報告

礼文・稚内の豪雨斜面災害調査報告

―北海道立総合研究機構地質研究所による調査の概要―

石丸　聡*　渡邊　達也**

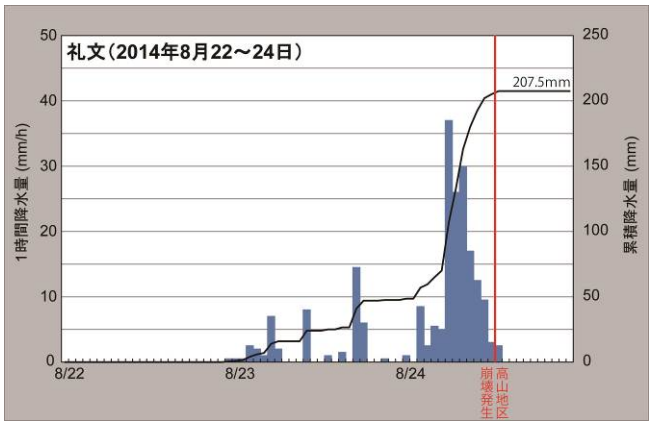
１．はじめに

2014年８月24日､北海道北部を襲った豪雨により、礼文島や稚内で斜面崩壊が多数発生し、礼文島北部の高山地区では２名の住民が亡くなりました。北海道立総合研究機構地質研究所では、これらの地域の被災状況の把握および、その発生要因を検討するために、災害の発生した８月から 11 月までの間に３回の調査を行いました。災害直後の８月 27 日～29 日には、斜面崩壊の発生場所の特徴や崩壊メカニズムを把握することを目的とした緊急災害調査を、９月９日～11 日には、北海道水産林務部治山課の依頼を受け、人命・住宅被害の生じた高山地区の斜面崩壊の原因調査を、また 11 月６日～７日には、北海道道路管理技術委員会のメンバーとして現地視察を実施しました。これらの調査による詳細な報告は別途行う予定ですが、本稿では高山地区の被災状況を中心に、調査結果の概要を報告します。

２．降水状況

北海道北部の宗谷地方では､８月 23 日に降り始めた雨が夜間から翌日朝方に強まり、礼文や稚内で記録的な豪雨となりました。降水量の特に多かった礼文島南部に位置するアメダス礼文観測所の記録によれば、８月 24 日７時 15 分までの１時間降水量は 41㎜、24 日 13 時 40 分までの 24 時間降水量は 183㎜ といずれも極値を更新し､22 日 23 時 30 分から 24 日 14 時までの総降水量は 207㎜ に達しました。８月 24 日の日降水量 160㎜ は､1977 年以降の礼文島内でのアメダスの極値 111㎜ の約 1.4 倍にあたり、気象庁の特別警報発表基準における「50 年に１度の大雨」に該当する異常な降雨となりました。一方のアメダス稚内観測所でも、８月 23 日 22 時までの１時間降水量は 38㎜､23 日０時から 24 日 15 時 40 分までの総降水量は 191㎜ に達するなど、記録的な大雨となりました。

アメダス礼文観測所の記録によれば、雨が特に強く降った時間は 24 日６時から９時 30 分頃の３時間半で、この時間帯に約 100㎜ の降水が集中するなど、短時間に多くの降水が集中したことも今回の大雨の特徴となっています。２名の住民が亡くなられた高山地区の斜面崩壊の発生時刻は 24 日 13 時頃とされていることから､この地区の斜面崩壊の発生時は激しい雨が弱まり、すでに小降りとなった時間帯にあたります（**図－１**）。



図－１　アメダス礼文観測所（礼文町香深）の８月 22 日～24 日の降水量

高山地区の斜面崩壊発生時刻には雨は小降りになっていた。

３．礼文・稚内の地質と段丘

礼文島はなだらかな丘陵斜面のひろがる寒冷地特有の景観が人気の観光地です。そのような島内で急傾斜の斜面が分布するところは海岸沿いなど、ごく一部に限られています。斜面崩壊の多くは、こうした海岸沿いの急斜面で発生しました。一方、島内において平地のほとんどは海岸沿いの急斜面直下の狭い低地に限られているため、住宅の多くは海岸沿いの急斜面の直下に建っています。このため、海岸沿いに発生した多くの斜面崩壊で、住宅が被害を受けました。一方の稚内

周辺も礼文島と同様に、なだらかな斜面が広がっており、急傾斜の斜面が見られるのは海岸沿いに限られます。

礼文島の地質は、中生代白亜紀礼文層群の古い海底火山岩を基盤としています（**図－２**）[1)]。礼文層群は礼文島の中央部に広く分布しており、高山地区周辺もこの海底火山起源の噴出物である、比較的強度の高い火山角礫岩からなります。島の北部と南部には、比較的強度の低い新第三紀の堆積岩が分布しています。新第三紀堆積岩分布域には、地すべりが多く分布しており、特に島の南西部の元地地区の元地層泥岩地域には、規模の大きな地すべりが広く占有しています[2)]。一方の稚内には、新第三紀中新世稚内層の泥岩が分布します。

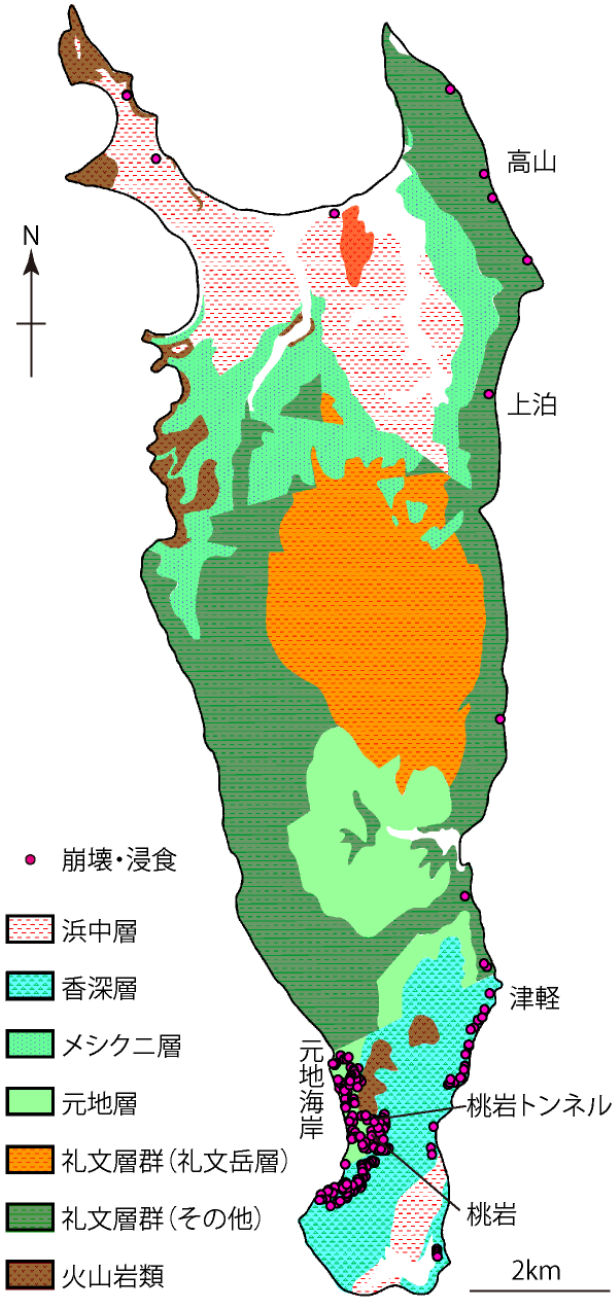
礼文島では北東部の海岸沿いに、約 13 万年前の酸素同位体ステージ５e（最終間氷期極相期）の連続性のよい広い段丘が[3)]、稚内周辺ではステージ５e、７（約 21 万年前）、９（約 33 万年前）の段丘が発達しています[4)]。礼文島、稚内ともに、ステージ４～２の最終氷期（約７万年～約１万年前）を中心とした長年にわたる寒冷気候の凍結融解の影響により、凍結破砕と緩斜面化が進行しました。その結果、層厚数 m～数十 m の厚い斜面堆積物が岩盤や段丘堆積物を被覆しており、これがこの地域の特徴となっています。

４．斜面崩壊の分布

今回の豪雨による斜面崩壊は、礼文島の北部から南部にかけて島内の広範囲で発生しました（**図－２**）。その中で特に斜面崩壊が集中したのが、島の南西部に位置する元地地区周辺です。元地地区は、前述のとおり元地層の泥岩が分布する地域で、地すべりが密集しています。これらの地すべりの過去の活動により、強度の低下した土塊や不安定な地形が分布するため、この地域で大雨によって斜面崩壊が多発したとみられます。

一方、礼文島各地で発生した斜面崩壊のほとんどが、傾斜 40 度前後で不安定な土層（未固結堆積物および土壌）からなる斜面において発生しています。斜面が急すぎると不安定な物質が斜面上に保持されず、その反対に斜面が緩すぎると厚い土砂に覆われていても斜面は安定状態であるため、豪雨に見舞われても崩壊は発生しません。そのため、傾斜 40 度前後の斜面は、大雨等により強い外力が働くと崩壊しやすいものと考えられます。

礼文島の東海岸沿岸では、段丘上の厚い斜面堆積物の崩壊が多数発生しました。東海岸は段丘など傾斜の緩い堆積の場が存在しため、その上に長年かけて斜面堆積物が発達しました。その前面が海岸浸食などでやや急な斜面になると崩壊の発生しやすい状態となります。一方、西海岸沿いは元地地区を除き、ほとんど斜面崩壊は発生しませんでした。西海岸の斜面は、50 度以上の急斜面が多くを占め、斜面堆積物が堆積する場がありません。そのため、大規模な地すべりの占有す



図－２　斜面崩壊・浸食の発生した地点と地質分布
（地質図は、長尾ほか（1963）を基に作成。）

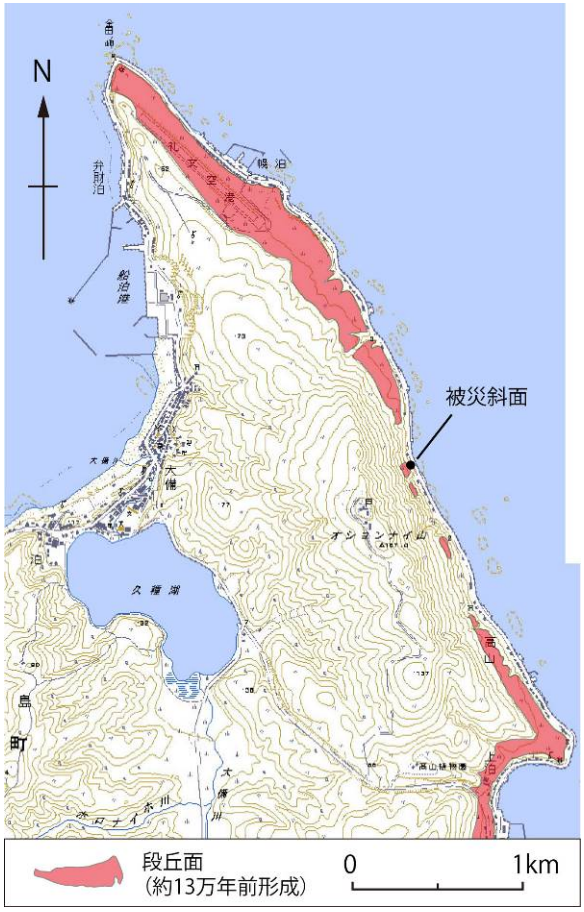
る元地地区を除けば、西海岸沿岸では、ほとんど斜面崩壊が発生しなかったと考えられます。

５．高山の斜面崩壊

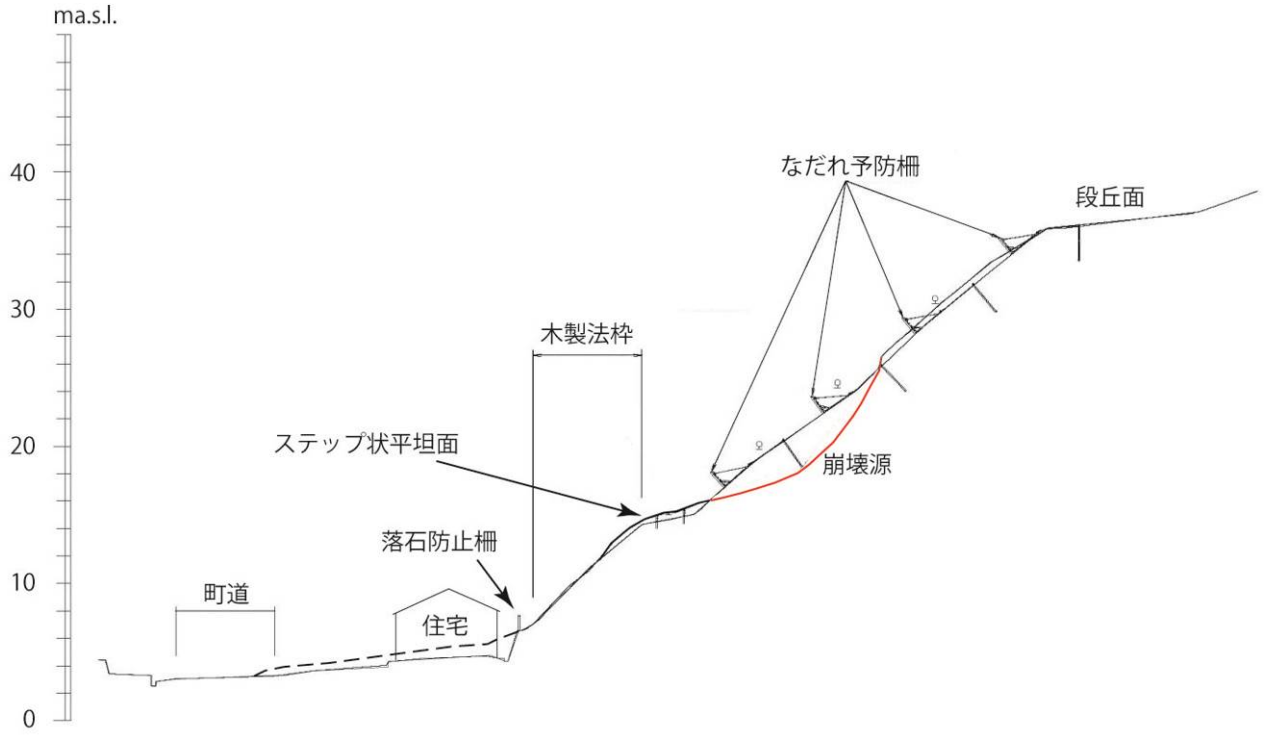
５．１　高山地区の被災状況

冒頭で述べたとおり、礼文島北東部の海岸に位置する高山地区の斜面で崩壊が発生し、斜面下に建つ住宅が押しつぶされ２名が亡くなり、１名が負傷しました。この海岸沿いの標高 10～35m には、海岸方向に緩く傾斜する連続性の良い段丘面が南北方向に分布しています（**図－３**）。この段丘面は前述の約 13 万年前に形成された海成段丘が、背後の斜面を起源とする斜面堆積物に覆われた緩傾斜の平坦地です。高山地区の被災地周辺では、この段丘面の前面が 13 万年間の海岸浸食により狭くなっています。崩壊が発生したのは、この段丘の段丘崖斜面（傾斜約 40 度）で、その斜面下の低地に、被災した住宅が建っていました（**図－４**）。

斜面下の低地から段丘面までの比高は 33m で、それより下位の比高 11m に、狭長でありながらも連続性の良いステップ状の平坦面が見られます。崩壊源は、このステップ状地形を下端とした、斜面下からの比高 12m～24m の範囲（**写真－１**）、崩壊源の規模は比高 12m,



図－３　礼文島北東部の段丘面の分布



図－４　礼文島高山地区の崩壊斜面の縦断面

奥行き 13m，幅 22m，崩壊深さ（垂直方向）4m で（**写真－２**）、崩壊土砂の多くは 12m 下の低地に流下しました。崩壊土砂量は、崩壊源の形状から 700～800 ㎥と見積もられます。

崩壊範囲の形状は、頭部は馬蹄形をしており、斜面に向かって右側にも小さな馬蹄形が並列しています。崩壊面はスプーンでえぐり取られたような形状で、そこには複数のなだれ予防柵が背後のワイヤーに引っ張られた状態で崩壊斜面上に載っていました（**写真－２**）。崩壊源には斜面堆積物とみられる角礫とシルトからなる未固結な堆積物が露出しました。崩壊源の中央付近から斜面に向かって左側にかけては、被災 4 日後の調査時においても水の染み出しが見られました。

崩壊斜面上に設置されていた なだれ予防柵が崩壊土砂を捕捉していないことから、崩壊は斜面表層部から崩れ落ちたものではなく、崩壊面を境にその上の土層がすべり落ちたため、予防柵を置き去りにしたまま足元の土層が斜面下に抜け落ちたものとみられます。崩壊源の末端は、ステップ状平坦面直上に抜けるような形状となっています（**図－４**）。ステップ状平坦面上に堆積する表土の草が上方に倒れていることは、直上の予防柵の下を移動土塊がすべり抜けたことを示唆しており、崩壊面を境に土層がすべり落ちたことを裏付けます。

斜面下部には、昭和 62 年災害に伴う斜面防災対策の法枠工が施工されています。この部分には大量の水を含んだ土砂が流れた痕跡が残っており（写真－３）、斜面上部で生じた崩壊土砂が法枠工の斜面の上を流走したものとみられます。法枠工の直下にはコンクリート擁壁（土留工）があり、これを乗り越えた土砂は、擁壁から１m ほど離れた住宅を押しつぶしました。救出作業などのため、8 月 28 日の調査時にはすでに土砂および被災住宅は人の手により移動されていましたが、新聞報道によれば、住宅の屋根は 10m 以上離れた町道まで飛ばされたようです。土砂が町道まで達したとすると、崩壊源頭部から崩壊土砂末端までの水平距離は 42m 以上となります。

５．２　崩壊源となった厚い斜面堆積物

住宅を押しつぶした土砂の起源となった未固結な土層（斜面堆積物）の分布を確認するため、崩壊箇所の南側の斜面において土層の厚さおよび強度を計測する調査を行いました。調査には先端に錐（コーン）のついた金属棒を土層に打ち込むことにより、地盤の強度を計測する斜面調査用簡易貫入試験機を使用しました。この試験機は、重さ 5kg のおもりを高さ 50cm から落と

写真－１　高山地区の斜面崩壊（８月 28 日撮影）
住宅は救助活動のため被災直後に解体された。

写真－２　崩壊斜面上部の崩壊源（８月 28 日撮影）
崩壊斜面上に取り残された なだれ予防柵

写真－３　斜面下部の流走域（８月 28 日撮影）
崩壊した土砂は下部の木製法枠斜面の上をすべり落ちた。

して金属棒を打ち込み，10cm 挿入するのに必要な回数 Nc 値で強度を示します。この値が大きいものほど強度の高い地盤であることを示します。ここでは，Nc 値 100 以上となった深度以深を岩盤とみなし、それより浅い部分を土層（土壌、斜面堆積物等）とみなしました。貫入試験は、崩壊斜面をの脇を縦断するよう、**図－５**に示すとおり、上から①段丘面先端、②斜面上部、③崩壊斜面横、④法枠斜面横の 4 地点で実施しました。簡易貫入試験の結果を**図－５**の中・上部に示します。

①段丘面先端では、地表から約 80cm まで Nc 値 5 以下が続き、100cm 以深では Nc 値が 12～70 の間で細かく変動します。このような強度変化パターンは、地表から 80cm までが黒土層で、100cm 以深は礫層と考えられます。

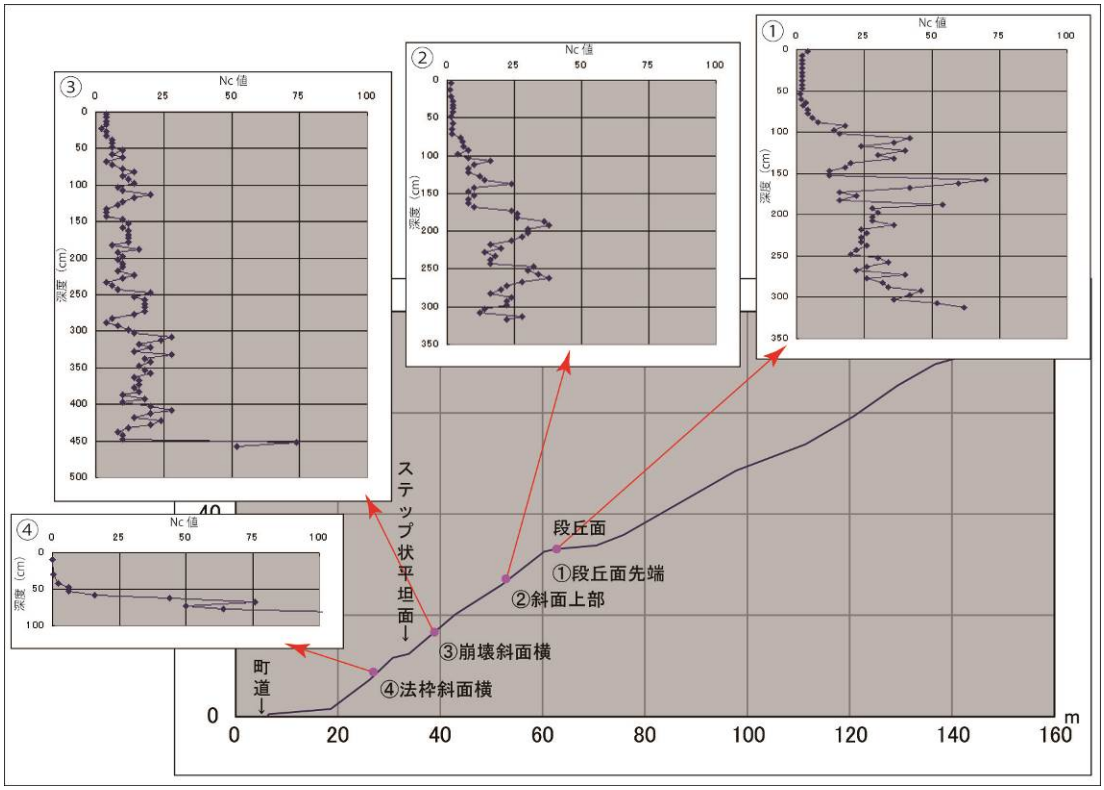
段丘面の下の ②斜面上部も ①段丘面先端と同様に、地表から 80cm までは Nc 値 5 以下が続き、100cm 以深では強度が細かく変動しています。100cm 以深の強度変化パターンは①段丘面先端ほど変化幅が大きくないことから、礫層の礫がやや風化しているものとみられます。

③崩壊斜面横では Nc 値 5 以下が地表から 35cm まで続き、それ以深では Nc 値 4～30 と②よりも小幅な変動が続きます。このことから、35～450cm は②よりさらに風化の進行した礫層からなるとみられます。450cm で急激に強度が高まっており、それ以深は強度の高い礫（段丘礫？）の可能性があります。

④法枠斜面横では、地表から 45cm までは Nc 値 2 以下と、きわめて軟弱ですが、55cm 以深では急激に強度を増していきます。このことは、法枠斜面では強度の低い土層が薄いことを示しており、海岸沿いの他の斜面において斜面下部に土層が発達せずに岩盤がむき出しになっているところが多いこともあわせて考えると、法枠斜面では薄い土層のすぐ下に岩盤があり、55cm 以深では風化した岩盤から新鮮な岩盤へと急激に推移しているものとみられます。

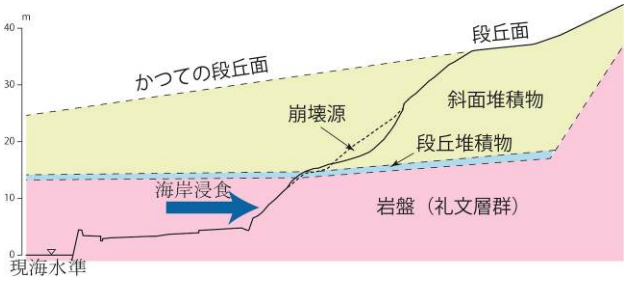
以上の簡易貫入試験の結果、①～③の斜面上部には厚い斜面堆積物に覆われているのに対し、④の斜面下部では、岩盤を土層が薄く覆う状況であることがわかりました。

この簡易貫入試験による調査後、北海道水産林務部治山課に対し、崩壊源となった斜面堆積物の深さや性状を確認すべきという当方の助言により、段丘面から段丘崖斜面においてボーリング調査が実施されました[5)]。これによると、斜面下には、ほぼ水平の岩盤上に薄い段丘堆積物が載り、それを厚さ約 20m の斜面堆積物が被覆していることが確認されました。また、崩壊源末端に位置するステップ状平坦面は岩盤上の薄い段丘堆積物と斜面堆積物基底の境界付近に位置している



図－５　崩壊斜面周辺の簡易貫入試験の結果

ことが判明しました。この結果と簡易貫入試験の結果から、対象斜面の断面は**図－６**のようになると推測しています。



図－６　かつての段丘面と斜面堆積物の推定縦断面

厚い斜面堆積物に覆われた段丘が浸食され、段丘崖で斜面堆積物基底部付近をすべり面とした斜面崩壊が発生した。

５．３　段丘崖斜面に残る過去の崩壊痕跡

上空からの写真によると、礼文島北東部の海岸沿いの段丘崖斜面の上部にはスプーンでえぐられたような形状が多く見られます（**写真－４**）。これは過去に生じた崩壊地形であり、この地域で斜面崩壊を繰り返してきたことを示しています。このえぐられた地形の末端は、今回斜面崩壊が発生した地点と同様、段丘面の下位に位置するステップ状の平坦面に抜ける形状となっています。このことは、この地区の斜面崩壊は今回の崩壊も含め、岩盤の上にのる薄い段丘堆積物あるいは、その上の斜面堆積物の基底付近をすべり面の末端とした斜面崩壊が繰り返されてきたことを示唆しています。

写真－４　段丘崖上部に並ぶ古い崩壊地形（矢印）（㈱シン技術コンサル　８月 27 日撮影）

いずれも段丘崖中腹の平坦面に抜ける（破線は平坦面の縁）。斜面堆積物は平坦面より上位に分布する。

６．礼文・稚内各地の斜面崩壊の状況

礼文島高山地区以外に調査した斜面崩壊について、その概要を以下に紹介します。

６．１　上泊地区

ここでは、段丘崖上部の比高 5m、奥行き 5m、幅 15m の範囲が崩壊しました。崩壊斜面の上位は、段丘面が開析された尾根状地形の側面にあたります。崩壊したのは、高山地区と同様に段丘を覆う斜面堆積物でした。崩壊頭部の北側の側崖には，頭部崖から延長する高角の開口亀裂が生じており、隣接斜面に延びていました。崩壊面は平滑なすべり面で、縦断形状は直線的です。表層付近の土壌（黒土）の基底部や斜面堆積物の上部には水が噴出した痕跡のパイピングホールが複数存在していることから、崩壊発生時、斜面堆積物は多くの水を含んでいたとみられます。

６．２　津軽地区

崩壊が発生したのは小規模な地すべり地形の末端斜面で、比高 13m、奥行き 30m、幅 15m の範囲です。移動形態も地すべり的で、植生（低木と草本類）をのせたまま土塊が後方回転し、斜面下の住宅にぶつかり土塊は斜面上で停止しました（**写真－５**）。ここでも、表層から 40～50cm の深さに複数のパイピングホールが形成されていました。

写真－５　津軽地区の地すべり性崩壊の移動土塊（８月 28 日撮影）

６．３　桃岩トンネル東口付近

桃岩トンネル東口の周辺は崩壊発生頻度が特に高い地域となりましたが，そのほとんどは厚さ１m 以下の表層の土層が崩壊－流動したものです。現在の道道の北西側の斜面では、その上を通る旧道直下から、比高 18m、奥行き 45m、幅 11m の範囲で道路盛土と斜面堆積物の崩壊が発生しました。

その 120m ほど南西の斜面では、比高 15m、奥行き 50m、幅 5mの範囲で厚さ約１m の表層崩壊－流動が発生しました。崩壊面には埋没土壌を挟む厚い斜面堆積物が

露出しましたが、その上部に径 1cm 程度の細いパイピングホールが並び、その下に水流痕が見られました。パイピングホールは、特に土壌直下に発達し、斜面堆積物中においても埋没土壌の直下に生じていました（**写真－６**）。

写真－６　土壌下部に発達するパイピングホール（矢印）（11 月 6 日撮影）

６．４　桃岩トンネル西口付近

桃岩トンネル西口付近において、今回の災害で最大規模（比高 48m、奥行き 100m、幅 50m）の斜面崩壊が発生しました（**写真－７**）。前述のとおり、この地域は規模の大きな地すべりの密集地域で、崩壊した斜面は地すべり防止区域「元地地すべり」の滑落崖下部に位置します。崩壊したのは斜面堆積物を含む地すべり堆積物で、崩壊土砂が斜面下の桃岩トンネルの西口をふさいだため、島の西側に位置する元地集落が 12 日間にわたり孤立しました。

写真－７　桃岩トンネル西口の崩壊（８月 28 日撮影）

その約 70m 西側の、大規模地すべりの二次滑落崖でも、比高 35m、奥行き 64m、幅 24m の斜面堆積物の崩壊が発生し、土砂が斜面下の道道に堆積しました。

６．５　元地海岸（元地地すべり末端部）

大規模地すべり末端部の海岸沿い急斜面で、幅 10m～20m 規模の小規模な斜面崩壊が多数発生しました。この地域には過去の地すべり活動により揉みほぐされた元地層凝灰質泥岩の移動体が分布していますが、その表層部が崩れ土砂が流動しました。

６．６　桃岩周辺の流水による浸食と土砂移動

桃岩南方の急崖に並ぶ多くの沢型斜面の明瞭な浸食痕が見られます（**写真－８**）。これは、沢型斜面を覆っていた斜面堆積物が流水により浸食されたもので、大量の流水が沢型斜面に集中したことをうかがわせます。

写真－８　桃岩南方の沢形斜面の浸食（９月 10 日撮影）

一方、桃岩頂部の緩斜面の土層直下からは水が噴出し、表土とともに、比高約 90m の桃岩の岩壁を流下した痕跡が見られました（**写真－９**）。流下した土砂は、

写真－９　桃岩頭部（矢印）から出水とともに土砂が流下（８月 28 日撮影）

桃岩直下に発達する巨大な崖錐の表面を薄く覆いましたが、そのほとんどは水とともにさらに斜面下方へ流れ去りました。このことは、過去に形成された、斜面下に発達する巨大な崖錐が、今回のような短時間集中豪雨によるものではないことを示唆しています。

６．７　稚内　量徳寺裏の斜面

崩壊が発生したのは稚内港に面する斜面で、流下した土砂が斜面下に建つ寺社のコンクリート外壁にぶつかり停止しました（比高 61m，奥行き 84m、幅 15m）。崩壊が発生したのは、約 21 万年前のステージ７[4)]の段丘崖を開析する浅い沢型斜面上部の斜面堆積物です。斜面中間の流走部では、厚さ約１ｍ の斜面堆積物と土壌は削剥され、稚内層の泥岩が露出しました。崩壊土砂は斜面下部まで流下しましたが、斜面中腹で土圧に押され破断した治山堰堤の堤体が流走部に横たわり、取り残されていました。また、崩壊源より上位の斜面において段差が生じていたことから、崩壊箇所よりさらに上位の斜面でも変形が及んでいたものとみられます。

６．８　稚内　恵比須地区

稚内市街地北部の恵比須地区の段丘崖上部において、段丘を覆う斜面堆積物が崩壊し、土砂が斜面下の住宅の直前まで流下しました（比高 38m，奥行き 79m，幅 18m）（**写真－10**）。この段丘は、約 13 万年前の最終間氷期（ステージ５e）段丘[4)]です。ここでは、土層直下や段丘堆積物上部にパイピングホールが多数出現するなど、大量の水が噴出した痕跡が見られました。この斜面はもともと椅子型の地形となっており、これまでも斜面崩壊の経歴があるようです。

写真－10　恵比須地区の斜面崩壊（８月 27 日撮影）
崩壊土砂が住宅の直前まで流下した。

７．まとめ

2014 年８月の当地域の豪雨は、礼文島でこれまでの日降水量の極値の 1.4 倍を記録など、異常な降水となりました。この豪雨により、礼文島各地や稚内の多くの斜面で崩壊や浸食が発生し、そこでは、大量の水が流下・噴出した痕跡が特徴的に見られました。これまで豪雨に見舞われることの少なかった道北・道東地方において、近年雨の降り方が変わってきており、今後はこれらの地方でこれまでの想定を上回る降水量を考慮した斜面の評価を行う必要がありそうです。

今回の豪雨で斜面崩壊が発生した場所の特徴として、不安定な土塊が存在する地すべり地内、あるいは厚い斜面堆積物の前面が浸食された 40 度前後の斜面があげられます。40 度前後の斜面は、平常時には土砂が堆積しますが、大雨など外力が働くと不安定化しやすい特徴となります。道北・道東地方のような寒冷地域では礼文島の高山地区のように、厚い斜面堆積物が段丘や丘陵の表層を覆っている例がよくみられます。このような寒冷地域特有の地形・表層地質条件の斜面災害のメカニズムを検討するうえで、斜面堆積物を含む土層の分布や特徴を把握する必要があることから、当研究所では今後これらの研究に取り組む予定です。

謝　辞

当報告は、北海道水産林務部治山課および(一財)北海道道路管理技術センターの依頼による調査が含まれます。㈱シン技術コンサルにおいては、災害直後に撮影した空中写真を使用させていただきました。これらの機関の関係者に対し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

１）長尾捨一・秋葉　力・大森　保：5 万分の 1 地質図幅説明書「礼文島」、43p、1963.

２）石丸　聡・田近　淳・岡崎紀俊：礼文島の地すべり分布と形態的特徴、第 37 回地すべり学会研究発表講演集、163-166、1998.

３）植木岳雪：利尻島・礼文島の海成段丘、利尻研究、19、67-78、2000.

４）小池一之・町田　洋：日本の海成段丘アトラス、東京大学出版会、2001.

５）石田博英：2014 年８月礼文島豪雨災害の地形・地質条件―高山地区ほか―、平成 27 年度（公社）日本地すべり学会北海道支部・北海道地すべり学会特別講演および研究発表会予稿集、2015.

石丸　聡*
ISHIMARU Satoshi

北海道立総合研究機構地質研究所
地域地質部地質防災グループ
主査

渡邊　達也**
WATANABE Tatsuya

北海道立総合研究機構地質研究所
地域地質部地質情報グループ
研究職員
博士（理学）