

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

Numerical investigation of turbulence near a sheared air-water interface. Part 2 : Interaction of turbulent shear flow with surface waves

せん断を受ける気液界面近傍の乱流に関する数値的研究 (第2報、せん断乱流と表面波の相互干渉)

川村隆文

平成13年4月

Journal of Marine Science and Technology, Vol 5

ラージエディシミュレーション (LES) を用い、せん断乱流と表面波の相互干渉について数値解析を行った。特にLangmuir対流の形成と鉛直方向の運動量の輸送に対する影響について詳細に検討を行った。LES計算において表面波の影響は二通りの方法でモデル化している。一つのモデルにおいては、運動量方程式に表面波の時間平均的な効果を付加項として取り入れた。もう一つのモデルにおいては非線形気液界面条件を通じて表面波の完全な影響を取り入れた。計算の結果、どちらのモデルを使用した場合にもLangmuir対流の形成がはっきりと確認され、表面波の時間平均的な効果が重要であることが分かった。

Langmuir対流の形成により、鉛直方向の運動量の輸送が大幅に増加することが示された。その結果として、平均速度の勾配と流れ方向の乱流強度は減少し、スパン方向と鉛直方向の乱れが増加する。また、乱流エネルギーの収支方程式の評価により、表面波の時間平均影響としてのドリフトと渦度の干渉が主要な乱流エネルギーの発生源となることが示された。

Numerical investigation of turbulence near a sheared air-water interface. Part 1 : Turbulence statistics beneath a flat water surface sheared by wind

せん断を受ける気液界面近傍の乱流に関する数値的研究 (第1報、風によるせん断を受ける平坦な水面下の乱流統計)

川村隆文

平成13年4月

Journal of Marine Science and Technology, Vol 5

せん断力を受ける気液界面近傍の乱流場を直接数値シミュレーション (DNS) 及びラージエディシミュレーション (LES) により解析した。DNSの結果により、せん断力が課せられた気液界面近傍の乱流と固体壁面近傍の乱流には、明白な相違があるとともに、定性的な類似性も見出すことが出来ることが示された。低速ストリーク構造の存在など、定性的な構造は両者で共通しているが、平均流速と乱流強度の分布に有意差があることが確認された。気液界面において粘性底層が存在しないこと、界面に平行な方向の乱れが存在することが両者の違いの原因であることが分かった。サブグリッドスケールモデルの検証のため、同じ流れのLESによる解析を行った結果、DNSで確認された流れの特徴はLESでも良く再現されることが分かった。特にダイナミック混合型のモデルを用いたLESにおいてはDNSに非常に近い結果が得られた。

〈運動性能部〉

波高－波周期－波向の3 相関統計データと船体応答長期予測法への適用について

On the Property of Wave Statistics with Height-Period-Direction Correlation and Its Influence to the Long Term Prediction of Ship Response

辻本 勝、小川剛孝

平成13年 5 月

関西造船協会誌（第236号）

船舶の運航する海域の長期的特性を把握し、船体応答の予測や船舶の運航支援等に利用することを目的として従来より波浪の発現頻度が整理されてきた。しかし波浪を代表する主要素が波高、波周期、波向であるにもかかわらずこれらの3要素の相関を直接整理した統計データGWSが季節別に整理するまでなかった。3相関の波浪統計データを作成する場合の問題点は、統計値としての信頼性を確保するためより多くのデータを必要とすることである。GWSを含む既存の波浪統計データは区分海域をある程度広く取ることによって十分なデータ数を確保しているが、例えば日本の内航船の実海域性能の検討を行う場合、その海域は相対的に狭く取る必要がある。またGWSではデータ数が不十分で3相関統計データを完全な形で利用できない海域が日本近海を含めて少なからず存在する。これらのことから日本近海の3相関統計データを作成するには、より一層時間的・空間的に密度の高いデータが必要となる。

近年、気象庁の沿岸波浪予測結果を基にしてより詳細に日本近海の波浪推算を行うシステムが財団法人日本気象協会により整備され、データ密度の高い波浪推算データを利用することが可能となったので、今回この波浪推算データを用いて波高、波周期、波向、風速、風向の5要素から2要素を選び2相関統計データを作成し、さらに波高－波周期－波向の3相関統計データを作成するシステムを開発した。以下に検討を行った結果を報告する。

最初に波高－波周期－波向の3相関統計データの例を示すとともに、波向毎に波高－波周期の分布が大きく異なる場合があることを示した。

さらに福田により示された船体応答長期予測法に波高－波周期－波向の3相関統計データを適用し、従来より行われてきた波高－波周期の2相関統計データに波向分布を一樣とする場合及び波向分布を考慮する場合に船体応答長期予測を行った結果と比較検討を行った。その結果から、長期予測に大きく影響を及ぼす短期海象の波向特性が無視できず、予測結果に大きく影響を及ぼす場合があることを明らかとした。

また船体応答長期予測に波浪統計データとして通年で整理したデータを使用する場合は、季節や月等で期間を区分して整理したデータを組み合わせて使用する

場合に比べて差が生じるため、その影響について検討を行った。そして季節で区分して船体応答長期予測を行った結果から、後者を用いる方が合理的であることを示すとともに、その差の影響は比較的小さく実用的観点から無視できることを明らかとした。

〈構造強度部〉

緩衝型船首構造の耐衝突性能
(第1報 簡略モデルの崩壊強度)

The performance of buffer bow structures against collision (1st report : Collapse strength of the simplified models)

遠藤久芳、山田安平

平成13年5月

日本造船学会論文集 第189号

最近の大型船はバルバスバウを有しており、このバルバスバウが水線付近および水線以深において真っ先に衝突することから、被衝突船にとり最大の脅威はこの部分である。大型船のバルバスバウは十分大きな断面積を有していることから、衝突船の破壊範囲はバルバスバウより後方に達することは希であると考えられる。緩衝型船首構造の構造要件を検討する場合に最も重要なのは、バルバスバウ部分である。

本研究では、バルバスバウのみを対象として、これを軸対称円錐型に簡略化した構造モデルを用いて、剛壁に衝突した場合の破壊メカニズムおよび圧潰強度・破壊吸収エネルギー特性等の性能を実験的・解析的に検討した。構造モデルは、Suezmax級タンカー扁平型バルバスバウの縮尺1/5程度を想定した。補強様式は総て横肋骨(リングフレーム)式として、フレームスペースと外板の寸法を変えた3種類のモデルを用いた。また、圧潰強度解析のために、Lehmannの円錐筒の逐次塑性崩壊強度解析法および大坪・鈴木の簡易解析法を併用した簡易解析法を開発した。実験結果、FEM解析結果および簡易解析結果を比較検証して簡易解析法の解析精度向上を図った。得られた結論は以下の通りである。

横肋骨(リングフレーム)式で防撓されたバルバスバウは、先端から順に同心円状のFoldingが進展して逐次崩壊する。この崩壊モードでは、ある大きさの反力履歴が繰り返されるので、破壊吸収性能上有利である。

Foldingスパンは、リングフレームスペースと一致するかこれよりも小となる。スパンの大きさは、縦方向補強部材の影響を受けて拡大する。

Lehmannが開発した円錐筒モデルに対する塑性解析法と大坪・鈴木が機能拡張した分割部材法による簡易塑性解析法を併用することによりバルバスバウ部の崩壊メカニズムおよび崩壊強度を明らかにすることができた。本解析法によれば、破壊吸収エネルギーおよび平均的な反力を満足すべき精度で推定することができる。ただし、初期反力のピーク値の推定に関しては精度は期待できない。

Fatigue Strength Tests of Side Longitudinal Frames under Constant Amplitude Loading.

船側縦通材の荷重制御条件における疲労強度特性

熊倉 靖、川野 始、飯野 暢、柴崎広太、
川地俊一

平成13年6月17日

The Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2001)

船体構造の損傷事例の中でも、高張力を多用した大型油送船の船側ロンジと横桁(横隔壁)交差部の疲労問題は、損傷が系統的かつ多数であり設計ルール改良の契機となった点で有名であり貴重な教訓を残した。船側ロンジ疲労問題では、大きく捉えて、波浪変動圧や荷油変動など疲労荷重の厳密化と、交差部構造に特有な形状の複雑さを取込んだ疲労強度評価手法の高度化、の2点が重要テーマであった。

本論文では後者を主題に、船側ロンジと横桁/横隔壁の代表的な構造様式を想定してシリーズ構造模型を製作し、一定荷重繰返しによる疲労試験を実施し、船側ロンジ交差部に対するホットスポット応力による疲労強度評価手法の有効性を確認した。即ち、横桁/横隔壁と交差するL型およびT型断面の船側ロンジのシリーズ疲労試験を行ない、構造詳細ごとの即物的な強度序列を実証的に明らかにし疲労S-N線図を採取した。同時に、供試構造モデルのFEM応力解析(シェル要素の場合とソリッド要素による場合)を行ない、モデル試験体の歪計測結果との比較照合のうえ、詳細部位ごとに与えられるべき詳細応力係数を定めた。詳細様式ごとに与えられる係数と公称応力の積にてホットスポット応力を定義し、これら詳細部材の設計評価へ応用できる手法的枠組を整え確認した。

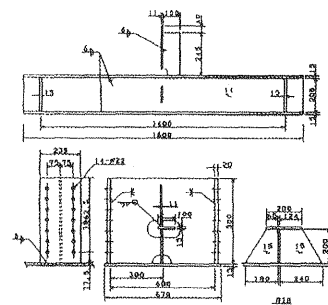


Fig. 1. Type-A (L断面ロンジ)の構造モデル形状寸法

Table 3. 供試した船側ロンジ構造モデル個数

	Longitudinal frame		Total
	L 断面 ロンジ	T 断面	
Type-A(ロンジと横桁の交差部)	9	1	10
Type-B(ロンジと横隔壁の交差部)	L2A	L2B	8
	4	2	
Type-C(ロンジ付き付加物の引張り)	-	6	6
Total	15	9	24

Model Test on the Collapse Strength of the Buffer Bow Structures

緩衝型船首構造の圧潰強度に関する模型試験

遠藤久芳、山田安平、北村 欧、鈴木克幸

平成13年 7 月

2nd International Conference on Collision and Grounding of Ships

衝突されたタンカーからの油流出に起因する環境汚染事故は今なお後を絶たない。この種の事故を未然に防止するためには、潜在的な衝突船の船首を緩衝型構造とすることが有効であると考えられるようになってきている。本研究では、船首部分の縮尺構造模型を作製して圧潰強度実験を実施し、崩壊メカニズム及び反力・破壊吸収エネルギー特性等について調べた。Suezmax級タンカー扁平型バルバスバウをプロトタイプ構造として、縮尺約1/5程度を想定した、実船相似構造模型3体(BB-A、BB-B、BB-C)及び簡略円錐筒模型3体(BC-A、BC-B、BC-C)の2種類計6体の模型を実験に供した。補強様式は、軸方向の強度が比較的小となるように横肋骨(リングフレーム)式とした。1ケースを除いて被衝突物は剛体を想定した。BB-Aについては、ダブルハルVLCC船側構造の縮尺模型SSに衝突させた。

総てのケースについてFEMシミュレーション解析を実施して、実験結果と比較検証した。得られた結論は以下の通りである。

- (1) 横肋骨(リングフレーム)式で防撓されたバルバスバウ部が衝突すると、先端から順に同心円状のFolding(折り畳み)が進展して逐次崩壊する。この崩壊モードでは、ある大きさの反力履歴が繰り返されるので、破壊吸収エネルギー性能上有利である。
- (2) Foldingスパンは、リングフレームスペースと一致するかこれよりも小となる。
- (3) 細長比(フレームスペースと板厚の比)の大きさは、崩壊モード形状及び衝突反力特性にあまり影響しない。
- (4) FEMシミュレーション解析結果は、崩壊モード及び反力履歴について実験結果と良く対応した。
- (5) 実船体船側構造と衝突させたBB-Aの場合には、衝突初期段階では船側外板が一方的に凹損しこの船側外板に船首先端部が包みこまれた。この凹損はある段階で停止して、その後は船首が一方的に崩壊した。この段階における船首の崩壊状況は剛体と衝突させたBB-B、BB-Cの場合と同様であった。

以上の研究結果を参照して、緩衝型船首構造を実船舶に適用する場合の合理的な設計法について若干の指針を示した。

Experimental Study on The Buffer Bow Structures

緩衝型船首構造に関する実験的研究

遠藤久芳、山田安平、北村 欧

平成13年 9 月

8th International Symposium on PRADS

大型でかつ高速航行する船舶が衝突した場合には、被衝突船の船側に大きな損傷を与え、乗組員の安全を脅かすのみならず、積み荷の漏洩により重大な環境汚染を引き起こす恐れも大きい。衝突されたタンカーからの油流出事故を低減するために、潜在的な衝突船の船首を緩衝型構造とすることが有効であると考えられるようになってきた。

本研究では、船首構造の中でもバルバスバウ部に注目して、これを軸対称円錐型に簡略化した構造モデルを用いて、剛壁に衝突した場合の破壊メカニズムおよび圧潰強度・破壊吸収エネルギー特性等の性能を実験的・解析的に検討した。構造モデルは、Suezmax級タンカー扁平型バルバスバウの縮尺1/5程度を想定した。補強様式は総て横肋骨(リングフレーム)式として、フレームスペースと外板の寸法を変えた3種類の模型を用いた。得られた結論は以下の通りである。

- (1) 横肋骨(リングフレーム)式で防撓されたバルバスバウは、先端から順に同心円状のFoldingが進展して逐次崩壊する。この崩壊モードでは、ある大きさの反力履歴が繰り返されるので、破壊エネルギー吸収性能上有利である。Foldingスパンは、リングフレームスペースと一致するかこれよりも小となる。
- (2) 細長比(フレームスペースと板厚の比)の大きさは、 $FS/t=47\sim60$ の範囲ではFoldingモード形状及び衝突反力特性にほとんど影響を及ぼさないことが判明した。
- (3) FEMシミュレーション解析結果は、崩壊モード及び反力履歴について実験結果と良く対応した。

また、これらの研究結果を基にして、緩衝型船首構造を実船舶に適用する場合の実用的な設計法について以下の指針を示した。

- (1) 単位断面積当りの抵抗強度を極力小さくする。ただし、断面全体の抵抗強度はできるだけ大きくする(破壊吸収エネルギーを大きくする)。
- (2) バルバスバウ先端形状を尖鋭にすることを避ける。バルバスバウ付け根部の断面積を小さくする。
- (3) 横肋骨(リングフレーム)方式を採用する。

〈材料加工部〉

低変態温度溶接材料を用いた角回溶接継手の疲労強度向上

—溶接後熱処理による3倍化—

Fatigue Strength Improvement of Box Welds by Using Low Transformation Temperature Welding Material — Tripled Fatigue Strength by Postweld Heat Treatment —

太田照彦、渡辺 修、松岡一祥、前田芳夫、
鈴木直之、久保高宏

平成13年5月

溶接学会論文集第19巻第2号

降伏応力821MPaのHT780鋼材により、角回し溶接継手を製作した。溶接材料には、10%Ni、10%Crの低温変態合金を用いた。溶接後、試験片を720°Cで1時間保持し、オーステナイトに変態させた後、空冷してそれぞれの材料が変態温度に従って順次マルテンサイトに変態するようにした。この試験片を用いて、溶接残留応力の測定と疲労試験を実施した。また、溶接材料と母材との局部電池による腐食特性を把握するために、ビードオンプレート試験片を製作し、4年間の人工海水散布試験を実施した。

溶接後熱処理を施した試験片の止端部から3mmの位置の残留応力は100MPa程度の圧縮となった。ちなみに、一般的な溶接材料を用いた場合、この箇所の残留応力は300MPa以上の引張である。溶接後熱処理を施した試験片の疲労強度は、この圧縮の残留応力の影響により、従来の溶接材料を用いた角回し溶接継手の3倍以上になった。

ビードオンプレート試験片の人工海水散布試験では、最大深さ2mm程度の孔食が母材に生じたが、溶接金属と母材の局部電池による選択的な腐食は観察されなかった。

チタン隅肉溶接継手の疲労強度

Fatigue Strength of Fillet Welded Joint of Titanium

岩田知明、松岡一祥

平成13年5月

軽金属溶接構造協会第31回研究発表会講演概要

チタンの、高い耐食性による維持コスト削減、高比強度による燃費向上などの、環境・経済効果が船舶分野で近年注目されて来っており、検査規準の緩い漁船においては、既に構造部材に使われ始めている。しかし、検査規準の厳しい客船・貨物船においては、実績が乏しく、設計、製造及び検査方法が確立されていないため、規準化のための基礎資料整備が望まれている。特に船舶では、船体構造特有の隅肉溶接箇所が多く、これらのデータ不足が適用の妨げになっている。本研究では、チタン船開発を促進するため、溶接製チタン薄板構造の基礎資料整備として、隅肉溶接継手の疲労試験を行った。

応力比 $R = 0$ 、周波数5 Hzの条件で疲労試験を行った。試験データから、最小自乗法によってS/N特性曲線を求め評価を行なった。S/N特性曲線は、完全に破断するまでの繰返し数を N_f 、応力範囲を ΔS として、 $N_f = C / \Delta S^m$ によって求められる。ここでは、Cは比例定数、mは疲労強度曲線の傾きを表している。また、構造的応力集中係数（縦すみ肉溶接継手1.57、突合せ・横すみ肉溶接継手1.02）を用いて計算したホットスポット応力から、縦すみ肉継手の場合も、構造的形状応力の効果を取り除けば、他の溶接継手に近い疲労強度となることがわかった。他の溶接継手より20MPaほど低下しているのは、残留応力の寄与分と考えられる。特に長寿命側ほど低下が大きくなる。

本研究により以下の結論が得られた。チタンの疲労等級は、突合せ溶接継手117、溶接部で破断した突合せ溶接継手119、横すみ肉溶接継手111、縦すみ肉溶接継手64となった。母材の疲労強度が圧延方向の影響を受けるのに対し突合せ溶接継手・横すみ肉溶接継手の疲労強度はその圧延方向の影響を受けなかった。構造的形状応力を持つ縦すみ肉継手の疲労強度は、母材や他の継手の疲労強度を大きく下回った。特に長寿命側で低下が大きくなるのは、残留応力の影響と考えられる。鋼材の場合とS/N曲線の勾配が異なった。その理由としては溶接残留応力や応力集中の違いが考えられるので、現在厚板の試験を実施中である。

鋼板の反発を利用した厚さ測定法の検討（第一報）

－鋼球落下とシュミットハンマによる方法－

Investigation on Thickness Measuring Technique Based on Repulsion Behavior of Steel Plates (first report)

－Steel Ball Drop and Schmidt Hammer Methods－

島田道男、吉井徳治、成瀬 健

平成12年

日本非破壊検査協会 非破壊検査

海洋環境で運用される船舶は、腐食衰耗によって部材の厚さが減少し船体強度の低下を招くことが多い。そのため、適切な厚さ管理が保守管理上不可欠となっている。

厚さ測定には一般的に超音波厚さ計が用いられているが、腐食生成物の除去と腐食面平滑化のためのグラインダ処理が必要であり、適用性が良くない。精度が低くても適用性に優れた厚さ測定法が求められている。

船舶検査の現場では、ハンマで叩いたときの音や振動から部材劣化度を経験的に判断することが行われているが、客観性、定量性に乏しい欠点がある。

超音波厚さ測定の腐食部材への適用性を改善することは、現状では多くの困難が予想され、また、電磁誘導法による厚さ測定も船舶への十分な適用性を獲得するまでに至っていない。

そこで、現実に行われているハンマリングに着目し、ハンマリングで得られる厚さに関する情報を明らかにするための実験を行った。鋼板上へ鋼球を落下させたときの反発挙動は、接触時間が短いので固有振動の影響を受けずに鋼板の厚さが反発挙動に与える効果を明らかに出来る。

鋼板上の鋼球の跳ね返り時間間隔、溶接時間を測定できる電気回路を構成し、鋼板厚さ、鋼球径、落下高さを変えて、実験データを収集した。また、鋼球落下の有限要素解析、シュミットハンマによる測定も実施した。

反発係数と接触時間は、補強材から100mm以上離れた鋼板上では、一定値に収斂することが分かった。また、反発係数は、鋼球径と板厚の関数となっており、厚さが小さいと反発係数が小さくなることが分かった。反発係数から厚さ推定が可能であるが、厚い鋼板では大きな鋼球による評価を必要とする。

シュミットハンマの反発度も鋼球落下の反発係数と同様の板厚依存性を示し、厚さ推定に有効なことが分かった。

〈装備部〉

船室天井の振動特性について

Vibration Characteristics of a Cabin Ceiling with some Vibration Reduction Hangers

原野勝博、今里元信、宮田 修

平成12年 9月

日本騒音制御工学会

2000年度 研究発表会講演論文集

天井には通常軽量のパネルが使われるが船舶も例外でなく、近年は薄鋼板をコの字に成型し、グラスウール等の断熱材を貼り付けた天井用カセットパネルが広く用いられている。天井用カセットパネルはパネル側端の折り返し部を互いに差し込で幅方向に連結して行く施工法で工事が容易であるが剛性が小さいため、上部デッキから防振ゴムを用いたハンガーで防振支持する際は高い防振効果を達成し難い様である。前報で天井の防振ハンガーの改善にシリコン絶縁体を用いた処防振効果が大幅に向上したと報告したが、その理由が明確でなかった。また実験方法にも不備があったのでその改善を図り、より実際の施工に近い天井モデルによるハンガーの防振効果や船室モデル天井の振動特性を測り直した処、前報とは異なる以下の結果が得られた。

- (1) シリコン絶縁体と同程度の動バネ定数の通常のゴムとでは、防振効果に有意な差違は認められなかった。シリコン絶縁体により実船での防振効果が大幅に向上したのは別の理由によるものと考えられる。
- (2) 非常に軟らかい振動絶縁材を用いても、ハンガーを取り付けない状態よりO.A値で振動レベルが20dB増大し、ボルトで結合した場合と9dBしか違わなかった。このことから、軽量パネルの効果的な防振は大変困難と思われる。
- (3) 特に振動が大きいと思われない当所の実験室における船室モデル天井の暗振動がO.A値で85dBもあった。これは振動実験に影響を与えるレベルであり、留意すべきことである。

Evaluation of expected maximum values of forces acting on containers and on lashing rods on a container ship

コンテナ船上のコンテナ及び固縛ロッドに作用する力の最大期待値の評価

中村朋宏、太田 進、中島喜之

平成13年

Jernal of Marine Science and Technology, Vol.6.
No.1

コンテナの固縛を評価するためには、所与の外力条件下において、固縛ロッドに作用する張力、ツイストロックに作用する剪断力、コンテナに作用するラッキング力、コンテナの柱に作用する圧縮力等の力を計算し、これらの力が許容値を超えないことを確認する必要がある。コンテナの固縛評価法は各船級協会が規定しており、外力も簡易式で定められているが、その根拠が明確でないため、これらの式が近年建造されている大型コンテナ船に適用できるか否かが明らかでない。一方、IGD Codeでは、タンクの強度評価において加速度の長期予測を行い、加速度楕円／楕円体を用いて加速度の最大期待値を設定する方法について言及している。加速度の長期予測は船が大きい場合でも適用できることは明らかであるが、加速度楕円／楕円体を固縛の評価に用いることの妥当性については論じられていない。

本研究では、コンテナや固縛ロッドに作用する各種の力の長期予測結果と、加速度の長期予測及び加速度楕円体により設定した加速度条件下で計算したこれらの力を比較することにより、加速度楕円体を固縛の評価において用いることの妥当性を調べた。その結果、加速度楕円体を用いて設定した加速度条件下で求めた各種の力は、それぞれの力の長期予測結果以上であり、また、その差異も許容できないものでは無かった。このことから、加速度楕円／楕円体は、コンテナの固縛評価における外力設定法の際にも用いることができると言える。