

平成19年度  
軽構造（アルミニウム製）小型船舶の  
構造強度についての合理的評価方法に関する調査研究  
報告書

平成20年3月  
日本小型船舶検査機構



軽構造（アルミニウム製）小型船舶の構造強度についての合理的評価方法に関する調査研究

目 次

1．はじめに.....	1
2． 基礎調査.....	2
2．1 構造設計基準について.....	2
2．2 現行板厚計測試験方法について.....	2
2．3 船体構造実態調査.....	3
3．検査方法作成にあたっての基本的な考え.....	11
3．1 Aタイプの検査方法について.....	11
3．2 Bタイプの検査方法について.....	28
3．3 Cタイプの検査方法について.....	31
4．まとめ.....	34

参考資料

ISO/FDIS12215-5:2006-08-024



## 1. はじめに

国内で建造される船体長さが 24m 以下の軽構造（アルミニウム製）小型船舶の多くは、国内基準である「軽構造小型船体暫定基準」を満足すること、また、船体長さが 6m 未満の小型船においては、同基準に代えて、落下試験により強度確認評価を実施している。軽構造小型船体暫定基準は、構造設計基準であり、完成時に部材寸法などの船体強度を確認する具体的方法は明記されてはいない。また、現在、船体長さが 6m 未満の輸入小型船は、船体強度を評価するための部材寸法等の資料が必ずしも整備されていないのが実情であり、落下試験を実施して強度評価を行っている。しかしながら、落下試験は、莫大な手間と経費がかかるとともに、破壊試験であることから、試験中に対象船舶の強度部材は健全であっても、商品価値下落への懸念を指摘されることがある。

また、平成 18 年度実施した、ISO 12215-5（設計応力、許容応力、部材寸法の決定）と小型船舶安全規則との整合化作業で、ISO12215-5 を小安則第 5 条で述べる「航行に十分堪えることができる構造」として妥当な基準であると判断を下した。これを受け、平成 18 年度実施した「長さ 15m 以上の FRP 小型船舶の構造強度等についての合理的評価法に関する調査研究」において、構造関連図書が整備されていないことが想定される輸入艇に対して、本 ISO12215-5 を適用して建造時検査を実施することを提案した。

このような状況を踏まえ、平成 18 年度同様、板厚等を把握することにより、当該船舶の構造の基準適合性について判断できる合理的かつ実用的な評価方法の策定に向けた調査研究を実施したので、ここに報告する。

## 2. 基礎調査

### 2.1 構造設計基準について

#### (1) 現行国内設計基準

小型船舶安全規則第5条（材料及び構造）によると、「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。」とし、軽構造船（速長比が3.6以上である小型船舶）に対して、「軽構造小型船体暫定基準」により要求部材寸法が与えられ設計・建造される。また、長さ6m未満の小型船には、本基準に代えて、落下試験に定める基準を適用することができる。

#### (2) ISO12215-5（設計応力、許容応力、部材寸法の決定）

ISO12215-5は、FRP、金属等で建造される船の長さが2.5mから24mの小型船舶を対象とし（計画時最強速力が50ノットまでの小型船）外板、甲板の板厚、スチフナ断面係数等、安全に航行するために必要な部材寸法が要求される国際規格である。平成18年度実施した、ISO12215-5（設計応力、許容応力、部材寸法の決定）と小型船舶安全規則との整合化作業で、ISO12215-5を小安則第5条で述べる「航行に十分堪えることができる構造」として妥当な基準であると判断を下したことを受け、平成18年度実施した「長さ15m以上のFRP小型船舶の構造強度等についての合理的評価法に関する調査研究」においても、構造関連図書が整備されていないことが想定される輸入艇に対して、本ISO12215-5を適用して建造時検査を実施することを提案した。なお、本規格付属書には、我が国の現行落下試験基準が採用されている。

### 2.2 現行板厚計測試験方法について

FRP製船体に対しては、船体長さが15m未満の小型船舶の船体強度確認試験として、縦曲げ試験が実施されてきたところに、検査の合理化の一環として、板厚計測による強度確認試験が導入された。本板厚計測による強度確認試験は、縦曲げ試験と同等の縦強度を有することを簡易な式で判定することを目的に実施され、多くの実績が積み重ねられている。

そこで、昨年度実施した「長さ15m以上のFRP小型船舶の構造強度等についての合理的評価法に関する調査研究」では、板厚計測により強度確認を行う試験方法を提案した。

船体長さが15m未満のFRP製船舶に対しては、船体内部構造（スチフナ）の配置による全体強度への寄与は大きくないとみなし、現状、内部構造を考慮せず、船体外板及び甲板板厚を計測するのみで評価している。一方、昨年度報告したように、船体が長くなるにつれて、より細長い船型に近づくことによって、船体縦強度を確認しておくことも必要である。たとえば、ISO12215-6（詳細構造設計）では、船体長さと船体深さの比が12を超えるような場合、船体縦強度を確認することを規定している。そこで、昨年度、船体の長さが15mを超えるようなFRP船舶の場合においては、スチフナの配置による強度への影響を考慮した検査方法を提案した。

## 2.3 船体構造実態調査

機構の支部で所有する国内で最近建造された、軽構造（アルミニウム製）小型船の構造設計関連図書から船体構造に関するデータを整理した。これらの小型船舶の多く（船体長さが 6m 以上）が、軽構造小型船体暫定基準で設計・建造された船舶であり、船体長さが 6m 未満の小型輸入艇では、落下試験による強度確認を実施し、検査に合格した船舶である。船体長さで整理すると、以下のような特徴がある。

### （1）船体寸法の特徴

船体の主要寸法（ここでは、技術上の船体長さで整理されていない船があるため、登録寸法で整理する）の比、すなわち長さとの比、および長さとの比を長さで整理してみると、図 1 のような傾向がみられる。船体が長くなるにつれて、より細長い船型に近づく傾向が表れている。船体の長さがおよそ 15m を越えると、長さとの比が 12（ISO12215-6（詳細構造設計）で、縦強度を検討することを要請する値）を越える割合も高くなっていることがわかる。

### （2）構造寸法の特徴

現行基準（主に、軽構造小型船体暫定基準）が要求する板厚を、船体の長さで整理すると、図 2 のような傾向がみられる。図 - 2 のデータを見るかぎり、要求板厚は、船体長さの影響がある程度みられるが、縦通肋骨の心距の影響等により多少ばらついている。また、建造板厚を、船体の長さで整理すると、図 3 のような傾向がみられる。建造板厚は、よほどの事情が無い限り、特別な板厚サイズの使用は稀であることがわかる。したがって、板厚計測結果も、非常に判断しやすいものと思われる。船底外板と船側外板は、全般的にみて、船体の長さに応じて建造板厚も増大していることがわかる。

また、現行基準（ここでは、軽構造船体暫定基準）の要求板厚と建造板厚の関係を整理すると、図 - 4 のような傾向がみられる。船底部については、要求板厚に対して 1mm から 3mm 程度の余裕をもたせて建造されている傾向が確認できる。全体的な傾向として、要求板厚が 3mm を下回っても、船舶用アルミニウム合金が 3mm 以上の板厚から提供されることが多いことから、要求板厚に対して余裕をもって、3mm の材料を使用しているようである。

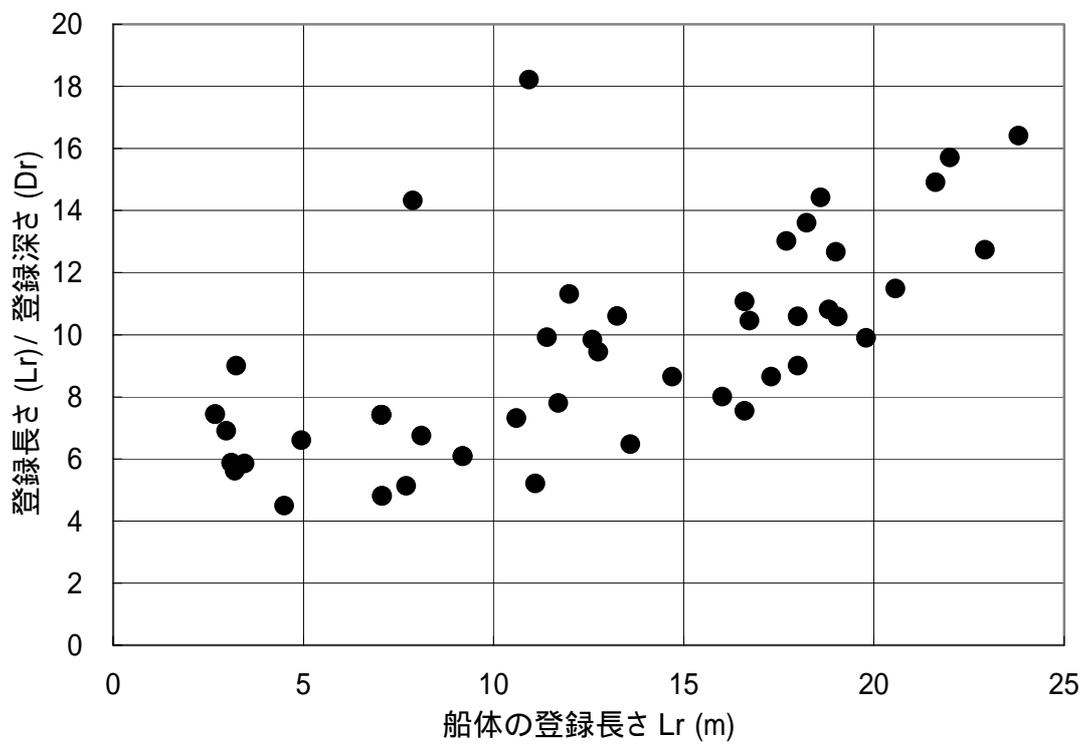
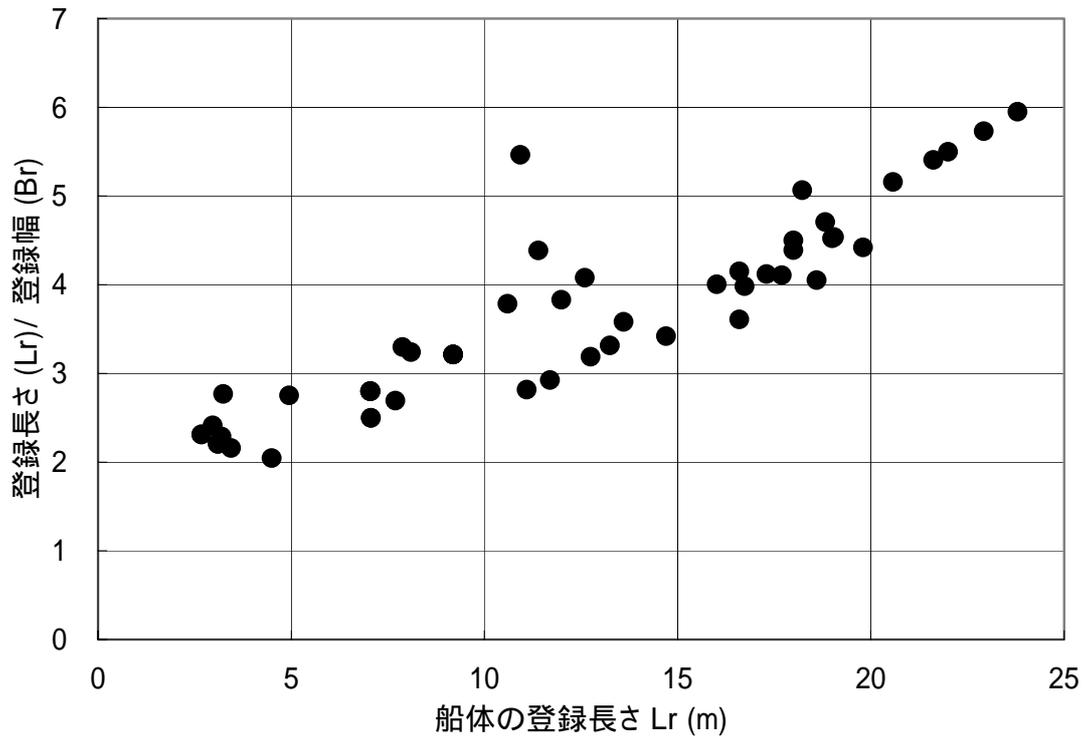


図 1 長さに対する主要寸法比（上図：長さ／幅、下図：長さ／深さ）

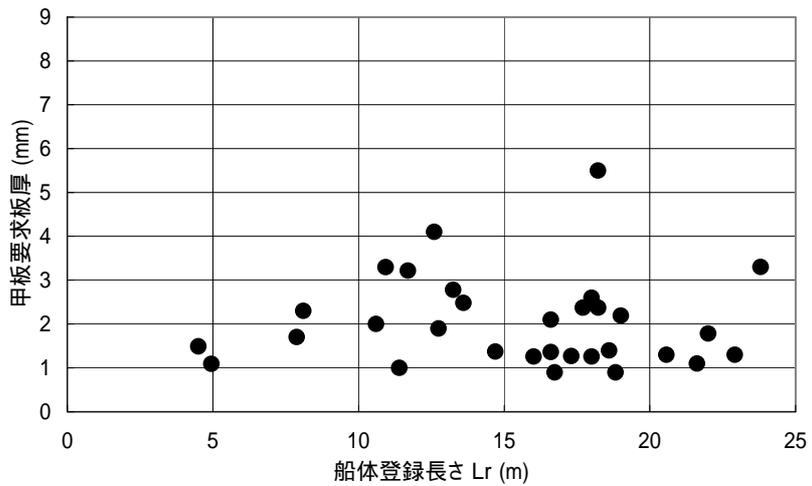
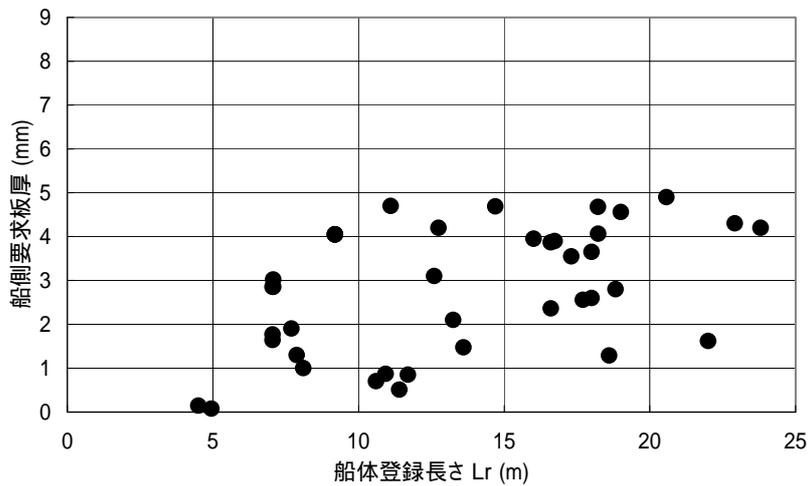
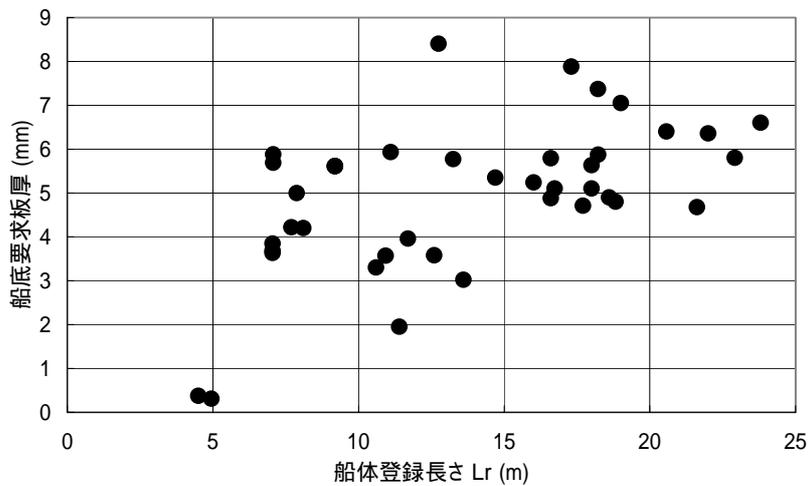


図 2 船体の長さ と 現 行 基 準 の 要 求 板 厚

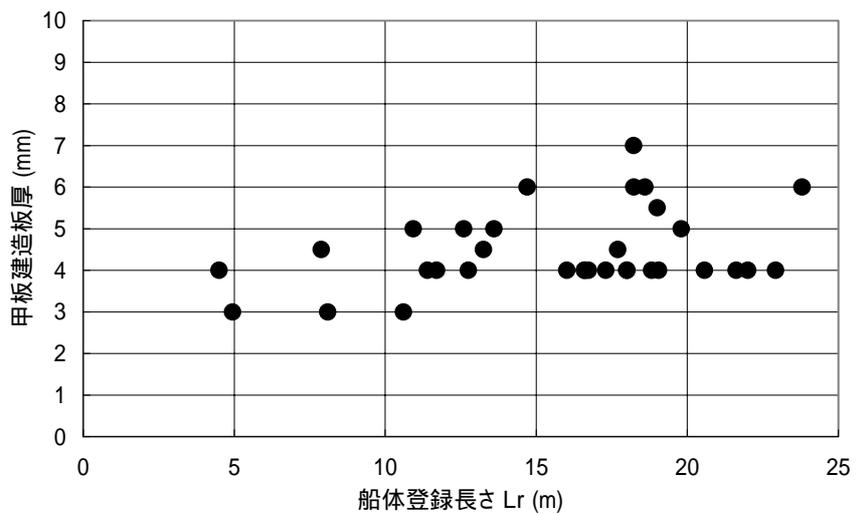
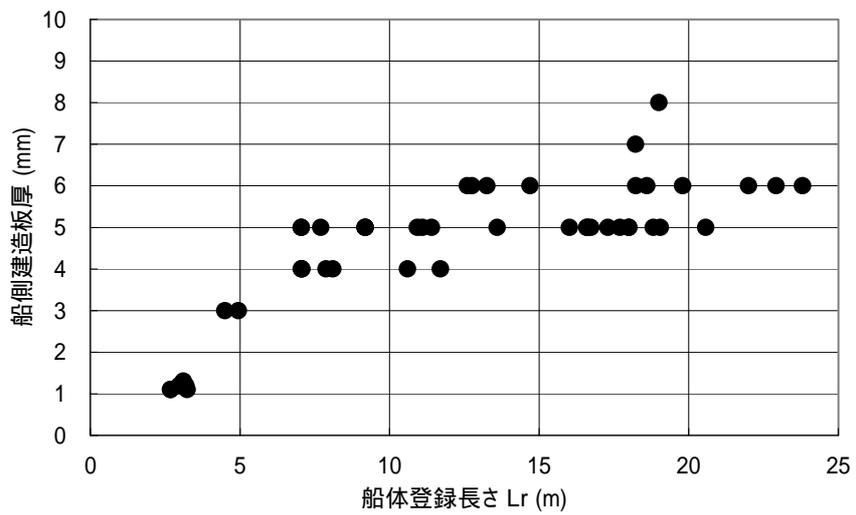
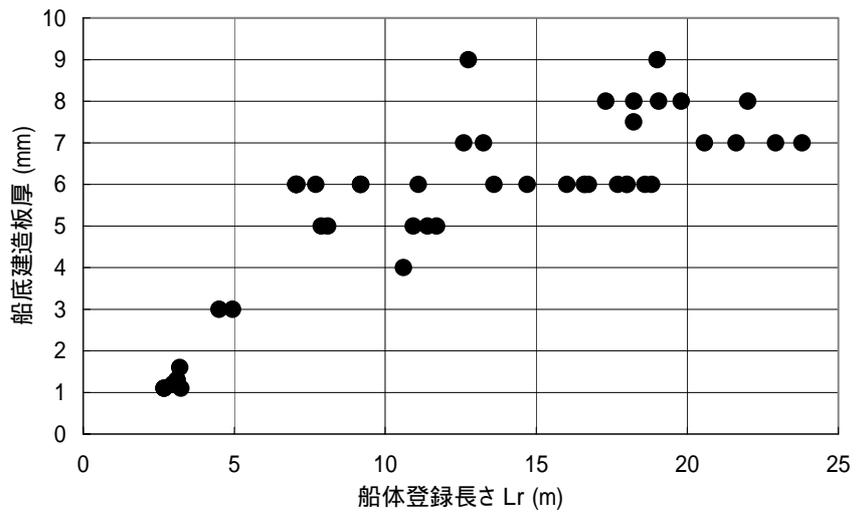


図 3 船体の長さ と 建造板厚



上記のような船体寸法及び構造寸法の特徴を考慮して、以下のような3つのタイプに分類し、その構造様式、構造配置等に対して考察を加える。

- ・ 船体の長さ と 深さの比が 12 を超える船舶
- ・ 長さが 6m 以上で、船体の長さ と 深さの比が 12 を超えない船舶
- ・ 長さが 6m 未満の（落下試験を実施してきたような）船舶

（3）船体の長さ と 深さの比が 12 を越える船舶（以後、Aタイプとする）

ISO12215-6（詳細構造設計）では、長さ と 深さの比が 12 を超える船舶には、縦強度を検討することを要請している。図 1 に示すように、長さが 15m を超えるとその割合が大きくなっていることがわかる。このサイズのクラスでは、図 - 5 に示す一般配置図からわかるように、多くの船舶が機関室を船体中央部あたりに配置しており、機関室に人が出入りすることが可能と思われる。

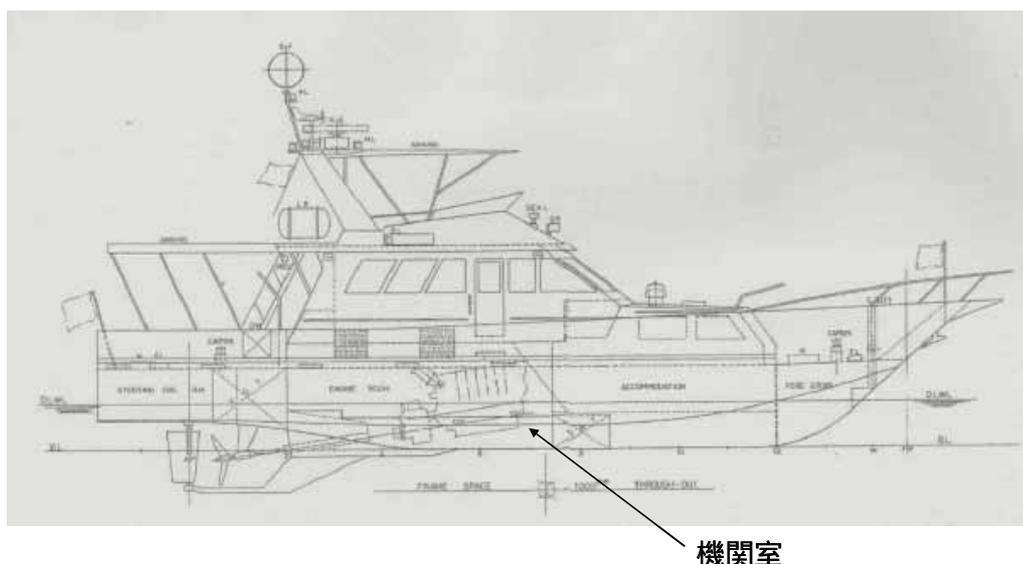


図 - 5 一般配置図（例：L=14.7m 小型実習船）

（4）長さ 6m 以上で、長さ と 深さの比が 12 を越えない船舶（以後、Bタイプとする）

国内のプレジャーボートで太宗をしめるこのサイズでは、（1）で記したような、人が出入りするような機関室は見あたらない。図 6 に示すように、一般配置図をみると、船尾部にエンジンを格納するスペースを配置するか、または船外機を採用する船舶が多い。

強度部材とみなせる甲板部は狭く、キャビンにあたる上部構造物は、FRP 材料ででき、構造強度部材としてみなしていないようなケースが多い。

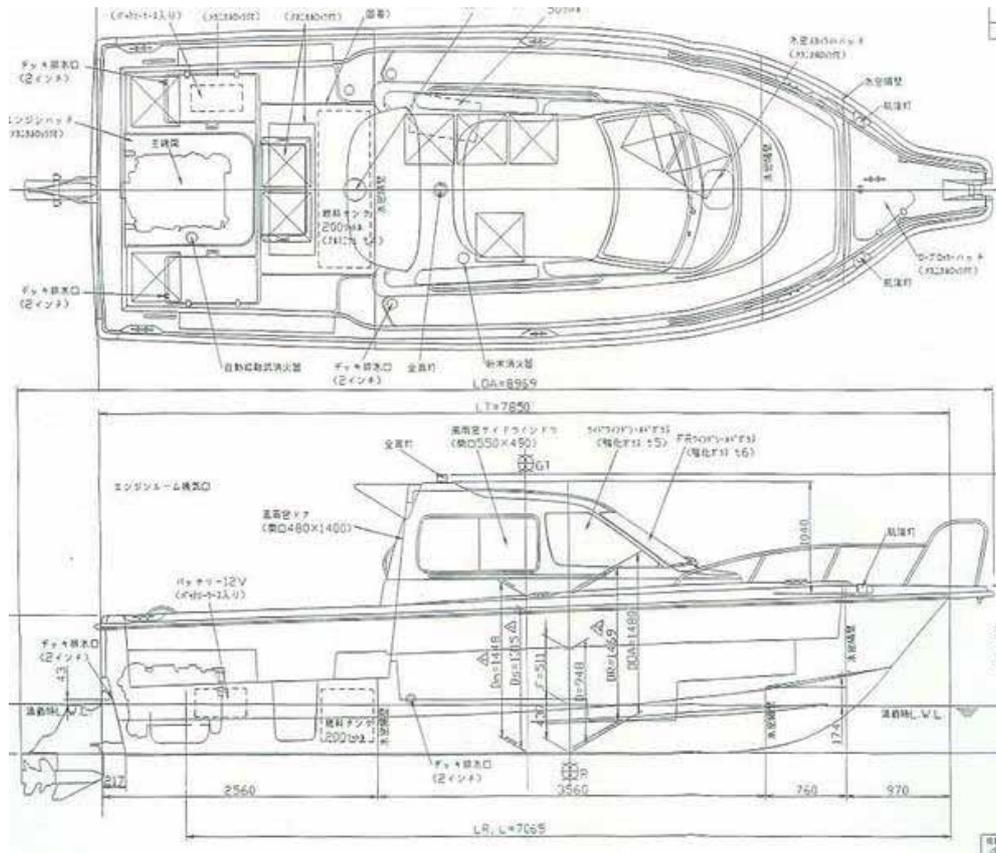


図 6 一般配置図 (Lr=7.1m)

(3) 長さ6m未満の(落下試験を実施してきた)船舶(以後、Cタイプとする)

このサイズのクラスの船は、いわゆるカートッパー型船舶と呼ばれ、運搬上の利便性を高めるために、小型で軽量の船舶が好まれる。そのため船殻重量を軽くするために、甲板を配置せず、薄板でかつ剛性を上げるために、図7のような波形断面形状とし、スチフナを配置しないことが多いのが特徴である。

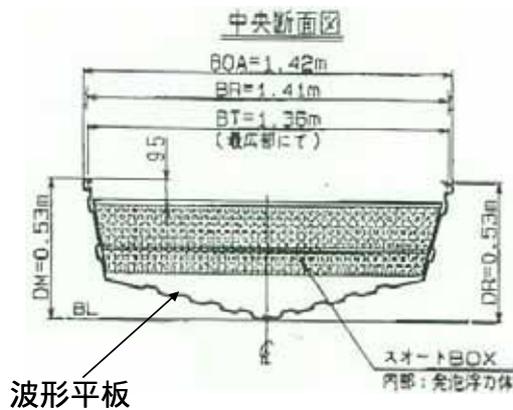


図 - 7 カートッパー型小型船の代表的な断面形状

上述した3タイプを、以後の説明の便宜上、船体の長さで表現するとおおよそ図 8 のように特徴づけることができる。

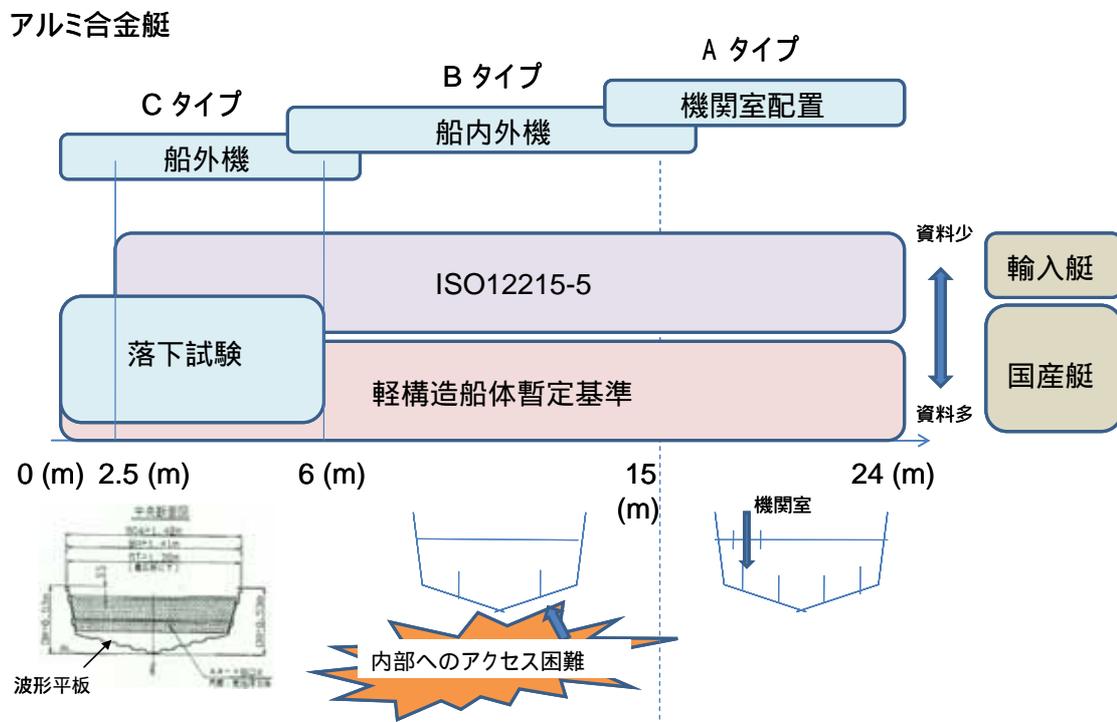


図 8 船体の長さに応じた本報告での便宜上の分類

### 3. 検査方法作成にあたっての基本的な考え

上述のとおり、船体構造および区画配置の観点から、軽金属小型船を3つのタイプに分類して、検査方法を作成していくこととした。図 1 に示したように、船体が長くなるにつれて、内部構造も含めて縦強度を検討しておくことは安全側にたった評価となる。このような観点から、Aタイプの船は、昨年度の「長さ15m以上のFRP小型船舶の構造強度等についての合理的評価法に関する調査研究」で報告したような検査方法を採用することが好ましいと考える。また、Bタイプの船は、局部強度の要件を満足しているかどうかを優先して確認することとし、いくつかの検査箇所に対して、計測板厚が要求板厚を満足していることを確認した時点で検査合格とみなすことを考える。Cタイプの船は、Bタイプと同じように要求板厚を与えてもよいが、波形平板の剛性上の効果を考慮したカートッパー型船舶に対しては、現行基準、ISO12215-5 で要求部材寸法を設定する際、想定した範囲を超えていることから、これら設計基準を適用するときの対応を考える。

#### 3.1 Aタイプの検査方法について

##### 3.1.1 全般

検査方法案の策定にあたって、合理的でありかつ実用的な検査方法となることを目標とした。合理的な検査方法であるために、設計基準への適合性に重点を置いた。すなわち、本検査は、当該船舶の設計基準に従って適切に建造されたこと（部材の要求板厚と要求断面係数以上であること）を確認することであり、現行国内基準（主に、軽構造小型船体暫定基準）またはISO12215-5への適合性を確認することである。また、設計基準が不明な輸入艇は、昨年度同様、国際標準規格であるISO12215-5への適合性を確認することとした。

さらに、実用的な検査方法であるために、現在実施されている検査、設計審査など、業務上精通している手法、様式を踏襲することに努めた。例えば、FRP小型船舶に対しては、すでに板厚計測検査を実施しており、十分な検査業務実績があることから、板厚計測の実施を念頭においた。板厚計測の実施にあたっては、船体外側からの板厚計測を中心に考えているが、内部構造へのアクセスが可能な機関室に入ることを考慮して、検査方法を提案する。また、本検査評価計算にあたって、軽構造小型船体暫定基準が要求する縦強度計算書の様式を参考にしている。

##### 3.1.2 検査方法案及び検証

ここでは、本検査方法案における、検査の流れ、強度モデル、判定基準について、昨年度の内容と同じであるが、改めて説明を加える。

###### (1) 検査の流れ

設計基準によって要求部材寸法算式が異なるため、本検査における要求寸法（本検査のクライテリア）の設定は異なるが、全般的な検査の流れについては、統一した流れとした。

本検査は、大きく分類して二つの流れとした（図 9 参照）。第一の流れは、検査対象船舶の強度要求レベルを設定する流れとした。この流れでは、はじめに当該船舶の設計・計画時の船体寸法、構造配置、その他設計パラメータ（たとえば、ISO12215 では計画時最強速力など）から設計基準に従った要求部材寸法（板厚、スチフナ断面係数）を求める。つぎに、これら要求部材寸法で構成される横断面（板スチフナ構造）の要求断面寸法（断面 2 次モーメント（ $I_{req}$ ）、断面係数（ $Z_{req}$ ））を算出する。もう一方の流れは、建造された検査対象船舶の強度レベルを計測・算定する流れとした。この流れでは、はじめに、板厚計測（船体寸法、スチフナ配置等の計測も含む）から板厚の判定（要求寸法を満足していることの確認）を行う。つぎに、船体外側から計測した板厚で構成される横断面（板構造）の計測断面寸法（断面 2 次モーメント（ $I_{mes}$ ）、断面係数（ $Z_{mes}$ ））を算出する。

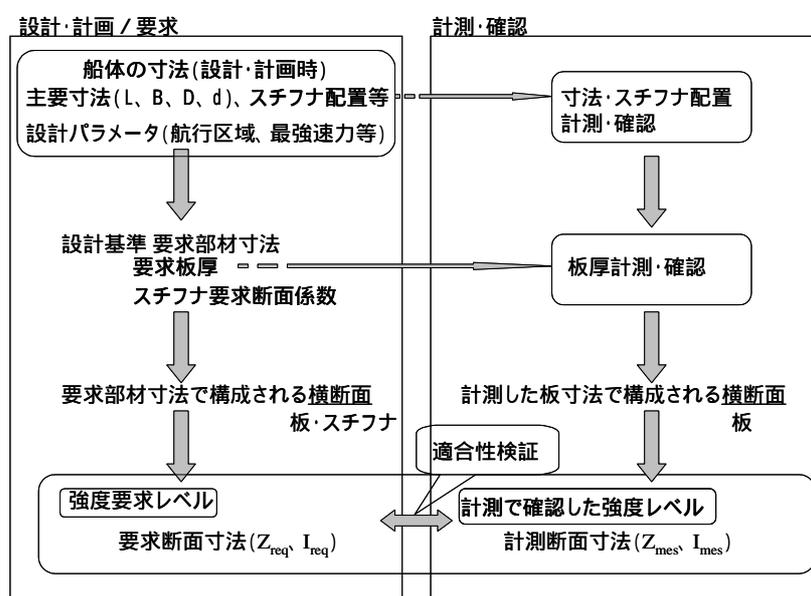


図 - 9 検査の流れ

設計基準ごとの検査の流れを示すために、軽構造小型船体基準で設計・建造された船舶の検査について図 - 10 に示し、ISO12215-5 で設計・建造された船舶、または設計基準が不明な船舶の検査については、図 11 に示す。次のようなステップとした。

Step0：設計関連図書（部材寸法計算など）を用意。データ入力。要求断面寸法（ $I_{req}$ 、 $Z_{req}$ ）

$$\text{を計算。 } k_1 = \frac{I(\text{板} + \text{骨})}{I(\text{板のみ})}, k_z = \frac{Z(\text{板} + \text{骨})}{Z(\text{板のみ})} \text{ を計算。}$$

Step1：計測箇所を特定。

Step2：船体主要寸法、スチフナ配置を計測。板厚（外板、甲板）を計測。

Step3：計測板厚が要求板厚を満足することを確認。

Step4：計測板厚を基に、計測断面寸法（ $I_{mes}$ 、 $Z_{mes}$ ）を計算。

Step5：合否の判定（ $k_1 \times I_{mes} \geq I_{req}$ 、 $k_z \times Z_{mes} \geq Z_{req}$ ）

Step6：判定結果によっては、検査員の判断により詳細な検査を実施。

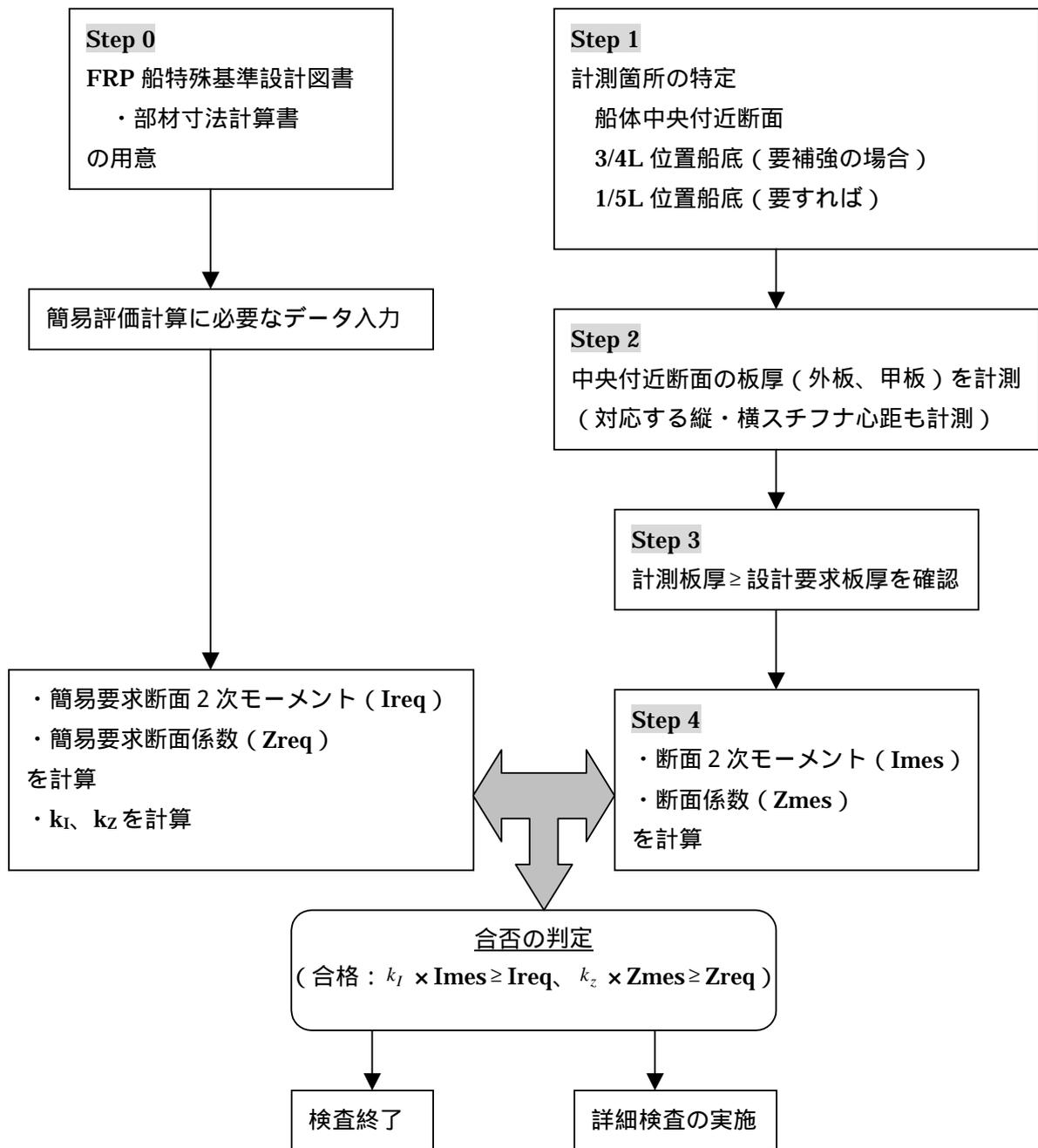


図 10 軽構造小型船体暫定基準で設計・建造された船舶検査の流れ

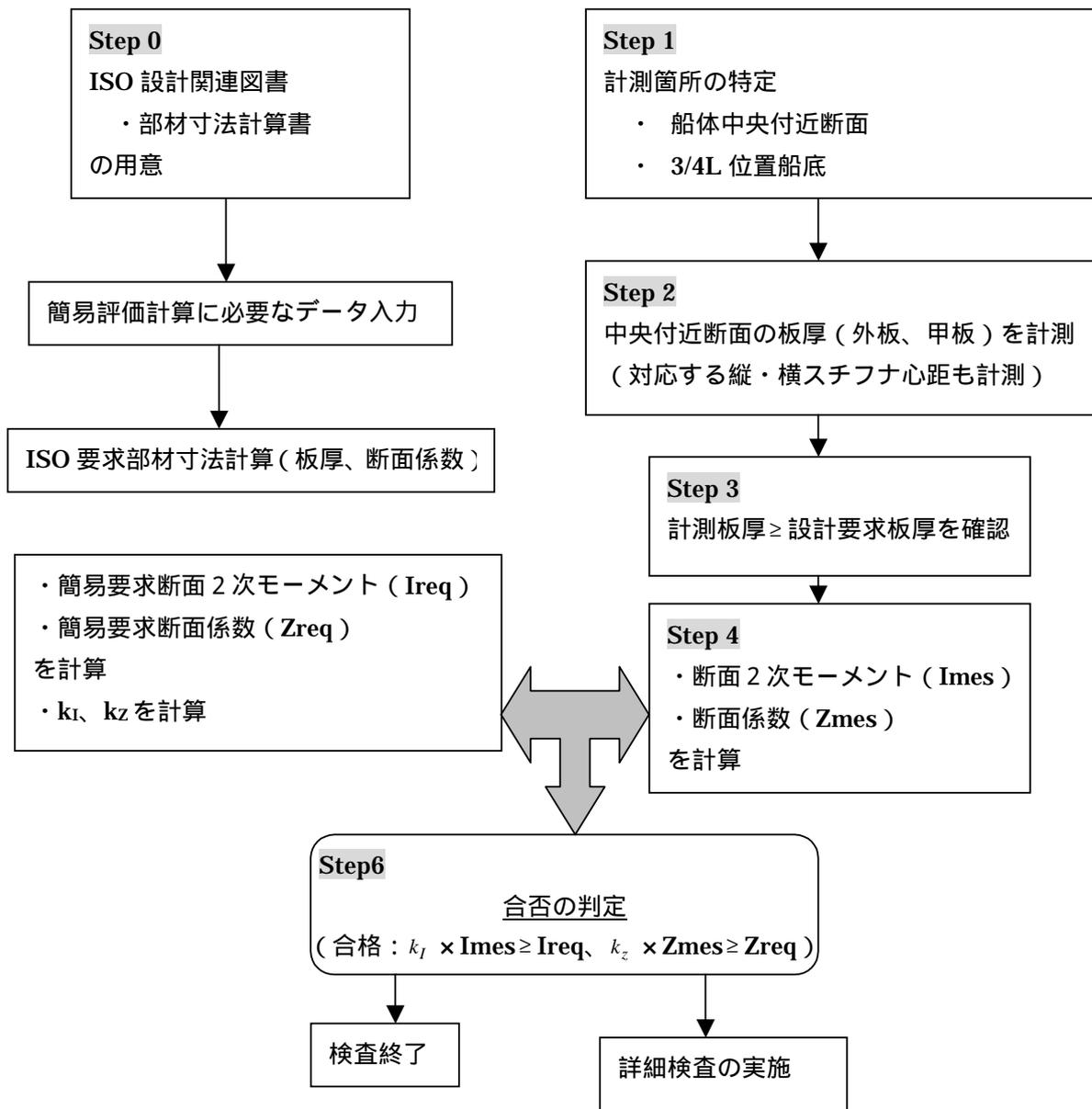


図 1 1 ISO12215-5 で設計・建造された船舶検査の流れ  
(設計基準が不明な船舶は、この流れに準じる)

( 2 ) 強度モデル

( ) 強度要求モデル ( 図 - 9 左側の流れ )

ISO12215-5 は、船底、船側、甲板部材等の板厚とスチフナの断面係数が要求される。要求板厚、要求スチフナ断面係数は、防撓板を構成する縦・横スチフナの配置に大きく影響されることから、縦・横スチフナの心距は、板厚評価の前提としなければならない。その他、船体の主要な寸法 ( 船体の長さ、幅、深さ )、航行区域、計画時最強速度が必要になる。

( ) 必要な入力情報 ( データ )

強度要求レベルを設定するにあたって、板厚計測を実施する前に、設計基準の要求部材寸法を算出する必要がある。ISO12215-5 で部材寸法を算出するにあたって、必要な主なデータは、表 1 のとおりである。なお、ISO12215-5 の定義に従うと、船底傾斜角は、図 12 のように計測する。

表 1 基準要求部材寸法算出にあたって必要な主なデータ

ISO12215-5
・ 船の長さ ( L )
・ 船の幅 ( B )
・ 満載排水量
・ 船底傾斜角
・ 計画時最強速度 ( V )
・ 航行区域
・ 縦・横スチフナ配置
・ 材料許容応力

( 注 ) いずれも、基準の定義に従う。

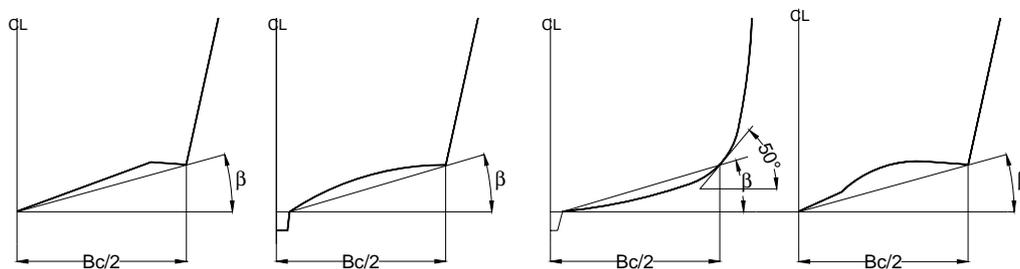


図 12 船底傾斜角 ( ISO12215-5 の定義 )

( ) 関連図書が不十分な場合の入力情報

軽構造小型船体暫定基準で設計された船舶は、設計検査で提出した関連図書（部材寸法計算書、中央断面計算書、他）があるために、要求断面寸法の計算に必要なデータの輸入は容易である。ISO12215-5 で設計された船舶も、同様に、設計関連図書があることを期待すると、容易である。しかしながら、設計基準が不明な輸入艇のような場合、このような関連図書が無いことを想定しておかなければならない。そこで、部材寸法計算にあたって対応すべき方法について、設計図書がある場合と比較し、表 2 に整理してみた。

表 - 2 関連図書が不十分な場合の対応

	軽構造船体暫定基準 設計図書あり	ISO 設計図書あり	部材寸法計算関連図書 なし
船体寸法 (L、B、D、d、満 載排水量、船底傾 斜角)	部材寸法計算書参照 計測で確認	部材寸法計算書参照 計測で確認	参考情報の入手 計測
設計パラメータ (航行区域、計画 最強速力)	関連図書	関連図書	参考情報の入手
部材寸法 ・縦肋骨心距 ・横隔壁、桁心距 ・肋骨位置 等	部材寸法計算書参照 計測で確認	部材寸法計算書参照 計測で確認	計測
材料特性	部材寸法計算書参照 材料強度に応じた部 材寸法軽減措置に影 響	部材寸法計算書参照 設計応力に影響	標準特性用意 ISO12215-5 Annex F 参照。

( ) スチフナの強度算入

完成した小型船舶の内部構造にアクセスすることを試みても、制限される箇所が多く、機関室に入ることができても、必ずしも全ての内部構造の寸法を計測できるとは限らない。したがって、このような実状を踏まえて、船体外側からの板厚計測のみを前提に検査方法を策定しておく必要がある。一方、船体が長くなるにつれて、スチフナの強度に起因する度合いが大きくなるため、適切に強度評価する必要がある。具体的算入方法は、次節(3)で説明する。

要求断面寸法（断面二次モーメント ( $I_{req}$ )、断面係数 ( $Z_{req}$ )) を簡単に算出するために、想定する船体横断面を、図 - 13 に示すような、板とスチフナから構成される仮定箱型断

面とした。この場合、板、スチフナの寸法は、基準から要求される寸法である。

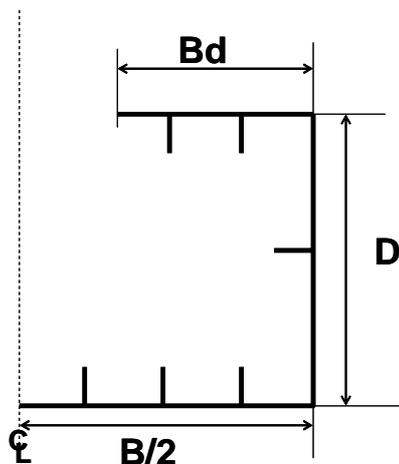


図 - 1 3 仮定箱型断面

( 3 ) 判定基準

板厚計測から算出された断面寸法の値 ( $I_{mes}$ 、 $Z_{mes}$ ) が、設計基準の要求部材寸法から算出される断面寸法 ( $I_{req}$ 、 $Z_{req}$ ) よりも大きければ、この段階で、当該船舶の設計基準に適合していることが確認できる。

昨年度同様、船体の長さ と 深さの比が 12 を超える船舶 (およそ長さが 15 m を超えるような船舶) に対しては、断面寸法 ( $I$ 、 $Z$  とくに、 $I_{req}$ 、 $Z_{req}$ ) に、スチフナの影響を考慮する必要が あり と 考 へ る。そ こ で、設 計 基 準 の 要 求 部 材 寸 法 か ら 算 出 さ れ る 断 面 寸 法 ( $I_{req}$ 、 $Z_{req}$ ) の算出、及び、スチフナの影響を表す係数 ( $k_I$ 、 $k_Z$ ) (定義等は後述する) の設定において、スチフナの影響を反映することとした。

要求部材寸法から算出される断面寸法 ( $I_{req}$ 、 $Z_{req}$ ) の算出にあたって、次のようなモデル化を行い、 $I_{req}$ 、 $Z_{req}$  を算出した。まず、要求断面寸法 ( $I_{req}$ 、 $Z_{req}$ ) 計算にあたって算入するスチフナは平板と仮定した (図 1 4 参照)。そこで、設計基準で要求されるスチフナの部材寸法 (要求断面係数) に相当するスチフナの寸法 (ウェブの高さと板厚) と中立軸からの距離 (レバー) を求めることにする。

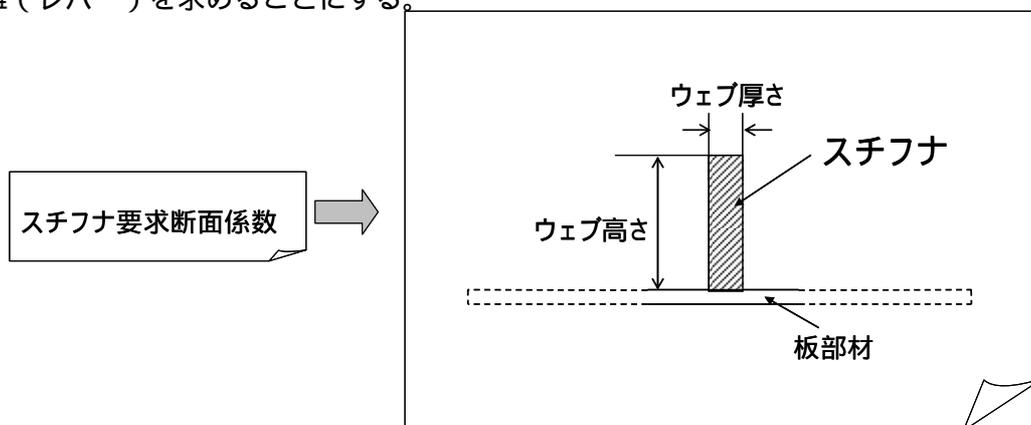


図 1 4 仮定スチフナ寸法のモデル

つぎに、スチフナの影響を表す係数 ( $k_I$ ,  $k_Z$ ) の設定について説明する。船体外側からの板厚計測を行い、板のみで構成される断面寸法 ( $I_{mes}$ ,  $Z_{mes}$ ) が、要求断面寸法 ( $I_{req}$ ,  $Z_{req}$ ) を満足していれば、その段階で設計基準への適合性について問題ないが、スチフナが比較的多く配置されるような場合には、満足いく結果が得られないことも予想されるため、スチフナ (骨) の影響を表す係数 ( $k_I$ ,  $k_Z$ ) を掛け合わせることを考えた。本係数 ( $k_I$ ,  $k_Z$ )

は、 $k_I = \frac{I(\text{板+骨})}{I(\text{板のみ})}$ 、 $k_Z = \frac{Z(\text{板+骨})}{Z(\text{板のみ})}$  と定義し、( $I_{req}$ ,  $Z_{req}$ ) を求める際に、板のみだけで構成

された時の断面寸法  $I(\text{板のみ})$ ,  $Z(\text{板のみ})$  に対する  $I(\text{板+骨}) (=I_{req})$ ,  $Z(\text{板+骨}) (=Z_{req})$  の比として計算により求める。計測した板寸法のみで算出した断面寸法 ( $I_{mes}$ ,  $Z_{mes}$ ) が、要求断面寸法 ( $I_{req}$ ,  $Z_{req}$ ) よりも小さかった場合には、本係数を掛け合わせることによって、スチフナの影響を反映させることにした。最終的に、

$$k_I \times I_{mes} \geq I_{req}, \quad k_Z \times Z_{mes} \geq Z_{req}$$

を満足すれば、スチフナの強度算入も考慮にいれて、設計基準に適合した建造になっていることが、本検査で確認できる。

なお、以上のような断面寸法の評価を行う横断面は、船体中央付近の断面とした。ISO12215-5 では、船体前方部において船底衝撃水圧の影響を考慮しており、船底要求板厚にも影響する。軽構造船体暫定基準、ISO12215-5 双方において、船底傾斜角他、設計要目によっては船底衝撃の影響を加味した船底補強 (板厚を大きくすること) が要求される。これらについては、別途、板厚計測を行い確認することを提案する。

#### (4) 検査支援ファイル

上記検査を実施するにあたって、断面寸法の計算等を行わなければならない。検査員の負担を緩和することを目的に、必要なデータを入力すると、要求断面寸法 ( $I_{req}$ ,  $Z_{req}$ )、計測断面寸法 ( $I_{mes}$ ,  $Z_{mes}$ ) などを計算できる検査支援ファイルを、参考まで、昨年度同様、Microsoft Excelで作成した。

本支援ファイルでは、関連図書が不十分な場合 (ISO12215-5 においても部材寸法計算書が無いような場合も想定) には、部材寸法の計算に必要なデータを入力すると (入力データシート)、基準要求部材寸法 (板厚、スチフナ断面係数) が計算される (基準要求部材寸法計算シート)。これを基に、要求断面寸法計算シートに必要事項を記入すると、要求断面寸法 ( $I_{req}$ ,  $Z_{req}$ ) が計算され、また、計測された板厚から、計測断面寸法計算シートに必要事項を記入すると、計測断面係数 ( $I_{mes}$ ,  $Z_{mes}$ ) が計算される。なお、スチフナ (骨) の影響を表す係数 ( $k_I$ ,  $k_Z$ ) は、要求断面寸法計算シートで計算される。

軽構造小型船体暫定基準で設計・建造された船舶では、部材寸法計算書がすでに設計審査の時点で提出されていることから、要求断面寸法計算シート、計測断面寸法計算シートに必要事項を入力するだけで、要求断面寸法 ( $I_{req}$ ,  $Z_{req}$ )、計測断面係数 ( $I_{mes}$ ,  $Z_{mes}$ ) が計算される。

入力に際する備考を、各セルにコメントとして添えた。画面の様子を図 - 15 ~ 図 20 に示す。また、今年度は、板付き骨 / 桁部材の断面係数を計算するシートを加えた。アクセス可能な限り、スチフナの寸法（ウェブ高さ、ウェブ厚さ、フランジ幅、フランジ厚さ）を計測し、スチフナの要求断面係数を満足していることを確認することを提案する。

A	B	C	D	E	F	G	H
1	名称	入力データ	単位	備考			
2	船名		N			引用なし	
3	船種					引用なし	
4	航行区域	沿海		カテゴリ-A: 遠洋・近海, カテゴリ-B: 沿海 カテゴリ-C: 限定沿海, カテゴリ-D: 平水			
5	船の長さ(L)	20	m	ISO12215-5定義参照			
6	船の幅(B)	4.2	m	ISO12215-5定義参照			
7	中心からチェーン位置までの距離	2.1	m	必要ならば、船底傾斜角を求めるものに入力			
8	船の深さ(D)	1.5	m				
9	満載喫水(d)	0.95	m			引用なし	
10	満載排水量(misc)	45,690	kg				
11	中央断面位置での船底端(チェーン位置等)のキールからの高さ	0.40	m	必要ならば、船底傾斜角を求めるものに入力			
12	中央断面位置での船底傾斜角	1.08	deg	セルC7, セルC11から計算。直接入力してもよい			
13	計画最速速力(V)	20	knot				
14	船底部材	船底縦肋骨心距(船底ガス長)	290	mm			
15		船底横肋間の距離(l)	500	mm			
16	船側部材	船側縦肋骨心距	275	mm			
17		船側横肋間の距離	500	mm			
18	甲板部材	甲板縦肋骨心距	750	mm			
19		甲板横肋間の距離(l)	2000	mm			
20	板設計応力( $\sigma_d$ ( $\sigma_y+0.9$ ))	113	N/mm <sup>2</sup>				
21	耐力( $\sigma_y$ )	125		ISO12215-5 附属書F参照			
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							

図 15 支援ファイル(ISO12215-5 対応) 入力画面例

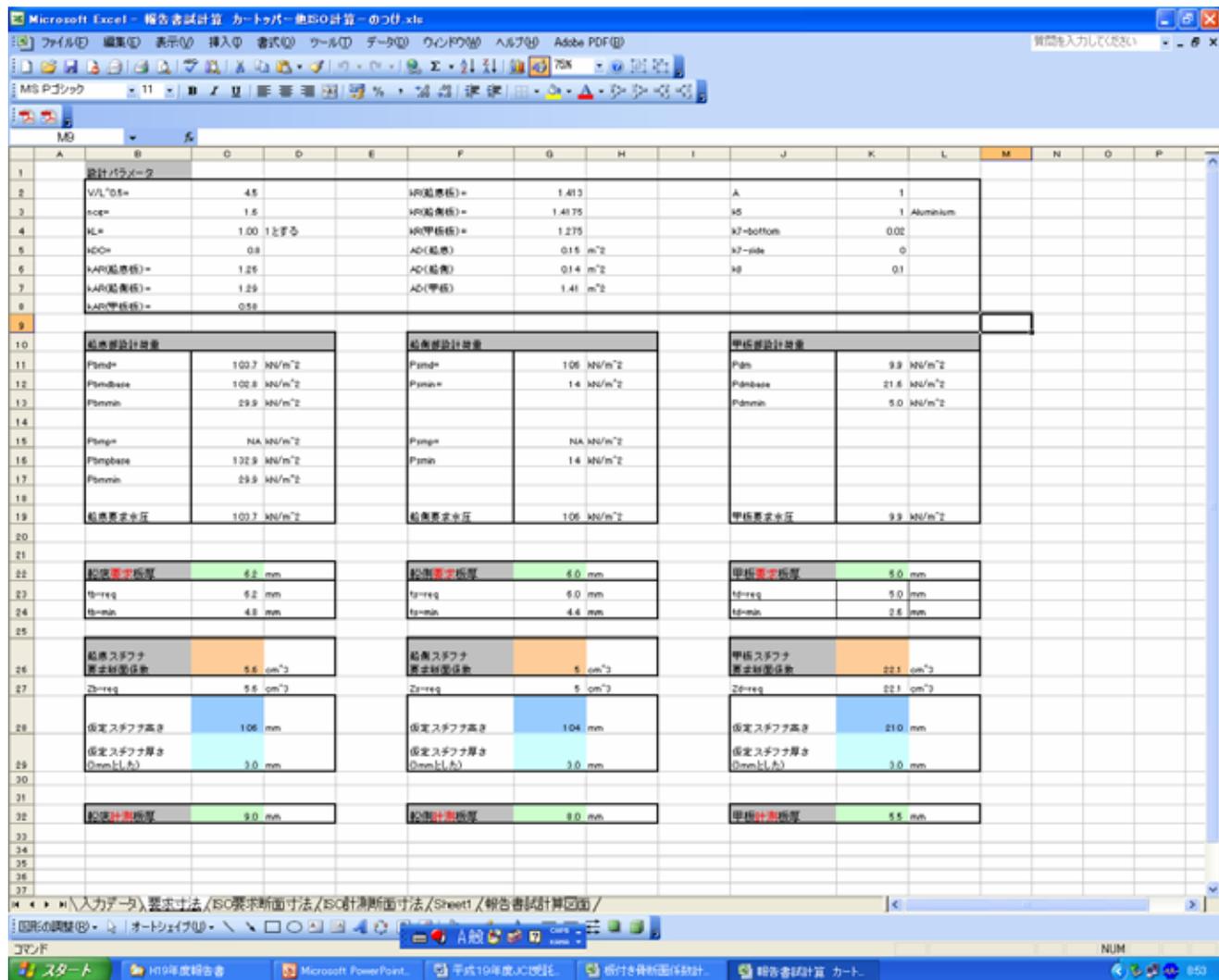


図 16 支援ファイル(ISO12215-5 対応) 基準寸法計算画面例

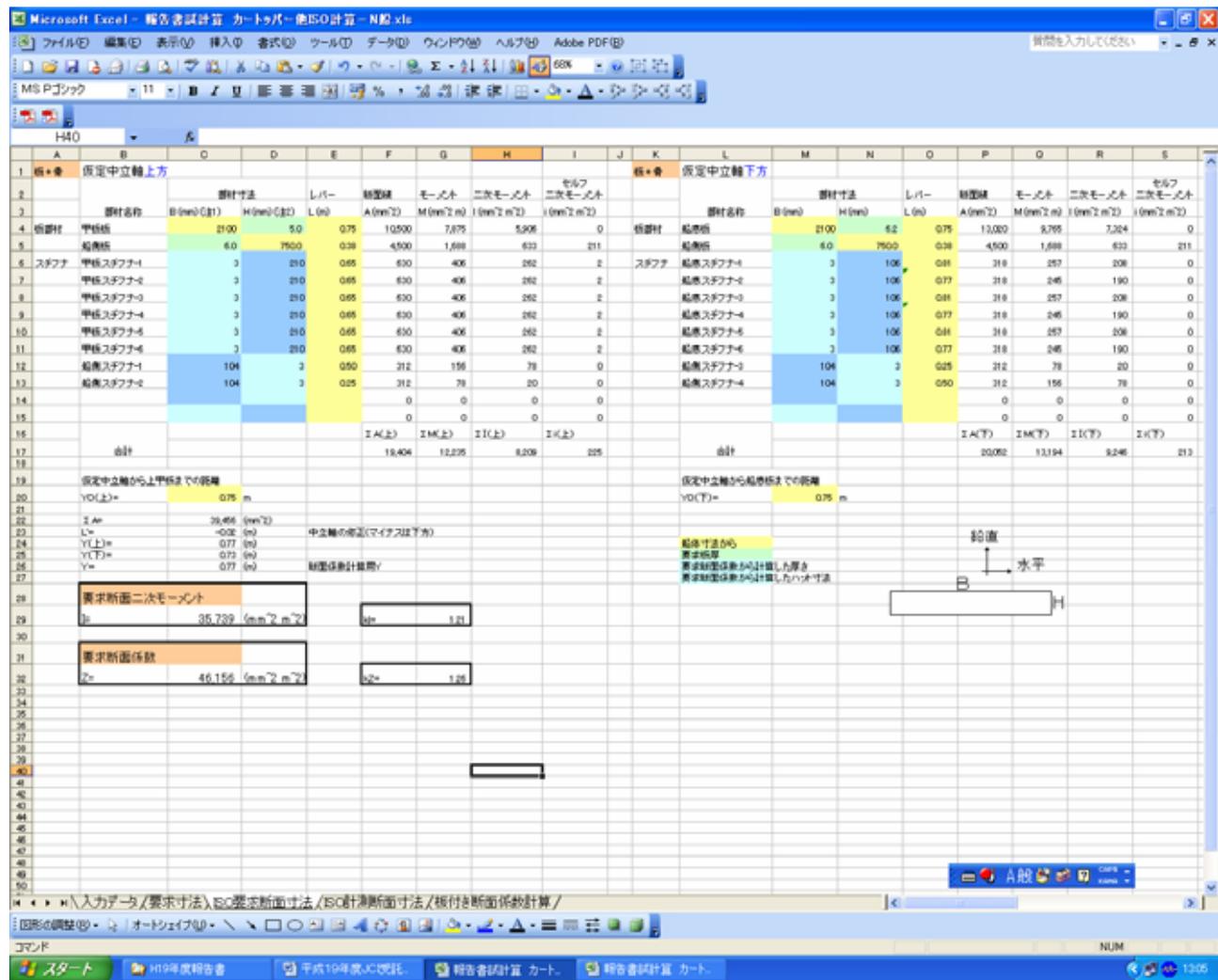


図 17 支援ファイル(ISO12215-5 対応) ISO 要求断面寸法計算画面例 (“ISO 要求断面寸法” シート左)

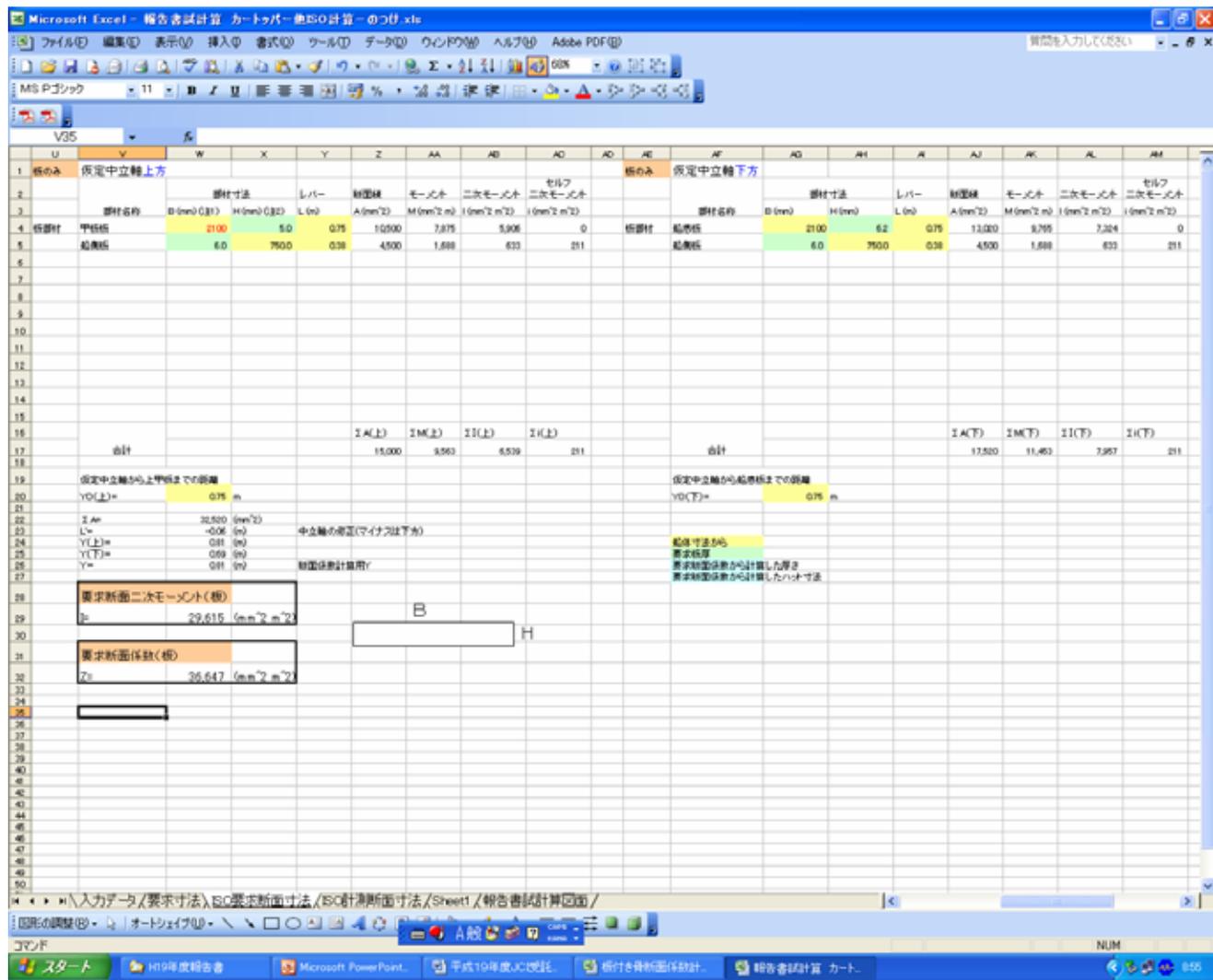


図 18 支援ファイル(ISO12215-5 対応) ISO 要求断面寸法計算画面例 (“ISO 要求断面寸法”シート右)

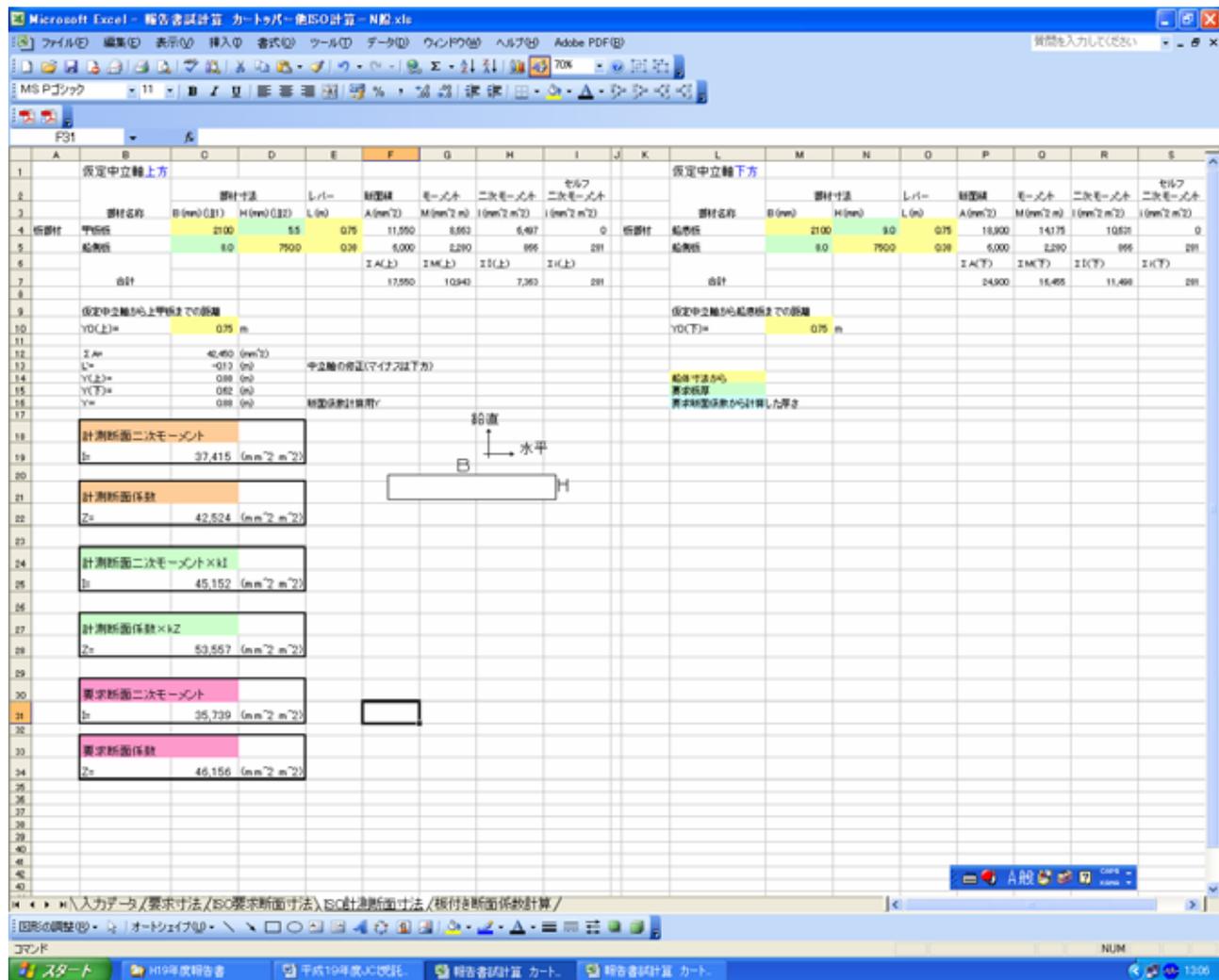


図 19 支援ファイル(ISO12215-5 対応) ISO 計測断面寸法計算画面例

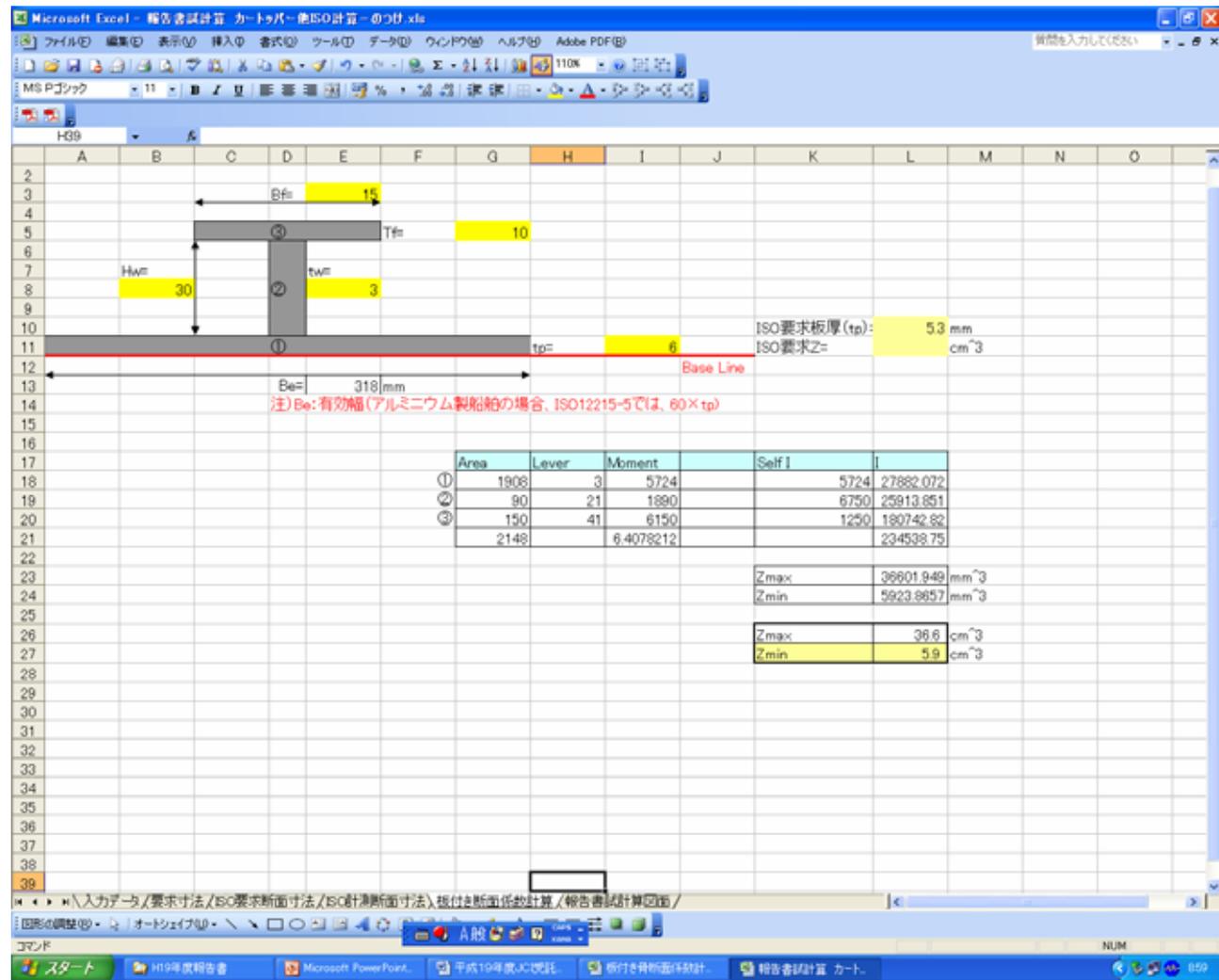


図 20 支援ファイル 板付きスチフナ断面係数計算画面

### 3.1.3 検査支援ファイルの検証

軽構造船体暫定基準で設計・建造された船舶N（表 - 3 に、船体要目、表 - 4 に、部材寸法を示す）を用いて、上記検査方法の検証(シミュレーション)を行った。表 - 4 に示す計測板厚は、ここでは便宜上、板厚計測が適切に行われたとし、部材寸法計算書に記載されている設計板厚とした。検証は、上記検査の流れに従い、検査支援ファイル（要求断面寸法計算シート、計測断面寸法計算シート）に必要事項を入力することで、要求断面寸法( $I_{req}$ 、 $Z_{req}$ )、計測断面寸法( $I_{mes}$ 、 $Z_{mes}$ )を計算した。スチフナの影響を表す係数( $k_I$ 、 $k_Z$ )も求めた。

表 3 対象船Nの要目

船体要目	寸法
船の長さ ( L )	20.0 (m)
船の幅 ( B )	4.2 (m)
船の深さ ( D )	1.5 (m)

表 4 対象船Nの部材寸法

		船底部	船側部	甲板部
板	要求板厚	6.2 (mm)	6.0 (mm)	5.0 (mm)
	計測板厚	9.0 (mm)	8.0 (mm)	5.5 (mm)
スチフナ	要求断面係数	5.6 (cm <sup>3</sup> )	5.0 (cm <sup>3</sup> )	22.1 (cm <sup>3</sup> )

本船の中央断面は、図 21 (左) のとおりである。現場で、中央断面を忠実に再現した上で断面寸法を計算するのは非常に面倒であるため、断面寸法を現場で容易に計算するために、図 21 (右) のような仮定箱型断面に置き換えて、要求断面と計測断面を計算し、相対的な比較を行うこととする。

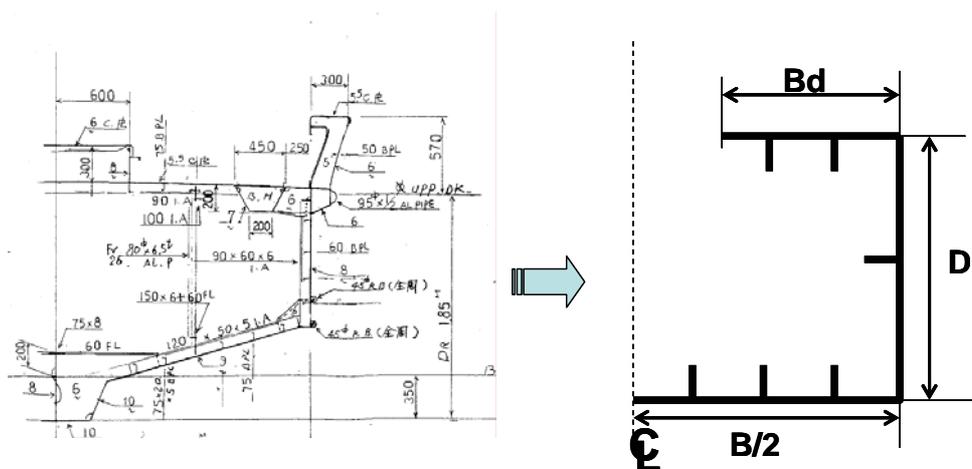


図 21 中央断面のモデル化

本ファイルを使用して評価した結果、要求断面寸法（断面二次モーメント（ $I_{req}$ ）、断面係数（ $Z_{req}$ ））と計測断面寸法（断面二次モーメント（ $I_{mes}$ ）、断面係数（ $Z_{mes}$ ））を比較すると、それぞれ表 5、図 22 のような結果となり、本船は検査合格と判断する。

表 - 5 断面寸法結果

	要求断面寸法	計測断面寸法 × k
断面二次モーメント ( $\text{mm}^2\text{m}^2$ )	35,739	45,152
断面係数 ( $\text{mm}^2\text{m}$ )	46,156	53,557

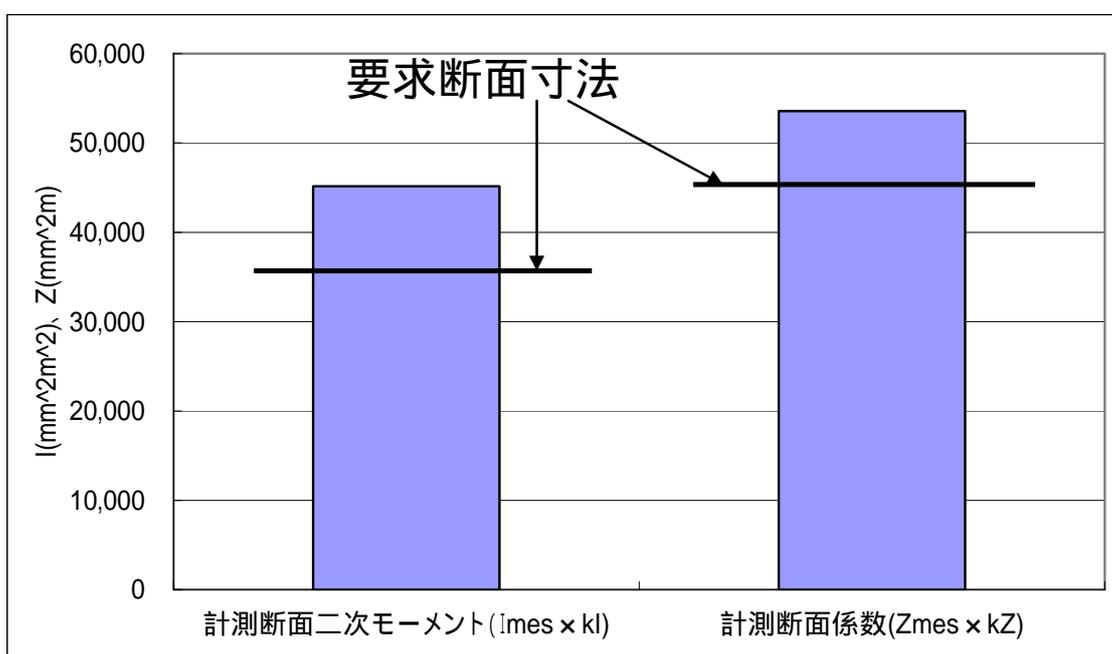


図 - 22 断面寸法結果

### 3.2 Bタイプの検査方法について

基準要求板厚を算出するためには、その前提となる縦通肋骨、横フレーム等の骨桁材の配置を確認する必要がある。Aタイプの船舶と異なり、機関室のように内部構造を確認するために出入りでき、構造寸法を計測できる場所はあまり期待できない。そこで、国内で建造中の実船を対象に、これら骨材の配置を確認するための解決策を探るために、建造時船舶の構造様式の調査を行った。また、完成時の検査方法策定に向けて、造船所の方から意見を聴取した。

#### (1) 建造中実船調査

当工場では、日本で設計した図面を基に豪州で船体外板を組み立てた後、当工場に運ばれて船体上部構造と組み合わせる建造スタイルをとっている。溶接作業については、溶接作業資格をもった現地作業員が行い、定期的に品質管理のために現地(豪州)に行き指導しているようである。造船所を訪問したときは、26フィートの軽合金艇を建造している最中であり、同型船でデッキ上構造物を載せる前の状態の船(写真1)と載せた後の船(写真2)等を見学した。



写真1 デッキ上構造物を載せる前



写真2 デッキ上構造物を載せた後

上部構造物を載せた後は、写真3、写真4に示すような、たとえばエンジン格納スペース、キャビン内等、限られたスペースのみであり、かろうじて内部構造部材を確認できる程度であるが、部材寸法を計測することは困難であると思われる。



写真3 エンジン格納スペース



写真4 キャビン内

ただし、FRP製船体と違い、船体外側から船底部をみると、写真5のように、溶接跡が目視で確認できる。また、手で軽く叩くと、裏側に骨/桁材が配置されている場合には鈍い音がするため、骨/桁材の存在に気づくともわれる。

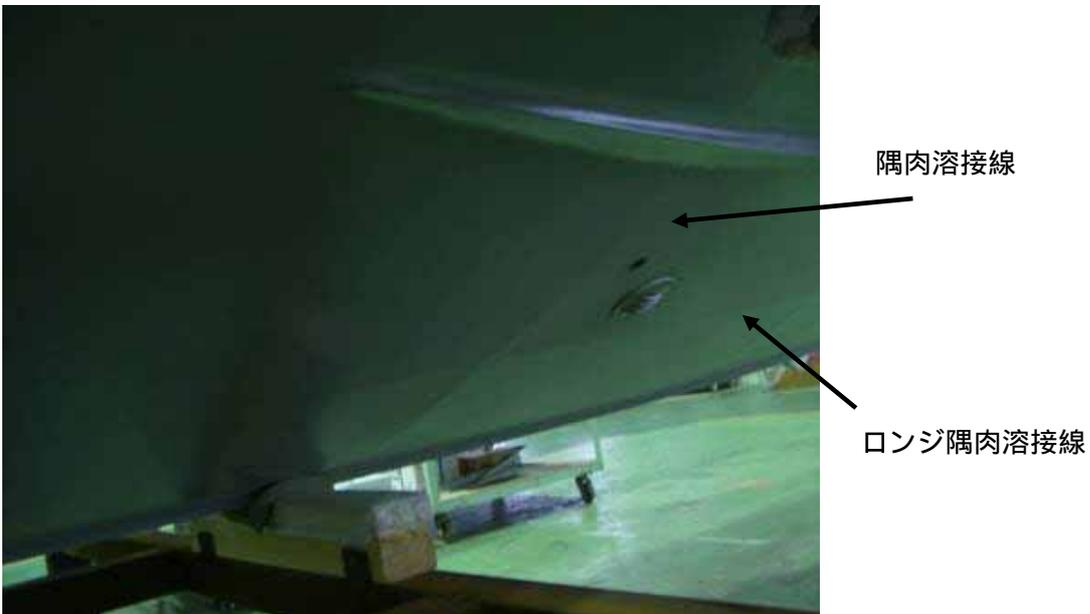


写真 - 5 船底部溶接線跡

また、図 - 23 に示す超音波板厚計測器の原理から、探触子が隅肉溶接部に達したとき、超音波（エコー）が返ってこないため、すなわち計測不能となり、表示部がエラー表示されるか、または板厚と異なる奇妙な値が表示される。

このように、Bタイプの船舶は、内部構造にアクセスすることが容易ではないが、縦通肋骨材、横フレームが外板に（隅肉）溶接されているような場合、これらの配置を外側から確認することができる。船底部はこのようにして、外側から確認できる可能性が高いことがわかったが、写真 - 6 に示すように、船側部はパテで整形していることもあるようである。このような場合、超音波板厚計測器で計測することが困難なことも予想される。その場合は、艀装用に開けられた貫通穴を利用して板厚を計測するなど、現場での判断が必要となる。

以上のようにして、骨 / 桁材の配置を前提条件として確認し、その構造配置を基に基準の要求板厚を算出し、計測した板厚が要求板厚を満足していれば検査合格とみなすことを提案する。

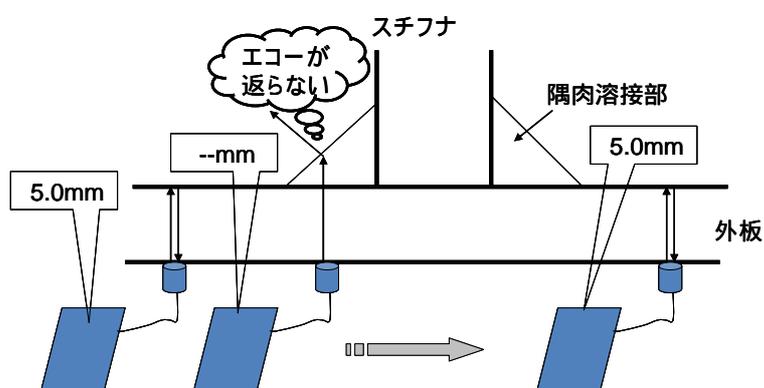


図 - 2 3 探触子をスライドさせたときの板厚計測器の表示(イメージ)



写真 - 6 船側部概観

### 3.3 Cタイプの検査方法について

このタイプの船舶は輸入艇が多く、これまでは落下試験によってその強度評価を行ってきた(写真 - 7)。写真 - 7のとおり、デッキはなく船体構造様式の把握及び部材寸法の計測は容易である。ただし、本タイプの船舶は、船体外板を薄く建造し、剛性を上げるために平面断面形状ではなく、波型断面形状とすることが多い。輸入艇が多いことから、検査ではISO12215-5を満足しているかどうかを確認することを前提に検討するが、ISO12215-5では、このような波形断面形状を想定した部材寸法算式になっていないため、検査方法について検討が必要である。そこで、このタイプの船舶を対象に、ISO12215-5による部材寸法の試算を行い、検査方法を検討した。



写真 - 7 落下試験の様子

#### (1) ISO12215-5による試算

##### (a)対象船舶

機構の支部で所有する検査関係資料を基に、これらの船舶に対して、ISO12215-5を適用した場合の検討を行った。対象船舶の要目及び設計パラメータを表 6 に示す。ISO12215-5で板厚寸法を求めるためには、骨・桁材の心距が計算上必要となる。このタイプの船舶は、図 - 24のような波形断面形状を採用しており、スチフナを配置していないことが多い。ISO12215-5では、要求板厚算式は、骨・桁材で周辺固定された板を前提に作成されているため、このような断面形状は想定範囲外である。しかしながら、ISO12215-5では、“Natural Stiffener”という概念を導入しており、スチフナを配置していなくても、ナックルされた場所において、スチフナと同等の効果を認めている。

表 - 6 対象船舶の要目と設計パラメータ

船名	登録長さ (m)	登録幅 (m)	登録深さ (m)	満載排水量 (kg)	最大速力 (knot)	航行区域	$V/Lr^{0.5}$
A	3.11	1.41	0.53	330	11.1	限定沿海区域	6.3
B	3.11	1.41	0.53	367	10.4	限定沿海区域	5.9
C	2.68	1.16	0.36	270	7.6	平水区域	4.6
D	3.24	1.17	0.36	289	8.03	平水区域	4.5
E	2.68	1.16	0.36	286	7.3	平水区域	4.5
F	2.97	1.23	0.43	297	7.56	平水区域	4.4

そこで、この”Natural Stiffener”の概念を考慮に入れて、スチフナ心距を図 - 24 に示すような3つのケースを想定して、ISO12215-5 による要求部材寸法を計算した。図 - 24 に示すケースAは、検査対象とする船底板部を、スチフナを配置しない1枚の板とみなす場合、ケースBは、波形形状の1山（あるいは谷）の周期ごとにスチフナが配置されているとみなし、1周期を心距とみなす場合、ケースCは、支持されていない間の距離を心距とみなす場合である。

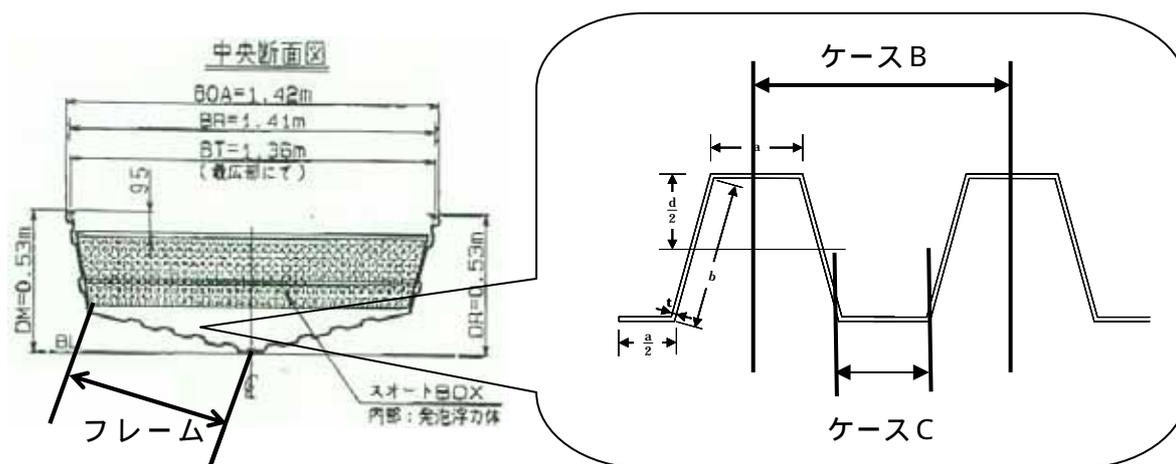


図 - 24 スチフナ心距の設定

(b) 試算結果

試算の結果を表 - 7 に示す。検査結果の記録によると、1.1 から 1.3mm となっているが、ケースAの場合は 2.5mm 以上を要求、ケースB、ケースCの場合もおおよそ 1.8 を要求し、このような状態では、これらの船は検査に合格できないことになる。ケースB、Cの試算結果をみると、これら要求板厚は ISO12215-5 が規定する最小板厚で決定されていることがわかった。

表 - 7 ISO 要求板厚と建造板厚の比較

船名	船底板厚 検査結果 (mm)	ISO船底要求板厚 (mm)		
		ケースA	ケースB	ケースC
A	1.3	2.9	1.9	1.8
B	1.3	2.8	1.9	1.8
C	1.1	2.5	1.8	1.8
D	1.1	2.5	1.8	1.8
E	1.1	2.5	1.8	1.8
F	1.2	2.6	1.8	1.8

基準上の最小板厚の決定は、一般的に実績によって作成されることが多いが、これらの

船はすでに落下試験で検査を合格している実績を考慮すると、ISO12215-5 が定める最小板厚にとられることなく評価して差し支えないと判断する。そこで、ISO の設計荷重から決定される板厚で改めて評価すると、表 - 8 に示すような結果となった。

表 - 8 ISO 設計荷重を基にした板厚と実績値の比較

船名	船底板厚 検査結果 (mm)	ISO船底要求板厚 (設計荷重より) (mm)		
		ケースA	ケースB	ケースC
A	1.3	2.9	1.02	0.6
B	1.3	2.8	1.10	0.5
C	1.1	2.5	1.04	0.3
D	1.1	2.5	1.02	0.5
E	1.1	2.5	0.90	0.3
F	1.2	2.6	1.10	0.5

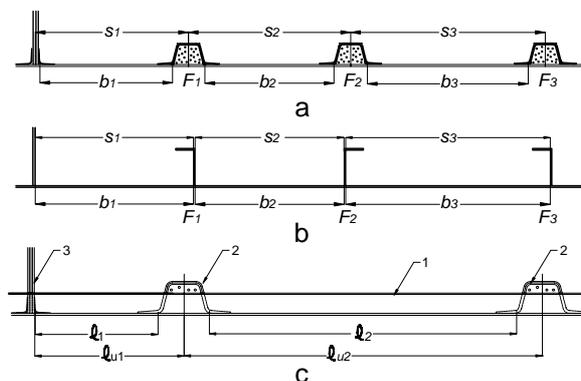


図 - 2 5 ISO12215-5 のスチフナ心距の計測方法

ISO12215-5 では、FRP 船でハット型構造のスチフナを配置しているときは、図 - 2 5 (最上図) のように、支持されていない間の距離  $b$  を、スチフナの心距とみなしてよいとしている。ハット型構造の場合、心材が強度上有効でないともなしてもある程度抵抗することから、上図のように心距をとってもよいと思われるが、波形形状の場合、波形形状の 1 山 (あるいは谷) の周期を心距とみなした方がより安全サイドにたった強度評価になると考える。そこで、スチフナ心距に相当する検査項目として、ケース B のような、波形形状の 1 山 (あるいは谷) の周期を ISO12215-5 の部材寸法算式 (1) 式の変数  $b$  として代入することを提案する。

$$t = b \times k_c \times \sqrt{\frac{P \times k_2}{1000 \times \sigma_d}} \quad (1)$$

なお、

$b$  : スチフナ心距離 (mm)

$k_c$  : 曲面修正係数 (平板であれば 1)

$P$  : 設計水圧 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$K_2$  : 縦横比に応じた修正係数 (防撓板の縦横比が 2 以上ならば 0.5)

$d$  : 設計応力 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

#### 4. まとめ

軽構造 (アルミニウム製) 小型船舶の構造強度についての合理的評価方法の策定に向けた検討を行った。評価方法の策定にあたって、合理的であり、かつ、実用的な方法となるように、これまでの検査実績の調査、造船所を訪問しての建造時船舶の調査、及び造船関係者からの聞き取り調査を行った。また、本報告書を作成するにあたって、昨年度実施した「長さ 15m 以上の FRP 小型船舶の構造強度等についての合理的評価方法に関する調査研究」での成果を念頭に、船体の長さが 15m 未満の小型船舶に対しても、実用的に使用できる評価方法となるように努めた。これらの調査検討を基にまとめると、以下のようになる。

##### (1) 基礎調査

対象とする軽構造 (アルミニウム製) 小型船舶の船体構造 (部材寸法、構造様式等) について、機構の支部で所有する構造関係計算書、構造図等を整理して、検査方法策定に活用できるように、検討対象船舶の実態 (船型、部材寸法 (実績値、要求値)、スチフナの配置等) を把握した。これらの調査から、船体の長さに応じて、検査方法を区別していく必要があると考え、本報告では、明確に区別できるわけではないが、次のような 3 つのタイプに分類して、検査方法を提案していくこととした。

A タイプ : 船体の長さ と 深さ の比が 12 を 超える 船舶 (主に 15 m 以上の船舶)

B タイプ : 長さが 6 m 以上で、船体の長さ と 深さ の比が 12 を 越えない 船舶

C タイプ : 長さ 6 m 未満 (落下試験を実施してきたような) 船舶

##### (2) 検査方法の提案

###### (a) A タイプの船舶 (船体の長さ と 深さ の比が 12 を 超える 船舶)

昨年度実施した「長さ 15m 以上の FRP 小型船舶の構造強度等についての合理的評価方法に関する調査研究」の成果を念頭におき、全般的な検査の流れは踏襲しながら、アルミニウム製船舶の基準に適合するように策定した。

このタイプの船舶は、ISO12215-5 で指摘するように、縦強度を考慮することが求められる。そのために、スチフナやフレームのような内部構造を把握する必要がある。このタイプの船舶は、人が出入りできる機関室が配置されているケースが多いと思われるので、外部からの板厚計測で得られた断面寸法の評価結果に加えて、可能な限り、内部の構造様式と構造寸法を確認することを提案する。

国内造船所で建造された船舶では、設計関連図書が整備されていることが期待できるの

に対し、構造関連図書が整備されていない可能性のある輸入艇では、昨年度同様、ISO12215-5 にしたがって、評価することを提案する。現行国内基準で設計・建造された船舶は、設計で求められた構造寸法を基に評価を行えばよい。

本評価を行うにあたって、検査員の負担を緩和することを目的に、昨年度同様、検査時に必要なデータ（計画時要目、計測板厚等）を入力するだけで、簡易検査判定を行えるようにした。

設計基準が不明な輸入艇に対して、前述の検査支援ファイルを利用した場合の検査の流れ（概要）を以下にまとめる。

#### 【検査の流れ(概要)】

- 1 ) 検査箇所の特定制（船体中央付近断面他）
- 2 ) 3 ) で必要なデータの収集
- 3 ) ISO12215-5 の要求部材寸法計算に必要なデータを入力（図 1 5 参照）
- 4 ) ISO12215-5 の要求部材寸法計算結果確認（図 - 1 6 参照）
- 5 ) 検査箇所の板厚測定
- 6 ) 要求板厚と計測板厚を比較、板厚の検査判定
- 7 ) 要求断面寸法計算に必要なデータを入力（図 1 7、1 8 参照）
- 8 ) 計測断面寸法計算に必要なデータを入力（図 1 9 参照）
- 9 ) 要求断面寸法と計測断面寸法を比較、断面寸法の検査判定
- 1 0 ) 必要に応じて、内部構造の寸法計測（図 - 2 0 参照）

(b) Bタイプの船舶（長さが6m以上で、船体の長さとの比が12を超えない船舶）

このタイプの船舶は、ISO12215-5においては、縦強度を要求していない。スチフナやフレームで支持された板に対する局部強度の要件から、構造安全上必要な部材の寸法を与えている。このようなISOの基本思想を斟酌して、このタイプの船には、検査の実務上の観点から、対象とするパネルの板厚のみを検査し確認することを提案する。可能であれば、内部の構造寸法を確認した方がより確実であるが、建造後に、内部構造を確認するために検査員がアクセスできる箇所は限定されてしまう。機関スペース、トイレ、格納スペース等、個船に応じた検査計画が必要と思われる。

設計基準が不明な輸入艇に対して、前述の検査支援ファイルを利用した場合の検査の流れ（概要）を以下にまとめる。

#### 【検査の流れ(概要)】

- 1 ) 検査箇所の特定制（船体中央付近断面他）
- 2 ) 3 ) で必要なデータの収集
- 3 ) ISO12215-5 の要求部材寸法計算に必要なデータを入力（図 1 5 参照）
- 4 ) ISO12215-5 の要求部材寸法計算結果確認（図 - 1 6 参照）

- 5) 検査箇所の板厚測定
- 6) 要求板厚と計測板厚を比較、板厚の検査判定
- 7) 必要に応じて、内部構造の寸法計測 (図 - 20 参照)

(c) Cタイプの船舶 (長さ6m未満 (落下試験を実施してきたような) 船舶)

このタイプの船舶は輸入船が多く、これまでは落下試験によってその強度評価を行ってきた。今回調査した検査記録を見ると、おおよその傾向が読み取れた。太宗は、カートツパー型と呼ばれるが、運搬上の利便性を高めるために、軽量とし、必要最小限の強度を持たせた船体構造を採用することが多い。そのため、船体外板は、薄く建造し、剛性を上げるために波形形状の断面を採用しているケースが多く見られる。これまでに検査に合格したこのタイプの船舶では、船体外板厚さが1mm~2mの間で建造されているケースが多いことがわかった。

輸入艇であるために、ISO規格で評価することを考えたが、本来、ISO12215-5では、このような波形形状を対象とした部材寸法算式になっていない。ISO規格をそのまま適用すると、最小板厚の要件から、これまでに検査に合格したこれらの船舶が合格しなくなることが予想される。規則における最小板厚は、実績から作成されることが多いが、これらの船はすでに落下試験で検査を合格している実績を考慮すると、ISOが定める最小板厚にとられることなく、ISOの設計荷重から決定される板厚で評価することを提案する。

設計基準が不明な輸入艇に対して、前述の検査支援ファイルを利用した場合の検査の流れ (概要) を以下にまとめる。

【検査の流れ(概要)】

- 1) 検査箇所の特定 (船体中央付近断面他)
- 2) 3) で必要なデータの収集 (スチフナ心距については、図 26 参照)
- 3) ISO12215-5 の要求部材寸法計算に必要なデータを入力 (図 15 参照)
- 4) ISO12215-5 の要求部材寸法計算結果確認 (図- 16 参照)
- 5) 検査箇所の板厚測定
- 6) 要求板厚と計測板厚を比較、板厚の検査判定

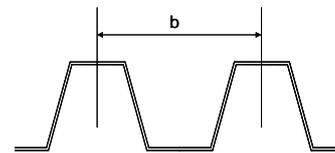


図 26 スチフナ心距

参考文献

- 1) 平成18年度「長さ15m以上のFRP小型船舶の構造強度等についての合理的評価法に関する調査研究」報告書