

合流部における土石流の 堆積と変形に関する研究

京都大学防災研究所 正員 高橋 保
京都大学大学院 学生員 匡 尚富
西日本旅客鉄道(株) 正員 O土井 保彦

1. まえがき: 支流からの土石流が主流との合流点にさしかかるとき、主流の洪水流量、合流角度、支流と主流との勾配の組合せ、土石流自体の性質などによってそのまま通過する場合、一部のみが流下する場合及び全部堆積する場合が生じる。本研究では、これらの条件を調べ、流域内での土石流の変形の予測のための基礎とすることを目的とした。

2. 実験の概要: 図1に示すような本流が長さ5 m、幅20 cm、勾配17°、支流が長さ2.3 m、幅10 cm、勾配2°の水路を用いて、合流角度を30°及び90°にし、本流の水流流量と支流土石流流量及び濃度を変えて、19ケースの実験を行った。まず、支流の上流端の給砂装置で同時に給砂給水して、一定濃度と規模の土石流を発生させ、その土石流の挙動を図1に配置を示したビデオカメラで解析する。また、合流部の下流ではロードセルを用いて流下してくる重量を計り、また、合流部下流の水路床に立てた10 cm間隔の標尺を用いて、流動表面の高さの時間的場所的変化の読み取りを行なった。

3. 実験結果: 表1の示したように(a)、支流と本流の流路条件、流れの性質により合流部では、(1)一部堆積、(2)全部堆積、(3)全部通過という三つのケースが見られた。それぞれの限界条件については、支、本流の土砂濃度を基準にして求めたが、実験ケースが少ないため、的確な限界濃度を見つけれなかった。しかし、一応土石流が合流部に入った後も支流濃度 $C_t < 0.35$ 或は本流濃度 $C_m < 0.3$ であれば、そのまま通過する。 $0.35 < C_t < 0.5$ 或は $0.3 < C_m < 0.35$ であれば、合流部で堆積しながら、流下する。さらに、 $0.5 < C_t$

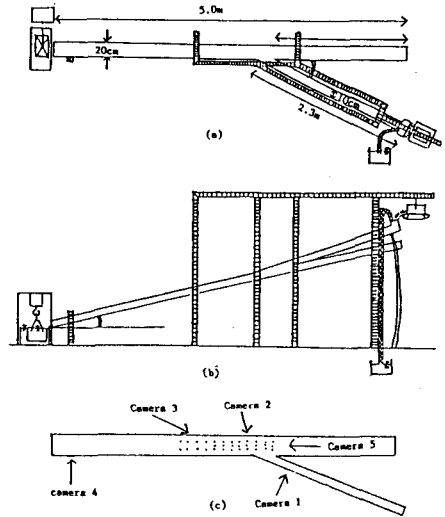


図1. 実験水路

表1. 合流部における土石流の挙動

RUN No.	Q_{u1} cc/s	Q_{u2} cc/s	Q_{u3} cc/s	C_t	C_m	T s	θ °	合流部における土石流の挙動
1	0	300	405	0.57		10	30	全部堆積
2	0	400	182	0.31			30	全部通過
3	0	300	271	0.13			30	堆積しながら、流下、薄い堆積層
4	0	300	150	0.34			30	殆ど全部流下
5	0	300	483	0.62		15	30	支流出口付近全部堆積、支流へ引上
6	0	331	331	0.52			30	広い範囲で全部堆積
7	0	600	214	0.26			30	全部流下
8	300	300	518	0.63	0.46	10	30	支流出口付近全部堆積、支流へ引上
9	300	0	345	0.53	0.37		30	広い範囲で全部堆積
10	300	0	237	0.44	0.28		30	堆積しながら、流下、薄い堆積層
11	600	0	501	0.81	0.36		30	広い範囲で全部堆積
12	0	400	234.8	0.37		15	30	先頭部一部堆積、流下、後部全部流下
13	0	600	262.2	0.30			30	全部流下
14	300	400	257.6	0.39	0.27	15	30	流下、薄い堆積層
15	0	400	257.6	0.39		15	90	堆積しながら、流下、薄い堆積層
16	0	600	259.9	0.30		15	90	全部流下
17	300	400	262.2	0.40	0.27	15	90	流下、薄い堆積層
18	0	300	335.8	0.53		15	90	広い範囲全部堆積
19	0	300	407.1	0.58		15	90	支流付近に堆積
20	0	200	241.5	0.55			90	全部堆積、向斜に到達していない
21	0	250	239	0.49			90	全部堆積、向斜に到達していない
22	0	300	218	0.45			90	先頭部堆積、後部一部堆積
23	0	350	244	0.41			90	合流部で堆積せず
24	0	450	232.3	0.34			90	全部流下
25	0	500	243.8	0.32			90	全部流下
26	0	400	349.8	0.468			90	合流部で堆積しながら、通過
27	0	374	315	0.48			90	先頭部堆積、一部通過
28	0	640	345	0.35			90	全部流下
29	300	400	287.5	0.41	0.28		90	全部流下(先頭部で土砂がすぐ流る)
30	300	300	301	0.5	0.33		90	殆ど全流に堆積
31	300	400	301	0.42	0.3		90	全部流下(先頭部で土砂がすぐ流る)
32	300	350	317	0.48	0.32		90	堆積しながら、流下
33	200	250	313	0.58	0.44		90	先頭部が堆積、右岸は流下、流下
34	200	350	506	0.59	0.48		90	全部堆積
35	200	450	512	0.53	0.45		90	一部堆積
36	200	450	575	0.55	0.47		90	全部堆積、向斜に到達していない

或は $0.35 < C_m$ であれば、合流部で殆ど全部堆積することがわかった。ここで、本流濃度 C_m は支流からの土石流に本流の水流が瞬間的に混合すると求めた本流での土砂濃度である。ところで、本流での平衡濃度は

$$C_\infty = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi' - \tan \theta)} \quad (1)$$

ここに σ : 粒子密度 ($\sigma = 2.65 \text{ g/cm}^3$)

ρ : 水の密度 θ : 水路勾配

$\tan \phi'$: 粒子群の摩擦係数

式(1)から $C_m = 0.44$ となり、支流濃度 $C_t < 0.4$ 程度では本流での水流の有無にかかわらず全部流下したことや本流濃度 $0.44 < C_m$ ならば合流点付近で全部堆積することは当然の結果であると解釈できるが実際の実験では前述のどおり $0.3 < C_m < 0.35$ で堆積しながら流下し、 $0.35 < C_m$ ならば全部堆積してしまう。このように C_m の流下限界濃度が C_∞ より小さくなるのは本流の水流と支流からの土石流との混合がほぼ瞬間的にはなされていないことを意味しており、土石流と水流との混合機構に関する研究が必要であることを示唆している。また、本流と支流の合流角度や支流の土石流規模、及び本流の洪水規模によっても以上のような限界濃度が多生変化することが実験でわかった。従って、合流部での堆積条件、通過条件についてはさらに検討する必要がある。

(b) 支流からの土石流が幅広い合流部を通過する場合、本流に流れがすくなくときはピーク流量が減少する。ハイドログラフの変形の程度は土石流の性質、流路条件などによるものであろうが今後、的確な定量的な議論ができるようにはっきりさせる必要があるだろう。

3. 計算と実験の比較: 合流点を通ずる土石流の変形、堆積の定量的評価を簡単な一次元解析によって行ってみた。図2の実線は支流上流端で与えられた土石流流量で破線は本線下流端の計算結果で点線は下流端の実験結果である。なお、下流端ハイドログラフを求める際、流動深を乗じて求めたため実験のピーク流量は若干大きい目に評価されている。(a),(b)のケースについては本流の水は瞬間的に混合すると仮定すれば理論上は堆積することなく流下することになるのに、実際には一部堆積生じたため実験結果と計算結果が一致していないが理論上も実際上も全部通過する(c)ではほぼ一致している。

4. あとかき: 合流点付近で全部停止、堆積する場合についてはまだ比較検討をしていないが、本流の川幅が広くて二次元的な堆積が重要になる場合を除けば、水流と土石流の混合過程を明らかにすることによって一次元解析でもほぼ定量的評価が可能になるであろう。

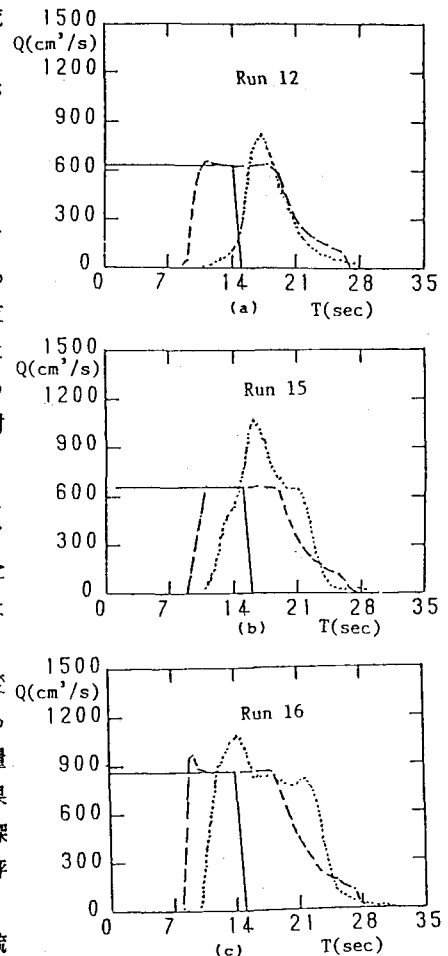


図2. 本流流量の実験結果と計算結果との比較