

## 大規模溪岸崩壊地での凍結融解による土砂生産に関する現象論的研究

信州大学農学部 ○西岡佑毅（現 善通寺市役所）、平松晋也、福山泰治郎、宮前崇  
国土交通省天竜川上流河川事務所 蒲原潤一、福本晃久  
朝日航洋株式会社 浜田正美、守岩勉、田中善治

## 1. はじめに

凍結融解による土砂生産現象は、温暖地域ではほとんどみられない現象であり、降雨に起因した崩壊などに較べると、研究事例は少ない。しかしながら、寒冷地では裸地斜面での凍結融解による土砂生産により、毎年恒常的に溪流内へと多量の土砂が供給され、この土砂が梅雨や台風期の降雨により土石流化し、下流に甚大な被害を及ぼす危険性がある。本研究では、凍結融解に起因した土砂生産予測に資することを目的として、長野県の与田切川上流に位置するオンボロ沢の大規模溪岸崩壊地で定点観測を行い、礫移動の経時変化を概観するとともに、別途、凍結融解による土砂生産観測用のモデル断面を作製し、凍結融解により生産される土砂量を定量的に把握することにより、生産土砂量予測式の提案を試みた。

## 2. 研究対象地の概要と観測方法

定点観測地点は、長野県上伊那郡飯島町に位置する与田切川上流の左支川オンボロ沢の左岸溪岸崩壊地（崩壊幅約180m、崩壊高約45m：標高約1,500m）で、地質は花崗岩である。オンボロ沢は、上流に百間ナギという大規模土砂生産源を持ち、概ね1年に1度の頻度で土石流が発生している。図-1に示すように、対象とした溪岸崩壊地の対岸斜面に、定点カメラと気温計を設置し、2011年6月から気温観測と1時間間隔で写真撮影を行った。また、凍結融解による生産土砂量の定量的把握は、オンボロ沢の2km下流に位置する小流域（流域面積1ha）内にモデル断面（高さ150cm×幅110cm：図-2）を作製し、2010年12月8日～2011年4月20日までの5ヶ月間観測し、合計67回の土砂回収（回収間隔は1～5日）を行った。また、同断面で地温（深度50cm：地表面、奥行き5cm）、気温、体積含水率、降雨量の観測も行った。

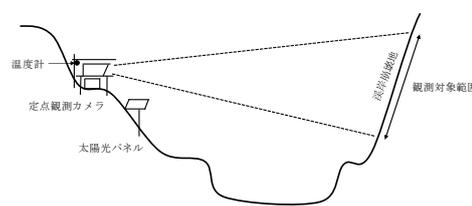


図-1 溪岸崩壊地での定点観測の概要

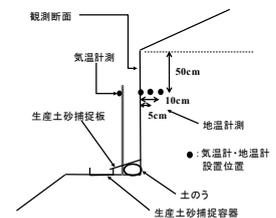


図-2 観測断面の概要

## 3. 大規模溪岸崩壊地での土砂移動

定点観測で得られた写真判読より、巨礫の移動や拡大崩壊までには至らなかった事実が確認された。礫移動日と気温変化との関係を眺めると、図-3の①～⑥にみられるように、礫の移動は、気温が0℃を下回り、その後再び0℃を上回ると発生していることが確認できた。また、気温が0℃を下回る日が長期間続くと融解が生じないため、礫移動が発生しない事実も確認された。

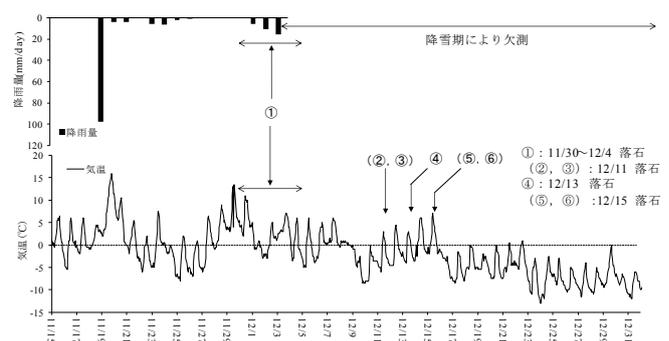


図-3 溪岸崩壊地の定点観測地点での気温と降水量の経時変化

## 4. 凍結融解による土砂生産と地温との関係

モデル断面で観測された生産土砂量と地温・気温、体積含水率、降雨量の経時変化を図-4に示す。生産土砂量に着目すると、観測期間は3期間に区分（図-4）されることがわかる。①土砂生産準備期（2010年12月8日～2011年2月16日）内の①-1凍上抑制期（2010年12月8日～12月26日）と①-2融解抑制期（2010年12月27日～2011年2月16日）には、凍結と融解が認められたものの、その程度は小規模であり、生産土砂量はわずかであった。一方、②土砂生産活発期（2011年2月17日から4月20日）になると、

地表面地温のみならず奥行き 5cm や 10cm 地点の地温が 0℃を境として下降と上昇を頻繁に繰り返す、断面の表面から順次融解することにより土砂生産が活発化するという事実が明らかになった。また、礫を含む土砂生産が発生した期間には、降雨による体積含水率の上昇もみられた。

以上の結果より、12月から2月までの期間は、地温低下により凍結が生じるものの土層断面の内部が融解するまで地温が上昇しないため土砂生産は抑制され、3月以降になると、地温上昇により凍結と融解が繰り返されるため土砂生産が活発化するという興味深い事実が明らかになった。

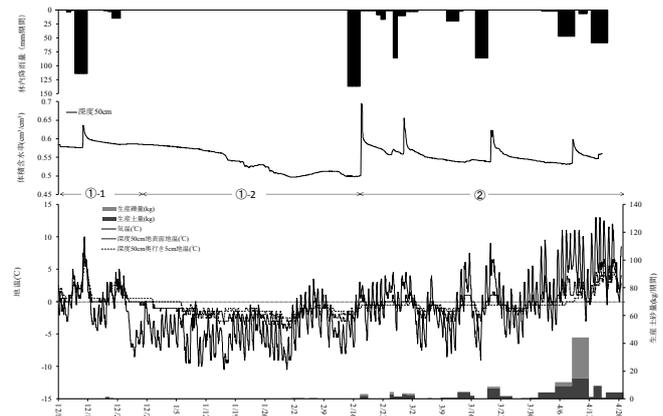


図-4 モデル断面での生産土砂量と地温との経時変化

### 5. 凍結融解による土砂生産に対する影響要因と生産土砂量予測式の提案

本研究では、先に述べた②土砂生産活発期の土砂生産過程に着目し、図-4を基に凍結・融解の閾値を以下のように設定した。

- ・凍結の閾値：奥行き 5cm 地温で 0℃
- ・融解の閾値：地表面地温で 0.5℃

図-5に示すように、奥行き 5cm 地温が凍結の閾値 0℃以下を示した後、地温上昇により地表面地温が融解の閾値 0.5℃以上を示した地表面地温(°C/hr)の積算値(以下、「積算地温」と呼ぶ：°C/期間)と土砂回収期間内の生産土砂量との関係を概観すると、「積算地温」と生産土砂量との間には明瞭な正の相関性が認められ、凍結融解時の「積算地温」が土砂生産に多大な影響を及ぼしている事実が明らかになった。さらに、降雨が重なると生産土砂量はより増加する傾向が認められた。「積算地温 (°C/期間)」や「体積含水率最高値 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)」と生産土砂量との関係を示す図-6より、「積算地温」や「体積含水率の最高値」の上昇とともに、生産土砂量も増加する傾向が認められる。

以上の結果より、土砂回収期間内での生産土砂量は、説明変数として「積算地温 (°C/期間)」と「体積含水率最高値 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)」を用いて(1)式で表すことが可能となる。

$$S = 9.29 \cdot W^{0.48} \cdot \theta_{\max}^{3.36} \dots \dots \dots (1)$$

土砂回収期間内での生産土砂量の実測値と計算値を示す図-7より、若干のばらつきは認められるものの、概ね良好な再現性が認められる。

### 6. おわりに

溪岸崩壊地では、気温が 0℃を境に下降や上昇を繰り返すと礫移動が生じる事実が確認された。モデル断面では、3月中旬以降になると地温上昇により断面表面から土層断面内部へと順次融解が進み、土砂生産が活発化するという興味深い事実が明らかになった。「積算地温」と生産土砂量の間には正の相関性が認められ、さらに、降雨が重なると生産土砂量はより増大する事実が明らかになった。今後は、溪岸崩壊地における定点観測を継続し、融解期の土砂移動と地温変化との関係性を概観するとともに、モデル断面での生産土砂量や地温のデータを蓄積することにより、溪岸崩壊地での凍結・融解による生産土砂量予測式の構築に向けた詳細な検討を開始する予定である。

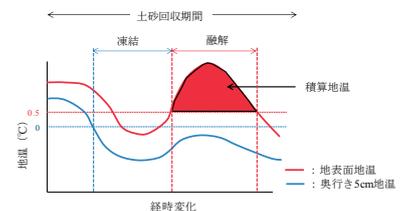


図-5 温度指標である積算地温の模式図

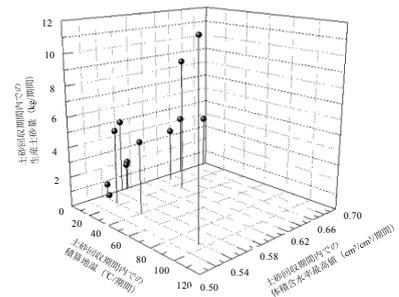


図-6 土砂回収期間内での生産土砂量と体積含水率最高値及び積算地温との関係

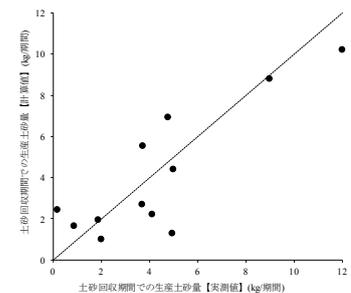


図-7 土砂回収期間内での生産土砂量の実測値と(5.1)式による計算値との関係