

16. 三波川帯に発生した崩壊性地すべりの発生機構の考察

A study of sliding mechanism of high speed landslide in Sanbagawa metamorphic belt

(株) エイトコンサルタント

吉岡 正治 ○橋尾 宣弘

嶋 将志 池田 学

1. まえがき

平成10年11月7日未明に、徳島県西部の三波川帯山腹斜面において比較的規模の大きい崩壊性地すべりが発生した(図-1)。

当地すべりは、発生時の滑動量が非常に大きく、崩壊土砂によって斜面下部の県道が埋没、民家2軒が損壊し、崩土の一部は河川まで達した。

崩壊の前日に県道の通行止めを行い、住民が自主避難していたため、幸いにも人的被害は生じなかったものの、生活道路の不通や崩土による土石流の発生が問題となり、早急な地すべり発生機構の解明と適切な対策工法の立案が課題となった。

本稿では、この崩壊性地すべりに対する調査観測および分析結果を概説するとともに、調査結果から考察される地すべり発生機構について述べる。

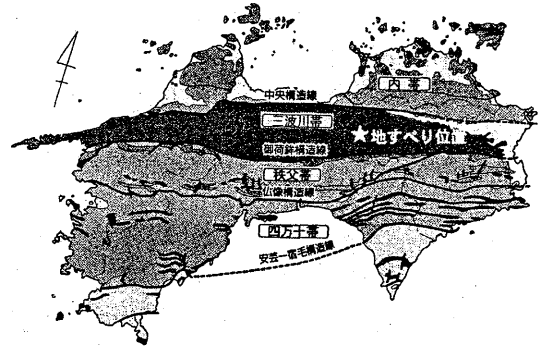


図-1 四国地方の地質略図と地すべり発生位置

2. 地形・地質の概要

地すべりは、吉野川支川の水衝部に当たる南向き斜面で発生した。この斜面は、図-2に示すように背後山地から派生する北北西-南南東方向の直線状ヤセ尾根地形の末端部に位置し、山脚が35°~45°に侵食された等斉直線斜面形状を呈す。

地すべり斜面周辺には、複数のリニアメントが判読できる。これらは東西性の地質構造・断層とそれに従属する節理などの弱線に起因したものと考えられる。地すべり斜面はこれらのリニアメントに区画された独立小ブロック内に位置する。この独立ブロックは、前述のヤセ尾根の伸長方向に対し斜面背後の鞍部を通過するリニアメントを境に、100~150m程度左横ずれを生じている(図-2)。

調査地周辺の基盤岩は、西南日本外帯の三波川帯泥質片岩である(図-1)。一般に片理構造や軸面へき開を伴う微褶曲構造がよく発達し、この片理面やへき開に沿って割れ易く、全体に脆い性質がある。また、四国地方全体の著しい隆起運動に伴って、地質構造に沿った大小の断層が発達している特徴がある。

三波川帯の地質構造は東西方向主体であり、これに平行な褶曲構造の一つに大歩危背斜が挙げられる。当地はその南翼に相当するため、当地の主要な片理・へき開面は南傾斜を呈す。したがって、斜面と地質構造との関係は、微褶曲構造を無視すれば高角度の「流れ盤」に相当する。

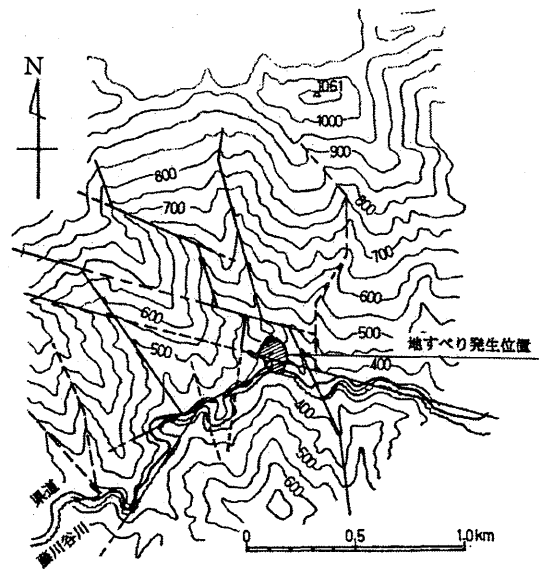


図-2 地すべり周辺のリニアメント
(空中写真判読による)

3. 地すべり発生の経緯

聞き取り調査の結果から、今回大きく滑動した地すべりは、古くからの斜面変状が顕在化して発生したことが推察された。

40年以上前から斜面頭部の滑落崖が確認されており、約10～20年程度のサイクルで0.5～1m程度の滑落崖変位が発生していた模様である。地すべり発生の3ヶ月前には、地すべりブロック西側方部で幅30m、延長150mの山腹崩壊が発生しており、この段階でブロック東側の斜面中上部に数段の岩盤亀裂の段差が認められていた。また、地すべり発生の数日前には、地元住民が斜面上部に砂煙が立ち上るのを目撃している。

一方、一般的な地すべり誘因であるまとまった降雨は、地すべり発生の20日前（日雨量212mm）に生じただけで、発生前2週間はほとんど降雨を観測していない。

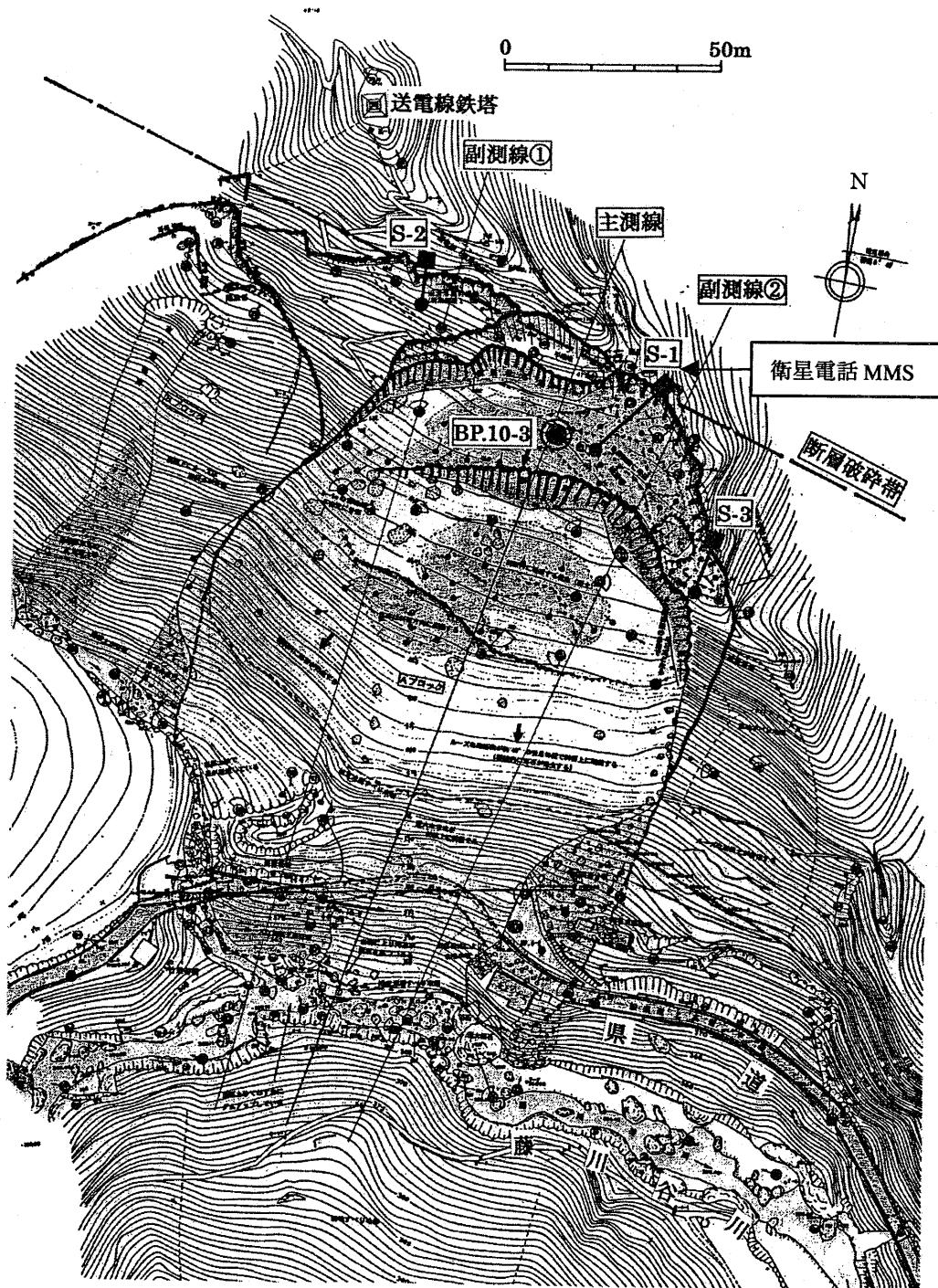


図-3 地すべりブロック平面図

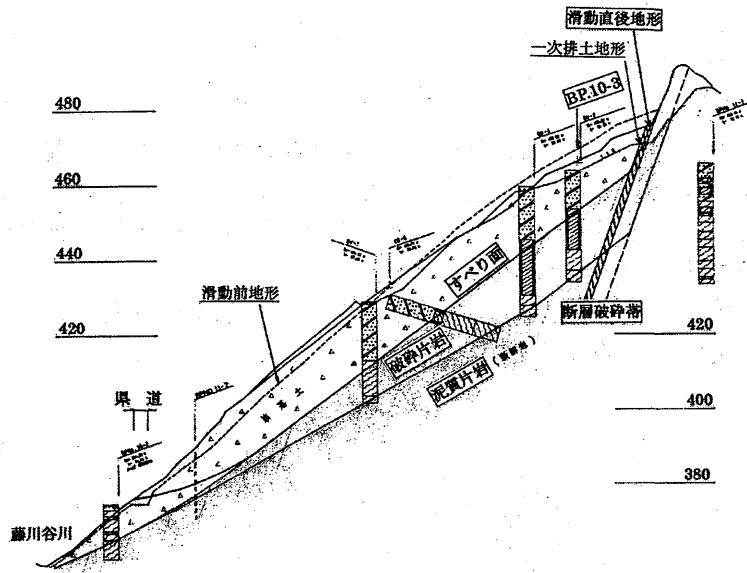


図-4 地すべり断面図（主測線）

4. 地すべり斜面の状況

地すべりは幅 110m 延長 200m の範囲で発生しており、その平面形状と主測線断面を図-3,図-4 に示す。地すべり発生直後の現地踏査の結果、地すべりは滑動量が非常に大きく、斜面全体が著しい脆性破壊を生じて、下方部は崩壊土砂が流動していることが判明した。

冠頭部の滑落崖は、旧滑落崖の再滑動量で 2~3m、新規に生じた滑落崖で最大落差 10m 程度に達していた。これらの滑落崖は地質構造に規制されて特徴的な平面分布を呈している。

地すべり斜面上部は、無数の開口亀裂によってズタズタに破壊された風化岩塊がむき出しになっている。また、斜面中間部から末端部にかけては、激しい滑動によって攪乱破碎化した土砂・岩塊が、急斜面上を流動している。このため、斜面下部の県道は延長約 70m にわたって埋没し、民家は崩落した巨大な岩塊によって完全に破壊されている。

地すべり発生土砂は、斜面末端の藤川谷川に達し、一時ダムアップを生じさせていた。

5. 地すべり調査結果

5-1. 滑落崖に沿う断層破碎帯の存在

地表踏査の結果、図-3 の伸縮計 S-1 付近（旧滑落崖と新期滑落崖の境界付近）に幅約 2m の断層破碎帯が確認された。内部は半固結状の角礫混じり土砂状を呈し、著しい攪乱を受けている。この断層の走向は新規滑落崖の走向方向とほぼ一致することから、地すべり冠頭部の滑落崖はこの断層破碎帯に規制されて生じていることは間違いなく、地すべり背後鞍部の横ずれリニアメント（断層）と同一センスの派生断層と考えられる。

5-2. 地すべり移動層の特徴と岩盤開口亀裂

地すべりブロック内で実施した調査ボーリング（BP.10-3）の結果を図-5 に示す。地表~10.2m 間は著しく攪乱された地すべり崩土が破碎岩塊や空洞を混じえながら分布し、地表部 1.4m までは赤褐色土が分布した。また 10.2~15.8m 間も破碎礫状の風化岩盤状で確

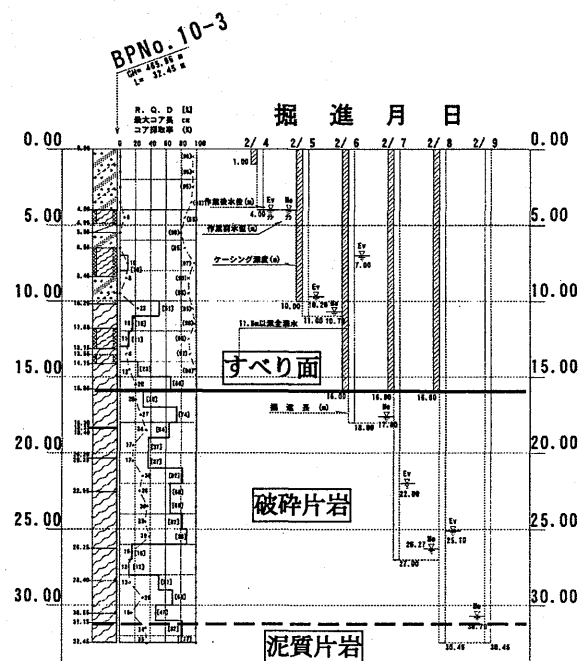


図-5 調査ボーリング BP.10-3 の試錐日報解析図

認められた。この地表～15.8m間が今回発生した地すべりに対する移動土塊と判断される。

これ以深も、岩芯部は比較的新鮮であるものの、開口亀裂や粘土細脈を挟み、健全な新鮮岩は31m以深に分布することが確認された。この破碎岩盤は、追加調査ボーリング孔のボアホールカメラでも確認されており、開口亀裂は幅3mmから大きいもので数十cmに達していた。おそらく、今回発生した地すべりよりも深い初生的な岩盤クリープ（又は地すべり）は、図-4に示すように現在の地表から約30m付近まで及んでいたと推察される。

5-3. 動態観測による地すべり滑動の把握

実施した地すべり動態観測のうち、滑落崖に設置した伸縮計3基とBP.10-3の孔内傾斜計の観測結果を図-6、図-7に示す。大きく滑動した後に観測を開始したにもかかわらず、非常に大きな変位を累積させており（最大300mm以上）、変位速度は降雨に反応して明瞭に増大した。無降雨時にも滑動が継続している特徴から考えれば、滑動形態は風化岩すべりよりもクリープ性の地すべりに近い形態といえる。なお、伸縮計S-1には当社で開発した衛星電話式MMS伸縮計を採用している。

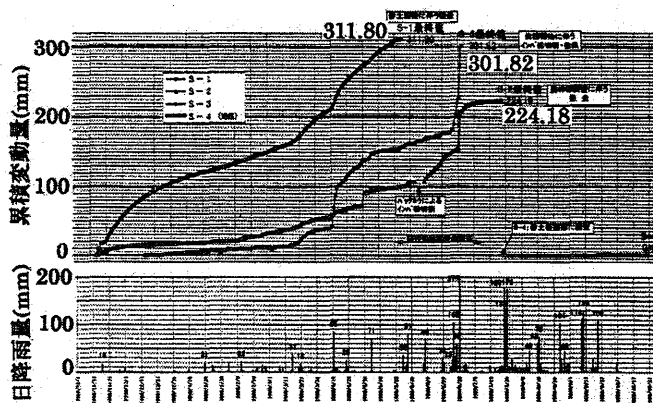


図-6 伸縮計観測結果（S-1,S-4は衛星電話式MMS）

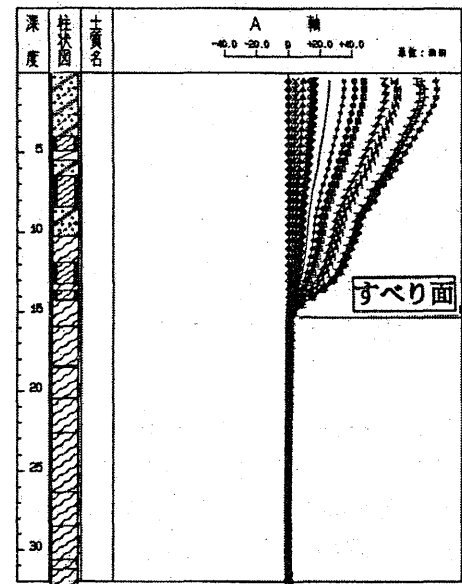


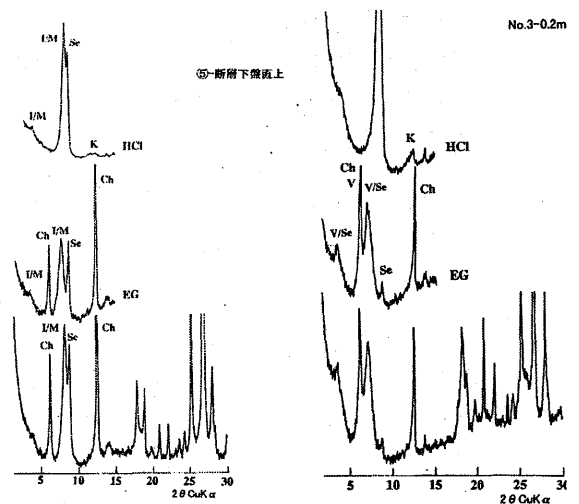
図-7 孔内傾斜計観測結果（BP.10-3）

5-4. 粘土鉱物による断層・風化帯の確定

滑落崖に出現した断層破碎帯とボーリングコアについて含有粘土鉱物を特定するためX線分析を行った（図-8）。

断層破碎帯には、すべり面を形成しやすい膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトとイライトの混合層鉱物（I/M）が確認された（図-8 [a]）。この混合層鉱物は、初生鉱物の緑泥石（Ch）やセリサイト（Se）に比べて相対的に低温・低圧下の環境で生成されるため、断層運動によって生じたと考えられる。ただし、これは三波川帯の断層粘土に通常認められるスメクタイト単体鉱物よりは相対的にやや深部で生成されるのが普通である。このことから、この断層破碎帯はもともとスメクタイト単体相を更に上部に有しており、それは斜面移動と侵食で削剥されていると推察される。

BP.10-3のボーリングコアからは断層破碎帯と同様な鉱物相は確認できなかったが、破碎岩盤内の粘土細脈にスメクタイトが認められ、表層の赤褐色土では初生鉱物のセリサイトがほとんどパーミキュライトとの混合層鉱物（V/Se）に変化していることが判明した（図-8 [b]）。本来セリサイト自体は風化に強い鉱物であり、このように大部分がパーミキュライトとの混合層に変わるた



[a] 断層破碎帯 [b] 表層赤褐色土

図-8 X線分析結果

めには、比較的強い風化作用が必要である¹⁾。この赤褐色土はほぼ現地性の残留土壌とみなせるため、強い風化を受けるような環境が過去に存在した可能性を示唆しており、斜面災害の素因を考察する上で今後注目していく必要がある。

6. 地すべり発生機構の考察

以上の調査観測分析結果から、当崩壊性地すべりの発生機構を考察し、モデル図を図-9に示す。

①侵食河川の水衝部に位置し、比較的規模の大きい断層破碎帯に頭部を規制された山脚斜面は、急峻な地形に侵食されて岩盤全体のクリープ変位が累積し、開口亀裂の発達した破碎岩盤斜面へと変化していった。(図-9 ①)

②破碎された岩盤には容易に雨水が浸透し、亀裂面とその周辺の風化を助長し、破碎部分全体の強度を低下させていった。(図-9 ②)

③破碎岩盤の表層付近では頭部断層破碎帯の劣化進行や岩盤自体の著しい強度低下に伴って相対的に層厚の薄い地すべりを繰り返し、斜面上部の破碎攪乱土砂帯を形成していった。(図-9 ③)

④ ②③を繰り返して斜面全体の安定度が限界近くに達した状態で地すべりブロック側方部の破碎土砂が崩壊し、ブロック側方部の滑動抵抗を失って斜面バランスが極限状態に変化していった。(図-9 ④)

⑤ブロック側方崩壊から3ヶ月半が経過して、破碎岩盤の強度を滑動力が上回り、急激で滑動量の大きな風化岩すべりが発生して、斜面下方の県道・民家を埋没させ、末端河川のダムアップを生じた。(図-9 ⑤)

⑥著しい滑動後も地すべり土塊は滑動を続け、クリープ性の活動形態を示す地すべり(崩積土すべり)に移行しつつある。

ここで考察した発生機構は、「風化岩すべりが比較的短時間(もしくは急激)に崩積土すべりへ移行する過程のモデル」を示したものであり、四国地方の結晶片岩地帯で数多く認められる厚い崩積土すべりの形成過程を示唆している可能性がある。

崩積土すべりに対して風化岩すべりが顕在化することが相対的に少ないため、その移行過程には不明な点が多いが、当地すべりのようなケースを細かく解析していけば、非常に急激で危険な崩壊性地すべりの事前予察のための知見が蓄積できると考える。

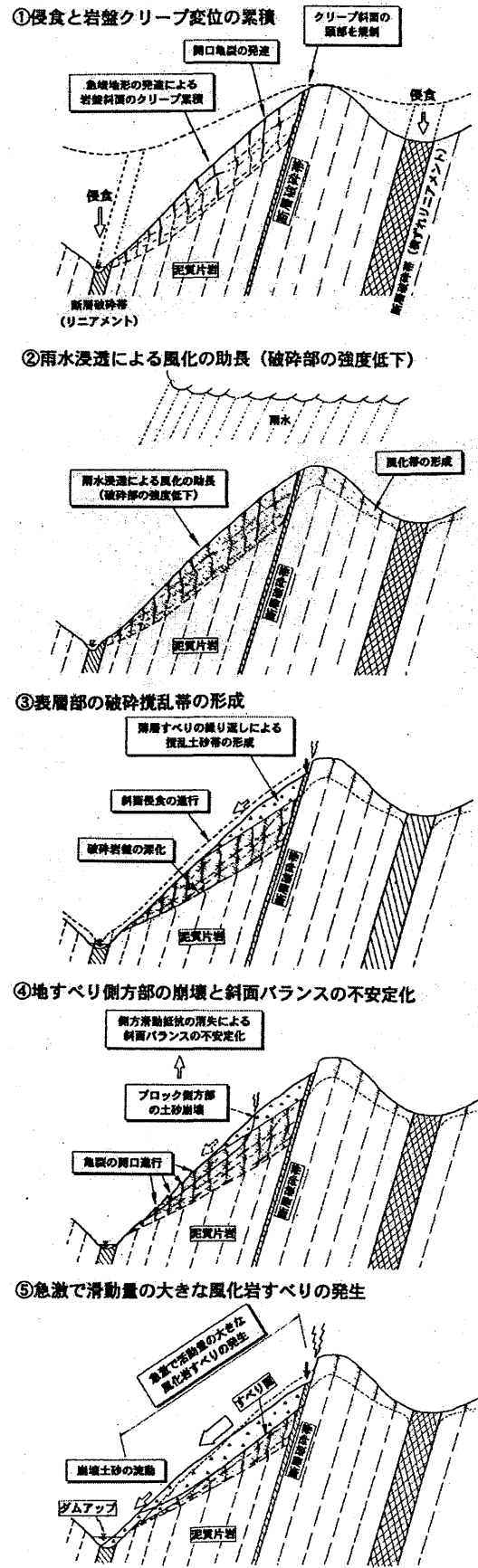


図-9 地すべり発生機構のモデル図

7. 今後の課題

7-1. 岩盤クリープの発生原因

著名な大崩壊地である赤崩れや七面山崩れ²⁾、四国の加奈木崩れ³⁾などは、高角度の流れ盤ないし受け盤構造の岩盤が斜面付近でトップリング状にクリープして大崩壊や地すべりを生じている。

当地の地すべりも当初はそのようなトップリング現象による崩壊と位置づける意見があったため、トップリング的クリープの証拠が側方崖などに残されていないかどうか調べたが発見できなかった。

京大防災研:千木良教授などが提唱している「結晶片岩等の岩盤クリープから風化岩すべりへ移行するモデル⁴⁾」は、当地の条件とも比較的良く合う(図-10のⅢ)。このため、開口亀裂を伴う岩盤クリープ(前述の発生機構①)が、斜面表層のトップリング現象から進行していった可能性は残されており、今後の検討課題としたい。

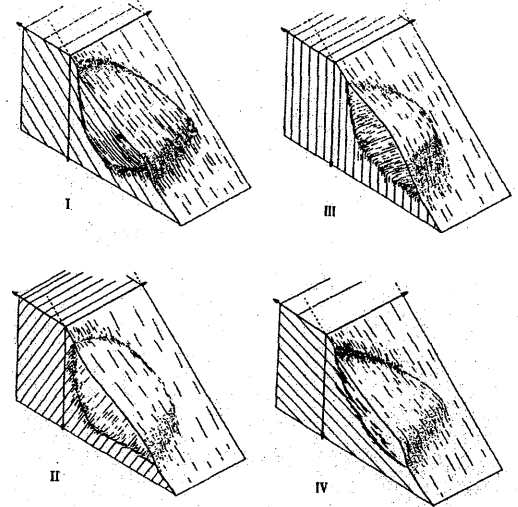


図-10 面構造の傾斜と斜面傾斜との関係に応じた岩盤クリープ⁴⁾

7-2. 地すべり発生誘因としての地下水の関与

一般的な地すべりの発生誘因は、雨水や融雪水の浸透に伴うすべり面付近の間隙水圧の上昇といわれている。

当地すべりは、図-5の試錐日報解析図にあるように掘進時は全漏水であり、孔内水位が形成されない状況であった。また、地すべり発生前2週間はほとんど降雨がなく、発生年の累積降雨量は平年並みであった。さらに、地すべりの応急工事として実施した排水ボーリングからもほとんど排水が認められなかった。

以上の状況から当地すべりでは、一般的な地すべりで生じる間隙水圧の上昇を考慮しない発生機構を考察した。しかし、岩盤クリープで発生した亀裂の強度低下や、断層破碎帯に含まれる粘土鉱物の膨潤などに地下水が関与した可能性は高く、最終的には急激な地すべり発生の誘因の1つになった可能性も考えられる。この点についても今後の類似ケースで検討していく必要がある。

8. まとめ

三波川帯泥質片岩地域に発生した崩壊性地すべりに対し、発生経緯・調査分析・観測結果を基に発生機構を考察した。この結果、岩盤クリープから進行した風化岩すべりが、急激な変位を短時間で生じることによって崩積土すべりへ移行していく発生機構が考えられた。

最後に、当地すべりの対策工法は、抑制工として排土工を、抑止工としてアンカー工8段:合計300本を採用している。現在、排土工と上部6段のアンカー工が終了し、地すべりは沈静化している。

《引用文献》

- 1) 金原啓司・藤井紀元(1980):徳島県木藤一宗森地すべり地における結晶片岩の風化(その1), 粘土科学 第20巻 第4号 PP120-128
- 2) 千木良雅弘(1995):風化と崩壊, 近未来社, PP96-103
- 3) 千木良雅弘ほか(1998):四国の四万十帯にある加奈木崩れの地質・地形特性, 平成10年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, PP61-64
- 4) 千木良雅弘(1995):風化と崩壊, 近未来社, PP49-88