

氏 名 (本 籍)	ALATANNABUQI (中華人民共和国)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 授 与 番 号	甲第 6 1 3 号
学 位 授 与 日 付	令和 4 年 3 月 2 5 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	気候変動下での水資源確保に関するリスク事例の工学的検討 (Engineering case studies on risks related to securing the water resources under the climate change)
学位論文審査委員	(主 査) 教授 玉川 一郎 (副 査) 教授 篠田 成郎 准教授 児島 利治

論 文 内 容 の 要 旨

近年、地球温暖化による気候変動の影響がますます顕在化し、降水現象が極端化している。とくに、大雨の発生回数とともに、少雨あるいは無降水の日数が増加する傾向にある。大規模降雨により供給される水量の大部分は短時間で流出するため、流域内に貯留される水量はそれほど増えないが、降雨によって供給される水量の減少は直接的に水資源賦存量の低下を招く。本論文は、こうした降水現象極端化状況下での渇水リスクに対応した水資源確保上の 2 つの具体的事例について、工学的観点から検討したものである。

まず、水資源の予備的確保による降雨量減少への適応策としてのため池などの貯水池の効率的な安定運用を図るため、岐阜市内の老朽化したため池堤体の改修を例として、豪雨時におけるため池堤体の信頼性が評価された。堤体の安全性は豪雨に伴って変動する堤体構成土質の強度定数の変化に基づいて検討しなければならないが、この土質強度に依存する堤体改修コストとその便益まで含めた評価はほとんど実施されていない。そこで、極端降雨現象を想定した様々な確率雨量に対する堤体安全率を算定したところ、150 年確率雨量を超える場合に安全率が 1 を下回り、浸透によるすべり破壊によって破堤する可能性があることが判明した。また、土質定数（粘着力と内部摩擦角）の確率的変動性をその分散により評価し、破堤確率に関する信頼性解析を実施して得られる年破壊確率と再現期間を費用便益解析に適用した。その結果、費用便益比は経過年とともに増加するものの、社会的割引率が大きいほど費用便益比の増加率が小さいため、それぞれの水利施設の確率雨量、土質強度定数の変動を考慮した信頼性評価や改修の経済性判断が重要になることが明らかになった。こうしたリスク事例の検討より、ため池の管理者や所有者などがリスクおよび改修による費用便益の関係を精確に把握し、対策の優先順位を検討する際の情報として有用になることを示した。

ついで、水資源に関わるリスクに備えた早期の適切な水利制限等を実現するため、1994 年の大渇水期を含む 23 年間の岐阜県内山地森林集水域での長期水文観測データを用いた渇水発生時の地中内水分解析より、渇水生起の予兆を掴む手法が提案された。従来の研究では渇水時の降雨状況のみが着目されていたが、渇水発生が降雨量や地中内水分貯留量だけでは決まらないことが課題とされていた。そこで、新たに渇水生起前後の地中内水分移動メカニズムに注目して、その予兆を渇水生起の潜在性として評価した。一般には時間的に一定と便宜的に扱われる流出パラメータの時間変化をデータ同化手法より同定することにより、地中内水分移動特性の時間変化を検討した。その結果、地中内水分の水平方向移動が鉛直方向移動と同程度またはこれを上回るときには、例えば少雨が継続しても渇水は発生せず、逆に、鉛直方向移動が水平方向移動に比べて相対的に卓越する場合に少雨がトリガーとなって渇水が生起することを明らかにした。こうした地中内水分移動特性を渇水潜在性指標として評価したところ、解析対象域を含む木曽川水系での取水制限日数とこの潜在性指標が対応し、渇水生起の予兆を把握する手法として有効になることが明らかにされた。

論文審査結果の要旨

気候変動に伴う降水現象の極端化は洪水リスクとともに渇水リスクの増大をもたらす。我が国では渇水や少雨に備えたため池が古くから築造され、その大半が江戸時代に造られたものであるため、老

朽化が大きな問題となっている。本論文での一つ目の事例検討では、確率雨量に基づく新たな解析によりため池堤体の改修に係る費用対効果を定量的に評価しており、社会的割引率の考慮など、実際の施策決定において極めて有用な手法が提案されている。一方、本論文の二つ目の事例検討では、少雨継続や流域内水分貯留量減少だけでは十分に説明できなかった渇水の生起メカニズムに対して、地中内水分移動の時間変化特性をデータ同化手法を用いて検討することにより、渇水生起の予兆を把握する斬新かつ有用な指標が示されている。

これら2つの事例研究を通じて、気候変動下での水資源確保に際しては、現象の発生メカニズムの本質を捉え、具体的な施策に繋げることの重要性が改めて明らかにされた。とくに、ため池に係る信頼性解析と費用便益解析や渇水生起の予兆解析のいずれにおいても、時間的に変化するメカニズムの特性を把握することが不可欠であり、本論文ではその事例を示す貴重な成果が得られていると判断される。本論文は、下記の発表論文1)および2)の内容を取り纏めたものであり、学術的にもその価値は認められている。

以上、学位論文審査委員会では、以上の学位申請論文および発表論文（原著2編）を慎重に検討した結果、提出された論文は工学的な価値が高く、かつ、完成された内容を有しているものと認め、論文審査に合格と判定した。

最終試験結果の要旨

学位論文審査委員会では、申請者に対し、学位論文公聴会等において、学位申請論文や発表論文の内容およびそれらに関連した解析方法や評価方法の事項についての質疑を行うとともに、別途、関連の研究状況とそれらの成果を実際へ適用する場合の問題点と解決への展望など、細部にわたる口頭試験を行った結果、適切な解答等を得たので、最終試験に合格と判定した。

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

- 1) A case study on reconstruction effect for small irrigation tank (2019), Alatannabuqi Zhang, Hideyoshi Shimizu, Toshiharu Kojima, International Journal of GEOMATE, 17(63), 143–148.
- 2) 山地森林集水域での長期水文観測データを用いた渇水生起の潜在性評価 (2021), Alatannabuqi ZHANG, 篠田成郎, 土木学会論文集 B1(水工学), 77(2), I_19-I_24.