現場で役に立つ地すべり工学 第５回　Key points in field work for landslide engineers No.5

３．地すべり発生時の対応
Immediate measures against landslide

上野将司／応用地質㈱
Syouji UENO／OYO Co.

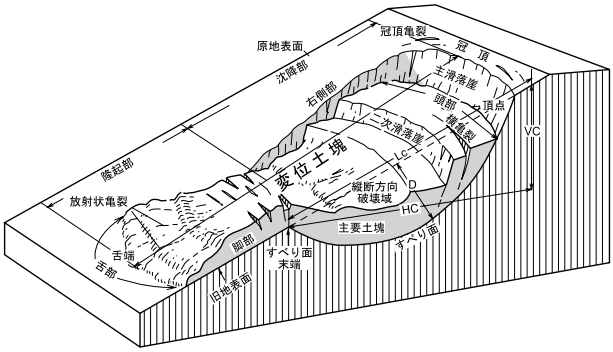
阿部真郎／奥山ボーリング株式会社
Shinro ABE／Okuyama Boring Co., Ltd

3.3　地すべり移動体の形状

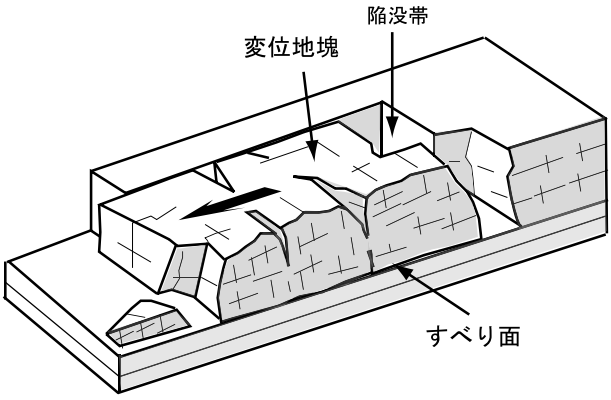
3.3.1　地すべり移動体

本節で用いる地すべり移動体とは，一体化して変動する地すべりの移動地塊を意味する。地すべり移動体は移動距離や移動速度，時間経過，さらにはすべり面形状や地形などの変化に伴って一部は停止し，一部は移動を継続させながら細分化し，そして破砕しながら形状および性状を変化させている。その形状や性状の変化は亀裂，段差，滑落崖，陥没など地すべり特有の変形構造（Varnes，1978など）として認められる（図－１，図－２）。

我々はこのような移動体特有の変形構造を知ることにより，逆に移動体の物性やすべり面形状などをある程度推察することが可能である。



図－１　最も典型的な円弧状地すべりのモデル図（Varnes，1978），ここでは㈳地すべり対策技術協会（1985）：地すべり：その解析と防止工（上巻），165p. より引用



図－２　直線上の岩盤地すべりのモデル図

我国の地すべり移動体に相当する用語としては，地すべり防止法制定（1958年）以前には「地辷り地塊（Sliding block）」（小出，1948），や「移動地塊や滑動地塊」（原口，1953）などが使用されている。1976年版の建設省河川砂防技術基準（案）（建設省河川局，1976）以降では‘地すべりブロック’が多くの技術者や研究者によって使用されるようになっている。しかし，我が国で用いられている「地すべりブロック」の用語の明瞭な定義を示すものは見あたらず，現在概ね次のような混合された意味合いで使用されている。

① 単一の地すべり移動体（三次元空間での分布をなす地塊）を示す名称（前述した移動地塊・滑動地塊・地辷り地塊に相当するもの）。

② 単一で変動している平面的な地すべり範囲，またはその可能性のある範囲を示すもの。

③ 上記 ①，②の範囲に対して割り当てた区画番地のような名称を示すもの。

海外では，Varnes（1978）によるMoving massまたは Sliding mass（body）が，「地すべり移動体」に相当するものと思われる。またVarnes（1978）はその中の破砕があまり進行していない部分を「Block」としている。上記①から③の意味で使用される日本の地すべりブロックは「Unit」に相当すると考えられる。

以下，当節で用いる‘地すべりブロック’は「地すべりの発生域から堆積域までの移動もしくは停止している地すべり地塊」と定義し，「地すべり移動体」と同義とする。

なお3.1節に述べたように地すべり調査の主目的の一つはすべり面形状を把握することであり，当節でもその点に留意した説明とする。

3.3.2　地すべり移動体（ブロック）の特徴

地すべり移動体の形状および物性は地形・地質・地質構造と密接に関連して変化し，そして地表の変形として出現していることは良く知られている。そのため，これら移動体の地形・地質的な特徴は現地踏査を踏まえたブロック設定には重要な指標になる。

１）地すべりブロックの地形的特徴

地すべりブロックは地すべり地特有の地形として発達

しており，航空写真判読（清水ほか，2000など）や地形図（渡，1992；建設省河川局開発課，1995など）から読みとることが可能である。地表面上の平面的なブロック範囲はこのような特徴を基に図面上に描くことが出来る。

過去に地すべりが発生した履歴を持つ地形は土塊移動の痕跡によって馬蹄形の凹状緩傾斜地形をなしている場合が多い。逆にこれまで地すべり発生履歴のない初生的な岩盤地すべりの場合は凸状の尾根地形に発生している場合が多いとされる（渡，1992）。特に大規模地震時に尾根地形に初生的な地すべりが発生した事例がいくつか報告されている（高橋ほか，2005）（写真－１）。このような尾根地形での地すべり発生は，尾根地形のために側面抵抗が少ないこと，また，地震時の地震加速度が尾根部で増幅しやすいことに起因するものとされている。

一般的には滑落崖や亀裂がシャープで鮮明なものほど近年の活動を示し，近い将来においても活動しやすい危険な地域とされている。逆に地すべり変動が休止もしくは緩慢になると地すべり地特有の地形が開析され，地すべり地内で沢も発達するようになる。このように地すべり地形の解析度合いからある程度の地すべり履歴を読みとることができる。しかし，数千年以上も変動しなかった地すべり地域が突然再活動する場合もあり，地すべり地形からの危険度予測は残された研究課題でもある。

地すべり地形内には細分化された複数の小ブロックが認められる場合が多い。このような小ブロックが全体的な地すべりブロックの側面部分に存在している場合は，地すべり側面の破砕された部分を多量の地下水が流下している可能性を示している。また，末端部に存在している場合は圧縮部の地塊の破壊によるものか，浸食による末端域の応力解放が進行している可能性を示唆している。

このような複合ブロックでの対策工は，小ブロックと全体的なブロックのすべり面の関連性や互いの変動方向や力の作用状況などを見極めた上で実施しなければならない。独自の変動と捉えた小ブロックへの対策工が全体的なブロック変動によって破壊された事例は多い。

写真－１　2004新潟中越地震時に尾根部が移動した一ツ峰沢の岩盤地すべり（高橋ほか，2005）を一部改変，撮影：原口強（2004年）

地表面に見られる亀裂や段差は踏査の確認と追跡の重要な目標である。相対的に薄い移動層は厚い移動層に比較して地表に亀裂が多い傾向にある。これは図－３に示されるように移動層の垂直方向におけるすべり面周辺とそれより上部の移動層では速度分布に差異があることに起因するものと考えられる。すなわち，厚い移動層では移動に対して剛体部分が厚く，薄い移動層の場合はすべり面付近の破砕の影響がでやすいためである。

また，地すべり頭部の引張り亀裂や段差，末端部の圧縮亀裂などの他にすべり面自体の階段形状を反映した亀裂や段差も報告されている（森屋ほか，2005）。

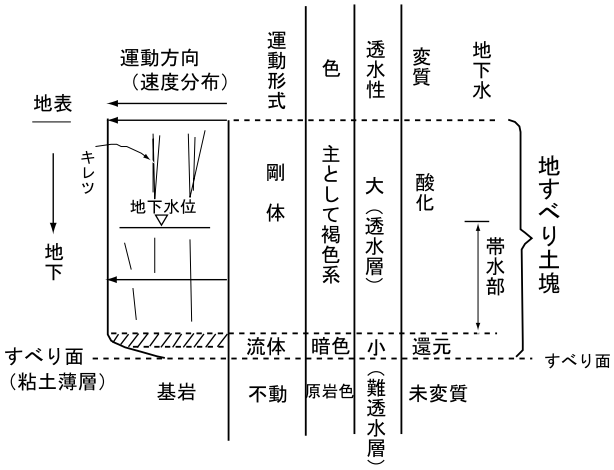
地すべりブロックの幅や長さおよび深さなどの関連性では，これまでの地すべり事例から統計的な相関性がいくつか報告されている（上野，2001；藤田・板垣，1976，1977；渡ほか，1975など）。地すべりの運動方向は斜面や地層そしてすべり面勾配の影響を受けている。また，断層や貫入岩などに規制されている場合もある。

２）地質・地質構造とブロック形状

地すべりブロックの形状や物性の変化は地質，特に地質構造に支配されている場合が多い。

たとえば，地すべりブロックの規模は地層の傾斜方向に一致した流れ盤の地すべりで大きく，受け盤の地すべりで小さい傾向があることは良く知られている。前者はすべり面をなす層理面や片理面が連続性に富むことに起因する。また，運動方向に対して対象な地すべりブロック形状を示す場合のすべり面横断形状は左右対称である場合が多い。しかし，層理の発達するケスタ地形上に見られる地すべりの場合（阿部ほか，2002）（図－４）や，図－５に示すような地質状況の場合（上野，2001）にはすべり面の横断形状が左右非対称になっている場合がある。

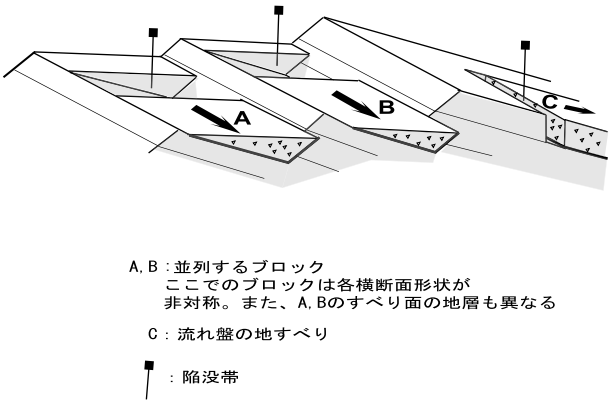
直線上の層面すべり頭部では，円弧状の地すべりブロック頭部に見られる段差を伴う滑落崖は無く，陥没帯（図－２，写真－２）のみになっている場合が多い。また，



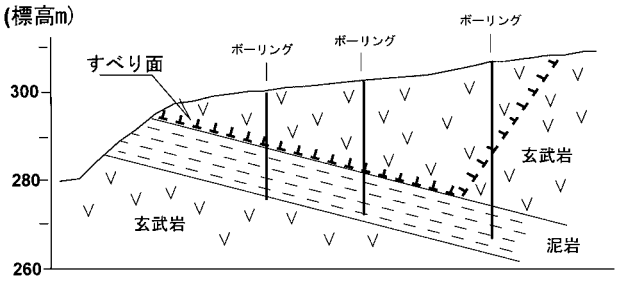
図－３　移動土塊の垂直方向速度分布（渡，1985）より引用

複数の並列状に並ぶブロックの場合(図－４)，各ブロックのすべり面は異なる地層に形成されている場合がある。

地すべりブロックの範囲はその頭部および側面が断層や火山岩，および花崗岩類に規制されていることも多い。その事例として，秋田県鳥田目断層沿いに多発する地すべりは，いずれの地すべりも断層と断層に平行する火山岩帯（主に安山岩）の間で，火山岩帯からの多量な地下水供給に起因して変動している（阿部ほか，2004)(図－６)。このような場合の地すべりブロックの判定には踏査による地質変化の確認が非常に重要となる。



図－４　ケスタおよび同斜構造上に発生する地すべりの模式図



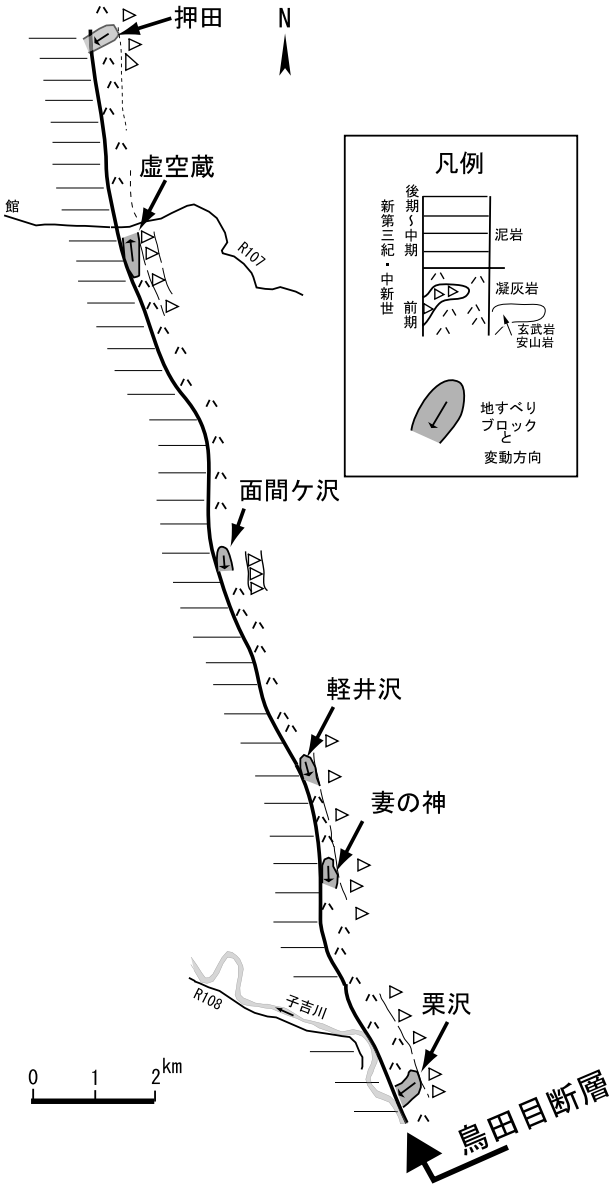
図－５　横断形状が非対称のすべり面の事例
（上野，2001）より引用

写真－２　ケスタ上に発生した岩盤状地塊の地すべりと陥没帯

ブロック頭部を玄武岩などの火山岩や火山噴出物が厚く覆うキャップロック状の地すべりの場合（北九州の北松型地すべりや秋田県砥沢地すべり，山形県肘折地域の地すべりなど）は，同斜構造をなす地層と，河川洗掘や浸蝕による末端部の欠除を主な要因として大規模に変動している場合が多い。また，これらのすべり面のほとんどはキャップロックとしての地質内ではなく，基盤の層理面に形成されている。

３）移動層の破砕や風化と地すべりブロック

地すべりブロックの形状や物性はブロックの破砕に伴って変化している（渡，1992など)。写真－３～写真－６はいずれも新第三系中新統硬質泥岩層に発生した地すべり事例である。写真－３の場合は硬質泥岩層がほと

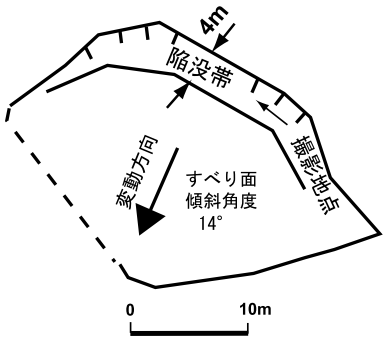


図－６　鳥田目断層沿いの地質と地すべりの分布
阿部ほか（2004）を一部改変

んど破砕しない状態で４m程度変動した初生的な岩盤状地塊の地すべりである。地すべりブロックの平面形状は丸みがなく，直線的で角張っている。写真－４は地すべり末端部から移動地塊を撮影した風化岩状地塊の地すべり事例である。移動地塊の一部には泥岩の堆積構造が保たれている。地すべりブロックの平面形状は全体的にやや丸みを帯びた馬蹄形となっている。写真－５は移動地塊が礫混じり土状になっている地すべり事例である。ここでの地すべりブロックの平面形状は丸みを帯び，一部細長くなっている。写真－６は泥岩層の堆積構造がほとんど見られないほど粘土化した地すべり事例で，全体的に狭長なブロック平面形状を見せている。

このように多くの移動地塊は地すべり変動の繰返しによる亀裂の発達と亀裂周辺の風化の進行によって徐々に礫混じり土状から粘土状に細片化される。それに伴って地すべりブロックの平面形状は角張った形状から馬蹄形へ，そして細長いブロック形状へ変化する（図－７）。

これらの移動層内では地すべり変動によって二次的に形成された断層や褶曲構造も見ることができる（阿部，1996)（写真－７）。図－８は粘土化が進行している写真－６の地点に施工された集水井の地すべり変動に伴う深度毎の水平変位量の観測結果である。地表から深度７～８までは図－３に示される剛体的な挙動を示す部分に，深度７～８m以深からすべり面まではすべり面近傍のせん断部分に相当している。



写真－３　中新統硬質泥岩層に発生した初生的な岩盤状地塊の地すべりとブロックの平面形状

3.3.3　地すべりブロック判別時の留意事項

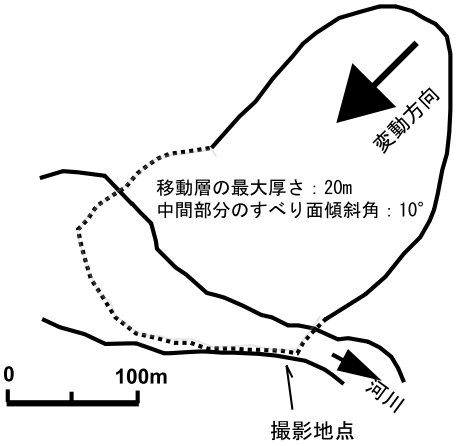
地すべりブロックの判別は踏査後の調査や対策工計画を立案する上で重要であることは周知のとおりである。また，我々が地すべりブロックを設定するということはそこに地すべり発生の危険性があることを特定することになることを強く認識しておく必要がある。そのため，踏査時におけるブロック判別結果の根拠は明確にしておくことが重要である。

以下，3.3.2で記述した内容をもとに踏査時の地すべりブロック判別時の留意点を示す。

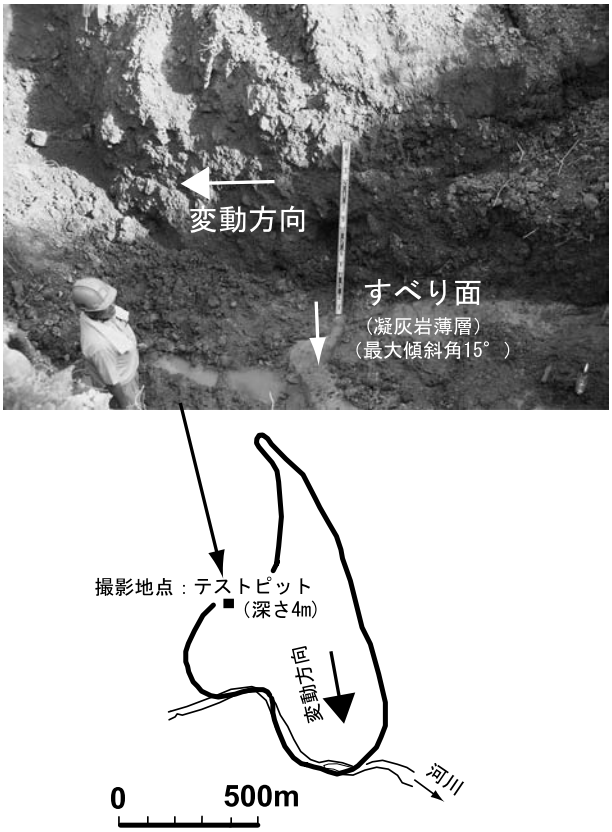
・踏査時に確認した滑落崖・亀裂・段差・陥没帯等の地形変状の程度および規模や湧水，構造物の変状，植生異常について，地形図上に正確に整理して，箇所ごとに作用している応力（引っ張り・圧縮・せん断）を考慮しながらブロックの範囲を設定する。

・地すべりブロックはその両側面部の小ブロックが先

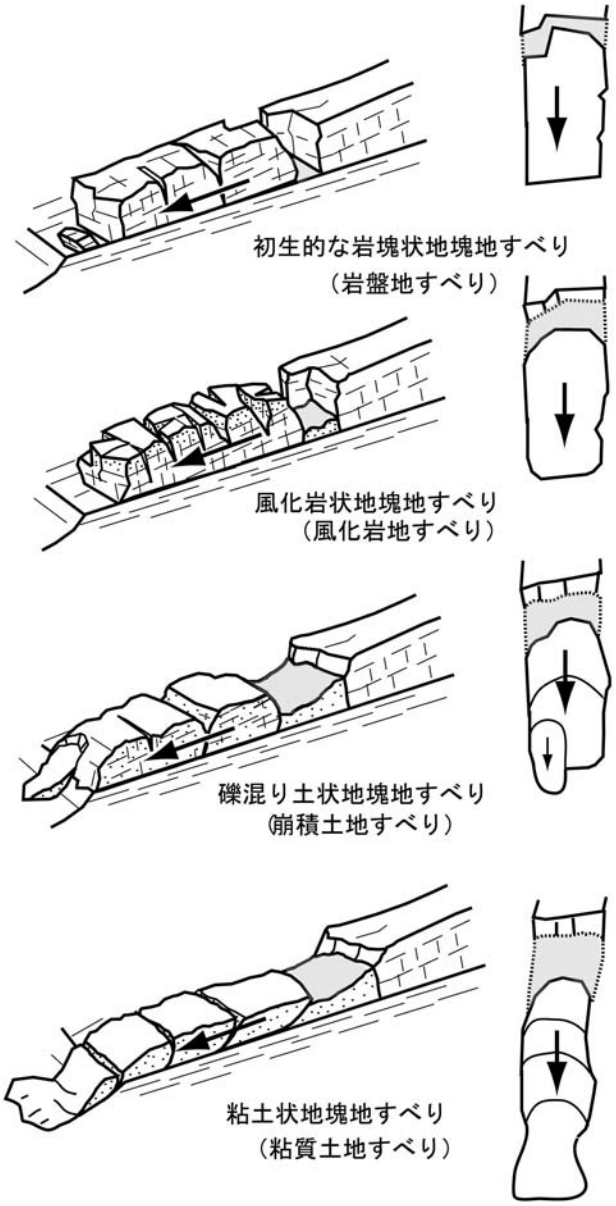
すべり面は写真下部よりさらに1～2m深部の凝灰岩薄層に形成されている。



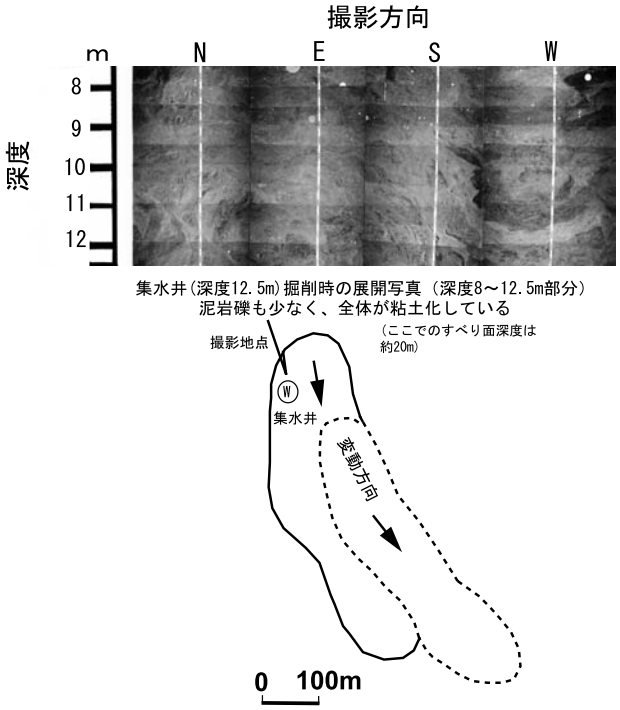
写真－４　中新統硬質泥岩層に発生した風化岩状地塊の地すべりとブロックの平面形状



写真－５　中新統硬質泥岩層に発生した礫混り土状地塊の地すべりとブロックの平面形状



図－７　ブロックの破砕と平面形状の変化（模式図）
（　）は渡（1992）の運動体の材料による分類



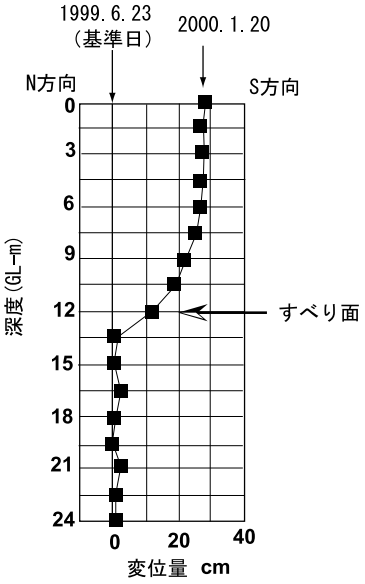
写真－６　中新統硬質泥岩層に発生した粘土状地塊の地すべりとブロックの平面形状

写真－７　中新統硬質泥岩層に発生した地すべりによる二次的な褶曲構造（1958年発生）

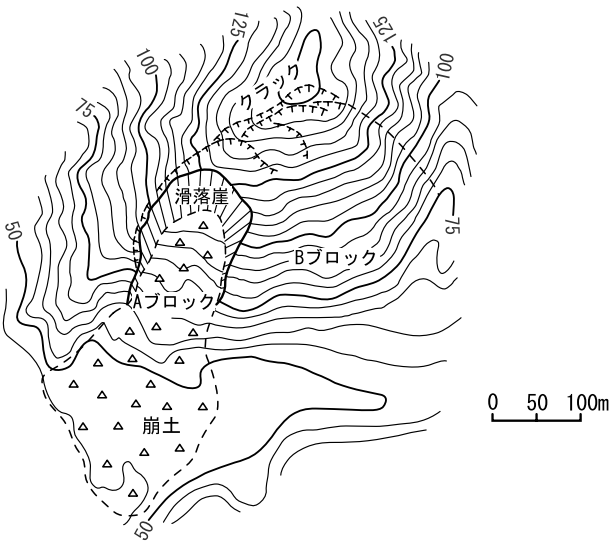
に変動することがある。小ブロックの変動を認めた場合，その背後の大規模なブロックの存在に注意を要する（図－９）。逆に，複数の小ブロックが判別されるにもかかわらずこれらを包含する大規模なブロック全体で変動する場合がある。このような大規模ブロック内での小ブロックの設定には充分な注意が必要である。

・大ブロック内に複数の小ブロックを設定する場合にはその位置関係を基に各ブロックのすべり面の関連性や形状に注意する必要がある（図－10）。

・尾根地形や縦断方向の沢を含めたブロックを描く場合には前述したようにそのブロックの微地形の開析度合いなどを基に変動履歴や発生機構を考慮して行う必要がある。



図－８　地すべり変動による集水井の深度毎水平変位量（写真６のブロック内に施工した集水井）



図－９　地すべり背後に顕在化した大規模な不安定斜面

・ブロックの設定は常にすべり面位置（深度）を想定しながら行う。この場合，ブロックの幅や長さ，深度の相関性に関する報告が参考となる（図－11）。

・相対的に地表面に亀裂が多数形成される場合はすべり面が浅く，亀裂の発生が少ない場合は深い傾向が見られる。また，側方部の亀裂が引張り性のものか圧縮性かによって地すべりの横断形状の非対称性がある程度推察できる。

・地すべりブロック中間部から末端部にかけて見られる地表の段差には階段状のすべり面を反映している可能性があり，地質構造との対比が重要である。

・キャップロック型の地すべりの場合，すべり面は基盤内に存在する場合が多い。また，このような地すべりは大規模なブロックが全体的に変動していることが多く，そのため小ブロックに分割するには充分な注意を必要とする。

・層理の発達したケスタ地形上の並進型地すべりの場合，すべり面横断形状が地質・地質構造に規制されて左右非対称で，かつ変動方向も地層の最大傾斜に斜交している場合が多い。また，並列の各ブロックのすべり面が形成されている地層が異なっていることが多い。

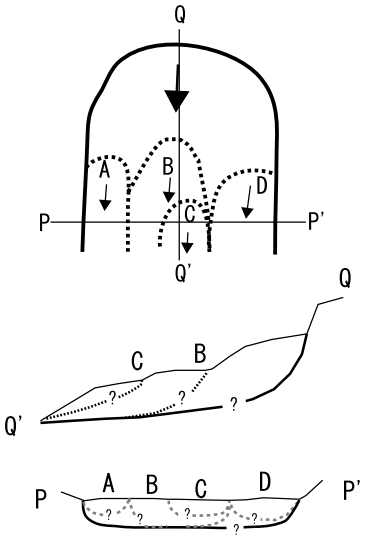
参考文献

阿部真郎（1996）：東北地方の新第三紀泥岩層における褶曲及び断層構造の成因と地すべりの関連性，地すべり，Vol.33，No.1，pp.20－28.

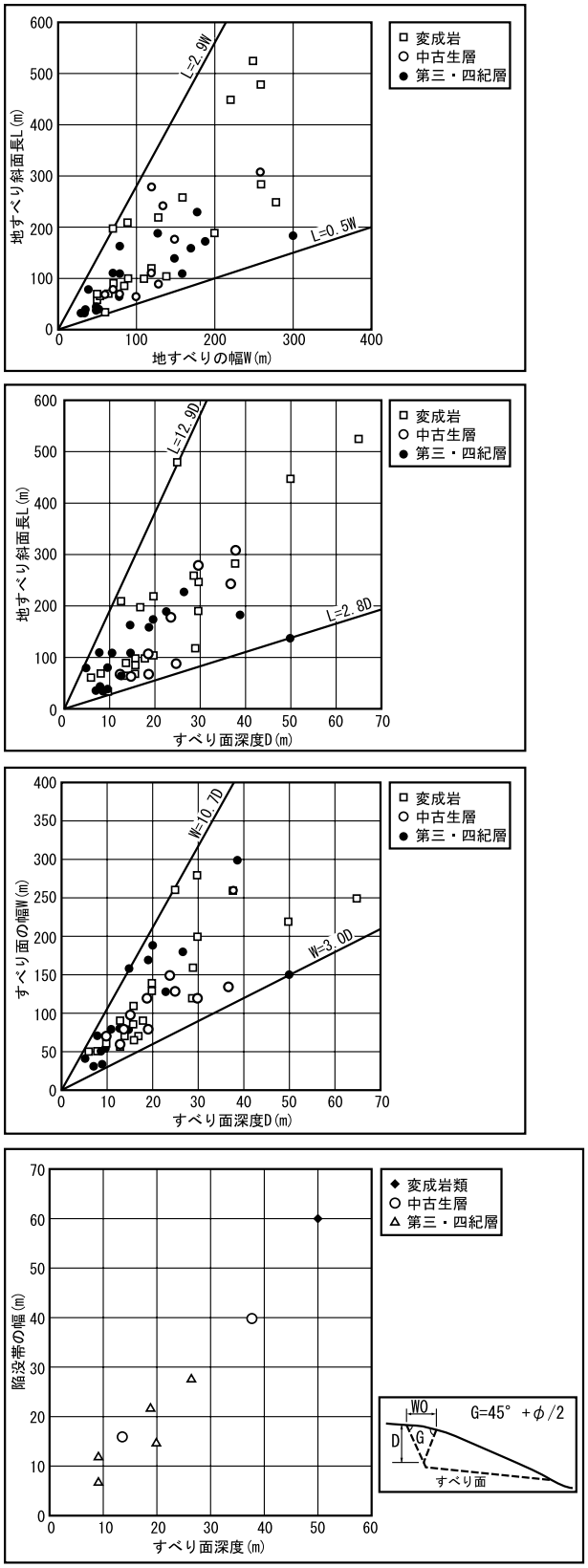
阿部真郎・檜垣大助・大村泰（2002）：ケスタ地形と地すべり，第41回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.39－42.

阿部真郎・小松順一・森屋洋（2004）：秋田県・鳥田目断層と地すべり，日本地すべり学会誌，Vol.41，No.4，pp.77－84.

Davis J. varnes（1978）：Slope Movement Types and Processes, Landslides Analysis and Controlm, Special Report 176,



図－10　大ブロック中に認識される小ブロックの検討
以上のようなA～Dの小ブロックが認識される場合，縦横断面のすべり面をいくつか想定し，地すべり変動状況との矛盾がないかを検討する。



図－11　地すべりブロックの規模に関する相関性（上野，2001）より引用

Transportation Research Board National Academy of Sciences, pp. 11－33.

原口九万（1953）：最近の大和川筋地辷りの調査，地質調査所月報，第５巻，第13号，地質調査所，pp.12－18.

藤田寿雄・板垣治：地すべり実態統計（その２），土木研究所資料，pp.8－42，1976.

藤田寿雄・板垣治：地すべり実態統計（その３），土木研究所資料，pp.10－21，1977.

建設省河川局開発課（1995）：国土開発技術研究センター編集，貯水池周辺の地すべり調査と対策，山海堂，174p.

森屋洋・羽沢大樹・阿部真郎・佐藤康彦（2005）：秋田県東成瀬地域における大規模地すべり地形形成の地質的素因，日本地すべり学会誌，Vol.42，No.1，pp.40－50.

小出博（1948）：新潟県西頸城郡棚口地辷り調査報告，地質調査報告，地質調査所，pp.1－24.

高橋明久・荻田茂・山田孝雄・森屋洋・阿部真郎・原口強（2005）：2004年新潟県中越地震により一ツ峰沢に発生した岩盤地すべり，日本地すべり学会誌，pp.19－26.

㈳地すべり対策技術協会(1985)：地すべり：その解析と防止工(上巻)，165p.

清水文健・大八木則夫・井口隆（2000）：地すべり地形分布図，解説と読図の手引き，防災科学技術研究所研究資料第109号，科学技術庁防災科学技術研究所，12p.

上野将司（2001）：地すべりの形状と規模を規制する地形／地質要因の検討，地すべり，Vol.38，No.2，pp.1－10.

渡正亮・中村浩之・板垣治（1975）：地すべり実態統計（その１），土木研究所資料，pp.6－34.

渡正亮(1985)：斜面災害の機構と対策，博士論文，東京大学，391 p.

渡正亮（1992）：岩盤地すべりに関する考察，地すべり，Vol.29，No.1，pp.1－7.

（原稿受付2006年１月５日，原稿受理2006年２月20日）