

明 細 書

発明の名称：

船底塗膜の摩擦抵抗予測方法および、該方法を用いた塗膜性能評価方法、
塗膜性能評価装置

技術分野

[0001] 簡便で、個人差なく、しかも迅速に評価結果が得られる船底塗膜の摩擦抵抗増加率の予測方法に関する。また、実船の船底塗膜について、簡便に塗膜性能を評価する方法および評価装置に関する。

背景技術

[0002] 船舶の省エネ対策の最重要項目である推進性能向上については、造波抵抗や粘性圧力抵抗とともに、船底における摩擦抵抗の役割が大きい。

[0003] この摩擦抵抗は、船体が受ける全抵抗の60～80%を占めるとされ、摩擦抵抗を下げることは、船の燃費を低減させる上できわめて重要となる。

[0004] 一方船底には、生物が付着するのを防ぎ、生物付着による燃費の悪化を防ぐ目的で、防汚塗料が使用されている。防汚塗料は船底の海水に接する部分には必ず塗装されている為、新造船段階において、適切な塗装管理を行い、また平滑性能の高い防汚塗料を採用することにより、塗膜表面粗度の増大を防ぎ摩擦抵抗を下げることは意義が大きい。このような防汚性能を有し、かつ摩擦抵抗低減が期待できる塗料塗膜として自己研磨型塗膜およびファウルリリース型塗膜等がある。

[0005] 一般的には表面粗度が摩擦抵抗増大の主要因であると考えられており、塗膜の表面粗度から、船舶の性能を予測する取り組みが古くから行われている。

[0006] 非特許文献1には、船底の粗度により船舶性能を評価する方法が記載されており、ここで使用されている粗度測定はBSRA(British Ship Building Association)により開発されたBSRA粗度計による接触式の変位計を用いて測定する方法である。この方法で計測される粗度により、摩擦抵抗の増加を下記

式(1)あるいは(2)により算出することが提案されている。これらは、実船の表面粗度をBSRA粗度計により測定することにより得られた経験式である。

[0007] [数1]

$$\Delta C_F \times 10^3 = 105 \left(\frac{k}{L_{pp}} \right)^{\frac{1}{3}} - 0.64 \quad (1)$$

[0008] [数2]

$$\frac{\Delta P_D}{P_D} \times 100\% = 3.8 \times \{ (K_2)^{\frac{1}{3}} - (K_1)^{\frac{1}{3}} \} \quad (2)$$

式(1)中、 ΔC_F は摩擦抵抗係数の増加を示し、 k はBSRA 粗度計により測定した平均粗度高さであり、 L_{pp} は船長である。式(2)中、 $\Delta P_D / P_D$ は供給馬力の増加率を示し、 K_1 は初期船底粗度高さであり、 K_2 は最終船底粗度高さである。

[0009] そしてかかる非特許文献1には、粗度高さのみによる推定では不十分であり、例えば表面形状パラメータ t による評価方法が示されている。

[0010] [数3]

$$t = f(\alpha) \quad (\alpha = m_0 m_4 / m_2^2) \quad (3)$$

ここで、 α はスペクトルパラメータであり、 m_0 は0次のスペクトルモーメント、 m_2 は2次のスペクトルモーメント、 m_4 は4次のスペクトルモーメントである。また簡便法として α を $(D_E/D_z)^2$ (D_E :形状の最高-最低の密度、 D_z :ゼロ点交差)より求める方法が記載されている。この表面形状パラメータ t による評価によって、同一BSRA粗度高さ(450μ)でも表面形状パラメータ t の違いにより供給馬力に $\pm 4\%$ 程度違いが現れたことが報告されている。

[0011] また、非特許文献2には、見かけの波高(粗度高さ) H と見かけの波長 λ による H^2/λ と実船及び平板試験の摩擦抵抗の関係が示されている。しかし、ここで用いられた粗度高さ H 、及び波長 λ は下記の(i)-(viii)のような手順で求

められている。当時計算機が発達していない時代に、断面曲線から、手作業にて、粗度高さ、波長を求める方法である。

(i)ある一定間隔（外板上の実長にして最初は20-50m位）で横に長い記録図形に対し縦に区切り線を引く。

(ii)各区間の記録図形の最高点と最低点を一箇所ずつ選ぶ。

(iii)隣接する区間の最高点どうし、また最低点どうしを結んで二本の折れ線グラフを作る。

(iv)最初の操作で引いた縦の区切り線が(iii)の二本の折れ線にはさまれて切り取られた長さをその区間の見かけの波高 (H_i) とする。また最初の縦の区切り線間隔を見掛けの波長 (λ) とする。

(v)一隻の船、あるいは一枚の試験鋼板である λ に対する見掛けの波高 H とは、以上の操作での H_i の平均のことである。

(vi)つぎに縦の区切り線間の中央にもう一本ずつ区切り線をひき(ii)-(v)の操作を繰り返す。

(vii)かくして記録図形を2m等分して行き $1/\lambda$ (粗度周波数に対応)を横軸に、縦軸には H と H/λ をとって折れ線グラフを書く。

(viii)ある一つの船または鋼板に対して折れ線グラフが測定数に応じて(vii)で得られたならば、それ等の全体の平均的な曲線を引き、これをもって見掛けの波長 λ に対する H 及び H/λ とする。

[0012] このように、見かけの波高 H 、見かけの波長 λ はJISの粗度高さ R 、粗さ曲線要素の平均長さ $R S m$ と定義が異なる。また、かかる非特許文献2には長さ 3m、幅0.7m、厚さ6mmの試験鋼板による曳航試験を行って同様の傾向を確認しようと試みたが、最高速度が6(m/s)に限られ、粗度パラメーターの影響は見い出せなかったことが開示されている。

[0013] 以上のように、摩擦抵抗と表面粗度との関係は示されているが、摩擦抵抗を表面粗度により高い確度で予測できる方法は示されていない。

先行技術文献

非特許文献

[0014] 非特許文献1: D.Byrne;"Hull roughness and the impact of outer hull maintenance decisions on ship efficiency",The F I Rst International Shiprepair, Spares and Maintenance Conference(1983)p33-51

非特許文献2: 笹島秀雄、寺尾貞一、横尾幸一、中渡道夫、小川陽弘、「船体外板粗度と摩擦抵抗増加に関する実験的研究」、造船協会論文集、Vol.117, p58-71, 1965-06

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0015] 一般的に、実船の表面粗度による摩擦抵抗増加は、実船の馬力計測による推定がもっとも現実的ではあるが、実際の運行条件においては造波抵抗、風、波、潮流、船底汚損、等の影響が含まれ、摩擦抵抗の影響だけを抽出して評価することは困難である。また船舶の外板に塗装された塗膜による表面粗度のデータはBSRAによって開発された、評価長さ50mmでの最大高さの評価が主流である。しかし50mm長さにおける最大高さしか計測できないことから、他のパラメーターの影響を評価できない等の問題があった。また、高さと波長、あるいは高さと傾きのパラメーターで実船の摩擦抵抗の増加率を示した例が示されているが、実際の船舶の現場における最適な評価方法、評価長さ、カットオフ波長等は定められていない。

[0016] また、上記のように実船の摩擦抵抗の評価は困難であることから、代替として他の摩擦抵抗評価方法により簡易推定することが必要であるが、実船相当の粗度において、実船と同等の摩擦抵抗増加を示す計測方法は限られている。適切な粗度測定法、摩擦抵抗測定法の組み合わせにより、実船相当の抵抗増加を推定することが重要である。

課題を解決するための手段

[0017] このような状況のもと、より簡便でしかも、実際の船舶の塗膜評価に最適な評価方法について、本発明者らは鋭意検討を行った。

[0018] その結果、以下の構成によって、船舶の塗膜の摩擦抵抗を予測できることを見出し、本発明を完成するに至った。

[0019] [1] 基材上に船底塗料を塗装した塗膜について、JIS B 0601:2001 (ISO 4287:1997) の規定に従い、粗さ曲線要素の平均長さ R_{Sm} が 2, 000 ~ 10, 000 μm の範囲で、粗度高さ R として R_z (最大高さ粗さ)、 R_c (粗さ曲線要素の平均高さ)、 R_a (算術平均粗さ)、 R_q (二乗平均平方根粗さ)、 R_{ZJS} (十点平均粗さ) のいずれかを測定し、下記式 (4) により、鏡面からの摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ を算出することを特徴とする船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[0020] [数4]

$$FIR(\%) = C \frac{R^2}{R_{Sm}} \quad (4)$$

(ここで、係数 C は、粗度高さ R の種類、及び摩擦抵抗試験方法に依存する定数であり、予め、粗度の異なる複数の船底塗膜について、一定の評価長さでの粗度測定、及び摩擦抵抗試験を行い、実測した粗度高さ R 及び粗さ曲線要素の平均長さ R_{Sm} と摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ について式 (4) の関係から求める。)

[2] JIS B 0601:2001 (ISO 4287:1997) の規定において、評価長さ 10, 000 μm 以上、測定間隔 500 μm 以下で粗度測定することを特徴とする [1] の、船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[0021] [3] カットオフ値 λ_c が 10, 000 μm 以上の高域フィルタを適用して粗度測定することを特徴とする [2] の、船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[0022] [4] 摩擦抵抗試験として、二重円筒装置を用い、外筒を回転させた時の鏡面の内筒に働くトルク T_0 をまず求め、ついで船底塗料を塗装した内筒について同条件で回転させたときのトルク T を求め、下記式 (5) より摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ を実測し、

[0023]

[数5]

$$\text{FIR}(\%) = \frac{T - T_0}{T_0} \times 100 \quad (5)$$

内筒に塗装した塗膜の粗度高さR及び粗さ曲線要素の平均長さR S mとの式(4)の関係式から、定数Cを予め求めることを特徴とする[1]～[3]のいずれかの、船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[0024] [5]粗度高さR及び粗さ曲線要素の平均長さR S mを、触針式粗度測定装置ないしレーザー変位式粗度測定装置によって測定する[1]～[4]のいずれかの、船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[0025] [6]予め求めた定数Cを使い、基材上に船底塗料を塗装した塗膜について、粗度高さR及び粗さ曲線要素の平均長さR S mを測定し、前記式(1)により摩擦抵抗増加率F I R(%)を予測することを特徴とする船底塗膜の塗膜性能評価方法。

[0026] [7]粗度高さR及び粗さ曲線要素の平均長さR S mを、実船塗装された塗膜について熱可塑性樹脂により型取りしたもので評価することを特徴とする[6]の船底塗膜の塗膜性能評価方法。

[0027] [8]実船塗装における塗膜性能を評価する装置であって、粗度高さR及び粗さ曲線要素の平均長さR S mを測定する測定部と、前記式(4)を用いて摩擦抵抗増加率F I R(%)を算出する摩擦抵抗計算部を備えてなる船底塗膜の塗膜性能評価装置。

発明の効果

[0028] 本発明によれば、単に粗度を評価するだけの非常に簡便な方法で、船底塗膜の摩擦抵抗増加率を予測できる。この方法を用いることにより、摩擦抵抗のより低い防汚塗料の迅速な選択、塗装良否の判断、塗装機の性能把握等に利用できる。また、造船所において防汚塗料の実船への塗装の管理に利用したり、そのための評価装置の提供が可能になる。粗度の波長範囲を限定する

ことにより、測定条件を固定することができるため評価装置を安価なものとすることもできる。

図面の簡単な説明

- [0029] [図1]図 1 は、摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ と Rz^2/RSm の関係を示す。
- [図2]図 2 は、摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ と最大高さ粗さ Rz の関係を示す。
- [図3]図 3 は、摩擦抵抗増加率と粗さ曲線要素の平均長さ RSm の関係を示す。
- [図4]図 4 は、実船底膜の粗度分布(レプリカ法/評価長さ30mm)を示す。
- [図5]図 5 は、実船底膜の粗度取得例を示す。
- [図6]図 6 は、摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ の予測例($FIR(\%)=2.62XRz^2/RSm$)を示す。

発明を実施するための形態

- [0030] 以下、本発明について、具体的に説明する。
- [0031] 本発明で評価される船底塗料は、船底の腐食防止、生物付着防止などに用いられる塗料であり、本発明では主に鋼船用の船底塗料である。
- [0032] このような防汚塗料として、たとえば自己研磨型防汚塗料や、ファウルリリース型防汚塗料に、本発明は適用可能である。
- [0033] 自己研磨型防汚塗料は、塗膜自身が少しずつ溶け、同時に水棲生物が嫌う成分である防汚剤も溶けていくことで、付着を防ぐものである。またファウルリリース型防汚塗料は平滑性、撥水性および弾性のある塗膜により、水棲生物を付着しにくくするものである。
- [0034] このような防汚塗料としては、特許4884107号、特許4846093号、特許4837668号、特許4813608号、特許4812947号、特許4812902号、特許4812895、特許4806769号、特許4786053号、特許4777591号、特許4776839号、特許4769331号、特許4745351号、特許4709370号、特許4694583号、特許4684465号、特許4675624号、特許4651792号、特許4647060号、特許4644238号、特許4642204号、特許4641563号、特許4633224号、特許4621901号、特許4610763号など、公知のものを特に制限なく使用できる。
- [0035] 本発明では、基材上に上記船底塗料が塗装された塗膜について評価する。

基材として、特に制限されないが、通常、非処理鋼材、ブラスト処理鋼材、酸処理鋼材、亜鉛メッキ鋼材、ステンレス鋼材等の鋼材；アルミニウム（合金）材、銅（合金）材等の非鉄金属材；コンクリート；塩化ビニルなどのプラスチック材などが使用される。かかる基材の形状も特に制限されないが、通常、円筒状、船形状、平板状、管状のもので評価される。

[0036] 船底塗膜は、防汚塗料を常法に従って基材の表面に塗装した後、必要に応じて常温下または加熱下で溶剤を揮散除去することによって形成することができる。塗工方法としては特に限定されず、たとえば、浸漬法、スプレー法、ハケ塗り、ローラー、静電塗装、電着塗装等の従来公知の方法を挙げることができる。広い船底に均一に塗布するためには、スプレー法がより好ましい。

[0037] 膜厚は特に限定されず、所定の厚さを有するものであればよいが、通常50～1,000 μ mであり、基材が露出せず、かつ基材表面の凹凸が影響しない厚さであればよい。

摩擦抵抗予測方法

基材上に船底塗料を塗装した塗膜について、JIS B 0601:2001(ISO 4287:1997)の規定に従い、粗さ曲線要素の平均長さ RS_m が2,000～10,000 μ mの範囲で、粗度高さ R として R_z （最大高さ粗さ）、 R_c （粗さ曲線要素の平均高さ）、 R_a （算術平均粗さ）、 R_q （二乗平均平方根粗さ）、 R_{ZJS} （十点平均粗さ）のいずれかを測定し、下記式（4）により、鏡面からの摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ を算出する。

[0038] [数6]

$$FIR(\%) = C \frac{R^2}{RS_m} \quad (4)$$

ここで、定数 C は、粗度高さ R の種類、及び摩擦抵抗試験方法に依存する定数であり、予め一定の評価長さでの粗度測定、及び摩擦抵抗試験を行い、実測した粗度高さ R 、粗さ曲線要素の平均長さ RS_m と摩擦抵抗増加率 FIR (

%)について式(4)の関係から求める。

[0039] RS_m は、粗さ曲線要素の平均長さであり、各粗さ曲線要素の長さ XSi の平均として下記式(6)で表される。

[0040] [数7]

$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m XSi \quad (6)$$

Rz は最大高さ粗さを示し、基準長さにおける粗さ曲線の最大山高さと最大谷深さとの和である。 Rc は粗さ曲線要素の平均高さ、 Ra は算術平均粗さ、 Rq は二乗平均平方根粗さであり、 $RZJIS$ は十点平均粗さを示し、最高の山頂から高い順に5番目までの山高さの平均と最深の谷底から深い順に5番目までの谷深さの平均との和である。これらはJIS B 0601:2001(ISO 4287:1997)の規定に従って測定される。

[0041] 本発明では、粗度の評価は、 Rz (最大高さ粗さ)、 Rc (粗さ曲線要素の平均高さ)、 Ra (算術平均粗さ)、 Rq (二乗平均平方根粗さ)、 $RZJIS$ (十点平均粗さ)のいずれかを測定すればよい。

[0042] このような粗度の測定は接触式、非接触式、手動、自動などの表面粗度測定装置を用いて評価される。通常汎用され、また、簡便性などの点で触針式やレーザー変位式のものが好適である。

[0043] 得られたデータは、保存するか、もしくは変位計内部で、アナログ/デジタル処理してもよい。なお、本発明では対象粗度を測定する為に、評価長さは10,000 μm 以上、測定間隔は500 μm 以下とする。

[0044] パラメータ解析の際には、断面曲線をそのまま用いるのが望ましいが、10,000 μm 以上の波長のうねりの影響がある時はJIS B 0601:2001(ISO 4287:1997)の規定に従い、カットオフ値(波長) λ_c が10,000 μm 以上の高域フィルタを入れて粗度曲線を求めることができる。

[0045] 本発明では、この粗度を正確に評価するのに必要な評価長さ、及びカットオフ値 λ_c は10,000 μm 以上となり、また測定間隔は500 μm 以下とな

る。尚、測定間隔を $500\mu\text{m}$ にすると、測定できる最低波長が $2,000\mu\text{m}$ となるが、低波長粗度の測定誤差が大きくなる為、実用的には $250\mu\text{m}$ 程度である。測定間隔を小さくすると結果的に測定時間がかかる上、摩擦抵抗増加に関係しない、低い粗度高さの波長の影響まで出て来るため、実用上 $100\mu\text{m}$ 以上が適当である。また測定間隔を小さくした場合、摩擦抵抗に寄与しない小さな粗度やノイズの影響を受けて見掛けの波長が小さくなる場合、ローパスフィルタによりカットしてもよい。

係数Cの求め方

式(4)における傾きCは、粗度高さRの種類、及び摩擦抵抗試験方法により変わる。予め、粗度の異なる複数の船底塗膜を所定の基材上に作製し、摩擦抵抗試験により摩擦抵抗を評価して式(4)中の定数Cを求める。例えば、評価長さ 50mm で R_z 、 R_{Sm} を測定し、二重円筒装置を用いて摩擦抵抗試験を行った場合、係数Cは2～3程度となる。ここで行う摩擦抵抗試験は、上述の粗度測定方法で求めた粗度高さRが $100\mu\text{m}$ 、 R_{Sm} が $2,000-4,000\mu\text{m}$ の塗装塗膜について、5%以上の摩擦抵抗増加率を示す方法で行う必要がある。これは実船相当の高レイノルズ数、薄い粘性底層厚さにおいて得られる摩擦抵抗増加率であるので、船体の評価に一般的に用いられる水槽曳航試験、回流水槽試験では、速度が遅く、試験板長さが短い為、粗度が粘性底層の下に隠れてしまうため、粗度の影響が十分に現れず、不適當となるからである。

[0046] 船体相当の粘性底層厚さを実現する為には、主流と壁面の距離が近く、流速はできるだけ速い方法が良い。このような結果が得られる試験は具体的には、二重円筒装置、管内流路、キャビテーション水槽等である。

[0047] 二重円筒装置を用いた場合、予め外筒を所定の回転数で回転させた時の鏡面の内筒に働くトルク T_0 を求め、ついで船底塗料を塗装した内筒について同条件で回転させたときのトルク T を求め、下記式(5)より摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ を実測する。

[0048]

[数8]

$$\text{FIR}(\%) = \frac{T - T_0}{T_0} \times 100 \quad (5)$$

次に、実測したFIR(%)と内筒に塗装した塗膜のR及びRSmとの式(4)の関係から、係数Cを求める。

[0049] 求めた係数Cを式(4)に用い、RとRSmを測定することにより、船底塗料の種類に係わらず、塗装塗膜の摩擦抵抗増加率を予測できる。

[0050] 以上より、予め求めた定数Cを使い、基材上に船底塗料を塗装した塗膜について、粗度高さR及び粗さ曲線要素の平均長さRSmを測定し、式(4)により摩擦抵抗増加率FIR(%)を予測することにより船底塗膜の塗膜性能を評価できる。

[0051] また、造船所の船舶塗装現場において船底塗膜の表面粗度を、熱可塑性樹脂を枠型に押し当てることによって複製(レプリカ)を採取して、上記の方法で測定すれば、実船塗膜の摩擦抵抗増加率を評価できる。

[0052] 具体的には、内筒に塗装した塗膜の表面粗度は、十分な精度を得るためにレーザ変位計により内筒の下部から上部まで下部50mmからスタートし25mm間隔毎に、10ライン計測した。試験装置にレーザ変位計を取り付け、円筒を回転させることにより表面粗度を測定する。変位データは250μm毎に取得し、1,000mm間で4,000点のデータを取得し、1ラインの測定データを50mmの評価長さで20分割したのち、二乗平均による近似曲線を減することにより、断面曲線を算出する。

[0053] 本発明に係る船底塗膜の塗膜性能評価装置は、上記の予測方法を用いたものであり、粗度を高さR及び粗さ曲線要素の平均長さRSmを測定する測定部と、式(4)を用いて摩擦抵抗増加率FIR(%)を算出する摩擦抵抗計算部を備えてなる。

[0054] 当該測定部には、上記したような粗度測定装置が設置され、予測部では、得られたデータモニタリングして、式(4)から摩擦抵抗増加率を予測できる

ようになっている。

[0055] この塗膜性能評価装置を用いることにより、造船所の船舶塗装現場において、船底塗膜の摩擦抵抗増加率を容易に予測でき、塗膜性能を評価できる。

[0056] また、粗度の波長範囲を限定するため、粗度測定条件である評価長さ、測定間隔、カットオフ値 λ_c を固定することができるため、安価な塗膜性能評価装置を提供できる。

[0057] [実施例]

以下、本発明を、実施例をもとにさらに詳しく説明するが、本発明はこれらの実施例に何ら限定されるものではない。

[実施例1] 摩擦抵抗試験

(i)二重円筒装置を用いた場合

二重円筒装置を用い、粗度高さ R 及び粗さ曲線要素の平均長さ R_{Sm} と摩擦抵抗増加率の関係を評価した。

[0058] 二重円筒装置は、ステンレス槽(外筒、320mm径)内にイオン交換水(23℃)を満たした中に、スプレー塗装により塗料を吹き付けた塩化ビニル製試験円筒(内筒、310mm)を設置した。

[0059] 塗料はバインダーコートとして、バンノー500N(中国塗料株式会社製)、防汚塗料として、シーグランプリ500、シーグランプリ1000、SEAFL0 NE0、またはBIOCLEAN HB(いずれも中国塗料株式会社製)を用いた。塗膜の厚さはトータル125 μm または、250 μm とした。

[0060] 外筒を1000rpmで回転させ、塗膜が形成された内筒に働くトルクを測定した。ついで、外筒を1000rpmで回転させた時の完全な鏡面に働くトルクを膜厚125 μm で6.55N・m、250 μm で6.63N・mとして摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ を算出した。

[0061] 各塗膜が形成された内筒の摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ は式(5)により算出される。なお、式(5)中の T_0 は外筒を回転数1000rpmで回転させた時の鏡面の内筒に働くトルクは塗料膜厚125 μm で6.55N・m、250 μm で6.63N・mであり、 T は船底塗料を塗装した内筒について同条件で回転

させたときのトルクである。

[0062] ついで、各塗膜が形成された内筒について粗度測定を行った。

[0063] 塗膜が形成された内筒の表面粗度は、十分な精度を得るためにレーザー変位計により試験体上部から下部まで50mmから開始し25mm間隔毎に、10ライン計測した。二重円筒装置にレーザー変位計を取り付け、塗膜が形成された内筒を回転させることにより表面粗度を測定した。変位データは250 μ 毎に取得し、1,000mm間で4,000点のデータを取得した。1ラインの測定データを50mmの評価長さで20分割したのち、二乗平均による近似曲線を減ずることにより、断面曲線を算出した。

[0064] スプレー塗装により形成された塗膜の R_z （最大高さ粗さ）、粗さ曲線要素の平均長さ R_{Sm} を算出した結果、50mmの評価長さにおける、 R_z は30 μ m-200 μ m、 R_{Sm} は2,000 μ m~10,000 μ mとなった。この R_{Sm} の範囲を、正確に評価するのに必要な評価長さ、及びカットオフ値 λ_c は10,000 μ m以上となり、また測定間隔は500 μ m以下となる。尚、測定間隔を500 μ mにすると、測定できる最低波長が2,000 μ mとなるが、低波長での R_z 、 R_{Sm} の測定誤差が大きくなる為、実用的には250 μ m程度である。また測定間隔を小さくすると結果的に測定時間を要する為、実用上100 μ m以上が適当である。また測定間隔を小さくした場合、摩擦抵抗に寄与しない小さな粗度やノイズの影響を受けて見掛けの波長が小さくなる為、ローパスフィルタによりカットしたほうが良い場合がある。実際の評価の際は長波長によるうねりの影響を除去する為に、カットオフ波長 λ_s の低域フィルタを入れて粗度曲線を求めることが望ましいが、精密加工した円筒においては、長波長のうねりの影響が確認されなかった為、断面曲線のまま評価を行った。

[0065] 断面曲線より、 R_z （最大高さ粗さ）、 R_c （粗さ曲線要素の平均高さ）、 R_a （算術平均粗さ）、 R_q （二乗平均平方根粗さ）、 R_{ZJIS} （十点平均粗さ）、及び R_{Sm} を算出した。

[0066] 表1に二重円筒装置を用いて測定した場合の、 R_z 、 R_c 、 R_a 、 R_q 、

R Z J I S 及び R S m と摩擦抵抗増加率 F I R (%) を示した。また R z、R c、R a、R q、R Z J I S 及び R S m 相互の相関分析を行った結果を表 2 に示す。R z、R c、R a、R q、R Z J I S は相互に高い相関性を示す為、どの粗度高さ R を用いて評価しても良い。R S m、R z と F I R (%) の関係を評価した場合、図 1 に示す通り、R z の 2 乗を R S m で除した値 $R z^2 / R S m$ を横軸に、F I R (%) を縦軸にとると、近似直線で高い相関が確認される。しかし、図 2 および図 3 のように R z や R S m を横軸に、F I R (%) を縦軸にとると、大きくばらつくため、 $R z^2 / R S m$ により F I R (%) を予測するのが適当である。この例では近似線は 0 を通る傾き 2.62 のグラフとなる。よってこの数式より逆算すれば、F I R (%) を R z、R S m から算出することができる。尚、表 2 に示される通り、R c、R a、R q、R Z J I S は R z と高い相関を示す為、これらのいずれでも同様の評価が可能である。ただし、粗度高さ R の種類によって係数 C は異なった値となる。

[0067] [表1]

表 1 粗度高さ R、RSm、 Rz^2/RSm と摩擦抵抗増加率 FIR(%) (評価長さ 50mm)

最大高さ粗さ	粗さ曲線要素の平均高さ	算術平均粗さ	二乗平均平方根粗さ	十点平均粗さ	粗さ曲線要素の平均長さ	摩擦抵抗増加率	
Rz (μm)	Rc (μm)	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz jis (μm)	RSm (μm)	Rz^2/RSm (μm)	FIR (%)
51.8	22.5	8.5	10.7	33.5	5914	0.45	0.80
18.4	7.1	3.2	3.9	11.1	5917	0.06	1.16
54.3	27.4	9.7	12.1	32.3	8506	0.35	1.21
55.0	27.6	9.9	12.3	33.6	8321	0.36	1.44
58.1	26.4	9.6	12.1	36.3	6694	0.50	1.46
66.2	25.7	9.8	12.7	43.6	4400	1.00	1.57
21.0	8.0	3.4	4.2	13.9	4225	0.10	3.79
99.5	42.9	15.5	19.5	71.3	3927	2.52	5.99
61.3	24.2	9.0	11.4	45.2	3173	1.18	6.30
86.2	35.5	13.0	16.6	59.9	4133	1.80	7.00
84.4	35.9	13.2	16.5	61.1	3838	1.86	7.09
98.7	42.4	15.4	19.4	71.0	4007	2.43	7.87
85.1	36.5	13.4	16.7	62.3	3927	1.84	7.93
103.0	43.0	15.8	19.8	76.9	3244	3.27	8.54
130.9	53.7	19.5	24.8	97	3167	5.41	11.18
161.3	63.4	22.8	29.6	116.1	3096	8.40	21.64

[0068]

[表2]

表 2 粗度高さ R、RSm の相互相関 (評価長さ 50mm)

	Rz (μm)	Rc (μm)	Ra (μm)	Rq (μm)	Rzjis (μm)	RSm (μm)
Rz (μm)	1.00					
Rc (μm)	0.99	1.00				
Ra (μm)	0.99	1.00	1.00			
Rq (μm)	1.00	1.00	1.00	1.00		
Rzjis (μm)	1.00	0.98	0.99	0.99	1.00	
RSm (μm)	-0.57	-0.47	-0.50	-0.50	-0.63	1.00

[実施例 2] 実船底塗膜の粗度測定

表3に実船底(4隻)において測定した Rz、Rc、Ra、Rq、RZJIS 及び RSm を示す。4隻の船舶には、船底にそれぞれ防汚塗料 ((ア):SEAFLO NE0、(イ):シーグランプリ 500HS、(ウ):シーグランプリ 500、(エ) シーグランプリ 1000 (いずれも中国塗料(株)製)) が塗布されている。塗膜の粗度を、熱可塑性樹脂により型取りし、持ち帰りレーザー変位計により表面粗度を測定した。評価範囲は 30mm×30mm とし、計測間隔は 250 μm 、30, 000 μm の評価長さとした。この測定により、図4に示すような、粗度プロファイルが測定可能であった。Rz、Rc、Ra、Rq、RZJIS 及び RSm は、実施例1にて得られたものと、同等であった。このことから、実船底塗膜においても、実施例1と同等の RSm の範囲で測定できる。

[0069]

[表3]

表 3 実船外板における表面粗度解析例(レプリカ法/評価長さ 30mm)

	Rz :	Rc :	Ra :	Rq :	Rzjs :	RSm :
①-1	43.6	21.0	7.8	9.6	24.3	4798
①-2	60.1	23.7	10.2	12.7	30.9	4811
①-3	53.7	28.1	9.6	11.9	26.6	4809
①-4	52.3	14.1	8.5	10.7	26.1	4198
①-5	71.1	25.3	12.8	15.8	39.9	4289
①-6	55.4	11.3	9.0	11.3	25.4	5118
①-7	57.0	15.7	10.0	12.3	28.0	4870
①-8	78.2	23.7	11.0	14.6	35.5	5279
①-9	53.8	22.2	10.1	12.2	27.8	6014
①-10	52.1	18.7	9.6	11.6	29.1	4211
①-11	72.9	17.5	12.7	16.0	31.6	6040
①-12	67.3	13.2	11.9	14.9	29.5	4479
①-13	73.2	25.2	12.3	15.3	38.6	4466
①-14	65.6	18.9	11.4	14.2	30.0	4847
①-15	54.5	31.2	9.8	12.0	28.9	5309
平均	60.7	20.7	10.4	13.0	30.2	4909

	Rz :	Rc :	Ra :	Rq :	Rzjs :	Sm :
②-1	120.0	50.0	21.8	27.0	47.7	4727
②-2	109.3	35.8	17.4	21.9	68.1	3228
②-3	76.8	22.8	13.0	16.1	45.0	3414
②-4	65.2	12.6	11.9	14.6	39.8	3762
②-5	72.5	21.3	13.0	16.0	46.9	4094
②-6	64.6	33.2	11.5	14.2	38.5	4098
②-7	79.3	37.1	14.0	17.3	47.7	3832
②-8	55.3	19.3	9.1	11.2	34.4	3407
②-9	64.6	33.2	11.5	14.2	38.5	4098
②-10	101.3	35.7	16.0	20.2	68.9	2823
②-11	68.6	17.4	11.0	13.9	38.0	3087
②-12	64.1	34.1	10.2	12.8	41.4	2784
②-13	94.9	29.5	16.0	19.9	58.2	3263
②-14	101.3	35.7	16.0	20.2	68.9	2823
②-15	63.6	30.3	10.1	12.7	42.5	2775
平均	80.1	29.9	13.5	16.8	48.3	3481

	Rz :	Rc :	Ra :	Rq :	Rzjs :	Sm :
③-1	74.9	20.4	13.0	16.2	32.7	4318
③-2	73.4	29.4	12.2	15.2	38.0	3854
③-3	95.2	44.8	16.2	20.3	57.9	3579
③-4	107.4	29.2	19.3	23.8	65.2	3488
③-5	109.4	60.6	20.5	25.2	46.6	4082
③-6	75.8	57.7	12.5	15.7	46.0	3476
③-7	80.9	23.5	11.8	15.1	44.0	3636
③-8	109.1	44.7	18.8	23.2	52.2	4764
③-9	103.7	37.0	16.7	21.1	61.7	3330
③-10	68.8	32.8	11.5	14.4	42.3	3537
③-11	59.3	15.3	10.0	12.3	32.2	3336
③-12	89.1	84.8	15.6	19.1	50.1	3144
平均	89.9	38.0	15.2	19.0	48.7	3806

	Rz :	Rc :	Ra :	Rq :	Rzjs :	Sm :
④-1	82.7	44.6	14.1	17.5	54.6	3733
④-2	99.8	45.1	18.0	22.3	57.3	5134
④-3	55.5	26.3	9.7	12.0	34.1	3613
④-4	60.6	35.1	10.7	13.3	34.6	4643
④-5	76.9	65.7	14.9	18.2	33.8	7592
④-6	107.4	32.4	16.4	21.2	48.4	4231
④-7	82.8	47.5	14.1	17.4	55.9	2597
④-8	75.8	15.6	14.1	17.2	42.0	3337
④-9	75.4	47.0	13.9	16.9	45.9	4876
平均	79.7	39.9	14.0	17.3	45.2	4417

①…(ア)SEAFLO NEO
 ②…(イ)シーグランプリ500HS
 ③…(ウ)シーグランプリ500、
 ④…(エ)シーグランプリ1000

図5にRz、RSmの値を3次元の縦棒グラフで分布を示す。この結果より、本発明による方法で船舶外板の粗度が評価可能であることが示された。また各船のRz、RSmの平均値から、係数Cを2.62として予測FIR(%)

を算出した。

〔実施例3〕 摩擦抵抗の増加率予測法

実施例1によって得られた摩擦抵抗増加率の予測例を図6に示す。FIR(%)を、係数Cを2.62として算出したときに、R_zが大きく、R_{Sm}が小さくなるほどFIR(%)が大きくなる傾向が確認される。このような図により、どの粗度範囲において、FIR(%)増加が顕著になるか、あらかじめ容易に予測可能となる。そして、R_z、R_{Sm}を直接、予測式に代入することによりFIR(%)の差異を比較することも可能である。

請求の範囲

[請求項1] 基材上に船底塗料を塗装した塗膜について、JIS B 0601:2001(ISO 4287:1997)の規定に従い、粗さ曲線要素の平均長さ RS_m が $2,000 \sim 10,000 \mu m$ の範囲で、粗度高さ R として R_z (最大高さ粗さ)、 R_c (粗さ曲線要素の平均高さ)、 R_a (算術平均粗さ)、 R_q (二乗平均平方根粗さ)、 R_{ZJIS} (十点平均粗さ) のいずれかを測定し、下記式(1)により、鏡面からの摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ を算出することを特徴とする船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[数1]

$$FIR(\%) = C \frac{R^2}{RS_m} \quad (1)$$

(ここで、係数 C は、粗度高さ R の種類、及び摩擦抵抗試験方法に依存する定数であり、予め、粗度の異なる複数の船底塗膜について、一定の評価長さでの粗度測定、及び摩擦抵抗試験を行い、実測した粗度高さ R 、粗さ曲線要素の平均長さ RS_m と摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ について式(1)の関係から求める。)

[請求項2] JIS B 0601:2001(ISO 4287:1997)の規定において、評価長さ $10,000 \mu m$ 以上、測定間隔 $500 \mu m$ 以下で粗度測定することを特徴とする請求項1に記載の、船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[請求項3] カットオフ値 λ_c が $10,000 \mu m$ 以上の高域フィルタを適用して粗度測定することを特徴とする請求項2に記載の、船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[請求項4] 摩擦抵抗試験として、二重円筒装置を用い、外筒を回転させた時の鏡面の内筒に働くトルク T_0 をまず求め、ついで船底塗料を塗装した内筒について同条件で回転させたときのトルク T を求め、下記式(2)より摩擦抵抗増加率 $FIR(\%)$ を実測し、

[数2]

$$\text{FIR}(\%) = \frac{T - T_0}{T_0} \times 100 \quad (2)$$

内筒に塗装した塗膜の粗度高さ R 及び粗さ曲線要素の平均長さ R S m との式 (1) の関係から、定数 C を予め求めることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の、船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[請求項5] 粗度高さ R 及び粗さ曲線要素の平均長さ R S m を、触針式粗度測定装置ないしレーザー変位型粗度測定装置によって測定することを特徴とする請求項1～4 のいずれかに記載の船底塗膜の摩擦抵抗予測方法。

[請求項6] 予め求めた定数 C を使い、基材上に船底塗料を塗装した塗膜について、粗度高さ R 及び粗さ曲線要素の平均長さ R S m を測定し、前記式 (1) により摩擦抵抗増加率 F I R (%) を予測することを特徴とする船底塗膜の塗膜性能評価方法。

[請求項7] 粗度高さ R 及び粗さ曲線要素の平均長さ R S m を、実船塗装された塗膜について熱可塑性樹脂により型取りしたもので評価することを特徴とする請求項 6 に記載の船底塗膜の塗膜性能評価方法。

[請求項8] 実船塗装における塗膜性能を評価する装置であって、粗度高さ R 及び粗さ曲線要素の平均長さ R S m を測定する測定部と、前記式 (1) を用いて摩擦抵抗増加率 F I R (%) を算出する摩擦抵抗計算部を備えてなる船底塗膜の塗膜性能評価装置。