

建設省土木研究所 万膳英彦 ○鈴木若之

1. はじめに

土石流に関しては、多くの研究が行なわれている。しかし、まだなその部分も多く、特に土石流の発生メカニズムについては十分な説明ができるまでには至っていない。そこで本報告は、渓床上の山腹崩壊によって生産された土砂が流動化して土石流に発達するまでの現象を実験上で観察測定した結果について、二、三の考察を加え、いくつかの知見を得たので、ここに発表するものである。

2. 実験の概要

図-1は、実験に用いた水路の土石流の発生部分である。水路は、長さ10mの両面アクリル張りの木製水路で、勾配は、40°, 35°, 30°, 25°, 20°, 15°の一様勾配に設定したものと、上流4mの水路の下流に勾配を変化させた6mの水路を接続させて、40°-25°, 40°-20°, 40°-15°, 35°-15°, 30°-15°に設定したものの計11タイプで、水路床は、土石流発生部をのぞいて固定床とし、固定床には実験に使用した砂を粗度として取り付けた。使用した土砂は、 $d_m = 5.9\text{mm}$ の混合粒径砂(Type-I)と $d_m = 1.8\text{mm}$ の一樣粒径砂(Type-II)及び、 $d_m = 1.8\text{mm}$ の一樣粒径砂に重量比で20%のベントナイトを混合させた土砂(Type-III)の三種類で、流量は、0.25, 0.5, 0.75, 1.0 (ℓ/sec)の四種類で実験を行なっている。

3. 実験結果

3-1. 一様勾配の実験結果

1). 土石流の分類

実験結果について、土石流の発生、流動形態別にタイプ分けを行なった結果を表-1に示している。発生、流動の状況は、以下に示すものに分類した。

○発生 Type分け

Type-A: 発生部で、土砂の内部破壊がおこり、そのまま水路を流下するもの

Type-B: 発生部で、土砂の内部破壊がおこり、いったん天然ダムを形成した後、再移動するもの

Type-C: 土砂の内部破壊よりも、表流水による表面侵食に伴って発生するもの

Type-D: 発生部で、土砂の底面すべりが起こり、いったん天然ダムを形成した後、越流水により上部から侵食されて流下するもの

Type-E: 発生部で、土砂の底面すべりが起こり、いったん天然ダムを形成した後、天然ダムの後ろに湛水が生じ、土塊が再移動するもの

Type-F: 土石流非発生

○流動の Type分け

Type-1: 土石流フロントを形成して、連続的流れとなって流下するもの

Type-2: 土石流フロントを形成するが、移動、停止をくり返して流下するもの

Type-3: 土石流フロントを形成するが、後続流のスピードが速く、フロントをのり越えて流下するもの

Type-4: 比較的、薄い流れで、段波を形成して流下するもので、段波のスピードが先端部より速いもの

Type-5: 天然ダムの土塊が、そのまま形をかえないうで流下するもの

Type-6: 土砂が落石状に流下し、その後ろを比較的粒径の小さい土砂によって土石流フロントが形成されて流下するもの

Type-7: 明確なフロントが形成されない、土石流と掃流の中間的な流れ

Type-8: 土石流非発生

表-1 から、土石流の発生形態は河床材料の性質によって異なっていることがわかる。Type-II の土砂の場合、発生形態は、流量によって異なっているが、これは、 0.25 t/sec の場合、表流水が発生していたから、土砂の透水能力以下の流量であったために変化が生じたものと考えられる。

2) 土砂濃度の変化

土石流の発生部下端から 1.5 m ごとの土石流フロント部の土砂濃度の変化を示したのが図-2 である。図-2 から土砂濃度は勾配が急になるほど高くなっていることがわかる。なお、 30° 以上の勾配で、土砂濃度が高いのは、先端部で、土砂と水が分離して落石状に礫が流下しているためで、土砂濃度が 70% を越える前後からこの分離現象がみられる。ただし、Type-II, III の礫ではこの現象はみられない。これらのことから、高濃度の流れが維持されるかどうかは礫の構成、粘着力、傾斜角などによって変化してくると思われる。

3) 土石流の流下速度と波高

Type-I の土砂について、流速、波高、土砂濃度、平均粒径を、比較して示したのが図-3 である。図-3 から、波高と流速は反比例の関係があり、流動化した土砂は加速され、フロント部の粗粒化が進むと減速し、波高が高くなっていることがわかる。この関係は、勾配が $30^\circ \sim 15^\circ$ までの間でみられ、勾配が大きくなる程、全体的な流速は速くなっている。Type-II の土砂の場合、流れが比較的薄く、段波を形成して流れるために、段波がフロント部に追いついた時に加速され、波高も高くなっている。Type-III の土砂の場合、流動の Type が 4 の場合、Type-II と同様の傾向であるが、土塊のまま移動する Type-5 では、発生部で形成された天然ダムの高さをほとんど変えないうで流下しており、流速と波高の関係はつかめなかった。

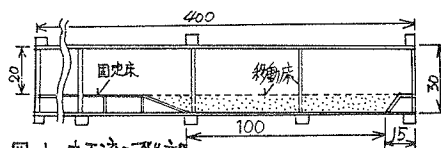


図-1 土石流の発生部

表-2 土石流の分類表

勾配 (°)	流量 (t/sec)	土砂 Type-I		土砂 Type-II		土砂 Type-III	
		発生	流動	発生	流動	発生	流動
40°	0.25	A	6	A	1	E	5
	0.5	A	6	C	4	E	5
	0.75	A	6	C	4	E	5
	1.0	A	6	C	4	E	5
35°	0.25	A	1	A	1	E	5
	0.5	A	1	C	4	D	4
	0.75	A	6	C	4	D	4
	1.0	A	6	C	4	D	4
30°	0.25	A	2	A	3	F	8
	0.5	A	2	C	4	D	4
	0.75	A	1	C	4	D	4
	1.0	A	1	C	4	D	4
25°	0.25	A	2	A	4	D	5
	0.5	A	2	A	4	D	5
	0.75	A	1	C	7	D	5
	1.0	A	1	C	7	E	5
20°	0.25	A	2	A	4	F	8
	0.5	A	2	C	4	E	5
	0.75	A	1	C	4	E	5
	1.0	A	1	C	7	E	5
15°	0.25	B	2	F	8	F	8
	0.5	B	2	F	8	F	8
	0.75	A	2	F	8	E	7
	1.0	A	2	F	8	E	7

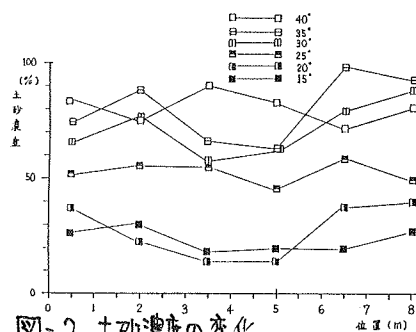


図-2 土砂濃度の変化

3-2. 勾配変化水路での実験結果

1). 土石流の分類

実験結果について、勾配変化点での土石流の変形、流動形態別にタイプ分けを行なった結果を表-2に示している。変形の形態は以下に示すように分類し、流動の状況については、一様勾配での分類を用いた。

○変形のType分け

Type-A: 勾配変化点で一時、堆積して土砂の逆上が起こるもの

Type-B: 勾配変化点で一時停止するが、後続流により、逆上しないで流下するもの

Type-C: 勾配変化点で一時停止をしないで、そのまま流下するもの

Type-D: 勾配変化点で一時堆積して、土砂の内部構造が破壊され混合されて、再移動するもの

Type-E: 勾配変化点で一時停止をしないで流下するが、土砂の内部構造が破壊され、混合されて流下するもの

表-2から、土石流の変形は、土砂の違いと流量によって変化していることがわかる。また、流動も一様勾配のものとは違った形態をしているものもみられる。これらのことから、土石流の変形は、下流側水路の勾配よりも、土砂の構成、粘性等による影響が主に作用していると考えられる。

2) 土砂濃度の変化

勾配変化点から0.5mごとの土石流先頭部の土砂濃度を示したものが、図-4である。図-4から、上流部の勾配が同一のものは、勾配変化点付近では大きな差はみとめられないが、土石流の流下、到達に伴い変化し、勾配が急になるほど、濃度が高くなっている。しかし、上流側の勾配の変化による傾向的な差は認められない。これは、勾配変化点での停止による土砂の混合による影響が、下流の土石流の土砂濃度に作用しているものと思われる。

3) 土石流の流下速度と波高

勾配変化後のTypeIIの波高と流速について示したのが、図-5である。図-5から、勾配変化点で堆積又は停止して波高が高くなるが、流下するにつれ、5cm程度の高さになり、流速も等速運動になっていることがわかる。土砂Type

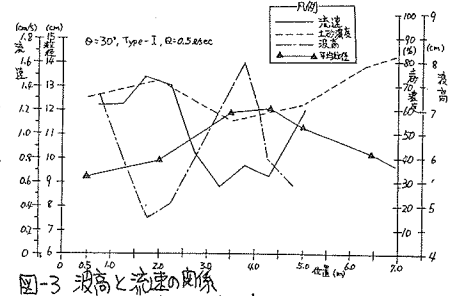


図-3 波高と流速の関係
表-2 土石流の分類表

勾配 (°)	流量 (l/sec)	土砂Type-I		土砂Type-II		土砂Type-III	
		変形	流動	変形	流動	変形	流動
40°→25°	0.25	A	/	C	4	E	4
	0.5	A	/	C	4	E	4
	0.75	B	/	C	3	E	3
	1.0	B	/	C	3	E	3
40°→20°	0.25	A	2	B	4	D	3
	0.5	A	2	C	4	D	3
	0.75	A	/	C	4	D	3
	1.0	B	/	C	4	E	4
40°→15°	0.25	A	2	B	3	D	3
	0.5	A	2	C	3	D	3
	0.75	A	2	C	4	D	3
	1.0	A	2	C	4	D	3
35°→15°	0.25	A	2	C	4	E	4
	0.5	A	2	B	4	C	4
	0.75	B	2	B	4	E	1
	1.0	B	2	B	4	E	1
30°→15°	0.25	A	2	C	3	E	4
	0.5	A	2	C	3	E	4
	0.75	B	2	C	3	E	4
	1.0	B	2	C	4	E	3

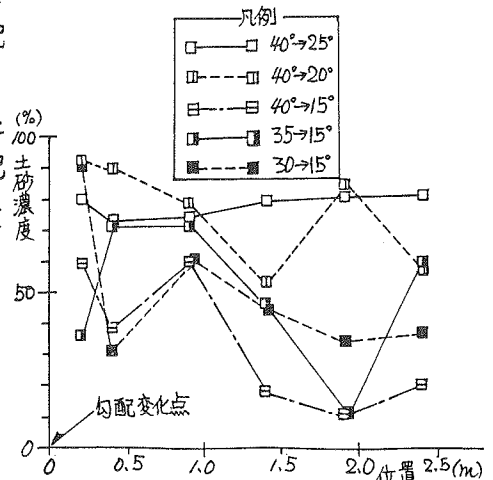


図-4 土砂濃度の変化

Ⅱでも同様の傾向がみられ、上流側水路の勾配による傾向の変化はほとんど認められない。土砂 Type-I では、前述の(3-1.3)のような変化傾向がみられる。これらのことから、上流側の水路で発生した崩壊が下流の水路との勾配変化点で停止、堆積した後、土石流に発達する現象は、土砂の粒径及び粒度分布によって影響されていて、崩壊の現象の違いによる影響よりも、土砂の構成による違いに左右されているものと思われる。

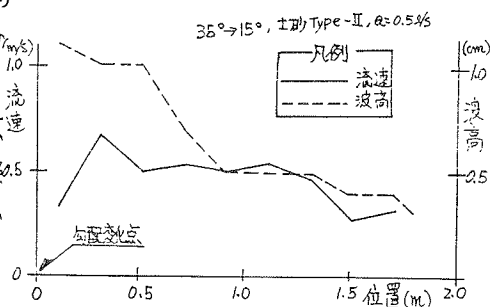


図-5 波高と流速の関係

4. まとめ

- 1). 土石流の発生形態は、粒径、粘着性、流量の違いによる影響を大きく受けていると思われる。
- 2). 土砂濃度は、一様勾配の場合に勾配の違いによる影響を受けており、勾配が急なほど、濃度が高くなっている。勾配変化水路の場合、変化点での土砂の混合の影響を受けているものと思われる。
- 3). 土石流の変形は、下流側水路の勾配よりも、土砂の性質、流量によって変化しており、変形後の状況も、崩壊の形態よりも粒径等の違いによる影響が大きいと思われる。
- 4). 波高と流速は、土砂の違いにより異った傾向を示しており、Type-Iの土砂はフロント部の波高と流速に反比例の関係があり、Type-IIでは、比例関係がある。また、Type-IIにおいては、勾配変化後、定常的な流れとなる傾向があり、Type-IIでも同様の傾向がみられた。

5. おわりに

今回の実験から、土石流の発生、流動、変形に関して、土砂の粒径や粒度分布、粘着性などが大きく影響していることがわかった。しかし、まだ、実験結果に対して十分な考察がなされたわけではなく特に、山腹での崩壊と土石流についての関係や発生部の土砂の移動に関する理論的な検討がなされていない。今後は、これらについて考察を加え、理論的な検討も含めて、さらに実験的考察を進めて行く予定である。

5. 参考文献

- 1). 万膳英彦, 北山滋基: 土石流の発生に関する研究(第三報)、砂防学会概要集, 昭和58年5月
- 2). 高橋保: 土石流の発生と流動に関する研究, 京大防災研究所年報, 第20号B-2, 昭和52年4月
- 3). 芦田和男, 江頭進治, 大槻英樹: 山腹崩壊土の流動機構に関する研究, 京大防災研究所年報, 第26号B-2, 昭和58年4月