

論文の要旨

博士学位請求論文

降雨と地盤特性の不確実性に対する堤防の安全性評価に関する研究

—確率過程論と信頼性解析の河川工学への導入—

Study on Safety Evaluation of Levee for Uncertainty of Rainfall and Soil Properties - Introduction of the Theory of Stochastic Process and Reliability Analysis to River Engineering

要旨

自然現象は必ず本質的に不確実な要素が含まれており、これを認識し評価する手法は自然災害に対する防災計画において必要不可欠である。しかし、水工計画の分野においてこれまでにその不確実性を論理的に評価する手法を提案・確立されていないのが現状である。これに対応し本論文では、水文学と地盤工学の両分野にまたがる堤防の信頼性に対して確率過程論に基づく新たな信頼性評価手法を提案した。

本論文で提案する新たに信頼性評価手法の構造としては、外力としての河川水位と耐力としての堤防の安定性の両面の不確実性を確率過程論に基づく理論的に評価したうえで、堤防災害形態を越水浸透破壊と想定してリスク評価手法を提案した。提案した手法に従い、河川水位の分布や堤防の形状、堤防材料の違いによる堤防の信頼性に関するシナリオテストを行い、本手法の合理性と有用性を明示した。

本論文の構成・内容は下記に示す通りである。

第1章では、近年の水にまつわる自然災害が複雑化していることを本研究の背景に示し、自然現象は本質的に必ず不確実な要素を含んでいることを指摘した。本質的に不確実性を有する自然災害に対する防災計画、とりわけ河川堤防計画論の決定論的手法はこの本質に対応できないことを明示した。確率過程論に基づく新たな信頼性評価手法の必要性を提唱した。

第2章では、外力としての洪水時における水位は確率論的手法を用いて求める方法は存在するが、著者が用いる手法は流出高に関する確率過程と Fokker-Planck 方程式の関係性にに基づき、降雨流出からの河川流量を確率過程論に基づく降雨流出モデルから、河川流量の不確実性を定量的に評価し、その結果を踏まえ、河川水位の確率密度関数を求める手法を導入した。

第3章では、耐力としての堤防の安定性評価について述べている。堤防の破壊形態は、浸透・浸食・越水破壊の三種類である。その中で浸透破壊に関して、これまでの信頼性評価は破壊確率を考慮しない決定論的な手法であった。本章では、土質パラメータの持つ不確実性を明示し、これを確率過程論に基づき考慮し、堤防の破壊確率を求めることによる耐力としての堤防の安定性を評価する手法を提案した。

第4章では、第2章で提案した確率過程論に基づく外力（水位）の評価手法及び第3章で提案した確率過程論に基づく耐力（堤防）の安定性評価手法より、概ね堤防災害形態を網羅する越水と浸透破壊のリスクを外力と耐力の両面から分析し、水文学と地盤工学からなる多分野をわたる新しい堤防安全性の信頼性評価手法を構築した。

第5章では、第4章で提案した新しい堤防安全性の信頼性評価手法を用い、河川水位や堤防材料、堤防形状条件の異なるシナリオにおける本研究で提案する手法の信頼性テストの実施や、既存堤防計画の余裕高の明確な工学的解釈を明示した。その結果、本論文の提案する評価手法は計画論の分野において合理的で極めて有用な手法であることが確認された。

第6章では本論文で得られた知見を総括し、適用性を論じている。

論文審査の結果の要旨

1. 博士学位請求論文

降雨と地盤特性の不確実性に対する堤防の安全性評価に関する研究

—確率過程論と信頼性解析の河川工学への導入—

Study on Safety Evaluation of Levee for Uncertainty of Rainfall and Soil Properties - Introduction of the Theory of Stochastic Process and Reliability Analysis to River Engineering

2. 論文審査結果の要旨

(当該分野での位置づけ, 論文構成, 独自性及び成果, 課題, 評価等)

気候変動により自然災害のスケールや頻度は年々複雑に変化し, その影響を予測することは非常に困難となっている. 河川災害においては, 計画通りの品質で整備された堤防でも出水時の河川水位が上昇し計画高水位を超え破堤することや超えなくても破堤することがある. 現実の堤防計画は決定論的考察に基づき設計され 100%安全か 100%危険かの判断となっており, 実態の不確実な本質に基づき新たな計画論が必要である. しかし, これまでの計画論には不確実な情報の評価に基づく完全な理論的枠組みが存在しないのが現状である. そこで本研究は, 確率過程論に基づき, 耐力としての堤防土質の不確実性, 及び外力としての河川水位の不確実性の両面を評価した新たな堤防の信頼性評価手法を提案し, 提案した手法の合理性, 有用性をシナリオテストより確認した. 論文の構成とそれらに基づくそれぞれの成果は以下のとおりである.

第1章では, 自然現象は本質的に必ず不確実な要素を含んでいることを指摘し, 本質的に不確実性を有する自然災害に対する防災計画, とりわけ河川堤防計画論の決定論的手法はこの本質に対応できないことを明示した. 確率過程論に基づく新たな信頼性評価手法の必要性を提唱した.

第2章では, 確率過程論に基づく降雨流出モデルについて述べている. 洪水時における水位を求めるための確率論的手法は数多く存在するが, 著者が用いる手法は流出高に関する確率過程と Fokker-Planck 方程式の関係性に基づき, 不確実性を考慮した流出高を求めた後, 外力である河川水位の確率密度関数を求める手法である.

第3章では, 堤防の信頼性評価について述べている. 堤防の破壊形態は, 浸透・浸食・越水破壊の三種類である. その中で浸透破壊に関して, これまでの信頼性評価は破壊確率を考慮しない決定論的な手法であった. 本研究では, 土質パラメータの持つ不確実性を明示し, これを確率過程論に基づき考慮し, 堤防の破壊確率を求めることによる耐力としての堤防の安定性を評価する手法を提案した.

第4章では, 第2章で提案した確率過程論に基づく外力(水位)の評価手法及び第3章で提案した確率過程論に基づく耐力(堤防)の安定性評価手法より, 概ね堤防災害形態を網羅する越水と浸透破壊のリスクを分析し, 新しい堤防安全性の信頼性評価手法を提案した.

第5章では, 第4章で提案した新しい堤防安全性の信頼性評価手法を用い, 水位や堤防材料条件の異なるシナリオ下の信頼性テストの実施や, 既存堤防計画の余裕高の明確な工学的解釈を明示した. その結果, 本論文の提案する評価手法は計画論の分野において合理的で極めて有用な手法であることが確認された.

第6章では本論文で得られた知見を総括し, 今後の適用性を論じている.

以上, 本博士学位請求論文は降雨流出解析において予測される河川水位と堤防の安定性双方の不確実性を確率過程論の導入より理論的に明らかにしており, 水工計画上重要な堤防の安全性評価に新たに信頼性評価の概念とその手法を導入した工学上重要な知見を得た内容であり, 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, 審査員一同は王昭雯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.