}$	$120 L^{0.15} F_s$		k_d
\overline{SF}_T	4	$2 F_s$		
船側	$150 L^{0.15}$	$65 L^{0.15} F_s$		k_d
\overline{SF}_T	2.5	$1.25 F_s$		
甲板	$195 L^{0.15}$	$90 L^{0.15} F_s$		1
\overline{SF}_T	4	$2 F_s$		

※ F_s は (122) 式による。 k_d は Table (8) による。

応力設計

$$Z_T = (P_n \cdot S \cdot l^2 \cdot \overline{SF}_T \cdot L_d) / (C_1 \cdot \sigma_Y) \quad (125)$$

$$\overline{SF}_T = (C_1 \cdot \sigma_Y \cdot Z_T) / (P_n \cdot S \cdot l^2 \cdot L_d) \quad (126)$$

※ σ_Y は Table 28 による。

8.1.11 I_L を設定後の I_T 特設横肋材の設計⁹⁾

(Longi System, Combined System 等)

(1) 格子構造平板式による撓み設計

$$I_T = \{ (P_n \cdot l \cdot b_T^3 \cdot N \cdot L_d) / [C_3 \cdot E_f (n+1) \pi^4] \} - [I_L (m+1/n+1) (b_T/l)^3] \quad (127)$$

$$N_T = [C_3 \cdot E_f \cdot I_L (m+1) / (P_n \cdot L_d)] (\pi/l)^4 \times \{ 1 + (I_T/I_L) [(n+1)/(m+1)] (l/b_T)^3 \} \quad (128)$$

甲板の場合、艇のロンジガーダを ε_T 条の横支柱列で支持する場合、式中の l, n は次式に示す値を採用する。
 N_T は Table 34 に示す。

$$b_T = 100B(\text{cm}), l_c = 1.5l_0 / (1 + \varepsilon_T)$$

$$n_c \text{ は } l_c \text{ 内のトランス本数: } n_{c\min} = 1$$

$$N_T \text{ は } (l/\delta) \text{ 又は } (l_c/\delta)$$

$m=1$ 或は $\{n=1, n_c=1$ の時, $(m+1)$ 或は $\{(n+1), (n_c+1)\}$ は $(8/3)$ として計算する。

甲板開口側桁、チェーンあるいはガンネルより $x(\text{cm})$ の点の変断面横部材の寸法が開口側梁、フロアあるいは側肋骨について F_a を含む式にて設計される。一定断面の設計に F_a を含む式を使用する場合は $(x/b)=0.7$ として計算する。

Table 34. 格子構造平板撓み指数

	N_T			L_d
	両端支持	両端固定	一端固定他端支持	
船底	$175 L^{0.15}$	$75 L^{0.15} F_s$		k_d
船側	$135 L^{0.15}$	$60 L^{0.15} F_s$		k_d
甲板 (ロンジ方式)	$230 L^{0.15}$	$100 L^{0.15} F_s$		1

※ F_s は (122) 式による。 k_d は Table (8) による。

(2) 格子構造平板式による縦座屈設計

$$I_T = (I_L / K_i) \{ (m_d + 1) / (n_0 + 1) \} (b/l_0)^3 \times \{ t \cdot b \cdot \sigma_{HC} \cdot \overline{SF}_{BT} / [C_i \cdot F_f \cdot I_L (m_d + 1)] \times (l_0/\pi)^2 - 1 \} \quad (129)$$

$$\overline{SF}_{BT} = [C_i \cdot E_f \cdot I_T (n_0 + 1) l_0 \cdot \pi^2 / (t \cdot b^4 \cdot \sigma_{HC})] \times \{ (I_L / I_T) [(m_d + 1) / (n_0 + 1)] \times (b/l_0)^3 + K_i \} \quad (130)$$

m_d : b 内のロンジ本数, b : トランス方式では, $b_T = 50B(\text{cm})$, ロンジ方式では $b_d(\text{cm})$, C_i, K_i は Table 30 による。 $\overline{SF}_{BT} \geq 4$ 。

(3) 交差部剪断設計

8.1.9 項 (118)~(121) 式による。

8.2 Plate Theory によるハット防撓材の設計

8.2.1 外板付きハットフランジの白化剝離対策設計 (航走又は水面落下)²⁾

March の四辺固定平板の曲げ応力式設計チャートは次式による。

$$\left. \begin{aligned} P_d(\lambda/E)_f(a/t_P)^4 \\ = 32(\omega/t_P) + 23(\omega/t_P)^3 = \Psi \\ \sigma_i \cdot \Gamma(\lambda/E)_f(a/t_P)^2 \\ = 4(\omega/t_P) \cdot \left\{ \frac{4\eta(\eta \coth \eta - 1)}{\eta - 2 \tan h \cdot \eta/2} \right\} = K_0 \end{aligned} \right\} \quad (131)$$

パネルの最大曲げモーメントを外板とハットフランジの重ね梁にて受け持つ白化剝離応力推算式に基づき、次の設計式を得る。

[サンドイッチ外板は $t_P = T$, $E_f = E_e$, を用いる。水面落下時は, \overline{SF}_{WH} , P_H , $(\Delta H \cdot N_{WL})$ を用いる。]

$$t_w = t_{PV} \sqrt{K_0 \cdot K_1 (t_P/a)^2 \overline{SF}_w - 1} \quad (132)$$

$$\overline{SF}_w = [1 / (K_0 \cdot K_1)] (a/t_P)^2 [1 + (t_w/t_P)^2] \quad (133)$$

$K_1 = [E_f / (\lambda_f \cdot \Gamma \cdot \phi \cdot \sigma_{fT})] \approx 67.4 (\text{MR-FRP})$ (134)
(ΔN_w) を算出し, L_d を Table 7 により求め, K_0 を算出する。 ϕ は Table 35 \overline{SF}_w は Table 36 による。

Table 35. ハットフランジ白化剝離応力係数: ϕ

	発泡芯・航行時	(発泡芯・水面落下) (木芯材・航行時)	木芯材・水面落下	水中曝露
ϕ	0.667	0.467	0.327	0.104 $R_x \cdot 2^{2/3}$

8.2.2 ハットクラウン曲げ圧縮座屈対策設計⁴⁾

$$t_f = \frac{b_f \cdot l}{K_2} \sqrt{\frac{P_n \cdot S \cdot L_d \cdot \overline{SF}_B}{Z_L} + \frac{C_f \cdot \sigma_{Hcd}}{l^2}} \quad (135)$$

$$\overline{SF}_B = [Z_L / (P_n \cdot S \cdot L_d \cdot l^2)] \times [(K_2 \cdot t_f / b_f)^2 - (C_f \cdot \sigma_{Hcd})] \quad (136)$$

$$K_2 = \pi \sqrt{[1.1 C_f (3 + 2 K_f) / 12] (E/\lambda)_f} \approx 2272 (\text{MR-FRP}) \quad (137)$$

C_f は Table 37 に示す。 \overline{SF}_B は Table 36 による。 L_d は Table 6, Table 8, Table 25. による。

8.2.3 ハットウェブ剪断座屈対策設計式^{5,6)}

$$t_w = \sqrt[3]{P_n \cdot L_d \cdot H_w \cdot S \cdot l \cdot \overline{SF}_\tau / K_3} \quad (138)$$

$$\overline{SF}_\tau = (t_w \cdot K_3)^3 / (P_n \cdot L_d \cdot H_w \cdot S \cdot l) \quad (139)$$

$$K_3 = \sqrt[3]{2 C_a \cdot E_f \cdot C_\tau / 3 \lambda_f} \approx 120 (\text{MR-FRP}) \quad (140)$$

L_d は, Table 8.25. による。

\overline{SF}_τ は, Table 6.36. による。 C_τ は, Table 37 による。ハットフランジのコーナー部 3 角クッション材入りの場合は, $(4.2 \times C_\tau)$ とする。

8.2.4 船底ロンジハット設計係数值

Table 36. 破壊式別設計係数值

		航行時	水面落下時
梁理論	撓み指数 N_x	250	100
	曲げ応力安全率 \overline{SF}_x	2.5	1.25
板理論	フランジ白化剝離応力安全率 \overline{SF}_w	設計値 1.5 白化剝離 1.1 $\geq \overline{SF}_w > 1.0$ 許容値 1.25	
	クラウン縦座屈応力安全率 \overline{SF}_B	設計値 1.5	
	ウェブ剪断座屈応力安全率 \overline{SF}_τ	許容値 1.25	

Table 37. ロンジハット四辺条件係数

C_f			C_τ		
両端固定	固定~支持 両端支持	固定~自由	両端固定 両端支持	固定~支持	固定~自由
12	8	2	2	8/5	1

8.2.5 ハットフランジコーナーを含む, 外板増厚ステップ部の損傷

パネルの各部応力は, March-Hashimoto 式による曲げ応力と膜応力の式を用いて, 梁理論を適用して算出する。応力を求めるパネルエッジより $x(\text{cm})$ の点の曲げ応力について梁撓み式による P_x と $(t_P/t_x)^2$ を乗じた値, 膜応力は (t_P/t_x) によって修正して使用する。 t_x のステップは薄い方の板厚, コーナー部はフランジを含む全板厚。

(a) 梁撓み式による板曲げ応力係数

$$F_x = \{1 - 6(x/a) + 6(x/a)^2\} \quad (141)$$

(b) ステップ部応力

$$\sigma_x = \pm (E/\lambda)_f (t_P/a)^2 \times [-K_0 \cdot F_x (t_P/t_x)^2 + 2.488(\omega/t_P)^2 (t_P/t_x)] (J_c/\Gamma) \quad (142)$$

(c) ステップ部応力安全率

$$\overline{SF}_x = \sigma_y \cdot \lambda_f \cdot \Gamma (a \cdot t_x / t_P^2)^2 / \{J_c \cdot E_f [-K_0 \cdot F_x + 2.488(t_x/t_P)(\omega/t_P)^2]\} \quad (143)$$

(d) ステップ部白化損傷による欠損板厚値

($1.1 > \overline{SF}_x$ の場合に適用する。)

$$t_1 = \frac{J_c \cdot E_f (1.1 - \overline{SF}_x)}{6\lambda \cdot \Gamma \cdot \sigma_Y} (\omega/a)^2 [t_P / (0.366)]$$

$$\times [\pm 1 + \sqrt{1 - \frac{F_x \cdot F_0 \cdot \Gamma \cdot \sigma_Y}{1.548 J_c (1.1 - \overline{SF}_x)}}]$$

$$\times \sqrt{(\lambda/E)_f (a/t_P)^2 (t_P/\omega)^4}] \quad (144)$$

$$t_1 = [J_c (1.1 - \overline{SF}_x) / \sigma_Y] (E_f \cdot t_P / 1.12) (\omega/a)^2$$

$$\times [\pm 1 + \sqrt{1 - \frac{F_x \cdot F_0 \cdot \sigma_Y}{1.11 J_c \cdot E_f (1.1 - \overline{SF}_x)}}]$$

$$\times \sqrt{(a/t_P)^2 (t_P/\omega)^4}] \quad (145)$$

(e) X 点の設計板厚: t_{Xd}

(145) 式中の $(1.1 - \overline{SF}_x)$ を $\overline{SF}_x = 1.25$ と読みかえて算出する。

Table 38. 設計式係数の正負値

	± 値	σ_Y
$F_x > 0$	-	$-\sigma_c$
$0 > F_x$	+	$+\sigma_t$

Table 39. 応力集中係数 J_c 値

パネルエッジ増厚端部より (0.05a) までの間	4.8 (1+F _x)
ハットフランジコーナー部	(航走5.5) (落下11)
一般部	1

Table 40. 白化応力安全率と損傷

$\overline{SF}_x = 1.25$	設計値
$\overline{SF}_x \geq 1.1$	無損傷
$1.1 > \overline{SF}_x > 1.0$	白化
$1.0 \geq \overline{SF}_x$	亀裂・剥離

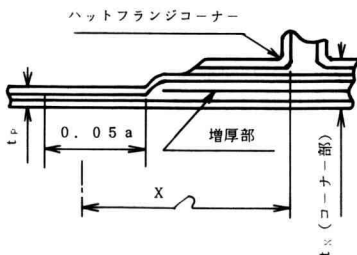


Fig. 6

9. 肘板設計⁹⁾

9.1 肘板有効断面積設計応力安全率

$$A_n = t_f \cdot b_f + 30 t_w^2 \quad (146)$$

$$A_n = (M_N \cdot \overline{SF}_n) / (\sigma_f \cdot f_n \cdot \cos 45^\circ)$$

$$= (1.414 M_N \cdot \overline{SF}_n) / (\sigma_f \cdot f_n) \quad (147)$$

$$\overline{SF}_n = \sigma_f \cdot A_n \cdot f_n \cdot \cos 45^\circ / M_N$$

$$= 0.707 \sigma_f \cdot A_n \cdot f_n / M_N \quad (148)$$

$$f_n = 1.414 M_N \cdot \overline{SF}_n / [\sigma_f (30 t_w^2 + t_f \cdot b_f)] \quad (149)$$

9.2 特設横リング肘板

9.2.1 $l > h$ の場合 $\overline{SF} = 10$ $F_K \approx 0.533$

$$P_3 = (1/4)(P_1 + 2P_2)$$

$$h = (P_3 \cdot k_d / 1.025) \times 10^3 = 976 P_3 \cdot k_d$$

$$\omega = 1.025 h \cdot S / 1,000 = h \cdot S / 976$$

$$R_1 = (\omega / 20)(h/l)^3(3l + i)$$

$$M_1 = (\omega \cdot h^3 / 60 l^2)(2l + 3i)$$

$$M_2 = (\omega \cdot h^2 / 6) + M_1 - (R_1 \cdot l)$$

$$M_{T1} = P_2 \cdot S_1 \cdot l_{T1}^2 \cdot k_d / 12 = P_2 \cdot S_1 \cdot l_{T1} / 12$$

$$M_{T2} = P_1 \cdot S_2 \cdot l_{T2}^2 \cdot F_K \cdot k_d / 12$$

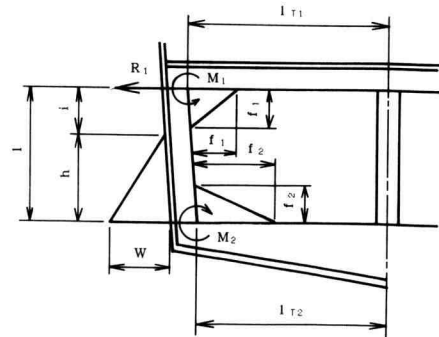


Fig. 7

9.2.2 $h > l$ の場合 $\overline{SF} = 10$ $F_K \approx 0.533$

$$P_3 = (1/4)(P_1 + 2P_2)$$

$$h = (P_3 \cdot k_d / 1.025) \times 10^3 = 976 P_3 \cdot k_d$$

$$\omega_1 = i \cdot S / 976 \quad \omega_2 = l \cdot S / 976$$

$$M_1 = (l^2 / 60)(5\omega_1 + 2\omega_2)$$

$$M_2 = (l^2 / 60)(5\omega_1 + 3\omega_2)$$

$$M_{T1} = P_2 \cdot S_1 \cdot l_{T1}^2 / 12$$

$$M_{T2} = P_1 \cdot S_2 \cdot l_{T2}^2 \cdot F_K \cdot k_d / 24$$

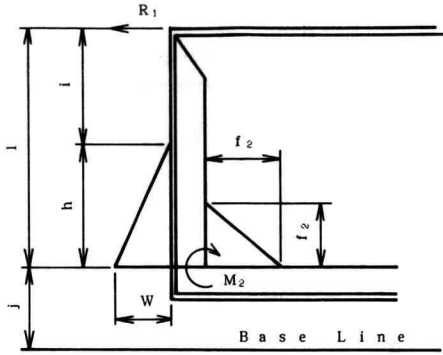


Fig. 12

9.4.3 上下ロンジを支持するトランサム防撓材肘板

$d_1 = D^*$ 又は $2d^*$ のうち小なる値

$$h = (d_1 - j) \quad \overline{SF} = 10$$

$$\omega = 1.025h \cdot S / 1,000 = h \cdot S / 976$$

$$R_1 = (\omega / 20)(h/l)^3(3l + 2i)$$

$$M_1 = (\omega \cdot h^3 / 60l^2)(2l + 3i)$$

$$M_2 = (\omega \cdot h^2 / 6) + M_1 - (R_1 \cdot l)$$

$$M_{L1} = P_2 \cdot S_{L1} \cdot l_{L1} / 12$$

$$M_{L2} = P_1 \cdot S_{L2} \cdot l_{L2} \cdot K_d / 12$$

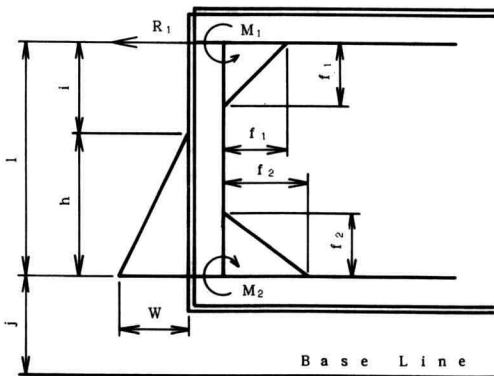


Fig. 13

10. 支柱設計⁹⁾

10.1 パイプ支柱

10.1.1 パイプ支柱一般式

$$(n_P = 1) \quad W_P = P_2 \cdot a_P \cdot b_P \quad \overline{SF}_P = 2$$

(1) 弾性座屈域設計

$$t_n > (W_P \cdot \overline{SF}_P) / (n_P \cdot l) \sqrt{E / 8\sigma_P^3} \quad (150)$$

$$(d_0 - t_n) < (n_P \cdot l / \pi) \sqrt{8\sigma_P / E} \quad (151)$$

$$\begin{aligned} \overline{SF}_n &= \pi^3 \cdot E \cdot t_n (d_0 - t_n)^3 / [8W_P (n_P \cdot l)^2] \\ &\geq \overline{SF}_P \end{aligned} \quad (152)$$

$$\sigma_{cr} = [\pi(d_0 - t_n) / (n_P \cdot l)]^2 (E/8) < \sigma_P \quad (153)$$

鋼管 $40t_n > d_0$, アルミ管 $25t_n > d_0$

(2) 塑性座屈域設計

$$(d_0 - t_n) > (n_P \cdot l / \pi) \sqrt{8\sigma_P / E} \quad (154)$$

$$\begin{aligned} \overline{SF}_n &= [\pi \cdot \sigma_Y \cdot t_n (d_0 - t_n) / W_P] \\ &\times \{1 - [8(\sigma_Y - \sigma_P) \sigma_P / (\pi^2 \cdot E \cdot \sigma_Y)] \\ &\times [n_P \cdot l / (d_0 - t_n)]^2\} \geq \overline{SF}_P \end{aligned} \quad (155)$$

$$\sigma_{cr} = W_P \cdot \overline{SF}_n / [\pi \cdot t_n (d_0 - t_n)] \geq \sigma_P \quad (156)$$

鋼管 $40t_n > d_0$, アルミ管 $25t_n > d_0$

10.1.2 耐食アルミ合金パイプ支柱 ($NP^{5/6} - 0$)

$$E = 7.2 \times 10^5, \sigma_Y = 1,620, \sigma_P = 1,400 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(1) 弾性座屈域設計

$$t_1 > (W_P / 87.31)$$

$$(d_0 - t_1) < (l / 25.17)$$

$$\overline{SF}_1 = 9 \times 10^4 t_1 [\pi(d_0 - t_1)]^3 / (W_P \cdot l^2) \geq 2$$

$$\sigma_{cr} = 9 \times 10^4 [\pi(d_0 - t_1) / l]^2 < 1,400$$

$$25t_1 > d_0$$

(2) 塑性座屈域設計

$$(d_0 - t_2) > (l / 25.17)$$

$$\begin{aligned} \overline{SF}_2 &= (5,089 t_2 / W_P) \times \{ (d_0 - t_2) - (1/4672) \\ &\times [l^2 / (d_0 - t_2)] \} \geq 2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{cr} = (W_P \cdot \overline{SF}_2) / [\pi \cdot t_2 (d_0 - t_2)] \geq 1,400$$

$$25t_2 > d_0$$

10.1.3 圧力配管用炭素鋼鋼管支柱 (STPG-38)

$$E = 2.1 \times 10^6, \sigma_Y = 2,320, \sigma_P = 1,760 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(1) 弾性座屈域設計

$$t_3 > (W_P / 72l)$$

$$(d_0 - t_3) < (l / 38.36)$$

$$\overline{SF}_3 = 2.1 \times 10^6 t_3 [\pi(d_0 - t_3)]^3 / (8W_P \cdot l^2) \geq 2$$

$$\sigma_{cr} = (2.1 \times 10^6 / 8) [\pi(d_0 - t_3) / l]^2 < 1,760$$

$$40t_3 > d_0$$

(2) 塑性座屈域設計

$$\begin{aligned} (d_0 - t_4) &> (l/38.36) \\ \overline{SF}_4 &= (7,288 t_4 / W_P) \times \{ (d_0 - t_4) - (1/6,098) \\ &\quad \times [l^2 / (d_0 - t_4)] \} \geq 2 \\ \sigma_{cr} &= (W_P \cdot \overline{SF}_4) / [\pi \cdot t_4 (d_0 - t_4)] \geq 1,760 \\ 40 t_4 &> d_0 \end{aligned}$$

10.1.4 高張力鋼鋼管支柱 (STK51)

$$E = 2.1 \times 10^6, \sigma_Y = 3,600, \sigma_P = 2,720 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(1) 弾性座屈域設計

$$\begin{aligned} t_5 &> (W_P / 138 l) \\ (d_0 - t_5) &< (l/30.86) \\ \overline{SF}_5 &= 2.1 \times 10^6 t_5 [\pi (d_0 - t_5)]^3 / (8 W_P \cdot l^2) \geq 2 \\ \sigma_{cr} &= (2.1 \times 10^6 / 8) [\pi (d_0 - t_5) / l]^2 < 2,720 \\ 40 t_5 &> d_0 \end{aligned}$$

(2) 塑性座屈域設計

$$\begin{aligned} (d_0 - t_6) &> (l/30.86) \\ \overline{SF}_6 &= (11,310 t_6 / W_P) \times \{ (d_0 - t_6) - (1/3,897) \\ &\quad \times [l^2 / (d_0 - t_6)] \} \geq 2 \\ \sigma_{cr} &= (W_P \cdot \overline{SF}_6) / [\pi \cdot t_6 (d_0 - t_6)] \geq 2,720 \\ 40 t_6 &> d_0 \end{aligned}$$

10.2 木製支柱

10.2.1 木製正方形断面支柱一般式

(1) 弾性座屈域設計

$$b = \sqrt[3]{(12 W_P \cdot \overline{SF}_P / E_b) (n_P \cdot l / \pi)^2} \quad (157)$$

$$\overline{SF}_n = (E_b \cdot b^4 / 12 W_P) [\pi / (\eta_P \cdot l)]^2 \geq \overline{SF}_P \quad (158)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= W_P \cdot \overline{SF}_n / b^2 \\ &= (E_b / 12) [b \cdot \pi / (n_P \cdot l)] < \sigma_P \end{aligned} \quad (159)$$

(2) 塑性座屈域設計

$$b = \sqrt{\frac{W_P \cdot \overline{SF}_P}{(\sigma_Y / 2) + \sqrt{(\sigma_Y / 2)^2 - (\sigma_Y - \sigma_P) \sigma_P}}} \quad (160)$$

$$\begin{aligned} \overline{SF}_n &= (b^2 / W_P) [(\sigma_Y / 2) \\ &\quad + \sqrt{(\sigma_Y / 2)^2 - (\sigma_Y - \sigma_P) \sigma_P}] \geq \overline{SF}_P \end{aligned} \quad (161)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= \sigma_Y - [12 (\sigma_Y - \sigma_P) \sigma_P / E_P] \\ &\quad \times [(n_P \cdot l) / (\pi \cdot b)^2] \geq \sigma_P \end{aligned} \quad (162)$$

10.2.2 米松集成材支柱 (米松集成材)

$$E_b = 1.35 \times 10^5, \sigma_Y = 236, \sigma_P = 178 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\overline{SF}_P = 5 \text{ (短期荷重)}, \overline{SF}_P = 10 \text{ (長期荷重)}$$

(1) 弾性座屈域設計

$$\begin{aligned} b_7 &= \sqrt[3]{W_P \cdot l^2 \cdot \overline{SF}_P / 18.25} \\ \overline{SF}_7 &= (1.11 \times 10^5 / W_P) (b_7^2 / l)^2 \geq \overline{SF}_P \\ \sigma_{cr} &= (W_P \cdot \overline{SF}_7 / b^2) < 178 \end{aligned}$$

(2) 塑性座屈域設計

$$\begin{aligned} b_8 &= \sqrt{W_P \cdot \overline{SF}_P / 13.34} \\ \overline{SF}_8 &= 178 (b_8^2 / W_P) \geq \overline{SF}_P \\ \sigma_{cr} &= 236 [1 - (1/2,538) (l/b_8)^2] \geq 178 \end{aligned}$$

設計に於いては、 σ_{cr} まで計算し $\sigma_{cr} \leq \sigma_P$ によって座屈域が弾性、塑性の域かを確認する。

11. 隔壁構造設計

11.1 設計荷重

区画深さ：船首隔壁 $d_1 = D \cdot$ (m)，一般隔壁 $d_1 = D \cdot$ 又は $2d \cdot$ のうち少なる方の値 (m)

下端水圧： $P_B = 1.025 d_1 / 10$

上中段水圧： $P_T = 3 P_B / 4$

垂直防撓材に加わる船底ロソジ支点荷重：

$$\sigma_H = P_{10} \cdot b_0 \cdot l_0 \cdot k_d / 2A$$

11.2 隔壁板設計

$P_d = P_B$ or P_T として板厚を求め、ガラス構成を決めて設計値を定める。

$$K_E = \sqrt[3]{E_f \times 10^{-5} / 2.5}$$

Table 41. 隔壁板設計係数

		\overline{SF}	N	Γ
米松合板		2.0	100	1.0
FRP板	下 端	2.5	40 K_E	1.5
	上中段		35 K_E	

11.3 隔壁防撓材設計

11.3.1 一般防撓材 (船底ロソジを支持しない)

(σ_Y は、Table 28 による。)

$$I = (P_B \cdot b \cdot l^3 \cdot N) / (C_5 \cdot E_f) \quad (163)$$

$$Z = (P_B \cdot b \cdot l^2 \cdot \overline{SF}) / (C_4 \cdot \sigma_Y) \quad (164)$$

$$N = (C_5 \cdot E_f \cdot I) / (P_B \cdot b \cdot l^3) \quad (165)$$

Table 42. 一般防撓材設計係数

N	SF		C ₄	C ₅
75	3	両端支持	9√3	153
		上端固定下端支持	120/7	327
		上端支持下端固定	15	419
		両端固定	20	764

$$\overline{SF} = (C_4 \cdot \sigma_f \cdot Z) / (P_B \cdot b \cdot l^2) \quad (166)$$

11.3.2 船底ロンジを支持する隔壁防撓材^{3,9)}

高速艇タイプとしては、一般にロンジと防撓材は、直接取り合わず、近接して設けて隔壁板にて支持して回転を許すか、あるいはウェブリング担当材によってロンジ荷重を分担し、防撓材では直接支持しない方式が在来採用されている。

(1) 防撓材ハット概算式

$$Z_0 = (P_B \cdot b \cdot l^2 \cdot \overline{SF}_0) / (C_4 \cdot \sigma_f) \quad (167)$$

$$A = [A_f + 2t_w(H_w + b_e) + t_P \cdot b_P] \quad (168)$$

(2) 防撓材ハット設計式

$$Z_c = \frac{P_B \cdot b \cdot l^2}{C_4[(\sigma_f/2.5) - (P_{10} \cdot b_0 \cdot l_0 \cdot L_d/2A)]} \quad (169)$$

$$I_c = (P_B \cdot b \cdot l^3 \cdot N) / (C_5 \cdot E_f) \quad (170)$$

応力安全率

$$\overline{SF}_1 = \frac{\sigma_f}{[P_B \cdot b \cdot l^2 / (C_4 \cdot Z)] + (P_{10} \cdot b_0 \cdot l_0 \cdot L_d / 2A)} \quad (171)$$

縦座屈安全率

$$\overline{SF}_2 = \frac{[2E_f \cdot I / (P_{10} \cdot b_0 \cdot l_0 \cdot L_d)](\pi/l)^2}{1 + (I/A_w)(E/G)_f(\pi/l)^2} \quad (172)$$

撓み指数

$$N = (C_5 \cdot E_f \cdot I) / (P_B \cdot b \cdot l^3) \quad (173)$$

(σ_f は σ_T と σ_C の小なる値)

C_4 , C_5 は、Table 42 による。

Z_0 と Z_c の交点 C_X が \overline{SF} を a 値、 b 値の中間とする時 C_X 値は次式による。

$$C_X = (Z_{ac} - Z_{a0}) / [(Z_b - Z_a)_0 + (Z_a - Z_b)_c] \quad (174)$$

H_w , A_f , t_f , Z の値は、 \overline{SF} を a 値 b 値の中間とするとき、 C_X 点に対する挿間式によって定める。

Table 43. 設計値

\overline{SF}_0	2~4
\overline{SF}_1	2
\overline{SF}_2	2
N	90
L_d	Table 25.

$$H_{wReq} = (H_b - H_a)_w \cdot C_X + H_{wa},$$

$$t_{fReq} = (t_b - t_a)_f \cdot C_X + t_{fa}$$

$$A_{fReq} = (A_b - A_a)_f \cdot C_X + A_{fa},$$

$$Z_{Req} = (Z_b - Z_a)C_X + Z_a$$

11.3.3 船底ロンジを支持する隔壁板設計

(高速大型艇は、10.3.4 に示すハットリングにて設計する)

(1) 隔壁板に水平防撓材で補強しない場合、 b は隔壁板幅 (cm)、 b_f はロンジハットクラウン幅 (cm)

$$t_1 = \sqrt{\{12\omega_0 \cdot \overline{SF}_1 / [1.1(3+2K_f)]\} \times \sqrt{(\lambda/E)_f(b/\pi)^2}} \quad (175)$$

$$\text{MR-FRP の場合 } t_1 \doteq 0.0132\sqrt{\omega_0 \cdot \overline{SF}_1 \cdot b^2} \quad (176)$$

$$\overline{SF}_1 = [1.1(3+2K_f)t^3 / 12\omega_0](E/\lambda)_f(\pi/b)^2 \quad (177)$$

$$\text{MR-FRP の場合 } \overline{SF}_1 \doteq 4.3 \times 10^5 t^3 / (\omega_0 \cdot b^2) \quad (178)$$

$$\omega_0 = P_{10} \cdot S \cdot l \cdot L_d / 4b_f \quad (179)$$

$$\overline{SF}_1 = 1.5$$

(2) 水平防撓材を付して補強する場合

n は座屈モード半波長数 (整数値)

$$t_2 = \sqrt{(\omega_0 \cdot b^2 \cdot \overline{SF}_2 / H_c)(\lambda/E)_f} \quad (180)$$

$$\overline{SF}_2 = [(H_c \cdot t^3) / (\omega_0 \cdot b^2)](E/\lambda)_f \quad (181)$$

$$H_c = (\pi^2/12)[(\gamma_0/n)^2 + (n/\gamma_0)^2 + 2K_f]$$

$$\gamma_0 = (a_f/b), \sqrt{n(n+1)} > \gamma_0 > n(n-1)$$

MR-FRP の場合、 $2K_f = 1.408$

米松合板の場合、 $2K_f = 0.367$, ω_0 : (179) 式

$$2K_f = 2[\mu + (2\lambda \cdot G/E)_f], \overline{SF}_2 = 1.5$$

11.3.4 ロンジハット支持の横隔壁ハットリング設計

(1) 剪断応力設計

a : 支持ハットの有効ウェブ高さ

b : 隔壁防撓材又は船側ロンジ心距

ϵ : 横隔壁間のハットリング数

t_w : ハットリングウェブ板厚

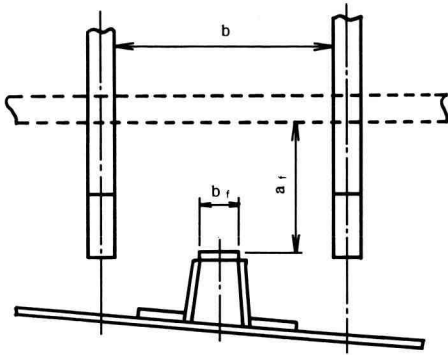


Fig. 14

$$at_w = (P_n \cdot b \cdot l \cdot \overline{SF}_1 \cdot L_a) / (m_a \cdot \tau) \quad (182)$$

$$\overline{SF}_1 = (a \cdot t_w \cdot \tau \cdot m_a) / (P_n \cdot b \cdot l \cdot L_a) \quad (183)$$

(2) 圧縮座屈設計^{4~6)}

b_f : ロンジハットクラウン幅

b : ハットリング長さ

n : 座屈モード半波長数 (整数値)

a_H : ハットリング高さ

$$t_w = \sqrt[3]{(\omega_0 \cdot b^2 \cdot \overline{SF}_2 / H_c)(\lambda / E)_f} \quad (184)$$

$$\overline{SF}_2 = [(H_c \cdot t_w^3) / (\omega_0 \cdot b^2)](E / \lambda)_f \quad (185)$$

$$\omega_0 = (P_n \cdot l \cdot S \cdot L_a) / (m_a \cdot b_f) \quad (186)$$

$$\gamma_0 = (a_H / b), \sqrt{n(n+1)} > \gamma_0 > \sqrt{n(n-1)}$$

$$H_c = (\pi^2 / 12) \{ (\gamma_0 / n)^2 + (n / \gamma_0)^2 + 2K_f \}$$

$$K_f = \mu + (2\lambda \cdot G / E)_f$$

Table 44. ハットリング設計係数

	L_a	\overline{SF}_1	\overline{SF}_2	m_a
船底部ハット	k_a	3	4	4
船側部ハット	k_a			2
甲板部ハット	1			2

※ k_a 値は、Table 8 参照のこと。

12. 艦橋上部構造

12.1 規定水圧値式

盤橋前壁 $P_{21} = 0.0180(0.02L + 0.76)$ (kgf/cm²)

盤橋側壁 $P_{22} = 0.0127(0.02L + 0.76)$ (kgf/cm²)

盤橋後壁 $P_{23} = 0.0090(0.02L + 0.76)$ (kgf/cm²)

盤橋天蓋 $P_4 = 0.0100(0.02L + 0.76)$ (kgf/cm²)

艦橋床板 $P_5 = 0.018A_F$ (kgf/cm²)

$$A_{Fmin} = 1.5(g)$$

12.2 板材設計式

12.2.1 単板構造

$$t_1 = a \sqrt[3]{\varepsilon \cdot P_n \cdot N_1 / E_f} \quad (187)$$

$$t_2 = a \sqrt{\beta \cdot P_n \cdot \overline{SF}_1 / \sigma_B} \quad (188)$$

$$N_1 = [E_f / (\varepsilon \cdot P_n)](t/a)^3 \quad (189)$$

$$\overline{SF}_1 = [\sigma_B / (\beta \cdot P_n)](t/a)^2 \quad (190)$$

N_1, \overline{SF}_1 は Table 47 に示す。

Table 45. パネル係数値

b/a		1. 5	2. 0	∞
四辺支持	β_s	0. 487	0. 610	0. 750
	ε_s	0. 084	0. 111	0. 142
四辺固定	β_F	0. 454	0. 498	0. 500
	ε_F	0. 024	0. 028	0. 028

12.2.2 Balsa Coa Sandwich Plate Panel.

7. 2 章参照

12.3 防撓材設計式

$$I = (P_n \cdot S \cdot l^3 \cdot N_2) / (C_2 \cdot E_f) \quad (191)$$

$$Z = (P_n \cdot S \cdot l^2 \cdot \overline{SF}_2) / (C_1 \cdot \sigma_Y) \quad (192)$$

$$N_2 = (C_2 \cdot E_f \cdot I) / (P_n \cdot S \cdot l^3) \quad (193)$$

$$\overline{SF}_2 = (C_1 \cdot \sigma_Y \cdot Z) / (P_n \cdot S \cdot l^2) \quad (194)$$

N_2, \overline{SF}_2 は Table 47 に示す。

σ_Y はハットの場合 Table 24, 木材の場合 $\sigma_Y = \sigma_C$

Table 46. 四辺条件係数

	両端固定	一端固定他端支持 (又は平均四辺条件)	両端支持
C_1	12	8	8
C_2	384	184.6	76.8
C_3	3	(1.8)	$(\pi/4)^2$

12.4 格子構造防撓平板撓み設計式⁽⁹⁾

$$I_L = \{(P_n \cdot b \cdot l^3 \cdot N_{3L}) / [C_3 \cdot E_f (m+1) \pi^4]\} - I_T [(n+1) / (m+1)] (l/b)^3 \quad (195)$$

$$I_T = \{(P_n \cdot b^3 \cdot l \cdot N_{3L}) / [C_3 \cdot E_f (n+1) \pi^4]\} - I_L [(m+1) / (n+1)] (b/l)^3 \quad (196)$$

$$N_{3L} = [C_3 \cdot E_f (n+1) I_T / P_n] (\pi/b)^4 \times \{1 + (I_L/I_T) [(m+1) / (n+1)] (b/l)^3\} \quad (197)$$

$$N_{3T} = [C_3 \cdot E_f (m+1) I_L / P_n] (\pi/l)^4 \times \{1 + (I_T/I_L) [(n+1) / (m+1)] (l/b)^3\} \quad (198)$$

$$N_{3L}/N_{3T} = (l/b)$$

m 又は n 及び n_T が 1 の場合, $(m+1)$ 又は $(n+1)(n_T+1)$ は $(8/3)$ とする。

艦橋床構造に支柱で支持する格子構造とする時, 次の値を上式に使用する。ロング防撓材に ε_T 条のトランス方向支柱列を設ける場合, l, n 次式により変更する。

$$l_L = 1.1l / (1 + \varepsilon_T), \quad n_T = (n - \varepsilon_T) / (1 + \varepsilon_T), \quad n_{T\min} = 1$$

12.5 艦橋上部構造設計係数

Table 47. 応力, 撓み設計係数値

	$\overline{SF}_1 \cdot a^2$	$N_1 \cdot a^3$	$\overline{SF}_{1,n}=4$	
艦橋周囲壁板	2.5×10^4	9.5×10^6	$N_{1,n}=22$	
艦橋天蓋板材	1.8×10^4	3.5×10^6		
	\overline{SF}_2	N_2	$N_{2,n}$	
艦橋周囲防撓材	7	180	135	
艦橋天蓋防撓材		200	150	
艦 橋 床 板 材		艦 橋 床 防 撓 材		
\overline{SF}_1	N_1	\overline{SF}_2	N_2	$N_{2,n}$
10	200	4	400	200

13. 船殻縦曲げ撓み試験値近似算式

$$\delta_s = [(M_s \cdot L_0^2) / (\alpha_0 \cdot I_H)] + [(W_H \cdot L_0 \cdot \gamma_0) / (\beta_0 \cdot t_m \cdot D_0)] \quad (199)$$

$$t_m = \sum \cdot t_n \cdot h_n / D_0 \quad (200)$$

L : 艇の全長 (m) L_0 : 撓み試験支持点間距離 (m)
 W_{CL} : 中央集中荷重 (Tonf) W_{HW} : 船殻自重 (Tonf)
 $n_0 = (L_0/L)$

Table 48. 船殻曲げ撓み設計係数

	M_s	α_s		β_s	γ_s	$\delta_{smax} = \delta_{CL} + \delta_{HW}$
		小型船	大型船			
中央集中荷重	$W_{CL} \cdot L_s \cdot \gamma_s / 6$	2.0	2.6	2.81	1	(199)式より, δ_{CL}
船殻自重	$W_{HW} \cdot L_s \cdot \gamma_s / 16$	0.8	1.04	7.49	n_s	(199)式より, δ_{HW}

14. 船殻断面 2 次モーメント標準値と航走時船体撓み

$$I_H = \frac{10 M_s \cdot L}{C_H (E_f / 10^5)^{0.145} \times \{(10^3 / N_H)\}} \times \frac{1}{-[(F_H \times 10^5) / (4 G_f \cdot t_m \cdot D_0)]} \quad (201)$$

$$N_H = 560(L/L - 5) \quad (202)$$

$$C_H = \frac{1.32 D_0^{1.83} \cdot W^{0.56}}{T_H \cdot (L \cdot V / W^{1/6})^{0.17}} \quad (203)$$

$$T_H = (L \cdot V / 400 W^{1/6}) (T_{Hmax} = 1.5, T_{Hmin} = 1.0) \quad (204)$$

$$\delta_s = [(M_s \cdot L^2 \times 10^6) / (C_H \cdot E_f \cdot I_H)] + [(F_H \cdot L \times 10^5) / (4 G_f \cdot t_m \cdot D_0)] \quad (205)$$

ここで, (4) 式より, $M_s = W \cdot L (A_F + 1) / 60 F_\beta$

(9) 式より, $F_H = W (A_F + 1) / 60 F_\beta$,

$$F_\beta = (29 - \beta_t) / (39 - \beta_t)$$

15. 船内のパネル幅中央の板幅方向撓み計測値を用いた衝撃水圧とパネル最大応力値について⁽¹⁶⁾

15.1 Panel Center 船内応力 (歪み) 計測値解析

$$\sigma_A = [(\sigma_B / 2) + \sigma_T] = \{(\alpha / 2 \Gamma)(E/\lambda)_f (t/a)^2 (\omega/t)\} + [(\eta^2 / 3 \Gamma)(E/\lambda)_f (t/a)^2] = (1 / 2 \Gamma)(E/\lambda)_f (t/a)^2 (\omega/t) \times \{\alpha + [(2/3)(0.366)^2] (\omega/t)\} \quad (206)$$

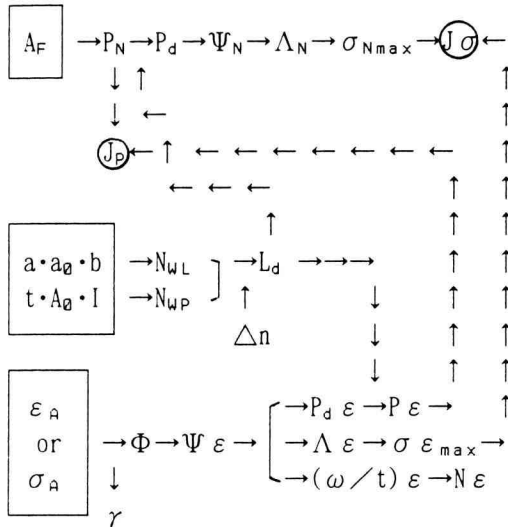
$$\sigma_A \cdot \Gamma \cdot \gamma \cdot (\lambda/E)_f (a/t)^2 = (\varepsilon_A \cdot \lambda_f \cdot \Gamma \cdot \gamma / 10^6) (a/t)^2 = (1/2) (\omega/t) [1 + (23/32) (\omega/t)^2] = \Phi \quad (207)$$

水圧と撓み式

$$P_a (\lambda/E)_f (a/t)^4 = 32 (\omega/t) [1 + (23/32) (\omega/t)^2] = \Psi \quad (208)$$

σ_A, ε_A は Panel Center 船内の応力, 歪み値。

14.2 実船実験解析フローチャート



$$P_d = \Psi (E/\lambda)_f (t/a)^4 \quad (209)$$

$$\sigma_{\max} = (\Lambda/\Gamma)(E/\lambda)_f (t/a)^2 \quad (210)$$

$$\overline{SF}\sigma = (\sigma_b \cdot \Gamma/\Lambda)(\lambda/E)_f (a/t)^2 \quad (211)$$

$$N = (a/t)/(\omega/t) \quad (212)$$

$$\gamma = [235 - (L \cdot V/W^{1/6})]/35 \quad (213)$$

$\gamma_{\min} = 1.0$, 水面落下試験: $\gamma = 1.0$,

静水圧では, $(L \cdot V/W^{1/6}) = 145$ 相当の $\gamma = 2.57$.

Table 49. $\Psi, \Phi, \Lambda, \gamma_n, (\omega/t)$ 値

(w/t)	10^{-4}	2×10^{-4}	3×10^{-4}	5×10^{-4}	10^{-3}	2×10^{-3}	3×10^{-3}	5×10^{-3}
Ψ	3.20×10^{-1}	6.40×10^{-1}	9.6×10^{-1}	1.6×10^{-1}	3.2×10^{-1}	6.4×10^{-1}	9.6×10^{-1}	1.6×10^{-1}
Φ	7.95×10^{-4}	1.60×10^{-3}	2.40×10^{-3}	4.00×10^{-3}	8.00×10^{-3}	1.60×10^{-2}	2.40×10^{-2}	4.00×10^{-2}
Λ	1.59×10^{-3}	3.20×10^{-3}	4.80×10^{-3}	8.00×10^{-3}	1.60×10^{-2}	3.20×10^{-2}	4.80×10^{-2}	8.00×10^{-2}
γ_n	2	2	2	2	2	1.999	1.999	1.998
(w/t)	10^{-2}	2×10^{-2}	3×10^{-2}	5×10^{-2}	10^{-1}	2×10^{-1}	3×10^{-1}	5×10^{-1}
Ψ	3.2×10^{-1}	6.4×10^{-1}	9.6×10^{-1}	1.60	3.22	6.58	1.02×10	1.89×10
Φ	8.02×10^{-2}	1.61×10^{-1}	2.42×10^{-1}	4.17×10^{-1}	8.27×10^{-1}	1.72	2.88	4.87
Λ	1.60×10^{-1}	3.25×10^{-1}	4.82×10^{-1}	8.07×10^{-1}	1.629	2.33	5.13	9.11
γ_n	1.997	1.991	1.992	1.985	1.970	1.942	1.914	1.872
(w/t)	1	2	3	5	10	2×10	3×10	5×10
Ψ	5.50×10	2.48×10^2	7.17×10^2	3.04×10^3	2.33×10^4	1.85×10^5	6.22×10^6	2.88×10^8
Φ	1.23×10	3.80×10	7.95×10	2.11×10^2	8.17×10^2	3.22×10^3	7.22×10^4	2.00×10^6
Λ	2.21×10	6.60×10	1.37×10^2	3.59×10^2	1.39×10^3	5.45×10^3	1.22×10^4	3.38×10^5
γ_n	1.798	1.737	1.718	1.704	1.695	1.693	1.690	1.689
(w/t)	10^2	2×10^2	3×10^2	5×10^2	10^3	2×10^3	3×10^3	5×10^3
Ψ	2.30×10^1	1.84×10^2	6.21×10^2	2.86×10^3	2.30×10^4	1.84×10^5	6.21×10^6	2.86×10^8
Φ	7.97×10^2	2.19×10^3	7.16×10^3	1.99×10^4	7.95×10^4	3.18×10^5	7.16×10^6	1.99×10^8
Λ	1.35×10^3	5.38×10^3	1.21×10^4	3.36×10^4	1.34×10^5	5.37×10^5	1.21×10^6	3.35×10^6
γ_n	1.688	1.687	1.687	1.687	1.687	1.687	1.687	1.687

Ψ : (208)式 Φ : (207)式 Λ : (203)式 γ_n : (213)式 $\gamma_n = (\Lambda/\Phi)$ $N\sigma = (\Lambda/\Psi \cdot \Phi) = (\sigma_{\max}/\sigma_a)$

参考文献

- 1) Design manual of laminates for flat bottom shell planting panel thickness of high speed boats. W.J.N.A. Transaction No.72 (Aug. 1986) T. Nagai and T. Hashimoto.
- 2) Design manual for bottom longitudinal hat of high speed type FRP Boats. W.J.N.A. Transaction No. 72 (Aug. 1987) T. Hashimoto.
- 3) Structural problems in the design of GRP ship. R.I.N.A. C.S.Smith. (Oct 1972)
- 4) Buckling problems in the design of GRP ship. 1972. Jurnal of Ship Resarch. C.S.Smith.
- 5) Marine design manual for Fiberglass Reinforced Plastic Ships. Gibbs & Cox 1960.
- 6) Design of wood aircraft structures. 1951 US Aircraft Committee Muaitions Board.
- 7) Feasibility study of GRP Cargo ship. 1971 U.S. C.G. R.J. Scott & J.H. Somella.
- 8) FRP 高速艇船底衝撃水圧持続時間実艇値解析と一般式. 舟艇協会 1982 年 8 月 橋本恒雄
- 9) 造船設計便覧 関西造船協会 (P140)
- 10) 高速艇の強度設計に関する研究 1969. 船舶用軽金属委員会 永井 保。
- 11) FRP 外板動的設計法の確認試験とその成果について. W.J.N.A. Transaction No. 64 (Aug. 1982) T. Hashimoto.
- 12) 複合材料資料集成 産業技術センター 昭和 51 年 2 月 15 日
- 13) 高速艇基準案並びに作成資料 船艇協会丹羽誠一 昭和 54 年 3 月
- 14) 弾性安定要覧 長柱研究委員会 コロナ社
- 15) FRP 高速艇船底ロンジ構造部の損傷とその対策 W.J.N.A. No. 78, Aug. 1989 永井 保, 橋本恒雄
- 16) PRP 艇の船底外板最大応力と衝撃水圧について W.J.N.A. No. 79, March. 1989 永井 保, 橋本恒雄

以上