

令和 3 年 5 月 28 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04676

研究課題名（和文）実地形における避難行動を想定した津波被害軽減用流体素子の開発から検証まで

研究課題名（英文）From Development to Evaluation Assuming Pedestrian's Evacuation of the Fluidics on the Real Field

研究代表者

廣川 雄一（HIROKAWA, Yuichi）

国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門(地球情報基盤センター)・特任副主任研究員

研究者番号：30419147

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：津波による街区等への浸水では、被害軽減のために事前の検討および対策をしておくことが重要である。避難時間をより多く確保するためには、浸水速度を減勢させる「流体素子」は有効な手段と考えられる。

本研究では流体シミュレーションの信頼性を向上させるため、流体実験との比較を行った。また、流体シミュレーションと人工知能を用いて流体素子を設計し、流速を約1/3に減勢可能な設計案を得ることができた。更に、流体素子が浸水時の徒歩避難に与える影響を評価するため、実地形および街区形状を考慮した氾濫シミュレーションと人流シミュレーションを連成させたところ、30分間の避難完了率が約2割向上できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、津波や河川氾濫などの観測頻度が増加しており、浸水による人的被害が発生している。地域によっては避難までの時間を確保することが難しい状況も発生しうるため、避難時間を稼ぐことは人的被害を軽減する上で重要である。本研究で提案した流体素子により、街区への浸水速度を減勢させることで避難時間をより多く確保することが可能となり、安全・安心な社会の実現に貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：A large-scale earthquake may lead to a tsunami, which could cause floods in urban areas. The evacuation of pedestrians in front of an approaching tsunami is difficult due to the speed of the water. Advanced evacuations are important, however, there may be some situations in which evacuees must ensure sufficient time for evacuation. Therefore, the authors developed the fluidics to increase the time available for pedestrian evacuation by reducing the speed of the water to approximately one-third of its original speed. In addition, the authors evaluate the effectiveness of fluidics for tsunamis in pedestrian flood evacuations. The results of the simulation indicate that fluidics can mitigate the speed of a spreading flood and thus increase the time available for evacuation, which could increase the evacuation completion rate up to about 20% in 30 minutes. Therefore, we can confirm that the presently developed fluidics would effectively improve pedestrian evacuations in tsunamis.

研究分野：数値流体力学、高性能計算、人工知能

キーワード：安全・安心 レーション 防災 気液二相流 流体実験 流体シミュレーション 流体素子 浸水避難 人流シミュレーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

日本近海の巨大地震で生じる津波では沿岸への第一波の到達が速いことが予測されている(南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、2012)。津波による被害を軽減するには一刻も早い避難が有効であるが、地震発生から津波到達までの時間が短い場合、避難時間が十分に確保できない恐れがある(片田 et.al、2004)。日本沿岸部には防潮堤等が整備されているが、設計値を超えた津波が到達した場合には越水が発生する。標高が低い箇所や低摩擦の箇所では特に速く浸水が進展するため[1]、浸水を減勢させることができれば、避難時間を多く確保でき、浸水による人的被害を軽減させることが可能である。特に市街地などではビルなどに視界が阻まれるため、周囲の被災状況を把握することが困難であり、目前に浸水が迫ってくる状況が起こりうる。このため、浸水の速度を減勢することは人的被害を軽減するのに有効であると考えられる。

浸水を減勢する手法として堤防等により水を堰き止める方法があるが、工期が長く、メンテナンスや補修も必要であるため、適用できる範囲は限られているのが実情である。一方、海岸防災林により減勢させる方法は津波の波高が低い場合は有効であるが、波高が高い場合には倒伏した樹木が漂流物となり、却って被害を拡大する点が指摘されている(森林総合研究所、2015)。

## 2. 研究の目的

本研究では流れを制御する流体素子を開発し、実地形において浸水を減勢させる手法を確立する。流体素子は電子部品のように流れを制御する考え方であり、流れを整流させる流体ダイオード等が提案されている。しかし、流体素子は単成分の流れを対象としたものが多く、水と空気の流れを対象とする気液二相流を扱ったものは少ない。また、浸水では流体素子が冠水するかどうかで流体素子の後ろの流れが変化するため、流れの把握および制御方法の解明は学術的にも重要である。また、開発した流体素子を実地形に設置した場合の有効性の評価および避難行動に与える効果を明らかにし、既存の津波対策を補強する手法として将来の実用化に向けた基盤技術を確立する。

本研究は津波用の流体素子を設計し、浸水速度だけではなく人の避難行動まで含めて総合的に評価することが特徴である。流体素子の設計では数値流体シミュレーションと模型実験を組み合わせ、信頼性を確保するとともに実地形での効果を高精度に予測する。更に、徒歩避難シミュレーションとの連成により、避難状況の改善度合いを定量的に評価する。本手法は河川氾濫等の治水にも適用が可能であり、逆流の減勢といった工業分野への応用も可能である。

## 3. 研究の方法

流体素子は被災時の状況下でも確実に機能させるため、電力や操作の必要がない鉄筋コンクリート製構造物とする。構造物の形状と配置パターンを最適化することで、後流の流速ベクトルを適切に制御し、浸水を遅らせる手法を確立すると共に避難状況の評価する。流体素子の設計には様々な供試体を実寸法で検討できる数値流体シミュレーションを用いる。数値流体シミュレーションでは局所的な流れをマイクロに解析する三次元気液二相流モデルと広域に渡る浸水をマクロに解析する二次元不定流モデルの2つを用いる。以上を踏まえ、避難シミュレーションを行い、流体素子の有効性を確認する。研究は下記の3段階に分けて行う。

### (1) 解析・実験手法の検証

数値流体シミュレーションの精度を検証するため、模型サイズのダム崩壊問題を対象とした三次元気液二相流モデルによるマイクロなシミュレーションを実施する。また、模型実験で水の分布、および二次元PIVによる流速分布を測定し、実験とシミュレーションの比較検証を行う。必要に応じて三次元気液二相流モデルのパラメータ等を調整する。

### (2) 流体素子の設計最適化

三次元気液二相流モデルを用いたマイクロなシミュレーションにより、様々な流体素子の形状および配置パターンを検討し、浸水を遅らせる最適な設計案を求める。設計案の検討では既存のダム減勢工などの知見と人工知能の1つである遺伝的プログラミングを組合せて設計を最適化する。なお、設計案は流体素子が(a)冠水していない場合と(b)冠水している場合の2通りの評価を行う。また、広域を解析する二次元不定流モデル用に流体素子のマクロな摩擦特性(Manningの粗度係数)を算出する。

### (3) 避難行動に与える影響の評価

以上により求めたマクロな流体シミュレーションの結果を用い、実在の建物や道路、避難者数等も考慮した高精度な浸水時徒歩避難シミュレーションを実施する。流体素子の有無で避難完了率等がどの程度変化するかを定量的に評価し、流体素子の有効性を確認する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 解析・実験手法の検証

ダム崩壊問題を対象として、実験環境の構築および流れ場の計測、数値流体シミュレーションによる流れ場の解析、実験とシミュレーションの比較、シミュレーションモデルの高精度化を検討した。流体シミュレーションには Engys 社の OpenFOAM ベースの非構造有限体積法ソルバー HELYX v.3.2.0 を用い、VOF 法による非定常の三次元気液二相流シミュレーションを行った。その結果、数値流体シミュレーションでは液相(水)の流れを定量的に再現可能なことが確認でき、シミュレーションの有効性を確認することができた。また、気相(空気)では界面付近に渦が発生する可能性が実験およびシミュレーション両方の結果から示唆された。

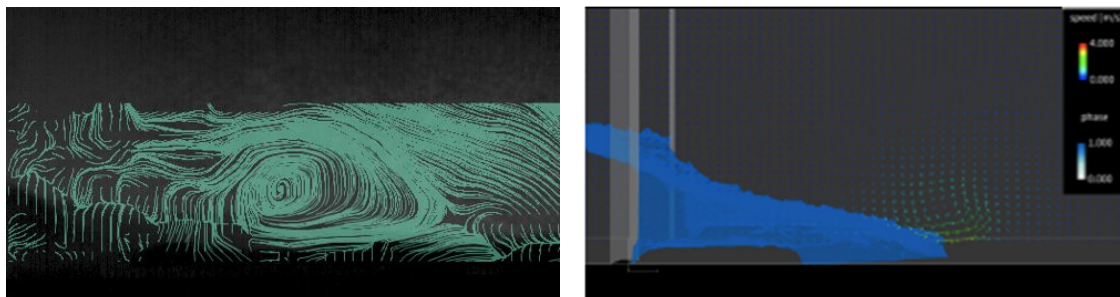


図1 気相で発生した渦 (左)流体実験 (右)流体シミュレーション

##### (2) 流体素子の設計最適化

既存のダム減勢工などを参考に様々な設計案の流体シミュレーションを人手で試行錯誤し、設計指針を得た。また、更なる性能向上のため、人工知能の1つである遺伝的プログラミングを用い、更なる性能の向上を検討した。遺伝的プログラミングにより様々な流体素子の三次元形状を作成し、流体シミュレーションによる流速評価を行い、流速を最も減勢できる設計案を探索した。最適化では世代数は100、世代毎の個体数は30とした。図2は最適設計案のシミュレーション例であり、流体素子の冠水の有無に関わらず流速を約1/3に減勢可能となった。また、これらの結果から Manning の粗度係数を算定した。

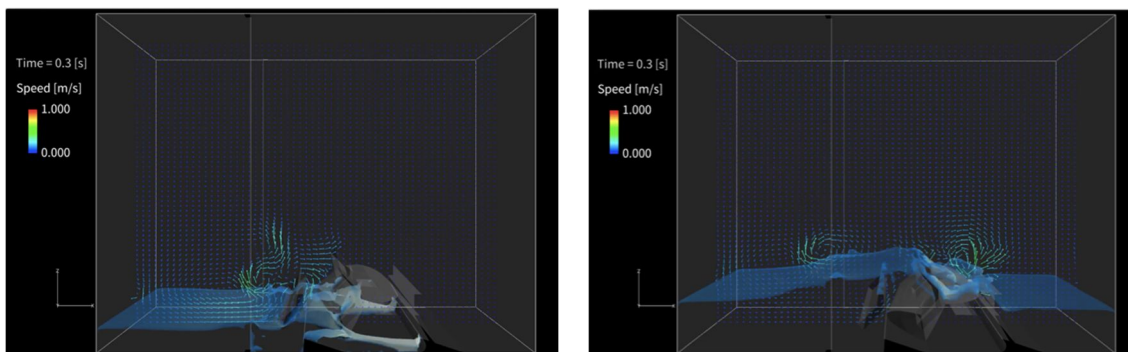


図2 流体素子周りの流体シミュレーション (左)流体素子冠水なし (右)流体素子冠水あり

##### (3) 避難行動に与える影響の評価

実際の街区に5mの津波が到達した際、流体素子の有無による避難状況の比較を行った。津波のシミュレーションには Manning 則による二次元不定流解析を用い、国土地理院の標高や建物、道路などのデータを考慮した。避難シミュレーションでは避難者は堅牢建物にいる場合は垂直避難し、それ以外は域外の避難場所を目指して徒歩で水平避難するシナリオとした。また、各避難者は時々刻々と変化する津波による街区浸水の影響を受け、避難経路の変更や歩行速度の低下をすることとした。

津波および避難のシミュレーション例では、流体素子により30分間の避難完了率が約2割向上できる可能性が示唆された(図3)。その他、土地鑑がある地域住民の場合、未確認の道路が浸水していないと想定して行動すると避難完了率が低下し、未確認の道路が浸水していると想定して行動すると避難完了率が向上する可能性が示唆された。

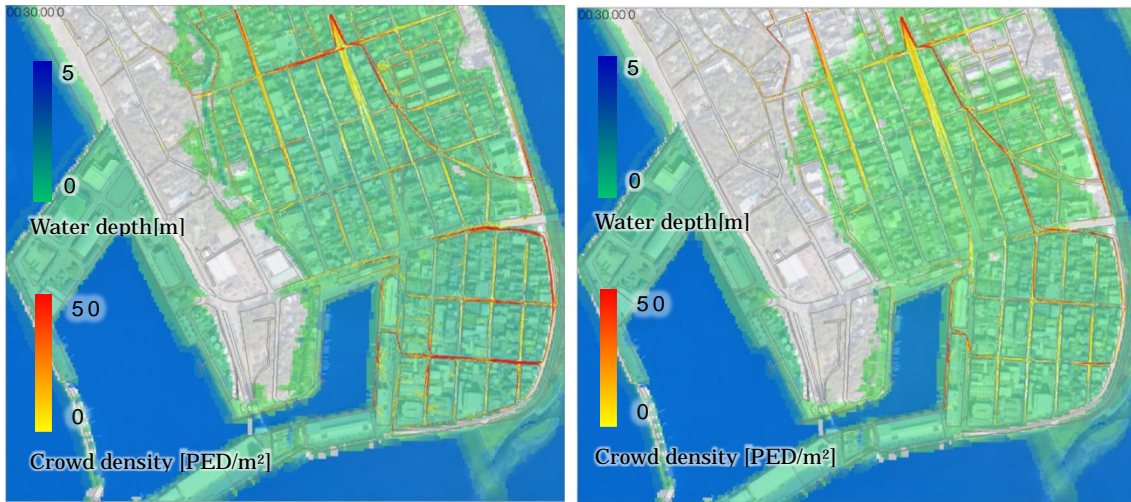


図3 津波来襲30分後の浸水および群衆分布 (左)流体素子なし (右)流体素子あり

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 廣川 雄一, 西川 憲明, 山田 武志, 印南 潤二, 浅野 俊幸	4. 巻 Vol.60, No.10
2. 論文標題 浸水シミュレーション予測による浸水徒歩避難の検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会 論文誌	6. 最初と最後の頁 1672-1682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuichi Hirokawa, Masaaki Terai, Teruo Matsuzawa, Noriaki Nishikawa, Toshiyuki Asano	4. 巻 Vol.25, No.1
2. 論文標題 A Large-Scale Parallelization of the Boids Model on the K Computer and the Heterogeneous Multi-Processing Unit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 24-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-019-00562-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 廣川 雄一, 西川 憲明, 山田 武志, 印南 潤二, 浅野 俊幸	4. 巻 Vol.12, No.1
2. 論文標題 土地鑑を考慮した徒歩経路探索モデルによる浸水避難シミュレーション	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会 論文誌トランザクション 数理モデル化と応用	6. 最初と最後の頁 11-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 廣川 雄一, 西川 憲明, 浅野 俊幸
2. 発表標題 IoTデバイス群の完全性が浸水時避難行動に与える影響についての一考察
3. 学会等名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2019 (JAWS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣川 雄一、松岡 大祐、西川 憲明、浅野 俊幸
2. 発表標題 ダム崩壊問題の実験結果を対象としたCFDの基礎的検討
3. 学会等名 第32回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣川雄一、西川憲明、山田武志、印南潤二、浅野俊幸
2. 発表標題 浸水シミュレーション予測が避難行動に与える影響の検討
3. 学会等名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2018 (JAWS2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣川 雄一、西川 憲明、山田 武志、印南 潤二、坂井 隆志、浅野 俊幸
2. 発表標題 土地鑑を考慮した徒歩経路探索モデルによる浸水避難シミュレーション
3. 学会等名 第 120 回数理モデル化と問題解決(MPS)研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichi Hirokawa, Masaaki Terai, Teruo Matsuzawa, Noriaki Nishikawa and Toshiyuki Asano
2. 発表標題 A Large-Scale Parallelization of the Boids Model on the K Computer and the Heterogeneous Multi-Processing Unit
3. 学会等名 Proceedings of the Twenty-Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 24th 2019) and the Fourth International Symposium on BIOCMPLEXITY(ISBC 4th 2019)、(国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

廣川 雄一, 西川 憲明, 浅野 俊幸, 坂井 隆志, 山田 武志, 印南 潤二, 大道寺 覚, 遠山 啓, 中澤 敬, " プロジェクションマッピングによる避難シミュレーションの可視化 ", 第48回可視化情報シンポジウム「アートコンテスト」大賞

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	浅野 俊幸  (ASANO Toshiyuki)  (40377594)	湘南工科大学・工学部・教授    (32706)	
研究分担者	西川 憲明  (NISHIKAWA Noriaki)  (80415984)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (地球情報基盤センター)・特任副主任研究員   (82706)	
研究分担者	松岡 大祐  (MATSUOKA Daisuke)  (80543230)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (情報エンジニアリングプログラム)・副主任研究員   (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------