

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	津波に対する救命胴衣の有効性評価に向けた人体－流体連成数値シミュレータの開発
Title(English)	
著者(和文)	安嶋大稀
Author(English)	Daiki Ajima
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11170号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中村 恭志,神田 学,木内 豪,高木 泰士,中村 隆志
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11170号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	融合理工学 地球環境共創	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 （工学） Doctor of
学生氏名： Student's Name	安嶋 大稀		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	中村 恭志
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は津波被災時の溺水に対する救命胴衣の有効性評価に資することを目的に、津波中における人体の運動を表す新たなシミュレータの開発を行ったものである。開発したシミュレータでは関節可動域等の力学的条件を加味して人体各部の運動をモデル化し、流体計算との相互作用を考慮することで、流れ場と人体運動双方が非定常となる場合の解析を初めて実現した。開発したシミュレータは大規模水路実験との比較によりその再現性を検証し、さらに過去に生じた津波の氾濫解析に基づいて実際の津波への適用例を示した。

本論文は以下に示す 5 章から構成される。第 1 章「序論」では本研究の背景と既往の研究に基づき、本論文の目的と構成を提示した。津波によっては現代でも多くの犠牲者を生じており、その死因のほとんどは溺水であるとされている。救命胴衣はこの溺水の危険性を低減する可能性を持ち、津波対策としての活用が期待される。一方現在救命胴衣に求められる性能基準に津波を想定したものではなく、それらに基づく救命胴衣が最大 10 m/s 超の津波流中で有効であるかは明らかでない。救命胴衣を津波対策として確立するためには津波流を考慮した評価を行う必要があるが、大規模かつ多様なケースを対象とするため、これには数値シミュレーションの活用が望まれる。一方津波に関する既往のシミュレーションでは人体のような多体系を扱った例はなく、また水泳など人体の水中運動を扱ったシミュレーションは定常流のみを対象としている。本論文ではこうした現状に鑑み、津波の非定常流れ場と人体の運動を連成した新たな数値シミュレータの開発を行った。

第 2 章「人体-流体連成数値シミュレータの構築」では開発したシミュレータの計算手法について述べた。開発したシミュレータでは人体運動と流れ場の計算を別個に行い、計算過程の中でそれらの相互作用を加味することによって人体-流体連成解析を実現した。人体は剛体リンクモデルに基づき、関節で接続された剛体体節の集合として表した。その上で、流体や関節より作用する力・トルクを考慮しながら各体節の並進・回転を計算した。一方流れ場には固・液・気三相の連成解析手法である Constrained Interpolation Profile-Combined Unified Procedure 法(Yabe ら, 1991)を用い、全ての相に統一的な流速・密度・圧力の輸送方程式を適用して計算を行った。章末では開発したシミュレータを用いて水槽より人体が浮上する様子のシミュレーションを行い、シミュレータによる浮力の計算誤差は呼吸等による人体の浮力変動幅と比して十分小さいことを確認した。

第 3 章「大規模水路実験の再現計算」では Kurisu ら (2018) によるマネキンの津波巻き込み実験を開発したシミュレータ上で模擬することを通じて、シミュレータの再現性を確認するとともに、救命胴衣の有効性評価に向けた基礎的な検討を行った。この実験は大規模造波水路中に津波を模した波を伝播させ、構造物背後に生ずる鉛直方向の渦流にマネキンが巻き込まれる様を観察したものである。開発したシミュレータは渦流に沿って回転するマネキンの挙動と、その周辺における波高・流速の推移を良好に再現した。次にシミュレータ上で救命胴衣を模した浮力をマネキンに与え、その多寡による挙動の差異と周囲の流れ場の比較を行った。結果渦流周辺では圧力差や下降流に伴う下向きの流体力が強くマネキンに作用し、これと救命胴衣による浮力との大小がマネキンの浮沈を左右することが明らかになった。以上より開発したシミュレータは津波中の人体運動の表現に十分な性能を有し、また津波中における救命胴衣の有効性はその浮力と人体に作用する流体力をシミュレータ上で比較することにより検討できることが示された。

第 4 章「津波被災時の外洋流出過程への適用」では津浪被災者が陸上から外洋へ流出する過程に着目し、そこで遭遇し得るいくつかの流況に対して開発したシミュレータの適用例を示した。東北地方太平洋沖地震(2011)に伴い釜石湾（岩手県釜石市）に襲来した津波を対象に、はじめに氾濫解析（赤穂ら, 2015）を基に津浪被災者が多く流出する経路を検討した。これを基に河川河口域において大規模な跳水が生じている場合と、港湾部岸壁において流出水が滝様に落下している場合を取り上げ、それらにおける人体の挙動を開発したシミュレータ上で模擬した。結果河川河口域では大規模な跳水に伴い生じた鉛直流と空気混入によって、標準的な救命胴衣を着用した場合でも人体は底層に沈降した。また港湾部では、岸壁から人体が落下する際に地面との接触によって大きな反力を受けることが示唆された。今後津浪被災時に遭遇し得るその他の流況についても開発したシミュレータを適用することで、将来的に津波に対する種々の救命胴衣の有効性を定量的に評価できるようになると考えられる。

第 5 章「結論」では上記の成果を総括した。その上で今後シミュレータを実際の救命胴衣へ適用するための課題として、津波被災時に遭遇しうる流況を類型化し整理する必要性などを述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	融合理工学	系
Department of, Graduate major in	地球環境共創	コース
学生氏名：	安嶋 大稀	
Student's Name		

申請学位(専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員(主)：	中村 恭志	
Academic Supervisor(main)		
指導教員(副)：		
Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

A numerical simulator for the evaluation of the effectiveness of lifejackets against drowning in tsunamis was developed. None of criterion for lifejackets assumes tsunamis despite expectation of lifejackets as a measure against tsunamis. To evaluate lifejackets in various and large-scale currents of tsunamis, a numerical simulator considering both unsteady water currents and human movement is strongly demanded.

The Constrained Interpolation Profile-Combined Unified Procedure (CIP-CUP) scheme was combined with the link segment model to simulate interactions between the fluid and subjects in the developed simulator. Fluid motion is computed by applying the same fundamental equations of CIP-CUP scheme to air, water, and a human body. Movement of a human body is represented by computing translation and rotation of each component segment considering forces and torques from fluid and joints.

The developed simulator was experimentally validated using a large flume. A manikin laid on blocks was swept down by a tsunami-like water current and caught by a vortex behind the blocks. The developed simulator accurately reproduced both water currents and movement of the manikin. Next, movement of the manikin was simulated with higher buoyancy assuming lifejackets. Consequently, a buoyancy corresponding to the manikin's weight caused the total submergence of the entire body. This is because the manikin received strong downward force around the vortex, and thus this kind of forces are considered to be remarkable in the evaluation of lifejackets in tsunamis.

Lastly, some instances of application of the simulator to actual tsunamis were shown. Tsunamis going out to the sea through a river mouth and a wharf were taken up here. In a case of the river mouth, strong vertical currents and mixing of air were caused by a large hydraulic jump and then flotation of a subject with a lifejacket was hindered. In a case of the wharf, the subject received a strong impact when it fell from the wharf with a shallow stream. In the near future, evaluation of actual lifejackets will be realized through application of the developed simulator to various currents of probable tsunamis.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).