

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630209

研究課題名(和文)浮沈式大型津波シェルターの耐波性能評価と設計指針

研究課題名(英文)Characteristics of fluid force and impact pressure on a large-sized tsunami shelter

研究代表者

陸田 秀実(Mutsuda, Hidemi)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80273126

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、浮沈式大型津波シェルターを提案・開発し、これに作用する流体力および運動特性について、実験および数値計算による検討を行った。その結果、次に示す主要な結論を得た。津波シェルター形状は、回転楕円体が最も津波力が小さい結果となり、その形状の優位性が数値計算および実験結果より示された。また、Surge運動およびYaw運動について、回転楕円体の方がBox型よりも低減効果が得られることが分かった。

研究成果の概要(英文)：This study has proposed and developed the floating/submerged tsunami shelter to evacuate huge tsunami attacking and then has also investigated tsunami force acting on the shelter and its motions caused by tsunami impact force in particle based method and experimental work. The main results can be summarized as follows. The ellipsoidal tsunami shelter (E35s type) can drastically reduce tsunami force and impact pressure. Moreover the surge and yaw motions in E35s with mooring system type can be also reduced comparing with Box type. In further research, the tsunami tower building with opening parts and piloti is also useful as one of tsunami evacuating options. The tsunami shelter and tower building should be arranged to reduce unpredictable tsunami force caused by a surrounding building and accommodation.

研究分野：環境流体工学

キーワード：津波 津波シェルター 粒子法

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日、東日本大震災により三陸沿岸を中心に甚大な津波被害を受けた。今後発生が予測される南海トラフ巨大地震に向けて、津波対策の見直しや新技術の開発が現在活発に進められている。その津波対策オプションとして、高台移転、津波タワー、防波堤、地下シェルターなどの技術開発と整備がされつつある(例えば,[1][2][3])。その際、自治体の地域特性やニーズに合わせて、これらのオプションを適宜選択し、その組み合わせによって、合理的な津波対策を行うことが極めて重要となる。

近年、数人～百人程度の人々が安全かつ迅速に避難可能で、かつ、平時・被災後の有効活用を可能とする津波シェルターが提案されつつある[4-7]。津波シェルターは、収容人数に応じて、様々なサイズや形状のものが提案されているが、基本的には浮遊・漂流式のシェルターが多い。そのため、約1～2週間程度の食糧や酸素がシェルター内部に保管可能なものもある。このような浮遊式の場合、津波シェルターが津波流によって押し流され、漂流することになるため、シェルター自体の安全性もさることながら、他の構造物に及ぼす影響も無視できない。このため、係留タイプのシェルターも提案されているものの想定される津波浸水深や津波流勢に応じた係留索の長さや強度を設計することが難しい。また、自航式タイプも開発されつつあるが、維持管理・コストの面で問題を抱えている。

## 2. 研究の目的

以上の背景から、著者らは、数百人規模の人々が、迅速かつ安全に避難することが可能な浮沈式大型津波シェルターの開発を行っている[8]。ここで提案する津波シェルターは、前述の問題点を解消すべく、遡上津波の流勢や浸水深の規模に応じて浮沈するような浮体構造を採用しつつ、係留索による位置保持の機能を有する構造物となっている。本研究では、数値シミュレーションおよび津波実験によって、この浮沈式大型津波シェルター作用する流体力と浮体運動特性を明らかにするとともに、これらを低減するためのシェルター形状と係留方法を明らかにする。

## 3. 研究の方法

申請者は、この大型津波シェルターに着目し、今後想定される大津波の流勢に抗するのではなく、巧みに回避する新しいコンセプトとして、浮沈式大型津波シェルターを提案した。このシェルターは、数百人規模が避難可能な浮体式の陸上建造物である。この津波シ

ェルターは、係留力とバラスト水を用いて、低波高時は波乗り、高波高時は没水するように浮沈運動し、津波力の低減を図ることを目標としている。このシェルターは、沿岸域の陸上に建造され、津波発生時には避難シェルター、被災後は仮設居住区・緊急医療施設、通常は住民のコミュニティ空間や備蓄倉庫(水産物や加工品、防災食品など)として活用することが想定されている。津波シェルターの前部・後部はダブルハル構造を採用する。必要機器としては、緊急医療システム、空調システム、通信機器システム、酸素供給装置、発電機・蓄電装置、生命維持装置、食糧保管庫などである。それらを周辺に配置するとともに、避難者は中央にレイアウトされた座席に、シートベルト着用で待機する。出入口ドアおよび採光窓は、耐圧性・耐水性の高い仕様とする。なお、平時においては、座席は床下に格納し、コミュニティ空間として広いスペースを確保する。以上のことから、シェルター形状は内部の居住空間を保ちつつ、津波流体力を軽減するものでなくてはならない。

本研究では、(1)津波シェルター形状の最適化、(2)津波シェルター運動特性の把握とその低減策の検討、(3)係留システムの提案とその効果の検証について考究した。

## 4. 研究成果

### 4.1 浮沈式津波シェルターの概要

申請者は、この大型津波シェルターに着目し、今後想定される大津波の流勢に抗するのではなく、巧みに回避する新しいコンセプトとして、浮沈式大型津波シェルターを提案した。このシェルターは、数百人規模が避難可能な浮体式の陸上建造物である。この津波シェルターは、係留力とバラスト水を用いて、低波高時は波乗り、高波高時は没水するように浮沈運動し、津波力の低減を図ることを目標としている。このシェルターは、沿岸域の陸上に建造され、津波発生時には避難シェルター、被災後は仮設居住区・緊急医療施設、通常は住民のコミュニティ空間や備蓄倉庫(水産物や加工品、防災食品など)として活用することが想定されている。

津波シェルター内の機器配置と座席配置について説明する。津波シェルターの前部・後部はダブルハル構造を採用する。必要機器としては、緊急医療システム、空調システム、通信機器システム、酸素供給装置、発電機・蓄電装置、生命維持装置、食糧保管庫などである。それらを周辺に配置するとともに、避難者は中央にレイアウトされた座席に、シートベルト着用で待機する。出入口ドアおよび採光窓は、耐圧性・耐水性の高い仕様とする。なお、平時においては、座席は床下に格納し、コミュニティ空間として広いスペースを確保する。以上のことから、シェルター形状は内

部の居住空間を保ちつつ、津波流体力を軽減するものでなくてはならない。

#### 4.2 津波シェルターの形状最適化

本研究で提案する浮沈式大型津波シェルターの形状案について説明する。対象とする津波シェルターは、Box、Ellipsoid3、Ellipsoid3s、Ellipsoid35 および Ellipsoid35s の計 5 種類(以下、それぞれ Box、E3、E3s、E35、E35s と略称)である。このうち、E3s および E35s は側面に丸みを帯びた形状となっている。また、E3・E3s と E35・E35s との違いは、シェルター前面および後面の細長比の違いである。すなわち、E3 シリーズの細長比は 1/3、E35 シリーズのそれは 1/3 と 1/5 の組み合わせとした。なお、Box は従来型建築物の代表例として、比較対象に用いることとした。

申請者が開発した粒子法による数値計算を行った結果について説明する。Ellipsoid35s Type (先端の細長比が大きく、また側面に曲面形状を持たせた形状)は、最大流体力と平均流体力の両者を低減させることが可能であることが分かった。次章では、このシェルター形状に着目し、津波力と運動特性について実験を行うこととした。なお、シェルターに作用する局所的衝撃圧の軽減、バラスト水による浮沈運動制御については、数値シミュレーションによる検討が今後必要となる。

#### 4.3 津波シェルターに作用する流体力と運動特性について

広島大学所有の試験水槽(長さ L40m×幅 W1.2m×深さ 2.5m)を用いた実験について説明する。水槽中央には鋼製の勾配可変式海底地形装置を設けている。この海底地形装置は、様々な津波波高と津波流速の組み合わせが可能となるよう波上側に傾斜部(約 5m、可変勾配 1/3~1/100)を設けるとともに、陸上を遡上传播する津波を模擬するために、汀線から波下側に遡上域として水平床(長さ約 10m)を設けている。また、津波シェルターの設置角度(津波入射角度 =0, 45°)を変えられるようターンテーブルを水平床上に設置し、その上に、津波シェルターを配置した。津波シェルターは、4本の係留ワイヤーとプーリーを介して、検力計(上流側 2台、FX1 および FX2)と張力計により接続されている。この時、係留ワイヤー(伸縮なし)と津波シェルターの接続部には、衝撃荷重やスナップ荷重を軽減するために、弾性係留システムを模擬した弾性バネ(定数 210N/m、初期張力 F=0~3.0N)を用いることとした。本研究では、比較対象として、著者らの既往研究<sup>7)</sup>に倣い、固定式の津波シェルターの実験も行った。

実験より、回転楕円体の E3s および E35s の津波力は、いずれの波高においても Box 型のそれを大きく下回っており、最大 70%の津波力低減効果があることが分かった。また、

回転楕円体について比較した場合、ほぼ同程度の流体力であった。さらに、両者ともに津波が高波高になるにつれて、流体力が低下傾向にあることから、より危険側の津波条件下において回転楕円体形状の効果が発揮されることが分かった。

Surge 加速度については、Box 型よりも回転楕円体の方が、いずれの津波波高に対しても小さい傾向にあった。また、回転楕円体の場合、その大きさは 0.5g 程度以下であることから、安全性が高いと考えられる。一方、Pitch 運動については、いずれの津波シェルターも同程度で、回転楕円体の優位性は見られないものの、平均 3~4° 程度に留まっており、安全面において大きな問題はないが、さらなる低減が必要と考えられる。Sway 加速度(Ay)および Heave 加速度(Az)は、Box 型よりも回転楕円体の方が大きくなる傾向にあり、このことは、津波波高が大きくなるほど顕著となっていることが分かった。運動については、総合的に判断して、回転楕円体型津波シェルターは、Surge 加速度および Yaw 運動において、Box 型よりも運動低減効果が高いことが分かった。

#### 4.4 弾性係留索システムについて

ここでは、係留接続部に弾性ゴムを使用することで、係留力の軽減効果を検証した。具体的には、弾性ゴムを模擬した弾性バネが、津波シェルターに作用する流体力および運動を低減する効果があるか否かを実験によって検証した。その結果、弾性バネありの場合、流体力が大幅に低下しており、最大で 80%程度の低減効果が見込めることが分かった。但し、初期張力が大きい場合、低減効果が弱くなる傾向にあるため、さらなる追加実験が必要である。Surge 加速度は、弾性バネなしに比べて、弾性バネありの場合に大きくなる傾向にあり、特に負値(波上方向)の増大が顕著であった。また、Pitch 運動は、弾性バネありの場合、負値は低減する一方、正値が増大することから、全体的にプラス側に値がシフトしていることが分かった。このことは、弾性バネありの場合、なしに比べて、Pitch の往復運動の対称性が崩れ、波上側の先頭部が頭下げ傾向となることを示すものである。

以上のことから、Surge 加速度は最大 0.5g 以下、Pitch 運動は最大でも 3~4° であることから、安全面については大きな問題はないが、さらに検討する必要がある。

#### 4.5 まとめ

本研究では、浮沈式大型津波シェルターを提案・開発し、これに作用する流体力および運動特性について、実験および数値計算による検討を行った。その結果、次に示す主要な結論を得た。

津波シェルター形状は、回転楕円体が最も津波力が小さい結果となり、その形状の優位性が数値計算および実験結果より示された。また、Surge 運動および Yaw 運動について、回転楕円体の方が Box 型よりも低減効果が得られることが分かった。さらに、係留索に用いる弾性材(バネ)は、津波力を低減する効果はあるものの、運動を低減させる効果は顕著ではなかったため、さらなる検討と改善案が必要である。但し、安全側の係留方式としては有効と考えられる。今後は、津波シェルターに作用する漂流物の影響、衝撃圧の軽減効果、係留系の最適設計を検討する必要がある。

#### 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6件)

1. Hidemi MUTSUDA, Shunsuke FUJII, Andi ARDIANTI and Yasuaki DOI, Numerical Simulation of Tsunami Force Acting on a Floating/Submerged Tsunami Shelter, VI Coupled Problems in Science and Engineering (Coupled Problem 2015), accepted, Venice, Italy, 2015, 査読有。
2. 陸田秀実, 藤井俊輔, 鎌田正也, 土井康明, 浮沈式大型津波シェルターに作用する流体力低減とその運動特性, 日本船舶海洋工学学会論文集, No.20, pp.49-57, 2014.12, 査読有。
3. Mutsuda, H., S. Fujii, M. Kamada and Y. Doi, Characteristics of fluid force and impact pressure on a large-sized tsunami shelter, Proceedings of the 24rd International Society of Offshore and Polar Engineers(ISOPE), pp.38-45, CD-R, Busan, Korea, 2014.6, 査読有。
4. 陸田秀実, 藤井俊輔, 鎌田正也, 土井康明, 福原卓三, 津波作用下における浮沈式大型津波シェルターの運動と流体力に関する研究, 土木学会論文集, B2(海岸工学), Vol.69, No.2, I\_1011-I\_1015, 2013.11, 査読有。
5. Hidemi MUTSUDA, Masaya KAMADA, Syunsuke FUJII and Yasuaki DOI, Reduction of Tsunami Force Acting on Large-sized Tsunami Shelter, Hidemi MUTSUDA, Masaya KAMADA, Syunsuke FUJII and Yasuaki DOI, The Coasts & Ports 2013 Conference, CD-R, Sydney, CD-R, 2013.9, 査読有。
6. Mutsuda, H., M. Kamada, S. Fujii and Y. Doi, Development of Floating Tsunami Shelter with Mooring, Mutsuda, H., M. Kamada, S. Fujii and Y. Doi, Proceedings of the 23rd International

Society of Offshore and Polar Engineers(ISOPE), pp.60-67, Anchorage, U.S.A, C-DR, 2013.7, 査読有。

[学会発表](計1件)

1. 大型津波シェルターに作用する津波力の数値シミュレーション, 藤井俊輔, 第19回計算工学講演会, 広島, 2014.6.13.
2. 津波シェルターに作用する津波力低減効果に関する研究, 鎌田正也, H25年度日本船舶海洋工学学会春季講演会, 広島, 2013.5.27.

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

陸田秀実 (MUTSUDA HIDEMI)

広島大学・工学研究院・准教授

研究者番号: 80273126