

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）の解説

ー太陽光発電システムの基礎・架台の設計ー

一般社団法人 太陽光発電協会
高森浩治（奥地建産）



Today's Menu

1. 設計ガイドライン作成の背景
2. 設計ガイドラインの概要説明



太陽光発電設備の構造的被害：強風被害

3



群馬県伊勢崎市(2015年6月)



鹿児島県南さつま市(2016年9月)

JPEA ENEVOLUTION OKUJI

太陽光発電設備の構造的被害：積雪被害

4



福井県(2011年1月)



福島県(2014年2月)



鳥取県(2017年)

JPEA ENEVOLUTION OKUJI

設計ガイドライン作成の背景

5

再エネ固定価格買取制度(FIT)の導入に伴い太陽光発電設備が急増



太陽光発電設備の強風や積雪などによる被害が増加



不適切な設計による構造耐力の不足が原因



太陽光発電設備の構造設計のガイドラインの作成の社会的必要が高まる

JIS C 8955が2017年3月に改正「設計標準」⇒「荷重算出方法」



設計荷重は適正化されたが設計に関する項目が削除された



太陽光発電設備の支持物に関する設計基準がない



NEDOの太陽光関連の研究プロジェクト

6

NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の研究プロジェクトの一環として作成を進めている。

① 太陽光発電多用途化実証プロジェクト

② 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

太陽光発電協会+奥地建産で受託

③ 太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト

④ 高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発



NEDO研究

7

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



外部有識者による検討委員会

8

太陽光発電システムの安全設計に関する検討委員会

植松 康 (委員長)	東北大学大学院 教授	耐風設計, 耐雪設計, 鋼構造
伊藤 淳志	関西大学 教授	土質・基礎構造
岩田 善裕	(国研)建築研究所	鋼構造, 性能設計, 修復性能
植田 譲	東京理科大学 教授	電力工学・電気機器工学
奥田 泰雄	(国研)建築研究所	耐風構造, 津波
田村 良介	(株)NTTファシリティーズ	構造設計
西村 宏昭	京都大学防災研究所	耐風設計, 耐力評価
篠原 正	(国研)物質・材料研究機構	腐食・防食 (2017年度より)
飯島 俊比古	(株)飯島建築事務所	アルミニウム構造 (2017年度より)

JPEA ENEVOLUTION OKUJI

Today's Menu

1. 設計ガイドライン作成の背景

2. 設計ガイドラインの概要説明

地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライ（2017年版）

- 目 次 -

- 第1章 総 則
- 第2章 計 画
- 第3章 調 査
- 第4章 設計荷重
- 第5章 基礎の設計
- 第6章 架台の設計
- 第7章 腐食防食
- [付録]地上設置型太陽光発電システムの構造設計例

建築物の構造関連の
規基準・指針等をもと
に作成されている。

1.1 適用範囲

1.2 引用規格

1.3 用語・記号の定義

1.4 設計方針

■ 1.1 適用範囲 (p.4)

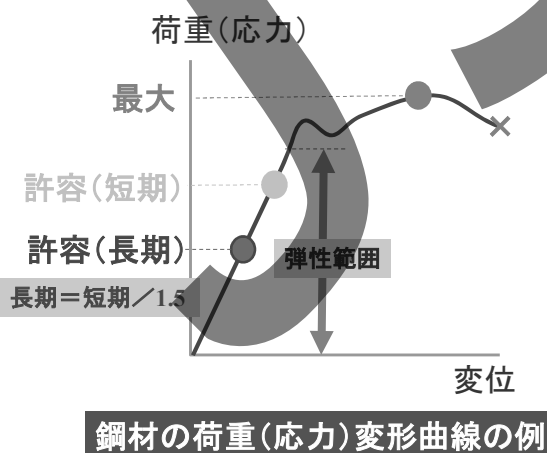
1. 本ガイドラインは地上設置型の太陽光発電システムの基礎と架台の設計に適用する。
2. 対象とする基礎は、鉄筋コンクリート造の直接基礎または杭基礎とする。
3. 架台の構造は、鋼構造またはアルミニウム構造とする。
4. 構造設計は、許容応力度設計法に基づいて行う。
5. アレイの最高高さが9mを超えるものは除外する。

■ 1.4 設計方針 (p.7)

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. 地盤については、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。



許容応力度設計とは？



許容応力度：

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。

許容応力度設計：

想定した荷重(設計荷重)を受けた場合においても、もとの機能を損なわない(もとの状態に戻る)ことが条件となる。



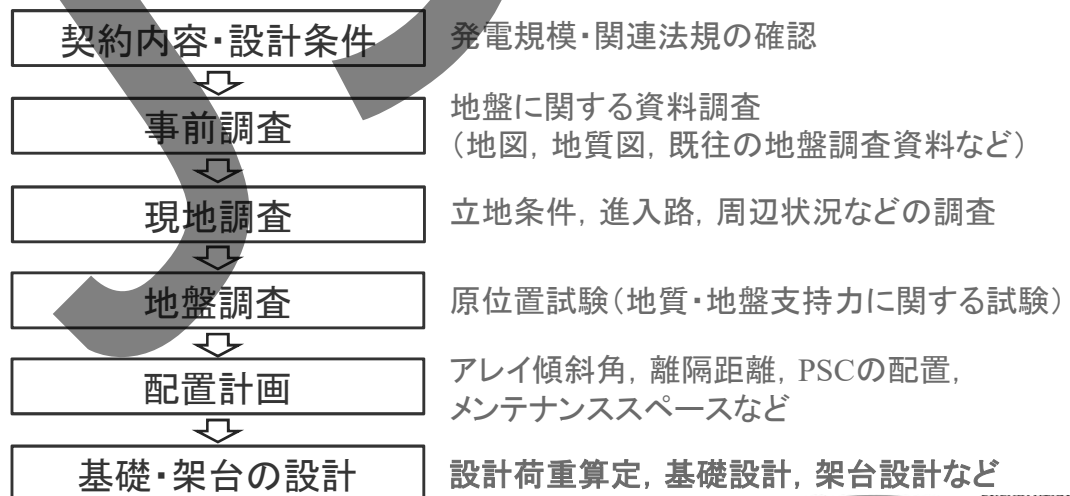
2.1 一般事項

2.2 設計計画

2.3 被災事例

■ 2.2 設計計画 (p.9)

地上設置型太陽光発電システムの設計フロー



- 3.1 事前調査
- 3.2 資料調査
- 3.3 現地調査
- 3.4 設計上注意が必要な地形・地盤
- 3.5 地盤調査
- 3.6 基礎の選定方法
- 3.7 配置計画(ラフプラン)



■3.1 事前調査 (p.12)

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。

地形の調査による
地盤の見方

- : 適
- △: 注意
- ×: 対策工法必要



地形模式図



■3.2 資料調査 (p.13)

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。

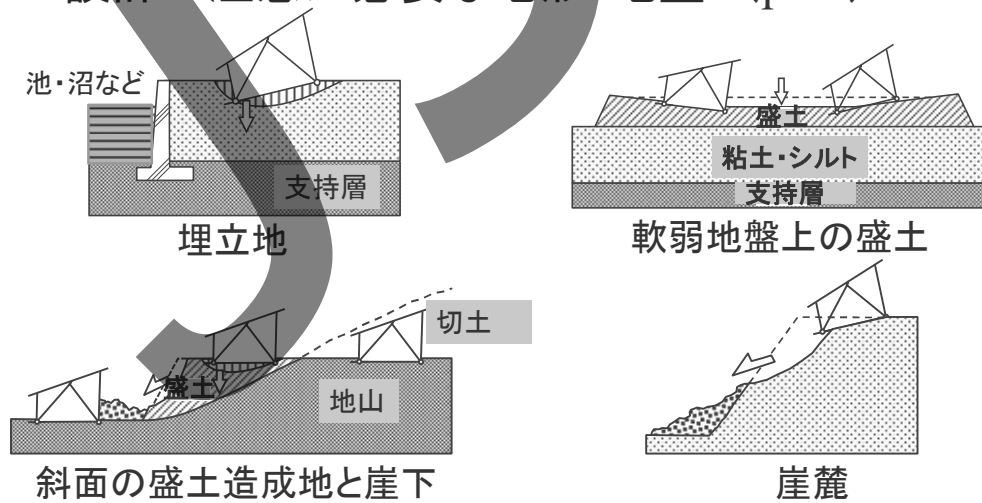
■3.3 現地調査 (p.13)

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。

⇒ 現地調査のチェックリストの例 (小規模建築物基礎設計指針)



■3.4 設計上注意が必要な地形・地盤 (p.15)



軟弱な地盤では沈下・不同沈下が問題となる場合が多い。



■3.5 地盤調査 (p.18)

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(原

原

- 1.
- 2.
- 3.

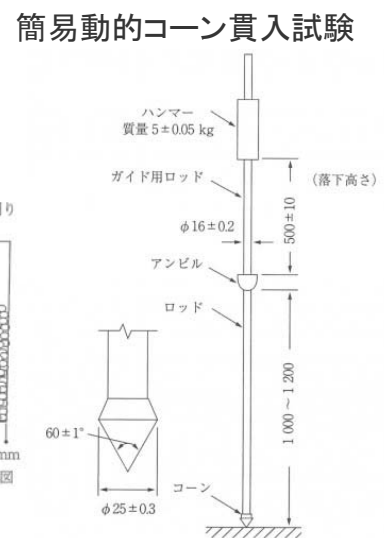
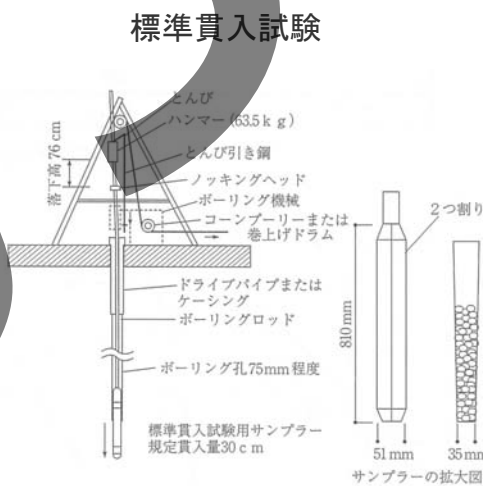
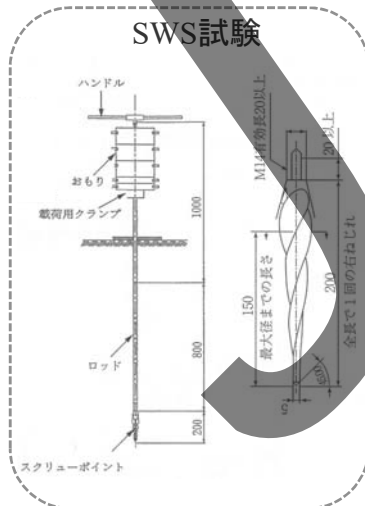
調査ポイント数の目安	
発電所の規模	調査ポイント数
50kw未満(約500m ²)	3
100kw(約1000m ² 程度)	3~5
1000kw(約10000m ² 程度)	10以上

心判

る

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。



- ・試験が簡便で、浅層の地盤調査に向いている。
- ・住宅等の地盤調査で最もよく用いられている。



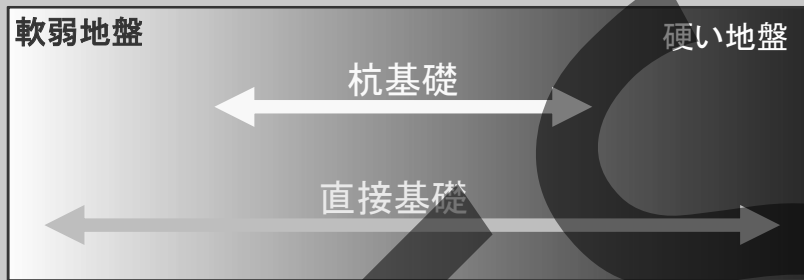
■3.6基礎の選定方法 (p.22)

杭基礎

- ・地盤に
- (摩擦材
- ・杭基礎
- 確認で
- ではな

直接基礎

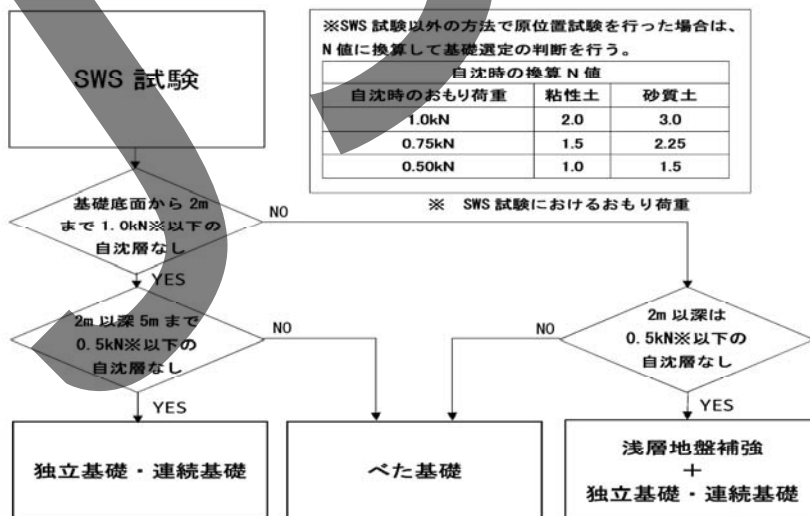
- ・軟弱地
- に転石
- ・直接基礎を採用することは、図J-14「SWS試験結果に基づく直接基礎の選定」を目安に、基礎形式を決定する。



地盤の硬さと基礎選択の例



■ 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



■ 3.7 配置計画(ラフプラン) (p.23)

構造設計の関連事項

- ◆ 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のが可能であるが、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。
- ◆ 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。

- 4.1 想定荷重
- 4.2 風圧荷重
- 4.3 積雪荷重
- 4.4 地震荷重

第4章 設計荷重

27

設計荷重

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」に準じる。
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。

■4.1 想定荷重 (p.25)

- 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。その他の積載物が付加される場合には、固定荷重として加算する。
- 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) : モジュールと支持物などに加わる水平地震力。



第4章 設計荷重

28

JIS C 8955:2017の主な変更点

○「設計標準」⇒「設計用荷重算出方法」

- ❖ 許容応力度設計に関する項目が削除

○風荷重関連

- ❖ アレイ面の風力係数 ⇒ 荷重増
- ❖ 地表面粗度区分の適用 ⇒ 荷重増

○雪荷重関連

- ❖ 勾配係数の適用 ⇒ 荷重増

○地震荷重関連

- ❖ 設計用水平震度 ⇒ 荷重減 (但し建物上設置の場合は荷重増)



第4章 設計荷重

29

■ 4.2 風圧荷重 (p.26)

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

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

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 ← 大幅に増加

C_b : 支持物構成材の風力係数

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)



第4章 設計荷重

30

■ 4.3 積雪荷重 (p.31)

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

S_p : 積雪荷重 (N)

C_s : 勾配係数 ← 増加

P : 雪の平均単位荷重 (積雪 1cm 当たり N/m²)

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) (m²)



■ 4.4 地震荷重 (p.32)

- 設計用地震荷重は、一般の地方では式(12)、多雪区域では式(13)によって算出する。

【一般】

$$K_p = k_p \times G \dots\dots\dots (12)$$

【多雪】

$$K_p = k_p \times (G + 0.35S) \dots\dots\dots (13)$$

K_p : 設計用地震荷重 (N)

k_p : 設計用水平震度

← 低減

G : 固定荷重 (N)

S : 積雪荷重 (N)

- 5.1 一般事項
- 5.2 基礎に働く外力と反力
- 5.3 基礎の形式
- 5.4 直接基礎の設計
- 5.5 杭基礎の設計

第5章 基礎の設計

33

■ 5.1 一般事項 (p.34)

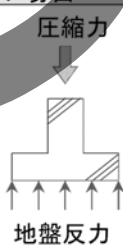
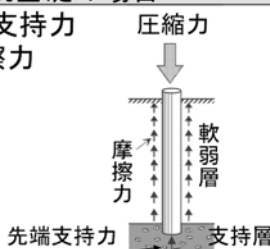
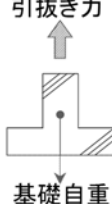
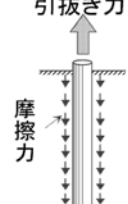
1. 方針：基礎は、上部構造が地盤に対して構造上支障のある沈下・浮上がり・転倒・横移動を生じないように安全に支持できる構造形式とする。
2. 基礎の形式：太陽電池架台の規模・重量および地盤特性を考慮して、地盤も含め適切な形式の基礎とする。
3. 基礎の構造：鉄筋コンクリート造による直接基礎、または杭基礎（支持杭および摩擦杭）とする。

JPEA ENEVOLUTION OKUJI

第5章 基礎の設計

34

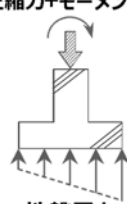
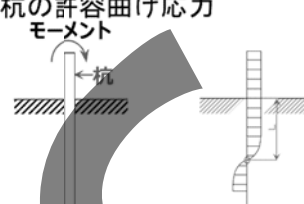
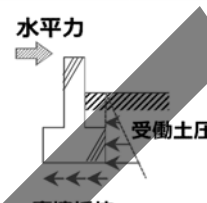
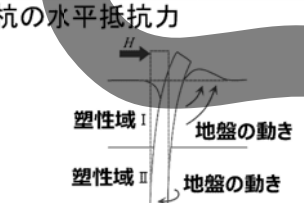
■ 5.2 基礎に働く外力と反力 (p.34)

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

JPEA ENEVOLUTION OKUJI

第5章 基礎の設計

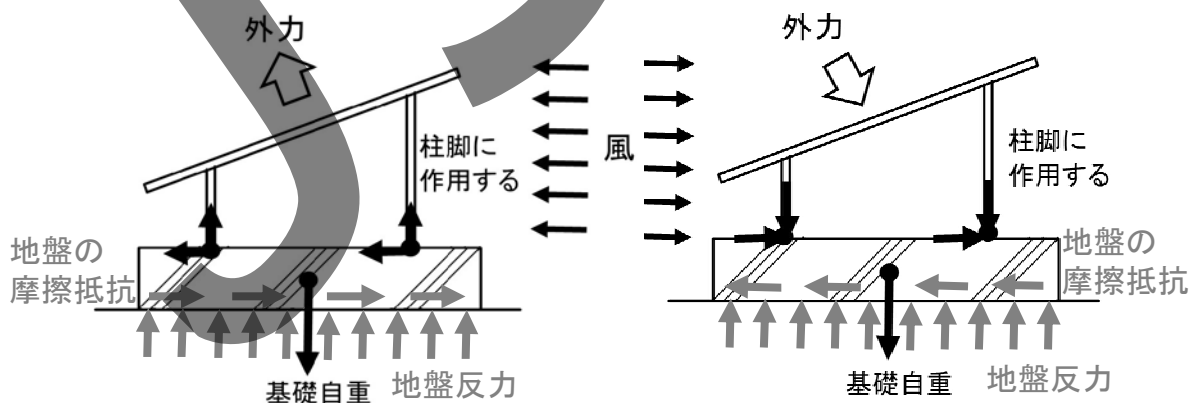
■ 5.2基礎に働く外力と反力 (p.34)

外力	反力	
	直接基礎の場合	杭基礎の場合
モーメント	フーチングによる地盤反力 圧縮力+モーメント (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) 	杭の許容曲げ応力 モーメント 
水平力	底面の摩擦抵抗 根入れ部の抵抗 (受働土圧) 	杭の水平抵抗力 

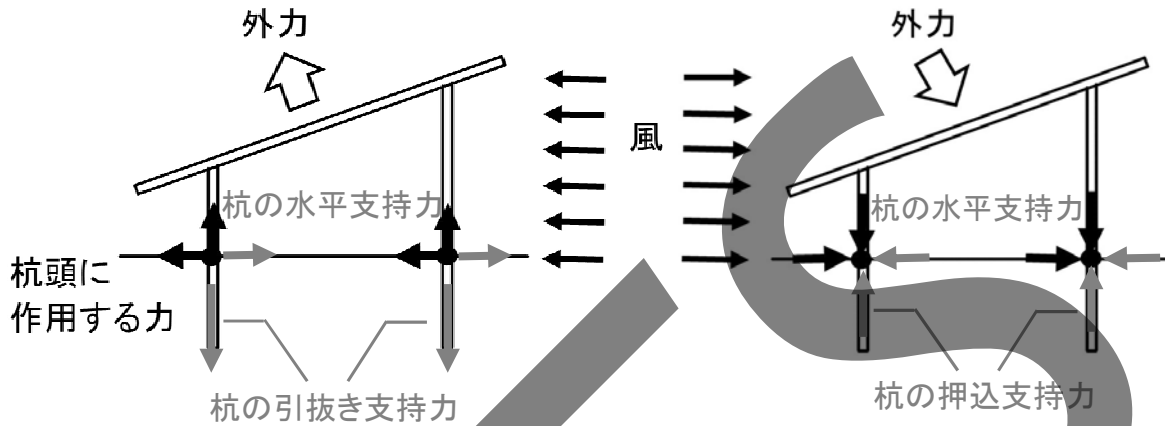


第5章 基礎の設計

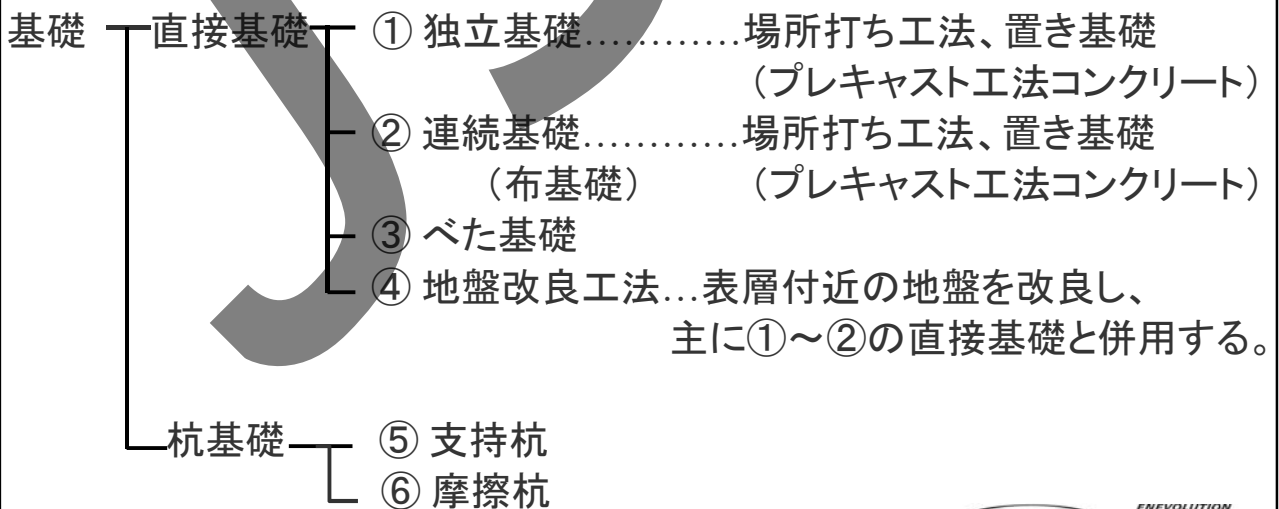
直接基礎の場合(風荷重の例)



杭基礎の場合(風荷重の例)



■ 5.3 基礎の形式 (p.35)



第5章 基礎の設計

39

直接基礎



独立基礎



べた基礎



連続基礎(布基礎)



JPEA ENEVOLUTION OKUJI

第5章 基礎の設計

40

杭基礎

- 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。



JPEA ENEVOLUTION OKUJI

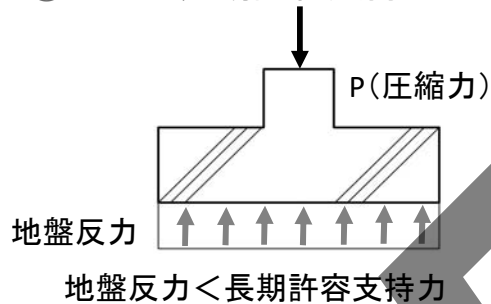
第5章 基礎の設計

41

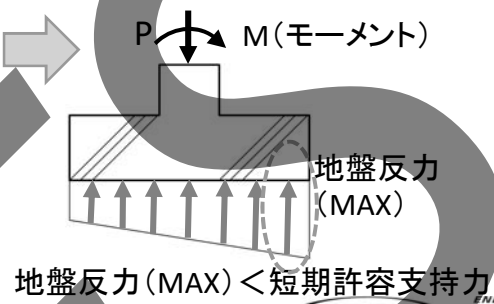
■ 5.4 直接基礎の設計 (p.37)

- 長期荷重時には地盤反力が等分布となる。
- 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、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。

①地盤の長期許容支持力



②地盤の短期許容支持力



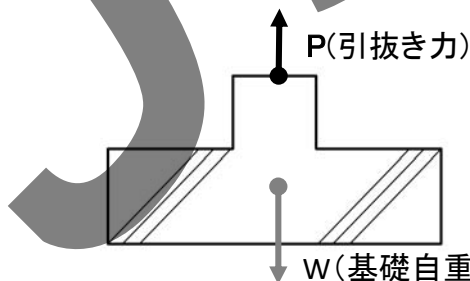
JPEA ENEVOLUTION OKUJI

第5章 基礎の設計

42

- 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。安全率を1.5以上とすること。

③引抜き抵抗力



$$\frac{W}{P} \geq 1.5(\text{安全率})$$

引き抜き力Pの1.5倍以上の基礎自重Wが必要

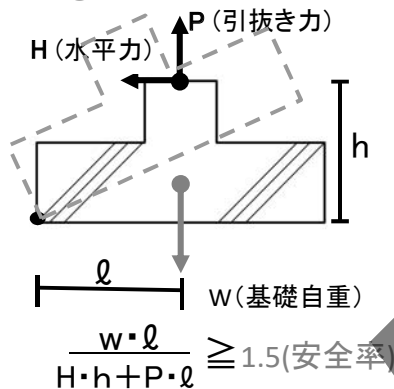
JPEA ENEVOLUTION OKUJI

第5章 基礎の設計

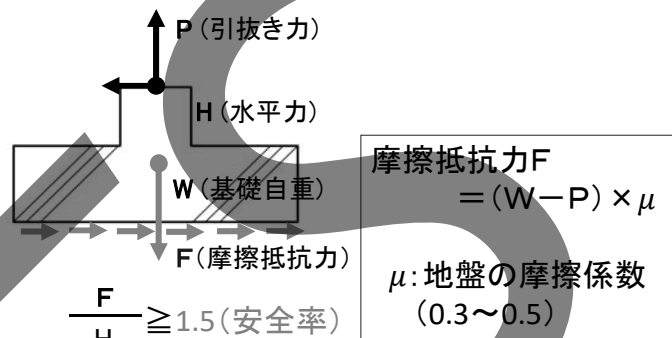
43

- 転倒のチェック: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。
- 滑動のチェック:地盤による摩擦抵抗力が水平力を上回るように決定する。
- ④・⑤の安全率を1.5以上とすること。

④ 転倒のチェック



⑤ 滑動のチェック



JPEA ENEVOLUTION OKUJI

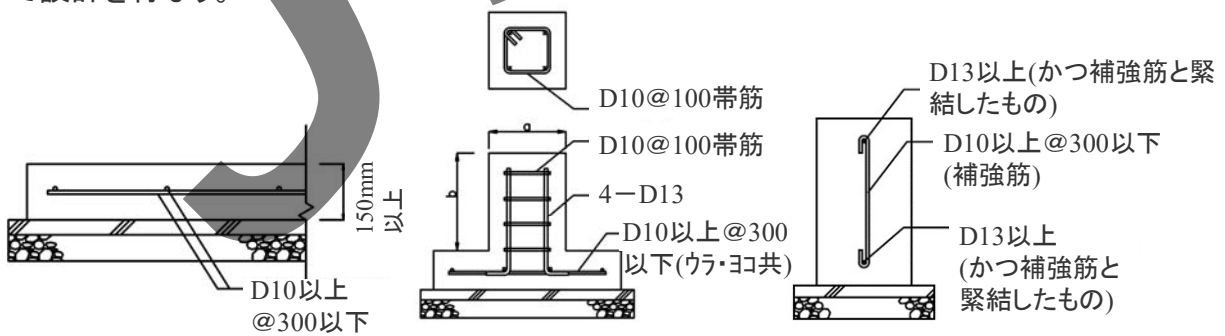
第5章 基礎の設計

44

鉄筋コンクリート造の直接基礎設計上の注意事項

「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、以下の推奨仕様を示した。

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に準拠して設計を行なう。



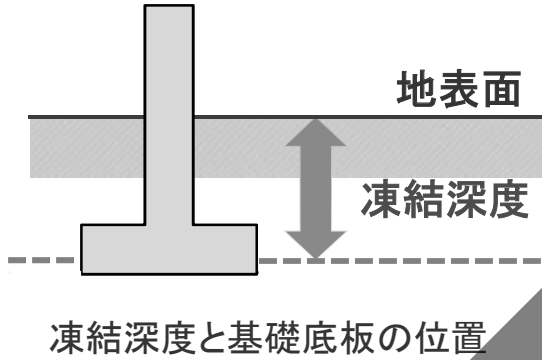
べた基礎の構造例(底盤のみ)

独立基礎の構造例

連続基礎の構造例

JPEA ENEVOLUTION OKUJI

凍上対策(凍結震度対策)



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。



■5.5 杭基礎の設計 (p.45)

杭の種類



鋼管杭



先端加工付鋼管杭



スクリュー杭

スパイラル杭

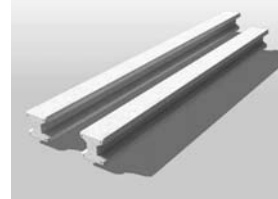
小径回転圧入鋼管杭



形鋼杭



コンクリート杭



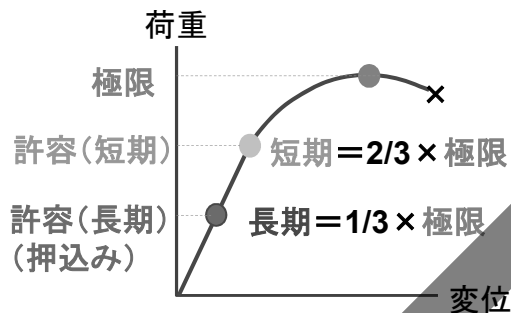
コンクリート杭



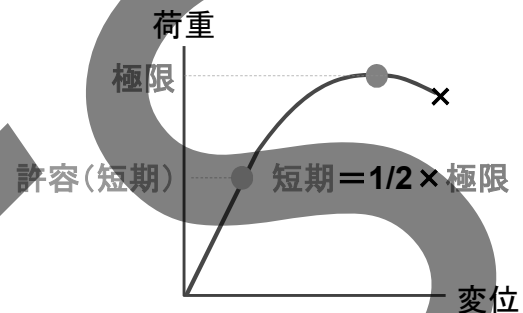
第5章 基礎の設計

■杭の許容支持力

- 杭の許容支持力は**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（押し込み）は極限支持力の**1/3**、杭の短期許容支持力（押し込み，引き抜き）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極限水平抵抗力の**1/2**とする。



許容押し込み・引抜き支持力



許容水平支持力

第6章 架台の設計

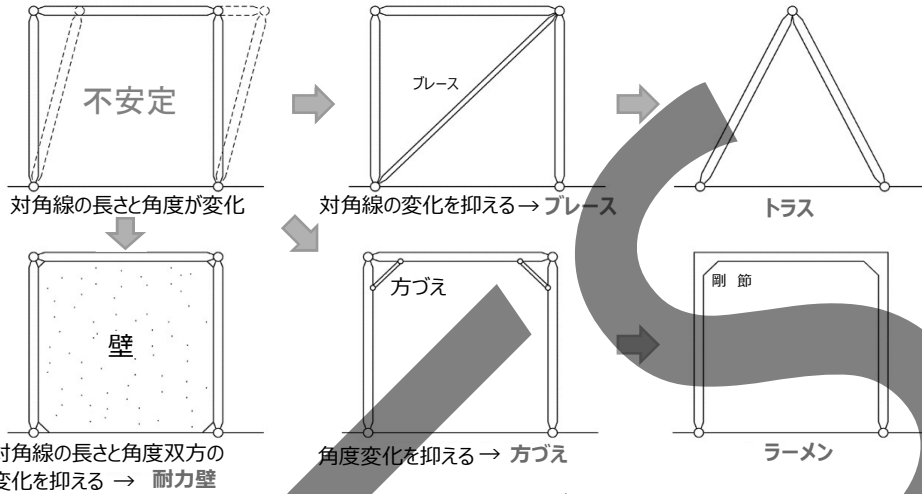
48

6.1 架台の構造形式

6.2 部材設計

6.3 接合部の設計

■6.1 架台の構造形式 (p.48)

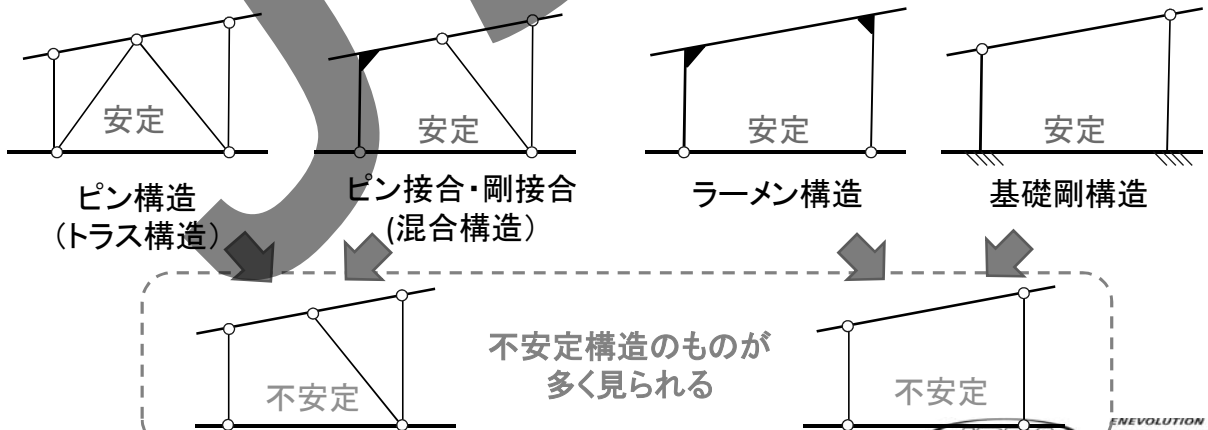


基本項構造形式の安定原理



架台の代表的な構造形式

- 安定構造として構造計画を行う。
- 太陽光発電システムは不安定構造のものが意外と多い！



第6章 架台の設計

51

■ 6.2 部材設計 (p.49)

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

- ①「鋼構造設計規準」
- ②「軽鋼構造設計施工指針・同解説」

アルミニウム製架台

- ③「アルミニウム建築構造設計規準・同解説」

①～③が適用できないときは、実験による構造安全性を検討する。

太陽光発電システムの架台特有の構造設計上の問題点も多いことから、各種架台の構造耐力に関する実証実験を実施し、そこで得られる知見を改訂版の設計ガイドラインに反映させる。

EVOLUTION

OKUJI

第6章 架台の設計

52

■ 6.3 接合部の設計 (p.50)

- モジュール枠と架台、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。
- 繰返し荷重により緩みを生じないものとする。

■ モジュール枠と架台の接合部

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 ⇒ 載荷試験や構造計算等で耐力の確認を行う。

■ 架台の各部材間の接合部

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。

専用金具等を使用する場合 ⇒ 載荷試験や構造計算等で耐力の確認を行う。

JPEA

EVOLUTION

OKUJI

■ 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】 架台と杭の構造軸が大きく偏心しないようにする。

ズレを調整する金具等を用いる場合は、ズレの許容値を明確にする。また、最大のズレが生じた場合の耐力確認を行う。



杭頭部のズレ調整金具の例



杭頭部のズレが大きすぎる事例

【直接基礎の場合】 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 ⇒十分な引抜き耐力を有するものを選定。

アンカーボルト ⇒ダブルナットとするか、有効なゆるみ止め対策を行う。

7.1 地上部

7.2 地際部(地表面と地下の境界部)

7.3 地中部

7.4 異種金属接触による腐食

7.5 塩害による腐食

■ 7.1 地上部 (p.52)

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) めっきによる防食

溶融亜鉛めっき又はこれと同等以上のめっきによる。

溶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) 塗装による防食

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) (p.52)

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。



地際部が錆び、孔が開いた状態

■ 7.3 地中部 (p.53)

○鋼杭の地中部での腐食 ⇒ 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。

○杭の設計を行う場合、腐食しろを考慮して曲げ・座屈などを確認する。

○有効な防食を行う場合、腐食しろはこの限りではない。

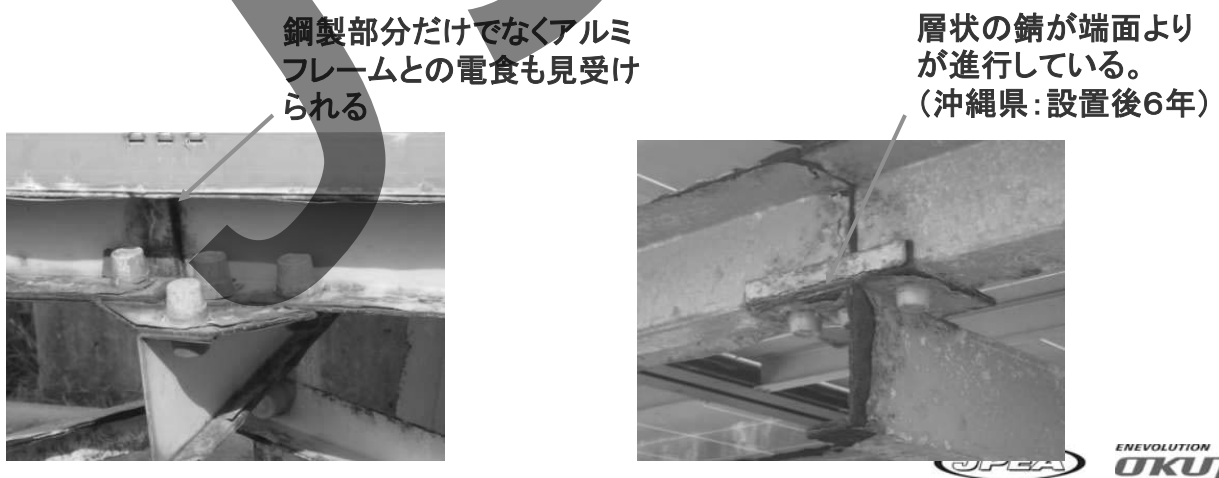
■7.4 異種金属接触による腐食 (p.53)

異なる金属の組合せによる接合は、可能な限り避ける。



■7.5 塩害による腐食 (p.55)

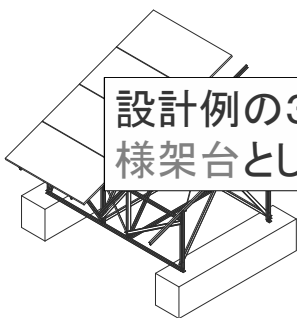
適切な塗装加工を施すか、十分なめっき付着量を確保する。



付録：設計例

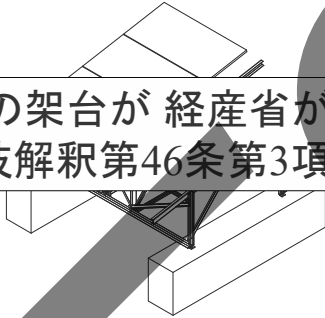
設計ガイドラインの末尾に構造設計例を示した。

アレイ傾斜角度： 20°
地表面粗度区分： III
基準風速： 34m/s以下
垂直積雪量： 50cm以下



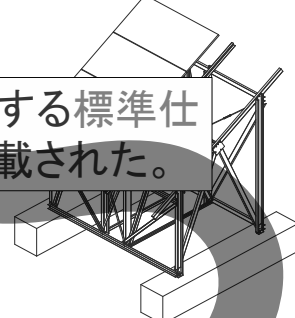
一般仕様

アレイ傾斜角度： 10°
地表面粗度区分： II
基準風速： 40m/s以下
垂直積雪量： 30cm以下



強風仕様

アレイ傾斜角度： 30°
地表面粗度区分： III
基準風速： 30m/s以下
垂直積雪量： 180cm以下



多雪仕様

設計例の3仕様の架台が 経産省が指定する標準仕様架台として電技解釈第46条第3項に掲載された。

ありがとうございました。

