

## 6. 対策工の計画

### 6.1 目的

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

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

### 6.2 対策工の計画の手順

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

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

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

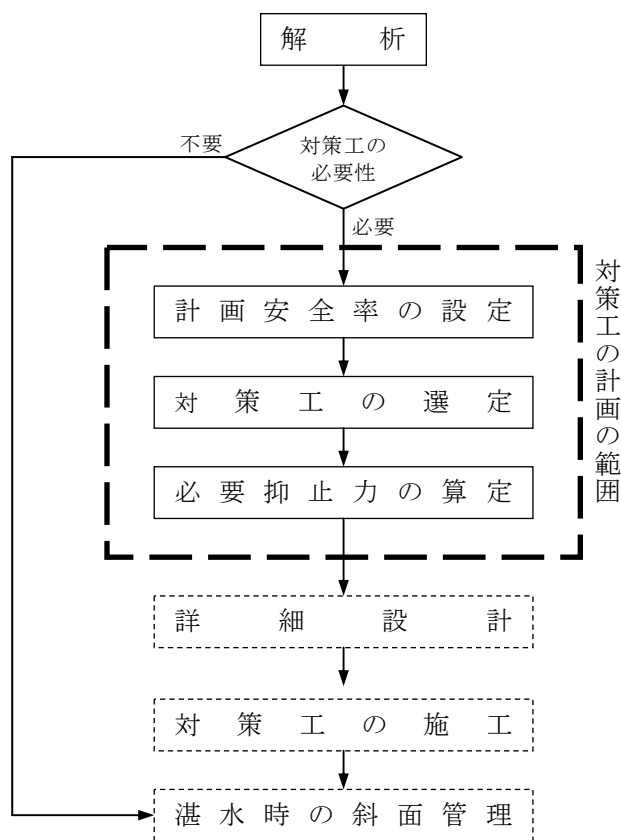


図 6.1 対策工のフロー<sup>1)</sup>

## (1) 計画安全率の設定

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

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

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

## (2) 対策工の選定

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

## (3) 必要抑止力の算定

必要抑止力は、計画安全率を満足するように算定する。

# 6.3 計画安全率の設定

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

## (1) 保全対象の種類に応じた重要度

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

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

### (i) ダム施設

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

### (ii) 貯水池周辺の施設

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

迂回路のある地方道、公園等は比較的公共性が高く、重要度は中とする。

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

### (iii) その他の貯水池周辺斜面

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

## (2) 対策工の計画安全率

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

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

表 6.1 対策工の計画安全率と保全対象の重要度一覧<sup>1)</sup>

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

## 6.4 対策工の選定

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

### (1) 工法選定の要素

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

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

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

## (2) 対策工の種類

湛水に伴う地すべり等の対策工の分類を図 6.2 に示す。

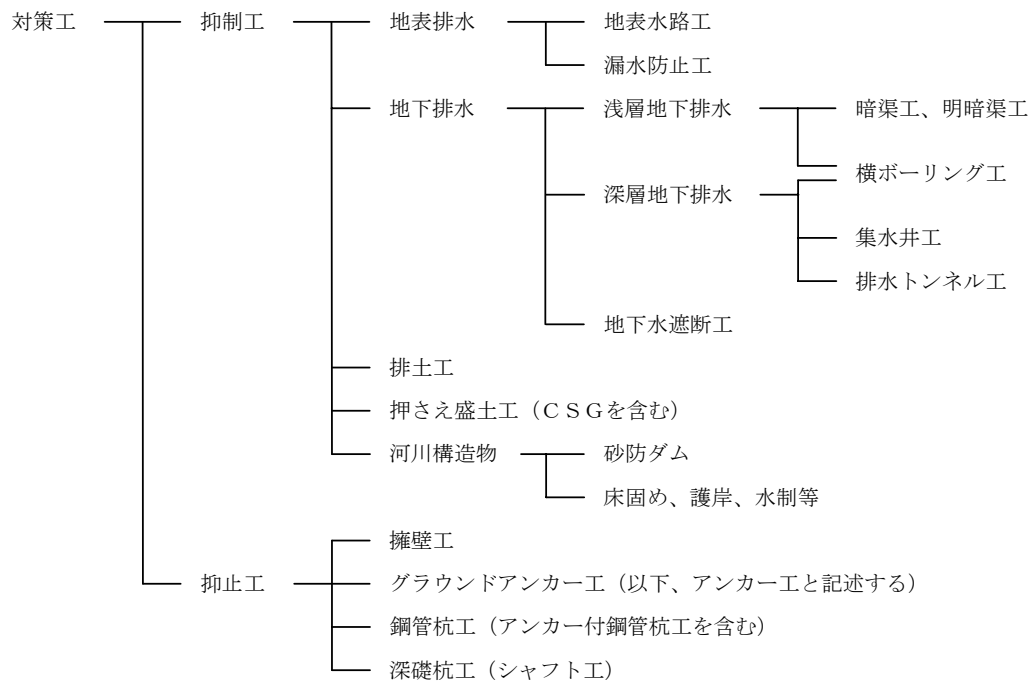


図 6.2 対策工の分類<sup>1)</sup>

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

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

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

これらを考慮し、効果的かつ経済的な対策工を計画する必要がある。

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

### (3) 対策工の概要

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

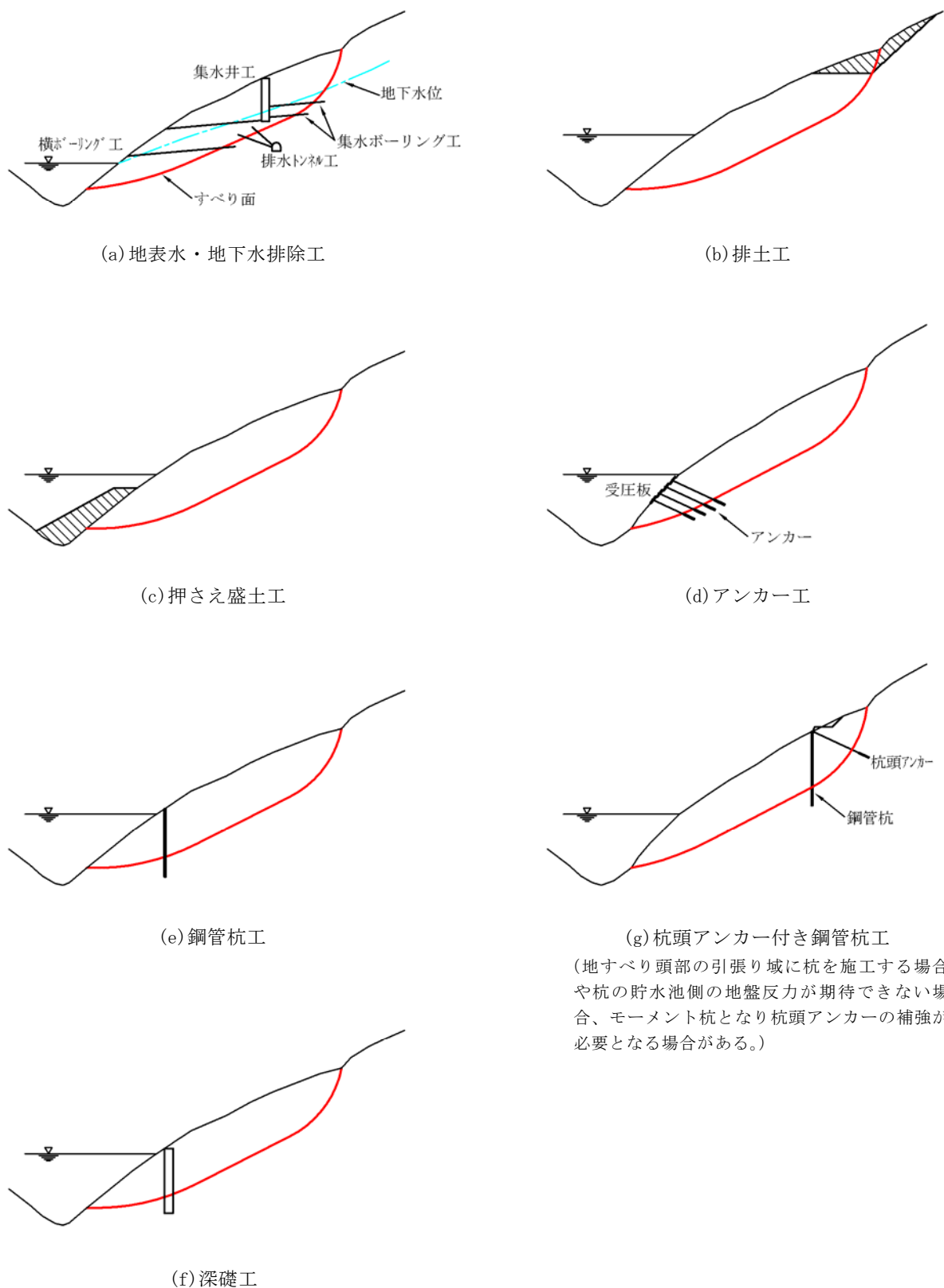


図 6.3 湛水に伴う地すべり対策工の一般的な施工位置

表 6.2 対策工の主な長所・短所

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

#### (4) 計測器の設置

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

## 6.5 必要抑止力の算定

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

必要抑止力は基準水面法を用いて式（6.1）によって計算する。

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

ここに、

$P.F_s$  : 計画安全率

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

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

$U$  : 各スライスに作用する単位幅あたりの間隙水圧（ $\text{kN/m}$ ）

$L$  : 各スライスのすべり面の長さ（ $\text{m}$ ）

$\phi'$  : すべり面の内部摩擦角（ $^\circ$ ）

$c'$  : すべり面の粘着力（ $\text{kN/m}^2$ ）

$P$  : 対策工によって与えられる抑止力（ $\text{kN/m}$ ）

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

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

## 6.6 設計上の留意点

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

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

### (1) アンカー工

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

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

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

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

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

## (2) 鋼管杭工

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

- ① たわみ杭（くさび杭）
- ② たわみ杭（抑え杭）
- ③ せん断杭

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