

5. 解析

5.1 目的

地すべり等の解析は、地すべり等の発生・変動機構を明らかにするための機構解析、湛水に伴う地すべり等の安定性を評価するための安定解析、安定解析の結果をもとにした対策工の必要性の検討からなる。

機構解析では、概査および精査の結果に基づき、地すべり等の発生の素因・誘因に分けて分析し、発生・変動機構について検討する。

安定解析では、地すべり等の湛水前の安定性について定量的に評価するとともに、安定計算により湛水による安定性の変化を評価する。

5.2 機構解析

機構解析は、地すべり等の発生の素因および誘因を分析し、地すべり等の発生・変動機構を明らかにすることを目的として実施する。機構解析では以下の検討を行う。

(1) 地すべり等の発生の素因

地すべり等の発生にかかわる素因には、地形、地質、地質構造、地下水などがあり、地すべりブロックごとに特有の条件について検討する。

(i) 地形、地質的素因

斜面の傾斜、遷急線との関係、移動土塊の地質、地層の走向・傾斜、断層・破碎帯、変質、風化、緩みとの関係など、地形、地質、地質構造と地すべり等との関係について検討し、地すべり等地形が形成された素因について考察する。

(ii) 地下水の状態

地下水調査結果をもとに、地下水位または間隙水圧の変化の状況、地下水の流動方向、流動面（層）の位置、水質による地下水の区分と分布などと地すべり等との関係を総合的に検討する。

(2) 地すべり等の発生の誘因

地すべり等の発生にかかわる誘因には、降雨、河川の浸食および湛水がある。湛水に伴う地すべり等の発生原因としては次のものがある。

- ① 浮力の発生：地すべりブロックの水没による間隙水圧の増加
- ② 残留間隙水圧：貯水位の急速な下降による残留間隙水圧の発生
- ③ 地下水位の堰上げ：水没による地すべりブロック内の地下水位の上昇
- ④ 末端崩壊：水際斜面の浸食・崩壊（末端部の崩壊）に伴う受働部分の押え荷重の減少

(3) 地すべり等の発生・変動機構の検討

精査の結果に基づき、地すべりブロックの範囲（平面）およびすべり面の形状（断面）を決定し、湛水時の変動の可能性等について総合的に検討する。特に、湛水に伴う地すべり等ではすべり面末端部の位置（末端部の水没の割合など）、形状（末端部の斜面勾配など）および地質性状（崩積土状であるかどうか）が重要であり、末端崩壊（末端すべり）の可能性を含めて慎重に検討する。

また、地すべりブロックが変動した場合の移動土量・到達範囲・変動範囲の拡大などを想定し、保全対象への影響を検討する。

(i) 地すべりブロック範囲の決定

地形、地質、移動量などの調査結果に基づいて、精査時のブロック区分（4.3 参照）を再検討し、地すべりブロックの範囲を決定する。

地すべりブロックの決定は平面図および断面図に基づいて行うが、隣接するブロック間の因果関係やブロック内での地形の分化状況を十分に検討し、地すべり等の発生・変動機構を推定することが重要である。すなわち、ダム湛水による地すべり等の運動が発生し波及・拡大について検討する。具体的には、末端地すべりが生じるか、末端地すべりの運動がなければ主ブロックの運動はないのか、直接主ブロックは運動するか、あるいは主ブロックの拡大があり得るのか、などについて検討する。また、複数の地すべりブロックからなる場合、最初にどの地すべりブロックが運動して、さらに隣接する地すべりブロックと力学的に作用し合いながら運動が波及・拡大するかなどについても検討する。

このような検討により決定した地すべりブロック区分は、安定解析に利用するとともに、安定解析結果によって得られた各ブロックの安定性の対比などにより検証する。

(ii) すべり面形状の決定

地形、地質、すべり面、移動量等の調査結果から得られる情報を入念に整理し、想定される様々なすべり面の形状および分布について検討することが重要である。特に、湛水に伴う地すべり等ではすべり面末端部の形状や位置が重要であり、これについては十分な検討を要する。

貯水位上昇に伴う安定性が実際よりも安定であると評価されやすいすべり面形状の例を図 5.1 に示す。貯水位上昇時の運動実績と安定解析結果を比較すると、図 5.1 のようにすべり面末端の形状が薄いため、計算上はブロック全体の安定性（安全率 F_s ）の低下が極めて小さいものの、実際にはまず末端部が崩壊し、それに影響されて本体が運動する場合がある。

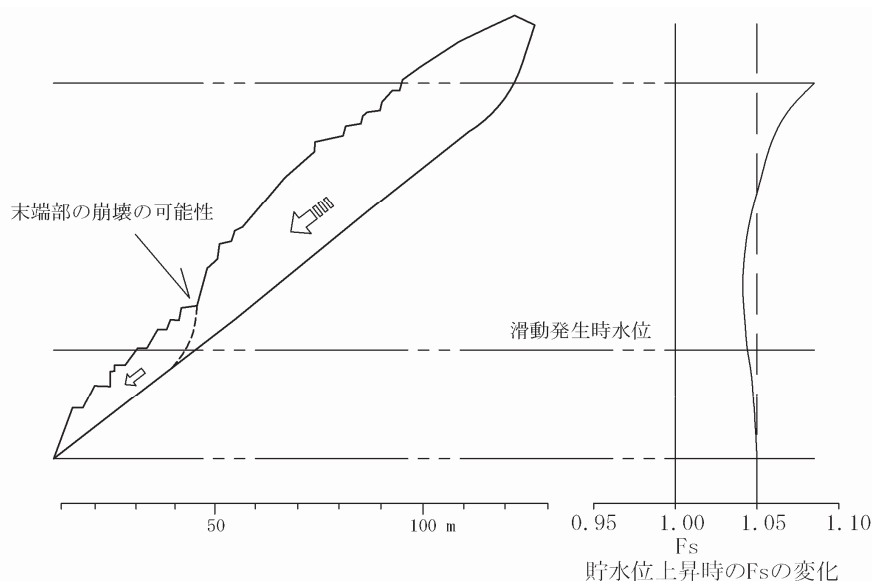


図 5.1 貯水位上昇に伴う安定性の低下が実際よりも安定であると評価されやすいすべり面形状の例

また、すべり面勾配が、図 5.2 のように末端付近で急に変化している場合、もしくは、すべり面勾配が急で斜面末端部に崩積土類や強風化岩が分布する場合は、この部分で末端崩壊（末端すべり）の可能性があるので、斜面全体だけでなく末端すべりの検討も行う。

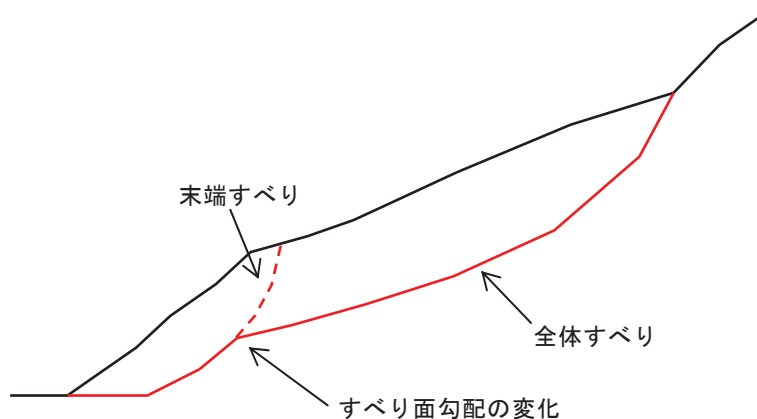


図 5.2 末端付近ですべり面勾配が変化している形状の例

(iii) 湛水時の変動の可能性の検討

変動総括図を用いて、湛水前の運動状況の把握、湛水中による地すべり等の安定性に与える影響などを踏まえて、湛水時の変動の可能性を総合的に判断する。

地すべり等が運動したときの移動土量・移動範囲を想定し、ダム堤体やその他の施設への影響を検討する。この際、地すべりブロックが変動した場合の移動土量・到達範囲・変動範囲の拡大などを想定し、保全対象への影響を検討する。

(4) 機構解析結果のとりまとめ

機構解析の結果は、各々の地すべり等または地すべりブロックについて平面図および断面図などにとりまとめる。平面図および断面図には、機構解析の結果に基づき以下の事項を記載する。

(i) 平面図

- ① 基盤岩（不動領域）の分布
- ② 基盤岩（不動領域）の層理面などの走向・傾斜
- ③ 断層、破碎帯の位置
- ④ 崖錐等の未固結堆積物からなる斜面の分布
- ⑤ 亀裂、隆起、陥没等の地表面の変状、湧水などのコメント
- ⑥ 地すべりブロックの範囲
- ⑦ 地すべりブロックの変動状況（計測結果）
- ⑧ すべり面等高線
- ⑨ 貯水位線

(ii) 断面図（副測線を含む）

- ① 地層区分、ボーリング結果、原位置試験結果など
- ② 地下水位、地下水流動状況など
- ③ すべり面（計測結果）
- ④ 亀裂、隆起、陥没等の地表面の変状、湧水などのコメント
- ⑤ 貯水位線

5.3 安定解析

5.3.1 安定計算方法

湛水の影響を受ける地すべり等の安定解析方法は、原則として二次元極限平衡法の「簡便 (Fellenius) 法」とし、水没部の取扱いには「基準水面法」を適用することを基本とする。

(1) 解析条件

安定解析にあたっては、表 5.1 の解析条件を設定する。

表 5.1 安定解析条件と内容¹⁾

解析条件	内 容
地すべり等の湛水前の安全率 (F_{S_0})	地すべり等の湛水前における計測調査等によって現状の変動状況を評価し、これを安全率 F_{S_0} で示す。地下水位は長期間にわたり安定して存在する地下水位とする。
地すべり等の湿潤状態における土塊の単位体積重量	地すべり等の土塊の構成材料を考慮した土塊の単位体積重量とする。
地すべり等の土質強度定数 (c' 、 ϕ')	土質試験によって求めた値または湛水前の安全率 (F_{S_0}) を用いて逆算法で求めた値とする。ただし、崖錐堆積物等の未固結堆積物の土質強度定数は既往事例または土質試験によって求めた値とする。
残留間隙水圧の残留率	地すべり等の地形、地質、地下水位、貯水池操作、対策工の種類などに応じて適切に設定する。
貯水位変動範囲	貯水池運用計画に基づく貯水位の変動範囲とする。

(2) 安定計算

貯水池周辺の地すべり等の安定解析手法を表 5.2 に示す。貯水池周辺の地すべりブロックの安定性の評価には、原則として二次元極限平衡法の「簡便 (Fellenius) 法」を用いる。

明確なすべり面が形成されていない崖錐等の未固結堆積物からなる斜面の安定性の評価は、「円弧すべり法」を用いて数多くの想定すべり面に対して安定計算を行い、最小の安全率を与える円弧と値で行う。また、未固結堆積物と岩盤との境界面をすべり面とした安定計算も行い、得られた安全率を「円弧すべり法」による最小安全率と比較する必要がある。なお、「円弧すべり法」は、「試行円弧法」や「繰り返し円弧法」と呼ばれることもある。

安定計算における水没部の取扱いには、「基準水面法」を適用することを基本とする。基準水面法は、図 5.3 に示すように貯水位に等しい基準水面を設定し、これより下の部分の単位体積重量を水中重量（土塊の飽和単位体積重量から水の単位体積重量を差し引いた重量）とし、地すべり等の土塊に作用する間隙水圧は基準水面より上の水頭分のみとする方法である。間隙水圧は直接間隙水圧計等によって測定することが望ましいが、これによりがたい場合は、ボーリング孔内の地下水位をもって代えるものとする。

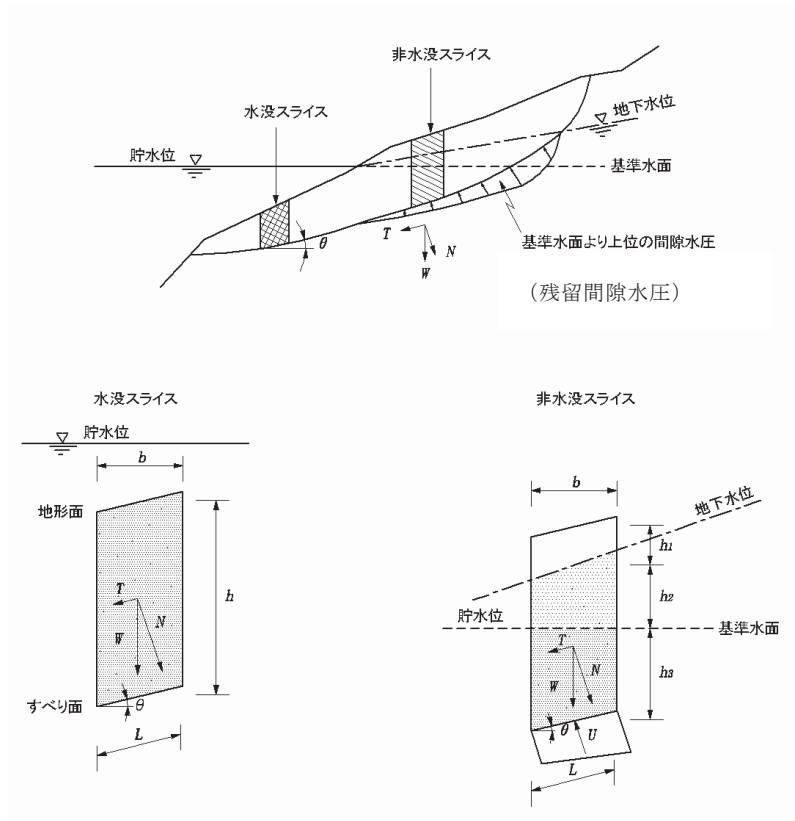
なお、すべり面の形状から末端崩壊（末端すべり）の可能性がある場合には、移動領域と不動領域の境界面だけでなく、移動領域内で円弧すべり法などを用いて数多くの想定すべり面に対して安定計算を行い、その安定性を確認することが望ましい。

表 5.2 貯水池周辺の地すべり等の安定解析手法¹⁾

変動現象 条件	地すべり	崖錐等の未固結堆積物の変動
すべり面	移動領域と不動領域の境界面	円弧すべり法によって得られる最小の安全率を与える円弧
計算式	二次元極限平衡法 「簡便 (Fellenius) 法」	
水没部の取扱い	基準水面法	

安定計算は式 (5.1) によって行う。

$$F_s = \frac{\sum (N - U) \cdot \tan \phi' + \sum c' \cdot L}{\sum T} \dots\dots\dots (5.1)$$



$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \theta \\ &= (\gamma_t - \gamma_w) \cdot h \cdot b \cdot \cos \theta \\ U &= 0 \\ T &= W \cdot \sin \theta \\ &= (\gamma_t - \gamma_w) \cdot h \cdot b \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \theta \\ &= (\gamma_t \cdot (h_1 + h_2) \cdot b + (\gamma_t - \gamma_w) \cdot h_3 \cdot b) \cdot \cos \theta \\ U &= \gamma_w \cdot h_2 \cdot b / \cos \theta \\ T &= W \cdot \sin \theta \\ &= (\gamma_t \cdot (h_1 + h_2) \cdot b + (\gamma_t - \gamma_w) \cdot h_3 \cdot b) \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

図 5.3 基準水面法の考え方¹⁾

ここに、

W : 各スライス（分割片）に作用する単位幅あたりの自重（kN/m）

N : 各スライス（分割片）に作用する単位幅あたりの自重のすべり面法線方向分力（kN/m）

T : 各スライスに作用する単位幅あたりの自重のすべり面接線方向分力（kN/m）

U : 各スライスに作用する単位幅あたりの基準水面より上の間隙水圧（kN /m）

L : 各スライスのすべり面の長さ（m）

ϕ' : すべり面の内部摩擦角（°）

c' : すべり面の粘着力（kN /m²）

b : 各スライスの幅（m）

h : 各スライスの平均高さ（m）

h_1 : 各スライスの地下水位から地表までの平均高さ（m）

h_2 : 各スライスの基準水面から地下水位までの平均高さ（m）

h_3 : 各スライスのすべり面から基準水面までの平均高さ（m）

θ : 各スライスのすべり面の勾配（°）

γ_t : 水の単位体積重量

γ_w : 土塊の重量（地下水位以上は湿潤単位体積重量、地下水位以下は飽和単位体積重量）

(3) 三次元的な安定解析

貯水池周辺の地すべり等の安定解析は、主測線を用いた二次元解析で行うことを原則としている。しかし、地すべり等の側部ですべり面が浅い場合や、すべり面の横断形状が左右非対称である場合もある。特に大規模な地すべり等においては、主測線を用いた二次元解析だけの検討では安定性の評価や対策工の計画が合理的でない場合がある。このような場合には、すべり面や地下水位を三次元的に捉える調査を実施し、地すべり等の機構を明らかにした上で、測線を複数設定した準三次元的な安定解析や三次元安定解析を行うことがある。

三次元的な安定解析を用いる際には、初期安全率や計画安全率およびすべり面強度等の設定について十分に考慮する必要がある。

5.3.2 地すべり等の湛水前の安全率

地すべり等の湛水前の安全率（ F_{S_0} ）は、計測結果および変状の有無・状態、または 4.4.5 項の土質試験によって得られた土質強度定数に基づいて設定する。

(1) 安全率による湛水前の安定性の評価

地すべり等の湛水前の安定性は、安全率 F_{S_0} によって評価する。すなわち、湛水前に変動している地すべりブロック等の安全率は $F_{S_0} < 1.00$ と評価し、湛水前に変動の兆候が認められず安定している地すべりブロック等の安全率は $F_{S_0} \geq 1.00$ と評価する。

(2) 湛水前における変動状況の区分と安全率の設定

湛水前における地すべり等の安全率 F_{S_0} は、計測器による複数年以上の計測結果、地すべり等の変状

の有無・状態等に基づき設定する。変動状況の区分と安全率の目安を表 5.3 に、地盤伸縮計および地盤傾斜計による変動種別の判定を表 5.4 および表 5.5 に示す。なお、計測等により地すべり等の変動の開始時期が把握された場合には、変動開始直前時点の地下水位を用いて $F_{S_0}=1.00$ とする。

現在までに安定解析が行われた貯水池周辺の地すべり等の事例（湛水に伴って変動した事例も含む）によると、湛水に伴う安全率の低下量が 0.05 に達しない地すべり等では安定が保たれている（参考表 5.1）。このため、逆算法によって土質強度定数を求める場合は、一般的に、湛水前における変動していない地すべり等の安全率は、長期間にわたり安定して存在する地下水位（複数年以上の豊水期を通じてそれ以上となる地下水位；図 5.4 参照）の状態において $F_{S_0}=1.05$ とする。

なお、地すべり等の計測結果には局所的な地盤の変動が含まれることがあるため、計測データを分析、評価する場合には十分な注意が必要である。

また、安全率の設定後（湛水後も含む）も継続して地下水位等の計測データを蓄積し、これらをもとに安定性を検証し、必要に応じて湛水前の変動状況とそれに対応した安全率の設定を見直すこととする。

ただし、道路工事に伴う切土や盛土等により地すべり等の安定性が切土前より低下または上昇したと想定される場合等の湛水前の安全率 F_{S_0} は、別途検討することが必要である。

(3) 土質強度定数に基づく湛水前の安全率の設定

4.4.5 の土質試験によって適切な土質強度定数が得られた場合には、地すべり等、特に崖錐等の未固結堆積物の湛水前の安全率は、安定計算 (5.3.1 参照) によって設定する。

(4) 地すべり等の湛水前の地下水位

湛水前の地下水位の設定は、対策の要不要、対策の規模を決める重要な要素となるため、地下水位計測の精度向上に努めなければならない。

湛水時の安定性をできる限り精度良く評価するため、安定計算に用いる湛水前の地下水位は、原則として複数年以上の計測結果に基づいて明らかとなった長期間にわたり安定して存在する地下水位として決定する（図 5.4）。また、湛水までに十分な計測データが得られない場合には設計上安全側の判断として、地すべり等の土塊内に地下水位の無い状態（地すべり面より下に地下水位を設定した状態）で安定計算を行う。

表 5.3 変動状況の区分と安全率の目安¹⁾

地すべり等の変状	計測調査による 変動種別* ¹⁾	湛水前の 安全率の目安
1) 現在変動中、主亀裂・末端亀裂発生	変動 A：活発に変動中	$F_{S_0}=0.95$
	変動 B：緩慢に変動中	$F_{S_0}=0.98$
2) 地表における変動の徴候（亀裂の発生等）は認められない	変動 C：変動量は非常に小さい* ²⁾	$F_{S_0}=1.00$
3) 変動の徴候は認められない	変動 D	$F_{S_0}=1.05$

* 1) 表 5.4、表 5.5 による。

* 2) 計測値が変動 C 未満であっても、長期の計測によって累積性が認められる場合変動 C に準じる

表 5.4 地盤伸縮計による変動種別の判定 ⁵⁾を元に作成

変動種別	日変位量 (mm/日)	月変位量 (mm/月)	一定方向（引張りまたは 圧縮方向）への 変位の累積傾向
変動 A	1 より大	10 より大	顕 著
変動 B	1.0 以下 0.1 以上	10 以下 2 以上	やや顕著
変動 C	0.1 未満 0.02 以上	2.0 未満 0.5 以上	ややあり
変動 D	0.1 以上	なし (断続変動)	なし

表 5.5 地盤傾斜計による変動種別の判定 ⁵⁾を元に作成

変動種別	日変位量 (秒/日)	月変位量 (秒/月)	傾斜量の 累積傾向	傾斜変動方向と 地すべり地形 との相関性
変動 A	5 より大	100 より大	顕著	あり
変動 B	5 以下 1 以上	100 以下 30 以上	やや顕著	あり
変動 C	1 未満	30 未満	ややあり	あり
変動 D	—	—	なし	なし

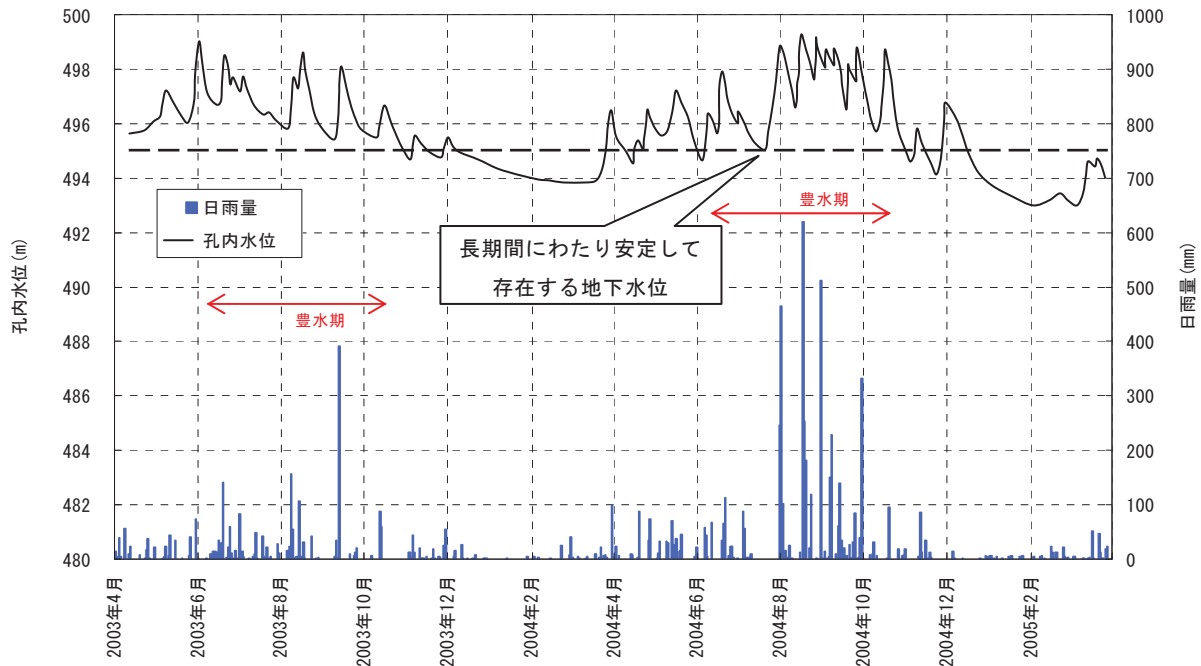


図 5.4 長期間にわたり安定して存在する地下水位の例 ¹⁾

図 5.5 はそれぞれ貯水位の上昇時、下降時に地すべりの運動が発生した 3 例について、ボーリング調査時点または調査後の水位を現状水位として安全率 F_s の変化を計算したものである。図に明らかなように一時的に上昇した高い地下水位を用いた場合には、実際に運動が生じた貯水位でも $F_s > 1.00$ となって、実際と合致しない。このように一時的に上昇した水位を現状水位として用いると、湛水時の安全率 F_s の変化を過小に評価することになるため、現状の地下水位は、長期間にわたって安定して存在する地下水位を用いることにする（図 5.4）。

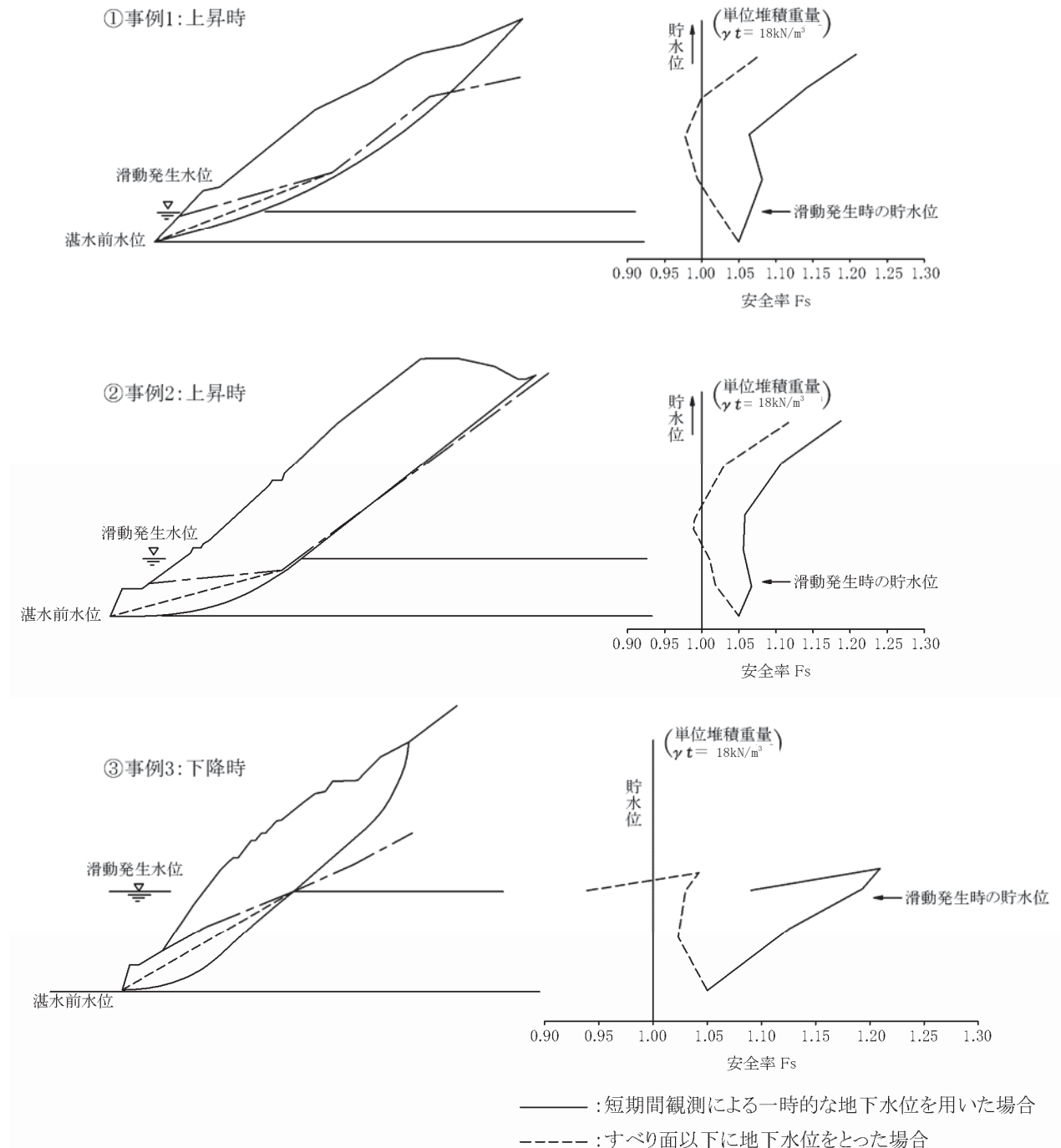


図 5.5 地下水位のとり方による安全率 F_s の変化例

5.3.3 地すべり等の湿潤状態における土塊の単位体積重量

地すべりの土塊や崖錐等の未固結堆積物の湿潤状態における単位体積重量は、それらの構成材料を考慮して事例や試験値に基づき決定しなければならない。特に、岩盤すべりや風化岩すべりにおいては、硬質な原岩起源の碎屑物あるいは土砂化している変質岩等が構成材料となっていることが多く、それらの湿潤状態の単位体積重量は、平均的な地すべり土塊の単位体積重量（一般的には $\gamma_t = 18\text{kN/m}^3$ ）に比べて大きいことが一般的であり、このことが安定解析や対策工の必要抑止力算定の結果などにも大きな影響を与える場合があるので注意が必要である。

参考として自然要因で発生した地すべりの土塊の単位体積重量の頻度分布を図 5.6 に示す。

凡 例	型 分 類	土塊の平均 単位体積重量 (kN/m^3)
○—○	岩 盤 風化岩 地すべり	18.4
×---×	崩積土地すべり	17.3
△---△	粘質土地すべり	17.0

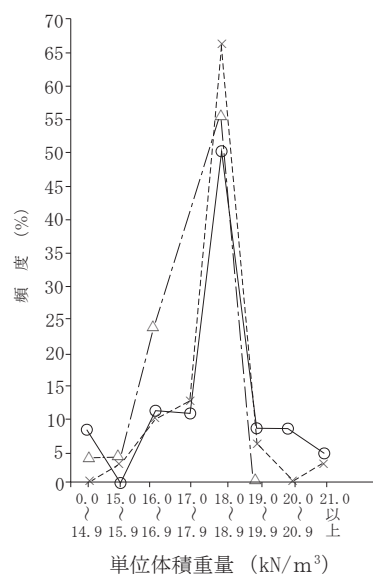


図 5.6 土塊の湿潤状態の単位体積重量（実測）⁶⁾

5.3.4 地すべり等の土質強度定数

地すべりのすべり面の土質強度定数は、4.4.5 の土質試験によって得られた値や 5.3.2 の湛水前の安全率を用いて逆算法によって求めた値から最適な値を設定する。

崖錐等の未固結堆積物の土質強度定数は、事例や土質試験の結果をもとに十分に検討して設定する。

(1) 地すべりのすべり面の土質強度定数

すべり面の土質強度定数 (c' 、 ϕ') を土質試験によって求める場合、すべり面の乱さない試料の採取が困難であること、せん断強度としてピーク強度、完全軟化強度、残留強度のどの値を地すべりの安定解析に用いるべきかについて明確に解明されていないこと、すべり面の強度は 1 つのすべり面でも変化に富み、限定された地点での試料採取による土質試験の結果をそのまま平均的なすべり面の強度としては使用できないことなどの問題がある。

このため、一般にはすべり面の土質強度定数は、すべり面の湛水前の安全率 F_{s0} を推定し、逆算法によって求められている。安定計算式において湛水前の安全率 F_{s0} が定まれば、 c' 、 $\tan \phi'$ の関係は 1 次式で与えられ、図 5.8 に示すような $c' - \tan \phi'$ 図が得られる。そこで表 5.6 から c' を定めれば、 ϕ' を求めることができる。ただし、 c' の値をあまり大きくすると湛水に伴う安全率 F_s の変化を過小に評価するおそれがあるので、採用する c' の値の上限は 25kN/m^2 程度とし、それ以上の値をとる場合には土質試験等を行い総合的に検討することが必要である。また、逆算法によって求めた土質強度定数の妥当性を、

土質試験によって求められた値、他地域の類似地質の地すべりにおける逆算法から求めた値などから検証しておく必要がある。また、 ϕ' については斜面勾配とほぼ同じであるという研究結果もある。

ここで、すべり面の形状が変わればすべり面の強度も変わるので、同じ断面上であってもある1つのすべり面の強度定数をそのまま別のすべり面に使用して安定性を判断してはならない。

なお、逆算法の妥当性の検証も含めて、より合理的な地すべり等の安定解析を行うためには、すべり面の土質強度定数を土質試験によって求めるべきであり、今後、土質試験を積極的に行いデータの蓄積に努める必要がある。

表 5.6 地すべりの最大鉛直層厚と粘着力⁴⁾

地すべりの最大鉛直層厚(m) (図 5.7 を参照)	粘着力 c' (kN/m ²)
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25

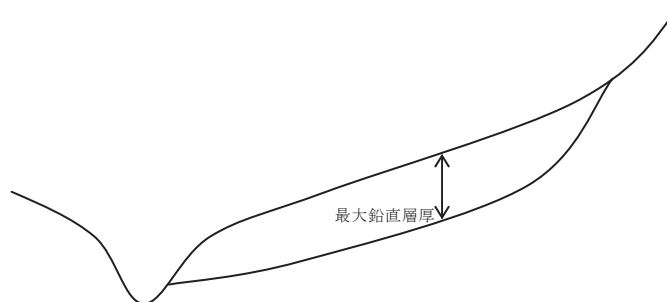


図 5.7 地すべりの最大鉛直層厚の例¹⁾

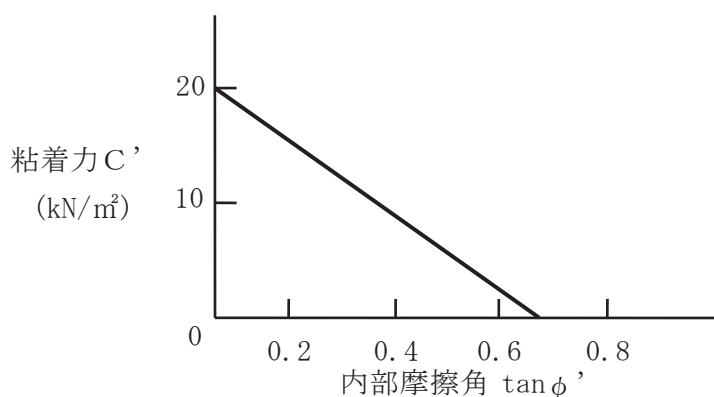


図 5.8 $c' - \tan \phi'$ 図の例¹⁾

(2) 崖錐等の未固結堆積物の土質強度定数

逆算法は、地すべりのすべり面の土質強度定数を求める方法であるため、明瞭なすべり面が存在しない崖錐等の未固結堆積物には適用できない。したがって、崖錐等の未固結堆積物の土質強度定数 (c' 、 ϕ') は、類似斜面の事例や土質試験の結果をもとに十分に検討して設定する。

なお、崖錐等の内部の地質性状は不均質と考えられるので、土質強度定数設定にあたっては、十分な地質調査および試験等によって設定する。

5.3.5 残留間隙水圧の残留率

貯水位下降時の安定解析では、貯水位が下降した標高部分（貯水位変動域）の地すべり等の土塊中に発生する残留間隙水圧を評価しなければならない。残留間隙水圧の影響を安定計算の中で見込むために、地すべり土塊内の貯水位下降前の貯水部分に対する下降後に残留した地下水部分の面積比率を用いており、この比率を残留間隙水圧の残留率と呼んでいる。

従来より、残留間隙水圧の残留率は、十分なデータがない場合には、安全側の判断として、50%とすることが一般的である。

ただし、残留間隙水圧の残留率は、対象斜面の地形、地質・地質構造、透水性、水際から湛水前の地下水位までの距離、上部斜面からの地下水の流入量および貯水位下降速度等の水理地質条件によって異なる⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。したがって、残留率の決定にあたっては、地すべりの場合は図 5.10、崖錐等の未固結堆積物からなる斜面の場合は、図 5.11 を参考に、湛水前の調査・試験・計測などから対象斜面の水理地質条件を検討し、既往事例や浸透流解析結果等を参考にして個別に設定することが望ましい。

近年、蓄積されてきた知見によると、短時間で貯水位を急激に変化させるような貯水位の運用を行わない場合で、以下のいずれの条件にも該当しない場合は、貯水位下降時の残留間隙水圧の残留率を、水際斜面の地下水位の上昇（堰上げ）も含めて 30%とすることができると明らかにってきている（図 5.12）。

- ① すべり土塊層厚や未固結堆積物の堆積層厚が非常に厚く（30m 以上）かつ斜面勾配がきわめて緩い（30°以下）場合（図 5.13、図 5.14、図 5.15）
- ② 地すべりブロック周辺が集水地形で地すべり土塊への地下水流入が多い場合
- ③ 地すべり土塊の透水性が低い場合

また、地すべり対策工として押え盛土を施工する場合は、排水性の良い材料を用いるなど、対策施工後の残留間隙水圧の上昇防止に留意する必要がある。

なお、浸透流解析実施にあたっては、対象斜面の水理地質条件（降雨と地下水位との相関、透水係数、有効間隙率等）が必要である。このため、事前の長期にわたる地下水位観測を実施するとともに、これらの水理地質情報を用いた浸透流解析による地下水位の再現性の確認を行った上で解析モデルを修正し、解析精度の向上を図る必要がある。

また、崖錐等の未固結堆積物からなる斜面においては、一般に透水性が高く地すべりに比べて残留間隙水圧の残留率は低いことが予測されるが、斜面を構成する土質には粘性土が混入する場合もあるため注意を要する。

浸透流解析では貯水位操作に応じた残留率を求めることができるとともに、に将来予測される豪雨時の降雨を考慮した地下水状況を推定することができ、地すべりの長期的な安定性の解析・評価に役立てることができる。ただし浸透流解析の実施に際しては、対象斜面の水理地質情報（降雨に対する地下水位の応答状況、飽和透水係数、不飽和浸透特性等）が必要であり、事前の長期にわたる地下水位観測と浸透流解析による地下水位の再現性の検証を行わなければならない。

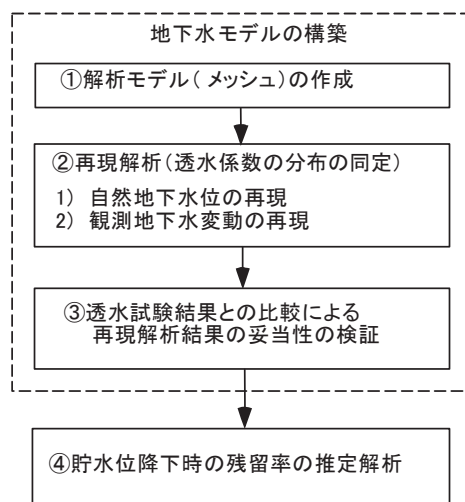


図 5.9 浸透流解析を用いた残留率推定のフロー

浸透流解析を用いた残留率推定のフローを図 5.9 に示す。なお、貯水位降下時の残留率の算定の際に

は、安定解析における安全率の最小値が的確に把握できるように貯水位を刻んで浸透流解析を行っておく必要がある。

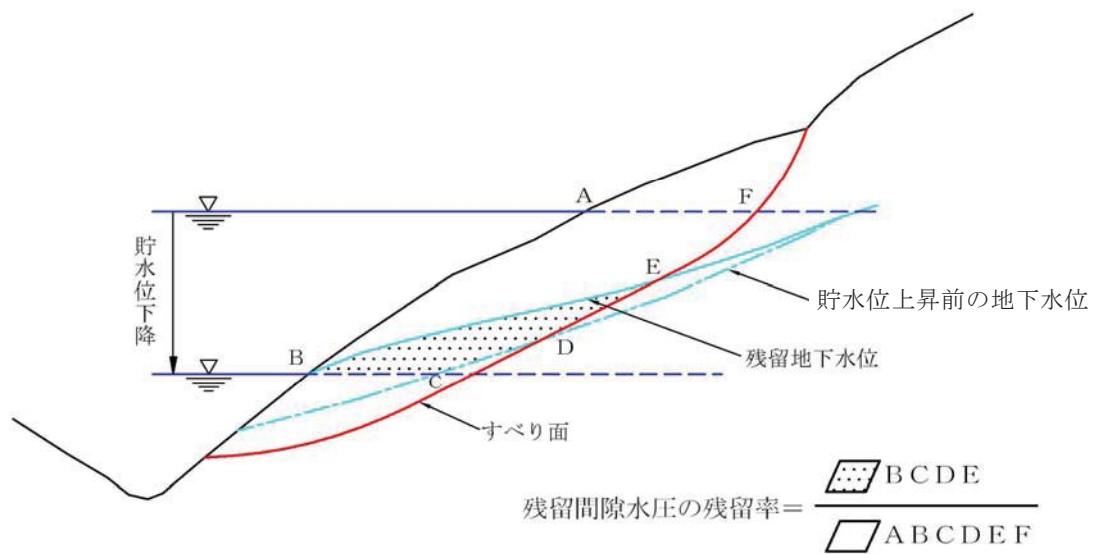


図 5.10 地すべりににおける残留間隙水圧の残留率の算定¹⁾

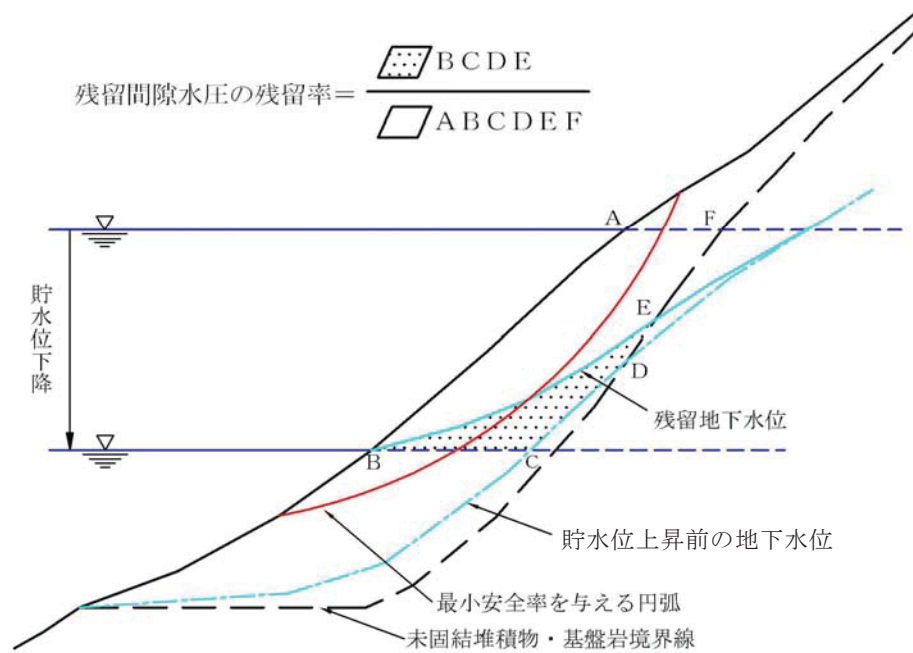


図 5.11 未固結堆積物からなる斜面における残留間隙水圧の残留率の算定¹⁾

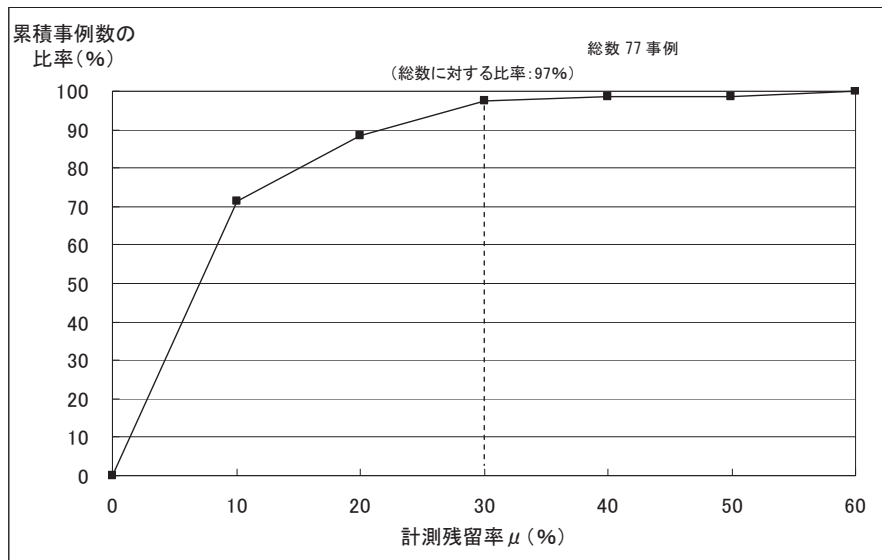


図 5.12 残留間隙水圧の残留率の実測事例

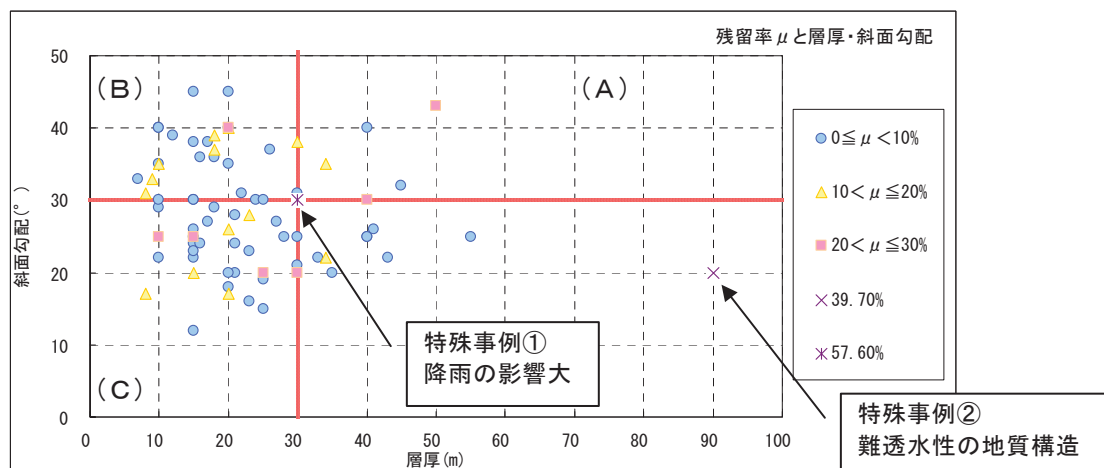
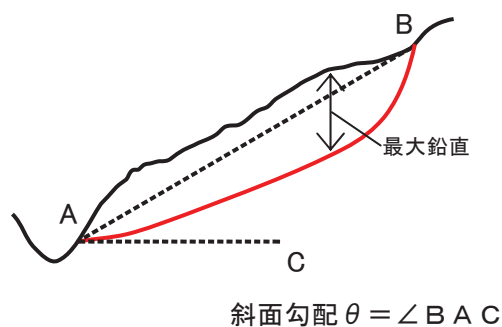


図 5.13 地すべり層厚・斜面勾配・残留率 μ の関係



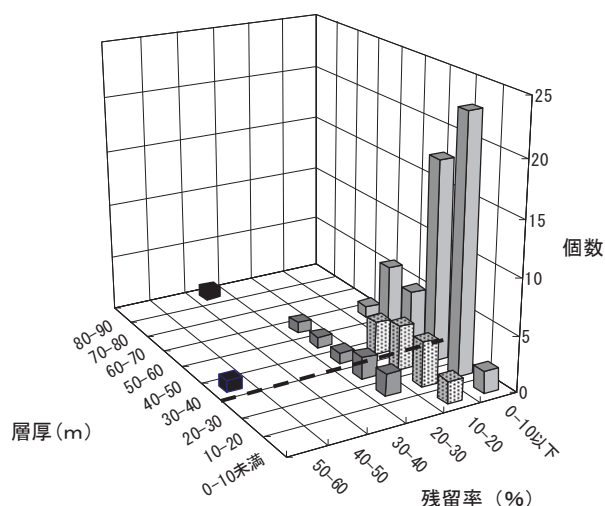


図 5.14 残留率と地すべり層厚の関係

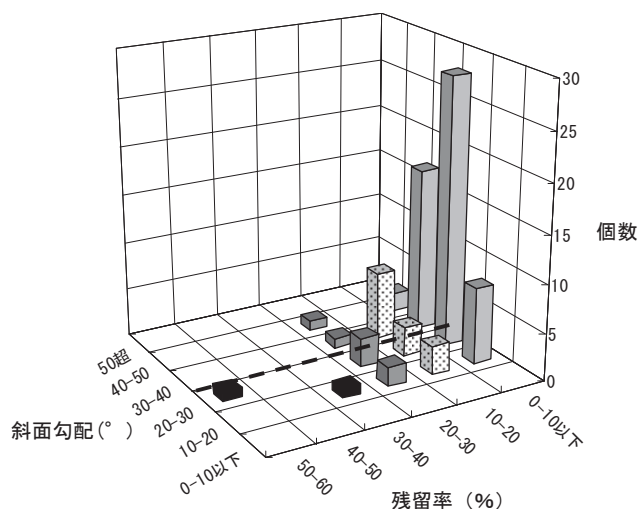


図 5.15 残留率と斜面勾配の関係

5.3.6 貯水位の変化に伴う安全率の評価

貯水位の変化に伴う安全率の評価は、湛水後に通常想定される貯水位操作の範囲で、貯水位の上昇時と下降時について行うことを原則とする。

貯水位上昇時の貯水位の変化に伴う安全率 F_s の評価のための安定解析は、河床標高あるいは地すべり面の末端標高からサーチャージ水位（SWL）までの範囲について行う。

一方、貯水位下降時の貯水位の変化に伴う安全率 F_s の評価のための安定解析は、洪水期に急速な貯水位下降が予測される場合を対象とし、洪水時最高水位（通常サーチャージ水位）（SWL）から洪水期制限水位（制限水位）（RWL）までの範囲について行う。なお、制限水位（RWL）が設定されていない場合には平常時最高水位（常時満水位）（NWL）までとする。

ただし、洪水調節、流入土砂の排砂等の目的で急速な貯水位下降操作が計画されている場合は、安定解析における貯水位の変動範囲はその状況に応じて設定する必要がある。

なお、異常渇水時等の利水補給やダム堤体の点検等の場合には、制限水位（RWL）あるいは常時満水位（NWL）から最低水位（LWL）まで連続して貯水位下降することが想定されるが、その際には下降速度を制御することができるため、急速な貯水位下降を想定した安定解析の対象とはしない。

安定解析は、地すべり面の勾配変化位置等を考慮し、安全率 F_s の最小値（ $F_{s_{\min}}$ ）が的確に把握できるように貯水位を小刻みに設定して実施する。

5.4 対策工の必要性の評価

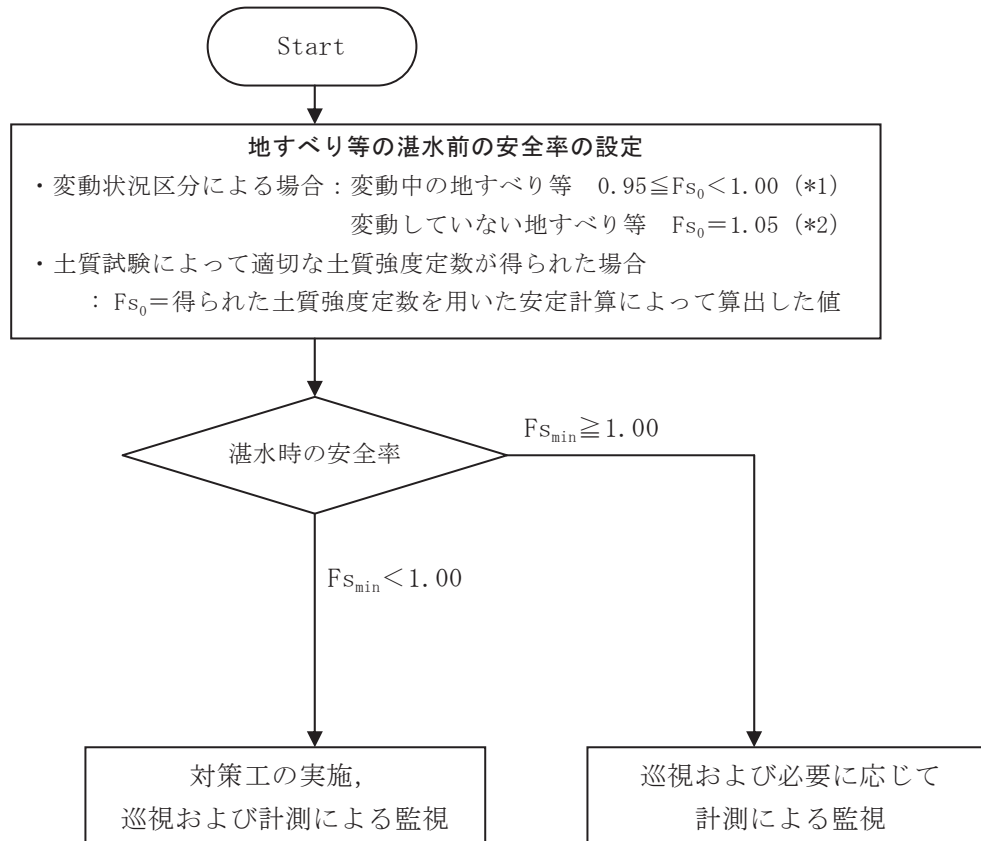
対策工の必要性は、原則として二次元安定解析により湛水後に通常想定される貯水位操作時の最小安全率を用いて評価する。

湛水時の最小安全率（ $F_{s_{\min}}$ ）が 1.00 を下回る地すべり等については対策工が必要である。なお、対策工を施工した地すべり等については、巡視を行うとともに、地盤伸縮計・地盤傾斜計・孔内傾斜計等による計測を行って、その挙動を監視し、湛水時の対策工の効果や地すべり等の安定性について確認する。

(図 5.16)。

一方、現在、安定している地すべり等で、湛水時の最小安全率 ($F_{s_{min}}$) が 1.00 以上と評価される地すべり等についても、巡視を行うとともに、必要に応じて地盤伸縮計・地盤傾斜計・孔内傾斜計等による計測を行って、その挙動を監視し、湛水時の安定性について確認する (図 5.16)。

なお、精査結果を踏まえて「地すべり等の規模」や「保全対象物への影響」等 (3.4 参照) を適宜修正する。対策工の必要性は、これらを含めて総合的に評価する。



*1 計測で地すべり等の変動の開始時期が把握された場合には、変動開始直前の安全率を $F_{s_0} = 1.00$ とする。

*2 湛水前の変動していない地すべり等の安定性は、複数年以上の長期間にわたり安定して存在する最も高い地下水位（豊水期の最低地下水位）を用いて $F_{s_0} = 1.05$ とする。

図 5.16 対策工の必要性の評価手順¹⁾