

愛媛県宇和島市周辺における岩盤崩壊の発生場

山崎 新太郎

京都大学防災研究所徳島地すべり観測所 (〒778-0020 徳島県三好市池田町津藤ノ井 492-1)

E-mail:yamasaki.shintaro.3m@kyoto-u.ac.jp

西日本全域に被害をもたらした「平成 30 年 7 月豪雨」は宇和島市および西予市の法華津湾周辺において岩盤崩壊を多発させた。本報告では岩盤崩壊の特徴を報告する。岩盤崩壊は低起伏の地形上で発生し比較的小規模であった。滑落崖はいずれも風化が認められ、斜面を切断する分離面と高密度の亀裂があった。さらに脆弱な鉱物脈と断層による破碎も認められた。これらの特徴のために岩盤崩壊が発生した斜面では微視的にも巨視的にも強度が低下していた。さらに、低強度の岩盤では重力変形が進行し、大量の降水の流入経路が崩壊前に斜面に形成されていたと考えられる。岩盤崩壊の危険性の予測のためには、斜面内部の風化状態とその範囲を評価することが重要である。また、岩盤風化の観点から斜面の危険性を評価する方法の開発も必要である。

Key Words: rock mass failure, landslide, sandstone, weathering, Shimanto belt

1. はじめに

平成 30 年 6 月 28 日から 7 月 8 日にかけて西日本全域に被害をもたらした台風 7 号及び梅雨前線による「平成 30 年 7 月豪雨」¹⁾は四国地方においても大きな被害をもたらした。この雨による斜面崩壊、そしてそれに伴う災害は、四国北部瀬戸内海側、四国山地中央部などを含めて四国各地で発生しているが、本報告で取り上げる四国西南部の宇和島市周辺は他地域と比較して特に斜面崩壊が集中して発生し、被害も甚大であったために注目を集めた。

尚、降雨状況は四国地方では 7 月 5 日から 8 日にかけて降雨が集中し、7 月 5 日 00 時～8 日 24 時までの総降雨量は高知県香美市繁藤で 984 mm に達するなど、四国山地中央部での降雨がこの期間中も最大であった。一方で、宇和島市周辺の総降雨量は西予市宇和観測点で 539.5 mm、宇和島市宇和島観測点で 374.0 mm (欠測を含む)

となっており²⁾、最大の四国山地中央部と比較すると半分程度であった(図 1)。

この宇和島市周辺では、特に柑橘類を中心とする果樹園を中心に表層崩壊も多発しているが、本報告では宇和島市周辺、特に岩盤崩壊が多発した宇和島市吉田町および西予市明浜町が位置する法華津湾周辺の岩盤崩壊に注目してその発生場の地質状況を中心に報告する。

尚、本報告中の「岩盤崩壊」とは斜面下の岩盤中の地質構造に起因すると考えられる崩壊であり、概ね崩壊深が 3 m 以上のものである。当地域で発生した表層崩壊はその崩壊深度が 1 m 未満であり岩盤崩壊とは明確に区分可能である。この「岩盤崩壊」は「深層崩壊」^{3,4)}と呼ぶことも可能と考えられるが、調査対象地域の「岩盤崩壊」を「深層崩壊」の典型例とされる 2011 年の台風 12 号によって紀伊半島各地で発生した事例と比較した場合、その規模は明らかに小さい。そのため本呼称を用いた。

筆者は災害直後に宇和島市周辺を訪れて調査を行って



図-1 調査範囲、気象観測点の位置および四国南西部の仏像構造線周辺における地質と地形

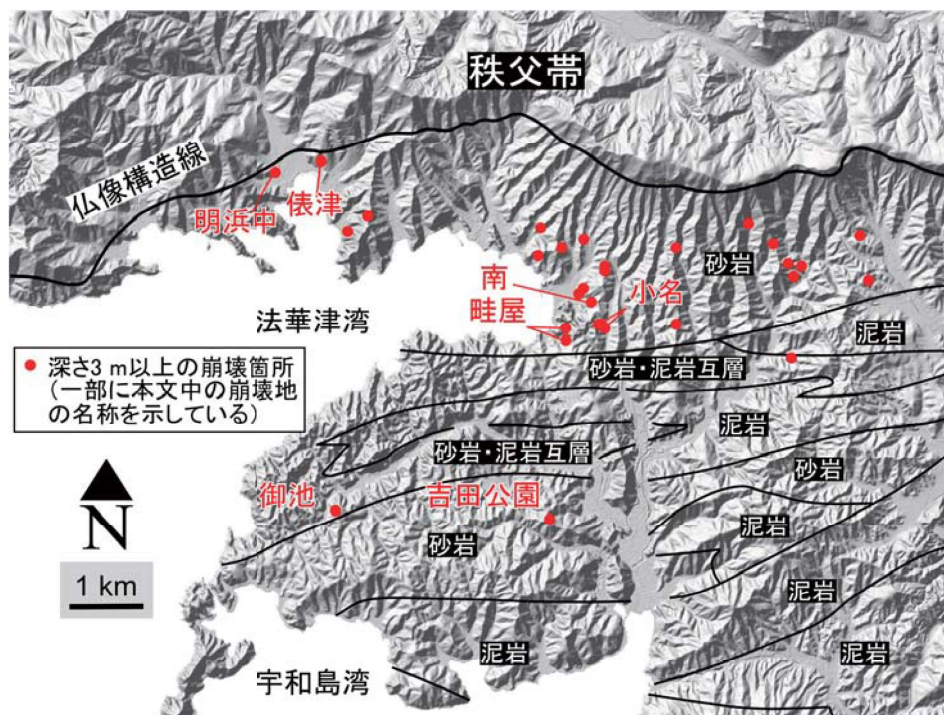


図-2 調査範囲における岩盤崩壊の分布と 20 万分の 1 シームレス地質図 V2¹⁾に記載された岩相の分布

おり、別に報告⁹⁾しているのでそれも参照頂きたい。

とされる⁹⁾。また当地域の地質構造は頻繁に層理面の姿勢が変化し、連続性に乏しい場合が多い。

2. 地質・地形概要

岩盤崩壊が多発した法華津湾周辺地域は四国西方の宇和海に面する地域であり、典型的なリアス式海岸が発達する地域にある。法華津湾沿岸から北に約 2 km に標高 500-600 m の東西に伸びる山稜があり、これに沿って、ジュラ紀付加コンプレックスである秩父帯（三宝山帯）と白亜紀付加コンプレックスである四十万帯北帯を区分する大規模な衝上断層である仏像構造線が位置する⁹⁾。さらに法華津湾と宇和島湾に南北に挟まれて吉田半島があり、法華津湾周辺および吉田半島周辺は砂岩、泥岩、およびそれらの互層が分布する^{7,8)}（図-2）。寺岡ほか⁹⁾や君波の記述⁹⁾によれば、法華津湾周辺には砂岩と泥岩が分布し、ローモンタイトー方解石ー石英の網静脈を伴うとされる。後述する南の崩壊地近傍（吉田町白浦）で筆者らが採取した岩石にも多量の脆い白色鉱物脈が認められた（図-3）。筆者の鏡下観察および、山形大学の八木浩司氏およびパシフィックコンサルタンツの松澤真氏の分析結果も総合すると白色鉱物脈の大部分はローモンタイトである。ローモンタイト脈は網状にほぼランダムに岩石中に分布しており、地下深部で破碎されて形成された間隙中にその微細結晶が析出したものと考えられる（図-3B）。ローモンタイト脈は岩石の強度を低下させており、脈に沿って岩石が手で割れる場合が頻繁にあった。なお、ローモンタイトは沸石の一種（和名：濁沸石）であり、脱水による体積変化や粉末化の著しい鉱物

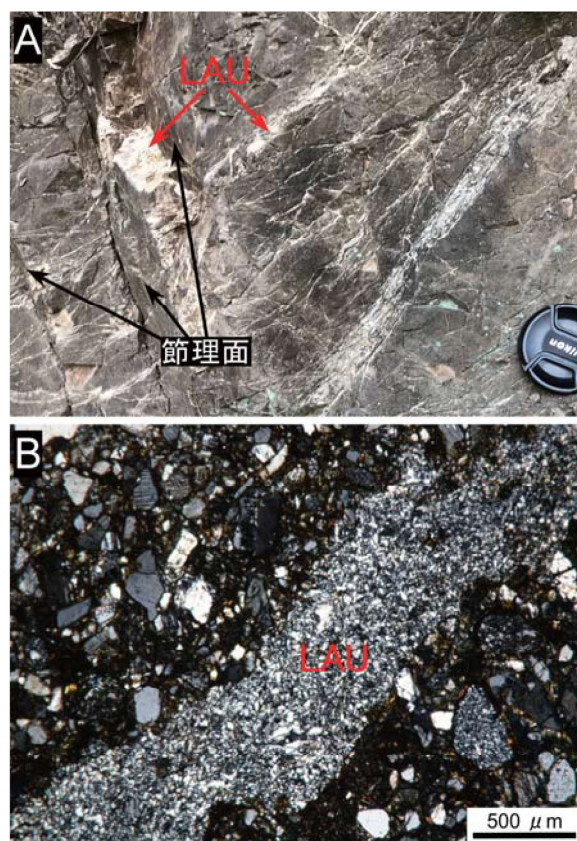


図-3 (A) 吉田町白浦におけるローモンタイト脈とそれらを切断する節理面を示す露頭、レンズキャップの径は 7.5 cm (B) ローモンタイト脈 (LAU) とそれを含む砂岩の薄片写真（クロスニコル）

法華津湾周辺から吉田半島の北側の大部分を含む地域は、秩父帯分布域や仏像構造線から南に大きく離れた四万十帯の他地域に比べて起伏の小さい地域である。このような相対的に低起伏な地形を持つ地域は一部不連続ではあるものの四国を東西に横断して、南北に 2-5 km の幅で分布している（図-1）。また、法華津湾周辺と同様に仏像構造線南側には、それに接して砂岩層が広く分布し、ローモンタイト脈が頻出する。君波ほかの記述⁹⁾によれば、仏像構造線付近で四万十帯を構成する高知県津野町周辺の新莊川層群新土居層や徳島県那賀町周辺の成瀬層にもローモンタイト脈を含む岩相が確認されている。これらの岩相と低起伏地域との直接的な関係は未確認であるが、低起伏地域は共通するプロセスで形成されている可能性があり、今後検討が必要であろう。

3. 崩壊発生場の分布

宇和島市及び西予市南部を含む図-2 の図示範囲における岩盤崩壊の発生数は、仏像構造線のすぐ南側から法華津湾周辺に特に多い。秩父帯では筆者の实地踏査では十分確認できていないが、国土地理院が提供する地理院地図から閲覧可能な空撮写真によると、秩父帯側では崩壊の分布は散発的で発生数が明らかに少ない。また、法華津湾から南側に離れ、吉田半島の中央部では表層崩壊は多いものの岩盤崩壊は少ない。表層崩壊の発生の有無に関しては植生の影響も十分あると考えられるため、

岩盤崩壊とは分けて考える必要があるが、少なくとも吉田半島全域で広く表層崩壊をもたらす降雨があったことは確実である。それにも関わらず岩盤崩壊が法華津湾周辺に集中している。これには、降雨が局所的に集中していた可能性と特異な岩盤崩壊を発生させやすい地質・地形条件があった可能性の2つが考えられる。後者に関しては比較検討可能な十分な論拠があるとはいいがたいが、前者の降雨に関しては、仏像構造線に平行な標高 500-600 m の山地が法華津湾周辺に地形性降雨をもたらしていた可能性がある。実際に、7月5日から8日に亘って南西から北東に線状降水帯が分布していた状況が確認されており²⁾、広域的には山地の南斜面で大きな降雨が生じていた。また宇和島市周辺では北向き斜面に崩壊が少ないという指摘¹⁰⁾もある。しかし、秩父帯に属する宇和観測点の東西の山地の南斜面も同様に地形性降雨が生じていると思われるが崩壊の分布密度は法華津湾に比べて小さいため、法華津湾周辺が岩盤崩壊を起こしやすい地質・地形条件を備えていた可能性も十分考えられる。

4. 岩盤崩壊発生場の特徴

表1に筆者が調査を行った岩盤崩壊の例を示す。この表に挙げた例は平成30年7月豪雨で発生した法華津湾および吉田半島の周辺の全岩盤崩壊において、それらの最大幅の第1～3位を含んでいる。さらに残りの崩壊地は筆者によって十分な調査が行えた場所である。

表-1 筆者が調査を行った岩盤崩壊の例とそれらの調査結果

箇所名		俵津	明浜中	小名（西）	小名（東）	南	畦屋（北）	畦屋（南）	御池	吉田公園
主要地質		砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	泥岩
最大幅（m）		8	47	35	18	68	39	36	22	81
最大崩壊深（m）		6	10以上	3	3	15以上	10以上	5	3	15以上
最大落下距離（m）		17	27	26	27	115	61以上	53	70	164
地形		尾根	尾根	平滑	平滑	浅い谷	谷	浅い谷	平滑	谷
層理面と斜面の姿勢		流れ盤	流れ盤	受け盤？	受け盤	流れ盤？	直立	流れ盤	受け盤	流れ盤
風化状況		風化	風化	強風化	強風化	風化	強風化	強風化	風化	風化
その他特徴	高密度割れ目	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ローモンタイト脈					○	○	○		
	斜面を縦断・横断する大規模分離面	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	断層の関連する変形および断層物質	○	△		○			○		
	重力変形による座屈			○			○			○
備考		表層崩壊も伴うが計測値は岩盤崩壊部分のみ、地層が層面すべり断層で変形	滑落崖を断層ガウジを伴う断層が切断（すべり面上では未発見）		断層の可能性がある分離面が存在（暗色物質脈の付着）	崩壊後に泥流化	崩壊後に泥流化して堆積物が海底に到達し、大被害が生じた	断層の可能性がある分離面が存在（暗色物質脈の付着）	表層崩壊も伴うが、計測値は岩盤崩壊部分のみ	



図-4 岩盤崩壊の例と大規模分離面



図-5 吉田町畦屋（北）における泥流化した崩壊

岩盤崩壊の規模の点から見れば、泥岩地域では最大でも幅約 80 m、崩壊深 15 m 程度であり、落差は約 160 m である。また、砂岩地域では、最大で幅約 70 m、崩壊深 15 m であり、落差は 115 m である。これらの崩壊の大きさは崩壊した斜面のスケールによるものであり当地の低起伏の地形を反映したものであると思われる。

岩盤崩壊の発生場の地形としては谷地形である場合もあるが、尾根部や平滑な斜面で発生している場合も多くあった。また尾根の頂部と崩壊の頂点が近接しているか、崩壊が尾根と一緒に崩落している状況も認められた（図-4）。崩壊前の地形上に谷が認められない尾根地形の崩壊では、地形表面による降水の集中的な流入がほとん

んど起こらず、降水が直接岩盤内部に浸透したと考えられる。岩盤内部への降水の流入経路の存在が示唆される。

層理面と斜面の関係に関しては、流れ盤と受け盤いずれの斜面でも発生しているが、最大規模の吉田公園の崩壊等では泥岩中の層理面に沿って上方の岩盤がすべり、座屈変形が認められる状況もあった。一方で、砂岩地域では、多くの場合、幅数 m 以上の厚い単層を形成して存在しており、また層理面に沿ったすべりを観察箇所では識別することはできなかった。

風化状況に関しては、崩壊後に残された露頭では深部まで風化が及んでいる状況が観察できた。砂岩は白色系に変化、または黄褐色系に酸化している状況が頻繁に観察できた。風化は滑落崖や崩壊岩屑の強度低下ももたらしていたが、岩石の粒子が砂や泥にまで分離を起こす程度までの「強風化」の状態となっている崩壊堆積物も一部で認められた。特に吉田町畦屋や小名周辺の崩壊では、強風化した砂岩が崩壊後に泥流化したとみられ、畦屋（北）の崩壊では、下方の家屋を一掃して海底に到達した。その結果、多数の死傷者を発生させた（図-5）。

その他の特徴として、表 1 には、高密度割れ目の存在、ローモンタイト脈の存在、節理・断層などの斜面を縦断・横断する大規模分離面の存在、断層の関連する変形および断層ガウジなどの断層物質の存在、重力変形の結果として生じた座屈の存在の各点で整理した結果を示している。

高密度割れ目は当該地域の砂岩、泥岩のいずれにも観察でき、岩石中に数 cm 以下の間隔で存在する割れ目である。割れ目の姿勢に系統性が認められない場合も多いが、砂岩に板状の節理を形成している場合もあり、板状に分離した岩石が重力によって座屈変形している場合も認められた（図-6A）。

斜面を切断する大規模な分離面はいずれの岩盤崩壊でも認められ、鉛直方向に発達したものは岩盤崩壊の滑落崖となり（図-4）、分離面が斜面に斜行する場合はすべり面となっている場合もあった。この分離面の中には暗色の細粒の岩脈・または鉱物脈が付着している場合もあり（図-6B）、現時点では確認できていないが、これは断層物質の可能性もある。この暗色物質は断層ガウジや、断層による岩盤の変形と共に 3 箇所で見られている。また、分離面の中には岩盤崩壊の発生前に既に開口していたと考えられるものもあり、落下した有機物が起源と思われる亜炭によって充填されている場合もあった（図-6B）。

前述したローモンタイト脈は畦屋と南など法華津湾奥の崩壊の滑落崖や崩壊物質中に発見された。ただし、ローモンタイト脈は高密度割れ目やその他の節理、大規模分離面によって切断されている場合が多い（図-3）。

岩盤崩壊の共通点としては、表 1 に示すように、規模

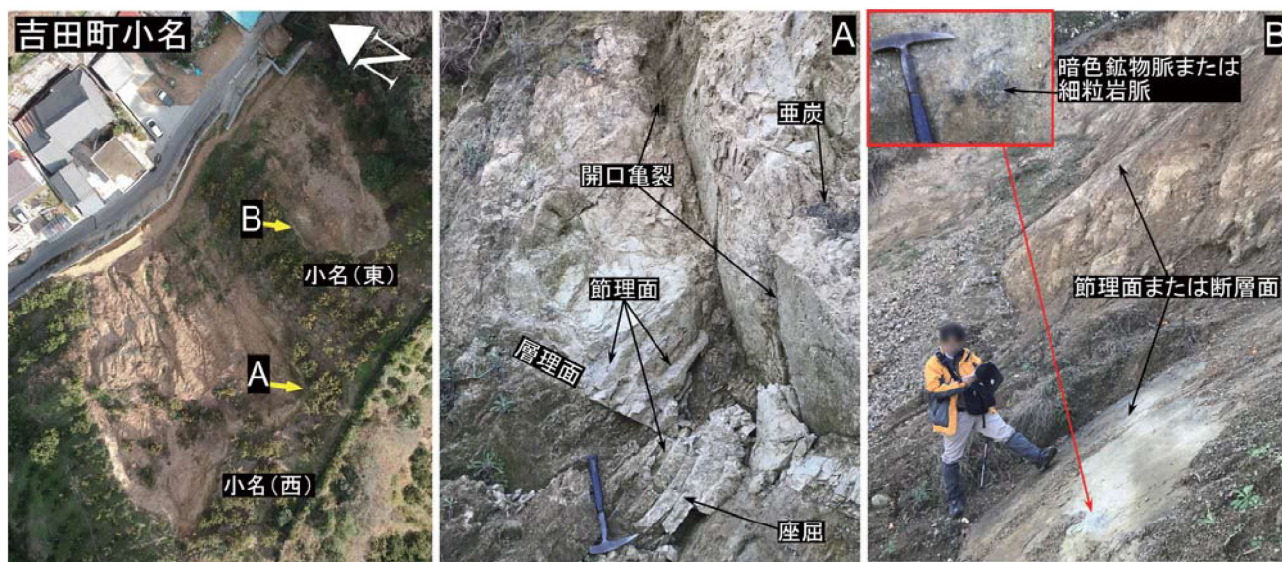


図-6 吉田町小名における小規模岩盤崩壊と崩壊地に出現した地質構造

が小さい，岩盤中に高密度に亀裂が存在する，風化している，斜面を切断する分離面が存在するなどが挙げられる。

5. まとめと今後の提言

平成 30 年 7 月豪雨によって宇和島市周辺には斜面崩壊が多発したが，岩盤崩壊は宇和島市吉田町および西予市明浜町のある法華津湾周辺に集中していた。この地域は四万十帯北帯に属する砂岩・泥岩の分布地域であった。地質調査の結果，当地域には斜面を縦断・横断する分離面が頻出し，それらが岩盤崩壊の滑落崖やすべり面を形成していた。滑落崖に露出した露頭には数 cm 間隔の高密度で亀裂が観察され，ローモントライトなどの脆弱鉱物脈を含む場合があった。そして断層などによる変形も認められた。そして，深部まで風化が進行していた。以上のために岩盤崩壊を発生させる前の斜面は，微視的にも巨視的にも強度が低下していたと考えられる。

強度が低下した斜面岩盤では，当地のように起伏が小さく比高差が小さい場合においても，重力変形によるゆるみが進行したと考えられる。その結果，分離面や亀裂は一層拡大して開口し大量の降水の流入経路が形成された。そして大量の降水の岩盤への浸透が崩壊を発生させたと考えられる。さらに，強く風化した砂岩の岩盤では，崩壊後に岩石が粒子化して泥流化し，高速で流下したことで被害が拡大した。岩盤の風化は岩盤崩壊の発生場を決定するだけで無く，被害を拡大させたと考えられる。

法華津湾周辺における岩盤崩壊とその危険性を予測する上において，以上に述べた岩盤崩壊の状況から考えられるのは，斜面内部の風化範囲とその程度を調査していれば，その危険性が予測できた可能性がある点と思われる。

亀裂や脆弱鉱物脈の存在は大気・水と岩石の反応による化学風化と密接に関連しており，さらに風化によって広範囲で岩盤強度が低下していた。滑落崖やすべり面を形成する斜面内部の大規模分離面の存在を直接予測することは困難であるが，大規模分離面はそれ自体によっても斜面深部までの風化を促進していると考えられ，風化範囲の予測は大規模分離面の頻出箇所の予測にもつながる可能性がある。

斜面内部の風化の範囲・強度の調査はボーリング調査および物理探査等によって現在でもある程度可能である。住宅に近接する斜面や過去に小規模な岩盤崩壊のあった地域を中心に，網羅的に斜面内部の風化状況を定性的・定量的に評価し，さらにその風化状態の評価を斜面と民家との距離，斜面の高さなどの評価と関連させて岩盤崩壊の危険性を評価する方法の開発が必要であろう。

低起伏の地域が四国に東西に带状に分布していることを述べたが，このような低起伏の地域は侵食抵抗性が比較的小さい地域と考えられる。すなわち，崩壊等の侵食イベントが頻発している可能性がある。実際に法華津湾周辺では過去の岩盤崩壊の痕跡が今回の崩壊の近傍に認められる場合もあった⁵⁾。これは岩盤崩壊が繰り返し発生していることを示唆している。同様の地質的特徴（岩相・風化特性）を持つ地域がないか，前述した「低起伏域」を中心に調査することも今後必要である。

謝辞

本研究においては，京都大学防災研究所における突発災害調査関わる研究経費および，科学研究費・特別研究促進費「平成 30 年 7 月豪雨による災害の総合研究（代表：山本晴彦）」の支援を受けた。また本報告は京都大学防災研究所の竹林洋史氏との共同研究の成果である。

有限会社風水土の永田秀尚氏，国際航業株式会社の廣田清治氏，徳島大学の西山賢一氏，山形大学の八木浩司氏には現地調査に同行して頂き現地で議論を行った。特に本報告の表1は永田氏の作成した表から着想を得て作成したものである。京都大学防災研究所の釜井俊孝氏，千木良雅弘氏，荒井紀之氏，パシフィックコンサルタンツ株式会社松澤真氏には参考写真やデータの提供，助言を頂いた。特に，千木良雅弘氏の航空調査結果¹⁰および写真データを活用させていただいた。また，徳島大学村田明広氏には四万十帯やローモンタイトの分布に関して助言を頂いた。以上の方々に感謝申し上げる次第です。

参考文献

- 1) 気象庁：平成30年7月豪雨について，http://www.jma.go.jp/jma/press/1807/09b/20180709_sankou.pdf，2018.2.9 閲覧。
- 2) 松山地方気象台：平成30年7月5日から8日にかけての梅雨前線による大雨について（愛媛県の気象速報）平成30年7月9日17時現在，<https://www.jma-net.go.jp/matsuyama/saigai/H30/sokuho20180709.pdf>，2018.2.9 閲覧。
- 3) 国土交通省：深層崩壊の特徴，<http://www.mlit.go.jp/common/001236414.pdf>，2018.2.9 閲覧。
- 4) 千木良雅弘：深層崩壊の場所の予測と今後の研究展開について，応用地質，56巻5号 pp.200-209, 2015.
- 5) 山崎新太郎：平成30年7月豪雨災害における愛媛県今治市伯方・大島地域および宇和島市吉田地域における斜面災害の調査速報，http://landslide.dpri.kyoto-u.ac.jp/report/2018/20180729_shikoku.pdf，2018.2.9 閲覧。
- 6) 日本地質学会「四国地方」編集委員会：日本地方地質誌7，四国地方，p.708，朝倉書店，2016.
- 7) 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，<https://gbank.gsj.jp/seamless/>，2018.2.9 閲覧。
- 8) 寺岡易司・池田幸雄・鹿島愛彦：地域地質研究報告，5万分の1地質図幅，宇和島地域の地質，地質調査所，1986.
- 9) 丸章夫・柳田力：岩石鉱物学・地質学的にみた骨材の選択，コンクリート工学，19巻11号，pp.85-89, 1981.
- 10) 千木良雅弘：2018年西日本豪雨災害による斜面崩壊について，http://www.slope.dpri.kyoto-u.ac.jp/disaster_reports/20180706W-Japan/20180722_w_japan.pdf，2018.2.9 閲覧。

GEOLOGIC CHARACTERISTICS OF ROCK MASS FAILURES CAUSED BY THE HEAVY RAIN EVENT OF JULY 2018 IN UWAJIMA, EHIME

Shintaro YAMASAKI

The heavy rain event of July 2018 caused many rock mass failures around Hokezu bay area in Uwajima city and Seiyō city, Ehime. This paper reports geologic characteristics of those failures. The rock mass failures are relatively small, because they occur on relatively low relief topography. The scarps of failures are weathered, and have dense cracks and separating planes cutting slope or mountain flanks. Webby weak mineral veins and fault fractures are found at some failure sites. These characteristics have lowered strength of the rock mass microscopically and macroscopically in the area. Because of the low strength, gravitational deformation probably proceeds in small slope, and it forms flow path to penetrate with abundant rain water in the slope before collapse. To evaluate the dangerousness of rock mass failure, evaluating condition and extent of rock weathering inside slope is important. It is necessary to develop the methodology to evaluate the slope dangerousness from the view point of rock weathering.