



図-1.1.2 小規模溪流の土砂流出状況

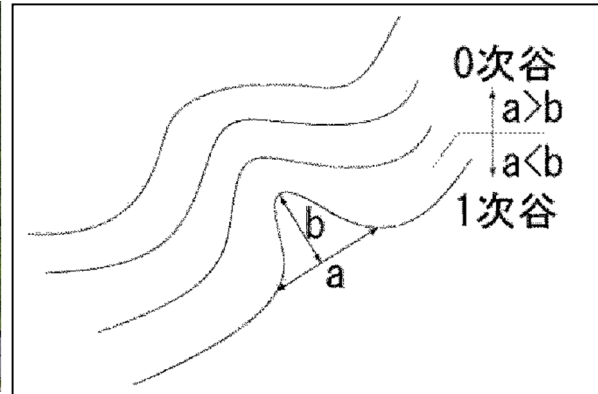


図-1.1.3 0次谷の地形⁽¹⁻⁴⁾

う

な0次谷で生じる土砂流出は、1次谷以上の大きな溪流を対象とする土石流には区分されない。末端に人家を有する傾斜度30度以上の斜面では、急傾斜地の崩壊として取り扱われるが、崩壊や落石を対象とした擁壁等の対策は溪流出口に施工されることが少なく、0次谷で生じる土砂流出には対応できていない。

国土の約70%が山岳地帯である我が国では、急傾斜地には数多くの0次谷が分布し、斜面直下に道路や家屋が近接する場合も多い。土砂災害の更なる防災・減災対策を進める上で、0次谷で生じる土砂流出への対応は不可欠である。限られた財政と人的資源の中で、無数に存在する0次谷の対策を検討する上では、0次谷の危険性評価と抽出法の確立が急務であるが、大規模な被害が生じる1次谷に比べ、0次谷に対する社会的認知度は低く、研究例も乏しい。実際には、0次谷の地形・地質の特徴と被災の程度を調べた事例もほとんどない。本論では、0次谷で生じる土砂流出への対応を検討する上で必要な危険度評価と抽出法を提案することを目的に、土砂流出が生じる0次谷の実態を明らかにするため、以下の3項目について研究を行った。

- (1) 平成30年7月豪雨において、0次谷で土砂流出が生じた斜面を対象に、地形判読と地質調査を行い、0次谷の地形・地質データ、流出土砂の有無や被災の状況を収集し、土砂が流出する0次谷の実態を整理した。
- (2) 0次谷の地形・地質データの整理と流出土砂の有無や流出土砂量を比較し、土砂流出が生じる0次谷の特徴を明らかにするとともに、0次谷で生じる土砂流出現象について考察した。
- (3) 地形・地質的要素と流出土砂の有無や流出土砂量の関係から、0次谷を発達段階で4段階に分類し、危険性を評価するとともに、土砂流出に関与する要素を選定し、土砂流出が生じる0次谷の抽出法を提案した。

本論文は、上記のような目的をもつ研究の方法、結果、考察、結論等をまとめたものであり、その内容は以下のように構成される。

[第2章] 過去の豪雨と土砂災害について述べるとともに土石流や0次谷に関する研究について整理し、0次谷の危険性評価と抽出法の検討にあたって解決すべき課題について述べている。

[第3章] 平成30年7月豪雨において0次谷で土砂流出が生じた高知県、愛媛県、広島県の急傾斜地を対象に実施した現地調査と地形判読等の方法と結果について述べ、各地区における0次谷の地形・地質の特徴と土砂流出の関係について整理している。

[第4章] 0次谷の地形・地質データの統合・比較から流出土砂との関係を分析し、谷の発達と0次谷で生じる土砂流出について検討を行い、土砂流出のメカニズムについて考察している。

[第5章] 第3章および第4章の結果をもとに、土砂流出が生じる0次谷の危険性評価と抽出法の考え方について述べている。

[第6章] 本研究全体で得られた結論をまとめている。

第2章 土砂災害に関する既往研究

日本列島は、地殻変動帯に伴う脆弱な山地の分布と度々発生する豪雨により、大陸の10倍とも言われる速度で侵食が進む⁽²⁻¹⁾。このため、山地からの土砂流出量が世界の中でも最も大きい地域に属し、様々な種類の土砂災害が発生する。土砂災害は、運動形態や移動速度、構成物の違いから「地すべり・山崩れ(斜面崩壊)」と「土石流」に大分されるが、これらの区分は定性的で、地すべりや山崩れが土石流の発生要因になる等、相互に作用している場合も多く、厳密に区分を定義することは難しい。山地斜面の崩壊現象として、山崩れと地すべりが挙げられ、両者はいずれも斜面上にある土塊が斜面下方へ移動する現象である。山崩れ(がけ崩れを含む)は傾斜の急な斜面の一部が速い速度で移動する現象で、地すべりは比較的傾斜の緩い斜面がゆっくりと移動する現象とされている。土石流は、水と土砂や石礫からなる混合物が一種の流体となって、かなりの速度で運動する土砂移動現象とされている⁽²⁻²⁾。

土石流が発生し流下するには、溪流に土砂が存在し、あるいは供給されることが必要であり、その上で降水量や溪床勾配または斜面勾配、集水面積等の地形的条件や堆積物の構成材料等、種々の条件が満足されていなければならない。しかし、これらの条件は、一義的に定まらないため、土石流にはいくつかの発生形態が存在し、発生機構もそれぞれに異なるのが一般的である。代表的な土石流の発生形態としては、次の2つが挙げられ、その他、天然ダム型や地すべり型、火山活動型等の区分が存在する⁽²⁻²⁾。

(1) 河床堆積物の移動型(水成勾配型)

河床堆積物が掃流形態で運搬されてできる勾配(これを水成勾配という)以上になって、力のつりあい
が破れたときに起こる土砂の集合運搬である。

(2) 崩壊型

日本の土石流のなかで崩壊型の占める割合はかなり高く、発生機構的には山崩れと同じであり、崩壊から直接土石流に移行する形態が多い。

0次谷で生じる土砂流出は、昭和42年7月豪雨災害(広島県呉市)⁽²⁻³⁾⁽²⁻⁴⁾から令和2年7月豪雨(熊本
県南部)⁽²⁻⁵⁾⁽²⁻⁶⁾に至るまで数多く報告されている。林野庁⁽²⁻⁷⁾や公益社団法人地盤工学会⁽²⁻⁸⁾では、平成
30年7月豪雨の被災状況を踏まえ、今後の防災・減災に向けた対策の一つとして0次谷の対応を挙げている。しかし、0次谷に対する研究は少なく、高次谷で生じる土石流の原因が0次谷で生じる土砂流出にある⁽²⁻³⁾ことや、谷の成長過程において0次谷で生じる崩壊が谷の生長点となっている⁽²⁻⁹⁾ことは整理されている。また、降雨特性および土質強度特性が表層崩壊に与える影響を検討した研究や1,000溪流以上を対象に現地調査⁽²⁻¹⁰⁾等から溪流の移動可能土砂量の推定方法を検討した研究⁽²⁻¹¹⁾に0次谷が含まれる場合はあるが、0次谷の地形・地質的特徴に着目し、土砂流出との関係について整理・分析した先事例はない。

本研究では、0次谷で生じる土砂流出について、定量的な地形・地質データの収集・整理を行い、土砂流出のメカニズムや危険性の評価について考察し、防災・減災上の課題とされている土砂流出が生じる危険性が高い0次谷の抽出法を提案する。

第3章 地形・地質的特徴と土砂流出との関係

3.1 調査地の概要

本研究では、はじめに2018年(平成30年)7月豪雨発生直後に実施・公開された災害報告を中心に土砂災害の発生状況を収集・整理し、航空写真や地形図を参考に0次谷で土砂流出が生じた斜面を選定した。つづいて、0次谷の性状を比較することを目的に、狭い範囲に複数の0次谷が分布し、流出土砂の有無が混在する斜面を抽出した。さらに、基盤地質の違いが、0次谷で生じる土砂流出に与える影響について検討するため、基盤地質の堆積年代や岩盤の種類が異なる3地区(高知県幡多郡大月町橘浦、愛媛県宇和島市吉田町白浦、広島県呉市安浦町市原)を調査地として選定した。図-3.1.1に調査対象斜面と調査地近傍



図-3.1.1 対象地と雨量観測所位置 (3-1)

の雨量観測所の位置を示す。

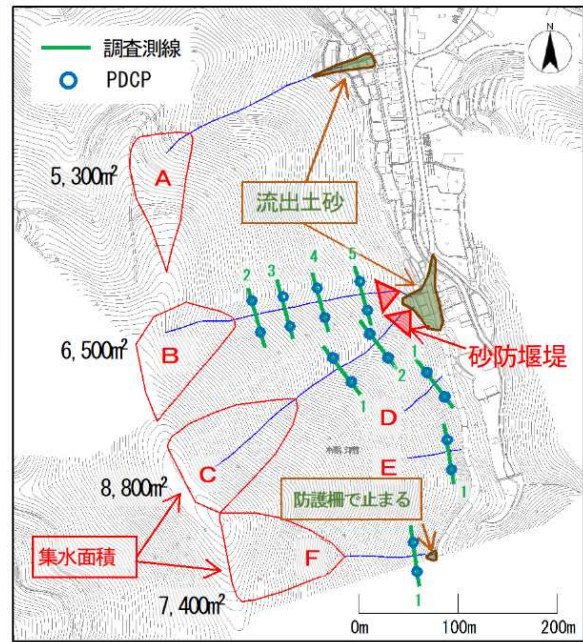


図-3.2.1 0次谷の分布と調査位置の関係 (3-2)

3.2 対象斜面と被災状況の概要

(1) 高知県幡多郡大月町橋浦

図-3.2.1に対象地点の発災前の砂防基盤図⁽³⁻²⁾を、図-3.2.2に発災直後に撮影された航空写真を示す。砂防基盤図は地図情報レベル2500で作成された地形図で、土砂災害防止法における警戒区域の設定に用いられる詳細な地形図であることから、溪流を抽出するのに十分な精度を有している。砂防基盤図には、対象とした0次谷と流出した土砂の堆積範囲、上方の集水面積を示すとともに、後述する簡易動的コーン貫入試験(PDCP)⁽³⁻³⁾の実施地点を併記した。ここで、本研究では、表層土の崩落を崩壊、0次谷を流下した土砂が斜面末端の家屋や道路に到達した状態を土砂流出と区分し、土砂流出が始まる地点を源頭部と定義した。また、渓岸や斜面に分布する礫質土を土砂、土砂流出により斜面末端に堆積した礫質土を流出土砂として区分した。



図-3.2.2 大月町橋浦での被災状況

周辺は山地を主体とし、東西方向を斜面に挟まれた河川が北方向に流下する。その両岸には狭長な平坦地が分布し、山際まで家屋が点在する。集落に迫る背後斜面は、明瞭な尾根や谷地形を有さず、概ね一様である。対象とする尾根東向き斜面に大きな起伏はみられず、狭い範囲に6本の小規模溪流が判読される。小規模溪流は、全て最大 b/a 比が1未満であり、0次谷A~Fとして調査対象とした。ここで、最大 b/a 比とは、各0次谷で地形判読より計測した谷の間口幅 a と谷の奥行き b の比の最大値とした。基盤地質は、四十万帯南帯に属する新生代古第三紀の砂岩優勢砂岩・泥岩互層に区分される⁽³⁻⁴⁾。

被災状況は0次谷で異なり、A・B・Cは流出土砂が平坦部まで到達し、家屋への流入と道路の寸断が生じていた。Fでは流出した土砂が道路擁壁の防護柵で止まる程度、D・Eは流出土砂が確認されていない。

(2) 愛媛県宇和島市吉田町白浦

図-3.2.3に対象地点の発災前のLP図⁽³⁻⁵⁾を、図-3.2.4に発災直後に撮影された航空写真⁽³⁻⁶⁾を示す。LP図は、0.5mメッシュの航空レーザー測量データより、等高線間隔1mで作成した地形図であり、人工構造物等の直線的な地物は十分に表現されないが、地形については砂防基盤図よりも精度が優れており、溪流の判読に十分な精度を有している。

周辺は、海岸線に向かって3つの尾根が張り出し、斜面末端には狭い平坦地が分布する。対象は、平坦地を取り囲むやや起伏に富んだ斜面であり、狭い範囲に15本の小規模溪流が分布する。これらはすべて最大 b/a 比が1未満を示す0次谷である。東に位置する0次谷では、土砂災害防止法で「急傾斜地の崩壊」

(様式5) (Style5)

に区分される崩壊が発生していることから除外し、0次谷I～XIVを調査の対象とした。基盤地質は、大月町橋浦と岩種は同じであるが、四万十帯北帯に属する古生代白亜紀の砂岩優勢砂岩・泥岩互層⁽³⁻⁴⁾で、堆積年代が異なる。

被災状況は0次谷で異なり、IVは谷頭で幅10m・平面長さ15m程度の崩壊が発生し、流出土砂が下方道路を寸断している。II・VIII・IX・XIは源頭部で崩壊が発生している。一方、I・III・V・VI・VII・X・XII・XIII・XIVは崩壊が発生しておらず、流出土砂も確認されない。

(3) 広島県呉市安浦町市原

図-3.2.5に対象地点の発災前のLP図⁽³⁻⁷⁾を、図-3.2.6に発災直後に撮影された航空写真⁽³⁻⁸⁾をそれぞれ示す。周辺は、標高358mを頂点とする楕円形の丘陵地斜面で、末端には西から東方向に緩やかな弧状を描きながら野呂川が流下する。対象とする野呂川沿いの北向き斜面では、狭い範囲に8本の小規模溪流が判読される。小規模溪流は、全て最大b/a比が1未満の0次谷であり、①～⑧として調査を行った。基盤地質は、高田流紋岩類に属する火成岩に区分され、中生代白亜紀の流紋岩が分布する⁽³⁻⁹⁾。

航空写真で確認された被災状況は0次谷で異なり、①・⑦・⑧では明瞭な崩壊が確認され、流出した土砂が野呂川や斜面末端の平坦地まで到達するが、②～⑥では崩壊や流出土砂はみられない。

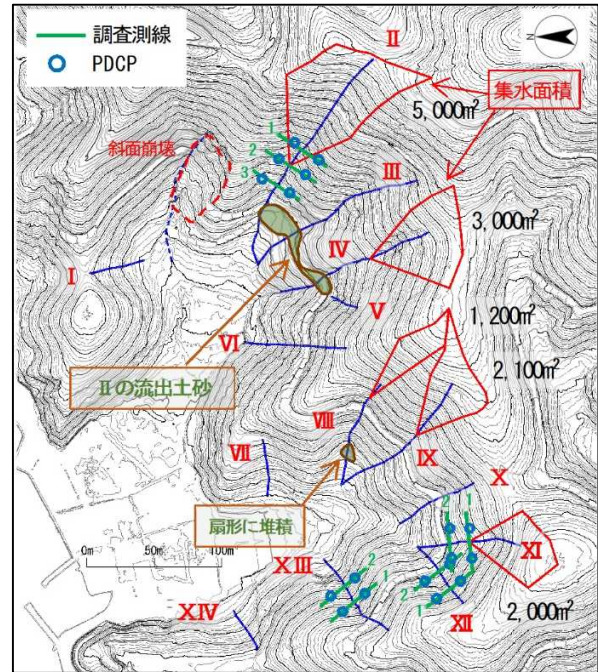


図-3.2.3 0次谷の分布と調査位置の関係⁽³⁻⁵⁾



図-3.2.4 吉田町白浦での発災後の航空写真

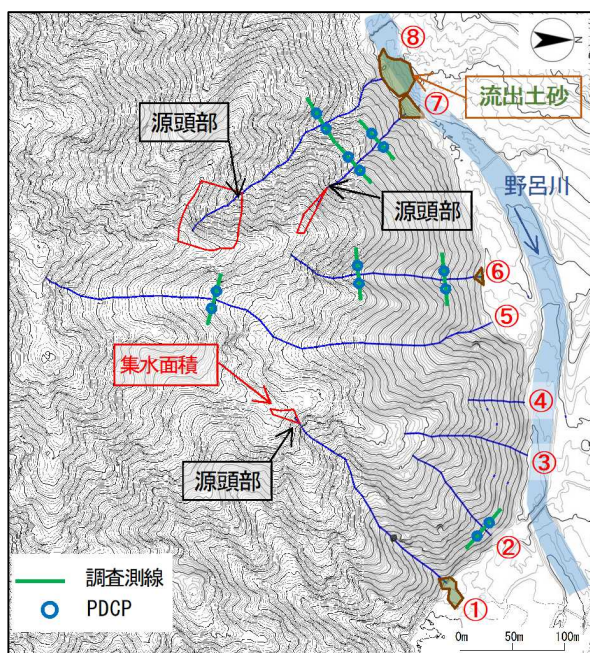


図-3.2.5 0次谷の分布と調査位置の関係⁽³⁻⁷⁾



図-3.2.6 安浦町市原での発災後の航空写真

3.3 調査地の降水

平成30年(2018年)7月豪雨では、7月4日に日本海で停滞低気圧となった台風7号と7月5日から西日本に停滞した前線により、温かく非常に湿った空気が日本付近に供給され、西日本を中心に広い範囲で記録的な大雨となった⁽³⁻¹⁰⁾。降水量は、土砂流出に対する影響が大きいと考えられる発災前24時間の時間・累積降水量に着目し、対象地域にもたらされた降水の特性について整理を行った。また、対象地域の降水特性を明確にするため、他2地域と比較した。比較には、総降水量が全国一位となった高知県安芸郡馬路村の魚梁瀬(ヤナセ)観測所と土砂災害が多発した長岡郡大豊町の立川(タチカワ)観測所を用いた。図-3.1.1に対象地点近傍に位置する雨量観測所を示し、表-3.3.1に観測所の一覧を示す。

表-3.3.1 雨量観測所一覧

観測所名(カタカナ)	所在地	北緯	東経	管理者
弘見(ヒロミ)	高知県 幡多郡大月町	32度50分29秒	132度42分25秒	高知県
宇和(ウワ)	愛媛県 西予市宇和町	33度22分0秒	132度30分12秒	松山地方気象台
呉(クレ)	広島県 呉市宝町	34度14分24秒	132度33分0秒	広島地方気象台
魚梁瀬(ヤナセ)	高知県 安芸郡馬路村	33度37分7秒	134度6分21秒	高知県
立川(タチカワ)	高知県 長岡郡大豊町	33度50分7秒	133度39分12秒	国土交通省

図-3.3.1に弘見(ヒロミ)観測所で得られた平成30年7月6日~7日の時間降水量を示す。弘見観測所では、2018年7月8日4時から6時にかけて時間降水量80mmを超える豪雨が観測され、最大時間降水量91mm、3時間の合計は241mmに達する。一方、7月8日3時を基準とした24時間先行雨量は107mmと少なく、7月7日11:30からの8時間に降水は記録されていない。地域住民のヒアリングによる発災時刻は、7月8日5時頃であり、最大時間降水量が観測された時間とほぼ合致する。

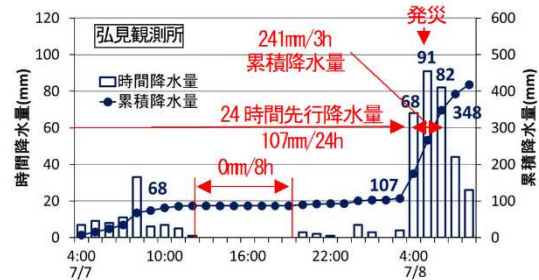


図-3.3.1 大月町の降水状況(弘見観測所)

図-3.3.2に宇和(ウワ)観測所で得られた平成30年7月6日~7日の時間降水量を示す。宇和観測所では、平成30年7月7日3時から7時にかけて、最大時間降水量39mmを含む25mm/hを超える降水が連続し、5時間の累積降水量は159mmに達する。7月7日2時を基準とした24時間先行降水量は181.5mmであるが、時間降水量は平均7.6mmと少なく、最大時間降水量39mmの1/5程度である。地域住民のヒアリングによる発災時刻は、7月7日7時頃であり、最大時間降水量が観測された時間とほぼ合致する。

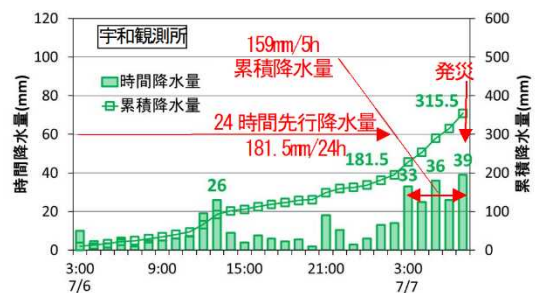


図-3.3.2 吉田町の降水状況(宇和観測所)

図-3.3.3に呉(クレ)観測所で得られた平成30年7月7日から7月8日の時間降水量を示す。7月6日4時から17時にまでの累積降水量は64mmであり、その後時間降水量15~50mmの降水が21時まで連続し、累積降水量は160mmに達している。以降、雨はやや小降りとなったが、翌朝7月7日4時頃から再び雨脚が強まり、最大時間降水量50.5mmを含む20mm/hを超える降水が6時まで継続し、3時間の累積降水量は110.5mmに達する。対象地域では、時間降水量50mmを超える降水を含む雨量強度の大きな雨が2回観測されている。地域住民のヒアリングによれば、午前5時頃に右岸側斜面の0次谷で土砂流出が生じたことを確認しており、2回目のピークを向かえた時刻とほぼ合致する。

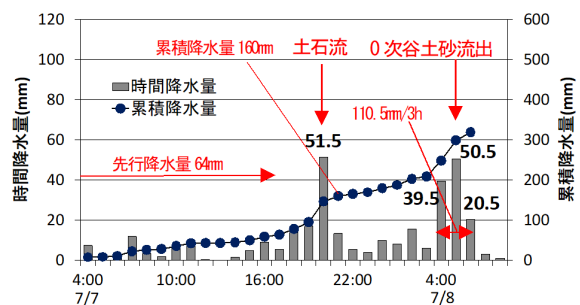


図-3.3.3 安浦町の降水状況(呉観測所)

図-3.3.4に魚梁瀬(ヤナセ)観測所、図-3.3.5に立川(タチカワ)観測所で得られた平成30年7月5日~6日の時間降水量を示す。魚梁瀬観測所では、総降水量1,852.5mmが記録され、7月5日23時から翌

1 時の間に 50mm/h を超える豪雨が観測されている。最大時間降水量は 68mm、2 時間の合計は 118mm に達する。7 月 5 日 23 時を基準とした 24 時間先行降水量は 263mm と多く、1~28mm/h の降水が絶え間なく続いている。立川観測所では、7 月 6 日 12 時から時間降水量 50mm を超える降水が断続的に発生し、7 月 6 日 19 時には最大時間降水量である 111mm が観測されている。7 月 6 日 11 時を基準とした 24 時間先行降水量は 166mm とやや少なく、7 月 5 日 21 時からの 3 時間に降水は記録されていない。

土砂災害が発生した魚梁瀬観測所以外の観測所では、最大時間降水量や累積降水量に違いはあるが、相対的に 24 時間先行降水量が少なく、その後雨量強度の大きい降水が数時間継続している。0 次谷で土砂が流出した 3 地区では、降水が集中し、最大時間降水量が観測された時間に発災に至っている。一方、魚梁瀬観測所では、24 時間先行降水量に対して、その後の集中的な降水量が少なく、累積降水量グラフの立ち上がりやや不明瞭である。土砂災害は、24 時間先行雨量が小さく、その後集中的な降水が観測されている地域で発生しており、特に 0 次谷から土砂が流出した 3 地区では、発災に至るまでの降水特性が類似していることが確認された。

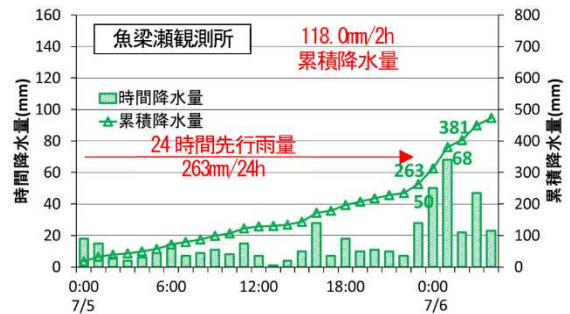


図-3.3.4 魚梁瀬観測所の降水状況

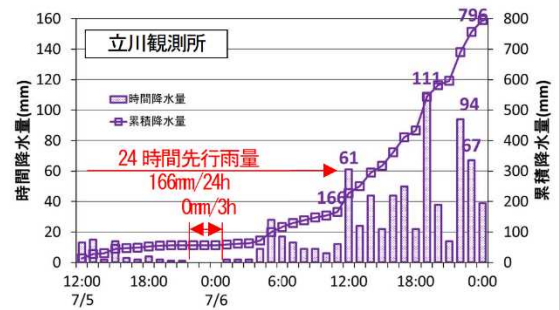


図-3.3.5 立川観測所の降水状況

3.4 0次谷と流出土砂の状況

3.4.1 高知県幡多郡大月町橋浦

(1) 流出土砂量と土質

0 次谷 A の流出土砂は、調査時には既に撤去されていたが、聞き込み調査では、流出土砂は溪流に並走する生活道に沿って長さ 70m 程度、560m² 程度の範囲に細長く堆積していた。堆積層厚は、写真-3.4.1 に示す家屋の壁面や石積の痕跡より 1.4m 程度であり、推定される流出土砂量は 800m³ であった。小屋の屋根根や石垣の隙間に残る土砂は、細粒分をほとんど含まず 0.05~0.2m 角程度の石礫からなる。

0 次谷 B・C から流出した土砂は、斜面直下を中心とする比較的狭い範囲に堆積するが、家屋を飲み込み、道路を横断し、30m 下方の河川まで到達した痕跡が残されていた。地形図から計測した流出土砂の堆積範囲は約 1,000m² であり、現地で計測した土砂層厚は 0.8~2.2m で、平均層厚は 1.5m 程度であったことから、流出土砂量は 1,500m³ と試算される。土質は、0 次谷 A の流出土砂と同様に細粒分をほとんど含まない砂岩の石礫からなる。写真-3.4.2 に示すように、石礫は、0.1~0.3m の角礫状を主体とし、最大でも 0.5m 角であった。

0 次谷 F の流出土砂は、写真-3.4.3 に示すように、道路山留擁壁の防護柵で止まり、長さ 12m、幅 10m



写真-3.4.1 B 出口付近の流出土砂の痕跡



写真-3.4.2 B・C の流出土砂による被災状況

(様式5) (Style5)

程度の扇状に堆積していた。現地計測した堆積層厚は0.5mで、流出土砂量は30m³と試算される。土質は、細粒分をほとんど含まない礫質土であり、0.3m角までの石礫で構成されていた。

(2) 土砂流出が確認された0次谷の特徴

0次谷の両岸で確認された地層構成は、地表より礫分を主体とする土砂層が分布し、下位には基盤岩が分布する。写真-3.4.4に0次谷Bの溪岸に露出する土砂層の状況を示す。土砂層は、0.05~0.3m角の砂岩礫を非常に多く含み、マトリックスとして細粒分を少量含む程度である。地表に段差地形等の土砂層が移動した兆候はみられず、土砂層は上方斜面供給された堆積物とは異なり、基盤岩が原位置で強風化され土砂化した風化土であると推定される。

基盤岩は、比較的硬質な砂岩優勢砂岩泥岩互層で、0次谷上流部の溪床や溪岸の末端に露出する他、発災後に施工された砂防堰堤背面の切土面や仮設道の切土面で観察することができた。

0次谷Bの源頭部では、幅10m程度、深さ2m程度の崩壊が発生していた。写真-3.4.5に源頭部の崩壊状況を示す。崩壊は標高100m付近に位置する遷緩線に位置し、崩壊末端付近には降水時の湧水跡と思われるパイプ状の空洞や細粒分の流出跡がみられた。源頭部の崩壊より上方は、溪流が急激に不明瞭となり、一様な斜面に幅1.5m以下の凹状地形が辛うじてみられる程度であった。崩壊より下流では、幅3~5m程度の明瞭な谷地形が連続し、中流より上流の溪床には、基盤岩が部分的に露出し、0.2~0.3m角の砂岩礫が少量堆積していた。下流では、溪床に岩盤はほとんど露出せず、谷出口付近では最大1.5m角の巨礫を含む土砂が堆積していた。崩壊より下流の溪岸では、写真-3.4.6に示すように樹木の根が露出し、地表より垂れ下がっている状況が断続的にみられた。溪流を流下した流出土砂に溪岸が侵食されたと推定される。

0次谷Cは、0次谷Bと比較して溪流の規模はやや小さいが、源頭部では幅5m、深さ1m程度の崩壊が発生していた。源頭部の崩壊より上方では、溪流は急激に不明瞭となり、全体に緩やかな凹状を呈する集水地形が広がっていた。下流では、幅1~2m程度の谷筋が断続的に分布し、中流から谷出口までの区間では連続していた。上流部の溪床には、石礫が堆積し、岩盤は露出しないが、下流部では部分的に岩盤が露出し、崩壊より下流の溪岸では、流出土砂に伴う侵食の痕跡がみられた。



写真-3.4.3 0次谷Fの流出土砂



写真-3.4.4 0次谷B 溪岸の土砂層



写真-3.4.5 0次谷Bの源頭部の崩壊



写真-3.4.6 0次谷Bの溪岸の侵食状況

(様式5) (Style5)

0次谷Fは、幅2m程度深さ0.5m程度の凹状地形が連続しており、崩壊はみられなかった。谷出口付近では、凹状地形がやや深くなり、侵食に伴い樹木の根が地表に露出していた。周辺斜面には、0.5m程度のまでの砂岩礫を主体とする土砂が分布していた。

(3) 土砂流出が確認されていない0次谷の特徴

0次谷D・Eは、明瞭な谷地形を示さず、辛うじて凹状地形がみられる程度であった。周辺には、岩盤が露出することから、土砂層厚は薄いと推定される。



写真-3.4.7 緩傾斜地に集積された流出土砂

3.4.2 愛媛県宇和島市吉田町白浦

(1) 流出土砂量と土質

調査時には、流出土砂は斜面下方の緩傾斜地に集積され、堆積状況を直接確認することはできなかった。航空写真では、0次谷IVから流出した土砂が、道路を60m程度流下し、420m²程度の範囲に堆積していた。土砂堆積の痕跡が一部道路の山留擁壁にあり、測定した土砂の堆積厚さは0.5mであったことから、推定流出土砂量は210m³と試算される。0次谷VIIIでは、斜面中腹に堆積する流出土砂がみられた。流出土砂は、層厚1m程度で長さ5m、幅6m程度の扇状に堆積しており、推定流出土砂量は30m³と試算される。0次谷II・IX・XIは、崩壊はみられるが流出土砂が不明瞭であったことから、推定流出土砂量を1m³と試算した。写真-3.4.7に示す集積土砂は、最大0.5m角程度までの砂岩の角礫を含む。全体には0.1m角程度までのやや風化された砂岩が主体で、マトリックスとして細粒分を少量含む状況であった。



写真-3.4.8 0次谷II周辺に露出する基盤岩

(2) 土砂流出が確認された0次谷の特徴

0次谷両岸で確認された地層構成は、地表より礫分を主体とする土砂層が分布し、下位には基盤岩が分布する。土砂層は、0.05m角程度までの砂岩礫を多く含む、マトリックスとして細粒分をやや多く含む。ハンマーで露頭を掘削すると、部分的に岩構造が残されており、基盤岩が原位置で強風化され土砂化したと判断される。



写真-3.4.9 0次谷IVの源頭部の崩壊

基盤岩は、砂岩勝ち砂岩泥岩互層で、0次谷の溪床に一部露出していた。写真-3.4.8に0次谷IIの周辺に露出する基盤岩を示す。表面は酸化に伴い褐色を呈するが、岩芯は新鮮色を呈し、硬質である。

0次谷IVの源頭部では、写真-3.4.9に示す幅10m・平面長さ15m程度のやや規模の大きい崩壊が発生していた。崩壊より上方は、谷地形は急激に不明瞭となり、一様な斜面が連続するが、崩壊より下方は、幅1~2m程度の明瞭な谷地形が連続し、溪床に堆積物は



写真-3.4.10 0次谷IIの源頭部の崩壊

ほとんどみられず、谷出口の溪床には岩盤が露出していた。0次谷Ⅱ・Ⅷ・Ⅸ・ⅩⅠでは源頭部で崩壊が発生していた。写真-3.4.10に示すⅡの源頭部では、幅7m・深さ1.5m程度の崩壊が発生し、崩壊面には硬質な砂岩が露出していた。崩壊より下流は谷地形が連続していたと推定されるが、調査時には水路が施工されていた。0次谷Ⅷでは、幅5m、深さ1m程度の崩壊が源頭部で発生し、0次谷Ⅸ・ⅩⅠにおいても、源頭部で小規模な崩壊がみられた。

(3) 土砂流出が確認されない0次谷の特徴

Ⅰ・Ⅲ・Ⅴ・Ⅵ・Ⅶ・Ⅹ・ⅩⅡ・ⅩⅢ・ⅩⅣは崩壊が発生しておらず、流出土砂も確認されない。0次谷Ⅲは、幅1~2m程度の比較的明瞭な溪流であり、谷出口付近では溪床および溪岸に硬質な砂岩が露出する。

3.4.3 広島県呉市安浦町市原

(1) 流出土砂量と土質

道路や河川に流出した土砂は、現地調査時には概ね撤去されていたが、航空写真では、流出土砂の堆積状況を確認することができた。0次谷①から流出した土砂は道路を塞ぎ、幅20m、長さ20mの400m²程度の範囲に堆積していた。写真-3.4.11に示す谷出口に残置された流出土砂の層厚は1.4mであり、推定流出土砂量は560m³と試算される。0次谷⑦では、谷出口に長さ30m、幅35m程度の扇状で流出土砂が堆積しており、堆積厚さを0.5mと小さく見積もっても推定流出土砂量は360m³と試算される。0次谷⑧では、流出土砂が河川を横断し、対岸まで到達しており、2,000m²程度の範囲に堆積していた。推定流出土砂量は、堆積厚さを0.5mと小さく見積もっても1,000m³と試算される。現地確認では、0次谷⑥の谷出口に、長さ10m、幅10m程度の扇状に流出土砂が堆積し、層厚が1m程度であることから推定流出土砂量は50m³と試算される。0次谷①の谷出口に残置された流出土砂は、巨礫は含まず0.2m角程度までの流紋岩礫を多く含む礫質土で、マトリックスはシルトを主体とする。



写真-3.4.11 谷出口に残置された流出土砂



写真-3.4.12 0次谷⑧の溪岸に露出する土砂

(2) 土砂流出が確認された0次谷の特徴

0次谷両岸で確認された斜面の地層構成は、地表より礫分を主体とする土砂層が分布し、下位には基盤岩が分布する。写真-3.4.12に土砂層の分布状況を示す。土砂層は、0.2~0.5m角程度の流紋岩礫を多く含む、マトリックスとして細粒分を少量含む。写真-3.4.13に示す0次谷⑧の崩壊面では岩構造を辛うじて残すが、ハンマーで掘削すると容易に砂状に変化する土砂が露出していた。礫は基盤岩と同じ岩種であり、地表に段差地形等の土砂層が移動した痕跡はみられないことから、土砂層は基盤岩が原位置で強風化され土砂化した風化土であると推定される。



写真-3.4.13 0次谷⑧の崩壊面の土砂

基盤岩は、流紋岩であり、0次谷の溪床に部分的に露出していた。全体に新鮮色を呈し、ハンマーの強打撃で割れる程度に硬質であった。

0次谷①では、源頭部において幅10m程度の崩壊

が2箇所で発生していた。崩壊より下流は、幅5m以上の明瞭な溪流が連続し、中流より下流の溪床には岩盤が露出していた。0次谷⑦では、写真-3.4.14に示す幅5m程度の崩壊が源頭部で発生していた。崩壊より下流は、幅5m以上の明瞭な溪流が連続し、谷出口には溪床を中心に岩盤が露出していた。0次谷⑧では、幅10m程度の崩壊が源頭部で発生していた。崩壊より上方は、写真-3.4.15に示す幅1m程度の溪流が15m程度連続するが、さらに上方は凹状の集水地形を呈していた。崩壊より下流は、幅5~10m程度の明瞭な溪流が連続し、谷出口の溪床には新鮮な岩盤が露出していた。0次谷⑥では、①⑦⑧で発生していたような明瞭な崩壊はみられず、幅1m程度のやや明瞭な溪流が連続していた。溪床には、0.5m角程度までの流紋岩礫が、岩盤を覆って層厚0.5m程度で堆積していた。

(3) 土砂流出が確認されない0次谷の特徴

0次谷②~④は、周辺や溪床に岩盤が露出し、わずかな凹状地形がみられる程度であった。写真-3.4.16に0次谷③の状況を示す。溪床勾配は35度以上の急勾配を呈し、谷全長は短く、連続性に非常に乏しい。0次谷⑤は、連続性がよく、斜面上方尾根稜線付近まで谷地形を追跡することができた。標高200mより上方では、勾配20度以下の凹状を呈する緩斜面が標高320m付近まで連続し、下方では幅1~2m程度の溪流が連続し、谷出口付近では溪床に岩盤が露出していた。

3.5 土砂流出が生じる0次谷地形・地質的特徴

地形的特徴の整理では、発災前の砂防基盤図やLP図を使用した地形判読を行った。地形判読は、0次谷を抽出するとともに、等高線で5~10mと細密な間隔でb/a比を算出し、谷全長や集水面積、土砂流路長や溪床勾配を計測した。ここで、集水面積は源頭部より上方、尾根稜線までの範囲とし、土砂流路長は、谷全長のうち、源頭部より下流の長さとした。図-3.5.1に地形データ計測の模式図を示す。0次谷の侵食状況は、現地踏査で目視確認とするとともに、源頭部の高度や位置をGPSを用いて確認した。地質的特徴の整理では、0次谷や斜面に分布する土砂および岩盤の性状を目視で確認し、土砂および岩盤の貫入抵抗値と土砂層厚を把握するため、簡易動的コーン貫入試験(以下、PDCPと称す)を実施した。PDCPは、崩壊や流出土砂の侵食等に伴う影響が小さいと考えられる0次谷兩岸に配置した。また、土砂の材料特性を確認す



写真-3.4.14 0次谷⑦の源頭部の崩壊



写真-3.4.15 0次谷⑧の源頭部より上流



写真-3.4.16 0次谷③の状況

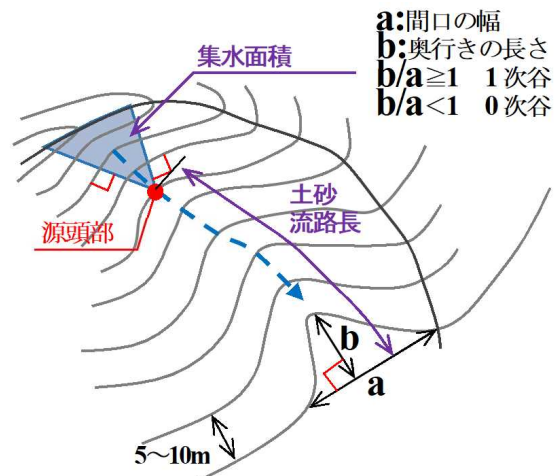


図-3.5.1 地形判読の模式図

るため、0次谷で攪乱採取した試料を用いて土の粒度試験（日本産業規格 JIS A 1204:2020）を実施した。得られた地形・地質データは、各地区で整理し、流出土砂の有無や推定流出土砂量と比較した。

(1) 高知県幡多郡大月町橋浦

図-3.5.2 に土砂流出が生じた 0 次谷の b/a 比を谷出口からの比高で整理して示す。b/a 比は谷出口から上流に向かって増加し、最大値を示した後、低下する傾向を示す。源頭部の b/a 比は 0.22~0.44 を示し、0 次谷で異なる。

表-3.5.1 は、0 次谷の谷全長、最大 b/a 比、平均溪床勾配、土砂流路長と集水面積を推定流出土砂量の多い順に整理したものである。最大 b/a 比は、土砂流出が生じた 0 次谷で 0.31~0.47 と大きな値を示し、土砂流出がみられない 0 次谷で 0.16~0.18 と 0.2 以下の小さな値を示す。谷全長は、土砂流出が生じた 0 次谷で 123~258m と 100m 以上で、土砂流出がみられない 0 次谷では 60m 以下と短い。平均溪床勾配は、流出土砂がみられた 0 次谷で 25~36 度を示し、土砂流出が生じた 0 次谷は 36 度以上の急勾配を呈する。推定流出土砂量は、谷全長や土砂流路長と相関がみられ、谷全長が 200m 以上、土砂流路長が 100m 以上の 0 次谷では 600m³ 以上の土砂が流出している。

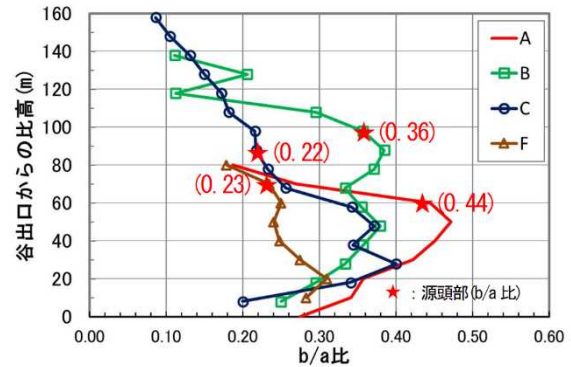


図-3.5.2 b/a 比と比高の関係（橋浦）

表-3.5.1 地形的特徴と推定流出土砂量

0次谷	推定流出土砂量 (m ³)	最大 b/a比	谷全長 (m)	土砂流路長 (m)	平均溪床勾配 (度)	集水面積 (m ²)
B	900	0.38	254	183	29	6,500
A	800	0.47	200	198	25	5,300
C	600	0.40	258	153	32	8,800
F	30	0.31	123	91	36	7,400
D	0	0.18	52	-	36	-
E	0	0.16	55	-	38	-

貫入抵抗値 N_a は、全体に 5~20 の範囲で変化し、20 を超えると以深 30cm 以内に 50 以上を示す、もしくは貫入不能になる地点が大半を占める。河床付近に部分的に岩盤が露出する B では、 N_a 値が 50 以上を示す深度が岩盤上面とほぼ一致しており、 N_a 値が 50 以上を示す区間には岩盤、20 以下の区間には土砂層、岩盤と土砂層の間には風化岩が薄く分布すると推定される。土砂層は、原位置で強風化され土砂化した岩盤であり、風化は地表より深部に向かって均等に進むと想定されることから、土砂流出に伴う侵食部と隣接する試験地点で N_a 値や層厚に大きな差異はないと考えられる。土砂層の平均 N_a 値は、土砂流出が生じた 0 次谷で 11、土砂流出がみられない 0 次谷で 10、全体では 11 を示す。表-3.5.2 は、推定流出土砂量と PDCP で確認された土砂層の平均層厚を整理したものである。土砂流出が生じた B・C・F の平均土砂層厚は 1.41~1.85m を示し、土砂流出がみられない D・E は 0.55~1.05m と相対的に薄い。推定流出土砂量が最も多い B は、平均土砂層厚が最も薄く 1.41m で、推定流出土砂量が最も少ない F は最も厚く 1.85m を示すことから、土砂流出は土砂層厚が 1.4m 以上の 0 次谷で生じているが、平均土砂層厚と流出土砂量に相関はみられない。

表-3.5.2 平均土砂層厚と推定流出土砂量

0次谷	平均土砂層厚 (m)	推定流出土砂量 (m ³)
B	1.41	900
C	1.68	600
F	1.85	30
D	0.55	0
E	1.05	0

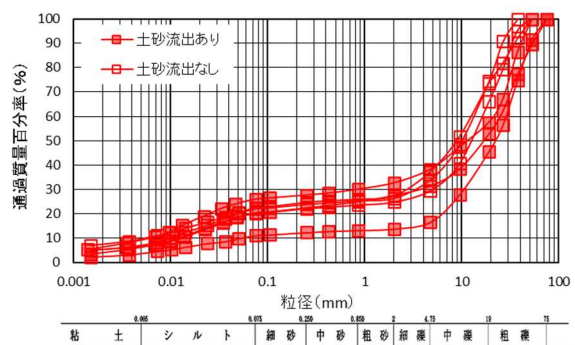


図-3.5.3 土砂層の粒径加積曲線（橋浦）

図-3.5.3 に各 0 次谷で採取した土砂層の粒径加積曲線を示す。土砂層の粒度特性は類似しており、礫分が 67.3~86.2% と卓越し、砂分は 2.7~7.1%，細粒分含有率 F_c は 11.1~26.0% と同程度の値を示す。平均

(様式5) (Style5)

粒径 D_{50} は 8.89~22.1mm と概ね中礫の範囲を示し、地盤材料の工学的分類では、細粒分質礫 (GF) から細粒分まじり礫 (G-F) に区分される。各 0 次谷の粒度特性はよく似ており、土砂流出の有無で土質材料に明瞭な違いはみられない。

(2) 愛媛県宇和島市吉田町白浦

図-3.5.4 に土砂流出が生じた 0 次谷の b/a 比を示す。 b/a 比は相対的に斜面下方で大きく、上方に向かって低下する傾向を示す。源頭部の b/a 比は、0.20~0.28 を示し、0 次谷でやや異なる。

表-3.5.3 は、0 次谷の地形データを推定流出土砂量の多い順に整理したものである。最大 b/a 比は、土砂流出や崩壊がみられた 0 次谷で 0.26~0.53 の範囲を示し、平均値は 0.45 である。土砂流出がみられない 0 次谷では、0.19~0.53 の範囲を示し、平均値は 0.33 である。谷全長は、土砂流出や崩壊がみられた 0 次谷で 82~183 の範囲を示し、土砂流出がみられない 0 次谷は 21~139m の範囲を示すが、III を除くと全て 80m 以下を示す。平均溪床勾配は、土砂流出や崩壊がみられた 0 次谷で 30~31 度の範囲を示す。土砂流出がみられない 0 次谷は 23~41 度の範囲を示し、32 度以上の 0 次谷が過半数を占める。推定流出土砂量は、土砂流路長が 102m と最も長い 0 次谷で 210 m^3 と多いが、最大 b/a 比や谷全長、平均溪床勾配、集水面積との相関はみられない。

貫入抵抗値 N_d は、大月町橋浦と同様に、概ね 0~20 の範囲で変化し、20 を超えると以深 30cm 以内に 50 以上を示す、もしくは貫入不能になる地点が大半を占める。土砂層の平均 N_d 値は、土砂流出が生じた 0 次谷で 9、土砂流出がみられない 0 次谷で 5 を示し、全体では 8 を示す。表-3.5.4 は、推定流出土砂層と土砂層の平均層厚を整理したものである。崩壊が確認された II・IX の平均土砂層厚は 1.20~1.23m を示すのに対して、土砂流出がみられない X II・X III の層厚は 0.98~1.00m を示すことから、崩壊の発生には貫入抵抗値 N_d が 20 以下のゆるい土砂層が 1.2m 以上堆積している必要があると考えられる。

図-3.5.5 に II・IV・VII・VIII で採取した土砂層の粒径加積曲線を示す。II 以外の粒度特性は類似しており、細粒分含有率 F_c が 57.4~86.5% と卓越し、礫分は 1.3~14.1%、砂分は 12.2~28.5% を示す。平均粒径 D_{50} は 0.00894~0.0429 とシルトの範囲を示し、地盤材料の工学的分類では、砂まじり細粒土 (F-S) から礫まじり砂質細粒土 (FS-G) に区分される。各 0 次谷の粒度特性に土砂流出の有無で大きな違いはみられない。

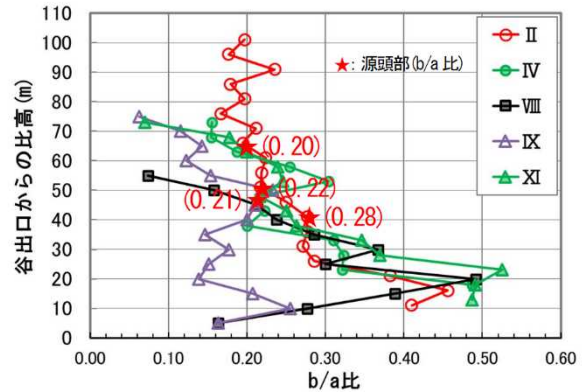


図-3.5.4 b/a 比と比高の関係 (白浦)

表-3.5.3 地形的特徴と推定流出土砂量

0次谷	推定流出土砂量 (m ³)	最大 b/a 比	谷全長 (m)	土砂流路長 (m)	平均溪床勾配 (度)	集水面積 (m ²)
IV	210	0.49	149	102	31	3,000
VII	30	0.49	82	70	30	1,200
X I	1	0.53	82	65	30	2,000
II	1	0.46	183	82	30	5,000
I X	1	0.26	115	68	30	2,100
X II	0	0.53	58	-	33	-
III	0	0.50	139	-	29	-
X III	0	0.41	74	-	32	-
I	0	0.35	41	-	23	-
X IV	0	0.32	34	-	27	-
VI	0	0.26	75	-	36	-
X	0	0.26	63	-	32	-
VII	0	0.19	42	-	27	-
V	0	0.19	21	-	41	-

表-3.5.4 平均土砂層厚と推定流出土砂量

0次谷	平均土砂層厚 (m)	推定流出土砂量 (m ³)
II	1.20	1未満
I X	1.23	1未満
X II	1.00	0
X III	0.98	0

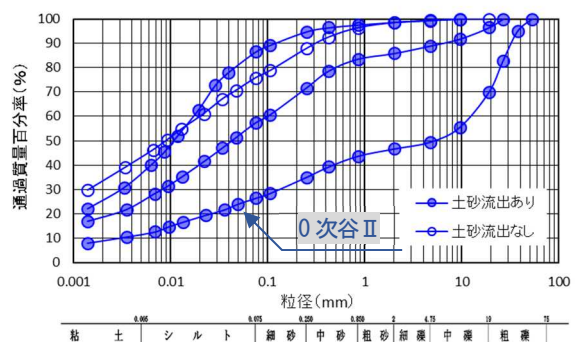


図-3.5.5 土砂層の粒径加積曲線 (白浦)

(3) 広島県呉市安浦町市原

図-3.5.6 に土砂流出が生じた0次谷のb/a比を示す。b/a比は谷出口から上流に向かって増加するが、最大値を示した後、低下する傾向を示す。源頭部のb/a比は0.21~0.65を示し、0次谷で異なる。

表-3.5.5は、0次谷の地形データを推定流出土砂量の多い順に整理したものである。最大b/a比は、土砂流出が生じた0次谷で0.38~0.89の範囲を示し、土砂流出がみられない0次谷では0.17~0.32の範囲を示す。谷全長は、土砂流出が生じた0次谷で126~244mを示し、土砂流出がみられない0次谷では54~110mを示す。平均溪床勾配は、土砂流出が生じた0次谷で26~34度の範囲を示し、土砂流出がみられない0次谷は33~43度を示す。流出土砂がみられない⑤は、谷全長が451mと最長で、平均溪床勾配は22度と最も緩く、最大b/a比は0.65と比較的大きな値を示す。推定流出土砂量は、谷全長や土砂流路長が長く、集水面積が広い0次谷で増加する傾向を示す。0次谷では、b/a比が0.2以上を示す地点で崩壊が発生し、下流へ土砂が流出している。土砂流出の有無で比較すると最大b/a比が大きく、谷全長が長く、溪床が緩い0次谷で土砂流出が生じるが、平均溪床勾配22度と緩く、谷全長が400mを超える0次谷では土砂流出がみられない。

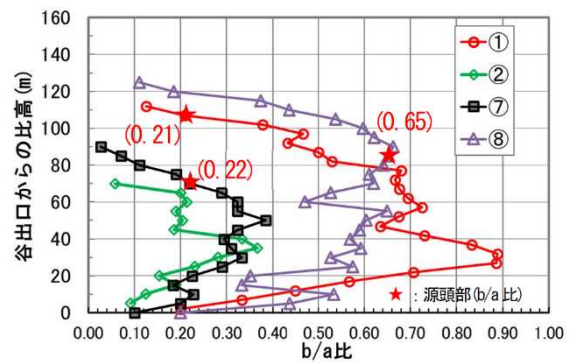


図-3.5.6 b/a比と比高の関係(市原)

表-3.5.5 地形的特徴と推定流出土砂量

0次谷	推定流出土砂量 (m ³)	最大b/a比	谷全長 (m)	土砂流路長 (m)	平均溪床勾配 (度)	集水面積 (m ²)
⑧	1,000	0.66	244	182	27	3,200
①	560	0.89	222	215	26	200
⑦	260	0.38	126	105	34	300
⑥	50	0.51	192	-	31	-
⑤	0	0.65	451	-	22	-
②	0	0.37	110	-	33	-
③	0	0.32	122	-	35	-
④	0	0.17	54	-	43	-

貫入抵抗値 N_a は、大月町橘浦と同様に、概ね0~20の範囲で変化し、20を超えると以深30cm以内に50以上を示す、もしくは貫入不能になる地点が大半を占める。土砂層の平均 N_a 値は、土砂流出が生じた0次谷で7、土砂流出がみられない0次谷でも7を示す。土砂層は、原位置で強風化された岩盤と推定され、土砂流出に伴う侵食部と隣接する試験地点で N_a 値や層厚に差異はなく、侵食前の溪岸には崩壊が発生する可能性が高い緩い土砂層が分布していたと考えられる。表-3.5.6は、推定流出土砂量とPDCPで確認された土砂層の平均層厚を整理したものである。土砂流出が生じた0次谷の平均土砂層厚は1.10~1.88mの範囲を示し、土砂流出がみられない0次谷は1.05~1.25mの範囲を示す。土砂流出が生じた0次谷には、貫入抵抗値 N_a が20以下のゆるい土砂が1.1m以上の層厚で分布し、土砂流出がみられない0次谷と比較して厚い傾向にあるが、推定流出土砂量と平均土砂層厚に相関はみられず、平均層厚のみで土砂流出の有無を明確に区分することはできない。図-3.5.7に各0次谷で採取した土砂層の粒径加積曲線を示す。土砂層の粒度特性はやや類似しており、砂分が32.0~43.8%と同程度を示すが、礫分は4.8~33.1%、細粒分含有率 F_c は26.5~60.4%を示す。①~⑥は細粒分を多く含む、⑦・⑧は礫分を多く含む。平均粒径 D_{50} は0.0264~0.876mmとシルトから粗砂の範囲を示し、地盤材料の工学的分類では、細粒分質礫質砂(SFG)から礫まじり砂質細粒土(SF-G)に区分

表-3.5.6 平均土砂層厚と推定流出土砂量

0次谷	平均土砂層厚 (m)	推定流出土砂量 (m ³)
⑧	1.10	1,000
⑦	1.55	260
⑥	1.88	50
⑤	1.25	0
②	1.05	0

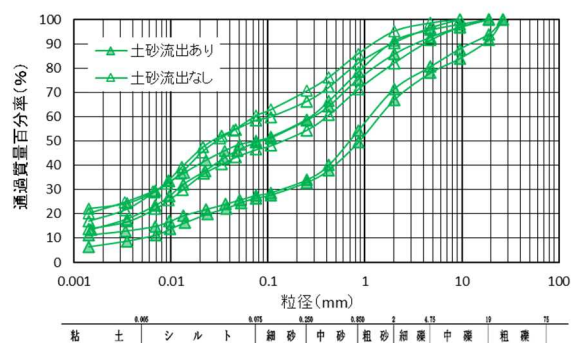


図-3.5.7 土砂層の粒径加積曲線(市原)

される。土砂層の材料特性は0次谷でやや異なるが、土砂流出の有無で明瞭な違いはみられない。

基盤地質の堆積年代や岩盤の種類が異なる3地区を対象に、流出土砂や0次谷の状況を整理し、現地調査と地形判読で得られた地形・地質データを地区毎に比較した結果、0次谷の土砂流出は、崩壊を源頭部として生じており、崩壊発生日点におけるb/a比の下限値は基盤地質によらず0.2と考えられる。土砂流出が生じた0次谷は、基盤地質によらず最大b/a比が大きく、谷全長が長く、溪床勾配が緩い傾向を示すが、平均溪床勾配が24度以下になると土砂流出はみられず、これらの地形的要素が危険な0次谷の抽出条件となる可能性がある。また、土砂層の貫入抵抗値 N_d や材料特性では土砂流出の有無を判断できないが、土砂流出には N_d 値が20以下のゆるい土砂が1.1m以上で分布する必要がある。

第4章 0次谷の土砂流出メカニズムの分析

4.1 0次谷の土砂流出過程の推定

(1) 土砂の層厚・物理特性と地形

表-4.1.1 に各地区で得られた平均土砂層厚と平均 N_d 値を推定流出土砂量の多い順に整理して示す。平均土砂層厚は、堆積岩分布域の大月町橋浦で0.55~1.85m、吉田町白浦で0.98~1.23m、火成岩分布域の安浦町市原で1.05~1.88mを示す。地区毎の平均層厚は、大月町橋浦で1.31m、吉田町白浦で1.10m、安浦町市原で1.37mである。土砂流出の有無で比較すると、土砂流出が生じた0次谷は層厚1.10~1.88m、平均値1.49mを示し、土砂流出がみられない0次谷は0.55~1.25m、平均値0.98mを示す。土砂層厚に基盤地質による違いはみられないが、土砂流出が生じた0次谷で土砂層が厚い傾向を示す。土砂層の貫入抵抗値 N_d は、3地区共に概ね0~20までの範囲で変化し、各地区の平均 N_d 値は大月町橋浦で11、吉田町白浦で8、安浦町市原で7を示す。貫入抵抗値が示す範囲や平均値は3地区で類似し、基盤地質による大きな違いはみられない。各0次谷の平均 N_d 値は、大月町橋浦で6~14、吉田町白浦で5~10、安浦町市原で4~8を示し、ややばらつきはあるが、偏りや傾向はみられない。土砂流出の有無で各地区の N_d 値を比較すると、大月町橋浦と安浦町市原では同程度の値を示し、吉田町白浦では土砂流出がみられない0次谷で小さい値を示す。

3地区で得られた粒径加積曲線を図-4.1.1に示す。各地区の土砂層は、細粒分や粗粒分がそれぞれに異なり、地区毎に異なる材料特性を示すが、土砂流出の有無で大きな違いはみられない。

土砂層の層厚や貫入抵抗値に基盤地質による違いはみられない。また、土砂層の貫入抵抗値や材料特性で土砂流出の有無は判定できないが、相対的に土砂が厚く、貫入抵抗値 N_d が20以下のゆるい土砂が層厚1.1m以上で分布する0次谷で土砂流出が生じる。

表-4.1.2 は、3地区で得られた0次谷の平均土砂層厚と谷全長や最大b/a比等の地形データと推定流出土砂量の関係を示したものである。平均土砂層厚と最大b/a比の関係に相関はみられないが、最大b/a比が0.18以下の0次谷は、土砂層厚が0.55~1.05m

表-4.1.1 土砂層の平均層厚と平均 N_d 値

地区	0次谷	推定流出土砂量 (m ³)	平均土砂層厚 (m)	0次谷平均 N_d 値	流出土砂有無平均 N_d 値	地区平均 N_d 値
大月町橋浦	B	900	1.41	11	11	11
	C	600	1.68	14		
	F	30	1.85	9		
	D	0	0.55	6	10	
	E	0	1.05	12		
吉田町白浦	II	1	1.20	10	9	8
	X I	1	1.23	8		
	X II	0	1.00	5	5	
	X III	0	0.98	5		
安浦町市原	⑧	1,000	1.10	4	7	7
	⑦	260	1.55	8		
	⑥	50	1.88	6		
	②	0	1.05	8	7	
	⑤	0	1.25	6		

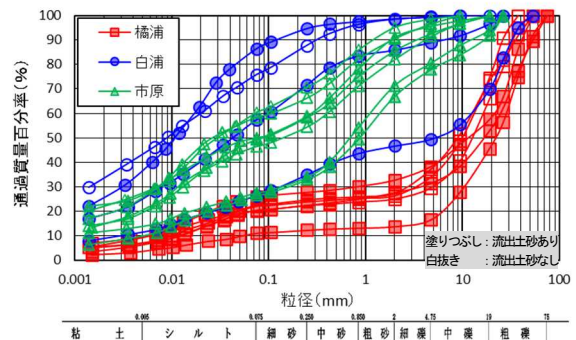


図-4.1.1 土砂層の粒径加積曲線

と薄く、最大b/a比が0.26以上の0次谷は0.98~1.88mと厚い傾向にある。平均土砂層厚と谷全長の関係では、明瞭な相関は得られないが、谷全長が100m未満と短い0次谷は、土砂層厚が1.1m未満と薄い。平均土砂層厚と平均渓床勾配の関係では、土砂層厚が厚くなると渓床勾配が緩くなる傾向にある。土砂層厚が1.1m以上である0次谷の平均値は30度を示し、1.1m未満である0次谷の平均値は35度と相対的に大きな値を示す。平均土砂層厚と推定流出土砂量に相関はみられないが、土砂流出は平均土砂層厚が1.1m以上の0次谷で生じ、層厚1.1m未満の0次谷では土砂流出はみられない。

基盤地質や土砂層の材料特性によらず、平均土砂層厚が1.1m未満の0次谷で土砂流出はみられないが、平均土砂層厚が1.1mを超えると谷の発達に伴い0次谷は長く、深く、緩くなり、土砂流出がみられる傾向にある。貫入抵抗値 N_a が20以下のゆるい土砂層は侵食に弱く、谷の発達が促進されるが、岩盤主体の斜面は侵食に対する抵抗力が強く、谷の発達が抑制されると考えられる。

(2) 0次谷の発達と地形

図-4.1.2に示す谷全長と最大b/a比の関係では、ばらつきはあるが正の相関がみられる。両者の平均値に対するばらつきは $R^2=0.40$ で相関性は高くはないが、 $\pm 1\sigma$ の範囲に全体の86%が収まる。最大b/a比が0.2未満では谷全長が60m未満と短い。0.4以上では谷全長が100m以上の0次谷が3/4を占め、0.6以上で谷全長は200m以上となる。図-4.1.3に示す谷全長と平均渓床勾配の関係では、ばらつきはあるが負の相関がみられる。 $R^2=0.25$ とばらつきが大きい。谷全長は、平均谷勾配が35度以上で100m程度まで、30~35度で100~200m、30度未満で200m以上を示す0次谷が多い。図-4.1.4に示す平均渓床勾配と最大b/a比の関係は、ばらつきはあるが負の相関を示す。 $R^2=0.37$ とばらつきが大きい。平均谷勾配は、最大b/a比が0.2未満で35度以上、0.2~0.4で30~35度、0.4以上で30度以下の勾配を示す0次谷が多い。

0次谷の谷全長や最大b/a比、平均渓床勾配は、基盤地質によらず相関がみられる。斜面に分布する0次谷は、谷出口は一樣に平坦地に位置するが、谷頭の標高はそれぞれに異なり、発達にともない谷全長は長く、最大b/a比は大きく、渓床勾配は緩くなると考えられる。

表-4.1.2 土砂層厚と地形および土砂量

調査地	0次谷	平均土砂層厚 (m)	最大b/a比	谷全長 (m)	平均渓床勾配 (度)	推定流出土砂量 (m ³)
高知県	B	1.41	0.38	254	29	900
	C	1.68	0.40	258	32	600
	D	0.55	0.18	52	36	0
	E	1.05	0.16	55	38	0
	F	1.85	0.31	123	36	30
	愛媛県	II	1.20	0.46	183	30
X I		1.23	0.26	115	30	1
X II		0.75	0.53	58	33	0
X III		0.98	0.41	74	32	0
広島県	②	1.05	0.37	110	33	0
	⑤	1.25	0.65	451	22	0
	⑥	1.88	0.51	192	31	50
	⑦	1.55	0.38	126	34	260
	⑧	1.10	0.66	244	27	1,000

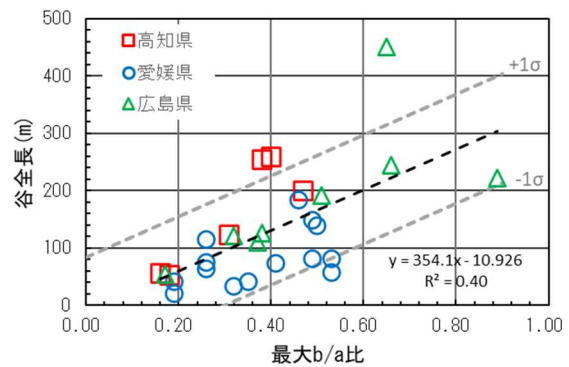


図-4.1.2 谷全長と最大b/a比

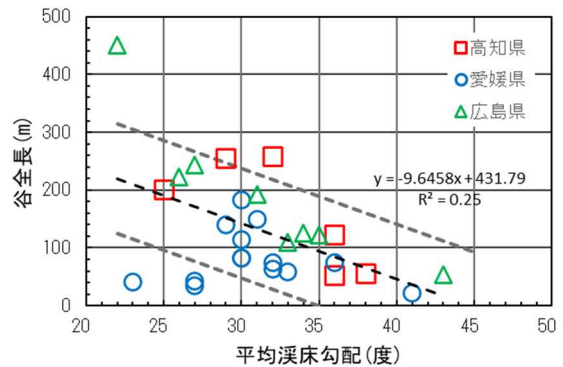


図-4.1.3 谷全長と平均渓床勾配

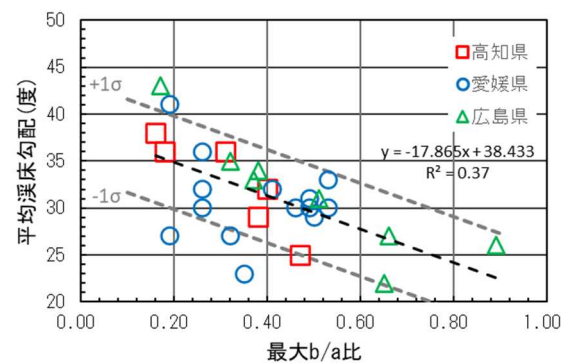


図-4.1.4 平均渓床勾配と最大b/a比

4.2 0次谷の発達と土砂流出の程度

図-4.2.1に推定流出土砂量と谷全長の関係を示す。推定流出土砂量は、谷全長が長くなると増加する傾向を示す。谷全長が80m以上の0次谷では土砂流出が生じ、200mを超えると500m³以上の土砂が流出するが、谷全長が100m以上であっても土砂流出がみられない0次谷が4溪流含まれる。図-4.2.2に推定流出土砂量と平均溪床勾配の関係を示す。溪床勾配が緩くなると流出土砂量が増加する傾向がみられるが、平均溪床勾配が35度以下でも土砂流出がみられない0次谷が複数存在し、溪床勾配のみでは土砂流出の有無を判定できない。平均溪床勾配が24度より緩くなると、土砂流出はみられない。図-4.2.3に示す推定流出土砂量と最大b/a比の関係では、ばらつきが大きく明瞭な相関はみられないが、最大b/a比が0.2未満の0次谷では土砂流出はみられず、0.4程度を超えると流出土砂量が200m³を超える0次谷が含まれる。推定流出土砂量と集水面積の関係に相関はみられないが、図-4.2.4に示す推定流出土砂量と土砂流路長の関係は、ばらつきが非常に少なく、強い相関がみられる。土砂流路長が65mを超える0次谷で土砂流出が生じ、さらに100mを超えると200m³以上の土砂が流出する。

0次谷は、基盤地質や土質材料に関わらず、層厚1.1m以上の土砂層が分布する場合のみ、谷全長が80m以上、最大b/a比が0.2以上まで発達し、土砂流出が生じることから、土砂流出の危険性が高い0次谷は、谷の発達状態を現す地形的要素だけで抽出できると考えられる。また、流出土砂量は、土砂流路長に比例して増加する。データの集積が必要であるものの、図-4.2.5に示す谷全長と土砂流路長は統計的に有意な相関を示し、谷全長からある程度の精度で流出土砂量を試算できる可能性がある。

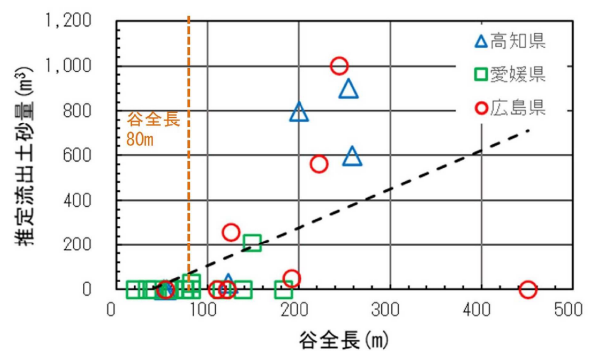


図-4.2.1 推定流出土砂量と谷全長

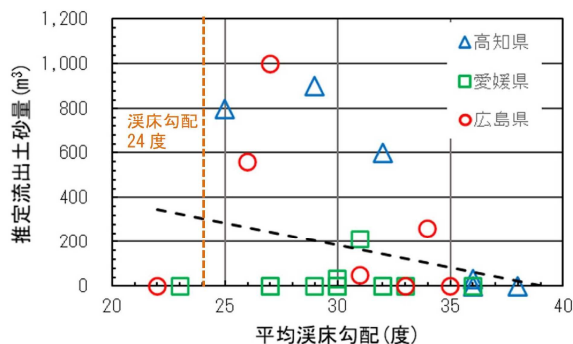


図-4.2.2 推定流出土砂量と平均流出土砂量

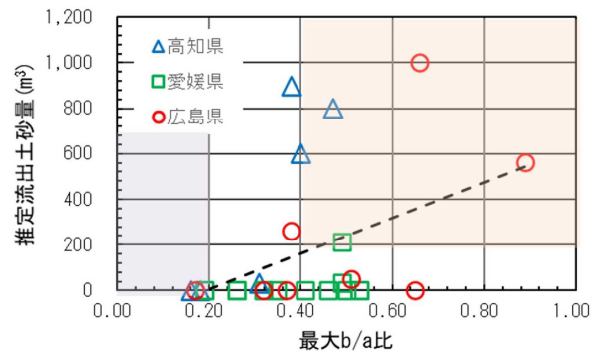


図-4.2.3 推定流出土砂量と最大b/a

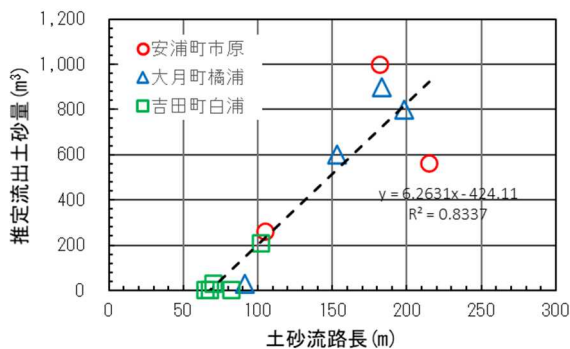


図-4.2.4 推定流出土砂量と土砂流路長

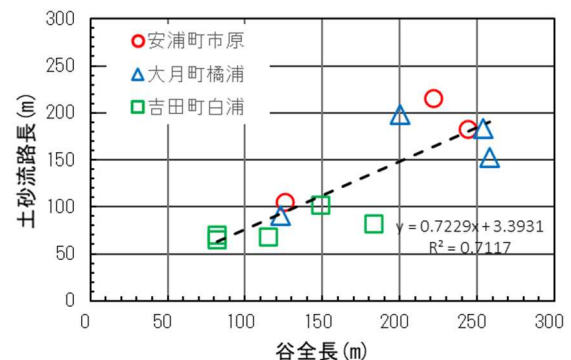


図-4.2.5 土砂流路長と谷全長

4.3 発生形態と流出過程の推定

0次谷で生じる土砂流出は、土砂の流下距離が長く、流出土砂が広範囲に堆積し、聞き込み調査では移動速度も大きいことが確認されている。0次谷の土砂流出に共通するこれらの特徴は、高次谷で生じる土石流の特徴と一致することから、0次谷の土砂流出過程と発生形態は土石流と類似すると考えられる。しかし、0次谷は谷形成の初期段階にあり、成熟し明瞭な谷地形を呈する高次谷とは、谷の発達状態が大きく異なる。急傾斜地に分布する0次谷は、高次谷と比較して、谷全長が極端に短く、溪床は斜面末端まで25~35度程度の急勾配を呈する。溪床が急勾配であり、谷全長が短いことで、溪流全体に堆積する土砂量が高次谷と比較して少ないことから、土砂流出は土石流で示された発生形態の「崩壊型」のみで生じ、「溪床堆積物の移動」では生じないと考えられる。調査の範囲では、推定流出土砂量が60m³を超える0次谷では、谷頭付近に明瞭な崩壊が確認されている。崩壊型の土石流は、崩土が溪岸の土砂を巻き込み増大しながら流下する⁽⁴⁾とされており、0次谷においても、崩壊より下流の溪岸に明瞭な侵食跡がみられ、幅10m程度までの崩壊規模と比較して流出土砂量が増加していた。以上より、図-4.3.1に示すような土砂流出メカニズムが推定される。

- ①斜面上方で豪雨に伴う降水が集水され、地中に浸透する。
- ②浸透した地下水は凹状の0次谷に集まる。
- ③急速に地下水位が上昇する。場合によりパイピング現象が発生する。
- ④斜面が不安定化し、崩壊が発生する。
- ⑤崩土が0次谷を流下しながら、溪岸の土砂を侵食する。
- ⑥溪岸侵食で増大した土砂が平坦地に流出する。

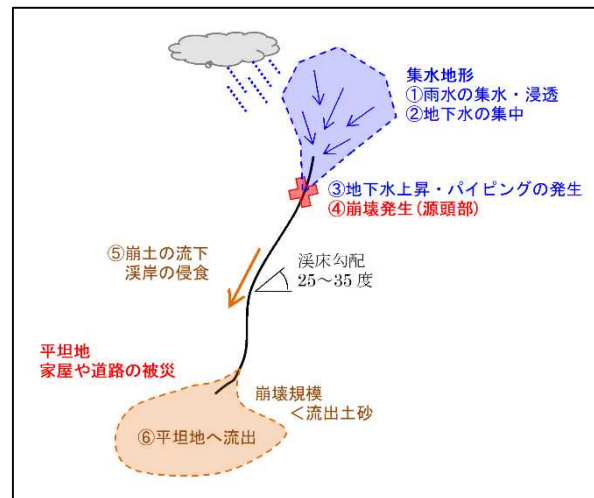


図-4.3.1 0次谷の土砂流出のイメージ

第5章 0次谷の危険性評価と抽出法の提案

5.1 危険性の評価

(1) 発達過程を考慮した0次谷の区分

3つの調査地を対象に0次谷の調査を実施した結果、降水状況が同じと考えられる狭い斜面においても被災状況が異なり、谷全長や最大b/a比等の地形的特徴も様々な0次谷が混在していた。そこで、0次谷の土砂流出に対する危険性の評価を効率的に検討するため、谷の発達に伴い変化する谷全長・最大b/a比や平均溪床勾配に着目し、0次谷を発達の程度で「幼年型」「青年型」「壮年型」「老年型」の4つに区分した。

表-5.1.1に発達区分と地形の関係を示す。

幼年型には、谷全長が80m未満の0次谷が区分され、土砂流出に至る前の未発達な谷地形、もしくは斜面高さの関係から発達が規制された谷地形に分けられる。未発達な谷地形は、最大b/a比が0.2未満であり、平均溪床勾配が35度以上の急勾配を呈する場合が多い。大月町橋浦のD・E、吉田町白浦のV・VIIや安浦町市原の④が該当する。斜面には、わずかな凹地がみられる程度で、近接斜面や溪床に岩盤が露出する。岩盤主体の斜面であり、侵食に対する抵抗力が強いことから、土砂が流出する程度まで0次谷が発達するには時間を要すると考えられる。発達が規制された谷地形には、吉田町白浦のI・VI・XII・XIII・XIVが該当する。最大b/a比は0.2以上を示し、平均溪床勾配は34度以下とやや緩いが、斜面の高低差が小さく、尾根稜線に阻まれ、今以上に谷全長が長く発達しないことから、今後土砂流出生じる可能性は低いと考えられる。

青年型には、谷頭付近で源頭部となる崩壊が発生し、土砂流出が生じる可能性がある0次谷が区分される。谷全長が80m以上200m未満の0次谷が該当し、最大b/a比が0.2以上0.4未満、もしくは平均溪床勾配が30~34度を示す溪流が多い。安浦町市原の②③では、平成30年7月豪雨において土砂流出はみられ

ないが、今後豪雨にともない土砂が流出する可能性が高いと考えられる。谷地形はみられるが部分的に不明瞭な凹地を呈する0次谷から谷幅は1~2m程度と狭いが明瞭な谷地形を呈する0次谷が含まれる。調査の範囲では、推定流出土砂量は0~260m³であり、小規模な流出土砂による交通の阻害に加え、道路が寸断される等の被害が発生する可能性がある。

壮年型は、土砂流出が生じる可能性が高い0次谷で、さらに谷全長が長いことで流出土砂量が増加する0次谷が区分される。谷全長が200m以上の0次谷が該当し、最大b/a比は0.4以上、平均溪床勾配が25~29度と示す溪流が多い。大月町橋浦のBや安浦町市原の①のように、谷幅が幅2m以上と広い明瞭な谷地形が連続する。推定流出土砂量は、560~1,000m³であり、500m³以上の土砂が流出する可能性が高く、家屋の被災や道路の寸断など被災の程度が大きい災害に繋がる可能性が高い。

安浦町市原⑤は、谷全長が451mと非常に長く、最大b/a比は0.66を示すことから、0次谷は土砂を流出させる状態まで十分に発達していると考えられる。しかし、現地調査で流出土砂はみられず、平均溪床勾配が22度と非常に緩いことがその要因であると推定される。0次谷が成熟し、溪床勾配が24度以下にゆるくなると、土砂流出がみられないことから、このような状態を0次谷の発達最終段階と考え、老年型とした。

0次谷は青年型まで発達すると崩壊が発生し、土砂流出が始まる。さらに壮年型まで発達すると、土砂流路長が長くなり、流出土砂量が増大すると考えられる。また、溪床勾配が24度以下になると谷の発達は収束し、土砂が流出しなくなると推定される。

(2) 0次谷区分と危険性の関係

調査の範囲では、200m³以上の流出土砂で道路が寸断され、900m³以上で家屋の損壊が生じているが、50m³以下では被害は発生していない。しかし、道路に土砂が流出すると、住民の避難や緊急車両等の通行を阻害する可能性が高く、高規格道路や主要道路ではその影響は更に大きいと考えられる。また、中山間地域では急傾斜地に家屋が近接する場合も多く、大雨に伴い背後斜面の0次谷で土砂流出が生じた場合、人的被害に直結する可能性もある。そこで、少量であっても土砂が流出する状態を危険と判断し、土砂流出が生じる可能性が高い0次谷を「危険谷」、将来的に土砂流出が生じる可能性がある0次谷を「注意谷」、土砂流出が生じないと考えられる0次谷を「安全谷」として区分した。ここで、幼年型には、以下に示す3種類の0次谷が含まれることに留意する必要がある。

- ①最大b/a比が0.2未満の岩盤を主体とする斜面に分布する0次谷
- ②最大b/a比は0.2以上を示すが、谷全長が100m未満の0次谷
- ③最大b/a比は0.2以上を示すが、尾根稜線に阻まれ、谷全長が今以上に成長しない0次谷

①に該当する0次谷が青年型にまで発達するには、岩盤を侵食する必要があることから、土砂流出が生じ始めるまで時間を要する。③に該当する0次谷は、谷が深くなりb/a比が大きくなる可能性はあるが、

表-5.1.1 0次谷の発達区分一覧

0次谷	推定流出土砂量 (m ³)	谷全長 (m)	最大 b/a比	平均 溪床勾配 (度)	0次谷の区分
V	0	21	0.19	41	幼年型
XIV	0	34	0.32	27	
I	0	41	0.35	23	
VII	0	42	0.19	27	
D	0	52	0.18	36	
④	0	54	0.17	43	
E	0	55	0.16	38	
XII	0	58	0.53	33	
X	0	63	0.26	32	
XIII	0	74	0.41	32	
VI	0	75	0.26	36	青年型
②	0	110	0.37	33	
③	0	122	0.32	35	
III	0	139	0.50	29	
XI	1	82	0.53	30	
IX	1	115	0.26	30	
II	1	183	0.46	30	
VIII	30	82	0.49	30	
F	30	123	0.31	36	
⑥	50	192	0.51	31	
IV	210	149	0.49	31	壮年型
⑦	260	126	0.38	34	
①	560	222	0.89	26	
C	600	258	0.40	32	
A	800	200	0.47	25	
B	900	254	0.38	29	
⑧	1,000	244	0.66	27	
⑤	0	451	0.65	22	老年型

谷全長が短く、土砂流出が生じる可能性が低いと考えられる。しかし、②に区分される0次谷は、近い将来青年型に発達し、土砂流出が生じ始める可能性がある。表-5.1.2に0次谷の発達区分の特徴と危険性の区分を示す。幼年型の①③と老年型に区分される0次谷は、土砂流出が生じる可能性が非常に低いことから「安全谷」に区分され、現段階で防災対応は必要ないとする。幼年型の②に区分される0次谷は、青年型まで発達すると土砂流出が生じる可能性があり、「注意谷」に区分される。将来的には大雨に伴い土砂流出が生じる可能性があるが、緊急性は低いと考えられ、1回/5年程度の頻度で定期的な現地確認を実施する等の対応が適切と考える。青年型と壮年型に区分される0次谷は、大雨に伴い土砂流出が生じる可能性が高い「危険谷」であり、豪雨時の要点検箇所として指定し、地域住民へ周知等の対応に加え、早急な防災対策の計画が望まれる状況にある。

表-5.1.2 発達区分の特徴と危険性の区分

特徴	0次谷の発達区分	危険性の区分	対応
土砂流出が生じる可能性は非常に低い	幼年型, 老年型	安全谷	不要
今後、谷が発達すると危険谷に区分される0次谷であり、近い将来土砂流出が生じる可能性がある	幼年型 (青年型に発達する)	注意谷	定期的な監視・確認
土砂流出の条件が揃った0次谷であり、大雨に伴い土砂流出が生じる可能性が高い	青年型, 壮年型	危険谷	住民周知 豪雨時の点検 防災対策の施工

5.2 土砂が流出する危険性が高い0次谷の抽出法

(1) 抽出条件と方法

基盤地質の堆積年代や岩盤の種類が異なる3つの調査地で0次谷の発達と土砂流出の関係について検討した結果、貫入抵抗値 N_d が20以下の緩い土砂層が1.1m以上で分布する場合のみ、0次谷は土砂流出が生じる程度まで発達する。そのため、土砂流出の危険性が高い0次谷は、「最大 b/a 比」と「谷全長」、「平均溪床勾配」の3つの地形データから抽出することが可能であり、以下の条件が揃った場合のみ、土砂流出が生じる。

- ①平均溪床勾配が25度以上で、崩壊に十分な地下水量が供給される。
- ②最大 b/a 比が0.2以上で、崩壊が発生する状態である。
- ③谷全長が80m以上で、谷沿いの土砂を巻き込む土砂流路長が確保されている。

図-5.2.1に地形的条件と危険性を組み合わせた土砂流出の危険性の高い0次谷の抽出フローを示す。抽出フローの第1条件は平均溪床勾配で、条件を満足しない0次谷は老年型であり、「安全谷」に判定される。第2条件は最大 b/a 比で、条件を満足しない0次谷は幼年型であり、「安全谷」に判定される。第3条件は谷全長で、条件を満足しない0次谷は、今後青年型に発達し土砂流出が生じる可能性がある幼年型であり、「注意谷」に判定される。全ての条件を満足する0次谷は青年型もしくは壮年型であり、土砂流出の生じる可能性が高い「危険谷」に判定される。

(2) 地形図の精度と評価

本研究では、2万5千分の1地形図から0.5mメッシュの航空レーザー測量データに基づく高精度の地形図まで、異なる精度で作成された地形図を使用している。当然のことながら、地形判読に大縮尺の地形図や詳細な数値標高モデル (DEM) を用いるほど、谷全長等の地形データは精度良く把握することができる。しかし、詳細な地形図は、入手に申請が必要であり、整備されている範囲が限定される場合もあり、容易に使用することができない。小縮尺の地形図は、大縮尺の地形図と比較して地形判読の精度は低いが、Web

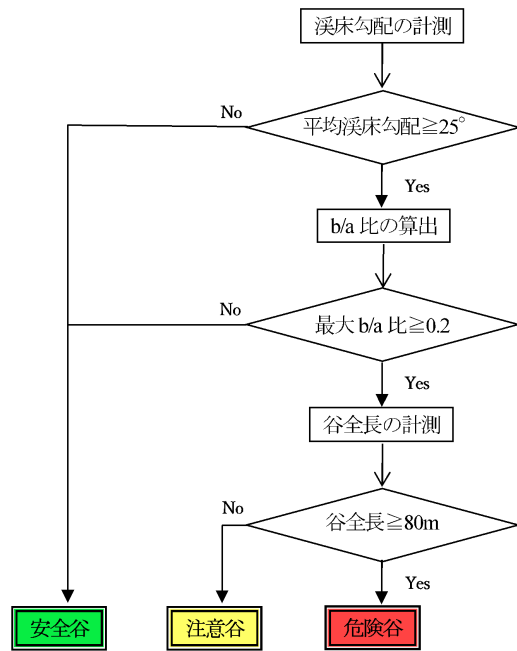


図-5.2.1 危険性の高い0次谷の抽出フロー

以下の条件が揃った場合のみ、土砂流出が生じる。

(様式5) (Style5)

サイトからのダウンロードが可能であり、容易に使用できる。そこで、0次谷の抽出と判定フローに必要な地形データの計測に適した地形図の精度について検討を行った。表-5.2.1に本研究で使用した地形図の種類とその精度、表-5.2.2にその特徴を示す。

2万5千分の1地形図は、空中写真測量で作成された地形図で、国土地理院が所有する全国を網羅する基本図であり、Webサイトで自由に閲覧することができる。5mDEMは、都市域は航空レーザー測量、都市域周辺等は空中写真測量によって作成されている。国土地理院のWebサイトから容易にダウンロードできる数値標高モデルであり、標高の高い山地を除いて概ね全国で整備されている。砂防基盤図は、平成13年4月に施行された「警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」に基づき、土砂災害警戒区域や土砂災害特別警戒区域を指定に使用する空中写真測量より地図レベル2,500で作成された高精度の地形図である。都道府県で厳重管理されており、入手や使用には申請と許可が必要である。0.5mDEMは、航空レーザー測量で作成された数値標高モデルである。5mDEM地形図と比較して高精度であり、等高線間隔1mの地図レベル500の地形図を作成することができるが、DEMデータは県土木部や国土交通省で厳重に管理されており、入手や使用には許可が必要である。

調査を行った愛媛県宇和島市吉田町白浦を例に、危険な0次谷の抽出に対する適正を評価した結果、対象斜面に分布する0次谷の分布数等、概略的な斜面状況の把握には5mDEMの地形図でも使用できるが、0次谷の地形データの計測には、0.5mDEMを用いた地形図もしくは同程度の精度を有する砂防基盤図が必要であることがわかった。

提案した抽出フローに用いた条件は、地形判読により計測・算出できる地形的要素であり、現地調査を必要としないことから、砂防基盤図やLP図等が整備された範囲であれば、比較的簡便に机上での抽出が可能である。砂防基盤図は、土砂災害防止法で定められた土砂災害警戒区域の指定に必要であり、保全対象である住宅が存在する範囲では既に整備されている可能性が高い。LP図に必要な航空測量は全国で実施されており、山間部を含む広範囲の航空測量データが整備されている。

(3) 抽出法の適応性

本研究で提案する危険度の高い0次谷の抽出法は、限定された調査範囲で得られた成果であることから、調査地以外の急傾斜地を対象に地形判読を行い、抽出条件の適用性を検証した。検証地は、調査地の近傍に位置する高知県宿毛市池島、愛媛県宇和島市吉田町白浦と、岩手県下閉伊郡岩泉町釜津田、長野県岡谷市川岸、熊本県阿蘇市一の宮町の5地点とし、調査地とは異なる災害で被災した斜面を加えた。検証では、5つの斜面に分布する28本の0次谷を対象に地形判読を行い、フロー図に基づく判定結果と実際の土砂流出状況を比較した。図-5.2.2に検証地と調査地の関係を示し、表-5.2.3に検証斜面の概要を示す。

表-5.2.1 使用した地形図の精度

地形図	地図レベル	測量方法
2万5千分の1	都市計画区域：2,500 その他域外：5,000～25,000	空中写真測量
5mDEM	2,500	航空レーザー測量(都市域) 空中写真測量(都市域周辺等)
砂防基盤図	2,500	空中写真測量
0.5mDEM	5.00	航空レーザー測量

表-5.2.2 使用した地形図の特徴

地形図	所有	入手方法等	備考
2万5千分の1	国土地理院	Webサイトで閲覧	全国を網羅する基本地図
5mDEM	国土地理院	Webサイトでダウンロード	山間部を除いて整備されている
砂防基盤図	都道府県	申請・許可必要	土砂法の計画区域設定に用いるため、全国的に整備されている
0.5mDEM	国土交通省	申請・許可必要	全国を網羅するように整備されている

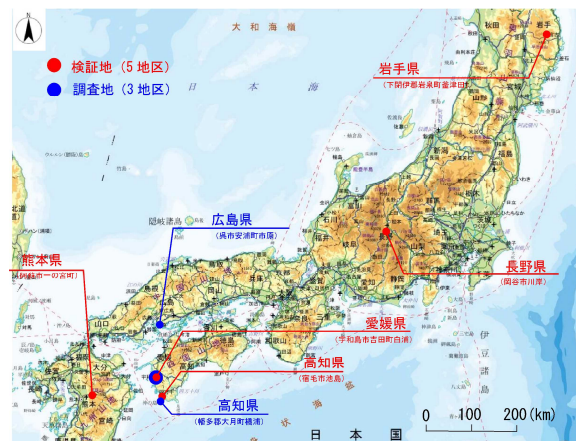


図-5.2.2 検証地と調査地の関係 (5-1)

池島は高知県の調査地から北北東約12kmに、白浦は愛媛県の調査地より700m程度南に位置し、2018年(平成30年)7月豪雨で調査を実施した斜面とほぼ等しい降水を経験したと推定される。基盤地質は、それぞれ調査地と同じ堆積岩で、岩盤の種類は砂岩泥岩互層である。池島では発災直後の災害調査で0次谷の被害がないことが確認されており、白浦では発災直後に撮影された航空写真で0次谷6・8に土砂流出がみられる。釜津田は、岩手県の中央部やや東側、盛岡市から東へ約50kmに位置する。基盤地質は堆積岩である泥岩および砂岩を主体とし、岩盤の種類は四国の調査地と類似するが、堆積年代は古く古生代後期-中生代である⁽⁵⁻²⁾。釜津田では、台風10号に伴う平成28(2016)年8月の大雨で、0次谷14において土砂流出が生じている⁽⁵⁻³⁾。岡谷市は、長野県のほぼ中央に位置する諏訪湖の左岸に面した町であり、川岸は岡谷市役所より南西4.5kmに位置する。基盤地質は、新第三紀から第四紀はじめに噴出した塩嶺層に区分され、安山岩溶岩や火砕岩からなる火山岩が分布⁽⁵⁻⁴⁾し、先に示した3つの調査地とは堆積時代や岩盤の種類が異なる。停滞する前線の影響で2021年(令和2年)8月に発生した大雨に伴い0次谷18において3名もの尊い命を奪う土砂災害が発生している⁽⁵⁻⁵⁾。一の宮町は、阿蘇カルデラを取り囲む外輪山の北端に位置する町であり、阿蘇山頂より北北東約12kmに位置する。基盤地質は、古第三紀を中心に噴出した先阿蘇火山岩類で玄武岩から流紋岩まで幅広い組成をもつ⁽⁵⁻⁶⁾。梅雨前線の停滞に伴い2012年(平成24年)7月に発生した九州北部豪雨では、一の宮町東手野、古閑、蘇品等を中心に土石流による甚大な被害が発生し⁽⁵⁻⁷⁾、対象斜面では0次谷23・26・27において土砂流出が生じている。表-5.2.4は、0次谷の地形データと流出土砂の有無、0次谷の発達区分と抽出フローの判定結果を示す。

抽出フローの判定では、土砂流出がみられた7本の0次谷の6本が青年・壮年型に区分される危険谷、1本が老年型に区分される安全谷に判定される。土砂流出がみられない21本の0次谷は、13本が幼年・老年型に区分される安全谷、3本が幼年型に区分される注意谷、5本が青年・壮年型に区分される危険谷に判定された。土砂流出はみられないが危険谷に判定された0次谷は、土砂流出が生じる地形条件を満たしており、降水条件によっては土砂流出が生じた可能性がある。調査地が限定された範囲での成果であるが、抽出フローの判定結果と土砂流出状況は概ね整合し、簡易なスクリーニングとしては十分な精度と考える。

流出土砂が生じたが安全谷と判定された0次谷18は、谷勾配が20度と緩く、横断形状も幅10~20m程度の緩やかな椀状で、その他の0次谷と異なる地形を呈していた。現地踏査の結果、谷沿いの斜面には、地形図に現れない微小な凹状地形がみられ、崩壊発生日で谷筋へと合流していた。土砂流出は、降水に伴う表流水や地下水が微小な凹状地形から谷筋へと集中し、生じた可能性がある。

一連の検証の結果から、堆積岩が分布する斜面では地域や堆積年代によらず土砂流出の有無と抽出フローによる判定結果がほぼ整合し、多くの0次谷で提案フローの適合性が高いことが確認された。ただし、長野県の0次谷18のように、平均勾配が緩く、かつ微細な凹状地形を有する0次谷に対しては、提案した

表-5.2.3 検証斜面の概要

対象地	対象渓流数 (谷番号)	基盤地質	被災状況 (土砂流出が生じた0次谷)	対象とする 豪雨
高知県 宿毛市池島	4 (1~4)	四万十帯南帯 砂岩泥岩互層 (白亜紀)	斜面崩壊のみ 0次谷の被災なし	2018年 (平成30年) 7月豪雨
愛媛県 宇和島市吉田町 白浦	7 (5~11)	四万十帯北帯 砂岩泥岩互層 (古第三紀)	2渓流で土砂流出 (6・8)	
岩手県 下閉伊郡岩泉町 釜津田	4 (12~15)	堆積岩 泥岩及び砂岩 (古生代)	1渓流で土砂流出 (14)	
長野県 岡谷市川岸	7 (16~22)	塩嶺層 安山岩溶岩 (新第三紀)	1渓流で土砂流出 (18)	2021年 (令和3年) 8月
熊本県 阿蘇市一の宮町	6 (23~28)	先阿蘇火山岩類 (古第三紀)	3渓流で土砂流出 (23・26・27)	九州北部豪雨 2012年 (平成24年) 7月

表-5.2.4 0次谷の地形データと判定結果

調査地	0次谷	平均 渓床勾配 (度)	最大 b/a比	谷全長 (m)	流出 土砂	発達 区分	フロー判定
高知県	1	41	0.25	28	無	幼年型	安全谷
	2	32	0.15	32	無	幼年型	安全谷
	3	31	0.70	30	無	幼年型	安全谷
	4	30	0.28	48	無	幼年型	安全谷
愛媛県	5	22	0.96	309	無	老年型	安全谷
	6	25	0.51	87	有	青年型	危険谷
	7	27	0.32	76	無	幼年型	注意谷
	8	27	0.30	107	有	青年型	危険谷
	9	24	0.60	81	無	老年型	安全谷
	10	31	0.87	108	無	青年型	危険谷
	11	24	0.72	198	無	老年型	安全谷
岩手県	12	30	0.53	210	無	壮年型	危険谷
	13	25	0.46	196	無	壮年型	危険谷
	14	25	0.86	282	有	壮年型	危険谷
	15	19	0.73	388	無	老年型	安全谷
長野県	16	23	0.59	118	無	老年型	安全谷
	17	24	0.32	88	無	老年型	安全谷
	18	20	0.55	174	有	老年型	安全谷
	19	19	0.50	146	無	老年型	安全谷
	20	33	0.26	56	無	幼年型	注意谷
	21	34	0.30	52	無	幼年型	注意谷
	22	25	0.37	97	無	青年型	危険谷
熊本県	23	35	0.21	88	有	青年型	危険谷
	24	36	0.10	55	無	幼年型	安全谷
	25	18	0.96	550	無	老年型	安全谷
	26	29	0.42	340	有	壮年型	危険谷
	27	34	0.26	205	有	青年型	危険谷
	28	25	0.49	427	無	壮年型	危険谷

抽出フローが適応できない可能性があることも確認された。

第 6 章 結論

本研究で得られた主な結論は以下の通りである。

第 3 章 地形・地質的特徴と土砂流出との関係

- (1) 0 次谷で生じる土砂流出は、崩壊を源頭部として生じており、崩壊発生地点における b/a 比の下限值は 0.2 と考えられる。更に土砂が流出した 0 次谷は、最大 b/a 比が大きく、谷全長が長く、溪床勾配が緩い傾向を示し、これらの地形的要素が危険な 0 次谷の抽出条件となる可能性がある。
- (2) 土砂層の貫入抵抗値 N_d や材料特性で土砂流出の有無は判断できないが、貫入抵抗値 N_d が 20 以下を示す土砂層が 1.1m と厚い 0 次谷で土砂が流出しており、土砂層厚が危険な 0 次谷の抽出に有効な要素である可能性がある。
- (3) 推定流出土砂量と土砂層厚に相関はみられないが、谷全長や土砂流路長、集水面積とはある程度相関がみられることから、地形的要素から流出土砂量が推定できる可能性がある。

第 4 章 0 次谷の土砂流出メカニズムの分析

- (1) 0 次谷の谷全長、最大 b/a 比や平均溪床勾配は、基盤地質によらず、強い相関を示し、谷の発達に伴い谷全長は長く、最大 b/a 比は大きく、平均溪床勾配は緩くなる。更に貫入抵抗値 N_d が 20 以下の緩い土砂が 1.1m 以上で分布する場合にのみ、0 次谷は谷全長 80m 以上、最大 b/a 比 0.2 以上まで発達し、土砂が流出する。
- (2) 0 次谷は谷形成の初期段階にあり、急勾配で短いことから溪床に堆積する土砂が少なく、土砂流出の発生形態は崩壊型であると推察された。また、0 次谷では、上方斜面で雨水が集水され、崩壊が発生し、崩土が下流の溪岸に分布する土砂を巻き込み増大しながら流下する土砂流出メカニズムを推定した。

第 5 章 0 次谷の危険性評価と抽出法の提案

- (1) 危険性の評価では、流出土砂量が少量であっても交通の阻害や人的被害を招く可能性があることから、今後豪雨に伴い土砂が流出する可能性が高い青年型と壮年型を「危険谷」に、幼児型であるが青年型に発達する可能性がある 0 次谷を「注意谷」に、土砂が流出しない幼児型・壮年型を「安全谷」に区分した。
- (2) 危険度に応じた対応として、「危険谷」は流出土砂に伴い道路や家屋が被災する危険性が高く、豪雨時の要警戒箇所としての指定や地域住民への周知に加え、早急な防災対策の施工が想定される。「注意谷」は、近い将来豪雨に伴い土砂が流出する可能性があるため、定期的な確認を実施する等の対応が想定される。「安全谷」は、土砂が流出する可能性が低いことから、現段階で防災対応は必要ないと考えられる。
- (3) 土砂流出に対する危険性の評価と土砂流出がみられた 0 次谷の地形的条件を合わせることで、土砂流出が生じる危険性の高い 0 次谷を抽出する簡易な手法を提案した。また、地形判読には 0.5mDEM より作成した詳細な地形図や同程度の精度を有する砂防基盤図が必要であるが、これらの地形図は整備範囲が広く、全国を対象に危険な 0 次谷の抽出が可能である。
- (4) 提案した抽出法は、地形的条件においては一定の適応性が確認されたが、限られた調査範囲で得られた成果であり、引き続き基盤地質が異なる地域の被災事例と 0 次谷の地形・地質的データを蓄積し、検証と適用性の向上を図る必要がある。

参考文献

第1章

- (1-1) 国土交通省：報道発表資料, <https://www1.mlit.go.jp/report/press/content/001470608.pdf>, 2022. (2022年12月6日閲覧)
- (1-2) 気象庁：地球温暖化予測情報第9巻 IPCC の RCP8.5 シナリオを用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, pp.23-34, 2017.
- (1-3) 塚本良則, 平松伸二, 篠原斉四郎：侵蝕谷の発達様式に関する研究 (Ⅲ) 0 次谷と山崩れとの関係, 砂防学会誌, Vol.26, No.2, pp.14-20, 1973.
- (1-4) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説, pp.17, 2016.
- (1-5) 国土交通省：全国の土砂災害警戒区域等の指定状況推移 (R3.3.31 時点), <https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/content/001406994.pdf>, 2021. (2021年4月20日閲覧)

第2章

- (2-1) 塚本良則：I 章 日本の土砂災害と対策の歴史, 土砂災害と森林, No.47, p.4, 2006.
- (2-2) 塚本良則, 小橋澄治：新砂防工学, 緒言, pp.43-84, 73-74, 1991.
- (2-3) 小橋澄治, 武居有恒, 仲野公章：土石流発生の場合とその条件 (1), 砂防学会誌, Vol.29, No.4, pp.14-20, 1977.
- (2-4) 小橋澄治, 武居有恒, 仲野公章：土石流発生の場合とその条件 (2), 砂防学会誌, Vol.30, No.3, pp.1-6, 1977.
- (2-5) 宮縁育夫, 鳥井真之：令和2年(2020年)7月豪雨によって熊本県南部で発生した斜面災害, 地学雑誌, Vol.130, No.1, pp.107-116, 2021.
- (2-6) 地頭菌隆, 伊倉万理, 植弘隆, 大石博之, 垣本毅, 木藤賢一, 古賀省三, 坂井佑介, 坂島俊彦, 篠原慶規, 清水収, 田方智, 寺本行芳, 鳥田英司, 永谷直昌, 中濃耕司, 西脇彩人, 平川泰之, 福塚康三郎, 水野秀明：令和2年7月豪雨による熊本県の土砂災害, 砂防学会誌, Vol.73, No.4, pp.41-50, 2020.
- (2-7) 大政康史：治山事業の今後の方向性について, 砂防学会誌, Vol.71, No.4, pp.1-2, 2018.
- (2-8) 公益社団法人地盤工学会：平成30年7月豪雨を踏まえた豪雨地盤災害に対する地盤工学の課題—地盤工学からの提言—, https://www.jiban.or.jp/file/saigai/houko-ku/H30_TeigenZantei.pdf, 2019. (2021年4月20日閲覧)
- (2-9) 塚本良則：侵食谷の発達様式に関する研究 (I) 豪雨型山崩れと谷の成長との関係についての一つの考え方, 新砂防, Vol.25, No.4, pp.4-13, 1973.
- (2-10) 村上豊和, 下野宗彦, 柳迫新吾, 中田幸男：現地調査による地質毎の移動可能土砂量および侵食特性の統計的評価, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.75, No.1, pp.1-14, 2019.
- (2-11) 白澤紘明, 斎藤仁志, 戸田堅一郎, 多田泰之, 大丸裕武：高解像度 DEM を利用した崩壊危険地推定 路線選定支援を目的として, 森林利用学会誌, Vol.33, No.2, pp.123-131, 2018.
- (2-12) 木下博久, 長谷川修一, 野々村敦子, 山中稔：谷密度を指標とした流域スケールにおける斜面崩壊危険度評価手法の検討, 応用地質, Vol.59, No.6, pp.472-484, 2019.

第3章

- (3-1) 国土地理院：地理院地図 (GSIMaps), <https://maps.gsi.go.jp/#10/33.111099/132.848053/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c0j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0> (2021年4月28日閲覧)
- (3-2) 高知県砂防課：区域図, <https://d-eikai.pref.kochi.lg.jp/index.aspx> (2019年2月25日閲覧)
- (3-3) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説, pp.317-324, 2013.
- (3-4) 日本地質学会：日本地方地質誌7, 四国地方, pp.217-223, 204-208, 2016.
- (3-5) 林野庁森林整備部治山課：航空レーザー測量データ
- (3-6) 愛媛県平成30年7月豪雨災害対策検証委員会：平成30年7月豪雨災害に係る本県の被害状況について, https://www.pref.ehime.jp/h15350/gouu/documents/05_1_siryol.pdf, 2018. (2021年4月20日閲覧)
- (3-7) 広島県土木建築局砂防課：航空レーザー測量データ
- (3-8) 国土地理院：地理院地図 (GSIMaps), https://maps.gsi.go.jp/#12/34.277645/132.593136/&base=ort&ls=ort%7C201807H3007gouu_kuretoutbu_0713do&blend=0&disp=11&lcd=201807H3007gouu_kuretoutbu_0713do&vs=c0j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m (2021年6月28日閲覧)
- (3-9) 通商産業省工業技術院土質調査所：20万分の1地質図福 広島, 1986
- (3-10) 気象庁：平成30年7月豪雨(前線及び台風第7号による大雨等), https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/jyun_sokuji20180628-0708.Pdf, 2018 (2021年9月6日閲覧)

第4章

- (4-1) 塚本良則, 小橋澄治：新砂防工学, pp.43-84, 73-85, 1991.

第5章

- (5-1) 国土地理院：地理院地図(GSIMaps), <https://maps.gsi.go.jp/#10/33.111099/132.848053/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c0j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0> (2021年11月10日閲覧).
- (5-2) 地質調査所：20万分の1地質図幅「盛岡」, 1984.
- (5-3) 国土交通省：岩手県下閉伊郡岩泉町における災害関連緊急砂防事業の実施について【釜沢(2)】, https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28dosha/161116_saikansabo_iwake_kamanzawa.pdf, 2016 (2022年3月20日閲覧).
- (5-4) 窪田安打：長野県諏訪湖南西方における塩嶺累層の火山層序と地質構造-島孤会合部における後期鮮新世～前期更新世の火山活動史-, 地質学会誌, 第105巻, 第1号, pp.25-44, 1999.
- (5-5) 長野県：HP, <https://www.pref.nagano.lg.jp/sabo/siryou/r0308saigai.html>, 2021 (2021年12月20日閲覧).
- (5-6) 古川邦之, 三好雅也, 新村太郎, 柴田知之, 荒川洋二：阿蘇カルデラ北西壁に分布する先阿蘇火山岩類の地質学・岩石学的研究：先カルデラ火山活動における噴火活動とマグマ供給系, 地質学会誌, 第115巻, 第12号, pp.658-671, 2009.
- (5-7) 熊本県：阿蘇地域土砂災害対策検討委員会 報告書, <https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/114/2841.html>, 2013 (2022年3月20日閲覧).

(注) 要約の分量は、学位論文の分量の約10分の1として下さい。図表や写真を含めても構いません。

(Note) The Summary should be about 10% of the entire dissertation and may include illustrations