■2004年台風21号による豪雨で発生した宮川上流大杉峡谷での岩盤斜面崩壊

Rockslides and a landslide dam induced by heavy rain of typhoon Meari (T0421), upstream of Miyagawa Valley, Mie Prefecture, Japan

永田秀尚* Hidehisa NAGATA／有限会社風水土 Fu Sui Do Co., Ltd.

沼本晋也 Shinya NUMAMOTO／三重大学 Mie University

柏木健司 Kenji KASHIWAGI／富山大学 University of Toyama

飯沼達夫 Tatsuo IINUMA／日本工営株式会社 Nippon Koei Co., Ltd.

キーワード：2004年台風21号，豪雨，崩壊，河道閉塞，宮川

Key words：Typhoon Meari (No. 0421), heavy rain, rapid landslide, landslide damming, Miyagawa River

1. はじめに

2004年台風21号は三重県中南部に短時間で多量の降雨をもたらし、一級河川宮川流域を中心に洪水・土石流・地すべり・斜面崩壊が多発し、死傷者を伴う災害となった。これらについての記録・研究はさまざまな観点からすすめられている^{1)~14)}。災害が主要な居住地のある宮川ダムより下流域で発生したことや、災害直後は林道などの寸断で調査が困難だったこともあり、上記の研究では宮川上流域までを十分カバーしていない。しかし、永田ほか⁷⁾で示されたように、ランドスライド（広義の地すべり）は上流域においても多数発生している。飯沼ほか¹⁵⁾は、空中写真判読によって、上流域大杉谷で発生したランドスライドとそれとともなう天然ダムの存在を予察的に報告しているが、大杉谷沿いの登山道は現在も閉鎖されており、現地での確認を困難にしていた。筆者らは、2006年11月および2008年5月に、許可を得て現地調査をおこなう機会を得たので、光滝下流における河道閉塞をとともなう岩盤斜面崩壊（図-1）の調査結果について報告する。

2. 2004年台風21号による豪雨

台風21号の接近にともない三重県では9月29日未明から激しい雨が降り始め、宮川ダム（三重県観測点）で最大時間雨量114mm（29日9時～10時）、連続雨量930mmを観測し、時間雨量50mm超の強雨が7時から12時まで連続した。この豪雨は、台風接近にともなう南東方向から湿った風が東紀州地域の山塊に吹き込み続け、短時間で記録的な降水量に至ったことが特徴である。大杉谷より海側となる海山町・紀伊長島町（ともに現在紀北町）の山地部でもそれぞれ時間雨量150mmに達した^{1),11)}。

3. 周辺の地形・地質

宮川上流域はジュラ紀から白亜紀にかけて形成された

付加複合体である秩父累帯から構成されている。崩壊地周辺はチャート、砂岩、砂岩泥岩互層の破断相ないし分断相からなり、大和大峰研究グループ¹⁶⁾の黒石コンプレックスに相当する。大杉谷付近の地層は、熱変成を受けて黒雲母が形成されている。地質構造は、広域的には緩い北傾斜を示すとされる¹⁶⁾が、崩壊地付近では南北走向に近く、30°～40°西傾斜の層理面が見られる。また崩壊地付近では、東西方向で垂直に近い節理面が卓越している。このほか低角度の節理面や、北東-南西方向の小断層面が確認された。前者は両岸で川側に傾斜しており、鉱物脈を介在しない節理であることから、地表面にほぼ平行に形成されたシーティング節理であると考えられる。

図-1 位置図 国土地理院1/2.5万地形図「大杉峡谷」の一部を使用

* 連絡著者／corresponding author
〒474-0022 大府市若草町1-594
1-594, Wakakusa-cho, Obu, Aichi Prefecture, 474-0022, Japan

図－2 崩壊地全景 2006年11月5日撮影。手前側がせき止められた宮川本流。

宮川は、標高1,200～1,600mにある小起伏面（大台ヶ原に相当する）を下刻して北方に流下している。チャートや砂岩のような硬質な岩石を開析しているために、谷壁は急であり、また本支流に多数の滝が形成されている。

4. 岩盤斜面崩壊

4.1 位置

発生した崩壊の位置（北緯34°12′17.5″，東経136°09′04″）は光滝の下流約250m，傾斜約45度の右岸（西向き）斜面である（図－1）。右岸斜面は北北西－南南東方向に延びる尾根の西側に相当するが，この主尾根から派生し，宮川本流に直交する東西方向の支尾根の南側斜面が崩壊した。今回の崩壊発生域の直上には，支尾根に鞍部が存在する（図－2）。

4.2 発生域

推定される発生域は幅50m，斜面長100m，最大厚さ20mの範囲で，崩壊体積を概算すると50,000m³，あるいはそれ以上と見られる（既存報告^{6), 13)}を修正）。

発生域の地形はやや複雑である（図－2・3）。目立つのは最大高さ40mに達する北側の崖Aである。崖面Aにはその上部に色調の変化を示す線が見られ，これより上部は崩壊前からの崖面であったことがわかる（図－4 a）。新しい崖との境界付近はオーバーハングしている。この崖の南側に今回の崩壊から残った島状の岩体があり，崖Aとの間の谷上部には，今回の崩壊で西向きの崖Bを生じた。この岩体は北西面が高さ15m程度の崖Dとなっているほか，北面も崖Aに平行な崖Cとなっている。島状岩体は北東－南西方向に延び，南向きにも崖Eが形成されている。崖面はいずれもほとんどが風化した面となっており，また崖面に見られる亀裂はいずれにおいて

もしばしば開口している。

崖面A・Cは，崩壊地付近で卓越する西北西－東南東走向ほぼ垂直の節理面に相当する。崖面Dもおそらく節理面などの地質的な不連続面に相当する。崖面Dの上部も地表面であった可能性がある。

すべり面は確認できないが，発生域上部の堆積物は薄いものとみられ，断面図からは45°前後で川側に傾斜する面が想定される。崖面Cには，その方向性や性状からシーティング節理と考えられる流れ目の開口節理が認められる（図－4 b）。

崖で確認される岩石はすべて砂岩泥岩互層の破断相ないし分断相であるが，河床に面する崩壊岩塊はほとんどチャートから構成されている。したがって，発生域は現在認められないチャートの分布域まで及んでいたものと考えられる。

4.3 移動・堆積域

崩壊堆積物は南北方向に200mにわたって分布する。河床部付近では確認される限りチャート岩塊からなっており，風化をともなう節理面に囲まれたブロック状である。その最大径は12mを越える。大径の岩塊は下部に多い。また，中央から南よりの堆積物中に立木が含まれる割合が高い。植生が着いたもとの地表面がほぼ垂直に傾斜して南向きを示す岩塊が見られる（図－4 c）。崖A直下には浅い谷が形成され，これは北向きに方向を変えて宮川本流に向かっている（図－4 d）。本流下流側の堆積物は，ほぼ崖Aの延長上の位置に遷急線を持ち，その下流50～70mの位置に，末端崖の下端に相当する遷緩線がある。崩壊による岩塊はさらに本流の流路に沿って30～40m下流まで達している。

島状岩体の尾根上には植生が残っているが，頂部には

図-3 崩壊地の平面・断面図 携帯型のレーザー測距計による簡易測量に基づく。

岩塊も散在している。この岩体の南東側にも、尾根上の鞍部に続く小さな谷に沿って岩塊が堆積している。

堆積物のひろがりはおよそ15,000m²にわたる。堆積物の厚さをどのように見込むかにもよるが、岩盤から堆積物へ変化する際の体積膨張を考慮しても、発生域の地形から推定される50,000m³という崩壊体積は小さめの見積かもしれない。

移動体は宮川の対岸（左岸）に達し、河道を閉塞している。さらに、左岸の岩盤の一部には表層の剥落が認められ、これは衝突痕と推定される。

5. 地すべりダムとせき止め堆積物

この崩壊堆積物によって宮川本流をせき止める地すべりダムが形成された。その幅は30～50m、高さはせき止めによる堆積物の下流端付近で20m、流路方向の延長は約100mの規模である。上流側は速やかに土砂で埋積されたものと考えられ、湛水は確認されていない。せき止めによる堆積物は径20cm程度までの礫が主である。堆積域は地すべりダムから約150m上流までで、せき止められた土砂量は50,000m³と見積もられる。堆積域のほぼ上流端に近い箇所、現在の河床（旧河床よりわずかに高い程度）から約7mの高さまで洪水が達した痕跡（樹皮の剥がれや樹幹からみついた浮遊物、図-4e）が認められる。また、堆積物も現河床から比高5mの位置まで分布する。

2006年11月の調査時には、せき止め堆積物の分布域に

流水は認められず、堆積物上流端付近で伏没し、崩壊堆積物の下流端付近から湧出した状態となっていた。2008年5月の調査時には、ダム直上流を中心に前回調査時より堆積面が低下していた。これは、地すべりダムの「堤体」が空隙に富むために、せき止め堆積物が下流側に吸い出されつつあることを示している。

6. 検討

6.1 崩壊の機構および運動

6.1.1 崩壊発生域における岩盤ゆるみおよび転倒

崩壊発生域を含む支尾根では全体的に亀裂の開口や岩塊の重力的な変形を主とした岩盤の劣化、いわゆる「ゆるみ」が生じているものと推定される。それは、主尾根との間に鞍部が認められること、崖面A・C・Dやそれらに連続する岩盤において開口亀裂が認められること（図-4a, 4b, 下流の岩盤状況は図-4f）から示される。

崖面Aに代表される東西系高角度の節理面はほぼ鉛直ないし北側へ80°程度までの傾斜をもつ。しかし、島状岩体の崖Dで観察される東西系高角度の節理面はこれより低角度の北傾斜となっており、かつ上部ほど開口度が大きい（図-4a）。このことは、この山体が南側に向かって転倒していることを示す。節理面方位の測定値からみて、おそらく10°から15°程度の転倒であろう。崖B付近では、転倒がさらに進行している（図-4g）。

この転倒運動は崩壊の発生前から長期的に進行していたものとみられる。それは開口亀裂に植物が侵入してい

図－4 崩壊地の写真

a) 発生域上端付近。崖面Aと崖面Cが見える。b) 崖面Cの基部に見られる流れ目の開口亀裂（矢印）。c) 崩壊堆積物中に見られる地表面の痕跡。矢印がもともとの上向き方向 d) 崩壊の下流端付近から見た全景。e) せき止め堆積物の上流端付近。△印まで樹皮が剥がれている。f) 崩壊堆積物下流端付近の宮川右岸。亀裂の開口が顕著。g) 崖面Bで見られる転倒。h) 崖面Aに見られる擦痕。

ることから推定される。一方、本来直立していたであろう樹幹が、転倒方向と調和的に傾倒していることや、上部に残る岩塊の一部に南向きの旧地表面が残されていること（図-4c）から、崩壊時にも転倒が進行したことは確かである。岩塊の転倒の程度は樹幹のそれより大きい。

6.1.2 崖面における擦痕の解析

崖面A・Cには線構造が観察される。この線構造は鋭角な断面を持つ深さ1mm程度までの溝で、多数が平行に配列している。このような形状とその新鮮さ、および、崩壊地外では東西性高角度を示す同系統の節理面上にこのような構造が発達していないという点から、この線構造は、今回の崩壊の結果生じた擦痕であると考えられる。擦痕はその傾斜から次の2つの群に区別される。すなわち、 α 群) 70°前後の急傾斜の落としを持つもの。幅が狭く、相対的に短い多数の擦痕が主である。 β 群) 45°前後の落としを持つもの。1cm程度までの幅広い、相対的に長い(10cmをこえる)擦痕が多い、である(図-5)。幅の広い擦痕は α 群にも認められ、それに沿う岩石の粉碎をとまなう。両者の中間的な傾斜を示す擦痕はほとんど観察されないこと、擦痕どうしの切断関係からみて α 群→ β 群の順に形成されたことが明らかである(図-4h)。 α 群の擦痕にともなう認められる破面模様(リブマーク)の方向性から、破壊が上から下へ進展したことが示される。崖面A上には、特に下部で顕著に α ・ β 両群の擦痕が見られるが、その反対側の崖面C上では、 β 群の擦痕しか観察されない。

以上の観察、解析結果から、移動体は当初高角度下向きに、続いて地表面にほぼ平行に川に向かって運動したことがわかった。

6.1.3 移動体の運動

ここまで述べてきたような記載と解析から、移動体の運動には次のようなステージが推定される。

- ① 下部岩体の抜け落ち(ロックスライド)
- ② 上部岩体の転倒/すべり/落下(ロックトッブル/スライド/フォール)
- ③ 移動体の一部の下方移動(デブリスライド)

擦痕の解析から、崖面付近で2つのステージの運動があったことが示される。ステージ②に相当する α 群の擦痕を形成した岩塊の運動は高角度下向きのものであるが、このような運動が起きるためには、その移動先に空間が必要である。その空間はもともと存在していたわけではないので、そこを占めていた岩塊が先に移動していなければならない。したがってステージ①の運動、すなわち主にチャート岩体からなる河床付近の岩盤の前方移動が先行したことが推定される。

もともとの地表面を持つ岩塊の運動方向から推定して、ステージ②の運動が転倒であることは疑いない。ただし転倒のみであれば、不連続面沿いは引張領域となり、崖面Aに擦痕が付けられる可能性は小さい。擦痕の存在は、

図-5 擦痕のステレオ投影図

運動形態として、高角度のすべりが含まれていたことを示す。また、鳥状岩体の尾根上に散在する岩塊は落下運動を示唆する。

ステージ③の運動は崖面A・Cにおける β 群の擦痕形成から推定される。ほとんど岩塊から構成される移動体は川側に向かって移動した。河床付近ではチャート、上部では砂岩泥岩破断相の岩塊からなるので、移動体は著しく乱されたわけではなく、基岩の岩相分布を保ちながら運動したものとみなされる。

このほか、頂部付近から南西向きの表層崩壊が生じて崖Eが形成され、移動体はデブリスライドとして運動した。これと上記①から③までの主崩壊のステージとの前後関係は不明である。

もちろん実際にはこれらの過程はほとんど時間間隙をおかずに進行したものと想像される。

6.2 崩壊の地質素因

今回の崩壊に至る素因は次のようにまとめられる。

- 1) 鞍部の形成で示されるような、支尾根全体にわたる岩盤の「ゆるみ」。
- 2) 東西性高角度節理面の発達に沿う南側への転倒性重力変形。
- 3) 本流の下刻による応力解放にともなうシーティング節理と解される、宮川本流に対して流れ目となる節理面の形成。

このように、長期的にゆるみを生じていた岩盤中で、豪雨による間隙水圧の上昇が起こり、流れ盤構造を利用して岩盤斜面が崩壊したものと考えられる。

7. まとめ

2004年台風21号にともなう豪雨で発生した宮川上流域の岩盤斜面崩壊について記載した。もともと節理面に沿ってゆるんでいた岩盤と、ゆるみの少ない岩盤との境界付近が流れ目のすべり面となり、豪雨時の間隙水圧上昇によって破壊に至ったものだろう。崩壊堆積物の微地形や岩塊の地質から判断して、逐次的な崩壊であった可能性を述べた。岩盤の「ゆるみ」は尾根の南側に向かっ

でも、川側である西側に向かっても生じている。崩壊に先立つ前駆的な重力変形が複雑であったことが、崩壊運動の複雑さ（逐次性）につながっている可能性がある。

この崩壊などによって大杉峡谷の登山道は現在も使用不能の状態が続き、観光産業にとって大きなダメージとなっている。登山道の再開にあたっては、崩壊拡大の危険性に対する判断や、それを踏まえた安全なルート設定などの課題が残っている。一方、豪雨による大規模な岩盤崩壊や地すべりダムによる河道閉塞の跡をそのままの状態に残しておける可能性もあり、そうなれば教育的な価値は高いともいえる。今後さらに調査を継続し、このような課題に応えられるよう努めたい。

この崩壊の第1回調査を共にした近藤観慈先生（当時三重大助教授）は、本来共著者となるべきところ、2007年5月に急逝された。心からご冥福をお祈りいたします。大杉谷自然学校の森 正裕氏はいち早く現地を確認され、またわれわれの調査にも同行されてさまざまな情報を提供してくださった。三重県・大台町の関係部局には立入調査を許可いただいた。三重大学大学院生物資源学研究科林 拙郎教授には調査機材等でご援助いただいた。NHK名古屋放送局、三重大学生（当時）の諸氏には現地調査に対して支援をいただいた。以上の方々に感謝いたします。

引用文献

- 1) 林 拙郎・土屋 智・近藤観慈・芝野博文・沼本晋也・小杉賢一朗・山越隆雄・池田暁彦 (2004): 2004年9月29日、台風21号に伴って発生した三重県宮川村の土砂災害（速報）、砂防学会誌, Vol. 57, No. 4, pp. 48-55.
- 2) 林 拙郎・近藤観慈・沼本晋也 (2005): 三重県で発生した土砂災害-T0421号による宮川村の土砂災害とその発生状況-, 第37回砂防学会シンポジウム-異常豪雨による土砂災害とその対策-, pp. 41-60.
- 3) 近藤観慈・林 拙郎・沼本晋也 (2004): 2004（平成16）年台

- 風21号による三重県宮川村の斜面災害, 日本地すべり学会誌, Vol. 41, No. 4, pp. 97-100.
- 4) 近藤観慈・金田明香里・林 拙郎 (2006): 山間地域における豪雨災害時の住民避難-2004年9月台風21号三重県宮川村災害の事例-, 砂防学会誌, Vol. 59, No. 4, pp. 32-42.
- 5) 永田秀尚・飯沼達夫・萩原陽一郎 (2005): 2004年台風21号による三重県宮川村でのランドスライド-分類といくつかの例, 日本応用地質学会平成17年度研究発表会講演論文集, pp. 33-36.
- 6) 永田秀尚・飯沼達夫・近藤観慈 (2007): 2004年台風21号にともなう豪雨で発生した宮川上流大杉峡谷での崩壊と天然ダム, 第46回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 285-288.
- 7) 永田秀尚・飯沼達夫・萩原陽一郎 (2009): 2004年台風21号豪雨により三重県宮川村で発生した表層崩壊地の地形と表層地質特性, 日本地すべり学会誌, Vol. 46, No. 3, pp. 49-55.
- 8) 永田秀尚・柏木健司・飯沼達夫・萩原陽一郎 (2010): 2004年台風21号豪雨により三重県宮川村で発生した岩盤崩壊の地質素因, 日本地すべり学会誌, Vol. 47, No. 2, pp. 22-30.
- 9) 柏木健司 (2005): 三重県宮川村の春日谷における2004年台風21号時に発生した斜面災害の地質素因（予察報告）, 日本地すべり学会誌, Vol. 42, No. 3, pp. 47-52.
- 10) 諏訪 浩・千木良雅弘・土志田正二・石井孝行・藤田 崇 (2005): 2004年21号台風豪雨で三重県宮川村に発生した崩壊と土石流, 岩屑なだれ, 平成17年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 16-17.
- 11) 葛葉泰久・沼本晋也・サンガ ンゴイ カザディ・福山 薫 (2006): 2004年台風21号と前線による豪雨災害, 自然災害科学, Vol. 24, No. 4, pp. 409-421.
- 12) 永田秀尚・柏木健司 (2006): 宮川水系春日谷における豪雨による崩壊とその地質素因-付加体における崩壊特性-, 第45回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 439-442.
- 13) 沼本晋也・永田秀尚・柏木健司 (2008): 2004年台風21号にともなう豪雨で発生した大杉谷光滝下流における岩盤すべり崩壊, 第47回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 305-308.
- 14) 相澤泰造・酒井俊典・林 拙郎 (2010): 2004年台風21号による三重県宮川村の土砂災害, 日本地すべり学会誌, Vol. 47, No. 1, pp. 26-33.
- 15) 飯沼達夫・萩原陽一郎・細谷健介・永田秀尚・吉田 勇・須賀真司 (2006): 豪雨による崩壊で形成された天然ダム-三重県宮川村での例-, 第45回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 21-24.
- 16) 大和山研究グループ (2007): 紀伊山地中央部の中・古生界（その10）: 大杉地域, 地球科学, Vol. 61, No. 1, pp. 33-47. (原稿受付2010年1月6日, 原稿受理2010年5月10日)