

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 m²) 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

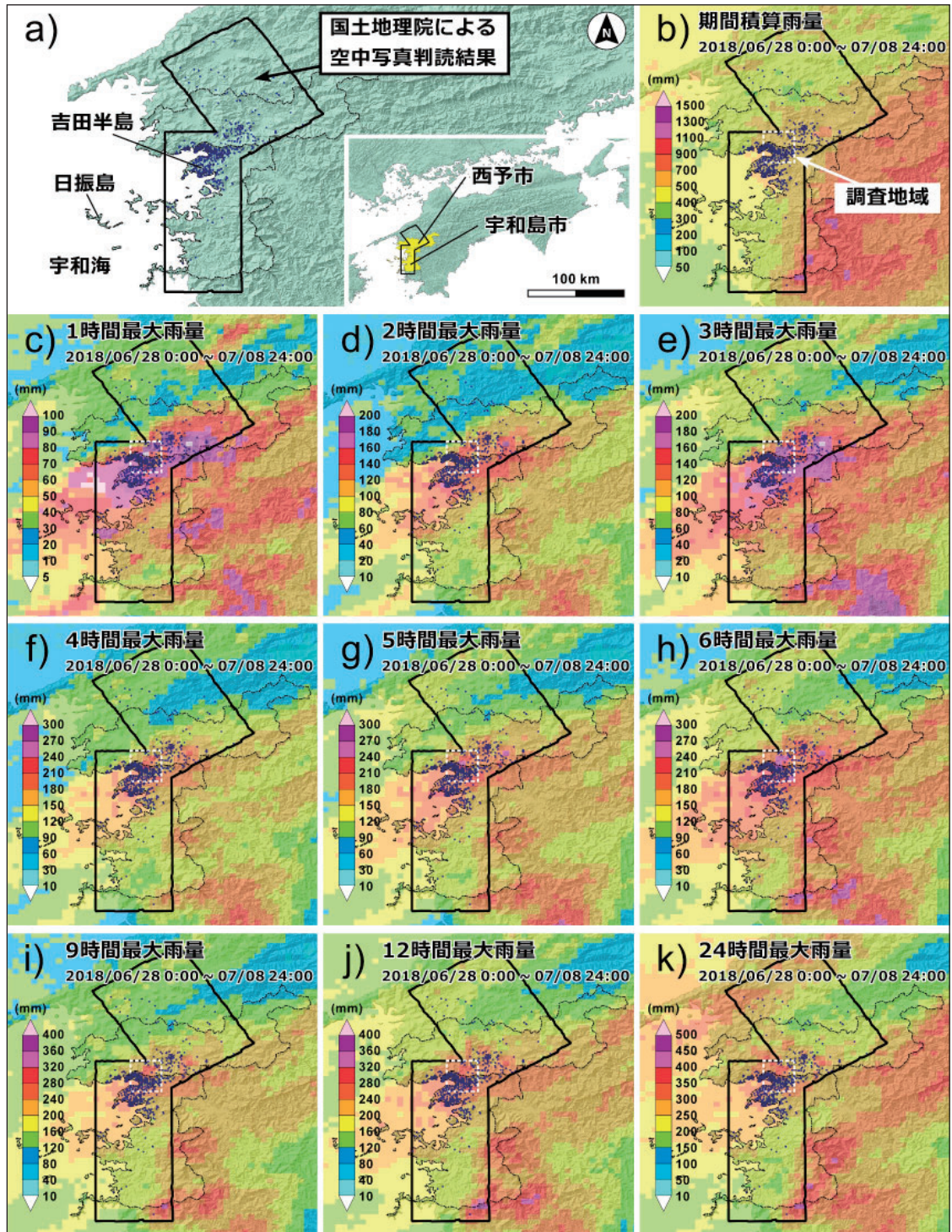


図1 愛媛県南西部における平成30年7月豪雨の雨量分布
 Fig. 1 Rainfall distributions of the heavy rain event of July 2018 in the southwestern part of Ehime Prefecture.

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. 調査地域

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。

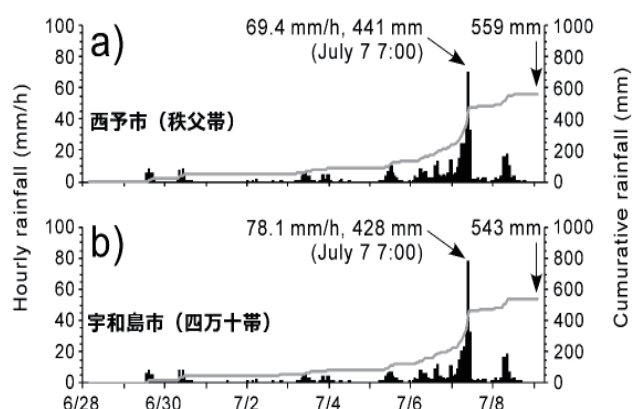


図 2 調査地域における降雨時刻歴(2018 年 6 月 28 日～7 月 8 日の気象庁解析雨量データをもとに算出した西予市と宇和島市の平均雨量)

Fig. 2 Rainfall time histories in the study area (averaged rainfalls in Seiyō 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)

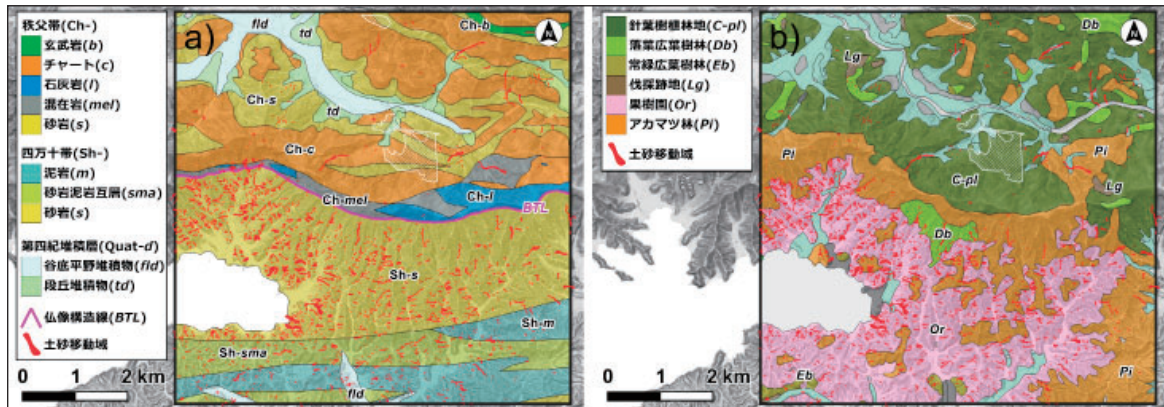


図3 調査地域における地質および植生の分布(図3aは産総研地質調査総合センター・20万分の1日本シームレス地質図V2を、図3bは環境省・1/25,000植生図をもとに作成)

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500～700m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2km北方で標高200mほどある宇和盆地に接するが、南面(四万十帯)は約2km南方の法花津湾に対して500～700m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100～200m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. 調査方法

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、溪流(河川)沿いに形成されたロープ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(°)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 ~ 2 m 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 ~ 4 m 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 1 km の標高約 480 m 地点)に位置しており、南部秩父帯—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 20 m、長さ約 60 m にわたって崩壊していた。崩壊土砂は溪床堆積物を洗掘しながら溪流沿いを 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 ~ 2 m 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 40 m、長さ約 90 m 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、崩壊土砂が溪流沿いを 450 m 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

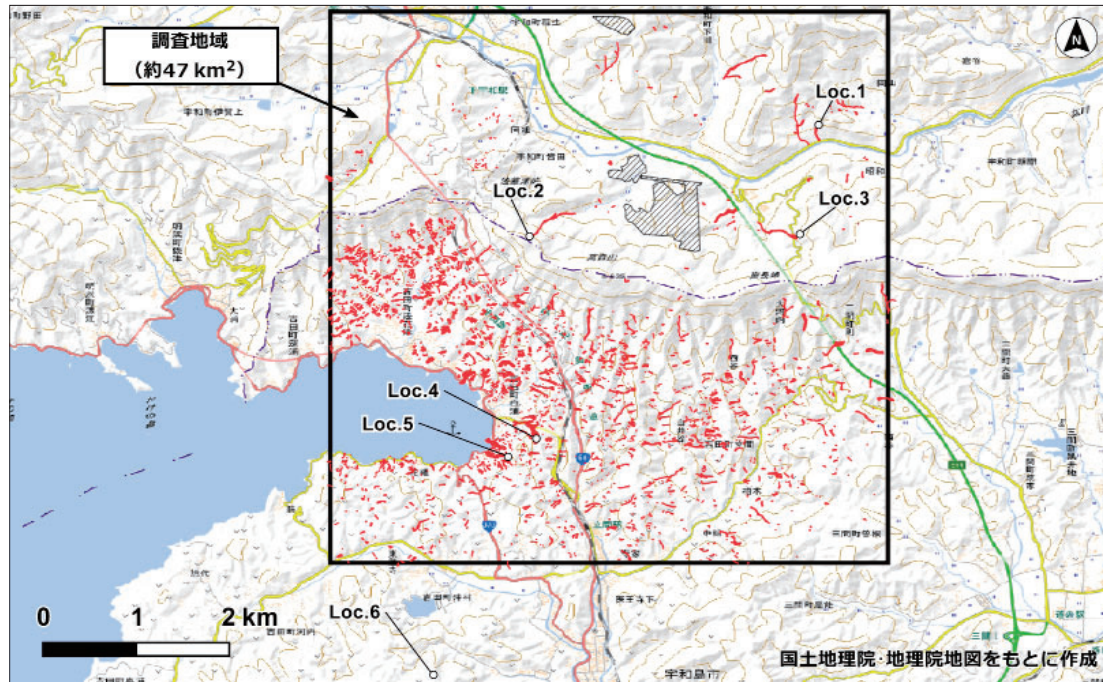


図4 斜面崩壊地の分布と現地調査地点の位置図(国土地理院・地理院地図をもとに作成)
 Fig. 4 Landslide distribution and localities of field observation sites (drawn based on 1:25,000 scale topographic maps of the Geospatial Information Authority of Japan).

層との境界)付近が細かく破碎されている(図5h)。こうした破碎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-佐伯垂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-佐伯垂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-佐伯垂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5 西予市内の土砂災害発生箇所の様子
Fig. 5 Field views of the sediment disaster sites in Seiyō city.

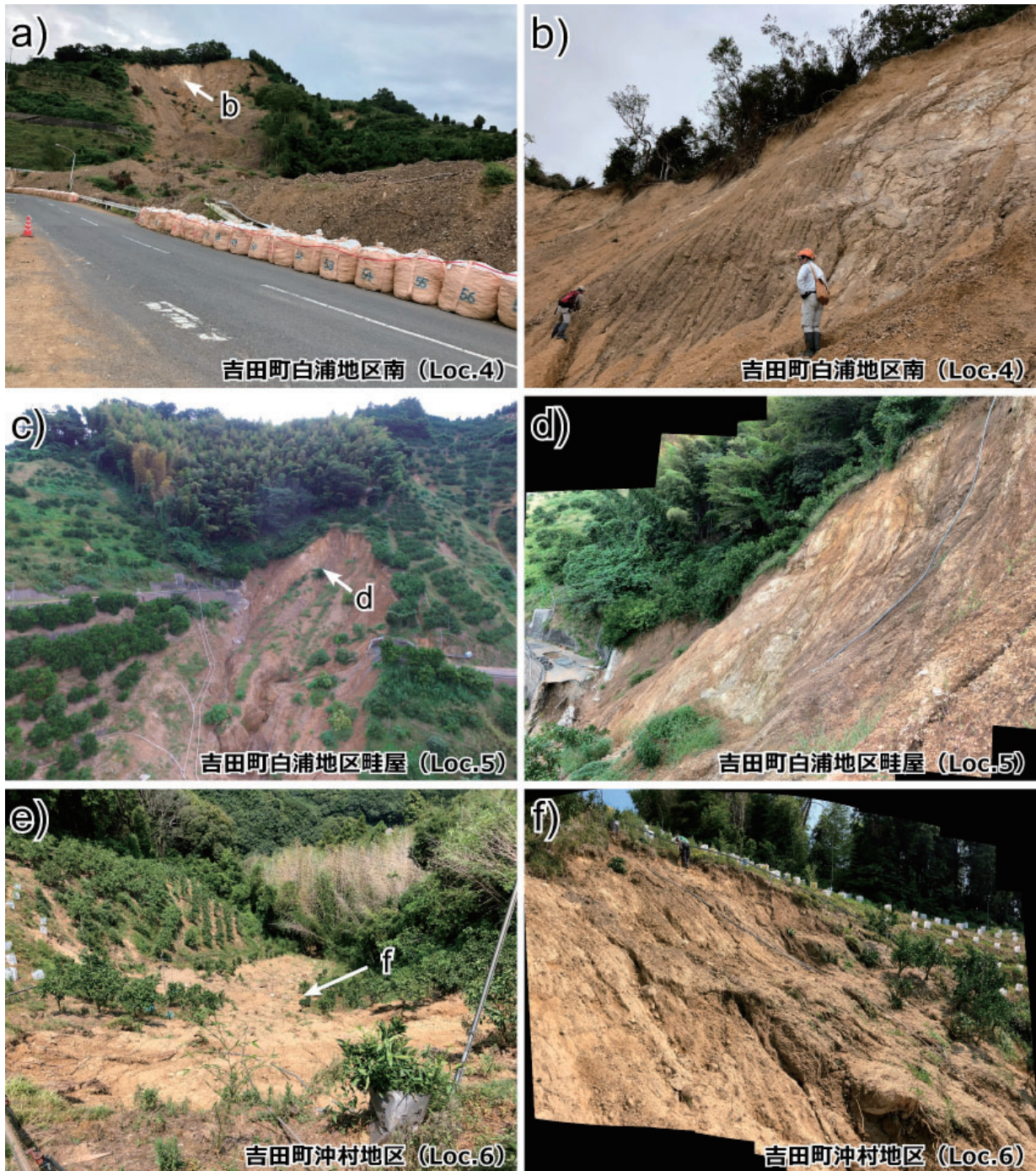


図6 宇和島市内の土砂災害発生箇所の様子
 Fig. 6 Field views of the sediment disaster sites in Uwajima city.

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。このうち201箇所(総面積93,490 m²)が秩父帯、2,227箇所(総面積712,590 m²)が四万十帯、残りの25箇所(総面積4,840 m²)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った。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・

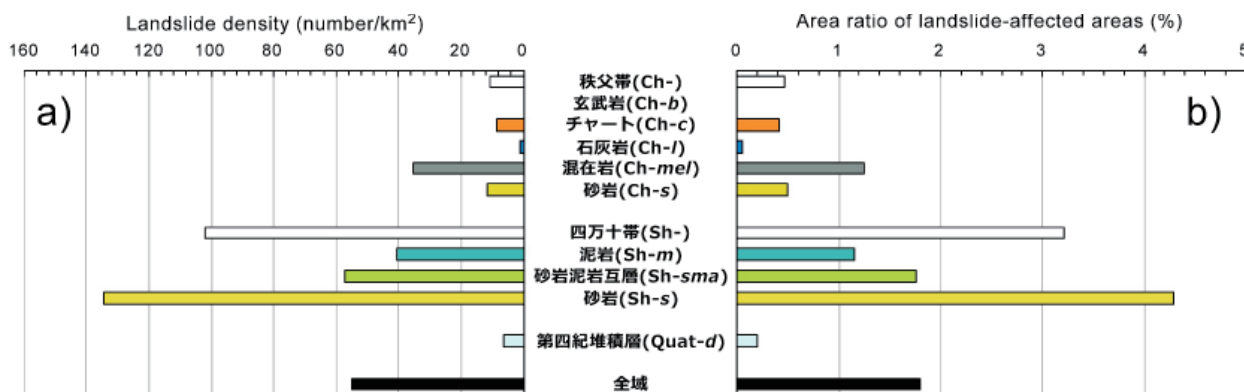


図7 地質区分ごとの崩壊地の分布密度と崩壊面積率
 Fig. 7 Landslide density and area ratio of landslide-affected area for each geological unit.

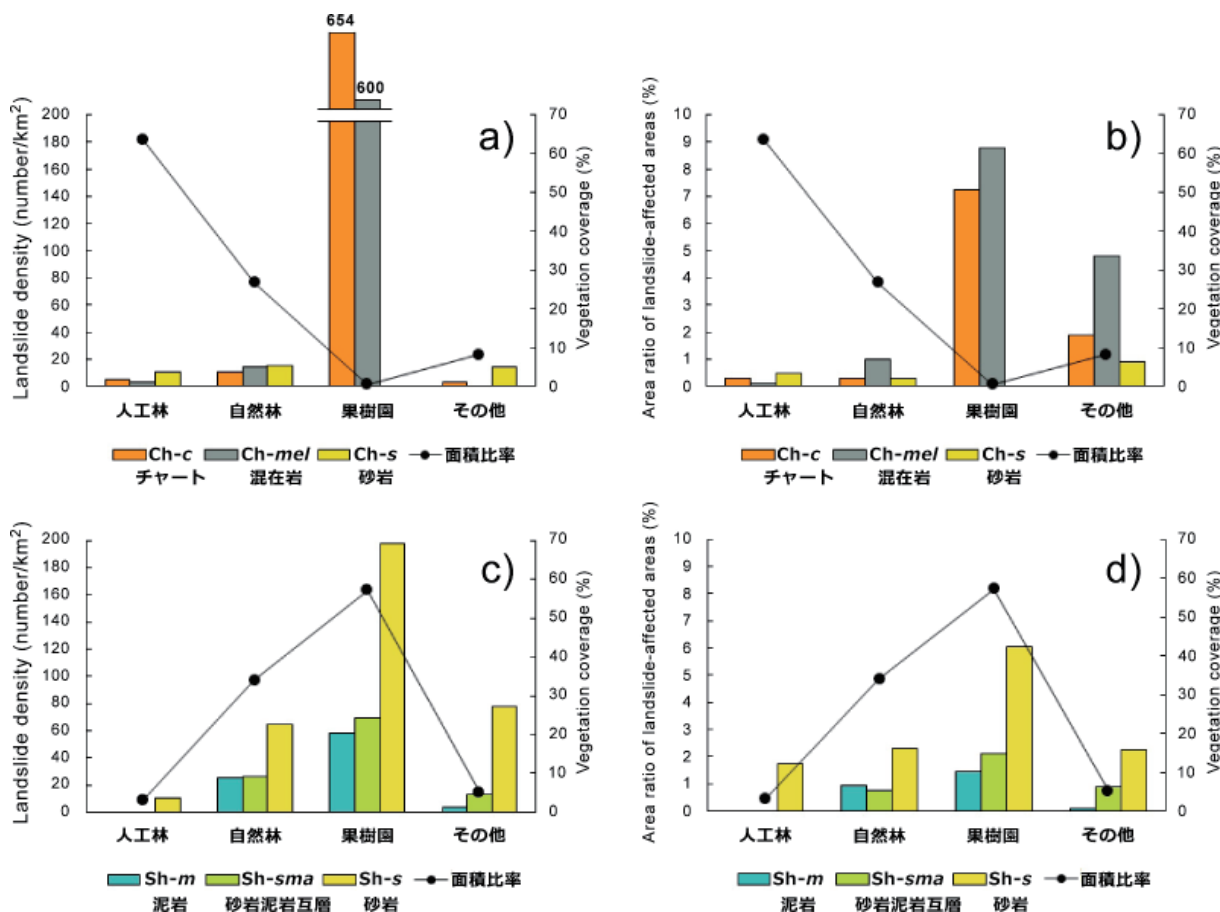


図8 植生区分ごとの崩壊地の分布密度と崩壊面積率(図8a, b: 秩父帯, 図8c, d: 四万十帯)
 Fig. 8 Landslide density and area ratio of landslide-affected area for each vegetation unit (Fig. 8a, b: Chichibu Belt, Fig. 8c, d: Shimanto Belt).

砂岩泥岩互層・砂岩の6つにおいて、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、著しく破碎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 100 m² 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 1,000 m² 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、

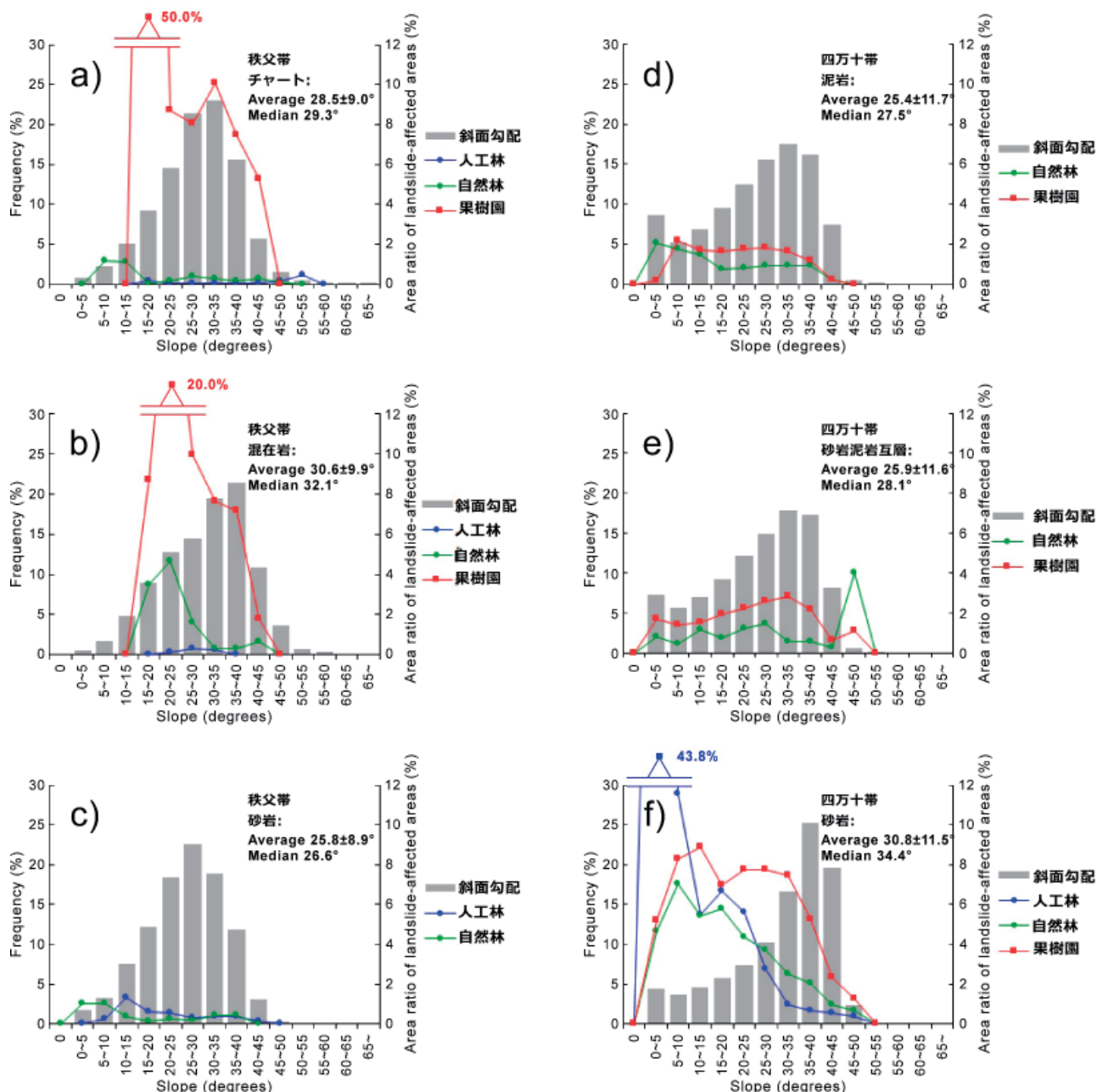


図9 地質区分ごとの斜面勾配頻度分布と斜面勾配による崩壊面積率の変化(図9a~c: 秩父帯, 図9d~f: 四万十帯)
 Fig. 9 Frequency distribution of slope gradient for each geological unit and changes in area ratio of landslide-affected area along the slope gradient (Fig. 9a~c: Chichibu Belt, Fig 9d~f: Shimanto Belt).

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るものと対応する。したがって、今回崩壊が発生した箇所周辺においても、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は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

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 50 mm 以上かつ 6 時間最大 180 mm 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

- 1) 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>, 2019.3.15)
- 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.FileDownload?file=00P0K000018IkdkUAS>, 2019.3.15)
- 3) 波田重熙・秀敬・石田啓祐・岩崎正夫・鹿島愛彦・小玉一人・杳掛俊夫・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) 海堀正博・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・地頭菌隆・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_07gou_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垂系層序—大型化石と放散虫化石の層序の分布に関して—, 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