# 円錐地形上で屈折する波浪に関する実験的研究

Impact on the surrounding waves by conical obstacle

北海道大学工学院 ○学生会員 北海道大学大学院工学研究員 正会員

中山隆仁 (Nakayama Ryuto) 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為,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行った結 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.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流方程式を用いて,流速,波高を計算 した.(図-1)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.

$$H\frac{\partial\overline{U}}{\partial t} + H\overline{U}\frac{\partial\overline{U}}{\partial x} + H\overline{V}\frac{\partial\overline{U}}{\partial y} = -\frac{H}{\rho}\left(\frac{\partial Ps}{\partial x} + \rho g\frac{\partial \eta}{\partial x}\right) - \frac{\tau x}{\rho}$$
(1)

$$H\frac{\partial \overline{V}}{\partial t} + H\overline{U}\frac{\partial \overline{V}}{\partial x} + H\overline{V}\frac{\partial \overline{V}}{\partial y} = -\frac{H}{\rho}\left(\frac{\partial Ps}{\partial y} + \rho g\frac{\partial \eta}{\partial y}\right) - \frac{\tau y}{\rho}$$
(2)



図-1 任意の時刻における計算結果



表-1 実験条件

表-1 実験条件		
波条件 (正弦波)	波高(mm)	1.99,1.23,3.29
	周期(sec)	0.91,1.07
	波速(cm/sec)	53.2,88.5,54.3
	初期位相	引き初動
円錐の位置	造波板からの位置(cm)	15,10
円錐勾配	1/4.8,1/3.8	
円錐の高さ(cm)	8.0,8.6	
水深(cm)	6.0	



円錐のり面勾配 1/2.4:(1)T=0.7s,(2)T=0.9s,(3)T=1.07s 1/1.4:(4)T=0.7s,(5)T=0.9s,(6)T=1.07s

図-6 各 θ に対応する汀線位置の水位変化. 円錐のり面勾配 1/2.4:(1)T=0.7s,(2)T=0.9s,(3)T=1.07s 1/1.4:(4)T=0.7s,(5)T=0.9s,(6)T=1.07s

# 3. 実験方法

## 3.1 実験概要

実験で対象とした円錐ののり面勾配は,1/2.4 および 1/1.4 であり、主要な実験条件は表-1 に示す通りである. 実験で使用した水槽の諸元は長さ 152cm,幅 90cm,高さ 20cm であり,造波装置が装備されている.実験水路の全景 を図-3 に示す.一様水深部の水深を 6.0cm とし.水槽中央 部に円錐を設置し(図-2),そこに波の屈折現象を再現した.

### 3.2 計測方法

実験に用いた入射波は、有義波周期Tが0.9sおよび1.07s および 0.70s の3種類,用いた円錐ののり面勾配は 1/2.4 および 1/1.4 の2種類で実験は全6ケースをとした.円錐 表面は水に溶けにくい石油性のワックスを使用しており, 高い撥水性を持っている.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) と定義する(図-4)。水槽内には 5mg/L のウラニン水溶液 (ピーク吸収波長 494nm,ピーク蛍光波長 521nm) 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.LED ライトは青色のカラーフィルター に 向けて照射しており,450~490nmの波長の可視光線を発 している.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 1280×1024)を水槽 上部に設置した.撮影は円錐の底面の先端位置に設置し た容量式波高計1が20mv以上の電圧変化を計測した瞬 間に 30~40ms 毎に撮影を行うトリガーを設定した.なお, 波高計1と波高計2は10cm離れている.また、実験ごとの バラツキを考慮して1ケースについて3回以上行い、そ の平均値を用いた.

撮影画像には,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.

#### 4. 実験結果

#### 4.1 汀線における水位変化

波の屈折減少による汀線位置の水位変化を図-5,図-6 で 示している.図-5 を見ると、水槽沖側のθ=180°付近に波 が到達し、円錐の汀線に沿って波が進行している様子が わかる.また, θ=90°および θ=270°で水位変動は減衰 し,再び θ=0°および θ=360°付近で増大している.この ことから,円錐の両側から汀線を沿って進行してきた波 が円錐の背後領域で重なりあっていることがわかる.ま た円錐の形状により,円錐の汀線周りに波が捕捉され,入 射波と円錐に捕捉された波が重複波的に関わり,3,4 波目 の汀線での水位変化に影響を及ぼしている可能性がある. 図-6 は、10°毎の汀線の水位変化の平均を示してお り,analog1 および analog2 はそれぞれ容量式波高計 1 と 2の測定データを示している.図-6 では、水槽沖側から 岸側にかけての水位の変動を定量的に表している.水槽 R170-180(170°≦ θ ≦180°での水位変化の平均)で最大 の水位変動が起こり,円錐背後領域 R0-10 にかけて減衰 の後増大することがわかる.さらに、入射波高と比較して

沖側の汀線での水位変動は著しく大きく,円錐の背後領 域でも入射波高より大きくなることがわかる.

## 4.2 波長と円錐のり面勾配が与える影響

入射波の波長および円錐ののり面勾配が汀線位置にお ける水位変動にどう影響を及ぼすのかについて見てみる. 図-6.(1)~(3)で比較してみる.図-6.(1)を見ると,水槽沖側の 水位変動は円錐背後領域のもの比べて 1.5~3 倍以上大き いのに対し,図-6.(2)および(3)は水槽沖側の水位変動は円 錐背後領域とほぼ同程度のものであることがわかる.さ らに図-6.(2)では 3,4,5 波目と円錐に捕捉された波の影響 で水位変動が増大傾向にある.図-6.(1)(4),(2)(5),(3)(6)を それぞれ比較すると,緩勾配の円錐は急勾配の円錐に比 べて,汀線での水位変動が大きく,その変動も増加傾向に あることがわかる.

#### 5. 結論

今回,円錐形周りの基本的な特性を理解することを目的 とし平面水槽を用いて実験的な研究を行なった.その結 果以下の知見が得られた.

 円錐に波が衝突した際,衝突面だけでなく円錐背後 領域でも波高が増大する.

2) 波の屈折効果により円錐汀線に沿って波が捕捉され,

- 入射波と重複波的な影響を及ぼす可能性があること.
- 円錐の形状,入射波の条件が,汀線周りの水位変動や 波の捕捉,増減に寄与する.

## 6. 参考文献

1)Liu, Cho, Briggs, Kanoglu and Synolakis. Runup of solitary waves on a circular island. J. Mech., Vol. 302, pp. 259–285, 1995.

2)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.

(3)藤間功司・後藤智明:円錐形の島に捕捉された長波の特性,土木学会論文集,1994.8

(4)中野 晋・三島豊秋・中野孝二・三井 宏:サーフィンに適するデルタ型リーフ周辺の波浪特性

(5)合田良実:屈折効果を利用した縦型人工リーフシス テムの特性について,土木学会論文集,2000.11