実地形の導入による数値氾濫モデルの高精度化に関する基礎的検討

山梨大学　学正会員　○橋本　雅和
山梨大学　正会員　大石　哲
山梨大学　フェロー会員　砂田　憲吾

1．はじめに

近年，集中豪雨による水害が全国各地で多発している．被害があったのは，東京，大阪，名古屋などの都市部であり，これらの地域では住宅が密集しているため，ハード面での対策が困難である．

一方で，シミュレーション解析によるソフト対策が注目され，様々な都市でその対策研究が進められている．その中で，Sisinggih *et al.*[1]は数値氾濫モデル Suikou2D を開発し,GIS と組み合わせることで浸水時空間分布を表示するシステムを構築した(**図 1**)．

集中豪雨は突発的かつ局地的な現象であるために，実時間での対策が重要であると考える．本研究は数値氾濫モデル Suikou2D を計算速度の観点から評価するために，数値計算パラメータの組み合わせの変化に対する，計算実時間の短縮と計算結果の妥当性の検討を目的とする．

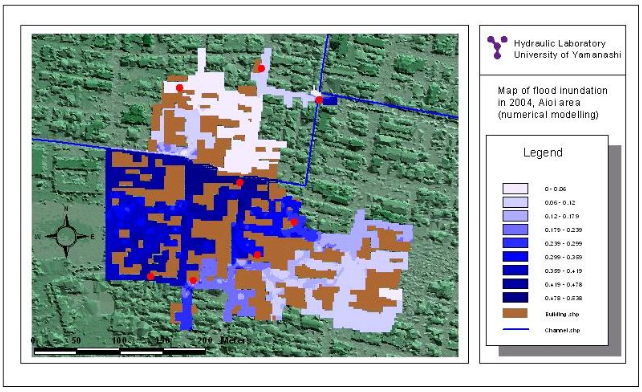

図 1 氾濫シミュレーション結果の例

2．研究方法

対象地区は山梨県甲府市相生地区とし，氾濫開始から 2400 秒後までのシミュレーションを行うものとする．この計算の下で，モデル内で用いられている以下の２つのパラメータを変化させる．

2-1．粘性係数（κ）

粘性係数は，地形変動などによる計算の複雑化に伴い増減させる係数であり，計算の安定化に大きく関係する．拡散制御因子 ε を表す (1) 式中の係数として扱われ，値が大きいほど計算は安定する．変動範囲は Chaudhry[2]に基づいて 0.25~0.35 までとする．

$$\varepsilon_x = \kappa \frac{\Delta x}{\Delta t} \times \frac{\left|h_{i+1,j} - 2h_{i,j} + h_{i-1,j}\right|}{\left|h_{i+1,j}\right| + \left|2h_{i,j}\right| + \left|h_{i-1,j}\right|} \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

ε ：拡散制御因子，h：浸水位， κ ：粘性係数

2-2．Courant Number（Cn）

Courant Number は対象とする現象と計算格子の間隔を調節するためのパラメータである．以下の(2)式のように表わされ， 1 に近いほど計算が厳密になるが，それを超えると計算が破綻する．

$$\mathrm{Cn} = \frac{\mathrm{V}}{\Delta \mathrm{x} / \Delta \mathrm{t}} \leq 1 \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

V：対象とする現象の速度，⊿x：グリッド間隔
⊿t：微小時間

2-3．評価方法

上記の κ，Cn のパラメータをそれぞれ，Cn を 1.0~0.1，κ を 0.35~0.25 まで変化させて計算を行った．計算安定性の有無の判断については浸水時系列を表示することで判断する．安定した計算が行われた場合の浸水時系列は，洪水ピーク設定時に合わせて浸水位がピークに達する．しかし，不安定な計算が行われた場合，洪水ピーク後も水位が上下に変動して複雑な波線を描くので，浸水時系列の曲線形状を計算安定性の判断材料とした．

また，比較の基準については，計算の安定性と速度の比較を行う上で，Chung[3] により最も的確に流体運動を表現することができるとされる組み合わせである，Cn=0.3，κ=0.7 とした時の計算を比較基準計算としてある．

キーワード　数値氾濫モデル，計算速度，計算安定性，都市河川，浸水深予測
連絡先　〒400-8511　山梨県甲府市武田 4-3-11　山梨大学　TEL055-220-8737

３．結果

2-3 で示した評価方法で比較した結果を表 1 に示す．表の値は計算実時間（秒）を表し，×印がある部分については計算が不安定になり，破綻したことを表す．

表 1 Cn, κ の変化による計算安定性及び計算実時間

Cn	κ=0.35	κ=0.33	κ=0.30	κ=0.28	κ=0.25
1	×	×	×	×	×
0.95	×	×	×	×	×
0.9	×	×	×	×	×
0.85	1310s	×	×	×	×
0.8	1153s	1353s	×	×	×
0.75	1065s	1117s	1787s	×	×
0.7	×	×	1254s	×	×
0.65	×	×	×	×	×
0.6	1458s	1292s	1242s	1219s	×
0.55	×	×	×	×	1428s
0.5	×	×	×	×	×
0.45	2204s	2385s	×	×	×
0.4	1891s	2109s	2352s	2321s	3295s
0.35	2045s	2705s	1893s	2435s	2450s
0.3	2349s	2367s	2412s	2526s	2550s
0.25	2691s	2761s	2790s	2940s	3053s
0.2	3150s	3201s	3318s	3480s	3572s
0.15	3943s	3990s	4056s	4142s	4282s
0.1	5613s	5660s	5744s	5818s	5930s

上表より，κ の値が大きいほど，Cn が 1 に近い値で計算可能であり，厳密な計算ができることがわかる．加えて，Cn が 1 に近いほど計算時間は短縮される傾向にある．しかし，例外も存在しており，それぞれ適切な組み合わせをすることで効果的な計算時間の短縮がなされることがわかった．

Cn=0.4 以下では何れの κ でも計算は安定して行われ，Cn と κ のそれぞれが大きい値であるほど計算時間は短縮され，小さい値であるほど計算時間は長くなっていることがわかる．一方，Cn=0.45 以上では，計算が不安定になることが多くなり，計算時間の短縮に関しては，組み合わせによって様々である．

次に，それぞれの κ の値で，計算時間が最も短いものを用いて最高浸水位を計算し，比較基準計算の結果と比べたところ，二乗平均平方誤差 RMSE は**図 2** のようになった．

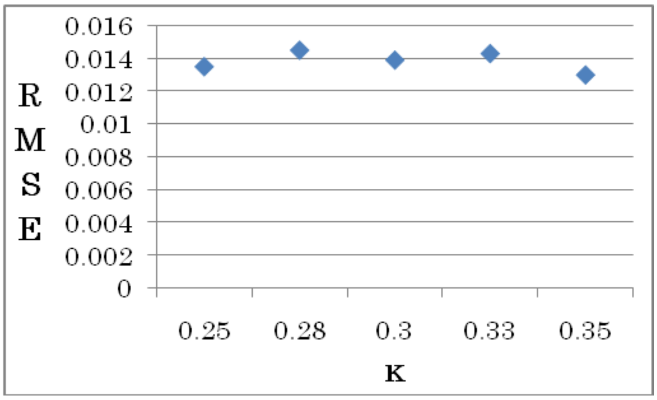

図2 各 κ における最高浸水位の平均平方誤差

図 2 より，比較基準計算の結果と比べて，計算精度を落とすことなく計算時間を短縮できていることがわかる．RMSE の最大値は 0.0143m となり，最も大きな差がある場所は 3cm であった．これは，浸水深の計算においては許容できる範囲の差であると考える．

よって，計算時間の短縮に伴う浸水予測精度の低下は許容範囲に収まっていることがわかった．

４．結論

数値氾濫モデル Suikou2D に関する二つのパラメータの組み合わせに関して，結果および計算実時間への影響を検討した．その結果，

1. ２つのパラメータは相互に作用しており，それぞれが適切な値をとる時に計算は安定することが分かった．
2. 計算速度を重視した組み合わせをした場合，多くの場合で計算精度を落とすことなくシミュレーションを行うことができる．

参考文献

1)Dian Sisinggih: Flood inundation model for highly urbanized area and its application to simulate the flood inundation in 2004, Kofu city-Japan, *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 52, pp.115-120, 2008

2) M. H. Chaudhry: Open-Channel Flow Second Edition, *Springer*, 523p, 2008

3) T. J. Chung: Computational Fluid Dynamics, *CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS*, 1006p, 2002