

5. 第2回現地調査結果<2018年4月27日(金)~29日(日)>

5.1 被災斜面の状況

被災斜面の特徴は縦断方向に次のように区分できる。

- ・ 滑落崖とその直下の崩落土塊が残存しているやや緩い傾斜（20～25度程度）の斜面。→ “①斜面”
- ・ “①斜面”の下方、傾斜30～35度程度の斜面と土砂堆積斜面（下部緩傾斜面）。→ “②斜面”
- ・ “①斜面”の上方、傾斜40～80度程度の急傾斜な斜面。→ “③斜面”

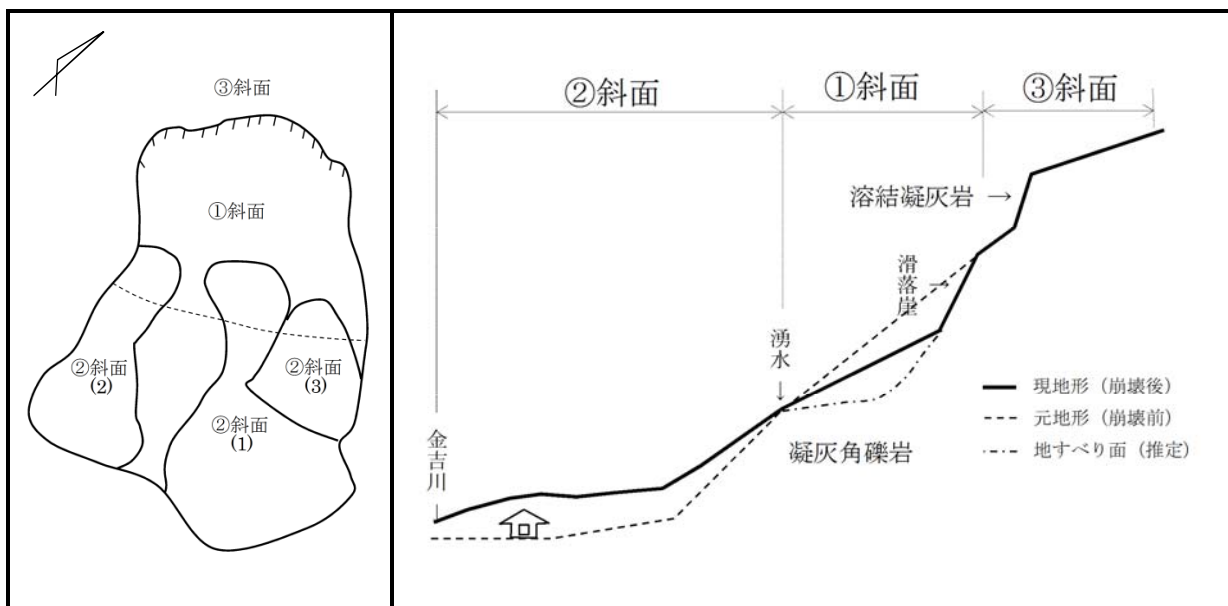


図3 模式平面図

図4 模式断面図（②斜面は中央凹部を表記）

(1) “①斜面”の状況

- ・ 滑落崖は高さ20～30mの急崖をなす。その地質構成は、耶馬溪火砕流堆積物の非溶結部をはじめ砂・シルト岩、軽石・凝灰岩等の未固結ないし半固結の地層から成る。その中には円礫を含む水成堆積層も挟んでいる。地層はほぼ水平を成すが、北側にわずかに傾斜（走向は東西方向）している。地層の境界面の複数箇所から水の湧出やしみ出しが確認される。

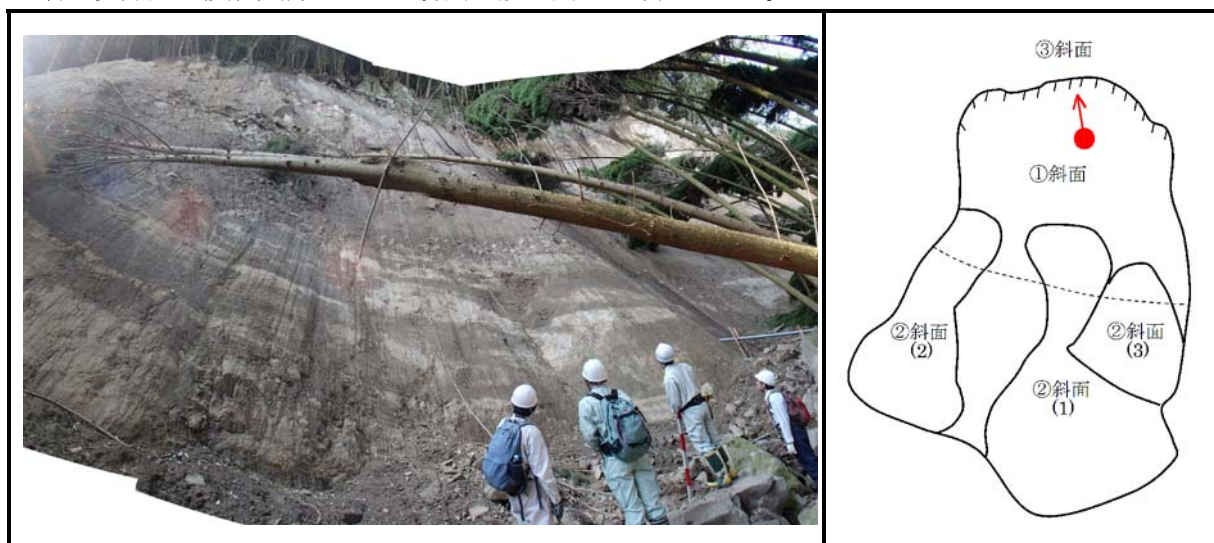


写真6 “①斜面” 滑落崖の状況

- ・滑落崖の直下は、傾斜 20～25 度程度の比較的緩やかな斜面で、スギは山側に傾倒し、左側壁部（斜面向かって右側）にはすべり擦痕が確認される。

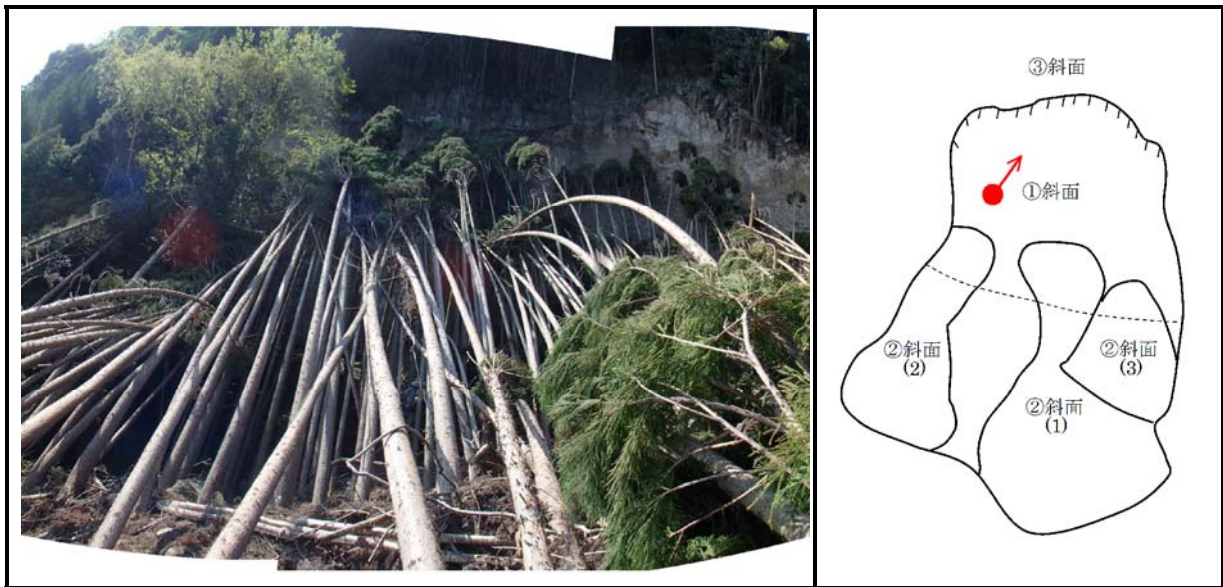


写真7 “①斜面” 滑落崖直下の緩斜面と山側に傾倒したスギ

- ・“①斜面” の最下部、“②斜面” の上部に当たる付近には、固結度の高い凝灰角礫岩と境界面を成して崩落土塊の露頭（厚さ 10m以上）が確認される。露頭の下位には凝灰岩や砂岩・シルト岩、軽石・凝灰岩等の火山碎屑岩（あるいは火山碎屑物）が、上位には崖錐堆積物（耶馬溪火砕流堆積物溶結部急崖からの落石）が確認される。下位の火山碎屑岩（火山碎屑物）は全体として風化が進み、凝灰角礫岩との境界面付近は粘土化している。調査時、境界付近から地下水が湧出していた。また、境界付近に限らず崩落土塊のより上位の断面からも地下水の湧出痕跡が観察される。

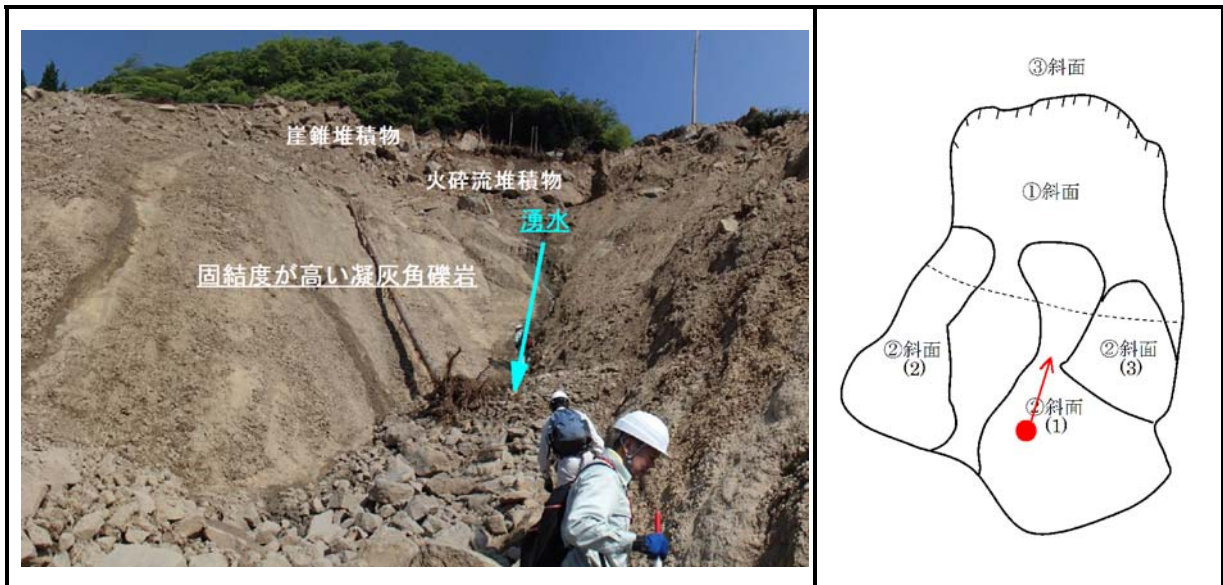


写真8 “①斜面” 最下部の状況

- ・“①斜面” は、20m 以上の厚みを有する土塊として垂直方向の回転運動（いわゆる円弧形状）をともなう地すべり的な活動をした可能性がある。
- ・“①斜面” ～ “②斜面” の境界付近は遷急線に当たることから、“①斜面” の末端部が開放された状況にあり不安定な状態にある。

(2) “②斜面” の状況

“②斜面”は、崩落土塊の平面的分布状況や地表面の形状から、概ね中央とその両側の3ブロックに区分される。

a) 中央ブロック《②斜面(1)》

上部はシャープなV字形(楔状)凹地を呈し、その中央部(底面)付近から地下水が湧出している。崩壊前凹地を埋めていたと考えられる崖錐堆積物はほとんど崩壊(流出)しており、残存している表土(崩積土)の層厚は薄い。



写真9 “②斜面(1)” 崖錐堆積物流出後の上部斜面の状況

下部は、“①斜面”から移動した崩落土塊の堆積斜面である。堆積土塊は崩壊発生時には水分を含有していたことが確認されており、崩落土塊は上部の凹地から扇状に広がる形で民家を飲み込み金吉川左岸部まで達している。崩落土塊表面は金吉川に向かって緩やかに傾斜しており、数段の階段状地形を呈する。これは、崩壊が数回にわたって発生したことを示唆する。



写真10 “②斜面(1)” 下部崩落土塊堆積状況

b) 西側ブロック《②斜面(2)》

中央ブロックの西側(斜面に向かって左側)、広葉樹が残存する尾根斜面に隣接する斜面。この斜面では上部(①斜面)からの崩落土塊が既設の「落石防護柵」を破壊して民家にまで達している。

c) 東側ブロック《②斜面(3)》

中央ブロックの東側（斜面向かって右側）斜面。この斜面でも上部（①斜面）からの崩落土塊が斜面下方に達した。中央ブロックの崩落土塊との時間的前後関係や空間的位置関係は不明である。

“斜面②(3)”は、崩壊前に存在した谷地形を崩落土塊が埋没させる形態となっており、土塊の大部分が流出した“斜面②(1)”とは異なり、土塊（土砂）が不安定な状態で急斜面を形成して残存している。レーザー測量等の測定によると小規模ながら土塊の移動が断続的に継続している。



写真11 “②斜面(3)”の状況<遠景>

なお、“②斜面(1)”と“②斜面(2)”に挟まれた部分は、斜面最下部の民家への土塊（土砂）の侵入がなく立木が残存している状況が確認されており、崩壊に伴う土塊移動から免れた不動地となっている。

(3) “③斜面”の状況

- ・“①斜面”の上部（背後）にあたり、溶結凝灰岩（耶馬溪火砕流堆積物の溶結部）が成す急崖斜面で、さらに上部の平坦な火砕流台地へと続く。
- ・溶結凝灰岩は、柱状節理が発達しブロック状に分離しやすい。柱状の岩が座屈して不安定になった岩盤も散見される。崩れた斜面の西側の凹斜面（不動地）には急崖からの溶結凝灰岩の転石が多くみられ、スギの幹には擦過痕が確認されることから、落石は以前から断続的に発生していたと考えられる。



写真12 “③斜面(3)”右岸側<西側>（非崩壊箇所）の転石状況

- ・上部の溶結凝灰岩の急涯から崩壊地斜面の滑落崖に至る冠頭部は、土層が堆積した急傾斜面が確認されるが、今回の崩壊発生に伴って発生したような新たな亀裂等は認められていない。

5.2 崩壊発生機構の推定

崩壊発生直前に降雨や地震等の崩壊の誘因となる現象が認められていないため、現時点において直接の発生原因の特定までには至っていない。しかし、崩壊発生に繋がる要因については、下記の項目について可能性が推定される。

- 火砕流等の火山噴出物の堆積に由来する脆弱な地質構造。
- 急な斜面勾配。
- 無降雨にもかかわらず崩壊面に地下水が湧出しており、台地内に大量に包蔵されていると考えられる地下水の影響および地下水による地盤の風化または劣化の影響。

今後は、詳細な現地調査を実施し、これらの要因についても検討を行うことが必要である。

なお、現状については、“①斜面”“②斜面”“③斜面”のいずれも不安定な土塊（土砂）が残存しているものと判断する。

5.3 恒久対策（対策の必要性和基本方針）

現時点の斜面状況等から必要と考えられる対策を斜面ごとに整理する。

(1) “①斜面”の対策

(a) 滑落崖直下に残存している崩落土塊

土塊として地すべり性の変動が懸念されるブロックであり、現状不安定な状態で斜面上方に留まっていると判断される。よって、今後出水期等に全体が再滑動、あるいは末端で崩壊が再発した場合に斜面下方側に再度甚大な被害を及ぼす可能性があることから、着実に崩落土塊の安定性を高める対策が必要である。

<対策工>

- 残存崩落土塊の固定と末端面の崩壊侵食防止対策<抑止工：アンカー工等>
- 残存崩落土塊の安定性確保<抑制工：地下水排除>

(b) 滑落崖

未固結ないし半固結の地層からなり、滑落崖（高さ20～30m）の形成による応力解放、侵食およびそれに伴う新たな崩壊に加え、上位にある溶結凝灰岩の負荷を受けることから滑落崖自体の不安定化が懸念される。滑落崖の不安定化は、その直下にある崩落土塊への頭部載荷や衝撃力の付加による不安定化を促すことが懸念されるため、滑落崖の安定化対策を実施する必要がある。

なお、滑落崖は長大な急傾斜面を呈し地層境界面から地下水が湧出していることから、侵食対策や地下水排除対策に加えて崩壊対策の必要性の有無を検討し、必要であれば崩壊対策として抑止工併用を含めた検討が必要である（最危険円弧等による解析の実施）。

<対策工>

- 侵食対策<法枠工等>
- 滑落崖の固定<抑止工：アンカー工等><地下水排除対策>

(2) “②斜面”の対策

(a) 中央ブロック《②斜面(1)》

上部は、“①斜面”の不安定土塊の末端部に相当し、湧水とともに湧水付近では風化により凝灰角礫岩（または凝灰岩）が粘土化した軟弱部が確認されている。湧水箇所の直下斜面は、表層部が崩落し

凝灰角礫岩が露出している。下部に堆積・残存している不安定な崩落土塊は、最下部まで流出した土塊（土砂）を含めた処理が必要であるが、不用意な排土は斜面の不安定化を助長するため土留工を用いた山腹工による安定化を図る。なお、山腹工計画に際しては、上部の湧水を着実に導水し、地すべり地内の地表水を速やかに地すべり地外に誘導し、地中に浸透することを防止する必要がある。また、岩盤露岩部に対しては、風化・侵食を防止する必要がある。

<対策工>

●山腹工<土留工、法切工、緑化工等> ※隣接斜面と一連の配置計画

●湧水対策<水路工、暗渠工>

●露岩部の風化・侵食防止<法枠工等>

(b) 西側ブロック《②斜面(2)》

“②斜面(1)”よりも地盤が高い位置にあり、上部側の“①斜面”の滑動に伴い供給された土石が斜面上に不安定に堆積している。なお、当該斜面自体が崩壊を起こしていたか否か不明である。また、崩壊した土石は既設の「落石防護柵」を越え人家に達している。生活空間の復旧、土石が堆積した斜面の安定化対策および落石対策が必要である。

<対策工>

●土石の排除

●山腹工<土留工、緑化工等>

●落石対策<落石防護工（防護柵）>

(c) 東側ブロック《②斜面(3)》

“②斜面(1)”よりも地盤が高い位置にあり、“①斜面”の滑動にともない供給された土石が斜面上に不安定に堆積している。また、“①斜面”や“②斜面(3)”の崩壊に伴って流下した土石は、“②斜面(1)”の崩積土と合せて既設「落石防護柵」を越え民家、さらに金吉川まで達している。生活空間の復旧、河川に達した土砂の排除、土石が堆積した斜面の安定化対策および落石対策が必要である。

当該斜面の横断面形状は、西側ブロックが凹地形を成しているのに対して、凸型ないし等斉型地形（平衡斜面）を呈している。既存地形図によれば、崩壊発生前には西側ブロックと同様に谷地形を形成しており、崩壊発生後に凸型斜面の形状となっている経緯が確認された（崩壊発生後に実施されたUAVおよび航空レーザーの公開された測定データにおいて地盤が高くなっていることが確認された）。斜面上には崩落土塊が厚く残留しており、さらに地すべり性の崩壊も想定されることから、これらの斜面の特徴を踏まえた山腹対策を検討する必要がある。

<対策工>

●土石の排除

●山腹工<土留工・アンカー付土留工等、法切工、緑化工等>

●落石対策<落石予防工（固定工）、アンカー付法枠工等>

(3) “③斜面”の対策

現段階では滑落崖の背後斜面に当たる斜面での不安定化（新たな亀裂等の発生）は認められないが、周辺にはさらに上部の斜面（亀裂が発達した溶結凝灰岩の急崖）から過去に供給された落石が点在している。崩壊斜面の左右においても同様の傾向が認められており、前述の“②斜面”下部における落石対策（落石防護工）の計画とともに、落石対策の基本である発生源（露頭斜面および斜面での既落石）対策を導入することが必要である。

なお、今後背後斜面の滑動に関しては伸縮計等の結果により判断することになるが、不安定化が認

められた場合には落石対策ではなく斜面安定化対策の導入が必須となる。

<対策工>

- 落石対策<落石予防工（固定工）、落石防護工（高エネルギー吸収柵）>

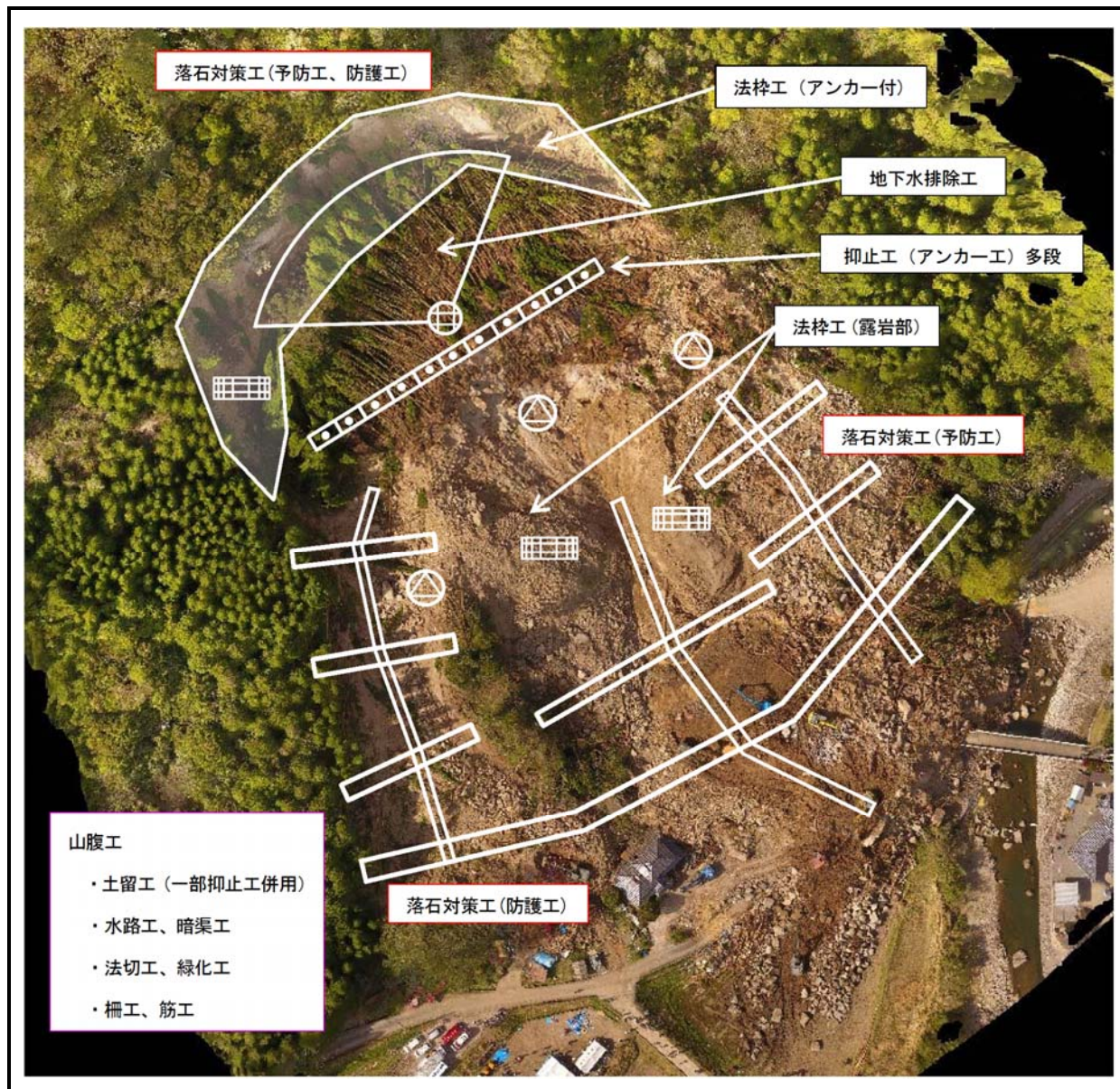


図5 恒久対策イメージ図<第2回現地調査段階>

5.4 応急対策

斜面途中には不安定な崩落土塊が残留しており、今後の気象条件によっては土塊（土砂）が再滑動し、被害が拡大する恐れがある。この二次的被害を軽減するために、短時間で準備が可能な応急対策（ハード対策）と警戒避難等のソフト対策を併せて実施する必要がある。

(a) 中央ブロック《②斜面(1)》に対する応急対策

地下水の湧出がみられ崩落土塊の再滑動が懸念される。これから出水期に向かうため、滑動の誘因となる地下水を排除する必要がある。ただし、崩壊発生機構の把握が未解明な状態であること、さらに作業の安全性を担保するために、地下水排除対策は当該エリアの外からの施工が必要である。

また、今後の降雨等により崩落土塊が不安定化する可能性があることから、移動域の変状や降雨等の気象データに関するモニタリングシステム（閾値を設定した監視・通報体制）による警戒避難対応を併せて実施する必要がある。

<応急対策>

◎地下水排除工（地外からの施工）

◎モニタリングシステム（変位量、降雨量等計測、監視カメラ、自動通報システム）による警戒避難対応

(b) 西側ブロック《②斜面(2)》および東側ブロック《②斜面(3)》に対する応急対策

当該地内に残存する不安定な崩落土塊や転石の再移動を極力抑制する必要がある。このために、現在進めている“大型土嚢”による仮設土留工に加え、防護柵の設置は有用である。

また、監視に基づく警戒避難対応も併せて実施する。

<応急対策>

◎防護柵（落石、土砂流出）

◎モニタリングシステム（“②斜面(1)”と共通）