

地震・洪水複合災害用水路を用いた堤防強化工法の実験的検討

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○安井 智哉
 元東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻 正会員 倉上 由貴
 東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 二瓶 泰雄

1. 序論

河川堤防の設計外力として、地震と洪水の外力を考慮しているが、地震と洪水は同時期に発生することは想定されていない。しかしながら、東日本大震災以来の地震活動の活発化や近年の気候変動の顕在化により、地震と洪水の同時期発生リスクを考慮する必要性が高まっている。複合災害の事例としては 1948 年 6 月の福井地震 ($M=7.1$) とその 1 か月後の豪雨により、九頭竜川堤防の大規模な沈下と豪雨による決壊・氾濫が発生した。また、近年では、2016 年の熊本地震 ($M=7.3$) と 2 か月後の豪雨により、緑川水系木山川の堤防が決壊した。地震による河川堤防の被害事例として、天端沈下や縦・横断亀裂の発生、はらみ出しなどがある。また、既存の対策技術としてドレーン工法や抑え盛土工法が挙げられるが¹⁾、上記の状況を鑑みると、今後は、地震と洪水対策を兼ね備えた堤防強化対策工法の開発が求められる。著者らは、上記の技術開発を実施・検討するために、地震・洪水複合災害用水路を新たに製作し、現行堤防や強化工法における複合災害への耐災性の検討を行っている²⁾。本研究では、地震・洪水複合災害への堤防強化工法の耐災性を実験的に検討することを試みる。堤防強化工法としてドレーン工法と薄層ドレーン強化 (Laminar Drain Reinforced, LDR) 堤防³⁾である。

2. 研究方法

(1) 複合災害用実験水路の概要

地震により被災した堤防に対する洪水作用(越水・浸透)を再現するために、図 1 に示す地震・洪水複合災害用実験水路((株)丸東製作所製)を新たに導入した。本水路の全長は 33m、高さ 1.0m、奥行幅 0.60m である。本水路は、加振用水路(長さ 5.0m)と接続用水路(同 2.0 m)、洪水・津波用水路(同 26.0m)の 3 つの水路から構成されている。加振実験では、接続用水路を切り離し、加振用水路の脇に取り付けられた加振装置(駆動方式:空圧式エアシリンダ)により加振用水路のみ(水路単体の重量 3ton)を加振させる。対象波としては、最大加速度約 1000gal、周期 0.4~0.5s の正弦波である。加振条件の調整は、パイロットレギュレータの供給圧とスピードコントローラのパルプの開度、センサ位置調節機構の間隔で行う。また、浸透実験も加振用水路のみで実施できる。次に、越水実験では、加振装置を取り除き接続用水路を設置し、上流部からポンプ(最大流量 0.087m³/s)により流水を発生させて、越水実験を行う。

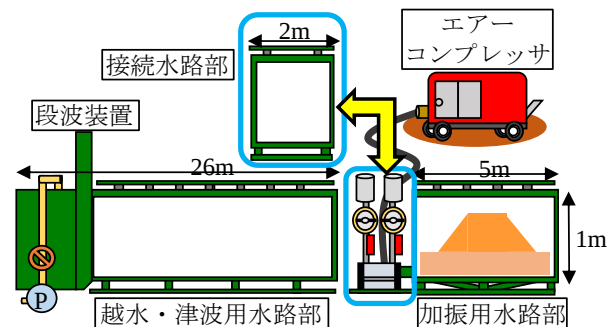
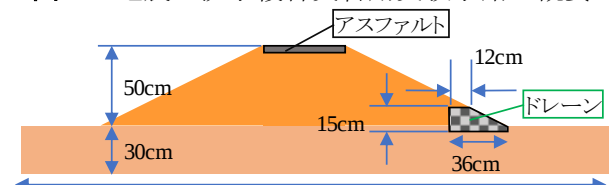
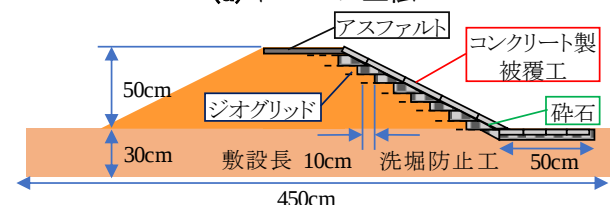


図 1 地震・洪水複合災害用実験水路の概要



(a) ドレーン工法



(b) LDR 堤防

図 2 堤体条件

(2) 実験条件

本研究では、現地堤防の 1/10 縮尺となるように、堤体高さ 50cm、基礎地盤厚さ 30cm、天端幅 50cm、のり面勾配が 2 割の模型堤防を水路内に設置した(図 2)。堤体土には銚田砂 ($D_{50}=0.28\text{mm}$ 、細粒分含有率 $F_c=11\%$) を用い、層厚 2.0cm、最適含水比 13.5%、締固め度 $D_c=90\%$ で作成した。加振による堤体変形を見るため、色砂として珪砂 7 号を各層に敷いた。堤体補強条件としては、図 2 に示すドレーン工法と LDR 堤防及び天端舗装(図省略)の 3 ケースとした。3 ケースに関しては、表のり面を土堤、天端には厚さ 4cm のアスファルト舗装を施す部分は共通している。ドレーン工法では、のり尻部に台形状の枠内に砕石 (13-20mm) を敷設した。LDR 堤防では、コンクリート製の被覆工に高分子材料であるジオグリッド (ハイメッシュ、前田工織(株)製) を取り付け、砕石を巻き込んで被覆工と一体化させる工法である。

キーワード 地震, 洪水, 複合災害, 河川堤防, LDR 堤防

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL: 04-7124-1501 (内線 4069) FAX: 04-7123-9766

なお、LDR 堤防の実験は 2 回実施しているが、概ね同じ挙動であったため、1 回目の結果のみを示す。実験手順としては、①加振（目標加速度 400, 800gal）、②浸透（浸潤面：基礎地盤上端）、③加振（①と同じ条件）、④越水（越流水深 10cm）である。計測用として、デジタルビデオカメラ 6 台や間隙水圧計（BPB-A、共和電業㈱製）7 台、水位計（U-20、Onset 製）7 台を設置した。

3. 結果と考察

(1) 加振後の堤体変形状況の比較

浸透前後において加振実験を行った結果、浸透後の加速度 800gal の条件に大きな堤体変形が見られた。その条件の加振終了後における堤体変形状況を図 3 に示す。ここでは、堤体の初期形状も青線で表示している。これより、天端舗装では、亀裂が天端直下や表・裏のり面に発生すると共に、のり面でのはらみ出しが生じた。それに伴い天端が大きく沈下し（8cm）、天端のアスファルト舗装部分の変形も大きい。ドレーン工法では、表・裏のり面に大きな亀裂や変形が見られるが、天端沈下量は 3cm と小さく、天端舗装もほぼ変形していない。ただしドレーン層と堤体土間には大きな隙間が生じた。LDR 堤防では、補強している裏のり面のみならず、無補強の表のり面でも 3 ケースの中で変形量が最も小さい。天端沈下量は約 1cm と最小であるが、天端舗装の亀裂や裏のり面上の被覆工の隙間はわずかながら発生した。

上記の要因を検討するために、ドレーン工法と LDR 堤防を対象として、加振前・後における過剰間隙水圧比の横断分布を図 4 に示す。これより、ドレーン工法では、時間と共に過剰間隙水圧比が全体的に上昇し、表・裏のり面の差異は無い。また、過剰間隙水圧比は天端直下では 0.8 を超えており、液状化の様相を呈している。一方、LDR 堤防では、過剰間隙水圧比は表のり面 > 裏のり面となっており、補強効果が見られる。また、裏のり面の過剰間隙水圧比は、LDR 堤防 < ドレーン工法となり、ドレーン層を裏のり面全体に補強する LDR 堤防が効果的に間隙水圧上昇の抑制と、それに伴う堤体変形抑制に大きな役割を果たしている。

(2) 越水実験での堤体変形

越水実験における各ケースの堤体面積残存率の時間変化を図 5 に示す。天端沈下が大きかった天端舗装は、越流開始から 1 分で天端が流失し、堤体の大部分が短時間で侵食された。ドレーン工法に関しては、天端変形量が小さかったため、ある程度天端は維持したが、4 分 2 秒後に流失し、その後、面積残存率は急激に減少した。一方、LDR 堤防では、面積残存率は 100% を維持しており、その後、洗堀工を除去しても同様の結果となった。そのため、LDR 堤防では、加振により天端の亀裂や被覆工間の隙間・不陸が生じたが、これら隙間からの流入水は被覆工下部のドレーン層内を通り、裏のり尻へと排出され堤体土の侵食はほぼ生じておらず、LDR 堤防が複合災害への耐災性が極めて高いことが示された。

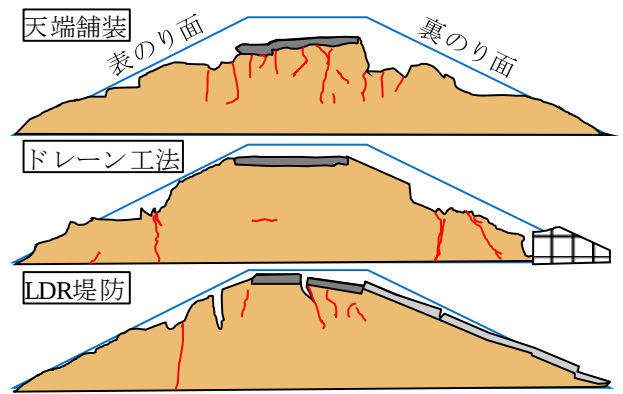


図 3 加振後の堤体変形（赤線：亀裂）

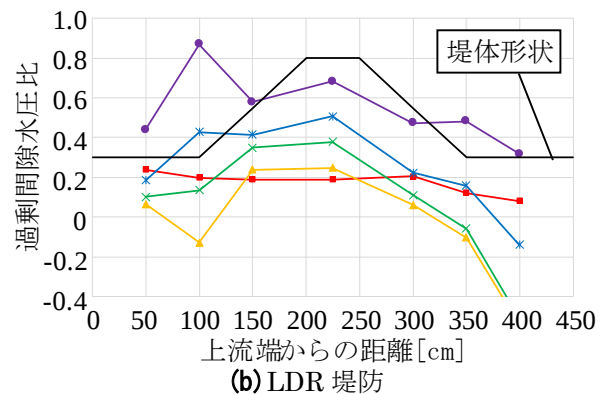
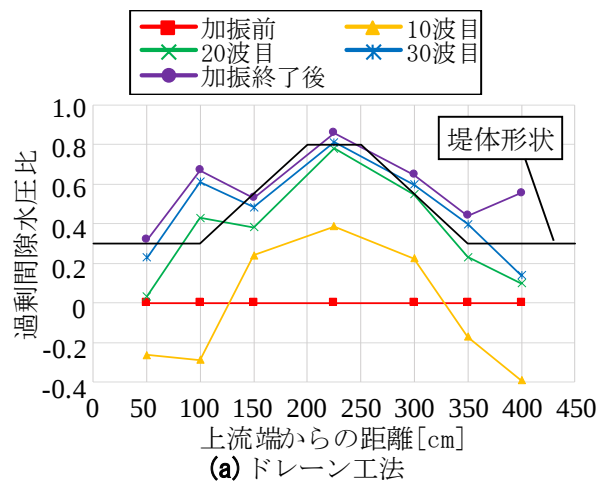


図 4 過剰間隙水圧比の横断分布の時間変化

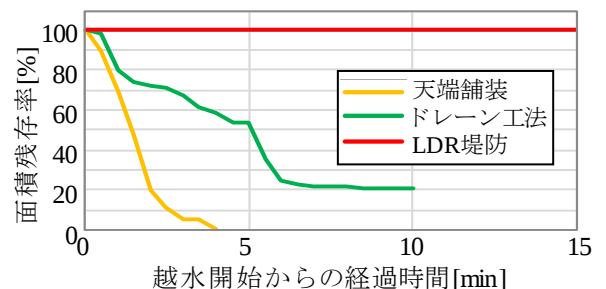


図 5 越水実験における堤体面積残存率の時間変化

参考文献

- 1) (国研)土木研究所：河川堤防の液状化対策の手引き，2016。
- 2) 倉上ら，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.74，No.4，pp.I_1261-I_1266，2018。
- 3) 倉上ら，ジオシンセティックス論文集，第 31 巻，pp.191-198，2016。