

航空レーザー計測データを用いた山地流域の土砂移動実態の把握

国土交通省関東地方整備局日光砂防事務所：田中秀基，小島隆，薄井道則，金井聖
アジア航測株式会社：○井之本信，小川紀一郎，村中亮太，屋木健司，佐野寿聡，野村和良

1. はじめに

砂防基本計画の策定にあたっては、土砂生産の場所・規模・タイミングを適切に評価した上で、山地流域からの基本土砂量を算出することが求められており、山地流域における土砂生産量の推定手法の精度向上が課題として挙げられている¹⁾。

そこで筆者らは、短期・中長期の生産土砂量の推定手法を開発するために必要なデータ取得を目的として、H17年8月～H19年11月の期間で、鬼怒川水系下の沢流域を対象として、観測機器による土砂移動実態調査を実施してきた²⁾³⁾⁴⁾。過去2年間では、下の沢流域で取得したデータを用いて、短期・中長期の土砂生産現象の推定手法を構築し、またこの際作成した解析モデルを用いて再現計算等を実施した。この結果と実際の推測値を比較し、モデルの妥当性の高さを検証した。

本調査では、H19年9月4日から7日にかけて栃木県を通過した台風9号の豪雨時(図1)について構築したモデルにより解析するとともに、発生した土砂流等の状況を含めて土砂移動実態を明らかにした。この解析した結果について報告する。

2. 調査概要

2.1. 対象地域の概要

下の沢は、栃木県日光市に位置する鬼怒川水系大谷川流域荒沢支流である。流域面積は約0.81km²，流路延長は約2.13km，平均溪床勾配は1/2.5である。

2.2. 短期の土砂生産現象推定調査の概要

短期の土砂生産現象の推定手法を検討するために、モデル斜面を設定し(図2)、解析モデルを構築した。モデル斜面の地層は、観測地点Aにおける簡易貫入試験等の調査結果より、上位より黒ボク層($N_d=1\sim2$)，軽石層($N_d=5$)，ローム層($N_d=2\sim4$)，礫まじりローム層($N_d=10\sim$)の4層で構成されていることがわかっている。

観測地点Bに多層式土壌水分計を設置し、モデル斜面の土層内部における水分量の変化を観測し、土壌水分特性を把握した。観測地点Cに孔内傾斜計を設置し、モデル斜面の微小な変動を観測し、斜面変動特性を把握した。観測より得た土壌水分特性，斜面変動特性は、三次元FEM解析(浸透流解析，弾塑性解析)結果の妥当性検証に用いた。

2.3. 中長期の土砂生産現象推定調査の概要

中長期の土砂生産現象の推定手法を検討するために、下の沢流域の地形特性を把握し、河床変動解析モデルを構築した。地形特性を把握するために航空レーザー計測を実施し、差分解析より得た土砂移動実態，雨量データ等を用いて、河床変動解析を実施し、モデルの妥当性について検証した。

3. 調査結果

3.1. 短期の土砂生産現象推定調査

①流域特性の把握(土壌水分特性・斜面変動量特性)

モデル斜面の6深度(10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 60cm, 100cm)における土壌水分の観測結果を図3に示す。これによれば、各深度で降雨に反応はするものの、反応時間に差がある。深度10cmでは、雨の降り始め(9/4 21:20)から約4時間後に反応する。深度20～60cmでは、雨の降り始めから約5～6時間後に反応している。上位の層ほど早い反応を示す。一方で深度100cmでは降雨に反応しなかった。

また、モデル斜面の深度30, 60, 90cmにおける3カ年の変動量の観測結果を図4に示す。これによれば、豪雨時には変位が進行するものの、積雪期前後の変位量はそれより大きいことが伺える。また、豪雨時・融雪期ともに降雨後に変位が逆に戻る傾向がみられた。

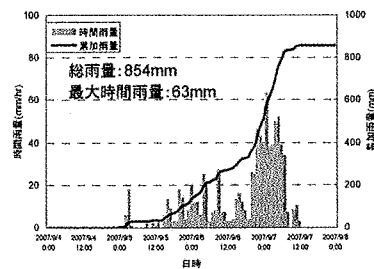


図1 唐沢小屋雨量観測所期間降水量(9月4～7日)

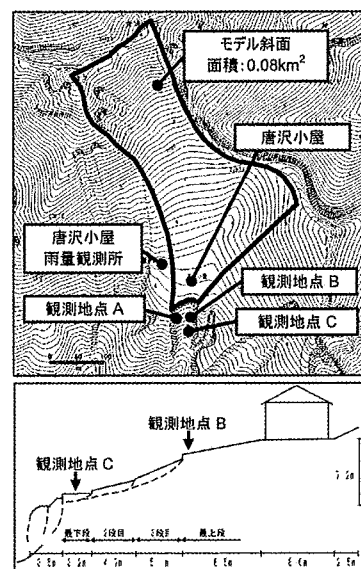


図2 モデル斜面と観測箇所

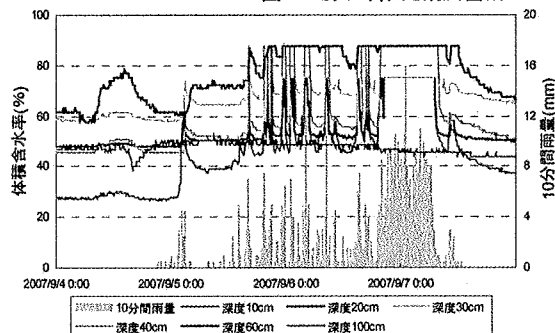


図3 土壌水分観測結果(台風9号)

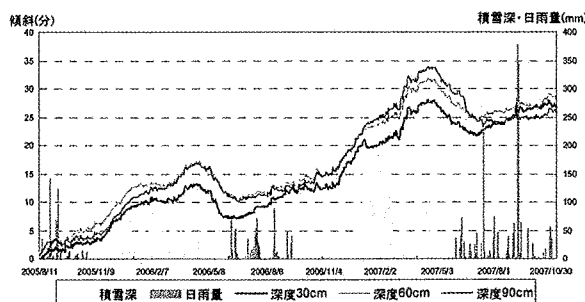


図4 斜面変動量観測結果(3カ年)

②三次元 FEM 解析（浸透流解析・斜面安定解析）

台風 9 号時の降雨波形による浸透流解析結果を図 5 に示す。解析より、上位の層ほど早期に体積含水率が上昇する結果が得られた。黒ボク層は、最初の降雨から 6 時間後に飽和するが、少雨時には体積含水率がすぐに低下する。軽石層は、最初の降雨から飽和に至るまで 48 時間かかり、飽和しにくい土質であることがわかった。ローム層や礫混じりローム層は、一度飽和した後、連続して飽和する傾向がある。

図 6 には、台風 9 号時の降雨波形による斜面安定解析結果を示す。解析より、勾配が急である斜面下部の方が、相対的に安全率が低い結果が得られた。斜面下部では安全率が $Fs=1.00$ を下回る範囲が地表付近まで垂直に連続する傾向ゾーンが形成された。これは、現地に段差地形が形成されている事実と整合する。

3.2.中長期の土砂生産現象推定調査

①航空レーザー計測による地形変動量の把握

台風 9 号発生後の地形変動量を把握するために、航空レーザー計測を実施した。

H19 年計測データと H18 年計測データとを比較し、河床部の土砂移動状況を把握した。図 7 より、モデル斜面付近などの第 4 床固工上流において、溪床・溪岸部の地形変動が確認できる。台風 9 号の豪雨の影響で、溪床・溪岸部が侵食され、第 4 号床固工で流出土砂が堆積したと考えられ、現地調査結果とほぼ整合がとれた。また、床固工群工事箇所付近では、人工的な地形改変が確認できる。

②河床変動解析

航空レーザー計測において、台風 9 号時に河床部の明瞭な土砂変動が確認できたため、これまでに検討してきた中期の土砂生産現象を推定するための解析モデルを用いて、河床変動解析を実施した。

河床変動解析による土砂変動量と航空レーザー計測結果による土砂変動量を比較した(図 8)。比較結果より、航空レーザー計測データの値と概ね一致し、土砂移動量を精度よく再現できたことがわかった。

なお、第 4 号床固工～第 2 号砂防えん堤の間では、土砂変動量に大きな差がみられるが、砂防工事中による地形の人工改変が影響していると考えられる。

4.おわりに

以上に示したとおり、本調査で用いた観測・調査データ等を使用することで、下の沢流域での短期・中長期の土砂生産現象について再現性が高い解析が可能となった。

今後もさらに土砂動態に関する予測手法の精度向上のため観測および検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1)独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チームほか
山地流域における土砂生産予測手法の研究
- 2)田井中ほか
下の沢における土砂生産調査について、H18 砂防学会概要集, PP.58-59, 2006
- 3)田井中ほか
下の沢における中長期の土砂生産現象について、H18 砂防学会概要集, PP.60-61, 2006
- 4)田井中ほか
下の沢における短期の土砂生産現象について、H19 砂防学会概要集, PP.22-23, 2007

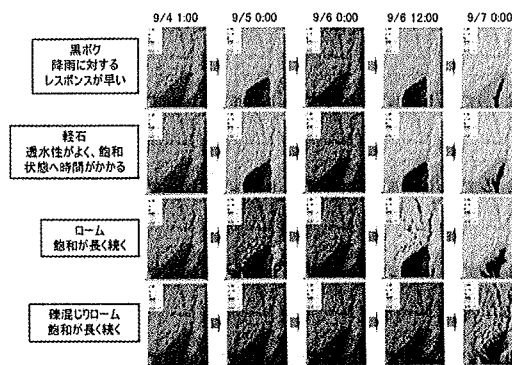


図 5 浸透流解析結果

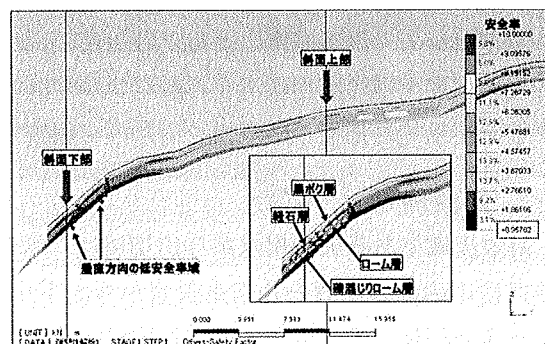


図 6 斜面安定解析結果

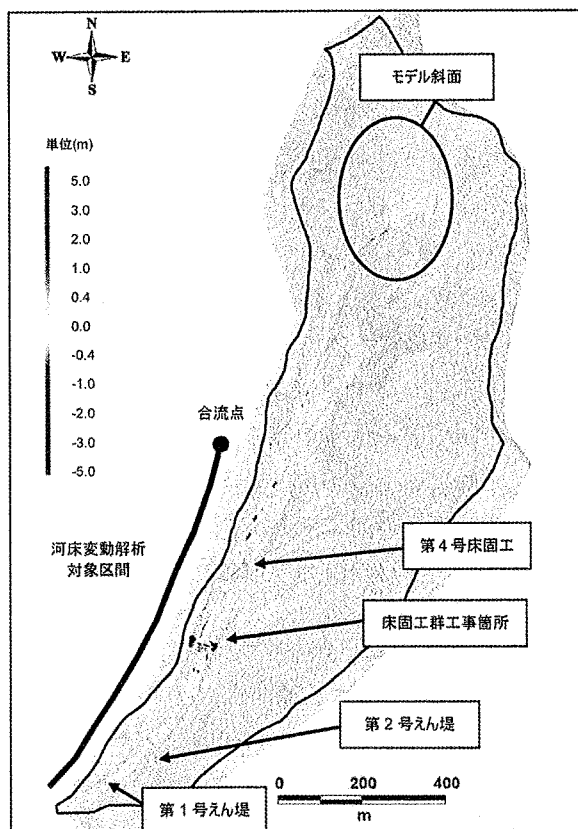


図 7 河床部の土砂移動状況

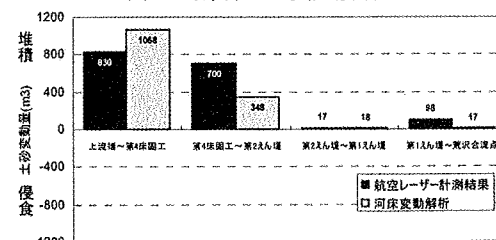


図 8 河床変動解析結果