

火山噴出物を多く含む土石流の流出による扇状地の河床変動に関する水理模型実験手法

建設省土木研究所

○小山内信智 石川芳治 西中 悟

建設省九州地建大隅工事事務所

児玉大善 高倉 直

(株)建設技術研究所

坂東 高 村上正人

1. はじめに

鹿児島県桜島東部の黒神川扇状地においては、上流の主に3溪流で頻発する土石流の流入による扇面の河床上昇が激しい。扇状地は下流に向かって昭和溶岩により絞り込まれた地形となっており、狭さく部の黒神川1号砂防ダムを通過した土砂は海まで約1.5km導流される。導流部の両側には集落があるため、土砂の氾濫を防止することが防災上の目的となっている。そのため、扇状地に流入してくる土石流をいかに安全に処理するかを水理模型実験を用いて検討することとした。

黒神川扇状地においては、①流入してくる土砂に多くのボラ等の火山噴出物が含まれており、かつ各溪流毎にその構成比が異なっている、②条件設定のための観測データが必ずしも十分にそろっているわけではない、③第一黒神川の出口の導流堤設置を始めとして、扇状地内で土木工事が頻繁に行われている、といった複雑な条件があり、この実験を実施するにあたっては多くの仮定と試行錯誤を伴うこととなった。本報告では、特に扇状地内での堆積状況の変化の現地再現性に関する実験手法について得られた知見を紹介する。

2. 実験概要

2.1 流域概要と実験範囲

黒神川1号砂防ダムより上流の流域面積は合計8.72km²、流路延長は合計6.7kmであり、1号砂防ダム直上流の面積約2km²の地獄河原と呼ばれる扇状地には南から順に第一、第二、第三黒神川（以下3溪流）が流入している。各溪流の諸元は表-1のとおりである。

表-1 3溪流の諸元

諸元	第一黒神川	第二黒神川	第三黒神川
流域面積(km ²)	1.912	1.715	1.286
谷の溪床勾配(%)	22.2	8.3	12.8
谷出口の勾配(%)	7.8	2.2	2.2

実験対象範囲は図-1の太線で囲んだ扇状地部分であり、3溪流は水路で置き換えた。模型の縮尺は1/100とした。

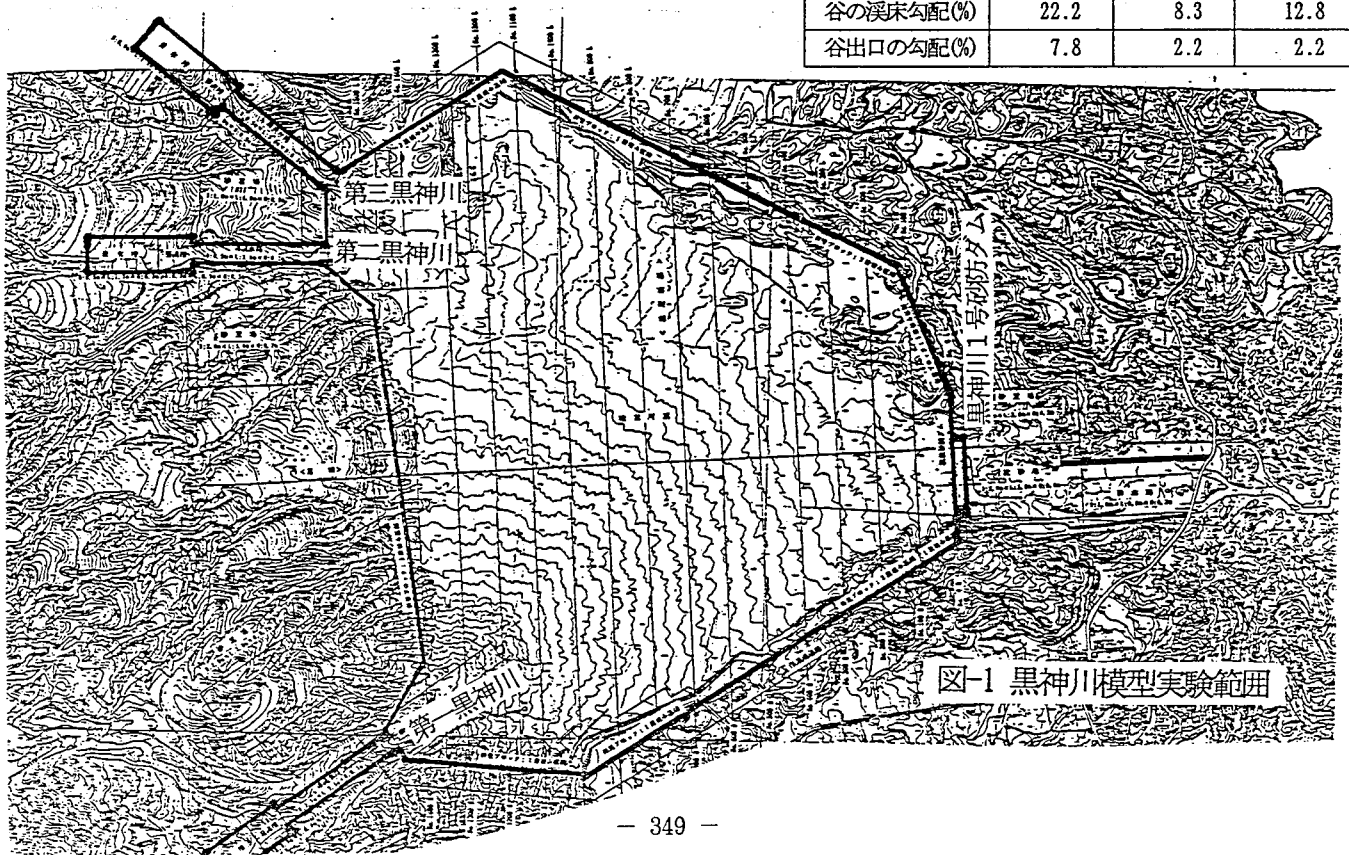


図-1 黒神川模型実験範囲

2.2 既存データと実験の流れ

今回の実験に際しては、3 溪流に砂防施設が入っていないこともあり、流入してくる土石流の挙動に関わる詳細な観測データが得られていないことが最大の問題であった。既存のデータとしては表-2、3 に示した数年毎の扇状地の土砂変動量及び 1 号砂防ダム下流の黒神橋地点を流下する土石流の規模、3 溪流及び扇状地内の堆積土砂の粒度分布程度である。そこで、土石流観測が縦横断測量の成果と比較的良好に対比できる昭和62年12月から平成2年3月の間の河床変動に着目して実験条件の設定を行った。また、実験で使用した土砂は市販の川砂のみを用いて、実験手法を簡便なものとしたという考えと縮尺1/100という条件から、粒度分布は図-2 に示すように、現地では多量に含まれているはずの細粒分をカットしたものである。

表-2 黒神川扇状地土砂変動量

観測年月日	期間長 (年)	土 砂 量			土石流 発生回数
		①堆積量 (10 ³ m ³)	②侵食量 (10 ³ m ³)	③変動量 (=①-②)	
昭和55年12月	1.08	993.7	680.2	313.5	6回
56. 12	0.92	434.7	6.0	428.7	2回
57. 11	1.0	840.9	11.5	829.4	16回
58. 11	1.0	424.4	28.0	396.4	8回
59. 11	1.42	803.5	54.8	748.7	14回
61. 3	0.67	608.0	73.9	534.1	8回
61. 11	1.08	596.2	158.3	437.9	14回
62. 12	2.33	910.4	133.6	776.8	23回
平成2年3月	1.0	464.8	239.4	225.4	21回
3. 3	1.0	378.3	230.3	148.	15回
4. 3					

表-3 平成元年に観測された土石流諸元

発生年月日	ピーク流量 (m ³ /sec)	総流量 (m ³)
H 1. 9/02	22.97	22,380
H 1. 9/19	156.97	187,040
H 1. 11/08	21.66	23,910
平均	67.2	77,477

実験の流れとしては、I. 与える土石流の諸元及び実験手法を仮定して扇状地面の変動の実測値との比較を行う、II. 諸元等の実験条件を変えて現況の再現性を改善する、III. さらに第一黒神川出口に導流堤を設置してから現在までの土砂の挙動について再現性を確認する、という3段階で実施した。

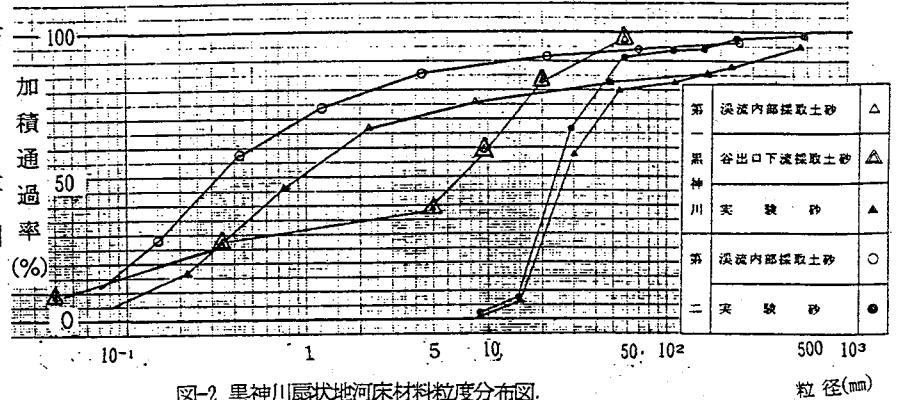


図-2 黒神川扇状地河床材料粒度分布図

3. 実験条件及び結果

3.1 当初 (I) の実験条件及び結果

対象期間の土石流発生回数は23回であるが3 溪流における発生回数は土砂の堆積状況及び流域面積を考慮して第一で12回、第二で6回、第三で5回とした。また、各溪流で発生する土石流の規模は年一回はピーク流量が観測データの最大値160m³/secのものが発生し、それ以外は平均値の70m³/secとした。

発生した土石流の濃度は高橋の土石流濃度式 $C_s = \frac{\rho \cdot \tan \theta}{(\sigma - \rho) (\tan \phi - \tan \theta)}$ で与えられるものとし、流水密度は火山灰による増加分を、礫の密度は第二、第三黒神川ではボラが多く含まれることを考慮して、各溪流で与える土石流は表-4 のとおりとした。

なお、1号ダム下流への土砂の流出率は既往検討結果では50%前後の値である。

表-4 土石流濃度の諸元

諸 元	第一黒神川	第二黒神川	第三黒神川
谷の渓床勾配	22.2 %	8.3 %	12.8 %
内部摩擦角 ϕ	38 °	38 °	38 °
礫の密度 σ	2.6	2.0	2.0
細粒土砂濃度 C'	25.0 %	25.0 %	25.0 %
水の密度 ρ_w	1.0	1.0	1.0
流水密度 ρ	1.4	1.25	1.25
土砂濃度 C_s	46.3 %	19.8 %	32.6 %

ところで、本実験においては実験手法を極力簡便なものとするという制限から実験砂は $\sigma = 2.6$ 、流水は $\rho = 1.0$ の単一なものを使うこととしたが、この条件下では表-4の濃度の土砂は流下しきれないので、当初の実験は土石流の実験でしばしば用いられている「細粒土砂分の影響による土砂濃度の増加分を流量の増加でカバーして、その流量で流れ得る土砂を供給して、総土砂量を相似させる方法」で実施した。

当該期間の変動実測を示したものが図-3で、実験による変動を示したものが図-4である。この結果では、実験では3溪流とも谷の出口に多量の土砂を堆積してしまい、扇状地の広い範囲に土砂を流下させている実態とは合っておらず、また、第一黒神川出口と第二、第三黒神川出口の堆積量のバランスが悪い。さらに、実験での1号砂防ダム下流への土砂流出率は1.05%と極めて低い値であった。

3.2 改善手法(II)による実験条件及び結果 当初の手法の問題点を解消するために、いくつかの予備実験を経て、以下のような条件設定を行った。

- ・土石流の発生回数を第一で17回、第二で2回、第三で3回とする。
- ・扇状地内に堆積する土砂量を実験砂で相似させるため、供給する土砂は1号砂防ダムを通過するはずである細粒分相当量を控除した量とする。
- ・第一黒神川の土石流においてもボラの含有を考慮して砂礫密度を2.2とする。
- ・流下手法を「細粒土砂分含有による流水密度の増加分及び礫の密度低下分を流量の増加でカバーして、所定の土砂量を供給して総土砂量を相似させる方法」とする。

以上の条件から設定し直した土石流の土砂量が表-5である。

実験による変動を示したものが図-5である。この結果でも扇状地中央部には十分土砂が堆積していないが、これは昭和62年12月時点では実際には第一黒神川の出口には測線1200付近まで既存の導流堤が

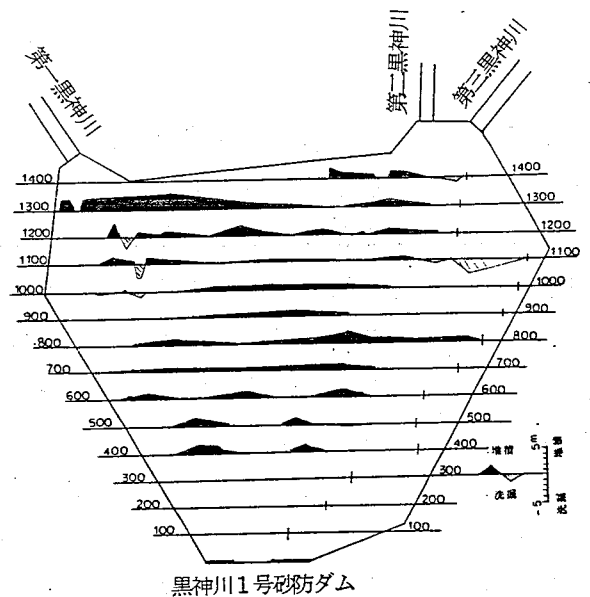


図-3 S62.12~H2.3期間の現地の洗掘堆積範囲の平面変化

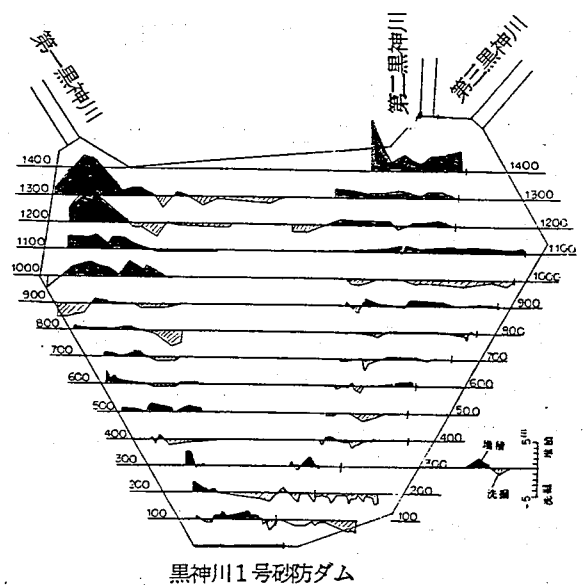


図-4 実験前と実験終了後の洗掘・堆積範囲の平面変化(1)

表-5 土砂配分表 (単位: m^3)

対象溪流名	規模	回数	総流入土砂量	堆積土砂量	総流出土砂量
第一黒神川	平	15	486,900	476,200	10,700
	大	2	160,000	154,700	5,300
第二黒神川	平	1	15,300	13,600	1,700
	大	1	39,300	33,100	6,200
第三黒神川	平	2	47,300	44,700	2,600
	大	1	59,300	54,500	4,800
合計			908,100	776,800	31,300

残っており数カ月間はその機能を保持していたものと思われるが、その後埋没しているため模型には取り入れなかったことによると考えられる。しかしながら、今回最も問題となる右岸寄りの主流路（測線1）の土砂移動に関しては図-6に示すとおり再現性がかなり改善され、その他の主流路についても現地の状況を良く再現した。

3.3 第一黒神川導流堤周辺での再現性検証（Ⅲ）

第一黒神川出口では平成3年に導流堤が改築されたが、平成5年8月の土石流により再度越流・被災している。実験Ⅲにおいては実験Ⅱの手法により2年単位で土石流を与えて導流堤周辺での現地再現性を確認した。

その結果、図-7に示すように2年分の土石流供給によって測線1400付近では導流堤天端近くまで堆積がみられるものの、導流堤先端部分では土砂堆積が殆どみられないという平成4年頃の現地状況を良く再現した。さらに、続く2年分の土石流供給の初期の段階で測線1300付近で越流を開始したが、これは実際の被災箇所とほぼ同じ箇所である。

4.まとめ

本実験では広い扇状地を通過して下流へ流出する土砂を最初から控除することで、簡便な実験手法でも良好な再現性を得ることができると判った。本実験では結果的に45%程度の土砂を控除しているが、このことは実際の粒度分布を見ると黒神川扇状地の河床変動は粒径1mm程度以上の土砂に支配されているともいえる。これはまた、第一黒神川出口下流の流路の堆積土砂は5~20mmが50%程度を占めるが、0.1~0.2mmのものは1号砂防ダム直上流まで行って初めて30%程度となるという既往データからも納得できる。また、火山扇状地の河床変動の実験においてはボラ等の軽石による砂礫密度の低下及び火山灰等の細粒土砂分による流水密度の増加を十分に考慮し、通常の土石流実験の手法以上に広範囲に拡散・流下させられる流下手法を採用すべきであるといえる。

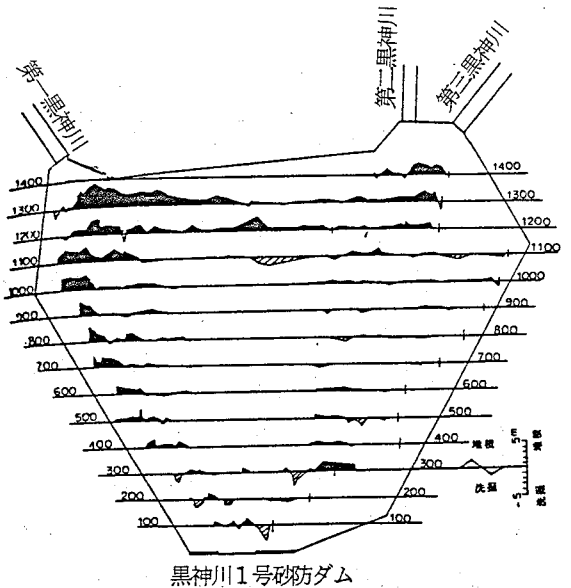


図-5 実験前と実験終了後の洗掘・堆積範囲の平面変化（Ⅱ）

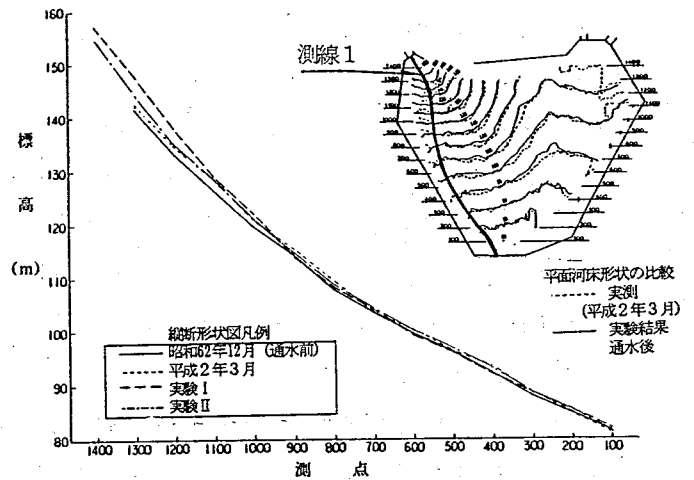


図-6 断面形状の比較

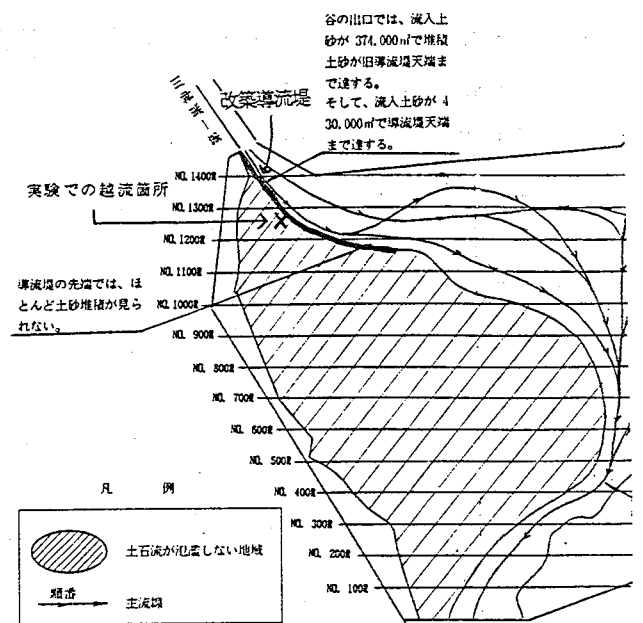


図-7 導流堤周辺での検証実験結果