

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（案）

2017年1月30日

はじめに

2012年7月の再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT制度）の導入に伴い太陽光発電設備は急増したが、近年になって暴風や大雪による被害が顕在化してきており、2014年2月の関東地方での積雪被害や2015年6月の群馬県での突風被害など、比較的大規模な被害事例も発生している。太陽光発電設備は、「電気設備の技術基準の解釈」に従い「JIS C 8955:2004 太陽電池アレイ支持物設計標準」に基づいて構造設計されているはずであるが、誤った設計、あるいは設計されていないケースも見受けられ、被害事例の多くは不適切な設計による構造耐力の不足が要因となっている。太陽光発電設備の被害は、発電事業の採算性を損なうだけでなく、設備の倒壊や飛散による二次被害を発生させる危険性もあり、そのためにも太陽光設備の被害は絶対に食い止める必要がある。

一方、JIS C 8955は2017年に「太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法」に改定され、設計荷重の適正化が図られる見込みである。ところが、構造設計に関する内容が削除されたため、太陽光発電設備の架台や基礎に関する設計ガイドラインを早急に取りまとめる社会的必要性が高くなった。

そこで、長期にわたり社会の財産となりうる構造安全性の高い太陽光発電設備を提供できるよう、架台・基礎の設計基準となる「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」を作成することとした。なお、本設計ガイドラインは、2015年から太陽光発電協会にて作成を進めてきた「地上設置型太陽光発電システム設計・施工ガイドライン（案）」をベースに、NEDOの「太陽光発電システム効率向上・維持管理技術開発プロジェクト」の一環として編集作業を進め、学識者からなる専門委員会での討議を経て刊行する運びとなった。

なお、本設計ガイドラインは、NEDOの「太陽光発電システム効率向上・維持管理技術開発プロジェクト／太陽光発電システムの安全確保のための実証／耐風安全性および水害時感電防止を考慮した合理的設計手法の開発」の一環として作成されたものであり、今後、杭や架台に関する実証実験等を実施し、太陽光発電設備への適用性をより向上させるための改良を加える予定である。

本書作成関係委員会
—五十音順・敬称略—

太陽光発電システムの安全設計に関する検討委員会

委員長 植 松 康
委員 伊 藤 淳 志
岩 田 善 裕
植 田 讓
奥 田 康 雄
田 村 良 介
西 村 宏 昭

執筆担当

一般社団法人 太陽光発電協会
奥地建産株式会社

事務局

亀 田 正 明
井 上 康 美
高 野 涉

オブザーバー

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
新エネルギー対策課
経済産業省 商務情報政策局 商務流通保安グループ 電力安全課
新エネルギー・水力発電設備係
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)
新エネルギー部 太陽光発電グループ
一般社団法人 太陽光発電協会
奥地建産株式会社

JPEA 設計・施工基準策定準備委員会

亀 田 正 明
茅 岡 日 佐 雄
杉 本 完 蔵
林 正 和
田 中 清 俊
長 尾 岳 彦
奥 地 誠
富 山 惠 一
高 森 浩 治

目次

1. 総 則	4
1.1 適用範囲.....	4
1.2 引用規格.....	4
1.3 用語・記号の定義.....	4
1.4 設計方針.....	7
2. 計 画	9
2.1 一般事項.....	9
2.2 設計計画.....	9
2.3 被災事例.....	10
2.3.1 土砂災害・水害.....	10
2.3.2 基礎沈下または崩壊（積雪荷重による）.....	10
2.3.3 架台の損傷（風圧荷重による）.....	10
3. 調 査	12
3.1 事前調査.....	12
3.1.1 事前調査の概要.....	12
3.1.2 地形の調査による地盤の見方.....	13
3.2 資料調査.....	14
3.3 現地調査.....	14
3.4 設計上注意が必要な地形・地盤.....	16
3.4.1 軟弱地盤.....	16
3.4.2 埋立地.....	16
3.4.3 盛土地盤.....	17
3.4.4 造成地（山地・丘陵地）.....	17
3.4.5 崖・急斜面.....	18
3.4.6 谷底低地.....	18
3.4.7 地盤の液状化.....	18
3.4.8 傾斜地.....	18
3.4.9 森林伐採地.....	19
3.5 地盤調査.....	19
3.5.1 基本事項.....	19
3.5.2 原位置試験.....	19
3.5.3 各調査法から得られるパラメータ.....	20
3.5.4 SWS 試験.....	21

3.5.5	標準貫入試験.....	22
3.5.6	簡易動的コーン貫入試験.....	22
3.5.7	平板載荷試験.....	23
3.6	基礎の選定方法.....	23
3.7	配置計画（ラフプラン）.....	24
3.7.1	事前情報からのモジュールレイアウト検討.....	24
3.7.2	架台の傾斜角と離隔距離.....	24
3.7.3	太陽電池アレイ用架台の配置検討.....	25
4.	設計荷重.....	26
4.1	想定荷重.....	26
4.2	風圧荷重.....	27
4.2.1	設計用風圧荷重.....	27
4.2.2	設計用速度圧.....	27
4.2.3	風力係数.....	29
4.3	積雪荷重.....	31
4.4	地震荷重.....	32
4.4.1	設計用地震荷重.....	32
4.4.2	設計用水平震度.....	32
4.4.3	地震地域係数.....	33
4.4.4	用途係数.....	33
5.	基礎の設計.....	34
5.1	一般事項.....	34
5.2	基礎に働く外力と反力.....	34
5.3	基礎の形式.....	35
5.3.1	独立基礎.....	36
5.3.2	連続基礎（布基礎）.....	36
5.3.3	べた基礎.....	36
5.3.4	地盤改良工法.....	37
5.3.5	杭基礎.....	37
5.4	直接基礎の設計.....	37
5.4.1	一般事項.....	37
5.4.2	地盤の許容支持力.....	38
5.4.3	セメント系固化工材による地盤改良体の許容支持力.....	41
5.4.4	鉄筋コンクリート造の直接基礎設計上の注意事項.....	42
5.4.5	地盤改良工法.....	44

5.4.6 凍上対策（凍結深度対策）	44
5.5 杭基礎の設計	45
5.5.1 一般事項	45
5.5.2 杭の許容支持力	45
5.5.3 杭の種類	46
6. 架台の設計	48
6.1 架台の構造形式	48
6.1.1 基本構造形式の安定原理	48
6.1.2 主な構造形式例	49
6.2 部材設計	49
6.3 接合部の設計	50
6.3.1 モジュール枠と架台の接合部	50
6.3.2 架台の各部材間の接合部	50
6.3.3 架台と基礎の接合部	50
7. 腐食防食	52
7.1 地上部	52
7.2 地際部（地表面と地下の境界部）	52
7.3 地中部	53
7.4 異種金属接触による腐食	53
7.5 塩害による腐食	55
参考文献	57
[付 録] 地上設置型太陽光発電システムの構造設計例	付 1

1. 総 則

1.1 適用範囲

1. 本ガイドラインは地上設置型の太陽光発電システムの基礎と架台の設計に適用する。
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. アレイの最高高さが9mを超えるものは除外する。

〈解説〉

- 1 適用範囲として地上設置型に限定し、営農型、水上設置型、追尾型を除くものとする。

1.2 引用規格

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」

1.3 用語・記号の定義

- 太陽光発電： 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。
- 太陽電池： 太陽光など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、太陽電池アレイなどの総称として用いる場合もある。
- 太陽電池モジュール： 太陽電池セル又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。
- パワーコンディショナ： 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などの一部又はすべてから構成され、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。
- 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。
- 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。
- 太陽電池アレイ： 太陽電池架台及び/又は基礎、その他の工作物を持ち、太陽電池モジュール又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又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。
基礎：	直接基礎と杭とを総称したもの。
基礎スラブ：	上部構造からの荷重を地盤に伝えるために設けられた直接基礎の構造部分。フーチング基礎ではフーチング部分、べた基礎ではスラブ部分を指す。
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。
直接基礎：	基礎スラブからの荷重を直接地盤に伝える形式の基礎。
フーチング基礎：	フーチングにより上部構造からの荷重を地盤に伝える基礎。
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。
複合基礎：	2本以上の柱からの荷重を1つのフーチングによって支持する基礎。
連続基礎・布基礎：	一連の柱からの荷重を連続した基礎梁（またはフーチングおよび基礎梁）によって支持する基礎。
べた基礎：	上部構造の広範囲な面積内の荷重を単一の基礎スラブまたは梁と基礎スラブで地盤に伝える基礎。
地業：	直接基礎のスラブと地盤とのなじみをよくするため、基礎スラブの下部に砂、砕石、コンクリートなどの施工を行うことをいう。
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。
鋼杭：	鋼管杭、形鋼杭など。
小口径鋼管杭：	鋼管径として 50~200mm 程度の一般構造用炭素鋼鋼管を使用した杭。
既製コンクリート杭：	既製鉄筋コンクリート杭などの総称。
打込み杭：	既製の杭体を、ほぼその全長にわたって地盤中に打ち込みまたは押し込むことによって設置される杭。
埋込み杭：	既製の杭体を、ほぼその全長にわたって地盤中に埋め込むことによって設置される杭。
摩擦杭：	主として周面摩擦で支持させる杭。
支持杭：	軟弱な地層を貫いて硬い層まで到達し、主としてその先端抵抗で支持させる杭。
地盤改良：	地盤の強度の増大ならびに沈下の抑制などに必要な土の性質の改善を目的とし、土に締固め・脱水・固結・置換などの処理を施すことをいう。

浅層混合処理工法：	表層地盤に対してセメント系の固化材などの添加や混合、および締めにより面的に地盤を改良する工法。
極限（鉛直）支持力：	構造物を支持しう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。
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。
接地圧：	基礎スラブと地盤の間に作用する圧力。
原位置試験：	原状の地盤において行う土の性質を調べる試験。
自沈層：	スウェーデン式サウンディング試験において、1kN以下の荷重で地盤中に沈み込む地層のことをいう。
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などの室内試験の総称。
粘着力：	粘土粒子間の電気化学的な吸着力。
内部摩擦角：	土粒子の機械的な噛み合わせによって生ずる抵抗角。
粒度：	土に含まれる大小粒子の混合の程度をいう。
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比率を百分率で表した数値。
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。
軟弱地盤：	構造物の支持地盤として十分な支持力をもたない地盤。
沖積層：	完新世の時代に堆積した地層を沖積層という。 主に低地を構成している。
洪積層：	更新世の時代に堆積した地層を洪積層という。 主に台地・段丘を構成している。
地盤沈下：	地盤が、地下水の汲みあげや地盤への载荷などのために広範囲にわたって沈下すること。
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、相対沈下量などで評価する。
傾斜角：	不同沈下の傾斜の程度。不同沈下した差分（鉛直距離）を水平距離で除してラジアンで示す。
変形角：	構造物の途中から変化する傾斜角の相互の差であり、それぞれの傾斜角の差をラジアンで示す。
液状化：	砂質土地盤で、地震動の作用により粒子間の水圧が急上昇して、液体のような現象のことをいう。
造成地盤：	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。
切土：	丘陵地の土砂・岩石を取り除いて造成された地盤。

盛土：	自然地盤の上に土を盛り上げて造成された地盤。
擁壁：	切土または盛土などの安定を図るために、土圧に抵抗する壁体構造物。
主働土圧：	壁から土が離れる側に移動した場合の壁に作用する圧力。
受働土圧：	壁から土に向かって移動した場合の壁に作用する圧力。
静止土圧：	壁およびこれに接する土が静止状態にある時の壁に作用する圧力。
根入れ深さ：	地表面から基礎スラブ下端までの掘削深さ。
根切り：	構造物の基礎あるいは地下部分を構築するために行う地盤の掘削。

1.4 設計方針

1. 架台、基礎およ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、基礎および上部構造で想定された地震・暴風・大雪時の荷重（鉛直荷重、引抜き荷重、水平荷重）に対して十分な耐力を有し、かつ有害な沈下・傾斜などを起こさないことを確認する。
3. 架台およ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・施工および保全がなされるよう設計時に配慮する。

本設計ガイドラインでは、架台、基礎および部材間の各接合部に対して「稀に起こる地震・暴風・大雪に対して許容応力度範囲内にあること」としている。ここでの「稀に起こる」自然事象の再現期間は、一般的な太陽光発電設備の供用期間（20～30年）を上回る期間を想定しており、例えば暴風や大雪の場合には再現期間を50年相当としている。再現期間とは、ある値以上の事象の発生に要する期間の平均値であり、再現期間50年の事象とは平均して50年間に1回程度その事象が発生する可能性があることを意味する。本ガイドラインでは、再現期間50年の設計荷重に対して各部材とそれらの接合部が許容応力度の範囲内にあることとした。ここで、許容応力度とは、「構造物の構造要素を構成する各材料が外力に対する安全性の確保を目的として、設計上各部に生ずる応力度が超えないよう定めた限界の応力度」¹⁾であり、地震荷重や風圧荷重などの短期荷重に対応する短期許容応力度と、自重や多雪区域の積雪荷重などの長期荷重に対応する長期許容応力度に分類される。太陽光発電設備の各部材や接合部を許容応力度の範囲内で設計するということは、想定される長期および短期の荷重（設計荷重）を受けた場合においても弾性的性質を保つことができ、当初の構造性能を維持できるということである。

他方、建築基準法においては極めて稀に起こる地震・暴風・大雪に対して倒壊・崩壊しないことが要求されているが、本設計ガイドラインでは太陽光発電設備に対してこれと同等の要求は明記してしない。これは、太陽光発電設備が地震荷重や積雪荷重で倒壊・崩壊した場合においても、建築物と違って居住者に危害を加える可能性は極めて低く、また周辺の地物

に危害を加える可能性も低いからである。一方、風圧荷重に関しては、設備の倒壊・崩壊に伴いモジュールや架台の部品等が飛散し、他者に危害を加える可能性があるので、建築物と同様に極めて稀に起こる暴風（再現期間 500 年の風圧荷重＝再現期間 50 年の 1.5～1.6 倍の風圧荷重）に対して倒壊・崩壊しないことを規定することが望ましい。しかしながら、本設計ガイドラインで要求する許容応力度設計を確実にすれば、再現期間 500 年の風圧荷重に対しても倒壊・崩壊しない強度をほぼ確保できることから、本設計ガイドラインでは再現期間 500 年の風圧荷重に関する要求事項については明記しないこととした。

地盤については、基礎や上部構造に地震・暴風・大雪による荷重が作用した場合に十分な耐力（反力）が確保できることを確認するだけでなく、長期的に沈下・傾斜が生じないことについても事前の調査で確認することとしている。

架台や基礎の長期耐久性については主に金属材料の腐食を想定しており、太陽光発電設備の供用期間中において、腐食による耐力低下がないように防食処理や腐食しるを考慮した設計を行うこととした。

参考文献 彰国社：建築大辞典（第 2 版）¹⁾，(1993 年 6 月)

2. 計 画

2.1 一般事項

1. 設計の計画は 2.2 節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。

2.2 設計計画

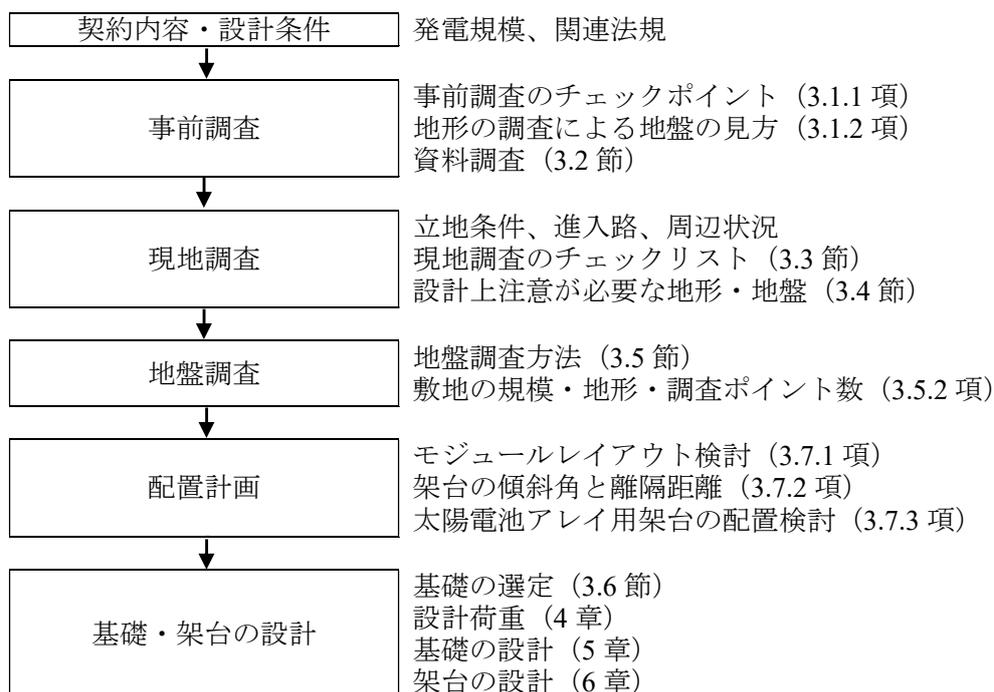


図 2-1 地上設置型太陽光発電システムの設計フロー

2.3 被災事例

2.3.1 土砂災害・水害

堤防の決壊による土砂水害が発生。基礎地盤の流失により基礎から崩壊した。



2.3.2 基礎沈下または崩壊（積雪荷重による）

多雪区域での、地上設置架台では、積雪荷重によって、基礎沈降が発生する場合があります。事前設計の段階で、最大積雪状態でのアレイの荷重の確認が重要になる。基礎部の地耐力とあわせて、設計段階では当該区域での過去の積雪量を確認し、基礎、架台設計に反映することが好ましい。



積雪荷重により架台が損傷している。単管架台の支持力不足、強度不足と推察される。



2.3.3 架台の損傷（風圧荷重による）

突風によって破損した事例。部材の接合部の耐力と杭の支持力不足が被害原因であったと推察される。



台風によって折損したアルミ製架台。金属部材が脆性的に破損している事例は珍しく、部材の強度不足が原因である。



3. 調 査

3.1 事前調査

基本事項：敷地調査は、事前調査（資料調査・現地調査）により適切に把握する。

3.1.1 事前調査の概要

太陽光発電設備を設置する敷地の地盤について、地質図や古地図をもとにその土地が構成された経過を辿っておく。

<事前調査のチェックポイント>

- ① 地形や地盤の特徴を把握する。
- ② 表層地質を判断（沖積層や洪積層の区別など）し、地層構成を想定する。
- ③ 地盤の特徴や既往資料から、特殊土層（取扱いに注意を要する土層）の有無を調べる。
- ④ 近隣の既往資料より、地盤状況（土質・地層・強度・地下水位）を調べる。
- ⑤ 過去に近隣で行われた地盤補強工事の有無や、施工例について調べる。
- ⑥ 地名・植生などから、地域の特性を調べる。
- ⑦ 地震など、地盤災害の危険性について調べる。
- ⑧ 近隣住民からの聞き取り調査により、敷地の履歴などを調べる。
- ⑨ 周辺家屋や道路などの異常（不同沈下や変状など）の状況から、地盤沈下の危険性を調べる。
- ⑩ 切土・盛土など造成形態から、不同沈下の危険性を調べる。
- ⑪ 造成時期や、今後の新たな盛土予定を調べる。
- ⑫ 排水計画を立てる。
- ⑬ 土砂の流入・流出の可能性を調べる。

3.1.2 地形の調査による地盤の見方

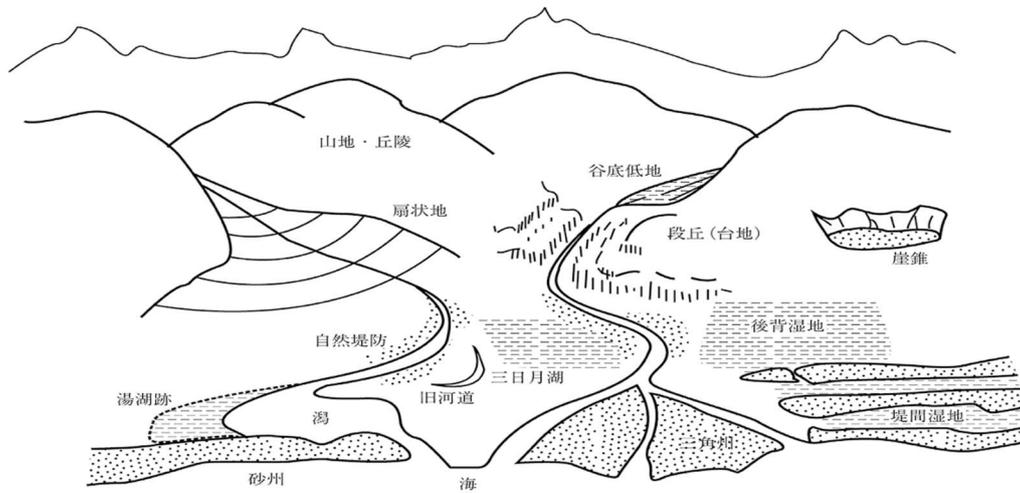


図 3-1 地形模式図

表 3-1 地形区分と地盤の良否

○：適 △：注意 ×：対策工法必要

	地形的指数と土地利用	予想される地盤状況	地盤としての良否
谷底平野	周辺が山で囲まれている。 小川や水路が多く湿地帯や水田。	かなり深くまで極めて軟弱。	×
扇状地	山地から平野部にぬける間の傾斜面を有する扇状の地形、畑、果樹園。	ローム、砂レキ等からなる良質な地盤。 ただし、伏流水に注意。	○
自然堤防	現・旧河川の流路沿いの微高地 (0.5 m~3m高) 昔からの集落がある。畑。	ローム、砂レキ等からなる良質な地盤。	○
後背湿地	自然堤防や砂丘の後にある水田。	極めて軟弱。	×
湿地	低地、排水不良地、湧水付近、旧河川、盛土をした宅地、荒地。	同上	×
河原	現河道の流路沿い、荒地、畑、水田。	腐植土とレキ質土のサンドイッチ構造。	×
デルタ(三角洲)	河川の河口部、起伏に乏しい、水田。	極めて軟弱、液状化のおそれあり。	×
砂州	海岸、湖岸沿、林、畑、荒地、集落。	砂地盤、液状化に注意。	△
丘陵地	地表面が平坦な台地、宅地。	ローム、硬粘土、レキ地盤。	○
山地	山、切土等の造成地。	軟岩、地すべりに注意。	△
崖	急斜面、造成地。	二次堆積土(崩れた土)で構成される。 崖くずれ、地すべり。	× 場合によっては不適

参考文献 日本建築学会：小規模建築物を対象とした地盤・基礎²⁾ P.19

3.2 資料調査

1. 資料調査では、国土地理院発行の地形図や土地条件図などの地図資料、既往地盤調査資料および各種文献などを用いて基礎設計に必要な地盤の情報を収集する。
2. 地名や植生などは、地域に固有な地盤条件を知る資料として有益である。
3. 小規模構造物の地震被害には、地盤条件に起因するものが多く、その危険性について調べる。

3.3 現地調査

1. 現地調査では、調査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. 現地調査では、地形や造成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。

< 架台設置にあたっての重要な調査項目 >

方角、傾斜度・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、系統連系ポイント

現地調査にあたっては下表のチェックリストを合わせて参考にする。

表 3-2 現地調査のチェックリストの例（調査地を含む周辺状況）

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・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）
	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	急傾斜地・接傾斜地・平坦地・（斜度 15 度以上を急傾斜とする）
	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	丘陵尾根との関係	裾地・中腹・頂上付近などの鞍部

位置関係	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・山林・原野・果樹園・沼沢・ その他（ ）
	地域地盤特性	凍上地帯・水害常襲地・地盤沈下地帯・崖崩れ危険区域・ 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	かん木が目立つ・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

参考文献 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針³⁾ P.29

3.4 設計上注意が必要な地形・地盤

事前調査および現地調査の結果から、太陽電池架台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・急斜面・谷底低地・地盤の液状化・傾斜地・森林伐採地などに該当すると考えられる場合には、基礎・架台の設計時に特に注意が必要である。

太陽電池架台の重量はそれほど大きくないが、軟弱な地盤では地盤の支持力よりも沈下・不同沈下が問題となる場合が多く、調査のポイントはここにおく必要がある。

また同時に、架台およびモジュールの重量が小さいため、風圧荷重作用時には引抜き力に抵抗できる設計が必要となる。

下記のような地盤に杭基礎を設計する場合には杭の支持力（押し込み力・引抜き力・水平力）不足が懸念されるため注意が必要である。

3.4.1 軟弱地盤

敷地の地層が泥土、腐植土（有機物が腐って土になったもの）などで構成された土地、沼や緩い砂などからなる海岸を埋め立てた土地を一般に軟弱地盤と呼んでいる。このような軟弱地盤は周辺の土地の高さに比べて必ず低い位置にある。三角州や河川沿いなどの低地には軟らかい土が堆積し、谷底にあたるような低い土地も同じである。このような土地に太陽電池架台を設置すると不同沈下が生じたり、地震のとき、架台は大きく揺れる傾向があるため、対策が必要である。

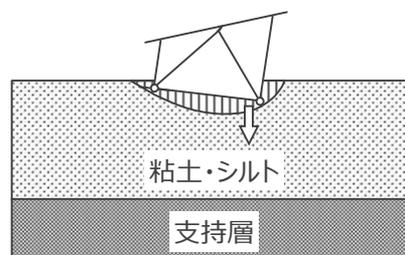


図 3-2 地盤沈下地層（深い軟弱地盤地域）

参考文献 日本建築学会：建築士のためのテキスト「小規模建築物を対象とした地盤・基礎」²⁾

3.4.2 埋立地

沼、水田、湿地、谷、海岸などに土砂を埋めた土地を埋立地という。このような土地に太陽電池架台を設置すると、地震のとき、揺れやすいだけでなく、地面が大きく陥没、地割れ、沈下などにより、架台が傾いたり、基礎が壊れるおそれがあるため、対策が必要である。

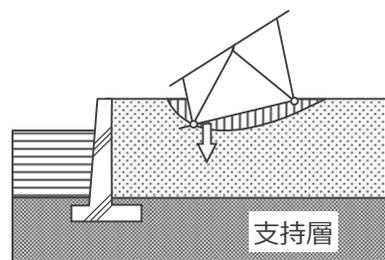


図 3-3 海岸の埋立地

参考文献 日本建築学会：建築士のためのテキスト「小規模建築物を対象とした地盤・基礎」²⁾

3.4.3 盛土地盤

盛土は、普通 1m^3 当たり $16\sim 18\text{kN}$ もの重量がある。軟弱な地盤の上に盛土をすると、その重さを受けた軟弱層は水を絞り出すようにして徐々に沈下を起こす。これを圧密沈下という。もし軟弱層の厚さが厚い場合には不同沈下を起こすおそれがある。

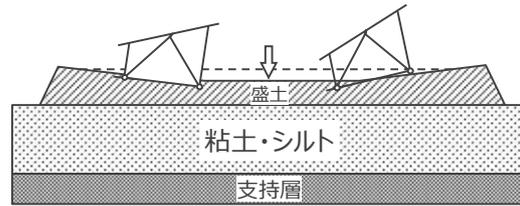


図 3-4 軟弱地盤上の盛土

参考文献 日本建築学会：建築士のためのテキスト「小規模建築物を対象とした地盤・基礎」²⁾

3.4.4 造成地（山地・丘陵地）

山地や丘陵地などを盛土や切土で造成した敷地は、安定するまでに盛土部分が元の地形の斜面に戻るような変形をしようとする。このような地盤に架台を設置すると架台と一緒に基礎が不同沈下で壊れるおそれがある。基礎は、しっかりとした支持地盤（架台と基礎の重さを支えられるだけの十分な強度をもつ地盤）に設置することが必要である。また擁壁は、擁壁の背後に流れ込む地下水の処理をするために水抜き穴を設ける必要がある。丘陵地の造成では切土された土を谷側に盛土をして平らにするので元の山地と盛土との境目ができる。このようなところが最も不同沈下を起こしやすくなる。この場合には盛土側を地盤改良などによって固めるかまたは杭を打つなどの対策が必要である。

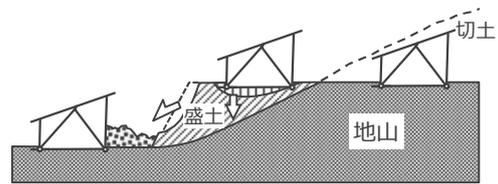


図 3-5 斜面の盛土造成地と崖下

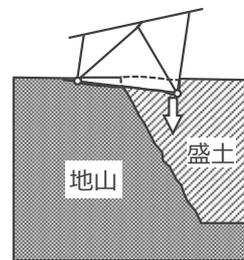


図 3-6 異種地盤

参考文献 日本建築学会：建築士のためのテキスト「小規模建築物を対象とした地盤・基礎」²⁾

3.4.5 崖・急斜面

崖や急斜面に接近した場所（崖麓線）では、集中豪雨や地震による土砂崩れや擁壁の倒壊で、架台が押しつぶされる危険がある。このような場所にやむを得ず架台を設置する場合は、崖の保護のための工事をしたうえで、崖からできるだけ離して設置する必要がある。崖上に太陽電池架台を設置する場合、崖端に接近した場所（崖端線）では、崖崩れ防止の擁壁その他で防護措置を講じる必要がある。

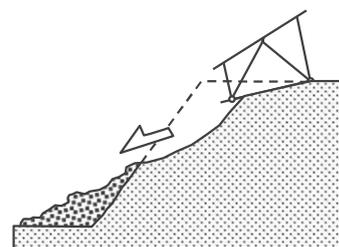


図 3-7 崖麓

参考文献 日本建築学会：建築士のためのテキスト「小規模建築物を対象とした地盤・基礎」²⁾

3.4.6 谷底低地

丘陵や台地を下った先には谷がある。一般に谷筋には腐植土のような軟弱な地層が堆積する。その上に盛土された場合、谷底の軟弱層は圧密沈下を起こす。そのとき、谷の中心線（軟弱層の厚い方）に向かって沈下がより大きくなるので、不同沈下となる可能性が高くなる。このため杭で支持させるなどの対策が必要になる。

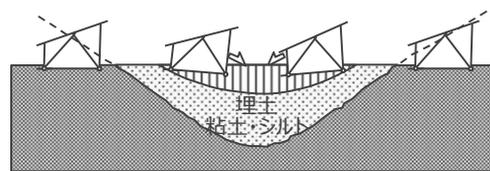


図 3-8 谷底低地

参考文献 日本建築学会：建築士のためのテキスト「小規模建築物を対象とした地盤・基礎」²⁾

3.4.7 地盤の液状化

水で飽和したゆるい砂層などが、地震などの強い振動・衝撃を受け（間隙水圧が上昇してせん断抵抗を失い）液状となることが、地盤の液状化現象である⁴⁾。地盤の液状化にともない地盤上の構造物が沈下することがあるので注意が必要である。

参考文献 日本建築学会：小規模建築物基礎設計の手引き（2005年）⁴⁾

3.4.8 傾斜地

傾斜地に太陽電池架台を設置する場合には、法面保護のために適切な排水経路を確保することが重要である。また、基礎上部の架台およびモジュールからの雨水の落下が集中するような箇所には、土砂の流出や洗掘を防止するための対策も必要である。

3.4.9 森林伐採地

森林は雨水による地表浸食を抑制しており、また樹木の根は土砂崩壊を防ぐ効果がある。森林伐採により土地造成を行った場合、傾斜地を中心に土砂流出や崖崩れの危険性が高まるため、注意が必要である。

3.5 地盤調査

3.5.1 基本事項

太陽電池架台の基礎の設計にあたっては、事前調査結果をふまえて地盤調査を実施し、設計に必要な工学的性質に関する情報を収集する。

軽量の太陽電池架台といえども地盤の状況によっては不同沈下が生ずる。また杭基礎を採用する場合には、十分な支持力（圧縮力・引抜き力・水平力）が必要となる。

太陽電池架台の設計では、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けられない状況にあるので、3-1 で述べたように充実した事前調査を実施し、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、標準貫入試験、スウェーデン式サウンディング試験、簡易動的貫入試験などがある。

また、地盤の許容支持力を原位置にて測定する方法として平板載荷試験がある。

3.5.2 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なく地下水位や土質区分も含まれる。
2. 原位置試験は、スウェーデン式サウンディング試験（以後、SWS 試験と呼ぶ）を中心に行うものとする。ただし事前調査や SWS 試験で十分な情報が得られていないと判断した場合や圧密沈下が生ずる地盤では適切な原位置試験を選定し実施する。
3. 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が必要である。調査ポイント数については下記を目安に実施する。ただし、地盤構成の均質性が確認できる場合は適宜調査ポイント数を削減してもよい。また、不均質な場合は適宜調査ポイント数を増加させる。

表 3-3 調査ポイント数の目安

発電所の規模	調査ポイント数
50kw 未満 (約 500m ²)	3
100kw (約 1000m ² 程度)	3~5
1000kw (約 10000m ² 程度)	10 以上

3.5.3 各調査法から得られるパラメータ

各調査法の特長および得られるパラメータを表 3-4 にまとめた。

表 3-4 代表的な調査法から得られるパラメータとその利用

調査法	長所	短所	得られるパラメータ	結果の利用	適用範囲 (深度)
スウェーデン式サウンディング試験	<ul style="list-style-type: none"> 調査費が安価である。 試験装置・試験方法が簡易で容易にできる。 深度方向に連続してデータがとれる。 	<ul style="list-style-type: none"> 礫・ガラなどは、貫入困難となる。 土質試料が採取できないため概略的な土質判定しかできない。 単管式ロッドであるため測定値には周囲摩擦の影響は避けられないので注意を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> W_{sw}: 貫入に必要な最低荷重。 N_{sw}: 1kN の荷重で貫入が止まった後、回転により所定の目盛りまで貫入させたときの半回転数から換算した貫入量 1m あたりの半回転数。 	<ul style="list-style-type: none"> N 値との関係 粘性土の場合 $N=2W_{sw}+0.67N_{sw}$ 砂質土の場合 $N=3W_{sw}+0.50N_{sw}$ 一軸圧縮強さの関係 $qu=45W_{sw}+0.75N_s$ (kN/m²) 支持力との関係 	10m 程度
標準貫入試験	<ul style="list-style-type: none"> 過去のデータが多数蓄積されている。 深い深度まで測定できる。 地下水位が確認できる。 土が採取できるので土層の確認ができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 軟弱な有機質土などは N=0 となり、微細な判定はできない。 作業スペースが大きい。 費用が高額である。 打撃音がする。 SWS 試験と比較して測点数が少ないため、地層の分布が把握しにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> N 値 土質 	<ul style="list-style-type: none"> N 値 内部摩擦角 (砂質土地盤) 土質 構成土層、支持層の有無、軟弱地盤の有無 	60m 程度

簡易動的 コーン 貫入試験	急傾斜地の斜面調査用に小型軽量化されたコーン貫入試験。 標準貫入試験の補足手段として、手軽に支持層までの深さや、軟弱層の厚さを確認できる。	SWS 試験と同じ	<ul style="list-style-type: none"> Nd 値 (100mm ごとの打撃回数) 自重沈下は Nd=0 とする 	Nd=4 以上のとき 粗粒土 $N=0.7+0.34Nd$ 砂質土 $N=1.1+0.30Nd$ 粘性土 $N=1.7+0.34Nd$ Nd=4 以下のとき 粗粒土 $N=0.50Nd$ 砂質土 $N=0.66Nd$ 粘性土 $N=0.75Nd$	
平板載荷 試験	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の支持力を直接判定できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 影響する地盤の深さ方向の範囲は、荷板幅の 1.5~2.0 倍程度である事。 作業スペースが大きい。 費用が高額である。 深度方向の調査が困難。 	$Kp = \Delta P / \Delta S$ (MN/m ²) Kp : 地盤反力係数 ΔP : 単位面積あたり荷重 (kN/m ²) ΔS : ΔP に対する沈下量 (m)	<ul style="list-style-type: none"> 許容支持力 	0.6m 程度 (円形の荷板幅 30cm として)

3.5.4 SWS 試験

SWS 試験は静的貫入試験の 1 種であり、JIS A 1221 (スウェーデン式サウンディング試験) 方法に規定されている。

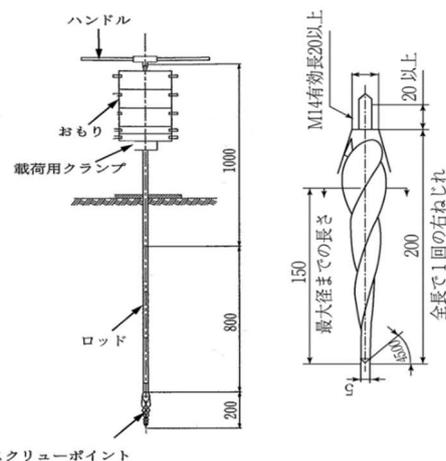


図 3-9 スウェーデン式サウンディング試験 (手動式)

参考文献 日本建築学会：構造用教材 (2014 年 (改定))⁵⁾

3.5.5 標準貫入試験

標準貫入試験は、日本規格協会 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。

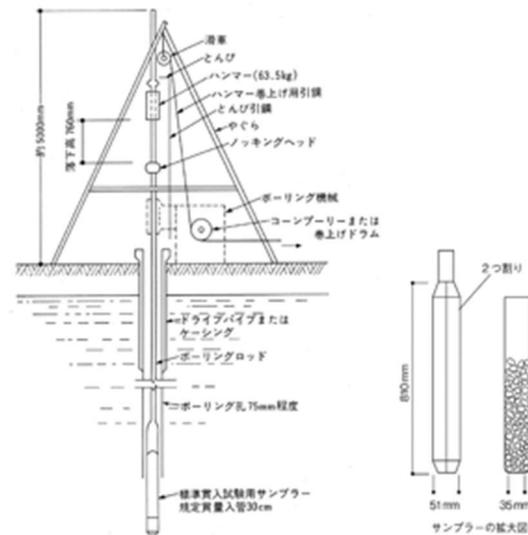


図 3-10 標準貫入試験

標尺 (m)	層高 (m)	深厚度 (m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	記	標準貫入試験				原位置試験		試料採取 深 度 (m)	採取方法	室内試験 掘進月日
									深 度 (m)	10cm毎の 打撃回数	打撃回数 N	貫入量 (cm)	深 度 (m)	試 験 名 および結果			
-7.05	0.65	0.65	シルト質細砂	黄褐色	中	軟らかい	不均質に硬い	所々に瓦礫を混入する。空隙の変化が激しい。	1.15	1	1	4	3.9			P1	
-5.90	1.15	1.80	シルト質細砂	黄褐色	中	軟らかい	不均質に硬い	粒径は均一で粘土細かい。所々に礫を少量混入する。含水量低い。	1.46	2	1	1	3.9			P2	
-4.10	1.80	3.60	砂質シルト	暗灰色	中	軟らかい	不均質に硬い	所々に細砂の薄層を挟む。含水量高い。粘着性乏しい。草根短く少量混入。	2.15	1	1	2	3.0			P3	
-3.35	0.75	4.35	有機質シルト	暗灰色	中	軟らかい	不均質に硬い	腐植物少量混入。腐植体あり。一部に細砂の薄層を挟む。	3.15	2	1	1	3.4			P4	
-1.15	2.20	6.55	細砂	暗青灰色	中	軟らかい	不均質に硬い	粒径は不均一で粘土細かい。所々に粗砂の薄層を挟む。相隣および貫入片を少量混入。	3.49	1	1	4	3.5			P5	
-0.80	1.95	8.50	シルト質細砂	暗青灰色	中	軟らかい	不均質に硬い	粒径均一で粘土細かい。シルトの薄層を互層状に挟む。	4.15	2	1	4	3.5			P6	
									4.49	1	1	4	3.4			P7	
									5.15	3	4	3	3.0			P8	
									5.45	3	5	4	3.0				
									6.15	3	5	4	3.0				
									7.15	8	7	7	3.0				
									7.45	8	7	7	3.0				
									8.15	6	5	7	3.0				
									8.45	6	5	7	3.0				

図 3-11 土質柱状図の例

参考文献 日本建築学会：構造用教材（2014年（改定））⁵⁾

3.5.6 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。

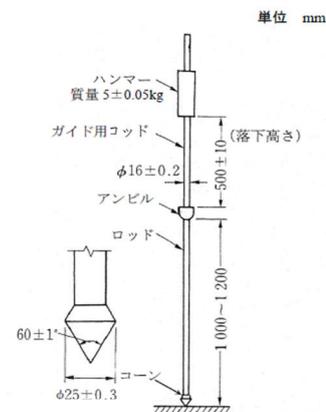
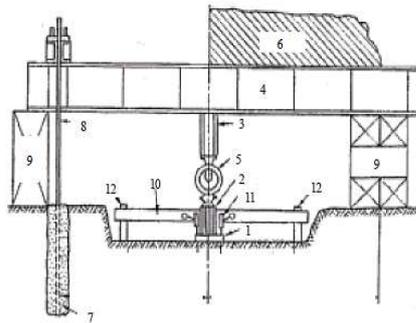


図 3-12 簡易動的コーン貫入試験機

3.5.7 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。



1. 載荷板
2. ジャッキ
3. 支柱
4. 載荷梁
5. 荷重計
6. 実荷重
7. アンカー
8. アンカーロッド
9. 受け台
10. 基準梁
11. 変位計
12. 基準梁支持台

図 3-13 平板載荷試験

3.6 基礎の選定方法

地盤調査の結果から、杭の打設が可能で十分な支持力（押し込み力・引抜き力・水平力）が期待できる場合には摩擦杭あるいは支持杭とすることができる。杭基礎を採用する場合は、現地にて試験杭を打設し載荷試験を実施して安全を確認すること。ただし採用する杭が大臣認定、技術認証等を取得した工法である場合はこの限りではない。

また軟弱地盤で杭の支持力が期待できない場合や、反対に地盤が固い場合あるいは地中に転石などが多くあり杭の打設が困難な場合には直接基礎とする。直接基礎を採用するときは、図 3-14 「SWS 試験結果に基づく直接基礎の選定」を目安に、基礎形式を決定する。

SWS 式サウンディング試験に基づく直接基礎の選定の目安

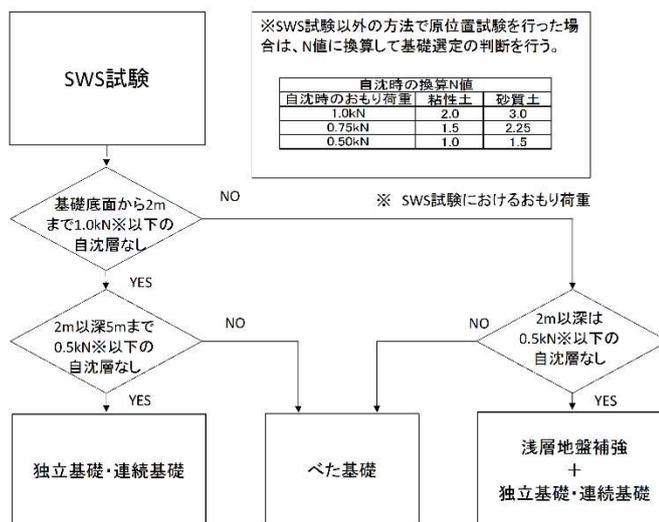


図 3-14 SWS 試験結果に基づく直接基礎の選定の目安

3.7 配置計画（ラフプラン）

3.7.1 事前情報からのモジュールレイアウト検討

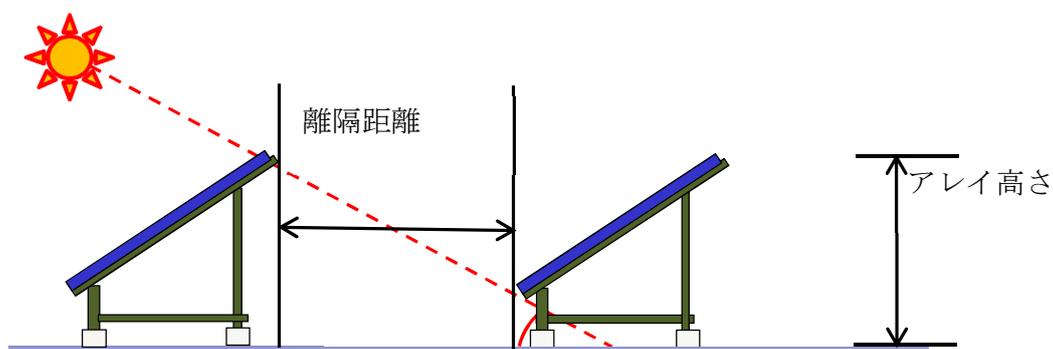
1. 年間最大発電量を得るための最適設置レイアウトは、架台の方位と傾斜角度が重要となり、特に地上設置型ではアレイ配列が複数となるため、アレイ間の離隔距離の確保が必要となる。
2. 離隔距離の検討は、設置場所の緯度によって太陽高度と日陰距離が異なるが、年間で最も日陰の長い、冬至の9時、15時の日陰長さから推定することが目安となる。
3. 最終的なモジュールレイアウトは、風圧荷重や積雪荷重を考慮したモジュール強度に対する傾斜角の検討に加え、面積制約と離隔距離、基礎など、諸条件を検討して決める必要があり、数種類のレイアウトを図面化し、コストを含めた検討をおこなうのが一般的である。
4. 風圧荷重が大きい地区では、一般的には20度以下の傾斜角を採用する例が多い。傾斜角を小さくすることで風圧荷重が軽減でき、架台コストを下げる事が可能であるが、予め設置場所の緯度、経度から年間発電量への影響を確認する。
5. 多積雪地域では傾斜角を大きくすることで積雪荷重が軽減できるが、アレイ前部の落雪対策として、架台の脚部を嵩上する検討も必要となり架台コストへの影響も考慮する必要がある。

3.7.2 架台の傾斜角と離隔距離

1. 敷地に対してアレイ架台の配置検討では、発電量が最大となる南向きに配置することや最適傾斜角を確保することが必要である。
2. 複数の太陽電池アレイを設置する場合は、陰の影響を最小化するための離隔距離の確保が必要となる。
3. 複数のPCSを設置する場合、つなぎ込む太陽電池アレイは同一角度、同一方位を原則とする。
4. 敷地を有効活用するために、傾斜角を小さくし隔離距離を短くする場合には、メンテナンススペースの確保に留意すること。
5. 積雪地域などでアレイ傾斜角を大きくすると、アレイの高さが高くなり離隔距離が大きくなる。
6. 設置場所の周辺の建物や樹木の陰にならない位置に配置する。

3.7.3 太陽電池アレイ用架台の配置検討

1. 敷地に対してアレイ架台の配置検討では、発電量が最大となる南向きに配置することや最適傾斜角を確保する。
2. 複数の太陽電池アレイを設置する場合は、陰の影響を最小化するための離隔距離の確保が必要となる。
3. 複数の PCS を設置する場合、つなぎ込む太陽電池アレイは同一角度、同一方位を原則とする。
4. 敷地を有効活用するために、傾斜角を小さくし離隔距離を短くする場合には、メンテナンススペースの確保に留意する。
5. 積雪地域などでアレイ傾斜角を大きくすると、アレイの高さが高くなり離隔距離が大きくなる。
6. 設置場所の周辺の建物や樹木の陰にならない位置に配置する。
7. 設置場所周辺に住宅などがある場合、光害の配慮を行う必要がある。植樹などを行い対策する。



参考文献 太陽光発電協会：（低圧連系）太陽光発電システム技術講習会資料⁶⁾（2015年）

4. 設 計 荷 重

設計荷重の算定は、JIS C 8955:2017「太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算定方法」による。

4.1 想定荷重

太陽電池架台およ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・積載荷重・積雪荷重・風圧荷重・地震荷重のほか、基礎に直接作用する固定荷重、土圧・水圧、地震荷重、その他の荷重とする。

- ① **固定荷重 (G)** : モジュールの質量(G_M)と支持物などの質量(G_K)による荷重の総和。
- ② **風圧荷重 (W)** : モジュールに加わる風圧力(W_M)と支持物に加わる風圧力(W_K)の総和 (ベクトル和)。
- ③ **積雪荷重 (S)** : モジュール面の垂直積雪荷重。
- ④ **地震荷重 (K)** : 支持物に加わる水平地震力。

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	$G + K$	$G + 0.35S + K$	

なお、**多雪区域**とは、次の条件のいずれかとする。

- ・ **4.3 c)** による垂直積雪量が **1m** 以上の区域
- ・ 積雪の初終間日数 (当該区域中の積雪部分の割合が **1/2** を超える状態が継続する期間の日数をいう。) 平均値が **30** 日以上の区域。

4.2 風圧荷重

4.2.1 設計用風圧荷重

太陽電池アレイ用支持物の設計用風圧荷重は、式(1.a) のアレイに作用する風圧荷重と式(1.b) の支持物構成材に作用する風圧荷重の両方を考慮しなければならない。アレイの風圧荷重はモジュールの面に垂直に作用し、支持物構成材の風圧荷重は水平に作用する。

$$W_a = C_a \times q_p \times A_a \dots\dots\dots(1.a)$$

$$W_b = C_b \times q_p \times A_b \dots\dots\dots(1.b)$$

ここに、
 W_a : アレイの設計用風圧荷重 (N)
 W_b : 支持物構成材の設計用風圧荷重 (N)
 C_a : アレイ面の風力係数 (4-5 参照)
 C_b : 支持物構成材の風力係数 (4-6 参照)
 q_p : 設計用速度圧 (N/m²)
 A_a : アレイ面の受風面積 (m²)
 A_b : 支持物構成材の鉛直投影面積 (m²)

4.2.2 設計用速度圧

設計用速度圧は、式(2) によって算出する。設計用基準風速は a)、環境係数は b)及び用途係数は c)を用いる。

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

ここに、
 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

a) **設計用基準風速** 設計用基準風速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

その他の風の性状に応じて、30m/s ~ 46m/s の範囲内において定めた表 4-1 に示す基準風速を用いる。

表 4-1 ※ 適用地域別の基準風速は省略 (JIS C 8955:2016 参照)

b) **環境係数** 環境係数は、式(3)によって算出する。

$$E = E_r^2 \times G_f \dots\dots\dots(3)$$

ここに、
 E : 環境係数
 E_r : 式(4) または式(5) によって算出する平均風速の高さ方向の分布を表す係数
 G_f : 表 4-2 に示すガスト影響係数

E_r は、 H が Z_b 以下の場合は式(4)、 H が Z_b を超える場合は式(5)によって算出する。

$$E_r = 1.7 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \dots\dots\dots (4)$$

$$E_t = 1.7 \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 Z_b , Z_G 及び α : 地表面粗度区分に応じて表 4-3 に掲げる数値
 H : アレイ面の平均地上高 (m)

表 4-2 ガスト影響係数 G_f

地表面粗度区分	アレイ面の平均地上高 H		
	(1)	(2)	(3)
	10m 以下の場合	10m を超え 40m 未満の場合	40m 以上の場合
I	2.0	(1)及び(3)に掲げる数値を直線的に補間した数値	1.8
II	2.2		2.0
III	2.5		2.1
IV	3.1		2.3

表 4-3 Z_b 、 Z_G 及び α

地表面粗度区分		Z_b (m)	Z_G (m)	α
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がない区域	5	250	0.10
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分 I の区域外の区域又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分 IV の区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線（対岸までの距離が 1,500m 以上のものに限る。以下同じ。）までの距離が 500m 以内の区域	5	350	0.15
III	地表面粗度区分 I、II 又は IV 以外の区域	5	450	0.20

IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域	10	550	0.27
----	---	----	-----	------

c) 用途係数 用途係数は、表 4-4 による。

表 4-4 用途係数 I_w

太陽光発電システムの用途	用途係数
極めて重要な太陽光発電システム	1.32
通常の太陽光発電システム	1.0
注記 通常の太陽光発電システムの風速の設計用再現期間を 50 年とし、これが用途係数の 1.0 に相当する。	

4.2.3 風力係数

・アレイ面の風力係数

アレイ面の風力係数は、風洞実験によって定める。ただし、表 4-5 に示す設置形態の場合は、近似式(6)～(22)によって算出してもよい。

地上設置 順風（正圧）の場合、式(6)による。

$$C_a = 0.35 + 0.055 \theta - 0.0005 \theta^2 \dots\dots\dots(6)$$

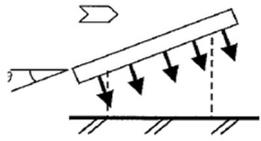
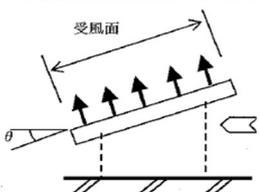
ただし、5 度 $\leq \theta \leq 60$ 度

地上設置 逆風（負圧）の場合、式(7)による。

$$C_a = 0.85 + 0.048 \theta - 0.0005 \theta^2 \dots\dots\dots(7)$$

ただし、5 度 $\leq \theta \leq 60$ 度

表 4-5 太陽電池アレイ面の風力係数 C_a の適用

風力係数 (C_a)		適用
順風（正圧）	逆風（負圧）	
		<p>図 4-1 で定義する中央部アレイでは、近似式の値を 0.7 倍して使用してもよい。</p>
<p>注記  は風向、\rightarrow は風圧力の方向を表す。</p>		

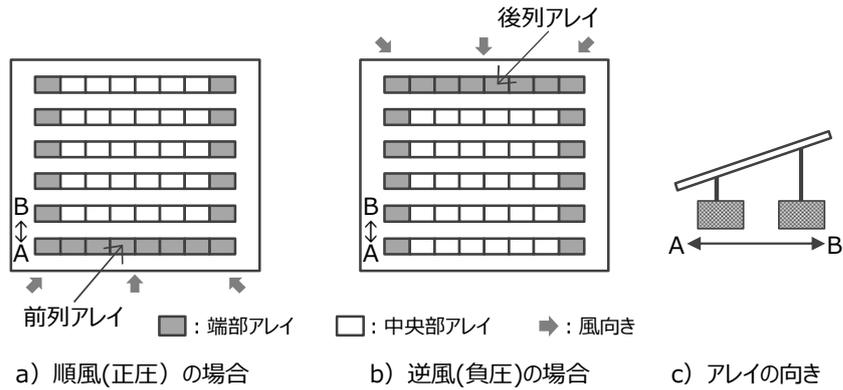


図 4-1 端部アレイ及び中央部アレイ

・支持物構成材の風力係数

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表 4-6 に示す断面形状の場合は、表 4-6 に示す数値を用いてよい。

表 4-6 単体部材の風力係数 C_b

断面形状		風力係数	断面形状		風力係数
→ ○	円形断面	1.20 (0.75) ⁽¹⁾	→ T	T形断面 辺長比約 1:2	1.80
→ □	四角断面 風向に正対	2.00	→ T	T形断面 辺長比約 1:2	2.00
→ ◊	四角断面 風向に 45°傾斜	1.50	→ T	T形断面 辺長比約 1:2	1.50
→ □ r, d	四角断面 r 付 r/d=0.2 以上	1.20	→ I	H形断面 辺長比約 1:2	2.20
→ 六角形	六角断面	1.40	→ T	H形断面 辺長比約 1:2	1.90
→ △	三角形断面	1.30	→ U	溝形断面 辺長比約 1:2	2.10
→ △	三角形断面	2.00	→ U	溝形断面 辺長比約 1:2	1.80
→ L	等辺山形銅	2.00	→ U	溝形断面 辺長比約 1:2	1.40
→ L	等辺山形銅	1.80	→ +	十字断面	1.80
→ L	不等辺山形銅 辺長比 1:2	1.60	→)	半円形	2.30

→ 	不等辺山形銅 辺長比 1 : 2	1.70	→ 	半円形	1.20
→ 	不等辺山形銅 辺長比 1 : 2	2.00	→ 	平銅 細長いもの	2.00
→ 	不等辺山形銅 辺長比 1 : 2	1.90	→ 	平銅 (プレート) 正方形に近いもの	1.20
<p>注(1) 括弧内の数値は、次の計算式によって求められる風速 $V(\text{m/s})$ を超える場合を示す。 $V = 5.84/d$ ここに、d は部材の外形寸法 (m) 注記 1 地上及び屋根設置の基礎の風力係数は 1.2 とする。 注記 2 表中の→は風向を示す。</p>					

4.3 積雪荷重

設計用積雪荷重は、式(8)によって算出する。

$$S_p = C_s \times P \times Z_s \times A_s \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

ここに、
 S_p : 積雪荷重 (N)
 C_s : こう配係数
 P : 雪の平均単位荷重 (積雪 1m 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)

a) **こう配係数** こう配係数 C_s は、1.0 とする。ただし、アレイ面の積雪の滑落を確実に保証できる場合には、式(9)あるいは式(10)によって算出することができる。

$$C_s = \sqrt{\cos(1.5\theta)} \dots\dots\dots(9)$$

ここに、 θ : アレイ面の傾斜角度 (度)

ただし、 $0 < \theta \leq 60$

$$C_s = 0 \dots\dots\dots(10)$$

ただし、 $\theta > 60$

- b) **雪の平均単位荷重** 式(8)において、雪の平均単位荷重(P)は、積雪 1 cmごとに 1m^2 につき一般の地方では 20N 以上、多雪区域では 30N 以上とする。
- c) **積雪量** アレイ面の設計用積雪量は地上における垂直積雪量(Z_s)とし、式(9)によって計算した積雪量に当該区域における局所的地形要因による影響を考慮する。ただし、特定行政庁が、当該区域又はその近傍の区域の気象観測地点における、地上積雪深の観測資料に基づき、統計処理を行うなどの手法によって、当該区域における 50 年再現期待値を求めることができる場合には、当該手法による値を用いることができる。

$$Z_s = \alpha \times I_s + \beta \times rs + r \dots\dots\dots(9)$$

ここに、 I_s : 区域の標準的な標高 (m)
 rs : 区域の標準的な海率 [区域に応じて JIS C 8955:2017 の表 8 に示す R の欄に掲げる半径 (km)の円の面積に対する当該円内の海その他これに類するものの面積の割合]
 α, β, r : 各区域の積雪量を表すパラメータは省略 (JIS C 8955:2017 の表 8 参照)

4.4 地震荷重

4.4.1 設計用地震荷重

設計用地震荷重は、一般の地方では式(27)、多雪区域では式(12)によって算出する。

$$K_p = k_p \times G \dots\dots\dots(27)$$

$$K_p = k_p \times (G + 0.35S) \dots\dots\dots(28)$$

ここに、 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)

4.4.2 設計用水平震度

モジュールと支持物で構成される架構部分及び基礎部分の設計用水平震度は、式(29)によって算出する。

$$k_p = k_H \times Z \times I_k \dots\dots\dots(12)$$

ここに、 k_H : 各部に生じる水平震度であり、表 4-7 に掲げる数値
 Z : 地震地域係数
 I_k : 用途係数

表 4-7 各部に生じる設計用水平震度 k_H

	地上設置
架構部分	0.3 以上
基礎部分	0.3 以上
水平力に対して有効に土が抵抗できる土中にある基礎部分	0.1 以上

4.4.3 地震地域係数

a) 地震地域係数

地震地域係数は省略（JIS C 8955:2017 の表 10 参照）

4.4.4 用途係数

b) 用途係数

用途係数は表 4-8 による。

表 4-8 用途係数 I_k

太陽光発電システムの用途	用途係数
極めて重要な太陽光発電システム	1.5
通常設置する太陽光発電システム	1.0

5. 基礎の設計

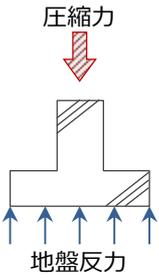
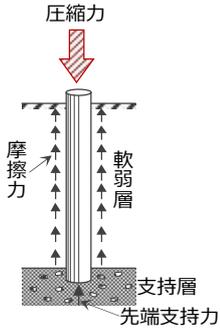
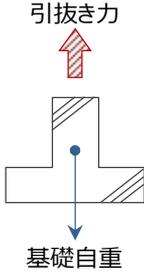
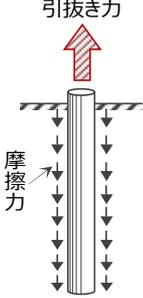
5.1 一般事項

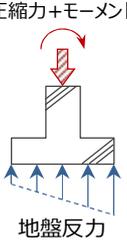
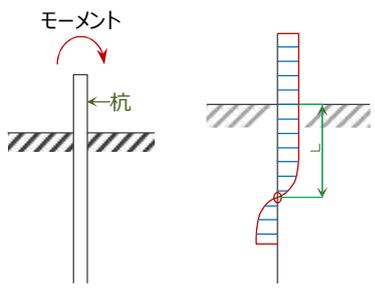
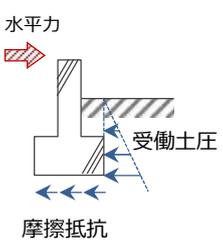
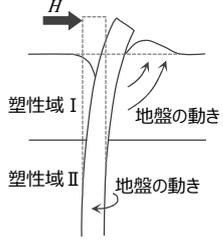
1. 方針：基礎は、上部構造が地盤に対して構造上支障のある沈下・浮上がり・転倒・横移動を生じないように安全に支持できる構造形式とする。
2. 基礎の形式：太陽電池架台の規模・重量および地盤特性を考慮して、地盤も含め適切な形式の基礎とする。
3. 基礎の構造：鉄筋コンクリート造による直接基礎、または杭基礎（支持杭および摩擦杭）とする。

5.2 基礎に働く外力と反力

架台から基礎に伝わる外力として、軸力（圧縮力、引抜き力）、水平力、モーメント等がある。またこれに対する反力を直接基礎と杭基礎の各々について表 5-1 に示す。

表 5-1 基礎に働く外力と反力

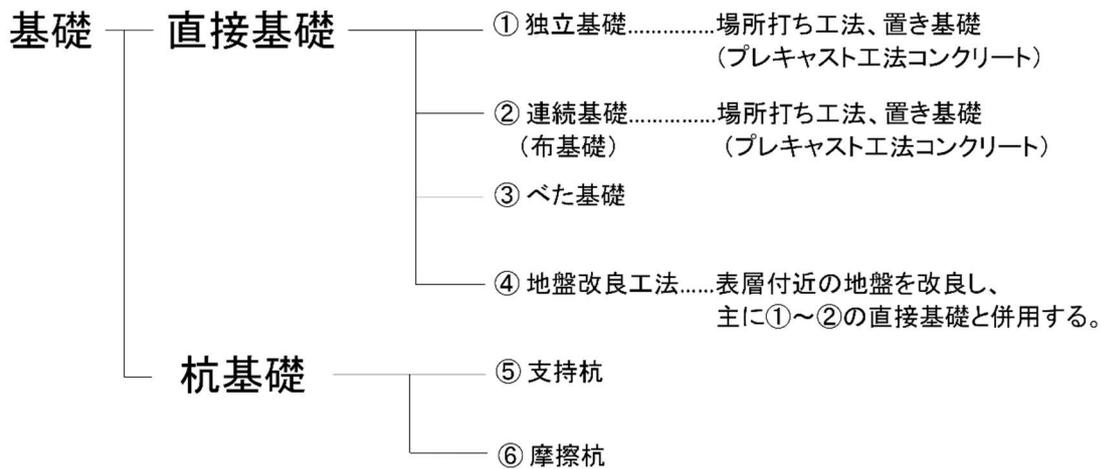
反力		直接基礎の場合	杭基礎の場合
外力	圧縮力	フーチングによる 地盤反力 	杭の先端支持力 +周面摩擦力 
	引抜き力	基礎自重 	杭の周面摩擦力 

<p>モーメント</p>	<p>フーチングによる地盤反力 (柱脚のモーメントや荷重の偏心については偏心軸力として算定)</p> <p>圧縮力+モーメント</p>  <p>地盤反力</p>	<p>杭の許容曲げ応力</p> <p>モーメント</p> 
<p>水平力</p>	<p>底面の摩擦抵抗 根入れ部の抵抗 (受働土圧)</p> <p>水平力</p>  <p>受働土圧</p> <p>摩擦抵抗</p>	<p>杭の水平抵抗力</p>  <p>塑性域 I</p> <p>地盤の動き</p> <p>塑性域 II</p> <p>地盤の動き</p>

5.3 基礎の形式

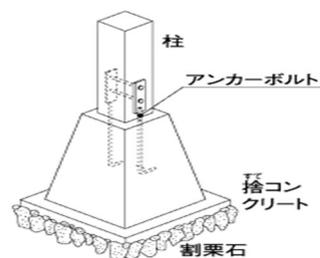
太陽電池架台を支える基礎は表 5-2 に分類される。

表 5-2 基礎の分類



5.3.1 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である。
独立基礎にて太陽電池架台を支持するときは、架台柱脚からの鉛直力（圧縮力・引拔力）
ならびに風圧荷重・地震荷重による水平力を考慮して設計する。



5.3.2 連続基礎（布基礎）

一連の柱からの荷重を連続した基礎梁（またはフーチングおよび基礎梁）によって支持する基礎である。

連続基礎にて太陽電池架台を支持するときは、架台柱脚からの鉛直力（圧縮力・引拔力）
ならびに風圧荷重・地震荷重による水平力を考慮して設計する。

連続基礎の例



5.3.3 べた基礎

上部架台の広い範囲内の荷重を、単一の基礎スラブで地盤へ伝える基礎である。
小規模建築物では基礎梁と基礎スラブで構成されるが、太陽電池架台用の基礎では基礎ス
ラブのみのもも含めてべた基礎と呼ぶ。

基礎梁が無く基礎スラブだけで構造物を支える場合には、アンカーボルトの埋め込み長
さに注意が必要である。

基礎スラブの厚さは鉄筋のコンクリートかぶり厚や、アンカーボルトの埋め込み長さか
ら 150mm 程度は必要である。



5.3.4 地盤改良工法

セメント系固化材を混合、攪拌、転圧することで地盤の支持力を改善する工法である。柱状に深層まで改良する深層混合処理工法と、表層付近の地盤を改良する浅層混合処理工法がある。

太陽光発電設備のための地盤改良工法としては浅層混合処理工法を行った地盤上に直接基礎を設置することが多い。

5.3.5 杭基礎

杭基礎は、地中に打ち込まれた杭に直接あるいは専用金具などで架台を連結して、架台荷重を受け持つ工法である。

事前の地盤調査により土壌の硬さを把握し、適切な杭工法（杭材・打設方法）の選択をすることが必要である。杭には支持層まで到達させる支持杭と、一定深さまで打設して周面摩擦を支持力とする摩擦杭がある。太陽電池架台では強風時の負圧による引抜き力に特に留意して設計を行う必要がある。



5.4 直接基礎の設計

5.4.1 一般事項

1. 直接基礎の底面の大きさや位置：基礎底面の大きさは、不同沈下を避けるため、常時荷重時に生じる地盤反力が、長期許容支持力以下とし、かつ、できるだけ均等になるようにすることが望ましい。特に、地盤が軟弱な場合また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反力が、短期許容支持力を超過しないようにする。

2. 短期荷重時の地反力分布：短期荷重時に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曲げモーメントが作用する。このため地反力は台形（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支持力を超えないようにする。また、水平力による転倒および滑動について検討を行う必要がある。
3. 基礎と上部構造との緊結：太陽電池架台は基礎に設置されたアンカーボルトなどにより基礎と土台あるいは柱脚を緊結する。特に、特殊な定着方法をとる場合には、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。
4. 引抜き抵抗力：直接基礎の場合は、架台からの引抜き荷重が、基礎自重（浮き上がり抵抗力）を超えないように決定する。またこの時の安全率を 1.5 以上とすること。
5. 水平抵抗力：風圧荷重または地震荷重により柱脚に働く水平力が地盤の摩擦抵抗力と受働土圧を合計した値を超えないように決定する。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。ただし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たものとする。地盤の摩擦係数（ μ ）は、地盤条件とともに、基礎底面の形状・施工条件を適切に考慮して決めること。土質試験などを実施しない場合には、 μ として 0.3～0.5 の範囲の値を採用する。また水平抵抗力の安全率を 1.5 以上とする。
 受働土圧は建築基礎構造設計指針⁷⁾の 3.4 節を参考にする。
6. 転倒に対する検討：基礎および架台の自重による安定モーメントはモジュールや架台に作用す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 1.5 以上とすること。

<宅地造成等規制法施行令別表 3 より>

表 5-3 土質による地盤の摩擦係数

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	0.3

5.4.2 地盤の許容支持力

地盤の許容支持力は建築基準法施行令 93 条による。また、地盤調査あるいは載荷試験により地盤の許容応力度を求めるときは、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号（平成 13 年 7 月 2 日）（最終改正 平成 19 年 9 月 告示第 1232 号）を参考に決定する。

建築基準法施行令 93 条

地盤の許容応力度および基礎ぐいの許容支持力は、国土交通大臣が定める方法によって、地盤調査を行い、その結果に基づいて定めなければならない。ただし、次の表に掲げる地盤の許容応力度については、地盤の種類に応じて、それぞれ次の表の数値によることができる。

地盤	長期に生ずる力に対する許容応力度 (単位 kN/m ²)	短期に生ずる力に対する許容応力度 (単位 kN/m ²)
岩盤	1,000	長期に生ずる力に対する許容応力度のそれぞれの数値の2倍とする。
固結した砂	500	
土丹盤	300	
密実な研磨	300	
密実な砂質地盤	200	
砂質地盤（地震時に液状化のおそれのないものに限る）	50	
堅い粘土質地盤	100	
粘土質地盤	20	
堅いローム層	100	
ローム層	50	

また平成13年国土交通省告示第1113号（平成13年7月2日）

（最終改正 平成19年9月 告示第1232号）において地盤の許容支持力を定める方法について規定しているので、参考にして以下のように定める。

地盤の許容応力度を定める方法は、次の表の(1)項、(2)項又は(3)項に掲げる式によるものとする。ただし、(3)項に掲げる式を用いる場合において、基礎の底部から下方2m以内の距離にある地盤にスウェーデン式サウンディングの荷重が1kN以下で自沈する層が存在する場合若しくは基礎の底部から下方2mを超え5m以内の距離にある地盤にスウェーデン式サウンディングの荷重が0.5kN以下で自沈する層が存在する場合にあっては、太陽電池架台・基礎・モジュールなどの自重による沈下その他の地盤の変形等を考慮して上部構造物に有害な損傷、変形および沈下が生じないようにする。

長期に生ずる力に対する地盤の許容応力度を定める場合	
(1)	$q_a = \frac{1}{3} \times (i_c a C N_c + i_\gamma \beta_{\gamma 1} B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q)$
(2)	$q_a = q_t + \frac{1}{3} \times N'_{\gamma 2} D_f$

(3)	$q_a = 30 + 0.6\overline{Nsw}$									
短期に生ずる力に対する地盤の許容応力度を定める場合										
(1)	$q_a = \frac{2}{3} \times (i_c a C N_c + i_y \beta \gamma_1 B N_y + i_q \gamma_2 D_f N_q)$									
(2)	$q_a = 2q_t + \frac{1}{3} \times N' \gamma_2 D_f$									
(3)	$q_a = 60 + 1.2\overline{Nsw}$									
この表において q_a 、 i_c 、 i_y 、 i_q 、 a 、 β 、 C 、 B 、 N_c 、 N_y 、 N_q 、 γ_1 、 γ_2 、 D_f 、 q_t 、 N' 及び \overline{Nsw} は、それぞれ次の数値を表すものとする。 q_a 地盤の許容応力度 (単位 kN/m ²) i_c 、 i_y 及び i_q 基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角に応じて次の式によって計算した数値。 $i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$ $i_y = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2$ これらの式において、 θ 及び φ は、それぞれ次の数値を表すものとする。 θ 基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角 (θ が φ を超える場合は、 φ とする。) (単位°) φ 地盤の特性によって求めた内部摩擦角 (単位°) a 及び β 基礎荷重面の形状に応じて次の表に掲げる係数										
係数		基礎荷重面の形状								
		円形			円形以外の形状					
a		1.2			$1.0 + \frac{0.2B}{L}$					
β		0.3			$0.5 - \frac{0.2B}{L}$					
この表において、 β 及び L は、それぞれの基礎荷重面の短辺又は短径及び長辺又は長径の長さ (単位 m) を表すものとする。 C 基礎荷重面下にある地盤の粘着力 (単位 kN/m ²) B 基礎荷重面の短辺又は短径 (単位 m) N_c 、 N_y 及び N_q 地盤内部の摩擦角に応じて次の表に掲げる支持力係数										
内部摩擦角	0°	5°	10°	15°	20°	25°	28°	32°	36°	40°以上
N_c	5.1	6.5	8.3	11.0	14.8	20.7	25.8	35.5	50.6	75.3
N_y	0	0.1	0.4	1.1	2.9	6.8	11.2	22.0	44.4	93.7

N_q	1.0	1.6	2.5	3.9	6.4	10.7	14.7	23.2	37.8	64.2
この表に掲げる内部摩擦角以外の内部摩擦角に応じた N_c 、 N_y 及び N_q は、表に掲げる数値をそれぞれ直線的に補間した数値とする。										
γ_1	基礎荷重面下にある地盤の単位体積重量又は水中単位体積重量 (単位 kN/m^3)									
γ_2	基礎荷重面より上方にある地盤の平均単位体積重量又は水中単位体積重量 (単位 kN/m^3)									
D_f	基礎に近接した最低地盤面から基礎荷重面までの深さ (単位 m)									
q_t	平均載荷試験による降伏荷重度の $\frac{1}{2}$ の数値又は極限応力度の $\frac{1}{3}$ の数値のうちいずれか小さい数値 (単位 kN/m^2)									
N'	基礎荷重面下の地盤の種類に応じて次の表に掲げる係数									
係数	地盤の種類									
	密実な砂質地盤	砂質地盤 (密実なものを除く。)	粘土質地盤							
N'	12	6	3							
$\overline{N_{sw}}$	基礎の底部から下方 2m 以内の距離にある地盤のスウェーデン式サウンディングにおける 1m あたりの半回転数 (150 を超える場合は 150 とする。) の平均値 (単位 回)									

5.4.3 セメント系固化材による地盤改良体の許容支持力

セメント系固化材を用いて改良された地盤の改良体 (セメント系固化材を改良前の地盤と混合し固結したものをいう。以下同じ。) の許容応力度を定める方法は、次の表に掲げる改良体の許容応力度によるものとする。

長期に生ずる力に対する改良体の許容応力度 (単位 kN/m^2)	短期に生ずる力に対する改良体の許容応力度 (単位 kN/m^2)
$\frac{1}{3} \cdot F$	$\frac{2}{3} \cdot F$
この表において、 F は、改良体の設計基準強度 (単位 kN/m^2) を表すものとする。	

上記の規定にかかわらず、地盤の許容応力度を定める方法は、適用する改良の方法、改良の範囲及び地盤の種類ごとに、基礎の構造形式、敷地、地盤その他の基礎に影響を与えるものの実況に応じた平板載荷試験又は載荷試験の結果に基づいて、次の表に掲げる式によることができるものとする。

長期に生ずる力に対する改良された地盤の許容応力度を定める場合	短期に生ずる力に対する改良された地盤の許容応力度を定める場合
$q_a = \frac{1}{3} \cdot q_b$	$q_a = \frac{2}{3} \cdot q_b$

この表において、 q_a 及び q_b は、それぞれ次の数値を表すものとする。

q_a 改良された地盤の許容応力度 (単位 kN/m^2)

q_b 平板載荷試験又は載荷試験による極限応力度 (単位 kN/m^2)

5.4.4 鉄筋コンクリート造の直接基礎設計上の注意事項

鉄筋コンクリート造の直接基礎は、「平成 12 年建設省告示第 1347 号 (建築物の基礎の構造方法及び構造計算の基準を定める件)」を参考に、以下の推奨仕様に基づいて設計を行う。その他の仕様とする場合には、日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算基準⁸⁾に準拠して設計を行う。

〈べた基礎〉

1. 一体の鉄筋コンクリート造とすること。
2. 立ち上がり部分がある場合、その主筋として D13 以上の異形鉄筋を、立ち上がり部分の上端および立ち上がり部分の下部の底盤にそれぞれ 1 本以上配置し、かつ、補強筋と緊結したものとすること。
3. 立ち上がり部分の補強筋として D10 以上の鉄筋を 300mm 以下の間隔で縦に配置したものとすること。補強筋には端部にフックを設けること。
4. 底盤の補強筋として D10 以上の鉄筋を縦横に 300mm 以下の間隔で配置したものとすること。
5. 立ち上がり部分のない底盤に直にアンカーボルトを配置する場合は、アンカーボルトに必要な埋め込み長さを確保すること。

また、アンカーボルトのかぶり厚 (60mm 以上) を考慮して底盤の厚さを決める必要がある。底盤厚さとして 150mm 以上を推奨。

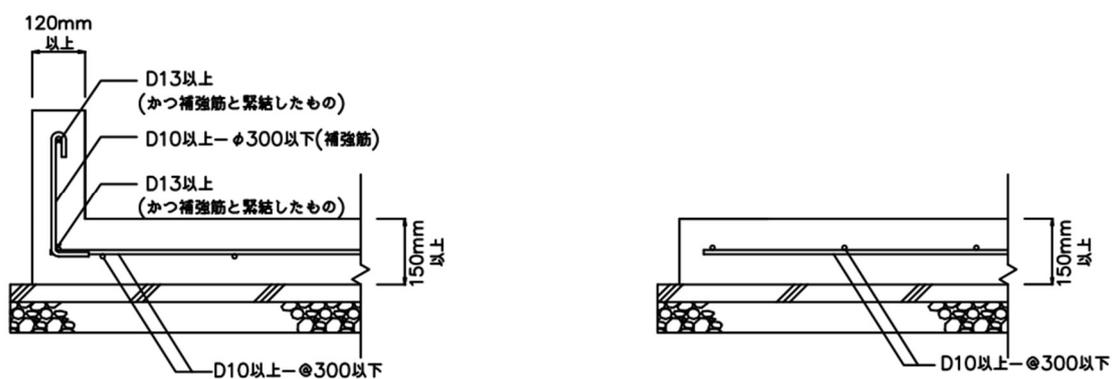


図 5-1 ベた基礎の構造の例 (左：基礎梁あり、右：底盤のみ)

<独立基礎>

1. 一体の鉄筋コンクリート造とすること。
2. 基礎頭部に働く水平力による転倒モーメントに対して安全であるように設計すること。
ベース幅に対してできるだけ低く設計することが重要である。
3. 底盤に補強筋を入れる場合は、D10 以上の鉄筋を 300mm 以下（タテ・ヨコ）の間隔で配置すること。
4. 立ち上がりを高くする場合には、柱筋・あばら筋を配置すること。

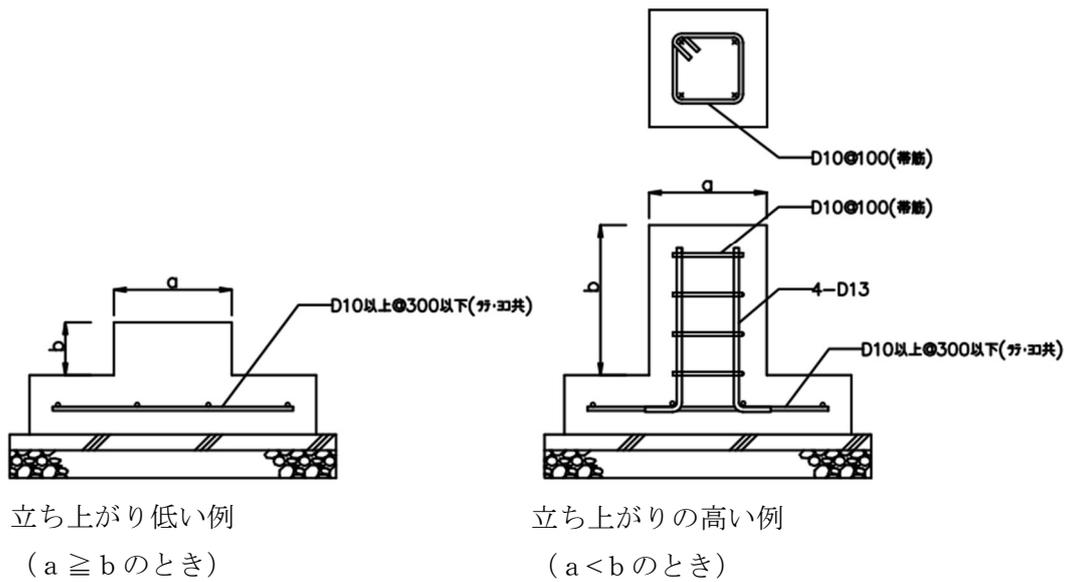


図 5-2 独立基礎の構造例

<連続基礎（布基礎）>

1. 一体の鉄筋コンクリート造とすること。
2. 底盤を設ける場合は、厚さ 150mm とすること。
3. 底盤に補強筋を入れる場合は、D10 以上の鉄筋を 300mm 以下の間隔で配置し、底盤の両端部に配置した D10 以上の鉄筋と緊結すること。
4. 基礎梁には上端・下端に D13 以上の鉄筋を配置し、D10 以上の補強筋を 300mm 以下の間隔で配置すること。補強筋の端部は 180° のフックを設けること。

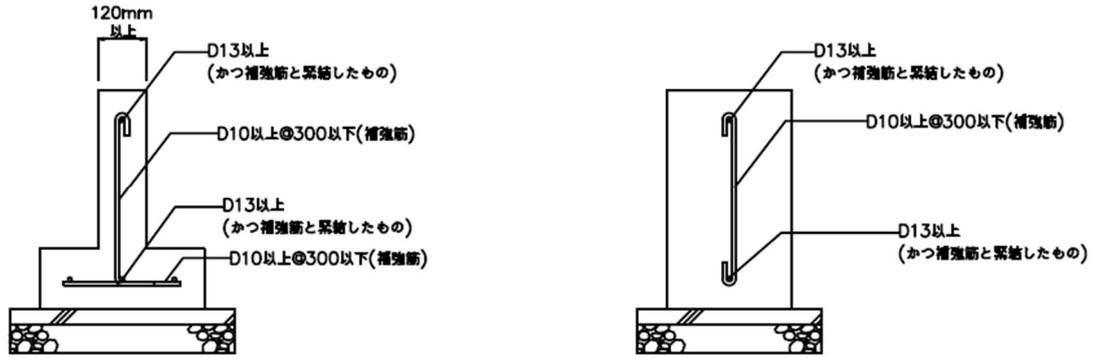


図 5-3 連続基礎（布基礎）の構造の例

5.4.5 地盤改良工法

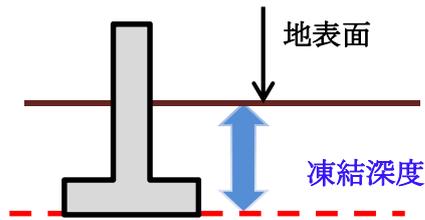
地盤許容応力度の評価および浅層混合処理工法の設計は、国土交通省告示第 1113 号および(財)日本建築センター「建築物のための地盤改良の設計及び品質管理指針」⁹⁾ に準拠して行う。

5.4.6 凍上対策（凍結深度対策）

冬期に地盤が凍結する寒冷地において太陽電池架台を設置する時には、架台の基礎が「凍結深度」より浅いと、凍結と融解の繰り返しで基礎が歪んだり、変位する懸念があるため、基礎底板を凍結深度より深い位置に設置することに留意する。またはその他の凍上を防止するための有効な措置を講じる。また杭についても、凍結による影響を配慮して設計する必要がある。

凍結深度は特定行政庁による定められた値があるときはこれに従うこととする。

例えば北海道では、建設部住宅局建築指導課が市町村の標準的な凍結深度（50 cm～120 cm）を設定している。東北地方では国土交通省 東北地方整備局が「東北地方多雪・寒冷地設備設計要領」で規定している。長野県では「凍結深度は 45 cm 以上とし、標高が概ね 800m を超える地点においては 60 cm 以上とする。」としているのでそれらを参考にする。



基礎底板（フーチング）は凍結線まで達していること。 またはその他の凍上を防止するための有効な措置を講じること。

参考文献 太陽光発電協会：（低圧連系）太陽光発電システム技術講習会資料⁶⁾

・ 図 5-4 凍結深度と基礎底板の位置

5.5 杭基礎の設計

5.5.1 一般事項

1. 杭基礎は杭の種類・打設方法・杭径・杭長・杭材強度などを考慮して適切に選定する。
2. 杭基礎に使用する材料は、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は、これを考慮した金具などを準備しボルト等で緊結する。

5.5.2 杭の許容支持力

1. 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圧縮力のうち小さい値とする。
2. 杭の支持力（押込み力・引抜き力・水平力）は載荷試験を行い求めることを基本とする。
杭の長期許容支持力（押込み・引抜き）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。
また杭の短期許容水平支持力は最大水平抵抗力の 1/2 とする。
3. 大臣認定杭および公的機関の技術審査証明等を有する杭の支持力については、その規定に従う。
4. 引抜き抵抗力：架台からの引抜き荷重が、杭の短期許容支持力（引抜き力）を超えないように決定する。
5. 水平抵抗力：風圧荷重により柱脚に働く水平力が杭の短期許容支持力（水平力）を超えないように決定する。杭の引抜き抵抗力は支持杭・摩擦杭ともに周面摩擦力だけを算入する。ただし、先端加工付鋼管杭において先端の引抜き抵抗が期待できるときは周面摩擦力に加えて、先端引抜き抵抗力を算入できるものとする。

載荷試験方法は「杭の載荷試験」地盤工学会基準（JGS 1815-2002）による。

参考文献 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説（第一回改訂版）¹⁰⁾

地盤工学会：杭の引抜き試験方法・同解説（第一回改訂版）¹¹⁾

地盤工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説（第一回改訂版）¹²⁾

5.5.3 杭の種類

杭の種類	外観写真
鋼管杭	
先端加工付鋼管杭	
小径回転圧入鋼管杭 （スパイラル杭あ るいはスクリ ュー杭など）	 <p data-bbox="1026 1944 1217 1977">（スクリュー杭）</p>

	 <p data-bbox="1046 533 1241 568">(スパイラル杭)</p>
形鋼杭	
コンクリート杭	 

6. 架台の設計

6.1 架台の構造形式

架台は安定構造を基本とする。

6.1.1 基本構造形式の安定原理

太陽電池架台は柱・横架材（梁・パネル受）・斜材（ブレース・方づえ）などにより構成される。

またその節点はピン接合あるいは剛接合、またはその組み合わせとなっている。

下図 a. は節点がすべてピン接合であるため、このままでは不安定な構造である。安定な構造とするためにはブレースまたは耐力壁が必要である。

また、節点での部材の角度変化を抑える目的で方づえを設けたり、節点を剛接合としたラーメン構造とすることで安定を図る。

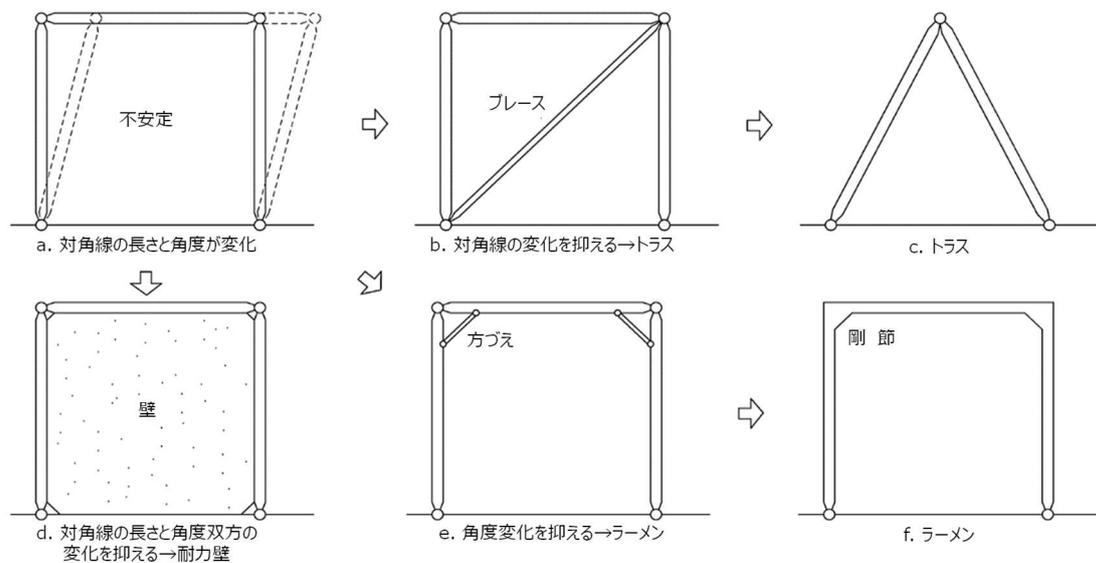
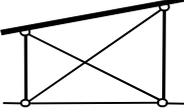
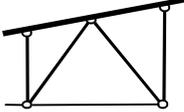
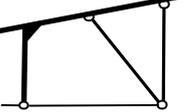


図 6-1 基本構造形式の安定原理

6.1.2 主な構造形式例

代表的な構造形式を下表に示すが、構造的に安定であるかどうかは、構成部材の数と接合方法、そして柱脚の支持条件で判定できる。

表 6-1 架台の代表的構造形式

構造	部材構成	解説
①ラーメン構造		柱と横架材の節点が剛接合であるラーメン構造。 柱と横架材は軸力と曲げモーメントが働く部材として設計する。
②ピン構造 (引張ブレース)		節点がすべてピン接合で、引張ブレースにより水平力を柱脚に伝達する。
③ピン構造 (圧縮ブレース)		節点がすべてピン接合で、圧縮ブレースにより水平力を柱脚に伝達する。 圧縮ブレースが支点となり、横架材のスパンを小さくできる。
④ピン接合・剛接合 (混合構造)		柱と横架材の節点がピン接合と剛接合の混合構造。 圧縮ブレースにより水平力を柱脚に伝達する。
⑤方づえ		柱と横架材の節点がピン接合であるが、方づえを設けて節点での部材の角度変化を抑えた構造。 ①ラーメン構造と同様に柱と横架材は軸力と曲げモーメントが働く部材として設計する。特に柱材の断面が不足すると、過大な変形を生じたり曲げ破壊に至ることがあるので注意が必要。
⑥柱構造		地中から立ち上がった杭を柱として、その上に受梁を渡した構造。(ブレースを設けていない構造) 杭頭の変位量が大きくなるため杭材の曲げ強度、変位量に留意が必要。

6.2 部材設計

太陽光発電架台の設計では次の設計規準に準拠する。

鋼製架台は ①「鋼構造設計規準」¹³⁾、②「軽鋼構造設計施工指針・同解説」¹⁴⁾に準拠する。

アルミニウム製架台は ③「アルミニウム建築構造設計基準・同解説」¹⁵⁾による。

①～③に該当しないときは、実験による構造安全性を検討する。

主要な構造部材が厚さ 6mm 以上の鋼材を使用する場合は、「鋼構造設計規準」に準拠する。主要な構造部材として 6mm 以下で 2.3mm 以上の鋼材を使用する場合は、「軽鋼構造設計施工指針」に準拠する。

6.3 接合部の設計

モジュールと架台、架台の部材間、架台と基礎の各接合部は、部材間に作用する荷重を確実に伝達できるように設計する。構造計算による接合部の耐力評価が困難である場合は、適切な載荷試験等を行い、各種設計荷重に対して許容応力度（あるいは許容耐力）の範囲内にあることを確認する。また、繰返し荷重により緩みを生じないものとする。

6.3.1 モジュール枠と架台の接合部

架台とモジュール枠等との接合部は、各部材を貫通するボルトによって確実に固定する。押え金物や専用金具等を使用する場合は、適切な載荷試験や構造計算等によって耐力の確認を行う。

暴風によるモジュールの飛散防止の意味からも、モジュール枠と架台の接合は、各部材を貫通するボルトによって固定することが望ましい。押え金物や専用金具等を使用する接合部は、部材間の摩擦を利用して固定する構造のものが多く、構造計算によって耐力評価が困難である場合には、載荷試験等を行って設計荷重に対する耐力があることを確認するとともに、設計荷重の1.5倍程度の荷重に対してズレや回転が生じないことを確認する。なお、載荷試験の方法については「太陽光発電システム耐風設計マニュアル」¹⁶⁾などを参考にして、適切な耐力評価を行う。

6.3.2 架台の各部材間の接合部

各部材間の接合部は、溶接または各部材を貫通するボルトによって確実に固定する。ボルトによる固定の場合は、多くの場合ピン接合となるので、剛接合として評価しないように注意する必要がある。また、専用金具等を使用する場合は、適切な載荷試験や構造計算等によって耐力の確認を行う。

架台の各部材間の接合部が剛接合かピン接合かを正しく判断し、6.1.1 節に示す安定原理を参照して架台全体として不安定構造にならないよう注意する。また、専用金具等を使用する場合には、6.3.1 節と同様に適切な載荷試験や構造計算等を行い耐力の確認を行うこととした。

6.3.3 架台と基礎の接合部

架台と基礎の接合部は、溶接またはボルトによって確実に固定する。杭基礎の場合

には、架台からの応力が確実に伝達されるよう架台と杭の構造軸が大きく偏心しないようにする必要がある。また、杭と架台のズレを調整する金具等を用いる場合には、ズレの許容値を明確にし、最大のズレが生じた場合の耐力確認も行う。直接基礎の場合には、架台からの荷重を確実に基礎に伝達できるようアンカーボルトの定着長さ、へりあき（かぶり厚さ）を十分に確保する。あと施工アンカーを使用する場合には、十分な引抜き耐力を有するものを選定する。アンカーボルトは、ダブルナットとするか、有効なゆるみ止め対策を行う。

架台と基礎の接合部には大きい荷重が伝達されるので、構造軸が大きく偏心しないよう設計する必要がある。特に杭基礎の場合には、杭の打ち込み精度によって、架台の構造軸とのズレが生じる場合があるので、図 6-2 のようなズレ調整金具が用いられる場合がある。その場合には、ズレの許容値を明確にし、許容される最大のズレに対して接合部周辺のいずれの部材も許容応力度（あるいは許容耐力）の範囲内にあることを確認する必要がある。なお、図 6-3 のように大きなズレがある場合には、荷重の伝達が確実にないだけでなく、杭内部の腐食の問題も発生する可能性がある。



図 6-2 杭頭部のズレ調整金具の例



図 6-3 杭頭部のズレが大きすぎる事例

直接基礎の場合には、暴風時に生じる架台からの引抜き荷重を確実に基礎に伝達できるようアンカーボルトの定着長さを十分に確保するとともに、防食処理を確実に行う。ホールインアンカーやケミカルアンカー等のあと施工アンカーを使用する場合には、架台からの引抜き荷重に対して十分な引抜き耐力を有するものを選定する。

参考文献

太陽光発電システム風荷重評価研究会：太陽光発電システム耐風設計マニュアル¹⁶⁾，
(2017年2月)

7. 腐食防食

太陽電池架台の材質として鋼材を使用する場合、および杭基礎として鋼材を使用する場合には、各部位において腐食に対する措置を講ずる必要がある。

7.1 地上部

支持構造部材は、腐食又は腐朽しにくい材料を使用するものを除き、有効な防食のための次のような措置をしたものを使用する。

a) めっき

支持物に使用する鋼材をめっきによって防食する場合は、熔融亜鉛めっき又はこれと同等以上のめっきによる。

なお、熔融亜鉛めっきの品質、試験、検査、表示などは、JIS H 8641 による。

b) 塗装

支持物に使用する鋼材を塗装によって防食する場合は、使用環境を考慮して仕様を決定する。

7.2 地際部（地表面と地下の境界部）

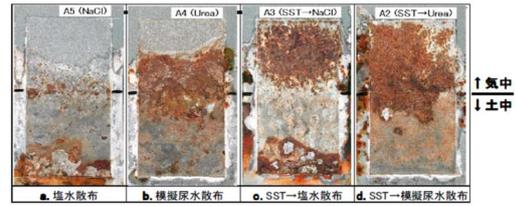
地上部に突出部を持つ鋼杭を使用する場合は地際部の上下に有効な防食処理を行う。

1. 地上に突出する鋼製基礎杭は、腐食性のある土質や湿潤した環境等にさらされると地際部が著しく腐食する場合が多い。既往の研究¹⁷⁾では 20 年経過した鋼製ポールでは倒壊に至る危険な腐食が 15%程度、21～25 年では 40%程度と極めて高い頻度で発生している、また発生個所が植栽内 78%と地上設置形太陽光発電架台の設置される環境と類似している。
2. 鋼杭の代表的な防食には亜鉛めっきと鉄の腐食しをを勘案する必要があるが、これらには腐食が緩やかな土中や大気中の値が使われる。地際部での腐食はこれらの値の数倍と推定¹⁷⁾されているので、より積極的な防食が必要である。
3. 防食の事例は、十分な腐食しを見込むことや、重防食塗装、コーティング、樹脂チューブによる保護、コンクリート根巻などが一般的である。また腐食しにくい材料の杭を使用することも有効な手段と言える。
4. 地際部の防食範囲に関して明快な研究事例はないが、電信柱などの仕様では地上部 200 mm 地下部 300mm程度とされている事例が多い。



図 7-1 地際部が錆び、杭が開いた状態

出展：鋼製照明用ポール点検診断
社団法人 日本照明機器工業会¹⁷⁾



出展：新日鉄住金¹⁸⁾ 馬場 尚、原田佳幸：垂鉛めっき構造物の地際部の腐食挙動におけるアンモニアの影響、材料と環境、(2012年)

図 7-2 地際腐食の再現試験(a,b)と腐食メカニズム調査(c,d)

7.3 地中部

鋼杭の地中部での腐食に対しては、常時水中および土中にある部分に対して 1mm の腐食しろを見込むことを原則とする¹⁹⁾。ただし、供用期間と腐食速度から腐食しろを定める場合はこの限りでない。杭の設計においては腐食しろを考慮し杭体の曲げ座屈などを確認する³⁾。ただし適切な塗覆装、電気防食等¹⁹⁾によって有効な防食を行う場合腐食しろはこの限りではない。

地中部の腐食に関し鉄めっきと言える腐食しろを付与することが経済的であり²⁰⁾、ここでは、形状の類似している小規模建築物基礎設計指針の小口径鋼管杭および腐食しろ以外の防食方法を示している道路橋示方書・同解説Ⅳを引用し規定した。

なお、腐食しろは原則 1mm としたが、供用期間や土壌、環境、腐食速度などにより、設計者の判断によるものとする。鋼の腐食しろを見込んだ場合は座屈、曲げなどにおいてその減肉を考慮した設計を行うこととした³⁾。

土中における垂鉛めっきの効果については諸説があり太陽光発電用の杭に関して腐食量、速度を定量的に予測する方法は確立されておらず、現在実験、開発中である。

7.4 異種金属接触による腐食

異なる金属の組合せによる接合は異種金属接触腐食の原因となるので、可能な限り避ける。ただし、絶縁処置、防水処置などにより有効な防食措置が講じられている場合はその限りではない。

1. 異なる金属を組み合わせて使用する場合には、その接触界面近傍で、環境、材料によっては著しい腐食が生じる可能性がある。
2. その腐食速度は接触が無い場合と比較して5倍程度の速度となる場合がある。
亜鉛めっき鋼材をステンレスと接触させると不具合が発生する可能性があるため注意が必要である。
3. モジュールやアルミサッシ等締結部に雨水・海塩などが入り込まない構造のアルミニウム型材とステンレスボルトの組合せでの事故例はまれである。
4. 架台においてアルミニウム型材とステンレスボルトの組合せが多く見受けられるが、著しく海塩の影響を受ける沿岸部などの環境では腐食が懸念されるので絶縁や防水などの防食措置をとることが推奨される。



図 7-3 ステンレスのボルト、ナットに亜鉛めっきされた鉄の座金を使用した場合の腐食事例



図 7-4 奈良県北葛城郡の環境でステンレスボルトに亜鉛めっきナットが使用された場合の腐食事例

ナットだけが急速に腐食している

7.5 塩害による腐食

塩害地区へ架台を設置する場合、腐食、破損に特に注意しなければならない。適切な塗装加工を施すか、溶融亜鉛めっき仕上げの場合はめっき付着量を確保する必要がある。また、亜鉛・アルミ合金系めっきなど、高耐食性めっきに関しても同様の配慮を行う。

亜鉛めっきは亜鉛の付着量によって塩害地においても概ね寿命が推定できる。塗料にあっても各種塗料の膜厚によって期待耐用年数が推定できる。例えば、住宅部材に粉体塗料を用いる場合の期待耐用年数は、塗装厚が $10\mu\text{m}$ 未満の場合には1年であるが、 $50\mu\text{m}$ の場合には8年となる²¹⁾。また、亜鉛めっきの平均腐食量が $20\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ の塩害地で $300\text{g}/\text{m}^2$ のメッキを施した場合、亜鉛めっきの90%が失われる状態まで至る年数は13.5年、20年の設計寿命を確保する場合は、塗装によって7年以上を防食できる仕様を採用すればよいので、前述した粉体塗料 $50\mu\text{m}$ 程度の仕様となる。なお、塗料の種類、下地処理の種類は多岐に及ぶので適切な仕様は塗料メーカーなどと十分相談され決定されたい。

上記のように塩害環境においては、亜鉛めっきと塗装を併用し、その耐用年数を加算し耐久性設計を行うことが多いが、安易な塗料の選択はかえって耐久年数を短縮する事例があるので以下に紹介する。



鋼製部分だけでなくアルミフレームとの電食も見受けられる



アンカー金具は適切な塗装で錆が見られない



層状の錆が端面よりが進行している
設置後一年目既に端面発錆

図 7-5 亜鉛めっき鋼板に粉体塗装を行ったと推定される架台
(設置場所：沖縄県宮古島市、設置後：6年)

参考文献

- 1) 彰国社：建築大辞典（第2版）（1993年6月）
- 2) 日本建築学会：建築士のためのテキスト「小規模建築物を対象とした地盤・基礎」（2006年）
- 3) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針（2008年）
- 4) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計の手引き（2005年）
- 5) 日本建築学会：構造用教材（2014年（改定））
- 6) 太陽光発電協会：（低圧連系）太陽光発電システム技術講習会資料（2015年）
- 7) 日本建築学会：建築基準構造設計指針（2003年）
- 8) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（2003年）
- 9) 日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（平成19年）
- 10) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説（第一回改訂版）（平成16年）
- 11) 地盤工学会：杭の引抜き試験方法・同解説（第一回改訂版）（平成16年）
- 12) 地盤工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説（第一回改訂版）（平成22年）
- 13) 日本建築学会：鋼構造設計規準 ～許容応力度設計法～（2005年（改訂版））
- 14) 日本建築学会：軽鋼構造設計施工指針・同解説（1985年）
- 15) 日本建築学会：アルミニウム建築構造設計基準・同解説（平成28年3月）
- 16) 太陽光発電システム風荷重評価研究会：太陽光発電システム耐風設計マニュアル（2017年2月）
- 17) 社団法人 日本照明機器工業会：鋼製照明用ポール点検診断（2001年）
- 18) 新日鉄住金, 馬場 尚, 原田佳幸, 亜鉛めっき構造物の地際部の腐食挙動におけるアンモニアの影響, 材料と環境（2012年）
- 19) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ 下部構造編（平成14年3月）
- 20) 腐食防食協会：住宅の腐食防食 Q&A（2004年）
- 21) 腐食防食協会：住宅の腐食分科会総覧（平成20年）