Ⅱ—19

常流・射流の混在する流れの水面形計算法

岐阜大学　正　員　河村三郎
岐阜大学　正　員　中谷　剛
岐阜大学　学生員○潮田智道

1．はじめに

近年，市街地の膨張に伴い，丘陵地への宅地化の進行や，その他の土地利用の拡大により，山地丘陵部の流路工における防災機能の評価に対する重要性が高まってきた。ところが，このような場所の流路工は，段落ち部，勾配の急変部を持つなど，変化に富み，洪水時において，こうした流路工内を高速流が流れる場合，常・射流が混在し，随所で跳水を生ずるなど複雑な様相を呈する。しかし，常流区間と射流区間に分けて計算をすすめる既往の方法では，このような複雑な流れには十分対応できないと考えられる。こうした事情を背景として，跳水や支配断面をも含め常流・射流に関わらず上流側から一貫して計算できる適用性の高い数値計算法の確立が望まれている。このための手法として特異点に対する特別な配慮が不必要であることから，他の工学分野で成果を挙げている衝撃波捕獲法が有望である。そこで，本研究では，常流・射流にかかわらず上流側から計算を進めることができ、跳水や支配断面といった特異点においても一貫して対応できる衝撃波捕獲法のうち時間進行法を用いた水面形の計算法を試み，適用性について検討した。

2．計算方法

使用する支配方程式は，保存形の１次元運動方程式と連続式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\frac{P}{\rho}\right)_b + \frac{Q^2}{A}\right] = gA\left[i - \frac{n^2 Q|Q|}{A^2 R^{4/3}}\right] \qquad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \qquad (2)$$

である。

今回試みた計算法は，

1．２段階Ｌax-Wendroff法
2．MacCormack法

である。

ただし，両端境界に対しては，矩形ｽｷｰﾑであるBox法を採用し，連続式のみを満足させることにする。また，２段階Lax-Wendroff法に対しては，式(1)の右辺に対し部分的に格子を半ｽﾃｯﾌﾟ進め，安定性を増す方法[1]を採用する。

なお，これらの数値解法は，他の工学分野においては，疎密波の衝撃波の計算法として，既に多くの成果を挙げている方法である[2]。

今回は，広幅矩形断面直線水路における一次元解析を行うので，等流や漸変流において使用できる次の仮定を用いることにした。

1．断面内の流速分布は相似形と考え，ｽｷｰﾑに含まれるｕは流下方向を正とする断面平均流速とする。
2．流線の湾曲の影響を考慮せず，静水圧分布を仮定し，$P/\rho = gh(x)^2 \cdot B/2$　とする。
3．水深，断面平均流速は各断面において１価である。
4．壁面でのせん断力は，等流状態のときReynolds数の大きい乱流粗面水路においてよく成立するManningの平均流速公式により考慮する。

しかしながら，跳水部などにおいては，

1．気泡の混入や，流線の湾曲の影響により，静水圧分布は仮定できない。

2．伴流や砕波を発生しており，流速分布が一般の断面と著しく異なっていることが予想されるので、他の断面と同じように水深，断面平均流速が１価であるとは考えがたい。

したがって，これらの仮定により，跳水部における厳密な水面形が計算されないばかりでなく，跳水の位置や跳水前後の水深変化にも何らかの影響がある可能性もあるため，留意しなければならない。

3，各種差分解の挙動について

各種差分解の挙動の，不連続を含む領域における特色について，非同次項などの影響に煩わされることなく確認しておくためには，シンプルなBurgers方程式のstep解について調べておくのが適切であると考えられる。図１より観察されるように，２次精度のｽｷｰﾑである２段階Lax-Wendroff法やMacCormack法は，１次精度のｽｷｰﾑであるLax法といくつかの点で異なっている。第一に、得られた弱解の不連続部の前後において,数値振動が発生しており，打ち切り誤差に含まれる三階微分の項の持つ分散効果が著しく顕在化した様子を見ることができる。第二に，数値拡散については，それほど著しくなく，散逸効果を持つ二階微分の項を打ち切り誤差の中に含んでいないことの影響が表れているものと考えられる。

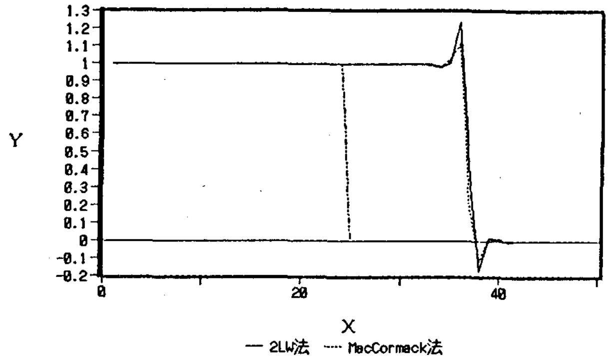

図１　２段階LAX-WENDROFF法とMacCormack法の特性
(CFL=0.5,DT=50step)

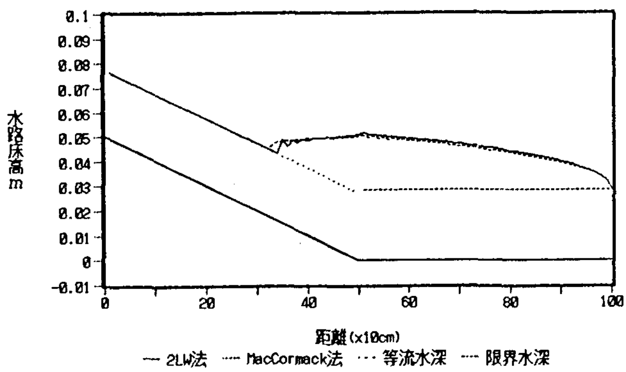

図２　跳水を伴う水面形の計算例
(n=0.015,DX=0.1m)
(DT=0.01s MacCormack)
(DT=0.09s Lax-Wendroff)

4，計算結果

水路床勾配が1/100から水平へと変わり、その勾配変化点で跳水が生じる場合の水面形の計算例を図２に示した。上流端で定常流量0.06m³/sを与え，下流端は限界水深が生じるとした。傾斜部で等流水深を，水平部は勾配変化点で等流水深，下流端で限界水深とする直線補間により，初期水深を与えた。２段階Lax-Wendroff法では、跳水部で数値振動を発生しているが，Burgers方程式のstep解から予想されるほど著しいものではない。MacCormack法による数値解には著しい数値振動はみられない。、いずれの方法も定常状態に近づくに従い，平滑化が進み，数値振動が減衰している。従って、跳水位置や跳水を含む水面形を計算する上で，本手法を用いることにより，工学的に有用な結果が得られるであろう。

5，おわりに

本研究では，山地流路工の洪水時における水面形の計算で問題となる，跳水を含む定常流の計算例を示した。しかし，本手法は，保存則差分法を用いているため，流量が突発的に変化するような非定常性の著しく強い場合についても対応できると考えられる。

参考文献

1)伊藤剛，数値計算の応用と基礎 pp.89-99，ｱﾃﾈ出版
2)日本機会学会編，流れの数値ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝpp.99-110 ，ｺﾛﾅ社