

改訂 貯水池周辺の 地すべり調査と対策 要約版

平成 22 年 3 月

財団法人 国土技術研究センター

目 次

1. 総 説	1-1
1.1 目 的	1-1
1.2 適 用 範 囲	1-1
1.3 構 成	1-1
1.4 用 語 の 定 義	1-3
2. 地すべり等の特性	2-1
2.1 湛水前の地すべりの安定性	2-2
2.2 未固結堆積物からなる斜面の安定性	2-4
2.3 湛水に伴う地すべり等の原因	2-4
2.4 湛水時の地すべり等の安定性	2-6
3. 概 査	3-1
3.1 目 的	3-1
3.2 概 査 の 手 順	3-1
3.3 概 査 内 容	3-2
3.3.1 資料収集・整理	3-2
3.3.2 地形図・空中写真の判読	3-4
3.3.3 地すべり地形等予察図の作成	3-7
3.3.4 現 地 踏 査	3-9
3.3.5 地すべり等カルテの作成	3-12
3.3.6 地すべり等分布図の作成	3-12
3.4 精査の必要性の評価	3-17
4. 精 査	4-1
4.1 目 的	4-1
4.2 精 査 の 手 順	4-1
4.3 精査計画の立案	4-2
4.4 精 査 内 容	4-3
4.4.1 地 質 調 査	4-5
4.4.2 す べ り 面 調 査	4-10
4.4.3 地 下 水 調 査	4-12
4.4.4 移 動 量 調 査	4-14
4.4.5 土 質 試 験	4-17
4.5 精査結果図の作成	4-18
4.6 解析の必要性の評価	4-18
5. 解 析	5-1
5.1 目 的	5-1
5.2 機 構 解 析	5-1
5.3 安 定 解 析	5-4
5.3.1 安定計算方法	5-4
5.3.2 地すべり等の湛水前の安全率	5-6
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	5-10
5.3.4 地すべり等の土質強度定数	5-10
5.3.5 残留間隙水圧の残留率	5-12
5.3.6 貯水位の変化に伴う安全率の評価	5-15

5.4 対策工の必要性の評価	5-15
6. 対策工の計画	6-1
6.1 目 的	6-1
6.2 対策工の計画の手順	6-1
6.3 計画安全率の設定	6-2
6.4 対策工の選定	6-3
6.5 必要抑止力の算定	6-7
6.6 設計上の留意点	6-7
7. 湛水時の斜面管理	7-1
7.1 試験湛水時の斜面管理	7-1
7.1.1 目 的	7-1
7.1.2 対 象 斜 面	7-1
7.1.3 斜面管理方法	7-2
7.1.4 管理基準値の設定	7-4
7.1.5 安定性の評価	7-6
7.1.6 異常時の対応	7-6
7.2 ダム運用時の斜面管理	7-8
7.2.1 目的および斜面管理方法	7-8
7.2.2 ダム運用時の計測	7-8
7.2.3 ダム運用時における管理基準値の見直し	7-9
7.2.4 ダム運用時における異常時の対応	7-9
7.3 ダム再開発事業にあたっての留意点	7-9

引用・参考文献

1. 総説

1.1 目的

本書は、貯水池周辺の湛水に伴う地すべり等に対して的確に対応することを目的とし、技術的理念や方法などを示す。

貯水池周辺に地すべり等が発生すると、ダム本体の安全性はもとより貯水池の機能や貯水池周辺斜面の保全に影響を及ぼすため、湛水前に適切な調査を行い、地すべり等の発生の可能性を検討し、所要の対策を事前に講じることが重要である。

貯水池周辺の地すべり等に関しては、ダムの湛水という人為的な影響下における斜面の安定性を取り扱うため、通常の地すべり等とは異なる配慮が必要となる。また、地すべり等は複雑な自然現象であることから、本書の適用にあたっては各地域特有の条件を考慮する必要がある。

本書は、様々な特徴をもつ地すべり等に配慮しているが、個々の現場において検討時に疑義が生じた場合や技術的に判断が難しい場合などには、有識者や専門家の意見を求めるなど、より適切に対応することが必要である。さらに、技術の進歩に伴う新たな知見や手法について各現場における適用性を検討し、積極的に活用していくことが望まれる。

1.2 適用範囲

本書は、ダム事業に関連する貯水池周辺の湛水に伴う地すべり等の調査と対策を対象としている。

ダム事業に関連する貯水池周辺の地すべり等とは、ダムの貯水位の上昇・下降又は貯水中の降雨などの誘因によって変動する地すべり等をいう。

ただし、概査段階においては、付替道路などダム事業の関連工事に伴う地すべり等で湛水の影響を受けないものについても調査対象として抽出し、ダム事業全体の地すべり等の対策を検討する際の基礎資料とする（3.4 図 3.16 参照）。

なお、本書は、ダムの再開発事業についても適用する。この際には、再開発事業以前の調査・解析結果や、湛水時の地すべり等の挙動などを整理し、有効に活用することが必要である。

1.3 構成

本書は、概査、精査、解析、対策工の計画および湛水時の斜面管理よりなる。

ダムの湛水に伴う地すべり等の発生を予測して効果的な対策を検討するためには、事前に十分な調査を実施する必要がある。調査にあたっては、ダムサイトの位置や貯水位標高などのダム計画を考慮する。

先ず概査として、広域的に地すべり等の分布を把握し、地すべり等の規模や保全対象の重要度などを評価して次段階の精査を実施する斜面を抽出する。

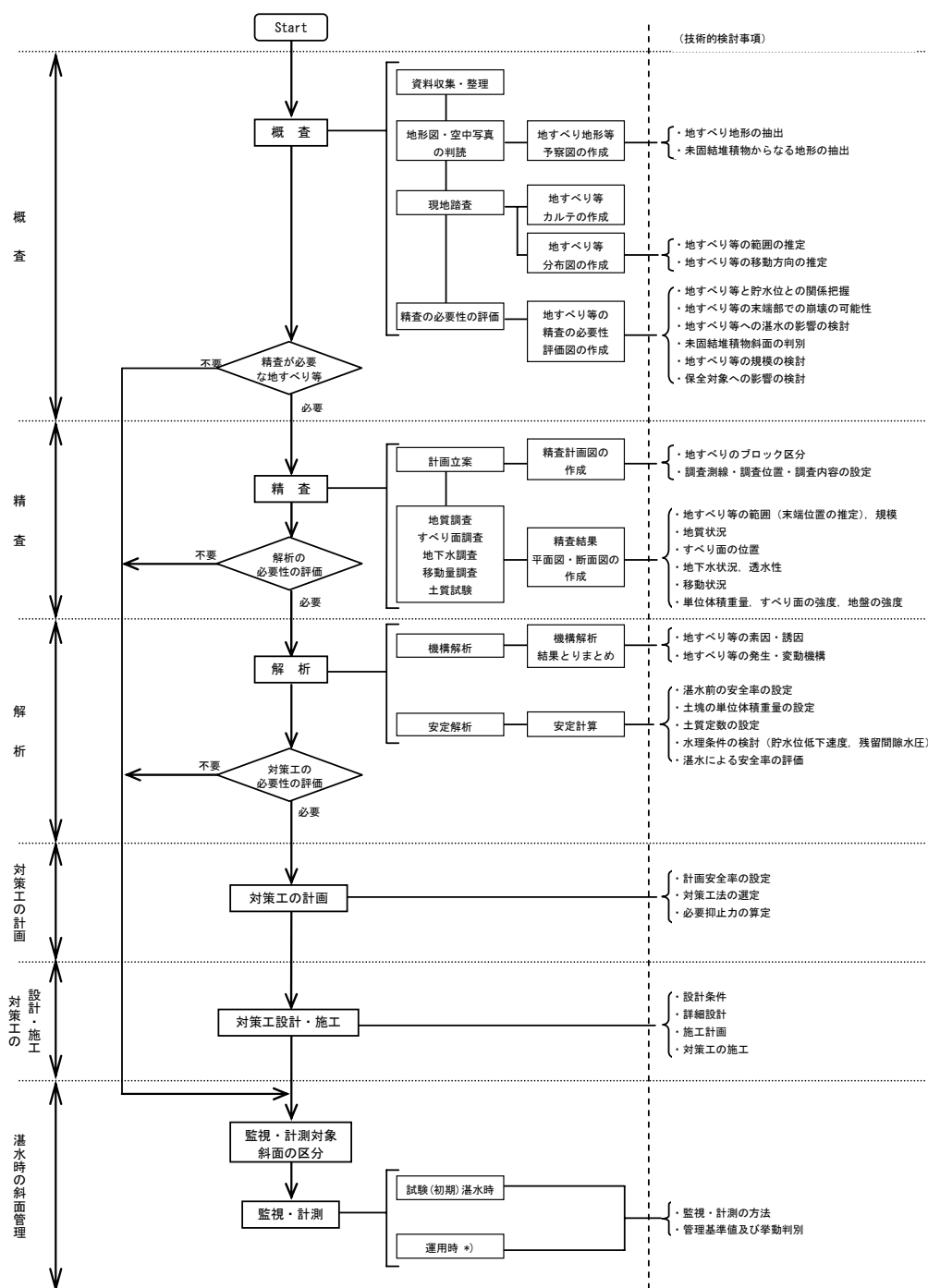
次に精査として、概査で抽出された地すべり等の機構解析、安定解析、対策工の必要性の判断および対策工の計画・設計などに必要な資料を得るための調査を行う。また、地すべり等の分布に関わる地形・植生の変化や、ダム事業の関連工事に伴う切土法面等に現れる露頭などの安定性等に関する新たな知見が得られた場合は、必要に応じて概査・精査の見直しを行う。

精査終了後、機構解析および安定解析を行い、地すべり等の変動機構を明らかにし、湛水に伴う地すべり等の安定性を評価し、対策工の必要性を検討する。

解析結果に基づいて地すべり対策工の計画、対策工の設計・施工を行う。さらに、ダム本体工事および地すべり対策工事等が終了した後、試験湛水時および運用時には斜面管理として、地すべり等の斜面の挙動の監視・計測等を行う。

概査から斜面管理に至るまでの湛水に伴う地すべり等の対応の手順と、各段階における主な技術的検討事項を図 1.1 に示す。本書では、この手順に沿って、地すべり等の技術的な検討事項とその対応等について示す。ただし、調査、解析、対策工の計画・設計・施工、湛水時の斜面管理は相互に関連しているため、常に地すべり等の調査と対策全般を鑑みて系統的に行わなければならない。

なお、本書では、湛水に伴う地すべり等の対策工の詳細な内容には触れず、設計・施工上の方針と留意点のみを示した（6.6、6.7 参照）。



*) 運用時の管理方法は基本的には試験湛水時に準ずるが、定期的に計測項目・頻度等を見直すことも重要である。

図 1.1 湛水に伴う地すべり等の対応の手順¹⁾

1.4 用語の定義

本書で用いる主要な用語の定義は、下記のとおりである。

(1) 貯水池周辺

貯水池周辺の範囲は狭義には貯水池の近傍を指すが、本書では湛水の影響の及ぶ範囲として、貯水池両岸の尾根（分水界）および貯水池末端から約1km上流までを目安とする。ただし、ダム事業に関連する付替道路等も考慮し、概查段階ではダムサイトから約2～3km下流までを目安として貯水池周辺に含める（図1.2）。

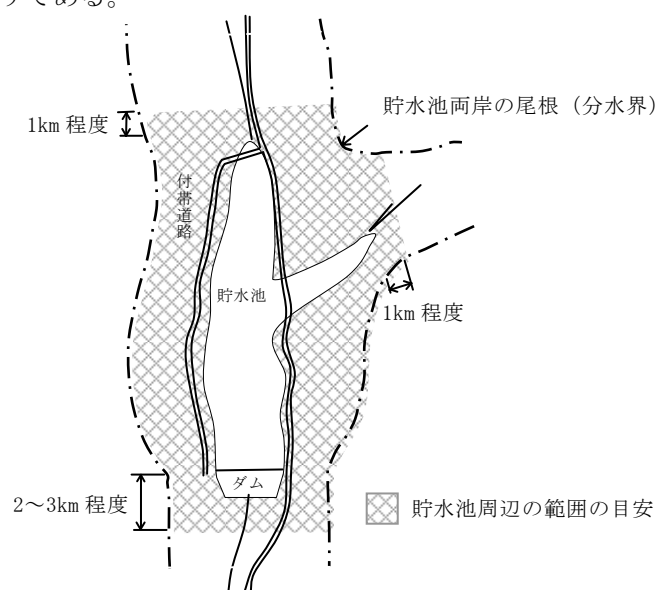


図 1.2 貯水池周辺の範囲の目安

(2) 地すべり

一般に地すべりとは、山地や丘陵の斜面において移動領域と不動領域との間にすべり面となる物質があり、重力によって比較的大規模にゆっくりと変動する現象およびその現象が発生する場所をいい、変動を繰り返すことが多い。地すべり等防止法（第2条）では、土地の一部が地下水等に起因してすべる現象またはこれに伴って移動する現象としている。

本書では、上記の現象において、特にダムの貯水、貯水位の上昇・下降または貯水中の降雨などの誘因によって変動する現象およびその場所を取り扱う（2. 参照）。

なお、移動領域と不動領域の間に明瞭なすべり面のない斜面（ゆるみ岩盤）については、その機構や安定性の考え方などが確立されていないため、本書とは別に調査地の地質状況等を踏まえて個別に取り扱うものとする。

(3) 地すべり等

斜面変動には、地すべり並びに崖錐等の未固結堆積物の大規模な斜面変動と、落石や表層崩壊等の小規模な斜面変動があるが、本書では前者の現象およびそれらが発生する場所について取り扱う。なお、未固結堆積物とは、崖錐、崩積土、段丘堆積物、土石流堆積物、沖積錐堆積物のように固結に至っていない堆積物のことを指す。未固結堆積物はその生成過程から水を多く含まない岩屑の移動による堆積物と流水によって運搬された堆積物とに区分される。

なお、本書では、特に地すべり等の現象が発生する場所に限定して用いる場合に、地すべり地等ということがある。

(4) 地すべり地形等

過去の地すべり等の変動の特徴を備えた地形をいう。地すべりの場合は滑落崖や陥没帯等、未固結堆積物の場合は崖錐地形等がこれにあたる。

(5) 地すべりブロック

地すべりの一つの単位として変動する土塊（岩塊）をいう。一つの地すべりには、1～数個の地すべりブロックが存在する。

(6) 残留間隙水圧

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。このとき、地すべり等の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する。このようにして残留した地下水によって地すべり等の土塊に作用する間隙水圧を残留間隙水圧といい、この残留間隙水圧の影響によって地すべり等の安定性が低下することがある。

(7) 堰上げ

貯水位が上昇すると、水没した地すべり等の土塊内の排水条件が変化し、湛水面より上の斜面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場合がある。このように水没に伴って湛水面より上部の斜面の地下水位が上昇する現象をいう（2.4.2、5.3.6 参照）。

(8) 対策工

地すべり等の安定性を確保することを目的として実施する工事をいう。対策工には、地形・地下水等の自然条件を変化させて斜面の安定性を回復する抑制工と、構造物によって地すべり等の滑動力に対抗する抑止工がある。

(9) 安全率 (F_s)

斜面の安定性の指標として、地すべりブロックの滑動力に対するすべり面における抵抗力の比をいう。安全率 (F_s) が 1.00 を下回ると変動している状態を示す。湛水前の安全率を F_{s0} 、湛水後における最小安全率を $F_{s_{\min}}$ と記す。

なお、湛水前の安全率 (F_{s0}) および湛水後における最小安全率 ($F_{s_{\min}}$) は、対策工を実施する前の状態を示す。

(10) 計画安全率 ($P.F_s$)

対策工の規模を決定するための目標とする安全率をいう。保全対象の種類と重要度によって設定する。

地すべり運動状況に応じて仮定する湛水前の安全率 (F_{s0}) をもとに湛水後の最小安全率 ($F_{s_{\min}}$) を算定し、これに対して計画安全率が設定されることが多い。この場合、計画安全率は必ずしも工事実施後の斜面の安定度そのものを示すものではなく、湛水前の安全率 (F_{s0}) に対する相対的な値であることに注意する必要がある²⁾。

(11) 基準水面法³⁾⁴⁾

貯水位と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斜面安定計算方法をいう（5.3.1 参照）。

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。

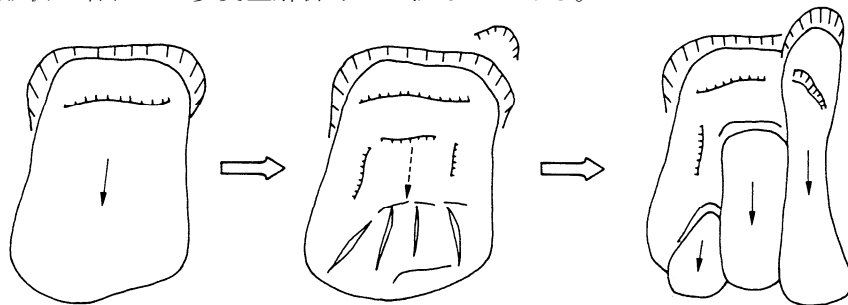


図 2.1 地すべり地形の分化の模式図

(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。

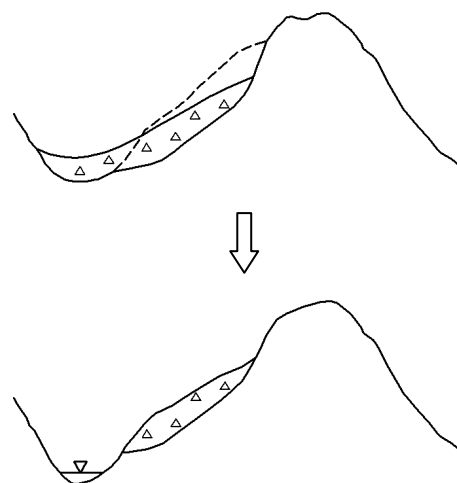


図 2.2 安定性の高い地すべり地形

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。

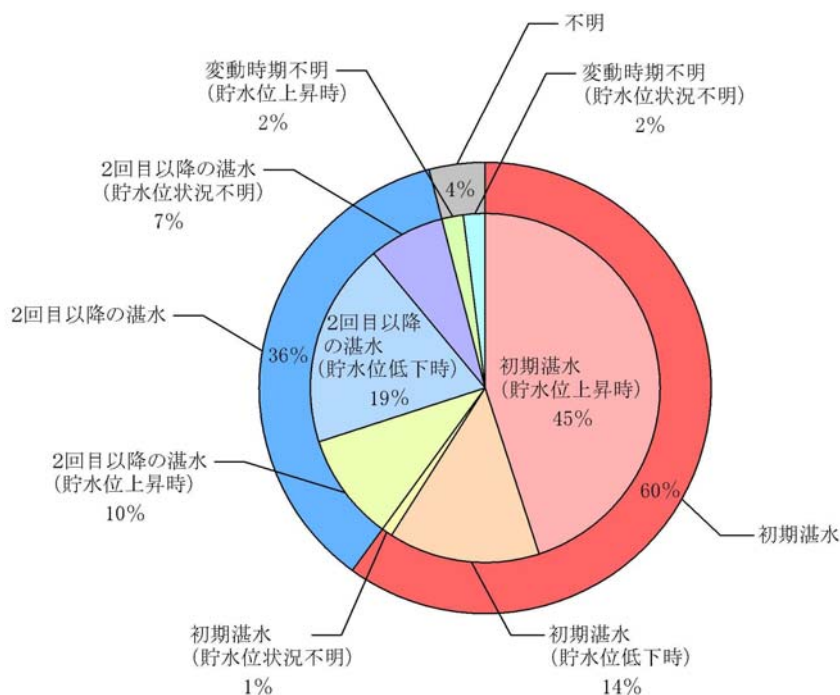


図 2.3 貯水池周辺で発生した地すべりの貯水位状態
—2006 年までの事例（63 ダム 635 ブロック）の中から抽出された全 84 ブロック—
（ ）内は初期湛水、2 回目以降の湛水のそれぞれの中での比較

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)。

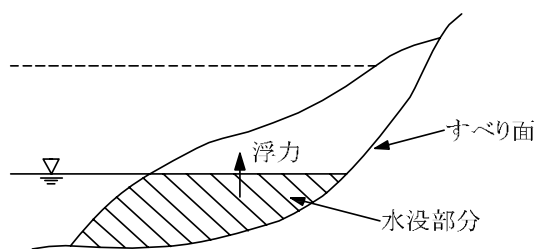


図 2.4 貯水位の上昇による浮力の発生

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)。

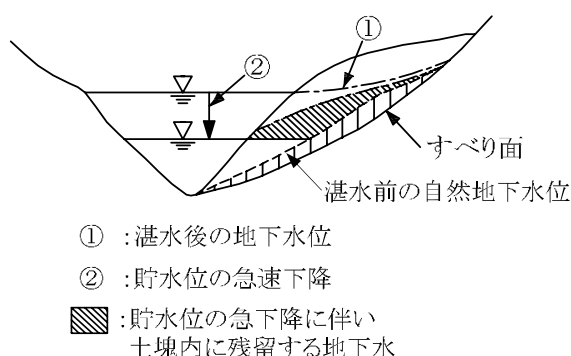


図 2.5 貯水位の急速な下降に伴う残留間隙水圧の発生

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。

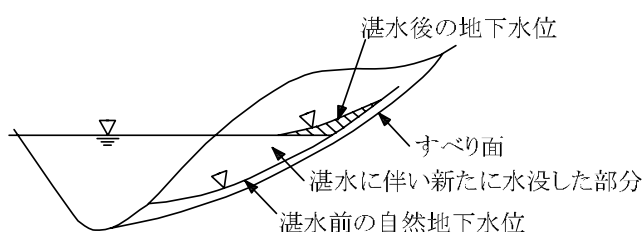


図 2.6 水没による地すべり土塊内の地下水位の上昇

(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。

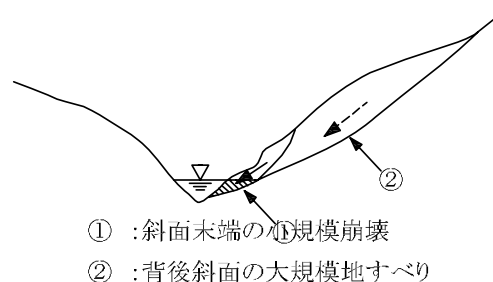


図 2.7 水没斜面下部の小崩壊が誘因となる地すべりのモデル

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。

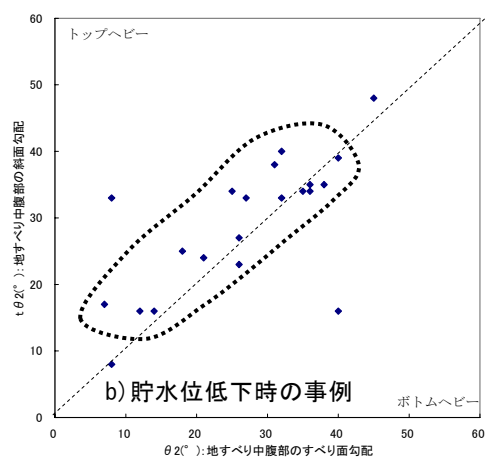
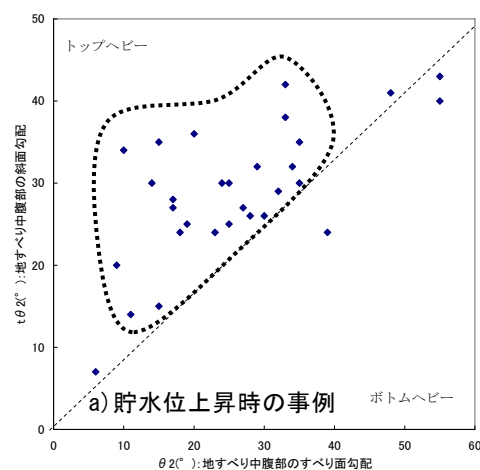
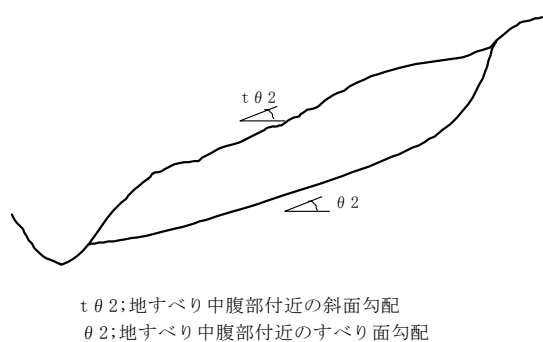


図 2.8 貯水池周辺で変動した地すべり面の形状

(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）。

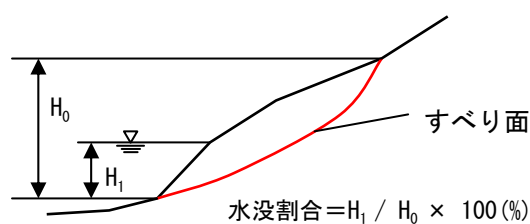


図 2.9 水没割合

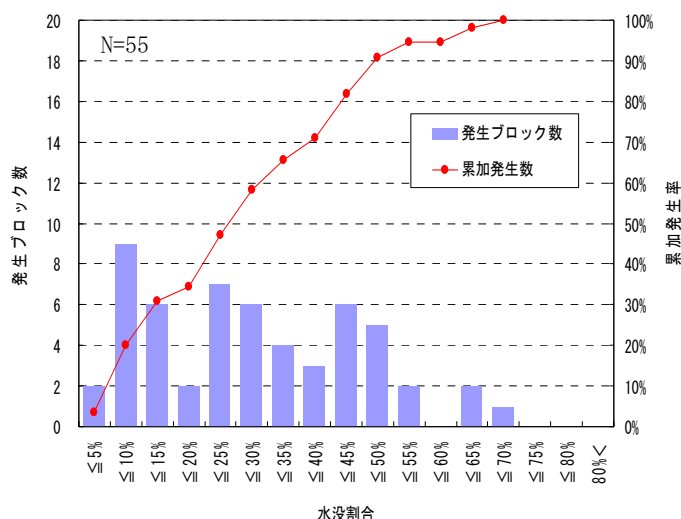


図 2.10 地すべりの発生率と水没割合

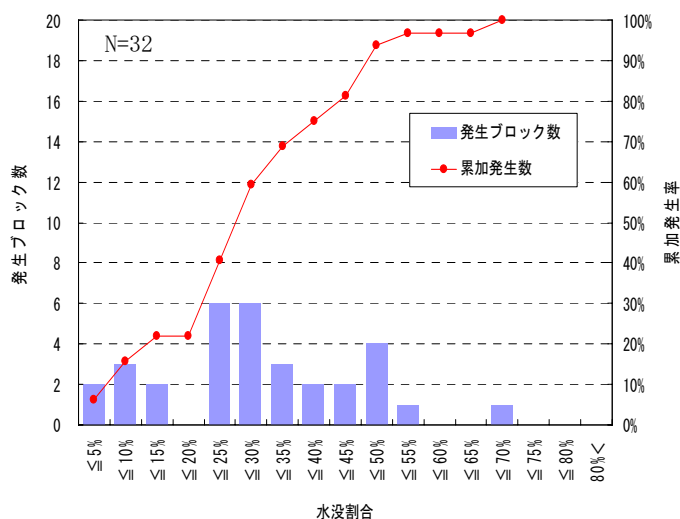


図 2.11 貯水位上昇時における地すべりの発生率と水没割合

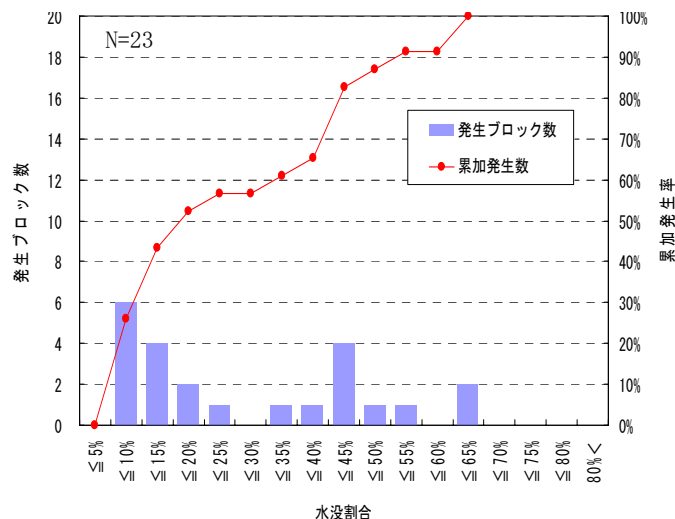


図 2.12 貯水位低下時における地すべりの発生率と水没割合

3. 概査

3.1 目的

概査は、ダムサイト下流も含めて貯水池周辺の広範囲にわたる地すべり等の分布を明らかにし、この中から精査が必要な地すべり等を抽出することを目的として実施する。

概査は、ダム事業の予備調査段階または実施計画調査段階で実施する。概査によって大規模な地すべり等が抽出された場合には、現地踏査やその後の精査、解析および対策工の計画・設計・施工等に時間を要し、ダムの位置、規模、型式などの計画に影響が及ぶ恐れがある。したがって、特に、新第三紀層や変成岩および付加体堆積物からなる中古生層など大規模な地すべり等の多発地帯に計画されるダム、あるいは近傍と類似の地質で大規模な地すべり等の対策が行われているダムでは、できるだけ早期に概査を実施して大規模な地すべり等の有無やその影響を検討する必要がある。

3.2 概査の手順

概査の手順を図 3.1 に示す。概査においては、まず机上調査（既存の調査資料や文献等の収集・整理、地形図・空中写真の判読）によって地すべり地形等を抽出し、地すべり地形等予察図を作成する。次に、地すべり地形等予察図を用いて現地踏査を行い、空中写真を再判読した後に地すべり等分布図を作成する。得られた情報は地すべり等カルテに整理する。

これらの結果をもとに、地すべり等への湛水の影響の有無と規模および保全対象の重要度を指標として、精査が必要な地すべり等を抽出するとともに評価図を作成する。

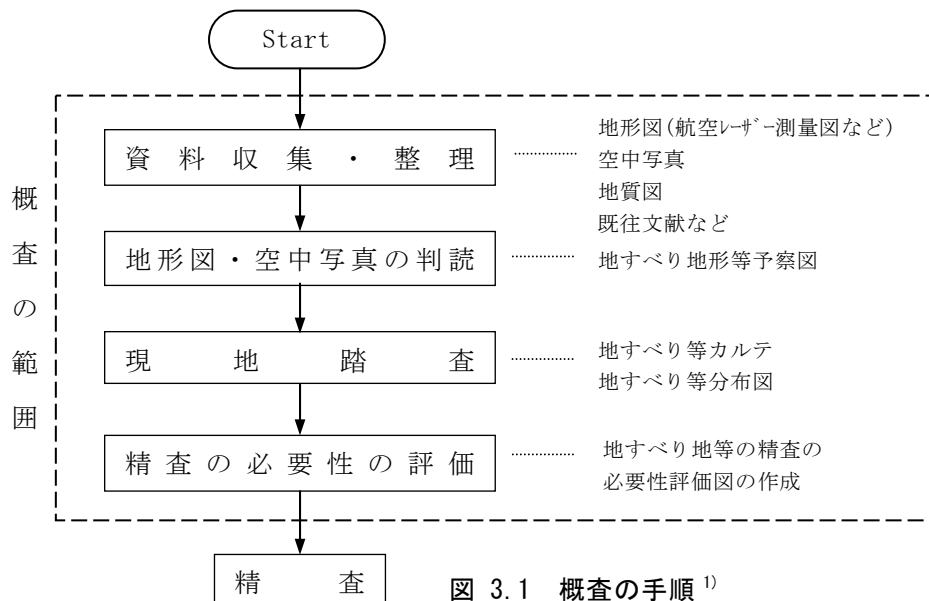


図 3.1 概査の手順¹⁾

3.3 概査内容

3.3.1 資料収集・整理

地すべり地形等予察図および地すべり等分布図を作成することを目的として、地形図・空中写真、地質図および地すべり等に関する既往文献などの資料を収集し、整理する。これらの資料は概査の精度を上げるために必要なものであり、これらを収集できない場合は必要に応じて作成する。

なお、現在の地形図・空中写真に加えて、過去に作成された地形図・空中写真があれば、地形の変化を時系列的に読み取ることにより、地すべり等の形成過程を推定することができるので、併せて収集する。

(1) 地 形 図

(i) 国土地理院発行 縮尺 1/25,000 地形図

地すべり等に関連した広域的な地形特性を把握するため、貯水池を含み両岸の尾根を越える広範囲のものを収集する。

(ii) 縮尺 1/2,500 (入手できない場合は 1/5,000～1/10,000)

貯水池周辺の地形・地質上の特性や周辺整備計画および湛水の影響を及ぶ範囲等を考慮し、余裕をもった広い範囲とする (図 3.2 参照)。

地すべり等分布図の基図として、ダム事業で作成される地形図などを使用する。地すべり地形等を正確に抽出するため、また、現地踏査結果を正確に表示するためには微地形が表現された精度の高い地形図が必要であり、なるべく初期の調査段階で航空レーザー測量等により作成することが望ましい。

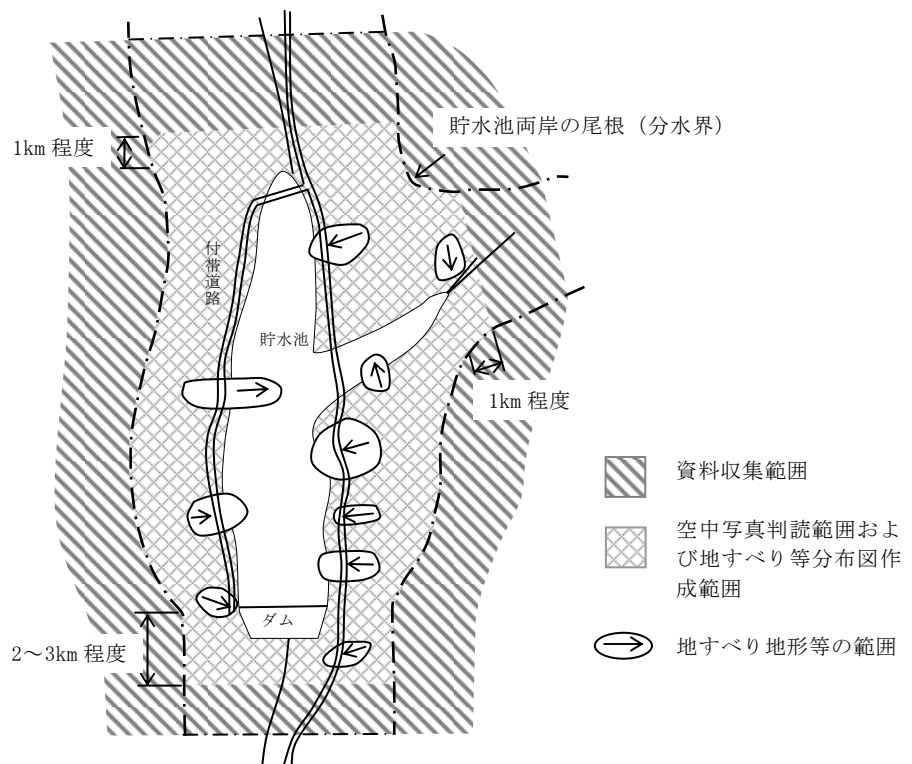


図 3.2 資料収集範囲および空中写真判読範囲¹⁾

(2) 空中写真 (垂直写真)

広域的な地すべり地等の地形特性を把握するとともに、地質構造を推定するため、以下の空中写真を収集または必要に応じて撮影する。

(i) 縮尺 1/20,000～1/40,000

微地形の判読には適さないが、大規模な崩壊や地すべり地等を抽出することができる。縮尺 1/25,000 の地形図と同じ範囲のものが望ましい。

(ii) 縮尺 1/8,000～1/15,000

入手範囲は、地すべり地等の全容を把握し、また地すべり等の発生するおそれの大きな地域まで検讨できるように、縮尺 1/2,500～1/5,000 の地形図と同じ範囲とする (図 3.2 参照)。

(3) 地 質 図

(i) 縮尺 1/50,000～1/200,000 の広域地質図（土质地質図などを含む）

地すべり等に関連した地質特性を広域的に把握するため、広い範囲のものを収集する。これらを貯水池周辺地質図の作成に活用する。土质地質図は、崖錐・崩積土の分布や風化・変質などの理工学的な地盤特性を把握するために有効である。

(ii) 縮尺 1/2,500 程度の地表踏査に基づく貯水池周辺地質図

貯水池周辺の地質分布や地質構造を把握し、地すべり等に関連した地質特性を把握するため、地すべり等調査以外の目的で実施された既存の地質調査資料も含めて収集または作成する。

(4) 地すべり等に関する既往文献

貯水池周辺および隣接地域での地すべり等の特性を把握するため、地すべり等に関する既往文献を収集する。広域的なものとして、(独)防災科学技術研究所の地すべり地形分布図データベースなどがある。

(i) 地すべり防止区域に関する資料

(ii) 地すべり分布図、地形分類図、土地条件図など

(iii) 周辺部での地すべり等の発生事例（既存の調査報告書など）

(5) そ の 他

(i) 斜め空中写真

(ii) ダムサイト、原石山等の既存ボーリング調査資料など

(iii) 気象・地象データ（雨量・気温、地震等）

3.3.2 地形図・空中写真の判読

概査における地形図・空中写真の判読は、地すべり地形等を的確に抽出することを目的として、地すべり地形等の特徴から、斜面の発達過程や斜面の変動履歴を読み取って実施する。

(1) 目 的

貯水池周辺の地すべり等調査においては、変動中の地すべり等だけでなく過去に変動したもので現在安定しているものも含めて、湛水によって地すべり等を起こすおそれのある不安定な斜面を明らかにしなければならない。そのためには地形上の特徴をとらえて斜面の発達過程や斜面の変動履歴を読み取る必要がある。

地形図・空中写真の判読は地形上の特徴から斜面の発達過程を読み取る最も有効な手段である。なお、航空レーザー測量により作成した地形図は微地形が表現されているので判読に有効である。

地形図・空中写真の判読によって、地すべり等の地形や地質について以下のような情報が得られる。

- ① 引張亀裂、圧縮亀裂、滑落崖など地すべり等の徴候を示す微地形
- ② 地すべり等の範囲、平面形状、断面形状および地すべりの型分類
- ③ 地すべりブロック区分
- ④ 過去の変動や浸食・開析の程度
- ⑤ 地質構造（地層の走向・傾斜、断層・破碎帯など）
- ⑥ 植生の状況

ダムサイト、貯水位線、付替道路などの計画をあらかじめ記入した地形図に判読結果を整理し、ダムの建設計画と地すべり等との関係を検討するための資料とする。

(2) 判読範囲

地形図・空中写真の判読範囲は、ダムサイト下流の約2～3 km から貯水池周辺および貯水池上流約1 km までとする（図 3.2 参照）。ただし、資料収集で対象地域に地すべり地等が多く分布する場合や尾根を越えた地すべり等が予想される場合には、湛水時の地下水状態の変化についても検討し、より広範囲での判読を行う。また、以下のダム事業の関連工事用地についても判読範囲に含める。

- ① 付替道路
- ② 工事用道路
- ③ 代替地
- ④ 原石山
- ⑤ 土捨場
- ⑥ 骨材プラント等の仮設備用地

隣接する他流域に大規模な地すべり等が存在する場合には、その形状、位置、規模、地質・地質構造との関連などを検討することによって、対象とする貯水池周辺の斜面での地すべり等の判読に有用な情報が得られることがある。

(3) 判読方法

判読は、地すべり地形等の地形的な特徴を読み取ることのできる技術者が行う必要がある。地すべり地形等の中には、過去の浸食・堆積や斜面変動の積み重ねにより地形が複雑化し、判読が難しいものも多い。このため、地すべり地形等の見逃しや地すべりブロック区分の見誤りがないように、斜面の発達過程や過去の斜面の変動履歴を推定しながら行うことが重要である。また、判読においては、地質図や既往文献等の収集資料も参考にする。

地形図・空中写真の判読の項目には次のようなものがあり、その判読にあたっては、地すべり等の地形的な特徴を十分理解したうえで行う。

(i) 沢（谷）、尾根（稜線）

- ① 水系模様……………谷密度
- ② 河川の異常な屈曲……流向異常、屈曲異常、川底幅異常
- ③ 斜流谷……………接峰面異常
- ④ 谷の連続性……………末無川
- ⑤ 尾根（稜線）……………尾根形状、鞍部

(ii) 遷急線・遷緩線・山頂緩斜面・山腹緩斜面

- ① 傾斜変換線（点）……………遷急線（点）、遷緩線（点）
- ② 山頂緩斜面（山頂小起伏面）……………山頂部の線状凹地（多重山稜）
- ③ 山腹緩斜面（山腹小起伏面）……………小起伏面中の線状凹地
- ④ 表層崩壊地……………発生位置
- ⑤ 大規模崩壊地……………明瞭度、開析の程度
- ⑥ ガリ、若い浸食谷

(iii) 山麓地形、崖錐・沖積錐などの未固結堆積物からなる斜面

押出し地形、山麓緩斜面、崖錐地形、崩積土堆積地形、土石流堆（土石流段丘）、沖積錐、扇状地、谷底平野（低地）、段丘（高位・中位・低位）などを判読する。

(iv) フォトリニアメント（線状模様）

水系・尾根や谷の折れ曲がり、鞍部などが直線状あるいは直線に近い形で並んだ地形。これらは、地質の弱線や不連続を反映していると考えられている。

(v) クラック地形（段差地形、二重山陵、線状凹地など）

斜面上に溝状の凹地が連続したり、凸状地形に層状の段差が見られる地形。地すべり等の発生に先立って形成される。

(4) 地すべり地形等の抽出

地すべり地形等には以下に述べるような特徴があるので、地形発達すなわち過去の斜面の変動履歴を推定しながら地形図・空中写真を判読し、地すべり地形等を抽出する。

(i) 明瞭な地すべり地に見られる微地形や植生等の特徴

- ① 滑落崖、クラック。
- ② 斜面の陥没地、池、沼、湿地の規則的な配列および（分離）小丘。
- ③ 斜面の不規則な凸凹地形、階段状地形、千枚田。
- ④ 水系異常、押出し地形、谷密度の低い箇所。
- ⑤ 地すべり発生後、植生がまだ回復しない斜面、禿赫地。例えば、写真上で明色調を示す部分。

(ii) 明瞭な地すべり地の末端部に見られる微地形や植生等の特徴

- ① 隆起現象、圧縮亀裂さらには押出し、微小崩壊跡地の存在する箇所。
- ② 斜面中腹の小崩壊や湧水点が等高線に沿って連続的に存在する箇所。
- ③ 斜面中腹を境界として、上は沢密度が低く、下は谷頭のほぼそろった沢が何本か形成されている箇所（谷頭が地すべり末端となる）（図 3.3）。
- ④ 河川の湾曲、狭窄部。
- ⑤ 植生の繁茂状況に差のある箇所（斜面末端近くの植生の乏しい部分が末端部となる）。
- ⑥ 斜面中腹あるいは末端部での露岩の存在する箇所。露岩部は一般に不動地であることが多い。

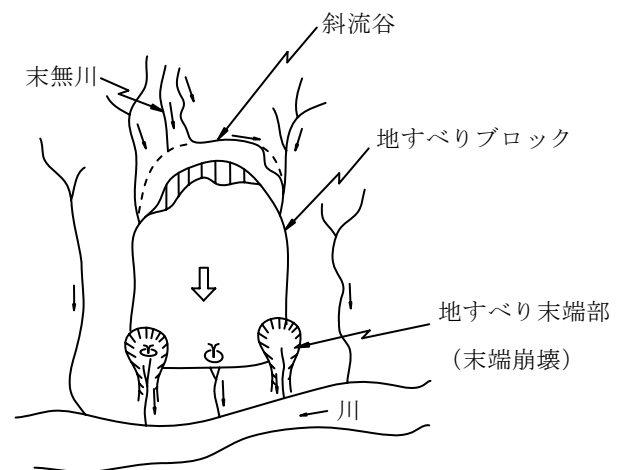


図 3.3 沢密度の違いによる地すべり末端部の推定

(iii) 地すべりの可能性がある箇所に見られる微地形や植生等の特徴

- ① 地すべり地等の滑落崖背後の斜面における引張亀裂や線状凹地。
- ② 斜面上の線状凹地（斜流谷を含む）や尾根型斜面での眉状の段差などのクラック地形。
- ③ 遷急線や遷緩線の不調和な分布。

- ④ 河川の攻撃斜面に当たる緩斜面およびその背後の緩斜面や表面に段差地形を有する斜面。
- ⑤ 山腹斜面を取り囲む湾曲した水系。
- ⑥ 土石で覆われた急傾斜面。
- ⑦ 沢や谷中の厚い岩屑の堆積地形。
- ⑧ 植生分布の極端な変化。

(iv) 崖錐等の未固結堆積物からなる斜面に見られる微地形や植生等の特徴

崖錐等の未固結堆積物からなる斜面の性状・形状・成因等については 2.5 に示した。ここでは、特に判別が困難である崖錐斜面と崩積土斜面の地形的な特徴を以下に示す。

(a) 崖錐斜面

崖錐斜面は、土砂供給の盛んな崩壊地や裸地、露岩部等の下方に風化岩屑や礫などが重力の直接作用によって落下し形成された円錐状の斜面をなす。岩屑などの大きさや形は多様であるが、岩屑などが大きいほど、また、角ばっているほど崖錐の斜面勾配は大きく、植生は少ない。

(b) 崩積土斜面

斜面上方の崩壊地や沢などから供給された土砂が斜面下部や中腹に堆積して形成された地形である。周囲を遷緩線で囲まれた地形を呈するが、広域にわたる場合必ずしも明瞭とはならない。崖錐斜面のように円錐形を呈するものもあれば、沢を埋めるように分布し下方で半円錐状を呈するもの、山腹の緩斜面として抽出されるもの等がある。崖錐斜面に比べて規模が大きく、また、植生が回復している場合が多い。

3.3.3 地すべり地形等予察図の作成

地すべり地形等を抽出した結果を地すべり地形等予察図として作成する。地すべり地形等予察図に用いる地形図は縮尺 1/2,500 を基本（入手できない場合は 1/5,000～1/10,000）とし、地すべり等の位置、平面形状、滑落崖などの地すべり地形等の特徴や関連する微地形を記入する。地すべり地形等予察図の例を図 3.4 に示す。

地すべり地形等としては、明瞭な地すべり地形と地すべりの可能性のある地形、その他、崖錐等の未固結堆積物からなる斜面などを判別して記入する。すなわち、空中写真の判読によって地すべり地形等を示す徴候が 1 つでもあれば必ず地すべり地等であるわけではなく、地形の明瞭度や地すべり発生に係る微地形の組合せとその相互関係、周辺の地形状況との関連などによって判別する必要がある。

まず、稜線部の線状凹地、分離峰、遷急線、遷緩線などの地すべり等の頭部を示す地形、浸食状況を把握することのできる地形単位を記入し、これらの地形単位の明瞭度についての区分を行う。明瞭な地すべり地形等であれば末端部を含む地すべり等の範囲を記入する。この際、地すべり地等の可能性のある地形はその抽出根拠を併記する。

さらに、典型的な地すべり地形だけではなく、斜面中の局所的な緩斜面や平坦面、鞍部、凹地や凸地といった微地形についてもその成因を地形・地質学的に考察し、不明瞭な地すべり地形の可能性がないかどうか周辺を比較して詳細に検討する。特に緩斜面や遷緩線は不明瞭であっても地すべり地等を示していることが多い。これらの不明瞭な地すべり地形についても規模の大小にかかわらず抽出・整理することが必要である。

また、地すべり地形等予察図にダムサイト、貯水位線、付替道路等の計画を記入し、ダムの建設計画と地すべり等が予測される地区との関わりを明確にする。地すべり指定地がある場合や公刊文献に地すべり地形等が示されている場合は、その範囲についても整理する。

なお、地すべり地形等の抽出にあたっては、必要に応じて現地踏査を行い、地形図・空中写真判読結果を確認する。

作	成	中
---	---	---

凡例のみ入れる

図 3.4 地すべり等地形予察図の例

3.3.4 現地踏査

地すべり等の分布および性状等の把握並びに精査が必要な箇所を抽出するための資料を得ることを目的として現地踏査を実施する。

(1) 目 的

現地踏査では、地すべり等について次の点を把握し、精査が必要な箇所を抽出するための資料を入手する。

- ① 地すべり等の位置、範囲、平面形状、および断面形状
- ② 地すべり等およびその周辺の地質、地質構造、および地下水状況
- ③ 地すべり等の変動の有無
- ④ 地すべり等の機構

現地踏査には空中写真と地すべり地形等予察図を携帯し、現地状況と照合する。

現地踏査では、地すべり等の範囲、特に地すべり等の末端部の位置を明らかにすることが重要であり、このために地形、地質、地表の変状、植生、湧水箇所など現地でなければ確認できない事象について調査する。

また、地すべり等の範囲を把握するため、資料収集・整理（3.3.1 参照）で収集した地質図や既存の貯水池地質図および必要に応じてダムサイトの地質図などを参考にするとともに、地質地帯区分ごとの地すべりの特徴などを念頭に、地すべりの機構を推定しつつ調査を行う。

現地踏査に用いる地形図は、その後に行う精査の際にも必ず使用するものであり、地形から地すべりブロック区分を行ったり、調査計画の立案、対策工計画を作成するためにも必要であるから、1/2,500を基本とし、必要に応じて1/1,000～1/5,000の航測図を使用する。等高線間隔は1m間隔（少なくとも2m間隔）であることが望ましい。空中写真測量図の代わりに航空レーザ測量図を用いると、微地形が詳細に表現されており、地すべり地の特定や、地すべりブロックの区分に役立つ。現地踏査結果は踏査平面図（ルートマップ）として取りまとめる。

(2) 範 囲

現地踏査の範囲は地すべり地形等予察図の作成範囲と同一とするが、特に以下の斜面に重点をおいて現地踏査を実施する。

- ① 地すべり等
- ② 判読が困難で不明瞭な場所
- ③ 調査地域の特性（地すべりの素因となる地質特性など）を把握する上で重要な地区

崖錐・崩積土などの水を含まない岩屑が移動した未固結堆積物からなる斜面は、いわゆる「水締め」を経験しておらず、また構成材料も軟弱であることから湛水の影響を受け不安定化し易い特徴がある。現場踏査は空中写真判読で抽出された崖錐・崩積土の分布域ならびに、斜面勾配が30°以下の緩い斜面については、崖錐・崩積土の有無を把握するために現地踏査行うことが必要である。

(3) 項 目

現地踏査は、地すべり等の機構を明らかにすることを念頭におき、地形・地質状況および地すべり等の運動に伴う現象について調査する。

(i) 地形状況の調査

(a) 全体の地形の把握

斜面勾配、緩斜面、遷急線、遷緩線および段差地形などについて対岸から観察する。この際、地すべり等の位置および範囲、平面形状、断面形状を確認し、斜面の最急傾斜方向などを考えて地すべり等の変動方向を推定する。

(b) 微地形の確認

地すべり等に関する微地形を現地で確認し、地すべり等の範囲や地すべりブロック、変動状況等を推定する。特に下記のような微地形に留意する。

- ① 地すべりに関する微地形：滑落崖、小段差、陥没帯、緩斜面、沢筋や谷地形の変化等
- ② 未固結堆積物に関する微地形：崖錐、崩積土による地形等
- ③ 地すべり等の浸食・開析に関する微地形：崩壊地（跡地）、河川の攻撃斜面等

貯水池周辺の地すべり等では、ダムの湛水によって地すべり等の土塊の一部または全部が水没し、水没した部分の土塊は浮力を受け、また地山中の地下水位は上昇してその安定性が変化する。したがって、すべり面の位置、特に地すべり等の末端の位置を明らかにすることが重要である。

地すべり等の位置および範囲を把握するために、地すべり等の頭部、末端部、側部、内部にそれぞれ見られる特徴的な地形の分布や連続を現地踏査により確認することが必要である。

- ① 頭 部：滑落崖、頭部緩斜面、分離小丘、鞍部、多重山稜、稜線の不連続、池、沼、湿地、引張亀裂
- ② 末端部：押出し、河川屈曲、水系の始まり、湧水、末端崩壊、圧縮亀裂
- ③ 側 部：沢、湧水、開析地形、側部崩壊、せん断亀裂
- ④ 内 部：凸地、凹地、階段状地形、陥没、溝、ガリ

(ii) 地質状況の調査

(a) 地質分布と岩盤性状の確認

現地踏査範囲における地質分布を把握するとともに、岩種・岩質、不連続面（層理・片理・節理・亀裂・断層）の状態（開口の状態、流入粘土の有無など）、風化の程度、変質の程度、破碎の程度等を確認する。

(b) 構成土塊の性状の確認

地すべり土塊（岩塊）や未固結堆積物等の分布および礫（径・形状・岩種等）・基質（硬さ・色調・粘性等）の状態、すべり面の性状などを確認する。

(c) 地質構造の把握

不連続面の走向傾斜、断層・破碎帯の分布や走向傾斜を調査し、それらから、流れ盤・受け盤、褶曲および断層・破碎帯などの地質構造を把握する。また、地形、地質、地質構造等と地すべり等の関係から、地すべり等の機構を推定する。広域的な地質構造の傾向をとりまとめて地すべり地等の地質構造と比較することが有効である。なお、地質構造が複雑な場合などには、地表踏査によって見いだされた地

質的不連続面についてシュミットネットを作成する。

(d) 湧水、湿地等の分布の確認

湧水、表流水、池、湿地等の分布を調査し、地下水の状態を推定する。

温暖多雨気候のもとにあるわが国では、風化の進行や植生の繁茂によって一般に良好な露頭は少ないが、地質構造、地層、割れ目、小断層等の分布、走向・傾斜、構成土塊の性状、連続性および岩盤の劣化（緩み、風化）の状況を詳細に記載し、周辺の地質、地質構造との違いを確認することによって、地すべり等の可能性を明らかにすることができる。

貯水池周辺の地すべり地について、地下水・表流水の状態を把握することが極めて重要である。現地踏査では、湧水、沢、ガリ、池、湿地等について、位置と量を出来るだけ正確に把握し、ルートマップに記載する。渇水・豊水時の湧水・表流水の状況を把握するために、現地踏査を渇水期と豊水期の2期行う必要がある。

(iii) 地すべり等の変動に伴う現象の調査

(a) 地表の変状の確認

滑落崖、陥没帯、亀裂・段差、崩壊地および立木の状況などを確認する。

(b) 構造物の変状の確認

構造物の変形・亀裂・目地の開きおよび用水路での漏水などを確認する。

(c) 聞き取り調査

周辺住民等の体験や伝承などを聞き取り、また、古文書などにより調査する。

(4) 地すべりの末端部の推定

地すべりの末端部は主として現地踏査から判断される。図 3.5 に示すように、地すべりの末端部には湧水が見られることが多く、比較的運動の新しい地すべりの末端部では微地形、例えば沢筋の変化、沢密度の変化、斜面勾配の変化（緩斜面に続く急傾斜面）、植生の変化などが明瞭であることが多い。また、活発に運動している地すべりでは末端部に崩壊が見られることが多い。

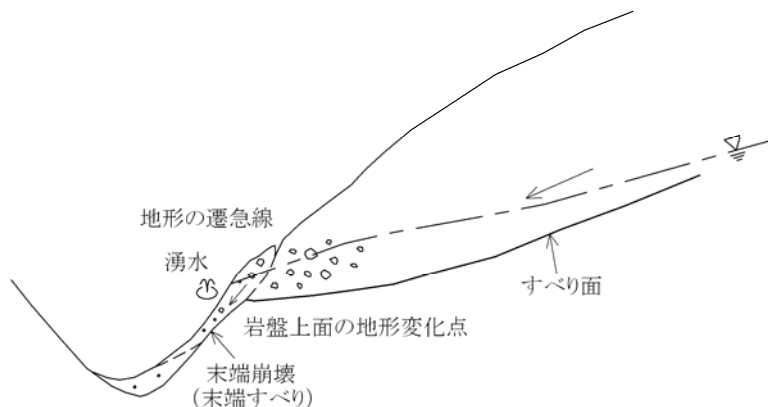


図 3.5 地すべりの末端部の状況

(5) 取りまとめ方法

現地踏査結果は踏査平面図（ルートマップ）としてまとめる。踏査平面図は、現場の地質状況に応じて問題点や課題が読み取れるように表現方法を工夫する。

3.3.5 地すべり等カルテの作成

現地踏査が終了した時点で、各々の地すべり等および地すべりブロック等に対する概査結果をまとめた地すべり等カルテを作成する。地すべり等カルテは斜面の情報を整理・記録したもので、変動履歴や調査結果、工事の状況等を一元的にまとめた台帳である。図 3.6～図 3.8 に例を示す。

概査段階での地すべり等カルテには、概査で検討した地形状況、地質状況、地すべり等の状況（地すべりの型分類、地すべり等の変動に伴う現象、湛水に対する安定性等）および精査の必要性などを記載する。この際、それぞれの根拠を明確に記載する。

地すべり等カルテは、精査、解析、対策工の計画・設計・施工および湛水時の斜面管理等の各段階に応じて得られた新たな情報をもとに随時、更新する。更新する場合には、調査等の経緯の記録として更新前のカルテも保存しておく。

3.3.6 地すべり等分布図の作成

地すべり地形等予察図をもとに実施した現地踏査等で明らかとなった地形、地質、地すべり等の特性および現地踏査によって判明した地形等について空中写真等の再判読結果等に基づき、地すべり等分布図を作成する。地すべり等分布図には不安定化する可能性のある地すべりブロックおよび未固結堆積物等の範囲、保全対象および貯水位線を明示し、相互の位置関係を明らかにする。

地すべり等分布図の作成範囲は地すべり地形等予察図の作成範囲と同様とし、その縮尺は 1/2,500 を基本（入手できない場合は 1/5,000～1/10,000）とする。

地すべり等が発生したとき影響が大きいと予想される場合や、地すべり等の末端部が不明確な場合には、概査段階でも必要に応じてボーリング調査や弾性波探査などを行って、より詳細な地質情報を収集することが望ましい。

地すべり等分布図の例を図 3.9 に示す。図 3.9 に示すように、地すべり等分布図には地すべりの他、不安定化の可能性のある崖錐地形等を地すべり地形と区別できるように明示する。なお、地すべりの中には、地形・地質的に不明瞭で、概査のみでは地すべりかどうか判定し難いものもある。このような斜面についても地すべり地等として抽出し、精査の必要性の評価を行う。

貯水池周辺斜面調査結果概要				地区名	R-口	地区	分布図ブロック番号	△ブロック	精査時ブロック名	R-口	地区	△ブロック					
位置	堤体から 1100 m 上流 () 右岸 (O) 左岸	a) 最大幅 75 m	b) 最大長さ 50 m	c) 最大層厚 10 m	調査木	削孔長(m)	削孔標高(m)	埋設計器	現地確認の可否	コア写真・柱状図	備考						
												面積 (a×b) 3,750 m ²	移動土塊量 (面積×c×0.5) 19,000 m ³				
規模	(O) 地すべり () 崖壁・崩壊土堆積斜面 () その他 ()																
斜面区分	型分類: () 粘質土すべり (O) 崩壊土すべり () 風化岩すべり () 岩盤すべり																
地すべり地形等	平面形状: (O) 馬蹄形 () 角形 () 沢形 () ゴト状 () 不明瞭																
	() 凸状尾根地形 (O) 凸状台地形 () 単丘状台地形																
	地形形状: () 多丘状凹状台地形 () 多丘状凹状緩斜面地形 () 不明瞭																
	断面形状: (O) 椅子形 () 船底形 () 階段状 () 不明																
移動層:	() 粘質土 (O) 崩壊土 () 風化岩 () 新鮮岩																
不動層:	岩相 [安山岩質凝灰岩] 走向傾斜 [N35E20S]																
地質状況	地すべりに関連する断層・破砕帯: () 有り (O) 無し																
水文状況	地表水 () 有 () 無し																
植生状況	湧水 () 有 () 無し																
ブロックの概要	針葉樹 (自然・植林)・ <u>広葉樹</u> 竹林、水田、畑地、草地、その他 ()																
	頭部: () 滑落崖 () 亀裂・段差 () その他 ()																
	側方部: () 崩壊跡 () 沢・谷 () その他 ()																
	中腰部: () 緩斜面 () 亀裂・段差 () その他 ()																
	末端部: () 崩壊跡 () 湧水 () その他 ()																
滑動履歴	() 滑動中 (O) 休止中 () 初生的																
湛水の有無	() 湛水する … 水没割合 % () 湛水しない																
地すべり範囲の根拠	以下の地形状況から地すべりとして抽出した。 ・頭部: 段差地形・割・部: 古い崩壊跡 ・末端部: 川側に押し出したはらみだし形状 このほか、両側に地すべり地形が存在する。																
すべり面深度の根拠	・岩質は安山岩質凝灰岩であり、熱水変質を受け全体として軟質と考えられる。 ・すべり面は変質岩の酸化帯境界と想定されるが、ボーリング調査で確認する必要がある。																
地すべりの要因・誘因等	・要因: 斜面下方に厚い崩壊土層が分布する。この層の下位に軟質な強風化岩帯が分布する。 ・誘因: 斜面の末端が河川侵食によって欠損 降雨による間隙水圧の上昇 (湛水時は残留間隙水圧の発生)																
保全対象	a. ダム施設に開けるもの	() あり [施設名:] (O) 該当なし															
	b. 貯水池周辺の施設	() 家屋 () 国道 (O) 主要地方道 () 鉄道															
	c. 貯水池斜面	() 橋梁 () トンネル () 地方道 (迂回路なし) () 地方道 (迂回路あり)															
概査時の評価	() その他 ()	() 該当なし															
	() 地すべり防止区域 () その他 [] (O) 該当なし																
特記事項	概査時のブロック名	地すべり規模: 小	総合評価														
	II	保全対象の重要度: b	精度の優先度														
<p>崩壊土が厚さ約10～15mで地形に沿って分布する斜面。変質岩内の酸化帯境界が流れ盤を呈し、湛水により不安定化する可能性が高いと判断した。</p>																	
作成日										00年0月0日		会社名		管理技術者		0000	

図 3.6 地すべり等カルテの例 (概要表; 概査段階での作成例)

貯水池周辺斜面調査結果概要													
位置	堤体から 1100 m 上流			() 右岸 (○) 左岸			地区名	R-□ 地区	分佈図ブロック番号	△ プローカ	精査時ブロック名	R-□ 地区	△ プローカ
規模	a) 最大幅	75 m	b) 最大長	50 m	c) 最大層厚	10 m							
	面積 (a×b)	3,750 m ²	移動土塊量	(面積×a×0.5)	19,000 m ³								
斜面区分	(○) 地すべり	() 崖壁・崩積土堆積斜面	() その他	[]									
地すべり軸線等	型分類:	() 粘質土すべり (○) 崩積土すべり () 風化岩すべり () 岩盤すべり											
	平面形状:	(○) 馬蹄形 () 角形 () 沢形 () ボート形 () 不明瞭											
	地形形状:	() 凸状尾根地形 (○) 凸状台地形 () 単丘状台地形 () 多丘状凹状緩斜面地形 () 不明瞭											
	断面形状:	(○) 椅子形 () 船底形 () 階段状 () 層状 () 不明											
地質状況	移動層:	() 粘質土 (○) 崩積土 () 風化岩 () 新鮮岩											
	不動層:	岩相 [安山岩質凝灰岩] 走向傾斜 [N35E20S]											
水文状況	地すべりに関連する断層・破砕帯:	() 有り (○) 無し											
	地表水	() 有 [] (○) 無											
植生状況	湧水	() 有 [] (○) 無											
	針葉樹 (自然・植林)	竹林・水田・畑地・草地・その他 ()											
	頭部:	() 滑落崖 () 亀裂・段差 () その他 []											
	側方部:	() 崩壊跡 () 沢・谷 () その他 []											
運動に伴う現象	中腹部:	() 緩斜面 () 亀裂・段差 () その他 []											
	末端部:	() 崩壊跡 () 湧水 () その他 []											
流動履歴	() 流動中 (○) 休止中 () 初生的												
湛水の有無	() 湛水の有無	% () 湛水しない											
	以下に地形状況から地すべりとして抽出した・頭部: 段差地形・側部: 古い崩壊跡・末端部: 川側に押し出したばらみだし形状・このほか、両側に地すべり地形が存在する。												
	・7m以上の厚さの崩積土層の下位に2～3mの層厚を持つ強風化帯が分布する・岩質は安山岩質凝灰岩である。熱水変質を受け全体として軟質・調査ボーリングBV-1孔のOm、BV-2孔の△mに厚さ1cmの粘土層（スリッケンサイドあり）、BV-3,4孔では3cm程度となっている。												
	・素因: 斜面下方に厚い崩積土層が分布する。この層の下位に軟質な強風化岩帯が分布する。・誘因: 斜面の未掘が河川侵食によって欠損・降雨による間隙水圧の上昇（湛水時は残留間隙水圧の発生）												
保安対象	すべり面深度の境	() あり [施設名:] (○) 該当なし											
	a. ダム建設に関わるもの	() 家屋 () 国道 (○) 主要地方道 () 鉄道											
	b. 貯水池周辺の高度	() 橋梁 () トンネル () 地方道 (迂回路あり) () 地方道 (迂回路なし) () 該当なし											
	c. 貯水池斜面	() その他 [] (○) 該当なし											
概査時の評価	概査時ブロック名	△	地すべり規模: 小	総合評価 精度の優劣度	Ⅱ								
	崩積土が厚さ約10～15mで地形に沿って分布する斜面。変質岩内の酸性帯境界が流れ盤を呈し、湛水により不安定化する可能性が高いと判断した。												
特記事項													
更新日 〇〇年〇月〇日 会社名 〇〇〇〇 管理技術者 〇〇〇〇													

フ ロ ッ ク の 概 要	調査ボーリング	孔番	H☆BV-1	削孔長 (m)	21.0 m	孔口標高 (m)	392.14m	埋設計器	—	現地地誌の可否	コア写真・柱状図	精査時ブロック名	R-□ 地区	△ プローカ
			H☆BV-2	15.0 m		411.45m	—			否				
			H☆BV-3	23.0 m		430.08m	—			否				
			H☆BV-4	10.0 m		457.28m	—			否				
の 概 要	計器観測	R○△-W1	17.0 m	地下水位計	416.8 m	可	ノゾ7							
		R○△-2	22.0 m	垂直伸縮計	428.0 m	可	ノゾ7							
		R○△-W2	20.0 m	地下水位計	428.0 m	可	ノゾ7							
の 概 要	観測期間中変位なし													
	＜弾性波調査＞ 2測線: L=350m													
	解析測線	2	測線											
	単位体積重量	γ_t	= 18.0 kN/m ³											
	粘着力	c'	= 12.0 kN/m ²											
	内部摩擦角	ϕ'	= 18.3°											
	残留間隙水圧の残留率	$(\tan \phi' = 0.330)$												
	湛水前安全率	μ	= 30 %											
	計画安全率	F_s	= 1.050											
	貯水位変動による最小安全率	$P.F_s$	= 1.200											
の 概 要	必要抑止力	F_{smin}	= 0.945											
の 概 要	対策工法													
の 概 要	工種・規模													
の 概 要	今後の方針													
の 概 要	盛土の天端高さ415mで計画安全率に到達。対策工により計画安全率を満たした。試験湛水時監視対象。													
の 概 要	盛土の天端高さ415mで計画安全率に到達。対策工により計画安全率を満たした。試験湛水時監視対象。													
の 概 要	盛土の天端高さ415mで計画安全率に到達。対策工により計画安全率を満たした。試験湛水時監視対象。													
の 概 要	盛土の天端高さ415mで計画安全率に到達。対策工により計画安全率を満たした。試験湛水時監視対象。													
の 概 要	盛土の天端高さ415mで計画安全率に到達。対策工により計画安全率を満たした。試験湛水時監視対象。													
の 概 要	盛土の天端高さ415mで計画安全率に到達。対策工により計画安全率を満たした。試験湛水時監視対象。													
の 概 要	盛土の天端高さ415mで計画安全率に到達。対策工により計画安全率を満たした。試験湛水時監視対象。													
の 概 要	盛土の天端高さ415mで計画安全率に到達。対策工により計画安全率を満たした。試験湛水時監視対象。													
							</							

作 成 中

図 3.8 地すべり等カルテの例（平面図・断面図：精査段階での作成例）

作 成 中

(地形判読凡例は図 3.4 を参照)

図 3.9 地すべり等分布図の例

3.4 精査の必要性の評価

精査の必要性の評価は、地すべり等分布図をもとに、地すべり等への湛水の影響、地すべり等の規模、保全対象への影響などを総合的に検討して実施する。

精査の必要性の評価は、図 3.10 の手順に従って進める。隣接斜面や下部に位置する地すべり等の不安定化によって、間接的に影響を受ける地すべり等についても同様に評価する。

なお、湛水の影響を受けない地すべり等は本書の対象外とするが、湛水の影響を受けない地すべり等のうち、ダム事業の関連工事に伴い不安定化が懸念される地すべり等については、本書によらず別途検討する。

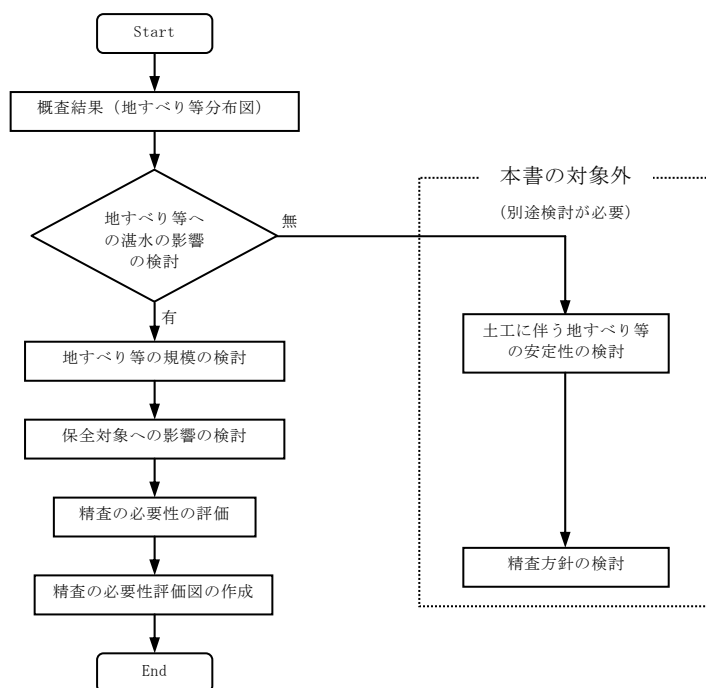


図 3.10 精査の必要性の評価の手順¹⁾

(1) 地すべり等への湛水の影響の検討

湛水により地すべり等の末端部が多少でも水没する場合には、地すべり等への湛水の影響を検討する。末端部が水没しない場合でも、湛水時に地山の地下水位が上昇（堰上げ、2.5.2 参照）し、地すべり等へ影響を与える場合があるので注意を要する。また、隣接斜面や下部に位置する地すべり等が不安定化することによって、間接的に影響を受ける地すべり等についても注意を要する。これらの斜面については、斜面状況や末端部の位置等を考慮した上で必要に応じて湛水の影響を検討する。

なお、未固結堆積物からなる斜面のうち、土石流堆積物などの流水により運搬された未固結堆積物からなる斜面は、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運搬形態をとるものと比べて一般に湛水により不安定化する可能性は小さいと考えられる（2.2 参照）。

(2) 地すべり等の規模の検討

規模の大きな地すべり等は、不安定化した場合の対策工の費用が嵩み、長期間を要することとなるため、精査の必要性が高い。

地すべり等の規模の区分の目安を表 3.1 に示す。

表 3.1 地すべり等の規模の区分の目安¹⁾

地すべり等の規模	区分の目安
小	3万m ³ 未満
中	3万m ³ 以上 40万m ³ 未満
大	40万m ³ 以上 200万m ³ 未満
超大	200万m ³ 以上

(3) 保全対象への影響の検討

貯水池周辺の保全対象は、次の３つに大別される。

- ① ダム施設
- ② 貯水池周辺の施設
- ③ その他の貯水池周辺斜面

なお、保全対象への影響は、地すべり等が発生した場合の直接的な影響だけでなく、背水域における河道閉塞と決壊による氾濫等のような間接的な影響も含めて評価する。

(i) ダム施設

ダム施設には、堤体、管理所、通信施設、取水設備、放流設備（副ダム、減勢工を含む）および発電設備等がある。これらのダムの機能に直接関わる施設が地すべり等の影響を受けた場合は、社会的にきわめて大きな影響を生じるおそれがあるため、精査の必要性が高い。

なお、ダム施設のうち、係船設備、流木処理施設および貯砂ダムなどは貯水池周辺の施設に含めるものとする。

(ii) 貯水池周辺の施設

貯水池周辺の施設には、家屋（代替地を含む）、道路、鉄道、送電鉄塔等がある。その中でも家屋や、国道、主要地方道、迂回路のない地方道、橋梁、トンネル、鉄道などの公共施設が存在する斜面は、精査の必要性が高い。一方、迂回路のある地方道、林道、管理用道路、ダムの機能に直接関わりのない係船設備、流木処理施設および貯砂ダム等が存在する斜面は、精査の必要性は相対的に低い。

(iii) その他の貯水池周辺斜面

保全対象としてダム施設や貯水池周辺の施設を有さないその他の貯水池周辺斜面のうち、貯水池周辺の山林保全上あるいは景観保全上重要である斜面などは、地すべり等が発生した場合の影響を考慮して精査の必要性を検討する。

(4) 精査の必要性の評価

湛水の影響を受ける地すべり等を対象に、「地すべり等の規模」および「保全対象への影響」をもとに精査の必要性を総合的に評価する。必要性の評価は、Ⅰ：精査を実施する、Ⅱ：必要に応じて精査を実施する、Ⅲ：原則として精査を実施しない の３段階に区分する。湛水に伴う地すべり等の精査の必要性の目安を表 3.2 に示す。表 3.2 は概査結果をもとに評価された精査の必要性の目安であり、最終的には貯水容量および環境への影響といった地域特性などを踏まえて精査の必要性を評価しなければならない。

なお、地すべり防止区域にかかる斜面、貯水池とは接しない斜面上方や上流端等の地すべり地等については、道路、代替地を含めて保全対象への影響に応じて別途同様な検討を行う必要がある。

精査の必要性の評価結果は、評価根拠を明確に記録した総括表（表 3.3 参照）や地すべり等分布図を基図とした精査の必要性評価図としてまとめる。この際、評価の判定根拠を明確に記録しておく。また、地すべり等の範囲の根拠、すべり面深度の根拠、上部斜面への影響の有無、既往文献に示されている地すべり等の有無等について必要に応じて記載する。

なお、概査終了後に新たに得られた地質情報などをもとに、必要に応じて評価結果の見直しを行う。

精査が必要と評価された地すべり等については、ダム事業の目的、工事工程および地域特性等を考慮して、事業への影響が大きいものから優先して精査を進める。特に、ダムサイト近辺や生活再建地の地すべり、道路計画や原石山など施工計画に大きく影響する地すべりについては最優先で精査することが必要である。

表 3.2 湛水に伴う地すべり等の精査の必要性の目安¹⁾

保全対象物 \ 地すべり等の規模		超大	大	中	小
ダム施設にかかわる斜面	堤体、管理所、通信施設、取水設備、放流設備等、発電設備等	I	I	I	I
貯水池周辺の施設にかかわる斜面	家屋、国道、主要地方道、迂回路のない地方道、橋梁、トンネル、鉄道等	I	I	I	I
	迂回路のある地方道、公園等	I	I	II	II
	林道、管理用道路、係船設備、流木処理施設、貯砂ダム等	I	II	II	II
その他の貯水池周辺斜面		II	II	II	III

I：精査を実施する。

II：必要に応じて精査を実施する。

III：原則として精査を実施しない。

表 3.3 総括表の例
(地すべりの例)

地区	既往文献等の地すべり等	規 模					地 形				地 質			運動に伴う現象			貯水位との関係				保 全 対 象 物	...	精査の必要性	
		最 大 幅 W (m)	最 大 長 L (m)	最 大 厚 D (m)	面 積 S (10 ² m ²)	体 積 V (10 ³ m ³)	型 分 類	平 面 形 状	地 形 状	...	基 盤 地 質	層 理面と移動方向の関係	...	湧 水	斜 面 内 の 変 状	...	頭 部 標 高 (m)	末 端 標 高 (m)	...	湛 水 の 影 響			評 価	コ メ ン ト
：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	
R－2 1	有	120	130	16	156	125	崩積土地すべり	馬蹄形	凸状台地		粘板岩	流れ盤	...	無	無	...	584	513	...	有	貯水池 周辺施設	...	Ⅱ	斜面内の変状は認められず、現在滑動の...
R－2 2	無	190	190	17	361	125	風化岩地すべり	角形	凸状尾根		粘板岩	流れ盤	...	多	有	...	583	565	...	有	貯水池 周辺施設	...	Ⅰ	地すべり滑動履歴があり、斜面内の変状も認められ...
：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	

(未固結堆積物の例)

地区	既往文献等の地すべり等	規 模					地 形				地 質			運動に伴う現象			貯水位との関係				保 全 対 象 物	…	精査の必要性		
		最 大 幅 W (m)	最 大 長 L (m)	最 大 厚 D (m)	面 積 S (10 ² m ²)	体 積 V (10 ³ m ³)	斜 面 区 分	平 面 形 状	地 形 状	…	基 盤 地 質	層 理面と移動方向の関係	…	湧 水	斜 面 内 の 変 状	…	頭 部 標 高 (m)	末 端 標 高 (m)	…	湛 水 の 影 響			評 価	コ	メ
：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：
r－2 3	無	200	140	21	280	294	崖錐斜面	馬蹄形	不明瞭		粘板岩	流れ盤	…	少	有	…	650	565	…	有	ダム施設	…	I	斜面内の変状が認められ… 上部斜面への影響が…	
r－2 4	無	100	160	21	160	168	土石流堆	沢形	不明瞭		粘板岩	流れ盤	…	多	無	…	630	580	…	無	貯水池 周辺施設	…	III	斜面内の変状は認められず、現 在滑動の…	
：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：	：

4. 精査

4.1 目的

精査は、地すべり等の規模、性状、安定性について詳細な調査・試験を行い、地すべり等の機構解析、安定解析、対策工の必要性の評価および対策工の計画などに必要な資料を得ることを目的として実施する。

精査に際しては、適切な位置で精度の高い調査を行い、地形・地質の調査結果を平面図、断面図、地すべり等カルテにとりまとめるとともに、計測データを図表に分かりやすく整理し、地形・地質による地すべり等の構造および変動状況による地すべり等の変動機構について総合的に解釈する。

また、精査で得られた資料は、対策工の計画・設計・施工および斜面管理にも用いることがあることを考慮してとりまとめる。

精査に際しては、地すべり等の分化状況を考察し、地すべりブロックに区分することが重要である。特に、大規模地すべりを抱える河川沿いの斜面は重点的に精査を行い、背後の地すべりを不安定化させるような小規模すべり・崩壊等の可能性についても検討する。

4.2 精査の手順

精査の手順は、図 4.1 に示すように、精査計画の立案とこれに基づく精査の実施(地質調査、すべり面調査、地下水調査、移動量調査および土質試験)、解析の必要性の評価の順とする。

(1) 精査計画の立案

概査結果をふまえて精査計画を立案する。まず、地すべり等およびその周辺の地形図を作成し、地すべりブロック区分を行うとともに、調査測線・調査位置・調査内容を計画し、それらの結果を精査計画図にまとめる。

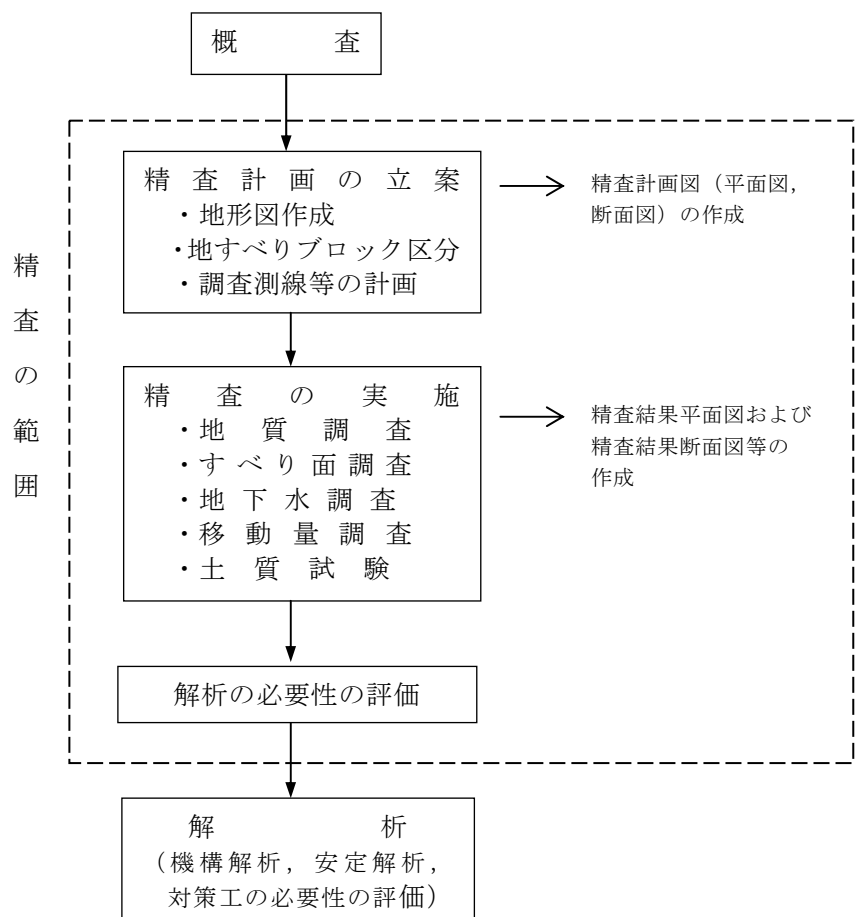


図 4.1 精査の手順¹⁾

(2) 精査の実施

次に、地すべりブロックと調査測線に応じた地質調査、すべり面調査、地下水調査、移動量調査および土質試験を実施し、それらの結果を平面図や断面図等にとりまとめる。

(3) 解析の必要性の評価

主に地質調査およびすべり面調査の結果、得られた地すべり等の位置および規模並びに地すべり等と保全対象との関係から、解析の必要性の評価を行う。

4.3 精査計画の立案

精査計画の立案は、地形図の作成、地すべりブロック区分、調査測線・調査位置・調査内容の計画、精査計画図の作成について行う。

(1) 地形図の作成

精査が必要と判断された地すべり等は周辺区域を含めて地形図を作成する。その縮尺は、地すべり等についての詳細な現象を記録し、精査計画立案から対策工計画段階までの基図として用いるため、大縮尺（1/200～1/1,000 程度）とする。地形図の縮尺の目安を表 4.1 に示す。

表 4.1 地形図の縮尺の目安¹⁾

(2) 地すべりブロック区分

精査が必要と判断された地すべり等は地すべりブロックに区分する。

地すべり規模（幅）	縮 尺	等高線間隔
100 m 以内	1/200～1/500	1 m
100～200 m	1/500	
200 m 以上	全体 1/1,000（部分 1/500）	

地すべりは、変動の進行に伴って分化し、いくつかの地すべりブロックに分かれて運動することが多い。このため、地すべりの調査、安定性の評価、対策工の設計は基本的にこの地すべりブロックごとに検討する。概査時点では精度の高い地形図が作成されていないこともあるため、新たに作成された精度の高い地形図、必要に応じて実施する航空レーザ測量図、大縮尺の空中写真、補足的な現地踏査の結果などをもとに、地すべりブロックの区分を再度実施する。地すべりブロックの区分にあたっては、これまでに得られた地形状況および地質状況に基づき推定される地すべりの型分類や地すべり機構などを参考に慎重に行う。

なお、崖錐等の未固結堆積物からなる斜面についても同様に、運動単位毎に区分して検討する。また、地すべり等カルテを修正・追記し、精査以降の情報は地すべりブロック毎にとりまとめる。

(3) 地すべり等の調査測線・調査位置・調査内容の計画

現地踏査等によって得られた地すべり等の範囲、地すべりブロック区分、変動方向、地表に現われた亀裂などの位置を考慮して、調査測線（図 4.2）を設定する。また、設定された測線上で、4.4 節を参考にボーリング等の調査位置および調査内容を計画する。なお、地すべり等の安定解析にあたって三次元的な安定解析を導入する場合は、要求される精度のすべり面の縦断面および横断面が得られるよう調

査測線を設定する。

(i) 主測線

主測線は地すべりブロック等の地質、地質構造、地下水分布、地表変状、すべり面などが具体的に確認でき、安定計算を行って対策の基本計画・基本設計を行うのに適した位置および方向に設定する。一般に、主測線は横断面で見た場合の最深部を通るように設定するが、最深部は地すべりブロック等の中央部とは限らず、側部寄りが最深部となる非対称の地すべりブロック等も存在することから、慎重にこれを定める。斜面上部と下部の変動方向が異なる場合には主測線を折線とすることもある。

(ii) 副測線

地すべり等の地質分布が複雑な場合および平面形・横断面形が非対称な場合や、地すべりブロック等の規模が大きい場合には、機構解析、安定解析および対策工の計画のため副測線を設定する。

副測線は、主測線と同方向のほか、必要に応じて横断方向に設定する。また、地すべりブロック等の幅が 100m 以上にわたるような広域の場合は、主測線の両側に 50m 程度の間隔で副測線群を設ける。

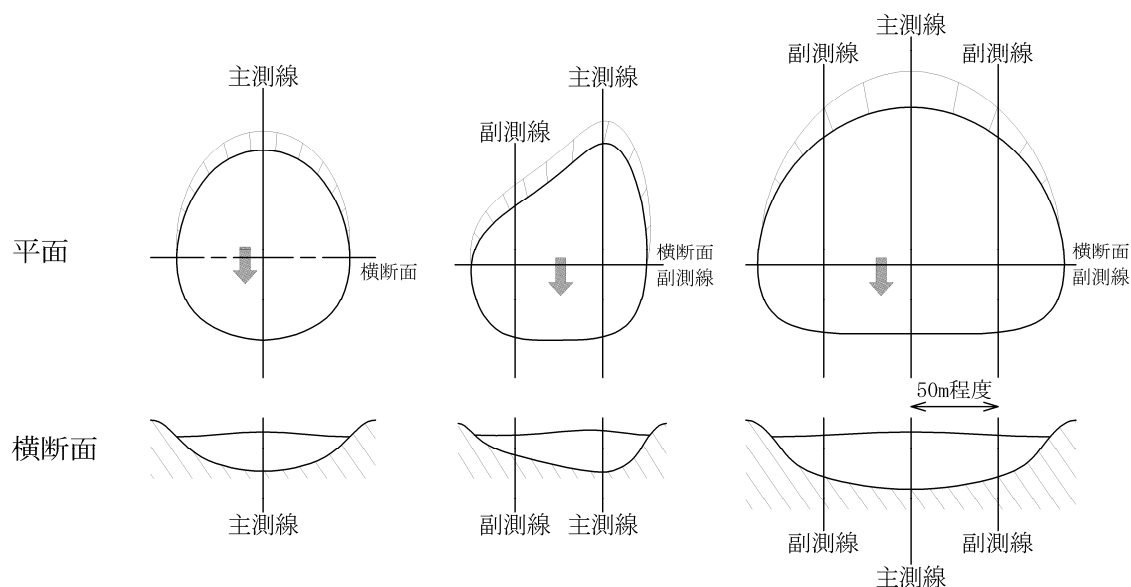


図 4.2 平面・横断面における主測線・副測線の位置¹⁾

(4) 精査計画図の作成

精査計画をとりまとめ、精査計画図（平面図および断面図）を作成する。

4.4 精査内容

精査は、表 4.2 に示すように、目的に応じてボーリング等の地質調査、すべり面調査、地下水調査、移動量調査、土質試験などを実施する。精査の結果は平面図、断面図などにとりまとめるとともに、地すべり等の規模、地すべり等発生の素因、誘因などについても明らかにする。なお、各々の調査は相互に補完し関連しているため、これらを適切に組み合わせて系統的に行うことが重要である。精査の際には、ダム本体や貯水池周辺道路および代替地などの建設に伴う地質情報も参考にする。

また、岩盤・風化岩地すべりと崩積土・粘質土地すべりでは若干精査の内容が異なる。すなわち、岩盤・風化岩地すべりではかなり深部にも上部と同様の劣化部が存在していることが多く、長尺ボーリン

グを先行して行うなどにより、劣化部の有無、位置を確認することが特に重要である。さらに、コア観察のみではすべり面の確認が困難である場合も多く、すべり面調査では調査坑調査を採用することも考慮する。

精査を実施した後に、想定外の事象や施工時に新たな問題が生じた場合などには、ダム本体や貯水池周辺道路および代替地などの建設に伴う地質情報も参考にして、解析結果や設計の細部の検討のために補足調査を行う。

なお、精査後工事等によって新たに地質情報等が得られた場合は、これらを参考に調査結果を検証し、必要に応じて解析結果を見直す。

表 4.2 精査方法一覧表

項目	目的	方法	得られる情報
地質調査	地質・地質構造の把握、すべり面形状の推定	現地踏査	地質分布、地質構造など
		ボーリング調査	地質、岩級、緩みの程度、漏水、逸水、すべり面の位置・特性など
		物理探査(弾性波探査など)	弾性波速度分布など
		調査坑調査	地質、岩級、緩み程度など
すべり面調査	すべり面の位置、連続性および移動量の把握	孔内傾斜計	地中の変位(傾斜)方向と量
		パイプ歪計	地中の変形(歪)程度
		多層移動量計	地中の変位量
地下水調査	地下水変動と降雨・貯水位変動との相関等の検討	孔内水位計測	孔内水位の変動
		間隙水圧計測	間隙水圧の変動
	地すべり地等の透水性の把握	透水試験	透水係数
	地下水流動層の把握	地下水検層(電気検層)	孔内水の比抵抗の変化
	地下水流動方向・流速の推定	地下水追跡	トレーサー試薬検出量
	地下水の性質の把握、地下水の流入・流出経路の推定	水質分析	水質組成
	地下水分布の把握	物理探査(電気探査など)	比抵抗分布など
	揚水量の把握	揚水試験	揚水量
移動量調査	変動状況の把握、今度の変動性の予測、地すべりブロック区分および対策工の必要性の判断	測量(光波、GPS など)	地表の変位量、変位方向
		地盤伸縮計、クラックゲージ	段差・クラックの変位量
		地盤傾斜計	地表面の傾斜方向と量
土質試験(地盤調査を含む)	土塊の工学的性質の把握	土質試験(物理試験)	単位体積重量、粒度組成など
	すべり面強度の把握	土質試験(三軸圧縮試験、リングせん断試験、繰返し一面せん断試験など)	せん断強度
	地盤の強度・変形特性の把握	標準貫入試験	N 値
		孔内水平載荷試験	地盤の変形係数など
		アンカー引抜き試験	周面摩擦抵抗など

4.4.1 地 質 調 査

地質調査は、詳細な現地踏査とボーリング調査を主体とし、必要に応じて物理探査、横坑・立坑等の調査坑調査を行う。これらの結果をもとに、地すべり等の地質やその構造を把握し、すべり面の形状を推定する。

地質調査を行う際には、すべり面の形状等を高い精度で推定するために、概査までに得られた地形形状および地質状況などから、地すべり等の形態（範囲、ブロック区分、型分類、すべり面の断面形状、すべり面の傾斜方向）および地すべりの地形・地質的素因、地下水の状況などに関する仮説を立て、これらを検証することを念頭に適切かつ効果的に調査を行う。地質調査は、すべり面調査以降の調査・解析・対策工の計画および湛水後の斜面管理を適切に行うための基礎情報となるため、これらの仮説は調査の進展とともに随時見直し、より正確なものにすることが必要である。このため、見直しの結果によっては、調査測線の再設定も検討する。

なお、これらの仮説の検証にあたっては、過去の地すべり調査により得られた類似地質における地質調査上の知見を参考にする。たとえば、図 4.3 のような流れ盤状の地質構造を呈している場合、泥質岩（頁岩、粘板岩）や断層などの周囲の地質よりもせん断強度が低い層があると、それらをすべり面と想定した岩盤すべりが仮説として立てられる。次に、この岩盤すべりのすべり面形状として椅子型が想定されるが、この地域では複数の節理系が発達しているため、頭部のすべり面の位置は図の節理系①あるいは節理系②の可能性が仮説として立てられる。したがって、このような留意点を参考にし、地質調査も頭部のすべり面形状が適切に把握できるように実施しなければならない。

また、地質調査にあたっては、類似地質における対策工の事例も念頭におき、適切な対策工が計画できるように配慮する。

地質調査結果は平面図・断面図にとりまとめ、地質やその構造を空間的に把握する。特に、地すべり末端部等におけるブロック境界を規制するような地質やその構造の分布については詳細に確認することが必要である。

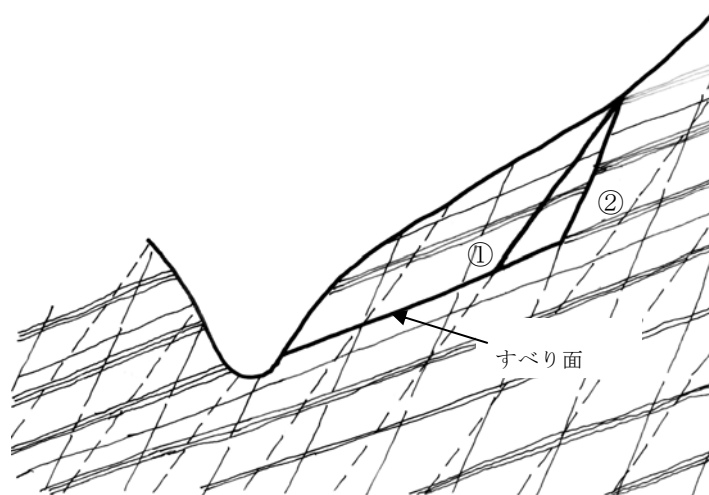


図 4.3 流れ盤構造において想定される岩盤すべりのすべり面形状¹⁾

(1) 詳細な現地踏査

概査の結果をもとに必要に応じて再度現地踏査を行って、地すべり等の微地形、地質、地質構造、不連続面の走向・傾斜、緩み層厚などを把握し、地すべり等の形態（範囲、地すべりブロック区分、型分類、すべり面の断面形状）、地すべりの地形・地質的素因、地下水の状況などの地すべりの誘因などの推

定の精度を高める。

現地踏査は、概査時より綿密に行い、ボーリング等の地質調査結果と併せて、地すべり等の機構解析、安定解析を行う際の資料を得る。このとき、地すべり等の末端部の位置、末端部の形状は、安定解析を実施する上で特に重要である。

(2) ボーリング調査

ボーリング調査は、詳細な現地踏査までの調査で推定された地すべり等の形態（範囲、ブロック区分、型分類、すべり面の断面形状）、地すべりの地形・地質的素因、地下水の状況などの地すべりの誘因などの推定精度を向上させ、その後の調査・解析・対策工の計画および湛水後の斜面管理をより適切に行うために実施する。なお、地すべり等の地質構成やすべり面の位置や性状が確定しない段階では、標準貫入試験等のコア採取に影響する孔内試験は実施しない。

(i) ボーリングの配置

ボーリングは調査測線に沿って計画する。ボーリングの配置は地すべり等の範囲、地すべりブロック区分、すべり面の断面形状などによって適宜適切な箇所を選定する。また、先行したボーリングの結果により、配置計画は適宜見直しをする。以下に述べるボーリングの配置は、必要最低限の配置を示したものである。

地すべり地形等、露岩状況および貯水位変動域などを念頭に、主測線に沿って、30～50m 程度の間隔で、地すべりブロック内で3本以上および地すべりブロック外の上部斜面内に少なくとも1本以上の計4本以上のボーリングを配置する（図 4.4 参照）。また、副測線でも 50～100m 間隔程度で必要に応じて配置する。

地すべりブロックの面積が小さい場合等には、地すべり等の地質を把握するのに適切な位置に 1～2 本以上配置する（図 4.5 参照）。

また、基盤内に断層、破碎帯が存在している場合、地質構造が複雑である場合、すべり面形状が複雑な場合には、別途補足のボーリングを行う。

(ii) ボーリングの順序

一般に、調査測線上のボーリングのうち、概査結果によって地すべりブロックの中腹部～末端部と推定される位置のボーリングを優先し、すべり面と地下水位を確認する。特に、湛水面付近に地すべりブロックの末端部が位置することが疑われる場合は、末端部を確認するボーリングを優先することが重要である。

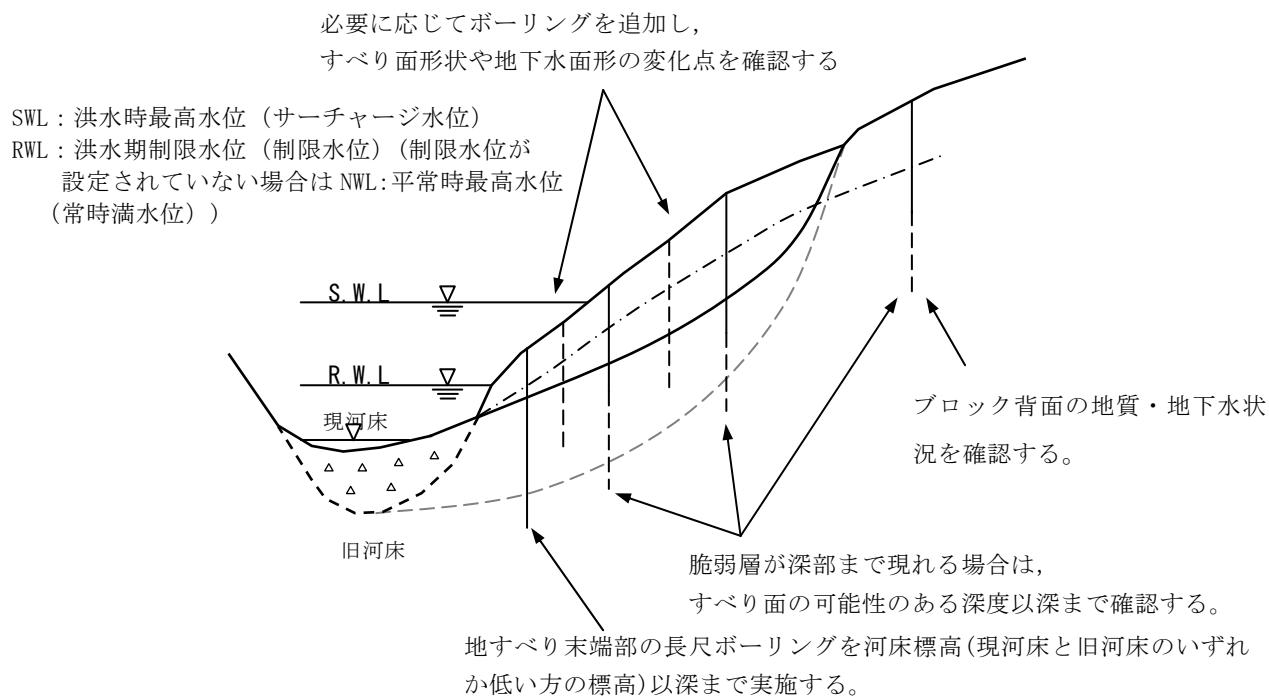


図 4.4 ボーリング配置の例¹⁾

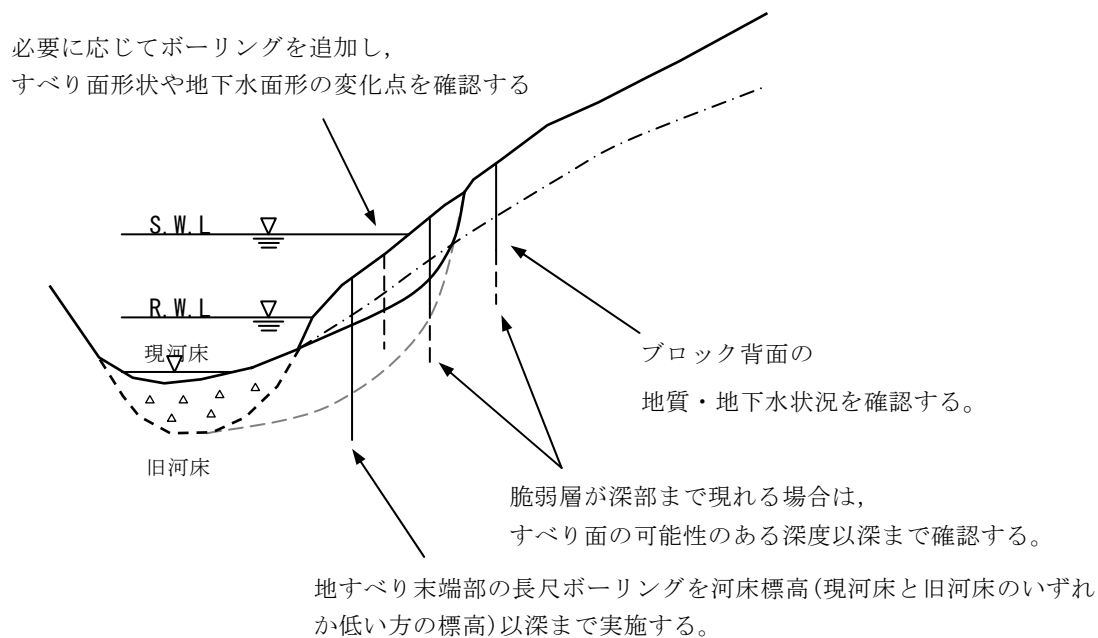


図 4.5 ボーリング配置の例（地すべりブロックが小さい場合）¹⁾

(iii) ボーリングの深度

ボーリングの深度は、すべり面下の不動領域と考えられる新鮮な岩盤を確認するのに十分な長さとする。例えば、新鮮な岩盤 10m 程度以上を目安にすることが多い。掘止めは、地すべり等の層厚や対策工の定着層などを考慮し、ボーリングの進行に応じてコア性状を観察しながら判断することが重要である。また、脆弱層が深部まで現れ不動領域を判断し難い場合は、河床標高等を考慮し地形的にすべり面の可能性のある深度以深まで掘削する。

すべり面の位置の推定が困難な場合、岩すべりや風化岩すべりで断層破碎帯などの基盤岩中の不連続面をすべり面の起源としている場合、大規模な地すべりの場合は、少なくとも地すべりブロックの末端部付近では主測線上での長尺ボーリングを河床標高以深まで先行し、この結果に基づいてその他の地点のボーリング深度を決定することが望ましい。

ボーリングの深度は、地すべりブロック幅と地すべりの層厚（最大鉛直層厚）の比から推定することも 1 つの方法である。建設省（現国土交通省）土木研究所の地すべり実態統計⁷⁾（1975～1977）によれば、一般的に地すべり幅/地すべり層厚の比は主に 2～12 の間にあるが、湛水により貯水池周辺で発生した地すべりの場合においては地すべり幅/地すべり層厚の比は主に 2～10 の間にある。この理由の一つとして、湛水による地すべりは岩盤地すべりが多いことがあげられる。

(iv) ボーリングの方法と孔径

ボーリングに際しては、循環流体に気泡等を用いてコアを採取する方法を採用したり、孔径・ビットを工夫するなどして高品質のボーリングコアを得るように努めることが必要である。また、ボーリングコアからすべり面・地質構造などの判定が困難な場合には、ボアホールカメラ等により、孔壁の亀裂・破碎状況を把握することも有効である。

ボーリングの孔径は 66mm または 86 mm が一般的であり、ボーリング孔を用いた試験や計測の実施を考慮して決定する（表 4.3）。

なお、標準貫入試験を実施する場合は、試験区間の試料から地盤の性状を詳細に観察することが難しいため、必要に応じて別孔でボーリング調査を実施する。

表 4.3 各調査試験に必要なボーリング孔径

調査試験項目		掘削孔径 (mm)	備 考
すべり面調査	パイプ歪計	86	(歪ゲージ付塩ビ管+コード)を埋没
	孔内傾斜計	86	(ガイド管+グラウト用ホース)を埋没
孔内水位計測	手動式	66	
	自記式	66	水圧式水位計の場合
地下水検層（電気検層）		66	有孔塩ビ管を埋没
地下水追跡調査		66	有孔塩ビ管を埋没
標準貫入試験		66	試験区間のボーリングコアが採取されない
揚水試験		86	ベラーでの揚水を行う
土質試験		86 以上	ボーリングコアでの試験

(3) コアの見方

地すべり等の移動土塊やすべり面の性状は、地すべり履歴、構成地質、調査位置（頭部または末端部など）等に影響される。また、ボーリングコアの性状はコア採取技術等に影響される。これらに留意して地すべり土塊やすべり面を推定する。

高品質のボーリングコアや調査坑内を観察し、地質性状（色調、硬軟、コア形状、割れ目に挟在する土砂・粘土あるいは鏡肌の有無等）に着目し、すべり面を推定する。

なお、調査ボーリング結果は、採取されたコアの地質記載だけでなく、ボーリング時の掘削状況、コアの採取状況、周辺の露頭で見られる地質状況との関連など総合的な視点での観察が重要となる。

地すべり履歴がある斜面では、斜面内部にすべり面が存在し、これより上部が地すべり土塊（移動領域）となる。

すべり面は、地すべりの原岩の地質構成や規模、型分類などによって多様な性状を示すが、典型的な特徴は次のようなものである。すなわち、すべり面は、これまでの運動の繰り返しによるせん断破壊の累積によって形成された岩石の微粒子からなる厚さ数 mm～数 cm の粘土帯を挟み、粘土帯の上下の境界面には鏡肌や条線などが見られることが多い。また、すべり面の直上位の移動層には数 10cm～数 m にわたって地すべり運動の引きずりによる脆弱部が見られることが多い。すべり面の直下位の基盤岩は、新鮮な堅岩となっていることが多いが、特に、結晶片岩や細互層などの板状岩などでは、地すべり運動の引きずりによって亀裂を生じたり、脆弱化したりしやすく、また、局部的に透水性が高くなり、風化が認められることがある。

未乾燥のコアのすべり面の粘土帯や脆弱部は、指で押して土質や硬軟を確認する必要がある。また、コアを割ると光沢や条線の見られる鏡肌が現れることがある。ただし、鏡肌は、断層など構造運動による不連続面に見られる一般的な特徴でもあるので注意が必要である。

すべり面の粘土帯とその周囲は、原岩の地質構成、地下水位、風化、破碎の程度などによって様々な色調を呈する。原岩が粘板岩や頁岩など泥質岩の場合は地下水位以下であれば、還元色を呈し暗灰色を示すことが多い。花崗岩や流紋岩、酸性凝灰岩などでは、灰白色を呈し、熱水変質を素因とするすべり面は白色で著しく含水比の高い軟質な粘土帯を形成していることがある。連続性のある粘土帯をとまなうすべり面は難透水層を形成し、被圧が認められる場合がある。

変動が進んでいない岩盤地すべりなどでは、すべり面の素因となった断層や層理面の性状が残され、すべり面がきわめて薄く粘土帯もほとんど見られない場合がある。

(4) 物理探査

大規模な地すべり等の調査においては、広い範囲における地層の分布状況を把握するために、必要に応じて弾性波探査や電気探査などの物理探査を用いる。

物理探査の範囲は、地すべり等の規模やすべり面深度を考慮して設定する。また、探査測線はボーリング調査測線を基準に設定し、その測線長は河床を含み想定される地すべりの深度以深の速度値が得られるよう十分な延長を確保する。調査結果は、ボーリング調査等の結果と併せて整理・解析する。

(5) 調査坑調査

調査坑調査は地すべり等の土塊、すべり面、不動領域などが直接肉眼で観察できるため、すべり面の

形成が不完全な地すべり等ではきわめて有効な調査方法である。なお、調査坑、特に立坑は湛水後地下水排水のための集水井としても利用できることから、対策工の計画も考慮して配置する。

地すべり等はダムサイトに比較し一般に地質が不良であることから、調査坑の掘削時には十分安全に留意して実施しなければならない。

(6) その他の調査

その他の調査として、すべり面の疑いのある弱層の方向性や開口亀裂の確認のためのボアホールカメラ、地盤物性を把握するための物理検層などがあり、これらを必要に応じて実施する。

なお、物理検層の一種である地下水検層（電気検層）は、地下水流動層を把握することを目的としてよく用いられている（4.4.3 参照）。

4.4.2 すべり面調査

すべり面調査は、すべり面の位置、連続性および移動量を把握することを目的として、ボーリング調査や調査坑調査等の地質調査と各種機器を用いた計測により実施する。

すべり面は、地質調査結果や各種機器を用いた計測結果をもとに、地形状況や地すべりの現象などを総合的に検討して決定しなければならない。

なお、すべり面の判定を確実に行うため、短期間の観測ですべり面での変動が把握できない場合には、対策工設計前に複数年の計測調査を行って、すべり面深度における累積変動の有無を、軽微な変動も含めて確認することが必要である。

すべり面調査における計測調査の特性を表 4.4 に示す。

(1) 地質調査によるすべり面の推定

地質調査によるすべり面の推定は、高品質のボーリングコアや調査坑内の観察等により、地質性状（色調、硬軟、コア形状、割れ目に挟在する土砂・粘土またはスリッケンサイドの有無等）に着目して行う。

（4.4.1(3) 参照）

(2) 計測によるすべり面調査

計測によるすべり面調査は、変動の有無、変動方向および変動量と降雨・地下水位等との相関性等を整理し、地すべり等のすべり面深度、移動土塊の層厚、地すべりブロック区分、変動方向、変動時期および発生原因等の機構解析や安定解析に関する資料を得る目的で行う。

計測調査に用いる機器は、現在の変動状況等を考慮して孔内傾斜計（図 4.6）、パイプ歪計（図 4.7）および多層移動量計等から選定する。貯水池周辺の湛水に伴う地すべり等では、ダム事業の調査段階のみならず建設および管理段階に至る長期間の計測が必要な場合もあるため、耐用年数も考慮して選定する。

なお、計測管周囲の間詰め不良による計測精度の低下を防ぐため、すべり面調査孔は地下水調査孔とは併用せず、計測管周囲をグラウチングし地山と一体化させることが必要である。

計測にあたっては、累積傾向のないものは測定値の変動が著しくても必ずしもすべり面とは判定できない。一方、変動量が少なくても累積傾向が認められる場合には、すべり面である可能性が高い。孔内傾斜計を用いて長深度の計測を行う場合には、孔底付近に、地すべりの変位ではないが、類似の変位が

生じることがあるので、すべり面の判定には留意する必要がある。

一般に、数 mm～数 cm/年程度で運動する地すべり等に対しては、変動量の精度が高く耐用年数が長い孔内傾斜計が有効である。ただし、活発な地すべり等では、孔曲がりにより短期間で深部の計測ができなくなるため、他の調査法を併用する等の対応が必要となる。

また、孔内傾斜計をグラフ化した際に、倒れ込み、深度に対して変位が S 字状に出る等の不良な計測データが示されることがある。不良計測データの発生には、ガイドパイプ設置時の間詰め不良や丁寧でない測定の他に、ケーブルのねじれやプローブの温度変化などの計測機器の不具合など、多数の要因が考えられる。すべり面を的確に判定するためには、このような不良データの発生原因を解明し、不良データの発生を防ぐ、あるいはデータの補正を行うことが必要となる。

表 4.4 すべり面調査における計測調査の特性

特性 調査法	測定量	分解能	耐用年数	備 考
パイプ歪計	歪み	10 μ	2 年程度	ダム湛水による地すべりを対象とするような長期的観測が必要な場合には、耐用年数に問題がある。
孔内傾斜計	変位	0.01mm	変動状況によって数年～数十年程度と異なる	長深度の計測を行う場合には、孔底付近に、地すべりの変位と類似の変位が生じることがあるので留意が必要。軽微な移動量のとき有効。
多層移動量計	変位	1mm	変動状況によって数年～数十年程度と異なる	年間数 cm 以上の移動量のとき有効。

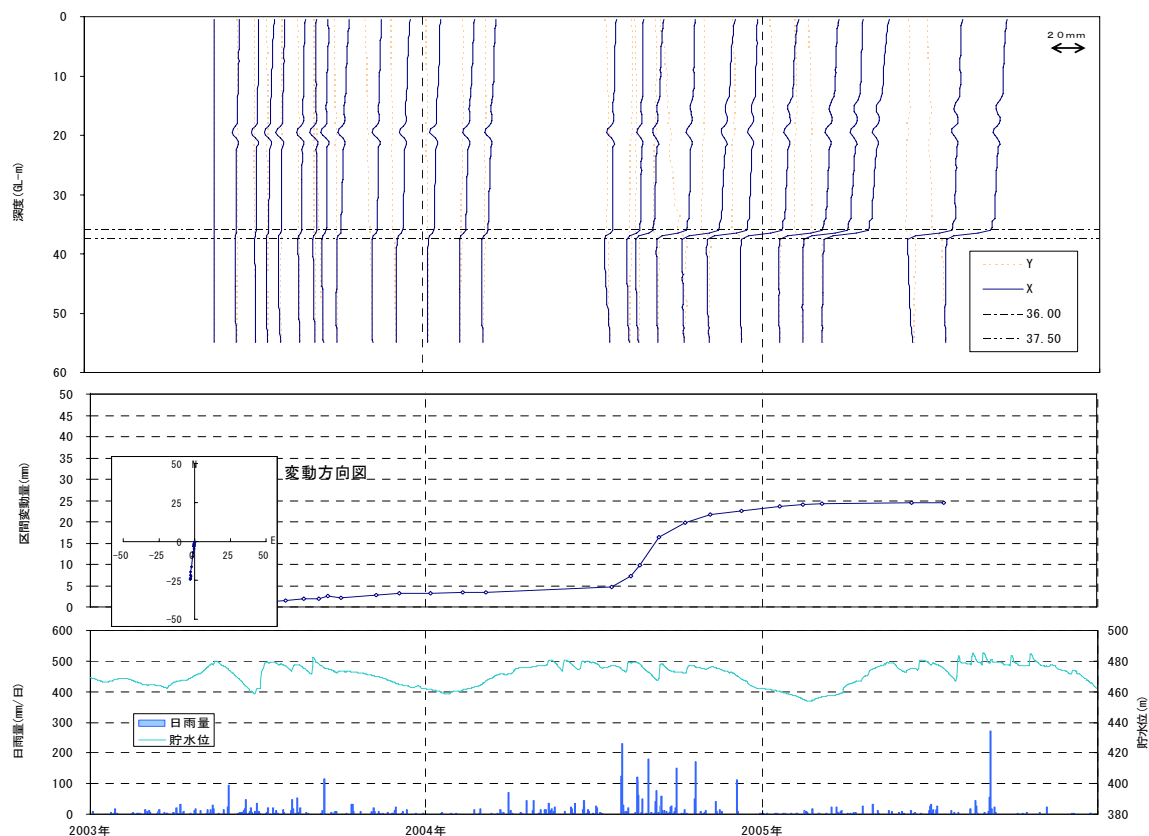


図 4.6 孔内傾斜計累積変動グラフの例

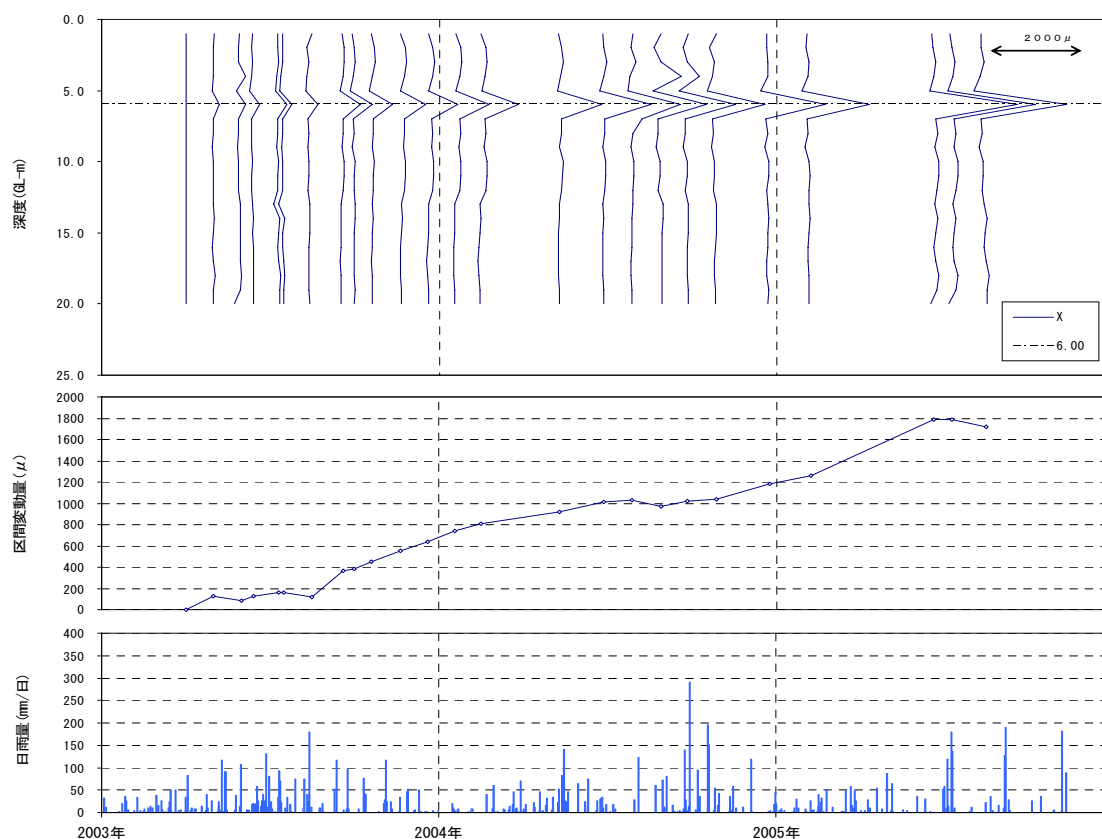


図 4.7 パイプ歪計累積変動グラフの例

4.4.3 地下水調査

地下水調査は、地すべり等の土塊内の定常状態や降雨および貯水位などの影響を受けた地下水位を把握することを目的として行う。原則としてボーリング孔を利用した自記水位計、間隙水圧計等による連続計測によって、試験湛水前には複数年観測し、試験湛水時には貯水位変動に伴う地山地下水位の経時変化、浸透の影響範囲、残留範囲を確認する（図 4.8、図 4.9）。また、試験湛水時および運用の初期段階には降雨・貯水位変動と地下水位変動との関係を把握するとともに、堰上げについても検討する。

貯水位より上に地下水が存在する場合には、その排水対策も有効となるため、地下水の流動方向、流動層についても把握しておくことが必要である。ただし、平面的な地下水調査（地下水流動調査、地下水追跡調査、水質分析）はブロックが大規模な場合で、ボーリング孔が多くある場合でないと有効な解析結果が得られないことがあるので、調査を実施する際には、ボーリング配置計画の段階から十分に検討することが必要である。

孔内水位を高い精度で計測するため、地下水調査孔とすべり面調査孔は併用しないことが望ましい。地下水調査を行う孔内水位計測孔の孔底は原則として対象とするすべり面付近～数 m 上とし、漏水・逸水することのないよう留意する。

一般に粘質土地すべりは地下水位が浅く、逆に岩盤地すべりでは、地下水位が深いことが多い。また、地下水面は 1 枚ではなく、宙水となって複数の地下水面が存在する場合もある。岩盤地すべり・風化岩地すべりでは最下位の地下水位を地下水面とするのが安全側の対応となる。

地下水調査の留意点を表 4.5 に示す。

このような地下水調査のほか、ボーリング掘削中の孔内水位の変化、漏水・逸水の状況等を記録し、

これらの状況と地質との関係も検討する。

表 4.5 地下水調査の留意点¹⁾

目 的	調査方法	留 意 点
地下水位変動と降雨・貯水位変動との相関等の検討	孔内水位計測 間隙水圧測定	少なくとも主測線沿いの地下水調査孔では一定期間必ず実施する。
地すべり等の透水性の把握	透水試験	浸透流解析等を実施する場合には、主要な地下水調査孔において実施する。
地下水流動層の把握	地下水検層	
地下水流動方向・流速の推定	地下水追跡	地下水位や透水性が特異な状況を示す場合等に、必要に応じて実施する。
地下水の性質の把握 地下水の流入・流出経路の推定	水質分析	地下水位や透水性が特異な状況を示す場合等に、必要に応じて実施する。

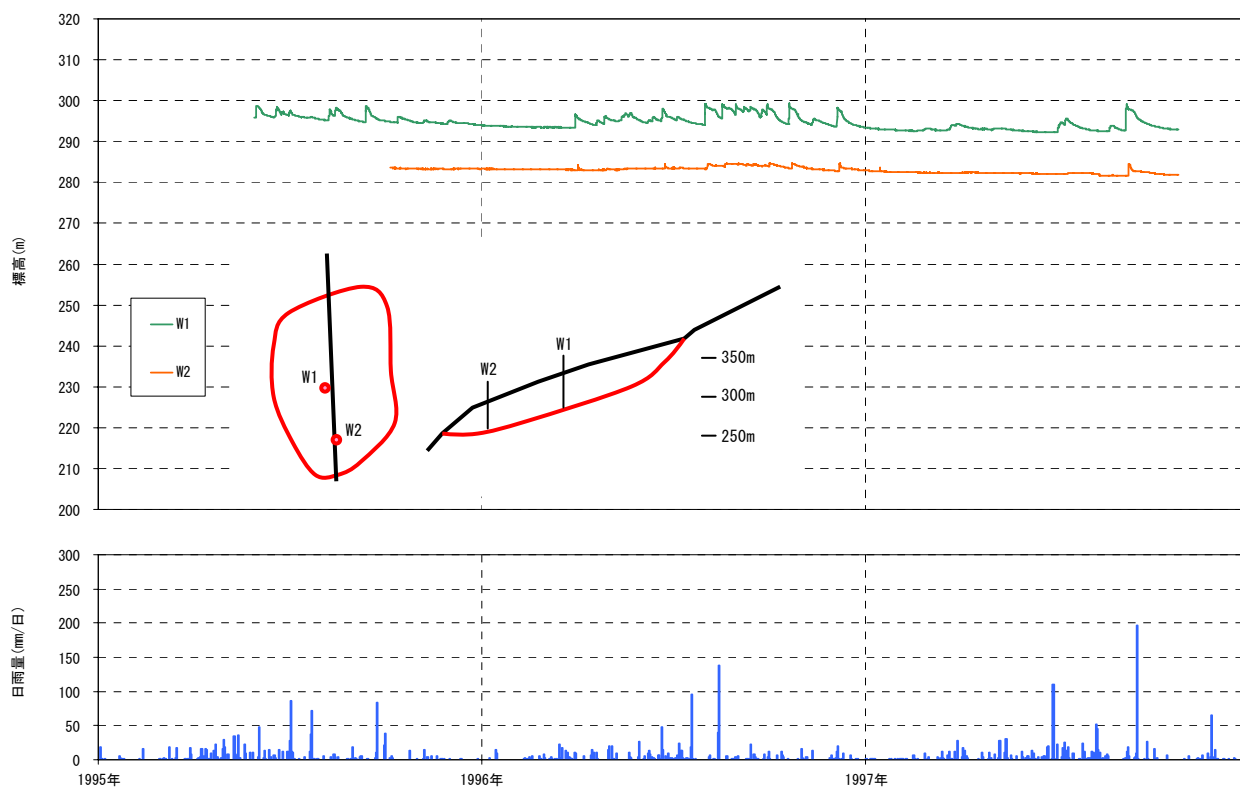


図 4.8 地下水位グラフの例 【湛水前】

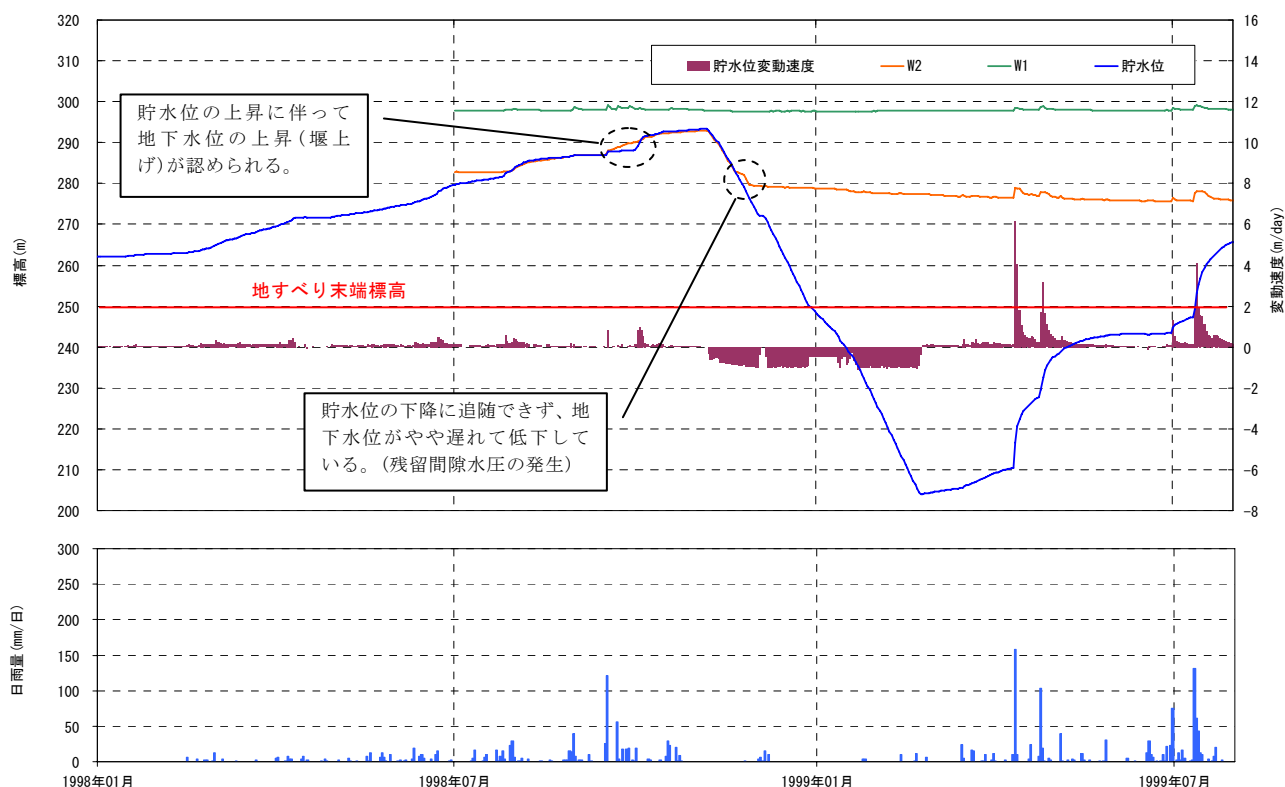


図 4.9 地下水位グラフの例 【湛水後】

4.4.4 移動量調査

移動量調査は、地すべり等の変動状況の把握、今後の変動性の予測、地すべりブロック区分および対策工の必要性の判断などを目的として、測量や変動計測により実施する。

移動量調査は、試験湛水時以降の斜面管理にも引き継がれるため、精査段階からその調査位置について十分に検討する。

移動量調査の目的と方法を以下に示す。

(1) 測量（水準測量、移動杭測量、GPS測量、空中写真測量等）

(i) 目的

- ① 地すべりブロックの変動量・範囲・方向等の把握
- ② 地すべりブロックの変動量と気象条件との相関の検討

(ii) 方法

- ① 各測点の移動方向・移動量の計測
- ② 各期間（梅雨、台風、融雪等）別の移動量の比較

(2) 地盤伸縮計、クラックゲージ等

(i) 目的

- ① 地すべりブロックの境界（頭部、側部、末端部）の把握
- ② 地すべりブロックの変動量と降雨、地下水位および貯水位等との相関の検討
- ③ 変動状況の区分、監視・計測体制の管理基準値の設定

(ii) 方法

① 亀裂や段差の変動量と変動の向き（引張または圧縮）の計測

調査計画の段階で、変状が地表に現れずに地すべり境界部の位置を特定することが困難な場合には、主測線に沿って連続的に設置する。

② 亀裂や段差の変動量と降雨量、地下水変動量および貯水位変動量等との時系列比較

計測結果は図 4.10 に示すようなグラフに取りまとめる。

(3) 地盤傾斜計

(i) 目的

① 地すべりブロックの範囲（頭部、末端部）の把握

② 地すべりブロックの変動量と降雨、地下水位および貯水位等との相関の検討

③ 変動状況の区分、監視・計測体制の管理基準値の設定

(ii) 方法

① 地盤傾斜量、傾斜方向の計測

温度変化の影響を著しく受けるところでは計測値の誤差が非常に大きくなることがあるため、設置環境に留意するとともに必要に応じて計測値の補正等を行う。

② 地盤傾斜量と降雨量、地下水変動量および貯水位変動量等との時系列比較

計測結果は図 4.11 に示すようなグラフに取りまとめる。

なお、地盤傾斜計の計測データについても、運動状況の区分や監視・計測体制の管理基準値として利用することができる（5.3.2、7.1.3 参照）。

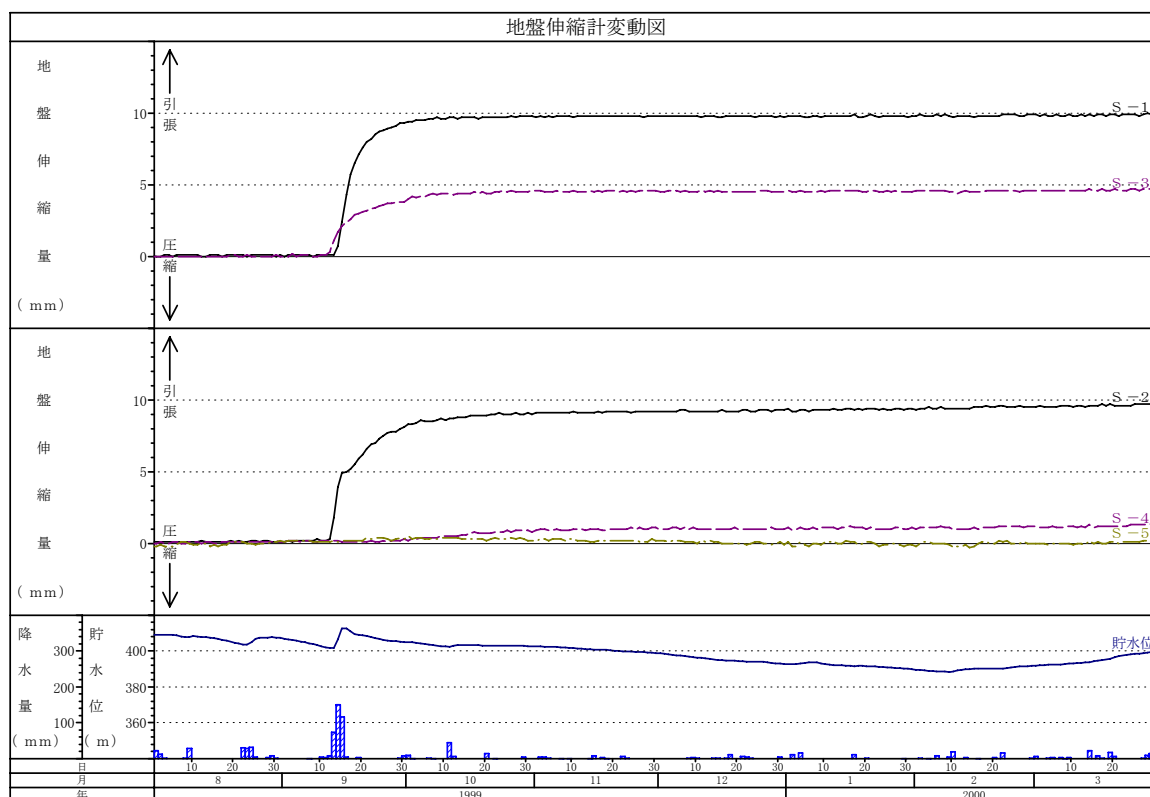


図 4.10 地表伸縮計グラフの例

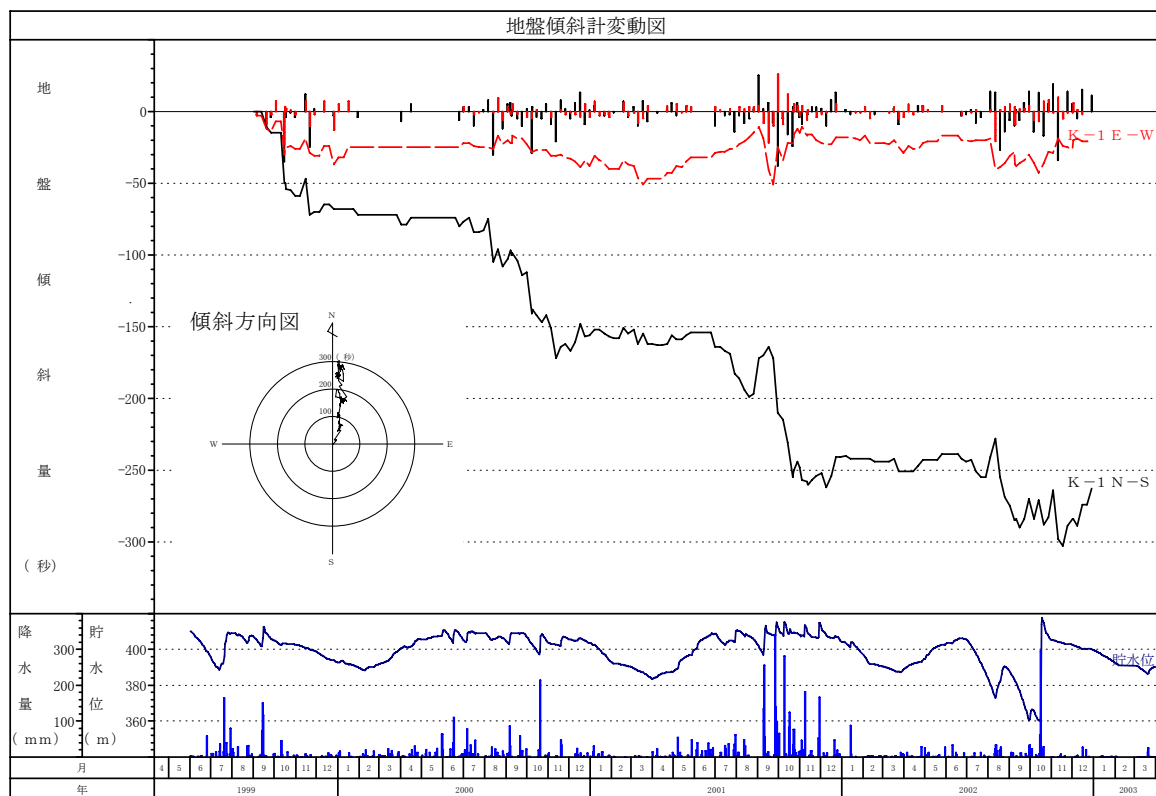


図 4.11 地盤傾斜計グラフの例

(4) 変動総括図

すべり面調査、地下水調査および移動量調査の結果は、必要に応じて複数の調査結果を一覧できる変動総括図を作成し、複数計器での斜面全体の時系列変化の関連性の把握に努める。変動総括図は降雨・貯水位や各調査における変動の時期、変動量・速度等を対比することにより、変動が生じた時の原因、変動の範囲、変動の形態等の地すべり発生・運動機構を考察する際に効果的である。一方、過去の降雨、地下水位、掘削等と各調査における変動量等との相関性を把握しておく、その後の予測の信頼性が向上する。変動総括図の例を図 4.12 に示す。

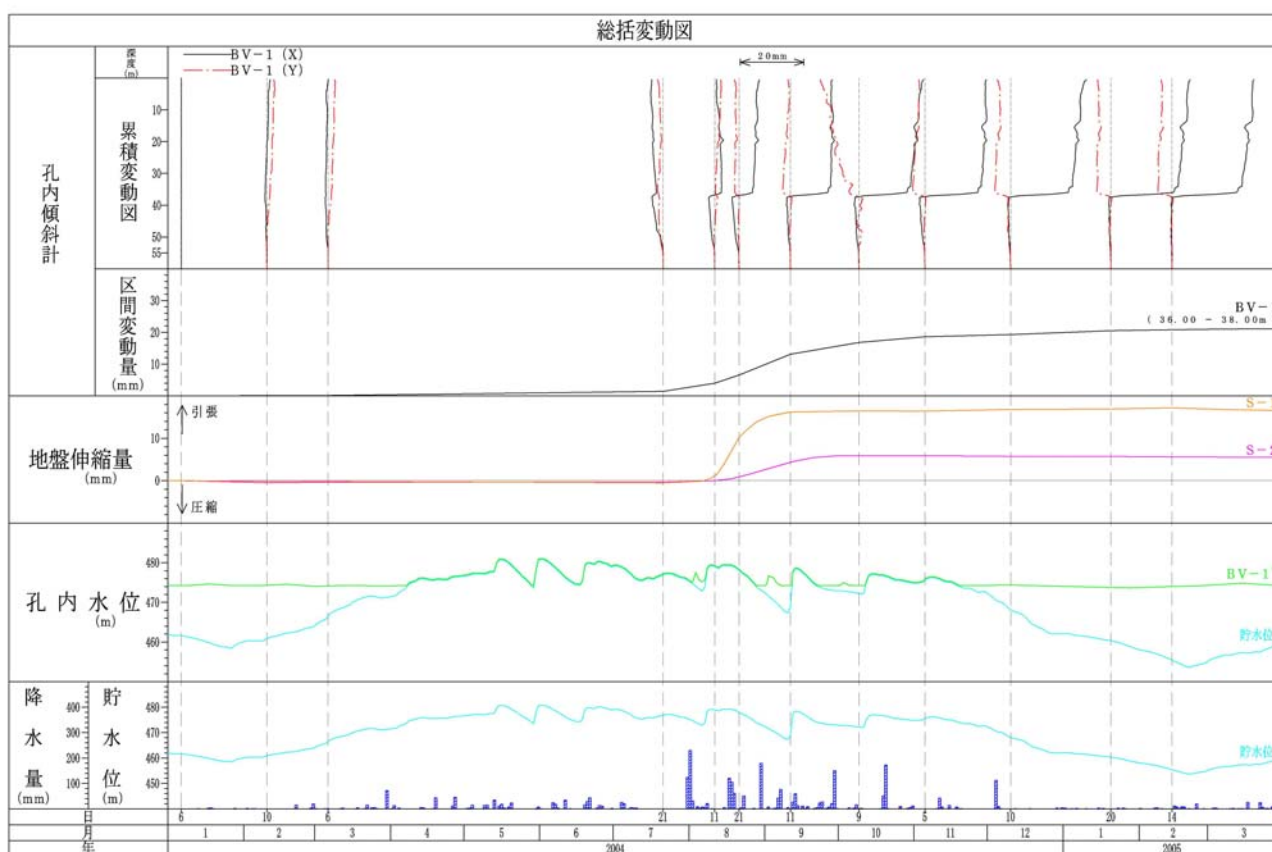


図 4.12 変動総括図の例

4.4.5 土質試験

土質試験（地盤調査を含む）は、地すべりブロックや崖錐等の未固結堆積物の単位体積重量や透水性など、すべり面の土質強度定数および対策工の設計に必要な地盤の強度を把握することを目的として、室内試験または原位置試験により実施する。

これらの試験を適切に行うことにより、地すべり等の機構や安定性を高い精度で把握し、対策工の安全性と設計の合理化に寄与することができる。

地すべり土塊やすべり面の物性値は、同一の地すべりブロックであっても変化に富むため、限られた位置の試験結果だけでなく、過去の実績データ等を参考に設定する。

(1) 単位体積重量や透水性などを把握するための試験

地すべり等の安定解析に必要な地すべりブロックの単位体積重量を把握するための試験は、コアサンプルまたはブロックサンプルを用いた湿潤密度試験のほか、高品質のボーリングコアの重さと寸法を直接計量する方法がある。

安定計算の際に移動土塊の単位体積重量の実測値を用いることで、より精度の高い解析結果が得られるとともに対策工の安全性と設計の合理化に寄与することができる。このため、具体的な単位体積重量を把握することが望ましい。地すべり等の斜面上方では引っ張りが働きゆるみが進行するため単位体積重量が小さいのに対し、斜面下方では圧縮を受けるため単位体積重量が大きくなることが考えられ、実測の場合は複数箇所で測定することが望ましい。

また、浸透流解析を行う場合には、地すべり土塊の透水性を把握するため、室内・原位置透水試験を

行う（4.4.3 参照）。

（2）すべり面の土質強度定数（ c' 、 ϕ' ）を把握するための試験

すべり面の土質強度定数（ c' 、 ϕ' ）を把握するための試験は、極力、乱さない試料の採取を行い、一面せん断試験、三軸圧縮試験、リングせん断試験等によって行う。

すべり面のせん断強さを把握するための土質試験は、一般的に逆算法によって求めた粘着力 c' 、内部摩擦角 ϕ' の妥当性を確認する補助手段として実施されている。しかし、すべり面のせん断強さの特性は極めて重要なため、試験を行い照査することが望ましい。また、今後その解明に向けた研究が必要であり、試験方法、条件、結果等をデータベースとして蓄積することが望まれる。

（3）対策工の設計に必要な地盤の強度を把握するための試験

対策工の設計に必要な地盤の強度を把握するための試験としては、アンカー工を用いる場合には、抵抗力を求めるための引抜き試験、鋼管杭工およびシャフト工を用いる場合には、地盤反力係数を求めるための孔内水平載荷試験がある。

なお、粘性土や砂質土などの土質地盤に対しては、地盤反力係数を標準貫入試験から求めた N 値から推定することもできる。

4.5 精査結果図の作成

精査の結果は、以下に示す内容についてとりまとめ、精査結果平面図および精査結果断面図等を作成する。また、これらの情報をもとに、地すべりカルテを更新する。

- ① 地形・地質、すべり面、地下水、移動量および土質試験等の結果
- ② 保全対象等の整理
- ③ 地すべりブロックの区分、範囲、すべり面深度等の推定根拠の整理
- ④ 地すべり等分布図の更新

4.6 解析の必要性の評価

地質調査およびすべり面調査等の精査の結果、得られた地すべり等の位置および規模並びに地すべり等と保全対象との関係から、解析の必要性の評価を行う。以下の場合には、湛水に伴う地すべり等としての解析（5章）は不要である。

- ① 地すべり等の末端部の位置および湛水時の地下水状態の変化を考慮しても湛水の影響がないと判断される場合（3.4 参照）
- ② その他の貯水池周辺斜面（3.4 参照）で、地すべり等の規模が貯水池容量と比べて小さい場合

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。

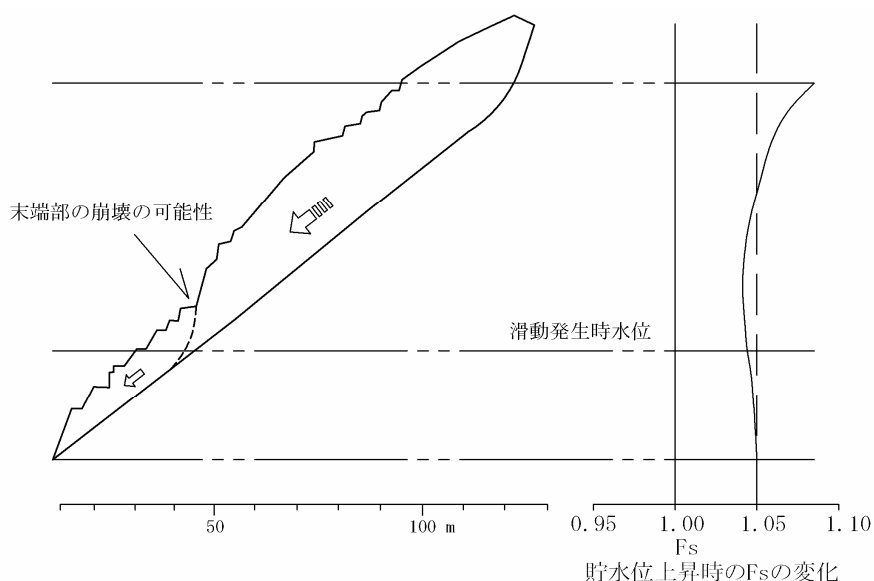


図 5.1 貯水位上昇に伴う安定性の低下が実際よりも安定であると評価されやすいすべり面形状の例

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。

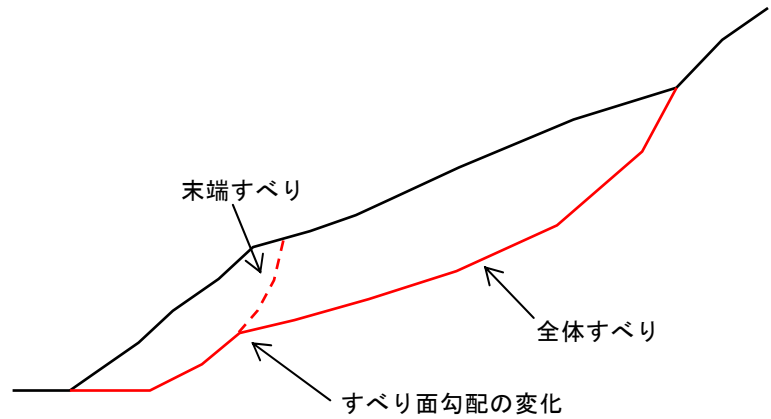


図 5.2 末端付近ですべり面勾配が変化している形状の例

(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。

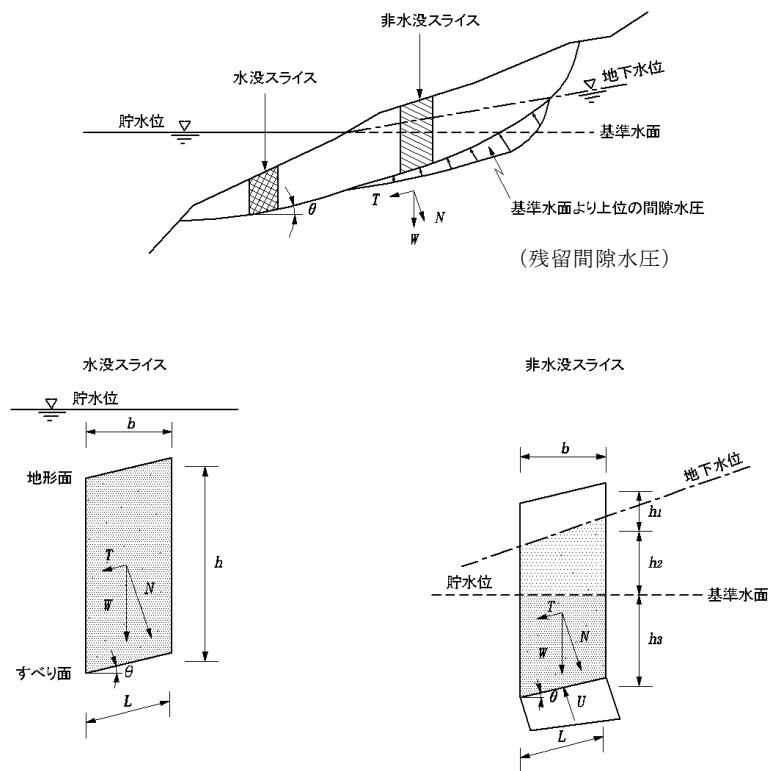
なお、すべり面の形状から末端崩壊（末端すべり）の可能性がある場合には、移動領域と不動領域の境界面だけでなく、移動領域内で円弧すべり法などを用いて数多くの想定すべり面に対して安定計算を行い、その安定性を確認することが望ましい。

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。

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



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

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

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

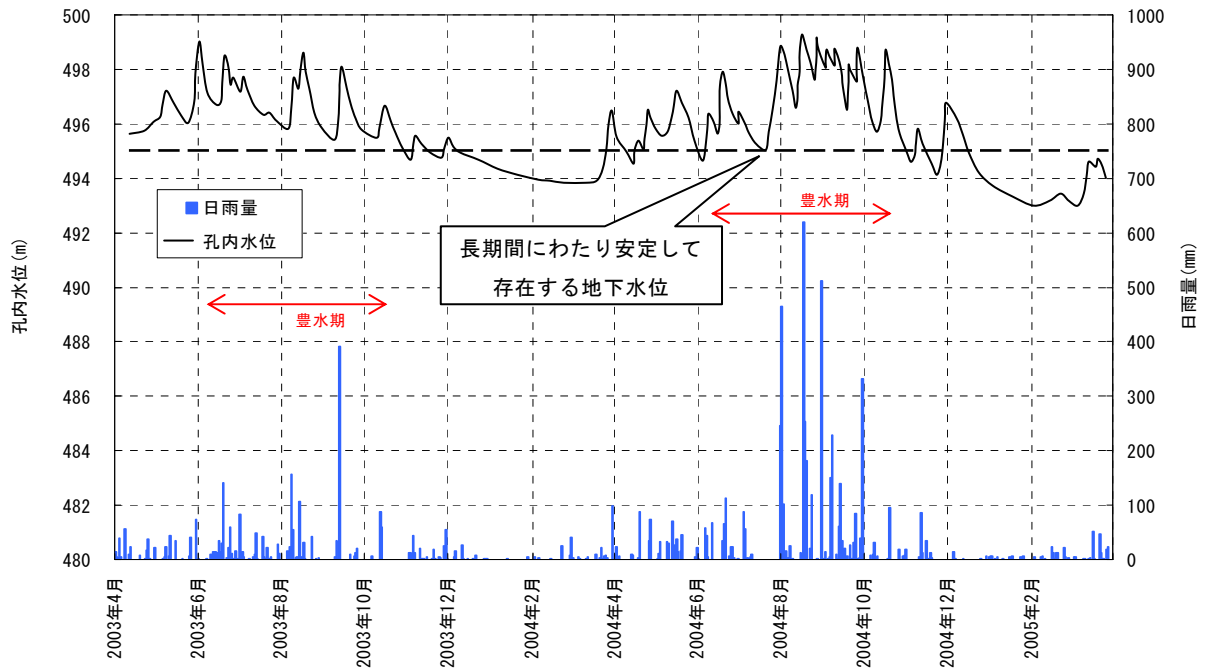


図 5.4 長期間にわたり安定して存在する地下水位の例 ¹⁾

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 $F_s > 1.00$ となつて、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)。

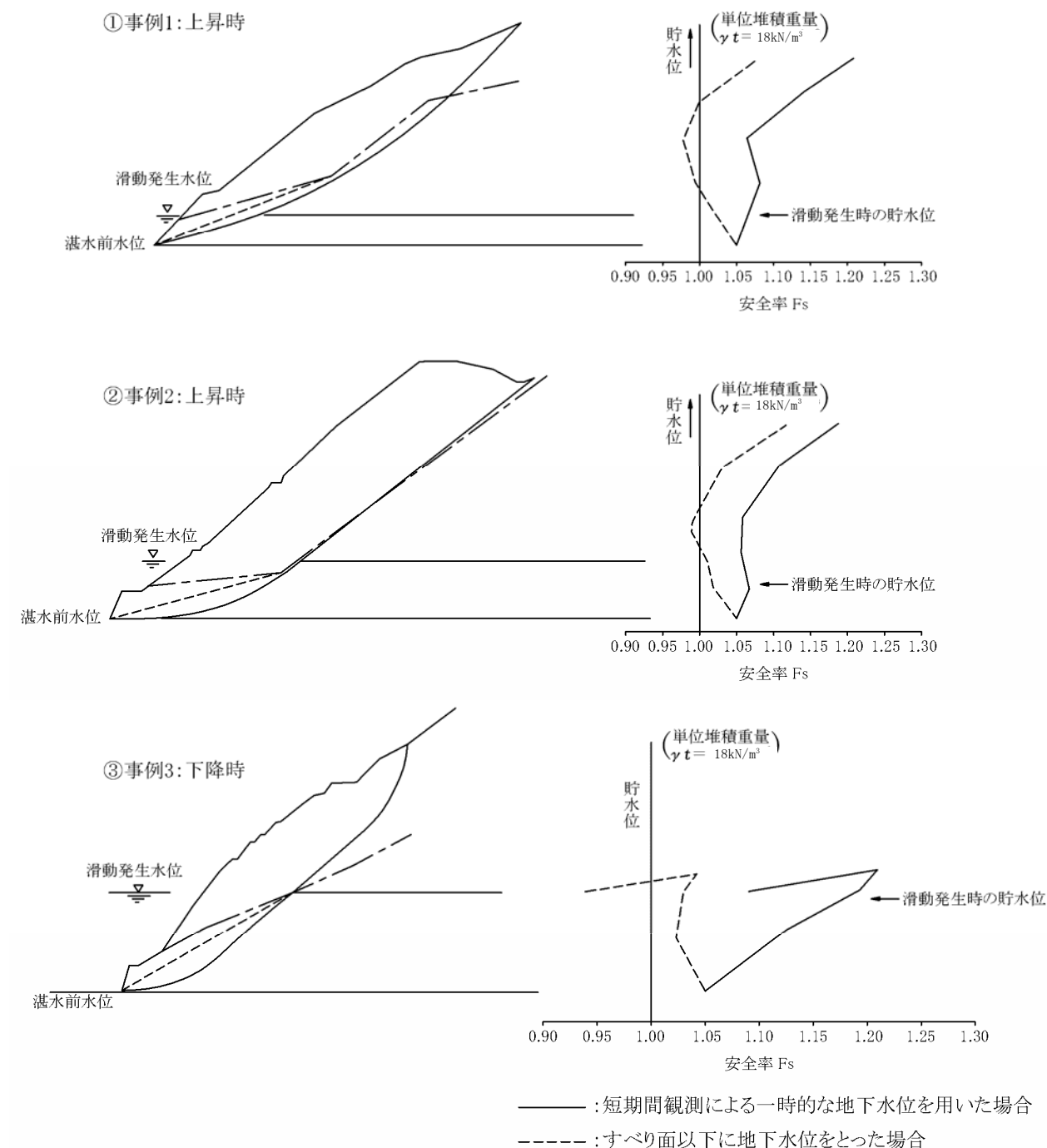


図 5.5 地下水位のとり方による安全率 F_s の変化例

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 地すべり 風化岩	18.4
×---×	崩積土地すべり	17.3
△---△	粘質土地すべり	17.0

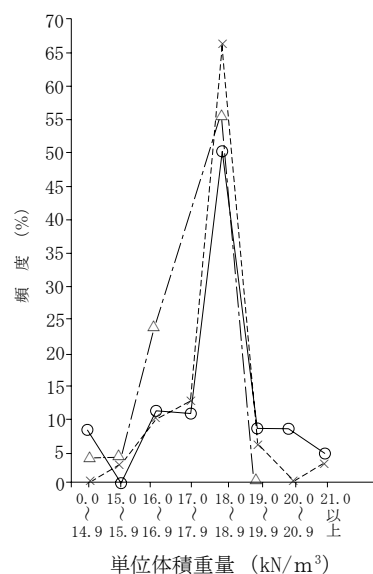


図 5.6 土塊の湿潤状態の単位体積重量（実測）⁶⁾

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

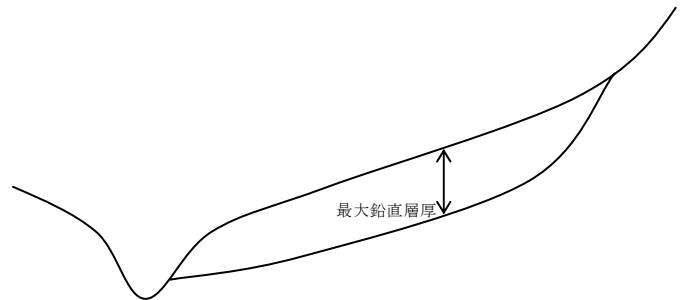


図 5.7 地すべりの最大鉛直層厚の例¹⁾

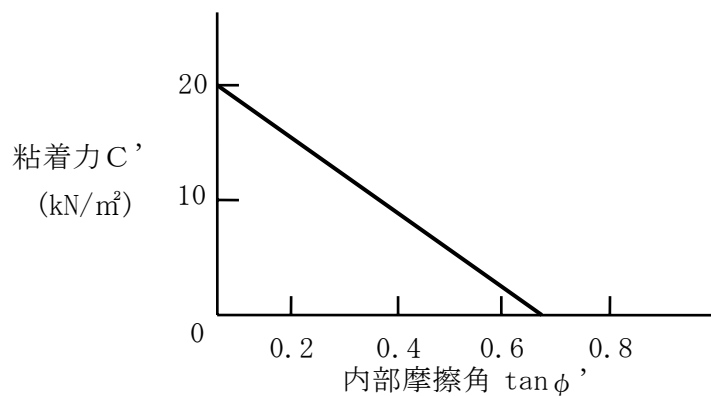


図 5.8 $c' - \tan \phi'$ 図の例¹⁾

(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。

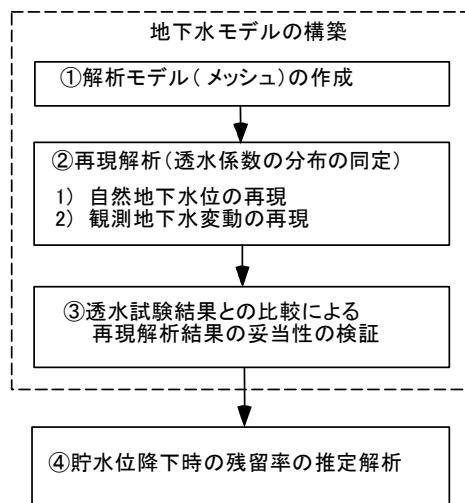


図 5.9 浸透流解析を用いた残留率推定のフロー

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。

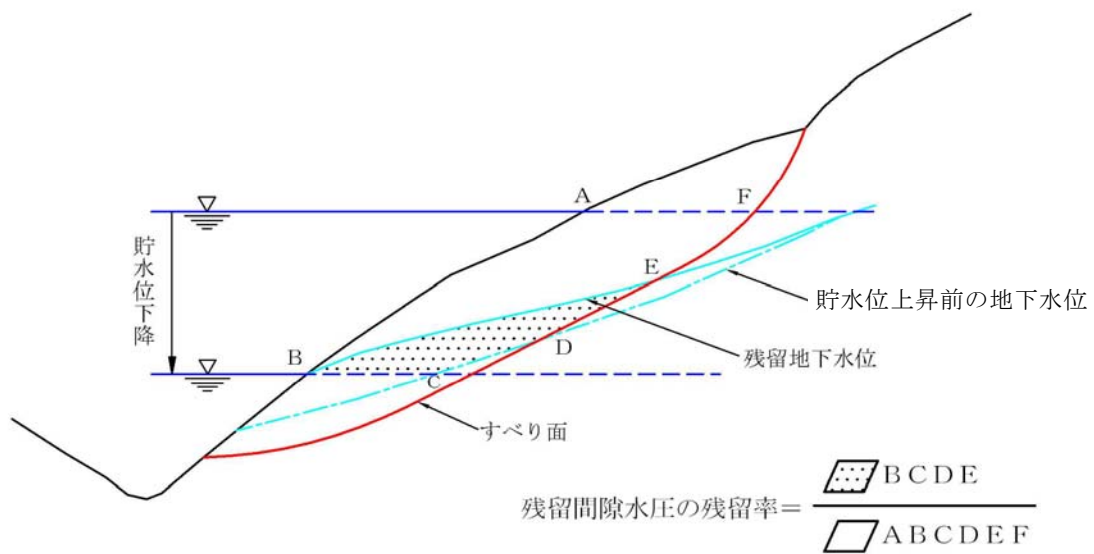


図 5.10 地すべりにおける残留間隙水圧の残留率の算定¹⁾

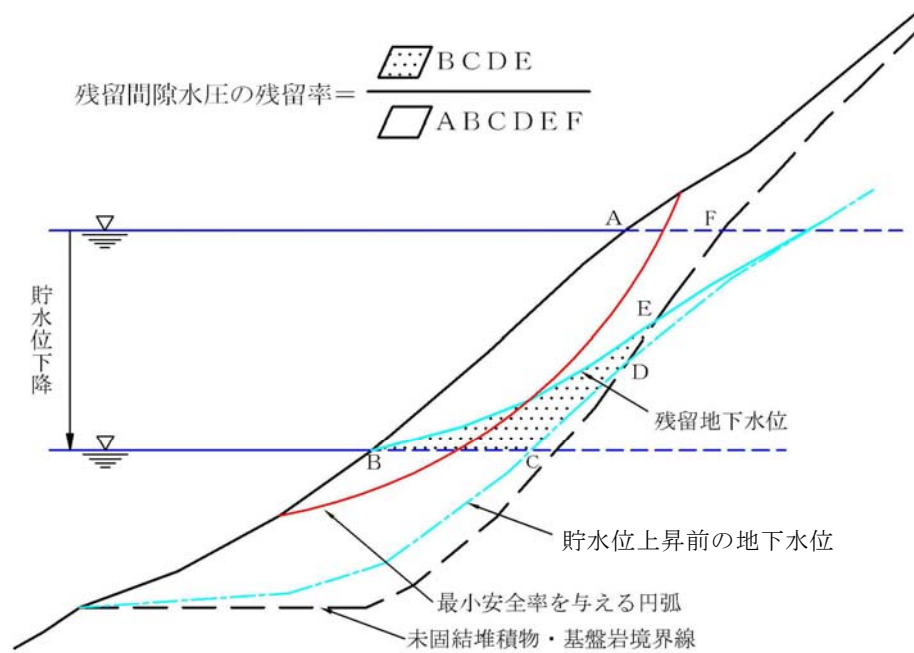


図 5.11 未固結堆積物からなる斜面における残留間隙水圧の残留率の算定¹⁾

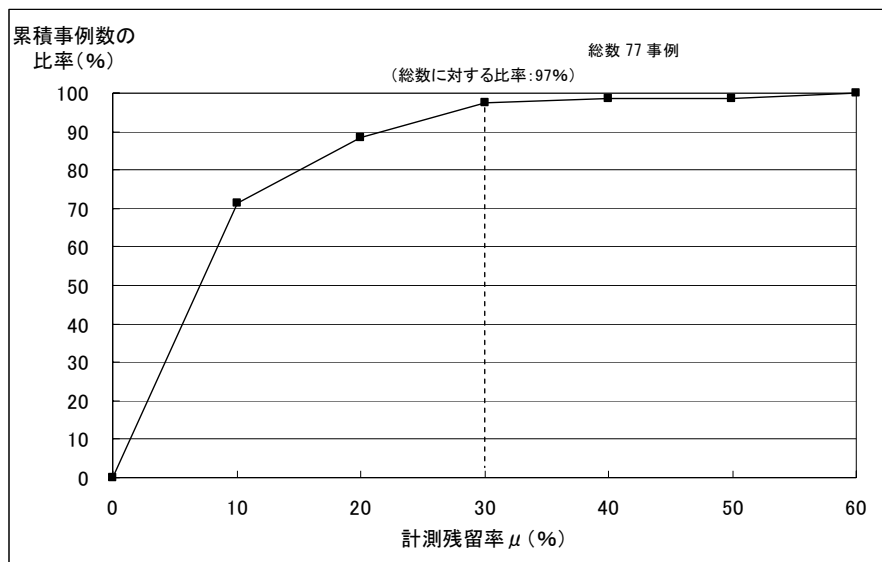


図 5.12 残留間隙水圧の残留率の実測事例

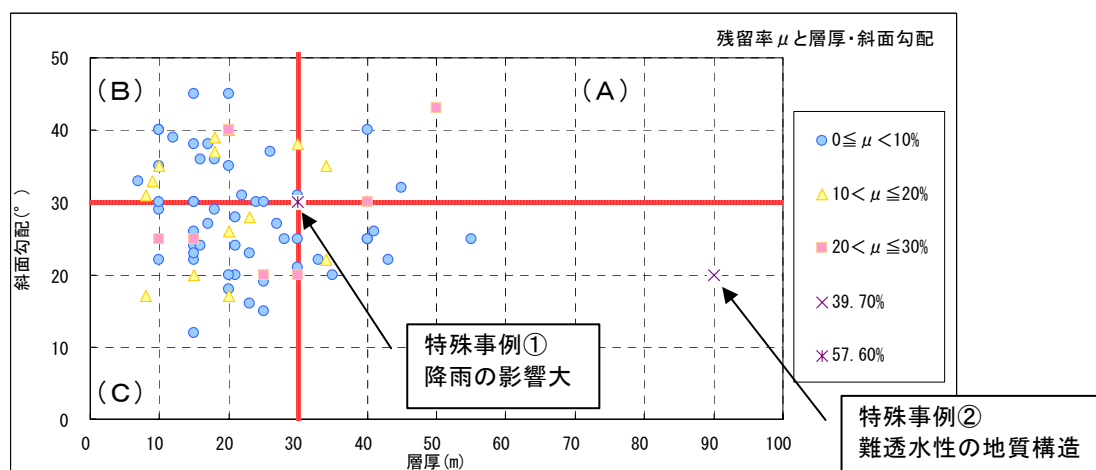
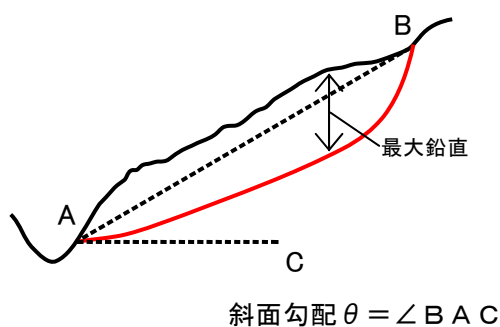


図 5.13 地すべり層厚・斜面勾配・残留率 μ の関係



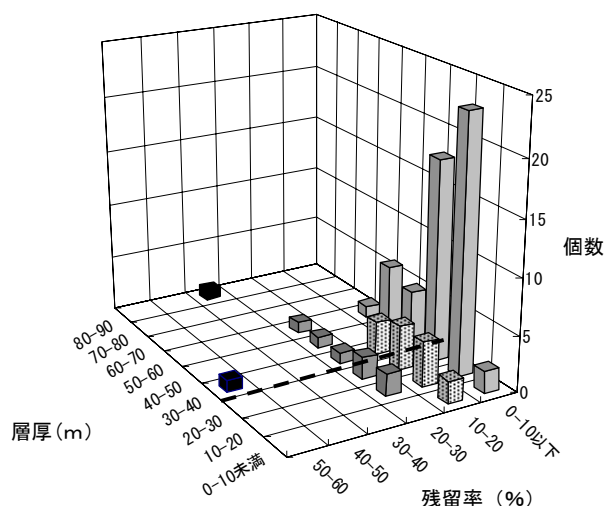


図 5.14 残留率と地すべり層厚の関係

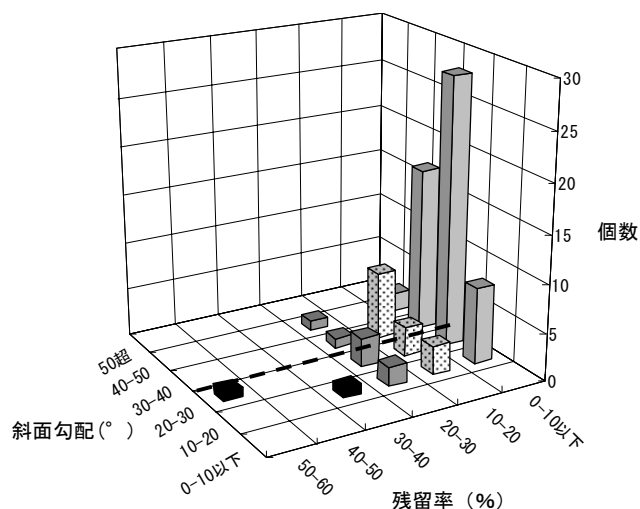


図 5.15 残留率と斜面勾配の関係

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

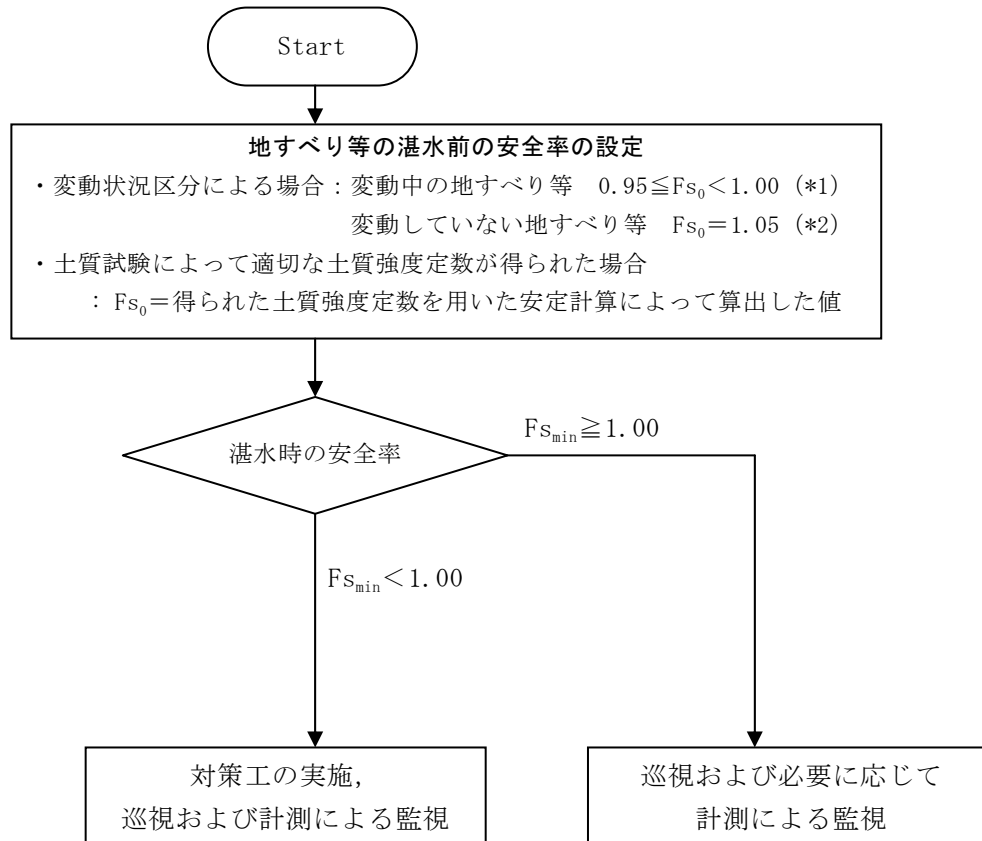
対策工の必要性は、原則として二次元安定解析により湛水後に通常想定される貯水位操作時の最小安全率を用いて評価する。

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⁾

6. 対策工の計画

6.1 目的

対策工の計画は、貯水池周辺の湛水に伴う地すべり等の安定性を確保し、地すべり等による被害の防止または軽減を図ることを目的として立案する。

安定解析の結果、貯水位の変動によって最小安全率 ($F_{s_{min}}$) が 1.00 を下回り、湛水によって不安定になるおそれがあると判断された地すべり等については、対策工によって安定性の向上を図るための計画を立案する必要がある。

6.2 対策工の計画の手順

対策工の計画の手順は、図 6.1 に示すように、「計画安全率の設定」、「対策工の選定」、「必要抑止力の算定」の順とする。

対策工の計画は、まず、地すべりブロックに対する計画安全率を設定し、発生・変動機構に応じた対策工を選定する。次に、必要抑止力を算定して対策工の規模を決定する。計画にあたっては、複数の比較案を検討し、最も効果的かつ経済的な案を詳細設計の対象として採用する。

なお、本書では、湛水に伴う地すべり等の対策工の詳細設計および施工上の方針と留意点のみを示し(6.6, 6.7 参照)、設計・施工の細部の内容については触れていない。

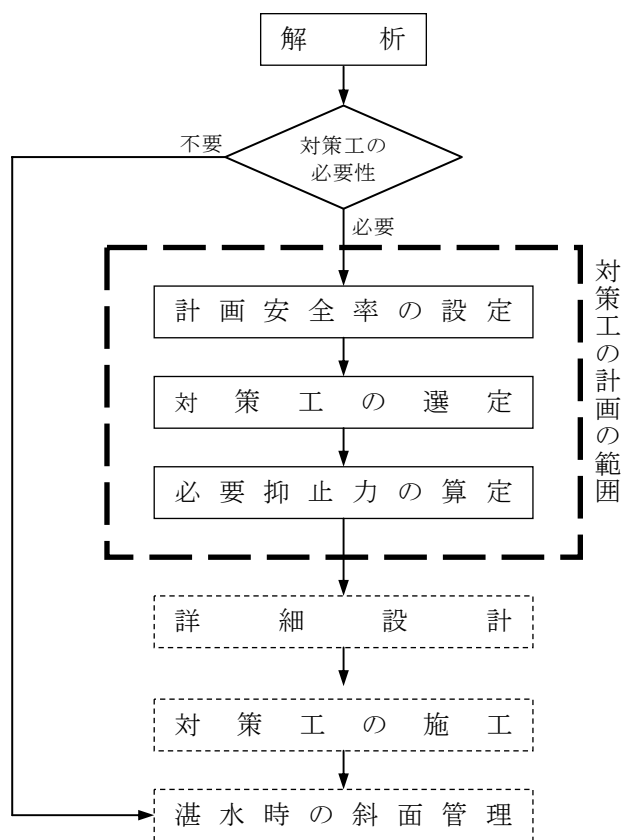


図 6.1 対策工のフロー¹⁾

(1) 計画安全率の設定

計画安全率($P.F_s$)は、対策工の規模を決定するための所要安全性の程度の目標値であり、保全対象の種類に応じた重要度により 1.05~1.20 の範囲で設定する。

一般に、対策工の計画安全率は、地すべりの変動状況に応じて現状の安全率を仮定して設定されることが多い。「河川砂防技術基準・同解説 計画編」¹⁾では「計画安全率は防止工事による相対的な安全率の向上を示すものであり、必ずしも工事実施後の斜面の安定度そのものを示すものではないことに注意する必要がある」と示されている。

貯水池周辺の地すべり等においても、地すべり変動状況に応じて湛水前の安全率(F_{s0})を仮定し、これに対して計画安全率を設定している。したがって、計画安全率は必ずしも工事実施後の斜面の安定度そのものを示すものではなく、湛水前の安全率(F_{s0})に対する安全度の相対的な向上の程度を示すものであることに注意する必要がある。

(2) 対策工の選定

対策工の選定にあたっては、地すべり等の特性、貯水位面と地すべり等の位置関係などについて十分検討し、また各々の対策工の特徴を十分考慮して効果的かつ経済的な一つまたは複数の対策工の組み合わせを選定する。

(3) 必要抑止力の算定

必要抑止力は、計画安全率を満足するように算定する。

6.3 計画安全率の設定

対策工の計画安全率($P.F_s$)は、保全対象の種類に応じた重要度により設定する。

(1) 保全対象の種類に応じた重要度

保全対象の重要度は、保全施設の種類および保全する斜面に応じて決定し、目安として「大」、「中」、「小」に三区区分する。

なお、保全対象の重要度は、地すべり等による直接的な被害だけでなく、背水域における河道閉塞と決壊による氾濫などの間接的な被害も含めて検討する。

(i) ダム施設

ダム施設(3.4 参照)が地すべり等の変動の影響を受けた場合は、社会的にきわめて大きな影響を生じるため、重要度は大とする。

(ii) 貯水池周辺の施設

貯水池周辺の施設(3.4 参照)のうち、家屋(代替地を含む)、国道、主要地方道、迂回路のない地方道、橋梁、トンネル、鉄道等は、地すべり等の変動の影響を受けた場合、社会的影響が大きいものまたは復旧に時間を要するものであるため、重要度は大とする。

迂回路のある地方道、公園等は比較的公共性が高く、重要度は中とする。

林道、管理用道路、ダムの機能に直接関わりのない係船設備、流木処理施設および貯砂ダム等については比較的公共性が低く、重要度は小とする。

(iii) その他の貯水池周辺斜面

その他の貯水池周辺斜面のうち、貯水池周辺の山林保全上あるいは景観保全上重要である斜面などは、地すべり等が発生した場合の影響を考慮して重要度を検討する。

(2) 対策工の計画安全率

計画安全率は、保全対象の種類および保全する斜面に応じた重要度によって設定されるもので、地すべり等の規模や地すべりの型分類によって設定されるものではない。

計画安全率は表 6.1 に示す値を基準として保全対象への影響を勘案して決定する。なお、この値は標準的な値を示したものであり、計画安全率の設定は、ダムごとの事情を考慮して慎重に行わなければならない。

表 6.1 対策工の計画安全率と保全対象の重要度一覧¹⁾

保全対象			計画安全率				備考
種類と具体例		重要度	1.05	1.10	1.15	1.20	
ダム施設	堤体、管理所、通信施設、取水設備、放流設備、発電設備等	大					ダム機能が著しく低下するとともに、社会的に極めて大きな影響を生じるもの。
貯水池周辺の施設	家屋、国道、主要地方道、迂回路のない地方道、橋梁、トンネル、鉄道等	大					社会的な影響が大きいもの又は復旧に時間を要するもの。重要度の区分に当たってはダム個別の事情を十分考慮する。
	迂回路のある地方道、公園等	中					
	林道、管理用道路、係船設備、流木処理施設、貯砂ダム等	小					
その他の貯水池斜面							上記以外で貯水池周辺の山林保全上又は景観保全上重要である斜面。

6.4 対策工の選定

対策工は、地すべり等に応じた効果的かつ経済的な対策とすることを目的として、地すべり等の特性、貯水位面と地すべり等の位置関係および各々の対策工の特徴を考慮して選定する。

(1) 工法選定の要素

対策工の選定にあたっては、地すべり等の特性、貯水位面と地すべり等の位置関係などについて十分検討し、また各々の工法の特徴を十分考慮して効果的かつ経済的な一つまたは複数の対策工の組み合わせを選定する。なお、工法選定にあたって考慮すべき要素を具体的に示すと以下のとおりである。

- ① 地すべりの型分類
- ② 地形形状（斜面状況）
- ③ 規 模
- ④ 地すべり等の機構（素因・誘因）
- ⑤ すべり面の形状（特に貯水位面との関係）

- ⑥ 基盤岩の状況
- ⑦ 保全対象の種類、位置
- ⑧ 施工性
- ⑨ 経済性
- ⑩ 環境等の要素

(2) 対策工の種類

湛水に伴う地すべり等の対策工の分類を図 6.2 に示す。

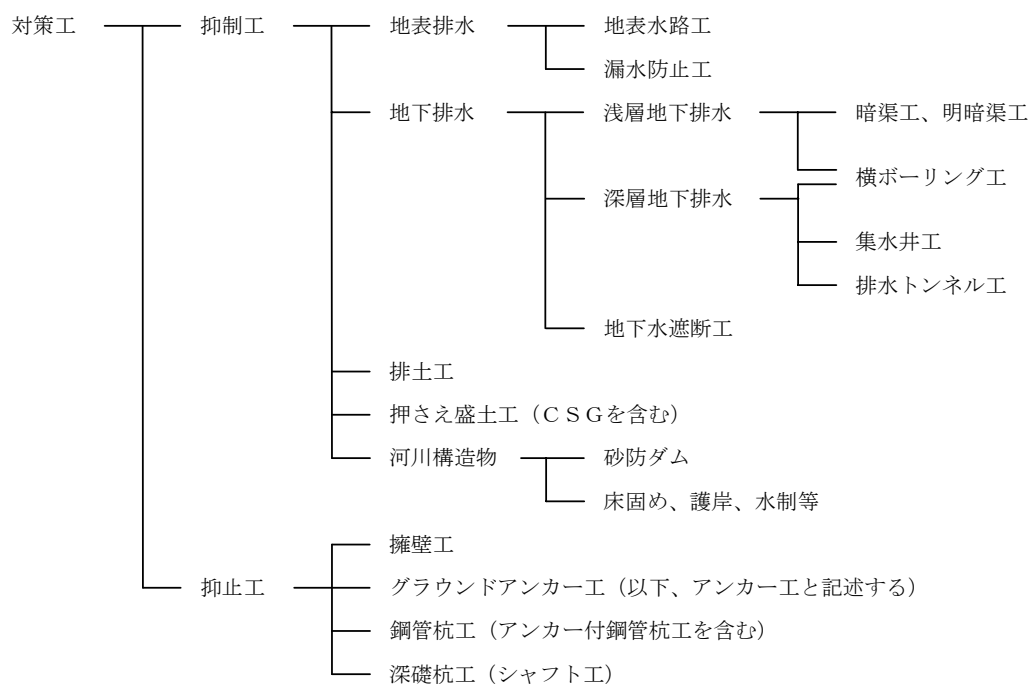


図 6.2 対策工の分類¹⁾

湛水に伴う地すべり等では、移動土塊の一部が水没するため、本来抑制工の主たる工法である地下水排除工の配置が難しく、比較的高価な抑止工が用いられることが多い。ただし、5.3.6 に示したように、近年、比較的高い貯水位時に台風等の豪雨が発生した場合に地山の地下水位の堰上げが顕著となって地すべりが運動した事例が認められることから、堰上げや降雨等による地下水位の上昇が懸念される場合には貯水位以上の標高部での地下水排除工は有効な対策である。

押え盛土工は、盛土による貯水容量の減少分を別途確保できる場合には、確実な効果が得られる工法であり、ダム本体基礎や原石山の掘削土を利用できるなどの利点があるが、反面、貯水位面下の盛土荷重は水中重量で作用するため、土量に比較して効果が低い難点がある。また、大規模な盛土では、斜面の排水性が低下するため、残留間隙水圧の増大に影響を与える可能性も考慮する必要がある。

地すべり対策工を実施する際には貯水による波浪浸食、貯水位の下降時に生ずる土砂流出に注意を払う必要がある。特に、対策工施工位置より下方の土塊の浸食は地すべり対策工に大きな影響を及ぼすため、その洗掘や崩壊を防止する法面工の施工が重要である。

これらを考慮し、効果的かつ経済的な対策工を計画する必要がある。

最近の新しい対策工法として、CSG（Cemented Sand and Gravel）を用いた押さえ盛土工やφ1000mm前後の大口径の鋼管杭工が導入され始めている。

(3) 対策工の概要

地すべり対策工として用いられる各種の対策工の一般的な施工位置を図 6.3 に、長所・短所を表 6.2 に示す。

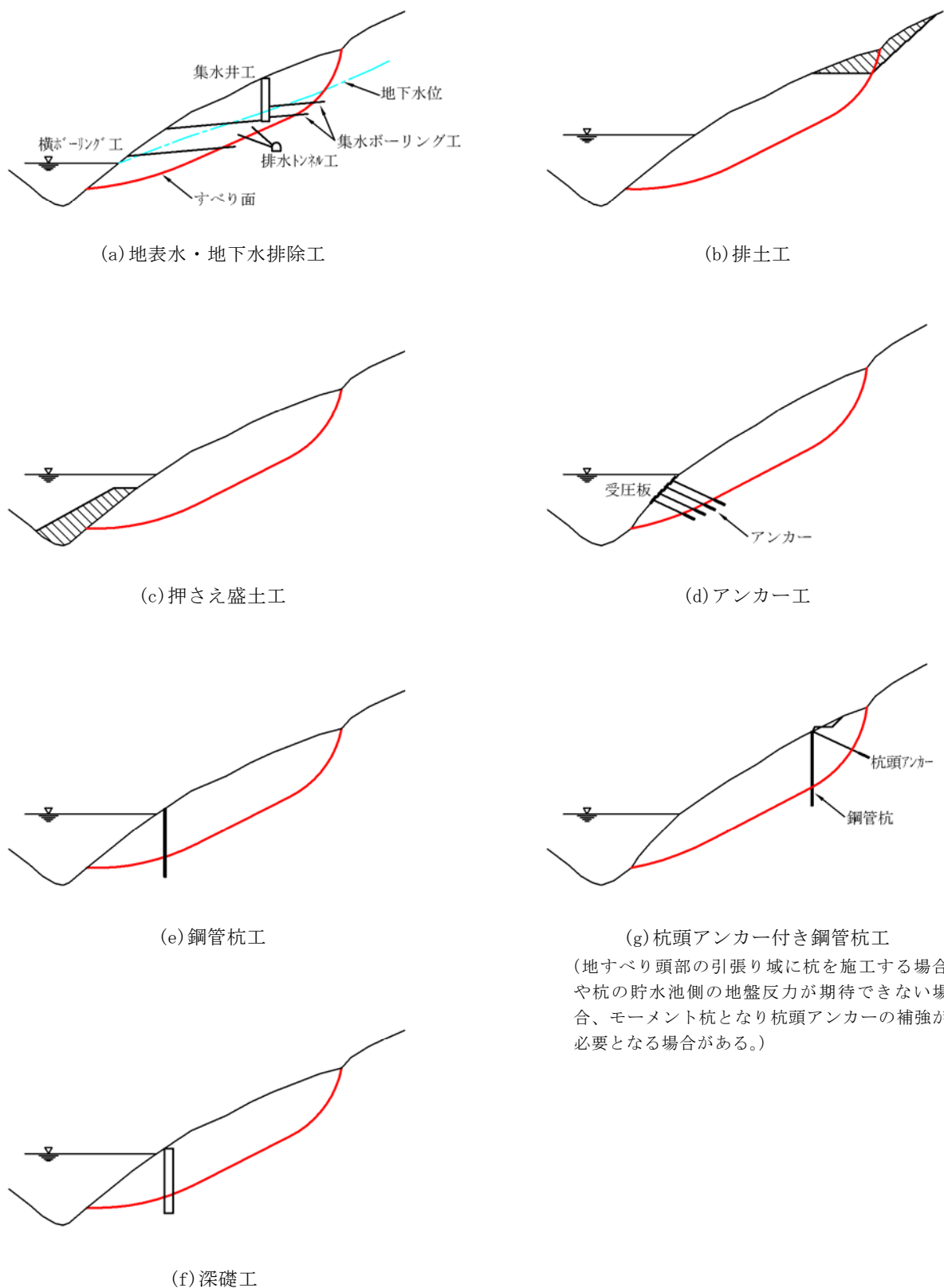


図 6.3 湛水に伴う地すべり対策工の一般的な施工位置

表 6.2 対策工の主な長所・短所

対策工	長 所	短 所
地表水・地下水排除工	1. 貯水位より上位斜面の排水能力を高める。	1. 水没部分の多い地すべりでは施工範囲が限定される。
排 土 工	1. 抑止に対する確実性が高い。 2. 施工が容易である。	1. 背後の地すべり運動を誘発することがある。 2. 土捨て場を確保しなければならない。
押え盛土工	1. 抑止に対する確実性が高い。 2. 施工が容易である。	1. 盛土材料の確保が必要。 2. 貯水容量に影響を与える。 3. 河道の付替えが必要な場合がある。
アンカー工	1. 仮設が比較的簡易である。 2. 急傾斜地でも施工が可能である。 3. 地盤条件の変化に比較的対処しやすい。 4. 地中に広範にわたりプレストレスを与えることができる。 5. 機械掘削のため施工速度が速い。	1. 長期時には緊張力の減少が予想され、再緊張が必要となる場合がある。 2. 地山の状態によっては緊張力のバランスがくずれ、ある部分に応力が集中する。 3. 設置の方向が適切でないと十分な効果が発揮されない。 4. 耐久性を確保するには十分な防錆が必要である。
鋼 管 杭 工	1. 機械掘削のため施工速度が速い。 2. 効果が設置の方向にあまり影響されないため、どのような方向からの外力に対しても均一の効果を発揮する。	1. 泥水の処理が必要となる。 2. 仮設が大規模となる。 3. 一般に急傾斜地では、杭径や仮設が大きくなるため適さない。 4. 杭頭部へのはね上げ、杭前面すべりなどの逐次破壊の対処が必要である。
深礎工	1. 抑止に対する確実性が高い。	1. 主に人力掘削となり、施工速度が遅い。 2. 仮設が大規模となる。

(4) 計測器の設置

対策工実施後の機能や効果を把握するために、必要に応じて対策工を計測する計器を設置する(7.1.3参照)。対策工の計測としては、集水井工・排水トンネル工の流量計、アンカー荷重計、鋼管杭工・深礎工内のパイプ歪計・孔内傾斜計・土圧計・鉄筋計および杭頭の測量などが挙げられる。

6.5 必要抑止力の算定

対策工の必要抑止力は、計画安全率（ $P.F_s$ ）を満足するように算定する。

必要抑止力は基準水面法を用いて式（6.1）によって計算する。

$$P.F_s \leq \frac{\sum (N - U) \cdot \tan \phi' + \sum c' \cdot L + P}{\sum T} \dots\dots\dots (6.1)$$

ここに、

$P.F_s$: 計画安全率

N : 各スライス（分割片）に作用する単位幅あたり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（ $^\circ$ ）

c' : すべり面の粘着力（ kN/m^2 ）

P : 対策工によって与えられる抑止力（ kN/m ）

対策工として、排土工、排水工等の地すべりブロックに作用する運動力や間隙水圧を低下させて安定性を向上させる抑制工を採用する場合には、それによって得られる条件に対応した N 、 T 、 L 、 U の値を用いて計画安全率を満足する必要抑止力を算定する。なお、式（6.1）の計算に用いるすべり面の内部摩擦角 ϕ' と粘着力 c' の値は、5.3.4 項で述べた方法によって設定した値を用いる。

地下水排除工は、堰上げや降雨の影響が大きい場合に非常に有効な方法で一般に採用されているが、その効果を安全率の上昇量として正確に評価することは難しい。したがって、特に地下水排除工と抑止工を併用する場合には、各々の対策工の効果や必要抑止力の算定条件等について十分に検討し、地下水排除工の効果を過大にみることで抑止工が過小になることがないように留意することが必要である。

6.6 設計上の留意点

湛水に伴う地すべりの対策工を設計する上で、各工種における留意点を踏まえて適切かつ効果的な対策工の設計を行わなければならない。

湛水に伴う地すべりの対策工として広く用いられているアンカー工、鋼管杭工の2つの抑止工法について設計上の留意点をとりまとめると次のようになる。

(1) アンカー工

移動土塊に緊張力を作用させたとき、地山内部の不均質性による圧密や圧縮変形を生じる可能性がある場合やすべり面が深い場合には、アンカー工の初期の締付け効果が施工直後には有効に働かないことが考えられる。このような場合のアンカー工の設計にあたっては、地すべりブロックにある程度の変形が進んだ段階で十分な効果を発揮するように引止め機能を重視した設計法を採用し、初期緊張力を設計アンカー力の数十%程度とすることが多い。ただし、すべり面が浅い場合や緊張力がすべり面に直載されやすい岩盤地すべりの場合などには締付け効果を重視し、初期緊張力を設計アンカー力とほぼ同程度

とすることが多い。一般に、アンカー工はせん断破壊に対する抵抗力は期待できない。特に、引止め機能を重視したアンカーの施工方向はすべり面と低角度で交わるようにして、すべり面方向の引張分力が有効に働くようにしなければならない。

また、水没斜面の土塊が粘性土や崩壊土の場合、受圧版下の土砂が湛水に伴って軟弱化したり、貯水位の下降に伴って細粒分が流出したりして長期にわたって十分な緊張力が地山に伝達されないおそれがある。これに対しては、受圧版の施工にあたり、土砂の吸出し防止効果のある法面工を併用することが望ましい。

アンカーの受圧版の形状の決定にあたっては、アンカーの設計引抜き力、地盤の支持力、間隙水の排除しやすさを考慮に入れて次の点について検討する。

- ① 受圧版の形状の決定にあたっては、基礎地盤の強度、部材への応力集中によるひび割れや破壊に対する検討が必要である。
- ② 貯水位下降時には地すべり土塊中の間隙水をできるだけ速やかに排除するため、スラブ構造のものは避けることが望ましい。
- ③ 施工性から吹付けコンクリートは、強度の不均一性や部材への応力集中などによってひび割れが発生し、十分な効果が発揮できない場合もあるので、場所打ちコンクリート施工が望ましい。

(2) 鋼管杭工

鋼管杭工は、その施工位置や移動土塊の性状によって杭の背面（貯水池側）の地盤反力の評価が異なる。すなわち、鋼管杭工の設計法には、地質・地形・施工位置によって主に下記の3種の方法がある。

- ① たわみ杭（くさび杭）
- ② たわみ杭（抑え杭）
- ③ せん断杭

杭1本あたりの抑止力の決定にあたっては、根入れ部の基礎地盤がせん断応力によって破壊されないように基礎地盤が弾性体として挙動する範囲内で設計しなければならない。杭の根入れ長は、全長の1/3以上ある弾性床土の梁としてChangの式を用いて弾性地盤内で半無限長と限定できるようにすべり面以下のモーメント第1ゼロ点までの深さの1.5倍以上とするのが一般的である。

7. 湛水時の斜面管理

湛水に伴う地すべり等の変動には試験湛水時に発生するものと、ダムの運用時に発生するものがある。前者は貯水池斜面が初めて水没するときの水理環境の大きな変化に対する反応であり、想定外の事象が発生することがある。一方、後者は貯水位が繰り返し変動しているときの貯水位の急激な低下や異常降雨およびこれらに伴う浸食・崩壊などに対する反応である。したがって、地すべり等の巡視・計測は、試験湛水時はもちろん、ダムの運用時においても引き続いて実施しなければならない。

7.1 試験湛水時の斜面管理

7.1.1 目的

試験湛水時の斜面管理は、初期湛水時の貯水池周辺斜面を巡視・計測してその安定性を確認するとともに、変状が生じた場合には適切かつ迅速な対応をとることにより地すべり等の発生を未然に防止することを目的として実施する。

ダム貯水池の試験湛水によって貯水池周辺斜面に変状が生じた場合には、その発生を早期に察知し、適切かつ迅速な対策を講じなければならない。そのためには、入念な斜面管理を行う必要がある。

湛水に伴う地すべり等の変動は試験湛水時に発生するものが過半であり、想定外の事象が発生することがあるため、試験湛水期間中は、対象とする斜面を常に注意深く巡視・計測する必要がある。

7.1.2 対象斜面

試験湛水時の斜面管理における対象斜面を、以下の3つに区分する。

- ① 対策工を施工した斜面
- ② 精査対象であったが対策工を施工していない斜面
- ③ 概査対象であったが精査を実施していない斜面

試験湛水時の斜面管理は、対象とする斜面の対策工の有無、地すべり等の安定性などによって、その内容と方法が異なる。

対策工を施工した斜面は、巡視および計測により斜面の挙動を監視するとともに対策工の効果判定を行う。

精査段階で地すべり等として抽出したが、解析の結果、湛水により不安定化しないと判断して対策工を施工していない斜面、精査段階で地すべり等として抽出したが解析が不要と評価した斜面、概査段階で地すべり等として抽出したが精査を実施していない斜面は、巡視を行うとともに必要に応じて計測を行う（表 7.1 参照）。

重要度が大の保全対象（6.3 参照）周辺の斜面等では、概査、精査時の判定結果にかかわらず巡視を行うとともに必要に応じて計測を行う。また、貯水池周辺斜面全体の安定性を確認するために、その他の斜面についても注意を払うことが望ましい。

表 7.1 管理対象斜面の区分と管理目的

管理対象斜面の区分	管 理 目 的
対策工施工斜面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 斜面の挙動の把握 ・ 対策工の効果、安全性の確認 ・ 安定計算の妥当性の検証
精査対象で未対策斜面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 斜面の挙動の把握 ・ 安定計算の妥当性の検証
概査対象で精査未実施斜面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 斜面の挙動の把握

7.1.3 斜面管理方法

試験湛水時の斜面管理方法は、斜面の挙動を監視することを目的として、巡視および計測とする。

(1) 巡 視

新たな亀裂の発生など、地すべり等の徴候を早期に発見することを目的として、斜面の変状の有無や変状の進行を目視で確認する。変状が発生しやすい地すべりブロックの頭部や側部、過去の地すべり等によって生じた可能性のある道路面・地表面の亀裂や構造物の変位箇所および地すべり等が発生した場合に保全対象に被害が生じると予想される箇所を中心に、巡視ルートを設定する。

変位が生じると予想される位置には必要に応じて計測点（定点）を設置し定期的に巡視時に計測を行う。その他の方法として、巡視船を用いたダム湖上よりの目視観察、ITV カメラ等を用いた映像監視、これらと画像解析監視システムとの併用による監視などがある。

(2) 計 測

(i) 計器の選定

計測を行う計器はその計測目的に応じて表 7.2 を参考にして選定する。地すべり等および地すべりブロックの状況に応じて計器を適切に配置して挙動を計測し、監視する。すなわち、孔内傾斜計等の各計測器の変動量の有無や程度から地すべりブロックの運動状況とその原因を把握する。また、対策工を実施している場合には、地下水位計やアンカー軸力計などによって、設計時に想定した地下水低下高や許容変動量・応力度等の妥当性を確認する。さらに、アンカー軸力計などについては、対策工の効果や対策工構造物自体の機能低下状態・安全性を確認するためにも用いる。

なお、精査対象とした斜面で湛水により不安定化しないと判断し、対策工を施工していない斜面については、必要に応じて地下水位計測を行い、貯水位の下降時の残留地下水位を計測し、監視する。

表 7.2 計測目的と計器の適用性¹⁾

目的 項目		斜面挙動の把握	設計計算の 妥当性の検証	対策工の効果 安全性の確認
目視・巡視による監視		・斜面にルートを設定し、巡視を併用して地表や構造物の新たな亀裂、変形の早期発見に努める。	・設計計算により設定した地下水位低下高や変位量等の妥当性を確認する。	・排水状況の確認 ・杭頭付近の地山状況の確認 ・アンカー法枠の亀裂、変形有無の確認 ・その他対策工の変形の有無等の確認
計測監視	孔内傾斜計	◎		
	パイプ歪計	◎		
	多層移動量計	△		
	光波測量	○		
	水準測量	◎		
	G P S 測量	○		
	地盤伸縮計	◎		
	地盤傾斜計	○		
	クラックゲージ	○		
	ぬき板	△		
	地下水位計	◎	◎	○
	排水量測定	○		○
	杭頭変位測量	○	△	○
	鋼管杭内に埋設した歪計、孔内傾斜計	○	△	○
	深礎工の土圧計、鉄筋計	○	○	○
	アンカー軸力計	◎	◎	◎
	連杭による水準測量	◎	○	◎

◎：特に有効

○：有効

△：場合によっては有効

(ii) 計測方法

計測方法には、手動計測（半自動計測を含む）と自動計測がある。このうち自動計測は、データ収集、解析（変動図の作成）をリアルタイムで実施できることから、地すべり等の前兆となりうる微少な変動の継続的な監視を必要とする場合や、数多くの計器による計測値の相関を総合的に評価する必要がある場合などに用いられる。

自動計測システムは、地盤伸縮計等の観測データを現地観測局より電話回線などによってデータセンター（サーバー）に収録し、インターネットによってそれらデータやグラフ等を閲覧する。現地に WEB カメラシステムを併用設置することによって瞬時に現地状況の確認が可能となる。WEB カメラシステムは、特に運動速度の速く活発な地すべりや重要な保全対象のある場所などに対し、現地の異常の有無を常時監視することが必要な場合に有効である。

(iii) 計測頻度

表 7.3 に、試験湛水時における手動計測の計測頻度の目安を示す。変動の兆候と疑われるような計測値が得られた場合や管理基準値を超過した場合などには、計測頻度を増加させる。斜面の挙動を常時監視する自動計測の場合は、雨量や貯水位などの計測頻度と整合をとることでリアルタイムでの変動の兆候を察知できるようにする。

表 7.3 手動計測の計測頻度の目安¹⁾

(計器 1 台あたり)

期 間		頻 度	備 考
試験湛水前		1 回/1 週	バックデータ（基準値）の入手
試験 湛 水 時	貯 上 水 昇 位 時	1 回/1 日 ～ 1 回/3 日	地すべりブロックに影響のない貯水位範囲内では 1 回/3 日程度
	貯 下 水 降 位 時	2 回/1 日 ～ 1 回/3 日	予備放流計画に基づき貯水位を下降する場合は 2 回/1 日以上
	貯 保 水 持 期 間	1 回/3 日 ～ 1 回/1 週	最低水位付近の低水位で長期間保持する場合は 1 回/1 週間程度
	異 常 時	1 回以上/1 日	地すべり等の変動発生後、動きが鎮静化するまでは 1 回/1 時間程度 降雨強度に応じて計測頻度を設定

(iv) 計測開始時期

計器による計測の開始時期は、湛水前の状況を把握する必要があることから、遅くとも湛水開始の 2 年程度前とする。湛水前から貯水池周辺斜面の計測を行うことにより、湛水後に計測された挙動が試験湛水による地すべり等の変動によるものか否かを判別することができる。

湛水前の計測によって次の点を明らかにしておく必要がある。

- ① 降雨時の累積変動の有無、累積速度、傾動の方向
- ② 地下水位変動と地すべり等の変動の相関
- ③ 年周期変動の有無、季節ごとの傾動方向と累積速度
- ④ 降雨と地下水位変動の相関
- ⑤ その他、安定時の変動の傾向

(v) 計測値の分別・補間

自動計測システム等により得られる時系列の連続データを取り扱う場合、生データに含まれるノイズを取り除き、できる限り真の値に近いデータとして活用することが望ましい。

7.1.4 管理基準値の設定

湛水に伴う地すべり等の計測値に対する管理基準値は、計測値がこれを超過した場合には巡視および計測体制を強化する判断基準として、また、その後、斜面が安定であることを確認した際には巡視および計測体制を通常の体制に移行する判断基準として設定する。管理基準値は、注意体制・警戒体制のように段階的に設定することが一般的である。

管理基準値は、一般に地盤伸縮計、地盤傾斜計を対象に設定し、これらの計器の変動量と斜面の変動

種別の判定 (5.3.2 参照)、既設ダムの管理基準値、事前の計測結果から得られる計測値のばらつきなどを参考に設定する。実際に地すべり等および地すべりブロックが変動した際の計測データがある場合は、その値に対して十分に余裕をもった値を管理基準値として設定する。

なお、地すべりの型分類、変動履歴、地形・地質などに応じた管理基準値を合理的に設定するために、試験湛水時における貯水池周辺斜面の計測データの蓄積に努める必要がある。

近年のダムで採用された試験湛水時の管理基準値の例を表 7.4 に示す。

表 7.4 試験湛水時の管理基準値の例

ダム	体制	地盤伸縮計	地盤傾斜計	孔内傾斜計	アンカー荷重計
A	注意		5 秒/日以上で累積を伴う、または7 日間で35 秒以上	谷側へ1.0mm/日以上で、累積を伴い、地盤傾斜計と連動、または3 日間で3.0mm 以上	
	警戒		ブロック内全ての傾斜計で連続して5 秒/日以上で注意段階を越え、定時観測時に100 秒以上累積した場合	連続して谷側へ1.0mm/日以上で、注意段階を越え、定時観測時に10mm 以上累積し、地盤傾斜計と連動した場合	
B	注意	(垂直伸縮計) 1mm/日以上が同一方向に3 日間連続した場合。	±15 秒/日以上が同一方向に3 日間連続した場合。	0.2mm/日以上が同一方向に3 日間連続した場合。	アンカー体の定着荷重を越えた場合
	警戒	(垂直伸縮計) 1mm/日以上が同一方向に5 日間連続または5 日間の累積が10mm 以上の場合。	±15 秒/日以上が同一方向に5 日間連続または5 日間の累積が150 秒以上の場合。	0.2mm/日以上が同一方向に5 日間連続または5 日間の累積が2mm 以上の場合。	

7.1.5 安定性の評価

試験湛水時の地すべり等の安定性の評価は、地すべりブロック等の巡視および計測の結果に基づいて実施する。

管理基準値は巡視および計測体制を変更する際の判断基準であり、この値を超過してもただちに地すべり等の変動の発生を意味するものではない。管理基準値を上回る値が計測された場合には、計測間隔の短縮や計器の増設を行うとともに、巡視結果や各種計器の計測結果などを総合的に分析して対象とする斜面の安定性や対策工を施工している場合にはその効果を評価する。評価の結果、地すべり等が不安定化する可能性があるとは判定された場合には、対策工の施工、既に対策工を施工している場合には追加施工の検討を行う。

7.1.6 異常時の対応

試験湛水時の巡視や計測計画の策定にあたっては、万一異常事態が発生した場合にも速やかに対応がとれるよう、予め調査、対策工、貯水位操作などの対応方針を立案しておく必要がある。

試験湛水時に管理基準値の超過、変状の発生などの地すべり等の変動の兆候が計測、確認された場合には、関係機関と協議を行い、速やかに入念な調査を行うとともに適切な対策工を施工して被害を未然に防止する必要がある。また、異常の発生に適切かつ迅速に対処するため、関係機関へのスムーズな情報伝達ができる連絡体制を整備しておく必要がある。

(1) 対応の方針

管理基準値を超過した場合の対応と監視体制の移行の例を図 7.1 に示す。

管理基準値を超過するデータが得られた場合には、そのデータの信頼性を十分に吟味したうえで必要な追加調査を実施してその原因を明らかにし、重大な事態が生じないうちに適切な対策工を実施することが必要である。なお、この対策には試験湛水の一時中断も含む。

(2) 緊急調査

緊急時に有効と考えられる調査を以下に挙げる。

- ① 亀裂の有無・進展の確認のための巡視
- ② 地盤伸縮計（応急措置としては移動杭）の設置・観測
- ③ 連杭による水準測量の実施
- ④ 孔内傾斜計、パイプ歪計の設置・観測

①～③の調査は地すべり等の平面的な範囲を確認するための調査、④は地すべりの深さ方向の範囲を確認するための調査である。なお、必要となる対策工の種類、規模については、既往の地すべり調査結果、試験湛水中の計測結果とこれら追加調査の結果を総合的に判断して決定する必要がある。

(3) 地すべりが鎮静化した後の措置

地すべりが鎮静化した後の貯水位操作は、地すべりの挙動を詳細に検討したうえで決定しなければならない。

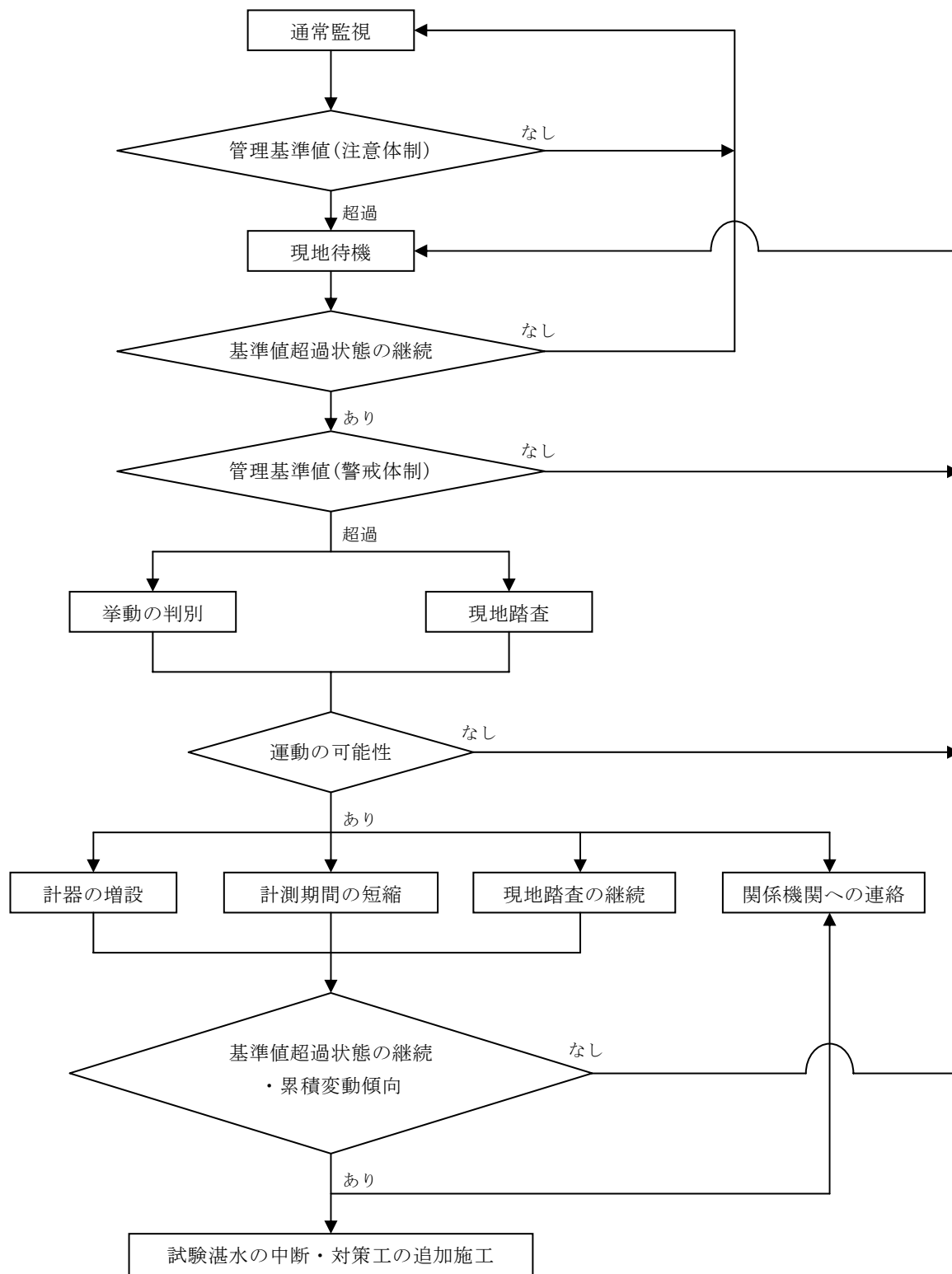


図 7.1 管理基準値を超過した場合の対応と監視体制移行の例

7.2 ダム運用時の斜面管理

7.2.1 目的および斜面管理方法

ダム運用時における斜面管理は、長期的に斜面の安定性を確認することを目的として、巡視および計測並びに地すべり等カルテの更新により実施する。

(1) ダム運用時の巡視および計測

ダム運用時についても、試験湛水時と同様、貯水池周辺斜面を巡視・計測することによりその長期の安定性を確認するために適切な斜面管理を行う必要がある。

ダム運用時に地すべり等の変動の明瞭な兆候が計測された場合（変動 A）には、速やかに必要な対策を講じて被害の発生を防止または軽減する必要がある。緩慢ながらも地すべり性の変動（変動 B）が計測された斜面、潜在的な変動（変動 C）が計測された斜面については、試験湛水時の安定性評価結果、貯水位の変動状況、気象状況（季節）などに応じて巡視や計測の内容を決定する。また、斜面変動の発生初期の傾向が見られる場合には、巡視や計測間隔を短縮するとともに必要に応じて計器を増設して慎重な監視を行う。なお、変動 A、B、C に対応するような斜面の変状が巡視によって観察された場合には、それぞれの変動に準じた対応を行う。

ダム運用時に安定性が確認された斜面については、巡視および計測の頻度低下、休止、中止（計測計器の撤去）を行う。

計器や計測システムは試験湛水に設置していたものを継続して用いる。ダム運用時の計測は、試験湛水時の頻度を踏まえ、斜面の安定性評価、貯水位の操作状況、気象状況（季節）などに応じて計測の頻度を変えることができる。計測システム、特に自動計測システムは経時データを自動的に入手できるため、運用時における斜面管理においては有効な手法であり、試験湛水時に得られた変動傾向や外的要因による周期変動等の特性を考慮した上で、適正な斜面管理を行うことができる。ただし、自動計測計器は概ね 10 年くらいの寿命であると言われており、計測を継続する必要がある場合には、定期的な計測器の点検や不良計器の修復、交換などを行う必要がある。

(2) ダム運用時における地すべり等カルテの更新

地すべり等カルテは、地すべり等の現状における安定性の評価や、万が一、安定性に変化が生じた場合に利用するため、管理段階においても随時更新する必要がある。

地形の変化や変状の有無、計測体制（計器配置・計測頻度等）の変更および管理基準値の改定などの内容は、地すべり等カルテに追記し、斜面管理の履歴を確実に記録する。

7.2.2 ダム運用時の計測

地すべりの挙動把握のためには、ダム運用開始から数年程度の観測期間が必要であるが、その後の斜面監視を含めた観測期間の設定については、変動状況や貯水池の運用に応じて適宜設定することが必要である。

ダム運用時における計測器の選定については、初期の数年間程度においては、ブロックについて数種類の観測計器を適切に配置して観測を行うことを基本とするが、その後は、観測の適正化を図るために、計器の選定を行うことも必要である。

7.2.3 ダム運用時における管理基準値の見直し

ダム運用時の管理基準値は、試験湛水時の管理基準値を参考に設定する。また、ダム運用時の長期にわたる貯水池周辺の斜面管理を適切に行うため、計測データが十分蓄積された段階で斜面の挙動を評価し、管理基準値を見直す。

管理基準値を上回る値が計測された場合には、湛水条件、気象条件などを検討し、管理基準値の超過が地すべり等の変動によるものか、その他の要因（誤差や小動物の接触など）によるものかなどの分析も含めて斜面の安定性の評価を行い、適宜、管理基準値を見直す。

7.2.4 ダム運用時における異常時の対応

運用時に地すべり等の運動の兆候が計測された場合には、試験湛水時の異常時の対応に準ずるものとし、速やかに必要な対策を講じて被害の拡大を未然に防止することが必要である。なお、斜面変動の発生初期の傾向が見られる場合には、計測間隔を短縮して慎重な計測を行うとともに、臨時巡視の実施や必要に応じて計器の増設を行う。

7.3 ダム再開発事業にあたっての留意点

ダム再開発事業は、既存のダムの機能維持・強化などを目的として実施される。近年、より効果的・効率的な社会資本整備が求められ、また、ダム建設に適した地点が少なくなっていることから、新たな河川開発手法としてその実績が増加傾向にある。

ダム再開発事業にあたっては、これらによって変更された貯水池運用が貯水池周辺斜面に与える影響について検討する。地すべり等の安定性が現状の運用水位状況によるものより低下する場合には、本書に準じて調査・解析を行い、必要に応じて適切な調査・解析を追加し、不安定化が想定される地すべり等に対しては所定の安定性を確保するための対策工が必要となる。この際、既設ダムにおける貯水池運用実績、湛水時の地すべり等の挙動、湛水面以下の露岩状況に関する調査・解析結果および既設対策工の効果検証結果などを有効活用する必要がある。

引用・参考文献

- 1) 国土交通省河川局治水課：貯水池周辺の地すべり調査と対策に関する技術指針（案）・同解説，2009.7
- 2) 社団法人日本河川協会：国土交通省河川砂防技術基準 同解説・計画編，2005，山海堂
- 3) 川上浩：分割法における分割細片側面に作用する力の影響，第25回土木学会年次学術講演会講演集，第Ⅲ部，pp.435-436，1970
- 4) 川上浩：分割法における分割細片側面に作用する力の影響，第25回土木学会年次学術講演会講演集，第Ⅲ部，pp.435-436，1970
- 5) 藤原明敏：地すべりの解析と防止対策，理工図書
- 6) 藤田寿雄，板垣 治：地すべり実態統計（その3），土木研究所資料第1204号，建設省土木研究所，1977
- 7) 国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所：地すべり防止技術指針及び同解説，（社）全国治水砂防協会，2008
- 8) 綱木亮介：貯水池周辺の地すべり地における残留間隙水圧の実態と解析事例，ダム工学，Vol.10，No.1，2000
- 9) 貞弘丈佳・平野勇・阪元恵一郎・小池淳子：ダム貯水池周辺地すべりの貯水位変動における残留間隙水圧の実態，ダム工学，Vol.10，No.2，2000
- 10) 貞弘丈佳・平野勇・小池淳子・上原芳久：ダム貯水池周辺地すべりの浸透流解析による残留間隙水圧の検討，ダム工学，Vol.11，No.1，2001
- 11) 江田充志・鈴木将之・藤澤和範・壇上裕司・石井靖雄：貯水池周辺地すべりにおける残留率の要因分析，地すべり学会誌，Vol.43，No.5，2007