2009 年度研究開発の成果報告

1. メンブレン LNG 船のスロッシング強度評価に関する研究開発

メンブレン LNG 船のスロッシング強度評価に関する研究

1. はじめに

近年，地球温暖化や大気汚染などの環境問題への関心の高まりから天然ガスがクリーンエネルギーとして注目を集めている。また，未曾有の金融危機に襲われ一時的にエネルギー需要は減少しているが世界全体の人口増加及び経済のグローバル化により第 1 次エネルギーの需要は増加していく傾向は避けられず，天然ガスの需要増加も避けられないものとなっている（図 1～3 参照）。これを受けて，各地でガス田開発のプロジェクトが近年相次いでおり（図 4 参照），それに伴ってパイプラインに次ぐ輸送手段である海上（船舶）輸送量も増加傾向にあり（図 5 参照），LNG 船の契約・建造が数多く進められている（図 6 参照）。LNG 船には主に Moss 型 LNG 船，メンブレン LNG 船の 2 種類があるが近年では運航コスト面からメンブレン LNG 船の建造が目立っている。また，数年前までは貨物容積はせいぜい 14 万m^3程度であったが，ここにきて顕著に大型化し 20 万 m^3 を超す LNG 船も建造されている（図 6 参照）。

さて，メンブレン LNG 船においては貨物タンクに内構材が無いために，過去に“Polar Alaska”や“El Paso Sonatrach”をはじめとした初期のメンブレン LNG 船でスロッシングによる大きな損傷の報告があり，それを契機にタンク形状の改良や防熱構造の補強など一部の設計変更が行われたが, 近年においても“Catalunya Spirit”をはじめとした大型のメンブレン LNG 船でもスロッシングによる損傷が報告されている。これらのことから，メンブレン LNG 船においては従来から貨物タンク内のスロッシング強度評価が最重要課題とされ，就航実績のある船型を基に設計・建造がなされてきた。しかしながら，近年の急激な大型化は実績の無い中での設計・建造であり，絶対的なスロッシング強度評価手法の確立が望まれている。これに加えて，メンブレン LNG 船のライセンサーも今後の LNG FPSO への拡大を睨み，ライセンサー自身が規定している貨物タンクの液位制限を撤廃したいとの思惑もあることから，スロッシング強度評価手法への取り組みは造船所，船級だけでなくライセンサーとしても最重要課題となっている。本会においてもスロッシング強度評価に関する研究開発を実施しており，その概要や進捗について紹介する。

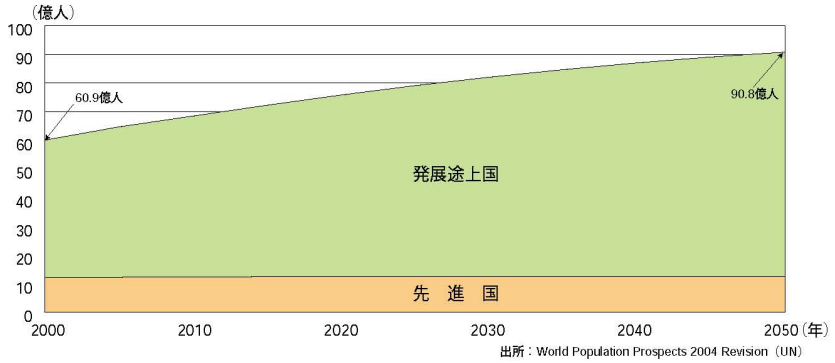


図 1　発展途上国及び先進国における人口推移
（出典：World Population Prospects 2004 Revision (UN)）

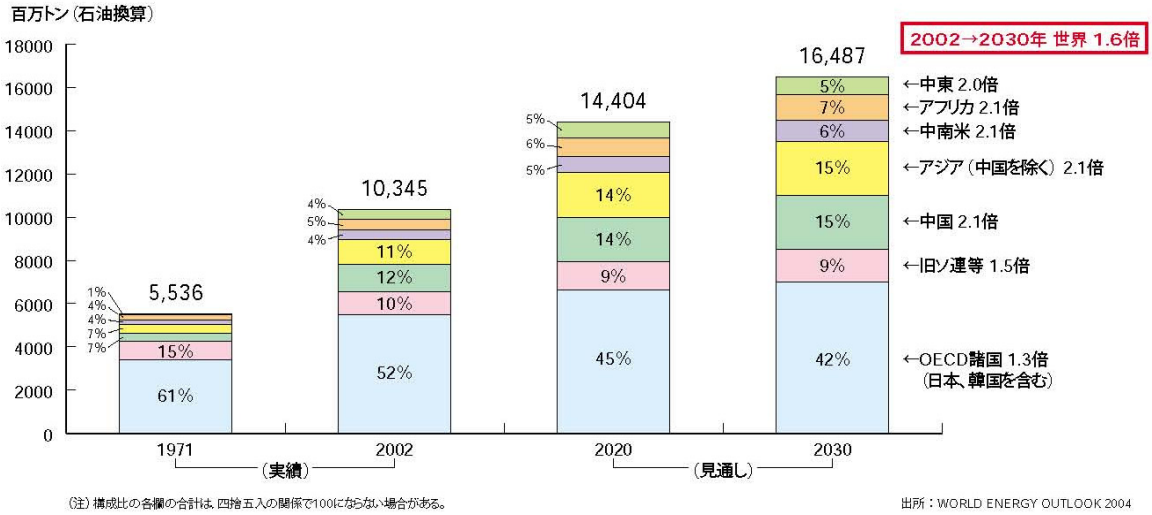


図２　第１次エネルギーの地域別需要推移
（出典：WORLD ENERGY OUTLOOK 2004）

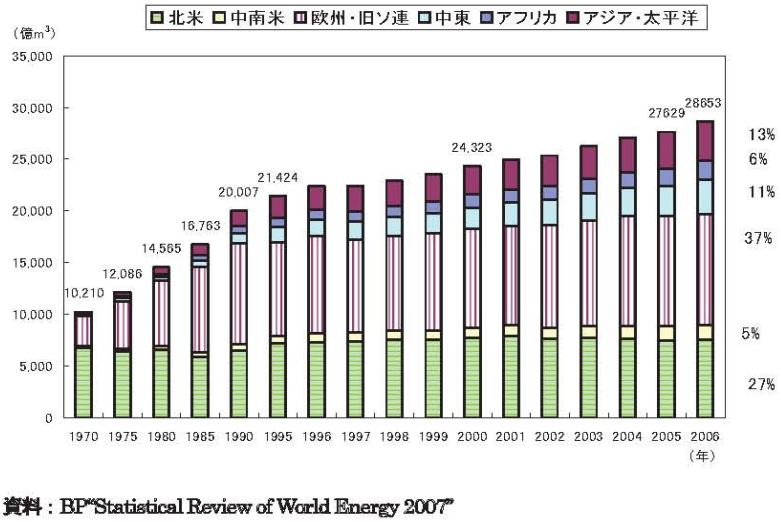


図３　天然ガスの地域別需要推移
（出典：BP Statistical Review of World Energy 2007）

国　名	新規LNGプロジェクト（億m³/年）	生産量（億m³/年）	埋蔵量（億m³）	主な参加企業
オーストラリア	839	389	26,100	シェブロン、シェル、エクソンモービル、ウッドサイド
インドネシア	174	740	26,300	BP、新日本石油、CNOOC、LNG　Japan
カタール	646	495	253,600	カタール国営石油、エクソンモービル、シェル、トタル、コノコフィリップス
ロシア	298	6,121	476,500	ガスプロム、シェル、三井物産、三菱商事
ナイジェリア	544	282	52,100	ナイジェリア国営石油、シェル、トタル、シェブロン

資料：生産量及び埋蔵量はBP"Statistical Review op World Energy 2007"、新規LNGプロジェクトの生産量は(財)日本エネルギー経済研究所調べ

図４　ガス田開発プロジェクト
（出典：JOGMEC）

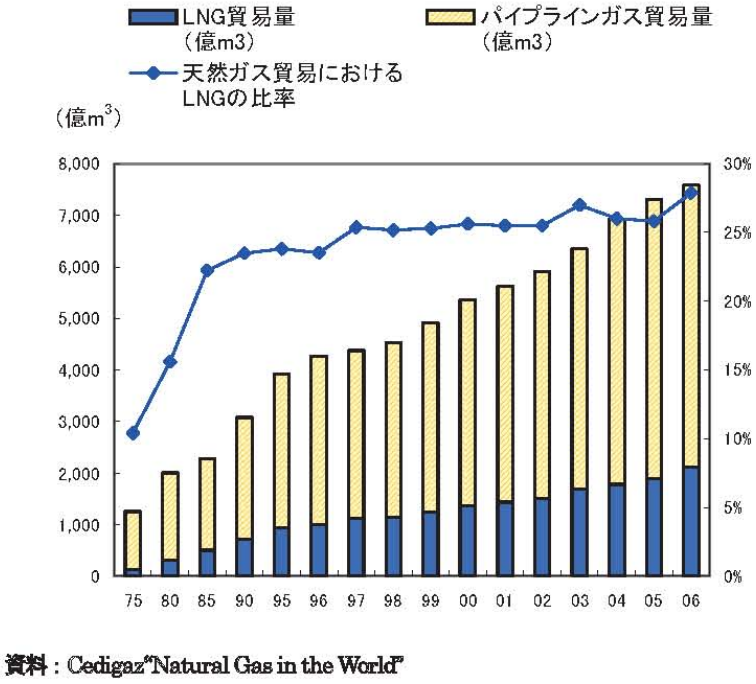


図 5　天然ガスの手段別貿易量
（出典：Cedigaz “Natural Gas in the World”）

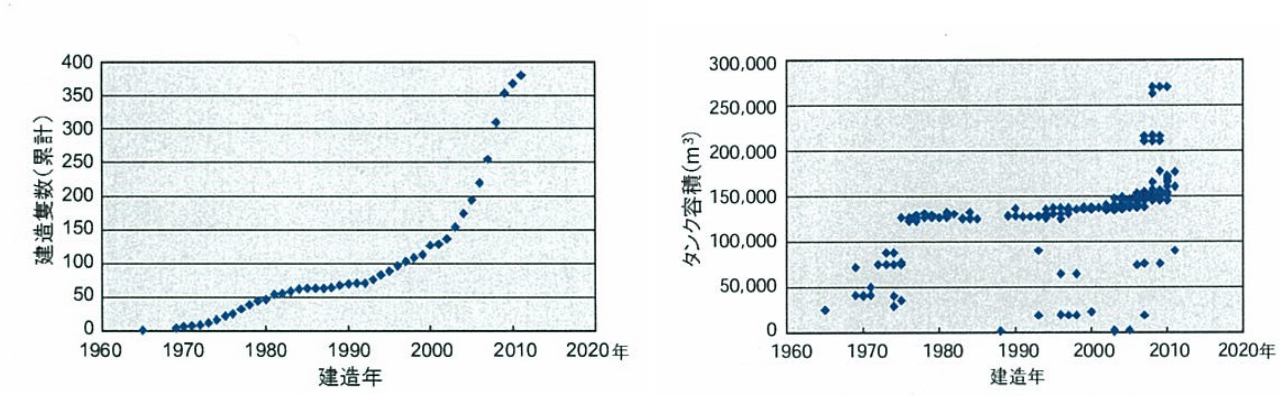


図 6　LNG 船の建造隻数（左図）と貨物タンク容量（右図）の推移
（出典：JOGMEC）

2.　スロッシング問題について

2.1　スロッシングとは？

“スロッシング”とは液体を入れた容器をゆっくり揺らした際に，共振によって液面が大きく波立つ現象である（図 7 参照）。近年でスロッシングという言葉が有名となったのは平成 15 年の北海道十勝沖地震の際に苫小牧にある石油タンクで火災が起きた時である（図 8 参照）。これは地震動が原因でスロッシングがタンク内で生じ，タンクの浮き屋根が崩壊して火災が生じた。この事故を機に国内の陸上タンクでのスロッシングに対する研究が進展し，規則が厳しくなった。

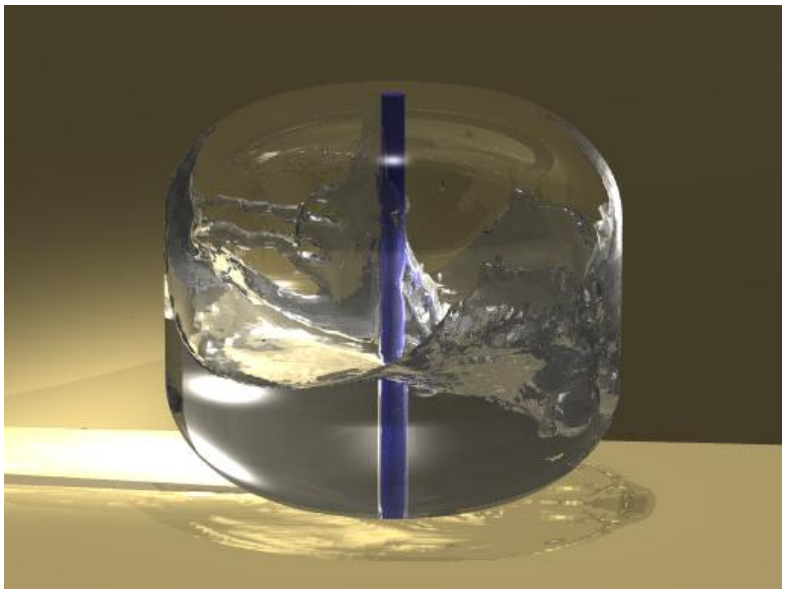


図 7　スロッシングの様子
（出典：東京大学 HP）

図 8　苫小牧石油タンク火災の様子
（出典：消防庁 HP）

2.2　メンブレン LNG 船貨物格納設備について

LNG 船は大別すると現在 Moss 球形タンク方式，メンブレン方式，IHI-SPB 方形タンクの 3 つの方式に分けられる。Moss，SPB 方式はいわゆる独立タンク方式で貨物荷重は基本的にタンク構造が直接受け持つ構造になっているのに対して，メンブレン方式では貨物荷重はより直接的に船体構造が受け持つ構造となっている。SPB 方式は建造コストや重量の面から最近では船舶としては建造されておらず，メンブレン方式と Moss 方式が主流となっている。メンブレン方式については先に述べたように貨物容積効率が良いことやクールダウン作業の容易性や管理コストの面からメンブレン方式を選択する船主が多く，現在ではメンブレン方式が LNG 船に占めるシェアは年々増加しているのが実情である。

メンブレン方式は 1950 年代から 1960 年代に欧州で開発された LNG 船の貨物タンクシ

ステムであり，現在ではフランスの GTT 社（Gaztransport & Technigaz 社）がライセンスを有している MarkⅢというタイプと NO96 という 2 種類のタイプが主流である。これらは GTT 社の前身である S.N.Technigaz 社，Gaztransport 社によってそれぞれ開発された。

メンブレン LNG 船の一般的な構造としては二重船殻構造の中に防熱構造と 1 次メンブレン，2 次メンブレンを有した構造となっている。1 次メンブレン，2 次メンブレンで貨物荷重を受けることはなく，貨物荷重は防熱構造を通して船体に負荷している。1 次メンブレンの内側には通常の船舶で配置しているような内部構造部材がない。そのため液体動揺が減衰しにくく，スロッシングがより重要な課題となってくる。

ここで先述のメンブレン方式の 2 つの種類について簡単に紹介する。MarkⅢシステムは旧 S.N.Technigaz 社により開発されたタイプである。1 次防壁として熱収縮を吸収するためのコルゲートを有するオーステナイト系ステンレス鋼（厚さ 1.2mm）でできた金属メンブレンを，2 次防壁として Triplex（アルミ箔をグラスファイバーで挟んだシート）を採用しており，防熱材には強化ポリウレタンフォームを使用している（図 9 参照）。

一方 NO96 システムは旧 Gaztransport 社により開発されたタイプである。1 次メンブレン及び 2 次メンブレン共にインバー鋼（厚さ 0.7mm）と呼ばれる線膨張係数が極めて小さい合金材料による金属メンブレンを採用している。防熱材にはプライウッドと呼ばれる木製合板で出来た箱の中にパーライトを充填させた防熱箱を使用している（図 10 参照）。

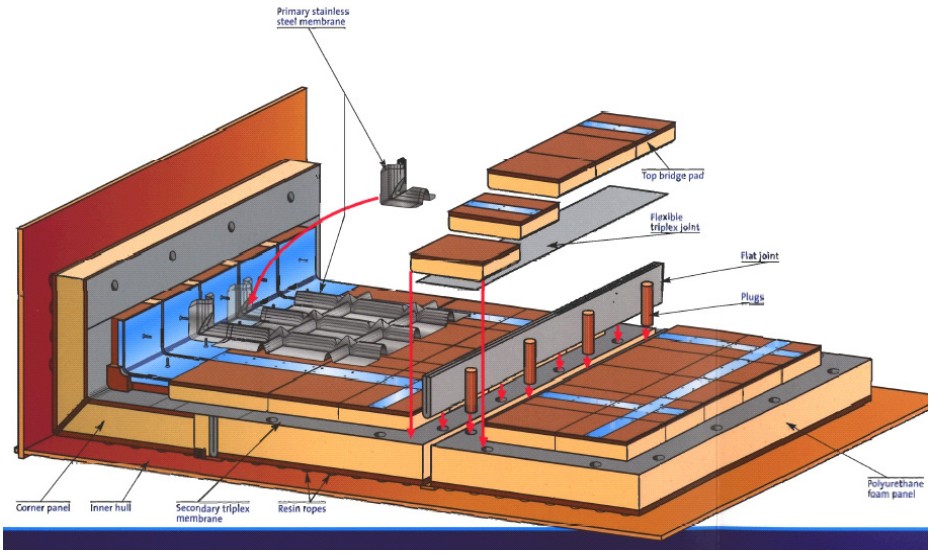


図 9　MarkⅢタイプ貨物格納設備
（出典：Gaztransport & Technigaz 社）

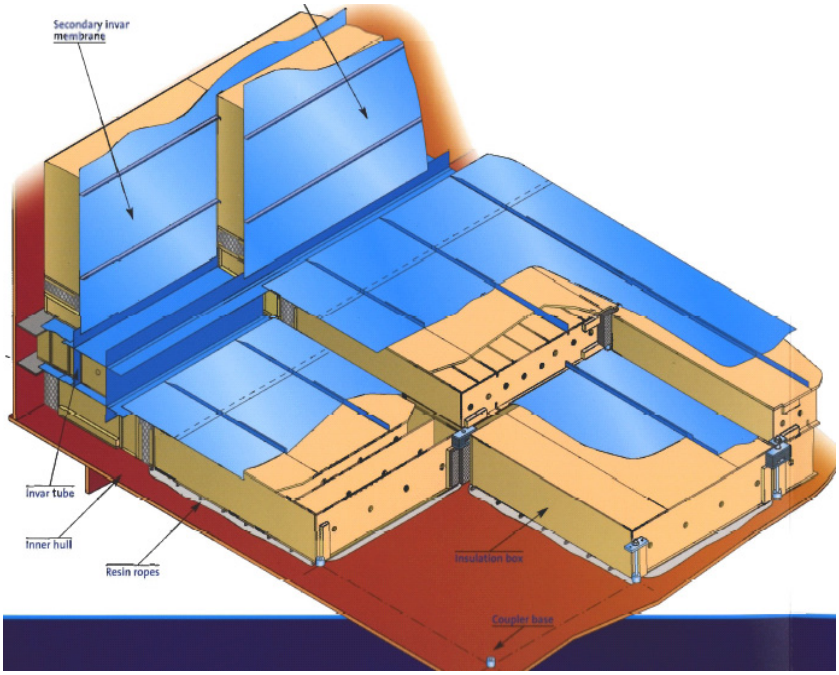


図 10　NO96 タイプ貨物格納設備
（出典：Gaztransport & Technigaz 社）

2.3　メンブレン LNG 船のスロッシング問題の歴史と現状

糸山氏の「LNG 船開発 50 年史」[1]及び「LNG 船がわかる本」[2]によるとメンブレン LNG 船については今から 40 年以上前の 1964 年に実験船「ピタゴール」がフランスで竣工して以降，1969 年に“Polar Alaska”，翌年 1970 年に“Arctic Tokyo”，1978 年に“El Paso Sonatrach”がスロッシングによって貨物タンク内に損傷が発生した。これらの事故を契機にタンク形状の改良や防熱構造の補強など一部の設計変更が行われた。またメンブレン方式はこのようなスロッシング損傷を防止するためにライセンサーにより積み付け禁止液位が定められている。

80 年代以降は建造隻数も少なくなったが，90 年代後半に入りメンブレンタイプに対しての経済性の見直しなどがあり再度建造隻数が増加することとなった。2000 年以降はそれまで高い建造シェアを占めていた Moss タイプを建造隻数で凌駕するようになり，更にこれまでの実績船型よりも遙かに大きな船型での建造も行われた。しかしながら，こうした急激な大型化の中，詳細原因明らかではないが，2006 年に“Catalunya Spirit”でスロッシングによる損傷が発生する。

この事故経験に加えて，上述の急激な大型化により制限液位内であっても流体衝撃圧の増加が予想されること，またオフショアターミナルでの荷役や再ガス化ユニットを装備した LNG 船の出現, そして LNG FPSO など海洋構造物へのメンブレン方式適用などにより制限のない部分積み付け状態が不可避になりつつあること，などからスロッシング問題に対しての重要性がさらに認識されるようになり，主要船級，オイルメジャー，上述のメンブレン LNG 船のライセンサーを中心に研究開発が活発化する。そうした時流の中，本会においてもメンブレン LNG 船のスロッシング強度評価に関する研究開発を実施することとなった。

3.　研究開発概要

3.1　スロッシング強度評価手順策定

本会では本研究開発を通して，メンブレン LNG 船のスロッシング強度評価に関するガイドラインを作成する予定である。

現在，メンブレン LNG 船のスロッシング強度評価においては実績船の比較を必要とする相対評価が主流であり，実績船の有無に関わらない絶対評価はスロッシング現象の完全な把握が未だ出来ておらず各機関で研究中である。そこで本会は前者の相対評価を基本とした評価手順を提案する（図 11 参照）。

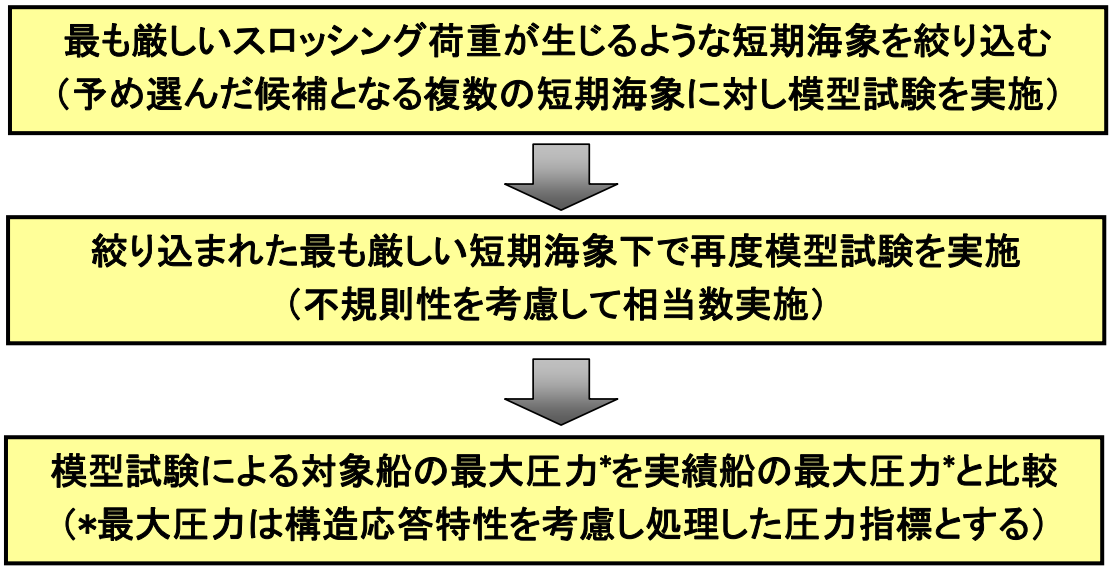


図 11　スロッシング強度評価ガイドライン評価手順

本評価手順は評価箇所に対してスロッシング荷重が最も厳しくなる短期海象を絞り込み，その海象を想定した模型試験の結果を実績船のそれと比較するという手法である。評価対象としては 1 次メンブレンを通してスロッシング荷重が負荷する防熱構造を対象とする。

3.2　評価手順策定における課題抽出

図 11 の評価手順を策定するにあたり，短期海象の絞込すなわちスクリーニングの方法を確立することが必要である。

通常，模型試験で得られる圧力データは図 12 のような時系列圧力となる。各短期海象について得られるこのようなデータから，防熱構造に対して最も厳しい海象を絞り込むことになるが，絞込みにあたっては単純にピーク圧力ではなく圧力作用時間も考慮した構造応答に対して有効な圧力指標を定める必要があり，図 13 のような手順で確認した。

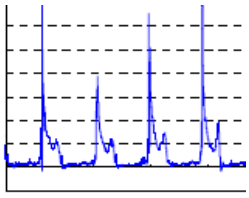
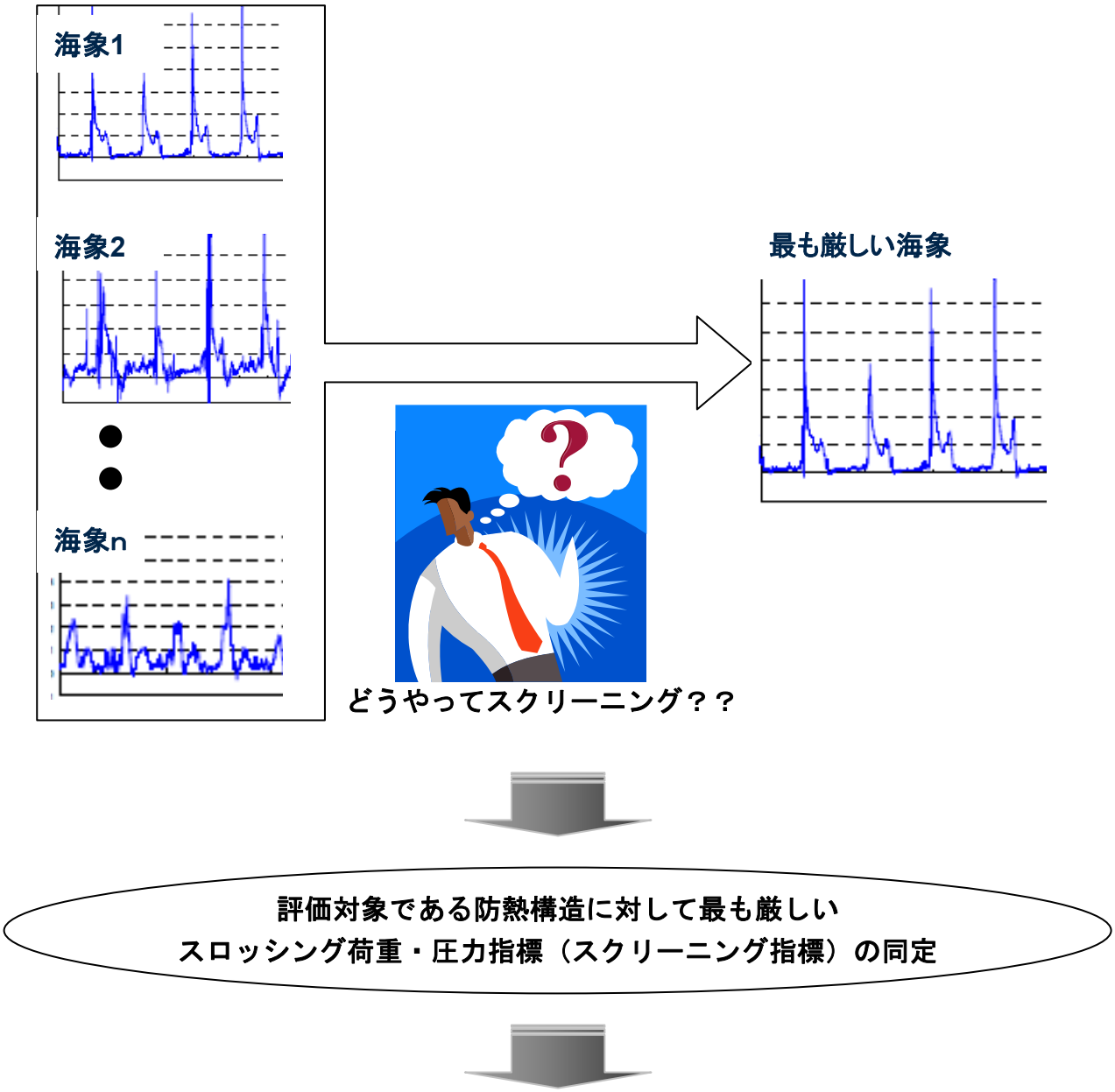


図 12　時系列圧力データ（例）



- 衝撃圧力の基礎的知見取得
- 防熱構造の動的構造応答把握
- 短期海象スクリーニング指標作成

図 13　スクリーニング指標調査手順

図 13 に従ってスクリーニングの指標を決定するため，以下の項目について研究開発・調査を実施した。

(a) 衝撃圧力の基礎的知見取得

スロッシング荷重に関して負荷時間やピーク圧力，同調周期等を本会で過去に実施したスケールモデルでの模型試験や現在本会が参加している Sloshel プロジェクトでの実スケールでの実験結果，CFD 計算から把握した。また，それらを元に防熱箱の構造解析にて負荷するモデル荷重を作成した。

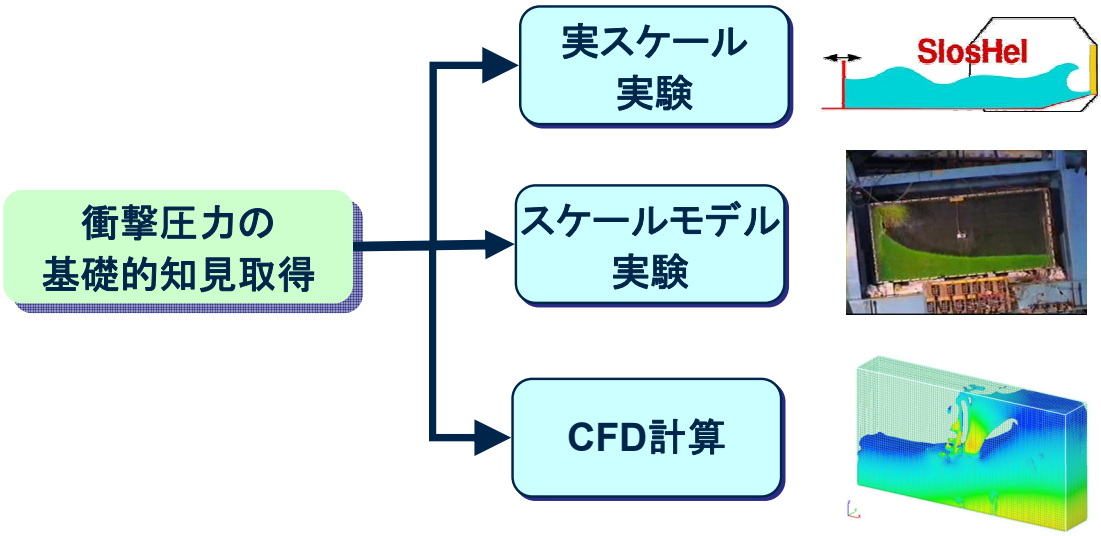


図 14　衝撃圧力の基礎的知見取得

(b) 防熱構造の動的構造応答把握

短期海象のスクリーニング指標を作成するためには構造解析を実施する必要がある。ここでスロッシング現象は衝撃現象であることから，構造解析は動的な構造解析となる。そのため，防熱構造の動的な構造応答を把握する必要がある。そのために防熱構造の落錘試験とそれをシミュレートする構造解析を実施した。また，落錘試験のための準備として静的圧壊試験，材料試験も実施した。

(c) 短期海象スクリーニング指標作成

防熱箱に先に作成したモデル荷重を負荷して，構造応答を確認し，構造にとって支配的な荷重指標を調査した。

この中から，本テキストでは Sloshel プロジェクトによる圧力特性調査，防熱構造落錘試験及び構造解析（静的圧壊試験・材料試験除）による構造動的応答特性調査，短期海象スクリーニング指標作成について紹介する。

4. Sloshel プロジェクトによる圧力特性調査

Sloshel とは Shell，GTT，MARIN 等が中心となって実施しているメンブレン LNG 船のスロッシングに関する Joint Industry Project である。実スケールでのスロッシング実験を行うことで実スケールでのスロッシング現象を把握することが目的である。図 15 は Sloshel のロゴ（左図）と Sloshel 参加メンバーである。

実験はオランダの Delta Flume という水路にて実施された。メンブレン LNG 船の防熱構造を埋め込んだ壁（図 16 参照）を水路内に配置し，水路で発生させた波を図 17 のように壁に衝突させて衝撃圧力やひずみ等を計測した。実験の計測以外にも各機関で実験を対象に解析等を行っている。実験の詳細な内容・知見等については ISOPE2009 で紹介されており，ISOPE2010 でも一部紹介予定である。

図 15　Sloshel ロゴ（左図）と Sloshel 参加メンバー（右図）
（出典：ISOPE2009）

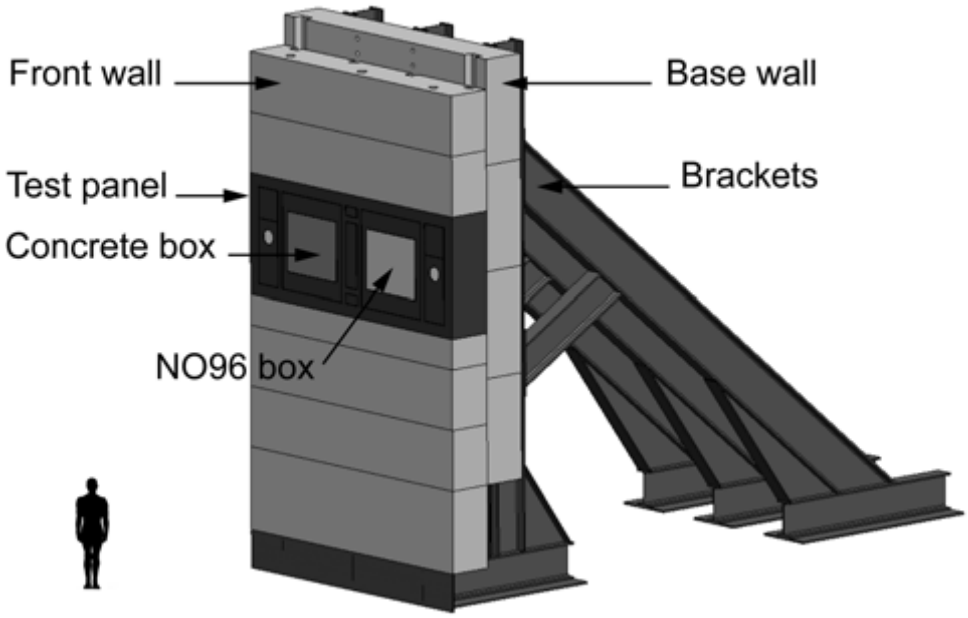


図 16　水路内に配置した計測用の壁
（出典：ISOPE2009）

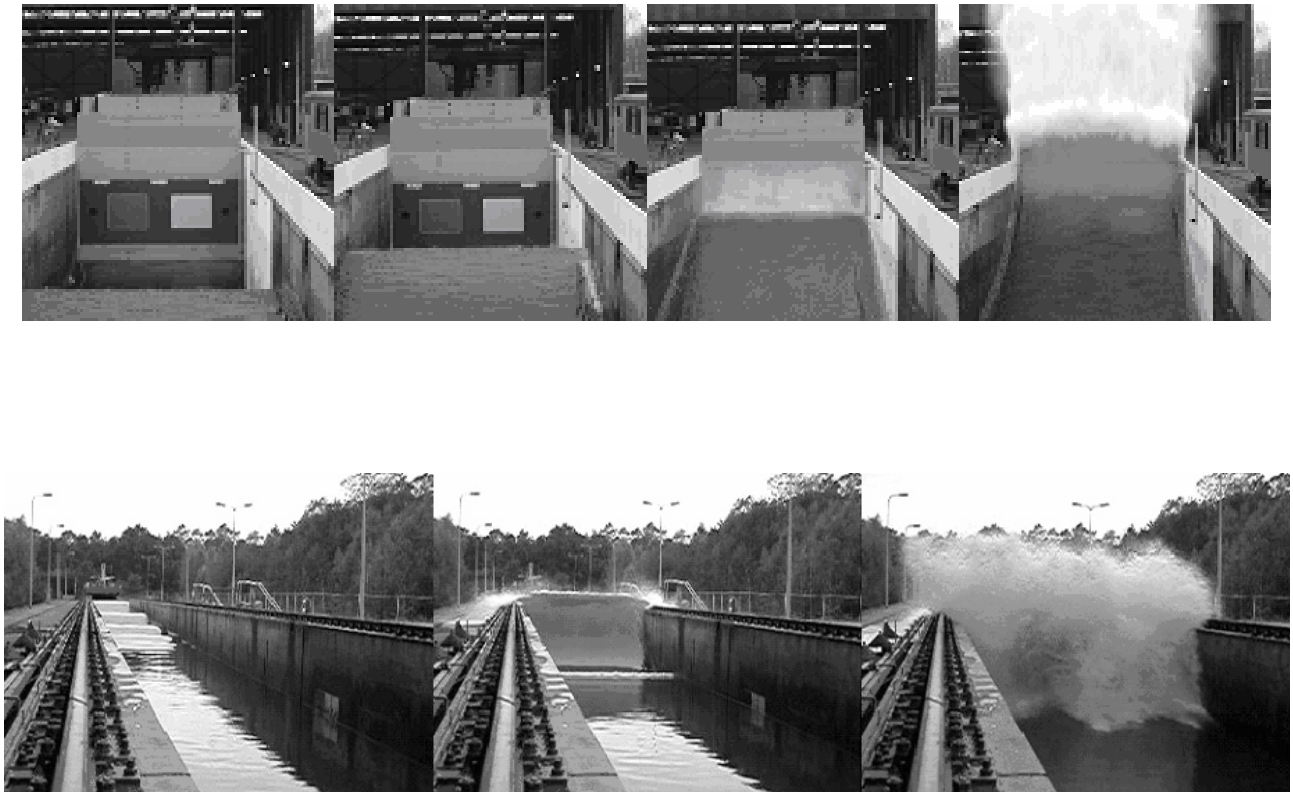


図 17　Sloshel 実験模様
（上図は計測用の壁の正面から撮影，下図は計測用の壁とは逆方向を撮影）
（出典：ISOPE2009）

5.　防熱構造落錘試験及び構造解析による構造動的応答特性調査

5.1　落錘試験

スクリーニング指標を決定するためには防熱構造の構造解析を実施する必要があり，構造解析の実施にはスロッシング荷重は衝撃的な荷重であるため評価対象である防熱構造の動的構造応答を把握して，構造解析で必要な最適な境界条件，最適な材料特性等を確認する必要がある。

そこで住友金属工業殿で保有する落錘試験設備を用いて，NO96 タイプの防熱構造を実際の船上と同様に重ねて，天板の直上から錘を落とすような落錘試験を実施した（図 18 参照）。

図 19 に試験後の防熱構造の様子を示すが, 防熱構造の側板が座屈していることが分かる。座屈した側板は桁板で補強されていない板であり，座屈していない板は桁板で補強されている板であった。

本試験の結果の一部を図 21 に示す。Ordinary，Reinforcement と記述しているのは防熱構造の種別であり，Reinforcement タイプは Ordinary タイプと比較して補強を主として天板に施している（一部桁板も補強されている）。本試験ではインパクターと呼ばれる剛構造（図 18 の防熱構造上の茶色の構造）を天板に衝突させているため，天板は崩壊モードとはならずこの補強の効果を確認しにくい試験条件となっている。

本試験の詳細は後述の構造解析，静的圧壊試験，材料試験も含めて，ISOPE2010 で紹介予定である。

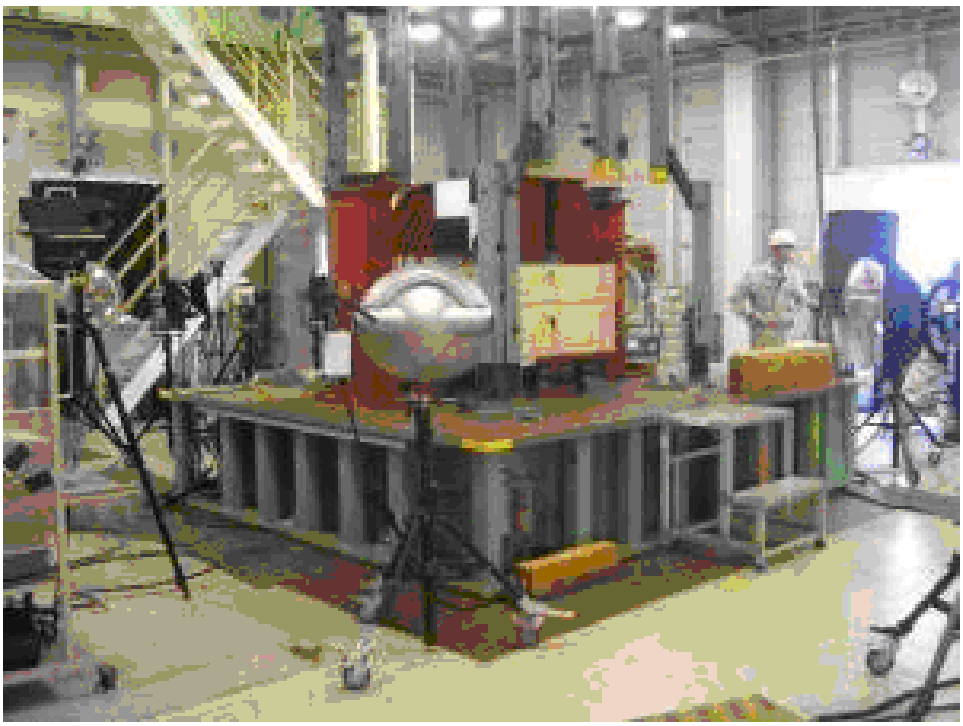


図 18　落錘試験装置

図 19　落錘試験後の防熱構造

5.2　構造解析

落錘試験をシミュレートするような構造解析を実施し，解析結果と実験結果を比較した。これにより今回のような防熱構造にスロッシング荷重が負荷されるような動的構造解析に最適な境界条件等を確認した。

図 20 に示すように防熱構造だけでなく防熱構造の直上のインパクターなどもモデル化をして解析を実施した。

最終的な解析結果を実験結果と比較すると図 21 のようになった。図 21 は防熱構造に働く反力を実験結果と解析結果とで比較したグラフである。Test が実験で Analysis が解析結果となる。このグラフより最大反力は 1 割程度の誤差となっている。この誤差の大きさをどのように判断するかは議論になるが，この誤差の原因は本解析では防熱構造の板同士を止めている Staple などの細部まではモデルに考慮しないことに加えて，板要素を用いたことや材料条件が原因であると考えている。

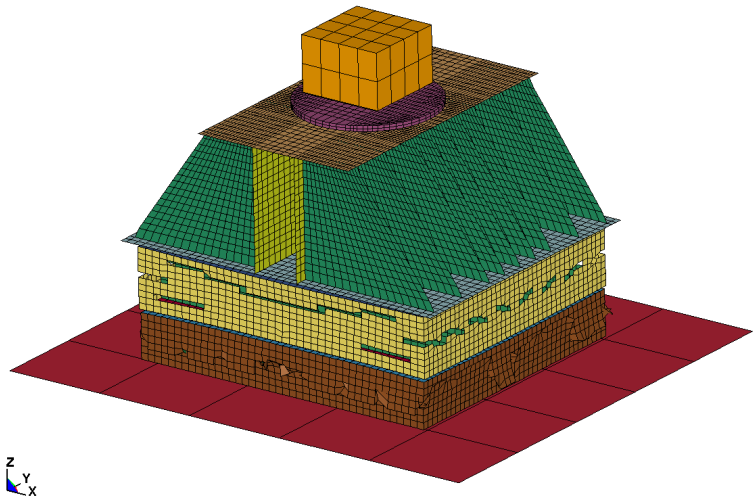


図 20　構造解析モデル図

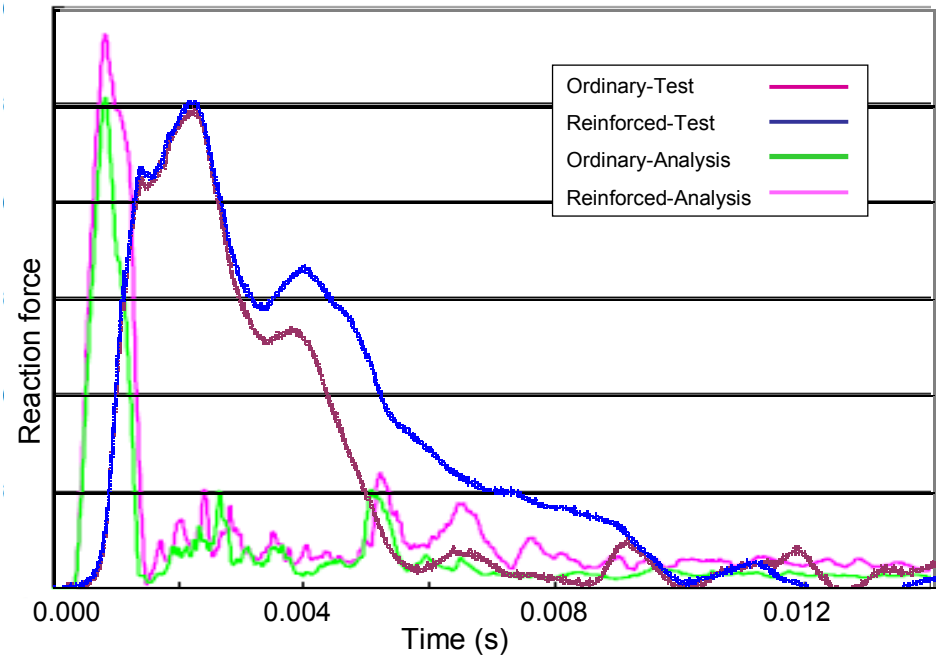


図 21　構造解析で得た反力時系列（解析と実験の比較）

6.　短期海象スクリーニング指標の作成

6.1　概要

短期海象のスクリーニングのための指標を確認するため, 図 22 の手順でスクリーニングの指標について確認する必要がある。

まず，防熱構造にスロッシング荷重が負荷した時の崩壊モードを考える必要があり，これは天板の曲げ崩壊と側板・桁板の圧壊が支配的であると考えられる。

また既述のように，スロッシングは極めて短い時間幅に大きな圧力が作用する現象のため，必ずしも発生する最大圧力が構造にとって支配的な荷重とはならない場合がある。

そこで上述の各々の崩壊モードに対して，防熱構造に時系列的に作用するスロッシング圧力をどのように処理・変換すれば構造応答に支配的な荷重・圧力指標が得られるかを有限要素法を用いた動的な構造解析で確認する。

この際，負荷する荷重としては，スロッシング荷重を単純化したような三角荷重を負荷し，圧力立ち上がり時間，ピーク圧力を変化させ一連の解析を実施した。

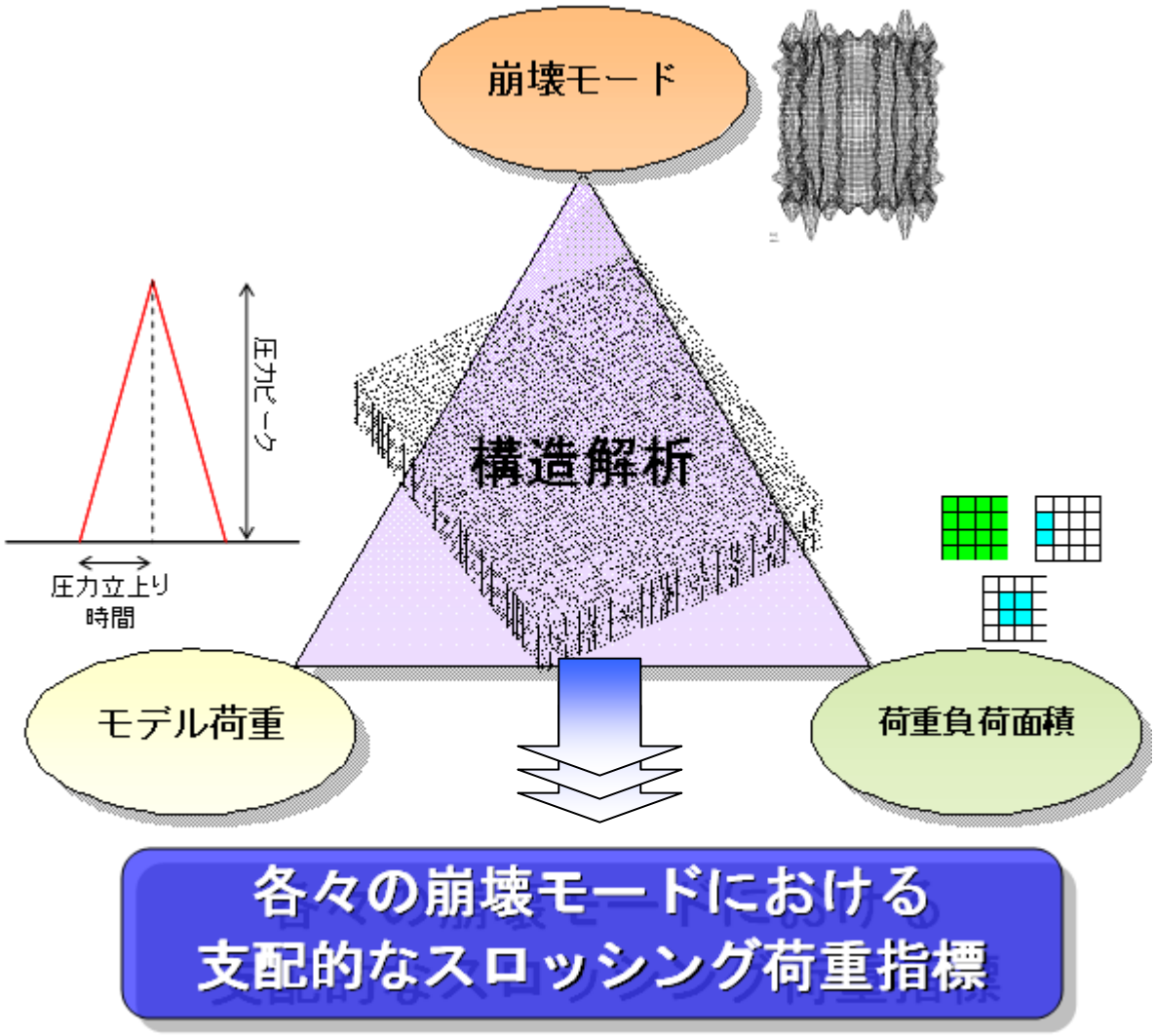


図 22　スクリーニング指標策定手順

6.2　動的影響係数

6.1 に示す構造解析を実施して，防熱構造のスロッシング荷重に対する動的影響係数を図 23 のように求めることができた。図 23 から分かる様に圧力立上り時間により応力の増幅率や座屈荷重，すなわち構造応答が変化するような動的影響係数を求めることができた。

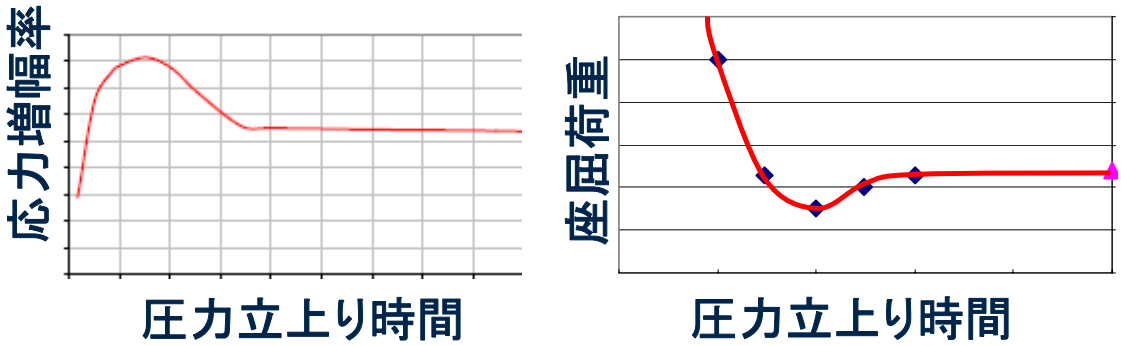


図 23　動的影響係数

6.3　スクリーニング評価指標

6.2 で得られた動的影響係数を模型試験で直接得られる圧力に乗じることで防熱構造の構造応答のスロッシング荷重に対する動的影響を考慮した荷重指標 P_eva を得ることができる。　具体的には図 24 のように各短期海象で P_eva を求めてやり，P_eva が最大となるような海象，すなわち防熱構造にとって最も厳しいスロッシング荷重が発生する最悪短期海象を求めることができる。すなわち，この P_eva が短期海象のスクリーニング評価指標となる。また P_eva を対象船と実績船で比較することで相対的なスロッシング強度評価が可能となる。

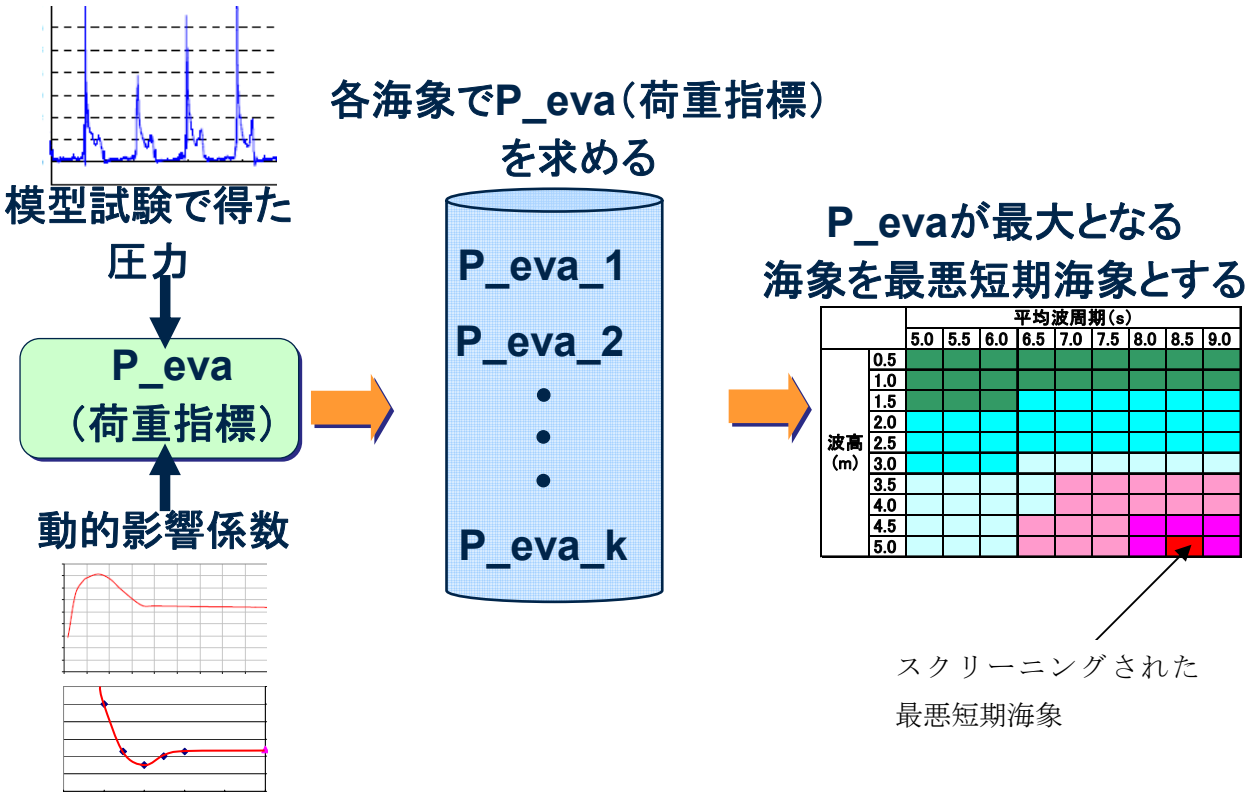


図 24　スクリーニング評価指標

7. まとめ

本会ではメンブレン LNG 船のスロッシング強度評価ガイドラインを公表するべく研究開発を実施している。今般スロッシング強度評価ガイドラインで提案している評価手順及び評価手順策定に必要な研究開発項目の一部を紹介した。

謝辞

防熱構造の落錘試験にてご協力いただいた住友金属工業（株）の誉田主任研究員，田坂主任研究員をはじめとした皆様, 並びに Sloshel にてご協力いただいた Sloshel メンバー, 研究にあたりアドバイス頂いた Gaztransport & Technigaz 社に感謝いたします。

参考文献

1） 糸山　直之：LNG 船開発 50 年史，成山堂書店
2） 糸山　直之：LNG 船がわかる本，成山堂書店
3） L. BROSSET, etc：Overview of Sloshel Project，International Offshore and Polar Engineering Conference Osaka, Japan, ISOPE2009

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

2010 ClassNK 春季技術セミナー

メンブレンLNG船のスロッシング強度評価に関する研究開発

1

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

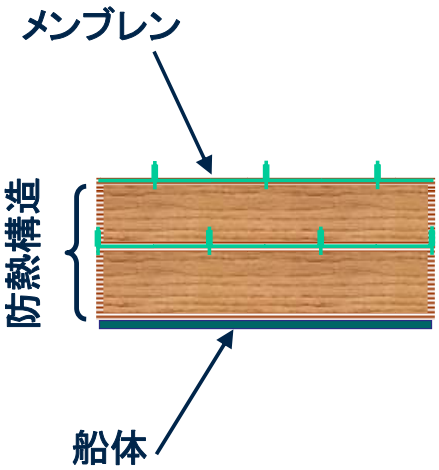
目　次

1. 研究開発の背景
2. 研究開発実施項目紹介
   - -1.強度評価手順と課題
   - -2.衝撃圧力の基礎的知見取得
   - -3.防熱構造の動的構造応答把握
   - -4.短期海象スクリーニング指標作成
3. まとめ

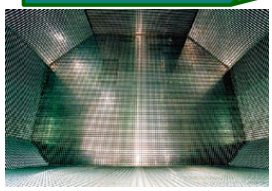
2

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

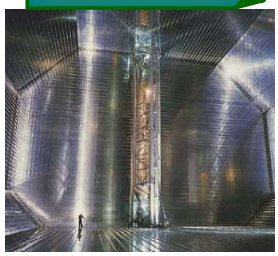
メンブレンLNG船について



GTT Mark III



GTT NO.96



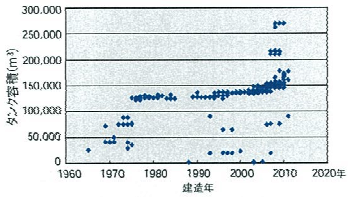
貨物タンク内に内構材が無いため
スロッシング衝撃圧大

3

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

スロッシング問題の歴史と現状

1969年　“Polar Alaska”損傷
1970年　“Arctic Tokyo”損傷
1978年　“El Paso Sonatrach”損傷
・　　・
・　　・
2005年頃～　顕著な大型化



2006年　“Catalunya Spirit”損傷

過去にスロッシングを起因
とした貨物タンクの損傷
（1960～70年代）

↓

スロッシング評価の重要性
の認識

↓

近年の貨物タンク損傷
大型化、オフショアへの適用

↓

スロッシング評価の重要性
の認識への更なる高まり

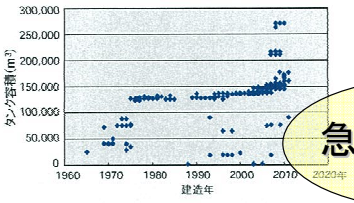
↓

各社で活発な研究開発
（例：ライセンサー、オイルメジャー、船級）

4

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

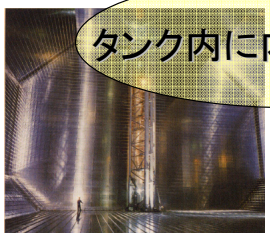
研究開発の目的



急激な大型化

近年の貨物タンク損傷

メンブレンLNG船



タンク内に内構材が無い

運航形態の多様化による部分積付の不可避

メンブレンLNG船の貨物タンクのスロッシング強度評価ガイドライン

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

1.　研究開発の背景
2.　研究開発実施項目紹介
-1.強度評価手順と課題
-2.衝撃圧力の基礎的知見取得
-3.防熱構造の動的構造応答把握
-4.短期海象スクリーニング指標作成
3.　まとめ

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

強度評価手順

相対評価手法

対象船及び参照船（実績船）に対して最も厳しいスロッシング荷重が生ずるような短期の海象の絞り込み（模型試験実施）

↓

絞り込まれた最も厳しい短期の海象下で模型試験を実施

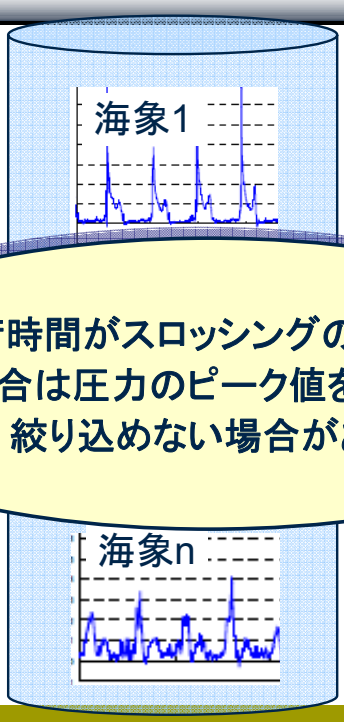
↓

対象船における最大圧力期待値が参照船の値を上回らないことを確認

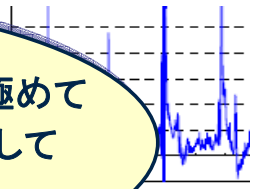
ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

課題抽出

模型試験



最悪短期海象



圧力負荷時間がスロッシングのように極めて短い場合は圧力のピーク値を指標にして絞り込めない場合がある

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

調査項目

防熱構造にとって最も厳しいスロッシング荷重指標の同定

防熱構造にスロッシング荷重が負荷した際の影響

防熱構造の動的構造応答把握

スロッシング荷重の特性

スクリーニング

防熱構造の動的構造応答

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

1.　研究開発の背景
2.　研究開発実施項目紹介
-1.強度評価手順と課題
-2.衝撃圧力の基礎的知見取得
-3.防熱構造の動的構造応答把握
-4.短期海象スクリーニング指標作成
3.　まとめ

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

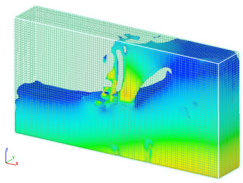
衝撃圧力の基礎的知見取得

衝撃圧力の基礎的知見取得

- 実スケール実験

- スケールモデル実験

- CFD計算



ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

衝撃圧力の基礎的知見取得

Sloshel目的

実スケールでのスロッシング実験を実施し、
実スケールでのスロッシング現象を把握する

Sloshel参加メンバー

ClassNK MARIN BUREAU VERITAS Chevron Lloyd's Register DNV ABS Centrale Marseille

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

衝撃圧力の基礎的知見取得

Sloshel実験

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

1.　研究開発の背景

2.　研究開発実施項目紹介

-1.強度評価手順と課題

-2.衝撃圧力の基礎的知見取得

-3.防熱構造の動的構造応答把握

-4.短期海象スクリーニング指標

3.　まとめ

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

防熱構造の動的構造応答把握

落錘試験装置（住友金属工業殿の設備を使用）

試験映像及び試験後の防熱構造

落錘試験の高速度カメラの映像

試験後の防熱構造

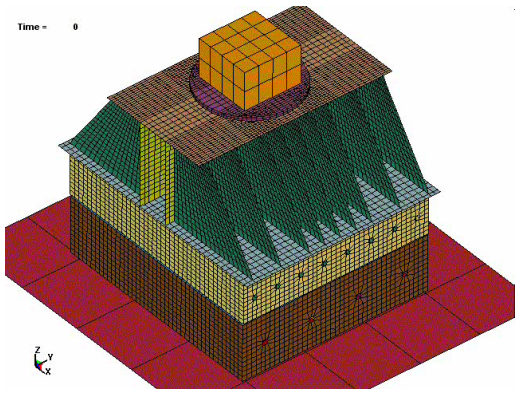
ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

防熱構造の動的構造応答把握

防熱構造崩壊解析

落錘試験の

高速度カメラの映像



落錘試験を

再現した解析例

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

1.　研究開発の背景

2.　研究開発実施項目紹介

-1.強度評価手順と課題

-2.衝撃圧力の基礎的知見取得

-3.防熱構造の動的構造応答把握

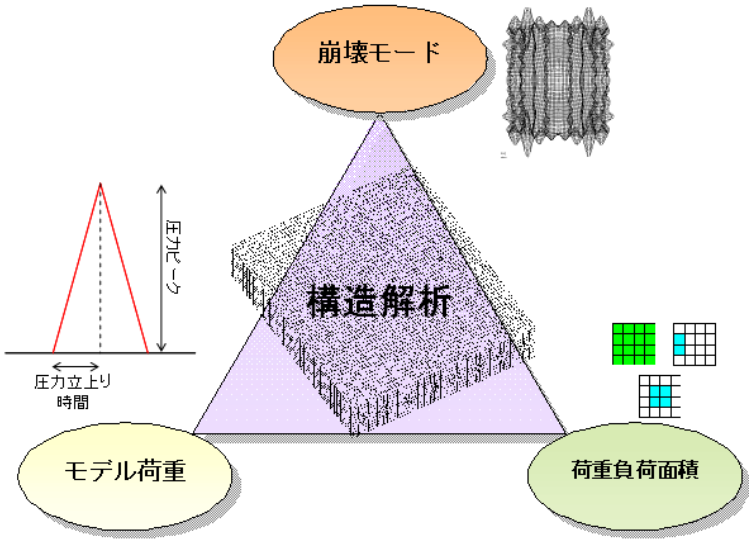
-4.短期海象スクリーニング指標作成

3.　まとめ

17

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

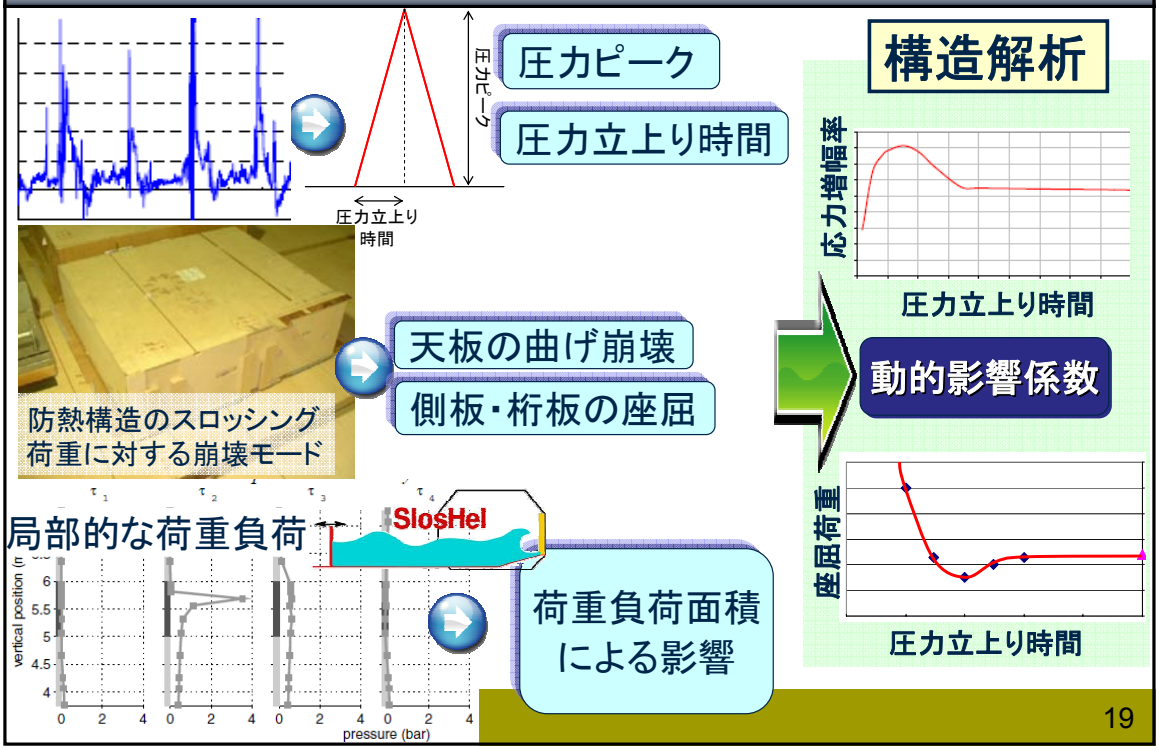
短期海象スクリーニング指標作成



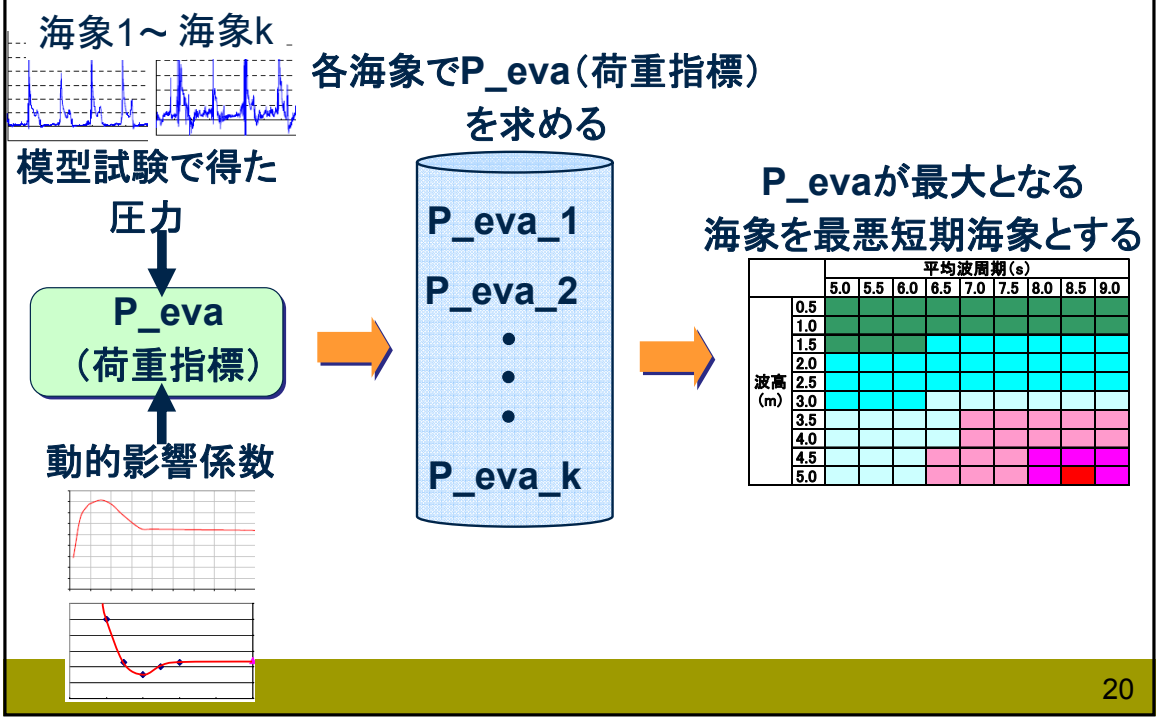
各々の崩壊モードにおける
支配的なスロッシング荷重指標

18

短期海象スクリーニング指標作成



短期海象スクリーニング指標作成



ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

強度評価手順

相対評価手法

対象船及び参照船（実績船）に対して最も厳しいスロッシング荷重が生ずるような短期の海象の絞り込み（模型試験実施）

↓

絞り込まれた最も厳しい短期の海象下で模型試験を実施

↓

対象船における最大圧力期待値が参照船の値を上回らないことを確認

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

1.　研究開発の背景
2.　研究開発実施項目紹介
-1.強度評価手順と課題
-2.衝撃圧力の基礎的知見取得
-3.防熱構造の動的構造応答把握
-4.短期海象スクリーニング指標作成
3.　まとめ

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

まとめ

本日は

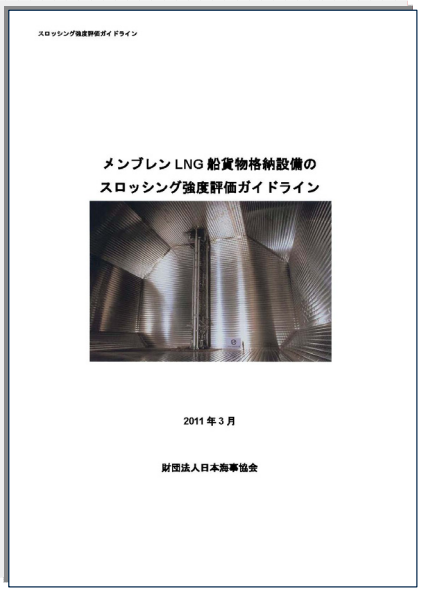
- ✓ スロッシング強度評価ガイドライン評価手順
- ✓ メンブレンLNG船のスロッシング強度評価について相対的な評価手順の確立に一定の目処
- ✓ 模型試験結果のスクリーニングのための指標

23

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

今後の予定

- ◆ 試評価実施
- ◆ 模型試験要領作成
- ◆ 2011年3月にガイドライン発行予定


スロッシング強度評価ガイドライン

メンブレン LNG 船貨物格納設備の
スロッシング強度評価ガイドライン

2011 年 3 月

財団法人日本海事協会

24