平成 30 年度研究発表会講演論文集において、掲載漏れのあったプログラム及び特別セッション（西日本豪雨災害）のポスター論文について、以下掲載します。

研究発表会プログラム（○印は講演者）

【ポスターセッション】

【 特別セッション（九州北部豪雨災害 2） 】

P68　2017 年 7 月九州北部豪雨での斜面植生と土砂災害.....267
○稲垣 秀輝（環境地質）
P69　2017 年九州北部豪雨における災害廃棄物.....269
○大野博之（環境地質），山中稔（香川大学），廃棄物処分研究小委員会（JSEG）
P70　九州豪雨で発生した斜面崩壊の流水解析による数値解析的評価の試み.....271
○磯部有作（地層科学研究所），稲垣秀輝（環境地質）

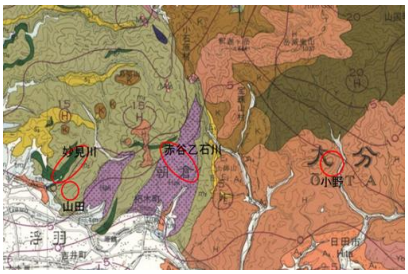
P68.　2017 年 7 月九州北部豪雨での斜面植生と土砂災害

Slope vegetation and landslide disasters due to heavy rain in the northern Kyushu on July 2017

○稲垣　秀輝（㈱環境地質）
Hideki Inagaki

1. はじめに

九州北部豪雨土砂災害は，2017 年 7 月に発生した．一部報道によるとマサ化した花崗岩分布流域の土石流を中心とした典型的な土砂災害であるといわれている．確かに，花崗岩分布地域を含む被災流域で崩壊や土石流が発生している．しかし，被災地の地質を詳細に調べると花崗岩のほかに結晶片岩や火山岩類が分布する流域でも土砂災害が発生していた（図-1）．しかも，流域からの土砂に加えて流木が大きな被害をもたらしたという報道も多いように思う．ここで，流木を伴う土石流に注目して，豪雨時の植生と土砂災害の関係についてまとめた結果を報告する [2]．



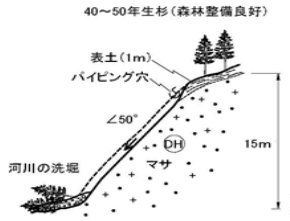
図－1　地質と調査地位置図 [1]

2. 地質と植生を考慮した土砂災害

調査地は，標高 1000m クラスの東西に延びる筑紫山地と英彦山の南麓に位置し，北から南に向かって流下する中小河川が多い．地質は，筑紫山地南麓には中古生代の三郡変成帯に属する結晶片岩と花崗岩類が分布し，いずれも表層は風化している．また，両岩の境界部や結晶片岩内には断層破砕帯が認められる．英彦山の南麓には新第三紀の火山岩類が分布し，凝灰角礫岩の上部に位置する安山岩溶岩との境界に赤色変質部があり，弱面を形成している場所がある．被災地の地質は結晶片岩，花崗岩，火山岩類に分けられる．図-2～4 にそれぞれの地質での植生を考慮した土砂災害の特徴を示す．たとえば、結晶片岩が分布する妙見川流域では，河川の攻撃斜面や谷頭などでの表層崩壊が多い．これらの表層崩壊は片岩の流れ盤斜面で特に顕著である．

比較的規模の大きな崩壊があるが，これらは，流れ盤の断層破砕帯に起因する．崩壊が発生したほとんど沢で土石流が起こっているが，土砂・流木の多くは，治山ダムや砂防堰堤，ため池などで捕捉されている(図-5). 妙見川沿いの植生はスギ人工林が主であり，一部，アラカシ群集，ムクーエノキ群集が存在する．溜池部分にオギ群落，沢筋にヨシクラス，一部ハンノキ群落が存在する．また，クズ群落が認められ，伐採後の荒廃地があった可能性が考えられる(図-6).

妙見川沿いの植林地は間伐がなされ，下草も生育し，良好な状態と見なすことができる．ただし，根系層崩壊 [3,4]を起こしやすい地盤特性である流れ盤の結晶片岩（根系の発達は良好であるが，垂直根の発達が認められない）や樹木根系による土壌保持力を越えた豪雨が発生した結果,0 次谷での表層崩壊がきっかけとなって流木を伴った土石流の発生となった．さらに，流出した土石流及び河川の増水により，河川の攻撃斜面が侵食を受け，河岸の表層崩壊が発生し土砂と共に樹木が崩落し，流木を増やしている．それに対して，垂直根の発達がよく地山の割れ目などに深く根系を侵入出来た受け盤の斜面では，表層崩壊を免れたところがあり，ここでは，逆に上流からの土砂や流木を立木が捕捉するところもあった．また，沢出口の勾配変化点，流速の減じる治山・砂防・ため池施設個所では流木の捕捉が認められる．



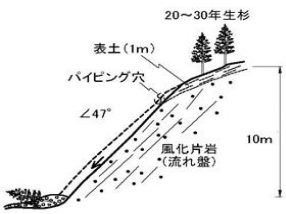


図-2 結晶片岩の表層崩壊　図-3 花崗岩の表層崩壊

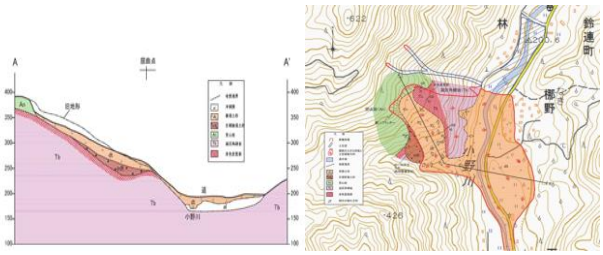
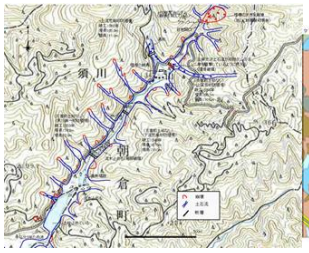


図-4 火山岩の地すべり



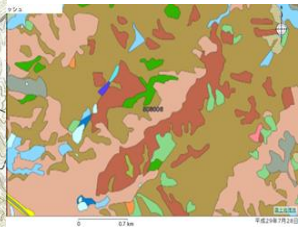


図-5 妙見川の土砂災害　　図-6 妙見川の現存植生

当地のスギ植林は，優良な形質のスギを生産するために多雨で温暖な立地に適した遺伝子をそろえた品種

を活用している．つまり，割れ目の多い結晶片岩，及び片岩風化物の崖錐堆積地という温暖で水分条件が良好な地山を生かした全国でも優良な林業地となっていた．今回の豪雨災害による流木の大量発生を林業のあり方の問題とする向きがあるが，これは斜面の安定に寄与する林業という地場産業を軽視するものであり，適切ではない．むしろ，林地，樹木の土壌緊縛力を越えた豪雨による表層崩壊の発生により，表土とともに樹木が流出した結果と考えるべきである.その中でも，地質や地形がその崩壊の規模や場所に影響を与えているので，今後それらの詳細調査を期待したい.

3. 表層崩壊と流木の高比率

今回の斜面崩壊の特徴は表層崩壊が多かったことである．表層崩壊が多いと当然崩壊土砂に占める流木の比率は多くなる（写真-1）．さらに，規模の大きな崩壊や地すべり個所では生育の良い植林があった（写真-2）．これらの樹齢の大きな樹木は嵩の大きい流木となる（写真-3）．多量の流木を抑える方策を次章で述べる．

写真-1 花崗岩の表層崩壊　写真-2 良好な植生管理

写真-3 小野地すべりの大きな流木の発生

4. 流木の防災・減災に向けて

今回の豪雨災害で流木を止めることができたのか．そもそも，崩壊の多くは表層崩壊と数は少ないが大規模な崩壊・地すべりで特徴付けられる．これらの斜面崩壊を抑制できれば,流木を少なくすることができる．先の述べたように，表層崩壊は樹木の根が分布する深さ，もしくはそれよりやや深い程度の土層が，降水の浸透とその地下水によって凝集力・粘着力などの力学的安定性を失い，地表に沿って剥落・滑落などの形で急激に崩れるものである．

したがって，植生のあるなしや，植生の種類，その管理状況そして地形・地質特性がこれらの表層崩壊に大きくかかわっている．また，規模の大きな崩壊や地すべりに関しては植生の管理を越えた地形・地質の理解を深めた斜面対策が求められる．しかし，今回のように，予想を超えた降雨に関してはこれらの対応に限界があることもわかってきた．

ここで，既往のハード対策が流木を抑えていた事例として妙見川流域があり，流木を抑えられなかった事例として赤谷乙石川流域があった．たとえば，妙見川上流では，流れ盤の断層破砕帯に起因する比較的規模の大きい斜面崩壊を治山ダムが受け止めていた．これによって比較的規模の大きい斜面崩壊の地表にある植生を流木にさせてはいなかった．また，写真-4 に示したように多数の流木を流域中流にある須川第一砂防堰堤（H＝7m）が捕捉している．さらに，写真-5 に示したように流域下流にある弘化３年のため池は多くの土砂や流木を捕捉している.これらの施設があったため，妙見川下流の低地での被災は軽減された．

それに対して，赤谷乙石川流域では，これらの施設が少なく，下流に大量に流木が発生し，被害を大きくした．もちろん，流木が発生したとしても，ソフト対応として早めに避難しておけば，家屋は被災しても人命は救えるものであり，ハードとソフトの対応策の兼ね合いが重要となる．

写真−4 流木捕捉砂防堰堤　写真−5 流木捕捉ため池

4. おわりに

植生には多様な斜面安定機能があり，斜面安定機能が高い植生は地域の生態系の保全にも大いに役立っていることがわかっている．つまり，山地が裸地であれば今回の災害以上の被害が発生したことは間違いない．ただし，流木を多量に発生させる斜面崩壊は植生のみで安定化できるものではなく，根系層崩壊の発生などのように地形・地質などの地盤特性を十分に知っておくことも重要である。

国土の大半を占める山地の全ての斜面を構造物により保護することは，技術的にも経済的にも不可能である。したがって，地形や地質をよく知り，ハードとソフトの両面からの植生による斜面安定効果を含めた対応策が必要と考える [5,6]。また，今後多量に発生した流木については，適正な処理と利用が必要である。

参考文献

1) 産業技術総合研究所：20 万分の 1 地質図幅「福岡」，1993.
2) 稲垣秀輝：植生と土砂災害の関係，日本応用地質学会 2017 年九州北部豪雨災害調査団報告書，pp.106-115,2018.
3) 稲垣秀輝：根系層崩壊，土と基礎, Vol.50, No.5, pp.5-7, 2002.
4) 稲垣秀輝：1998 年台風 4 号による福島県白河地方での表層崩壊の特徴，応用地質,Vol.40,No.5,pp.306-315,1999.
5) 稲垣秀輝：植生による斜面安定効果，地質と調査, No144,pp.41-46,2015.
6) 稲垣秀輝：2017 年九州北部豪雨での植生と土砂災害の関係, 第 53 回地盤工学研究発表会講演集 pp.1991-1992

P69．2017 年九州北部豪雨における災害廃棄物

Disaster Wastes generated at 2017 Northern Kyushu Record Heavy Rain

○大野博之（環境地質），山中稔（香川大学），廃棄物処分研究小委員会（JSEG）
Hiroyuki Ohno，Minoru Yamanaka，
Research Group on Geo-environmental Investigation & Analysis on Waste Material Disposal

1．はじめに

平成 29 年(2017 年)7 月九州北部豪雨では，斜面崩壊や大規模地すべりなどの多くの土砂災害に見舞われた．災害廃棄物の適正な処理・処分を待つ間の仮置場の在り方は，しばしば指摘されてきた．東日本大震災以降，環境省をはじめとした行政や，廃棄物処理に係る法人や団体等が積極的かつ指導的に動くようになってきており，最近は，適切な対応がとられるようになってきているといえよう．2004 年新潟県中越地震の頃のような仮置場の汚染は発生しにくい状況になってきたことを今回の災害でも強く感じる．これは，適正な設置と維持管理を行えば，仮置場による汚染などはないことを意味している [1)]．

一方で，今回の豪雨災害では，20 万 m^3 に及ぶ膨大な流木の発生が大きな特徴であった．災害の形態によって異なる廃棄物が発生することを改めて痛感させられ，発生量の予測が環境地質として重要であることが示された．

ここでは，以上の点について報告する．

2．災害廃棄物の状況

平成 29 年 7 月九州北部豪雨では，福岡県朝倉市は平成 30 年 5 月 24 日現在で，全壊 260 棟，大規模半壊 119 棟，半壊 663 棟，床下浸水 427 棟と最も多く，大分県日田市が全壊 45 棟，半壊 266 棟，床上浸水 143 棟にのぼり（平成 30 年 2 月 21 日現在），この両市での被害が最も多かった．このため，朝倉市では，災害廃棄物として，土砂混じりごみを含めると 35 万 7 千トンの災害廃棄物発生量となり，このうち土砂混じりごみを除いても 5 万 3 千トンにものぼる．朝倉市の年間ごみ処理量は 16,870 トンであるので，年間処理量をはるかに超えた災害廃棄物が発生したこととなる．したがって，こうした災害廃棄物を適正に処理・処分するまでの間の災害廃棄物の仮置場の設置が重要となる．

災害廃棄物の仮置場については，宇田 [2)]も示すように，運動場や公園，学校や公民館等の校庭，ごみ処理施設敷地内が候補として挙げられるが，発災時の土地利用の優先順位は低い．すなわち，土地利用としては，建設土木系の利用，医療関連，ヘリポートなどの災害対応機材等の置場などの方が優先される．したがって，平常時から防災担当と協議して場所を決定し，複数の候補地を選定しておかなければ，仮置場の設置が遅れることとなる．

3．朝倉市の仮置場

被災した朝倉市では，3 か所の災害がれき/廃棄物の仮置きがなされ，6 か所の流木・土砂の仮置きがなされていた．

このうち，災害がれき/廃棄物の仮置場は，以下の 3 か所である．

① 環境センター南側ゲートボール場
② 入地中町リサイクルセンター：平成 29 年 8 月 21 日の早い段階で閉鎖
③ 杷木体育センター駐車場

これらの仮置場は，適切な分別が行われていたが，杷木体育センターの仮置場では，油などを仮置きする場に水たまりなどもあり，浸透防止などのためのシートの敷設などはなされておらず，仮置きが長期化しないことが望まれる状態であった．

一方，流木・土砂の発生量が多かったこの九州北部豪雨災害では，膨大な流木・土砂の処理のために，一般の災害廃棄物とは別に，流木・土砂用の仮置場が別に設置されていた．過去の新潟県中越地震等では，材木等として同一の仮置場に流木も置かれていたのとは異なる状況であり，その流木の多さと流木等用の別の仮置場の設置は，この九州北部豪雨で顕在化した新たな問題である．

この流木・土砂の仮置場の一つとしては，「あまぎ水の文化村」の駐車場・グラウンドが挙げられる．

この仮置場では，平成 29 年 9 月 22 日の時点でも，流木・土砂の搬入が行われ，土砂と流木の分別とそれらの処理が行われていた．他の一般の災害廃棄物がある程度片付いてきているのに比較すると，約 20 万 m^3 という膨大な流木の処理には時間とコストが掛かる．

国土交通省は，この流木発生量について，被災前後の空中写真を用いて早急な発生予測を行い，その流木や土砂への対応の準備がなされた [3)]．こうした流木等の仮置場として開設した「あまぎ水の文化村」は公益財団法人あまぎ水の文化村の管理で，水資源開発公団の建設した寺内ダムの湖畔に位置し，467 台の駐車が可能な広大な駐車場がある．この駐車場を，豪雨で発生した流木等の仮置場として，発生量も勘案し早急に決めたものと思われる．この流木等の処理だけで，10 億円もの費用が費やされた．

4. 平常時における流木対策の検討

こうした流木の膨大な発生は，平常時より準備しておく必要がある．この九州北部豪雨では，ダム湖畔の公園が利用できたが，山岳地の多い日本では，流木の発生が多く，この九州北部豪雨のように膨大な量になることも，今後の災害では想定するべきである（写真-1）．ダム湖畔の公園がない場合には，その発生量の予測と仮置場の確保の検討は，平常時に行わなければ発災後の対応が遅れる原因の一つとなろう．今後，この点は，当委員会の検討テーマの一つと位置付けられる．

災害の発災後であれば，今回の豪雨のように，発生量は災害前後の空中写真等の比較で算出できるが，平常時に事前に検討しておくためには，次の点を明らかにする必要がある．

① **地形・地質的な違いによる樹木も巻き込む崩壊の発生箇所の抽出**：どのような斜面で樹木も巻き込んだ崩壊が生じるのかを明らかにすることが必要．

② **上記①により，地域内の流木の発生範囲の特定**：降水量と発生範囲との関係も明確にする必要がある．これにより，降水量の違いによる発生範囲の特定が可能となり，その発生確率もある程度見積もることができるようになると考えられる．

③ **流木が海にまで達するかの検討と達する場合の漂流する流木量の検討**：この問題は以前から指摘されていた[4)]が，平成 30 年 7 月豪雨で顕在化した．

④ **単位面積当りの材積量（九州北部豪雨では 549m^3/ha）等の予測量算出に必要な数値の検証**：最終的に「木材の単位体積当りの重量」も含めた検証も必要で，日本の樹木がどのような状態になっているのかを含め，林業分野との共同も必要となる．

今後は，災害廃棄物処理計画において，「水害時の流木処理量の算定と処理フローの確保」が必要である．

写真－１　平成29年7月九州北部豪雨における被災地で仮々置きされた流木（平成 29 年 9 月 22 日撮影）

5. おわりに

平成 29 年の九州北部豪雨に引き続き，平成 30 年 7 月豪雨でも西日本を中心に膨大な災害廃棄物が発生した．この西日本豪雨災害は土砂災害と水害であるが，水を含む廃棄物を多く排出している．西日本豪雨では，仮置場が設置されたにも関わらず，写真-2 に示すようにその隣で災害廃棄物を廃棄しているような状況がある．仮置場のない初期段階には致し方ないが，仮置きに対する住民等のモラルの向上も必要なことを痛感する．その意味でも，災害についての住民へのアウトリーチが今後ますます重要である．

今後は，この九州北部豪雨や西日本豪雨のような災害が多発することが予測されている．その度に，膨大な災害廃棄物が発生することとなり，被災自治体を始めとした行政の努力と共に，住民も含めた協働により適正に災害廃棄物が処理・処分される必要がある．このためにも，当委員会として各種の情報発信やアウトリーチにも努める必要があろう．

写真－２　平成30年7月豪雨による公設の仮置場ではない場所への災害廃棄物の投棄状況（平成 30 年 7 月 25 日撮影）

参考文献

1）大野博之・山中稔（2018）：災害廃棄物など環境地質に係る諸問題；日本応用地質学会編，2017 年九州北部豪雨災害調査団報告書～防災と環境を見据えた持続可能な故郷再生に向けて～．

2）宇田仁：災害廃棄物処理（仮置き場と支援について），https://www.pref.saitama.lg.jp/a0507/zujo-kunren/documents/kouen2.pdf

3）国土交通省九州整備局(2017)：平成 29 年 7 月九州北部豪雨に伴う流木発生量（速報値）について，平成 29 年 7 月 28 日．

4）矢野信一郎・田井明・北隆範(2013)：出水時における流木の発生－平成 24 年 7 月の九州北部豪雨について－，第 4 回流域圏シンポジウム

P70. 九州豪雨で発生した斜面崩壊の流水解析による数値解析的評価の試み

Attempt of Numerical Analytical Evaluation by Runoff Analysis of Slope Failure Occurred in Kyushu Heavy Rain

○磯部有作（㈱地層科学研究所），稲垣秀輝（㈱環境地質）
T Yusaku Isobe，Hideki Inagaki

1. はじめに

災害予測をすることは常に課題となっている．今回の九州豪雨で土砂も流れ出した箇所もあったが，斜面崩壊後の流木の流出・流動が多く見られ，下流域に流木が集まり，流木が被害を拡大させたことが顕著となった．土砂による危険度・災害を予測することは困難であるが，流動解析や流水解析が被害予測に活用されることが減災へと役立てられるものと考えている．地表面の流水解析と流体解析により土砂の流動解析 [1)]を試みた．

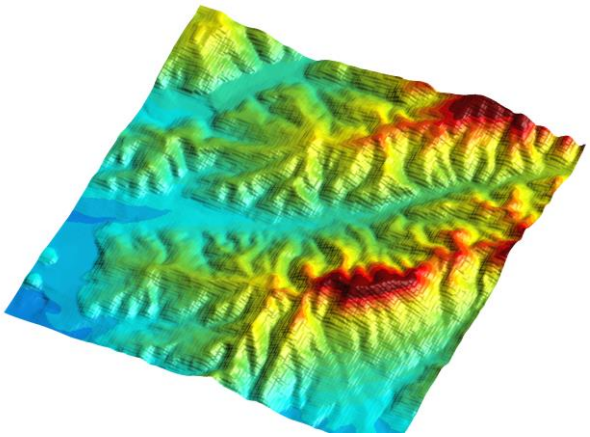
2. 斜面の流水解析の概要

地形を三次元でモデル化し，流体つまり今回の災害においては雨水の流れはマニングの公式により計算を行う.流水解析は表面の流れを表現するものであるが，今回の災害では土砂があまり多く見られないことから，表層ですべりが起きていると考えられ，表層でもかなり薄い層と仮定し，土砂の流動もほぼ地表面で起きている仮定した．流水解析では，地形の形状が大きく影響することから，流速が卓越するところでは地表面浅くはすべりやすく流動しやすいと考えられ，計算結果とすべりが起きた箇所の因果関係を見出したいことを目的としている．

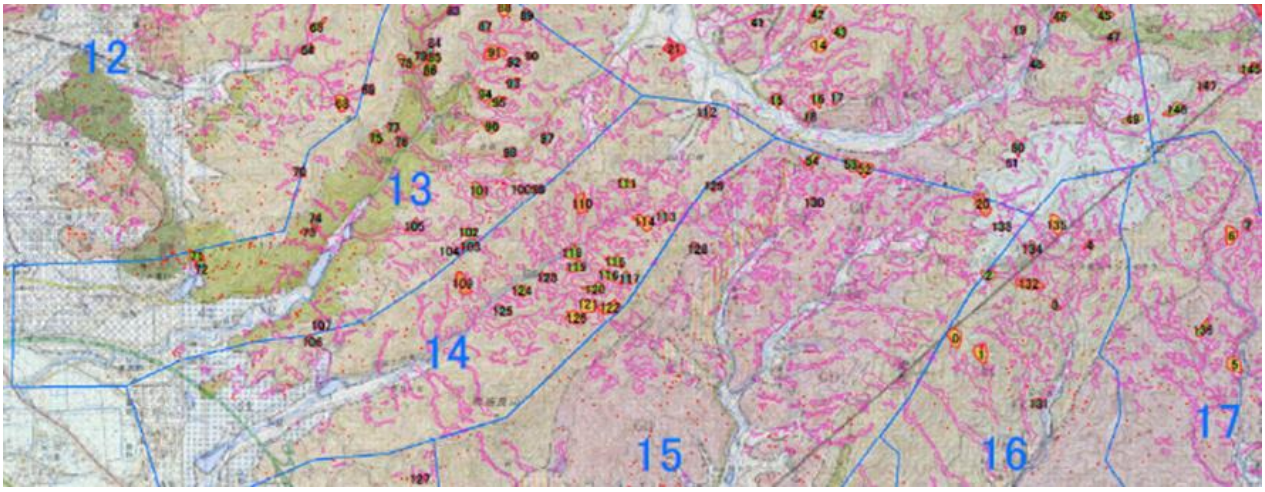
検討の対象は，地すべりの発生個所が多い奈良ヶ谷川流域とした．解析モデルは，地理情報システム（GIS：Geographic Information System）を用いて作成した．

図-1 は GIS データによるモデル図を示し，図-2 は GIS データから作成した解析用の地表面サーフェスモデルを示す．

図－1　GIS による対象モデル図



図－2　解析用の地表面サーフェスモデル

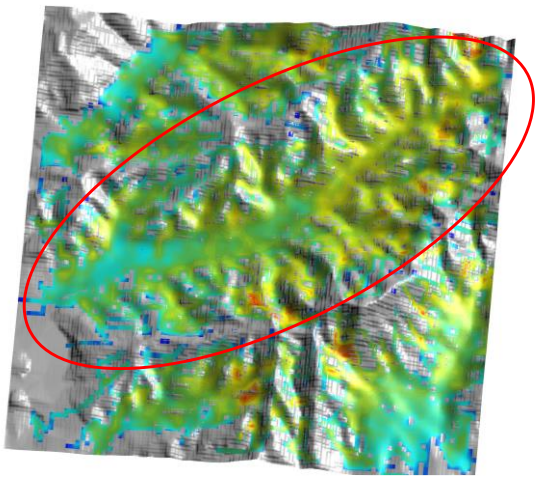


図－3　奈良ヶ谷川周辺の崩壊分布（国際航業）

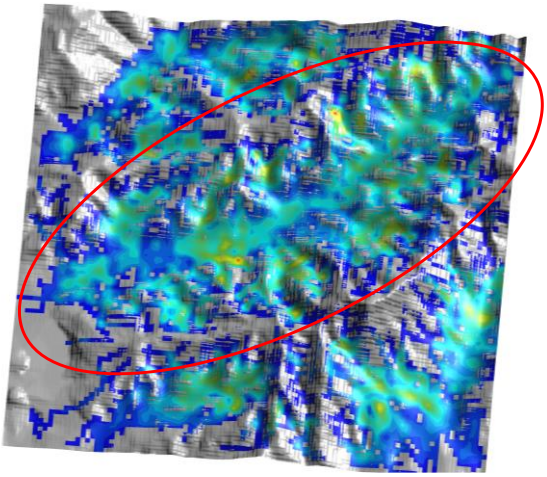
3. 斜面の流水解析結果

図-3 は判読による斜面崩壊の分布を示しており，図中の 14 というエリアが奈良ヶ谷川流域の崩壊分布を示している.崩壊は､流域全域で起こっている状況であった．これに対して，図-4 と 5 に解析結果を示しているが，流速の大きい箇所と崩壊が起きている箇所は近い結果と言える．危険度分布は通過確率に似た意味を示すが，流域の沢から流れ出した流水は当然のことながら河川へと流れでている．

今回の解析結果から，ある程度の整合は取れた．今後の被害予測や把握，そして地すべりなどの斜面崩壊が起きた後，どの距離まで到達するかなどが重要になってくる．そのためには，地形の傾斜量，地質の状態など含めた定量的な因果関係は今後の課題である．



図－4　流速分布結果

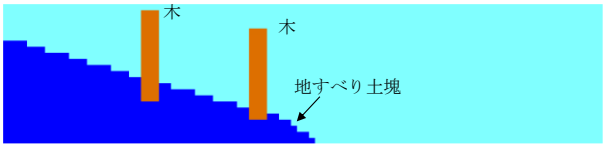


図－5　危険度分布結果

4. 斜面流動解析の試み

界面現象の表現に有効な流体解析手法の一つである CIP 法(Constrained Interpolation Profile Scheme)[2)]を用いて，土砂流動の数値解析的な評価手法について検討した．流体モデルにはニュートン流体やビンガム流体等があり，本検討はビンガム流体を考慮している森口ら[3)]によって提案された手法を用いた．

図-6 は木のモデル化を考量した試解析のモデルを示している．ここでの試解析は，詳細なモデル化ではなく，まずは簡易なモデル化で検証を行うことを目的としている．地すべり土塊の材料は土砂のみの流動解析と同様に砂質材料と粘性材料の二つの材料を対象とした．砂質材料としてモデル化した場合の地すべり後の堆積状態・流木の流動状態の結果を図-7 に示し，粘性材料としてモデル化した場合の地すべり後の堆積状態・流木の流動状態の結果を図-8 に示す．今回の試みでは簡易なモデル化で土砂の流動状態によっては直立な木々も傾斜し始めるところは表現出来ている．今後は長い距離の流動をするなど精度を上げていく必要がある．



図－6　木を考慮した解析モデル

図－7　砂質材料の堆積状態と流木の状態

図－8　粘性材料の堆積状態と流木の状態

5. おわりに

今後は減災の観点からも被害予測や土砂や流木から防護する施設の設計には数値解析の利用は必要である．土砂流に対しての防護の設計では，流木の表現は土砂流の割り増しのみであることも課題である．地形の形状，土砂や流木，流体の密度など物質の状態変数を正確に入力できる計算技術が必要である．

文献

1）Yusaku Isobe, Tomoaki Hachimura, Hiroyuki Ohno, Kenji Matsumoto, Tetsuya Miyahara, and Shuichi Nagaoka (2015):Study for the Elucidation of the Sedimentation Structure Using the Numerical Analysis, 10th Asian regional Conference of IAEG, Kyoto, Japan, October, Tp4-P08.

2）矢部孝，内海隆行，尾形陽一 (2003) : CIP 法―原子から宇宙までを解くマルチスケール解法, 森北出版.

3）Moriguchi, S., Yashima, A., Sawada, K., Uzuoka, R. and Ito, M. (2005): Numerical Simulation of Flow Failure of Geomaterials Based on Fluid Dynamics, Soil & Foundation, Vol. 45, No.2, pp.155-165.