

## 2. 地すべり等の特性

### 2.1 湛水前の地すべりの安定性

地すべりの安定性は、概査・精査を行い、地形・地質および各種の計測データを総合的に検討し、評価しなければならない。ここでは、主に地すべり地形・型分類と地すべりの安定性との関連性について一般的な傾向や考え方を述べる。

湛水前の地すべりの安定性は、次のようなことに関係がある。

- ① 地すべり地形の明瞭さ（地すべり地形の分化）
- ② 地すべりの型分類
- ③ すべり面の形状
- ④ その他

ただし、運動中の地すべりでは、新規の亀裂や段差および斜面末端部の崩壊発生などの地表面の変状および既設の道路・擁壁・水路・その他の構造物の変状が認められ、さらに地すべり地内の植生に根曲り、立木の傾動、幹割れなどの異常な成長状況が認められ、また湿地帯や湧水などが観察されることが多い。このような状況が認められる場合は最も不安定な地すべりと評価される。また、このような状況が観察されなくても、歴史的な運動記録や明瞭な運動痕跡が認められるもの（休止中）はこの範ちゅうに含めるものとする。

#### (1) 地すべり地形の明瞭さ（地すべり地形の分化）

地すべり地形の明瞭さは、地すべりの構成土塊の性状や過去の運動量に関連するほか、地すべり地が分化する現象とも関連が大きい。一般に、現在不安定な地すべりは既存の大きな地すべりがさらに分化した縁辺部のものであることが多い。これは次のような理由によるためである。

- ① 地すべり運動は地すべり移動土塊をさらに擾乱し、これは次の段階の地すべりの発生の素因となる。
- ② 地すべり地の縁辺部では土塊の劣化、破碎が著しい。またここは集水性の高いところでもある。
- ③ 地すべり運動が繰り返されることによって、土塊は細粒化、粘土化する。このため分化の進んだ場所では、地すべり運動は流動性を帯びてくる。

なお、地すべりの分化は図 2.1 に示すように進行し、分化が進んだものほど細長い地すべりが多い。

地すべり地形の明瞭さから得られる情報を用いた安定性の評価については、個々の技術者の知識・経験に依存しないような一般化された手法も求められている。このような評価手法として、滑落崖の明瞭さや移動体の表面形状に着目した多変量解析や AHP 法などがある。

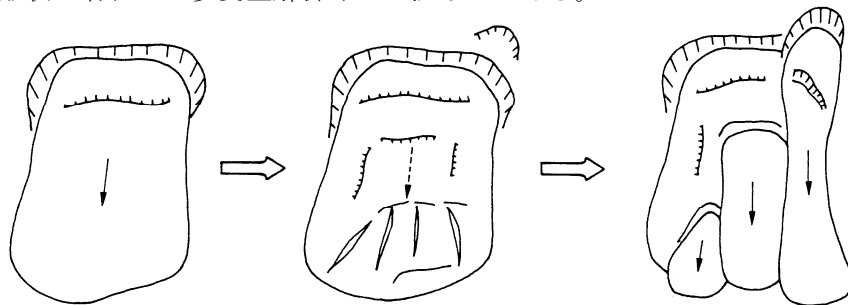


図 2.1 地すべり地形の分化の模式図

## (2) 地すべりの型分類

明瞭な地すべり地形を示す崩積土地すべりおよび粘質土地すべりは、過去に長い運動履歴があるため、すべり面の強度は残留強度まで低下している可能性が高い。一方、地すべりの履歴はあるものの明瞭な地すべり地形を示さない岩盤地すべりや風化岩地すべりは過去の運動量が小さいため、すべり面強度はピーク強度に近いと考えられる。一般に不明瞭な地すべり地形より明瞭な地すべり地形を示すほうが不安定で、運動しやすい状況にある。

地すべりの型分類に従うと、表 2.1 に示すように、地すべりの安定性は岩盤地すべり、風化岩地すべり、崩積土地すべり、粘質土地すべりの順に高いと考えられる。



表 2.1 地すべりの型分類による安定性

型分類	安定性
粘質土地すべり	運動しやすい ↑ ↓ 運動しにくい
崩積土地すべり	
風化岩地すべり	
岩盤地すべり	

## (3) すべり面の形状

一般に、運動を繰り返して断面形状が下方に厚くなった形（ボトムヘビー）の地すべりは自然状態での安定性の高い場合が多い（表 2.2）。一方、断面形状が上方に厚い形（トップヘビー）を示す地すべりは運動しやすい。また、末端に隆起部分が伴うような舟底型は末端に隆起部のない椅子型に比較して安定性が高い。末端、側方の摩擦が大きく見込まれる断面形状の地すべりでは、相対的に摩擦抵抗が大きく、安定性が高い。

表 2.2 断面形状による安定性

形状区分 安定性	横断形	
運動しやすい ↑ ↓ 運動しにくい		トップヘビー型
		ボトムヘビー型

## (4) その他

山地斜面には旧期（数万年程度以前）の大規模な地すべり地形が多く見られる。これらの地すべりは、その後の河川の下刻作用によって末端の位置が現在の河床よりかなり高い位置にあるものが多く、末端部の浸食や崩壊などの特に大きな変化がない限り、湛水前の安定性は高いと考えられる（図 2.2）。

ただし、このような地すべりであっても、湛水後の安定性については、2.3 に示す湛水に伴う影響に留意し、特に末端部の位置と貯水位との関係を十分に調査しておくことが重要である。

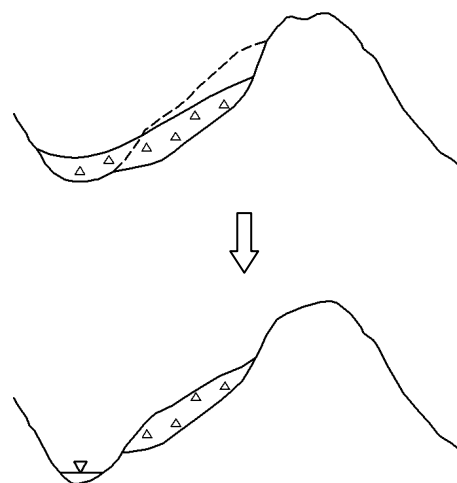


図 2.2 安定性の高い地すべり地形

また、一般に河川の曲流部の攻撃斜面にある地すべりでは脚部を常に浸食されているため不安定であることが多い。逆に滑走斜面にある地すべりでは運搬土砂の堆積が行われているため比較的安定していると考えられる。

## 2.2 未固結堆積物からなる斜面の安定性

未固結堆積物からなる斜面は、運搬形態によって重力によるもの（崖錐斜面、崩積土斜面）と流水によるもの（土石流堆、沖積錐、扇状地）に区分される。このうち、土石流堆積物など流水により形成された斜面は、過去に水締めを経験していることから、崖錐などの重力によるものと比べて湛水により不安定化する可能性は一般に小さいと考えられる。

## 2.3 湛水に伴う地すべり等の原因

湛水に伴う地すべりは降雨、融雪および河川の浸食などの原因に加えて、ダムの湛水という新たな要因が作用することによって、従来安定していた地すべりが再び運動したり、運動履歴の少ない所で新たに地すべりが発生することがある。

これまでの事例によると、図 2.3 に示すように、貯水池周辺で発生した地すべりの約 6 割が初期湛水で発生している。初期湛水では貯水位上昇時に、運用時では下降時に地すべりが発生する傾向がみられる。

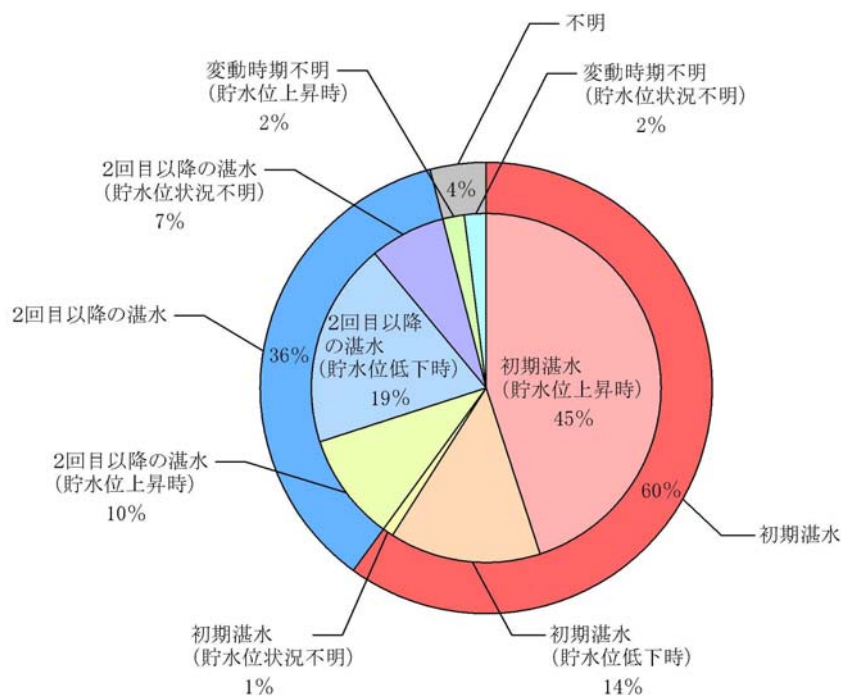


図 2.3 貯水池周辺で発生した地すべりの貯水位状態  
—2006 年までの事例（63 ダム 635 ブロック）の中から抽出された全 84 ブロック—  
( ) 内は初期湛水、2 回目以降の湛水のそれぞれの中での比較

湛水に伴う地すべりの発生原因としては、影響の大きい順に次のものが考えられ、これらについては安定解析で評価する。

- ① 地すべり土塊の水没による浮力の発生
- ② 貯水位の急速な下降による残留間隙水圧の発生
- ③ 水没による斜面上方部の地下水位の上昇（堰上げ）
- ④ 水際斜面の浸食・崩壊による受働部分の押え荷重の減少（末端崩壊）

なお、この他の発生原因として、水没によるすべり面強度の低下が考えられる。

### (1) 地すべり土塊の水没による浮力の発生

湛水によって、地すべり土塊のうちまず下部の受働部分が水没し、ここに浮力が作用する。地すべり土塊全体で見ると押え荷重に相当する部分が浮力を受けて軽くなるため、全体的に斜面の安定性が低下し、地すべりが発生する。特に、すべり面の勾配が末端部で緩くなっている場合には、水没深が浅くとも影響が大きい(図 2.4)。

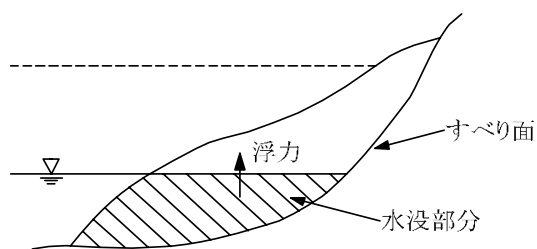


図 2.4 貯水位の上昇による浮力の発生

断面形状が椅子型の地すべりではこのような原因で地すべりが発生することが多い。また、地すべり土塊を構成する材料が比較的透水性の高い、岩盤地すべり・風化岩地すべりでもこのような原因で地すべりが発生しやすい。

### (2) 貯水位の急速な下降による残留間隙水圧の発生

貯水位が長期間一定に保たれた後に急速に下降すると、地山中の地下水の排水が追従できず、地下水面はやや遅れて低下する。地すべり土塊内では一時的に湛水前の自然の地下水位より高い所に地下水が残留し、地すべり土塊に間隙水圧が発生する。このような残留間隙水圧によって斜面の安定性が低下して地すべりが発生する。特に地山の透水性が小さい場合にはその影響が大きい(図 2.5)。

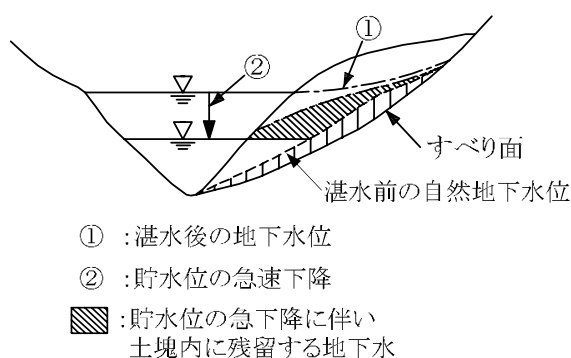


図 2.5 貯水位の急速な下降に伴う残留間隙水圧の発生

地すべり土塊の透水性が低く、貯水位の下降に地下水位の下降が追従しにくい性質の材料で構成されている場合、すなわち崩積土・粘質土地すべりはこのような原因で地すべりが発生しやすい。しかし、湛水前の自然地下水位が高い場合には、このような原因による安定性の低下は比較的小さい。

### (3) 水没による斜面上方部の地下水位の上昇（堰上げ）

貯水池の水位が上昇すると、水没した地すべり土塊内の排水条件が変化し、斜面上方部の地下水位が上昇する。さらに降雨が重複した場合には湛水前に比較して著しく地下水位が上昇する。地下水位の上昇に伴いすべり面に作用する間隙水圧が増加し、斜面の安定性が低下する(図 2.6)。

自然状態で地下水位の低い凸型斜面、すなわち岩盤地すべり、風化岩地すべりでは、このような原因で地すべりが発生しやすい。

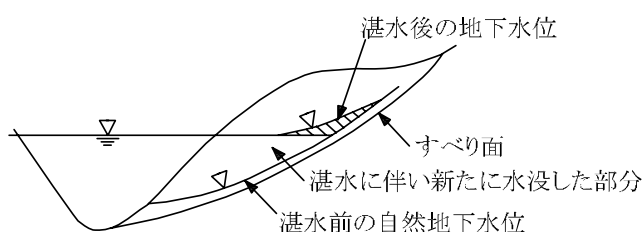


図 2.6 水没による地すべり土塊内の地下水位の上昇

#### (4) 水際斜面の浸食・崩壊

水没によって斜面の表層は飽和して強度が低下する。また風によって貯水池内に波浪などが生じると、貯水位上昇時の浮力や貯水位急下降時の地下水の浸出などと複合して、水際や水中斜面で浸食や崩壊が発生する。特に地すべりの末端部の土塊は過去の地すべり運動によって脆弱化しているため崩壊しやすい。地すべりの末端部となる水際での浸食や崩壊が進行すると、受動部の欠落により、地すべりが不安定化する（図 2.7）。

なお、水際での崩壊は背後の地すべりの変動による押し出し現象の可能性も考えられるため崩壊の原因には十分留意する。

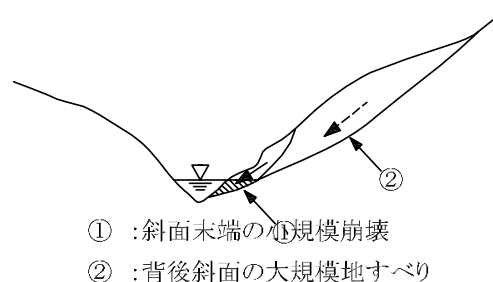


図 2.7 水没斜面下部の小崩壊が誘因となる地すべりのモデル

## 2.4 湛水時の地すべり等の安定性

湛水に伴う地すべりの安定性は、湛水前の状態と、前項に示した浮力、残留間隙水圧、堰上げおよび末端崩壊などの原因が加わるときの影響度により異なり、極めて複雑となる。このため、湛水時の安定性の評価については、概査・精査・機構解析結果を踏まえた上で各々の地すべりに応じて詳細に検討することが必要である。技術指針(案)・同解説では基準水面法による二次元安定計算を用いて浮力、残留間隙水圧の影響を評価する方法を示しており、本書ではこれらに加えて堰上げの影響についての考え方などを示している（5.3 参照）。

ここでは、これまでの研究結果から得られた湛水時の伴う地すべり地の安定性に関連する知見を示す。

### (1) 地すべりの運動時期および型分類と湛水時の安定性

地すべりの型分類や運動時期によっても湛水の影響は異なり、一般的には次のように考えられる。

- ① 現在運動中の地すべりでは、どのような地すべりの型であっても湛水した場合にその影響は大きく、著しく不安定化する。
- ② 縁辺部に新たな地すべりが発生している地すべりは、現在は自然状態でかろうじて安定していると考えられ、湛水の影響を大きく受ける。
- ③ 一般に旧期に運動した地すべりで、現在地すべり運動の徴候が見られない地すべりは、地すべり運動期以降に河川浸食で河床が低下しているため、すべり面末端部が斜面途中に存在することが多い。このような地すべりは現状では安定していると考えられるが、地すべり末端部の崩壊や湛水の影響により不安定化することがある。
- ④ 岩盤地すべりや風化岩地すべりは現状での安定性は相対的に高いと考えられるが一般に地下水位が低いので湛水の影響を大きく受ける。

## (2) すべり面形状と湛水時の安定性

一般に、自然状態ではトップヘビーを示す地すべりは運動しやすく、運動を繰り返してボトムヘビーの地すべりは安定性の高い場合が多い（表 2.2）。貯水位周辺で変動した地すべりについても、トップヘビーのものが多く（図 2.8）。

なお、ボトムヘビーであっても、水没部が平面的に広い地すべりや、水没深が浅くても受働部の水没量の大きい地すべりは地形的に地下水が溜まりやすく、不安定化しやすいと考えられる。貯水位の影響は平面形状、断面形状によって異なり、影響を受けやすい地すべりの形状は断面では椅子型、舟底型、平面では馬蹄形、角形と考えられる。

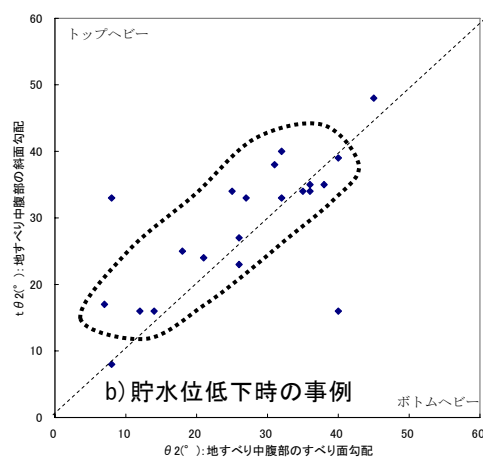
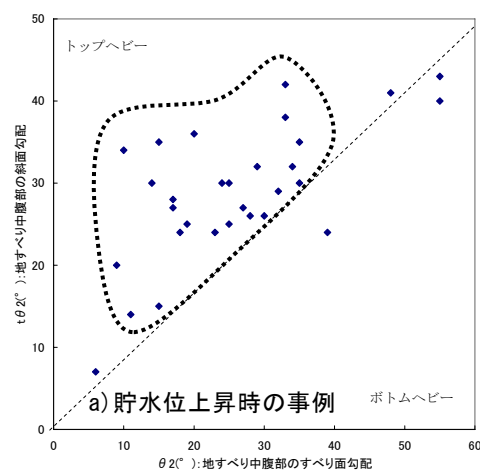
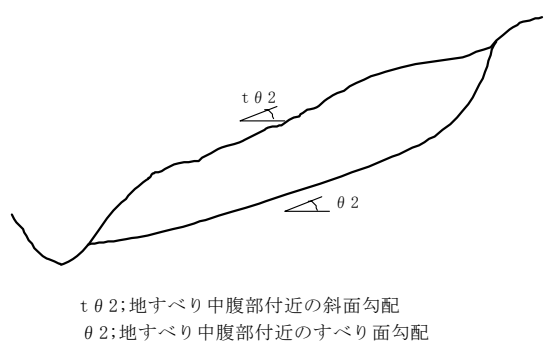


図 2.8 貯水池周辺で変動した地すべり面の形状

### (3) 水没割合と湛水に伴う安定性

これまでの調査事例によれば、9 割以上の地すべり等が 50%以下の水没割合（図 2.9）で発生しており、水没割合が 70%を超えると地すべり等が発生していない（図 2.10）。

貯水位上昇時においては、水没割合が 20%を超えると地すべり等の発生が顕著になり、約 7 割の地すべり等が 20%～50%の間の水没割合で発生している（図 2.11）。一方、貯水位下降時においては、貯水位が地すべり末端標高に近づくほど発生しやすい傾向にある。8 割以上の地すべり等が 45%以下の水没割合で発生し、約半数の地すべり等が 20%以下の水没割合でも発生している（図 2.12）。

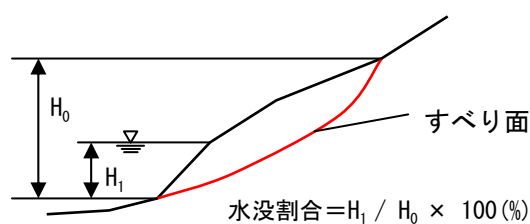


図 2.9 水没割合

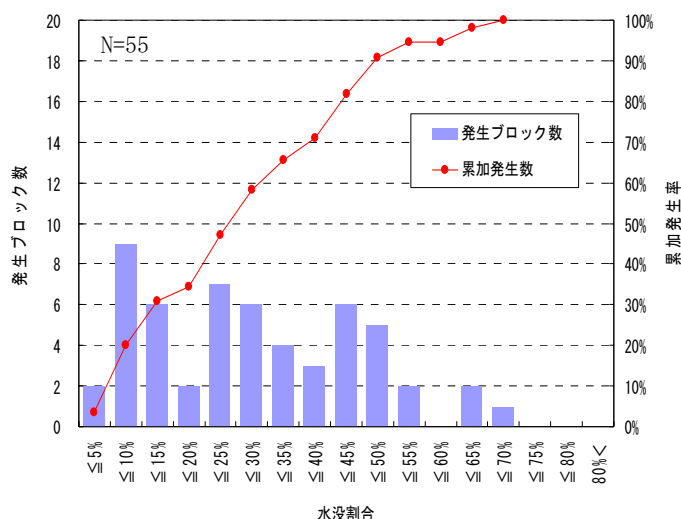


図 2.10 地すべりの発生率と水没割合

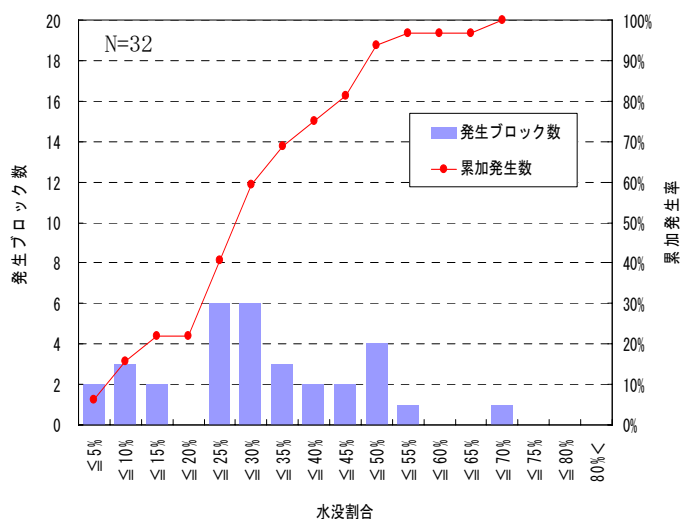


図 2.11 貯水位上昇時における地すべりの発生率と水没割合

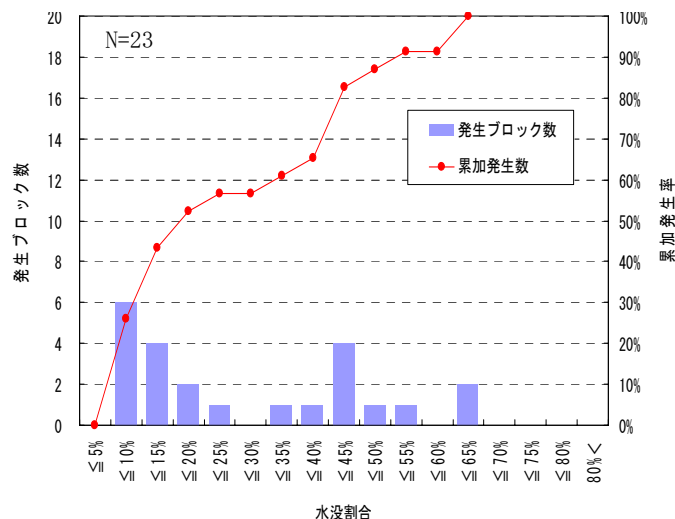


図 2.12 貯水位低下時における地すべりの発生率と水没割合