

強風化花崗岩地域で発生した斜面崩壊と調査の一例

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○飯田 貴宏, 江口 欣也, 田中 昭好, 藤田 雅也

1. はじめに

愛知県の東部は山地丘陵地からなり、地質的にも脆弱な風化花崗岩類が分布し、降雨による斜面災害が発生しやすい特徴をもった地域となっている。

愛知県東部に位置する新城市T地区の斜面では崩壊跡や地山の亀裂が確認され、斜面崩壊が拡大することで地域住民の通行や農業への影響が懸念されていた。

本稿では、斜面の安定性の評価および不安定化要因の検討のため、地表踏査、調査ボーリング、地すべり動態観測を実施した結果を報告する。

2. 地形・地質概要

T地区は、三河高原の南部に位置し、標高500m程度の隆起準平原になっている。

調査地の斜面は緩やかな南向き斜面で、道路との比高は20m程度である。斜面の末端部には幅2m程度の水路があり、西南西方向に流下しているが、一部が斜面側より押し出されて変形している。

調査地周辺の地質は、中生代の領家帯に属する深成岩類および変成岩類などからなっており、調査地は深層風化（まさ化）した領家花崗岩類が分布している。

3. 踏査結果

地表踏査の結果、明瞭な亀裂および段差地形が認められ（写真-1）、地すべりブロックが抽出された。

抽出された地すべりブロックは幅約30m、長さ約30mである。一般的にすべり面の深さは幅の1/7~1/10となることが知られている¹⁾ことから、本調査地のすべり面の深さは、4~5mと推定される。

また、斜面中腹に亀裂が横断している箇所が認められたため、斜面裾部に小ブロックの分布が推定された。



写真-1 調査地の段差地形

4. 調査ボーリング結果

抽出した地すべりブロックの末端(BV-1、L=10m)および頭部(BV-2、L=11m)、滑落崖背後の平坦面(BV-3、L=11m)で調査ボーリングを行った。

ボーリングコア観察により、調査地には強風化花崗岩が厚く分布することが明らかになった。また、BV-1ではGL-5.45~5.55m、BV-2ではGL-6.5~6.8mにて含水が多く粘土化した箇所が認められた（写真-2破線部）。



写真-2 BV-2コア写真(GL-6.5~6.8m 付近)

5. 地すべり動態観測と結果

斜面の変動状況を把握するため、ボーリング孔にパイプ式歪計を設置し、合わせて地下水位を計測した。

観測期間は令和5年1月26日~5月11日である。観測結果の一例として、BV-2の観測結果を示す（図-1）。

(1)地下水位観測結果

1~3月は降雨に対する反応が不明瞭で、各孔ともに50mm/日の降雨に対しても水位は一時的に0.01~0.05m上昇する程度であり、3月の下旬まで水位は低下の傾向を示す。

ただし、3月23日の50.5mm/日の降雨以降、水位は上昇傾向を示し、5月7日の140.5mm/日の降雨に対して、各孔で0.83~1.16m上昇が確認された。

また、上昇した水位の低下速度が遅いことが確認され、透水性の悪い地山であることを示すと考えられる。

各孔の降雨に対する地下水位の変化を表-1に示す。

表-1 各孔の降雨に対する地下水位の変化

| | 観測孔の位置 | | 降水量に対する水位上昇量(m) | |
|-----------|--------|------|-----------------|-----------|
| | | | 50mm/日 | 140.5mm/日 |
| 地すべりブロック | 末端 | BV-1 | 0.05 | 0.83 |
| | 頭部 | BV-2 | 0.01 | 1.16 |
| 滑落崖背後の平坦面 | | BV-3 | なし | 0.93 |

(2)パイプ式歪計観測結果

パイプ式歪計の歪変動量は、表-2に示す判定基準²⁾に基づいて評価した。

観測の結果、全深度で潜在変動(100 μ S/月)未満の値であった。また、観測時に実施した目視点検では構造物の変状に目立った変化は認められない。したがって、観測期間中に地すべり変動は発生していないと判断した。

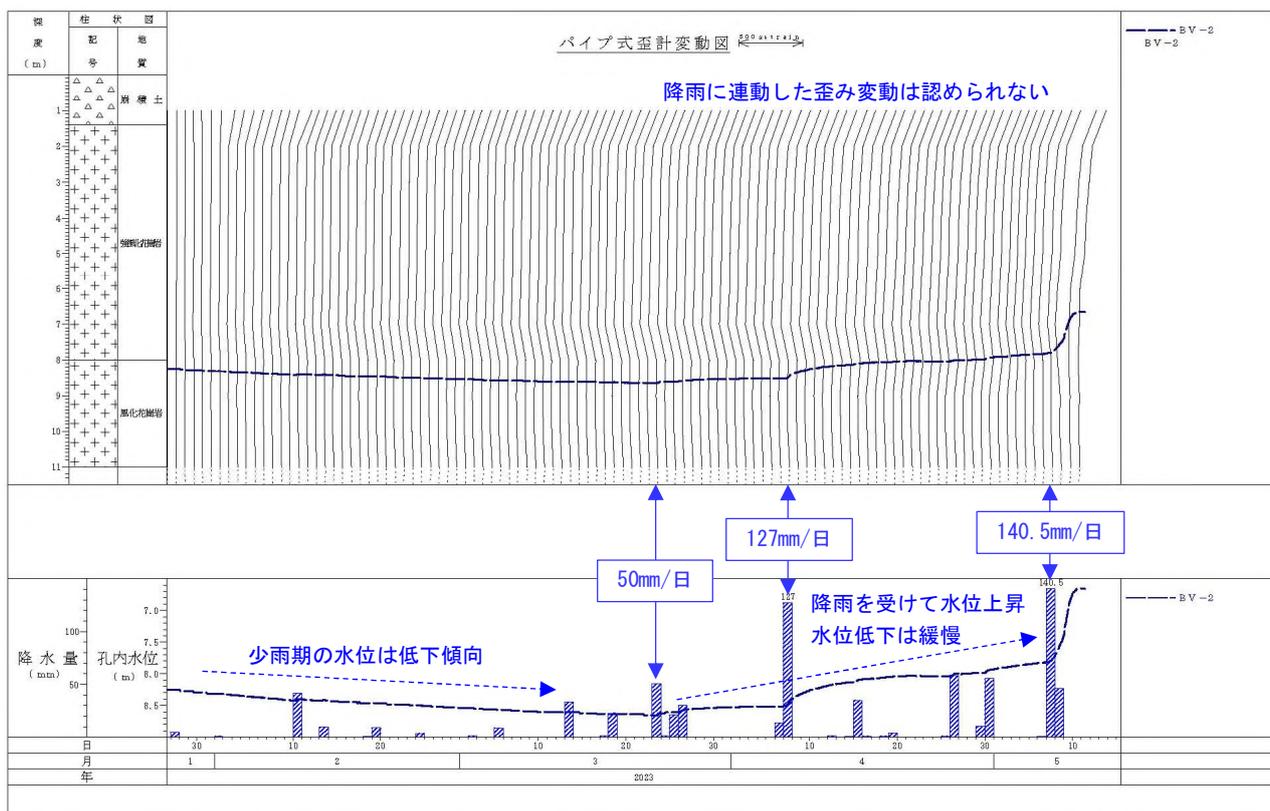


図-1 BV-2の地下水位およびパイプ式歪観測結果²⁾

表-2 パイプ式歪計変動量判定基準表³⁾

| 変動種別 | 日変動量 絶対値 (μ) | 累積変動 絶対値 (μ /月) |
|----------------|--------------------------|----------------------------|
| 定変動 (a変動) | 10^2 以上 | 5×10^3 以上 |
| 準確定変動 (b変動) | 10^2 以上 | 10^3 以上 |
| 潜在変動 (c変動) | 10^2 以下 | 10^2 以上 |
| 異常変動 (d変動) | 10^2 以上 | 10^3 以上 |

6. 不安定化要因と対策方針の検討

調査の結果から、斜面不安定化の要因は以下のように考えられる。

- ①調査地の斜面は著しく風化した花崗岩（まさ土主体）から構成される。
- ②地下水位観測の結果、日雨量50mm 以上で水位の上昇が認められ、水位の低下が遅く地山の透水性が悪い。
- ③パイプ式歪計観測および周辺踏査の結果、水位の低い観測期間中に地すべり滑動は発生していない。

以上のことから、調査地では多雨期の豪雨や長雨時に地下水位が上昇し、地山のせん断強度が低下することで、斜面崩壊が発生することが推察される。

対策方針の検討のため、調査地斜面の安定解析を行った。地すべり滑動が発生する詳細な水位が不明なため、

最も斜面が不安定化する飽和状態を仮定し、簡便法により安定解析を行った。

その結果、必要水位低下量約5m、必要抑止力83.6kN/mと計算された。したがって、仮定条件とした地下水位上昇による斜面崩壊を抑制する場合、必要水位低下量が一般的な水抜きボーリングの最大水位低下量3mを上回るため、水抜きボーリング併用の抑止工（鋼管杭工）が有効な対策となる。

ただし、本検討は仮定条件によるものであるため、実際の水位上昇と斜面変動の傾向を把握し最適な対策工法を検討する必要がある。

7. おわりに

本稿の調査では、すべり面およびその滑動性を特定することができなかったが、地下水位観測により地山の透水傾向が明らかとなり、強風化した地山の地質状況も踏まえ、斜面不安定化の要因検討と有効な対策方針の提案ができた。

今後も地質調査をととして発注者や住民が抱える課題解決に貢献していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 渡正亮, 小橋澄治:「地すべり・斜面崩壊の予知と対策」, 山海堂, 1987.
- 2) 気象庁アメダス: 観測地点「作手」
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>.
- 3) 藤原明敏: 地すべりの調査観測, 理工図書, 1970.

【CO41】

転石及び浮石が広域に分布する急傾斜面での地質調査・対策工検討事例

株式会社 興和 沼田 修平

1. はじめに

近年、日本各地において地震や集中豪雨の発生が顕著である。地盤構成が火山岩主体である新潟県佐渡市では、地形・地質条件的に落石が発生しやすいという素因に加え、上記誘因が作用することで発生したと考えられる落石が複数確認されている。

本稿では、転石及び浮石が広域に分布する斜面勾配40°前後の急傾斜面において現地踏査を実施し、その結果から対策工法の検討を行い、設計に必要な地質調査提案～対策工設計までを実施した事例を報告する。

2. 調査地周辺の地形地質概要

調査地である佐渡市石名地区は、佐渡島北西部に位置し、対象斜面は外海府海岸に面する北西向きの自然斜面である（写真-1）。対象斜面の上方、標高100m付近には段丘面が発達し、耕作地として利用されている。一方、斜面下方は標高10m付近から海岸まで広がる段丘面であり、石名集落及び県道佐渡一周線が位置している。

地質的には、新第三紀中新世前期・真更川層の分布域であり、安山岩を基盤とする。



写真-1 対象斜面全景

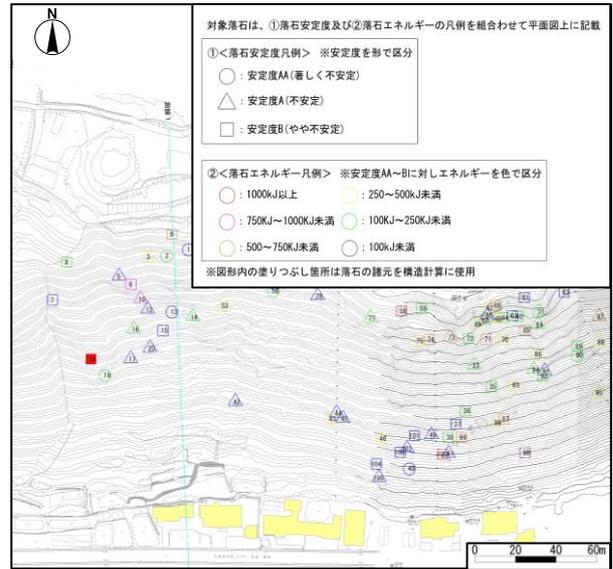


図-1 不安定転石・浮石分布図



写真-2 不安定浮石代表写真

3. 現地踏査結果

現地踏査は、対象斜面において落石発生が危惧される不安定岩塊の位置や規模、湧水の有無、周辺構造物や土地利用状況等を把握し、対策工の検討に必要な情報を得るために実施した。

現地踏査の結果、約38,000m²の対象斜面内で96箇所、将来的に滑落する可能性の高い不安定な転石・浮石が確認された（図-1、写真-2）。転石・浮石の中には1辺が1mを超えるような比較的大きいものも30箇所程度含まれ、試算される落石エネルギーが1,000kJ前後となる箇所も数箇所認められた。

4. 現地踏査結果から想定される対策工法

現地踏査結果から、対象斜面へ適用可能な対策工法について検討した。対策工の計画条件について以下に示す。

- ①対策工による保全対象は、斜面末端に位置する人家
- ②対策対象範囲は広範囲（斜面全体に転石・浮石が分布）⇒経済性・景観考慮の観点から、斜面全体を覆うような落石予防工は適当でないため、落石防護工を選定する
- ③想定落石エネルギーは大きい（高エネルギー対応）
- ④斜面末端に人家が近接（人家裏に十分なスペース無し）⇒施設占有幅の大きい擁壁工や土提工は適当でない
- ⑤斜面内に凹凸は少なく、比較的均一な地形を呈する ⇒落石の跳躍量は小さいと想定される

以上の計画条件等から検討した結果、対象斜面における対策工として『斜面設置型の高エネルギー吸収防護柵工』を選定した。

5. 地質調査結果

地質調査では、現地踏査結果を踏まえて選定した高エネルギー吸収防護柵工の設計に必要な地盤情報等を得るため、図-2紫矢印箇所でのφ66mmオールコアボーリングを提案・実施した。

同対策工は、落石衝突時に大変形（6～10m程度）を許容することで落石エネルギーを吸収する機構である。そのため、部材の変形量を考慮した上で施工位置を決定し、対策工を構成するアンカー長を決定するために必要な地質調査を提案した。

地質調査の結果、調査地を構成する地質は上位より層厚4.5m程度の礫混じりシルト（平均N値=11）、層厚8m程度の砂礫（平均N値=22）、で深は安山岩（平均N値=50）であることが判明した（写真-3）。礫混じりシルト及び砂礫は崖錐堆積物、安山岩は当地の基盤層に相当すると考えられる。



写真-3 コア写真

6. 対策工検討結果

対策工検討では、現地踏査結果を踏まえて選定した高エネルギー吸収防護柵工の配置や規格等について検討した。検討は、4章に記載した対策工の計画条件に加え、落石影響範囲、最大落石エネルギー、土地利用状況等の条件を考慮した上で実施した。

検討の結果、対象斜面に最も適した対策工の配置を図-2及び図-3に示すように決定し、対策工の規格を次に示す通り決定した。

〈高エネルギー吸収型落石防護柵工〉

- ・対応落石エネルギー : 1500kJ
- ・柵高 : 4.0m



図-2 対策工計画平面図

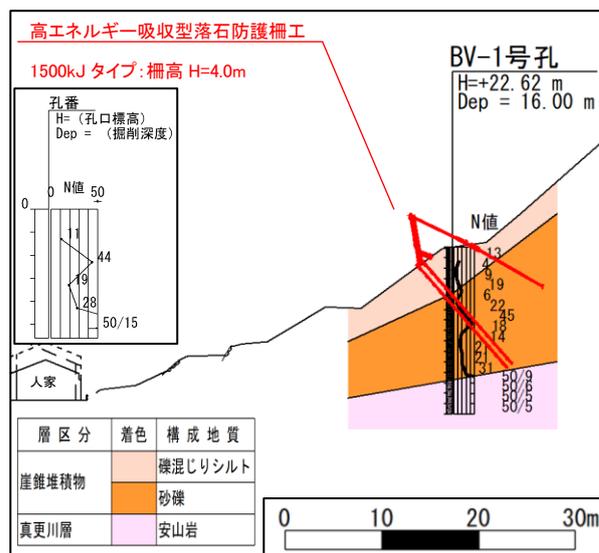


図-3 対策工計画断面図

7. おわりに

現地踏査結果を基に対策工を検討し、同対策工の設計に必要な地盤情報を得るための調査提案を行ったことで、効果的な地質調査を行い、対策工の設計までを完了することができた。

2024年5月現在では、設計を実施した高エネルギー吸収型落石防護柵工（総延長240m）のうち延長40mの施工が完了している（写真-4）。残区間の工事にも既に発注されており、集落住民の安全を確保するため、着々と施工が進められている。



写真-4 高エネルギー吸収型落石防護柵工施工状況

新第三紀層凝灰岩において発生した切土のり面崩壊の変状要因の考察

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○阿南 春平, 山田 満秀, 谷口 雄太

1. はじめに

東北地方において新第三紀層の泥岩や凝灰岩が分布する地域では、降雨時において地すべりや斜面崩壊等が多く発生していることから、調査・設計段階での地質の分布、適切な性状評価と対策方針の検討が重要となる。

本稿は、新第三紀層凝灰岩の切土施工中に発生したのり面崩壊に対する調査と変状要因を考察した事例について報告するものである。

2. 調査地の概要

対象地は、山形県北部の丘陵地に位置し、対象地の元地形は 10° ～ 20° の緩傾斜を呈していた。

対象地の地質は、のり面全体として火山礫凝灰岩を主要な構成地質とする。同層は旧地表面～5m程度まで褐色化が著しい強風化であり、5m以深より褐色化の部分を含むものの固結度が上がり弱風化部となっている。

当該地の切土は、風化状態や周辺施工事例を参考に、切土高約10mを1:1.2の軟岩相当の勾配で施工されており、のり面保護工として植生工が設計されていた。



写真-1 崩壊発生前ののり面状況

3. 切土のり面の崩壊状況

(1)発生経緯

当地周辺では、図-1に示すように崩壊発生当日のR4.6.27は未明から午後にかけて、最大時間雨量20mm、日雨量約90mmの豪雨を観測しており、崩壊の直前には写真-1に示す通り上部で亀裂と孕み出しが確認された。

上記の変状を受け、当日に保護シートでのり面を覆う応急対策が行われたが間もなく崩壊が発生した。

(2)崩壊状況

崩壊発生直後の踏査により確認された崩壊形状は、滑落崖高3.2m、最大幅12m、平面投影面積約110m²の範囲で発生していた(写真-2参照)。

また、変状部の地質観察より、変状部の主要地質が周

辺の健全な法面で確認された火山礫凝灰岩部とは異なる細粒凝灰岩であることを確認した。滑落崖では、火山礫凝灰岩の風化層部と弱風化部との境界部に湧水が確認され、水分供給により崩壊土塊の一部は泥濁化していた。

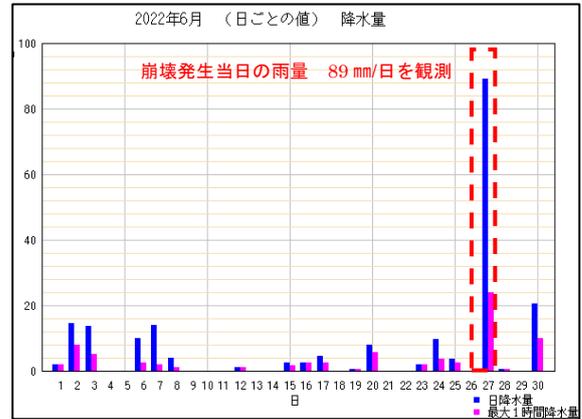


図-1 当地のR4.6の日別降雨量グラフ¹⁾



写真-2 のり面の崩壊状況

4. 想定される変状要因と調査方針

崩壊状況から、変状部には膨潤性を有する細粒凝灰岩が分布しており、当該地質が切土施工に伴う応力開放により強度低下し、降雨による水分供給が誘因となり変状が発生したと想定された。

対策工の設計方針と対策工範囲の検討を行うために細粒凝灰岩の膨潤性や力学特性の評価、当該地質がのり面の安定性に及ぼす範囲を把握する必要があった。

上記を踏まえて、変状部に見られた細粒凝灰岩の分布範囲を確認するため、変状部と健全部でのボーリング調査(計4箇所)を実施した。また、変状の主要因として考えられた膨潤性や力学特性の観点から崩壊機構と対策工を検討するため、各種の室内試験は、変状部と変状していない箇所のコアを用いて実施し、双方を対比することで崩壊の素因を確定させるものとした。

5. 想定変状要因を踏まえた調査検討結果

(1) 細粒凝灰岩の分布範囲

今回のボーリング調査および現地踏査結果と、施工前の地形において変状箇所が凸状地形であることを踏まえ、細粒凝灰岩は、崩壊箇所の近傍に限定的に存在していることを確認した(図-2 参照)。

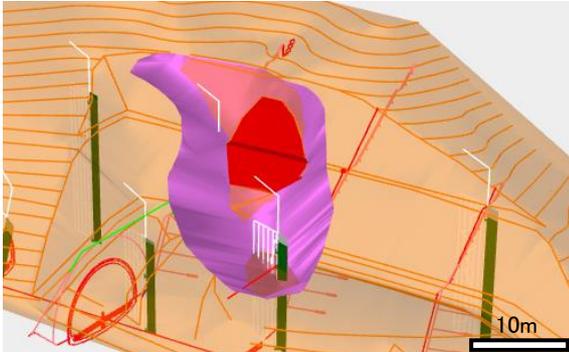


図-2 細粒凝灰岩の分布範囲

(2) 膨潤性検討結果

細粒凝灰岩の膨潤性を確認するために実施した浸水崩壊度試験結果を写真-3に示す。健全部の火山礫凝灰岩が浸水24時間後も原型を保った一方で、崩壊部で確認された細粒凝灰岩は原型を留めず泥状化した。

表-1に示す膨潤性粘土鉱物の含有比率に着目したX線回折結果では、変状部の細粒凝灰岩は健全部と比較し10倍以上のスメクタイト含有比率を示した。

上記の試験結果より、変状部に確認された細粒凝灰岩は、健全部と比較して高い膨潤性を示す地層であることを確認した。



写真-3 変状部と健全部の浸水崩壊度試験結果比較

表-1 X線回折結果による含有鉱物一覧

| 試料概要 | | 鉱物名 | スメクタイト | 雲母類 | 沸石類 | 石英 | カリ長石 | 黄鉄鉱 | 磁鉄鉱 |
|------|--------|--------|--------|-----|-----|------|------|-----|-----|
| 調査箇所 | 岩種 | | Sme | Mca | Zeo | Qz | Kfs | Py | Mag |
| 崩壊部 | 細粒凝灰岩 | Counts | 3430 | | | 174 | | 60 | 31 |
| | | 相対含有率 | ◎ | | | △ | | * | △ |
| 健全部 | 火山礫凝灰岩 | Counts | 330 | | | 1476 | 245 | | 31 |
| | | 相対含有率 | △ | | | ◎ | △ | | * |

(3) 強度特性の検討

強度特性の検討では、図-3に示す含水比と強度の関係から、変状部では健全部と比較し含水比が高く、強度が1/3程度となっていることが確認された。したがって変状の要因は供給水による細粒凝灰岩の膨潤に伴う強度低下であることが示唆された。

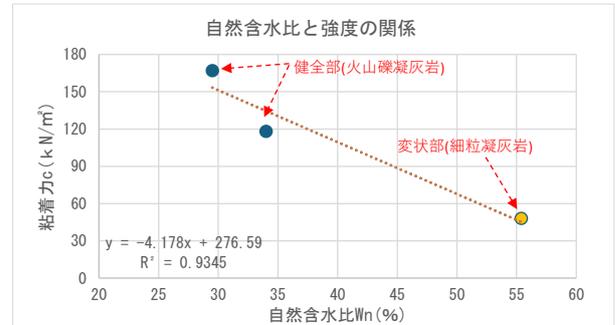


図-3 含水比と強度の関係

6. 変状要因の考察と検討

各検討により変状部に分布する細粒凝灰岩は、膨潤性粘土鉱物(スメクタイト)を多く含むため膨潤しやすい地質であることが確認された。

膨潤に伴い、細粒凝灰岩の強度は、周辺地山(健全部)の火山礫凝灰岩と比較して1/3程度まで低下することを確認した。また、強度低下を踏まえた定数に基づいて実施した安定解析を行った結果は、強度低下後の安全率が1.0以下となり、崩壊しやすい状況にあったことを確認した。

したがって変状は、高い膨潤性を有する細粒凝灰岩が局所的に分布し、切土施工に伴い応力開放しているところへ多量の雨が降り、細粒凝灰岩が強度低下することで崩壊が発生したと考えられる。

検討結果から、対策方針として地下水、表面水対策とともに切土施工時の二次的強度低下の対応が重要となる。そのため、地下排水工と風化に伴う強度低下対策として法枠工を提案した²⁾。

7. まとめ

本事例は、既設切土内で局所的な分布を示す、新第三紀層細粒凝灰岩が降雨による膨潤によって引き起こした強度低下が原因と推定された。

同様の事例を防止するためには、調査・設計段階で周辺の地質状況や特性を把握し、地質リスクに着目し施工範囲の包括的な調査が重要であり、施工時においても想定外の地質が確認された場合は、地質の性状を確認した上で対策工要否の検討を行う必要があると再認識した。

《引用・参考文献》

- 1) 気象庁アメダス：観測地点「金山」
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 2) 道路土工-切土工・斜面安定工指針(2009)：日本道路協会, pp. 312-316.

平成 30 年北海道胆振東部地震による 斜面崩壊のメカニズム解析と対策工検討事例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 ○青谷 洗希, 宮城 康夫

1. はじめに

平成 30 年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震の影響により大規模に斜面が崩壊し、厚真町を中心に多数の斜面災害による多くの被害が発生した。その多くは表層崩壊で火山灰層の崩壊と報告されている¹⁾。

厚真町に隣接するむかわ町の被災した町道の応急復旧及び対策工検討に向け、ボーリング調査(標準貫入試験含む)や地表地質踏査, UAV 写真測量等を実施した斜面崩壊メカニズム解析及び対策工検討の事例について報告する。

2. 被災概要

被災発生箇所は北海道勇払郡むかわ町穂別の町道に位置する(図-1)。9月6日以降の余震により、表層部が崩壊し、町道が被災した。しかし、10月5日に最大余震の影響により、斜面に残存する崩積土が繰り返し崩落するなどの被害が発生しており、大型土のうを使用し、10月中に応急対策工事が実施された。



図-1 被災発生箇所の位置図²⁾

3. 調査結果

(1) ボーリング結果

被災斜面に分布する地質は、基盤岩として新第三紀中新世川端層が分布し、被覆層として崖錐堆積物、崩積土が分布することが確認された。

川端層は泥岩優勢の砂岩・泥岩互層からなるタービダイト層でN値50以上を呈し、硬質となる。級化構造が認められ、生痕化石を多く含む。崖錐堆積物は軽石混じり火山灰となる。火山灰層は斜面崩壊によって、斜面下方

に移動しており、ボーリング調査では確認されなかった。

(2) 地表地質踏査結果

被災斜面は似湾川左岸に位置する北西向きの斜面で、似湾川のかつての攻撃斜面となる。斜面頂部で古期崖錐堆積物及び火山灰層の露頭を確認した(図-2, 写真-1)。

古期崖錐堆積物は火山灰層が降下するより以前に崩壊を受けて堆積したと想定される。火山灰層は、主として樽前火山起源(Ta-d)の軽石層を含む火山灰層が分布するとされる¹⁾。

また、斜面頂部で火山灰層がオーバーハング状に不安定な状態で残存していた。

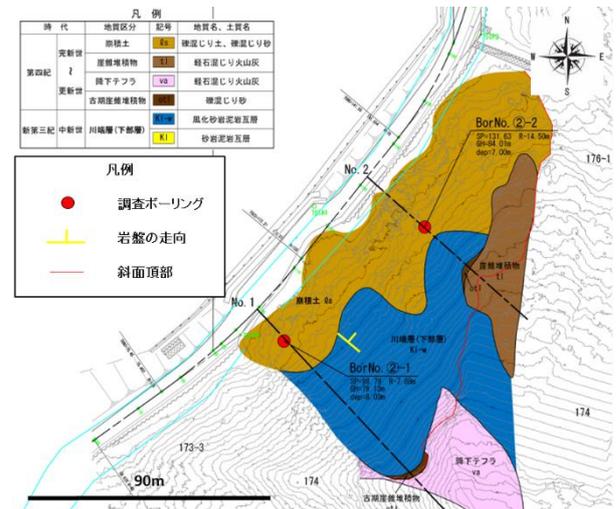


図-2 地表地質踏査図

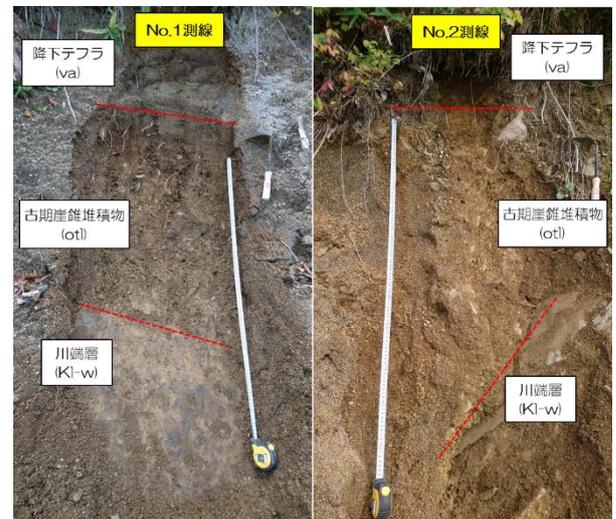


写真-1 斜面頂部で確認した露頭

(3) UAV 写真測量

斜面崩壊した北斜面と西斜面を比べると、西斜面は急傾斜面であることが分かる(図-3)。西斜面の斜面頂部では土砂が不安定な状態で残存している。また、北斜面の末端部は沢地形であることが分かる。

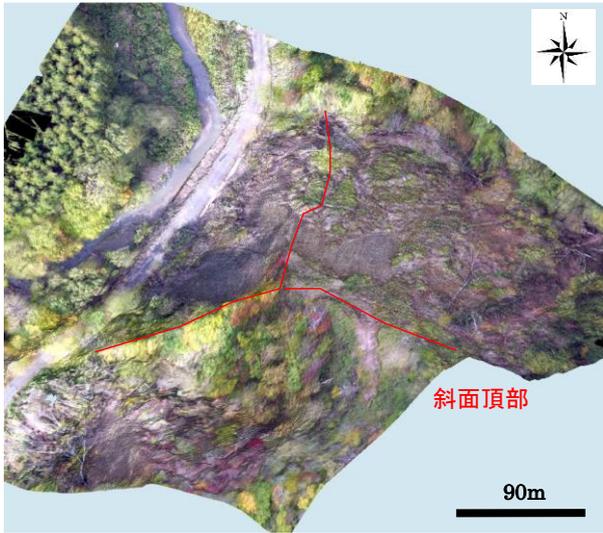


図-3 被災斜面の三次元モデル

4. 斜面崩壊のメカニズムの解析

斜面が崩壊した素因を以下に3つ挙げる。

- ①斜面前面が攻撃斜面となり河川浸食を受けた
- ②平成28年8月の北海道豪雨災害の影響で崩壊しやすい地盤の形成
- ③未固結で不安定な土質(崖錐堆積物, 火山灰層)が急崖斜面上で基盤岩を覆っていた

被災前の空中写真判読を行うと、平成28年9月に北斜面で僅かに山肌の露出が認められた。平成28年8月に北海道道東を中心に3つの台風及び大雨の影響で土砂災害が発生した。胆振東部地方も影響を受けたと想定され、当該被災斜面は町道まで被災しなかったものの、斜面が不安定化していたと考えられる。

北海道胆振東部地震の発生が直接的な誘因となって斜面崩壊したと考えられる(図-4)。

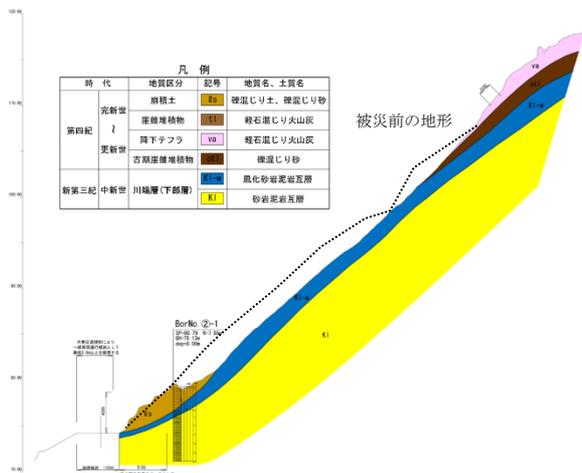


図-4 地質断面図(No.1測線)

5. 対策工の検討

北海道胆振東部地震の斜面崩壊では、崩積土のほとんどが町道に崩落しているが、斜面頂部に不安定土塊である土砂が残存している状況である。将来的に地震や豪雨等の影響によって、斜面頂部の不安定土砂が崩落し、町道が再被災する恐れがあることから、斜面頂部の上方斜面も含めた不安定土砂の除去が必要であると評価した。被災斜面の対策工を以下に検討した(図-5)。

- ①斜面頂部で不安定化している土砂を撤去する(排土工)。
- ②土砂撤去後は、露岩の風化・浸食防止対策として、緑化基礎工(吹付枠工)と緑化工(植生基材吹付工)による法面保護を行う。

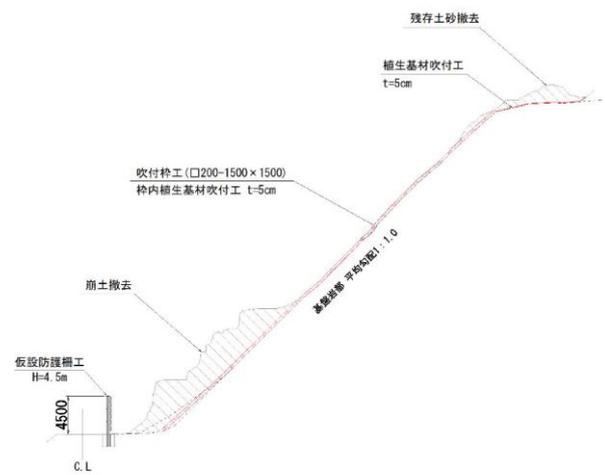


図-5 対策工模式図

6. おわりに

現在は、対策工検討に示した排土工+吹付枠工+植生基材吹付工で施工され、町道の供用を再開している。

当該地震のような大規模な自然災害時では、多数の斜面災害等が想定される。そのため、道路防災点検等で当該地のような不安定斜面を抽出し、必要に応じて予防保全を検討、実施していくことが減災に繋がると考える。

しかしながら、被災した場合には、災害の形態・規模等の災害状況を把握し、必要な応急復旧対策を講じ、生活や経済活動の基盤となる道路等のインフラを迅速に供用再開させることの一翼を担っていきたいと考える。

《引用・参考文献》

- 1) 田近淳ほか(2018):胆振東部地震現地調査速報,日本地すべり学会ホームページ.
<https://japan.landslide-soc.org/archives/5886>
- 2) 国土地理院地図(に加筆), (最終閲覧日2024年5月28日)。

