

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 9 月 28 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25249128

研究課題名(和文) 津波・船舶 複合連鎖系解析システム構築

研究課題名(英文) Establishment of ship-tsunami linked complex analysis system

研究代表者

小林 英一 (Kobayashi, Eiichi)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：90346289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,600,000円

研究成果の概要(和文)：津波計算の迅速性を改善するため、東日本大震災の知見も加味し効率化を行った。また津波を受けた時に船体に作用する力を精度よく推定するため、数値流体力学を活用し津波来週時の複雑な非定常流場での船体に作用する流体力の推定法について、実験結果との比較などによりその妥当性を確認した。さらに船舶が岸壁に係留されている状態で津波を受けた時の複雑な挙動を推定できる手法を整備した。この結果、巨大津波が港湾を含む沿岸域に襲った時の、船舶の避難行動などが解析評価できる津波・船舶 複合連鎖系解析システムが整備でき、津波来週時の船舶にかかる災害の減災にむけた様々な評価が可能となった。

研究成果の概要(英文)：An optimization of tsunami calculation has been carried out based on the information of the Great East Japan Earthquake for the improvement of rapidity. In addition that, validity of the CFD estimation method of hydrodynamic forces and moment acting on a hull in the unsteady complex tsunami flow field is confirmed in the comparison to experimental results. Moreover, an estimation method of ship complex behavior in mooring condition at a wharf in the condition of tsunami attack.

As the results, a ship-tsunami linked multiple complex behavior analysis system that can solve and evaluate the complex ship motions has been established, and various kinds of evaluation for the tsunami disaster prevention, reduction, and management relating ships in the bay and coastal area are ready to proceed.

研究分野：船舶工学

キーワード：津波 船舶 挙動 錨泊 岸壁係留 避難操船 CFD 制限水域

### 1. 研究開始当初の背景

南海トラフ上で M8 クラスの超大型の南海・東南海地震が今後 30 年間に 60%以上の高い確率で発生するとされてきているが、2011 年 3 月の東日本大震災以来、さらに厳しい地震発生の想定も行われている。特に、この南海・東南海地震に関しては、断層が極めて広大な範囲で動く超巨大地震とそれによる被害の想定が中央防災会議から提示された。このような地震により巨大津波が発生するが、外洋においてこの津波高は大きくなくまた波長が長いいため航行中の船舶に対しての影響は無い。ところがこのような津波は比較的水深の浅い沿岸部や港湾へは、緩やかな水位上昇と水平流れという現象となり進入してくる。そして湾奥の狭隘な水域、防波堤などにより開口部が狭まった閉ざされた水域では、局所的に極めて強い水平流れや渦とともに、水位上昇が 2m 程度以上にまで及びこともある。このような波来襲時に船舶は“全船港外避難する”という指針が推奨されているが次のような課題がある。

- (1) 大型船舶の離岸に必要なタグボートが確保できない。
- (2) 複雑な津波流れのなかでの操船が極めて難しい場合がある
- (3) 係留して津波をやりすごせるのか分からない。
- (4) 船舶同士、あるいは岸壁に衝突し、また陸に船舶が遡上して陸上楕物に衝突するなどの二次災害が起こる可能性がある。

このような津波課題に対応するため様々な視点から研究が進められており、要素的な研究技術の基盤は一定のレベルで達成され限定的・部分的な課題には対応できる態勢が整ってきている。一方で、先に述べた中央防災会議から提示された従来の想定を超える巨大津波の設定では、既往のものとは比して港湾域での津波高さはおよび津波による流れの強さも 2 倍以上と予想される水域が多く存在する。すなわち、このような状況の中で船舶は航行中であれ係留中であれ従来の想定と比して極めて危険な状況に陥ることは必須である。具体的な現象としては、強い流れにより従来の想定を超える船舶の挙動すなわち船舶同士の大きな衝突や岸壁・堤防との接触を伴う複雑挙動、係留中の船舶の係留索の破断の後、岸壁との衝突・破損、陸への乗り上げ、陸上構造物の破壊などである。ところがこのような課題についての評価を行う手法の整備は全く行われていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

船舶は小さい漁船でも数トン、大型船舶では数千トン以上の巨大質量の塊である。これらが津波流れにより漂流し、構造物に衝突した場合は想像を絶する破壊力となり極めて重

大な被害の恐れもある。このようなことを想定した船舶挙動予測手法は世界的に事例がない。本研究では、巨大津波が港湾を含む沿岸域に襲撃した時の、船舶の安全な場所への避難あるいは津波の中でうまく操船しつつ安全に留まる操船行動、岸壁に係留したままで津波をやり過ごすなどの、いわゆるサバイバル操船行動について、CFD(数値流体力学)を活用して解析評価できる「津波・船舶複合連鎖系解析システム」を構築し、船舶に起因する災害を極小化するための解析技術評価ができるようにする。この評価技術を用い、津波環境下での船舶の安全な港外避難の動的解析、船舶同士や岸壁への衝突解析、係留したまま津波に対抗するときの岸壁・船舶の単独および複合損傷評価、係留索の破断からの陸上への乗り上げ、陸上構造物への影響予測評価などが可能となり、超大型津波来襲に際しての船舶被害の極小化に向けての指針作成が可能となり、社会の安全安心に寄与する社会基盤が整う。

### 3. 研究の方法

(1) 基本計画策定：本研究では、巨大津波の来襲を受ける港湾において最も厳しい被害が想定される岸壁など港湾奥部に存在する船舶の極めて複雑な津波流れのなかでの動き予測し示す手法開発を行った。まず東日本大震災における船舶による挙動とそれによる被害の実情を学際的にどう挙動するかを解析できるコード開発を行うが、それに先立ち実施する先の東北北関東大震災における船舶の挙動把握、好適な計算手法の評価、当面对象とする港湾、想定被害の設定、結果の公開方法の検討など全体の詳細計画をまず策定した。

(2) 津波による複雑船舶挙動モデル：船舶は小さい漁船でも数トンの質量があり、大型船舶では数千トン以上の巨大質量の塊である。これらが津波流れにより漂流し、構造物に衝突した場合は想像を絶する破壊力となり甚大な被害につながる可能性がある。ここではすでに開発されている津波中の船舶漂流モデルを拡張し、このような複雑な事象を想定した船舶の複雑な挙動解析に対応できる予測手法の開発を行った。ここでは計算の迅速性・効率性・拡張性・応用性を考慮したプログラム構造としている。

(3) 船舶複合遡上津波計算：今回の東北北関東大震災では、津波流れが岸壁を超えて陸部に進入する越流が多くのある場所で発生している。これは、今後発生が予想される南海・東南海地震による津波でも同様のことが起こると考えられる。

この超流は特に大型船舶の存在によって大きく曲げられるため、相互の影響を刻々考慮しながら連成させて解く必要がある。このため本項目では既存の津波計算コードを船舶

存在をも加味したものに発展的に高度化する。特に計算上のテクニックとして、通流可能な棧橋下部がある場合や陸上構造物について対応できるようにもする。

(4) 制限水域での船体流体力：船舶が直進定常状態で航走している時の船体抵抗やプロペラ性能解析に CFD (数値流体力学) は多く活用されている。すでに広い水域での津波流が船舶に与える影響について CFD 計算を駆使して取り組んできているが水深が浅い岸壁付近で津波流れを受けると、狭い領域で水が動くため極めて複雑な流れ場となる。しかも船体の位置や津波の強さは刻々と変化しそれにより流れ場も刻々と変化する。このような状況で船体に作用する流体力の把握は、それによって運動を起こす船舶の挙動の予測にとって極めて重要である。本項目では、この CFD を活用して、岸壁と船舶が近い状態あるいは水深の浅い状態などの "制限水域" で船体に作用する流体力を求め、その有用性を確認する。

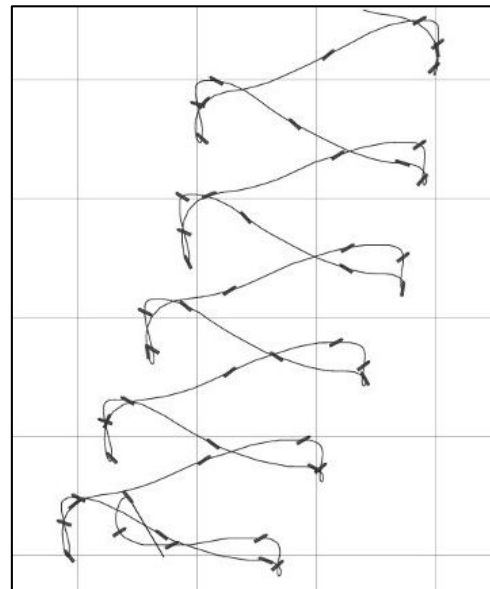
#### 4. 研究成果

(1) 船体の運動モデル：汎用の船舶操縦運動にかかる MMG モデルを基本として新たに機能拡張したモデルを用いた。これを発展させ同時に複数の船舶の運動を計算する複数船体の運動計算モデルを構築し、さらに、次に述べる係留系モデルの計算を逐次行うことで係留船舶の運動計算を行うこととした。

係留系のモデルは係留索及び防舷材はいずれもバネとして考えた。係留索は伸び方向の変位量に対する張力を算出し、防舷材は計算ステップ毎に距離を用いて接触判定を行い、接触時は圧縮方向の変位量に対する反力を算出し船体に働く係留力を計算する。

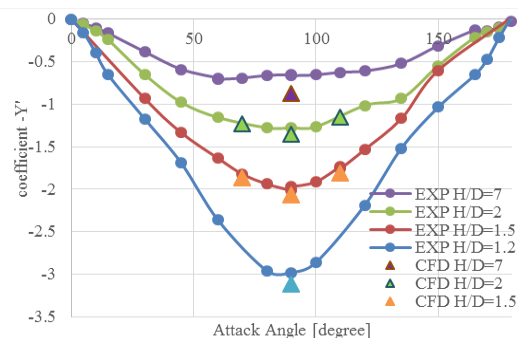
アンカー系については、係留チェーンはばねマス系で表現し、アンカーは係留系の端に連結した把注力を持つ質点として考え船体運動と並行して運動を計算する手法とした。

(2) 船舶複合遡上津波計算コード作成：2011年東北地方太平洋沖地震津波による気仙沼湾における大型船舶の漂流・座礁位置分布の検証を行った。まず、宮城県気仙沼市周辺において津波流況を数値計算によって求め、浸水域の比較から良好な結果が得られている事が確認した。次に、現地調査、航空写真から気仙沼湾周辺で発生した漂流船舶の主要目を把握した上で漂流船舶の解析をおこない、船舶の漂着・座礁分布の傾向を分析し、本モデルの適用性を検討した。本モデルにより、実際に船舶の座礁が集中した位置を概ね再現することができていることが確認できたことから、船舶が漂流し座礁しやすい箇所の推定を行う事が可能であることを明らかにすることができた。



錨泊船舶が津波により流される状況

(3) 制限水域での船体流体力 CFD コード要素開発：CFD を活用して、非定常状態である一定加速度の横移動時の船体に働く抵抗を求める計算を行ったがそれに対応した一定加速度横移動装置による水槽実験による確認を行った。この結果先の CFD ソルバーは定常状態だけではなく非定常状態での計算結果の精度確認を行うことができた。次に CFD を用いて岸壁に係留中に船舶に津波のような強い流れが前方から作用したときに、船体に働く力の計算を行った。強い流れと岸壁との作用により船体下部に非常に大きな渦が現れ非常に不安定な力が作用することが得られている。さらに非定常な環境として、波浪中を航行する高速船に作用する力を CFD で計算し、水槽模型実験との比較を行った。その結果、良好な一致を見て、CFD ソルバーの精度確認も行うことができた。



CFD と 実験結果の比較図

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計13件)

Y. Tahara, CFD-Based Hull Form / Appendage Optimization by Using Deterministic and Stochastic Optimization Theory, Proceedings of the 12th International Marine Design Conference, 査読有、2015、pp.72-86  
Hashimoto, H.、Yoneda, S.、Tahara, Y.、Kobayashi, E.、Prediction of Wave-induced Surge force Using Overset Grid RaNS Solver、Proceedings of the 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles (STAB 2015)、査読有、Vol.2、2015、pp.623-632  
Hashimoto, H.、Yoneda, S.、Tahara, Y.、Kobayashi, E.、CFD-based study on the prediction of wave-induced surge force、Ocean Engineering、査読有、印刷中  
DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.01.005  
Shunichi Koshimura、Nobuo Shuto、Response to the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami disaster、Philosophical Transactions of the Royal Society A、査読有、Volume:373、Issue:2053、2015、印刷中  
DOI: 10.1098/rsta.2014.0373  
成田 裕也、越村 俊一、津波被害の地域特性に基づく津波被害関数の類型化、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol. 71、No. 2、2015、pp. I\_331-I\_336  
佐藤 兼太、越村 俊一、非圧縮型格子ボルツマン法による自由表面流れ解析の計算安定化、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol. 71、No. 2、2015、I\_146-I\_150  
越村 俊一、リアルタイム津波浸水予測とリモートセンシングの融合による広域被害把握の新展開、社会安全研究、査読有、第 6 号、2016、pp.51-60  
Shunichi Koshimura、Satomi Hayashi、Hideomi Gokon、The impact of the 2011 Tohoku earthquake tsunami disaster and implications to the reconstruction、Soils and Foundations、査読無、Vol.54、2014、pp.560-572  
林 里美、Bruno ADRIANO、Erick MAS、越村 俊一、建物破壊を考慮した陸域遡上モデルの構築による津波数値計算手法の高精度化、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol.70、2014、pp. I\_346-I\_350  
Ei-ichi Kobayashi、Kouhei Yurugi、Shunichi Koshimura、Evaluations of a Ship Evacuation Manuever from Tsunami Attack、Proceedings of OMAE2013、査読有、2013  
Yusuke Suga、Shunichi Koshimura、Eiichi Kobayashi、Risk Evaluation of Drifting Ship by Tsunami、Journal of Disaster Research、査読有、Vol.8、No.4、

2013、pp. 573-583  
Shunichi Koshimura、Satomi Hayashi、Hideomi Gokon、Lessons from the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Disaster、Journal of Disaster Research、査読有、Vol.8、No.4、2013、pp. 573-583  
Kandasamy, M.、Peri, D.、Tahara, Y.、Wilson, W.、Miozzi, M.、Georgiev, S.、Milanov, E.、Campana, EF.、Stern, F.、Simulation based design optimization of waterjet propelled Delft catamaran、International Shipbuilding Progress、査読有、Vol.60、2013

[学会発表](計 17 件)

Shota Yoneda、Hirofusa Hashimoto、Yusuke Tahara、Eiichi Kobayashi、Naoya Umeda、Fredrick Stern、CFD-based captive tests for the wave-exciting force acting on a ship running in stern quartering waves、3rd International Conference on Violent Flows (VF-2016)、2016.3.11、I Site Namba (大阪府)  
米田 翔太、小林 英一、橋本 博公、田原 祐介、津波来襲時に考慮すべき岸壁影響、平成 27 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2015.11.17、東京大学生産技術研究所 (東京都)  
Ei-ichi Kobayashi、Syouta Yoneda、Takuro Kawabata、Wataru Sera、Syunichi Koshimura、Hirofusa Hashimoto、Evacuation manoeuvre of passenger ship with podded propellers during a tsunami、MARSIM 2015、Newcastle University、2015.9.11、ニューキャッスル (イギリス)  
米田 翔太、小林 英一、谷口 裕樹、越村 俊一、橋本 博公、船舶に対するリアルタイム津波ハザードマップの基礎研究、平成 27 年日本船舶海洋工学会春季講演会、2015.5.25、神戸国際会議場 (兵庫県)  
村山 雅子、小林 英一、谷口 裕樹、越村 俊一、大阪湾における新想定津波下での船舶の港外避難について、平成 27 年日本船舶海洋工学会春季講演会、2015.5.25、神戸国際会議場 (兵庫県)  
Shunichi Koshimura、Ryota Hino、Yusaku Ohta、Hiroaki Kobayashi、Akihiro Musa、Yoichi Murashima、Real-time tsunami inundation forecasting and damage mapping towards enhancing tsunami disaster resiliency、American Geophysical Union Fall Meeting、2014.12.17、Moscone Center、サンフランシスコ (アメリカ)  
米田 翔太、小林 英一、田原 祐介、橋本 博公、重合格子型 RaNS 法を用いた津波襲来時の船体動揺予測の基礎検討、平成 26 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2014.11.21、長崎ブリックホール (長崎

県)  
村山 雅子、小林 英一、谷口 裕樹、越村 俊二、新想定津波下での明石海峡における船舶の避難について、平成 26 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2014.11.21、長崎ブリックホール(長崎県)  
川端 拓郎、世良 亘、小林 英一、越村 俊二、大阪湾における津波来襲時の船舶の定点停留に関する研究、平成 26 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2014.11.21、長崎ブリックホール(長崎県)  
米田 翔太、小林 英一、世良 亘、越村 俊二、白川 裕太、津波来襲時の錨泊船舶の挙動にかかる錨鎖モデルの検討、平成 26 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2014.11.21、長崎ブリックホール(長崎県)  
小林 英一、世良 亘、志知 翔太、川端 拓郎、津波来襲時におけるポッド推進船の緊急離岸操船に関する研究、日本航海学会講演会、2014.10.31、北海道大学(函館市)  
米田 翔太、小林 英一、世良 亘、越村 俊二、白川 裕太、津波来襲時の錨泊船舶の挙動にかかる錨鎖モデルの検討、平成 26 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2014.11.21、長崎ブリックホール(長崎県)  
Masako Murayama、Ei-ichi Kobayashi、Yuki Taniguchi、Shunich Koshimura、A Fundamental Consideration on the Safety Space of Anchored Ships under the Newly Assumed Tsunami Attack in Osaka Bay、OCEANS'14 MTS/IEEE、2014.9.14、セントジョーンズ(カナダ)  
村山 雅子、小林 英一、谷口 裕樹、越村 俊二、新想定津波下での大阪湾における船舶の避難海域について、平成 26 年日本船舶海洋工学会講演会春季講演会、2014.5.27、仙台国際センター(宮城県)  
米田 翔太、小林 英一、越村 俊二、浦東 弘武、新想定津波下での大阪湾における船舶の避難海域について、平成 26 年日本船舶海洋工学会講演会春季講演会、2014.5.27、仙台国際センター(宮城県)  
越村 俊一、郷右近 英臣、Bruno Adriano ErickMas、シミュレーションと空間情報学を融合した津波被災地の被害把握、平成 26 年日本船舶海洋工学会講演会春季講演会、2014.5.27、仙台国際センター(宮城県)  
村山 雅子、小林 英一、谷口 裕樹、太田 遼、越村 俊二、新想定津波下での大阪湾における錨泊船舶の挙動について、平成 25 年日本船舶海洋工学会講演会秋季講演会、2013.11.21、大阪府立大学 I-site なんば(大阪府)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小林 英一 (KOBAYASHI, Eiichi)  
神戸大学・海事科学研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号: 90346289

### (2) 研究分担者

田原 裕介 (TAHAYA, Yuusuke)  
国立研究開発法人・上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号: 10264805

越村 俊一 (KOSHIMURA, Shunichi)  
東北大学・学内共同利用施設等・教授  
研究者番号: 50360847

橋本 博公 (HASHIMOTO, Hirotada)  
神戸大学・海事科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号: 30397731

(H26 から研究分担者として参画)

### (3) 研究協力者

米田 翔太 (YONEDA, Shouta)

谷口 裕樹 (Taniguchi, Yuuki)