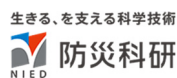
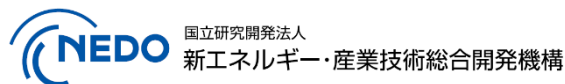


傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン

2023 年版

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」の結果として得られたものです。

2023 年 4 月 28 日



修正履歴

| 頁 | 該当箇所 | 修正概要 | 備考 |
|----|---------|------|---------------|
| 57 | 式(8.7) | 式の修正 | 2023/06/01 修正 |
| 58 | 式(8.10) | 式の修正 | 2023/06/01 修正 |
| 58 | 式(8.11) | 式の修正 | 2023/06/01 修正 |
| 60 | 式(8.13) | 式の修正 | 2023/06/01 修正 |

修正内容の詳細については別添「正誤表：傾斜地設置型ガイドライン 2023」参照

はじめに

2021年10月に閣議決定された第6次エネルギー基本計画において、2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、「再生可能エネルギーの主力電源化を徹底し、再生可能エネルギーに最優先の原則で取り組み、国民負担の抑制と地域との共生を図りながら最大限の導入を促す。」とされ、具体的には「地域と共生する形での適地確保、コスト低減、系統制約の克服、規制の合理化、研究開発などを着実に進めていく。こうした取組を通じて、国民負担の抑制や、電力システム全体での安定供給の確保、地域と共生する形での事業実施を確保しつつ、導入拡大を図っていく。」との方針が示されました。さらには、昨年2月のロシアによるウクライナ侵略以降、エネルギー安定供給の確保が世界的に大きな課題となる中、GX（グリーントランスフォーメーション）を通じて脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の3つを同時に実現するべく、2023年2月に「GX実現に向けた基本方針」が閣議決定され、再生可能エネルギーについては、改めてその重要性が強調されている状況にあります。

こうした中で、特に、太陽光発電については、2012年のFIT制度開始後に急速に拡大した一方で、台風、積雪、豪雨など自然事象による被害が少なからず発生しており、太陽光発電設備の安全性に対する地域の懸念が高まっています。

このような状況の下、これまでに国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、太陽光発電システムの自然災害や経年劣化に対して安全性と経済性を確保するため「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2017年版」を作成、その後架台や基礎の強度や腐食の進行に関する実証実験を行い、その結果を基に、より合理的かつ安全性の高い設計方法を盛り込んだ「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」（<https://www.nedo.go.jp/content/100895022.pdf>）を公開してきました。

他方、近年では太陽光発電の建設に適した場所の減少に伴い、傾斜地や農地、さらには水上へと太陽光発電の設置環境が拡大しています。これらの特殊な設置環境での太陽光発電は、一般的な地上設置型の太陽光発電より設計や施工上の難易度が高く、地方自治体の条例において太陽光発電への要求事項として安全対策が求められつつありますが、それらを満足させる方法については具体的に示されていません。その背景には、これらの設備の設計・施工に関する知見が極めて少なく、また、その知見が集約されてこなかったことにあります。

このため、NEDOの委託事業「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発／安全性・信頼性確保技術開発（特殊な設置形態の太陽光発電設備に関する安全性確保のためのガイドライン策定）」の一環としてこれまでに得られた知見をまとめ、「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」に上記の特殊な設置環境の構造設計、電気設計・施工の項目を加えた設計・施工ガイドラインを2021年11月に公開しました（https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100060.html#sp）。その後、各種設置形態への適用性をより向上させるため、各種実証実験結果などを反映し、ガイドラインを改定

しました。本ガイドラインが今後、上記の環境における太陽光発電設備の設置で参考になれば幸いです。

最後になりましたが、本ガイドラインの作成にあたり、「太陽光発電の安全性・信頼性確保技術推進委員会」の皆様をはじめ、経済産業省、NEDO事業に参加頂いている企業や研究機関など、多くの方々のご協力を賜りました。この場をお借りして、厚くお礼を申し上げます。

本ガイドラインの位置付け

| | | 法規制 | 規格 | ガイドライン |
|------|-------------|---|--|---|
| 構造設備 | 構造物 建物設置 | <ul style="list-style-type: none"> 電気事業法 電技省令 電技解釈及び解説 発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令 発電用太陽電池設備に関する技術基準の解釈 発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈に関する逐条解説 | JIS C 8955 : 2017 | 日本風工学会 ハンドブック |
| | 地上設置 | | | 地上設置型 設計ガイドライン |
| | 傾斜地設置 | | | 太陽光発電システムの設計・ 施工ガイドライン (傾斜地設置型・営農型 ・水上設置型) |
| | 水上設置 | | | |
| | 営農型設置 | | | |
| 電気設備 | 太陽電池モジュール | <ul style="list-style-type: none"> 急傾斜地法（指定の有無） | JIS C 8992、8954、8951 IEC JIS C 8980、8961 IEC、JESC系統連携規定 | JPEA 水没安全 ガイド AIST 直流電気安全 手引きと技術情報 |
| | 周辺機器 | <ul style="list-style-type: none"> 農地転用に係る取扱通知 (営農型太陽光発電) | | |
| 施工管理 | 一般 | | | JPEA 設計と施工 改訂5版 |
| 保守管理 | 発電能力 安全性 | <ul style="list-style-type: none"> 改正FIT(点検・保守) | JIS C 8907、8953 | JPEA 保守点検ガイドライン |
| | 設備維持 | | | JPEA 事業の評価ガイド 経産省 事業計画策定ガイドライン |

本書作成関係委員会

—五十音順・敬称略—

特殊な設置形態の太陽光発電設備に関する安全性確保のためのガイドライン策定委員会

| | | |
|--------|-------------------------------|--------------------|
| 委員長 | 植松 康 | (秋田工業高等専門学校) |
| 副委員長 | 西川 省吾 | (日本大学) |
| 委員 | 植田 譲 | (東京理科大学) |
| | 飯嶋 俊比古 | (飯島建築事務所) |
| | 居駒 知樹 | (日本大学) |
| | 奥田 泰雄 | (建築研究所) |
| | 重光 達 | (大成建設) |
| | 篠原 正 | (腐食防食学会) |
| | 田村 良介 | (NTTファシリティーズ) |
| | 土屋 星 | (三井住友建設) |
| | 馬上 丈司 | (千葉エコ・エネルギー) |
| | 鉤 裕之 | (東京電気管理技術者協会) |
| | 松浦 純生 | (京都大学防災研究所) |
| | 宮本 裕介 | (関電工) |
| | 安富 強 | (京セラ) ※途中交代 |
| | 後藤 耕司 | (京セラ) |
| | 山崎 雅弘 | (関西大学) ※途中交代 |
| | 金子 治 | (広島工業大学) |
| | 山中 秀文 | (大阪ガス) |
| 事務局 | 井上 康美 | (太陽光発電協会) |
| | 榎本 哲也 | (デロイトトーマツコンサルティング) |
| | 大関 崇 | (産業技術総合研究所) |
| | 高森 浩治 | (構造耐力評価機構) |
| | 渡辺 健二 | (八千代エンジニアリング) |
| | 中村 大 | (北見工業大学) |
| | 大野 慶詞 | (キョーラク株式会社) |
| (再委託先) | 安達 聖 | (防災科学研究所) |
| | 谷口 徹郎 | (公立大学法人大阪 大阪公立大学) |
| | 千葉 隆弘 | (北海道科学大学) |
| オブザーバー | 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 | |
| | 新エネルギー部 太陽光発電グループ | |
| | 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 | |
| | 新エネルギー課 | |
| | 経済産業省 商務情報政策局 産業保安グループ 電力安全課 | |

環境省 大臣官房 環境影響評価課
農林水産省 林野庁 森林整備部 治山課

独立行政法人 製品評価技術基盤機構
一般社団法人 再生可能エネルギー長期安定電源推進協会
一般社団法人 太陽光発電協会（太陽光発電事業者連絡会、
公共産業部会、O&Mスマート保安タスクフォース）
一般社団法人 電気設備学会
一般社団法人 日本太陽光発電検査技術協会
一般社団法人 日本電気協会
一般社団法人 日本電機工業会
株式会社資源総合システム

風荷重WG（◎主査、○幹事）

- | | |
|--------------------|-------------------|
| ◎ 植松 康（秋田工業高等専門学校） | ○ 高森 浩治（構造耐力評価機構） |
| 相原 知子（大成建設） | 井上 康美（太陽光発電協会） |
| 大関 崇（産業技術総合研究所） | 大竹 和夫（竹中工務店） |
| ガヴァンスキ江梨（構造耐力評価機構） | 菊池 浩利（清水建設） |
| 木村 吉郎（東京理科大学） | 作田美知子（三井住友建設） |
| 染川 大輔（大林組） | 谷口 徹郎（大阪公立大学） |
| 田村 良介（NTTファシリティーズ） | 中川 尚大（前田建設工業） |
| 松本 知大（建材試験センター） | 丸山 敬（京都大学） |
| 山本 学（鹿島建設） | 吉田 昭仁（東京工芸大学） |

オブザーバー

- | | |
|--------------------|----------------|
| 小西 康郁（東北大学流体科学研究所） | 奥地 誠（構造耐力評価機構） |
|--------------------|----------------|

目次

| | |
|---------------------------------|-----------|
| はじめに..... | i |
| 本書作成関係委員会..... | iii |
| 1. 総 則 | 4 |
| 1.1 本ガイドラインの利用上の注意 | 4 |
| 1.2 適用範囲 | 5 |
| 1.3 引用規格、参考資料 | 6 |
| 1.4 用語・記号の定義..... | 6 |
| 1.5 構造設計方針..... | 11 |
| 1.6 電気設計方針..... | 12 |
| 1.7 施工管理方針..... | 13 |
| 2. 被害事例..... | 15 |
| 2.1 豪雨被害..... | 15 |
| 2.2 強風被害..... | 16 |
| 3. 構造設計・施工計画..... | 18 |
| 3.1 設計フロー（構造）..... | 18 |
| 3.2 施工フロー（構造）..... | 19 |
| 4. 電気設計・施工計画..... | 20 |
| 4.1 設計フロー（電気）..... | 20 |
| 4.2 施工フロー（電気）..... | 20 |
| 5. 事前調査..... | 22 |
| 5.1 資料調査..... | 22 |
| 5.2 現地調査..... | 26 |
| 5.3 地盤調査..... | 30 |
| 5.3.1 原位置試験..... | 31 |
| 5.3.2 スクリューウェイト貫入試験（SWS試験）..... | 31 |
| 5.3.3 標準貫入試験..... | 32 |
| 5.3.4 ラムサウンディング試験..... | 33 |
| 5.3.5 簡易動的コーン貫入試験..... | 33 |
| 5.3.6 土検棒貫入試験..... | 34 |
| 5.3.7 平板載荷試験..... | 34 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 5.3.8 凍上対策の検討..... | 35 |
| 6. 造成計画..... | 42 |
| 6.1 基本事項（基本的な考え方）..... | 42 |
| 6.2 切土・盛土計画..... | 42 |
| 6.2.1 基本的な考え方..... | 43 |
| 6.2.2 切土..... | 44 |
| 6.2.3 盛土..... | 44 |
| 6.3 排水計画..... | 45 |
| 6.4 のり面保護及び斜面崩壊防止計画..... | 48 |
| 6.5 環境・景観対策..... | 49 |
| 7. 太陽電池アレイの配置計画..... | 51 |
| 8. 設計荷重..... | 53 |
| 8.1 想定荷重と荷重の組合せ..... | 53 |
| 8.2 固定荷重..... | 53 |
| 8.3 風圧荷重..... | 54 |
| 8.3.1 設計用速度圧..... | 55 |
| 8.3.2 風力係数..... | 58 |
| 8.4 積雪荷重..... | 61 |
| 8.5 地震荷重..... | 65 |
| 9. 使用材料..... | 67 |
| 9.1 鋼材..... | 67 |
| 9.2 アルミニウム合金材..... | 67 |
| 9.3 コンクリート..... | 67 |
| 9.4 その他材料..... | 68 |
| 10. 架台設計..... | 69 |
| 10.1 傾斜地における架台設計の注意点..... | 69 |
| 10.2 架構形式と構造解析モデル..... | 69 |
| 10.3 構造計算..... | 70 |
| 11. 基礎の設計..... | 71 |
| 11.1 傾斜地における基礎設計の注意点..... | 71 |
| 11.2 基礎形式..... | 71 |
| 11.3 直接基礎の設計..... | 72 |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 11.4 杭基礎の設計 | 74 |
| 12. 腐食防食 | 77 |
| 12.1 架台の腐食と防食 | 77 |
| 12.2 基礎（杭基礎）の腐食と防食 | 77 |
| 13. 電気設備の設計・施工 | 78 |
| 13.1 電気機器の設置場所に関する注意点 | 78 |
| 13.2 配線方法に関する注意点 | 78 |
| 13.3 保守点検を考慮した電気設備計画に関する注意点 | 79 |
| 14. 施工 | 81 |
| 14.1 一般共通項目 | 81 |
| 15. 維持管理計画 | 85 |
| 15.1 一般共通事項 | 85 |
| 15.2 地盤・排水 | 85 |
| 15.3 基礎・架台 | 87 |
| 15.4 電気設備 | 87 |
| 15.5 緊急時の対応 | 88 |

1. 総 則

1.1 本ガイドラインの利用上の注意

本ガイドラインは、太陽光発電システムの構造及び電気に関する設計・施工の要求事項について、建築、土木、電気などの各分野における既往の基規準、指針などの文献をもとに取りまとめたものである。そのため、本ガイドラインでは多くの文献を引用しているが、全てについて詳述できないことから、その趣意、要点、概要についての記載にとどめている。これらについての詳細な内容や解説などについては、引用元の文献を参照されたい。また、構造と電気に関するそれぞれの記載内容については、次のような方針で執筆しているため、これらを理解の上、本ガイドラインを利用して頂きたい。

- ・ 構造関連の内容：基本事項の概要と傾斜地設置型太陽光発電システム特有の内容について記載する。
- ・ 電気関連の内容：基本事項については省略し、傾斜地設置型太陽光発電システム特有の内容のみを記載する。

他方、他省庁においては太陽光発電に係る関連法令の制定やガイドライン策定などが行われている。さらに、地方自治体によってはこれら関係法令が適用されない場合であっても、過去に豪雨などによる被害を受けていることに鑑み、独自に条例、施行規則を定めるとともに、技術的な内容を示した手引き書などを作成し適合を義務づけている事例もある。設計・施工にあたっては、本ガイドラインとともにこれら最新の関連法令等を参照し、適合する必要がある。

表 1-1 設計・施工に関連する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 開発行為の許可基準等の運用について | | 令和 5 年 4 月適用 |
| 不法・危険盛土等への対処方策ガイドライン(案) | 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 |
| 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) | | |
| 太陽光発電の環境配慮ガイドライン | 環境省 | 令和 2 年 3 月公表 |

1.2 適用範囲

1. 本ガイドラインは、傾斜地に設置される地上設置型の太陽光発電システムに適用する。
2. 対象とする基礎は、鉄筋コンクリート造の直接基礎または杭基礎とする。
3. 架台の構造は、鋼構造またはアルミニウム構造とする。
4. 構造設計は、許容応力度設計法に基づいて行う。
5. 太陽電池アレイの最高高さが9mを超えるシステム及び追尾型システムは除外する。

本ガイドラインの適用は、地上設置型太陽光発電システムのうち、傾斜地に設置されるものに限定し、追尾型システムを有する設備や建築物上に設置される設備は適用範囲外とする。対象とする傾斜地の勾配と敷地面積については限定しない。傾斜角 30 度以上で斜面の高さが 5m 以上の急傾斜地^{注)}に設置する場合は、本ガイドラインでの要求のほか、表面侵食、斜面崩壊、土砂流出、基礎・架台の構造安全性及び施工方法について特別な配慮をした上で設置すること。対象傾斜地の勾配の下限の目安は、一般的な水勾配である 2~3% (1.5 度程度) とする。また、太陽光発電設備が設置される地盤が平坦であっても、傾斜地の上端 (のり肩) 及び下端 (のり尻) 付近に位置する場合には、土砂災害のリスクがあるだけでなく、構造上、施工上の配慮が必要であるため、本ガイドラインの適用範囲とする。その範囲は、図 1-1 に示す傾斜地の上端から水平距離が 10m 以内、下端から傾斜地高さの 2 倍 (50m を超える場合は 50m) 以内^{注)}とする。ただし、傾斜地による風圧荷重の増加 (風速増加) については、のり肩から傾斜地の高さの 8 倍までは考慮する。

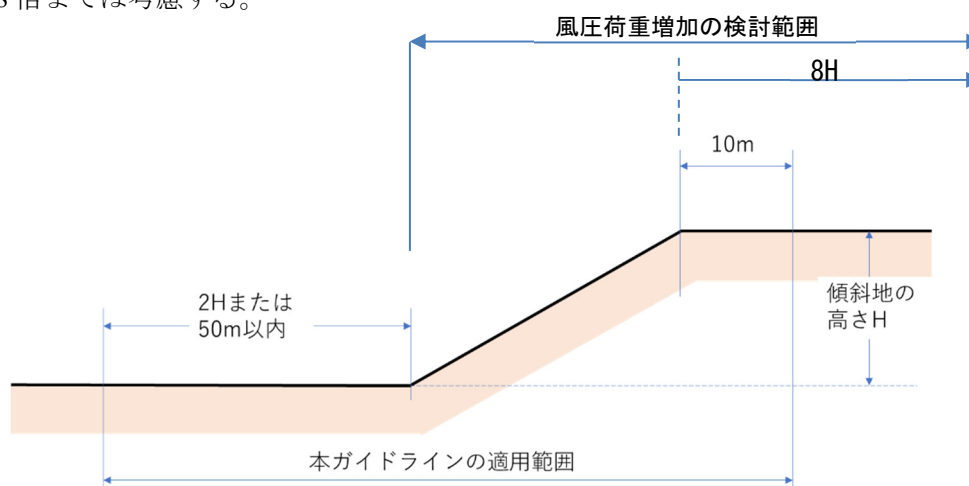


図 1-1 本ガイドラインを適用する範囲

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。

また、発電用太陽電池設備の技術基準を定める省令¹⁻²⁾においては、アレイ面の最高高さが 9m を超える太陽光発電設備では建築基準法での工作物の構造関連規定 (建築基準法施行令第 141 条) に適合することを要求していることから、本ガイドラインでは適用

範囲外とした。適用範囲内である最高高さが 9m 以下の設備においても最高高さがおおむね 4m を超えるような設備については、構造強度と施工の安全性の確保が難しいと推察されるため、本ガイドラインの要求のほかに特別な配慮が必要である。

1.3 引用規格、参考資料

- ・ JIS C 8955:2017 「太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法」
- ・ JIS C 8960:2012 「太陽光発電用語」
- ・ IEC 62548:2016 Photovoltaic (PV) arrays - Design requirements
- ・ 内線規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 配電規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 高圧受電設備規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 系統連系規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 自家用電気工作物保安管理規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 一般社団法人日本建築学会：建築物荷重指針・同解説、2015
- ・ 一般社団法人日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針、2008.
- ・ 国土交通省：宅地防災マニュアル
- ・ 公益社団法人日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説、平成 29 年
- ・ 社団法人日本道路協会：道路土工要綱、平成 21 年
- ・ 公益社団法人地盤工学会北海道支部：寒冷地地盤工学一凍上被害とその対策一、2009
- ・ 公共・産業用太陽光発電システム手引書、一般社団法人太陽光発電協会
- ・ 太陽光発電システムの設計と施工 改訂 5 版、一般社団法人太陽光発電協会
- ・ 太陽光発電システム保守点検ガイドライン、一般社団法人日本電機工業会・一般社団法人太陽光発電協会 技術資料

1.4 用語・記号の定義

本ガイドラインで使用する用語を以下に示す。

| | |
|---------|---|
| I E C | 国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission）。電気及び電子技術分野の国際規格の作成を行う国際標準化機関で、各国の代表的標準化機関から構成されている。 |
| 圧密 | 荷重の作用により土が長い時間をかけて排水しながら体積を減少させる現象。これによる沈下を特に圧密沈下という。 |
| アンカーボルト | 構造物の柱や土台をコンクリート基礎に定着するために埋め込んで用いるボルト。 |
| 液状化 | 砂質土等の地盤で、地震動の作用により粒子間の水圧が急上昇して、液体のような現象。 |
| ガリ | 降水による集約した水の流れによって地表面が削られてできた地形のこと。水に起因した侵食によってできた地形形状のひとつ。リルが発達するとガリになる。雨裂（うれつ）とも呼ばれる。 |

| | |
|-----------|---|
| 含水比 | ある容積の土に含まれる水の質量の、土粒子だけの質量に対する割合で、一般に百分率で表す。 |
| 基礎 | 直接基礎と杭基礎とを総称したもの。 |
| 基礎スラブ | 直接基礎の構造部分で、上部構造からの荷重を分散して地盤に伝達するために必要な面積を確保するスラブまたは片持ちスラブ。底盤、フーチング、ベースともいう。 |
| 極限（鉛直）支持力 | 構造物を支持し得る最大の鉛直方向抵抗力。地盤の支持力のみを指す場合は、地盤の極限支持力（度）とも呼ぶ。 |
| 局部腐食 | 材料表面の腐食が均一ではなく、局部的に集中して生じる腐食であり、一部に極端な腐食が生じる現象。 |
| 許容（鉛直）支持力 | 極限（鉛直）支持力を安全率で除した値で、かつ、部材が許容される応力度以内にあるときの鉛直力。地盤の抵抗力のみを指す場合は、地盤の許容応力（度）とも呼ぶ。 |
| 切土 | 自然斜面地盤の土砂・岩石を取り除いて造成された地盤。 |
| 均一腐食 | 材料表面の大部分にほぼ均一に生じる腐食。全面腐食ともいう。 |
| 杭基礎 | 基礎杭に架台を連結して、架台からの荷重を、杭を介して地盤に伝える形式の基礎。一般的な建築工事のように鉄筋コンクリート基礎の補強として杭を使用する場合は、これを補強杭工法として区別する。 |
| 杭の水平載荷試験 | 杭の頭部に水平力を加える静的な載荷試験。 |
| 傾斜角（度） | 本ガイドラインでは、アレイ面の水平面からの傾斜の度合いを示し、角度（度）で表す。地盤について用いられる場合もある。 |
| 系統連系 | 自家用発電設備を商用電力系統に接続して、運転できるようにすること。連系している商用電力系統の電圧階級及び形態によって、低圧連系、高圧連系、特別高圧連系、スポットネットワーク連系などに区分することもある。 |
| 原位置試験 | 原位置で土などの地盤の物理的特性や力学的特性を調べる試験。 |
| コア土 | ため池などの堤体に用いられる止水を目的とした土。 |
| 降雨強度 | ある一定時間に降った雨が1時間降り続いたとして換算した降雨量[mm/h]。雨水排水施設の設計には、10分間の降雨強度に補正（割増し）して使用することが多い。 |
| 鋼杭 | 鋼管杭、型钢杭等、鋼製の杭。 |
| 洪積層 | 更新世の時代に堆積した地層。主に台地・段丘を構成している。 |
| 勾配 | 地盤等の水平面からの傾斜の度合い。水平距離と高さの比率で表すことが多い。屋根面の傾斜の度合いを表すこともある。 |
| 再現期間 | ある大きさ以上の作用が、一度発生してから次に再び発生するまでの平均的な時間間隔（年）。 |
| 地盤沈下 | 地盤が地下水の汲みあげや地盤への載荷等のために広範囲にわたって沈下すること。 |
| じゃかご | きっこうの形の目に編んだかごに、玉石または割石を充てんしたもの。 |
| 受働土圧 | 擁壁などが背面方向に押し込まれるような場合に、水平土圧が上昇し一定値になった状態での土圧。 |
| 深浅測量 | 池等の水深の深さを測定し、水面下の地形を測定する作業。 |

| | |
|-----------------------------|--|
| 除錆処理 | 腐食減量等を求める際に試験片から腐食生成物を除去する方法。腐食生成物を電解によって除去する場合、材料やめっきによって用いる溶液や浸漬時間等が異なる。 |
| 水平地盤反力係数 | 地盤中の任意の位置における水平応力と変位量の関係から得られる係数で、単位変形量あたりの単位面積の力。 |
| スラブ 正圧 | 鉛直方向の荷重を支持する床盤・底盤。 一般に物体表面を押し方向に作用する圧力をいう。本ガイドラインでは、アレイの上面を押し方向の風圧力（風力）をいう。また、正圧が生じる風向を順風と呼ぶ。 |
| 接続箱 | 複数のストリング出力側と負荷側とを、又は複数のアレイ出力側と負荷側とを端子で中継し、必要に応じて逆流防止素子、直流開閉器等を収納した密閉箱（中継端子箱、集電箱）。 |
| 接地圧 接地極 | 基礎スラブと地盤の間に作用する圧力。 避雷導線または接地線と大地とを電氣的に接続するために地中に埋設した導体。棒状、板状のものがあり、それぞれ材質によって仕様が決まっている。 |
| ソイルセメント 造成地盤 | セメント安定処理を施した路盤またはその工法のこと。 設計された地盤高になるように手が加えられた人工的地盤。主に切土と盛土のことをいう。 |
| 大気腐食 耐食性 沖積層 太陽光発電 | 材料が陸上大気環境中の屋外で使用された場合に発生する腐食。 材料が腐食に耐える性質。 完新世の時代に堆積した地層。主に低地を構成している。 太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式。光起電力効果を利用した太陽電池を用いるのが一般的である。 |
| 太陽光発電システム | 光起電力効果によって太陽エネルギーを電気エネルギーに変換し、負荷に適した電力を供給するために構成された装置及びこれらに附属する装置の総体。法令により、太陽光発電設備、太陽電池設備等、様々な呼称が用いられる。 |
| 太陽電池パネル | 現場取付けができるように複数個の太陽電池モジュールを機械的に結合し、結線した集合体。 |
| 太陽電池 | 太陽光等の光の照射を受けてそのエネルギーを直接電気エネルギーに変える半導体装置。光起電力効果を利用した光電変換素子の一種。太陽電池セル、太陽電池モジュール、太陽電池パネル、太陽電池アレイ等の総称として用いる場合もある。 |
| 太陽電池アレイ | 太陽電池架台及び／または基礎、その他の工作物を持ち、太陽電池モジュールまたは太陽電池パネルを機械的に一体化し、結線した集合体。太陽光発電システムの一部を形成する。 |
| 太陽電池架台 | 太陽電池モジュールまたは太陽電池パネルを取り付けるための支持物。本ガイドラインでは単に「架台」とも呼ぶ。 |
| 太陽電池モジュール | 太陽電池セルまたは太陽電池サブモジュールを耐環境性のため外囲器に封入し、かつ規定の出力をもたせた最小単位の発電ユニット。 |
| 弾性波速度 | 弾性体の中を伝搬する P 波及び S 波の速度。弾性波速度は媒質の密度、弾性定数で決まる。弾性波探査は、人工震源による弾性波動を用いて地下の構造や物性を調べる方法をいう。 |
| 地際部 | 鋼管杭が地面と接するところ。本ガイドラインでは、地表面から深度 200mm 程度の範囲とした。 |

| | |
|--------------------------|--|
| 直接基礎 T.P. | 基礎スラブからの荷重を直接地盤に伝える形式の基礎。 高さ（標高）の基準面。東京湾平均海面（Tokyo Peil）の略であり、一般に土地の高さ（標高）は東京湾の平均海面（T.P.±0.00m）を基準（標高 0 m）として表される。 |
| 独立基礎 | 単一柱からの荷重を独立したフーチングによって支持する基礎。 |
| 土質試験 | 試掘やボーリングによって採取された試料を対象として行う土の物理的性質や力学的性質等の室内試験の総称。 |
| 塗装 | 材料表面に塗料を塗ることで、材料に他の性質を付加する表面処理法。塗装による耐食性は材料表面と腐食因子との接触を防ぐことで得られる。 |
| 凍上 | 地盤が凍結する過程で、地盤中に発生したアイスレンズの成長によって、地盤が膨張すること。 |
| 凍結深さ | 冷却される地表面から地盤中の 0°C の等温面（凍結線）までの距離。 |
| 凍結指数 | 0°C 以下の気温と時間との積を冬の凍結期間にわたって累積したもの。凍結指数を求める方法としては、日平均気温の累積曲線を求め、その極大値と極小値の差として求めるのが最も一般的である。単位は[°C・day]で表される。 |
| 軟弱地盤 | 建造物の支持地盤として十分な支持力をもたない地盤。 |
| 根入れ深さ パワーコンディショナ（PCS） | 地表面から基礎スラブ下端までの掘削深さ。 主幹制御監視装置、直流コンディショナ、インバータ、直流/直流インタフェース、交流/交流インタフェース、交流系統インタフェース等の一部または全てから構成され、太陽電池アレイ出力を所定の電力に変換する機能を備えた装置。Power Conditioning sub-System（PCS）。 |
| 腹付け盛土 表面処理 | 既設ののり面に追加して行われる拡幅盛土のこと。 材料表面に耐食性や耐摩耗性、意匠性等、他の性質を付加することを目的として、めっきや塗装等を施す加工。 |
| 飛来塩分 | 海浜地帯で潮風によって運ばれてくる塩分。一般に飛来塩分量は離岸距離が大きくなるほど減少するが、地形条件や気象条件に影響を受けるため、注意を要する。また、積雪地域では融雪材が塩分であることもあるので、本ガイドラインでは融雪材の塩分も飛来塩分に含める。 |
| フーチング | 建物の基礎にかかる荷重を分散するために基部を幅広くしたもの。 |
| 負圧 | 一般に物体表面を引く方向に作用する圧力をいう。本ガイドラインでは、アレイの上面を引く方向の風圧力（風力）をいう。また、負圧が生じる風向を逆風と呼ぶ。 |
| 風圧荷重 | 風圧力による荷重。厳密には、風圧力とその作用による建造物の応答も含めて評価した荷重。 |
| 風圧力 | 一般に風の中に存在する物体表面に作用する圧力をいう。本ガイドラインでは、風によって物体に作用する力（風力）として用いられ、単位面積当たりの力で表す。 |
| 風洞実験 | 模型あるいは実物の試験体が風から受ける圧力、力、変形、あるいはその周辺の気流性状を調べるために風洞を用いて行なう実験。 |

| | |
|------------------|---|
| LES | 数値流体解析における乱流モデルのひとつで、 Large Eddy Simulation の略。ナビエストークス方程式を空間的に平均化して解く手法で、計算メッシュより小さい渦は乱流モデルで平均化し、大きい渦は直接計算する。 |
| 不陸 | 平坦ではないこと。本来は水平でないことを意味するが、水平面以外でも平坦でない場合に用いられる場合がある。 |
| 腐食 | 材料がそれを取り囲む環境物質によって、化学的または電気化学的に侵食されるか若しくは物質的に劣化する現象。 |
| 腐食形態 | 腐食要因ごとに共通している特徴的な様子。 |
| 腐食減量 | 腐食試験後の試験片を除錆処理してその重さを量り、試験前の試験片重量と比較して求められる値。腐食量ともいう。腐食により失われた材料の量を意味する。また、腐食減量は電気化学的手法による腐食電流密度の測定により推定されることもある。 |
| 腐食しろ | 製品において、使用中の腐食によって失われることを予め想定して、その分だけ増しておく厚さ。 |
| 腐食生成物 | 腐食によって生成した物質。通常は固体物質を指し、材料表面に付着するか、または、環境中に分散して存在する。一般的には錆（さび）という。 |
| 不同沈下 | 構造物の不均一な沈下で、沈下形状は一体傾斜と変形傾斜に分類される。傾斜角、変形角、相対沈下量等で評価する。 |
| 変形角 | 構造物の途中から変化する傾斜角の相互の差。通常、それぞれの傾斜角の差をラジアンで示す。 |
| 防食 | 材料が腐食することの防止。 |
| めっき | 材料表面を金属や非金属の薄膜で被覆することにより、材料に他の性質を付加する表面処理法。被覆方法で、湿式めっき、熔融めっき、乾式めっきに分類できるが、本ガイドラインでは熔融めっきのみを扱っているため、熔融めっきを指す。 |
| 盛土 | 自然斜面地盤の上に土を盛り上げて造成された地盤。 |
| 有効吹送距離 F_{eff} | 水面上をほぼ一定風速、一定風向の風が吹いて波を発生させている区域の長さ。 |
| 擁壁 | 切土または盛土等の安定を図るために、土圧に抵抗する壁体構造物。 |
| 流出係数 | 降雨量に対して地表を流下する雨水の割合を表す係数。 |
| 粒度 | 土に含まれる大小粒子の混合の程度。 |
| リル | 地表に降った雨水により地表面が削られてできた細い溝のこと。 |
| 連続基礎・布基礎 | 一連の柱からの荷重を連続した基礎梁（またはフーチング及び基礎梁）によって支持する基礎。 |

1.5 構造設計方針

1. 架台、基礎及び部材間の各接合部は、稀に起こる地震・暴風・大雪に対して許容応力度設計を行うことを基本とする。
2. 地盤は、基礎及び上部構造で想定された地震・暴風・降雨などに対して、斜面としての長期的な安定性を有し、地表面の侵食などの変状を来さないことを確認する。
3. 架台及び基礎の長期耐久性に関する要求性能は、目標を定めて設計・施工及び保全がなされるよう設計時に配慮する。
4. 関係法令及び各地方自治体による条例、施行規則及びこれらに基づく設置許可申請の手引きなどでの要求事項については、別途適合させる。
5. 対象とする傾斜地が農地である場合、別途、営農型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版¹⁻³⁾の支持物に関する要求についても満足させる。
6. 設計図書を作成し、保管する。
7. 計画地の自然条件を適切に設計及び維持管理に反映させる。
8. 供用期間の延長や自然条件の変化等により要求性能に変更が生じた場合は、最新の条件を踏まえ、適切に機能強化等の対策を行う。

架台及び基礎の構造設計については、電気事業法、発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令（以下、「太技」）などの関連法令を遵守するとともに、発電用太陽電池設備の技術基準の解釈（以下「太技解釈」）、発電用太陽電池設備の技術基準の解釈の解説（以下「太技・太技解釈の解説」）での要求を満足させることとする。また、設計にあたっては、J I S、建築基準関連法令、建築・土木の各種学会の基規準・指針などを参照する。

基礎地盤については、斜面安定性の照査を必要に応じ実施することとし、各種技術基準や自治体の条例なども参考に、斜面途中に小段を設けるなどして斜面安定化を図る。また、雨水が斜面表面を流下することなどによるのり面侵食などへの対策（のり面保護や排水工設置）を図る。

例えば、太陽光発電システム及びその附属施設が建築基準法第 2 条第 1 項に定める建築物に該当しない場合、都市計画法に基づく開発行為には該当しない。他方、宅地造成及び特定盛土規制法（令和 5 年 5 月施行、以後「盛土規制法」と呼ぶ）においては、同法第 2 条により太陽光発電施設用地などは宅地として定義されるため、同法第 10 条第 1 項の宅地造成等工事規制区域内において造成を行う場合、同法第 12 条の許可を、同法第 26 条第 1 項の特定盛土等規制区域内において造成を行う場合、同法第 30 条の許可を受けなければならない。また、森林法第 5 条第 1 項の地域森林計画の対象となっている民有林（同法第 25 条又は第 25 条の 2 の規定により指定された保安林等を除く）の区域において造成を行う場合、同法第 10 条の 2 の許可（林地開発許可）を受けなければならない。このように設置する場所により適用される関係法令や条例・施行規則などを正しく解釈するとともに準拠する必要がある。さらに、地方自治体によってはこれら関係法令が適用されない場合であっても、過去に豪雨などによる被害を受けていることに鑑み、独自に条例、施行規則を定めるとも

に、技術的な内容を示した手引き書などを作成し適合を義務づけている事例もある。安全で安定した発電事業を継続していくため、適切な構造設計が求められる。

太陽光発電システムは転売などにより所有者や管理・運営者が変わることがある。適正に維持管理していく上で発電設備の構造詳細を把握しておく必要があるが、その構造・仕様などに係る資料が残されていないケースも多い。このことから、設計図書を作成し保管しておくことを原則とした。ここに「設計図書」とは、設計条件書、設計計算書、計算書に基づく設計図面及び仕様書などをいう。

自然条件を含む設計条件を適切に設定するため、既往の気象観測結果の収集、現地での測量や地盤調査等を行うことを基本とする。

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。

1.6 電気設計方針

1. 電気事業法関連法令を遵守する。
2. 内線規程、配電規程、系統連系規程、J I Sなどの関連の規格を参照して設計する。
3. 設計図書を作成し、保管する。

電気設計方針については、電気事業法、電気設備に関する技術基準を定める省令などの関連法令を遵守するとともに、基本的な設計は、電気設備の技術基準の解釈（以下「電技解釈」）、電気設備の技術基準の解釈の解説（以下「電技解釈解説」）などの関連法令、ならびに内線規程、配電規程、系統連系規程、J I S、I E Cなどの国内外の民間規格を参照して設計する（参考になる基準、規格などの一覧は 1.3 にまとめる）。本ガイドラインでは、基本設計はこれらで行われているものとして、傾斜地設置型太陽光発電設備に特化した部分に関する設計・施工項目についてのみ記載する。

なお、傾斜地設置型太陽光発電設備の火災及び感電リスクは、地上設置型太陽光発電設備と同様と考えられるため、原則地上設置と同等の電気設計方針とした。

1.7 施工管理方針

1. 労働安全衛生法などの関係法令を遵守する。
2. のり面工、斜面安定工、排水工などの施工にあたっては、所要の機能が確保されるように施工する。施工中に明らかになった条件についても考慮を加え、より合理的な施工が行われるよう安全管理、品質管理、出来形管理、工程管理を行う。
3. 予め現地の状況を確認した上で、施工計画を立案し、安全性はもとより、周辺環境への悪影響が発生しないよう施工する。
4. 電気工事完了後、使用前の竣工試験により、計画に従って工事が行われたこと及び電気設備技術基準に適合するものであることを確認する。
5. 現地状況を踏まえた実際の施工結果を竣工図書としてとりまとめる。図化できない範囲については写真にて記録する。
6. 施工中において、災害の発生防止、環境保全に努める。

太陽光発電設備の設置工事にあたっては、関連する諸法令及び条例を遵守し、工事の円滑な進捗に努めなければならない。関係する諸法令・条例などにより、行政機関などへの手続きが必要な場合は、遺漏・遅延なく手続きを行う。有資格者の配置や使用機械などについての規定がある場合についても、これらを遵守する。

公共の建築・土木工事と同様に、安全管理、品質管理、出来形管理、工程管理の視点で管理を行う。地中内については、事前の調査などと条件が異なる場合もあり得るため、現地状況を踏まえた合理的な施工（現場対応）を行う必要がある。

供用開始後の維持管理（点検診断、維持補修）においては、対象施設の竣工図書が必要であり、当該施設が撤去されるまで竣工図書は保管する。出来形などの図化が困難な場合には、写真などで記録を残すことが重要である。

電気工事完了後、計画に従って工事が行われたこと及び電気設備技術基準に適合するものであることを確認するために、使用前の竣工試験を行う必要がある。試験項目については、経済産業省の使用前・定期安全管理審査実施要領¹⁻⁴⁾や使用前自主検査及び使用前自己確認の方法の解釈¹⁻⁵⁾、また、民間のガイドラインである太陽光発電システム保守点検ガイドライン¹⁻⁶⁾、自家用電気工作物保安管理規程¹⁻⁷⁾を参考とすることが望ましい。

太陽光発電設備の完成時だけでなく、施工中においても崩壊などの土砂災害の発生防止に努めなければならない。環境保全のため、関係する諸法令・条例などを遵守し、工事の施工により発生する恐れのある騒音、振動、大気汚染、水質汚濁などの防止対策を行うものとする。

参考文献

- 1-1) 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、平成十二年法律第五十七号（令和四年法律第六十八号による改正）
- 1-2) 経済産業省：発電用太陽電池設備の技術基準を定める省令、2021

- 1-3) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: 営農型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2021 年版、2021
- 1-4) 経済産業省: 使用前・定期安全管理審査実施要領、
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/law/files/170331shiyoumae.pdf、
2017
- 1-5) 経済産業省: 使用前自主検査及び使用前自己確認の方法の解釈、
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/law/files/73-4kaisyaku.pdf、
2021
- 1-6) 一般社団法人日本電機工業会、一般社団法人太陽光発電協会: 太陽光発電システム保守点検ガイドライン、2019
- 1-7) 一般社団法人日本電気協会: 自家用電気工作物保安管理規程 JEAC8021-2018、2018

2. 被害事例

2.1 豪雨被害

1. 豪雨により上部斜面で崩壊が発生し、下部斜面の発電所を直撃した。
2. 豪雨により敷地内の地盤が侵食され、のり面崩壊・陥没が発生した。
3. 豪雨により谷埋盛土された急斜面の地盤が崩壊した。
4. 豪雨により施行中に盛土が崩壊し、設備が損壊した。
5. 被害を防止するためには、地盤の評価、排水設備の設計・施工を適切に実施する必要がある。また、造成工事中においてものり面崩壊や土砂流出の防止措置を実施する。

被害事例（1）

豪雨により長さ 100m ほどにわたって生じた（斜面）崩壊が斜面下の太陽光発電設備を直撃し、架台ごと押し流した。



写真 2-1 傾斜地設置型太陽光発電設備の豪雨被害事例（1）写真提供：PVeye

被害事例（2）

豪雨により敷地内のシラス地盤が侵食され、20m にわたるのり面崩壊や陥没が起きた。



写真 2-2 傾斜地設置型太陽光発電設備の豪雨被害事例（2）

写真提供：メガソーラービジネス（日経 BP）（2019 年 7 月 25 日掲載）

被害事例（3）

急斜面に建設された低圧の太陽光発電設備が、豪雨による斜面崩壊（厚さ 3～4 m、横幅 40m）によって被災した。設置場所の斜面地盤の傾斜角が 40 度であったこと、「急傾斜地崩壊危険箇所」に指定されていたエリアであったこと、基準の緩い 1960 年代に谷埋盛土された、シルトの混じった砂質土という脆弱な地盤であったことなどが影響した。



写真 2-3 傾斜地設置型太陽光発電設備の豪雨被害事例（3）

出典：土砂災害被害調査報告（2015 年 9 月 15 日）

被害事例（4）

施工中の現場にて、傾斜地に盛土していた敷地において、豪雨により土砂崩れが発生した。架台設置後に、調整池などの排水設備を設ける予定であったとのことであり、土砂崩れ発生付近の排水路は確認できなかった。



写真 2-4 傾斜地設置型太陽光発電設備の豪雨被害事例（4）写真提供：一般市民

2.2 強風被害

1. 斜面傾斜により増速された強風により、斜面に設置された太陽電池モジュールや架台が飛散した。
2. 被害を防止するためには、傾斜地における基礎・架台の風荷重計算、施工を適切に実施する必要がある。

被害事例（1）

斜面傾斜により増速された強風により、斜面に設置された発電所の太陽電池モジュール、架台及び杭などが飛散した。建物・道路に近い場所に設置されていたため、周辺へ被害を及ぼした。

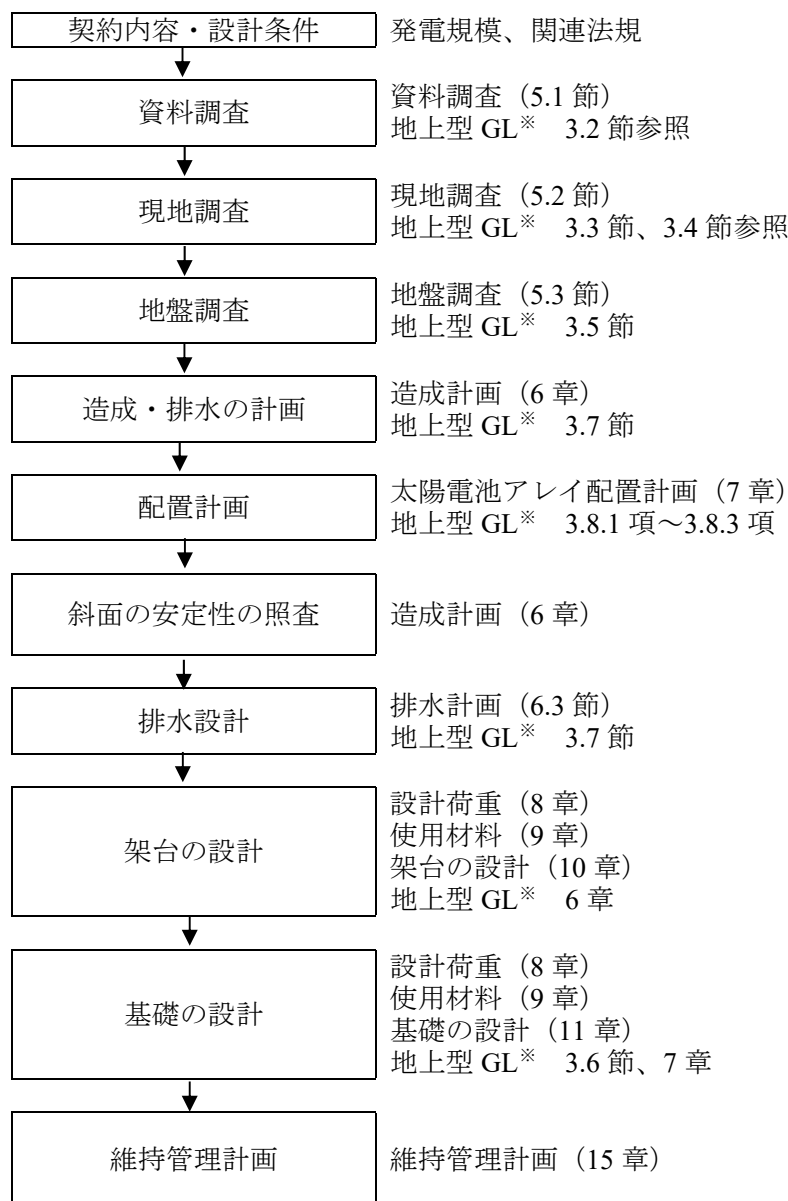


写真 2-5 傾斜地設置型太陽光発電設備の強風被害事例 写真提供：PVeye

3. 構造設計・施工計画

3.1 設計フロー（構造）

1. 構造設計の計画は図 3-1 のフローを参考に進める。
2. 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を進める。
3. 供用期間にわたって要求性能を満足するよう、設計段階において維持管理計画を作成する。

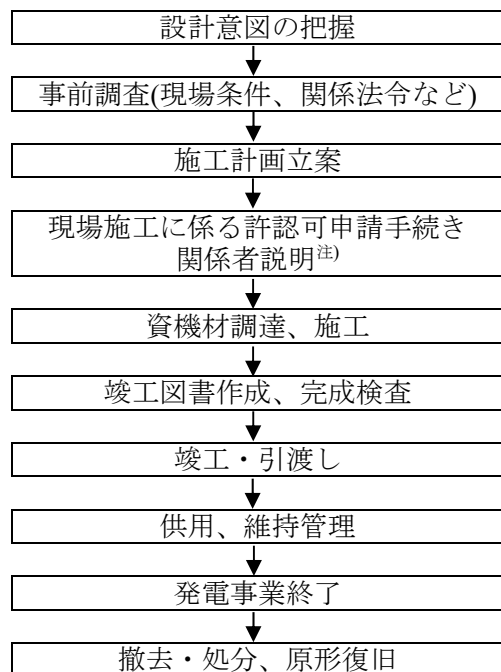


※ GL：地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版³⁻¹⁾

図 3-1 構造設計フロー

3.2 施工フロー（構造）

1. 基礎及び架台の施工の計画は図 3-2 のフローを参考に進める。
2. 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。
3. 法令などを確認し、関係官公庁などへの許認可申請手続きを行う。
4. 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。

図 3-2 施工（構造）フロー

参考文献

- 3-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社奥地建産：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、2019

4. 電気設計・施工計画

4.1 設計フロー（電気）

1. 企画、立案として、導入目的、設備規模、関連法令を調査する。
2. 設計として、基本設計、詳細設計、法令諸手続きを実施する。

図 4-1 に示す電気設計フローを参照することが望ましい。

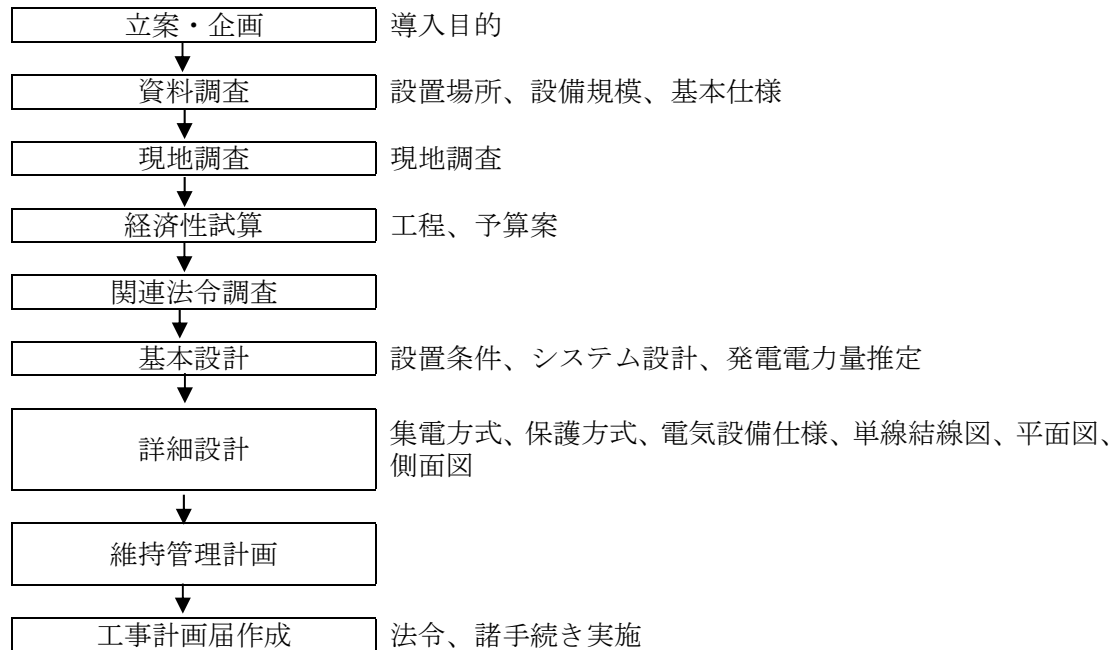
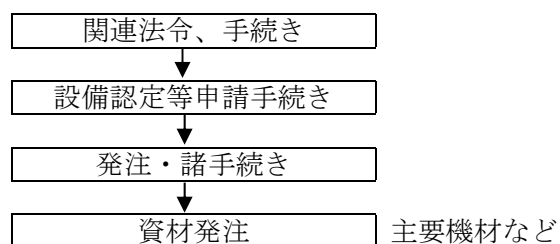


図 4-1 電気設計フロー⁴⁻¹⁾

4.2 施工フロー（電気）

1. 付託、資材発注を行う。
2. 据え付け工事を行う。
3. 自主点検を行う。

図 4-2 に示す電気施工フローを参照することが望ましい。



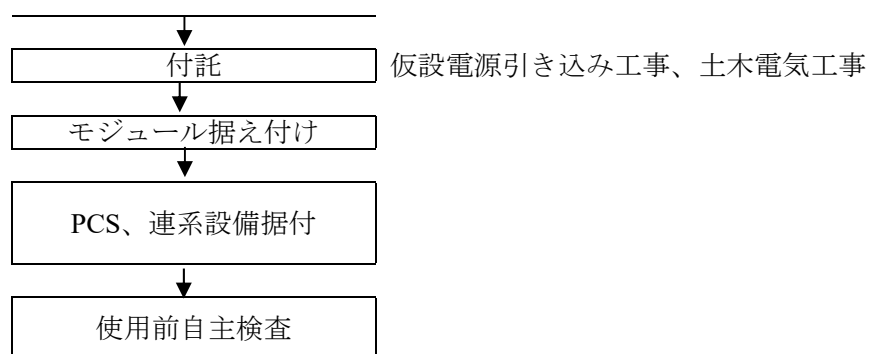


図 4-2 施工（電気）フロー⁴⁻¹⁾

参考文献

4-1) 一般社団法人太陽光発電協会: 公共・産業用太陽光発電システム手引書、2013

5. 事前調査

事前調査は、資料調査、目視による現地調査、地盤調査、土地利用状況及び周辺環境の調査を基本とする。

5.1 資料調査

1. 国土地理院発行の地形図や土地条件図、ハザードマップなどの地図資料、既往地盤調査資料及び各種文献などを用いて、基礎設計及び斜面の安定性評価に必要な地盤の情報を収集する。
2. 人工造成地盤の場合、その造成時期や適用技術基準、構造などについて可能な限り情報収集を行う。
3. 地域に固有な地盤条件を知る情報として、地名や植生なども調査する。
4. 排水施設の設計・施工に必要な降水量を調査する。

太陽光発電設備の設置にあたり、外力や自然災害に対して設備の長期的な安全性を確保しつつ整備コストや維持管理コストを抑えるためには、まずは設置に適した場所を選定するとともに、架台・基礎を設計するための地盤調査計画を立案する必要がある。このため、計画地を含む広い範囲の地形・地質的な観点からの巨視的な評価を行うことを目的とした既存資料調査を行う。国土地理院や関連省庁、地方自治体等により公表されている資料の一例を表 5-1 に示す。

地盤には宅地造成盛土等があり、その中には谷埋盛土、斜面への腹付け盛土などの不安定化しやすいものが存在するため注意が必要である。計画地が人工造成地盤の場合は、盛土高及び造成範囲、盛土前における地山の傾斜等を把握することが重要であり、新旧地形図の重ね合わせや現地踏査により確認する。また、造成年代が古い盛土ほど滑動崩落が発生し易い傾向にあることから、造成年代を確認することは盛土の安定性を知るために重要である。兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震における被災事例では 1962 年以前（宅地造成等規制法の施行前）に造成された盛土の被災が多いことが分かっており、安定性の把握にあたり参考にできる⁵⁻¹⁾。なお、大規模な宅地造成盛土については都道府県からマップが公表されている。

地名は、地歴を示していることがあり、設計に当たり参考にすると良い。代表的な例を表 5-2 に示す。そのほか、今昔マップ⁵⁻²⁾や Google Earth⁵⁻³⁾などを参考にすると良い。ただし、地名は変更される場合があり、これらの記載がない場合でも地すべり地や崩壊地である可能性がある。過去の地名を調査するなど留意が必要である。

降水量の設定にあたり、道路土工要綱（平成 21 年度版）⁵⁻⁴⁾の「第 2 章 排水」を参考にすると良い。ただし、近年の気候変動に伴い、当該要領の降雨強度を超えるような集中豪雨が発生している地域もあるため留意が必要である。自治体によっては、近年の観測データから独自に確率降雨強度を設定している事例⁵⁻⁵⁾もある。これらを参考にして計画地の降水量を適切に設定し、設計・施工に反映させる。

表 5-1 既存資料調査における資料の一例

| | 資料 | 発行機関 | 購入（入手）先* | 資料内容と利用方法 |
|----------------|---------------------|-----------------------------------|--|--|
| 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面変動、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

表 5-2 (1/2) 地形を表す地名の一例 (1/2) ⁵⁻⁶⁾

| | 地名用例 | 地形の原意 |
|---|---|-------------------------|
| あ | 碧海、青野、青田 | あお (=湿地・湖沼・水面) |
| | 芥見、飽田 (あくた)、飽海、飽波、飽見、阿久田、明田、安久田、垢田、阿宮、飽包浦、阿久津 | あく (=湿地) ・あくつ |
| | 阿久戸、安久戸、悪土、開戸、明戸、肥戸 | あくと (=水はけの悪い低地) |
| | 浅田、浅井、阿佐 | あさ (=浅い水) |
| | 阿瀬、阿瀬部、汗入、畦田 | あせ (=湿地) |
| | 葦田、葦津、辛川 | あし (=湿地) |
| | 荒川、荒砥沢、荒沢 | あれ、あら (=地すべり地) |
| | 芦原、阿原、凧 (あわら) | あわ (=湿地・深泥の田) |
| い | 井ノ頭、井上、井手、伊手、伊良、井野、飯野、稲生、入野 | い (=水の集まるところ) |
| | 池田、池辺、池上 | いけ (=湿地・氾濫原) |
| | 石山、石投、石谷、石原田 | いし (=地すべり地) |
| | 犬飼、犬養 | いぬかい (=低い山の間の谷) |
| | 入谷、入沢、入江、入野 | いり (=谷の奥、入り江) |
| う | 浮田、浮島、宇喜田 | うき (=湿地) |
| | 歌浜、宇田、宇多、大田、右田原、兎田、鶴田 | うた (=泥田・湿地) |
| | 浮津、宇津、宇都山、内海、宇津呂、太秦 | うつ (=狭い谷・崖) |
| | 有戸、宇登、宇戸、宇都、宇土 | うと (=狭い谷) |
| | 馬渡、馬路 | うま (=狭い谷・谷頭) |
| | 浦戸、霞ヶ浦、浦野 | うら (=入り江) |
| | 瓜生、潤井、宇留井 | うり・うる (=湿地) |
| え | 溢、江木、江木、会下 (えぎ) | えき (=小支谷・谷状の湿地・悪水路) |
| | 江田、枝野、英多 | えた・えだ (=川沿いの湿地、湿地) |
| お | 大見、尾見 | おおみ・おみ (=川辺・湿地) |
| | 押切、押出 (おしだし)、押部谷 (おしべたに) | おし (=地すべり地) |
| | 小田、織田、小田原 | おた (=湿地) |
| | 落シ (おとし)、落合、落谷 | おち、おとし (=地すべり地) |
| | 恩地、隠地、音地 | おんち・おんじ (=日陰地・湿地) |
| か | 開津、垣内 (かいつ)、谷内 (かいつ)、海津 | かい (=谷間の湿地) |
| | 欠・欠山、懸、懸向、柿崎、大柿、掛 | かけ (=地すべり地) |
| | 潟田、片平、片巢、堅子、片子、片浦 | かた (=潟湖) |
| き | 切坪 (きりつぼ)、切下、切越、切光 (せっこう) | きり、きれ、せつ (=地すべり地) |
| く | 久佐、草原、日部 | くさ (=腐って異臭を放つもの・湿地・腐植土) |
| | 崩、大崩、崩坂、崩山 | くずれ (=地すべり地) |
| | 朽納 (くたみ)、百済 | くた (=朽ちる・湿地) |
| | 湫、久手、久出、久田、三久田、九手 | くて・くで (=湿地) |
| | 久保、久保田、水窪 | くぼ (=窪地) |
| こ | 古田、古多、幸田、神田、香田、高田、小田、河田、五田井、五代 | こた (だ) ・ごた (=湿地・低地) |
| | 郷守 (ごもり)、籠谷 (こもりや) | こも・ごも (=沼地) |
| さ | 作、佐久、咲、裂、迫、谷 (さく) | さく (=狭間・新開地) |
| | 桜、佐倉、佐久良、桜田 | さくら (=狭間) |
| | 迫、作 (さこ)、窄 (さこ)、岩作 (やざこ) | さこ (=狭間・河谷・湿地・砂地) |
| | 佐野・狭野・佐理 (さのり) | さの (=狭い平地、狭野) |
| | 鯖江、鯖地、佐波 (さば) | さば・さば (=谷川・沢) |
| | 水沢、沢井、塩沢、沢上 | さわ (=谷) |
| す | 諏訪、須波 | すわ (=谷・湿地) |
| | 滑沢、滑石、牛滑 (うしなめり) | すべり、なめり (=地すべり地) |
| せ | 関谷、井関 | せき (=堰、ため池) |
| | 瀬古、瀬居、迫 (せこ)、世古 | せこ (=狭間、山が迫ったところ) |

表 5-2 (2/2) 地形を表す地名の一例 (2/2)⁵⁻⁶⁾

| | 地名用例 | 地形の原意 |
|----------|-------------------------------|--------------------|
| た | 田代 | た (=地すべり地) |
| | 棚田、棚畑、棚広、棚懸 (たながけ) | たな (=地すべり地) |
| | 丹野、丹波、谷田 (たんだ) | たに、たん (=谷) |
| つ | 都留、舞鶴、津留 | つる (=水路のある低地) |
| と | 藤間、苔別、当間、通間 | とうま・とほま (=沼・泥・平地) |
| | 土羅、土呂、登呂、当呂、都呂、戸呂、打呂 | とろ・どろ (=水の滞る場所・泥土) |
| な | 滑石、牛滑 (うしなめり)、滑沢 | なめり、すべり (=地すべり地) |
| に | 二田、仁田、似田、新田、日田、下仁田 | にた (だ) (=湿地) |
| ぬ | 沼田、漕田 (ぬまた)、沼島 | ぬ (=沼) |
| | 額田、糠田、大洪 (おおぬかり)、洪沢 (ぬかりざわ) | ぬかた (=沼地・湿地) |
| | 怒田、奴田、沼田 (ぬた)、新田 (にぬた)、岱 (ぬた) | ぬた (=湿地・泥地) |
| | 抜間、抜山、抜田 | ぬけ、ぬげ (=地すべり地) |
| の | 野田、小野田、野多 | のだ (=湿地) |
| | 野呂、能呂 | のろ (=泥地) |
| は | 狭間、間、迫 | はざま (=谷間) |
| | 芻、一芻、羽根坂 | はね (=地すべり地) |
| ひ | 比企、疋田 | ひき (=低地) |
| | 曳田、引田 | ひけ (=低地) |
| | 肘川、肘内、比治、比地、泥津、泥江 (ひじえ) | ひじ (=泥地) |
| ふ | 深沢、深田、深津、深川 | ふか (=湿地・入江) |
| | 富貴、吹、藪原 (ふきはら) | ふき (=深田・低湿地) |
| | 富家、福家、不毛、深日 (ふけ)、深田 | ふけ (=深田・低湿地) |
| | 布太、布田、浮田、富多、札 | ふた・ふだ (=深田・泥田) |
| ほ | 法田、保田、富田 (ほた) | ほた (=湿地・斜面) |
| | 保土、保戸 | ほと・ほど (=舟形の谷地) |
| | 神洞、長洞、三田洞、猫ヶ洞 | ほら (=短小で奥詰まりの谷) |
| み | 真泥 (みで) | み (=水の意・湿地にみる地名) |
| | 見土呂、海土呂 (みどろ) | みどろ (=湿地にみる地名) |
| | 緑野 | みどり (=湿地) |
| | 水口、皆口 | みなくち (=谷の狭まったところ) |
| | 美濃、三野、美野 | みの (=湿地) |
| | 水間 (みま)、三間、美馬 | みま (=水路のある狭間・谷) |
| む | 牟田、六田、西牟田、八丁牟田、大牟田、井牟田 | むた (=湿地・泥地) |
| や | 矢沢、八沢、谷沢 | や (=谷・湿地) |
| | 屋敷、屋敷田、屋敷南 | やしき (=地すべり地) |
| | 安江、安田、安原、安井 | やす (=湿地) |
| | 矢谷、矢太郎、谷太郎 | やた (=湿地) |
| | 谷地 (やち)、八知、家地、矢地、野地、弥次郎 | やち (=谷・湿地) |
| | 谷津、矢津、八田、矢代 | やつ (=谷・湿地) |
| | 矢戸、谷戸、八戸、屋戸 | やと (=谷・湿地) |
| | 矢野、八野、八島、矢幅 | やの (=湿原) |
| | 八原、矢原 | やはら (=湿原) |
| | よ | 横根、横道、横廻 |
| 吉原、吉沢、葭原 | | よし (=葭の生える湿地) |
| 淀、予土 | | よど (=河水の淀んだ場所) |
| わ | 渡木、戸渡、欠渡 | わたり (=地すべり地) |
| | 割山、割石、割芝、大鍋割 | わり、われ (=地すべり地) |

5.2 現地調査

1. 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。
2. 地形・地質や造成切土・盛土などの状況から、地盤の安全性や不同沈下の危険性について評価する。
3. 斜面を対象とした現地調査については、専門的な知識・技術を必要とするため、専門家の協力を得る。

現地調査は、計画地において土砂災害の履歴やリスク、環境等の問題がないかを把握すること、調査の重点実施箇所を評価することを目的として、計画段階から地形・地質、地下水、植生状況、土地利用状況等を調査することである。特に計画地周辺の災害については、よく観察するとともに、地元自治体の出先や住民の話を聴取することが有効である。

現地調査は比較的経済的に実施でき、資料調査に加えて実施することにより、資料調査より精度よく地形、地質、地下水等の概要を把握できるため、ボーリング等の地盤調査の合理的な計画立案に資することができる。

現地調査における重要項目は、傾斜地の勾配・向き、平坦度、陥没の有無、前面道路（幅員）、障害物の有無、隣地の利用状況、海岸からの距離、系統連系を行う地点等であり、表5-3のチェックリストを参考に調査する。

土砂災害防止法では、がけ崩れや地すべり、土石流等から国民の生命を守るため、土砂災害のおそれのある区域を指定して公表しているが、それ以外にも土砂災害が発生しやすい自然斜面等が存在する場合は考えられる。よって計画地の選定にあたっては、土砂災害のリスクがないか十分に注意する必要がある。そのための現地調査の着眼点については、宅地防災マニュアルの解説⁵⁻⁷⁾の「第X章 自然斜面等への配慮」を参考とすることができる。

表 5-3 現地調査のチェックリストの例（調査地と周辺を含む） 5-6)に加筆・修正

| 点検項目 | | 点検細目 |
|---------|---------------------|---|
| 基本資料 | 既存資料 | 地形図・旧地形図・地盤図・地質図・土地条件図・その他（ ） |
| 地形観察 | 地形判別 | 山地・丘陵・崖錐・洪積台地・扇状地・自然堤防・後背湿地・谷底低地・埋没谷・おぼれ谷・旧河道・三角州・海岸砂州・砂丘・堤間低地・潟湖跡（干潟・干拓地）・侵食・崩壊・地すべり |
| | 付近の水域からの高低差 | 敷地からみた川・池沼・湿地までの高さ (GL-) m |
| 地表の傾斜 | 傾斜度（勾配） | 急傾斜地・接傾斜地・平坦地（斜度 15 度以上を急傾斜とする ^{注)} ） |
| | 主傾斜の方向 | 主傾斜が（南・北・西・東・北東・北西・南東・南西） 向き斜面 |
| 表層土質 | 表層地質の地層区分 | 沖積層・洪積層・第三紀層・その他（ ） |
| | 露頭の土質 | 堀削面無・岩盤・固粘土・砂質土・粘性土・ローム・ その他（ ） |
| 起伏の位置関係 | 丘陵尾根との関係 | 裾地・中腹・頂上付近などの鞍部 |
| | 台地・崖地との関係 | 崖麓・中腹・崖端・台地上の平坦部 |
| | 微地形境界（傾斜転換点）線上からの位置 | 低地側平坦部・地形境界の接合端部・高地側傾斜部 |
| 土地利用 | 周辺の土地利用 | 旧来からの宅地・水田・畑地・森林・原野・果樹園・沼沢・ その他（ ） |
| | 地域地盤特性 | 凍上・水害常襲地・地盤沈下地帯・急傾斜地崩壊危険区域・地すべり防止区域・山地災害危険地区・土砂災害警戒区域・土砂災害特別警戒区域・液状化履歴地・特記なし |
| | 宅地化の状況 | 家が（まばらである・多い・密集している） |
| 植生 | 植物の種類 | 天然林・人工林・湿地性植物・砂丘性植物・その他（ ）・特記なし |
| 周辺異常 | 電柱の傾斜 | 無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ |
| | 道路の波打ち・亀裂 | 無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ |
| | 排水溝・水路の波打ち | 無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ |
| | 家屋の壁・基礎の亀裂 | 無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ |
| | 塀の不陸・傾斜 | 無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ |
| | 擁壁の異常 | 無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ |
| 敷地履歴 | 敷地の現況 | 既成宅地・不整地の原野・水田・畑・その他（ ） |
| | 敷地の履歴 | 原野・山林・崖地・畑・水田・池沼・河川敷・その他（ ） |
| | 過去の災害履歴 | 有（ ）・無 |
| 造成状態 | 地上面形状 | 敷地傾斜 無・有（ ） m 段差 無・有（ ） m |
| | 盛土の厚さ | （ ） m～（ ） m・不明 |
| | 盛土の経過時間 | 在来地盤・10 年以上・5 年以上～10 年未満・3 年以上～5 年未満・1 年以上～3 年未満・1 年未満・解体後の敷地（推定 20 年）・不明 |
| | 切・盛土の境界 | 明瞭・不明瞭 |
| | 新規盛土予定 | 新規盛土なし・予定有り（ ） m～（ ） m・未定 |
| | 排水施設・調整池等の有無 | 無し・有り（機能維持有り・無し） |

注)：参考文献 5-6) での急傾斜地の定義であり、本ガイドラインでは 30 度以上を急傾斜地としている。

傾斜地設置型の太陽光発電システムは、自然斜面や盛土・切土により造成した斜面に設置したりするが、当該斜面及び後背斜面の安定性を事前に評価するとともに、必要な斜面安定対策を講じることで安全性を確保することが求められる。これらの検討に必要な基礎情報を得るためには、国土交通省「河川砂防技術基準 計画編・設計編」⁵⁻⁸⁾、林野庁「治山技術基準」⁵⁻⁹⁾、道路土工一切土工・斜面安定工指針⁵⁻¹⁰⁾などの技術指針を参考にすることができる。また、斜面の安定性評価に当って、地下水の状況や地盤工学的特性など、多岐にわたる考察が必要となるが、これらには専門知識・技術が必要であることから、専門家の協力を得て調査計画立案、実施することが必要である。ここでの専門家としては、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、応用理学部門等、地盤品質判定士等）などが該当する。

斜面崩壊に着目した調査内容は表 5-4 に示すとおりであり、調査対象斜面の状況に応じて適宜選択を行うこと。

この結果を踏まえて適地であるかどうかの判断を行い、土砂災害等のリスクが認められれば計画地を見直すことも必要である。また、調査結果を踏まえ、以降に実施する原位置試験やボーリング調査等の地盤調査の計画立案を行う。

表 5-4 斜面地形特有の調査項目及び内容 5-10)に加筆・修正

| 調査項目 | 調査内容 |
|----------------------|--|
| 斜面勾配などの地形条件 | 地形図による傾斜区分や傾斜変換点、比高、斜面方位などの区分を行い、傾斜分布や斜面の形状について明らかにする。 |
| 斜面表層数 m までの土質や基盤地質条件 | 表土層や崩積土層、強風化層、基岩などの分布を明らかにするために、現地において簡易貫入試験などによる調査を行う。これらの調査のほか、ボーリング調査や物理探査を用いる場合もある。また、物理的力学的な特徴を明らかにするため試料のサンプリングを行い、物理・土質試験を実施する。 |
| 斜面上の変状の有無 | 崩壊や地すべりなどに関する斜面上の開口亀裂や段差亀裂、凹凸や湧水、過去の崩壊跡や、道路の路面や切土・盛土のり面、斜面近傍の構造物の変状について空中写真あるいは現地での地表踏査により調査する。 |
| 植生状況 | <p>植生の状況は、その斜面の地形・地質的な特徴や地下水条件等を推定する参考になるため、斜面上の樹種、樹齡、分布、密度などを調査する。</p> <p>伐採後の根系は腐朽して、数年から 10 年程度で斜面の補強効果が消滅するとされていることから、伐採時期や伐採跡地の状況について調査を行う。</p> <p>根返りなどの風倒木災害を受けた箇所は、雨水などによる侵食や崩壊を起こしやすくなるため、発生履歴などを調査する。</p> <p>以上の状況については、空中写真や現地での地表踏査により分布を明らかにする。</p> |
| 地下水や表流水の集水条件 | <p>崩壊の誘因となる地下水や表流水を把握するため、空中写真や現地踏査を実施し、斜面上のガリや湧水地点の位置及び数量、さらに、パイピング減少が発生していないかなどを調査する。</p> <p>また、斜面及び周辺の地形から表流水、地下水が集まりやすい地形であるかどうかの状況についても調査を行う。</p> |

5.3 地盤調査

1. 事前調査結果を踏まえて原位置試験を実施し、造成計画及び架台・基礎の設計に必要な地盤工学的特性に関する情報を収集する。
2. 資料調査及び現地調査の結果から、太陽光発電設備を設置する予定の用地が軟弱地盤、埋立地、盛土地盤、造成地、傾斜地、谷底低地に該当するような地盤と考えられる場合、十分な基礎の支持力を得られないことが懸念されるため、より詳細な調査を行う。
3. 太陽光発電設備の架台及び基礎の設計だけでなく、斜面の安定解析に必要となる地盤調査も行う。

太陽光発電設備の重量はそれほど大きくはないが、脆弱な地盤である場合には、崩壊などの危険性がある。また、杭基礎を採用する場合には、十分な抵抗力（押込・引抜・水平方向）が必要となる。注意が必要な地形・地盤については、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⁵⁻¹¹⁾の 3.4 節が参考となる。

太陽光発電設備の架台の設計では、中規模以上の建築物のように地盤調査に十分な費用がかげられない状況にあるので、5.1 節で述べたように綿密な事前調査を実施し、その結果を踏まえて地盤調査や土質試験を実施する必要がある。地盤調査方法には、表 5-5 に示すものがあり、計画地の地盤状況と検討目的に応じて適切に選択、組み合わせて調査を行う。

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 |

※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

5.3.1 原位置試験

1. 原位置試験は、基礎設計に必要な設計用地盤定数を求めることを目的として実施する。この設計用地盤定数には、地盤の支持力だけではなく、地下水位や土質区分も含まれる。
2. 原位置試験は、スクリーウエイト貫入試験（SWS試験）あるいはボーリング調査を中心に行うものとし、これらの実施が難しい場合、簡易動的コーン貫入試験を行う。
3. 事前調査やSWS試験、簡易動的コーン貫入試験で十分な情報が得られていないと判断した場合及び圧密沈下が予想される場合は、適切な試験方法を選定し実施する。
4. 調査ポイントの箇所数と測定位置は敷地の規模と形状、地盤の状態により異なるため注意する。調査ポイント数については専門家の意見をもとに決定する。

事前調査により支持層の不陸が予想される場合や大規模造成地などで改変時の施工管理状況が不明で、配置計画位置における盛土あるいは切土の詳細な分布状況を把握できないような場合は、予備調査を行って地盤構成の概略を把握した後に本調査を実施するか、調査結果によっては追加調査を行う可能性を予め想定した計画とすることも必要である。なお、傾斜地には、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⁵⁻¹¹⁾の3.5.2項に示した調査ポイント数の目安は適さない。

5.3.2 スクリーウエイト貫入試験（SWS試験）

SWS試験は静的貫入試験の1種であり、JIS A 1221（スクリーウエイト貫入試験）方法に規定されている⁵⁻¹²⁾。

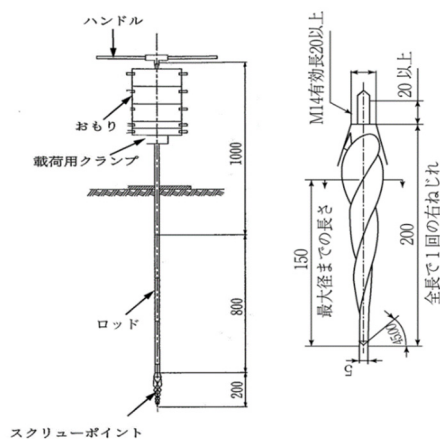


図 5-1 SWS試験（手動式）

5.3.3 標準貫入試験

標準貫入試験は、JIS A 1219 に規定されている。

SWS試験では評価が難しい硬い支持層、水位や土質区分の測定ができる。また、土をサンプリングできるため、土層の確認ができる(5-12)。

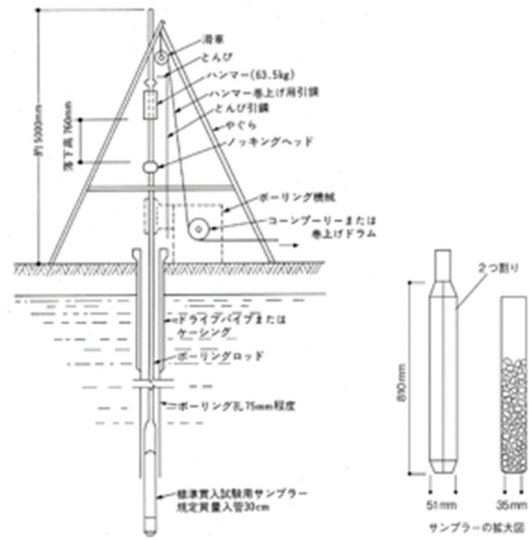


図 5-2 標準貫入試験

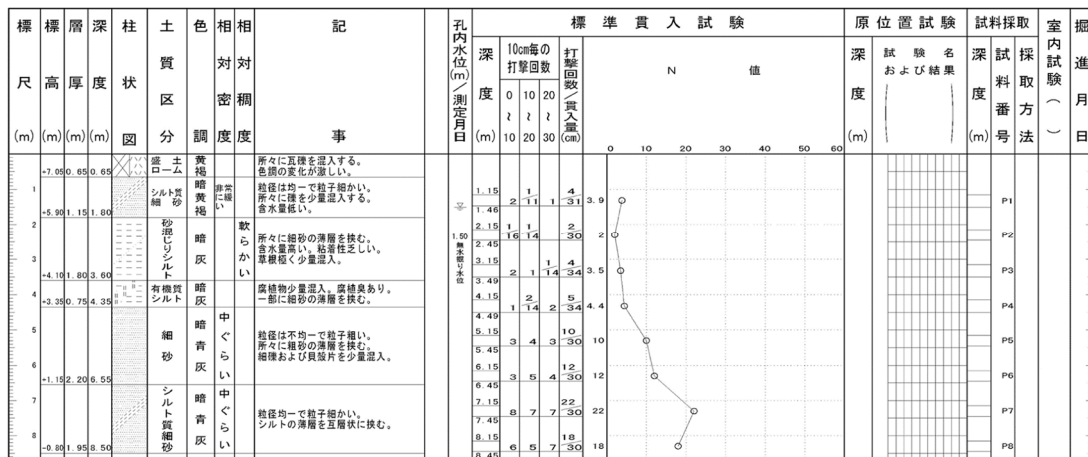


図 5-3 土質柱状図の例

5.3.4 ラムサウンディング試験

ラムサウンディング試験は、現在、JIS の規格基準に定められていない調査方法ではあるが、N d 値はN 値との相関性が高く、SWS 試験では貫入困難な地盤や鋼管等の支持層確認に用いられている。

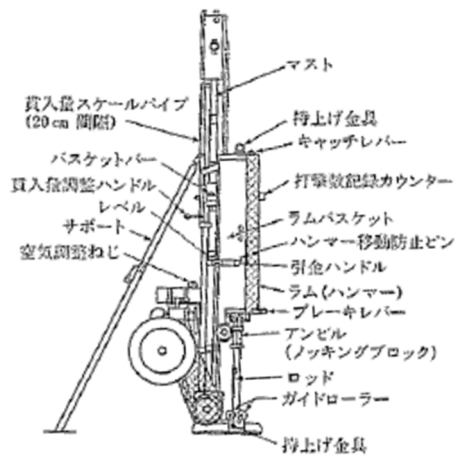


図 5-4 ラムサウンディング試験機

5.3.5 簡易動的コーン貫入試験

簡易動的コーン貫入試験は、地盤工学会 JGS 1433 に 規定されている。ハンマー（5kg）の打撃回数とロッドの貫入量から、原地盤の相対的支持力を測定できる。

試験機が比較的軽量であるため、傾斜地の場合に有効である。

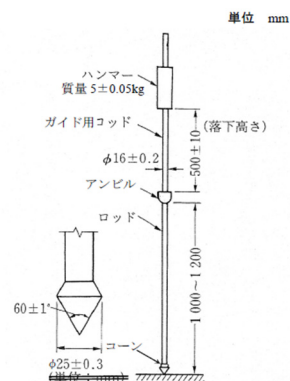


図 5-5 簡易動的コーン貫入試験機

5.3.6 土検棒貫入試験

土検棒貫入試験は、先端コーンつきの細いロッドを人力で静的に押し込むことにより土層強度や土層深を簡易に測定する試験である(特許第3613591号 土のせん断強度測定方法及び装置)⁵⁻¹³⁾。試験に用いる土検棒は一人で容易に運搬でき、試験法も非常に簡便であるが、まだ開発途上であり、試験結果の解釈には総合的な土質力学的判断が必要とされる。

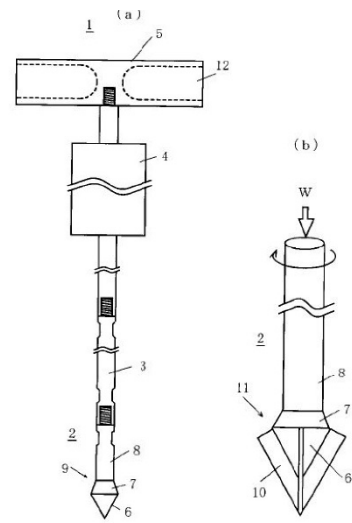


図4 1 試験機の構成

1 土検棒貫入試験の構成、2 ベーンコーン、3 ロッド、4 荷重計 (ベーンコーンせん断試験時はこの下部のロッドにトルクレンチを装着)、5 取っ手、6 先端コーン (60°)、7 先端コーンの上部、8 先端コーンとロッドの接続部、9 先端コーンの最大径15mm 長さ50mm、10 羽根 (ベーン)、11 羽根の幅6.06mm (水平幅7mm)

図 5-6 土検棒貫入試験の構成

5.3.7 平板載荷試験

地盤の平板載荷試験は、地盤工学会 JGS 1521 に規定されている。

原地盤に載荷板を設置して荷重を与え、荷重の大きさと載荷板の沈下量との関係から、地盤の支持力特性を調べる。

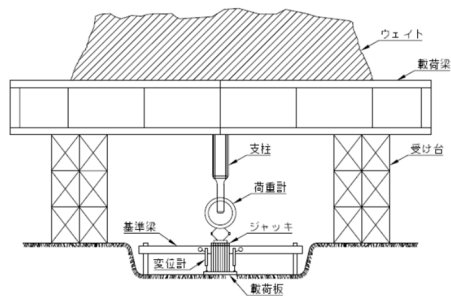


図 5-7 平板載荷試験

5.3.8 凍上対策の検討

地盤の凍上現象は、凍上の3要素と呼ばれる土質、温度、水分の3条件が揃ったときに発生する。3条件が揃っているにも拘わらず、凍上対策を実施しなければ、凍上によって太陽電池モジュールの波打ちや架台の傾きといった凍上被害が発生することとなる（図 5-8）。凍上による変形は長期間にわたって蓄積されていくため、架台が変形し続けることとなり、最終的にはパネルの破損や、施設の倒壊へと繋がる恐れもあることから、凍上対策を講じることは重要である。



図 5-8 太陽光発電設備の凍上被害の一例

凍上被害発生の可能性については、凍上に関する調査を実施して検討する。地盤の凍上を支配する要素は、土質、温度（気温）、水分（地下水位および土壌水分）の3つである。この3つの調査を行い、凍上現象が起こる恐れがあると確認された場合、凍結深さを求める必要がある。凍結深さは、気象観測データと土の熱的定数を用いて推定することができる。図 5-9 に太陽光発電設備のための凍上対策検討のフローを示す。

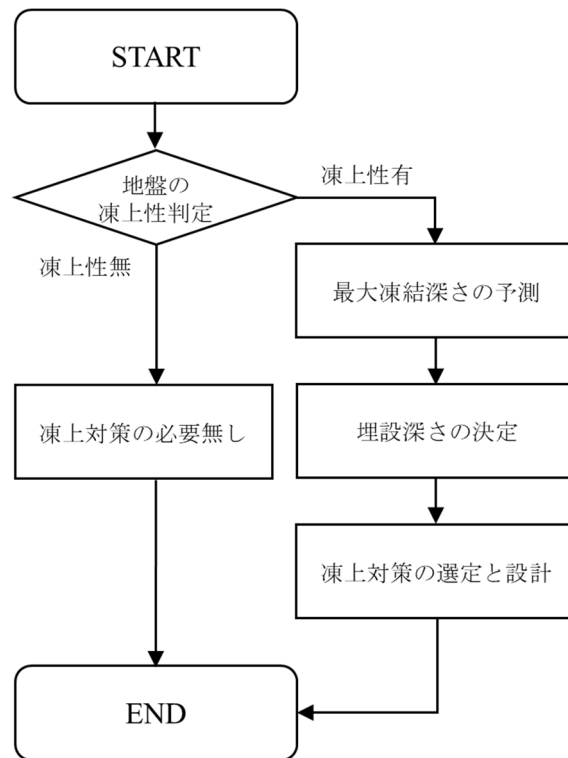


図 5-9 太陽光発電設備のための凍上対策検討のフロー

(1) 土質

土質は凍上被害発生の可能性を検討するうえで極めて重要である。凍上に関する地盤調査では、凍結が及ぶ範囲（最大凍結深さ以浅）にある土が凍上性を有しているかどうかを調べることとなる。

現地の土の凍上性は、以下の 2 つの方法により判定する。ここでは、直接的に土の凍上性を判定することができる地盤工学会基準「土の凍上性判定のための凍上試験方法（JGS 0172-2020）」⁵⁻¹⁴⁾を推奨する。ただし、凍上試験の実施が困難な状況においては、土質試験による間接的な方法で土の凍上性を判定することを妨げない。

a) 凍上試験による直接的な方法

地盤工学会基準「土の凍上性判定のための凍上試験方法（JGS 0172-2020）」⁵⁻¹⁴⁾を用いて、土の凍上性を直接的に判定することができる。

図 5-10 は地盤工学会基準の凍上試験装置で、図 5-11 は凍上試験で得られる凍上量-時間曲線の一例である。図のように凍上量-時間曲線が直線となる場合、この傾きから凍上速度 U_h を求める。この凍上速度 U_h から、土の凍上性を以下のように判定する。

- ・ 凍上速度 0.1 mm/h 未満：凍上性が低いと判定される。
- ・ 凍上速度 0.1 mm/h 以上、0.3 mm/h 未満：凍上性中位
- ・ 凍上速度 0.3 mm/h 以上：凍上性が高いと判定される。

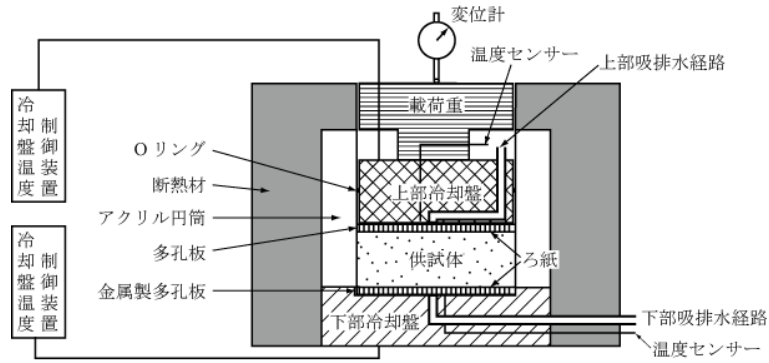


図 5-10 地盤工学会基準の凍上試験装置（寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵から引用）

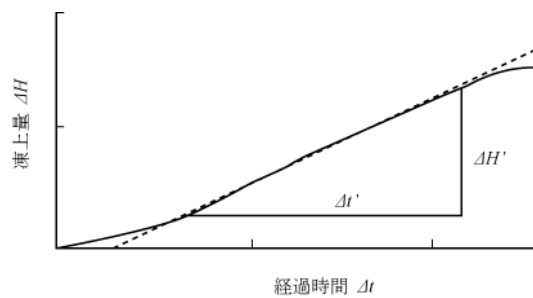


図 5-11 凍上量-時間曲線の一例（寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵から引用）

b) 土質試験による間接的な方法

土の粒度分布や細粒分含有率を用いて、土の凍上性を間接的に判定することができる。ただし、土の凍上メカニズムは複雑であり、土粒子径だけに依存するわけではない。以下では「寒冷地地盤工学-凍上被害とその対策⁵⁻¹⁵」を参考に、土質や粒度による間接的な凍上性の判定手法について紹介する。

① 土質による間接的な凍上性判定法

図 5-12 は Kaplar⁵⁻¹⁶が示した土質と凍上性の関係である。Kaplar は Casagrande⁵⁻¹⁷の研究を基に、各種の土質と凍上性の関係を取りまとめた。Casagrande は、粒径によって反比例する透水性と凍上有効力の関係がシルト粒径で交わることを示し、シルトが最も強い凍上性となる理由とした。

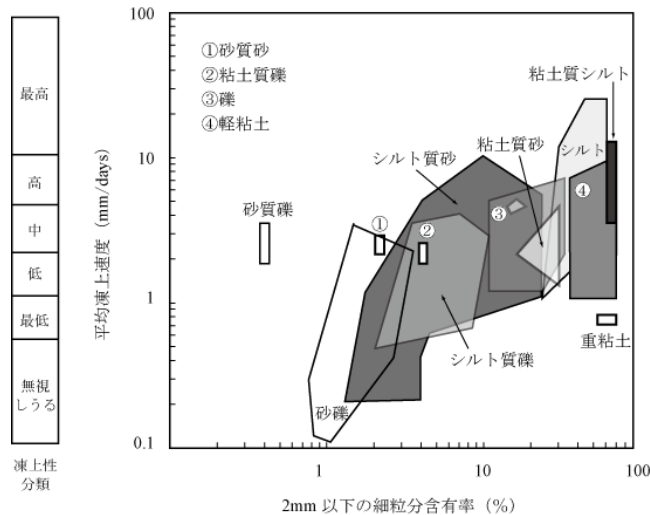


図 5-12 土質と凍上性の関係（寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵）から引用）

② 粒度による間接的な凍上性判定法

図 5-13は国際地盤工学会 TC-8⁵⁻¹⁸が示した土の凍上性と粒度の関係である。この図において領域 4 ($U_c > 15$ かつ $D_{50} > 1\text{mm}$) および領域 3 ($U_c < 15$ かつ $0.2 < D_{50} < 1\text{mm}$) は、非凍上性とされる。領域 2 ($U_c < 15$ かつ $0.1 < D_{50} < 0.2\text{mm}$) も毛細上昇高さが 1m 以下であれば非凍上性である。領域 1 が凍上性とされ、領域 1L では透水性が低いいため、実地盤の凍上量は小さくなるとされている。

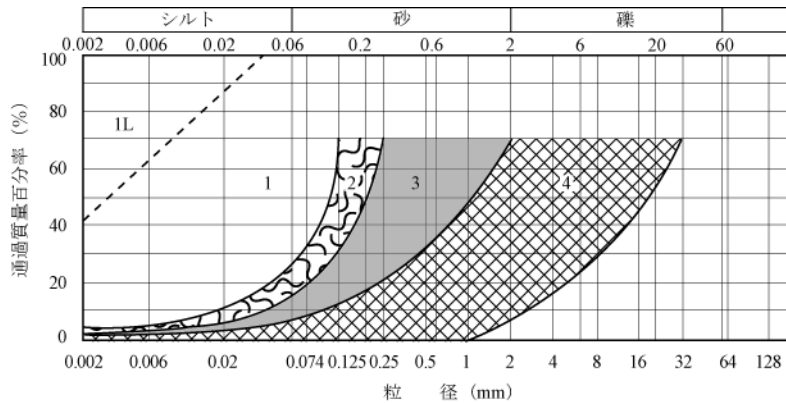


図 5-13 粒度と凍上性の関係（寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵）から引用）

(2) 温度（気温）

気温（寒さの程度）も凍上が発生する条件の一つであり、凍結指数により判定される。道路土工要綱⁵⁻¹⁹によると、凍上の検討を行う目安としては、凍結指数 $500^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$ 以上において適用することが多いとの記載がある。ただし、対象地域の既設構造物等の凍上被害に関する履歴等も勘案して判断しなければいけない。なお、凍結指数とは、日平均気温が連続し

て 0°C 以下となる日から、連続してプラスの温度になる日までの日平均気温を累積したもののことである。

次に、凍結深さの推定を行うが、ここで必要な気象観測データは気温である。ただし、現地の気温を計測するのは施工計画上の制限等で困難な場合も多々あるため、実務的には地域気象観測システム (AMeDAS) の観測地点データを利用することとなる。

凍結深さは凍上対策の選定と設計に活用する。凍結深さとは、凍結前の地表面から地中温度の 0°C までの最大深さと定義される。凍結深さの推定については、道路土工要綱⁵⁻¹⁹⁾を参照することができる。凍結深さの推定値は、設計で想定する凍結指数に対応した理論最大凍結深さとして算出する。以下は道路土工要綱⁵⁻¹⁹⁾を参考に記述した。

計算によって理論最大凍結深さを求める場合、現地の最寄りの気象データから凍結指数 F を求め、 F に対応する凍結深さを Aldrich による修正 Berggren 式を簡易化した次式によって計算する。

$$D_{\max} = C\sqrt{F} \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで、 D_{\max} は理論最大凍結深さ (cm)、 F は設計に用いる凍結指数 (°C・days)、 C は凍結係数である。

図 5-14 は細粒土と粗粒土における凍結指数と凍結深さの関係を示したものである。ここで A 曲線は凍上を起こしやすい細粒土 ($\rho_d=1.20\text{g/cm}^3$, $w=50\%$) からなる地盤、B 曲線は凍上を起こしにくい粗粒土 ($\rho_d=1.80\text{g/cm}^3$, $w=15\%$) からなる地盤を、地表面から冷却したときの凍結指数に対する凍結深さを計算したもので、道路土工ではこれが理論最大凍結深さの推定に用いられている。より正確に推定を行うには、実際の地盤の乾燥密度と含水比等のデータを収集し、理論最大凍結深さを求める必要がある。ここでは、凍上を起こしやすい細粒土を対象とすることになるため、A 曲線を用いて最大凍結深さを予測することとなる。

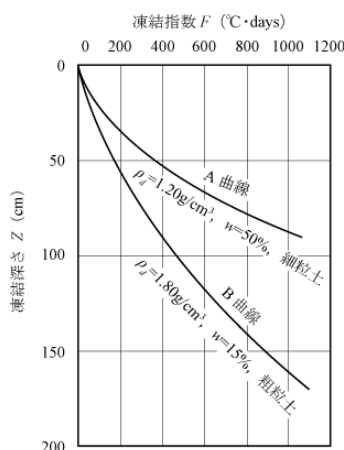


図 5-14 細粒土と粗粒土における凍結指数と凍結深さの関係
(寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵⁾から引用)

表 5-6 は A および B 曲線の凍結指数 F に対する凍結深さの計算値とそれを逆算して求めた凍結係数 C をまとめたものである。

表 5-6 凍結指数と凍結深さ、凍結定数の関係（寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵⁾から引用)

| 材料名 | 乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$ | 含水比 $w(\%)$ | 凍結指数 $F(^{\circ}\text{C} \cdot \text{days})$ | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 |
|------|---------------------------------|----------------|---|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | | | | 凍結深さ(cm) | | | | | | | | | | |
| A 曲線 | 1.20 | 50 | 凍結深さ(cm) | 25 | 37 | 45 | 53 | 61 | 67 | 74 | 79 | 84 | 89 | 93 |
| | | | C | 2.5 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 |
| B 曲線 | 1.80 | 15 | 凍結深さ(cm) | 37 | 58 | 76 | 91 | 105 | 117 | 130 | 141 | 150 | 161 | 171 |
| | | | C | 3.7 | 4.1 | 4.4 | 4.6 | 4.7 | 4.8 | 4.9 | 5.0 | 5.0 | 5.1 | 5.2 |

(3) 水分（地下水位および土壌水分）

水分の調査は主に地下水位を調べることとなる。ボーリング調査結果をもとに、地下水の位置（深さ）や分布、春先の融雪水の影響や湧水等の有無を確認することが重要である。

参考文献

- 5-1) 国土交通省: 大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説、2016.5
- 5-2) 今昔マップ (<https://ktgis.net/kjmapw/>)
- 5-3) Google Earth (<https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>)
- 5-4) 社団法人日本道路協会: 道路土工要綱、2009
- 5-5) 宮崎県: 宮崎県における確率降雨強度式（令和2年度版）、2021.8
<https://www.pref.miyazaki.lg.jp/kasen/kurashi/shakaikiban/20210816101255.html>
- 5-6) 一般社団法人日本建築学会: 小規模建築物基礎設計指針、2008
- 5-7) 宅地防災研究会: 宅地防災マニュアルの解説（第三次改訂版）、R4.2
- 5-8) 国土交通省: 河川砂防技術基準 計画編・設計編、2022.6 部分改訂
- 5-9) 林野庁: 治山技術基準、2020
- 5-10) 社団法人日本道路協会: 道路土工一切土工・斜面安定工指針、2009
- 5-11) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社
奥地建産: 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、2019
- 5-12) 一般社団法人日本建築学会: 構造用教材（2014年（改定））
- 5-13) 国立研究開発法人土木研究所: 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル
（案）、2010
- 5-14) 公益社団法人地盤工学会: 凍上性判定のための土の凍上試験方法（JGS 0172-2020）、
2020
- 5-15) 公益社団法人地盤工学会北海道支部: 寒冷地地盤工学—凍上被害とその対策—、2009
- 5-16) Kaplar, C. W.: Freezing Test for Evaluating Relative Frost Susceptibility of Various Soils,
CRREL Technical Report, No.250, pp.1-36, 1974
- 5-17) Casagrande, A.: Discussion on Frost Heaving. Proc., H.R.B., pp.168-188, 1932

- 5-18) ISSMFE TC-8: Grain size distribution as a frost susceptibility criterion of soils, VTT Symposium, Vol.1, pp.29-32, 1989
- 5-19) 日本道路協会編：道路土工要綱 平成 21 年度版、2011

6. 造成計画

6.1 基本事項（基本的な考え方）

1. 地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドラインによるほか、林地開発許可制度の許可基準や計画地の自治体による関連条例・施行規則についても準拠する。
2. 豪雨・暴風や地震などによる崩壊や地すべりなどにより、土砂や太陽光発電設備が流出し二次災害を生じさせないよう、事前に十分な工学的検討を行い、安全を確保する。
3. 気象や地形、地質などの自然条件を考慮した適切な設計条件の設定など、多岐にわたる工学的知見をもって技術的判断を行う必要があるため、必要に応じ専門家の協力を得る。

太陽光発電設備の建設に当たり、安全性・信頼性の向上、災害防止、自然環境保護などを目的に条例・規則を独自に定めている地方自治体があるので、事前に確認した上で準拠する必要がある。また、開発規模が大きい場合には林地開発許可制度の対象となる場合があるので、その許可基準を満足させる必要がある。

自治体によっては、切土高及び盛土高上限、のり面勾配上限、擁壁の設置、転圧要領、のり面端部から太陽光発電設備までの離隔距離などを規定している事例もある。

自然斜面や切土・盛土による造成地の斜面安定については、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⁶⁻¹⁾の「3.7 造成・排水の計画」のほか、林野庁「開発行為の許可基準等の運用について」⁶⁻²⁾、宅地防災マニュアル⁶⁻³⁾及び宅地防災マニュアルの解説⁶⁻⁴⁾、道路土工要綱⁶⁻⁵⁾、切土工・斜面安定工指針⁶⁻⁶⁾、盛土工指針⁶⁻⁷⁾などの技術指針を参考にすることができる。

造成計画に当たって、気象や地形、地質などの自然条件を考慮した適切な設計条件の設定など、多岐にわたる考察が必要となるが、これらには専門知識・技術が必要であることから、専門家の協力を得て調査計画立案、実施することが必要である。ここでの専門家としては、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、応用理学部門等、地盤品質判定士）などが該当する。

6.2 切土・盛土計画

1. 切土・盛土により斜面を改変する場合、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、適切な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。
2. 人工のり面の勾配やのり面途中に設ける小段については、本ガイドラインによるほか、林地開発許可制度の許可基準や計画地の自治体による関連条例・施行規則に準拠する。
3. 斜面を伴う造成を行う場合、崩壊や地すべり等により土砂や太陽光発電設備が流出し二次災害を生じさせないよう、事前に十分な工学的検討を行い、安全性を確保する。

4. 自然の斜面地形を利用して太陽光発電設備を設置する場合、洗掘や雨裂による土砂流出の恐れがあるため、のり面保護工を行う等、安全性を確保する。
5. 気象や地形、地質等の自然条件を考慮し、適切な造成計画や設計を行うには、多岐に亘る工学的知見をもって技術的判断を行う必要があるため、必要に応じ専門家の協力を得ることが望ましい。

切土・盛土により造成を行う場合の方法、留意事項は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⁶⁻¹⁾の「3.7 造成・排水の計画」を参照することができる。以降の 6.2.1～6.2.3 に「3.7 造成・排水の計画」の抜粋を示す。

盛土の場合の安定性照査、自然斜面及び切土の場合ののり面の安定性等の具体的な検討は、「開発行為の許可基準等の運用について」⁶⁻²⁾、盛土工指針⁶⁻⁷⁾の「第 4 章 設計」及び切土工・斜面安定工指針⁶⁻⁶⁾の「第 6 章 切土工」を参照することができる。このほか、林地開発許可制度の対象となる場合には、土砂の移動量、盛土等の勾配・締固め方法・小段設置、擁壁の設置などの許可基準を満足させる必要がある。

6.2.1 基本的な考え方

傾斜地設置型太陽光発電設備は、太陽電池アレイや設置架台が比較的小規模で簡易なものであることから、自然の斜面地形を活用したり、盛土・切土により造成した斜面に設置される例も多い。

豪雨や地震等の災害を誘因とした崩壊・地すべりなどに加え、暴風等による太陽光発電設備倒壊等により、周辺の社会基盤や家屋などに影響を与えた事例がある。今後、ますます自然災害が多発し、また、その規模が激化する中で、太陽光発電設備の安全性を十分確保する必要がある。

太陽光発電設備は、直接基礎あるいは杭基礎により支持されるが、比較的規模が小さいため表層付近の地盤状況の影響を受ける。表層付近の地盤が地すべりの変動し、太陽光発電設備が設置された傾斜地地盤が崩壊した場合、太陽光発電設備のみならず土砂の流出等も発生し、二次災害につながる懸念がある。

これらのことから、斜面の改変を伴う造成を行う場合に上記災害等を防止するために、のり面の勾配・形状等の設定方法、排水処理方法などについての基本的な考え方を示す。

なお、ここで示した基本的な考え方は、国土交通省による「宅地防災マニュアル⁶⁻³⁾」を参考にして整理している。具体的な検討においては「宅地防災マニュアルの解説⁶⁻⁴⁾」ならびに道路土工要綱等^{6-5)～6-7)}を参照すると良い。検討には、前項までに示した各種調査結果に加え造成設計技術等、多岐に亘る工学的知見を必要とすることから、必要に応じ専門家の協力を得ることが望ましい。

6.2.2 切土

切土により造成を行う場合、そののり面勾配は下記を目安にできる。のり高が5mより大きい場合は、のり高5m程度ごとに幅1~2mの小段を設けること。

表 6-1 切土のり面の勾配（擁壁の設置を要しない場合）⁶⁻³⁾

| のり高 のり面の土質 | 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) |

(注)括弧内の数字は、切土のり面の高さと同水平距離の比を示している。

地山は複雑な地層構成をなしていることが多く、のり面高が大きくなるにつれて不安定要素が増える。地山で次のような状況が確認される場合は慎重に検討を行い、余裕のあるのり面勾配にするなど、のり面の安定化に配慮する必要がある。

- ・ のり面が特に大きい場合
- ・ のり面が割れ目の多い岩または流れ盤である場合
- ・ のり面が風化の速い岩である場合
- ・ のり面が侵食に弱い土質である場合
- ・ のり面が崩積土などである場合
- ・ のり面に湧水などが多い場合
- ・ のり面又はがけの上端面に雨水が浸透しやすい場合

6.2.3 盛土

盛土により造成を行う場合、そののり面勾配は盛土材料の種類、材質等に応じて適切に設定し、原則として30度以下とする。のり高が5mより大きい場合は、のり高5m程度ごとに幅1~2mの小段を設けること。

次のような場合は盛土のり面の安定性の検討を十分に行った上で、安定化が図れる勾配を決定する必要がある。

- ・ のり面が特に大きい場合
- ・ 盛土が地山からの流水、湧水及び地下水の影響を受けやすい場合

- ・ 盛土箇所の原地盤が不安定な場合
- ・ 盛土が崩壊すると隣接物に重大な影響を与えるおそれがある場合
- ・ 腹付け盛土となる場合
- ・ 谷埋盛土の場合

6.3 排水計画

1. のり面の侵食防止、斜面安定化を図ることを目的として、排水工の設置を計画する。
2. 排水工はのり面保護工とあわせて最大限の効果が得られるよう計画する。
3. 排水計画については、本ガイドラインによるほか、林地開発許可制度の許可基準や計画地の自治体による関連条例・施行規則に準拠する。
4. 太陽電池モジュールから流下する雨水を考慮するものとし、その流出量を評価する。
5. 排水計画については、完成後だけでなく施工時を対象として、濁水の流出が生じないよう環境面からの検討を加える。

排水計画に当っては、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⁶⁻¹⁾の「3.7 造成・排水の計画」を参照することができる。

太陽光発電設備の用地において、切土・盛土などを行った造成地盤だけでなく、自然斜面においても排水工を設置し、のり面の侵食や土砂流出防止を図ることが必要である。排水工の設置にあたっては、計画流出量を算定し、集水・排水のための排水工のルート計画などを行い、放流先の排水能力を考慮した適切な計画を立案する必要がある。

斜面に設置する水路においては屈曲部や合流部において跳水現象が発生する可能性があり、跳水によりあふれた水は斜面の洗堀やのり面の崩壊などを引き起こす原因となる場合がある。排水計画においては、水理計算による水路の流下能力の照査に加え、水路の線形、流速を勘案した跳水発生の可能性の検討を加え、必要に応じて対策を講じる。

計画流量の算定に当っては、太陽光発電設備の用地内だけでなく、周辺の地形を考慮して適正な流域の設定、降雨強度、太陽電池モジュールや地表面の状態を考慮した適正な流出係数の設定が重要となる。一般に、地表面を舗装していない場合、降雨は地盤内に浸透することから流出係数は $C=0.5\sim 0.8$ 程度であるが、太陽電池モジュールなどを設置した場合、太陽電池モジュールは降雨を浸透させることがないため流出係数は $C=1.0$ となることに留意が必要である。また、太陽電池モジュールからの雨垂れによる地表面侵食についても適切に考慮する必要がある。

これらの技術的な検討にあたっては、下水道施設計画・設計指針と解説-2019年版⁶⁻⁸⁾、宅地防災マニュアルの解説⁶⁻⁴⁾の「XI章 治水・排水対策」、道路土工要綱（平成 21 年度版）⁶⁻⁵⁾の「第 2 章 排水」、道路土工 盛土工指針⁶⁻⁷⁾の「第 4 章 4-9 排水施設」、道路土工 切土工・斜面安定工指針⁶⁻⁶⁾の「第 7 章 のり面排水」、「開発行為の許可基準の運用について」⁶⁻²⁾などの技術指針を参考にすることができる。このほか、林地開発許可制度の対象となる場合には、排水施設や洪水調節池、沈砂池の設置などの許可基準を満足させる必要がある。

排水溝周りでの地盤侵食を防ぐ方法として、コンクリート製U型溝を使用する場合には、排水溝の側面や裏面に水がまわらないようソイルセメント等を打設して周辺を固める方法や、掘削した溝の中にじゃかごや多孔質コンクリート管等を敷設して周囲を砕石等で埋め戻す方法、溝の中に高分子材料の布を敷設して砕石を詰める方法（いわゆる明暗渠工）などがある。

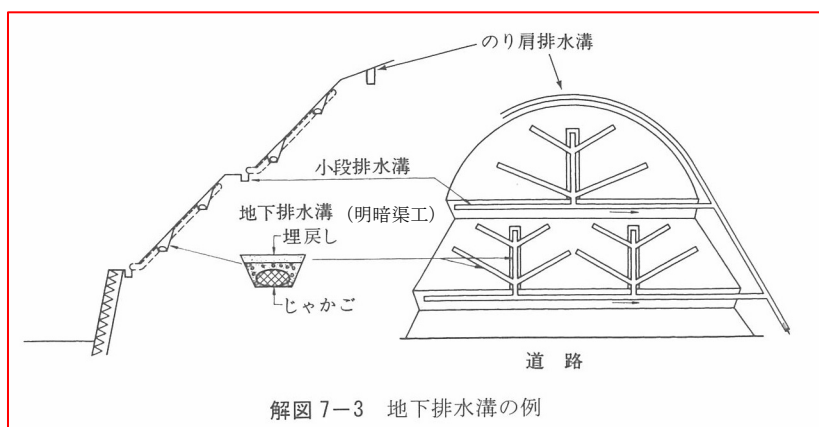
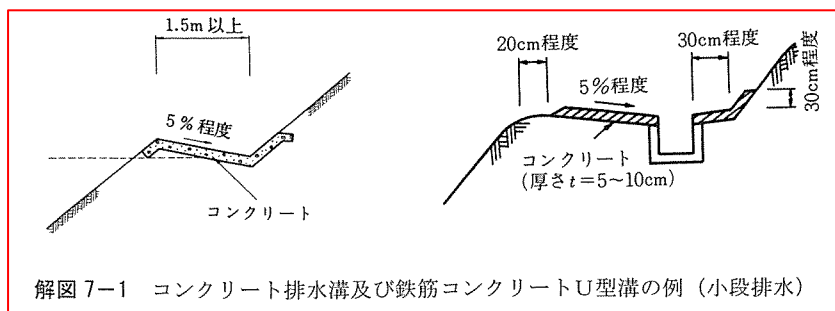
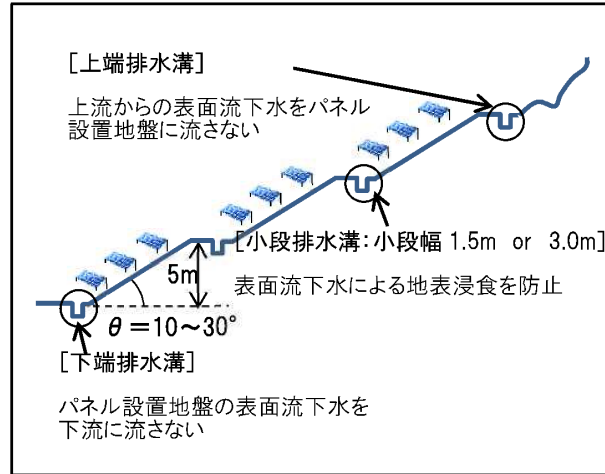


図 6-1 排水溝周りでの地盤侵食を防ぐ方法の一例

また、自治体の規制などの事例として、神戸市では神戸市太陽光発電施設の適正な設置及び維持管理に関する条例／許可申請及び届出等の手引き⁶⁻⁹⁾などの資料を公表している。これにはのり面勾配や小段の設け方、のり面の雨水排水施設計画に係る具体的な規定が示されている。他自治体においては、沈砂池や調整池の設置、植生工等によるのり面保護などを規定している事例もある。



特定工作物設置地盤 $10^\circ < \theta \leq 30^\circ$

図 6-2 雨水排水施設の設置に係る規制の例 ⁶⁻¹⁰⁾

自然斜面においては、樹木の伐採や切土・盛土などを伴う斜面改変や太陽電池モジュールの設置に伴い、斜面地盤の浸透能や保水能力低下や雨水などの流出量増大、流下速度が速くなるなどの変化が生じる。このため、下流側放流先の排水能力を越え、溢水による浸水被害などが発生しないよう必要に応じ、調整池の整備を検討することも必要である。

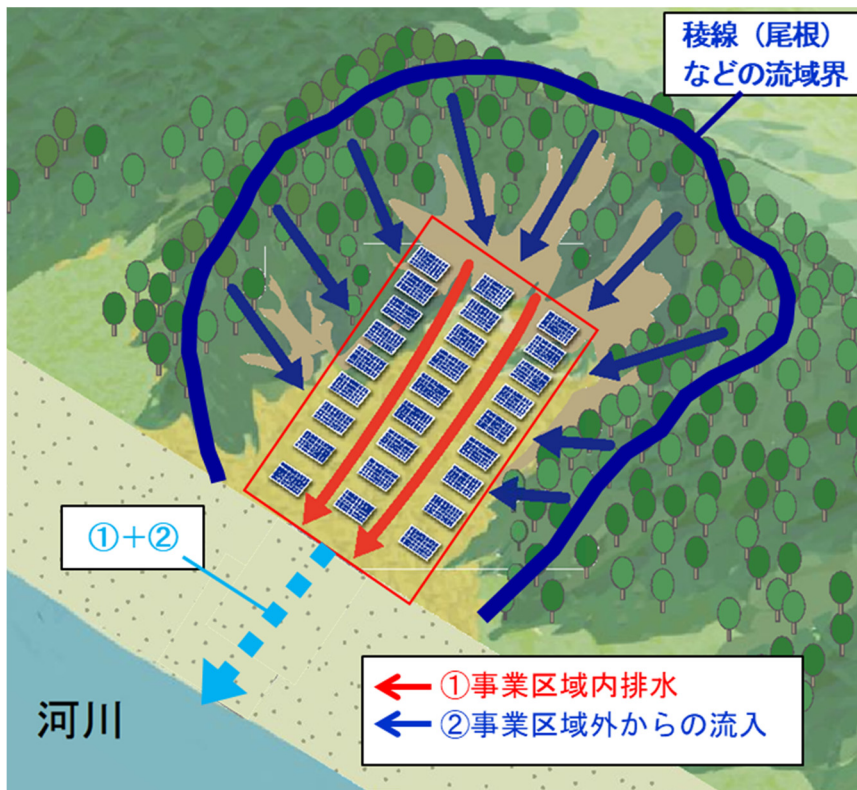


図 6-3 排水計画にて考慮すべき事業区域の排水対象

6.4 のり面保護及び斜面崩壊防止計画

1. 切土、盛土によるほか、自然斜面を利用する場合、侵食（リルやガリなど）の発達による土砂流出を防止するため、のり面保護工を行うなど安全性を確保する。
2. 崩壊などによる災害の発生が懸念される場合、事前にのり面の安定性について工学的検討を行い、安全性を確認するとともに、必要に応じ崩壊などの防止対策を計画する。
3. 傾斜地に設置した太陽光発電設備の下流域に保全対象がある場合、待ち受け工の設置について検討を行う。
4. のり面保護及び斜面崩壊防止計画については、本ガイドラインによるほか、林地開発許可制度の許可基準に準拠する。

のり面保護及び斜面崩壊防止計画に当っては、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⁶⁻¹⁾の「3.7 造成・排水の計画」、道路土工 切土工・斜面安定工指針⁶⁻⁶⁾の「第 8 章 のり面保護工」、宅地防災マニュアルの解説⁶⁻⁴⁾の「第 VII 章 のり面保護」、「開発行為の許可基準等の運用について」⁶⁻²⁾を参照することができる。

のり面保護工の選定の一般的な目安としては、のり面勾配が安定勾配よりかなり緩い場合には岩質・土質に適合した植生工を選定する。ここでいう安定勾配とは、盛土・切土の標準のり面勾配の平均値を一つの目安としている。安定勾配を確保できる場合でも、のり面で湧水が懸念される場合や、侵食しやすいのり面等には、簡易な土留工やのり枠等の緑化基礎工と植生工の組合せによるのり面保護を必要に応じて選定する。安定勾配よりも急なのり面勾配を採用する場合には、土圧やすべり土塊の滑動力に対抗できる擁壁工、地山補強土工、ロックボルト工、グラウンドアンカー工等の抑止力が期待できる構造物工を選定した上で可能ならば植生工の併用を検討する。なお、アレイ下では日光が当たりにくく植生工の劣化が懸念されるため、同環境での実績を踏まえて植生工を選定する必要がある。

侵食や崩壊などによる土砂流出は 1 回の豪雨でも大規模な事故になることがあるので、のり面の保護を検討する。例として下記に示す。

- ・ すべてのアレイ列の雨だれ箇所に U 字溝、沈砂枠を設ける。
- ・ アレイ下部はシートなどで覆う（アレイ下部は日陰であり、植物の根付きは期待できないので種子吹付は土砂流出対策として有効ではない）。

切土・盛土による造成に伴うのり面保護に加え、表面が崩壊しないよう擁壁を設置することも検討する。擁壁の構造検討については、宅地防災マニュアルの解説⁶⁻⁴⁾、道路土工—擁壁工指針⁶⁻¹⁰⁾、「開発行為の許可基準等の運用について」⁶⁻²⁾などの技術指針を参考することができる。このほか、林地開発許可制度の対象となる場合には、のり面崩壊防止やのり面保護、土砂流出防止の措置などの許可基準を満足させる必要がある。

6.5 環境・景観対策

1. 地盤の安定性、濁水、反射光、景観などの周辺環境への配慮事項とその対策については、計画の段階において検討する。
2. 周辺環境への配慮事項については、林地開発許可制度の許可基準や各地方自治体の環境影響評価条例、景観条例のほか、事業計画策定ガイドライン（太陽光発電）⁶⁻¹¹⁾、太陽光発電の環境配慮ガイドライン⁶⁻¹²⁾などを参考とする。

太陽光発電設備の規模にかかわらず、環境、景観に配慮する。太陽光発電設備の設置に伴い、土砂流出や濁水の発生、景観への影響、反射光による生活環境への影響などの問題が生じる事例が近年増加している。地域住民とのトラブルになる事例も報告されており、重要な動植物の生息・生育環境の改変などによる自然環境への影響も懸念されている。

太陽光発電設備の設置にあたっては、予めこれらの影響について事前調査及び検討を行い、必要な対策を講じる必要がある。周辺環境への配慮事項については、「開発行為の許可基準等の運用について」⁶⁻²⁾や各地方自治体の環境影響評価条例・景観条例のほか、事業計画策定ガイドライン（太陽光発電）⁶⁻¹¹⁾、太陽光発電の環境配慮ガイドライン⁶⁻¹²⁾を参考とすることができ、例として次の項目が挙げられる。このほか、林地開発許可制度の対象となる場合には、残置及び造成する森林の割合や配置などの許可基準を満足させる必要がある。

表 6-2 太陽光発電に係る環境配慮事項など

| 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 | ・ 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。 |

自治体の条例においては、上記の対策として、設置地盤の勾配上限の設定、植栽・塀などの遮蔽措置、稜線への設置制限、太陽電池モジュールの設置高さ制限、隣接する土地と

の緩衝帯の設置、のり面の緑化、低彩度の工作物の使用、事業区域内の山林の保全割合などを規定している事例もある。

参考文献

- 6-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社 奥地建産: 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、2019
- 6-2) 林野庁: 開発行為の許可基準等の運用について、2022
- 6-3) 国土交通省: 宅地防災マニュアル
(<https://www.mlit.go.jp/toshi/web/content/001322196.pdf>)、2019
- 6-4) 宅地防災研究会: 宅地防災マニュアルの解説 (第三次改訂版)、2022
- 6-5) 社団法人日本道路協会: 道路土工要綱 (平成 21 年度版)、2009
- 6-6) 社団法人日本道路協会: 道路土工一切土工・斜面安定工指針、2009
- 6-7) 社団法人日本道路協会: 道路土工一盛土工指針、2010
- 6-8) 公益社団法人日本下水道協会: 下水道施設計画・設計指針と解説 2019 年版、2019
- 6-9) 神戸市環境局: 神戸市太陽光発電施設の適正な設置及び維持管理に関する条例/許可申請及び届出等の手引き、2020
- 6-10) 社団法人日本道路協会: 道路土工一擁壁工指針、2012
- 6-11) 経済産業省資源エネルギー庁: 事業計画策定ガイドライン (太陽光発電)、2021
- 6-12) 環境省: 太陽光発電の環境配慮ガイドライン、2020

7. 太陽電池アレイの配置計画

1. 当該傾斜地における発電電力量と建設コストの最適なバランスを考慮して、アレイ面の方位と傾斜角度及びアレイ間の離隔距離を設定する。
2. 傾斜地の上端（のり肩）及び下端（のり尻）付近は、平坦地であっても崩壊のリスクが高く、とくに下端は土砂流入などのリスクが高いため、可能な限りアレイの設置は避ける。また、落石や倒木などの落下物の恐れがある場所への設置は避ける。
3. 離隔距離は、冬至の9時及び15時の日陰長さを目安に設定されるが、保守通路の確保についても配慮する。また、保守点検作業のため架台下の高さを確保する。
4. アレイ面の傾斜角度は、風圧荷重、積雪荷重も考慮して設定する。
5. 最終的なアレイのレイアウトについては、傾斜地の形状とアレイ面の高さを三次元的に把握して、アレイ面や基礎・架台の接触及び日陰の影響がないことを確認する。

アレイの配置計画については、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⁷⁻¹⁾の3.8節「配置計画（ラフプラン）」が参考となる。

傾斜角が大きい斜面に設置される太陽光発電システムでは、アレイ面や基礎・架台の接触が生じたり、平面図上だけでは確認できない日陰の影響が生じたりする場合がありますので、三次元的な配置の影響を十分に配慮しておく必要がある。

傾斜地における保守点検は、平坦地と比べて保守性が低下するため、以下を考慮して保守通路を十分に確保しておくことが望ましい（13.3、15.4も参照）。

- ・ 作業員2名で破損パネルなどを交換できる安全なスペースを確保する。
- ・ 急傾斜地では階段や命綱を設置する。
- ・ 必要に応じて移動、運搬用のモノレールを設置する。

また、南斜面の発電設備においては斜面に沿って大型のアレイ面を構成されることがあるが、この場合アレイ面下部での著しいメンテナンス性の低下やアレイ面の水下端部での集中的な雨だれによる地盤侵食が懸念されるため、これらに対する事前の配慮・対策が必要である。



写真 7-1 大型アレイの設置事例（撮影：構造耐力評価機構）

参考文献

- 7-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社奥地建産: 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、2019

8. 設計荷重

1. 設計荷重は、JIS C 8955:2017「太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法」⁸⁻¹⁾に準じて算定する。ただし、公共工事標準仕様書などで指定があった場合にはそれに従う。

8.1 想定荷重と荷重の組合せ

1. 太陽光発電設備の架台及び基礎の設計で想定する荷重は、上部構造に作用し基礎に伝達される固定荷重・積雪荷重・風圧荷重・地震荷重とする。
2. 前号に掲げる荷重のほか、当該設置環境において想定される荷重を考慮する。
3. 各荷重の組合せは表 8-1 に従う。

表 8-1 荷重条件と荷重の組合せ

| 荷重条件 | | 一般の地方 | 多雪区域 |
|------|-------|-------------|-------------|
| 長期 | 常時 | G | G |
| | 積雪時 | | $G+0.7S$ |
| 短期 | 積雪時 | $G+S$ | $G+S$ |
| | 暴風時 | $G+W$ | $G+W$ |
| | | | $G+0.35S+W$ |
| 地震時 | $G+K$ | $G+0.35S+K$ | |

G : 固定荷重、 S : 積雪荷重、 W : 風圧荷重、 K : 地震荷重

8.2 固定荷重

1. 固定荷重は、太陽電池モジュールの重量と支持物の重量の総和とする。
2. 支持物にパワーコンディショナ、配線、その他の機器などが固定されている場合には、それらの重量も加算する。

架台にパワーコンディショナや配線などが固定されている場合には固定荷重が増加するため、それらの重量を加算する必要がある。特に、パワーコンディショナの固定荷重は局所的に作用するので、取付けられる支柱の地震荷重や当該基礎への鉛直荷重に算入する。

8.3 風圧荷重

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)。

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

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

ここで W_a : アレイ面の設計用風圧荷重 (N)
 W_b : 支持物構成材などの設計用風圧荷重 (N)
 C_a : アレイ面の風力係数 (8.3.2 参照)
 C_b : 支持物構成材の風力係数 (8.3.2 参照)
 q_p : 設計用速度圧 (N/m²) (8.3.1 参照)
 A_a : アレイ面の受風面積 (m²) (表 8-4 参照)
 A_b : 支持物構成材の受風面積^注 (m²)

注：支持物構成材の受風面積は地盤と平行の方向の投影面積としてもよい。

※ C_a 、 C_b は JIS C 8955:2017⁸⁻¹⁾による。

支持物に付帯するパワーコンディショナなどについても風圧荷重が作用するため、それらの荷重を加えることとする。支持物の風圧荷重は、傾斜地とその付近においては、風速の増加が懸念されるため、設計速度圧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とした。なお、風洞実験の実施に当っては、自然風の気流特性の再現や縮小模型を使用した場合の実験相似則の考慮など、専門的な知識を要するため、文献 8-3)、8-4)を参考に専門家の指導の上、実施する。

- ・ 「太陽光発電システム耐風設計マニュアル」、太陽光発電システム風荷重評価研究会編、日本風工学会・東京工芸大学風工学研究拠点、2017年2月⁸⁻³⁾
- ・ 「実務者のための建築物風洞実験ガイドブック」、日本建築センター、2008年⁸⁻⁴⁾

また、数値流体解析においては、その解析条件（乱流モデル、格子分解能、境界条件など）によって結果の信頼性にばらつきが生じるため、文献 8-5）を参考に専門家の指導の上、実施する。

- ・ 「建築物荷重指針を活かす設計資料 2 —建築物の風応答・風荷重評価／CFD適用ガイド—」、日本建築学会、2017年2月⁸⁻⁵⁾

8.3.1 設計用速度圧

1. 設計用速度圧は、式 (8.3) によって算出する。

$$q_p = 0.6 \times V_0^2 \times E \times I_w \dots \dots \dots (8.3)$$

ここで q_p : 設計用速度圧 (N/m²)
 V_0 : 設計用基準風速 (m/s)
 E : 環境係数
 I_w : 用途係数

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。

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

ここで E : 環境係数
 E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数
 E_g : 地形による風速の割り増し係数
 G_f : ガスト影響係数 (JIS C 8955:2017 の表 3 による)

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 以下の場合には式 (8.5)、 H が Z_b を超える場合は式 (8.6) によって算出する。

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

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

ここで Z_b 、 Z_G 、 α : JIS C 8955:2017⁸⁻¹⁾ の表 4-3 による

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。

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

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

ここで、 C_1 、 C_2 、 C_3 ：小地形による風速の割り増し係数 E_g を定めるパラメータで、小地形の形状、小地形の傾斜角度 θ_s (度)、小地形の頂部から建設地点までの水平距離 X_s (m) に応じて、表 8-2、表 8-3 により定める。傾斜角度 $\theta_s \geq 60$ 度の場合の風速の割り増し係数 E_g は、 $\theta_s = 60$ 度の値と同じとする。

Z ：地表面からの高さ (m) で、 Z_b (m) 以下については Z_b (m) とする。

H_s ：傾斜地または尾根の高さ (m)

L_s ：小地形の頂部から小地形の高さ H_s (m) 1/2 の位置までの水平距離 (m)

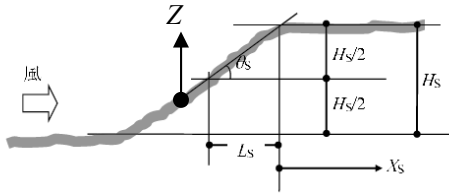


図 8-1 傾斜地

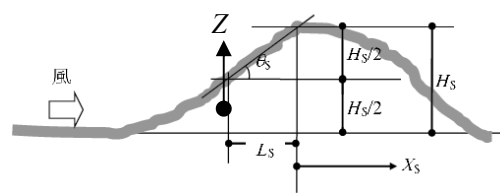


図 8-2 尾根状地形

表 8-2 E_g を定めるパラメータ (傾斜地)

| θ_s (度) | | X_s/H_s | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | -4 | -2 | -1 | -0.5 | 0 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 8 |
| 7.5 | C_1 | 1.15 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.45 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.15 |
| | C_2 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.4 |
| | C_3 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 |
| 15 | C_1 | 0.4 | 1 | 1.2 | 1.55 | 2.1 | 1.65 | 1.5 | 1.3 | 1.2 | 1.15 |
| | C_2 | 0.9 | 0 | 0.65 | 0.85 | 1 | 0.8 | 0.7 | 0.55 | 0.45 | 0.35 |
| | C_3 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 |
| 30 | C_1 | 0.7 | -0.5 | 1.05 | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 1.25 | 1.2 | 1.15 | 1.1 |
| | C_2 | 0.65 | 1.2 | 1.65 | 1.5 | 1.45 | 1.3 | 0.9 | 0.9 | 0.85 | 0.6 |
| | C_3 | -2 | -2 | 1 | 0.8 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.2 | 1.4 |
| 45 | C_1 | 0.8 | 0 | -3.5 | 1.1 | 1.2 | 1.35 | 1.3 | 1.2 | 1.15 | 1.1 |
| | C_2 | 0.5 | 1 | 1.6 | 2 | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 0.9 | 0.55 |
| | C_3 | -2 | -2 | -2 | 0.8 | 0.3 | 0.2 | 0.75 | 1.05 | 1.4 | 2 |
| 60 | C_1 | 0.6 | 0.1 | -1.8 | -2.4 | 1.2 | 1.4 | 1.35 | 1.25 | 1.15 | 1.1 |
| | C_2 | 0.65 | 0.9 | 1.3 | 2.6 | 2 | 1.8 | 1.7 | 1.5 | 0.85 | 0.45 |

| | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | C_3 | -2 | -2 | -2 | -1 | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 1.9 | 3.1 |
| 表 8-3 E_g を定めるパラメータ (尾根状地形) | | | | | | | | | | | |
| θ_s (度) | | X_s/H_s | | | | | | | | | |
| | | -4 | -2 | -1 | -0.5 | 0 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 8 |
| 7.5 | C_1 | 1.1 | 1.2 | 1.35 | 1.35 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1 |
| | C_2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 2 | 1.6 | 0 |
| | C_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.9 | 0 |
| 15 | C_{11} | 1 | 1.05 | 1.2 | 1.25 | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.25 | 0.35 | 0.65 |
| | C_2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1.5 | 1.5 | 2 | 3 | 2 |
| | C_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.6 | 1.1 | 0.2 | 0.3 |
| 30 | C_1 | 0.75 | 0.55 | 0.85 | 1 | 1.2 | 1.3 | 1.25 | 1.2 | 1.1 | 1.02 |
| | C_2 | 1.5 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1.6 | 1.7 | 1.7 |
| | C_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.1 | 1.3 | 2.1 | 2.2 | 2.8 |
| 45 | C_1 | 0.75 | 0.55 | 0.2 | 0.75 | 1.15 | 1.2 | 1.15 | 1.12 | 1.1 | 1.02 |
| | C_2 | 1.5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2.5 | 2.5 | 2 | 1.6 | 1.3 |
| | C_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | 1.9 | 2.2 | 2.5 | 3.2 |
| 60 | C_1 | 0.75 | 0.55 | 0.2 | 0.2 | 1.15 | 1.12 | 1.15 | 1.12 | 1.1 | 1.02 |
| | C_2 | 1.5 | 1.5 | 1.8 | 3 | 1 | 2.2 | 2.5 | 2 | 1.6 | 1.3 |
| | C_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 2 | 2.3 | 2.6 | 3.4 |
| 注)表に揚げる傾斜角 θ_s (度) 及び水平位置 X_s/H_s の中間値に対する風速の割り増し係数 E_g については、最も近い2つの傾斜角と水平位置について、風速の割り増し係数を求めた上、それについて直線補間した値とする | | | | | | | | | | | |
| 6. 用途係数 I_w は JIS C 8955:2017 ⁸⁻¹⁾ 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。 | | | | | | | | | | | |

太陽光発電設備を傾斜地や崖地の近傍に設置する場合には、地形による設計風速の割り増しを考慮する必要がある。対象となる地形が比較的単純な地形である場合には、建築物荷重指針・同解説に示された「小地形による風速の割増し係数」を用いることができることとした。複雑な地形の場合には、風洞実験や数値流体解析など、適切な方法によって地形による風速の割増し係数を求める。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。

環境係数 E を算定する際のアレイ面の平均高さ H は、図 8-3 に示す最も風上側のアレイの地盤面からの高さ (H_1 及び H_2) を基本とする。なお、便宜的に H_1 と H_2 のいずれか大きい方を用いてもよい。

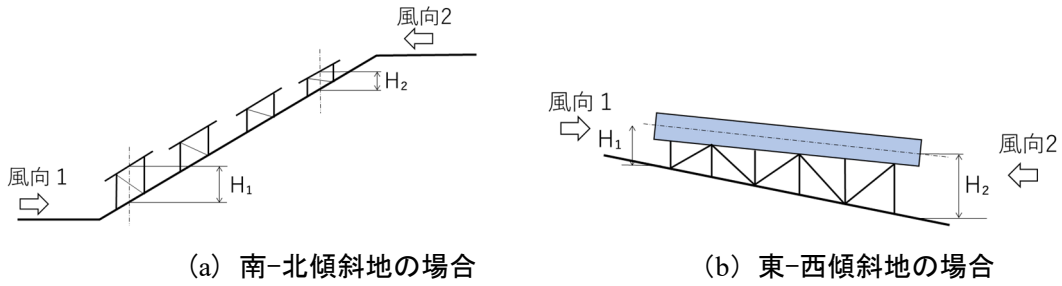


図 8-3 傾斜地におけるアレイ面の平均高さ H の考え方

また、JIS C 8955:2017 に示された基準風速 V_0 は再現期間 50 年に相当する風速値であるが、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 に建築物荷重指針・同解説に示された再現期間換算係数を乗じることで、任意の再現期間の風圧荷重を設定することができる。このとき、同 JIS の基準風速 V_0 が 1993 年版の建築物荷重指針・同解説に基づいて設定されていることから、同指針に示された再現期間換算係数 R の算定式 (式 8.8) を用いることが望ましい。

$$R=0.54+0.1 \times \ln(t) \dots\dots\dots (8.8)$$

t : 任意の再現期間 (年)

なお、この式は再現期間 100 年の風速からの換算に用いられるため、再現期間 50 年の基準風速 V_0 に対する換算係数 R_t/R_{50} として使用する場合には、式 (8.9) を用いる必要がある。

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

8.3.2 風力係数

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 8955:2017⁸⁾ 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。

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

表 8-4 アレイ面の風力係数 C_a

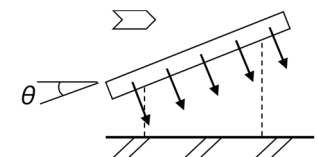
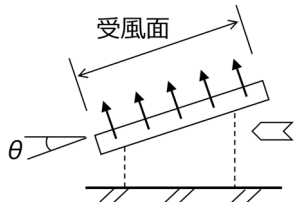
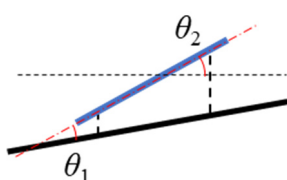
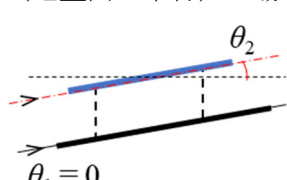
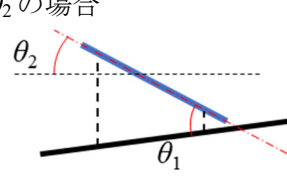
| 風力係数 C_a | | 適用 |
|---|--|--------------------------------|
| 順風 (正圧) | 逆風 (負圧) | 中央部アレイ*では、近似式の値を0.6倍して使用してもよい。 |
|  |  | |
| 注記： \sum は風向、 \rightarrow は風圧力の方向を表す ※：中央部アレイの範囲は JIS C 8955:2017 の図 2 参照 | | |

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

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 C 8955:2017⁸⁻¹⁾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。

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。JIS C 8955:2017⁸⁻¹⁾においては、その解説において風速（環境係数）の割増しについての記載はあるが、風力係数への影響に関する記述はない。既往の

研究結果⁸⁻⁶⁾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。

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⁸⁻⁷⁾の技術資料においても同様の風圧荷重算定方法を提示していることから、本ガイドラインにおいてもこの方法を採用している。ただし、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【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。

のり肩付近に設置され、かつ地盤勾配が 15 度を超える場合には、順風（正圧）の風力係数が増加する傾向にある。このとき、式 (8.12) のようにのり肩付近の風速の割り増し係数 E_g を用いて風力係数の割り増しすることでおおむね安全側に風圧荷重を設定することができる。このとき、中央部アレイの風力係数の低減（0.6 倍）は行わない。

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

E_g ：風速割り増し係数（式 (8.7) 参照）

ただし、5 度 $\leq\theta\leq$ 30 度

また、表 8-5 に示す $\theta_1>\theta_2$ の場合でのり尻に設置されるアレイにおいては、逆風（負圧）の風力係数の大きさが増加する傾向にあるため、式 (8.13) によって風力係数の割り増しを行うこととおおむね安全側に風圧荷重を設定することができる。

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

Φ ：傾斜地の勾配（度）

ただし、5 度 $\leq\theta\leq$ 30 度かつ 0 度 $\leq\Phi\leq$ 30 度

これらの風力係数の割り増しについては、限られた測定条件での風洞実験結果から与えられているので、実際の地形を再現した風洞実験によって確認することを推奨する。

また、傾斜地に設置される太陽電池アレイの場合、アレイ面が列方向（東西方向）にも傾斜していることがあるので、支持物構成材だけでなく、アレイ面についても列方向の風圧荷重を適切に設定する必要がある。

8.4 積雪荷重

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。

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的设计ガイドライン 2019 年版⁸⁻⁷⁾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。

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 ($h/Z_s \leq 2$) 以下となる場合である (図 8-5 参照)。

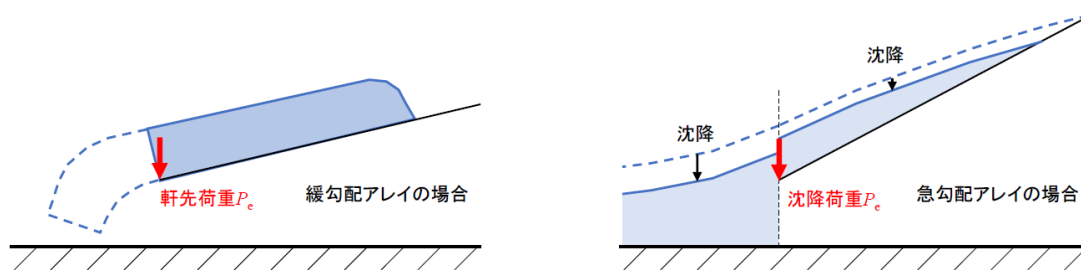


図 8-4 軒先荷重のメカニズム⁸⁻⁷⁾

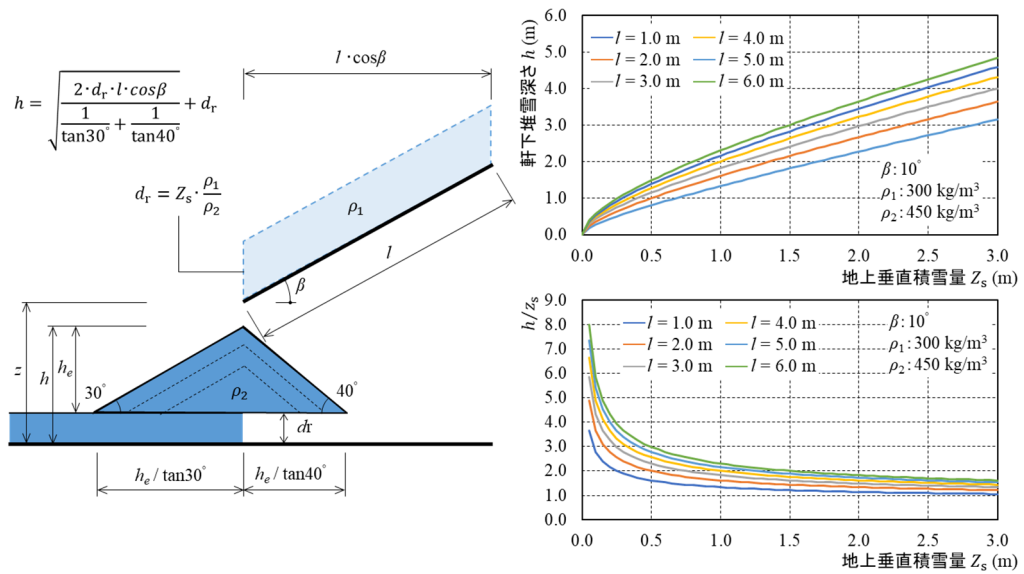


図 8-5 軒高算定モデルと地上垂直積雪量と軒高との関係

一方、設計用積雪深の 2 倍未満の高さになると、アレイ面に作用する積雪荷重に加えてアレイ面下端に雪庇の重力あるいは沈降力に起因する軒先荷重が作用する。このような荷重が作用することによって太陽電池アレイが損傷・倒壊する事例が見受けられるため、設計用の荷重として考慮する必要がある。

日本建築学会建築物荷重指針・同解説⁸⁻⁸⁾によると、積雪の沈降荷重 F_{smax} (kN/m)について、最大積雪荷重を S_{max} (kN/m²)とすると、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。

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

$$F_{smax} = 1.4S_{max} \dots\dots\dots (8.16)$$

これまでの実証実験では、平地と傾斜地を対象に、太陽電池アレイ試験体を用いた積雪荷重及び軒先荷重の測定を行い、軒先荷重については、上記の式 (8.15) 及び式 (8.16) と比較した。図 8-6 に、これまでの平地及び傾斜地での実証実験で得られた地上積雪荷重と軒先荷重との関係を示す。平地の場合をみると、太陽電池アレイにおける勾配の影響は小さく、いずれの勾配においても荘田の式の 2/3、あるいは、中俣・須藤の式の 2/3 に概ね対応しており、測定された値を概ね包括している中俣・須藤の式の 2/3 で軒先荷重を算定することが望ましい。これに対し、傾斜地の場合をみると、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。

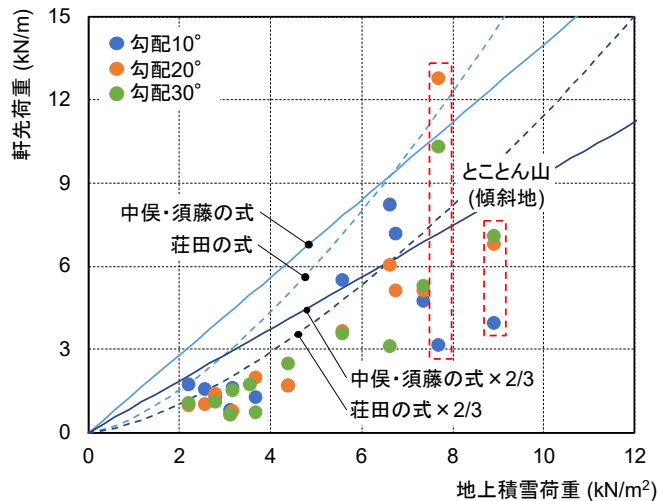


図 8-6 実証実験で得られた地上積雪荷重と軒先荷重との関係

これは、太陽電池アレイ試験体全体が積雪で覆われたため、軒先荷重が小さく測定されたためであると考えられる。図 8-7 に、これまでの実証実験で得られた勾配と勾配係数との関係を示す。なお、勾配係数は、地上積雪荷重に対するアレイ面の積雪荷重との比である。両者の関係をみると、勾配の増加に伴い勾配係数が減少する傾向を示し、概ね JIS C 8955:2017 の勾配係数を下回っている。一方、JIS C 8955:2017 の勾配係数を上回るケースも存在し、新庄市及び傾斜地の測定結果が該当している。このような勾配係数が JIS C 8955:2017 を上回る場合の積雪状況をみると、太陽電池アレイ試験体が積雪で覆われる冬期であり、図中に示すように、傾斜地においては、いずれの勾配においても太陽電池アレイ試験体全体が積雪で覆われていた。この場合、試験体全体に沈降荷重が作用することになり、そのため、勾配係数が JIS C 8955:2017 を上回り、アレイ棟側に作用した沈降荷重が軒側を引き上げることによって軒先荷重が小さくなったと考えられる。

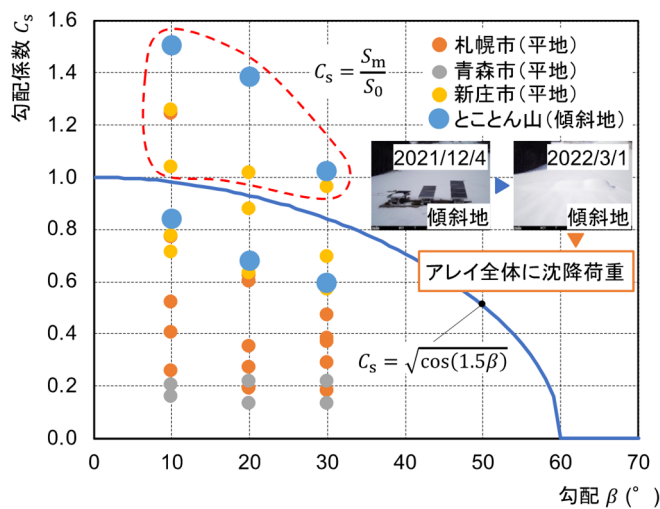


図 8-7 実証実験で得られた勾配 β と勾配係数 C_s との関係

傾斜地に設置した太陽電池アレイ試験体の軒高は 1.2m であり、試験体全体が積雪で覆われた際の地上積雪深は 2.3m 程度となり、試験体の軒高は地上積雪深の 1/2 程度であった。このような状況をみると、軒高が低すぎると設計用積雪荷重を上回る恐れがあることから、軒高は少なくとも設計用積雪深程度に設定する必要がある。その上で荘田の式や中俣・須藤の式を用いて軒先荷重を算定して構造計算を行うことが望ましい。

アレイ面に作用する積雪荷重のほか、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。

斜面雪圧は、2005 除雪・防雪ハンドブック（防雪編）⁸⁾⁹⁾（以下、除雪・防雪ハンドブックという。）に示されている式を用いて算定することができる。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。

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

クリープ係数 K は、斜面勾配を ϕ とすると、以下の表 8-6 から算定される。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 |

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。このようなグライド係数は、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考えられる。

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 | 2.4 | 2.7 |

| | | |
|---|-----|-----|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 丈 1m 以上のかん木地 ・ 50cm 以上の凹凸地面 | | |
| III・ 小さいかん木地 <ul style="list-style-type: none"> ・ 50cm 以下の凹凸地面 ・ 草地 | 3.0 | 3.6 |
| IV・ 平滑岩盤 <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 <ul style="list-style-type: none"> ・ 大岩の凹凸面 | 1.2 | 1.3 |
| II・ れき (φ30cm 以下) の斜面 <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 <ul style="list-style-type: none"> ・ 50cm 以下の凹凸地面 ・ 草地 | 2.0 | 2.4 |
| IV・ 平滑岩盤 <ul style="list-style-type: none"> ・ 葉の長い草地 ・ 湿地 | 2.6 | 3.2 |

8.5 地震荷重

1. 設計用地震荷重は、一般の地方では式 (8.18)、多雪区域では式 (8.19) によって算出する。

$$K_p = k_p \times G \dots\dots\dots (8.18)$$

$$K_p = k_p \times (G + 0.35S) \dots\dots\dots (8.19)$$

ここに、

- ここで
- K_p : 設計用地震荷重 (N)
 - k_p : 設計用水平震度
 - G : 固定荷重 (N)
 - S : 積雪荷重 (N)

※ k_p は JIS C 8955:2017⁸⁻¹⁾による。

参考文献

- 8-1) 日本規格協会: JIS C 8955:2017 太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法、2017
- 8-2) 一般社団法人日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説、2015
- 8-3) 太陽光発電システム風荷重評価研究会編: 太陽光発電システム耐風設計マニュアル、日本風工学会・東京工芸大学風工学研究拠点、2017
- 8-4) 日本建築センター: 実務者のための建築物風洞実験ガイドブック、2008
- 8-5) 日本建築学会: 建築物荷重指針を活かす設計資料 2 —建築物の風応答・風荷重評価／CFD適用ガイド—、2017
- 8-6) 染川大輔、小泉達也、田畑侑一、谷口徹郎、谷池義人: 傾斜地に設置した太陽電池アレイの風力係数(その2)アレイの風力係数、平成25年度日本風工学会年次研究発表会、日本風工学会誌、Vol.38, No.2 (No.135)、2013
- 8-7) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社奥地建産: 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、2019
- 8-8) 日本建築学会編: 建築物荷重指針・同解説(2015)、5章 雪荷重、pp.207-293、2015.2
- 8-9) 日本建設機械化協会、雪センター編: 2005 除雪・防雪ハンドブック(防雪編)、6. 防雪対策 iv) 予防柵、pp.189-207、2004.12

9. 使用材料

9.1 鋼材

1. 支持物に使用される鋼材は、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料とする。また、使用される目的、部位、環境条件、耐久性などを考慮して選定する。
2. 建築系、土木系の各種技術基準などに示されている J I S 規格に基づく材料を使用する場合、技術基準などに示されている断面性能諸元などの特性値を使用することができる。

鋼材の材質・形状・寸法は、原則として鋼構造設計規準—許容応力度設計法—⁹⁻¹⁾及び軽鋼構造設計施工指針・同解説⁹⁻²⁾に従い、適切に選定する。コンクリートの補強などに使用する鉄筋及び金網は、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」⁹⁻³⁾及び JIS G 3551「溶接金網及び異形鉄筋格子」⁹⁻⁴⁾に従い、適切に選定する。ステンレス鋼などの特殊鋼については、その強度特性、耐久性などを十分に考慮して、適切に選定する。

鋼構造設計規準—許容応力度設計法—⁹⁻¹⁾及び軽鋼構造設計施工指針・同解説⁹⁻²⁾に記載がない、もしくは海外規格などの鋼材についてはその強度特性、耐久性などを十分に考慮して、適切に選定する。

9.2 アルミニウム合金材

1. 架台に使用するアルミニウム合金材は、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料とする。
2. アルミニウム合金材の材質は、使用される目的、部位、環境条件、耐久性などを考慮して選定する。

アルミニウム合金材の材質・形状・寸法は、原則としてアルミニウム建築構造設計規準・同解説⁹⁻⁵⁾に従い、適切に選定する。アルミニウム建築構造設計規準・同解説⁹⁻⁵⁾に記載がない、もしくは海外規格などのアルミニウム合金材についてはその強度特性、耐久性などを十分に考慮して、適切に選定する。

9.3 コンクリート

1. 支持物に使用するコンクリート及びコンクリート製品は、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料とする。また、使用される目的、部位、環境条件、耐久性などを考慮して、コンクリートの規格・仕様を選定する。

支持物に使用するコンクリート材料の種類及び品質は、原則として建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事⁹⁻⁶⁾またはコンクリート標準示方書⁹⁻⁷⁾に従い、適切に

選定する。使用するコンクリート強度について、無筋コンクリートでは圧縮強度 18N/mm^2 、鉄筋コンクリートでは圧縮強度 24N/mm^2 以上を使用することが望ましい。コンクリート製品は J I S 規格に準拠する製品を基本とし、強度特性が明確なものを使用する。

9.4 その他材料

1. その他の材料を用いる場合には、使用される目的、使われる部位、環境条件、耐久性などを勘案し、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料とする。
2. 使用に当たっては、その材料強度を把握する。

新材料に関しては、その強度特性、耐久性などを十分に考慮して、適切に選定する。

参考文献

- 9-1) 一般社団法人日本建築学会: 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—、2005
- 9-2) 一般社団法人日本建築学会: 軽鋼構造設計施工指針・同解説、2002
- 9-3) 一般社団法人日本規格協会: JIS G 3112:2020 鉄筋コンクリート用棒鋼、2020
- 9-4) 一般社団法人日本規格協会: JIS G 3551:2005 溶接金網及び異形鉄筋格子、2005
- 9-5) アルミニウム建築構造協議会: アルミニウム建築構造設計規準・同解説、2016
- 9-6) 一般社団法人日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2018
- 9-7) 土木学会: コンクリート標準示方書、(【設計編】、2017) 他

10. 架台設計

10.1 傾斜地における架台設計の注意点

1. 敷地内の地盤の勾配が同一でない場合、アレイのバリエーションが多くなりやすいため、全ての架台構成についての安全性を確認する。
2. 杭基礎の突出高さでアレイのレベル調整を行う場合、架構モデルの支点（支柱の下端）の拘束を適切に評価したうえで各部材の応力計算を行う。
3. アレイ面が南北方向だけでなく東西方向にも傾斜している場合、東西方向への風圧荷重や積雪荷重が大きくなるため、南側及び北側構面の剛性と強度の確保に留意する。

自然の地形を活かした傾斜地に太陽光発電設備を設置する場合、敷地内の勾配が同一でないため、アレイのバリエーションが多くなりやすい。この場合、全ての架台架構について構造計算を行うことが望ましいが、できない場合には架台の架構特性（傾斜角度、柱スパン、部材の長さなど）を考慮した上で、全ての架台の安全性が確認できる代表的な架台を選定して構造計算を行う。

東西方向に傾斜している地盤面に設置されるアレイにおいては、アレイ面が南北方向だけでなく、東西方向に傾斜していることが多い。その場合、東西方向への風圧荷重が大きくなり、積雪時にはグライド現象やクリープ現象も起こりうるため、南側及び北側構面（東西方向の荷重を負担する構面）の剛性と強度の確保についても留意して設計する必要がある。

10.2 架構形式と構造解析モデル

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。

構造解析モデルの作成において、架構形式を正確に再現することは難しいことから、各種の仮定が設定されるが、それらの仮定が構造設計上、安全側に評価されるよう設定することが重要である。特に、太陽光発電設備の架台の接合部では、部材間の軸心がずれている偏心接合が多く、その場合には偏心によって作用する付加応力の影響を考慮する必要がある。また、地上から突出した杭基礎の上端に接合された支柱の場合、杭基礎の変形が架台の部材応

力に与える影響が大きいので、支柱基部の支持条件を正しくモデル化する必要がある。これらの詳細については、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¹⁰⁻¹⁾の 6.1 節を参照されたい。なお、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杭基礎の抵抗力低下の可能性が高い。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。

10.3 構造計算

1. 荷重の算定は「8.設計荷重」に従う。
2. 応力と変形の算定には、力のつり合い式やマトリックス変位法などを用いる。
3. 架台部材及び基礎の設計は、許容応力度設計とする。
4. 部材の設計は、部材の材質・形状や板厚などの特徴に合った法令・学会指針類を適用する。
5. 許容応力度の算定には、補剛などを考慮した適切な支点間長さを用い、座屈などを考慮した評価式を用いる。
6. 部材の応力度検定には、幅厚比や突出部の控除を考慮した有効断面積を用いる。

構造計算の詳細については、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¹⁰⁻¹⁾の 6.2 節を参照されたい。

参考文献

- 10-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社奥地建産：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、2019

11. 基礎の設計

11.1 傾斜地における基礎設計の注意点

1. 直接基礎の場合、根入れ部分の下り勾配方向への受働土圧が小さくなるため、十分な根入れ深さを確保する。
2. 杭基礎の場合、下り勾配方向への水平抵抗力が小さくなるため、十分な貫入深さを確保する。
3. 斜面における水平地盤反力係数など、地盤特性の定量的評価手法が確立されていないため、原位置での杭の載荷試験を行い、設計に反映させる。
4. 雨水などの地表流や侵食による設計地盤面の低下や鋼材の腐食進行が想定される場合、その影響について検討し対策を講じる。

傾斜地に設置する基礎では、斜面の下り勾配方向、上り勾配方向に外力が作用した場合、それぞれの水平抵抗力は異なることが容易に想像できる。また、鉛直方向の抵抗力についても平地の場合と異なる懸念がある。これらについては、現時点では具体的な知見や定量的な評価方法はないため、原位置における杭の載荷試験を行って支持力を評価し、設計に反映させることとする。

11.2 基礎形式

1. 基礎は鉄筋コンクリート造による直接基礎または杭基礎とし、上部構造が地盤に対して構造上支障のある沈下・浮き上がり・転倒・横移動を生じないように安全に支持できる構造形式とする。

太陽光発電設備の基礎は図 11-1 のように分類され、対象地盤の特性及び施工性を考慮して有効な基礎を選定する。

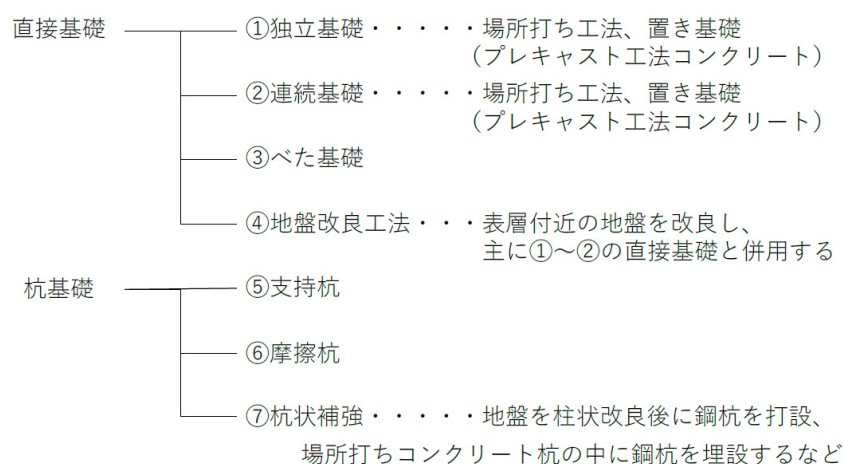


図 11-1 基礎の種類

11.3 直接基礎の設計

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。
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。

表 11-1 土質による地盤の摩擦係数※ 盛土規制法施行令別表 3 より¹¹⁻¹⁾

| 土質 | 摩擦係数 (μ) |
|--|----------------|
| 岩、岩屑、砂利または砂 | 0.5 |
| 砂質土 | 0.4 |
| シルト、粘土、または、それらを多量に含む土 (擁壁の基礎底面から少なくとも15 cmまでの深さの土を砂利 または、砂に置き換えた場合に限る) | 0.3 |

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。

直接基礎の設計の詳細については、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¹¹⁻³⁾の7.4節を参照されたい。傾斜地盤上ののり肩付近に直接基礎が設置される場合には、鉛直方向の極限支持力が低下するので、建築基礎構造設計指針¹¹⁻²⁾の5.2節に従って、基礎幅、斜面の傾斜角、斜面の高さ、のり肩からの距離を用いて支持力の低減を考慮することとした(図11-2)。受働土圧については、十分な根入れ深さが確保されている場合には水平力や転倒モーメントの抵抗力として期待できるが、根入れが浅い場合(特に斜面の下り勾配側の根入れが浅くなる場合)には、注意が必要である。さらに、急傾斜地の場合は、基礎の側面に作用する偏土圧の影響についても考慮する必要がある(図11-3)。

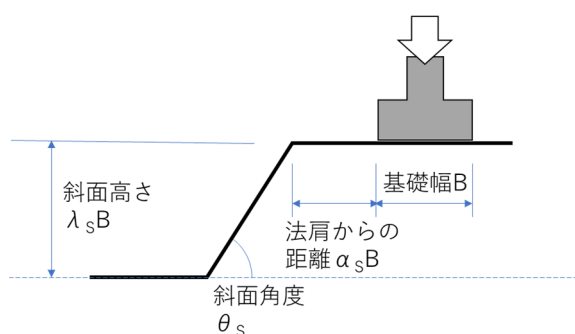


図 11-2 傾斜地盤の形状と基礎の位置

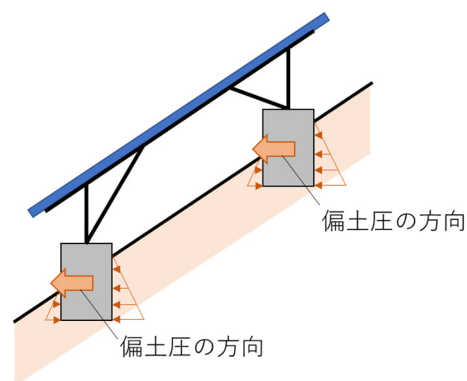


図 11-3 基礎に作用する偏土圧

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5.3.8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。凍上対策の選定にあたっては、経済性、施工性、耐久性等を勘案して、適切な対策工法を選定するよう留意する必要がある。

架台の基礎として、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。これは、基礎底板(フーチング)の上面に、土圧が作用して、凍上による鉛直上方への変位を抑制するためである。ただし、フーチングの上面に凍結線が達した時点で凍上が発生してしまうため、フーチングの上面が最大凍結深さよりも深い位置となるよう埋設することに留意する必要がある。また、フーチング幅は土圧が作用するように、十分に広くする必要もある。

図11-4に独立基礎及び布基礎の適切な埋設方法を示す。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（実証実験の結果は【技術資料：実物大模型実験による太陽電池アレイ架台の凍上被害発生メカニズムの解明に関する研究】を参照）。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。

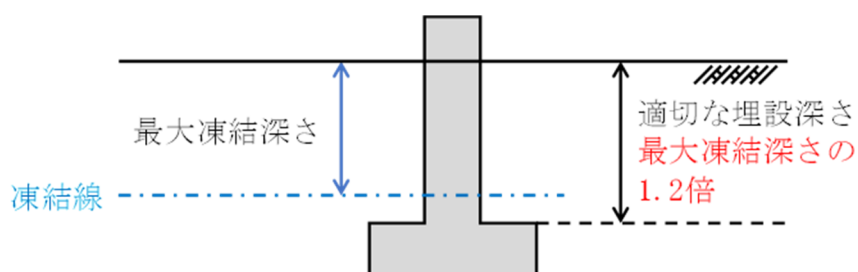


図 11-4 独立基礎及び布基礎の適切な埋設方法

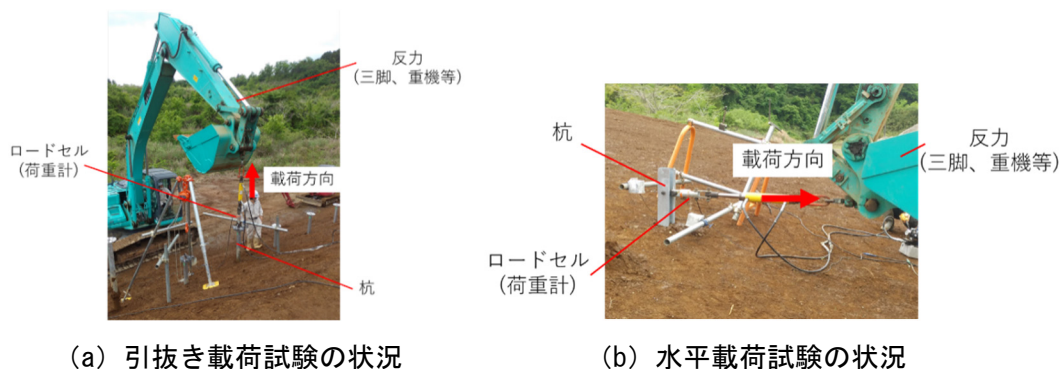
11.4 杭基礎の設計

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。

杭基礎の設計の詳細については、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¹¹⁻³⁾の 7.5 節を参照されたい。図 11-5 および図 11-6 は傾斜地における杭の載荷試験の様子である。傾斜地において杭の載荷試験を行う際は、重機を使用した試験が困難な場合があり人力での運搬及び試験を行うこととなる。その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。なお、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。傾斜地における杭の抵抗力試験結果の概要については、【技術資料：傾斜地における杭の抵抗力試験結果の概要】に示しているので、参照されたい。

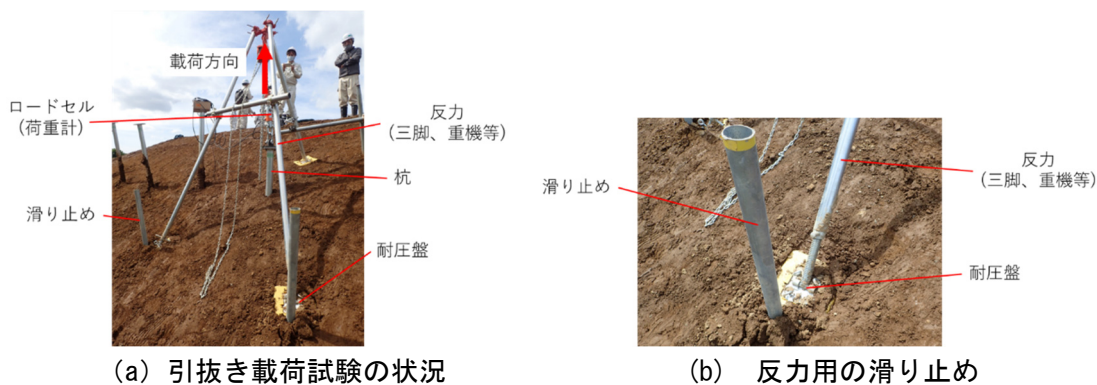
また、傾斜地盤面に対して直角に打設された杭基礎においても、杭の軸方向（押込み・引抜き方向）及び軸直角方向に対する載荷試験を実施し、架台から伝達される各方向の荷重に対する安全性を確認する。



(a) 引抜き載荷試験の状況

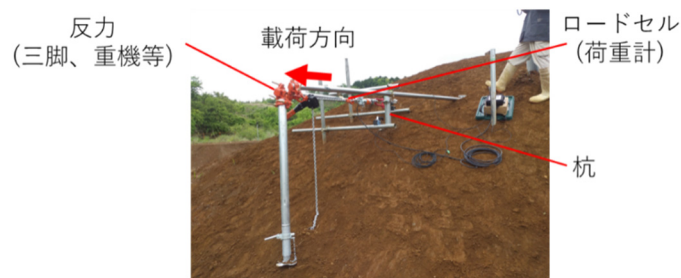
(b) 水平載荷試験の状況

図 11-5 傾斜地での杭の載荷試験の例 (重機が使用できる場合)



(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

図 11-6 傾斜地での杭の載荷試験の例 (重機が使用できない場合)

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 5.3.8 を参照）、凍結深さまで凍上を起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。凍上対策の選定にあたっては、経済性、施工性、耐久性等を勘案して、適切な対策工法を選定するよう留意する必要がある。

架台の基礎として、スパイラル杭を用いることは凍上対策として有効である。これは、スパイラル杭の羽根の上面に、土圧が作用して、凍上による鉛直上方への変位を抑制するためである。

図 11-7 にスパイラル杭の適切な埋設方法について示す。実証実験の結果から、図 11-7(a)のように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（実証実験の結果は【技術資料：実物大模型実験による太陽電池アレイ架台の凍上被害発生メカニズムの解明に関する研究】を参照）。また、図 11-7(b)のように埋設深さが最大凍結深さよりも浅い場合には、たとえスパイラル杭であっても凍上対策としての効果が得られない。なお、羽根の無い円筒型の杭や H 型鋼の杭、羽根の小さなスクリー杭等でも、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。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。

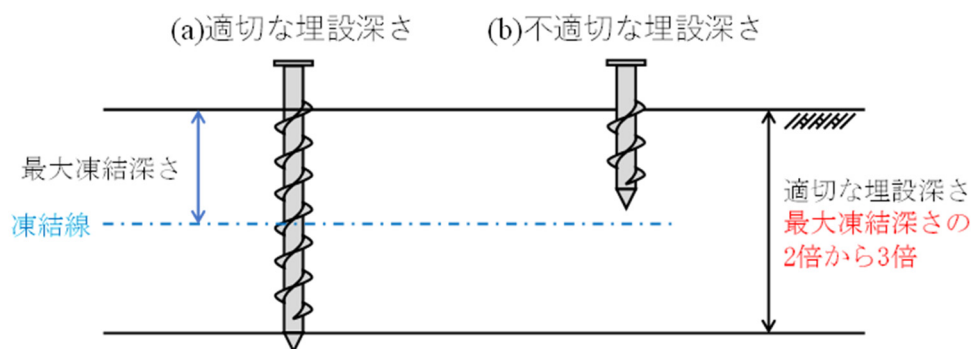


図 11-7 杭基礎の適切な埋設方法

参考文献

- 11-1) 宅地造成及び特定盛土等規制法施行令 別表第三、（昭和三十七年政令第十六号）（令和四年政令第三百九十三号による改正）
- 11-2) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2019
- 11-3) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社奥地建産：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、2019

12. 腐食防食

12.1 架台の腐食と防食

1. 金属材料とする場合、部材に構造上致命的な均一腐食による減肉がないようにする。
2. 地際部や異種金属接触部など、局所的な腐食の発生が懸念される場合、それらが集中して発生しないように適切な防食処理などを施す。
3. 環境に応じた材料の耐食性を評価し、架台の主要な部材には適切な防食処理を施して使用する。

架台の腐食形態とその防食方法の詳細は、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¹²⁻¹⁾の 8.3 節を参照されたい。

12.2 基礎（杭基礎）の腐食と防食

1. 基礎（杭基礎）の腐食と防食は、12.1 節の架台の腐食と防食に準ずる。

基礎（杭基礎）の腐食形態とその防食方法の詳細は、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¹²⁻¹⁾の 8.4 節を参照されたい。

参考文献

- 12-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社
奥地建産：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、2019

13. 電気設備の設計・施工

13.1 電気機器の設置場所に関する注意点

1. 接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器は、取扱者がアクセス可能な平坦地に設置する。平坦地への設置が困難な場合、これらの機器の開閉が可能でかつ取扱者が自立して点検などの作業ができるような場所に設置する。
2. 接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器は、排水場所付近以外の場所に設置する。
3. 接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器は、落石などの落下物の恐れがない場所に設置する。

キュービクルの設置場所については高圧受電設備規程¹³⁻¹⁾「1130-4 屋外に設置するキュービクルの施設」に規定されている。また、内線規程¹³⁻²⁾「1365-1 配電盤及び分電盤の設置場所／1」において、配電盤及び分電盤は「安定した場所」、「容易に開閉できる場所」及び「容易に点検できる場所」に設置することが求められている。従って、受変電設備などのキュービクルは平坦地に設置する必要がある。

ただし、電気機器を平坦な場所へ設置することを想定した場合、太陽電池アレイと平坦地が離れているケースでは、ストリングなどの直流の配線本数が増加することや配線長が長くなることがあり（電圧降下なども加味して、直並列やケーブルの最適な選定により配線本数や配線長を検討することが必要）、ケーブル損傷などによる地絡、短絡が発生するリスクが高まる恐れがある。そのため、やむを得ず傾斜地にある架台に設置する場合、開閉できる場所ならびに取扱者が自立して作業できる場所に設置する必要がある。なお、取扱者がこれらの電気機器に安全にアクセスできる場所である必要がある。

また、傾斜地では地面から電気機器の設置場所までの距離が十分に取れないことや電気機器の排熱のための十分なスペースがとれないことも想定される。電気機器の仕様に合わせた取付高さが確保できる場所に設置する必要がある。

さらに、傾斜地においては排水計画が重要となる。排水路付近は越水の恐れがあるため、接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器は、排水の障害とならない場所及び機器が浸水しない場所に設置する必要がある。また、傾斜地では石や木材などが敷地内に落下する恐れがあるため、接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器の設置は、この恐れがない場所とする必要がある。なお、落石などの対策には柵や落石防止ネットなどの利用が考えられる。

13.2 配線方法に関する注意点

1. 排水計画における排水路などを妨げないように配線する。
2. 落石などの落下物の恐れがない場所に配線する。

傾斜地においては排水計画が重要となる。具体的な排水計画、設計は6.3を参照されたい。配線は排水溝などの排水経路を妨げないことが必要である。また、配線や配管を地上に転がし配線すると、その場所が水路となり地盤の侵食を引き起こす恐れがあるため、ラックの利用や架空配線を利用することが望ましい。



写真 13-1 ラックによる配線の例



写真 13-2 架空配線の例

傾斜地には敷地内への落石や樹木などの落下の可能性があるため、配線経路はこの恐れがない場所とする必要がある。なお、落石などの対策には防護柵や落石防止ネットなどの利用が考えられる。

なお、電気設備に関する技術基準を定める省令第 39 条¹³⁻³⁾に「電線路は、がけに施設してはならない」とされており、例外規定として各種条件を満たし、技術上やむを得ない場合に対して電技解釈第 131 条¹³⁻⁴⁾に「がけに施設する電線路」の施設方法が規定されている。

13.3 保守点検を考慮した電気設備計画に関する注意点

1. 接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器は、取扱者がアクセス可能な平坦地に設置する。平坦地への設置が困難な場合、これらの機器の開閉が可能でかつ取扱者が自立して点検などの作業ができるような場所に設置する。

「13.1 機器の設置場所に関する注意点」に示すように、高圧受電設備規程¹³⁻¹⁾において、キュービクルを屋外に設置する場合の設置場所の選定、基礎の構造などが規定されている。また、内線規程¹³⁻²⁾「1365-1 配電盤及び分電盤の設置場所／1」において、配電盤及び分電盤は「容易に開閉できる場所」、「容易に点検できる場所」に設置することが求められている。受変電設備など、キュービクルを平坦地に設置する場合は、一般的な電気設備と同等の保守点検を行うことが可能である。他方、接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器を平坦な場所へ設置することを想定した場合、太陽電池アレイと平坦地が離れているケースでは、ストリングなどの直流の配線本数が増加することや配線長が長くなることもあり、ケーブル損傷などによる地絡、短絡が発生するリスクが高まる恐れがある。そのため、接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器をやむを得ず傾斜地にある架台に設置する場合、取扱者がこれらの電気機器に安全にアクセスできること及び取扱者が自立して作業できるように設置することが必要である。

また、設置場所に対応した取扱者の労働安全を考慮した装備を計画に含める必要がある。取扱者の労働安全衛生を考慮すると、「アクセスできること」として、急勾配¹³⁻⁵⁾、¹³⁻⁶⁾の場所に電気機器を設置しないことが原則となる。やむを得ない場合に急勾配へ設置される電気機器の点検場所には、アクセスできる階段などを配置することや滑落防止対策を施すこと、遠隔で点検可能な装置利用を想定した設計、電気機器の設置とする必要がある。

参考文献

- 13-1) 一般社団法人日本電気協会: 高圧受電設備規程 JEAC 8011-2014、2014
- 13-2) 一般社団法人日本電気協会: 内線規程 JEAC8001-2016、2019
- 13-3) 電気設備に関する技術基準を定める省令 第三十九条 (電線路のがけへの施設の禁止)
- 13-4) 電技解釈の解説第 131 条: 「がけ」は、険しくそばだったところであり、電線路の設置が容易ではないため保安上の観点から危険であるから、がけに施設する電線路は一般の支持物を使用した架空電線路とは区別して考えている。
- 13-5) 急傾斜地法 第二条: この法律において「急傾斜地」とは、傾斜角が三十度以上である土地をいう。
- 13-6) 労働安全衛生法: 急傾斜地、窪地、崖などでの作業を伴うことが多く、労働安全衛生規則に関する行政通達 (昭 51・10・7 基収第 1233 号) において「こう配が 40 度以上の斜面上を転落することは、労働安全衛生規則第 518 条及び第 519 条の『墜落』に含まれる。」

14. 施工

14.1 一般共通項目

1. 自然条件など当該施設が置かれる諸条件を勘案して、当該施設の要求性能を満足するような方法により施工する。
2. 設計の意図するところを理解し、設計者が求める要求性能が満足されるよう施工する。
3. 対象施設を正確、円滑かつ安全に施工するために、予め施工計画を定める。また、工事の進捗や現場状況の変化により必要が生じたときは、施工計画を変更する。
4. 設計者が要求する性能を満たしていることを確認するため、施工管理を行う。また、施工管理により取得した記録・情報を維持管理計画などに反映させる。
5. 実際の施工結果を竣工図書としてとりまとめる。図化できない範囲については写真にて記録する。
6. 安全に関する関係法令などにもとづき、安全確保上必要となる措置について検討を行った上で適切に安全管理を行い、事故及び災害の防止に努める。

施工とは、設計された施設を実際に工事する行為であり、設計時に考慮した自然条件、利用条件などの諸条件を勘案して、設計者が求める要求性能が満足されるように施工されなければならない。このため、施工者は、工事に先立ち、設計時に設定した自然条件、利用条件、使用材料、施工方法などの設計条件、設計計算書や仕様検討書などの内容、これらにより決定した使用主要資材の規格・仕様・諸元、設計図面などの内容を把握する必要がある。

これらを踏まえた上で、対象施設を正確、円滑かつ安全に施工するために作成する施工計画書には、工事概要、計画工程表、現場組織表、主要機械、主要資材、主要工種の施工方法、施工管理、安全管理、緊急時の体制及び対応、環境保全対策などを取りまとめることが望ましい。施工計画における主な項目は次のとおりである。

- ・ 土量の配分計画
- ・ 各工種の施工法、建設機械の使用計画、施工速度及び所要時間
- ・ 各工種の施工順序、施工時期、全体工程計画
- ・ 労務計画、資材計画
- ・ 現場施工体制、仮設備計画
- ・ 工事用道路、その他準備工の計画
- ・ 事故防止、安全衛生に関する計画
- ・ 周辺環境の保全計画

実際の施工現場、施工時点において、設計時に設定した条件と異なり、設計図面どおりに施工しても所定の機能・性能を確保することができない場合、当然、設計の見直しを行う必

要がある。現場での施工において、図面どおりの施工が困難あるいは不可の場合、どの程度の施工誤差が許容できるか、あるいは工法変更が可能かなど、設計内容を把握した上で判断することが要求される。これらのことから、設計者と施工者が異なる場合、施工者は設計者の設計意図の把握に努めることが重要である。この対応として、設計者～施工者間で設計意図伝達会議を開催することが有効である。他方、設計の見直しや工法変更が生じた場合は、変更の理由、経緯、意図などを設計者等と共有するとともに要求性能を満足しているか確認する必要がある。

太陽光発電設備の供用中に、点検診断や維持補修を行う場合、実際に施工された状況を把握しておくことが重要である。このことから、施工時点において設計から変更した内容についてでき得る限り詳細に記録するとともに、変更した理由を併せて記録することが望ましい。

太陽光発電設備の設置工事においては、労働災害などの発生防止のため、施工方法や仮設計画の検討、安全教育の実施など安全対策を講じるものとする。また、土砂の流出などの災害を防止するため、気象条件の良い施工時期の選定、リスクの少ない施工方法・施工手順の検討などを行うことが必要である。

施工段階では、施工状況を把握するための施工管理を行う。特に、地中埋設物は工事完成時の出来形や品質等の目視確認が困難であるため、工事中における記録を書類にまとめておくことが重要となる。近年では情報技術の進展とともに、電子データによる管理・監督が可能となってきたことから、良質な目的物を完成させるため、予め施工管理方法を検討して適切に実施する。

施工終了後は、完成した工事目的物が所要の品質・性能を満足しているかの検査を行う。出来形の検査は、盛土、切土及びその他構造物の位置を確認すると同時に、基準高、長さ、勾配、土量等を確認する。品質の検査は、材料、基礎工、土工の性状や強度等を確認する。

各項目の具体的な考え方については、道路土工要綱¹⁴⁻¹⁾の「第5章 施工計画」を参考にすることができる。

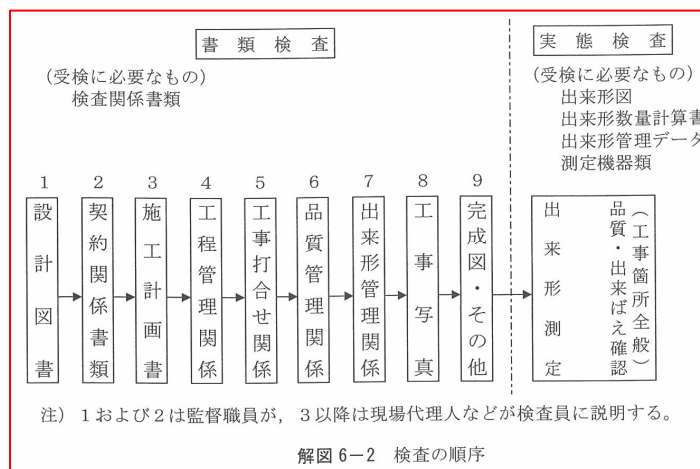


図 14-1 検査の順序¹⁴⁻¹⁾

建設工事に当たっては特定建設作業の指定があり(くい打ち機、さく岩機、バックホウ等)、都道府県知事が定める指定地域内で実施する場合に対して騒音・振動それぞれの規制に関する基準が定められている。また、一部の地方自治体ではこれらの工種以外にも規制を定めているところもある。このほか、土砂の飛散、地盤沈下、水の枯渇等、工事に伴う公害現象についても事前調査及び対策の検討が必要である。加えて、林地開発許可制度の対象となる場合には、主要な防災施設の先行設置、仮設防災施設を設置する場合に本設に準じて設計することなどの許可基準を満足させる必要がある。施工上の諸対策として、以下に示す方法がある。

- ・ 土砂流出及び水質汚濁等の防止については、盛土、切土の安定勾配確保、防護柵の設置、洪水調整池や沈砂池等の防災施設の先行設置等
- ・ 土砂飛散については、運搬車への過大積載防止や荷台のシート掛け励行、盛土表面への散水、乳剤散布、種子吹付等による防塵処理
- ・ 水の枯渇防止については、事前調査による対策実施
- ・ 低騒音、低振動の工法や機械の採用
- ・ 現場内の機械、設備の配置、作業時間帯の検討
- ・ 遮音施設の設置

これらの具体的な対策方法としては「工事施工中の防災措置に関する基準」¹⁴⁻²⁾、「開発行為の許可基準等の運用について」¹⁴⁻³⁾を参照することができる。

急傾斜地での施工においては、平坦地と比べて足場の安定性が低下するため、以下を考慮して十分に安全性を確保しておくことが望ましい。

- ・ 作業員が安全に施工できる足場(仮設足場、高所作業者など)を確保する。
- ・ 作業員の墜落や落下物を防ぐ、手すりや安全ネットなどを設置する。
- ・ 重機械(くい打ち機、さく岩機、バックホウ等)を用いる場合は、機械性能を確認し、登坂角度や作業範囲について十分に安全を考慮する。
- ・ 必要に応じて、運搬用のモノレールや施工用の平坦地を設置する。

実証実験の際に確認した杭施工の注意点について杭の載荷試験の【技術資料：傾斜地における杭の抵抗力試験結果の概要】にまとめているため参考にされたい。



(a) スクリュー杭の施工例（回転貫入）



(b) 型鋼杭の施行令例（打撃貫入）

図 14-2 傾斜地での施工の例（傾斜地勾配 30 度）

参考文献

- 14-1) 社団法人日本道路協会: 道路土工要綱、2009
- 14-2) 第 12 章 工事施工中の防災措置に関する基準（参考：宅地造成等規制法施行令及び都市計画法施行令の改正等について（技術的助言）XII）（平成 19 年 3 月 28 日 国土交通省都市・地域整備局長発市等あて通知）、2007
- 14-3) 林野庁: 開発行為の許可基準等の運用について、2022

15. 維持管理計画

15.1 一般共通事項

1. 太陽光発電設備全体について、供用期間にわたってその設置目的・機能、要求性能が維持されるよう、予め維持管理計画を作成した上で維持する。
2. 維持管理計画書は施設の所有者が作成することを原則とし、設計者、施工者のほか、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させる。
3. 維持管理計画書は、対象施設の損傷、劣化その他の変状についての計画的かつ適切な点検診断の時期、対象とする部位及び方法などについて定める。
4. 太陽光発電設備の維持管理計画書の作成及び維持は、設置箇所の自然条件、設計条件、構造特性、材料特性などを勘案する。
5. 点検及び診断の結果にもとづき維持補修に関する対策を行った場合は、その内容を記録し、供用期間に亘って保存する。
6. 維持管理計画の作成及び点検診断の方法などについては、民間のガイドラインなどを参考にする。

発電規模にかかわらず、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則（第5条第1項第3号など）¹⁵⁻¹⁾ならびに事業計画策定ガイドライン(太陽光発電)¹⁵⁻²⁾に記載の「再生可能エネルギー発電設備の適切な保守点検及び維持管理」に係る趣旨を踏まえて、設計段階に維持管理計画を作成することが望ましい。

維持管理計画作成に当っては、太陽光発電システム保守点検ガイドライン¹⁵⁻³⁾、自家用電気工作物保安管理規程¹⁵⁻⁴⁾、道路土工構造物点検必携¹⁵⁻⁵⁾、太陽光発電アセットマネジメントガイドライン（案）¹⁵⁻⁶⁾などの技術指針などを参考にとると良い。

昨今、自然災害の規模拡大が進んでいる。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（降雨強度や降雨量の増大、異常気象時の風速の増大）などが生じた場合は、最新の条件を維持管理計画に反映させる。

15.2 地盤・排水

1. 地盤・排水の維持管理計画は、以下の内容を参考に作成する。
 - ・ 地盤及び排水施設は、定期的に点検診断を行うとともに、点検診断結果をもとに健全度評価を行い、必要に応じ維持補修工事を実施する。
 - ・ 地盤に係る点検診断は、地表流による侵食の有無、地盤変状・崩壊、湧水の有無、のり面保護工などの対策施設などの劣化・損傷、変状の有無などに着目し、外観目視調査により行う。
 - ・ 排水施設に係る点検診断は、排水施設の劣化・損傷、変状の有無、落枝・落葉や土砂の堆積状況などに着目し、外観目視調査により行う。

太陽光発電設備を設置する斜面などの地盤については、長期間風雨などにさらされ経年変化により脆弱化していくものである。斜面地盤の表面侵食を放置した場合、侵食範囲がさらに拡大し斜面の安定性低下に繋がる。そのような中で、大雨や地震が発生した場合、土砂流出や斜面崩壊に発展する懸念がある。排水施設や洪水調節池、沈砂池についても同様に、土砂などの堆積や雑草の繁茂により排水能力低下が生じた場合、溢水による侵食の発生や浸水被害を引き起こす懸念がある。

すなわち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があることを認識する必要がある。

このことから、変状を早期に発見し、健全度評価を行った上で適正に維持補修工事を実施する必要があり、設計段階から点検診断の実施方法を検討しておく必要がある。

また、供用期間中に点検診断、維持補修工事を安全かつ容易に行うことができるよう、通路などの保安施設を確保しておく必要がある。補修工事については、その具体的内容を予め検討し、重機械の使用が必要な場合は、進入路なども確保しておく必要がある。

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。

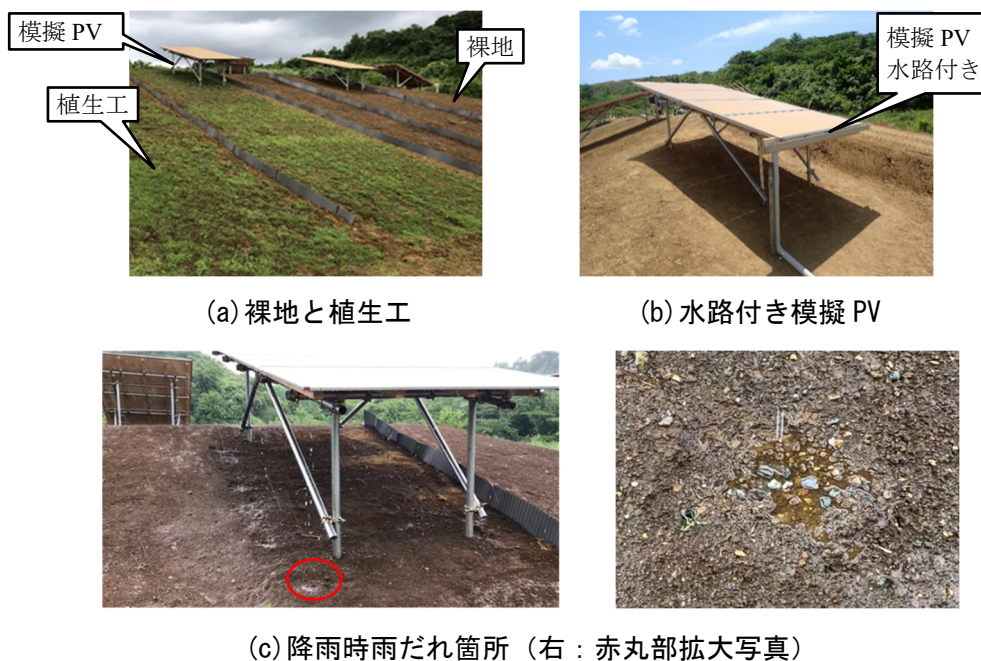


図 15-1 のり面保護工（植生工）の有効性に関する実測調査（千葉県君津市）

排水施設の維持管理に当っては、道路土工 切土工・斜面安定工指針⁶⁻⁶⁾の「7-6 のり面排水工の維持管理」を参照することができる。このほか、林地開発許可制度の対象となる場合には、排水施設等の完了後の維持管理方法を明確にすることなどの許可基準を満足させる必要がある。

表 15-1 のり面排水工の維持管理の点検事項

| 目的 | 原因となるもの | 点検項目 |
|-------------|----------------|---|
| のり面の侵食・崩壊防止 | 表面水の排水工からの流出 | ①降雨直後の排水施設の状況 ②排水工内の土砂、流木の堆積状況 ③のり面の侵食状況 ④排水工の変状・破損 |
| のり面の崩壊防止 | 浸透水によるのり面からの湧水 | ①降雨直後ののり面の湿潤状態 ②のり面からの湧水状況の変化 ③排水工からの流出量の変化 ④排水工内の目詰り状況 ⑤排水工底部の亀裂及び損傷 |

15.3 基礎・架台

1. 基礎・架台の維持管理計画は、以下の内容を参考に作成する。
- ・ 基礎及び架台は、点検診断を行うとともに、点検診断結果をもとに健全度評価を行い、必要に応じ維持補修工事を実施する。
 - ・ 基礎に係る点検診断は、直接基礎、杭基礎の劣化・損傷、移動・変状の有無、その周辺地盤の侵食などに着目し、外観目視調査により行う。
 - ・ 架台に係る点検診断は、架台の変形、腐食、基礎との結合部分の変形、ボルトなどの結合部材の緩み、腐食などに着目し、外観目視調査により行う。

15.4 電気設備

1. 機器へのアクセス方法を考慮した維持管理計画とする。

基本的な点検項目は、太陽光発電システム保守点検ガイドライン¹⁵⁻³⁾や自家用電気工作物保安管理規程¹⁵⁻⁴⁾などのガイドラインを参考に維持管理計画を作成することが望ましい。

13.3「保守点検を考慮した電気設備計画に関する注意点」に示すとおり、受変電設備など、キュービクルを平坦地に設置する場合は、一般的な電気設備と同等の保守点検を行うことが可能である。他方、接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器を平坦な場所へ設置することを想定した場合、太陽電池アレイと平坦地が離れているケースでは、ストリングなどの直流の配線本数が増加することや配線長が長くなることもあり、ケーブル損傷などによる地絡、短絡が発生するリスクが高まる恐れがある。そのため、接続箱やパワーコンディショナなどの電気機器をやむを得ず傾斜地にある架台に設置する場合、取扱者がこれらの電

気機器にアクセスできること及び取扱者が自立して作業できるように設置することが必要である。

また、設置場所に対応した取扱者の労働安全を考慮した装備を計画に含める必要がある。取扱者の労働安全衛生を考慮すると、「アクセスできること」として、急勾配の場所に電気機器を設置しないことが原則となる。やむを得ない場合に急勾配へ設置される電気機器の点検場所には、アクセスできる階段などを配置することや滑落防止対策を施すこと、遠隔で点検可能な装置利用を想定した設計、電気機器の設置のもと、維持管理計画を立てることが必要である。

接地抵抗の測定に関しては、杭や基礎が接地極として作用するため、接地極における接地抵抗を測定するかなどの目的に応じて、太陽光発電設備から十分離れた地点に測定点を確保するなどに注意して測定すること。測定方法の注意点などの詳細は、【技術資料：小型・可搬型の接地抵抗計を用いた太陽光発電設備の接地抵抗測定技術に関する実験】にまとめているため参考にされたい。

15.5 緊急時の対応

1. 災害時及び施工、保守点検での事故時において迅速に対応できる緊急連絡体制の整備を計画する。
2. 火災発生時の消火方法、消火活動のための動線及び活動スペースの確保を検討する。
3. 電気機器の異常時に対応できる迅速な接続箱における遮断、パワーコンディショナの停止方法を計画する。可能であれば遠隔操作も検討する。
4. 医療機関へのアクセスが容易でない場合、AEDなどの緊急時の医療機器の設置を検討する。
5. リスクアセスメントと対応マニュアルを準備する。

警戒時、災害時に備え、市役所、町役場、消防署、自治会など、関係機関との情報連絡体制を確認し、迅速な初動体制を確立できるようにすることが望ましい。災害などの緊急時の対応は、一般社団法人太陽光発電協会の公開している文書^{15-7)~15-12)}を参考にして、取扱者の二次災害も留意して対応することが必要である。太陽光発電設備は人が常駐して常時監視していないことが多いため、緊急時の覚知が遅れることもある。自家用電気工作物では、常時監視をしない発電所の要件として電技解釈第47条の2第5項の規定を満たす必要がある。それ以外の一般用電気工作物の太陽光発電システムにおいても当該技術基準を参考に設備構築し、監視体制を整備、計画することが望ましい。

火災発生時には、消防隊員が行う消火活動のための動線及び活動スペースの確保が必要となる。具体的には、建物設置に関する基準ではあるが、東京消防庁の太陽光発電システムに係る防火安全対策の指導基準¹⁵⁻¹³⁾において、消防活動用通路の設置方法は全ての太陽電池モジュールとの距離を24m以内とする基準が参考となる。

自治体によっては消防水利施設までの離隔距離を規定した条例を定めている場合がある¹⁵⁻¹⁴⁾。このため、消火活動に必要な消火水の確保にも留意する必要がある。

電気機器の異常時には、接続箱における遮断、パワーコンディショナの停止が必要である。15.4 に述べたように、アクセスし易いところに機器を設置するとともに、遠隔でも操作可能な方法を検討することが望ましい。

参考文献

- 15-1) 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則（第 5 条第 1 項第 3 号など）、平成二十四年経済産業省令第四十六号（令和四年経済産業省令第二十七号による改正）
- 15-2) 経済産業省資源エネルギー庁：事業計画策定ガイドライン（太陽光発電）、2021
- 15-3) 一般社団法人日本電機工業会、一般社団法人太陽光発電協会：太陽光発電システム保守点検ガイドライン、2019
- 15-4) 一般社団法人日本電気協会：自家用電気工作物保安全管理規程 JEAC8021-2018、2018
- 15-5) 社団法人日本道路協会：道路土工構造物点検必携 令和 2 年版、2020
- 15-6) 一般社団法人日本アセットマネジメント協会、太陽光発電アセットマネジメント委員会：太陽光発電アセットマネジメントガイドライン(案)、2020
- 15-7) 一般社団法人太陽光発電協会：太陽光発電の水害時の感電の危険性について、2019 年 5 月
- 15-8) 一般社団法人太陽光発電協会：住宅用太陽光発電システム被災時の点検・復旧・撤去に関する手順・留意点【震災編】、2016 年 4 月
- 15-9) 一般社団法人太陽光発電協会：震災によって被害を受けた場合の太陽光発電システム取り扱い上の留意点、2016 年 4 月
- 15-10) 一般社団法人太陽光発電協会：太陽光発電システム被災時の点検・撤去に関する手順・留意点【水害編】、2015 年 10 月
- 15-11) 一般社団法人太陽光発電協会：太陽光発電設備が水害によって被害を受けた場合の対処について、2015 年 9 月
- 15-12) 一般社団法人太陽光発電協会：停電に伴う住宅用太陽光発電システムの自立運転について、2011 年 3 月
- 15-13) 東京消防庁：太陽光発電システムに係る防火安全対策の指導基準、平成 26 年 7 月
- 15-14) 群馬県高崎市：高崎市自然環境、景観等と再生可能エネルギー発電設備設置事業との調和に関する条例施行規則(第 11 条、第 8 項、第 5 号)、2015 年 3 月

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」の結果として得られたものです。