

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	ベントナイト遮水シートにより改修したため池堤体の常時および地震時安定性に関する研究
氏 名	神山 惇

日本全国には約 20 万箇所のため池が存在し、その内の多くは農家数の減少や土地利用の変化から管理および監視の脆弱化が懸念されている。古くからあるため池は、経年劣化による堤体の変状やクラックなどが発生しているものもあり、堤体の遮水機能が低下していることから改修が必要とされるケースがある。往來、堤体の遮水には良質な粘性土を用いた前刃金土工法が用いられてきた。しかし、近年は刃金土の量が減少しており、入手が困難な状況にある。そのため、ため池の新たな遮水工法の一つとして、堤体法面に遮水シートを設置して遮水性を回復させる工法が注目されている。本研究で使用したのは、不織布と織布のジオテキスタイルで膨潤性粘土のベントナイトを上下に挟み、ニードルパンチによってそれらを一体化したベントナイト遮水シートである (Geosynthetic Clay Liner: GCL と称す)。既設の堤体に GCL を設置し、その上から腹付け盛土で押さえる工法が一般的であるが、GCL を考慮した堤体の設計方法や、力学的安定性の検討は十分になされていない。遮水材として GCL を使用した場合、堤体土とジオテキスタイルとの境界面といった材質の異なる土層境界面が発生するため、そこが改修後の堤体の弱部となる可能性がある。さらに、近年日本国内で地震が多発しており、これまでにため池が決壊する被害が複数発生している。それにより、ため池の耐震化および地震時の安定性評価手法の確立が検討されている。地震による堤体の破壊形態として法面のすべり破壊や亀裂の発生などが考えられる。一方で、GCL を設置した堤体法面の地震時における変形挙動やすべりの発生箇所は明らかになっておらず、まずはそれらを明確にすることが重要である。

本研究では、GCL および GCL と堤体土との境界面におけるせん断強度特性、また、GCL を設置した堤体の地震時変形挙動を解明し、改修された堤体腹付け部の常時および地震時安定性を明らかにすることで GCL が堤体の安定性に及ぼす影響を検討した。そのために、以下の項目を検討した。①一面せん断試験による材質の異なる土層境界面におけるせん断強度特性。②GCL を設置した実際の堤体に対する現場せん断試験。③振動台模型実験による堤体腹付け部の地震時変形挙動。本研究では堤体材として、西日本に広く分布するまさ土を使用した。これらの室内と現場試験の結果を基に安定計算を行い、GCL により改修した堤体の常時および地震時安定性を評価した。

第 1 章では、本研究の背景および目的を述べ、本論文の内容と構成について示した。第 2 章では、GCL のせん断試験に関する既往の研究をまとめた。また、常時におけるため池堤体の土質調査の現状と地震時の耐震性評価方法について述べた。第 3 章では、土供試体下部にジオテキスタイルを貼り合わせることで、ニードルパンチを除去した状態の GCL 内部を再現し、一面せん断試験機を用いて GCL を設置した堤体内部の各土層境界面を想定したせん断試験を実施した。また、ベントナイトおよび GCL の膨潤特性についても検討した。その結果、まさ土とジオテキスタイルとの境界面においては、まさ土単体と比較しても十分なせん断強度を発揮することが分かった。また、水浸させたベントナイトとジオテキスタイルとの境界面のせん断強度は、まさ土とは異なり、織布と不織布の材質の違いによる影響を受けにくいことがわかった。第 4 章では、現場において GCL を設置した実際の堤体を造成し、堤体に対する現場せん断試験および堤体内部に設置した GCL 内のベントナイトの含水比測定をそれぞれ実施した。現場せん断試験においては、結果として堤体のすべり破壊は発生しなかった。また、GCL 内部に充填されているベントナイトの膨潤特性は、室内と現場では異なることがわかった。さらに、室内および現場試験の結果に基づいて安定計算を行った結果、GCL が堤体腹付け部の常時における安定性を低下させる可能性は低いことを示した。さらに設計水平震度を用いて堤体の地震時の安全率を計算したところ、法面勾配が 34° 以下であれば、レベル 1 地震動に対する最低限の安全性を保てることを示した。第 5 章では振動台模型実験を行い、模型堤体の地震時変形挙動について検討した。その結果、500Gal の水平加速度を与えた場合においても堤体のすべり破壊は発生せず、GCL と堤体土との境界面において亀裂が生じただけであった。第 6 章では本研究から得た結論を総括し、今後の課題について述べている。以上より、本研究では GCL を遮水材として使用しても、堤体の常時および地震時安定性を低下させる可能性は極めて低いことを示した。

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 725 号	氏名	神山 惇
最終試験担当者		主査	鈴木 素之
		審査委員	清水 則一
		審査委員	中田 幸男
		審査委員	吉本 憲正
		審査委員	原 弘行
【論文題目】			
ベントナイト遮水シートにより改修したため池堤体の常時および地震時安定性に関する研究 (Study on Stability of Embankments of Reservoirs Repaired Using Geosynthetic Clay Liner under Static and Seismic Load)			
【論文審査の結果及び最終試験の結果】			
<p>日本全国には約 20 万箇所のため池が存在し、その内の多くは老朽化が進んでいる。古くからあるため池には経年劣化によって堤体の遮水機能が低下し堤体法面からの漏水やはらみだしが生じているものがあり、そのようなため池堤体に対しては遮水性を回復する改修が必要となる。近年、ため池堤体の新たな遮水工法の一つとして堤体法面にベントナイト遮水シート (Geosynthetic Clay Liner: GCL と称す) を腹付けして遮水性を回復させる工法が注目されている。しかし、遮水材として GCL を用いる場合、堤体土と GCL との材質の異なる境界面が既設堤体法面に沿った方向に生じ、しかも GCL を構成するベントナイトのせん断強度は吸水・膨潤した状態では小さいことから、この境界面が改修後の堤体内部の潜在的弱面となる可能性がある。しかしながら、GCL と土の境界面の力学特性を考慮した堤体の設計方法や力学的安定性の検討は必ずしも十分になされていない。さらに、近年わが国内では地震が多発しており、これまでにため池が決壊する被害が複数発生している。これより、ため池堤体の地震時の安定性評価手法が検討されているものの、GCL を設置した堤体の地震時における変形挙動や耐震性能は明らかになっておらず、それらの解明が迫られている。</p> <p>申請者は、このような土質工学的問題点を先駆的に見だし、GCL と土との境界面でのせん断を再現した室内および現場せん断試験を新たに実施し、GCL 内部および GCL と堤体土との境界面におけるせん断強度特性、さらに GCL を設置した堤体の地震時変形挙動の解明に取り組み、両試験結果に基づく安定解析により改修された堤体腹付け部の安定性を検討し、GCL が堤体の常時および地震時安定性に及ぼす影響を明らかにした。学位論文では得られた成果を以下の 6 章にとりまとめている。</p> <p>第 1 章では、GCL の特徴およびせん断強度の評価に関する課題について整理した上で、本研究の背景および目的を述べている。また、本論文の内容と構成を示している。</p> <p>第 2 章では、GCL に対するせん断試験に関する既往の研究成果を整理・要約し、本研究の新規性を示している。また、ため池堤体の土質調査の現状と課題、耐震性評価手法について言及している。</p> <p>第 3 章では、実際に堤体土として使用されているまさ土および GCL 内部に充填されているベントナイトを用いて、これら土試料にジオテキスタイルを貼り合わせた面をせん断面とする一面せん断試験を実施し、GCL を設置した堤体内部の各境界面のせん断挙動および強度特性について考察した。また、ベントナイトおよび GCL の膨潤特性についても検討した。その結果、まさ土とジオテキスタイルとの境界面にお</p>			

いては、まさ土単体と比較しても十分なせん断強度を発揮すること、水浸したベントナイトとジオテキスタイルとの境界面のせん断強度はまさ土とは異なりジオテキスタイルの材質の違いによる影響を受けにくいことを明らかにした。また、ベントナイトのせん断強度は膨潤量の増加に伴って低下することを明らかにした。

第4章では、実際に現場においてGCLを設置し法面勾配を数パターンで変えた堤体を造成し、これまで報告例のなかったGCLを挟んだ堤体に対する現場せん断試験およびGCL内部のベントナイトの含水比測定を実施した。さらに、室内および現場試験の結果に基づいて安定計算を行った。その結果、GCLが堤体腹付け部の常時における安定性を低下させる可能性は低いことを示した。また、設計水平震度を用いて現場堤体の地震時安全率を計算し、法面勾配が34°未満の条件では地震時の安全率をある程度保持していることを示した。

第5章では、振動台模型実験によるGCLを設置した堤体腹付け部の地震時変形挙動について検討した。その結果、地震動を受けた堤体の天端におけるGCLと堤体土との境界面に亀裂がわずかに発生するものの、500Galの水平加速度を与えても堤体腹付け部のすべり破壊は発生せず、限られた条件下ではあるが、GCLが堤体の耐震性を低下させる可能性は低いことを示している。

第6章では、以上の結果を要約し、GCLが堤体の常時および地震時安定性に及ぼす影響について総括した。また、今後の研究課題について言及した。

公聴会における主な質問項目は、1) 地震時における急速荷重を受けたGCLのせん断強度特性、2) GCLのせん断強度の発現メカニズムと支配要因、3) 河川堤防におけるGCLの適用可能性、4) GCLを設置した堤体の豪雨時(特に越流が生じた場合)の安定性、5) 腹付け部のみならず既設堤体をすべり面が通過する円弧すべりに対するGCLの補強効果、6) 間隙水の化学的性質によるGCLの透水性の変化などに関することであり、いずれの質問に対しても申請者からの確かつ十分な答弁がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、新規性、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4編)。

- 1) Motoyuki Suzuki, Atsushi Koyama, Yoshifumi Kochi, Tomoko Urabe: Interface Shear Strength between Geosynthetic Clay Liner and Covering Soil on the Embankment of an Irrigation Pond and Stability Evaluation of its Widened Sections, Soils and Foundations, Vol. 57, No.2, pp.301-314, 2017.
- 2) Atsushi Koyama, Motoyuki Suzuki, Yoshifumi Kochi, Tomoko Urabe, Jun Ito: Boundary Shear Strength Characteristic between Surface Soil and Geosynthetic Clay Liner and Its Stability Analysis in Interface of Irrigation Pond, Proc. The 15th Asian Regional Conference, Japanese Geotechnical Society Special Publication, Vol.2, No.50, pp.1736-1740, 2015.
- 3) 神山 惇, 鈴木素之, 河内義文, 浦部朋子: 振動台実験による加振を受けたため池堤体の遮水シート敷設部の変形挙動, 地盤と建設, Vol.32, No.1, pp.137-141, 2014.
- 4) 神山 惇, 鈴木素之, 河内義文, 浦部朋子, 深田三夫: ベントナイト遮水シートとため池堤体の間のせん断強度特性と堤体すべり破壊防止効果の検討, 地盤と建設, Vol.31, No.1, pp.157-167, 2013.