

砕波に伴う気相域の圧力変動に関する研究

金沢工業大学 大学院
金沢工業大学

学生会員 板垣 健吾
正会員 鷲見 浩一

1.はじめに

砕波瞬時に水表面を破って気泡が液相内に混入することからも推察できるように、砕波には気相での流体運動が強く関連している。このことから、砕波機構の本質的な解明には、気相と液相での流速と圧力の相互関係の検討が重要であることが判る。しかし、砕波時の気相における圧力の時空間変動を検討した研究は極めて少数である。

本研究は、砕波形式の相違による気相の圧力の時空間分布と波動運動が気相の圧力構造へ及ぼす影響を検討するものである。

2.実験と数値計算の概要

本研究では、砕波時における気相域の圧力構造を究明するために、超小型差圧計を用いた水理実験と気液2相流の計算が可能なMARS法を自由界面の解法としたk- ϵ 乱流モデルによる数値計算を行った。本研究では、波動運動の気体の圧力への影響を検討するために、気相の圧力から静水面を基準とした気圧(ρgh , h :静水面からの距離)を差し引いた波動圧を求めた。

2.1 水理実験 実験は水深 $h=40\text{cm}$ の2次元水路内に一様海底勾配 ($i=1/10$)を設置して行った。気相の圧力は、超小型差圧計の2つの圧力接続口にゴムチューブを配管し、1本を圧力計測点に、残りの1本を静水面に設置して、静水面からの圧力変動を計測した。実験波は波高 $H_1=6.0\text{cm}$, 周期 $T=0.8\text{s}$ と $H_1=8.0\text{cm}$, $T=1.0\text{s}$ の規則波とした。砕波形式はそれぞれ Spilling-Plunging(S-P)砕波と Plunging 砕波である。なお、S-P 砕波とは Spilling 砕波と Plunging 砕波の中間の性質をもつ砕波形式である。計測範囲は、図2と図3の示すように $h=15\text{cm}$ の静水面から S-P 砕波で 5cm , Plunging 砕波で 8cm 上方の地点を原点として、水平方向は原点から岸側に 110cm , 鉛直方向は原点から上方に 9cm とした。この計測範囲内に312の計測点を設けた。圧力と同時に水面変動も測定した。

2.2 砕波の数値シミュレーション 数値計算では入力波条件と計算領域を実験と同じ条件で設定し、MARS法を用いて砕波時の圧力と流速の分布を気相と液相で算定した。MARS法はVOF法を応用した自由界面の解法であり、流体体積率の輸送方程式をNavier-Stokesと連立させて解くVOF法のDonor-Acceptor法に基づく厳密な界面の体積保存に加えて、計算格子内の界面勾配を1次関数として近似するline-segment関数の導入により、界面形状の正確な捕獲と輸送、格子界面内での流体率の連続性が考慮可能となった多相流の直接解析手法である。

3.研究結果

3.1 気相の圧力 砕波に伴う気相域の圧力変動について検討する。図4に非砕波時のS-P砕波の気相の圧力を示す。気相の圧力の等圧線は、波頂上部で下に凸となり、波峰の前後で比較的対称な分布傾向を示し、圧力は波頂上部で小さく波谷上部で大きくなる。図5にS-P砕波の気相の圧力の実験結果と計算結果を示す。キーワード 砕波, 気相の圧力, 数値計算

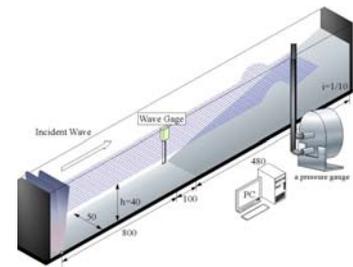


図1 実験水槽(単位: cm)

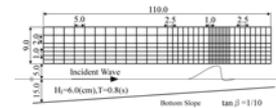


図2 S-P 砕波の計測領域(単位: cm)

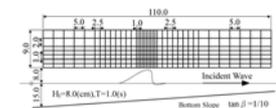


図3 Plunging 砕波の計測領域(単位: cm)

3(b)から、砕波時の等圧線は波峰前後で非対称となり、波峰前面の等圧線間隔は密となること判る。このため、同領域では圧力勾配が大きくなる。また、砕波時の波頂上部の圧力は非砕波時より小さくなり、S-P 砕波で約-1.4Pa、Plunging 砕波で約-2.4Pa となる。一方、砕波時の波谷の圧力は非砕波時と同程度である。砕波後、

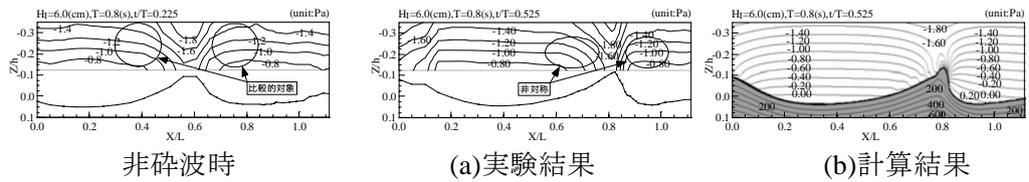


図4 非砕波時の気相の圧力(実験,S-P 砕波) 図5 砕波時の気相の圧力(S-P 砕波)

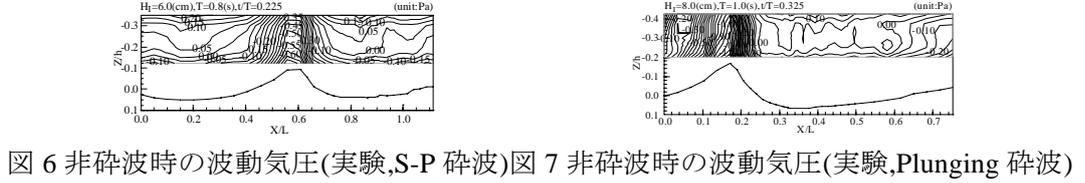


図6 非砕波時の波動気圧(実験,S-P 砕波) 図7 非砕波時の波動気圧(実験,Plunging 砕波)

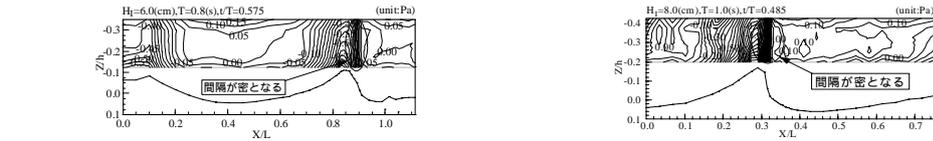


図8 砕波時の波動気圧(実験,S-P 砕波) 図9 砕波時の波動気圧(実験,Plunging 砕波)

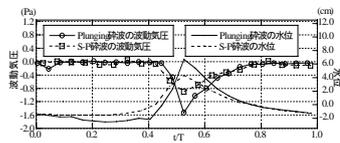


図10 波動気圧と水位変動の関係 図11 1周期平均の波動気圧(実験,S-P 砕波)

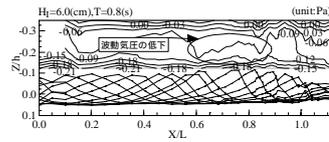
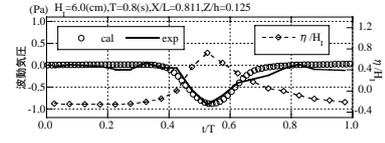


図12 1周期平均の波動気圧(実験,S-P 砕波) 図13 1周期平均の波動気圧(実験,Plunging 砕波)



波頂上部の圧力は再び上昇する。これらより、波頂上部の気相の圧力の変動は、波谷上部より激しいことが判る。

3.2 波動気圧 砕波に伴う波動気圧の時空間分布について検討する。砕波時の波動気圧の等圧線は、図6と図7に示すように、S-P 砕波と Plunging 砕波の両砕波形式において波峰の前後に急勾配となって集中し、波谷に向かうにつれてゼロに接近し、波谷上部では緩勾配の広い等圧線間隔となる。図8と図9に示すようにS-P 砕波と Plunging 砕波において、入射波が砕波点に接近し波峰が急峻化すると、波峰前面の波動気圧線の間隔は非砕波時よりも密となり、急激な波動気圧の変化が生じる。そして、図10に示すように、砕波瞬間に波頂上部の波動気圧は最小値を示し、S-P 砕波で約-0.8Pa、Plunging 砕波で約-1.6Pa となる。このように波動気圧は波峰周辺での発生と変動が波谷上部よりも顕著であり、波動運動が気体の圧力変動に影響する領域は波峰上部が主となることが判る。また、波動運動は波頂上部の激しい気相の圧力の変動に支配的であると考えられる。

3.3 波動気圧の実験結果と計算結果の比較 図11に示すように波動気圧の実験値と計算値の時間変動は一致した。図11から波動気圧は水位のゼロアップクロス点から約1/11周期の短時間に最小となることが判る。これは波峰前面の等圧線の集中によるものである。図12と図13に1周期平均したS-P 砕波と Plunging 砕波の波動気圧の分布をそれぞれ示す。1周期平均した波動気圧は砕波形式によって差異が認められ、Plunging 砕波はS-P 砕波より、その変動が大きい。また、砕波時の波頂部近傍での波動気圧は、小さくなることが明らかとなった。

4.おわりに

本研究では砕波形式の相違による波動気圧の変動について水理実験と数値シミュレーションにより検討した。その結果、波動気圧は砕波形式によって差異があり、Plunging 砕波はS-P 砕波より、波動気圧の変動が顕著であることが判明した。