

学位論文紹介

博士論文概要

論文名：耐越水性・耐浸透性・耐震性を兼ね備えた新しい複合型河川堤防の提案と大型模型実験による検証

著者名：倉上 由貴（東京理科大学大学院 理工学研究科博士後期課程 土木工学専攻）

指導教員：二瓶 泰雄（東京理科大学 理工学部土木工学科）

授与年月：2018年3月

1. はじめに

近年、地球温暖化により、豪雨・台風災害が激化し、河川堤防などの施設能力を上回る外力による超過洪水の発生や堤防決壊、それに伴う大規模な洪水氾濫が頻発している。我が国における河川堤防は、土のみで堤防を作るという土堤主義を基本とする「均一型堤防」が一般的である。一方、欧米では、異なる種類の土や碎石、ジオテキスタイルなどの人工材料などの様々な材料を用いた「複合型堤防」が主流となりつつある。特に、ジオテキスタイルを有効活用し、上記の外力にも対応可能な堤防強化技術が今後有望であるが、ジオテキスタイルの利活用や、その実証試験は十分なされていない。本研究では、耐越水性・耐浸透性・耐震性を兼ね備えた新しい複合型河川堤防の提案し、大型模型実験によりその有用性を検証することを目的とする。まず堤防の耐越水性を大幅に強化するために、盛土工法であるジオシンセティック補強土（GRS、Geosynthetic-Reinforced Soil）技術を河川堤防へ導入した「GRS 河川堤防」を提案し、小型越水実験により検討した。その結果、GRS 堤防で用いる面状補強材（ジオグリッド）効果が見られたが、堤体土の浸潤により堤体が不安定化するなどの浸透対策面での課題が生じた。そこで、図-1 に示

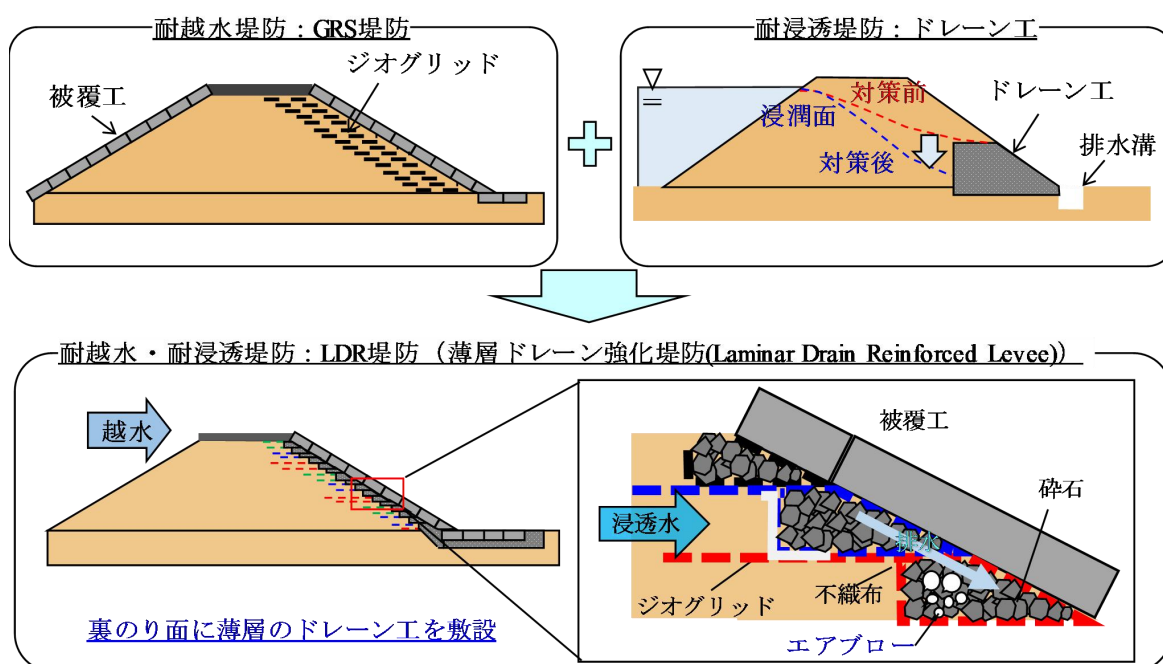


図-1 GRS 堤防模型の概念図[単位：m]

すような GRS 堤防と耐浸透対策として用いられているドレーン工を組合せて、裏のり面に層状ドレーン工を敷設しつつ、堤体表面をカバーする被覆工とドレーン工をジオグリッドを介して堤体土と一体化する、という薄層ドレーン強化堤防（Laminar Drain Reinforced Levee, LDR 堤防）を提案した。この LDR 堤防の耐越水性、耐浸透性、耐震性を大型模型実験により検討した。

2. 研究の内容と成果

(1) 大型水路を用いた LDR 堤防の耐越水性・耐浸透性に関する検討

長さ20m、高さ1.8m、奥行幅1.0mの大型水平開水路を用いた大型模型実験により、ドレーン工法とGRS工法の長所を組み合わせたLDR堤防の耐越水性・耐浸透性を検討した。

大型水路内に堤防高さ1mの2割勾配の堤防を設置し、越水実験を行った。堤防の補強方法として、土堤（天端舗装有、無）やアーマ・レビー、GRS堤防（ジオグリッド敷設長 $L=20$ cm）、LDR堤防（ジオグリッド敷設長 $L=10, 20$ cm）を設定した。その結果、決壊までの時間はアーマ・レビーでは87分、GRS堤防では102分であったが、LDR堤防では越水開始2時間半後でも初期状態を維持でき、堤体の侵食がほぼ発生しなかった。さらに、LDR堤防では、その後、洗掘防止工を取り外した状況で同様の実験を再開した結果、LDR堤防では決壊までそれぞれ、実験再開後57分（ $L=10$ cm）、112分（ $L=20$ cm）となっており、越水侵食に対して粘り強い構造となっていることが明らかとなった。被覆工の流失過程を見ると、アーマ・レビーでは被覆工間の僅かな隙間（1 cm 以下）で被覆工は流出したが、LDR堤防では被覆工間の隙間が5 cmを越えてもドレーン層の効果で被覆工の流出が抑制され、越水に対して極めて粘り強い構造であることが示された。さらに、GRS堤防及びLDR堤防における越水時浸潤面高さを比較したところ図-2のようになった。GRS堤防では越水時間の経過と共に裏のり尻部の浸潤面が上昇しているのに対し、LDR堤防では、裏のり面ドレーン層により、裏のり尻部の浸潤面上昇が抑制されていた。これより、越水時における裏のり面の安定性が向上していたと推察される。また、LDR堤防では、ジオグリッドの敷設長を10cmから20cmにするこ

とで裏のり面の被覆工の流出に要する時間が長くなり、決壊時間は約2倍にまで延びた。そのため、適切なジオグリッドの敷設長の選定により、LDR堤防の耐越水性を向上できることが明らかとなった。

LDR堤防の耐浸透性に関しても、上述した水路を用いた大型実験及び浸透流解析を行った。補強工法として、土堤、標準型ドレーン工（裏のり尻部にドレーン材を設置）、LDR堤防（裏のり面全体に薄層ドレーン材を設置）の3ケースを設定した。これより、浸潤面高さは、土堤 < LDR堤防 < 標準型ドレーン工の順に低くなっており、LDR堤防が浸潤面低下に一定の役割を果たしていることを確認された。二次元定常・非定常浸透流解析を行い、ドレーン工の形状や配置条件

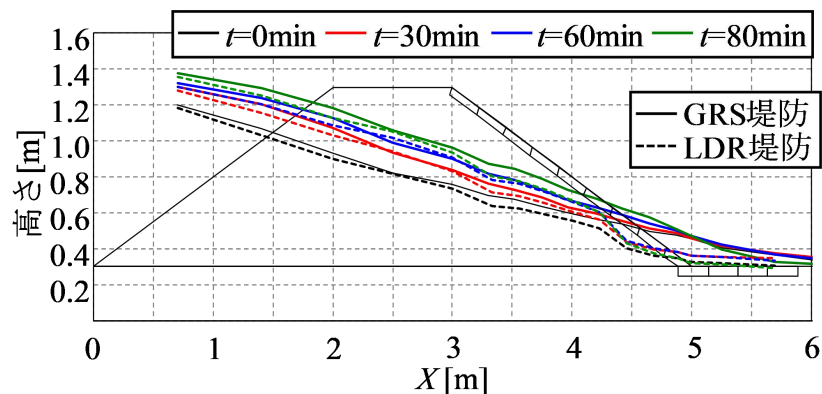


図-2 GRS 堤防及び LDR 堤防における越水中の浸潤面高さ

が堤体内の浸透挙動・安全性に及ぼす影響（パイピングとのり面すべり破壊）を調べた。その結果、パイピング・すべり破壊に対する安全性を総合的に検討したところ、ドレーン層の幅を大きくすると局所水平動水勾配が大きくなるため、薄層であるLDR堤防の方が、標準型ドレーン工よりも安全性が高いことが示された。

(2) 洪水・地震複合災害用水路を用いた LDR 堤防の耐災性に関する検討

地震・洪水の複合災害に対する現行堤防やLDR堤防の耐災性を検討するため、加震実験用水路と洪水用水路を連結した『地震・洪水複合災害用実験水路』を新たに作製し、上記の実験を行った。本水路は図-3のように、洪水・津波用水路部（長さ26 m）と加振用水路部（長さ5 m）と、その間の接続用水路（長さ2.0 m）から構成され、全長33 m、奥行幅0.60 m、高さ1.0 mである。この接続用水路を設置する場合には、越水・津波実験を行う。また、接続用水路を外して加振装置を取り付ける場合には、加振及び浸透実験を行う。

実験では、Case1（加振→浸透→加振）、Case2（Case1の後に越水）の2パターンの外力を与えた。堤体補強工法としては、土堤、標準型ドレーン工、LDR堤防とし、基礎地盤のみ浸透させた。なお、土堤のみ、浸潤面高さが耐震性に及ぼす影響を把握するために、基礎地盤のみの浸透と表のり面にH.W.L相当の河川水を与えた場合の2種類の浸透条件とした。Case1の結果より、土堤では、浸透後の加振により基礎地盤・堤体土の間隙水圧が上昇して液状化が生じ、多くの亀裂や天端沈下が生じた。ただし、この様子は浸透状況により大きく異なっており、基礎地盤のみ浸潤させたケースよりも、表のり面にH.W.L相当の河川水を与えたケースの方が、河川水が押し盛土のような効果を発揮し、堤体ののはらみだしや天端沈下を抑制した。

図-4には、土堤、標準型ドレーン工、LDR堤防の過剰間隙水圧比を示している。裏のり面にドレーン工を敷設したLDR堤防では、裏のり面が変形したものの、裏のり面の間隙水圧比が相対的に低い。天端沈下を抑制し、加振時の過剰間隙水圧上昇も抑制していることが明らかとなった。Case2の結果より、LDR堤防では、加振時に裏のり面被覆工に不陸や隙間の発生等、変形したものの、越水による変形は微小であり高さも加振後の堤体高さを維持していた。このように、LDR堤防は、越水・浸透・地震に対して極めて有用な工法であり、複合災害に対応した次世代の堤防強化技術として期待できる工法であることが検証された。

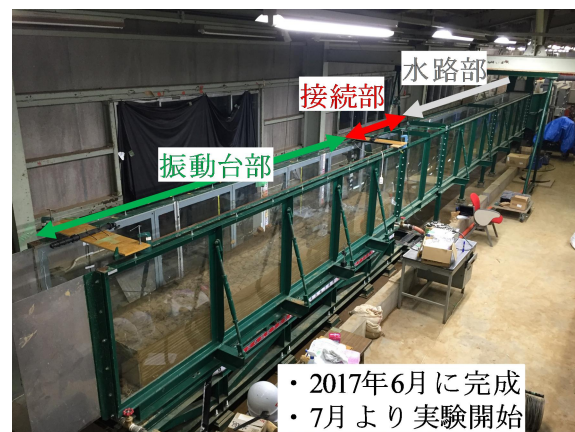


図-3 地震・洪水複合災害用実験水路

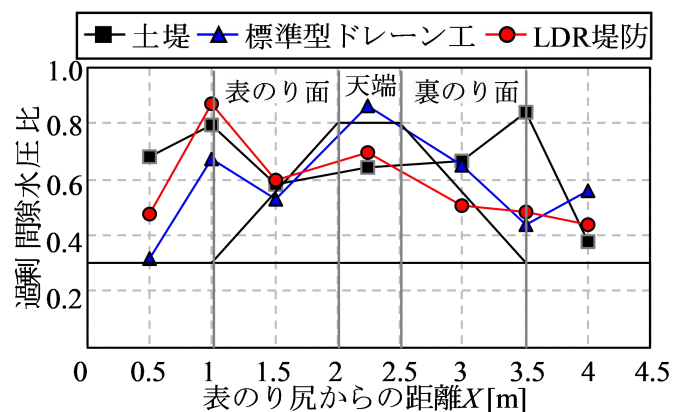


図-4 土堤、標準型ドレーン工、LDR 堤防の過剰間隙水圧比