平成30年7月豪雨により愛媛県南西部で発生した斜面崩壊の規模と分布の特徴

木村 誇*・若月 強*・山田隆二**・井口 隆**

Characteristics of the Magnitude and Distribution of Landslides Induced by the Heavy Rain Event of July 2018 in the Southwestern Part of Ehime Prefecture, Japan

Takashi KIMURA*, Tsuyoshi WAKATSUKI*, Ryuji YAMADA**, and Takashi INOKUCHI**

*Storm, Flood and Landslide Research Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan kimurat@bosai.go.jp, waka@bosai.go.jp **Multi-hazard Risk Assessment Research Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan ryamada@bosai.ac.jp, inokuchi@bosai.go.jp

Abstract

This report presents characteristics of the landslide magnitude and distribution in the southwestern part of Ehime Prefecture, according to field survey and geospatial analysis results on landslides and related sediment disasters caused by the heavy rain event of July 2018. We identified 2,453 landslides (Total area of $810,920 \text{ m}^2$) within the study area of about 47 km² using aerial photographs taken just after the rain event. Although there were little differences in rainfall intensity and total rainfall between the north and south side of the geological boundary of the Chichibu and Shimanto Belt, which was located at the center of the study area, landslides concentrated in the Shimanto Belt of the south side. In the Shimanto Belt, landslides were the most frequent in sandstone area. Most of the landslides were less than 100 m² and concentrated on slopes used for orchards. Relatively large-sized landslides with the order of 1,000-10,000 m² simultaneously occurred in the sandstone area. They included deep-seated slides of rock mass detached by joints, which are common features of the sandstone in this region.

Key words: Rainfall-induced landslide, Rainfall distribution, Geological boundary, Land use

1. はじめに

2018年(平成30年)6月28日から7月8日にかけ て台風第7号や梅雨前線の影響により,西日本から 東海地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となった (防災科学技術研究所,2018;気象庁,2018).こ の大雨による土砂災害の発生件数は北海道から鹿児 島県にかけての1道2府28県で計2,512件(土石流 等769件,地すべり55件,がけ崩れ1,688件)にの ぼり,最近10年間の年平均土砂災害発生件数(2008 ~2017年の統計で年間1,106件)の2倍以上に達 した(2018年9月25日時点の集計:国土交通省, 2018).

道府県別の土砂災害発生件数をみると,広島県と 愛媛県で特に多く,両県ともに200件以上の土砂災 害が報告されている(国土交通省,2018).広島県で は,安芸郡坂町,熊野町,呉市,東広島市など,県 南部を中心に広い範囲で多数の斜面崩壊や土石流が 発生している(広島大学平成30年7月豪雨災害調査 団,2018;広島県土木建築局砂防課,2018;海掘ほ か,2018).一方,愛媛県では,西予市や宇和島市

^{*}国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

^{**} 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門



図1 愛媛県南西部における平成30年7月豪雨の雨量分布

Fig. 1 Rainfall distributions of the heavy rain event of July 2018 in the southwestern part of Ehime Prefecture.

を含む県南西部の比較的狭い範囲に集中して多数の 斜面崩壊や土石流が発生している(平成30年7月豪 雨愛媛大学災害調査団,2018;笹原ほか,2019).

本稿では,愛媛県内でも土砂災害の発生件数が特に多かった県南西部で現地調査を行い,土砂災害の

発生状況を把握するとともに、土砂災害の主な原因 となった斜面崩壊の規模や、発生箇所の分布と地質・ 地形・植生分布との関係について分析した結果を報 告する.

2. 調查地域

調査地域は愛媛県南西部の西予市宇和町から宇和 島市吉田町および三間町にかけての範囲である.西 予市と宇和島市の2市では、これまでに計416件の 土砂災害が報告されているが(2018年10月5日時点 の集計:愛媛県災害対策本部、2018)、その大半が この地域で発生しており、人的被害や住家被害、農 林業被害も甚大なものとなっている.本章では、こ の地域における雨量および土砂災害の概況、地質・ 地形・植生分布について述べる.

2.1 調査地域における雨量および土砂災害の概況

調査地域を含む内子町,大洲市,西予市,宇和島 市,南宇和郡愛南町では,発災から約3日が経過し た2018年7月11日に国土地理院が空中写真撮影を 行っており,その正射画像と空中写真判読で抽出し た崩壊地等の地形変化発生箇所の分布図を公開して いる(国土地理院,2018).

図1に国土地理院による空中写真判読結果と気象 庁解析雨量データをもとに作成した雨量分布図を重 ね合わせたものを示す.1~6時間の最大積算雨量 で特に顕著なように、宇和海海上の日振島付近から 吉田半島付近を横断して四国山地にかけて、南西-北東方向に延びる強雨域が形成されていたことがわ かる.この強雨域内では1時間最大で50 mm 以上 かつ6時間最大で180 mm 以上の非常に激しい雨が 降った.愛媛県内でも、特に吉田半島の周辺に斜面 崩壊や土石流が集中した原因はこうした雨量分布の 特徴に求めることができる.

その一方で,強雨域のほぼ中央に位置する調査地 域では,西予市と宇和島市の境界を挟んで宇和島市 側に崩壊地が集中していた.調査地域内の気象庁解 析雨量データをもとに作成した西予市と宇和島市 (それぞれ後述する秩父帯と四万十帯の領域に対応 する)の降雨時刻歴を図2に示す.この図をみると, 西予市,宇和島市ともに7月5日3時頃から徐々に 雨が強まって7日7時頃にピークを迎えており,7 日1~8時頃は1時間10 mm 以上の雨が約7時間連 続して降っている点なども含めて,非常によく似た パターンで推移している.また,ピーク雨量を記録 した7月7日7時における前1時間雨量と6月28日 からの総雨量にも大きな差はない.すなわち,調査 地域内には同程度の雨が降ったにもかかわらず,崩 壊地の分布に顕著な偏りが生じていたことになる.



- 図2 調査地域における降雨時刻歴(2018年6月28日~ 7月8日の気象庁解析雨量データをもとに算出した西予市と宇和島市の平均雨量)
- Fig. 2 Rainfall time histories in the study area (averaged rainfalls in Seiyo and Uwajima city calculated using the JMA Rader-AMeDAS rainfall data between June 28 and July 8, 2018).

2.2 調査地域における雨量および土砂災害の概況

図 3a に 20 万分の1日本シームレス地質図 V2 (産 総研地質調査総合センター, 2018)をもとに作成し た調査地域の地質分布図を示す.調査地域の地質は, 中央にある四国山地西縁の主稜線に沿って東西方向 に延びる仏像構造線を境として,その北側に分布す るジュラ紀付加コンプレックスの秩父帯と,その南 側に分布する白亜紀付加コンプレックスの四万十帯 に区分される.

この地域の秩父帯は、南部秩父帯の斗賀野層群と その構造的下位にある三宝山層群に属する(松岡, 1998). 斗賀野層群がチャート・砂岩を主とするの に対し、三宝山層群は石灰岩・玄武岩・チャート・ 珪質泥岩・チャート角礫岩・泥岩・砂岩で構成され る(松岡, 1998;宮崎ほか, 2016).

この地域の四万十帯は,四万十帯北帯の佐伯亜帯 (下部四万十層群)に属し,砂岩・頁岩・砂岩頁岩互 層で構成される(寺岡・栗本,1989).他方で,宇 和島市周辺の四万十層群はアンモナイトやイノセラ ムスなどの大型化石を多数含む浅海堆積層であるこ とが古くから知られており,主に深海堆積層のター ビダイトからなる四国地方の他の地域の四万十層 群から区分されることが多い(例えば,波田ほか, 1991).宇和島市周辺の四万十層群を対象とした一 連の研究で,寺岡・栗本(1986)および寺岡ほか(1986)



図3 調査地域における地質および植生の分布(図3aは産総研地質調査総合センター・20万分の 1日本シームレス地質図 V2 を,図3bは環境省・1/25,000 植生図をもとに作成) Fig. 3 Distributions of geology and vegetation of the study area (fig. 3a and 3b were drawn based on Seamless Digital Geological Map of Japan V2 (1:200,000) of the Geological Survey of Japan, AIST, and 1:25,000 scale vegetation maps of the Ministry of the Environment of Japan, respectively).

は10地塊・19累層からなる詳細な層序区分を行っ ている.その中で、本稿の調査地域である宇和島市 の法花津湾周辺は法花津地塊に区分されており、同 地塊を構成する法花津層の特徴として、層厚1~数 mの砂岩と層厚2m以下の砂岩泥岩互層がくりかえ し重なる地層で、砂岩は割れ目に富んでおり、白色 の濁沸石(ローモンタイト)-方解石-石英網状脈が 多くみられる点が挙げられていることをここでは指 摘しておきたい.

調査地域における地形は秩父-四万十帯間で明瞭 に異なる.前述したように,秩父帯と四万十帯の地 質境界には四国山地西縁の山塊があり,その主稜線 が標高 500 ~ 700 m ほどの高度をもって東西に延 びている.この山塊の北面(秩父帯)は,約2 km 北 方で標高 200 m ほどある宇和盆地に接するが,南面 (四万十帯)は約2 km 南方の法花津湾に対して 500 ~ 700 m ほどの高度差をもっており,より急傾斜と なっている.南面の山腹斜面には南北方向に深く開 析された直線的な谷が密に並んでいるのに対し,北 面の山腹斜面には浅い谷が不規則に並ぶ.また,四 国山地南面に急斜面が広がるのとは対照的に,法花 津湾より南方の吉田半島には標高 100 ~ 200 m ほど の高度の小起伏丘陵が広がる.

2.3 調査地域の植生

図3bに1/25,000植生図(環境省,2013)をもとに 作成した調査地域の植生区分図を示す.調査地域中 央にある四国山地西縁の主稜線を境にして北側で は、スギ・ヒノキ植林地が面積の大半を占めており、 その中にアカマツなどの常緑針葉樹林やクヌギ・コ ナラなどの落葉広葉樹林が点在する.南側では,主 稜線周辺にアカマツ林が広がっているが,それより さらに南方の山麓や丘陵の大部分がミカンなどの果 樹園となっている.

3. 調查方法

3.1 現地調査

現地調査の実施にあたっては、インターネット等 で事前に得られた交通情報や災害情報を参考に調査 ルートを選定した.交通情報としては、国土交通 省統合情報システム DiMAPS (http://www.mlit.go.jp/ saigai/dimaps/3/WebContent/html/map/main/mainMap. html) に掲載された通行止め情報を利用した.災害 情報としては、上述の DiMAPS に掲載された土砂災 害発生箇所、河川・管理施設被害状況の情報を利用 した.そのほか、新聞・テレビ・インターネット等 の各種報道情報を参考にした.

現地では,限られた人員と期間で可能な限り災害 の全容を把握するため,自動車や徒歩で通行可能な 道路沿いで斜面崩壊等の土砂移動現象が発生した箇 所を観察するともに,写真撮影や崩壊斜面の簡易測 量を行った.

3.2 崩壊地の空中写真判読

斜面崩壊の規模や分布の特徴を明らかにするため,前述した国土地理院撮影の空中写真正射画像を 判読し,斜面崩壊とそれに起因した土石流による土 砂移動域を囲んだポリゴンデータを作成した.この 際, 渓流(河川)沿いに形成されたローブ状の堆積物 や流木の集積を手がかりに, 土石流の流下・堆積域 の末端を特定し, 下流側に形成された平坦な堆積面 をもつ掃流砂堆積物は土砂移動域から除外した.

こうして得られた土砂移動域をそれぞれひとつの 崩壊地とみなし、その面積を計測するとともに、後 述する地質・地形・植生区分ごとの崩壊地の分布密 度および崩壊面積率を算出した.

3.3 崩壊地の分布に影響を及ぼした地質・地形・植 生条件の解析

地質・植生条件の違いによる崩壊地の分布の多寡 を明らかにするため、崩壊地のポリゴンデータを前 述した地質図および植生図と重ね合わせ、各領域内 での崩壊地の分布密度と崩壊面積率を算出した.な お、土砂移動域が複数の領域にまたがる崩壊地が あった場合には、頭部滑落崖を含む領域で1箇所と カウントして崩壊地密度を算出した上で、土砂移動 域を領域界で分割して各領域の崩壊面積率を算出し た.

地形条件については,国土地理院基盤地図情報 10 m メッシュ数値標高モデルを用いて算出した斜 面勾配(^e)をもとに,斜面勾配の頻度分布や斜面勾 配に応じた崩壊面積率の変化の特徴を分析した.

4. 調査結果

4.1 主な土砂災害の発生状況

発災直後の2018年7月中旬から10月下旬にかけ て実施した現地調査により,愛媛県南西部の大洲市, 西予市,宇和島市周辺の地域で土砂災害の発生状況 を確認することができた.ここでは,西予市宇和町 明間(あかんま)地区,皆田(かいだ)地区,下川(ひ とうがわ)地区,ならびに宇和島市吉田町白浦(し ろうら)地区南,白浦地区畦屋,沖村地区の計6箇 所(図4のLoc.1~6)における現地調査結果の概要 を述べる.

4.1.1 西予市宇和町明間地区

図 5a, 5b, 5c に西予市宇和町明間地区(図4の Loc.1)で発生した斜面崩壊の様子を示す.崩壊地は 肘川本川の右岸斜面に位置しており,南部秩父帯-斗賀野層群の砂岩の分布域にあたる.

ここでは, 肱川の谷底面より比高約 200 m の谷壁 斜面の中腹部が幅約 25 m,長さ約 40 m にわたって 崩壊しており(図 5a),崩壊土砂は 100 m 以上下方の 県道 29 号線や肘川の谷底面に達していた(図 5b). 崩壊地内を観察すると、粘土質の赤色風化土層が1 ~2m程度の厚さで基盤をなす砂岩層を覆っている ことや、滑落崖右面で、赤色風化土層の上位にチャー ト角礫・亜角礫を多く含む崩積土層が2~4m程度 の厚さで堆積していることがわかる(図 5c). このよ うに、崩壊地内の土層の厚みにはばらつきがあるも のの、すべり面は共通して基盤岩直上の赤色風化土 層中に形成されたものと推察される.

4.1.2 西予市宇和町皆田地区

図 5d, 5e, 5f に西予市宇和町皆田地区(図4の Loc.2)で発生した斜面崩壊の様子を示す.崩壊地は 肘川支川緑川流域内(高森山山頂より西方に約1km の標高約480m地点)に位置しており,南部秩父帯 ー斗賀野層群のチャートの分布域にあたる.

ここでは、源頭部の谷頭凹地斜面が幅約20m,長 さ約60mにわたって崩壊していた。崩壊土砂は渓 床堆積物を洗掘しながら渓流沿いを 500 m 以上流下 し(図5d),道路等を破壊していた.崩壊地内を観 察すると,基盤をなすチャート層の上位にチャート 角礫主体の崩積土層が1~2m程度の厚さで堆積し ているが(図5e),頭部滑落崖面では、この堆積物が 礫間隙の充填物を欠いた透かし礫層になっているこ とがわかる(図5f).崩壊した斜面は、地形的に浸透 水が集中しやすい場にあったために礫間隙を充填し ていた土粒子の流亡が進み、崩壊発生以前より排水 性の高い透かし礫層が形成されていたとみられる. しかしながら、今回の豪雨時にはその排水容量を超 える浸透水の流入があったために、土層内部の間隙 水圧が上昇し,基盤岩面を境界にして滑り落ちたも のと推察される.

4.1.3 西予市宇和町下川地区

図 5g, 5h に西予市宇和町下川地区(図 4 の Loc.3) で発生した斜面崩壊の様子を示す.崩壊地は肘川本 川左岸側の小流域内(県道 31 号宇和三間線(歯長隧 道)沿いの標高約 420 m 地点)に位置しており,南部 秩父帯-三宝山層群の混在岩の分布域にあたる.

ここでは、源頭部の谷頭斜面が幅約40m,長さ約90mにわたって崩壊しており、県道31号線を寸断するとともに、崩壊土砂が渓流沿いを450m以上流下していた.滑落崖には基盤の砂岩層とその下位の泥岩層が露出している(図5g).砂岩層,泥岩層ともに風化と変形が著しいが、特に砂岩層底面(泥岩



図4 斜面崩壊地の分布と現地調査地点の位置図(国土地理院・地理院地図をもとに作成) Fig. 4 Landslide distribution and localities of field observation sites (drawn based on 1:25,000 scale topographic maps of the Geospatial Information Authority of Japan).

層との境界)付近が細かく破砕されている(図 5h). こうした破砕部分が弱面となって,深さ5~10 m 程度の比較的小規模な岩盤崩壊が発生したものと推 察される.

4.1.4 宇和島市吉田町白浦地区南

図 6a, 6b に宇和島市白浦地区南(図 4 の Loc.4)で 発生した斜面崩壊の様子を示す.崩壊地は法花津湾 湾岸部の丘陵斜面(県道 271 号玉津港線(小名隧道) 沿いの標高約 110 m 地点)に位置しており,四万十 帯北帯-佐伯亜帯の砂岩の分布域にあたる.

ここでは、比高 110 m 程度の丘陵斜面の尾根~中 腹部が幅約 70 m、長さ約 80 m にわたって崩壊して おり(図 6a)、崩壊土砂は 100 m 以上下方の県道 271 号線に達していた、崩壊地内を観察すると、基盤を なす砂岩層が平滑に切断された面が頭部滑落崖、側 方崖に露出しており、その表面には白色の鉱物脈が みられる(図 6b). こうした面は崩壊以前から砂岩 層中にあった節理面である可能性が高く、すでに分 離が進行していた岩盤部分が今回の豪雨で崩壊に 至ったものと推察される.

4.1.5 宇和島市吉田町白浦地区畦屋

図 6c, 6d に宇和島市吉田町白浦地区畦屋(図4の Loc.5)で発生した斜面崩壊の様子を示す.崩壊地は 法花津湾湾岸部の丘陵斜面(国道 378 号線沿いの標 高約 60 m 地点)に位置しており,四万十帯北帯-佐 伯亜帯の砂岩の分布域にあたる.

ここでは、比高 110 m 程度の丘陵斜面の中腹部(頂 部緩斜面より下方の谷型斜面)が幅約 40 m,長さ約 60 m にわたって崩壊しており(図 6c),崩壊土砂は 150 m 以上下方の住家に達していた.頭部滑落崖や 側方崖に平滑な切断面が露出する状況は、白浦地区 南の崩壊地と非常によく似る.一方でこの崩壊地の 左側方崖では、砂岩層とその下位の泥岩層の高角傾 斜した構造がみられることから(図 6d),砂岩泥岩 互層の層理面付近がすべり面となって、主に上位の 砂岩層が崩壊したものと推察される.

4.1.6 宇和島市吉田町沖村地区

図 6e, 6f に 宇和島市吉田町沖村地区 (図 4 の Loc.6) で発生した斜面崩壊の様子を示す.崩壊地は 吉田半島中央部の丘陵斜面 (法花津湾より南方に約 3 km の標高約 160 m 地点) に位置しており,四万十 帯北帯-佐伯亜帯の砂岩の分布域にあたる.

ここでは, 比高 90 m 程度の丘陵斜面の中腹部が 幅約 10 m, 長さ約 15 m にわたって崩壊していた (図 6e).崩壊地内では,地表から数十 cm 程度の深 さまでの土層が平板状に薄く剥がれ,モノレール架







図6 宇和島市内の土砂災害発生箇所の様子 Fig. 6 Field views of the sediment disaster sites in Uwajima city.

線の支柱が浮き上がったり、地下埋設されていた 散水・薬液散布用のパイプ管が露出したりしていた (図 6f).一方で、植栽されていた果樹の多くは流失 することなく残されていた.こうしたごく薄い表土 層の崩壊は、果樹園が広がる吉田半島の丘陵斜面の 至るところで発生しており、今回の豪雨で最も多い 崩壊発生形態だったと考えられる.

4.2 崩壊地の規模および分布の特徴

空中写真判読の結果,調査地域の約47km²の範囲 内で計 2,453箇所(総面積 810,920m²)の崩壊地が抽 出された. このうち 201箇所(総面積 93,490m²)が秩 父帯, 2,227箇所(総面積 712,590m²)が四万十帯,残 りの 25箇所(総面積 4,840m²)が後期更新世の段丘堆 積物などの第四紀堆積層の分布域で発生していた. これらの値を崩壊地の分布密度と崩壊面積率に 換算すると,秩父帯では約11箇所/km²と約0.5%, 四万十帯では約102箇所/km²と約3.2%となり, 四万十帯における崩壊地の分布密度と崩壊面積率が 秩父帯の約9.5倍と約6.9倍に及んでいた.第四紀 堆積層では約7箇所/km²と約0.2%となり,崩壊地 の分布は秩父帯よりもさらに疎らであった.そこで 以下では,崩壊地の規模および分布の特徴について, 秩父-四万十帯間で比較した結果を中心に述べる.

4.2.1 崩壊地の規模

秩父帯で発生した 201 箇所の崩壊地の面積は 5 ~ 9,552 m² の範囲にあり,平均値(±標準偏差)は 465 (±1,351) m²,中央値は 87 m² となった.一方で, 四万十帯で発生した 2,227 箇所の崩壊地の面積は 3 ~ 13,577 m² の範囲にあり,平均値(±標準偏差)は 320(±761) m²,中央値は 99 m² となった.

両地質帯における崩壊地の面積を比較すると,中 央値は近似しており,半数以上が100 m² 未満の小 規模な崩壊である点は共通するが,四万十帯では, 10,000 m² オーダーに及ぶ比較的規模の大きな崩壊 も同時に発生しているのが特徴と言える.

4.2.2 崩壊地の分布密度および崩壊面積率

秩父帯および四万十帯を構成する主な岩種ごとに 崩壊地の分布密度と崩壊面積率を算出した結果を 図7に示す.秩父帯(18.76 km²)は玄武岩・チャート・ 石灰岩・混在岩・砂岩の5つに区分されたが,これ らのうちの玄武岩と石灰岩の領域は面積割合5%以 下(それぞれ0.25 km²と1.09 km²)で崩壊地は石灰 岩の領域内で発生した1箇所のみだった.そこで チャート・混在岩・砂岩の3つに絞って比較すると, 崩壊地の分布密度,崩壊面積率ともに混在岩の領域 で最も高く,次いで砂岩,チャートの順となった.

他方,四万十帯(21.94 km²)は泥岩・砂岩泥岩互層・ 砂岩の3つに区分された.崩壊地の分布密度,崩壊 面積率ともに砂岩の領域で最も高く,次いで砂岩泥 岩互層,泥岩の順となった.

四万十帯砂岩泥岩互層および泥岩の領域における 崩壊地の分布密度は、四万十帯砂岩の領域の0.3 ~ 0.4 倍程度と相対的に低かったが、いずれも秩父帯 混在岩の領域を上回っていた.すなわち、岩種によ らず四万十帯の方が秩父帯より崩壊地の分布密度が 高かったと言える.

次に, 主な植生区分ごとに崩壊地の分布密度と崩

壊面積率を算出した結果を図8に示す.植生図の大 区分をみると,調査範囲内の植生は,主にスギ・ヒ ノキなどの常緑針葉樹の植林地(人工林),落葉広葉 樹(二次)林,常緑広葉樹(二次)林,伐採跡地,果樹園, アカマツ林で構成されていた.これらのうち,落葉 広葉樹林,常緑広葉樹林,アカマツ林を自然林とし て一括し,人工林・自然林・果樹園・その他の4区 分で比較を行った.

秩父帯では、人工林の面積が全体の約63.7% (11.95 km²)を占めて最も多かった.次いで自然林 の面積が約26.8% (5.02 km²)を占めており、果樹園 の面積は約0.5% (0.09 km²) に過ぎなかった.その ため、局所的な分布を強く反映した値ではあるもの の、果樹園における崩壊地の分布密度と崩壊面積率 はチャートの領域(0.04 km²)で約654 箇所/km²と約 7.2%,混在岩の領域(0.05 km²)で約600 箇所/km²と 約8.8% というきわめて高い値をとった.一方で、3 つの岩種のいずれの領域にも分布する人工林と自然 林についてみると、分布密度や崩壊面積率の差は僅 かであり、特定の岩種や植生区分に偏って崩壊が発 生する傾向は認められなかった.

四万十帯では,果樹園の面積が全体の約57.2% (12.54 km²)を占めて最も多かった.次いで自然林の 面積が約34.1% (7.48 km²)を占めており,人工林の 面積は約3.1% (0.68 km²) にとどまった.いずれの岩 種についても,果樹園における崩壊地の分布密度と 崩壊面積率が最も高くなっていた.3つの岩種のい ずれの領域にも分布している自然林と果樹園で比較 した場合,果樹園における崩壊地の分布密度は自然 林の約2.3~3.1倍に,崩壊面積率は自然林の約1.6 ~2.8倍に及んでいた.

4.2.3 崩壊面積率と地質・地形・植生条件との関係

前項において,岩種別の崩壊地の分布密度,崩壊 面積率はともに四万十帯砂岩の領域が最も高かった ことや,いずれの岩種においても果樹園として土地 利用されている斜面で崩壊地の分布密度や崩壊面積 率が著しく増加していたことが明らかになった.こ のうち,岩種間での崩壊の起こりやすさの違いは, 風化の特徴か地形に起因するものと考えられるた め,斜面勾配を加えて岩種(地質)や植生(土地利用) による崩壊面積率の違いをさらに分析することとし た.

秩父帯のチャート・混在岩・砂岩,四万十帯の泥岩・







図8 植生区分ごとの崩壊地の分布密度と崩壊面積率(図8a, b:秩父帯,図8c, d:四万十帯) Fig. 8 Landslide density and area ratio of landslide-affected area for each vegetation unit (Fig. 8a, b: Chichibu Belt, Fig. 8c, d: Shimanto Belt).

砂岩泥岩互層・砂岩の6つにいて,各領域における 斜面勾配の頻度分布と,斜面勾配の各階級(区間幅 は5°)における植生区分(人工林・自然林・果樹園) ごとの崩壊面積率を図9に示す.斜面勾配の頻度分 布を比較すると,秩父帯の3つの岩種はいずれもひ と山型の分布だが,ピークの位置は混在岩が35~ 40°, チャートが 30 ~ 35°, 砂岩が 25 ~ 30° で混在 岩が最も急勾配に偏った分布となっていた.これに 対し,四万十帯の3つの岩種はいずれも左歪曲分布 (ピークが分布域の右側にあって左裾が長い分布)と なっていた.砂岩泥岩互層と泥岩は 30 ~ 35° をピー クに左側(緩勾配側)に漸減する非常によく似た分布 だが,砂岩は35~40°をピークに左側にも急減し ており,もっとも急勾配に偏った分布となっていた.

植生区分ごとの崩壊面積率を比較すると,秩父帯, 四万十帯ともに果樹園における崩壊面積率が斜面勾 配の分布範囲のほぼ全区間にわたって高い傾向に あった.

斜面勾配の頻度分布の特徴と併せてみると, 四万十帯砂岩の領域が最も急勾配になっているが, そのピークとなる 35 ~ 40°の区間においても崩壊 面積率は果樹園で約 5.3%,自然林で約 2.1% と,同 地質帯の砂岩泥岩互層や泥岩と比べて高い値となっ ている.したがって,植生(土地利用)や地形(斜面 勾配)のほかにも,崩壊を起こしやすい地盤の特徴 を有していたのではないかと考えられる.

ただし今回の分析では、土石流化した崩壊土砂の 流下・堆積域を含めてひとつの崩壊地としたことも あって、崩壊面積率がバイモーダルな分布や緩傾斜 部(一般的な土石流の流下・堆積区間に相当する20° 未満の区間:国土技術政策総合研究所(2007)を参照) にピークをもつ分布となっていた.今後、崩壊源の みを対象とした分析を行って再検討する必要がある.

4.3 今回の豪雨による斜面崩壊の特徴

4.3.1 秩父帯における斜面崩壊の特徴

調査地域の北側に分布する秩父帯についてみる と、崩壊地の分布密度は約11箇所/km²と疎らな状 況であり、その半数以上が面積100 m²未満の小規 模な崩壊地であったことから、土砂災害の発生件数 や被害は四万十帯に比べて少なかった.

現地調査では,面積1,000 m²以上の比較的大規模 な崩壊地3箇所を踏査した.これらはいずれも異な る岩種の領域で発生した崩壊のため,崩壊予備物質 の構成材料や崩壊すべり面を規制する地質構造はそ れぞれ異なっていた.斜面を覆っていた崩積土層が 崩壊した2箇所については,下位の風化粘性土層(図 5a~5c,4.1.1項)や基盤岩層(図5e,5f,4.1.2項)が 難(不)透水面となることで,崩積土層底面付近から の地下水位(間隙水圧)上昇を招いたことが崩壊発生 の原因であったと考えられる.もう1箇所は,著し く破砕された基盤岩層の崩壊であり(図5g,5h,4.1.3 項),重力変形作用による不安定化が進行していた斜 面が今回の豪雨で崩壊に至ったものと考えられる.

この地域の秩父帯は,主に玄武岩・チャート・石 灰岩・混在岩・砂岩で構成されていたが,それらの 中では混在岩における崩壊地の分布密度や崩壊面積 率が相対的に高かった(図7).ただし,混在岩の岩 相や地質構造は狭い範囲内でも不均質なことが予想 されるため,他の岩種より崩壊を起こしやすい特徴 を有しているかについてはさらなる検討を要する.

同地域の植生としては、スギ・ヒノキなどの人工 林とアカマツやクヌギ・コナラなどの自然林が多く、 これら2つの面積が全体の約90.5%を占めていた. 人工林と自然林の分布域に限ってみれば、岩種や植 生区分の違いによる崩壊地の分布密度や崩壊面積率 の差は僅かだった(図8).一方で、果樹園の面積割 合は約0.5%と局所的であったが、その分布域の中 ではきわめて高い密度で崩壊が発生していた(図8).

4.3.2 四万十帯における斜面崩壊の特徴

調査地域の南側に分布する四万十帯についてみる と、崩壊地の分布密度は約102箇所/km²と非常に 密な状況であった.崩壊地の半数以上は面積100m² 未満の小規模な崩壊地だったが、その多くがミカン などの果樹園で発生したため、果樹や作業設備の損 傷などの農業被害が多数生じていた.また、箇所数 としては全体の10%未満だが、面積1,000m²以上 の比較的大規模な崩壊が吉田半島周辺の平地と接す る小起伏丘陵斜面に多く発生したために、大量の土 砂が住宅地に到達し、甚大な被害が生じることと なった.

現地で観察された斜面崩壊の多くは果樹園で発生 したごく薄い表土層の崩壊であった(図 6e, 6f, 4.1.6 節).果樹園では、周辺の森林に比べて降雨の樹冠 遮断効果や根系による表土層の緊縛効果が小さかっ たために、このような崩壊が多発したものと考えら れる.他方、吉田半島周辺の小起伏丘陵では、すべ り面が基盤岩内部に及ぶ深層崩壊が発生していた. これらのうちの2箇所はいずれも、基盤をなす砂岩 層が平滑に切れ落ちているのが特徴であり(図 6a ~ 6d, 4.1.4 節および 4.1.5 節),節理面や層理面に沿っ てすでに分離が進行していた岩盤が今回の豪雨で崩 壊に至ったものと考えられる.

吉田半島周辺で発生した4箇所の深層崩壊を詳し く調査した山崎(2019)は、それらの崩壊に共通の特 徴として、深層まで風化した砂岩において、斜面を 鉛直に近い方向で切断する分離面を境に崩壊が発生 していることや、その砂岩には亀裂や白色の鉱物脈 が多くみられることを挙げている.こうした特徴は、



図9 地質区分ごとの斜面勾配頻度分布と斜面勾配による崩壊面積率の変化(図9a~c:秩父帯,図9d~f:四万十帯) Fig. 9 Frequency distribution of slope gradient for each geological unit and changes in area ratio of landslide-affected area along the slope gradient (Fig. 9a~c: Chichibu Belt, Fig 9d~f: Shimanto Belt).

寺岡・栗本(1986)および寺岡ほか(1986)が当地に分 布する砂岩優勢層(法花津層)の地質的特徴に挙げて いたものと対応する.したがって,今回崩壊が発生 した箇所の周辺においても,岩盤内部に分離面が形 成されて不安定化した箇所が存在することが十分に 考えられる.そうした深層崩壊の危険性の高い斜面 を把握するためにも,今回崩壊が発生した箇所の微 地形や岩盤内部の面構造などの特徴をさらに詳しく 調査する必要がある.

この地域の四万十帯を構成する砂岩・砂岩泥岩互 層・泥岩のいずれの領域でも,秩父帯より高い密度 で崩壊が発生していた.それらの中では砂岩におけ る崩壊地の分布密度や崩壊面積率が最も高かった (図7).深層崩壊の素因となった岩盤内部での分離 面の発達がその理由のひとつとみられるが,小規模 な崩壊の多さを踏まえると,四万十帯砂岩の領域で は表層崩壊の起こりやすい地盤が形成されていたの ではないかと考えられる. 岩種ごとの風化特性の違 いは今後検討すべき課題である.

同地域にはミカンなどの果樹園が広く展開されて おり,面積割合で約57.2%を占めていた.その次 に面積割合の大きかった自然林(約34.1%)と比較す ると,崩壊地の分布密度は約2.3~3.1倍,崩壊面 積率は約1.6~2.8倍に及んでいたことから(図8), 果樹園としての土地利用が四万十帯における斜面崩 壊の多発につながったとみて間違いない.

4.3.3 秩父-四万十帯境界における斜面崩壊の規模 と分布の特徴

調査地域内で発生した斜面崩壊を秩父帯と四万十 帯に分けて比較すると,(1)両地質帯ともに半数以 上は面積100 m²未満の崩壊だが,四万十帯では1,000 ~10,000 m²オーダーに及ぶ比較的規模の大きな崩 壊も同時に発生していること,(2)四万十帯の中で も砂岩の領域で特に多発していること,(3)両地質 帯ともに果樹園における崩壊地の分布密度や崩壊面 積率が人工林や自然林と比べて著しく高いことなど の特徴が認められた.

今回の豪雨により吉田半島周辺で発生した深層崩 壊は面積 1,000 ~ 10,000 m² 程度の規模であり、こ れまで深層崩壊として取り扱われてきたものに比べ ると小規模である(例えば、2011 年台風 12 号通過に 伴う大雨により紀伊山地で発生した深層崩壊の規模 は約 3,700 ~ 490,000 m² に及ぶ:Tsou *et al.*, 2017). しかしながら、平地と接する小起伏丘陵斜面に多く 発生したために甚大な被害が生じた.こうした土砂 災害リスクの高さを鑑みると、同様の深層崩壊が起 こる可能性のある斜面の把握が急がれる.

調査地域は,主に北側の秩父帯(西予市)が人工林 として,南側の四万十帯(宇和島市)が果樹園として 土地利用されていた.こうした土地利用状況の違い が四万十帯における斜面崩壊の多発につながったと みられる.その一方で,秩父帯に局所的に分布した 果樹園においてもきわめて高い密度で崩壊が発生し ていた.したがって,植生(土地利用)改変によって 斜面崩壊の発生頻度が増加する可能性があることは 両地質帯ともに十分考慮する必要がある.

5. まとめ

2018年(平成 30年)6月28日から7月8日にかけ

ての大雨によって,愛媛県南西部で発生した土砂災 害の現地調査を行い,その発生状況を把握するとと もに,土砂災害の主な原因となった斜面崩壊の規模 や,発生箇所の分布と地質・地形・植生分布との関 係を分析した.

調査対象とした地域は、宇和海海上から四国山 地にかけて南西-北東方向に延びる強雨域の中心 付近にあり、1時間最大50mm以上かつ6時間最 大180mm以上の降雨があった.四国山地の主稜線 (秩父帯と四万十帯の地質境界)を挟む南北で降雨 強度や総雨量にほとんど違いがなかったにもかかわ らず、四万十帯に属する四国山地南面や吉田半島周 辺の小起伏丘陵に集中して多数の斜面崩壊が発生し た.

四万十帯の中では,砂岩の領域で最も多くの崩壊 が発生していた.それらの大半は面積 100 m² 未満 の崩壊であり,果樹園として利用されている斜面に 集中していた.一方で,面積 1,000 ~ 10,000 m² オー ダーに及ぶ比較的規模の大きな崩壊も同時に発生し ていた.それらはこの地域の四万十帯砂岩に特徴的 な節理の発達により,分離の進行した岩盤の深層崩 壊であった.

果樹園は,四国山地の主稜線より南側の斜面 (四万十帯)に分布しており,北側の斜面(秩父帯)は 主に人工林となっていた.こうした土地利用状況の 違いが四万十帯における斜面崩壊の多発につながっ たとみられる.

謝辞

本稿で報告した調査解析の一部は,平成30年度 科研費特別研究促進費18K19951(平成30年7月豪 雨による災害の総合研究)によるものであり,山形 大学の八木浩司博士,帝京平成大学の佐藤剛博士, 弘前大学の鄒青穎博士,国際斜面災害研究機構(国 際航業株式会社)の廣田清治博士と共同で行いまし た.本稿で用いた気象庁解析雨量データは国土交通 省より提供いただきました.また,防災科学技術研 究所水・土砂防災研究部門の前坂剛博士には雨量分 布の解析および作図にご協力を賜りました.ここに 記して謝意を表します.

最後に,この度の豪雨災害で犠牲になった方々に 哀悼の意を表するとともに,被災地および被災され た方々の一日も早い復興を心より祈念いたします. 参考文献

2019.3.15)

- 防災科学技術研究所(2018):防災科学技術研究 所水・土砂防災研究部門「平成30年7月豪雨 における積算雨量の特徴について(西日本)(平成 30年7月19日初版)」.
 (http://mizu.bosai.go.jp/key/RainJulyH30Accu,
- 2) 愛媛県災害対策本部(2018):平成30年7月豪雨 による被害状況等について(第100報). (http://ehime.force.com/servlet/servlet.FileDownloa d?file=00P0K000018IkdKUAS, 2019.3.15)
- 波田重熙・秀敬・石田啓祐・岩崎正夫・鹿島愛彦・ 小玉一人・沓掛俊夫・増井芽・越智秀二・佐藤信次・ 須鎗和巳・鈴木堯士・高橋治郎・高須晃・武田 賢治・田代正之・鳥海光弘・氏家治・山崎哲司・ 吉倉紳一(1991):第2章中・古生界,日本の地 質『四国地方』編集委員会(編)「日本の地質8四 国地方」,5-118,共立出版株式会社.
- 4) 平成 30 年 7 月豪雨愛媛大学災害調査団 (2018):
 平成 30 年 7 月豪雨による愛媛県の斜面崩壊分布 図(第一報).

(http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201807_ report005.pdf, 2019.3.15)

5) 広島大学平成 30 年 7 月豪雨災害調査団 (2018):
 平成 30 年 7 月豪雨による広島県の斜面崩壊の詳細分布図(第一報).
 (http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201807)

report007.pdf, 2019.3.15)

6) 広島県土木建築局砂防課(2018):平成30年7月 豪雨による土砂災害の発生状況(平成30年9月 7日時点最終報). (https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/

life/547187_1636191_misc.pdf, 2019.3.15)

- 7)海掘正博・長谷川祐治・山下祐一・崎田博史・ 中井真司・桑田志保・平松晋也・地頭薗隆・井 良沢道也・清水収・今泉文寿・中谷加奈・柏原 佳明・加藤誠章・鳥田英司・平川泰之・吉永子 規・田中健路・林拙郎(2018):平成30年7月豪 雨により広島県で発生した土砂災害.砂防学会 誌, Vol.71, No.4, 49-60.
- 8) 環境省(2013):環境省生物多様性センター 1/25,000 植生図「卯之町」,「宇和島」. (http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-043.html,

2019.3.15)

9) 気象庁(2018):「平成 30 年 7 月豪雨」の大雨の特 徴とその要因について(速報)(平成 30 年 7 月 13 日報道発表資料).

(http://www.jma.go.jp/jma/press/1807/13a/ gou20180713.pdf, 2019.3.15)

- 10) 国土地理院(2018): 平成 30 年 7 月豪雨に関する 情報 (http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30.taihuu7gou. html, 2019.3.15)
- 11) 国土交通省(2018):国土交通省水管理・国土保 全局砂防部「平成30年7月豪雨による土砂災害 の発生状況(2018年9月25日時点)」.
 (http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h30dosha/ H30_07gouu_180925.pdf, 2019.3.15)
- 12) 国土技術政策総合研究所(2007):土石流・流木 対策設計技術指針解説.国土技術政策総合研究 所資料,第365号,78pp.
- 13) 松岡篤(1998):四国西端部秩父累帯の地体構造 区分,地質学雑誌, Vol.104, No.9, 565-576.
- 14) 宮崎一博・脇田浩二・宮下由香里・水野清秀・ 高橋雅紀・野田 篤・利光誠一・角井朝昭・大 野哲二・名和一成・宮川歩夢(2016):20万分の 1 地質図幅「松山」(第2版), 産総研地質調査総 合センター.
- 15) 産総研地質調査総合センター(2018):20万分の
 1日本シームレス地質図 V2.
 (https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html, 2019.3.15)
- 16) 笹原克夫・池田貴洋・岩井優弥・角田皓史・金澤瑛・ 権田豊・齋藤悠樹・執印康裕・田方智・藤田正治・ 宮田秀介・三輪浩・村田郁央・山野井一輝・和 田孝志(2019):平成30年7月豪雨によって四国 地方で発生した土砂災害.砂防学会誌, Vol.71, No.5, 43-53.
- 17) 寺岡易司・栗本史雄(1986): 宇和島地域の
 四万十帯白亜系層序一大型化石と放散虫化石の
 層序的分布に関して一,地質調査所月報, Vol.
 37, No.8, 417–453.
- 18) 寺岡易司・栗本史雄(1989):20万分の1地質図 幅「宇和島」,産総研地質調査総合センター.
- 19) 寺岡易司・池田幸雄・鹿島愛彦(1986): 宇和島 地域の地質,地域地質研究報告(5万分の1地質 図幅),91pp,地質調査所.

- 20) Tsou, C. Y., Chigira, M., Matsushi, Y., Hiraishi, N., and Arai, N. (2017) : Coupling fluvial processes and landslide distribution toward geomorphological hazard assessment: a case study in a transient landscape in Japan. Landslides, Vol.14, No.6, 1901– 1914.
- 21) 山崎新太郎(2019): 平成 30 年 7 月豪雨による愛媛県宇和島市吉田町における岩盤崩壊,防災科学技術研究所研究資料, No. 431, 53-57.

(2019年6月6日原稿受付,
2019年7月5日改稿受付,
2019年7月11日原稿受理)

要 旨

平成 30 年 7 月豪雨によって愛媛県南西部で発生した土砂災害の現地調査を行うとともに、その主な 原因となった斜面崩壊の規模と分布の特徴を分析した.豪雨直後に撮影された空中写真を判読した結 果,調査地域の約 47 km² の範囲内で計 2,453 箇所(総面積 810,920 m²)の崩壊地が抽出された.調査地 域の中央にある秩父帯と四万十帯の地質境界を挟む南北で降雨強度や総雨量にほとんど違いがなかっ たにもかかわらず、南側の四万十帯に集中して多数の斜面崩壊が発生していた.四万十帯の中では、 砂岩の領域で最も多くの崩壊が発生していた.それらの大半は面積 100 m² 未満の崩壊であり、果樹園 としての利用されている斜面に集中していた.一方で、面積 1,000 ~ 10,000 m² オーダーに及ぶ比較的 規模の大きな崩壊も同時に発生していた.それらはこの地域の四万十帯砂岩に特徴的な節理の発達に より、分離の進行した岩盤の深層崩壊であった.

キーワード:降雨による斜面崩壊,雨量分布,地質境界,土地利用