

1998年8月末豪雨による福島県南部地域（西郷村・旧大信村）における土砂災害

本田尚正・荒井哲也（茨城大理）

Abstract: Thirteen year ago, a heavy rainfall attacked Nishigo Village and Taishin Village in Southern part of Fukushima Prefecture from August 26 to 31, 1998. A hillside collapse was generated on a slope behind Taiyo-no-kuni Karamatsu-sou that was the social welfare facilities, a huge amount of sediment poured into the building and killed five people. In the present study, based on previous investigations, the sediment runoff phenomenon is clarified by the runoff analysis of the kinematic wave method and numerical simulations of debris flow. The analytical results suggest that since the slope's soil layer included excessive water due to continuous rainfall, the danger of the collapse was imminent. After the collapse, the sediment poured in the valley's geographical features and rushed into in the building.

Key words: Heavy rainfall, hillside collapse, sediment disaster, runoff analysis of kinematic wave method, numerical analysis of debris-flow

要旨: 今から13年前、1998年8月26日から31日にかけて福島県南部地域（西郷村および旧大信村）では集中豪雨が発生し、西郷村内の社会福祉施設「太陽の国 からまつ荘」裏山の斜面が崩れ、建物内に大量の土砂が流入して5名もの死者を出す大惨事となった。本研究では既往の災害調査報告をもとに、崩土の流動化現象に関して等価粗度法による流出解析と土石流の数値解析を行った。その結果、斜面土層は連日の降雨の影響で大量の水分を含み、崩壊発生の危険性はきわめて高かったこと、崩壊発生後、流動化した崩土は谷地形を急速で駆け下り、建物内に突入したこと等を力学的に明らかにした。

キーワード: 集中豪雨、山腹崩壊、土砂災害、等価粗度法による流出解析、土石流の数値解析

I はじめに

今から13年前の1998年8月26日から31日にかけて、前線の停滞と台風4号の北上に起因する豪雨により、福島県下では県南部地域を中心に死者11名、負傷者22名、全壊家屋44戸、床上浸水1,106戸等の甚大な被害が発生した。なかでも、西白河郡西郷村では26～31日にかけて最大時間雨量90mm、総雨量1,250mmの集中豪雨を記録し、27日早朝には村内の福祉施設「太陽の国 からまつ荘」裏山の斜面が崩れ、5名もの死者を出す大惨事となった。

当時、日本国内では1996年12月蒲原沢土石流（長野県小谷村、死者14名）、1997年5月八幡平登川地すべり・土石流（秋田県鹿角市、全壊16棟）、1997年7月針原川土石流（鹿児島県出水市、死者21名）等、多数の死者や家屋破壊を伴う甚大な土砂災害が頻発し、被災原因の究明と対策が急務であった。「からまつ荘」に関しても災害発生直後から砂防学会や地盤工学会等によって現地調査がなされ、崩壊発生と降雨との関係や斜面土層の物理的特性等が明らかにされた(2, 3, 7)。しかし、それらの調査速報のいずれも、集中豪雨に起因して「崩壊発生→崩土の流動化→建物への流入」に至ったメカニズムについては予察的・定性的な見解に留まっており、とくに流動化した崩土の詳細な追跡に関しては、数値解析等による力学的裏付けは十分に得られていない。

そこで本研究では既往報告をもとに、等価粗度法による流出解析と土石流の数値解析を行い、当土砂災害の最大の特徴である崩土の流動化現象を力学的見地から検証する。

II 災害の概要

1. 被災地の概要

西郷村は栃木県との県境に位置し、比高10～100m程度の比較的緩やかな丘陵地にある。この地域の地質は、最下部に石英安山岩質の火砕流堆積物で弱溶結性の白河溶結凝灰岩が厚く堆積し、その上に那須火山起源と思われる火山性泥流堆積物や火山噴出物が広く覆っている。

「太陽の国」は、比高30～40mの丘陵地にあり、約90haの広大な敷地内に特別養護老人ホーム、病院、給食センター等が配置された総合社会福祉施設である。今回被災した「からまつ荘」は特別養護老人ホームの一つで、図-1に示すとおり、裏斜面に並行して建設されていた。

2. 災害の概要

図-2は8月26日～31日のからまつ荘付近の雨量であり、最大時間雨量90mm、累加雨量は1,250mmに達した。この地域の平均年雨量は1,230mmであり、まさに記録的な豪雨であった。からまつ荘裏斜面の崩壊発生は27日4時50分頃とされる。最大時間雨量とその1時間後の強い雨量41mmを含めて26日19時までの累加雨量は153mmであり、この時には崩壊は発生しなかった。その後4時間程度の小雨状態を経て、雨は再び強さを増し、27日4時には累加雨量418mm、5時には457mmに達し、からまつ荘裏斜面は崩壊に至った。瀬尾ら(6)は、西郷村の各所で発生した崩壊の多くが累加雨量400mmを超えた辺りから崩れ始めたことに注目し、崩壊発生には時間雨量だけでなく累加雨量も考慮する必要があると指摘している。

Naomasa HONDA, Tetsuya ARAI (College of Science, Ibaraki University, Bunkyo 2-1-1 Mito Ibaraki 310-8512)
Sediment disaster caused by heavy rainfall in Southern part of Fukushima Prefecture (Nishigo Village and Taishin Village) from August 26 to 31, 1998.

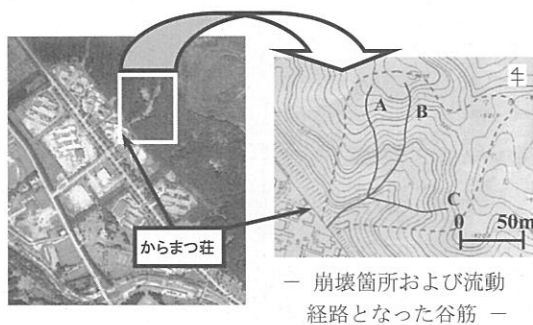


図-1. 「太陽の国 からまつ荘」と裏斜面

からまつ荘裏山の斜面崩壊は、以上述べたような降雨状況下で発生した。図-1の写真では、斜面上の中央部とその右側の2つの崩壊跡しか確認できないが、左側にも小規模ながら崩壊跡が存在しており、抱大図のように計3ヶ所が崩壊した。そして、からまつ荘の背後が小規模な谷地形の出口であったため、それらの崩壊によって生産された大量の土砂が谷地形を約150~170m流下し、からまつ荘を直撃した。建物内に流入した土砂は一気に廊下を抜け、玄関付近まで達した。からまつ荘での人的被害は死者5名、負傷者1名であった。

当土砂災害に関して、砂防学会、地盤工学会等による災害調査報告の記載内容をまとめると、次のとおりである。

(1)崩壊の規模 崩壊Aは長さ40m、幅30m、平均深1.3m、最大深2.5m、崩壊土量1480m³、傾斜20°であり、崩壊Bは長さ28m、幅12m、平均深1.5m、最大深3.0m、崩壊土量490m³、傾斜15°であり(6)、崩壊Cは崩壊土量40m³であった(2)。

(2)斜面土層の特徴 崩土は主に砂・シルト分だった。不飽和浸透流(鉛直次元)解析の結果、崩壊直前の27日4時には表土層である黒ボク層を含めた被覆層(3.65m)はほぼ飽和状態にあったと推定された(3)。斜面安定解析の結果、安全率Fs=3.43以上であり、地表以下の全土層が飽和状態であったとしても塊状での一体すべりは発生しないと判定された(6)。

(3)崩土の流動化 崩土の粒度特性と斜面土層内の水分状態、崩土到達距離d(約150m)と崩壊斜面高H(高低差約35m)との関係(d/H>3)等から、崩土は高い流動性を帯びて流下したと考えられる(3)。崩壊地脚部に天然ダムの痕跡は確認されず、崩壊発生後、土砂は時間を置かず流動化し、崩壊土砂量を保ったまま、からまつ荘を直撃したと判断された(7)。

(4)流下土砂の流況 現地の流下痕跡と残存堆積物から、流れは大きな石礫を含まない泥流状態であり、笹をなぎ倒しながら流下し、地表面はほとんど侵食されず、流動深は1.0m程度であった(7)。流下部の谷底の平均勾配は約8°で、流送区間に一旦停止した痕跡は見られなかった(6)。崩土は谷地形が集めた地表水と密生した笹の上を載り、ほとんど摩擦抵抗を受けることなく流下したと推察された(2)。流下土砂は被災建物に激しい飛沫痕跡を残し、建物の内部まで流入してフラットに堆積する等、土砂流の状態を呈していた(6)。

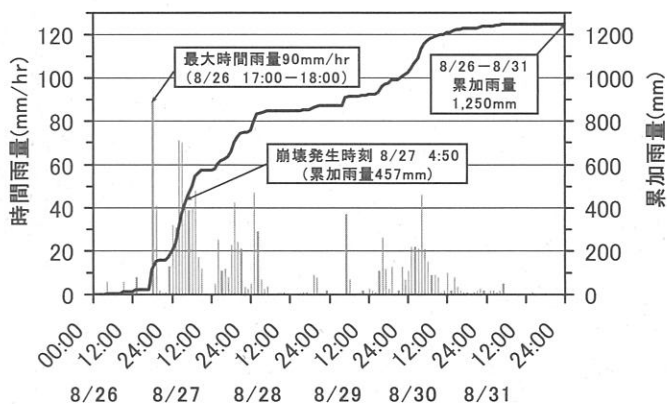


図-2. 西郷村 真船観測所の雨量記録

III 検討手順および解析方法

本研究では、崩壊発生の主要因の一つである、斜面土層がほぼ飽和状態であった可能性を別途の手法で確認することと、崩壊発生後に時間を置くことなく流動化したとされる崩土の挙動を追跡するために、次の2つの検討を行う。

1. 等価粗度法(中間流出モデル)による流出解析

崩壊斜面を含む小流域を図-3(a)および表-1のように長方形斜面と河道からなる流域にモデル化し、図-3(b)のように土層内の中間流出を考慮して等価粗度法による流出解析(4)を行い、集中豪雨時の斜面土層の状態を推定する。なお、以下では、河道の流下方向からみて左側を「左斜面」と呼ぶ。

解析上、有効降雨量、具体的には流出率fをいかに設定するかは非常に重要であるが、その手がかりとなる現地データはない。連日の降雨の影響で斜面の浸透能力がかなり低下していたことは想像に難くないが、ここではf=0.50と小さめに設定して解析を進める。また、流出解析に必要な谷出口の流量データは、中安の総合単位図法(流域面積や最大流路長といった地形特性値を用いて単位図を作成する方法)(5)により作成する。

2. 土石流の流動解析による崩土の挙動の追跡

ここでは、からまつ荘裏斜面の崩壊とその流動化を、崩壊地を源頭部とする土石流の一連の流動現象に見立てて、土石流の流動解析(たとえば、(1))によりその挙動を追跡する。

計算対象は図-3(a)のAからDに至る谷筋(全長約150m)と、BからDに至る谷筋(全長約170m)である。図-4に地形図から読み取った谷筋の河床縦断形状および流動幅を示す。ちなみに、A~D谷の平均流動幅は20.0m、平均勾配は12.7°、B~D谷ではそれぞれ17.1m、11.3°であり、A~D谷の方が全長こそ短いですが、流動幅、勾配ともに若干大きい。

次に、数値解析には多くの計算条件が必要であるが、被災当時の現地データの入手は年月を経た今となっては困難であり、必要な条件の多くは一般的な仮定に拠らざるを得ない。ここではそれらを表-2のように定めた。とくに微細砂による間隙水の密度の上昇と浮力への影響は、土石流の流動解析上、無視できないので(1)、ここでは微細砂濃度10%とした。

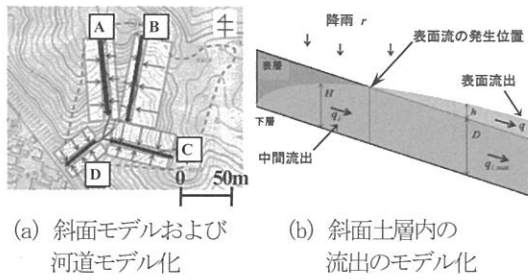


図-3. 流域および流出のモデル化

表-1. モデル流域の諸元

谷筋	流域面積 (km ²)	斜面モデル		河道モデル			
		長さ(m)	勾配	長さ(m)	勾配	河幅(m)	
A	左	0.00180	14.2	0.32	105.7	0.28	28.1
	右	0.00366	29.0	0.30			
B	左	0.00844	61.5	0.28	125.3	0.26	21.8
	右	0.00163	11.8	0.33			
C	左	0.00256	28.9	0.31	88.7	0.28	26.4
	右	0.00391	44.1	0.30			
D	左	0.00166	28.6	0.30	45.0	0.18	13.5
	右	0.00222	38.2	0.39			

表-2. 土石流の流動解析に必要な計算条件

砂礫粒子の密度	$\sigma=2.70\text{g/cm}^3$
砂礫粒子の内部摩擦角	$\phi=39.0^\circ$
堆積物の代表粒径	$d=1.0\text{cm}$
泥水の密度 (微細砂濃度10%)	$\rho=1.17\text{g/cm}^3$
堆積物の静止堆積濃度	$C_s=0.50$ (江頭ら, (7))
差分条件 (leap-frog 法)	$\Delta t=0.025\text{sec}$, $\Delta x=5.0\text{m}$

溪流からの供給水量には、流出解析結果を利用する方法が考えられるが、降雨規模によって0.10～0.30 m³/secの変動があり、どの数値を代表値とするかの判断は非常に難しい。一方、数値計算上、ほぼ飽和状態の渓床堆積物の移動開始には少量の水が供給されれば十分である(1)。そこで、ここでは $Q_{in}=0.10\text{ m}^3/\text{sec}$ の水を谷の最上流端から定常的に供給することとした。

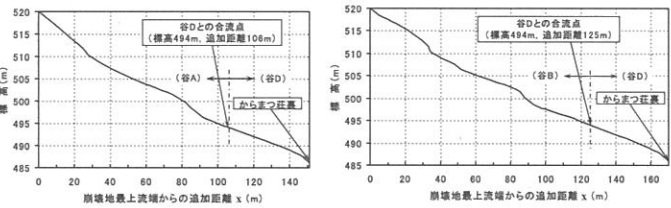
以上を入力条件とし、さらに土砂供給源として斜面上の堆積物の限界侵食深を0.1m～2.0mに変化させて計算を行い、現地の流下痕跡や流況を参考にしながら崩土の挙動を再現する。

IV 結果および考察

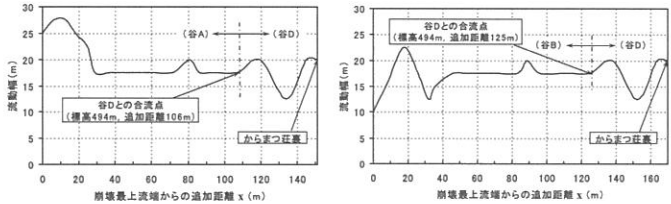
1. 流出解析の結果および考察

表-3に、A谷の右斜面(全長29.0m)およびB谷の左斜面(全長61.5m)上での表面流発生位置と発生時刻を示す。同表および図-2、図-3を参考にしながら、最も斜面長が長いB谷の左斜面上での表面流発生位置の変化をみてみよう。

B谷の左斜面では、26日17時時点では表面流は発生していない。その直後の最大時間雨量90mmを記録した17時から18時までの間に表面流の発生位置は急遽上し、17時40分には斜面下流端から58.4mと全長の95%にまで及んだ。表面流は18時54分時点でもなお54.7m(全長の89%)まで及んでいるが、これは18時から19時までの強い雨量41mmが影響している。その後は小雨状態となり、21時22分時点では表面流の発生は



(a) A～D谷 河床縦断形状 (c) B～D谷 河床縦断形状



(b) A～D谷 流動幅 (d) B～D谷 流動幅

図-4. 谷筋の河床縦断形状および流動幅

一旦収まった。なお、この間に崩壊は発生していない。

雨は22時から再び降り始め、翌27日0時から7時まで7時間にわたって時間雨量30mm以上の強い雨が降り続いた。この間、斜面上には再び表面流が発生し、発生範囲50m以上(全長の81%以上)の状態が長時間継続し、崩壊発生時刻の27日4時50分頃には55.1mと全長の90%にまで及んだ。

以上述べた降雨と表面流発生との関係は、A谷の右斜面についても同様の傾向がみられた。それらから、からまつ荘付近では数日間にわたって雨が降り続いていたが、山腹斜面上に表面流が発生し、斜面内土層が飽和に近い状態となって土砂災害の危険性が最も高まった時間帯は、最大時間雨量を記録した26日18時前後と、再び強い降雨となった27日0時以降であったことがわかる。そして、2時間で計131mmの大雨を記録した26日17時～19時の時点では、斜面は何か持ちこたえたが、その後の数時間にわたる強い雨によって斜面のほぼ全域が表面流で覆われた状態が長時間続き、土層内は大量の水分を含み、ほぼ飽和状態に達して、ついには崩壊するに至ったと推察される。

2. 土石流の流動解析の結果および考察

図-5は、A～D谷で崩壊区間(崩壊最上流端から崩壊長40mまでの区間)を限界侵食深1.5m、流送区間(残りのほとんど摩擦抵抗を受けることなく流下したと推察された区間)を限界侵食深0.1mとして流動解析を行い、流量(水+土砂)および流動深の時間変化を示したものである。なお、図中のxは崩壊最上流端からの流れ方向に沿った追加距離である。

同図より、崩土は通水開始後ほどなく流動化し、崩壊区間で土砂を取り込んで規模を拡大しつつ流下した。そして、約130秒後にはからまつ荘背後のx=150m地点で流量10.7m³/sec、流動深0.40mの規模となった。このときの流速は約1.3m/sec(流動幅20.0m)、土砂濃度は25%～30%であった。土砂流出は600秒後にはほぼ終了し、総流砂量は約1,530m³であった。

表一三. 表面流の発生位置および発生時刻

谷筋	A谷 右斜面 (斜面長 29.0m)		B谷 左斜面 (斜面長 61.5m)	
	発生時刻	位置(m)	発生時刻	位置(m)
26日	17:00	0.0	17:00	0.0
	17:16	12.1	17:19	17.0
	17:25	25.9	17:40	58.4
	18:32	22.2	18:54	54.7
	20:11	0.0	21:22	0.0
	22:32	7.4	22:43	14.4
	23:24	12.0	23:14	39.9
27日	0:34	20.0	0:03	52.7
	1:27	25.1	1:31	52.5
	2:27	25.0	2:39	57.6
	3:41	22.6	3:46	57.5
	4:52	21.8	4:49	55.1
	6:02	22.0	5:29	54.3
	7:00	23.1	6:28	54.5
	8:00	12.5	7:17	55.7
	8:29	5.6	8:11	45.0

「表面流発生位置」: 斜面下流端からの距離。
 「崩壊発生時刻」: 27日4時50分頃。

表一四. 流動解析の結果の既往報告の記載値との比較

		総流砂量	流動深
流動解析の結果	崩壊A関係	1,530m ³	0.40m
	崩壊B関係	540m ³	0.17m
	合計	2,070m ³	0.57m
既往報告の記載値	崩壊A関係	1,480m ³	—
	崩壊B関係	490m ³	—
	合計	1,970m ³	約1.0m

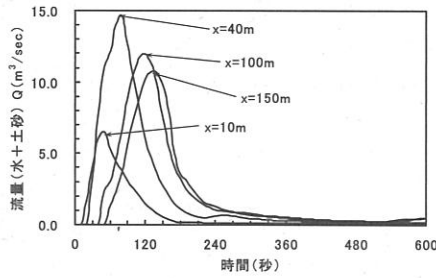
図一六は、B～D谷で崩壊区間(崩壊最上流端から崩壊長30mまでの区間)を限界侵食深1.5m, 流送区間を限界侵食深0.1mとして流動解析を行った結果を示している。同図より、崩土は通水開始約130秒後にはからまつ荘背後のx=170m地点で流量2.6m³/sec, 流動深0.17mの規模となった。このときの流速は約0.8m/sec(流動幅20.0m), 土砂濃度は30%前後であった。土砂流出は600秒後にはほぼ終了し、総流砂量は約540m³であった。なお、A～D谷との土砂流出の規模の差は、流動幅の差と、勾配の差に伴う侵食深の差によるものである。

計算の結果、からまつ荘背後に崩土が到達するのに要する時間は2つの谷筋でほぼ同時となった。そこで、2つの谷筋の総流砂量および流動深を単純加算した値と既往報告(6, 7)の記載値とを比較すると、表一四のようになる。同表から、総流砂量は両者でほぼ一致している。一方、流動深は、計算結果は既往報告の6割近くの値にとどまった。ここで、現地痕跡は崩土の流勢も反映しており、偏流や飛沫の影響を考慮すれば、両者の差はより縮減されると考えられる。以上より、崩土の挙動は計算により概ね良好に再現できたと判断される。

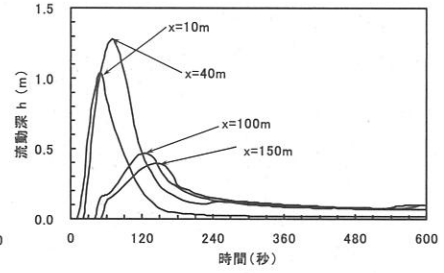
3. まとめ

(1) からまつ荘裏斜面では、最大時間雨量を記録した時間帯こそ崩壊発生をまねかれたが、その後の数時間にわたる強い雨によって斜面土層内は大量の水分を含み、ほぼ飽和状態に達して、ついには崩壊するに至った。

(2) 崩壊発生後、崩土は時間を置かず流動化し、約2分後にはからまつ荘を直撃した。このきわめて短い流下時間と早朝の時間帯での崩壊発生が、死者5名の惨禍を引き起こした。

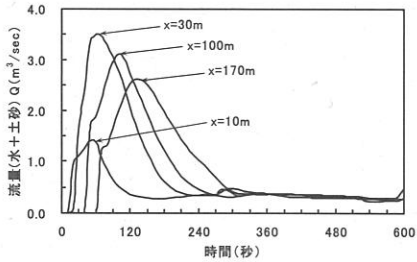


(a) 流量(水+土砂)の時間変化

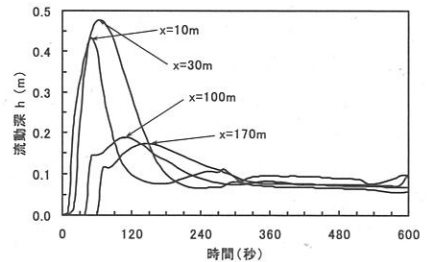


(b) 流動深の時間変化

図一五. 崩土の特性値の時間変化(A～D谷の場合)



(a) 流量(水+土砂)の時間変化



(b) 流動深の時間変化

図一六. 崩土の特性値の時間変化(B～D谷の場合)

V おわりに

本研究では今から13年前に集中豪雨に起因して発生した崩壊および崩土の流動化現象について、現地の流下痕跡や流況を手がかりに流出解析および土石流の流動解析を行い、崩土の挙動を力学的に明らかにした。災害発生から年月を経た今日では、解析のために必要な条件の多くは一般的な仮定に拠らざるを得なかったが、ここでは土砂災害の実態を力学的に考察する一手法を示した。

引用文献

- (1) 江頭進治ほか(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) 地盤工学会(1999) 速報 1998年8月北関東・南東北豪雨災害調査報告—土砂災害の概要—. 土と基礎47(1): 39-42.
- (3) 地盤工学会(1999) 1998年8月北関東・南東北豪雨災害調査報告—土砂災害の実態調査—. 土と基礎47(5): 59-63.
- (4) 角屋 睦(1980) 流出解析手法(その7)—中間流出モデルによる洪水流出解析—. 農業土木学会誌48(7): 511~515.
- (5) 中安米蔵(1956) 本邦河川洪水のUnit Graphについて. 建設省直轄工事第7回研究報告: 333-346.
- (6) 瀬尾克美ほか(2001) 1998年8月末福島県南部災害における崩壊と降雨の関係. 砂防学会誌51(4): 40-42.
- (7) 鈴木勇二ほか(1998) 福島・栃木土砂災害緊急調査報告(速報)—福島県西白河郡西郷村「太陽の国からまつ荘」の災害に関して—. 砂防学会誌51(4): 40-42.