

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5435419号
(P5435419)

(45) 発行日 平成26年3月5日(2014.3.5)

(24) 登録日 平成25年12月20日(2013.12.20)

(51) Int. Cl. F 1
GO 1 L 3/10 (2006.01) GO 1 L 3/10 3 1 1

請求項の数 13 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2009-84912 (P2009-84912)	(73) 特許権者	501204525 独立行政法人海上技術安全研究所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(22) 出願日	平成21年3月31日(2009.3.31)	(74) 代理人	100110559 弁理士 友野 英三
(65) 公開番号	特開2010-237015 (P2010-237015A)	(72) 発明者	岡 正義 東京都三鷹市新川六丁目38番1号 独立 行政法人海上技術安全研究所内
(43) 公開日	平成22年10月21日(2010.10.21)		
審査請求日	平成24年3月29日(2012.3.29)	審査官	深田 高義

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 構造体模型の振りモーメント計測方法および振りモーメント計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

構造体模型を分割した複数の分割部を繋ぐバックボーンに前記複数の分割部を両端固定梁が形成されるように固定し、前記バックボーンに4枚の振りモーメント検出用歪ゲージを適切な箇所貼付して設け、これら4枚の振りモーメント検出用歪ゲージで組んだ振りモーメント用ホイートストンブリッジ回路を利用して前記構造体模型に働く振りモーメントを検出したことを特徴とする構造体模型の振りモーメント計測方法。

【請求項2】

前記バックボーンにさらに4枚または2枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージを適切な箇所貼付して設け、これら4枚または2枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージで組んだ縦曲げモーメント検出用ホイートストンブリッジ回路を利用して前記構造体模型に働く縦曲げモーメントを検出したことを特徴とする請求項1記載の構造体模型の振りモーメント計測方法。

【請求項3】

前記バックボーンにさらに4枚または2枚の横曲げモーメント検出用歪ゲージを適切な箇所貼付して設け、これら4枚または2枚の横曲げモーメント検出用歪ゲージで組んだ横曲げモーメント検出用ホイートストンブリッジ回路を利用して前記構造体模型に働く横曲げモーメントを検出したことを特徴とする請求項1あるいは2記載の構造体模型の振りモーメント計測方法。

【請求項4】

10

20

前記適切な箇所の選定に当たっては、前記構造体模型の有限要素法を用いた応力分布の解析結果を利用したことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうち 1 項記載の構造体模型の捩りモーメント計測方法。

【請求項 5】

前記適切な箇所の応力と前記構造体模型に作用する荷重との関係を表す校正係数を有限要素法を利用して求めたことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうち 1 項記載の構造体模型の捩りモーメント計測方法。

【請求項 6】

各モーメント検出に加え前記構造体模型に働く各弾性振動も検出した請求項 1 乃至 5 のうち 1 項記載の構造体模型の捩りモーメント計測方法。

【請求項 7】

バックボーン式分割模型としての構造体模型を設計するステップと、この構造体模型の有限要素法解析を行うステップと、前記構造体模型を製作するステップと、前記有限要素法解析の応力分布に基づき捩りモーメントを検出する 4 つの歪ゲージを前記構造体模型のバックボーンに貼付するステップと、前記有限要素法解析から前記歪ゲージ貼付位置の歪みと応力との関係である校正係数を求めるステップと、前記構造体模型を所定の条件で試験し 4 つの歪ゲージで組んだホイートストンブリッジの出力を得るステップと、この出力と前記校正係数に基づき前記構造体模型に働く荷重を求めるステップを備えたことを特徴とする構造体模型の捩りモーメント計測方法。

【請求項 8】

構造体模型を分割した複数の分割部と、この分割部を繋ぐバックボーンと、このバックボーンに前記複数の分割部を両端固定梁が形成されるように固定する固定手段と、前記バックボーンの適切な箇所に貼付された 4 枚の捩りモーメント検出用歪ゲージと、これら 4 枚の捩りモーメント検出用歪ゲージで組んだ捩りモーメント用ホイートストンブリッジ回路と、この捩りモーメント用ホイートストンブリッジ回路を利用して前記構造体模型に働く捩りモーメントを検出する検出手段を備えた構造体模型の捩りモーメント計測装置。

【請求項 9】

前記バックボーンの適切な箇所に設けた 4 枚または 2 枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージと、これら 4 枚または 2 枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージを組み込んだ縦曲げモーメント検出用ホイートストンブリッジ回路を更に備えた請求項 8 記載の構造体模型の捩りモーメント計測装置。

【請求項 10】

前記バックボーンの適切な箇所に設けた 4 枚または 2 枚の横曲げモーメント検出用歪ゲージと、これら 4 枚または 2 枚の横曲げモーメント検出用歪ゲージを組み込んだ横曲げモーメント検出用ホイートストンブリッジ回路を更に備えた請求項 8 あるいは 9 記載の構造体模型の捩りモーメント計測装置。

【請求項 11】

前記バックボーンを 1 つまたは 2 つ以上の構造材で構成し、この構造材の形状・寸法・材質・2 本以上の場合はその間隔、の少なくとも一つを調整することにより前記構造模型の剛性の調整を可能としたことを特徴とする請求項 8 乃至 10 のうち 1 項記載の構造体模型の捩りモーメント計測装置。

【請求項 12】

前記固定手段を、前記構造体模型に単位荷重をかける定格の捩りモーメント検定試験の作用点まで延長したことを特徴とする請求項 8 乃至 11 のうち 1 項記載の構造体模型の捩りモーメント計測装置。

【請求項 13】

前記構造体模型は船舶の構造体模型であることを特徴とした請求項 1 乃至 12 のうち 1 項記載の構造体模型の捩りモーメント計測方法または捩りモーメント計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、たとえば構造体模型の捩りモーメント計測方法および捩りモーメント計測装置に係り、特に、波浪外力により船体の弾性変形が相対的に大きくなる大型船等において、検力用歪ゲージの構成により捩りモーメントを計測する構造体模型の捩りモーメント計測方法および捩りモーメント計測装置に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

一般に、船舶は外洋を航行中に波浪外力を受け、たとえば荒天により船底が海面から露出したり甲板上に青波が打ち込まれたりするような大波高時には、船体に働く波浪外力はさらに増大する。特に大型船や高速船等においては、船長や積載量等の影響により剛性が相対的に低下するため、曲げモーメントに重畳する弾性影響が顕著となる。したがって、波の山や谷によりホギング・サギングの状態になりやすく、船体の引っ張り及び圧縮により亀裂や断裂等の損傷を引き起こす可能性がある。また、コンテナ船等においては、甲板に開口を有するため、船体の捩り剛性が相対的に低い。甲板が船底と共に縦強度を分担していることから、開口によりその分担の均衡が崩れるからである。船舶の構造設計においては、実船での波浪外力に耐えるために、全体強度を評価するための船体曲げモーメント及び局部強度を評価するための船底水圧を割り出す必要があり、特にこれら大型船等では縦曲げモーメント（船を垂直方向に曲げる力）、横曲げモーメント（船を水平方向に曲げる力）もしくは捩りモーメント（船を船の長手方向を軸にして捩る力）の正確な値を割り出す必要がある。

【 0 0 0 3 】

従来、船舶の部材寸法は、損傷の実績に基づき、経験的に寸法を決めるのが一般的であった。近年、損傷の未然防止の必要性が増大してきており、より合理的な船舶の実現のために荷重を精度よく予測するニーズは益々高まっている。これに対応するため、船舶の構造設計の際には、弾性振動影響の評価のために、実船と剛性相似となる弾性模型を使用して波浪中水槽試験を行い、船舶の生涯に作用する荷重を予測し、その荷重に耐えられる強度を有するよう部材寸法を決めるという方法を採用していた。弾性模型としては、船体を長手方向に分割し、分割した船体を金属製の構造材（以下、「バックボーン」ともいう。）で繋いだ、いわゆるバックボーン型分割弾性模型が採用されていた。

【 0 0 0 4 】

図 10 は、従来の弾性模型 2 の外側面、内部構造及び拡大した固定治具部分を示す図である。同図（a）は全体の外観を、（b）は部分拡大図を示している。同図に示すように、弾性模型 2 は長手方向に伸びるバックボーン 40 により、分割した船体同士を繋いでいる。バックボーン 40 と分割した個々の船体とは固定治具 50 で固定する。

【 0 0 0 5 】

一方、コンテナ船等甲板に開口を有する船は、捩り剛性が低いため、船体に作用する捩りモーメントを精度良く推定する必要があり、従来、模型船を長手方向に分割し、分割面に検力計（ロードセル）を設置して、縦曲げ・横曲げ・捩りのモーメントの計測がされてきた。捩りモーメントの計測にロードセルを使用すると、船体の剛性の調整が困難となる。また、木製或いはウレタン製の船殻を介するためロードセルに正確に荷重が伝わらない可能性があり、計測の信頼性を損なう恐れがある。特に、捩りモーメントは、その絶対量が、縦曲げモーメントや横曲げモーメントに比べて小さいため、計測精度の向上が課題となる。

【 0 0 0 6 】

こうした中で、特許の分野においては、このような船舶における捩りモーメント等を検出するために、例えば、特許文献 1 及び 2 に示すような対策が取られてきた。

【 0 0 0 7 】

特許文献 1 は、実船の左右舷前後面に配置した歪みゲージによりホイートストンブリッジ回路を形成し、船体の捩りモーメントを計測する技術的思想を開示している。しかし、特許文献 1 に開示される思想では、構造設計段階での実船にかかる設計荷重を予め求める

ものではなく、あくまで実船で捩りモーメントを計測するためのものであることから、航行中に受ける波浪外力の影響で船体に損傷を生じるおそれがある。

【0008】

特許文献2では、有限要素法(FEM: Finite Element method)での数値解析により同時且つ複数の方向から外力が作用したことにより生じる内部応力を考慮して求めた分布帯、いわゆるニュートラルスポットを求めて応力検知センサの装着位置を決定する技術思想を開示している。しかし、特許文献2は、主せん断応力を精度良く測定するためのものであり、弾性模型における捩りモーメントを計測して構造設計に用いるものではない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開平8-338775

【特許文献2】特開2002-22579

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上述したように、従来の船舶の構造設計においては、バックボーンで分割した船体を繋いだ弾性模型により縦曲げモーメントの計測を行っていた。当該船舶は、構造上船体にかかる波浪外力は向かい波の影響による縦曲げを主としていたため、かかる向かい波を想定し、縦曲げモーメントが十分伝達するようバックボーンを模型船に設置するだけで十分であった。したがって、上述した図11における従来の弾性模型2において、バックボーン40の下から固定治具50で分割面を固定するだけで、縦曲げの応力をバックボーン40に十分伝達することができたため、構造設計上問題はなかった。

【0011】

しかしながら、近年の新形式船(大型化及び高速化を含む。)等の船舶は、船長が300m超のものもあり、さらに横曲げや捩りによる波浪外力の影響を受けやすい。すなわち、当該船舶の撓みの周期は従来の船舶と比較して非常に長くなるため、出会い波の周期と船体振動周期とが近くなることにより、船体の共振(N倍共振を含む。)を引き起こす危険性が生じる。このような問題を想定した構造設計においては、横波や斜め波等の波浪外力による影響も考慮し、弾性模型は当該波浪外力を十分に伝達できる構造でなければならず、従来のような縦曲げの伝達を主とした一方向(下方向)のみの固定では十分に伝達することができない。

【0012】

また、コンテナ船等においては、船長350m超のものもあり、上述した新形式船と同様の問題に加え、さらに捩りモーメントの作用によって、開口の角に応力集中が生じることで亀裂が生じやすい。一方で、捩りモーメントの計測において使用していたロードセルでは、設置位置が分割断面のため、取り付けが困難であった。また、木製或いはウレタン製の船殻を介すために正確に荷重が伝わらない可能性があった。したがって、計測の信頼性を損なう恐れがあり、船体の剛性の調整が困難となる可能性がある。特に、捩りモーメントは、その絶対量が、縦曲げモーメントや横曲げモーメントに比べて小さいため、計測精度の向上が課題となる。

【0013】

こうした現状に対し、本願の発明者は、有限要素法解析結果から校正係数を求めることを含め、有限要素法を船舶の構造設計における両端固定梁の捩り変形での応力分布状態のシミュレーションに利用するという課題を着想するに至った。

【0014】

すなわち、船舶の構造上の進化及び用途の拡張に伴い、船体には非常に大きな応力がかかるため、設計荷重を正確に測らなければならず、現在ではあらゆるところで波浪中の試験が頻繁に行われている。この背景には、今までは設計荷重そのものの計測については注

10

20

30

40

50

目されておらず、船舶の事故が発生した後に船体の板厚等を見直すといった事後対策が主流であった風潮に対し、安全意識や環境意識が高まった現代社会のニーズに伴い、被害を想定して船舶がどの程度の荷重を受けているかを評価し、予め損傷しそうな部分の強度設計や補強が必要と考えられるものがある。この場合、荷重を正確に評価するためには、実船との剛性相似である弾性模型を用いて、高精度の捩りモーメント等の計測が必要不可欠である。

【0015】

一方で、上述した特許文献1により開示された技術思想を応用し、実船と剛性相似の弾性模型として実寸法を精密に縮尺したものが適することも考えられる。しかし、実船の板厚を完全に縮尺倍するという事は、弾性模型の板厚を0.1mmのオーダーで調節することになり、また、剛性を相似にするためには、寸法を縮尺倍すると同時に縮尺倍のヤング率を有する材料を選択する必要があるため、剛性を合わせる事が事実上不可能である。

【0016】

本発明は、上記従来技術の問題点を解決することを企図したものであり、広く構造体全般について、従来のバックボーン型分割弾性模型をベースとして、捩りモーメントを容易に、かつ、精度良く計測する構造体模型の捩りモーメント計測方法および捩りモーメント計測装置を提供することを目的とする。

【0017】

また、本発明の目的は、信頼性の高い構造設計を可能とし、構造体の疲労亀裂、座屈等の損傷を最小限に食い止めることを可能とすることにある。本発明はさらに、これらの捩りモーメント計測方法、計測ステップ（設計ステップ）、計測装置等を、船舶の構造模型に対して適用することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0018】

かかる課題を解決するために、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測方法は、構造体模型を分割した複数の分割部を繋ぐバックボーンに当該複数の分割部を両端固定梁が形成されるように固定し、当該バックボーンに4枚の捩りモーメント検出用歪ゲージを適切な箇所貼付して設け、これら4枚の捩りモーメント検出用歪ゲージで組んだ捩りモーメント用ホイートストンブリッジ回路を利用して当該構造体模型に働く捩りモーメントを検出したことを特徴とする。

【0019】

本発明に係る構造体模型の捩りモーメント計測方法には、個々の分割部（数、寸法、分割の割合に限定はない。）とバックボーンとを固定して形成した構造体模型を使用する。構造体模型は、船舶、自動車、航空機等の乗り物や、ビル、家屋、橋等の建造物を含む。

【0020】

バックボーンは、構造体模型を貫く構造材であって、構造体模型に作用する断面力や曲げモーメントを検出するためのものである。当該バックボーンは構造体模型の剛性を最も大きく受ける略中心軸近傍に位置する。したがって、構造体模型に外力が働いて荷重がかかった場合、当該荷重は効率良くバックボーンに伝達される。なお、バックボーンの形状、数、寸法及び材質は特に限定はないが、好適にはチャンネル材を用い、略中心軸を挟んだ二本一組で構成され、各バックボーンは所定の間隔を有して設置するものとする。

【0021】

両端固定梁は、分割部とバックボーンとを繋いで固定する部分に形成される。当該固定の方法に限定はないが、たとえば固定治具を用いることで、多方向固定が実現する。すなわち、分割部或いは分割部内面から突出した接合部分とバックボーンとを固定治具で固定することができ、当該分割部内面から突出した接合部分及び固定治具の付設位置に応じて、上下方向、左右方向及び前後方向のうち少なくとも1つ又は複数の組み合わせによる方向からの固定が実現する。

【0022】

また、当該両端固定梁の数及び形成する位置に限定はないが、構造体模型の強度、バラ

10

20

30

40

50

ンス或いは荷重の伝達精度を考慮して、少なくとも分割部の略両端にあるのが好ましい。したがって構造体模型を構築することで、第一の分割部と第二の分割部との両端固定梁が近接し、各両端固定梁の間に余剰領域（スペース）が存在することになる。当該余剰領域（スペース）は、両端固定梁の形成により波浪中外力が最も効率良く伝達される部分となるため、捩りモーメント検出用歪ゲージを貼り付けるのに適切な箇所となる。

【 0 0 2 3 】

さらに詳細には、たとえば捩りモーメント検出用歪ゲージを貼付して設ける箇所は、バックボーンにおける上述した余剰領域（スペース）のうち、両端固定梁にかかる固定端により近接する位置であって、有限要素法解析により基礎捩りモデルを構築した結果を用いて最適な箇所を決定する。捩りによる外力が当該固定端を介して最も効率良く伝達され、精度良い捩りモーメントを計測できるからである。このようにして決定した適切な箇所として、捩りモーメント検出用歪ゲージを各バックボーンの表層で対極する位置に1枚ずつ計4枚貼付して設ける。4枚の捩りモーメント検出用歪ゲージ同士は所定の間隔を有するため、ホイートストンブリッジ回路を組むことができる。

10

【 0 0 2 4 】

こうした構成を備えることにより、バックボーンにより分割部を繋いで構造体模型を構築することができる。また、当該構造体模型の内部には、分割部及びバックボーンを繋いで固定した両端固定梁を複数形成することができる。両端固定梁により構造体模型にかかる捩りをバックボーンに精度良く伝達することができることから、適切な箇所に貼付して設けた4枚の捩りモーメント検出用歪ゲージで組んだホイートストンブリッジによる中間点の電位差を測定することで、構造体模型に働く捩りモーメントを計測することができる。

20

【 0 0 2 5 】

また、上記の構成において、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測方法は、当該バックボーンにさらに4枚または2枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージを適切な箇所に貼付して設け、これら4枚または2枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージで組んだ縦曲げモーメント検出用ホイートストンブリッジ回路を利用して当該構造体模型に働く縦曲げモーメントを検出するようにしてもよい。

【 0 0 2 6 】

上述した捩りモーメント計測方法を実現する構造体模型には、近接した両端固定梁の間に所定の余剰領域（スペース）が存在するところ、当該余剰領域（スペース）は第一の分割部と第二の分割部とが繋がる中間部分でもある。すなわち、第一の分割部に係る固定端及び第二の分割部に係る固定端により、当該中間部分に縦曲げの荷重が精度良く伝達される。したがって、梁理論に従い、当該中間部分の中央が、縦曲げモーメント検出用歪ゲージを貼付して設ける適切な箇所となる。なぜなら、中間部分の中央よりもどちらかの固定端側に縦曲げモーメント検出用歪ゲージを貼付すると、縦曲げによる応力とせん断による応力とが干渉するため、縦曲げモーメントを検出することができないが、中間部分の中央にはせん断による応力が生じず、縦曲げによる応力のみを抽出できるからである。

30

【 0 0 2 7 】

したがって、縦曲げモーメント検出用歪ゲージを中間部分の中央で、かつ各バックボーンの表層で対極する位置に1枚ずつ計4枚または2枚貼付して設ける。4枚または2枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージ同士は所定の間隔を有するため、ホイートストンブリッジ回路を組むことができる。なお、計測精度向上のため、捩りモーメント検出用歪ゲージと同じく4枚貼付して設けることが好ましい。

40

【 0 0 2 8 】

こうした構成を備えることにより、捩りモーメント計測を行う構造体模型を用いて、縦曲げによる応力を精度良く伝達する適切な箇所に4枚または2枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージを貼付して組んだホイートストンブリッジによる中間点の電位差を測定することで、捩りモーメントと併せて、構造体模型に働く縦曲げモーメントを計測することができる。

50

【 0 0 2 9 】

また、上記の構成において、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測方法は、当該バックボーンにさらに4枚または2枚の横曲げモーメント検出用歪ゲージを適切な箇所に貼付して設け、これら4枚または2枚の横曲げモーメント検出用歪ゲージで組んだ横曲げモーメント検出用ホイーストンプリッジ回路を利用して当該構造体模型に働く横曲げモーメントを検出するようにしてもよい。

【 0 0 3 0 】

上述した捩りモーメント計測方法及びノもしくは縦曲げモーメントも併せて検出した捩りモーメント計測方法を実現する構造体模型において、横曲げモーメント検出用歪ゲージを貼付する適切な箇所の導出は、上述した縦曲げモーメント検出用捩りゲージの適切な貼付け箇所の場合と同様である。 10

【 0 0 3 1 】

こうした構成を備えることにより、捩りモーメント計測を行う構造体模型を用いて、横曲げによる応力を精度良く伝達する適切な箇所に4枚または2枚の横曲げモーメント検出用歪ゲージを貼付して組んだホイーストンプリッジによる中間点の電位差を測定することで、捩りモーメントと併せて、構造体模型に働く横曲げモーメントを計測することができる。

【 0 0 3 2 】

また、上記の構成において、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測方法は、当該適切な箇所の選定に当たっては、当該構造体模型の有限要素法を用いた応力分布の解析結果を利用するようにしてもよい。 20

【 0 0 3 3 】

捩りモーメントにおいては、バックボーンの形状如何で、梁理論が適用できない。したがって、有限要素法解析により基本捩りモデルを構築し、固定端の応力分布を確認する必要がある。すなわち、有限要素法解析の結果、捩りが発生すると固定端のどの部分に引張り応力或いは圧縮応力が集中するかをシミュレーションすることができる。

【 0 0 3 4 】

こうした構成を備えることにより、有限要素法解析の結果から、捩りモーメント検出用歪ゲージを貼付する最適な箇所、すなわち上述した第一の分割部に係る両端固定梁と第二の分割部に係る両端固定梁との間の余剰領域中、捩りモーメントを検出するゲージを貼付するための固定端に近接する何れかの箇所を決めることができる。 30

【 0 0 3 5 】

また、上記の構成において、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測方法は、当該適切な箇所の応力と当該構造体模型に作用する荷重との関係を表す校正係数を有限要素法を利用して求めるようにしてもよい。

【 0 0 3 6 】

詳細には、単位荷重が作用したときのゲージ貼付位置の応力を求めて校正係数 ($k g f - m / \text{歪}$) を決めることができる。当該校正係数は、有限要素法解析結果における捩りモーメントと歪との関係 (傾き) の逆数である。

【 0 0 3 7 】

こうした構成を備えることにより、有限要素法を利用することで、捩りモーメント検出用歪ゲージで構成したホイーストンプリッジにより電圧量を求め、最終的な捩りモーメントを計測するための校正係数を決めることができる。 40

【 0 0 3 8 】

また、上記の構成において、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測方法は、各モーメント検出に加え当該構造体模型に働く各弾性振動も検出するようにしてもよい。

【 0 0 3 9 】

構造体模型は、縦曲げ或いは横曲げの発生により各モーメントが生じると、弾性振動を起こす。詳細には、縦曲げ或いは横曲げにより荷重が加わると、構造体模型にはその間連続して変化するモーメントが発生するため、各モーメントの値を波形化することで、弾性 50

振動の様子を検出することができる。

【0040】

こうした構成を備えることにより、ゲージ貼付位置の縦曲げモーメント或いは横曲げモーメントを検出すると共に、各分割部がこれらのモーメントの影響を受けてどの程度振動しているかを、連続したモーメントの変化量から検出することができる。

【0041】

また、上記課題を解決するために、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測方法は、バックボーン式分割模型としての構造体模型を設計するステップと、この構造体模型の有限要素法解析を行うステップと、当該構造体模型を製作するステップと、当該有限要素法解析の応力分布に基づき捩りモーメントを検出する4つの歪ゲージを当該構造体模型のバックボーンに貼付するステップと、当該有限要素法解析から当該歪ゲージ貼付位置の歪みと応力との関係である校正係数を求めるステップと、当該構造体模型を所定の条件で試験し4つの歪ゲージで組んだホイートストンブリッジの出力を得るステップと、この出力と当該校正係数に基づき当該構造体模型に働く荷重を求めるステップを備えたことを特徴とする。

【0042】

バックボーン式分割模型としての構造体模型を設計するステップとしては、各分割模型の形状・寸法・材質等、バックボーンの形状・寸法・材質・間隔・向き等、各分割模型とバックボーンとの固定方法（たとえば、固定治具の形状・寸法等の設計）等を検討し、決定する。

【0043】

構造体模型の有限要素法解析を行うステップとしては、上述した構造体模型を設計するステップにおいて決定した構造体模型の各情報を基に、基本捩りモデルを構築して引張り・圧縮応力が集中している部分を、歪ゲージを貼付する適切な箇所として求める。なお、当該有限要素法解析の結果（捩りモーメントと歪の関係）の信頼性を確認するため、構造体模型に係る分割模型に錘等で荷重を加えて同様に捩りモーメントと歪の関係を求める検定試験を行ってもよい。

【0044】

構造体模型を製作するステップとしては、上述した構造体模型の設計内容を基に、構造体模型に係る各分割模型とバックボーンとを所定の固定方法で繋ぐとともに、当該固定方法により固定されている部分は両端固定梁を形成し、外観上は構造体を縮尺したかのように製作する。

【0045】

有限要素法解析の応力分布に基づき捩りモーメントを検出する4つの歪ゲージを当該構造体模型のバックボーンに貼付するステップとしては、上述した有限要素法解析の結果を踏まえて、たとえば製作中或いは既に製作済みの構造体模型に形成された両端固定梁としての固定端に近接する位置に捩りモーメント検出用歪ゲージをバックボーンの表層で対極する位置に1枚ずつ計4枚貼付してホイートストンブリッジを設ける。

【0046】

有限要素法解析から当該歪ゲージ貼付位置の歪みと応力との関係である校正係数を求めるステップとしては、上述した有限要素法解析を行うステップでの有限要素法解析結果として求められたゲージ貼付位置の歪みと捩りモーメントとしての応力との関係から得られる方程式の傾きの逆数を求める。

【0047】

構造体模型を所定の条件で試験し4つの歪ゲージで組んだホイートストンブリッジの出力を得るステップとしては、たとえば構造体模型に加える外力（縦曲げ、横曲げ、捩り等）や荷重、周期及びその他の試験状況を条件設定し、構造体模型の両端固定梁を介してバックボーンに伝達され、当該バックボーンの適切な箇所に貼付した各歪ゲージが歪むことでホイートストンブリッジの出力としてブリッジの中間の電位差（電圧量）を得ることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

上述した出力と校正係数に基づき当該構造体模型に働く荷重を求めるステップとしては、ホイートストンブリッジより得た出力としての電位差（電圧量）から歪みを導出し、この歪みに上述したステップにより求めた校正係数を乗算することで構造体模型に働く荷重（縦曲げ・横曲げモーメント、捩りモーメント）を求める。

【 0 0 4 9 】

こうしたステップを備えることにより、バックボーン式の構造体模型は複雑ではなく比較的単純な構造であるため構造体模型の設計は短時間で行うことができ、また構造体模型の有限要素法解析は、当該設計内容をパラメータとしてコンピュータ処理されるため特殊な操作等は不要で、検定試験との整合性を確認することで有限要素法解析結果の信頼性を確保できる。したがって、実際の構造物と剛性相似な構造体模型を制作し、歪ゲージを構造体模型に係るバックボーンの適切な箇所（図10）に貼付して受ける荷重を適切に検出することができる。したがって、構造体模型の試験において、歪ゲージで組んだホイートストンブリッジの出力に対して、上述した有限要素法解析の結果から求めた校正係数を用いて最終的に設計見直しあるいは設計完了するために、構造体模型に働く荷重を精度高いものとして得られることになり、この構造体模型に対する荷重をもとに実船に働く荷重を割り出せば、これを設計荷重と照合した上で実船の設計に対して適用することができる。

【 0 0 5 0 】

かかる課題を解決するために、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測装置は、構造体模型を分割した複数の分割部と、この分割部を繋ぐバックボーンと、このバックボーンに当該複数の分割部を両端固定梁が形成されるように固定する固定手段と、当該バックボーンの適切な箇所に貼付された4枚の捩りモーメント検出用歪ゲージと、これら4枚の捩りモーメント検出用歪ゲージで組んだ捩りモーメント用ホイートストンブリッジ回路と、この捩りモーメント用ホイートストンブリッジ回路を利用して当該構造体模型に働く捩りモーメントを検出する検出手段とを具備して構成される。

【 0 0 5 1 】

分割部は、構造体模型を複数に分割した各部分であって、形状、寸法、数、構造体模型全体に対する分割の割合等に特に限定はなく、好適には固定手段を用いてバックボーンと繋ぎ、両端固定梁の形成を担う構造、たとえば内面に突出した接合部分を有するものとする。

【 0 0 5 2 】

固定手段は、分割部とバックボーンとを繋いで両端固定梁を形成できればよく、その形状、寸法、材質等に限定はないが、たとえばアングル材であれば分割部或いは分割部内面から突出した接合部分とバックボーンとの固定が比較的容易で、両端固定梁を形成しやすい。

【 0 0 5 3 】

検出手段は、各歪ゲージの歪量に伴うホイートストンブリッジ回路による電位差（電圧量）を電子的情報に変換し、この変換した電子的情報をから所定の情報処理を行って構造体模型に働く捩りモーメントを検出できる回路、器具、仕組み等によって実現される。

【 0 0 5 4 】

なお、バックボーンの説明について、両端固定梁の形成について、4枚の捩りモーメント検出用歪ゲージの適切な箇所への貼付について、ホイートストンブリッジ回路の形成については、上記と同様である。

【 0 0 5 5 】

こうした構成を備えることにより、分割部とバックボーンとを固定手段で繋げて両端固定梁を形成しつつ構造体模型を作成し、実際の構造体の構造設計として荷重試験を行うことができる。また、試験の際に、検出手段により捩りモーメント用ホイートストンブリッジ回路から電位差情報を取得し、所定の情報処理を行って電子的情報として捩りモーメントを検出することで、信頼性の高い構造設計が実現する。

【 0 0 5 6 】

10

20

30

40

50

また、上記構成において、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測装置は、当該バックボーンの適切な箇所に設けた4枚または2枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージと、これら4枚または2枚の縦曲げモーメント検出用歪ゲージを組み込んだ縦曲げモーメント検出用ホイートストンブリッジ回路を更に備える構成としてもよい。

【0057】

こうした構成を備えることにより、上述した構造体模型に対して縦曲げモーメント検出用歪ゲージを適切な箇所に設けることで、容易にホイートストンブリッジ回路を構成することができる。したがって、捩りモーメントの測定と共に、縦曲げモーメントの測定及びそれに伴う弾性振動の計測を行うことができる。なお、ゲージを貼付する適切な箇所の説明については上記と同様である。

10

【0058】

さらに、上記構成において、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測装置は、当該バックボーンの適切な箇所に設けた4枚または2枚の横曲げモーメント検出用歪ゲージと、これら4枚または2枚の横曲げモーメント検出用歪ゲージを組み込んだ横曲げモーメント検出用ホイートストンブリッジ回路を備える構成としてもよい。

【0059】

こうした構成を備えることにより、上述した構造体模型に対して横曲げモーメント検出用歪ゲージを適切な箇所に設けることで、容易にホイートストンブリッジ回路を構成することができる。したがって、捩りモーメントの測定或いは捩りモーメント及び縦曲げモーメントの測定と共に、横曲げモーメントの測定及びそれに伴う弾性振動の計測を行うことができる。なお、ゲージを貼付する適切な箇所の説明については上記と同様である。

20

【0060】

上記構成において、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測装置は、当該バックボーンを1つまたは2つ以上の構造材で構成し、この構造材の形状・寸法・材質・2本以上の場合はその間隔、の少なくとも一つを調整することにより当該構造体模型の剛性の調整を可能とした構成としてもよい。

【0061】

バックボーンは、たとえばチャンネル材或いはその他の形状材でよく、寸法は厚くしても細くしてもよく、材質は金属であればよいため、アルミ、スチール、ステンレス、鉄鋼等のいずれでもよく限定はない。また、当該バックボーンが、2本以上を一組としているとき、各部材の間隔も特に限定はない。したがって、バックボーンに応じて両端固定梁の状況も変わってくるため、伝達する荷重の大きさも異なる。

30

【0062】

こうした構成を備えることにより、実際の構造体の剛性に合わせて、剛性相似の構造体模型を容易に制作することができる。

【0063】

上記構成において、本願に係る構造体模型の捩りモーメント計測装置は、当該固定手段を、当該構造体模型に単位荷重をかける定格の捩りモーメント検定試験の作用点まで延長した構成としてもよい。

【0064】

有限要素法解析の結果の信頼性を確認するための定格の捩りモーメント検定試験の際、構造体模型外郭から単位荷重をかけるため、固定手段に精度良く荷重による外力を伝達させる必要がある。また、検定試験の際の錘の大きさによっては、直に固定手段に乗せることもできるが、この状況では検定試験に必要なトルクを十分に加えることができない。したがって、検定試験の作用点まで固定手段を延長する必要がある。

40

【0065】

こうした構成を備えることにより、構造体模型外郭から検定試験に必要なトルクを加えても、延長した固定手段に荷重が効率良く伝達されるため、検定の精度を十分に保つことができる。

【0066】

50

上記構成において、当該構造体模型は船舶の構造体模型であるとしてもよい。

【0067】

上述したように、構造体模型とするものに限定はないが、船舶の構造体模型とする場合、特に大型船、高速船、コンテナ船等であって、曲げモーメントによる弾性振動及び捩りモーメントの影響を受けやすい船舶であっても、本願の思想は適用可能である。

【0068】

こうした構成を備えることにより、実船を試作して確認することが不可能な船舶の設計確認を構造体模型により、航行中の出会波によって起こり得る変形状態を想定して波浪中水槽試験を行うことができる。また、コンテナ船においては、開口部の捩り剛性が弱い部分なため、当該開口部を想定した捩りモーメントの計測を行うことで、開口部の破損を未然に防ぐことができる。

【発明の効果】

【0069】

本願によれば、捩りモーメント計測方法として、バックボーンのような一様梁により複数の分割部と連結するため、各分割部で同一のシステムを構成することができる。すなわち、一様梁という設計が全分割部共通の条件とすることができる。また各分割部に両端固定梁を形成することで、構造体模型外郭から受ける荷重を精度良くバックボーンに伝達し、他の分割部にもその影響を伝播させることができるため、荷重分布精度が向上する。さらに、1組の梁で構造体模型全体の剛性を持たせるため、構造体実物に近い変形状態及び振動特性（たとえば、固有周波数、減衰率等）を再現することができる。したがって、ホイートストンブリッジによる電位差の測定精度も向上し、信頼性の高い捩りモーメントを計測することができる。さらに、バックボーンとして用いるチャンネル材は、規格品が使用できることにより、より経済的に本願の技術思想を実現することが可能となる。また信頼性の高い捩りモーメントの計測が上記構成で実現されるので、これまでのようにロードセルによる場合と比べてより安価となる。また、ロードセルと比べバックボーンは小型かつ軽量であるため、その他の積載物（喫水調整用ウェイト、計測機器等）の設置スペース及び重量の制約が少なくなる。このことは特に小型の模型において利点となる。総じて、信頼性の高い構造設計が可能となり、構造体の疲労亀裂、座屈等の損傷を最小限に食い止めることができる。

【0070】

また、本願によれば、捩りモーメント計測方法として、捩りモーメント検出可能な構造体模型に、さらに適切な箇所に貼付した縦曲げモーメント検出用歪ゲージで組んだホイートストンブリッジにより、縦曲げモーメントを計測することができる。こうすることで、信頼性の高い捩りモーメント計測に加え、縦曲げモーメントを精度良く計測することができ、構造設計としてはより信頼性が向上する。

【0071】

また、本願によれば、捩りモーメント計測方法として、捩りモーメント或いは捩りモーメント及び縦曲げモーメントを検出可能な構造体模型に、さらに適切な箇所に貼付した横曲げモーメント検出用歪ゲージで組んだホイートストンブリッジにより、横曲げモーメントを計測することができる。こうすることで、信頼性の高い捩りモーメント或いは捩りモーメント及び縦曲げモーメントの計測に加え、横曲げモーメントを精度良く計測することができ、構造設計としては更に一層信頼性が向上する。

【0072】

また、本願によれば、捩りモーメント計測方法として、捩りモーメント検出用歪ゲージの貼付する箇所を有限要素法解析による応力分布の結果を踏まえて決めることで、試験においても精度良く歪ゲージの歪量を得ることができる。また、応力分布の結果に基づいて最適な応力分布箇所を歪ゲージの貼付箇所として容易に抽出できるので、歪ゲージの貼付箇所の変更等の作業負担が軽減される。

【0073】

また、本願によれば、捩りモーメント計測方法として、最終的な捩りモーメントを計測

するための校正係数を有限要素法解析で求めることで、より精度の高い係数を求めることができる。すなわち、当該校正係数の影響により、信頼性の高い捩りモーメントを計測することができ、構造設計の正確性を向上させることができる。

【0074】

また、本願によれば、捩りモーメント計測方法として、一度の試験で捩りモーメント及び縦曲げ・横曲げモーメントによる弾性振動を計測することができるため、構造設計の信頼性の向上と共に、作業効率も向上する。

【0075】

また、本願によれば、捩りモーメント計測方法として、従来の縦曲げモーメント計測用のバックボーン式分割模型をベースに構造体模型の設計を行うため、設計工数が著しく短縮できる。また、当該構造体模型の設計条件により有限要素法解析を行うため、歪ゲージの最適な貼付箇所を手間なく決定することができる。さらに、当該有限要素法解析結果から校正係数を求めることが可能であるため、別途係数を求める作業が不要となる。このような構造体模型に貼付した歪ゲージにより組んだホイートストンブリッジからの出力は高精度であり、当該校正係数に基づいて導出した荷重は構造設計において非常に有効な情報となる。したがって、歪ゲージで組んだホイートストンブリッジの出力について有限要素法解析の結果から求めた校正係数によって見直すことで、構造体模型に働く荷重として高精度の値を得、これをもとに実船に働く荷重が割り出されるので、より精度の高い船舶設計が可能となる。

【0076】

また、本願によれば、捩りモーメント計測装置において、複数の分割部を繋いで構築した構造体模型は、従来の縦曲げモーメント計測用のバックボーン式分割模型をベースに両端固定梁を固定手段で形成したものであるため、改造費は安価で、熟練した技術を有しない者でも容易に改造することができる。また同様に、有限要素法解析は所定のパラメータ入力により行うことができる。さらに、歪ゲージは従来のものを使い、ホイートストンブリッジ回路の構築も容易である。したがって、各歪ゲージと検出手段を繋ぐだけで所定の処理を自動で行うため、捩りモーメントの計測は容易である。

【0077】

また、本願によれば、捩りモーメント計測装置において、歪ゲージを適切な箇所に貼付することで、捩りモーメントの計測に加えてさらに縦曲げモーメントの計測を行うことができる。したがって、捩りモーメントに加えて縦曲げモーメントを考慮することにより、構造設計をよりの確化させることができ、より信頼性が高い構造体の構築が可能となる。

【0078】

また、本願によれば、捩りモーメント計測装置において、歪ゲージを適切な箇所に貼付することで、捩りモーメントの計測或いは捩りモーメント及び縦曲げモーメントの計測に加えてさらに横曲げモーメントの計測を行うことができる。したがって、さらに一層信頼性が高い構造体の構築が実現する。すなわち、設計段階において、構造体の疲労亀裂、座屈等の損傷をある程度予測し、被害を最小限に食い止めることができる。

【0079】

また、本願によれば、捩りモーメント計測装置において、構造体模型のバックボーンの諸条件を調整することで剛性の調整を行うことができる。したがって、試験や構造設計に応じた構造体模型の作成、或いは試験や構造設計中での所望の剛性への変更が容易に行うことができるため、作業上の負担にならず、所望の構造体模型を制作することができる。

【0080】

また、本願によれば、捩りモーメント計測装置において、定格の捩りモーメント検定試験の作用点まで固定手段を延長することで、外郭から加えるトルク等を精度よく歪ゲージを貼付したバックボーンに伝達することができる。したがって、検定試験の正確性を向上し、有限要素法解析の結果の信頼性を向上させることができる。

【0081】

また、本願によれば、捩りモーメント計測方法及び捩りモーメント計測装置において、

船舶の構造体模型とすることができる。すなわち、波浪中外力としては出会波等の影響で縦曲げ、横曲げ、捻りが随時発生するため、船舶において活用できれば、船舶の損傷を未然に防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【0082】

【図1】本発明の一実施形態に係る船舶の構造体模型の全体像を示す図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る構造体模型の各断面を示す図である。

【図3A】本発明の一実施形態に係る図2(b)の要部(点線部100)の斜視立体拡大図である。

【図3B】本発明の一実施形態に係る図2の点線部100を図示する矢印の方向から見た斜視立体拡大概念図である。

【図3C】本発明の一実施形態に係る固定治具を付設した分割船体を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態に係る構造体模型において固定治具50a、50b、50cの固定により形成した固定端(両端固定梁)の捻り変形を有限要素法解析で求めた結果を示した図である。

【図5A】本発明の一実施形態に係る構造体模型の各分割部分の捻りモーメント計測の検定試験を示した図である。

【図5B】本発明の一実施形態に係る構造体模型の各分割部分の捻りモーメント計測の予備試験を示した図である。

【図6A】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=2)における図4に示す有限要素法解析結果及び図5A或いは5Bに示す検定試験結果を表示したグラフである。

【図6B】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=3.5)における図4に示す有限要素法解析結果及び図5A或いは5Bに示す検定試験結果を表示したグラフである。

【図6C】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=5.5)における図4に示す有限要素法解析結果及び図5A或いは5Bに示す検定試験結果を表示したグラフである。

【図6D】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=7)における図4に示す有限要素法解析結果及び図5A或いは5Bに示す検定試験結果を表示したグラフである。

【図6E】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=8)における図4に示す有限要素法解析結果及び図5A或いは5Bに示す検定試験結果を表示したグラフである。

【図7】本発明の一実施形態に係る構造体模型にかかる曲げ及び捻りモーメントの計測方法(計測の流れ)を示す図である。

【図8A】本発明の一実施形態に係る構造体模型の波浪中水槽試験において、図1乃至図3Aに図示する矢印Tの部分に関して縦曲げ弾性振動の計測結果のグラフである。

【図8B】本発明の一実施形態に係る構造体模型の波浪中水槽試験において、図1乃至図3Aに図示する矢印Tの部分に関する横曲げ弾性振動の計測結果のグラフである。

【図9A】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=2)の各分割部分における捻りモーメントの計測結果のグラフである。

【図9B】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=3.5)の各分割部分における捻りモーメントの計測結果のグラフである。

【図9C】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=5.5)の各分割部分における捻りモーメントの計測結果のグラフである。

【図9D】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=7)の各分割部分における捻りモーメントの計測結果のグラフである。

【図9E】本発明の一実施形態に係る構造体模型(SS=8)の各分割部分における捻りモーメントの計測結果のグラフである。

【図9F】本発明の一実施形態に係る構造体模型の各分割部分における同時刻の捻りモーメント分布図を示した図である。

【図10】従来の弾性模型の内部構造及び拡大した固定治具部分を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0083】

以下、図面を参照して本発明を実施するための形態について説明する。なお、以下では、本発明の目的を達成するための説明に必要な範囲を模式的に示し、本発明の該当部分の説明に必要な範囲を主に説明することとし、説明を省略する箇所については公知技術によるものとする。

【0084】

図1は、本発明の一実施形態に係る船舶の構造体模型1（以下、単に「構造体模型1」ともいう。）の全体像を示す概念図である。同図における（a）は構造体模型1の側面図であり、（b）は構造体模型1の正面図である。同図（a）及び（b）に示すように、構造体模型1は、分割部としての各分割船体10がバックボーン40（点線部分）により繋がれて構成される。たとえば分割船体10a及び10bとの境界には分割面20（図では分割船体10a及び10bが接しているため線になっている）が存在する。構造体模型1の全長及び幅等の寸法は特に限定はなく、構造設計にかかる実船に準じて変化させてよい。（b）に示すように、バックボーン40は好適にはC型のチャンネル材として形成され、40a及び40bが左右対称で対になって構成される。チャンネル材を用いる場合には、規格品が使用できるため、本願の技術思想がより安価に実現可能となる。

【0085】

図2は、本発明の一実施形態に係る構造体模型1の各断面を示す概念図である。同図における（a）は図1（b）のX-X断面、（b）は図1（a）のY-Y断面である。（a）及び（b）に示すように、たとえば分割船体10aとバックボーン40aとは、分割船体10aの内面に突出した接合部30a及び30bにおいて、各接合部を固定治具50で両側から挟み、バックボーン40a及び40bを、別の固定治具50により上下から挟むことで固定している。このようにして、各分割船体が連設されて、構造体模型1を構成する。図3Aは、構造体模型1の実物における図2（b）の点線部100を、図示する矢印の方向から斜め下に見下ろした状態を示した図である。

【0086】

以下に、図3Aを踏まえて、本発明の一実施形態を実現し得る船舶の構造体模型1の構成の詳細な説明をする。

【0087】

図3Bは、本発明の一実施形態に係る図3Aの点線部110を図示する矢印の方向から見た斜視立体拡大概念図である。同図に示すように、構造体模型1は、バックボーン40a、40b、分割船体の際を補強したり図示しない所定の分割船体とバックボーン40a、40bとを固定したりする固定治具50a、50b、50c、各モーメントを検出する歪ゲージ60a、60b、60c、60d、60e、60f、60g、60h、60i、60j、60k、60lを備えて構成される。

【0088】

バックボーン40a、40bは、図示するようなC型のチャンネル材であるが、H型等の規格品でもよい。各バックボーンは、凹んでいる部分が互いに外側（船体側面方向）を向いているが、向きに限定はなく内側等に向いていてもよい。また、各バックボーンは所定の間隔を有して設置されているが、これはバックボーンの設置の容易性及び模型船の重心に付設される模型船曳航用治具のスペースを想定したものであるため、実験の方法等によって当該間隔が異なってもよい。なお、材質はアルミ、スチール、ステンレス等の金属で、外力を精度よく伝達できるものが好ましい。また、寸法（全長、幅等）に限定はなく、弾性模型を形成することができるものであればよい。さらに、バックボーンは3本以上でもよいが、構造体模型1の工作のし易さを鑑みて好適には2本とする。

【0089】

固定治具50aは、分割船体10aのU字型の係合部30aの際（きわ）に付設し、固定治具50b、50cとの組み合わせによりバックボーン40a、40bを側部から固定する平板からなるものである。図3Cは、固定治具50aを付設した分割船体10aを別途取り出したものを示す図である。同図の下側が船底部分である。同図に示すとおり、固定治具50aの形状及び寸法（厚み等を含む。）は接合部30aに係るU字型の際を補強

し外力を精度よく伝達できればよく、上甲板まで確保できるものが好ましいが、これは、構造体模型 1 の船殻材料の影響により定格量のモーメントが鈍らないようにするためである。なお、材質はアルミ、スチール、ステンレス等の金属で、外力を精度よく伝達できるものが好ましい。また、固定治具 5 0 b、5 0 c と分割船体 1 0 a をねじで係合できるように貫通したねじ山を複数個有する。

【 0 0 9 0 】

固定治具 5 0 b、5 0 c は、バックボーン 4 0 a、4 0 b の上部及び下部から固定治具 5 0 a を介して接合部 3 0 a と当該バックボーン 4 0 a、4 0 b とを固定するアングル材からなる。固定治具 5 0 b、5 0 c の形状及び寸法（長さ、幅、高さ等）に限定はなく、バックボーン 4 0 a、4 0 b 及び所定の分割船体を固定することができればよい。なお、材質はアルミ、スチール、ステンレス等の金属で、外力を精度よく伝達できるものが好ましい。また、バックボーン 4 0 a、4 0 b 及び固定治具 5 0 c を介した分割船体 1 0 a をねじで係合できるように貫通したねじ山を複数個有する。このように、複数の分割部を繋いで構築した構造体模型は、従来の縦曲げモーメント計測用のバックボーン式分割模型をベースに両端固定梁を固定手段で形成したものであるため、改造費は安価で、熟練した技術を有しない者でも容易に改造することができる。

【 0 0 9 1 】

上述したように、チャンネル材を使用してバックボーン 4 0 a、4 0 b を二つ一組とし、当該バックボーン 4 0 a、4 0 b を固定治具 5 0 a で側部から固定し、固定治具 5 0 b で上部から固定し、固定治具 5 0 c で下部から固定することで、従来の弾性模型とは異なり、三方向固定による剛性壁を形成することができる。これにより、両端固定梁を形成することができる。このような両端固定梁により、縦曲げ、横曲げ及び捩りとして受ける外力を構造体模型 1 に精度良く伝達し、各剛性を分けて検出することができる。また、固定治具 5 0 a を上甲板まで確保することにより、定格の捩りモーメントを構造体模型 1 に作用させることが可能となる。さらに、バックボーン 4 0 a、4 0 b の形状、寸法、材質或いは間隔等を調整することにより、構造体模型 1 の曲げ剛性及び捩り剛性を調整することができる。このように、構造体模型のバックボーンの諸条件を調整して剛性の調整を行うことで、試験や構造設計に応じた構造体模型の作成、或いは試験や構造設計中の所望の剛性への変更が容易に行うことができるため、作業上の負担にならず、所望の構造体模型を制作することができる。

【 0 0 9 2 】

歪ゲージ 6 0 a、6 0 b、6 0 c、6 0 d は縦曲げモーメントを検出するためのもの（以下、「縦曲げモーメント用歪ゲージ」ともいう。）、歪ゲージ 6 0 e、6 0 f、6 0 g、6 0 h は横曲げモーメントを検出するためのもの（以下、「横曲げモーメント用歪ゲージ」ともいう。）である。縦曲げモーメント用歪ゲージ及び横曲げモーメント用歪ゲージは、バックボーン 4 0 a、4 0 b の上側表面及び下側表面で、かつ図 1 及び図 3 A に記載した分割面 2 0 の延長線上（一点鎖線で示す。）、すなわち分割船体 1 0 a と 1 0 b とが繋がる中間部分の中央であって、縦曲げモーメント用歪ゲージを内側、横曲げモーメント用歪ゲージを外側に貼り付けることが好ましい。また、歪ゲージ 6 0 i、6 0 g、6 0 k、6 0 l は捩りモーメントを検出するためのもの（以下、「捩りモーメント用歪ゲージ」ともいう。）である。捩りモーメント用歪ゲージの位置は、後述する有限要素法解析で両端固定梁の捩り変形での応力分布状態を求め、その結果に基づき最適な位置を決定することが好ましく、同図にはおいてはバックボーン 4 0 a、4 0 b の上側表面及び下側表面で、かつ固定治具 5 0 b の際（きわ）に貼り付けている状態を示す。なお、これらの歪ゲージは、本実施形態においては 2 mm ゲージを使用している。さらに、当該歪ゲージは図示しない防水シートで覆うことが好ましい。

【 0 0 9 3 】

上述したように、縦曲げモーメント用歪ゲージ、横曲げモーメント用歪ゲージ及び捩りモーメント用歪ゲージを、それぞれ一つずつ、バックボーン 4 0 a、4 0 b の上側表面及び下側表面に貼り付けることで、4 ゲージホイートストンブリッジを組むことができる。

詳細には、縦曲げ、横曲げ、捩り変形に対応するバックボーン40a、40bの引張面及び圧縮面にそれぞれ2枚ずつ、すなわち引張り応力を検出する2枚の歪ゲージと、圧縮応力を検出する2枚の歪ゲージ、計4枚の歪ゲージを一組として3分力の検力計とみなし、形状、寸法、材質或いは間隔等に準じた剛性を有するバックボーン40a、40bのゲージ位置応力を検出することができる。このように、縦曲げモーメント、横曲げモーメント、捩りモーメントを、それぞれ適切な箇所貼付したモーメント検出用歪ゲージで組んだホイートストンブリッジにより計測する。捩りモーメント検出用歪ゲージの貼付する箇所を有限要素法解析による応力分布の結果を踏まえて決めることで、試験においても精度良く歪ゲージの歪量を得ることができる。また、応力分布の結果に基づいて最適な応力分布箇所を歪ゲージの貼付箇所として容易に抽出できるので、歪ゲージの貼付箇所の変更等の作業負担が軽減する。 10

【0094】

以下に、本発明の一実施形態を実現し得る有限要素法解析による捩りモーメント用歪ゲージの位置決め等についての詳細な説明をする。

【0095】

図4は、本発明の一実施形態に係る構造体模型1において固定治具50a、50b、50cの固定により形成した固定端(両端固定梁)の捩り変形を有限要素法解析で求めた結果を示した図である。凡例として、白に近づくほど強い引張応力、黒に近づくほど強い圧縮応力の分布を示す。同図に示す矢印の方向に単位捩りモーメントを与えた場合、円で囲んだ部分40a-1及び40b-2に圧縮応力が集中し、40a-2及び40b-1に引張応力が集中していることを確認することができる。したがって、この場合においては、図3Bに示す位置に捩りモーメント用歪ゲージ(歪ゲージ60i、60g、60k、60l)を貼り付けることが、信頼性の高い捩りモーメントを検出する上において最適であることが裏付けられ、また予め有限要素法解析を行うことで捩りモーメント用歪ゲージの最適な貼り付け位置を決めることができる。なお、後述する波浪中水素試験における捩りモーメントの計測方法において、検出した歪量に乘算する校正係数を、有限要素法解析により単位荷重が作用したときのゲージ位置の応力を求めることにより決定することができる。また、縦曲げモーメント及び横曲げモーメントの計測方法において、検出した歪量に乘算する校正係数を、有限要素法解析により単位荷重が作用したときのゲージ位置の応力を求めることにより決定することができるが、当該校正係数は、梁理論によって決定してもよい。 20 30

【0096】

このように、上記の形態によれば、捩りモーメント計測方法として、一度の試験で捩りモーメント及び縦曲げ・横曲げモーメントによる弾性振動を計測することができるため、構造設計の信頼性の向上と共に、作業効率も向上する。

【0097】

一方、上述した有限要素法解析の信頼性を確認する必要もある。そこで、構造体模型1に所定の重量を有する錘を付してトルクをかけることで、どれくらいの捩りモーメントが発生するかを検定した。

【0098】

図5Aは、本発明の一実施形態に係る構造体模型1の各分割部分の捩りモーメント計測の検定試験に用いる模型船の外観を示した図である。図示するように、構造体模型1の船尾部から程近い分割部分(SS=2)の右側部に錘120を設置する。この錘120の重量により、当該分割部分にトルクがかかる。すなわち、作為的に各分割部分に集中的に外力を加えることで、捩りモーメントの計測を行うものである。なお、図5Bは、本発明の一実施形態に係る構造体模型1の各分割部分の捩りモーメント計測の予備試験の概略の様子を示す図である。図示するように、分割部分を抜き出して両端固定梁に直接トルクを加えることで、予備的に捩りモーメントの計測をすることもできる。 40

【0099】

図6A乃至図6Eは、本発明の一実施形態に係る構造体模型1における図4に示す有限 50

要素法解析結果及び図 5 A 或いは図 5 B に示す検定試験結果を表示したグラフである。これらの図は、構造体模型 1 の長手方向の各分割部分 (SS = 2、3、5、5、7、8) の捩りモーメントと歪の関係を示し、縦軸に歪 (10E - 6)、横軸に捩りモーメント (kgf - m) を表示する。また、実線が有限要素法解析の結果、ひし形のプロットが検定試験等の結果である。図示するように、各分割部分の有限要素法解析の結果と検定試験等の結果とに大きな誤差もなく、略一致していることが確認できる。本実施形態においては、捩りモーメントの有限要素法解析は必須条件であるが、一方で当該有限要素法解析結果の捩りモーメントが波浪中水槽試験において計測されるかどうかの保証は一切ない。したがって、水槽試験実施前に検定試験を行い、有限要素法解析結果の信頼性を確認することは非常に重要となってくる。これにより、捩りモーメント用歪ゲージの貼り付け位置の最適性や各校正係数の正確性が裏付けられることとなる。

【0100】

このように、有限要素法解析結果から校正係数を求めることが可能であるため、別途係数を求める作業が不要となる。このような構造体模型に貼付した歪ゲージにより組んだホイートストンブリッジからの出力は高精度であり、校正係数に基づいて導出した荷重は構造設計において非常に有効な情報となる。したがって、歪ゲージで組んだホイートストンブリッジの出力について有限要素法解析の結果から求めた校正係数によって見直すことで、構造体模型に働く荷重として高精度の値を得、これをもとに実船に働く荷重が割り出されるので、より精度の高い船舶設計が可能となる。また、有限要素法解析は所定のパラメータ入力により行うことができる。さらに、歪ゲージは従来のもを使い、ホイートストンブリッジ回路の構築も容易である。したがって、各歪ゲージと検出手段を繋ぐだけで所定の処理を自動で行うため、捩りモーメントの計測は容易である。

【0101】

以下に、上述した構成に係る構造体模型 1 について行った波浪中水槽試験での曲げ及び捩りモーメントの計測方法及びその結果について詳細に説明する。なお、これらの試験の条件は、縦曲げモーメントに関する試験 (図 8 A) については、構造体模型 1 の正面前方から波を発生させた状態、横曲げモーメントに関する試験 (図 8 B) については、構造体模型 1 の斜め前方 (角度を 150° とする) から波を発生させた状態、捩りモーメントに関する試験 (図 9 A ~ F) については、構造体模型 1 の斜め後方 (角度を 45° とする) から波を発生させた状態とする。波の条件は、縦曲げモーメントに関する試験では、波長船長比 (波長を船長で除した値) を 1、出会い波周期を約 0.9 秒、横曲げモーメントに関する試験では、波長船長比を 0.9、出会い波周期を約 1.0 秒、捩りモーメントに関する試験では、波長船長比を 0.5、出会い波周期を約 2.2 s の条件とする。

【0102】

図 7 は、本発明の一実施形態に係る構造体模型 1 にかかる曲げ及び捩りモーメントの計測方法 (計測の流れ) の具体的ステップを示すフローチャートである。同図に示す計測方法を実現するために、図 3 B に示す各歪ゲージから出力される信号を増幅し電圧量に変換するための動歪アンプ、当該電圧量をデジタル信号に変換するための A/D 変換器を有し、上述した有限要素法解析により導出した各校正係数を乗じる計算処理、或いはその他の情報処理を行う図示しないコンピュータ機器 (たとえば、パーソナルコンピュータ等を含む。) にて計測システムを構築することが好ましい。

【0103】

当該システムにおいて、構造体模型 1 に貼り付ける各歪ゲージ (60 a、60 b、60 c、60 d、60 e、60 f、60 g、60 h、60 i、60 g、60 k、60 l) をセンサとして、当該構造体模型 1 で波浪中水槽試験を行うことで縦曲げ、横曲げ (水平方向に曲げる力)、捩り等の波浪中外力が加わり、図 3 B に示す固定軸 50 a、50 b、50 c を介してバックボーン 40 a、40 b に荷重がかかるため、当該各歪ゲージは当該バックボーン 40 a、40 b の弾性変形に応じて変形する (ステップ SP10)。各歪ゲージが変形するため、各ホイートストンブリッジに発生した電位差を測定し、歪量に換算する (ステップ SP20)。換算された歪量を各歪ゲージから出力される信号として、動歪ア

ンプにより当該信号を入力して増幅させ（ステップSP30）、電圧量に変換したものを出力する（ステップSP40）。こうして出力された電圧量をアナログ信号としてA/D変換器に入力し（ステップSP50）、当該A/D変換器によりデジタル信号に変換したものを出力とし、当該出力された電圧を電子データとして図示しない記憶媒体に収録する（ステップSP60）。当該収録された電圧に対して、動歪アンプのレンジ（単位：電圧/歪）を除算する処理を行い（ステップSP70）、歪を算出する（ステップSP80）。他方で、構造体模型1について有限要素法解析（図4に示す有限要素法解析を含む。）を行い（ステップSP90）、当該有限要素法解析により各校正係数を導出する（ステップSP100）。ステップSP80で算出した歪に当該各校正係数を乗算する処理を行うことで、縦曲げ、横曲げ及び捩りのモーメントを計測することができる（ステップSP110）。なお、以下にステップSP110で求まる各モーメントの数式を示す。

【0104】

$$\text{縦曲げモーメント} : M_v = C_1 (\quad 2 + \quad 4 - \quad 1 - \quad 3)$$

$$\text{横曲げモーメント} : M_h = C_2 (\quad 5 + \quad 6 - \quad 7 - \quad 8)$$

$$\text{捩りモーメント} : M_t = C_3 (\quad 9 + \quad 12 - \quad 10 - \quad 11)$$

【0105】

ここで、1は歪ゲージ60aで得られる応力、2は歪ゲージ60bで得られる応力、3は歪ゲージ60cで得られる応力、4は歪ゲージ60dで得られる応力、5は歪ゲージ60eで得られる応力、6は歪ゲージ60fで得られる応力、7は歪ゲージ60gで得られる応力、8は歪ゲージ60hで得られる応力、9は歪ゲージ60iで得られる応力、10は歪ゲージ60jで得られる応力、11は歪ゲージ60kで得られる応力、12は歪ゲージ60lで得られる応力を、それぞれ示す。また、C1、C2、C3は、バックボーン40a、40bの形状、寸法、材質或いは間隔等で決まる定数である。

【0106】

図8Aは、本発明の一実施形態に係る構造体模型1の波浪中水槽試験において、図1乃至図3Aに図示する矢印Tの部分に関して縦曲げ弾性振動の計測結果のグラフである。当該矢印Tの部分は、長手方向において構造体模型1の略中心であり、曲げモーメントによる荷重が最も加わる部分であると想定される。同図の(a)は矢印Tの部分にかかる縦曲げモーメントの波形（縦軸：縦曲げモーメント(kgf-m)、横軸：時間(sec)）を示し、(b)は縦曲げを起こそうとする出会波高の波形（縦軸：波高(cm)、横軸：時間(sec)）を示す。図示されるように、出会波の成分に弾性振動成分が重畳し、出会波高の1つの波形毎に縦曲げによる振動が連続(5、6回)して発生していることが確認できる。これは、サギングのピーク時に縦曲げモーメントにより構造体模型1の外郭に振動が発生し、次の波の衝突により同じような周期で振動することを示すものと理解できる。したがって、固定治具50a、50b、50cにより形成される両端固定梁により出会波から受ける荷重をバックボーン40a、40bに精度良く伝達し、当該バックボーン40a、40bに貼り付けた縦曲げモーメント用歪ゲージにより正確な歪量を検出することができたことを裏付けている。このようにして、矢印Tの部分について信頼性の高い縦曲げ弾性振動を計測することができた。弾性振動は1回毎に船舶の外郭に疲労が重なり、亀裂や挫屈の原因となる。したがって、本試験により、繰り返し応力の算出等を行い疲労強度の安全性の向上を図っている。

【0107】

図8Bは、本発明の一実施形態に係る構造体模型1の波浪中水槽試験において、図1乃至図3Aに図示する矢印Tの部分に関する横曲げ弾性振動の計測結果を示すグラフである。同図の(a)は矢印Tの部分にかかる横曲げモーメントの波形（縦軸：横曲げモーメント(kgf-m)、横軸：時間(s)）を示し、(b)は横曲げを起こそうとする出会波高の波形（縦軸：波高(cm)、横軸：時間(s)）を示す。同図においては、上述した図6Aに係る縦曲げ弾性振動の計測結果と同様の原理が適用されると理解できる。

【0108】

10

20

30

40

50

図9 A乃至図9 Eは、本発明の一実施形態に係る構造体模型1の各分割部分における捩りモーメントの計測結果を示すグラフである。これらの図は、構造体模型1の長手方向の各分割部分（ $SS = 2, 3, 5, 5, 7, 8$ ）の捩りモーメント波形を示し、縦軸に捩りモーメント（ $kgf \cdot m$ ）、横軸に時間（ sec ）を表示する。図示されるように、各分割部分には捩りモーメントが周期的に加わっており、離散した値による波形の乱れはほとんどない。これは、固定治具50 a、50 b、50 cにより形成される両端固定梁により出会波から受ける荷重をバックボーン40 a、40 bに精度良く伝達し、当該バックボーン40 a、40 bに貼り付けた捩りモーメント用歪ゲージにより正確な歪量を検出し、少量の捩りモーメントを計測することができたことを裏付けている。

【0109】

図9 Fは、本発明の一実施形態に係る構造体模型1の各分割部分における同時刻の捩りモーメント分布図を示す。同図には、縦軸に捩りモーメント（ $kgf \cdot m$ ）、横軸に構造体模型1の長手方向の分割部分（最左端が船尾部、最右端が船首部）、凡例として、0.2秒毎に異なるプロットの形状を示す。また同図は、図9 A乃至図9 Eの捩りモーメントの計測結果から作成している。図示するように、いずれの時刻においても、各分割部分にかかる捩りモーメントを繋ぐことで、一連の曲線を描くことができる。すなわち、貼り付けた捩りモーメント用歪ゲージに何かしらの原因により損傷があったり、模型船とバックボーンとの接続の不具合により、一部分だけに突発的な応力が生じたりすることもなく、各分割部分を形成する両端固定梁により、捩りの荷重が正確に伝達され、捩りモーメントを精度良く検出していることが確認される。また、捩りモーメントの分布が滑らかな曲線で得られていることから、バックボーンにより連続した構造体を形成することによって捩りモーメントによる変形状態を正確に再現できていることが分かる。なお、矢印Tの部分は、図1乃図3 Aから示す矢印Tの部分と同じである。

【0110】

以上詳細に説明したように、本実施形態によれば、1組の梁で構造体模型全体の剛性を持たせるため、構造体実物に近い変形状態及び振動特性（たとえば、固有周波数、減衰率等）を再現することができる。したがって、ホイートストンブリッジによる電位差の測定精度も向上し、信頼性の高い捩りモーメントを計測することができる。また、従来のロードセルによる場合と比べて信頼性の高い捩りモーメントの計測がより廉価で実現される。また、ロードセルと比べバックボーンは小型かつ軽量であるため、その他の積載物（喫水調整用ウェイト、計測機器等）の設置スペース及び重量の制約が少なくなる。このことは特に小型の模型において利点となる。総じて、信頼性の高い構造設計が可能となり、構造体の疲労亀裂、座屈等の損傷を最小限に食い止めることができる。

【0111】

また、本実施形態によれば、捩りモーメント計測装置において、歪ゲージを適切な箇所に貼付することで、捩りモーメントの計測に加えてさらに縦曲げモーメントの計測を行うことができる。したがって、捩りモーメントに加えて縦曲げモーメントを考慮することにより、構造設計をよりの確化させることができ、より信頼性が高い構造体の構築が可能となる。

【0112】

また、本実施形態によれば、捩りモーメント計測装置において、定格の捩りモーメント検定試験の作用点まで固定手段を延長することで、外郭から加えるトルク等を精度よく歪ゲージを貼付したバックボーンに伝達することができる。したがって、検定試験の正確性を向上し、有限要素法解析の結果の信頼性を向上させることができる。

【0113】

また、本実施形態によれば、捩りモーメント計測方法及び捩りモーメント計測装置において、船舶の構造体模型とすることができる。すなわち、波浪中外力としては出会波等の影響で縦曲げ、横曲げ、捩りが随時発生するため、船舶において活用できれば、船舶の損傷を未然に防ぐことができる。

【0114】

10

20

30

40

50

なお、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施することが可能である。

【0115】

また、上述した実施例は、本発明に係る技術思想を具現化するための実施形態の一例を示したにすぎないものであり、他の実施形態でも本発明に係る技術思想を適用することが可能である。

【産業上の利用可能性】

【0116】

本発明に係る構造体模型の捩りモーメント計測方法および捩りモーメント計測装置は、一般的に海洋での使用に限らず、河川、湖水等あらゆる水系で利用される船舶や浮体で使用することが可能である。

【0117】

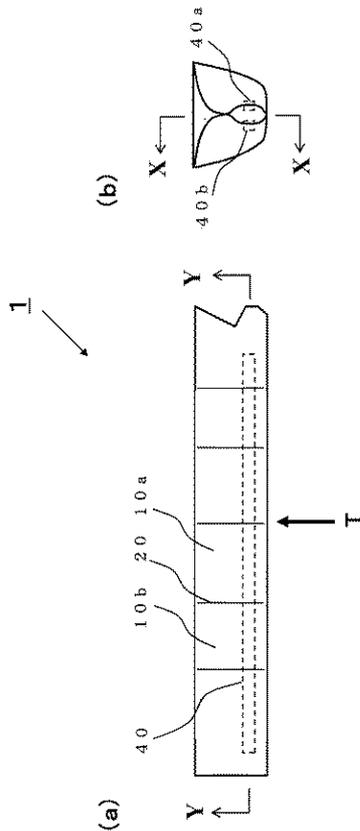
また、本願に係る技術思想は、その本質から、船舶に限らず、たとえば自動車、鉄道、航空機等の乗物、ビル、家屋、橋等の建造物その他全ての建造物において利用することができ、特に限定はない。したがって、実際の組立や建設前の構造設計段階において外郭や梁等の安全性や耐久構造の信頼性等を向上させる面及び省スペース、軽量化面や経済性の観点に照らし、船舶、建設、土木、宇宙等の各産業分野をはじめとして、広く社会全般に対して大きな有益性をもたらすものである。

【符号の説明】

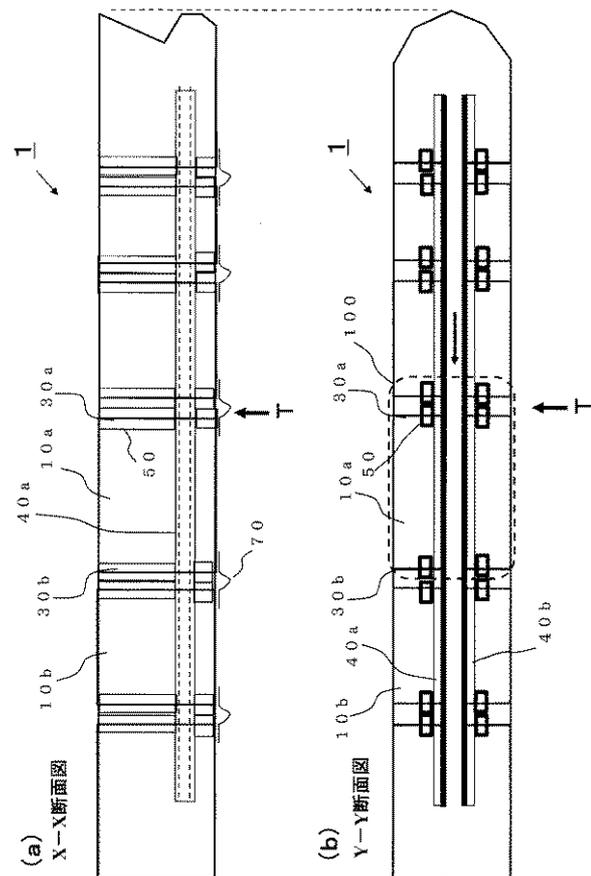
【0118】

- 1 構造体模型、40a、40b バックボーン、50a、50b、50c 固定治具、60i、60j、60k、60l 捩りモーメント検出用歪ゲージ

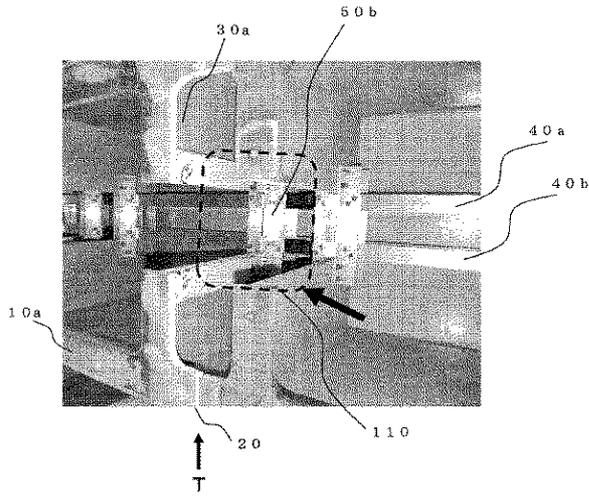
【図1】



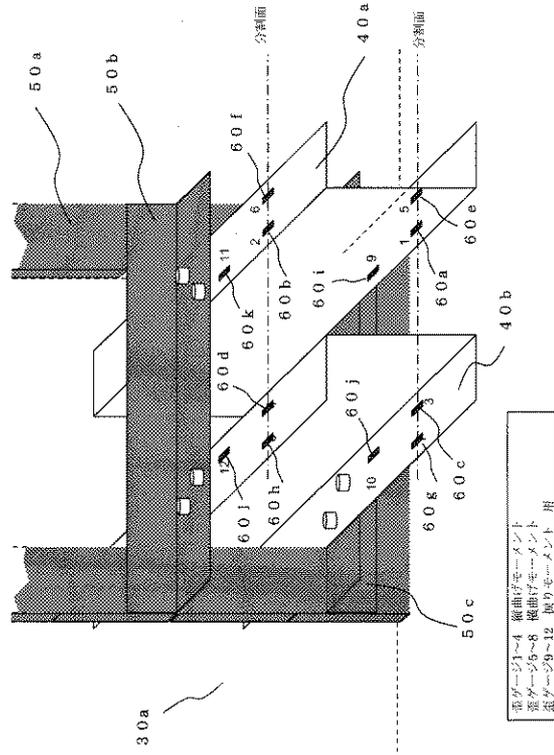
【図2】



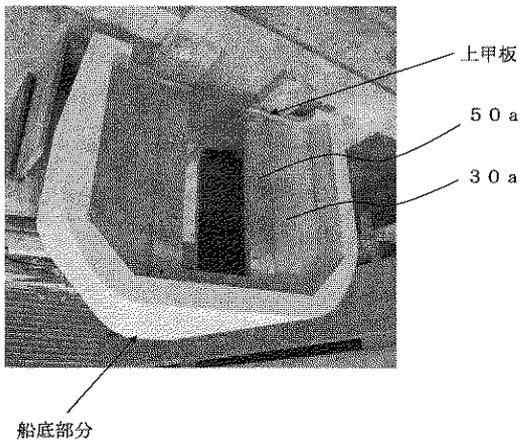
【図 3 A】



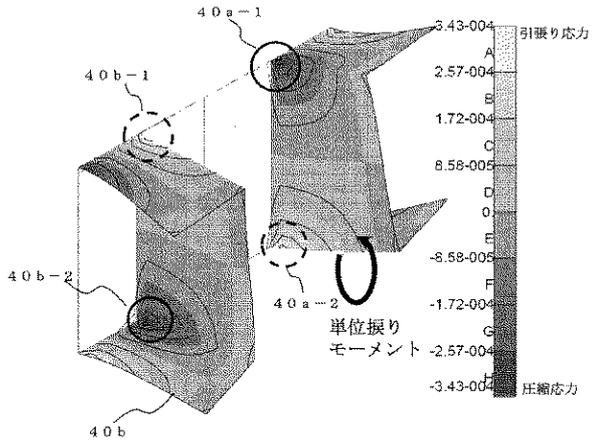
【図 3 B】



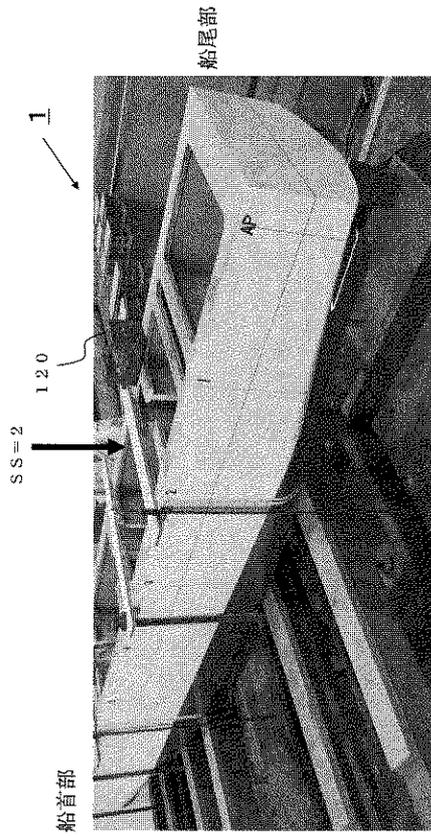
【図 3 C】



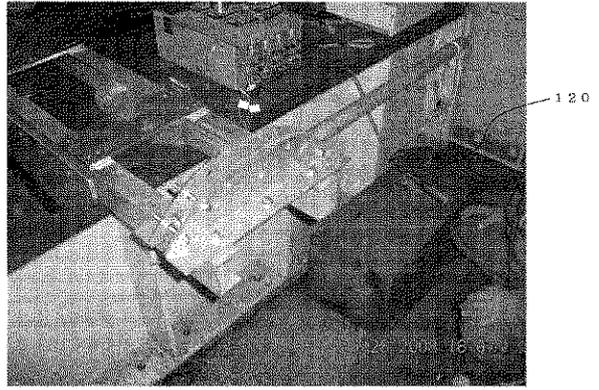
【図 4】



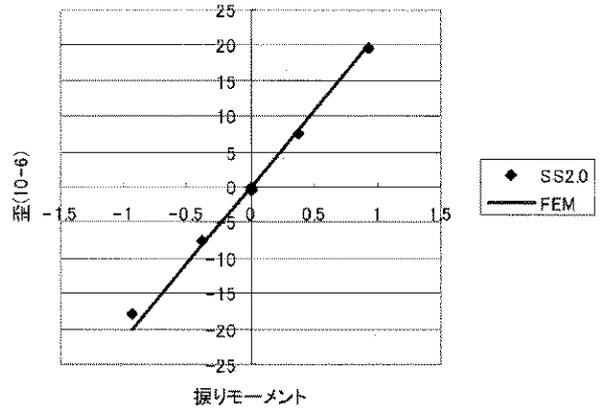
【図 5 A】



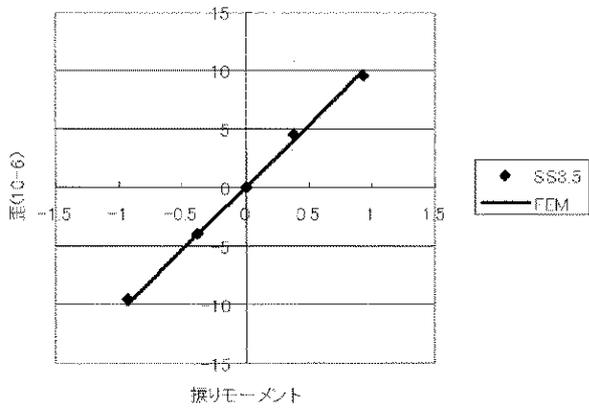
【図 5 B】



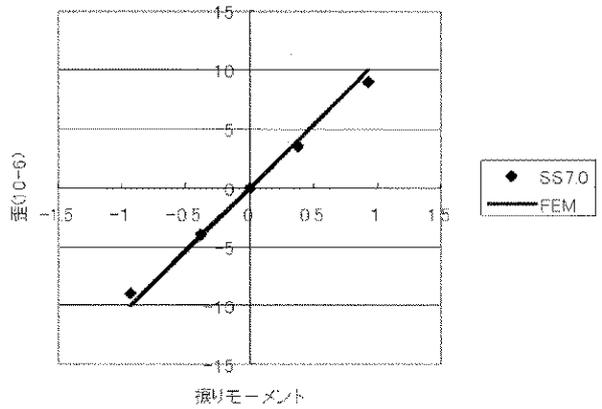
【図 6 A】



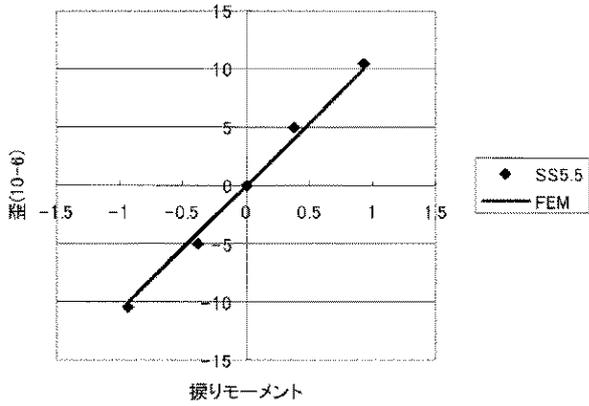
【図 6 B】



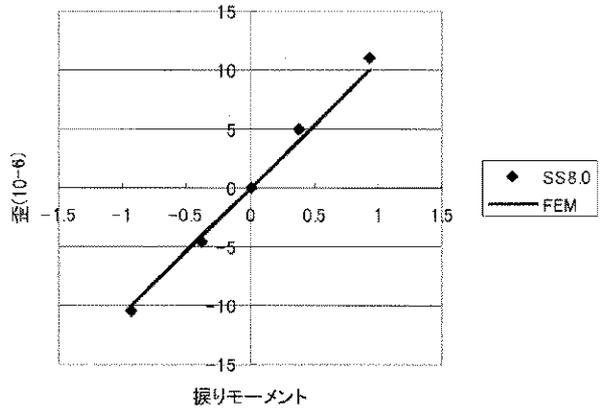
【図 6 D】



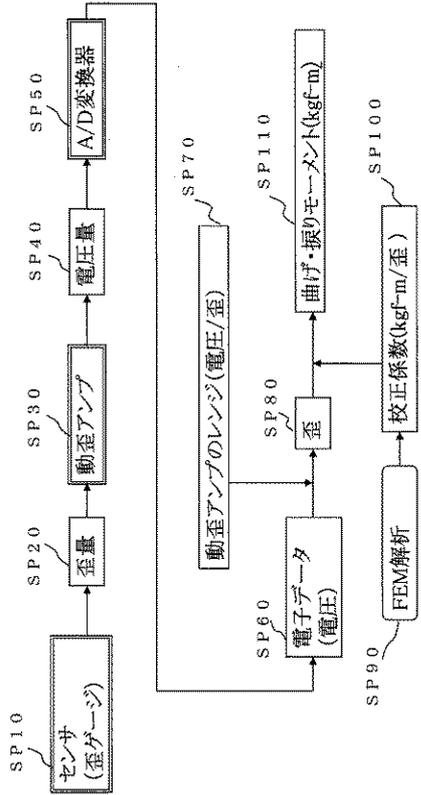
【図 6 C】



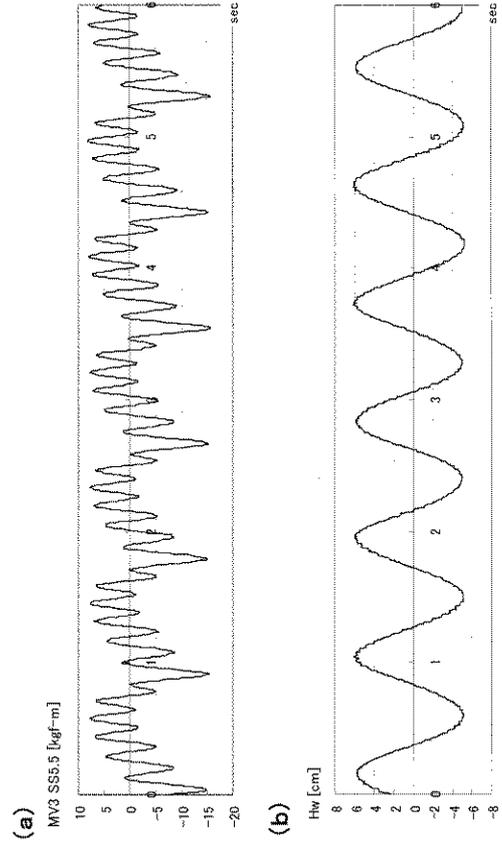
【図 6 E】



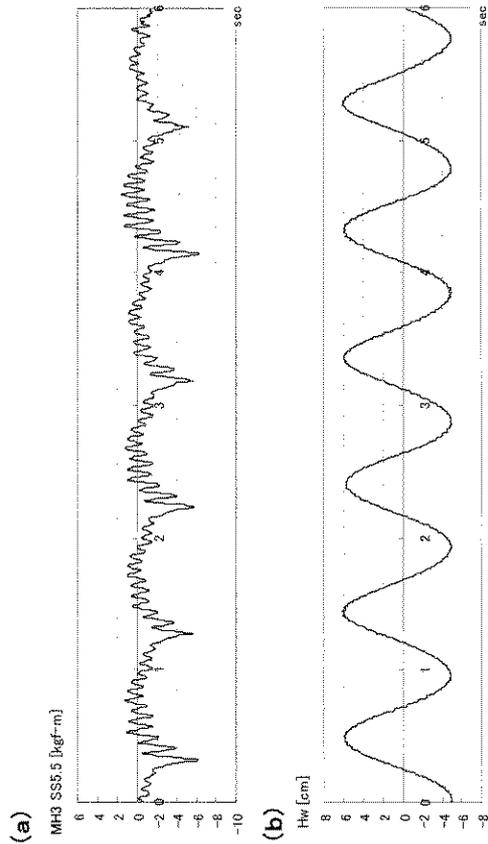
【図7】



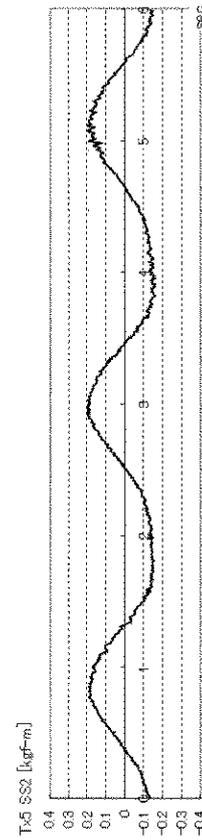
【図8A】



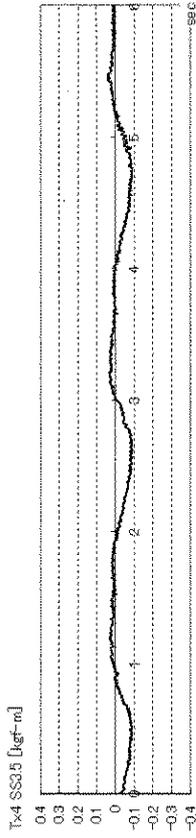
【図8B】



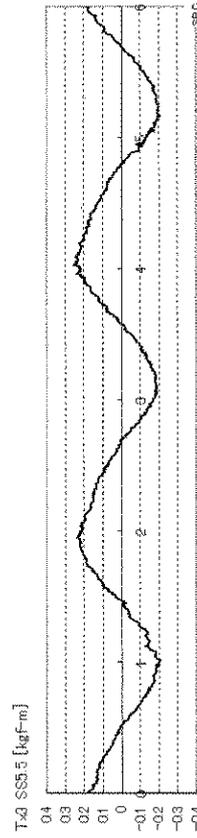
【図9A】



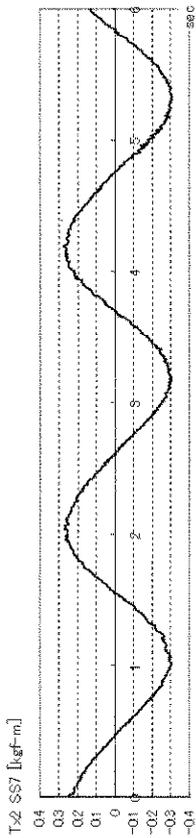
【 9 B】



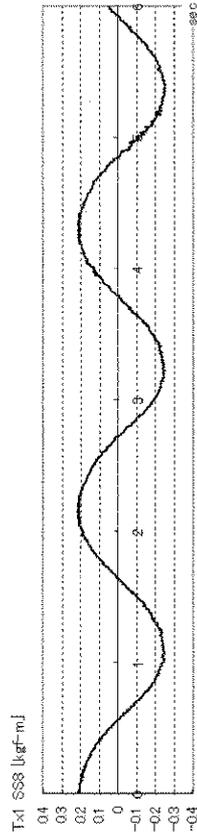
【 9 C】



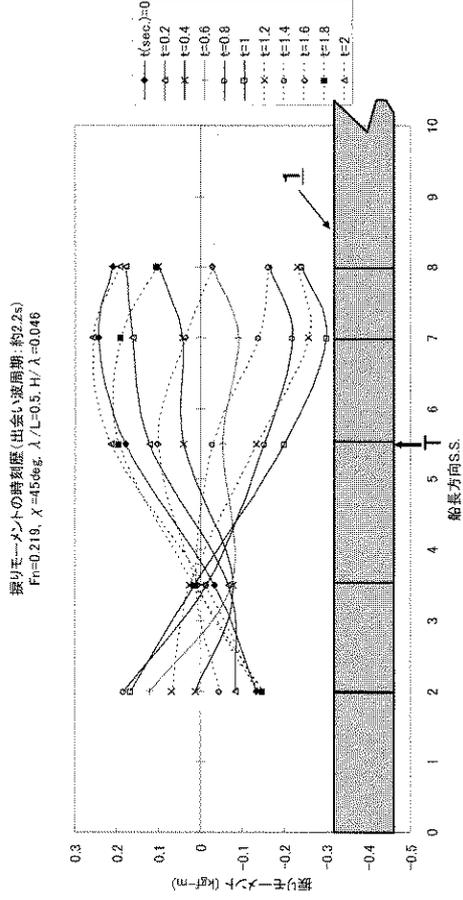
【 9 D】



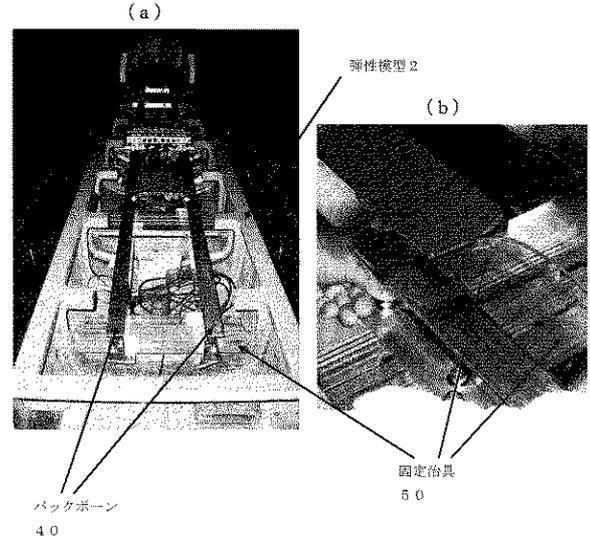
【 9 E】



【図 9 F】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平08 - 338775 (JP, A)
特開平06 - 066676 (JP, A)
特開平03 - 082930 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 1 L 3 / 1 0