

不確実性が河道水位にもたらす影響についての基礎的研究

内田 健太^{1*}・成 岱蔚¹・山田 正²

¹中央大学理工学研究科都市環境学専攻（〒112-8551東京都文京区春日1-13-27）

²中央大学理工学部都市環境学科（〒112-8551東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail: kenta_u@civil.chuo-u.ac.jp

近年地球温暖化によって、異常気象の発生に伴う水災害リスクの増加が指摘されている。災害対策を適切に行うためには、水災害リスクを評価する手法が必要である。リスク評価のためには、水文データが不可欠であるが、我々が得られる水文データには常に不確実性を内在している。よって、それらの不確実性を考慮し災害リスクを評価するため、流量の不確実性が下流の水位に及ぼす影響の時間発展をモンテカルロ法を用いて調べた。

その結果、移流過程に不確実な要素がない場合については、分布はおおよそ広がることはなく、そのまま移流していくことがわかった。また、平均から卓越した水位になる可能性があることがわかった。

Key Words : *uncertainty, stochastic process, Monte Carlo Method*

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴い、水災害が増加傾向にあり、特定の地域に局所的な大雨が継続するケースが多く発生していることから、以前にも増して水災害リスクの評価が重要になっている。河川管理において、河川流量は重要な水文データの一つであり、河道設計に用いる基礎データとなる。そのため、流量観測は古くから行われており、我が国での洪水時における観測手法は浮子観測が主流である。しかし、浮子速度から断面平均流速を正確に導くことは困難である。また、洪水時の河床変動も、流量の物理的な不確実さに繋がっている。さらに、中小河川では洪水時の流量観測データは少ないことから、河川水位と流量の観測データを用いて作成された水位流量曲線を利用することが多いが、この水位流量曲線を利用することによって得られた流量にもばらつきが存在する。以上のことから、河川流量には不確実性が存在すると言える。

土木工学の分野において不確実性を考慮に入れ確率論的に取り扱う研究として、山田ら²⁾によって提案された降雨の不確実性によってもたらされる水文量の不確実性を確率微分方程式とFokker-Planck方程式を利用して定量

的に評価する理論がある。しかし、上記の理論を利用して求めることができる水文量の不確実性は一点のみであり、破堤や洪水が発生するリスクを評価するためには河道全体の不確実性を求める理論が必要である。本研究では河道全体の不確実性を求める第一歩として、山田ら²⁾によって導かれた確率微分方程式型の降雨流出式を上流の境界条件として与え、移流過程には不確実性は存在しないとして、流量の不確実性が下流の水位に及ぼす影響の時間発展をモンテカルロ法を用いて調べた。

2. 確率微分方程式型の流出基礎式

単一斜面における降雨流出の一般化した基礎式において、有効降雨強度がある平均値とその平均値周りに分布しているとし、その不確実性を確率微分方程式形で表す式として、山田ら²⁾によって(1)式が提案されている。

$$dq_* = a_0 q_*^\beta (\bar{r}(t) - q_*) dt + a_0 q_*^\beta \sqrt{D} dw(t) \quad (1)$$

ここに、 q_* : 流出高[mm/h]、 L : 流出寄与域斜面長、 $\bar{r}(t)$: 有効降雨平均強度[mm/h]、 D : 拡散係数[mm²/h]、 a_0 、 β は流域特性を表すパラメータである。

本研究では、(1)式によって計算された一本一本の確率経路で示される流量を上流端の流量の境界条件として、連続式とマンニングの平均流速公式のみを利用して計算を行った。一次元河道の連続式とマンニングの平均流速公式より、(2)、(3)式が得られる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial vh}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$v = \frac{1}{n} h^{\frac{2}{3}} i_0^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

ここで、 v : 断面平均流速[m/s], h : 水深[m], i_0 : 河床勾配, n : 粗度係数[s/m^{1/3}]である。今回の計算では、 $n = 0.03$, $i_0 = 1/4000$ とした。

3. 計算結果・考察

以上に示した条件で、繰り返し計算を 10000 回行った。その計算結果を図-1、図-2 に示す。図-1 からは、移流過程に不確実性がないことから、上流端に与えた不確実性が大きく広がることはなく、そのまま移流した。また、今回のような条件で試行を行うと、外れ値のように大きな値が出る可能性があることがわかった。これは、Kinematic 法を利用して計算をしているため、拡散がないことに起因する可能性も考えられるが、雨の降り方によっては平均値より大きな値が出る可能性があると考えられる。また、図-2 からは、水位の確率分布はおおよそ正規分布に近いことがわかった。

4. 結論

本研究では確率微分方程式形の降雨流出式を利用してモンテカルロ法によって繰り返し計算を行うことによって下流側の水文学の不確実性を調べた。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 不確実性は大きく広がることなく、そのまま移流していくことがわかった。
- 2) 今回の条件で試行を行うと、外れ値のように大きな値が出る可能性がある。
- 3) 今回使用した条件では、下流の水位の確率分布はおおよそ正規分布の形になる。

本研究の計算結果では、上流の不確実性が位相空間内で移流することのみを解析した。今後の展望としては、一次元不定流計算を行い、今回の結果と比較するとともに、Fokker-Planck 方程式を利用し確率分布を理論的に求める手法を確立することを目指す。

参考文献

- 1) 高崎ら:中小河川における水位流量特性, 平 24 都土木技術支援・人材育成センター年報, pp.117-122, 2012.
- 2) 吉見和紘, 山田正, 山田朋人:確率微分方程式の導入による降雨流出過程における降雨の不確実性の評価, 水工学論文集, Vol.71, No.4, pp.259-264, 2015.

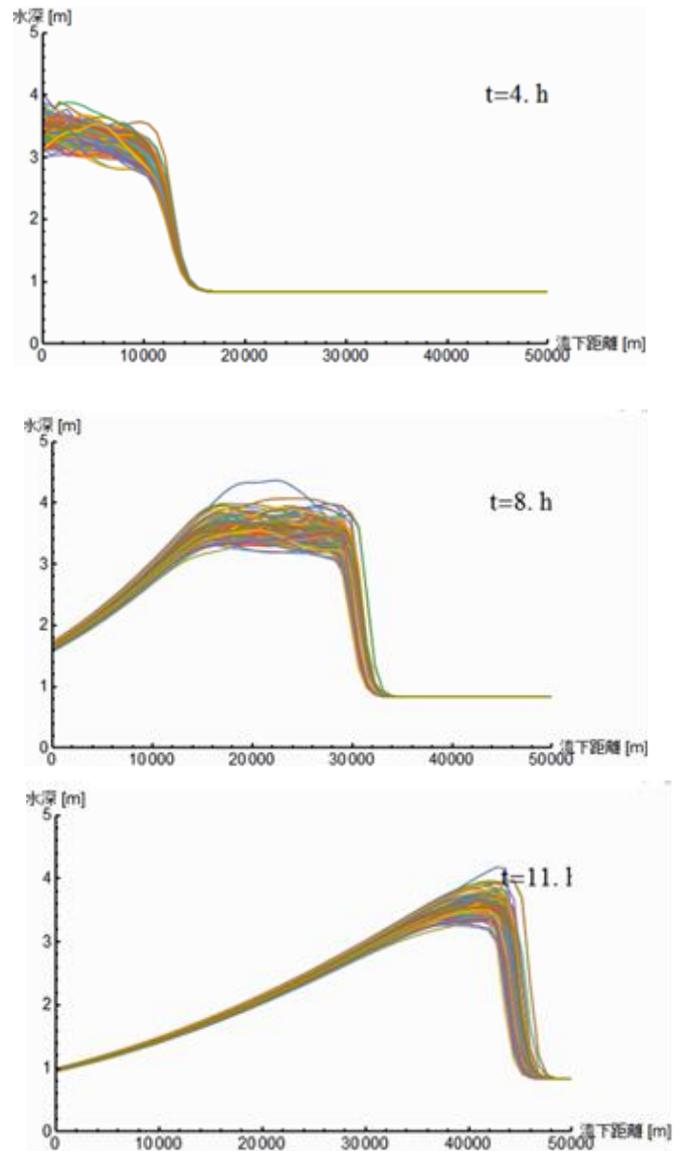


図-3 $t=4, 8, 11$ hのときの図(図示の都合上100caseの線のみ表示している)青い線が平均より最大約1mも大きく外れていることがわかる。

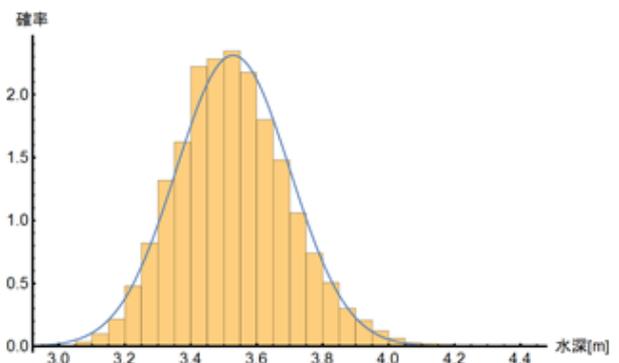


図-4 25000m地点の $t=8h$ の時のヒストグラム。正規分布に極めて近いことがわかる。