NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



# 強化プラスチック船規則改正及び同検査要領制定の解説

## (昭和59年改正及び制定)

### ま え が き

「強化プラスチック船規則」(以下「規則」という)は，昭和52年に初めて制定されたが，制定に当たっては，材料，工作法，構造等で，実績の浅いもの又は開発途上のものについては規則化が見送られた．その後，多数建造された強化プラスチック船(以下「FRP船」という)の実績を考慮して，今回，規則の内容の見直しを行い，船級検査，船体材料，成形工事，船体構造等に関する規定を大幅に改正した．

また，この機会に，規則では十分にカバーできない，適用上の詳細な規定を，上記規則の検査要領(以下「要領」という)として，新たに制定した．

以下，各条文の主な改正点について述べる．

### 1章 総 則

#### 1.1 一 般

規則の適用に関する条文を，鋼船規則**A編1章1.1.1**と同じ表現とした．

近年，FRP船の大型化が著しく，$L$が30 mを超える場合が十分に考えられるようになり，また，運輸省船舶局「強化プラスチック船特殊基準[1]」(以下「特殊基準」という)においても，登録長さが35 m未満のFRP船にまで適用されるようになった．そこで，当会の規則においても適用範囲を35 m未満とした．

船級符号への付記に関する規定は，**1.1**に含めることとし，**1.2**船級登録を削除した．

要領に“*Smooth Water Service*”として登録を受けるFRP船の構造部材寸法の軽減量を定めた．この軽減量は，特殊基準と一致させた．

#### 1.2 定 義

船の幅を上甲板上面における値とし，計画喫水の定まらないFRP船に対する満載喫水線，接着等の定義を明確にした．

方形係数の定義については，満載喫水線における船の幅$B_w$が$B$と異なる場合を考慮して，$C_b=V/(LB_wd)$の形で与えることにした．

ガラス繊維基材及び樹脂液の定義を簡潔にし，今回，新たに配合比，成形，単板構造，サンドイッチ構造，ハンドレイアップ法，スプレーアップ法の定義を設けた．

#### 1.3 船体構造及び艤装に関する通則

今回，新たにハット型構造及びサンドイッチ構造に関する規定を設けた．

ハット型構造に対しては，座屈を考慮して，ウェブ及び頂板の最小厚さを規定した(**付録A 1**参照)．なお，ハット型構造の心材を曲げ強度に算入する場合は，心材の幅は，心材とFRPの曲げ弾性係数の比で修正した値を用いることとした．

サンドイッチ構造に対しては，心材の構成及び厚さの上限を規定した．これは，心材を厚くすると曲げに対しては強くなるが，剪断強度の向上は期待しにくいためである．新たにサンドイッチ構造の心材を曲げ強度に算入する場合についての規定を設けた(**付録A 2**参照)．

### 2章 船 級 検 査

#### 2.1 一 般

FRP船の船級検査については，本規則に規定する検査のほかは，鋼船規則**B編**の規定を準用することとした．なお，$L$が20 m未満のFRP船の水圧試験時の水高圧力は，鋼船規則**B編2章表B 2.1**を準用すると過大となるため，「船舶検査の方法」[2]〔3〕小型船舶等の検査301.2 (B) (b) (4)を参考にして，オーバフロー管の上端までの水高圧力として差し支えない旨を，要領に規定した．

**6章**縦強度の改正に関連して，今後，縦曲げ試験は実施しないこととし，縦曲げ試験の規定を削除した．

#### 2.2 製造中登録検査

船体関係の提出図面の表現を，鋼船規則**B編2章2.1.2**と統一した．

#### 2.3 製造後の登録検査

今後，既成船の入級が増加すると考えられるので，新たに製造後の登録検査を行うための根拠条文を設けた．

### 3章 工 場

#### 3.2 積層工場

積層作業中の作業場内の相対湿度は，使用樹脂等によ



NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



り適正値が異なるため，旧規則にあった値（85％以下）を削除した．

## 4章 船体材料

### 4.1 通則

主要構造用原材料の試験方法については，JIS[5),6)] 及び ASTM[7),8),9),10)] (American Society for Testing and Materials) を参考にして，要領の中に定めた．また，判定規準は，従来の承認試験の実績及び「FRP 船原材料の特性と検査基準に関する研究」[11)]を参考にして定めた．

試験場所の環境条件は，温度，湿度共に JIS[15)] Z8703 の3級（温度20±5°C，湿度65±20％）とした．

### 4.3 原材料等

ゲルコート用樹脂液は，船体強度に直接関係しないので，承認の対象としないこととし，上記樹脂液についての規定を削除した．

サンドイッチ構造用心材の試験項目を，硬質プラスチック発泡体とパルサに分けて具体的に規定した．また，主要構造用に用いられる合板は，日本農林規格（昭和44年農林省告示第1371号）によることとした．

硬質プラスチック発泡体を侵すのは，ポリエステルそのものでなく，ポリエステル中に残留しているスチレンであるため，4.3.7 中の「耐ポリエステル」を「耐スチレン」に改めた．

### 4.4 FRP

構造規定に，サンドイッチ構造板の規定を新設したため，規則にサンドイッチ構造板の材料試験及び強度試験の規定を設け，試験の方法については要領の中に規定した．

## 5章 成形工事

### 5.1 一般

積層作業場の環境条件を具体的に示した．ただし，温度については，夏期に上限を満足することが困難であるので下限（15°C）のみ規定し，樹脂に対して適正な温度としなければならないとする精神規定にとどめた．

また，離型剤は，脱型を容易にするために用いられるだけで，直接構造強度に関係しないので，離型剤についての規定を削除した．

### 5.2 ハンドレイアップ法

新たに，ロービングクロスの重量とガラス総重量との割合に関する規定を，特殊基準に合わせて設けた．

### 5.5 接着及び固着

接着面の前処理として市販表面処理剤があるが，実績が少ないため，サンディングを推奨した．

ゲルコート層及び空気硬化性樹脂積層面への接着を行う場合には，表層のパラフィンワックスを除去しなければならない．しかし，パラフィンワックスが100％FRP層上に浮き出ているとは考えられず，表層に近い部分に混在していることを考慮して，要領の中でゲルコートの標準厚さ 0.4 mm 以上を除去することを規定した．この場合，ガラス繊維を著しく削り取ることのないよう注意が必要である．

マット（M）・ロービング（R）積層の FRP に接着を施工する場合，接着界面の特性としては，強度よりも FRP の伸び及び変形に追従することが重要である．引張り試験による破断時の伸びは，MR：1.3％，M：2％，R：1％となる．この結果からも明らかであるが，接着界面にマットを配することによる性能の向上が，各種実験結果からも解明されている．

規則中の図 5.1 T型継手の構造を，ハット積層，増厚端末シフト積層，及び各種継手積層にも応用すると，衝撃，疲労特性に良い結果が得られる．図中で注意すべき点は，次のとおりである．

1）接着界面には，常にマットを配置すること．

2）積層厚さの16倍を接着長さとし，そのうち8～10倍をマットでシフト積層を行い，スムーズなテーパとすること．

3）ロービングクロスは接着面には絶対に配置せず，マットに包まれた構成とすること．

接着面への積層は，裁断したガラス繊維の重量とガラス含有率から1工程ごとに使用樹脂量を計算して，その全量を均等に含浸，脱泡をしなければならない．通常，計算値には，容器，刷毛に付着するロスとして，5～10％の増量を考慮しておく必要がある．こうして計算した樹脂量を用いることにより，目標ガラス含有率の FRP が積層でき，1層ごとに管理することにより，何層でも均等厚さの積層ができる．

接着の積層において，硬化条件の注意点として積層面の材料により硬化速度が著しく異なるので，積層数と硬化剤の量を調整しなければならない．材料による硬化速度を遅い順に並べると，金属，FRP，木材，発泡体の順序となる．接着面の積層の硬化速度が速過ぎると，発熱が高くなり，ボイドの成長，粘度低下による樹脂抜け，ロービングクロスのスプリングバック，スチレンモノマの揮発増による収縮，変形の促進，増加が起こる．さらに，硬化熱が高いと，樹脂の変化，焼けが起こるため，心材の積層には注意が必要である．

マットインによる接着では，通常，マット1～2層を



NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



ガラス含有率25％程度に含浸し，接着する両面に樹脂を塗り，ゲル化するまでに圧締を行い，ガラス含有率が30～33％となるように締め付け，過剰樹脂と気泡を押し出す．この圧締力が大き過ぎると，樹脂不足による強度低下を生じ，また，圧締力が不足すると気泡，空洞を残し，強度が低下するため，要領に圧締圧300～350kg/m² を一つの目安として示した．

### 5.6 接着継手

T型継手の形状を，結合する部材の板厚で決定できるようにした．ただし，サンドイッチ構造板については，従来の実績から，内外層板の合計板厚により決定することとした．T型継手部材の仮付けに使用するパテは，就航時に振動などで継手が破壊するのを防ぐために，軟質系のパテ（接着性が高く伸びの大きい樹脂を3，成形用樹脂を7の割合で配合したパテ）を使用することを推奨する．また，ロービングクロス同志が接触したまま積層を行うとはく離の原因となるので，ロービングクロスの間に，必ずチョップマットをはさまなければならない．

L型継手は，その強度に不安があるので，原則として使用を禁止することとした．しかし，T型継手とすることが困難で，やむを得ず，L型継手を用いる場合の規定を，新たに要領に設けた．

外板に横縁継手を用いることは，縦強度上問題があると考えられるので，これを禁止した．ただし，修繕等のために，局部的に横縁継手を設ける場合には，十分な継手効率を有するスカーフ継手を用いてよいこととした．

同様に，甲板の横縁継手には，V型とX型のスカーフ継手に限って用いてよいこととした．

## 6章 縦 強 度

### 6.1 縦強度

現在就航中の FRP 船では，外板，甲板等の板厚は十分に規定の値を満足しているが，船体横断面の断面係数については，旧規則の縦強度に関する規定値を下回るものがある．これらの船舶については，旧規則**6.1.4**の規定により，縦曲げ試験を行い，その結果十分な強度を有すると判断されたものであり，また，現在までになんら縦強度上の問題を生じることなく，安全に航行している実績がある．

この点についての解明を行うため，旧規則の縦強度に関する規定で想定されている，最大曲げモーメントについて再検討を加え，船体横断面の断面係数の算式を改めた（**付録A 3**参照）．

また，縦曲げ試験に関する規定については，FRP 船の大型化に伴う，実船による試験の困難さの問題を考慮し，さらに，上記船体横断面の断面係数の規定の見直しも併せ考慮した結果，実船による縦曲げ試験を実施する規定を，今回削除することとした．

## 7章 外 板

### 7.3 中央部の外板

外板をサンドイッチ構造とする場合の規定を新たに設けた．規定の算式は，FRP サンドイッチ構造板の曲げ強度，剪断強度及び心材の圧縮強度の観点から定めたものである（**付録A 4**参照）．

### 7.4 前後部の外板

船首船底補強部の外板をサンドイッチ構造とする場合の規定を新たに設けた．これは，単板の場合の中央部船底外板と船首船底補強部の外板に対する荷重，許容応力等を考慮して，船首船底補強部の荷重を中央部の1.8倍として，剪断強度の観点から，板厚を規定したものである．

## 8章 甲 板

### 8.2 甲板の最小厚さ

甲板をサンドイッチ構造とする場合の規定を，**7章**と同様にして定めた．

また，専ら居住設備又は航海業務に充当する甲板及び長い甲板室の頂板に対する荷重を，鋼船規則**P編**の居住区に対する甲板荷重と同一とし，0.46 t/m² とした．暴露甲板に対する荷重については，$L$=90 m で鋼船規則**C編10.2**の甲板荷重と一致するように算式を定めた．ただし，漁船等で甲板上に重量物を積載する場合は，旧規則による算式と本章により算定される値のうち，いずれか大きい方を甲板荷重とすることとし，要領の中に規定した．

## 9章 肋 骨

### 9.4 肋骨

肋骨をハット型構造とする場合の規定を，新たに設けた．

## 10章 船 底 構 造

### 10.3 側桁

側桁の端部における高さは，構造の連続性や剪断に対する考慮をして，肋板又は船底横桁と同じ高さとすることとした．

### 10.4 肋板

肋板の寸法の規定算式中のスパンは，旧規則では船の幅$B$としていたが，これを実際のスパンに改めた．



NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



### 10.8 ハット型構造

中心線桁，側桁，肋板，船底縦通肋骨をハット型構造とする場合の規定を新たに設けた．

中心線桁等をハット型構造とした場合のウェブの片側の厚さは，単板構造の場合の1/2となるが，座屈を考慮して，単板構造の場合の0.7倍とした．また，頂板については，その断面積が単板構造の場合と同一になるように規定した．

## 11章 梁

### 11.1 梁

梁に対する荷重については，8章と同様な考え方で算式を定めた．

また，梁をハット型構造とする場合の規定を，新たに設けた．

## 12章 甲板下縦桁及び梁柱

### 12.1 甲板下縦桁

甲板下縦桁に対する荷重についても，8章と同様な考え方で算式を定めた．

また，甲板下縦桁を，ハット型構造とする場合の規定を新たに設けた．

## 13章 水密隔壁

### 13.2 水密隔壁の構造

水密隔壁をサンドイッチ構造とする場合の規定を，7章と同様な考え方で定めた．また，隔壁板に構造用合板を使用する場合の規定を，新たに要領の中に設けた．

隔壁防撓材をハット型構造とする場合の規定も新たに設けた．

## 14章 深水タンク

### 14.1 通則

油の引火点を鋼船規則に合わせて61°Cに改めた．

### 14.2 深水タンク隔壁

深水タンク隔壁をサンドイッチ構造とする場合の規定を，7章と同様な考え方で定めた．また，隔壁板に構造用合板を使用する場合の規定を，新たに要領の中に設けた．

隔壁防撓材の許容応力は，旧規則では2 kg/mm²としていたが，今回，局部荷重のみを受け，縦曲げ応力はない甲板横置梁と同等と考え，許容応力を3 kg/mm²とし，14.2.4中の算式の係数$C$の値を改めた．

## 16章 船楼及び甲板室

### 16.2 構造等

農林水産省の小型鋼製漁船構造基準[3]の規定をFRP船用に修正し，周壁板及び防撓材の規定寸法を定めた．ただし，腐食に対する余裕として鋼板板厚で1 mm，防撓材断面係数で10％とし(下記注)参照)，$\sigma_{steel}$=24kg/mm²，$\sigma_{FRP}$=15 kg/mm²とした．

出入口の敷居の高さは，鋼船規則と一致させて380 mmとした．

## 17章 倉口，機関室口その他の甲板口

### 17.2 倉口

小型鋼製漁船構造基準[3]を参考にして，倉口縁材の高さを定めた．

## 参考文献


1) 強化プラスチック船特殊基準（昭和57年6月10日），運輸省船舶局
2) 船舶検査の方法（昭和56年12月1日），運輸省船舶局
3) 小型鋼製漁船構造基準（昭和46年版），(社)漁船協会
4) 小型船舶の構造強度に関する調査研究報告書（昭和56年3月），日本小型船舶検査機構
5) JIS K（化学）
6) JIS R（窯業）
7) ASTM Part 25（1979年版）
8) ASTM Part 27（1980年版）
9) ASTM Part 35（1979年版）
10) ASTM Part 36（1979年版）
11) FRP船原材料の特性と検査基準に関する研究，日本小型船舶検査機構（昭和53，54，55年）
12) 寺田泰治「FRP船におけるサンドイッチ構造について」，日本海事協会会誌No. 175（1981年）
13) 寺田泰治「FRP船の縦強度について」，FRP漁船第85号，FRP漁船研究会（昭和57年11月）
14) 「強化プラスチック船規則（1977年版）解説」，日本海事協会会誌No. 163（1978年）
15) JIS Z（一般及びその他）


注）鋼船の骨部材は，腐食に対して断面係数で20％の余裕をとっているが，小型船では十分な点検を行うことができ，また実際に損傷も生じていないので10％とした．



NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



## 〔付録A 1〕 1.3.5 ハット型構造

### (1) ハット型構造のウェブの最小厚さ

ハット型構造のウェブを，**図A 1.1** に示すような曲げ及び圧縮を受ける四辺支持の矩形板と考える．この場合の座屈限界応力 $\sigma_{cr}$ は，次式で与えられる．

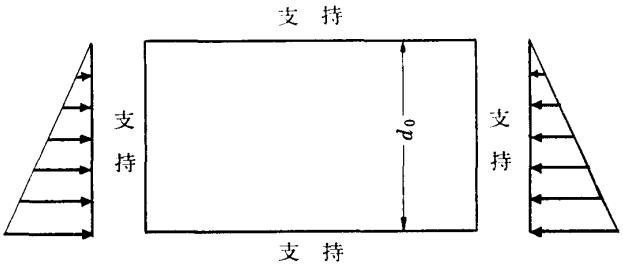
$$\sigma_{cr}=K'\frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)}\left(\frac{t_1}{d_0}\right)^2 \qquad (A1.1)$$

ここで，$t_1$：ウェブの厚さ（mm）
$d_0$：ウェブの深さ（mm）
$E$：700kg/mm²
$\nu$：0.3

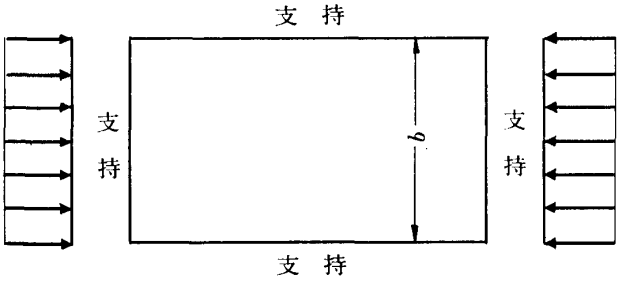
上式で，面材の最大圧縮応力 $\sigma_{cr}$ を3 kg/mm²，$K'=8.4$ とし，安全率を2とすると，

$$t_1=0.034\,d_0 \qquad (A1.2)$$

となる．




**図A1.1**




**図A1.2**

### (2) ハット型構造の頂板の最小厚さ

ハット型構造の頂板を，**図A 1.2** に示すような一様圧縮を受ける四辺支持の矩形板と考える．この場合の座屈限界応力 $\sigma_{cr}$ は，次式で与えられる．

$$\sigma_{cr}=K'\frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)}\left(\frac{t_2}{b}\right)^2 \qquad (A1.3)$$

ここで，$t_2$：頂板の厚さ（mm）
$b$：頂板の幅（mm）

上式で，面材の最大圧縮応力を3 kg/mm²，$K'=4$ とし，安全率を2とすると，

$$t_2=0.05b \qquad (A1.4)$$

となる．

実際の部材の断面係数は，規則の要求値より大きいので，同じ外力が作用した場合，面材に発生する応力は，断面係数が要求値どおりの部材に発生する応力に比べて $Z_{req}/Z_{act}$ の比で減少する．そこで，その修正係数として次式を与える．

$$K=\sqrt{Z_{req}/Z_{act}} \qquad (A1.5)$$

したがって，ハット型構造のウェブ及び頂板の板厚を規定する算式が，次式で与えられる．

ウェブの厚さ：$t_1=0.034d_0K$（mm） (A1.6)
頂板の厚さ ：$t_2=0.056bK$（mm） (A1.7)

## 〔付録A 2〕 1.3.6 サンドイッチ構造

サンドイッチ構造の心材を曲げ強度に算入する場合の規則**7.3.3-1.** に定める係数 $C_2$ の根拠について述べる．

「FRP 船におけるサンドイッチ構造について」[12] によると，心材を曲げ強度に算入しない場合の FRP 単板と同一曲げ強度を持つサンドイッチ板との関係は，

$$T=\frac{1}{\sqrt{f_1}}t_{FRP}=C_2t_{FRP} \qquad (A2.1)$$

ここで，$T=t_1+t_2+t_c$
$t_1$ 及び $t_2$ は，FRP 外層板及び内層板の板厚で，$t_1\geqq t_2$ とする．
$t_c$ は，心材の厚さ

$$f_1=\frac{\beta^3(1+\alpha)^2+12\alpha\beta(1+\beta)}{(1+\alpha)(1+\beta)^2(2+\alpha\beta+\beta)}$$

$$\alpha=t_2/t_1$$

$$\beta=(t_1+t_2)/t_c$$

FRP 船に用いられるサンドイッチ板は，梁及び桁で支持され，かつ，このパネルのアスペクト比はほぼ2以上であるので，サンドイッチ板を単位幅の帯板として取り扱う．

サンドイッチ帯板の断面係数は，**図A 2.1** (b) に示すように心材の幅を $E_c/E_f$ 倍（$E_c$：心材の弾性係数，$E_f$：FRP の弾性係数）した等価梁に置き換えて計算することができる．

ここで，まず，心材を強度に算入する場合の断面係数 $Z_1$ は，次式で与えられる．

$$Z_1=\frac{T^2}{6}f_1 \qquad (A2.2)$$

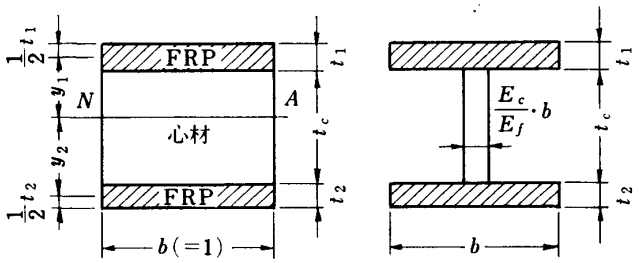
また，心材を強度に算入する場合の断面係数 $Z_2$ は，算式を簡略化するために $t_1=t_2$ と考えれば，次式で与え



NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)






(a) サンドイッチ帯板の断面　(b) 等価梁の断面

**図A2.1**

られる．

$$Z_2=\frac{\{T^3-(1-E_c/E_f)t_c^3\}}{6T}$$

$$=\frac{T^2}{6}\left\{1-\left(1-\frac{E_c}{E_f}\right)\left(\frac{1}{1+\beta}\right)^3\right\} \qquad (A2.3)$$

（A2.1），（A2.2）及び（A2.3）式から，心材を強度に算入する場合の係数 $C_2$ は，次式で与えられる．

$$C_2=\frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{1-E_c/E_f}{(1+\beta)^3}}} \qquad (A2.4)$$

なお，米松，ラワン，構造用合板については，試験結果における弾性係数に，ばらつきが大きいことを考慮して，$E_c/E_f$ を定数として旧規則の値で与えた．

## 〔付録A 3〕 6章 縦強度[13]

### (1) 船体縦曲げモーメント

航行中の船体に生じる縦曲げモーメントは，最近の計算法では，静水中曲げモーメント（$M_s$）と波浪中曲げモーメント（$M_w$）に分け，次式で与えている．

$$M=M_s+M_w \qquad (A3.1)$$

そして，鋼船規則では，$M_w$ の近似式として，長さ90 m 以下の船に対して，次式を与えている．

$$M_w=0.14K_2L^2BC_b\left(1+0.04\frac{L}{B}\right) \qquad (A3.2)$$

ここで，$K_2=0.0028L+0.46$

また，鋼船に対する船体横断面の断面係数は，次の二つの算式による値のうちの，いずれか大きい方の値と規定されている．

$$Z_1=K_1L^2B(C_b+0.7)\ (\mathrm{cm}^3)$$
$$Z_2=65(M_s+M_w)\quad (\mathrm{cm}^3) \qquad (A3.3)$$

$Z_2$ は，静水中曲げモーメント $M_s$ と（A3.2）式の $M_w$ の和を，許容応力 15 kg/mm² として定めたものであるが，この式は，$M_s$ が小さくなれば $Z_2$ も小さくなる．そこで無制限に小さくならないよう，最小断面係数として，$Z_1$ が定められている．これは，$M_s$ の最小値として，船の長さ 90 m 以下で，ほぼ，

$$M_s=0.78M_w$$

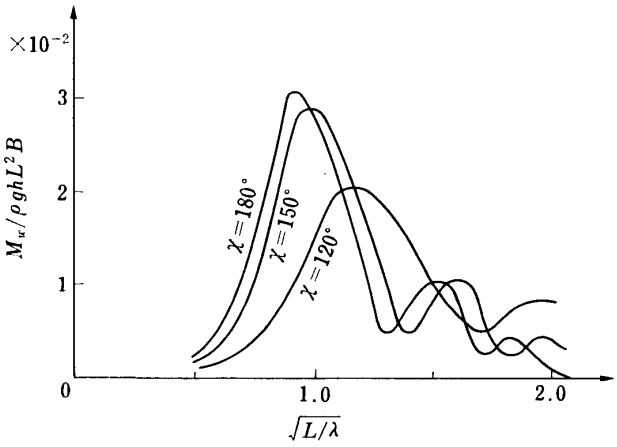
を目安としている．したがって，縦曲げモーメントとしては，

$$M=M_s+M_w=1.78M_w \qquad (A3.4)$$

と近似したことになっている．

しかしながら，FRP 船については，不規則波中の縦曲げモーメントに関する研究は皆無に近いため，（A3.2）式に示した波浪縦曲げモーメントの算式が，FRP 船について適用できるか否か不明であるので，鋼船について行われた研究結果を参考にして，以下のように考察した．

報告書[4]によれば，長さ 9～33 m の鋼船に対し，波浪縦曲げモーメントの短期及び長期予測計算を行っており，その応答関数は，**図A 3.1** のように示されている．




**図A3.1** 波浪縦曲げモーメント（中央部）の応答関数[13]
（$L$=33.0m, $B$=6.8m, $D$=2.8m）

また，日本沿岸及び北大西洋の波浪データを用いた長期分布は，**図A 3.2** のように示されている．さらに，発現確率 $Q=10^{-5}$ における波浪曲げモーメントの計算結果を，船の長さに対して示したものが**図A 3.3** である．

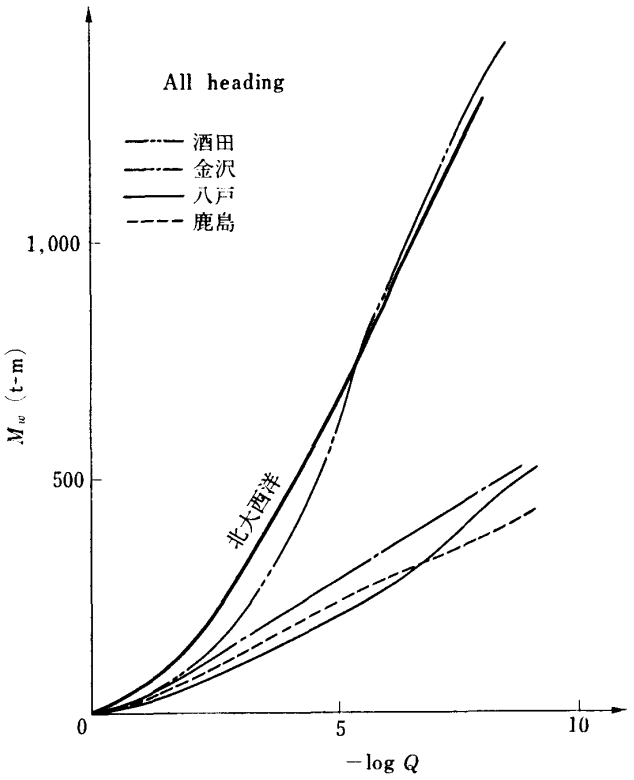
**図A 3.1** より，波浪縦曲げモーメントのピークは，波長がほぼ船の長さに等しい場合に生じている．長期予測についてみると，波浪データとして，北大西洋及び酒田沖のデータを用いたものは，他の海域のデータを用いたものに比べて，かなり大きな値を示している．日本沿岸の波浪データについては，港湾局及び水産庁の観測資料があり，このうち，**表A 3.1**（18 ページ）に酒田及び金沢沖のものを示すが，酒田沖の波は，他の海域に比べて大きいようである．



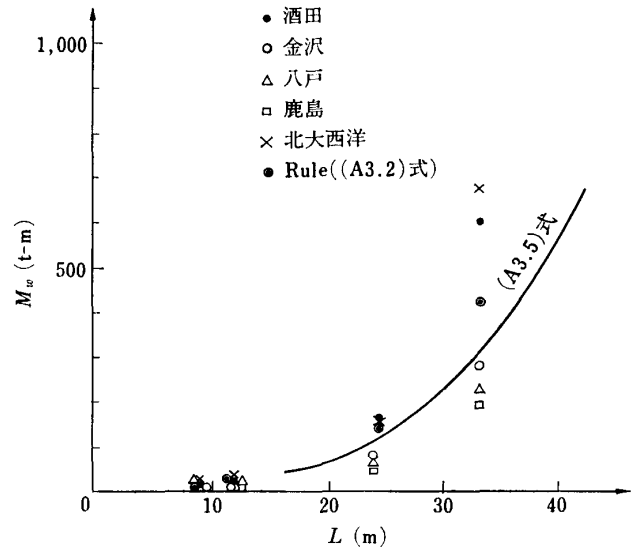
NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



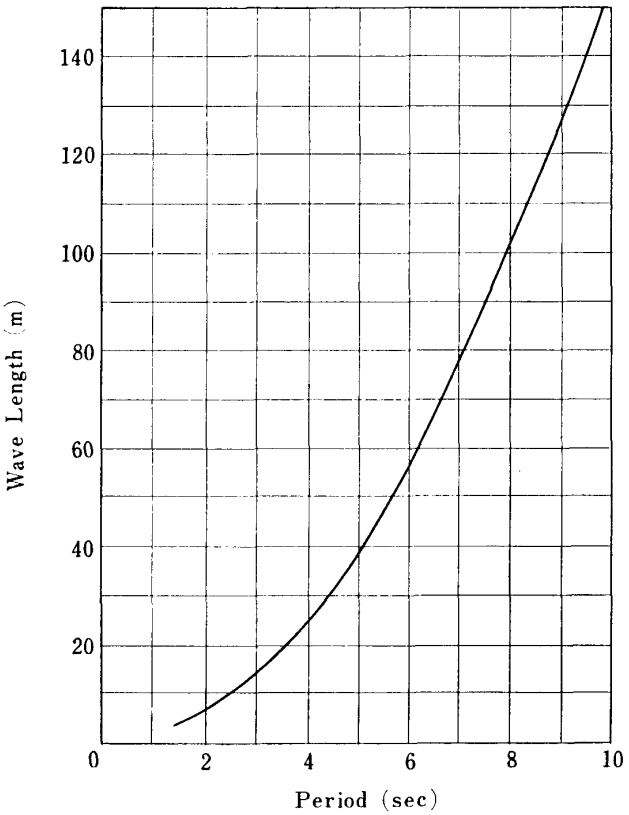



**図A3.2** 波浪縦曲げモーメント（中央部）の長期予測[13]
（$L$=33.0m，$B$=6.8m，$D$=2.8m）




**図A3.3** 波浪縦曲げモーメント（中央部）の長期予測[13]
（$Q=10^{-5}$）

**図A 3.4** に深海波の周期と波長の関係を示すが，この図より，小型船の船の長さに等しい波長の波周期は，3～5秒である．そこで，**表A 3.1** の波周期3～5秒の波高を見ると，酒田沖では，2m以上のものがかなり観測されているが，金沢沖では，ほとんど観測されていない．長さが30m以下の船に対して，波高が2m以上の




**図A3.4** 深海波の周期と波長[13]

波は極めて大波といえる．事実，このような海象下では，船の運動は極めて大きく，操船不可能となるため，船はこのような海象を回避するのが一般的である．

以上の考察より，長さ30m以下のFRP船に対する波浪縦曲げモーメントとしては，**図A 3.3** の北大西洋及び酒田沖の計算結果よりも，金沢沖のものを参考にする方が適当であると思われる．なお，同図には(A3.2)式による波浪縦曲げモーメントの値を示してあるが，船の長さが30m以下の船に対しては大きいようである．

以上により，小型船に対する波浪縦曲げモーメントとして，$L$=90mで鋼船規則と一致し，$L$=20mで金沢沖の計算とほぼ一致するように，次式を与えた．

$$M_w=0.14K_2'L^2BC_b\left(1+0.04\frac{L}{B}\right) \qquad \text{(A3.5)}$$

ここで，$K_2'=0.0046L+0.30$

**図A 3.3** 中の実線は，(A3.5)式において，$L/B$=5，$C_b$=0.55として図示したものである．

全縦曲げモーメントは，(A3.5)式に$M_s$を加えて求めることができるが，FRP船においては，通常$M_s$の計算を行っていないので，近似的に(A3.4)式を用いることとする．

以上の仮定による計算法のチェックのため，昭和48年にFRP漁船研究会第5研究分科会で行われた，FRP



NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



## 表A3.1 日本沿岸の波高，周期頻度表[4]

観測場所 酒田港　　45.1.1～53.12.31 (3,287日)

| 波高＼波周期 | 0—3 | 3—4 | 4—5 | 5—6 | 6—7 | 7—8 | 8—9 | 9—10 | 10—11 | 11—12 | 12—13 | 13—14 | 14—15 | 15—16 | 16—17 | 17—18 | 18—19 | 19—20 | 20秒 | 波高の計 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.00—0.25 | 6,030 | 694 | 864 | 368 | 185 | 141 | 110 | 60 | 40 | 23 | 18 | 8 | 10 | 7 | 4 | 7 | 1 | 2 | 22 | 8,594 |
| 0.25—0.50 | 273 | 1,231 | 2,017 | 1,543 | 1,071 | 413 | 155 | 62 | 17 | 10 | 7 | 5 | 6 | 3 | 4 | 1 | 3 | 1 | 19 | 6,841 |
| 0.50—0.75 | 16 | 387 | 1,098 | 1,224 | 1,039 | 459 | 112 | 24 | 5 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4,379 |
| 0.75—1.00 | | 118 | 766 | 1,005 | 1,029 | 476 | 106 | 23 | 10 | 5 | | | | | | | 1 | 1 | 3 | 3,543 |
| 1.00—1.25 | | 10 | 488 | 814 | 787 | 489 | 118 | 17 | 7 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | 1 | 2,738 |
| 1.25—1.50 | | 2 | 199 | 699 | 698 | 487 | 166 | 25 | 4 | 3 | | 2 | | | | 1 | | | 3 | 2,289 |
| 1.50—1.75 | | | 41 | 551 | 583 | 444 | 202 | 43 | 10 | 4 | | | 1 | | 1 | | | | 1 | 1,881 |
| 1.75—2.00 | | | 18 | 343 | 584 | 345 | 191 | 59 | 14 | 5 | 1 | | | 1 | | | | | | 1,561 |
| 2.00—2.50 | | 13 | 59 | 232 | 871 | 786 | 383 | 135 | 25 | 5 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2,528 |
| 2.50—3.00 | | 8 | 12 | 102 | 399 | 647 | 325 | 141 | 37 | 6 | 6 | | | | | | | | 1 | 1,684 |
| 3.00—3.50 | | 2 | 9 | 27 | 113 | 463 | 295 | 137 | 44 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | 1,099 |
| 3.50—4.00 | | 1 | 3 | 5 | 20 | 203 | 318 | 143 | 53 | 14 | 1 | 2 | 1 | | | | | | | 765 |
| 4.00—4.50 | | 1 | 2 | 1 | 5 | 31 | 218 | 145 | 48 | 22 | 5 | | | | | | | | | 478 |
| 4.50—5.00 | | | 1 | 3 | 3 | 5 | 69 | 125 | 42 | 21 | 3 | | 1 | | | | | | | 273 |
| 5.00—5.50 | | | | 1 | | | 14 | 66 | 41 | 17 | 4 | | | 1 | | | | | | 144 |
| 5.50—6.00 | | | | | | | 3 | 27 | 45 | 31 | 7 | | | | 2 | | | | | 155 |
| 6.00—6.50 | | | 1 | 2 | 1 | | | 3 | 18 | 29 | 4 | 3 | | | | | | | | 60 |
| 6.50—7.00 | | | | | 1 | | | | 3 | 9 | 5 | 2 | | | | | | | | 21 |
| 7.00—7.50 | | | | | | | | | 2 | 11 | 17 | | | | | | | | | 25 |
| 7.50—8.00 | | | | 1 | | | | | 2 | 5 | 2 | 1 | | | | | | | | 25 |
| 8.00—8.50 | | | | | | | | | | 2 | 1 | | | | | | | | | 5 |
| 8.50—9.00 | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 3 |
| 9.00—9.50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.50—10.0 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 10.0—(m) | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 4 |
| 周期の計 | 6,319 | 2,469 | 5,580 | 6,923 | 7,390 | 5,390 | 2,785 | 1,237 | 465 | 235 | 96 | 30 | 26 | 16 | 14 | 10 | 6 | 5 | 56 | 39,052 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 総計 |

観測場所 金沢港　　45.1.1～53.12.31 (3,287日)

| 波高＼波周期 | 0—3 | 3—4 | 4—5 | 5—6 | 6—7 | 7—8 | 8—9 | 9—10 | 10—11 | 11—12 | 12—13 | 13—14 | 14—15 | 15—16 | 16—17 | 17—18 | 18—19 | 19—20 | 20秒 | 波高の計 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.00—0.25 | 573 | 1,325 | 876 | 162 | 17 | 5 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | 2,961 |
| 0.25—0.50 | 225 | 2,013 | 2,235 | 1,153 | 202 | 23 | 6 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | 5,859 |
| 0.50—0.75 | | 680 | 1,384 | 1,545 | 578 | 56 | 8 | 3 | | | | | | | | | | | | 4,254 |
| 0.75—1.00 | 1 | 164 | 738 | 1,287 | 857 | 186 | 15 | 4 | | | | | | | | | | | 1 | 3,253 |
| 1.00—1.25 | | 11 | 362 | 739 | 850 | 356 | 30 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 2,350 |
| 1.25—1.50 | | 3 | 128 | 464 | 717 | 505 | 52 | 3 | | | | | | | 1 | | | | | 1,873 |
| 1.50—1.75 | | | 25 | 244 | 515 | 506 | 136 | 8 | | | | | | | | | | | | 1,434 |
| 1.75—2.00 | | 1 | 6 | 132 | 355 | 517 | 185 | 5 | | | | | | | | | | | | 1,201 |
| 2.00—2.50 | | | | 102 | 502 | 776 | 448 | 65 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1,895 |
| 2.50—3.00 | | | | 5 | 199 | 517 | 376 | 91 | 6 | 3 | | | | | | | | | | 1,197 |
| 3.00—3.50 | | | 1 | 1 | 24 | 278 | 373 | 129 | 18 | 2 | | 1 | | | | | | | | 827 |
| 3.50—4.00 | | | | | 1 | 75 | 273 | 125 | 30 | 5 | 1 | | | | | | | | | 510 |
| 4.00—4.50 | | | | | 1 | 16 | 138 | 151 | 47 | 16 | 8 | | 1 | | | | 1 | | | 380 |
| 4.50—5.00 | | | | | | | 39 | 87 | 57 | 15 | 6 | 7 | 1 | | | 1 | | 1 | | 213 |
| 5.00—5.50 | | | | | | 1 | 8 | 40 | 46 | 16 | 3 | | | | 1 | | 1 | | | 116 |
| 5.50—6.00 | | | | | | | 4 | 13 | 34 | 12 | 3 | 1 | | | | | | | | 67 |
| 6.00—6.50 | | | | | | | 3 | 3 | 7 | 4 | 4 | 2 | | | | | | | | 23 |
| 6.50—7.00 | | | | | | | | 4 | 2 | 5 | 1 | | | | 1 | | | | | 13 |
| 7.00—7.50 | | | | | | | | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | 4 |
| 7.50—8.00 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 8.00—8.50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.50—9.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.00—9.50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.50—10.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.0—(m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 周期の計 | 800 | 4,197 | 5,755 | 5,834 | 4,818 | 3,817 | 2,095 | 735 | 250 | 82 | 26 | 11 | 2 | | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 28,431 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 総計 |



NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



**表A3.2** 縦曲げモーメントの比較[13)]

| 船名 | | | A 丸 | B 丸 | C 丸 |
|---|---|---|---|---|---|
| $L\times B\times D$ (m) | | | 18.4×4.5×2.0 | 24.5×5.4×2.3 | 26.5×5.5×2.4 |
| FRP漁船 研究会報告書 | $M_s$ | (t−m) | 35.5 | 51.8 | 90.6 |
| | $M_w(H_w=L/10)$ | (t−m) | 35.3 | 101.8 | 162.8 |
| | $M_{max}$ | (t−m) | 70.8 | 153.6 | 253.4 |
| $M_w$[1)] | | (t−m) | 49.8 | 116.3 | 163.3 |
| $M_{max}$[2)] | | (t−m) | 88.6 | 207.4 | 290.7 |
| $Z_{req}$[3)] | | ($\times10^3$cm$^3$) | 82.3 | 182.0 | 234.0 |
| $M_{max}/Z_{req}$ | | (kg/mm$^2$) | 1.08 | 1.14 | 1.24 |

注) 1) $M_w=0.14(0.0046L+0.30)L^2BC_b(1+0.04L/B)$ (A3.5)式
2) $M_{max}=1.78M_w$ (A3.4)式
3) $Z_{req}=(0.4L+36)L^2B(C_b+0.7)$ (改正された要求値)

漁船の縦強度計算結果と比較してみた．FRF 漁船研究会の報告書では，5隻の FRP 漁船に対し，静水中縦曲げモーメント並びに波高が $L/20$，$L/15$ 及び $L/10$ の場合の静的な縦曲げモーメントを計算している．このうちデータの明らかな3隻について，前述の計算結果と比較したものが**表A 3.2**である．

この表より，$M_w$ については，波高を $L/10$ とした場合の計算値と (A3.5) 式による計算値とは，ほぼ一致していると考えられる．全縦曲げモーメントについては，(A3.4) 式による値は，若干大きいようであるが，$M_s$ に関するデータがほとんど無い現状では，安全側にとっておく必要があると考えられる．

**(2) 船体横断面係数**

昭和52年以降，特殊基準を適用して建造された FRP 船33隻について，前述の (A3.4) 式及び (A3.5) 式を用いて，波浪縦曲げモーメント及び全縦曲げモーメントを計算した結果を，**表A 3.3** (次ページ)に示す．同表には参考のため，$WL/20$ 又は $WL/25$ の値も示したが，これらの値は，かなり小さくなっている．

船体の断面係数を

$$Z=CL^2B(C_b+0.7) \qquad \text{(A3.6)}$$

で表し，許容応力を $\sigma_a$ とすれば，次式のようになる．

$$M_{max}=Z\sigma_a=CL^2B(C_b+0.7)\sigma_a$$

したがって，

$$C=\frac{M_{max}}{L^2B(C_b+0.7)\sigma_a} \qquad \text{(A3.7)}$$

また，実際に積層された FRP 板の引張り強さが10 kg/mm$^2$ より大きい場合は，引張り強さ $\sigma_T$ に応じて，断面係数が修正されるので，**表A 3.3** の各船の実際の $\sigma_T$ を用いて $\sigma_a$ を

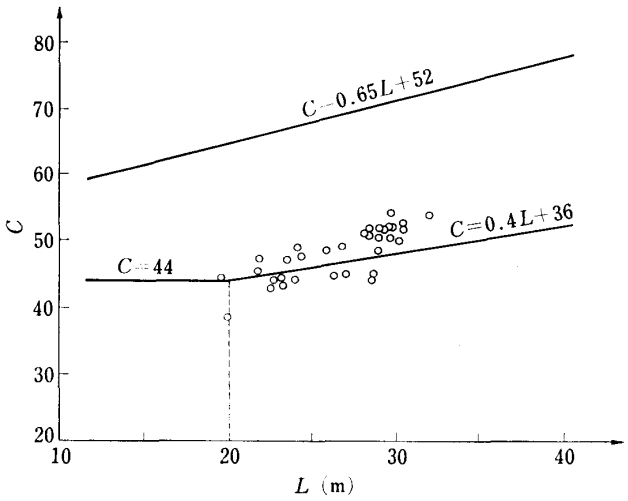
$$\sigma_a\times\frac{\sigma_T}{10}$$

と修正することとし，$\sigma_a$=1kg/mm$^2$ とすると，$C$ の値は，**表A 3.3** 及び **図A 3.5** に示すようになる．**図A 3.5** より，平均的な $C$ の値を表す算式として次式を考えた．

$$C=0.4L+36 \qquad \text{(A3.8)}$$

ただし，$L$ が20 m 以下では $C$=44 とした．

(A3.8)式は，許容応力を1 kg/mm$^2$ ($\sigma_T$=10kg/mm$^2$ の場合) としてあるが，**図A 3.5** からも分かるように多少のばらつきがあり，$M_{max}$ に対する応力が0.9〜1.15 kg/mm$^2$ の範囲にある．




**図A3.5** Cの値[13)]



NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



表A3.3　FRP 船の縦曲げモーメント[13)]

| 船　名 | $L \times B \times D$ (m)　(m)　(m) | $M_w$ (t−m) | $M_{max}$ (t−m) | $\frac{WL}{20}$ or $\frac{WL}{25}$ (t−m) | $C$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 19.47×4.02×1.95 | 60.18 | 107.12 | 61.12 | 44.85 |
| 2 | 19.97×4.23×1.87 | 57.11 | 101.66 | 52.88 | 38.03 |
| 3 | 21.65×4.45×1.78 | 88.58 | 157.67 | 79.55 | 47.19 |
| 4 | 21.75×4.05×1.64 | 74.58 | 132.75 | 53.98 | 45.39 |
| 5 | 22.49×5.58×1.99 | 102.93 | 183.22 | 100.12 | 43.08 |
| 6 | 22.52×5.60×2.03 | 101.33 | 180.37 | 101.20 | 42.51 |
| 7 | 22.56×4.57×1.86 | 86.41 | 153.81 | 71.04 | 44.13 |
| 8 | 22.80×4.26×2.17 | 91.30 | 162.51 | 80.64 | 44.42 |
| 9 | 23.05×5.54×1.90 | 109.00 | 194.02 | 92.25 | 43.67 |
| 10 | 23.42×5.23×2.20 | 120.87 | 215.15 | 129.36 | 47.14 |
| 11 | 23.78×4.41×2.22 | 93.21 | 165.91 | 92.76 | 44.63 |
| 12 | 23.91×5.23×2.33 | 132.80 | 236.38 | 153.36 | 48.99 |
| 13 | 24.05×5.23×2.19 | 128.40 | 228.55 | 139.68 | 47.55 |
| 14 | 25.55×5.47×2.38 | 153.98 | 274.08 | 182.08 | 48.42 |
| 15 | 26.21×5.53×2.35 | 161.66 | 287.75 | 231.10 | 44.54 |
| 16 | 26.45×5.45×2.33 | 166.89 | 297.06 | 192.68 | 49.14 |
| 17 | 26.74×5.48×2.34 | 167.56 | 290.26 | 227.37 | 44.90 |
| 18 | 27.98×5.64×2.37 | 207.26 | 368.92 | 214.08 | 51.46 |
| 19 | 28.11×5.56×2.55 | 201.06 | 357.88 | 244.01 | 50.93 |
| 20 | 28.13×5.86×2.45 | 223.06 | 397.05 | 259.95 | 52.06 |
| 21 | 28.51×6.14×2.34 | 211.53 | 376.52 | 236.30 | 44.92 |
| 22 | 28.63×5.54×2.67 | 218.52 | 388.97 | 239.91 | 48.53 |
| 23 | 28.64×5.61×2.48 | 210.27 | 374.28 | 246.78 | 51.01 |
| 24 | 28.72×5.76×2.37 | 255.63 | 455.02 | 257.54 | 52.00 |
| 25 | 29.05×5.56×2.44 | 219.92 | 391.46 | 251.46 | 51.93 |
| 26 | 29.17×5.97×2.74 | 235.65 | 419.46 | 311.25 | 51.43 |
| 27 | 29.39×6.07×2.52 | 252.68 | 449.77 | 313.86 | 52.45 |
| 28 | 29.39×6.16×2.46 | 273.96 | 487.65 | 324.80 | 54.18 |
| 29 | 29.43×5.86×2.59 | 242.79 | 432.17 | 298.45 | 52.42 |
| 30 | 29.95×5.81×2.45 | 219.46 | 390.64 | 300.32 | 49.19 |
| 31 | 30.13×5.97×2.74 | 271.41 | 483.11 | 354.38 | 53.86 |
| 32 | 30.14×5.86×2.45 | 252.87 | 450.11 | 284.28 | 52.51 |
| 33 | 31.83×5.97×2.75 | 298.51 | 531.35 | 357.27 | 54.19 |

なお，今回の縦強度規定の改正により，表面上は強度基準が引き下げられたようになっているが，実際には，縦曲げ試験が廃止され，必ず計算上の断面係数が要求値を満足しなければならないので，従来通りの構造寸法を維持する必要のあることに注意すべきである．



NII-Electronic Library Service

NIPPON KAIJI KYOKAI (ClassNK)



## 〔付録A 4〕 7.3.3 サンドイッチ構造の外板

### (1) 曲げ強度上の要求板厚

曲げ強度上のサンドイッチ板の全厚の要求値は，(A 2.1) 式によって規定される．

$$T>C_2 t_{FRP} \qquad (A4.1)$$

ここで，$C_2=\dfrac{1}{\sqrt{f_1}}$

サンドイッチ板の実績より，$\alpha=0.8$ 及び 1.0，$\beta=0.2$～1.0 (0.1刻み) の $1/\sqrt{f_1}(C_2)$ の値を表にした (**表 A 4.1** 参照)．

### (2) 剪断強度上の要求板厚

「FRP 船におけるサンドイッチ構造について」[12] によると，剪断強度上のサンドイッチ板の全厚の要求値は，次式により与えられる．

$$T>\frac{wS}{\tau_a}f_2 \qquad (A4.2)$$

ここで，$f_2=\dfrac{1+\beta}{2+\beta}$

$w$ は，単位面積当たりの荷重

$S$ は，肋骨の心距

上式で，外板の荷重を $d+0.026L$，安全率を 4 とし，$C_3=4\times f_2$ を $\beta=0.2$～1.0 (0.1刻み) の範囲で表に示した (**表 A 4.1** 参照)．

### (3) 心材の圧縮強度上の要求板厚

「FRP 船におけるサンドイッチ構造について」[12] によると，心材が圧縮によって破壊しないためには，

$$\sigma_c>\frac{PS}{2}\sqrt[4]{3\frac{E_c}{E_f}\cdot\frac{1}{t^3 t_c}} \qquad (A4.3)$$

ここで，$\sigma_c$ は，心材の圧縮強さ

$t_c$ は，心材の板厚

$E_c$ は，心材の圧縮弾性係数

$E_f$ は，FRP 積層板の曲げ弾性係数

であることが必要である．上式で安全率を 4 とし，外板の荷重を $d+0.026L$ とすると，FRP 積層板の最小板厚は，次式により与えられる．

$$t_{min}=3.6\sqrt[3]{C_4 S^4(d+0.026L)^4} \qquad (A4.4)$$

ここで，$C_4=\dfrac{1}{t_c}\cdot\dfrac{E_c}{E_f}\left(\dfrac{1}{\sigma_c}\right)^4$

また，FRP 積層板の最小厚さは，MRM (M：チョップマット，R：ロービングクロス) の厚さが 2.4 mm 程度になることより，2.4 mm とした．

**表A4.1** $C_2$ 及び $C_3$ の値

| $\beta$ | | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_2$ | $\alpha=0.8$ | 1.62 | 1.42 | 1.31 | 1.24 | 1.20 | 1.16 | 1.14 | 1.12 | 1.10 |
| | $\alpha=1.0$ | 1.54 | 1.36 | 1.25 | 1.19 | 1.15 | 1.12 | 1.10 | 1.08 | 1.07 |
| $C_3$ | | 2.18 | 2.26 | 2.33 | 2.40 | 2.46 | 2.52 | 2.57 | 2.62 | 2.67 |



NII-Electronic Library Service