

氏名	張昇平
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第1038号
学位授与の日付	昭和63年7月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科土木工学専攻
学位論文題目	Real-Time Control of Reservoir Systems Based on the Synthesized Runoff Model of Surface Flow and Subsurface Flow (表面流・地中流の統合流出モデルとそれに基づく貯水池システムの実時間操作)
論文調査委員	(主査) 教授 高棹琢馬 教授 池淵周一 教授 石原安雄

論文内容の要旨

本論文は、飽和・不飽和流を統一的に取り扱う地中流モデルと Kinematic wave 理論に基づく表面流モデルとを結合して、表面流・地中流を統合的に取り扱う分布型の数値シミュレーションモデルを構成するとともに、この統合流出モデルを集中化して得られた斜面流出モデルと河道・ダム貯水池モデルとからなるシステムモデルを用いて、統計的二次近似によるダム貯水池群の実時間操作手法を展開したものである。論文は6章からなり、各章の内容は以下の通りである。

第一章は総論であって、本研究の歴史的背景と既往の研究について述べ、本研究の目的と論文の各章の内容を説明している。

第二章と第三章は斜面流出モデルについて論じたものである。

第二章では、飽和・不飽和流を統一的に取り扱う地中流モデルと Kinematic wave 理論に基づく表面流モデルとを結合して、統合的な山腹斜面流出モデルを構成し、これを用いて斜面流出機構を分析することを試みている。復帰流または浸出強度は圧力水頭とともに未知変数として扱われている。解析手法は有限要素法によるものである。数値解析の安定性を高めるために非線形性が非常に強い表面流基礎方程式に準線形化を施している。本統合流出モデルは、時間および空間に依存する降雨を入力とし、1) 流出の各成分およびハイドログラフ、2) 圧力水頭の分布、土壌水分量、飽和度、地中水面の深さ、浸出点の位置、表面流の水深と流速および復帰流または浸出強度の分布などといった状態変数の時間的・空間的状态とを出力することができる。本統合モデルによる数値シミュレーション結果に基づいて、流出の特性、内部状態の時間的・空間的变化及び表面流と地中流との相互干渉を分析し、一般的な山腹斜面の流出機構について論じている。

第三章では、前章で提案した有限要素法による統合モデルの集中化について述べている。有限要素法による統合モデルは斜面流出機構や表面流と地中流との相互干渉を分析するには非常に有効であるが、典型

的な分布型モデルであるため膨大な入力データを必要とし、実流域ではこれらのデータが入手できない場合が多い。そこで、有限要素法による統合モデルの集中化を議論している。まず、斜面領域全体を表面流領域、地中飽和流領域および地中不飽和流領域の三つの部分領域に分け、それぞれについて連続方程式を構成している。運動方程式には表面流と地中流に対してそれぞれ Kinematic wave モデルと貯留関数モデルを用いている。こうして得られた集中化モデルは有限要素法モデルの特徴を保ちながらも、それよりはるかに実用的であると述べている。

第四章と第五章は、統合流出モデルによる流出過程に対する総合的な理解のもとでダム貯水池群の実時間操作について論じたものである。

第四章では、一般的なダム貯水池群システムの実時間操作手法の確立を目指して、1) システムの不確かさを考慮すること、2) 時々刻々得られる観測情報およびインプットの予測を有効に利用して逐次最適なコントロール（放流量）を決定していくこと、3) コントロールに関する制約条件と状態に関する確率的制約条件を考慮すること、4) 「次元の呪い」を克服すること、これらの問題を念頭におき、統計的二次近似手法を用いた実時間操作のアルゴリズムを提案している。その操作手法は、要約すれば、統計的二次近似手法を用いて、対象とするシステムを Linear dynamics, Quadratic performance, Gaussian uncertainties を持ったシステムに変換し、Open-Loop Feedback Controller によりコントロールを決定するものである。

第五章は、前章で提案した操作手法の適用例と考察結果である。適用例の比較検討により本手法が有効であることを示している。

第六章では、結果をまとめ、将来の研究課題を示している。

論文審査の結果の要旨

ダム貯水池群の実時間操作に関する研究は数多く発表されているが、一般的な操作手法はまだ確立されていないのが現状である。この論文は、ダム貯水池群の実時間操作に関して系統的研究を行い、斜面流出過程を明らかにするとともに、斜面、河道および貯水池を含めた一般的な貯水池システムの実時間操作アルゴリズムを開発したものであって、得られた主な成果は次の通りである。

1. 表面流、飽和地中流および不飽和地中流を統合的に取り扱う山腹斜面流出モデルを開発した。このモデルは表面流と地中流を連立系として取り扱っているところに特徴がある。この統合流出モデルの開発により、従来より表面流出系と地中流出系との関係が無視されるか概念的にしかとらえられていなかった斜面流出過程が水理学的な側面から明らかにされ、より客観的にとらえることができるようになった。

2. 本統合流出モデルによる数値実験により、斜面流出過程において、流出特性が飽和透水係数、粗度係数および水分保持特性曲線の組合せによってほぼ決まること、並びに、復帰流が表面流と地中流との相互干渉過程において大きな役割を果たしていることなどを見いだした。

3. 集中化された統合斜面流出モデルと河道、ダム貯水池モデルとを結合して一般的なダム貯水池群システムモデルを構成し、統計的二次近似手法と Open-Loop Feedback Controller とを組み合わせることで実時間操作アルゴリズムの開発に成功した。

4. このアルゴリズムは、ダム貯水池群に限らず、対象とするシステムが Linear dynamics, Quadratic performance, Gaussian uncertainties を持たない場合でも適用できる。基本問題を Linear dynamics, Quadratic performance をもつシステムの最適化問題に変換し、最終的に DP を用いて解析的に解いたため、次元の問題はまったく発生せず、信頼できかつ計算効率のよいアルゴリズムになっている。また、Taylor 近似が局所的な近似手法であるのに対して統計的二次近似が大域的な近似法であり、Taylor 近似が適用できない非線形関数にも統計的二次近似が適用できるため、統計的二次近似が用いられた本操作手法が Taylor 近似によるものより有効であることを理論的に示し、多数の数値シミュレーションによってその妥当性を検証した。

以上要するに、本論文は、表面流・地中流の統合流出モデルを提案して山腹斜面流出過程を物理学的・水理学的な側面より明らかにするとともに、一般的なダム貯水池群システムの実時間操作手法を開発して水資源管理に関する研究の今後の発展の基礎を確立したものであって、学術上・實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和63年4月11日、論文内容とそれに関連する事項について試問を行った結果、合格と認めた。