

建設省土木研究所

○小山内信智 石川芳治 竹崎伸司

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、頻発する土石流の流入による扇面の河床上昇が激しい。黒神川扇状地においては、流入してくる土砂に多くのボラや火山灰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。そのため、水利模型実験により土砂の流下、堆積、侵食現象を再現しようとする場合には、それぞれの溪流の特性に応じた再現手法を用いる必要がある。ここでは、比較的比重の軽いボラを多量に含んだ土石流を実験により再現する手法を検討したので報告する。

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、第三黒神川が流入している。今回は、発泡性に富んだ火山噴出物（ボラ）を多く含んだ第二、第三黒神川からの土砂流出による谷出口から扇状地中流部までの河床変動を適切に再現する実験手法を検討した。実験対象範囲は図-1の太線で示す第二、第三黒神川からの流下範囲であり、模型縮尺は1/100である。

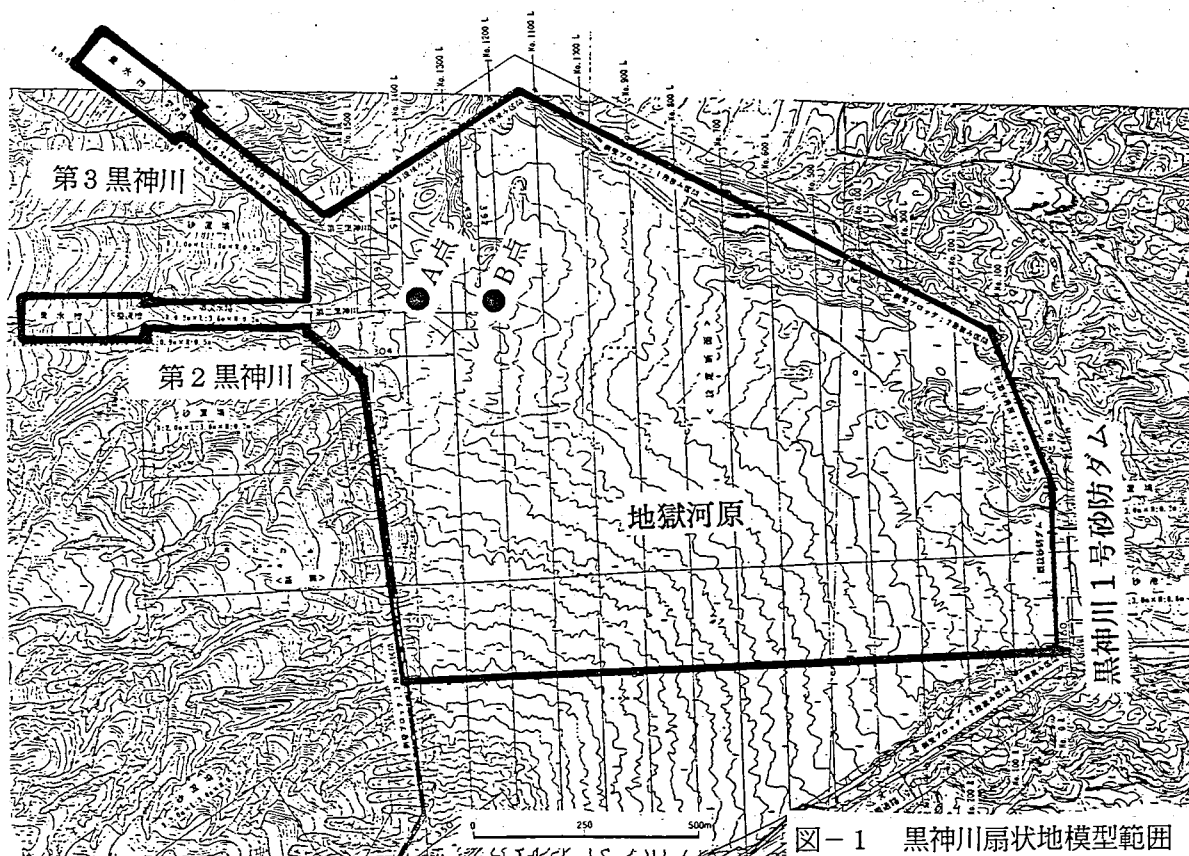


図-1 黒神川扇状地模型範囲

2.2 実験方法

黒神川における土石流の観測データおよび扇状地の縦横断測量成果が整っている昭和62年12月から平成2年3月の間の河床変動の再現を試みた。火山噴出物を多量に含む流れを再現するため、市販の川砂にフライアッシュ（以下FA）を混入させて実験用の土砂とした。

実験では、Ⅰ.流入河床材料のうち扇状地に堆積せずに流出する細粒土砂等をFAに置き換えて混入させ、細粒土砂含有による流水密度の増加、軽石混入による礫密度の減少を考慮する手法（Case-1）、流入水にFAを混入させて、流水密度を増加させ、現地とモデルの流水密度を一致させる手法（Case-2）、およびFAの一部も堆積土砂量として見込み、また、流入土砂総量が現地と一致するものと考えて、流入土砂量およびFA混入率を設定した手法（Case-3）により実験を行い、扇状地河床の変動の実測値との比較を行った。Ⅱ.昨年実施した、FAを用いずに流量を増加させる手法（Case-0）による結果とともに比較し、各ケースの再現性について分析した。

また、各溪流からの流入土石流は、年最大規模（現地： $Q=160\text{m}^3/\text{s}$ 、約20分）で流した後（C-3の第2黒神川のみ2回）、残りの実験対象土砂量を年平均規模（現地： $Q=70\text{m}^3/\text{s}$ ）で19～114分（現地）流した。

3. 実験条件及び結果

3.1 Case-1およびCase-2の実験条件及び結果

1)Case-1(C-1)の実験条件

当該期間における黒神川扇状地への流入総土砂量 $1,456,700\text{m}^3$ のうち、堆積土砂量は $776,800\text{m}^3$ で、残りの $679,900\text{m}^3$ は流出している。この割合で堆積土砂量を砂(S)で、流出土砂量をFA（密度 $\sigma_{am}=2.13$ ）で表現できると考えると、実験砂の平均密度は

$$\sigma_m = \sigma_{sm} \times 0.533 + \sigma_{am} \times 0.467 = 2.6 \times 0.533 + 2.13 \times 0.467 = 2.38 \quad \text{となる。}$$

実験流水密度は、各谷の溪床勾配で流しうる土石流に含まれる細粒分、すなわちFAが全て流水に溶け込んで密度が上昇すると考えて、第二黒神川で $\rho_m=1.06$ 、第三黒神川で $\rho_m=1.123$ が得られる。

表－1. 実験条件等比較表

		現 地		C-0		C-1		C-2		C-3	
		第2黒神川	第3黒神川	第2黒神川	第3黒神川	第2黒神川	第3黒神川	第2黒神川	第3黒神川	第2黒神川	第3黒神川
流入土砂	砂	—	—	54,600 m^3	106,600 m^3	47,200 m^3	100,100 m^3	47,200 m^3	100,100 m^3	94,800 m^3	71,100 m^3
	計	—		161,200 m^3		147,300 m^3		147,300 m^3		165,900 m^3	
	75/77%	—	—	—	—	41,200 m^3	87,800 m^3	182,300 m^3	197,400 m^3	184,900 m^3	138,600 m^3
	計	—		—		129,000 m^3		379,700 m^3		323,500 m^3	
	総土砂量	—	—	54,600 m^3	106,600 m^3	88,400 m^3	187,900 m^3	229,500 m^3	297,500 m^3	279,700 m^3	209,700 m^3
		計		161,200 m^3		276,300 m^3		527,000 m^3		489,400 m^3	
流水密度		1.25		1.00		1.06	1.12	1.25		1.093	1.195
砂礫密度		2.00		2.60		2.38		2.60（実際には2.26）		2.29	
堆積土砂量 <第2, 第3 黒神川筋>		(S62.12～H2.3) 約150,000 m^3		152,100 m^3		142,400 m^3 (砂)		137,400 m^3 (砂) 187,600 m^3 (75/77%)		128,900 m^3 (砂) 11,600 m^3 (75/77%)	

2) Case-2(C-2)の実験条件

実験流水密度を現地の $\rho_m = 1.25$ に一致させる。

$$\rho_m = 1.25 = \sigma_{am} \cdot c' + \rho_w(1 - c') = 2.13 \cdot c' + 1.00(1 - c') \quad \text{より、}$$

$$c' = FA / (FA + W) = 0.22 \quad \therefore FA/W = 0.282 \quad \text{となる。}$$

したがって、FAを水(W)に28.2%混入すれば模型の流水密度 $\rho_m = 1.25$ が得られるので、所定の量のFAを水に溶かして供給した。

3) C-0~2の実験結果および考察

C-1、C-2および昨年行ったC-0の実験条件および洗掘・堆積結果の比較が表-1、図-2である。また、それらの洗掘堆積状況を模式的に表したものが図-3である。

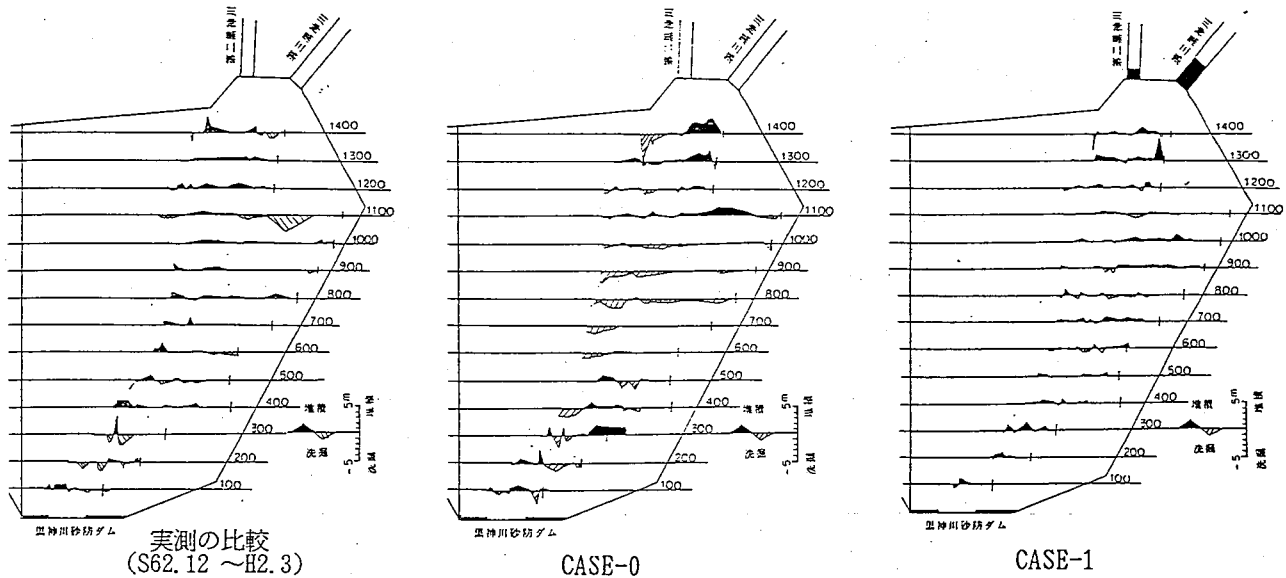


図-2 洗掘・堆積図の比較

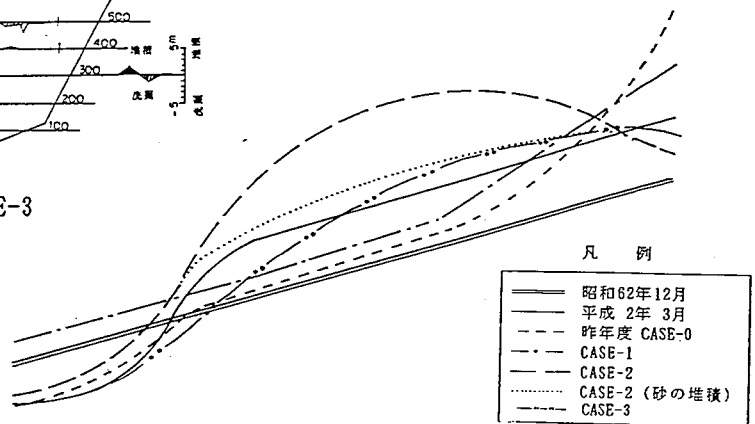
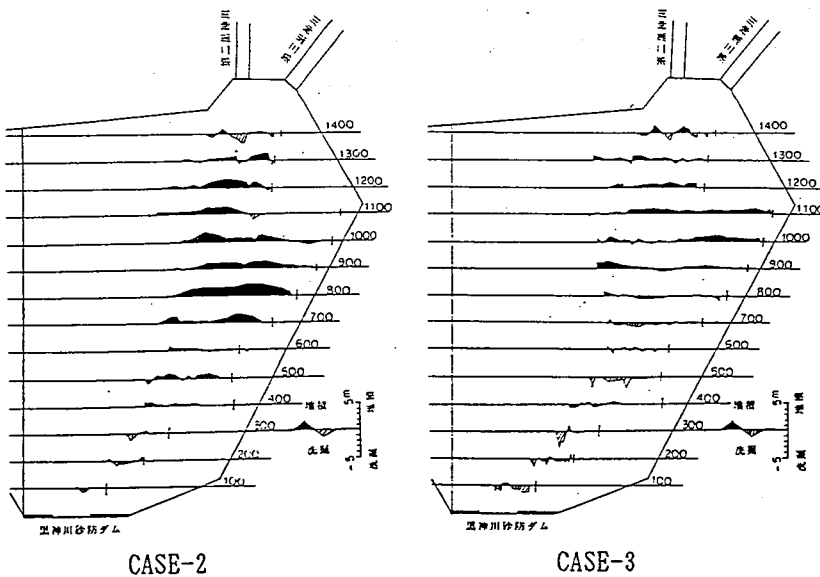


図-3 扇状地内土砂堆積状況の模式図

扇状地上流部（谷の出口付近）での堆積はC-0が最も多く、続いてC-1、C-2であり、C-2は洗掘傾向である。また、C-0、C-1では導水路内に多くの土砂が残ってしまう。したがって、FAを混入させて流水密度を上げることで、流路が比較的狭い範囲に限定されている区間においては粗粒分（砂）を流下しやすくする効果が顕著に現れていることが判る。

扇状地中流部（No.1100～800付近）では、C-1は上流からの流送土砂が少なく洗掘傾向となる。C-2では河道が左岸側に急拡し、掃流力が落ちる部分にFAが著しく堆積し、砂の堆積だけをみても若干の過剰堆積となっている。

また、堆積土砂量（第一、第二黒神川筋）は現地では約 $150,000\text{m}^3$ 程度であったのに対して、C-0で $152,100\text{m}^3$ 、C-1で $142,400\text{m}^3$ 、C-2で $325,000\text{m}^3$ となった。ただし、C-1ではFAの一部は砂の堆積に混入しており、C-2では砂のみの堆積は $137,400\text{m}^3$ であった。したがって、流水密度を高めるためのFAであっても流入土砂量としてカウントしておくべきであると考えられる。

3.2 Case-3(C-3)の実験条件および実験結果

3.1を参考にして、C-3の実験条件は以下のように設定した。流入土砂量としては、第一、第二黒神川流域の面積に年平均比流出土砂量 $70,000\text{m}^3/\text{km}^2$ を乗じた値とし、粗粒分と細粒分の割合（SとFAの混合比）を第二、第三黒神川筋下流部の河床堆積物の粒度分布（図-4）を参考にして40：60とした。なお、流水密度の考え方はC-1と同様である。

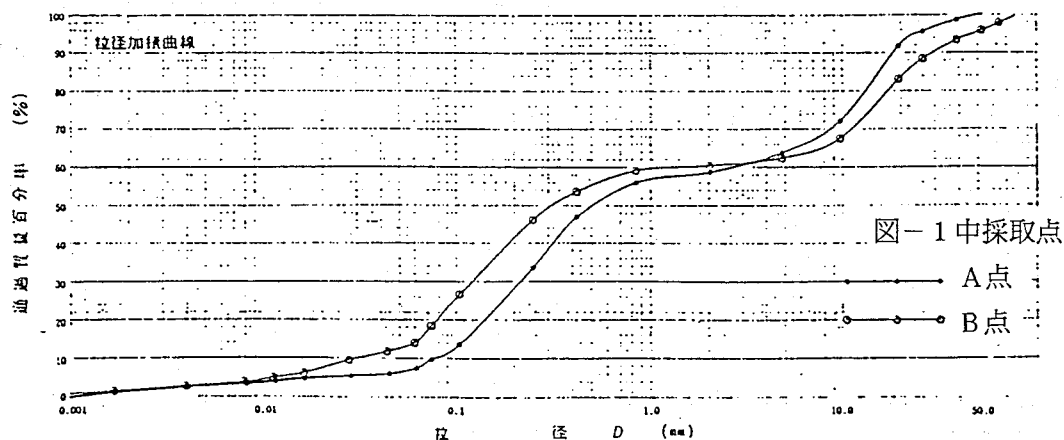


図-4 第2、第3黒神川河床堆積物粒度分布

C-3の実験条件および洗掘・堆積結果の比較も表-1、図-2、図-3に示した。

扇状地上流部では、扇面全体にほぼ均等に堆積し、実測の変化によく合っていると考えられる。No.1100～900では過剰堆積となっており、それより下流では洗掘が大きい、実際には第一黒神川からの流入により過剰堆積部分は下流に流送されて実測に近くなるものと考えられる。

堆積土砂量も砂とFAの合計が $140,500\text{m}^3$ となり、現地とも比較的よく一致した。

4. まとめ

本実験ではボラ分や細粒土砂分による土砂堆積への影響をフライアッシュを用いることで水理模型実験において表現しようとしたものであるが、流入総土砂量および砂とフライアッシュの混合比を調整することで比較的よい再現性を得ることができた。今後は、地形条件、細粒土砂分等の含有量の異なる流域においても同様の手法でよい再現性が得られるかを確認して行きたい。