

小型船舶の船体構造用材料(FRP 積層構成)に関する
調査研究報告書

令和元年9月

日本小型船舶検査機構

「小型船舶の船体構造用材料(FRP 積層構成)に関する調査研究報告書」

目 次

1	調査研究の目的及び実施方法	1
1.1	調査研究の目的	1
1.2	調査研究の内容及び実施方法	1
1.3	委員会等について	1
2	検討の背景と問題点等	4
2.1	検討の背景	4
2.2	現行基準の問題点	6
2.3	検討を要する事項	8
3	クロスの使用割合に代わる部材強度の確保の方法	13
3.1	クロスの使用割合に代わる部材強度の確保の方法に対する妥当性の評価	13
3.2	調査の方法	13
3.3	調査結果	13
4	FRP 製の船舶の船体強度の確認方法の見直し	15
4.1	見直しの方向性	15
4.2	板厚計測による強度確認法の考え方	16
4.3	FRP 製の船舶の板厚計測による強度確認の見直し案	22
4.4	長さ 15m 未満の輸入プレジャーボートの検査への影響調査	25
5	簡易な強度確認の方法の対象拡大について	26
5.1	長さ 15m を閾値とした経緯の調査	26
5.2	FRP 製の船舶の強度の確認方法の対象拡大の必要性	26
5.3	対象拡大に係るバックデータ	26
6	サンドイッチ構造における内層板の板厚の考慮	29
6.1	検討方法	29
6.2	調査結果	30
6.3	規定の見直しの方向性	41
7	船体強度の確認基準の見直し(案)	42
7.1	見直しのポイント	42
7.2	FRP 積層板のガラス含有率(質量)に応じた船体強度の確保の基準の見直し(案)	42
7.3	簡易な強度確認の方法の対象の拡大(案)	45
7.4	サンドイッチ構造における内層板の考慮	47
8	今後の課題	48
9	結言	49

参考資料

参考資料 1	51
参考資料 2	64
参考資料 3	68
参考資料 4	71
参考資料 5	76
参考資料 6	77
参考資料 7	86

1 調査研究の目的及び実施方法

1.1 調査研究の目的

FRP製の小型船舶の堪航性を保持する要件として強度及び工作に関する基準が規定されているが、この中で成型方法がハンドレイアップ法の場合には、ロービングクロスを一定の割合で積層することが規定されている。これは現行の基準が、排水量型の大型船や漁船をベースに制定されたFRP船特殊基準を踏襲したものであること、及び同基準制定当時には安定した材料の供給、熟練した技術者や製造環境等が確立していなかった状況であったことなどを考慮し、一定の強度を維持するために必要な要件とされていたものと推察される。そのため現行のロービングクロスの割合の基準は、軽構造のプレジャーボートなどの小型船舶に対しては、比較的安全率の高い要求となっている。さらには、経験の蓄積や技術の進歩を背景に、近年では内部の構造(パネル)の見直しを図ることなどによって船体強度を担保する設計手法が確立されている。かかる状況を背景として、基準の見直しが必要となっていることが指摘されている。

この様な現状にあわせて、今後国内事業者においてデザインの多様化の必要性が増大することも予測されることから、その妨げとなっている当該基準を含む関連規定を見直し、現状の設計技術に見合った技術基準に改正することが必要となっている。

このため、本調査研究において、FRP製の小型船舶の構造設計の現状を踏まえ、ハンドレイアップ法におけるロービングクロスの割合の基準に代わるFRP製の小型船舶の構造強度の確保の方法等について調査を行い、現行規定の改正のための基礎資料を整理した。

1.2 調査研究の内容及び実施方法

「小型船舶の船体構造用材料(FRP積層構成)に関する検討委員会」を設置し、次の調査、研究を行った。

1.3 委員会等について

1.3.1 委員会の構成(委員50音順)

委員長	金原 勲	金沢工業大学 産学連携室 教授
委員	大熊 秀夫	一般財団法人強化プラスチック協会 会員・企画担当
委員	菊池 正和	トーハツ株式会社 技術部 管理課長
委員	櫻井 昭男	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 専門研究員
委員	末森 勝	一般財団法人日本マリン事業協会 技術委員長
委員	田中 義照	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 企画部 研究特命主管
委員	遠山 敏和	一般社団法人海洋水産システム協会 設計部長
委員	掘井 正信	ヤンマー造船株式会社 商品統括部長
委員	山本 茂	ニュージャパンマリン株式会社 大分工場長
オブザーバー	本田 悟	一般財団法人日本マリン事業協会 舟艇技術室長

関係官庁 (代理出席)	石原 典雄 森 孝紘	国土交通省 海事局 安全政策課長 国土交通省 海事局 安全政策課 船舶安全基準室主査
関係官庁 (代理出席)	重富 徹 森吉 直樹	国土交通省 海事局 検査測度課長 国土交通省 海事局 検査測度課 船舶検査官
日本小型船舶検査機構 (以下、事務局)	理事 (同上前任者 業務部 業務部長 (同上前任者 業務部 検査検定課長 業務部 検査検定課長代理 (同上前任者 業務部 検査検定課長代理 業務部 調査役 (同上前任者 調査企画課長 業務部 調査企画課長代理 (同上前任者 業務部 調査企画課	吉田 健 佐伯 誠治) 河野 順 伊藤 真澄) 岡井 功 竹村 洋一郎 伊南 靖尚) 原野 耕輔 松田 俊一 川田 忠宏) 國武 剛一 本多 巧) 金子 知布

1.3.2 委員会等の開催

第1回 委員会

- ① 開催年月日 平成29年8月31日 (木)
- ② 開催場所 日本小型船舶検査機構 第一会議室
- ③ 議事次第
 - (1) 挨拶
 - (2) 委員等の紹介
 - (3) 委員会の目的の説明
 - (4) 検討の背景等の確認
 - (5) 調査の方法

第2回 委員会

- ① 開催年月日 平成30年2月15日 (木)
- ② 開催場所 日本小型船舶検査機構 第一会議室
- ③ 議事次第
 - (1) 前回議事概要確認
 - (2) クロスの使用割合に代わる部材強度の確保の方法について
 - (3) FRP製の船舶の船体強度の確認方法について
 - (4) 簡易な強度確認の方法の対象拡大について
 - (5) 船体強度の確認基準の見直し(案)について

- (6) 真空成形法に係る技術基準の整理
- (7) サンドイッチ構造の考慮について

第3回 委員会

- ① 開催年月日 平成30年6月22日（金）
- ② 開催場所 日本小型船舶検査機構 第一会議室
- ③ 議事次第
 - (1) 前回議事概要確認
 - (2) 船体強度の確認基準の見直し(案)について
 - (3) サンドイッチ構造の内層板の考慮について
 - (4) 今後の課題
 - (5) 報告書の骨子(案)について

第4回 委員会

- ① 開催年月日 平成31年1月22日（火）
- ② 開催場所 日本小型船舶検査機構 第一会議室
- ③ 議事次第
 - (1) 前回議事概要確認
 - (2) 報告書(案)について
 - (3) その他

2 検討の背景と問題点等

2.1 検討の背景

(1) ロービングクロスの使用割合に関する基準

FRP 製の小型船舶の製造においてハンドレイアップ法により施工する場合は、小型船舶安全規則に関する細則付属書[3]強化プラスチック船(FRP 船)暫定基準(以下「FRP 暫定基準」という。)に基づき、ロービングクロス(以下「クロス」という。)の使用割合をガラス総質量の25%~65%としなければならない。

現行の FRP 暫定基準は、昭和 52 年に小型船舶安全規則に関する細則(以下「細則」という。)に「付属書 6 強化プラスチック船(FRP 船)基準」として追加(昭和 52 年 12 月 19 日付検機検第 121 号)されたものを起源とし、その後の幾度かの改正を経て現在に至る。この FRP 暫定基準の原形となった強化プラスチック船(FRP 船)基準は、当時の運輸省(現国土交通省)通達(昭和 52 年 3 月 12 日付船査第 123 号)による「強化プラスチック船(FRP 船)特殊基準」に基づき制定されたもので、クロスの使用割合に関する基準(ガラス総質量の 25%~65%)は当時からのものである。

(2) 積層構成の硬直性

強化プラスチック船(FRP 船)基準が細則に追加された昭和 52 年当時の主な FRP の積層構成は、主要材料をガラス繊維基材とする場合、チョップストランドマット(M)(以下「マット」という。)とクロス(R)を 1 対 1 で重ねる(MR)の積層構成を 1 単位として積層する(MR)×n の工法が推奨されていた(注)。

一般にクロスは、マットよりガラス含有率(質量)が多く機械特性に優れる。一方、ガラス繊維を縦横に編みこんだクロスは樹脂を浸透させて硬化させた際に表面に凹凸が残る。そのため、FRP 船の製造者の多くは積層表面の見映えを良くするようマットを追加的に積層して凹凸を解消させる。しかしながら、この積層表面の見映えを良くするためのマットの追加は、相対的にクロスの使用割合を低下させることになる。

近年の FRP 製の小型船舶の部材の積層構成は、主に①船舶の高速化・高出力化に対応する部材強度の確保、②環境(燃費)性能の向上を目的とする艇体の軽量化、③デザイン性(見映え)の向上及び④材料・積層作業費用の軽減の 4 つの要素を総合的に勘案することにより決定される。言い換えれば、FRP 製の小型船舶の部材の積層構成は、これら 4 つの要素を究極に追求することにより決定されることが理想である。しかし、現行の FRP 暫定基準のクロスの使用割合の制限により、マット層のみを追加して部材強度の増加を図ることができない点で積層構成が制限され、積層構成が硬直化している状況にある。事実、FRP 暫定基準の原形が策定されてから 40 年経った現在でも、FRP 製の小型船舶の部材の積層構成は、昭和 52 年当時の標準的な積層構成(MR)の延長上にあり、船舶の高速化・高出力化に伴う部材の強化の必要性が生じた場合には、当時の積層構成にマット(M)とクロス(R)を各 1 層ずつ追加するような積層構成にせざるを得ない状況である(表 2.1 及び表 2.2)。

注)「FRP 船建造標準工作法(昭和 57 年 3 月)」,財団法人 日本小型船舶工業会

表 2.1 昭和 50 年代に建造された FRP 製の小型船舶の積層構成

船種	型	長さ	機関出力	船底積層構成	船側積層構成
モーターボート	滑走	5.6m	51kW	G+MRMRM [M:R=3:2]	G+MMRM [M:R=3:1]
モーターボート	滑走	6.2m	51kW	G+MRMRM [M:R=3:2]	G+MMRM [M:R=3:1]
モーターボート	滑走	7.1m	59kW	G+MMRMRM [M:R=2:1]	G+MMRM [M:R=3:1]
漁業取締船	滑走	11.7m	198kW	(MR)×3 [M:R=1:1]	(MR)×3 [M:R=1:1]

モーターボートに関するデータについては、製造者から日本小型船舶検査機構に提供された図書により、漁業取締船に関するデータについては、「新版強化プラスチックボート(昭和 61 年),戸田孝昭」より引用した。

図中 G はゲルコート、M はマット、R はクロスを示す

表 2.2 平成 29 年現在の FRP 製の小型船舶の積層構成

船種	型	長さ	機関出力	船底積層構成	船側積層構成
モーターボート	滑走	5.8m	77kW	G+MMRM +MRMRM [M:R=2:1]	G+M+MRM [M:R=3:1]
モーターボート	滑走	6.2m	85kW	G+(MR)×3 [M:R=1:1]	G+(MR)×3 [M:R=1:1]
モーターボート	滑走	8.8m	144kW	G+MMR+(MR)× 3 [M:R=5:4]	G+MMR+MR [M:R=3:2]
モーターボート	滑走	11.0m	368kW	G+MMR+(MR)× 2+MMR [M:R=3:2]	G+MMR+MR [M:R=3:2]

本データについては、製造者から日本小型船舶検査機構に提供された図書による。

図中 G はゲルコート、M はマット、R はクロスを示す。

(3) 輸入艇で使用されるガラス繊維基材の例

海外で製造される FRP 製の小型船舶の部材の積層構成に関する情報は、設計の根幹に関わることから企業秘密である場合が多く、入手困難である。そうした中、関係者へのヒアリングにより、積層の順序といった積層構成に関する詳細情報までには至らないものの、使用基材等に関する情報を 2 例得ることができた(表 2.3)。

2 例ともクロスを使用しておらず、マットのほか CDM や DBM、BIAX などの NCF (Non Crimp Fabrics) と呼ばれるガラス繊維基材を使用していた。これは長さ 24m 未満の小型船舶の国際的構造基準である ISO12215 における部材の強度の評価が、クロスの使用割合ではなく、基材のガラス含有率(質量)に基づくことに関連しているものと考えられる。

表 2.3 輸入された FRP 製の小型船舶の使用基材

製造者	長さ	機関出力	使用基材
A 社	15.3m	772kW×2	1.5OZMAT 450g/m ² CDM1808 510 g/m ² (0/90)/230 g/m ² (MAT) DBM1708 480 g/m ² (+45/-45)/230 g/m ² (MAT) KL25 発泡体コア 25mm
B 社	22.7m	1324kW×2	MAT300 BIAX 600±45° BIAX 1200 0°/90°

2.2 現行基準の問題点

2.2.1 積層設計の制約

2.1. (2) 章のとおり、近年の FRP 製の小型船舶の部材の積層構成に係る設計においては、主に①船舶の高速化・高出力化に対応する部材強度の確保、②環境(燃費)性能の向上を目的とする艇体の軽量化、③デザイン性(見映え)の向上及び④材料・積層作業費用の軽減が求められる。このうち、①船舶の高速化・高出力化に対応する部材強度の確保、②環境(燃費)性能の向上及び④材料・積層作業費用の軽減を目的とする艇体の軽量化においては、マットよりクロスの方が強度に優れるため、クロスの使用割合を大きくするほど必要強度を得ることができる。そのため、部材の板厚は薄くて済み、艇体全体の重量が減少し、環境性能(燃費)も向上する。しかしながら、これに③デザイン性(見映え)の向上の要素を加えると、クロスの凹凸の解消のためにマットを追加的に積層する必要が生じる。同時に、現行の FRP 暫定基準のクロスの使用割合の基準(ガラス総質量の 25%~65%)を満たす必要がある。

事実、FRP 船の製造者にとっては、現行の FRP 暫定基準のクロスの使用割合の基準(ガラス総質量の 25%~65%)を満たすため、部材を補強する際にマットのみの積層で済ませたいところ、やむを得ずクロスとマットの積層を余儀なくされる場合も見受けられる(図 2.1 の B 及び B')。こうした必要以上の積層は、製造者においては材料費や積層作業費が、船舶の利用者に対しては艇体重量の増加に伴う燃費の低下や製造費の増加に伴う価格の上昇などが負担となる。また、輸入艇との国際競争が激しい国内の FRP 製の小型船舶の製造業界において、クロスの使用割合の制限が足枷となっている可能性も否めない。

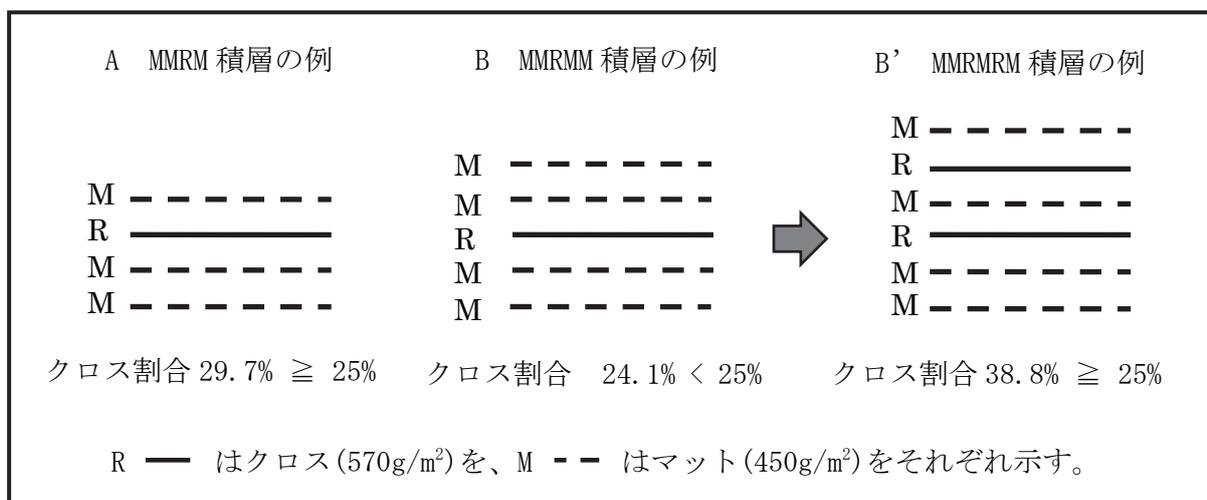


図 2.1 クロス R・マット M の積層構成とロービングクロスの使用割合の関係の例

2.2.2 ハンドレイアップ法以外の成形方法における基準

現行の FRP 暫定基準において、スプレーアップ法又は真空成形法により小型船舶を製造する場合のクロスの使用割合に係る明確な基準はない。従って、こうした船舶の構造評価について、現行はハンドレイアップ法の基準を参考に、個船ごとに対応しているところである。

このような事情から、スプレーアップ法又は真空成形法により製造された小型船舶の構造評価方法の合理化・統一化の観点から、成形の方法によらない統一的な構造強度の確保の基準が望まれる。また、主に真空成形法に用いられるガラス繊維 NCF (Non Crimp Fabrics) は、現在のところ製造する国内メーカーはほとんどなく入手が困難であるが、早晚こうしたガラス基材を使用した FRP 船の出現も想定されることから、基準の整備を行う必要が生じている。

2.2.3 サンドイッチ構造の板厚及び心材の評価基準と問題点

(1) サンドイッチ構造の板厚及び心材の評価基準

現行のサンドイッチ構造の板厚計測による強度確認に係る基準において使用する板厚の値に関しては、以下のとおり取り扱うことが規定されている。

- ・ FRP 内外皮それぞれの板厚の合計値に、縦強度に寄与すると認められる心材の板厚を加えた値とする。
- ・ 木材製心材は、その板厚に当該木材と FRP 積層板との引張り弾性係数の比を乗じて算定する。
- ・ バルサ材及び硬質プラスチック発泡体は、板厚に算入しない。
- ・ 内層版の厚さは外層版の厚みの 0.8 倍以上であること。
- ・ 心材の厚さは 25mm を超えないこと。

本基準は、平成 3 年 3 月 14 日付検機検第 96 号「FRP サンドイッチ構造の外板及び甲板の板厚の取り扱いについて」により追加された。本基準は、FRP 漁船のうち縦曲げ試験には合格するが、板厚計測による強度確認の式を満足しないものがあつたため、サンドイッチ構造の心材の板厚を考慮できるようにしたものである。

(2) 問題点

① 内層版の厚さに係る規定

上記(1)で示したサンドイッチ構造の成形に係る基準である、「内皮(内層版)の厚さを外皮の厚さの 0.8 倍以上とすること」の目的は、当該サンドイッチ構造の積層板を一体の板とみなして簡易式によって強度評価するためと思料されるが、「強度評価においては内層版と外層版の板厚のバランスにかかわらず合計値によって評価されるものとするため、当該基準を見直す必要がある。」との指摘を受けている。

② 心材の厚さに係る規定

サンドイッチ構造の基準として、「心材の厚さは 25mm を超えないこと。」について、輸入の大型プレジャーボートでは心材が 35mm を超えるものも近年確認されており、深さに比べて心材の厚さの制限値が相対的に過小ではないかとの指摘がある。

2.3 検討を要する事項

2.3.1 クロスの使用割合に代わる部材強度の確保の方法の検討

(1) クロスの使用割合とガラス含有率(質量)の機械特性の相関性

ISO12215-5 は、基材の種類や成型方法に応じてガラス含有率(質量)を特定し、このガラス含有率(質量)により板厚や機械特性を決定・評価する。これに着目し、クロスの使用割合とガラス含有率(質量)に応じた機械特性の相関を調査したところ、機械特性との相関(R^2 値)はガラス含有率(質量)の方がクロス使用割合を若干上回るも双方とも相関(R^2 値)が大きいことが分かった(図 2.1~2.4)。機械特性との相関が双方近似した傾向を示した理由は、クロス使用割合とガラス含有率(質量)が直線関係にあるためであると考えられる(図 2.5)。

これらから FRP 積層部材の機械特性は、クロスの使用割合またはガラス含有率(質量)から凡その推定が可能であると考えられる。

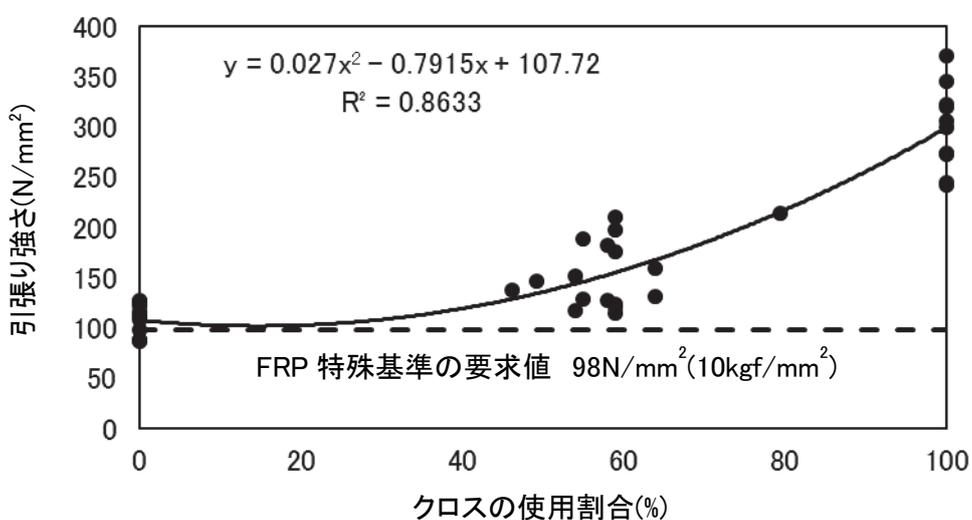


図 2.1 クロスの使用割合と引張り強さ

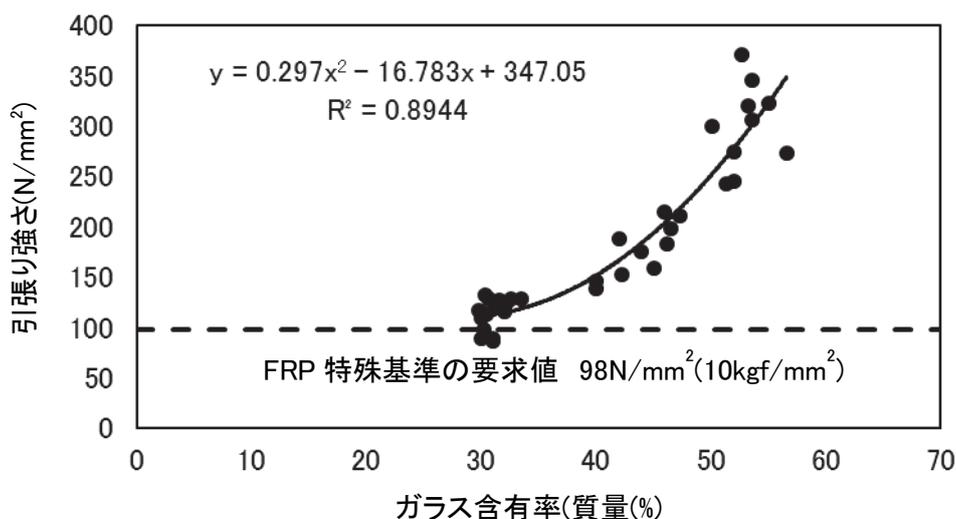


図 2.2 ガラス含有率と引張り強さ強さ

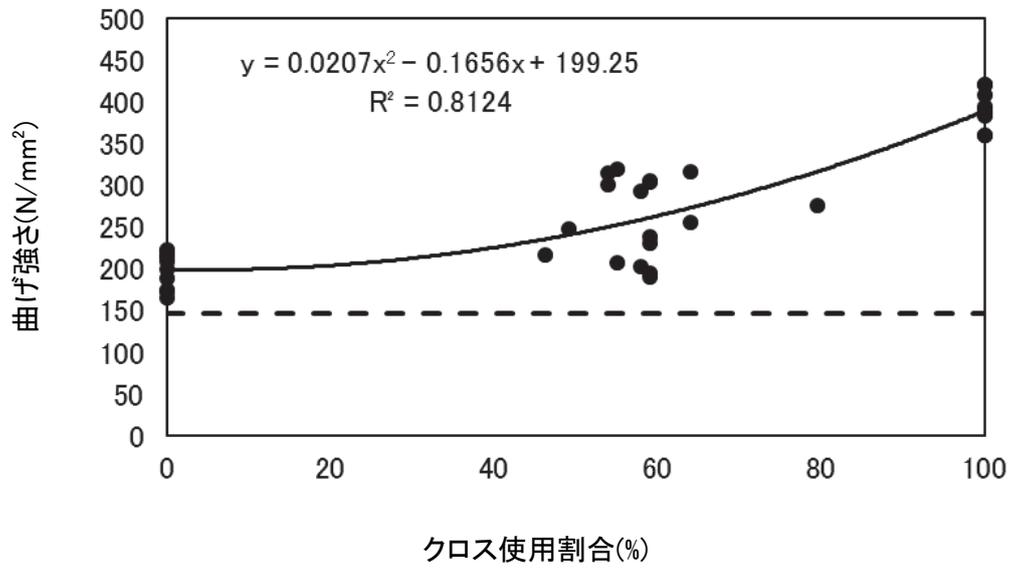


図 2.3 クロスの使用割合と曲げ強さ

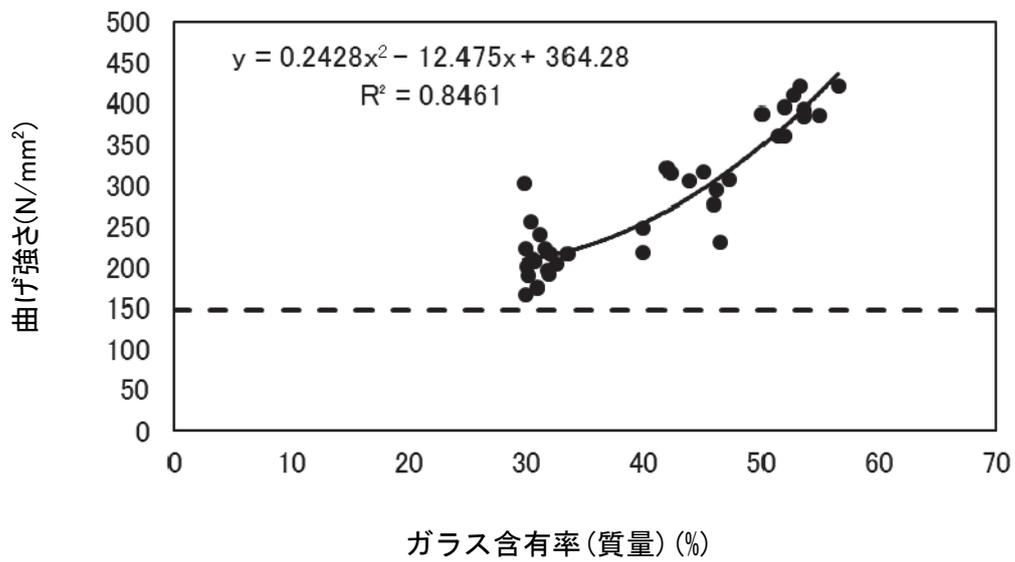


図 2.4 ガラス含有率と曲げ強さ

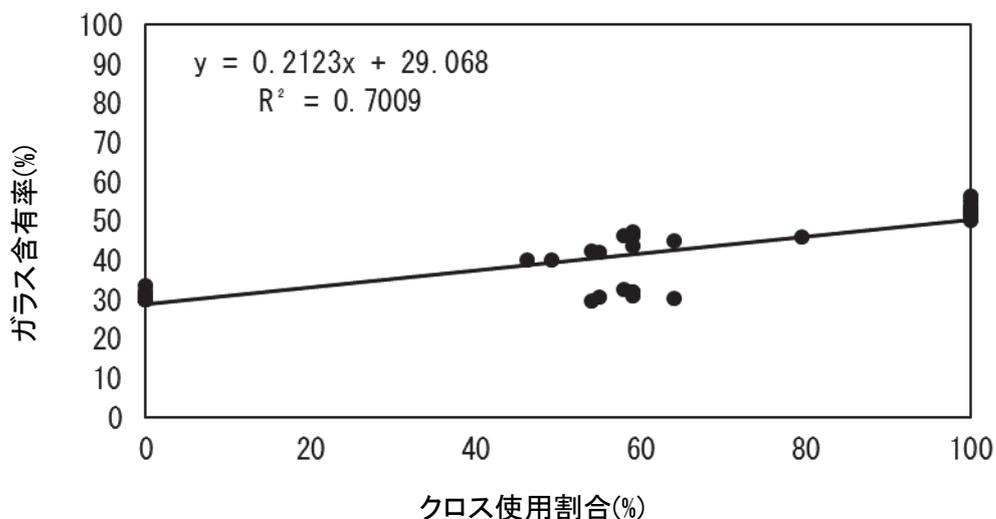


図 2.5 クロス使用割合とガラス含有率

※ 図 2.1～図 2.5 は「FRP データ集(その 1)」ニッポー(S49.11)、「FRP に関する調査研究報告書」JCI(H6.7)、「小型船舶用新素材に関する調査研究報告書」JCI(H6.3)に基づき作成

(2) クロスの使用割合に代わる部材強度の確保の方法の方向性

先に述べたとおり、現行のクロスの使用割合の基準の目的は必要な部材強度を確保するためであると推定されるが、他方で、FRP 船の積層構成を制約するものであるため、設計の自由度の向上の観点からこの基準に代わる部材強度の確保の方法について検討を要する。

上記(1)に示したとおり FRP の強度はガラス含有率(質量)と強い相関を持つ。実際、既に ISO12215-5 ではガラス含有率(質量)を基に FRP の強度を算定する方法を取り入れている。現行のクロスの使用割合の基準は、ガラス含有率(質量)を一定以上に保つことで必要な部材強度の確保を図るものと推定されることから、現行のクロス使用割合の基準は、ISO12215-5 のようなガラス含有率(質量)に基づく基準に代えることが可能であると考え。これにより、クロスを使用しない場合、例えばスプレーアップ法による場合や真空成形法用の NCF(Non Crimp Fabrics)を使用した場合でも対応が可能となる。

2.3.2 FRP 製の船舶の構造強度の確認方法の見直し

現行の FRP 製の船舶の構造強度の確認方法は、特に長さ 15m 未満の FRP 製の船舶の場合、曲げ応力 M に対する断面係数 Z と許容応力(部材強度) σ の関係 $M \leq Z\sigma$ が成立することを確認するものである。また、許容応力(部材強度) σ は引張り強さが 98N/mm^2 を前提とし、引張り強さが 98N/mm^2 を上回る場合には、修正係数により断面係数 Z を $M \leq Z\sigma$ が成立する範囲で小さくすることが出来る。この修正係数を使用する方法は、引張り強さが 98N/mm^2 を上回る場合のみならず、引張り強さが 98N/mm^2 を下回る場合にも $M \leq Z\sigma$ が成立する範囲で適用可能であると考え。

本調査研究事業に先立ち、FRP 船の製造者に対してクロスの使用割合の基準を見直した場合に想定される積層構成についてヒアリングしたところ、部位によってはマットのみの積層もありうるとの回答を得た。しかしながら、マットのみの積層では、FRP 製の船舶の構造強度の確認方法の前提である引張り強さが 98N/mm^2 を下回る可能性があるため、このような積層構

成を認めるためには引張り強さが 98N/mm^2 を下回る場合でも $M \leq Z\sigma$ が成立する範囲で断面係数を大きくすることで対応可能となるよう、現行の FRP 製の船舶の構造強度の確認方法を見直す必要がある。

2.3.3 FRP 製の船舶の板厚計測による強度確認の方法の対象拡大の検討

現行の FRP 製の船舶の板厚計測による強度確認の方法は、平成 2 年 7 月 23 日付「登録長さ 15m 未満の FRP 船の構造寸法について」に基づくもので、それまで長さ 15m 未満の FRP 船に対して実施していた縦曲げ試験の代替措置として制定されたものである(表 2.4)。

表 2.4 縦曲げ試験と板厚計測による強度確認の基準の過酷さの比較

	縦曲げ試験(a)	板厚計測による強度確認(b)	比較(過酷さ)
荷重	排水量(満載-軽荷)	排水量(満載-軽荷)	(a)=(b)
荷重の修正	滑走 1.25 非滑走 1.00	滑走 1.25 非滑走 1.00	(a)=(b)
支点間距離	0.6L	0.6L	(a)=(b)
強度メンバー	すべての部材	上甲板及び外板(船底・船側)	(a)<(b)

それまで実施してきた縦曲げ試験の方法は、昭和 43 年 8 月 7 日付け船検第 196 号「強化プラスチック製の検査について」により当時船舶安全法第 5 条の 2(昭和 48 年 9 月 14 日法律 80 号にて削除)の随時検査の対象であった総トン数 20 トン未満(総トン数 5 トン以上の旅客船を除く)の船舶を対象に制定されたものである。この縦曲げ試験の対象は、昭和 52 年に「強化プラスチック船(FRP 船)の特殊基準」が制定された際に、長さ 15m 未満の船舶となったが、当時の小型船舶は長さ 12m 未満の船舶であったことから、もともと当該試験の対象であった総トン数 20 トン未満の船舶の凡その長さであった 15m を閾値としたものと推定される(図 2.6 参照)。

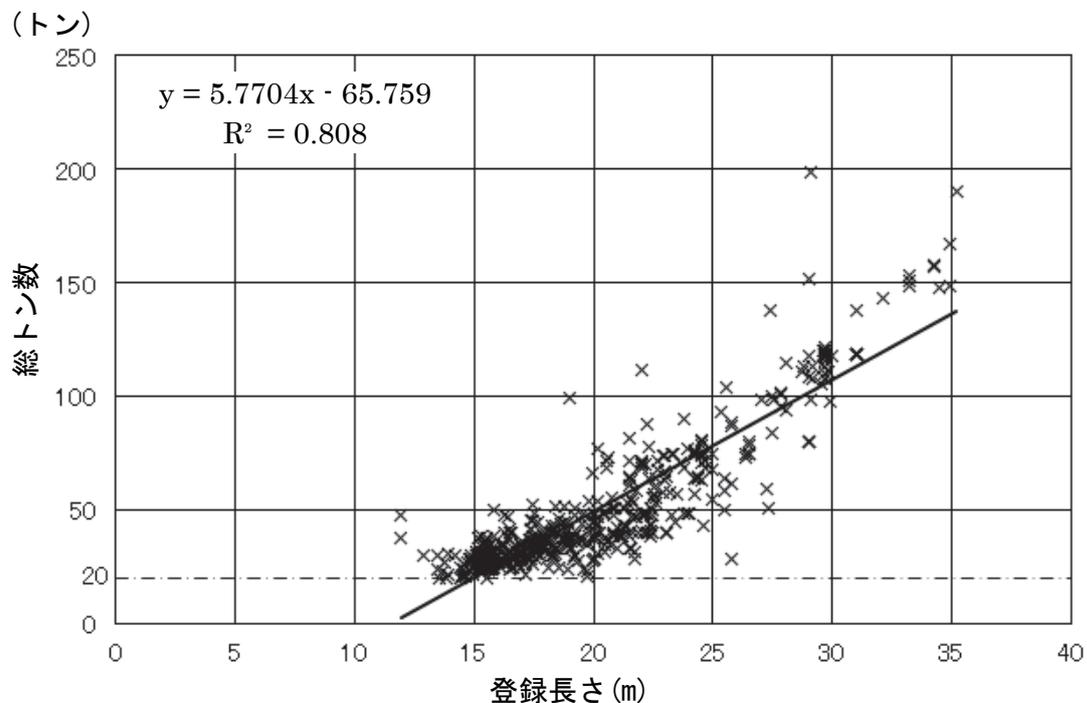


図 2.6 FRP 製の船舶の総トン数(トン)と登録長さ(m)

[国土交通省提供の登録測度データより作成]

平成 15 年の小型船舶安全規則の改正により、総トン数 20 トン以上の長さ 24m 未満のスポーツ又はレクリエーションの用にのみに供する船舶(以下「長さ 24m 未満のプレジャーボート」という。)も同規則の対象となった。こうした長さ 24m 未満のプレジャーボートのうち、特に輸入された長さ 24m 未満のプレジャーボートにあっては、ISO12215 による構造強度の確認ができない場合、外板から試験片を切り出して材料試験を行うことが困難であることから、縦曲げ試験により構造強度を確認する必要がある。小型船舶安全規則が改正された平成 15 年 6 月 1 日から平成 29 年 5 月 31 日現在までの 14 年間に、119 隻の輸入の長さ 24m 未満のプレジャーボートに対して縦曲げ試験を実施したことが確認されており、これまで構造強度の不足を要因とする不具合は皆無であることも確認されている。

これまでの経験(実績)を踏まえると、縦曲げ試験の代替措置として制定された板厚計測による強度確認の方法を、長さ 24m 未満のプレジャーボートに適用させることも可能であると考ええる。また、縦曲げ試験は船体に負荷を加える一種の破壊試験であるため、船舶の所有者は縦曲げ試験より板厚計測による強度確認を好む傾向にある。

以上より、長さ 15m 未満の FRP 製の船舶に限定する板厚計測による強度確認方法の対象に長さ 24m 未満のプレジャーボートを加えることの妥当性を検討する余地は十分にあると言える。

2. 3. 4 サンドイッチ構造における内層板の板厚の考慮

(1) 内層板の厚さに係る規定の見直し

- ① 縦曲げ試験の簡易式を使用するにあたって、シミュレーションによって内層板と外層板の板厚のアンバランスが簡易式の結果に与える影響を調査することによって、現行規定の必要性や規定内容(0.8 倍)の見直しなどについて検討する。
- ② 上記①の結果、内層板と外層板の板厚バランスに関する現行規定が縦曲げ試験の簡易式に与える影響が小さいという結論が得られた場合、板厚の比に代わる何らかの代替基準が必要かについて検討する。

(2) 心材の厚さに係る規定の見直し

心材の厚さを 25mm 以下に抑えることについて、心材の厚さが縦曲げ試験の簡易式に与える影響をシミュレーションすることによって、現状規定の撤廃及び新たな上限値の設定などについて検討する。

3 クロスの使用割合に代わる部材強度の確保の方法

3.1 クロスの使用割合に代わる部材強度の確保の方法に対する妥当性の評価

既に述べたとおり、現行のクロス使用割合の基準は、ISO12215-5 のガラス含有率(質量)に基づく基準に代えることが可能であると考えられることから、ISO12215-5 によるガラス含有率の規定を導入することに対する妥当性の評価を行った。あわせて、クロスを使用しない場合、例えばスプレーアップ法による場合や真空成形法用の NCF (Non Crimp Fabrics) を使用する場合に対しても同様に妥当性の評価を行った。

3.2 調査の方法

ISO12215-5 に基づいたガラス含有率(質量)から求めた引張り強さと引張り試験データの比較については、「小型船舶の構造基準に関する調査研究報告書(平成 18 年 4 月)」において実施され、ガラス含有率から引張り強さを算定する方法の妥当性が検証されている。

しかしながら、当時のデータはスプレーアップ法によりマットのみを積層したものや、真空成形法で用いられる NCF (Non Crimp Fabrics) のデータが無かった。そのため、ガラス含有率(質量)から引張り強さを算定する ISO の方法の妥当性の裏付けをとるべく、国内の試験データを収集し、調査を行った。

3.3 調査結果

図 3.1 はスプレーアップ法によりマットのみを積層した積層板のガラス含有率(質量)と引張り強さを示すもので、図 3.2 は、真空成形法における NCF(Non Crimp Fabrics)のガラス含有率(質量)と引張り強さを示すものである。いずれも試験で得られた引張り強さ(実データ)は、ほとんど ISO12215-5 による算定値を上回っていることが分かる。

以上より、ISO12215-5 の算定式を活用することにより、ガラス含有率(質量)に応じた部材の引張り強さを算定することについて妥当であると考えられる。また、当該算定式により、一定の引張り強さ(98N/mm²)を確保するためのガラス含有率(質量)を求めることも妥当であると考えられる。これらより、現行のクロスの使用割合の基準に代わるものとして、ISO12215-5 に基づくガラス含有率(質量)に応じた部材の引張り強さを算定する方法を利用することができると言える。

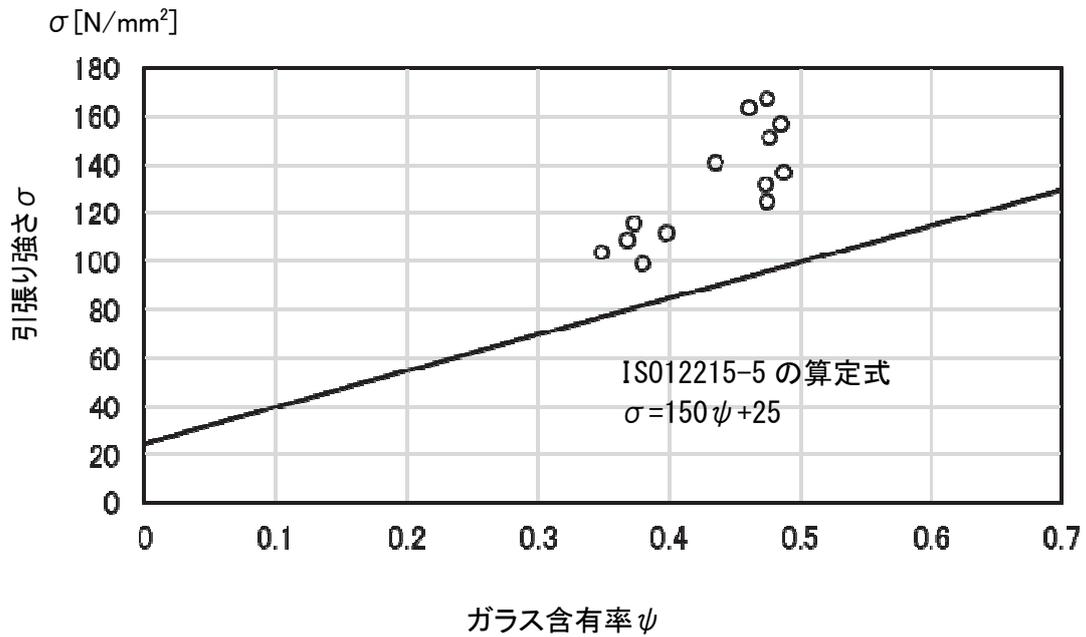


図 3.1 スプレーアップ法によるマットのガラス含有率(質量) ψ と引張り強さ σ

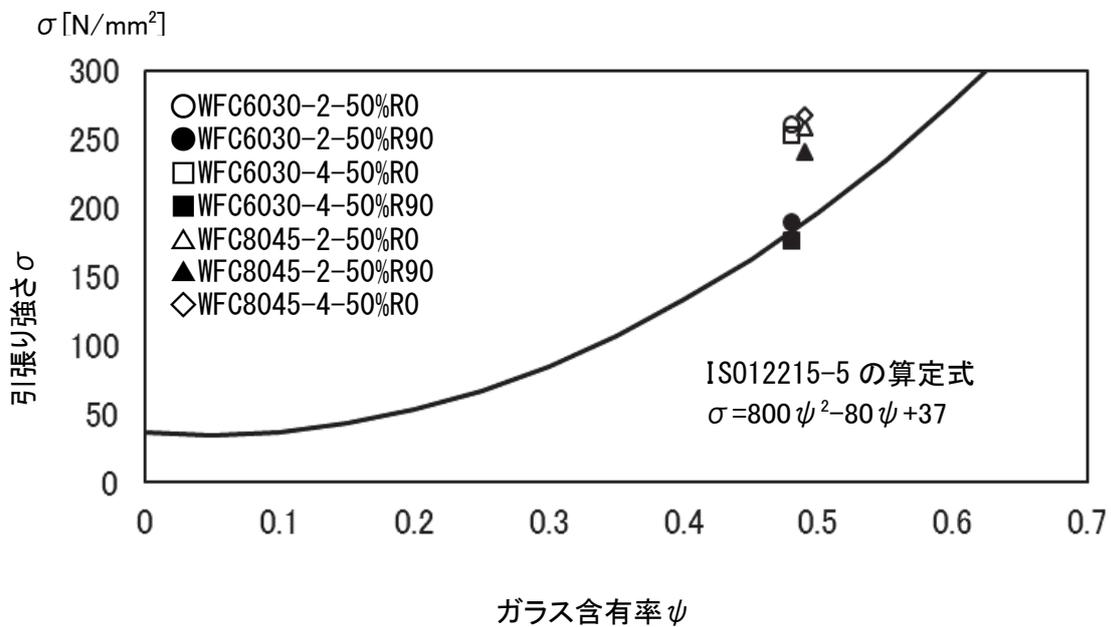


図 3.2 真空成形法による NCF のガラス含有率(質量) ψ と引張り強さ σ

4 FRP 製の船舶の船体強度の確認方法の見直し

4.1 見直しの方向性

現行の FRP 製の船舶の板厚計測による強度確認の方法について、引張り強さ σ が 98N/mm^2 を下回る場合でも $M \leq Z\sigma$ が成立する範囲で断面係数 Z を大きくすることで対応可能であるかについて以下のとおり検討した。

現行基準では、FRP 船体積層板の引張強度 σ_u に対して、

$$\sigma_u \geq 98 \text{ N/mm}^2 \quad (4.1.1)$$

が要求される。このとき、船体が曲げ(設計曲げモーメントを M とする)による損傷を生じないためには、断面係数 Z に対して、

$$Z \geq \frac{M}{98} \cdot \frac{98}{\sigma_u} \quad (4.1.2)$$

を満足する必要がある。これを図示すると、図 4.1 の網掛領域となる。

積層板の引張強度 σ_u に対して (4.1.1) 式を要求しない場合(引張強度 σ_u が 98 N/mm^2 を下回る場合)においても、曲げによる損傷を生じないためには、(4.1.2) 式、すなわち、 $Z \geq M/\sigma_u$ を満足する必要がある(図 4.1 の斜線領域)。この場合に対しては、FRP の積層構成を変えることにより、積層板の引張強度 σ_u が 98 N/mm^2 を下回ることが想定されるが、船体の曲げ強度(断面係数 Z)を確保するためには、積層板の増厚や補強材の追加が必要となるため、船体重量が増す場合もあると想像される。しかしながら、曲げ強度については $Z \geq M/\sigma_u$ を満足すれば問題ない。

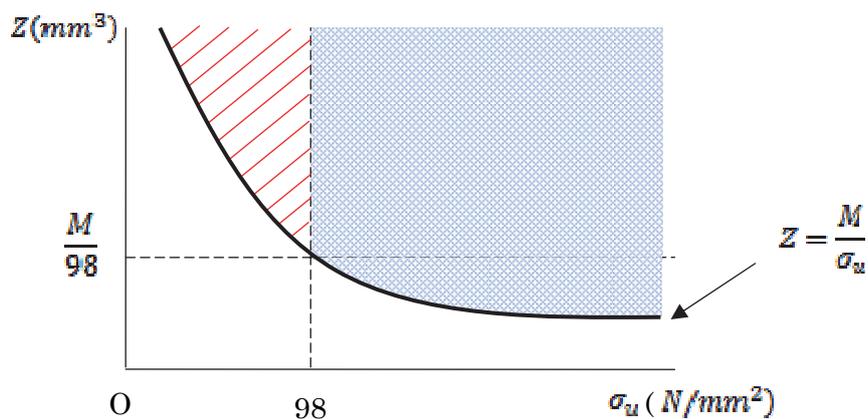


図4.1 積層板の引張強度およびFRP船体の曲げ強度に対する要求値

4.2 板厚計測による強度確認法の考え方

4.2.1 外力(曲げモーメント)

船体には、縦曲げ試験の荷重（滑走艇の場合： $1.25W$ 、非滑走艇の場合： $1.0W$ とする。ここで、 W は満載排水量 [トン；tonf]である）が外力として作用するものとする。ただし、船長を L [mm]、外力が作用する区間の長さを ℓ [mm]とし、 $0.6L < \ell < 1.0L$ であると仮定する。

区間 ℓ 内では荷重が等分布に作用すると仮定すると、等分布荷重 w [kN/mm]は次式で表される。

$$w = a \times 9.8W / \ell \text{ [kN/mm]} \quad (4.2.1)$$

ここに、 a は、滑走艇の場合：1.25、非滑走艇の場合：1.0 である。

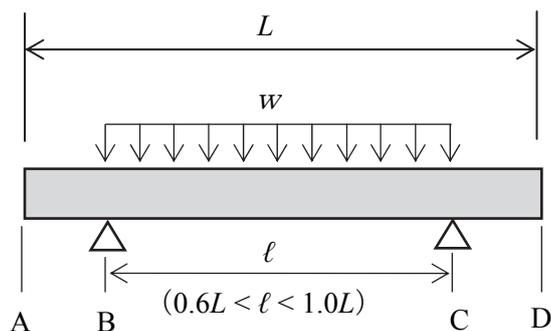


図 4.2

曲げモーメントが最大となる位置を船体中央($\ell / 2$)と仮定すると、最大曲げモーメント M_c は、

$$M_c = w \ell^2 / 8 \text{ [kN} \cdot \text{mm]} \quad (4.2.2)$$

(4.2.1)式および(4.2.2)式より

$$M_z = a \times 9.8W \times \ell/8 \text{ [kN} \cdot \text{mm]} \quad (4.2.3)$$

$\ell = 0.6L$ の場合には、

$$M_z = a \times 9.8W \times 0.6L/8 \text{ [kN} \cdot \text{mm]} \quad (4.2.4)$$

となる。

4.2.2 中央横断面の断面係数

船体を図 4.3 に示す横断面を有する箱船と仮定する。ただし、 B_d 、 D 、 B 、 t_d 、 t_s および t_b は、それぞれ、上甲板の半幅、深さ、幅、上甲板の板厚、船側外板の板厚および船底外板の板厚を表す（単位はすべて[mm]）。この横断面の中性軸 z に対する断面二次モーメントを I [mm^4]、中性軸 z に平行な上甲板の板厚中心軸 z' に対する断面二次モーメントを I' [mm^4] とすると、 I と I' の間には以下の関係がある。

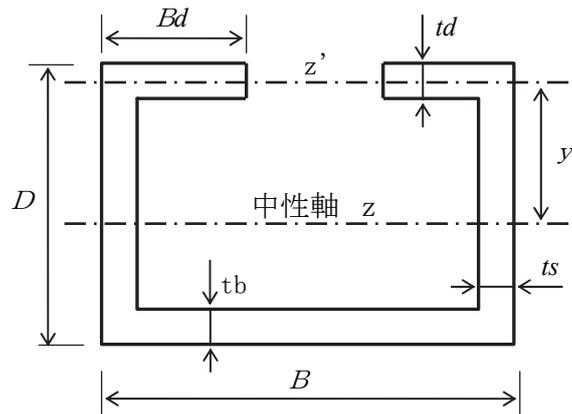


図 4.3

$$I = I' - A \cdot y^2 \quad (4.2.5)$$

ここに、 A は船体断面の断面積[mm^2]、 y は中性軸 z と上甲板の板厚中心軸 z' の間の距離[mm] である。

中性軸 z に対する断面二次モーメント I を直接求めるには式が複雑になるため、まず上甲板の板厚中心軸 z' に対する断面二次モーメント I' を求め、(4.2.5)式の関係より I を求める。

① 断面積： A

$$A = 2 t_d \cdot B_d + 2 t_s \cdot D + t_b \cdot B \quad (4.2.6)$$

② 中性軸 z と上甲板の板厚中心軸 z' の間の距離： y

上甲板の板厚中心軸 z' に対する船体断面の面積モーメントは、

$$A \cdot y = t_b \cdot B \cdot D + 2 t_s \cdot D \cdot (D/2) = D \cdot (t_b \cdot B + t_s \cdot D)$$

したがって、

$$y = \frac{D \cdot (t_b \cdot B + t_s \cdot D)}{A} = D \cdot \frac{t_b \cdot B + t_s \cdot D}{2 t_d \cdot B_d + 2 t_s \cdot D + t_b \cdot B} \quad (4.2.7)$$

また、

$$\begin{aligned} D - y &= D \left(1 - \frac{t_b \cdot B + t_s \cdot D}{2 t_d \cdot B_d + 2 t_s \cdot D + t_b \cdot B} \right) \\ &= D \cdot \frac{2 t_d \cdot B_d + t_s \cdot D}{2 t_d \cdot B_d + 2 t_s \cdot D + t_b \cdot B} \end{aligned} \quad (4.2.8)$$

③ 上甲板の板厚中心軸 z' に対する断面二次モーメント : I'

$$I' = \frac{2 t_s \cdot D^3}{12} + 2 t_s \cdot D \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 + \frac{t_b^3 \cdot B}{12} + t_b \cdot B \cdot D^2 + \frac{2 t_d^3 \cdot B_d}{12}$$

$t_b^3 \cdot B / 12$ 及び $2 t_d^3 \cdot B_d / 12$ を微小として無視すると、上式は以下のように表される。

$$I' = \frac{t_s \cdot D^3}{6} + \frac{t_s \cdot D^3}{2} + t_b \cdot B \cdot D^2 = D^2 \cdot \left(\frac{2 t_s \cdot D}{3} + t_b \cdot B \right) \quad (4.2.9)$$

④ 中性軸 z に対する断面二次モーメント : I

(4.2.5) 式、(4.2.6) 式、(4.2.7) 式および(4.2.9) 式より、求める断面二次モーメント I は、次式となる。

$$\begin{aligned} I &= I' - A \cdot y^2 \\ &= D^2 \left(\frac{2 t_s \cdot D}{3} + t_b \cdot B \right) - \frac{D^2 (t_b \cdot B + t_s \cdot D)^2}{2 t_d \cdot B_d + 2 t_s \cdot D + t_b \cdot B} \\ &= D^2 \cdot \left\{ \frac{(t_b \cdot B + t_s \cdot D) \cdot (2 t_d \cdot B_d + t_s \cdot D)}{2 t_d \cdot B_d + 2 t_s \cdot D + t_b \cdot B} - \frac{1}{3} t_s \cdot D \right\} \end{aligned} \quad (4.2.10)$$

4. 2. 3 各部材に生じる曲げ応力の評価

上甲板、船側外板および船底外板に使用される材料の引張強さをそれぞれ、 σ_d 、 σ_s および $\sigma_b [N/mm^2]$ とする。一般的に、図 4.3 に示した断面形状の中性軸 z は、 $D/2$ より船底側となるため、曲げ応力の評価対象は、上甲板、船底外板および船側外板上部（上甲板近傍）として差し支えない。そこで、各部材（評価位置）に対する断面係数を予め計算しておく。

上甲板および船側外板上部に対しては、(4.2.5) 式、(4.2.9) 式および(4.2.10) 式より断面係数は次式となる。

$$I/y = (I' - A \cdot y^2)/y$$

$$\begin{aligned}
&= I'/y - A \cdot y \\
&= D \left(\frac{2}{3} t_s D + t_b B \right) \cdot \frac{2t_d \cdot B_d + 2t_s \cdot D + t_b \cdot B}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} - D(t_b \cdot B + t_s \cdot D) \\
&= D \left\{ \left(1 - \frac{t_s \cdot D/3}{t_s \cdot D + t_b \cdot B} \right) (2t_d \cdot B_d + 2t_s \cdot D + t_b \cdot B) - t_b \cdot B - t_s \cdot D \right\} \\
&= D \left(2t_d \cdot B_d + \frac{1}{3} t_s D \cdot \frac{2t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2t_d \cdot B_d}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} \right) \tag{4.2.11}
\end{aligned}$$

一方、船底外板に対しては、断面係数は次式となる。

$$\begin{aligned}
I/(D-y) &= D \left\{ \frac{(t_b \cdot B + t_s \cdot D)(2t_d \cdot B_d + t_s \cdot D)}{2t_d \cdot B_d + 2t_s \cdot D + t_b \cdot B} - \frac{1}{3} t_s \cdot D \right\} \cdot \frac{2t_d \cdot B_d + 2t_s \cdot D + t_b \cdot B}{2t_d \cdot B_d + t_s \cdot D} \\
&= D \left(t_b \cdot B + \frac{1}{3} t_s \cdot D \cdot \frac{4t_d \cdot B_d + t_s \cdot D - t_b \cdot B}{2t_d \cdot B_d + t_s \cdot D} \right) \tag{4.2.12}
\end{aligned}$$

ここで、FRP 材料の許容応力を引張強さの 1/10 とすると、(4.2.4) 式に示した外力による曲げモーメント M_t を $10 \cdot M_t$ として曲げ応力を評価することと等価になる。以下では、 $10 \cdot M_t$ により各部材に生じる曲げ応力が各部材の引張強さ以下となるような評価を行う。

(1) 上甲板に生じる曲げ応力

上甲板は、中性軸 z からの距離が y であるので、曲げ応力が次式を満足する必要がある（右辺の係数 10^3 は応力の単位を kN/mm^2 に合わせるために導入）。

$$10 \cdot M_t / (I/y) \leq 10^{-3} \times \sigma_d$$

(4.2.4) 式および(4.2.11) 式を用いると、

$$\begin{aligned}
75 \cdot \alpha \cdot W \cdot L &\leq \frac{\sigma_d}{98} \cdot \frac{I}{y} \\
75 \cdot \alpha \cdot W \cdot L &\leq \frac{\sigma_d}{98} \cdot D \left(2t_d \cdot B_d + \frac{1}{3} t_s \cdot D \cdot \frac{2t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2t_d \cdot B_d}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} \right) \tag{4.2.13}
\end{aligned}$$

が得られる。

(2) 船側外板上部に生じる曲げ応力

船側外板上部も同様に、曲げ応力が次式を満足する必要がある。

$$10 \cdot M_t / (I/y) \leq 10^{-3} \times \sigma_s$$

(4.2.4)式および(4.2.11)式を用いると、

$$\begin{aligned}
75 \cdot \alpha \cdot W \cdot L &\leq \frac{\sigma_s}{98} \cdot \frac{I}{y} \\
75 \cdot \alpha \cdot W \cdot L &\leq \frac{\sigma_s}{98} \cdot D \left(2t_d \cdot B_d + \frac{1}{3} t_s \cdot D \cdot \frac{2t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2t_d \cdot B_d}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} \right) \tag{4.2.14}
\end{aligned}$$

が得られる。

(3) 船底外板に生じる曲げ応力

船底外板は、中性軸 z からの距離が $D-y$ であるので、

$$10 \cdot M_z / \{I / (D-y)\} \leq 10^{-3} \times \sigma_b$$

(4.4.4)式および(4.4.12)式から次式が得られる。

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq \frac{\sigma_b}{98} \cdot \frac{I}{D-y}$$

一般に、 $\sigma_d < \sigma_b$ 、 $\sigma_s < \sigma_b$ 、 $D-y < y$ であるので、

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq \frac{\sigma_d}{98} \cdot \frac{I}{y} \leq \frac{\sigma_b}{98} \cdot \frac{I}{D-y}$$

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq \frac{\sigma_s}{98} \cdot \frac{I}{y} \leq \frac{\sigma_b}{98} \cdot \frac{I}{D-y}$$

と考えることができるため、(4.2.13)式および(4.2.14)式を満足していれば、船底外板に生じる曲げ応力を評価する必要はない。ただし、別途、船底外板の曲げ応力を評価する場合には、次式を用いることができる。

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq \frac{\sigma_b}{98} \cdot D \cdot \left(t_b \cdot B + \frac{1}{3} t_s \cdot D \cdot \frac{4t_d \cdot B_d + t_s \cdot D - t_b \cdot B}{2t_d \cdot B_d + t_s \cdot D} \right) \quad (4.2.15)$$

4. 2. 4 縦強度基準案

(1) 第1案

4.2.3 章で述べたように、図 4.2 および図 4.3 に示した箱船に対する縦強度基準は、(4.2.13)式および(4.2.14)式を同時に満足させることとなる。一方、積層板の構成において、「ローピング比率が高い＝引張強さが大きい」と仮定すると、上甲板、船側外板、および、船底外板に使用される FRP 材料の引張強さの大小関係は、

$$\sigma_d < \sigma_b \quad \text{かつ} \quad \sigma_s < \sigma_b \quad (4.2.16)$$

になると考えられる。したがって、(4.2.16)式の関係がある場合の縦強度基準は、(4.2.13)式および(4.2.14)式の左辺の L 、 B 、 D の単位を $[m]$ に改めることにより、

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq \frac{\sigma_d}{98} \cdot D \left(2t_d \cdot B_d + \frac{1}{3} \cdot t_s \cdot D \cdot \frac{2t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2t_d \cdot B_d}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} \right) \times 10^3 \quad (4.2.17)$$

$$\text{かつ}$$

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq \frac{\sigma_s}{98} \cdot D \left(2t_d \cdot B_d + \frac{1}{3} \cdot t_s \cdot D \cdot \frac{2t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2t_d \cdot B_d}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} \right) \times 10^3 \quad (4.2.18)$$

と記述することができる。これまでの縦強度基準では、すべての部材の引張強さが 98 N/mm^2 以上であることが要求されていたが、本案では、各部材の引張強さが 98 N/mm^2 以下であっても、外力（縦曲げモーメント）に $98 / \sigma$ （ σ は上甲板または船側外板の引張強さのうちの小さい方）を乗ずることにより安全を担保できることを示している。

(2) 第2案

第1案では、上甲板または船側外板の引張強さのうちの小さい方が縦強度基準に組み込まれている。各部材の引張強さに有意な差がある場合には、それらの影響も考慮する必要がある。そこで、(4.2.13)式または(4.2.14)式の右辺の各板厚に対して引張強さの影響を考慮した次の(4.2.19)式を第2案として提案する。

$$75 \cdot \alpha \cdot W \cdot L \leq D \left\{ 2t_d \cdot \left(\frac{\sigma_d}{98} \right) \cdot B_d + \frac{1}{3} t_s \cdot \left(\frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot D \right. \\ \left. \cdot \frac{2t_b \cdot \left(\frac{\sigma_b}{98} \right) \cdot B + t_s \cdot \left(\frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot D - 2t_d \cdot \left(\frac{\sigma_d}{98} \right) \cdot B_d}{t_b \cdot \left(\frac{\sigma_b}{98} \right) \cdot B + t_s \cdot \left(\frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot D} \right\} \times 10^3 \quad (4.2.19)$$

(3) 第2案の検証

第2案を採用する場合、箱船の寸法および引張強さに対して、(4.2.19)式の右辺 \leq (17)式の右辺、かつ、(4.2.19)式の右辺 \leq (4.2.18)式の右辺となる必要がある。ここで、

(4.2.17)式の右辺

$$= D^2 \left\{ 2t_d \left(\frac{\sigma_d}{98} \right) \frac{B_d}{D} + \frac{1}{3} t_s \left(\frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot \frac{2t_b \frac{B}{D} + t_s - 2t_d \frac{B_d}{D}}{t_b \frac{B}{D} + t_s} \right\} \times 10^3$$

(18)式の右辺

$$= D^2 \left\{ 2t_d \left(\frac{\sigma_s}{98} \right) \frac{B_d}{D} + \frac{1}{3} t_s \left(\frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot \frac{2t_b \frac{B}{D} + t_s - 2t_d \frac{B_d}{D}}{t_b \frac{B}{D} + t_s} \right\} \times 10^3$$

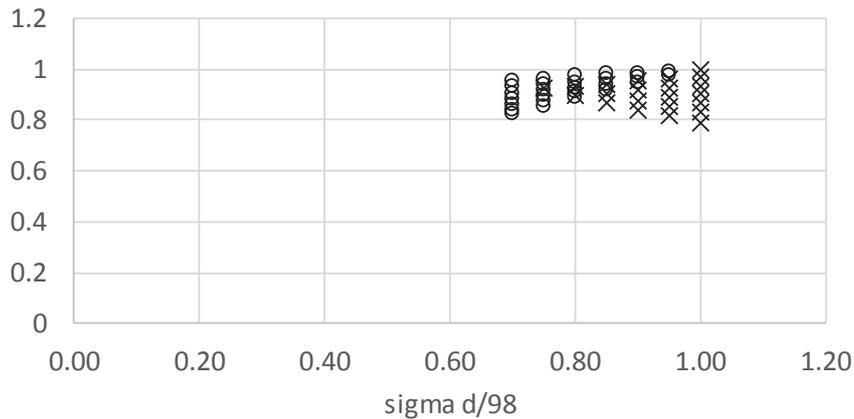
(19)式の右辺

$$= D^2 \left\{ 2t_d \left(\frac{\sigma_d}{98} \right) \frac{B_d}{D} + \frac{1}{3} t_s \left(\frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot \frac{2t_b \left(\frac{\sigma_b}{98} \right) \frac{B}{D} + t_s \left(\frac{\sigma_s}{98} \right) - 2t_d \left(\frac{\sigma_d}{98} \right) \frac{B_d}{D}}{t_b \left(\frac{\sigma_b}{98} \right) \frac{B}{D} + t_s \left(\frac{\sigma_s}{98} \right)} \right\} \times 10^3$$

上式の {} 内の値を以下の設定値に基づき比較してみる。

$\sigma_d / 98 = 0.7 \sim 1.0$	$\sigma_s / 98 = 0.7 \sim 1.0$	$\sigma_b / 98 = 1.0$
$t_d = 10 \text{ mm}$	$t_s = 10 \text{ mm}$	$t_b = 10 \text{ mm}$
$B_d / D = 0.3$		$B / D = 1.2$

計算結果を図4.4に示すが、上記設定値に対しては、(4.2.17)式、(4.2.18)式の右辺 \leq (4.2.19)式の右辺となっており、第2案が非安全側となる場合があることを示している（設定値によっては安全側となる場合もある）。



○ Eq.(17)/Eq.(19) × Eq.(18)/Eq.(19)

図 4.4

この原因は、基準算式の各部材のすべての板厚に σ_{98} を乗ずることが原因で、(4.2.19)式を

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq D \left\{ 2 \left(t_d \cdot \frac{\sigma_d}{98} \right) \cdot B_d + \frac{1}{3} \left(t_s \cdot \frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot D \cdot \frac{2t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2t_d \cdot B_d}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} \right\} \times 10^3 \quad (4.2.20)$$

のようにする、すなわち、{} 内の分数式内にある板厚については、引張強さによる修正を行わないようにすれば解消される。

4. 3 FRP 製の船舶の板厚計測による強度確認の見直し案

4.2 章の検討結果を踏まえ、FRP 製の船舶の板厚計測による強度確認において、引張り強さが 98N/mm^2 を下回る場合にも、 $M \leq Z \sigma$ が成立する範囲で断面係数を大きくすることで対応できるよう、基準を見直した。なお下線部は修正箇所を示す。

<以下見直し (案) >

板厚計測による強度確認

1) 次の式に適合すること。

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq D \left\{ 2 \left(t_d \cdot \frac{\sigma_d}{98} \right) \cdot B_d + \frac{1}{3} \left(t_s \cdot \frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot D \cdot \frac{2t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2t_d \cdot B_d}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} \right\} \times 10^3$$

$$\underline{\sigma_d \leq \sigma_b} \quad \text{かつ} \quad \underline{\sigma_s \leq \sigma_b}$$

この場合において、

a: 滑走艇にあつては、1.25

非滑走艇にあつては、1.00

V: 最強速力 (ノット)

W: 満載排水量 (ト)

td: 上甲板の船体中央部における板厚 (mm)

ts: 船側外板の船体中央部における板厚 (mm)

tb: 船底外板の船体中央部における板厚(mm)

Bd: 上甲板の船体中央部の片舷の幅(メートル)

σd : 上甲板の引張り強さ(N/mm²)

σs : 船側外板の引張り強さ(N/mm²)

σb : 船底外板の引張り強さ(N/mm²)

ただし、当該船舶の外板と同一構成のFRP積層板の引張り強さ σ が98N/mm²(10kgf/mm²)を超える場合にあっては、 $75 \cdot a \cdot W \cdot L$ は $(98/\sigma - (10/\sigma))$ を乗じた値として差し支えない。

なお、上甲板、船側外板及び船底外板の引張り強さ σx (σd , σs 又は σb)は以下のi)又はii)のいずれかの方法により確認すること。ただし、各部(上甲板、船側外板又は船底外板)にロービングクロスを25~65%(ガラス質量比)使用している場合の引張り強さ σx は98(N/mm²)とすることができる。

i) 材料試験の成績書による確認

各部の積層板(上甲板、船側外板及び船底外板)の材料試験(引張り試験)の成績書により確認する。

ii) 以下のイ)~ニ)のいずれかの式による算定

イ) チョップマット、ロービングクロス、ロービングクロスとチョップマットの混合又はマルチ方向ファブリック

$$\sigma x = 800 \phi^2 - 80 \phi + 37$$

ロ) チョップマット(スプレーアップ用に限る)

$$\sigma x = 150 \phi + 25$$

ハ) 単一方向ファブリック(繊維の方向が船首尾方向の場合に限る)

$$\sigma x = 880 \phi^2 + 140 \phi + 140$$

ニ) 積層構成が不明の場合

$$\sigma x = 70$$

ガラス含有率 ϕ は基材及び成形の種類に応じて表1の値を用いて以下の計算例を参考に求めること。

表1

成型の種類 基材の種類	ガラス含有率 ϕ	
	ハンドレイアップ法又は スプレーアップ法	真空成形法
チョップマットのみ	0.30 (30%)	0.36 (36%)
ロービングクロスのみ	0.48 (48%)	0.58 (58%)
ロービングクロスとチョ ップマットの混合	0.46-0.18R (46%-18R%) R=チョップマットの合計 質量(kg/m ²)/積層のガラ ス繊維の合計質量(kg/m ²)	0.56-0.22R (56%-22R%) R=チョップマットの合計 質量(kg/m ²)/積層のガラ ス繊維の合計質量(kg/m ²)
マルチ方向ファブリック	0.50 (50%)	0.60 (60%)
単一方向ファブリック	0.55 (55%)	0.66 (66%)

また、強度部材として算入する上甲板、船側外板又は船底外板の板厚(t_d、t_s、t_b)は、以下の算式により求めた板厚 t_c(mm) 又は実測した板厚 t_a(mm)のうちいずれか小さい値とすること。

ただし、スプレーアップ法によりチョップマットのみを積層した場合や積層構成が不明なものとして引張り強さ σ を求めた場合は、実測した板厚 t_a(mm) を使用して差し支えない。

$$t_c = \left(\frac{2.56}{\psi} - 1.36 \right) \frac{w}{3.072}$$

w: 各基材の単位面積あたりのガラス質量(kg/m²)

4.4 長さ15m未満の輸入プレジャーボートの検査への影響調査

(1) 調査の背景

長さ15m未満の輸入プレジャーボートは、板厚計測により強度を確認する。こうした輸入プレジャーボートは、船体の成型方法や使用されているガラス基材が不明である場合が多い。

そのため、船体の成型方法や使用されているガラス基材が不明である場合にも板厚計測により強度が確認できるよう対応する必要がある。同時に国内で製造される小型船舶と輸入艇とに適用基準に差異が生じることのないよう配慮する必要がある。

ISO12215-5の附属書Cにおいて、ガラス含有率(質量)及び引張り強さが最低となるのはスプレーアップ法によりマットのみを積層する場合($\phi=0.30$)の引張り強さ($\sigma=70(\text{N}/\text{mm}^2)$)の場合である。そのため、国内外で製造するFRP製の小型船舶について、適用基準に差異をなくすことを念頭に、船体の成型方法や使用されているガラス基材が不明である場合の引張り強さ σ を $70(\text{N}/\text{mm}^2)$ として、長さ15m未満の輸入プレジャーボートの検査への影響を調査した。

(2) 調査の結果

今般の調査の対象とした長さ15m未満の輸入プレジャーボート38型式のうち2型式が、新たに提案する基準(案)を満足しなかった。

この2型式のうち1型式はサンドイッチ構造で外皮のみを板厚に計上したもので、他の1型式は、燃料を多く搭載する満載排水量の大きい遊漁仕様のプレジャーボートであった。こうした輸入プレジャーボートについては、縦曲げ試験を実施する、或いは同型式の過去の実績やデータを踏まえた個別の対応が必要となる。

5 簡易な強度確認の方法の対象拡大について

5.1 長さ 15m を閾値とした経緯の調査

(1) 調査の対象

FRP 製船体の強度の確認方法は長さ 15m を境に異なる。長さ 15m 未満の FRP 製の船舶にあっては、(イ)船体の縦曲げ試験、(ロ)板厚計測による強度確認又は(ハ)落下試験のいずれかの方法によることとされている。また、長さ 15m 以上のものについては、国土交通省の「強化プラスチック(FRP)特殊基準」を適用することとされている。

今般、閾値となっている 15m の見直しを検討するにあたって、まずは現行の FRP 製船体の強度の確認方法において長さ 15m を閾値とした経緯を調査した。なお、長さ 15m 未満の FRP 製の船舶の強度の確認方法のうち落下試験については、長さ 12m を閾値とすることから調査の対象から外した。

(2) 長さ 15m を閾値とした経緯

FRP 製の船舶の強度の確認方法において長さ 15m を閾値とした経緯について調査したところ、以下の結果を得た(2.3.3 章参照)。

- ・日本小型船舶検査機構が設立された昭和 49 年以前は、「総トン数 20トン」未満の船舶を対象に船体の縦曲げ試験を実施していた。
- ・「総トン数 20トン」は長さ 15m の船舶の大きさに相当する。
- ・日本小型船舶検査機構が設立された当時、小型船舶の定義は長さ 12m 未満の船舶であったが、昭和 49 年以降も、長さ 15m 未満の船舶については縦曲げ試験が船体強度を確認する方法として引き続き実施することとなった。
- ・平成 2 年には、船体の縦曲げ試験に代わる強度確認の方法として、長さ 15m 未満の船舶を対象に板厚計測による強度確認の方法が導入された。

以上より、現行の長さ 15m 未満を対象とする簡易な強度確認の方法は、「総トン数 20トン」未満の船舶を対象とするものと考えることができる。

5.2 FRP 製の船舶の強度の確認方法の対象拡大の必要性

平成 15 年の小型船舶安全規則の改正により、総トン数 20トン以上の長さ 24m 未満のスポーツ又はレクリエーションの用にのみ供する船舶(以下「長さ 24m 未満のプレジャーボート」という。)が新たに同規則の対象となった。こうした長さ 24m 未満のプレジャーボートのうち、特に輸入される長さ 15m 以上 24m 未満のプレジャーボートにあっては、本来であれば国土交通省の「強化プラスチック(FRP)特殊基準」を適用する必要があるが、完成状態の輸入艇の外板を切り出すことが困難であることから、代替措置として縦曲げ試験によって船体強度の確認を行っている。

こうした事情から、小型船舶安全規則の対象の拡大に伴った同規則の適切かつ公平な適用のため、長さ 24m 未満のプレジャーボートにも、総トン数 20トン未満の船舶と同様の取り扱いをすることが必要である。すなわち、総トン数 20トンに相当する長さが 15m であるところ、FRP 製の船舶の強度の確認方法の対象拡大も長さ 15m から長さ 24m に拡大する必要がある。

5.3 対象拡大に係るバックデータ

5.2 章のとおり輸入される長さ 24m 未満のプレジャーボートにあっては、ISO12215 に基づく強度確認が困難であることから、縦曲げ試験により船体強度を確認する。小型船舶安全規則が改正された平成 15 年 6 月 1 日から平成 29 年 5 月 31 日現在までの 14 年間に、119 隻の輸入の長さ 24m 未満のプレジャーボートに対して縦曲げ試験を実施したことが確認されており、これまで船

体強度の不足を要因とする不具合は皆無であることも確認されている。

また、板厚計測による強度確認は、船体の縦曲げ試験の代替措置であり、船体の縦曲げ試験よりも厳しい基準となっている。これを確認するため、実際に長さ 15m 以上の輸入プレジャーボート(5 隻)の板厚計測を行い、新基準(案)の簡易式による強度評価を行った。なお、調査した 5 隻はいずれも縦曲げ試験に合格したものである。強度評価にあたっては、調査対象船舶は全てサンドイッチ構造であったことから、板厚については内層板と外層板の板厚を合計した板厚を採用し、部材の積層構成が不明であったことから上甲板と船側外板の引張り強度 σ_a 及び σ_s を $70(\text{N}/\text{mm}^2)$ とした。

結果は、表 5.1 のとおり 5 隻のうち 4 隻が不合格となり、縦曲げ試験より新基準(案)の簡易式の方が厳しい基準であることが確認できた。

表 5.1 長さ 15m 以上の輸入プレジャーボートの簡易式(新基準(案))での評価結果

No.	寸法及び係数									判定
	a	W (トン)	L (m)	B (m)	D (m)	Bd (m)	td (mm)	ts (mm)	tb (mm)	
1	1	31.00	17.75	4.90	3.01	0.41	3.40	4.00	10.40	不合格
2	1	41.00	18.80	5.43	1.59	0.36	7.50	4.90	16.10	不合格
3	1	39.80	18.15	5.73	3.00	0.46	6.00	10.30	11.50	不合格
4	1	47.70	20.39	7.76	3.64	0.49	3.80	7.90	7.50	不合格
5	1.25	33.96	15.01	4.52	2.01	0.62	31.7	5.50	27.1	合格

さらに、FRP 特殊基準が規定する部材寸法による強度評価基準と新基準(案)の簡易式による強度評価基準を比較するため、国内で建造された長さ 15m 以上の FRP 船について、20 隻を抽出して新基準(案)の簡易式により、強度評価を実施した。

評価結果を表 5.2 に示す。調査対象の船舶はすべて現行の細則に従って FRP 船特殊基準に適合するものであるにもかかわらず、一部の船舶(9/20 隻)は簡易式に合格しなかった。これは FRP 船特殊基準が規定する部材寸法による強度評価基準より新基準(案)の簡易式による強度評価基準の方が厳しいことを示すものである。

以上より、船体の縦曲げ試験及び板厚計測による強度確認の方法を、長さ 24m 未満のプレジャーボートに適用させて差し支えないと判断することができる。

表 5.2 国内で建造された長さ 15m 以上の FRP 船の簡易式(新基準(案))での評価結果

No.	寸法及び係数									判定
	a	W (トン)	L (m)	B (m)	D (m)	Bd (m)	td (mm)	ts (mm)	tb (mm)	
1	1	23.88	16.62	4.50	1.57	1.15	6.20	8.50	9.50	合格
2	1.25	18.00	16.50	4.43	2.25	0.60	9.54	10.53	11.78	合格
3	1	16.00	18.80	4.22	2.07	0.50	9.54	10.53	11.78	合格
4	1.25	9.70	16.50	3.28	1.63	0.50	7.47	7.47	9.54	合格
5	1	12.80	16.03	3.58	1.91	0.49	6.50	6.50	8.30	合格
6	1	18.00	18.35	3.80	1.40	0.70	8.28	9.72	10.98	合格
7	1	12.29	15.23	3.24	1.38	0.43	6.50	7.40	9.50	合格
8	1	12.29	15.30	3.58	1.62	0.60	6.50	7.40	9.50	合格
9	1.25	30.00	16.89	4.75	2.58	0.51	7.60	8.50	10.60	合格
10	1.25	19.64	16.13	5.10	1.97	0.66	8.33	8.33	9.32	合格
11	1	16.00	18.08	4.57	2.45	0.40	7.60	8.50	10.60	合格
12	1	21.00	18.39	4.46	1.61	0.63	7.60	8.50	11.60	不合格
13	1	36.07	17.15	4.00	2.30	0.50	5.00	10.00	14.00	不合格
14	1.25	16.81	15.97	3.10	1.50	0.63	4.50	9.75	11.56	不合格
15	1.25	40.85	18.27	4.16	1.63	0.45	7.33	9.09	9.97	不合格
16	1	16.00	18.76	3.54	1.65	0.47	6.50	6.50	8.30	不合格
17	1	25.97	16.59	3.48	1.52	0.38	6.71	7.76	8.48	不合格
18	1	20.47	16.60	4.25	1.11	0.95	5.60	9.94	9.94	不合格
19	1.25	21.71	15.99	4.45	1.54	0.49	5.00	14.40	14.40	不合格
20	1.25	29.11	17.02	4.23	1.82	0.47	9.80	11.55	14.00	不合格

6 サンドイッチ構造における内層板の板厚の考慮

6.1 検討方法

2.3.4章に示した検討事項に応じた具体的な検討方法を以下に示す。

(1) 内層板の厚さに係る規定の見直しに係る検討

① 板厚計測による強度確認の式を使用するにあたっての妥当性評価

図 6.1 に示すように、サンドイッチ構造が上甲板および船底外板に採用された船体の横断面を 5 角形にモデル化し、その断面係数を Z_s とする。さらに、図 6.2 に示すように、この横断面を箱型に近似化し、その断面係数を Z_{box} とする。断面係数を求める現行の板厚計測による強度確認の式を適用することを想定し、両者の断面係数を比較することにより、サンドイッチ構造の強度に及ぼす内層板の板厚や心材の厚さの影響等を検討する。

ただし、以下の検討では、心材の材料特性が外層板および内層板と比べて極端に柔な場合を想定し、心材部分を空間として(外層板および内層板が自由に変形する)断面係数を計算する。そのため、心材の材料特性の影響を考慮する場合(外層板および内層板が心材を介して完全に一体化して、複合材として変形する)には、別途検討が必要である。

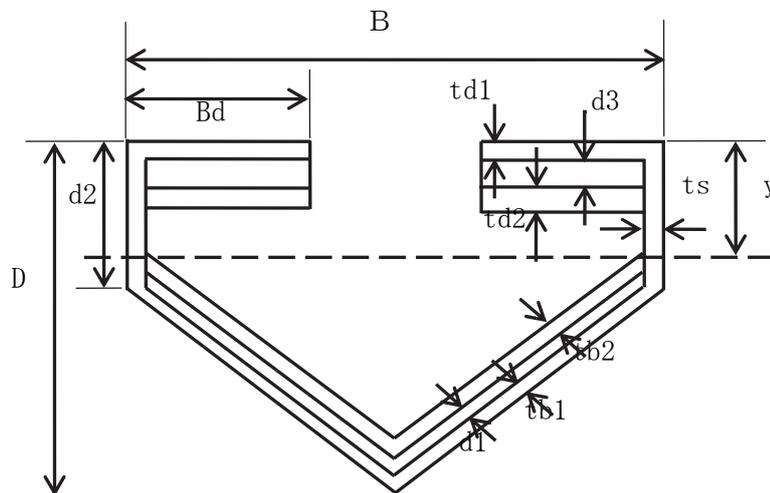


図 6.1 5 角形にモデル化した船体断面

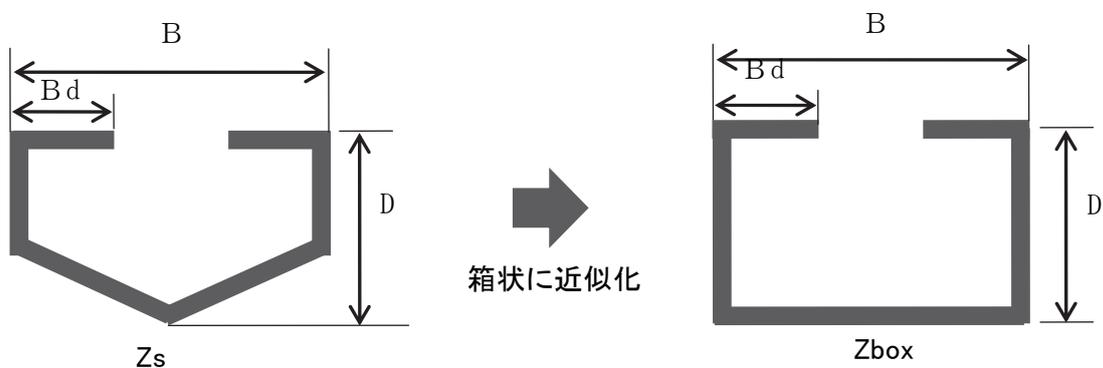


図 6.2 Z_s と Z_{box}

② 現行基準の内層板と外層板の板厚比に代わる代替基準の検討

積層板の機械特性の配慮を含め、ISO をベースに代替案を検討する。

(2) 心材の厚さとサンドイッチ積層板の機械的強度の関係の調査

心材の厚さを厚くしていった場合の縦曲げ試験の簡易式に与える影響について、(1)と同様に Z_s と Z_{box} を比較することによって調査した。

6.2 調査結果

6.2.1 船体断面形状の影響(チェーン高さ及び B/D の影響)

以下の条件における $0 \leq d_2/D \leq 1.0$ (図 6.3 参照) に対する Z_{box}/Z_s は図 6.5.1 及び図 6.5.2 のとおり。

条件① $B/D=1.0$, $d_1/D=0$, $d_3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}$, $t_{d2}=t_{b2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ

条件② $B/D=2.5$, $d_1/D=0$, $d_3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}$, $t_{d2}=t_{b2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ

条件③ $B/D=5.0$, $d_1/D=0$, $d_3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}$, $t_{d2}=t_{b2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ

※上記条件 $B/D=1.0 \sim 5.0$ は平成 2 年の板厚計測による強度評価式の導入時に同式の妥当性を調査した際のサンプルの B/D の幅 (1.84~4.67) に基づき決定した。(図 6.4 参照)

図 6.5.1 及び図 6.5.2 において Z_{box}/Z_s は 1.0 を超えるが、板厚計測による強度評価式は引張り強度について安全率 10 としているため、 $Z_{box}/Z_s < 10$ である限りは当該評価式を満足する。

また、断面形状が Z_{box}/Z_s に与える影響は、例えば変化が著しい船底外板に対する断面係数比 Z_{box}/Z_s (図 6.5.1) の場合、 B/D による影響が最大で 1.2 ($d_2/D=0$) であることに対し、 d_2/D による影響は最大で 2.7 ($B/D=5.0$) であることから、 d_2/D 、すなわちチェーン高さの影響の方が大きいことが分かる。

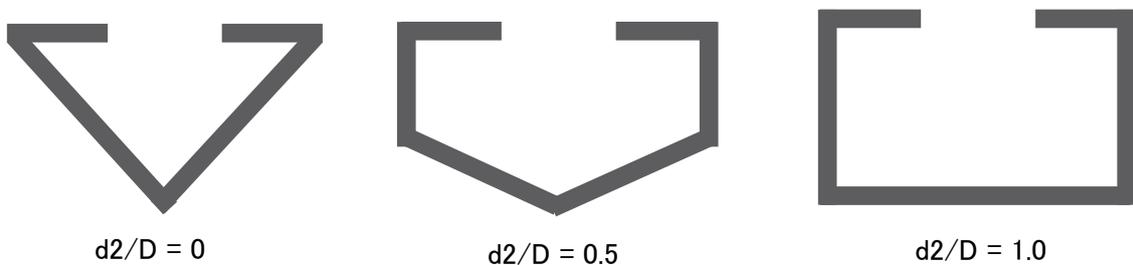


図 6.3 d_2/D に対する断面形状

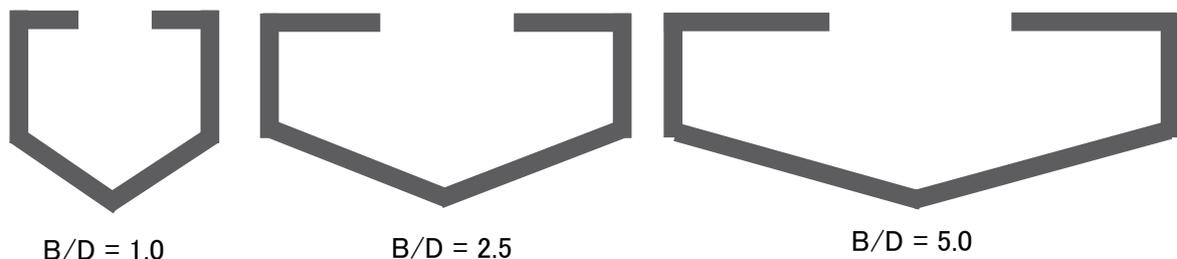


図 6.4 B/D に対する断面形状

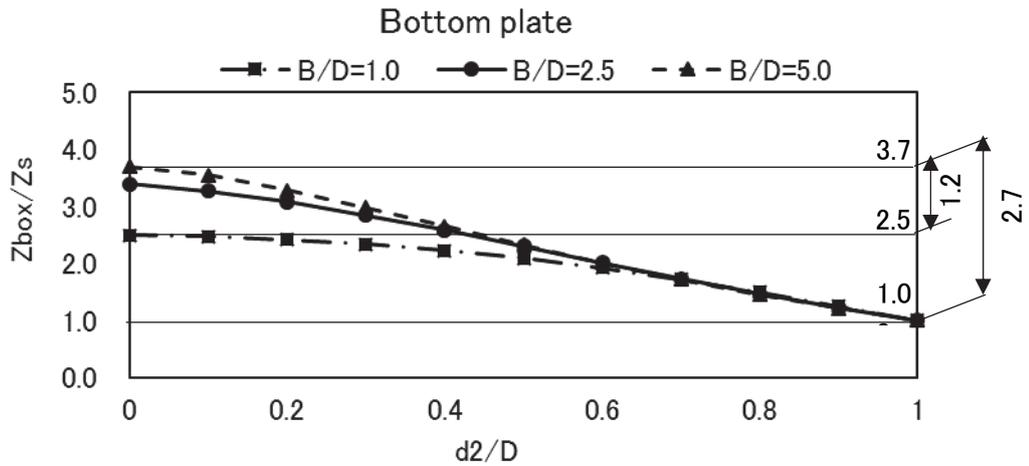


図 6.5.1 船体断面形状の違いによる Z_{box}/Z_s の傾向(船底外板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

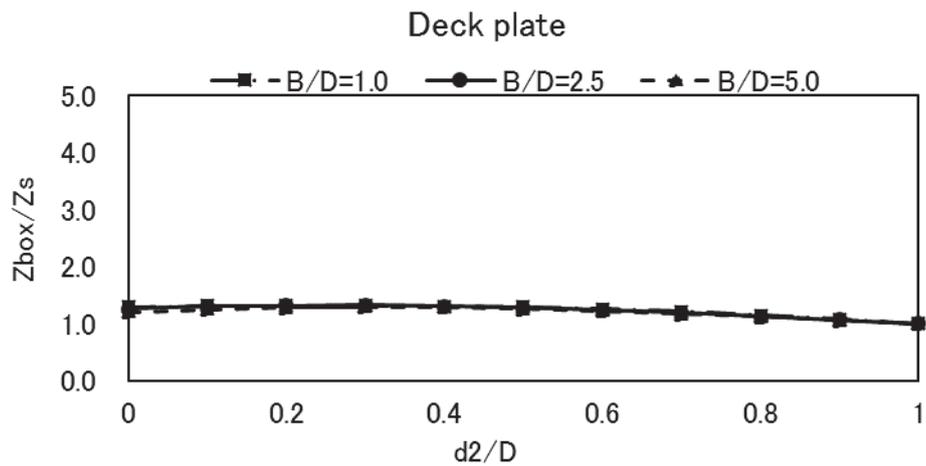


図 6.5.2 船体断面形状の違いによる Z_{box}/Z_s の傾向(上甲板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

6. 2. 2 サンドイッチ構造(船底外板)の影響

6. 2. 2. 1 内層板の影響

(1) 内層板の板厚の影響(チェーン高さが異なる条件での傾向)

以下の条件における $0 \leq t_{b2}/t_{b1} \leq 1.0$ (図 6.6 参照) に対する Z_{box}/Z_s は図 6. 7. 1 及び図 6. 7. 2 とおり。

- 条件① $B/D=2.5$, $d_1/D=0.1$, $d_2/D=0$, $d_3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}$, $t_{d2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ
- 条件② $B/D=2.5$, $d_1/D=0.1$, $d_2/D=0.5$, $d_3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}$, $t_{d2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ
- 条件③ $B/D=2.5$, $d_1/D=0.1$, $d_2/D=1.0$, $d_3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}$, $t_{d2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ

図 6.7.1 及び図 6.7.2 において Z_{box}/Z_s は 1.0 を超えるが、板厚計測による強度評価式は引張り強度について安全率 10 としているため、 $Z_{box}/Z_s < 10$ である限りは当該評価式を満足する。

また、断面形状が Z_{box}/Z_s に与える影響は、例えば変化が著しい船底外板に対する断面係数比 Z_{box}/Z_s (図 6.7.1) の場合、 tb_2/tb_1 による影響が最大で 1.5 ($d_2/D=0$) であることに対し、 d_2/D による影響は最大で 2.5 ($tb_2/tb_1=0$) であることから、 d_2/D 、すなわちチェーン高さの影響の方が大きいことが分かる。

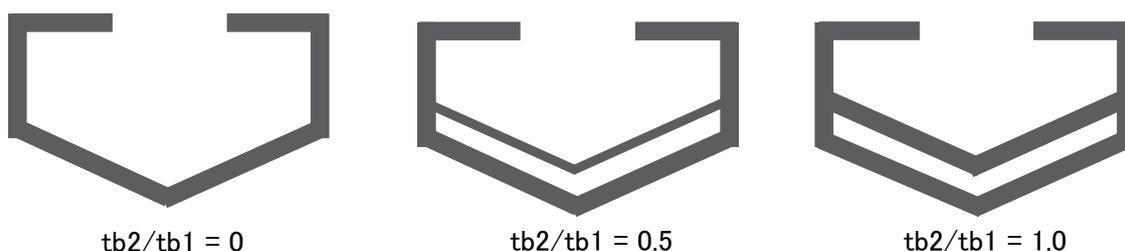


図 6.6 tb_2/tb_1 に対する断面形状

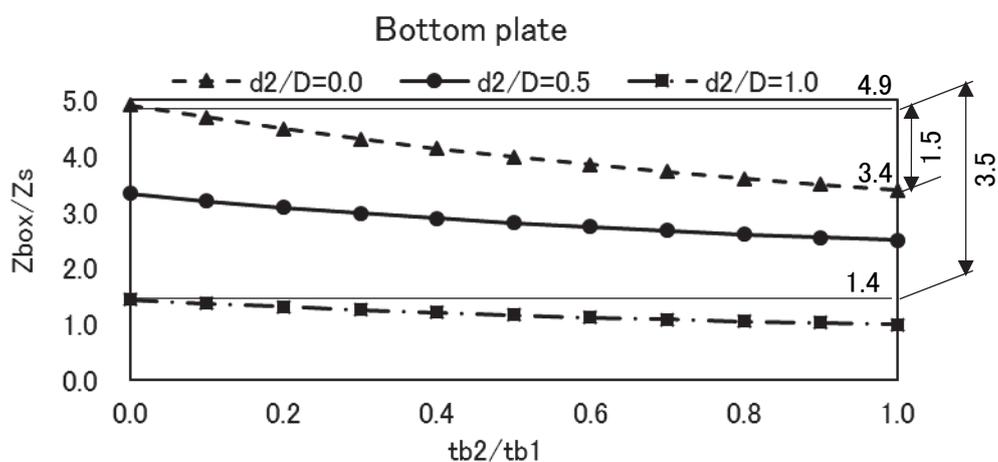


図 6.7.1 板厚比の違いによる Z_{box}/Z_s の傾向(船底外板)

※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

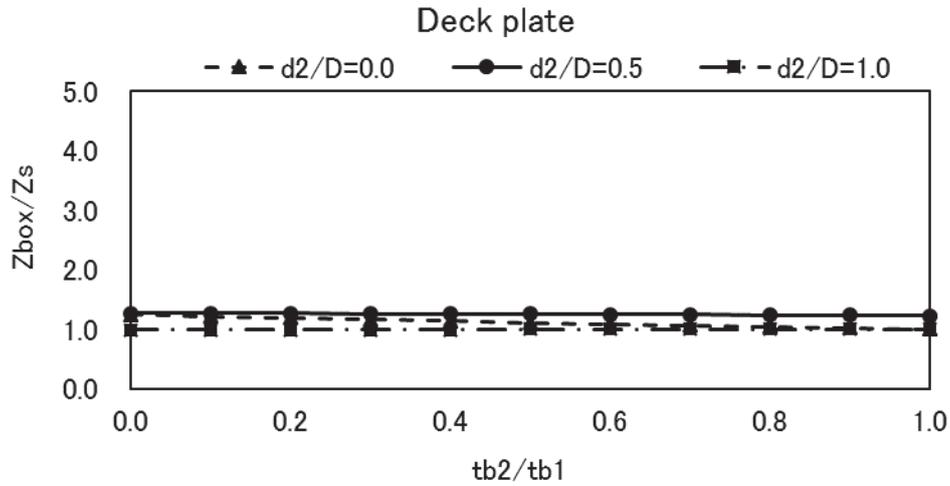


図 6.7.2 板厚比の違いによる Z_{box}/Z_s の傾向(上甲板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

(2) 外層板・内層板の機械的性質(弾性率)の影響

以下の条件における $0 \leq (E_{b1}-E_{b2})/E_{b2} \leq 1.0$ に対する Z_{box}/Z_s は、図 6.8.1 及び図 6.8.2 のとおり。

ここで、 E_{b1} 及び E_{b2} はそれぞれ、外層板・内層板の弾性率とする。

条件① $B/D=2.5$, $d_1/D=0.1$, $d_2/D=0$, $d_3/D=0$, $td_1=ts=tb_1=tb_2$, $td_2=0$

条件② $B/D=2.5$, $d_1/D=0.1$, $d_2/D=0.5$, $d_3/D=0$, $td_1=ts=tb_1=tb_2$, $td_2=0$

条件③ $B/D=2.5$, $d_1/D=0.1$, $d_2/D=1.0$, $d_3/D=0$, $td_1=ts=tb_1=tb_2$, $td_2=0$

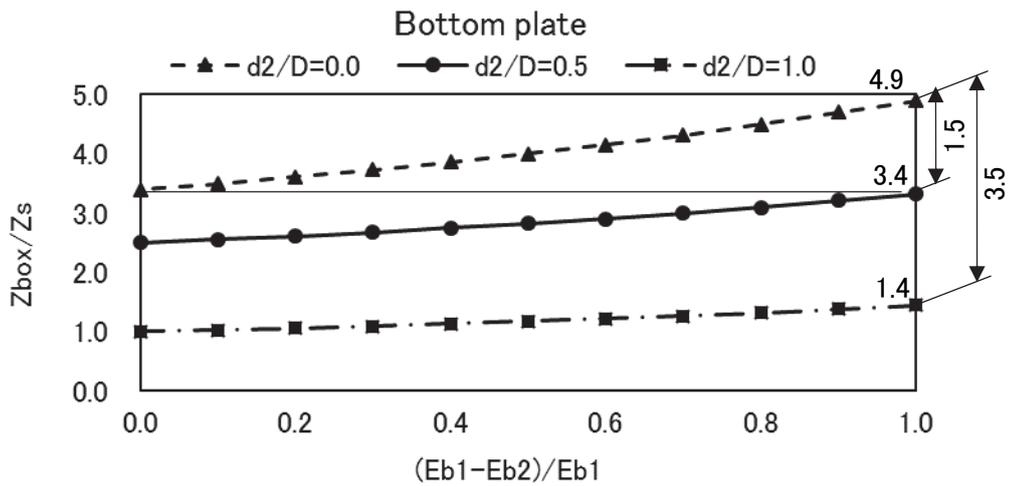


図 6.8.1 外層板・内層板の弾性率の違いによる Z_{box}/Z_s の傾向(船底外板)

※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

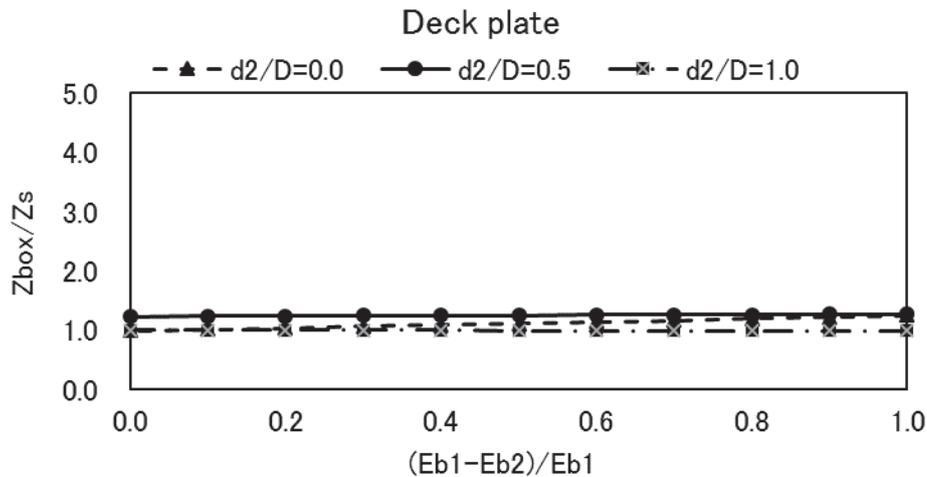


図 6.8.2 外層板・内層板の弾性率の違いによる Z_{box}/Z_s の傾向(上甲板)

※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

図 6.8.1 及び図 6.8.2 において Z_{box}/Z_s は 1.0 を超えるが、板厚計測による強度評価式は引張り強度について安全率 10 としているため、 $Z_{box}/Z_s < 10$ である限りは当該評価式を満足する。

また、断面形状が Z_{box}/Z_s に与える影響は、例えば変化が著しい船底外板に対する断面係数比 Z_{box}/Z_s (図 6.8.1) の場合、 $(E_{b1}-E_{b2})/E_{b2}$ による影響が最大で 1.5 ($d_2/D=0$) であることに対し、 d_2/D による影響は最大で 3.5 ($(E_{b1}-E_{b2})/E_{b2}=1.0$) であることから、 d_2/D 、すなわちチェーン高さの影響の方が大きいことが分かる。

ただし、この結果により、必ずしも内層板と外層板の機械強度のアンバランスによる強度上の悪影響がないと言い切ることが出来ないことから、IS012215-5 の 10.5.1 規則の「内層板と外層板の機械特性が互いに 25%以内の違いに収まっていること」を準用することとする。

6.2.2.2 心材の厚さの影響

(1) 深さ D を調整しない場合

以下の条件における $0 \leq d_1/D \leq 0.1$ に対する Z_{box}/Z_s は、図 6.10.1 及び図 6.10.2 のとおり。

条件① $B/D=2.5$, $d_2/D=0$, $d_3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}=t_{b2}$, $t_{d2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ

条件② $B/D=2.5$, $d_2/D=0.5$, $d_3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}=t_{b2}$, $t_{d2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ

条件③ $B/D=2.5$, $d_2/D=1.0$, $d_3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}=t_{b2}$, $t_{d2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ

図 6.10.1 及び図 6.10.2 において Z_{box}/Z_s は 1.0 を超えるが、板厚計測による強度評価式は引張り強度について安全率 10 としているため、 $Z_{box}/Z_s < 10$ である限りは当該評価式を満足する。

また、断面形状が Z_{box}/Z_s に与える影響は、例えば変化が著しい船底外板に対する断面係数比 Z_{box}/Z_s (図 6.10.1) の場合、 d_1/D による影響が最大で 0.7 ($d_2/D=0$) であることに対し、 d_2/D による影響は最大で 2.9 ($d_1/D=0.1$) であることから、 d_2/D 、すなわちチェーン高さの影響の方が大きいことが分かる。

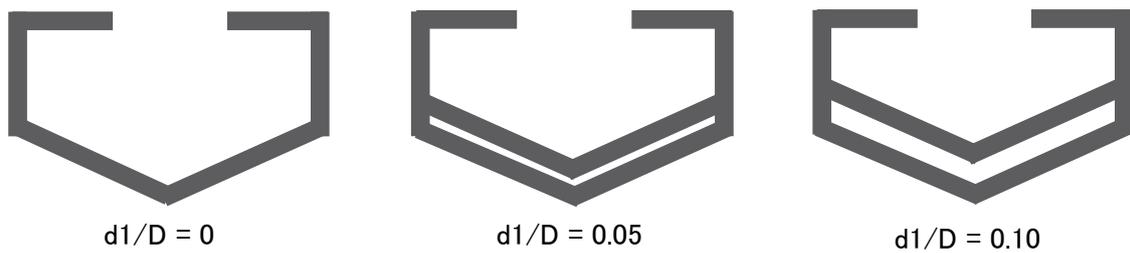


図 6.9 $d1/D$ に対する断面形状

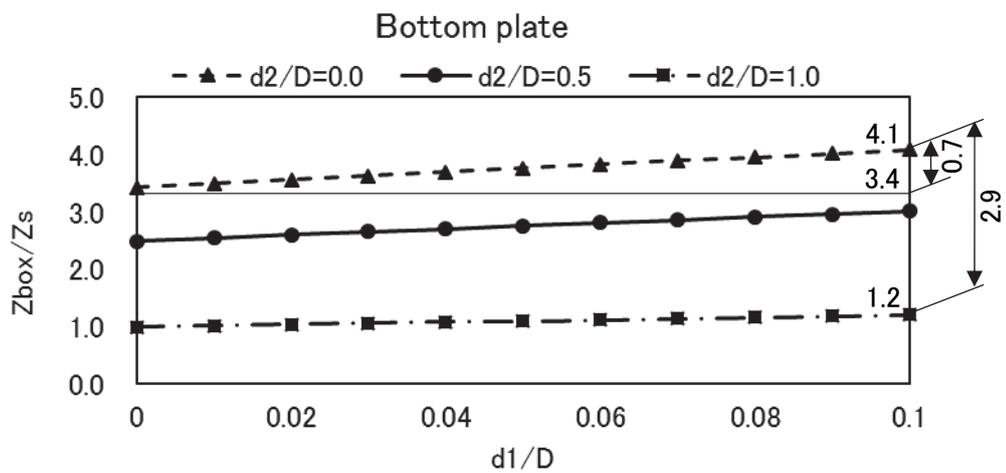


図 6.10.1 心材の厚さによる Z_{box}/Z_s の傾向(船底外板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

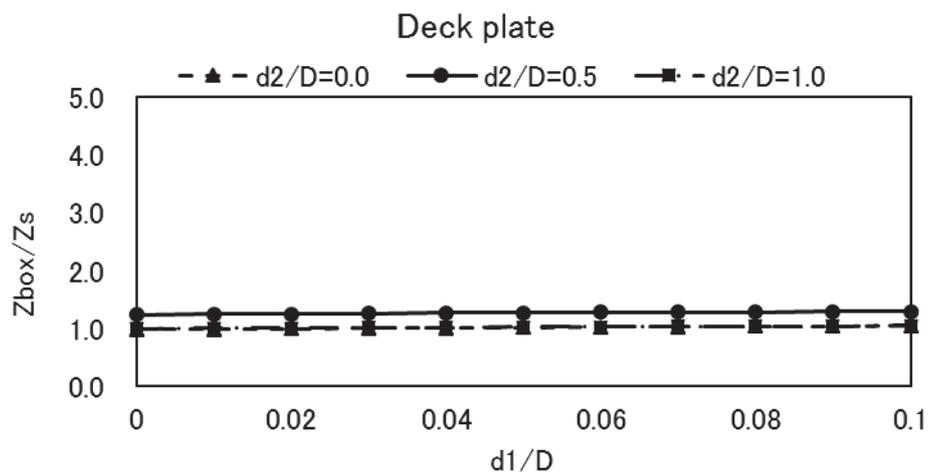


図 6.10.2 心材の厚さによる Z_{box}/Z_s の傾向(上甲板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

(2) 深さ D を調整する場合

板厚計測による強度確認方法の評価式において、深さ D から心材厚さ d1 の 1/2 を差し引いた $D-d1/2$ を用いて算定した断面係数を Z_{box}' (図 6.11) とし、以下の条件における $0 \leq d2/D \leq 1.0$ に対する Z_{box}' / Z_s と上記(1)の Z_{box}/Z_s とを比較した(図 6.12.1~4)。

- 条件① $B/D=2.5$, $d1/D=0.05$, $d3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}=t_{b2}$, $t_{d2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ
- 条件② $B/D=2.5$, $d1/D=0.1$, $d3/D=0$, $t_{d1}=t_s=t_{b1}=t_{b2}$, $t_{d2}=0$, 各部材の機械的性質は同じ

図 6.12.1~4 のとおり、深さを修正する効果は断面形状 ($d2/D$) による影響に比べて軽微である。そのため、深さ D を調整することにより常に $Z_{box}' < Z_{box}$ の関係が成立することを踏まえて、深さ D の調整の必要性を含めた検討を要する。

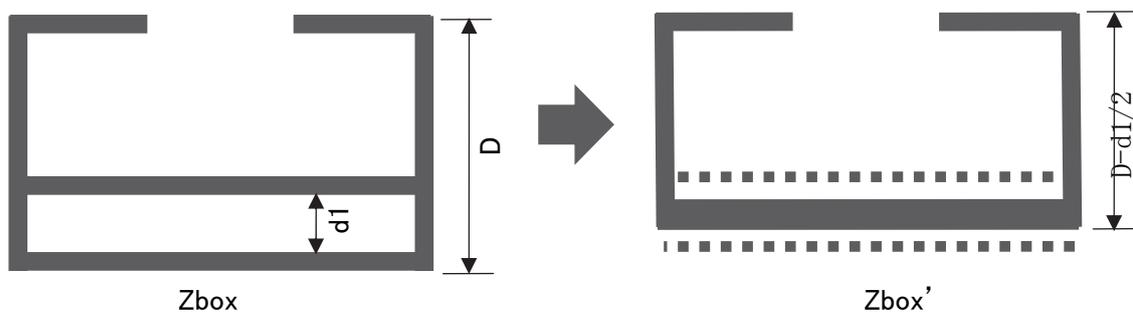


図 6.11 Z_{box} と Z_{box}'

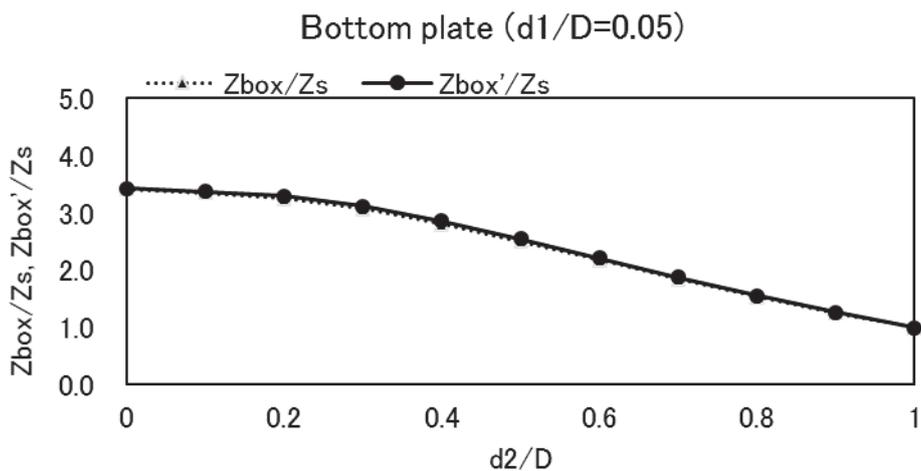


図 6.12.1 Z_{box}/Z_s と Z_{box}'/Z_s の比較($d1/D=0.05$,船底外板)

※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

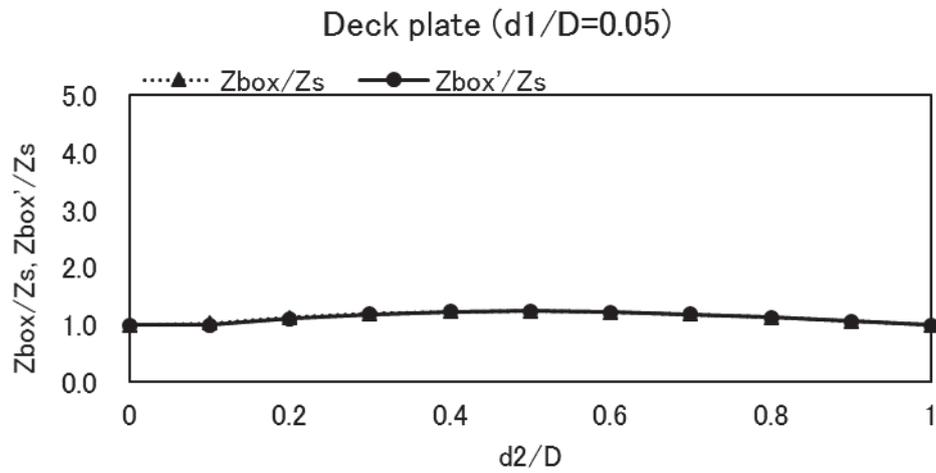


図 6.12.2 Z_{box}/Z_s と Z_{box}'/Z_s の比較($d1/D=0.05$,上甲板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

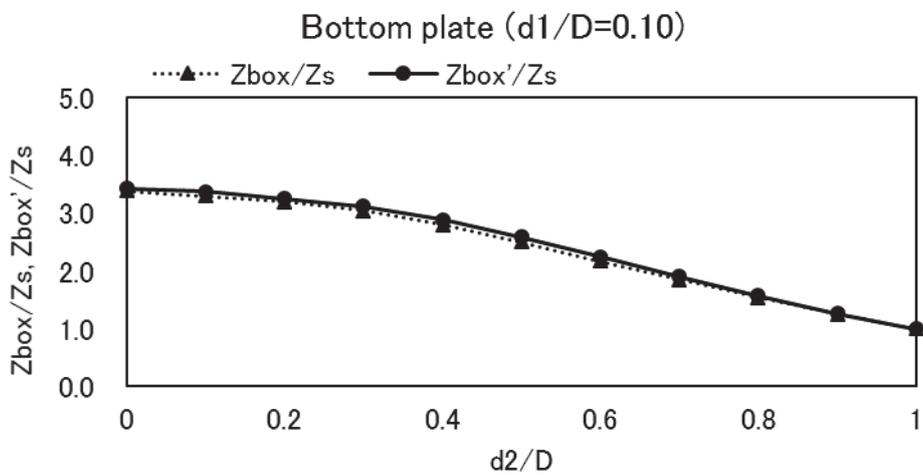


図 6.12.3 Z_{box}/Z_s と Z_{box}'/Z_s の比較($d1/D=0.10$,船底外板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

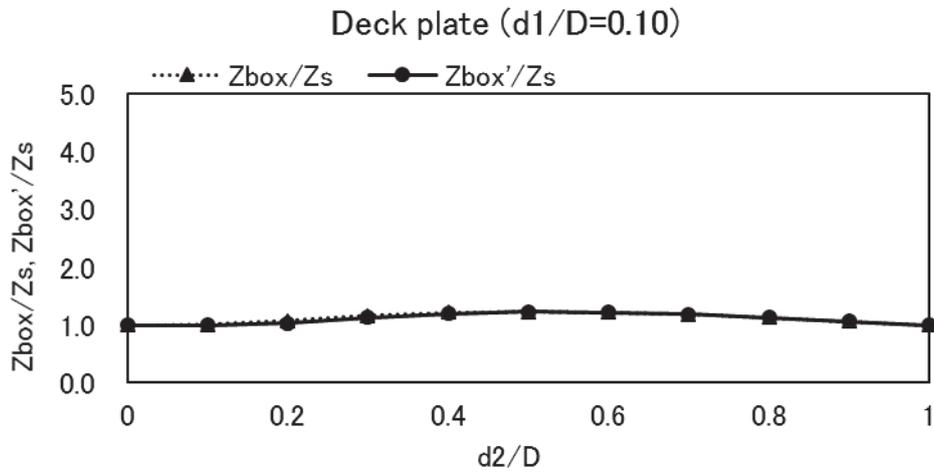


図 6.12.4 Z_{box}/Z_s と Z_{box}'/Z_s の比較($d1/D=0.10$, 上甲板)

※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

6. 2. 3 サンドイッチ構造(上甲板)の影響

以下について、「2. サンドイッチ構造(船底)の影響」と同じ要領で以下の項目を調査した。

(1) 内層板の影響

内層板の影響は、図 6. 14. 1 及び図 6. 14. 2 のとおりで 6. 2. 3 章のサンドイッチ構造(船底外板)と同様に、 Z_{box}/Z_s は 1. 0 を超えるが $Z_{box}/Z_s < 10$ となり、板厚比($td2/td1$)の影響に比べ、チェーン高さ($d2/D$)の影響が顕著である結果を得た。

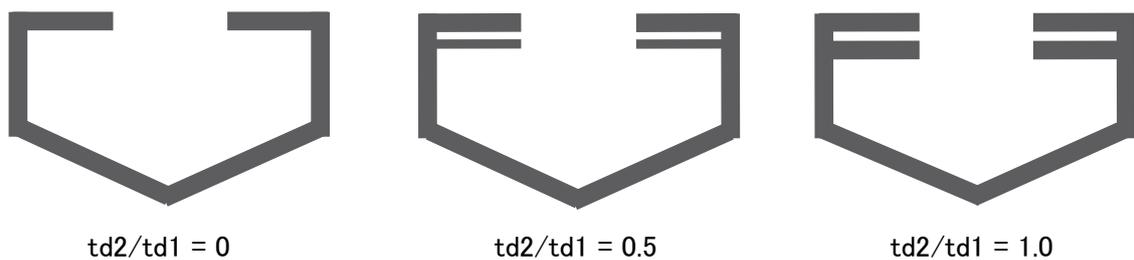


図 6.13 $td2/td1$ に対する断面形状

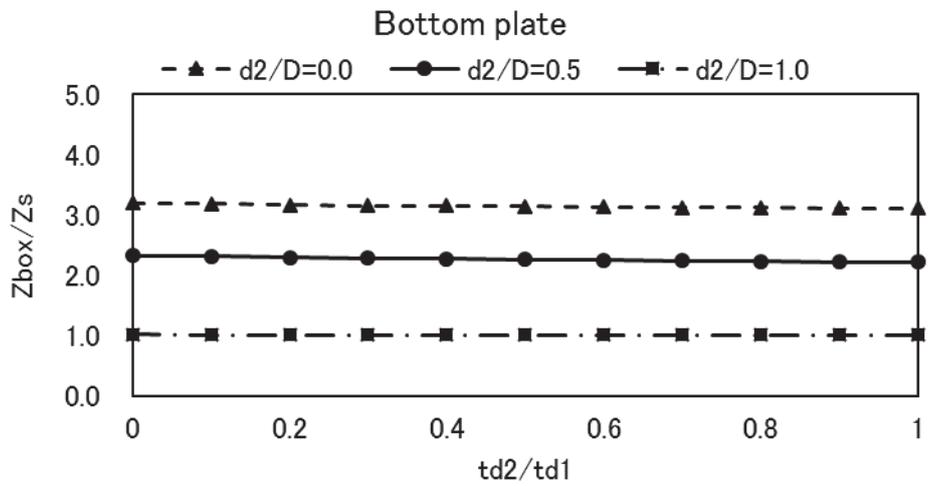


図 6.14.1 板厚比の違いによる Z_{box}/Z_s の傾向(船底外板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

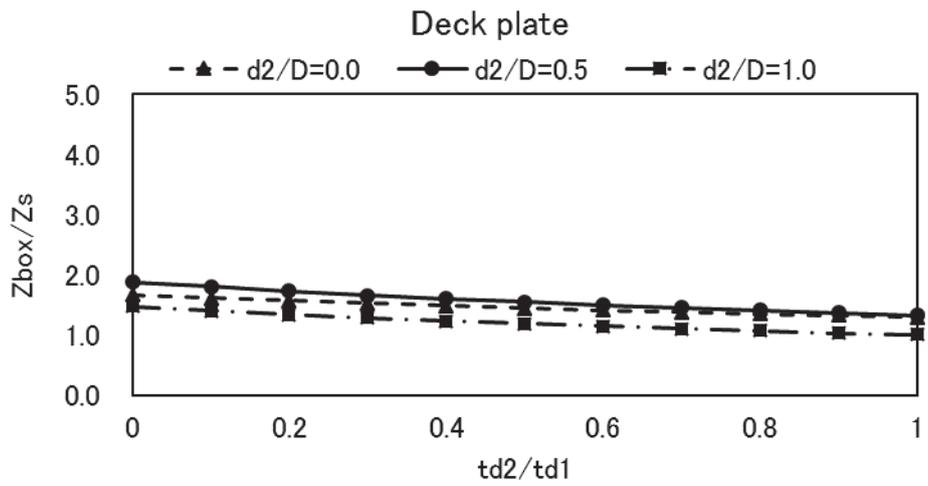


図 6.14.2 板厚比の違いによる Z_{box}/Z_s の傾向(上甲板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

(2) 心材の厚さの影響

心材の厚さの影響は、図 6.16.1 及び図 6.16.2 のとおりで 4.2 章のサンドイッチ構造(船底外板)と同様に、 Z_{box}/Z_s は 1.0 を超えるが $Z_{box}/Z_s < 10$ となり、心材厚と船体深さの比 ($d3/D$) の影響に比べ、チェーン高さ ($d2/D$) の影響が顕著である結果を得た。

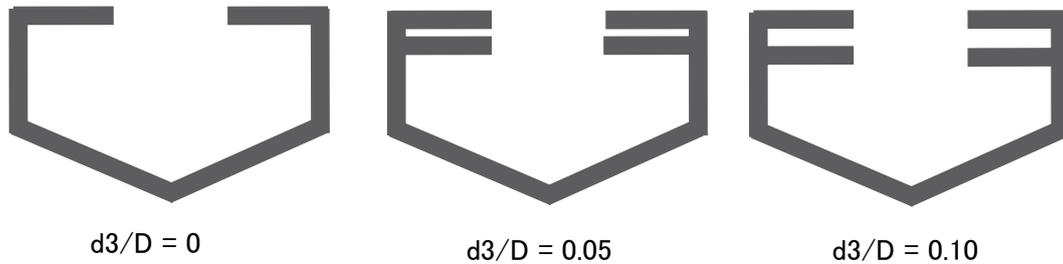


図 6.15 $d3/D$ に対する断面形状

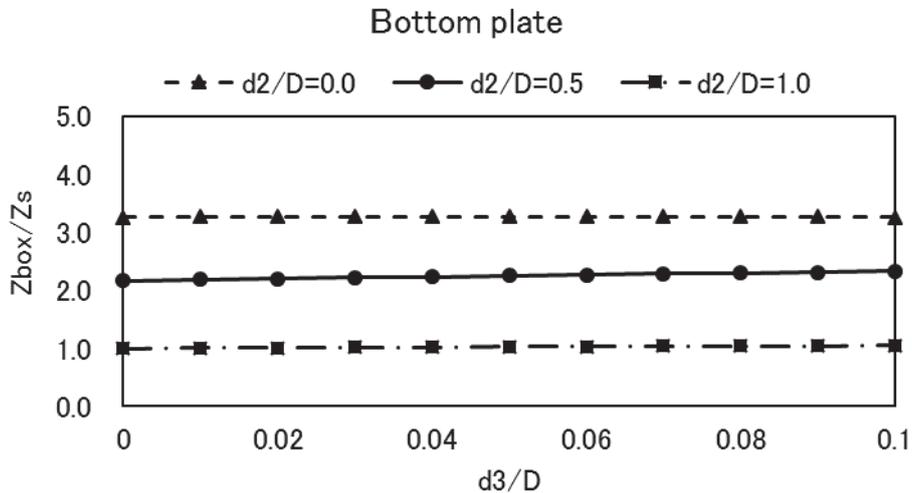


図 6.16.1 心材の厚さによる Z_{box}/Z_s の傾向(船底外板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

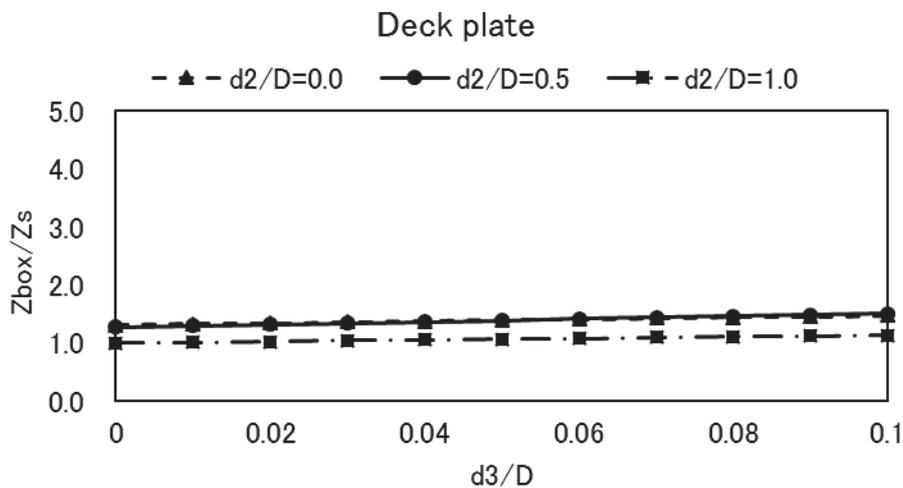


図 6.16.2 心材の厚さによる Z_{box}/Z_s の傾向(上甲板)
 ※本図は、理論式に基づいた計算結果をグラフ化したもの

6.3 規定の見直しの方向性

現行の板厚計測による強度確認の評価式は、船体中央断面を箱状に近似して強度評価するものである。当該基準の策定時に実船のデータを用い妥当性が検討され、 Z_{box}/Z_s が 0.4～4.7 と Z_{box} が Z_s を上回り過大評価されるものもあったが、 Z_s が安全率を 10 とする基準値を上回っていたことから当該基準が妥当であると結論付けられた経緯がある。

これを踏まえ、サンドイッチ構造の船体強度の評価において、内層板を含めて算定した場合に、 Z_{box}/Z_s が 5.0 以内に収まることから、以下のとおり、基準の見直しを図ることとしたい。

<見直し案>

(1) 内層板の厚さに係る規定の見直し(案)

板厚計測における強度確認において、内層板の厚さに係る基準である「内層板の厚さは外層板の厚みの 0.8 倍以上であること」を満たさなくとも内層板の板厚を外層板の板厚を加えることが出来ることとする。

(2) 心材の厚さに係る規定の見直し(案)

板厚計測における強度確認において、心材の厚さが 25mm を超える場合であっても、外層板の板厚に内層板の板厚を加えた値を用いることができることとする。なお、心材の厚さ d は、今回の解析範囲である実態を踏まえた値 $0.1D$ 以下 ($d/D \leq 0.1$) であることとする。

各部の板厚 (t_d 、 t_s 及び t_b) の値は、FRP 内外皮それぞれの板厚の合計値に、縦強度に寄与すると認められる心材の板厚を加えて差し支えない。ただし、心材の厚さ d は $d/D < 0.1$ であること。

7 船体強度の確認基準の見直し(案)

7.1 見直しのポイント

FRP製の小型船舶の強度の確認基準の見直し(案)のポイントは以下のとおり。

(1) FRP積層板のガラス含有率(質量)に応じた船体強度の確保

現行のクロスの使用割合の制限は、外板等のFRP積層板に一定以上の引張り強さ σ ($98\text{N}/\text{mm}^2 < \sigma$)を持たせ、船体強度を確保するものである。

このクロスの使用割合の制限による船体強度の確保の方法に加え、ガラス含有率(質量) ϕ に応じて引張り強さ σ を決定し、引張り強さ σ と曲げモーメント M 、断面係数 Z の関係式 $M \leq Z\sigma$ が成立する範囲で必要な断面係数 Z を確保することにより、船体強度を確保する。

なお、引張り強さ σ の決定方法は、既に船体強度の確認方法として導入されているISO12215-5に基づく算式を活用する。

また、従来のクロス使用割合の基準も引き続き適用可能とし、この場合には従前のおり引張り強さ $\sigma = 98\text{N}/\text{mm}^2$ として、船体強度を評価する。

(2) 簡易な強度確認の方法の対象の拡大

現行の長さ15m未満のFRP製の小型船舶を対象とする簡易な強度確認の方法には、(イ)船体の縦曲げ試験、(ロ)板厚計測による強度確認及び(ハ)落下試験がある。これらのうち、(イ)船体の縦曲げ試験及び(ロ)板厚計測による強度確認について、小型船舶安全規則が適用される全てのFRP製の船舶に適用できるよう、長さ24m未満のFRP製の小型船舶に拡大する。

(3) サンドイッチ構造における内層板の板厚の考慮

板厚計測における強度確認において、内層板の厚さに係る基準である「内層板の厚さは外層板の厚みの0.8倍以上であること」を満たさなくとも内層板の板厚を外層板の板厚を加えることが出来るものとする。

また、心材の厚さが25mmを超える場合であっても、外層板の板厚に内層板の板厚を加えた値を用いることができることとする。なお、心材の厚さ d は、今回の解析範囲である実態を踏まえた値 $0.1D$ 以下($d/D \leq 0.1$)であることとする。

7.2 FRP積層板のガラス含有率(質量)に応じた船体強度の確保の基準の見直し(案)

(1) 引張り強さ σ の決定

引張り強さ σ は次の①または②の方法により決定する。

- ①材料試験の成績書により確認する方法
- ②ガラス含有率(質量) ϕ により算定する方法

このうち、ガラス含有率(質量) ϕ により算定する方法は、ISO12215-5 附属書Cに基づき、以下のとおりとする。

(イ) ガラス含有率(質量) ϕ の決定

ガラス含有率(質量) ϕ は、FRP の成型の種類及び使用するガラス基材に応じて表 7.1 の値を用いて求める。なお、成型方法や積層構成、ガラス基材が不明である場合は、ガラス含有率(質量)が最低となるハンドレイアップ法またはスプレーアップ法におけるチョップマットのみを使用する場合のガラス含有率(質量) ($\phi=0.3$) とする。

表 7.1 FRP の成型の種類及び基材の種類に応じたガラス含有率(質量) ϕ

成型の種類 基材の種類	ガラス含有率(質量) ϕ	
	ハンドレイアップ法またはスプレーアップ法	真空成形法
チョップマットのみ	0.30 (30%)	0.36 (36%)
ロービングクロスのみ	0.48 (48%)	0.58 (58%)
ロービングクロスとチョップマットの混合基材	0.46-0.18R (46%-18R%) R=チョップマットの合計 質量(kg/m ²)/積層のガラス 繊維の合計質量(kg/m ²)	0.56-0.22R (56%-22R%) R=チョップマットの合計 質量(kg/m ²)/積層のガラス 繊維の合計質量(kg/m ²)
マルチ方向ファブリック	0.50 (50%)	0.60 (60%)
単一方向ファブリック	0.55 (55%)	0.66 (66%)

<計算例>

ハンドレイアップ法により製造された船舶で積層構成がゲルコート+チョップマット(300g/m²)×2+ロービングクロス(580g/m²)+チョップマット(450g/m²)の場合

チョップマット(300g/m²)のガラス含有率(質量) ϕ_1 及びガラス質量 w_1 はそれぞれ $\phi_1=0.30$ (表 7.1), $w_1=2 \times 0.3=0.6\text{kg/m}^2$

同様にロービングクロス(580g/m²)のガラス含有率(質量) ϕ_2 及びガラス質量 w_2 はそれぞれ $\phi_2=0.48$ (表 7.1), $w_2=0.58\text{kg/m}^2$ 、チョップマット(450g/m²)のガラス含有率(質量) ϕ_3 及びガラス質量 w_3 はそれぞれ $\phi_3=0.30$ (表 7.1), $w_3=0.45\text{kg/m}^2$ となる。

従ってガラス含有率(質量) ϕ は

$$\psi = \frac{w_1 + w_2 + w_3}{\frac{w_1}{\psi_1} + \frac{w_2}{\psi_2} + \frac{w_3}{\psi_3}} = \frac{0.60+0.58+0.45}{\frac{0.60}{0.30} + \frac{0.58}{0.48} + \frac{0.45}{0.30}} = 0.35 \quad \dots(7.1)$$

となる。(ロ) ガラス含有率(質量) ϕ による引張り強さ σ の算定

引張り強さ σ は、FRP の成型の種類及び使用するガラス基材に応じて以下の式により求める。なお、建造実績が無い場合または国土交通省海事局検査測度課長の承認のない材料を使用する場合は、以下の式により求めた値に 0.8 を乗じた値とする。

i) マット(ハンドレイアップ用)、クロス、クロスとマットの混合又はマルチ方向ファブリック …(7.2)

$$\sigma = 800 \phi^2 - 80 \phi + 37$$

ii) マット(スプレーアップ用)

$$\sigma = 150 \phi + 25 \quad \dots(7.3)$$

iii) 単一方向ファブリック

$$\sigma = 880 \phi^2 + 140 \phi + 140 \quad \dots(7.4)$$

iv) 成型方法が不明である場合

$$\sigma = 70 \quad \dots(7.5)$$

(ハ) スプレーアップ法におけるガラス含有率(質量)の確保

スプレーアップ法におけるガラス含有率(質量)は、樹脂量とロービングヤーンの量の設定に左右される。そのため、スプレーアップ法を用いる場合、各 FRP の舟艇のメーカーは、品質管理上、使用した樹脂の量及びロービングヤーンの質量を計測するなどにより、0.3(30%)以上のガラス含有率(質量)を確保している。

一方、現行のスプレーアップ法に係る基準においてガラス含有率(質量)に関する基準はない。

そのため、上記(イ)の表 7.1 のガラス含有率(質量) ϕ により算定する FRP 積層板の引張り強さを一定以上確保する必要があることから、小型船舶安全規則の附属書[3]「強化プラスチック船(FRP 船)暫定基準 4. (4)について、下記のとおり下線部分を追加する。

(4) スプレーアップ法

(i) スプレーアップ装置による成型は、熟練した成型技術者が行うこと。

(ii) スプレーアップ装置は、適正なガラス含有率(質量) (30%以上を標準とする)及び均一な厚さに成型できるものであること。

(2)板厚計測による強度確認方法

(イ) 板厚計測による強度確認方法の見直し

以下の数式により、引張り強さ σ に応じて $M \leq Z\sigma$ が成立する範囲で必要な断面係数 Z を確保することにより、船体強度を確保する。

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq D \left\{ 2 \left(t_d \cdot \frac{\sigma_d}{98} \right) \cdot B_d + \frac{1}{3} \left(t_s \cdot \frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot D \cdot \frac{2t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2t_d \cdot B_d}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} \right\} \times 10^3 \quad \dots(7.6)$$

$$\sigma_d \leq \sigma_b \quad \text{かつ} \quad \sigma_s \leq \sigma_b$$

この場合において、

a: 滑走艇にあつては、1.25

非滑走艇にあつては、1.00

W: 満載排水量(t)

td: 上甲板の船体中央部における板厚(mm)

ts: 船側外板の船体中央部における板厚(mm)

tb: 船底外板の船体中央部における板厚(mm)

Bd: 上甲板の船体中央部の片舷の幅(メートル)

σd : 上甲板の引張り強さ(N/mm²)

σs : 船側外板の引張り強さ(N/mm²)

σb : 船底外板の引張り強さ(N/mm²)

(ロ) 板厚の上限値

FRP 積層板の板厚は、ガラス基材と樹脂の量により決まる。したがって、樹脂を多く用いた場合、板厚が大きくガラス含有率(質量)が小さい積層板となる。

一方、上記 7.2(1)の表 7.1 のガラス含有率(質量)は、標準的な樹脂の量に対するガラス含有率(質量)である。引張り強さは単位面積あたりの強度であることから、樹脂を多く用いた積層板は、上記 7.2(1)で算定したとおりの引張り強さにはならない。

ISO12215-5 は、基材ごとのガラス含有率(質量)と単位面積あたりのガラス質量により、標準的な板厚を求めることができる。この度の FRP 積層板のガラス含有率(質量)に応じた船体強度の確保の基準の見直しにおいて樹脂過剰による過大な板厚での強度評価を避けるため、ISO12215-5 により求めることのできる標準の板厚を板厚の上限値 t(mm)として以下の式により設定する。ただし、スプレーアップ法によりチョップマットのみを積層した層や積層構成が不明なものとして引張り強さ σ を求めた場合は、計測値を使用して差し支えないこととする。

$$t = \left[\frac{2.56}{\phi} - 1.36 \right] \frac{w}{3.072} \quad \dots(7.7)$$

ϕ : 積層板のガラス含有率((7.1)式により求める値)

w: 各基材の単位面積あたりのガラスの質量(kg/m²)の合計値

表 7.2 FRP 積層板の板厚の計算値と実測値

積層構成	MR	MR'	M' R	M' R'
実測値 t (mm)	1.78	2.14	2.11	2.47
算定値 t (mm)	1.79	2.16	2.14	2.51

M: 450(g/m²) M' 600(g/m²) R570(g/m²) R' 860(g/m²)

[「FRP データ集(その1)」ニットポー(S49.11)に基づき作成]

7.3 簡易な強度確認の方法の対象の拡大(案)

現行の長さ 15m 未満の FRP 製の小型船舶を対象とする簡易な強度確認の方法のうち(イ)船体の縦曲げ試験、(ロ)板厚計測による強度確認について、長さ 24m 未満の FRP 製の小型船舶に拡大する。

なお、簡易な強度確認の方法の対象の拡大にあたっては、表 7.3 のとおり、「強化プラスチック船(FRP 船) 特殊基準」に基づき長さ 15m 以上の小型船舶に対し実施している建造前材料検査や切り出し材料試験検査等の代替措置を盛りこむこととする。これに伴い、FRP 船特殊基準「第 6 章 検査の方法」表 6 を表 7.4 のとおり読み替えることとする。

表 7.3 FRP 特殊基準の適用関係

FRP 特殊基準	見直し(案)
第 1 章 定義	従来通り適用 なお、FRP 暫定基準に適合する場合は本章に適合するものとみなす。
第 2 章 工場施設及び管理技術者等	従来通り適用
第 3 章 船体材料	従来通り適用 なお、同一の材料を使用した小型船舶(積層構成が異なる場合を含む)の建造実績がある場合は本章に適合するものとみなす。
第 4 章 成型工事等	従来通り適用 なお、FRP 暫定基準に適合する場合は本章に適合するものとみなす。
第 5 章 構造寸法等	従来通り適用 なお、縦曲げ試験又は板厚計測による強度確認により直接的に船体の強度を確認する場合は本章に適合するものとみなす。
第 6 章 検査の方法	従来通り適用 ただし、第 6 章 1. (1) の表 6 は、下表 7. 4 に読み替えることとする。

表 7.4 FRP 船特殊基準「第 6 章 検査の方法」表 6 の読み替え

長さ	船体長さ(※1)24m 未満 船の長さ 15m 以上(※2)		船の長さ 15m 未満	
	新型船	同型船	新型船	同型船
建造前材料試験	○※3	×	×	×
設計検査	○※4	△	△	△
建造中検査	○※4	○※4	×	×
完成検査	○	○	○	○
切り出し材料試験	○※4	×	×	×
縦曲げ試験	△※5	×	○	×

○印は、行うことを示す。

△印は、当該検査項目の一部又は全部を省略することを示す。

×印は、行わないことを示す。

※1 小型船舶安全規則第 2 条第 1 項第 2 号の「船体長さ」をいう。

※2 小型船舶安全規則第 2 条第 1 項の「小型船舶」に限る。

※3 同一の材料を使用した小型船舶(積層構成が異なる場合を含む)の建造実績がある場合又は国土交通省海事局検査測度課長の承認を受けた材料を使用する場合は省略して差し支えない。

なお、上記によらない材料を使用する場合であっても、(3)FRP 製船体(i)長さ 15メートル未満の小型船舶(ロ)板厚計測による強度確認 1) ii)に従って当該材料の強度を決定するものにあつては、同様に建造前材料試験省略して差し支えない。

※4 (i)の(イ)縦曲げ試験又は(ロ)板厚計測による強度確認を行う場合は省略して差し支え

ない。

※5 設計検査又は建造中検査を省略する場合は、(i)の(イ)縦曲げ試験又は(ロ)の板厚計測により、船体の強度を確認すること。

7.4 サンドイッチ構造における内層板の考慮

サンドイッチ構造のFRP船については、現行の板厚計測による強度確認に対して下記の見直し案を適用することに関しては一定の合意を得られたが、8.2章で示すとおり、異なる観点からの問題点が指摘されたため、結果的には更なる検討が必要となった。

(1) 内層板の厚さに係る規定の見直し(案)

板厚計測における強度確認において、内層板の厚さに係る基準である「内層板の厚さは外層板の厚みの0.8倍以上であること」を満たさなくとも内層板の板厚を外層板の板厚を加えることが出来るものとする。

(2) 心材の厚さに係る規定の見直し(案)

板厚計測における強度確認において、心材の厚さが25mmを超える場合であっても、外層板の板厚に内層板の板厚を加えた値を用いることができることとする。なお、心材の厚さ d は、今回の解析範囲である実態を踏まえた値 $0.1D$ 以下($d/D \leq 0.1$)であることとする。

各部の板厚(t_d 、 t_s 及び t_b)の値は、FRP内外皮それぞれの板厚の合計値に、縦強度に寄与すると認められる心材の板厚を加えて差し支えない。ただし、心材の厚さ d は $d/D < 0.1$ であること。

<小型船舶安全規則に関する細則の改正(案)>

小型船舶安全規則に関する細則 5.0(b)(3)(i)(ロ)

2) 附属書[3]「強化プラスチック船 (FRP 船) 暫定基準」の規定を満足する「FRP サンドイッチ構造」のものについては、以下を適用して差し支えない。

i) 1)の式中の各部の板厚(t_d 、 t_s 及び t_b)の値は、FRP内外皮それぞれの板厚の合計値に、縦強度に寄与すると認められる心材の板厚を加えて差し支えない。ただし、心材の厚さ d は $d/D < 0.1$ であること。

(以下略)

8 今後の課題

本調査研究において、以下の課題の提起があった。

しかしながら、本調査研究に時間的制約があったこと、本調査研究の目的であるクロスの使用割合の見直しに係る船体強度の評価方法に直接的に関係しないこと、本課題は将来的なものであって現時点では特に問題となっていないことから今後の検討課題とした。

8.1 真空成形法に係る技術基準の課題

現行の附属書[3]強化プラスチック船(FRP 船)暫定基準における真空成形法の成型作業等に係る基準は以下のとおりであるところ、数値要件(重ねしろ 50mm,曲率半径 20mm)については、将来的に設計の自由度において障壁となる懸念がある。

真空成形法

- (i) 繊維基材は、できる限り継目が少なくなるようにするとともに、極端な板厚の変化が生じないように配列すること。また、同一箇所での重ね合わせをできるだけ少なくするとともに、原則として継目の重ねしろは 50mm 以上とすること。
- (ii) コーナー内側の曲率半径は 20mm 以上とすること。また開口部は一体成形せず、繊維基材もその周辺とほぼ同程度の配列とし、後加工とすること。
- (iii) 繊維基材、樹脂注入口、バギングフィルムの配置にあたっては、局部的に樹脂過多もしくは樹脂欠乏を生じないように注意して施工すること。
- (iv) 繊維基材に樹脂液が過不足無く含浸できるよう、樹脂液の粘度とゲル化時間を選択すること。
- (v) 樹脂注入中に空気混入が生じないように十分注意すること。

8.2 サンドイッチ構造に係る課題

本調査研究において、サンドイッチ構造の内層板と外層板の板厚の比と心材の厚さの基準の見直しにあたっては、現行の板厚計測における強度確認方法に対しては、内皮と外皮をそれぞれの断面に分解して剛性を求めて合算するという手法を使用した場合の縦強度への影響を考慮して、現行の数値基準は撤廃しても良いとの結論を得た。

しかしながら一方で、サンドイッチ構造を一枚の積層板として扱うことに対する、内層板と外層板の板厚の比の規定や心材厚さの規定に関しては、パネル評価を含む更なる検討が必要として整理された。

サンドイッチ構造

- (i) 内層板の厚さは外層板の厚みの 0.8 倍以上であること。
- (ii) 心材の厚さは 25mm を超えないこと。

9 結言

現行の「FRP 船特殊基準」は、(昭和 52 年 3 月 20 日付船査第 123 号)として制定されたもので、(昭和 57 年 6 月 20 日付船査第 280 号)による全部改正を経て、現在まで 36 年の歳月が流れている。特殊基準による構造寸法は排水量型の FRP 船の安全上の最小強度を与えるものとしては概ね妥当と考えられるが、基準の枠組みという点では最近の海外基準と比較すると、国際整合性に欠ける点がいくつか指摘されている。とくに特殊基準の制約が FRP 船の合理的な設計・建造技術の発展をむしろ阻害するとみなされる要因がいくつか考えられる。

その一例として、特殊基準が細則に追加された昭和 52 年当時から FRP 船の積層構成は、主要材料をガラス繊維基材とする場合、チョップドストランドマット(M)とロービングクロス(R)を 1 対 1 で重ねる(MR)の積層構成を 1 単位としてハンドレイアップ法で積層する(MR)×n の工法が推奨され、クロスの使用割合を 25~65%とすることが定められている。

近年の FRP 製の小型船舶の部材の積層構成は、主に①船舶の高速化・高出力化に対応する部材強度の確保、②環境(燃費)性能の向上を目的とする艇体の軽量化、③デザイン性(見映え)の向上及び④材料・積層作業費用の軽減の 4 つの要素を総合的に勘案することにより決定される。言い換えれば、FRP 製の小型船舶の部材の積層構成は、これら 4 つの要素を究極に追求することにより決定されることが理想である。しかし、現行の FRP 船暫定基準のクロスの使用割合の制限により、マット層のみを追加して部材強度の増加を図ることができない点で積層構成が制限され、積層構成が硬直化している状況にある。このため、国内メーカーから船体全体で強度を担保することが可能になった近年の設計技術の向上に見合った技術基準への見直しに対する要望が出されていた。

このため本調査研究では、平成 29 年度から 2 カ年計画で、「小型船舶の船体構造用材料(FRP 積層構成)に関する調査研究委員会」として 4 回の委員会を開催し、ロービングクロスに代わる FRP 製小型船舶の構造強度の担保の方法等について調査を行い、FRP 製の船体強度に寄与する積層構成等の見直しを行い、現行規定の改定のための基礎資料を整理した。この結果が見えてきた段階で、平成 30 年 10 月 26 日付で日本小型船舶検査機構通達「FRP 製船体の工作方法及び構造基準について(緩和措置)」が出されている。その内容は、「ロービングクロスに代わる FRP 積層板の引張り強さの決定法を追加する」、「FRP 船の板厚計測による強度確認において、引張り強さが 98 N/mm²を下回る場合にも、断面係数を大きくすることで対応できるように基準式を見直すともに、長さ 15m 以上の全ての FRP 製の小型船舶に適用を拡大する」の 2 点であり、本調査研究の主要な検討結果である。

将来ハンドレイアップ成形から転換されるであろう真空成形法については、CDM や DBM、BIAX などの NCF(NON Crimp Fabrics)と呼ばれるガラス繊維基材が用いられるが、本基準の改定により対応が可能である。ただし、真空成型法に係る技術基準の課題については、数値要件(重ねしろ 50mm, 曲率半径 20mm)は将来的に設計の自由度)に対する障壁となる懸念があるとの指摘があり、今後検討する必要がある。また、サンドイッチ構造の内層板と外層板の板厚の比と心材の厚さの基準の見直しにあたっては、現行の板厚計測における強度確認方法に対しては、内皮と外皮をそれぞれの断面に分解して剛性を求めて合算するという手法を使用した場合の縦強度への影響を考慮して、現行の数値基準は撤廃しても良いとの結論を得ているが、一方で、サンドイッチ構造を一枚の積層板として扱うことに対する、内層板と外層板の板厚の比の規定や心材厚さの規定に関しては、パネル評価を含む更なる検討が必要と考えられる。

これらの真空成形法及びサンドイッチ構造の技術基準見直しについては、令和元年度に新委員会を設置し、審議検討を行うこととしている。

参 考 资 料

小型船舶安全規則に関する細則

第2章 船体

(材料及び構造)

第5条 船体は、適当な材料を使用したものであり、かつ、航行に十分堪えることができる構造のものでなければならない。

5.0 (a) 「適当な材料」については、次によること。

(1) 鋼製船体

鋼製船体に使用する鋼材は、JIS G 3101のSS400の規格に相当するものを使用すること。

(2) 木製船体

木製船体の材料は、有害な節、繊維の目ぎれ、その他の著しい欠点がなく、かつ、腐れのないもので十分に乾燥したものであること。

木材の品質、強度等については、平成10年3月31日運輸省令第16号附則第3項により廃止される前の木船構造規則に基づく船舶検査心得 2-2 木船構造規則 第2章[木材]を参考として差し支えない。

(3) FRP製船体

FRP製船体の主要部材を構成する材料は、附属書[3]「強化プラスチック船(FRP船)暫定基準」の3材料によること。

(4) 軽合金製船体

軽合金製船体に使用される材料については、附属書[4]「軽合金製船体工作基準」の1(材料)によること。

(5) ポリエチレン製又はポリプロピレン製の船体(長さが6メートル未満の小型船舶に限る。)

ポリエチレン製又はポリプロピレン製の船体の主要部材を構成する材料は、附属書[5-3]「ポリエチレン製又はポリプロピレン製の小型船体暫定基準」の2.材料によること。

(6) ABS樹脂製船体(長さが6メートル未満の小型船舶に限る。)

ABS樹脂の船体の主要部材を構成する材料は、附属書[5-4]「ABS樹脂製小型船体暫定基準」の2.材料によること。

(7) その他

(1)～(6)により難しい場合は、資料を添えて本部に伺い出ること。

(b) 「航行に十分堪えることができる構造」については、次によること。

(1) 主要構造部材の配置

部材相互の配置及び固着は、著しい不連続を生じないように、その周囲に配置される部材と調和のとれたものとする。

(2) 鋼製船体

(i) 排水量型船 ($V/\sqrt{L} < 3.6$ である小型船舶。V:最強速力(ノット))

(イ) 長さ 12メートル未満の小型船舶

航行に十分堪えることができる適当な構造とすること。

(ロ) 長さ 12メートル以上の小型船舶

廃止される前の国土交通省「小型鋼船構造基準」又日本海事協会「鋼船規則 CS 編」を満足すること。ただし、沿岸区域及び 2 時間限定沿海区域(以下「沿岸区域等」という。)並びに、平水区域を航行区域とする小型船舶にあつては、適当に斟酌して差し支えない。

(ii) 軽構造船 ($V/\sqrt{L} \geq 3.6$ である小型船舶。V:最強速力(ノット))

附属書[5]「軽構造小型船体暫定基準」を満足すること。ただし、長さ 6メートル未満の小型船には、同基準に代えて、附属書[5-2]「落下試験」に定める基準を適用することができる。

(3) FRP製船体

(i) 長さ 15メートル未満の小型船舶

(イ)から(ハ)までのいずれかの方法により、適正な船体強度を有することが確認されたものであること。ただし、特殊小型船舶にあつては、(ハ)の方法によること。

(イ) 船体の縦曲げ試験

(ℓ (2 点で支持された船体(軽荷状態)に荷重を等分布支点間の距離)を少なくとも $0.6L$ とし、この支点間に分布させる。)にかけて、たわみ又は変形量が次の

値以下であること。

キールのたわみ $l/500$

幅の変形量 $l/250$

深さの変形量 $l/500$

この場合の荷重は、滑走艇 ($V/\sqrt{L} \geq 9$ となる小型船舶。)にあっては、「(1.25×満載)-(軽荷)」とし、非滑走艇 ($V/\sqrt{L} < 9$ となる船舶。)にあっては、「(満載)-(軽荷)」とする。

(ロ) 板厚計測による強度確認

1) 次の式に適合すること。

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq D \cdot \left(2 \cdot td \cdot Bd + \frac{1}{3} \cdot ts \cdot D \cdot \frac{2 \cdot tb \cdot B + ts \cdot D - 2 \cdot td \cdot Bd}{ts \cdot D + tb \cdot B} \right) \times 10^3$$

この場合において、

a: 滑走艇にあっては、1.25

非滑走艇にあっては、1.00

V: 最強速力(ノット)

W: 満載排水量(トン)

td: 上甲板の船体中央部における板厚(mm)

ts: 船側外板の船体中央部における板厚(mm)

tb: 船底外板の船体中央部における板厚(mm)

Bd: 上甲板の船体中央部の片舷の幅(メートル)

ただし、当該船舶の外板と同一構成のFRP積層板の引張り強さ σ が 98N/mm^2 (10kgf/mm^2) を超える場合にあっては、 $75 \cdot a \cdot W \cdot L$ は $(98/\sigma)$ ($10/\sigma$) を乗じた値として差し支えない。

2) 附属書[3]「強化プラスチック船 (FRP船) 暫定基準」の規定を満足する「FRPサントイッチ構造」のものについては、以下を適用して差し支えない。

i) 1)の式中の各部の板厚(td、ts及びtb)の値は、FRP内外皮それぞれの板厚の合計値に、縦強度に寄与すると認められる心材の板厚を加えた値とする。この場合、木材製心材は、その板厚に当該木材とFRP積層板との引張り弾性係数の比

を乗じて算定する。なお、米松、ラワン材及び構造用合板については、この比を次表の値として差し支えない。また、バルサ材及び硬質プラスチック発泡体は、板厚に算入しない。

表5.0<1>

心材の種類	係数
米松	1.0
ラワン材	1.0
構造用合板(※)	0.8

※ この場合の「構造用合板」とは、構造用合板の日本農林規格(昭和44年農林省告示第1371号)に定める構造用合板又はこれと同等以上の性能を有するものであって、次の各項目が明示されている合板とする。

- ・ 使用樹種名
- ・ 単板構成
- ・ 耐水性の区分(日本農林規格表示で差し支えない。)

ii) サンドイッチ構造の確認は、次によること。

i) 船体各部の積層要領図の提出を求め、設計上のFRP内外皮及び心材の材料及び厚さを確認すること。

ロ) 成型作業場において、実際に製造者が使用している心材の種類及び板厚を確認すること。

(ハ) 落下試験

附属書[5-2]「落下試験」に定める基準を満足すること。

(ii) 長さ15メートル以上の小型船舶

国土交通省「強化プラスチック(FRP船)特殊基準」を満足すること。

(4) 軽合金製船体

軽構造船($V/\sqrt{L} \geq 3.6$ である小型船舶。V:最強速力(ノット))
にあつては、次によること。

附属書[5]「軽構造小型船体暫定基準」を満足すること。ただし、長さ6メートル未満の小型船には、同基準に代えて、附属書[5-2]「落下試験」又は附属書[5-5]「アルミ合金製小型船体暫定基準」に定める基準を適用することができる。

- (5) ポリエチレン製又はポリプロピレン製の船体(長さが6メートル未満の小型船舶に限る。)

附属書[5-3]「ポリエチレン製又はポリプロピレン製の小型船体暫定基準」の3.構造強度によること。

- (6) ABS樹脂製船体(長さが6メートル未満の小型船舶に限る。)

附属書[5-4]「ABS樹脂製小型船体暫定基準」の3.構造強度によること。

- (7) その他

(1)から(6)により難しい場合は、資料を添えて本部に伺い出ること。

- (c) プレジャーボートの材料及び構造について、次の全てのISO規格に適合するもの((i),(ii)及び(iii))については、「scope(適用範囲)」が当該船舶に該当するものに限る。)は、本条の規定に適合するものと認めて差し支えない。

- (i) ISO 12215-1:2000「Small craft - Hull construction and scantlings - Part 1: Materials: Thermosetting resins, glass-fibre reinforcement, reference laminate (舟艇-スカントリング-第1部:材料-熱硬化性樹脂, ガラス繊維強化材, 基準積層材)」
- (ii) ISO 12215-2:2002「Small craft - Hull construction and scantlings - Part 2: Materials: Core materials for sandwich construction, embedded materials (舟艇-スカントリング-第2部:サンドイッチ構造用心材及び補強材)」
- (iii) ISO 12215-3:2002「Small craft - Hull construction and scantlings - Part 3: Materials: Steel, aluminium alloys, wood, other materials (舟艇-スカントリング-第3部:鋼、アルミニウム合金、木材及びその他の材料)」
- (iv) ISO 12215-5:2008「Small craft - Hull construction

and scantlings - Part 5: Design pressures for monohulls, design stresses, scantling determination (舟艇 - スカントリング - 第 5 部 : 設計水圧、許容応力、部材寸法の決定) (ただし、FRP積層材として「carbon fibre (カーボン繊維)」又は「aramid fibre (アラミド繊維)」を用いるものについては、材料の「mechanical properties (機械的特性)」及び「fibre content by mass (繊維重量含有率)」が「Annex C C.1.1 Evaluation level method 'E1-a'」によって決定されるものに限る。)

- (v) ISO 12215-6:2008「Small craft - Hull construction and scantlings - Part 6: Structural arrangements and details (舟艇 - スカントリング - 第 6 部 : 設計及び構造の詳細)」

附属書[3] 強化プラスチック船(FRP船)暫定基準

1. 適用

ガラス繊維基材と不飽和ポリエステル樹脂を主材料として成型される船舶は、小安則によるほか本基準にもよること。

2. 定義

この基準に使用する用語は、次のとおりとすること。

- (1) 「ガラスロービング」(以下「ロービング」という。)とは、無アルカリガラスで繰糸された単繊維を集束剤を用いて所定の太さになるよう均一に引きそろえたものをいう。
- (2) 「ガラスチョップト`ストラント`マット」(以下「チョップ`マット」という。)とは、無アルカリガラスのストラント`を適当な長さに切断し、無方向に均一な厚みに重ね、結合剤を用いてマット状に成形したものをいう。
- (3) 「ガラスロービングクロス」(以下「ロービングクロス」という。)とは、適当な繊維径を持った無アルカリガラスの単繊維を集束剤を塗布しながら集束したストラント`又はロービング`を用いて製織した平織物をいう。
- (4) 「液体不飽和ポリエステル樹脂」(以下「樹脂液」という。)とは、多塩基酸と多価アルコールとを反応させることにより得られる不飽和ポリエステルを、これと重合させる単量体に溶解した熱硬化性樹脂をいい、積層用樹脂液及びゲルコート用樹脂液とがある。
- (5) 「ゲルコート」とは、FRP船体の表面の美観と保護を兼ねる樹脂層をいう。
- (6) 「積層」とは、ガラス繊維基材に樹脂液を含浸させて、硬化の起こらないうちに次々に重ねて、又は下の層の硬化があまり進まないうちに上の層を重ねて硬化させる作業をいう。
- (7) 「オーバーレイ」とは、硬化した又は硬化の進んだ積層面、木材、硬質プラスチック発泡体等の上に積層を行う作業をいう。
- (8) 「接着」とは、硬化の進んだ積層面にオーバーレイすることをいう。
- (9) 「成形」とは、積層又は接着を行って、一定の形状、強度等を有するFRP製品を作成することをいう。
- (10) 「FRPサント`イッチ構造」とは、硬質プラスチック発泡体、木材(合板を含む。)等の心材の両面に密着したFRP層をもつ構造をいう。

- (11) 「ハンドレイアップ法」とは、ガラス繊維基材に樹脂液を含浸させ手作業で成形する方法をいう。(無気スプレーによってガラス繊維基材に樹脂液を含浸させた後、手作業で成形する方法を含む。)
- (12) 「スプレーアップ法」とは、樹脂液及びガラス繊維基材を同時にスプレーアップ装置を用いて成形する方法をいう。
- (13) 「真空成形法」とは、繊維基材をフィルム等で密閉し、これを減圧した後繊維基材に樹脂液を含浸させる方法をいう。

3. 材料

FRP製船体の主要部材を構成する材料は、次によること。

- (1) ガラス繊維基材は、ガラスクロス、ガラスチョップトストラントマット及びガラスロービングクロスとし、それぞれJIS R 3416、JIS R 3411 及び JIS R 3417の規格に適合するものであること。ただし、スプレーアップ工法に用いるガラス繊維基材にあつては、JIS R 3412の規格に適合するガラスロービングであること。
- (2) 不飽和ポリエステル樹脂は、液状において、粘度 $0.2\sim 0.8\text{Pa}\cdot\text{s}$ ($2\sim 8$ ポアズ)(ただし、ゲルコート用樹脂にあつては $1\sim 3\text{Pa}\cdot\text{s}$ ($10\sim 30$ ポアズ))、揺変性 $1.2\sim 4.0$ (ただし、ゲルコート用樹脂にあつては $3.0\sim 6.0$)、固形においては、ハーコール硬度40以上(ただし、ゲルコート用樹脂にあつては30以上)の特性に有し、使用目的に適合するものであること。
- (3) 木材は、充分乾燥したものであり、有害な節、繊維の目切れ、腐れ、その他の欠点が著しいものでなく、かつ、その使用目的にふさわしいものであること。
- (4) サンドイッチ板、フレーム、縦通材等の心材に使用する材料(木材、合板、フォーム材等であるが、フォーム材にあつては、独立気泡の発泡体に限る。)は、耐水性、耐油性、及び耐ポリエステル樹脂性を有し、非収縮性の高いものであること。
- (5) ガラス繊維基材、不飽和ポリエステル樹脂等は適正に保管され、汚損、変質、その他有害な欠陥のないものであること。

4. 成型作業等

(1) 成型一般

- (i) 成型は十分な知識、経験を有する管理技術者の監督の下で行

われること。

(ii) 成型に当っては、成型作業要領書に基づいて、作業区分に応じ適切な技術を有するものによって行われること。

(iii) 使用する材料に応じた適当な環境条件下に行われること。

(2) ゲルコート

(i) ゲルコートは、むらなく一様に塗布又は吹き付けること。

(ii) ゲルコートの厚さは、0.3～0.5mmを標準とする。

(3) ハンドレイアップ法

(i) ガラス繊維基材の配列は、できる限り継目が少なくなるようにすること。

また、原則として継目の重ねしろは、50mm以上とし、隣り合う層の間では、この重ねしろの中心は、100mm以上離すこと。

(ii) 積層にあたっては、樹脂液を充分含浸させた後、脱泡ローラ、ゴムローラ等で気泡を除去すること。ただし、過度に樹脂液をしごき出すことは好ましくなく、適切なガラス含有(チョップマットで約30%、ロービングクロスで約50%を標準とする。)を保つようにすること。また、局部的に樹脂過多又は樹脂欠乏を生じないよう一様に施工すること。

(iii) ロービングクロスは、ガラス総質量の25～65%とすること。

(iv) 積層にあたっては、原則として、下の層の硬化が著しく進まないうちに次の層の積層を行うこと。また、厚い外板を積層する場合等、工程上連続積層を行い得ない場合の積層部分には、パラフィンが入らない樹脂液を用い、かつ過剰な樹脂層を残さないようにすること。なお、連続積層を行い得ない場合で、パラフィンが入らない樹脂液の使用が困難なときは、サンディングを行いパラフィン層を除去したのち次の積層をすること。

(4) スプレーアップ法

(i) スプレーアップ装置による成型は、熟練した成型技術者が行うこと。

(ii) スプレーアップ装置は、適正なガラス含有率及び均一な厚さに成型できるものであること。

(5) 真空成形法

- (i) 繊維基材は、できる限り継目が少なくなるようにするとともに、極端な板厚の変化が生じないように配列すること。また、同一箇所での重ね合わせをできるだけ少なくするとともに、原則として継目の重ねしろは50mm以上とすること。
- (ii) コーナー内側の曲率半径は20mm以上とすること。また開口部は一体成形せず、繊維基材もその周辺とほぼ同程度の配列とし、後加工とすること。
- (iii) 繊維基材、樹脂注入口、バギングフィルムの配置にあたっては、局部的に樹脂過多もしくは樹脂欠乏を生じないように注意して施工すること。
- (iv) 繊維基材に樹脂液が過不足無く含浸できるよう、樹脂液の粘度とゲル化時間を選択すること。
- (v) 樹脂注入中に空気混入が生じないように十分注意すること。

(6) サンドイッチ構造の成型

- (i) サンドイッチ構造の船側及び船底の内層板の厚さは、外層板の厚みの0.8倍以上のFRP積層板とすること。
- (ii) パネルを構成するサンドイッチ構造の心材は、原則として、1層で構成すること。また、心材の厚さは25mmを超えないこと。
- (iii) 硬質プラスチック発泡体を心材とし、心材の仮止めに釘を用いる場合には、釘打ち後のへこみ、合せ目の食い違い等の傷を残さないように注意すること。また、心材相互のすき間は、1mm以下とすること。
- (iv) バルサ材を心材とする場合は、樹脂液が充分含浸するように配慮すること。また、心材相互のすき間は原則として、4mm以下とすること。

(7) 脱型

- (i) 脱型作業は、船殻に有害とする永久変形や損傷を生じないように慎重に行うこと。
- (ii) 脱型後は、船殻をできる限り大きな面で受け、均一な力がかかるように保持すること。

(8) 接着

- (i) 接着にあたっては、接着面の表面をワグダー等で荒らしてガラス繊維を露出させ、油脂類、ごみ等を充分取り除くこと。
- (ii) 硬化した積層面間の接着は、(i)に示す処理の後、ウェットなチョップマットをはさんで行うこと。
- (iii) 接着にあたっては、接着強度に非連続部が生じないように慎重に作業すること。

(9) 固着継手

- (i) 成型板相互又は成型板に金具類を機械的に固着する場合に使用するボルト、リベット、ねじ等の金物は、耐海水性のあるもの、又は適当な防蝕処理を施されたものであること。
- (ii) 機械的固着は、できる限り、成型板を直角に貫通する方向に使用すること。また、取付穴口は、樹脂液、パテ等を充分塗布すること。
- (iii) ボルト穴の中心から成型板の端部までの距離及びボルト穴間の距離は、穴の直径の3倍以上とすること。
- (iv) ボルト締めとする場合には、成型板の面にワッシャーを入れること。
- (v) 硬質プラスチック発泡体を心材とするサンドイッチ板を貫通して、ボルト、リベット、ねじ等を用いる場合には、心材のその部分に予め充分に乾燥した木材、合板等を埋め込んで置くこと。
- (vi) 水密を要求される箇所にボルト締め等の機械的固着をする場合には、適当な処理を施して水密性を保つこと。

(10) L型及びT型接着継手

- (i) L型又はT型接着継手の施工にあたっては、偶部に積層されるガラス繊維基材のスプリングバックによるはくり及び屈曲による折損を防ぐため、十分な曲率を与えること。
- (ii) 構造部材のL型及びT型継手の重ねしろは、一般に図1に例示する形式とすること。

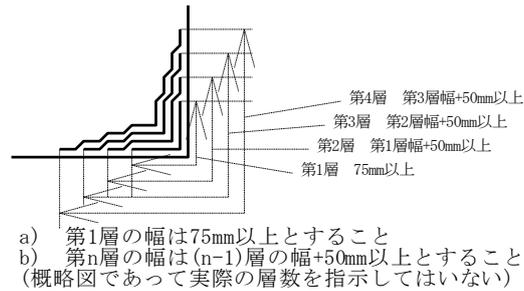


図 1

- (iii) L型及びT型継手は、現場でオーバーレイすること。
- (iv) T型継手の板厚は、通常接合される積層板の薄い方の板厚の1/2とすること。また、やむを得ずL型継手を使用する場合にはその厚さを2/3ないし3/3とすること。
- (v) 過度の硬化発熱により歪みを生じないように充分注意して、L型及びT型継手を施工すること。
- (vi) エンジンガード、隔壁等、相当大きい荷重又は振動が加わる部材を接合する場合は、原則として、図2に例示する形式のように、ガラス繊維基材等の補強材を積層板の上に張り、構造部材を置くこと。

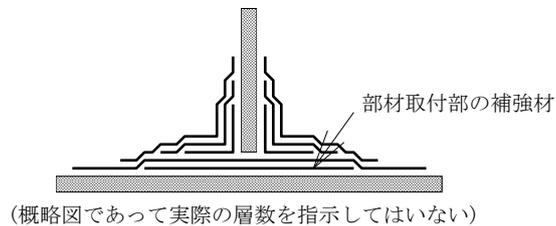
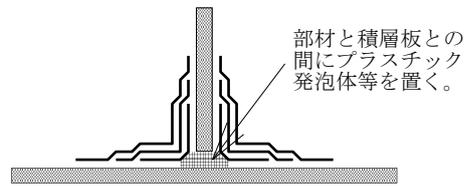


図 2

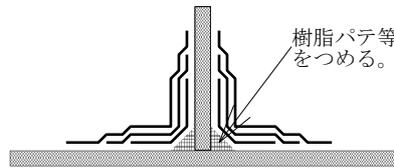
- (vii) 大きい荷重又は振動が加わらない部材を接合する場合には、原則として、図3に例示する形式のように、部材と積層板との間にプラスチック発泡体を置くか、又は図4に例示する形式のよう

に樹脂パテ等をつめて、隅部を充分積層することにより、構造部材を接合すること。



(概略図であって実際の層数を指示してはいない)

図 3



(概略図であって実際の層数を指示してはいない)

図 4

ロービングクロスとチョップドストランドマットの材料特性の相違

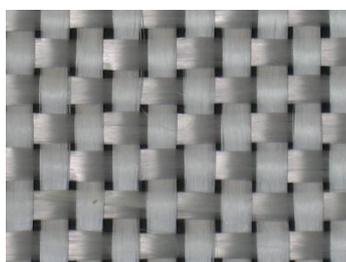
1. 織り地の相違

ロービングクロス

縦横に粗糸(ロービング roving)を編み合わせて製織した織物

チョップドストランドマット

50mm 程度に切断したガラス繊維をランダムに分散させて均一な厚みに積層した織物



ロービングクロス



チョップドストランドマット

2. 積層板のガラス含有率及び機械的特性の相違

「FRP 船原材料の特性と検査基準に関する研究(昭和 54 年 3 月)」における調査結果を表 1 に示す。

表 1 積層板のガラス含有率及び機械的特性

	ガラス含有率 (%)	引張り強さ (kg/mm ²)	引張り弾性率 (kg/mm ²)	曲げ強さ (kg/mm ²)	曲げ弾性率 (kg/mm ²)
ロービング クロス	48.5~58.0	25.0~56.2	1550~2540	28.3~73.4	1230~2300
チョップドスト ランドマット	28.9~34.3	9.1~14.5	882~1077	18.1~24.9	813~965
FRP 特殊基準の 要求値	※	10 以上	700 以上	15 以上	700 以上

※ ガラス含有率は、チョップマット層で 30 ± 3%, ロービングクロス層で 50 ± 3% を標準とする(第 4 章 3. (2))。なお、ロービングクロスは、ガラス総重量の 25~65% とすること(第 5 章 D. 1. (5))。

ロービングクロス積層板の諸特性

表4-2-3-4

メーカー別	調査 品番数	硬化剤 _____ % 積層温度-放置時間 _____ °C- _____ h アフターキュア _____ °C- _____ h		ガラス含有率 (%)	吸水率 (%)	引張り弾性率 (kg/cm ²)	引張り強さ (kg/cm ²)	曲げ弾性率 (kg/cm ²)	曲げ強さ (kg/cm ²)
		1 20-24 40-16	1 25-24 40-16						
A	9	1 20-24 40-16	1 25-24 40-16	49.7~53.5	0.15~0.11	1550 ~ 1770	268~289	1530 ~ 1690	40.8~45.1
B	1	1 80-5		52.0	0.14	1830	28.0	1570	36.8
C	1	1 20-24 40-16			0.15	1756	25.0		40.3
D	2	1 25-24 40-16		53.2~54.0	0.10	1910 ~ 1970	30.5~31.8	1450 ~ 1490	38.6~39.8
E	5	1 21-24 40-16		50.6~55.9	0.11~0.15	1560 ~ 2110	25.0~40.2	1490 ~ 1750	37.2~48.7
F	7	1 21-24 80-5		49.2~58.0	0.24~0.14	1630 ~ 2510	28.3~42.2	1230 ~ 2070	28.3~51.7
G	16	1 20-24 60-3		52.5~52.9	0.10~0.09	2090 ~ 2115	34.8~40.9	1669 ~ 1789	35.0~48.5
H	10	1 25-24 40-16		48.5~51.7	0.19~0.11	1548 ~ 1875	26.7~34.3	1378 ~ 1620	34.4~44.5
分布範囲	51	/		48.5~58.0	0.24~0.09	1548 ~ 2510	25.0~42.2	1230 ~ 2070	28.3~51.7
F (特殊品番)	2	1 21-24 80-5		50.3~52.5		2480 ~ 2540	55.3~56.2	2260 ~ 2300	70.9~73.4
I (輸入品)	2	1 90-16			0.12~0.11	1820 ~ 1925	18.1~19.1	1618 ~ 1650	(2時間浸漬) 40~45

チョップドストランドマット積層板の諸特性

表 4-2-3-1

メーカー別	調査 品番数	硬化剤 _____ %	ガラス含有率	吸 水 率	引張り弾性率	引張り強さ	曲げ弾性率	曲げ強さ
		積層温度-放置時間 ℃ _____ h アフターキュア ℃ _____ h						
a	7	1	28.9~31.2	0.18~0.12	910 ~ 970	10.5 ~ 11.6	860 ~ 965	19.6 ~ 21.1
		25 - 24 40 - 16						
b	3	"	30.5	0.12	940	11.5	880	21.4
c	6	1	29.1~31.3	0.16~0.13	896 ~ 963	9.1 ~ 10.9	837 ~ 903	18.1 ~ 20.1
		20 - 24 40 - 16						
d	11	1	29.8~34.3	0.20~0.14	900 ~ 1070	10.5 ~ 14.5	820 ~ 950	19.3 ~ 24.6
		21 - 24 80 - 6						
e	7	1	31.2~32.0	0.12~0.11	1016 ~ 1077	12.5 ~ 13.3	830 ~ 873	21.1 ~ 24.4
		20 - 24 60 - 3						
f	6	1	29.3~30.7	0.16~0.13	882 ~ 940	11.0 ~ 12.6	813 ~ 906	20.4 ~ 24.9
		20 - 24 40 - 16						
分布範囲	40	/	28.9~34.3	0.20~0.11	882 ~ 1077	9.1 ~ 14.5	813 ~ 965	18.1 ~ 24.9
g (輸入品)	2	1		0.11	950 ~ 970	12.0 ~ 12.5	830 ~ 840	21.0 ~ 22.0
		40 - 16						
基準値				0.3以下	700以上	80以上	650以上	15以上

(注) アフターキュアの条件は一応 40℃-16時間を設定したが、この資料の得られなかった場合は、そのメーカーの手持ち資料によった。

3. ガラス含有率と積層厚等

I-3 チョップドストランドマットロービングクロス組合せFRP板の厚さと重さ

表 I-2

樹脂の比重量=1.20g/cm³ グラスファイバー比重量=2.60g/cm³

ガラス 含 量 (wt.%)	M R		M R'		M' R		M' R'	
	1層の厚さ (mm)	1層1m ² の 重さ (kg)						
20	3.79	5.10 (4.08)	4.86	6.54 (5.23)	4.35	5.85 (4.68)	5.43	7.30 (5.84)
22	3.41	4.64 (3.69)	4.37	5.95 (4.64)	3.91	5.32 (4.15)	4.88	6.64 (5.18)
24	3.08	4.25 (3.23)	3.96	5.46 (4.15)	3.54	4.88 (3.71)	4.42	6.08 (4.62)
26	2.83	3.95 (2.93)	3.63	5.04 (3.73)	3.24	4.50 (3.33)	4.05	5.62 (4.16)
28	2.58	3.65 (2.63)	3.31	4.68 (3.37)	2.96	4.18 (3.01)	3.69	5.21 (3.75)
30	2.38	3.41 (2.39)	3.05	4.37 (3.06)	2.73	3.90 (2.73)	3.40	4.87 (3.41)
32	2.20	3.19 (2.17)	2.82	4.09 (2.78)	2.52	3.66 (2.49)	3.15	4.56 (3.10)
34	2.04	3.00 (1.98)	2.62	3.85 (2.54)	2.34	3.44 (2.27)	2.92	4.29 (2.83)
36	1.90	2.83 (1.81)	2.44	3.64 (2.33)	2.18	3.25 (2.08)	2.73	4.06 (2.60)
38	1.78	2.69 (1.67)	2.28	3.45 (2.14)	2.04	3.08 (1.91)	2.55	3.84 (2.38)
40	1.67	2.55 (1.53)	2.14	3.28 (1.97)	1.91	2.93 (1.76)	2.39	3.65 (2.19)
42	1.57	2.43 (1.41)	2.01	3.12 (1.81)	1.80	2.79 (1.62)	2.24	3.48 (2.02)
44	1.47	2.31 (1.29)	1.89	2.98 (1.67)	1.69	2.66 (1.49)	2.11	3.32 (1.86)
46	1.39	2.22 (1.20)	1.78	2.85 (1.54)	1.60	2.54 (1.37)	1.99	3.17 (1.71)
48	1.31	2.12 (1.10)	1.68	2.73 (1.42)	1.51	2.44 (1.27)	1.88	3.04 (1.58)
50	1.24	2.04 (1.02)	1.59	2.62 (1.31)	1.43	2.34 (1.17)	1.78	2.92 (1.46)

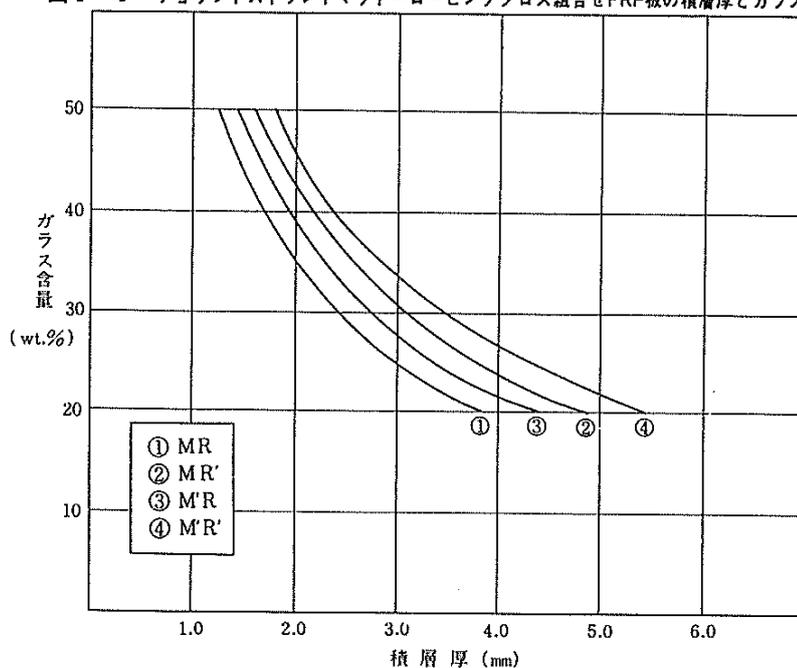
注) 1層=MRを1回組合せた層

() 内は必要樹脂量, ただし樹脂の歩留りは考慮せず

チョップドストランドマット M: MC450 (450g/m²) M': MC600 (600g/m²)

ロービングクロス R: WR570 (570g/m²) R': WR860 (860g/m²)

図 I-5 チョップドストランドマットロービングクロス組合せFRP板の積層厚とガラス含量



[FRP データ集(その1) ニットーポー S49.11]

FRP 製の船舶に使用するガラス基材の特性等

1. ガラス繊維基材の種類 (ISO12215-1 による定義)

(1) チョップドストランドマット (Chopped strand mat)

短く切断した繊維をランダムに分散させた編み物

(2) ロービング (Roving)

繊維を平行に縊り合わせたもの

(3) ロービングクロス (Woven Roving)

縦横に粗糸(ロービング roving)を編み合わせて製織した織物

(4) マルチ方向ロービング (Multidirectional Roving)

ロービングを多方向に重ね合わせた織物

(5) 単一方向ロービング (Unidirectional Roving)

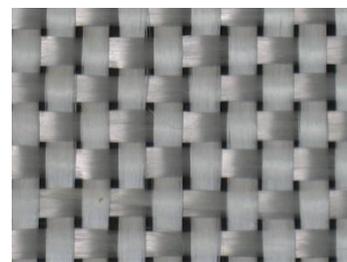
ロービングを一方向に配置した織物



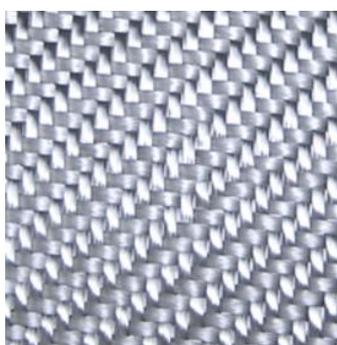
チョップドストランドマット



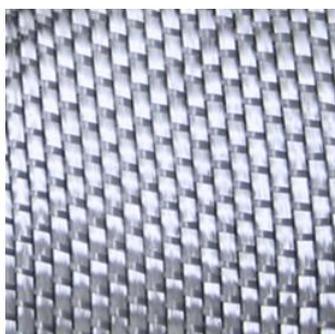
ロービング



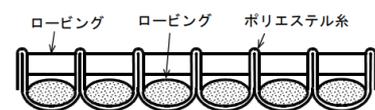
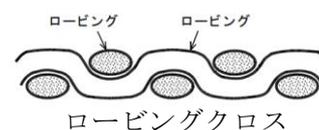
ロービングクロス



マルチ方向ロービング



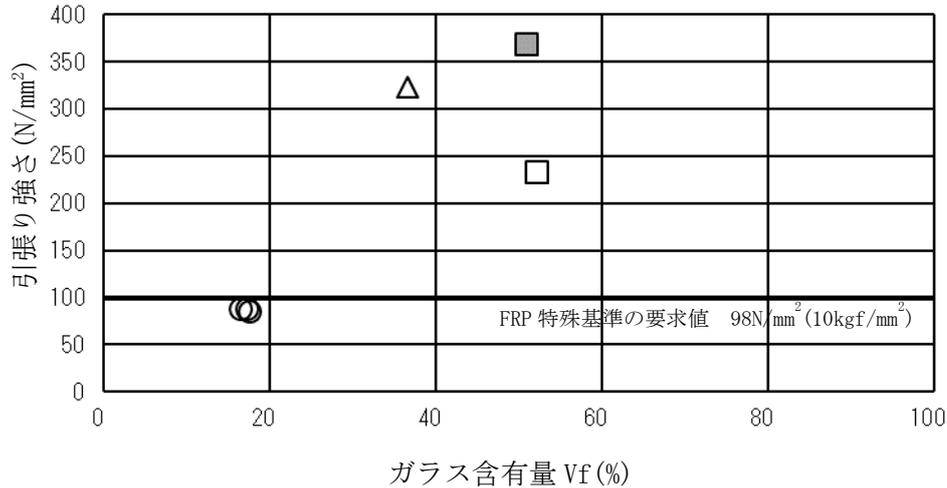
単一方向ロービング



マルチ(単一)方向ロービング

2. ガラス基材の機械的性質

(1) 各ガラス基材のガラス含有量と引張り強さ



○: チョップドストランドマット (300, 450, 600 g/m²)

積層構成 300 g/m²×6ply, 450 g/m²×4ply, 600 g/m²×3ply

△: ロービングクロス (580 g/m²)

積層構成 6ply

□: マルチ方向ロービング 4軸+2軸 (不飽和ポリエステル)

4軸 0° 330 g/m² / 90° 330 g/m² / +45° 401 g/m² / -45° 401 g/m²

2軸 +45° 267 g/m² / -45° 267 g/m²

積層構成 8ply

±45 / ±45 / 4軸 (0···) / 4軸 (0···) / 4軸 (···0) / 4軸 (···0) / ±45 / ±45

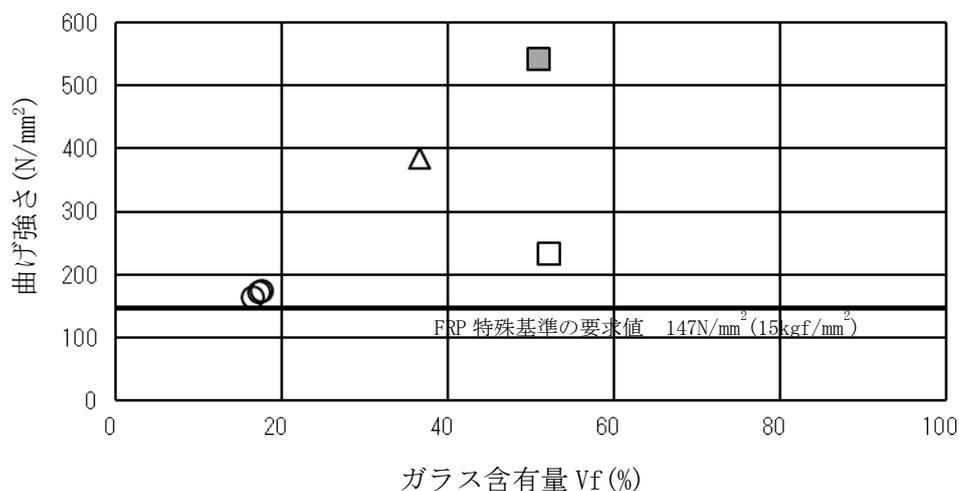
■: マルチ方向ロービング 4軸 (ビニルエステル)

4軸 0° 226 g/m² / +45° 218 g/m² / 90° 204 g/m² / -45° 218g/m²

積層構成 6ply

[「小型船舶用新素材に関する調査研究委員会報告書(JCI 平成6年3月)」及び「クラマスを基材としたFRP成形板の機械的特性(強化プラスチック協会平成22年9月)」より作成]

(2) 各ガラス基材のガラス含有量と曲げ強さ



○: チョップドストランドマット (300, 450, 600 g/m²)

積層構成 300 g/m²×6ply, 450 g/m²×4ply, 600 g/m²×3ply

△: ロービングクロス (580 g/m²)

積層構成 6ply

□: マルチ方向ロービング 4軸+2軸 (不飽和ポリエステル)

4軸 0° 330 g/m² / 90° 330 g/m² / +45° 401 g/m² / -45° 401 g/m²

2軸 +45° 267 g/m² / -45° 267 g/m²

積層構成 8ply

±45 / ±45 / 4軸(0···) / 4軸(0···) / 4軸(···0) / 4軸(···0) / ±45 / ±45

■: マルチ方向ロービング 4軸 (ビニルエステル)

4軸 0° 226 g/m² / +45° 218 g/m² / 90° 204 g/m² / -45° 218g/m²

積層構成 6ply

[「小型船舶用新素材に関する調査研究委員会報告書(JCI 平成6年3月)」及び「クラマスを基材としたFRP成形板の機械的特性(強化プラスチック協会平成22年9月)」より作成]

FRP 製の船舶の構造強度の確認基準

1. 我が国の基準

(1) 長さ 15m 未満の船舶

長さ 15m 未満の FRP 製の船舶は、①船体の縦曲げ試験、②板厚計測による強度確認または③落下試験により構造強度の確認を行う。これらのうち①船体の縦曲げ試験及び③落下試験は、実際に船体に負荷(外力)を加えて船体に異常がないことを確認するもので、②板厚計測による強度確認は外板等の板厚の計測値を基に机上計算により構造強度を確認するものである。

クロスの使用割合は、一定の部材強度を確保する目的があると推定されることから、上記 3通りの構造強度の確認方法のうち、実際に船体に負荷(外力)を加えて試験することのない②板厚計測による強度確認においては重要な要素であると考えられる。

②板厚計測による強度確認は、以下の判定式を用いるもので、この判定式は曲げ応力に対する許容応力を確認するものである。この判定式は、上甲板、船側外板及び船底外板の引張り強さ(N/mm²)が 98 N/mm²以上あることが前提ある。すなわち、クロスの使用割合はこの判定式の前提である引張り強さを確保するための基準であると考えられることができる。

$$75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq D \cdot \left(2 \cdot td \cdot Bd + \frac{1}{3} \cdot ts \cdot D \cdot \frac{2 \cdot tb \cdot B + ts \cdot D - 2 \cdot td \cdot Bd}{ts \cdot D + tb \cdot B} \right) \times 10^3$$

この場合において、

a: 滑走艇にあつては、1.25

非滑走艇にあつては、1.00

V: 最強速力(ノット)

W: 満載排水量(トン)

td: 上甲板の船体中央部における板厚(mm)

ts: 船側外板の船体中央部における板厚(mm)

tb: 船底外板の船体中央部における板厚(mm)

Bd: 上甲板の船体中央部の片舷の幅(メートル)

ただし、当該船舶の外板と同一構成の FRP 積層板の引張り強さ σ_t が 98N/mm²(10kgf/mm²)を超える場合にあつては、 $75 \cdot a \cdot W \cdot L$ は $(98/\sigma_t)(10/\sigma_t)$ を乗じた値として差し支えない。

(2)長さ 15m 以上の船舶

長さ 15m 以上の FRP 製の船舶の構造基準は、国土交通省の「強化プラスチック (FRP 船) 特殊基準」(以下「FRP 特殊基準」という。)による。FRP 特殊基準における構造強度に係る基準は、材料の強度基準 (引張り強さ 98 N/mm²、曲げ強さ 147 N/mm²等) を満たすことを条件に各部材の板厚や断面係数が決定される。ただし、材料の強度基準を上回る強度を有する部材を用いる場合は、以下の係数を板厚や断面係数に乗じた値を使用することができる。

$$\text{板厚に対して } \sqrt{\frac{147}{\sigma f}}$$

σf :147 N/mm²を超える曲げ強さ(N/mm²)

$$\text{断面係数に対して } \frac{98}{\sigma t}$$

σt :98 N/mm²を超える引張り強さ(N/mm²)

2. ISO の基準

ISO12215-5 における FRP 製の船体強度の確認(評価)は、細則 5.0(b)(3)における板厚計測による強度確認とは異なり、衝撃圧やパネルの形状、各部材間寸法などによるが、強度確認(評価)のインプットデータの一つとして板厚を用いる点においては、細則と ISO は一致する。ただし、ISO12215-5 では FRP 積層板については、板厚を直接計測することはせず、ガラス繊維の含有率(kg/m²)に応じた板厚を算定する。

また、ISO12215-5 は FRP 積層板の機械特性を表 1 に示す 3 つ(EL-a~c)の方法のうちいずれかの方法により評価する。EL-a は、部材の積層ごとに公的に認定された試験方法により繊維質量 w 及びガラス含有量 ϕ から板厚を算定する。EL-b は、“場合によって” 行う燃焼法により求めたガラス含有量 ϕ を用い、規定された数式により機械特性や板厚を算定する。ここで“場合によって”とは製造者の責任により確認されるもので、規定値以上の機械的強度を有する必要がある。EL-c は、材料試験を行うことなく、基材及び成型方法に応じてあらかじめ定められたガラス含有量(デフォルト値)を基に機械特性を算定するものである(表 2,3 参照)。ただし、EL-c により機械特性を求める場合は、EL-a や EL-b の材料試験を実施して求める機械特性の値に 0.8 を掛けた値となる。

表 1. 機械特性評価レベルの決定方法

評価レベル	定義	方法
EL-a	機械特性及びガラス含有量は、認められている試験方法によって決定し、試験サンプルは製品と同じものとする。	計測値に別途規定した修正を加えた値を用いる。
EL-b	ガラス含有量は計測によって求める。抜取り検査を認め試験方法によって実施され、その試験サンプルは製造する製品と同じもので、別途規定した数値を超えていることを確認する。	別途規定した値を用いる。
EL-c	ガラス含有量及び機械特性に関する明確な計測は行わない。ガラス含有量は、別途定める規定か他の公称値を用いる。	別途規定した値に 0.8 を乗じた値を用いる。

表 2. ガラス含有量の公称値

積層の種類	ガラス繊維-ガラス質量含有量 ψ		
	オープンモールド		真空成型
	単純面	複雑面	
マット(スプレーアップ)	0.30	0.25	0.36
マット(ハンドレイアップ)	0.30	0.25	0.36
クロス	0.48	0.36	0.56-0.22R
ロービングマット組合せ	0.46-0.18R	0.35-0.11R	0.60
マルチ方向ファブリック	0.50	0.38	0.60
単一方向ファブリック	0.55	0.41	0.66

- ・ R=マットの合計質量(kg/m²)/積層のガラス繊維合計質量(マットとロービング)(kg/m²)
- ・ 単純面は、樹脂の浸透及び含浸が楽に行えるもの、複雑面は、樹脂の浸透及び含浸が簡単でない面。

表 3. ガラス質量含有量 ϕ に対する t/w の値

ϕ	0.25	0.30	0.36	0.38	0.41	0.50	0.55	0.58	0.60	0.66
t/w	2.89	2.34	1.87	1.75	1.59	1.22	1.07	0.99	0.95	0.82

ϕ : ガラス質量含有量

t/w : 厚さ(mm)とガラス乾燥質量(kg/m²)との比率

3. FRP 積層板の強度に係る細則の要求値と ISO による算定値との比較

図 1、図 2 は、それぞれクロス使用割合に対する引張り強さと曲げ強さを表し、実測値と ISO12215-5 の EL-b 及び EL-c により算定した値を比較するものである。なお、本データは「小型船舶用新素材に関する調査研究委員会報告書(平成 6 年 3 月)」の数値を使用した。

図より、ISO による算定値の方が実測値より小さい値を示すことが分かる。

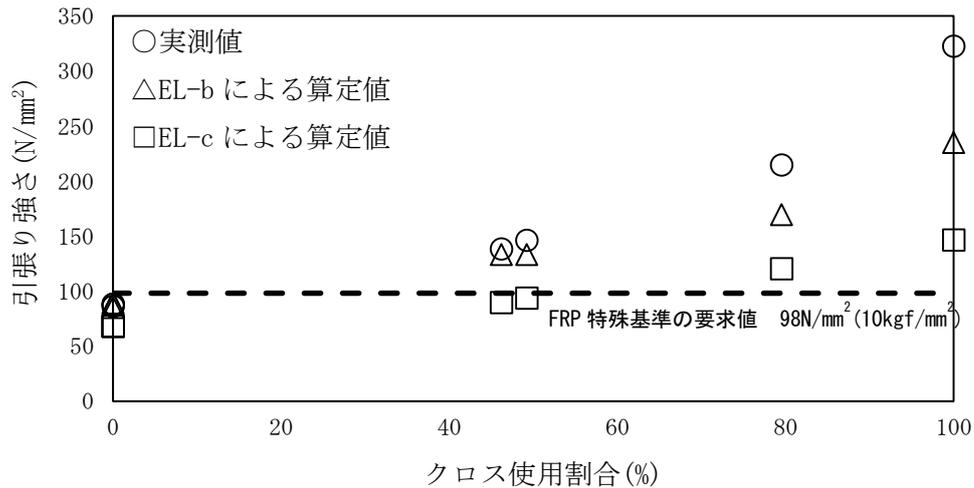


図 1 クロス使用割合に対する引張り強さの比較

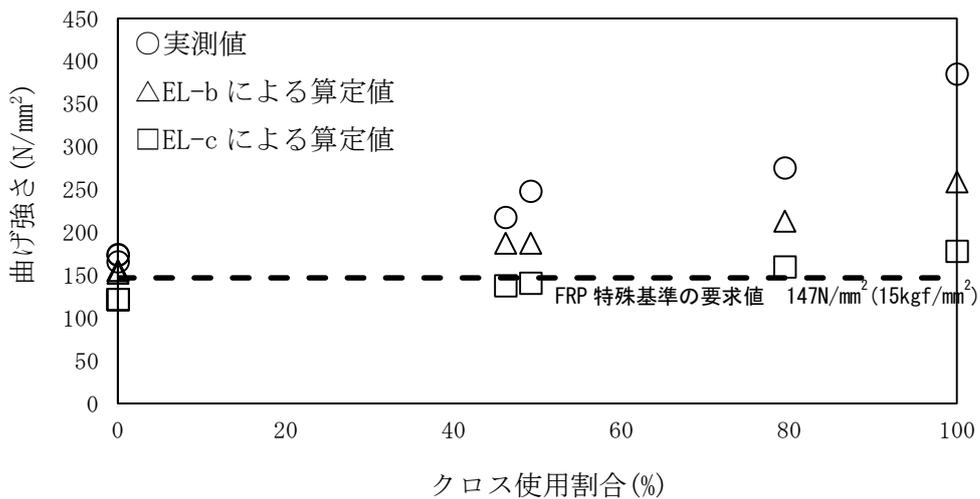


図 2 クロス使用割合に対する曲げ強さの比較

長さ 15m 未満の FRP 船の強度確認に関する規定の変遷

○昭和 43 年 8 月 7 日付船検第 196 号「強化プラスチック製の検査について」により船舶安全法 5 条の 2 (随時検査) の対象船(下記「参考」参照)につき、現行の縦曲げ試験と同様の検査の方法を適用

○昭和 52 年 3 月 12 日付船査第 123 号「強化プラスチック船(FRP 船)の特殊基準について」により「強化プラスチック製の検査について(昭和 43 年 8 月 7 日付船検第 196 号)」を全面改正。長さ 15m 未満の船舶について、現行の縦曲げ試験と同様の検査の方法を適用

○昭和 57 年 6 月 10 日付船査第 280 号「強化プラスチック船(FRP 船)の特殊基準(昭和 52 年 3 月 12 日付船査第 123 号)の全面改正について」により、船の長さ 15m 未満の新型船(設計検査を行った場合を除く)を除き、縦曲げ試験を実施しないこととなった。

○平成 2 年 7 月 23 日付海検第 45 号「登録長さ 15m 未満の FRP 船の構造寸法の取り扱いについて」により、長さ 15m 未満の FRP 船の構造強度を確認する基準が制定され、縦曲げ試験を省略できることとなった。これを受け、平成 2 年 9 月 3 日付検機検第 367 号「検査事務規定細則の一部改正」により FRP 船体の板厚計測により縦曲げ試験を省略する規定を制定

(参考)

船舶安全法第 5 条の 2 [随時検査](昭和 48 年 9 月 14 日法律 80 号にて削除)

前条ノ規定ニ拘ラズ第二条第一項ノ規定ノ適用アル船舶(総噸数五噸以上ノ旅客船ヲ除ク)ニシテ総噸数二十噸未満ノモノ及平水区域ノミヲ航行スルモノニ付テノ検査ハ主務大臣ニ於テ必要ト認ムル時ニ随時之ヲ行フモノトシ当該検査ノ方法及検査ニ基キ交付スル証書ソノ他ノ書類ニ関シテハ命令ヲ以テ之ヲ定ム

削除の理由

昭和 48 年当時に随時検査の対象となっていた船舶に対し、技術上の判断から定期的検査の運用を図っていたことから小型船舶の範囲の拡大(対象を 5 トン未満に拡大)により法第 5 条に一本化したため。

小型船舶安全規則に関する細則(関連：小型漁船安全規則)の改正案(新旧)

[新]	[旧]	備考(解説)①
<p>第2章船体</p> <p>5.0</p> <p>(a) (略)</p> <p>(b)「航行に十分堪えることができる構造」については、次によること</p> <p>(1)～(2) (略)</p> <p>(3)FRP 製船体</p> <p>(i)長さ 15メートル未満の小型船舶</p> <p>(イ)から(ハ)までのいずれかの方法により、適正な船体強度を有することが確認されたものであること。ただし、特殊小型船舶にあつては、(ハ)の方法によること。</p> <p>(イ)船体の縦曲げ試験</p> <p><u>(ロ)2点で支持された船体(軽荷状態)に荷重をの支点間</u> <u>0.6Lとす、この支点間に分布させる。)</u><u>にかけられた状態にお</u> <u>いて、たわみ又は変形量が次の値以下であること。</u></p> <p>キールのたわみ 0/500 幅の変形量 0/250 深さの変形量 0/500</p> <p>この場合の荷重は、滑走艇($V/\sqrt{L} \geq 9$となる小型船舶。)</p>	<p>第2章船体</p> <p>5.0</p> <p>(a) (略)</p> <p>(b)「航行に十分堪えることができる構造」については、次によること</p> <p>(1)～(2) (略)</p> <p>(3)FRP 製船体</p> <p>(i)長さ 15メートル未満の小型船舶</p> <p>(イ)から(ハ)までのいずれかの方法により、適正な船体強度を有することが確認されたものであること。ただし、特殊小型船舶にあつては、(ハ)の方法によること。</p> <p>(イ)船体の縦曲げ試験</p> <p>(ロ)2点で支持された船体(軽荷状態)に荷重を等分布 支点間の距離)を少なくとも 0.6Lとし、この支点間に 分布させる。)にかけて、たわみ又は変形量が次の値以 下であること。</p> <p>キールのたわみ 0/500 幅の変形量 0/250</p>	<p>記載方法の見直し</p>

<p>にあつては、「(1.25×満載)－(軽荷)」とし、非滑走艇($V/\sqrt{L} < 9$となる小型船舶。)にあつては、「(満載)－(軽荷)」とする。 また、Vは最強速力(ノット)とする。</p> <p>(ロ)板厚計測による強度確認</p> <p>1) 次の式に適合すること。</p> $75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq D \left\{ 2 \left(t_d \cdot \frac{\sigma_d}{98} \right) \cdot B_d + \frac{1}{3} \left(t_s \cdot \frac{\sigma_s}{98} \right) \cdot D \cdot \frac{2t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2t_d \cdot B_d}{t_b \cdot B + t_s \cdot D} \right\} \times 10^3$ $\sigma_d \leq \sigma_b \quad \text{かつ} \quad \sigma_s \leq \sigma_b$ <p>この場合において、</p> <p>a: 滑走艇にあつては、1.25 非滑走艇にあつては、1.00</p> <p>V: 最強速力(ノット)</p> <p>W: 満載排水量(トン)</p> <p>td: 上甲板の船体中央部における板厚(mm)</p> <p>ts: 船側外板の船体中央部における板厚(mm)</p> <p>tb: 船底外板の船体中央部における板厚(mm)</p> <p>Bd: 上甲板の船体中央部の片舷の幅(メートル)</p> <p>σ_d: 上甲板の引張り強さ(N/mm²)</p> <p>σ_s: 船側外板の引張り強さ(N/mm²)</p> <p>σ_b: 船底外板の引張り強さ(N/mm²)</p>	<p>深さの変形量 $\ell/500$</p> <p>この場合の荷重は、滑走艇($V/\sqrt{L} \geq 9$となる小型船舶。)にあつては、「(1.25×満載)－(軽荷)」とし、非滑走艇($V/\sqrt{L} < 9$となる船舶。)にあつては、「(満載)－(軽荷)」とする。</p> <p>(ロ)板厚計測による強度確認</p> <p>1) 次の式に適合すること。</p> $75 \cdot a \cdot W \cdot L \leq D \cdot \left(2 \cdot t_d \cdot B_d + \frac{1}{3} \cdot t_s \cdot D \cdot \frac{2 \cdot t_b \cdot B + t_s \cdot D - 2 \cdot t_d \cdot B_d}{t_s \cdot D + t_b \cdot B} \right) \times 10^3$ <p>この場合において、</p> <p>a: 滑走艇にあつては、1.25 非滑走艇にあつては、1.00</p> <p>V: 最強速力(ノット)</p> <p>W: 満載排水量(トン)</p> <p>td: 上甲板の船体中央部における板厚(mm)</p> <p>ts: 船側外板の船体中央部における板厚(mm)</p> <p>tb: 船底外板の船体中央部における板厚(mm)</p> <p>Bd: 上甲板の船体中央部の片舷の幅(メートル)</p>	<p>誤記修正</p> <p>FRP 積層委員会 合意事項 海技研資料参照</p> <p>誤記修正</p>
--	---	---

<p>ただし、当該船舶の外板と同一構成のFRP積層板の引張り強さσが$98N/mm^2$($10kgf/mm^2$)を超える場合には、$75 \cdot a \cdot W \cdot L$は$(98/\sigma)$を乗じた値として差し支えない。</p> <p>なお、上甲板、船側外板及び船底外板の引張り強さσ_x(σ_d, σ_s又はσ_b)は以下のi)又はii)のいずれかの方法により確認すること。ただし、各部(上甲板、船側外板又は船底外板)にロービングクロスを25～65%(ガラス質量比)使用している場合の引張り強さσ_xは$98(N/mm^2)$とすることができる。</p> <p>i) 材料試験の成績書による確認 各部の積層板(上甲板、船側外板及び船底外板)の材料試験(引張り試験)の成績書により確認する。</p> <p>ii) 以下のイ)～ニ)のいずれかの式による算定 同一の材料を使用した小型船舶(積層構成が異なる場合を含む)の建造実績がない場合又は国土交通省海事局検査測度課長の承認のない材料を使用する場合は、以下の式により求めた値に0.8を乗じた値とする。</p> <p>イ) チョップマット、ロービングクロス、ロービングクロスとチョップマットの混合又はマルチ方向ファブリック $\sigma_x = 800 \phi^2 - 80 \phi + 37$</p> <p>ロ) チョップマット(スプレーパー用に限る)</p>	<p>ただし、当該船舶の外板と同一構成のFRP積層板の引張り強さσが$98N/mm^2$($10kgf/mm^2$)を超える場合には、$75 \cdot a \cdot W \cdot L$は$(98/\sigma)$を乗じた値として差し支えない。</p> <p>0.8を乗じた値は、ISO12215-5 C.1.4の2パラ</p> <p>イ)～ハ) ISO12215-5 C.2.2</p>
--	--

<p><u>$\sigma_x=150 \phi+25$</u></p> <p>ハ) 単一方向ファブリック (繊維の方向が船首尾方向の場合に限る)</p> <p><u>$\sigma_x=880 \phi^2+140 \phi+140$</u></p> <p>ニ) 積層構成が不明の場合</p> <p><u>$\sigma_x=70$</u></p>	<p>ニ)はσ_xが最小値となるマップのみをスプレッドアップ成型した場合の値</p> <p><計算例></p> <p>ISO12215-5</p> <p>C.3.2 参照</p>
<p>ガラス含有率 ϕ は基材及び成形の種類に応じて表1の値を用いて以下の計算例を参考に求めること。</p> <p><計算例></p> <p>ハンドレイアップ法により製造された船舶で積層構成がゲルトコート+チヨップマップト (300g/m²) × 2+ロービングクロス (580g/m²)+チヨップマップト (450g/m²) の場合</p> <p>チヨップマップト (300g/m²) のガラス含有率 ϕ_1 及びガラス質量 w_1 はそれぞれ $\phi_1=0.30$ (下表), $w_1=2 \times 0.3 = 0.60$ kg/m²</p> <p>同様にロービングクロス (580g/m²) のガラス含有率 ϕ_2 及びガラス質量 w_2 はそれぞれ $\phi_2=0.48$ (下表), $w_2=0.58$ kg/m², チヨップマップト (450g/m²) のガラス含有率 ϕ_3 及びガラス質量 w_3 はそれぞれ $\phi_3=0.30$ (下表), $w_3=0.45$ kg/m² となる。</p>	

従ってガラス含有率 ϕ は

$$\phi = \frac{w1 + w2 + w3}{\psi1 + \psi2 + \psi3} = \frac{0.60 + 0.58 + 0.45}{0.30 + 0.48 + 0.30} = 0.35$$

となる。

表 1

成型の種類	ガラス含有率 ϕ	
	ハンドレイアウト法又はスプレニアップ法	真空成形法
基材の種類 チョップマットのみ	0.30 (30%)	0.36 (36%)
ロービングクロスのみ	0.48 (48%)	0.58 (58%)
ロービングクロスとチョップマットの混合	0.46-0.18R (46%-18R%) R=チョップマットの合計質量 (kg/m ²)/積層のガラス繊維の合	0.56-0.22R (56%-22R%) R=チョップマットの合計質量 (kg/m ²)/積層のガラス繊維の合

表 1.
ISO12215-5
Table C. 2

	計質量(kg/m ²)	計質量(kg/m ²)
マルチ方向ファブリック	0.50 (50%)	0.60 (60%)
単一方向ファブリック	0.55 (55%)	0.66 (66%)

また、強度部材として算入する上甲板、船側外板又は船底外板の板厚(td、ts、tb)は、以下の算式により求めた板厚 tc(mm)又は実測した板厚 ta(mm)のうち小さい値とすること。

ただし、スプレージップ法によりチョップマップのみを積層した場合や積層構成が不明なものとして引張り強さσを求めた場合は、実測した板厚 ta(mm)を使用して差し支えない。

$$tc = \left(\frac{2.56}{\psi} - 1.36 \right) \frac{w}{3.072}$$

w: 各基材の単位面積あたりのガラス質量(kg/m²)

2) (略)

(ハ) 落下試験(略)

(ii) 長さ 15メートル以上の小型船舶
国土交通省「強化プラスチック (FRP 船) 特殊基準」を満足すること。
ただし、各章の適用については表2のとおりとして差し支えない。

<p>「また、～」は 樹脂過剰による 過大な板厚での 強度評価を避け るために設けた 規定であり、数 式は ISO12215-5 C.1 式による。 (①)</p>	<p>(ii) 「ただし、～」は、縦曲げ</p>
<p>2) (略)</p> <p>(ハ) 落下試験(略)</p> <p>(ii) 長さ 15メートル以上の小型船舶 国土交通省「強化プラスチック (FRP 船) 特殊基準」を満足すること。</p>	<p>2) (略)</p> <p>(ハ) 落下試験(略)</p> <p>(ii) 長さ 15メートル以上の小型船舶 国土交通省「強化プラスチック (FRP 船) 特殊基準」を満足すること。</p>

表2		試験又は板厚計測による強度確認方法の適用範囲を15m→24mまで拡大するための修正。(①)
FRP 特殊基準の章	適用	
第1章 定義	適用。なお、FRP 暫定基準に適合する場合は本章に適合するものとみなす。	
第2章 工場施設及び管理技術者等	適用	
第3章 船体材料	適用。なお、同一の材料を使用した小型船舶(積層構成が異なる場合を含む)の建造実績がある場合は本章に適合するものとみなす。	
第4章 成型工事等	適用。なお、FRP 暫定基準に適合する場合は本章に適合するものとみなす。	
第5章 構造寸法等	適用。なお、縦曲げ試験又は板厚計測による強度確認により直接的に船体の強度を確認する場合は本章に適合するものとみなす。	

第6章 検査の方法
適用。ただし、第6章
1.(1)の表6は、下表3に
読み替えることとする。

表3

船体長さ(※1)	24m未満	
	新型船	同型船
建造前材料試験	○(※2)	×
設計検査	○(※3)	△
建造中検査	○(※3)	○(※3)
完成検査	○	○
切り出し材料試験	○(※3)	×
縦曲げ試験	△(※4)	×

○印は、行うことを示す。

△印は、当該検査項目の一部又は全部を省略することを示す。

×印は、行わないことを示す。

※1 小型船舶安全規則第2条第1項第2号の「船体長さ」をいう。

※2 同一の材料を使用した小型船舶(積層構成が異なる場合を含む)の建造実績がある場合又は国土交通省海事局検査測定課長の承認を受けた材料を使用する場合は省略して差し支えない。

<p>なお、上記によらない材料を使用する場合であっても、 <u>(3)FRP製船体(i)長さ15メートル未満の小型船舶(ロ)板厚計測による強度確認1) ii)に従って当該材料の強度を決定するもの</u>にあつては、<u>同様に建造前材料試験省略して差し支えない。</u> (④)</p> <p>※3 (i)の(イ)縦曲げ試験又は(ロ)板厚計測による強度確認を行う場合は省略して差し支えない。</p> <p>※4 設計検査又は建造中検査を省略する場合は、(i)の(イ)縦曲げ試験又は(ロ)の板厚計測により、<u>船体の強度を確認すること。</u></p> <p>(以下略)</p>	<p>※2 「なお、～」は、同一材料の使用実績がない場合又は検査程度課長の承認のない材料であっても、引張り強度の計算式によって得られた値に0.8を乗じた値を当該材料の引張り強度とすることによって当該材料の使用を認めているため、これを反映して追記したものの。(①)</p>
--	---

船舶検査心得 小型船舶安全規則 付属書 [2] 及び小型船舶安全規則に関する細則 付属書 [3]

強化プラスチック船 (FRP 船) 暫定基準の改正案 (新旧)

[新]	[旧]	備考 (解説) (欄追加 ^①)
<p>1. 適用 (略)</p> <p>2. 定義</p> <p>(1) 「ロービングヤーン」とは、<u>無アルカリガラスで繰糸された単繊維をいう。</u></p> <p>(4) (2) 「ガラスロービング」(以下「ロービング」という。)とは、<u>無アルカリガラスで繰糸された単繊維ロービングヤーンを集束剤を用いて所定の太さになるよう均一に引きそろえたものをいう。</u></p> <p>(2) (3) 「ガラスチョップストランドマット」(以下「チョップマット」という。)とは、<u>無アルカリガラスのストランドロービングヤーンを適当な長さに切断し、無方向に均一な厚みに重ね、結合剤を用いてマット状不織布に成形したものをいう。</u></p> <p>(3) (4) 「ガラスロービングクロス」(以下「ロービングクロス」という。)とは、<u>適当な繊維径を持った無アルカリガラスの単繊維を集束剤を塗布しながら集束したストランド又はロービングを用いて製織した平織物をいう。</u></p>	<p>1. 適用 (略)</p> <p>2. 定義</p> <p>(1) 「ガラスロービング」(以下「ロービング」という。)とは、<u>無アルカリガラスで繰糸された単繊維を集束剤を用いて所定の太さになるよう均一に引きそろえたものをいう。</u></p> <p>(2) 「ガラスチョップストランドマット」(以下「チョップマット」という。)とは、<u>無アルカリガラスのストランドを適当な長さに切断し、無方向に均一な厚みに重ね、結合剤を用いてマット状に成形したものをいう。</u></p> <p>(3) 「ガラスロービングクロス」(以下「ロービングクロス」という。)とは、<u>適当な繊維径を持った無アルカリガラスの単繊維を集束剤を塗布しながら集束したストランド又はロービングを用いて製織した平織物を</u></p>	<p>「2. 定義」全般：従来の定義の適正化を行った。(①)</p> <p>(1) 「ロービングヤーン」の定義を新たに追加し、他の用語の定義で使用されている「無アルガラスで繰糸された単繊維」を「ロービングヤーン」に置き換えた。(①)</p>

<p>(5) 「<u>単一方向ファブリック</u>」とは、<u>ロービングを一方方向に配置した不織布をいう。</u></p> <p>(6) 「<u>マルチ方向ファブリック</u>」とは、<u>ロービングを多方向に重ね合わせた不織布をいう。</u></p> <p>(4) (7) 「<u>液体不飽和ポリエステル樹脂</u>」(以下「<u>樹脂塗</u>」)という。)とは、<u>不飽和多塩基酸、と飽和多塩基酸及び多価アルコールとを反応させることにより得られる不飽和ポリエステルを、これと重合させる希釈性反応モノマー(単量体)に溶解した熱硬化性樹脂をいい、積層用樹脂塗及びゲルコート用樹脂塗などがある。</u></p> <p>(6) (8) 「<u>ゲルコート</u>」とは、FRP 船体の表面の美観と保護を兼ねる樹脂層をいう。</p> <p>(6) (9) 「<u>積層</u>」とは、<u>ガラス繊維基材に樹脂塗を含浸させ、脱泡して硬化の起こらないうちに次々に重ねて、又は下の層の硬化があまり進まないうちに上の層を重ねて硬化させる作業をいう。</u>することである。</p> <p>(7) (10) 「<u>オーバーレイ</u>」とは、硬化した又は硬化の進んだ積層面、木材、硬質プラスチック発泡体等の上に積層を行う作業をいう。</p> <p>(8) (11) 「<u>接着</u>」とは、硬化の進んだ積層面にオーバーレイすることを含む。</p> <p>(9) (12) 「<u>成形</u>」とは、積層又は接着を行って、一定の形状、</p>	<p>いう。</p> <p>追加 ①</p> <p>追加 ①</p> <p>(4) 「<u>液体不飽和ポリエステル樹脂</u>」(以下「<u>樹脂液</u>」という。)とは、<u>多塩基酸と多価アルコールとを反応させることにより得られる不飽和ポリエステルを、これと重合させる単量体に溶解した熱硬化性樹脂をいい、積層用樹脂液及びゲルコート用樹脂液とがある。</u></p> <p>(5) 「<u>ゲルコート</u>」とは、FRP 船体の表面の美観と保護を兼ねる樹脂層をいう。</p> <p>(6) 「<u>積層</u>」とは、<u>ガラス繊維基材に樹脂液を含浸させて、硬化の起こらないうちに次々に重ねて、又は下の層の硬化があまり進まないうちに上の層を重ねて硬化させる作業をいう。</u></p> <p>(7) 「<u>オーバーレイ</u>」とは、硬化した又は硬化の進んだ積層面、木材、硬質プラスチック発泡体等の上積層を行う作業をいう。</p> <p>(8) 「<u>接着</u>」とは、硬化の進んだ積層面にオーバーレイすることを含む。</p> <p>(9) 「<u>成形</u>」とは、積層又は接着を行って、一定の形</p>	<p>(5) (6) 強度に係る規定において新たに ISO12215-5 を取り入れて改正を行ったため、これに伴って「<u>単一方向ファブリック</u>」及び「<u>マルチ方向ファブリック</u>」の定義を追加。 ①</p>
--	---	--

<p>強度等を有するFRP製品を<u>作成製</u>することをいう。</p> <p>(10) (13) 「FRP サンドイッチ構造」とは、硬質プラスチック発泡体、木材(合板を含む。)等の心材の両面に密着したFRP層をもつ構造をいう。</p> <p>(11) (14) 「ハンドレイアップ法」とは、ガラス繊維基材に樹脂塗を含浸させ<u>手作業で、脱泡させる</u>手順にて成形する方法をいう。(無気樹脂スプレーによってガラス繊維基材に樹脂塗を含浸させた後、脱泡する手作業で成形する方法を含む。)</p> <p>(12) (15) 「スプレアアップ法」とは、樹脂及び<u>ガラス繊維</u>材適当な長さ(2インチを標準とする)に切断した⁽¹⁾ロービングヤーンを同時にスプレアアップ装置を用いて成形する方法をいう。</p> <p>(13) (16) 「真空成形法」とは、繊維基材をフィルム等で密閉し、これを減圧した後繊維基材に樹脂塗を<u>真空で含浸</u>させる方法をいう。</p> <p>3. 材料 (略)</p> <p>4. 成型作業等 (1)成型一般 (略)</p>	<p>状、強度等を有するFRP製品を作成することをいう。</p> <p>(10) 「FRP サンドイッチ構造」とは、硬質プラスチック発泡体、木材(合板を含む。)等の心材の両面に密着したFRP層をもつ構造をいう。</p> <p>(11) 「ハンドレイアップ法」とは、ガラス繊維基材に樹脂塗を含浸させ手作業で成形する方法をいう。(無気スプレーによってガラス繊維基材に樹脂塗を含浸させた後、手作業で成形する方法を含む。)</p> <p>(12) 「スプレアアップ法」とは、樹脂及びガラス繊維基材を同時にスプレアアップ装置を用いて成形する方法をいう。</p> <p>(13) 「真空成形法」とは、繊維基材をフィルム等で密閉し、これを減圧した後繊維基材に樹脂塗を含浸させる方法をいう。</p> <p>3. 材料 (略)</p> <p>4. 成型作業等 (1)成型一般 (略)</p>	<p>(15) 「小型船舶の船体構造用材料(FRP積層構成)」に関する検討会」における指摘内容を反映して、ロービングヤーンの切断長さの記載を追加。(1)</p>
---	--	--

<p>(2)ゲルコート (略)</p> <p>(3)ハンドレイアップ法 (i) (略) (ii) (略) (iii) ロービングクロスは、ガラス総質量の 25～65%とす ること。</p> <p>(4) スプレーアップ法 (i) (略) (ii) スプレーアップ装置は、適正なガラス含有率(質量 比 <u>30%以上を標準とする</u>)及び均一な厚さに成型できる ものであること。</p> <p>(以下略)</p>	<p>(2)ゲルコート (略)</p> <p>(3)ハンドレイアップ法 (i) (略) (ii) (略) (iii) ロービングクロスは、ガラス総質量の 25～ 65%とすること。</p> <p>(4) スプレーアップ法 (i) (略) (ii) スプレーアップ装置は、適正なガラス含有率 及び均一な厚さに成型できるものであること。</p> <p>(以下略)</p>	<p>(ii)FRP 材料の引張り強 度について新たにガラス 含有率をベースとした算 出方法を取り入れたため、 本規定を削除。(㊦) (ii) ISO12215-5 の取り入 れによって、マットのガラ ス含有率 0.3 以上を確保 するため追加。(㊦)</p>
---	---	--