

分布型流出モデルと一次元非定常河川流モデルの融合と 実河川流域の流出・洪水解析における加速度項の影響

東京理科大学大学院 学生会員 ○伊藤毅彦

東京理科大学 正会員 柏田仁, 二瓶泰雄

1. 背景と目的

近年の計算機性能の向上に伴い、分布型流出モデルの高解像度化及び広域化が実現し、洪水氾濫の再現解析やリアルタイムの予測解析、気候変動予測情報を用いたシナリオ解析など幅広く活用されている。また、全国の河川流域にて流域治水プロジェクトが進められ、様々な治水対策スキームを分布型流出モデルへ導入することが求められる。具体的には、集水域の雨水貯留浸透施設や水田貯留などの土地利用・被覆に応じた流出抑制対策と河道拡幅や調節池設置などの河道改修が挙げられ、これらを組み込むには前者には分布型流出モデルが、後者には河川流モデルが妥当であり、両者のモデル融合が必要である。

分布型流出モデルの一つである RRI (Rainfall-Runoff-Inundation) モデル¹⁾では、運動方程式では加速度項(非定常・移流項)を無視する拡散波近似を採用している。しかし、河川流場では、支川合流等による流量の流下方向変動や河道貯留効果を考慮するために、本来的には運動方程式にて加速度項を含む全項を考慮する必要がある。本研究では、RRI モデルと河川流モデルの融合を行うと共に、実河川流域解析に対して運動方程式の加速度項の重要性を検証する。ここでは、河川流モデルとして一次元不定流モデル²⁾を用いて、千葉県一宮川流域の流出・河川流解析に適用した。この河川流解析では加速度項の取り扱いを変化させ、河川水位・流量の解析結果に及ぼす影響を評価した。

2. 研究方法

(1) RRI モデルと一次元不定流モデルの融合：RRI モデルでは、対象全領域に斜面セルを、河川(水路)部分に河川セルを配置する。斜面・河川が重なるセルにて、斜面と河川間の水のやりとりを行う(図-1(a))。基礎式は、斜面セルでは平面二次元場、河川セルでは一次元場の連続式と運動方程式であり、いずれも拡散波近似を用いる。一方、本モデルでは、RRI モデルの構造を変えずに、著者らが構築した河川用の一次元不定流モデルを結合すべく、RRI モデルの斜面セルの流量を一次元不定流モデルの境界条件(上流端流量や横流入量)として受け渡す。河川格子幅(一次元不定流モデル)と斜面セル幅が必ずしも一致しない。そのため、河川格子と斜面セルが重なる場合は RRI モデルと同様に、重ならない場合は斜面セルが

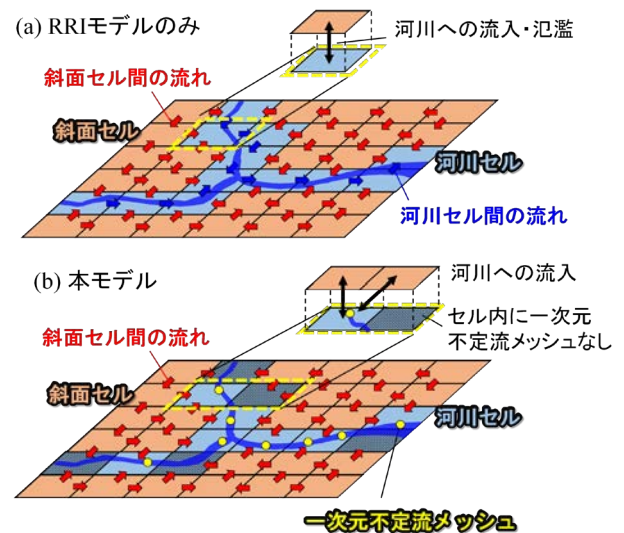


図-1 RRI モデルと河川流モデルの接続状況



図-2 一宮川流域及び計算対象領域の概要

最も近い河川格子と水のやり取りを行う(図-1(b))。一次元不定流モデルでは、連続式と運動方程式を連立し、収束計算を行う。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

ここで、 t は時間、 x は空間、 Q は流量、 A は断面積、 R は径深、 q は横流入量、 n はマンニングの粗度係数、 g は重力加速度である。このように、本モデルでは RRI モデルと比べて、運動方程式の近似を用いない

キーワード：RRI モデル、河川流モデル、一宮川流域、拡散波近似、局所慣性方程式

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 5 号館 3 階水理研究室 TEL：04-7124-1501 (内線 4069)

で解析していることや、流出・河川流解析を異なる分解能で計算可能であり、河川流モデルの改良や高度化が可能であることが本モデルの利点である。

(2) 解析条件: 本モデルを図-2に示す千葉県一宮川上中流域に適用した。計算対象領域は旭橋を下流端とし、その上流域をRRIモデルで、本川と3つの支川（豊田川、阿久川、三途川）を河川流モデルで解析する。解析対象は甚大な浸水被害があった2019年10月25日豪雨とした。入力降雨は気象庁の解析雨量とし、計算期間は10/25 0:00～10/26 0:00とし、上流域の谷津を考慮し⁴⁾、斜面セルの解像度は1秒(約30m)とした。運動方程式の全項を考慮するCase1と、加速度項(式(2)の第1, 2項)を無視する拡散波近似式(Case2)、移流項(同第2項)を無視する局所慣性方程式(Case3)の2ケースを設定した。なお、河川流からの氾濫は考慮しない。

3. 解析結果

Case1の計算結果として、一宮川本川の流量・水位縦断分布の時間変化を図-3に示す。解析水位の縦断分布と観測値を比べると、増水期では両者の差は大きいですが、その他の時間帯は両者概ね一致する。これより、本モデルの一定の妥当性が確認される。また、流量は上流から下流にかけて緩やかに増加すると共に、支川合流地点では急増する。15.6kmで流下方向に流量の低下が見られるが、これは一宮川第二調節池と接続しているためである。

次に、水位観測所における水位と流量の時間変化を図-4, 5に示す。ここでは3ケースの結果と共に、水位はCase2, 3とCase1, 3の差を図示する。これより、ケース間の差として、Case2とCase3は3地点において概ね一致しているが、双方共にCase1と差異があり、特に増水期からピーク期において差異が大きい。水位差の最大値(絶対値)は、水上、第二調節池、早野にてそれぞれ0.81, 0.28, 0.24mとなり、水上で特に顕著となっている。流量に着目すると、水位と同様Case1とCase2, 3の差異が大きく、Case2, 3間の差異は小さい。これより、一次元不定流計算による洪水時の河川水位・流量の計算過程では、非定常項の影響は小さいが、移流項の影響は大きいことが定量的に示され、運動方程式を簡略化せずに解くことの重要性が実証された。

3ケース及びRRIモデルのみで同流域を解析した場合のCPU時間を図-6に示す。これはIntel Xeon, 4コア8スレッドのCPU搭載のPCを用いたCPU時間である。これより、本モデルを用いた3ケース間で計算負荷に大きな差異はなかった。さらに、RRIモデル単体のCPU時間と比べて、Case1のCPU時間は1.37倍であり、計算負荷は大きく増大していないことが示された。

謝辞: 本研究はJSPS科研費JP22KJ2798の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献: 1) Sayama et al: *Hydrol. Sci. J.*, 2012. 2) 伊藤ら, 土木学会論文集B1(水工学), 2020. 3) 中村ら, 河川技術論文集, 2021. 4) 伊藤ら, 土木学会論文集B1(水工学), 2022.

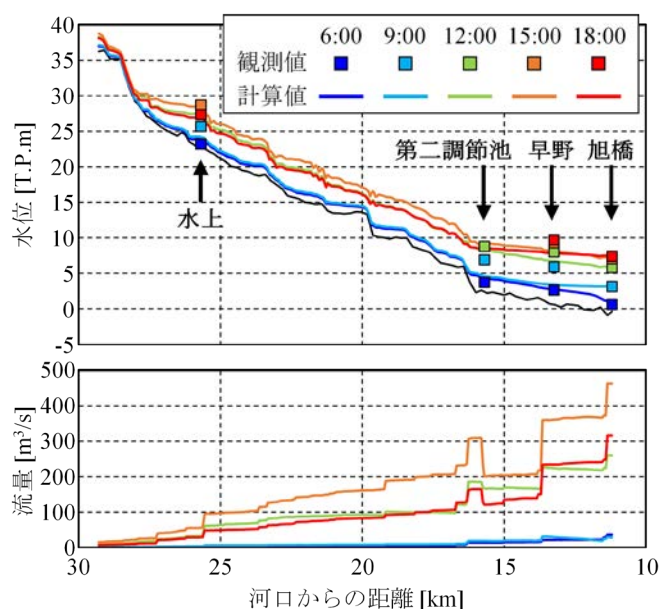


図-3 Case1の一宮川本川における流量・水位の時空間変化

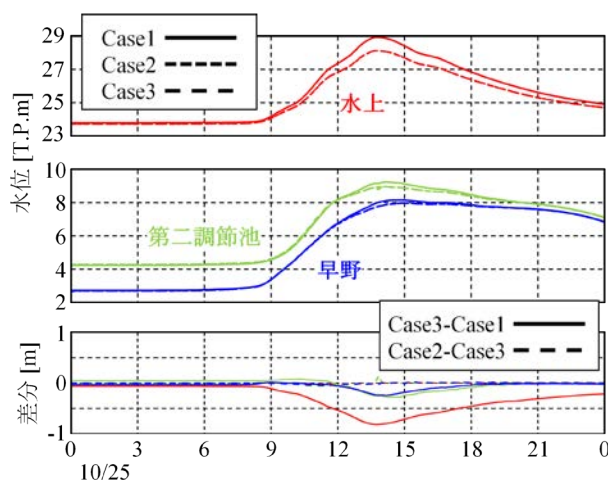


図-4 水位の時間変化 (3 ケースと差分)

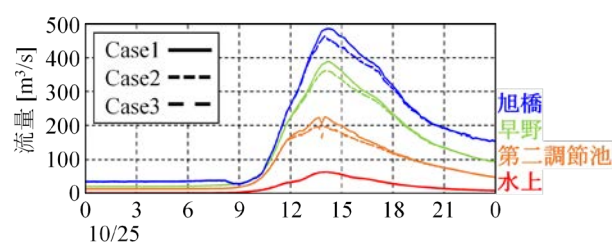


図-5 流量の時間変化 (3 ケース)

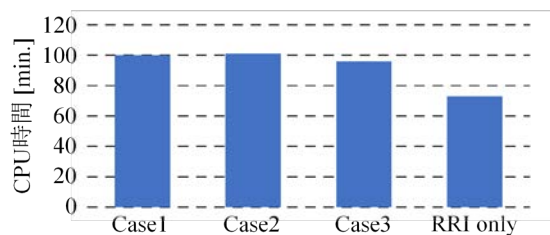


図-6 CPU 時間の比較