

2014年7月豪雨による長野県南木曾町の土石流災害

本田尚正¹

1 東京農業大学 地域環境科学部

要旨：長野県南木曾町の梨子沢流域では2014年台風8号に伴う集中豪雨により大規模な土石流が発生し、甚大な被害が生じた。ここでは雨量指数 R に基づいて今回の降雨特性と土石流発生との関係を考察し、土石流の流動解析により土砂流出特性を推定した。その結果、土石流発生以前の先行降雨の影響は、発生直前まで $R'=50\text{mm}$ 程度として残っており、それに1時間雨量70mmの強雨が作用して土石流が発生したことがわかった。既設の砂防ダム2基はいずれも土石流調節機能を発揮した。さらに、土石流は谷出口下流でも10数%の土砂輸送濃度が保持され、土砂流の性質をもっていた可能性があった。そのため、流路工湾曲部を直進し、木曾川合流点まで到達したと推察される。

キーワード：先行降雨、直前の強雨、実効雨量、雨量指標 R ；土石流の流動解析

Debris flow caused by heavy rainfall in Nagiso-town in Nagano Prefecture in July,2014

Naomasa HONDA¹

Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

Abstract: In Nashizawa basin in Nagiso-town in Nagano Prefecture, a huge debris flow occurred caused by a heavy rainfall due to typhoon No.8 in 2014 and brought serious damage. We discussed the relationship between rainfall characteristics and debris flow occurrence, based on rainfall index R' . We also predicted sediment runoff characteristics by a debris flow runoff analysis. Judging from the results, the rainy influence before the debris flow occurrence remained as $R' = \text{around } 50\text{mm}$ until just before that. Thereafter, the heavy rain of 70mm/h fell on and the debris flow occurred. Two check dams showed a debris flow control function. The debris flow might keep up to 10 several percent of the sediment flux concentration at the exit of the valley and have the earth flow characteristics. So, the flow went straight on in the curved section of the channel works and arrived at the Kiso River junction.

Key-word: Previous prolonged rainfall, last short strong rainfall, rainfall index R' , debris flow runoff analysis

I はじめに

長野県南木曾町では2014年台風8号に伴う集中豪雨により土石流が発生し、死者1名を含む甚大な被害が生じた(3)。この土石流は発生直前の1時間雨量が既往最大値よりも小さい一方、発生以前の72時間連続雨量(先行雨量)が多いという特徴があった。本研究では南木曾町土石流の発生および流動特性を明らかにするため、雨量指標 R' に基づいて降雨特性と土石流発生との関係を考察し、土石流の流動解析により土砂流出特性を推定する。

II 災害の概要 (3)

長野県木曾郡南木曾町の梨子沢流域では、2014年台風8号に伴う集中豪雨により、7月9日17時40分頃に大規模な土石流が発生し、多数の家屋やJR中央本線、国道19号が被災して死者1名を出す大きな災害となった。土石流発生直前の1時間雨量は70mmであり、南木曾岳付近の局所的豪雨だったものの、梨子沢流域内の南木曾雨

量観測所(長野地方気象台所管)の既往最大1時間雨量である89mmを超える規模ではなかった。一方、土石流発生以前の72時間連続雨量は111.5mmと多かったことから、山腹斜面は土壌水分が高く、不安定な状態にあったと推察される。その結果、強雨開始から2時間程度(2時間連続雨量88.5mm)で土石流が発生した(図-1(a))。

梨子沢は大梨子沢と小梨子沢から成り、南木曾岳を源流として木曾川に合流する急溪流である(図-1(b))。土石流は地元では「蛇抜け」と呼ばれ、今回被災した住宅地も土石流の繰返しによって形成された扇状地上にあった。上流域には上松花崗岩、中・下流部には木曾駒花崗閃緑岩が分布し、いずれも地質的には脆弱であり、生産土砂として溪床上に不安定に堆積していたと推察される(6)。以上のような素因を有する急溪流の溪床堆積物が豪雨時に多量の表流水によって土石流化し、流動過程で溪床堆積物をさらに侵食しながら大規模化した。土石流は谷出口下流の流路工湾曲部を直進して越流し、住宅

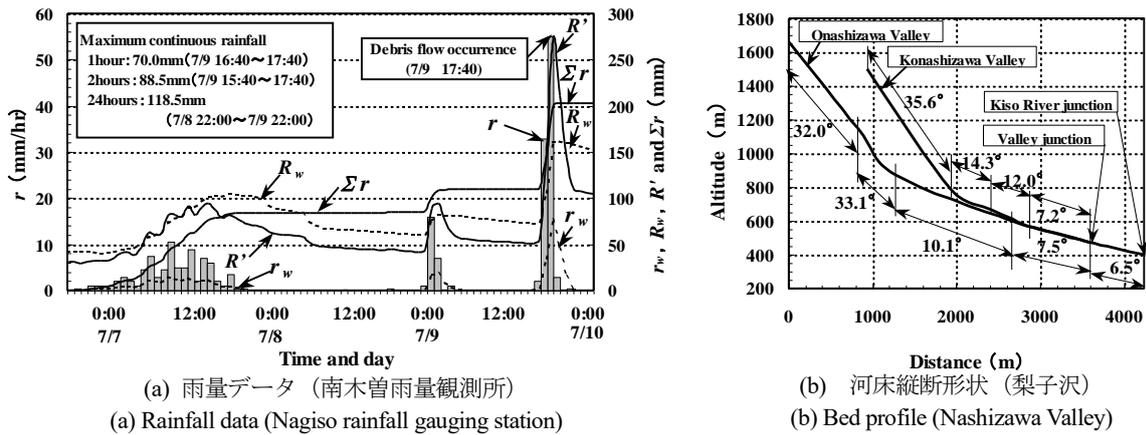


図-1. 雨量データおよび河床縦断形状 (2014年7月梨子沢流域)
Fig.1 Rainfall data and bed profile (Nashizawa basin, July in 2014)

地内で氾濫した。流路工を含む氾濫域の勾配は約 5~8° と比較的急だったことから、土石流は氾濫開始地点からさらに約 300m 下流の木曾川本川まで達した。

III 検討方法および計算条件

1. 実効雨量の算定方法 実効雨量は、土砂災害の発生に及ぼす過去の降雨の影響を時間経過とともに減少させて次のとおり、計算したものである (7)。

$$R_t = r_t + \sum_{n=1}^x a_n r_{t-n} = r_t + a_1 r_{t-1} + \dots + a_x r_{t-x} \quad (1)$$

$$a_n = 0.5^{n/T} \quad (2)$$

ここに R_t は時間 t の実効雨量、 r_t は t の時間雨量、 a_n は減少係数、 T は長期または短期の半減期であり、その汎用値は長期 72 時間、短期 1.5 時間である (7)。

2. 雨量指標 R' の算定方法 雨量指標 R' は、土砂災害の発生危険度を長期実効雨量 R_w と短期実効雨量 r_w を組合せて次のとおり、1 つの値で表現したものである (5)。

$$R_{fw} = \sqrt{(R_l - R_w)^2 + a^2(r_l - r_w)^2} \quad (3)$$

$$R' = R_{fw0} - R_{fw} \quad (4)$$

ここに R_{fw} は楕円の長径、 R_w および r_w は長期および短期実効雨量、 R_l および r_l は楕円の中心座標、 R_{fw0} は $R_w=0$ 、 $r_w=0$ のときの R_{fw} 、 a は重み係数である (図-2)。

R_{fw} は中心を遠点に置く楕円によって R_w と r_w の関係を表しており、式(4)により初期値を 0 とし、土砂災害発生の危険度が増すにつれて上昇する値に変換したのが R' である。 R' はあくまでインデックスであり、それ自体、降雨量や水理水頭などの物理量ではないが、土石流の発生

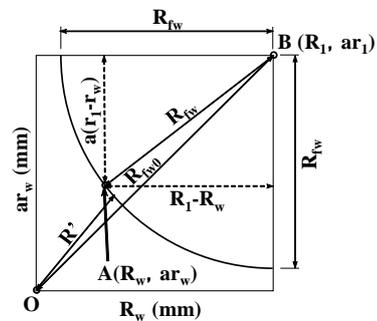


図-2. 雨量指標 R' の概念図 (4)
Fig.2 Concept of rainfall index R' (4)

を誘起させる「長期の先行降雨」と「直前の強雨」の影響の程度を同時に示す指標としてたいへん有効である。

3. 土石流の流動解析 河道条件と水・土砂の供給条件を定め、その他の条件を適宜仮定すると、支配方程式に基づいて土石流の挙動を追跡できる (1, 2, 4)。ここでは次の条件により、土石流の流動過程を再現する。

(1) 計算対象区間と河道形状 図-1 (b) に示した大梨子沢の最上流端から木曾川合流点までの 4240m を計算対象区間とする。平松ら (3) によれば、木曾川と大梨子沢の合流点付近の高感度地震観測網計 (Hi-net) の傾斜計データを利用した振動波形解析結果から、大梨子沢土石流と小梨子沢土石流は流出ピークがずれて合流したと推察されている。よって、ここでは小梨子沢からの流入量は考慮せずに木曾川合流点までの追跡を行う。初期河床縦断形状および流動幅は平松ら (3) より図-3 のとおりとする。流動幅は侵食痕跡幅の 2 分の 1 と仮定した。

図-3 に示すとおり、大梨子沢には砂防ダムが 2 基配置されている。計算上は満砂になるまで土砂を貯留し(その間は水のみ下流に流す)、その後は全流量を越流させた。

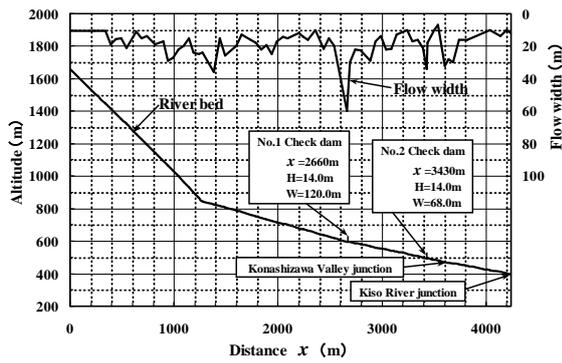


図-3. 大梨子沢の河床縦断形状および流動幅
Fig.3 Bed profile and flow width of Onashizawa Valley

(2) 土砂供給源の条件 源頭部の崩壊発生状況等は不明である。よってここでは土砂供給源として渓床堆積物の移動のみを考える(2, 4)。非粘着性材料の飽和時の安定限界勾配に着目して河床勾配が 22° よりも緩い所には堆積物が存在するものとし、堆積厚(限界侵食深)は平松ら(2)による調査報告をもとに 2.0m と仮定した。
(3) 水の供給条件ほか 渓流水に関するデータはないが、ほぼ飽和状態の渓床堆積物が移動を開始するには、計算上は少量の水が供給されれば十分である。そこでここでは $Q_{in}=0.10 \text{ m}^3/\text{sec}$ の水を最上流端から定常的に供給した(2, 4)。数値計算は leap-frog 法に拠り、 $\Delta t=0.025\text{sec}$, $\Delta x=5.0\text{m}$ とし、計算に必要な物理定数は、先行研究の成果をもとにして表-1のとおり仮定した(2, 4)。

IV 結果および考察

1. 降雨特性と土石流発生との関係 図-1(a)には南木曾観測所で直接観測された時間雨量 r および連続雨量 Σr と、 r をもとに今回算定した R_w ($T=72$ 時間)、 r_w ($T=1.5$ 時間) および R' (4 より $a=3$, $R_1=600\text{mm}$, $r_1=200\text{mm}$) がそれぞれ記載されている。

同図によれば、7月6日18時から降り始めた雨(先行降雨)は7日20時にいったん降り止み、8日18時のみ時間雨量 0.5mm を記録するものの、8日22時までの28時間にわたり、ほぼ無降雨状態が続いた。ここで R_w に着目すると、先行降雨の影響は8日22時の時点でも残っていることが確認できる。さらにそれを r_w の影響も包含した R' 値でみると $R'=40\text{mm}$ 程度であることがわかる。

その後、8日22時から再び降り始めた雨は、9日3時に降り止み、同日15時まで無降雨状態となった。しかし、9日15時時点(6日18時の降り始めから69時間経過)においても $R'=50\text{mm}$ 程度であり、この状態は土石流発生(9日17時40分頃)直前まで続いた。ここで $R'=50\text{mm}$ 程度とは、2度にわたる先行降雨(降り始め時刻6日18時

表-1. 計算に必要な物理定数(3)

Table 1 Physical constants necessary for calculation

砂礫粒子の密度	$\sigma=2.70\text{g}/\text{cm}^3$
砂礫粒子の内部摩擦角	$\phi=39.0^\circ$
堆積物の代表粒径	$d=5.0\text{cm}$
泥水の密度(微細砂濃度10%)	$\rho=1.17\text{g}/\text{cm}^3$
堆積物の静止堆積濃度	$C_s=0.50$

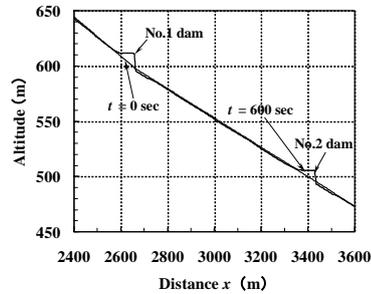


図-4. 河床高の時間変化の一例(大梨子沢)
Fig.4 Temporal changes of bed elevation as example (Onashizawa Valley)

および8日22時)に対する R' の最大値(図-1(a)より、いずれも約 90mm)の半分以上の値であり、無降雨状態であっても先行降雨の影響が大きく残っていたことがわかる。これに短時間の強雨(2時間連続雨量 88.5mm)が作用し、1時間雨量としては既往最大ではない降雨規模であったにもかかわらず、大規模な土石流が発生した。

2. 土石流の流出特性 図-4に通水開始600秒後の河床高の変化の一例を示す。2基の砂防ダムはいずれも堆積域に土砂を堆積させ、河床勾配を緩やかにして土石流の減勢に効果を発揮したことがわかる。なお、砂防ダム直下流の河床侵食はダム越流水によるものである。

図-5(a)~(d)に土石流特性値(流動深 h , 流速 v , 輸送濃度 c_f および総流量 Q)の時間変化を示す。同図(a)と(d)から、土石流は河床を侵食しながら流下して規模を増し、 $x=2,000\text{m}$ 付近で流動深と総流量が最大となっていることがわかる。さらに(d)では2基の砂防ダムの前後でいずれも流量が低減されており、調節効果が確認できる。

図-5(c)から、土石流は $x=1,000\text{m} \sim 2,000\text{m}$ といった上・中流域では20数%~50%近くの高濃度であるが、下流域に至り、勾配が緩やかになるにつれて濃度は小さくなり、小梨子沢合流点の $x=3,600\text{m}$ では14%程度のいわゆる土砂流へと流れの形態が変化していることがわかる。 $x=3,900\text{m}$ 地点は谷出口下流の流路工湾曲部(氾濫開始地点)に相当するが、この地点でも輸送濃度は通水開始600秒を経てなお、13%程度の大きさを保っている。

図-5中、 $x=3,900\text{m}$ 地点では最大流動深 3.3m, 最大流速 4.5m/sec, 最大流量 $176\text{m}^3/\text{sec}$ である。それらはいずれも平松ら(3)の調査結果(平均流動深 3.4m,

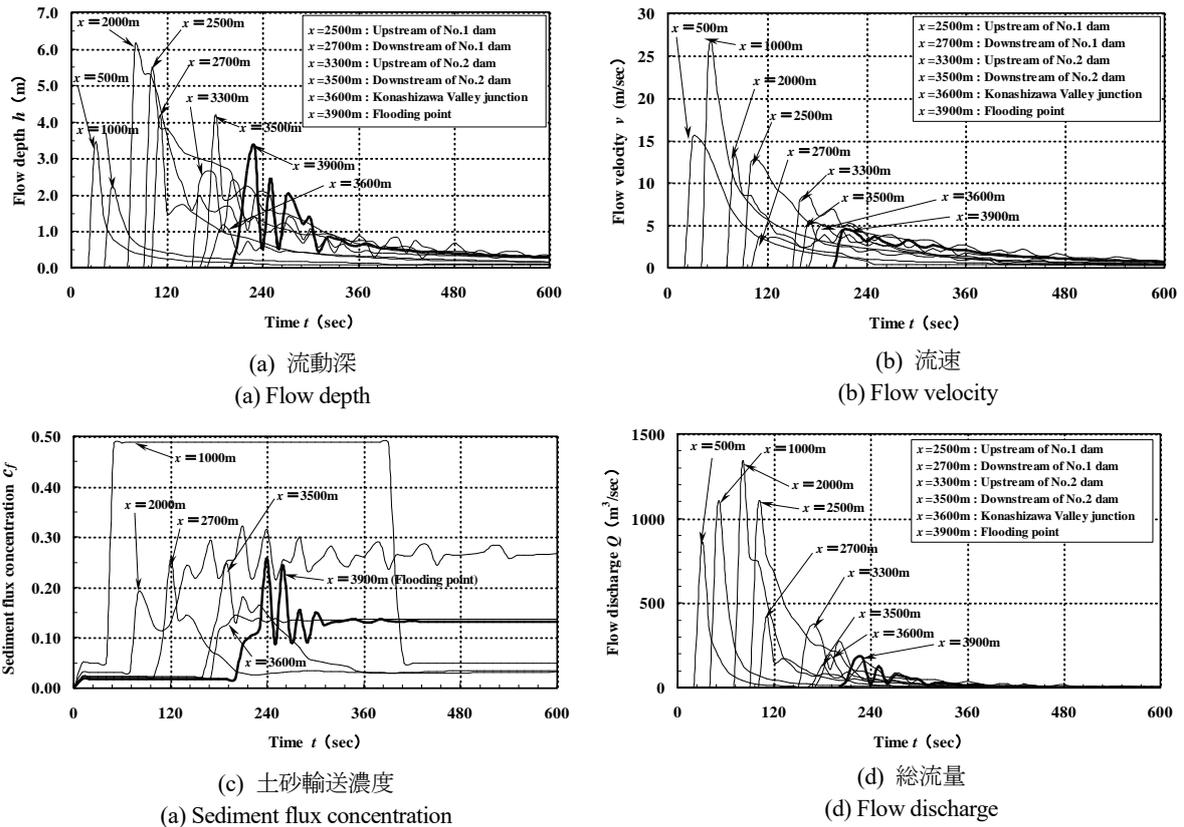


図-5. 土石流特性値の時間変化 (大梨子沢)

Fig.5 Temporal changes of debris flow characteristics value (Onashizawa Valley)

平均流速 6.5m/sec, 土石流流量 197m³/sec) と同じオーダーであり, 計算結果の妥当性を裏付けるものである。

V おわりに

土石流の挙動の追跡は条件設定を適切に行うことにより, ある程度まで可能である。よって今後は防災・減災の観点から, 土石流発生タイミングをいかに正確に捉えるかが重要となる。土石流は概して高速であり, 発生直後の避難はほとんど期待できない。遅くとも土石流発生の数時間前には避難体制が確立されていることが理想である。しかし, 近年の豪雨の大規模化や, 生起時間帯が深夜におよぶ場合などの点から, 多くの自治体が避難勧告や避難指示を出すタイミングに苦慮している。

今後, 土砂災害の危険性に対して自治体が発令する警戒避難指示の「空振り率」や「見逃し率」を減少させるには, R' などを活用して現在の降雨にあとどれだけの降雨が加わったら土石流発生の危険性が高まるかなどを予測し, 早期の避難体制の確立に繋げていくことが重要である。さらに, 予測精度を高めるためには R' とその他の土砂災害発生の予測指標 (たとえば土壌雨量指数 SWI など) との関係についても詳しく調べる必要がある。

引用文献

- (1) 江頭進治・本田尚正・宮本邦明 (1998) 姫川支川蒲原沢土石流のシミュレーション. 水工学論文集 **42**: 919-924
- (2) 江頭進治・宮本邦明・伊藤隆郭 (1997) 掃流砂量の力学的解釈. 水工学論文集 **41**: 789-794
- (3) 平松晋也ほか (2014) 平成 26 年 7 月 9 日長野県南木曾町で発生した土石流災害. 砂防学会誌 **67**(4): 38-48
- (4) 本田尚正・奥村武信 (2006) 土石流の数値解析に基づく治山砂防施設の土砂流出調節機能の評価. 森林応用研究 **15**(1): 13-22
- (5) 中井真司・海堀正博・佐々木康・森脇武夫 (2007) 最近の土砂災害への新しい雨量指標 R' の適用と警戒避難のための表現方法. 砂防学会誌 **60**(1): 37-42
- (6) 若月 強・山田隆二・酒井将也・竹田尚史 (2014) 2014 年 7 月 9 日南木曾, 8 月 6 日岩国, 8 月 17 日福知山・丹波における土砂災害. 日本地質学会 News **17**(11): 45-46
- (7) 矢野勝太郎 (1990) 前期雨量の改良による土石流の警戒・避難基準雨量設定手法の研究. 新砂防 **43**(4): 3-11