

第3回 無降雨時等の崩壊研究会

【資料-4】 地下水の集中する斜面を 抽出するための調査の留意点



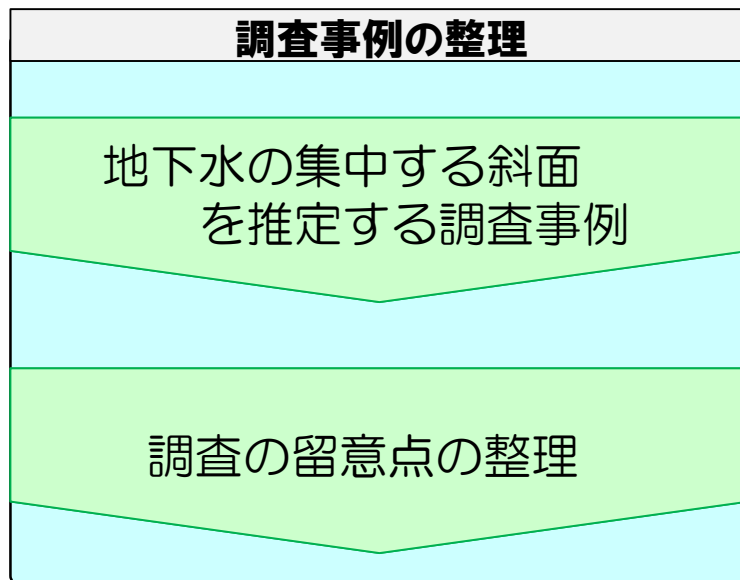
1. 本資料の概要

【地下水の集中する斜面を抽出する必要性と調査手法】

無降雨時等の崩壊メカニズムから、無降雨時等の崩壊には地下水の挙動が大きく関与していることが推定された

無降雨時等の崩壊の危険性がある斜面を抽出するためには、地下水の集中する斜面を抽出する必要がある

地下水の集中する斜面を推定する手法として有効と判断された、1) 空中電磁探査、2) 比流量調査、3) 微地形判読調査について、調査手法の概要と留意点についてまとめた



地下水の集中する斜面を推定する手法について、「無降雨時等の崩壊研究会」等での調査結果より、次の3つの調査が有効であると判断

- 空中電磁探査
- 比流量調査
- 微地形判読

3つの調査の「調査手法」・「調査結果」・「地下水集中斜面の推定方法」の概要について、具体的な調査事例を基に整理するとともに、調査費用・調査時間・取得データの形式等の観点から各調査の特徴や留意点を一覧表として整理した

1) 第四紀大規模火砕流の分布、2) 傾斜30度以上の斜面の分布、3) 保全対象の分布を指標として、調査を実施する調査候補箇所を抽出する

2. 空中電磁探査

【空中電磁探査の概要】

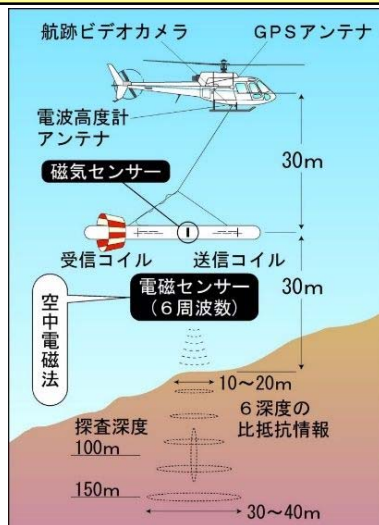
空中電磁探査は、電磁誘導現象を利用する電磁探査の一つで、ヘリコプターに曳航した電磁センサーを用いて地中の電磁場応答を測定することで、広域斜面の比抵抗3次元構造を把握する探査手法である

降雨条件の異なる2時期に計測した比抵抗値を用い、地質状況による影響を控除することで、比抵抗の違い＝飽和度の違い(≒地下水の分布)として地下水の分布を評価する

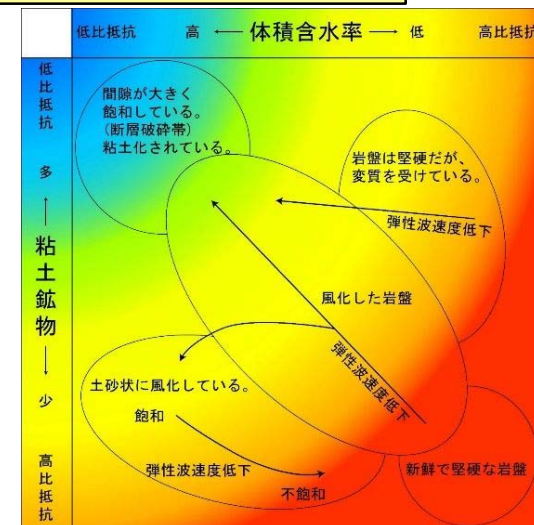
【比抵抗と地下水の関係】

- 比抵抗は、主に単位体積当りの含水量と粘土の含有量によって支配される物性値である
- 単位体積当りの含水量を示す指標として、間隙率に飽和度を乗じた体積含水率が用いられ、間隙率が大きく地下水で飽和した地質ほど、あるいは、粘土が多い地質ほど、比抵抗は低くなる

【空中電磁探査の概要・実施状況】



【比抵抗値と地下水の関係】

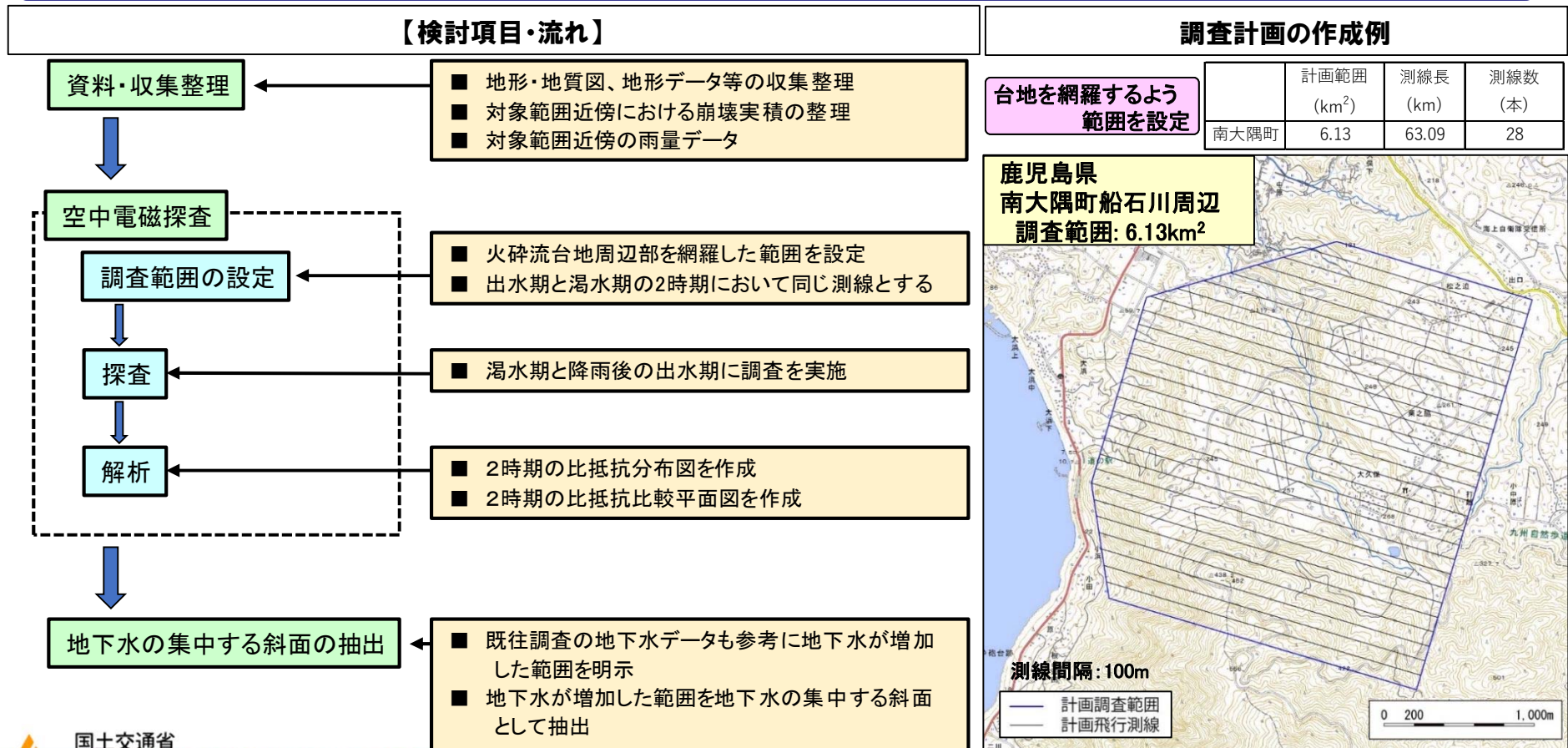


2. 空中電磁探査

【抽出に向けた調査・検討の流れ】

地下水の集中する斜面の抽出に向けた調査・検討は、以下の項目・流れで実施

- ① 資料・収集整理： 調査・解析に必要な地質・地形データ等の収集・整理
- ② 空中電磁探査： 調査範囲を設定し出水期・湧水期の2時期で調査を実施
- ③ 地下水の集中する斜面の抽出： 2時期の比抵抗比較平面図及び断面図より
地下水集中斜面を抽出

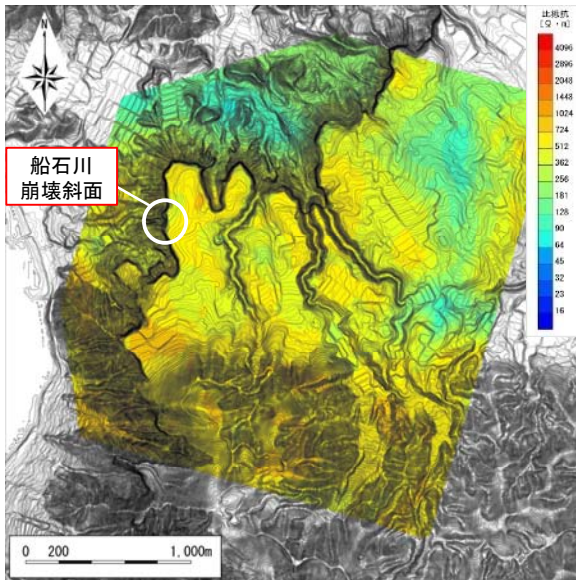


2. 空中電磁探査

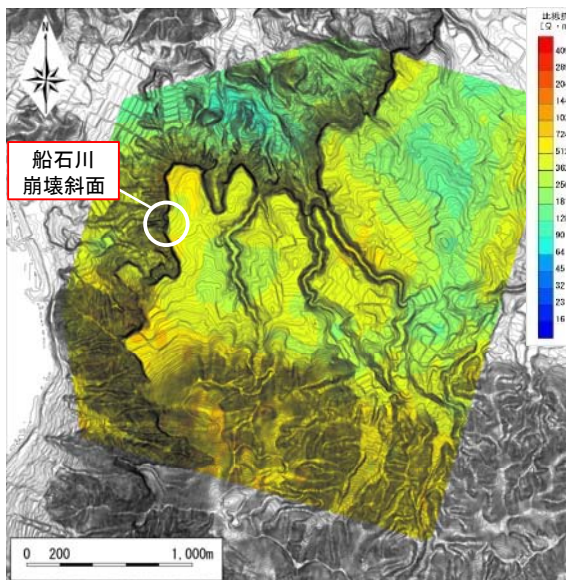
【比抵抗分布平面図の作成】

- 2時期において帯水層付近の探査深度で比抵抗分布平面図・断面図を作成する
- 2時期の比抵抗比較平面図を作成して、高比抵抗になった領域と低比抵抗になった領域を把握する

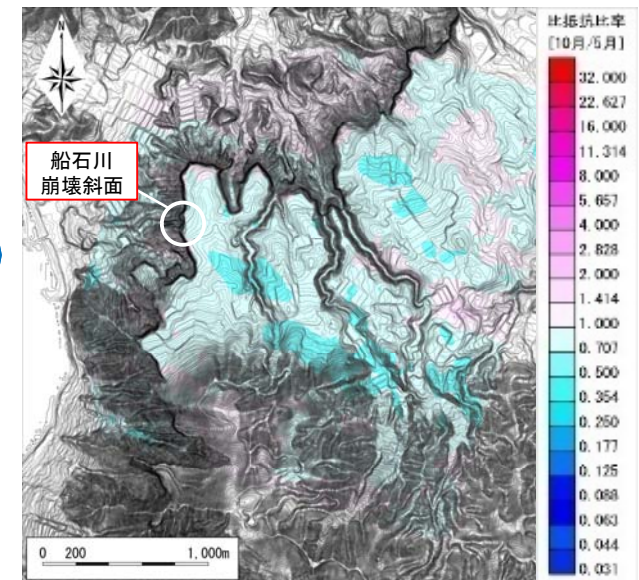
比抵抗分布平面① 140,000Hz（探査深度 概略 10 m）



比抵抗分布平面図
(5月測定)



比抵抗分布平面図
(10月測定)



2時期の比抵抗比較平面図
(比率:10月測定/5月測定)

比抵抗平面図

高比抵抗は暖色系で、低比抵抗は寒色系で示した
 暖色系 : 電気が流れにくい ⇒ 間隙率×飽和度が低い
 寒色系 : 電気が流れ易い ⇒ 間隙率×飽和度が高い

2時期の比抵抗比較

赤表示:5月と比較して10月は
高比抵抗になった領域
 青表示:5月と比較して10月は
低比抵抗になった領域



国土交通省

国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management



九州地方整備局

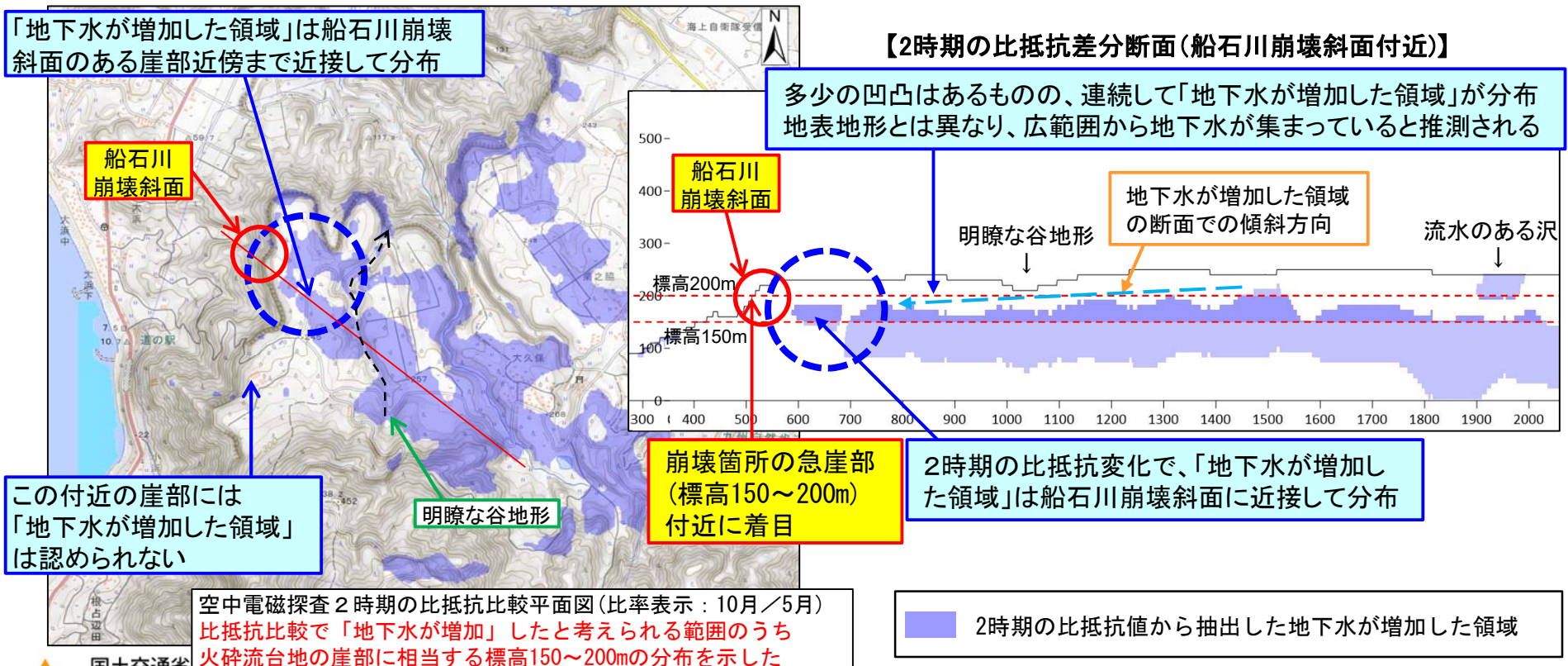
Kyushu Regional Development Bureau

国土地理院基盤地図情報5mDEM(表示:1mコンター)

2. 空中電磁探査

【電磁探査調査による地下水の集中斜面の抽出】

- 2時期の比抵抗割合(降雨後/渇水期)で、電気が流れ易くなった領域を「地下水が増加した領域(≒含水比が増加した範囲)」として把握する
- 南大隅や耶馬溪の崩壊斜面の崖部近傍には、「地下水が増加した領域」が分布することが確認され、地下水の集中する斜面を抽出できる可能性が示唆された
- そこで、表層部を除外し、台地の地中内部における「地下水が増加した領域」の平面的・断面的な分布に着目することで、地下水の集中する可能性のある斜面を抽出する



国土交通省

国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management



九州地方整備局

Kyushu Regional Development Bureau

3. 比流量調査

【比流量調査の概要】

比流量とは、各流域から流出する水の量を地表地形による後背流域面積で除した(= 流量 ÷ 流域面積)ものであり、相対的に比流量が大きい溪流は地表流域より広い範囲からの地下水の流入が多いことが推定される

「比流量調査による地下水の集中する斜面の抽出」は、現地の流域出口付近にて計測した流量を用いて比流量を算出し、周辺流域に比べ相対的に比流量が大きい流域を地下水の集中する可能性のある斜面として抽出する手法である

【現地における流量等の調査】

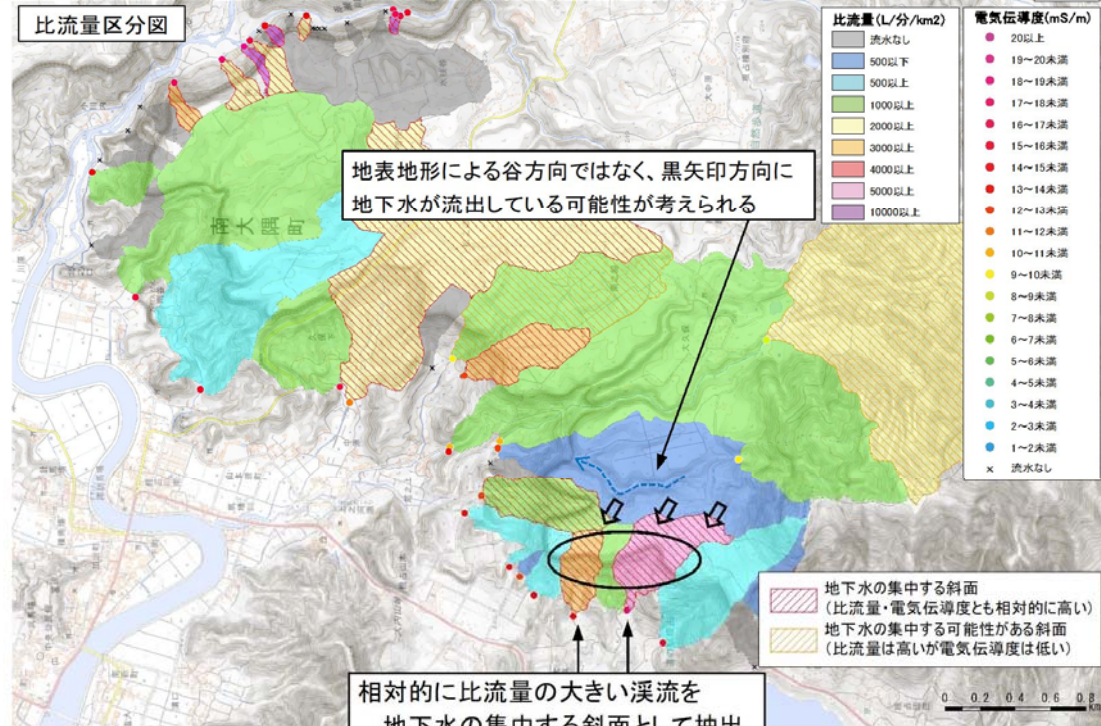
容器法による流量計測例



断面法による流量計測例(流速の計測)



【比流量調査による地下水の集中する斜面の抽出】

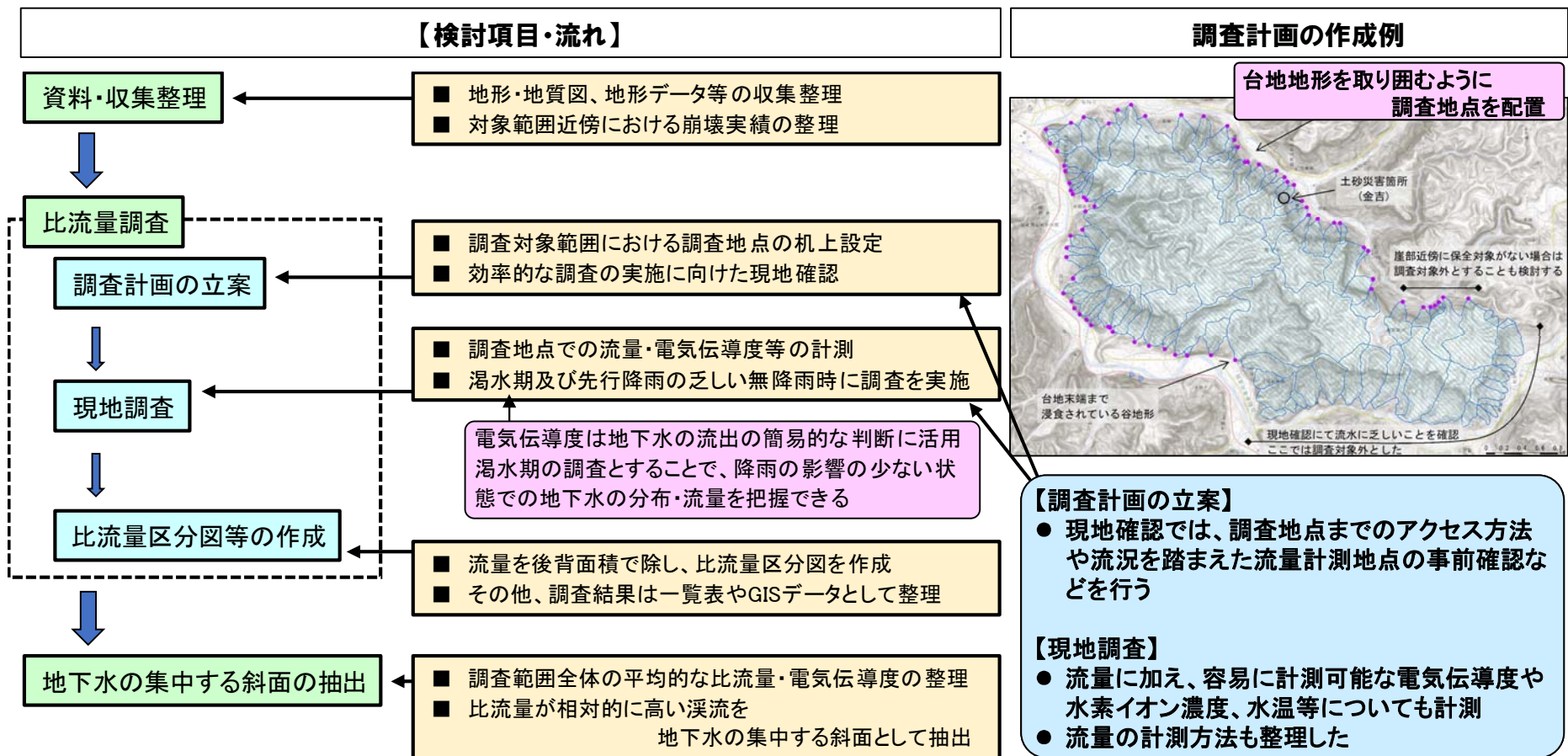


3. 比流量調査

【抽出に向けた調査・検討の流れ】

地下水の集中する斜面の抽出に向けた調査・検討は、以下の項目・流れで実施

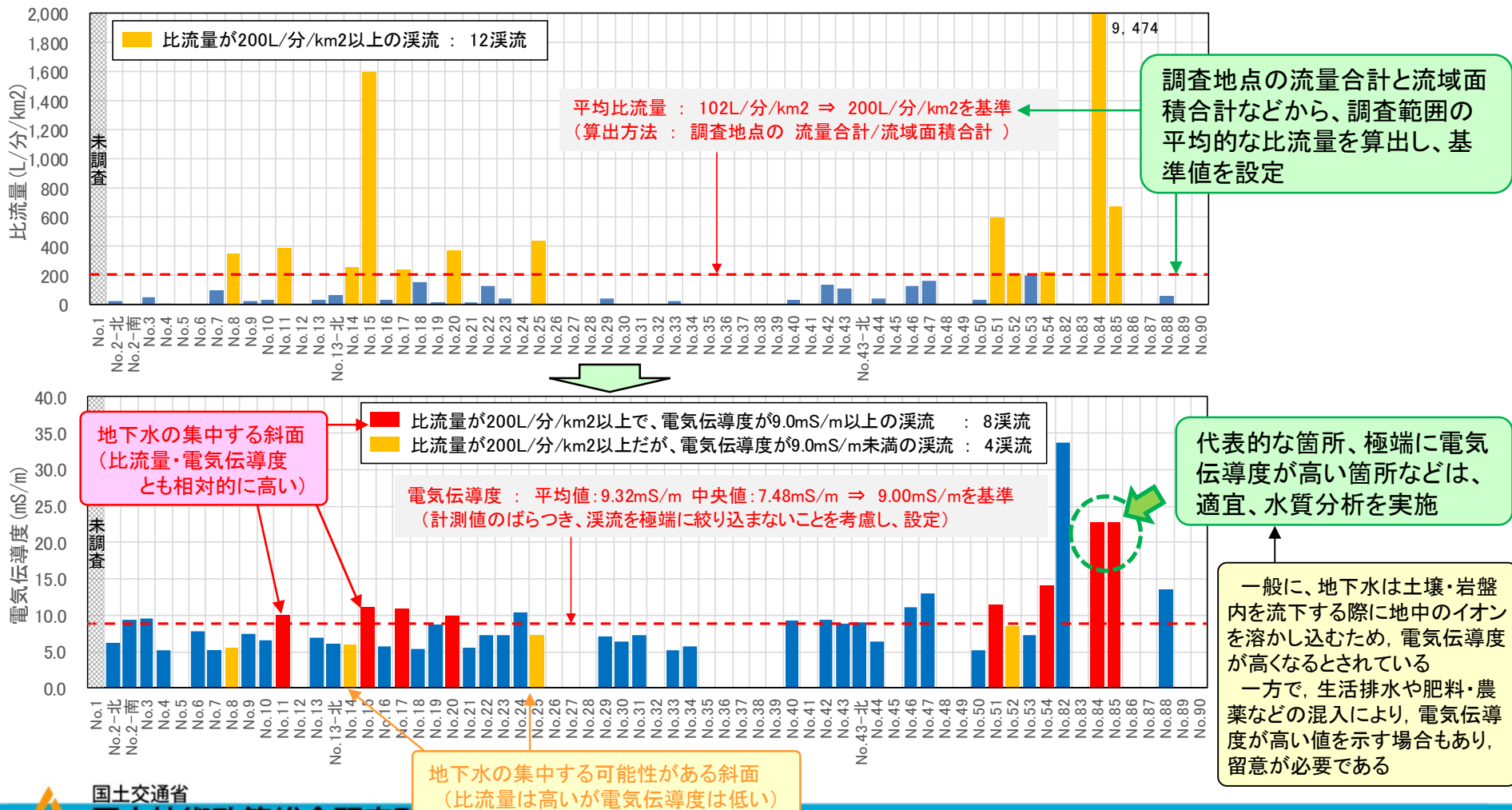
- ① 資料・収集整理：調査・解析に必要な地質・地形データ等の収集・整理
- ② 比流量調査：調査計画の立案・渇水期での比流量調査・比流量区分図等の作成
- ③ 地下水の集中する斜面の抽出：他の溪流より相対的に比流量の高い溪流を抽出



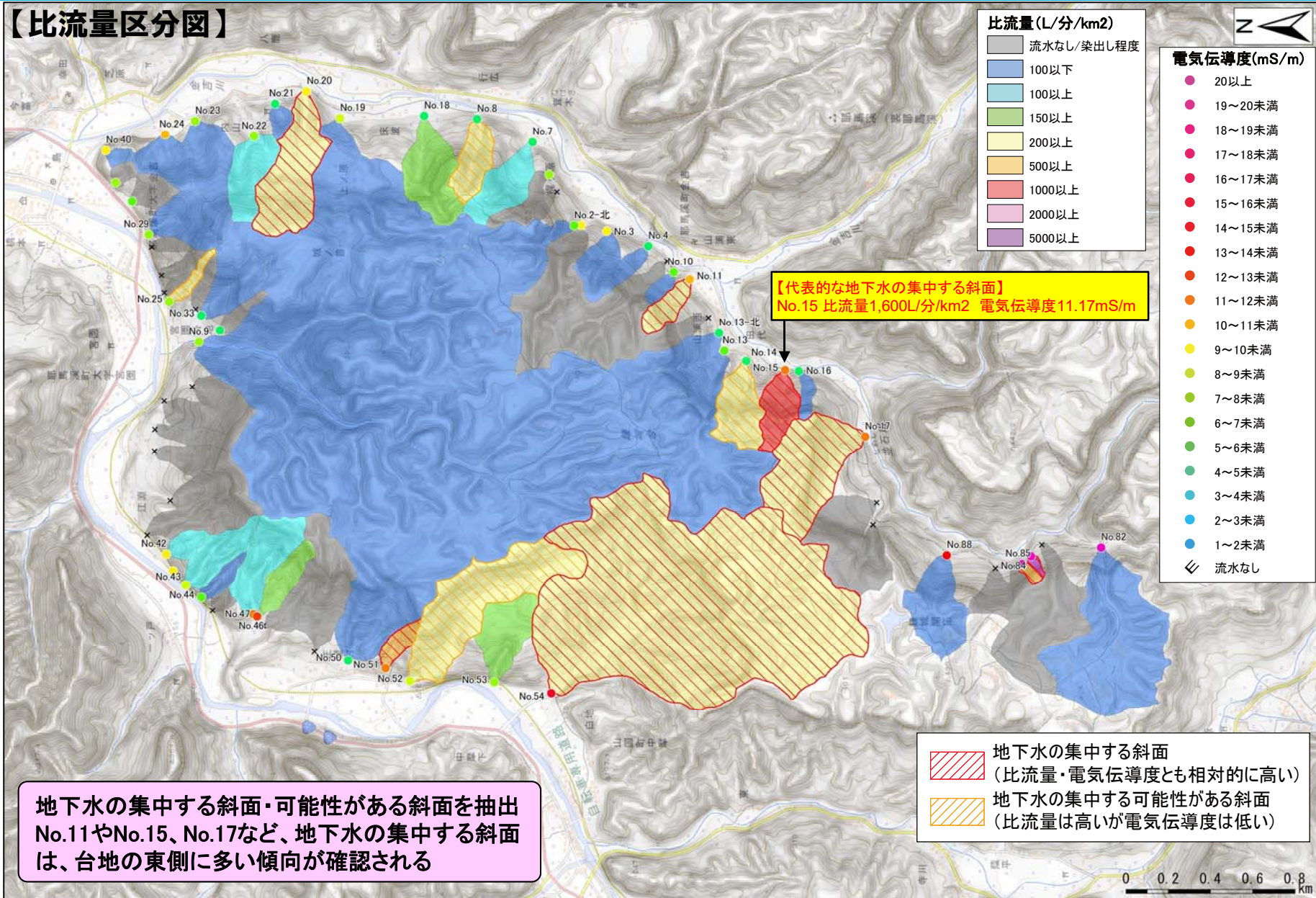
3. 比流量調査

【地下水の集中する斜面の抽出】

- 調査地点の平均的な比流量以上を基準とし、基準以上の比流量を示す溪流を地下水の集中する溪流として抽出
- 電気伝導度も踏まえ、地下水の「集中する斜面」・「可能性のある斜面」として評価



3. 比流量調査



4. 微地形判読調査

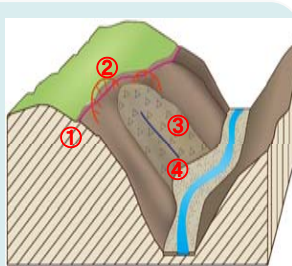
【微地形判読調査の概要】

地下水の集中する斜面では恒常的な湧水が存在し、湧水箇所付近背後の急斜面における崩壊の発生・崩土の堆積(崖錐形成)といった地形形成プロセスが繰り返されていると想定される

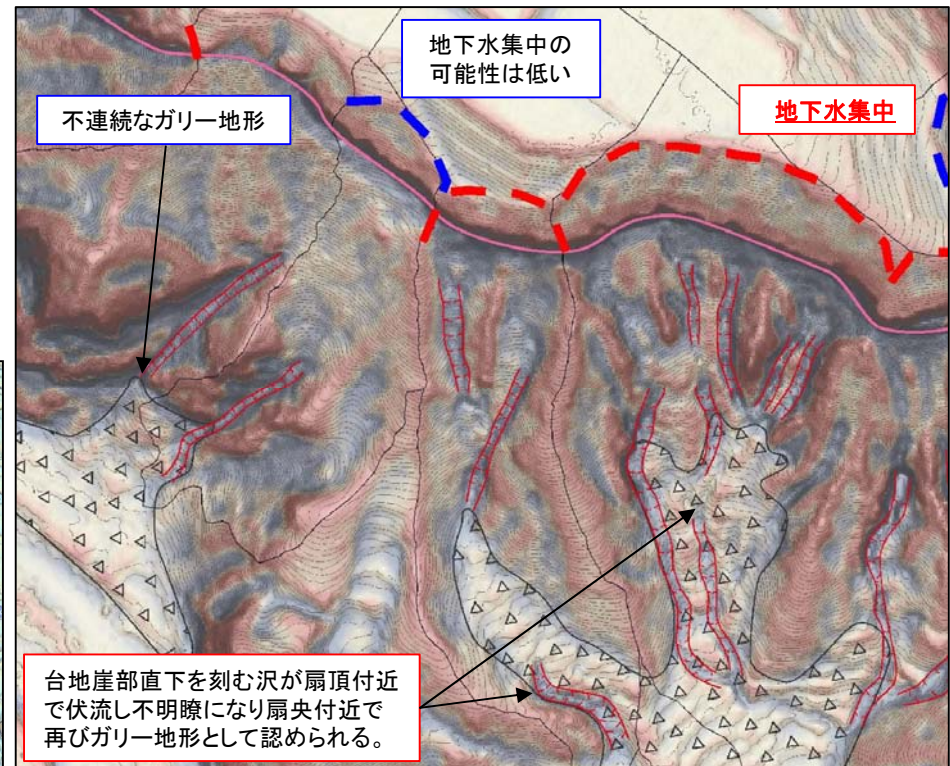
地形形成プロセスを考慮した微地形に着目した地形判読を行うことで、恒常的な湧水が存在する可能性のある斜面を抽出する

【着眼する微地形】

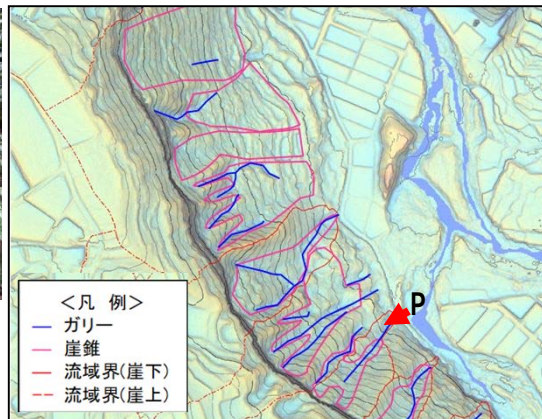
- ① 火砕流台地周縁部遷急線
- ② 崩壊跡地
- ③ 崖錐
- ④ ガリー地形



【微地形判読による地下水の集中する可能性のある斜面の抽出】



【微地形判読及び現地調査】

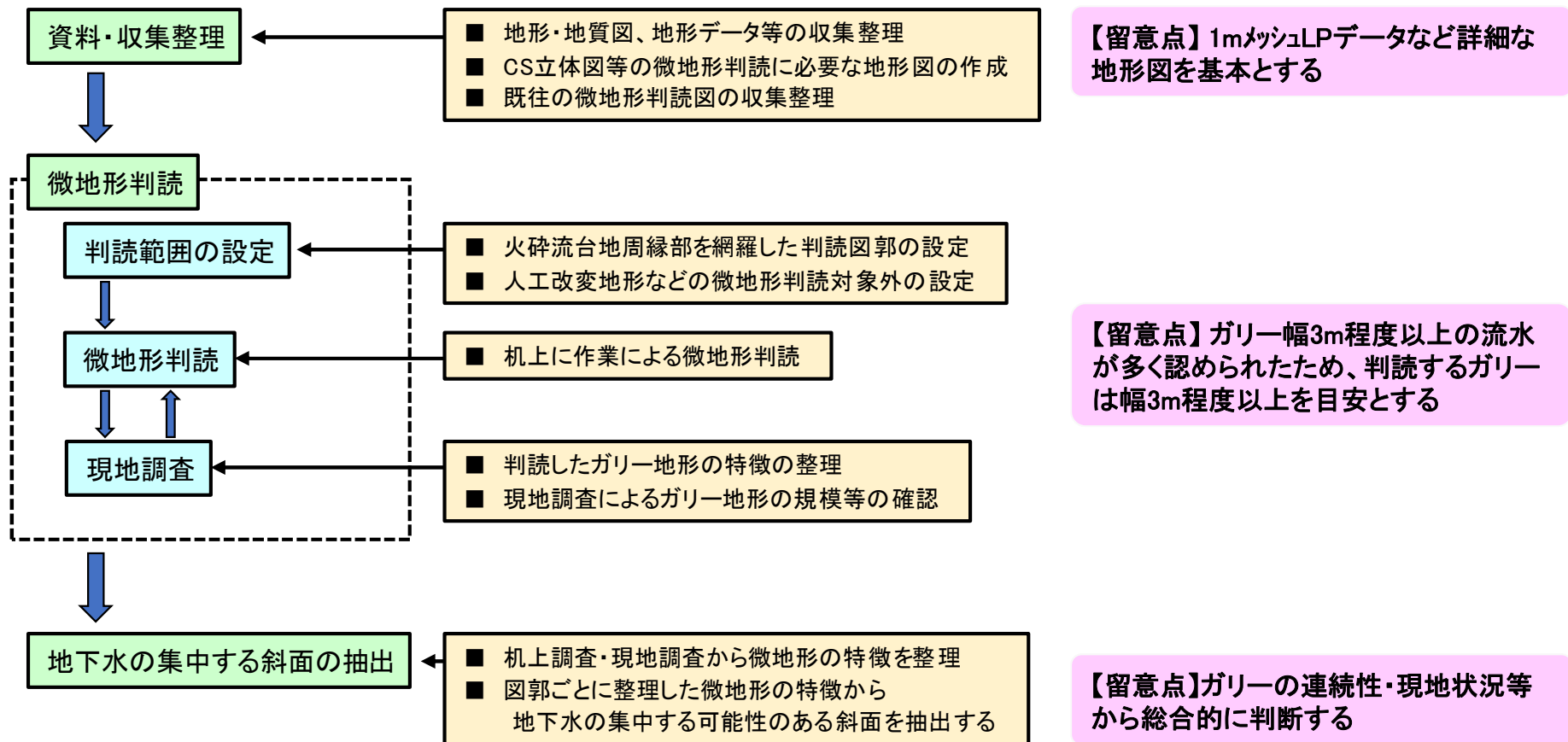


4. 微地形判読調査

【抽出に向けた調査・検討の流れ】

地下水の集中する斜面の抽出に向けた調査・検討は、以下の項目・流れで実施

- ① 資料・収集整理：微地形判読に必要な地質・地形データ等の収集・整理
- ② 微地形判読：机上調査・現地調査により微地形の特徴を整理
- ③ 地下水の集中する斜面の抽出：微地形の特徴から地下水集中箇所を抽出

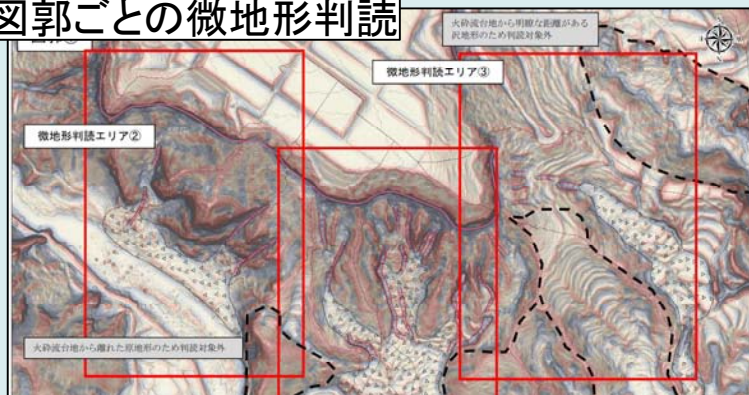


4. 微地形判読調査

【微地形判読】

- 火砕流台地周縁部が網羅されるように図郭を設定し微地形判読を行う
- 地形判読の際は、人工改変地形や台地から離れた地形については対象外とする
- 判読した微地形については、代表的な地点の現地確認を行い、対象地域におけるガリー地形の規模、河床の状況や流水の有無を確認する

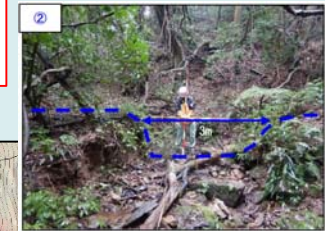
図郭ごとの微地形判読



人工改変地形の判読



現地調査



②ガリー幅は3mである。河床は河成堆積物である。明瞭に流水が認められる。

③ガリー幅は2mである。河床及び左岸側には河成堆積物が認められる。流水は染み出す程度である。

岩盤を刻むガリーは連続性がよく扇状地地形に入ると不明瞭となる。

①ガリー幅は3mである。河床は河成堆積物である。左岸側は四万十帯の堆積岩が露岩する。明瞭に流水が認められる。



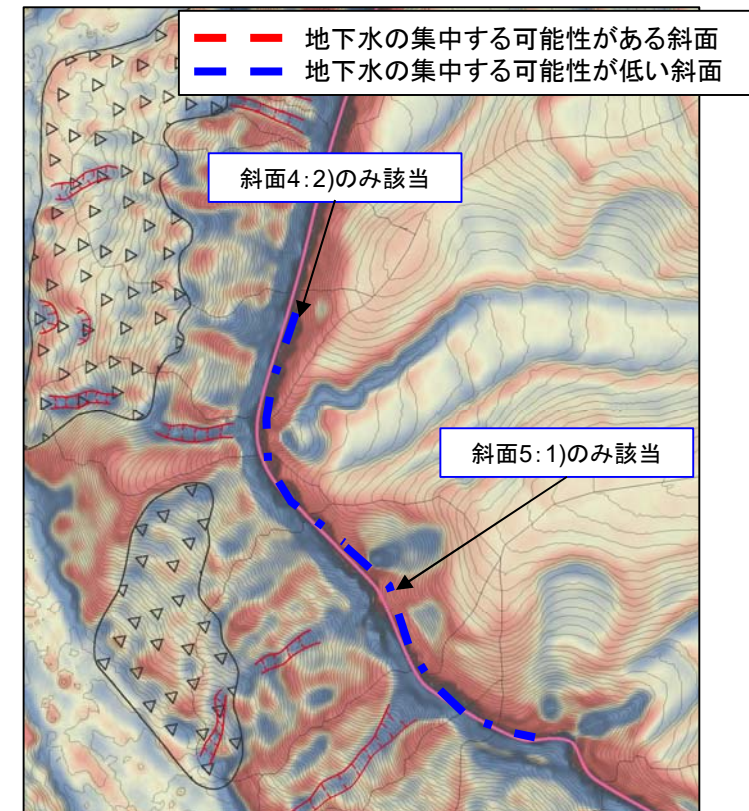
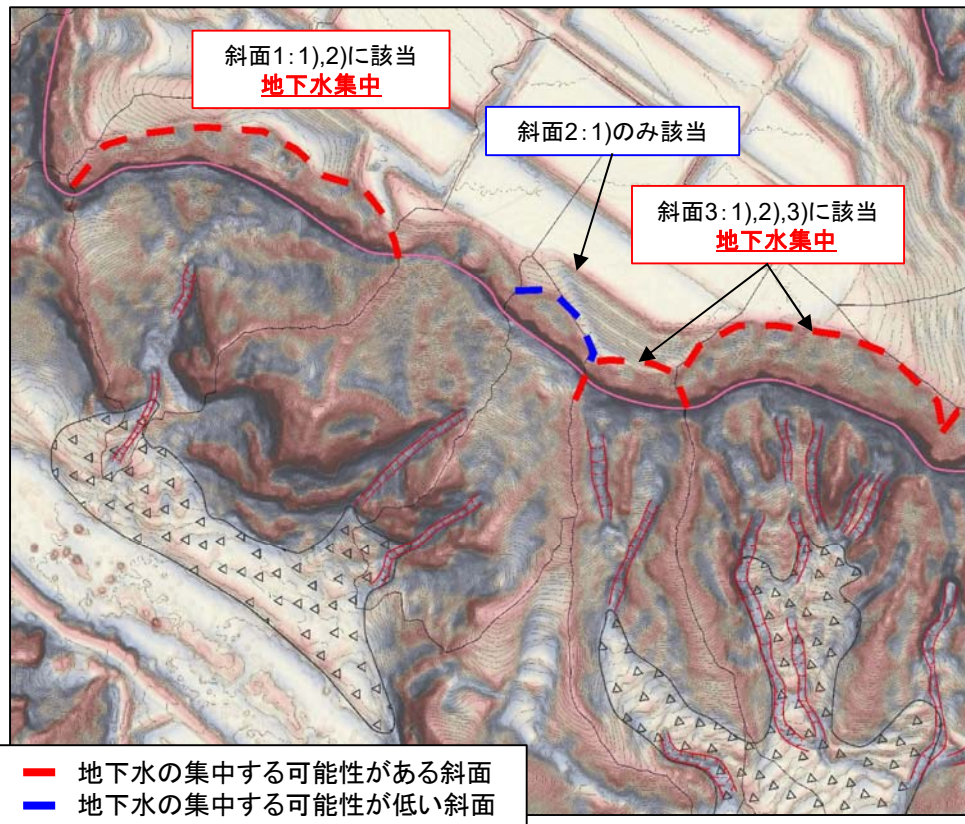
扇状地地形には明瞭なガリー地形が認められない。

4. 微地形判読調査

【地下水の集中する可能性のある斜面の抽出】

ガリー地形の要因として「地表水」と「地下水」が挙げられる。地下水の特徴として以下の3点に着目して、「地下水の集中する可能性のある斜面」を抽出した

- 1) 火砕流台地を刻む明瞭な沢がなく台地崖部下方にガリー地形が発達する箇所
- 2) 上部斜面からのガリー地形が連続的に認められる箇所
- 3) 現地調査にて湧水期に常時流水が認められた箇所



5. 調査手法の特徴の整理

項目	空中電磁探査	比流量調査	微地形判読
調査手法概要	<ul style="list-style-type: none"> ■電磁誘導現象を利用する電磁探査の一つで、ヘリコプターに曳航した電磁センサーを用いて地中の電磁場応答を測定することで、広域斜面の比抵抗3次元構造を把握する探査手法 ■「間隙率が大きく、地下水で飽和した」地盤が低比抵抗となることを利用し、降雨条件の異なる2時期の比抵抗の差分により地質状況による影響を除去することで、比抵抗の違い(≒地下水の分布)として抽出し、地中内部における地下水の分布から地下水の集中する箇所を抽出する 	<ul style="list-style-type: none"> ■流域出口付近にて流量や電気伝導度などを計測し、地表地形による流域面積と流量の比(比流量)を算出する調査手法 ■比流量が大きな溪流は地表流域より広い範囲からの地下水流入が多いと推定されることから、相対的に比流量が大きい溪流を地下水が集中する溪流として抽出する 	<ul style="list-style-type: none"> ■溪流内の崩壊地形やその下位の崖錐地形、及び崖錐表面の侵食地形(ガリー地形)の微地形判読を行う手法 ■崖錐表面にガリー地形が発達する箇所は地下水が恒常的に湧出していることが想定されることから、地下水が集中する溪流である可能性があると判断し抽出する
調査精度信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ●比抵抗は一義的に帯水層を示すものではないが、降雨条件の異なる2時期の探査結果を用いて地質状況による影響を控除することで、比抵抗の違い=飽和度の違い(≒地下水の分布)として評価できる ●3次元的な比抵抗の分布が把握できることから、調査した2時期の期間における地下水の分布する可能性がある範囲・深度を推定できる ▲1時期の調査では、飽和度及び地質状況の2つの影響がでてしまうため、探査結果の評価が難しい ▲精度向上に向けて、調査対象地域内における地質調査、地下水調査結果などとのキャリブレーションを行うことが望ましい ▲「地下水が増加した領域」が崖表層までは連続しないが、現地では恒常的な湧水が確認されるなど、課題が残る点もある 	<ul style="list-style-type: none"> ●現地にて、実際に流水の有無、流量などを計測するため、地下水の存在という観点で直接的であり精度は高い ▲比流量算出に用いる流域面積の計測は机上作業にて設定するため精度のばらつきは小さいが、平坦面や人為的な地形改変の影響には留意する必要がある ▲流量は先行降雨量や降雨からの経過時間により変化するため、相対的に比較したものであることに留意する必要がある ▲3次元的な地下水の分布は把握できない 	<ul style="list-style-type: none"> ●地形図による判読作業は、空中写真判読に比べ個人差は生じ難く、調査精度のばらつきは小さい ▲ガリー地形の抽出精度は、作業に用いる地形図の精度に左右される。地形図の精度によっては、判読での抽出が不可能な場合もある ▲判読結果を元に代表箇所の現地確認によるキャリブレーションを行い、精度・信頼性の向上を図る ▲3次元的な地下水の分布や流量は把握できない
調査時間	<ul style="list-style-type: none"> ●探査面積は約5km²/日で可能であり、比較的広範囲の調査に適する ▲ヘリコプター手配や調査実施に向けた周知など、探査開始までの準備に約1ヶ月を要する ▲3次元的な解析となるため、探査結果の整理～解析には2ヶ月程度(調査範囲:約5km²)を要する ▲降雨条件の異なる2時期の探査が必要となるため、調査結果が得られるまで10ヶ月程度を要する 	<ul style="list-style-type: none"> ●調査箇所数は5～10溪流/日/班程度であるが、調査班数を増やすことで調査範囲の拡大は可能である(実績として4班で約5km²/日)。 ●調査計画の立案・流域面積の計測は地形図より机上作業で行う(1週間程度) ●調査結果はGISデータとして整理することが望ましく、整理～解析には1ヶ月程度を要する ▲効率的に調査を行うために、各溪流の概況把握(地形、流況、堆積物、アクセスルート等)のため事前調査を行うことが必要である ▲湧水期に調査する必要があるため、調査の期間・範囲は限られる 	<ul style="list-style-type: none"> ●実績として、約3km²/人・日の判読が可能である ●判読の目合わせは必要となるが、複数人での判読が可能であり、広範囲の調査に適する ●判読結果はGISデータとして整理することが望ましく、整理～解析には1ヶ月程度を要する ▲判読結果を元に代表箇所などの現地確認を行う必要がある
簡便性	<ul style="list-style-type: none"> ●ヘリコプターを用いた探査であり、比較的広範囲を短時間で探査することが可能である ▲ヘリコプターの飛行許可申請等(住民周知含む)が必要のほか、空港周辺や送電施設の有無で飛行制限を受ける可能性がある ▲ヘリコプターを含め専用機材を使用するため、探査時期は機材調達のスケジュールに左右されるほか、気象条件(降雨時は調査不可能)にも左右される 	<ul style="list-style-type: none"> ●広範囲の調査には、調査班数を増やす必要があるが、特殊な機器や大掛かりな装置は不要である ▲調査対象溪流内に調査員が立入る必要があり、関係機関や地域住民への作業周知等が必要である ▲調査は降雨の影響が小さい湧水期で、無降雨が続いた時期に調査することが望ましく、調査工程が天候に大きく左右される 	<ul style="list-style-type: none"> ●判読作業の大半は机上作業であり、概ね室内で作業は完了する ●判読作業には特別な機器などは不要である ▲判読作業の精度向上に向けては、精度の高い地形図や立体的に可視化した図の活用などが挙げられる ▲現地確認の際には、調査対象溪流内に調査員が立入る必要があり、関係機関や地域住民への作業周知等が必要である
調査費用 ※2	<ul style="list-style-type: none"> ●ヘリコプター運航費用や整理・解析費用が主体となる ▲2時期の調査が必要であり、ヘリコプターの運航費が高価となる(探査面積が広域となる場合面積当りの調査費用は小さくできる)(地上電気探査による調査も想定され、その場合費用は空中電磁探査に比べ安価となる) <p>1km²当り 2時期の調査・解析の概算費用 : 約300万円(経費込)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●現地での計測調査にかかる人工及び整理検討費用が主体となる ▲同時期に調査を行うことが望ましいため、同時期に多く現地調査要員を必要とする <p>1km²当り概算費用 : 約70万円(経費込)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●室内での判読作業にかかる人工及び整理・解析費用が主体となる ●判読結果の現地確認作業は数日間程度である ●判読範囲がある程度広域となれば面積当りの費用は小さくできる <p>1km²当り概算費用 : 約30万円(経費込)</p>

※1:各手法に優先順位は付けていない。調査範囲の大小やその他の制約条件に応じて調査手法を選択してよい

※2:調査範囲10km²程度の概算費用からkm²当りを算出。概算費用には資料収集・調査・解析を含む

●:特徴・利点など ▲:留意点など

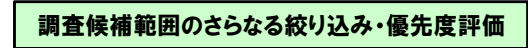
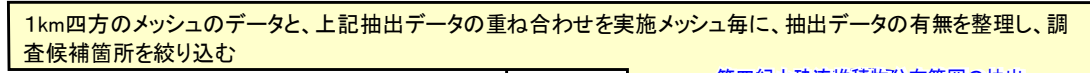
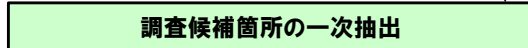
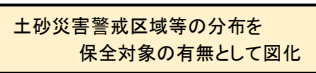
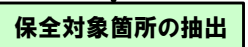
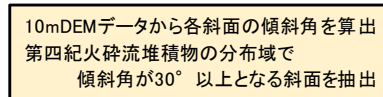
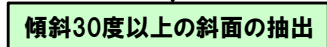
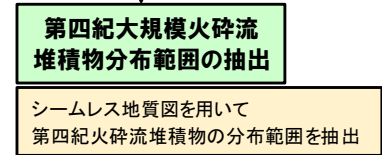
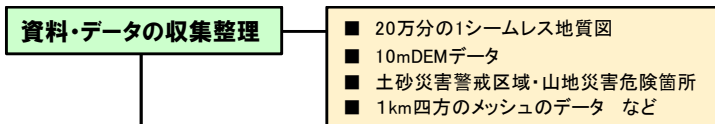


6. 調査候補箇所の抽出方法

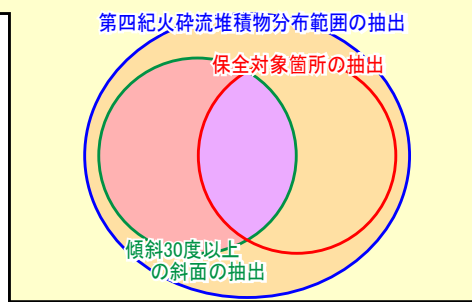
【調査候補抽出の流れ】

- 調査候補箇所の抽出は、以下の抽出指標を用いて実施する
 - 第四紀大規模火砕流の分布
 - 傾斜30度以上の斜面の分布
 - 保全対象の分布
- 各指標の有無を判断し、詳細な調査等の実施に向けた基礎資料とする

【作成フロー(案)】

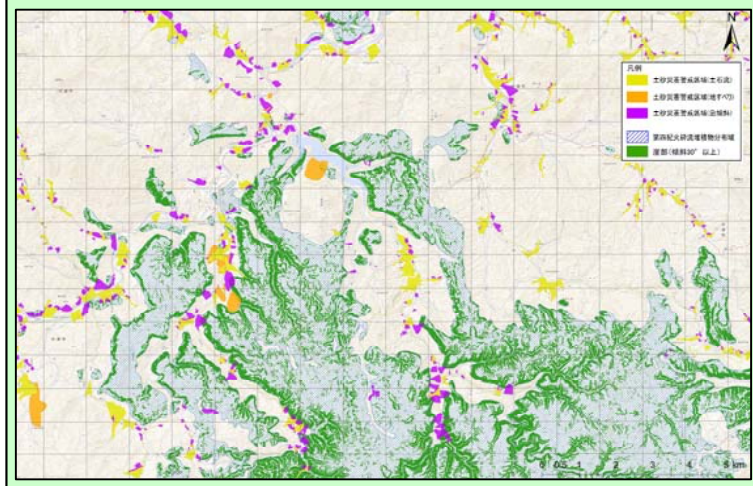


- 必要に応じて、さらなる調査候補箇所の絞り込みや調査優先度などの評価を実施
- <評価項目(案)>
- 比高差の高い崖部の有無
 - 詳細地質図・微地形判読図等による絞り込み
 - 保全対象の多寡
 - 法規制の有無 など



【基本となる抽出指標の分布例】

- 第四紀大規模火砕流堆積物の分布
- 傾斜30度以上の崖部の分布
- 保全対象の分布



- 凡例
- 第四紀大規模火砕流堆積物分布域
 - 第四紀大規模火砕流堆積物分布域における崖部(傾斜30°以上)
 - 保全対象の分布
 - 土砂災害警戒区域(土石流)
 - 土砂災害警戒区域(地すべり)
 - 土砂災害警戒区域(急傾斜)

※シームレス地質図V2で形成時代に第四紀、岩相に大規模火砕流と記載がある地質区分を抽出