

京都大学	博士 (都市環境工学)	氏名	矢澤 大志
論文題目	Design Flood Criteria toward Integrated Watershed Management in the Johor River Watershed, Malaysia		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、マレーシアのジョホール川流域において、統合的流域管理の概念の下に効果的かつ合理的な洪水対策を行う上で必要とされる洪水設計基準を構築した結果をまとめたものであって、8章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、研究背景と目的、論文の構成について述べている。モンスーン気候の影響で洪水災害が頻発している東南アジア諸国の河川流域において、統合的流域管理の概念の下に効果的かつ合理的な洪水対策を行う上で必要とされる洪水設計基準を構築することの必要性を述べている。さらに、マレーシアのジョホール川流域に焦点を当て、洪水を引き起こす要因の一つであるモンスーン気候特有の降雨イベントのパターンと今後気候変動の影響によって起こりうる降雨パターンの変化を総合的に考慮した洪水設計基準を構築することを本研究の目的として設定している。</p> <p>第2章はマレーシアを含めた東南アジア諸国における洪水災害の現状とそれを引き起こす要因、および洪水管理の課題に関する文献考察の結果をまとめたものである。本研究の対象国であるマレーシアでは、二つの主要なモンスーン期間（南西モンスーン [5-9月]と北東モンスーン [11-3月]）が存在し、首都クアラルンプールを含むマレー半島西部では、南西モンスーン期に発生する短期的な降雨イベントに起因する内水氾濫が、また、マレー半島北東部、南部およびボルネオ島では北東モンスーン期に発生する長期的な降雨イベントに起因する外水氾濫が問題となっていることを説明している。本研究の対象地域であるジョホール川流域はマレー半島最南部のジョホール州内に位置しており、長期的な降雨イベントに起因する洪水災害が発生しているにも関わらず、これらの洪水災害を軽減・予防するための具体的な設計基準が文献調査および現地調査の範囲内で存在していない。そこで、流域環境とその中での人間活動も組み合わせた統合的流域管理の概念の下に、効果的、計画的かつ合理的な洪水対策を行うための洪水設計基準を構築することの重要性について記述している。</p> <p>第3章では、北東モンスーン期特有の長期的な降雨イベントを考慮した合理的な洪水設計を行うために、流出解析の際に用いられる、流域内の気象・土地利用分布をより正確に反映することが可能な分布型流域モデルを Hydrologic Simulation Program-FORTRAN (HSPF) を用いて構築し、過去にジョホール川流域内のコタティンギ地区にて発生した三回の洪水イベントの再現を行っている。HSPF モデル構築のためには多数のパラメータ設定が必要とされるが、依然として利用可能かつ高精度な流域環境データが少ないマレーシアを含めた東南アジアの国々で再現性の高いモデルの構築を行うには課題が残っている。そのため、モデル構築に必要とされる流域環境データ収集の際には、全球観測の衛星や物理モデルを用いて提供されたデータによる代替を行い、未知のパラメータに対してはそれらを同時に最適化することのできる Gauss-Marquardt-Levenberg アルゴリズムを適用しパラメータ同定を行った。過去三回の洪水イベントの再現の結果、いずれのイベントに対しても非常に良い再現性を示しており、構築した HSPF モデルの洪水シミュレーションへの適用性を十分に示している。</p>			

京都大学	博士（都市環境工学）	氏名	矢澤 大志
<p>第4章では、北東モンスーン特有の長期的な降雨イベントを考慮した合理的な洪水設計基準を構築するため、従来洪水設計値の推定へ用いられる水文頻度解析の手法に様々な降雨パターンを統合し、特に水文頻度解析における最適な降雨継続期間を決定する方法論を検討している。二種類の降雨特性解析、流出解析、および水文頻度解析の四段階の解析をジョホール川流域に適用した結果、当該流域では5日降水量を洪水設計へ使用すべきことを示している。また、マレーシアではこれまで、洪水設計のために100年確率流量の使用が提案されてきたが、具体的な洪水設計値を河川流域で推定した例は少ないため、コタティンギ地区を対象として、100年確率流量の基準および5日降水量の降雨継続期間を考慮したピーク流量の計算を、HSPFモデルを用いて行っている。その結果、851.0 m³/sの洪水設計値が算出された。このような具体的な洪水設計値は、河川構造物の設計等へ利用可能である。</p> <p>第5章では、気候変動に伴う降雨パターンの将来変化を分析するため、高分解能大気気候モデル（AGCM20）によって、気候変動に関する政府間パネルにおける高位参照シナリオ（RCP8.5シナリオ、最大の温室効果ガス排出量を想定）の下で計算された降雨データをジョホール川流域へ導入した。年・月・日降水量と降雨イベント継続期間の観点から将来期間（2075-2099年）における降雨パターンの変化を分析した結果、将来多雨年と少雨年の年降水量の差がより顕著になること、1年の中でも特に北東モンスーン期間に降水量が集中し、さらにその北東モンスーン期がより長くなること、雨の日はより高強度の雨が降り、ゲリラ豪雨の起こりやすい傾向がみられること、そして現在と同雨量の降雨イベントでも、その継続期間が短くなりより集中的なイベントとなることを示している。</p> <p>第6章では、AGCM20の将来降雨データを用いて水文頻度解析を行い、HSPFモデルを用いてピーク流量を計算することで、降雨イベントとそれに伴う洪水イベントの将来変化を分析している。現在の100年確率レベルの降雨イベントは、将来2.2～36.4年の再現期間で起こることが予測され、現在の100年確率レベルの洪水イベントは、将来2.8～12.2年の再現期間で起こることが推定された。また、第4章で構築したジョホール川流域の洪水設計基準、すなわち5日降水量と100年確率を考慮したピーク流量を、将来の降雨データを利用して計算した結果、将来期間の洪水設計値として992.1 m³/sが得られた。この値は第4章で得られた洪水設計値（851.0 m³/s）に比べるとはるかに大きな値であり、将来起こりうる気候変動の影響を考慮すると、より高強度の洪水への対策が必要であることを示している。</p> <p>第7章では、現地調査によって明らかにされたジョホール川流域内の洪水問題に関連する状況を整理し、実行可能な洪水管理計画を文献調査によって検討している。ジョホール川流域の土地利用の約70%を占めるパームオイル農園では氾濫が起こりやすく、調整池や遊水池の有効活用、農園内の排水システム等の適切な管理などが有効であることを述べている。そして、今後拡大が予想される都市部では、洪水設計値に基づく築堤などの構造的対策や、近年着目されている持続可能な洪水対策、そして適切な洪水設計基準の策定や避難訓練といった非構造的対策も必要であることが提案している。</p> <p>第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、マレーシアのジョホール川流域において、統合的流域管理の概念の下に効果的かつ合理的な洪水対策を行う上で必要とされる洪水設計基準の構築を目標に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 依然として利用可能な流域環境データが少ない流域において、再現性の高い分布型流域モデルの構築を行うため、全球観測の衛星や物理モデルを用いて提供されたデータによる代替を行うことでデータを収集・整備した。また、パラメータ最適化アルゴリズムを適用し同時に多数のパラメータ同定を行うことが可能となった。構築した流域モデルにより過去に発生した洪水イベントの再現を行い、その再現性とモデルの適用性を十分に示すことができたことは、利用可能データの少ない東南アジアにおける洪水設計を行う上で非常に有用であるといえる。
2. 北東モンスーン期特有の長期的な降雨イベントを考慮した合理的な洪水設計基準を構築するため、水文頻度解析における最適な降雨継続期間を決定する方法論を検討した。当該流域では5日降水量を洪水設計へ使用すべきことが示された。従来マレーシアでは洪水設計のために100年確率流量の使用が提案されてきた。そこで、流域内の主要都市であるコタティンギ地区を対象として、100年確率および5日降水量の降雨継続期間を考慮したピーク流量の計算を行った結果、851.0 m³/sの洪水設計値を算出した。流域特有の降雨特性を考慮したこのような具体的な洪水設計値は、効果的な河川構造物の設計へ利用することが可能である。
3. 気候変動に伴う降雨強度の将来変化を洪水設計へ考慮するため、AGCM20より得られた21世紀末の将来降雨データを導入し、上記の洪水設計基準を適用することで、将来の洪水設計値として992.1 m³/sが得られた。これは、将来気候変動の影響によって起こりうるより高強度の洪水を考慮した場合、更なる対策の必要性があることを示している。

以上、本論文は、ジョホール川流域を対象として統合的流域管理の概念に基づく効果的かつ合理的な洪水設計基準の構築に焦点を当て、構築した洪水設計基準に基づきモンスーン期特有の長期的な降雨イベントや気候変動影響も考慮した洪水設計値を推定した。本論文の手法および結果は、今後マレーシアだけではなく、類似した気候下にある東南アジアの国々においても洪水設計基準を構築する上で重要な指針となり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、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。