

Verification and validation of the effects of self-floating evacuation facility usable in both normal and emergency situations

研究の背景と目的

2011年の東北地方太平洋沖地震では、甚大な津波被害が発生した。特に人的被害では、その9割以上が津波を原因とする溺死であった。2012年8月末に内閣府が公表した南海トラフの巨大地震による被害想定でも、高知県や三重県をはじめとして、各地で巨大な津波の発生が予測されている。高知県では津波避難ビル指定や津波避難タワーの建設を進めているが、避難に十分な時間が取れない地域も存在する。さらに、幼い子供や高齢者、障害者などの災害弱者は、たとえ避難施設にたどり着いても津波から免れるのに十分な高さまで上方に移動することが困難という問題もある。地域によっては、景観への配慮からの構造物の高さ制限があり、十分な高さの確保が困難な場合もある。このように、巨大津波の発生が予測されていながら、対策は未だ万全とは言えない状況である。そこで本研究では、これらの問題の解決策となる新しい避難施設の有効性の検証を試みる。

既往研究（新規避難施設のコンセプト）

既往研究

「巨大津波から災害弱者を救う新しい津波避難施設の開発に関する研究」（2013, 長島）

現在の津波対策の様々な課題を解決するものとして、目黒は平時利用可能で災害弱者の生命を守る自己浮上式津波避難施設を提案した。そのコンセプトに基づいて、長島が専門家の意見を聞くとともに、高知市内の避難施設を浮体式構造物に変更した場合の効果の検証を行った。

コンセプト

地面と施設に間隙を設けることで、津波が押し寄せた際に海水が間隙に流れ込み、施設は自動的に浮上する。

津波襲来時に自動的に浮上するため、1階への避難が可能となる。また、救命用具を常備することで、この施設自体が逃げ遅れた人々の救助基地としても機能する。

- 階段等での上下移動が不要
- 平時の利用を想定
- 周辺施設への影響を考慮して、ある程度の高さまで係留
- 津波の高さに制限はない

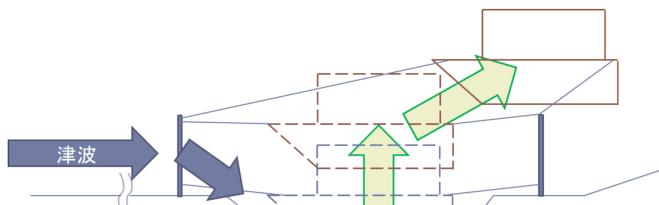


図-1 越流時の挙動のイメージ

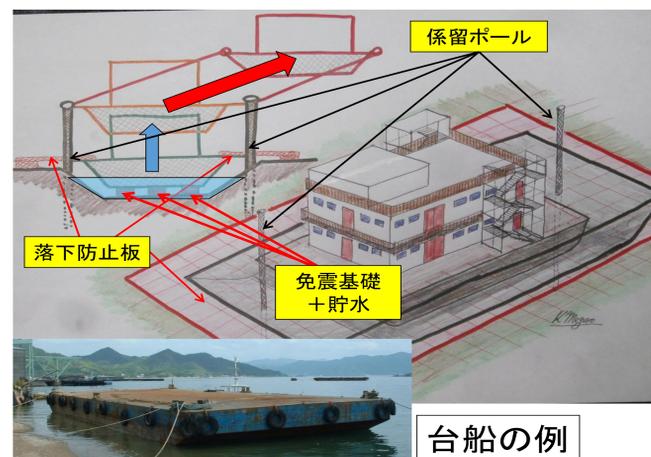


図-2 自己浮上式避難施設のイメージ

実験概要

浮体式構造物の挙動、人体への影響、係留用柱への影響の3点について確認するために、それぞれ考察に用いる指標を定め（表-1）、1/50スケールモデルを用いた水槽実験を行った。なお、今回は浮体式構造が浮上するまでを検証対象とした。本実験では模型の大きさは一定とし、基礎台、係留方法についてパターンを分け、合計60パターンの実験を行った（表-2と図-3）。入力波に関しては波高のストローク速度と量別にパターン分けした。

今回用いた実験器具では津波のような長周期の波形を造波できなかったため、造波できる波形の中から、周期がほぼ等しく、波峰の異なる波形を用いて比較した（表-3）。

浮体式避難施設は、コスト削減のため基礎台に200[t]型土砂運搬船(台船)を用いることを想定した。また、船上の構造物には軽量鉄骨造を想定し、津波襲来時に1フロア約100[m²]当たり最大100人が乗船するとし、地下、1F、2F、屋上の4フロアを考慮して最大400人と仮定する。以上の想定から、船上建物（避難者重量含む）0.53[kg]、200[t]型土砂運搬船1.76[kg]、合計2.29[kg]の模型を使用した。

模型周辺の測定環境を図-4に示す。波形と流速を確認するために、波高計を4点、流速計を1点浮体構造の前方に設置した。浮体模型の挙動を調べるために真上にレーザー変位計を設置するとともに、真横、真上、後ろからビデオ撮影を行った。また、係留用柱にひずみゲージ（S1～S4）を設置し、柱にかかる力を測定した。

表-1 考察に用いた指標

浮体式構造物の挙動	・座標変化 ・加速度変化 ・最大傾斜角度
人体への影響	・躍度変化
係留用柱への影響	・係留用柱に発生したひずみ

表-2 実験のパターン分け

○土台	入水部分の角度	・30°] ・45°] ・90°]
	窪み部分の寸法	・前方間隔L(100[mm], 200[mm]) ・側面間隔W(20[mm], 120[mm])
	窪み内部の水	・有り ・無し
○係留方法	係留ワイヤー間のバネ	・有り ・無し
	係留点の高さ	・0[mm] ・100[mm] ・200[mm]

表-3 入力波形

	波峰[mm]	周期[s]
波形1	281	3.12
波形2	167	3.24
波形3	72	3.13
波形4	243	2.57
波形5	197	4.43
波形6	158	5.00
波形7	124	6.00

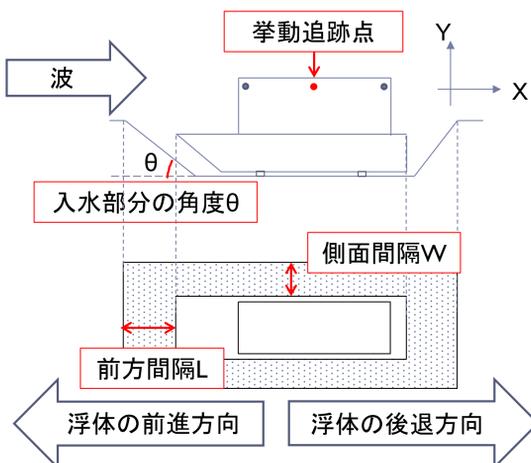


図-3 θ, L, Wの位置

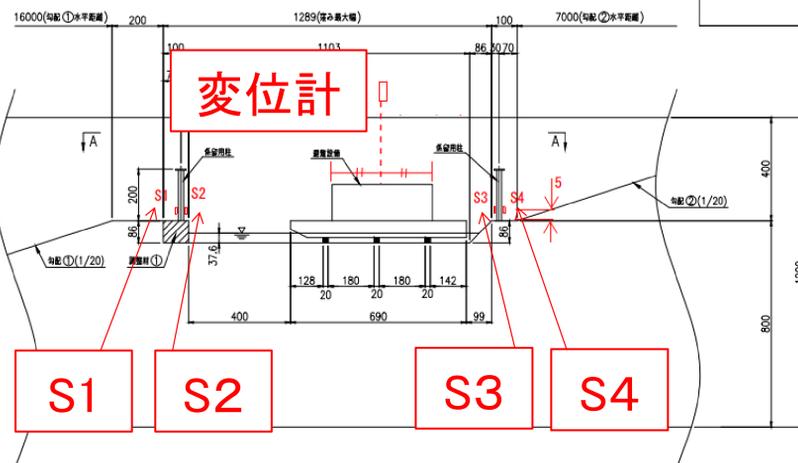


図-4 測定環境（単位：[mm]）

実験結果

実験により、得られた結果を以下にまとめる。実験の目的として挙げた3点について表-4のように、「(1) 入水部分の角度」以外の4つの要素において、影響が見られた。「(5) 係留点の高さ」に関しては、検討した実験の数が少ないため参考とし、(2)～(4)の3点について掲載する。

(2) 窪み部分の寸法

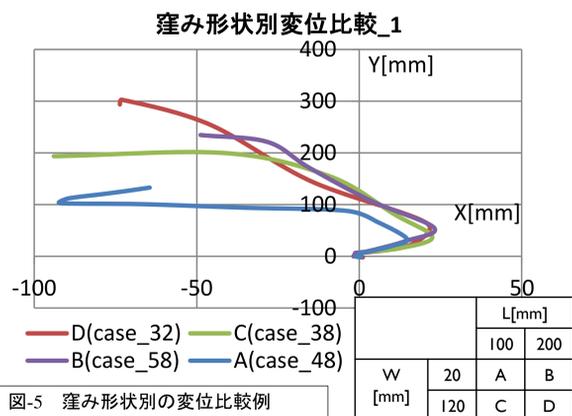


図-5 窪み形状別の変位比較例

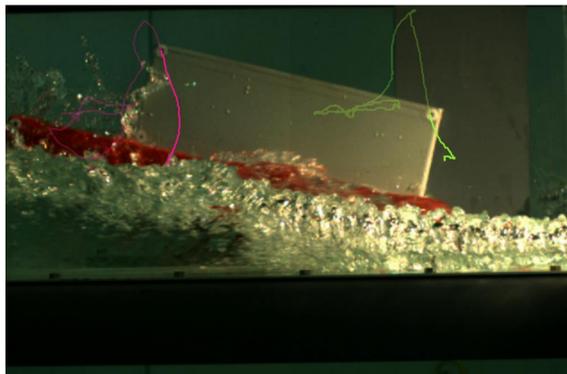


図-6 D_パネ無し(Case_32)

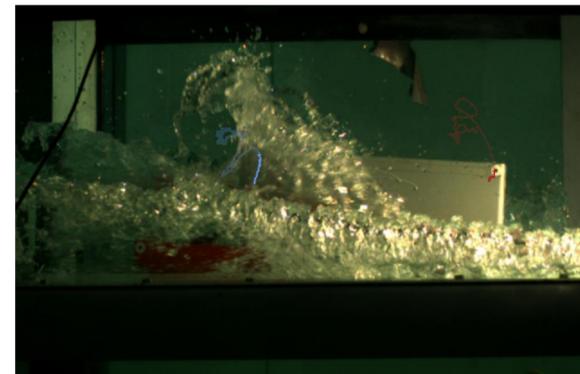


図-7 A_パネ無し(case_48)

窪み部分の寸法を大きくすることで、浮体式構造物の浮上を促すことができた(図-5)。これは窪みを広くする事で模型の下に水が流れやすくなったためである。また、前方間隙Lと側面間隙Wのいずれかを広くする場合、Lを広くする方がより浮上を促す効果があった。

(3) 窪み内部の水

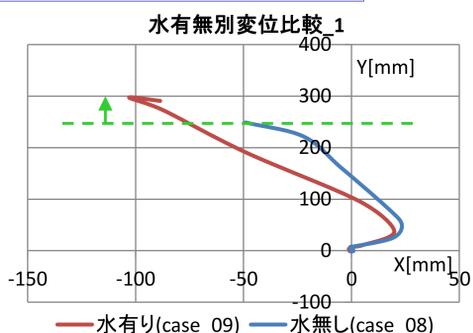


図-8 窪み内部の水有無別の変位比較例

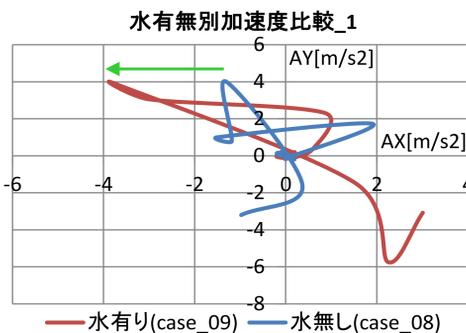


図-9 窪み内部の水有無別の加速度比較例

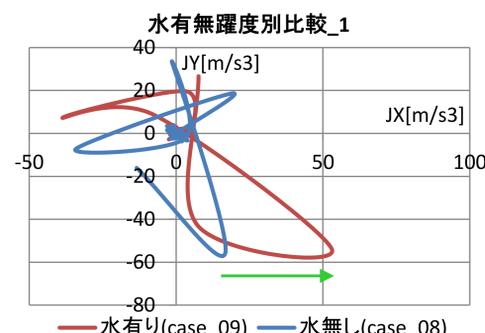


図-10 窪み内部の水有無別の躍度比較例

あらかじめ、水を窪み内部に溜めた場合、浮体式構造物の浮上を促すことができた(図-8)。これは浮上に必要な浮力が小さくなったためである。また、最も浮上した位置付近で後退方向に押し戻される動きが見られた。これは、水有りの場合、浮上中により大きな加速度が発生し(図-9)、係留が緩むことで生じる。その際、大きな躍度が後退方向に発生していた(図-10)。フルードの相似則より、この値の約1/7が実寸スケールでの躍度となる。

(4) 窪み内部の水

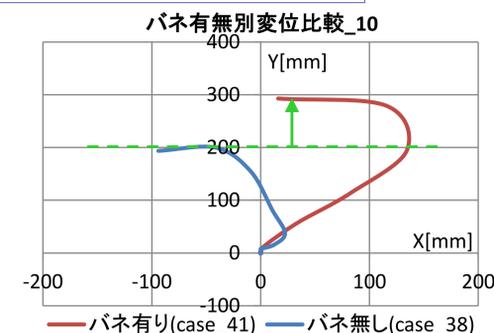


図-11 パネ有無別の変位比較例

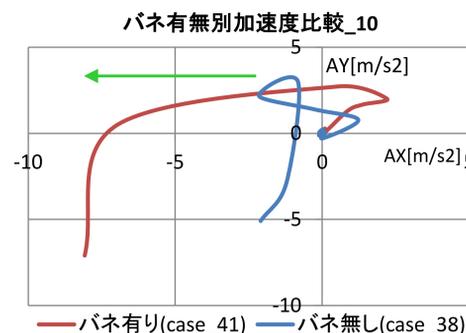


図-12 パネ有無別の加速度比較例

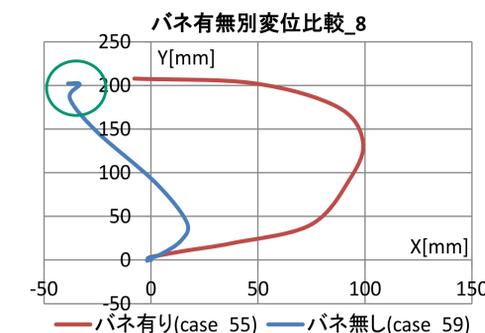


図-13 パネ有無別の変位比較例

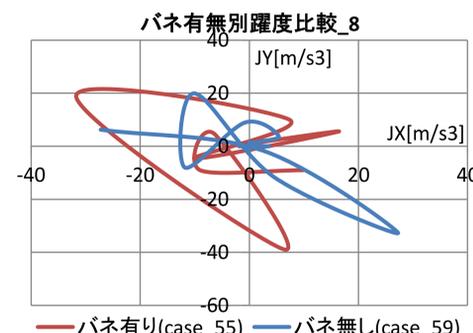


図-14 パネ有無別の躍度比較例

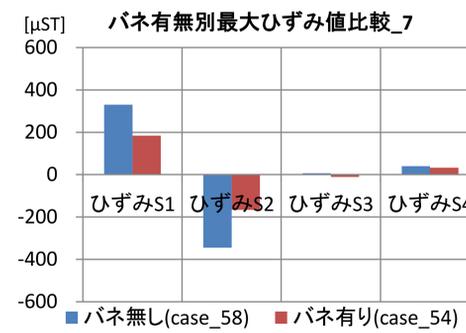


図-15 パネ有無別の最大ひずみ値比較例

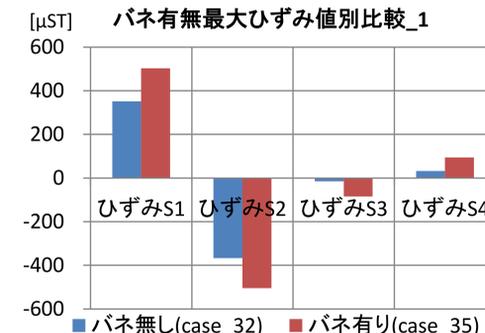


図-16 パネ有無別の最大ひずみ値比較例

係留ワイヤー間にパネを設置することで、浮体式構造物の浮上を促進できたが(図-11)、前進方向への加速度が大きくなった(図-12)。また、パネを用いると、図-5で示した後退方向に押し戻される動きが解消され、浮上中に大きな躍度がかかる方向が変化した(図-13と図-14)。最大ひずみ値に注目すると、ほとんどの場合で前方の係留用柱に発生するひずみを軽減する作用があった(図-15)。しかし、パネなしでも十分な浮上出来る条件では、かえってひずみが大きく発生する場合があった(図-16)。これはパネがあることで後方へ動ける分、余計な波の影響を受けたためと考えられる。

まとめ

本稿では、自己浮上式避難施設の津波襲来時における挙動の基礎的な特徴を捉えるための実験を行った。窪みを広くすること(特に浮体構造の前方)、あらかじめ水を窪みに溜めること、係留ワイヤーに伸縮性を持たせることで、浮体構造が浮上しやすい条件となることを示した。しかし、今回の実験は実験施設の制約から短周期の波形を用いているため、津波のような長周期の波形を用いた実験を行う必要がある。

今後は、係留用柱に作用する力の詳しい計測、係留ワイヤー間のパネ、窪み内部の形状等の再検討を行い、自己浮上式避難施設の実現を目指す。