

「実海域におけるホッピングを考慮した船体構造応答及び疲労強度評価」に関する 調査研究

【最終報告】

目次

1. 事業の目的・目標
2. 期待される効果
3. 研究概要
4. 実施スケジュール
5. 活動内容
 - 1) 会合開催状況
 - 2) 実船計測データを用いたホッピング現象に関する検討
 - 3) 有限要素解析によるホッピングの再現と応力の推定
 - 4) ホッピング抽出アルゴリズムの開発
 - 5) シミュレーションによるホッピングの検討
6. 付録
 - 1) 実船計測データを用いたホッピング現象に関する検討
 - 2) 有限要素解析によるホッピングの再現と応力の推定
 - 3) ホッピング抽出アルゴリズムの開発
 - 4) シミュレーションによるホッピングの検討

事業の目的・目標

事業の目的

- 各船種における実船計測結果に基づくホッピング発生確率及び発生条件の調査を行い、現在運航している船体及び貨物の安全性へのホッピング影響を検証する。

事業の目標

- 5船種(バルク、タンカー、LNG船、コンテナ船、自動車船)における実船計測の実施。コンテナ船と自動車船においては複数個所で計測。
- 実船計測データに基づく、ホッピング発生判断基準を策定する。
- 累積加速度/累積応力から、船体外力履歴プロファイルを作成する。
- 船体運動予測プログラム(線形ストリップ法/剛体モード非線形ストリップ法/弾性体モード非線形ストリップ法)と実船計測データとの比較を行い、船体動揺およびホッピング発生予測手法を構築する。

期待される効果

技術的効果

- 各船種において、荒天時にホッピングにどの程度遭遇するか、その発生確率と発生条件、また、発生時の船体構造への影響度合いについて、知見・データの整理が行われ、船体構造基準の検討材料の一つとして活用される見込みである。また、その知見を利用して、長期的な疲労強度評価が可能となる。

経済的効果

- 船舶設計の基準作りに資するデータ蓄積であり、より船の実運航に即した基準作りにつながると考えれば、より合理的な船舶設計、構造設計に役立てられると考えられる。また、船会社にとっては、船の荒天時の運航に関する知見の蓄積につながり、安全性と経済運航の両立を進める上で有用な知見が得られると期待される。

研究概要

研究題目

「実海域におけるホイッピングを考慮した船体構造応答及び疲労強度評価」に関する調査研究

研究体制

- 主体
 - ・株式会社MTI

- 共同研究者
 - ・一般財団法人日本海事協会
 - ・日本郵船株式会社
 - ・株式会社三井造船昭島研究所
 - ・東京大学人工物工学研究センター 鈴木克幸教授

研究期間

- ・平成25年11月～平成27年1月

実施スケジュール

	平成25年	平成26年				平成27年
	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4
①実船計測	←				→	
②実船計測データの分析	←				→	
③有限要素解析	←				→	
④ホッピング自動抽出	←				→	
⑤船体動揺シミュレーション	←				→	
⑥報告書作成						↔

活動内容 1

1)会合開催状況

会合	開催日時	開催場所
2013年度		
第1回	1月14日 15:30～17:00	MTI本社
第2回	3月17日 15:30～17:00	MTI本社
2014年度		
第3回	5月12日 15:30～17:00	MTI本社
第4回	8月 1日 15:30～17:30	三井造船昭島研究所
第5回	10月8日 15:30～17:30	MTI本社
第6回	12月8日 15:30～17:30	MTI本社
第7回	1月19日 15:00～17:30	MTI本社

活動内容 2

2)実船計測データを用いたホッピング現象に関する検討

- 最長2年半にわたる実船計測のデータ分析により、各船において計測期間中発生したホッピングと思しき弾性振動を確認した。
- 複数個所での加速度の計測を実施した自動車船において、船尾部よりも船首部において大きな加速度が発生していることを確認した。

3)有限要素解析によるホッピングの再現と応力の推定

- 船体の有限要素解析により、加速度と応力の関係を求め、加速度計測により、ホッピングによる船体にかかる応力の履歴を推定し、強度への影響を推定することができるかを検討した。
- PCC船において、ホイールハウスに設置した加速度計の計測データを元に、スラミングなどの外力プロファイルを作成し、ホッピングにより生じる船体各部の応力を推定することが可能であることが判った。
- 他の船種における検討、加速度計設置位置による影響(特に上部構造を持つ船においてその振動の影響を受ける場合など)、複数の加速度計により計測した場合の推定精度などについては、今後の検討課題である。

活動内容 3

4)ホッピング抽出アルゴリズムの開発

- 実船の加速度計測データから、ホッピングが発生したと思われる箇所を高速に自動抽出するアルゴリズムについて検討した。
- 具体的には、Z方向加速度に離散フーリエ変換を施し、事前に分かっているホッピング周波数近辺の周波数における振幅がある閾値を超えた場合、ホッピングが発生していると思なす方法のアルゴリズムを開発した。
- 開発したアルゴリズムにより抽出したホッピングを前回の報告書で報告されているものと比較し、その有効性を確認した。
- どの程度のものをホッピングと考えるかは、その船体寿命への影響、固縛への影響などを考慮した基準の策定が必要であり、今回は基準の策定まで至らなかった。
- また、他の船種に対して、この手法の確認を行うことが必要である。

5)シミュレーションによるホッピングの検討

- コンテナ船を対象として、実船計測およびシミュレーションによる調査を行った。
- 剛体、弾性体の各モードを用いた非線形ストリップ法で、不規則波中シミュレーションを実施し、極値解析結果を比較した。
- 剛体モードでは、線形計算よりも最大値が小さくなり、弾性体モードでは、線形計算よりも最大値が大きくなる場合があることがわかった。
- また、シミュレーション時系列の比較から、短波長の場合は、剛体と弾性体では縦曲げモーメントが大きく異なることが分かった。
- 実船計測データと同条件でシミュレーションを実施した結果、このケースにおいては、計測例同様、顕著なホッピングは生じなかった。

課題と今後の展開

本研究で残された課題

- 加速度の実船計測データから、条件を仮定した上でホイッピング現象が抽出できることが確認できたが、条件となるものの程度をホイッピングと考えるかの基準策定までは至らず、ホイッピングの船体構造への影響、固縛への影響などを考慮した基準の策定が必要である。
- 本研究にて実施したホイッピング発生時の船体への応力推定により、自動車船でのホイールハウスに設置した加速度計の計測データを元に、スラミング力などの外力履歴プロファイルを作成し、ホイッピングにより生じる船体各部の応力を推定することが可能であることが判った。他の船種での検討、加速度計の設置位置を変えたときの影響、複数の加速度計により計測した際の推定精度への影響などは今後の検討課題である。
- 別途、応力計測を行う研究が望まれる。実船計測データとシミュレーションの対比を詳細に行い、関係性を明らかにすることで加速度と応力の推定が可能であると思われる。
- 本研究では計測加速度から弾性応答による応力を推定する方法を提案したが、最終的な疲労強度評価、船体状態評価する為には、剛体としての応答も含めた評価が必要である。

今後の展開

- ホイッピング基準の策定、また、開発したホイッピング現象の自動抽出方法につき、自動車船以外の船種においても確認を行うことが望ましい。
- ホイッピング発生時の船体への応力推定について、今回対象とした自動車船以外の船種での検討、また、加速度計設置位置を変えた時の影響、複数の加速度計により計測した際の推定精度への影響などについて、検討することが望ましい。
- 数値シミュレーションによるホイッピング現象発生時の推定検討において、十分な数の実船計測データとシミュレーションとの対比を詳細に実施することが望ましい。
- 実船計測データおよび数値シミュレーションから、ホイッピング現象の発生条件等を明らかにし、遭遇海象における船体運動、船体構造、固縛資材へのホイッピング影響の評価を可能とすることが望まれる。

以上

付録

- 1) 実船計測データを用いたホッピング現象に関する検討
- 2) 有限要素解析によるホッピングの再現と応力の推定
- 3) ホッピング抽出アルゴリズムの開発
- 4) シミュレーションによるホッピングの検討

付録1

実船計測データを用いたホッピング現象に関する検討

背景及び目的

本研究の背景

- 近年、流力弾性応力による重畳応力が船体構造に損傷を引き起こす危険性が指摘されている。
- 特に、荒天時にスラミングのような衝撃的な波浪外力を受け、それによりホイッピングが生じる際に、合成応力が縦曲最終強度を上回る可能性がある。
- 平成24年2月から平成25年4月まで実施した「実海域におけるホイッピングを考慮した船体構造応答及び貨物固縛に関する調査研究」で、複数種類の船種において実船の加速度計測を実施し、各船種で実海域でのホイッピング現象を確認することができた。
- これにより、従来の歪ゲージによる計測の代替手法として、簡易な加速度計測によってホイッピング現象を捉えることが可能であることが分かった。
- 但し、Phase1では、最大で8ヶ月程度の計測しか行われておらず、十分なデータが計測されたとは言い難い状況であった。
- そこで、本研究では、Phase1終了後も引き続き計測を行い、より長期間のデータを収集する。また、自動車船について複数箇所での加速度計測もあわせて実施する。

本研究の目的

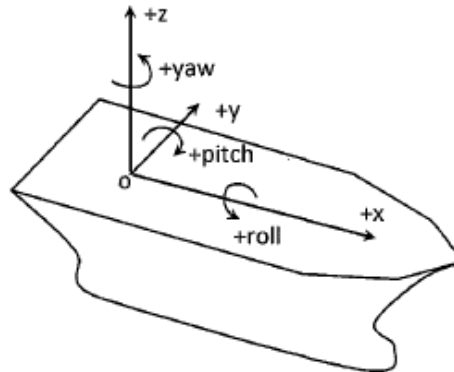
- 5船種(バルク、タンカー、コンテナ船、LNG船、自動車船)の加速度の実船計測を実施する。
- この実船計測データを基にホイッピング現象について検討する。

実船計測概要

計測対象船及び計測期間

対象船種	計測開始	計測終了
自動車船	2012年2月28日	2014年7月5日
LNG船	2012年2月23日	2014年11月12日
タンカー	2013年4月4日	2014年2月5日
コンテナ船	2013年1月1日	2014年5月30日
バルク	2012年11月18日	2014年7月4日

計測センサーの座標計



実船計測概要

計測センサー取り付け位置

	X(Midshipから 船長方向を正)	Y(CLから 左舷側を正)	Z(BLから)	設置場所
自動車船 (2012年2月28日～ 2012年6月26日)	-64.32m	-1.85m	41.46m	Wheel House
自動車船 (2012年6月26日～)	-76.40m	-5.14m	40.78m	
LNG船 (2012年2月23日～ 2012年月2日)	96.80m	-3.26m	51.45m	
LNG船 (2012年8月3日～)	96.50m	-7.47m	51.49m	
タンカー	128.60m	-0.30m	48.33m	
バルク-1	116.75m	2.44m	40.06m	
バルク-2	91.52m	-4.58m	32.97m	
コンテナ船	82.52m	-2.90	47.80m	

データ解析方法 1

Z方向加速度のフィルタリング

➤ RAWデータ

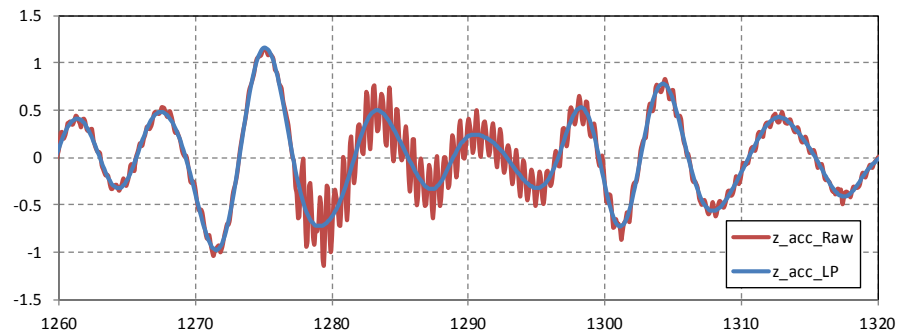
- 弾性応答を含むZ方向加速度
- 計測したZ方向加速度から重力加速度成分を差し引き作成

➤ LPデータ

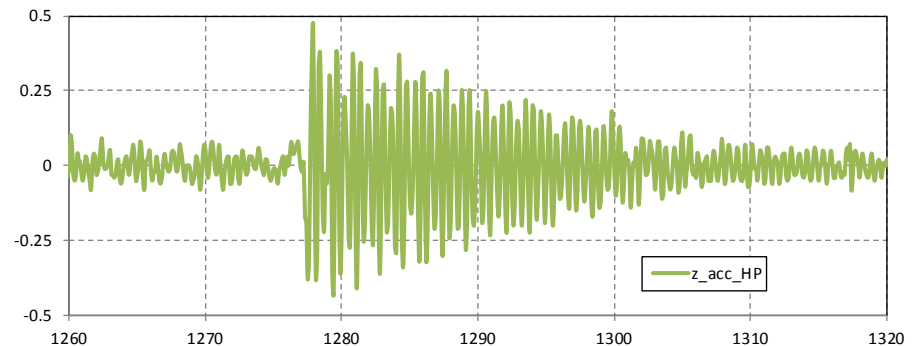
- 波浪変動によるZ方向加速度
- Rawデータに、船体の固有振動数を考慮し、ローパスフィルター(0.33[Hz]以上をカット)をかけて作成

➤ HPデータ

- Z方向加速度の弾性応答成分
- RawデータとLPデータの差から作成



RAWデータ及びLPデータ

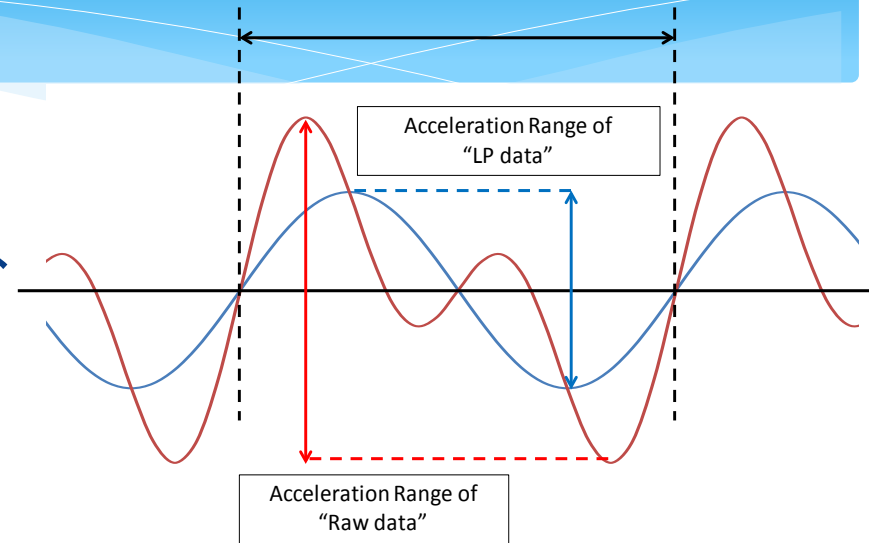


HPデータ

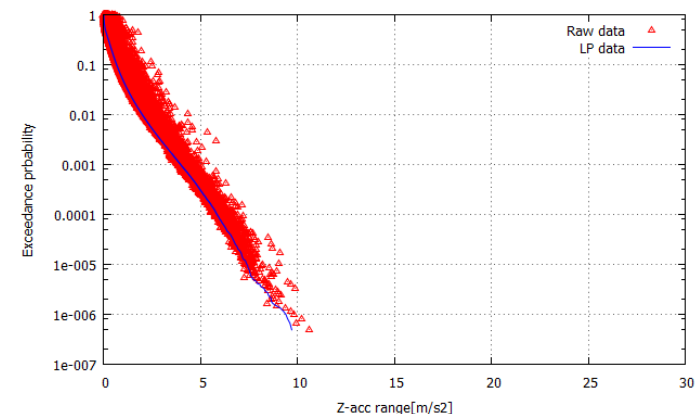
データ解析方法 2

超過確率分布によるホッピング候補の抽出

- LPデータをゼロアップクロスカウントし、波浪変動による加速度応答をカウントした。
- ゼロアップクロスで取り出した、各加速度応答中で、LPデータの最大値と最小値の差を求め、これをLPデータの加速度範囲とした。
- また、同じ加速度応答中で、RAWデータの最大値と最小値の差を求め、これをRAWデータの加速度範囲とした。
- 抽出したRAWデータ及びLPデータの加速度範囲の超過確率分布を求めた。この時、RAWデータはLPデータの加速度範囲と対応を保つよう並び替えた



LPデータ、RAWデータの
加速度範囲の定義

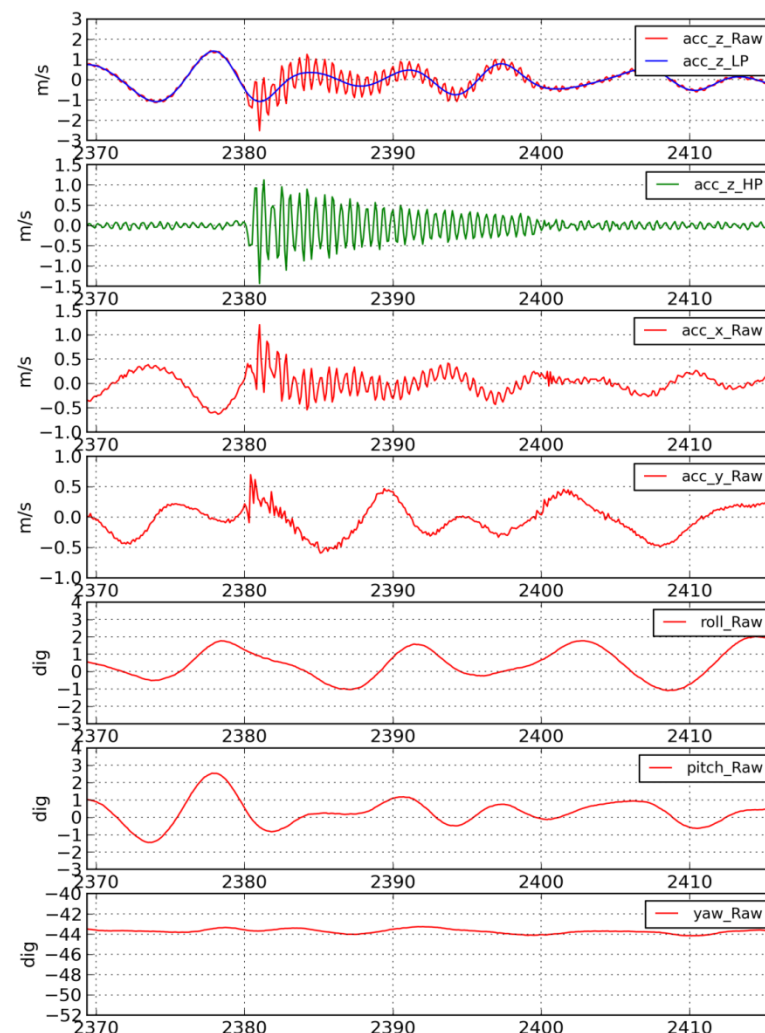


LPデータ及びHPデータ加速度範囲の
超過確率分布

データ解析方法 3

時系列データの観察

- 超過確率分布においてRAWデータが最大となったデータの時系列を確認した。
- X、Y方向加速度、船体動揺(Roll、Pitch、Yaw)の計測結果も確認し、整合性を確認した。

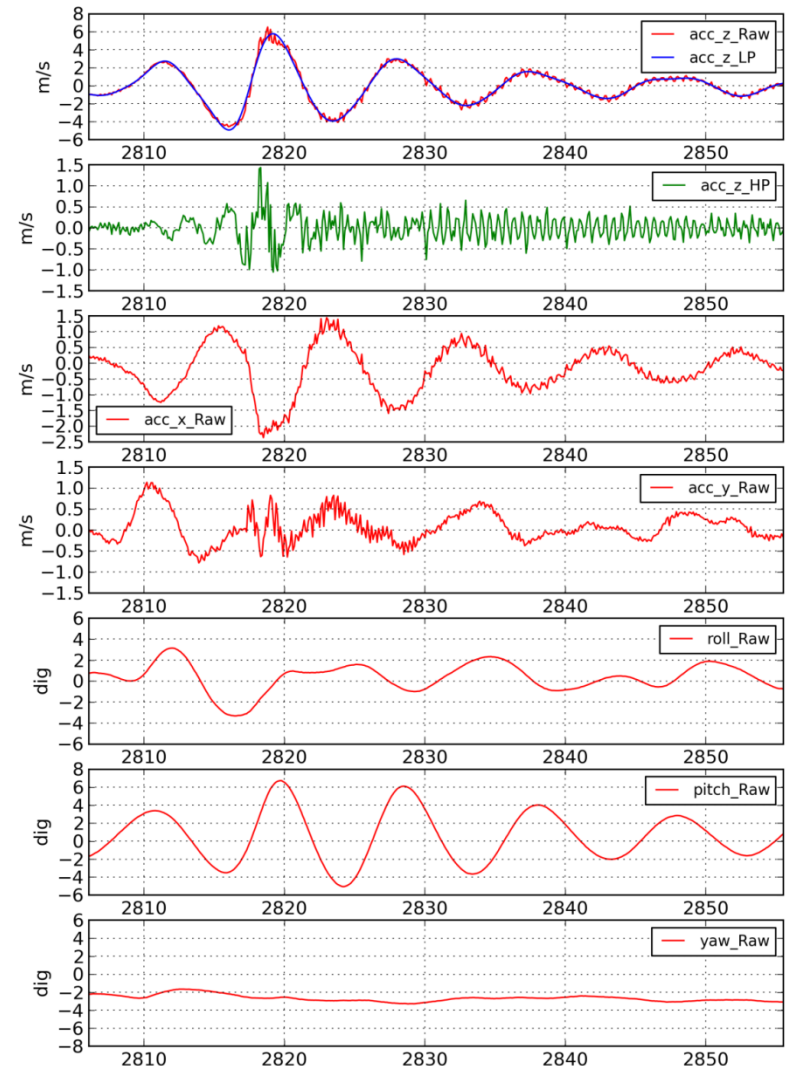
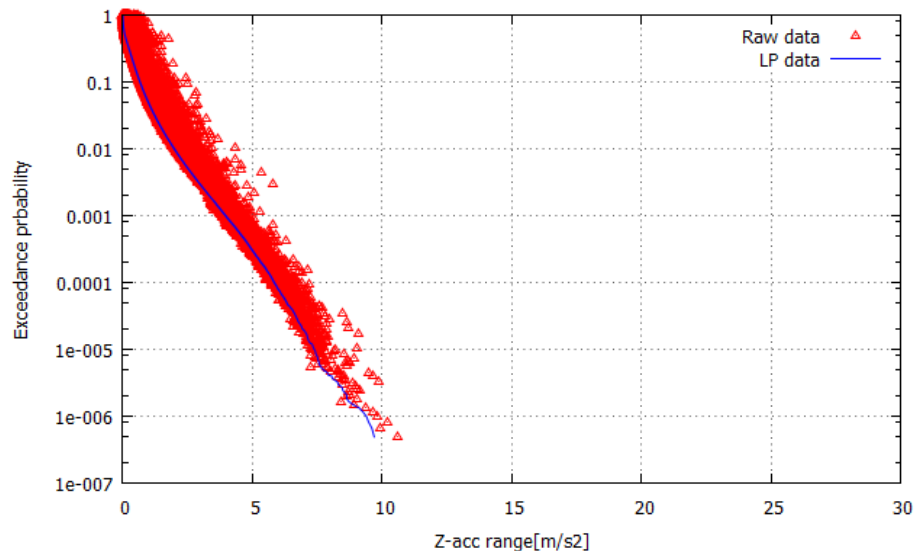


船体動揺及び加速度の時刻歴グラフ

解析結果 1

PCC船

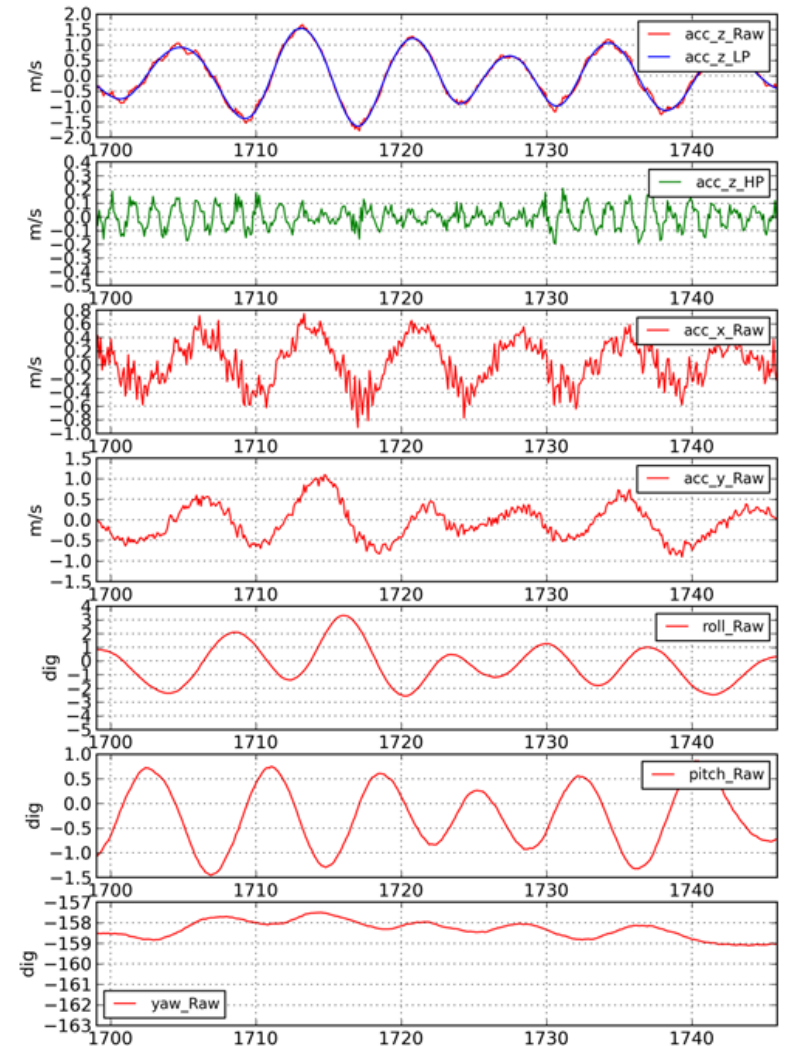
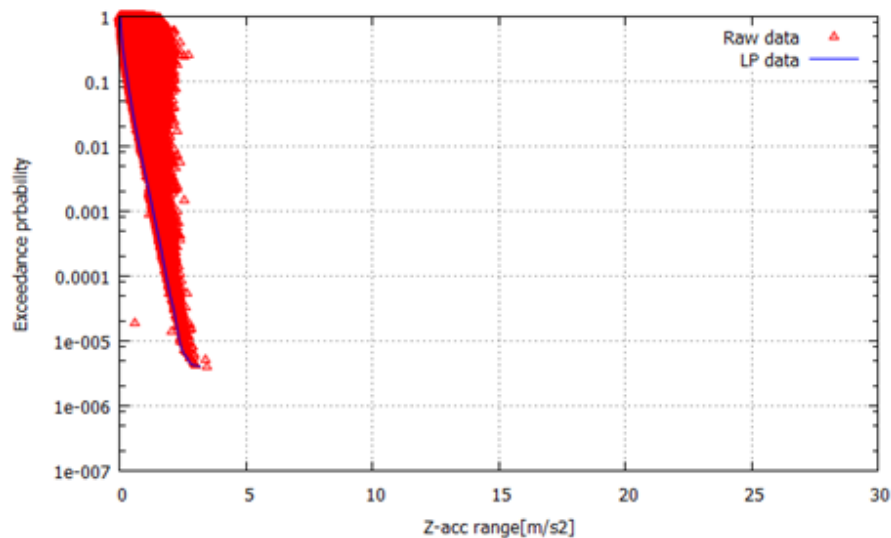
- 加速度範囲の超過確率分布を下図に示す。
- RAWデータの加速度範囲が最大となったデータの時系列を右図に示す。



解析結果 2

LNG船

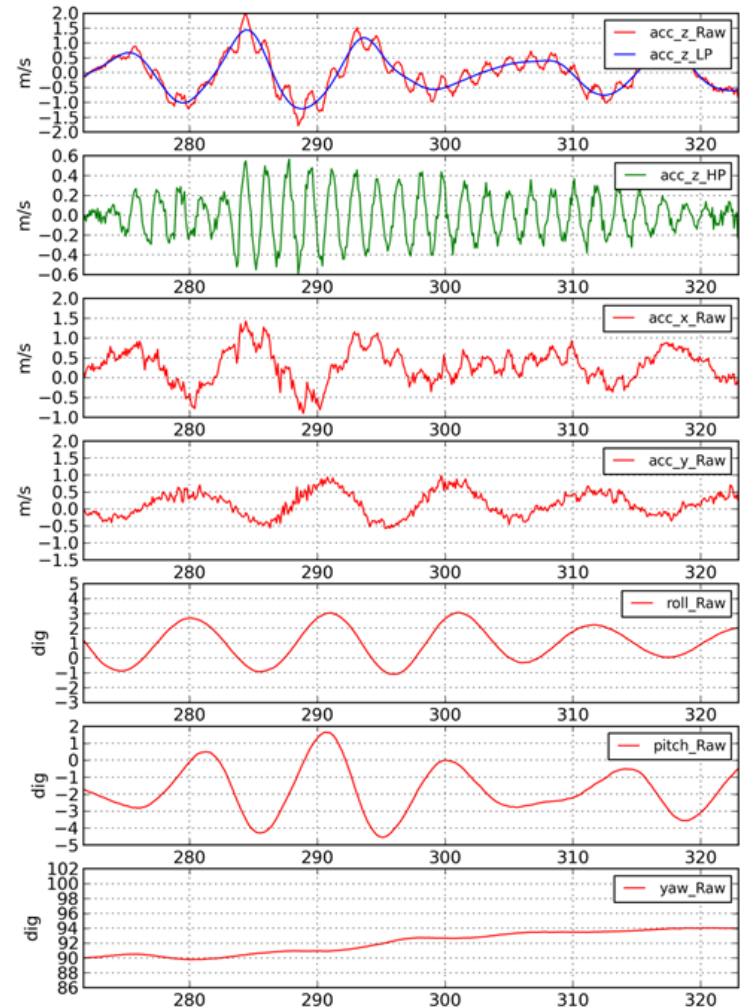
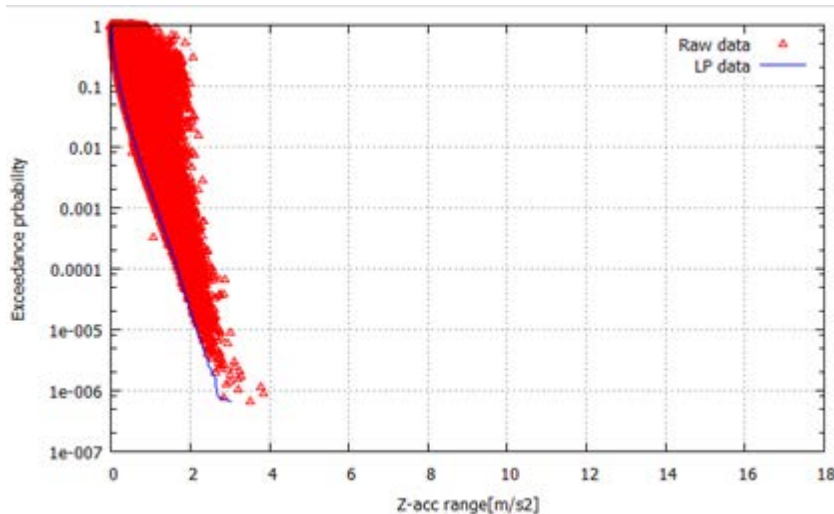
- 加速度範囲の超過確率分布を下図に示す。
- RAWデータの加速度範囲が最大となったデータの時系列を右図に示す。



解析結果 3

タンカー

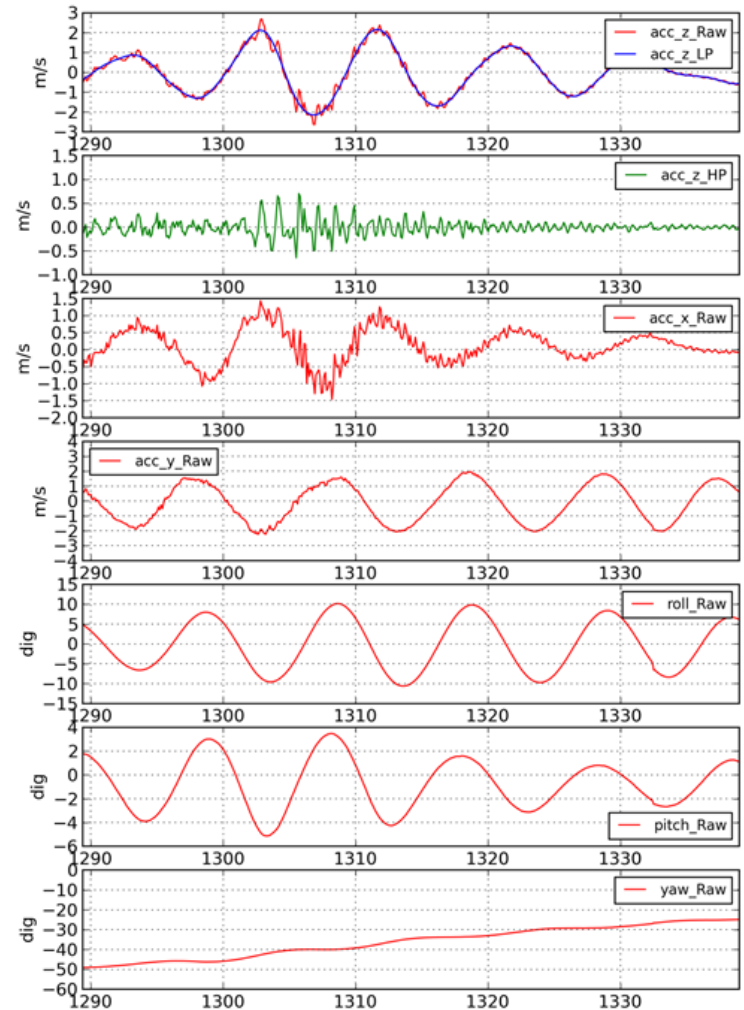
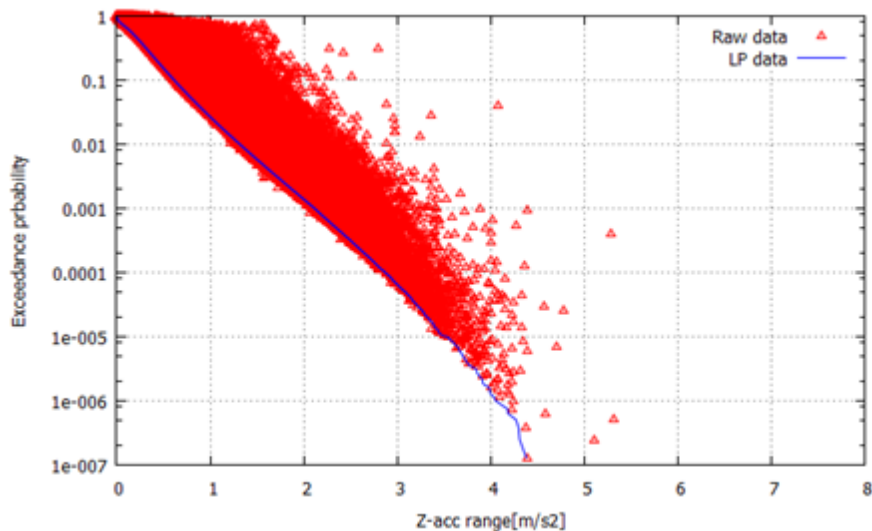
- 加速度範囲の超過確率分布を下図に示す。
- RAWデータの加速度範囲が最大となったデータの時系列を右図に示す。



解析結果 4

バルク

- 加速度範囲の超過確率分布を下図に示す。
- RAWデータの加速度範囲が最大となったデータの時系列を右図に示す。



PCC船における複数箇所での計測概要

計測期間

対象船種	計測開始	計測終了
Bridge	2014年7月5日	2014年11月16日
Bosun Store	2014年7月5日	2014年10月12日
CCR	2012年2月14日	2014年11月16日

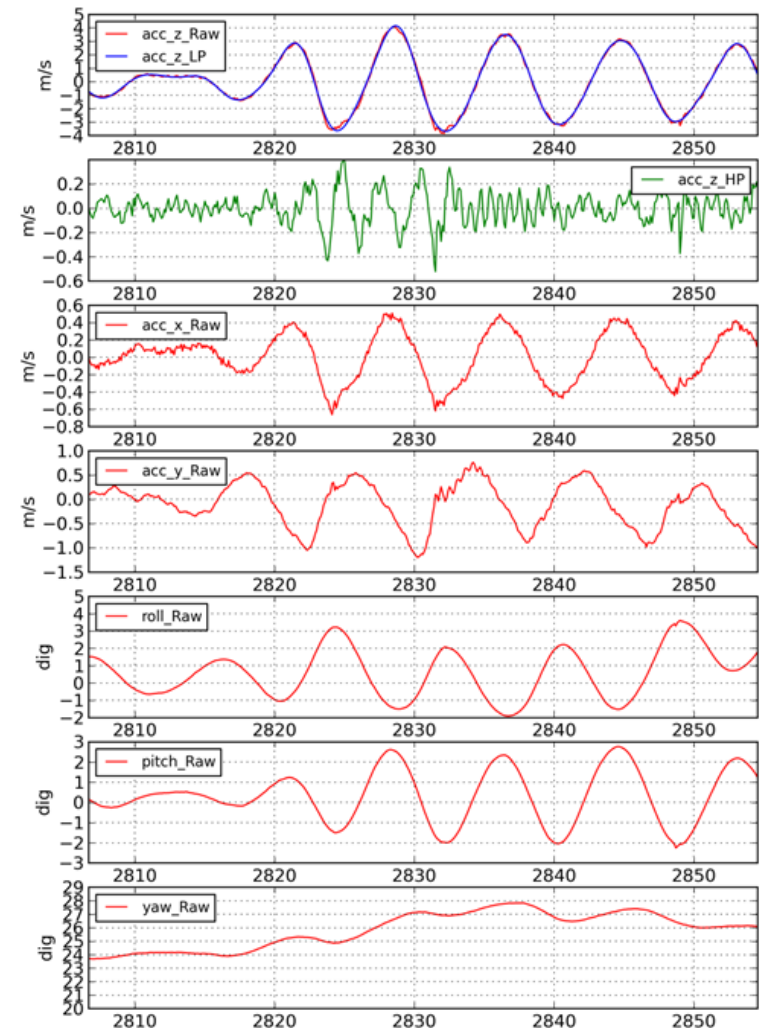
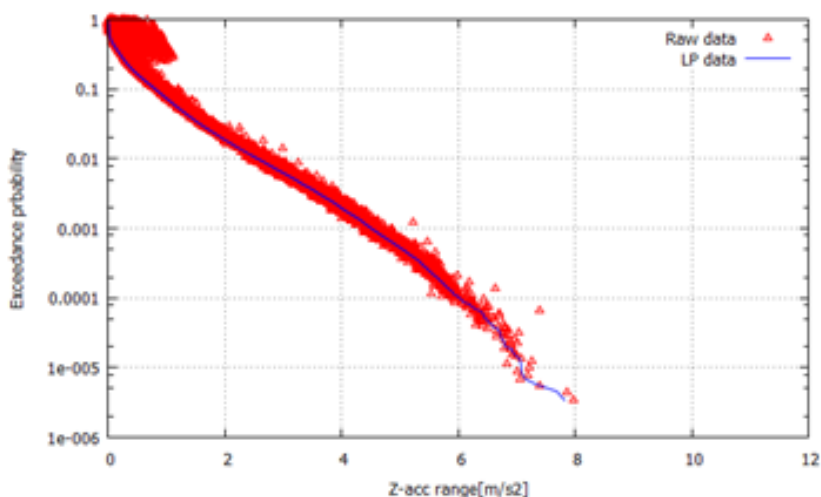
計測センサーの取り付け位置

	X(m) rel. APP	Y(m) rel. CL	Z(m) rel. BL
Bridge	168.16	4.57	37.51
Bosun Store	18.23	3.25	21.72
CCR	16.30	12.26	16.45

解析結果 5

PCC船 Bosun Store

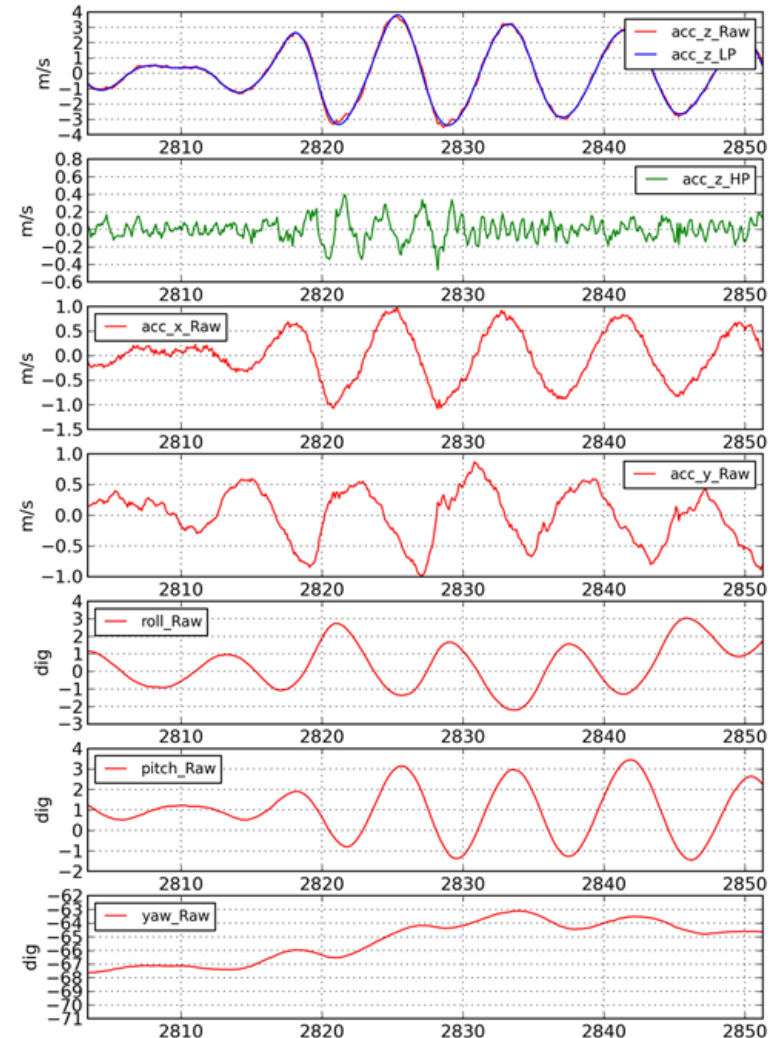
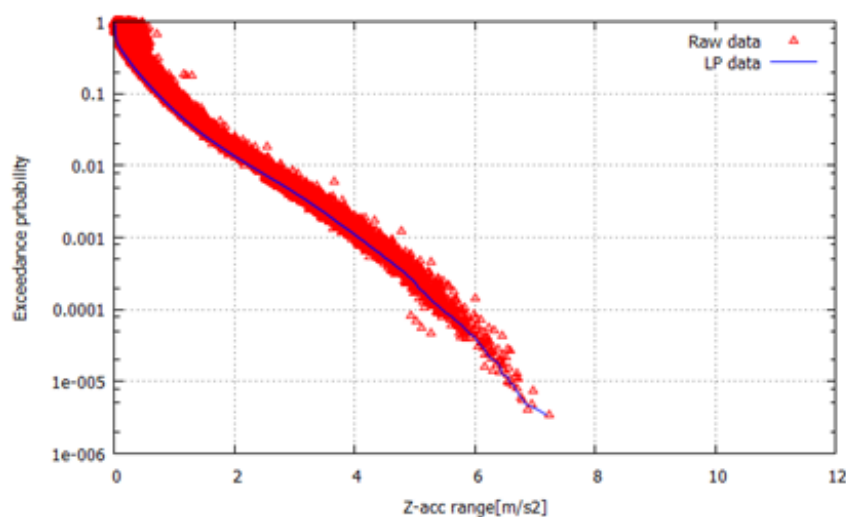
- 加速度範囲の超過確率分布を下図に示す。
- RAWデータの加速度範囲が最大となったデータの時系列を右図に示す。



解析結果 6

PCC船 Bridge

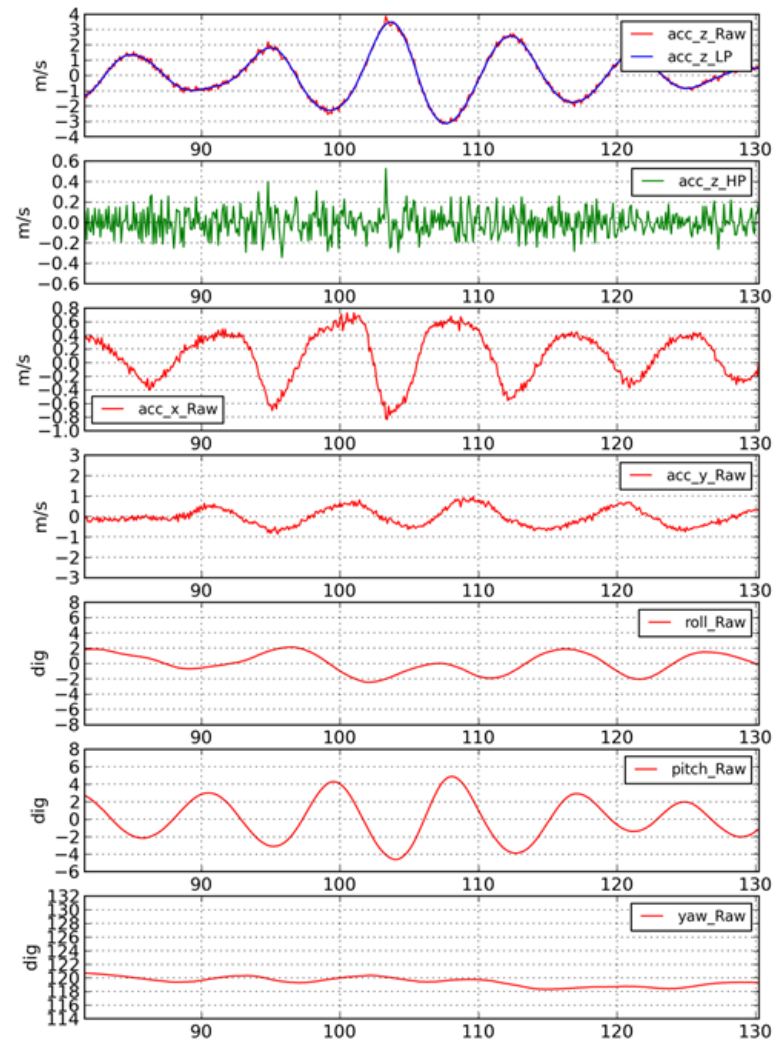
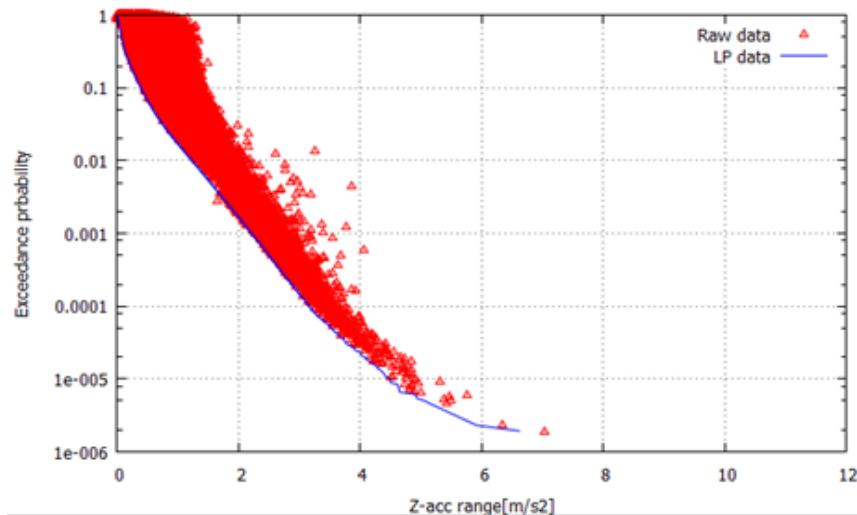
- 加速度範囲の超過確率分布を下図に示す。
- RAWデータの加速度範囲が最大となったデータの時系列を右図に示す。



解析結果 7

PCC船 CCR

- 加速度範囲の超過確率分布を下図に示す。
- RAWデータの加速度範囲が最大となったデータの時系列を右図に示す。



解析結果 8

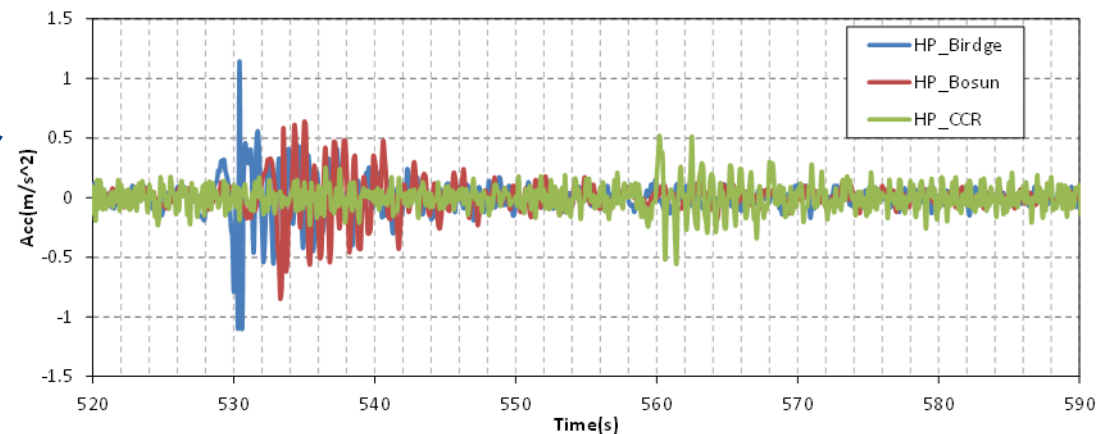
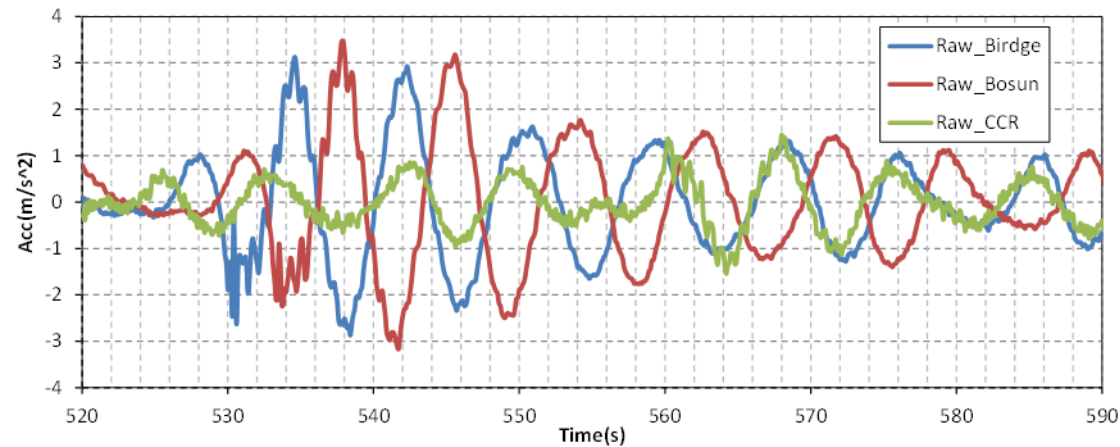
PCC船 3箇所での計測データ比較

- Bosun Store, Bridge, CCRのいずれにおいても比較的大きな応答が発生していた日時に計測されたZ方向加速度データの1例を示す。

- 上図: RAWデータ

- 下図: HPデータ

- 船首部に位置するBosunとBridgeでほぼ同じ応答の大きさ、一方、船尾部に位置するCCRでの計測値はこれよりもやや小さな値となっていた。



まとめ

- Phase1の研究に引き続き、本研究では自動車船、バルクキャリアー、VLCC、LNG船の実船計測（船体動揺及び加速度）を実施し、ローパスフィルターをかけ、計測データを波浪変動による振動応答、弾性振動応答に分離し、この結果を統計的に処理した。この結果、最長2年半という長期の計測期間中に、各船で発生した z 加速度の大きさを把握する事ができた。時系列データを確認し、ホッピングと思しき弾性振動が発生している事も確認できた。
- 本研究では自動車船において別途、複数箇所での加速度計測を実施した。この結果、船尾部よりも船首部において大きな加速度が発生している事が確認できた。

今後の課題

➤ ホイッピングの定義:

本研究では、時系列グラフを目視で確認する事で、ホイッピングと思しき過渡的な弾性振動を抽出した。但し、この方法で全てのホイッピングを抽出するのは困難である。今後ホイッピングの発生頻度等を検討する際は、ホイッピングの定義を明確にし、機械的にホイッピングの発生をカウントできるようにする必要がある。

付録2

有限要素解析によるホイッピングの再現と応力の推定

目的

- 加速度計による計測により、ホッピングによる船体にかかる応力の履歴を推定し、強度への影響を推定することができるかを検討するため、船体の有限要素解析により加速度と応力の関係を求める。
- まず、有限要素解析により、固有振動解析、および過渡応答解析を行い、ホッピングをモデルで再現することを試みる。
- さらに、そのモデルをもとに、ホッピングが発生している際に船体に生じている応力を推定するアルゴリズムを開発する。

解析方法および解析モデル

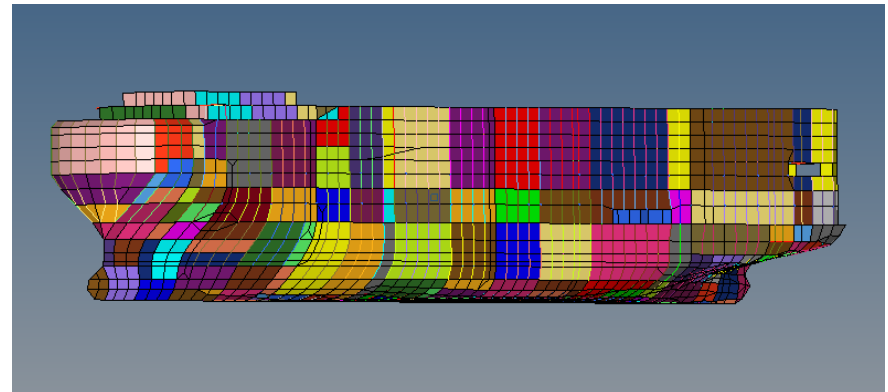
解析ソフトウェア

- HyperWorksシリーズ(バージョン12.0) (アルテアエンジニアリング株式会社)
 - HyperMesh : プリプロセッサ
 - OptiStruct : ソルバー
 - HyperView、HyperGraph: ポストプロセッサ

FEMモデル

- 対象: PCC船 (モデルの外観を右図に示す)
- 要素の内訳

節点数	9680
全要素数	21853
剛体要素数	210
剛体結合数	293



- 付加質量、浮力、流体減衰、構造減衰をモデル化した

解析内容

- 固有振動解析
- 過渡応答解析 (線形解析で実施)

固有振動解析

- 軽荷状態と満載状態の2種類のモデルにて実施
- z方向の浮力に相当するバネ以外は剛体自由度を止めていないため、固有振動数の低いほうから1～4番目のモードは振動数ゼロのモード(ヒープ、ピッチを除く4つの剛体自由度に対応するモード)となり、5番目のモードはヒープ運動、6番目のモードはピッチ運動に対応するモードとなった。7番目のモードは縦曲げの2節振動、8番目のモードは1次の2節横曲げ振動、9番目のモードは3節の縦曲げ振動であった。
- 満載モデルを用いて、全ての材料の密度に一定の係数をかけ、Mode 7の固有振動数が1.60Hzになるように調整したモデルを使う

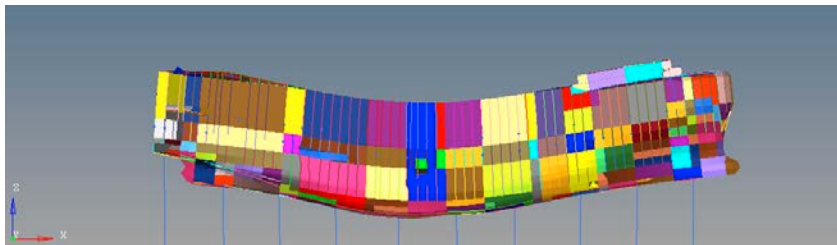
モード番号	振動の内容	軽荷モデルの固有振動数(Hz)	満載モデルの固有振動数(Hz)
Mode 5	ヒープ	0.14	0.13
Mode 6	ピッチ	0.17	0.15
Mode 7	1次の縦曲げ	1.57	1.40
Mode 8	1次の横曲げ	2.00	1.82
Mode 9	2次の縦曲げ	2.22	2.01

各モードの固有振動数(Hz)

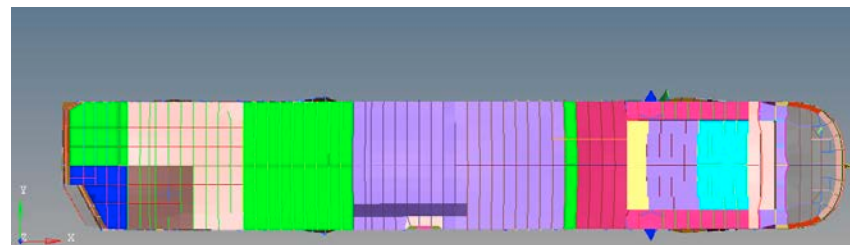
モード番号	振動の内容	調整後のモデルの固有振動数(Hz)
Mode5	ヒープ	0.14
Mode6	ピッチ	0.17
Mode7	1次の縦曲げ	1.60
Mode8	1次の横曲げ	2.06
Mode9	2次の縦曲げ	2.21

調整後のモデルの固有振動数(Hz)

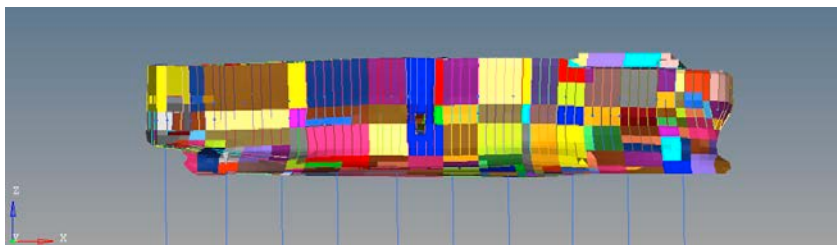
固有振動解析 モード7～9の様子



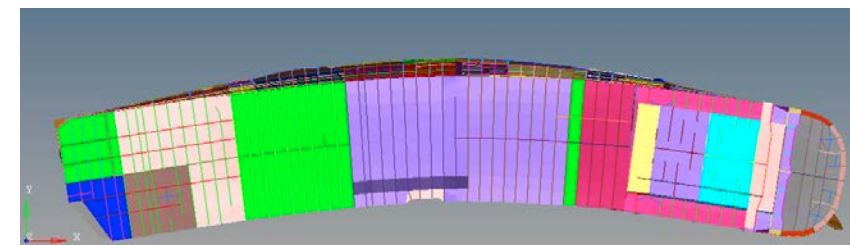
Mode 7 側面



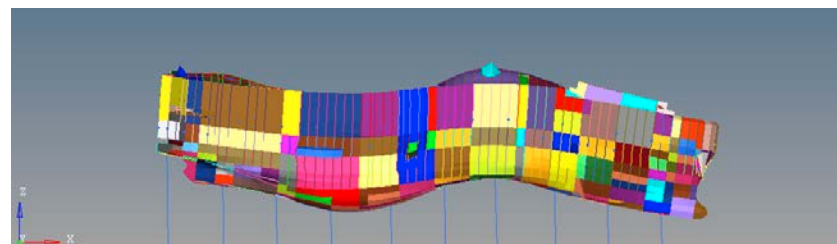
Mode 7 上面



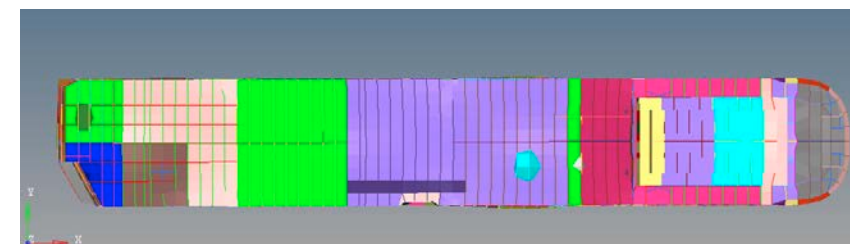
Mode 8 側面



Mode 8 上面



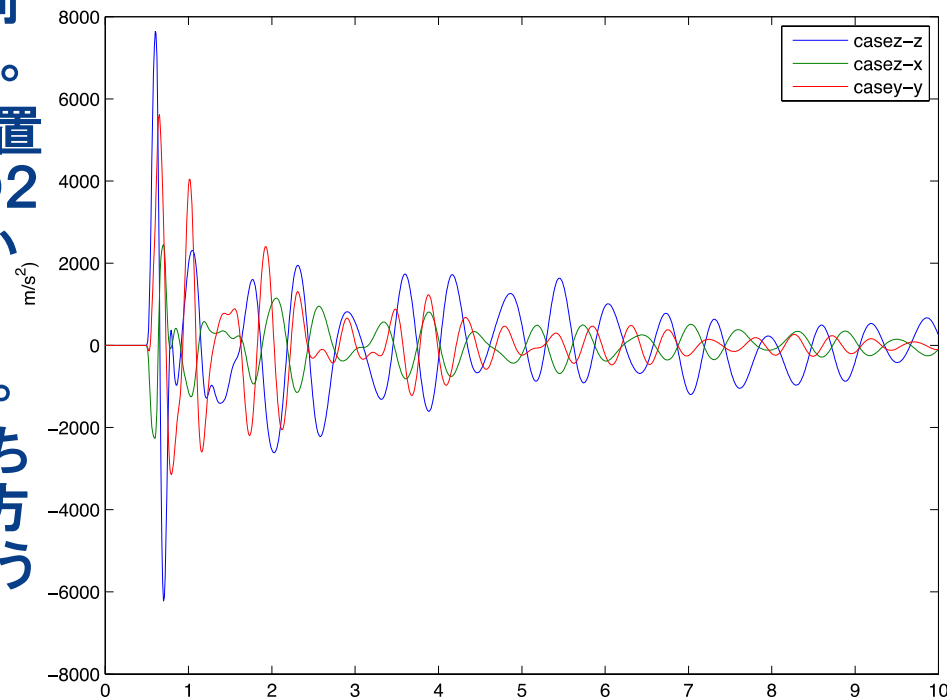
Mode 9 側面



Mode 9 上面

過渡応答解析

- 船首部周辺に衝撃的な荷重をかけて過渡応答解析を行った。
- z方向に衝撃荷重をかけた際のホイールハウス位置の節点でのx方向(緑)、z方向加速度の時刻歴(青)、y方向に衝撃荷重をかけた際のy方向加速度(赤)の時刻歴を右図に示す。
- これより、ホイールハウス位置に設置した加速度計で、縦曲げ、横曲げの2節振動を計測可能であることがわかる。
- 横曲げは、縦曲げより早く収束する。
- 縦曲げはx方向、z方向加速度のどちらでも観測可能であるが、z方向の方が大きいので、z方向の加速度を使う方がより好ましい



それぞれの荷重に対するホイールハウスでの加速度

加速度による応力の推定

- ホイッピングによって船体に生じた応力の時刻歴を推定するアルゴリズムを開発する。
- 今回は、影響が最も大きいと思われる、上甲板中央部に働くx方向の直応力を推定する。
- 実際のホイッピングにおいて応力に与える影響は、それぞれの振動モードの中で、1次の縦曲げが支配的であることを確認し、1次の縦曲げモードの周波数成分だけを使った。

実際のホイッピングにおいて各モードが応力に与える影響

	上甲板	船底板	船側板
Mode 7	0.00845	0.00670	0.000935
Mode 8	0.000888	0.000768	0.00613
Mode 9	0.00173	0.00551	0.00128

モード解析における応力

	上甲板	船底板	船側板
Mode 7	0.909	0.721	0.101
Mode 8	0.0118	0.0102	0.0812
Mode 9	0.0320	0.101	0.0235

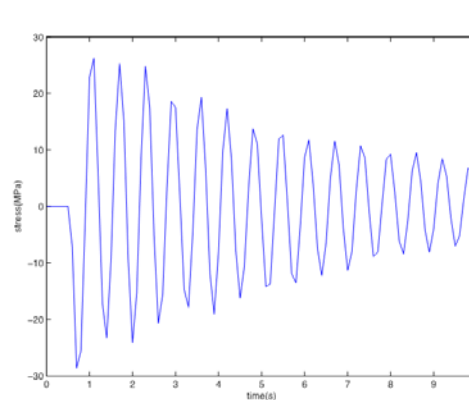
2月29日のホイッピングの最大応力

	上甲板	船底板	船側板
Mode7	0.845	0.670	0.0935
Mode8	0.00674	0.00583	0.0466
Mode9	0.0463	0.147	0.0340

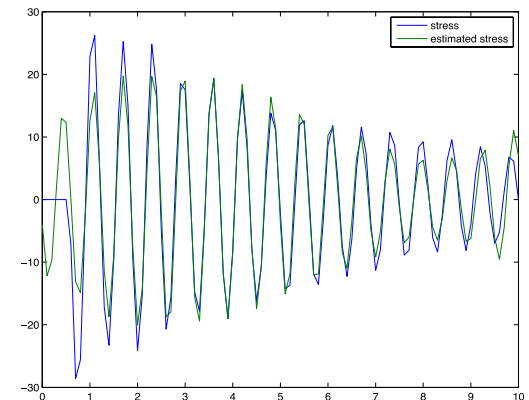
4月25日のホイッピングの最大応力

加速度による応力の推定 各方法での結果

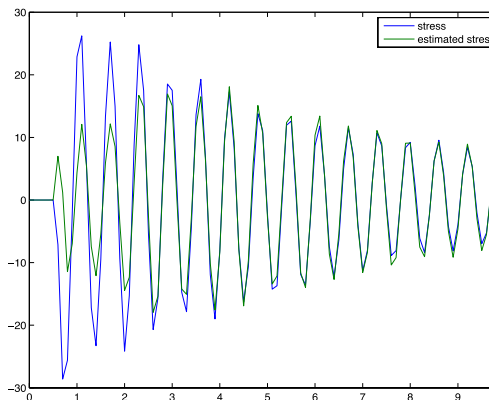
- FFT、逆FFT、バンドパスフィルタ、ハイパスフィルタを使った方法を検討
- 各方法での結果を右図に示す
(青: 応力、緑: 推定応力)
- それぞれの手法の優劣は、応力の計測の目的によるが、例えば疲労被害度をマイナー則に従い評価する場合は、ホイッピング直後の大きな振動を再現できないバンドパスフィルタを用いた手法は適していない
- また、FFTを使った方法も、データの切り出し方に依存すると考えられ、問題があると思われる。
- ハイパスフィルタを使った方法は、ホイッピング発生直後0.5秒ほどの部分にみられる異常に大きな応力を無視すれば、それ以外の部分は応力の推定値として信頼できる。
- 一方で、疲労被害をレインフローカウントを用いて評価する場合は、応力をホイッピングの振動成分のみでなく、波浪による曲げモーメントの応力成分も合わせて考える必要があり、加速度計での計測だけでは難しいと思われる。



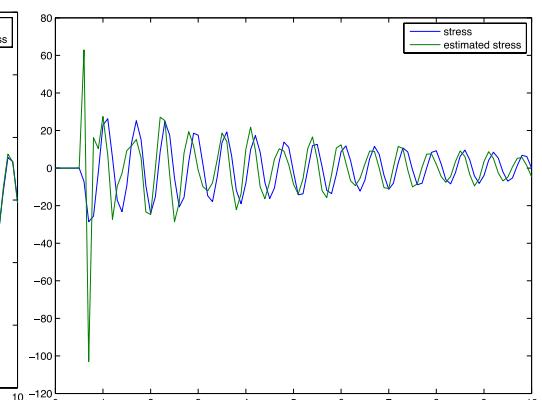
テストケースの応力



FFT、逆FFTを使った方法



バンドパスフィルタを使った方法



ハイパスフィルタを使った方法

まとめ

- 本章での検討により、PCC船でのホイールハウスに設置した加速度計の計測データを元に、スラミング力などの外力履歴プロファイルを作成し、ホイッピングにより生じる船体各部の応力を推定することが可能であることが判った。
- 他の船種での検討、加速度計の設置位置を変えたときの影響、複数の加速度計により計測した際の推定精度への影響などは、今後の検討課題とする。
- 特に、今回はPCC船で、上部構造を持たない形であったが、上部構造を持つ船に関しては、加速度計をホイールハウスに置いた場合、上部構造の振動の影響を受けると考えられるので、その検討が必要であると思われる。

付録3

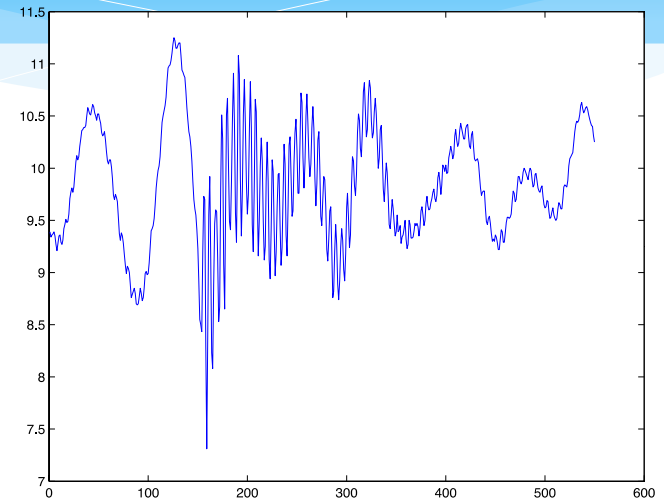
ホイッピング抽出アルゴリズムの開発

目的及び条件

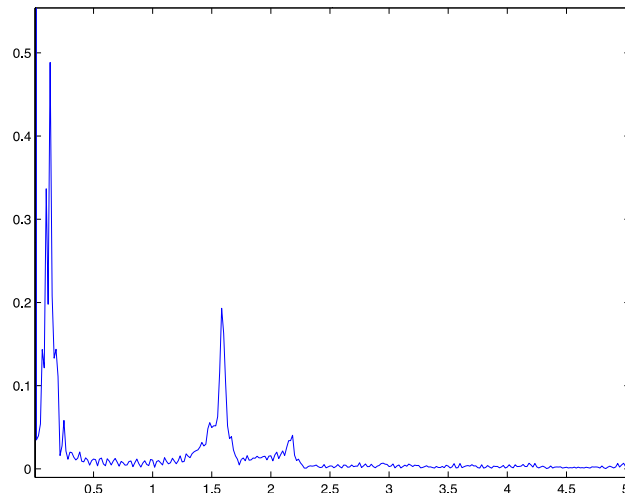
- 加速度計は、就航中は常に作動させておくため、データは数ヶ月分に及び、膨大な量である。この中から、ホッピングが起こったと思われる箇所を、高速に自動抽出するアルゴリズムの開発を試みる。
- ホッピングは船体の縦曲げ2節振動であり、その振動数は、あらかじめわかっているものとする。実際は、貨物の重量の変化などにより、ホッピングの周波数は多少変化するが、ある範囲内にあると考えられる。
- 対象はPCC船で、別章で述べられた計測法の2012年2月28日から2012年6月26日までの計測データを対象とする。

検出のアルゴリズム

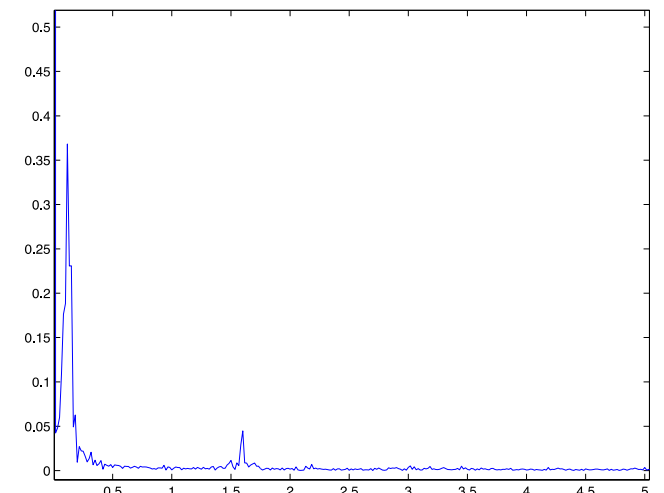
- ホイッピングは主に船の縦曲げによる振動であると考えられるので、 z 方向加速度が主要な成分であると考えられる。
- 一定時間(数十秒程度)分の z 方向加速度に離散フーリエ変換(以下DFT)を施し、事前にわかっているホイッピング周波数近辺の周波数における振幅がある閾値を超えた場合、ホイッピングが発生しているとみなす。
- 右図はホイッピングが発生している時の、60秒間の加速度の時系列データである。これに対して、離散フーリエ変換を適用すると、下図に示すように、1.6Hzあたりに高いピークが生じ、これがホイッピングを表していると思われる。その1分後のデータに対して、同じ離散フーリエ変換を適用した結果を右下図に示す。この状態では、1.6Hz周辺のピークは小さく、ある程度ホイッピングが収まったものと考えられる。すなわち、この1.6Hz周辺のピークのパワーを評価することにより、ホイッピングの自動抽出が可能であると考えられる。



①ホイッピング発生と思われる時の加速度データ



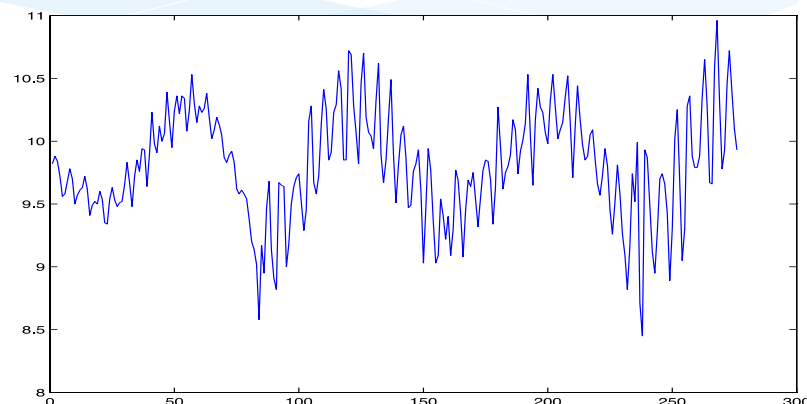
②ホイッピングが発生していると思われる時のDFT結果



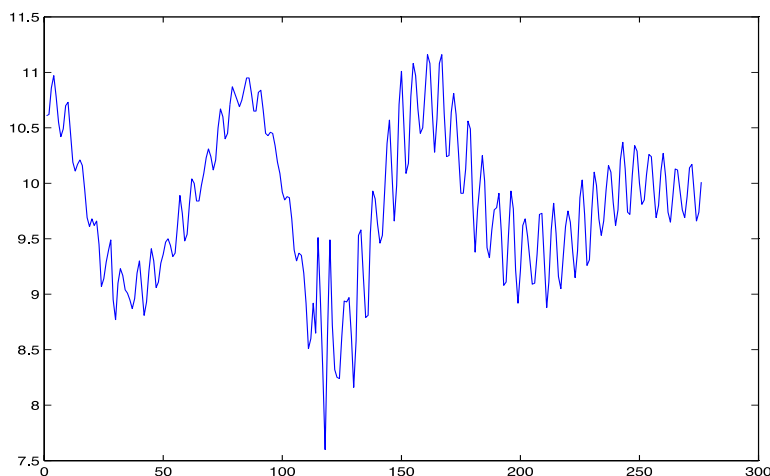
③ホイッピングが収まりつつある時のDFT結果

検出されたホッピングの加速度時系列データ

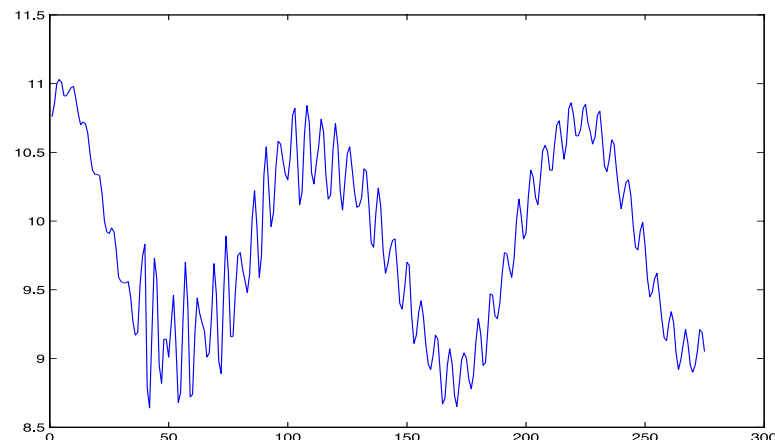
- 抽出操作計算時間は、2012/2/28～2012/6/26の4ヶ月間のデータに対し、PCで15分程度
- 本アルゴリズムで抽出されたホッピングの加速度時系列データを図①～③に示す。いずれも、ホッピングと思われる振動が生じているのが見られる。



①抽出されたホッピングのz方向加速度
(2012/04/25 16:00:31)



②抽出されたホッピングのz方向加速度
(2012/02/29 15:24:11)



③抽出されたホッピングのz方向加速度
(2012/02/29 14:15:44)

自動検出の結果

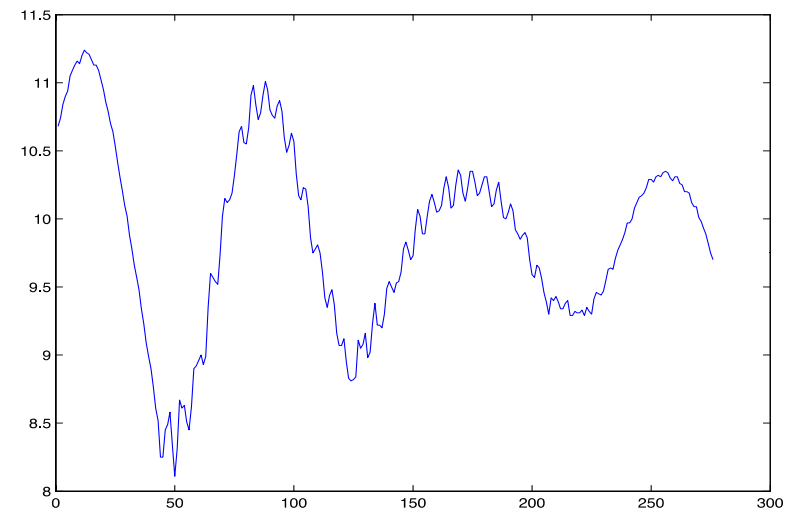
- 前年度の報告書に報告されている19件のホイッピングのうち、15件について抽出ができた。
- なお、今回抽出できなかった4件は、振幅が小さいからであり、影響は少ないと思われる。

既に報告されている
ホイッピングの時刻

2012/02/29/14:15:44
2012/02/29/15:24:11
2012/02/29/15:24:17
2012/02/29/15:24:20
2012/02/29/17:49:37
2012/02/29/17:49:39
2012/04/22/03:02:35
2012/04/22/04:33:05
2012/04/22/05:43:19
2012/04/22/08:26:37
2012/04/22/09:48:59
2012/04/22/13:44:07
2012/04/25/14:40:56
2012/04/25/16:00:31
2012/04/25/16:00:39
2012/04/25/16:00:45
2012/04/25/16:00:47
2012/04/25/16:00:59
2012/04/25/16:01:07

本手法により抽出された
ホイッピング

2012/02/29/14:15:44
2012/02/29/15:24:11
2012/02/29/15:24:17
2012/02/29/15:24:20
2012/02/29/17:49:37
2012/02/29/17:49:39
2012/04/22/08:26:37
2012/04/22/09:48:59
2012/04/25/14:40:56
2012/04/25/16:00:31
2012/04/25/16:00:39
2012/04/25/16:00:45
2012/04/25/16:00:47
2012/04/25/16:00:59
2012/04/25/16:01:07



抽出されなかったホイッピング例
(2012/04/22 04:33:05)

まとめ

- 本アルゴリズムにより抽出したホIPPINGを前回の報告書で報告されているものと比較し、その有効性を確認した
- どの程度のもをホIPPINGと考えるかは、その船体寿命への影響、固縛への影響などを考えた基準の策定が必要であり、今回は基準の策定までは至らなかった。
- また、他の船種に対してこの手法の確認を行うことも、今後の課題である。

付録4

シミュレーションによるホイッピングの検討

概要

概要

- 荒天時にスラミングにより衝撃的な波浪外力を受け、それによりホッピングが生じる際に、合成応力が縦曲げ最終強度を上回る可能性がある。そのため、荒天時にホッピングにどの程度遭遇するか、その発生確率と発生条件、また、発生時の船体構造への影響度合いについて、船体構造基準の検討材料の一つとして活用することを目標として以下を実施した。
 - 線形ストリップ法、剛体非線形ストリップ法、弾性体非線形ストリップ法によってシミュレーションを実施した。また、実船計測データとの比較を行った。
 - 船体縦曲げモーメントから弾性応答を含むハルガーダ応力を推定した。
 - 遭遇海象による船体動揺やホッピング発生状況を確認することで、ホッピング発生の予測に関して検討した。

シミュレーション手法

線形ストリップ法

- 運動・波浪荷重予測用に広く用いられる。微小振幅を仮定した上で理論構築されており、有限振幅の波高に対して、得られた結果を線形倍するのみで結果を推定することとなる。線形理論の場合、衝撃圧が発生しないため結果的にホッピングは生じない。そのため、本報告内では直接的に線形ストリップ法は扱わない。

剛体非線形ストリップ法

- 運動・振動計算に必要な流体力算出に関しては、クローズフィットで船型表現を行い、境界要素法によって二次元流体力を算出し、メモリー影響を考慮した上で非線形ストリップ法を適用している。船体の形状非線形性を考慮し、ラディエーション流体力が各断面での瞬時喫水値により変わることを想定しており、運動量変化に基づく衝撃力を加味することが可能なためスラミングを考慮することが可能である。また、時系列計算法であるため、不規則波中応答の予測のために、入射波を長波長不規則波の時系列として取り扱っている。また、得られた時系列を極値解析することにより統計量予測を行う。

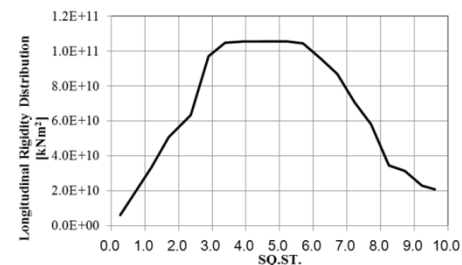
弾性体非線形ストリップ法

- 上述の剛体ストリップ法をベースとしているが、船体表面の変位、相対速度として free-free beam のオイラー梁を仮定した弾性モードを考慮して、流力問題と弾性問題を連立して解いているため、原理上は、弾性振動をしたことの影響が流体力に反映されている。

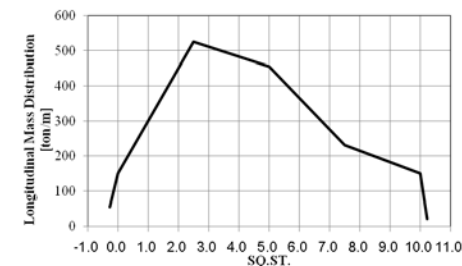
各手法によるシミュレーション

- 対象：コンテナ船
- 計算条件を下記図に示す。

項目		単位	値
波	有義波高	m	3, 4, 5, 6, 7
	平均周期	S	7, 8, 9, 10, 11, 12
	波向	°	向波(180)
船速		knots	10, 12, 14, 16, 18, 20, 22.5
シミュレーション時間		-	2時間(7,200s)



縦曲げ剛性



長手方向質量分布

➤ シミュレーション結果

剛体、弾性体非線形ストリップ法で、不規則波中シミュレーションを実施し、極値解析を行った結果を、線形計算での1,000波中最大期待値の標準偏差との比と比較した。剛体モードでは、線形計算よりも、最大値が小さくなり、弾性体モードでは、線形計算よりもその最大値が大きくなる場合があることがわかった。

船体運動予測プログラム計算結果

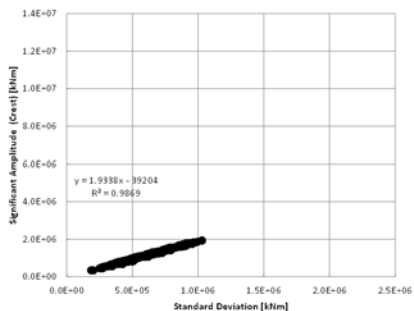
各計算手法の比較

- 剛体非線形ストリップ法により得られた各シミュレーションで得られる2時間分の時系列を極値解析し、標準偏差、有義振幅(上位1/3の平均値)、最大振幅を求め、全ケースの標準偏差と有義振幅、最大値を同一グラフ上に示した比較を次頁に示す
- 有義値と標準偏差の比はHog, Sagで差があるものの両者とも約1.9である。レーレー分布より約5%小さいことになる。最大振幅に関してはHogは3.2, Sagは3.4 である。有義値と異なり計算条件によって出会い波の数が異なるため一概にいうことはできないが、一般に1,000波中最大期待値をもって短期最大応答とみなしていることが多いことから、1,000波中最大期待値とこれらを比較すると、Hogの場合16%、Sag11% 少ない。
- 剛体との比較という意味では、全体に標準偏差としての振幅が大きくなっている。剛体の時は回帰分析による標準偏差との比率はhog(3.00)よりもsag(3.59)の側が大きかったが、弾性体ではsag(4.23)よりもhog(5.75)となり、傾向そのものが逆転している。
- ホイッピング応答としては線形計算では生ずることがないため、ここでは非線形ストリップ法の剛体モードと弾性体モードの比較を行う。

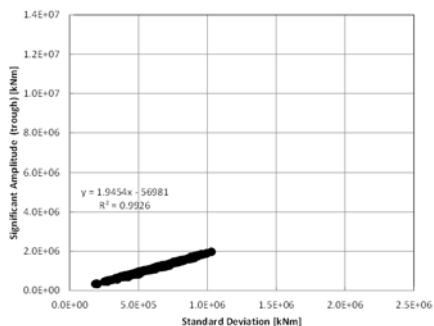
シミュレーション結果

➤ 剛体非線形ストリップ法

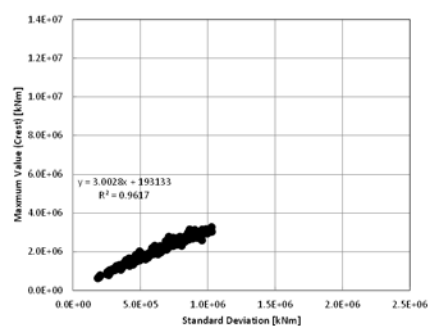
横軸は全て、縦曲げモーメントの標準偏差



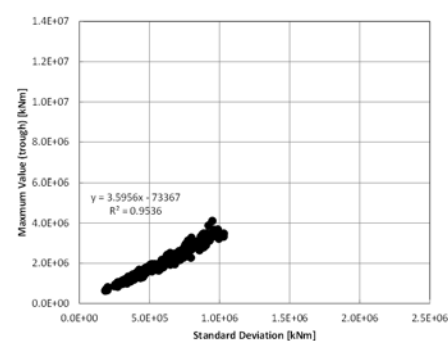
山側有義振幅 (hogging)



谷側有義振幅 (sagging)

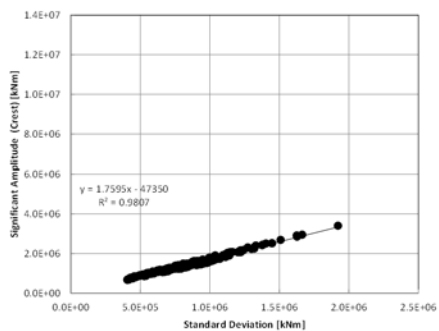


山側最大振幅 (hogging)

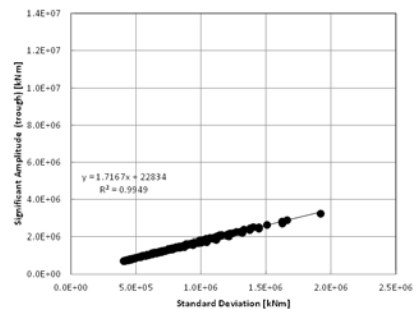


谷側最大振幅 (sagging)

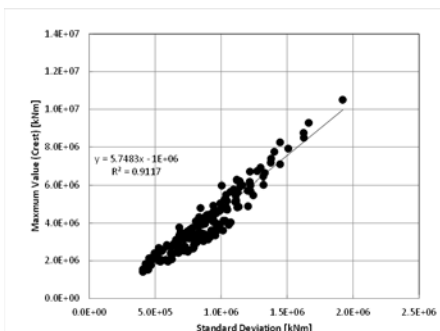
➤ 弾性体非線形ストリップ法



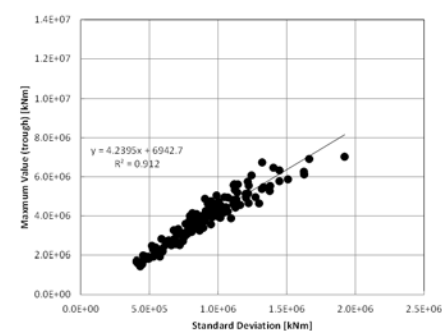
山側有義振幅 (hogging)



谷側有義振幅 (sagging)



山側最大振幅 (hogging)

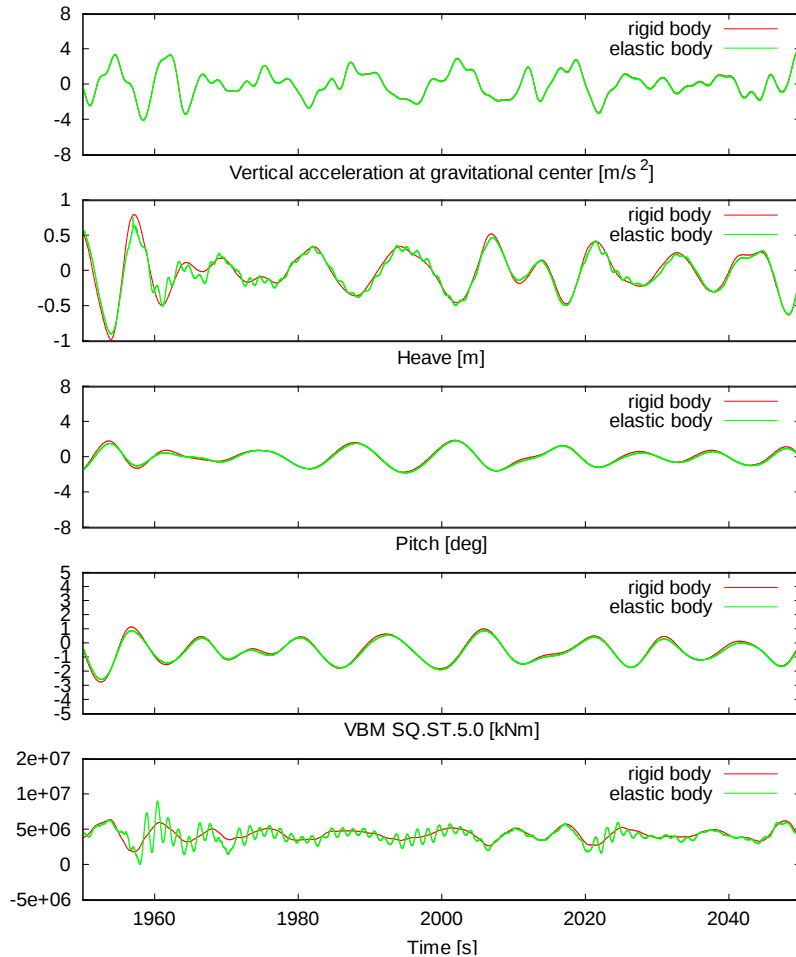


谷側最大振幅 (sagging)

剛体モード、弾性体モードの比較

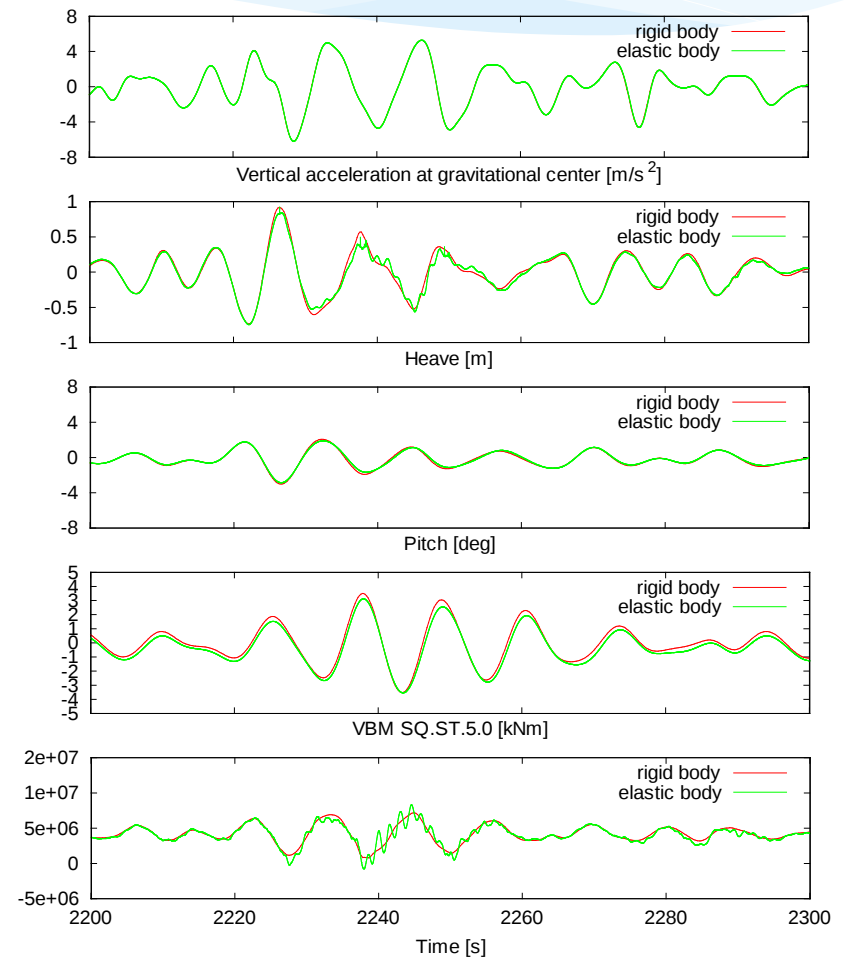
船速22.5kn, 波高7m, 波周期12秒、向波での
弾性応答最大近傍の時系列

Incident wave [m]



船速10kn, 波高7m, 波周期12秒、向波での
弾性応答最大近傍の時系列

Incident wave [m]



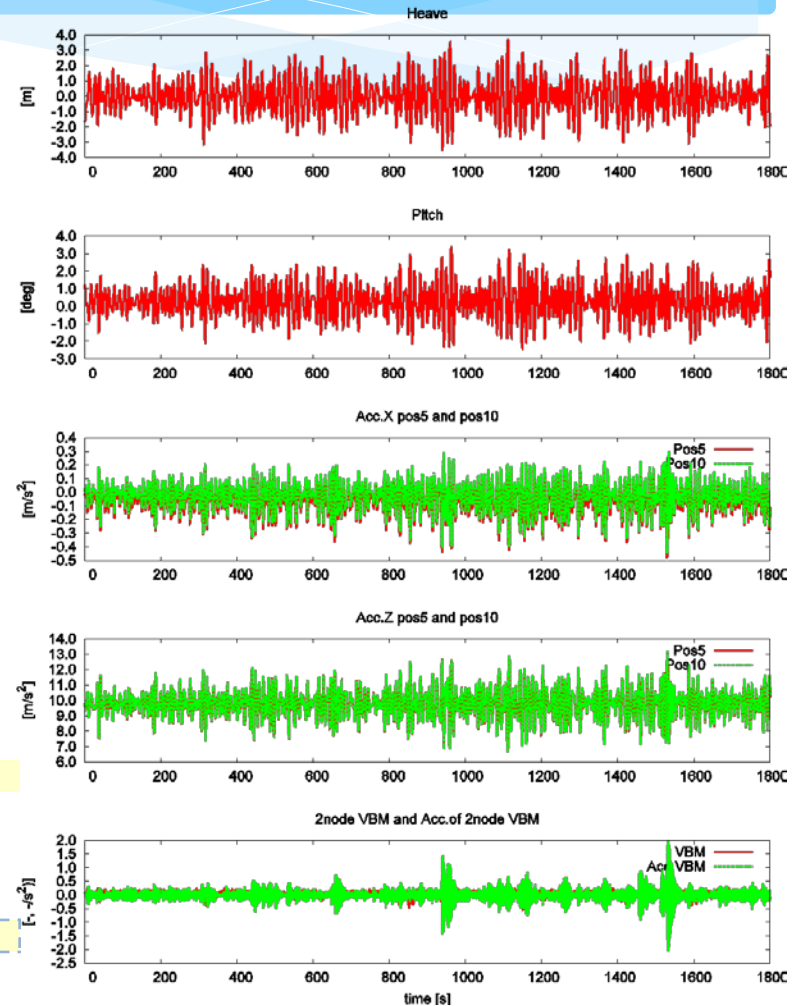
最大曲げモーメント振幅 (10^6kNm): [剛体]4.67、[弾性体] 5.33
デッキ公称応力($\text{Mpa (kgf/mm}^2\text{)}$): [剛体] 135 (13.7) [弾性体] 154(15.7)

デッキ公称応力($\text{Mpa (kgf/mm}^2\text{)}$):
[剛体] 100 (10.1) [弾性体] 141(14.4)

実船計測データとの比較

- コンテナ船において計測された下記10ヶ所における船体加速度、船体運動データのうち、船首に設置されたS5, S10の加速度センサのデータを比較に用いた。
- 実船計測結果と同条件で弾性体ストリップ法によって計算を行った。

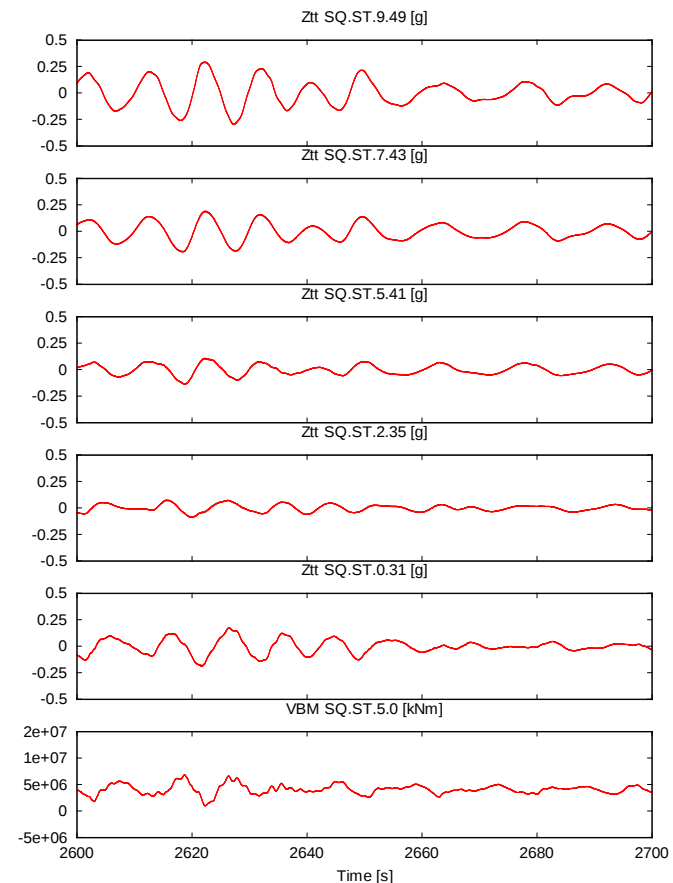
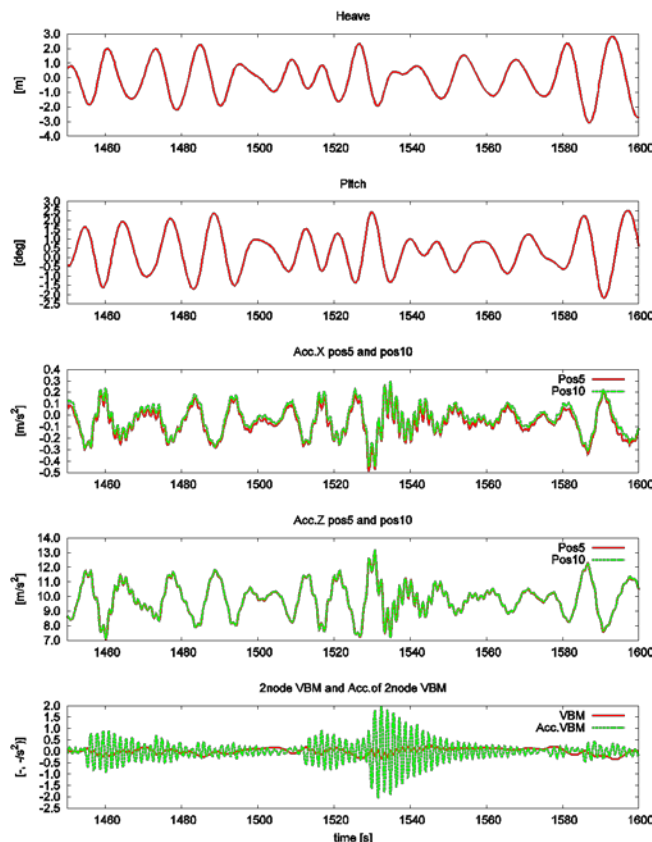
センサ	名称	X (rel APP)	Y (rel CL)	Z (rel Base)
S1	SB frame 10	8.96	-18.085	20.760
S2	SB frame 77	66.78	-18.085	20.760
S3	SB frame 101	153.50	-18.085	20.760
S4	SB frame 117	211.02	-18.085	20.760
S5	SB frame 134	269.38	-10.500	21.160
S6	PS frame 10	8.96	+18.085	20.760
S7	PS frame 77	66.78	+18.085	20.760
S8	PS frame 101	153.50	+18.085	20.760
S9	PS frame 117	211.02	+18.085	20.760
S10	PS frame 134	269.38	+10.500	21.160



実船計測データ: 2007/12/04 07:27~
 (Vs: 20.8kts, $H_{1/3}$: 6.9m, $\chi_{\text{wave}(\text{rel})}$: 156deg,
 $V_{w(\text{rel})}$ 4m/s, $\chi_{\text{wind}(\text{rel})}$: 114deg)

実船計測データとの比較

- 波周期が非常に長いためか顕著なスラミングは見られない。結果的に、実測の場合と同様に顕著なホッピングは見られていない。2時間分のシミュレーションを行った結果の中で、弾性応答が比較的わかりやすく出ている箇所を抽出した時系列を図 7-19に示す。

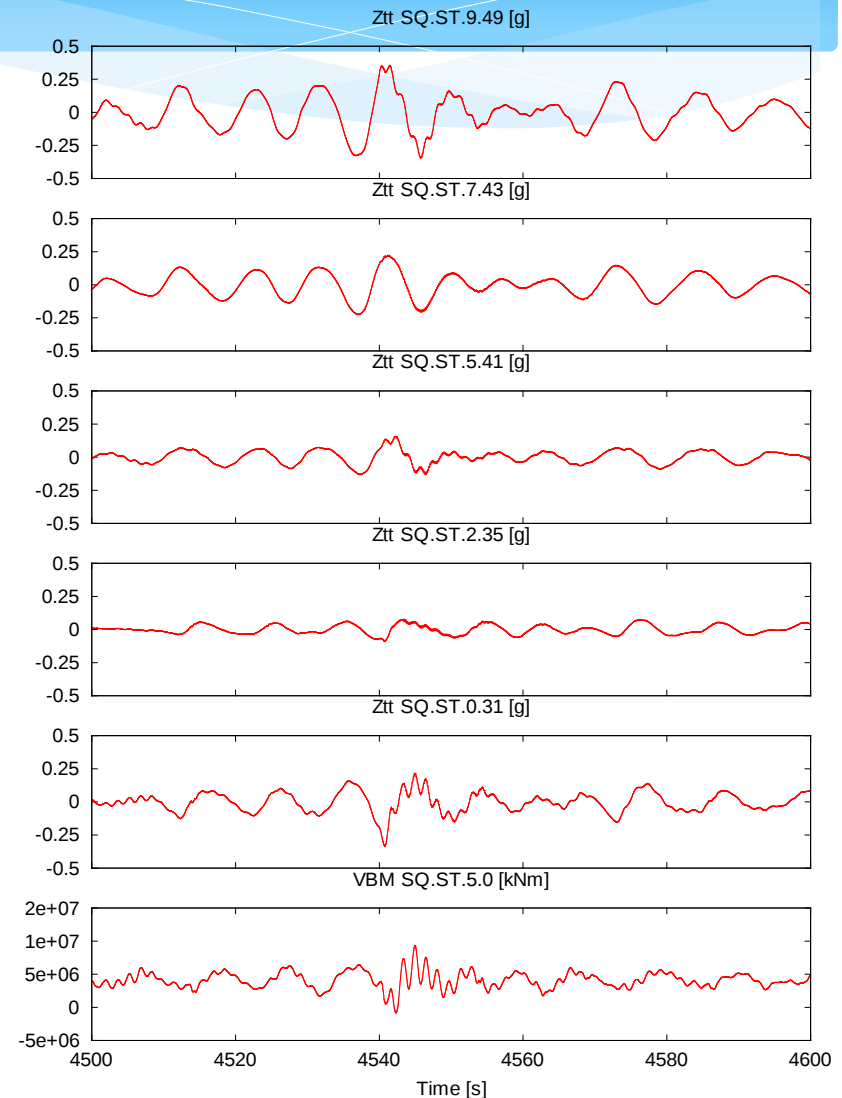


実船計測データ: 2007/12/04 07:27~ (Vs: 20.8kts,
 $H_{1/3}$:6.9m, $\chi_{wave(rel)}$:156deg, $V_{w(rel)}$ 4m/s, $\chi_{wind(rel)}$: 114deg)

シミュレーション結果: (Vs: 20.8kts,
 $H_{1/3}$:7m, T:15s, $\chi_{wave(rel)}$:156deg)

波浪条件を変えたシミュレーション

- 全シミュレーション条件と波高はほぼ同一、周期が2s短い場合は、明確なホッピングが見られる。
- この場合、2節振動の腹である2節振動の腹である船首、船央、船尾の各加速度計にホッピング影響が見られる。3節振動まで考慮した計算だが、この場合でも、SQ.ST.7.43ではホッピング影響は極めて小さい。



シミュレーション結果: (Vs: 20.8kts, $H_{1/3}$:7m, T:13s, $\chi_{\text{wave(rel)}}$:156deg)

まとめ

コンテナ船を対象船して、実船計測およびシミュレーションによる調査を行った。

- 剛体、弾性体の各モードを用いた非線形ストリップ法で、向波中で船速10～22.5kts、波高3～7m、波周期7～12sに対して、それぞれ2時間分の不規則波中シミュレーションを実施し、極値解析を行った結果を線形計算での1,000波中期待値の標準偏差との比と比較した。剛体モードでは、線形計算よりも最大値が小さくなり、弾性体モードでは、線形計算よりも最大値が大きくなる場合があることがわかった。
- 実船計測結果と同条件でのシミュレーションを行ったが、計測例同様、顕著なホイッピングは生じなかった。1ケースのみの実船計測結果からホイッピング発生確率を推定することは困難である。
- ホイッピングの発生傾向とホイッピング発生時に計測器を置くべき配置を調査する為、波浪条件を変更し、シミュレーションを行った。
- ホイッピング発生時に、2節振動の腹となる船首、船央、船尾においては明確な加速度の上昇が見られる。本船においては、船尾での加速度応答において強く現れる傾向がある。
- 実船計測のように2節振動の腹となる箇所に加速度計を設置すれば計測可能である。2節振動の腹となる箇所以外への加速度計の設置はあまり意味がない。
- 別途、ホイッピングによる応力計測を行う研究が望まれる。簡便に加速度とハルガーダ応力の関係を調べるには、解析が間に合わなかった実船計測データとシミュレーションとの対比を行い、関係性を明らかにすることで推定が可能であると思われる。