津波来襲時における小型船舶の漂流挙動に関する実験的研究

名古屋大学大学院　学生会員 ○ 小池　竜
名古屋大学大学院　正 会 員　　水谷法美

1. **はじめに**：津波の被害としては，溺死などによる人的被害や構造物などの浸水・損壊被害といった一次被害のみならず，破壊された構造物の部材などが遡上波によって流され，背後の施設などに衝突するといった二次被害が挙げられる．流通の拠点である港湾は非常に重要なインフラ施設であると同時に，地震時の復旧・復興に重要な役割が期待される．このような施設を津波被害から守るためには船舶などの漂流挙動の把握が重要な課題の一つとなる．また，水産業が盛んな日本には，大規模港湾だけでなく，全国に約 3000 ヶ所の漁港が散在しており，それぞれの港において地域特性にあった防災対策が望まれる．

津波による漂流物に関する研究はいくつか行われているが，津波来襲時の船舶を対象とする研究では，タンカー船など比較的大きな船舶が対象とされており，比較的容易に遡上し，広範囲に被害を及ぼすと考えられる小型船舶を対象とした研究例は少ない．また，津波による船舶の漂流に非常に重要な要因である船舶の陸上への遡上条件については，未だに詳しく言及されていない．そこで本研究では，水理模型実験を行い，津波による小型船舶の漂流挙動の特性と船舶の遡上条件について考究することとする．

2. **水理模型実験**：実験には，名古屋大学大学院工学研究科の片面ガラス張り二次元造波水槽（全長 30m，幅 0.7m，深さ 0.9m）を用いた．実験水槽の概略図を図-1 に示す．陸部の護岸模型の長さは 400cm とし，護岸前面には傾斜海底地形（勾配 1/10 と 1/100 の複合断面）を設置した．なお，実験縮尺を 1/40 とし，造波板前面での静水深は 44.5cm，護岸前面での静水深は 11.5cm，天端高さを 2.5cm とした．水槽の一端にある最大ストローク 150cm のピストン型造波装置を用い，押し波初動の長周期波 11 種類（入射波高(Hin)：2.5cm～4.0cm，周期（T；造波板が押出す時間とする）：7.5s～12.5s を作用させた．船舶模型は，アクリルを用いて，図-2 に示すような船底形状を平底型（flat）と船底型(hull)の 2 種類作成し，それぞれに対して重量を 2 種類ずつ変化させた．船舶模型の諸元を表-1 に示す．船舶の初期設置位置は，船舶模型の岸側の面が護岸前面から 0cm, 10cm, 50cm の位置になるように設置し，船首尾方向が護岸に対して平行（0 度）の場合と直角（90 度）の場合の二通りに対して実験を行い，船舶の漂流特性を検討した．また，船舶が陸域へと打ち上がる条件を検討するため，護岸前面に接した船舶（初期設置位置 0cm）に対し，入射波高を徐々に増加させ，船舶の打ち上げと護岸前面の波高について検討を行った．なお，実験中は，陸上部上方からと側方からビデオカメラにより船舶の挙動を撮影し，船舶の軌跡と漂流速度を求めた．

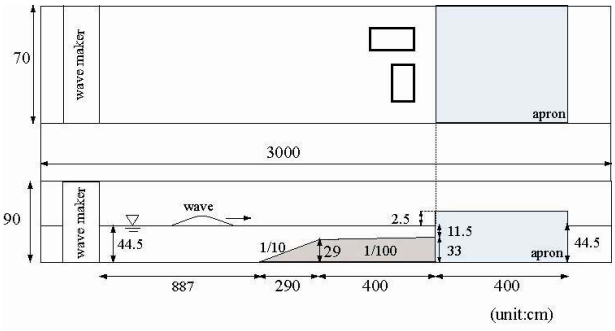
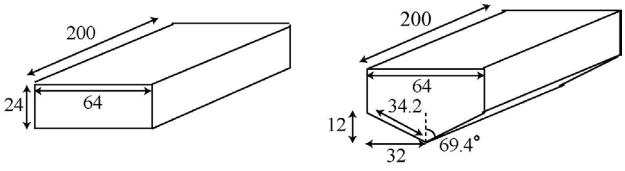


図-1　実験水槽の概要



type-flat　　type-hull

図-2　船舶模型の形状

表-1　船舶模型の諸元

	G1		G2	
	重量(g)	喫水(cm)	重量(g)	喫水(cm)
平底(flat)	93.14	0.73	170.34	1.33
角底(hull)	93.14	1.33	170.34	1.93

3. 実験結果及び考察：図-3 に護岸から岸側 30cm における遡上波の最大遡上流速と漂流した船舶の最大漂流速度の関係を示す．この図から初期設置向きが 90 度の場合の船舶の漂流速度に比べ，0 度の場合の船舶の漂流速度が大きくなっていることがわかる．初期設置向きが 0 度の場合，入射波から流体力を受ける面積がより大きく，速度を増加させた要因であると考えられる．また，船底形状によっても船舶の漂流速度に違いが生じる．角底型は，実際の船舶の船底のような形状をしているため，平底型と比較して 5 割近く喫水が深くなり，護岸上面と接触するケースが増加する．船舶と護岸上面との接触により船舶と護岸との摩擦力が発生することで，船舶の漂流速度は急激に減少し，船舶の最大漂流速度の減少を招く．また，速度の減少した船舶は，背後から流れ込む水塊によって，再び速度が増加し，ほとんどの場合，この漂流速度の増減を繰り返し，船底を擦りながら船舶が護岸上面に停止することが実験により確認できた．さらに，遡上波の最大流速の増加によって，船舶の漂流速度は大きくなっていくが，漂流速度の増加は，漂流速度と流速の値が同程度になると頭打ちになっていることがわかる．この状態は，流体と漂流物が釣り合った状態であり，船舶の漂流速度は，護岸上面との接触や遡上波の水位低下が起こらない限り，遡上波の流速に到達すると推測される．

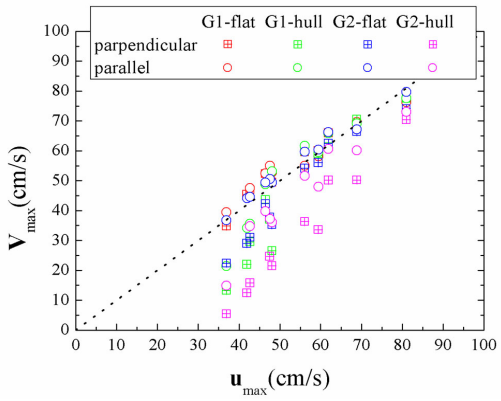


図-3　最大流速と漂流速度の関係

図-4 は，津波によって漂流した船舶が陸部へ遡上したか否かを示している．図中において，丸のプロットは遡上したケース，四角のプロットは遡上をしなかったケース，三角のプロットは船舶の一部が遡上したが，その後海域へと転落したケースを表す．なお，護岸前面の波高を H_0(cm)，天端高さを R(cm)，船舶の喫水を D(cm)としている．横軸は実験ケース名を表しており，各条件の詳細は表-2 の通りである．図-4 より，入射波作用時の船舶が陸域へ遡上するためには，護岸前面の波高と天端高さの差が船舶の喫水よりも大きい場合，つまり，漂流した船舶が護岸到達時において，護岸の上部に船舶の喫水より豊富な水塊が陸域に流れ込んでいる必要がある．しかし，図のケース 4 と 8 では，縦軸の値が 1 より下回っている場合においても船舶が陸域へと遡上する様子が確認できた．これは，今回使用した hull の形状と初期設置向きによって，護岸に接している面が喫水よりも浅く，護岸に乗り上げやすくなり，船舶の一部が護岸に乗り上げることで船舶にモーメントが発生し，たとえ護岸上部の水塊が喫水よりも少ない場合でも，船舶が遡上に至ったと考えられる．

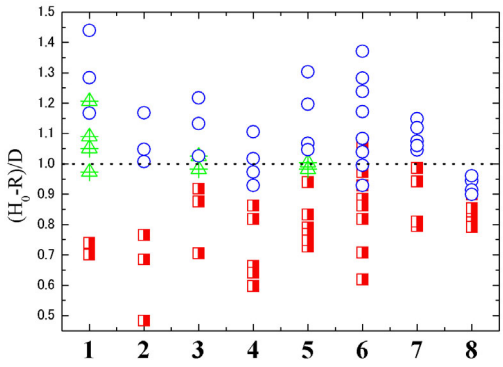


図-4　船舶の遡上限界の評価

表-2　図-4 における各条件

Case No.	重量	船底形状	初期設置向き
1	G1	flat	90°
2			0°
3		hull	90°
4			0°
5	G2	flat	90°
6			0°
7		hull	90°
8			0°

4. おわりに：本研究により，船舶が陸域に遡上する条件を明確にすることができ，船舶の漂流速度と遡上流速の関係を定量的に明らかになった．今後更に詳細に検討を加える予定である．なお，本研究は科学研究費補助金（基盤研究(B)，代表：水谷法美）により行われたことを付記する．

<参考文献>：1) 水谷ら（2007），海洋開発論文集，第 23 巻，pp.63-68．2) 池谷ら（2006），海工論文集，第 53 巻，pp276-280．3) 稲垣ら（2008），海岸工学論文集，第 55 巻，pp276-280.