

円錐形障害物による周辺波への影響

Impact on the surrounding waves by conical obstacle

北海道大学工学院 ○学生会員 中山隆仁 (Nakayama Ryuto)
北海道大学大学院工学研究員 正会員 猿渡亜由未 (Saruwatari Ayumi)

1. はじめに

2004年12月26日のインドネシア、2011年3月11日の日本での津波により、人々や経済に多大な損害を与えたことなどから、近年世界的に津波に対する調査や、津波から命を守るための意識改革、津波被害へのリスク対策などへの関心が高まっている。津波の大きさを表す尺度として主に用いられるのが津波の遡上である。これまで、本土近傍に位置する小さな島々は本土での津波の遡上を防ぐ機能があると考えられてきたが、諸島の背後に位置する本土の沿岸部は居住区として栄えてきた、しかし、近年の津波の調査や、シミュレーションを繰り返した結果、円錐形の小島は津波の遡上から本土を防護する機能はなく、反対に津波が小島に衝突した後、小島の汀線で波が屈折し小島の両側から回り込み背後領域で再び重なり合うことにより、津波の波高を増大させ、波の遡上を増大させる傾向があることがわかった。⁽¹⁾ (図-1) また、波は小島に捕捉され、汀線上にトラップされることで周期が増大することがわかった。実際に、1992年12月12日のバビ島での津波では、津波の周期が増幅したことで、津波に対して正面側の沿岸部に比べ背後領域において高い遡上が計測された。

このような円錐形の小島を通過する波浪の屈折については古くから理論的な研究が行われてきたが、屈折波同士が干渉する円錐背後では、波向線が交差してしまい理論解が導出できない領域が発生し得る。よって本研究では、平面水槽を用いてこの現象を実験スケールで再現し、円錐形周りにおける基本的な波の変動の特徴を明らかにする。

2. 計算例

2次元平面水槽内での円錐周りにおける屈折、変形を次式で表される浅水方程式を用いて、流速、波高を計算した。(図-2) 図中左端から周期 2.95s で造波しており、中央の円錐の汀線で屈折し、1点で干渉し、波高の増大が確認できるが、遡上現象を含む流れ場を数値的に正しく計算することは困難であるため水理実験にて検証を行う。

$$H \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + H \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + H \bar{V} \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} = -\frac{H}{\rho} \left(\frac{\partial P_s}{\partial x} + \rho g \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - \frac{\tau_x}{\rho} \quad (1)$$

$$H \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + H \bar{U} \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + H \bar{V} \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} = -\frac{H}{\rho} \left(\frac{\partial P_s}{\partial y} + \rho g \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) - \frac{\tau_y}{\rho} \quad (2)$$

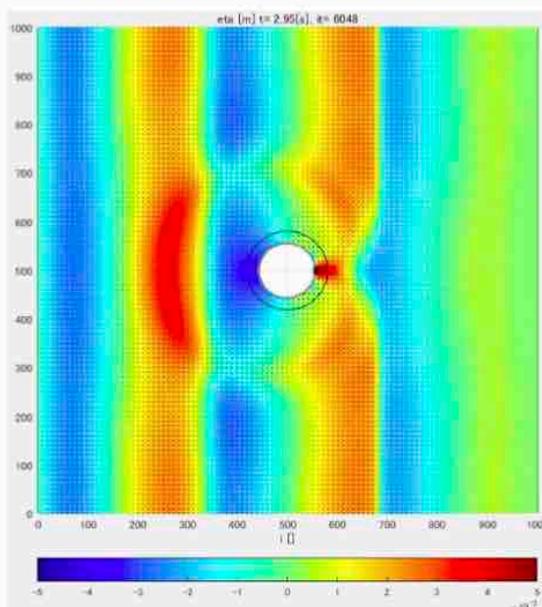


図-1 任意の時刻における計算結果

3. 実験方法

全長 152cm、幅 90cm の平面水槽中央に底面半径 16cm、高さ 16cm の円錐を設置し実験を行った。(図-3) ここで、岸沖方向に x 軸、スパン方向に y 軸、円錐中心から岸沖方向に直線を引き交わる点から時計反対方向の向きを正として θ 、円錐の中心座標から対応する θ における汀線までの距離を半径 r (mm) と定義し、水槽内には 5mg/L のウラン水溶液 (ピーク吸収波長 494nm、ピーク蛍光波長 521nm) 水深を 5cm で満たし、円錐近傍から LED ライトで水面を照射し、水面を励起発光させた。励起発光する溶液はレンズ前面に光学フィルターを装置した CCD カメラ (解像度 640 かけるう) を水槽上部に設置し、造波の瞬間に 30ms 毎に撮影を行うトリガーを設定した。入射波の条件は周期 0.5s、1.0s (それぞれ波高 12mm、20mm) の 2 ケースとし、それぞれ少なくとも 10 回以上の試行実験を行った。

4. 画像解析

撮影画像にメディアンフィルターをかけノイズ処理を行ったのち、画像輝度の勾配がピークとなる位置をサブピクセル精度で検出し、そこを汀線と定義した (図-3 参照)。

図-2 実験装置概要

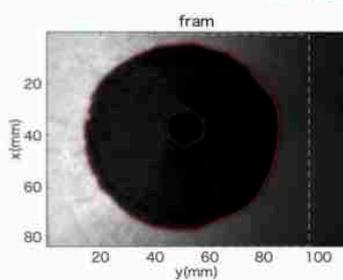
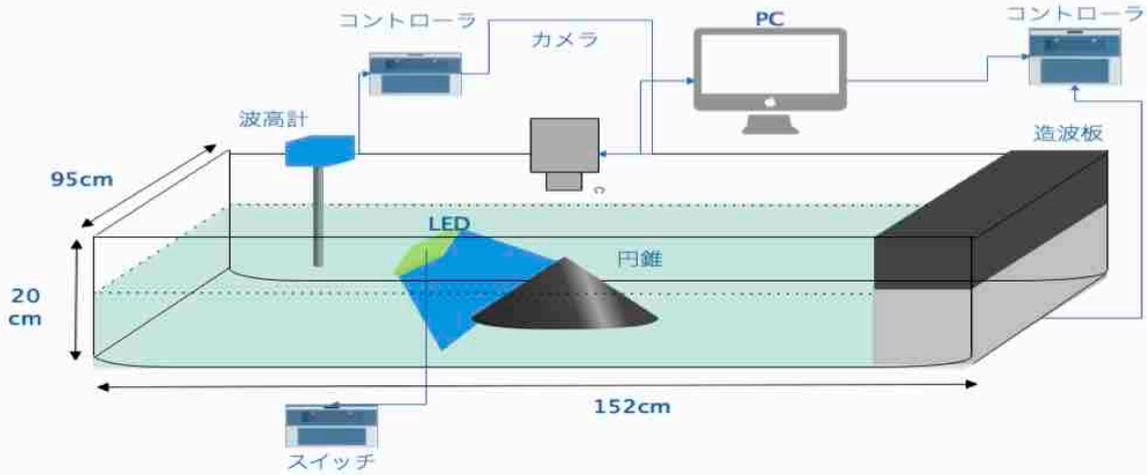


図-3 撮影画像の典型例

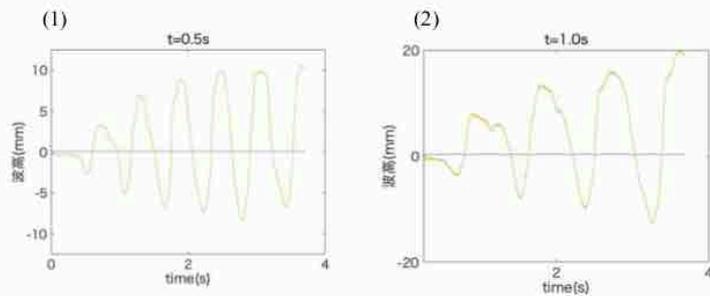


図-4 入射波の時間変化

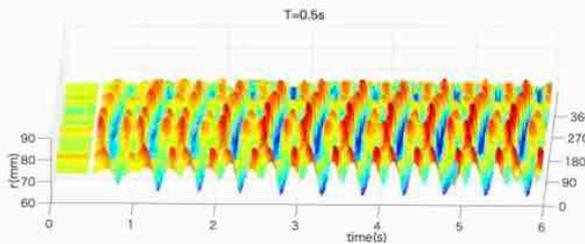


図 5-1 半径の時間変化
T=0.5s

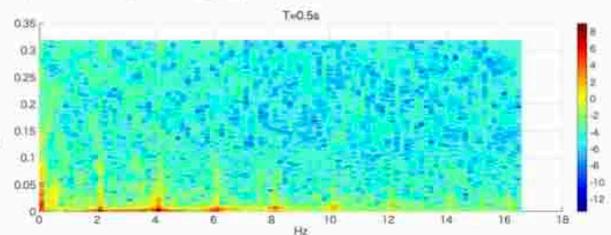


図 5-2 発生波のスペクトル分布
T=0.5s

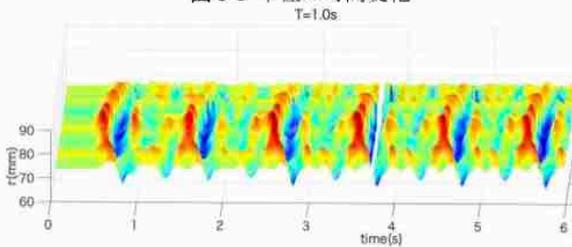


図 6-1 半径の時間変化
T=1.0s

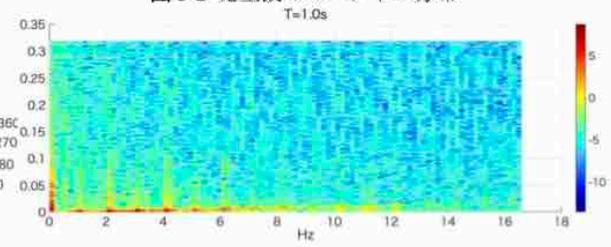


図 6-2 発生波のスペクトル分布
T=1.0s

5. 計算結果

円錐の中心位置での入射波の時間変化を図4で表している。反射波の影響から波高が変化しているが、周期はそれぞれ概ね0.5s,1.0sの一定値を持つ。

図5-1はx軸に経過時間(s),z軸は半径r(mm),y軸はrに対応する θ 。入射周期0.5sの波における半径の時間変化を表し、汀線位置の時間変化を確認する。 $\theta=180^\circ$ 付近、造波方向に対して背後領域で屈折波が干渉しあい、波高

が大きくなっている。図6-1では入射周期 $t=1.0s$ での同様の結果を示している、周期が大きい方が背後領域での変化が顕著に現れることがわかった。

また、図4と図5-1を比較すると、円錐の効果で入射波周期より高周波数の波形が円錐周りに生じていることがわかる。図5-2は周期0.5sの波における汀線上に発生した波を2次元フーリエ変換した結果である。x軸は発生波の周波数、y軸は π^{-1} で値の増加とともに発生しうる波

の周期は小さくなる。この図から、 $t=0.5s$ の波が円錐を通過したことによりその整数倍の周波数の波が汀線上に発生していることがわかる。また、同様に $t=1.0s$ における半径 r の時間変化を図 6-1 で示しており、 $t=0.5s$ の結果と比較すると周期の大きさにより、円錐まわりにトラップされる波の周期が変化していることがわかる。また、同様に、2次元フーリエ変換を $t=1.0s$ の波の条件下で行った場合の結果を図 6-2 で示しており、 $t=0.5s$ の結果と同様に入射波の周波数 $1Hz$ の整数倍の周波数の波が円錐周りに発生していることがわかる。

しかし、これらの波は円錐まわりに捕捉された波である、または円錐まわりに向けて散乱する波であるかの断定はできない。今後さらに実験試行数を増加し、正確な入射波を作成し、明らかにしていくことが求められる。

6. 参考文献

- 2)Liu, Cho, Briggs, Kanoglu and Synolakis. Runup of solitary waves on a circular island. *J. Mech.*, Vol. 302, pp. 259–285, 1995.
- 3)Liu, Shi, Cui, and Kim. Experimental study on overtopping performance of a circular ramp wave energy converter. *Renewable Energy*, Vol. 104, No. Supplement C, pp. 163 – 176, 2017.