

導流堤形式における大型土のう積層体の破壊状況に関する実験

土木研究所 ○高木将行

元土木研究所, 現防災科学技術研究所 秋田寛己

土木研究所 金澤牧子, 伊藤誠記

1 序論

土石流等が発生した溪流では, 二次災害を防止するため, 応急対策工が実施される。応急対策工のうち, 耐候性大型土のうを用いた積層工法では, 導流堤形式で設置することで, 土石流の流下方向を規制させる機能が期待される。秋田ら (2021) は, 導流堤を対象とした模型実験を実施し, 土砂を含む水の流れに対する積層体の破壊形態を明らかにしたが, 大型土のうを用いた応急対策工は様々な制約下で実施されることから, 積層体が破壊しない条件の明確化が必要である。そこで, 本研究は, 秋田ら (2021) の実験結果を用いて, 積層体の破壊形態の違いや残存割合より, 積層体の破壊が防止される条件を明らかにすることを目的とする。なお破壊とは, 土砂を含む水の流れによって, 土のう模型が流出し, 積層体の構造が崩れた状態とした。

2 実験方法

2.1 実験水路と積層体の諸元

図-1 に実験水路と積層体の模式平面図を示す。フルード相似則を適用し, 模型縮尺 1/20 とした。実験水路には, 長さ 4.0 m, 幅 0.2 m で, 勾配可変のものを使用し, 水路内に土砂を層厚 0.02 m (長さ 4.0 m, 幅 0.2 m) で敷き詰めた。水路上端より水量 0.06 m³ (流量 0.005 m³/s, 給水時間 12 s) を供給し, 土砂と水の流れを発生させた。土砂の厚さと水量の条件は, 平成 30 年 8 月に土石流が発生した広島県広島市安佐南区の溪流 (流域

面積 0.05 km²) を参考した。土砂の厚さについては実寸 0.4 m を想定し, 水量については 5 年超過確率日雨量 (134.6 mm/day) より算出した。

図-2 に積層体の短辺方向の断面図を示す。土のう模型は, 円柱形状 (直径 0.05 m, 高さ 0.05 m) とし, 袋材はポリエステルで, 乾燥土砂を充填し, 質量は 160 g とした。土のう模型からなる積層体は 2 段積みとし, 導流堤形式となるよう, 水路の流下方向に対して, 一定の角度 (以下, 導流角) を設け, 水路の下端に設置した。積層体の長辺個数は上下段で同数とし, 水路の横断方向の積層体長辺の長さが水路幅以上となるような数とした。下段の短辺個数 (以下, 底版個数) を 3~5 個とし, 上段個数は下段よりも 1 個少なくした。積層体を設置した範囲には, サンドペーパーを貼付した。

2.2 実験ケース

本実験では, 導流角, 水路勾配, 底版個数を変数に設定し, 基本ケースを導流角 30°, 水路勾配 15°, 底版個数 3 個 (ケース 1) とした。ケース 1 に対し, 1 つの変数の値を変化させ, 他 2 つの変数の値を固定した (ケース 2~7)。また, 追加の変数として, 積層体下端に 4 つの土のう模型を連結させて設置したケース (以下, 土のう模型

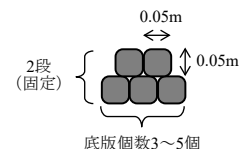


図-2 積層体の短辺方向の断面図

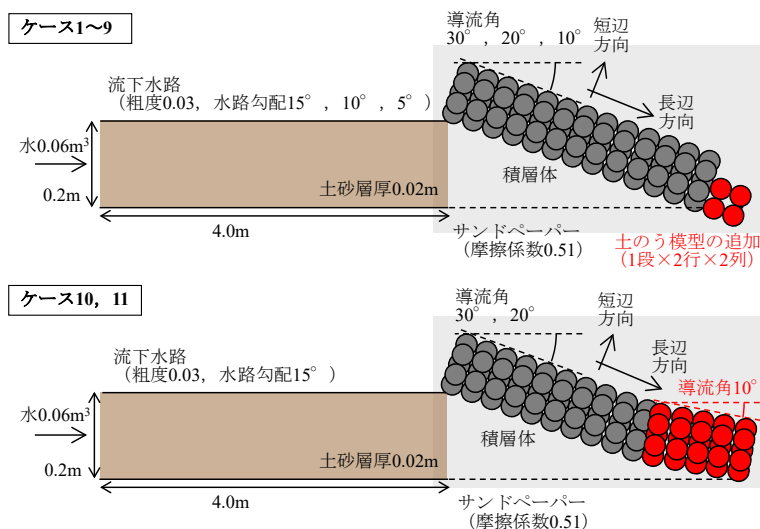


図-1 実験水路と積層体の模式平面図

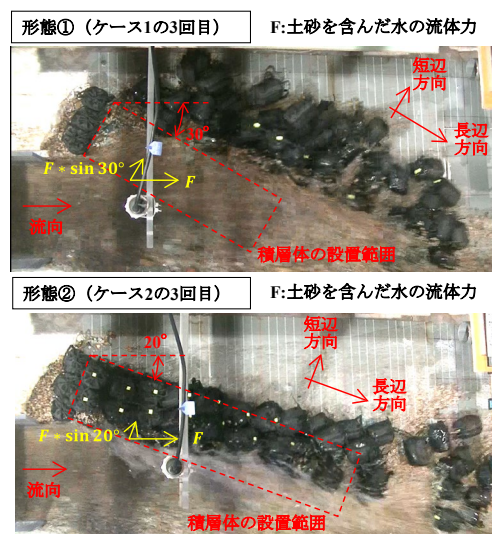


図-3 積層体の破壊形態

表-1 実験条件とその結果

実験条件							実験結果：破壊形態			実験結果：残存割合		
変数条件	値	ケース	回数	導流角	水路勾配	底版個数	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
導流角 (°)	30	ケース1	3		15	3	形態①	形態①	形態①	0%	0%	0%
	20	ケース2	3		15	3	形態②	形態②	形態②	0%	0%	0%
	10	ケース3	3		15	3	破壊無	形態②	破壊無	100%	81%	100%
水路勾配 (°)	15	ケース1	3	30		3	形態①	形態①	形態①	0%	0%	0%
	10	ケース4	1	30		3	形態②			11%		
	5	ケース5	1	30		3	破壊無			100%		
底版個数 (個)	3	ケース1	3	30	15		形態①	形態①	形態①	0%	0%	0%
	4	ケース6	1	30	15		形態②			6%		
	5	ケース7	2	30	15		形態②	形態②		14%	7%	
土のう模型 の追加 (個)	0	ケース2	3	20	15	3	形態②	形態②	形態②	0%	0%	0%
	4	ケース8	2	20	15	3	破壊無	形態②		100%	97%	
	0	ケース6	1	30	15	4	形態②			6%		
	4	ケース9	1	30	15	4	形態②			10%		
導流角の 途中変化 (°)	20→20	ケース2	3	20	15	3	形態②	形態②	形態②	0%	0%	0%
	20→10	ケース10	3	20	15	3	破壊無	破壊無	破壊無	100%	100%	100%
	30→30	ケース6	1	30	15	4	形態②			6%		
	30→10	ケース11	2	30	15	4	破壊無	破壊無		100%	100%	

の追加、ケース 8, 9), 積層体の導流角を途中で 10°に変化させたケース (以下、導流角の途中変化、ケース 10, 11) を設定した。

2.3 積層体の破壊形態と残存割合

図-3 に積層体の破壊形態を示す。破壊形態は、秋田ら (2021) が示した 2 つの形態とした。形態①では積層体全体が流向と積層体の短辺方向にほぼ同時に破壊し、形態②では積層体下流側の土のう模型が流出し、その後上流側へ破壊が拡大する。また、積層体の破壊程度を定量的に評価するため、設置した土のう模型の数に対する、残存した土のう模型の数の割合 (以下、残存割合) を算出した。

3 実験結果

表-1 に実験条件とその結果を示す。導流角、水路勾配を小さくすると、破壊形態が形態①から形態②に、そして破壊無となり、底版個数を増加させると、形態①から形態②になった。また、破壊形態ごとの残存割合では、形態①は全て 0%, 形態②は 0~14%, 81%, 97%を示した。破壊無となる残存割合 100%の条件は、導流角 10° (ケース 3 の 1, 3 回目)、水路勾配 5° (ケース 5) であり、追加の条件では、土のう模型の追加 (ケース 8 の 1 回目)、導流角の途中変化 (ケース 10, 11) であった。

4 考察

4.1 形態①, ②のメカニズム

はじめに、形態①は変数の条件が最も厳しいケース 1 で発生した。この条件では、水路勾配が大きいため、土砂を含んだ水の流体力自体が大きく、かつ積層体の導流角が大きいため、積層体の短辺方向に作用する流体力の分力が大きい (図-3)。そして底版個数も少ないた

め、積層体の短辺方向の摩擦力が小さい。ゆえに、形態①では、積層体全体が流向と積層体の短辺方向にほぼ同時に破壊したのと考えられる。

次に、形態②は形態①に比べて変数の条件が緩いケース 2, 4, 6, 7 で発生した。これら条件では、流体力自体が小さく、積層体の短辺方向に作用する分力が小さく、積層体の短辺方向の摩擦力が大きくなった。ゆえに、形態①で認められた積層体の短辺方向への破壊が発生しなかったと考えられる。一方、土砂を含ん

だ水の流れにより、積層体下流側の土のう模型の流出が発生しており、安定性が低下した流出箇所が後続流によって流出し、上流側へ破壊が拡大したのと考えられる。

4.2 積層体の破壊が防止される条件

ケース 1~5 より、積層体の導流角もしくは水路勾配を小さくすることで、積層体が破壊しなくなった。一方、ケース 1, 6, 7 より、底版個数を増加させても形態②は発生しており、これは底版個数の増加が積層体の短辺方向への破壊防止に寄与するためである。

4.1 に示した形態②のメカニズムより、積層体下流側の土のう模型の流出をきっかけとして上流側へ破壊が拡大した。よって、積層体が破壊しないためには、下流側の土のう模型の流出防止を図る必要がある。ここで、ケース 2, 6, 10, 11 より、形態②から破壊無になった。これは導流角を途中で変化させた下流側の土のう模型に対して、土砂と水が当たらず、上流側の土のう模型を支持していたためと考えられる。以上より、複数ケースでの有効性が認められた。

5 結論

本実験より、導流堤形式における土のう模型の積層体の破壊が防止される条件は以下のとおりである。

- 1) 積層体の導流角もしくは水路勾配を小さくする。
- 2) 積層体下流側の土のう模型を流出させない。例えば積層体の導流角を途中で変化させることが有効。

6 参考文献

- (一財) 土研センター (2023): 「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル [第 2 回改訂版]. 秋田寛己ら (2019): 砂防学会誌, Vol.74, No.4, p.23-31.