

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02012/144641

発行日 平成26年7月28日(2014. 7. 28)

(43) 国際公開日 平成24年10月26日(2012. 10. 26)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
B 6 3 B 25/16 (2006.01)	B 6 3 B 25/16 E	3 E 0 7 0
B 6 3 B 35/44 (2006.01)	B 6 3 B 25/16 1 O 3	
B 6 5 D 90/52 (2006.01)	B 6 3 B 35/44 Z	
	B 6 5 D 90/52	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 24 頁)

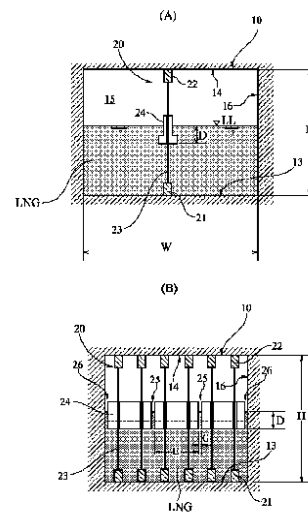
出願番号	特願2013-511080 (P2013-511080)	(71) 出願人	504182255 国立大学法人横浜国立大学 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号
(21) 国際出願番号	PCT/JP2012/060798	(74) 代理人	100094835 弁理士 島添 芳彦
(22) 国際出願日	平成24年4月21日(2012. 4. 21)	(72) 発明者	荒井 誠 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
(31) 優先権主張番号	特願2011-95785 (P2011-95785)	Fターム(参考)	3E070 AA02 AA09 AB01 AB32 BG06 DA02 NA01
(32) 優先日	平成23年4月22日(2011. 4. 22)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スロッシング防止装置及びスロッシング防止方法

(57) 【要約】

スロッシング防止装置(20)は、液体貨物運搬船又は浮体式海洋設備(1)のメムブレ式液体格納タンク(10)内にスロッシング現象が発生するのを簡易又は簡素な構造又は構成で防止する。スロッシング防止装置は、運搬船又は海洋設備の船体縦方向又は横方向に直列に配置された複数の浮体(24)と、浮体に作用する水平外力に抗して浮体を支承し且つ浮体を上下方向に案内する鉛直支柱(23)とを有する。浮体は、適切な喫水量(D)を確保するための重量を有する。浮体は、タンク内の自由液面(LL)に浮遊して液面及び液面近傍の液体を分割し、液体振動の固有周波数を高周波数域の側にシフトさせる。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

液体貨物運搬船又は浮体式海洋設備のメンブレン式液体格納タンクに設けられ、該タンク内にスロッシング現象が発生するのを防止するスロッシング防止装置において、

前記運搬船又は海洋設備の船体縦方向又は横方向に直列に配置された複数の浮体と、

前記浮体に作用する水平外力に抗して該浮体を支承するとともに、前記浮体を上下方向に案内する複数の鉛直支柱とを有し、

前記浮体は、喫水状態で前記タンク内の自由液面に浮遊する重量を有し、該浮体は、前記タンク内の自由液面に浮遊して該液面及び液面下の液体を分割するとともに、前記浮体の下側領域において該浮体の両側の液体を連続せしめることを特徴とするスロッシング防止装置。

10

【請求項 2】

前記浮体は、互いに間隔を隔てて配置され、隣接する浮体同士の間、液体が流動可能な間隙が形成されるとともに、前記浮体と前記タンクの内壁面との間に、液体が流動可能な間隙が形成されることを特徴とする請求項 1 に記載のスロッシング防止装置。

【請求項 3】

前記浮体の喫水量をタンク全高 $H \times 0.1$ 以上の寸法に設定し、或いは、前記浮体の下部からタンク底面までの距離をタンク全高 $H \times 0.5$ の液位において液位 $h \times 0.80$ 以下の寸法に設定したことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のスロッシング防止装置。

【請求項 4】

前記支柱は前記浮体を貫通しており、該支柱の上端部及び下端部を支持する上下の基部が前記タンクの天井面及び底面に固定され、前記基部は、前記浮体が前記天井面又は底面に衝突するのを阻止するとともに、前記支柱の鉛直支点間距離をタンク内領域の高さよりも小さい距離に減縮することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止装置。

20

【請求項 5】

前記自由液面は、船体縦方向に配列した前記浮体によって船体横方向に均等に分割され、各々の浮体は、船体縦方向に間隔を隔てた複数の前記鉛直支柱によって支承され且つ案内されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止装置。

30

【請求項 6】

前記自由液面は、実質的に平行な複数列に並列配置した前記浮体によって分割され、各浮体は、船体縦方向に間隔を隔てた複数の前記鉛直支柱によって上下動可能に支持されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止装置。

【請求項 7】

前記浮体は、水平面及び鉛直面から構成される中空多面体からなり、浮力を確保するための内部中空域を有することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止装置。

【請求項 8】

前記浮体は、前記自由液面又は自由液面近傍の液体を分割するように鉛直方向に延びる仕切り部分と、液体振動を減衰するように前記仕切り部分から側方に延びる側方突出部分とを有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止装置。

40

【請求項 9】

前記浮体は、該浮体の喫水量を調節する浮力調整手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止装置。

【請求項 10】

前記浮力調整手段は、前記浮体の内部中空域にタンク内領域の液体を流入させる浮力低減手段、或いは、前記浮体の重量を調節する浮体重量調節手段を有することを特徴とする請求項 9 に記載のスロッシング防止装置。

50

【請求項 1 1】

鉛直切断面によって切断された前記タンクの断面は、四角形であることを特徴とする請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止装置。

【請求項 1 2】

液体貨物運搬船又は浮体式海洋設備のメンブレン式液体格納タンク内に発生するスロッシング現象を防止するスロッシング防止方法において、

水平外力に対して支承され且つ液位変動に応答して上下動する複数の浮体を前記運搬船又は海洋設備の船体縦方向又は横方向に直列に配置し、

前記浮体を前記タンク内の自由液面に喫水状態で浮遊させて該液面及び液面下の液体を分割するとともに、前記浮体の下側領域において該浮体の両側の液体を連続せしめ、これにより、前記タンク内に生じる液体振動の固有周波数を高周波数域の側にシフトさせてスロッシング現象の発生を防止することを特徴とするスロッシング防止方法。

10

【請求項 1 3】

前記タンクの天井面及び底面に支持された複数の鉛直支柱をタンク内に配列し、該支柱によって、前記浮体に作用する水平外力に抗して該浮体を支承するとともに、前記浮体を上下方向に案内することを特徴とする請求項 1 2 に記載のスロッシング防止方法。

【請求項 1 4】

互いに間隔を隔てて前記浮体を配置し、隣接する浮体同士の間、液体が流動可能な間隙を形成するとともに、前記浮体と前記タンクの内壁面との間に、液体が流動可能な間隙を形成することを特徴とする請求項 1 2 又は 1 3 に記載のスロッシング防止方法。

20

【請求項 1 5】

前記浮体の喫水量をタンク全高 $H \times 0.1$ 以上の寸法に設定し、或いは、前記浮体の下部からタンク底面までの距離をタンク全高 $H \times 0.5$ の液位において液位 $h \times 0.80$ 以下の寸法に設定することを特徴とする 1 1 乃至 1 4 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止方法。

【請求項 1 6】

前記タンクの天井面及び底面に支柱支持用の基部を固定し、前記支柱の上端部及び下端部を前記基部に固定し、前記浮体が前記天井面又は底面に衝突するのを前記基部によって阻止するとともに、前記基部によって前記支柱の鉛直支点間距離をタンク内領域の高さよりも小さい距離に減縮することを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止方法。

30

【請求項 1 7】

前記浮体の上昇を阻止する上側基部の下面と、前記タンクの天井面との間の寸法をタンク全高 $H \times 0.3$ 以下の範囲内に設定することを特徴とする請求項 1 6 に記載のスロッシング防止方法。

【請求項 1 8】

船首尾方向に整列配置した前記浮体によって前記自由液面を船体幅方向に均等に分割することを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 7 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止方法。

【請求項 1 9】

実質的に平行な複数列に並列配置した前記浮体によって前記自由液面を分割することを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 8 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止方法。

40

【請求項 2 0】

鉛直方向に延びる前記浮体の仕切り部分によって前記自由液面及び自由液面近傍の液体を分割するとともに、前記仕切り部分から側方に延びる側方突出部分によって、液体振動を減衰させることを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 9 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止方法。

【請求項 2 1】

前記浮体の内部中空域にタンク内領域の液体を流入せしめ、或いは、前記浮体の重量を調節して前記浮体の喫水量を調整することを特徴とする請求項 1 2 乃至 2 0 のいずれか 1 項に記載のスロッシング防止方法。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スロッシング防止装置及びスロッシング防止方法に関するものであり、より詳細には、液体貨物運搬船又は浮体式海洋設備のメンブレン式液体格納タンク内にスロッシング現象が発生するのを防止するメンブレン式液体格納タンクのスロッシング防止装置及びスロッシング防止方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

液化天然ガスを長距離海上輸送する液化天然ガス運搬船（以下、「LNG船」という。）が知られている。天然ガスを極低温（-162℃）で液化せしめた液相の天然ガス（即ち、液化天然ガス）は、気相の天然ガスと比べて大きく減容するので、輸送効率上極めて有利である。LNG船は、このような極低温（-162℃）に耐える特殊なタンク構造のLNG格納タンクを有する。従来のLNG格納タンクの方式として、球形タンク方式、角形メンブレン方式、角形SPB方式等が知られているが、現状では、球形タンク方式及び角形メンブレン方式のLNG格納タンクが主流である。

【0003】

球形タンク方式のLNG格納タンクは、構造強度的に有利であるが、容積効率の悪化故に船体が大型化する傾向がある。これに対し、メンブレン方式のLNG格納タンクは、同等の積載量であれば球形タンク方式に比べて船体の小型化を可能にするので、建造コストや、航路選択の自由度等の点で有利である。このため、液化天然ガスの需要及び輸送量の増大に伴うLNG格納タンクの大型化傾向と相まって、メンブレン方式のLNG格納タンクがLNG船の設計において採用される傾向が近年殊に顕著である。

【0004】

メンブレン方式のLNG格納タンクの弱点として、半載状態においてタンク内の液体に発生するスロッシング現象が知られている。スロッシング現象は、タンク内に格納された液体貨物等が、タンクの運動により加振され、激しく動揺する現象である。スロッシング現象は、タンクの内壁に作用する過大な液体衝撃圧力、タンク支持構造に対する変動荷重、船体運動への影響、液体貨物の飛散等の問題を生じさせる。他方、固定式プラットフォームに代わる天然ガス生産設備として、LNG-FPSOシステム（Floating Production, Storage and Offloading system: 浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備）等のFLNG（Floating LNG）施設が近年注目されている。FPSOは、坑井からの天然ガスを洋上にて受入れ、分離・前処理した後に液化し、LNGとして貯蔵・出荷する。FPSOの浮体は洋上に位置固定されるために、通常の船舶のように荒天時の退避行動をとることができず、しかも、LNGの生産過程、輸送船へのLNG移送過程等において、LNG格納タンクの半載状態が必ず発生する。このため、メンブレン方式のLNG格納タンクを備えたFPSO方式の浮体においては、スロッシング現象の発生が殊に懸念される。

【0005】

特開2009-18608号公報（特許文献1）には、球形独立式タンクとメンブレン式タンクの双方を備えたLNG船が記載されている。特表2011-505298号公報（特許文献2）には、メンブレン方式のLNG格納タンクを備えた大型LNG船に関し、LNG格納タンクを隔壁（バルクヘッド）によって分割するスロッシング防止技術が記載されている。特許文献1に記載されたLNG船は、球形独立式タンク内の液化天然ガスをメンブレン式タンクに適宜移送してメンブレン式タンク内を常に満載状態に維持し、これにより、メンブレン式タンクにおけるスロッシングの発生を防止しようとしたものである。特許文献2に記載されたLNG格納タンクは、隔壁によってタンク内領域を完全に分割し、分割に伴うタンク内領域の容積低減によってスロッシング現象の発生を防止しようとしたものである。

【0006】

また、このようなスロッシング現象は、バラストタンク内のバラスト水においても発生する。バラスト水のスロッシング現象を防止する技術として、浮揚式隔壁によりバラスト

10

20

30

40

50

タンク内のバラスト水自由液面を分割し、隔壁の各側に位置する自由液面の面積を縮小するように構成されたスロッシング防止装置が、実公昭53-44237号公報（特許文献3）に記載されている。また、実開昭53-1792号公報（特許文献4）には、多数の平板状浮揚体をバラスト水自由液面に浮揚させ、自由液面の面積を大きく減縮するように構成されたスロッシング防止装置が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2009-18608号公報

【特許文献2】特表2011-505298号公報

【特許文献3】実公昭53-44237号公報

【特許文献4】実開昭53-1792号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1に記載されたLNG船は、メンブレン式タンク内の液量が減少したときに球形独立式タンク内の液体をメンブレン式タンク内に適宜補給し、これにより、メンブレン式タンクの満載状態を常に維持するようにした構成のものである。このため、特許文献1のLNG船では、異種方式のタンクを常時併用しなければならず、しかも、球形独立式タンクとメンブレン式タンクとの間で液化天然ガスを移送する流体移送設備等が船体に設けられるので、LNG船の構造が全体的に複雑化する。

【0009】

特許文献2に記載されたスロッシング防止装置は、メンブレン式タンク内の領域を隔壁によって完全に分割した構成のものであるが、メンブレン式タンクの内面は、厚さ1mm以下の薄い合金によって形成されているので、高さ25～40m程度にも達する自立又は直立隔壁の構造的安定性、強度及び耐力、隔壁とタンク内面との接合構造、更には、隔壁を支持する堅固な支持構造等を考慮すると、このような隔壁によってメンブレン式タンクを分割することは、建造コスト上の不利、船体構造の複雑化、船体の設計・建造の困難性等を伴う。

【0010】

特許文献3に記載された浮揚式隔壁は、隔壁を案内し且つ保持する案内・保持用の鋼材をバラストタンクの壁面に固定するとともに、隔壁によってバラスト水の自由液面を分割し、これにより、隔壁の各側に位置する自由液面の面積を縮小する構成を有する。この構成は、バラストタンクのスロッシング防止に関するものである。しかし、厚さ1mm以下の薄い合金によって形成されたメンブレン式タンクの内面は、このような隔壁を支持する強度を保有せず、このような鋼材をタンク内面に取付けることは極めて困難である。また、隔壁は、両端をタンク内壁に上下動可能に支持され、バラストタンクの全長又は全幅に亘って延在しており、このため、大容量の大型タンク内においては隔壁の水平支点間距離（全長）が増大するので、隔壁の強度・耐力を確保することが困難である。更に、スロッシング発生時には、自由液面の液面レベル差が隔壁の長手方向にも若干発生するので、隔壁の高さは、このような液面レベル差以上の寸法に設計しなければならない。また、このような液面レベル差は、隔壁を全体的に傾斜させるので、案内・保持用鋼材が隔壁を傾斜姿勢で拘束又は係止してしまい、この結果、隔壁の自由な上下動が妨げられる状態が生じ易い。

【0011】

特許文献4に記載されたスロッシング防止手段は、多数の板状浮揚体によってバラスト水自由液面の挙動を全体的に押え込む構成のものであるので、多数の浮揚体を上下動可能に支持する多数のガイド部材をタンク内に設置する必要が生じる。この構成は、バラストタンクのスロッシング防止に関しては適用し得るかもしれないが、液化天然ガスを輸送するメンブレン式タンクにおいては、タンク内面は、前述のとおり厚さ1mm以下の薄い合金

10

20

30

40

50

によって形成されているので、このような多数のガイド部材及びその支持構造をタンク内に設置し難い。また、特許文献４に記載されたスロッシング防止手段は、自由水面の面積を縮小するにすぎず、水面下の水の挙動又は振動を直接的に規制し又は制御することはできない。

【００１２】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、メンブレン式液体格納タンク内に貯留した液体のスロッシング現象を効果的に防止する簡易又は簡素な構造のスロッシング防止装置を提供することにある。

【００１３】

本発明は又、メンブレン式液体格納タンク内に貯留した液体のスロッシング現象を簡易又は簡素な構成により効果的に防止することができるスロッシング防止方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１４】

本発明は、上記目的を達成すべく、液体貨物運搬船又は浮体式海洋設備のメンブレン式液体格納タンクに設けられ、該タンク内にスロッシング現象が発生するのを防止するスロッシング防止装置において、

前記運搬船又は海洋設備の船体縦方向又は横方向に直列に配置された複数の浮体と、

前記浮体に作用する水平外力に抗して該浮体を支承するとともに、前記浮体を上下方向に案内する複数の鉛直支柱とを有し、

前記浮体は、予め設定された喫水量（液面から測定した喫水寸法又は没水量を意味し、以下、本明細書及び請求の範囲において「喫水量」という。）を保有した状態で前記タンク内の自由液面に浮遊する重量を有し、該浮体は、前記タンク内の自由液面に浮遊して該液面及び液面下の液体を分割するとともに、前記浮体の下側領域において該浮体の両側の液体を連続せしめることを特徴とするスロッシング防止装置を提供する。

【００１５】

本発明は又、液体貨物運搬船又は浮体式海洋設備のメンブレン式液体格納タンク内に発生するスロッシング現象を防止するスロッシング防止方法において、

水平外力に対して支承され且つ液位変動に応答して上下動する複数の浮体を前記運搬船又は海洋設備の船体縦方向又は横方向に直列に配置し、

予め設定された喫水量を確保した前記浮体を前記タンク内の自由液面に浮遊させて該液面及び液面下の液体を分割するとともに、前記浮体の下側領域において該浮体の両側の液体を連続せしめ、これにより、前記タンク内に生じる液体振動の固有周波数を高周波数域の側にシフトさせてスロッシング現象の発生を防止することを特徴とするスロッシング防止方法を提供する。

【００１６】

本発明の上記構成によれば、タンク内に貯留された液体は、液面と、液面近傍の液体のみが浮体によって分割され、タンク内の液体は、浮体の下側領域において全体的に連続する。各々の浮体は、液面の上下動に応答して独立に上下動する。タンク内の液体振動は浮体の上下動により減衰するとともに、液体振動の固有周波数は自由液面の分割により高周波数域の側にシフトする。本発明によれば、このような固有周波数のシフトにより、海洋波浪及び船体運動とタンク内の液体振動との同調を防止し、スロッシング発生を未然に防止し又は抑制することができる。また、浮体は、タンク内領域をＵ字管形態に分割するが、本発明者の研究によれば、有害なＵ字管振動は発生しない。なお、浮体列は、船体の横揺れ（ローリング）によるスロッシングを防止する場合、船体縦方向（船体前後方向、船体長手方向又はローリング軸線方向）に配列され、船体の縦揺れ（ピッチング）によるスロッシングを防止する場合、船体横方向（左右舷方向、船体幅方向又はピッチング軸線方向）に配列される。

【００１７】

このような自由液面の分割および液面下の液体の分割により得られるスロッシング防止

10

20

30

40

50

効果は、タンク内の液体全体を隔壁（バルクヘッド）によって完全に分割した場合に得られるスロッシング防止効果と実質的に同一又は同等であることが本発明者の研究により判明した。即ち、本発明によれば、タンク内の液体を隔壁によって全体的に分割することなく、浮体列をタンク内に浮遊させれば良く、従って、自立又は直立隔壁の構造的安定性、強度及び耐力、隔壁とタンク内面との接合構造、更には、隔壁を支持する堅固な支持構造等の問題を考慮することなく、スロッシング防止機構をタンク内に配設することができる。また、本発明は、スロッシング防止を意図した異種方式タンクの併用や、タンク間の液化天然ガスの移送等を要しない。更に、本発明においては、浮体は、自由液面の挙動を広域に亘って押え込む必要はなく、浮体列によって自由液面及びその近傍の液体を分割すれば良い。かくして、本発明によれば、簡易又は簡素な構造のスロッシング防止機構によりメンブレン式液体格納タンクのスロッシング発生を効果的に防止することができる。

10

【 0 0 1 8 】

また、本発明によれば、複数の浮体により液面を分割すれば良いので、浮体の水平支点間距離が大幅に短縮する。このため、浮体の強度を比較的容易に確保することができる。加えて、浮体列の方向に浮体列に沿って生じる自由液面の液面レベル差は、浮体同士の高低差によって概ね吸収し得るので、浮体の高さ寸法を縮小することができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 9 】

本発明のスロッシング防止装置によれば、メンブレン式液体格納タンク内に貯留した液体のスロッシング現象を簡易又は簡素な構造により効果的に防止することができる。

20

【 0 0 2 0 】

本発明のスロッシング防止方法によれば、メンブレン式液体格納タンク内に貯留した液体のスロッシング現象を簡易又は簡素な構成により効果的に防止することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 1 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の実施形態に係るスロッシング防止装置を備えた L N G 船の全体構成を概略的に示す縦断面図である。

【 図 2 】 図 2 (A) は、図 1 の I - I 線における L N G 格納タンクの断面図であり、図 2 (B) は、L N G 格納タンクに適用される積みつけ制限の概要を示す断面図である。

【 図 3 】 図 3 は、スロッシング防止装置を備え且つ四角形断面を有する L N G 格納タンクの構成を概念的に示す平面図及び部分拡大平面図である。

30

【 図 4 】 図 4 (A) は、図 3 の II - II 線における断面図であり、図 4 (B) は、図 3 の III - III 線における断面図である。

【 図 5 】 図 5 は、浮体の構造及び断面形状を例示する概略断面図である。

【 図 6 】 図 6 は、左右舷方向（船体横方向）の揺れを生じさせる波の加振周波数と、L N G 格納タンク内に発生する横揺角 1 度当たりの最大波振幅との関係を示す線図であり、L N G 格納タンク内の液位比を 6 3 % に仮定した条件で求められた数値解析結果が図 6 に示されている。

【 図 7 】 図 7 は、左右舷方向の揺れを生じさせる波の加振周波数と、L N G 格納タンク内に発生する横揺角 1 度当たりの最大波振幅との関係を示す線図であり、L N G 格納タンク内の液化天然ガスの液位比を 3 0 % に仮定した条件で求められた数値解析結果が図 7 に示されている。

40

【 図 8 】 図 8 は、L N G 格納タンク内の液体運動の一次固有周波数と、タンク内液位との関係を示す線図である。

【 図 9 】 図 9 は、浮体による液面の分割の形態を例示する断面図である。

【 図 1 0 】 図 1 0 は、自由液面数の相違と関連した固有周波数のシフトを示す線図である。

【 図 1 1 】 図 1 1 は、図 9 (A) に示す浮体のスロッシング防止効果を説明するための線図である。

【 図 1 2 】 図 1 2 は、横揺れ中心の高さと最大波振幅との関係を示す線図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0022】

好ましくは、浮体は、互いに間隔を隔てて配置され、隣接する浮体同士の間には、液体が流動可能な間隙が形成される。浮体とタンクの内壁面との間にも又、液体が流動可能な間隙が形成される。これらの間隙を流動する液体の運動は、タンク内の液体振動を減衰するように働くので、液体振動の減衰効果が更に得られ、従って、スロッシング発生を更に効果的に防止することができる。

【0023】

好適には、浮体は、少なくともタンク全高 $H \times 0.05$ 以上の喫水量を有し、好ましくは、浮体の喫水量は、タンク全高 $H \times 0.1$ 以上の寸法に設定され、或いは、浮体の下部からタンク底面までの距離は、タンク全高 $H \times 0.5$ の液位において、液位 $h \times 0.80$ 以下の寸法に設定される。例えば、 $H \times 0.3 \sim H \times 0.7$ の範囲（或いは、 $H \times 0.4 \sim 0.6$ の範囲）の液位において、浮体の下部からタンク底面までの距離は、液位 $h \times 0.80$ 以下の寸法に設定され、浮体の喫水量は、液位 $h \times 0.20$ 以上の寸法に設定される。

【0024】

本発明の好ましい実施形態によれば、鉛直支柱は浮体を貫通する。タンクの天井面及び底面には、支柱の上端部及び下端部を支持する上下の基部が固定される。基部は、浮体の上下動範囲を規制し、浮体がタンクの天井面又は底面に衝突するのを阻止する。基部は又、支柱の鉛直支点間距離をタンク内領域の高さよりも小さい距離に短縮し、支柱の強度及び剛性を向上する。好ましくは、浮体の上昇を阻止する上側基部の下面と、タンク天井面との間の寸法は、タンク全高 $H \times 0.3$ 以下の範囲内の値に設定される。更に好ましくは、浮体の降下を阻止する下側基部の上面と、タンク底面との間の寸法は、タンク全高 $H \times 0.1$ 以下の範囲内の値に設定される。

【0025】

好ましくは、液体の自由液面は、船首尾方向（船体縦方向）に配列した浮体によって船体幅方向（船体横方向）に均等に分割される。各浮体は、船首尾方向に間隔を隔てた複数の鉛直支柱によって上下動可能に支持される。例えば、浮体は、船首尾方向に延びるタンクの中心軸線上に整列配置され、或いは、実質的に平行な複数列に並列配置される。

【0026】

本発明の好ましい実施形態において、浮体は、水平面及び鉛直面から構成される中空多面体からなる。浮力を確保するための内部中空域が浮体内部に形成される。好適には、浮体は、鉛直方向に延びる仕切り部分と、仕切り部分から側方に延びる側方突出部分とを有する。仕切り部分は、自由液面又は自由液面近傍の液体を分割する。側方突出部分は、液体振動を減衰させるとともに、浮体自身の上下運動を抑制するように機能する。

【0027】

所望により、浮体は、該浮体の喫水量を調節する浮力調整手段を有する。好ましくは、浮力調整手段は、浮体の内部中空域にタンク内領域の液体を流入させる浮力低減手段、或いは、前記浮体の重量を調節する浮体重量調節手段を有する。タンク内液位と関連して喫水量を可変制御可能な浮力制御手段を浮体に設けることも可能である。

【0028】

本発明の或る好ましい実施形態において、鉛直切断面によって切断されたタンクの断面は、四角形である。四角形断面のタンクは、スロッシング防止の観点より、八角形断面のタンクに比べて不利であることから、従来は、容積効率が劣る八角形断面のタンクが一般に採用されてきた。しかし、上記構成のスロッシング防止機構を四角形断面のタンクにおいて採用することにより、スロッシング防止機能を向上し且つ容積効率を向上することができる。

【0029】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。

【0030】

図 1 は、L N G 船（液化天然ガス運搬船）の全体構成を概略的に示す縦断面図である。

【 0 0 3 1 】

図 1 には、本発明の実施形態に係るスロッシング防止装置 2 0 を備えた L N G 船が示されている。L N G 船 1 は、船首部 2、タンク区画域 3、機関室 4 及び船尾部 5 を有する。機関室 4 の上方には、居住区 6 及び操舵室 7 が配置される。タンク区画域 3 は、左右舷方向（船体幅方向）に延びる隔壁 8 によって区画されており、各区画には、スロッシング防止装置 2 0 を備えたメンブレン方式の L N G 格納タンク 1 0 が配設される。なお、図 1 に示す L N G 船 1 を洋上の L N G - F P S O として把握しても良い。この場合、L N G 船 1 は、海面 W L 上の位置を固定した状態に係留される。

【 0 0 3 2 】

図 2（A）は、図 1 の I - I 線における L N G 格納タンク 1 0 の断面図である。図 2（A）には、船体が仮想線（一点鎖線）で示されている。

【 0 0 3 3 】

L N G 格納タンク 1 0（以下、「タンク 1 0」という。）は、船体内部に取付けられた防熱材 1 1 の表面（タンク内面）を厚さ 1 mm 以下の金属薄膜（メンブレン）1 2 で完全に被覆した構造を有する。左右舷方向の鉛直切断面（I - I 線）によって切断されたタンク 1 0 の断面は、八角形である。防熱材 1 1 として、発泡パーライト入り合板製ボックス、或いは、ポリウレタン・インシュレーション等が一般に使用される。金属薄膜 1 2 として、厚さ 0 . 7 mm 程度のインバー材（3 6 % ニッケル鋼）、或いは、S U S 3 0 4 1 メンブレン等が一般に使用される。タンク 1 0 は、3 0 ~ 4 0 m の幅を有する大型のメンブレン型 L N G 格納タンクを構成する。

【 0 0 3 4 】

図 2（B）は、このようなメンブレン型 L N G 格納タンクに適用される積みつけ制限を示す断面図である。

【 0 0 3 5 】

タンク 1 0 内には、液化天然ガス（L N G）を収容可能な L N G 収容域 1 5 が形成され、液化天然ガスの自由液面 L L は、空間的には、L N G 収容域 1 5 のタンク全高 H の範囲内において任意に設定可能である。しかし、L N G 収容域 1 5 内の液体（液化天然ガス）にスロッシング現象が発生すると、金属薄膜 1 2 に激しく衝突する液体によって極めて高い液圧が金属薄膜 1 2 に作用し、この結果、タンク 1 0 の構造体が過大な液圧の作用で破壊する虞がある。例えば、多数の木製保冷ボックスからなる防熱材 1 1 がスロッシング発生時の液圧により潰れ、金属薄膜 1 2 が破断した事例が過去に発生している。金属薄膜 1 2 の破断又は損傷により極低温の液化天然ガスが船外に漏出した場合、液化天然ガスは一気に気化し、火災事故等の原因となり得るので、このような事態は、未然に回避すべき必要がある。

【 0 0 3 6 】

このような事情より、メンブレン型 L N G 格納タンクの積みつけ制限が船級協会規則等において規定されており、液面 L L は、高さ h 1 又は h 3 の範囲 k 1、k 3 に限定され、高さ h 2 の範囲内（範囲 k 2）に液面 L L が位置するような半載状態は、許容されていない。船級協会規則等の規定は、規則改定等により将来的に変更される可能性もあるが、現行の船級協会規則等において規定された積みつけ条件によれば、高さ h 1 は、タンク全高 $H \times 0.1$ であり、高さ h 1 + h 2 は、タンク全高 $H \times 0.7$ である。即ち、メンブレン型 L N G 格納タンクの積みつけ可能な高さ範囲は、タンク全高 $H \times 0.7$ 以上の範囲 k 3、或いは、タンク全高 $H \times 0.1$ 以下の範囲 k 1 に制限される。しかし、洋上の L N G - F P S O では、高さ h 2 の範囲内（即ち、タンク全高 $H \times 0.1 \sim 0.7$ の範囲 k 2）に液面 L L が位置する半載状態が生産過程又は移送過程において必ず生じる。また、大型 L N G 船においては、2 港積み等の要求、即ち、複数の港で液化天然ガスを荷積みしながら多量の液化天然ガスを長距離海上輸送する輸送形態が望まれており、そのような輸送形態では、高さ h 2 の範囲 k 2 内に液面 L L が位置する半載状態が過渡的に生じ得る。しかし、このような半載状態に伴うスロッシング発生の懸念より、L N G - F P S O の生産過程

10

20

30

40

50

又は移送過程において生じる L N G 半載状態は、許容し難く、また、L N G 半載状態が生じ得る 2 港積み等の L N G 船の輸送形態は、上記積みつけ制限により許可されていない。

【 0 0 3 7 】

本例の L N G 船 1 は、このような半載時のスロッシング発生を防止するスロッシング防止装置 2 0 を備える。スロッシングは、一種の振動現象であり、タンク 1 0 を動揺させる海洋波浪の振動周波数（加振周波数）と、タンク 1 0 内の液体運動（液化天然ガスの振動）の固有周波数とが一致し、これらの振動が互いに同調することにより発生する。また、船体自体の横揺れ運動固有周波数とタンク 1 0 内の液体運動の固有周波数とが一致することにより、同様の同調現象が生じるので、このような同調についても、注意を要する。タンク 1 0 のスロッシング防止装置 2 0 は、このような振動の同調を阻止するように機能する。

10

【 0 0 3 8 】

図 2（A）に示すように、スロッシング防止装置 2 0 は、上下一対の基部 2 1、2 2 と、基部 2 1、2 2 の間において鉛直方向に延びる鉛直支柱 2 3 と、上下動可能に鉛直支柱 2 3 に支持された浮体 2 4 とから構成される。下側に位置する基部 2 1 は、タンク底面 1 3 上に立設され、上側に位置する基部 2 2 は、タンク天井面 1 4 から垂下する。鉛直支柱 2 3 は、浮体 2 4 を上下方向に案内するガイド手段を構成する。上下の基部 2 1、2 2 は、浮体 2 4 の上下動範囲を制限するストッパ又は上下動規制手段を構成する。基部 2 1、2 2 は、浮体 2 4 がタンク底面 1 3 又はタンク天井面 1 4 に衝突するのを防止するとともに、鉛直支柱 2 3 の上端部及び下端部をタンク底面 1 3 及びタンク天井面 1 4 に堅固に固定する高剛性の支柱支持体として機能する。鉛直支柱 2 3 の支点間距離 j_2 は、基部 2 1、2 2 の高さ寸法 j_1 、 j_3 の設定により定まり、鉛直支柱 2 3 の剛性及び強度は支点間距離 j_2 と直接的に関連する。スロッシング発生時には、比較的大きな液圧が水平外力として各浮体 2 4 に作用し、従って、比較的大きな水平荷重が鉛直支柱 2 3 に作用するが、基部 2 1、2 2 の高さ寸法 j_1 、 j_3 の増大により、支点間距離 j_2 を短縮して、鉛直支柱 2 3 の剛性及び強度を向上することができる。

20

【 0 0 3 9 】

高さ寸法 j_1 は、最降下位置の浮体 2 4 の下部又は下面からタンク底面 1 3 までの距離と実質的に同一であり、高さ寸法 j_3 は、最上昇位置の浮体 2 4 の上部又は上面からタンク天井面 1 4 までの距離と実質的に同一である。高さ寸法 $j_1 \sim j_3$ は、高さ $h_1 \sim h_3$ 、範囲 $k_1 \sim k_3$ に対応する。例えば、高さ寸法 $j_1 \sim j_3$ は、高さ $h_1 \sim h_3$ と実質的に同一の値に設定される。所望により、 $j_1 = h_1$ 、 $j_3 = h_3$ に設定され、浮体 2 4 の十分な上下動範囲が確保される。

30

【 0 0 4 0 】

図 3 は、タンク 1 0 の構成を概念的に示す平面図及び部分拡大平面図であり、図 4 は、図 3 の II - II 線及び III - III 線における断面図である。但し、タンク 1 0 は、四角形（矩形）断面（II - II 線断面）を有する。

【 0 0 4 1 】

一般に、L N G 格納タンクは、図 2 に示す如く、底部領域及び頂部領域の幅が漸減する八角形断面に設計される。これは、主にスロッシング防止を考慮した断面形状である。他方、図 3 及び図 4 に示すタンク 1 0 においては、左右舷方向の鉛直切断面（II - II 線）によって切断された L N G 格納タンクの断面は、四角形である。即ち、スロッシング防止装置 2 0 のスロッシング防止効果を考慮すれば、L N G 格納タンクの断面として必ずしも八角形断面の設計を採用することなく、四角形断面を採用することができる。同等の高さ及び幅を有するタンクを設計する場合、四角形断面のタンクは、八角形断面のタンクと比べて容積効率を向上する上で有利である。

40

【 0 0 4 2 】

図 3 及び図 4 に示すように、各タンク 1 0 には、複数（本例では 3 体）の浮体 2 4 が互いに間隔を隔てて船首尾方向（船体縦方向）に直列に配置される。液面 L L は、浮体 2 4 によって左右舷方向に分割される。隣接する浮体 2 4 の間には、液化天然ガスが流動可能

50

な間隙又は隙間 2 5 が形成される。浮体 2 4 とタンク内壁面 1 6 との間にも又、液化天然ガスが流動可能な間隙又は隙間 2 6 が形成される。例えば、隙間 2 5、2 6 の幅 G と浮体 2 4 の全長 E の比は、 $G/E = 1/100 \sim 1/10$ の範囲内に設定される。

【0043】

鉛直支柱 2 3 は、船体前後方向又は船体長手方向（船体縦方向）に延びるタンク 1 0 の中心軸線 X - X 上に整列配置され、各浮体 2 4 は、浮体 2 4 を貫通する複数の鉛直支柱 2 3（本例では一对の鉛直支柱 2 3）によって上下動可能に支持される。各浮体 2 4 は、気密・液密構造の金属製中空体からなり、浮体 2 4 自身に作用する浮力によって液面 LL に常時浮遊する。浮体 2 4 の喫水量 D は、浮体 2 4 の自重及び浮力によって定まる。適切な浮体 2 4 の喫水量 D を確保し難い場合には、例えば、浮力調節のための液体導入手段として浮体底部に孔又は開口を形成し、浮体 2 4 内への液体（液化天然ガス）の浸入を可能にするような構造を採用し、或いは、比較的高比重の液体又は固体等を浮体 2 4 内に付加的に収容しても良い。

10

【0044】

図 5 は、浮体 2 4 の構造を概略的に示す断面図及び斜視図である。図 5（A）及び図 5（B）には、図 2～図 4 に示す逆 T 字形断面の浮体 2 4 が示されており、図 5（C）には、側方突出部を備えない I 形断面の浮体 2 4 が示されている。また、図 5（D）には、十字形断面の浮体 2 4 が示されており、図 5（E）には、逆 T 字形断面の変形例に係る浮体 2 4 が示されている。更に、図 5（F）には、逆 T 字形浮体の下面両側縁に左右一对の垂下突出部 2 9 を配設してなる逆 Y 字形断面の浮体 2 4 が示されている。

20

【0045】

図 5（A）及び図 5（B）に示す浮体 2 4 は、下部が側方に張り出した逆 T 字形の断面を有する。浮体 2 4 は、複数の鞘管 2 8 を備える。鞘管 2 8 は、角形断面を有し、浮体 2 4 を上下方向に貫通する。鉛直支柱 2 3 が、各鞘管 2 8 に挿通される。鉛直支柱 2 3 は、例えば、外形寸法 80 cm × 40 cm、板厚 5 cm のステンレス鋼の角形金属管からなる。このような金属管は、鉛直支柱 2 3 の機能を確保する上で十分な構造的強度を発揮することが、簡易な構造設計において確認された。但し、浮体 2 4 の液体振動減衰効果を考慮した場合、更に詳細な液体運動シミュレーションを行うことにより、鉛直支柱 2 3 の断面寸法を縮小し得るものと考えられる。鞘管 2 8 は、鉛直支柱 2 3 の外形と相似する矩形断面を有し、鉛直支柱 2 3 の外面と鞘管 2 8 の内面との間には、所定のクリアランスが確保される。複数の鉛直支柱 2 3 は、浮体 2 4 の姿勢を維持した状態で浮体 2 4 の上下動を案内する。図 5（A）及び図 5（B）に示す浮体 2 4 の変形例として、図 5（F）に示す逆 Y 字形断面の浮体 2 4 が挙げられる。突起 2 9 は、浮体 2 4 の下面近傍の流体の流れを乱すように作用する。

30

【0046】

図 5（C）に示す浮体 2 4 は、内部中空域 2 7 を有する断面矩形の箱形状又は筐体形状の中空パネル部材からなり、側方突出部分を備えない。このような断面形状の浮体 2 4 は液面 LL 及び液面近傍の液体を分割し、スロッシング発生を有効に防止する。

【0047】

図 5（A）、図 5（D）及び図 5（E）に示す如く、波無し形状として知られた断面形状、即ち、上下揺れ波強制力を受け難い断面形状を採用することにより、スロッシング発生時の浮体 2 4 の上下動を抑制し、浮体 2 4 のスロッシング防止効果を更に向上することができる。

40

【0048】

波無し形状としては、図 5（A）、図 5（D）及び図 5（E）に示すもの以外にも、浮体底部の断面形状を丸く湾曲させた形態のものや、浮体底部を三角形状にした形態のものなどが想定されるが、図 5（A）、図 5（D）及び図 5（E）に示すように側方突出部分を有する浮体 2 4 は、液体運動を減衰させる減衰効果を発揮するので、スロッシングを防止する上で有利である。

【0049】

50

スロッシング防止効果を要する液体振動の周波数は、タンク 10 の形状・寸法や、タンク 10 の支持構造等の構造的特性、船体又は浮体式海洋設備の運動特性、或いは、運行海域の波浪特性等により異なる。このため、浮体 24 の各部寸法を一義的に定めることはできない。因みに、冬季の北大西洋において幅 $W = 40 \text{ m}$ 、タンク全高 $H = 40 \text{ m}$ のタンク 10 を有する F P S O に関して横揺れに伴うスロッシング現象を防止する場合、タンク 10 内の液体振動が周波数 0.15 Hz 以上のものであるという条件において、ほぼ全ての液位 h で浮体自体の上下動が少なく、しかも、スロッシング防止効果を発揮する浮体寸法を求めると、図 5 (A) 及び図 5 (D) に示す断面形状の浮体 24 では、例えば、 $T = 8 \text{ m}$ 、 $T1 = 4.8 \text{ m}$ 、 $B = 3.3 \text{ m}$ 、 $B1 = 7 \text{ m}$ であり、図 5 (E) に示す断面形状の浮体 24 では、例えば、 $T = 8 \text{ m}$ 、 $T1 = 4.8 \text{ m}$ 、 $T2 = 1.6 \text{ m}$ 、 $B = 3.3 \text{ m}$ 、 $B1 = 7.6 \text{ m}$ 、 $B2 = 2 \text{ m}$ であった。但し、これら各部寸法の組合せは、あくまで例示であり、同等のスロッシング防止性能を発揮する他のパラメータの組合せも当然に想定されることはいうまでもない。また、浮体 24 の断面形状についても、下辺を開口した長方形断面(逆凹形断面、略 Π 字形断面)、逆 Y 字形断面、X 字形断面等の各種形状を採用することも可能である。

【0050】

浮体 24 は、タンク 10 内の液体を全体的に分割するのではなく、液面 LL 及びその近傍の液体のみを分割するので、浮体 24 の両側の液体は、浮体 24 の下側領域において連続する。浮体 24 は、液面 LL の挙動に応答して上下動し、タンク 10 内の液体振動を抑制する。浮体 24 による液面 LL の分割により、液体運動の固有周波数が高周波数側にシフトする。これは、隔壁(バルクヘッド)によるタンク内領域の完全な分割と同等の効果をもたらす。浮体 24 は、タンク内領域を U 字管形態に分割するので、左右の液柱が交互に上昇する U 字管振動の発生が懸念されるが、後述するように、U 字管振動は比較的小さく、有害な U 字管振動は発生しない。

【0051】

図 6 及び図 7 は、横揺れ(船体ローリング)1 度を船体に与える波の加振周波数と、タンク 10 内に発生する横揺角 1 度当たりの最大波振幅 μ との関係を示す線図である。最大波振幅 μ は、静止水平液面に対する振動時の液面縁部上昇量(最大値)である。加振周波数と最大波振幅 μ との関係は、幅 $W = 40 \text{ m}$ 、タンク全高 $H = 40 \text{ m}$ の L N G 格納タンクに関する数値解析結果である。図 6 は、L N G 格納タンク内の液化天然ガスの液位比 h/H を 63% (従って、 $h = \text{約 } 25 \text{ m}$) に設定した場合に得られた数値解析結果を示す線図であり、図 7 は、L N G 格納タンクの液化天然ガスの液位比 h/H を 30% (従って、 $h = 12 \text{ m}$) に設定した場合に得られた数値解析結果を示す線図である。横揺れ中心 C の位置は、タンク横断面の中心 ($X_c = 20 \text{ m}$ 、 $Z_c = 20 \text{ m}$) に設定された。

【0052】

図 6 及び図 7 には、冬季に北大西洋で発生する確率が高い海洋波浪の周波数が、加振周波数の周波数域 α として示されている。冬季の北大西洋において発生する海洋波浪は、概ね周波数域 α の周波数(約 $0.11 \sim 0.14 \text{ Hz}$ の周波数)を有する。また、図 6 及び図 7 には、L N G 船 1 の船体のローリング固有周波数が示されている。本例においては、船体のローリング固有周波数は、周波数域 α よりもかなり低い周波数域に顕れる。

【0053】

図 6 及び図 7 に示す数値解析結果は、幅 $W = 40 \text{ m}$ 、タンク全高 $H = 40 \text{ m}$ の断面を有する以下の 3 種類の L N G 格納タンクに関するものである。

- (1) スロッシング防止装置や隔壁を備えず、タンク内領域に内構材を全く備えていない L N G 格納タンク(比較例 1)
- (2) タンク内領域を左右に分割する隔壁をスロッシング防止装置 20 の位置(幅方向中央)に備えた L N G 格納タンク(比較例 2)
- (3) スロッシング防止装置 20 を備えた本発明のタンク 10(本実施例)

【0054】

内構材を全く備えない L N G 格納タンク(比較例 1)では、 $0.13 \sim 0.14 \text{ Hz}$ (

図 6)、或いは、約 0.12 Hz (図 7) の加振周波数において最大波振幅 μ が急激に増大し、この周波数は、周波数域 α の範囲内に顕れる。従って、比較例 1 の L N G 格納タンクは、海洋波浪に同調する同調点を周波数域 α に有するので、海洋波浪とタンク内の液体とが同調してスロッシングが発生する虞があると考えられる。

【 0 0 5 5 】

隔壁によってタンク内領域を分割した比較例 2 の L N G 格納タンクにおいては、 $0.20 \sim 0.21 \text{ Hz}$ (図 6)、或いは、約 0.20 Hz (図 7) の加振周波数において最大波振幅 μ が急激に増大する。この周波数は、周波数域 α よりもかなり高い周波数域に属する。即ち、隔壁によってタンク内領域を分割することにより、同調点が高周波数側に大きくシフトするので、海洋波浪とタンク内の液体との同調を防止し、スロッシング発生を未然に防止することができる。しかしながら、自立又は直立隔壁の構造的安定性、強度及び耐力、隔壁とタンク内面との接合構造、更には、隔壁を支持する堅固な支持構造等を考慮すると、隔壁によってメンブレン式タンクを分割することは、建造コスト上の不利、船体構造の複雑化、船体の設計・建造の困難性等の事情より、経済的又は実務的困難を伴う。

【 0 0 5 6 】

他方、スロッシング防止装置 20 を備えた本実施例のタンク 10 においては、比較例 2 と同じく、 $0.20 \sim 0.21 \text{ Hz}$ (図 6)、或いは、約 0.20 Hz (図 7) の加振周波数において最大波振幅 μ が急激に増大し、この周波数は、周波数域 α よりもかなり高い周波数域に属する。即ち、スロッシング防止装置 20 の浮体 24 によってタンク内の液面 L L 及びその近傍の液体のみを分割することにより、隔壁を備えた比較例 2 の L N G 格納タンクと同じく、同調点を高周波数側に大きくシフトし、従って、海洋波浪とタンク内の液体との同調を防止して、スロッシング発生を未然に防止することができる。

【 0 0 5 7 】

図 6 (下側の線図) には、液面 L L に対する浮体 24 の上下動と加振周波数との関係が示されている。 $0.20 \sim 0.21 \text{ Hz}$ の周波数域において生じる浮体 24 の上下動は、比較的小さい挙動であるにすぎない。また、図 6 には、 $0.14 \sim 0.15 \text{ Hz}$ の周波数域においても浮体 24 が上下動することが示されている。これは、浮体 24 自身の固有周波数がこの周波数域にあることに起因するにすぎず、この上下動も又、比較的小さい挙動である。

【 0 0 5 8 】

図 8 は、L N G 格納タンク内の液体運動の一次固有周波数 f_1 と、タンク内液位 h との関係性を求めた数値計算の計算結果を示す線図である。図 8 には、内構材を全く備えないタンク全高 $H = 40 \text{ m}$ の L N G 格納タンクに関し、タンクの幅 W を 40 m 、 20 m 、 15 m に変化させた場合に得られる一次固有周波数 f_1 とタンク内液位 h との関係が示されている。また、図 8 には、冬季に北大西洋で発生する確率が高い海洋波浪の周波数が前述の周波数域 α として示されている。図 8 において、液位 h 及びタンク幅 W が周波数域 α の領域に該当する場合、スロッシング現象が極めて発生し易い条件が成立すると考えられる。なお、一次固有周波数 f_1 は、図 8 に示すスロッシング固有周波数推定式より求められた。

【 0 0 5 9 】

図 8 に示す如く、幅 $W = 40 \text{ m}$ の L N G 格納タンクの一次固有周波数 f_1 は、液位 $h =$ 約 8 m を超えると周波数域 α に顕れる。即ち、幅 $W = 40 \text{ m}$ の L N G 格納タンクのスロッシング現象を確実に防止するには、液位 h を 8 m 以下に制限する必要があると考えられる。これに対し、幅 $W = 20 \text{ m}$ の L N G 格納タンクの一次固有周波数 f_1 は、液位 $h =$ 約 $2 \sim 3 \text{ m}$ において周波数域 α に顕れるが、液位 $h =$ 約 4 m 以上の状態では、周波数域 α よりも高い周波数域に顕れる。また、幅 $W = 15 \text{ m}$ の L N G 格納タンクの一次固有周波数 f_1 は、液位 $h =$ 約 2 m において周波数域 α に顕れるが、液位 $h =$ 約 3 m 以上の状態では、周波数域 α よりも高い周波数域に顕れる。即ち、幅 $W = 20 \text{ m}$ 又は 15 m (即ち、幅 20 m 以下) の L N G 格納タンク内の液体は海洋波浪と同調し難く、従って、スロッシング現象は、発生し難い。これは、幅 $W = 40 \text{ m}$ の L N G 格納タンクを幅 $W = 20 \text{ m}$ 以下の小区画に分割することにより、海洋波浪とタンク内の液体との同調を防止してスロッシング発生を

回避し得ることを意味する。なお、幅 $W = 20 \text{ m}$ の L N G 格納タンクでは、液位 $h =$ 約 $2 \sim 3 \text{ m}$ において周波数域 α に該当し、幅 $W = 15 \text{ m}$ の L N G 格納タンクでは、液位 $h =$ 約 2 m において周波数域 α に該当するが、このような液位は、従来より積みつけを許容された液位、即ち、L N G 格納タンクに損傷を生じさせるような過大な液圧がタンク内に発生しないタンク全高 $H \times 0.1$ 以下の積みつけ状態（図 2（B）に示す範囲 $k1$ ）であるにすぎない。

【0060】

即ち、図 8 から理解し得るように、隔壁によって L N G 収容域 15 を幅 20 m 以下の区画に完全に分割することにより、スロッシングを効果的に防止することができる。図 6 及び図 7 に示すとおり、液面 LL 及びその近傍の液体を浮体 24 によって分割することは、隔壁によって L N G 収容域 15 を完全に分割するのと同等のスロッシング防止作用を発揮する。従って、浮体 24 により液面 LL 及びその近傍の液体を 20 m 以下の区画に分割した本実施形態のタンク 10 によれば、隔壁による L N G 収容域 15 の分割と同じく、スロッシングを有効に防止することができる。また、隣接する浮体 24 の間に形成された間隙 25、26（図 3 及び図 4）は、間隙 25、26 を流通する液体の流れを乱し、液体振動を減衰させる作用を発揮するので、本実施形態のスロッシング防止装置 20 によれば、このような間隙 25、26 の形成によってスロッシング発生を更に効果的に防止することができる。しかも、液面 LL 及びその近傍の液体を浮体 24 によって分割する本実施形態の構成は、隔壁の設置に伴う構造上の不利等を伴わない。

【0061】

図 9 は、浮体 24 による液面 LL の分割の形態を例示するタンク 10 の断面図であり、図 10 は、自由液面数 N の相違と関連した固有周波数のシフトを示す線図である。なお、図 9 に示す液面上昇量 η は、静止水平液面に対する振動時の液面縁部上昇量であり、図 10 に示す最大波振幅 $\eta_{\max}$ は、船体の横揺角を 1 度に設定した条件で得られた液面上昇量 η の最大値である。

【0062】

図 9 には、幅 $W = 58 \text{ m}$ 、全高 $H = 40 \text{ m}$ のタンク 10 が示されている。図 9（A）には、液面 LL を単一列の浮体 24 によって均等分割した状態（ $N = 2$ ）が示されており、図 9（B）には、液面 LL を二列の浮体 24 によって均等分割した状態（ $N = 3$ ）が示されており、図 9（C）には、液面 LL を三列の浮体 24 によって均等分割した状態（ $N = 4$ ）が示されている。浮体 24 は、タンク 10 の中心軸線方向に整列配置されている。各浮体 24 は、内部中空域を有する断面矩形の箱形状又は筐体形状の中空パネルからなり、喫水量 $D = 14.2 \text{ m}$ 、幅 $B = 2 \text{ m}$ の各部寸法を有する。なお、液位は、高さ $h = 25.2 \text{ m}$ に設定され、横揺れ中心 C の位置は、タンク横断面の幅方向中心（ $X_c = 20 \text{ m}$ ）、高さ $Z_c = 10 \text{ m}$ の位置に設定された。

【0063】

図 10 に示されるように、自由液面数 N の増大に伴って、同調点が高周波数域の側にシフトする。従って、船体構造、タンク形状、液位等の条件に相応して浮体 24 の配置及び列数等を適切に設定することにより、同調点を所望の如く高周波数域の側にシフトさせることができる。

【0064】

図 11 は、幅 $W = 58 \text{ m}$ 、全高 $H = 40 \text{ m}$ のタンクに喫水量 $D = 5 \text{ m}$ 、幅 $B = 2 \text{ m}$ の断面矩形の箱形状浮体を設置した場合に得られるスロッシング防止効果を説明するための線図である。図 11（A）には、浮体 24 を備えないタンク 10 のタンク端部（液面縁部）に生じる時々刻々の液面上下位置の変化が示されており、図 11（B）には、浮体 24 を備えたタンク 10 のタンク端部に生じる時々刻々の液面上下位置の変化が示されている。各図に示す液面上下位置は、有義波高 5.95 m 、波の平均周期 10.1 秒の不規則な波が船体に作用した状態に生じる液面上下位置の数値解析結果である。

【0065】

図 11（A）に示すように、浮体 24 を備えないタンク 10 においては、スロッシング

により、液面上下位置 $\eta = 1.5 \text{ m}$ 以上の液体振動が発生し、タンク 10 内の液体がタンク天井面 14 に衝突する現象が発生する。これに対し、浮体 24 を備えたタンク 10 においては、浮体 24 がスロッシングを効果的に防止するので、そのような過大な液体振動は、図 11 (B) に示すように発生しない。

【0066】

図 12 は、横揺れ中心 C の高さ Z_c の変化と、前述した最大波振幅 $\eta_{\max}$ との関係を示す線図である。

【0067】

横揺れ中心 C の高さ Z_c を幅方向中心位置 ($X_c = W/2$) において $Z_c = 2.0 \text{ m}$ 、 1.0 m 、 0.5 m に設定変更した場合、横揺れ中心 C を下方に設定変更するにつれて、 0.20 Hz 近傍の最大波振幅 $\eta_{\max}$ が大きく増大する。他方、 0.10 Hz 近傍においても、横揺れ中心 C を下方に設定変更するにつれて、最大波振幅 $\eta_{\max}$ が増大する現象が発生する。この現象は、浮体 24 によってタンク内領域が U 字管形態に変形したことにより U 字管振動が発生したことに起因すると考えられる。このような U 字管振動は、比較的長時間に亘って同一又は同等条件の加振を持続することによって発生する現象であるので、U 字管振動が発生する可能性は比較的低い。仮に U 字管振動が発生したとしても、図 12 に示されるように、 0.10 Hz 近傍の周波数域において生じる振動は比較的小さく、従って、浮体 24 を設けることによって、有害な U 字管振動が発生する虞はないと考えられる。

【0068】

以上、本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の範囲内で種々の変形又は変更が可能である。

【0069】

例えば、上記実施形態においては、タンク 10 内に 3 体の浮体 24 を直線状に整列配置したが、2 体又は 4 体以上の浮体 24 をタンク 10 内に直線状に整列配置しても良い。

【0070】

また、上記実施形態においては、単一の浮体列をタンク 10 の中心軸線 X-X 上に配置し、液面 LL を左右均等に分割したが、2 以上の浮体列をタンク 10 内に配置しても良く、或いは、液面 LL を不均等に分割することも可能である。

【0071】

更に、上記実施形態においては、一对の鉛直支柱 23 によって各浮体 24 を支持する構成を採用したが、3 本以上の鉛直支柱 23 によって各浮体 24 を支持しても良い。

【0072】

また、浮体 24 は、必ずしも厳密に直線上又は一直線に整列配置されなくとも良く、例えば、若干ずれた状態の浮体配列 (千鳥配列等) を採用しても良い。

【産業上の利用可能性】

【0073】

本発明は、液体貨物運搬船又は浮体式海洋設備のメンブレン式液体格納タンクに好ましく適用し得るものである。本発明のスロッシング防止技術は、半載状態で液体貨物を貯留し又は輸送することが困難であると従来より認識されてきた大型の LNG 船又は FLNG 施設において好ましく使用することができる。本発明は、このような大型 LNG 船又は FLNG 施設が半載状態で液体貨物を貯留し又は輸送するのを可能にするので、その実用的効果は顕著である。また、本発明のスロッシング防止装置は、任意の液体貨物を搭載する船舶のタンクに適用することができる。

【符号の説明】

【0074】

- 1 LNG 船 (液化天然ガス運搬船)
- 10 LNG 格納タンク
- 20 スロッシング防止装置
- 21、22 基部

10

20

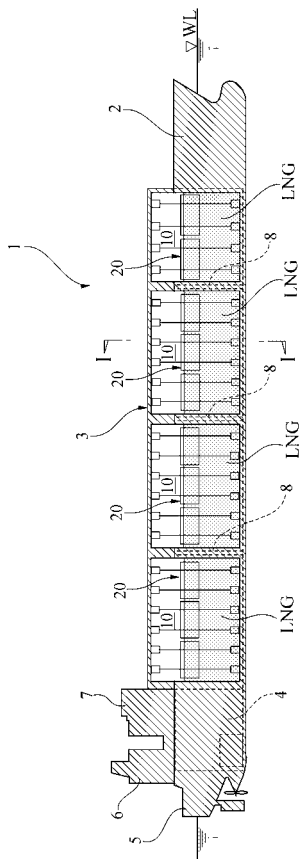
30

40

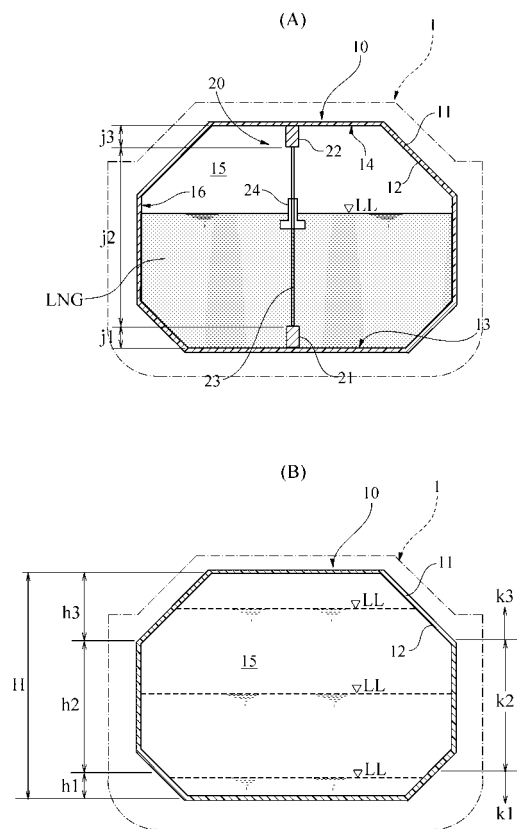
50

- 2 3 鉛直支柱
 2 4 浮体
 D 喫水量
 L L 液面（自由液面）

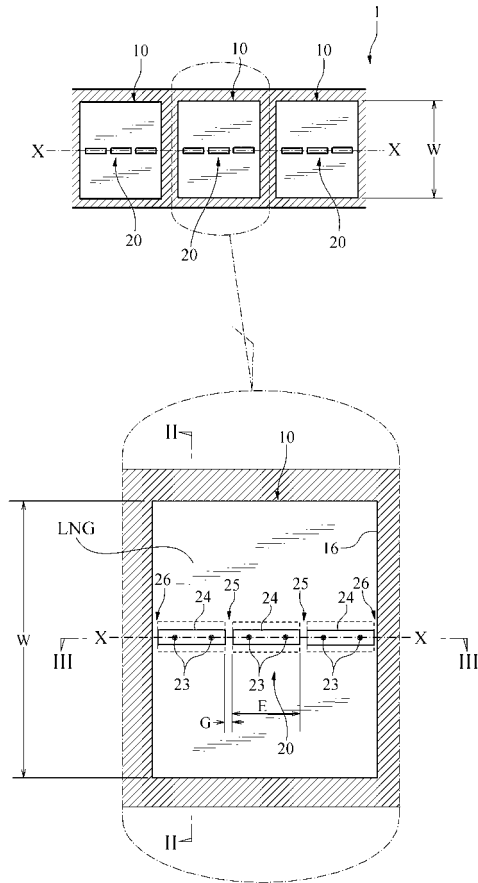
【図 1】



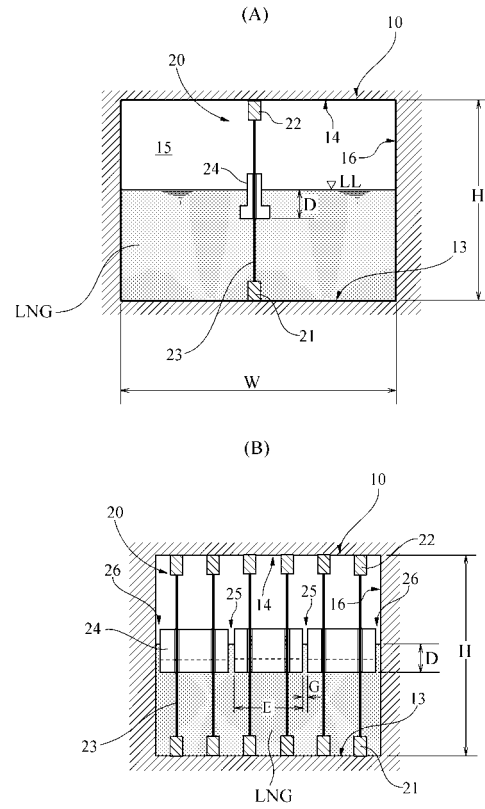
【図 2】



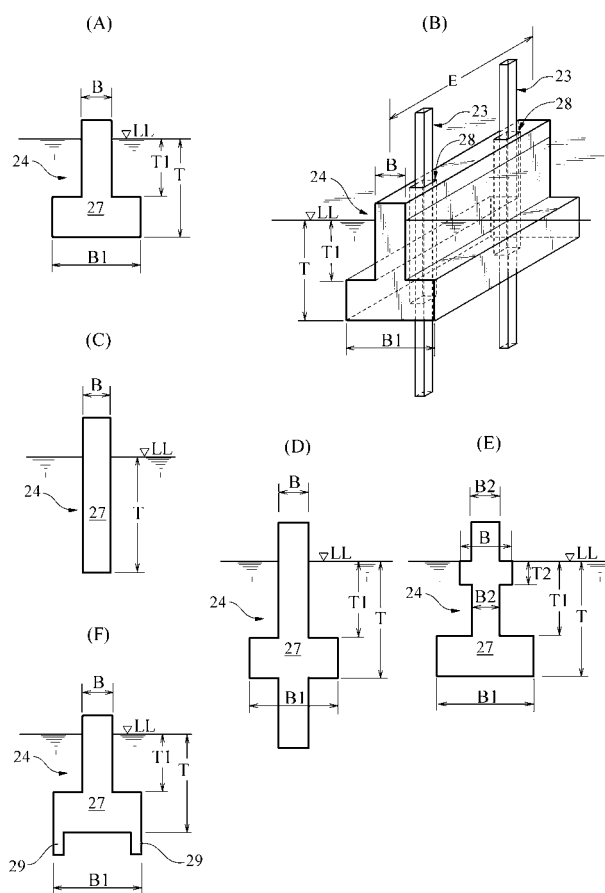
【図 3】



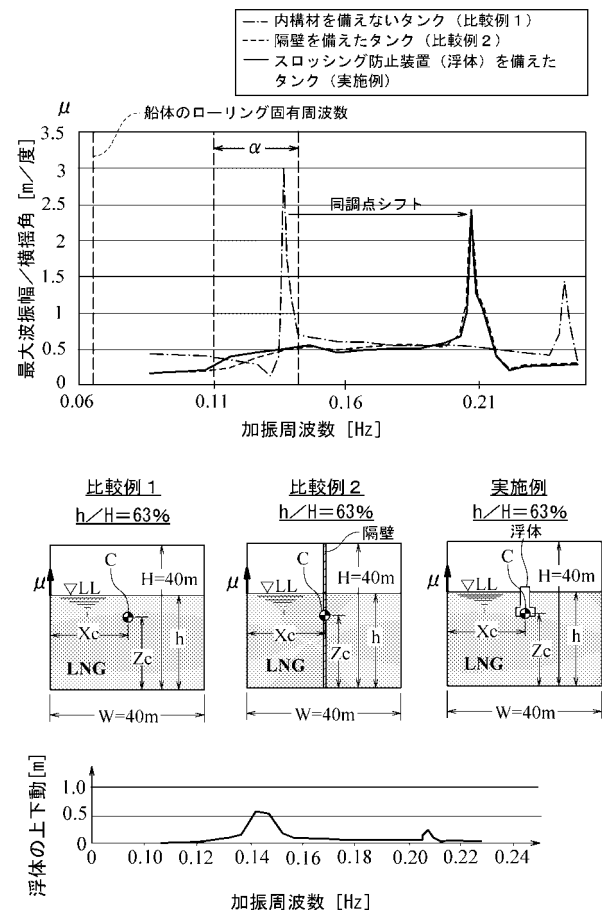
【図 4】



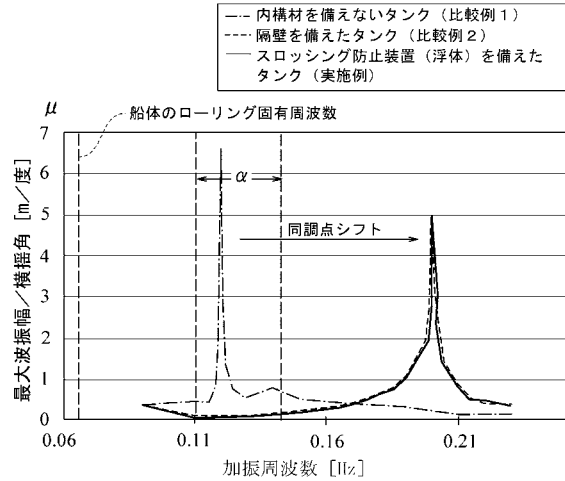
【図 5】



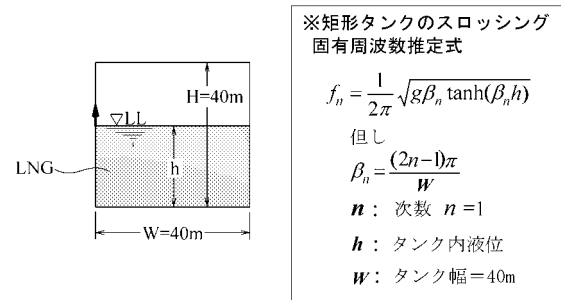
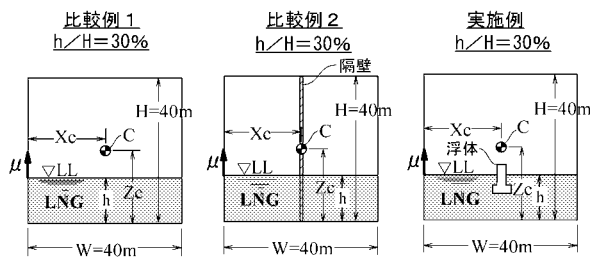
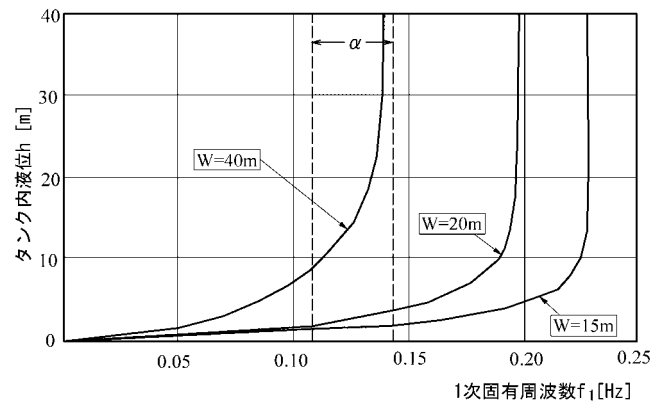
【図 6】



【図 7】



【図 8】



※矩形タンクのスロッシング固有周波数推定式

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g\beta_n \tanh(\beta_n h)}$$

但し

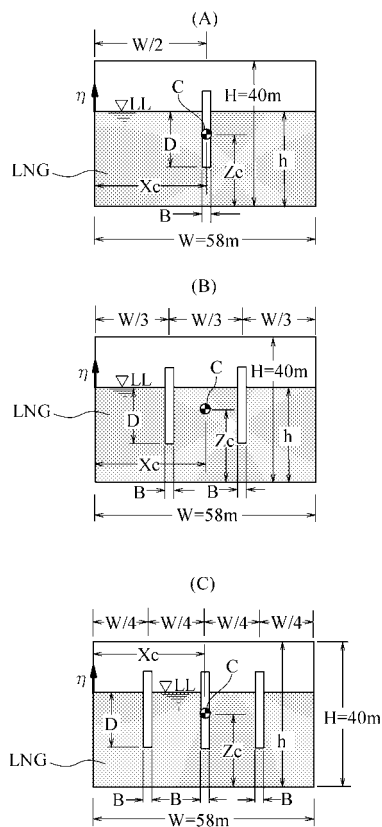
$$\beta_n = \frac{(2n-1)\pi}{W}$$

n : 次数 $n=1$

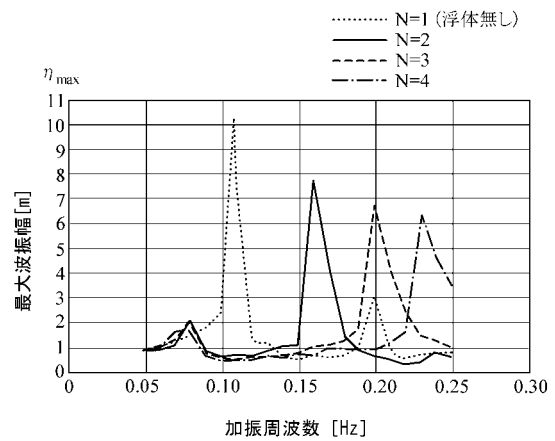
h : タンク内液位

W : タンク幅=40m

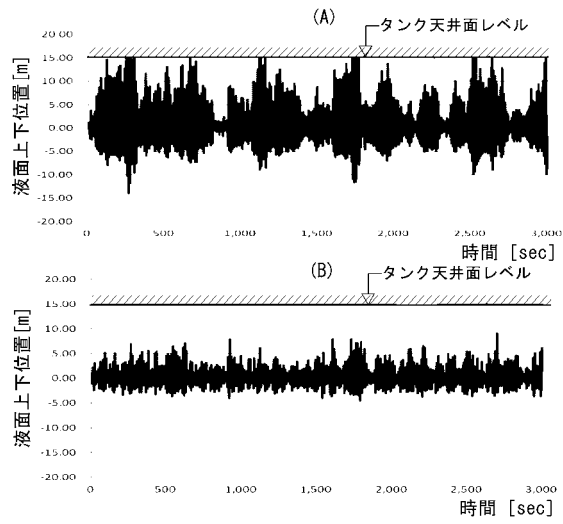
【図 9】



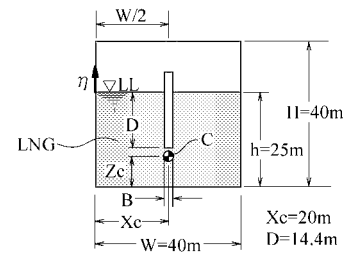
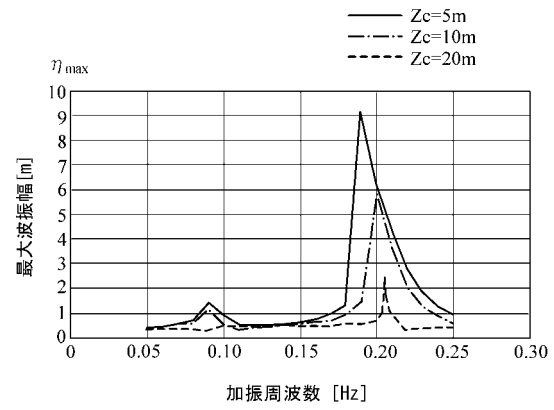
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/060798

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B63B25/16 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B63B25/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	JP 2012-66840 A (Ouchi Ocean Consultant, Inc.), 05 April 2012 (05.04.2012), paragraphs [0009] to [0014]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-2, 12-14
Y	JP 2011-505298 A (Samsung Heavy Industries Co., Ltd.), 24 February 2011 (24.02.2011), paragraphs [0002] to [0009]; fig. 1 to 2 & US 2010/0281887 A1 & EP 2214953 A1 & WO 2009/072681 A1 & CN 101883715 A	1-2, 7, 9-12, 14, 21 3-6, 8, 13, 15-20
Y	JP 53-44237 Y2 (NKK Corp.), 24 October 1978 (24.10.1978), column 1, line 18 to column 2, line 20; fig. 1 to 4 & JP 50-150996 U	1-2, 7, 9-12, 14, 21 3-6, 8, 13, 15-20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 July, 2012 (17.07.12)Date of mailing of the international search report
31 July, 2012 (31.07.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/060798

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 151327/1977 (Laid-open No. 77395/1979) (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 01 June 1979 (01.06.1979), specification, page 1, line 14 to page 5, line 6; fig. 1 to 5 (Family: none)	4,13,16
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 34791/1980 (Laid-open No. 135398/1981) (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 14 October 1981 (14.10.1981), specification, page 1, line 13 to page 4, line 15; fig. 1 (Family: none)	5,18
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 192144/1983 (Laid-open No. 100294/1985) (Kyokuto Matsuku Gurego Kabushiki Kaisha), 08 July 1985 (08.07.1985), specification, page 1, line 10 to page 4, line 6; fig. 1 to 2 (Family: none)	6,19

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 2 / 0 6 0 7 9 8	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B63B25/16 (2006.01) i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B63B25/16			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2012年 日本国実用新案登録公報 1996-2012年 日本国登録実用新案公報 1994-2012年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
P, X	JP 2012-66840 A (株式会社大内海洋コンサルタント) 2012.04.05, 段落【0009】 - 【0014】, 図 1-2 (ファミリーなし)	1-2, 12-14	
Y	JP 2011-505298 A (三星重工業株式会社) 2011.02.24, 段落【0002】 - 【0009】, 図 1-2	1-2, 7, 9-12, 14, 21	
A	& US 2010/0281887 A1 & EP 2214953 A1 & WO 2009/072681 A1 & CN 101883715 A	3-6, 8, 13, 15-20	
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 17.07.2012		国際調査報告の発送日 31.07.2012	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 志水 裕司 電話番号 03-3581-1101 内線 3341	3D 9528

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 2 / 0 6 0 7 9 8
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 53-44237 Y2 (日本鋼管株式会社) 1978. 10. 24, 第 1 欄第 18 行-第 2 欄第 20 行, 第 1-4 図	1-2, 7, 9-12, 14, 21
A	& JP 50-150996 U	3-6, 8, 13, 15-20
A	日本国実用新案登録出願 52-151327 号 (日本国実用新案登録出願公開 54-77395 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマ イクロフィルム (石川島播磨重工業株式会社) 1979. 06. 01, 明細書第 1 頁第 14 行-第 5 頁第 6 行, 第 1-5 図 (ファミリーなし)	4, 13, 16
A	日本国実用新案登録出願 55-34791 号 (日本国実用新案登録出願公開 56-135398 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマ イクロフィルム (三菱重工業株式会社) 1981. 10. 14, 明細書第 1 頁第 13 行-第 4 頁第 15 行, 第 1 図 (ファミリーなし)	5, 18
A	日本国実用新案登録出願 58-192144 号 (日本国実用新案登録出願公開 60-100294 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマ イクロフィルム (極東マツク・グレゴリー株式会社) 1985. 07. 08, 明細書第 1 頁第 10 行-第 4 頁第 6 行, 第 1-2 図 (ファミリーなし)	6, 19

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。