洪水氾濫計算の縮約可能性の検証

京都大学　　正会員　○市川　温

1. はじめに

水災害リスクを分析するためには、対象とする地域において想定される様々な降雨外力を与えて洪水氾濫シミュレーションを繰り返し行い、浸水深や氾濫水の流速などの計算結果を統計的に評価するという方法が考えられる。しかしこの方法では洪水氾濫計算を何度も繰り返す必要があるため、計算に多くの時間を要するという問題がある。

一般に、洪水氾濫シミュレーションは、対象地域に平面二次元非定常流モデルを適用し、格子で区切られた多数の小領域（セル）の水理量を計算する、という構成になっていることがほとんどである。氾濫水はさまざまな速度・方向で流動する。また、その速度・方向は時間的にも変動する。セルの大きさや個数は、対象地域における氾濫水の流れの構造を適切に表現できる程度になっていなければならない。当然ながら、セルの個数が多ければ多いほど計算時間は大きくなる。

このことを、別の角度から考えると、氾濫水の流れの構造、すなわち水理量の時間的空間的分布を適切かつ効率よくとらえることができるのであれば、必ずしも極めて多数のセルを使う必要はないという可能性がある。たとえば、河道流のような一次元的な流れを例にとって考える。仮に流量が下流方向に向かって一定の割合で増えているような場合には、上流端の流量と流量の増加割合という二つの情報だけで流量の空間分布を表せることになり、河道を細かいセルに分割して各セルごとの流量を記憶しておく必要はなくなる。

本研究では、このような考え方をより一般化し、固有直交分解を用いて氾濫水の流れの構造を分析する。氾濫水の水理量の時間的空間的分布をさまざまなモードを持つ基底の重ね合わせとして考え（図 1）、この基底を利用して、元のセル数より少ないデータ量で氾濫水の挙動を効率的に表現することが可能かどうか検証する。

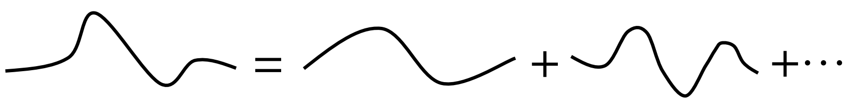

図 1 基底の重ね合わせ

2. 固有直交分解

固有直交分解は多変量解析手法の一つであり、非常に多くの分野で活用されている。それぞれの分野でよって、主成分分析、Karhunen-Loeve 展開など、異なった名称でよばれることもある。固有直交分解は、端的にいえば、多変量データの持つ情報を、少数個の情報に要約する手法である[1]。固有直交分解を用いた流体運動の解析には長い歴史があり、さまざまな応用事例がある。とくに乱流解析の分野では、非常に複雑で不規則な流れから何らかの規則的な構造を見出すためによく用いられている[2]。

3. 洪水氾濫計算モデル

洪水氾濫計算は平面二次元不定流モデル（浅水方程式モデル）を用いて行われることが多いが、このモデルから移流項を除いた方程式もしばしば用いられる。低平地の洪水氾濫計算では移流項は他の項と比べて重要ではないため、これを無視しても計算結果は大きく変わらず、しかも計算が安定化するというメリットがあることは研究者や技術者の間ではよく知られていた。近年では、この移流項を除いたモデルは局所慣性方程式[3,4]と呼ばれている。本研究では局所慣性方程式を用いて洪水氾濫計算を行い、その結果を固有直交分解で分析し、

キーワード　氾濫氾濫計算，縮約，局所慣性方程式，固有直交分解
連絡先　〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

洪水氾濫計算の縮約可能性を検証する。

式(1)～(3)に、局所慣性方程式を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=r \qquad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t}=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-gn^2u\frac{\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}} \qquad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}=-gh\frac{\partial H}{\partial y}-gn^2v\frac{\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}} \qquad (3)$$

ただし、h: 水深、M: x方向の単位幅流量、N: y方向の単位幅流量、r: 降水強度、H: 水位、u: x方向の流速、v: y方向の流速、g: 重力加速度、n: Manning の粗度係数である。

4. 洪水氾濫計算

局所慣性方程式を用いて、1km×1km の仮想的な領域で洪水氾濫計算を行った。左側の辺に幅 50m の開口部を設け、ここから洪水流が流入すると仮定した。洪水流は領域内を流れ、右側の辺に設けられた開口部から流出する。流出部では段落ち流れになるとした。二つの開口部以外の辺では、水の流出入はないものとした。また降雨はないものとした。洪水氾濫計算のためのセルは 10m×10m とした。すなわち、対象領域は 10000 個のセルから構成されていることになる。流入強度は 10m³/s とした。

図 2 に流入開始から 1 日経過した後の水深と単位幅流量の計算結果を示す。このような結果に対し て固有直交分解を適用し、水理量の時間的空間的分布をより少ないデータ量で効率的に表すことが可能か検証する。

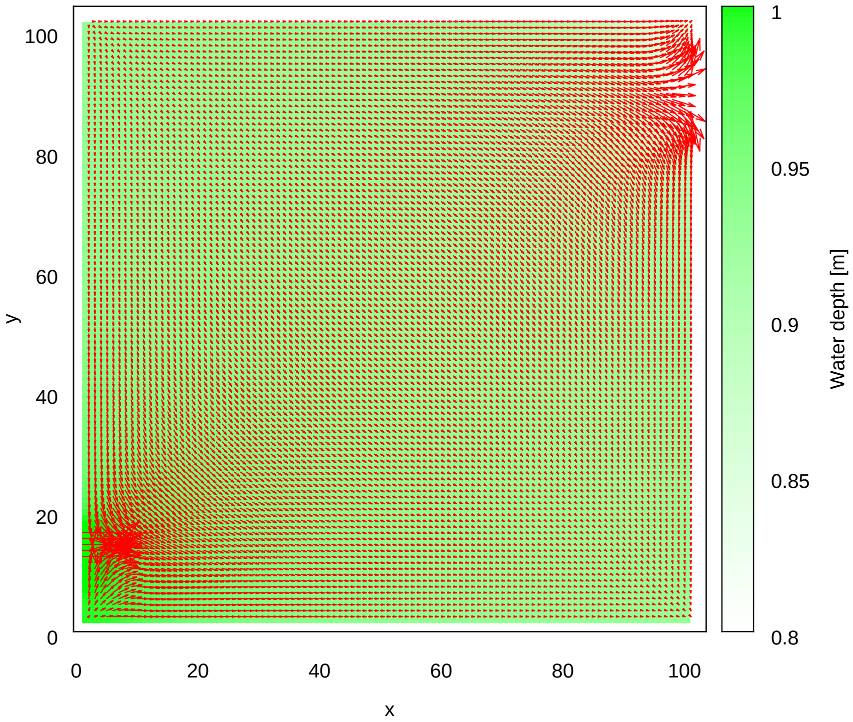

図 2 仮想的な領域における洪水氾濫計算結果

謝辞

本研究は、一般財団法人国土技術研究センターの研究開発助成（平成 26 年度）を受けて実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

[1]青木繁伸：R による統計解析，オーム社，2013.

[2]平邦彦：固有直交分解による流体解析: 1. 基礎，ながれ，30，pp. 115-123，2011.

[3]Bates et al.: A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling, Journal of Hydrology, 387, pp. 33-45, 2010.

[4]田中ほか:分布型流出モデルをネスティングする流出･氾濫一体型モデルの構築, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.70, No.4, I_1495-I_1500, 2014.