

## 博士論文概要

**論文名：**ジオシンセティックスを用いた土質材料の補強メカニズムの解明と水利構造物への適用性に関する研究

**著者名：**松島 健一

**指導教員：**田中 忠次（東京大学）

**授与年月：**2009年3月

本研究は、全国に2万箇所存在する老朽化ため池など、早急な補強対策が必要な水利構造物を対象として、ジオシンセティックスおよび土嚢積層システムを用いた新しい改修技術の適用性について実験的、解析的に検討したものである。

これらの新しい人工材料を導入するに当たっては、設計の基礎となるジオシンセティックスと土質材料から構成される複合材料（補強土および土嚢）の強度変形特性に基づいた設計方法を見出す必要がある。このため、ジオグリッドにより引張り補強された土の直接せん断試験および土嚢積層体の力学試験を実施し、補強材と土の相互作用による引張り補強メカニズムについて詳細な検討を行った。

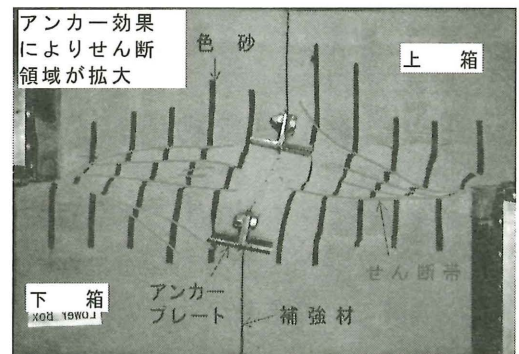
これらの成果に基づき実用化技術として自然災害（地震・洪水）に強いため池堤体を開発した。提案したジオシンセティックスと土嚢を組み合わせた新しい堤体構造の有効性を実物大の振動実験および越流破堤実験により確認し、実務上の設計方法ならびに施工技術を構築した。さらに、被災したため池の強化復旧工法として現場適用を図った。以下に各章の概要を示す。

第1章では、老朽化が進む農業水利施設の現状の課題と展開方向について示し、ジオシンセティックスによる補強技術の導入の必要性について述べた。

第2章では、本研究で用いた土質材料およびジオシンセティックス材料について説明した。

第3章では、引張り補強された土の大型直接せん断試験を実施した。従来の試験法では、せん断中に補強材端部が引抜けてしまうため、実際の地盤中における補強材端部の拘束条件が十分に再現されていなかったが、新たに補強材端部の拘束条件を制御した試験機を開発することにより、従来までの試験法の課題を解決した。また、せん断過程における補強材引張りひずみを詳細に計測することによって、土の変形に伴う補強材引張り力の発生メカニズムを明らかにした。さらに、引張り補強効果を効率的に引き出すための条件を補強材のアンカー効果や地盤材料の粒子径効果および締固め効果から検討を行った。その結果、ダイレタンシーの発生量が大きい良く締固めた大粒径材を用いるほど、高い補強効果が得られることがわかった。また、小粒径であっても人工的に補強材のアンカーを取り付けると引抜けの問題が解消され、高い強度を発現できることがわかった。

第4章では、砂のひずみ軟化を考慮できる弾塑性有限要素法により直接せん断試験をシミュレートした。供試体内の応力・ひずみ状態からせん断に伴う供試体内部の主応力方向の変化や応力の伝達経路の形成を解析的に把握するとともに、実験結果との整合性について示した。また、補強・無補強供試体におけるせん断ひずみ・応力の発達分布の違いから、補強効果の発現メカニズム



大型直接せん断箱の供試体内部の変形状況



ムについて解説した。

第5章では、土嚢積層体の鉛直圧縮試験および水平せん断試験を実施し、圧縮時の強度発現メカニズムおよび水平せん断時の滑動抵抗メカニズムを検討した。土嚢積層体は①終局的な圧縮強度は高いが、圧縮変形量が極めて大きい。②圧縮強度に比べて滑動抵抗力が遙かに小さいという2つの構造的な欠点が存在するが、一連の力学実験および理論的解釈により、これらの欠点を軽減するための具体策を示し、強度・剛性に優れた土嚢積層システムを開発した。

第6章では、第3～5章で得られた知見に基づいて下図のような新しい改修技術をため池堤体に適用し、耐震性および堤体越流に対する耐侵食性について評価した。

実物大模型(堤高=2.7m、下流勾配 1V: 1H)による振動実験では、通常のように土嚢を水平積層した Case H、水平方向の滑動抵抗力を高めるため、堤体内側に傾斜積層した Case I、さらに、テールを連結した土嚢を傾斜積層した Case I+T の3タイプのため池堤体模型を用いた。地震時の土嚢積層斜面の変位・応力などの詳細なデータ分析により、傾斜積み工法およびテールによる耐震性向上効果を明らかにした。

洪水による堤体越流を想定した越流破堤実験では、土嚢単体の耐侵食性だけでなく、土嚢間のオーバーラップ長や積み方が重要であることが予備の実験により見出された。実証段階での実物大模型(堤高=3.5m)を用いた越流破堤実験では、越流レベルと堤体斜面の損傷度の関係を把握し、法肩を剥離する落下流が土嚢積層斜面の侵食速度を急激に早めることを実験的に明らかにした。また、従来の無補補強堤体に比べて、遙かに大きな越流に耐えることができ、現場レベルの洪水に対しても土嚢積層システムを適用した堤体は緊急的な洪水吐として機能できることが洪水事例解析により示された。

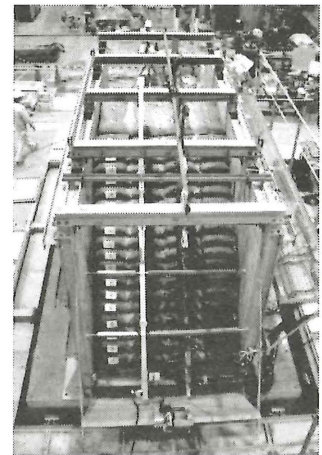
実用化技術の開発では、実証試験により施工方法を構築するとともに、Multi-Wedge 法を適用することにより土嚢積層システムを考慮した構造解析手法を確立した。また、具体的な施工手順および計例について例示した。

第7章では、第3章から第6章で得られた結論を総括した。

本工法は、能登半島地震により被災したため池堤体の強化復旧対策として採用された。今後は、ため池堤体だけでなく、さまざまな土構築物への普及を図っていきたい。また、特殊な機械や施工技術を要しないので、途上国に受け入れられやすい技術的要件を備えている。このため、海面上昇や洪水による波浪侵食問題が深刻なモンスーンアジア諸国への適用策として検討を進めていきたい。

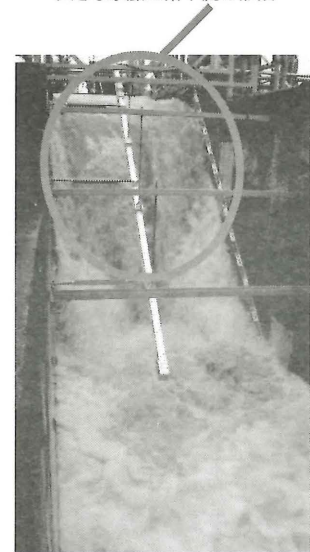
なお、本博士論文は農村工学研究所報告 第49号として取りまとめられています。この資料は下記よりダウンロードできます。

[http://nkk.naro.affrc.go.jp/library/publication/seika/hokoku/49/49\\_2.pdf](http://nkk.naro.affrc.go.jp/library/publication/seika/hokoku/49/49_2.pdf)



実物大模型による振動実験

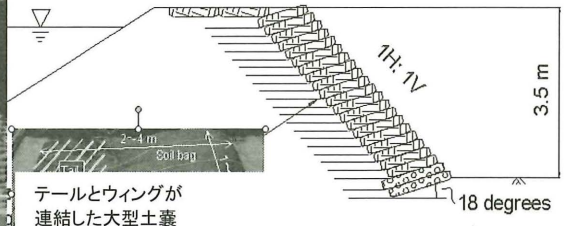
大きな水脈の落下流の形成



実物大の越流破堤実験



(a) 下流側から見た様子



テールとウイングが  
連結した大型土嚢

(b) 堤体断面図

テールとウイングが連結した大型土嚢の傾斜積層システムを適用した新しい改修技術の提案