

## 大型模型実験による現行河川堤防及び GRS 河川堤防の耐越水侵食性の検討

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 ○倉上 由貴, 森田 麻友, 守屋 博貴  
東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 二瓶 泰雄, 菊池 喜昭

### 1. 序論

2015年9月に発生した関東・東北豪雨により鬼怒川で堤防決壊が生じたように、近年、異常豪雨に伴う超過洪水による越水を主要因とした堤防決壊が各地で多発している。一般の河川堤防設計では、計画高水位を上回る超過洪水時の越水侵食を設計外力に反映していないため、堤防決壊要因の8割は越水であると報告されている<sup>1)</sup>。今後、超過洪水時に備えるため、現行堤防の耐越水性の把握及び越水対策強化技術の開発が急務である。著者らは、洪水・地震に対する河川堤防の強化技術として、耐震性に極めて優れている盛土補強技術である GRS 補強土 (Geosynthetic-Reinforced Soil) を河川堤防に導入した「GRS 河川堤防」を提案し、その効果を小型模型実験 (高さ 0.2m) により検討してきた。GRS 堤防の特徴には、1) 高い耐越水性<sup>2)</sup>、2) 堤体断面の省スペース化、3) 既設堤防への適用が可能、が挙げられる<sup>3)</sup>。しかしながら、これまでの実験では、①模型スケールが堤体高さ 0.2 m と小規模である、②これまでの GRS 堤防では堤体材料を均一としジオグリッドを被覆工と結合したことにより、浸潤面到達後、ジオグリッドの目合いから堤体材料の吸出しや被覆工の不安定化し決壊に至った。本研究では、堤体高さ 1 m の大型模型による越水実験を行い、土堤、三面コンクリート張りのアーマ・レビー、GRS 河川堤防の耐越水性を把握する。また、土堤ではアスファルトによる天端舗装の効果も調べる。浸潤面到達後における堤体安定化のため、本研究では透水性の高い砂利を裏込め材として巻込んでジオグリッドを敷設し、堤体材料と裏込め材の間にフィルター材として不織布を設けた (図 1)。これにより堤体材料の吸出し防止効果向上、浸透水排水構造による浸潤面低下と被覆工の不安定化抑制効果につながると考える。

### 2. 実験の概要

河川堤防の耐越水侵食性について検証するために、長さ 20m、幅 1.0m、高さ 1.8m の開水路 (図 2) に堤防模型を設置し、堤防越水実験を行った。堤防模型形状は、全てのケースにおいて、鬼怒川決壊地点<sup>4)</sup>を念頭に模型縮尺を 1/4 とし、厚さ 0.3 m の基礎地盤の上に、高さ 1.0 m (実スケール 4.0 m)、天端幅 1.0 m、表・裏のり面勾配 2 割勾配の堤防を作製した (図 1)。堤防補強条件としては、土堤のみ (Case1)、土堤にアスファルトで天端舗装した場合 (Case2)、堤体表面にコンクリート製被覆工を敷設したアーマ・レビー (Case3)、GRS 河川堤防 (Case4, 図 1) の 4 ケースとした。堤体材料として、銚田砂 ( $D_{50} = 0.22$  mm, 細粒分含有率  $F_c = 8.4$  %, 最適含水比  $w_{opt} = 13.5$  %) を用い、締固め度  $D_c = 90$  % (JIS A 1210) で作製した。Case 2, 3, 4 においては厚さ 0.04 m の天端アスファルト舗装をした。Case 3, 4 における堤体表面の被覆工及び洗掘防止工として、幅 0.25 m、長さ 0.25 m、厚さ 0.05 m のコンクリート平板を用いた。Case 4 では、目合い 10 mm×10 mm のジオグリッドを裏のり面部に長さ 0.2 m だけ部分的に敷設した。Case 4 の裏込め材には砂利 ( $D_{50} = 17.2$  mm) を用いた。越流水深  $h$  は、図 3 に示すように、越水開始からの時間  $t = 10, 20, 30, 60, 80, 100, 120$  分まで  $h = 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25$  cm と段階的に増やし、2015 年鬼怒川決壊時の流況<sup>4)</sup>を念頭にして設定した、なお、 $t = 120$  分以降は、最大越流水深である  $h = 25$  cm と一定とした。

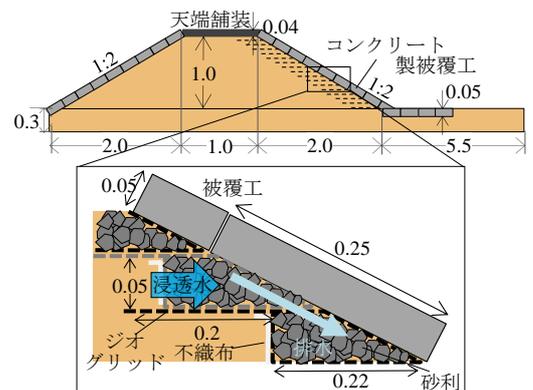


図 1 GRS 河川堤防の概要図 (Unit : m)

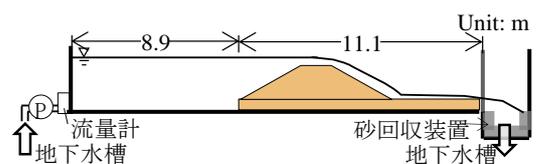


図 2 大型開水路の概要

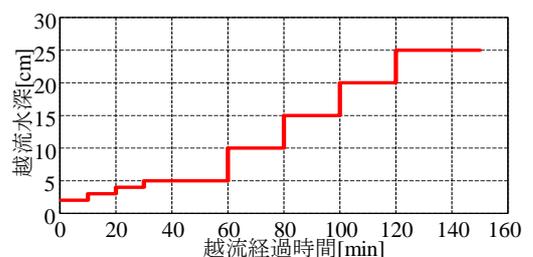


図 3 越流水深の設定

キーワード：堤防, 越水, 侵食, 天端舗装, 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) **天端舗装の効果**：堤防天端のアスファルト舗装が越水侵食状況に及ぼす影響を把握するために、Case1 と 2 における越水侵食形状の時間変化を破線で図4に示す。Case1 では越水開始直後から侵食が始まり、 $t = 1.0 \text{ min}$  で裏のり面及び天端の一部が侵食され、 $t = 2.5 \text{ min}$  で侵食が表のり肩に到達し、決壊（天端が崩落し、堤体高さが減少した時点を決壊と定義）した。一方、Case2 では、 $t = 5 \text{ min}$  まで天端は侵食されずに裏のり面のみが侵食された。その後、裏のり面が垂直に切り立った形でひさし状に侵食され、 $t = 15 \text{ min}$  以降天端が裏のり面側から徐々に侵食され、 $t = 25 \text{ min}$  に決壊した。これより天端舗装により一定の耐越水性向上効果が見られる。

(2) **アーマ・レビー及び GRS 河川堤防の耐越水性**：堤体表面の被覆工や堤体内に敷設されたジオグリッドが耐越水性向上に及ぼす影響を調べるために、Case3 と 4 の堤体面積・高さ残存率の時間変化を図5に示す。この面積・高さ残存率はある時間の堤体断面積・高さを初期値で除したものである。これより、アーマ・レビー（Case3）では  $t = 60 \text{ min}$  まで元の堤体形状を維持し、天端舗装有の土堤よりも大幅に耐越水性が向上した。しかしながら、越流水深が 10 cm になると、洗掘防止工が流出し ( $t = 64 \text{ min}$ )、それ以降では Case2 と同様に急激に面積残存率が減少し、急激に破堤に至ることが示された ( $t = 87 \text{ min}$ )。一方、GRS 河川堤防（Case4）では、2時間半後においても堤体の侵食は見られず、初期状態を維持していた。これより、GRS 河川堤防は本実験範囲内では最も耐越水性が高いことが分かる。

Case4 では洗掘防止工間をジオグリッドで繋いでおり、Case3 と 4 の耐越水性の差異が裏のり面の補強効果か洗掘工の差か判別できない。そこで、Case4 の洗掘防止工を全て取り除いて実験を再開し、裏のり面の侵食状況として裏のり面の被覆工流失時間を図6に示す。図中の Case3 では洗掘防止工が全て流出してからの時間  $t'$  を示す。Case3 では、早々から裏のり面の被覆工が次々に流出し、わずか  $t' = 6.5 \text{ min}$  で全被覆工が流出し、天端アスファルトが侵食し始めた。Case4 は、裏のり面の侵食に長く要し、全被覆工流失までに  $t' = 54 \text{ min}$  となった。この要因として（図7）、Case3 では被覆工間に不陸や隙間が発生すると、そこに越流水が侵入して堤体土が侵食され、不安定化した被覆工が流出した。一方 Case4 では、裏のり面の被覆工と堤体材料間に敷設された砂利がクッションとなる空気層を形成し、被覆工間の隙間が小さいうちは剥離するため越流水の流入は起こらない。隙間が大きいと越流水は砂利層に流入するが排水されるため、堤体土の侵食を抑制する。結果として GRS 河川堤防では耐越水性が大きく向上したものと考えられる。

<参考文献>

- 1) 吉川勝秀 (編著)：河川堤防学 河川工学, 技報堂出版, pp. 1-278, 2008.
- 2) 倉上ら：土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, pp.I\_1219-I\_1224, 2013,
- 3) 倉上ら：ジオシンセティックス論文集, Vol.30, pp.67-74, 2015,
- 4) 国交省関東地方整備局：第二回鬼怒川堤防調査委員会資料, 2015.

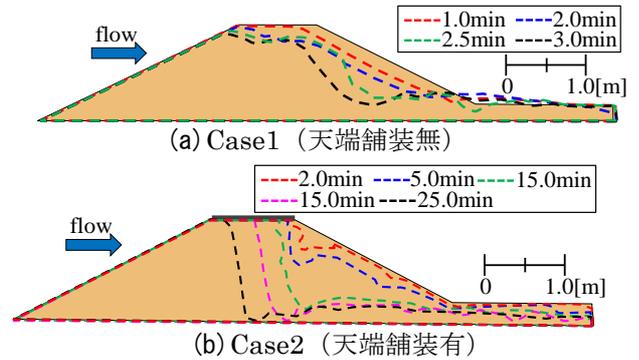


図4 天端舗装有無による土堤の侵食状況の比較

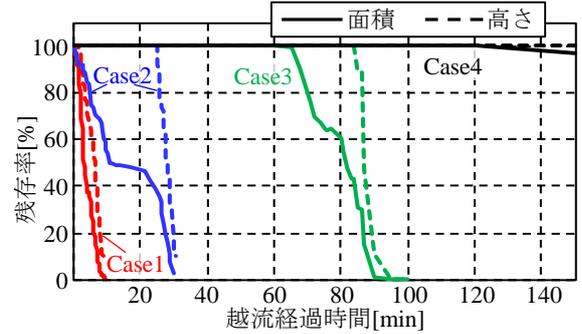
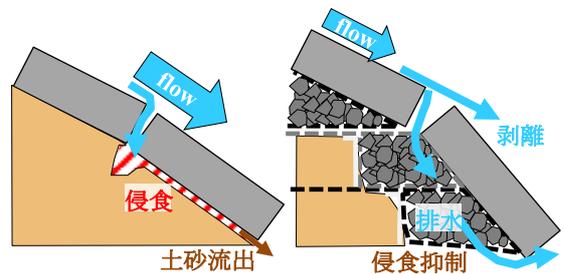


図5 堤体面積・高さ残存率の時間変化

	天端アスファルト				天端アスファルト			
	裏のり肩	裏のり面	裏のり面	裏のり面	裏のり肩	裏のり面	裏のり面	裏のり面
裏のり肩	6.5	6.5	6.5	6.5	54	54	54	54
	6	6	6	6	54	54	54	54
	6	6	6	6	51	51	51	51
	6	6	6	6	34	34	34	34
	3	3	3	3	30	30	30	30
	3	3	3	3	29	29	29	29
	3	2.5	2.5	2.5	28	28	28	28
裏のり面	2.5	2	2	2	26	26	26	26
	0	0	0	0	25	25	25	25

(a) Case3 (アーマ・レビー) (b) Case4 (GRS 堤防)

図6 裏のり面被覆工の流失時間  $t'$  (単位: min)



(a) Case3 (アーマ・レビー) (b) Case4 (GRS 堤防)

図7 被覆工間の隙間発生後の流況の比較