

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



2023年7月11日(火)

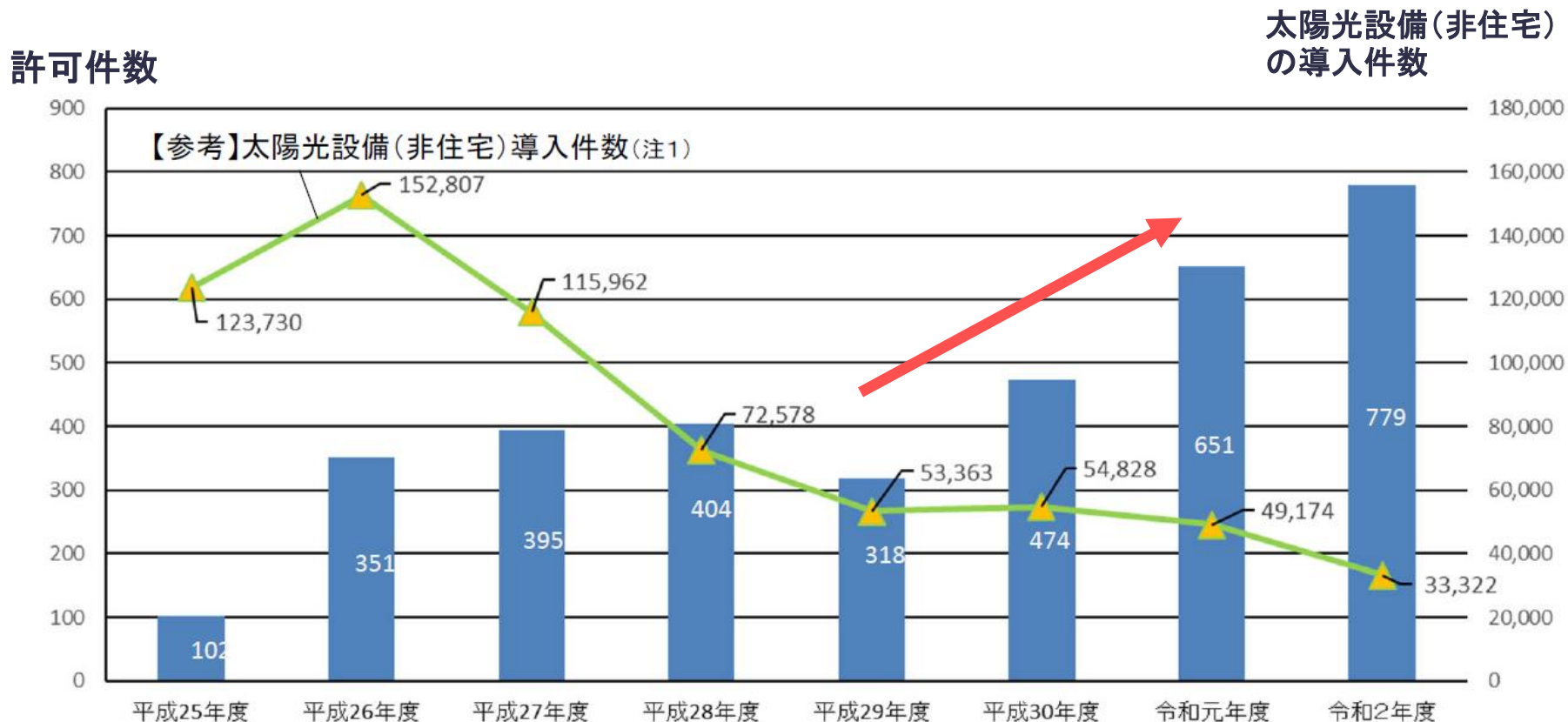
一般社団法人 構造耐力評価機構

<http://spei.or.jp>

高森 浩治

はじめに

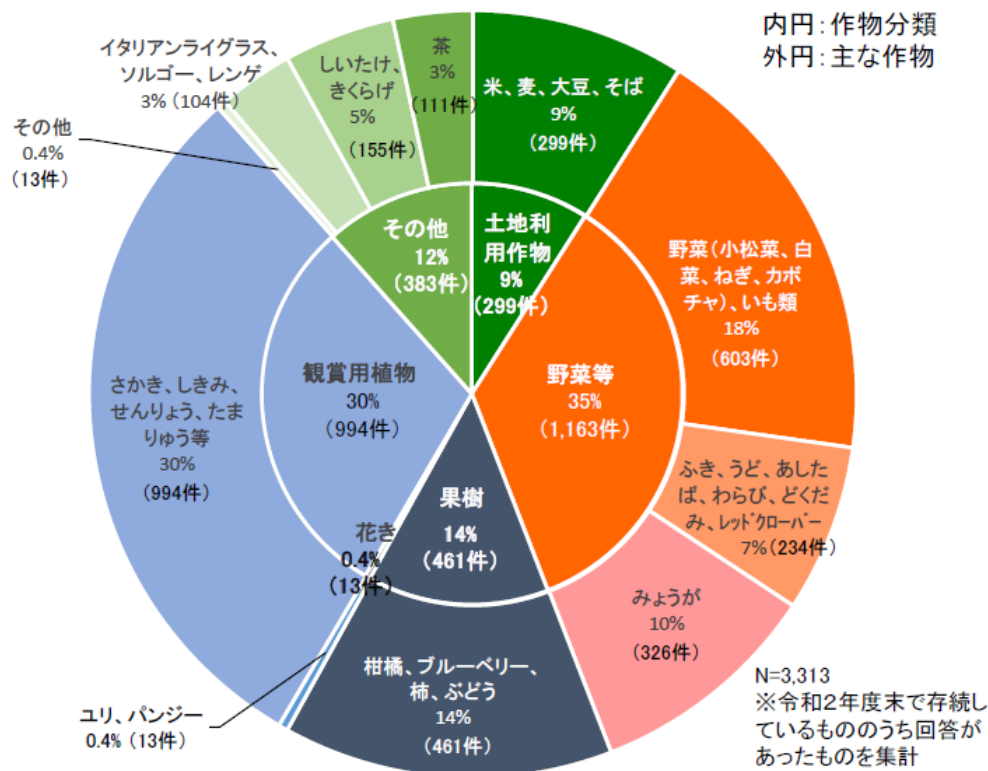
- 営農型太陽光発電は増加傾向
- 荒廃農地への導入に期待



出典: 営農型太陽光発電設備設置状況等について(令和2年度末現在), 令和4年8月, 農林水産省農村振興局)

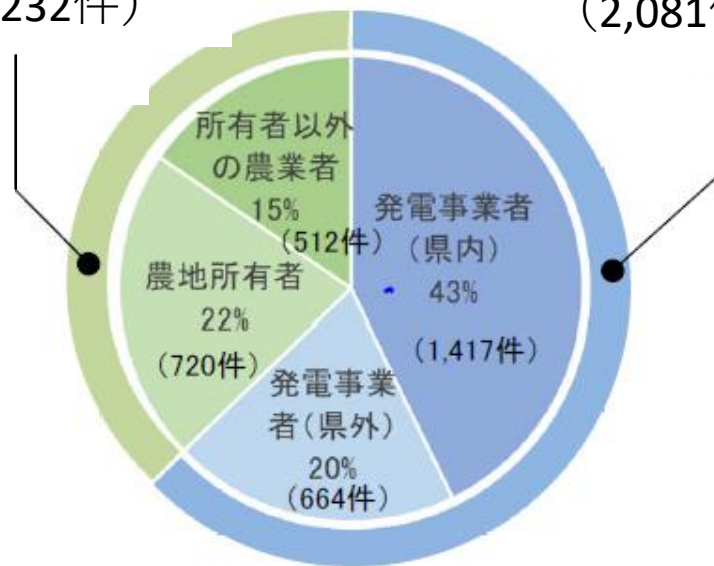
はじめに

- 下部農地での作物は野菜、穀物、果樹、観葉植物など様々
- PV設備の設置は、農業者や農地所有者が設置したものより発電事業者が設置したものが多い



農業者・農地所有者が設置したもの37% (1,232件)

発電事業者が設置したもの63% (2,081件)



出典: 営農型太陽光発電設備設置状況等について(令和2年度末現在), 令和4年8月, 農林水産省農村振興局)

ガイドライン(2023年版) 目次

- 第1章 総 則
- 第2章 被害事例
- 第3章 構造設計・施工計画
- 第4章 電気設計・施工計画
- 第5章 事前調査
- 第6章 太陽電池アレイの配置計画
- 第7章 設計荷重
- 第8章 使用材料
- 第9章 架台設計
- 第10章 基礎の設計
- 第11章 腐食防食
- 第12章 電気設計: 営農型における電気設計の注意点
- 第13章 施工
- 第14章 維持管理計画

章立ては変更なし

第1章 総則 (pp.4-13)

1.1 本ガイドラインの利用上の注意

1.2 適用範囲

1.3 引用規格、参考資料

1.4 用語・記号の定義

1.5 構造設計方針

1.6 電気設計方針

1.7 施工管理方針

1.8 営農型太陽光発電を開始するにあたっての手続き

1.5 構造設計方針 (p.5)

1. 架台、基礎および部材間の接合部は、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. 架台、基礎および太陽電池モジュールの配置は、下部の農地における営農に支障をきたさないよう計画する。
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。
4. 架台および基礎は容易に撤去できる構造とする。
5. 対象とする農地が**傾斜地**である場合、別途、**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¹⁻¹⁾**の支持物に関する要求についても満足させる。また、**必要に応じて排水計画についても検討する。**
6. 関係法令および各地方自治体による条例、施行規則およびこれらに基づく設置許可申請の手引き等での要求事項については、別途適合させる。
7. 設計図書を作成し、保管する。

農地での排水については既存設備として整備されているものと推測されるが、**アレイの設置によって雨水等の流出経路や流出量**が変化する場合があるので、必要に応じて排水の追加、変更について検討する

1.8 構造設計方針 (pp.11-12)

1. 発電および農業関連の各種手続きを事前に確認し、全体の工程管理を計画する。

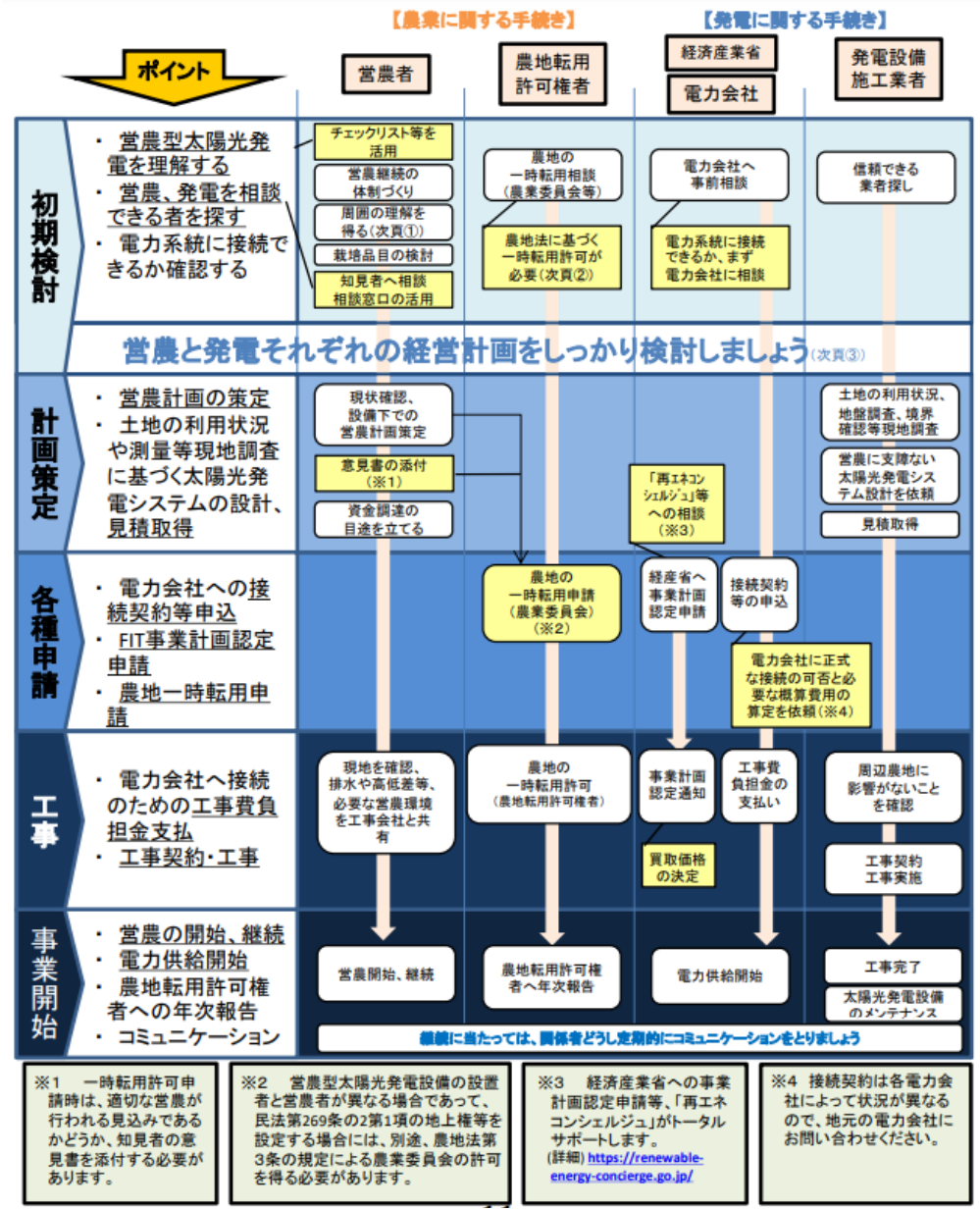


図1-1 営農型太陽光発電の導入までの流れ (取組フロー)

「農林水産省: 営農型太陽光発電取組支援ガイドブック (2022年度版)」より引用

5.1 現地調査(目視調査)

5.2 地盤調査

5.2.1 原位置試験

5.2.2 スクリューウェイト貫入試験(SWS試験)

5.2.3 標準貫入試験

5.2.4 ラムサウンディング試験

5.2.5 簡易動的コーン貫入試験

5.2.6 土検棒貫入試験

5.2.7 平板載荷試験

5.2.8 凍上対策の検討

5.3 農地の利用状況と農作物の調査

5.2 地盤調査 (p.21)

1. 事前調査結果を踏まえて原位置試験を実施し、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. 資料調査および現地調査の結果から、太陽光発電システム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. 金属腐食に悪影響を与える肥料や薬剤などの使用が認められる場合、薬剤の成分調査や土壌のpH測定を行い、腐食への影響を調査する。~~

農地において想定されるpHの範囲は金属腐食に影響を与える数値ではないため削除した。

5.2.1 原位置試験 (p.21)

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. 湛水が行われる地盤の場合、**湛水時における試験実施を原則とする。**
3. 原位置試験は、SWS試験を中心に行う。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場合、圧密沈下が生ずる可能性のある地盤の場合および湛水時の試験を実施する場合は、**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図5-2を目安に実施する。

5.2.1 原位置試験（つづき）

- 水田などの湛水が行われる農地において、直接基礎のような比較的浅い層での地盤反力を期待する基礎形式を用いる場合には、**湛水状態での地盤の状態を把握しておく必要がある。**
- その際、**軟弱な地盤**において実施可能な**簡易動的コーン貫入試験**などによって**支持層の深さを確認**する(図5-1)。



(a) SWS 試験



(b) 簡易動的コーン貫入試験

図 5-1 農地（畑）での原位置試験の例

5.2.8 凍上対策の検討 (p.25)

- 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。
- 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 5-10 太陽光発電設備の凍上被害の一例

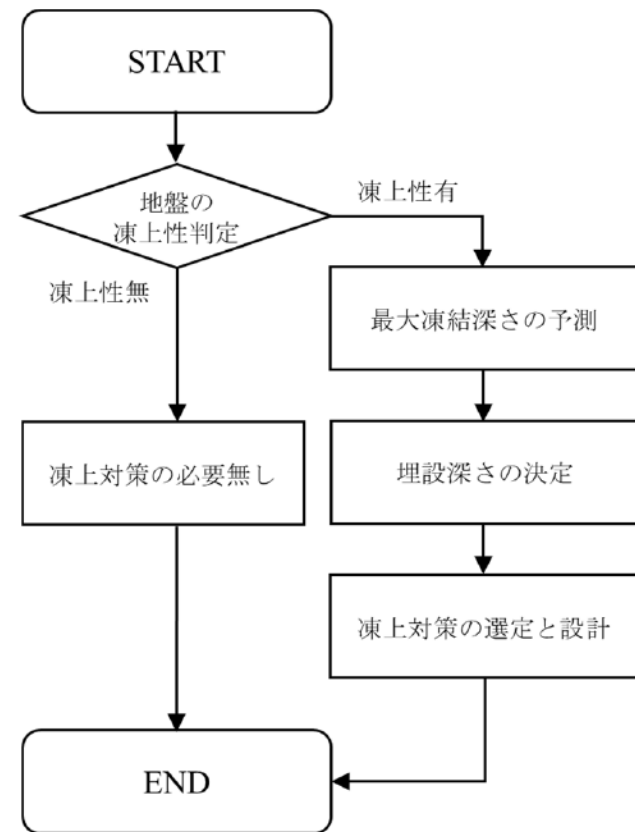


図 5-11 太陽光発電設備のための凍上対策検討のフロー

5.2.8 凍上対策の検討（つづき）

(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

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）」を用いて、土の凍上性を直接的に判定することができる。

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

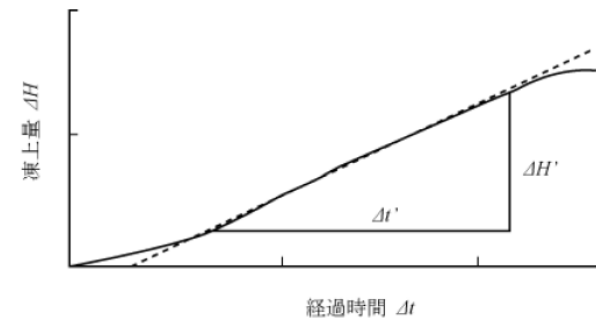
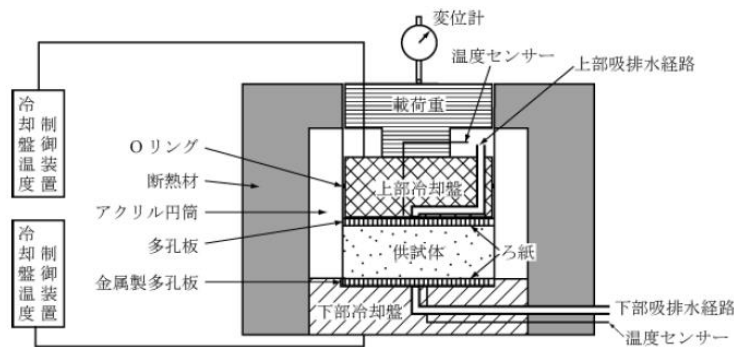


図 5-12 地盤工学会基準の凍上試験装置（寒冷地地盤工学⁵⁻⁸）から引用）

図 5-13 凍上量-時間曲線の一例（寒冷地地盤工学⁵⁻⁸）から引用）

5.2.8 凍上対策の検討（つづき）

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。

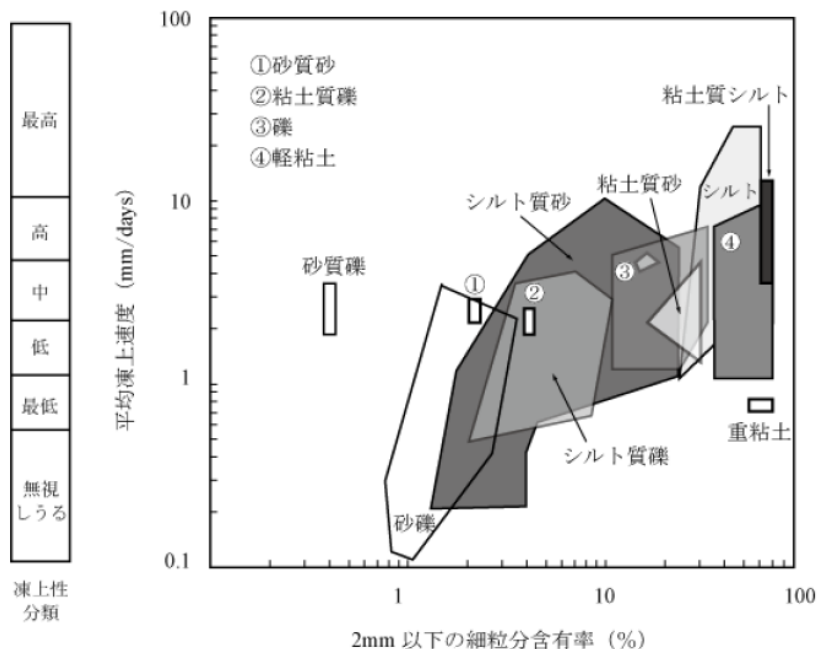


図 5-14 土質と凍上性の関係（寒冷地地盤工学⁵⁻⁸から引用）

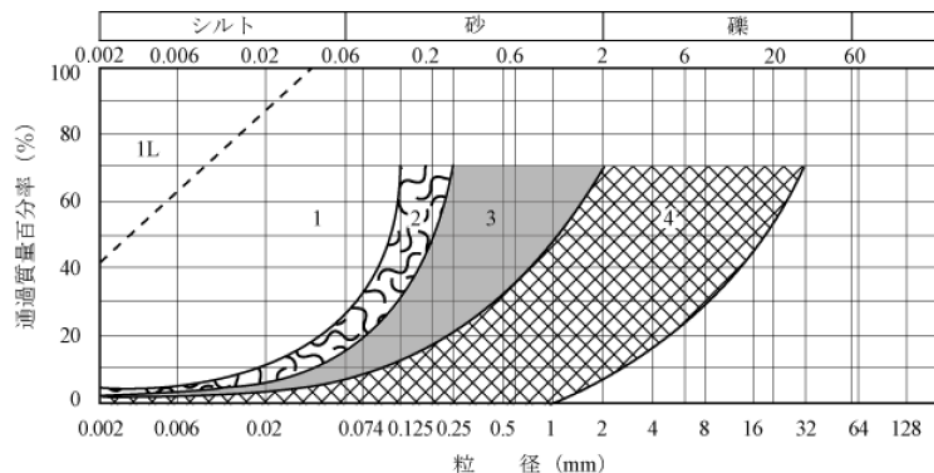


図 5-15 粒度と凍上性の関係（寒冷地地盤工学⁵⁻⁸から引用）

① 土質による間接的な凍上性判定法

② 粒度による間接的な凍上性判定法

- ・ シルトは強い凍上性を有する。
- ・ ただし、粒形が非常に小さい場合には透水性が低いいため凍上量は小さくなる。

5.2.8 凍上対策の検討（つづき）

(1) 温度(気温)

- 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。
- 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。

$$D_{\max} = C\sqrt{F}$$

D_{\max} : 理論最大凍結深さ(cm)
 F : 設計に用いる凍結指数($^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$)
 C : 凍結係数

- 凍結指数：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
- 凍結深さ：凍結前の地表面から地中温度の 0°C までの最大深さ

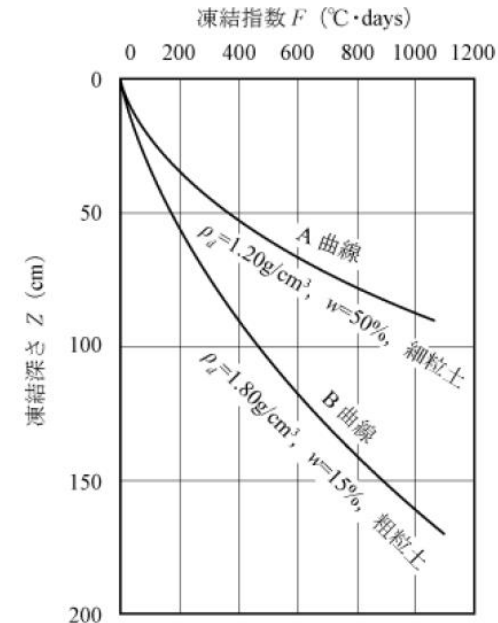


図 5-16 細粒土と粗粒土における凍結指数と凍結深さの関係
(寒冷地地盤工学⁵⁻⁸から引用)

6.1 全体配置計画

6.2 アレイ面の傾斜角と離隔距離(遮光率と農作物の関係)

6.1 全体配置計画 (p.33)

1. 作付面積、農業機械などの進入路や走行ルートを検討して、太陽電池アレイの設置範囲、基礎および支柱の位置を決定する。
2. アレイ面および架台の梁の高さは、下部での農作業に支障がない十分な高さとする。
3. 隣接農地の日照および用水路・道路などの利用に支障がないように配置する。

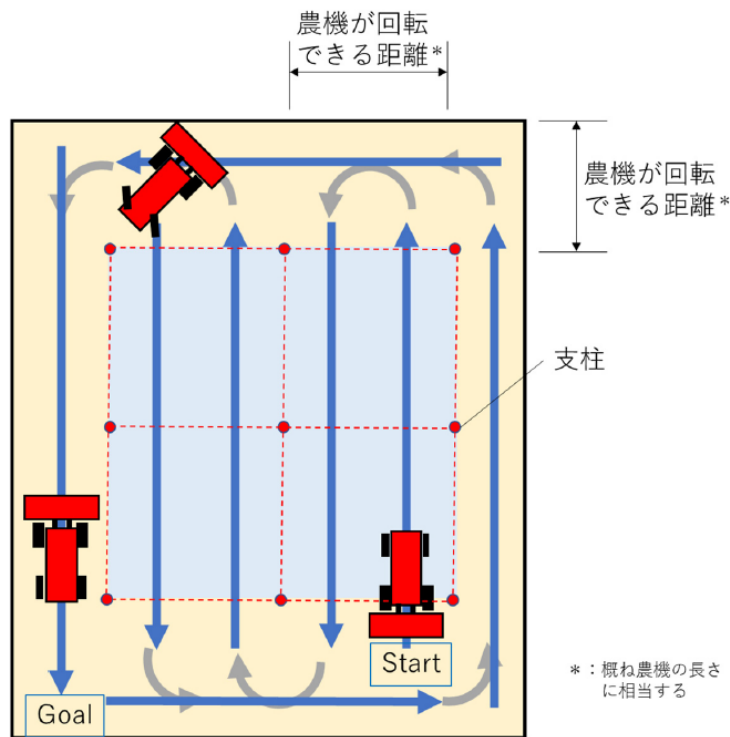
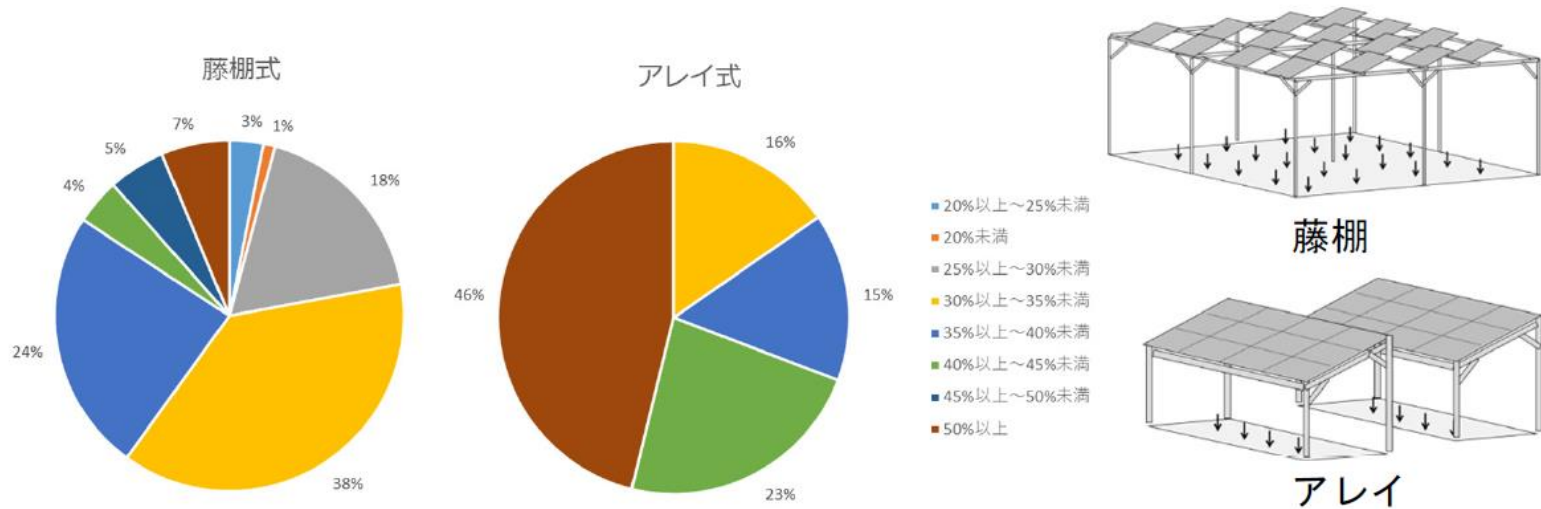


図 6-1 農業機械を利用する場合の支柱の配置例

6.2 アレイ面の傾斜角と離隔距離（遮光率と農作物の関係）（p.33）

1. 農作物への日照と発電特性の両面からアレイ面傾斜角と離隔距離を設定する。
2. アレイ面の角度は、発電特性だけでなく、風圧荷重、積雪荷重への影響も考慮して設定する。
3. アレイ面の離隔距離は設置場所の緯度を考慮して、**下部農地での日照を十分に確保**できるように設定する。
4. **アレイ面からの雨だれ**が農作物への悪影響や農地の洗堀を引き起こさないよう、**アレイ面の大きさや配置を決定する**。



(b) 遮光率の件数割合（架台形式別：藤棚式 95 件、アレイ式 17 件）

図 6-3 営農型太陽光発電システムにおける遮光率の調査結果

7.1 想定荷重と荷重の組合せ

7.2 固定荷重

7.3 風圧荷重

7.4 積雪荷重

7.5 地震荷重

7.2 固定荷重 (p.36)

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、それらの重量も加算する。
3. **支持物を利用して果樹棚等を取り付ける場合は棚や果樹等の重量も加算する。**

7.3 風圧荷重 (p.33)

1. 太陽電池アレイ用支持物の設計用風圧荷重は、式(7.1)に示すアレイに作用する風圧荷重 W_a と式(7.2)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. アレイの風圧荷重は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水平に作用することとしてもよい。なお、支持物構成材などとは、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む。
3. アレイ面の受風面積は、モジュールの周囲に付けられる部材を含む面積とする。
4. 傾斜地に設置されるアレイにおいては、傾斜地設置型太陽光発電設備ガイドラインに示された設計風速の割増しについても考慮する。
5. **支持物を利用して果樹棚等を取付ける場合は棚および果樹等に作用する風圧荷重を適切に設定して加算する。**

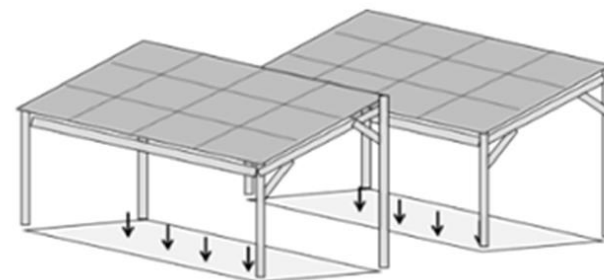
$$W_a = C_a \times q_p \times A_a \dots\dots\dots (7.1)$$

$$W_b = C_b \times q_p \times A_b \dots\dots\dots (7.2)$$

7.3 風圧荷重(つづき)

アレイ式(足高式)の設計用風力係数

- アレイ式の架台は、一般的な地上設置型の架台を高くした形状であるため、JIS C 8955 :2017 に示す地上設置型の風力係数と同様、アレイ面の傾斜角 θ を用いた式(7.3)、式(7.4)で風力係数を与えることができる。



順風(正圧)の場合

$$\text{端部アレイ } C_a = 0.9 + 0.05\theta - 0.0005\theta^2 \dots\dots\dots (7.3)$$

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

中央部アレイは端部アレイの 0.6 を乗じた値とすることができる

逆風(負圧)の場合

$$\text{端部アレイ } C_a = 1.0 + 0.04\theta - 0.0005\theta^2 \dots\dots\dots (7.4)$$

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

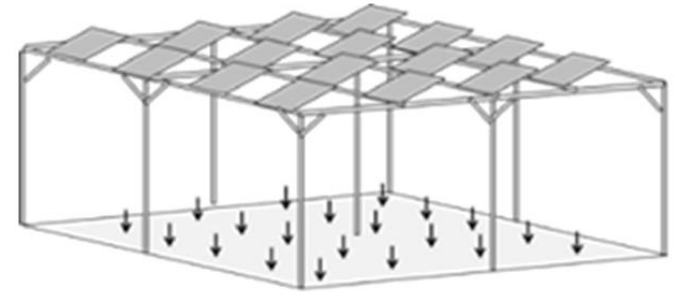
中央部アレイは端部アレイの 0.7 を乗じた値とすることができる

赤線の部分はJISと異なっていることに注意!

7.3 風圧荷重(つづき)

藤棚式の設計用風力係数

- 藤棚式の架台については、多スパン構造(多数の支柱が梁で連結された構造)で、太陽電池モジュールが疎らに配置されるため、アレイ式とは異なる設計用風力係数を与えた。
- 設計用風力係数は、風圧荷重の算定対象とする面積(対象面積:アレイ面を含む解析対象フレームの外郭面積を想定) A_0 、遮光率 β 、アレイ面の角度 θ に対応したアレイの風力係数として与えている。
- また、アレイ面の設計用風力係数 C_a とモーメント係数 C_M を与えており、図7-4に示す風圧荷重 W_a および M_a (モーメント)を考慮することで、支持物の各部材(モジュール固定金具、梁、支柱など)に作用する荷重の偏りを含めたより合理的な荷重設定を行うことができる。



7.3 風圧荷重(つづき)

藤棚式の設計用風圧荷重の算定式

$$W_a = C_a \times q_P \times A_0 \times \beta \dots\dots\dots (7.5)$$

$$M_a = C_{Ma} \times q_P \times A_0 \times \beta \times L_a \dots\dots\dots (7.6)$$

- W_a : アレイ面の風圧荷重(N)
- M_a : アレイ面の設計用モーメント (Nm)
- C_a : アレイ面の風力係数
- C_{Ma} : アレイ面のモーメント係数
- q_P : 設計速度圧 (N/m²)
- A_0 : アレイの外郭面積 (m²)
- β : 遮光率
- L_a : アレイのモーメント距離 (m)

例：PVモジュール
の取付部の検討

例：梁の検討

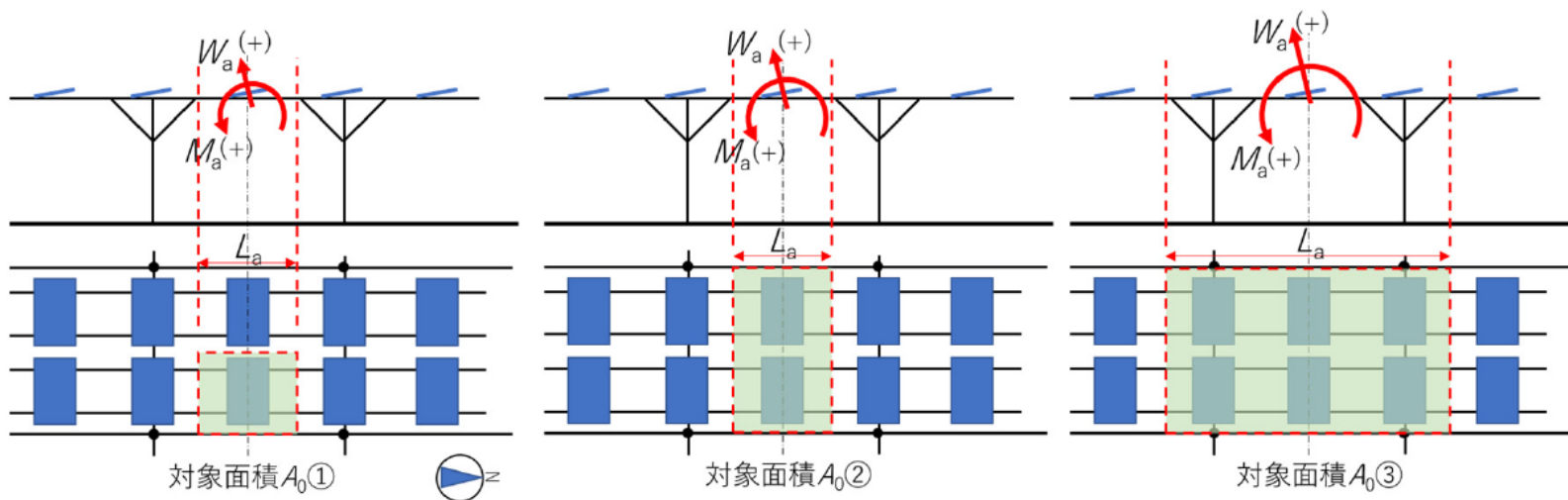
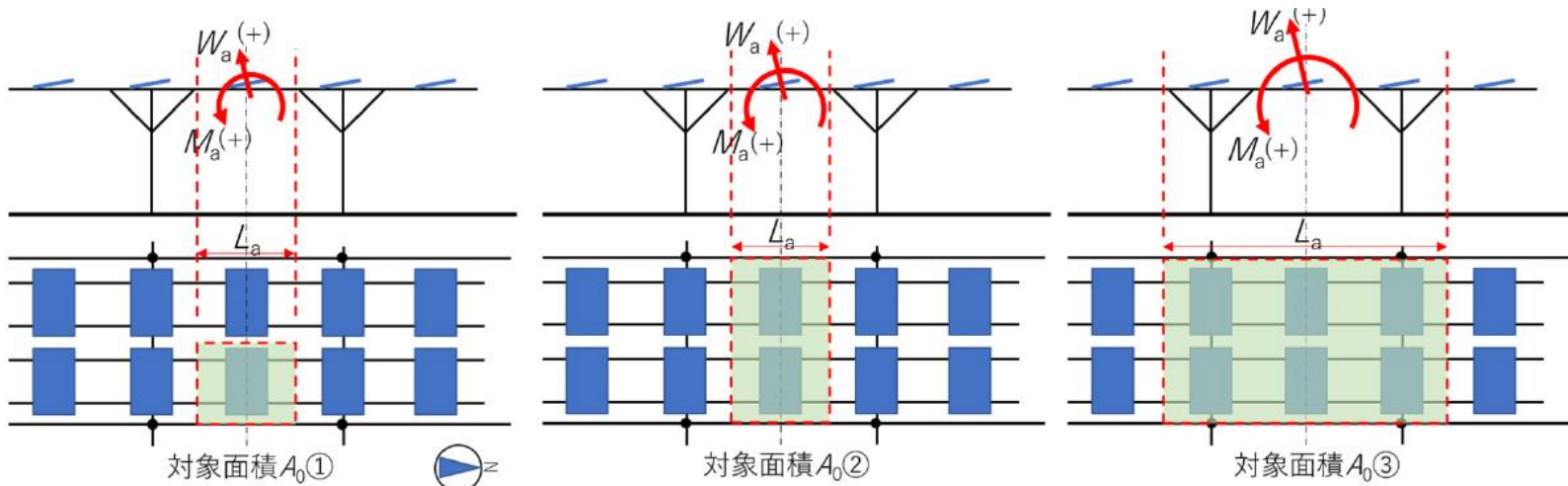


図 7-4 風圧荷重 W_a , M_a , 対象面積 A_0 およびモーメント距離 L_a の定義

7.3 風圧荷重(つづき)

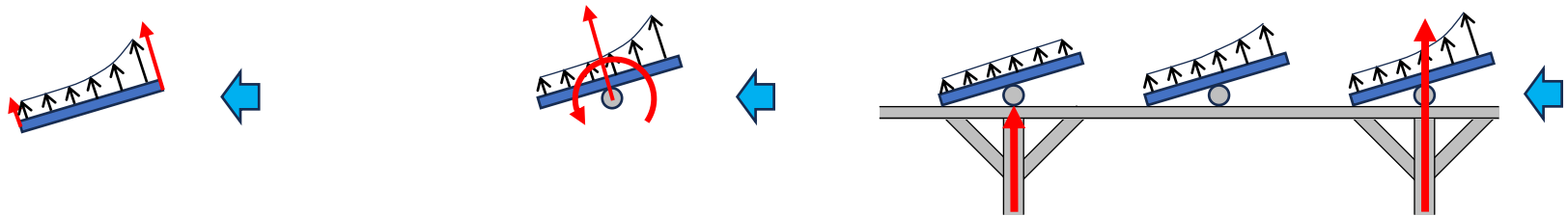
藤棚式の設計用風圧荷重の算定式



PVモジュールの
取付部の検討など

梁の検討など

柱の軸力の検討など



- アレイ面の風力 W_a だけでなく、モーメント M_a を与えることで、荷重の偏りを考慮することができる。

7.3 風圧荷重(つづき)

藤棚式的设计用風力係数

表 7-2 営農型太陽光発電設備（藤棚式）の設計用風力係数

アレイの角度 θ (度)		10	10	30	30	10	10	30	30
遮光率 β (%)		35	70	35	70	35	70	35	70
対象面積 A_0 (m^2)		端部アレイ：順風（正圧）				端部アレイ：逆風（負圧）			
C_a	①3.5	2.2		3.2		-2.5		-3.4	-2.9
	②7.0	2.0		3.1		-2.3		-3.2	-2.7
	③25.6	1.3	1.1	1.9	1.3	-1.4	-1.2	-2.0	-1.5
C_{Ma}	①3.5	0.20			0.30	0.25	0.40	0.25	0.40
	②7.0	0.20				0.20	0.35	0.20	0.35
	③25.6	0.20		0.30		0.20		0.35	0.30
対象面積 A_0 (m^2)		中央部アレイ：順風（正圧）				中央部アレイ：逆風（負圧）			
C_a	①3.5	1.7	1.3	2.3	1.5	-1.7	-1.3	-2.3	-1.8
	②7.0	1.5	1.2	2.0	1.3	-1.5	-1.3	-2.2	-1.7
	③25.6	0.8	0.6	1.3	0.7	-1.0	-0.7	-1.6	-1.2
C_{Ma}	①3.5	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20			0.30
	②7.0	0.10			0.20	0.15		0.10	0.20
	③25.6	0.10				0.10			

備考：対象面積①～③はそれぞれ次の面積を想定している。

①： $2m \times 1.2m = 2.4m^2$ ($\beta=70\%$) \sim $2m \times 2.3m = 4.6m^2$ ($\beta=35\%$) $\Rightarrow 3.5m^2$ (中央値)

②： $4m \times 1.2m = 4.8m^2$ ($\beta=70\%$) \sim $4m \times 2.3m = 9.2m^2$ ($\beta=35\%$) $\Rightarrow 7.0m^2$ (中央値)

③： $4m \times 5.8m = 23.2m^2$ ($\beta=70\%$) \sim $4m \times 7m = 28m^2$ ($\beta=35\%$) $\Rightarrow 25.6m^2$ (中央値)

アレイの角度が10～30度、遮光率が35～70%、対象面積 A_0 が $3.5 \sim 25.6m^2$ の範囲内にある場合には、それぞれについて直線補完した値を用いることができる。

安全側の値（絶対値が大きい値）を用いても良い

7.3 風圧荷重(つづき)

藤棚式の設定用風力係数(端部アレイと中央部アレイ)

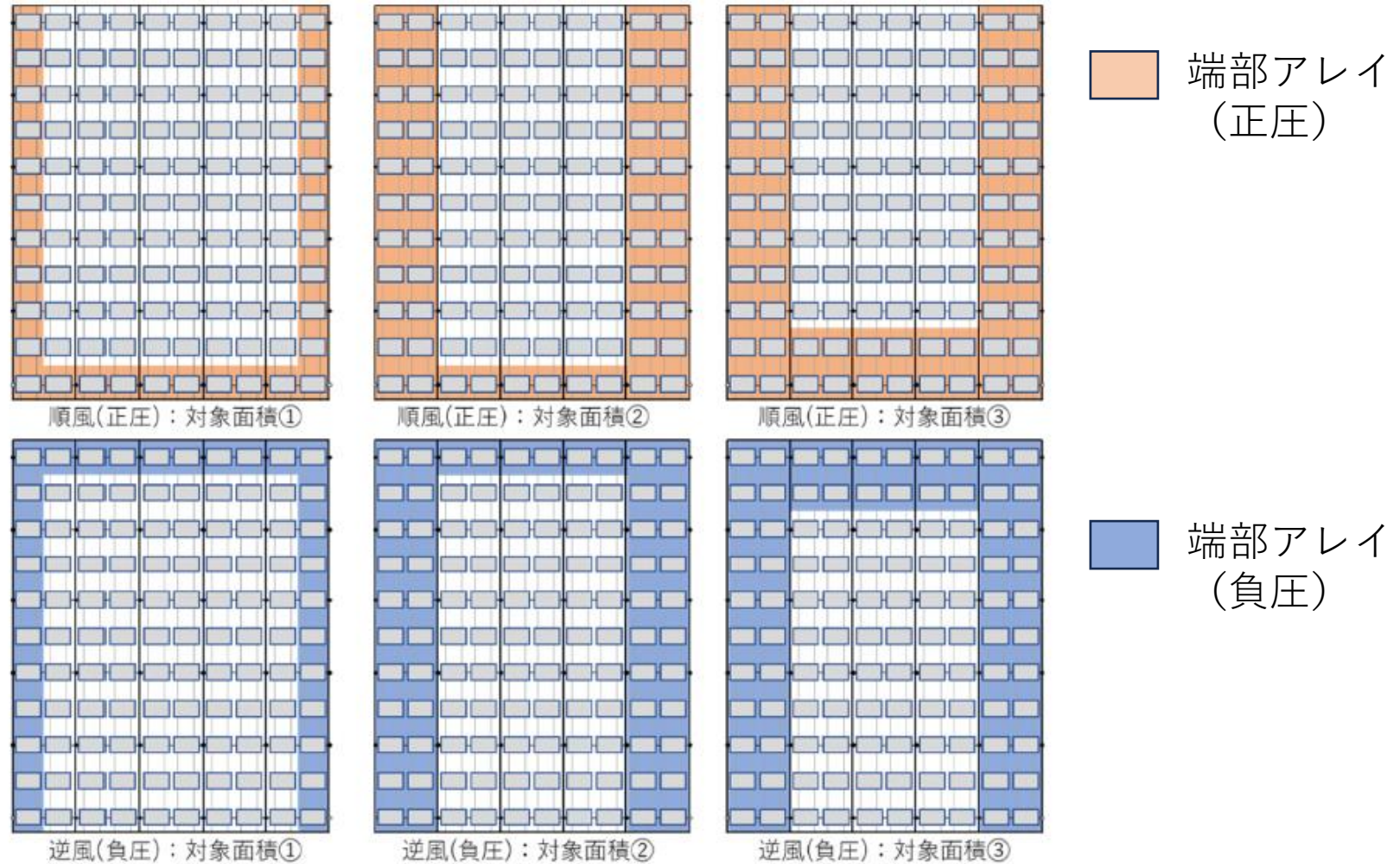


図 7-5 端部アレイの領域

9.1 架台設計の注意点

(農作業空間の確保、農業機械衝突への配慮)

9.2 架構形式と構造解析モデル

9.3 構造計算

9.2 架構形式と構造解析モデル(p.46)

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する。
3. 接合部が偏心している場合、構造解析モデルに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。

- 藤棚式架台のように東西および南北の方向に複数の柱スパンで架台が構成されている場合、架台全体を再現した解析モデルとすることを原則とする。ただし、多数の柱スパンで構成されている場合には、東西、南北方向ともに端部アレイを含む2スパン以上の範囲を再現した解析モデルとする必要がある。
- また、架台にパワーコンディショナや接続箱等の電気設備が取り付けられている場合には、その範囲を含めてモデル化する(図9-1)。

9.2 架構形式と構造解析モデル(つづき)

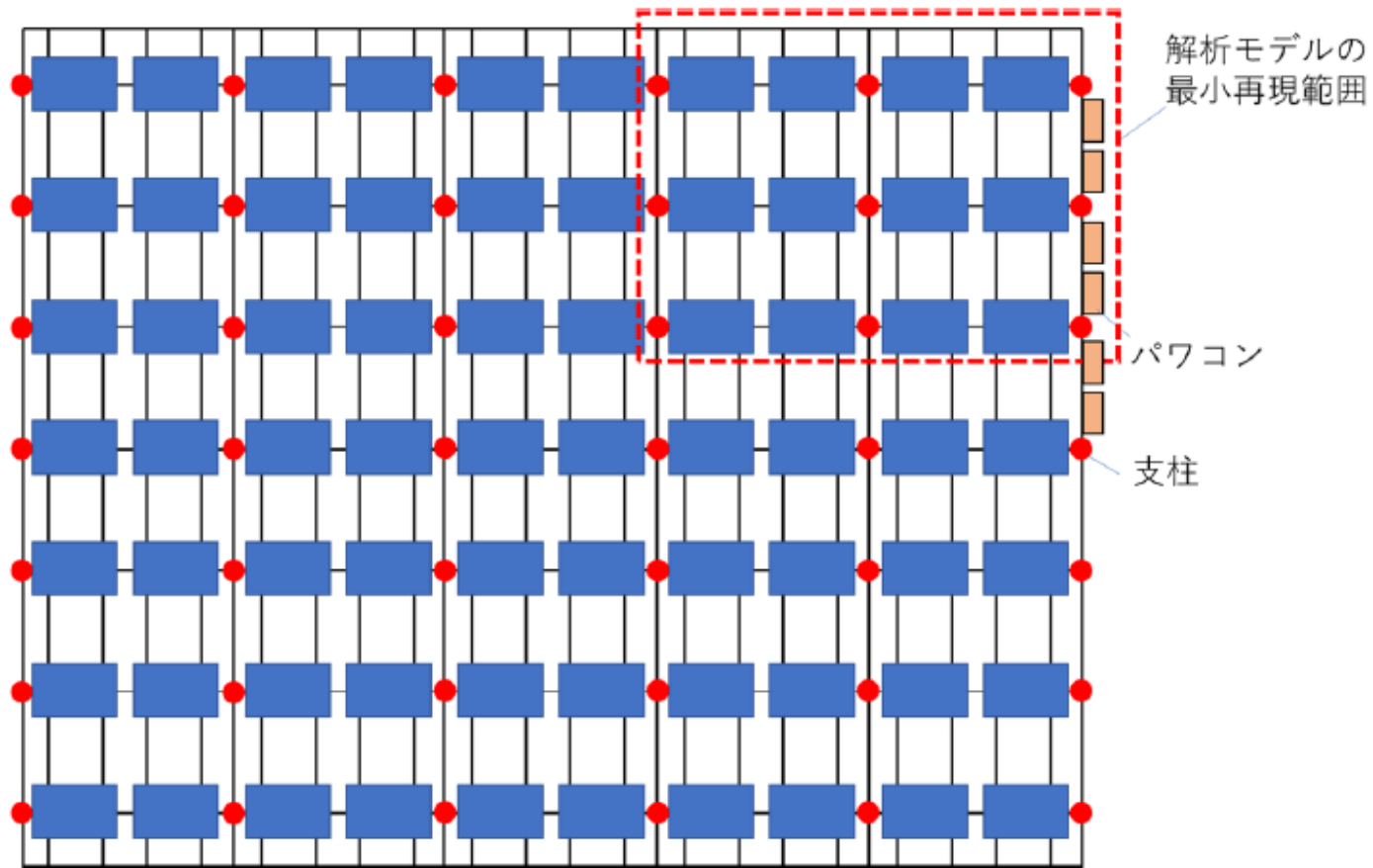


図 9-1 藤棚式架台における構造解析モデルの最小再現範囲の例

10.1 農地における基礎設計の注意点

10.2 基礎形式

10.3 杭基礎の設計

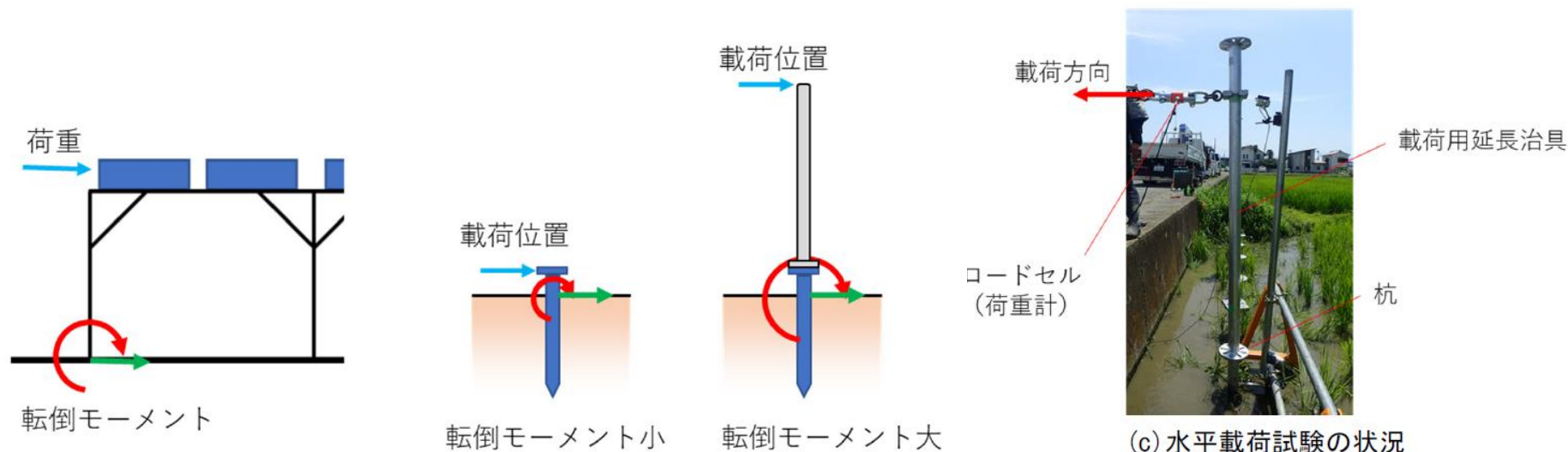
10.4 直接基礎の設計

10.3 杭基礎の設計 (p.49)

1. 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。
2. 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。
3. 杭の長期、短期許容支持力は、地盤から定まる長期、短期許容支持力と杭体の長期、短期許容力のうち、小さい方の値とする。
4. 杭の許容鉛直支持力(押し込み力・引抜き力)は、載荷試験によって求めることを基本とし、杭の長期許容支持力(押し込み・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。
5. **杭の水平抵抗力**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: 日本建築学会¹⁰⁻¹⁾**」に示されている**水平抵抗算定式**を用いて適切に求める。
6. **地盤の凍結**が想定される地域では**凍上対策**を検討する。

10.3 杭基礎の設計(つづき)

- 杭の荷重試験を軟弱地盤において行う場合は、十分な反力を確保できるように配慮する。
- 営農型太陽光発電設備はアレイ面の位置が高く、杭に作用する転倒モーメントが大きくなるため、杭の水平荷重試験においては杭に作用する水平力と転倒モーメントのバランスを考慮して、高い位置での荷重を行うことが望ましい。
- ただし、基礎と支柱の接合部をピン接合（またはピンに近い接合）とする架構形式の場合には、杭頭（柱脚）にはモーメントが生じない（または大きいモーメントが生じない）ため、杭頭の高さにおいて水平力を載荷することができる。



10.3 杭基礎の設計(つづき)

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

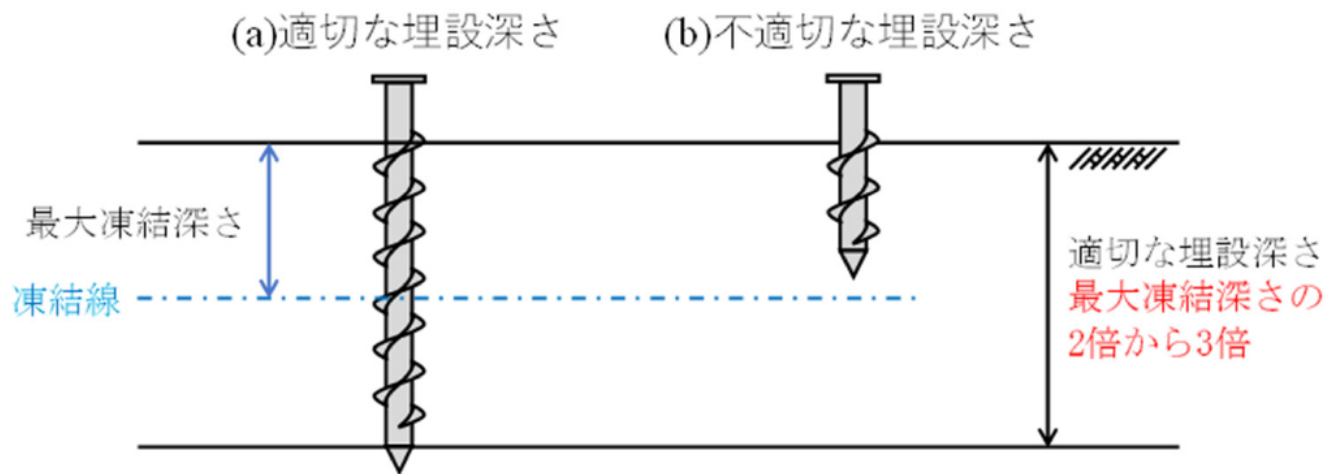


図 10-4 杭基礎の適切な埋設方法

10.4 直接基礎の設計 (p.49)

1. 直接基礎は、原則として独立基礎とし、地上部分の基礎面積は最小限にとどめる。
2. 基礎は、一体の鉄筋コンクリート造とする。
3. 基礎に作用する荷重(支点反力)に対して、沈下、浮上がり、横移動、転倒が生じない
4. いよう、十分な安全性を確保する。
5. 立ち上がりを高くする場合、柱筋・あばら筋を配置する。
6. **地盤の凍結が想定される地域では凍上対策を検討する。**

10.4 直接基礎の設計(つづき)

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

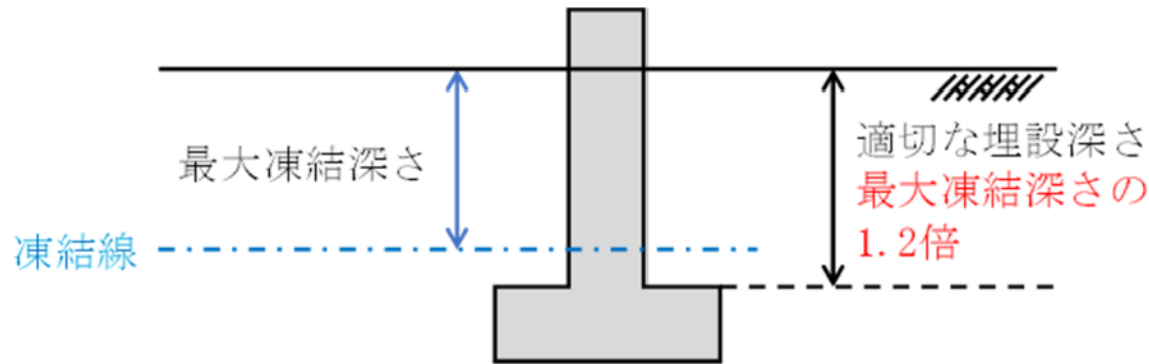


図 10-5 独立基礎及び布基礎の適切な埋設方法

13.1 一般共通項目

13.2 基礎架台工事

13.2 基礎架台工事 (p.63)

1. 基礎工事に**重機などを使用する場合、必要に応じて作土層の保護**を行うとともに、**畔、水口、灌水パイプ等の保護措置**を行う。
2. 基礎や架台工事において**大型重機を使用する場合には、暗渠に影響を与えないよう保護措置**を行う。
3. 架台工事は、比較的軟弱な作土層上における高所作業となるため、安定した足場の確保および転落防止措置を施す

- 多くの農地では、太陽光発電設備用の杭打ちに用いられる**小型重機の使用**については問題ないが、**表土が軟弱な場合は作土層、暗渠の保護のために敷板等を敷設**する。
- **灌水パイプ等が設置されている場合には、工事作業中に破損させないように、その位置を確認したうえで注意して作業**を行う。
- **大型の重機を使用する場合には、その重量によって暗渠が損傷する場合もあるため、暗渠の位置を事前に確認したうえで、重機の移動経路の配慮や敷板等の敷設による保護措置**を行う。

- 農地における杭の抵抗力試験結果の概要
- 藤棚式営農型太陽電池アレイの風洞実験
- アレイ式(足高式)営農型太陽光発電設備の風洞実験
- 営農型発電システムの事態調査

ありがとうございました

