

論文の要旨

博士学位請求論文

確率過程論を導入した降雨流出過程における不確実性評価に関する研究

要旨

河川管理をする上で、計画規模の洪水ピーク流量は、多くの場合、過去の降雨記録から河川の重要度を考慮して T 年確率に対応する降雨量、降雨継続時間が決められ、その降雨量で生起する可能性がある洪水ピーク流量を対象として、計画規模の洪水ピーク流量が決定論的に決定される。しかし、この値の求めるための流出解析で用いる降雨データは観測手法の違いや観測場所等によって、降雨データの時間分解能、空間分布は異なる等多種多様であり、不確実性を内在している。加えて、降雨という物理現象自体が本質的に不確実性を含んでいる。これらは、降雨観測に限った話ではなく、自然現象を観測する際に常に付きまとう問題であり、我々は不確実性を含むデータを取り扱わざるを得ないことを認識する必要がある。

以上を背景に、本研究では、水文諸量における不確実性の扱いに関して、外力（流出現象で言えば降雨）の不確実性が流量・水位に与える影響を求めるために、流出解析に確率過程論を導入した不確実性評価のための理論的な枠組みを提示するものである。論文の構成および、各章での成果は下記に示す通りである。

第 1 章では、自然現象は本質的に不確実な現象として扱う必要があることを指摘し、中でも水文過程における不確実性の定義を明確にした。同時に本論文の位置づけを明確にするために、一般的な不確実性の定義と水文学の歴史の中でどのように不確実性が議論されてきたかを示した。

第 2 章では、本研究の基礎式となる決定論的な流出解析手法の基礎式を示し、従来から行われている決定論的な流出計算がどのように行われているかを解説した。また、従来モデルの問題点を指摘し、物理モデルといわれる貯留型の流出計算手法を斜面内多層構造のモデルへと展開することで、より実状に見合うように降雨流出過程を再現できるようになった。

第 3 章では、降雨の空間分布である多様性に着目し、対象とした流域の降雨の空間分布が異なった場合に、洪水ピーク流量にどのような違いがあるかを検証した。

第 4 章は本研究の根幹を成す部分であり、確率過程論を第 2 章で示した決定論的な流出計算手法に導入した。まず、確率過程論の概要として、一つ一つの標本経路を記述する確率微分方程式とその経路の確率密度の時間発展を記述する Fokker-Planck 方程式が数学的に等価である事を示した。次に、降雨流出過程が確率過程であるという立場を取ることで、自然現象である降雨強度が本質的に不確実性を含むことを、ある降雨強度の時系列は平均的な時系列とその周りの微小な擾乱成分の和で表現する事で、第 2 章で示した基礎式が確率微分方程式として記述できることを示した。これにより得られた流出高に関する Fokker-Planck 方程式で、流量などの確率密度関数の時間発展が得られることを示した。また、流出高の不確実性は、①流出過程の非線形性が強くなるほど大きくなること、②降雨強度が強くなるほど大きくなることを示した。最後に、水工計画への応用可能性として、降雨の不確実性が組み込まれた洪水ピーク流量や水位の確率分布が得られる手法を示した。

論文審査の結果の要旨

1. 博士学位請求論文

確率過程論を導入した降雨流出過程における不確実性評価に関する研究

2. 論文審査結果の要旨

(当該分野での位置づけ, 論文構成, 独自構成, 独自性および成果, 課題, 評価等)

ゲリラ豪雨や線状降水帯に伴った洪水・土砂災害の頻発と気候変動による自然災害スケールの変化への適応策を考えなければいけない昨今の現状において、従来の治水哲学で対応可能かどうかを今一度考えなければならぬ。それは、設計外力未満でも災害は発生すること、設計シナリオ以外でも災害は発生すること、絶対安全な構造物や防御施策が存在し得ない、という近代決定論では軽視されてきた考え方の見直しを我々に訴えるものである。これらは外力や耐力に関する不確定・不確実な情報、元をたどれば物理現象が本質的に不確実さを持つことと、それに対する人間の認識の限界のもとでのリスクを想定した意思決定をどのように扱うかという問題に帰結する。本研究は、上記の問題に対して、水文諸量における不確定性・不確実性の扱いに関して、外力（流出現象で言えば降雨）の不確実性が流量・水位に与える影響を求めるために、流出解析に確率過程論を導入した理論的な不確実性の評価の枠組みを提示するものである。論文の構成および、各章での成果は下記に示す通りである。

第1章では、水文過程における様々な不確実性に関して、人間が認識している範囲とその不確実性がどこに起因するものかを示し、本論文の位置づけを明確にするために、一般的な不確実性の定義とともに水文学の歴史とその過程でどのように不確実性が議論されてきたかを示した。

第2章では、従来の決定論的に行われてきた流出解析手法がどのように行われているのか、そのモデル化（理論化）に際しての一般的な考え方を示した。特に本研究の基礎式となる斜面計算の基礎式の導出と多層流れへの拡張、それを記述する方程式系の妥当性を示した。

第3章では、流出解析における不確実さのうち降雨の空間分布の多様性が、流域末端での流量ハイドログラフへ与える影響を検証した。

第4章では、第1章から第3章までに示した流出過程における不確実性と流出過程のモデル化に対して確率過程論の考え方を導入する手法を示した。具体的には、外力としての降雨強度が平均的な時系列とその周りの擾乱成分で構成されると考える事で、第2章で示した基礎式を確率微分方程式型で記述することが出来ることを示した。また、対応する Fokker-Planck 方程式によって流出高の確率密度関数の時間発展を記述できることを示した。さらに、流出高の不確実性は、流出過程の非線形性が強くなると大きくなること、降雨強度が強くなると大きくなることを示した。最後に、水工計画への応用可能性として、降雨の不確実性が組み込まれた洪水ピーク流量の確率分布が得られる可能性を示した。

第5章では、本研究の得られた知見を総括し、今後の適用可能性を示している。

以上、本博士学位請求論文は降雨流出過程に内在する不確実性を、確率過程論の導入により理論的に評価する枠組みを示すものであり、水工計画上重要な超過洪水の決定手法や、リスク評価への応用できる理論的枠組を示した工学上重要な知見を得た内容である。よって、実用上も有用な貢献をしていると認められる。さらに、最終試験の結果も踏まえ、審査員一同は吉見和紘氏の博士学位請求論文は博士（工学）の学位論文として十分に値するものと判断した。