

(51) Int.Cl.⁷

B 6 3 B 3/68

B 6 3 B 1/34

F I

B 6 3 B 3/68

B 6 3 B 1/34

テーマコード(参考)

審査請求 有 請求項の数4 O L (全20頁)

(21)出願番号 特願2003-150591(P2003-150591)

(22)出願日 平成15年5月28日(2003.5.28)

(71)出願人 390014306

防衛庁技術研究本部長

東京都新宿区市谷本村町5番1号

(74)代理人 100067323

弁理士 西村 教光

(72)発明者 倉野 重光

神奈川県横須賀市船倉1-32-1 806

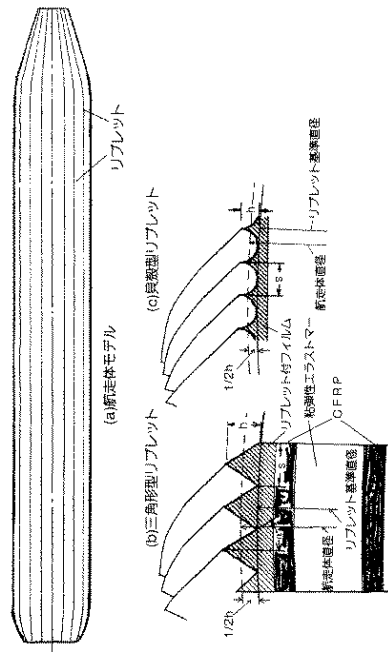
(54) 【発明の名称】 航走体の流体抵抗と自己放射雑音レベルを同時に低減する船殻用多層構造材料及びその方法

(57) 【要約】

【課題】 エンジン等の振動発振源からの広周波数帯域機械振動雑音の船殻への伝搬を遮断し経年劣化することなく長期間安定して航走体の放射雑音レベルを所定値まで低減し、同時に流れ方向断面積が変化する航走体の流体摩擦抵抗を低減する事である。

【解決手段】 航走体の船殻に2層の低比重量の弾性材であるCFRP材で粘弾性新素材であるエラストマー材を挟み込みサンドイッチ構造にした板材又は円筒形材の流体接触面にリブレット付フィルムをリブレットの溝方向と流体流れの方向を一致させて張り付けた多層構造の板材又は円筒形材を用いることにより航走体の流体抵抗低減と自己放射雑音レベルの低減を同時に可能とする。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

航走体の流体抵抗低減と自己放射雑音レベルの低減を同時に可能にする 2 層の低比重量のカーボンファイバーレインフォースプラスチック材（以降、CFRP 材と言う。）で粘弾性新素材である熱可塑性ポリマーアロイ型材（以降、エラストマー材と言う。）を挟み込みサンドイッチ構造にした板材又は円筒形材の流体接触面にリブレット付フィルムをリブレットの溝方向と流体流れの方向を一致させて張り付けた航走体船殻用多層構造材料。

【請求項 2】

流れ方向断面積が変化する航走体においてリブレットの溝間隔と航走体船殻の流れ方向断面の周長の比を一定とすることによって航走体船殻の全流体接触面にリブレットの溝数を 10
変えることなくリブレットを設けた流体摩擦抵抗低減のためのリブレット付航走体船殻。

【請求項 3】

航走体の船殻に 2 層の低比重量の弾性材である CFRP 材でエラストマー材を挟み込みサンドイッチ構造にした板材又は円筒形材の流体接触面にリブレット付フィルムをリブレットの溝方向と流体流れの方向を一致させて張り付けた多層構造の板材又は円筒形材を用いることにより航走体の流体抵抗低減と自己放射雑音レベルの低減を同時に可能とする方法。

【請求項 4】

流れ方向断面積が変化する航走体においてリブレットの溝間隔と航走体船殻の流れ方向断面の周長の比を一定とすることによって航走体船殻の全流体接触面にリブレットの溝数を 20
変えることなくリブレットを設けた流体摩擦抵抗低減方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、航走体の燃料の節約及び運動性能の向上のための航走体の流体抵抗低減と航走体に設置された音響センサーの目標探知性能向上のための自己放射雑音レベルの低減を同時に行う方法及びその方法を可能にする航走体船殻用多層構造の板材及び円筒形材料に関するものである。

【0002】**【従来の技術】**

従来の航走体の自己放射雑音低減技術は、「機械工学便覧」（社）日本機械学会編 p 8 8 7 ~ p 8 9 9（以下公知の文献 1）で開示された航走体内部で発生し、種々の伝搬経路を経て船殻振動となる機械雑音を低減対象としている。

【0003】

すなわち、航走体の自己放射雑音は、大きく二つに分けられる。一つは、プロペラ雑音で、これは、プロペラの推進作用及び航走体が航走することによって、船殻の外側に生じる流体雑音である。その主なものはプロペラの回転運動によって起こるキャビテーションである。もう一つは、航走体内部の電動機又はエンジンや減速機等の回転に伴う振動と軸受けでの機械的摩擦振動であり、これが機械の据え付け部分から種々の伝搬経路を経て船殻の振動雑音となる機械雑音である。 40

【0004】

本発明が低減対象とする航走体の自己放射雑音は、前記放射雑音の内、後者の航走体内部で発生し、種々の伝搬経路を経て船殻振動となる機械雑音である。

該機械雑音が自己放射雑音として、音響センサー等の目標探知性能に影響を与える伝搬経路は二つある。一つは、機械振動雑音が船殻を音響センサー部まで直接伝搬して外部雑音となるもの、他は、船殻の振動エネルギーが船殻全体から水中に放射され航走体周囲の水中放射雑音となって、音響センサー部に回り込み外部雑音となるものである。図 1 に本発明により低減対象となる機械雑音の音響センサー等への伝搬経路を示す。

【0005】

公知の文献 1 で開示された従来の機械雑音による自己放射雑音の低減法は、発振源となる 50

電動機又はエンジン等の船体への取り付け部分に空気パネや振動ゴムを挟み込んだ制振装置により振動エネルギーを吸収し低減させる振動伝搬絶縁方式を採用している。図2に従来の振動伝播絶縁装置の一例を示す。

【 0 0 0 6 】

航走体の流体抵抗低減法に関する従来の発明としては、D. W. Becher t and M. Bartenwerfer, 1989, "The viscous flow on surfaces with longitudinal ribs", J. Fluid Mech. vol. 206, pp. 105 - 129. (以下、公知文献2)に乱流流れにおいて流体抵抗低減効果を有する、鮫の鱗に由来する多くの種類のリブレットの形状と流体抵抗低減効果の関係が開示され、またK. Choi, 1989, "Near-wall structure of a turbulent boundary layer", J. Fluid. Mech, vol. 208, pp. 417 - 458. (以下、公知文献3)に乱流運動モデルを用いたリブレットによる乱流抵抗低減効果の基本原理も開示されている。更に、K, Choi, 1992、「リブレット - 表面粗さによる乱流摩擦抵抗の減少方法 - 」日本機械学会誌、95巻、888号、pp1013 - 1017、(以下、公知文献4)において実際に流体中を航走する航走体表面に張り付けたフィルム上に加工されたリブレットの形状と乱流摩擦抵抗低減効果の関係についての実験的結果が開示されている。

10

【 0 0 0 7 】

図3に流線型鮫の鱗の形状を示す。比較のために図4に三角形型と貝殻型リブレットを示す。

20

【 0 0 0 8 】

図3、4を用いてリブレットによる乱流抵抗低減効果の基本原理を説明する。水中又は水上を航走する航走体に作用する水の抵抗は、二つの部分から成っている。即ち、摩擦抵抗と形状抵抗である。該摩擦抵抗は、航走体表面に沿った水に作用する剪断応力の結果として発生する。一方の形状抵抗は、航走体の形状によって決まり、その力は、航走体表面に作用する。両者とも流体の粘性によってその値は決定される。

【 0 0 0 9 】

粘性の力が最も大きくなる部分は、航走体表面に隣接した領域で境界層と呼ばれる。この層の厚さは、航走体と流体の相対速度が増加するにつれて減少する。この境界層の厚さは、航走体表面から流速が粘性力の影響を受けない領域の流速の99.0%となる範囲までを言う。境界層の外側に対しては粘性力は弱くなるので理想流体の流動方程式が適用できる。

30

【 0 0 1 0 】

公知文献2によって鮫肌に分布する鱗状リブレットと呼ばれる突起が境界層内の乱流挙動を抑制して摩擦抵抗低減効果を示すことが開示された。さらに公知文献3によって、縦に並んだリブレット表面上の境界層内粘性流れには、縦に並んだ遅い回転の渦で出来たすじ構造が存在し、このすじ構造がリブレット表面の流体抵抗低減効果と深く関係することが開示された。

【 0 0 1 1 】

さらに、公知文献3によって、リブレットの摩擦抵抗低減効果は、リブレット表面が流れに直角方向の乱流混合長パターンに強く影響して乱流流れの振動運動を抑制し、縦に並んだ遅い回転の渦を生じることによってエネルギーの熱放散率を低下させて摩擦抵抗低減効果を生じるものであることが開示された。これらの低速度すじは、ヘアピン渦に属し既に流体工学の分野で明らかにされている乱流境界層内で起こる混合長パターンであることも開示された。

40

【 0 0 1 2 】

【 発明が解決しようとする課題 】

本発明が解決しようとする課題は、三つある。

1番目の問題は、[0 0 0 5] で説明した公知文献1で開示された発明が予め対象周波数

50

範囲が決められた振動伝搬絶縁方式であり、振動伝搬絶縁装置取り付け部分において広周波数帯域の振動エネルギーを持つ機械雑音の船殻への伝搬を十分遮断できないこと及び該装置の経年変化による劣化のために振動伝搬絶縁効果が減少する事である。

【 0 0 1 3 】

2番目の問題は、公知文献1で開示された発明が、航走体内部で発生し、種々の伝搬経路を経て船殻振動となる機械雑音を遮断するためには電動機等の発振源の取り付け箇所の数だけ振動伝搬絶縁装置を必要とするので保守が困難となる他、個々の振動伝搬絶縁装置の経年変化による性能劣化のばらつきにより航走体の自己放射雑音レベルを同時に所定値まで長期間安定した低減が出来ない事である。

【 0 0 1 4 】

3番目の問題は、[0 0 1 0]に記したとおり、公知文献2と3で開示された発明が流れ方向の断面積と形状が一定なりプレット平面上の乱流境界層内の流動理論解析と平行平板内流れに関する実験により、摩擦抵抗低減効果に有効なりプレットの形状と寸法の関係を明示しているのみであり、従って、流体中を航走する航走体の流体抵抗をリプレットにより低減する場合、実際に使用されている航走体は、流れ方向断面積と形状が一定でなく、流れ方向切断部分によって変化するので公知文献2と3等で開示された従来の発明が実際の航走体には、適用出来ない事である。

【 0 0 1 5 】

本発明は、上記の問題に鑑み、エンジン等の発振源から放出され該取り付け部分から船殻に伝搬してくる広周波数帯域の機械振動雑音の振動エネルギーを熱エネルギーに変換して水中に放出し、船殻を伝搬する機械振動雑音及び水中に放出される放射雑音を長時間安定して所定の値まで低減し同時に水中を航走する航走体の船殻表面に沿った水に作用する剪断応力の結果として発生する摩擦抵抗を低減する方法と材料を提供することを目的とする。

【 0 0 1 6 】

【 課題を解決するための手段 】

上記目的を達成するために、本願請求項3の発明は、航走体の船殻に2層の低比重量の弾性材であるCFRP材で粘弾性新素材であるエラストマー材を挟み込みサンドイッチ構造にした板材又は円筒形材の流体接触面にリプレット付フィルムをリプレットの溝方向と流体流れの方向を一致させて張り付けた多層構造の板材又は円筒形材を用いることにより航走体の流体抵抗低減と自己放射雑音レベルの低減を同時に可能とすることを特徴としている。

【 0 0 1 7 】

本願請求項1の発明は、請求項3の航走体の流体抵抗低減と自己放射雑音レベルの低減を同時に可能とする方法において、

内部にエンジン等の発振源を有する航走体船殻が水の中で連続時間振動する場合に船殻を伝搬する機械雑音と水中に放出される放射雑音を低減する船殻材料に関するものである。

図5は本発明に係る航走体の流体抵抗と自己放射雑音レベルを同時に低減するための船殻用多層構造材料及びその方法の実施形態の一例である。すなわち、発振源から2層の弾性体CFRP材と粘弾性体エラストマー材で形成された船殻に伝搬してきた振動エネルギーの大部分は、佐藤泰夫著、「弾性波動論」岩波書店、pp59-66、(以下、公開文献5)で開示されたSH波であり船殻と水面の境界面に垂直方向の剪断応力を持つがこの振動エネルギーの一部は船殻内の粘弾性体エラストマー材により熱エネルギーに変換されて水中に放出される。

また、水中では、振動する物体に流体の粘性力が抵抗力として作用する他、水が非圧縮性流体であることから体積弾性率が存在する。

【 0 0 1 8 】

従って、連続時間振動する航走体船殻に作用する力と船殻弾性力による復元力との関係は、減衰項のある音響場の3次元方程式で表示される。ただし、航走体の内圧と水による水圧が等しく、温度は、一定とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

【 数 1 】

$$k \Delta \xi = k \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \right) = \rho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} + \mu \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (1)$$

【 0 0 2 0 】

ここで、 Δ : ラプラスの演算子 ξ : 変位 (m) ($P = -k (\xi / x)$)

10

P : 音波における圧力 (N / m²)k : 弾性率 (k g / m s²) ρ : 密度 (k g / m³) μ : 粘性による減衰係数 (k g / m³ s) (= S₀ + S₁ f + S₂ f²)

f : 周波数 (H z)

S₀、S₁、S₂ : 粘性による減衰定数

(1) 式は、減衰項を持つ強制振動方程式を表し、バネとダッシュポットモデルで表すと図 6 となる。

【 0 0 2 1 】

ここで、船殻を形成する 2 層の CFRP 材と該 CFRP 材に挟み込まれた層エラストマー材及び水中における振動方程式の境界条件を求めて振動状況を明らかにし放射雑音の低減手段を説明する。

20

【 0 0 2 2 】

CFRP 船殻内の振動方程式は、CFRP 船殻が弾性体であり粘性がないので境界条件 $k_0 = 0$ 、 $\mu_0 = 0$ より、次式で表示される。

【 0 0 2 3 】

【 数 2 】

$$k_0 \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \right) = \rho_0 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (2)$$

30

【 0 0 2 4 】

(2) 式は、弾性体内におけるヘルムホルツの波動方程式である。

【 0 0 2 5 】

船殻の中間層エラストマー材内の振動方程式は、エラストマー材が弾性体と粘性体の両特性を有するので境界条件 $k_1 = 0$ 、 $\mu_1 = 0$ より、次式で表示される。

【 0 0 2 6 】

【 数 3 】

$$k_1 \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \right) = \rho_1 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} + \mu_1 \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (3)$$

40

【 0 0 2 7 】

(3) 式は、減衰のある音響場の 3 次元方程式である。

【 0 0 2 8 】

水中では、振動する物体に流体の粘性 μ_2 が抵抗力として作用する他、水が非圧縮性流体であることから体積弾性率 k_2 が存在する。

従って、水中の振動方程式は、(2) (3) 式で議論される弾性体の縦波及び S H 波によ

50

る変位 ξ を水中音波の圧力 P に対応させることによって、境界条件 $k_2 = 0$ 、 $\mu_2 = 0$ より、次の波動方程式が成り立つ。

【0029】

【数4】

$$k_2 \left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right) = \rho_2 \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} + \mu_2 \frac{\partial P}{\partial t} \quad (4)$$

【0030】

10

ここで、(1) 式の変位 ξ と水中音波の圧力 P の関係は、次式となる。

【0031】

【数5】

$$P = -k \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \quad (5)$$

【0032】

音波伝搬速度 (m/s) (以降、音速と言う。) を V とすると

$k = V^2$ なる関係がある。

【0033】

20

ここで、 $P = A \exp(2\pi f t i)$ とすると

【0034】

【数6】

$$P = A(\cos(2\pi f t) + i \sin(2\pi f t)) \quad (6)$$

【0035】

(6) 式を(1) 式に代入して、次式を得る。

【0036】

【数7】

30

$$k \Delta A = (-\rho (2\pi f)^2 + \mu i (2\pi f)) A \quad (7)$$

【0037】

(7) 式は、定常の時間項が消去された振動方程式であり、有限要素法により解くことが出来る。

【0038】

一般の複雑な音響波 P は、FFT 処理により次式で表示される。

【0039】

【数8】

40

$$P = \sum A_n \cdot \exp(2\pi f_n t i) \quad (8)$$

ただし、 $f_n = n \cdot f_0$

f_0 : 基本周波数

【0040】

P の音響パワーは次式で与えられる。

【0041】

【数9】

50

$$W_n = \sum \|A_n\|^2 \quad (9)$$

【0042】

海水20°Cの粘性を $\mu = 1.002 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} (\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2})$ とすると、ストークスの理論から計算される減衰係数 μ は、 $\mu = 1.18 \times 10^{-2} f^2$ (dB/km)となるが「超音波技術便覧」実吉純一等、日刊工業pp618(以下、公知文献6)で開示された実際の海中実験による係数は海水の熱吸収の他、海面や海底等からの反射波の干渉により遙かに大きな値で吸収係数と呼ばれ、音波の周波数の関数として次式で表される。

10

【0043】

【数10】

$$\alpha = 44 f^2 / (4100 + f^2) + 0.0003 f^2 \text{ (dB/km)} \quad (10)$$

【0044】

ここで、吸収係数と減衰係数 μ の間には次元解析から $\mu = \mu \cdot V$ の関係が成り立つ。したがって、粘弾性新素材エラストマー中においても、粘性による熱吸収の他、上下のCFRP層からの反射波の干渉の影響により減衰係数が決まるものとする。よって本発明は、発明者の実験による事実を基に減衰係数を周波数の関数として次の2次方程式で表示できるものとした。

20

$$\mu = S_0 + S_1 f + S_2 f^2 \quad (11)$$

ここで、 S_0 、 S_1 、 S_2 は、実験値から求められる定数である。

図7に数値実験から求めた定数 S_0 、 S_1 、 S_2 の値の一例を示す。

図8に新素材製多層構造船殻の中間層として密度の異なるエラストマー材を用いた場合の放射雑音低減効果の変化を算出した結果の一例を示す。

以上が【0012】から【0013】に説明した1番目と2番目の課題を解決するための本発明の手段である。

【0045】

30

本願請求項2の発明は、【0014】で説明した3番目の課題を解決する手段である。ここで、図9に本発明によるリブレット付航走体モデルを示す。すなわち、図9のごとき流れ方向断面積が変化する航走体において図9に示すようにリブレットの溝間隔と航走体船殻の流れ方向断面の周長の比を一定とすることによって航走体船殻の全流体接触面にリブレットの溝数を変えなくリブレットを設けることによって航走体の流体抵抗を低減することを特徴としている。

【0046】

本願請求項4の発明は、請求項2記載の流れ方向断面積が変化する航走体においてリブレットの溝間隔と航走体船殻の流れ方向断面の周長の比を一定とすることによって航走体船殻の全流体接触面にリブレットの溝数を変えなくリブレットを設けたリブレット付航走体船殻によって航走体の流体抵抗を低減することを可能にした。

40

【0047】

すなわち、水中航走体周囲の非圧縮性及び移動座標系の乱流流れに対して、連続の方程式(2)式は、直交座標系のテンソル形式で表示すると次式となる。ただし、乱流の場合、速度は時間平均値となる。

【0048】

【数11】

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \tilde{u}_i) = S_m \quad (12)$$

【 0 0 4 9 】

ナビエ Stokes の運動方程式 (2 4) 式は、次式となる。

【 0 0 5 0 】

【 数 1 2 】

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + S_i \quad (13) \quad 10$$

ここで、 t : 時間 x_i : 直行座標 ($i = 1, 2, 3$) u_i : x_i 方向の流体絶対速度成分 \tilde{u}_j : 速度 u_j で移動する局所座標系に対する
流体の相対速度 $u_j - u_{0j}$ 20 p : ピエゾ圧力 = $p_s - \rho_0 g_m x_m$, ここで p_s は静圧、 ρ_0 は基準
密度、 g_m は重力場成分、 x_m は ρ_0 が定義される基準座標 ρ : 密度 τ_{ij} : 応力テンソル成分 S_m : 質量成分 S_i : 運動量成分 \sqrt{g} : メトリックテンソルの行列式 30添え字 i は、和を表す。

【 0 0 5 1 】

【 数 1 3 】

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = \frac{\partial}{\partial x_1} (\rho u_1) + \frac{\partial}{\partial x_2} (\rho u_2) + \frac{\partial}{\partial x_3} (\rho u_3) \quad (14)$$

【 0 0 5 2 】

応力テンソル成分 τ_{ij} と速度勾配の構成方程式は乱流の場合、次式となる。

【 0 0 5 3 】

【 数 1 4 】

$$\tau_{ij} = 2 \mu S_{ij} - 2/3 \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} - \rho \overline{u_i' u_j'} \quad (15)$$

ただし、 $\overline{u_i' u_j'}$ は、時間平均速度に対しての攪乱成分で、上線は時間平均値を表す。(43)式の第3項は、レイノルズ応力であり乱流モデルによって平均速度場と関係づけられる。

【 0 0 5 4 】

10

本発明では、流れ方向断面積が変化する航走体船殻に設けられたリブレット上の乱流流れの解析に乱流モデルとして W. Rodi, 1991, "Experience with two-layer models combining the $k-\epsilon$ model with a one-equation model near the wall", AIAA 91-0216 (公知文献7) に開示された非線型乱流モデルを採用した。一般の標準乱流モデルでは、レイノルズ応力は、乱流エネルギー、エネルギー散逸率及び乱流粘性率を用いて次のように表される。

【 0 0 5 5 】

【 数 1 5 】

20

$$\overline{\rho u_i' u_j'} = 2 \mu_{t} S_{ij} - 2/3 \left(\mu_{t} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} + \rho \kappa \right) \delta_{ij} \quad (16)$$

【 0 0 5 6 】

【 数 1 6 】

$$\overline{\rho u_j' h'} = - \frac{\mu_{t} \partial h}{\sigma_{h,t} \partial x_j} \quad (17)$$

【 0 0 5 7 】

【 数 1 7 】

$$\overline{\rho u_j' m'_m} = - \frac{\mu_{t} \partial m_c}{\sigma_{m,t} \partial x_j} \quad (18)$$

【 0 0 5 8 】

ここで、 δ_{ij} は、クロネッカーのデルタ記号

【 0 0 5 9 】

40

また、乱流エネルギー及び乱流粘性率 μ_t は、次式となる。

【 0 0 6 0 】

【 数 1 8 】

$$\kappa \equiv \frac{\overline{u_i' u_i'}}{2} \quad (19)$$

【 0 0 6 1 】

【 数 1 9 】

50

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho \kappa^2}{\varepsilon} \quad (20)$$

【 0 0 6 2 】

しかし、流れ方向断面積が変化する航走体船殻上のごとき実際の流れは多くが非等方性であり、レイノルズ応力と歪み速度との間に非線形関係を導入する必要がある。従って、公知文献 6 に開示された非線形 - 乱流モデルを採用すると (1 9) 式は次式となる。

【 0 0 6 3 】

【 数 2 0 】

10

$$\rho \frac{\overline{u_i u_j}}{k} = \frac{2}{3} \delta_{ij} - \frac{\mu_t}{k} S_{ij} + C_1 \frac{\mu_t}{\varepsilon} [S_{ik} S_{kj} - 1/3 \delta_{ij} S_{kl} S_{kl}] + C_2 \frac{\mu_t}{\varepsilon} [\Omega_{ik} S_{kj} + \Omega_{jk} S_{ki}] + C_3 \frac{\mu_t}{\varepsilon} [\Omega_{ik} \Omega_{jk} - 1/3 \delta_{ij} \Omega_{kl} \Omega_{kl}] \quad (21)$$

ここで、 $C_\mu = A_0 / (A_1 + A_2 S + A_3 \Omega)$

$$C_1 = C_{NL1} / (C_{NL6} + C_{NL7} S^3) C_\mu$$

$$C_2 = C_{NL2} / (C_{NL6} + C_{NL7} S^3) C_\mu$$

$$C_3 = C_{NL3} / (C_{NL6} + C_{NL7} S^3) C_\mu$$

20

【 0 0 6 4 】

$A_1, A_2, S, A_3, C_{NL1}, C_{NL2}, C_{NL3}, C_{NL6}, C_{NL7}$ は、公知文献 7 により開示された実験的値で、表 1 に示す。

S_{ij}, Ω_{ij} は、それぞれ主応力と速度テンソル成分であり、次式で与えられる。

【 0 0 6 5 】

30

【 数 2 1 】

$$S_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad \Omega_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (22)$$

ただし、 $S = \kappa / \varepsilon \sqrt{1/2 S_{ij} \cdot S_{ij}}$ 、 $\Omega = \kappa / \varepsilon \sqrt{1/2 \Omega_{ij} \cdot \Omega_{ij}}$

【 0 0 6 6 】

各定数の値は、公知文献 7 に開示されており以下のとおりである。

40

【 0 0 6 7 】

【 表 1 】

表 1 非線形 $\kappa - \varepsilon$ 乱流モデルにおける実験定数

A_0	A_1	A_2	A_3	C_{NL1}	C_{NL2}	C_{NL3}	C_{NL4}	C_{NL5}	C_{NL6}	C_{NL7}
0.667	1.25	1.0	0.9	0.75	3.75	4.75	-10.0	-2.0	1000.0	1.0

【 0 0 6 8 】

50

乱流エネルギー 方程式を以下に示す。

【 0 0 6 9 】

【 数 2 2 】

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho \kappa) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j \kappa - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\kappa} \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right) \\ &= \mu_t (P + P_B) - \rho \varepsilon - 2/3 \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho \kappa \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + P_{NL} \end{aligned} \quad (23)$$

10

【 0 0 7 0 】

エネルギー散逸率 の輸送方程式を以下に示す。

【 0 0 7 1 】

【 数 2 3 】

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j \varepsilon - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) = \\ & C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{\kappa} \left[\mu_t (P + C_{\varepsilon 3} P_B) - \frac{2}{3} \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho \kappa \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] \\ & - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{\kappa} + C_{\varepsilon 4} \rho \varepsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + C_{\varepsilon 5} \frac{\varepsilon}{\kappa} \mu_t P_{NL} \end{aligned} \quad (24)$$

20

【 0 0 7 2 】

【 数 2 4 】

$$\text{ここで, } \mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (25)$$

30

【 0 0 7 3 】

【 数 2 5 】

$$P \equiv 2s_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (26)$$

【 0 0 7 4 】

【 数 2 6 】

$$P_B = - \frac{g_i}{\sigma_{\kappa i}} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (27)$$

40

【 0 0 7 5 】

【 数 2 7 】

$$P_{NL} = \left(- \overline{u_i u_j} - 2s_{ij} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (28)$$

【 0 0 7 6 】

各定数の値は、公知文献 7 に開示されており以下のとおりである。

【 0 0 7 7 】

【 表 2 】

表 2 非線型 $\kappa - \varepsilon$ 乱流モデルの輸送方程式における実験定数

C_{μ}	σ_{κ}	σ_{ε}	σ_h	σ_m	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$C_{\varepsilon 3}$	$C_{\varepsilon 4}$
0.09	1.0	1.22	0.9	0.9	1.44	1.92	0.0 or 1.44	-0.33

10

【 0 0 7 8 】

【 数 2 8 】

$P_{\mu} > 0$ の場合は、 $C_{\varepsilon 3} = 1.44$ 、それ以外の場合は、 $C_{\varepsilon 3} = 0$ である。

【 0 0 7 9 】

すなわち、乱流領域内のレイノルズ応力と乱流歪み速度を非線型 $\kappa - \varepsilon$ 乱流モデルにより決定することが出来る。

【 0 0 8 0 】

20

次に、乱流境界条件個体壁面の摩擦抵抗を知るためには、流れにおける乱流速度分布を知る必要があるが公知文献 7 に開示されているとおり、非線型 $\kappa - \varepsilon$ 乱流モデルは、固体壁面近傍での熱、質量輸送に関し壁面法則を適用し、未知の物体により生じる流れを乱流場における幾つかのアンサンブル平均化された項で表示することができる。それらの項の計算は、微分方程式や代数方程式を用いて行われる。

【 0 0 8 1 】

乱流境界条件

【 0 0 8 2 】

【 数 2 9 】

$$u^+ = y^+ \quad , \quad y^+ \leq y_m^+ \quad (29)$$

30

【 0 0 8 3 】

【 数 3 0 】

$$u^* = 1/\kappa \ln(Ey^*) \quad , \quad y^* > y_m^* \quad (30)$$

ここで、 $u^* : (u u_w)/u$:

u : 接線方向速度

u_w : 壁面速度

$u_\tau : (\tau_w / \rho)^{1/2}$

τ_w : 壁面せん断応力

$y^* : \rho C_\mu^{1/4} \kappa^{1/2} y / \mu$

κ, E : 実験定数 ($\kappa = 0.42$, $E = 9.0$)

ここで、 y_m^* は、次式から求められる。

$$y_m^* - \frac{1}{\kappa} \ln(Ey_m^*) = 0 \quad (31)$$

10

20

【 0 0 8 4 】

図 1 0 (a) に本発明による (2 4) (3 1) 式より明らかになった流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けた三角形型リブレット内 u 方向速度分布の一例である。図 1 0 (b) は本発明による (2 4) (3 1) 式より明らかになった流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けた三角形型リブレット内 v, w 方向速度分布の一例を示す。

【 0 0 8 5 】

図 1 1 に図 1 0 の結果から推測された流体摩擦抵抗低減現象を示す。すなわち、流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けたリブレットが境界層内の乱流挙動を抑制して摩擦抵抗低減効果を生む現象を表している。それは、縦に並んだリブレット表面上の境界層内粘性流れに、縦に並んだ遅い回転の渦で出来たすじ構造が存在し、このすじ構造がリブレット表面の流体抵抗低減効果を引き起こすことが本発明におけるシュミレーションから明らかになったことを示す。

30

【 0 0 8 6 】

【 発明実施の形態 】

以下に、本発明に係る航走体の流体抵抗と自己放射雑音レベルを同時に低減する船殻用多層構造材料及びその方法の実施形態を図面に従って説明する。

【 0 0 8 7 】

図 1 は本発明に係る航走体の自己放射雑音レベルを低減する船殻用多層構造材料及びその方法の実施形態と本発明の低減対象となる機械雑音の音響センサー等への伝搬経路を示している。

40

この図において、1 は水中、2 は航走体、3 は船殻、4 はエンジン等振動発振源、5 はエンジン等固定用リブ、6 はプロペラ、7 はセンサー部である。

【 0 0 8 8 】

本発明に係る船殻用多層構造材料及びその方法は、航走体内部で発生し、種々の伝搬経路を経て船殻振動となる機械雑音を低減対象としている。

【 0 0 8 9 】

すなわち、航走体の自己放射雑音は、大きく二つに分けられる。一つは、プロペラ雑音で、これは、プロペラの推進作用及び航走体が航走することによって、船殻の外側に生じる流体雑音である。その主なものはプロペラの回転運動によって起こるキャビテーションである。もう一つは、航走体内部の電動機又はエンジンや減速器等の回転に伴う振動と軸受

50

けでの機械的摩擦振動であり、これが機械の据え付け部分から種々の伝搬経路を経て船殻の振動雑音となる機械雑音である。

【 0 0 9 0 】

本発明が低減対象とする航走体の自己放射雑音は、前記放射雑音の内、後者の航走体内部で発生し、種々の伝搬経路を経て船殻振動となる機械雑音である。

該機械雑音が自己放射雑音として、音響センサー等の目標探知性能に影響を与える伝搬経路は二つある。一つは、機械振動雑音が船殻を音響センサー部まで直接伝搬して外部雑音となるもの、他は、船殻の振動エネルギーが船殻全体から水中に放射され航走体周囲の水中放射雑音となって、音響センサー部に回り込み外部雑音となるものである。

【 0 0 9 1 】

図 2 は公知文献 1 で開示された従来の振動発振源と船殻との間に設置される振動伝搬絶縁装置の一例である。該発明は予め対象周波数範囲が決められた振動伝搬絶縁方式であり、振動伝搬絶縁装置取り付け部分において広周波数帯域の振動エネルギーを持つ機械雑音の船殻への伝搬を十分遮断できないこと及び該装置の経年変化による劣化のために振動伝搬絶縁効果が減少する問題がある。

10

【 0 0 9 2 】

さらに、公知文献 1 で開示された発明が、航走体内部で発生し、種々の伝搬経路を経て船殻振動となる機械雑音を遮断するためには電動機等の発振源の取り付け箇所の数だけ振動伝搬絶縁装置を必要とするので保守が困難となる他、個々の振動伝搬絶縁装置の経年変化による性能劣化のばらつきにより航走体全体の自己放射雑音レベルを同時に所定値まで長

20

【 0 0 9 3 】

図 3 は公知文献 2 によって開示された鮫肌に分布する鱗状リブレットと呼ばれる突起を示している。

【 0 0 9 4 】

図 4 は公知文献 2 によって開示された鱗状リブレットから考案された三角形型リブレットと貝殻型リブレットの一例を示している。

【 0 0 9 5 】

図 5 は本発明に係る航走体の流体抵抗と自己放射雑音レベルを同時に低減するための船殻用多層構造材料及びその方法の実施形態の一例である。

30

この図において 8 はリブレット付フィルム、9 は C F R P 材、10 はエラストマー材、11 は船殻をつなぐ接続用リブ、12 は耐圧補強用リブ、13 は防水リングである。

【 0 0 9 6 】

この図は本発明による、航走体の船殻に 2 層の低比重量の弾性材である C F R P 材で粘弾性新素材であるエラストマー材を挟み込みサンドイッチ構造にした板材又は円筒形材の流体接触面にリブレット付フィルムをリブレットの溝方向と流体流れの方向を一致させて張り付けた多層構造の板材又は円筒形材を用いることにより航走体の流体抵抗低減と自己放射雑音レベルの低減を同時に可能とする船殻用多層構造材及びその方法を示している。

【 0 0 9 7 】

図 6 は本発明の、請求項 1、2 の航走体の自己放射雑音レベルの低減を可能とする船殻用多層構造材及びその方法において生じる物理現象を説明する振動モデル図である。この図において 14 はダッシュポット粘性係数 μ 、15 はバネ弾性係数 k である。

40

すなわち、内部にエンジン等の発振源を有する航走体船殻が水の中で連続時間振動する場合に船殻を伝搬する機械雑音と水中に放出される放射雑音を低減する船殻材料に関するものである。すなわち、発振源から 2 層の弾性体 C F R P 材と粘弾性体エラストマー材で形成された船殻に伝搬してきた振動エネルギーの大部分は、公開文献 5 で開示された S H 波であり船殻と水面の境界面に垂直方向の剪断応力を持つがこの振動エネルギーの一部は船殻内の粘弾性体エラストマー材により熱エネルギーに変換されて水中に放出される。また、水中では、振動する物体に流体の粘性力が抵抗力として作用する他、水が非圧縮性流体であることから体積弾性率が存在する。

50

【 0 0 9 8 】

従って、連続時間振動する航走体船殻に作用する力と船殻弾性力による復元力との関係は、減衰項のある音響場の3次元方程式で表示される。ただし、航走体の内圧と水による水圧が等しく、温度は、一定とする。バネとダッシュポットモデルで表すと図6となる。

ここで、 P : 音波における圧力 (N / m^2)

k : 弾性率 ($\text{kg} / \text{m s}^2$)

ρ : 密度 (kg / m^3)

μ : 粘性による減衰係数 ($\text{kg} / \text{m}^3 \text{ s}$) ($= S_0 + S_1 f + S_2 f^2$)

f : 周波数 (Hz)

S_0 、 S_1 、 S_2 : 粘性による減衰定数

10

【 0 0 9 9 】

図7(a)は内部に発振源を有する金属製船殻が海水中で連続時間振動する場合の航走体周囲の音響エネルギー分布を算出した一例である。

ここで、センサー部での放射雑音減衰率を次式で定義して、各種船殻の放射雑音低減効果を評価する。

【 0 1 0 0 】

【 数 3 1 】

$$\text{放射雑音減衰率} = \frac{L_r - L_s}{L_r} \times 100 [\%]$$

20

【 0 1 0 1 】

L_r : 発振源音響パワーレベル

L_s : センサー部音響パワーレベル

図7(a)において L_r は $XXX.XXdB$ 、 L_s は $YY.YYdB$ 、放射雑音減衰率は、 $WW\%$ となった。

【 0 1 0 2 】

図7(b)は内部に発振源を有する新素材製多層構造船殻が海水中で連続時間振動する場合の航走体周囲の音響エネルギー分布を算出した一例である。ここで、 L_r は $XXX.XXdB$ 、 L_s は $ZZ.ZZdB$ 、放射雑音減衰率は、 $VV\%$ となった。(ここで、 $VV > WW$)

30

【 0 1 0 3 】

図8は新素材製多層構造船殻の中間層として密度の異なるエラストマー材を用いた場合の放射雑音低減効果の変化を算出した結果の一例である。

図7(a)と図7(b)及び図8の結果から本発明による新素材製多層構造船殻及びその方法による放射雑音低減効果が明らかになることが判る。

【 0 1 0 4 】

図9は本発明による流れ方向断面積が変化する航走体においてリブレットの溝間隔と航走体船殻の流れ方向断面の周長の比を一定とすることによって航走体船殻の全流体接触面にリブレットの溝数を変えなくリブレットを設けた流体摩擦抵抗低減のためのリブレット付航走体船殻及び方法を示している。

40

【 0 1 0 5 】

図10(a)は本発明による流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けた三角形型リブレット内 u 方向速度分布の一例である。

図10(b)は本発明による流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けた三角形型リブレット内 vw 方向速度分布の一例である。

【 0 1 0 6 】

図11は図10の結果から推測された流体摩擦抵抗低減現象である。

すなわち、流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けたリブレットが境界層内の乱流拳動を抑制して摩擦抵抗低減効果を生む現象を表している。図中のすじ構造がリブレ

50

ット表面の流体抵抗低減効果を引き起こすことが本発明におけるシュミレーションから明らかになったことを示す。

【 0 1 0 7 】

表 3 に本発明により流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けたリブレットの流体抵抗低減効果を求めた結果の一例を示す。

【 0 1 0 8 】

以上本発明の実施の形態について説明してきたが、本発明は、これに限定されることなく請求項記載の範囲内において各種の変形、変更が可能なのは当業者には自明であろう。

【 0 1 0 9 】

【 表 3 】

10

表 3 リブレットの流体抵抗低減効果検出結果 (h / s = 0.833)

リブレット種類	レイノルズ数	全抵抗値 [N]	形状抵抗値 [N]	摩擦抵抗値 [N]	低減率 [%]
リブレット無し	9.3×10^4	0.793	0.19	0.596	
三角型リブレット	9.3×10^4	0.746	0.198	0.548	8.1
貝殻型リブレット	9.3×10^4	0.744	0.198	0.546	8.4

20

【 0 1 1 0 】

【 発明の効果 】

以上説明した如く、本発明によれば航走体の船殻に 2 層の低比重量の弾性材である C F R P 材で粘弾性エラストマー材を挟さみ込みサンドイッチ構造にした板材又は円筒形材の流体接触面にリブレット付フィルムをリブレットの溝方向と流体流れの方向を一致させて張り付けた多層構造の板材又は円筒形材を用いることにより航走体の流体抵抗低減と自己放射雑音レベルの低減を同時に可能とすることができる。

また、流れ方向断面積が変化する航走体においてはリブレットの溝間隔と航走体船殻の流れ方向断面の周長の比を一定とすることによって航走体船殻の全流体接触面にリブレットの溝数を変えることなくリブレットを設けることによって航走体の流体摩擦抵抗を低減することができる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明に係る航走体の自己放射雑音レベルを低減する船殻用多層構造材料及びその方法の実施形態と本発明の低減対象となる機械雑音の音響センサー等への伝搬経路図である。

【 図 2 】 公知文献 4 で開示された従来の振動発振源と船殻との間に設置される振動伝搬絶縁装置の一例である。

【 図 3 】 公知文献 2 によって開示された鮫肌に分布する鱗状リブレットと呼ばれる突起を示している。

【 図 4 】 公知文献 2 によって開示された鱗状リブレットから考案された三角形型リブレットと貝殻型リブレットの一例を示している。

40

【 図 5 】 航走体の流体抵抗と自己放射雑音レベルを同時に低減するための船殻用多層構造材料及びその方法の実施形態の一例である。

【 図 6 】 本発明の、請求項 1、2 の航走体の自己放射雑音レベルの低減を可能とする船殻用多層構造材及びその方法において生じる物理現象を説明する振動モデル図である。

【 図 7 】 (a) 内部に発振源を有する金属製船殻が海水中で連続時間振動する場合の航走体周囲の音響エネルギー分布を算出した一例である。

(b) 内部に発振源を有する新素材製多層構造船殻が海水中で連続時間振動する場合の航走体周囲の音響エネルギー分布を算出した一例である。

【 図 8 】 新素材製多層構造船殻の中間層として密度の異なるエラストマー材を用いた場合

50

の放射雑音低減効果の変化を算出した結果の一例である。

【図 9】本発明による流れ方向断面積が変化する航走体においてリブレットの溝間隔と航走体船殻の流れ方向断面の周長の比を一定とすることによって航走体船殻の全流体接触面にリブレットの溝数を変えことなくリブレットを設けた流体摩擦抵抗低減のためのリブレット付航走体船殻及び方法を示している。

【図 10】(a) 本発明による流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けた三角形型リブレット内 u 方向速度分布の一例である。

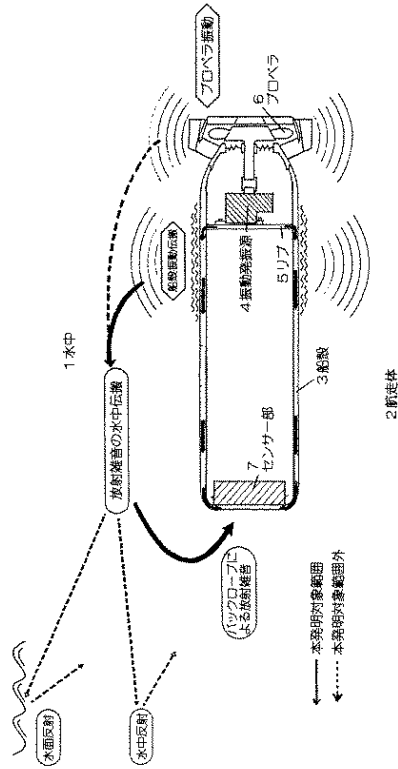
(b) 本発明による流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けた三角形型リブレット内 $v w$ 方向速度分布の一例である。

【図 11】流れ方向断面積が変化する船殻の流体接触面に設けたリブレットが境界層内の乱流挙動を抑制して摩擦抵抗低減効果を生む現象を表している。 10

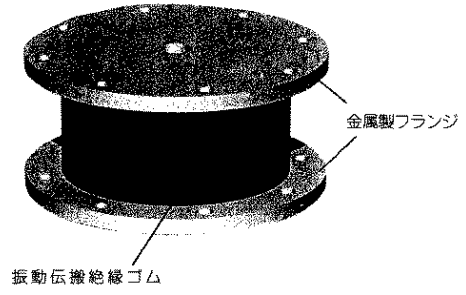
【符号の説明】

- 1 水中
- 2 航走体
- 3 船殻
- 4 エンジン等振動発振源
- 5 エンジン等固定用リブ
- 6 プロペラ
- 7 センサー部
- 8 リブレット付フィルム
- 9 CFRP材
- 10 エラストマー材
- 11 接続用リブ
- 12 耐圧補強用リブ
- 13 防水リング
- 14 ダッシュポット (粘性係数 μ)
- 15 パネ (弾性係数 k)

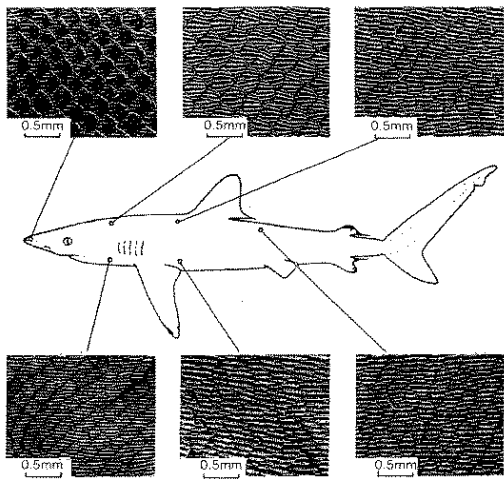
【 図 1 】



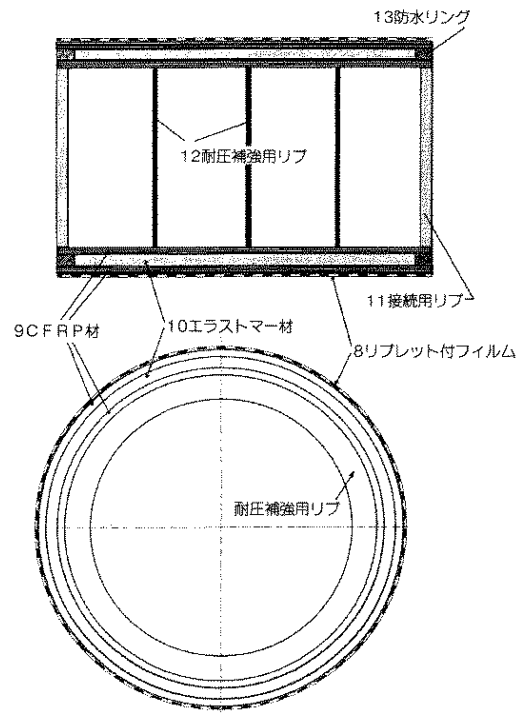
【 図 2 】



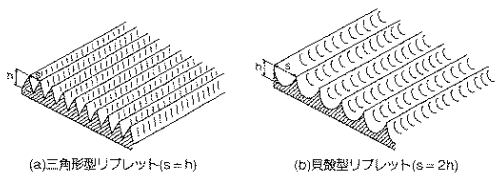
【 図 3 】



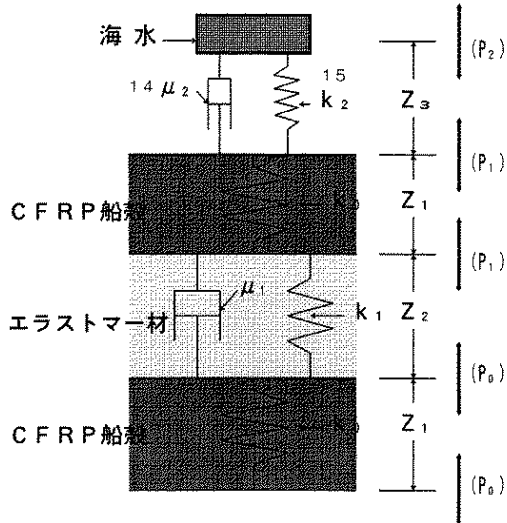
【 図 5 】



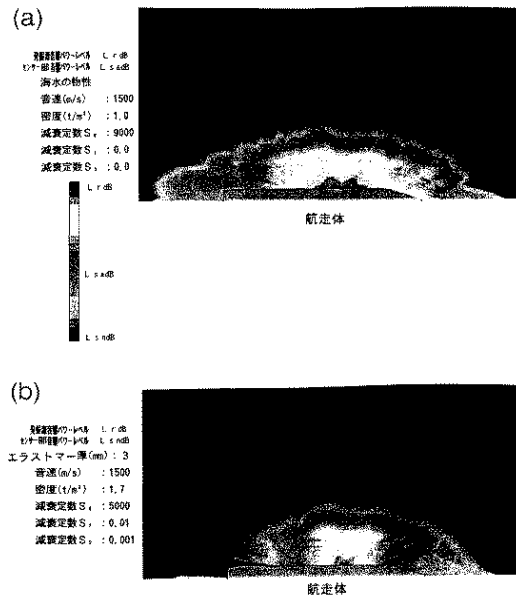
【 図 4 】



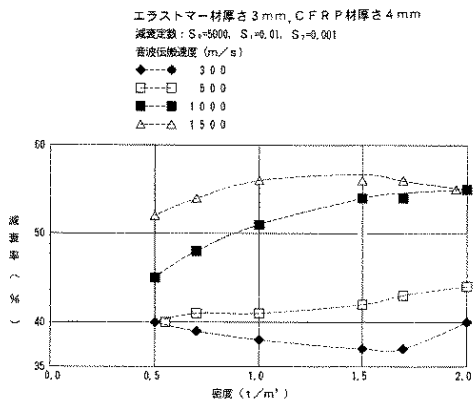
【 図 6 】



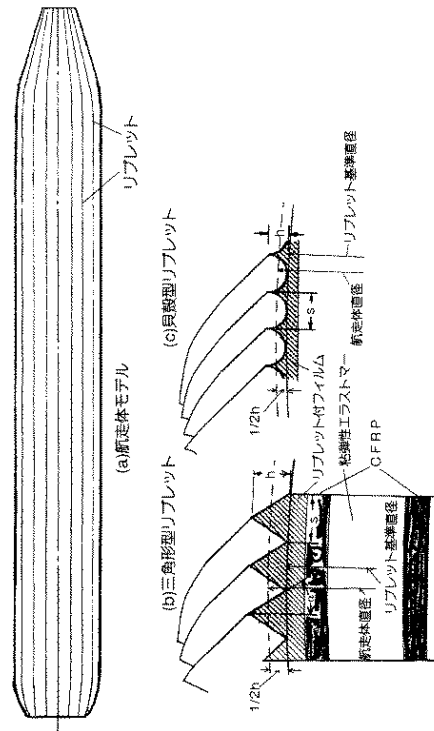
【 図 7 】



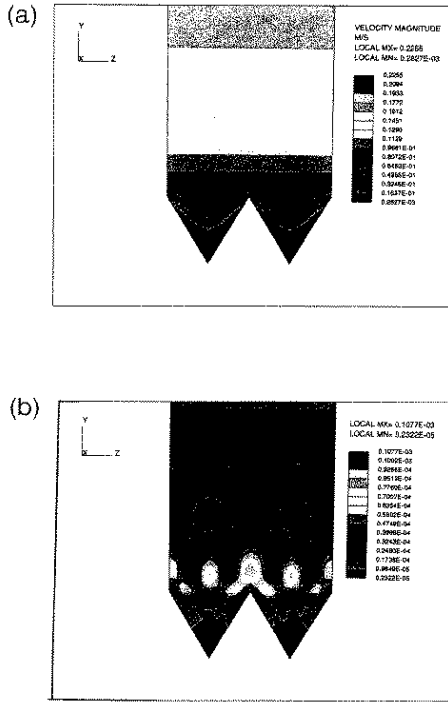
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 1 0 】



【 図 1 1 】

