

京都大学	博士 (工学)	氏名	AL MAMARI MAHMOOD
論文題目	Novel Integration of Monitoring and Modelling Techniques for Understanding, Assessing and Predicting Sedimentation in the Wadi Basins(ワジ流域における土砂動態の評価および予測のためのモニタリングおよびモデリング技術の統合化に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本研究は、近年、乾燥地の顕著なワジ（涸れ谷）においてフラッシュフラッドが増加しているオマーンを対象に、ダムに流入する土砂量の増加が貯水容量の減少や地下浸透の減少、さらにはダムの越水リスクを増大させている課題を取り上げ、その対策について総合的に検討を行ったもので、全体7章で構成されている。</p> <p>第1章では、オマーンにおけるワジのフラッシュフラッド被害について概説するとともに、研究課題と本研究で取り組む研究目的を整理している。ワジのフラッシュフラッドは、通常の河川と異なり、降雨発生時に流量ゼロの状態から急激に流量が増加する特性を有している。また、オマーンはアラビア半島の先端に位置し、インド洋で発生したサイクロンが西進してきた場合に大災害をもたらす可能性があり、洪水対策や水資源確保のために建設されたダム施設が、このような大規模降雨時に越流によって破壊されたり、同時に発生する大量の土砂によって下流のボックスカルバートが閉塞されて洪水が発生するような災害事例も増加していることを紹介している。</p> <p>第2章では、ワジにおけるフラッシュフラッドに関する既往研究のレビューを行い、本研究で実施すべき課題を整理している。主な課題としては、ワジのフラッシュフラッドが低頻度で発生することから現地観測事例が少なく、(1)信頼性が高く、確実性の高いモニタリング手法が開発されていないこと、(2)科学的理解に基づく水資源管理と都市計画が行われていないこと、(3)本研究のテーマである土砂流出に伴う洪水被害の拡大に関する評価手法が確立されていないこと、さらには、(4)これら地域に対する気候変動の影響により、この地域のインフラや資産が、将来どのような深刻な被害を受ける可能性があるか、などについて整理している。その上で、(1)ワジのフラッシュフラッドに伴う河床地形変化と流砂量の関係を明らかにすること、(2)ワジに設置されたダム貯水池に捕捉される堆砂量とワジ流域から生産される土砂量の関係を明らかにすること、(3)観測されていないワジ流域の土砂堆積を推定するための簡易予測手法を開発すること、を目的として整理している。</p> <p>第3章では、オマーンのワジ・サマイルを対象に、さまざまな現地観測手法を導入して、洪水時の流れ、土砂移動および河床変動をモニタリングする手法について検討を行っている。具体的には、ドローン (UAV) による洪水前後の写真撮影による河床地形変化、橋梁部に設置した WEB カメラ画像を用いた大規模画像粒子流速測定法 (LSPIV) による洪水時の表面流速測定、河床に埋設した、砂礫の移動を音響信号に変換して流砂量を観測する装置であるプレート型ハイドロフォンや濁度計による土砂移動の測定を組み合わせたものである。これらにより、ワジに発生して流下するフラッシュフラッドの貴重な画像記録を取得するとともに、その流速特性や洪水前後の河床変動特性を明らかにすることに成功している。また、プレート型ハイドロフォンからは、洪水ピークの立ち上がり時に有意に河床砂礫が掃流砂として移動することを明らかにした。その上で、これらの高度な観測技術の新たな統合は、広範な既存インフラの管理、新しい洪水対策ダムの適切な設計やフラッシュフラッドの早期警戒システムの開発などに役立つと結論付けている。</p> <p>第4章では、ワジ・サマイルに加えて、ワジ・ミグラスを対象に、ワジに設置されたダムの土砂堆積特性について検討を行い、堆積量を推定する手法を提案するとともに、この情報がダム貯水池の持続的な管理にとって重要であることを示している。具体的には、アサリンダム貯水池を対象に、貯水池内に設置した土砂の堆積厚を計測するスケールバーやドローンによる写真測量を用いて洪水前後</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	AL MAMARI MAHMOOD
<p>の堆砂量変化の定量化を行っている。これらの計測データをもとに、土壌損失予測式 (RUSLE) を用いて推定される流域規模の年間土砂生産量に対する洪水発生年の貯水池内の堆積土砂量の割合を求め、これがフラッシュフラッドをもたらす雨量強度や洪水ピーク流量と良好な相関関係を有することを明らかにしている。また、スケールバーおよびドローンを用いた堆積土砂量の推定は良好に一致していること、洪水前後には貯水池の土砂が侵食と堆積を繰り返していることなど、これまで記録されることの無かったワジのダム湖内の土砂動態を経時的に詳細に明らかにすることに成功している。</p> <p>第5章では、ワジにおける観測データが限られることを考慮して、SWAT (Soil and Water Assessment Tool) モデルと機械学習を組合せた土砂生産量の予測手法について検討している。SWAT モデルは、米国農務省などを中心に開発された流域管理計画案の評価を目的とした水質水文モデルであり、ここでは、第3章および第4章で明らかにされたダムの堆砂量特性を用いて、SWAT モデルのキャリブレーションと感度分析を行っている。次に、SWAT モデルの結果と機械学習を統合し、ツリー構造を使用してデータ制限と複雑な最適化問題に対処するために調整された遺伝的アプローチを提示している。最終的には、これら成果を用いて、面積 (m^2)、土壌侵食性、傾斜、流量 (m^3/s) を用いて生産土砂量 (m^3/s) を推定する簡易式として提案を行うことに成功している。</p> <p>第6章では、本研究で得られた洪水および土砂生産をモニタリングする手法を組み合わせ、ワジの洪水と土砂の監視と評価を行うための包括的なアプローチを提案している。ワジにおいては、低頻度のフラッシュフラッドを考慮した施設計画が十分ではなく、本研究で得られたワジ流域からの土砂生産量の評価やダム湖への土砂堆積メカニズム、さらには、下流河道における洪水の流下特性や河床変動特性などを考慮して、将来の気候変動に伴って増大する災害ポテンシャルに備えるために、ワジのダム計画や河道計画を向上させる必要があることを指摘している。</p> <p>第7章では、本研究の主要な結論をまとめるとともに、今後の課題の整理を行っている。</p>			

氏名

AL MAMARI MAHMOOD

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、近年、乾燥地の顕著なワジ（涸れ谷）においてフラッシュフラッドが増加しているオマーンを対象に、ダムに流入する土砂量の増加が貯水容量の減少や地下浸透の減少、さらにはダムの越水リスクを増大させている課題を取り上げ、その対策について総合的に検討を行ったものである。得られた成果は以下のとおりである。

1. ワジのフラッシュフラッドに対する現地計測手法の開発

オマーンのワジ・サマイルを対象に、洪水時の流れ、土砂移動および河床変動をモニタリングするために、ドローン (UAV) による洪水前後の写真撮影による河床地形変化、橋梁部に設置した WEB カメラ画像を用いた大規模画像粒子流速測定法 (LSPIV) による洪水時の表面流速測定、河床に埋設した、砂礫の移動を音響信号に変換して流砂量を観測する装置であるプレート型ハイドロフォンや濁度計による土砂移動の測定を組み合わせ手法を実装した。その結果、フラッシュフラッドの流速特性や洪水前後の河床変動特性を明らかにすることに成功した。また、プレート型ハイドロフォンからは、洪水ピークの立ち上がり時に有意に河床砂礫が掃流砂として移動することを明らかにした。その上で、これらの高度な観測技術の新たな統合は、広範な既存インフラの管理、新しい洪水対策ダムの適切な設計やフラッシュフラッドの早期警戒システムの開発などに役立つと結論付けている。

2. ワジ流域からの土砂生産とダムの土砂堆積特性の解明

ワジ・ミグラスのアサリンダム貯水池を対象に、貯水池内に設置した土砂の堆積厚を計測するスケールバーやドローンによる写真測量を用いて洪水前後の堆砂量変化の定量化を行うことに成功するとともに、洪水前後には貯水池の土砂が侵食と堆積を繰り返していることなど、これまで記録されることの無かったワジのダム湖内の土砂動態を経時的に詳細に明らかにした。また、土壌損失予測式 (RUSLE) から推定される流域規模の年間土砂生産量に対する洪水発生年の貯水池内の堆積土砂量の割合を求め、これがフラッシュフラッドをもたらす雨量強度や洪水ピーク流量と良好な相関関係を有することを明らかにした。

3. ワジ流域からの土砂生産量の推定手法の開発と管理への適用

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) モデルと機械学習を統合し、ツリー構造を使用してデータ制限と複雑な最適化問題に対処するために調整された遺伝的アプローチを提示し、これら成果を用いて、面積 (m^2)、土壌侵食性、傾斜、流量 (m^3/s) を用いて生産土砂量 (m^3/s) を推定する簡易式を提案を行うことに成功した。さらに、本研究で得られたワジ流域からの土砂生産量の評価やダム湖への土砂堆積メカニズム、さらには、下流河道における洪水の流下特性や河床変動特性などを考慮して、将来の気候変動に伴って増大する災害ポテンシャルに備えるために、ワジのダム計画や河道計画を向上させる必要があることを提案した。

本研究は、従来、モニタリングデータが非常に限られていた乾燥地のワジ流域において、ドローンや WEB カメラなどを駆使した先進的なモニタリング手法を複数組み合わせ、フラッシュフラッドの水理および土砂生産特性を明らかにしようとしたものである。得られた成果は、オマーンを含めた同様な地域のワジ流域に対して貴重な知見を提供しており、今後の持続可能な管理と防災対策の向上に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。

また、令和 6 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、令和 7 年 8 月 1 日までの間当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。