

(Ⅱ-23) MAC法を用いた数値計算に関する検討

防衛大学校 高根徳通・藤間功司・林建二郎・重村利率

1. はじめに

MAC法とは、水表面を有する流れを、何ら仮定を用いないで運動の式と連続の式を連立させて2(3)次元的に解く数値解法である。したがって、砕波時のように、水面形が多価関数になる場合でも適用可能であり、原理的には砕波後の変形も含めて計算が可能である。実際、酒井ら(1987)、Miyataら(1984)により砕波の計算に用いられている。酒井らの用いた方法はSMAC法であり、水表面を決定するためにマーカーを使う。この方法の長所は、①どのように複雑な波形にも適用でき、②しかも3次元への拡張が容易なことである。しかし、①記憶領域が膨大で、②水表面付近での水粒子速度は事実上外挿して求めることになるので波面が不安定になりやすく、③水表面の境界条件をセル中央で与えているという欠点もある。一方、Miyataらは、水表面を格子内の直線で表し、その線素のみを局所流速で動かす方法を開発した。この方法は記憶容量が節約でき、水表面境界条件を精度よく与えられるが、水表面流速の外挿は必要で、3次元への拡張は困難になる。

しかし、今後数値実験としての利用を考えるなら、3次元への拡張が容易で、しかも精度が良い計算方法が望ましい。精度が良く、3次元への拡張が比較的容易な計算方法として、例えば、藤間ら(1984)の用いたSOLA-VOF法がある。そこで、本報ではSOLA-VOF法を用いた砕波の計算を試みる。

2. SOLA-VOF法

SOLA-VOF法は水面形を表すためにセル内に含まれる流体面積の比率を表す関数 F を導入し、セル間での流体(関数 F)の授受によって水面を動かすものである。したがって、水表面位置を合理的に決めることができ、水表面流速を外挿する必要もない。ただし、SOLA-VOF法本来の方法では水表面の境界条件を与える場所が不正確になる場合があり(図1a)、穏やかな波の場合にはこの誤差は無視できない可能性がある。そのため藤間らは、水表面勾配まで考慮して流体の授受を計算したが(図1b)、その方法では3次元への拡張が複雑になる。そこで、ここでは水表面近傍で積分された連続の式を使って水面を動かすこととした。

格子を十分細かく取れば、突っ込み点以外では波形は局所的に単調と見なせる。図2に示すように、格子の方向のうち、勾配の緩く見える方向を x^* とした便宜的な座標(x^*-y^*)を考える。このとき、水表面セル近傍で局所的に積分された連続の式の差分式は次式のようにになる。

$$\Delta \eta / \Delta t = ((QLT + QLM + QLB) - (QRT + QRM + QRB) + QB) / \Delta x^*$$

ただし、 η は y^* 方向に測った水位を表す。QLT, QRT, QB等は格子間を通過する流量で、図3のように計算する。上式を用いて η を計算すると、水面は、図1cのように平均的な位置として評価される。

3. 計算例

前水深を有するダム破壊流れを考える。計算は、前水深 h_0 と速度 $\sqrt{gh_0}$ で無次元化して行った。ダム水位は無次元量で5.0とした。格子長は $\Delta x = \Delta y = 0.1$ で、格子数は 302×54 である。また、 $\Delta t = 0.001$ である。計算は防衛大学校大型計算機センターのM-680Hで行い、計算時間は約80分だった。

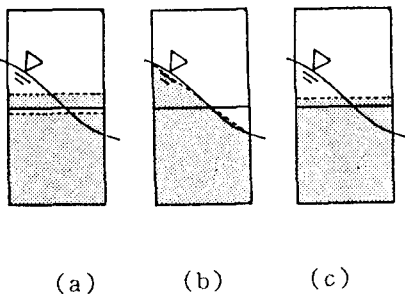


図-1 水表面の考え方
(a: SOLA-VOF, b: 藤間ら, c: 本報)

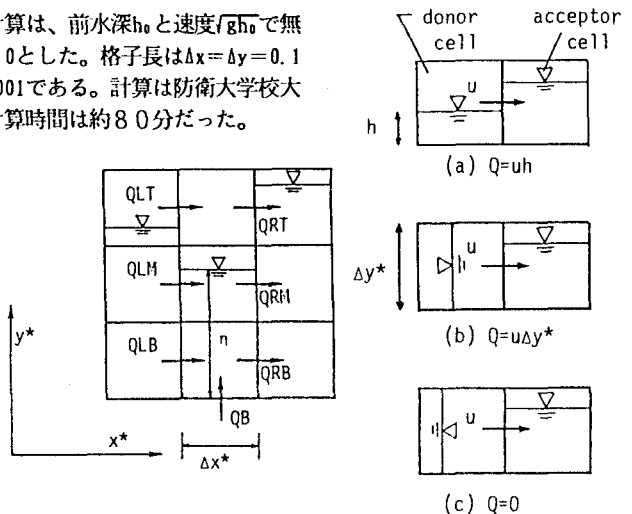
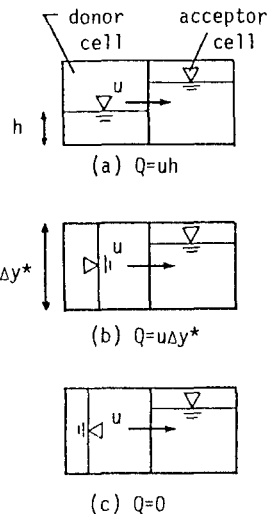


図-2 局所的に積分された連続の式



(c) $Q=0$

波形変化を図4に示す。初期波形から砕波に至る過程を、無次元時間間隔1.0で描いている。特に、砕波点、突込み点近傍の詳細な様子を図5、6に示す。これらの図から、今回の計算方法がほぼ妥当な結果を与えていると考えられる。今後、さらに実験値や他の計算方法による結果との比較を通して、精度や取り扱いの容易さなどの検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 酒井ら：斜面上の巻き波型砕波の砕波後の運動機構の数値解析，第34回海講，1987
- 2) Miyata et al.: Numerical and experimental analysis of nonlinear bow and stern waves of a two-dimensional body (Third rep.), Jour. of Soc. Nav. Acch. Japan, vol. 155, 1984
- 3) 藤間ら：非線形分散波理論の数値的な検討，第31回海講，1984

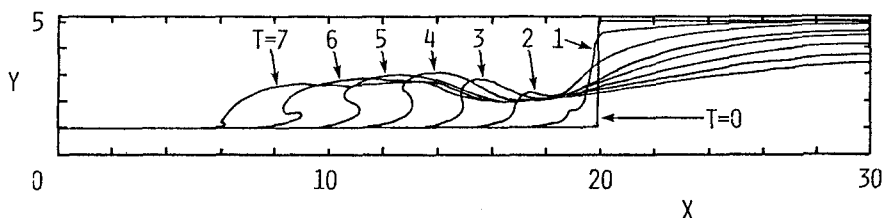


図-4 波形の経時変化

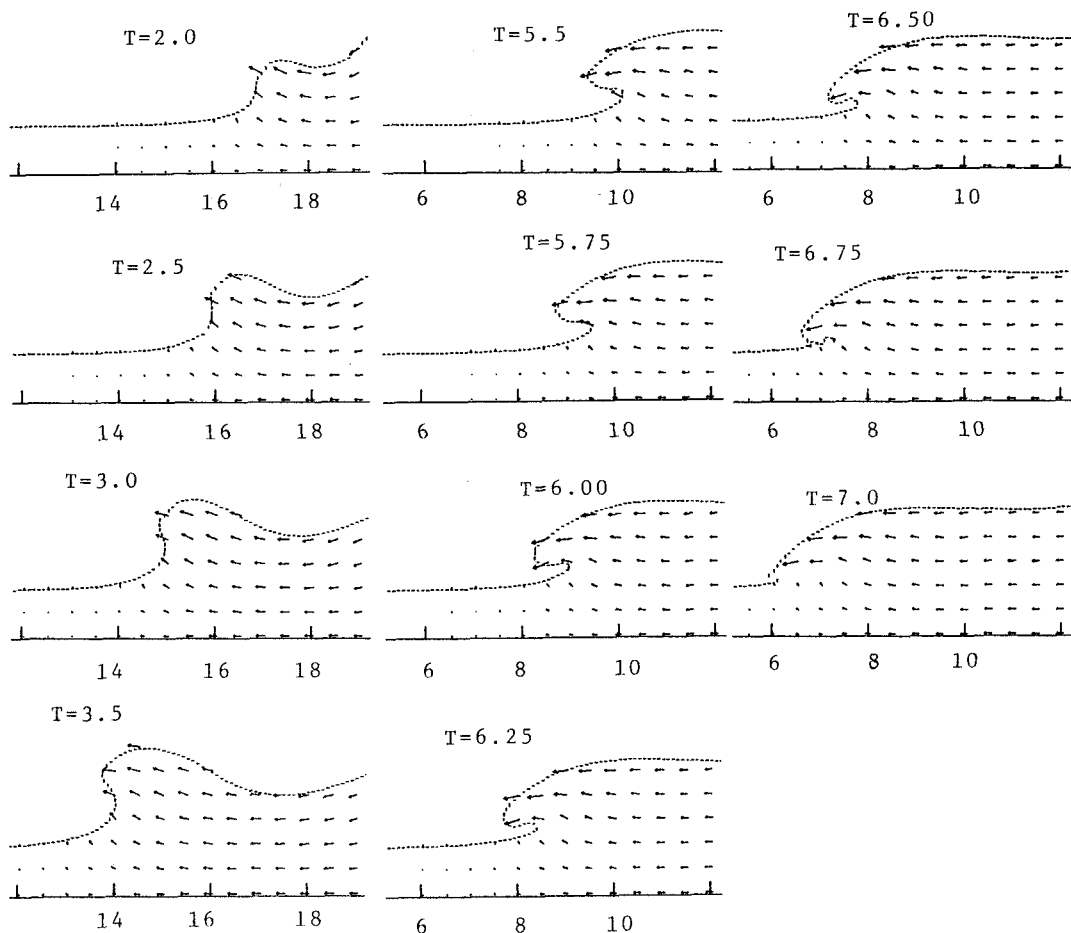


図-5 砕波点近傍での流況

図-6 突込み点付近の流況