

耐越流侵食性向上のための河川堤防強化技術の実験的検討

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科

学生会員 ○倉上 由貴
正会員 二瓶 泰雄, 川邊 翔平, 菊池 喜昭, 龍岡 文夫

1. 序論

2011 年新潟・福島豪雨や紀伊半島における台風 1112 号災害のように、局所的な異常降雨に伴う超過洪水の発生とそれによる堤防の越流決壊が各地で頻発している¹⁾。河川堤防は「計画高水位以下の水位に対して流水の通常の作用に対して安全な構造物」とされている。そのため、計画高水位を上回り、長時間越水するような超過洪水に耐えることを前提として堤防設計はなされていない。今後予想される豪雨・台風災害の激化に備えた防災・減災先進社会を実現するためには、「想定外」の超過洪水対策の重要性が指摘されており、そのためには、堤防の越流侵食対策を本格的に進めていくことは必要不可欠である。上述したように、一般的な河川堤防では超過洪水に対応していないが、既存の耐越水用の堤防としては、高規格堤防（スーパー堤防）とアーマ・レビーが挙げられる。しかしながら、高規格堤防は堤体断面が増えコスト面に問題が生じ、アーマ・レビーにおいても耐越流侵食性は不十分である。そのため、既存技術とは異なる新しい堤防強化技術の開発が急務である。本研究では、耐越流侵食性を大幅に向上させて、粘り強く壊れない河川堤防補強技術を開発する。ここでは、越流侵食に対する堤防強化技術として、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」を提案する。これは、堤防表面に設置された被覆工と、堤防内に敷設したジオグリッド等の面状補強材を結合したものである。GRS 工法自体は、耐震性が極めて優れた盛土・橋梁補強技術として既に実用化されている²⁾。本研究では、一般的な 2 割勾配の堤防を基準として、新形式（GRS 堤防）や従来形式（アーマ・レビー）を含むいくつかの補強条件や締固め度を変化させて堤防越流実験を実施する。それらの結果に基づいて、堤防の侵食状況と補強条件の関係性を明らかにすると共に、GRS 河川堤防の有効性を検証する。

2. 実験の概要

本実験では、**図 1** に示す長さ 5.0m、幅 0.2m、高さ 0.35m の水平開水路に各種の模型堤防を設置し、堤防越流実験を行う。堤防模型の形状としては、**図 2** に示すように、高さを 20cm、天端幅を 10cm とし、表・裏のり面は一般的な 2 割勾配としている。ここでは、模型縮尺を 1/25 を目安としており、実スケールでは高さ 5m の堤防を想定している。実験では、基礎地盤（厚さ 5cm）の上に堤防模型を置き、堤防の越流侵食過程で重要となる裏のり尻における洗掘を考慮した実験としている。堤防条件としては、**表-1** に示すように、締固め度 D_c は 85% を一定とし、土堤（Case1）、補強条件を面状補強材（ジオグリッド）のみ（Case2）、堤防の表のり面・天端・裏のり面に被覆工（パネル）のみを敷設したもの（従来形式, Case3）、ジオグリッドと被覆工を結合した新形式（Case4）、そして、従来形式・新形式において裏のり面に洗掘防止工を施したものの（従来形式, Case5・新形式, Case6）全 6 ケースとする。ここで、ジオグリッドとはジオテキスタイルの一種であり、ポリエチレン製の補強拘束ネット（引張強度 16kN/m、前田工繊(株)製）を使用している。また、パネルとして、元々の堤防サイズを考慮して、コンクリートと比重がほぼ同じで、厚さ 0.5cm のアルミニウム板を使用した。堤体材料としては、最適含水比 16% の湿潤豊浦砂を用いた。

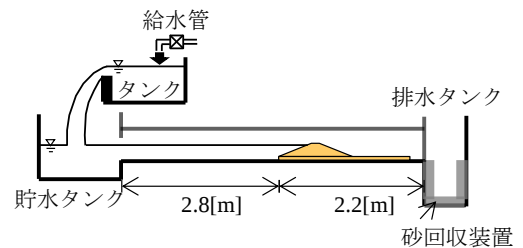


図 1 水平開水路の概略図

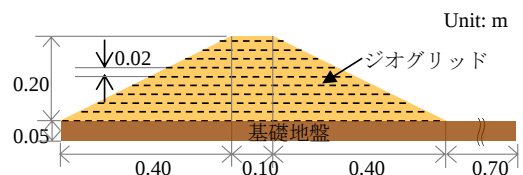


図 2 実験で用いた砂丘断面（単位：cm）

表 1 実験条件

No.	対策		
	補強材	パネル	洗掘防止工
1	×	×	×
2	○	×	×
3	×	○	×
4	○	○	×
5	×	○	○
6	○	○	○

キーワード：堤防，越流，侵食，超過洪水，GRS

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

3. 実験結果と考察

(1) **ジオグリッド補強の効果**：越流時における無補強の土堤 (Case1) の耐越流侵食性に関する基本特性を把握するために、堤体形状の時間変化を図3 (a) に示す。これを見ると、表のり面の侵食も見られないが、裏のり面は全面的に侵食されており、その侵食深は概ね一様である。一方、補強材としてジオグリッドを導入した Case2 の堤体侵食形状を図3 (b) に示す。これより、天端の一部や裏のり面において侵食が始まっているものの、裏のり面の侵食状況としては一様ではなく、無補強 (土堤) の場合と比べて裏のり尻側の侵食が明瞭に抑制されている。堤体高さの残存率の時間変化を図4 に示す。高さ残存率とは、側面からビデオ撮影した堤体断面の画像から時々刻々の高さを求め、それを越流開始時の初期高さで除したものである。堤体の高さ残存率はジオグリッド補強により抑制された。堤防が全て流失される時間は、無補強では 45s、ジオグリッド補強では 90s であり、ジオグリッド補強により 2 倍に伸びた。ジオグリッドによる一定の補強効果が現れているが、このケースでも 90s 後には堤体全てが流出しており、より耐越流侵食性の高い盛土補強技術が必要となる。

(2) **従来形式と新形式の比較**：洗掘防止工の無い従来形式 (Case3) 及び新形式堤防 (Case4) における堤体侵食状況の時間変化を図5 に示す。まず、従来形式の場合には、裏のり尻部分が局所洗掘され、パネル下側の土砂が下流側へ流送された。その侵食がある程度進行すると、裏のり尻側のパネルから流失し、再び、残されたパネル下部の侵食が進行した。これらを繰り返し、天端付近まで侵食面が到達すると、天端から一気に崩壊し、堤体の大部分が侵食された ($t=70s$)。一方、新形式堤防では、従来形式と同様に、裏のり尻部の局所洗掘により、パネル下部の侵食が進むが、パネルがジオグリッドと結合されているため、パネルは流失せずに、概ねその位置に留まっていた ($t=70s$)。図6 より、従来形式では、急激に高さ残存率が減少しており、90s 後には、完全に流失している。一方、新形式堤防においては 10 分後でも高さを初期断面の約 1/3 に維持できていた。これより、新形式堤防による耐越流侵食性の向上が明らかとなった。

(3) **洗掘防止工の効果**：洗掘防止工を施した従来形式 (Case5) 及び新形式堤防 (Case6) を含む全ケースの越流開始 10 分後の堤体高さ残存率を図7 に示す。従来形式では、洗掘防止工を設置した Case5 において Case3 よりも一定の効果が得られたが、10 分後には堤体は全て崩壊したことが分かる。一方、洗掘防止工を設置した新形式では、越流開始 10 分後においても高さ残存率を 100%維持しており、越流開始前の堤体形状を約 20 分保った。これより、新形式堤防に洗掘防止工を設置することにより、耐越流侵食性の大幅な向上が見られ、新形式堤防の有用性が明らかとなった。

参考文献： 1) 玉井信行：平成 23 年度河川災害に関するシンポジウム, pp.1-14, 2012. 2) Tatsuoka, F., M, Tateyama, T. Uchimura and J. Koseki: *Geosynthetic International*, Vol.4, No.2, pp.81-136, 1997.

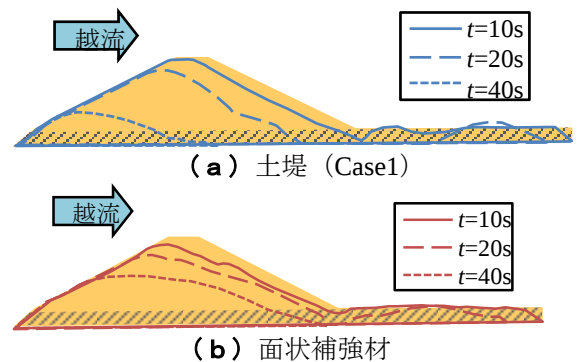


図3 堤体の侵食状況の時間変化

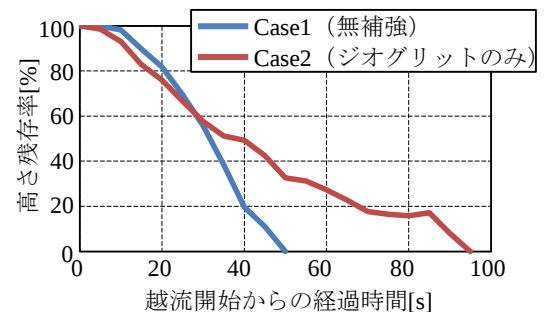


図4 堤体の高さ残存率の時間変化

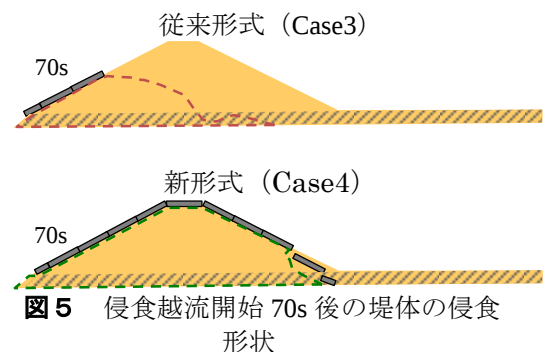


図5 侵食越流開始 70s 後の堤体の侵食形状

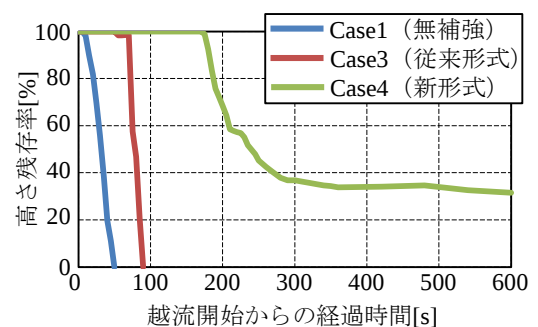


図6 堤体の高さ残存率の時間変化

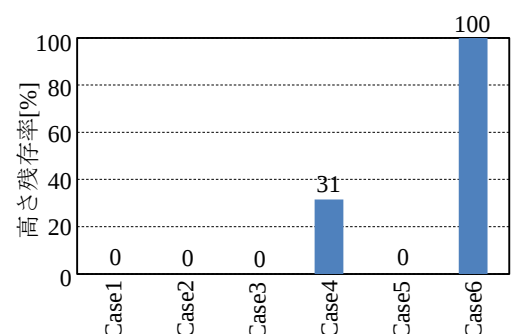


図7 全ケースの越流開始後 10 分後の堤体高