■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

Topographical and subsurface geological characteristics of surface failures induced by heavy rainfall of the Typhoon Meari (No. 0421) at Miyagawa Village, Mie Prefecture, Japan

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

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

萩原陽一郎 Yoichiro HAGIWARA／日本工営株式会社 Nippon Koei Co., Ltd.

キーワード：2004年台風21号，表層崩壊，地形，表層地質，宮川村

Key words：Typhoon Meari (No. 0421), surface failure, topography, subsurface geology, Miyagawa Village

1. はじめに

2004年は日本本土に10個の台風が上陸するという特異な状況の下，日本各地で土砂災害が多発した。このうち同年9月の台風21号は三重県南部で豪雨による多数のランドスライド（広義の地すべり）を引き起こした。その中心は多気郡宮川村（図-1，現在は合併により大台町となっているが，以下断らない限り合併前の旧宮川村を指す）で，死者行方不明者7名，家屋道路などに多数の被害を出す災害となった。この災害についてはすでにいくつかの報告がなされている。林ほか（2004）・諏訪ほか（2005）はいち早く土砂災害を中心に報告をおこなった。その後，詳細な報告が近藤ほか（2004）・林ほか（2005）によってなされている。藤田ほか（2005）はいくつかの表層崩壊の調査結果を示し，その発生機構などを考察している。葛葉ほか（2006）は豪雨の気象学的な解析と災害について述べた。近藤ほか（2006）は山間地で発生した災害における避難体制を検証している。千木良（2007）はいくつかの崩壊について地質や地形的な前兆現象につ

いて述べている。

筆者らは災害直後から現地調査を実施し，復旧や災害に強い地域づくりを目的に多くのランドスライドの地形地質条件などを検討してきた。その結果は機会あるごとに報告してきた（永田ほか，2005；飯沼ほか，2006；萩原ほか2007）が，本報告では，特に豪雨によって発生した表層崩壊（ここでは崩壊深10m未満のものを指すことにする）に着目し，記載に基づいてその発生位置の表層地質特性と地形について考察した。

2. 2004年台風21号による豪雨

台風21号は2004年9月29日に鹿児島県に上陸して日本列島を縦断したが，前線を刺激し，各地に豪雨をもたらした。三重県南部における降雨は9月28日夕刻からはじまり，翌29日朝にピークを迎えた。宮川村における最大時間雨量は125mm（三重県明豆，9時～10時），139mm（気象庁アメダス宮川，所在地は久豆，8時40分～9時40分），114mm（三重県宮川ダム，9時～10時）であった。三重県明豆・気象庁アメダス宮川の両観測点はそれぞれ12時以降，10時以降欠測となったため正確なデータが得られていないが，宮川ダムで7時～12時，明豆で8時～12時の間の4，5時間にわたって時間雨量50mmを超える強雨が続いた。連続雨量は宮川ダムで930mm，欠測までの明豆で665mm，同じくアメダス宮川で534mmに達した。アメダス宮川の時間雨量は1978年からの統計期間での極値を記録しており，欠測しているが日雨量もおそらく極値を更新しているものとみられる。葛葉ほか（2006）によれば，時間降水量から評価される確率年は300～500年となり，宮川流域が平年値で年間3,000mmを超える多雨地帯であるとはいえ，この降雨の激しさが示されている。崩壊や土石流の発生は，わかっているものでは29日9時から11時頃に集中し，降雨のピークとほぼ一致する（林ほか，2004）。

本地域ではこのほか，6月以降に日雨量100mmを超える日が9日あり，9月5日には宮川で震度4を記録した

図-1 位置図

紀伊半島南東沖地震が発生している。これらも9月29日に発生したランドスライドの遠因である可能性が指摘されている(諏訪ほか, 2005)。

3. 宮川流域の地形地質

3.1 地形

宮川は標高1,694.9mの日出ヶ岳を源流域にもち、紀伊山地を開析しながら東へ流下している。宮川の流路は源流部の方が海(熊野灘)に近く、分水界はほとんど海岸近くにある。このことは宮川の流路そのものが紀伊半島の隆起が始まるより前にほぼ決定されていたことを示している(岡, 2004)。つまり宮川は全体として先行河川である。流域の斜面は、宮川ダム下流約11kmの滝谷(たきや)付近から上流で急傾斜となる傾向にある。これは後述する地質と関連している。すなわち、秩父帯の岩石の分布域で相対的に急斜面が多く、三波川帯では緩傾斜である。また宮川本流沿いに河成段丘面が発達している。

3.2 地質

宮川流域は地質的に西南日本外帯に属している。調査範囲では、おそらくジュラ紀～白亜紀の付加体が白亜紀に低温高压型の変成作用を受けた三波川帯、ジュラ紀～白亜紀の付加体である秩父帯(北帯・南帯)から構成されている。三波川帯、秩父帯北帯、秩父帯南帯はそれぞれ断層で境されている。これらを覆って、段丘堆積物や斜面堆積物などの非固結第四系が分布している。

4. 崩壊の記載

4.1 概要

豪雨によって発生したランドスライドのほとんどは、急速な運動速度をもつ「崩壊」である。河川に面した斜面が、著しく上昇した河川水と水流によって削られた溪岸崩壊も少なくないが、多くの崩壊は豪雨時の地下水位上昇によって引き起こされた斜面崩壊である。後述するように、破壊面は浅いものから深いものまで変化に富む。

豪雨直後に撮影された空中写真によれば、宮川流域において、判読できるものだけで800箇所を越える崩壊地が認められた(図-2)。崩壊の範囲は宮川源流域から、東側は旧宮川村と旧大台町との境界付近まで、東西、南北ともに30km近くに及ぶ。さらに南の紀伊長島側、北の橿田川流域、西の奈良県側でも崩壊が生じているので、より広範な地域で崩壊が発生していることが明らかである。なお、近藤観慈(未公表)は、宮川ダムより下流での崩壊箇所数、崩壊面積率をそれぞれ1,062箇所、0.36%としており、筆者らの判読より多い崩壊を認めている。

崩壊のほか、狭義の地すべりがいくつか活動している。天ヶ瀬・栗谷口などで、これらは古く不明瞭な地すべり地形の一部であると考えられる。また、崩壊に起因する土石流が各地で発生し、土砂流出が著しかった。宮川本流や主要な支流は、運搬された土砂によって河床が上昇

図-2 宮川上流域(宮川村)における崩壊箇所分布 豪雨直後の2004年10月1日撮影の空中写真から判読した。多くの崩壊発生箇所は実際の規模より強調されていることに注意。三波川帯(Sb)と秩父帯(Cb)との境界を破線で示す。

している(柏木ほか, 2006; 柏木, 2006)。

詳細は別稿で述べる予定であるが、上記のような基盤の地質は、深層崩壊や地すべりの発生に影響しているものと考えられるものの、表層崩壊の発生とは直接の関係がない。図-2には三波川帯と秩父帯との境界線を記入してあるが、崩壊地分布密度が両地質体で異なっているようには見えない。

4.2 いくつかの崩壊の記載

人的な災害となった滝谷・小滝などの崩壊地と、天ヶ瀬などの地すべり地については、発生後ただちに、ボーリングを含む調査や計測を開始した。これら以外の崩壊

地（宮川ダムより下流）について、2004年12月から2005年3月にかけて現地踏査をおこない、その規模や素因となった地形地質を調査した。調査した崩壊地は80箇所を越えるが、林道の被災など条件が悪く、宮川本流と主要な支流（栗谷川・春日谷・^{きそはら}桧原谷川）沿いのものを主要な対象とした。宮川本流から離れた崩壊地は、規模の大きなものでも調査未実施の箇所がある。

以下では、上記調査結果の中から、破壊面の表層地質的な位置について代表的と考えられるいくつかのものについて記述する。

4.2.1 根系層下底からの崩壊—宮川ダム南東（北緯34°16′55″，東経136°12′08″）

この崩壊は、宮川ダムの南東約600m、本流右岸斜面において県道53号を横断したものである。移動体の規模は斜面長40m、幅15mで、破壊面の深さは1m前後なので、体積300m³程度の小規模な表層崩壊である（図-3）。発生域の下限が不明瞭であるため、体積はやや不確実である。移動体は、傾斜35°（道路から下は40°）のわずかに凹型谷型の斜面を東北東方向へ移動し、段丘面上で停止している。道路より上の斜面下部にもさまざまな方向に転倒したスギの立木と土砂が認められ、移動体の一部であると推定される。流送域に位置する県道は路盤も谷側のブロック積み擁壁もほとんど損傷を受けていない。末端の堆積物は、樹根を含む表土と樹幹からなり、これらが乱雑に組み合わせられて厚さ2mの微高地を形成している。この高まりの上流側表面に、わずかながら土砂の堆積が見られる。

破壊面上端の底部には風化した玄武岩が露出しており、

図-3 宮川ダム南東崩壊の平面・断面図

残積土あるいは崩積土に相当するような表層部の岩屑もわずかしは見られない。移動体もほとんど根系と立木からなっているので、この崩壊は根系層下端が主要な破壊面となり、薄いカーペット状の移動体が下方に移送されたものと考えられる。移動体は上部で薄く、道路下で分断され、末端では逆に重なり合って厚くなっているものとみられる。

4.2.2 層状構造をもつ岩屑層内での崩壊—猪谷（北緯34°17′05″，東経136°14′03″）

猪谷は宮川の右支流である^{きそはら}桧原谷川の左支溪にあたる。崩壊はこの谷の合流点から300m上流の左岸斜面で発生した（図-4）。発生域は傾斜40°の凹型谷型斜面にあり、谷壁斜面のほぼ中間の高さに位置する。谷からの比高は40mの位置である。その痕跡から、ここでは2回の崩壊が発生したと考えられる。1回目の崩壊の発生域は斜面長27m、幅11m、崩壊深3mの規模をもつ。推定される体積は400m³に過ぎない。移動体はdebris slideによって東方向に移動し、谷に達して停止した。末端部には、表層にあった立木（植林されたスギ）が集中している。2回目の崩壊は、1回目の崩壊発生域内の上部に位置し、幅・長さ・深さとも2m程度の規模のものである。土砂は1回目の崩壊発生域の地盤をさらに削り込み、1回目の崩壊の移送／堆積域中に最大幅5m、深さ1mから5mのガリーを形成しながら土石流として流下し、1

図-4 猪谷崩壊の平面・断面図

回目の崩壊の堆積物を覆って堆積した。

斜面は主に秩父帯のチャートの岩片からなる岩屑で構成されており, 表層に相対的に細粒でルーズな岩塊が, 地表からやや深い深度には粗粒の岩塊が卓越し, 斜面にはほぼ平行な層状構造が形成されている (図-5)。1回目の崩壊は, この細粒部と粗粒部の境界付近が破壊面となって生じた。2回目の崩壊は粗粒部中で生じており, 境界面から1.5m下付近にパイピングによる穴が認められるので, 地表面を流下した水が集中することによってガリーが単に形成されたものではないことがわかる。

図-5 猪谷崩壊発生域で見られる表層断面 破線より上が細粒でルーズな角礫層 (厚さ約1m)。下部は粗粒の角礫層。

4.2.3 岩屑層と岩盤との境界からの崩壊—小滝 (北緯34°20'55", 東経136°17'18")

この崩壊は宮川本流左岸にある小滝集落の北端部で発生した表層土砂崩壊である。規模は斜面長50m, 幅20m, 傾斜40°, 推定最大厚さは4mである。体積およそ2,000 m³の土砂がdebris slideとして崩壊し, 流動化して斜距離で約300m南南東の宮川本流まで流下した (図-6)。斜面下部を通過する国道422号に面した家屋がそれにとまって流され, 死者1名が出た。発生域は25~45°の傾斜をもつ浅い凹型谷型斜面の上部で, 尾根までの比高は40m, 国道の走る段丘面までの比高は100mである。段丘面から宮川河床まではさらに40mの比高がある。崩壊地上部の集水面積は約3,000m²である。

平面的にはほぼ長方形に近い破壊面の底部には風化した三波川帯の珪質片岩が見られる。片岩の片理面は概ね低角度の南傾斜を示すが, 小規模な褶曲構造のため高角度となっているところもある。したがって必ずしも流れ盤斜面というわけではない。崖の観察によっても, 崩壊は表層に堆積した崩積性の礫混じり土砂と岩盤との境界に沿って発生したことがほぼ確実である。発生域より上の斜面は広くないが, 浅い凹型谷型を呈しており, 雨水は一応集中する地形である。崩壊発生後数日間は岩盤上面からの湧水が見られたとのことである。また滑落崖の一部にはコケが付着しており, 崩壊発生前から, 斜面に亀裂が発生していた可能性がある。

崩壊の発生は降雨量がほぼピークに達した10時10分である。聞き取りによれば崩土は一旦斜面中腹に堆積し, その後再崩壊して流下したとのことである。土砂はその

図-6 小滝崩壊の平面・断面図

多くが増水した宮川本流に達して流されたものとみられ、斜面上には最大でも1m程度しか堆積していない。

5. 表層崩壊発生域の地形と表層地質

2004年台風21号の豪雨による宮川流域での崩壊の特徴は、101m³から105m³オーダーまでさまざまな規模のものが、さまざまな地形的位置で、基盤の地質にもあまり関係なく発生したことである。以下では、崩壊発生域の地形的な特徴、および表層地質と崩壊との関係について述べる。

5.1 崩壊発生域の地形

発生域を地形的に見ると、縦断的に凹型～等斉、平面的に谷型～直線の斜面で多く発生しているように見える。図-7には筆者らの観察事例を分類したものを示す。この結果は一定地域の崩壊地を網羅したものではないので、精度的に十分ではないが、この傾向が読み取れる。豪雨による崩壊発生が凹型谷型斜面に多いということは、古くから指摘がある（小出, 1955; 竹下, 1971）。また建設省（1976）のまとめでは縦断的にも横断的にも等斉・直線型の斜面での崩壊発生が多いとされている。

今回の事例で特徴的と考えられるのは、小滝のように斜面上部に十分な集水面積がなくても崩壊が発生している例が少なくないことである。小滝では崩壊地直上部に岩盤が露出し、崩壊地では薄い岩屑が岩盤を覆っているに過ぎない。岩盤の表層部は風化やゆるみによって深部よりは浸透能・透水性が大きい、岩屑層と比較すればそれらは小さい。多量の雨水が岩盤には十分に浸透できず、岩盤表面近くを流下したために、その直下にあったゆるんだ岩屑部で崩壊が発生したという機構が考えられる（図-8）。松原谷の斜面では、岩屑の分布域上端にこのような崩壊が並んで発生している箇所があり、同様に崩壊発生域より高い位置では岩盤露出箇所が多く、発生域では岩屑が薄く岩盤上に載るだけである。

尾根型斜面の表層崩壊は事例として多くない。尾根部

図-7 表層崩壊発生域の斜面形

図-8 斜面上部で崩壊が発生する機構の模式図

において、崩壊に先行するような岩盤のゆるみなどが著しい場合に限られる。

5.2 表層地質と崩壊

現地では調査した表層地質断面は、地表から深部に向かって、Ⅰ：表土・根系層（小出, 1955の「板状体」）、Ⅱ：岩屑層、Ⅲ：岩盤、という層序になる（図-9）。猪谷の例で示したように、Ⅱの岩屑層は細粒層と粗粒層に区分されることがある。また、岩盤表面は岩石の劣化や岩盤ゆるみの生じている強風化岩盤と、その程度の弱い弱風化ないし未風化岩盤に区分される。それぞれの層の厚さは変化に富み、根系層や岩屑層を欠く場合、あるいは岩盤強風化帯が薄く、岩屑層との区別がつけにくい場合もある一方で、厚い岩屑層や強風化岩盤が発達するところもある。

宮川流域ではスギを中心とした人工林が広く発達する。スギの場合、根系は深くまで達することはない、厚さ1mに満たない根系層が形成されている。広葉樹林帯においても、観察されるかぎりあまり厚い根系層は形成されていない。宮川ダム東の崩壊の基岩となっている風化した玄武岩は亀裂が多く、稲垣（2002）が述べたような亀裂の少ない花崗岩や溶結凝灰岩ではない。しかし岩盤への根系の侵入がない点では共通している。岩屑層を欠き、Ⅰ根系層／Ⅲ岩盤境界付近を破壊面とする崩壊は上に記載した宮川ダム南東のもの以外に松原谷をはじめいくつか例がある。Ⅰ根系層／Ⅱ岩屑層境界のみを破壊面とする崩壊は、調査した限りでは見られなかったが、岩盤上面を破壊面とした崩壊による移動体の中で、岩盤上面からの崩壊に先立って根系層が移動したと見られる事例や根系層のみが崩壊後に再移動したと見られる事例は観察された。

図－9 宮川における表層地質の模式的断面 ランドスライドの灰色部分は移動体、下底の太い実線が破壊面を示す。

Ⅱ岩屑層／Ⅲ岩盤境界付近を破壊面とする崩壊は発生例が多い。斜面上部において薄い岩屑層が発達し始める位置における崩壊の発生例も、小滝をはじめ多数にのぼる。Ⅱ岩屑層が2層以上に区分される場合には、猪谷の例のようにその層境界を破壊面とする崩壊も発生している。藤田ほか(2005)が報告した雲母谷支川での崩壊もこれに相当する。

Ⅲ岩盤内に破壊面をもつ崩壊も少なからず発生した。岩盤の強風化部が、岩屑とともに崩壊したと見られる例が多い。これらの崩壊は基岩の地質や構造を反映したものととなっているが、詳細については稿を改めて述べる予定である。

観察例に偏りがあることを避けられないが、筆者らの調査した宮川本流を中心とする83箇所の破壊面を上記区分にしたがって示すと図－10のようになり、少なくとも6割以上の破壊面が表層地質の物質境界付近に位置する。岩盤内に生じた破壊面も強風化帯と弱風化帯との境界に位置することが多いと考えられるので、実際にはこの比率はさらに高い。

以上述べたように、表層の各層はそれぞれ強度や浸透能・透水性が異なるため、豪雨時の挙動に差が生じ、層の境界面が破壊面となりやすいものと考えられる。Ⅱ岩屑層／Ⅲ岩盤境界で発生した崩壊が多数を占めるのは、岩盤上面に浸透能・透水性や強度の大きな差があることを示している。また透水性の異なるいくつかの深度レベルで表層崩壊が発生した例は、2006年北海道胆振・日高豪雨によって引き起こされた崩壊でその報告がある(石丸ほか, 2007)。それらは何回かの降下火山灰によって生じた表層の層状構造が多段の崩壊を発生させているものであるが、宮川流域においては岩盤・岩屑・表土という一般的な表層の層状構造がすべて利用されて多段あるいはさまざまな深度レベルでの崩壊が発生していることが特徴である。層状の岩屑内では毛管分流(Ross, 1990)が発生した可能性もある。どのレベルの境界面が破壊面となるかは、各層の厚さや構成物質などによって決まる地山の水利構造や強度、さらには降雨の状況などによって決定されるものと考えられ、今後検討していく必要が

図－10 破壊面の表層地質的位置

ある。

6. まとめ

2004年9月の台風21号による三重県宮川村で発生した800箇所以上のランドスライドのうち、表層崩壊の事例について記載した。谷型～直線型、等斉～凹型斜面における発生が多い。また斜面上部、あるいは広い集水域を持たない位置にも発生が見られることが特徴である。表層地質的には、根系層下底、岩屑層下底、強風化帯下底といった、下部と浸透能・透水性が大きく異なる境界面を破壊面とし、浅層から深層までさまざまな位置で破壊が生じていることを示した。崩壊発生の地形的位置や崩壊深度レベルの多様さは、豪雨に対する本地域の表層地質特性、たとえば、根系が深部まで侵入していない、しばしば層状の岩屑層が発達する、といった特徴に対する応答であると考えられる。

謝辞

三重大学林 拙郎教授には現地でご指導いただいたほか、素稿を閲読していただき貴重なご意見を賜った。三重大学故近藤観慈博士、沼本晋也博士、京都大学防災研究所諏訪 浩博士には現地でご教授いただいた。財団法人深田地質研究所の大八木則夫博士には、文献の入手に便宜をはかっていただき、同時に励ましのことばをいただいた。深く感謝いたします。

引用文献

- 千木良雅弘 (2007): 崩壊の場所, 近未来社, 256p.
- 藤田正治・里深好文・堤 大三・多田泰之 (2005): 2004年三重県宮川村および徳島県木沢村の斜面崩壊プロセス, 京都大学防災研究所年報, No. 48B, pp. 625-630.
- 萩原陽一郎・小俣新重郎・上野雄一・飯沼達夫・細谷健介 (2007): DOPAシステムを用いた土砂災害時の緊急監視対応例 - 平成16年三重県宮川村台風21号災害 -, 第46回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 207-210.
- 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について -, 第37回(社)砂防学会シンポジウム講演集 異常豪雨による土砂災害とその対策, JSECE Publication No. 43, pp. 41-60.
- 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.

- 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.
- 稲垣秀輝 (2002): 根系層崩壊, 土と基礎, Vol.50. No.5, pp.5-7.
- 石丸 聡・川上源太郎・田近 淳 (2007): 2006年8月の豪雨による胆振・日高地方の斜面崩壊, 北海道立地質研究所報告, No.78, pp.201-212.
- 柏木健司 (2006): 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崩壊の被災状況 (その2)－地すべりダムの上流, 地質ニュース, No.625, pp.49-56.
- 柏木健司・永田秀尚・常磐哲也 (2006): 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崩壊の被災状況 (その1)－地すべりダムの下流, 地質ニュース, No.624, pp.30-35.
- 建設省河川局砂防部傾斜地保全課・建設省土木研究所砂防部急傾斜地崩壊研究室 (1976): がけ崩れ災害実態について, 土木研究所資料, No.1109, 189p.
- 小出 博 (1955): 山崩れ－応用地質, II－, 古今書院, 205p.
- 近藤観慈・林 拙郎・沼本晋也 (2004): 2004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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 岡 義記 (2004): 外帯山地とその周辺, 太田陽子・成瀬敏郎・田中眞吾・岡田篤正編, 日本の地形6 近畿・中国・四国, pp.275-291.
- Ross, B. (1990): The diversion capacity of capillary barriers, Water Resources Research, Vol.26, pp.2625-2629.
- 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.
- 竹下敬司 (1971): 北九州市門司・小倉地区における山地崩壊の予知とその立地解析, 福岡県林務部・福岡県林業試験場, 85p. (原稿受付2009年1月27日, 原稿受理2009年3月13日)