

氏 名	藤 澤 和 謙
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学位記番号	農 博 第 1690 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻
学位論文題目	Failure of an Embankment due to Overflow (堤体の越流破壊)

論文調査委員 (主査) 准教授 小林 晃 教授 河地利彦 教授 水山高久

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、越流による破堤の予測や防止を目的として、現在未解決の問題である堤体越流破壊について実験的および理論的にその破壊機構について論究し、得られた知見の実用性を示したものである。堤体の越流破壊とはフィルダム、ため池および堤防で代表される土質材料で構築された堤体が、洪水時に溢れ出した水流によって侵食を受け、決壊に至る現象である。近年豪雨災害が数多く報告され、堤体の越流破壊の予測、防止は減災のための最重要課題の一つとなっている。しかし、越流による破堤は越流水の水理、堤体の侵食、堤体の安定性が複雑に関係した現象であり、理論的研究は少なく、そのほとんどが実験的研究である。本研究は模型実験による観察結果をもとに、主として侵食の観点から理論的な研究を進め、越流破壊過程の侵食断面形状の変化や破堤に至るまでに要する時間を算出する理論を提示している。そして、堤体の侵食を考える上で重要となる締固め土の定量的な侵食特性について論じている。

第1章は緒論であり、人類に対する水資源の重要性を再確認した上で、持続的な農業生産を行うために水利施設の保全が必要不可欠であることを述べ、既往の研究のレビューとともに本論文の目的意義を示している。

第2章では高さ30cmの堤体を用いた室内模型実験について述べている。この室内実験の結果から、堤体の越流破壊は決壊に至るまでに3つの段階に分けられることを明らかにしている。段階1は堤体越流初期の侵食過程であり、下流側法面と天端の侵食を経て、侵食断面が法肩から切り立った崖のような形状（以下、侵食崖と呼ぶ）に至る過程である。段階2は形成された侵食崖が高さをほとんど維持したまま上流側に平行移動する過程であり、最終段階である段階3では堤体は鉛直方向に侵食を受け決壊に至る。これらの3つの段階は第4章の堤体越流破壊の理論的な考察の前提となっている。また、法面保護を施した堤体についても越流実験を行い、その効果の確認結果をもとに、より有効な法面保護方法を提案している。

第3章は堤体材料として多用される細粒分質砂を用いて、締固め土の侵食特性を実験的に明らかにしている。締固め土の侵食特性は越流による堤体侵食を考える上で非常に重要である。本実験では独自に開発した実験装置を用いて、乾燥密度と流体によるせん断応力が締固め土の侵食速度に与える影響について検討している。その結果、乾燥密度が増大することによって侵食に対する抵抗性が増加することを明らかにしている。この実験結果を用いて、流体によって侵食面に作用するせん断応力、土の乾燥密度、土の最大粒径の関数としての侵食速度式を提案している。

第4章、第5章では堤体の越流破壊を理論的に考察している。上述した3段階に分けられる破壊過程がフルード限界点（越流水の常流から射流への遷移点）の移動形態によって特徴づけられることに着目し、越流水の流れと堤体侵食の関係を理論的に分析している。段階1はフルード限界点が天端に沿って下流側法肩から上流側斜面へとほぼ水平に移動し、上流側斜面に停止する。フルード限界点は、段階2の侵食崖の移動では上流側斜面に停止を続け、段階3では鉛直方向の侵食に従って上流側斜面に沿って移動する。このように段階ごとにフルード限界点の移動形態が異なることを考慮して、浅水方程式と侵食による地盤変化式と連立して解くことで堤体破壊過程の侵食断面形状を予測できることを示している。またフルード限界点の移動速度と移動距離を計算することで破堤に至るまでに要する時間を予測できる手法を提案している。

第5章では特に、段階2の侵食崖の移動に焦点を当てている。侵食崖の上流方向への移動は侵食崖表面を流れ落ちる水流によって引き起こされる。そのため、侵食崖表面の流れを解析し、侵食崖表面の侵食速度を見積もることで侵食崖の移動速度や形状変化が算出できることを示している。また、侵食崖は法面保護を施した堤体が越流による侵食を受ける際にも形成され、本章で提案する解析手法を用いて法面保護の効果が評価できることを示している。

第6章は、越流を受ける堤体の力学的な安定性を議論する上で必要な浸水を受ける不飽和土のせん断強度について論じている。サクシオン変化を受けた土のせん断強度を分析し、不飽和土の浸水による体積収縮（飽和コプラス）がその後の土のせん断強度に関係することを示し、不飽和土の構成モデルに修正を加えている。

第7章では、以上によって得られた知見を要約、整理するとともに今後の研究に対する方向性を示している。

論文審査の結果の要旨

近年の著しい気候変動に伴う、集中豪雨や台風の発生により、各所で毎年のように土質材料で構築された河川堤防やため池堤体が決壊している。決壊の主要因である越流による破堤は、従来の土質力学で研究されている斜面のすべり破堤とは異なるメカニズムで発生するため、現状ではその予測が困難であり、対策は越流リスクを回避することでなされている。本研究は、フィルダムやため池などの越流破堤の予測や防止を目的として、堤体の越流破壊機構の解明に実験のおよび理論的に取り組んだものであり、評価できる主要な点は以下の通りである。

- (1) 系統的に模型実験を行うことによって、堤体の越流破壊現象を分析し、その過程を3つの破壊段階に区分している。また、数種類の法面保護を行い、その効果を定量的に評価している。得られた知見は、堤体の破壊プロセスを理解する上でも、また、経済的な堤体保護工を提案する上でも極めて有用である。
- (2) 締められた築堤材料の侵食特性について、独自に開発した実験装置を用いて実験を行い、せん断応力、乾燥密度、最大粒径をパラメーターとした侵食速度式を提案している。これによれば、破堤予測を精度良く行うことが可能になる。
- (3) フルード限界点の移動に着目することで堤体の越流破壊を理論的に考察することに成功している。この独創的な理論は、複雑な現象である堤体越流破壊を、フルード限界点の移動によつて的確にとらえたものであり、理論的に越流破壊時の侵食断面の形状の変化を予測し、破堤に至るまでの時間を推定することができる。破堤到達時間の推定は、堤体の越流に対する耐久性を見積もり、破堤防止対策を策定する上で実用上非常に大きな意義がある。
- (4) 浸水を受ける不飽和土のせん断強度に関する研究は、既往の不飽和土のせん断強度の研究をさらに発展させたものであり、提案された構成モデルはコプラス後のせん断挙動をより的確に表現できる点で優れ、有用である。

以上のように、本論文は土質材料で構築された堤体の越流破壊機構の解明に実験的、理論的に取り組み、実用性の高い破堤予測手法の開発に成功し、堤体の設計法や破堤対策工の選定に新たな知見を与えるものであり、農業水利施設工学、ダム工学並びに水利施設の維持・管理の実際面の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成20年2月8日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。