

治山技術基準解説目次

第4編 地すべり防止事業

第1章 事業の定義及び目的	1
第2章 地すべり調査解析	5
第1節 総説	5
第2節 予備調査	5
2-1 総説	5
2-2 調査の種類	6
2-3 取りまとめ	6
第3節 現地踏査	6
3-1 総説	6
3-2 踏査	6
3-3 取りまとめ	8
第4節 地形測量	8
4-1 総説	8
4-2 地上測量	8
4-3 航空レーザ測量	9
4-4 取りまとめ	9
第5節 土質・地質調査	9
5-1 総説	9
5-2 物理探査	10
5-2-1 総説	10
5-2-2 弾性波探査	11
5-2-3 電気探査	14
5-3 ボーリング調査	15
5-3-1 総説	15
5-3-2 ボーリングの位置、深度等	19
5-4 サウンディング調査	20
5-4-1 総説	20
5-4-2 標準貫入試験	20
5-5 土質・岩石試験	21
5-5-1 総説	21
5-5-2 資料の採取	23
5-6 試掘観察調査	24
5-7 取りまとめ	24
第6節 地下水調査	25
6-1 総説	25

6-2	地下水位調査	26
6-3	間隙水圧調査	26
6-4	地下水検層	27
6-5	地下水追跡調査	28
6-6	簡易揚水試験	29
6-7	揚水試験	30
6-8	水質調査	32
6-9	地下水流出量調査	32
6-10	取りまとめ	33
第7節	地表移動量調査	33
7-1	総説	33
7-2	標識観測	33
7-3	地表伸縮計	34
7-4	地盤傾斜計	34
7-5	取りまとめ	35
第8節	地中変動量調査	35
8-1	総説	35
8-2	パイプひずみ計	36
8-3	孔内傾斜計	36
8-4	地中伸縮計	36
8-5	多層移動量計	36
8-6	取りまとめ	37
第9節	気象調査	37
9-1	総説	37
9-2	降水量調査	37
9-3	積雪量調査	37
9-4	取りまとめ	38
第10節	機構解析	38
10-1	総説	38
10-2	測線の設定	39
10-2-1	総説	39
10-2-2	測線の設定	39
10-3	すべり面の判定	39
10-4	地すべりブロック区分の確定	40
10-5	地すべり発生機構の解明	40
10-6	安定解析	41
10-6-1	総説	41
10-6-2	安定解析の方法及び種類	41
10-6-3	強度定数の設定	48
10-6-4	間隙水圧の設定	49
10-7	取りまとめ	51

第3章 地すべり防止工事計画	52
第1節 計画の基本理念	52
第2節 計画規模	52
第3節 地すべり防止工事計画の策定	53
3-1 地すべり防止工事計画の具体的方針	53
3-2 環境の保全	55
第4節 地すべり防止工の種類	55
4-1 総説	55
4-2 工種の選定及び組合せ	56
第4章 地すべり防止工の設計	58
第1節 総説	58
第2節 測量	58
2-1 測量の範囲	58
2-2 測量の種類	59
2-2-1 平面測量	59
2-2-2 縦断測量	59
2-2-3 横断測量	59
第3節 抑制工の設計	59
3-1 総説	59
3-2 浸透防止工	60
3-2-1 目的	60
3-2-2 位置	60
3-2-3 種別と構造	60
3-3 水路工	61
3-3-1 目的	61
3-3-2 位置	61
3-3-3 種別と構造	62
3-4 流路工	62
3-4-1 目的	62
3-4-2 位置	62
3-4-3 種別と構造	63
3-5 暗きょ工	63
3-5-1 目的	63
3-5-2 位置	64
3-5-3 種別と構造	65
3-6 ボーリング暗きょ工	65
3-6-1 目的	65
3-6-2 位置、本数、方向、延長及び勾配	65
3-6-3 構造	66
3-6-4 効果の算定	67

3-7	集水井工	70
3-7-1	目的	70
3-7-2	位置	71
3-7-3	配置	71
3-7-4	種別	72
3-7-5	径及び深さ	72
3-7-6	構造	73
3-7-7	安定性の検討	73
3-7-8	集水ボーリング	79
3-7-9	排水ボーリング	79
3-7-10	効果の算定	81
3-8	排水トンネル工	81
3-8-1	目的	81
3-8-2	位置	82
3-8-3	断面	82
3-8-4	勾配	82
3-8-5	支保・覆工	82
3-8-6	構造	83
3-8-7	坑口部	83
3-8-8	集水ボーリング	83
3-8-9	効果の算定	84
3-9	排土工	84
3-9-1	目的	84
3-9-2	位置	85
3-9-3	排土区域及び排土深	85
3-9-4	切土のり面の形状	85
3-9-5	切土のり面の保護	85
3-9-6	切土の処理	86
3-10	押え盛土工	86
3-10-1	目的	86
3-10-2	位置	86
3-10-3	盛土区域及び盛土厚	87
3-10-4	盛土基礎	87
3-10-5	盛土のり面の形状	87
3-10-6	盛土のり面の保護	88
3-11	ガス排除工	88
3-11-1	目的	88
3-11-2	位置	88
3-11-3	構造	88
3-12	治山ダム等	89
3-12-1	目的	89

3-1-2-2	位置	89
3-1-2-3	種別と構造	90
3-1-3	土留工	90
3-1-3-1	目的	90
3-1-3-2	位置	90
3-1-3-3	種別と構造	91
第4節	抑止工の設計	91
4-1	総説	91
4-2	杭工	91
4-2-1	目的	91
4-2-2	位置	91
4-2-3	杭の形式	92
4-2-4	杭材の種別	96
4-2-5	杭の構造、間隔及び配列	98
4-2-6	安定性の検討	100
4-2-7	杭内部及び外周の処理	105
4-3	シャフト工	105
4-3-1	目的	105
4-3-2	位置	105
4-3-3	シャフト工の設計式	106
4-3-4	シャフト工の規格	109
4-3-5	シャフト工の構造、配列及び間隔	109
4-3-6	安定性の検討	110
4-3-7	シャフト工外周の処理	110
4-4	アンカー工	110
4-4-1	目的	110
4-4-2	位置及び打設角度、配列	111
4-4-3	アンカー工の型式	115
4-4-4	安定性の検討	115
4-4-5	耐久性の確保	118
第5章	地すべり防止効果の検証	120
第1節	総説	120
第2節	調査の種類	120
第3節	施工効果の検証	122
3-1	目的	122
3-2	地すべり防止工の効果判定	122
3-3	地すべりの安定度の評価	122
第4節	地すべり防止工の維持管理の検討	122
用語解説		124

第1章 事業の定義及び目的

地すべり防止事業は、地すべりを抑制又は抑止するために行う事業をいい、地すべりによる被害の防止又は軽減を図ることを目的とする。

〔解説〕

1 地すべり防止事業

地すべり防止事業は、地すべりに起因する被害の防止又は軽減を図るものであり、個々の地すべりブロックの抑制又は抑止対策のみならず、関連する複数の地すべりや被害が想定される区域での対策、周辺環境への配慮、ソフト対策等を含めて実施するものである。

また、地すべり等防止法に基づいて行う地すべり防止工事に関する事業については、本編を適用するとともに、森林法に基づく保安施設事業に係るものについても、地すべりのいくつかの性質を備えた現象に該当する場合にあっては、本編を準用する。

2 地すべり防止事業の進め方

地すべり防止事業の実施に当たっては、事業効果を勘案しながら、地すべりの特性、規模及び保全対象の重要度に応じて地すべり防止工等を施工し、地すべりによる被害の防止又は軽減を図る必要がある。

また、地すべり機構や防止工の効果等については未解明な部分もあり、当初の計画のまま事業を進めても目標が達せられない場合がある。したがって、事業の各段階においては、新しい知見を取り入れながら計画を見直すとともに、工事後の対策効果の検証等についても十分考慮することが望ましい。

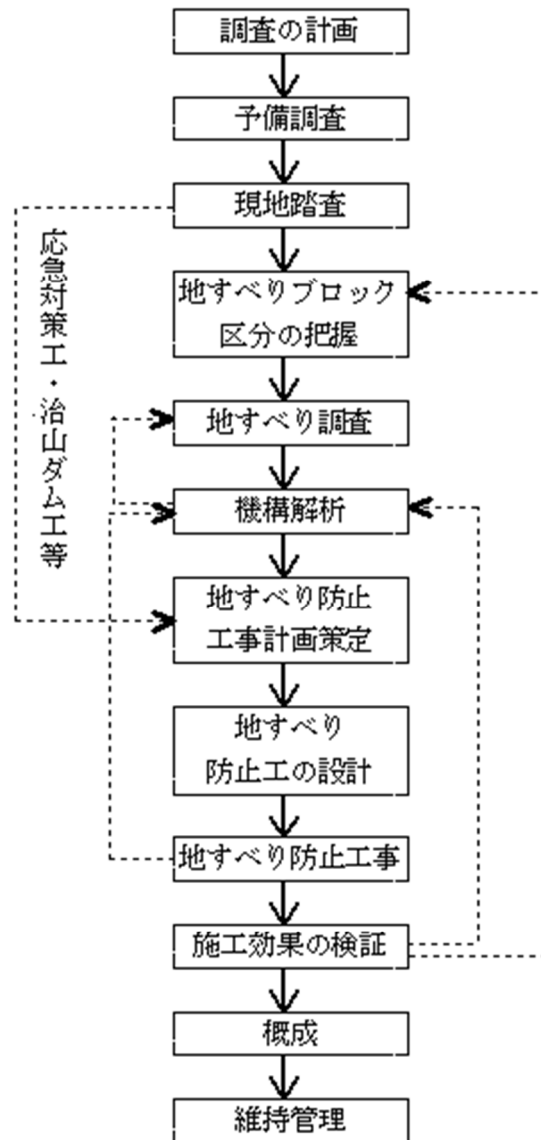


図 1-1 地すべり防止事業のフロー

[参考]

1 地すべりの定義

治山技術基準における地すべりとは、地すべり等防止法(昭和 33 年法律第 30 号)に定める「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。」である。

2 地すべりの分類

地すべりの分類には、一般に地質によるものと、運動形態によるものがある。

(1) 地質による分類 (小出博、日本の地すべり、1955)

地質による分類は種々あるが、その代表的なものは次のとおりである。

① 第三紀層地すべり

第三紀層は、一般に固結度が低く、水を含みやすい。中でも泥岩、頁岩等の多くは、

含水率が高く、新たに水を含めば軟弱になり、乾燥・湿潤の繰り返しにより、速やかに粘土化するといった岩質的特徴を示す。東北、北陸、山陰、九州北部等の日本海側の丘陵山地に分布する地すべりの大部分は、第三紀層地すべりである。

② 破砕帯地すべり

破砕帯地すべりは、地殻の運動で岩石がひずみを受け、砕けたり、粘土化しやすくなっている地帯に起こる地すべりで、火成岩、古生層及び中生層に起こるものであり、糸魚川－静岡構造線及び中央構造線沿いに分布する地すべりが破砕帯地すべりである。

③ 温泉地すべり

温泉地すべりは、温泉作用や硫化作用等、後火山作用といわれる地質現象により岩石が特殊な変質を受け、いわゆる温泉余土になったところに起こる地すべりで、鳴子、箱根、別府等の温泉地帯に発生している地すべりが温泉地すべりである。

(2) 運動形態による分類

運動形態は、表 1-1 のように分類することができる。

表 1-1 運動形態による分類

対策を考える上で具体的に 必要な調査項目ああああ	地すべりのタイプ
①移動速度又はすべり層の有無	崩壊性、地すべり性
②移動土塊の攪乱の度合	崩壊型、地塊型
③移動の規則性	継続性、間歇的
④移動の顕在性	活動性、休眠性、潜在性
⑤移動速度及びせん断形式	飴動型ないし粘稠型、流動型
⑥すべり面形状	板状型ないし層すべり型、 円弧すべり型、複合すべり型
⑦力の釣り合い条件	主働的、受働的、退行性、進行性
⑧基岩の走向傾斜との対比	走向型、斜向型、流れ盤型、受け盤型
⑨発生の主副	一次、二次
⑩発達形式	幼年形、青年形、壮年形、老年形
⑪水文地質条件	自由地下水型、被圧地下水型
⑫発形態態	初生型、再活動型

3 地すべりと崩壊の違い

「地すべり」と「崩壊（崖崩れ）」の一般的な違いは、表 1-2 のとおりである。

表 1-2 「地すべり」と「崩壊（崖崩れ）」の見方の例

項目	地すべり	崩壊（崖崩れ）
地質	特定の地質又は地質構造のところに多く発生する。	地質との関係は少ない。
土質	主として粘性土をすべり面として滑動する。	砂質土（マサ、ヨナ、シラスなど）の中でも多く発生する。
地形	5°～20°の緩傾斜地に発生し、特に上部に台地状の地形を持つ場合が多い。 地すべり地形顕著	20°以上の急傾斜地の0次谷、谷頭部に多く発生する。
滑動状況	継続性、再発性、時間依存性大	突発性があり、時間依存性小
移動速度	0.01mm/day～10mm/dayのものが多く、一般に速度は小さい。	10mm/day以上で、速度は極めて大きい。
土塊	土塊の乱れは少なく、原形を保ちつつ動く場合が多い。	土塊はかく乱される。
誘因	地下水による影響が大きく、被圧地下水等によって発生する場合が多い。	降雨、特に降雨強度に影響され、自由地下水によって発生する場合が多い。
規模	1～100haで規模が大きい。	面積的規模が小さい。
兆候	発生前に亀裂の発生、陥没、隆起、地下水の変動などが生ずる。	発生前の兆候が少なく、突発的に滑落してしまう。

（渡ら 1971 の表を駒村が改変 1992）（一部修正）

第2章 地すべり調査解析

第1節 総説

地すべり防止工事の計画、設計は、有効かつ適切に調査を行い、調査結果に基づき地すべりの機構を解明することを目的とする。

〔解説〕

1 地すべり調査

地すべり防止事業を合理的かつ効率的に行うためには、地すべりの実態を把握するだけでなく、周辺地域の立地特性等を踏まえて地すべり防止計画を策定する。そのため、事前に予備調査や現地踏査を行い、調査目的を明確にした上で現地に見合った詳細な調査種を選定する。調査で得られた結果については、機構解明等に十分な情報であるか検証し、不足する情報があれば再調査等を実施する。

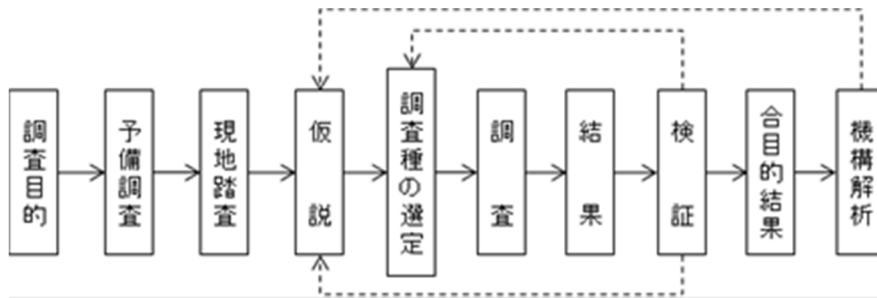


図 2-1 調査の進め方

また、事業の中では工種・工法の計画や地すべり防止工の効果を検証する目的で調査が実施される。

2 機構解析

機構解析は、地すべり調査結果等を総合し、地すべりの範囲や形状を特定するとともに、地すべり要因を明らかにして、発生機構や移動特性を解明するものである。

機構解析で実施される安定計算では、地質特性やすべり面形状、地下水賦存状態等を明確にし、地すべりの発生過程と整合が図られるようにする。

第2節 予備調査

2-1 総説

予備調査は、現地踏査に先立って既往の資料等により、当該地すべり地及び周辺地域の概況の把握を目的とする。

〔解説〕

予備調査は、主として文献等による調査ではあるが、初期段階で行うことが多く、予備調査の成否がその後の調査等に影響を及ぼすため、資料・文献等の収集に当たっては、精度の高いものを選定するよう努める。

2-2 調査の種類

調査の種類は、必要に応じて適切なものを選択するものとする。

〔解説〕

予備調査の標準的な種類は、次のとおりである。

- 1 地形地質調査：第2編第2章第2節地形調査 2-2「予備調査」、第3節土質・地質調査 3-2「予備調査」を準用する。
- 2 環境調査：第2編第2章第6節「気象調査」、第10節「環境調査」を準用する。
- 3 社会的特性調査：第2編第2章第11節「社会的特性調査」を準用する。

〔参考〕

日本に分布する地すべりの多くは、再活動地すべりであることが多く、地形図から等高線の形態によりこうした地すべりの範囲を読み取ることができる場合がある。また、空中写真を立体視して地形の判読や植生の被覆状況、地質構造等の判読、さらには、航空レーザ測量データ等による微地形表現図（赤色立体地図^{※1}、CS立体図^{※2}等）を用いた地形の把握も可能である。

※1 「赤色立体地図」は、アジア航測株式会社の特許（第3670274号等）

※2 「CS立体図」は長野県林業総合センターが考案した図法

2-3 取りまとめ

予備調査の成果は、その後の調査等に資するため、自然特性及び社会的特性の概要等を把握できるよう取りまとめるものとする。

〔解説〕

予備調査を取りまとめるに当たっては、数値の羅列にとどめることなく、常に数値の持つ意味合いを洞察する姿勢を堅持しつつ、資料、文献等の分析に努める。

また、各調査の種類毎にその後の調査等において必要となる事項は何であることを示し、地すべりの活動と関連づけて取りまとめる。

第3節 現地踏査

3-1 総説

現地踏査は、地すべり機構の概略を把握し、その後の調査の計画や応急対策工の計画を策定するために行うことを目的とする。

〔解説〕

現地踏査は、地すべりによる現地の概況を把握し、その結果を、保全対象や周辺環境等を踏まえた調査の計画や応急対策工の計画に活用する。

現地においては、ブロック区分や相互の関係、移動方向等の機構解明につながる情報が得られるよう努める。

3-2 踏査

踏査は、予備調査の資料を基に現地において、地形、地質、植生及び水文等を調査するものとする。

〔解説〕

踏査は、地すべりにより生じた地表変状や地質分布、地下水状況、湧水の有無等を把握し、周辺環境を確認するため現地にて情報収集を行うものである。

踏査の範囲は、空中写真や地形図を基に概略の地すべり区域を把握し、その周囲を含めて十分な範囲で実施する。

また、予備調査等を踏まえ効率的に踏査を行うとともに、得られた情報は図上に記載するなど、現地の状況を正確に把握し記録するよう努める。

[参考]

1 地すべり地形の特徴

地すべりにより形成される地形は、以下に示すような特徴を有する。

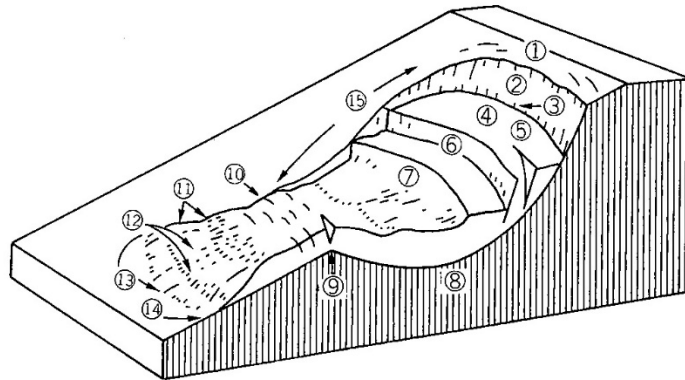


図 2-2 地すべり各部の名称 (D. J. Varnes 原図)

(出典) 地すべり工学-理論と実践- (株山海堂 H元. 3 (一部修正))

①冠頭部(Crown)、②一次滑落崖(Main Scrap)、③頂点(Top)：移動土塊が一次滑落崖と接する最も高い地点、④頭部(Head)：一次滑落崖に接する上部土塊部分、⑤横断(引張り)亀裂(Transverse Crack)、⑥二次滑落崖(Minor Scrap)：これをはさんで上下小ブロックに区分される。⑦縦断断層帯(Longitudinal Fault Zone)：これにより地すべりブロックがさらに左右いくつもの細ブロックに分割されることもある。⑧破断面(すべり面)(Surface of Rupture)、⑨脚部(Foot)：破壊面ともとの地表面とが交わる線で、埋もれている場合もある。⑩：横断亀裂(圧縮亀裂)、⑪横断鼻梁(Transverse Ridge)：隆起部、⑫放射状亀裂、⑬舌尖(Tip)：舌端部の先端、⑭舌端部(Toe)、⑮右側壁(Right Flank)

2 地すべり地の植生

地すべり地内にある立木は、次のような特徴が見られることがある。

立枯れ、幹割れ、根曲り、浮出、傾倒(方向：山側、谷側、等高線沿い、斜向、背分け、放射状、不規則)

また、地すべりによって形成された窪地や陥没部分には沼や湿地が生じることがあり、そこには沼や湿地特有の植生が侵入する。

一般に沼、湿原、湿地等に多く出現する植物は表 2-1 のとおりである。

表 2-1 湿地帯の植物

植物の分類	性 質	種 類
水性植物	根が底土に付かないもの：浮遊植物 根が底土に付くもの 体の一部分が水面にあるもの：沈水植物 葉が水面に浮かぶもの：浮葉植物 体の大部分が空中にあるもの：抽水植物	ウキグサ クロモ、エビモ ヒシ、カガブタ ヨシ、ガマ
湿性植物	低湿地、常時水を湛えているところ：抽水植物 陸化に伴いヨシ⇒オギ⇒ススキの優占種へ移行	ガマ、マコモ、 ウキヤガラ、 フトイ
湿地に強い 木本類	ヤナギ類、ヤチダモ、ハルニレ、トチノキ、サワグルミ、シオジ、 カツラ等	

3 簡易水質調査

現地踏査においては、必要に応じて、携帯用測定器で水温、水位、水量、pH、RpH、溶存酸素及び電気伝導度等を測定することとする。

3-3 取りまとめ

現地踏査の成果は、地形図等に適切に取りまとめるものとする。

〔解説〕

現地踏査の成果は、地すべり現象に特有な地表における地形、地物を地形図に表示し、踏査地点の記録写真とともに整理する。

また、その後の各段階でも利用されるため、事業に必要な情報についても取りまとめる。

第4節 地形測量

4-1 総説

地形測量は、地すべりにより生じた地表変状及びその周辺地域の地形を把握することを目的とする。

〔解説〕

地形測量は、地すべり地形特有の不動地、滑落崖、亀裂、沼、凹地、隆起地帯、断層等の位置・方向、湧水点及び保全対象等を測量し地形図に示すものである。

これら地表に表れた現象は、地すべりの形態、範囲、移動方向等を知る上で最も重要なものである。

測量範囲は、地すべりの影響範囲を含め、余裕を持って設定する。

4-2 地上測量

地上測量は、地すべり地周辺の地形を現地で測量計器を用いて直接計測するものとする。

〔解説〕

地上測量は、目的に応じた適切な測量方法と測量計器（トータルステーション、地上レーザスキャナ等）により、地すべり地及びその周辺の地形を測量する。

測量に当たっては、地すべり地外の不動地に基準点を設け、地すべりの移動後も旧位置が照査

できるようにするとともに、諸調査の測線の基準となることも考慮する。

なお、測量方法は、第2編第5章第1節「測量」に準ずる。

4-3 航空レーザ測量

航空レーザ測量は、航空機に搭載されたレーザ測距装置により、地形の三次元座標を取得するものとする。

〔解説〕

航空レーザ測量は、小型飛行機、ヘリコプター、UAV等に搭載されたレーザ測距装置からレーザを地表面に照射し、その反射光から地形形状を計測するものである。

機体の位置情報等とあわせて解析することで、三次元座標が求められる。

主として、地すべりが広範囲に及ぶときや現地の立ち入りが困難な場合に用いられ、地上測量に比べると効率的な作業が可能となる。

〔参考〕

1 航空レーザ測量の種類の違いによる特徴

小型飛行機やヘリコプターによる航空レーザ測量に比べ、UAVを活用した航空レーザ測量は、低高度による撮影となる。このため、高解像度のデータが取得でき、計測撮影範囲が狭い箇所では、短時間で計測ができ、低コストで実施することが可能である。

2 航空レーザ測量で取得できるデータ

(1) オリジナルデータ

地盤の高さだけではなく、建物や樹木の高さ等の情報が含まれている三次元座標値を持つ点群データ。オリジナルデータによる地球表面の高さのモデルを、数値表層モデル(DSM: Digital Surface Model)という。

(2) グラウンドデータ

オリジナルデータから、建物や樹木等の地表面以外を取り除いた点群データ。グラウンドデータによる地盤の高さのモデルを、数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)という。

4-4 取りまとめ

地形測量の結果は、平面図として適切に取りまとめる。

〔解説〕

平面図には、測量した地形的特徴及び保全対象の関係を記載する。

また、縮尺は、地すべりブロックの面積、保全対象の重要度・位置等を考慮して適切に設定する。

なお、測量の成果に基づく平面図には、それまでに判明した調査の基本的事項及びその他重要事項を記載しておく。

第5節 土質・地質調査

5-1 総説

土質・地質調査は、地すべり地周辺の土質・地質特性を把握して、計画及び設計に当たっての基礎資料とすることを目的とする。

[解説]

土質・地質は地すべりの素因として重要な要素をなすものである。一般に地すべり地の土質・地質は複雑でありかつ変化に富んでいる。したがって調査の目的、対象範囲、重要度等を勘案して、その要求される精度に応じて各種の方法を選択する。

調査の主な種類は次のとおりである。

- 1 物理探査
- 2 ボーリング調査
- 3 物理検層
- 4 サウンディング調査
- 5 土質・岩石試験
- 6 試掘観察調査

5-2 物理探査

5-2-1 総説

物理探査は、地盤の物理現象を観測することにより、地質構造、地下水の賦存状態等を把握することを目的とする。

[解説]

物理探査は、地下の岩石、地層の厚さ・分布・構造及び地下水の状態等、物理現象を仲介として地表から間接的に地盤の中の物理的性質と状態を調査するものである。

物理探査の主な種類は次のとおりであり、現地の状況に応じて選択する。

- 1 弾性波探査
- 2 電気探査

[参考]

地すべり調査では、上記の2つの方法以外に以下の方法も用いられることがある。

1 地温探査

地盤の相対的な温度差を利用して、地下水流動層の分布を把握するものであり、地すべりの調査では一般に地下1mの地点で地温を計測する。

2 自然放射能探査

亀裂や破砕帯から放出される自然放射線(主として γ 線)を測定・分析し、 γ 線の分布の状況を把握するものである。

3 電磁探査

自然電磁場における電場と磁場の測定結果から地下の比抵抗分布を求める MT 法、人工送信源を用いて MT 法と同様の測定を行う CSAMT 法、電磁応答を時間の関数として扱う TEM 法がある。

各種探査方法と特徴は、次のとおりである。

表 2-2 各種探査方法と特徴

方法	長所	短所
弾性波探査	<ul style="list-style-type: none"> ○探査可能深度が大きい。 ○地中の断層、岩脈等の特殊構造の位置をよく検出する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○低速度帯、高速度帯の傾斜角の判定が困難である。 ○測線に平行あるいは斜交する異常速度帯による影響の判別が困難である。 ○地下水賦存状況に鈍感（ただし低速度層が飽和していると速度が速くなり解析誤差を生ずる）。 ○地すべり面、軟弱層等の挟み層の判定が困難。
電気探査	<ul style="list-style-type: none"> ○脈状構造等の水平方向での異常媒質に対して敏感である。 ○含水状態、含粘土鉱物量の違いに敏感で地下水調査に向く。 ○比抵抗の異方性パターンから地質構造についてある程度の推定が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ○探査可能深度が弾性波探査に比してはるかに小さい。 ○地表地形条件に影響される度合いが弾性波探査よりも大きい。 ○水平方向での異常媒質に強く影響され、測点位置及び電極系の展開方向に対する吟味を要する。 ○比抵抗が漸増又は漸減するような層序の場合には解析誤差が大きい。
地温探査	<ul style="list-style-type: none"> ○他の調査法に比べ地下水脈の位置をより正確に把握できる。 ○水脈の位置を知ることができ、集水井の位置やボーリング暗きょの掘削方向を知るのに有効である。 	<ul style="list-style-type: none"> ○浅層地温と地下水温との温度差を利用した調査法であるため、両者が等しい温度を示すときにはこの調査法は不適である。 ○比較的浅層の地下水分布に限定される。
自然放射能探査	<ul style="list-style-type: none"> ○地質学的特徴を指標に、表層地質の区分、地質境界の検出、風化の進行や移行状態等が解析できる。 ○伏在裂かでの開口部・破碎部の存在位置、状態の時間的変化を把握することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○表土の粒度、地被、接地条件等に強く影響される。 ○surveymeterは簡便・低コストではあるが、誤差が大きく、γ線強度に含まれる複雑な地質条件や人為条件を取り除けない。 ○バックグラウンド（閾値）のとり方を十分検討する必要がある、また、解析基準が必ずしも明らかでない。
電磁探査	<ul style="list-style-type: none"> ○広域的な地層、岩相の分布の推定に向いている。 ○地層境界部、断層等の地質構造における比抵抗異常体の検出能に優れている。 	<ul style="list-style-type: none"> ○高比抵抗を示す比抵抗異常の調査は電気探査に劣る。

5-2-2 弾性波探査

弾性波探査は、人工的に発生させた弾性波が地盤を伝播する速度を測定し、物性の違いによる速度変化の状況から地質構造等を推定するものとする。

〔解説〕

1 弾性波探査の特徴

弾性波探査は、地盤を構成する岩石の種類、地盤の間隙率、間隙水等の物性値の違いにより弾性波速度が異なることを利用し、弾性波速度層区分を行うものである。ボーリング調査等による地層区分と弾性波速度とを対比して、線的又は面的に地層の連続性、地質構造の把握を行うことができる。

弾性波には地盤内部を伝達する実体波と、地表面を伝播し深さとともに急速に減衰する表面波があり、地すべり調査の場合、実体波のP波を用いることが多い。

2 弾性波探査の種類

地すべり調査における弾性波探査では、主として屈折法と反射法が用いられる。

(1) 屈折法

屈折法は、屈折波を利用して各地層中の弾性波速度を算定し、定量的な構造解析を行うものである。地すべり調査は一般的にこの方法による。

弾性波速度が異なる地層間で屈折して地盤を伝播する状況を地表に設けた測定装置で観測し、得られる走時曲線を解析することにより、風化土層、基盤面及び破碎帯等を推定する。

(2) 反射法

反射法は、弾性波の地層境界面での反射波を利用して弾性波の到達時間だけで地層境界面の相対的・半定量的な深度を解析する方法である。地すべり調査では、比較的細かな地下の地質状況の変化を把握することができる浅層反射法が用いられる。

3 取りまとめ

測定結果は、横軸に距離、縦軸に時間をとった走時曲線や速度層断面図に取りまとめる。ボーリング調査等の他調査結果との対比から崩積土層・風化層・基盤層、破碎帯・低速度層帯を推定する。

[参考]

1 主な岩石の弾性波速度

主な岩石と弾性波伝播速度との関係は図 2-3 のとおりである。

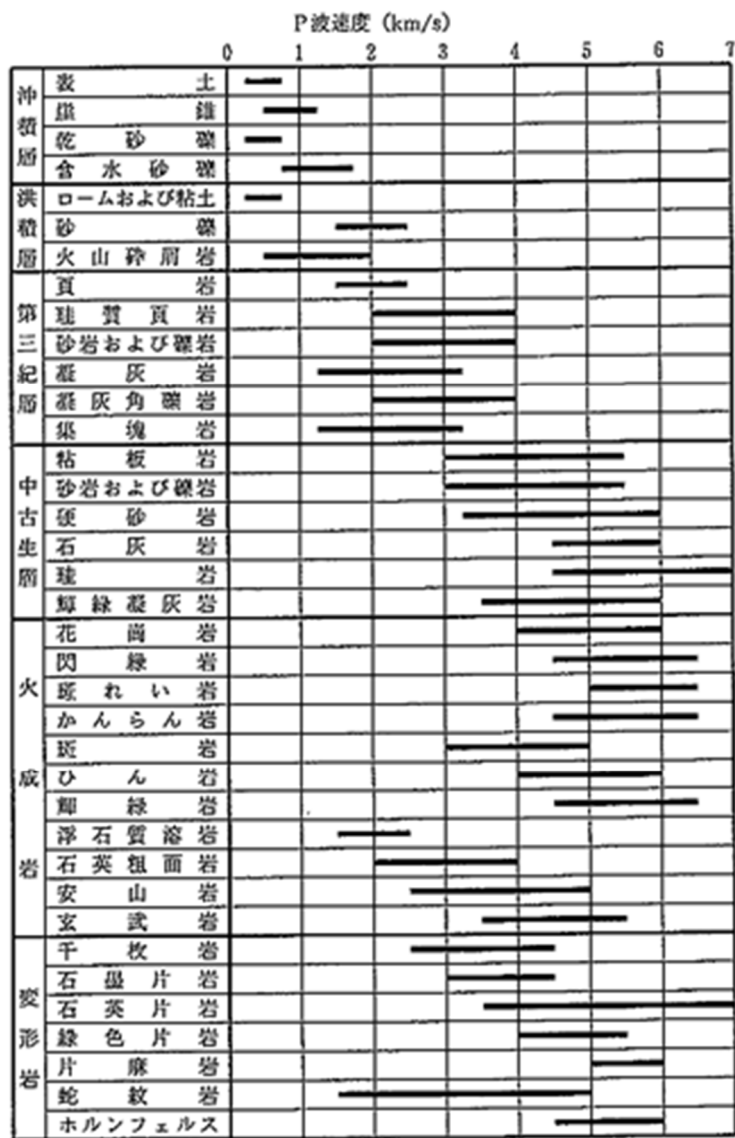


図 2-3 主な岩石と弾性波伝播速度
(出典) 地盤調査法 地盤工学会

2 弾性波トモグラフィ

弾性波トモグラフィとは、医学分野で用いられている X 線 CT の手法を弾性波探査（特にボーリング孔一孔間、地表一ボーリング孔間、調査横坑一坑間）に応用し、より詳細な弾性波速度分布断面を求めるために行うものである。

弾性波トモグラフィを実際の地すべり地に適用する場合、次のようなことを念頭に行われる。

- (1) 地すべり地において起振源から受振点の距離が離れるほど解析精度が落ちる。
- (2) 地質の性質や構造が非常に複雑である場合が多く、弾性波動の伝播は単純な経路を伝わるわけではないので、地すべりブロックの位置を決定する上で精度が悪くなる。
- (3) 表面付近は、表土、崖錘等の分布が不規則であり、地表面で波動を観測する場合、その影響を強く受け、場合によっては、地すべりブロックがそれに埋没する。

5-2-3 電気探査

電気探査は、地中に電流を流し地層の電気抵抗を測定することにより、地下の地質構造、地下水の状況等を推定するものとする。

[解説]

1 電気探査の特徴

電気探査は、一般的に地表から地下に電流を流し地盤内に発生する電位の変化を計測し、その変化を解析することにより、地盤の比抵抗分布を把握する比抵抗法を用いる。

地盤内の比抵抗は、地盤を構成する岩石や鉱物の種類、地盤の間隙率・飽和度・間隙水の比抵抗等により数Ωm～数千Ωmの範囲で異なった比抵抗値を示すことから、地層の連続性や地層の脈状構造及び地下水状況の把握等を行うことができる。

2 比抵抗法

比抵抗法は大地の2極間に人工的に電流を流し、この電流電極の間に他の2極電位電極を接地し、その間の電位を測定し大地の見かけ比抵抗を求める方法で、電極の接地抵抗の影響を受けることなく、電極間隔と探査深度との間に存在するある種の関係から地下構造の探査に適用できる。

比抵抗法にはいくつかの方法があるが、一般的にはウェンナー(Wenner)法が用いられる。

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad \langle 2-5-1 \rangle$$

ここで、 ρ_a : 大地の見かけ比抵抗、 a : 電極間隔、

I : C_1 C_2 間に流した電流、 V : P_1 P_2 間に生じた電位差

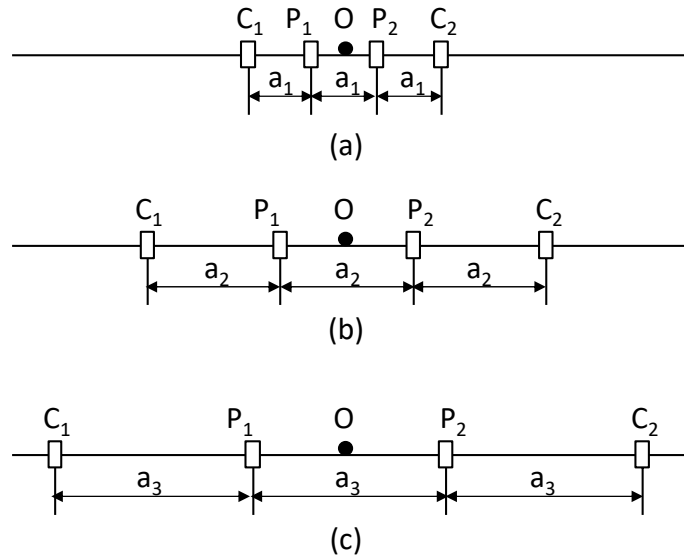


図 2-4 Wenner 法による垂直探査

3 取りまとめ

測定結果は比抵抗分布図に取りまとめる。ボーリング調査等の他調査結果との対比から地質構造や帯水状態について推定する。

[参考]

1 高密度電気探査

高密度電気探査は、多チャンネルの比抵抗測定器を用いて測線沿いに等間隔に多数点の電極

を設置し、調査測線上において、短時間で大量の地盤の比抵抗データを高密度に自動測定し、見かけの比抵抗分布を求めた上で逆解析を行い、地盤の真の比抵抗分布断面を求める探査方法である。

高密度電気探査は、センサーをあらかじめ地山に密着固定するので比抵抗法に比べ測定精度が良いこと、有限要素法（FEM）、逆解析等の手法を用いて解析するので解析者の個人差が抑えられ解析精度が良いこと、電算化で比抵抗断面図の作成が容易であること等の利点を有する。

2 主な岩石の比抵抗

主な岩石の比抵抗は、図 2-5 を参考とされたい。

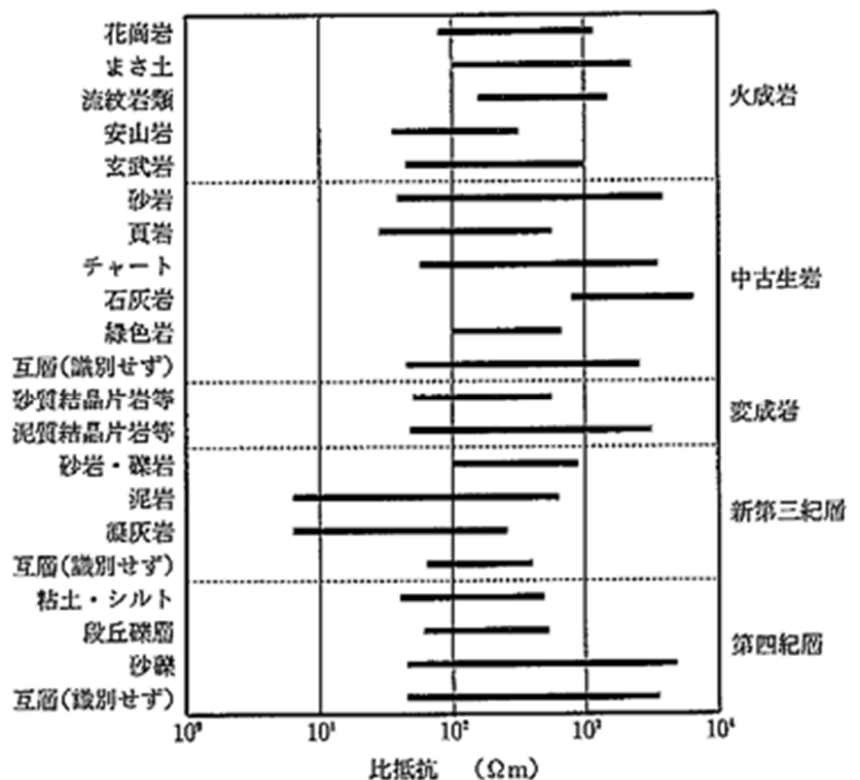


図 2-5 主な岩石の比抵抗
(出典) 物理探査ハンドブック 物理探査学会

5-3 ボーリング調査

5-3-1 総説

ボーリング調査は、土質、地質、地質構造等を直接把握するとともに、必要に応じて、ボーリング孔を利用した各種調査や資料採取のために行うことを目的とする。

[解説]

1 ボーリング調査は、ボーリングマシン等により小口径の縦穴等の掘削を行って地すべり移動層及び不動基盤層のコア（岩芯）等を採取し、肉眼観察により土質、地質、層序、すべり面、岩石の風化・破碎状況等を調査するとともに、掘削中の孔内水位の変化や掘削用水の排水状況等により地層の透水性・帯水性を把握するために行うものである。通常は、ロータリーボーリングを標準とする。

2 ロータリーボーリングの区分は、次のとおりである。

(1) オールコアボーリング

(2) ノンコアボーリング

3 適切な安定解析及び地すべり防止工事計画の策定には、すべり面の位置を的確に把握することが重要であり、ボーリング調査は点的調査ではあるが、地下の状況を直接的に把握することができるため、調査の基幹をなすものである。

現地踏査において地形・地質調査を入念に行い、その結果を踏まえて調査計画をたてて、効果的な調査となるよう留意する。

4 ボーリング調査孔は、引き続き調査孔を利用して行う地中移動量調査等の各種の調査等が、効果的に行われるように配置や深さを決定する。

なお、調査によっては専用孔が望ましい場合もあるため、調査に応じた精度や目的等を勘案し、適切な配置とする。

5 地すべり防止工事に必要な地盤情報を得る目的で、必要に応じてチェックボーリングを行う。

チェックボーリングは、杭工、アンカー工、集水井工等の設計を行う場合に、地すべり面及び地下水の状況等を確認して規模、数量等を確定するため、地すべり調査解析で調査されていない箇所について補足的、細部的に行う。

6 取りまとめ

ボーリング調査の結果は、地質柱状図に取りまとめる。次いで現地調査で作成した地形図、地質図及び物理探査の結果等を加えて総合的に検討し、地質構造に関する断面図や平面図を作成する。

また、試錐日報解析図を作成し、ボーリング掘削区間ごとの地層の透水性を判定する。

[参考]

1 地質柱状図様式、試錐日報解析図の例

(1) 地質柱状図の記載事項

① 地質柱状図には、次の該当事項を記載する。

地区名、調査年度、調査地点番号、担当技術者名、ボーリング機械名、柱状記号、地質・土質名、色調、硬軟、コア採取率、RQD、孔内水位、送水・排水量、湧水・漏水の位置とその量、パイプひずみ計等孔内観測機器設置位置、土質試料採取位置、観察事項、その他必要事項

② 観察事項の内容は、次のとおりである。

移動層の性状、含まれる礫種、礫径、礫質、円磨度、含有率等、含水量（乾いた、湿った、飽和した）、すべり面粘土の産状、基岩層の亀裂・破碎・風化状況、孔内変状（崩壊、孔曲り、ガスの存在、地温の急変等）

(2) 試錐日報解析図の記載事項と解析

① 試錐日報解析図は、ボーリング掘削作業中の次のデータを基に作成する。

ア 毎日の掘削作業前と後の孔内水位

イ 掘削作業中の漏水、湧水の位置とその程度及び掘削区間毎の送水掘り、無水掘りの別

ウ ケーシング、バントナイトの使用状況（使用・不使用の別、区間、時期等）、前夜及び

当日の天候

② 解析は、掘削区間毎に行い、地層の透水性、帯水性を判定する。

ボーリング柱状図

調査名 _____

ボーリングNo.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

事業・工事名 _____

シートNo. _____

ボーリング名	調査位置	調査期間	北緯	
発注機関		調査期間	東緯	
調査業者名	電話 ()	主任技師	現場代理人	ボーリング責任者
孔口標高	m 角 $\begin{matrix} 180^\circ \\ \text{上} \\ 90^\circ \\ \text{下} \\ 0^\circ \end{matrix}$	方 $\begin{matrix} 270^\circ \\ \text{西} \\ 180^\circ \\ \text{東} \\ 90^\circ \end{matrix}$	地盤勾配 $\begin{matrix} \text{水平} \\ 0^\circ \\ \text{垂直} \\ 90^\circ \end{matrix}$	試験機
総掘進長	m 度	向	使用機種	エンジン
			ハンマー 落下用具	ポンプ

標尺 (m)	地 質										地 下 水 文										備 考
	標高 (m)	柱状図	地質区分	色調	硬軟	コア形状	風化	変質	記事	探コ取率 (%)	機貫入試験区間	N値	送水量 (l/分)	排水量 (l/分)	作業日毎の孔内水位	孔壁保護	実施理由	方法 (白濁)	地下水検層	計測機器	
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					

〈 凡 例 〉

<p>コア形状</p> <ul style="list-style-type: none"> 長さが50cm以上の棒状コア 長さが50~15cmの棒状コア 長さが15~5cmの棒状~片状コア 長さが5cm以下の棒状~片状コアでかつコアの外周の一部が認められるもの 主として角れき状のもの 主として砂状のもの 主として粘土状のもの コアの採取ができないもの スライムも含む (記事欄に理由を書く) 	<p>風化</p> <ul style="list-style-type: none"> 非常に新鮮 新鮮 弱風化 風化 強風化 <p>コア形状・風化・変質については、必要に応じて図模様を用いても可</p>	<p>変質</p> <ul style="list-style-type: none"> 非変質 弱変質 中変質 強変質 	<p>作業日毎の孔内水位 ケーシング下端深度 1作業日毎に記す ケーシング下端深度は 作業終了時の深度を記す</p> <p>孔壁保護の種類</p> <ul style="list-style-type: none"> ケーシング セメンティング <p>孔壁保護の実施理由 崩壊、逸水、湧水、その他</p>	<p>地下水検層 白：自然水位法 波：汲上げ法</p> <ul style="list-style-type: none"> 流入検出 上昇流状検出 下降流状検出 非検出 その他 	<p>保孔管</p> <ul style="list-style-type: none"> 有孔区間 無孔区間 遮水区間 <p>計測機器</p> <ul style="list-style-type: none"> ナイプノズみ計 孔内傾斜計 垂直伸縮計、多層移動量計 地下水水位計 間隙水圧計 <p>備考 カッコ内は副題を記入 本欄は文字列に限る 記入する項目の例 単位置試験、 試料採取位置 その他</p>
--	--	---	---	--	--

地すべり調査用ボーリング柱状図様式

図 2-6 地すべりボーリング柱状図様式の例
(出典) 土木研究所資料第 3868 号

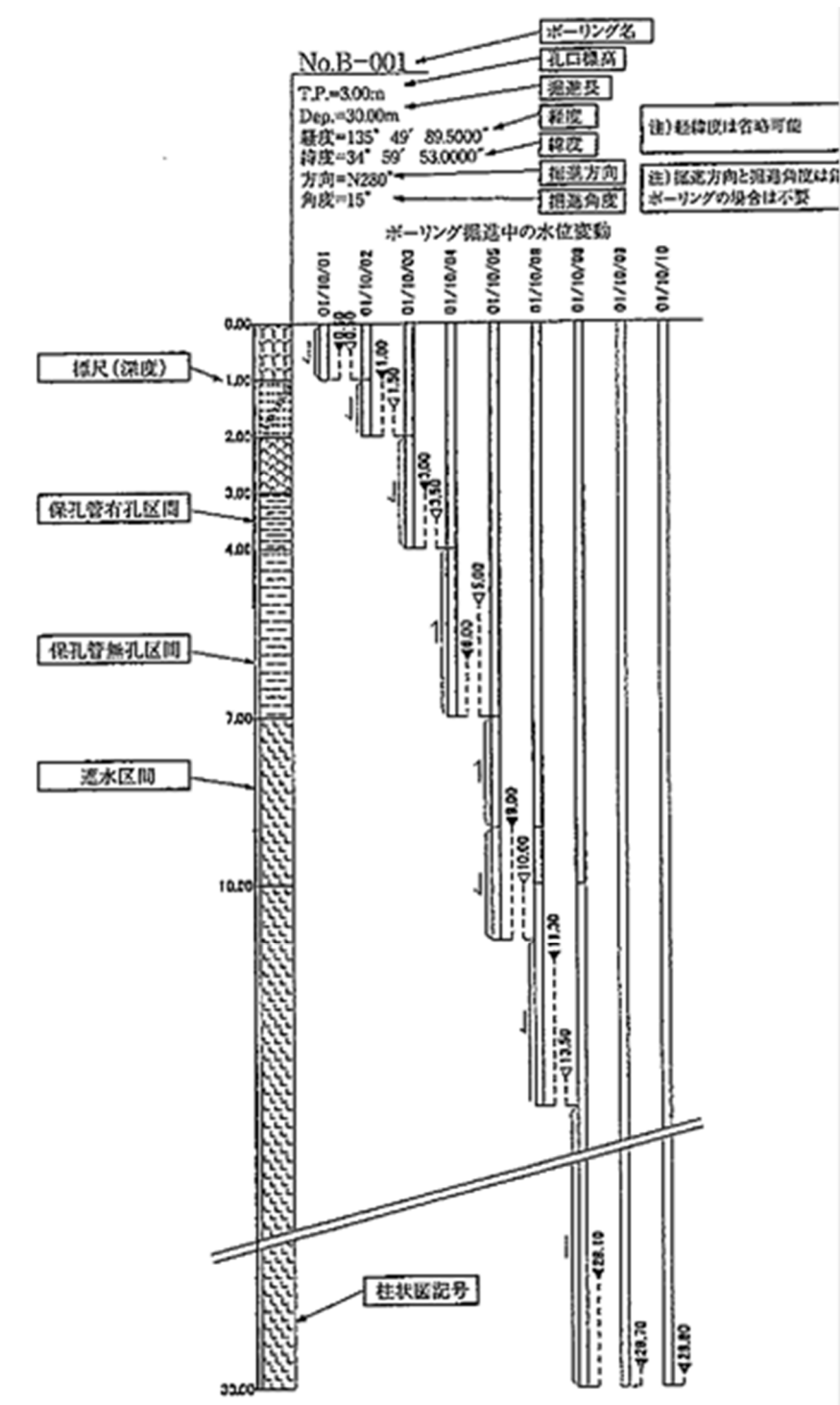


図 2-7 試錐日報解析図の例
 (出典) 土木研究所資料第 3868 号

2 物理検層

ボーリング孔を利用して行われる調査の中に物理検層がある。物理検層は、地すべり層区分(すべり面判定、風化度判定、潜在すべり面の検出等)、地すべりの原因となる地下水を包蔵する帯水層の検出、地すべり機構に密接に関わる地質構造の把握、岩盤物性の測定等を目的として行う。地すべり調査では、速度検層や電気検層がよく用いられる。

表 2-3 物理検層の調査目的

調査目的	検 層
地すべり層区分	電気検層・速度検層
帯水層の検出	電気検層
岩盤物性の把握	速度検層

3 ボアホールテレビュア（BHTV）

ボアホールテレビュアは、超音波を用いてボーリング孔壁の音響インピーダンスを測定し、地層の硬軟、風化状況、亀裂状態等から、すべり面の判定、地質構造や岩盤物性の把握を行うものである。

音波は、異なる媒質の境界面で反射する性質を有し、その強度は媒質間の音響インピーダンス（媒質の密度と音波速度の積）の差や反射面の滑らかさに応じて変化する。硬質な地層では反射強度が大きく、軟質な地層では反射強度が小さくなり、亀裂部では反射波がほとんどない。ボアホールテレビュアは、これらの反射強度と走時データを利用し、光学式では画像化しにくい地すべり地の孔壁を可視化し、粘土含有量が高いすべり面や音響インピーダンスに差のある層理構造、亀裂等を検出する。

測定した反射強度と走時を、その値の大きさにより濃淡表示した孔壁展開画像を作成し、すべり面の判定及び不連続面の構造解析を行う。

なお、超音波は空気中での減衰が著しいため、孔内水がある区間でしか実施できない。また、良好な記録を得るためには、掘削による孔壁の乱れを少なくし、測定器を孔の中心に保持する。

5-3-2 ボーリングの位置、深度等

ボーリング調査は、調査の目的に応じて必要な位置を選定するとともに、深度、角度及び口径等を決定するものとする。

〔解説〕

ボーリング調査は、点的ではあるが地質等の実視ができるものであり、調査目的を満足させる位置を選定する。ただし、本数、深度は、必要性を十分吟味し最小限度にする。

1 位置

ボーリング調査の位置は、現地踏査や地形測量の結果を踏まえ、地すべりの範囲、地層の連続性、破砕帯の位置、地下水の連続性及びすべり面等を判断できる地点に設ける。

2 口径

口径は、呼称径 66mm を標準とする。ただし、ボーリング孔を使用する調査等や、より正確な判断を必要とする場合等は、それ以上の口径を用いることがある。

3 方向・角度

掘進角度は、鉛直下方を標準とするが、基盤層の走向傾斜や表土層の確認のみの場合、傾斜面又は地表面に直角としボーリング深度を浅くするなど、調査目的に応じて方向・角度を変えることがある。

4 深度

ボーリング深度は、ボーリングの目的を満足する深さとしなければならない、機構解析に必要なボーリングの深さは、すべり面及び基盤層を確認できる深度とする。

5-4 サウンディング調査

5-4-1 総説

サウンディング調査は、土層の貫入、回転、引き抜き等の抵抗を基に、土の強度、密度等を把握することを目的とする。

〔解説〕

サウンディング調査は、原位置試験に属するもので、乱れの少ない試料採取(サンプリング)及び室内土質試験が困難な砂質土や軟らかい粘性土の場合、また、地盤性状を連続的に把握したい場合等に用いられる。サウンディング調査は、地盤の深さ方向における抵抗の値から、地盤の強さ、変形特性、密度等の深さ分布を直接推定するために行う。

地すべりの調査では、一般に標準貫入試験を用いることが多いが、表層地盤の調査や補足的な地質の確認等については、第2編第2章第3節3-6「サウンディング調査」に準じたものを実施する。

5-4-2 標準貫入試験

標準貫入試験は、原位置における土の硬軟、締まりぐあいの相対値及び土層の構成等を判定するためのN値を求めるものとする。

〔解説〕

試験方法は、日本産業規格(JIS A 1219-2001)による。

この方法は、ボーリング孔内で実施される代表的な試験で、調査により得られるN値は、様々な土質定数に換算され設計に用いられている。

また、他の各種サウンディングから得られた測定値も、標準貫入試験のN値に換算して用いることが多い。

〔参考〕

1 標準貫入試験から判別、推定しうる事項

表 2-4 標準貫入試験による調査結果から判明する事項

区 分	判別、推定事項	
調査結果一覧図から総合判定される事項	土質構成、深さ方向の強度変化 支持層の位置（地表からの深さと層構造） 軟弱層の有無（圧密沈下計算の対象となる土層の厚さ）、透水性、液状化対象層の有無	
N値から直接推定される事項	砂質地盤	相対密度、せん断抵抗角 即時沈下量、土留め擁壁等の許容支持力 水平地盤反力係数、杭の極限先端支持力、杭の極限周面摩擦力、せん断波速度、変形係数、液状化強度
	粘土地盤	コンシステンシー、一軸圧縮強さ（粘着力） 水平地盤反力係数、せん断波速度、変形係数

2 標準貫入試験等により求めたN値から水平地盤反力係数を求める実験式

N値から水平地盤反力係数 (k_h) を求める実験式が提案されており、代表例を以下に示す。

(1) 港研式

$$k_h = 200 N \quad (\text{tf/m}^3) \quad \rightarrow \quad k_h = 2000 N \quad (\text{kN/m}^3) \quad \langle 2-5-2 \rangle$$

(2) 地すべり地での孔内水平載荷試験データ(林野庁と長野県)の収集結果による式

$$k_h = 691 N^{1.441} \quad (\text{tf/m}^3) \quad \rightarrow \quad k_h = 1550 N^{1.441} \quad (\text{kN/m}^3) \quad \langle 2-5-3 \rangle$$

N値 300 相当程度までこの関係が保たれる。

3 地盤反力試験

地盤状態が不確実な場合や構造物の重要度に応じて、N値からの推定式ではなく直接地盤反力試験を実施することもある。

地盤反力試験には、鉛直載荷試験と水平載荷試験がある。

鉛直載荷試験は、構造物の自重等垂直方向の荷重に対して基礎地盤の安定性を判定するために行う。方法は一般的に JIS A 1215 による平板載荷試験を行う。

水平載荷試験は、杭工等の計画地点の杭周面の地盤反力を求めるために行い、方法にはボーリング孔内載荷試験等がある。

5-5 土質・岩石試験

5-5-1 総説

土質・岩石試験は、地すべり地の土や岩石の物理的、力学的性質を把握することを目的とする。

[解説]

1 土質試験

土質試験は、土の分類や諸性質を知るために地盤から採取した土試料について行う各種試験の総称である。一般的には地盤の安定や変形の解析、基礎構造物の設計・施工等に必要な基礎的データを収集するために行われる。

なお、地すべりの安定解析に用いるため、すべり面の残留せん断強さを求める試験が実施されることがある。

2 岩石試験

岩石試験は、各種地すべり防止工の安定性や施工法を検討し、構造物の形式、形状、寸法や配置を決定する上で必要な岩盤性状を把握するために行われる。

3 試験方法

土質試験の試験方法は、日本産業規格及び地盤工学会基準等に定める試験法により実施する。

[参考]

1 土質試験の種類

土質試験の種類は、以下に示すものが一般に用いられる。

表 2-5 物理試験の種類

試験の種類	試験の目的及び適用	求める物理量	摘要
①土粒子の密度試験	粒度試験に必要	土粒子の密度 ρ_s	JIS A 1202
②土の粒度試験 ア ふるい分け イ 比重計による分析	粒度分布を求める。	粒度分布 均等係数 U_c	JIS A 1204
③土の含水比試験	含水比を求める	含水比 w	JIS A 1203
④土の湿潤密度試験	粘着性の土に対して求める。	湿潤密度 ρ_t 乾燥密度 ρ_d	JIS A 1225
⑤コンシステンシー ア 液性限界 イ 塑性限界	土の分類、土の性質の予備的試験	液性限界 塑性限界	JIS A 1205

表 2-6 力学試験の種類

性質	試験の種類	用いる試料	求められる値
締め固めの性質	突き固めによる土の締め固め試験 JIS A 1210	乱した	最適含水比 最大乾燥密度
	CBR 試験 JIS A 1211	乱した (乱さない)	CBR 値 (設計 CBR、修正 CBR)
土の圧縮性	土の圧密試験 JIS A 1217、1227	乱さない	圧密降伏応力、圧縮指数、 体積圧縮係数、圧密係数
土の強さ	土の一面せん断試験 JGS 0560、0561	乱さない	せん断抵抗角 粘着力
	土の三軸圧縮試験 JGS 0520～0524	乱さない	せん断抵抗角 粘着力
	土の一軸圧縮試験 JIS A 1216	乱さない	一軸圧縮強さ 変形係数
土の透水性	土の透水試験 JIS A 1218	乱した (乱さない)	透水係数

JIS: 日本産業規格 JGS: 地盤工学会基準

表 2-7 残留せん断強さを計測するための試験

試験の種類	試験の概要	得られる値
すべり面せん断試験 (定体積一面せん断試験)	不攪乱採取したすべり面試料のすべり面と試験時せん断面とを一致させて行なう一面せん断試験。用いる試料は乱さないすべり面試料	原位置強度 (= 残留強度)、ピーク強度、完全軟化強度
繰り返し一面せん断試験 (定体積一面せん断試験)	残留強度実現に必要な長大変位をせん断方向の前後に連続する繰り返しせん断によって実現した一面せん断試験。用いる試料は乱したすべり面粘土	ピーク強度、完全軟化強度、残留強度
リングせん断試験 (定体積/定圧一面せん断試験)	ドーナツ型供試体に回転変位を与え、残留強さを計測に必要な長大変位を実現した一面せん断試験。用いる試料は乱したすべり面粘土の粒度調整試料	完全軟化強度、残留強度

2 岩石試験の種類

岩石試験の種類は、以下に示すものが一般に用いられる。

表 2-8 岩の物理的性質を求める試験

性質	試験の種類	求められる値
岩石物性	密度試験	自然含水状態の密度 乾燥密度、湿潤密度 吸水率、有効間隙率
	含水量試験 JIS A 1203	含水比
	超音波速度試験	P波速度、S波速度、動ポアソン比、 動弾性係数
岩石の結合度合 (耐久性試験)	浸水崩壊度試験	スレーキング指数
	スレーキング試験	吸水量増加率、スレーキング率、耐 スレーキング指数
	凍結融解試験 JIS A 6204	重量損失百分率曲線

表 2-9 岩の力学的性質を求める試験

性質	試験の種類	求められる値
せん断強さ	圧縮強度試験 JIS M 0302	圧縮強度
	三軸圧縮試験	粘着力、せん断抵抗角
	直接せん断試験	粘着力、せん断抵抗角
引張強さ	引張試験 JIS M 0303	引張強度

3 地すべり調査で用いられる土質試験

(1) 粘土鉱物の把握のための試験

膨潤性粘土鉱物であるスメクタイト（モンモリロナイト等）やハロイサイトは、地すべり活動の指標となることから、以下の方法で分析されることがある。

- ① 試薬反応試験
- ② X線回折試験

(2) 地質年代を推定するための試験

地すべりの発生年代や地すべり履歴を把握するために、以下の方法を標準として年代測定のための試験を行うことがある。

- ① ^{14}C 年代測定法
- ② 火山灰編年法による年代測定

5-5-2 試料の採取

試料の採取は、試験の目的に応じた方法により行うものとする。

〔解説〕

土質・岩石試験を行う場合の試料の採取は、試験の目的に合わせ採取場所を決定する。

試料の採取は、可能な限り原位置の自然状態を正確に表すことができるよう乱さない試料を用いるのが望ましい。なお、試験の種類によっては乱した試料でもよい場合もある。

[参考]

乱さない試料の採取方法は、次のとおりであるが、採取場所、試験の種類及び目的に応じて選択する。

- 1 ブロックサンプリング
- 2 ボーリングコア及び標準貫入試験による試料の採取
- 3 ボーリング孔を利用したサンプラーによる試料の採取

なお、2及び3による方法には多くの種類があるがそれぞれ適応土性と特徴があるので、最適のものを選択する。

また、サンプラーの適応土性と特徴について表 2-10 に示す。

表 2-10 主なサンプラーの適応土性と特徴

サンプラーの種類	構造	地盤の種類											
		粘性土			砂質土			砂礫		岩盤			
		軟質	中くらい	硬質	ゆるい	中くらい	密な	ゆるい	密な	軟岩	中硬岩	硬岩	
		N 値の目安											
		0~4	4~8	8以上	10以下	10~20	30以上	50以下	50以上				
固定ピストン式シンクウォールサンプラー	エキステンションロッド式	単管	○	○		○							
	水圧式	単管	○	○		○							
ロータリー式二重管サンプラー		二重管		○	○								
ロータリー式三重管サンプラー		三重管		○	○	○	○	○		○			
ロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラー		二重管		○	○			○			○	○	○
ブロックサンプリング		単管	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

○ 適応 ○ 可

(出典) 地盤調査法 地盤工学会

5-6 試掘観察調査

試掘観察調査は、地層を直接観察してその状態を把握するとともに、試料を採取するために行うものとする。

[解説]

試掘観察調査は、ボーリング調査等が直径の小さいコアや試料により判断しなければならないこと、また、地表に持ち上げる場合の諸外力により原位置との相違が生ずるおそれがあることから、実際に調査員が観察できる程度の坑を掘って、壁面の観察や土質・岩石試験等のための試料採取を行うものである。

調査は、集水井、排水トンネル等の事業実施途上において行う方法があるが、これらの工事が無い場合は、別途観測井戸、調査用トンネル等を設けることもある。この場合、試掘孔の断面の大きさは、作業の安全性や調査内容を考慮して適切に決定する。

5-7 取りまとめ

土質・地質調査の成果は、調査目的に応じて対象の土質、地質が把握できるように取りまとめるものとする。

[解説]

- 1 土質・地質調査の結果は、調査目的に応じて図表等に整理するとともに、計画や設計の基礎資料となるように取りまとめる。

- 2 各種調査結果は、総合的に解析し整合性を図るとともに、地質図や地質断面図等に取りまとめる。

第6節 地下水調査

6-1 総説

地下水調査は、地すべり地及びその周辺の地下水の賦存状況、経路及び物理的・化学的性質を調査して、地下水と地すべり移動との関連性を把握し、計画及び設計に当たっての基礎資料とすることを目的とする。

[解説]

調査種は、次を標準とし、適切な調査の種類や数量を計画し調査するとともに、調査結果によっては再度見直し、必要に応じて調査を追加していく。

- 1 地下水位調査
- 2 間隙水圧調査
- 3 地下水検層
- 4 地下水追跡調査
- 5 簡易揚水試験
- 6 揚水試験
- 7 水質調査
- 8 地下水流出量調査

地すべりにおいて地下水は、地すべり地内の岩石の風化を促進し、土のせん断強さを低下させるとともに、すべり面付近の間隙水圧を増加させてせん断抵抗力の低下を招く。このため、地すべり地を中心とした地下水の量、分布及び水圧を把握することは、地すべり機構の解明に重要である。

地すべり地内の地下水の分布は、平面的にも垂直的にも偏りがあり複雑なため、多角的な調査を行い総合的に判断する。

[参考]

地下水の形態

地下水の形態は、貯留されている形態により地層水と裂か水に分類され、また、被圧の有無等によって自由地下水、不圧地下水、被圧地下水、有圧地下水及び宙水とに分類される。

- 1 地層水
地層水は、地層や土壌を構成する粒子間の間隙を満たしている地下水をいう。
- 2 裂か水
裂か水は、岩石や地層中の割れ目、節理、空洞等を満たしている地下水をいう。
- 3 自由地下水
自由地下水は、水面が大気と接しており、この水面上では水圧が大気圧と等しい地層水をいう。地下水の貯留量の増減によって自由地下水面は変動し、帯水層の容積は自由に変化する。
- 4 不圧地下水
裂か(断層、節理などの断裂、洞窟)水で、その上端が裂かを通じて大気と接している地下水をいう。

5 被圧地下水

被圧地下水は、上面が粘土層やシルト層等の不透水層又は難透水層で覆われていて水面は存在せず、帯水層上面に圧力が作用している地層水をいい、パイプ等はその層に挿入すると自噴することもある。

6 有圧地下水

圧力を持っている裂か水をいう。

7 宙水

地域的な広がりを持つ地下水面と地表面との間(土壌帯)に、粘土層等の不透水層が局所的にレンズ状に介在するとその上に自由地下水の本体と分離した形で局所的に自由地下水が形成されているものをいう。

6-2 地下水位調査

地下水位の調査は、井戸やボーリング孔を使用し、地下水の圧力水頭を測定するために行うものとする。

[解説]

1 地下水位調査

地下水位調査は、井戸やボーリング孔を用いて簡易に地下水全体の賦存状態を把握できるもので、一般的に用いられる基本的な調査である。

ただし、地下水位からすべり面にかかる間隙水圧を想定する場合は、必ずしもその水位がその地下水層の圧力水頭を示さないことがあるため、他の調査結果を含めた総合的な判断をする。

2 データ整理

地下水位調査の結果は、変動図に整理するとともに、移動量調査や降水量調査等の結果と対比させ、地下水位と地すべり移動の関係がわかるように取りまとめる。

[参考]

地下水位の測定方法は、一般的に次による。

1 水圧式

水中に圧力式水位計を設け、水圧から水位を測定するもの。

2 触針式(手動式)

コードの先端に電気接点を設け、地下水面に到達した時点で電流が流れることにより深さを測定できるようにしたもの。

3 フロート式

地下水面にフロートを浮かし、その昇降をワイヤーを介して地上の記録計で記録するもの。

6-3 間隙水圧調査

間隙水圧の調査は、地すべりに関係する地下水の間隙水圧を直接的に測定するために行うものとする。

[解説]

すべり面に作用する間隙水圧は、安定解析等に用いられる重要な因子の一つである。間隙水圧調査は、すべり面が判明している場合に、すべり面付近の地下水の間隙水圧を直接的に測定する

ものである。

1 間隙水圧計の設置

地すべりにおける間隙水圧の測定は、すべり面付近を測定し、この部分の水圧が測定可能なように、事前にボーリング孔内のすべり面や地下水帯の位置を十分確認しておく。

測定方法には、間隙水圧計を埋設して直接水圧を測定する方法とすべり面付近のみをストレーナ加工し、その上下を遮水した水位観測専用孔で水位を観測する方法がある。

2 測定・データ整理

測定は、自記記録計ないしは自動観測システム等により行い、変動図に整理する。

[参考]

地下水位と地すべりとの関係

地下水位とは、地下水がある状態でもっている圧力水頭と位置水頭の合計を高さで表わしたものをいい、次の式で表わされる。

$$h = P / \gamma_w + Z \quad \langle 2-6-1 \rangle$$

ここで、

h : 地下水位 (m)

P : 地下水圧 (kN/m²)

Z : 基準面からの高さ (m)

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

また、地すべりのすべり面充填物のせん断強さ (τ) と垂直応力 (σ) との関係は次の式で表わされる。

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad \langle 2-6-2 \rangle$$

ここで、

c : 粘着力 (kN/m²)

ϕ : せん断抵抗角 (°) (粘土の場合では含水量によって著しく変化することがあり、 c' 、 ϕ' とダッシュをつけ、有効応力による粘着力、せん断抵抗角と呼んで区別することがある。)

u : 間隙水圧 (kN/m²)

上式中の間隙水圧は、すべり面に連続する地下水の水位に基づく水圧(揚圧力)とダイレタンスーによる過剰間隙水圧の両方からなるが、地すべり防止工事として行う排水工法の対象となるのは、主として前者、すなわち地下水に基づく水圧である。

地下水位調査は、この揚圧力 u を知ることを目的として行うものである。

6-4 地下水検層

地下水検層は、ボーリング孔内の地下水の比抵抗又は温度を測定し、地下水流動層の位置、流動の程度等、地下水の動態を把握するために行うものとする。

[解説]

地下水検層は、ボーリング孔内の地下水に対して、指標となる電気抵抗又は温度等を連続的に

測定し、その値の変化の傾向から地下水の動態を鉛直的に把握するものである。

測定には、流動状況等を判断して適切な調査方法を選択する。

[参考]

1 電気抵抗を測定する方法

検層方法には、ボーリング孔内の状況により、自然水位検層、汲み上げ検層及びステップ検層等の方法がある。

(1) 自然水位検層（食塩水検層）

ボーリング孔内に、食塩等の電解質を投入し溶解させて、孔内水の電気抵抗をあらかじめ下げておき、地下水流動層から流入する地下水との置換希釈による抵抗値の変動を垂直的に測定することにより、地下水の流動状況を把握するものである。なお、塩分濃度が高い地層では、真水を入れその抵抗値の減少を測定する場合もある。

(2) 汲み上げ検層

流動性に乏しい地下水層を確認するためには、強制的に孔内水を汲み上げて孔内水位を下げ、動水勾配を急にして地下水検層を行うものである。

(3) ステップ検層

地下水検層は、孔内水が存在するのが条件であり、不透水層を破ると孔内水が逸水する場合に、ボーリングの掘進と平行して一定の掘削区間ごとに孔内を洗浄し地下水検層を行うものである。

2 温度を測定する方法

温度計を用いて、孔内水の温度を深度ごとに測定し、地下水の流動による温度変化により地下水の流動状況を垂直的に把握するものである。

測定方法には、ボーリング掘削後孔内が泥水で満たされているときの温度変化を測定するもの、孔内に温水（冷水）を注入することにより強制的に孔内温度をかく乱して温度勾配の変化をみるもの、及び自噴中の温度分布と静止状態での温度分布を調べるもの（主として温泉性での熱水貯留層の特性を調べる。）がある。

6-5 地下水追跡調査

地下水追跡調査は、トレーサーを用いて地下水の経路及び流速等を把握するために行うものとする。

[解説]

地すべり調査における地下水追跡調査は、トレーサーにより地下水の供給源、供給経路、流速等、地下水の流動動態を把握するために行う。

1 測定

上流の地下水賦存が確認できる位置からトレーサーを投入した後、地下水が流達すると想定される位置で一定時間ごとに地下水を採水し、トレーサーの溶存濃度を調べる。

2 トレーサーの種類

調査に用いるトレーサーは、水に良く溶解安定した物質で、土粒子等に吸着されず、検出が容易で毒性がないこと等の条件を備えたものを使用する。一般的には、食塩を用いるが、蛍光染料等を用いることもある。

3 データ整理

調査の結果は、バックグラウンドを超える値が検出された場合をもってトレーサー検出とし、これより地下水の流路及び流速を推定し、図表に取りまとめる。

6-6 簡易揚水試験

簡易揚水試験は、掘進中のボーリング孔を使用して孔内水を汲み上げ、地下水量及び透水係数を求めるために行うものとする。

[解説]

簡易揚水試験は、掘進中のボーリング孔において、一定の区間ごとに孔内水を汲み上げて揚水量、水位の回復状況を測定し、各区間ごとの地下水量及び透水係数を求めるために行う。

1 測定

試験は、一定のボーリング掘削区間長（標準 3 m）ごとにボーリング掘進を止めて、試験区間より上部はケーシングパイプにより遮水する。次に、孔内水を一定水位になるまで汲み上げ、その汲み上げ量を測定する。さらに、汲み上げ停止後の孔内水位の回復を測定する。

2 データ整理

簡易揚水試験の結果から水位回復曲線を作成して、各区間の透水係数を求めて、地質柱状図に揚水量と透水係数を表示する。

[参考]

回復法による透水係数の算定は、時間と水位との測定記録から次式を用いて行う。

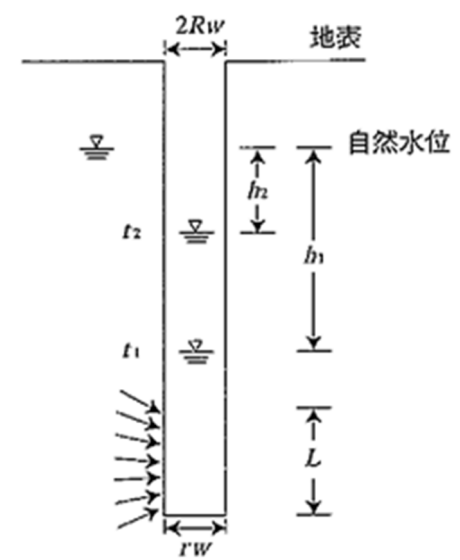


図 2-8 簡易揚水試験図

$$k = \frac{(2.3)^2 R_w^2}{2L(t_2 - t_1)} \log\left(\frac{L}{r_w}\right) \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad \langle 2-6-3 \rangle$$

ここで、

k : 透水係数 (cm/s)

R_w : ケーシングの内径半径 (cm)

t₁ : 測定開始時間 (s)

- t_2 : 測定終了時間 (s)
- h_1 : 測定開始水位(自然水位から) (cm)
- h_2 : 測定終了水位(自然水位から) (cm)
- L : 先端試験区間長 (cm)
- r_w : 先端試験区間の外径半径 (cm)

6-7 揚水試験

揚水試験は、ボーリング孔、井戸等から孔内水を汲み上げ、そのときの周辺の地下水変動から地下水量、透水係数、影響半径等を求めるために行うものとする。

〔解説〕

揚水試験は、対象とする地下水層に対して揚水孔と観測孔を設け、揚水孔から孔内水を汲み上げたときの揚水量と揚水孔・観測孔それぞれの水位の変動から、地下水量、透水係数等の水理学的定数と異方性、排水に伴う影響半径等を求めるものである。

特に、数多くの地下水排除工を計画する場合に、その配置、規模等を決定するための基礎資料を得ることができる。

1 測定

対象とする地下水層に当たる区間にストレーナ加工を施した揚水孔を設置し、揚水ポンプにより揚水を行う。揚水孔及び周囲に配置した観測孔の水位を測定しながら計画揚水量で揚水し、各水位が平衡状態に達したら揚水を停止し、水位が回復するまで水位の測定を実施する。

2 データ整理

揚水試験の結果を水位変化図、地下水面等値線図等に取りまとめるとともに、透水係数等を算出する。

〔参考〕

1 揚水試験の解析

揚水試験の解析方法は数多くあるが、Thiem(ティーム)の式は次のとおりである。境界面がなく単独井の場合の式が基本形である。

(1) 境界面がない場合の式(基本形)

① 自由地下水

$$Q = \pi k(H^2 - h_w^2) / \ln(R/r_w) \quad \langle 2-6-4 \rangle$$

$$\pi k(H^2 - h^2) = Q \cdot \ln(R/r)$$

ここで、

- Q : 完全井の揚水量 (cm³/s)
- k : 透水係数 (cm/s)
- H : 原水位高 (cm)
- h_w : 井戸水位高 (cm)
- h : 井戸中心から r 離れた任意の点 $P(x, y)$ での水位高 (cm)
- R : 影響半径 (cm)
- r_w : 井戸半径 (cm)
- r : 井戸中心からの距離 (cm)

② 被圧地下水

$$Q = 2\pi T(H-h_w)/\ln(R/r_w) \quad \langle 2-6-5 \rangle$$
$$2\pi T(H-h) = Q \cdot \ln(R/r)$$

ここで、

T : 透水量係数= kb_w (cm^2/s)
 b_w : 被圧帯水厚 (cm)

地すべり地の場合、被圧地下水が一般的である。

(2) 境界面が一つの場合

① 片側不透水壁の場合

ア 自由地下水

$$Q = \pi k(H^2-h_w^2)/\ln(R^2/2a_1r_w) \quad \langle 2-6-6 \rangle$$
$$\pi k(H^2-h^2) = Q \cdot [\ln(R/d_1) + \ln(R/d_2)]$$

ここで、

a_1 : 実井中心から不透水壁までの距離 (cm)
 d_1 : $[x^2+y^2]^{1/2} \dots \dots \dots$ 実井からの距離 (cm)
 d_2 : $[x^2+(2a_1-y)^2]^{1/2} \dots \dots \dots$ 虚井からの距離 (cm)

イ 被圧地下水

$$Q = 2\pi T(H-h_w)/\ln(R^2/2a_1r_w) \quad \langle 2-6-7 \rangle$$
$$2\pi T(H-h) = Q \cdot [\ln(R/d_1) + \ln(R/d_2)]$$

② 片側が涵養壁の場合

ア 自由地下水

$$Q = \pi k(H^2-h_w^2)/\ln(2a_1/r_w) \quad \langle 2-6-8 \rangle$$
$$\pi k(H^2-h^2) = Q \cdot \ln(d_2/d_1)$$

イ 被圧地下水

$$Q = 2\pi T(H-h_w)/\ln(2a_1/r_w) \quad \langle 2-6-9 \rangle$$
$$2\pi T(H-h) = Q \cdot \ln(d_2/d_1)$$

この他、群井の場合や互いに直交、又は平行する二つの境界面の式などが提案されている。

2 井戸公式等に用いる用語

原水位高：被圧地下水では任意の基準面、また、自由地下水では不透水層から測った水位面の高さ。

井戸水位（井水位）：井戸壁水位での位置高。井戸内水位とは必ずしも一致しない。

境界面：涵養壁や不透水壁等、地下水文的な不連続面。

涵養壁：そこでの水位高が揚水によって変わらないとする位置。地すべりによる冠頭部亀裂（滑落崖）又は側壁の列状亀裂等は、雨水の浸透によりそこでの水位が容易に上昇する。地すべり防止工事計画としては、そこでの水位が変わらないとするのが安全

側であり、排水計画に当たってはそこを涵養壁とする。

不透水壁：地下水文的連続性を区切る境界面。例えば、岩盤地すべりにより生じた頭部陥没帯の下流側の壁等、そこからの地下水の出入りが無いとする面の位置。

完全井：帯水層を貫通している井戸。

不完全井：帯水層を貫通していない井戸。

複合井：ある半径の円周上に複数本の井戸を配置した場合、それらの井戸と等価な1本の井戸。

群井：同一の影響半径R内に介在する井戸群。群井の重ね合わせはRの範囲内に限られる。

6-8 水質調査

水質調査は、地下水等の水質を分析し、その化学的特性を把握するために行うものとする。

〔解説〕

水質調査は、湧水、井戸及びボーリング孔等の孔内水の化学的特性を調査し、地下水経路の違いやその水質特性を把握するために行うものである。

調査方法は、現場で実施可能な現地測定と採水した試料で定性・定量分析を行う室内試験があり、現地状況に合わせて、調査方法、調査項目を選択する。

1 現地測定

現地で簡易な計測器を用いて行う方法であり、項目は限られるが数多くの地点を調査でき、時間経過による水質の変化を避けることができる。一般的に行われる調査項目は、水温、pH（水素イオン濃度）等の基本的な要素のほかに、溶存イオンの総量に関連する電気伝導度や溶存酸素等がある。

2 室内試験

採水した試料を用いて水質分析（JIS K 0101、JIS K 0102 等）を行い、精度が高い詳細な水質特性を調査する。一般的に行われる分析項目は、pH、電気伝導度、主要イオン（下記）、ケイ素の量等である。

主要陽イオン：ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン等

主要陰イオン：塩素イオン、硫酸イオン、アルカリ度（炭酸水素イオン）等

6-9 地下水流出量調査

地下水流出量調査は、地すべり地から湧出した地下水の流出量を調査して、地下水の動態を把握するために行うものとする。

〔解説〕

地すべり地内からの地下水の流出を把握するために、湧水、井戸、ボーリング孔等からの流出量を調査するものである。

地下水流出量の測定法には、次の3つの方法がある。

1 容器による測定方法

量水枘又は量水箱を使用して、時間あたりの水量を手動で測定する。

2 量水堰による測定方法

ノッチをつけた量水堰を作り、水位を自記水位計等で測定して流量公式（JISB 8302 等）により流出量に換算する。

3 流量計による測定方法

パーシャルフリューム(JIS B 7553)、堰型、転倒ます型の流量計又は電磁流量計により測定する。

6-10 取りまとめ

地下水調査の成果は、調査種に応じて資料を分析し、地すべり移動と関連する地下水の水圧や分布が把握できるよう、図表に整理し取りまとめるものとする。

〔解説〕

地下水調査の結果は、地下水圧や地下水の平面的、垂直的な分布を把握するための重要な基礎資料であり、平面図、地質断面図等に整理するとともに、すべり面に働く地下水圧や地下水の状況についても考察を行う。

第7節 地表移動量調査

7-1 総説

地表移動量調査は、地すべりの表面的な移動状況について把握することを目的とする。

〔解説〕

地表移動量調査は、地中変動量調査と合わせて移動量、移動方向、移動速度を把握し、地すべりブロック区分の確定の資料とする。

調査種は、次を標準とし、現地状況に応じて選択する。また、必要な場合には、地上及び地中の自動測定システムとを組み合わせ、自動観測化する。

- 1 標識観測
- 2 地表伸縮計
- 3 地盤傾斜計

7-2 標識観測

標識による観測は、地すべり地内外の地表面に設置した標柱や標識を測量し、地すべりの範囲、移動方向及び移動速度等を把握するために行うものとする。

〔解説〕

標識観測には、簡易変位板、標柱・標識観測があり、現地状況等に応じて適切なものを実施する。

観測結果は、平面図、移動量測定図等に取りまとめる。

1 簡易変位板

簡易変位板は、地すべり亀裂等を挟んで杭を設置し、その両端に切れ目の入った貫板を固定することで、このずれ量を測定するものである。

2 標柱・標識観測

標柱・標識観測は、地すべり移動方向が不明瞭な場合や、移動が激しい場合に用い、標柱や標識を設置し、測量等により地すべりの移動実態を把握する。

観測には種々の測量方法があり、調査の目的に合ったものを選択する。

〔参考〕

標柱・標識観測の方法

地すべり調査では、次の方法が一般に用いられる。

1 見通し線測量と高低測量

地すべり地を挟んだ両不動地に基準点を設け、それらを結ぶ見通し線上に測標を設定し、見通し線からの変位を測量する。測量には、トータルステーションや光波測距儀等を用いる。

2 三角測量等による方法

標柱又は標識を不動地点 2 箇所以上の測点から三角測量等により測量し、移動量を把握するものである。

3 空中写真

地すべり地内外に測標を設定して、小型飛行機・ヘリコプター・UAV等から空中写真を撮影し、一定期間後に再撮影したもの又は図化した地形図との比較により移動量を把握する。この場合、空中写真の縮尺は、地すべり移動の激しい場合は 3000 分の 1～5000 分の 1、移動の少ない場合は 500 分の 1～1000 分の 1 (ヘリコプターによる撮影)とする場合が多い。

4 G N S S 測量

地すべり地外と地すべり地内に設置した G N S S 受信機の相対位置を高精度に求める測量方法である。また、電子基準点から作成された補正情報を取得することでリアルタイムに高精度の位置を求めることができるネットワーク型 R K T (リアル・キネマティック) 法等の活用も進んでいる。

5 L P 測量

L P (レーザプロファイラ) 測量は、レーザを地表面に照射し、特徴のある地物又は標識を基に、地すべりの移動状況を把握するために行う。レーザ測距装置を UAV等に搭載し、空中から計測する方法や地上に設置して計測する方法がある。定期的に地表面の観測を行い、観測点の差分解析 (計測時期の異なる D E Mデータを利用) を行う事で、地表面の変動を把握することが可能となる。

7-3 地表伸縮計

地表伸縮計による観測は、地表面の圧縮・引張の動きを 2 点間に張られたワイヤーを介して測定し、地すべりの移動時期、移動量等を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 計器は、顕在化した亀裂等を対象に設置し、地すべりの移動方向に平行にインバー線等を張るよう努める。
- 2 地すべりブロック全体の動きを捉える場合、長大な斜面の場合等には、連続して数基の地表伸縮計を設置することがある。
- 3 記録には、自記式のほか自動観測等で使用される電子式の記録計も用いられるため、目的等を勘案して選択する。

7-4 地盤傾斜計

地盤傾斜計による観測は、地表面の傾斜変動を高感度の傾斜計により測定し、地すべりの移動状況を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 地盤傾斜計には、手動観測による水管式傾斜と自動観測で使用される電子式センサによる地

盤傾斜計があり、調査の目的に合ったものを選択する。

- 2 水管式傾斜計は計曲率半径の大きい水準器を用いた高感度な測定器で、2本の水準器をT字型に直交させることにより傾斜量を合成し、その地点における傾斜方向と傾斜量を求める。
- 3 水管式傾斜計は、地表に移動の徴候が出現しないようなわずかな動きを把握することができるため、極めて動きの少ない地すべりの範囲を決定する場合や、一旦地すべりが停止した後、再び移動の徴候を把握するときなどに用いる。

7-5 取りまとめ

地表移動量調査の成果は、調査種相互の関連を整理して、移動量、移動方向及び移動範囲等を適切な図表等に取りまとめるものとする。

〔解説〕

地表移動量調査は、地すべりの移動方向、範囲等を把握するために行うものであることから、その後の作業であるブロック区分の把握や調査種の選定等に資するように取りまとめる。

その際、既存の平面図等に移動量、移動方向等を図示し、地中変動量調査と関連付けができるようにする。

第8節 地中変動量調査

8-1 総説

地中変動量調査は、ボーリング孔を利用して計器類を設置し、すべり面の位置、移動量、移動方向及び移動層の変動等を把握することを目的とする。

〔解説〕

調査種は、次を標準とし、現地の状況に応じて選択する。

- 1 パイプひずみ計
- 2 孔内傾斜計
- 3 地中伸縮計
- 4 多層移動量計

地中変動量調査は、ボーリング孔内に生ずる変状を計測して地すべり活動を調査するものであり、すべり面の位置、移動量（移動時期・速度）、移動方向、移動層の変動等、地すべり機構の解明に重要な資料を得ることが可能である。

また、施工効果判定や維持管理の資料を得るためには、一定期間継続して調査を実施する。

〔参考〕

すべり面測かん

すべり面測かんは、ボーリング孔内に測かんを吊るしておき、一定期間ごとに測かんを引き上げ、地すべり活動により屈曲している場合、測かんが止まることにより、すべり面の位置を確認するものである。また、孔口から測かんを挿入することもある。

この方法は、地中の変動量を定量的に把握することはできないが、簡単かつ確実であるため、他の調査種の補助として使用することが多い。

8-2 パイプひずみ計

パイプひずみ計による観測は、ボーリング孔に挿入・固定したパイプのたわみを測定し、すべり面の位置、移動方向及び移動状況を把握するために行うものとする。

〔解説〕

パイプひずみ計は、パイプのたわみの変化を一定間隔で貼り付けたひずみゲージにより計測する。

通常は、パイプの外側に 1.0m 間隔を標準として 1 対のひずみゲージを貼り付け（1 方向 2 ゲージ式）、地すべりの移動方向に合わせてボーリング孔に挿入する。なお、地すべりの移動方向が明確でない場合には、直交する 2 方向にそれぞれ 1 対のひずみゲージを貼り付ける（2 方向 4 ゲージ式）ことにより、ベクトル解析して移動方向を特定する。

8-3 孔内傾斜計

孔内傾斜計による観測は、ボーリング孔に固定したガイドパイプの傾斜を測定し、すべり面の位置、移動量、移動方向及び移動層の変動を把握するために行うものとする。

〔解説〕

孔内傾斜計は、直交した 2 方向に案内溝を持つガイドパイプを、ボーリング孔に挿入・固定し、そこに計測器（プローブ）を挿入することで、ガイドパイプの傾斜を連続的に測定し、すべり面の位置、移動量、移動方向等を調べるものである。

測定は、一般に 50cm 程度の間隔で行い、2 方向の変位から地すべりの移動方向を求める。

なお、孔内傾斜計は高感度であるが、ガイドパイプ変位が大きくなる（5～10cm 程度）と、挿入が困難になる。

〔参考〕

設置型孔内傾斜計

連続的に同深度で傾斜を測定することができるように、地中に傾斜センサを埋設して使用することもある。

8-4 地中伸縮計

地中伸縮計による観測は、ボーリング孔等を利用して、基盤面に固定したワイヤを地表に誘導し、その伸縮量を測定することにより、地すべりの移動量を把握するために行うものとする。

〔解説〕

地中伸縮計は、すべり面を貫通したボーリング孔（保孔管）に設置したワイヤの伸縮量により移動量を計測するもので、ワイヤが切断されない限り計測を行うことができるため、移動の大きな地すべりに適している。

地中伸縮計は、ボーリング孔以外でも集水井等に設けることがある。

8-5 多層移動量計

多層移動量計による観測は、ボーリング孔を利用して各深度に固定したワイヤを地表に誘導し、その伸縮量を測定することにより、深度方向の土塊の変動を把握するために行うものとする。

〔解説〕

多層移動量計は、すべり面が不明な場合やすべり面が多数ある場合に、すべり面の位置、移動量、移動層の変位を把握するため、多数のワイヤを深さ方向に一定間隔（標準で 1 m 程度）で固定して、各深度ごとの移動量を計測するものである。

上部の沈下量の修正ができ、測点間の移動量も測定できる。

8-6 取りまとめ

地中変動量調査の成果は、地中のすべり面や移動状況が把握できるように取りまとめるものとする。

〔解説〕

地中変動量調査の結果は、地すべりのすべり面形状や移動状況を把握するための重要な基礎資料であり、地下水調査等の結果と対比しながら時系列的に図表に整理するとともに、すべり面の位置や移動状況について取りまとめる。

第9節 気象調査

9-1 総説

気象調査は、地すべり地及びその周辺における気象を調査して、地すべり移動との関連性を把握することを目的とする。

〔解説〕

気象調査は、地すべり地及びその周辺において、降水量や積雪量を調査することにより、地すべり移動と降雨、積雪との関連を解析する基礎資料を得るために行う。また、気温等を観測して、融雪量を推定することもある。

調査種は、次を標準とし、現地の状況に応じて選択する。

- 1 降水量調査
- 2 積雪量調査

なお、現地での観測を実施できない場合は、最寄の気象観測所の観測データを利用することがあるが、必要に応じて、適正な方法で観測データを補正する。

〔参考〕

一般気象調査

地すべり防止工の計画、設計で、必要に応じて気温、湿度、風速、風向、日射量、日照時間等の一般的な気象データを継続観測し基礎資料とする場合がある。

9-2 降水量調査

降水量調査は、現地で降水量を測定し、降雨特性を把握するために行うものとする。

〔解説〕

降水量調査は、雨量計により現地の降水量を測定し、降雨と地すべり移動の関係を明らかにする調査である。使用する雨量計は、自記記録計又は自動観測システムに接続した転倒ます式雨量計を標準とする。

9-3 積雪量調査

積雪量調査は、現地で積雪量を測定し、降雪特性を把握するために行うものとする。

〔解説〕

積雪量調査は、積雪深を現地で観測することを標準とする。

積雪は、場所により密度が異なるので、本来は水量に換算した積雪水量を測定するが、積雪水量を直接測定することは困難であるため、積雪深を指標とした調査を行う。

積雪深の継続観測には、次の2つの方法がある。

1 雪尺による方法

現地に立てた雪尺の目盛りを読むことにより積雪深を測定する。

2 積雪深計による方法

超音波式や光センサを利用した積雪深計を設置し連続的に観測する。

[参考]

融雪量調査

地すべり活動の誘因として融雪がある。この量を把握するため、以下の方法が用いられる。

1 積雪水量変化

積雪水量変化は、積雪水量の時間変化から融雪量を推定するもので、融雪量のほかに、雪内の含水量の増減、降水・降雪量を加味して求める。

2 融雪水流出法

融雪水流出法は、雪が融けて流出した流量から融雪量を見積もるものである。この方法としては、ライシメーター法、流域流出法がある。

3 デグリーディ法

デグリーディ法は、積算気温法ともいい、時間平均（例えば1日や1時間）の気温と基準温度との差を一定期間について積算し、その相関から融雪量を簡便に求めることができる。

9-4 取りまとめ

気象調査の成果は、調査の種類に応じて資料を分析し、地すべり移動と関連する気象条件が把握できるように、図表に整理し取りまとめるものとする。

[解説]

気象調査の成果は、年降水量、雨量分布図、最大日雨量、最大時間雨量、連続降雨量、降雪量、最大積雪量等のデータを取りまとめ、図表に整理する。

また、気象調査の結果は、地すべりの誘因を把握するための重要な基礎資料であり、地すべり移動との関連について考察を行う。

第10節 機構解析

10-1 総説

機構解析は、地すべり防止工事計画策定のために、当該地すべりの素因、誘因及び機構を総合的に解明することを目的とする。

[解説]

機構解析は、地すべり調査の結果等を活用して、地すべりの土質条件、発生機構及び移動特性を明らかにし、地すべり防止計画策定のための基礎資料として取りまとめるものである。

機構解析では、次の事項を解明する。

- 1 すべり面の判定
- 2 ブロック区分の確定
- 3 発生機構の解明
- 4 安定解析に用いる諸元の設定

10-2 測線の設定

10-2-1 総説

測線は、地すべりブロックを立体的に把握し、地すべり機構解析に必要な基準線となるように設定するものとする。

〔解説〕

測線の設定は、機構解析及び設計・施工等の成否に重要な影響を及ぼすので、慎重に設定する。

10-2-2 測線の設定

測線は、現地調査に基づき、地すべりブロックを代表する位置に設定するものとする。

〔解説〕

1 測線の設定

測線は、安定解析等の基準線として利用するほか、現地調査における各種調査の測線網の基準線にすることもあるため、地すべりブロックを代表する位置に設ける。

二次元及び近似三次元の安定解析を行う場合は、測線の設定が解析結果に大きく影響するため、測線の位置、方向及び長さの決定に当たっては、慎重に決定する。

2 測線の設置

(1) 測線の位置及び方向は、現地調査で把握した移動範囲及び移動方向に基づき、地すべりブロックの中心部に移動方向と平行に設けることを基本とする。ただし、地すべりの最深部が現地踏査により中心線に位置しないことが判断できた場合には、測線を最深部に設けることが望ましい。なお、斜面で移動方向が変化する場合は、折れ線として設定する。

(2) 測線の長さは、地すべりブロックを縦断し十分に余裕を持った長さとする。地すべり頭部側は、背後から供給される地下水状況の確認に供するため、十分な長さを確保し、地すべり防止工として押え盛土工を採用する可能性のある場合や、末端横断河川の形状が影響する場合など、すべり面の末端形状が重要となる場合は、末端部も十分な長さを確保する。

(3) 測線の基準点は、後日照査が可能なように不動地点に設ける。

3 副測線の設定

副測線は、地すべりブロックが大きいか、又は複雑（非対称）で、測線のみでは十分な調査成果が得られない場合に設ける。また、地すべりの機構や地下水分布等を立体的に把握する場合は、地すべりの規模や形態により測線を複数設定する。

副測線を三次元安定解析等の測線として用いる場合、測線の位置、方向及び長さの決定に当たっては、十分に検討する。

10-3 すべり面の判定

すべり面の形状は、地すべり調査の結果を総合的に検討し、判定するものとする。

〔解説〕

すべり面の形状は、安定解析や工種・工法の選定・配置、地すべり防止工の効果に重大な影響を及ぼすため、地すべりが三次元現象であることを念頭に、立体形状をできるだけ正確に把握することが重要である。

判定に当たっては、現地踏査等で得られた知見や地表変動量調査の結果から、地表部のすべり面位置を確定し、その他の現地調査や地中移動量調査、地下水調査等の結果を総合的に判断して

すべり面の位置を決定する。

すべり面は、立体形状が分かるよう縦断面図、横断面図、等高線図等に取りまとめる。なお、十分な調査が実施されている地すべりでは、三次元で地すべり形状を把握し、CAD等で容易に三次元モデルを構築することができる。

10-4 地すべりブロック区分の確定

地すべりブロック区分は、すべり面形状や移動状況等を総合的に判断して確定するものとする。

〔解説〕

地すべりのブロック区分は、現地調査において把握した地すべり範囲と各種調査結果を総合的に勘案し、すべり面の形状、変状の状態や移動特性等から、最終的にブロック区分を確定するものである。このブロック区分は、安定解析や地すべり防止工事計画の基本単位となる。

区分された地すべりブロックについては、各ブロック毎に区分の根拠・理由、移動状況、拡大の可能性、隣接ブロックとの関係、保全対象に対する影響等について明らかにする。

10-5 地すべり発生機構の解明

地すべり発生機構の解明は、地すべりの素因、誘因を究明し、地すべりの移動特性を明らかにするために行うものとする。

〔解説〕

地すべり発生機構の解明は、現地調査に基づき滑動の原因となる素因や誘因を究明し、それらと地すべりの移動の関係を解明するものである。地すべり発生機構の解明は、地すべり防止工事計画を立案する上で重要な事項である。

1 地すべりの素因

地すべりの素因とは、地すべりが発生する場所に備わっている発生原因であり、具体的には地形、地質、地質構造、地下水文条件等である。

素因を明らかにすることで、地すべりブロックやすべり面形状を検証することが可能となるとともに、地すべり活動が活発化する可能性の大小についても検討することができる。

地すべりブロック外でも同様の素因を有する区域については、地すべりが拡大する可能性を考慮する。

拡大の可能性が高い場合は、排土工や押え盛土工等の地すべり防止工の組合せに制限が生じるほか、地すべり拡大防止のための計画も考慮する。

2 地すべり発生の誘因

地すべり発生の誘因とは、地すべりが発生するきっかけとなる現象や行為である。誘因は、自然現象が原因となる場合と人為が原因となる場合に分かれる。

自然的誘因としては、一般的に降雨や融雪に伴う地下水圧の上昇が挙げられるが、その他にも地すべり末端が小規模崩壊や河川の洗掘等で削られることによるもの、積雪荷重や地震によるもの等がある。

人為的誘因としては、斜面の切土や盛土、トンネル掘削等の土工によるもの、ダム湛水によるもの等が挙げられる。

上記の主な誘因を明らかにして、適切な工種・工法の組合せや施工順序を検討する。

〔参考〕

安定解析式を用いてすべり面せん断強さパラメータを逆算する場合には、適切な安全率を与えるが、安全率の検証が可能となるのは、地すべりがすべり始める臨界状態、すなわち安全率 $F_s =$

1.0 の場合だけであるので、臨界状態における地下水圧分布を観測データから把握することが望ましい。

10-6 安定解析

10-6-1 総説

安定解析は、必要な安全水準を確保した地すべり防止工の工種・工法及び規模を決定するために行うものとする。

〔解説〕

安定解析の主な目的は、地すべり防止工の効果を地すべりの安全率等を用いて評価し、地すべり防止工の工種・工法及び規模を決定することである。

安定解析は、移動特性を考慮して解析対象とする移動ブロックを特定し、その移動ブロック毎に安全率を計算しながら行う。

安定解析の手順を図 2-9 に示す。

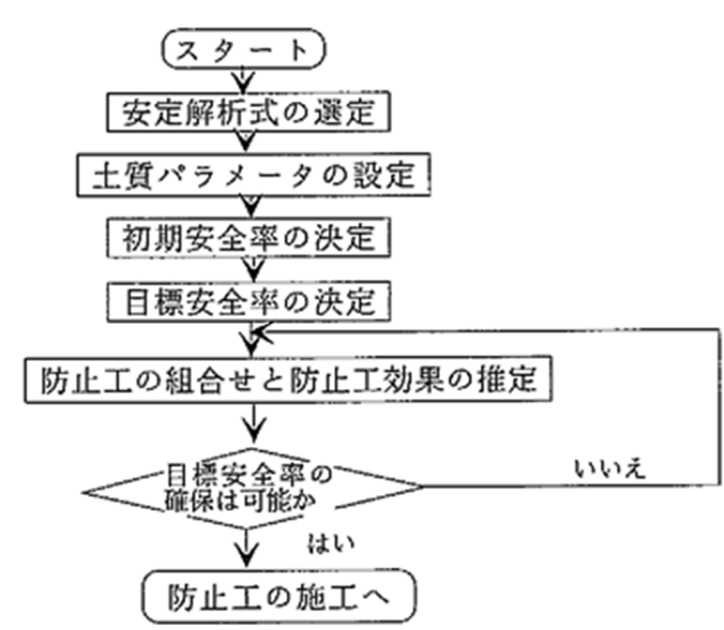


図 2-9 安定解析の流れ

10-6-2 安定解析の方法及び種類

安定解析の方法及び種類は、地すべりの規模、すべり面の形状、地下水文条件等を考慮して選定するものとする。

〔解説〕

安定解析の方法は、すべり面におけるせん断応力とせん断強さの極限的釣り合いのみを考慮した極限平衡法と、応力-ひずみ関係を取り入れた応力解析法の 2 つに大別され、地すべりの機構解析及び地すべり防止工事計画に用いる安定解析は、極限平衡法が一般的である。

極限平衡法では、いくつかのスライスに分割して安定計算する分割法が一般的であり、二次元解析と三次元解析の 2 つの方法がある。

二次元安定解析式の種類は、一般的な式として Bishop (ビショップ) 法、Janbu (ヤンプ) 法等があり、より厳密な式として Morgenstern&Price (モルゲンシュテルン&プライス) 法、Spencer (スペンサー) 法等がある。

安定解析の方法及び種類は地すべりの特性に合わせて選定する。

1 地すべりの規模

地すべりは三次元的な土塊の移動現象であるが、実用的に主断面での斜面の均衡を考えた二次元安定解析が用いられている。しかしながら、地すべり規模が大きい場合や主断面がブロック中央から著しく偏っている場合、地すべりの横断面形状が非対称である場合等は、1つの二次元断面のみで、地すべり全体の安定性や全体の地すべり防止工の効果を適正に評価することが困難となる。このような場合、三次元の安定解析手法を用いることが望ましい。

2 すべり面の形状

二次元安定解析式は非円弧すべりに対応した式と円弧すべりに対応した式に分けることができる。解析に当たっては、すべり面の形状に合った安定解析式を選定する。

(1) 非円弧すべり対応：Janbu（ヤンプ）法、Morgenstern&Price（モルゲンシュテルン&プライス）法、非円弧対応：Spencer（スペンサー）法等

(2) 円弧すべり対応：Bishop（ビショップ）法、円弧対応：Spence（スペンサー）法等

3 地下水文条件

一般的に地すべりに作用する地下水はすべり面付近の亀裂帯等を流れているものと考えられ、地下水が有圧地下水又は被圧地下水の場合と判断し、すべり面に作用する水圧のみを考慮する。

[参考]

稀なことではあるが、地下水検層等により移動層内全体を地下水が流動すると判断される場合（地下水が自由地下水の場合）においては、すべり面に作用する水圧の他にスライス面に作用する水圧を考慮する。その場合の水圧の与え方には、「全重量及び全間隙水圧を考慮する方法」と「水中重量及び浸透水圧を考慮する方法」がある。

1 被圧（有圧）地下水対応の二次元安定解析式

被圧（有圧）地下水対応の代表的な二次元安定解析式は、次のとおりである。

(1) 簡易 Janbu（ヤンプ）式

非円弧すべり対応の安定解析式は多数提案されているが、代表的な式として簡易 Janbu 式がある。簡易 Janbu 式は実用的な計算精度を持ち、簡易な安定解析式として広く利用されている。

$$F = f_0 \frac{1}{\sum W \tan \alpha + Q} \sum \frac{c' b + (W - ub) \tan \phi'}{n_\alpha}$$

$$n_\alpha = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi' / F) \quad \langle 2-10-1 \rangle$$

$$f_0 = \left[50 \frac{d}{L} \right]^{1/33.6}$$

ここで、 f_0 ：修正係数、ただし、 $d/L \leq 0.02$ 以下では $f_0 = 1.0$

Q ：作用する水平力（kN/m）

W ：スライスの重量（kN/m）

α ：すべり面傾斜角（°）

c' ：粘着力（kN/m²）

- b : 細片の幅 (m)
- u : 平均間隙水圧 (kN/m^2)
- ϕ' : せん断抵抗角 ($^\circ$)
- L : 舌端部と冠頭部亀裂の深さの点を結んだ直線長 (m)
- d : L と L に平行でかつすべり面に接する直線との間の距離 (m)

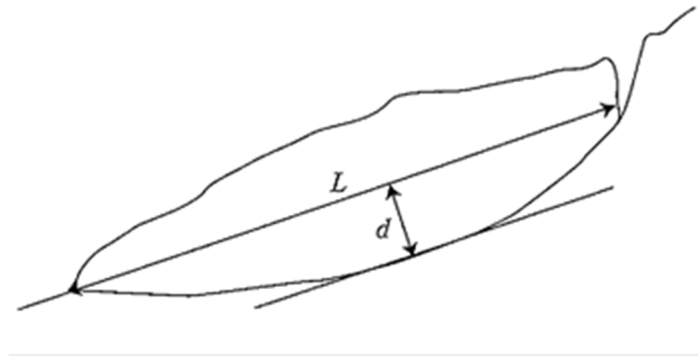


図 2-10 d/L の測り方
(出典) 地すべり工学-最新のトピックス- (株山海堂 H7.3)

(2) SHIN-Janbu (シン-ヤンプ) 法

岩盤地すべりにおける陥没帯の形成過程を模式的に示すと図 2-11 のようになる。SHIN-Janbu 法は、岩盤地すべりにおける陥没帯の形成過程の各段階に応じてすべり面のせん断抵抗や陥没帯内の地下水圧の影響が変化することを考慮して、Janbu 式を改良したものであり、その代表的な式として初動すべりの式と一体すべりの式について示す。

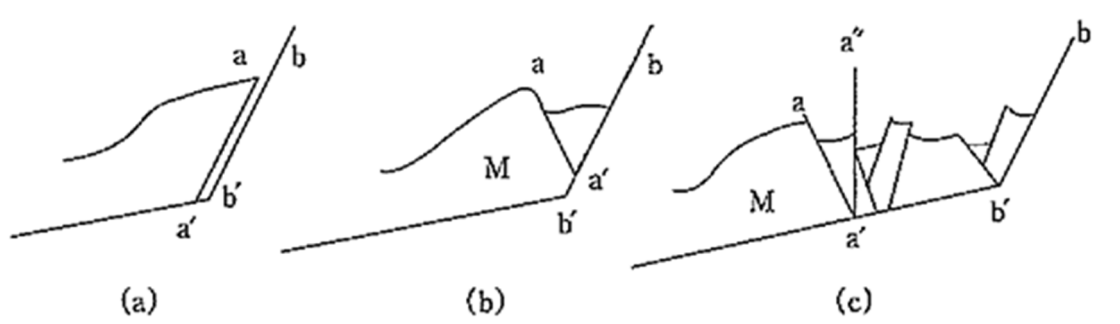


図 2-11 陥没帯の形成過程
(出典) 地すべり工学-最新のトピックス- (株山海堂 H7.3)

ア 岩盤初動すべり

初動すべりは陥没帯形成過程の初期段階であり、主滑落崖でのせん断抵抗が十分に発揮されていない状態の安定解析式である。

図 2-12 において、①面 $a-a'$ に水圧 V が作用する、②面 $a-a'$ にはせん断抵抗が働かない、③細片 n の有効重量は細片 $(n-1)$ と合体させて細片 $(n-1)$ のすべり面に働くこととする。

$$F=f_0 \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{c'b + (W-ub)\tan\phi'}{n\alpha} \right) + \frac{W_n \tan\phi'}{n\alpha_{n-1}}}{\sum_{i=1}^{n-1} (W \tan\alpha) + W_n \tan\alpha_{n-1} + Q}$$

<2-10-2>

ここで、 W_n : スライス n の重量 (kN/m²)

W'_n : スライス n の有効重量 = $W_n - V \cdot \cos\theta$ (kN/m²)

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2 / \sin\theta$$

$$Q = V \cdot \sin\theta = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2$$

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

θ : 亀裂面の水平面に対する傾斜角 (°)

Z_w : 亀裂内水位高 (m)

f_0 : 簡易 Janbu 式の修正係数

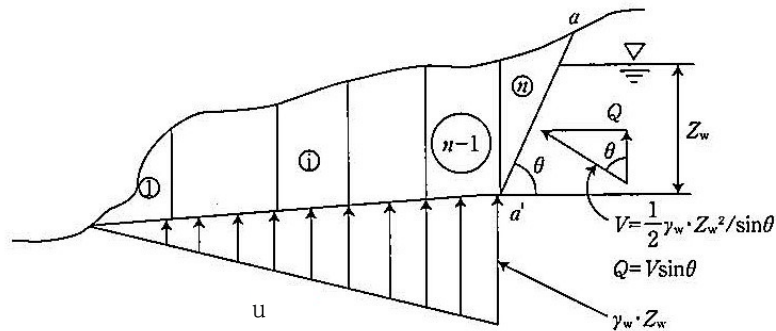


図 2-12 亀裂内水位 Z_w と揚圧力 u の分布

(出典) 地すべり工学-最新のトピックス- (株山海堂 H7.3)

イ 一体すべり

図 2-13 において、①水圧 V は面 $a-a'$ に作用し、②面 $b-b'$ に沿うすべり面でのせん断抵抗は有効とする。

$$F=f_0 \frac{\sum_{i=1}^n \frac{c'b + (W-ub)\tan\phi'}{n\alpha}}{\sum_{i=1}^n W \tan\alpha + Q}$$

<2-10-3>

ここで、 $W_n = 1/2 \gamma_t (h+h')b + V \cos\theta - 1/2 (\gamma_t - \gamma') Z_w^2 \cot\theta$

W_n : 壁脚部スライスの重量 (kN)

γ_t 、 γ' : 土塊の湿潤、水中の単位体積重量 (kN/m³)

Z_w : 壁脚部尻 a' での水位高 (m)

2 自由地下水対応の二次元安定解析式

(1) 修正 Fellenius (フェレニウス) 式

円弧すべりに対する安定解析式であるが、地下水圧を自由地下水のように浮力として扱う方法である。崩壊性の地すべりで移動層内の地下水がほぼ自由地下水とみなせる場合に適する。

$$F = \sum \frac{c' l + (W - ub) \cos \alpha \tan \phi'}{W \sin \alpha} \quad \langle 2-10-6 \rangle$$

(2) 水中重量と浸透水圧を考慮する方法

① 自由地下水対応 Bishop (ビショップ) 式

$$F = \frac{1}{\sum \left\{ W \sin \alpha + P \cos(\theta - \alpha) \sqrt{1 + \frac{u^2}{4r^2} - \frac{u}{r} \cos \alpha} \right\}} \times \sum \frac{c' b + (W' + \Delta X + P \sin \theta) \tan \phi'}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \quad \langle 2-10-7 \rangle$$

ここで、 W' : 土塊の有効重量 (kN/m)
 α : すべり面傾斜角 (°)
 θ : 地下水面傾斜角 (°)
 P : 浸透力 ($= \gamma_{wi} \cdot V = \gamma_w \sin \theta \cdot ub$)
 ΔX : 細片の両壁に作用するせん断力の差
 $X_n - X_{n+1}$ ($\sum \Delta X = 0$)

② 自由地下水対応 Janbu (ヤンプ) 式

$$F = \frac{1}{\sum (W' + \Delta X) \tan \alpha + \sum P (\sin \theta \tan \alpha + \cos \theta) + E_b - E_a} \times \sum \frac{c' b + (W' + \Delta X + P \sin \theta) \tan \phi'}{n_\alpha} \quad \langle 2-10-8 \rangle$$

ここで、 α : すべり面傾斜角 (°)
 θ : 地下水面傾斜角 (°)
 W' : 土塊の有効重量 (kN/m)
 ΔX : 細片の両壁に作用するせん断力の差 ($\sum \Delta X = 0$)
 P : 地下水の浸透力 (kN/m)
 E_a : 末端部に働く水平外力 (kN/m)
 E_b : 冠頭部に働く水平外力 (kN/m)

(3) 全重量と全間隙水圧を考慮する方法

① 自由地下水対応 Bishop 式

$$F = \frac{1}{\sum (W \sin \alpha + \Delta U \cos \alpha)} \sum \left[\frac{c' b + (W - ub) \tan \phi'}{\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi' / F} \right] \quad \langle 2-10-9 \rangle$$

ここで、 W : 土塊の重量 (kN/m)
 b : 細片の幅 (m)

- α : すべり面傾斜角 (°)
- c' : 粘着力 (kN/m²)
- ϕ' : せん断抵抗角 (°)
- u : すべり面に作用する平均間隙水圧 (kN/m²)
- ΔU : 細片両側に作用する水圧の差 (kN/m)

② 自由地下水対応 Janbu 式

$$F = \frac{1}{\sum\{(W-\Delta V) \tan \alpha + \Delta U\} + Q} \sum \frac{c' b + (W - \Delta V - ub) \tan \phi'}{n^\alpha} \quad \langle 2-10-10 \rangle$$

$$n_\alpha = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi' / F)$$

ここで、 ΔV : 細片両側に作用する鉛直力の差 (kN/m)

3 三次元安定解析式

三次元安定解析式は Hovland (ホフランド) 法が有名であるが、この方法は二次元の Fellenius (フェレニウス) 法を三次元に拡張した方法であり、Fellenius 法の計算誤差に関する問題をそのまま内包している。このため、鵜飼らは Bishop (ビショップ) 法や Janbu (ヤンブ) 法を三次元に拡張した方法を紹介している。

地すべりを三次元的な現象として解析するには、次のような問題について検討する。

(1) 移動土塊の三次元形状を詳細に調べる場合

推定したすべり面の三次元形状が実際と大きく異なる場合には、安定解析の計算誤差が大きくなるので、側壁付近を中心に形状を詳細に調べる。

(2) 三次元安定解析に対応した地すべり防止工の設計を行う場合

排土工や押え盛土工に対する安定解析は可能であるが、例えば、斜めに打設されるアンカー工の引き力をどのように三次元的に取り込むか、1本毎に長さの違う杭工の負担力をどのように取り込むかなど、抑止工や地下水排除工については設計手法が確立されていないので、慎重に検討する。

4 近似三次元安定解析式

近似的に三次元効果を評価する方法の1つに Lamb & Whitman (ラム・フィットマン) らが提案した方法がある。これは複数の縦断面での二次元安全率を求め、縦断面の断面積で重み付け平均を取る方法であり、図 2-15 に示すように各二次元安定解析断面での安全率 F と断面積 A を用い、次式をもって近似三次元安全率とすることとしている。三次元安定解析である Leshchinsky (レシュチンスキー) 法との比較で計算精度や手法の有効性が確認されており、排土工や地下水排除工の効果を三次元的に評価することが可能となる。

$$F_{3D} = \frac{A_1 \cdot F_1 + A_2 \cdot F_2 + A_3 \cdot F_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad \langle 2-10-11 \rangle$$

ここに、 F_{3D} : 三次元安全率の近似値

F_1 、 F_2 、 F_3 : 二次元解析による安全率

A_1 、 A_2 、 A_3 : 同上における断面積

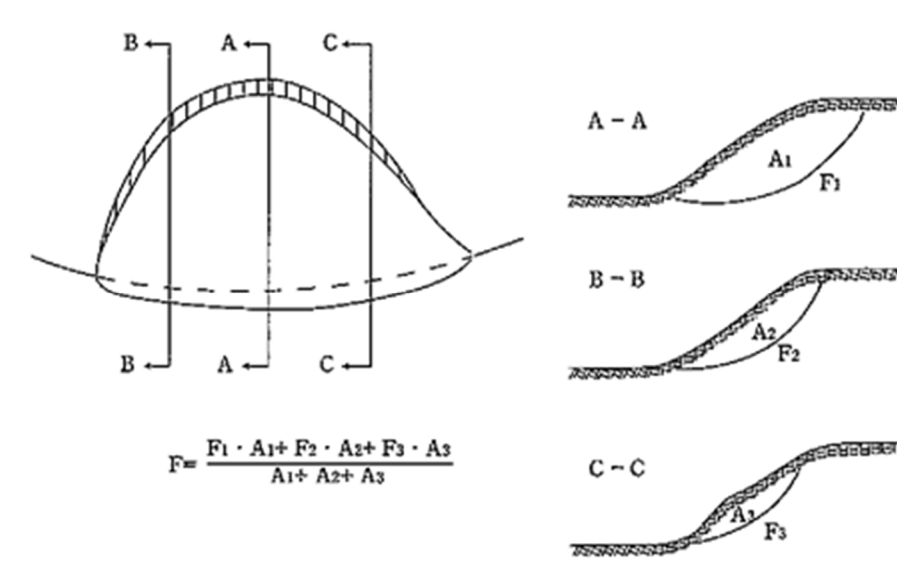


図 2-15 三次元効果の近似的取り扱い
(出典) 地すべり工学-最新のトピックス- (株山海堂 H7.3)

10-6-3 強度定数の設定

安定解析に使用する強度定数は、地すべり移動の実態又はすべり面粘土の試験結果等を経験した上で設定するものとする。

[解説]

安定解析に用いる強度定数には、すべり面粘土の粘着力 c 、せん断抵抗角 ϕ がある。

地すべりの安定解析は、有効応力解析を前提としていることから、せん断強さに関する定数も有効応力による粘着力 c' 、せん断抵抗角 ϕ' を用いる。

すべり面の強度定数は、土質試験結果により求めることが望ましいが、現場条件等により土質試験を実施できない場合は、同様の地すべり素因を有する地すべり地で用いられた土質試験値、文献情報、物理試験結果からの推定値等を利用する。

[参考]

極限平衡法による安定解析では、一般に先ず安全率を決定してから強度定数を逆算して求める方法（逆算解析）が用いられることが多い。

逆算解析には、 c' 、 ϕ' の設定の仕方により、次の方法がある。

1 ϕ' を設定して c' を逆算する手法

すべり面を含む乱さない試料を採取し、すべり面のせん断強さを直接計測するせん断試験や、乱したすべり面粘土を利用する各種残留強度試験（リングせん断試験、繰り返し一面せん断試験等）により ϕ' を求め、これを安定解析に代入し c' を逆算する手法である。

ここで算出される c' の値には特殊な規制条件や側壁部・末端部での抵抗力等も含まれることになり、土質試験結果より大きめの値となる。しかしながら、防止工効果の推定に当たり、 c' を過大に評価することの影響は ϕ' の誤差による影響に比べて小さい。

2 c' を設定して ϕ' を逆算する手法

すべり面粘土の土質試験結果等から c' を与える方法のほか、中・古生層や結晶片岩地帯での地すべりや、第三紀層地すべりで冠頭部亀裂と末端部押出し現象が見られるものは、すべり面せん断強度は残留強度に低下していると考えてよく、 $c' = 0$ と設定することができる。また、すべり面粘土の土質試験結果等を与える方法もある。

ここで算出される ϕ' の値には、特殊な規制条件や側壁部・末端部での抵抗力なども含まれ、土質試験結果より大きめの値となる場合がある。その結果、地すべり防止工の効果を過大に評価する危険があることから、土質試験結果や文献情報等を参照して、得られた ϕ' の検証を行うことが重要である。

3 残留係数法

すべり面に期待される実際の平均せん断強さが、ピークせん断強さと残留せん断強さとの間のどの状態にあるかを示す残留係数 R を特定することで現在の平均せん断強さを推定する方法である。残留係数 R は次式で表され、 $0 \sim 1$ の間に値を取る。

$$R = \frac{\tau_p - \tau}{\tau_p - \tau_r}$$

ここに、 τ : 平均せん断強さ、 τ_p : ピーク強度、 τ_r : 残留強度

具体的な測定方法は、現状安全率での $c' - \tan \phi'$ 図 (曲線 A) を作成し、さらにピーク強度と残留強度を結ぶ直線 (直線 B) を図示し、この曲線 A と直線 B の交点位置の強度を現在の平均せん断強さとするものである。

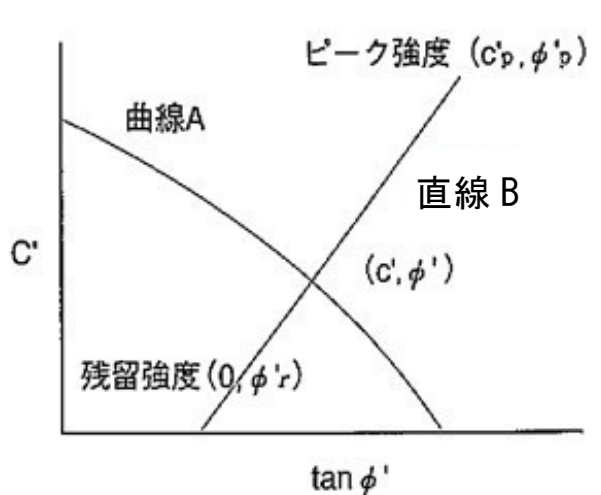


図 2-16 $c' - \tan \phi'$ 図

既にせん断面が生じているすべり面粘土では、ピーク強度を測定できないことから、完全軟化強度をもって便宜的にピーク強度とみなす。

10-6-4 間隙水圧の設定

安定解析に用いる間隙水圧は、地すべり地全体の間隙水圧分布を考慮し、目的に応じて適切に設定するものとする。

[解説]

安定解析は、強度定数の推定、地すべり防止工の効果推定、施工後の地すべりの安定性の評価等、利用目的に応じて行われる。そのため、安定解析に用いる間隙水圧は、時系列的に変化する中で適切な時点の値を用いる。

安定解析の間隙水圧は、地すべりの移動と相関のあるすべり面付近の地下水帯から得るようにする。ただし、このような間隙水圧が得にくい場合は、便宜的に地下水位から求めることもある。

[参考]

1 強度定数の推定における間隙水圧

強度定数の推定における間隙水圧は、臨界状態のものを用いることが望ましい。臨界状態が確認できない場合は、観測期間中の最高水位により求めた間隙水圧を用いることもある。

2 地すべり防止工の工種・工法、規模の決定及び効果推定に用いる間隙水圧

地すべり防止工の工種・工法、規模の決定、地すべり防止工の効果推定に用いる間隙水圧は、最も地すべりが活動しやすい状態のものを用いることが望ましく、通常は観測最高水位を用いる。しかしながら、最高水位を観測した時点の降水量等が地すべり発生時より著しく小さい場合には観測された最高水位は最も危険とはいえ、適切な地すべり防止工の計画を立案できないことがある。このような場合は必要に応じて、観測最高水位を補正することがある。

3 地すべり防止工施工後の安定性の評価における間隙水圧

地すべり防止工施工後の安定性を評価する場合に用いる間隙水圧は、観測最高水位、将来予想される最高水位等を考慮して設定する。

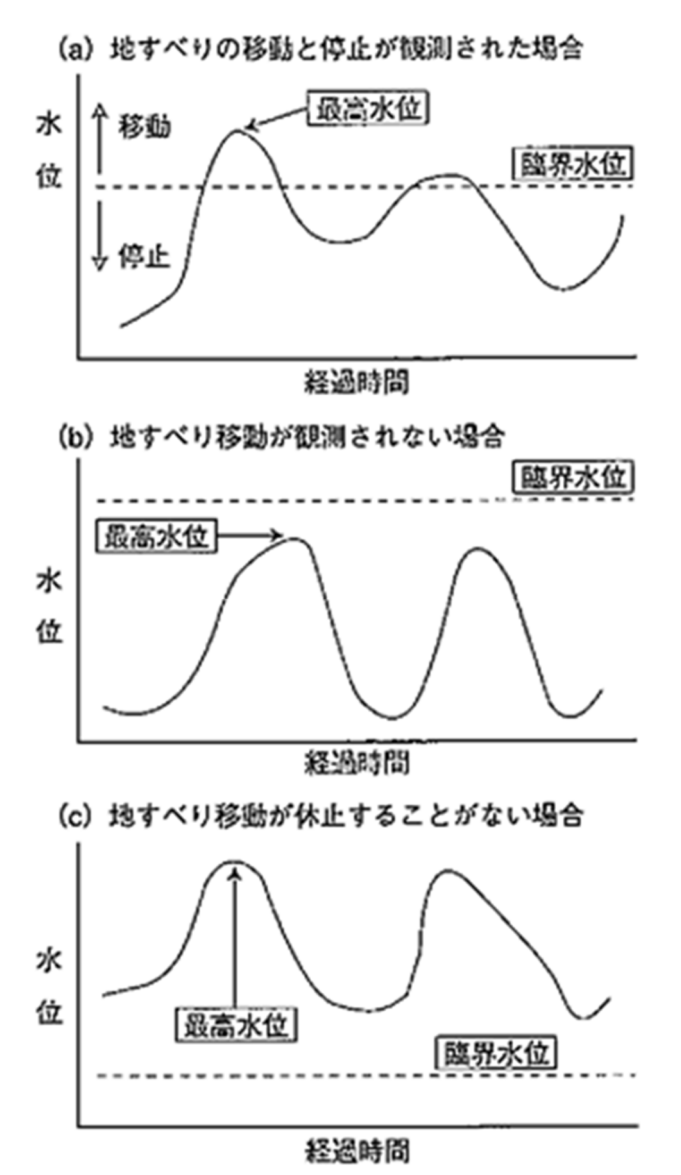


図 2-17 地すべり移動状況と観測水位の関係

4 超過確率水位を用いた安定性の評価

再現期間を考慮した解析上の最高水位（超過確率水位）を求め、これを安定解析に用いる方法である。降雨に対する地下水位モデルを構築することで、計画降雨対応のモデル解析水位を算出し、超過確率水位とする考え方である。

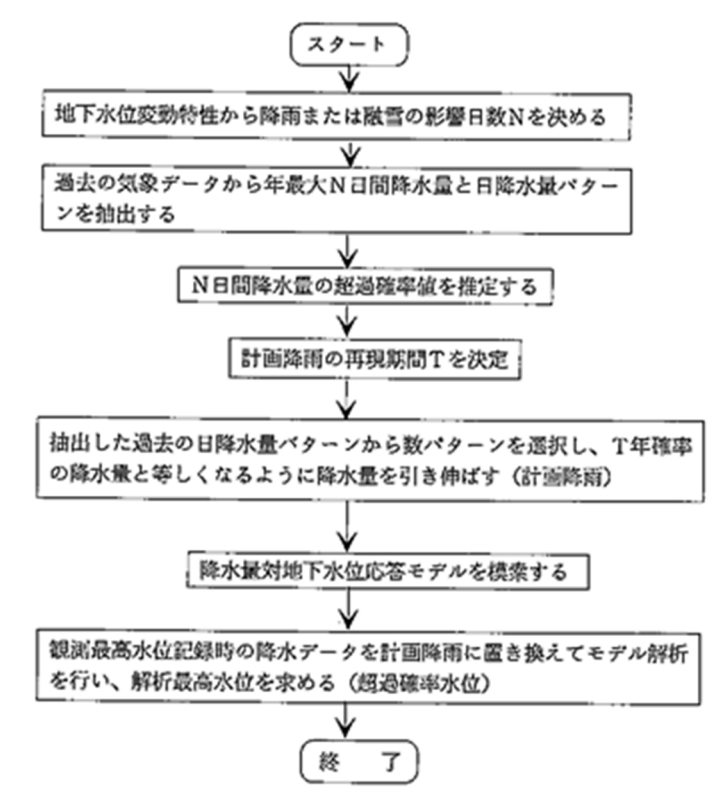


図 2-18 超過確率水位を求めるフロー

10-7 取りまとめ

機構解析の結果は、地すべり機構解析の各項目について整理するとともに、地すべり地の立地特性等と危険度の関係について取りまとめるものとする。

〔解説〕

機構解析の結果は、機構解析の各項目（ブロック区分、すべり面形、地下水圧分布、強度定数、滑動機構）の検討及び安定解析結果についてまとめた上で、最終結果として、地すべりブロックの移動状況、危険度、保全対象の重要度等を総合判断し、地すべり防止工事計画に適用する工種・工法、施工位置及び規模等を的確に判断できるように取りまとめる。

第3章 地すべり防止工事計画

第1節 計画の基本理念

地すべり防止工事計画は、地すべりに伴う被害の防止又は軽減を図るため、環境の保全に配慮しつつ、地すべり防止工を有効かつ適正に配置し、安全水準の向上及びその確保ができるよう策定しなければならない。

〔解説〕

- 1 地すべり防止工事計画は、地すべり防止工により地すべりの安全率を向上させるとともに、周辺環境への配慮や地すべり防止工の維持、機能確保等も含めた総合的な計画とする。
また、地すべり防止工事計画は、ブロックごとの計画とするが、関連する複数のブロック及び想定被害区域の計画を含む計画とする。
- 2 地すべりの発生に伴って住宅、公共施設、交通機関等が被災し、又は被災する危険が迫っている場合には、応急対策を行う。
応急対策には、地すべり活動の抑制や土砂流出の抑止のための工事と、主として人的被害を予防するための警戒避難等のソフト対策とがある。応急対策工事は、地すべり調査を行う時間的余裕がほとんどないため、専門技術者等による概略の調査結果をもとに計画し施工することが多い。仮設的な工事を除く応急対策工事の効果については、地すべり調査解析の後に再検討し、地すべり防止工事計画に組み入れる。

第2節 計画規模

地すべり防止工事計画における計画規模は、対象とする地すべりの特性、流域の重要度及び保全対象との関連等を考慮して決定しなければならない。

〔解説〕

- 1 目標安全率
目標安全率の決定に当たっては、地すべりの規模、保全対象の重要性、保全対象の被災危険度等を十分考慮し、1.1～1.2を標準とする。
地すべり地及び周辺の地形等の関係から、地すべり防止工事が実施できず待ち受け的な対策に頼らざるを得ない場合、工種・工法が限定される等の理由により十分な安全率を確保できない場合、又は目標安全率の達成見込みは十分でも特に重要な保全対象がある場合等は、警戒避難等の対策の検討も必要となるので、関係機関等と十分に連携を図ることが重要である。
- 2 安全率の区分と表示
自然条件の変動及び工事計画の進捗に伴って変化していく地すべりの安全率を次のように区分表示する。
現状安全率 F_s : 誘因の変動や地すべり防止工の施工に伴って地すべりの安全率は変動するが、その時点での安全率である。通常は地すべり防止工施工時期で区分され、その時期の最高水圧に対する安全率を指す。
臨界安全率 F_c : 地すべりが滑動を開始する時（臨界状態）の安全率で、 $F_s=1.0$ の状態である。
初期安全率 F_0 : 地すべり防止工事計画の出発点の安全率で、最も危険な状態である。地すべり防止工施工前の目標安全率と一致することもある。
計画安全率 F_x : 地すべり防止工の効果の積み重ねにより達成する計画安全率である。（ x は、地すべり防止工の記号）
安全率負担幅 ΔF_x : 1件の工事による安全率の上昇幅である。

目標安全率 F_p : 地すべり防止工事全体で達成する安全率である。(最終の計画安全率)

第3節 地すべり防止工事計画の策定

3-1 地すべり防止工事計画の具体的方針

地すべり防止工事計画は、地すべり防止事業の実施に必要な工種・工法、配置、数量、施工順序等について検討し、必要な安全水準を達成する効果的かつ適切な計画としなければならない。

[解説]

- 1 地すべり防止工事計画の策定に当たっては、治山事業全体計画がある場合には、地域特性を十分理解した上で、その整備方針、整備計画に沿った計画とする。
なお、治山事業全体計画については、第2編第3章第3節「山地治山計画の策定」を参考とする。
- 2 地すべり防止工事計画の策定に当たっては、以下の項目について検討し、工種の組合せ、施工順序及び工事の進捗に伴う安全率の上昇過程を明らかにするとともに、施工や維持管理上の留意点、周辺環境への配慮等も含め総合的な内容とする。
 - (1) 目標安全率 F_p の設定
第2節「計画規模」に基づいて検討する。
 - (2) 初期安全率 F_0 の設定
地すべり防止工事計画の出発点の安全率で、通常、地すべり防止工施工前の観測最高水位に対する安全率を用いる。地すべり防止工施工前の現状安全率と同じ値となることもあるが、道路や河川関連の土工等により地すべりの安定性が低下することが明確な場合や観測最高水位が適切でなく補正する必要がある場合等は、現状安全率より小さな値となる。(第2章第10節10-6-4「間隙水圧の設定」参照)。
 - (3) 工種の選定と組合せの検討
抑制工(安全率に直接寄与するもの)及び抑止工の組合せ候補を複数選定する。
 - (4) 各工種の配置の検討
工種ごとの施工適地、施工箇所数、工種間の干渉の有無、施工順序、所要工期等を考慮して、工種配置案を検討する。
 - (5) 各工種の安全率負担幅 ΔF_x の検討
(4)に基づく各工種の安全率の向上効果を算定する。
 - (6) 施工順序と計画安全率 F_x フローの検討
適切な施工順序に基づいて施工した場合の安全率向上過程を算定する。
 - (7) 各工種の仕様・数量の検討
安定解析及び工種ごとの効果評価、構造計算等により仕様・数量を検討する。
 - (8) 工事経費の概算
工種組合せ候補ごとに施工経費を概算する。

(9) 検討及び取りまとめ

上記事項を総合的に検討し、効果的かつ適切な工種の組合せ、施工順序及び工事の進捗に伴う安全率の向上過程を明らかにする。

3 工事の施工に伴う安全率の変化過程は、わかりやすく表示する。

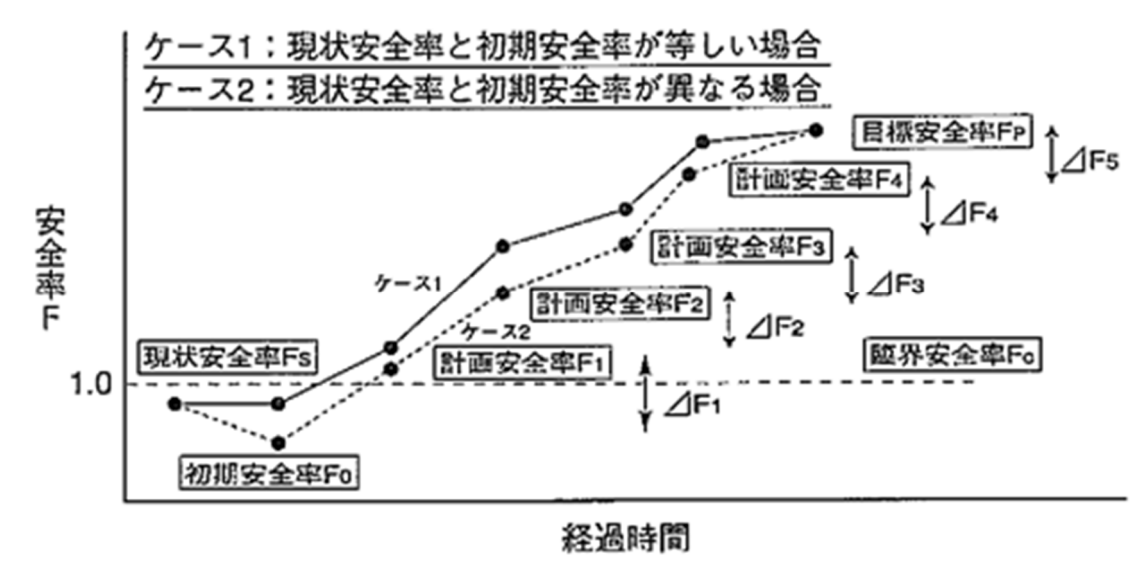


図 3-1 地すべり防止工事計画における安全率の推移の例

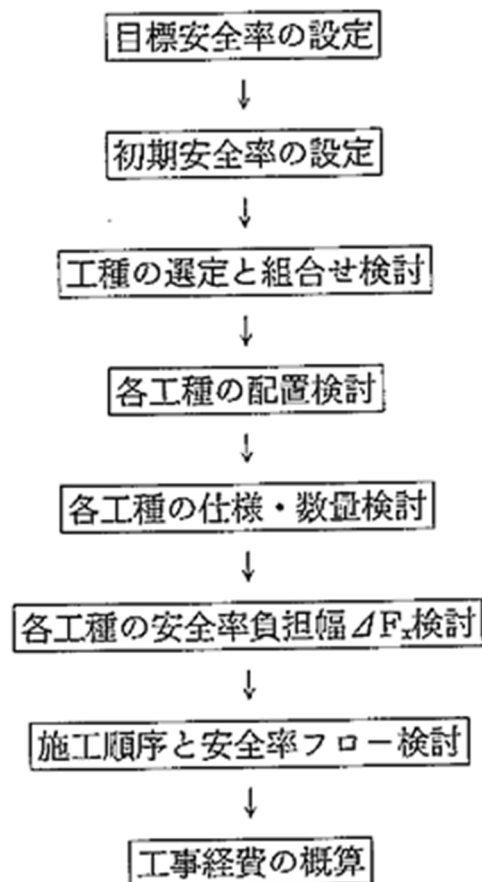


図 3-2 地すべり防止工事計画の内容及び作業の流れ

3-2 環境の保全

地すべり防止工事計画の策定に当たっては、周辺環境の保全を図るよう努めるものとする。

〔解説〕

地すべり防止工事計画の策定に当たっては、地域の自然特性等を踏まえ、生態系や自然景観等の自然環境等に配慮する。自然環境調査や現地踏査等で得られた知見を踏まえ、必要な環境保全のための対策を計画する。

〔参考〕

環境に対する保全行為の概念

開発により損なわれる環境の影響を最小限に抑えるための保全行為に対して、「ミティゲーション」という概念があり、回避、最小化、修正、軽減、代償の5つの段階がある。

事業により想定される環境への負荷は、個々にその事象が異なるため、どのような行為を選択するかは個別に判断するものであるが、場合によっては関係者等との協議が必要となることもある。

ミティゲーションについては、第2編第3章3-2-6「環境の保全・形成への寄与」の〔参考〕に記されている。

第4節 地すべり防止工の種類

4-1 総説

地すべり防止工は、地すべりの滑動力を抑制する抑制工及び直接抵抗する抑止工とに区分するものとする。

〔解説〕

1 地すべり防止工は、地形や地下水等の自然条件を変化させて地すべりの滑動力と抵抗力のバランスを改善する抑制工と、杭やアンカー等の人工的な構造物の抵抗力により直接抑止する抑止工に分かれる。

地すべり防止工事に採用する標準的工種は、次のとおり。

(1) 抑制工

① 地表水排除工

ア 浸透防止工

イ 水路工

ウ 流路工

② 地下水排除工

ア 暗きょ工

イ ボーリング暗きょ工

ウ 集水井工

エ 排水トンネル工

③ 排土工

④ 押え盛土工

⑤ ガス排除工

⑥ 治山ダム工等

⑦ 土留工

(2) 抑止工

① 杭工

② シャフト工

③ アンカー工

2 ここに示す工種は、直接又は間接的に地すべり防止に係わるものであり、地すべり及び崩壊に伴う荒廃山地の緑化工等の山腹工事は、第2編第5章「山腹工の設計」に準じて計画する。

3 地すべり防止工は、安全率に直接寄与するものと間接寄与するものがある。「直接寄与」とは、安定解析式の項を直接変化させ、安全率を向上させることをいい、「間接寄与」とは、安全率の数値を直接向上させることはできないが、地表水の地下浸透防止、山腹斜面の安定化や山脚の固定により地すべり地の地形変化を防止すること等により安定解析式の項の悪化を抑制する効果があることをいう。

地すべり防止工を大まかに分類整理すると表3-1のようになる。なお、間接寄与としている工種であっても、経験的に安全率への直接寄与が認められる例がある等、現地条件等によっては、表の区分と異なる場合がある。

表3-1 地すべり防止工毎の安全率寄与の区分

安全率寄与区分	工種		摘 要
直接寄与	地下水排除工	ボーリング暗きょ工	※
		築水井工	
		排水トンネル工	
		(ディーブウェル)	※
	掘土工		※
	押え盛土工		※
	杭工 シャフト工 アンカー工		
間接寄与	地下水排除工	暗きょ工	
	地表水排除工	小井工	※
		湧出工	※
		浸透防止工	※
	治山ダム工等		
	土留工等		
	ガス排除工		
杭工		※	応急工事として木杭やH鋼などを打設する場合。

注：摘要欄の※印は応急工事に採用されることが多い工種

4-2 工種の選定及び組合せ

工種の選定及び組合せは、工種間の相互補完、相乗効果を考慮し、効果的かつ適切なものとしなければならない。

〔解説〕

地すべり防止工事計画の策定に当たっては、それぞれの工種の特長と適用性をよく理解した上で、工種間の相互補完、相乗効果を考慮して、適切な工種を選定するとともに効果的な組合せとする。

主な留意事項は次のとおり。

1 地表水排除工は、優先的に採用する。施工は、地すべりの安定を確保した上で行うが、応急

対策として地すべり移動中であっても地すべりブロック外等から行う場合もある。

- 2 地表水排除工や暗きょ工は、集中豪雨等の際に地下水圧の急上昇を抑え、地下水排除工の負担を軽減する効果が期待される。
- 3 抑止工は、地すべり滑動の停止が確保された状態で施工する。抑止工は、経済的負担が大きいため、抑制工と併用することを標準とする。
- 4 異なる工種の抑止工を組み合わせる場合、抑止機構の違いから相互効果が発揮されないことがあるため、施工計画位置の移動特性と各抑止工の抑止機構を十分検討した上で決定する。

第4章 地すべり防止工の設計

第1節 総説

地すべり防止工の設計は、地すべり防止工事計画に基づき、適切な設計を行うことを目的とする。

〔解説〕

- 1 地すべり防止工の設計は、地すべり防止工事計画に基づいて、効果的かつ経済的なものとなるよう十分検討する。また、周囲で行われている溪間対策や山腹対策との関係についても検討する。

地すべり防止工の位置については、現地状況を確認し計画内容を照査する。

- (1) 立木、亀裂分布、崩壊地形等の自然条件の確認
- (2) 既設構造物・電柱等の施工支障物件の有無
- (3) 施工機械の現地での適合性、搬入の可能性
- (4) 周囲の自然・社会環境、景観及び地域住民への影響
- (5) 周辺での他工事の有無と相互の影響

- 2 地すべり防止工の設計に当たっては、地すべり防止工事計画に基づく工法の設置目的（要求性能等）を明確にしておくとともに、その設置目的を満たすことを検証又は照査する。また、設置目的については設計説明書に明記する。

〔参考〕

- 1 設置目的（要求性能等）の設定とその検証
第2編第4章第2節2-1「溪間工設計の基本的考え方」の〔参考〕に準じる。
- 2 構造物の安全性に関わる照査
照査方法については、所要の性能を有していることを、論理的な妥当性のある方法、又は実験等に基づき適切に検証する。本基準には、従来からの照査方法として適合しているものについて示す。
なお、本基準に示す以外の照査方法や技術を用いる場合には、検証方法や結果の妥当性について十分な根拠を示すとともに、必要に応じて第三者機関等で適合性について評価を受ける。

第2節 測量

2-1 測量の範囲

地すべり防止工設計のための測量は、地すべり防止工の位置及び規模の決定に必要なかつ十分な範囲について行うものとする。

〔解説〕

- 1 地すべり防止工の設計は、地すべり調査解析の成果に基づいて行われる。このため、測量は、地すべり調査解析成果と地すべり防止工事計画との照合が容易に行えるよう必要かつ十分な範囲で行う。
- 2 地すべり防止工のための測量は、地すべり調査解析段階で完了していることが多く、地すべり調査解析に使用した各図面を設計図として使用する場合もある。

2-2 測量の種類

測量の種類は、平面測量、縦断測量及び横断測量とする。

2-2-1 平面測量

平面測量は、地すべり防止工の配置及び数量等を決定するために行うものとし、測量の成果に基づいて平面図を作成するものとする。

〔解説〕

- 1 測量方法については、第2編第5章第1節「測量」に準ずる。
また、平面図には、工種・工法を決定する根拠となった調査測線、調査ボーリング等の位置、及び地すべりブロック区分、湧水点、亀裂等の地すべり防止工の設計に必要な調査成果を詳細かつ正確に記入して、調査資料との照合が容易に行えるようにする。
- 2 作成する図面の縮尺は1/500を標準とし、縦断面図及び横断面図における水平、垂直とも平面図と同一とする。
ただし、地すべりの範囲により縮尺を変更することができる。

2-2-2 縦断測量

縦断測量は、事業対象地の主要な縦断面の地形を測定し、その成果に基づいて縦断面図を作成するものとする。

〔解説〕

- 1 地すべり防止工の設計のための縦断測量は、第2編第5章第1節「測量」に準ずるが、特に、排土工の土量算出のための縦断測量は、対象土量の誤差が施工経費に大きく影響することから適切な測線密度を確保する。
- 2 縦断面図には、杭工の根入れ深さ、アンカー工の定着層、水抜きボーリングの位置及び延長等を検討するために、表面地形のほかにボーリング柱状図の要点、地層区分、地下水文状況、すべり面、基盤面等、各種調査の成果を記入する。

2-2-3 横断測量

横断測量は、事業対象地の横断方向の地形を測定し、その成果に基づいて横断面図を作成するものとする。

〔解説〕

- 1 地すべり防止工の設計のための横断測量は、第2編第5章第1節「測量」に準ずる。
- 2 杭工、アンカー工、土留工及び集水井工等の横断面図には、地層区分、水文状況、すべり面、基盤面等の各種調査の成果を記入し、根入れ深の検討及び土(岩)質別ボーリング延長の算出等に利用する。

第3節 抑制工の設計

3-1 総説

抑制工は、地すべり発生の原因となる因子を除去又は軽減あるいは地形を変更して地すべり防止を図ることを目的とする。

〔解説〕

抑制工は、地すべりの誘因となる地下水等を排除する工法、地形を変更して地すべりの滑動力

を軽減させる工法及びその他の工法とに大別される。

地下水等を排除する工法は、一般的に効果の発現は遅いが、地すべり地の体質を改善し、効果の持続性が大きい。また、地形を変更して地すべりの滑動力を軽減させる工法は、即効性があり、効果も確実な場合が多い。したがって、地すべり移動が一時停止して、地下水等による影響が顕著な地すべりについては前者が効果的であり、早急かつ確実な効果を期待する必要がある場合は後者が有効である。

3-2 浸透防止工

3-2-1 目的

浸透防止工は、地表水が亀裂等から地中に浸透し、地すべりの発生又は助長を防止することを目的とする。

〔解説〕

浸透防止工は、亀裂発生部や地表水の滞留する凹地、沼沢、湿地等で地下水の供給源となる箇所を対象として地表水の浸透を防止し、地すべりの発生又は助長を未然に防止するための工種であり、地すべり活動の初期の段階で応急的に施工されることが多い。

3-2-2 位置

浸透防止工の位置は、地表水が容易に浸透するおそれのある箇所を選定するものとする。

〔解説〕

浸透防止工は、亀裂や地形の凹地から地表水が浸透することを防止するために設けるもので、地すべり地やその周辺の地形の特徴を把握して浸透のおそれのある箇所を選定し、計画する。

3-2-3 種別と構造

浸透防止工の設計に際しては、水密性を有し最も効果的な種別及び構造等を選定するものとする。

〔解説〕

浸透防止工の構造及び形状は、地表水が浸透するおそれのある範囲及び施工地の地形等に応じて決定され、一般的に定型とならない。

浸透防止工に使用する材料は、水密性を有し、地表に密着する柔軟性のあるものを使用する。主な工法は、次のとおりである。

1 粘土充填工法

地すべり地内に発生した亀裂に粘土又はベントナイト等を充填して浸透防止を図るものである。

2 ビニール被覆法

地すべり地内に発生した亀裂をビニールシートで被覆し浸透防止を図るもので、応急的な対策として施工される場合が多い。

3 アスファルト板工法

沼、湿地等の比較的面積の大きい箇所の浸透防止工として、アスファルト板を敷設し浸透防止を図るものである。

3-3 水路工

3-3-1 目的

水路工は、地表水及び地下水排除工により集水された地下水を、地すべり地外に排除することを目的とする。

〔解説〕

水路工は、地すべり地内の地表水を速やかに地すべり地外に誘導し、地すべり地内に滞留し地中に浸透することを防止するものである。のり面の小段排水や地下水排除工、暗きょ工の流末処理にも適用する。

暗きょ工と併設して計画することがある。

3-3-2 位置

水路工の位置は、対象とする水を効果的に集水し、速やかに排除できるように決定するものとする。

〔解説〕

水路工は、横断方向で一般的に地すべり地の最も凹地に設けるが、滑動した後で地形が複雑な場合には地形を整地して、集水が可能な位置に設ける。

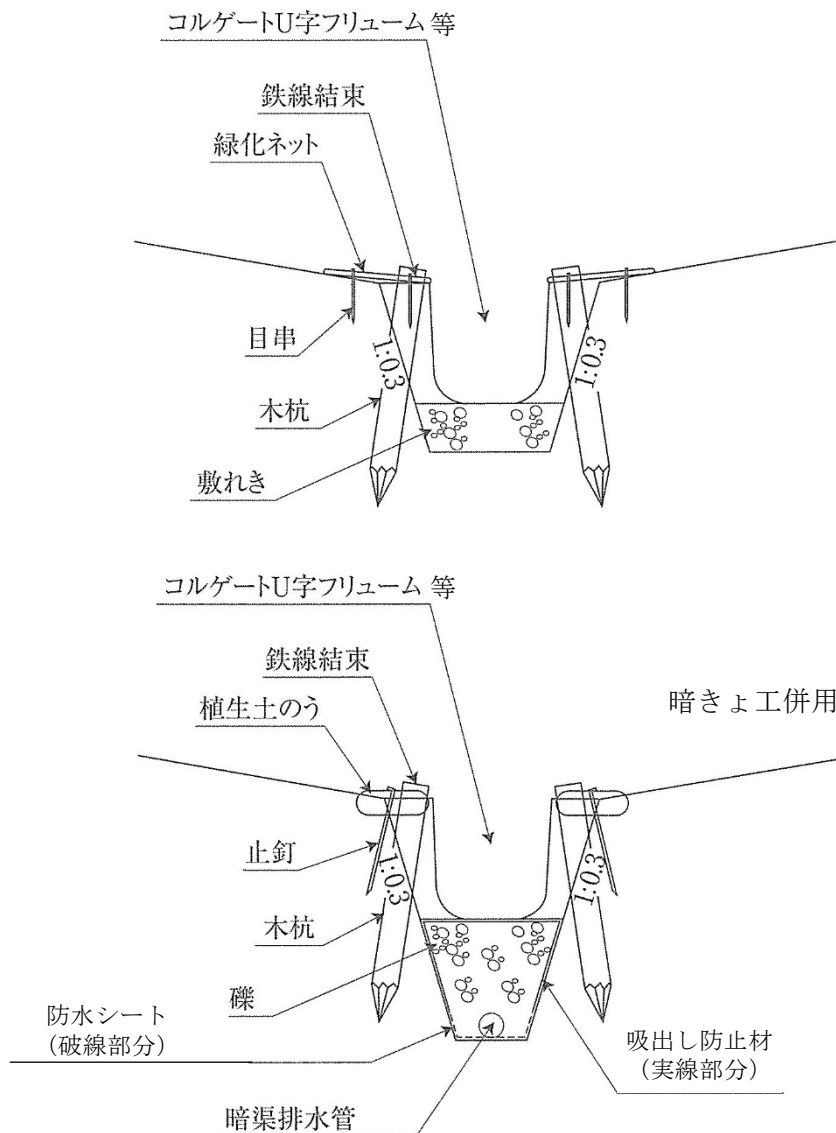


図 4-1 水路工の例

3-3-3 種別と構造

水路工の種別及び構造は、地すべりの動態や地表の地形、土質条件、施工位置や使用材料の耐久性及び周囲の環境との調和等を考慮して、最も適切なものを選定するものとする。

〔解説〕

水路工の種別及び構造等に関する事項は、第2編第5章第3節3-5「水路工」に準ずる。地すべり防止工として特に注意しなければならない点は、漏水を防ぐため水密性を有する構造とすることである。

また、地すべりによる変形が懸念される地点では、可撓性のある構造を選定することなどに配慮する。

3-4 流路工

3-4-1 目的

流路工は、地すべり地又はその周辺の溪流に設置し、渓流水による侵食及び渓流水の地下浸透を防止することを目的とする。

〔解説〕

流路工は、渓流水による侵食で地すべり活動が助長されるおそれのある場合等に、これらを防止する目的で計画する。流路工には、恒久構造物の流路工のほか、渓流水を地すべり地外へ迂回させる廻排水工や応急に浸透を防止するための仮設流路工がある。

3-4-2 位置

流路工の位置は、地すべりに影響を与えるおそれのある水を安全に流下できるように決定するものとする。

〔解説〕

流路工は、一般的に現状の溪流を基本的な位置として溪流の流水が滞留するのを防ぐため、なめらかな線形で計画する。

また、溪流の付替えや廻排水として流路工を計画する場合には、可能な限り地すべり地外に設ける。

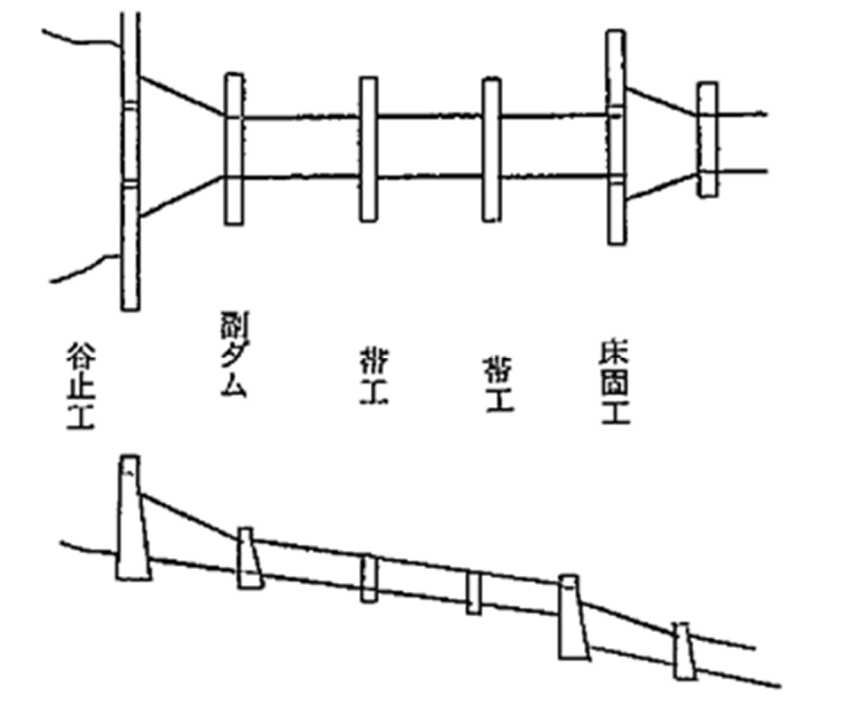


図 4-2 流路工の例

3-4-3 種別と構造

流路工の種別及び構造は、地すべりの動態や表層の地形、土質条件、施工位置や使用材料の耐久性及び周囲の環境との調和等を考慮して最も適切なものを選定するものとする。

〔解説〕

流路工の種別及び構造は、第2編第4章第6節「流路工」に準ずる。ただし、地すべり防止工として設計する流路工については、地すべりの状況を十分に考慮して設計する。

地すべり防止工に用いる流路工は、次のとおりである。

- 1 地すべり移動直後の地すべり地に渓流水が流入しないように仮設の流路工を設ける場合
 - 2 地すべり地内の渓流を付け替えて迂回路を設ける場合
 - 3 地すべり移動がある程度終息したときに新たに渓流からの浸透水を発生させないようにする場合
 - 4 地すべり末端の変形や侵食を防止するために設ける場合
- また、流路工の種別は、
- 1の場合、コルゲートパイプ、布型枠コンクリート、アスファルト板等、
 - 2の場合、仮設と恒久構造物があり、仮設の場合は1と同じ。恒久構造物の場合は、コンクリート、鋼製等、
 - 3の場合、コンクリート、コンクリート製品等、
 - 4の場合、第2編第4章第6節「流路工」に準じたものが多く用いられている。

3-5 暗きょ工

3-5-1 目的

暗きょ工は、地すべり地及びその周辺から地すべり地内に浸透する浅層地下水を排除することを目的とする。

〔解説〕

暗きょ工は、地表に近い浅層の地下水を排除することにより地すべり土塊の強度を高めて地すべりの安定化を図る場合、及び降雨、融雪水の浸透による深層地下水の増加を防止する場合に計画する。

暗きょ工は通常、水路工と併設して設計される場合が多い。

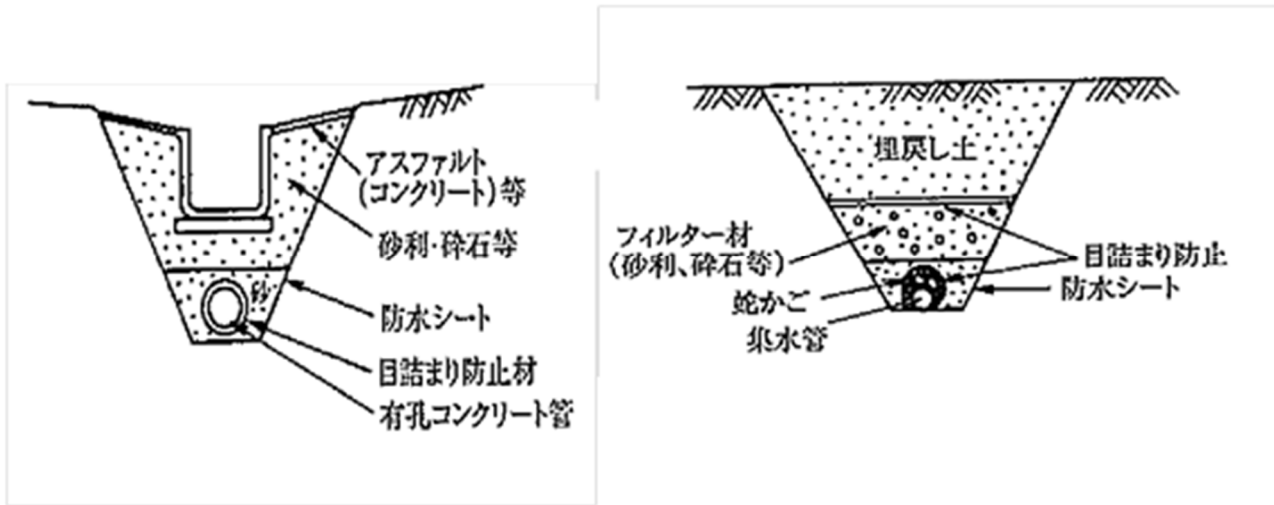


図 4-3 暗きょ工の例

[参考]

暗きょ工の効果の算定

非常に浅い地すべりの場合は、暗きょ工による地下水位低下効果を次の方法により安全率に算入することができる。

1 管暗きょ公式（自由地下水で基底床近くに設置する場合）を利用して評価
本節 3-6-4 参照

2 過去の実績を利用して評価

地質環境等が同じ場合で、暗きょ工による地下水位量についての実績等がある場合は、その結果を踏まえて効果を推定する場合もある。

3-5-2 位置

暗きょ工の位置は、浅層地下水を効率的に排除できる箇所を選定するものとし、適切な深さ及び間隔で配置するものとする。

[解説]

暗きょ工は、地すべり調査解析の結果から地表水や浸透水が集まりやすい場所を選び、効果的な配置とするよう努める。

暗きょ工が適するのは、滑落崖下部で地表水が流下するような箇所、斜面の凹部等の集水地形をなしている箇所等である。

土中の間隙水を排除し、地すべり土塊の安定度を高めるために設ける暗きょ工は、斜面に沿って比較的密に集水暗きょとして設けると良い。

暗きょの流末は、集水ます等に接続して地表水とし、水路工等により流下させる。

3-5-3 種別と構造

暗きょ工の構造は、十分な排水能力、耐久性、施工性を有し、上部の荷重、土圧に対して十分な強度を満たすものを選定するものとする。

また、暗きょの底部は集水した水が地中に再浸透しないよう措置するものとし、材料は地すべり移動を考慮したものとする。

〔解説〕

地すべり防止工事において計画される暗きょ工の種別・構造等は、第2編第5章第3節3-6「暗きょ工」を準用する。

ただし、地すべり防止工として暗きょ工を設計する場合には、次の事項について留意する。

- 1 暗きょの深さは、深いほど効果的であるが、掘削により土塊が移動する危険があるので、2 m程度以内とするのが一般的である。
- 2 暗きょ管の材料は、地すべり移動による地盤変動により機能が損なわれないものとし、集水された水が再度地中に浸透しないよう、暗きょの底部には防水シート等を敷く。
- 3 地表水も集水しようとする場合は、地表まで栗石又は切込砂利、砕石等を充填する。

〔参考〕

大規模暗きょ工

地表から2～5 m程度の深さの地下水を排水することが可能な規模の暗きょである。工法としては、最初に矢板や丸太を打ち込み、溝壁を造り、間を掘削して最下部に集水管を設置した後、栗石、切込砂利、採石等で埋め戻す方法である。なお、矢板については、地下水の集水の妨げとなるので充填後引き抜く。矢板や丸太杭が打設可能な比較的地表傾斜が緩やかな箇所でも適用でき、浅層の地下水が豊富な地すべりに対して有効である。

3-6 ボーリング暗きょ工

3-6-1 目的

ボーリング暗きょ工は、地上からのボーリングにより、地すべりに作用する地下水を排除することを目的とする。

〔解説〕

ボーリング暗きょ工は、開削による暗きょ工では排除できない深度にあつて、すべり面に作用する地下水を排除する地すべり防止工である。施工は容易であるが、地下水帯を的確に把握することが重要となる。

3-6-2 位置、本数、方向、延長及び勾配

- 1 ボーリング暗きょ工の位置、本数、方向及び延長は、地下水帯から最も効果的に集水できるように決定するものとする。
- 2 ボーリングの勾配は、地下水の自然流出が可能な角度とする。

〔解説〕

- 1 ボーリング暗きょ工の孔口の位置は、排除すべき地下水の位置及び圧力水頭の低下量を勘案し、掘削長が最も短くなるように計画する。
- 2 掘進方向及び本数は、地下水帯の分布及び地下水の流動方向を勘案して最も効果的に集水できるようにする。

- 3 延長は、確実に目的とする地層に到達できるように計画する。
- 4 打設勾配は、一般的に仰角で地下水帯を貫通し集水区間ができるだけ長くなるように計画する。高い水頭を持った被圧地下水で自噴による排水が期待できる場合は、俯角で穿孔することもある。

[参考]

ボーリング暗きょ工の施工例

地下水調査結果等から地下水の賦存量が多く、透水性の高い地すべり地や、地すべりに作用する多量の地下水がすべり面付近に確認された場合には、保孔管径 300mm 以上の大口径ボーリング暗きょ工が用いられることがある。

これは、通常のボーリング暗きょ工に比較して、目詰まりしにくいなど、集水効果が大きく維持管理も容易であり、また、保孔管に鋼管を用いることから強度的に強く、耐久性があるなどの利点があるためである。このためボーリング暗きょ工に限らず、集水井からの集水ボーリングや排水ボーリングにも用いられる。

ただし、ボーリング暗きょ工に用いる場合には、数多く打設すると費用と効果の面で非効率となるので、確実に帯水層を把握し、効率的に施工することが重要である。

3-6-3 構造

ボーリング口径は、集水区間の保孔管の設置可能な大きさとし、保孔管は効果的に集水できるものを選定するものとする。

[解説]

- 1 ボーリングの口径は、集水区間の保孔管の設置可能な大きさとする。通常、内径 40～50mm の保孔管が多く用いられているが、透水性の低い地層からの集水を図る場合はさらに大きくする場合もある。また、破碎帯地すべり等の穿孔条件の悪い箇所では延長が長大となる場合は、掘り出し口径を大きくし、順次掘進口径を小さくする 2 段～3 段掘としなければ孔曲がりにより目的とする地層に正確に達し得ない場合がある。
- 2 保孔管は、主として硬質塩化ビニール管を使用する。場合によりガス管を挿入するときは、地熱や地下水の pH 等に留意する。保孔管の集水区間に当たる部分は、ストレーナ加工する。また、集水した地下水が孔内を流下する途中で地層中に再浸透する場合は、当該箇所の止水処理を行うなど、再浸透防止の措置を講ずる。
- 3 ボーリング暗きょ工の孔口はコンクリートや蛇籠等で保護し、流末は排水した地下水が地中に再浸透しないように水路工等に接続させる。

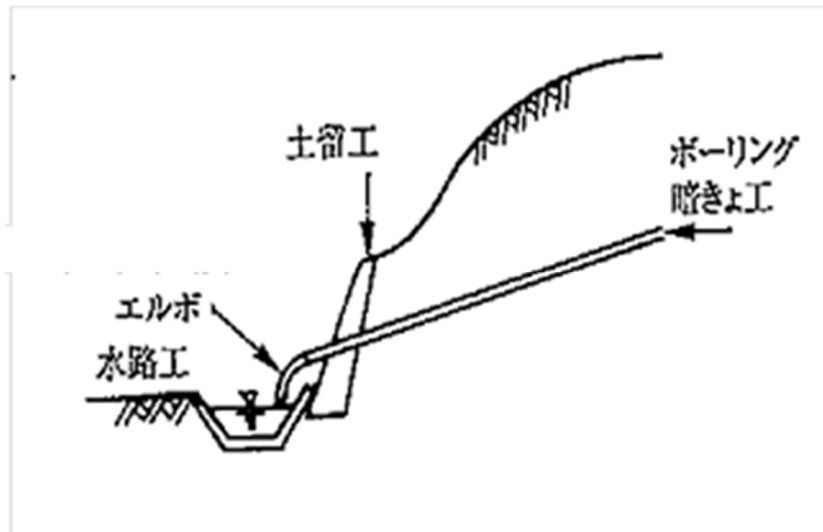


図 4-4 ボーリング暗きょ工の孔口の保護

3-6-4 効果の算定

ボーリング暗きょ工の効果の算定は、位置及び本数を考慮して行うものとする。

〔解説〕

ボーリング暗きょ工の排水効果は、ボーリング孔が地下水帯を貫通する部分のストレーナ区間での集水効果により発揮されることから、効果の範囲はこのストレーナ有効区間と地下水文的な影響範囲に限定され、影響範囲外では水圧は低下しないものとして計画する。ボーリング暗きょ工のストレーナ有効区間の位置を平面及び主断面上で把握し、影響範囲内での水圧低下効果を算定する。

排水効果による安全率の上昇を主断面のみの二次元安定解析で検討する場合、主断面から遠い位置でのボーリング暗きょ工の効果は、横断方向での平均的な水圧低下を考慮して適切に判断する。

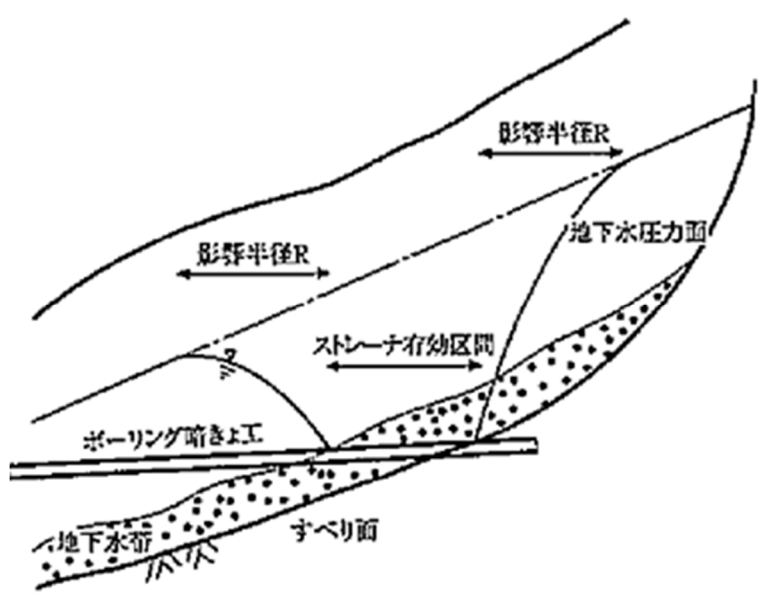


図 4-5 ボーリング暗きょ工の影響範囲（縦断方向）

[参考]

ボーリング暗きょ工の効果の推定手法

ボーリング暗きょ工の効果の推定し、適切な間隔を理論的に求める方法として、管暗きょ公式を利用する方法がある。複雑な地すべり地の地下水挙動を正確に把握することは難しいが、ボーリング暗きょ工の位置の検証には有効な方法である。

その他に有限要素法などによる浸透流解析を用いて効果を推定する方法がある。

1 管暗きょの公式

(1) 被圧地下水の場合

小柳・前川の式より、ストレーナ有効区間でのボーリング間隔 $2d$ はボーリングの中間点での水位低下計画高 s との関係から次式で表される。

$$d = \frac{2b_w}{\pi} \sinh^{-1}[\exp(x)] \quad \langle 4-3-1 \rangle$$

$$\theta = 2 \sin^{-1} \frac{d}{a} \quad \langle 4-3-2 \rangle$$

$$x = \ln \left[\sinh \frac{\pi r_0}{2b_w} \right] + \pi k \frac{s_0 - s/2}{q} \quad \langle 4-3-3 \rangle$$

$$q = \pi k \frac{s_0}{\ln \frac{\sinh(\pi R/2b_w)}{\sinh(\pi r_0/2b_w)}} \quad \langle 4-3-4 \rangle$$

ここで、 L_s : 有効ストレーナ区間長 (m)

s_0 : 管暗きょ位置での水圧低下高 $= H - h_0 - b_w$ (m) ($h_0 \doteq r_0$)

H : 原水位高 (m)

h_0 : 管暗きょ内水位高 (m)

b_w : 地下水帯厚 (m)

k : 透水係数 (m/s)

R : 影響圏 (m)

s : ボーリングの中間点での水圧低下計画高 (m)

a : 集水井からストレーナ区間中間までの距離 (m)

d : ストレーナ区間でのボーリング間隔の 1/2 (m)

r_0 : 管暗きょ半径 (m)

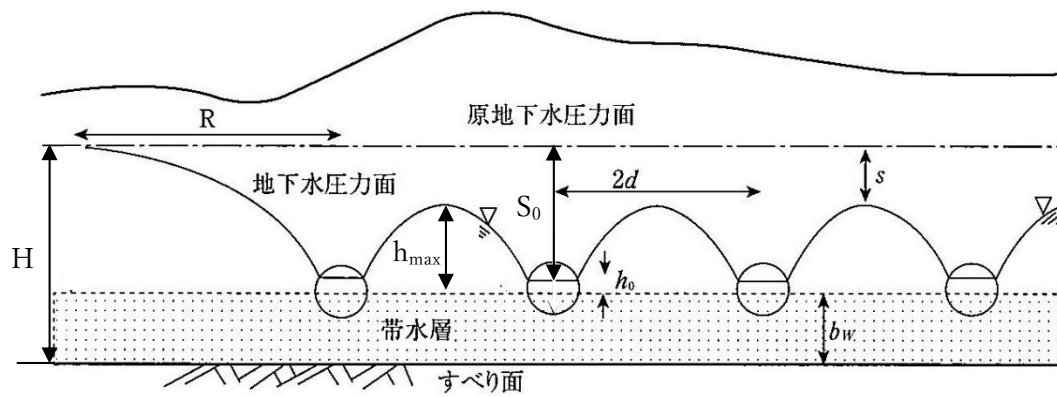


図 4-6 ボーリング暗きょ工の影響範囲（横断方向）

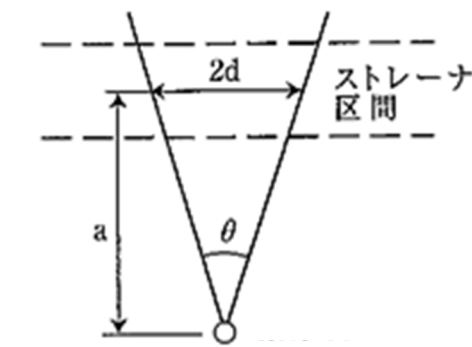


図 4-7 ボーリング暗きょ工の先端間隔

（出典）地すべり工学-理論と実践-（株式会社山海堂 H元. 3 を一部修正

(2) 自由地下水の場合

ア・エヌ・コスタコフの式より、原水位の低下及び雨水の浸透の両方を対象とする場合の管暗きょ先端間隔 $2d$ と平均水位高 \bar{h} の関係を求めると次式となる。

$$\bar{h} = \frac{q_0 + \omega d}{\alpha k} \left(\ln \frac{d}{r_0} + \frac{r_0}{d} - 1 \right) \quad \langle 4-3-5 \rangle$$

$$q_0 \cong \alpha_0 k \frac{H_1}{\ln(R/r_0)} \quad \langle 4-3-6 \rangle$$

ここで、 \bar{h} : 管暗きょ標高から測った平均水位高 (m)

h_{max} : 管暗きょ間での最高水位高 (m)

q_0 : 雨水の浸透を考慮しない場合の流入量 (m^3/s)

r_0 : 管暗きょ半径 (m)

ω : 浸透能(雨量強度程度) (m/s)

k : 透水係数 (m/s)

α_0 : 係数 ($\pi/2 + h_{max}/d$)

H_1 : 管暗きょ標高からの原水位 (m)

R : 影響圏 (m)

2 管暗きよの影響半径

管暗きよの影響半径は、揚水試験等で求めることが望ましいが、理論式から求める場合の方法としてイ・ペ・クサキンの式がある。次に被圧地下水の場合と自由地下水の場合の式を示す。

(1) 被圧地下水の場合の影響半径 R は次式で表される。

$$R = 575 \cdot s_0 \sqrt{kb_w} \quad (\text{m}) \quad \langle 4-3-7 \rangle$$

ここで、 R ：影響圏 (m)

b_w ：地下水帯厚 (m)

s_0 ：管暗きよ位置での水位低下高 $= H - h_0 - b_w$ (m)

k ：透水係数 (m/s)

h_0 ：帯水層上面から管暗きよ内の水位までの高さ (m)

H ：原水位高 (m)

(2) 自由地下水の場合の影響半径 R は次式で表される。

$$R = 575 \cdot s_0 \sqrt{kH} \quad \langle 4-3-8 \rangle$$

ここで、 R ：影響圏 (m)

H ：原水位高 (m)

s_0 ：管暗きよ位置での水位低下高 (m)

k ：透水係数 (m/s)

3-7 集水井工

3-7-1 目的

集水井工は、地表からでは排除できないすべり面付近の地下水を排除することを目的とする。

〔解説〕

集水井工は、地上からでは直接排除できない地下水を排除しようとする場合に計画されるもので、排除すべき地下水層より深い縦井戸を掘って地下水を集水ボーリング孔により集水し、排水ボーリング孔により排水する。

基盤面が谷部を形成し、地下水が集中して流下する場合、あるいは大量の地下水の滞溜が想定される場合等は、井筒そのものによる集水も期待できる。ただし、山地等の場合は地下水系が複雑であり、井筒のみによる集水では不十分な場合が多いので、地下水の集水は井内からの集水ボーリング孔により行う。

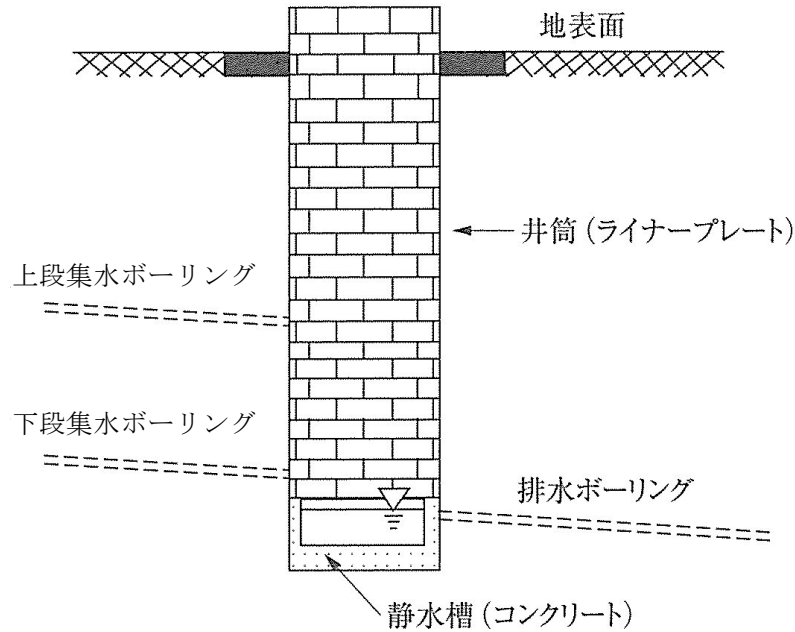


図 4-8 集水井の断面図の例

3-7-2 位置

集水井工の位置は、地すべりに作用する地下水を最も効果的に集水できるように選定するものとする。

〔解説〕

集水井工の位置は、排除すべき地下水の分布、流動方向、圧力水頭等、地下水調査等の結果に基づいて決定し、地下水位の高い部分、基盤面等高線図が凹地形となる部分等で効果的に地下水を集水させる。

陥没帯を有する地すべりの場合は陥没帯内に地下水が浸入し、下流のすべり面の水圧に影響することが考えられることから、陥没帯内に集水井を配置することで作用する地下水を効率的に排除することができる。

活動中の地すべり地にあつては、井壁崩壊等の作業上の危険や完成後の集水井の破壊の危険が伴うので、これらの危険を避けるため、集水井の位置を地すべり地外とし集水ボーリングにより目的とする地下水の排除を行うこともある。

3-7-3 配置

- 1 複数の集水井工を設ける場合は、個々の集水井による集水可能範囲及び影響圏を検討して配置するものとする。
- 2 排水のための中継専用井は、排水ボーリングの施工可能延長を勘案し、少ない井数となるように決定するものとする。

〔解説〕

集水井工は、地すべりの規模や地形、地質構造等を考慮し、さらに地すべりの発生要因となる地下水の賦存状況に応じてその配置を決定する。

集水井の間隔は、目的とする地下水を最も効果的に排除できるように計画するが、連結する場合の最大間隔は、主として排水ボーリングの施工性により制限される。

大規模地すべりでは、排水トンネル工と併用するなどの排水対策を検討する。

集水ボーリングの本数及び打設間隔については、ボーリング暗きょ工に準ずる。

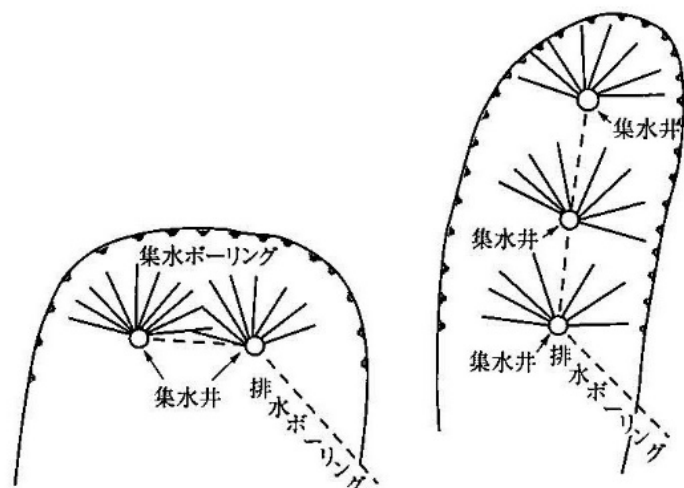


図 4-9 集水井の配列例

3-7-4 種別

集水井の種別は、想定される外力に対して十分な耐力を有するものとし、地すべり地の状況に応じて選定するものとする。

〔解説〕

- 1 集水井の井壁(井筒)に使用される材料は、一般的にライナープレートが用いられる。ライナープレート集水井は、井内を掘り下げながら鋼製円形部材(ライナープレート)を組み立てて井筒を構築するものである。
- 2 ボイリングやヒービングの起こりやすい地盤の場合は、鉄筋コンクリート枠集水井が井壁の崩落が少なく施工に適している。
- 3 上記二つの工法の特性を組み合わせたセグメント方式の集水井を採用することもある。

3-7-5 径及び深さ

- 1 集水井の径は、施工上の安全性及び集排水ボーリングの作業性等を検討して決定するものとする。
- 2 集水井の深さは、基盤内に達するまでとする。ただし、活動が停止していない地すべり地内に計画する集水井はこの限りではない。

〔解説〕

- 1 集水井の内径は、3.5m又は4.0mが一般的であり、施工の安全性、深さ及び集排水ボーリングの延長等を考慮して計画する。
- 2 深さの大きい集水井では落下物防止やガス排除等、特に安全対策に留意する。
- 3 すべり面付近の地下水を排除させるとともに、排水ボーリングを基盤内に設置させるために、集水井の底部は基盤内に2～3m程度貫入させる。
なお、底部を基盤内に設けなくとも目的とする地下水の排除ができる場合や、地すべり活動による集水井の破壊を防止する場合等には底部をすべり面より上に設ける場合がある。

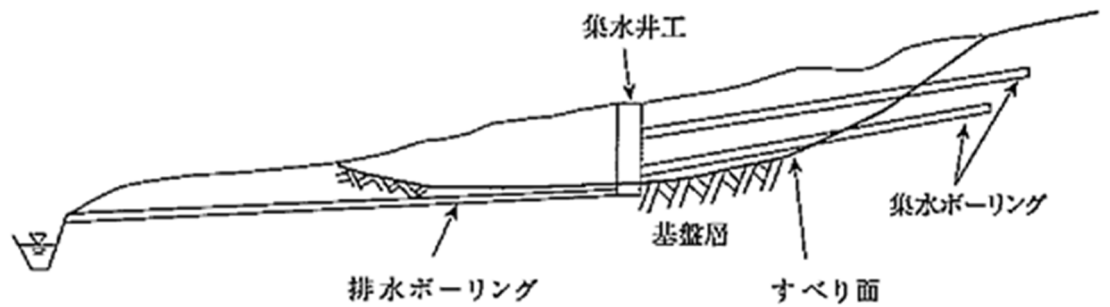


図 4-10 基盤内に底部を設けた集水井工

3-7-6 構造

集水井の構造は、目的、現地の条件から、安定性、施工性等を考慮して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 集水井の構造は、地盤条件や施工性等を考慮して、安全な構造とする。
 なお、ライナープレートを用いる場合で掘削中の若干の移動や孔壁の崩壊等、外圧がかかるおそれのある場合は、補強リングを設ける。
- 2 集水井を施工するに当たっては、口元を確実に固定し、傾斜や自重による沈下等に耐える構造とする。
- 3 基礎部の貯水槽は集水した地下水が再浸透しないよう、水密性のあるコンクリート等で施工する。
- 4 集水井の維持管理のため、内部には昇降階段、又は梯子を設置する。
- 5 集水井の頂部は、部外者等が立ち入らないようにするなどのために、地表面から 0.5～1 m 程度井筒を立ち上げ、蓋をし施錠するとともに、周囲にはフェンス等を設置するなどして適切に管理する。

3-7-7 安定性の検討

集水井は、想定される荷重に対して安定性を検討しなければならない。

〔解説〕

集水井の井筒に作用する外力は、一般的に土圧のみとし水圧を考慮しない。また、土圧は主働土圧とみなし、地すべり土圧を考慮しない。

移動中の地すべり地内に設ける集水井で、地すべり土圧を考慮する必要がある場合は、井筒の安定計算をシャフト工に準じて行うことになるが、このような箇所は、施工上の危険及び完成後の破壊のおそれが多いので、他の工法による地下水排除も検討し総合的に判断する。

〔参考〕

- 1 集水井に作用する土圧
 集水井に作用する土圧は、次の区分に応じて求める。
 - (1) 深さ 20m未満の集水井
 ランキン土圧式により求める。

$$p = K_A \cdot \gamma \cdot h \quad <4-3-9>$$

$$p_{max} = K_A \cdot \gamma \cdot H \quad <4-3-10>$$

ここで、 p : 任意の深さ h (m)における主働土圧強度 (kN/m²)

p_{max} : 集水井の底部における主働土圧強度 (kN/m²)

K_A : 主働土圧係数

$$= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - \frac{2c}{r\gamma} \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad \langle 4-3-11 \rangle$$

ϕ : 土のせん断抵抗角 (°)

c : 土の粘着力 (kN/m²)

γ : 土の湿潤単位体積重量 (kN/m³)

H : 集水井の深さ (m)

$$P = \frac{1}{2} \cdot r \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot H \cdot \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) + \frac{2 \cdot c^2}{r} \quad \langle 4-3-12 \rangle$$

ここで、 P : 深さ H にわたり主働土圧 p が作用したとすときの単位幅当たりの土圧の合力 (kN/m)

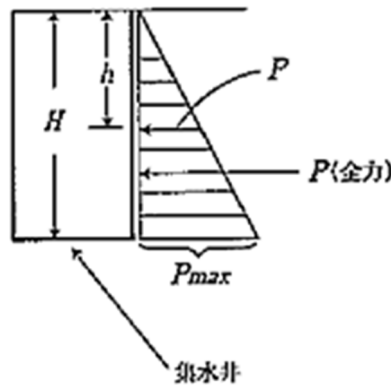


図 4-11 土圧分布図 (ランキン)

(2) 深さ 20m以上の集水井

土圧の合力 P はランキン土圧式から求める P と等しく、土圧分布は周辺土のアーチアクションを考慮してテルツアギー式によって求める。

$$p = \left\{ \frac{12(3m-2)}{H^3} h^2 + \frac{6(3-4m)}{H^2} h \right\} - P \quad \langle 4-3-13 \rangle$$

$$p_{max} = \frac{3(3-4m)^2}{4(2-3m)} \cdot \frac{P}{H} \quad \langle 4-3-14 \rangle$$

$$h' = \frac{3-4m}{4(2-3m)} \cdot H \quad \langle 4-3-15 \rangle$$

ここで、 p : 任意の深さ h (m)における主働土圧強度 (kN/m²)

p_{max} : 最大主働土圧強度 (kN/m²)

m : 土圧合力 P の作用点の集水井の深さ H に対する比
 ($m \approx 0.55$)
 h' : 最大主働土圧強度の生じる深さ (m)
 H : 集水井の深さ (m)
 P : 土圧の合力 (kN/m)

$$= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot H \cdot \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) + \frac{2 \cdot c^2}{\gamma}$$

<4-3-16>

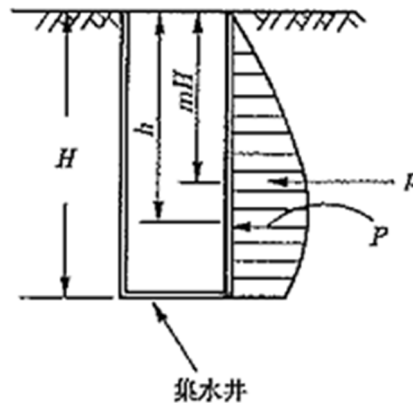


図 4-12 土圧分布図 (テルツァギ)

(3) 土質条件が多層構造の場合の集水井

各層の土圧分布を求め最大主働土圧 p_{max} を見出す。

例えば、図 4-13 のような多層構造の土質条件に設ける集水井の場合は、次に示す計算式により計算し p_{max} を求めればよい。

$$p_1 = \gamma_1 h_1 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_1}{2} \right) \quad \langle 4-3-17 \rangle$$

$$p_2 = \gamma_1 h_1 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right) - 2c_2 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right) \quad \langle 4-3-18 \rangle$$

$$p_3 = \{ \gamma_1 h_1 + \gamma_2 (h_2 - h_1) \} \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right) - 2c_2 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right) \quad \langle 4-3-19 \rangle$$

$$p_4 = \{ \gamma_1 h_1 + \gamma_2 (h_2 - h_1) \} \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right) - 2c_2 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right) \quad \langle 4-3-20 \rangle$$

$$p_5 = \{ \gamma_1 h_1 + \gamma_2 (h_2 - h_1) + \gamma_3 (h_3 - h_2) \} \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right) - 2c_3 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi_3}{2} \right) \quad \langle 4-3-21 \rangle$$

ここで、 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$: 各層の土の湿潤単位重量 (kN/m³)

h_1, h_2, h_3 : 各層の地表からの厚さ (m)

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 : 各層の土のせん断抵抗角 (°)

c_1, c_2, c_3 : 各層の土の粘着力 (kN/m²)

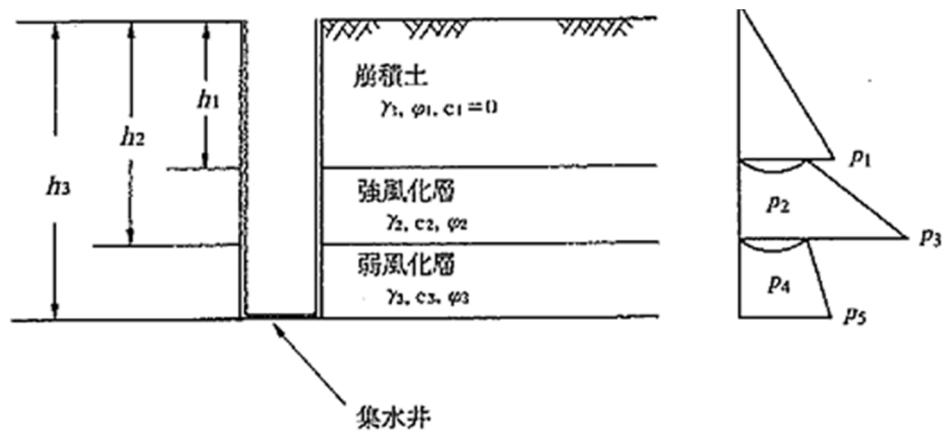


図 4-13 土圧分布図（多層構造の土質）

2 ライナープレートの板厚

ライナープレートは、弧形の波形鋼板の4辺にフランジを取り付けた部材を使用し、円環に組み立てて井筒とするもので、円環に荷重が作用すると楕円形に変形し、荷重の作用した側はへこんで土圧が減少し、ふくらんだ部分に荷重が伝達されて全体として安定し、座屈を防止する構造となっている。

しかし、変形の程度が大きい場合には座屈することになるため、集水井に使用するライナープレートの板厚は、楕円ずれ量を考慮して決定する。

(1) 最大曲げモーメント

楕円ずれ量は、円環に周囲から土圧が作用した場合に図 4-14 のように円形が楕円形に変形した場合の変形量 (U_0) をいい、一様な土圧 P の下で最大曲げモーメント M_{max} は、次式により求められる。

$$M_{max} = PR \left(U_0 + \frac{U_0 P}{P_{cr} - P} \right) = \frac{PU_0 R}{1 - P/P_{cr}} \quad \langle 4-3-22 \rangle$$

ここで、 M_{max} : 最大曲げモーメント (kN・m)

P : 土圧 = $p_{max} \times 1.0$ (kN/m)

R : 集水井の半径 (m)

U_0 : 初期楕円ずれ量 (m)

P_{cr} : 座屈危険土圧

$$= 1.5 \times \frac{2EI}{R^3} = \frac{3EI}{R^3} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$E \cdot I$: ライナープレートと補強リングの合成曲げ剛性

E : ヤング率 (kN/m²)

I : 断面 2 次モーメント (m⁴)

ただし、有効断面積及び有効断面二次モーメントは集水孔、ボルト孔等を考慮して減じる。

また、初期楕円ずれ量は、崩壊性の地盤又は押し出し性の地盤でない場合であっても、施工時の余掘りがあるため、ライナープレート集水井の初期楕円ずれ量 (U_0) は、ライナープレートの波高 (図 4-15 の a) の 1/2 に安全率 1.5 を乗じた値を見込む。なお、補強リング周辺は、部分的に固定するボルトを含めた範囲 (図 4-15 の b) まで余掘りをするようになる。

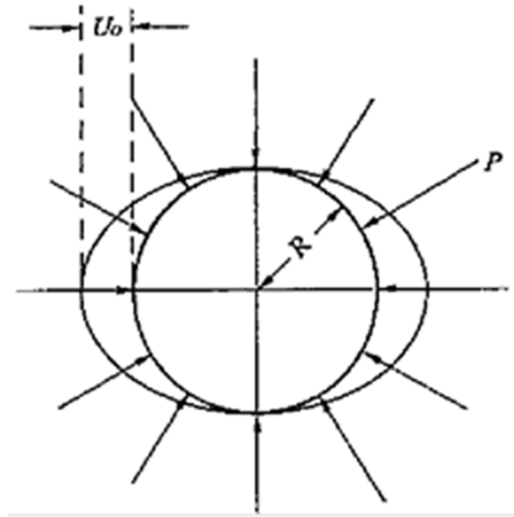


図 4-14 楕円ずれ量の説明

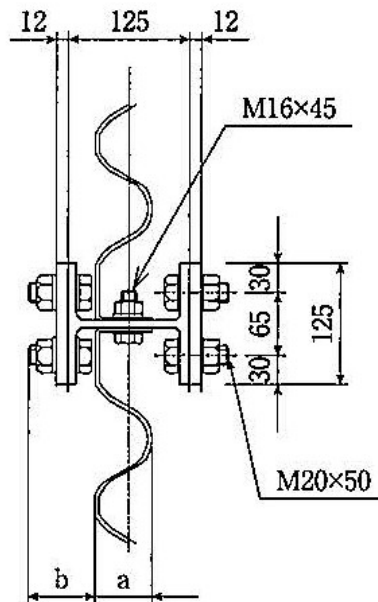


図 4-15 集水井余掘り説明図

(2) 許容圧縮応力度

最大圧縮応力は、 M_{max} のときに生ずる最大圧縮応力と圧縮力 $P \cdot R$ を加えたものとなり、次式で求められる。

$$\sigma_{max} = \frac{PR}{A} + \frac{M_{max}}{Z} \leq \sigma_a \quad \langle 4-3-23 \rangle$$

ここで、 σ_{max} : 最大圧縮応力度 (kN/m²)

P : 土圧 = $p_{max} \times 1.0$ (kN/m)

R : 集水井の半径 (m)

A : 集水井の断面積 (m²)

Z : 集水井の断面係数 (m³)

σ_a : 許容圧縮応力度 (kN/m²)

なお、補強リングを使用するときは、補強リングとライナープレートの許容応力度がそれぞれ異なるので、応力計算はそれぞれについて行う。

(3) 板厚の決定

ライナープレートの板厚は、集水井の許容圧縮応力度 (σ_a) と楕円ずれ量 (U_0) に対応するライナープレート (補強リングを使用する場合は補強リングを含めた) の許容外圧 (P_a) を考慮し、 $p \leq P_a$ となるように決定する。

p は、次式により求める。

$$p^2 - \left\{ \left(1 + \frac{A}{Z} U_0 \right) P_{Cr} + \sigma_a \frac{A}{R} \right\} p + \sigma_a \frac{A}{R} P_{Cr} = 0 \quad \langle 4-3-24 \rangle$$

また、ライナープレートと補強リングとを組み合わせさせた場合、その合成断面の荷重配分は、軸力 (N) を断面積比で、曲げモーメント (M) を断面 2 次モーメント比で配分し、次により計算する。

① 軸力 (N) に対する配分率

ライナープレート $\alpha_L = \frac{A_L}{A_L + A_H/l} \quad \langle 4-3-25 \rangle$

補強リング $\alpha_H = \frac{A_H/l}{A_L + A_H/l} \quad \langle 4-3-26 \rangle$

ここで、 α_L : 軸力 (N) に対するライナープレートの配分率

α_H : 軸力 (N) に対する補強リングの配分率

A_L : ライナープレートの断面積 (m²)

A_H : 補強リングの断面積 (m²)

l : 補強リングの間隔 (m)

② 曲げモーメント (M) に対する配分率

ライナープレート $\beta_L = \frac{I_L}{I_L + I_H/l} \quad \langle 4-3-27 \rangle$

補強リング $\beta_H = \frac{I_H/l}{I_L + I_H/l} \quad \langle 4-3-28 \rangle$

ここで、 β_L : 軸力 (N) に対するライナープレートの配分率

β_H : 軸力 (N) に対する補強リングの配分率

I_L : ライナープレートの断面積 (m²)

I_H : 補強リングの断面積 (m²)

③ ライナープレート、補強リングの応力度

ライナープレート $\sigma_L = \frac{\alpha_L \cdot N}{A_L} + \frac{\beta_L \cdot M}{Z_L} \leq \sigma_{La} \quad \langle 4-3-29 \rangle$

$$\text{補強リング} \quad \sigma_H = \left(\frac{\alpha_H \cdot N}{A_H} + \frac{\beta_H \cdot M}{Z_H} \right) \cdot l \leq \sigma_{Ha} \quad \langle 4-3-30 \rangle$$

ここで、 σ_L ：ライナープレートの応力度
 σ_H ：補強リングの応力度
 Z_L ：ライナープレートの断面係数
 Z_H ：補強リングの断面係数

式<4-3-29、4-3-30>のMに式<4-3-22>の M_{\max} を代入し、同じく式<4-3-23>の σ_{\max} をそれぞれに代入して、 $A'_L = A_L / \alpha_L$ 、 $A'_H = A_H / \alpha_H$ 、 $Z'_L = Z_L / \beta_L$ 、 $Z'_H = Z_H / \beta_H$ と置き p について整理する。

$$p^2 - \left[\left(1 + \frac{A'_L}{Z'_L} U_0 \right) P_{Cr} + \sigma_{La} \frac{A'_L}{R} \right] p + \sigma_{La} \frac{A'_L}{R} P_{Cr} = 0 \quad \langle 4-3-31 \rangle$$

$$p^2 - \left[\left(1 + \frac{A'_H}{Z'_H} U_0 \right) P_{Cr} + \sigma_{Ha} \frac{A'_H/l}{R} \right] p + \sigma_{Ha} \frac{A'_H/l}{R} P_{Cr} = 0 \quad \langle 4-3-32 \rangle$$

ライナープレートと補強リングのそれぞれについて式<4-3-31、4-3-32>から許容外圧を求め、ライナープレートと補強リングの許容外圧を比べて小さい方を許容外圧とする。

- 3 基礎部の静水槽は集水した地下水が再浸透しないようにするために設けるもので、水密性のあるコンクリート等で施工し、一般に深さは1.5m程度である。

3-7-8 集水ボーリング

集水ボーリングの位置、本数、方向及び延長は、地すべりに作用する地下水を効果的に集水できるように決定するものとする。

〔解説〕

集水ボーリングは、集水井内から施工するボーリング孔により地すべりに作用する地下水を集水し排除するものである。

設計に関する事項は、3-6「ボーリング暗きょ工」に準ずる。

3-7-9 排水ボーリング

排水ボーリングは、自然流下が可能な勾配で最も短い延長となる方向に設けるものとする。

〔解説〕

排水ボーリングは、集水井内に集水した地下水を排除するもので、ボーリングにより穿孔し、これに保孔管を挿入して排水孔を設けるものである。

- 1 排水ボーリングは、自然流下となるよう俯角とする。
- 2 保孔管径は一般的に100mm程度とするが、集水量が多い場合は管径を大きくするか、又は本数を2本以上とし、集水量が最大の場合でも静水槽から溢水しないように決定する。
- 3 排水ボーリングは、地すべり活動により保孔管がせん断されないよう、すべり面を横切らないように設けることが望ましい。

- 4 排水ボーリングの流末は、排水口を地すべりブロック外に設置するか、又は水路工により安全に地すべりブロック外に導く。なお、排水ボーリングの延長が長大で1本のボーリングで排水予定地点まで穿孔できない場合には、排水中継用井の設置を検討する。

[参考]

- 1 排水ボーリングは一般には、 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 程度の下がり勾配とすることが多い。
- 2 排水ボーリングの延長は、第三紀層地すべり地に代表される均質な軟岩地山では70~80m、破砕帯地すべり地のような複雑な地山では50~60m程度のことが多い。
- 3 集水井工は自然排水を原則とするが、応急対策など緊急を要する場合には、水中ポンプによる強制排水が行われることがある。
- 4 排水管径は、次式を使用して算出することがある。
 - (1) Hazen-Williams (ヘーゼン・ウィリアムス) の式

$$Q = 0.84935 \cdot A \cdot C \cdot R^{0.63} \cdot I^{0.54} \quad \langle 4-3-33 \rangle$$

ここで、Q : 管内流量 (m³/s)
 A : 管の断面積 (m²)
 C : 流速係数 (=100)
 R : 径深 (D/4)
 D : 管径 (m)
 I : 動水勾配

- (2) Manning (マニング) の式

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad \langle 4-3-34 \rangle$$

ここで、Q : 管内流量 (m³/s)
 A : 管の断面積 (m²)
 n : マニングの粗度係数 (=0.012)
 R : 径深 (D/4)
 D : 管径 (m)
 I : 動水勾配

- (3) 井筒の出口における流量は次式で表される。

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1+f_e+\lambda(L/D)}} A \sqrt{2gH} \quad \langle 4-3-35 \rangle$$

$$\lambda = 124.5n^2/D^{1/3} \quad \langle 4-3-36 \rangle$$

ここで、g : 重力加速度 (m²/s)
 H : 井筒水位と出口中心までの高さ (m)
 f_e : 流入損失係数 (=0.5)
 λ : 損失摩擦係数
 L : 管長 (m)

式<4-3-35>においてLがDに対して小さく、無視できるときは

$$Q = 0.82A\sqrt{2gH}$$

となる。

またLがDに対して十分に大きくL/D>1000程度であれば、管内摩擦損失が大きくなり、式<4-3-34>を用いて差し支えない。

3-7-10 効果の算定

集水井工の効果の算定は、配置や基数を考慮して行うものとする。

〔解説〕

集水井工の排水効果の範囲は、地下水文的な影響範囲に限定されることから、集水井の位置や基数により排水効果が異なり、均一に水位が低下することはない。排水効果は、集水井工の位置、基数、影響範囲内での水圧低下効果、複数の集水井の相互効果を考慮して算定する。

集水井工がその集水効果を十分に発揮するためには、すべり面の下まで掘り下げた完全井とすることが望ましい。もし、すべり面に到達しない集水井工とする場合は、不完全井としてその集水効果を推定する。

排水効果による安全率の上昇を主断面のみの二次元安定解析で検討する場合は、主断面から遠い位置での集水井工の効果を適切に評価するため、横断方向での平均的な水圧低下を考慮して安定解析を行う。

〔参考〕

集水ボーリングの効果

地すべり地の地下水帯は、地層や裂か系などが組み合わせられた複雑な構造であり、より確実な集水効果を発揮するために井筒と集水ボーリングを組み合わせる用いることが望ましい。

集水井工の効果を算定して集水井と集水ボーリング配置を検証する場合、集水井自体の効果を井戸公式などで算定して地下水位低下の平面的な分布を推定し、そこで算出される集水井自体の揚水量Qと降雨時に供給される地下水量を合わせた量の地下水を集水できるように、集水ボーリングの本数等を管暗きょ公式を用いて決定する慣用的な方法が採用されている。

その他の方法として有限要素法などによる浸透流解析の手法がある。

3-8 排水トンネル工

3-8-1 目的

排水トンネル工は、地すべり規模が大きい場合や集水井工では排除できない地下水を排除することを目的とする。

〔解説〕

排水トンネル工は、集水井工等と同様に地すべりの誘因となる地下水を排除するために実施する。

排水トンネル工は地下水排除効果、経済性、施工性、所要工期、施工上及び維持管理上の安全性等について、他の地下水排除工と比較検討して採否を決定する。一般的には次の場合に採用される。

- 1 ボーリング暗きょ工や集水井工よりも効果的に地下水を排除することができる場合
- 2 集水井工による排水ボーリングでは通常の排水ができない場合
- 3 地すべりの移動速度が大きく、集水井工では施工が困難で破壊されるおそれがあり、安全性

に問題がある場合

- 4 地すべり規模が大きく、集水井工やディープウェル等の対策工と連結し、立体的な地下水排除工を計画する場合

3-8-2 位置

排水トンネル工の位置は、地下水排除の効率性及び安全性を総合的に検討して決定するものとする。

〔解説〕

排水トンネル工の計画に当たっては、地すべりに作用する地下水の分布及びすべり面・基岩面の形状、断層・破碎帯の所在等を現地調査の成果により検討し、安全かつ経済的に地下水を効率よく排除できるように施工位置等を決定する。これらを十分考慮してルート選定を行うと共に、適切な坑口部の位置についても検討する。

3-8-3 断面

排水トンネル工の断面は、施工性、安全性、掘削方式等を考慮して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 トンネル断面は関係法令の規定、施工性、経済性、工期、維持管理等を考慮して決定する。内部断面の大きさは、通常は2 m～3 m程度とする。
排水トンネル工は不動基盤岩層内に設置され、その断面は一般的に小さいことから、上部半円の馬蹄形を標準とし、全断面工法が採用される。
- 2 集水ボーリングのためのボーリング室は、集水ボーリング作業の空間を確保する必要がある場合に設けるもので、その構造は、ボーリングの施工性及び安全性を考慮して決定する。
ボーリング室と接続するトンネル部分は、構造上の弱点となるのでこの部分の設計及び施工は入念に行う。

3-8-4 勾配

トンネルは、施工性及び排水の効率性を勘案して適当な勾配をつけるものとする。

〔解説〕

トンネルの縦断勾配は、集水した地下水を自然流下させることができ、かつ施工の安全性及び効率を確保できるように計画する。

排水トンネル工は小断面であるため、運搬方式は一般的にレール方式が用いられる。レール方式で2%程度以上の勾配の場合には、工事車両が逸走する危険度が高くなるので、十分な安全対策を行う。

3-8-5 支保・覆工

トンネル施工は、安全性を確保するために支保工を用い、トンネル内部は覆工とするものとする。

支保工は地山条件、荷重条件に適応する方式とする。

〔解説〕

支保・覆工は、掘削されたトンネルを安定に保つために設けられる構造物である。その設計に当たっては、地形・地質、地山の力学的特性、土被りの大小、湧水の有無、すべり面との関係、施工方法等を総合的に考慮して、合理的な支保・覆工を設ける。その部材としては、吹付コンク

リート、ロックボルト、鋼材等がある。

〔参考〕

先進ボーリング調査

トンネル掘削に先立って、トンネル計画軸線上の地質状況を確認するため、必要に応じて先進ボーリング調査が行われる。

先進ボーリング調査は、地表からの調査で確認することが困難な地質状況の局所的な変化や異常出水等を事前に確認し、安全にトンネルを掘削するために行うものである。

3-8-6 構造

排水トンネル工の構造は、安全性、施工性が確保されるものとし、排水機能が保てるよう現地の状況を考慮して選定するものとする。

〔解説〕

- 1 排水トンネル工の掘削に際し、異常出水やガスの噴出等の危険が予想され、トンネルが長大となる場合は、立坑による避難坑や地上から穿孔する換気孔を設置するなど、安全が確保される構造を検討する。
- 2 集水した地下水は、トンネル底部を流下させることから、流下水が地中に再浸透しないようにトンネル底部と両側壁は水密性を有する構造とし、一般的に床版コンクリートを打設する。
- 3 両側壁の水密構造部の高さは、予想される流水深に基づいて決定する。トンネルの全幅を排水路とすると、流速が低下し土砂の掃流が困難になることがあるため、その場合は、水路工の設置等を検討する。ただし、地盤条件が悪い場合にトンネル底盤に水路を掘り込むと、側圧のためにトンネルが圧壊することがあるので、設計は慎重に行う。

3-8-7 坑口部

坑口部は安全な地山を選定して設置するものとし、これにより難しい場合は地山及びトンネルの安全を確保するための対策を講じるものとする。

〔解説〕

- 1 坑口部は、土被り厚が小さくなるため偏土圧や切羽崩壊等の危険性が高くなるため、位置の選定に留意し設計は慎重に行う。
- 2 坑口の形式選定と施工は、斜面の安定に与える影響が大きいため慎重に行う。
なお、トンネルの内空は維持管理上中空のままとし、坑口扉は部外者が立ち入れないようにする。

3-8-8 集水ボーリング

集水ボーリングは、集水効果及び施工性を考慮して、構造、配列、本数及び仰角を決定するものとする。

〔解説〕

- 1 排水トンネル工においては、すべり面に影響する地下水を集水するための上向きの集水ボーリングを施工する。トンネル内から建て上げる集水ボーリングの間隔、構造については、3-6「ボーリング暗きょ工」に準じる。

2 集水ボーリングは、地下水を効率的に集水するためにすべり面を貫いて必要な長さを上部に貫入させる。

3 地下水量が多く上向き集水ボーリングのみで地下水位を低下できない場合は、集水井工で集水した上で、中継ボーリングによりトンネルへ排水するなどの検討を行う。

また、地上からトンネルまで鉛直に掘削した落とし込みボーリングにより集水する方法もある。

〔参考〕

集水ボーリングをすべり面上部に貫入させる長さは、地下水帯の分布を考慮して効率良く集水できるように決定するが、貫入長が長すぎると不経済となる。すべり面の形状が波状の起伏を持つ場合などは、実際の貫入長が設計と異なることもあり、掘進状況等を常にチェックして個々の集水ボーリングの最終的な掘進長を決定する。

貫入長の判断の例として有圧地下水帯の場合は 2m 程度、自由地下水帯の場合は 5 m程度とする事例がある。

3-8-9 効果の算定

排水トンネル工の効果の算定は、集水ボーリングの位置及び本数を考慮して行うものとする。

〔解説〕

排水トンネル工の排水効果は、トンネル内からの集水ボーリングの集水効果により発揮される。集水ボーリングの位置、本数は、影響範囲内での水圧低下効果と複数の集水ボーリングの相互効果を考慮して決定する。

〔参考〕

トンネル内からの集水ボーリング配置やその効果を算定する場合は、集水ボーリングの仰角が大きいことから、擬似的に地下水帯を貫通する位置の縦孔であると仮定して、井戸公式を適用することができる。井戸公式を用いる場合の計算方法は、集水井工に準拠する。井戸公式を地すべり地に適用した場合は、十分な計算精度を得られない場合もあるが、排水トンネル工及び集水ボーリングの配置計画により、地下水位がどのような分布で低下するかを計画段階で検討することは重要である。

その他の方法として有限要素法(FEM)等による浸透流解析の手法がある。

3-9 排土工

3-9-1 目的

排土工は、地すべり斜面頭部の土塊を除去することにより地すべりの滑動力を軽減することを目的とする。

〔解説〕

排土工は、地すべり斜面頭部の土塊を除去することにより、確実な抑制効果が期待され、半永久的に効果が持続する抑制工である。他の工種・工法と併用してそれぞれの負担力を調整させることで効率的な対策となることも期待される。また、当面の移動を停止させるために応急的に行われることも多い。

排土工は、自然斜面を広範囲に改変させるため、周辺の景観、自然環境について考慮するとともに、施工地の侵食防止や森林を復元するための工種・工法を検討する。

3-9-2 位置

排土工の位置は、地すべりの滑動力を効果的に軽減させる場所を選定するものとする。

〔解説〕

地すべりの安定性は、頭部付近の地すべり土塊の重量に大きく影響される。排土工の位置は、この頭部付近で計画し、地すべりの滑動力を効果的に軽減させるよう範囲を設定する。

排土する位置やすべり面形状によっては、効果が十分に得られないこともあるため、位置の選定には十分な検討を行う。また、二次元安定解析を用いる場合は、主断面から遠い位置の排土工の効果が適切に評価されないことがあるので、左右のバランスを考えた排土計画とする。

3-9-3 排土区域及び排土深

排土区域及び排土深は、最も効果的に地すべりの滑動力を軽減させ、かつ、排土区域より上部の斜面が排土の影響により地すべりを発生させないように決定するものとする。

〔解説〕

排土工は、すべり面の把握による安定計算の上に成り立つので、すべり面を正確に把握し、安定計算を繰り返しながら最も経済的に目標安全率に達するように排土区域及び排土深を決定する。

また、複数の地すべりブロックが連鎖的に相互に関連している場合や地すべり地の上方斜面に潜在性地すべりが分布している場合には、排土により他の地すべりを誘発する可能性があるため、十分注意する。

3-9-4 切土のり面の形状

排土後の切土のり面は、長大な単一のり面とならないようにするとともに、崩壊等が発生させないように計画するものとする。

〔解説〕

- 1 排土後の切土のり面は、崩壊が発生しないような勾配にするとともに、長大なり面となる場合は、雨水による崩壊又はリルやガリー等の表面侵食を防ぐため適当な高さで区切って小段を設ける。
- 2 のり面の勾配及び小段の間隔は、一般的には次の区分によることが多い。
軟岩の場合 勾配 1:0.5~1:1.2 小段間 直高で7 m程度
土砂の場合 勾配 1:1.0~1:1.5 小段間 直高で5 m程度
また、通常、小段の幅は1.0~2.0m程度である。
- 3 排土工を実施後、のり面の表土が膨潤状態等、異常な現況を呈する場合には、排土工のみならず、他の適切な工種・工法と組み合わせて対策を講ずる。
- 4 小段上には必要に応じて水路を設けるものとし、3-3「水路工」に準じる。

3-9-5 切土のり面の保護

排土後の切土のり面は、山腹緑化工を計画し、必要に応じて山腹基礎工を計画するものとする。

〔解説〕

排土後の切土のり面は、降雨等によりリルやガリーが発達しやすい。このため、排土後のり面は山腹緑化工を計画する。工種・工法の採用に当たっては、景観や周辺環境へ影響を与えな

いよう十分配慮するとともに、露岩等については必要に応じ張工等を選定する。

また、土留工を併用し、のり面が集水地形をなす場合や集水面積が大きい場合には、水路工を設けて雨水の浸透による侵食とのり面崩壊を防止するよう計画する。

山腹緑化工については、第2編第5章第4節「山腹緑化工」を、山腹基礎工については、同第5章第3節「山腹基礎工」を準用する。

3-9-6 切土の処理

切土は、地すべり区域外に残土処理するものとし、残土が崩壊の原因とならないように、また流亡しないように措置するものとする。

〔解説〕

- 1 地すべり区域では、潜在的に地すべり発生の危険性を持っていることが多いため、残土処理場は地すべり区域外に設定する。やむを得ず地すべり区域内に設定する場合は、残土処理で地すべりが発生しないように注意する。
- 2 地すべり地の土は、一般的に風化や軟弱化する速度が速く、攪乱されると強度も小さくなるので、盛土の材料としては不適當な場合が多い。したがって、残土処理が崩壊の発生又は流亡の原因とならないよう十分な対策を検討する。
- 3 残土処理を行うに当たっては、残土を資源として積極的に有効利用することが重要であり、土質条件等を十分に調査し、できるだけ多量の土を活用するよう努め、既定の残土処理場を利用する場合や他事業との調整により他事業の盛土材等として活用する場合は、当該残土処理場や他事業の現地における処理方法による。
- 4 残土処理場の設定については、宅地造成及び特定盛土等規制法（昭和36年法律第191号）第13条及び第31条に規定する技術的基準（同法施行令及び同法施行規則の関係条項を含む）、同法施行令第20条に規定する都道府県等の規則、盛土規制法の関係通知及び盛土等防災マニュアル（令和5年5月26日）による。

3-10 押え盛土工

3-10-1 目的

押え盛土工は、地すべり斜面の末端部に効果的な盛土をし、地すべりの抵抗力を増大して斜面の安定を図ることを目的とする。

〔解説〕

押え盛土工は、すべり面傾斜が地すべりブロックの中で比較的緩勾配となっている地すべり末端部等に盛土して、地すべり全体の安定・強化を図るものである。活動中の小規模な地すべりに対して、地すべりを一時的に安定させるための応急対策工として施工される場合もある。大規模な地すべりでは、押え盛土工も大規模となるため、用地の関係で困難となる場合も多い。

また、盛土の遮水効果による地下水位の上昇や急速な载荷による間隙水圧の上昇等が生じないように考慮する。なお、このような場合は、ボーリング暗きょ工等による地下水排除等、適切な対策を講じる。

3-10-2 位置

押え盛土工の位置は、地すべりの抵抗力を効果的に増加させる場所を選定するものとする。

〔解説〕

一般的にすべり面の傾斜は、頭部で急勾配、末端部で緩勾配又は、逆勾配となっている。

押え盛土工の位置は、すべり面の傾斜が相対的に緩やかであるか逆勾配となっているほど効果的であることから、末端部が適している。

3-10-3 盛土区域及び盛土厚

盛土区域及び盛土厚は、最も効果的に地すべりに対する抵抗力を増加させるとともに、盛土位置より下部の斜面が盛土の影響により地すべりを発生させないように計画するものとする。

〔解説〕

押え盛土工は、地すべりが一次すべりのような単純な地すべりブロックの場合に採用されることが多いが、数次の地すべりブロックが相互に関連し、複雑な機構を有する地すべり地の場合は、盛土により下方のブロックの安定度を低下させることがあるので注意する。

すべり面及び地すべりに対して抵抗力が働く位置等を正確に把握した上で安定計算を繰り返しながら最も効果的、経済的に計画安全率に達するように盛土区域及び盛土厚を計画する。

3-10-4 盛土基礎

盛土基礎は、盛土工により地盤が不安定化しないように計画するものとする。

〔解説〕

- 1 盛土工の基礎となる斜面は、通常盛土と同じように段切り等の処理をする。なお、段切り等の処理をする場合には、掘削等により地すべりを誘発しないよう十分注意する。また、地すべりブロックの末端部が攪乱されて軟弱となっている場合は、基底破壊等を生じる危険があるので、大規模な押え盛土工は採用しない。
- 2 盛土区域及びその上部等に湧水、又は流水がある場合は、これらの水が盛土部分に浸透して土の強度を低下させ、盛土を破壊に至らしめることになるので、暗きょ工等により確実に湧水等を排除する。

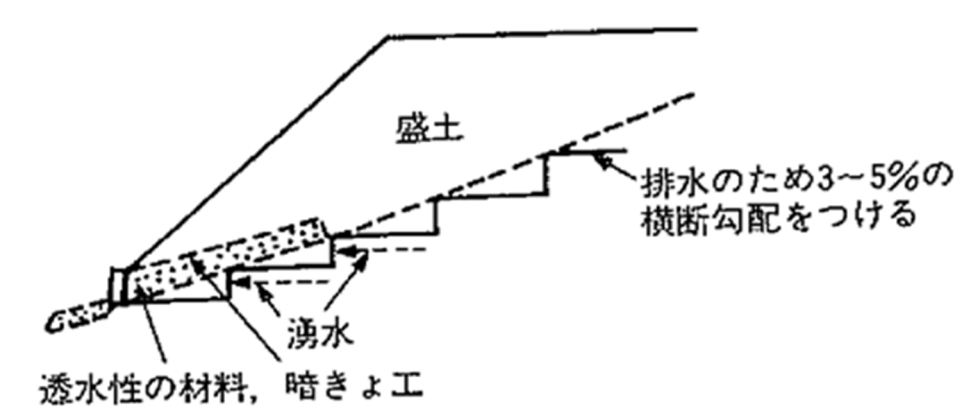


図 4-16 基礎部の排水処理例

3-10-5 盛土のり面の形状

盛土のり面の勾配は、崩壊等を起こさない安全な勾配とし、長大な単一のり面とならないように計画するものとする。

〔解説〕

- 1 盛土のり面の勾配は、盛土材料、又は地盤状況により、1:1.5~1:2.0を標準とし、盛土の直高5mごとに幅1.0~2.0mの小段を設ける。

- 2 大規模な盛土となる場合は安定解析を行い、盛土による安全率が 1.5 以上となるように小段間隔を決定する。
- 3 排土工により切り取った土は、盛土材料として不適当な場合があるので、使用に当たり土質性状に対する適用性について検討する。

3-10-6 盛土のり面の保護

盛土のり面は、山腹基礎工を計画するとともに、山腹緑化工を計画するものとする。

〔解説〕

- 1 押え盛土工を施工する地すべり斜面の下方部には、盛土の安定を図るための基礎として、土留工等の山腹基礎工を計画する。この場合、設置位置は、のり尻になることが多いが、地すべりの滑動力が直接作用しない場所を選定する。
工種・工法の採用に当たっては、排水性を十分考慮した構造物とし、盛土の高さに応じた高さとする。
- 2 盛土区域ののり面は、侵食を防止し、盛土の安定を図るため山腹緑化工を計画する。
- 3 山腹基礎工については、第 2 編第 5 章第 3 節「山腹基礎工」を、山腹緑化工については、同第 5 章第 4 節「山腹緑化工」を準用する。

3-11 ガス排除工

3-11-1 目的

ガス排除工は、地すべりに影響を与えるおそれのある火山ガスを効果的に排除することを目的とする。

〔解説〕

活動中の火山地帯や温泉地帯においては、火山ガスや熱水による岩石の変質作用で、地すべりの素因となる温泉余土や酸性白土が生成される。また、火山ガスや熱水は、地中の間隙圧を上昇させて地すべりの誘因となる場合もある。ガス排除工は、このような地すべりにおいて、ガス圧を低下させるために実施する工種・工法である。

ガス圧に対する地すべり機構や実態は明らかでないことが多いため、地すべりの安定解析にはガス圧を取り入れない。また、ガス排除工は、火山ガスを排除する過程で、周辺の地質に新たな変質や粘土化を及ぼしたり、有毒な火山ガスを排出するおそれもあるため、実施に当たっては、慎重に調査を進めながら計画する。

3-11-2 位置

ガス排除工の位置は、地すべりに影響を与えるおそれのある火山ガスを効率的に排除できる箇所を選定するものとする。

〔解説〕

ガス排除工は、基岩層内のガス流通路をねらって設置する。そのため、十分な事前調査を行い、基岩層の地質構造及び実際のガス分布を考慮し、位置を選定する。

3-11-3 構造

ガス排除工は、基岩層内のガスを確実に大気に放出させる構造とするとともに、ガス、熱水等に対して物理的、化学的な耐久性を有し、長期にわたり機能が維持できるものとする。

〔解説〕

- 1 地すべり地の地下深部に達して火山ガスを排除するための工種・工法は、ボーリング工法が最も実用的である。
- 2 ボーリング孔によりガスを大気へ放出することでガス圧を低下させることから、排気に障害が発生しにくい仕様とし、方向・角度には特別な制約はない。
- 3 排気ボーリング工の保孔材は高温・腐食に耐えられる材料を用いるものとし、効果的にガスを集めるための穴開け加工を行うとともに、集めたガスを他に漏らさず地上に導くように確実に設置することが重要である。
- 4 火山ガスによっては、有毒性ガス、高温高压ガス、蒸気の噴出等、危険性を伴うことから、計画、施工及び維持管理に際しては注意する。

3-12 治山ダム等

3-12-1 目的

治山ダム等は、地すべり地末端部の溪流の縦侵食及び横侵食の防止、地すべり地からの流出土砂の抑止・調節、又はダムの堆砂による押え盛土効果を発揮させることを目的とする。

〔解説〕

流水による溪流の縦侵食や横侵食が進むと、溪流に面した地すべりブロックの安定を損ない、地すべり移動を誘発する。このような場合には、地すべり末端部の侵食を防止し、地すべりの安定化を図るため治山ダム等を設置する。

また、治山ダムを地すべり地下流の不動点に設けてダム背面を堆砂させることにより、流出土砂の抑止・調節、押え盛土の効果が発揮させる場合もある。

なお、地すべり地あるいは地すべりにより溪流に形成された河道閉塞（天然ダム）から土砂流出がある場合には、下流流域の保全を目的として治山ダムを設置することがある。地すべりの規模や流出する土砂量等に応じて、他の地すべり防止工や流路の切り替え等と合わせて計画する。

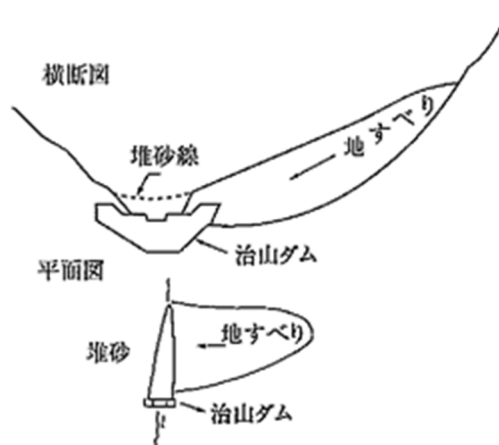


図 4-17 治山ダムの押え盛土効果

3-12-2 位置

治山ダム等の位置は、目的を達成するために最も効果的な箇所を選定するものとする。

〔解説〕

治山ダム等の設置位置は、溪流の縦・横侵食防止を目的とする場合には、「山地治山事業」に

おける各工種・工法と基本的に同じであるが、地すべり防止工として計画する場合には、地すべり移動をしている箇所を避ける。また、施工時に斜面の不安定化が予想される箇所は避け、やむを得ずこのような箇所に設置する場合には、十分な対策を検討する。さらに、床掘等により地すべりを誘発又は助長させることがないように十分な検討を行う。

また、堆砂により押え盛土効果を期待する場合には、押え盛土効果によるプラス面と、溪床の上昇による地すべりブロックの間隙水圧上昇のマイナス面があり得るので、両者を総合的に検討して最も効果的な位置を選定する。

3-12-3 種別と構造

治山ダム等の設計に際しては、目的を達成するために最も効果的な種別及び構造等を選定するものとする。

〔解説〕

治山ダム工等の種別、構造その他設計に関する事項については、第2編第4章第3節「治山ダム」等と基本的に同じであるが、特に、地すべりブロック内又は地すべり発生のおそれのある箇所に設ける場合には、掘削土量が少なく、かつ可撓性のある構造とすることが望ましい。

また、構造物が地すべりブロックの地下水の流れをせき止めたり、間隙水圧を上昇させるおそれがある場合には、透水性のあるものを採用し、構造物自体が排水を促進する構造であることが望ましい。

3-13 土留工

3-13-1 目的

土留工は、排土工、押え盛土工の基礎工の一つとして、地すべりの安定、斜面下方部の侵食による崩壊防止のほか、水路工、暗きょ工等の基礎及び方向転換時の支保を目的とする。

〔解説〕

抑制工としての土留工は、排土工、押え盛土工の基礎工の一つとして切土のり面又は押え盛土の安定のために計画するほか、水路工、暗きょ工等の基礎及びこれら基礎工の方向転換の必要が生じたときの支保の役割を果たすために計画する。

3-13-2 位置

土留工の位置は、設置目的を達成するために最も効果的な箇所を選定するものとする。

〔解説〕

土留工の設置位置は、第2編第5章第3節3-3「土留工」の設置位置と基本的に同じであるが、施工時に地すべりを誘発、助長させることがないように、以下に留意して位置を選定する。

- 1 排土工の基礎工として地山の境界付近に設ける場合
排土後の地形、地質条件を検討し、地盤等の安全性を考慮して選定する。
- 2 押え盛土工の基礎工として設ける場合
盛土末端付近に設置するものとし、地盤の安全性等を考慮して選定する。
- 3 その他基礎工の支保として設ける場合
排土、盛土後ののり面勾配等の形状を考慮し、土留工はのり面勾配となじみの良い位置を選定する。

3-13-3 種別と構造

土留工の設計に際しては、最も効果的な種別及び構造等を選定するものとする。

〔解説〕

土留工の種別、構造その他設計に関する事項は、第2編第5章第3節3-3「土留工」に準じて計画するが、地すべりブロック内、又は地すべり発生のおそれのある箇所に設ける土留工は、掘削土量が少なく、かつ、可撓性のある構造とすることが望ましい。

また、治山ダム等と同様、構造物が地すべりブロックの地下水の流れをせき止めたり、間隙水圧を上昇させるおそれがある場合には、透水性のある種別のものとし、構造物自体が排水を促進する構造であることが望ましい。

第4節 抑止工の設計

4-1 総説

抑止工は、構造物により地すべりを直接抑止し、地すべり防止を図ることを目的とする。

〔解説〕

抑止工は、構造物の力学的強さにより地すべりの滑動力に対し直接抵抗させるもので、施工効果の即効性が得られる。なお、経済性及び効果の持続性の確保のため、抑制工の併用も検討する。

4-2 杭工

4-2-1 目的

杭工は、地すべり斜面に杭を挿入して、地すべりの滑動力に抵抗させることを目的とする。

〔解説〕

杭工は、杭の持つ抵抗力により地すべり滑動を抑えたり、杭を介して地すべり滑動力を不動地盤や下流側の移動層に伝達させることにより地すべりを抑止する工法である。

杭工の計画に当たっては、施工性・経済性について他の抑止工との比較も含めて十分検討する。特に大口径の杭の場合には、搬入車や施工機械が大型になるので、現場への搬入条件、施工条件に留意する。

4-2-2 位置

杭工の位置は、地盤の性状、杭谷側移動層の状態、施工性、保全対象等を検討した上で、最も適切な位置を選定する。

〔解説〕

1 地盤の状態

杭施工位置は、流動現象を伴うような軟弱な地盤を避けるとともに、小崩壊や亀裂等がある場合は、杭の機能に影響を与える懸念があるので、移動特性等を十分検討して杭工の採否を判断する。

2 杭谷側移動層の状態

杭谷側移動層の地盤反力を期待する設計式を採用する場合は、地すべりが不安定化した時点で、杭谷側移動層の地盤反力が十分期待できる施工位置を検討する。

3 杭山側移動層の状態

杭山側移動層で受働破壊による新たな地すべりが発生しない位置に杭を設置する。

4 保全対象

杭施工位置の近傍に構造物等がある場合は、杭頭の変位が構造物に影響しないよう杭頭変位を規制するなどの配慮を行う。

5 施工性

クレーン等の施工機械及び資機材の搬入・搬出が困難な位置はできるだけ避けるなど、施工性に関し配慮する。

6 他の抑止工との併用

抑止機構が異なる他の抑止工との併用は避けるべきであるが、やむを得ず併用する場合には、それぞれの抑止工の許容変形量を考慮しつつ、移動特性がほぼ同じとなるようにどちらも圧縮部に計画することが望ましい。

4-2-3 杭の型式

杭工の型式は、施工位置の移動特性やすべり面深度、杭の機能を考慮し、最適なものを選定するものとする。

〔解説〕

地すべり抑止杭の型式は、一般的な補強杭、くさび杭、せん断杭及び抑え杭やすべり面が浅い場合等に適用する半剛体杭がある。それぞれに採用可能な施工位置の条件等が違うので型式の特徴を十分考慮して、型式を決定する。

なお、せん断杭理論は、たわみやモーメントの分布について検証する方法がないことや、鋼材の曲げ剛性 EI が設計に反映されないことなどから、使用に当たっては十分注意する。

有限要素法等の汎用的な方法を用いる場合は、パラメータやすべり面に関する条件の与え方等について設定根拠を明確にする。

〔参考〕

1 主な杭の型式

主な杭の型式の特徴は、次のとおりである。

(1) 杭の谷側移動層の有効抵抗力を期待した杭の型式

- ① 補強杭：杭を弾性床上の梁として考え、地すべり推力の一部を根入れ地盤に伝達し、残りの推力を谷側移動層の抵抗力に委ねるとするもの。
- ② くさび杭：杭が移動層と一体となって移動し、すべり面の上下でたわむときに発生する抵抗力により地すべり力に抵抗するもの。
- ③ せん断杭：杭の効果としてすべり面のせん断抵抗力のみを増加させると考えるもの。

(2) 杭の谷側移動層の有効抵抗力を期待しない杭の型式

抑え杭：杭を片持ち梁として扱うもの。

(3) すべり面が浅い場合の杭の型式

半剛体杭：杭を半剛体と考え、移動層内では剛体杭として扱い、基岩層では弾性杭とするもの。

2 必要抑止力の算定

必要抑止力は施工前の安全率 F_0 と杭工により達成させる安全率 F を用いて以下の方法により

算定する。

(1) 安定解析式が Fellenius (フェレニウス) 式及び修正 Fellenius 式の場合

$$P_u = (F - F_0) \sum T$$

$$P_{mu} = \left\{ \frac{(F - F_0)}{F} \sum T \right\} \quad \langle 4-4-1 \rangle$$

ここで、 P_u : 地すべり単位幅当たりの必要抑止力 (kN/m)

.....くさび杭、抑え杭、補強杭 (せん断検定)、せん断杭に利用

P_{mu} : 地すべり単位幅当たりの必要抑止力 (kN/m)

.....補強杭 (モーメント検定、たわみ検定) に利用

$\sum T$: 安定解析式の分母項の総和 (kN/m)

(2) 安定解析式が Bishop (ビショップ) 式及び Janbu (ヤンプ) 式の場合

$$P_u = \frac{F \sum T - f_0 \Sigma S}{f_0}$$

$$P_{mu} = \frac{F \sum T - f_0 \Sigma S}{F} \quad \langle 4-4-2 \rangle$$

ここで、 ΣS : 安定解析式の分子項 (杭工により達成する安全率に対応)

f_0 : 修正係数、Bishop 式の場合は $f_0 = 1$ とする

3 水平負担力と鉛直負担力の算定

杭のたわみ解析は杭に作用する水平力に対する杭の変形を計算するものである。必要抑止力より、水平方向の分力を算出し、杭の水平負担力とする。必要抑止力の鉛直成分 (鉛直負担力) は杭に軸力として作用するものと考え、杭の応力度の検定時に考慮する。水平負担力及び鉛直負担力は次の方法で算出する。

(1) 安定解析式が Fellenius 式、修正 Fellenius 式、Bishop 式の場合

$$H_u = P_u \cdot \cos \theta$$

$$H_{mu} = P_{mu} \cdot \cos \theta \quad \langle 4-4-3 \rangle$$

$$V_u = P_u \cdot \sin \theta$$

$$V_{mu} = P_{mu} \cdot \sin \theta \quad \langle 4-4-4 \rangle$$

ここで、 H_u : 水平負担力 (kN/m)

.....くさび杭、抑え杭、補強杭 (せん断検定)、せん断杭に利用

H_{mu} : 水平負担力 (kN/m)

.....補強杭 (モーメント検定、たわみ検定) に利用

V_u : 鉛直負担力 (kN/m)

.....くさび杭、抑え杭に利用

V_{mu} : 鉛直負担力 (kN/m)

.....補強杭に利用

θ : 杭施工位置でのすべり面傾斜角

(2) 安定解析式が Janbu 式の場合

$$H_u = P_u$$

$$H_{mu} = P_{mu}$$

<4-4-5>

$$V_u = 0$$

$$V_{mu} = 0$$

<4-4-6>

4 半剛体杭の設計理論

半剛体杭（剛弾性杭）は、すべり面が浅い地すべりや急傾斜地でのすべりの場合、杭の強度に比べて移動層の土質強度が小さく、移動層の部分では杭は剛体杭の挙動を示し、また、杭の基岩層に位置する部分は土質強度が大きいため、杭は弾性杭の挙動を示すと考えられている。したがって、杭の回転中心より上を剛体杭、それより下を Y. L. Chang（チャン）の式のたわみ杭としてその挙動を表すものとしている。

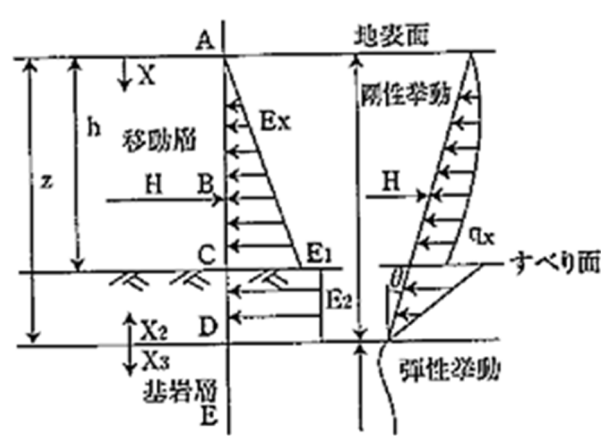


図 4-18 半剛体杭の説明図

(出典) 地すべり工学-最新のトピックス- (株山海堂 H7.3)

(1) 杭の回転中心の地表からの深さ z の決定

$h_1 = \beta_2 h$ に対して表 4-1 から $z_1 (= \beta_2 z)$ を読み取り、次式により z を求める。

$$z = \frac{z_1}{\beta_2} \tag{4-4-7}$$

$$\beta_1 = \sqrt[4]{\frac{k_{h1}d}{4EI}}, \quad \beta_2 = \sqrt[4]{\frac{k_{h2}d}{4EI}} \tag{4-4-8}$$

$$n = \frac{\beta_1}{\beta_2} = \sqrt{\frac{k_{h1}}{k_{h2}}} \tag{4-4-9}$$

ここで、 h : 杭打地点におけるすべり面深さ

k_{h1} 、 k_{h2} : 移動層と基岩層の水平地盤反力係数

β_1, β_2 : 移動層と基岩層の β 値 (m⁻¹)
 d, EI : 杭の外径(m)と曲げ剛性 (kN・m²)

表 4-1 z_1-h_1 関数表

h_1	n					
	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
0.5	2.455	2.455	2.454	2.454	2.454	2.453
1.0	2.847	2.841	2.838	2.835	2.833	2.832
2.0	3.757	3.722	3.696	3.678	3.666	3.658
3.0	4.820	4.729	4.659	4.607	4.572	4.550
4.0	5.987	5.828	5.700	5.601	5.532	5.487
5.0	7.217	6.989	6.796	6.643	6.530	6.455
6.0	8.486	8.188	7.930	7.719	7.558	7.447
7.0	9.779	9.412	9.089	8.819	8.607	8.457
8.0	11.086	10.652	10.267	9.937	9.673	9.480
9.0	12.404	11.905	11.457	11.069	10.752	10.515
10.0	13.729	13.165	12.655	12.210	11.841	11.559
11.0	15.058	14.431	13.861	13.359	12.937	12.610
12.0	16.392	15.701	15.071	14.513	14.040	13.667
13.0	17.728	16.975	16.286	15.672	15.148	14.730
14.0	19.067	18.251	17.503	16.835	16.260	15.796
15.0	20.407	19.529	18.723	18.000	17.375	16.866

注) $h_1 = \beta_2 h, z_1 = \beta_2 z$

(出典) 地すべり工学-最新のトピックス- (株式会社 山海堂 H7.3)

[z_1 の方程式]

$$z_1^3 - 2h_1 z_1^2 - (3 - h_1^2)z_1 - \left(\frac{1}{6}n^4 h_1^3 - 2h_1 + 3\right) = 0 \quad \langle 4-4-10 \rangle$$

(2) 回転角 θ の算定

$$\theta = \frac{H}{2\beta_2^2 EI \left\{ n^4 h_1 \left(z_1 - \frac{2}{3} h_1 \right) + (z_1 - h_1)^2 - 1 \right\}} \quad \langle 4-4-11 \rangle$$

ここで、 H : 杭に作用する奥行き 1 m 当たりの地すべり水平推力 (kN/m)

(3) 杭頭のたわみ Δ_0 の算定

$$\Delta_0 = z \cdot \theta \quad (\text{mm}) \quad \langle 4-4-12 \rangle$$

(4) 最大曲げモーメント M_{\max} 、最大せん断力 S_{\max} の算定

① 最大曲げモーメント M_{\max}

最大曲げモーメントが発生する位置は、地すべり推力が作用する位置 (B 点) か、基岩内において曲げモーメントがピークとなる位置 (x_p : C~D 区間) のいずれかである。

B 点での曲げモーメント

$$M_B = \frac{4E_1 \theta h^2}{81} \left[z - \frac{h}{3} \right] \quad \langle 4-4-13 \rangle$$

C～D 区間の曲げモーメント

$$Mx_P = -H \left[x_P - \frac{2h}{3} \right] + \frac{E_1 \theta h}{12} \{ 6zx_P - 4(z + x_P)h + 3h^2 \} \quad \langle 4-4-14 \rangle$$

$$x_P = z - \sqrt{z^2 - \frac{2H}{E_2 \theta} + \frac{E_1 h(3z-2h)}{3E_2} - h(2z-h)} \quad \langle 4-4-15 \rangle$$

最大曲げモーメント

$$M_{max} = \max(|M_B|, |M_{x_P}|) \quad \langle 4-4-16 \rangle$$

② 最大せん断力 S_{max}

最大せん断力が発生する位置は、地すべり推力が作用する位置（B点）で、その値は S_{B-} 、 S_{B+} のうちの大きい方である。

ここで、 $B-$ 、 $B+$ はそれぞれ B 点より上、B 点より下を意味する。

B 点でのせん断力

$$S_{B-} = \frac{2E_1 \theta h}{27} \left(3z - \frac{4}{3}h \right) \quad \langle 4-4-17 \rangle$$

B+ 点でのせん断力

$$S_{B+} = -H + \frac{2E_1 \theta h}{27} \left(3z - \frac{4}{3}h \right) \quad \langle 4-4-18 \rangle$$

最大せん断力

$$S_{max} = \max(|S_{B-}|, |S_{B+}|) \quad \langle 4-4-19 \rangle$$

4-2-4 杭材の種別

杭材の材質は、設計強度を満足するものとし、地すべりの規模及び周辺の状況に応じて選定するものとする。

〔解説〕

杭材の材質は、曲げ特性や強度に異方性がなく、適切な品質管理がなされ、強度が明確であるという条件を満足させ、この条件を満たす材質としては、鋼管が最適である。その他、水平負担力が小さい場合は、PC 杭や RC 杭等も採用可能である。また、応急対策として木杭や H 鋼杭等を打ち込む場合もある。

鋼管では引張強さ 400N/mm² や 490N/mm² の鋼材が一般的に利用されるが、大きな抑止力を必要とする大規模地すべり対策や、大きな曲げ応力が発生する抑え杭では、570N/mm² 級等の高張力鋼も採用されるようになっている。

〔参考〕

1 高張力鋼

鋼材の曲げ剛性 EI は通常の鋼管も高張力鋼も同じであり、高張力鋼は大きな変形を許容する鋼材である。地すべり抑止杭は杭に変形が生じることにより抑止効果を発揮する受働杭であるが、地すべり滑動後の移動体の変形の予測が困難であることから地すべり対策では小さな変形により所期の抑止効果を発揮することが望ましい。よって、通常は 490N/mm² 級以下の鋼材を

利用するものとし、高張力鋼を利用する必要がある場合は、杭の変形特性や変形量を充分検討した上で採用する。

2 H型鋼杭・合成杭

H型鋼杭・合成杭は、強度や曲げ特性に異方性があり、地すべりの移動方向が想定した方向と斜交する場合に所期の性能が得られないことや、H鋼と鋼管が一体となって変形することの検証ができないこと、鋼管の製造技術の向上により大口径や厚肉の鋼管、高張力鋼など鋼管の選択肢が広がったことなどから採用されない傾向にある。

3 杭工に適する鋼管の JIS 規格

表 4-2 地すべり抑止用の鋼管に関する JIS 規格

規格番号	名 称	規格記号と材質
JIS A 5525	鋼管ぐい	SKK400 (SKK41) SKK490 (SKK50)
JIS G 3444	一般構造用炭素鋼鋼管 (継目無鋼管及び外径 318.5mm 未満の溶接鋼管に限る)	STK400 (STK41) STK490 (STK50) STK540 (STK55)
JIS G 5201	溶接構造用遠心力鋳鋼管	SCW490-CF (SCW50-CF) SCW520-CF (SCW53-CF) SCW570-CF (SCW57-CF)

4 鋼管のヤング係数及び許容応力度

鋼管のヤング係数 $E=2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$

表 4-3 鋼材の許容応力度

鋼材規格	肉厚 t (mm)	長期許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²) (長期×1.5)	
		せん断	曲げ	せん断	曲げ
SKK400 及び同等品	t ≤ 40	78	137	117	205
	t > 40	73	127	109	190
SKK490 及び同等品	t ≤ 40	108	186	162	279
	t > 40	98	171	147	256
SCW490-CF 及び同等品	t ≤ 40	108	186	162	279
	t > 40	108	186	162	279
SCW570-CF 及び同等品	t ≤ 40	147	254	—	—
	t ≤ 75	142	245	—	—
	t > 75	137	240	—	—

(SCW570-CF は短期を認めていない。)

5 長期強度と短期強度

通常、抑止工の設計では許容応力度法が用いられる。鋼材の許容応力度には長期と短期の値があり、抑止工に作用する抑止力が長期的なものか短期的なものかにより、採用する許容応力度を

選定する必要がある。恒久対策としての抑止工の場合、例えばアンカー工は常時緊張力を与える抑止工であり長期許容応力度が対象となる。杭工やシャフト工は地すべりによる変形を受けることにより抑止効果を発揮するが、通常は変形が元に戻ることはないことから、一般的には長期的な許容応力度が対象となる。

一方、抑止工に作用する荷重が一時的なものである場合は、短期許容応力度を採用する。例えば、杭工やシャフト工では、他の防止工により適当な安全率が確保され、地すべりが不安定化する確率が小さい箇所において用いられる場合である。

4-2-5 杭の構造、間隔及び配列

- 1 杭の構造は、施工位置でのすべり面深度や移動層の状況、地表の土地利用等を考慮して決定するものとする。
- 2 杭の間隔及び配列は、杭の安定度、すべり面深度、施工性を検討して決定するものとする。

〔解説〕

1 杭頭の埋設深さ

杭頭を埋設する場合には、杭の維持管理上支障のないよう適切に処置する。一般的に、埋め込む場合は1 m程度までが目安である。

2 杭材の肉厚

杭材として鋼管を用いる場合は、単一肉厚杭とすることが望ましい。

3 杭の配列

杭の配列は、地すべりの移動方向に対しておおむね直角とし、等間隔となるよう単列に設置する。やむを得ず杭の設置段数が多段になる場合には、杭施工位置での地すべり移動層の変位を十分考慮する。

4 杭間隔

杭間隔 D は、杭の安定性が確保されるとともに土塊の中抜けが生じないように決定する。

〔参考〕

1 杭間隔の決定

杭間隔 D は、次の3つの式により算定される値のうち最小の値とする。

$$D_s = \frac{\tau_a A}{\alpha_0 S_{max}} = \frac{S_a}{S_{max}} \quad \langle 4-4-20 \rangle$$

$$D_m = \frac{\sigma_a - \frac{Nf_1}{A}}{\frac{Nf_2}{A} + \frac{M_{max}}{Z}} = \frac{Ma}{M_{max}} \quad \langle 4-4-21 \rangle$$

$$D_y = \frac{\Delta_a}{y_{max}} \quad \langle 4-4-22 \rangle$$

ここで、 D_s : せん断に関する所要杭間隔 (m)

……抑え杭、補強杭、せん断杭で算出

D_m : モーメントに関する所要杭間隔 (m)

……くさび杭、抑え杭、補強杭で算出

D_y : たわみに関する所要杭間隔 (m)

……補強杭で算出

S_a, M_a : 許容せん断力 (kN) と許容曲げモーメント (kN・m)

τ_a, σ_a : せん断とモーメントに関する杭材の許容応力度 (kN/m²)

Δ_a : 杭の許容たわみ量 (m)

A, Z : 杭の断面積 (m²)、断面係数 (m³)

S_{max} : 最大せん断力 (kN/m)

M_{max} : 最大モーメント (kN・m/m)

y_{max} : 最大たわみ (m)

$$\alpha_0 = \frac{2(3d^2 - 6d \cdot t + 4t^2)}{3(d^2 - 2d \cdot t + 2t^2)} \quad \langle 4-4-23 \rangle$$

(d, t : 杭の外径と肉厚 (m)、一般的には $\alpha_0 \doteq 2.0$)

N_1 : 杭 1 本に作用する軸力 (kN)

(杭頭への載荷荷重、最大モーメント深度での杭荷重等)

N_2 : 単位幅当たりの軸力 (kN/m)

(鉛直負担力、杭頭アンカー力等)

また、杭間隔は、中抜けを起こさないように決定することから、施工位置での移動層厚を考慮した標準杭間隔として表 4-4 の値を目安とする。なお、この他に杭の直径の 8 倍以内を杭間隔の目安とすることもできる。

表 4-4 標準杭間隔

移動層の厚さ (m)	標準杭間隔 (m)
～10	2.0以下
10～20	3.0以下
20以上	4.0以下

(出典) 地すべり鋼管杭設計要領 (社)地すべり対策技術協会 H15.6

2 杭材の肉厚変化

杭材が長大になる場合には経済性を考慮し、杭頭部又は杭下端の肉厚を薄肉にすることも可能であるが、設計に当たっては推定したすべり面位置の信頼性、すべり面以外の引張亀裂や圧縮亀裂の存在、肉厚変化位置での応力集中に関する検討など十分検討を行う。

3 千鳥配置

千鳥配置の場合、上流側と下流側の杭に作用する荷重を均一に保つことが難しく、上流側の杭が破断しやすいことから、できるだけ採用しないことが望ましい。また、設計計算上、杭建込削孔壁間が 1 m 以内となる場合も安易に千鳥配置とせず、引張強度のより高い杭材を選定して、できるだけ単列で適切な杭間隔を確保することが望ましい。

4-2-6 安定性の検討

杭工は、杭に生じる内部応力に対して安定であるとともに、杭周辺地盤についても安定でなければならない。

〔解説〕

杭の安定性は、杭の設計式に応じて、採用した杭間隔 D に対するせん断検定、モーメント検定、たわみ検定や地盤の降伏・破壊の検討、不動層への根入れ長、杭谷側移動層の地盤反力及び杭山側移動層の受働破壊について、必要な検討を行う。

〔参考〕

1 応力度の検討

杭に作用するせん断力及び曲げモーメントに関する応力度、許容たわみは次式により求められる。

(1) せん断応力度……抑え杭、補強杭、せん断杭

$$\tau_{max} = \alpha_0 \frac{D \cdot S_{max}}{A} \leq \tau_a \quad \langle 4-4-24 \rangle$$

ここで、 τ_{max} : 杭に生じる最大のせん断応力度 (kN/m²)
 S_{max} : 単位幅当りの力により発生する最大せん断力 (kN/m)
 D : 杭間隔 (m)
 τ_a : 許容せん断応力度 (kN/m²)

$$\alpha_0 = \frac{2(3d^2 - 6d \cdot t + 4t^2)}{3(d^2 - 2d \cdot t + 2t^2)} \quad \langle 4-4-25 \rangle$$

(d 、 t : 杭の外径と肉厚(m)、一般的には $\alpha_0 \doteq 2.0$)

(2) 曲げ応力度……くさび杭、抑え杭、補強杭

$$\sigma = \frac{N_{f1} + D \cdot N_{f2}}{A} \pm \frac{D \cdot M_{max}}{Z} \leq \sigma_a \quad \langle 4-4-26 \rangle$$

ここで、 σ : 杭に生じる曲げ応力度 (kN/m²)
 N_{f1} : 杭一本あたりに作用する軸力 (kN)
(杭頭への載荷荷重、最大モーメント深度での杭荷重等)
 N_{f2} : 単位幅当たりの力により発生する垂直力 (kN/m)
(鉛直負担力、杭頭アンカー力等)
 A : 杭材の断面積 (m²)
 Z : 鋼材の断面係数 (m³)
 M_{max} : 単位幅当たりの力により発生する最大曲げモーメント (kN・m/m)
 D : 杭間隔 (m)
 σ_a : 許容曲げ応力度 (kN/m²)

(3) 許容たわみ……補強杭

単位幅当たりの水平負担力を用いて算出された最大たわみ y_{max} と杭間隔 D より、杭 1 本当たりのたわみ量 Y_{max} を算出し、許容値以内であるかを検証する。補強杭理論では許容たわ

みを 2 cm としている。

$$Y_{\max} = D \cdot y_{\max} \leq Y_a \quad \langle 4-4-27 \rangle$$

ここで、 Y_a : 許容たわみ

2 地盤の降伏・破壊の検討………全ての杭

杭工に作用する受働土圧 Q (kN)は、次式により与えられる。

受働土圧算出に際しては、弾性域のみならず塑性域も考慮し、杭に作用する受働土圧 Q_{p1} 、 Q_{p2} が外力 (H 、杭一本当たりの水平負担力) より大きければ地盤は安全である。

(1) 移動層

$$Q_{p1} = 3d \left(\frac{1}{2} \gamma_1 h_1^2 K_{p1} + 2c_1 h_1 \sqrt{K_{p1}} \right) \cdot \frac{1}{f_s} \quad \langle 4-4-28 \rangle$$

(2) 不動層

$$Q_{p2} = 3d \left\{ \left(\frac{1}{2} \gamma_2 h_2^2 + \gamma_1 h_1 h_2 \right) K_{p2} + 2c_2 h_2 \sqrt{K_{p2}} \right\} \cdot \frac{1}{f_s} \quad \langle 4-4-29 \rangle$$

ここで、 γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

d : 杭径 (m)

$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$

安全率 $f_s = 2$

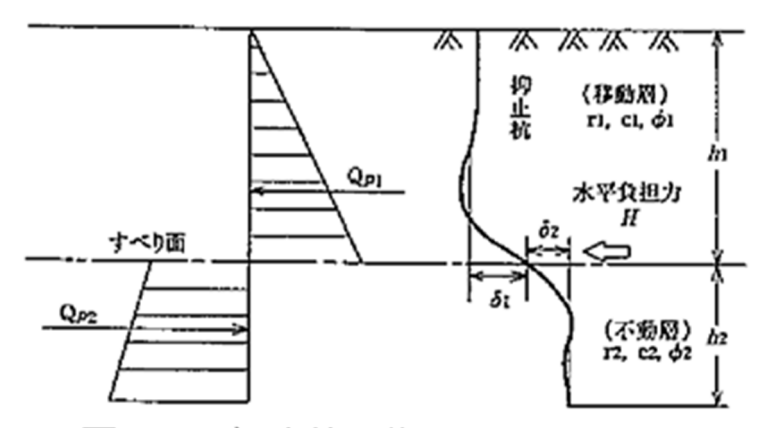


図 4-19 抑止杭に作用する受働土圧

(出典) 地すべり鋼管杭設計要領 (社)地すべり対策技術協会 H15.6

3 不動層への根入れ長の検討………全ての杭

たわみ杭の設計式は根入長が半無限長であることを前提としている。設計式ごとの算定法は次のとおりである。

(1) くさび杭

$$l_r = (1.0 \sim 1.5) \times \left(\tan^{-1} \frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1 + \beta_2} + \pi \right) / \beta_2 \quad \langle 4-4-30 \rangle$$

(モーメント第 1 ゼロ点の 1.0~1.5 倍)

ここで、 l_r : 杭の根入れ長 (m)

β_1 : 杭の特性値 (移動層) (m^{-1})

β_2 : 杭の特性値 (不動層) (m^{-1})

(2) 補強杭、半剛体杭

$$l_r = 2.5 \lambda_y / \beta_1 \quad \langle 4-4-31 \rangle$$

(たわみ第1ゼロ点の2.5倍 λ_y : たわみ第1ゼロ点深さ係数)

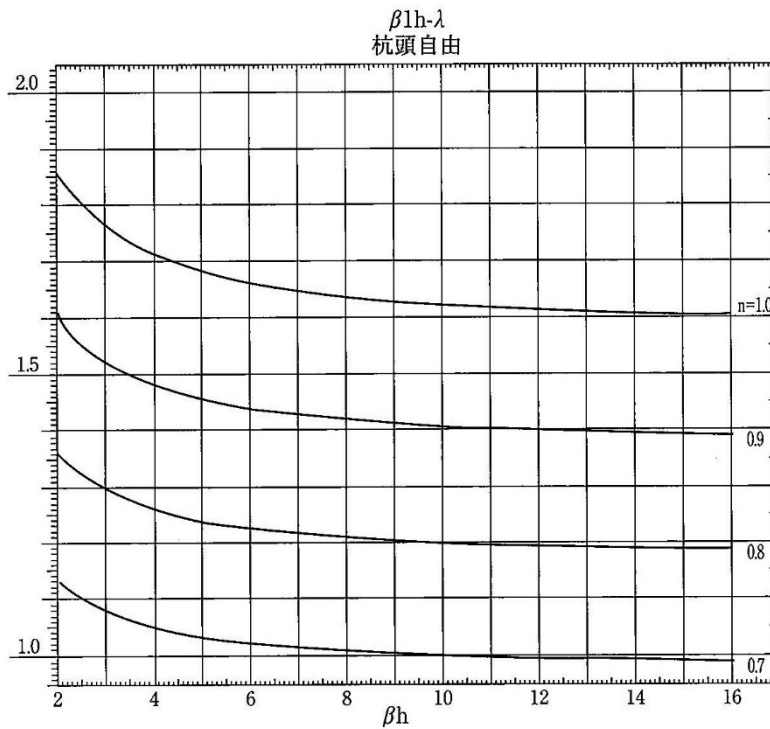


図 4-20 βh から λ を求める図

(出典) 地すべり鋼管杭設計要領 (社)地すべり対策技術協会 H15.6

(3) せん断杭、抑え杭

$$l_r = (1.0 \sim 1.5) \pi / \beta \quad \langle 4-4-32 \rangle$$

ただし、すべり面近傍の不動層地盤が局所的に乱されていることなども考慮し、最低でも 3 m の根入長は確保する。

4 杭谷側移動層の状態の検討

杭谷側移動層の地盤反力を期待する設計式を採用する場合は、地すべりが不安定化した時点で、杭谷側移動層の地盤反力が十分期待できるか検討する。この検討方法は、杭の設計式により異なっているが、補強杭理論では F_d 検定を用い、くさび杭理論や抑え杭理論では、杭谷側移動土塊の有効抵抗力の検討を行う。

(1) F_d 検定……補強杭

F_d 検定では以下の方法を用いて、杭谷側移動層の状態を検討する。

杭谷側移動層単独での安全率 F_d は次式で表される。

$$F_d = \frac{\sum^d S}{\sum^d T + r'_s \cos \alpha} \quad \langle 4-4-33 \rangle$$

ここで、 F_d ：杭谷側移動層単独の地すべり安全率

$\sum^d S$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分子項の総和

$\sum^d T$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分母項の総和

r'_s ：杭谷側移動層の許容最大水平力 (kN/m)

α ：杭施工位置のすべり面傾斜角 (°)

(ヤンプの安定解析式を用いる場合は $\cos \alpha = 1$ とする)

よって、 F_d が全体の目標安全率 F_p と等しくなる時の r'_s は次式となる。

$$r'_s = \frac{\sum^d S - F_d \sum^d T}{F_d} \cdot \sec \alpha \quad \langle 4-4-34 \rangle$$

ここで、 $\sum^d S$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分子項の総和 (F_p 対応の値)

杭を介して下流に伝えられる地盤反力の合力 R_s に対し、次の関係を満足させる。

$$r'_s \geq R_s \quad \langle 4-4-35 \rangle$$

$$R_s = H_{mu} \cdot \rho$$

ここで、 H_{mu} ：たわみ解析に用いる水平負担力 (kN/m)

ρ ：地盤反力合力係数

(2) 有効抵抗力の検討……くさび杭、せん断杭、抑え杭

設計式にくさび杭、せん断杭や抑え杭を採用する場合は有効抵抗力の検討を行う。

杭谷側移動層の有効抵抗力 R_u は以下の式で算出する。

$$R_u = \sum^d S - \sum^d T \quad \langle 4-4-36 \rangle$$

ここで、 $\sum^d S$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分子項の総和 ($F=1.0$ 対応)

$\sum^d T$ ：杭谷側移動層単独の安定解析式の分母項の総和

杭が負担する単位幅当の水平負担力 Hu との対比で以下のように有効抵抗力を評価する。

- ① $R_u \geq Hu$ の場合は十分な有効抵抗力がある
くさび杭、せん断杭の適用が可能。
- ② $Hu > R_u \geq 0.7Hu$ の場合、有効抵抗力が若干不足する

くさび杭の適用は可能であるが、移動層の地盤反力を補正する。

- ③ $Ru < 0.7Hu$ の場合、有効抵抗力が不足する
抑え杭が適用可能である。

- 5 杭山側移動層の受働破壊の検討……全ての杭
杭山側の移動層に受働破壊による新しい地すべりが発生しないか検討を行う。
通常、仮想すべり面安全率 F_{AXY} は目標安全率以上となるようにする。

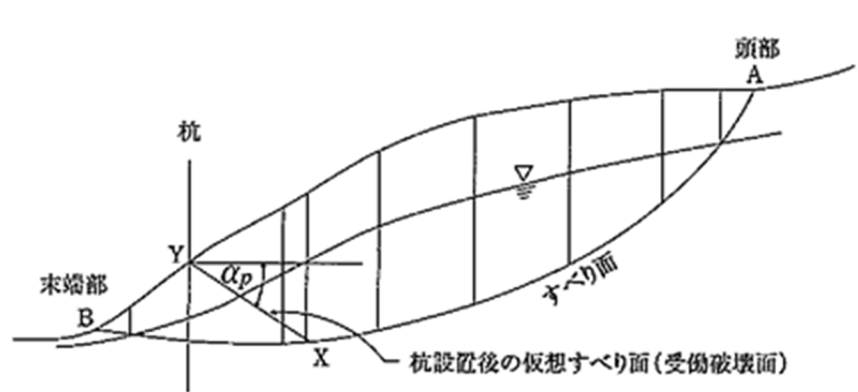


図 4-21 杭山側移動層の受働破壊の検討図

(出典) 地すべり鋼管杭設計要領 (社)地すべり対策技術協会 H15.6

$$\alpha_p = 45^\circ - \phi_1 / 2$$

$$F_{AXY} = \frac{\sum\{(N_{AX} - U_{AX}) \tan \phi + C \cdot L_{AX}\}}{\sum T_{AX} + \sum T_{XY}} + \frac{\sum\{(N_{XY} - U_{XY}) \tan \phi_1 + C_1 \cdot L_{XY}\}}{\sum T_{AX} + \sum T_{XY}}$$

<4-4-37>

ここで、 α_p : 水平面と XY 面がなす角度 (°)

F_{AXY} : 仮想すべり面 AXY における安全率

Σ : 各スライスの総和を意味する

N_{AX} : すべり面 AX で各スライスのすべり面に働く法線力(単位幅当たり) (kN/m)

N_{XY} : 仮想すべり面 XY で各スライスのすべり面に働く法線力(単位幅当たり) (kN/m)

U_{AX} : すべり面 AX で各スライスのすべり面に働く間隙水圧による力(単位幅当たり) (kN/m)

U_{XY} : 仮想すべり面 XY で各スライスのすべり面に働く間隙水圧による力(単位幅当たり) (kN/m)

T_{AX} : すべり面 AX で各スライスのすべり面に働く接線力(単位幅当たり) (kN/m)

T_{XY} : 仮想すべり面 XY で各スライスのすべり面に働く接線力(単位幅当たり) (kN/m)

L_{AX} : すべり面 AX で各スライスのすべり面の長さ (m)

L_{XY} : 仮想すべり面 XY で各スライスのすべり面の長さ (m)

ϕ : すべり面 AX の内部摩擦角 (°)

- ϕ_1 : 仮想すべり面 XY の内部摩擦角 (°)
 c : すべり面 AX の粘着力 (kN/m²)
 c_1 : 仮想すべり面 AX の粘着力 (kN/m²)

4-2-7 杭内部及び外周の処理

杭の内部及び杭と孔壁との隙間は、杭材の腐食防止や抑止効果の発揮のため、適切に処理するものとする。

〔解説〕

- 1 杭の設計に際しては、杭材(鋼管)の腐食による断面性能の低下は考慮しないので、鋼管の内部は、モルタル又はコンクリートで充填し腐食防止を図る。
- 2 孔壁と杭の間に空隙があると、抑止効果が発揮されるまでの地すべりの変位量が大きくなるとともに、杭のたわみに対して地盤反力が十分に作用しなくなるおそれがある。また、地下水の浸入で抑止杭の機能が低下することも考えられるため、杭の外周はモルタルグラウトで全長にわたり充填する。

4-3 シャフト工

4-3-1 目的

シャフト工は、地すべり斜面に大口径の杭を造成して、地すべりの滑動力に抵抗させることを目的とする。

〔解説〕

シャフト工は、

- 1 地すべりが大規模で大きな抑止力が必要な場合
 - 2 地理的な制約から杭材や施工機械が搬入できない場合
 - 3 集水井工として地下水を排除した後シャフト工として仕上げるなど、集水井工と兼用する場合
- 等に採用される大口径杭工である。

シャフト工は、経費が巨額となるので、重要な保全対象があり他の経済的な抑制工、抑止工が計画できず、かつ相当大きな地すべり推力を対象とする場合のみ計画される。

4-3-2 位置

シャフト工の施工位置は、地盤の性状、杭谷側移動層の状態、施工性、保全対象等を検討した上で、最も適切な位置を選定するものとする。

〔解説〕

シャフト工の最適位置の選定方法は、基本的に杭工と同じである。地すべり移動土塊は、移動特性により圧縮域と引張域に分けることができるが、引張域では杭谷側の地盤反力が十分期待できないことを考慮する。

杭谷側の地表面傾斜や施工位置周辺の亀裂の状況、小崩壊の状況等も杭の機能に影響を与える。施工位置決定に当たっては、施工位置の地盤の状態、杭谷側移動層の状態、杭山側移動層の状態、保全対象、施工性等について十分検討する。

検討内容の詳細は杭工に準ずる。

4-3-3 シャフト工の設計式

シャフト工の設計式は、施工位置の移動特性やすべり面深度、杭の機能を考慮し、最適なものを選定するものとする。

〔解説〕

シャフト工の設計方法は、剛体杭として設計する方法とたわみ杭として設計する方法に大別することができるので、一般的に次式により判定している。

$\beta l \leq 2 \cdots \cdots$ 剛体杭

$\beta l > 2 \cdots \cdots$ たわみ杭

ここで、

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h d}{4EI}} \quad \langle 4-4-38 \rangle$$

β : 杭の特性値 (m^{-1})

k_h : 移動層の水平地盤反力係数 (kN/m^3)

d : シャフト工の外径 (m)

EI : シャフトの曲げ剛性 ($\text{kN} \cdot \text{m}^2$)

(弾性係数 E はコンクリートの弾性係数を用いるか、鋼材とコンクリートをその断面積の比率で合成した値を用いる)

l : 施工位置でのすべり面深さ (m)

〔参考〕

剛体杭として設計する場合は、一般的に力とモーメントの釣り合いから地中の回転中心を求める方法が用いられるが、杭谷側移動層の地盤反力が十分に期待できるか否かで、移動層の地盤反力が異なるので、その取扱いに注意する。杭谷側移動層の地盤反力の判定方法は杭工に準じ、杭本体の設計方法はケーソンに準ずる。

たわみ杭の場合の設計方法は杭工に準ずるものとし、施工位置の状態や移動特性に応じて、補強杭、くさび杭、抑え杭等の設計式を選定する。

1 水平外力

シャフト杭は、たわみ杭に比べて直径 $2b$ が大きく、また躯体重量も無視できず回転に伴って底面に発生するせん断力と地盤反力度も考慮する。底面での地盤反力分布は、一般に図 4-22 に示す 2 つのケースがあり、ケース (1) のように台形分布の場合は躯体の浮き上がりを生じないが、ケース (2) では浮き上がりを生じ、その取り扱いを異にする。

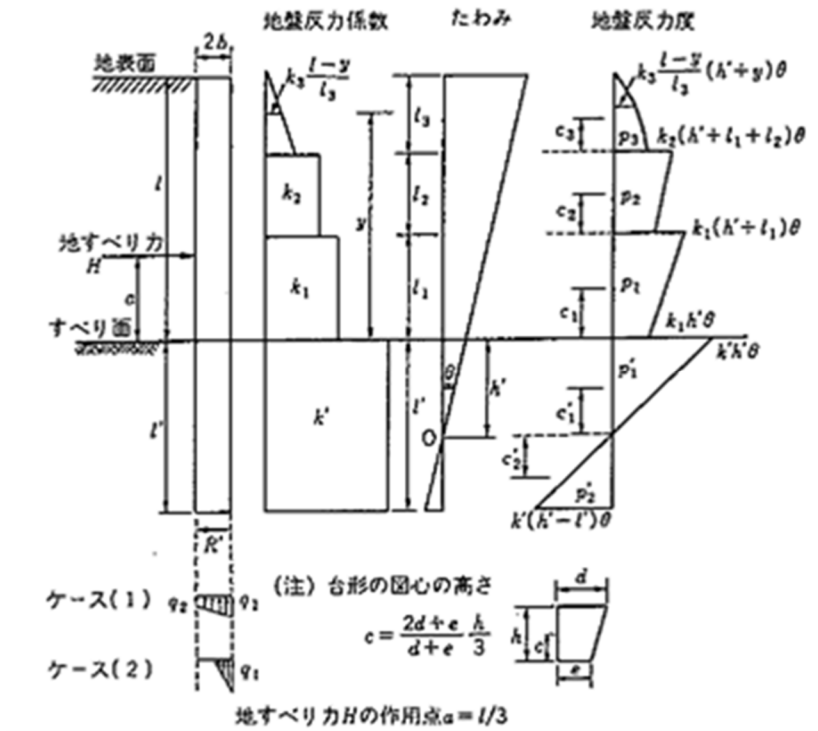


図 4-22 シャフト杭のたわみとつり合いの条件
 (出典) 地すべり工学-理論と実践- (株)山海堂 H 元. 3

したがって、シャフト杭においては、考慮すべき水平外力は、回転点から上での地すべり滑動力 H 及び回転に伴って生ずる水平方向の地盤反力の p の合力 P、回転点から下での p' の合力 P' 及び底面でのせん断力 R' の 4 項目である。ここでの未知数は、回転点 0 の深さ h' と回転角 θ の 2 項目であり、点 0 について水平方向の力のつり合い条件とモーメントのつりあい条件の 2 式をとり、これを連立して解けばよい。以下、便宜的に kh を k の記号で示す。

いま、図 4-22 に示すようにすべり面から下での地盤反力係数を k' とし、すべり面からの高さ $a=l/3$ のところに地すべり合力が働くものとする。すべり面から下 h' ($h \geq 0$) の深さに回転点 0 があり、角 θ だけ回転したものとすれば、これによって地盤反力度の分布は図のとおりである。なお、最上層は地表面で $k_3=0$ 、底面層で k_3 の三角形分布、たわみは高さ y に関して $(h' + y)\theta$ の直線で与えられており、これによる地盤反力度の合力を p_3 、点 0 のまわりのモーメントを m_3 とすれば、それぞれ $(l-l_3)$ から l まで積分して

$$p_3 = \frac{1}{6} k_3 l_3 \theta (3h' + 3l - 2l_3) \quad \langle 4-4-39 \rangle$$

$$m_3 = \frac{1}{12} k_3 l_3 \theta (6l_2 + (6h' - 8l_3)l + (3l_3 - 4h')l_3) \quad \langle 4-4-40 \rangle$$

p_1, p_2 は台形分布、 p'_1, p'_2 は三角分布であるから、それぞれの合力及び重心の高さ c は計算により求められる。

$$H - P - P' - R' = 0 \quad \langle 4-4-41 \rangle$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} \quad P &= 2b(p'_1 + p_1 + p_2 + p_3), \quad P' = 2bp'_2 \\ R' &= k_s(h' - l')\theta \cdot A \end{aligned}$$

A : 杭底面積(図 4-22 のケース (2) の場合は式 4-4-46 の A') (m²)

k_s : 水平方向のせん断ばね係数 = λ k_v (kN/m³)

(∵ λ = 1/3 ~ 1/4)

k_v : 鉛直方向の地盤反力係数 (kN/m³)

なお、地盤反力係数 k_s、k_vについては、k₀を直径 30cm の鋼体円盤による平板載荷試験による値に相当する地盤反力係数とし、標準貫入試験 N 値を用いる場合は、地盤反力係数 k とし次式により求められる。

$$k = 12.8k_0 \cdot B^{-3/4} \quad \langle 4-4-42 \rangle$$

ここで、B : 載荷幅 = 2b (m)

$$k_0 = \alpha \cdot E_0 / 30, \quad \alpha = 1 \quad E_0 = 28N$$

ただし、水平方向反力係数の場合は、前面に対する側面の分担による増加分を 20% 見込む。

2 モーメントの釣り合い

$$H(\alpha + h') - 2b\{p'_1 \cdot c'_1 + p_1(h' + c_1) + p_2(h' + l_1 + c_2) + m_3 + p_3 h'\} - 2b \cdot p'_2 \cdot c'_2 - R'(l' - h') - M'_B = 0 \quad \langle 4-4-43 \rangle$$

ここで、M_Bは底面の地盤反力度に関するモーメントであり、これと地盤反力度 q₁、q₂は次式で表される。

台形分布 :

$$M'_B = \frac{4}{3} b^4 \cdot k_v \cdot \alpha_0 \cdot \theta \quad (\alpha_0 = 0.589) \quad \langle 4-4-44 \rangle$$

$$q_1, q_2 = \frac{W(l+l')-U}{A} \pm k_v \cdot b \cdot \theta \quad \langle 4-4-45 \rangle$$

ここで、W : シャフト杭単位長当たりの重量 (kN/m)

U : 杭に働く浮力 (kN)

三角形分布 : M_B' = K_v · b⁴ · V₂ · θ

$$q_1 = k_v \cdot b \cdot \theta$$

ここで、v : 底面の形状によって定まる定数

$$v_2 = \frac{2}{3} \sin^3 \beta \cos \beta + \frac{1}{4} (\pi - \beta) + \frac{1}{16} \sin 4\beta \quad \langle 4-4-46 \rangle$$

$$\text{また } A' = b^2 (\pi - \beta + \sin \beta \cos \beta) \quad \langle 4-4-47 \rangle$$

とし、式<4-4-41>、<4-4-43>及び<4-4-44>~<4-4-47>から θ と h' を求め、一連の検定を行い、各応力を計算する。

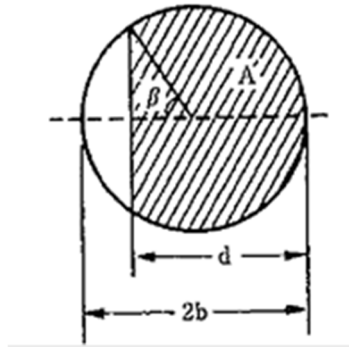


図 4-23 β と A' の説明図

(出典) 地すべり工学-理論と実践- (株)山海堂 H 元. 3

4-3-4 シャフト工の規格

シャフト工に用いる鋼材及びコンクリートは、設計強度を満足するものとし、作用する外力の大きさにより選定するものとする。

〔解説〕

シャフト工の鋼材は、一般的に異形鉄筋が用いられる。鋼材にH型鋼や鋼管を用いる場合は、コンクリートと一体性を確保するための処理を講じるか、許容付着応力度を低減するなどの対応を行う。

コンクリートの許容応力度は、場所打ちの施工性を考慮して設計基準強度を決定する。

4-3-5 シャフト工の構造、配列及び間隔

- 1 シャフト工は、円柱又は円筒状の鉄筋コンクリート構造とする。
- 2 シャフト工の配列は、安定性、施工性を考慮して間隔を決定するものとする。

〔解説〕

1 構造

シャフト工は、円柱状の鉄筋コンクリート構造とする。集水井工としての機能を持たせる場合は、中空鉄筋コンクリート円筒とすることができる。

鉄筋配列は1列の円形配置とするが、最大3列を限度とし必要鉄筋量に応じて配筋する。

2 配列

シャフト工は、全ての杭が均等に地すべり推力を負担させるよう単列が望ましい。千鳥配置の場合、上流側のシャフトが破断しやすいことから採用しない。

配列は、地すべりの移動方向に対しておおむね直角とし、等間隔となるように設置する。

3 間隔

シャフト工の間隔は、土の中抜けに対する安定性、基礎の安定性等や施工性を考慮して間隔を決定する。目安としては中心間隔で直径の2.5倍～8倍とし、さらには移動層の地質やすべり面深度等を考慮して決定する。

シャフト工の設置段数は、地すべりブロック毎に1段とする。やむを得ず多段に設置する場合には、シャフトの施工位置での地すべり移動層の変位を十分に考慮して設置する。

4-3-6 安定性の検討

シャフト工は、シャフトに生じる内部応力に対して安定であるとともに、シャフト周辺地盤についても安定であるよう検討するものとする。

〔解説〕

- 1 シャフト工の安定性の検討は、シャフト工1本当たりに作用する最大せん断力、最大曲げモーメントに対して行う。杭頭の軸力Nは通常考慮しないが、必要抑止力の鉛直成分 V_{mu} は、軸力として作用するため考慮する。
帯筋によりせん断耐力を増加させる場合は、主鉄筋のせん断耐力や付着耐力の計算に帯筋の効果を入れる。
- 2 不動層への根入長及び周辺地盤の受働破壊の検討については、第4節4-2-6「安定性の検討」に準ずる。
- 3 シャフト底面においては十分な地盤支持力が得られていることを確認する。

4-3-7 シャフト工外周の処理

シャフト工と孔壁との隙間は、抑止効果が発揮されるよう適切に処理するものとする。

〔解説〕

シャフト工は地盤と密着して設置することで、十分な抑止効果を発揮するため、外周はモルタル又はコンクリートで充填し、地盤とシャフト工を密着させる。また、集水井工と併用する場合も同様の処理を行う。

孔壁の巻立てにライナープレートを利用する場合は、開口型ライナープレートを使用することにより、シャフト工内部のコンクリート充填とともに外周の充填が可能となる。

4-4 アンカー工

4-4-1 目的

アンカー工は、地すべりの移動土塊と基盤を連結し、地すべりの滑動力に抵抗することを目的とする。

〔解説〕

アンカー工は、地すべり基盤内にアンカー体を設置し、引張り材により地表に設けた受圧部にアンカー頭部を連結させることで、地すべり滑動力に抵抗させるものである。

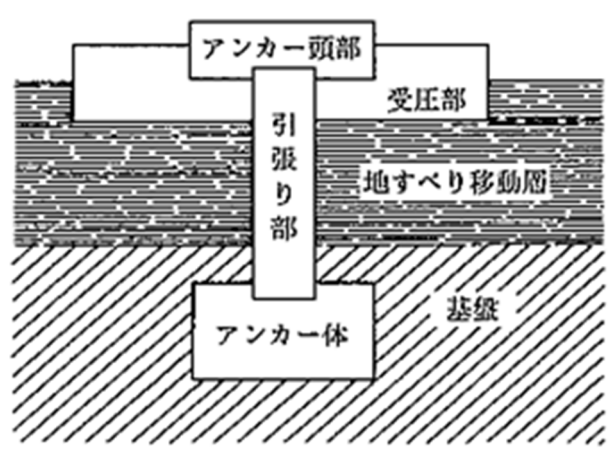


図 4-24 アンカー工の基本構造

[参考]

アンカー工の基準

アンカー工の詳細については、地盤工学会「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 (JGS4101-2012)」に準じる。

4-4-2 位置及び打設角度、配列

アンカー工の位置、打設角度及び配列は、地すべり滑動力に最も効果的に抵抗するように選定するものとする。

[解説]

- 1 アンカー工は、安全性、経済性、施工性を考慮し、適切な位置、打設角度、配列を検討する。
- 2 アンカー工の効果は、定着岩盤の良否に左右することから、アンカー工の位置を決定する場合は、設計荷重に耐えられる岩盤に定着させられるか十分に検討する。
- 3 アンカー工の施工段数に制限はないが、部分的に応力を集中させることなく、全体として地すべり滑動力に抵抗させるよう配置する。配列の方向は、地すべり斜面を横断させるように地すべり移動の方向におおむね直角として等間隔で設置する。
地すべり滑動力の大きい場合は、1本当たりのアンカー引張力が大きくなるので、定着基盤及び受圧板の支持地盤の強度等を勘案し決定する。
- 4 アンカー工の機能には次の2つがある。地すべりの場合は、すべり面の勾配が緩くかつすべり面が比較的深い場合が多く、引き止め効果に期待することが多い。なお、アンカーの初期緊張力は、期待する機能を考慮して決定する。

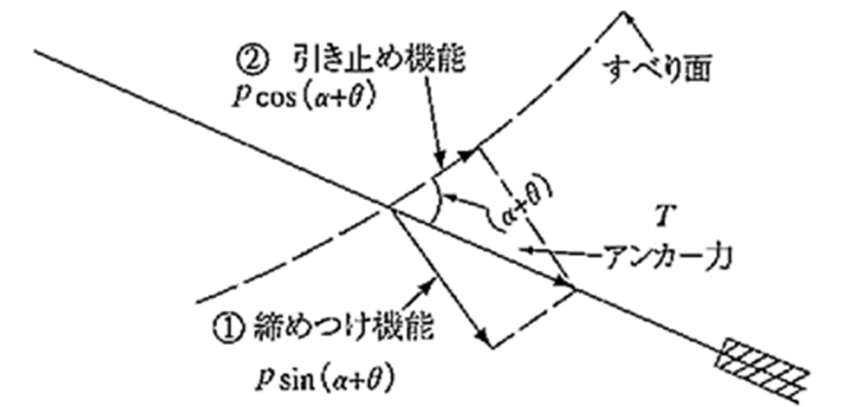


図 4-25 アンカー工の二つの機能

(出典) 道路土工-切土工・斜面安定工指針(H21 版) (社)日本道路協会 H21.6

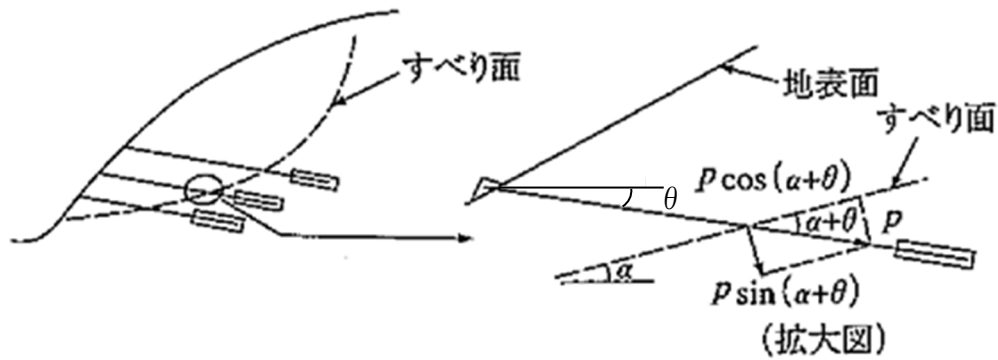


図 4-26 引き止め機能を期待する場合（すべり面の勾配が緩い場合）
 （出典）道路土工-切土工・斜面安定工指針（H21 版）（社）日本道路協会 H21.6

〔参考〕

1 アンカー工の配置の留意点

(1) 全体的な安定の確保

アンカーの間隔及び長さは、アンカーで固定される構造物の周辺地盤を含めた全体的な安定を考慮して決定する。

(2) 近接構造物の影響

アンカーの配置は、近隣構造物（地上構造物のほか、埋設物、杭等）への影響を考慮して決定する。

2 アンカーの打設方向

次のような場合は、アンカーの打設方向について十分な検討を行う。

(1) 地すべり移動方向とアンカー打設方向が異なる場合

- ・アンカー抑止力の補正が必要となる。
- ・アンカー定着長が長くなり、引張り材の規格が上がる場合がある。

(2) 受圧板がアンカー方向と直交しない場合

- ・受圧板に偏土圧が発生する。
- ・受圧板に横方向の力が発生する。
- ・アンカー頭部に角度調整具が必要となる。

この場合、対応方法としては、地山部を段切り施工する、又はアンカー頭部に角度調整具を設ける方法がある。

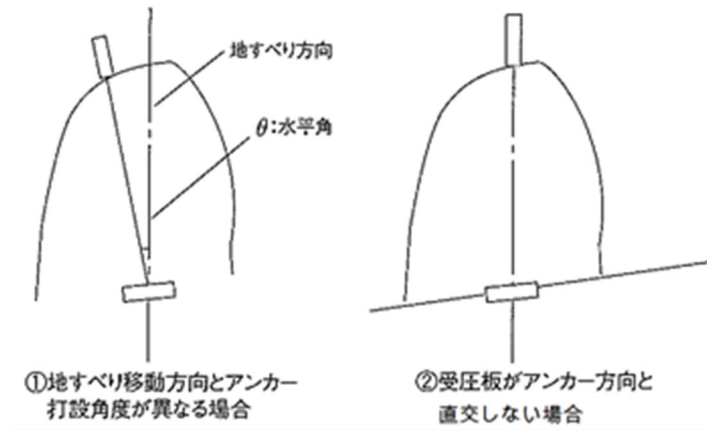


図 4-27 アンカー打設方向

3 所要アンカー力の算出

アンカー工の所要アンカー力は、次のとおりとする。なお、崩壊の危険性の高い斜面において、アンカー工に締め付け効果を期待する場合は、第 2 編第 5 章第 3 節 3-8 「グラウンドアンカー工」を参照する。

(1) 通常の地すべりでの算出式

地すべりを抑止するためには「引き止め機能」のみ考慮するので、地すべり単位幅(m)当たりの所要アンカー力(P)は、安定解析式により次のようになる。

① Fellenius (フェレニウス) 式による場合

$$P = [(F - F_0) / F] \cdot \sec(\alpha + \theta) \cdot \Sigma T \quad \langle 4-4-48 \rangle$$

ここで、 F : 計画安全率

$$F = \Sigma S / (\Sigma T - R)$$

R : アンカーによる地すべり抑止力 (kN/m)

$$R = P \cdot \cos(\alpha + \theta)$$

α : アンカーとの交点でのすべり面傾斜 (°)

θ : アンカー傾斜角 (°)

F_0 : 初期安全率 $F_0 = \Sigma S / \Sigma T$

$$\Sigma T = \Sigma W \cdot \sin \alpha$$

ΣS = 安定解析式右辺の分子項

② Janbu (ヤンプ) 式による場合

$$P = \{ [F(\Sigma T + Q) - f_0 \Sigma S] / F \} \cdot \sec(\alpha + \theta) \cos \alpha \quad \langle 4-4-49 \rangle$$

ここで、 $F = f_0 \Sigma S / (\Sigma T + Q - R)$

$$R = P \cdot \cos(\alpha + \theta) / \cos \alpha$$

$$F_0 = f_0 \Sigma S / (\Sigma T + Q)$$

$$\Sigma T = \Sigma W \cdot \tan \alpha$$

ΣS = 安定解析式右辺の分子項

Q : 冠頭部の亀裂を埋めている水による水平水圧等の外力 (kN/m)

f_0 : 修正係数 $\approx (50 d / L)^{1/33.6}$

ただし、 $d/L \leq 0.02$ で $f_0 = 1$

L : 舌端部と冠頭部亀裂の深さの点を結んだ直線長 (m)

d : L と L に平行、かつ、すべり面に接する直線との間の距離 (m)

③ Bishop (ビショップ) 式による場合

$$P = (F \Sigma T - \Sigma S) / F \cos(\alpha + \theta) \quad \langle 4-4-50 \rangle$$

ただし、Bishop 式又は Janbu 式を用いる場合には、安定解析式の両辺に目標安全率 F を含んでいることから、求めた P をそれぞれの式に代入し、この P のもとで目標安全率 F が実現されることを確認する。

(2) 移動層が薄く、急傾斜崩壊タイプの地すべりでの算出式

斜面傾斜が急傾斜で、浅いすべりの場合は「引き止め機能」と「締め付け機能」の両方を考慮するので、アンカー力 (P) は、安定解析式により次のようになる。

① Fellenius 式による場合

$$P = \Sigma T (F - F_0) / [F \cdot \cos(\alpha + \theta) + \sin(\alpha + \theta) \tan \phi] \quad \langle 4-4-51 \rangle$$

② Janbu 式による場合

$$P = (F \Sigma T - f_0 \Sigma S) / [F \cos(\theta + \alpha) / \cos \alpha + f_0 \sin \theta \tan \phi' / n_\alpha] \quad \langle 4-4-52 \rangle$$

ここで、 $n_\alpha = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi' / F)$

③ Bishop 式による場合

$$P = (F \Sigma T - \Sigma S) / [F \cos(\theta + \alpha) + \sin \theta \tan \phi' / (\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi' / F)] \quad \langle 4-4-53 \rangle$$

4 アンカー工の配置の目安

(1) 近接構造物の影響

アンカーと近接構造物は水平距離で 3.0m 以上離す。

(2) アンカー体の設置間隔

杭工に準じて 2.0m ~ 4.0m を標準とする。

(3) アンカー傾角

アンカー傾角は、注入材硬化時に生ずる残留スライム及びグラウトブリージングがアンカーの耐力に大きく影響するので、水平面より $-5^\circ \sim +5^\circ$ の範囲は避ける。

5 アンカー工の緊張力

(1) 引き止め機能のみを見込む場合

一般的には、設計アンカー力の 50% 程度に設定されている場合が多い。

ただし、この場合は、安定計算上の安全率が $F_s < 1.0$ にならないように留意する。

(2) 締め付け効果を見込む場合

設計において締め付け効果を見込んでいる場合には、締め付け効果を発揮させるために定

着時緊張力は、設計アンカー力の 100%に設計する。

この場合には、地盤のクリープ変形等により有効緊張力が変化し、設計アンカー力相当の有効緊張力が確保できない場合には、維持管理段階において、緊張力の管理を行って必要に応じて再緊張を行う。

4-4-3 アンカー工の型式

アンカー工の型式は、確実にアンカー体が定着する型式を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 アンカー工の型式は、定着基盤の岩質や強度等に応じて適切なものを選定する。
- 2 アンカー工の型式は、アンカー体と基盤との支持方式により次の3種に大別される。
 - (1) 摩擦型アンカー
アンカー体周面と基盤との摩擦抵抗により、アンカー引張力を基盤に伝達する。
 - (2) 支圧型アンカー
アンカー体と基盤との支圧抵抗により、アンカー引張力を基盤に伝達する。
 - (3) 混合型アンカー
(1)及び(2)の複合型。

4-4-4 安定性の検討

アンカー工は、アンカーにかかる荷重に対して、頭部、引張り部、アンカー体が安定でなければならない。

〔解説〕

- 1 アンカー工は、設計アンカー力（引張荷重）に対して安定するように、引張り材、受圧板、アンカー体を決定する。

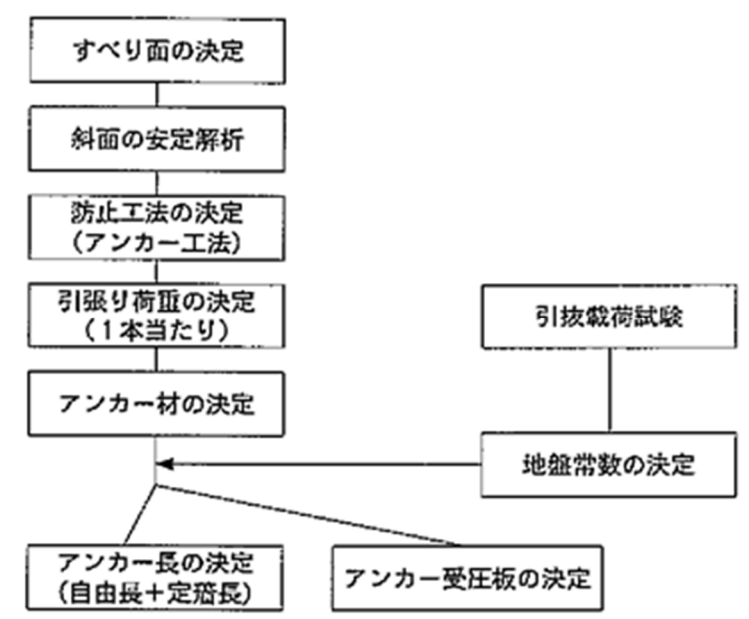


図 4-28 アンカー工設計フローチャート

- 2 アンカー工の引張り材は、アンカー力を確実にアンカー体に伝達することができる材料を使用する。引張り材の許容引張り応力度は、引張り材の引張り強度及び降伏強度に対して十分な安全率を確保する。
- 3 受圧板の条件は、次のとおりである。
 - (1) 受圧板を支持する地盤は、緊張による沈下に対して安定
 - (2) 受圧板は、曲げ破壊及び押し抜きせん断破壊に対して安定
- 4 アンカー体は、地すべり滑動力による引き抜き作用に対して十分な安全率を確保する。
- 5 定着部は、圧力注入グラウトを施工できる構造とする。グラウトは、設計荷重に対して十分耐え得る品質とする。

[参考]

1 引張り材（テンドン）の選定

設計アンカー力 (T_d) は次式により求め、 T_d に対して安全な引張り材を選定する。

$$T_d = P \cdot D / n \quad \langle 4-4-54 \rangle$$

ここで、 T_d : 設計アンカー力 (kN/本)

P : 地すべり単位幅当たりの所要アンカー力 (kN/m)

D : アンカー設置間隔 (m)

n : 施工段数

引張り材の許容応力度は、鋼材の引張り強度の 60%、又は降伏強度の 75% のいずれか小さい値以下とする。

2 引張り材の取扱い

アンカー工に使用する引張り材は、断面が小さいため腐食による影響を受けやすいほか、温度が高くなるとリラクゼーションが促進される可能性があるため、直射日光を避けて保管する。また、ガスにより切断する場合は、切断面から 15~20mm 程度の範囲内は、熱影響を顕著に受けて強度が低下するので、余裕を見込んで切断するか、カッター等により切断する。

3 受圧板の選定

アンカー工を設置する地表部は一般的に土砂層であるため、地すべり滑動力等による引張り材の緊張により地表のアンカー頭部が沈下しやすい。これを防止してアンカー工の効果を十分に発揮させるため、アンカー頭部には受圧板を設ける。

受圧板には、板、のり枠等があるが、斜面の状況、アンカーの諸元、施工性、経済性、維持管理、景観等を十分考慮して選定する。

また、受圧板の形式と斜面に応じて次により安定条件を検討する。

(1) 地盤の支持力に対する安定

受圧板を支持する地盤の支持力は載荷試験により求めるべきであるが、計算により求める場合は、テルツァギーの支持力公式が用いられている。

(2) 曲げ破壊及び押し抜きせん断破壊に対する安定

受圧板の曲げ破壊に対する安定度は、アンカー固定点を支点とする「はり」として計算することが多い。一枚の受圧板に複数のアンカーを固定する場合は、隣接するアンカー間は連続ばりとし、端部は片持ばりとして計算し、断面厚及び所要鉄筋量を求める。この場合は、荷重は等分布荷重として扱う。

押し抜きせん断応力度及び許容せん断応力度については、コンクリート標準示方書により計算する。

なお、受圧板としてのり枠を用いたときの断面力の算定に当たっては、地盤反力を等分布荷重とし、アンカー力は、縦・横梁の両方向に作用するものとして検討することが多い。

4 アンカー体の決定

アンカー体は、地すべり滑動力が発生した場合に受圧板と一体となって引き抜き作用に対して抵抗し、地すべり移動を抑止するもので、引抜抵抗力は、極限引抜力を基に十分な安全性を確保するよう設計する。なお、極限引抜力はアンカー試験により確認する。試験方法は、地盤工学会基準「グラウトアンカー設計・施工基準、同解説（JGS4101-2012）」に準じて行い、必要に応じてアンカー計画の見直しを行う。

(1) 摩擦型アンカー体の設計

摩擦型のアンカー体の定着長は理論的には、テンドン（引張り材）とグラウトとの付着力から求められる長さ、グラウトと地盤との摩擦抵抗から求められる長さを比較し、いずれか長い方をもって決定する。

① テンドンとグラウトとの付着力により求まるテンドン拘束長（ L_{sa} ）

$$L_{sa} = \frac{T_d}{U \cdot \tau_{ba}} \quad \langle 4-4-55 \rangle$$

ここで、 L_{sa} ：テンドン拘束長（m）

T_d ：設計アンカー力（kN/本）

U ：テンドンの見掛け周長（m）

τ_{ba} ：グラウトとテンドンの許容付着応力度（kN/m²）

② グラウトと地盤の摩擦抵抗から求まるアンカー体長（ L_a ）

$$L_a = f_s \frac{T_d}{\pi \cdot d_A \cdot \tau} \quad \langle 4-4-56 \rangle$$

ここで、 L_a ：アンカー体長（m）

d_A ：アンカー体径（m）

τ ：周面摩擦抵抗（kN/m²）

f_s ：安全率（2.5）

また、定着長が長くなる（設計荷重が大きくなる）と、定着部の全長にわたって均等に引張り荷重が分担されないことから、その長さは一般的には4～7m程度、最大でも10m以下とする。

なお、アンカー体の定着長を 10m 以下とするため、アンカー段数やアンカー間隔等の検討を行う。ただし、定着長が極端に短いと、地層の変化等の影響を受けやすくなるため、その最小値は 3 m とする。

(2) 支圧型アンカー体の設計

支圧型アンカーは、アンカー体前面の支圧力により引き抜き作用に抵抗するものである。アンカー体前面の基盤内岩盤の一軸圧縮強度に応じた長さを次式により求め、アンカーの芯抜き閉塞長として決定する。

$$h_r = \sqrt{3 \cdot m_k \cdot P / (\pi \cdot \sigma_c \cdot k_0 \cdot \tan^2 \phi)} \quad \langle 4-4-57 \rangle$$

ここで、 h_r : 芯抜き閉塞長 (m)

m_k : 安全係数 = 1.5

P : アンカー設計荷重 (kN)

σ_c : 定着岩盤の一軸圧縮強度 (kPa)

k_0 : 基盤層内岩石のポアソン比による係数
 $= \nu / (1 - \nu)$

ν : 定着岩盤のポアソン比

ϕ : 定着岩盤のせん断抵抗角 (°)

5 定着部のグラウト

(1) 摩擦型アンカー工のグラウト

摩擦型アンカー工におけるグラウトは、定着部と非定着部の境界部にアンカー孔の閉塞装置であるパッカー等を装着し、定着部にモルタル又はセメントミルクを加圧注入する方法と、全孔にわたって注入する方法とがある。加圧注入は、グラウト材の密度を高くして強度を増すとともに、基盤内の亀裂等にグラウト材が侵入してアンカー体の実径を増大し、周面摩擦力を増加させるなどの効果があることから、周面摩擦型アンカー工のグラウトは加圧注入とする。

(2) 支圧型アンカー工のグラウト

支圧型アンカー工におけるグラウトは、孔壁の保護及び鋼材の防錆のために行われるので、加圧は行わなくともよいところであるが、アンカー体前面の基盤内岩盤の支圧強度の増強を図るために加圧注入を行うことが望ましい。

4-4-5 耐久性の確保

アンカー工は、耐久性を確保するための必要な措置を講じなければならない。

[解説]

アンカー工は、長期にわたって安定を保つため、引張り材、頭部に十分な腐食防止の処置を講じるとともに、再緊張が可能な構造とする。

[参考]

防食処置

アンカーの防食は、施工時及び施工完了後の腐食環境を考慮し、その構造の検討を行う。

- 1 引張り材の防食
アンカーの構造は二重防食処理を施したもの、又は高耐食性材料等を用いる。
- 2 アンカー頭部の防食
アンカー頭部の防食は、保護キャップと防食用材料（防錆油）の組合せを標準とする。
- 3 その他
引止め効果を期待する場合、引張り材は延性が大きい材料ほど有効である。

第5章 地すべり防止効果の検証

第1節 総説

地すべり防止効果の検証は、地すべり防止工事の施工効果を判定し、適切な維持管理を実施するために行うことを目的とする。

〔解説〕

地すべり防止効果の検証は、地すべり防止工の効果判定や安定度評価を行い、地すべりの概成判断や地すべり防止工の補修、追加工事等、維持管理の必要性を検討するために行う。

また、検証のためには、工事中又は工事後、継続的ないし定期的に地すべりの状況を調査する。

なお、地すべり防止効果の検証以外にも、地すべり防止工事が自然環境に与える影響については、必要に応じて調査を行う。

〔参考〕

概成とは、地すべり防止工事の施工効果が認められ、一定の安全性を維持していると判断される状態をいう。ただし、概成と判断された場合でも、必要に応じて、施工効果の検証を行うものとする。

第2節 調査の種類

地すべり防止効果の検証のための調査は、現地の状況に応じて選択するものとする。

〔解説〕

地すべり防止効果の検証のための調査は、これまでの調査観測を引き続き実施するものと、地すべり防止工事の効果を判定するために実施されるものがある。

調査計画の立案は、これまで行った地すべり調査や機構解析で得られた結果を踏まえ、全体の整合性が図られるようにするとともに、地すべりの維持管理や概成の判断に資する情報が得られるよう観測期間や測定頻度を設定する。

地すべり防止工の効果判定のための調査は、次の方法を標準とし、現地状況に応じて選択する。

なお、1～5については、「第2章 地すべり調査解析」を準用する。

- 1 現地点検
- 2 地表移動量調査
- 3 地中変動量調査
- 4 地下水調査
- 5 気象調査
- 6 構造物挙動調査

また、地すべり防止工事が自然環境に与える影響を調査する場合は、現地の状況に応じて、第2章第2節2-2〔解説〕2「環境調査」に準じた調査を行う。

〔参考〕

- 1 調査計画立案に関する留意点

地すべり防止効果の検証のための調査を円滑に実施するには、機構解析時点から検証のための調査を考えた調査計画を立案する必要がある。また、新たに調査を実施する場合も、機構解析の結果を十分に検討し、整合性をとらなければならない。

2 調査方法

防止工の効果判定を目的とする場合は、その工法の特徴により、一般的に次のような調査方法が用いられる。

表5-1 評価判定の調査方法

区 分	主として用いられる調査方法
水路工・暗きょ工・ボーリング暗きょ工・集水井工・排水トンネル工	現地点検・地表移動量調査・地中変動量調査・地下水位調査・地下水排出量調査・構造物挙動調査
排土工・押え盛土工・治山ダム工・土留工等	現地点検・地表移動量調査・地中変動量調査・構造物挙動調査
杭工・シャフト工・アンカー工	現地点検・地表移動量調査・地中移動量調査・構造物挙動調査

3 構造物挙動調査

構造物挙動調査は、施工した集水井工、杭工、アンカー工等にセンサーを設置することなどにより、これら構造物の変位や荷重を調査するものである。

(1) 観察・計測

構造物の変状を目視又は測量機械等で測定し、安定性を監視する。変位を連続的に測定するために、伸縮計等を構造物に取り付けることがある。

(2) 孔内傾斜計

杭工、シャフト工に孔内傾斜計を設置するもので、第2章第8節8-3「孔内傾斜計」に準ずる。

(3) アンカー荷重計

アンカー工にかかる荷重を測定し、地すべり滑動力の変化やアンカー工の安全性を監視する。

(4) 土圧計

土留工、集水井工、杭工等に土圧計を取り付け、構造物にかかる地盤の圧力を測定し、圧力の変化を把握するとともに構造物の安定性を監視する。

(5) ひずみ計

集水井工、杭工等に発生するひずみを測定し、地すべりの滑動力の変化や構造物の安定性を監視する。なお、ひずみゲージは劣化しやすく、長期間の調査には不向きである。

(6) 鉄筋計

土留工等の鉄筋コンクリート構造物に発生する鉄筋応力を測定し、構造物の変位を把握するとともに構造物の安定性を監視する。

4 自動観測システム

データ通信技術を用いた地すべりの挙動を常時観測するシステムである。災害リスクの高まりをリアルタイムで監視することができる。

第3節 施工効果の検証

3-1 目的

各種調査の結果を総合的に判断して、地すべり防止工及び地すべり全体における効果の検証を行うものとする。

〔解説〕

地すべり防止効果の検証は、各種調査結果に基づき、個々の地すべり防止工の効果判定、地すべり全体の安定度の評価を行うとともに、必要な補修、追加工事等、地すべりの維持管理について検討する。また、必要に応じて地すべり防止工事が自然環境に与える影響についても検証を行う。

施工効果の検証に当たっては、これまでに得られた調査結果と地すべり防止効果の検証のための調査結果を対比し総合的に判断する。また、必要に応じて学識経験者等の意見を聴取する。

3-2 地すべり防止工の効果判定

各種調査の結果を総合的に判断して、地すべり防止工の効果判定を行うものとする。

〔解説〕

各種調査の結果に基づいて、地すべり防止工に対して当初要求された性能に対する達成度合いを総合的に判定する。また、性能を満たしていないと判断された場合には、補修、機能回復の検討に必要な資料を作成する。

なお、地すべり防止工自体の問題点、改善策等についても取りまとめて、今後の地すべり防止工事の設計の参考に供する。

3-3 地すべりの安定度の評価

各種調査の結果を総合的に判断して、地すべりの安定度の評価を行うものとする。

〔解説〕

各種調査、機構解析、地すべり防止工の効果判定等の結果に基づいて、地すべり全体の安定度を総合的に評価する。また、安定度を満たしていないと判断された場合には、追加工事等の検討に必要な資料を作成する。

安定度の評価においては、安定度の目標及び安定解析の条件、強度定数等について検証し、必要に応じてそれらを変更して、機構解析に準じた安定解析を行う。

第4節 地すべり防止工の維持管理の検討

地すべり防止工の効果判定及び地すべりの安定度の評価に基づいて、必要な地すべり防止工の補修、機能回復及び追加工事を検討するものとする。

〔解説〕

個々の地すべり防止工の効果判定結果、あるいは地すべり全体の安定度の評価に基づいて、地すべり防止工の補修、機能回復、追加工事等を検討し、必要に応じて措置を講ずる。

〔参考〕

維持管理の留意点

1 水路工

水路内の堆積物の清掃を行う。また、水路に亀裂や目地の開きが認められた場合、補修を行う。

2 地下水排除工

ボーリング暗きょ工や集水ボーリング工において、目詰まりが原因で機能低下している可能性が高い場合には、高圧水による洗浄を行う。

集水井本体については、井筒の変形や腐食について確認するとともに、井筒につながる集水ボーリングや排水ボーリング、昇降階段、天蓋及び立入防止柵等の付帯施設の健全性も併せて点検する。

排水トンネル内部については、亀裂やゆがみ、押し出し等の有無を確認する。

3 杭工、シャフト工

杭工やシャフト工の配列の乱れや、杭等の頭部の突出・傾倒、杭等の周辺地盤の変状の有無について確認する。また、孔内傾斜計がある場合には、杭等の挙動・応力解析を行い、健全性を評価する。

4 アンカー工

アンカー工は、アンカー頭部の腐食状況や受圧構造物の変状等を定期的に点検する。また、アンカー頭部に荷重計を設置し、緊張力の変化を観測する。観測結果から、必要に応じて、再緊張や除荷、追加施工等を検討する。

参考文献

地すべり対策技術の現状と今後のありかたに関する調査研究

(平成 25 年版 治山技術基準 解説 地すべり防止編 手引き)

公益社団法人 森林保全・管理技術研究所 (H28.6)

グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説

公益社団法人 地盤工学会 (H24.5)

用語解説

●水文

地球上の水の循環の諸現象、即ち、地球上の水の発現、分布、循環、その水の物理的、化学的性質及びその水の物理的、化学的な環境等

●有限要素法(FEM)

地盤を有限個数の要素に分割し、地盤全体の挙動を要素の集合体としての挙動に置き換えて、応力・変形解析を行う数値解析法

●逆解析

現場の観測値や計測値から未知のパラメータを定量的、数学的に解析する方法

●呈色反応

粘土がビタミン A、カロチノイドなどのアゾ色素類やベンジシンなどのアミン類によって発色又は変色すること

●N 値

質量 $63.5 \pm 0.5 \text{kg}$ のドライブハンマーを $76 \pm 1 \text{cm}$ 自由落下させてロッド頭部に取り付けたノッキングブロックを打撃し、ロッド先端に取り付けた標準貫入試験用サンプラーを地盤に 30cm 打込むのに要する打撃回数

●スレーキング

乾燥した粘性土塊を急に水中に浸したときに崩れていく現象

水分の浸入によって間隙中の空気を圧縮し、岩塊や土塊中に引張力を生じることと、土粒子の水分吸収により、粒子間力が低下することによるとされる

●ボーリング

掘削底面付近の砂地盤に上向きの浸透流が生じ、この水の浸透力により砂が持ち上げられ、あたかも沸騰した状態で地盤が破壊する現象

●ヒービング

粘性土地盤の掘削工事の場合に、井壁背面の土が前面に回り込むような状態で背面地盤が沈下し、掘削底面付近の地盤が浮き上がって生ずる崩壊現象

●弾性波

地震や人工的な火薬爆破及び重錘落下衝撃等により発生し、地球内部及び地球表面を伝播する波で、地球内部を伝播する実体波と地球の表面を伝播し、深さとともに急速に減衰する表面波に区分

さらに、実体波は P 波(縦波)と S 波(横波)、表面波はラブ波(Love wave)とレイリー波(Rayleigh wave)に区分

●P 波

地球の内部を伝わる弾性波のうち波の振動方向と進行方向とが一致する進行波(縦波)のことで、通常 S 波より約 1.7 倍も速い伝播速度を持ち、一般に地震現象の最初に現れるため Primary

wave(第一の波)の略称

P波の速度は地殻内においてはほぼ5.5~7.0km/s程度

●S波

地球内部を伝わる弾性波のうち波の振動方向と進行方向とが垂直な進行波(横波)のことで伝播速度はP波より小さく、地震現象では一般にP波の次に現れるSecondary wave(第二の波)の略称

S波の速度は地殻内ではほぼ3.0~4.0km/s程度

●RQD (Rock Quality Disignation)

ボーリング調査によって得られた岩盤の不連続性について表す数値

$$RQD = \frac{\text{コア長 1m に含まれる 10cm 以上のコアの長さの合計}}{100\text{cm}} \times 100(\%)$$

●ポアソン比 (ν)

応力を受けた弾性体に発生する応力方向のひずみに対する垂直方向のひずみの比

●ヤング率 (E)

弾性体中に発生する引張又は圧縮応力に対する応力方向におけるひずみの比

●残留強度

大きなせん断変位を受けて、せん断抵抗力が近似的に定常状態になったときの強度

●ピーク強度

過去に受けた圧密応力より小さい応力でせん断した場合、せん断強さはある時点で最大値を持ち、この時の最大せん断強度(過圧密粘土が示す最大せん断強度)

●リラクゼーション

PC鋼材に引張応力が発生した状態で長時間固定した場合に時間の経過と共に生じる応力の減少