

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14312

研究課題名（和文）スーパー弾性係留システムを有する浮沈式水害シェルターの提案・開発

研究課題名（英文）Development of a submerged/floating flood shelter with a super-elastic-mooring system

研究代表者

陸田 秀実（Mutsuda, Hidemi）

広島大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80273126

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、異常気象に伴う大洪水や巨大津波への技術対策の一つとして「スーパー弾性係留システムを有する浮沈式水害シェルター」を提案・開発した。その特徴は、数十人～数百人規模の人々（子供からお年寄りまで）が、迅速かつ安全に避難できる点にある。本申請では、低浸水時は浮上する一方で、高浸水時には没水する新しいタイプの浮体構造物を提案するとともに、浸水流による流体力や衝撃力を大幅に低減することが可能な要素技術を確立した。また、それらの要素技術を統合し、実用化を見据えた基本設計を行った。

研究成果の概要（英文）：We investigated hydraulic and motion performance of a submerged/floating shelter with a super-elastic-mooring system as space to protect people from tsunami attack and floating debris in experimental and numerical works. The results showed that the trapezoidal and streamline tsunami shelter types can reduce fluid pressure and shelter motions such as surge, sway and heave, especially in high Froude number cases. We found that the impact pressure acting on the shelter caused by floating debris such as ship and house models can be reduced by an elastic mooring system, leading to the resultant motions of the shelter being relatively smaller and quasi-steady state. In addition, we developed a particle based model coupling with Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), Discrete Element Method (DEM) and Extended DEM (EDEM) with some improvements to compute fluid structure interaction among flood flow, floating debris and a flood shelter with an elastic mooring.

研究分野：流体工学

キーワード：シェルター 水害 津波 係留 粒子法

1. 研究開始当初の背景

異常気象に伴う大洪水や巨大津波への対策技術の一つとして、漂流式・自航式・係留式のシェルターが提案され、収容人数と設置環境に応じて、様々なサイズや形状のものが開発されている。これらを設計する際は、浸水深や流勢について注意を払う必要がある。特に、浸水流や漂流物による衝突圧、さらには定常流による流体力を低減することが極めて重要となる。このような背景の下、申請者は、浸水流の流勢に抗するのではなく、それらを巧みに回避する「浮沈式水害シェルター」を開発している。申請者の先行研究において、水害シェルターの形状は流線形が最も流体力を低減し、また、弾性係留索は衝撃圧を大幅に低減することが分かってきた。

本研究では、今後の実用化を見据えて、耐波性・安全性・運動性・機能・利便性等の高性能化を図るべく、「スーパー弾性係留システムを有する浮沈式水害シェルター」を提案・開発する(Fig.1)。

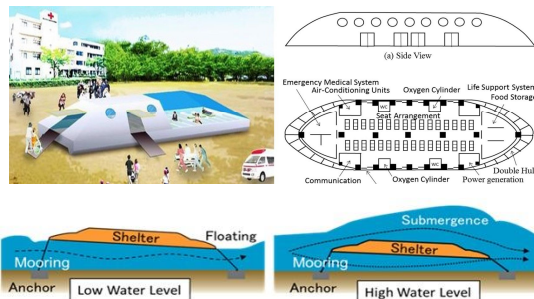


Fig.1 Overview of a proposed tsunami Shelter

2. 研究の目的

本研究は、異常気象に伴う大洪水や巨大津波への技術対策の一つとして「スーパー弾性係留システムを有する浮沈式水害シェルター」を提案・開発するものである。その特徴は、数十人～数百人規模の人々（子供からお年寄りまで）が、迅速かつ安全に避難できる点にある。さらに、被災後は仮設居住区・緊急医療施設として、通常は住民のコミュニティー空間や備蓄倉庫（水産物や加工品、防災食品など）として、多用途にも活用できる点も特徴である。本申請では、低浸水時は浮上する一方で、高浸水時には没水する新しいタイプの浮体構造物を提案するとともに、浸水流による流体力や衝撃力を大幅に低減することが可能な要素技術を確認する。また、それらの要素技術を統合し、実用化を見据えた基本設計を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

浸水流の流体力を大幅低減する流線形状の最適化

浸水流は、流勢が強い場合（高フルード数）、流体抵抗が急増するため大幅に軽減する必要がある。また、漂流物による衝撃圧を回避する方策を取る必要がある。このことから、

本研究では、浸水流の流体抵抗を大幅に低減することが可能な流線形状の最適化を行う。まず始めに、現存する様々な構造物の形状や高さが流体力に及ぼす影響を明らかにするために、数値シミュレーション（SPH法）によって、非定常流体力を計算し、浸水流の水位・流速と流体力の関係を明らかにする。この過程において選定された形状案について、ここでは、密度関数を用いたトポロジー最適化を行い、さらなる形状最適化を実施する。さらに、没水時および浮体時の双方において、効果があるものを2～3案選定する。その後、模型製作および大型水槽による浸水実験を行い、衝撃力と定常流体力の両者が $p/p_0 < 1.0$ 以下（ p_0 : 浸水深の静水圧）となることを検証する。

スーパー弾性係留システムの基本設計

先行研究において、浸水流と漂流物によって作用する衝撃圧を大幅に低減するためには、通常の係留方法（チェーンやワイヤー）ではなく、弾性係留策の導入が不可欠であることが分かっている。しかしながら、弾性係留索に必要とされる弾性率、長さ、剛性、引張強度などについて設計指針が明らかにされていない。また、弾性係留策に4～8点係留された水害シェルターの浸水時の運動も不明のままである。そこで、スーパー弾性係留システムを有する水害シェルターに作用する流体力および6自由度運動を計算することが可能な数値シミュレーション法（SPH法とDEM法のカップリング手法）を開発する。特に、スナッチ荷重による衝撃力を高精度で計算する必要があるため、種々の計算技法を開発し、浸水実験と比較検証する。その後、最適化された水害シェルターに適用し、スーパー弾性係留システムの設計指針を明らかにする。

水害シェルターに作用する漂流物の衝突力の直接推定とその評価手法

スーパー弾性係留システムを有する浮沈式水害シェルターには、災害時に様々な漂流物が衝突する。例えば、浸水流のみが流体力として作用した場合、浸水深と流向、構造物の形状によって衝撃力は大きく変化することが先行研究で明らかとなっている。これに加えて、実際の水害では、家屋、木材、鋼製フレーム、車、船など、形状や比重の異なる漂流物が、浸水流に押し流され水害シェルターに作用することとなる。その際、シェルター外板に大きな衝撃力が作用し、大変形および亀裂・破壊が生じる。ここでは、において開発された数値シミュレーション法を拡張し、漂流物と構造物の直接衝突によって発生する衝撃力を推定する。さらに、その浸水実験（広島大学所有の大型水槽）を行うとともに、水害シェルターに作用する衝突力の評価手法を提案する。

ダブルハル構造の検証と浮沈調整制御

例えば、津波や洪水時には、車・家屋・船舶といった漂流物が陸上建造物に衝突し、建物被害を拡大したとされている。そこで、船舶構造様式の分野で実績のあるダブルハル構造を適用する。これによって、漂流物による衝撃圧を緩和すると同時に、破損時のシェルターへの浸水被害を回避することができるため、避難構造物としての機能は損なわない工夫を施す。本申請では、耐波性と安全性の向上を目的として、ダブルハル型のシェルターモデルを製作し、各種漂流物模型（例えば、家屋や車・船）を作用させ、その衝撃力によって最外縁の隔壁が損傷した場合の安定性・安全性を検証する。また、ダブルハル構造にバラスト水を注入し、その浮沈効果と制御方法について検証を行う。

4. 研究成果

シェルター形状の最適化

最大流体力を生み出し、甚大な被害をもたらす浸水流（東日本大震災レベル）を想定した実験を 広島大学所有の回流水槽にて実施した（1/100 スケール, Fig.2）。また、係留設置に加え、各形状による前述の有効性を検証するため、比較対象として水害シェルターが 完全固定される条件も行った。

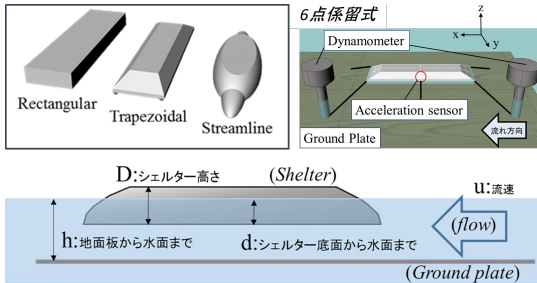


Fig.2 Shelter models and experimental set up

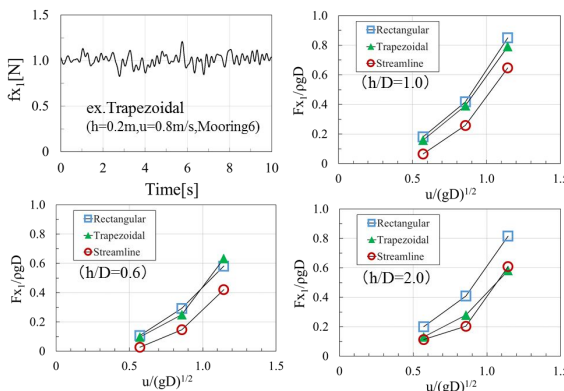


Fig.3 Comparison of fluid force on shelters

その結果、流線型水害シェルターの流体力は、矩形型および台形型のそれよりも、最大で 30%程度流体力を低減可能であることが分かった(Fig.3)。また, Fig.4 に示す通り, CFD 解析によって、シェルター周りの流れ構造および浸水流作用力を検証し、流体力学的な観

点から水害シェルター形状の最適化を行った。

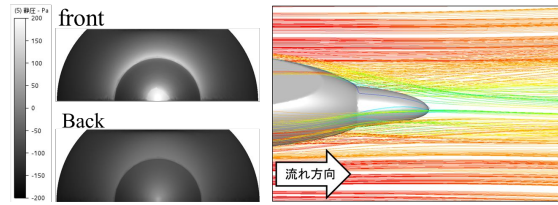


Fig.4 Streamline around the streamline shelter caused by uniform flow.

スーパー弾性係留システムの基本設計

既往研究に基づいて、水害シェルターの係留方式の基本設計を行った。津波作用下において、6 自由度運動を低減化可能と考えられる 4 点係留方式と 6 点係留方式について、実験と数値計算による検証を行った (Fig.5)。

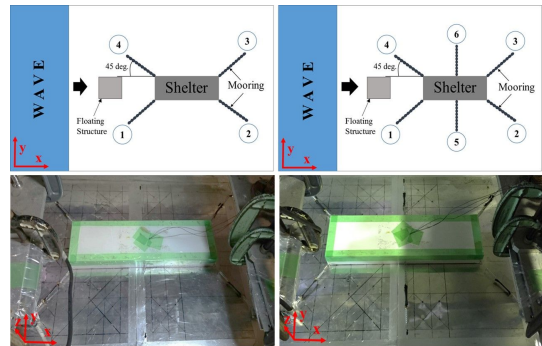


Fig.5 4-points and 6-points mooring system for a proposed tsunami shelter.

その結果、すべての条件下において、津波作用力およびシェルター運動ともに、6 点係留方式が優れていることが明らかとなった。特に、Streamline 形状の場合、最大で 50-60% 程度の Sway 運動、40% 程度の Surge 運動、30% 程度の Heave 運動を低減できることが明らかとなった(Fig.6)。

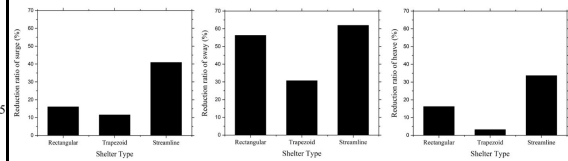


Fig. 6 Comparison of motions of tsunami shelter supported by different number of mooring

水害シェルターに作用する漂流物の影響

水害シェルターに作用する漂流物（自動車、家屋、船、木材など）によって、衝撃圧が作用するため、その最大値および特徴を把握することが重要となる。本研究では、実験及び数値計算による検討を行った。実験は、Fig.7 に示す通り、4 点係留水害シェルターに直方体の漂流物を衝突させ、その浸水流衝撃力を検力計によって計測した。また、数値計算は、粒子法、個別要素法、拡張個別要素法を組み

合わせた SPH-EDEM-DEM 法を新たに開発し、実験棟同一条件下で、数値シミュレーションを実施した。

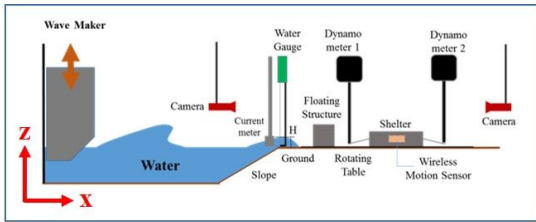


Fig.7 Experimental setup

Fig.8 は数値計算と実験による漂流物衝突時のスナップショット(Streamline 形状の場合)を示したものである。

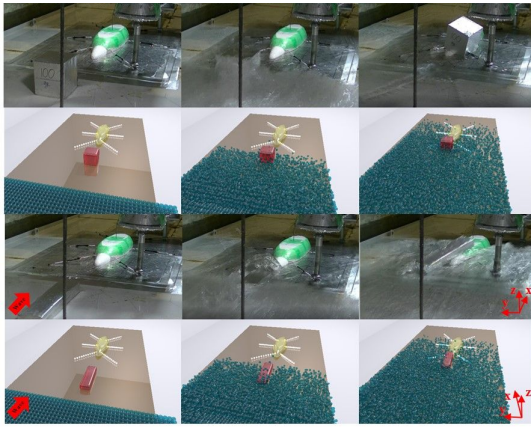


Fig.8 Snapshots of fluid structural interaction between flow and floating debris colliding with a flow shelter with a six-point elastic mooring in a run-up flow. (Upper: House model case, Lower: Ship model case)

Fig.9 は、漂流物による衝撃圧を比較検証したモノであり、概ね良い一致を示している。

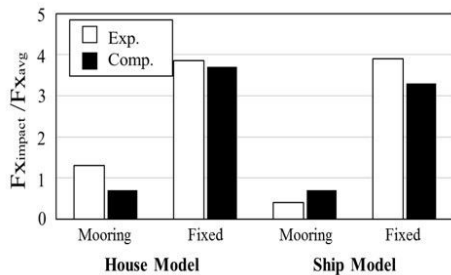
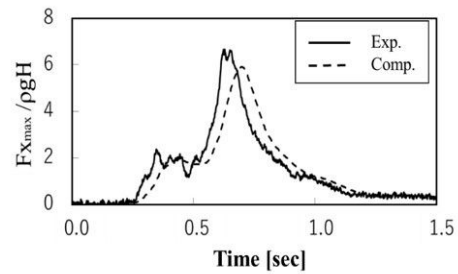
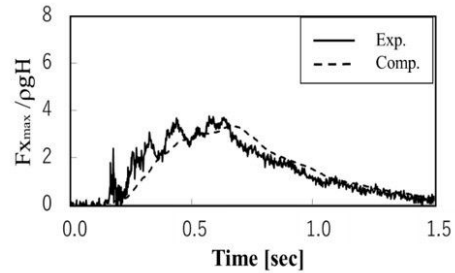


Fig.9 Comparison of impact pressures on shelters caused by floating debris in fixed and moored cases.

また、Fig.10 は漂流物が水害シェルターに作用下際に生じる衝撃圧の時系列変化について比較したものである。図より、本数値計算法は概ね妥当な結果が得られている。また、固定型よりも係留型の水害シェルターの方が、衝突力を低減できることが分かる。



(a) Fixed case



(b) Mooring case

Fig.10 Comparison of time history of impact pressure caused by collision with house model.

ダブルハル構造の検証と浮沈調整制御

実用化を念頭に、衝撃圧軽減と浮沈調整機能を有するダブルハル構造様式を考案 (Fig.11) し、構造様式の観点から、基本設計案を示した。その結果、本研究で提案する水害シェルターは実構造物において成立することが確認できた。

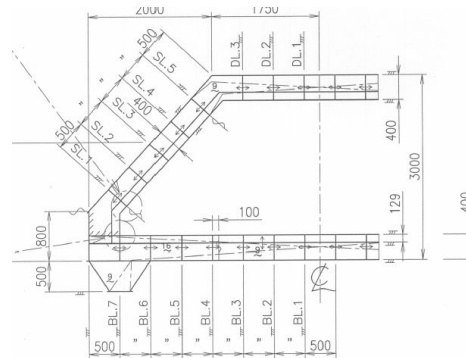


Fig.11 Overview of double hull structure

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 2 件)

Fluid Structure Interactions Between Floating Debris and Tsunami Shelter with Elastic Mooring Caused by Run-up Tsunami, Andi Ardianti, Hidemi Mutsuda, Kento Kawawaki, Yasuaki Doi, Coastal Engineering, accepted, 2018, 査読有。

Characteristic of Tsunami Force Acting on Shelter with Mooring, Andi Ardianti, Hidemi Mutsuda, Kento Kawawaki,

Yasuaki Doi, Takuso Fukuhara, Applied Ocean Research, Vol.64, pp.70-85, 2017 ,査読有 .

〔学会発表〕(計 6 件)

Fluid Structure Interactions Between Waves and Coastal Structures Using SWE-SPH, Taiga Kanehira, Andi Ardianti, Hidemi Mutsuda, Yasuaki Doi, Proceedings of the 26th International Society of Offshore and Polar Engineers(ISOPE), accepted, 2018.

SWE-SPH 法による海洋波と沿岸構造物の相互作用に関する研究, 金平 大河, Andi Ardianti, 陸田 秀実, 土井 康明, H29年度 日本船舶海洋工学会秋季講演会, CD-R, 福岡, 2017.

遡上津波と構造物の相互作用に関する研究, 河脇健人, Andi Ardianti, 陸田秀実, 土井康明, 混相流シンポジウム 2016, 京都, 2016.

スーパー弾性係留索を有する浮沈式津波シェルターに関する研究, 河脇健人, Andi Ardianti, 陸田秀実, 土井康明, 福原卓三, H28年度 日本船舶海洋工学会春季講演会, CD-R, 福岡, 2016.

Interactions between Run-Up Tsunami and Structures Using Particle Based Method, Andi Ardianti, Mutsuda, H., K. Kawawaki and Y. Doi, Proceedings of the 25rd International Society of Offshore and Polar Engineers(ISOPE), pp.228-235, Rhodes, Greece, 2016.

Numerical Simulation of a Strongly Interaction between Tsunami wave and Obstacles Using Particle Based Method, Andi Ardianti, Hidemi Mutsuda, Kento Kawawaki, Shunsuke Fujii and Yasuaki Doi, Proceedings of 3rd International Conference on Violent Flows (VF-2016), CD-R, Osaka, Japan, 2016.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:

権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

陸田 秀実 (MUTSUDA, Hidemi)
広島大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 80273126

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号:

(4)研究協力者

()