

## 論文の内容の要旨

石狩川下流の泥炭性軟弱地盤は土地利用には不適であったが、現在では土地利用面積 1,280 km<sup>2</sup>、居住人口 100 万人の産業経済圏に発展した。この地域に堤防 950 km、樋門 550 箇所が整備された結果、堤防災害は従前の越水から漏水などの質的災害が増加し、特に樋門周辺堤防では地盤沈下に伴う空洞などの変状が発現して弱点を形成している。今後の洪水では弱点に洪水外力が集中し、災害が頻発することが予測されるため、その早期の安全化が不可欠である。

この論文では、連続堤防の恒久的な安全確保を目的に、氾濫原開発と堤防整備の歴史を分析し、連続堤防の弱点は樋門周辺堤防の変状であることを示した。また、変状の調査方法を提案して現地調査を行い、その実態と危険性を解明した上で、沈下形状および決壊原因の推定方法を提示した。安全対策では、変状の進行形態と発現範囲を示し、決壊防止や被害軽減対策のあり方を提示した。

以下は、第 1 章から 7 章までの成果の要旨である。

第 1 章では、研究の背景・目的・意義、既往研究との関連を考察し、本研究の社会的な必要性を示した。第 2 章では、堤防の安全性と問題点について、地形・地質、氾濫原開発および堤防整備の歴史を分析した結果、樋門周辺堤防では地盤沈下に伴いゆるみや空洞などの変状が発現するため、その実態と危険性の早期解明が必要であることを述べた。第 3 章では、堤防整備と洪水災害の関係を分析した。1970 年頃の連続堤防整備後は、浸水面積は減少したが洪水位は上昇し、越水がない状態で堤防や樋門の漏水などの質的災害が発生するようになった。1981 年洪水の水防活動では、169 件のうち樋門箇所が 42 件 25% を占め、新しい安全対策の必要性が示された。第 4 章では、変状の調査方法および判定方法を提案した。

調査の流れは、踏査、堤防表面部、土層内と進め、各段階の要点と留意事項を示した。また土層観察やコーン貫入試験などに基づき、ゆるみは  $qc \leq 0.50MN/m^2$ 、空洞は  $qc \leq 0.10MN/m^2$  とする判定値を提案した。第 5 章では変状の実態調査を行い、その危険性を考察した。調査した 20 樋門のうち、不等沈下は全箇所が発生しており空洞は 75% で発生していた。変状は、杭基礎、柔構造、地震時共に不等沈下、ゆるみ、空洞、空隙などの形態で発現していた。また、洪水時は変状部の透水性が高いため、容易に漏水が発生して決壊などに繋がりやすいことが判った。第 6 章では、動態観測と数値解析に基づき、変状の形成原因および決壊原因について検証した。動態観測の結果では、不等沈下は盛土開始と同時に函体から 0.1m 以内に発生し、その土層は剪断破壊され、地中変位は函体から離れる方向に移動し、壁面土圧は低下することから、土層が乱れて変状を形成することが判った。この観測に基づき、有限要素法の no-tension 法と joint element 法を用い、沈下形状と剪断歪み分布を推定した。その結果、段差形状や剪断破壊範囲が把握されて変状の形成原因が推察されたことから、この方法は有用であることが判った。決壊原因については、その要因となる浸潤線、ヒービング、法面すべりを取り上げて検討した結果、その安全性に問題は生じなかった。残る不等沈下の問題は、解析に必要な土質資料がないため、地盤条件が類似する他樋門との比較を行い、決壊した樋門でも不等沈下が発生したと類推し、再度、不等沈下に伴う土層のゆるみを考慮したヒービング破壊の検討を行った。その結果、不等沈下により土層が緩み、透水係数が上昇して決壊したとの結論になり、現地調査による推定結果を補完することができた。第 7 章では、安全対策の基本として変状の進行形態と発現範囲を示し、恒久的な安全対策のあり方を提示した。対策方式は、不等沈下の軽減、浸透水の抑制、遮水壁拡張、樋門の削減、被害軽減、モニタリングの 6 方式を提示した。第 8 章では結論を述べた。石狩川下流の氾濫原は 60 余の洪水防御地区の集合体であり、洪水被害は堤防決壊地区に集中するようになった。その実態と堤防の安全性を検証した結果、樋門周辺堤防の変状が弱点であることが判った。また変状の調査方法、不等沈下および決壊原因の推定方法などを提示した。これらから変状の進行形態と発現範囲を示した上で、恒久的な安全対策について提言した。

この研究は、樋門周辺堤防に関する技術の基本を示したものであり、河川技術と地域社会の発展に寄与できるものとする。

## 論文審査の結果の要旨

### 1. 博士学位請求論文

泥炭性軟弱地盤上にある樋門周辺堤防の安全性に関する研究

### 2. 論文審査結果の要旨

石狩川下流の泥炭性軟弱地盤上の樋門周辺堤防の安全性に関し、氾濫原開発、堤防整備、洪水災害などを分析した上で問題を論じている。変状の実態と危険性については現地調査に基づき検証し、安全対策の研究を行なっている。この問題は、1981年の小貝川や島松川の決壊から注目され、その対策となる空洞へのグラウト充填や柔構造樋門などの対策が実施されているが、不等沈下と変状の問題は解決されていない。請求者は、樋門に関わる変状の問題を1981年から先進的に行なっており、本研究の成果は他河川の同様の課題解決にも寄与できるものとなっている。

論文は8章から構成されており、以下に各章の審査要旨について報告する。

第1章では、研究の背景・目的・意義、既往研究、社会的な必要性などを判りやすく述べている。

第2章では、氾濫原開発と堤防整備の歴史的な関わりから、連続堤防の弱点となる樋門周辺堤防の変状について分析し、ゆるみや空洞などの変状実態と危険性解明の必要性を提起している。

第3章では、堤防整備と洪水災害の関係を分析し、連続堤防整備後に越水以外の樋門周辺堤防の漏水災害の頻発や水防活動の増大を示し、災害傾向の変化を考慮した恒久的対策の必要性を提起している。

第4章では、河川砂防技術基準（案）などに記載のない変状調査について、具体的な調査方法を提案している。調査は段階的に踏査から開削調査などに至る流れ、留意事項、手法などを示し、また、ゆるみは  $qc \leq 0.5MN/m^2$ 、空洞は  $qc \leq 0.1MN/m^2$  とする実用値を提案し、性状判定の定量化を行っている。

第5章では、変状の実態調査に基づき杭基礎樋門、柔構造樋門、地震時、洪水時に分類して不等沈下、ゆるみ、空洞、空隙、決壊などの形態と危険性を明確に示しており、新しい知見が得られている。

第6章では、現地調査と数値解析に基づき、変状の形成原因および決壊原因を検証し、その推定方法を提示している。不等沈下は動態観測に基づき、函体から0.1m以内に発生して土層を剪断破壊し、地中変位は函体から離れ、壁面土圧は低減することを示し、この相乗作用が変状形成の原因であると推察している。不等沈下の段差形状は、有限要素法の joint element 法による解析で再現可能なことを示している。決壊原因は、その要因となる浸潤線、ヒービングおよび法面すべりの安全性を検証し問題がないことを示し、残る問題の不等沈下の検証では解析に必要な土質資料がないため、地盤条件が類似する他樋門の解析結果との比較を行っている。その結果、決壊した樋門でも不等沈下が発生したと仮定し、再び土層のゆるみを考慮したヒービング解析を行い、不等沈下の影響により決壊したとの結論を導いている。この方法は、堤防が流失した場合でも決壊原因が推定可能であることを示したものと評価できる。

第7章では、安全対策検討に必要な変状の進行形態や対策範囲を示し、実現性や効果などを考慮した新しい対策のあり方を提言している。進行形態は、盛土完了時から決壊後まで5段階を図示し、変状の発現範囲は現地調査に基づき実証値として示している。対策方式は、不等沈下の軽減、浸透水の抑制、遮水壁拡張、二線堤などのハード対策およびソフト面のモニタリングを提示し、各対策の組み合わせが確実な効果を得るとしており、技術的にも実現可能であると評価される。

第8章では結論を述べている。本論文では、石狩川下流氾濫原に100万人の社会が構築できたのは堤防整備の効果が大きいと述べた上で、樋門周辺堤防の変状に起因する堤防災害が頻発した実態などを紹介し、今後の安全対策のあり方を提示している。この成果は、樋門に関わる総合的な技術の研究を行ったもので、他河川の問題解決に適用可能であり地域社会の安定的発展に寄与できるものと評価される。

これらのことから、本博士学位請求論文は泥炭性軟弱地盤における堤防の安全性及び河川工学において新規の知見を得た内容であり、実用上も重要な貢献をされると考えられる。さらに、口述試問による試験の結果も踏まえ、審査員一同は瀬川明久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な価値を有するものと判断した。