

## 自由落下水塊の壁体衝突に伴う衝撃力に関する研究

## Impact force acting on a bottom due to falling jets

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 大友崇行 (Takayuki Otomo)  
 北海道大学大学院工学研究科 正員 渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)  
 北海道大学大学院工学研究科 正員 佐伯 浩 (Hiroshi Saeki)

## 1. はじめに

波浪が砕波直後に壁体あるいは直立堤に衝突する場合、極めて高い衝撃圧力が発生することはよく知られている (Peregrine, 2000)。この衝撃砕波圧は非常に短い時間内に、1つもしくは2つの急峻な圧力ピークの発生として特徴付けられている。圧力ピークの最大値は、運動量保存則から算出される圧力の十倍から数十倍に及ぶ場合があり、瞬間的に合田式による波力を大幅に上回ることが指摘されている。しかしながら、この衝撃砕波圧に関して物理的理解がなされていないのが現状であり、デルタ関数として近似された数学モデルによって最大衝撃圧を見積もるための実験的、理論的研究が数多くなされてきた (Peregrine, 2000)。Peregrine の最近のレビューによると、衝撃圧発生に関わるパラメータは、(1) 砕波の壁体到達後の水面の急速な集中、(2) 混入気泡及び捕捉されるエアポケット、(3) ジェットの慣性力 (重力はさほど重要ではない) とされている。著者ら (2001) は、ジェットによる衝撃力発生 の単純な物理モデルとして、ウォーターハンマーによる衝撃力の詳細な時空間周波数解析を行った。これによると、(2) の影響がない状態においても運動量保存則から算出した流体力の数倍から数十倍に及ぶ衝撃力が発生し、さらにピーク発生後典型的な減衰振動が現れる可能性がある。またこのウォーターハンマーテストではジェット衝突時に (1) の水面の急速な集中はないので、(1) 及び (2) は衝撃力発生の必要条件ではないと考えることができる。一方、衝撃圧継続時間は水面変動の時間スケールと比べ短いと考えることができる。ジェットの壁体衝突時にもジェット中心近傍に淀み点領域が発生し、瞬間的に強い圧縮を受けている可能性がある。

本研究は、初期衝撃力発生機構を解明するための基礎的研究として、著者ら (2001) が行なったウォーターハンマーテストと類似した円柱形ジェットの壁体衝突時の圧力の伝搬に対する流体の圧縮性の寄与並びに自由水面との相互作用について数値的に検討を行うものである。

## 2. 数値計算法

水のような圧縮性の小さな流体を圧縮性流体として、質量保存則をベースに流体密度を更新する陽的な方法は、サイクル誤差自己調整が働かないだけでなく、密度変化に対する圧力変化が非常に大きいため容易に解を得ることはできない。Hirt-Nichols (1980) は SOLA スキームをベースとした、低マッハ数 ( $0 \leq M \leq 0.3$ ) での圧縮性を考慮した圧力修正項に対する陰的反復法である LC 法を提案した。このスキームは比較的圧縮性の小さい流体中の

圧力伝搬を表現するのに有利である。本研究では LC 法をベースにして、しかしながら水面近傍の流速、圧力を正確に表現するために優対角近似をほどこさず、また水面の影響を流体に反映させるように修正を行なった。基礎方程式は以下に示す運動方程式と線形化された質量保存則である。

$$\frac{D \mathbf{u}}{Dt} = - \frac{1}{\rho_0} \nabla P + \nu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (1)$$

$$\left( \frac{dP}{d\rho} \right) \frac{\partial P}{\partial t} + \rho_0 \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

ここで (2) は、密度変化は非常に小さいと仮定し、また等エントロピー流れを仮定して最低次のオーダーで近似されたものである。(1) は多段階分離解法及び CIP 法が適用されている。計算領域は図-1 に示される。slip 条件が与えられる底面上に直方体の水塊が鉛直速度  $W_0$  で衝突した直後の現象が計算される。

## 3. 結果

図-2 は、円柱状ジェット衝突直後の水面形と等圧力 ( $P=0.003$ ) 面の発達を表している。ここで、音速 1000、落下速度 0.1 であり、両者の時間間隔は、4/1000000 である。ジェットの衝突と共に、底面近傍の中心軸近傍に強く軸対称に分布した圧力が急速に鉛直向きに上昇するのがわかる。自由水面では圧力は大気圧へと解放されるため、軸から半径方向に強い圧力勾配が発生し特に底面近傍で流れが生じる。(図-3 参照) 低圧部へと流れるが、軸直下では淀み点となる高圧化が継続される。

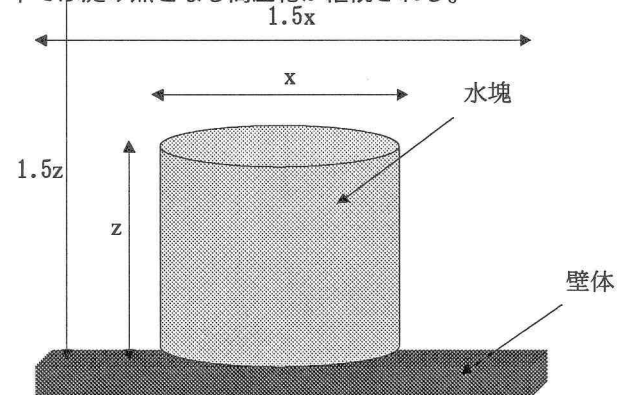
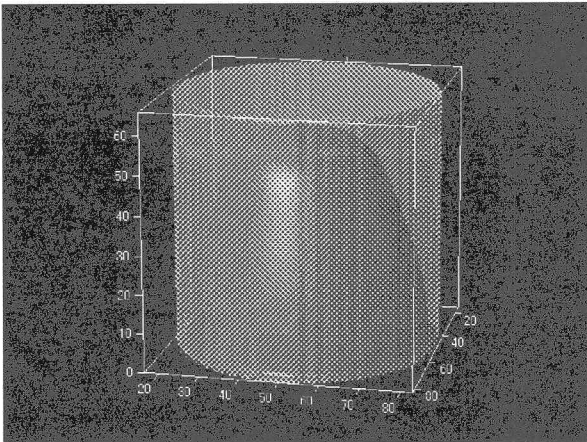
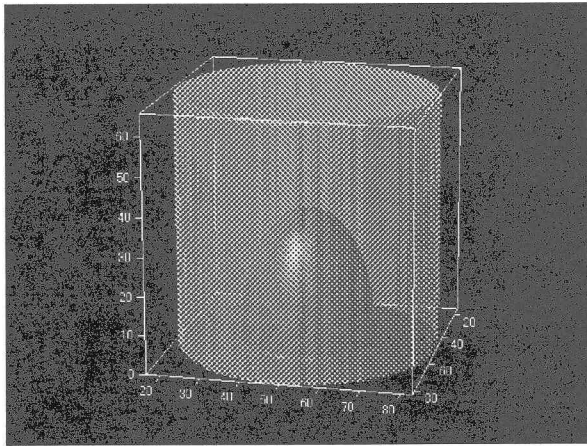


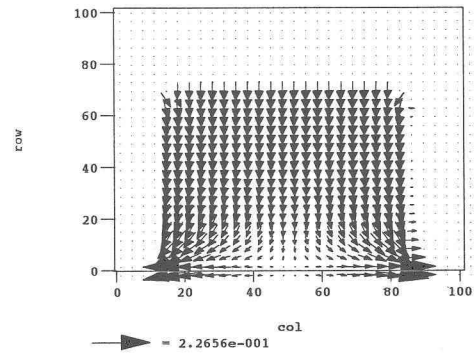
図-1 計算領域

#### 4. 結論

円柱ジェットの影響力を計算する手法を提案した。今後さらに詳しくジェットの変形及び圧力との関係を調べていく。



図一2 ジェットと衝撃力



図一3 ベクトル図

#### 参考文献

- 1) 渡部靖憲、吉川 幹司、早川哲也、佐伯 浩：ジェットの壁体衝突時に発生する振動衝撃力、海岸工学論文集、No.48/pp.821-825、2001
- 2) DH Peregrine : WATER WAVE IMPACT ON WALLS、Annual Reviews of Fluid Mechanics for Volume 35/
- 3) Chan E-S, Melville WK : Deep water plunging-wave pressures on a vertical plane wall、Proceedings of the Royal Society of London. Ser. A、417、pp.95-131、1988