

傾斜地ガイドライン2023年版説明

2023年7月11日（火）

yec 八千代エンジニアリング株式会社

<http://www.yachiyo-eng.co.jp/>

原 昌成

構造耐力評価機構

<http://spei.or.jp>

高森 浩治

背景 (2021年版セミナー資料 再掲)

- 再生可能エネルギー推進、FIT制度の導入 → 太陽光発電設備が増加
- 太陽光発電設備の設置場所が不足 → 傾斜地への設置が増加
- 傾斜地に設置した発電設備の崩落、斜面崩壊等が発生
→ 発電設備のみならず、周辺地域の被災リスク増大
- 傾斜地という特殊な環境への設置に関する
ガイドラインを作成し、適用性を高めていく



ガイドラインの構成

- 「2019年版 地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン」をベースとして、**構造設計、電気設計、施工**の項目を加えるとともに、**傾斜地特有の内容**をメインに記載。→ **2021年に傾斜地ガイドラインとして公開。**
- その後の**実証試験**や、**最新の関連法令策定状況**を踏まえて**一部改訂。**

□□ 本日ご説明する項目

<ガイドライン目次>

1.総則

2.被害事例

3.構造設計・施工計画

4.電気設計・施工計画

5.事前調査

6.造成計画

7.太陽電池アレイ
の配置計画

8.設計荷重

9.使用材料

10.架台設計

11.基礎の設計

12.腐食防食

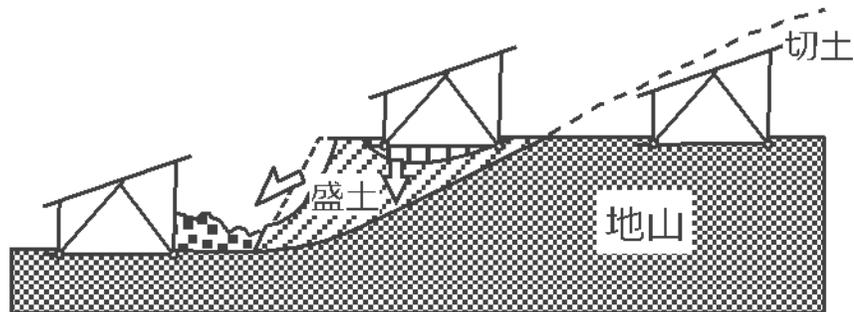
13.電気設備の設計・施工

14.施工

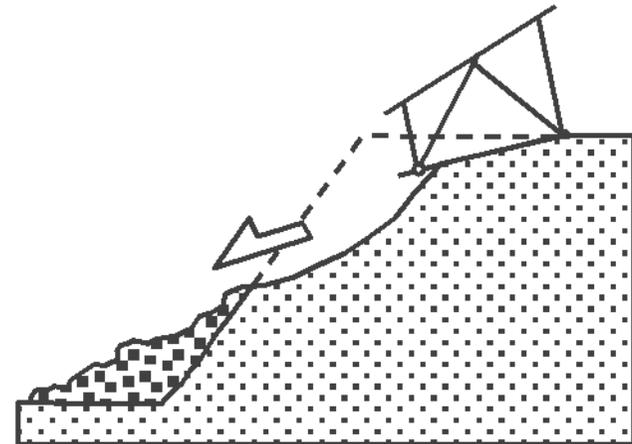
15.維持管理計画

想定する被災イメージ (2021年版セミナー資料 再掲)

・斜面上の造成盛土の崩壊



・崖崩れ



(出典) 地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2019年版

傾斜地のリスク (2021年版セミナー資料 再掲)

- ・斜面が崩れ、崩れた土砂が**周辺に影響を及ぼすリスク**がある。
- ・太陽光発電設備の設置がこれらを誘発しないように適切な計画が必要。

【土石流】



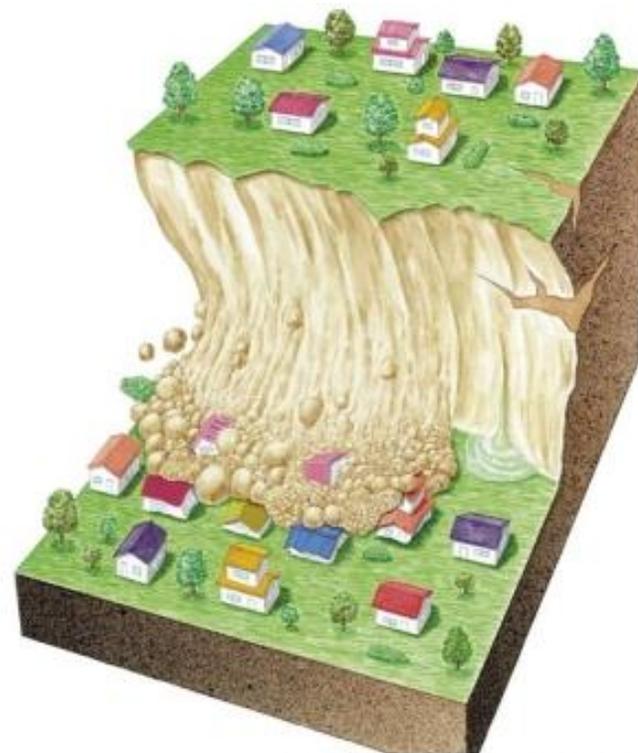
(C)NPO法人土砂災害防止広報センター

【地すべり】



(C)NPO法人土砂災害防止広報センター

【崖崩れ】



(C)NPO法人土砂災害防止広報センター

(出典)東京都建設局ホームページ

被災事例 (2021年版セミナー資料 再掲)



神戸市の斜面崩落

出典: 神戸市ホームページ



仙台市羽黒台の斜面崩落

出典: 土砂災害被害調査報告(東北大学災害科学国際研究所、地盤工学会東北支部、土木学会東北支部)

1. 総則 ※最新の関連法令等との適合について追記

1.1 利用上の注意（ガイドラインp.4）

- 本ガイドラインは建築、土木、電気等の既往の技術基準、指針等をもとにして取りまとめたものである。
- 設計、施工にあたっては、**最新の関連法令等を参照して適合**する必要がある。

関連法令及びガイドライン等の一例

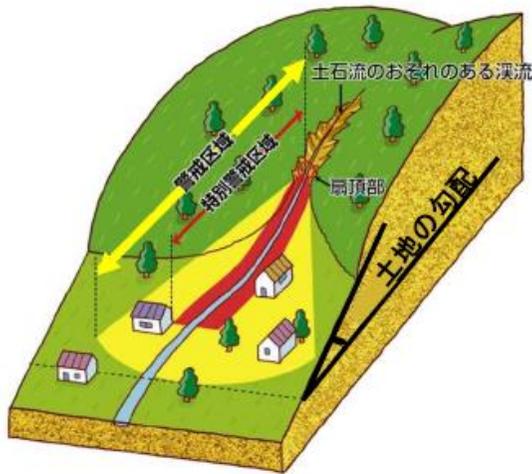
名 称	所 管	状 況
宅地造成及び特定盛土等規制法	国土交通省 農林水産省	令和5年5月施行
森林法施行令の一部を改正する政令 (林地開発許可制度の見直し)	農林水産省 (林野庁)	令和5年4月施行
森林法施行規則の一部を改正する省令		令和4年11月改正
開発行為の許可制に関する事務の取扱いについて		令和5年4月適用
開発行為の許可基準等の運用について	国土交通省 農林水産省	・盛土等防災対策検討会等にて審議中であり今後策定見込み
不法・危険盛土等への対処方策ガイドライン(案)		
盛土等防災マニュアル(案)		
盛土等の安全対策推進ガイドライン(案)		
基礎調査実施要領(規制区域指定編)の解説(案)	環境省	令和2年3月公表
太陽光発電の環境配慮ガイドライン		

斜面に関する関係法令の一例 (2021年版セミナー資料 再掲)

・土砂災害警戒区域 (土砂災害防止法)

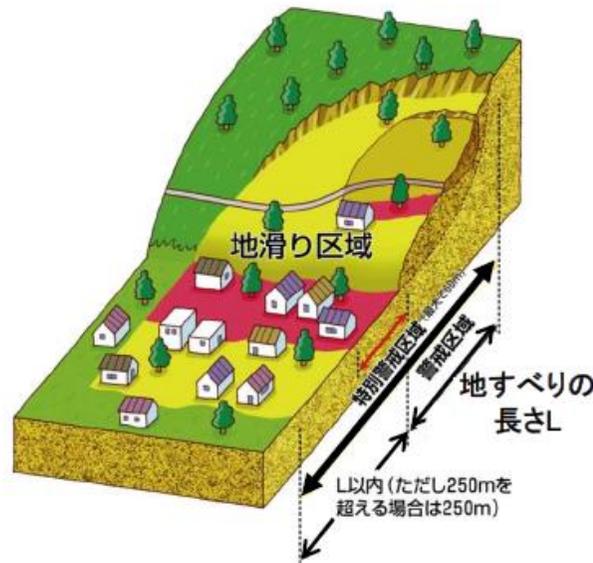
土石流

※山腹が崩壊して生じた土石等又は溪流の土石等が水と一体となって流下する自然現象



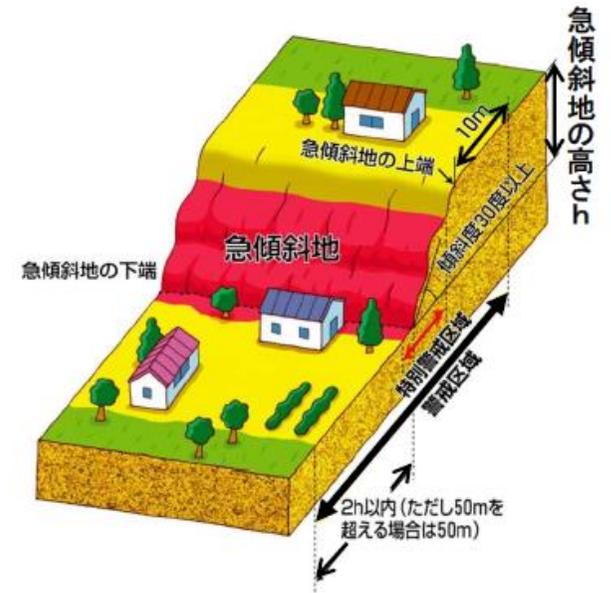
地滑り

※土地の一部が地下水等に起因して滑る自然現象又はこれに伴って移動する自然現象



急傾斜地の崩壊

※傾斜度が30°以上である土地が崩壊する自然現象



・土地の勾配2度以上

・地滑りの長さの2倍以内 ※1

※1 ただし250mを越える場合は250m

・急傾斜地の上端から10m ※2
・急傾斜地の下端から高さの2倍以内

※1 ただし50mを越える場合は50m

斜面に関する関係法令の一例

・ 特定盛土等規制区域 (右図) (盛土規制法)

・ 林地開発許可制度 (森林法施行令、施行規則)

- 太陽光発電設備の設置を目的とした土地の形質変更を行う場合、0.5haを超えるものについて許可の対象として追加。
- 許可を受けようとする者に対し、防災措置を行うために必要な資力・信用、能力を有することを証する書類を添付することを義務付け。

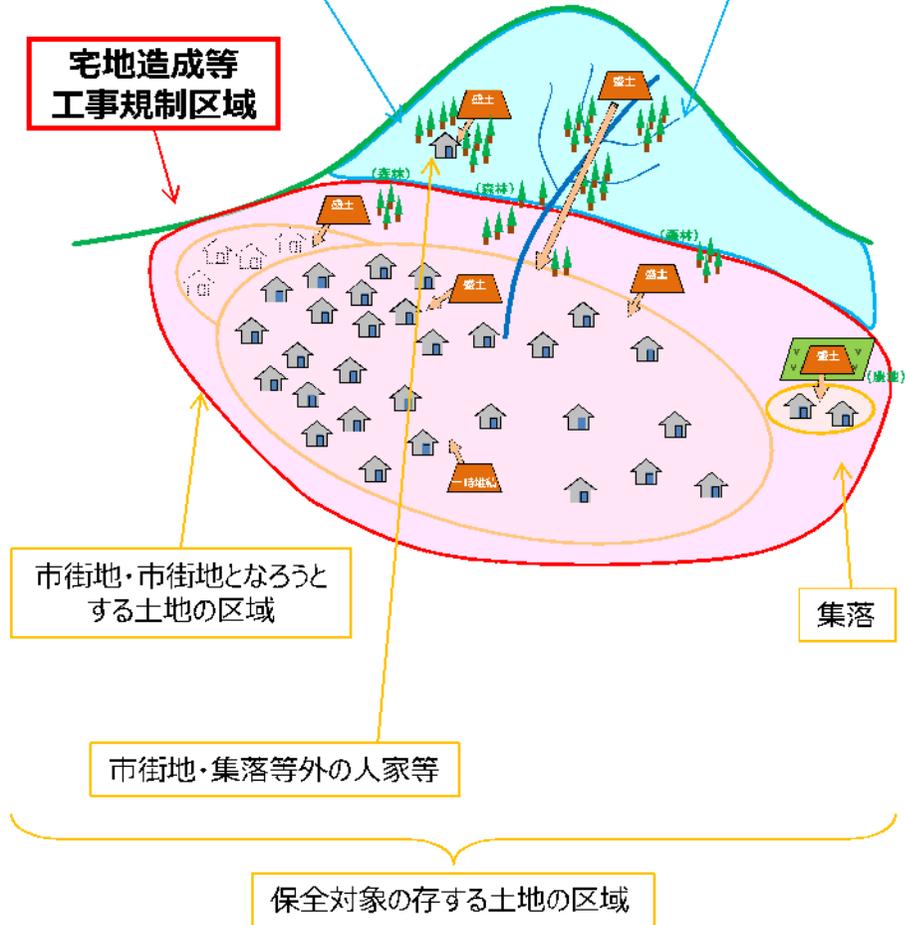
出典: 令和4年度の林地開発許可制度の見直しについて(概要)

<特定盛土等規制区域>

特定盛土等規制区域

盛土等の崩落により隣接・近接する保全対象の存する土地の区域に土砂の流出が想定される区域

盛土等の崩落により流出した土砂が、土石流となって溪流等を流下し、保全対象の存する土地の区域に到達することが想定される溪流等の上流域



出典: 基礎調査実施要領(規制区域指定編)の解説

1. 総則

1.2 適用範囲（ガイドラインp.5） ※風圧荷重の検討範囲を追記

- 傾斜地に設置する場合、また平坦地であっても傾斜地の上端 10m、下端 $2 \times H$ （50m以内）の範囲を含む。
- 風圧荷重の増加は、のり肩から $8 \times H$ の範囲を考慮する。

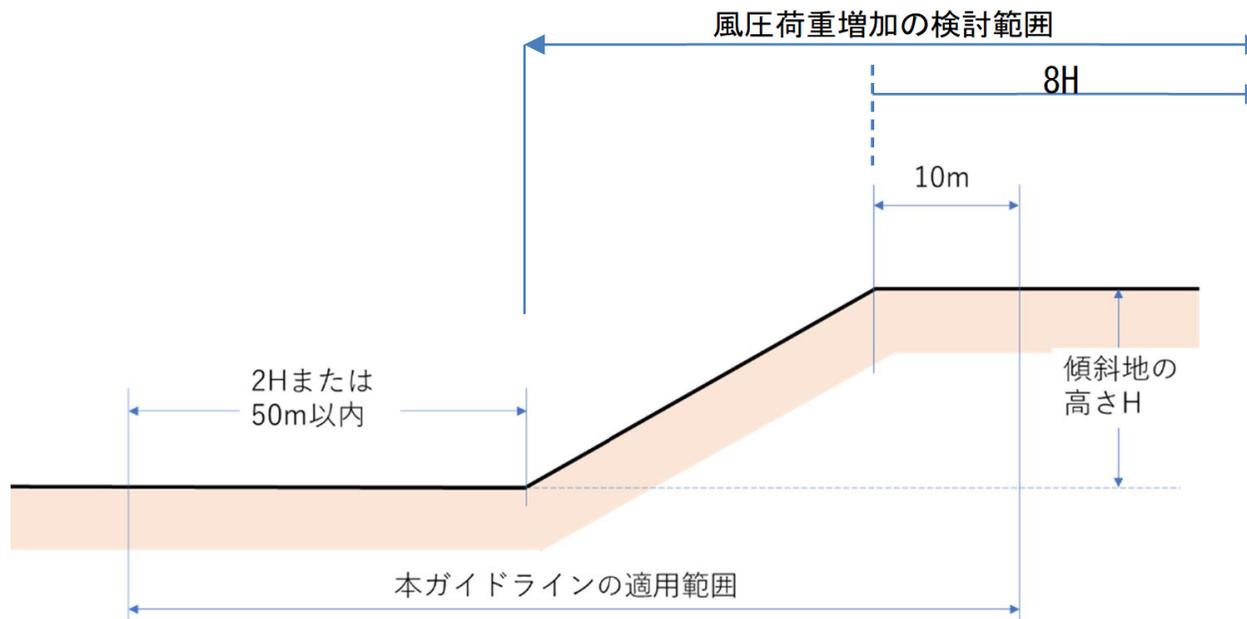


図 1-1 本ガイドラインを適用する範囲

注)：土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律¹⁻¹⁾（以下、「土砂災害防止法」）に基づく土砂災害警戒区域の指定基準を参考に設定。

1. 総則

1.5 構造設計方針（ガイドラインp.11）※自然条件の反映等を追記

- 計画地の**自然条件を適切に反映**させる。
- **供用期間の延長**や**自然条件の変化**等により要求性能が生じた場合は、最新の条件を踏まえ**適切に機能強化**等の対策を行う。

採用する構造や使用する材料によって、当初の性能が経時的に低下し変状・損傷等に至る可能性がある。そのような場合に、他への影響を及ぼしうるものについては、容易に点検診断の実施が可能な構造・材料を用いることが望ましい。

昨今、自然災害の規模（異常気象時の強風や大雨等）拡大が進んでいる。このため、供用期間中に、供用期間の延長や自然条件の変化（降雨量の増大、異常気象時の風速の増大）などが生じた場合、最新の条件に適合させるため機能強化が図れるような設計を行うことが望ましい。

（ガイドラインp.12抜粋）

3. 構造設計・施工計画

(2021年版セミナー資料 再掲)

3.1 設計フロー (ガイドラインp.18)

- ・過去の被災事例を参考に、**地域特性、環境特性**を考慮して計画する。
- ・供用期間にわたって性能を満足するよう、**設計段階で維持管理計画**を作成する。



傾斜地ガイドラインで追加

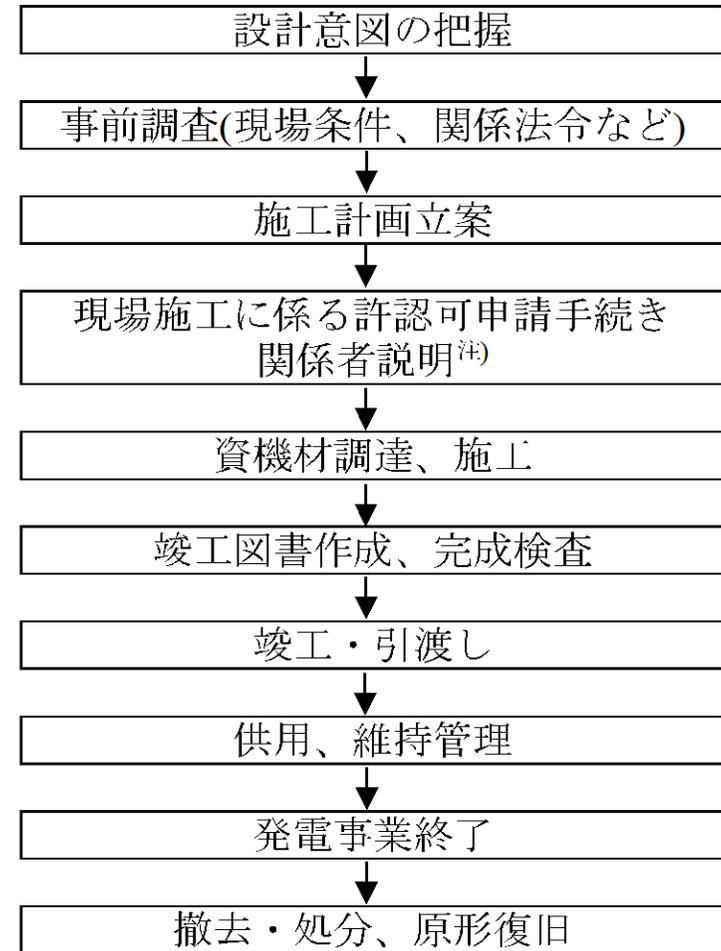
※ GL : 地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版³⁻¹⁾

3. 構造設計・施工計画

(2021年版セミナー資料 再掲)

3.2 施工フロー (ガイドラインp.19)

- ・施工に先立ち、**設計意図を把握**するとともに、**現場条件を考慮した施工計画**を立案する。
- ・法令などを確認し、関係省庁などへの許認可手続きを行う。
- ・供用後の撤去計画を立案する。



注)：ここでの関係者説明は、現場施工に係る着手前説明を示し、必要に応じて実施するものとする。太陽光発電事業に係る関係者説明は、計画段階において実施する。

施工フロー(構造)

5. 事前調査 ※適地選定に必要な既存資料調査の記載を充実化

- ・事前調査として、資料調査、現地調査、地盤調査、周辺環境調査を行う。
- ・外力や自然災害に対して設備の長期安全性確保、維持管理コスト低減のため、**設置に適した場所を選定**する必要がある。

地形の調査による
地盤の見方



(出典) 地上設置型ガイドライン2019年版に一部加筆

5. 事前調査

5.1 資料調査 (ガイドラインp.22~25)

※既存資料の具体例を追記

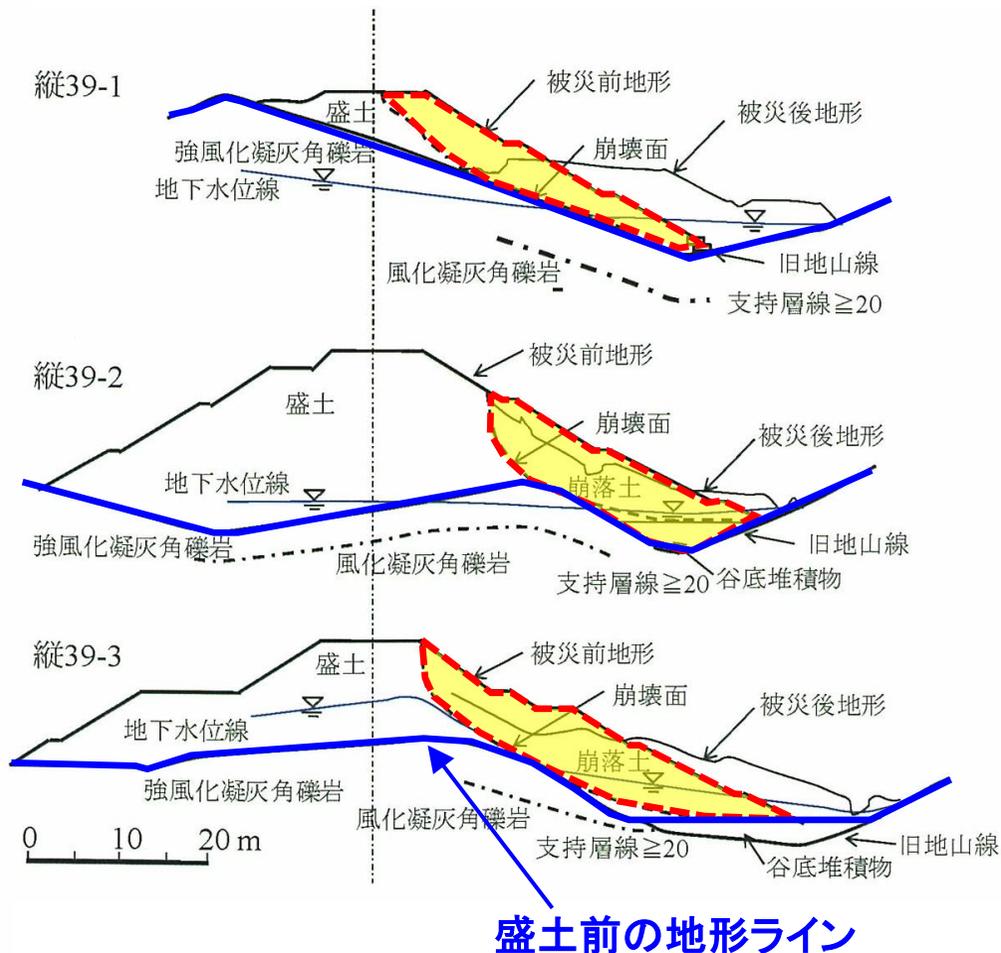
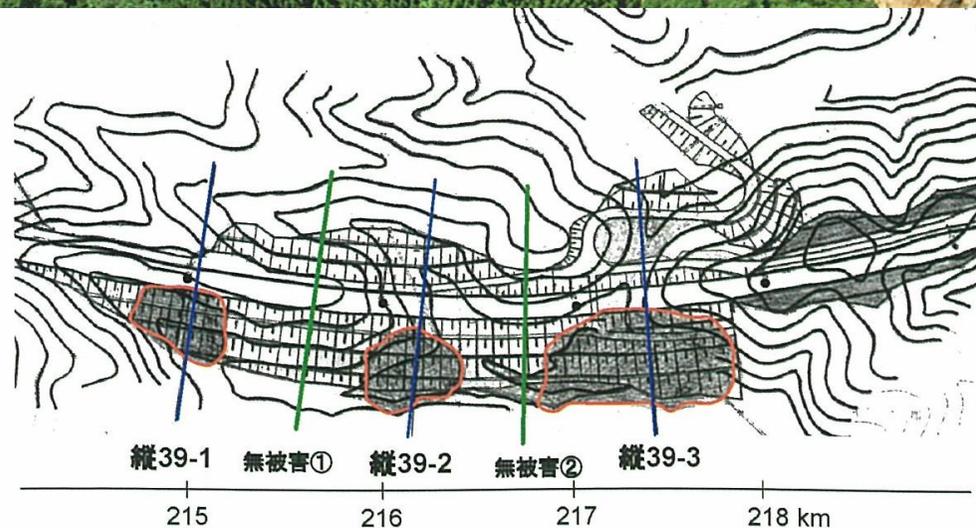
- ・地形図、土地条件図、既往調査資料等により、**地盤情報**を収集する。
- ・人工造成地の場合、**造成時期**や**適用した技術基準**等の情報を収集する。
- ・**地域に固有な地盤条件**を知る情報として、地名、植生なども調査する。
- ・**排水施設**の設計・施工に必要な**降水量**を調査する。

	資料	発行機関	購入(入手)先*	資料内容及利用方法
地形関連	国土基本図 地勢図 地形図	国土地理院	・国土地理院ホームページ ・(一財)日本地図センター	・全ての調査の基本となるもの ・地形は長い年月における豪雨や地震等による斜変動、地質的変動の影響を受けた状態を表しているため、建設工事における地質的な問題箇所の多くは地形的特徴として判読できることが多い
	都市計画図	都道府県、市町村	・所管部署に要問い合わせ	・都市計画の内容を記した地形図
	森林基本図	林野庁	・林野庁ホームページ ・(一社)日本森林技術協会	・地形と森林の境界を記した地形図
		都道府県	・所管部署に要問い合わせ	
	数値地図	国土地理院	・(一財)日本地図センター	・地表をメッシュに区切り、その中心点の標高データを数値化したもの ・鳥観図の作成、傾斜等地形を大局的に把握できる
	土地条件図	国土地理院	・国土地理院ホームページ ・(一財)日本地図センター	・崩壊や落石等の問題がある箇所の判断に有効である
土地利用図	国土地理院、省庁、自治体	・国土地理院ホームページ ・所管部署に要問い合わせ	・国立公園、自然公園、特別史跡、名勝、天然記念物、林地の種類、伐開跡地などで、色・記号等で容易に判別できる	
地質関連	地質図	(国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター	・(国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター	・地形図の上に地盤を構成する地層の分布、重なり方、走向・傾斜、断層、しゅう曲等を模様、色彩、記号で記したのもの ・計画地の地質の大意が分かるため、他の調査方法に対する有効な資料となり、設計・施工上の注意すべき点の概略を予想できる
	県別地質図	都道府県	・所管部署に要問い合わせ	
	土地分類図	旧国土庁	・(一財)日本地図センター	
	土地基本分類図	都道府県	・国土交通省「GIS ホームページ」	
	地方土木地質図	(一財)国土技術研究センター	・(一財)国土技術研究センター	
既往地質・土質調査成果	国土交通省ほか	・国土地盤情報検索サイト「Kunijiban」 ・出先機関に要問合せ		
空中写真	空中写真(全国、平野部)	国土地理院	・国土地理院ホームページ ・(一財)日本地図センター	・空中写真を実体化(立体化)することにより、地形、地質、植生等を判読し、その結果から落石、崩壊、地すべり、土石流等の問題箇所を抽出することができる
	空中写真(山地部)	林野庁	・(一財)日本地図センター	
災害履歴関連	災害記録	道路や鉄道及びダム等の管理者、市町村、気象庁、日本気象協会(支部)	・左記期間に要問い合わせ ・住民からの聞き取り	・計画地、近隣地域も含めて災害記録を調べると、その地域での災害の発生の特徴が把握できる
	地すべり分布図	都道府県、(国研)防災科学技術研究所、	・所管部署に要問い合わせ ・(国研)防災科学技術研究所ホームページ ・地震調査研究推進本部事務局	・地すべり地形の抽出

*地域により資料の整備状況が異なるため詳細については表中の購入先に確認すること

地震による盛土の被災事例 (2021年版セミナー資料 再掲)

・谷埋め盛土部でのり面崩壊。崩壊規模は地形により異なっている。



(出典) 盛土性能評価と強化・補強の実務, 土木研究センターに一部加筆

5. 事前調査

5.2 現地調査（ガイドラインp.26～29）

※解説文を詳細に追記、専門家の具体例を記載

- ・対象地を中心として**周辺の観察**を行い、資料調査の結果と照合しながら敷地の地盤状況を把握する。
- ・地形・地質、造成盛土・切土等の状況から、地盤の安全性を評価する。
- ・現地調査は専門知識、技術を必要とするため、**専門家※の協力**を得る。

※有識者、地盤調査会社、建設コンサルタント会社、関連資格保有者（技術士-建設部門 土質及び基礎）、応用理学部門、地盤品質判定士等）

5. 事前調査

5.3 地盤調査（ガイドラインp.30～41）

※調査方法や結果利用方法を例示、凍上に関する記載を追記

- ・資料調査、現地調査結果を踏まえて**原位置試験**を実施し、造成計画、架台及び基礎の設計に必要な地盤の**工学的情報**を収集する。
- ・架台や基礎の設計だけでなく、**斜面安定評価に必要な調査**も行う。
- ・必要な調査数量は、**敷地規模や地盤状況により異なるため、専門家の意見**も踏まえて適宜判断する。
- ・地盤調査を効率的、効果的に実施するため、事前調査（資料調査、現地調査）を十分に行う。
- ・調査結果を見ながら、必要に応じて**追加調査**を行う。

5. 事前調査

5.3 地盤調査 (ガイドラインp.34~45)

※地盤調査方法や結果利用方法を例示

表 5-5 各地盤調査から得られる情報とその利用※1

調査方法	得られる情報	結果の利用
ボーリング	<ul style="list-style-type: none"> 地層構成 (層序) 地盤の固さ (N 値等の地盤定数) 地下水環境 	<ul style="list-style-type: none"> 採取された地盤試料を肉眼で確認して性状を把握 地盤構成、支持層の設定 ボーリング孔を利用した原位置試験の実施
サウンディング	<ul style="list-style-type: none"> 貫入抵抗値 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤定数の鉛直分布 ボーリングによる土層構成の補完 軟弱地盤、液状化判定 支持力の推定
物理探査	<ul style="list-style-type: none"> 地中における物理的性質 (電気抵抗、弾性波速度等) の差異 	<ul style="list-style-type: none"> 面的な地盤構造の把握 ボーリングによる地盤構成の補完 地下水の分布 地盤定数の水平分布
原位置試験※2	<ul style="list-style-type: none"> 変形特性 強度特性 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の変形特性の把握 支持力の推定
サンプリング	<ul style="list-style-type: none"> 地盤試料採取 	<ul style="list-style-type: none"> 室内土質試験のための試料採取
地下水調査	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位 地下水流動状況 	<ul style="list-style-type: none"> 斜面安定検討の条件設定 排水工の設置計画、設計の条件設定
室内土質試験	<ul style="list-style-type: none"> 物理特性 力学特性 変形特性 	<ul style="list-style-type: none"> 斜面安定検討の条件設定 支持力の推定 杭の抵抗力 (引き抜き、水平) の推定

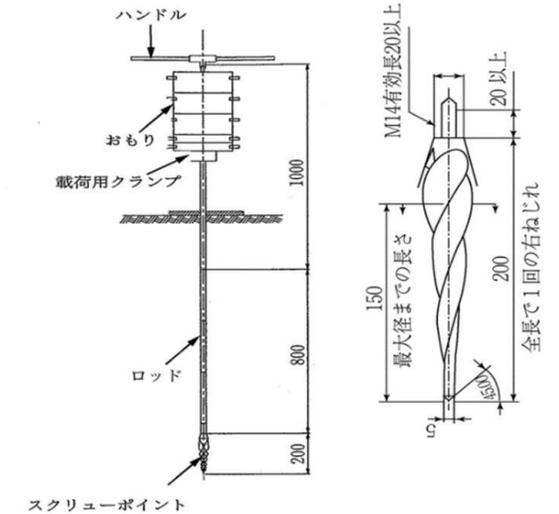


図 5-1 SWS 試験 (手動式)

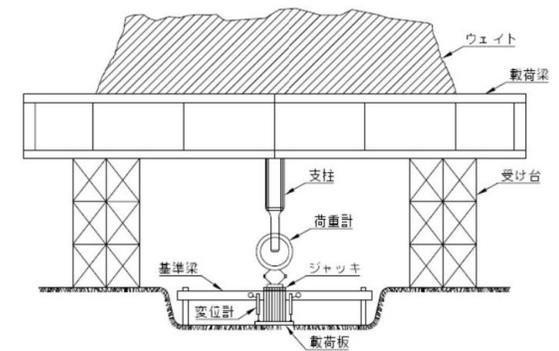


図 5-7 平板載荷試験

※1 参考文献 5-10)を参考に作成 ※2 本表ではボーリング孔内水平載荷試験、平板載荷試験、現場 CBR 試験を想定

5. 事前調査

5.3 地盤調査（ガイドラインp.39～44） ※凍上に関する事項を追記

- ・寒冷地などにおいて凍上現象が懸念される場合には、調査を実施（土質、温度、水分）して検討を行う。
- ・凍上現象が起こる可能性があると確認された場合、凍結深さを推定し、架台基礎の設計等に反映する。

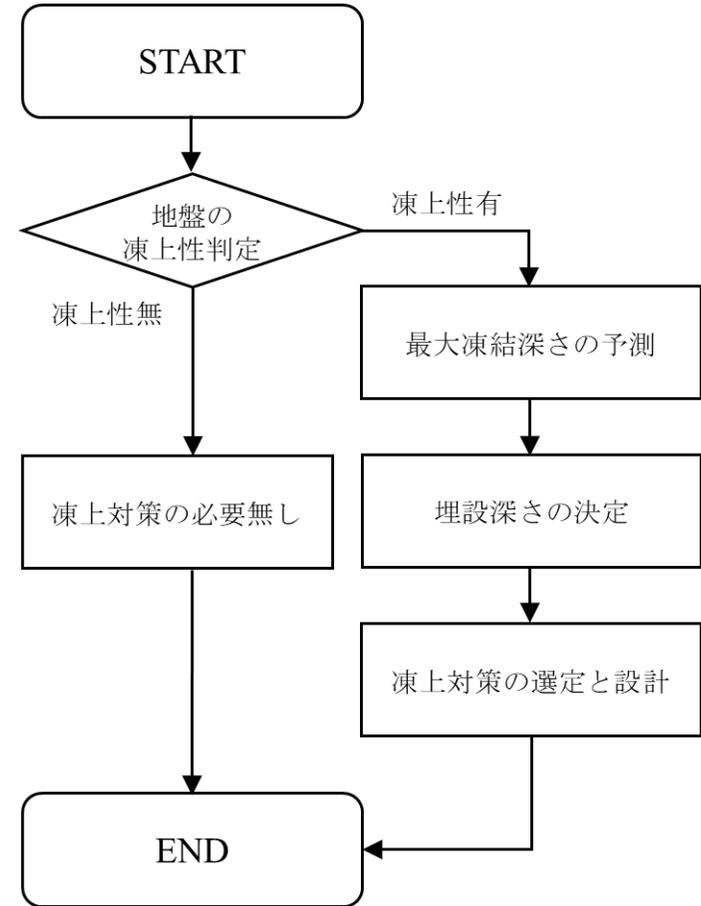


図 5-9 太陽光発電設備のための凍上対策検討のフロー

6. 造成計画 ※造成の基本的な考え方や参考文献の記載を追記

6.1 基本的な考え方（ガイドラインp.42）

- ・2019年版 地上設置型ガイドラインのほか、**林地開発の許可基準や自治体の関連条例等に準拠**する。
- ・土砂や太陽光発電設備の流出による**二次被害を生じさせないよう**、事前に安全を確保する。

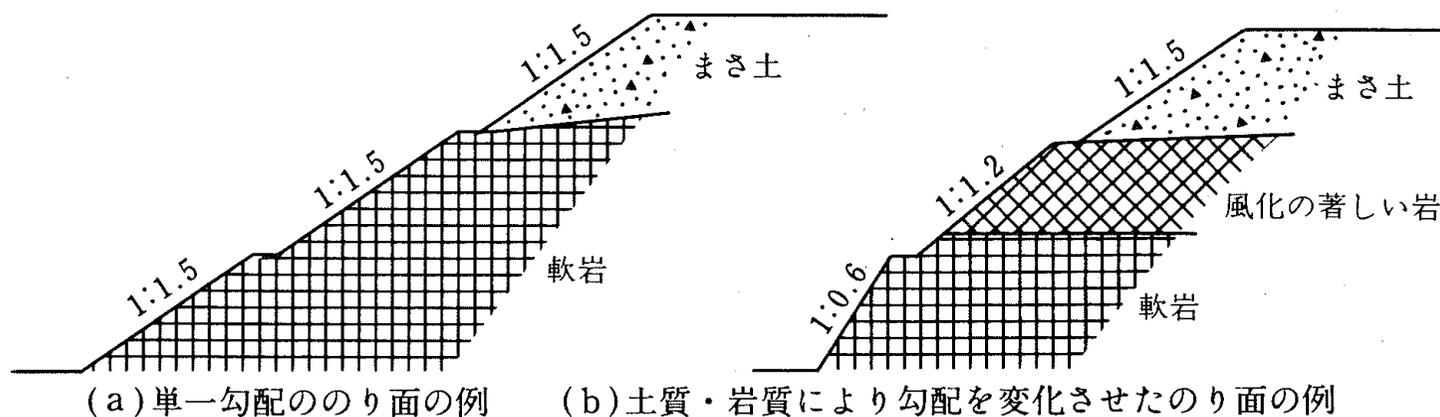
6.2 切土・盛土（ガイドラインp.42）

- ・斜面全体の安定性を確保するため、土質やのり高に応じて、**のり面勾配を設定**するとともに、**小段や排水施設を設ける**。
- ・本ガイドラインのほか、自治体の関連条例等に準拠する。

標準的な法面勾配(切土) (2021年版セミナー資料 再掲)

表 3-5 切土法面の勾配 (擁壁の設置を要しない場合) 3-6)

法面の土質	法高	がけの上端からの垂直距離	
		①H ≤ 5m	②H > 5m
軟岩 (風化の著しいものは除く)		80 度以下 (約 1 : 0.2)	60 度以下 (約 1 : 0.6)
風化の著しい岩		50 度以下 (約 1 : 0.9)	40 度以下 (約 1 : 1.2)
砂利、まさ土、関東ローム、硬質粘土、その他これらに類するもの		45 度以下 (約 1 : 1.0)	35 度以下 (約 1 : 1.5)



(出典) 地上設置型ガイドライン2019年版、宅地防災マニュアル(国土交通省)

6. 造成計画 ※排水工の設置例等の記載を充実化

6.3 排水計画（ガイドラインpp.45-47）

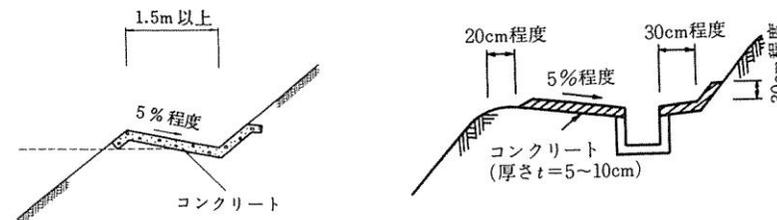
- ・のり面の侵食防止、斜面安定化を目的として、**排水工**の設置を計画する。
- ・太陽光モジュールから**流下する雨水を考慮**し、**流出量**を評価する。
- ・完成後だけでなく**施工時**にも濁水が生じないように、**環境面**からの検討を加える。

※太陽光発電設備の設置により、
斜面の状態が変化することに注意。

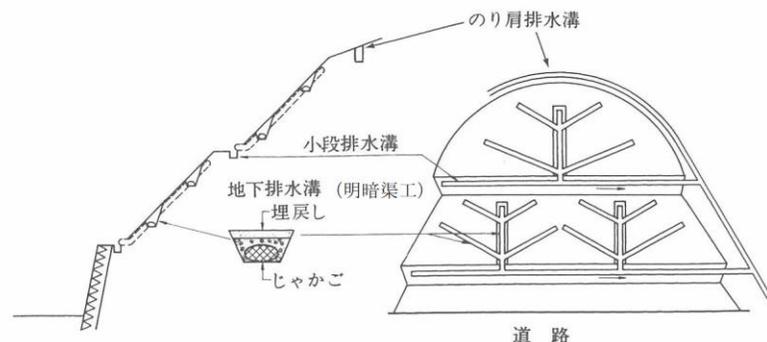
（植生伐採による保水能力の低下

→ 雨水の地表流出量増加）

※**放流先の排水能力**を超え、浸水被害
がないように注意。



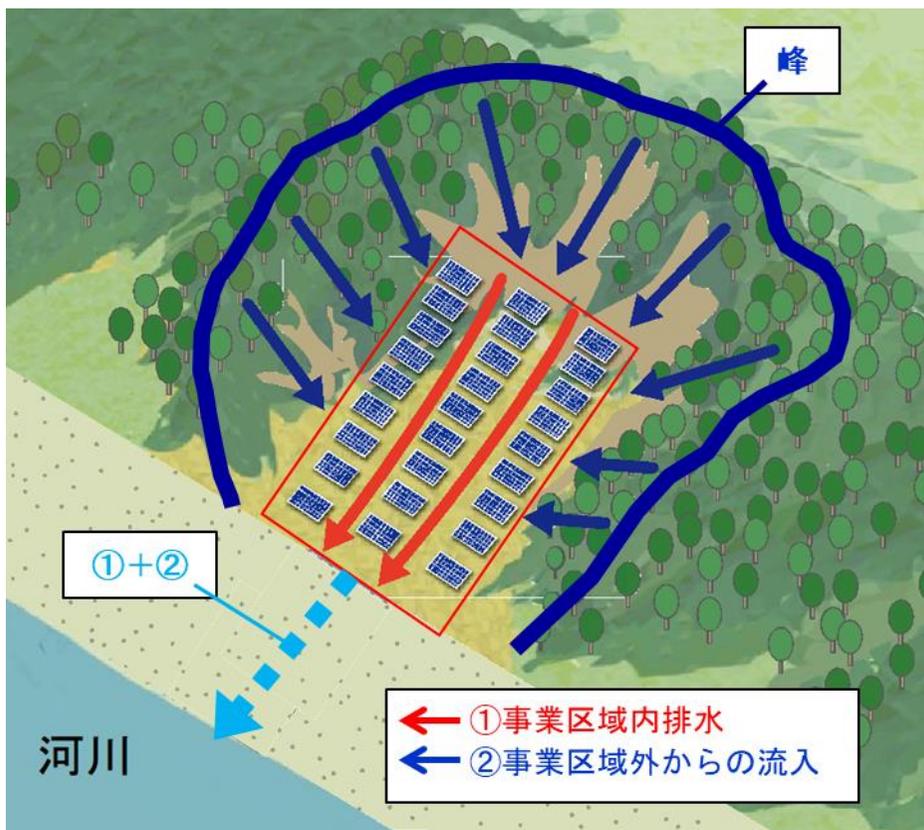
解図 7-1 コンクリート排水溝及び鉄筋コンクリートU型溝の例（小段排水）



解図 7-3 地下排水溝の例

図 6-1 排水溝周りでの地盤侵食を防ぐ方法の一例

流出係数の変化 (2021年版セミナー資料 再掲)



【自然地山の場合】

$C=0.5\sim0.8$ 程度

(降雨が地盤内に浸透する)

【太陽光モジュールを設置した場合】

$C=1.0$

(降雨が地盤内に浸透しない)

- 地表流出量が増加
- 斜面表層の侵食、架台基礎の露出
リスク増加、
流末への雨水排水量の増加

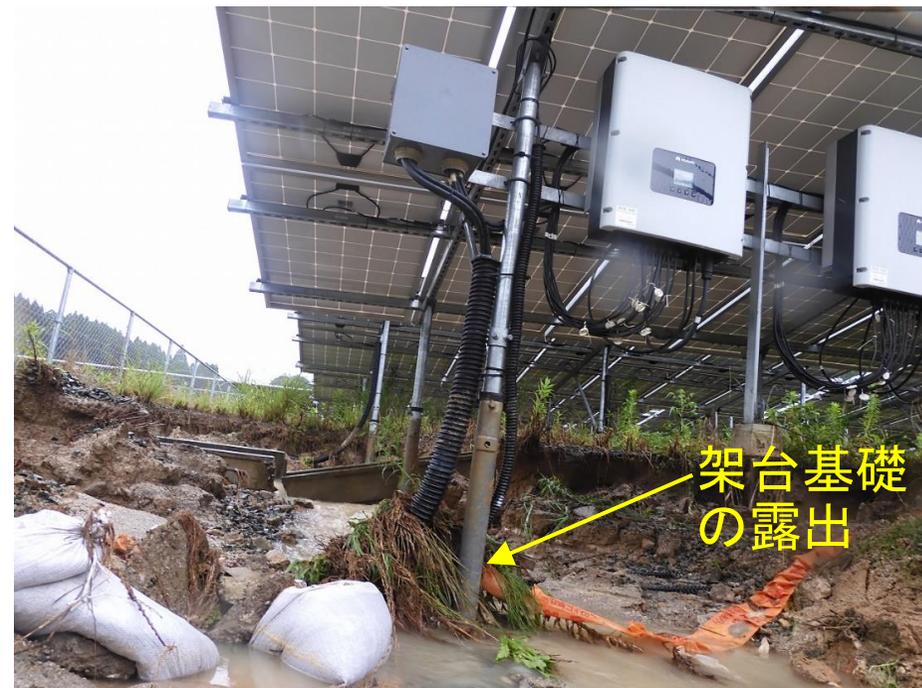
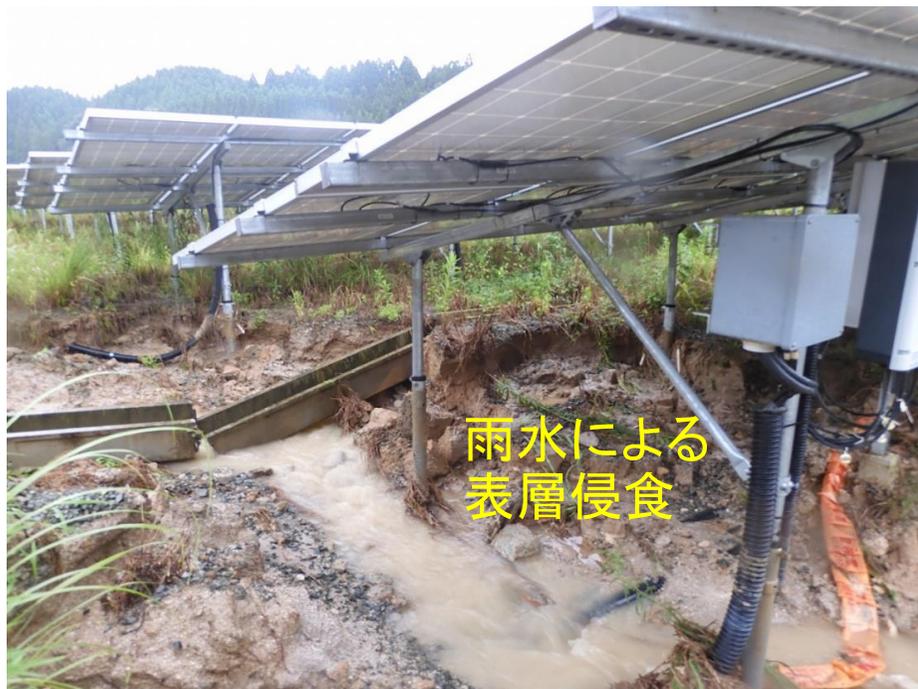
(出典) 地上設置型ガイドライン2019年版、宅地防災マニュアル(国土交通省)

6. 造成計画 ※のり面保護工選定の考え方等の記載を充実化

6.4 のり面保護及び斜面崩落防止計画（ガイドラインp.48）

- ・侵食の発達による土砂流出を防止するため、**のり面保護工**等により安全性を確保する。
- ・事前にのり面の安定性について工学的検討を行い、必要に応じて**崩落防止対策**を計画する。
- ・下流側に保全対象がある場合、**待ち受け工**の設置について検討する。
- ・のり面保護及び斜面崩壊防止計画は、本ガイドラインのほか、**林地開発の許可基準**等に準拠する。

侵食によるのり面の表層崩壊事例 (2021年版セミナー資料 再掲)

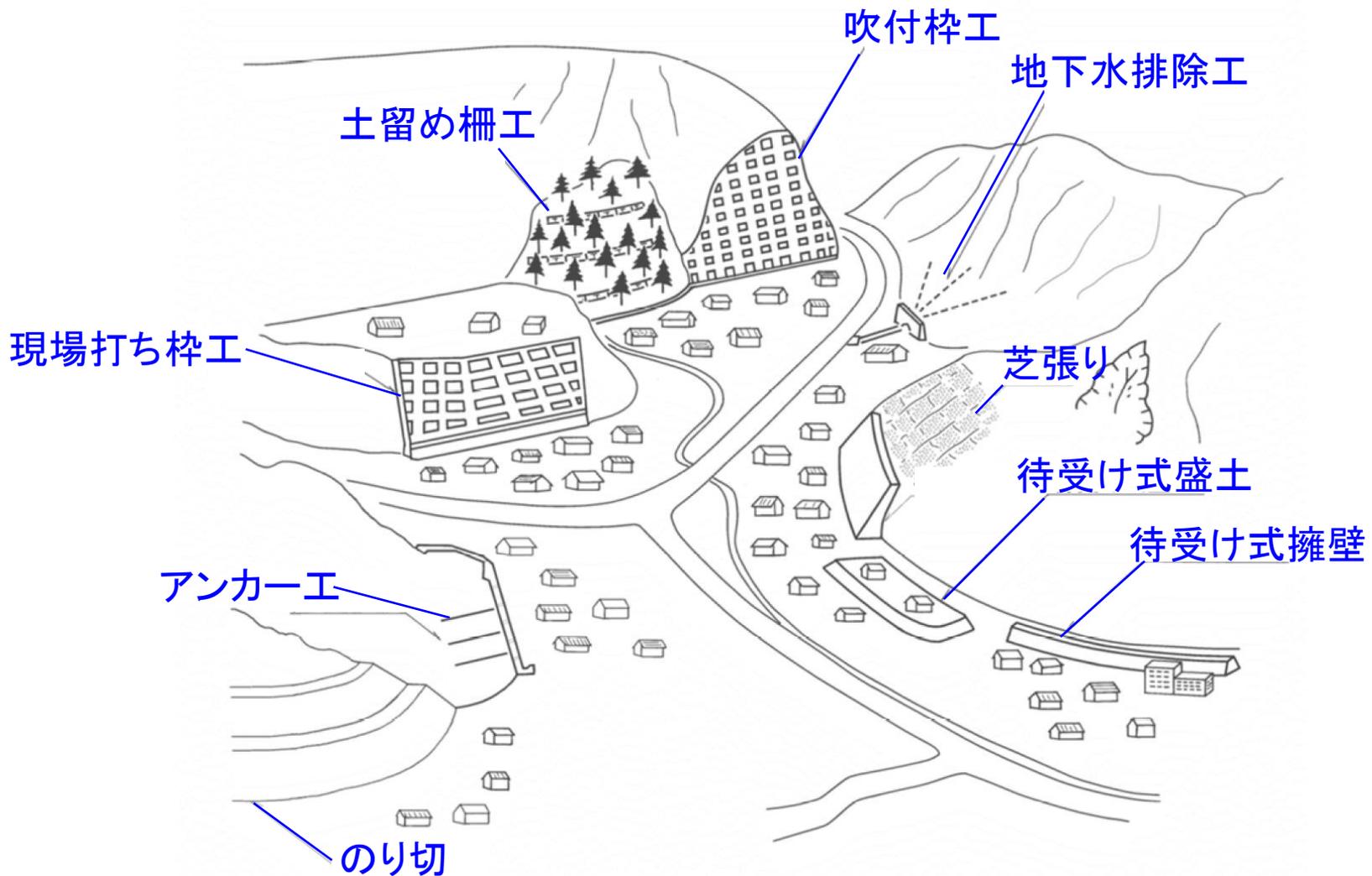


(写真:一般社団法人 構造耐力評価機構 提供)

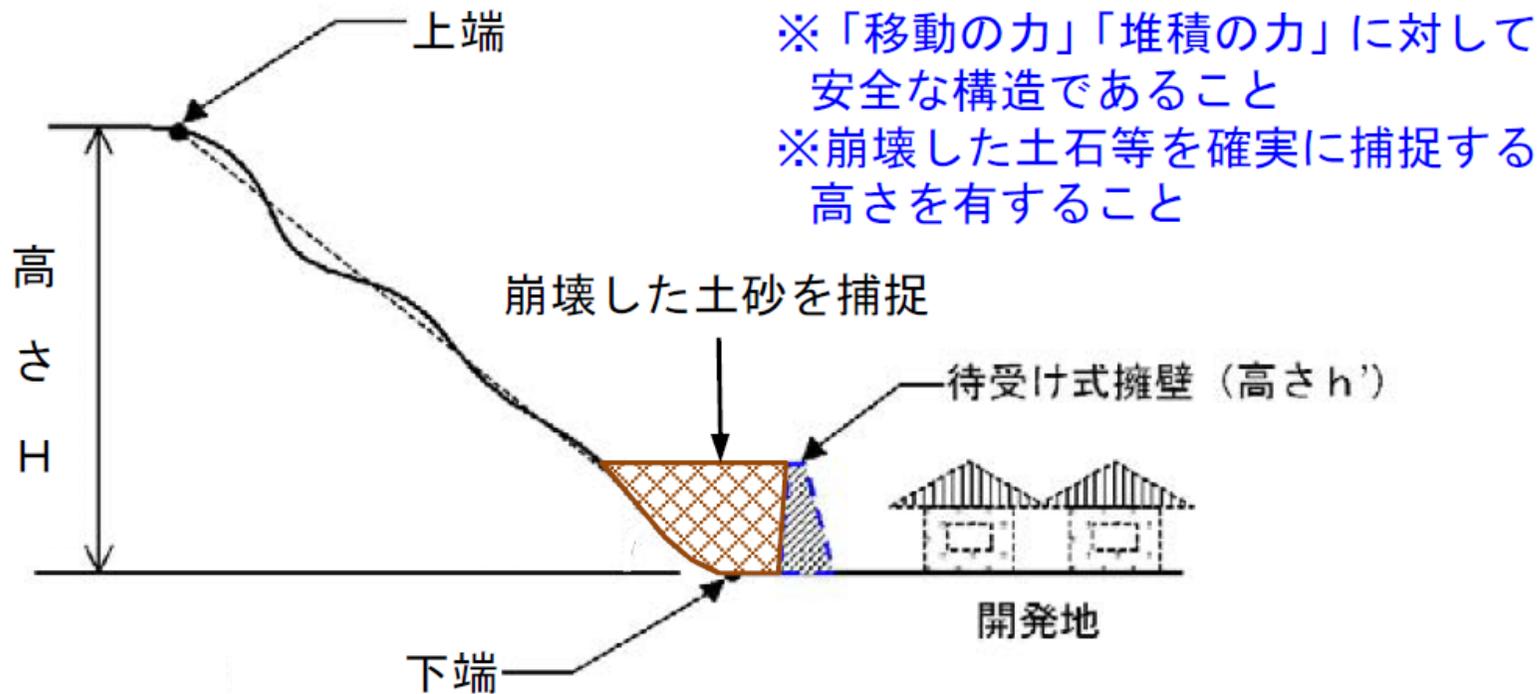
(対策例)

- ・アレイからの雨だれ箇所にU型側溝、沈砂枡を設ける
- ・アレイ下部の斜面をシートで被覆、など

急傾斜地の崩壊に関する対策施設の例 (2021年版セミナー資料 再掲)



待ち受け工の例 (2021年版セミナー資料 再掲)



6. 造成計画 (2021年版セミナー資料 再掲)

6.5 環境・景観対策 (ガイドラインp.49)

- ・ **周辺環境への配慮事項**と対策は、計画段階において検討する。
- ・ 林地開発の許可基準や地方自治体の条例等を参考とする。

配慮事項	想定されるリスク
騒音	・ パワーコンディショナなどから発生する騒音が大きい場合、地域住民から苦情が寄せられる。
反射光	・ 太陽電池モジュールの反射光により、地域住民から苦情が寄せられる。
工事に関する粉じんなど、騒音・振動	・ 工事用車両などによる粉じん、騒音・振動により、事業区域周辺環境への悪影響が生じる。
景観	・ 良好な景観が阻害、破壊される。
動物・植物・生態系	<ul style="list-style-type: none"> ・ 重要な動植物の生息・生育場所の消失・縮小や生態系への悪影響が生じる。 ・ 水質や水環境の変化により、生態系に悪影響を与える。
自然との触れ合いの活動の場	・ 自然との触れ合い活動の場が消失・縮小し、地域生活の快適性・利便性に悪影響が生じる。

8. 設計荷重

8.3 風圧荷重 (ガイドラインp.54)

1. 太陽電池アレイ用支持物の設計用風圧荷重は、式(8.1)に示すアレイに作用する風圧荷重 W_a と式(8.2)に示す支持物構成材などに作用する風圧荷重 W_b の両方を考慮する。
2. 風圧荷重は、アレイの段方向(一般的には南北方向)だけでなく、列方向(一般的には東西方向)についても設定する。
3. アレイの風圧荷重は太陽電池モジュールの面に垂直に作用することとし、支持物構成材などの風圧荷重は地盤と平行の方向に作用することとしてもよい。
なお、支持物構成材などには、支持物に付帯するパワーコンディショナや接続箱なども含まれる。
4. アレイ面の受風面積は、太陽電池モジュールの周囲に付けられる部材を含む面積とする。
5. 地形の影響による設計速度圧の割増しについては、風洞実験や数値流体解析によって適切に設定することを基本とし、比較的単純な地形の場合には建築物荷重指針・同解説⁸⁻²⁾による方法によって設定することができる(8.3.1 参照)。

$$W_a = C_a \times q_p \times A_a \quad \dots\dots\dots (8.1)$$

$$W_b = C_b \times q_p \times A_b \quad \dots\dots\dots (8.2)$$

← JIS C 8955 : 2017と同じ

8. 設計荷重

8.3.1 設計用速度圧 (ガイドラインp.55～)

1. 設計用速度圧は、式(8.3)によって算出する。

$$q_p = 0.6 \times V_0^2 \times E \times I_W \dots \dots \dots (8.3) \quad \leftarrow \text{ JIS C 8955と同じ}$$

2. 設計用基準風速 V_0 は、建設地点の地方における過去の台風の記録に基づく風害の程度など、風の性状に応じて30m/s～46m/s の範囲内で定められた JIS C 8955:2017⁸⁻¹⁾の表2 に示されている値を用いる。

3. 環境係数 E は、式(8.4)によって算出する。

$$E = (E_r \times E_g)^2 \times G_f \dots \dots \dots (8.4)$$

4. 平均風速の高さ方向の分布を表す係数 E_r は、アレイ面の平均高さ H が Z_b 以下の場合は式(8.5)、 H が Z_b を超える場合は式(8.6)によって算出する。

$$E_r = 1.7 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \dots \dots \dots (8.5)$$

$$E_r = 1.7 \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \dots \dots \dots (8.6)$$

← JIS C 8955と同じ

8. 設計荷重

8.3.1 設計用速度圧 (ガイドラインp.55～)

- 5. 地形による風速の割り増し係数 E_g は、風洞実験やLES(Large Eddy Simulation)による数値流体解析によって設定する。なお、図8-2、図8-3 に示すような比較的単純な形状の地形の場合には式(8.7)によることができる。

$$E_g = (C_1 - 1) \left\{ C_2 \left(\frac{z}{H_c} - C_3 \right) + 1 \right\} \exp \left\{ -C_2 \left(\frac{z}{H_c} - C_3 \right) \right\} + 1, \text{ かつ } 1 \text{ 以上} \dots \quad (8.7)$$

$$\theta_s = \tan^{-1} \frac{H_s}{2L_s}$$

図・表は省略

- 6. 用途係数 I_W はJIS C 8955:20178-1)の表5 に示された値(通常の太陽光発電システムは1.0、極めて重要な太陽光発電システムは1.32)を用いる。

- 数値流体解析においては変動風速場の解析が可能なLES(Large Eddy Simulation)の使用を基本とし、【技術資料:実在地形における風速増加に関する数値流体解析】に示された計算上の留意点に従って実施する。
- その際、樹木を適切にモデル化することで、風速増加の影響を適切に評価することができる。
- 設備の供用期間を考慮して再現期間を延長する場合には、基準風速 V_0 に式(8.9)の値を乗じることで、任意の再現期間(t 年)の風圧荷重を設定することができる。

$$\begin{aligned} R_t/R_{50} &= (0.54+0.1 \times \ln(t)) / (0.54+0.1 \times \ln(50)) \\ &= 0.58+0.11 \times \ln(t) \dots \dots \dots (8.9) \end{aligned}$$

8. 設計荷重

8.3.2 風力係数（ガイドラインp.58～）

1. アレイ面の風力係数 C_a は風洞実験によって定める。ただし、表8-4(JIS C 8955:2017の表6)に示された設置形態(一般的な地上設置型)の場合、式(8.10)、式(8.11)によって算出してもよい。このとき、**アレイ面の傾斜角 θ** は表8-5を参考に設定する。
2. 支持物構成材の風力係数は、風洞実験によって定める。単体部材の断面形式がJIS C8955:20178-1)の表7に示された断面形状に該当する場合、同表の値を用いてもよい。環境係数 E は、式(8.4)によって算出する。

順風（正圧）の場合

$$C_a = 0.35 + 0.055\theta - 0.0005\theta^2 \dots\dots\dots (8.10)$$

ただし、 $5 \text{度} \leq \theta \leq 60 \text{度}$

逆風（負圧）の場合

$$C_a = 0.85 + 0.048\theta - 0.0005\theta^2 \dots\dots\dots (8.11)$$

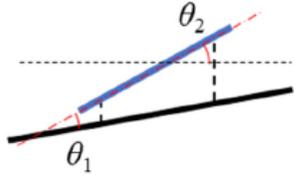
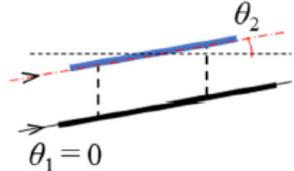
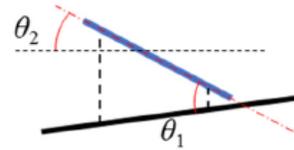
ただし、 $5 \text{度} \leq \theta \leq 60 \text{度}$

↑ JIS C 8955と同じ

8. 設計荷重

8.3.2 風力係数 (ガイドラインp.58~)

表 8-5 アレイ面の傾斜角 θ の設定方法

傾斜地とアレイ面の関係	斜面の中腹	斜面の端部 (のり肩・のり尻)近傍
$\theta_1 < \theta_2$ の場合 	$\theta = \theta_1$	$\theta = \theta_2$
$\theta_1 = 0$ (地盤面と平行) の場合 	$\theta = 0$	$\theta = \theta_2$
$\theta_1 > \theta_2$ の場合 	$\theta = \theta_1$	$\theta = \theta_1$

θ_1 : 地盤面とアレイ面の相対角 θ_2 : 水平面とアレイ面の相対角

↑ 2021年版から変更なし

8. 設計荷重

8.3.2 風力係数 (ガイドラインp.58～)

- 傾斜地に設置される太陽光発電設備のアレイ面に作用する風力係数については既往の研究事例が少なく不明な点が多い。
- 既往の研究結果においては、傾斜地の地盤面とアレイ面との相対角(表8-5 に示す θ_1)を用いて風力係数を算出することで安全側の風圧荷重を設定できる可能性が示されている。
- ただし、【技術資料: 傾斜地に設置された太陽電池アレイの風力係数に関する風洞実験】に示す実証実験の結果では、のり肩やのり尻に設置されたアレイでは、上述の方法では風力係数を過少に与える場合があることがによって確認されている。
- 斜面ののり肩、のり尻にアレイを設置する場合には、風洞実験によって風力係数を設定することを原則とするが、実証実験の結果から検討した風力係数の割り増しについて検討した結果は次のとおりである。

のり肩に設置されるアレイの正の風力係数

$$C_a = (0.35 + 0.055\theta - 0.0005\theta^2) E_g^2 \dots\dots\dots (8.12)$$

E_g : 風速割り増し係数 (式 (8.7) 参照)

ただし、 $5 \text{ 度} \leq \theta \leq 30 \text{ 度}$

のり尻に設置されるアレイの負の風力係数

$$C_a = (0.85 + 0.048\theta - 0.0005\theta^2) \times (0.06\phi + 1) \dots\dots\dots (8.13)$$

ϕ : 傾斜地の勾配 (度)

ただし、 $5 \text{ 度} \leq \theta \leq 30 \text{ 度}$ かつ $0 \text{ 度} \leq \phi \leq 30 \text{ 度}$

8. 設計荷重

8.4 積雪荷重 (ガイドラインp.61～)

1. 設計用積雪荷重は、式(8.14)によって算出する。

$$S_p = C_s \times P \times Z_s \times A_s \times 100 \dots \dots \dots (8.14)$$

ここで S_p : 積雪荷重 (N)
 C_s : 勾配係数
 P : 雪の平均単位荷重 (積雪 1cm 当たり N/m^2)
 Z_s : 地上垂直積雪量 (m)
 A_s : 積雪面積 (アレイ面の水平投影面積) (m^2)
※ C_s 、 P 、 Z_s は JIS C 8955:2017⁸⁻¹⁾による。

← JIS C 8955
と同じ

2. アレイ面の上端から下端までの水平投影長さ10m 以上かつアレイ面の水平面に対する傾斜角度が15 度以下の場合、平成19 年国土交通省告示第594 号に従って割増荷重を考慮する。
3. アレイ面の下端に作用する積雪荷重(軒先荷重)は、必要に応じて地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2019 年版の技術資料B を参考に適切に設定する。
4. 傾斜地における積雪に伴うグライド現象やクリープ現象によって太陽光発電設備の基礎や架台への雪圧が作用することが懸念される場合、それらの荷重を適切に考慮する。

8. 設計荷重

8.4 積雪荷重（軒先荷重）

- アレイの下端部でアレイ上面の滑落雪が滞ると、アレイ面が緩傾斜の場合にはゆっくりとした滑動によってアレイ面積雪が軒先からせり出し、そのせり出した分の積雪荷重が軒先に作用する。
- 一方、アレイ面が急傾斜の場合には、アレイ面の軒下とで生じる積雪沈降量の差異によって沈降荷重が軒先に作用する(図8-4 参照)。
- 積雪被害においては、この軒先荷重によってアレイ下端が下方向に折れ曲がる被害が多くみられるので、軒先荷重の考慮は重要である。
- 軒先荷重を考慮する条件は、アレイ面の長さにもよるが、アレイ下端の高さが地上垂直積雪量のおおむね2倍 ($h/ZS \leq 2$) 以下となる場合である。

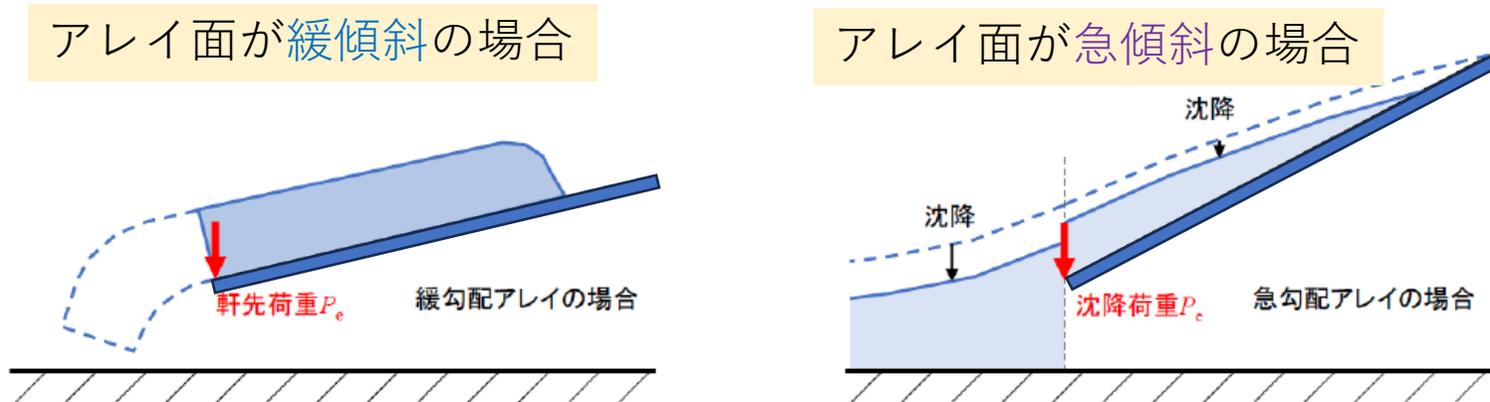


図 8-4 軒先荷重のメカニズム (8-7)

8. 設計荷重

8.4 積雪荷重（軒先荷重：つづき）

- 建築物荷重指針（日本建築学会）では、積雪の沈降荷重 F_{smax} (kN/m) について、以下の荘田の式(8.15)及び中俣・須藤の式(8.16)が示されている。

荘田の式 $F_{smax} = 9.8 \times 1.7(S_{max}/9.8)^{1.5} \dots\dots\dots (8.15)$

中俣・須藤の式 $F_{smax} = 1.4S_{max} \dots\dots\dots (8.16)$

S_{max} : 最大積雪荷重(kN/m²)

- 実測調査の結果（次頁）によれば、**平地**に設置された太陽電池アレイの**軒先荷重**は**中俣・須藤の式の値の2/3に概ね対応**しており、この値を用いることが望ましい。
- **傾斜地**の場合は荘田の式及び**中俣・須藤の式に対応**しているケースが見られるものの、軒先荷重が**平地に比べて小さくなる**ケースも存在している。
- **平地に比べて小さくなる**ケースでは、アレイ全体が積雪に覆われ、棟側にも沈降荷重が作用するため、軒先荷重が減少していると推測される。
- 一方、アレイ全体が積雪に覆われると勾配係数が大きくなる（アレイ全体の積雪荷重が増加する）ので、軒（アレイ下端）の高さは少なくとも設計用積雪深程度に設定する必要がある。
- そのうえで、軒先荷重は荘田の式や須藤・中俣の式の値（2/3の値ではない）を用いて**算定**することが望ましい。

8. 設計荷重

8.4 積雪荷重 (軒先荷重: つづき)

アレイ全体が積雪で覆われると棟側に沈降荷重が作用し、軒先荷重を低減させる

アレイ全体が雪で覆われている状況では、勾配係数が大きくなる(アレイ全体の積雪荷重が大きくなる)。

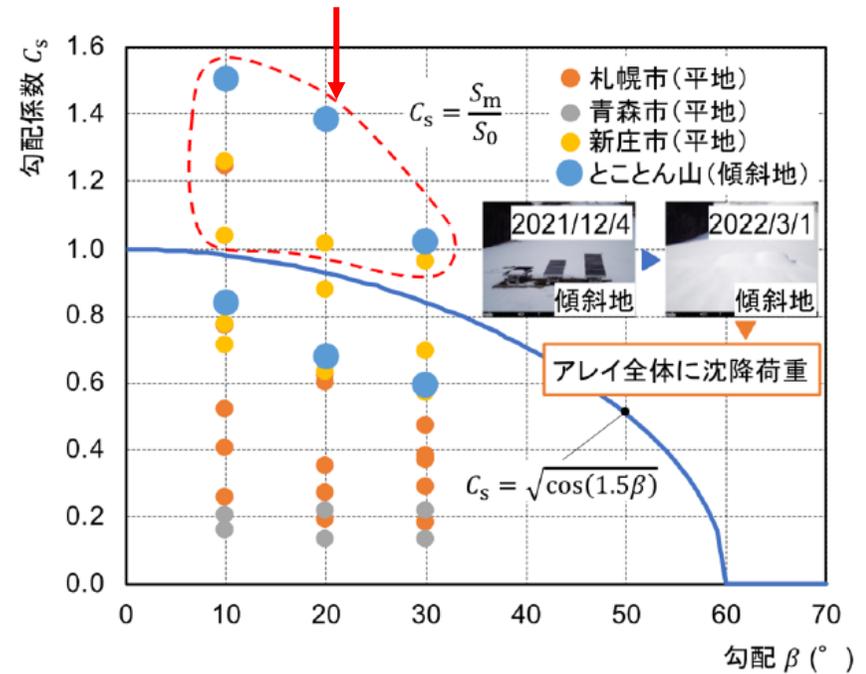
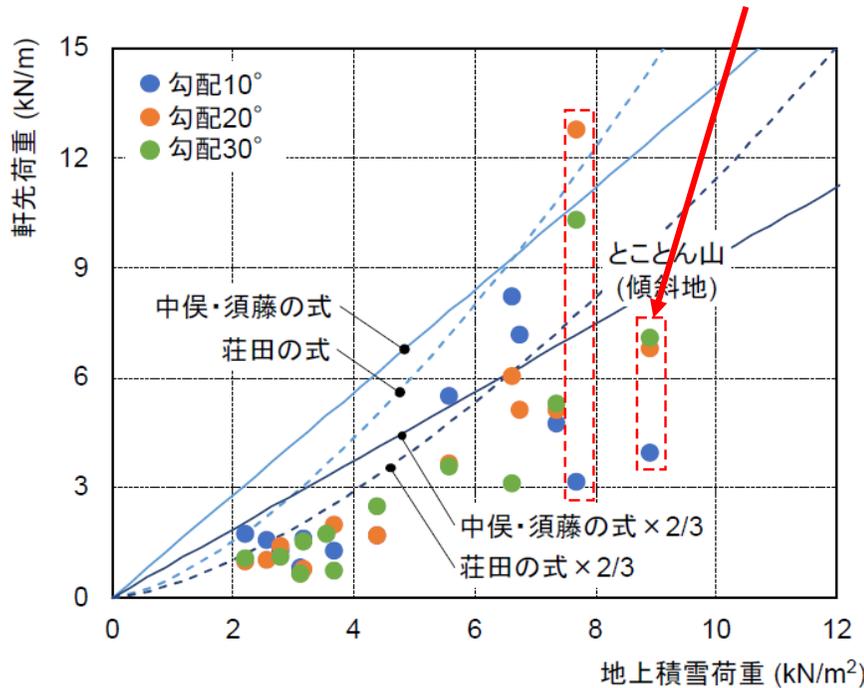


図 8-6 実証実験で得られた地上積雪荷重と軒先荷重との関係

図 8-7 実証実験で得られた勾配βと勾配係数Csとの関係

8. 設計荷重

8.4 積雪荷重（架台や基礎への雪圧）

- 傾斜地においては積雪層のグライド(積雪層が地表面を境界として下方に移動する現象)やクリープ(重力による積雪層の塑性変形)によって架台や基礎に斜面雪圧が作用することが懸念されるので、必要に応じてこれらの荷重も考慮することが必要である。
- 斜面に並行な雪圧を S_N (kN/m)、積雪の単位荷重を γ_s (kN/m³)、設計積雪深を H_s (m)、クリープ係数を K 、グライド係数を N で表すと、雪圧 S_N は以下の式(8.17)で算定される。

$$S_N = \gamma_s \frac{H_s^2}{2} KN \dots\dots\dots (8.17)$$

- 積雪の単位荷重 γ_s ごとに示されている値に $\sin 2\phi$ を乗じるとクリープ係数 K が算定される。なお、表中にない積雪の単位荷重の場合は、直線補間で求める。

表 8-6 クリープ係数 K

γ_s (kN/m ³)	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

8. 設計荷重

8.4 積雪荷重（架台や基礎への雪圧：つづき）

- 除雪・防雪ハンドブックによると、グライド係数 N は、雪質の地域特性を考慮するとともに、地表の状態及び方位を基に、表8-7 及び表8-8 に示す値としている。
- グライド係数は、全層雪崩が発生する恐れのある斜面、すなわち、勾配25～30 度以上の斜面で適用されると捉えることができる。
- 緩斜面に対しては、グライド係数 N を1.0 に設定し、斜面積雪のクリープ変形に起因する雪圧を算定することで十分であるとする。

表 8-7 本州におけるグライド係数 N

地表の状態 (植生等)	北向き斜面	南向き斜面 (東西を含む)
I・玉石（φ30cm 以上）の斜面 ・大岩の凹凸面	1.8	2.0
II・れき（φ30cm 以下）の斜面 ・丈 1m 以上のかん木地 ・50cm 以上の凹凸地面	2.4	2.7
III・小さいかん木地 ・50cm 以下の凹凸地面 ・草地	3.0	3.6
IV・平滑岩盤 ・葉の長い草地 ・湿地	3.9	4.8

表 8-8 北海道におけるグライド係数 N

地表の状態 (植生等)	北向き斜面	南向き斜面 (東西を含む)
I・玉石（φ30cm 以上）の斜面 ・大岩の凹凸面	1.2	1.3
II・れき（φ30cm 以下）の斜面 ・丈 1m 以上のかん木地 ・50cm 以上の凹凸地面	1.6	1.8
III・小さいかん木地 ・50cm 以下の凹凸地面 ・草地	2.0	2.4
IV・平滑岩盤 ・葉の長い草地 ・湿地	2.6	3.2

10. 架台設計

10.2 架構形式と構造解析モデル(ガイドラインp.69～)

1. 架台はx 方向、y 方向(一般的には東西方向、南北方向)のいずれの構面についても安定構造とする。
2. 架台の構造解析モデルでは、部材、接合条件、柱脚部の支持条件を正しく設定し、架台の実情を正しく再現したものとする。
3. 接合部が偏心している場合、構造解析モデルにおいても、その偏心が考慮されていることを基本とする。接合部での偏心を反映できない場合、別途、構造計算により求めた応力を用いて偏心による付加応力を求め、部材の断面算定においてはその応力を反映させる。
4. 杭基礎の場合、上部構造と杭を一体とした構造のモデル化を行う。ただし、杭の変位が微小であり、上部構造の応力状態への影響が軽微である場合、この限りではない。

- 傾斜地に設置される太陽電池アレイの場合、平地での施工と比較して、**傾斜面での施工性の低下**や**地盤の固さのばらつき**による**一部の杭基礎の抵抗力低下の懸念**がある。
- そのため構造設計に当たっては、**一部の杭基礎の抵抗力が低下していても架台の安定性を保持**するような冗長性を持った設計が望ましい。
- **杭基礎に不良がある場合**の耐風圧試験による**架台耐力の低下**については、【**技術資料:太陽光発電用架台の耐風性能試験(一部杭基礎支持力が不足している場合)**】にまとめているため参考にされたい。

10. 架台設計

10.2 架構形式と構造解析モデル(ガイドラインp.69～)

1. 架台はx 方向、y 方向(一般的には東西方向、南北方向)のいずれの構面についても安定構造とする。
2. 架台の構造解析モデルでは、部材、接合条件、柱脚部の支持条件を正しく設定し、架台の実情を正しく再現したものとする。
3. 接合部が偏心している場合、構造解析モデルにおいても、その偏心が考慮されていることを基本とする。接合部での偏心を反映できない場合、別途、構造計算により求めた応力を用いて偏心による付加応力を求め、部材の断面算定においてはその応力を反映させる。
4. 杭基礎の場合、上部構造と杭を一体とした構造のモデル化を行う。ただし、杭の変位が微小であり、上部構造の応力状態への影響が軽微である場合、この限りではない。

- 傾斜地に設置される太陽電池アレイの場合、平地での施工と比較して、**傾斜面での施工性の低下**や**地盤の固さのばらつき**による**一部の杭基礎の抵抗力低下の懸念**がある。
- そのため構造設計に当たっては、**一部の杭基礎の抵抗力が低下していても架台の安定性を保持**するような冗長性を持った設計が望ましい。
- **杭基礎に不良がある場合**の耐風圧試験による**架台耐力の低下**については、【**技術資料:太陽光発電用架台の耐風性能試験(一部杭基礎支持力が不足している場合)**】にまとめているため参考にされたい。

11. 基礎の設計

11.3 直接基礎の設計(ガイドラインp.72～)

※2021年版から変更なし

1. 直接基礎の設計は、架台と同様に許容応力度設計とする。
2. 直接基礎の基礎底面の大きさは、不同沈下を避けるため、長期荷重時により生じる地盤の最大接地圧が地盤の長期許容応力度(極限支持力度に対する安全率3)以下となるようにし、かつ、接地圧はできる限り等分布の接地圧分布で、同じアレイの基礎は同程度の接地圧になるようにすることが望ましい。特に、地盤が軟弱あるいは一様でない場合には注意して計画する。また、短期荷重時において生じる地盤の最大接地圧が、地盤の短期許容応力度(極限支持力度に対する安全率1.5)を超過しないようにする。
3. 短期荷重時は柱脚部に上部構造からの圧縮力と水平力が同時に働くため、基礎底面では圧縮力に加えてモーメントが作用する。このため接地圧は台形あるいは三角形分布となるが、その最大値が地盤の短期許容応力度を超えないようにする。また、水平力による転倒及び滑動について検討を行う。さらに、基礎の中心と支柱の中心にずれがある(偏心している)場合には、偏心モーメントによる影響も考慮する。
4. 偏土圧を受ける基礎の場合は、長期及び短期のいずれの荷重時においても接地圧が台形あるいは三角形分布となるので、それぞれの最大値が地盤の長期及び短期許容応力を超えないようにする。また、水平力による転倒及び滑動について検討を行う。
5. 基礎と上部構造との固定は、基礎に設置されたアンカーボルトなどによって架台の土台あるいは柱脚を堅固に緊結する。アンカーボルトの定着に特殊な方法を用いる場合、力の作用方向によって基礎に割裂破損が生じないことを確認する。

11. 基礎の設計

11.3 直接基礎の設計(ガイドラインp.72～)

※2021年版から変更なし

6. 風の負圧による浮き上がり力に対し、アレイ全体の自重により十分に抵抗できるような基礎自重とする。この時の安全率は1.5以上とする。
7. 基礎の水平抵抗力(地盤の摩擦抵抗力と受働土圧の合計)は、風圧荷重または地震荷重により柱脚に働く水平力に対して十分に抵抗できるように設定する。この時の安全率は1.5以上とする。
8. 基礎底面での摩擦抵抗力は基礎底盤下面における鉛直力に地盤の摩擦係数(μ)を乗じて求める。この時の鉛直力は全鉛直荷重から柱脚部に働く引抜き力を減じる。
9. 地盤の摩擦係数(μ)は、地盤条件とともに、基礎底面の形状・施工条件を考慮して決める。土質試験などを実施しない場合、表11-1などを参考に μ の値を設定する。
10. 受働土圧は建築基礎構造設計指針11-2)の4.3節を参考に設定する。
11. 傾斜地ののり肩付近に直接基礎が設置される場合には、建築基礎構造設計指針11-2)の5.2節を参考に地盤の極限支持力度が低下することを考慮する。
12. 急傾斜地の場合は、基礎側面に作用する偏土圧の影響を考慮する。
13. 基礎及び架台の自重による安定モーメントは架台から伝達される荷重による転倒モーメントを上回るように決定する。このときの安全率を1.5以上とする。
14. **地盤の凍結が想定される地域では凍上対策を検討する。**

11. 基礎の設計

11.3 直接基礎の設計(ガイドラインp.72~)

- 寒冷地において、地盤が凍上性を有する土質の場合には(凍上性の確認は5.2.7を参照)、凍結深さまで凍上を起こしにくい材料で置き換える置換工法を実施するか、凍上を発生させない対策を講じる必要がある。
- 独立基礎、布基礎を用いることは凍上対策として有効である。
- 実証実験の結果より、埋設深さは地表面からフーチング上面までの深さとして、予測される最大凍結深さの1.2倍程度の深さで設計することで凍上を防ぐことができる。
- ただし、当該箇所の地質が極めて高い凍上性を有している場合や、上部構造が凍上変位を許容できないような場合には、断熱工法や置換工法などを併用した凍上対策についても、検討することが望ましい。

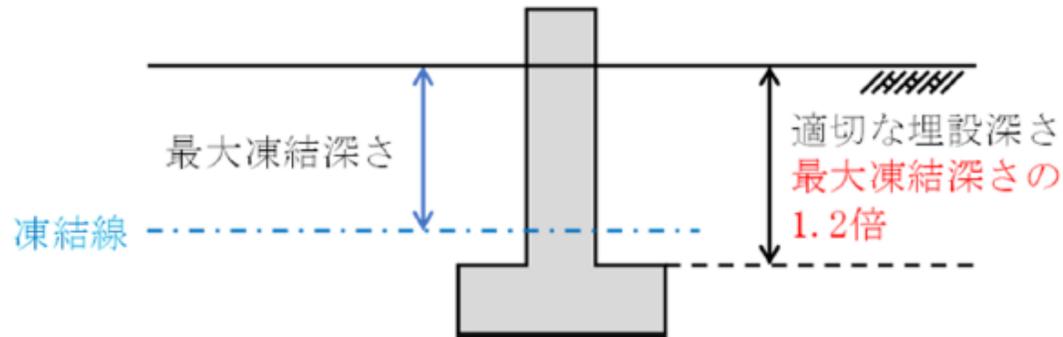


図 11-4 独立基礎及び布基礎の適切な埋設方法

11. 基礎の設計

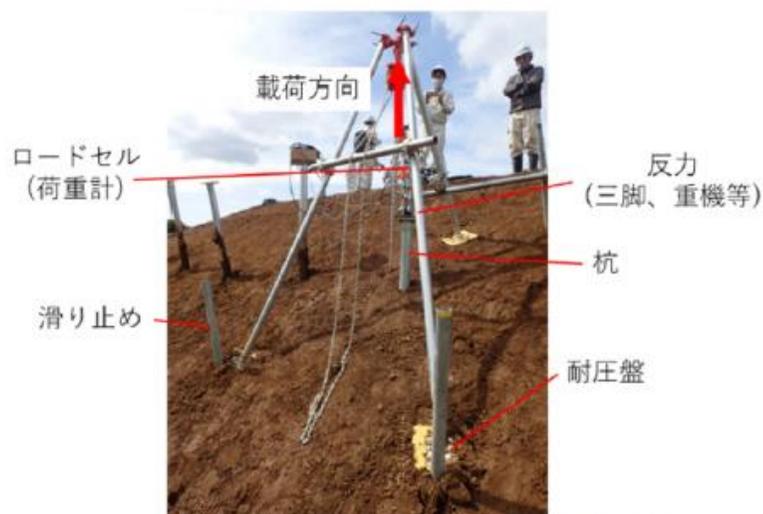
11.4 杭基礎の設計(ガイドラインp.74～)

1. 杭基礎の杭体の設計は、架台と同様に許容応力度設計とする。
2. 杭基礎に使用する材料には、使用目的や地盤条件に適したものを選定する。
3. 杭基礎の杭芯と上部構造柱芯に偏心がある場合、これを考慮した金具などを準備し、ボルトなどで緊結する。
4. 杭の長期許容支持力は、地盤から定まる長期許容支持力と杭体の長期許容耐力のうち、小さい値とする。
5. 杭の短期の許容支持力及び許容引抜き抵抗力は、地盤から定まる短期の許容支持力及び許容引抜き抵抗力と杭体の短期許容耐力のうち、小さい値とする。
6. 杭の許容支持力及び許容引抜き抵抗力は、載荷試験を行い、求める。
7. 杭の長期許容支持力は極限支持力の $1/3$ 、杭の短期許容支持力は極限支持力の $2/3$ とする。杭の短期許容引抜き抵抗力は、極限引抜き抵抗力の $2/3$ とする。
8. 杭の水平抵抗力及び水平変位は、水平載荷試験によって求められた水平地盤反力係数をもとに、建築基礎構造設計指針11-2)に示されている水平抵抗算定式を用いて求める。
9. **地盤の凍結が想定される地域では凍上対策を検討する。**

11. 基礎の設計

11.4 杭基礎の設計(ガイドラインp.74~)

- 傾斜地において杭の載荷試験を行う場合、重機を使用した試験が困難な場合がある。
- 人力での運搬及び試験を行う際は反力装置の足場が下り勾配方向へ滑ることが考えられ、その防止策を考慮する必要がある。
- 杭の水平抵抗力は、傾斜地の下り勾配方向が小さくなるため、設計荷重と載荷方向を考慮して安全性を確認する必要がある。



(a) 引抜き載荷試験の状況



(b) 反力用の滑り止め



(c) 水平載荷試験の状況

11. 基礎の設計

11.4 杭基礎の設計(ガイドラインp.74~)

- 寒冷地において、地盤が凍上性を有する土質の場合には(凍上性の確認は5.2.7を参照)、凍結深さまで凍上を起こしにくい材料で置き換える置換工法を実施するか、凍上を発生させない対策を講じる必要がある。
- スパイラル杭(スクリュー杭)を用いることは凍上対策として有効である。
- 実証実験の結果から、スパイラル杭を最大凍結深さの2倍から3倍程度深く埋設することで、凍上対策として高い効果が得られることが明らかとなっている。
- 鋼管杭やH型鋼の杭、羽根の小さなスクリュー杭等でも、埋設深さが適切であれば、凍上による変位を低減することができる。

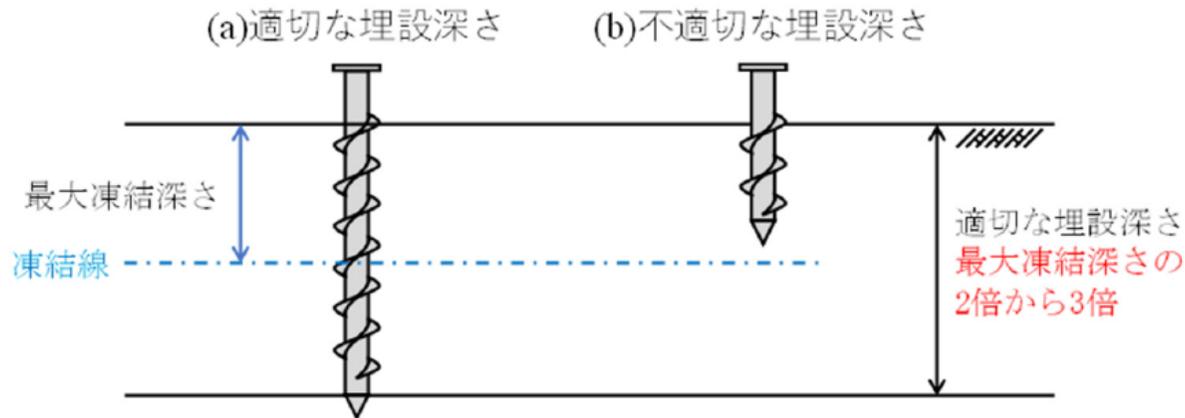


図 11-7 杭基礎の適切な埋設方法

14. 施工 ※施工計画・管理、施工時の安全対策に関する記載を充実化

14.1 一般共通項目（ガイドラインpp.81-84）

- ・設置場所の諸条件を勘案し、設計で求める要求性能を満足するように施工する。
- ・設計の意図するところを理解し、要求性能が満足されるように施工する。
 - 現場が設計時の想定と異なる場合もあり、設計図面どおりの施工が困難な場合は、工法変更等の対応が必要となる。
施工者は、設計の意図を理解した上での判断が必要。
- ・施工時に得られた情報を維持管理計画に反映する。
- ・施工結果を竣工図書としてまとめる。
 - 供用中に点検や維持補修を行う際、施工状況の把握が重要。
施工結果の確実な記録・引き継ぎが重要。
- ・安全に関する関係法令にもとづき適切に安全管理を行い、事故や災害防止に努める。

15. 維持管理計画

※のり面保護工の維持管理に関する実証試験結果等を追記

15.1 一般共通事項（ガイドラインp.85）

- ・予め**維持管理計画書**を作成した上で維持管理を実施する必要がある。
- ・維持管理に関する**専門的知識・技術を有する者**の意見を反映する。
- ・維持補修内容を**記録**し、供用期間に亘って**保存**する。

15.2 地盤・排水（ガイドラインpp.85-87）

- ・地盤、排水施設は**定期的に点検**を行い、必要に応じて**維持補修**を行う。
- ・軽微な変状を**放置**した場合、そこを起点として**変状連鎖**により大規模な変状に発展し、災害を引き起こす可能性を認識する必要がある。
→ 変状の**早期発見**、**早期対応**することが重要。

アレイ下部でののり面保護工（植生工や側溝など）については、以下を考慮して維持管理することが望ましい（図 15-1 および 6.4 節参照）。

- ・ アレイ面水下側から直接地盤への集中的な雨だれの地盤侵食の有無
- ・ 排水溝の詰まり
- ・ アレイ下部の植生の状態

アレイ下部のり面保護工の有効性や問題点については、【技術資料：傾斜地における地盤侵食に関する実測調査結果】にまとめているため参考にされたい。

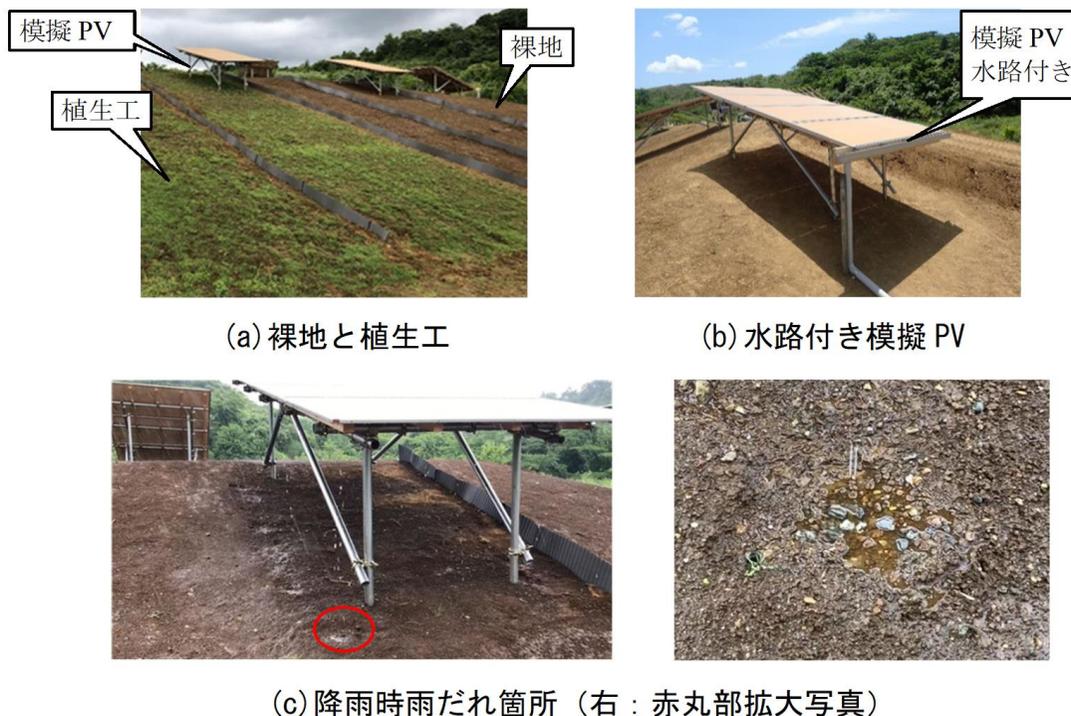


図 15-1 のり面保護工（植生工）の有効性に関する実測調査（千葉県君津市）

（ガイドラインp.86抜粋）

終わりに

- 地盤内部は目に見えず、物性のバラツキが大きく(人工物ではない)、時間経過により劣化するため、調査～設計の不確実性が大きい。
- 調査、設計にも限界があるため、事前の適地選定を慎重に行うこと、過去の被災履歴を参考とすることや、施工時に得られた想定と異なる情報をフィードバックすることも重要。
- 設置した発電設備が崩壊した場合でも、周辺の人家や環境に被害を及ぼさないような準備が必要。
- 斜面の調査、設計等には高度な技術を要するため、専門家の協力を得て対応していくことも重要。
- 近年の自然災害の規模拡大にも十分に配慮し、本ガイドラインのほか、最新の関連法令や技術指針等にも適合させることが必要。

ご静聴ありがとうございました。