

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：12614

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K21053

研究課題名（和文）多発する水害から人命・財産を守るための浮上式防災住居の提案

研究課題名（英文）Proposal of the Floating Type Disaster Prevention House for Protect Life and Property to Frequent Flood Damage

研究代表者

増田 光弘（Masuda, Mitsuhiro）

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：00586191

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：近年、我が国では洪水、津波といった水害による大規模な被害が多発している。本研究はそのような水害から被災者の人命および財産を守ることを目的に浮上式防災住居を提案したものである。本研究では、1）回流水槽を用いた水害現象再現装置の開発、2）水槽実験による浮上式防災住居の防水壁および浮体基礎の防災性能についての検討、3）数値シミュレーション法の整備を行った。本研究によって、浮上式防災住居は当初のコンセプトのとおり、水害発災時、一定の水位までは防水壁によって水害から住居を守り、ある水位以上になると取水口から取水し、住居を浮上させることによって浸水から住居部を守ることができることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、世界的な地球温暖化に伴う水害に対する住居の防災・減災対策が求められている。近年、我が国では数年一度沿岸域の津波被害が発生しており、また洪水等の水害は毎年のように発生している。しかしながら、現状においては堤防などの治水による防災対策やハザードマップによる避難指示が中心であり、陸域への浸水が発生してしまった状況における対策は十分に検討されていない。住居を守ることは被災者の生命および財産を守ることであり、浮上式防災住居はそのような課題を解決することができる可能性を有しており、浮上式防災住居が実用化されれば、水害に対する防災・減災対策および人命の保護に大きく寄与できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In recent years, flood disasters have often occurred due to floods, tidal waves, and tsunamis. The authors focus on protecting houses, property, and lives from damage caused by flood disasters. In this study, a floating disaster prevention house was proposed. The authors focus on protecting houses, property, and lives from damage caused by flood disasters. In this study, a floating disaster prevention amphibious house was proposed. The following research tasks were carried out: 1) development of the flood disaster reproduction device using a circulating water channel, 2) consideration of the disaster prevention performance of the flood wall and the floating unit, and 3) preparation of the numerical simulation method using the MPS method. Finally, the results of the water tank experiment and the numerical simulation revealed the essential disaster prevention performance of the floating disaster prevention house.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：水害対策 津波防災 浮上式防災住居 水槽実験 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国では水害による大規模な被害が発生している。2019年の台風19号、21号での河川の氾濫による洪水被害や2018年3月11日に発生した東日本大震災に伴う津波被害、2018年に発生した西日本豪雨による洪水被害は記憶に新しい。これらの水害によって住居の浸水被害や水流や漂流物による破壊といった被害が多く報告されている。日本の住居の6割は木造住居であるが、木造住居は地震に強いという特徴を持っている反面、水害には非常に脆いという欠点を有している。住居の浸水によって被災者は避難を余儀なくされ、住居を含む財産を失う可能性がある。さらには容易に非難することのできない高齢者や障害者、気付いた時には避難できない状況に陥っていた被災者の場合は命を失う可能性がある。太平洋沿岸の地域は今後も台風による大きな影響を受け続ける可能性が示唆されており、また南海トラフ地震津波も懸念されている現状において、それらの災害に予め備えることが重要である。

そこで、防水壁と浮体住居の組み合わせによって、住居を浸水させることなく水害を受け流し、被災地域住民の人命および財産を守ることができる「浮上式防災住居」を提案こととした。

2. 研究の目的

浮上式防災住居は、コンクリートで補強された防水壁の内部に住居基礎部を浮体構造とした浮体住居が設置され、津波や高潮、洪水といった大規模な水害を防災・減災対象としたものである。平時における外観は擁壁を有する住宅、もしくは宅地を嵩上げた住宅のように見えるが、非常時は浮体住居部が浮上し、住居部への浸水から守る構造である。浮上式防災住居は浮体基礎が陸上建築物における基礎の役割を果たすため、住居部分は従来の施工方法を用いることができる可能性がある。また、浮上式防災住居は浮体基礎内部に物資を備蓄できるほか、居室としても利用でき、さらに浮体基礎および上載住居部を移設、再利用できる可能性がある。

浮上式防災住居は、図1に示すようにあるレベルの浸水深までは防水壁によって水害を受け流す。そして、浸水深があるレベルを超えるようになると防水壁内部に注水が開始され、浮力によって浮体基礎を浮上させることで住居への浸水を防ぐ完全防浸水構造の住宅である。

本研究では、浮上式防災住居の防災性能を明らかにすることを目的に、水槽実験、数値シミュレーションの両面からその防災性能について検討を行った。

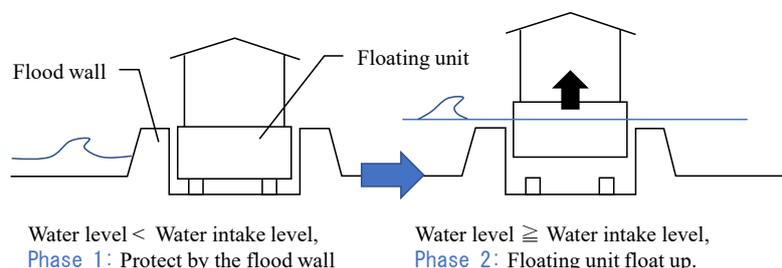


図1 浮上式防災住居の防災システムのイメージ

3. 研究の方法

本研究では、以下のような条件で浮上式防災住居の防災性能の検討を行うこととした。

- ・浸水深：浸水深2.0mまでは防水壁によって防災し、それ以上の浸水深となった場合防水壁内部に注水し、浮体基礎部を浮上させることによって浮体基礎上面への浸水を防ぐ。本実験では、最大浸水深は3.0mとした。
- ・注水方法：簡便な構造であることから、防水壁の壁面に取水口を設ける方法を採用し、取水口から流入する水流を防水壁内部へ取水することによって浮体基礎を浮上させる。

浮上式防災住居の防災性能を明らかにするために、以下の提案ならびに検討を行った。

- 1) 回流水槽を用いた水害現象再現装置の開発
- 2) 水槽実験による浮上式防災住居の防災性能の検証
- 3) 水槽実験の再現および詳細な検討のための数値シミュレーション法の整備
- 4) 浮上式防災住居のコンセプトの総括

4. 研究成果

- 1) 回流水槽を用いた水害現象再現装置の開発

浮上式防災住居の防災対象は洪水および津波を含む水害全般である。特に、その構造から水平流速の強い水害現象に対する防災性能が期待される。ただし、水槽実験によって洪水や津波のような水位の上昇を伴いながら長時間流れが流入し続ける現象を再現することは難しい。そこで本研究では回流水槽を用いた水害現象再現装置を開発した。水害現象再現装置は、昇降部に対象模型を取り付け、水位の上昇速度相当の速度で回流水槽内に発生させた流れの中に下降させる

ことにより、疑似的に水位の上昇を伴う水害現象を再現することができる。また、回流水槽の流速の設定と昇降部の昇降速度の設定を組み合わせることによって水害の発災から収束までの流速ならびに水位の時間変化を表現することも可能である。本研究では、本水害現象再現装置を用いて水槽実験による検討を行った。



図2 回流水槽に設置された水害現象再現装置

2) 水槽実験による浮上式防災住居の防災性能の検証

本実験では、取水口の高さおよび大きさの違いが防水壁内部への水の流入と浮体基礎の浮上に与える影響について調査した。実験の縮尺は水槽規模を考慮して 1/20 とした。実験模型は取扱いのし易さからアクリルで作成した。防水壁の外寸は長さかつ幅が 0.55m、深さは 0.10m であり、内寸は長さかつ幅が 0.50m、深さは 0.09m である。浮体基礎の寸法は長さかつ幅が 0.49m、深さが 0.08m であり、喫水は 0.03m とした。浮上式防災住居模型の写真を図 3 に示す。

防水壁に設けられる取水口は図 3 に示すようにスリットで模擬した。スリットは流れの入射方向に対して防水壁前後に 2 箇所設けた。防水壁は高さ 0.04m 以降、0.01m 置きに分割できるようにしており、取水口の高さに関する検討ではスリット幅は 0.5m で固定し、スリット位置を 5 パターン設定した。

防水壁内部への漂流物の流入や構造強度などを考えると取水口は小さいものとなる可能性がある。そこで取水口の大きさが防水壁内部への水の流入と浮体基礎の浮上に与える影響についても検討を行った。本実験では、スリットを左右対称に塞ぐことでスリットの面積を調整した。ここでは、安全側に考えてスリットの上下位置をもっとも低い 0.05m とした。

本実験での水位の上昇速度、流速、取水口高さ、取水口面積の実験条件を表 1 に示す。

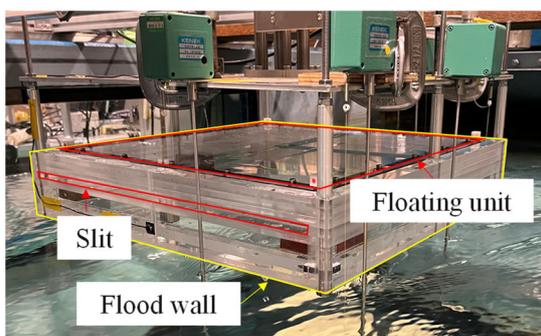


図3 浮上式防災住居の実験模型

表1 実験条件
(上：水位の上昇速度、流速、取水口高さ、
下：取水口面積)

| Elevating speed (mm/s) | Flow velocity (m/s) | Slit position (m) |
|------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 0.15 | Static | 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 |
| 0.25 | 0.3 | |
| 0.35 | 0.5 | |
| | 0.7 | |
| | | Total slit area (cm ²) |
| | | 2, 6, 10, 20, 40, 60, 80, 100 |

① 取水口の高さと土台の有無が浮体基礎の浮上性能に与える影響について

スリット状に配置した取水口から取水する方式による浮上式防災住居の防災性能について検証を行った。図 4 は取水口高さが異なる場合の防水壁内部の浮体基礎の鉛直変位と防水壁前面の水位変動を比較したものである。図 4 では、取水口高さが 0.08m、0.09m の場合、浮体基礎が浮上する前に水位が浮体基礎より高くなっているように見えるが、これは防水壁前面での水面の乱れを捉えたものであり、取水口位置がどの位置であっても浮体基礎上面への浸水は確認されなかった。また、図 5 は浮体基礎下面四隅に配置した土台の有無が浮体基礎の浮上性能に与える影響を検討したものである。浮体基礎下面に土台を設け、防水壁底面と浮体基礎下面の間に空間を設けることにより浮上開始時の動揺を大きく抑制できることがわかった。浮体基礎下面に設ける土台は免震性の高い材質を用いることにより、浮上式防災住居の耐震性能を高めることができ、水害のみならず、地震に対しても強い住宅とすることができると考えられる。本実験によって、流速が非常に速い場合であっても浮体基礎は取水口から取水した水によって大きな動揺もなく、安定して水位が浮体基礎上面に達するより早く浮上できることが示された。

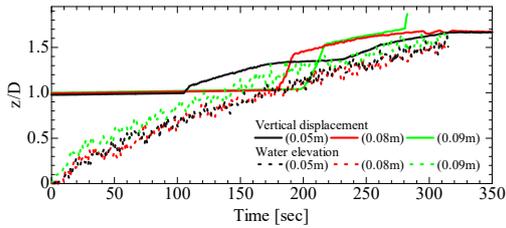


図4 取水口位置ごとの浮体基礎の鉛直変位と防水壁前面の水位の比較（水位の上昇速度：0.35mm/s、流速：0.7m/s）

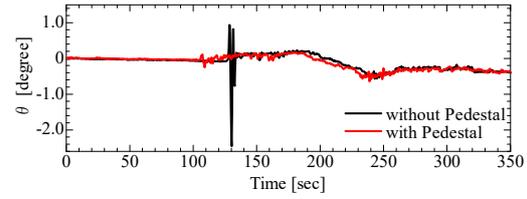


図5 土台の有無が浮体基礎の Pitch 運動に与える影響（水位の上昇速度：0.35mm/s、取水口高さ：0.05m、流速：0.7m/s）

② 取水口面積が浮体基礎の浮上性能に与える影響について

取水口の開口面積が浮体基礎の浮上性能に与える影響について検討を行った。図6は、取水口面積がもっとも小さい 2.0m² のケースでの水位の上昇速度ごとの浮体基礎の鉛直変位と防水壁前面の水位変動を比較したグラフである。図6から確認できるように、取水口面積が小さくなくても浮体基礎は円滑に浮上し、浮体基礎上面への浸水は発生しないことが示された。また、①、②の検討を通して、流速が速くなると取水口から取水する水の単位時間当たりの取水量が多くなるため、浮体基礎はより早く安全に浮上できることがわかった。

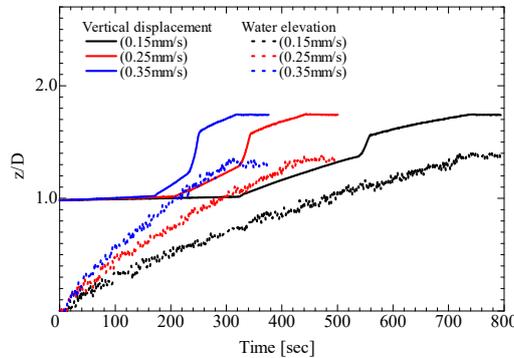


図6 取水口面積 2.0m² での浮体基礎の鉛直変位と防水壁前面の水位の比較（流速：0.7m/s）

③ 浮上式防災住居の漂流物に対する防災性能と係留索の有無が浮体基礎の浮上性能に与える影響について

まず、浮上式防災住居近傍における漂流物挙動について検討を行った。その結果の一例を図7に示す。浮上式防災住居前面近傍は防水壁の効果により流れが淀むため流速が遅くなる。そのため、漂流物の漂流速度は防水壁前面近傍で遅くなり、その後左右後方に流れていくことから漂流物の強い衝突や浮体基礎上面への乗り揚げなどの被害は起こらないことが確認できた。

次に、浮体基礎四隅をワイヤーによってタイトに係留した場合、緩係留した場合、スプリングに係留した場合の係留索が浮体基礎の鉛直変位に与える影響の有無を検討した。その結果を図8に示す。本検討から、タイトなワイヤー係留では若干浮上性能に影響が出るものの、係留索によって浮体基礎の浮上が大きく妨げられることはないことが確認できた。

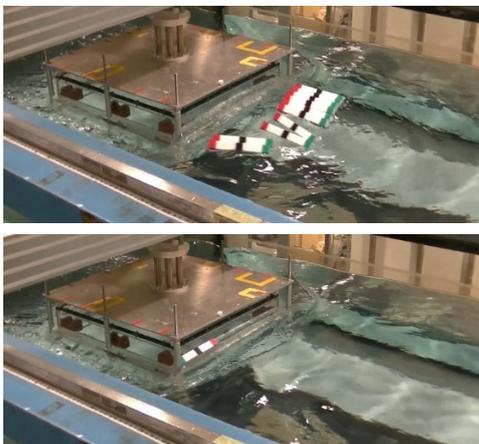


図7 浮上式防災住居近傍での漂流物の漂流挙動（流速：0.7m/s）

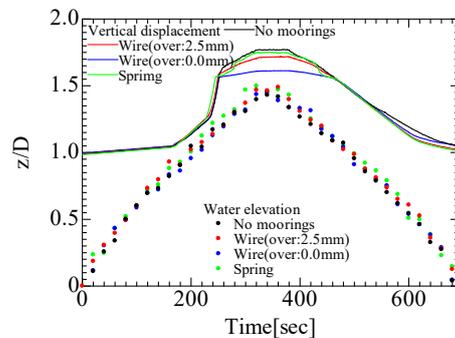


図8 係留索の有無が浮体基礎の鉛直変位に与える影響（水位の上昇速度：0.35mm/s、取水口高さ：0.05m、流速：0.7m/s）

3) 水槽実験の再現および詳細な検討のための数値シミュレーション法の整備

浮上式防災住居の防災性能や形状の定量的な検討のために CFD の一種である MPS 法を用いた数値シミュレーション法を整備した。本 MPS 法プログラムコードでは水害現象を再現するための流入流出境界を導入し、水槽実験における水害現象再現装置と同様の数値実験環境を再現できるようにしている。

図 9、図 10 は、2 次元シミュレーションによって浮体基礎の鉛直変位の水槽実験結果を再現したグラフである。これらの結果から、本 MPS 法プログラムコードは浮体基礎の浮上挙動を精度よく再現できることがわかる。本 MPS 法プログラムコードを用いて、3 次元シミュレーションによって住居部を考慮した浮上式防災住居の水害中における防災性能の検証を行った結果の一例が図 11 である。水槽実験では浮体基礎部のみで検討を行っていたため、住居部が上載され、重量が増加した場合、浮上しづらくなる可能性があった。また、住居部が上載されることによって重心位置が上がり、浮上時の Pitch 運動が大きくなる可能性なども懸念された。本 3 次元シミュレーションによって、浮体基礎上に住居部が上載されても問題なく浮体住居は浮上すること、浮上時の Pitch 運動が過度に大きくなることはないことが確認された。

本 MPS 法プログラムコードが整備されたことにより、様々な形状や状況における検討を定量的に行うことができるようになった。

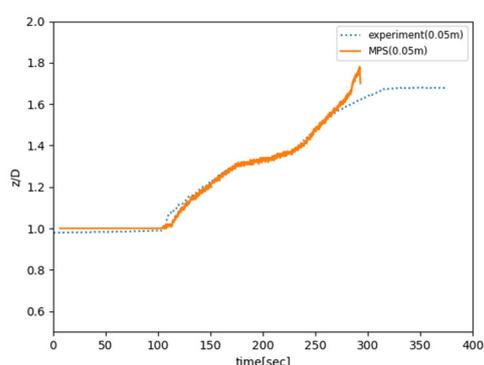


図 9 2次元 MPS 法によるシミュレーションと水槽実験の浮体基礎の鉛直変位の比較 (取水口位置：0.05m、流速：0.7m/s)

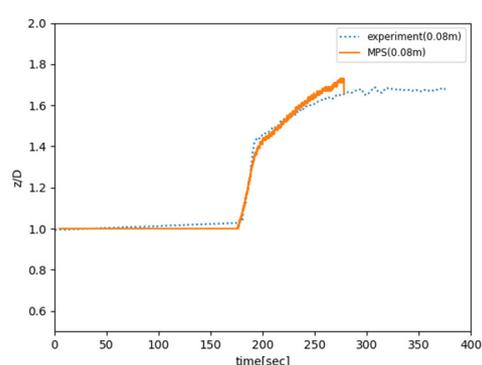
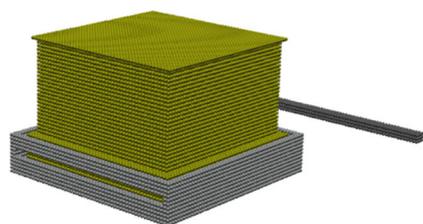
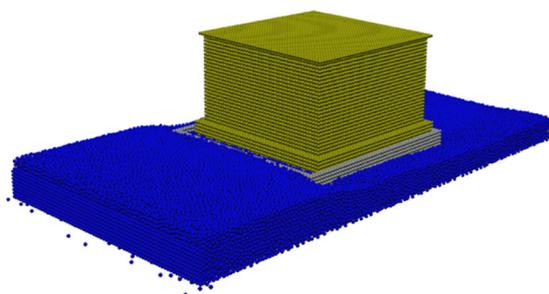


図 10 2次元 MPS 法によるシミュレーションと水槽実験の浮体基礎の鉛直変位の比較 (取水口位置：0.08m、流速：0.7m/s)



(a)Time=0sec



(b)Time=100sec

図 11 3次元 MPS 法による浮上式防災住居の浮上シミュレーション結果 (取水口高さ 0.05m、流速：0.2m/s)

4) 浮上式防災住居のコンセプトの総括

本研究によって、浮上式防災住居は当初のコンセプトのとおり、水害発災時、一定の水位までは防水壁によって水害から住居を守り、ある水位以上になると取水口から取水し、住居を浮上させることによって浸水から住居部を守ることができることが示された。さらに、水害による漂流物からも住居を守ることができることも示された。このとき、取水口の上下位置、大きさは防災性能に大きな影響はもたらさないことから、防水壁に十分な強度をもたせること、土台上に浮体住居を載せること、離脱を防ぐために係留索によって係留すること、浮体住居の重量計算をしっかり行うことといった点を十分に考慮すれば、建築デザインの面でも自由度の高い住居を設計することができる。今後は、防水壁と浮体基礎の強度計算、建設費用の計算、デザイン設計等、実用化に向けて引き続き研究を継続していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 増田 光弘 | 4. 巻 第88巻 |
| 2. 論文標題 水害に対する浮体式防災住宅の提案に関する研究（その1）：水槽実験による浮体基礎の浮上性能の検討 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 日本建築学会環境系論文集 | 6. 最初と最後の頁 808-817 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aije.88.808 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 増田 光弘 |
| 2. 発表標題 多発する水害に対する浮体式防災住居の提案（その1）－水槽実験による浮上性能に関する基礎的検討－ |
| 3. 学会等名 日本船舶海洋工学会春季講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 竹内 鈴太 |
| 2. 発表標題 多発する水害に対する浮体式防災住居の提案（その2）－取水口面積が浮体基礎の浮上性能に与える影響について－ |
| 3. 学会等名 日本船舶海洋工学会秋季講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Mitsuhiro Masuda |
| 2. 発表標題 An Experimental Study on the Basic Floating Performance of the Floating Disaster Prevention House Against Flood Disasters |
| 3. 学会等名 OMAE2023（国際学会） |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 増田 光弘 |
| 2. 発表標題 多発する水害に対する浮体式防災住居の提案(その1) |
| 3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|