

**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**

平成21年7月

国土交通省河川局治水課

目 次

1. 総論	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.....	1-4
2. 概査	2-1
2.1 目的.....	2-1
2.2 概査の手順.....	2-1
2.3 概査内容.....	2-3
2.3.1 資料収集・整理.....	2-3
2.3.2 地形図・空中写真の判読.....	2-5
2.3.3 地すべり地形等予察図の作成.....	2-6
2.3.4 現地踏査.....	2-6
2.3.5 地すべり等カルテの作成.....	2-8
2.3.6 地すべり等分布図の作成.....	2-8
2.4 精査の必要性の評価.....	2-9
3. 精査	3-1
3.1 目的.....	3-1
3.2 精査の手順.....	3-1
3.3 精査計画の立案.....	3-2
3.4 精査内容.....	3-4
3.4.1 地質調査.....	3-4
3.4.2 すべり面調査.....	3-9
3.4.3 地下水調査.....	3-9
3.4.4 移動量調査.....	3-10
3.4.5 土質試験.....	3-11
3.5 解析の必要性の評価.....	3-12
4. 解析	4-1
4.1 目的.....	4-1
4.2 機構解析.....	4-1
4.3 安定解析.....	4-2
4.3.1 安定解析方法.....	4-2
4.3.2 地すべり等の湛水前の安全率.....	4-5
4.3.3 地すべり等の湿潤状態における土塊の単位体積重量.....	4-7
4.3.4 地すべり等の土質強度定数.....	4-7
4.3.5 残留間隙水圧の残留率.....	4-9
4.3.6 貯水位の変化に伴う安全率の評価.....	4-12
4.4 対策工の必要性の評価.....	4-12
5. 対策工の計画	5-1
5.1 目的.....	5-1
5.2 対策工の計画の手順.....	5-1
5.3 計画安全率の設定.....	5-2
5.4 対策工の選定.....	5-3

5.5 必要抑止力の算定	5-4
6. 湛水時の斜面管理	6-1
6.1 試験湛水時の斜面管理	6-1
6.1.1 目的	6-1
6.1.2 対象斜面	6-1
6.1.3 斜面管理方法	6-1
6.1.4 管理基準値の設定	6-4
6.1.5 安定性の評価	6-4
6.1.6 異常時の対応	6-4
6.2 ダム運用時の斜面管理	6-5
6.2.1 目的及び斜面管理方法	6-5
6.2.2 管理基準値の見直し	6-5

引用文献

1. 総論

1.1 目的

本指針（案）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する。

解 説

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、本指針（案）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。

1.2 適用範囲

本指針（案）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に適用する。

解 説

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（2.4節 図 2.3 参照）。

なお、本指針（案）は、ダムの再開発事業についても適用する。

1.3 構成

本指針（案）は、概査、精査、解析、対策工の計画及び湛水時の斜面管理により構成する。

解 説

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。

先ず概査として、広域的に地すべり等の分布を把握し、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及び対策工の計画・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。

精査の終了後、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、ダム本体工事及び地すべり対策工事等が終了した後、試験湛水時及び運用時には湛水時の斜面管理として、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。本指針（案）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。

なお、本指針（案）では、対策工の設計、施工、維持管理については、一般的な地すべり対策の場合と同様であるため触れていない。これらについては、関連指針を参照されたい。

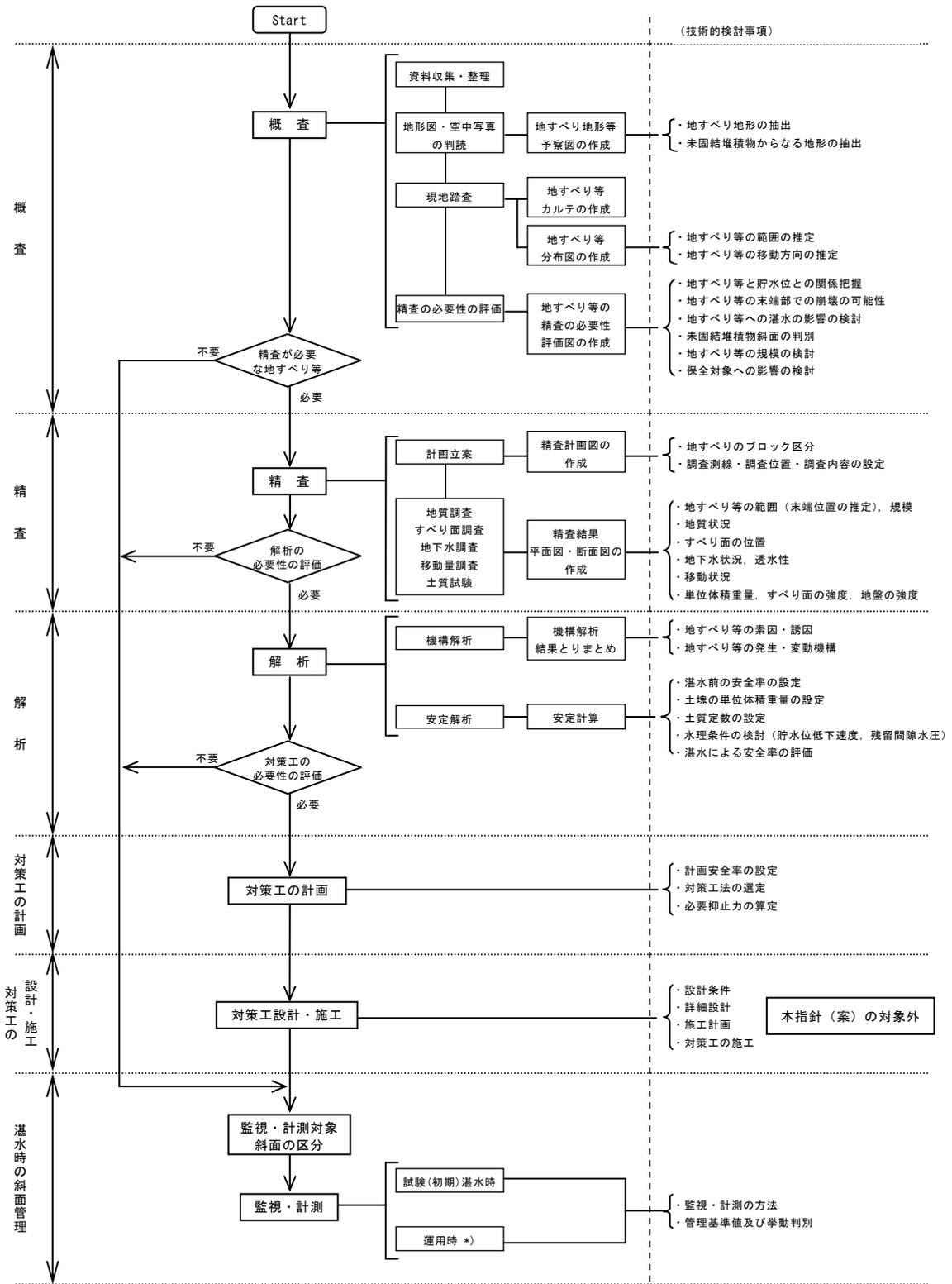


図 1.1 湛水に伴う地すべり等の対応の手順

1.4 用語の定義

本指針（案）で用いる主要な用語の定義は、下記のとおりとする。

(1) 貯水池周辺

湛水の影響の及ぶ範囲。

(2) 地すべり

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及びその現象が発生する場所。

(3) 地すべり等

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現象及びその現象が発生する場所。

(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。

(5) 地すべりブロック

地すべりの発生時に一つの単位として変動する土塊（岩塊）。

(6) 残留間隙水圧

貯水位の急速な下降に追従できず、地すべり等の土塊内に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。

(7) 対策工

地すべり等の安定性を確保することを目的とした工事。

(8) 安全率

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。

(9) 計画安全率

対策工の計画で目標とする安全率。

(10) 基準水面法

貯水位と等しい基準水面を設定して水没部の影響を取り扱う斜面安定計算方法。

解説

(1) 貯水池周辺

本指針（案）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）及び貯水池末端から約1 km 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、概査段階ではダムサイトから約2～3 km 下流までを目安として貯水池周辺に含める。

(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及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。

本指針（案）では、上記の現象のうち、特にダムの貯水、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現象及びその場所を取り扱う。

(参考)

地すべり等防止法では、次のような地すべり関係の用語が使用されている。

第二条 この法律において「地すべり」とは、土地の一部が地下水等に起因してすべる現象又はこれに伴って移動する現象をいう。

第三条 主務大臣は、この法律の目的を達成するため必要があると認めるときは、関係都道府県知事の意見をきいて、地すべり区域（地すべりしている区域又は地すべりするおそれのきわめて大きい区域をいう。以下同じ。）及びこれに隣接する地域のうち地すべり区域の地すべりを助長し、若しくは誘発し、又は助長し、若しくは誘発するおそれのきわめて大きいもの（以下これらを「地すべり地域」と総称する。）であつて、公共の利害に密接な関連を有するものを地すべり防止区域として指定することができる。

(3) 地すべり等

斜面の変動には、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、本指針（案）では前者の現象と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。

(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

貯水位の急速な下降に追従できず、地すべり等の土塊内に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いう。

(7) 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。

(8) 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。

(9) 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。

(10) 基準水面法

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。

2. 概査

2.1 目的

概査は、貯水池周辺の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。

解 説

概査は、ダムサイト下流も含めて広範囲にわたる貯水池周辺の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又は実施計画調査段階で実施する。特に、新第三紀層や変成岩等の分布域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する必要がある。

2.2 概査の手順

概査の手順は、資料収集・整理、地形図・空中写真の判読による地すべり地形等予察図の作成、これに基づく現地踏査、地すべり等カルテ及び地すべり等分布図の作成、精査が必要な地すべり等の抽出の順とする。

解 説

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及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。概査の手順を図 2.1 に示す。

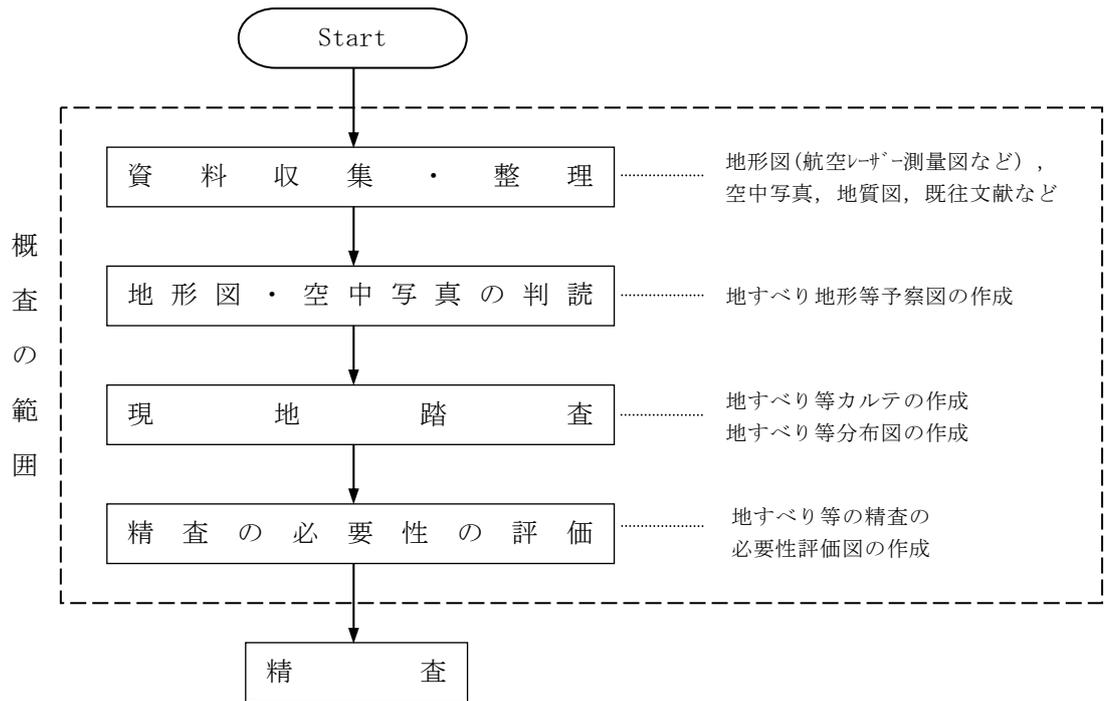


図 2.1 概査の手順

2.3 概査内容

2.3.1 資料収集・整理

地すべり地形等予察図及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、地質図及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。

解 説

地すべり地形等予察図及び地すべり等分布図の作成に必要な以下の資料を収集し、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、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。

(1) 地形図

i) 縮尺 1/25,000

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・地質上の特性や付替道路計画等を考慮し、余裕をもった広い範囲とする (図 2.2 参照)。

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。

(2) 空中写真 (垂直写真)

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

地すべり等の全容を把握し、また地すべり等の発生するおそれの大きな地域まで検討できるように、縮尺 1/2,500 の地形図と同じ範囲とする (図 2.2 参照)。

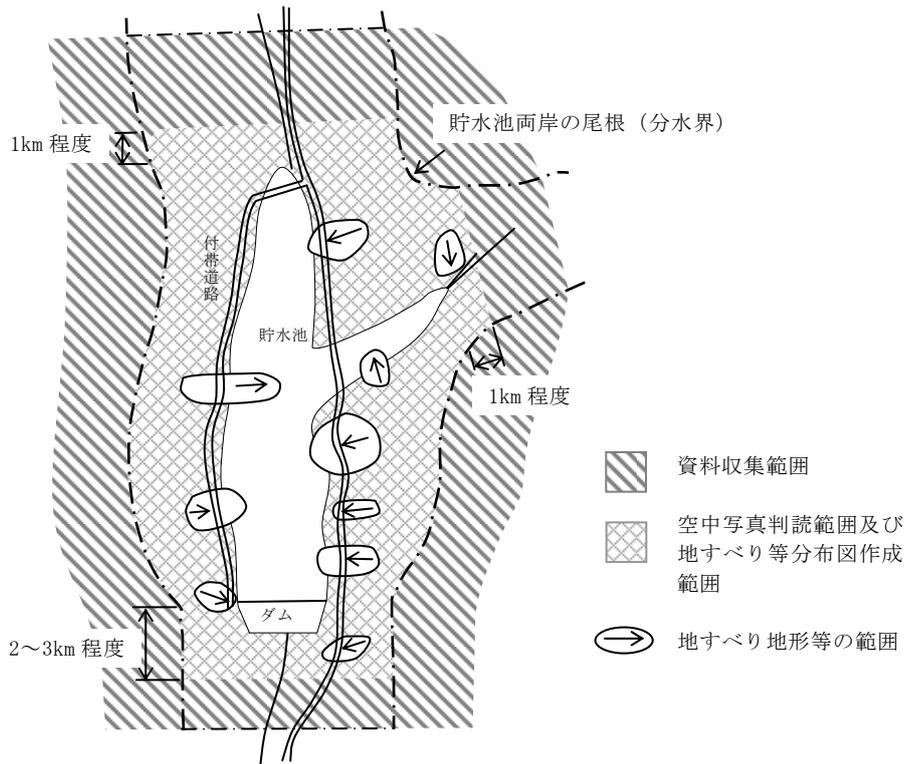


図 2.2 資料収集範囲及び空中写真判読範囲

(3) 地質図

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

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。

- 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又は作成する。

(4) 地すべり等に関する既往文献

- 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）

2.3.2 地形図・空中写真の判読

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。

解 説

(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、断面形状及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（断層・破碎帯など）
- ⑥ 植生の状況

*地すべり頭部の移動物質などに応じて大きく4形態（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）に分類したもの¹⁾。

(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2～3kmから貯水池周辺及び貯水池上流約1kmまでとする（図2.2参照）。ただし、資料収集で対象地域に地すべり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、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で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。

2.3.3 地すべり地形等予察図の作成

地すべり地形等予察図は、地すべり地形等の抽出結果を基に作成する。

解 説

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。なお、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。

また、地すべり地形等予察図にダムサイト、貯水線、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。

2.3.4 現地踏査

現地踏査は、地すべり等の分布及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実施する。

解 説

(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、及び断面形状
- ② 地すべり等及びその周辺の地質、地質構造、及び地下水状況
- 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（2.3.1項）で収集した地質図や既存の貯水池地質図及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。

(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

(3) 項目

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、遷緩線及び段差地形などについて対岸から観察する。この際、地すべり等の位置及び範囲、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

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) 地すべり等の地質性状の確認

地すべり土塊（岩塊）や未固結堆積物等の分布及び礫（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) 地質構造の確認と推定

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，褶曲及び断層・破碎帯などの地質構造を確認又は推定する。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。

d) 湧水，湿地等の確認

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。

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，崩壊地及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・目地の開き及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。

2.3.5 地すべり等カルテの作成

地すべり等カルテは，地すべり等に関する調査結果をダム事業の各段階で活用することを目的として作成し，概査段階からダム事業及び調査の進捗に応じて随時，更新する。

解 説

現地踏査が終了した時点で，各々の地すべり等及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。

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）及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・施工及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基に随時，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。

2.3.6 地すべり等分布図の作成

地すべり等分布図は，地すべり地形等予察図を基に実施した現地踏査及び空中写真等の再判読の結果等に基づき作成する。

解 説

地すべり地形等予察図を基に実施した現地踏査等で明らかとなった地形，地質，地すべり等の特性及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及び未固結堆積物等の範囲，保全対象及び貯水線を明示し，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。

2.4 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基に，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。

解説

精査の必要性の評価は，図 2.3 の手順に従って進める。

なお，湛水の影響を受けない地すべり等は本指針（案）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，本指針（案）によらず別途検討する。

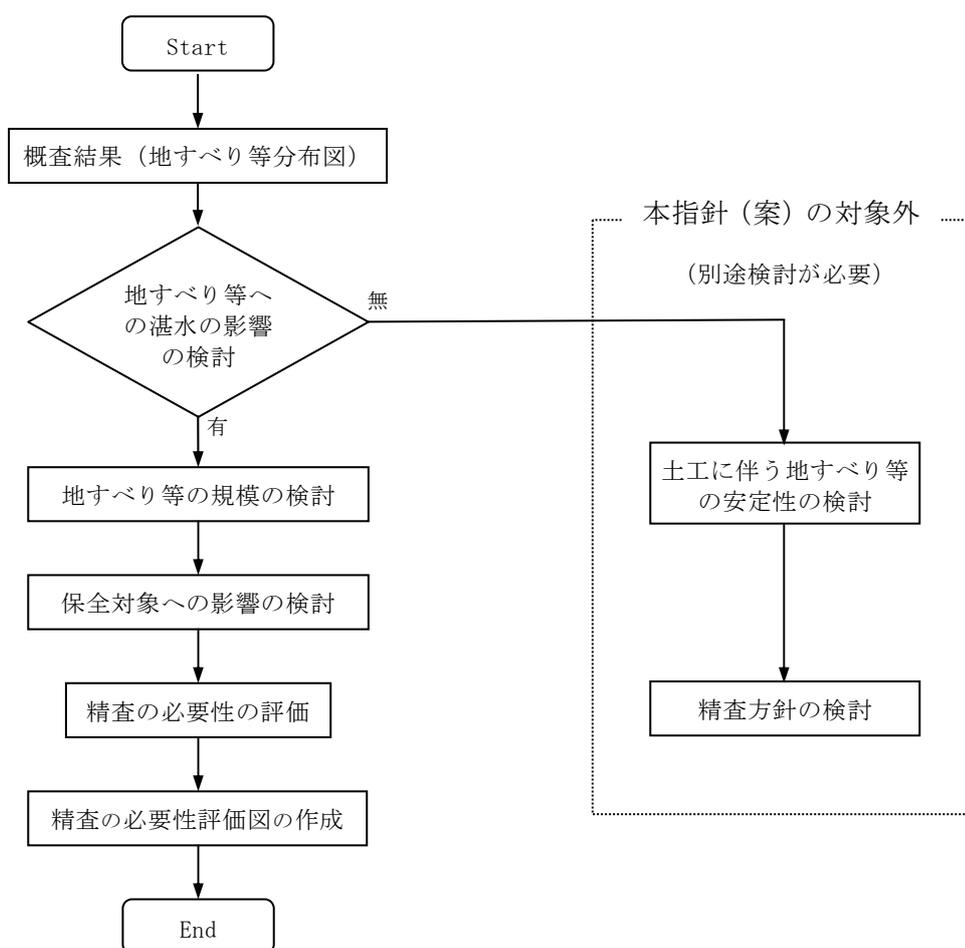


図 2.3 精査の必要性の評価の手順

(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への湛水の影響は、堆積物の運搬形態により異なる。例えば、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) 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。

表 2.1 地すべり等の規模の区分の目安

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、主に堤体、管理所、通信施設、取水設備、放流設備（副ダム、減勢工を含む）及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、流木処理施設及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、流木処理施設及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

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」及び「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 2.2 に示す。

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。

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

表 2.2 湛水に伴う地すべり等の精査の必要性の目安

保全対象		地すべり等の規模			
		超大	大	中	小
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	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
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	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。

3. 精査

3.1 目的

精査は、地すべり等の機構解析、安定解析、対策工の必要性の評価及び対策工の計画などの資料を得ることを目的として実施する。

解 説

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及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及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・施工及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。

3.2 精査の手順

精査の手順は、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、移動量調査及び土質試験）、解析の必要性の評価の順とする。

解 説

(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、地すべり等及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。

(2) 精査の実施

次に、地質調査、すべり面調査、地下水調査、移動量調査及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。

図 3.1 に精査の手順を示す。

(3) 解析の必要性の評価

主に地質調査及びすべり面調査の結果、得られた地すべり等の位置及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。

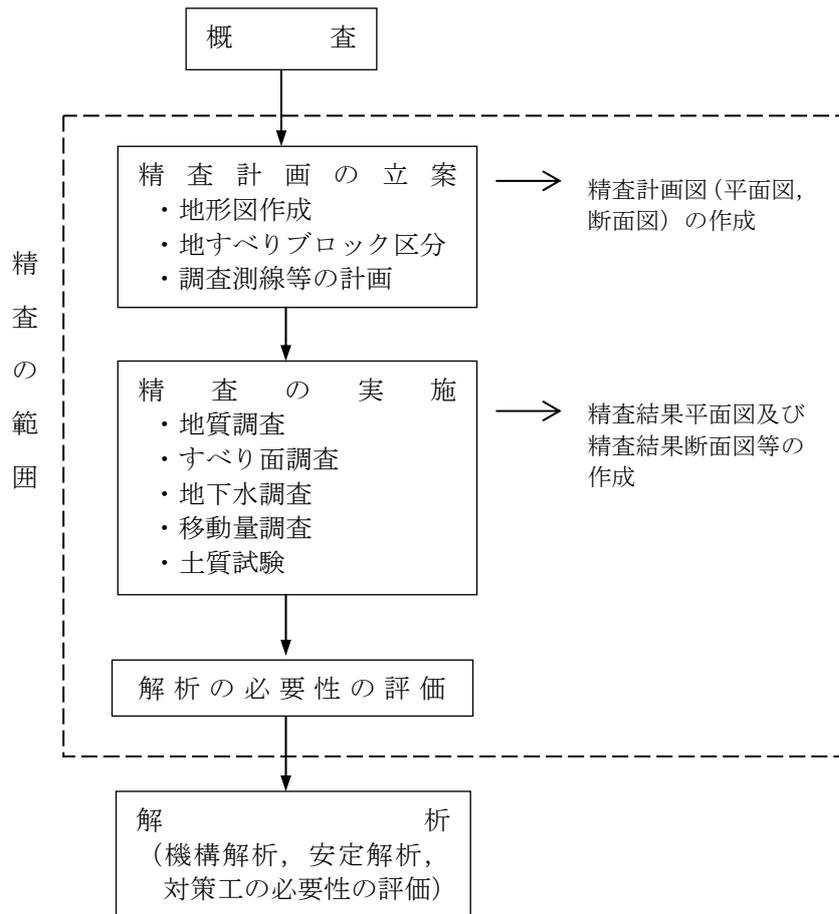


図 3.1 精査の手順

3.3 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。

解説

(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 3.1 に示す。

表 3.1 地形図の縮尺の目安

地すべり等の規模（幅）	縮尺	等高線間隔
100m 以内	1/200～1/500	1m
100～200m	1/500	
200m 以上	全体 1/1,000（部分 1/500）	

(2) 地すべりブロック区分

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ー測量図、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及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。

(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 3.2）を設定する。また、設定された測線上で、3.4 節を参考にボーリング等の調査位置及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及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及び方向に設定しなければならない。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、慎重にこれを定めなければならない。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及び平面形・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、安定解析及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。

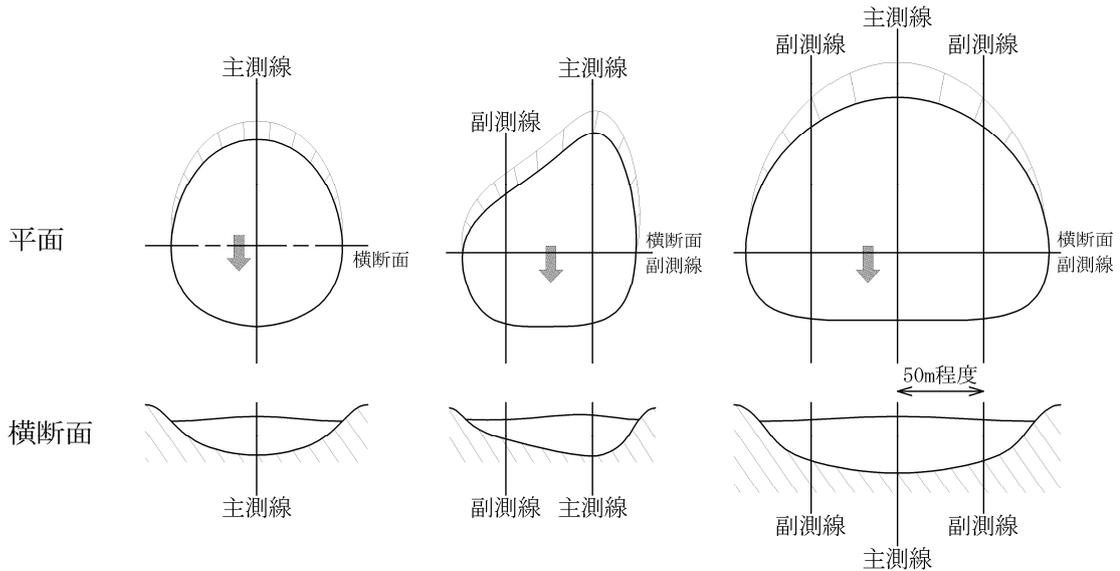


図 3.2 平面・横断面における主測線・副測線の位置

(4) 精査計画図の作成

精査計画をとりまとめ、精査計画図（平面図及び断面図）を作成する。

3.4 精査内容

精査内容は、地質調査、すべり面調査、地下水調査、移動量調査及び土質試験を目的に応じて適切に組み合わせたものとする。

解 説

精査は、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効果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及び代替地などの建設に伴う地質情報も参考にする。

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、補足調査を行う。

3.4.1 地質調査

地質調査は、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ことを目的として、概査までに得られた地形状況及び地質状況などにに基づき適切かつ効果的に実施する。

解 説

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状況及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）及び地すべりの地形・地質的素因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。これらの仮説は調査の進展とともに随時見直し、より正確なものにし、すべり面調査以降の工程の適切な判断ができるようにすることが肝要であり、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留意点を参考にする。たとえば、図 3.3 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）層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、それらがすべり面となった岩盤すべりが仮説として想定される。この岩盤すべりの場合、椅子型のすべり面形状が次の仮説として想定されるが、この仮説に関して頭部のすべり面の位置（図の①の節理系であるのか、②の節理系であるのか）を把握することが留意点である。したがって、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。

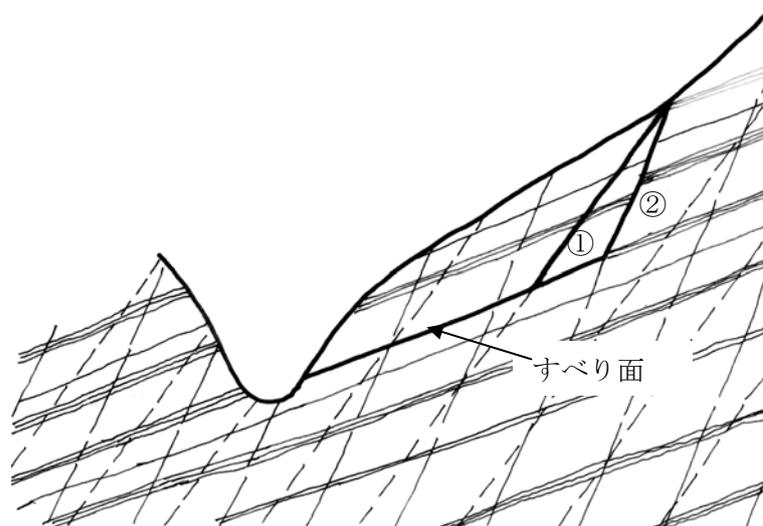


図 3.3 流れ盤構造において想定される岩盤すべりのすべり面形状

(1) 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、その後の工程の適切な判断が可能となることを目的として実施する。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、露岩状況及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本以上及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 3.4) 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な場合等には、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 3.5)。

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。

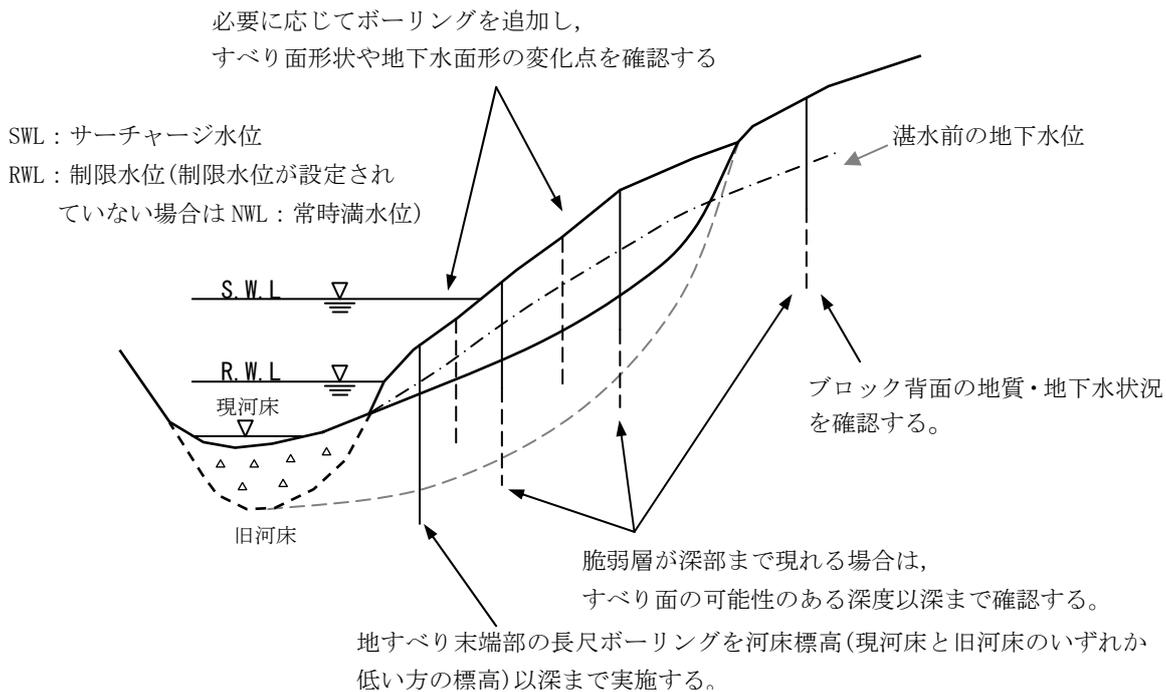


図 3.4 ボーリング配置の例

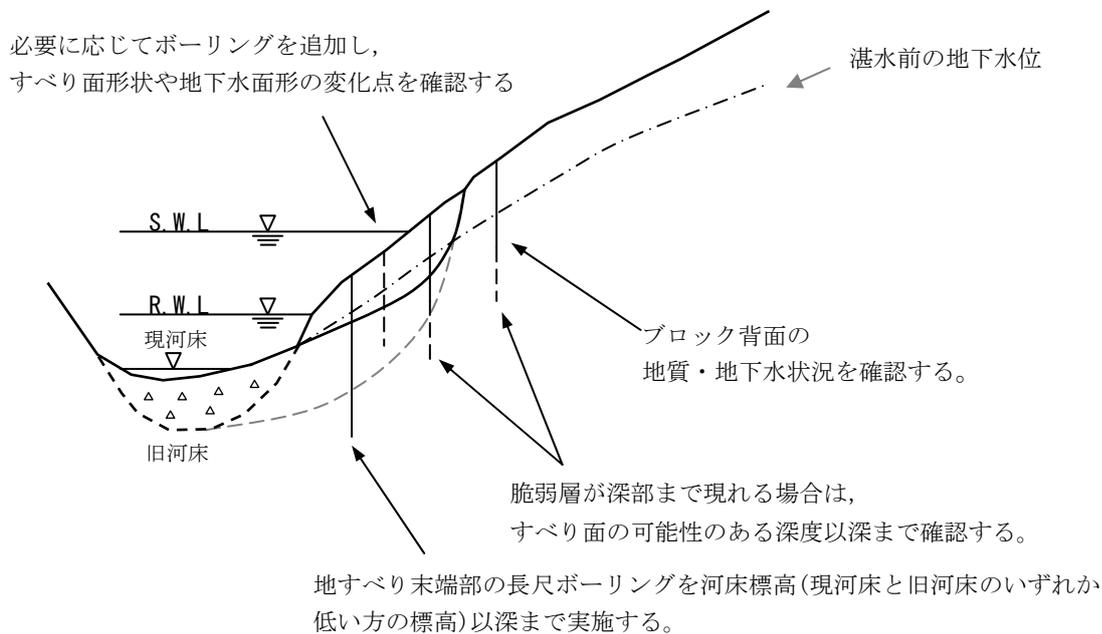


図 3.5 ボーリング配置の例 (地すべりブロックが小さい場合)

iii) ボーリングの深度

ボーリングの深度は、不動領域のうち新鮮な岩盤を確認するのに十分な長さとする。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。

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 又は 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。

(3) 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や電気探査などの物理探査を補助的に用いる。

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、ボーリング調査等の結果と併せて整理・解析する。

(4) 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。

(5) 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。

3.4.2 すべり面調査

すべり面調査は、すべり面の位置、連続性及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。

解 説

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を行うため、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。

(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・粘土又はスリッケンサイドの有無等）に着目して行う。なお、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（頭部又は末端部など）及びコア採取技術等に影響されるため、すべり面の推定にあたってはこれらに留意する。

(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、変動方向及び変動量と降雨・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、変動時期及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、パイプ歪計及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及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望ましい。

3.4.3 地下水調査

地下水調査は、地すべり等の土塊内の地下水位を把握することを目的として、原則としてボーリング孔を用いた自記水位計、間隙水圧計等による連続計測により実施する。

解 説

地下水調査は、地すべり等の土塊内の定常状態や降雨及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。主にボーリング孔を利用した孔内水位計測を行い、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。

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。

地下水調査の目的とそれに応じた調査方法を表 3.2 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 3.2 地下水調査の目的と調査方法

目的	調査方法	備考
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。

3.4.4 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及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。

解 説

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，地下水位及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(4.3.2項，6.1.3項を参照)

- ① 亀裂や段差の変動量と変動の向き（引張又は圧縮）の計測
- ② 亀裂や段差の変動量と降雨量，地下水変動量及び貯水位変動量等との時系列比較

(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，地下水位及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(4.3.2項，6.1.3項を参照)

- ① 地盤傾斜量，傾斜方向の計測
- ② 地盤傾斜量と降雨量，地下水変動量及び貯水位変動量等との時系列比較

3.4.5 土質試験

土質試験は，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，すべり面の土質強度定数及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，室内試験又は原位置試験により実施する。

解 説

土質試験は，単位体積重量を把握するための試験，すべり面の土質強度定数を把握するための試験，及び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からなる。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。

(1) 単位体積重量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，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。

(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。

(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，鋼管杭工及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。

3.5 解析の必要性の評価

解析の必要性の評価は、精査の結果、得られた地すべり等の位置及び規模、保全対象との関係を考慮して実施する。

解 説

地質調査及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及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（4章）は不要である。

- ① 地すべり等の末端部の位置から湛水の影響がないと判断される場合（2.4節参照）
- ② その他の貯水池周辺斜面（2.4節参照）で、地すべり等の規模が小さい（表2.1参照）
場合

4. 解析

4.1 目的

解析は、地すべり等の発生・変動機構を明らかにするとともに、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ことを目的として実施する。

解 説

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、安定解析の結果を基にした対策工の必要性の検討からなる。

機構解析では、概査及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。

4.2 機構解析

機構解析は、地すべり等の発生の素因及び誘因を分析し、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。

解 説

(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。

(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、河川の浸食及び湛水がある。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 地すべりブロックの水没による間隙水圧の増加
- ② 貯水位の急速な下降による残留間隙水圧の発生
- ③ 水没による地すべりブロック内の地下水水位の上昇
- ④ 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）及びすべり面の形状（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）及び地質性状（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。

(4) 機構解析結果のとりまとめ

機構解析の結果は、各々の地すべり等又は地すべりブロックについて平面図及び断面図などにとりまとめる。平面図及び断面図には、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）の走向・傾斜
- ③ 断層，破砕帯の位置
- ④ 崩積土の分布
- 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

4.3 安定解析

4.3.1 安定解析方法

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。

解 説

(1) 解析条件

安定解析にあたっては、表 4.1 の解析条件を設定する。

表 4.1 安定解析条件と内容

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又は湛水前の安全率 (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事例又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 4.2 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。

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 4.1 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。

表 4.2 貯水池周辺の地すべり等の安定解析手法

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 (4.1) によって行う。

$$F_s = \frac{\sum(N-U) \cdot \tan \phi' + c' \sum L}{\sum T} \dots\dots\dots (4.1)$$

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)

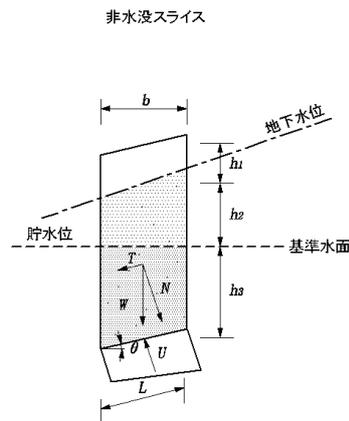
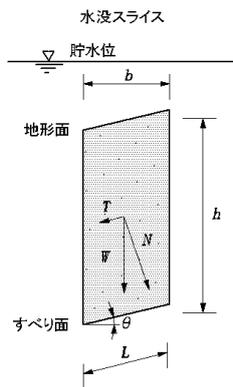
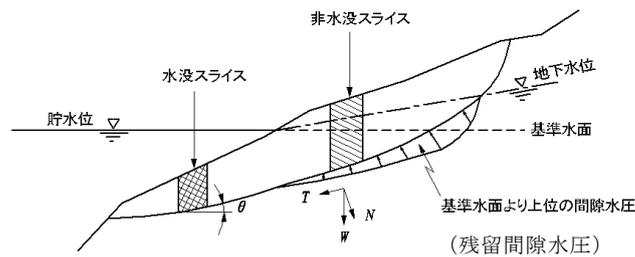
T : 各スライスに作用する単位幅あたりのすべり面接線方向分力 (kN/m)

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 /m²)



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

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

- γ_w : 水の単位体積重量
- γ_t : 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)
- b : スライスの幅
- U : 基準水面より上の間隙水圧

図 4.1 基準水面法の考え方

(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。

4.3.2 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は、計測結果及び変状の有無・状態、又は3.4.5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。

解 説

(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4.3に、地盤伸縮計及び地盤傾斜計による変動種別の判定を表4.4及び表4.5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。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4.2参照）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。

(3) 土質強度定数に基づく湛水前の安全率の設定

3.4.5項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(4.3.1項参照)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決定する。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(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 4.3 変動状況の区分と安全率の目安

地すべり等の変状	計測調査による変動種別*	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(変動C未 満)が、累積性が認められ地すべり による変動の可能性が高い。	$F_{S_0}=1.00$
3) 変動の徴候は認められない	変動D	$F_{S_0}=1.05$

*) 表 4.4, 表 4.5 による。

表 4.4 地盤伸縮計による変動種別の判定(藤原³⁾より作成)

変動種別	日変位量 (mm/日)	月変位量 (mm/月)	一定方向(引張り又は 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	10以下	やや顕著
	0.1以上	2以上	
変動C	0.1未満	2.0未満	ややあり
	0.02以上	0.5以上	
変動D	0.1以上	なし (断続変動)	なし

表 4.5 地盤傾斜計による変動種別の判定

変動種別	日変動値 (秒/日)	月変動値 (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	100以下	やや顕著	あり
	1以上	30以上		
変動C	1未満	30未満	ややあり	あり
変動D	—	—	なし	なし

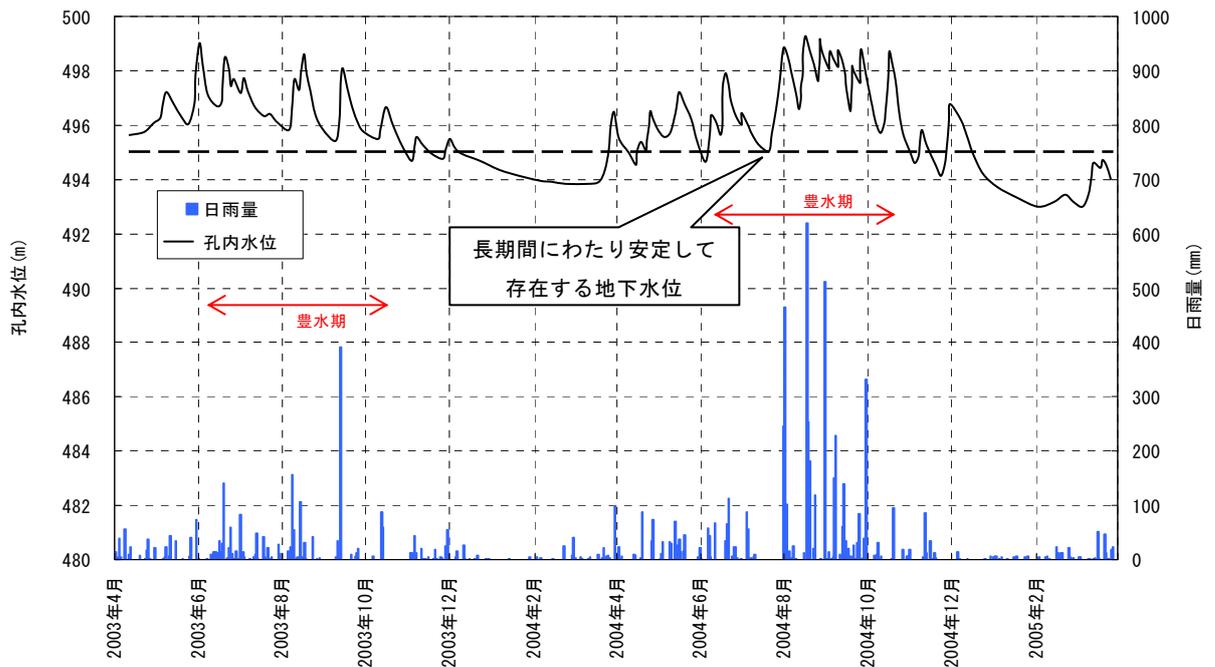


図 4.2 長期間にわたり安定して存在する地下水位の例

4.3.3 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、構成材料を考慮して、事例や試験値に基づき設定する。

解説

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。

4.3.4 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、3.4.5項の土質試験によって得られた値や4.3.2項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。

解 説

(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 4.4 に示すような $c'-\tan \phi'$ 図が得られる。そこで表 4.6 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と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。

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 4.6 地すべりの最大鉛直層厚と粘着力²⁾

地すべりの最大鉛直層厚 (m) (図 4.3 を参照)	粘着力 c' (kN/m^2)
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25

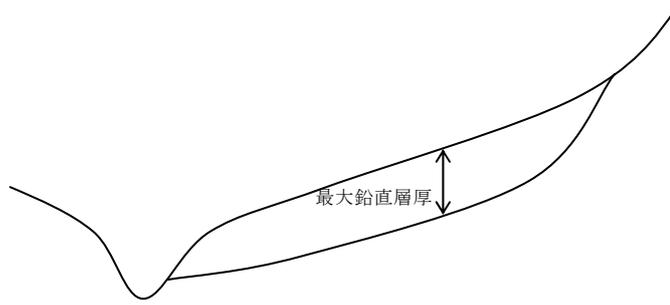


図 4.3 地すべりの最大鉛直層厚の例

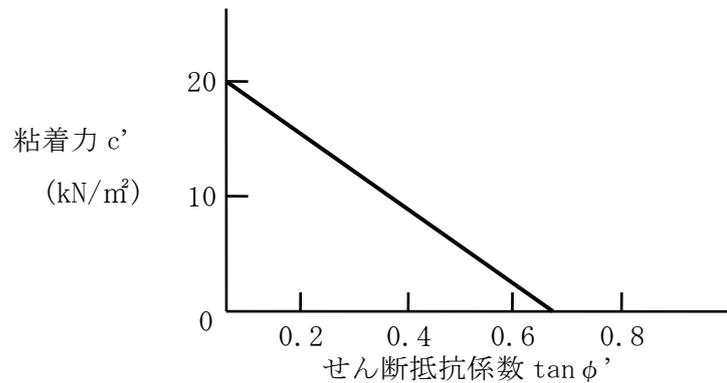


図 4.4 $c' - \tan \phi'$ 図の例

(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。

4.3.5 残留間隙水圧の残留率

湛水時に予測される地すべり等の土塊に作用する残留間隙水圧の残留率は、地すべり等の地形、地質、地下水位、貯水位操作、対策工の種類などに応じて適切に設定する。

解 説

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。

従来、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及び貯水位下降速度等の水理地質条件によって異なる⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。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 4.5、崖錐等の未固結堆積物からなる斜面の場合は、図 4.6 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ことが明らかになってきている。

- 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
- 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、対策工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。

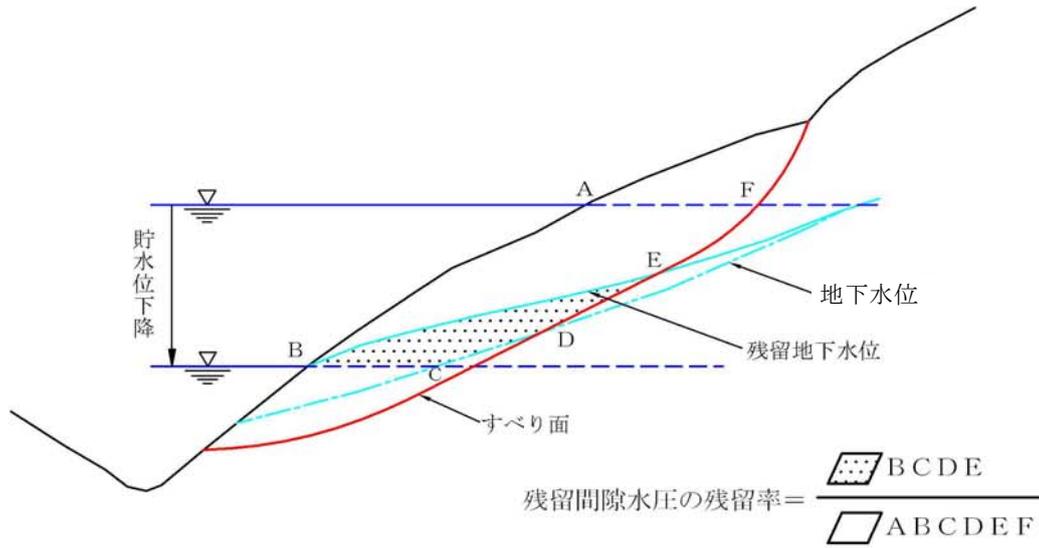


図 4.5 地すべりにおける残留間隙水圧の残留率の算定

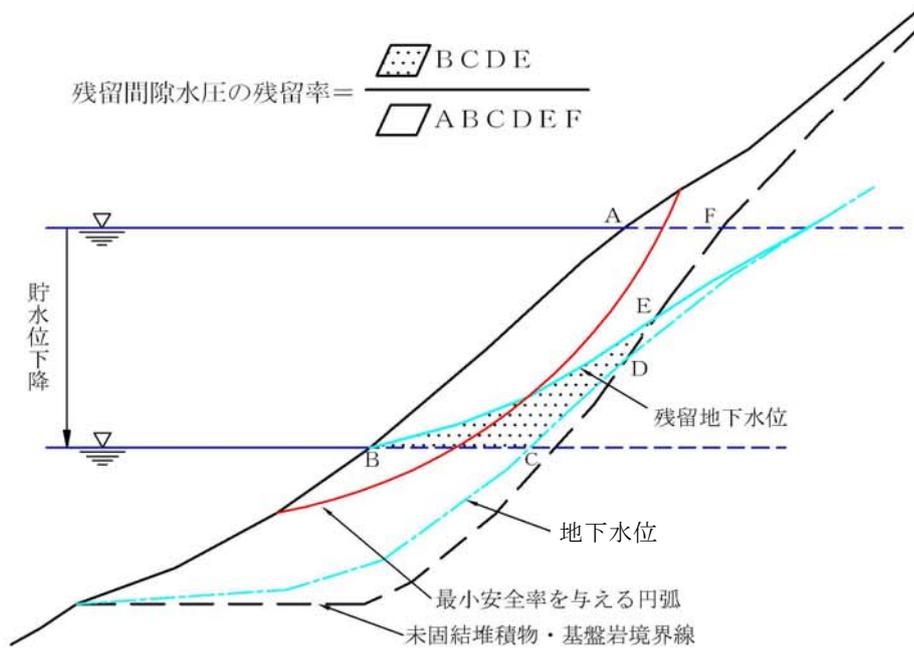


図 4.6 未固結堆積物からなる斜面における残留間隙水圧の残留率の算定

4.3.6 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。

解 説

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、通常サーチャージ水位 (SWL) から制限水位 (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、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。

4.4 対策工の必要性の評価

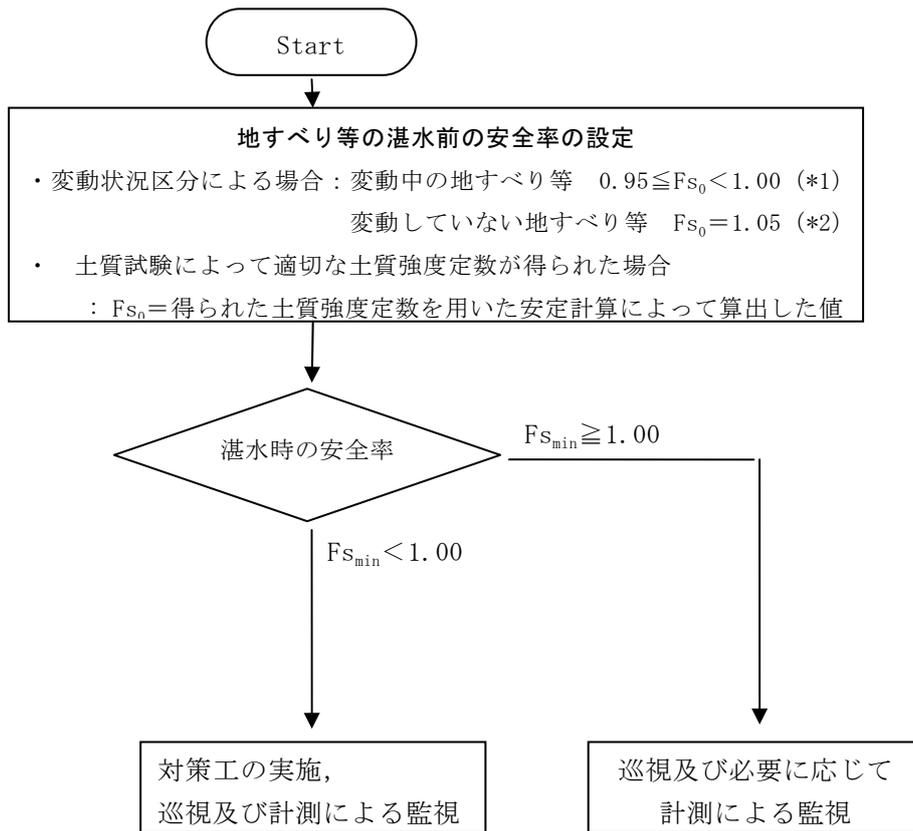
対策工の必要性の評価は、湛水後に通常想定される貯水位操作時の最小安全率に基づいて実施する。

解 説

対策工の必要性は、原則として二次元安定解析によ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 4.7 参照)。

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 4.7 参照)。



- *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 4.7 対策工の必要性の評価手順

5. 対策工の計画

5.1 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又は軽減を図ることを目的として立案する。

解 説

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。

5.2 対策工の計画の手順

対策工の計画の手順は、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。

解 説

対策工の計画の手順は図 5.1 に示すとおりである。この図には、対策工の計画の後に実施する詳細設計、施工、斜面管理も含めて記載しているが、本指針（案）では述べない。

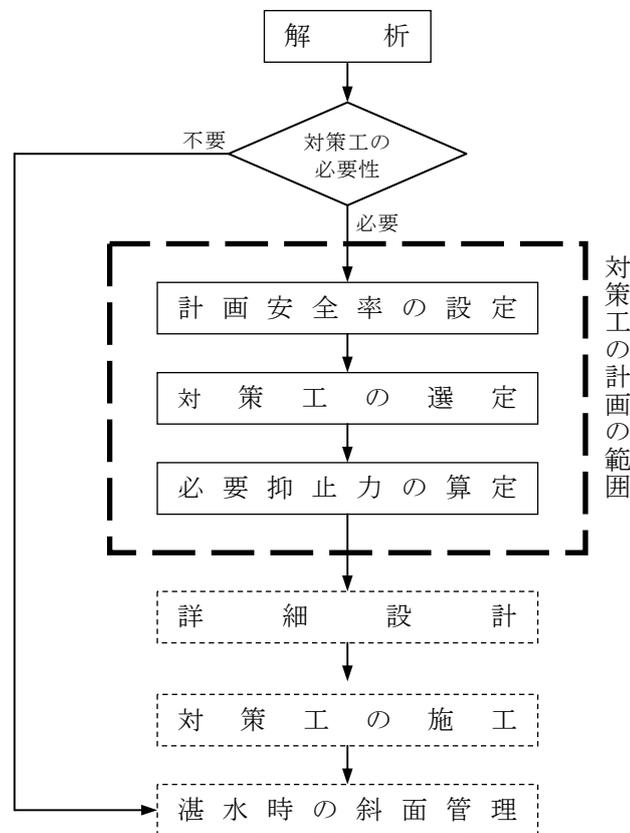


図 5.1 対策工の計画の手順

(1) 計画安全率の設定

計画安全率(P.Fs)は、対策工の規模を決定するための所要安全性の程度目標値であり、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。

(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又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。

5.3 計画安全率の設定

計画安全率は、保全対象の種類に応じた重要度により設定する。

解 説

(1) 保全対象の種類に応じた重要度

保全対象の重要度は、保全施設の種類及び保全する斜面に応じて決定し、目安として「大」、「中」、「小」に三区別する。

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(2.4節参照)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(2.4節参照)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又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、流木処理施設及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、保全対象の種類及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 5.1 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 5.1 対策工の計画安全率と保全対象の重要度一覧

保全対象		重要度	計画安全率				備 考
種類と具体例			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		■			
その他の貯水池周辺斜面			■				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。

5.4 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、貯水位と地すべり等の位置関係及び各々の対策工の特徴を考慮して選定する。

解 説

(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又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 5.2 に示す。

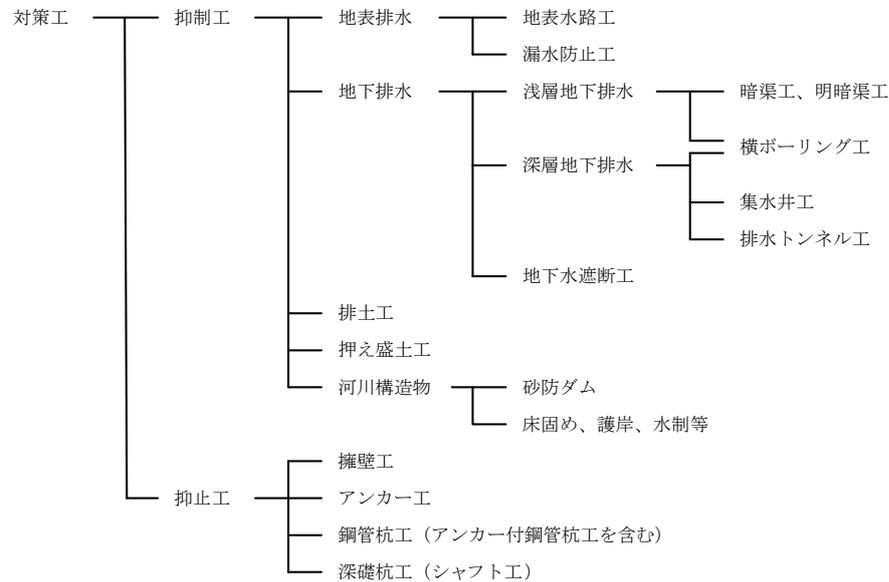


図 5.2 対策工の分類

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、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。

5.5 必要抑止力の算定

対策工の必要抑止力は、計画安全率を満足するように算定する。

解 説

必要抑止力は基準水面法を用いて式 (5.1) によって計算する。

$$P.Fs \leq \frac{\sum (N-U) \cdot \tan \phi' + c' \sum L + P}{\sum T} \dots\dots\dots (5.1)$$

ここに、

P.Fs : 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 (°)

c' : すべり面の粘着力 (kN /m²)

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 (5.1) 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、4.3.4 項で述べた方法によって設定した値を用いる。

6. 湛水時の斜面管理

6.1 試験湛水時の斜面管理

6.1.1 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。

解説

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大半であり、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。

6.1.2 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

解説

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、巡視及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。

重要度が大きい保全対象(5.3節参照)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。

6.1.3 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、巡視及び計測とする。

解 説

(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及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。

(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 6.1 を参考にして選定する。地すべり等及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。

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 6.1 計測目的と計器の適用性

目的 項目		斜面挙動の把握	安定計算の 妥当性の検証	対策工の効果 安全性の確認
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。		・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
計器とその適用性	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	◎	◎	◎	

◎：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小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。

iii) 計測頻度

表 6.2 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 6.2 手動計測の計測頻度の目安

(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 水 位 上 昇 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 水 位 下 降 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 水 位 保 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

6.1.4 管理基準値の設定

試験湛水時の管理基準値は、巡視及び計測体制の強化又は通常体制への移行の判断基準とすることを目的として設定する。

解 説

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及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及び計測体制を通常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（4.3.2項参照）、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。実際に地すべり等及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。

6.1.5 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及び計測の結果に基づいて実施する。

解 説

管理基準値は巡視及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。

6.1.6 異常時の対応

試験湛水時に地すべり等の変動の兆候が計測又は確認された場合には、被害を防止又は軽減するために、速やかに対応する。

解 説

試験湛水時に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所要の対策工を施工して被害を未然に防止

する必要がある。異常事態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予め整備しておく必要がある。

試験湛水前の巡視、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。

6.2 ダム運用時の斜面管理

6.2.1 目的及び斜面管理方法

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、巡視及び計測並びに地すべり等カルテの更新により実施する。

解 説

(1) 巡視及び計測

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又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、巡視及び計測の頻度低下、休止、中止（計測計器の撤去）を行う。

(2) 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）の変更及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。

6.2.2 管理基準値の見直し

ダム運用時の管理基準値の見直しは、長期にわたる貯水池周辺の斜面管理を適切に行うことを目的として、巡視及び計測に基づく斜面の安定性の評価結果を踏まえて随時、実施する。

解 説

ダム運用時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。

引用文献

- 1) 渡 正亮：地すべり地の概査と調査の考え方，土木研究所資料，第 1003 号，建設省土木研究所，1975
- 2) 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
- 3) 藤原明敏：地すべりの解析と防止対策，理工図書
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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における残留率の要因分析，地すべり学会誌，Vol. 43，No. 5，2007