

学位論文要旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	河川堤防の被災特性を踏まえた設計及び維持管理に関する研究 (A Study of the Design and Maintenance of River Levees Based on Damage Characteristics)
氏名(Name)	佐古 俊介

【要旨】

河川堤防は、住民の生命と資産を洪水から防御する極めて重要な防災構造物であるが、その多くは、古くから逐次強化を重ねてきた長い治水の歴史の産物であり、その構造は主に実際に発生した被災などの経験に基づいて定められてきたもので、構造物の破壊過程を定量的に検討して設計されてきているものではなかった。また、維持管理についても、目視により堤防表面の変状の発生箇所や有無を確認することで行ってきており、微細な変状の経年変化や出水等による拡大を定量的に把握・評価することは十分に行われてこなかった。

本研究は、我が国の堤防の歴史と設計や維持管理の技術の変遷についてとりまとめた上で、過去の堤防被災事例から堤防の被災特性について整理し、堤防に求められる機能のうち最も重要な浸透を原因として被災した利根川と江の川の事例を用い、堤防設計で用いられている解析手法を適用して被災原因について分析を行うとともに、設計において、地形の変化からの築堤履歴の把握や、土質調査による三次元的な土質構成を組み入れることの重要性を示した。また、堤防の維持管理手法として、今後活用が期待される計測技術（堤体内水位計、衛星 SAR）を用いた観測を行い、堤防の点検・管理技術への計測機器の活用の可能性について述べ、最後に、被災箇所の分析や観測を続けることが、設計や維持管理の技術の高度化に繋がることを示した。

以下、本研究の概要を、各章毎に示す。

1章 序論

1章では、本研究の背景と流れを明確にするために、論文の構成と概要について示した。

2章 我が国の堤防の歴史と設計

我が国の堤防は古くより、経験した洪水に対して安全な形状を定めることで設計を行ってきていることから、本論文では、明治以前と、欧米の近代技術の導入を図った明治以降に時代を区分し、堤防形状（法勾配、天端幅、余裕高）の視点から堤防の変遷についてまとめた。また、形状を定めることで築堤してきた河川堤防の特徴として、土質構造が複雑であること、それが故に構造物としての不均質性、線状構造物であること等を特徴として有していることについて示した。

また、そのような特徴をもつ構造物の設計法について、国から発出された技術基準類を対象として、「河川管理施設等構造令（昭和51年（1976年）政令199号）」で示された形状規定から「設計編」の性能規定化までの設計方法の変遷についてまとめた。

同様に、堤防の供用後の維持管理方法についても国から発出された技術基準類を対象として、維持

管理基準の変遷についてとりまとめた。

3章 堤防の被災の分析

我が国の代表的な堤防被災事例について収集し、被災原因を越水、浸透、侵食、地震、樋門・樋管周辺の4つに分類、それぞれの一般的な被災プロセスについて述べた。

このうち、特に浸透被災に着目し、利根川の被災事例と江の川の被災事例を対象として、被災の概要(被災状況、外力、築堤履歴、地形等)について収集整理するとともに、被災箇所周辺の過去と現在の地形の変化や、土質調査結果等をもとに、飽和不飽和浸透流解析と円弧すべり解析等を用いて被災メカニズムについて推定、被災原因についての分析を行った。

4章 堤防の維持管理・観測

堤防の維持管理において必要とされる、浸透、侵食に対する堤防変状の観測について、観測が必要とされる変状項目を時空間的に分類・整理するとともに、現状の堤防管理における課題について、平常時と緊急時に分けて抽出した。

さらに、それらの変状を観測するにあたって活用が期待される最新の計測・測量技術について示し、そのうち、現状は目視点検を行っている浸透に対する堤防の観測に着目して、堤体内水位計、人工衛星 SAR を実堤防の被災箇所等に活用、結果を分析し、実河川における堤防の点検・管理技術への、計測機器の活用の可能性について述べた。

5章 被災特性を踏まえた堤防の設計や維持管理のあり方

堤防に求められる機能のうち浸透機能に着目し、現状の堤防の設計手法と維持管理手法の課題について示した上で、被災の原因分析から、弱点箇所の抽出や堤防のモデル化において、今後設計の精度を上げる上で活用すべき有効な知見が得られることや、被災箇所等に対する計測機器を用いた観測の試行から、計測機器で堤体の変状観測が行える可能性があること、その結果を予防保全的な堤防管理に活用できる可能性があることを考察した。その上で、被災箇所の分析や観測を続けことが、設計や維持管理の技術の高度化に繋がることを示した。

6章 結論

6章では、本研究で得られた成果を総括し、被災特性を堤防設計や維持管理に反映することの重要性、今後の展望について示した。

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	A Study of the Design and Maintenance of River Levees Based on Damage Characteristics
氏 名 (Name)	Shunsuke Sako

[Abstract]

River levees are extremely important disaster prevention structures that protect the lives of residents and their assets from flooding, but most of them are the product of a long history of flood control, having been strengthened successively since ancient times. The structures have not been designed by quantitatively examining the fracture process of the structures. The maintenance of levees has also been conducted by visually checking the presence or absence of deformations on the surface of the levees, and there has been insufficient quantitative understanding and evaluation of the changes in microscopic deformations over time and their expansion due to water runoff, etc. In this study, we investigated the effect of the failure process of levees in Japan.

This study summarizes the history of levees in Japan and the evolution of design and maintenance techniques, and then examines the characteristics of levee failures based on past cases of levee failures. The importance of understanding the history of embankment construction based on topographical changes and incorporating three-dimensional soil composition based on soil investigations are also shown in the design. The paper also describes the possibility of using measurement instruments for the inspection and management of levees, and shows that the continuous analysis and observation of the damaged areas will lead to the advancement of design and maintenance techniques. Finally, it is shown that continuous analysis and observation of damaged areas will lead to the advancement of design and maintenance techniques.

The following is a summary of this study, with a description of each chapter.

Chapter 1: Introduction

Chapter 1 presents the structure and outline of the paper to clarify the background and flow of this study.

Chapter 2: History and Design of Levees in Japan

Since levees in Japan have long been designed by defining a safe shape against experienced floods,

this paper summarizes the evolution of levees from the viewpoint of the shape of levees (slope, top-width, and margin height) by dividing the period into pre-Meiji and post-Meiji, when modern technology from Europe and the United States was introduced. The characteristics of river embankments, which have been constructed by defining the shape of the embankment, include the complexity of the soil structure, the heterogeneity of the structure, and the linearity of the structure.

The design methods of such structures are summarized in terms of the technical standards issued by the Japanese government, from the shape specifications in the "River Management Facilities Structure Order (Government Ordinance No. 199, 1976)" to the performance specifications in the "Design Edition".

Similarly, the transition of the maintenance and management standards for levees after they are put into service is also summarized, covering the technical standards issued by the Japanese government.

Chapter 3: Analysis of Damage to Levees

The causes of damage were classified into four categories: overtopping, seepage, erosion, earthquake, and damage around sluice gates and sluice pipes.

The damage mechanisms were estimated using saturated and unsaturated seepage flow analysis and arc-slip analysis based on the results of soil investigation in the damaged areas. The causes of the damage were also analyzed.

Chapter 4: Maintenance and Monitoring of Levees

The observation of embankment deformations such as seepage and erosion, which are required for the maintenance and management of embankments, are classified and organized temporally and spatially, and the problems in the current embankment management are identified separately for normal and emergency situations.

The latest measurement and surveying technologies that are expected to be utilized in the observation of such deformations are also presented. The possibility of using measurement instruments for the inspection and management technology of levees in actual rivers is described.

Translated with DeepL.com (free version)

Chapter 5: Advanced Design and Maintenance of Levees Based on Analysis of Damage Cases

The analysis of the causes of the damage provides effective knowledge that should be utilized to

improve the accuracy of the design in the future in the extraction of weak points and the modeling of levees, and the trial observation of the damaged areas using measuring instruments provides useful knowledge that should be utilized to improve the accuracy of the design. The results of the observation of the damaged areas with the instruments showed that there is a possibility to observe the deformation of the embankment with the instruments and that the results can be used for preventive maintenance of the embankment. The results of the analysis and observation of the damaged areas will lead to the advancement of the design and maintenance techniques.

Chapter 6: Conclusion

The results of this study are summarized, and the importance of reflecting the results of damage analysis in the design and maintenance of levees and the prospects are presented.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	佐古 俊介
審 査 委 員	主 査：森 啓年
	副 査：中田 幸男
	副 査：鈴木 素之
	副 査：山本 浩一
	副 査：吉本 憲正
論 文 題 目	河川堤防の被災特性を踏まえた設計及び維持管理に関する研究 (A Study of the Design and Maintenance of River Levees Based on Damage Characteristics)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>河川堤防は洪水から人命や資産を守る重要な社会基盤の一つであり、その長大な延長の弱点箇所が全体の安全性を規定する特性を持つ、長い歴史をかけて徐々に整備されてきた盛土構造物である。本研究は河川堤防を対象として、その被災特性を踏まえた設計手法と維持管理手法の検討を行ったものである。河川堤防の設計や維持管理の歴史的経緯を整理し課題を抽出するとともに、実際の河川堤防を対象に被災の分析やモニタリングを行った結果をとりまとめ、被災特性を踏まえた河川堤防の設計手法と維持管理手法について考察した。本論文は、内部が複雑で挙動の予測が困難である河川堤防の今後の設計や維持管理の高度化に資することを目的としている。</p> <p>第 1 章では、研究の背景と目的を述べ、本論文の構成を示した。</p> <p>第 2 章では、我が国の河川堤防の歴史について、その設計と維持管理の変遷も含めてまとめた。</p> <p>第 3 章では、河川堤防の被災事例の収集を行い、その被災メカニズムについて被災箇所周辺の過去と現在の地形の変化や、土質調査結果等をもとに、飽和不飽和浸透流解析と円弧すべり解析等を用いて被災メカニズムについて分析を行った。</p> <p>第 4 章では、河川堤防の観測について、観測が必要とされる変状項目を時空間的に分類・整理した。また、実際の河川堤防を対象に活用が進んでいる堤体内の浸潤線を測定する水位計、今後活用が期待される人工衛星 SAR を用いてモニタリングを行った結果を整理するとともに、維持管理へのそれらの計測結果の活用方法について考察した。</p> <p>第 5 章では、被災特性を踏まえた河川堤防の設計手法と維持管理手法について考察した。被災調査や現地観測の継続的な実施が設計や維持管理の技術の高度化に繋がることを示した。</p>	

(様式 9 号)

第 6 章では、各章の結論を要約し、論文全体を統括した。さらに、被災特性を堤防設計や維持管理に反映することの重要性、今後の展望について示した。

公聴会は対面の開催とし、学内外から計 23 名の参加があった。公聴会における主な質問は 1) 研究成果の実務への反映に関する事、2) 設計と維持管理の調査方法の違いに関する事、3) 他の堤防被災の調査事例とそれらの統合に関する事、4) 現地観測結果の数値解析による再現方法に関する事等であった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計 3 編、参考論文 計 0 編）

- 1) 佐藤宏明，中山修，佐古俊介：利根川堤防で発生した漏水に関する調査事例，河川技術論文集，Vol.11，pp.83-86，2005.6
- 2) 佐古俊介，倉田大輔，森啓年，中川翔太，大堀文彦，陰山健太郎：平成 30 年 7 月西日本豪雨災害における江の川堤防被災，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.75，No.1，pp.279-290，2019.12
- 3) 佐古俊介，高橋耀介，上野俊幸：大規模河川堤防の河川水及び降雨の浸透特性に関する現地観測，河川技術論文集，Vol.30，pp.155-160，2024.6