第Ⅱ部門

MPS 法における圧力擾乱の低減を目的とした擬似圧縮性の導入

京都大学工学部地球工学科	学生員	○谷岡	弘邦
京都大学大学院工学研究科	正会員	後藤	仁志
京都大学大学院工学研究科	学生員	五十里	洋行
京都大学大学院工学研究科	フェロー	酒井	哲郎

1. はじめに 水面形の追跡が容易な粒子法は,自由表面の大変形を伴う流体運動の直接的な数値計算法 のひとつとして,近年開発が進展してきた. 越塚らの提唱する MPS 法¹⁾は水のような非圧縮性流体に対応し た数値解析手法であり,近年急速に応用分野が広がっている.しかし,問題点として圧力値に激しい数値的振 動が含まれる.この圧力擾乱については,時間平均を取れば,そのノイズは排除され,物理的に妥当な圧力 値を得られるが,瞬間的に生じる衝撃荷重の推定は困難である.本研究では,圧力擾乱を低減する方法とし て擬似圧縮性を導入し,その有用性を検討する.また,波圧予測に対する適用性を検討する.

2. 擬似圧縮性の概要 MPS法では,流体の非圧縮性は粒子数密度を一定とすることで保証されている. そこに,Koshizukaら²⁾が気液二相流解析において適用した圧縮性モデルに準じて,基準粒子数密度に若干の変動の幅を持たせることによって,擬似的に圧縮性を与える.

$$n_i = n^0 + \Delta n_i^0 \qquad \qquad \frac{\Delta n_i^0}{n^0} = \alpha p_i \quad \left(\alpha \cong 4.5 \times 10^{-11}\right)$$

この2式により基準粒子数密度を変動させる.また、 α に関しては、検討計算を行った結果、およそ α =3.15×10⁻¹¹~7.65×10⁻¹¹の範囲の値が適切と判断した.これ以上 α の値を大きくすると、圧縮性が効きすぎて振動が抑えられず、逆に小さくすると、より非圧縮条件に近づくため、やはり振動が抑制できない.今回は、 α =4.5×10⁻¹¹とした.この条件の下、擬似圧縮性の検証計算を行った.水槽に水を張っただけの初期条件を組み、底面中央付近の圧力値を計測する.粒径は10mmと5mmの2パターン行う.水槽の大きさは横0.5m、厚さは粒径の4倍とし、高さは水面より20cm以上高くとる.この条件の下、圧縮性を導入した場合と、導入しない場合での圧力値の変化を比較する.結果は図1と図2に示す.どちらの場合も、擬似圧縮性を導入することにより、圧力値の振動の低減と収束が確認できた.



3. 直立堤における波圧測定

3.1 実験と計算条件の確認 今回は空気を含まない最も簡単な Wagner 型の波が,直立壁に衝突したときの衝撃波圧を,前章で検証した擬似圧縮性を用いた MPS 法により計算する.比較対象として,Hattori ら³⁾の実験値を用いる.境界条件を図3に示す.粒径は2.5mm,粒子数は21,136 個で,計算時間は約10時間で Hirokuni TANIOKA,Hitoshi GOTOH,Hiroyuki IKARI and Tetsuo SAKAI

ある.造波される波は、入射波高 4.7cm、周期 1.7s である.図3 で、左側の移動壁を動かすことで、実験と 同じ波を発生させ、実験と同様に静水面と同じ高さの壁面粒子で圧力値を測定する.この時、測定点での圧 力値のノイズをさらに排除するために、空間平均を行う.空間平均を行う範囲は、実験で使われた圧力測定 器と同じ大きさの 10mm とした.

3.2 実験と計算の比較 実験において高速写真で撮られた水面形と、計算でのスナップショットの水面形 を比較する.図4と図5に衝突直前と直後の水面形を示す.黒の太線が実験での水面形となっている.図4と図5 を見ると、計算では粒径が2.5mmと大きいこともあって、水面が滑らかではないが、全体的な形状は、衝突直 前、衝突直後ともに、良好に一致している.次に、直立壁における静水面付近での圧力値のグラフを、図6に 示す.黒色の点線が実験結果で、灰色の実線が計算結果になっている.全体的に計算値のほうが少し圧力値が 低くなっている.しかし、グラフの概形は、若干の振動は見られるものの、よく似ていると言える.空間平均 を利用すると、範囲内での圧力の低い点も考慮されるので、少し圧力値が低くなるのは仕方がないものと思わ れる.以上の点から、今回の計算結果は、実験と良好に一致しているといえる.

本研究の結果,非圧縮性流 4. おわりに 体の数値解析手法であるMPS法に擬似圧縮 性を導入することで, 圧力値の振動を大きく 低減できることと、今回はWagner型の波に ついてだけではあるが,擬似圧縮型MPS法で 衝撃波圧をシミュレーションすると,水面形, 圧力値ともに良い精度で計算を行えること が明らかとなった.ただし、欠点として、圧 力値が全体的に低くなり,少し振動が見られ, 水面形に若干の凹凸が見られることも判明 した. 今後は、粒径をさらに小さくし、擬似 圧縮性の係数を見直し,より良い精度でシミ ュレーションできるようにする必要がある. そして,衝撃波圧は空気を含む波のとき大き くなるので、気液二相流において、少量の気 泡を含むBagnold型の波や、大きな空気塊を 含む巻波についてのシミュレーションが重 要である.

5. 参考文献 1) 越塚誠一(1997):数値 流体力学,インテリジェントエンジニアリン グシリーズ,培風館,P223 2) Seiichi Koshizuka,Hirokazu Ikeda,Yoshiaki Oka(1999): Numerical analysis of fragmentation mechanisms in vapor explosions,Nuclear Engineering and Design,Vol.89,P423-433 3) Masatosi Hattori,Atsusi Arami and Takamasa Yui(1994): Wave impact pressure on vertical walls under breaking waves of various types, Coastal Engineering,Vol.22,P79-114

