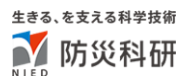
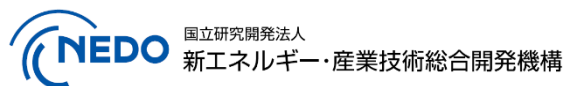


地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン

2025 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「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」事業、及び委託業務（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。

2025 年 4 月 11 日



更新・修正履歴

- ・ 2019/04/26 公開：2019 年版
- ・ 2024/11/01 内容更新：2024 年版
- ・ 2025/04/11 内容更新：2025 年版

はじめに(2025年版)

地上設置型太陽光発電システムの主に構造設計の架台・基礎の設計基準をまとめたものとして、2017年に初版、2019年版に改訂版の「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン」が刊行された。2021年3月31日に発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令が制定され、太陽光発電システム支持物の設計荷重として JIS C 8955:2017 が引用されるとともに、同解釈の解説においてガイドライン(2019年版)が参考資料として紹介された。

その後も国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)開発プロジェクトの研究は継続的に実施され、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を策定した。それらから得られた知見を基に学識経験者からなる委員会及びワーキンググループ(WG)での議論を経て、より合理的かつ安全な設計方法について検討が行われ、「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン」に電気設計及び構造・電気の施工部分を追加して、「地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025年版」として改訂することとなった。主な改訂内容は「4章 電気設計・施工計画」、「13章 電気設備の設計」、「14章 施工」、「15章 維持管理計画」の新設、「2章 被災事例」、「6章 造成計画」、「7章 太陽電池アレイの配置計画(ラフプラン)」を個別の章に分離、及び「1章 総則」、「3章 構造設計・施工計画」、「5章 事前調査」、「8章 設計荷重」、「10章 架台の設計」の更新である。

はじめに(2024年版)

地上設置型太陽光発電システムの主に構造設計の架台・基礎の設計基準をまとめたものとして、2017年に初版、2019年版に改訂版の「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン」が刊行された。発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令が制定され、太陽光発電システム支持物の設計荷重として JIS C 8955:2017 が引用されるとともに、同解釈の解説においてガイドライン（2019年版）が参考資料として紹介された。

その後も国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）開発プロジェクトの研究は継続的に実施され、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を策定した。それらから得られた知見を基に学識経験者からなる委員会及びワーキンググループ（WG）での議論を経て、より合理的かつ安全な設計方法について検討がなされたこともあり、「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン」に電気設計及び構造・電気の施工部分を追加して、「地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2024年版」として改訂することとなった。主な改訂内容は「4章 電気設計・施工計画」、「13章 電気設備の設計」、「14章 施工」、「15章 維持管理計画」の新設、「2章 被災事例」、「6章 造成計画」、「7章 太陽電池アレイの配置計画（ラフプラン）」を個別の章に分離、及び「1章 総則」、「3章 構造設計・施工計画」、「5章 事前調査」、「8章 設計荷重」、「10章 架台の設計」の更新である。

はじめに(2019年版)

本ガイドラインは以下の背景と趣旨のもとに2017年版として刊行された。その後、電気設備技術基準の解釈第46条第2項が改正され、太陽光発電システム支持物の設計荷重として JIS C 8955:2017 が引用されるとともに、同解釈の解説において本ガイドライン（2017年版）が参考資料として紹介された。

その後も国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）開発プロジェクトの研究は継続的に実施され、太陽光発電システムの架台、基礎、腐食に関する多くの実証実験が行われた。それらから得られた知見を基に学識経験者からなる委員会及びワーキンググループ（WG）での議論を経て、より合理的かつ安全な設計方法について検討がなされ、2019年版のガイドラインとして改訂することとなった。主な改訂内容は「5章 使用材料」の新設及び「6章 基礎の設計」、「7章 架台の設計」、「8章 腐食防食」の全面的な更新である。

はじめに（初版：2017年版）

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システムは急増したが、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。太陽光発電システムは、「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。太陽光発電システムの被害は、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、太陽光発電システム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システムを提供できるよう、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、太陽光発電システム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（2017年版）

委員長	植 松 康	（東北大学）
委員	伊 藤 淳 志	（関西大学）
	岩 田 善 裕	（国土技術政策総合研究所）
	植 田 讓	（東京理科大学）
	奥 田 泰 雄	（建築研究所）
	田 村 良 介	（N T Tファシリティーズ）
	西 村 宏 昭	（京都大学防災研究所）

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 （太陽光発電協会）
井 上 康 美 （太陽光発電協会）
高 野 涉 （奥地建産）

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 産業保安グループ 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（N E D O）
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

J P E A設計・施工基準策定準備委員会

亀 田 正 明 （太陽光発電協会）
茅 岡 日佐雄 （太陽光発電協会）
杉 本 完 蔵 （太陽光発電協会）
林 正 和 （太陽光発電協会）
田 中 清 俊 （太陽光発電協会）
長 尾 岳 彦 （太陽光発電協会）
奥 地 誠 （奥地建産）
富 山 惠 一 （奥地建産）
高 森 浩 治 （奥地建産）

太陽光発電システムの安全設計に関する検討委員会（2019年版）

委員長 植 松 康（秋田工業高等専門学校）

委員 飯 嶋 俊比古（飯島建築事務所）

伊 藤 淳 志（関西大学）

岩 田 善 裕（建築研究所）

植 田 讓（東京理科大学）

奥 田 泰 雄（建築研究所）

篠 原 正（物質・材料研究機構）

田 村 良 介（NTTファシリティーズ）

千 葉 隆 弘（北海道科学大学）

事務局

増 川 武 昭（太陽光発電協会）

井 上 康 美（太陽光発電協会）

高 野 涉（奥地建産）

高 森 浩 治（奥地建産）

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
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

執筆担当（◎主査、○幹事）

・風荷重WG

◎植松 康（秋田工業高等専門学校）

相原 知子（大成建設）

大関 崇（産業技術総合研究所）

ガヴァンスキ江梨（大阪市立大学）

木村 吉郎（東京理科大学）

染川 大輔（大林組）

田村 良介（NTTファシリティーズ）

丸山 敬（京都大学）

山本 学（鹿島建設）

○高森 浩治（奥地建産）

井上 康美（太陽光発電協会）

大竹 和夫（竹中工務店）

菊池 浩利（清水建設）

作田美知子（三井住友建設）

谷口 徹郎（大阪市立大学）

松本 知大（建材試験センター）

安永 隼平（JFEスチール）

吉田 昭仁（東京工芸大学）

・ 架台構造WG

◎飯嶋俊比古	(飯島建築事務所)	○斧出 雄太	(奥地建産)
浅野 清隆	(飯島建築事務所)	高森 浩治	(奥地建産)
田村 良介	(NTTファシリティーズ)	奥地 丈浩	(奥地建産)
岩田 善裕	(建築研究所)	竹ヶ鼻直人	(奥地建産)
富山 恵一	(奥地建産)		

・ 基礎構造WG

◎伊藤 淳志	(関西大学)	○竹ヶ鼻直人	(奥地建産)
富山 恵一	(奥地建産)	山崎 稜真	(奥地建産)

・ 腐食防食WG

◎篠原 正	(物質・材料研究機構)	○藤橋 健太	(奥地建産)
押川 渡	(琉球大学)	藤井 和美	(日立製作所)
成澤 孟	(那須電機鉄工)		

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
(2024年版、2025年版)

委員長	植 松 康	(東北大学)
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、2024/4 より摂南大学)
	重 光 達	(大成建設)
	篠 原 正	(腐食防食学会)
	田 村 良 介	(NTT アノードエナジー)
	土 屋 星	(三井住友建設)
	馬 上 丈 司	(千葉エコ・エネルギー)
	鈎 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)
	後 藤 耕司	(京セラ)
	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)
	亀 田 正 明	(太陽光発電協会)
	大 関 崇	(産業技術総合研究所)
	高 森 浩 治	(構造耐力評価機構)
	奥 地 丈 浩	(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)
 (再委託先) 安 達 聖 (防災科学研究所)
 古 川 幸 (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 (東北大学、2023/4 より東北大学) | ○ 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) | 今野 大輔 (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 アノードエナジー) | 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

1. 総 則	8
1.1 本ガイドラインの利用上の注意	8
1.2 適用範囲	8
1.3 引用規格、参考資料	8
1.4 用語・記号の定義	9
1.5 構造設計方針	15
1.6 電気設計方針	16
1.7 施工管理方針	16
2. 被災事例	19
2.1 水害による基礎・架台の倒壊	19
2.2 積雪による基礎沈下または架台損傷	19
2.3 強風による架台の損傷・飛散	20
2.4 地震による基礎・架台の損傷	21
2.5 電気火災	21
3. 構造設計・施工計画	23
3.1 設計フロー（構造）	23
3.2 施工フロー（構造）	24
4. 電気設計・施工計画	25
4.1 設計フロー（電気）	25
4.2 施工フロー（電気）	26
5. 事前調査	27
5.1 事前調査	27
5.1.1 事前調査の概要	27
5.1.2 地形の調査による地盤の見方	28
5.2 資料調査	29
5.3 現地調査	33
5.4 注意が必要な地形・地盤	35
5.4.1 軟弱地盤	35
5.4.2 埋立地	35
5.4.3 盛土地盤	36

5.4.4 造成地（山地・丘陵地）	36
5.4.5 崖・急斜面	36
5.4.6 谷底低地	37
5.4.7 地盤の液状化	37
5.4.8 傾斜地	37
5.4.9 森林伐採地	37
5.5 地盤調査	37
5.5.1 基本事項	37
5.5.2 原位置試験	38
5.5.3 調査法から得られるパラメータ	39
5.5.4 スクリューウェイト貫入試験（SWS 試験）	41
5.5.5 標準貫入試験	41
5.5.6 ラムサウンディング試験	42
5.5.7 簡易動的コーン貫入試験	42
5.5.8 土検棒貫入試験	43
5.5.9 平板載荷試験	43
5.5.10 凍上対策の検討	43
5.6 基礎の選定方法	48
5.6.1 維持管理	49
6. 造成計画	51
6.1 造成・排水の計画	51
6.2 基本的な考え方	51
6.3 切土	52
6.4 盛土	52
6.5 排水	53
6.6 滑動崩落防止対策等	53
6.7 のり面保護工等	54
7. 太陽電池アレイの配置計画（ラフプラン）	56
7.1 事前情報からのモジュールレイアウト検討	56
7.2 太陽電池アレイ用架台の配置検討	57
8. 設計荷重	58
8.1 想定荷重と荷重の組合せ	58
8.2 固定荷重	59
8.3 風圧荷重	59

8.3.1	設計用風圧荷重	59
8.3.2	設計用速度圧	60
8.3.3	風力係数	63
8.4	積雪荷重	66
8.4.1	設計用積雪荷重	66
8.4.2	勾配係数	66
8.4.3	雪の平均単位荷重	67
8.4.4	地上垂直積雪量	67
8.4.5	積雪後の降雨による割増荷重	68
8.4.6	アレイ面の下端に作用する積雪荷重	69
8.5	地震荷重	71
8.5.1	設計用地震荷重	71
8.5.2	設計用水平震度	72
8.5.3	地震地域係数	72
8.5.4	用途係数	72
9.	使用材料	74
9.1	鋼材	74
9.2	アルミニウム合金材	74
9.3	コンクリート	74
9.4	その他材料	75
10.	架台の設計	76
10.1	架台の構造形式と構造解析モデル	76
10.1.1	基本構造形式の安定原理	76
10.1.2	主な構造形式	77
10.1.3	柱脚部の支持条件（杭基礎）	78
10.1.4	構造解析	80
10.2	構造設計	81
10.2.1	概要	81
10.2.2	構造計算方針	82
10.2.3	適用または参考にする関連法令・学会指針類	83
10.3	構造設計フロー	84
10.4	性能目標の設定	84
10.5	構造計画	84
10.6	荷重の算定	85
10.7	応力と変形の算定	85

10.7.1 応力とその種類について	85
10.7.2 部材接合部のモデル化	85
10.7.3 手計算による応力算定	85
10.7.4 解析ソフトによる応力算定	86
10.8 鋼製架台における部材の設計	86
10.8.1 適用または参考にする関連法令・学会指針類	86
10.8.2 部材設計の考慮事項	87
10.8.3 部材の許容応力度の算定	87
10.8.4 材料の定数	89
10.8.5 材料の基準強度	89
10.8.6 圧縮フランジの支点間距離, 座屈長さ, 補剛の考え方	89
10.8.7 有効断面積, 局部座屈防止の考え方	91
10.9 鋼製架台における接合部の設計	91
10.9.1 ボルトの孔径について	92
10.9.2 ボルト接合等におけるはしあき、へりあき距離について	92
10.9.3 長孔などによる接合について	92
10.9.4 部材が偏心して接合される場合の検討	93
10.9.5 モジュールと架台の接合について	93
10.10 アルミニウム合金製架台における部材の設計	94
10.10.1 適用または参考にする関連法令・学会指針類	94
10.10.2 部材設計の考慮事項	95
10.10.3 部材の許容応力度の算定	95
10.10.4 材料の定数	97
10.10.5 材料の基準強度	97
10.10.6 圧縮フランジの支点間距離、座屈長さ、補剛の考え方	98
10.10.7 有効断面積, 局部座屈防止の考え方	99
10.11 アルミニウム合金製架台における接合部の設計	99
10.11.1 接合部設計の考慮事項	100
10.11.2 ボルトの孔径について	100
10.11.3 ボルト接合等におけるはしあき、へりあき距離について	101
10.11.4 長孔などによる接合について	101
10.11.5 部材が偏心して接合される場合の検討	103
10.11.6 モジュールと架台の接合について	103
10.11.7 同一部材を繋ぐ継手について	103
10.12 部材の応力度検定	103
10.12.1 圧縮応力を受ける部材	103
10.12.2 引張応力を受ける部材	104

10.12.3 曲げ応力を受ける部材	104
10.12.4 組合せ応力を受ける部材	104
10.13 基礎の設計	104
11. 基礎の設計	105
11.1 一般事項	105
11.2 基礎に働く外力と反力	105
11.3 基礎の形式	107
11.3.1 独立基礎	107
11.3.2 連続基礎（布基礎）	108
11.3.3 ベタ基礎	108
11.3.4 地盤改良工法	108
11.3.5 支持杭、摩擦杭	109
11.3.6 杭状補強	109
11.4 直接基礎の設計	110
11.4.1 一般事項	110
11.4.2 地盤の許容支持力	111
11.4.3 セメント系固化材による地盤改良体の許容支持力	113
11.4.4 鉄筋コンクリート造の直接基礎設計上の注意事項	114
11.4.5 地盤改良工法	116
11.4.6 凍上対策（凍結深度対策）	116
11.5 杭基礎の設計	117
11.5.1 一般事項	117
11.5.2 杭の鉛直許容支持力	119
11.5.3 杭の水平抵抗力及び水平変位	120
11.5.4 杭状補強	121
11.5.5 杭の種類	122
12. 腐食防食	125
12.1 適用範囲	125
12.2 一般事項	125
12.3 大気中における架台の腐食と対策	125
12.3.1 表面処理の種類	125
12.3.2 一般的な腐食（均一腐食）	127
12.3.3 異種金属接触腐食	129
12.3.4 雨掛かりのない環境中での腐食	131
12.3.5 流水部の腐食	132

12.3.6 孔食.....	133
12.4 鋼製杭基礎の地中部での腐食と対策.....	134
12.4.1 表面処理の種類.....	134
12.4.2 埋設部の腐食.....	135
12.4.3 地際部の腐食.....	136
12.5 管理・点検・メンテナンス.....	137
13. 電気設備の設計.....	139
13.1 一般事項.....	139
13.1.1 感電リスクに対する保護.....	140
13.1.2 異常発熱・火災リスクに対する保護.....	141
13.2 基本設計.....	143
13.2.1 システム電圧の考え方.....	143
13.2.2 システム電流の考え方.....	144
13.2.3 直並列回路の基本的な構成方法.....	144
13.2.4 遮断器、断路器及び開閉器の設置.....	145
13.2.5 接地及び等電位ボンディング設計.....	146
13.2.6 交流回路と直流回路の分離.....	148
13.2.7 系統連系における保護協調.....	148
13.2.8 電氣的、電磁氣的影響の防止.....	149
13.3 危険事象に対する保護設計.....	150
13.3.1 地絡（対地間絶縁）故障に対する保護.....	151
13.3.2 絶縁故障(正負極間)に対する保護.....	153
13.3.3 過電流に対する保護.....	154
13.3.4 異常発熱・アーク発生に対する保護.....	155
13.3.5 雷害及び過電圧に対する保護.....	156
13.4 電気機器の選定及び設置場所.....	160
13.4.1 太陽電池モジュール.....	161
13.4.2 接続箱及び集電箱.....	161
13.4.3 遮断器、断路器及び開閉器.....	162
13.4.4 直流ヒューズ.....	162
13.4.5 逆流防止素子.....	163
13.4.6 雷保護素子.....	163
13.4.7 アーク故障検知・遮断装置.....	163
13.4.8 ケーブル・電線管.....	164
13.4.9 コネクタ（プラグ・ソケット）.....	165
13.4.10 パワーコンディショナ・直流調整装置（DC/DC コンバータ）.....	165

13.4.11 受変電設備	166
13.4.12 接触防護措置（さく、塀）	167
13.5 保守点検を考慮した電気設備計画に関する注意点	168
13.6 表示及び文書	169
13.6.1 機器の表示	169
13.6.2 文書化及び保管	169
13.7 サイバーセキュリティ	170
14. 施工	173
14.1 一般項目	173
14.2 基礎工事	175
14.2.1 直接基礎工事	175
14.2.2 杭基礎工事	176
14.3 架台工事	176
14.4 電気設備・配線工事	177
14.4.1 電気機器取付け・設置場所に関する注意点	177
14.4.2 配管、配線、接続	179
14.4.3 接地工事	182
15. 維持管理計画	184
15.1 一般項目	184
15.2 基礎・架台	184
15.4 緊急時の対応（設計時における配慮事項）	185

地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025 年版の技術資料

- ・ 杭基礎支持力の実証試験
- ・ 地上設置型太陽光発電システム用架台の風洞実験
- ・ 太陽光発電設備に用いられる杭および基礎の凍上融解挙動の解明
- ・ 凍結融解履歴が杭の引抜き抵抗に与える影響の解明
- ・ 海外の法規制・ガイドライン調査

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、電気設備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。これらを理解の上、本ガイドラインを利用して頂きたい。

1.2 適用範囲

1. 本ガイドラインは地上設置型太陽光発電システムの基礎と架台及び電気設備の設計・施工に適用する。
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。
6. 対象とする電気設備は、太陽電池アレイの最大使用システム電圧が直流45V以上1500V以下の太陽電池アレイの直流回路、及びパワーコンディショナ、受変電設備の交流回路とする。

適用範囲として平地（傾斜面に隣接した平地を除く）での地上設置型に限定し、その他の特殊な設置については、傾斜地設置型は、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2025年版¹⁻¹⁾、営農型は、営農型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン2025年版¹⁻²⁾、水上設置型は、水上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン2025年版¹⁻³⁾を参照されたい。

電気設備については、直流電気回路設計を中心とした記載とするが、交流電気回路、設備も重要な事項については記載する。

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 62548-1:2023 Photovoltaic (PV) arrays - Part 1: Design requirements

JIS C 62548:2023 太陽電池（P V）アレイの設計要求事項

内線規程、一般社団法人日本電気協会、2022

配電規程、一般社団法人日本電気協会、2022

高圧受電設備規程、一般社団法人日本電気協会、2020
 系統連系規程、一般社団法人日本電気協会、2024
 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、2023
 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：盛土等防災マニュアル、2023
 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、2017
 社団法人日本道路協会：道路土工要綱、2009
 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
 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、2013
 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、2015
 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、2019
 電気設備に関する技術基準を定める省令
 電気設備の技術基準の解釈
 電気設備の技術基準の解釈の解説
 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

なお、文章中に引用する文献や規格については、最新のものがある場合は、原則最新の文書を参照すること。

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。

IEC (アイ・イー・シー)	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。
異種金属接触腐食	異種金属が直接接続されて、両者間に電池が構成されたときに生じる腐食。ガルバニック腐食ともいう。電食と呼ばれることもあるが、電食の本来の意味は異なることに注意が必要である。
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。
LES (エル・イー・エス)	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。
応力腐食割れ	腐食環境中で金属材料に引張応力が作用しているときに、き裂を生じて破壊に至る現象。
海塩粒子	海水の微小水滴が大気中で乾燥して生成した粒子でエアロゾルの一種である。海塩粒子が風に流されることで飛来塩分となる。
化成処理	化学処理によって金属表面に安定な化合物を生成させる表面処理方法。
化成皮膜	化成処理により生成した金属表面の皮膜。
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。ガリー、雨裂（うれつ）とも呼ばれる。
ガルバニック電流	異種金属接触腐食が発生した際に異なる金属間を流れる電流。
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。
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のことで、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）	アレイ面の水平面からの傾斜の度合いを示し、角度（単位：度）で表したもの。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]。雨水排水施設的设计には、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、形鋼杭など。
孔食	金属内部に向かって孔状に進行する局部腐食。
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）。
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。
自沈層	スクリーウエイト貫入試験（SWS）において、1kN以下の荷重で地盤中に沈み込む地層。
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。
地盤沈下	地下水の汲みあげや自重、上載荷重などにより面的な広がりをもって地盤が鉛直方向に沈み込むこと。
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。
深淺測量	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	腐食減量など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は、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、単位変形を生じさせるのに必要な単位面積あたりの力。
スラブ	鉛直方向の荷重を支持する床版・底版。
正圧	一般に物体表面を押し方向に作用する圧力。本ガイドラインでは、アレイの上面を上から押し方向の風圧力（風力）をいう。また、アレイの下端側から吹く風を順風と呼び、正圧が生じる。
接続箱	複数のストリング出力側と負荷側とを、また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。
接地圧	基礎スラブと地盤の間に作用する圧力。
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及び締固めにより面的に地盤を改良する工法。
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。 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。
大気暴露試験	試験片を一定期間屋外にさらして、自然環境での腐食、さび、劣化などの状態を調べる試験。屋外暴露試験、耐候性試験ともいう。材料が使用される実環境中で実施するので、現場に即した耐候性評価が可能な唯一の試験方法である。
大気腐食	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。
大気腐食試験	耐候性を評価する試験。大気暴露試験と室内の試験機により大気環境中における特定の環境因子を用いる促進暴露試験がある。
耐候性	屋外で使用される材料は大気環境中の塩分、光、熱、水分などの影響を受けて腐食する。耐食性のうち、特にこのような大気環境による腐食（大気腐食）に耐える性質。
耐食性	材料が腐食に耐える性質。
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。

太陽光発電システム	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。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、太陽電池発電設備、太陽光発電施設等、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。
耐用年数	材料・機器が使用に耐える年数。
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。
地表面粗度区分 (ちひょうめんそどくぶん)	地表面の粗さの度合い (粗度) を表す区分であり、地物 (樹木や建築物等) によって地表面が粗くなる (区分の値が大きい) ほど、風の流れの抵抗となるため風速が低下する。JIS C 8955 では I ~ IV の 4 つの区分としている。
沖積層	完新世の時代に堆積した地層。主に低地を構成している。
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。
電解質	物質を溶媒に溶かしたとき、アニオンとカチオンに電離する物質で、電気伝導性を有する物質。
電気防食	材料に電流を流し、材料表面の電位を変化させて腐食を防止する方法。直接、直流電源を接続する外部電源方式と防食する材料にマグネシウム合金など電位の低い材料を接続し、これにより発生する電位差を利用する流電犠牲陽極方式がある。
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などを調べる室内試験の総称。
土壌腐食	土壌中で起きる金属の腐食。
土壌マクロセル腐食	土壌中のイオンや酸素濃度などが局部的に異なることで電池が構成されたときに生じる腐食。
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。
塗膜	塗装により材料表面に形成した皮膜。
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。
内部摩擦角（せん断抵抗角）	土粒子の機械的な噛み合わせによって生ずる抵抗角。
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。
粘着力	粘土粒子間の電気化学的な吸着力。
パワーコンディショナ（PCS）	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 Subsystem（PCS）。
表面処理	材料表面に耐食性や耐摩耗性、意匠性など他の性質を付加することを目的として、めっきや塗装などを施す加工。
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の影響を受けるため、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。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、アレイの上端側からの風を逆風と呼び、負圧が生じる。
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構造物の応答も含めて評価した荷重。
風圧力	風の中に存在する物体表面に作用する圧力。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や力、試験体の変形、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。
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。
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た試験片重量と試験前の試験片重量の差によって求められる値。腐食量ともいう。腐食により失われた材料の重量を意味する。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	部材において、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

	<p>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。</p>
腐食速度	<p>単位時間及び単位面積あたりの腐食減量。腐食度ともいう。一般には均一腐食が生じる場合の耐食性の指標であり、局部腐食が生じる場合には注意が必要である。</p>
腐食疲労	<p>腐食環境中で金属材料に繰返し応力が作用するときに疲労強度が大幅に低下し、き裂が生じて破壊に至る現象。</p>
付着塩分	<p>材料表面に付着した塩分。主に飛来塩分が付着することで発生する。海水の主要成分とほぼ同じ組成比であり、塩化マグネシウムを含むことから、吸水性が高く、材料表面を湿潤状態に保つ効果がある。そのため、付着塩分量が多くなると大気腐食が促進される。</p>
不同沈下	<p>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。地盤の傾斜角、変形角、相対沈下量などで評価する。</p>
不陸	<p>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。</p>
べた基礎	<p>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。</p>
防食	<p>材料が腐食するのを防止すること。</p>
摩擦杭	<p>主として周面摩擦で支持させる杭。</p>
めっき	<p>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扱っているため、熔融めっきを指す。</p>
もらい錆	<p>錆が雨などで流れて他に移り、錆が発生していないのに錆びているように見える状態。</p>
盛土	<p>自然斜面地盤の上に土を盛って造成された地盤。</p>
有効吹送距離	<p>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。</p>
陽極酸化処理	<p>金属アノードとして、電解質水溶液の電気分解によって金属表面に酸化物皮膜を生成させる表面処理方法。</p>
陽極酸化皮膜	<p>陽極酸化処理により生成した金属表面の酸化物皮膜。</p>
溶射	<p>熔融した金属やセラミックスを高速で材料表面に吹き付けて皮膜を作る表面処理方法。</p>
擁壁	<p>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。</p>
RANS（らんず）	<p>数値流体解析における乱流モデルのひとつで、Reynolds-averaged Navier-Stokes equation の略。ナビエストークス方程式をアンサンブル平均して解く手法。乱流の影響は乱流モデルとして空間的・時間的に平均化する。</p>
流出係数	<p>降雨量に対して地表を流下する雨水の割合を表す係数。</p>
粒度分布	<p>土に含まれる大小粒子の混合の程度。</p>
連続基礎・布基礎	<p>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。</p>

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・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. 設計図書を作成し、保管する。
6. 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。
7. 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¹⁻⁴⁾（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、JIS、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。

本ガイドラインでは、架台、基礎及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システムの供用期間（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の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」¹⁻⁵⁾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。太陽光発電システム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事は、想定される長期及び短期の荷重（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、本ガイドラインでは太陽光発電システムに対してこれと同等の要求は明記してしない。これは、太陽光発電システム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¹⁻⁵⁾。しかしながら、本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、地盤の状況に応じて長期的に沈下・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、太陽光発電システム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。

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、JIS 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（以下、電気設備技術基準）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、JIS、IEC など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）。

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、基礎及び架台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、使用前の竣工検査により、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、その手続きを行う。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は、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、使用前の竣工検査を行う必要がある。検査項目については、経済産業省の使用前・定期安全管理審査実施要領¹⁻⁶⁾や使用前自主検査及び使用前自己確認の方法の解釈¹⁻⁷⁾、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¹⁻⁸⁾、自家用電気工作物保安管理規程¹⁻⁹⁾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おそれのある騒音、振動、粉塵、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) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：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 2025年版、2025
- 1-2) 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 2025年版、2025
- 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：水上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025年版、2025
- 1-4) 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
- 1-5) 国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所：建築物の構造関係技術基準解説書、2020
- 1-6) 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

- 1-7) 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
- 1-8) 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
- 1-9) 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 JEAC8021-2023、2023

2. 被災事例

2.1 水害による基礎・架台の倒壊

堤防の決壊による水害が発生。

水圧と地盤の流失により、アレイが基礎から倒壊した。

発電所の立地（ハザード）についての事前調査が重要である。



2.2 積雪による基礎沈下または架台損傷

積雪により、基礎が傾き架台が損傷。多雪区域での地上設置架台では、積雪によって基礎の沈下や傾きが発生する場合があります、設計の段階で地盤性状や最大積雪状態での基礎の安定性の確認が重要になる。



積雪荷重により、アレイ面が変形。原因は架台部材（単管）の強度不足、杭（単管）の支持力不足であると推察される。



積雪により、架台が損傷。パネル受け材が積雪により曲げ破壊した。



積雪により、架台が損傷。アレイ面下端部に軒先荷重が作用し、梁が下向きに折れ曲がったと推測される。



2.3 強風による架台の損傷・飛散

突風によって、架台が崩壊し飛散した事例。部材の接合部の耐力と杭の支持力不足が原因と推察される。



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断している事例は珍しく、部材の強度不足が原因である。



台風の強風によって杭が引き抜けた事例。風圧荷重が最も大きい風上端部のアレイではなく中央部アレイでの被害であったことから、被害箇所での地盤が柔らかく杭の抵抗力が不足していたことが原因であると推測される。



台風によって、架台が飛散した。部材や基礎の強度不足が原因である。



2.4 地震による基礎・架台の損傷

地震によって、架台の並びが乱れた。
架台が揺れに弱い構造（一本足）であったことと基礎杭の支持力不足が原因である。



2.5 電気火災

太陽電池からの発火、焼損事例。



パワーコンディショナ・キュービクルにおける火災事例。

出典：経済産業省「平成 27 年度新エネルギー等導入促進基礎調査（再生可能エネルギーの長期安定自立化に向けた調査） 報告書」



構造事故からの電気設備発火・草への延焼の事例。

出典：西胆振行政事務組合



3. 構造設計・施工計画

3.1 設計フロー（構造）

1. 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。

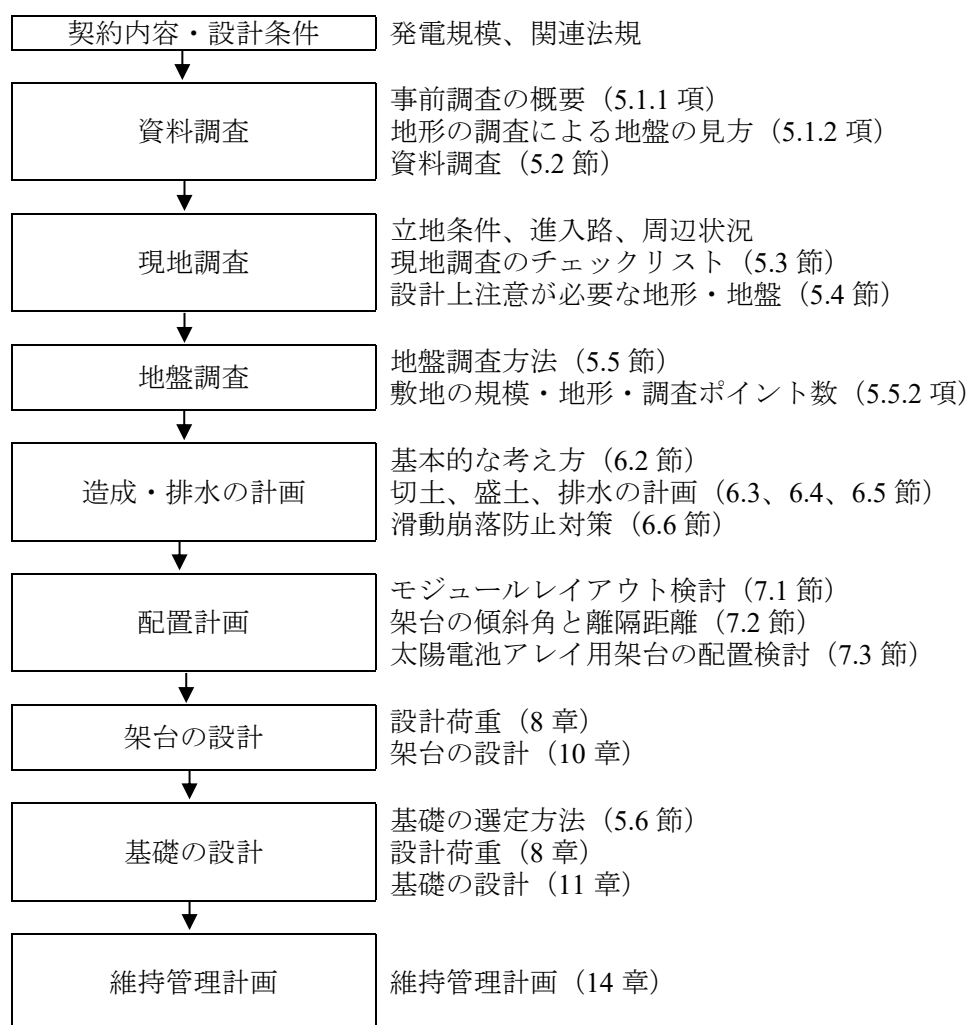
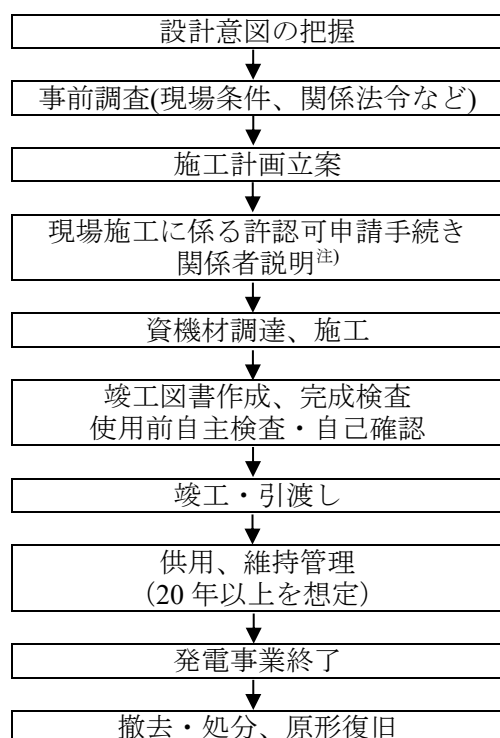


図 3-1 構造設計フロー

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表し、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

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。

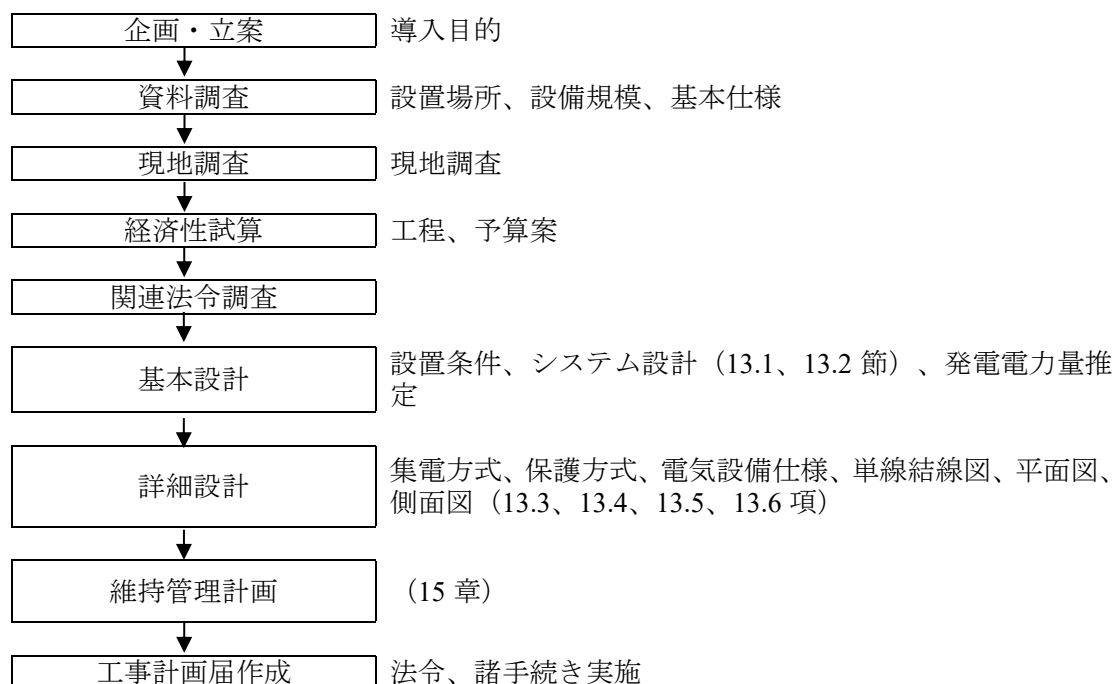


図 4-1 電気設計フロー⁴⁻¹⁾

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。

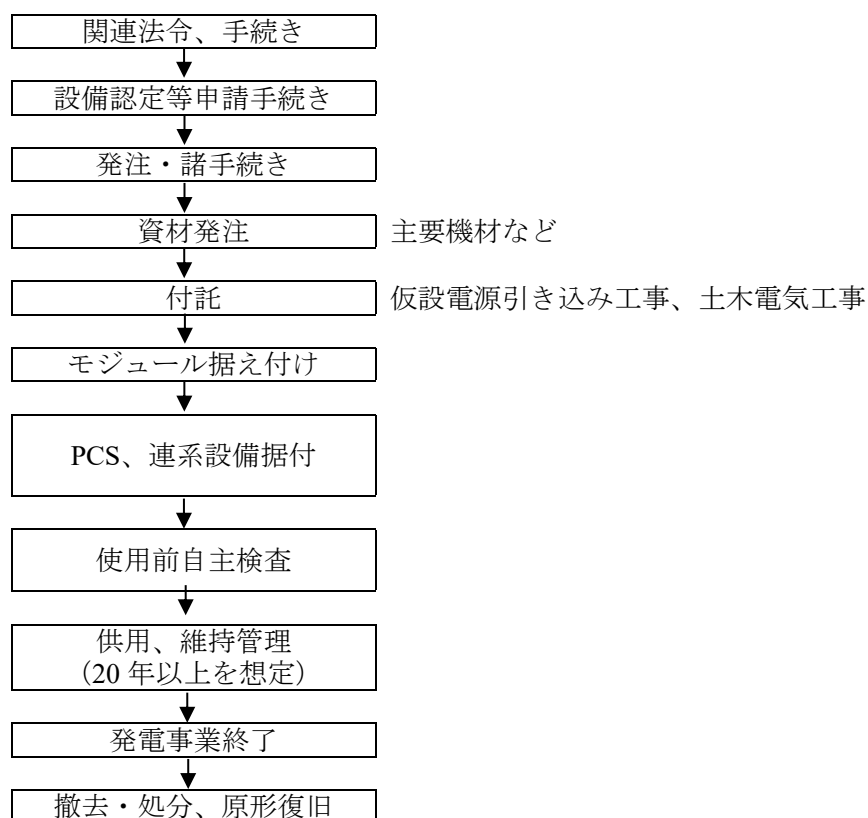


図 4-2 施工（電気）フロー⁴⁻¹⁾

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 事前調査

1. 基本事項：敷地調査は、事前調査（資料調査・現地調査）により、設置する環境や周辺環境を適切に把握する。⁵⁻¹⁾

5.1.1 事前調査の概要

太陽光発電システム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 表層地質を判断し（沖積層や洪積層の区別など）、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。

5.1.2 地形の調査による地盤の見方

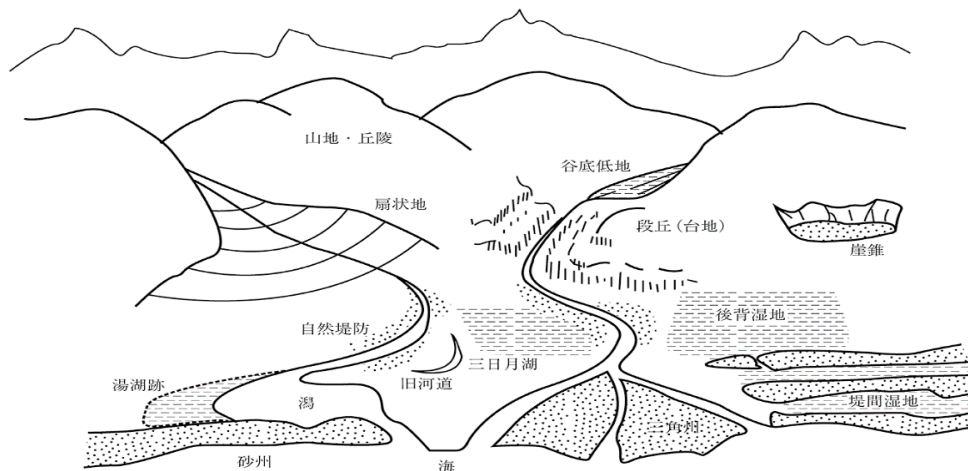


図 5-1 地形模式図

出典) 日本建築学会：小規模建築物を対象とした地盤・基礎⁵⁻¹⁾

表 5-1 地形区分と地盤の良否⁵⁻²⁾

○：適 △：注意 ×：対策工法必要

	地形的特徴と土地利用	予想される地盤状況	地盤としての良否
谷底平野 (谷底低地)	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 (0.5m~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 (三角州)	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、地すべりに注 意。	× 場 合 に よ っ て は 不 適

5.2 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に必要な地盤の情報を収集する。
2. 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。
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。
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。そのため、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 5-2 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⁵⁻³⁾。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 5-3 に示す。そのほか、今昔マップ⁵⁻⁴⁾や Google Earth⁵⁻⁵⁾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）⁵⁻⁶⁾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注意が必要である。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⁵⁻⁷⁾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 5-2 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お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 ・計画地の地質の大要が分かるため、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
規制等	土砂災害特別警戒区域	都道府県	・都道府県ホームページ	・崩壊した土石等によって、住宅等の建築物が倒壊し、住んでいる人の生命や身体に大きな危害が生じるおそれがある区域 ・土砂災害のリスクがある土地であることを確認できる

*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 5-3 (1/2) 地形を表す地名の一例 (1/2) ⁵⁻⁸⁾

	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、湿田)
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 (さは)	さは・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 5-3 (2/2) 地形を表す地名の一例 (2/2)⁵⁻⁸⁾

	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)

5.3 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。

現地調査の重要項目は、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、系統連系を行う地点であり、表 5-4 のチェックリストを参考に調査する。

表 5-4 現地調査のチェックリストの例（調査地を含む周辺状況） 5-8)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・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・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

5.4 注意が必要な地形・地盤

事前調査及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 5.4 節の各項に該当するような地盤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はないが、軟弱な地盤や盛土、崩壊の危険のある地盤では不同沈下あるいは崩壊の危険があるため、これらの地盤を造成する場合には「6 造成計画」を参照すること。

5.4.1 軟弱地盤

敷地の地層が粘土、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、地震の時、架台は大きく揺れたりする傾向があるため、対策が必要である。⁵⁻²⁾

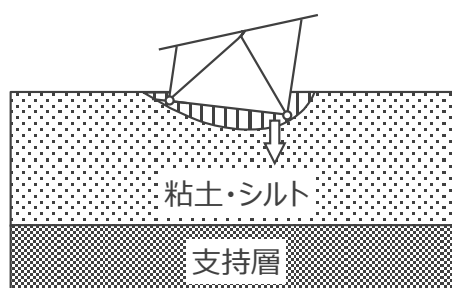


図 5-2 地盤沈下地層
(深い軟弱地盤地域)

5.4.2 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、地震の時、揺れ易いだけでなく、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、基礎が壊れたりするおそれがあるため、対策が必要である。⁵⁻²⁾

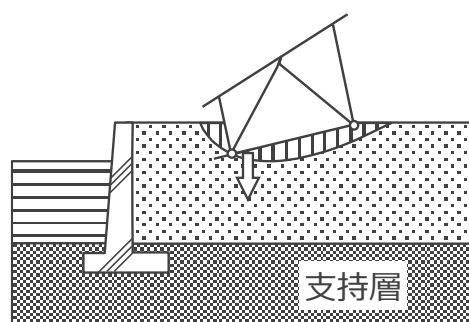


図 5-3 海岸の埋立地

5.4.3 盛土地盤

盛土には、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。

軟弱層が厚い場合には不同沈下を起こすおそれがある。⁵⁻²⁾

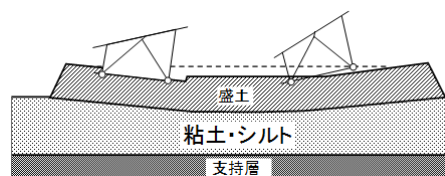


図 5-4 軟弱地盤上の盛土

5.4.4 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。⁵⁻²⁾

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、または擁壁の設置や杭を打つなどの対策が必要である。

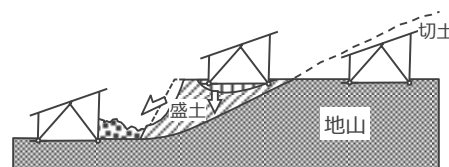


図 5-5 斜面の盛土造成地と崖下

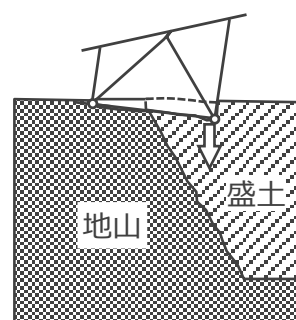


図 5-6 異種地盤

5.4.5 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上で、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。⁵⁻²⁾

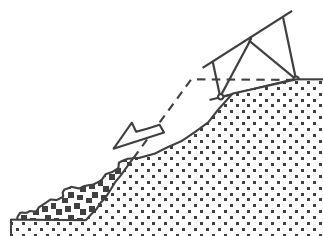


図 5-7 崖端

5.4.6 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。その時、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。⁵⁻²⁾

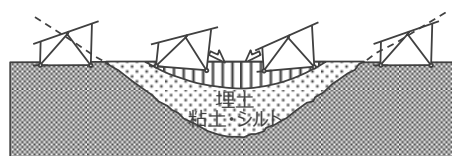


図 5-8 谷底低地

5.4.7 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。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^{5-9)、5-10)}。

5.4.8 傾斜地

傾斜地に太陽電池架台を設置する場合には、のり面保護のために、伏工や適切な排水経路を確保することが重要である。また、基礎上部の架台及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。

5.4.9 森林伐採地

森林は雨水による地表侵食を抑制しており、また、樹木の根は表層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、傾斜地を中心に侵食や崩壊の危険性が高まるため、注意が必要である。

5.5 地盤調査

5.5.1 基本事項

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。

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、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効率的かつ効果的に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"> 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"> 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 5-11)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

5.5.2 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はなく、地下水位や土質区分も含まれる。
2. 原位置試験は、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が必要である。調査ポイント数については図 5-9 を目安に実施する。

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が把握できないような場合は、予備調査を行って地盤構成を概略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。

調査ポイント数は図 5-9 を目安とするが、小規模な敷地であっても 3 か所以上とし、配置計画を考慮して決定する⁵⁻¹⁰⁾。また、地層が変化していると想定される場合や地盤構成が推定できない場合は増加させる。地盤構成に変化がない場合は適宜削減してもよい。

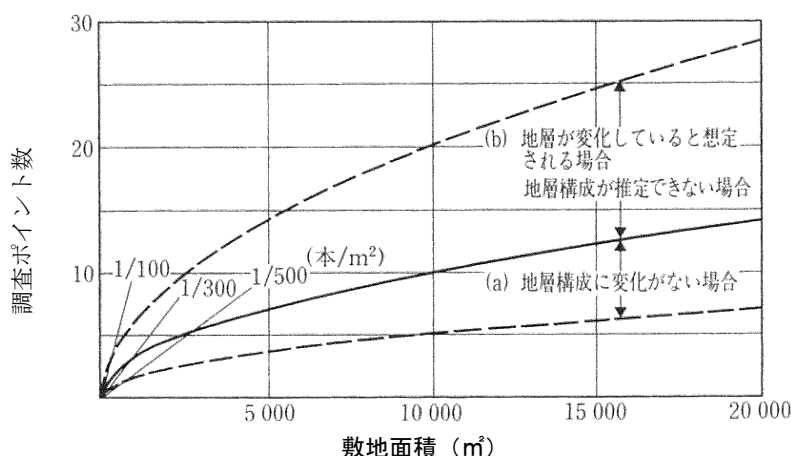


図 5-9 調査ポイント数の目安

(備考 日本建築学会：建築基礎設計のための地盤調査計画指針の図を参考)

5.5.3 調査法から得られるパラメータ

各調査法の特徴及び得られるパラメータを表 5-6 にまとめた。

表 5-6 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)
SWS 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 $q_u=45W_{sw}+0.75N_{sw}$ (kN/m²) 支持力との関係 	10m 程度

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)
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では $N=0$ 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
ラムサウンディング試験	<ul style="list-style-type: none"> 調査費が比較的安価である。 標準貫入試験の試験結果との整合性が良く、ほぼ正確な N 値が測定できる。 貫入能力が大きく、N 値に換算して 30~50 程度の地層でも十分に貫入できる。 ロッドをトルクレンチで回転させてトルク測定することによって、周辺摩擦の影響を補正できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 打撃音がする。 	<ul style="list-style-type: none"> N_{dm} 値 N_d 値 	<ul style="list-style-type: none"> N 値との関係 $N_d = N_{dm} - N_{mantle} = N_{dm} - 0.00041M_v$ N_{dm}: 測定された打撃回数 M_v: 回転トルク (N・m) 	30m 程度
簡易動的コーン貫入試験	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> SWS 試験と同じ 	<ul style="list-style-type: none"> N_d 値 (100mm ごとの打撃回数) 自重沈下は $N_d=0$ とする 	<ul style="list-style-type: none"> $N_d=4$ 以上のとき 粗粒土 $N=0.7+0.34N_d$ 砂質土 $N=1.1+0.30N_d$ 粘性土 $N=1.7+0.34N_d$ $N_d=4$ 以下のとき 粗粒土 $N=0.50N_d$ 砂質土 $N=0.66N_d$ 粘性土 $N=0.75N_d$ 	
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、載荷板幅の 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。 	<ul style="list-style-type: none"> $K_p = \Delta P / \Delta S$ (MN/m²) K_p: 地盤反力係数 ΔP: 単位面積あたり荷重 (kN/m²) 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 (円形の載荷板幅 30cm とし)

5.5.4 スクリューウェイト貫入試験 (SWS 試験)

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

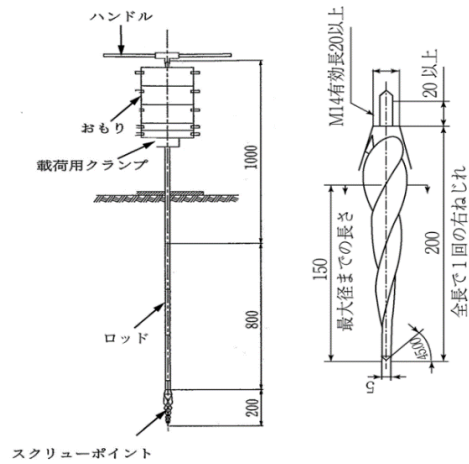


図 5-10 SWS 試験 (手動式)

5.5.5 標準貫入試験

標準貫入試験は、JIS A 1219 に規定されている。
筒状のサンプラーを打撃により貫入し、乱した土をサンプリングできるため、土層の確認ができる。
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。

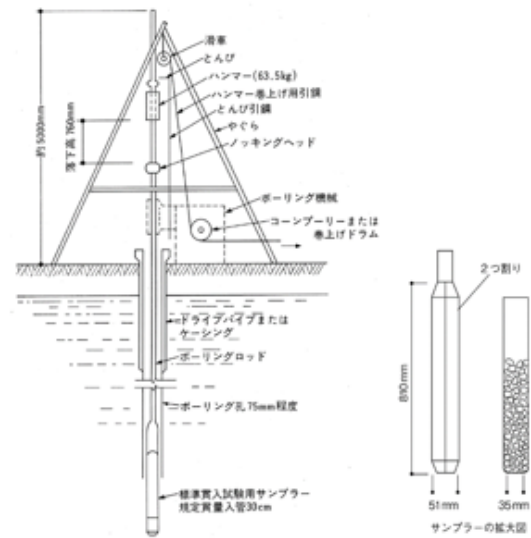


図 5-11 標準貫入試験

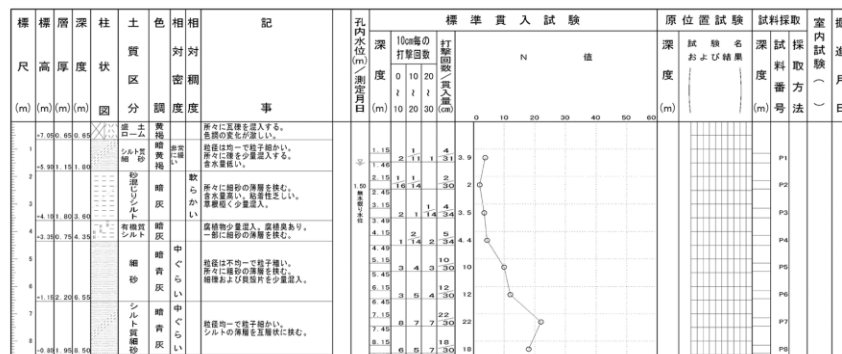


図 5-12 土質柱状図の例

5.5.6 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。

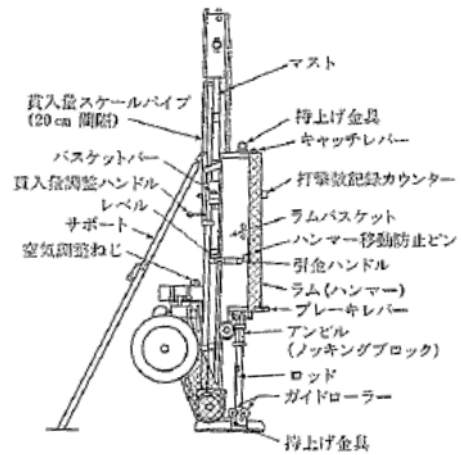


図 5-13 ラムサウンディング試験機

5.5.7 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。

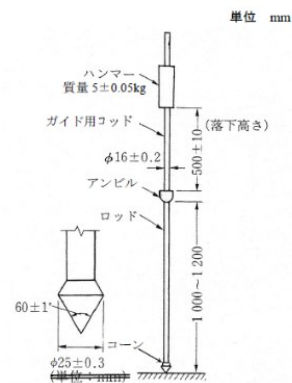


図 5-14 簡易動的コーン貫入試験機

5.5.8 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。

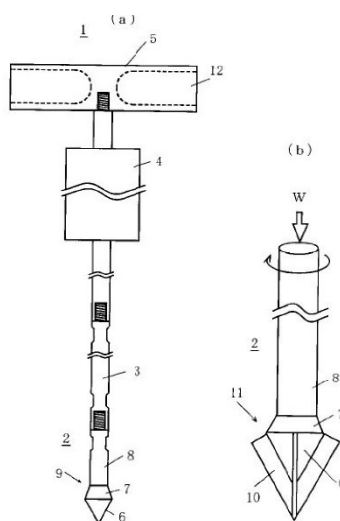


図4 1 試験機の構成

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 5-15 土検棒貫入試験の構成

5.5.9 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。

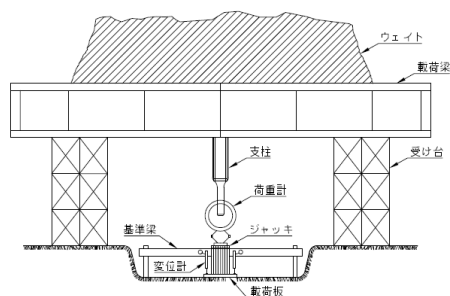


図 5-16 平板載荷試験

5.5.10 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 5-17）。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おそれもあることから、凍上対策を講じることは重要である。



図 5-17 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（地下水位及び土壌水分）の3つである。この3つの調査を行い、凍上現象が起こるおそ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 5-18 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。

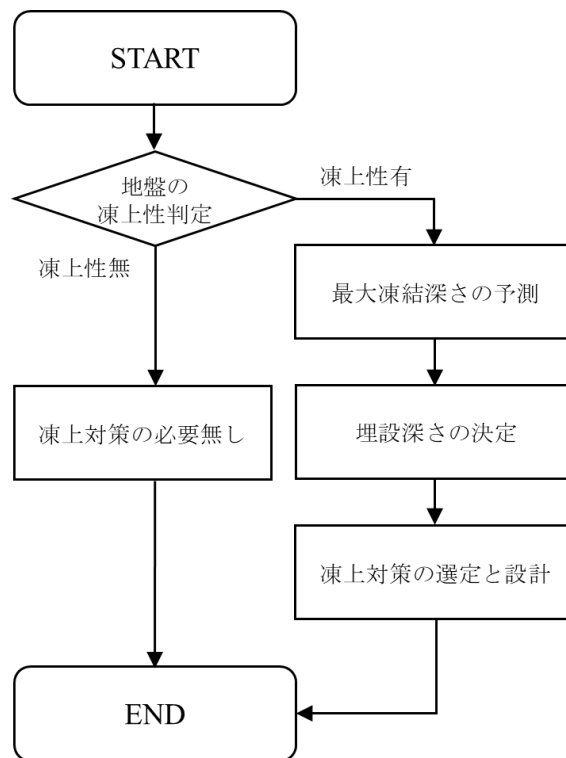


図 5-18 太陽光発電設備のための凍上対策検討のフロー

(1) 土質

土質は凍上被害発生の可能性を検討する上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 5-19 は地盤工学会基準の凍上試験装置で、図 5-20 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。

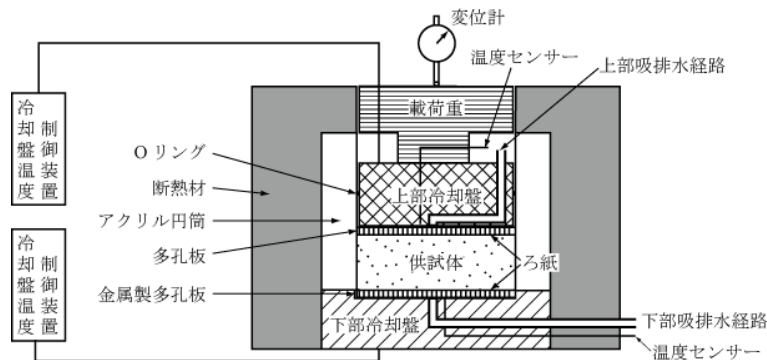


図 5-19 地盤工学会基準の凍上試験装置（寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵から引用）

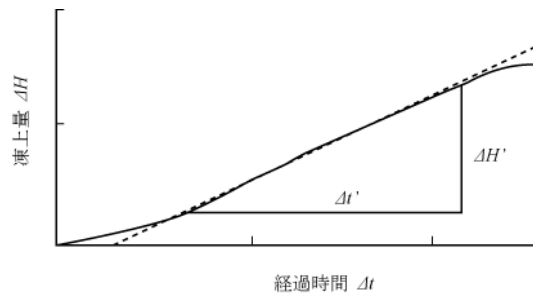


図 5-20 凍上量-時間曲線の一例（寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵から引用）

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 5-21 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、粒径に比例する透水係数（粒径が大きくなるにつれて透水係数も大きくなる。）と、粒径に反比例する凍上有効力（毛管力や吸着力。粒径が小さくなるにつれて凍上有効力は大きくなる。）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をもつ理由とした。

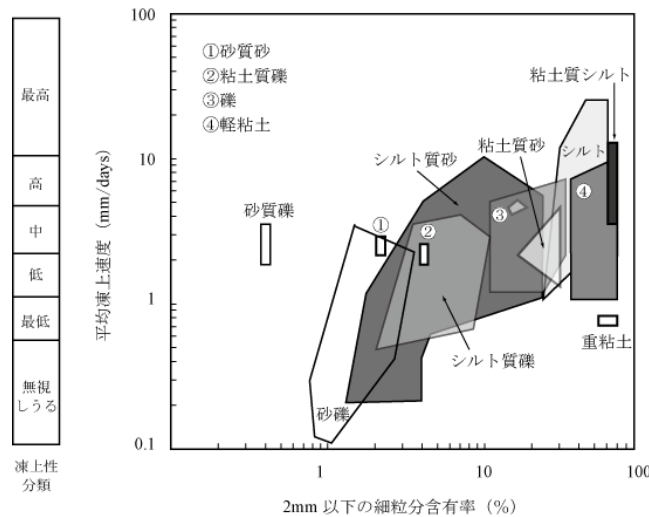


図 5-21 土質と凍上性の関係（寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵⁾から引用）

② 粒度による間接的な凍上性判定法

図 5-22 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 $D_{50} > 1 \text{ mm}$) 及び領域 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。

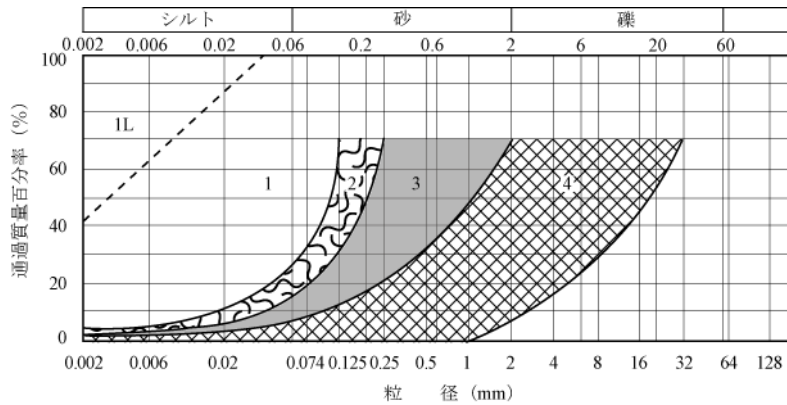


図 5-22 粒度と凍上性の関係 (寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁵⁾ から引用)

(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⁵⁻⁶⁾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て、絶対値で表したものである。

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 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⁵⁻⁶⁾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⁵⁻⁶⁾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 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$)、 C は凍結係数である。

図 5-23 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 ($\rho_d=1.20\text{g}/\text{cm}^3$, $w=50\%$) からなる地盤、B 曲線は凍上を起こしにくい粗粒土 ($\rho_d=1.80\text{g}/\text{cm}^3$, $w=15\%$) からなる地盤について、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、道路土工要領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、凍上を起し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。

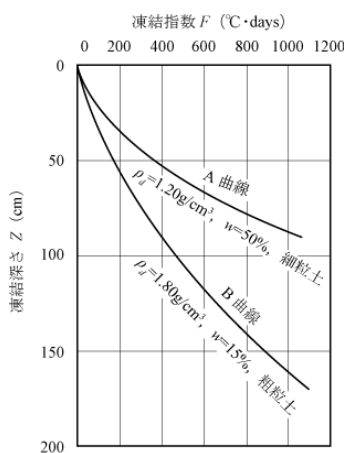


図 5-23 細粒土と粗粒土における凍結指数と凍結深さの関係
(寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁷)から引用)

表 5-7 は A 及び B 曲線の凍結指数 F に対する凍結深さの計算値とそれから逆算して求めた凍結係数 C をまとめたものである。

表 5-7 凍結指数と凍結深さ、凍結定数の関係 (寒冷地地盤工学⁵⁻¹⁷)から引用)

材料名	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)	凍結指数 F (°C · days)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
				凍結深さ (cm)	25	37	45	53	61	67	74	79	84	89
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 (地下水位及び土壌水分)

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。

5.6 基礎の選定方法

1. 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。
2. 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 5-24「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。この時、標準貫入試験以外の試験結果は N 値に換算して基礎選定の判断を行う。

直接基礎の形式は、SWS 試験の結果に基づいて図 5-24 を参考に選定することができる。

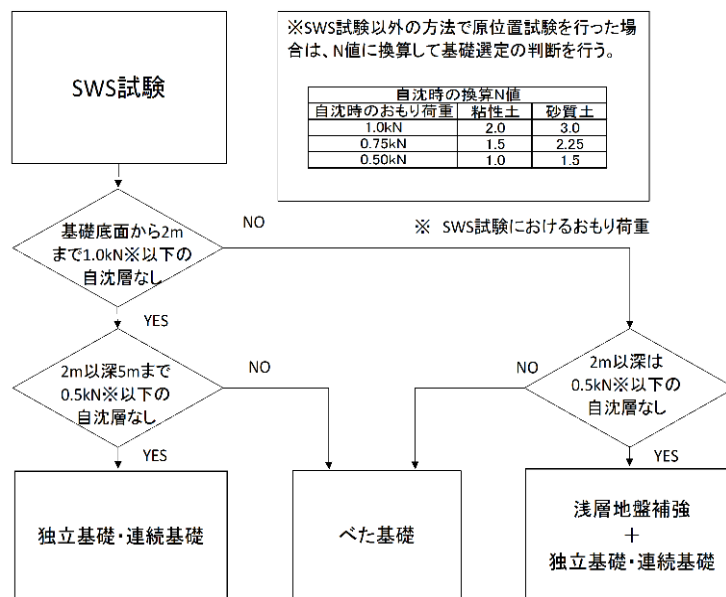


図 5-24 SWS 試験結果に基づく直接基礎の選定の目安

5.6.1 維持管理

切土、盛土等により造成を行う場合、太陽光発電設備の供用期間に限定せず、その先長期間に亘って造成地盤の安定化を確保する必要がある。

このことから、前項までの計画立案にあたっては、維持管理に要するコストや手間も勘案し、确实かつ適正に維持管理することが可能な工法を選定する必要がある。

参考文献

- 一般社団法人日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針
- 一般社団法人日本建築学会：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
- 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
- 今昔マップ (<https://ktgis.net/kjmapw/>)
- Google Earth (<https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>)
- 社団法人日本道路協会：道路土工要綱、2011

- 5-7) 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>
- 5-8) 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
- 5-9) 一般社団法人日本建築学会: 小規模建築物基礎設計の手引き (2005年)
- 5-10) 一般社団法人日本建築学会: 建築基礎設計のための地盤調査計画指針
- 5-11) 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
- 5-12) 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

6. 造成計画

6.1 造成・排水の計画

1. 斜面を伴う造成を行う場合、侵食や崩壊・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。
2. 自然の斜面地形を活かして太陽光発電設備を設置する場合、洗掘やガリによる土砂流出のおそれがあるため、のり面保護工を行う等、安全性を確保する。
3. 気象や地形、地質等の自然条件の適切な設定や造成設計等、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ことが望ましい。

6.2 基本的な考え方

地上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軽微なことから、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たりする例も多い。

豪雨や地震等による崩壊・地すべりや暴風等による太陽光発電設備倒壊等により、周辺の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に影響を受ける。表層付近の地盤が地すべりの変動（以降、「滑動崩落」という。）を生じた場合、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。

ここで示した基本的な考え方は、国土交通省による「盛土等防災マニュアル⁶⁻¹⁾」を参考にして整理している。具体的な検討においては「盛土等防災マニュアルの解説⁶⁻²⁾」ならびに道路土工要綱等^{6-3)~6-5)}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、多岐にわた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。

なお、「盛土等防災マニュアル」は、令和3年7月に熱海市において発生した土石流災害等を契機に「宅地造成及び特定盛土等規制法」（通称「盛土規制法」）が制定され、同法の政令において工事の技術的基準を規定し、これを受けて、地方自治法（昭和22年法律第67号）第245条の4第1項の規定に基づく技術的助言として、国からの通知「宅地防災マニュアル」（令和元年6月28日版）を改正し、策定されたものである。

盛土規制法では、住宅用地等の造成の際に行われる盛土等だけでなく、残土処分場や太陽光発電設備等の多様な開発形態を考慮した規制を行うこととしている。計画箇所が位置

する自治体によって規制の内容が異なるため、十分確認するとともに、規制内容の遵守が求められる。

6.3 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）⁶⁻¹⁾

のり面の土質	のり高	
	がけの上端からの垂直距離	
	① $H \leq 5m$	② $H > 5m$
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)

地山は複雑な地層構成をなしていることが多く、のり高が大きくなるに伴い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。

- のり高が特に大きい場合
- 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
- のり面または崖の上端に続く地盤面に雨水が浸透しやすい場合

6.4 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。

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、安定化が図れるのり面勾配を決定する必要がある。

- のり高が特に大きい場合
- 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
- 締固めにくい材料を盛土に用いる場合

6.5 排水

切土、盛土等による造成地盤において、雨水や湧水等はのり面の侵食や地下水位上昇等による滑動崩落の発生に繋がり、のり面の安定性低下に直接影響を及ぼす。

これらのことから、のり面の排水の計画に当たっては次の事項について留意が必要である。

- 事前に十分な調査を行い、地下水及び湧水の状況を把握する。
- 崖の上端に続く地表面には、その崖の反対方向に雨水その他の地表水が流れるよう、地盤に勾配をつける。
- ただし、崖の反対方向へ地盤の勾配をつけることが困難な場合は、のり面へ雨水その他の地表水が入らないように、適切に排水施設を設置する。
- のり面を流下する地表水は、のり肩及び小段に排水溝を設けて排除する。
- 浸透水は、地下の排水施設により速やかに地表の排水溝に導き排除する。
- のり面排水工の流末は、十分な排水能力のある排水施設に接続する。

山間部などにおいては、集水した雨水等の排水先が確保できないことが想定される。このような場合は、浸透ますや浸透側溝等により地中への浸透を促進する方法も有効な手段である。ただし、地下水位の上昇によりのり面の安定性低下など、逆効果となる場合もあり得ることや、浸透施設は土砂の目詰まりなどによって機能低下を生じることがあり、適正な維持管理を行う必要があるなど、計画にあたっては十分留意すること。浸透施設の計画等にあたっては、6-6、6-7)の図書を参考にすることができる。

なお、排水処理単独で対策するのではなく、のり面保護等の対策も併用するなどして、より安全に配慮することが必要である。

6.6 滑動崩落防止対策等

比較的規模の大きい造成を行う場合は、滑動崩落による災害の発生による影響を考慮して、事前のにり面の安定性について工学的検討を加え安全性を確認しておくことが望ましい。例えば「盛土等防災マニュアルの解説[1]」に示される、のり面保護工及びその他の地表面の措置、擁壁、崖面崩壊防止施設、「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」⁶⁻⁸⁾に示される、滑動崩落防止対策施設を計画しておくが良い。

また、必要に応じ滑動崩落防止対策を計画しておくが良い。

対策のイメージは図 6-1 に示すとおりである。

地表水排除工、地下水排除工等により大規模盛土造成地の地形、地下水の状態などの自然条件を変化させることによって滑動崩落を防止する「抑制工」と滑り抑止杭、グラウンドアンカー等の構造物を設けることによってその抵抗力により滑動崩落を防止する「抑止工」がある。これらの工法を適切に組み合わせて対策することが望ましい。

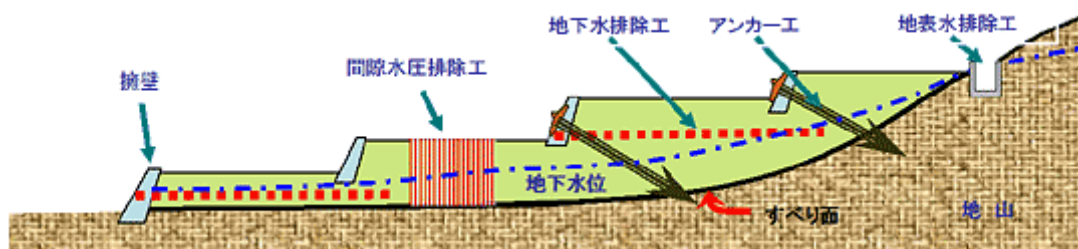


図 6-1 滑動崩落対策イメージ図⁶⁻⁹⁾

6.7 のり面保護工等

切土、盛土によるほか、自然地形による斜面地形ののり面及びその他の地表面を利用する場合、侵食、洗掘やガリによる土砂流出のおそれ、さらにはこれらの拡大により、崩壊が発生することが懸念されるため、のり面保護工を行うなど、安全性を確保する必要がある。

のり面保護工は、植物または構造物でのり面を被覆し、のり面の安定の確保と自然環境の保全や修景を行うものである。

のり面保護工はのり面緑化工と構造物工に大きく分けられ、のり面緑化工はさらに植生工と植生工の施工を補助するための構造物を設置する緑化基礎工に分けられる。

のり面保護工の選定に当たっては、のり面の長期的な安全確保を第一に考え、現地の諸条件や周辺環境を把握し、各工種の特徴を十分理解した上で、経済性や施工性、施工後の維持管理を考慮して選定する必要がある。

具体的なのり面保護工の選定の基本的な考え方や留意事項等については、6-2)、6-4)の図書を参考にすることができる。

上記に含まれない崖面については、「盛土等防災マニュアルの解説 [I]」に準じて適正に対策を講じることが必要である。

参考文献

6-1) 国土交通省 HP：盛土等防災マニュアル

(<https://www.mlit.go.jp/toshi/web/content/001611436.pdf>)

6-2) 盛土等防災研究会：盛土等防災マニュアルの解説 [I][II]、2023

6-3) 社団法人 日本道路協会：道路土工要綱(平成 21 年度版)、2009

6-4) 社団法人 日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成 21 年度版)、2009

6-5) 社団法人 日本道路協会：道路土工 盛土工指針(平成 22 年度版)、2010

- 6-6) 社団法人 雨水貯留浸透技術協会：増補改訂 雨水浸透施設技術指針(案) 調査・計画編、2006
- 6-7) 社団法人 雨水貯留浸透技術協会：増補改訂 雨水浸透施設技術指針(案) 構造・施工・維持管理編、2007
- 6-8) 国土交通省 HP：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について(https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000015.html)
- 6-9) 国土交通省 HP：(<http://www.mlit.go.jp/crd/web/jigyo/jigyo.htm>)

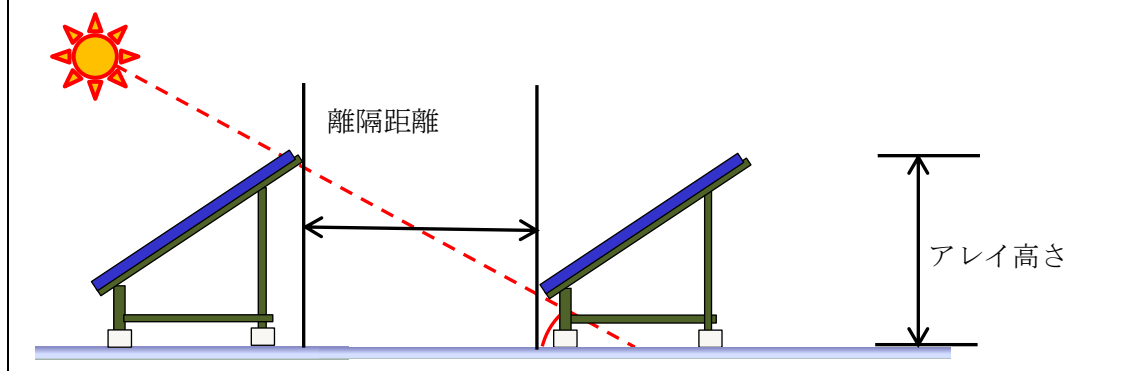
7. 太陽電池アレイの配置計画（ラフプラン）

7.1 事前情報からのモジュールレイアウト検討

1. 年間最大発電電力量を得るための最適設置レイアウトでは、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架台の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行うのが一般的である。
4. 風圧荷重が大きい地域では、20度以下の架台の傾斜角を採用する例が多い。架台の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、経度から年間発電電力量への影響を確認する。
5. 多積雪地域では架台の傾斜角を大きくすることで積雪荷重を軽減できるが、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。

7.2 太陽電池アレイ用架台の配置検討

1. 敷地に対するアレイ架台の配置検討⁷⁻¹⁾では、発電電力量が最大となる南向きに配置することや架台の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を確保する。
3. 複数のパワーコンディショナを設置する場合、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、架台の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. 積雪地域などで架台の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、植樹などの対策により光害の配慮を行う。



参考文献

7-1) 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）

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定方法」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. 太陽電池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・積載荷重・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。

設計荷重は次に示す4つの荷重を基本とする。ただし、「発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令」の第4条第1項に従い、当該設置環境において考慮すべき荷重条件がある場合にはそれらについても適切に設定する。

- 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。
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。

各荷重の組み合わせは、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

同表は建築基準法施行令 82 条の 1 をもとに積載荷重を除外して作成されている。なお、多雪区域とは、次に示す条件のいずれかに該当する区域とする。

- 8.4.4 による垂直積雪量が 1m 以上の区域
- 積雪の初終間日数の平均値が 30 日以上の区域。

これらの多雪区域の定義は、平成 12 年建設省告示第 1455 号の第 1 に基づいている。なお、積雪の初終間日数とは、同告示では「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」としている。

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、構造解析においては取付けられる支柱等への集中荷重として入力する。

8.3 風圧荷重

8.3.1 設計用風圧荷重

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。

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

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

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 (4.2.3 参照)

C_b : 支持物構成材の風力係数 (4.2.3 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)

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。

8.3.2 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。設計用基準風速は a)、環境係数は b)及び用途係数は c)による。

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

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

1. 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などの風の性状に応じて、30m/s ~ 46m/s の範囲内において定めた JIS C 8955:2017⁸⁻¹⁾の表 2 (ここでは省略) に示される設計用基準風速を用いる。

JIS C 8955:2017 の表 2 は平成 12 年建設省告示第 1454 号の第 2 に基づいている。市町村合併等によって地名が変更されている場合には、平成 12 年当時の市町村名で適用する。

b) 環境係数

1. 環境係数は、式(8.4)によって算出する。

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

ここに、 E : 環境係数
 E_r : 式(8.5)または式(8.6) 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 8-2 に示すガスト影響係数

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

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

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

ここに Z_b , Z_G 及び α : 地表面粗度区分に応じて表 8-3 に掲げる数値
 H : アレイ面の平均地上高 (m)

表 8-2 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 8-3 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 の区域外の区域また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、海岸線または湖岸線（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 または 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

E_f 及び G_f は、平成 12 年建設省告示第 1454 号に基づいている。ただし、表 8-3 に示す地表面粗度区分の適用については、従来はアレイ高さ 13m 以下の場合には地表面粗度区分Ⅱを適用しなくてもよいことになっていたが、JIS C 8955:2017 ではこの除外規定が撤廃され、高さ 13m 以下の場合にも地表面の状況に応じて地表面粗度区分Ⅱも適用されていること（地表面粗度区分Ⅱの適用範囲が拡大したこと）に注意する必要がある。

また、太陽光発電システムを傾斜地や崖地の近傍に設置する場合には、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 2025 年版⁸⁻²⁾を参照し適切に設計する。

c) 用途係数

1. 用途係数は、表 8-4 による。

表 8-4 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。	

用途係数 I_w は、システムの重要度に応じて設定される値であり、その重要度は設計用再現期間に置き換えて考慮されている。なお、設計用再現期間は「通常の太陽光発電システム」で 50 年、「極めて重要な太陽光発電システム」で 200 年としている。再現期間による風速の換算は、再現期間換算係数 R を用いるが、設計基準風速 V_0 を取りまとめた際に用いた各地の気象官署のデータと整合させる必要がある。基準風速 V_0 の根拠となるデータは、建築物荷重指針（1993 年版）⁸⁻³⁾の作成時に遡る。同指針での再現期間換算係数 R は下式（参考式 1）で与えられている。

$$R=0.54+0.1 \times \ln(t) \quad (\text{参考式 1})$$

ここで、 t は再現期間（年）である。この式では再現期間 100 年の風速を基準（ $R=1$ ）としているが、JIS C 8955:2017 での基準風速 V_0 （平成 12 年建設省告示第 1454 号より引用）は再現期間 50 年の値であることから、基準風速 V_0 に乗じるための任意の再現期間 t 年の再現期間換算係数 R'_t は下式（参考式 2）により求めることができる。

$$\begin{aligned} R'_t &= R_t / R_{50} \\ &= (0.54+0.1 \times \ln(t)) / (0.54+0.1 \times \ln(50)) \\ &= 0.58+0.11 \times \ln(t) \quad (\text{参考式 2}) \end{aligned}$$

8.3.3 風力係数

a) 太陽電池アレイ面の風力係数

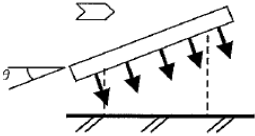
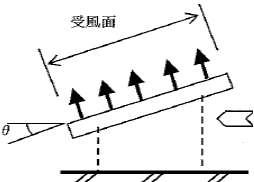
1. 太陽電池アレイ面の風力係数は、風洞実験によって定める。ただし、表 8-5 に示す設置形態の場合は、式(8.7)によって算出してもよい。この風力係数の適用範囲はアレイ面の高さが 9m までとする。

地上設置 順風（正圧）、逆風（負圧）ともに、式(8.7)による。

$$C_a = 0.9 + 0.045\theta - 0.0003\theta^2 \dots\dots\dots (8.7)$$

ただし、5 度 ≤ θ ≤ 60 度

表 8-5 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）	
		図 8-1 で定義する中央部アレイでは、式(8.7)の値を順風の場合は 0.6 倍、逆風の場合は 0.7 倍して使用してもよい。
注記 ◁ は風向、→ は風圧力の方向を表す。		

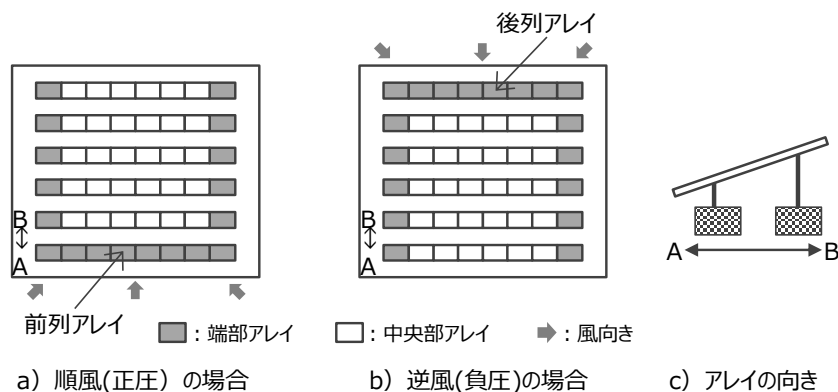


図 8-1 端部アレイ及び中央部アレイ

太陽電池アレイ面の風力係数は、【技術資料：地上設置型太陽光発電システム用架台の風洞実験】に示す風洞実験により得られたピーク風力係数をガスト影響係数で除した等価風力係数として与えられており、JISC 8955:2017 とは異なる風力係数として設定した。この風力係数の適用範囲はアレイ面の平均地上高 H が地上 9m までとする。風力係数の算定対象面積は幅（東西方向）6m×奥行（南北方向）4m 程度としているため、これと大幅に異なる

場合は、風洞実験を実施して風力係数を設定することが望ましい。また、太陽電池モジュールなど、アレイ面より小さい面積の風圧荷重を対象とした構造計算を行う場合（例えば、モジュール固定部や1本の梁を対象とする場合）においては、対象とする受風面積が上記のアレイ面積より小さくなり、規模効果^{注(1)}によって風力係数が大きくなることに注意する必要がある。図 8-2 はアレイ面（幅 6m×奥行 4m）の風力係数 C_a に対する評価面積を 1/3（幅 6m×1.3m）にしたときの風力係数 $C_{a,small}$ の比 $C_{a,small}/C_a$ を表したものである。これによれば、アレイ面の勾配が 5° の場合に 1.6~1.9 倍、勾配が 60° の場合に 1.2~1.3 倍になっており、評価面積の減少に伴う風力係数の（絶対値）の増加は、アレイ面の勾配が小さいほど大きくなる傾向にあることが分かる。これらの検討結果については、【技術資料：地上設置型太陽光発電システム用架台の風洞実験】にまとめているので参照されたい。

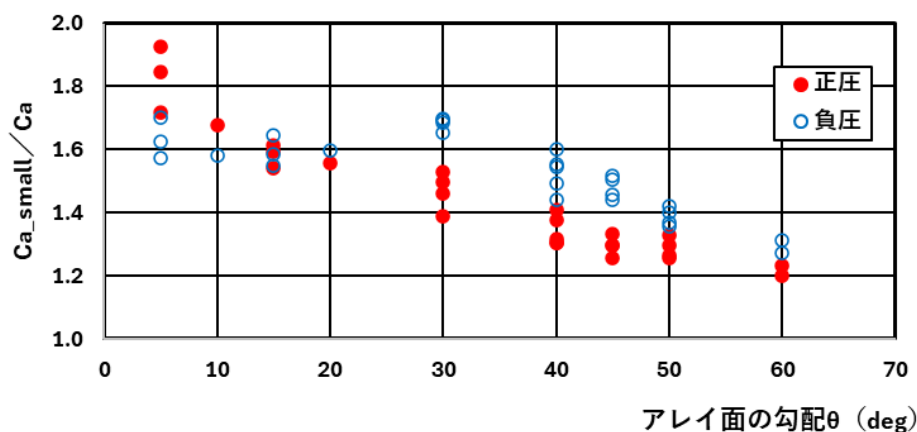


図 8-2 評価面積を小さくした場合の風力係数増加の傾向



























また、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、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 2025 年版⁸⁻²⁾を参照し適切に設計する。

注(1)：物体に作用する風圧変動は時間的、空間的にばらつきがあるため、対象とする面積が大きくなるほど、面積的に平均化したピーク風圧が小さくなる傾向を示す。その反面、対象とする面積が小さくなるほど、ピーク風圧が大きくなる傾向を示す。これを規模効果と呼ぶ。

b) 支持物構成材の風力係数

1. 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 8-6 に示す断面形状の場合は、表 8-6 に示す数値を用いてよい。

表 8-6 単体部材の風力係数 C_d

断面形状		風力係数	断面形状		風力係数
→ 	円形断面	1.20 (0.75) ^{注(2)}	→ 	T形断面 辺長比約 1:2	1.80
→ 	四角断面 風向に正対	2.00	→ 	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形断面 辺長比約 1:2	1.50
→ 	四角断面 r 付 $r/d=0.2$ 以上	1.20	→ 	H形断面 辺長比約 1:2	2.20
→ 	六角断面	1.40	→ 	H形断面 辺長比約 1:2	1.90
→ 	三角形断面	1.30	→ 	溝形断面 辺長比約 1:2	2.10
→ 	三角形断面	2.00	→ 	溝形断面 辺長比約 1:2	1.80
→ 	等辺山形鋼	2.00	→ 	溝形断面 辺長比約 1:2	1.40
→ 	等辺山形鋼	1.80	→ 	十字断面	1.80
→ 	不等辺山形鋼 辺長比 1:2	1.60	→ 	半円形	2.30
→ 	不等辺山形鋼 辺長比 1:2	1.70	→ 	半円形	1.20
→ 	不等辺山形鋼 辺長比 1:2	2.00	→ 	平鋼 細長いもの	2.00
→ 	不等辺山形鋼 辺長比 1:2	1.90	→ 	平鋼 (プレート) 正方形に近いもの	1.20

注(2) 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。

$$V = 5.84/d \quad \text{ここに、} d \text{ は部材の外形寸法 (m)}$$

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。

8.4 積雪荷重

8.4.1 設計用積雪荷重

1. 設計用積雪荷重は、式(8.8)によって算出する。

$$S_p = C_s \times P \times Z_s \times A_s \times 100 \dots\dots\dots (8.8)$$

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。

太陽電池アレイに作用する積雪荷重は、地上垂直積雪量に雪の平均単位荷重を乗じて地上積雪重量を算定し、その重量に勾配係数を乗じることによってアレイ面に作用する積雪荷重を算定する考え方に基づいている。なお、式(8.8)の最後に乗じる「100」は、地上垂直積雪量の単位を m から cm に変換するための数値である。

8.4.2 勾配係数

1. 勾配係数 C_s は、1.0 とする。ただし、アレイ面の滑雪を防止する雪止めやアレイ面の滑雪を阻害するような突起や段差がなく、式(8.13)の h がアレイ面下端部高さ (図 8-3 の z) 以下となる場合には、式(8.9)あるいは式(8.10)によって算出することができる。

$$C_s = \sqrt{\cos(1.5\theta)} \dots\dots\dots (8.9)$$

ここに、 θ : アレイ面の傾斜角度 (度)
ただし、 $0 < \theta \leq 60$

$$C_s = 0 \dots\dots\dots (8.10)$$

ただし、 $\theta > 60$

勾配係数 C_s とは地上積雪重量をアレイ面に積載させる際に考慮する係数であり、建築基準法施行令第 86 条第 4 項に示されている屋根形状係数 μ_b を準用している。勾配係数 C_s はアレイ面の傾斜角度が大きいほどアレイ面に雪が積もりにくくなることを考慮したものであり、傾斜角度を式(8.9)に代入して算出する。ただし、雪止めがある場合、アレイ面の高さが低い (地盤面からの高さが低い) 場合など、アレイ面からの雪の滑落が期待できない場合には、勾配係数 C_s による積雪荷重の低減を認めていない。また、地上設置型太陽光発電システムを

みると、アレイ面の地上高に比べて雪の滑落により増加したアレイ面の下端（以下、軒先という。）の下側（以下、軒下という。）の堆積深さが高くなる傾向が強く、アレイ面の積雪と軒下に堆積した積雪が繋がることが多い。この場合、後述のアレイ面の下端部に作用する積雪荷重（以下、軒先荷重という。）を式(8.12)により算出し、積雪荷重と軒先荷重を組み合わせた状態を想定して構造計算を行う。

8.4.3 雪の平均単位荷重

1. 式(8.8)において、雪の平均単位荷重(P)は、積雪 1cm 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。

建築基準法施行令第 86 条第 2 項によると、積雪の単位荷重は、一般の地方で 20N 以上として定めている。多雪区域においては積雪の単位荷重を特定行政庁が定めることとしており、その値は 30N 以上としている。JIS C 8955:2017 では、建築基準法施行令第 86 条第 2 項及び特定行政庁が定めている積雪の単位荷重を準用し、雪の平均単位荷重を一般の地方で 20N 以上、多雪区域で 30N 以上として与えている。なお、多雪区域の定義は、8.1 節に示すとおりである。

8.4.4 地上垂直積雪量

1. 太陽電池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、原則として、式(8.11)によって計算した積雪量とする。ただし、太陽光発電設備の建設地において局所的地形要因による影響を考慮しなければならない場合や、当該建設地近傍における地上積雪深の観測資料に基づいて 50 年再現期待値を求めることができる場合、またはそれに相当する地上積雪深の推定が可能な場合はこの限りではない。

$$Z_s = \alpha \times l_s + \beta \times r_s + \gamma \dots \dots \dots (8.11)$$

ここに、

l_s :	区域の標準的な標高 (m)
r_s :	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, γ :	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)。

垂直積雪量 Z_s は平成 12 年建設省告示第 1455 号の第 2 に基づいている。同告示は特定行政庁が多雪区域や垂直積雪量を定める基準を示したものである。建築基準法によると、特定

行政庁で定められた垂直積雪量は、式(8.12)に基づくことを原則としているが、例えば敷地が崖地等になっていて吹きだまりが発生する場合は、局所的地形要因による影響として垂直積雪量を割り増す必要がある。一方、建設地近傍における地上積雪深の観測資料に基づいて50年再現期待値を求めて定めている特定行政庁も存在する。また、式(8.11)は1993年版の建築物荷重指針に基づいているが、観測資料の蓄積が進んでいるにも関わらずこれまで一度も更新されていない。これに対し、建築物荷重指針は10年程度の間隔で改訂されており、2015年版が最新である。2015年版の建築物荷重指針では2014年冬期までの観測資料を用いて荷重値を更新している。1993年版から最大で22冬期の観測資料の蓄積が進んでいることから、より高い精度で垂直積雪量の50年再現期待値を求められるようになっている⁸⁻³⁾、⁸⁻⁴⁾。以上に示すように、垂直積雪量 Z_s は式(8.12)だけでなく、太陽光発電システム建設地の現地調査、当該建設地近傍における地上積雪深の観測資料、さらには2015年版の建築物荷重指針の推定値を考慮して算出することが肝要である。

8.4.5 積雪後の降雨による割増荷重

1. 一般の地方（多雪区域以外で垂直積雪量が15cm以上の区域）では、アレイ面の上端から下端までの水平投影長さが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号に従って積雪後の降雨による割増荷重を考慮する。

2014年2月に、関東・甲信地方において過去最深の積雪を記録する2度の大雪に見舞われ、十数棟の大スパン鋼構造建築物の屋根が積雪荷重によって崩落し、戸建て住宅に附随するカーポート等の小規模構造物の倒壊・損傷も数多く発生した。このような被害が拡大した要因として、積雪後の降雨により荷重が増加したことが挙げられている。これを受けて国土交通省は、平成19年国土交通省告示第594号を改正し、多雪区域以外の区域（垂直積雪量が15cm以上の区域に限る）、すなわち上述の「一般の地方」を対象に積雪後の降雨による影響を考慮する積雪荷重の規制強化を行った。積雪後の降雨による割増荷重を考慮する必要がある建築物としては、棟から軒までの長さが10m以上の大スパン建築物の場合、15度以下の緩勾配屋根、さらに、鉄筋コンクリート造以外の屋根重量が軽い場合である。

地上設置型太陽光発電設備は、アレイ面の重量が軽いと判断できることから、アレイ面の上端から下端までの水平投影長さが10m以上であり、かつ傾斜角度が15度以下であるという条件が満たされる場合には、同告示に従って割増荷重を考慮することとした。

8.4.6 アレイ面の下端に作用する積雪荷重

1. アレイ面の下端に作用する積雪荷重（軒先荷重）は図 8-3 に示す軒下堆雪深さがアレイ軒先高さを超える場合、式(8.12)により算出する。ただし、アレイ面の下端の高さ z が式(8.13)の h の値より大きい場合は、軒先荷重を省略することができる。なお、軒先荷重も設計で想定する荷重条件は表 8-1 に示す積雪荷重（S）と同様に設定する。

$$F_{S_{\max}} = 1.4 \times S_{\max} \times 2/3 = 0.93 \times S_{\max} \dots \dots \dots (8.12)$$

ここで $F_{S_{\max}}$: 軒先荷重 (N/m)

S_{\max} : 最大積雪重量 $S_{\max} = P \times Z_s \times 100$ (N/m²)

$$h = \sqrt{\frac{2 \times d_r \times l \times \cos \beta}{\frac{1}{\tan 30^\circ} + \frac{1}{\tan 40^\circ}}} + d_r \dots \dots \dots (8.13)$$

傾斜を有するアレイ面では、積雪が滑動して軒先から軒下に落雪する。軒下の堆雪が多くなりアレイ面の積雪と繋がると滑落雪が発生しなくなり、アレイ面が露出なくなる。従って、冬期間においてもアレイ面の露出時間を長くさせるためには、地上垂直積雪量に滑落雪による軒下の堆雪深さを加えた分の高さを確保することが望ましい。図 8-3 に、地上垂直積雪量と軒下堆雪深さとの関係を示す。アレイ面の長さにもよるが、軒下堆雪深さは地上垂直積雪量のおおむね 2 倍程度となり、その分の軒高（地上からアレイ下端部までの高さ）が必要になる。

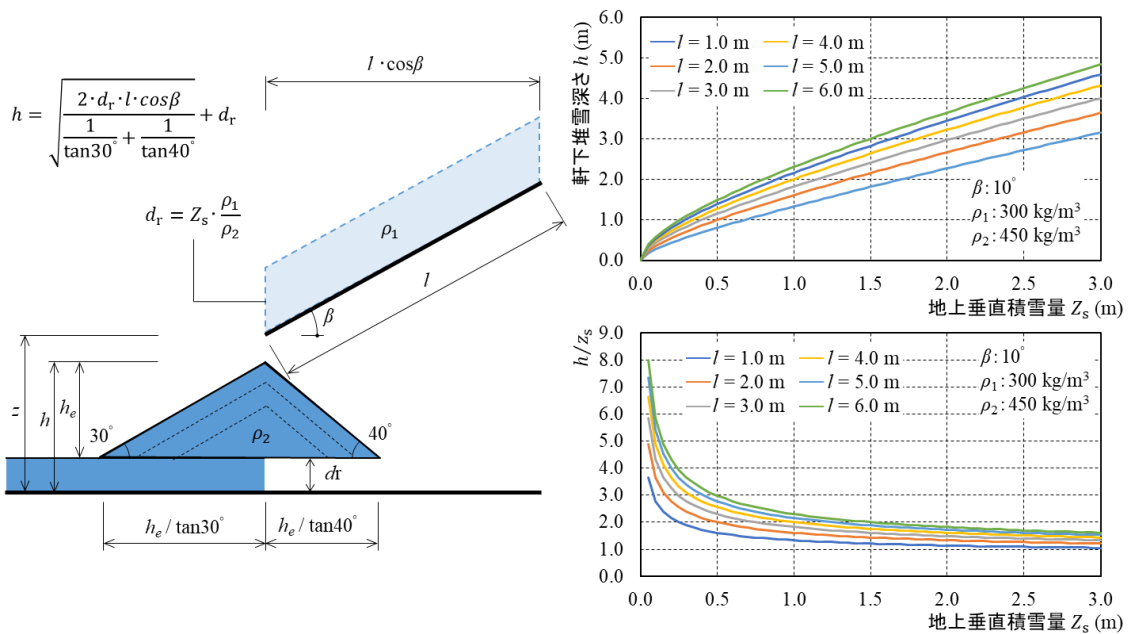


図 8-3 軒高算定モデルと地上垂直積雪量と軒高との関係

一方、太陽電池アレイにおける積雪による被害状況をみると、軒下堆雪量が多くなりアレイ面の積雪と繋がったこと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。これは、太陽電池アレイの軒高が地上垂直積雪量の2倍以上確保できていないことを示唆している。このような軒下堆雪とアレイ面の積雪が繋がった場合、すなわち、アレイの軒先が積雪で埋没した場合は、図8-4に示すように、アレイ面の積雪荷重に加えて軒先にも荷重が作用する。アレイ面が緩傾斜の場合は、アレイ面の積雪がゆっくり滑動して軒先から迫り出し、その迫り出した分の重量が軒先荷重として作用することになる。これに対し、アレイ面が急傾斜の場合には、アレイの軒下とで生じる積雪沈降量の差異によって軒先に沈降荷重が作用する。

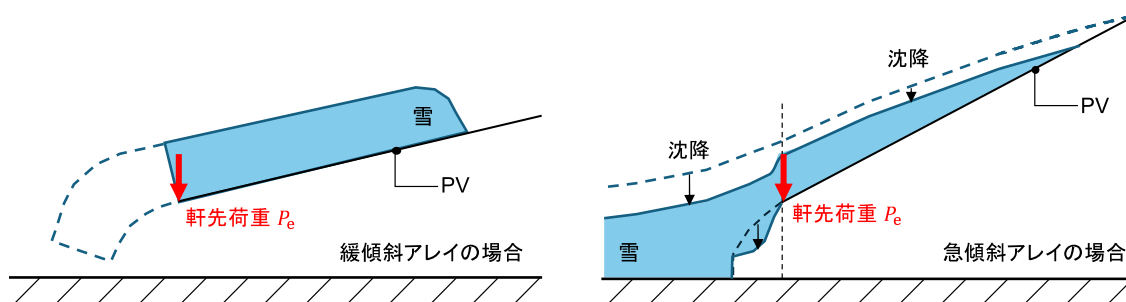


図 8-4 軒先荷重のメカニズム

以上に示したように、太陽電池アレイの軒高が地上垂直積雪量の2倍未満で、アレイの軒先が積雪に埋没することが想定される場合は積雪荷重に加えて軒先荷重が作用することを考慮し、積雪荷重と軒先荷重とを組み合わせた状態を想定して構造計算を行う。日本建築学会建築物荷重指針・同解説⁸⁻⁴⁾によると、積雪の沈降荷重 $F_{Smax}(kN/m)$ は、最大積雪重量を $S_{max}(kN/m^2)$ とすると、以下の荘田の式(8.14)及び中俣・須藤の式(8.15)で算出することができる。

$$F_{Smax} = 9.8 \times 1.7(S_{max}/9.8)^{1.5} \dots\dots\dots (8.14)$$

$$F_{Smax} = 1.4S_{max} \dots\dots\dots (8.15)$$

これまでの実証実験では、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、上記の式(8.14)及び式(8.15)と比較した。図8-5に、これまでの実証実験で得られた最大地上積雪重量と軒先荷重との関係を示す。太陽電池アレイにおける傾斜角の影響は小さく、いずれの傾斜角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で軒先荷重を算出することができる。

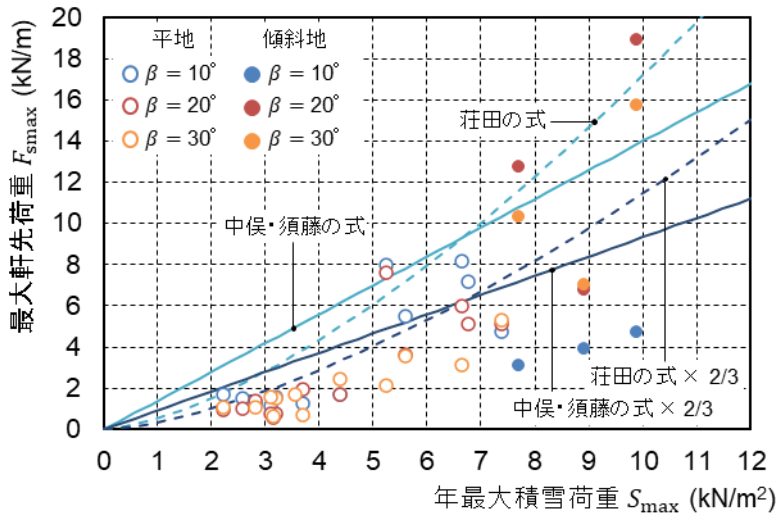
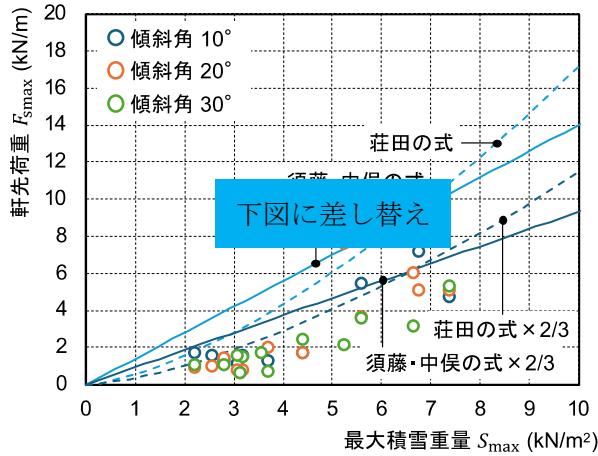


図 8-5 実証実験で得られた最大積雪重量と軒先荷重との関係

8.5 地震荷重

8.5.1 設計用地震荷重

1. 設計用地震荷重は、一般の地方では式(8.16)、多雪区域では式(8.17)によって算出する。

$$K_p = k_p \times G \dots\dots\dots (8.16)$$

$$K_p = k_p \times (G + 0.35S) \dots\dots\dots (8.17)$$

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)

8.5.2 設計用水平震度

1. 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(8.18)によって算出する。

$$k_p = k_H \times Z \times I_K \dots\dots\dots (8.18)$$

ここに、 k_H : 各部に生じる水平震度であり、表 8-7 に掲げる数値
 Z : 地震地域係数
 I_K : 用途係数

表 8-7 各部に生じる設計用水平震度 k_H

適用箇所	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

地上設置型の太陽光発電設備の設計用水平震度は、建築基準法施行令第 88 条第 2 項及び第 4 項に準じて設定されている。

8.5.3 地震地域係数

1. 地震地域係数は JIS C 8955:2017 の表 10 に従って設定する。
2. 用途係数は、表 8-8 による。

表 8-8 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

地震地域係数は、昭和 55 年建設省告示 1793 号第 1 に基づいている。

8.5.4 用途係数

地震荷重の用途係数は風圧荷重の用途係数とは異なり、官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説⁸⁻⁵⁾の重要度係数に準じている。

参考文献

- 8-1) 一般社団法人日本規格協会: 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) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: 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 2025年版、2025
- 8-3) 一般社団法人日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説、1993年
- 8-4) 一般社団法人日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説、2015年
- 8-5) 公共建築協会: 官庁施設の総合耐震・対津波計画基準及び同解説、2021年

9. 使用材料

9.1 鋼材

1. 支持物に使用する鋼材は、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料でなければならない。また、使用する目的、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 JIS 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、耐久性等を十分に考慮して、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. 支持物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、使用する目的、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。
2. 使用する目的、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は、無筋コンクリートでは圧縮強度 18N/mm²、鉄筋コンクリートでは圧縮強度 24N/mm² 以上を使用することが望ましい。コンクリート製品は JIS 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、使用する目的、使用する部位、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. 使用にあたっては、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、耐久性等を十分に考慮して、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、2024
- 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. 架台の設計

10.1 架台の構造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適切に設定し、架台の実情を適切に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、杭頭での水平方向と鉛直方向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は、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（10.1.4 参照）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。なお、剛接合に近い接合形式を採用し、さらに接合部における部材軸の偏心が認められる場合は、偏心の影響によって架構全体の応力分布が変わる可能性があるため、架構全体の応力解析を行う架構モデルの構築から注意が必要である。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、杭頭での水平方向と鉛直方向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適切にモデル化する。

10.1.1 基本構造形式の安定原理

太陽電池アレイの架台は柱・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。

その節点はピン接合あるいは剛接合、または、その組合せとなっている。図 10-1 は節点が全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、節点での部材の回転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したりすることで安定を図る。

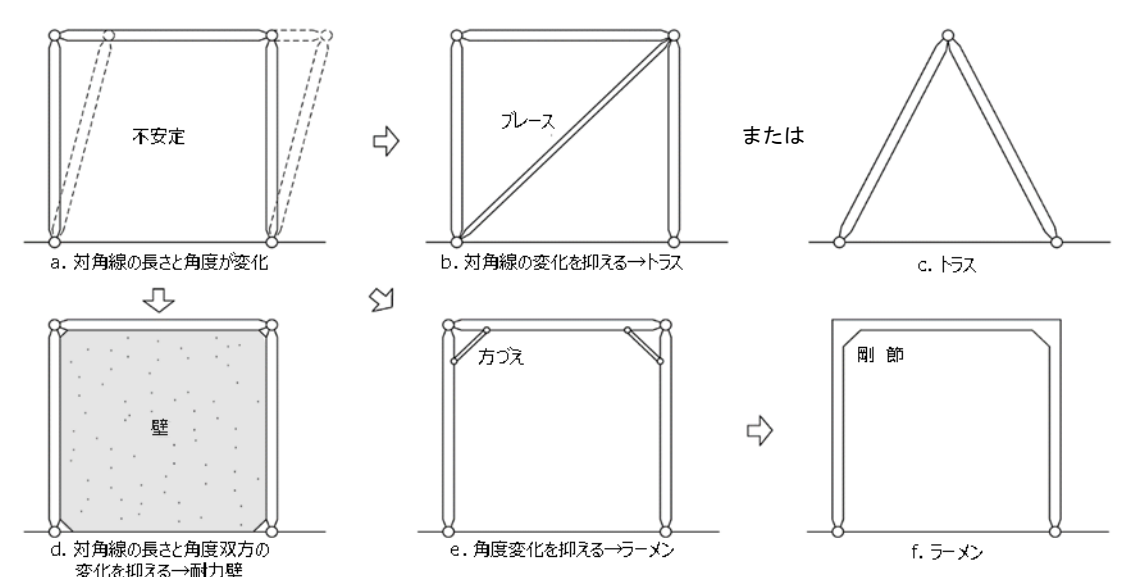


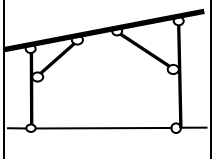
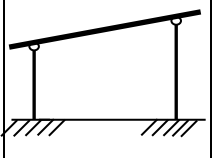
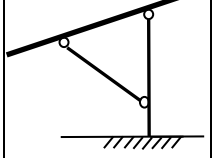
図 10-1 基本構造形式の安定原理

10.1.2 主な構造形式

代表的な構造形式（南北方向）を表 10-1 に示す。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する。また、東西方向についても南北方向と同様に構造的に安定であるようにする。

表 10-1 架台の代表的構造形式

構造	部材構成 (南北方向)	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、せん断力、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)		節点が全てピン接合で、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)		節点が全てピン接合で、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		<p>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回転を抑えた構造。</p> <p>①のラーメン構造と同様に、柱と横架材は軸力、せん断力、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、過大な変形が生じたり、曲げ破壊に至ったりすることがあるので注意が必要。</p>
⑥柱構造 (片持ち柱)		<p>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。(ブレースを設けない構造)</p> <p>杭頭の変位量が大きくなるため杭材の曲げ強度、変位量に注意が必要。</p>
⑦柱構造 (片持ち柱一本足)		<p>⑥の柱構造と同様に、地中から立ち上った杭を柱として、方づえにより受梁を支える構造。杭頭の変位量が大きくなるため杭材の曲げ強度、変位量に注意が必要。</p>

10.1.3 柱脚部の支持条件（杭基礎）

1. 架台の柱脚を杭基礎で支持するときは、柱脚部に作用する水平力により杭頭部に変位が生じる。この変位により上部の架台やアレイが損傷することのないよう注意が必要である。

杭基礎にて架台を支持する場合は、柱脚部の支持状況に留意する必要がある。

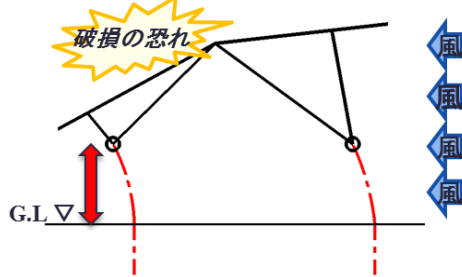
10.1.1 及び 10.1.2 で示した基本構造形式は柱脚がピン支持あるいは剛接などで、鉛直変位や水平変位が生じないことを前提に架構が成立している。架台を杭基礎にて支持する場合には、柱脚部に働く水平力・杭の突き出し高さ・杭を支持している地盤の影響を受けて柱脚部に変位が生じる。架構の境界条件が変わると上部の架台に付加的な曲げが生じるなどして崩壊につながることもあるので、これらを担保した設計とする必要がある。架台の安定を保てない場合には杭頭をつなぎ材で接合するなどして、柱脚が変位しても上部構造が成立するような架構構造とする必要がある。

水平力と杭を支える地盤バネとの関係は 11.5.3 を参照のこと。また、「柱脚部の支持条件」については末尾の【2019年度版技術資料 C】を参照のこと。

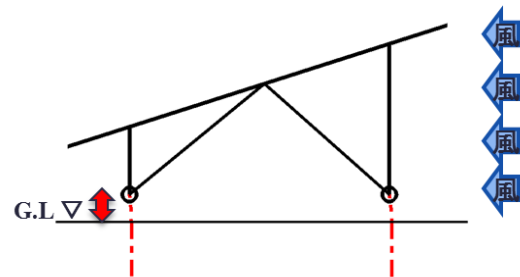
鋼杭頭部の変位が架台に及ぼす影響を図 10-2 に示す。

■ 柱脚つなぎ材なしの場合

➢ 鋼杭突出高

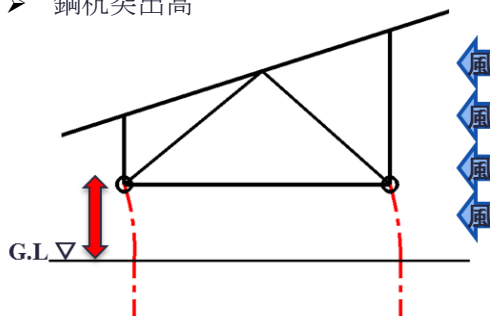


➢ 鋼杭突出低い



■ 柱脚つなぎ材ありの場合

➢ 鋼杭突出高



➢ 鋼杭突出低

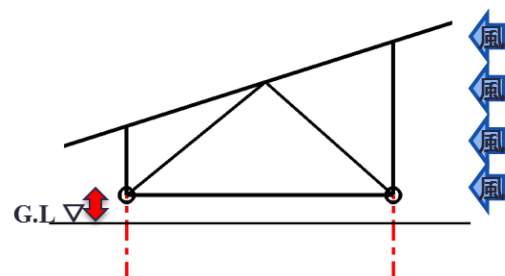


図 10-2 水平力を受ける場合の架台と杭の変形（イメージ）

また、杭の立ち上げ寸法が大きいため杭頭部の変形が大きくなり架台やモジュールの破損が懸念され場合には図 10-3 のように柱脚下にさらにブレースを設けるなどして架台の安定を計る。

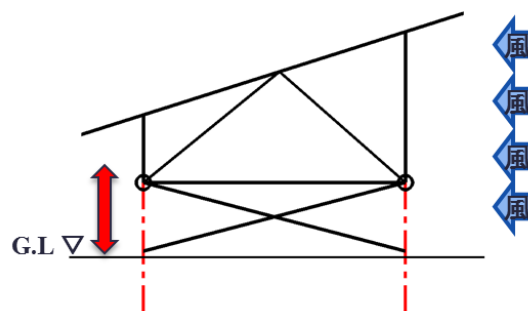


図 10-3 杭頭部の水平変位に対する補強例

10.1.4 構造解析

1. 太陽電池アレイ架台の実情を反映した構造モデル化を行う。
2. 各部材及び接合部の剛性を適切に評価する。
3. 接合部が偏心している場合は、構造モデルに考慮する。構造モデルにその影響が考慮されていない場合には、構造解析から求めた応力を用いて偏心によって付加される応力を求め、断面算定にその応力を反映させる。
4. 杭基礎の場合は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は、この限りではない。

<構造モデル>

太陽電池アレイ架台の応力解析では、部材を線材に置換した平面フレームにモデル化することができる。架台を勾配方向と直交方向の2つの平面フレームに分け、それぞれについて解析を行い、応力と変形を求めて断面算定を行う。また、立体フレームとしてモデル化することも可能である。

<線材置換>

部材は重心位置で断面積 A 及び断面二次モーメント I の構造性能を有する線材に置換する。接合部の剛性はピン、剛（固定）、半固定など実情に応じ適切に評価する。曲げモーメントを伝達できることだけで接合部を剛と評価するのではなく、モーメントが作用した時の変形状態も考慮し剛性を評価する必要がある。ただし、接合部の剛性が上部構造の応力状態に影響を与えない場合や有害な変形が生じない場合は、この限りではない。

また、解析に採用する断面二次モーメント I は、平面フレーム面内の回転に対応する断面二次モーメントであることに注意を要する。

<接合部の剛性評価>

軸力とせん断力を伝達する接合部をピン接合、それらに加えて曲げモーメントを伝達する接合を剛接合（固定と言う場合もある）としてモデル化する。ただし、剛接合としてモデル化する場合は、曲げモーメントを伝達できるだけではなく、曲げモーメントにより接合部に回転が生じないことも要件となる。相対的な角度変化が生じる場合を半固定と呼び（半剛接と言う場合もある）、この場合は実験から曲げモーメント M と回転角 θ との関係から固定度を求める。ここで言う固定度とは曲げモーメントと回転角を結びつける回転ばね定数 k のことである。

$$M = k \times \theta$$

M : 曲げモーメント [N・m]

k : 回転ばね定数 [N・m/rad]

θ : 回転角 [rad]

<接合部に偏心がある場合>

偏心により生ずる付加応力を考慮して接合部を設計する。(図 10-4)

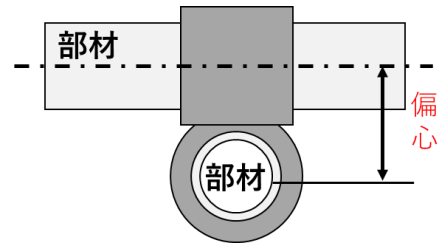


図 10-4 偏心している接合部の例

<杭基礎の場合>

杭基礎の場合は、杭頭の変形の程度が上部構造の応力状態に影響を与える可能性があることから、杭の影響を考慮した解析を行う。杭の影響の評価方法には、杭と上部構造を一体的にモデル化する方法と杭をばねにモデル化し、上部構造の支持部にそのばねを設ける方法がある。これらについては、末尾の【2019年度版技術資料 C】を参照されたい。

上部構造だけをモデル化した解析結果と上部構造と杭を一体化したモデルによる解析結果の比較を行い、杭の影響を無視できることが明らかになった場合は、杭支持であったとしても、上部構造だけのモデル化による解析も許容される。また、杭の変位が上部構造に与える影響が明らかになった場合で、その影響を上部構造だけのモデル化による解析結果に反映できるのであれば、全ての架台を上部構造と杭の一体化したモデルの解析を行わなくてもよい。

10.2 構造設計

10.2.1 概要

本章では架台の構造設計の概要を示す。なお、強度試験等や文献、関連法令・学会指針類により、他の方法で安全性の確認ができる場合はこの限りでない。

強度試験の例については、末尾の【2019年度版技術資料 D】及び【2019年度版技術資料 E】を参照されたい。

10.2.2 構造計算方針

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. 部材の設計には、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. 許容応力度の算定では、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。
7. 架台の変形量を確認し、変形量が大きくなる場合には必要に応じて動的効果の影響についても検討する。
8. 接合部の設計には、接合部の材質・形状などの特徴に合った法令・学会指針類を適用する。

架台及び基礎の許容応力度設計は、電気事業法関連法令での要求に対して学会指針等に準じて実施されることを基本とする。

架台及び基礎の剛性が低く大きい変形が生じる場合には、動的効果（強風や地震の変動荷重による共振効果）によって荷重が増大することもあることから、必要に応じてその影響について検討する（図 10-5 参照）。ただし、これらの検討には振動応答解析が必要になることから、架台の変形量を小さく抑える（剛性を高くする）ことが望ましい。

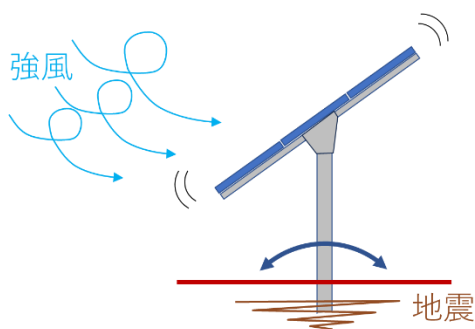


図 10-5 強風や地震による動的効果のイメージ

10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類

適用または参考にする関連法令・学会指針類を以下に示す。

適用または参考にする 関連法令・学会指針名	関係省庁及び出版元
電気事業法関係法令 建築基準法関係法令 電気設備の技術基準の解釈 電気設備の技術基準の解釈の解説 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を定める省令 及びその解釈に関する逐条解説 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 軽鋼構造設計施工指針・同解説 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－ 薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き アルミニウム建築構造設計規準・同解説	経済産業省 国土交通省 経済産業省 経済産業省 経済産業省 経済産業省 一般社団法人日本規格協会 一般社団法人日本建築学会 一般社団法人日本建築学会 一般社団法人日本鉄鋼連盟 アルミニウム建築構造協議会

10.3 構造設計フロー

架台の構造設計は、一般的に図 10-6 の流れで行う。

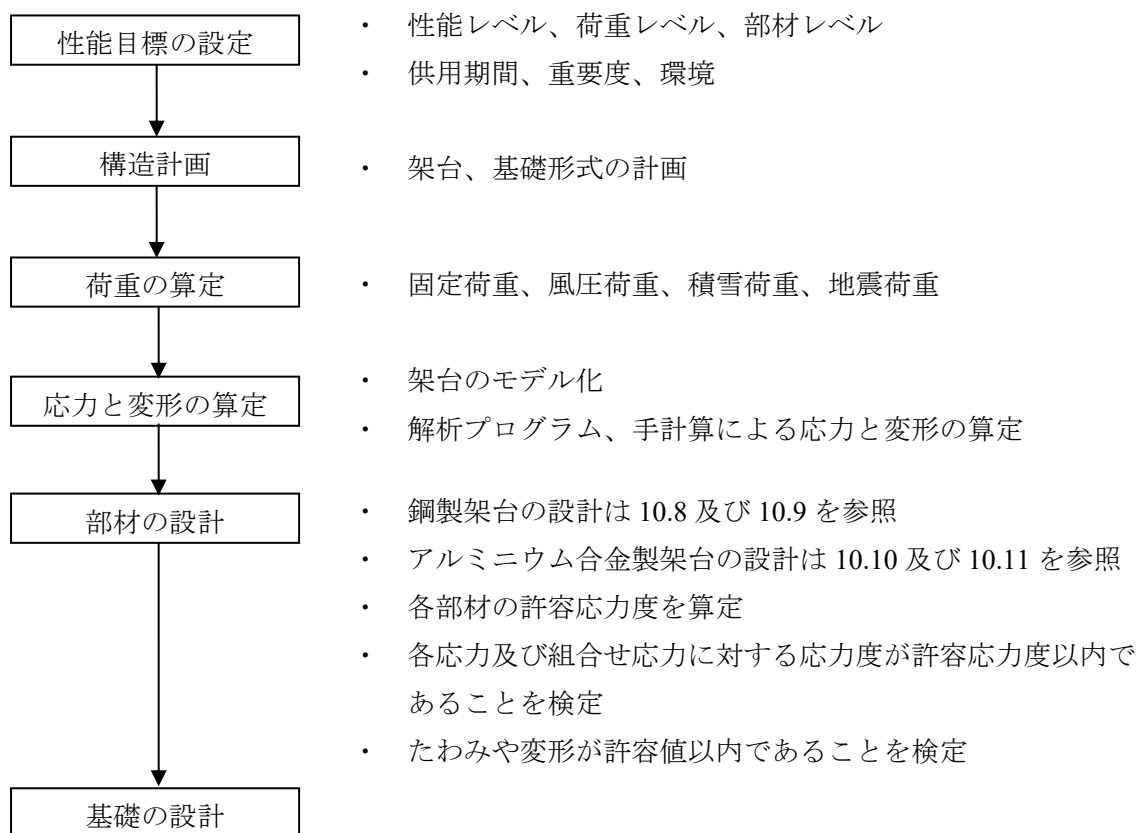


図 10-6 構造設計フロー

10.4 性能目標の設定

1. 「発電用太陽電池設備に関する技術基準の解釈」の第 2 条及び第 4 条の規定により、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」¹⁰⁻¹⁾による設計荷重を受けた際に生じる各部材の応力度がその部材の許容応力度以下となるようにする。

10.5 構造計画

1. 架台・基礎の構造は、架台の安全性はもとより、その変形によりモジュール及び電気設備の機能に支障を及ぼすことのないように計画する。

10.6 荷重の算定

1. 架台に作用する荷重を算定する。代表的な荷重には固定荷重や積載荷重、風圧荷重、積雪荷重、地震荷重がある。部材の応力算定、部材の設計は、長期（通常の状態）と短期（風や地震が発生した時）を想定した組合せ荷重に対して行う。

固定荷重には架台の部材やモジュール、付属設備（パワーコンディショナ等）の重量を考慮する。また、接合部のボルトやガセットプレートなどの重量も考慮する。

風圧荷重、積雪荷重及び地震荷重の算出は、8.設計荷重を参照のこと。

10.7 応力と変形の算定

1. 部材に発生する応力と変形は、力のつり合い式やマトリックス変位法などを用いて算定する。

実際の計算は、梁やラーメンなどの応力算定公式を用いて手計算により求めていく方法と解析ソフトで計算する方法などがある。

10.7.1 応力とその種類について

1. 算定する応力と変形には、軸方向力（引張力、圧縮力）・せん断力・曲げモーメントの3種類と部材のたわみがある。

10.7.2 部材接合部のモデル化

1. 応力算定における接合部は、実際の接合部の納まりから伝達できる応力の状況を判断し、適切な種類の節点としてモデル化する。

節点の種類は、主に接合部が伝達できる応力の違いによって分けられ、部材と部材が回転し軸力とせん断力しか伝達できないピン節点、曲げモーメントの伝達も可能な剛節点や半剛節点などがある。

10.7.3 手計算による応力算定

1. 構造骨組に作用する力の流れを考え、荷重と支点のつり合い条件より支点反力を求める。さらに梁やラーメンなど構造力学の公式を用いて各部材の応力や変形を算定する。

10.7.4 解析ソフトによる応力算定

1. 構造骨組解析ソフトなどを利用して応力算定を行う場合、解析ソフトに架台の形状や部材種類及び荷重データなどを入力し、荷重が作用した時の各部材の応力や変形をコンピュータシミュレーションによって算定する。

解析ソフトを使った計算ではデータの入力内容に誤りなどがあっても自動で計算され、視覚的な出力の見た目などから正しく解析されていると誤認識／錯覚し、誤りを見過ごし易い。そのため、入力データの誤りや計算された応力の発生状態が力の流れのイメージと合っているかなど十分チェックを行う。

10.8 鋼製架台における部材の設計

1. 太陽電池アレイの架台における鋼構造部分に適用する。
2. 部材の設計は、軸力や曲げモーメント、せん断力、たわみ（変形）について安全性の検討を行う。

細長い部材や薄い部材で構成されることが多い架台では、オイラー座屈、局部座屈や横座屈に対する配慮が重要である。部材に座屈が生じると部材が本来持つ曲げ強度や軸強度を発揮できなくなるので注意する。接合部の設計は、接合部を介して部材間に作用する応力を確実に伝達できるよう納まりと安全性を検討する。詳細は 10.9 鋼製架台における接合部の設計による。

10.8.1 適用または参考にする関連法令・学会指針類

1. 10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。
2. 部材の強度は、断面形状や板厚、長さの違いに左右され、横座屈や局部座屈などの影響を大きく受けるため、一般的に座屈などの影響を考慮した評価式を用いる。

鋼構造物の設計には建築基準法関係告示である「平成 13 年国土交通省告示第 1024 号第 1 第三号」や鋼構造設計規準—許容応力度設計法—¹⁰⁻²⁾（以下：鋼構造設計規準）を用いるのが一般的であるが、板厚 6mm 以下の場合には軽鋼構造施工指針・同解説¹⁰⁻³⁾（以下：軽鋼指針）を用いる。

10.8.2 部材設計の考慮事項

1. 部材の設計で考慮すべき事項を表 10-2 に示す。

表 10-2 部材種類による考慮すべき項目

部材の種類	曲げねじれ 座屈・横座屈の防止	局部座屈の 防止	有効断面積の考慮	
	圧縮フランジ の支点間距離	幅厚比 の考慮	突出脚の 断面積控除	ボルト孔の 控除
引張材			◎	◎
曲げ材	◎	◎		◎
圧縮材	◎	◎		

10.8.3 部材の許容応力度の算定

1. 部材の長期許容応力度の算定は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。
2. 部材の短期許容応力度は長期許容応力度の 1.5 倍とする。

「鋼構造設計規準」ではボルトのねじ部断面積（有効断面積）に対して許容せん断応力度を定めている。応力度検定に用いる断面積には有効断面積を用いる。

(1) 座屈などを考慮した許容応力度

「軽溝形鋼」、「リップ溝形鋼」、「軽山形鋼」を例として注意点を示す。

1) 引張材の長期許容応力度

引張材の長期許容応力度 f_t の算定は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。なお、引張材の断面算定に用いる断面積は、偏心引張となるため、表 10-3 及び図 10-7 に示す突出脚の無効長さの規定及びボルト孔などによる断面欠損を考慮した有効断面積とする。

なお、板厚が 6mm を超える引張材については、突出脚の 1/2 を無効長さとして略算してもよい。

表 10-3 突出脚の無効長さ h_n

引張材	引張材を接合しているボルトの本数 n			
	1	2	3	4
山形鋼	$h - t$	$0.7 h$	$0.5 h$	$0.33 h$
溝形鋼	$h - t$	$0.7 h$	$0.4 h$	$0.25 h$

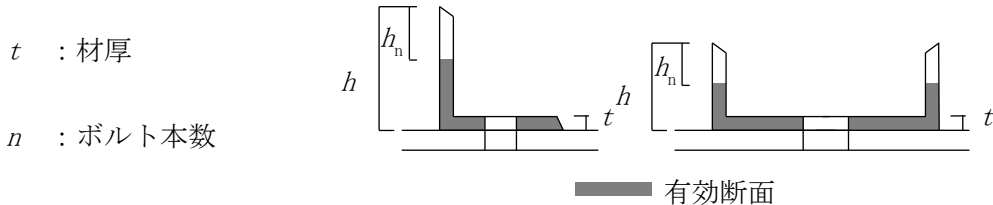


図 10-7 有効部分の取り方

2) 曲げ材の長期許容応力度

曲げ材の長期許容応力度 f_b の算定は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。なお、曲げ材は圧縮応力を受けるフランジやウェブの局部座屈を防止するため、図 10-8 に示す板要素の幅厚比の規定を満足させる。なお、「軽鋼指針」では「鋼構造設計規準」の式に SS400 材 ($F=235\text{N/mm}^2$) とした時の式を示しているため、ここでは「鋼構造設計規準」の式を示した。

幅厚比の規定値を超える場合は、規定値を超える部分を除いた断面による断面係数を用いて断面算定を行う。ただし、細長比の算定では全断面を採用して良い。

山形鋼	$b/t \leq 0.44 \times \sqrt{E/F}$
軽溝形鋼 (フランジ)	$b/t \leq 0.53 \times \sqrt{E/F}$
リップ溝形鋼 (フランジ)	$d/t \leq 1.6 \times \sqrt{E/F}$
軽溝形鋼 (ウェブ)、リップ溝形鋼 (ウェブ)	$d/t \leq 2.4 \times \sqrt{E/F}$
リップ溝形鋼 (リップ)	$I_s \geq 1.9 \times t^4 \times \sqrt{(d/t)^2 - 0.136 \times E/F}$ かつ $9.2 \times t^4$

- ここで、 b : 1 縁支持、他縁自由の板要素の幅 (mm)
 d : 2 縁支持のウェブまたはフランジプレートの幅 (mm)
 E : ヤング係数 (N/mm²)
 F : 基準強度 (N/mm²)
 I_s : リップ自身の重心軸まわりの断面 2 次モーメント

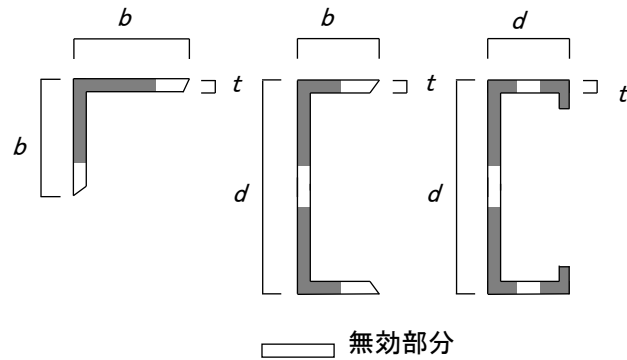


図 10-8 無効部分の取り方

3) 圧縮材の長期許容応力度

圧縮材の長期許容応力度 f_c の算定は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。なお、圧縮材も圧縮応力を受けるフランジやウェブの局部座屈を防止するため、曲げ材で示した板要素の幅厚比（なお、前頁に示す軽溝形鋼（ウェブ）、リップ溝形鋼（ウェブ）の計算式の係数 2.4 は 1.6 に読み替える）の規定を満足させる。規定値を超える場合は、規定値を超える部分を除いた有効断面積を用いて断面算定を行う。ただし、細長比の算定では全断面を採用して良い。

10.8.4 材料の定数

1. 材料の定数は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。

10.8.5 材料の基準強度

1. 許容応力度の算定に用いる材料の基準強度 F は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。

「電気設備の技術基準の解釈第 46 条 2 の三」の「設計に耐えうる安定した品質をもつ材料を用いる」との記載より、海外の規格に適合しているなど安定した品質の材料と判断できる場合、材料の降伏点や引張強さは、その規格値によってもよい。

なお、鋼材の F 値は、降伏点または引張強さの 0.7 倍（アルミニウム合金材の場合は 0.8 倍）のうち小さい方の値とする。

10.8.6 圧縮フランジの支点間距離，座屈長さ，補剛の考え方

1. 主に圧縮応力を受けるフランジが横方向に捩れながらはらみ出して生じる部材の横座屈は、圧縮フランジの横方向の移動の拘束（補剛）によって防止する。

(1) モジュール受材の場合

圧縮フランジの支点間距離とは圧縮フランジの補剛された間隔となるが、正の風圧荷重の場合には上フランジが圧縮側（図 10-9）、負の風圧荷重の場合には下フランジが圧縮側（図 10-10）とその位置が変化する。そのため、部材の許容応力度の算定に用いる支点間距離や座屈長さは、荷重ケースごとに圧縮フランジの位置及び補剛状態に応じて判断する。

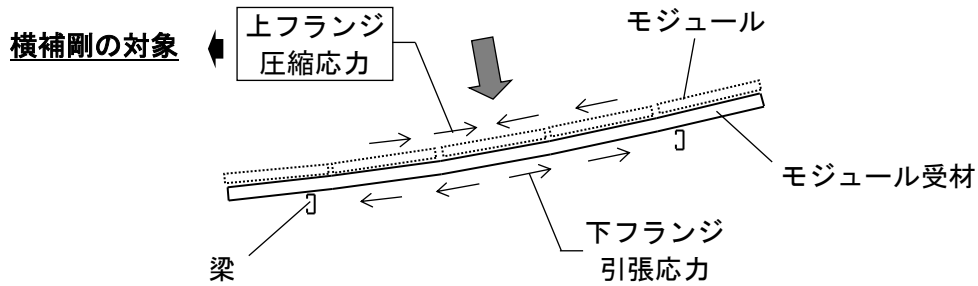


図 10-9 正の風圧荷重におけるモジュール受材の補剛対象位置の例

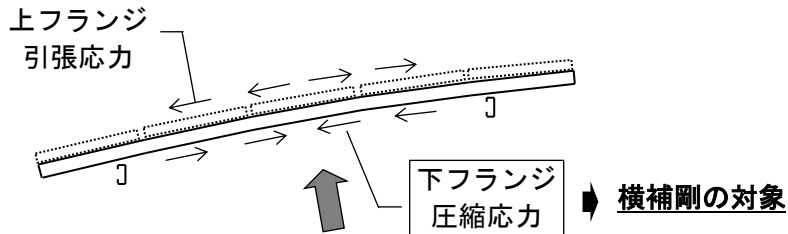


図 10-10 負の風圧荷重におけるモジュール受材の補剛対象位置の例

また、モジュール受材の許容曲げ応力度計算に用いる圧縮フランジの支点間距離は、図 10-11 に示すようにモジュール受材の梁による支持間隔を原則とする（補剛材としての効果が明らかでないモジュールは仕上げ材と考え、その補剛効果は期待しない）。ただし、補剛材を別途設ける場合は補剛間隔を採用できる。

凡例 l_b 圧縮フランジの支点間距離 \triangleright フランジの横移動の拘束

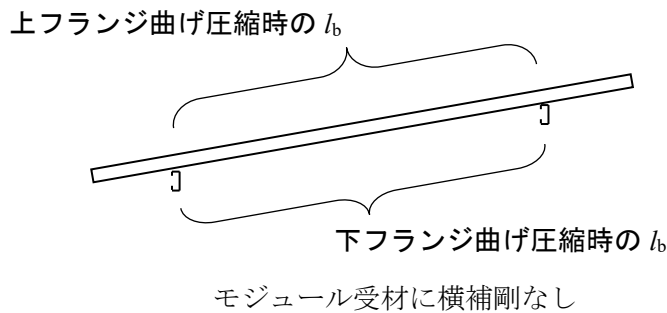
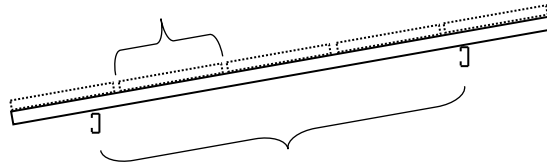


図 10-11 モジュール受材の支点間距離 l_b の取り方の例

(2) モジュールの固定間隔をモジュール受材の支点間隔とする場合

モジュール受材の支点間隔にモジュールの固定間隔を採用しているケースがある。しかし、モジュールを架台の構造部材の一部と見做し、その補剛効果（座屈止め）を期待するには、補剛力に対するモジュールアルミ枠や固定ボルトの安全性確認が必要である。さらに補剛力が作用するような使用方法の場合、モジュールの耐力に問題がないことを確認する。しかし、それでも図 10-12 のようにモジュール受材の上フランジにモジュールを固定した場合、上フランジ曲げ圧縮時の支点間距離はモジュール固定間隔となるが、下フランジ曲げ圧縮時の支点間距離は、下フランジに対してモジュールの補剛効果が期待できないため、モジュール受材の支持間隔となる。なお、モジュールの安全性検討は補剛力とモジュールが受ける風荷重の組み合わせ荷重に対して行う。

上フランジ曲げ圧縮時の支点間距離 l_b \equiv モジュール固定間隔



下フランジ曲げ圧縮時の支点間距離 l_b \equiv モジュール受材の支持間隔

図 10-12 モジュール受材の支点間距離 l_b の取り方の例
(モジュールを補剛材とみなせる場合)

10.8.7 有効断面積， 局部座屈防止の考え方

1. 応力検定に用いる部材の断面積は、突出脚の断面積控除、幅厚比やボルト孔を考慮した有効断面積とする。

10.9 鋼製架台における接合部の設計

1. 接合部は、同一部材を繋ぐ継手、部材を他の部材に固定する接合部、基礎に部材を固定する柱脚など様々あるが、部材と同様に許容応力度設計を行い安全性の確認を行う。
2. 接合部の納まりは、応力計算で節点のモデル化に沿った納まりとなるように設計する。
3. 架台の変形が大きい場合には、接合部でのずれや外れ等の不具合が生じないことを確認する。

応力計算において剛節点でモデル化する場合は、剛性の確保、曲げモーメントやせん断力等を確実に伝達できる納まりとする。その一方でボルト接合というと一律にピン接合と判断される向きがあるが、接合材の剛性を確保し曲げモーメントにより生じる接合ボルト位

置での偶力をボルトのせん断力で伝達できるような納まりにすれば、剛接合や半剛接合として評価して設計することが可能である。

ただし、大きな変形や回転を伴うことが明らかな時はピン接合とするか、または、回転剛性を持つ半剛節点として架構をモデル化し、変形や安全性の確認を行う。なお、太陽光発電システムの架台で用いられる部材の断面形状や接合部の納まりは様々で、構造計算を用いて定量的に剛性や強度を計算することが困難な場合がある。その場合は、接合部や部材の強度試験等を行って評価することも必要である。

さらに、架台の変形が大きくなる場合には接合部での長孔のずれや押え金物の外れ等の不具合が生じることがあるので、構造解析での変形量の計算結果をもとに問題のないことを確認する。

10.9.1 ボルトの孔径について

1. ボルトの孔径は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。

「軽鋼指針」における中ボルトの孔径はボルト径+0.5mmと規定されているが、部材の加工や組立て精度を考慮すると支障なく架台を組立てられるようボルト径+2mm程度まで許容して設計しているのが実情である。その場合、接合耐力に問題がないことを確認する。

10.9.2 ボルト接合等におけるはしあき、へりあき距離について

1. はしあき、へりあき距離は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。

構造計算、あるいは実験で性能を確認する等により、せん断及び支圧強度等の安全性の確認ができる場合はこの限りでない。

10.9.3 長孔などによる接合について

1. 長孔やTスロット、タッピングなどの接合部についても許容応力度設計を行い安全性の確認を行う。
2. 長孔等の接合方法は、自重や台風、地震の外力によりズレが生じるなどの不具合が想定されるため、長期荷重及び短期荷重に対してズレが生じないことも確認する。

特に、架台の柱脚部と基礎の接合部は、アンカーボルトや杭の施工精度により予め長孔等を設けた納まりにせざるを得ない場合が多い。その場合には、ストッパーを設けたり摩擦接合としたりするなどにより、ズレが生じないようにする。摩擦接合は、ボルト軸力により接合材間に働く摩擦抵抗で応力を伝達する接合法で高力ボルト接合が代表的であるが、アンカーボルトや普通ボルト(中ボルト)を使用することが多い架台の柱脚部は支圧接合であり、

単純に摩擦接合として考えることができない。そのような場合、柱脚接合部に対するすべり試験等を行って摩擦抵抗力に期待できるかどうかの検討などが考えられる。ただし、摩擦抵抗力に影響するボルト軸力は、締付けトルクのばらつきや引抜き作用時のボルト軸力の減少を考慮しなければならない。また、施工時の締付けトルクの全数管理も必要である。

10.9.4 部材が偏心して接合される場合の検討

1. 部材と部材が立体的に偏心して接合されている接合部では、偏心の影響を考慮して安全性の確認を行う。

偏心した接合部や部材に生じる応力は、偏心の影響を無視して作成したフレームモデルを用いて算定した応力に、節点の偏心距離等から算定される偏心モーメント等を加えて評価する。

10.9.5 モジュールと架台の接合について

1. モジュールの固定ボルトや固定金物についても許容応力度設計を行い安全性の確認を行う。

モジュールの固定方法は、ボルトで架台部材へ直接固定するか、上押え金物で固定するのが一般的である。特に上押え金物の場合、風圧や積雪荷重によりパネルがたわみ、図 10-13 のようにモジュールが金物や架台部材の掛かりしろから外れ脱落する可能性がある。そのため、モジュールの鉛直たわみ量から水平方向の縮み量を算定し掛かりしろが不足していないことも確認する。また、図 10-14 のようにモジュールを固定している梁材（架台）がたわむことで同様に脱落する場合もあるため考慮する。

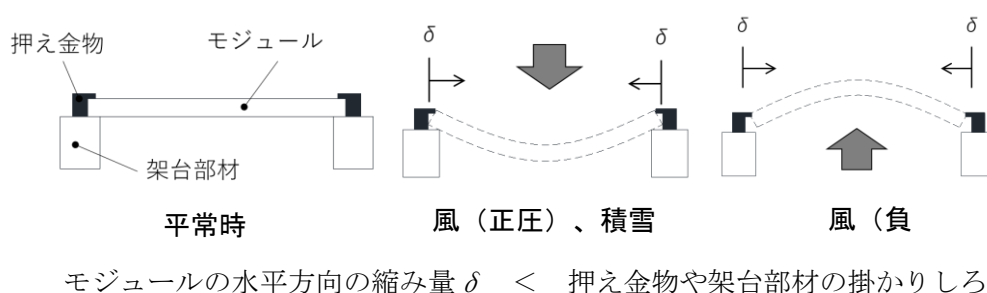
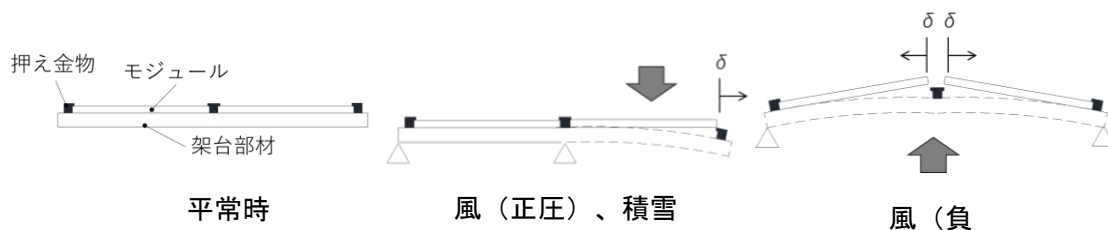


図 10-13 モジュールの上押え金物における掛かりしろの確認
(モジュールがたわんだ場合)



押え金物の水平方向の変位量 δ < 押え金物や架台部材の掛かりしろ

図 10-14 モジュールの上押え金物における掛かりしろの確認
(架台がたわんだ場合)

他方、アレイ面が長方形（正方形を含む）でない場合や正対する構面（北立面と南立面、あるいは西立面と東立面）の剛性が大きく異なる場合には、アレイ面には面内変形が生じ、モジュールには面内せん断力が作用する。通常、モジュールの面内せん断力に対する耐力は確認されていないため、このような場合には水平ブレース等を配置して、モジュールに面内せん断力が生じないようにする。

10.10 アルミニウム合金製架台における部材の設計

1. 太陽電池アレイの架台におけるアルミ構造部分に適用する。ただし、特別な検討をした場合はこの限りではなく、学識経験者などによる第三者の評価を受けることが望ましい。

アルミニウム合金（以下、アルミと記す）の特徴の一つは押出が可能であることであり、太陽光発電パネルの架台としてもアルミの押出型材が多く使用されている。構造設計者にとって鋼構造の構造設計は日常的に行う構造設計行為であるが、アルミ構造の構造設計は多くの構造設計者にとって馴染みがない。ここではアルミニウム建築構造設計規準・同解説¹⁰⁻⁴⁾（以下：アルミ設計規準）に準拠して構造設計することを前提に、使用上の注意点、構造設計上の留意点などを述べる。

なお、「アルミ設計規準」ではなく、他の設計規準に従う場合には、その規準の内容が正しいことが公に認められていること及びその規準を使用する妥当性を明らかにする。

10.10.1 適用または参考にする関連法令・学会指針類

1. 10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。

アルミを建築構造物に使用する場合の設計規準として「アルミ設計規準」がある。太陽電池アレイ架台のアルミ部分の部材設計は、この「アルミ設計規準」に従うこととする。

10.10.2 部材設計の考慮事項

1. 構造耐力上主要な部分に用いる部材の板厚は 1mm 以上とする。

平成 14 年国土交通省告示第 410 号で構造耐力上主要な部分に用いるアルミの板厚は 1mm 以上と決められているため、「アルミ設計規準」も同様に対象を 1mm 以上としている。板厚 1mm 未満の部分がある場合には、その部分を除外し構造計算することで、板厚 1mm 未満の部材を用いることができるとしている。

接合部で適用できる板厚が決められているので、「アルミ設計規準」の適用にあたり適用板厚の確認が必要である。

また、熱処理により耐力を高めた材料に対する配慮が必要な場合がある。一般的に、熱処理により降伏強さを高めたアルミの場合、延性破壊抵抗が低下する（脆性的に破壊する蓋然性が高まる）傾向にある。そのため、設計荷重により生ずる応力度を許容応力度以下とするだけでなく、必要に応じ、設計荷重を超えて荷重が作用する場合に備え、部材断面に余裕を持たせることが望ましい。

10.10.3 部材の許容応力度の算定

1. 引張、圧縮、せん断、曲げに対する許容応力度の算定及び圧縮材の細長比の制限は、「アルミ設計規準」による。
2. 溶接をする場合、母材と溶接影響部では許容応力度が異なることを考慮する。

引張、圧縮、せん断、曲げに対する許容応力度の詳細な解説については、「アルミ設計規準」を参照されたい。以下に簡単な説明を行う。これらの許容応力度は板厚 1mm 以上を前提に各材質の基準強度 F に基づき決められている。長期許容応力度と短期許容応力度の概念があり、荷重の組合せで使い分ける。長期許容応力度の 1.5 倍が短期許容応力度となる。

鋼構造設計規準—許容応力度設計法—¹⁰⁻²⁾ (以下：鋼構造設計規準) では、H 形鋼などを構成する板に対する幅厚比制限を設けている。このことにより、部材に発生する応力度が許容応力度以下であれば、板に局部座屈は生じないことが保証されている。すなわち、許容応力度設計においては、局部座屈が生じないことが前提なので、局部座屈の検討は不要となる。

また、軽鋼構造施工指針・同解説¹⁰⁻³⁾ (以下：軽鋼指針) によれば、板要素の幅厚比が規定値を超えた場合には、規定値を超える部分を無効とみなして、応力検定を行うことができるとされている。

一方、アルミ設計規準では許容応力度設計において幅厚比制限はなく、部材の全体座屈応力度に達する前に局部座屈が生じることを認めている。そのため、部材の座屈に対する許容応力度と板の局部座屈に対する許容応力度を比較し、小さい方を部材の許容応力度とすることと定めている。

その理由は以下のようなものである。許容応力度に対し余裕はあるが、変形が制限値を超えている場合に、この変形を小さくするために板厚を上げるのではなく断面を大きくすることで

対応する場合がある。この時に幅厚比制限があると以下のような事態が生じる。断面を大きくするとそれに伴い板幅も広がり、この板幅に対し必要な板厚が決まる。すなわち、断面を大きくすることで板厚が厚くなる場合がある。断面を大きくし、さらに板厚まで上がると応力度の余裕は更に大きなものになる。この状態は不合理であると考え、断面を大きくしても対応して板厚を上げなくてもよいように、局部座屈を認めることとしている。

そのため、部材の全体座屈に対応する許容応力度と板の局部座屈に対応する許容応力度が存在することになる。部材の全体座屈と板の局部座屈の小さい方が先行して生ずるので、両者の許容応力度を比較し小さい数値を採用することになる。

<圧縮材の仕様規定>

圧縮を受ける部材には、国土交通省告示 410 号に以下に示す細長比 λ の制限があり、アルミ設計規準でもこの規定を準拠している。そのため、アルミ設計規準に準拠して構造設計を行う場合は、これを守る必要がある。

柱材 $\lambda \leq 140$

圧縮材 $\lambda \leq 180$

ここで柱材とは鉛直荷重を支持する構造部材、圧縮材とは筋違などにより圧縮力が作用する構造部材のことである。

<細長比制限に従わない場合の対応>

外国の規準で細長比制限を設けず、圧縮力と座屈に伴う付加曲げモーメントが同時に作用するものとして応力度を評価する設計方法も存在し、この考え方を排除するものではない。ただし、この規準を適用する場合は、算定する応力度に対しアルミ設計規準の許容応力度を適切に用いる。

<溶接を考慮した許容応力度>

引張、圧縮、曲げ及びせん断に関する許容応力度の式の表記が「鋼構造設計規準」に比べ複雑である。これは、鋼構造の溶接部強度は母材の強度と変わらないがアルミの場合は母材と熱影響部では許容応力度が異なること、また溶接は材長に沿った溶接と材長に直交する溶接があり考慮が必要であること、が理由である。

10.10.4 材料の定数

1. アルミニウムの比重、ヤング率、せん断弾性係数、ポアソン比、線膨張係数は表 10-4 に示すとおりである。

表 10-4 アルミの機械的性質

材質	比重	ヤング率 (N/mm ²)	せん断弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	線膨張係数 (/°C)
アルミニウム	2.7	70,000	27,000	0.3	0.000024

アルミの機械的性質は、鋼材との比較で言えば、概ね、比重は 1/3、ヤング率も 1/3、線膨張係数は 2 倍である。

使用できる材質について「アルミ設計規準」は、建築構造材として使用できる材質を国土交通省告示 409 号に定められた材質に限定している。これら以外に「*」の付いた材質が表示されているが、これらの材質は建築基準法に従う必要のない構造物に使用できる材質である。したがって、太陽電池アレイ架台は建築ではないことから、「アルミ設計規準」に示された材質の全てを使用することが可能である。

また、「アルミ設計規準」に表示のない材質の使用を排除するものではなく、JIS 等で耐力、引張強さ、伸びが定められた材質であれば、それらの情報から基準強度 F 値を定め、「アルミ設計規準」を適用することも可能となる。ただし、応力腐食割れの懸念がある材質など太陽電池アレイ架台に適さない材質については、適用できない。

10.10.5 材料の基準強度

1. 材料の基準強度は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。
2. 溶接をする場合には、その影響を考慮する。

アルミの応力—歪関係は、模式的に表すと図 10-15 のようになり、明瞭な降伏点がないランドハウス型の形状になる。このため、便宜的に残留歪 0.2% となる応力度を降伏に代わるものとして「耐力」を定めている。

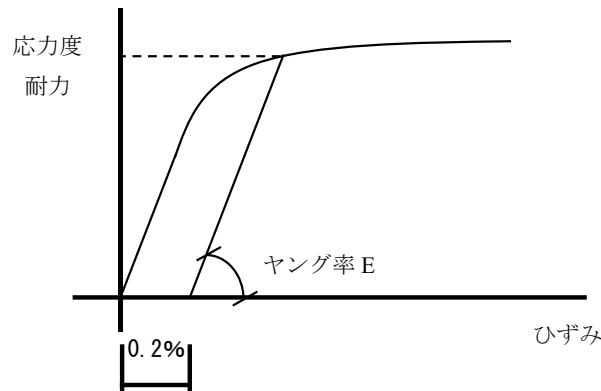


図 10-15 模式的に表したアルミの応力—歪関係

<国土交通省告示と JIS の耐力の相違>

「アルミ設計規準」に示されるアルミ材質の記号は JIS 規格の記号を簡略化したものである。アルミの材質を表す記号には細分化された記号が用いられ、板厚も考慮した耐力と引張強度が JIS4010、JIS4080 に示されている。

耐力と引張強度に関し国土交通省告示第 409 号と JIS 規格の表示が一致していない場合がある。それは、アルミ材質の記号を簡略化するときに便宜的に小さい方の数値を採用したことが理由である。したがって、同告示の数値の方が JIS 規格の数値よりも小さくなる場合がある。

A6N01-T5 (A6005C-T5) がその例で、「アルミ設計規準」では基準強度 F 値は 175N/mm^2 とされているが、板厚 6mm 以下の場合には JIS 規格では耐力が 205N/mm^2 、引張強さが 245N/mm^2 である。このことから、基準強度 F 値を 196N/mm^2 と考えることもでき、この数値を用いて「アルミ設計規準」を適用することも考えられる。

<溶接による強度低下>

アルミは、一般的に溶接をすると溶接部と熱影響部の耐力及び引張強さが低下する。したがって、アルミの接合を溶接により行う場合は、溶接を考慮した基準強度 F_w を使う。また、溶接による熱影響部は溶接の中心から両側 25mm の領域とされている。そのため、溶接の中心から両側 25mm は溶接部の基準強度 F_w を適用し、それより外側は F を適用することになる。

10.10.6 圧縮フランジの支点間距離、座屈長さ、補剛の考え方

1. 10.8.6 圧縮フランジの支点間距離、座屈長さ、補剛の考え方による。

10.10.7 有効断面積、局部座屈防止の考え方

1. 10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。

形材の板部分の局部座屈で許容応力度が決まってしまう場合に、板にリブを設け局部座屈を防止する方法がある（図 10-16 参照）。

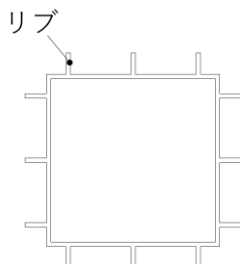


図 10-16 リブによる局部座屈防止方法

10.11 アルミニウム合金製架台における接合部の設計

1. 接合部の設計は 10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。
2. 各部材及び接合部の剛性や偏心等を適切に評価する。
3. 接合部の破断強度は、設計荷重により生ずる応力度の 1.5 倍程度以上とする。
4. 架台の変形が大きい場合には、接合部でのずれや外れ等の不具合が生じないことを確認する。

太陽電池アレイ架台の敷地外への飛散防止は重要なテーマである。そのため、50 年期待値以上の風が作用することを考慮に入れ、鋼構造の場合は、一般的に引張強度は降伏応力度の 1.5 倍以上であることを踏まえ、基礎の風の吹上に対する抵抗力を 1.5 倍以上と定めている。

アルミは鋼材に比べ、降伏比（降伏応力度/引張強度）が高い傾向にあるため、許容応力度設計をすれば鋼材のように自動的に接合部の破断強度が設計荷重に対する応力度の 1.5 倍以上とはならない。そのため、アルミ構造の場合は、鋼構造と同様な安全を担保するため、接合部の破断荷重が設計荷重により生ずる応力の 1.5 倍以上となることを確認することとする。

具体的には、設計荷重により接合部に生ずる応力度が、引張強度の 1/1.5 以下であることを確認することになる。なお、支圧応力度に関しては、1.5 倍の応力度が短期許容応力以下であることを確認する。ただし、アルミ形材を用いた接合部では、接合部に生ずる応力度を正確に確認することが困難である。その場合、接合部を模した試験体を用いて載荷試験を行い、段階的な載荷で除荷時の残留変位や接合部の変形による緩みやがたつきがないことを確認し、接合部の設計を行うことが望ましい。

さらに、架台の変形が大きくなる場合には接合部での長孔のずれや押え金物の外れ、同一部材を繋ぐ継手部でのヒンジ形成及び破損等の不具合が生じることがあるので、構造解析での変形量の計算結果をもとに問題のないことを確認する。

10.11.1 接合部設計の考慮事項

1. 初期形状での安全を担保するとともに、変形後の形状についても破壊形式を推定し安全を担保する設計を行う。
2. 接合部に用いる締結材はアルミとの接触による電食を考慮して選択する。
3. アルミの支圧強度が鋼材に比べて低いことを考慮する。

アルミの形材を用いた接合部を有する太陽電池アレイ架台の実大実験【2019 年度版技術資料 D】で、構造設計者が予期しなかった形式の破壊が見られたことから、以下の注意を喚起する。

アルミ形材の緊結金具を用いた接合部の場合や組立上の配慮から長孔を設けている場合などで、偏心の影響や長孔でのボルトのすべりなどにより、外力を受けると接合部の形状が初期形状から異なる形状に変わる場合がある。

外力を受けても初期形状が維持されているのであれば、それを前提に破壊形式を推定し安全を担保する設計を行うことは正しい行為である。しかし、外力を受けることで接合部の形状に変化が生じると、初期形状に基づいて構造設計を行うことは必ずしも安全な構造設計であるとは言えない。したがって、このような場合については、初期形状での安全を担保すると共に、変形後の形状についても破壊形式を推定し安全を担保する設計を行う。

ボルトは、アルミとの接触で電蝕が生じないステンレスボルト、または、表面処理されたボルトとする。アルミの長期許容支圧応力度は、 $1.1F$ (F : 基準強度) であり、鋼材の $1.25F$ に比べ低いことに注意が必要である。

10.11.2 ボルトの孔径について

1. ボルトの孔径については、10.2.3 適用または関連法令・学会指針類による。

ボルトの使用方法には、引張を負担させる場合とせん断を負担させる場合の 2 通りがある。ボルトの検討方法は鋼構造と同じであり、引張とせん断が同時に作用する場合の算定式もアルミ設計規準に示されている。孔径は鋼材の場合、建築基準法施行令第 68 条 4 よりボルト径+1.0mm 以下と決められているのに対し、アルミの場合はボルト径+0.5mm 以下と決められている。平成 14 年国土交通省告示第 410 号によれば、孔径のクリアランス 0.5mm を超える場合（過大孔）には、実験により性能を確認することを要求している。太陽電池アレイ架台は建築ではないので建築基準法に従う必要はないが、過大孔により変形が増大するなどが考えられることから、過大孔の評価を構造計算、あるいは、実験で確認する。

10.11.3 ボルト接合等におけるはしあき、へりあき距離について

1. はしあき、へりあき距離は、10.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類による。

構造計算、あるいは、実験で性能を確認する等により、せん断及び支圧強度等の安全性の確認ができる場合はこの限りでない。

10.11.4 長孔などによる接合について

1. 摩擦を期待する接合の場合には、所定の荷重が作用した時に当該部分にすべりが生じないようにする。
2. タッピングねじによる接合は、板厚の組合せ、先孔の規定の制限内で使用する。
3. 凹凸を噛み合わせてせん断抵抗力に期待する接合の場合には、荷重が作用しても噛み合わせが維持されるようにする。

<摩擦を期待する接合>

ボルトは前述のとおり、せん断ボルト、引張ボルトとして使用することが原則である。摩擦接合としての使用は例外的な使用方法であり、オーソライズされた設計手法は存在しない。そのため、摩擦接合として使用する場合には、接合部接触面のすべり係数、導入軸力とトルク管理、ボルト径と総厚の関係、ボルトクリアランス、リラクゼーション、ばらつきなどを評価する。

原理的には、摩擦力はボルトの導入軸力とすべり係数を乗じたものとして得られる。通常はトルク係数（締め付けトルクと導入軸力の関係を示す係数）を用いて摩擦力を推定する。ところが、ボルトでは高力ボルトで表示されるトルク係数が表示されていないのが一般的である。そのため、摩擦力を推定することができない。そのような事情があるため、ボルトに摩擦力を期待する設計をするためには、実大実験から接合部の締め付けトルクと摩擦力の関係を求める。

実大実験結果から、表面処理の状態、締め付けトルクと導入軸力の関係及びばらつきの評価、導入軸力のリラクゼーションを考慮した増し締め等々を評価し、施工マニュアルを作成する。これにより太陽電池アレイ架台供用期間を通じて摩擦力が安定的に発揮されることが担保される。これらの評価については、高力ボルト接合設計施工ガイドブック¹⁰⁻⁵⁾が参考になる。

さらに、摩擦力が安定的に発揮される施工要領書が必要である。施工要領書に従って施工することで、所定の摩擦力が常に再現されなければならない。また、太陽電池アレイ架台が稼働している期間を通じて摩擦力が維持されていなければならない。

また、摩擦を期待する接合の場合には、上述の他に、所定の荷重が作用した時に当該部分にすべりが生じることがあってはならない。

<T型溝を用いた接合部>

型材に T 型溝を設けることで任意の位置でボルト接合が可能となるため、アルミ型材を用いた場合に頻繁に使用される手法であることから、接合に T 型溝を用いる場合の構造設計上の注意を以下に述べる。

T 型溝に作用する荷重を材長方向の荷重と材長に直交方向の荷重に分けて考える。材長方向に荷重が作用した場合は、物理的な抵抗機構がないため摩擦力が抵抗機構となる。そのため、ボルトの摩擦力を確実に確保する必要がある。前述の〈摩擦を期待する接合〉に従いボルトの許容摩擦力を適切に定める。

T 型溝に作用する荷重が材長に直交方向であれば、アルミ型材でその荷重に抵抗することになる。アルミ型材に生ずる応力を適切に評価し許容応力度以下となるように設計を行う。

〈タッピンねじ〉

タッピンねじは片側から接合できるので、閉断面のアルミ型材に部材を取付けるときに有効な方法である。タッピンねじの使用にあたっては、板厚の組合せ、先孔の規定などが決められていることから、それらの制限内で使用しなければならない。また、風による繰返し載荷で当該部分にゆるみが生じないことも必須である。

〈型材タッピンホール〉

図 10-17 に示すような型材に型材タッピンホールを設け、この部分を用いて型材タッピンホールで接合する場合がある。この場合のタッピングねじの引張耐力については、型材タッピンホール形状に規格がないため、オーソライズされた実験データが存在しない。そのため、型材タッピンホールを構造的に使用する場合、設計された形状の型材タッピンホールとタッピンねじの組合せで実験を行い、耐力を求める。

型材タッピンホール



図 10-17 型材タッピンホール

〈高力ボルト〉

高力ボルトは摩擦接合として使用する。アルミのすべり係数は、アルミ素地にブラスト等の表面処理をした場合 0.4、無処理の場合 0.15 とされている。アルミのすべり係数 0.4 は鋼材の 0.45 に比べ低いことに注意が必要である。

建築基準法では、アルミと高力ボルトとの電蝕が起きないように溶融亜鉛メッキの高力ボルトを使用することが決められており、大臣認定を受けた溶融亜鉛メッキ高力ボルトを

使用することとされている。この高力ボルトの強度は F8T であり、ボルト径は M12～M24 である。

また、アルミ建築構造製作要領¹⁰⁻⁶⁾では、摩擦面処理をした場合には、実験により摩擦力を確認することとなっている。なお、高力ボルトを摩擦接合ではなく、強度の高いボルトとして使用する場合がある。この場合は、一般的に、高力ボルトとは言わず、高強度ボルトと言われている。

<せん断抵抗力を期待した接合（ローレット加工）>

形材にねじ山のようなギザギザを設ける手法がある。この手法をローレット加工と呼んでいる。ボルトとナットの組合せのようにギザギザ部分のせん断抵抗力を期待する設計である。この場合が有効なのは、ねじ山のように両者の形材が逃げることなく噛み合っていることであり、面外に変形してしまえばかみ合わせがなくなり、ねじ山の効果はなくなる。したがって、設計においては、荷重が作用した時にギザギザの噛み合わせが維持されることが重要になる。また、かみ合わせ部のすべりや応力集中など構造計算では評価できない事項もあるので、実験により性能を確認する。

10.11.5 部材が偏心して接合される場合の検討

1. 10.9.4 部材が偏心して接合される場合の検討 を参照する。

10.11.6 モジュールと架台の接合について

1. 10.9.5 モジュールと架台の接合について を参照する。

10.11.7 同一部材を繋ぐ継手について

1. 同一部材を繋ぐ継手の固定ボルトや固定金物についても許容応力度設計を行い安全性の確認を行う。

10.12 部材の応力度検定

1. 部材の応力度検定は、圧縮・引張・曲げの応力に対して行う。

10.12.1 圧縮応力を受ける部材

圧縮応力を受ける部材は、幅厚比を考慮した座屈材として検討を行い許容圧縮応力度以下となることを確認する。

10.12.2 引張応力を受ける部材

引張応力を受ける部材は、突出部分の控除及びボルト孔などを考慮した有効断面により検討を行い、許容引張応力度以下となることを確認する。

10.12.3 曲げ応力を受ける部材

曲げ応力を受ける部材は、幅厚比、ボルト孔などを考慮した有効断面による断面係数により検討を行い、許容曲げ応力度以下となることを確認する。

10.12.4 組合せ応力を受ける部材

組合せ応力は、軸方向応力、せん断応力、曲げ応力について考慮し、組合せた応力状態における検討を行い、許容応力度以下となることを確認する。

10.13 基礎の設計

1. 基礎の設計は、11章による。

参考文献

- 10-1) 一般社団法人日本規格協会 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
- 10-2) 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
- 10-3) 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、2024
- 10-4) 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
- 10-5) 一般社団法人日本建築学会: 高力ボルト接合設計施工ガイドブック、2016
- 10-6) アルミニウム建築構造協議会: アルミニウム建築製作要領、2003

11. 基礎の設計

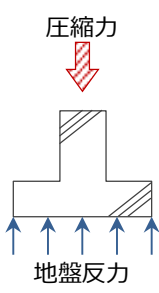
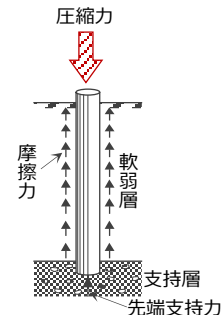
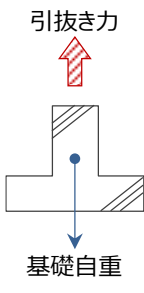
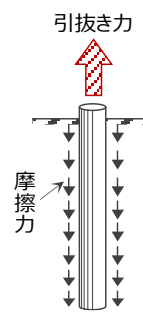
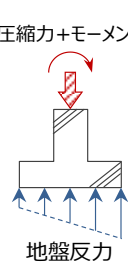
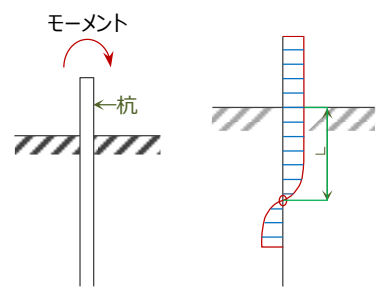
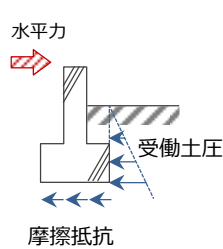
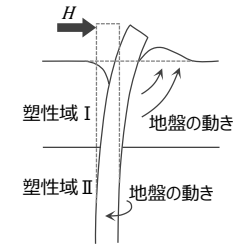
11.1 一般事項

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。
2. 基礎の形式：太陽電池アレイ架台の規模・重量及び地盤特性を考慮して、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（支持杭及び摩擦杭）とする。
4. 基礎の設計：架台同様に、許容応力度設計とする。

11.2 基礎に働く外力と反力

1. 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、これらに対する反力を直接基礎と杭基礎の各々について表 11-1 に示す。

表 11-1 基礎に働く外力と反力

基礎の種類		直接基礎の場合	杭基礎の場合
外力	圧縮力	<p>(反力) フーチングによる地盤反力</p> 	<p>杭の先端支持力+周面摩擦力</p> 
	引抜き力	<p>基礎自重</p> 	<p>杭の周面摩擦力</p> 
モーメント		<p>(反力) フーチングによる地盤反力 (柱脚にモーメントが作用したり、荷重の偏心があったりする場合は偏心軸力として算定)</p> 	<p>杭の許容曲げ応力</p> 
水平力		<p>底面の摩擦抵抗 根入れ部の抵抗 (受働土圧)</p> 	<p>杭の水平抵抗力</p> 

11.3 基礎の形式

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安全に支持できる構造形式とする。

太陽電池アレイ架台を支える基礎は図 11-1 のように分類される。

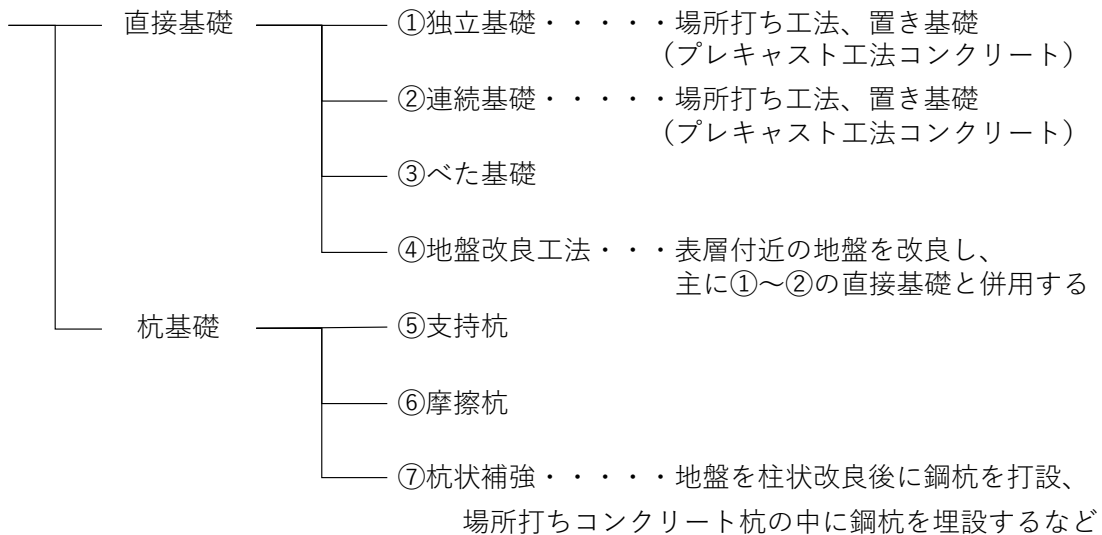


図 11-1 基礎の種類

11.3.1 独立基礎

1. 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。
2. 独立基礎にて太陽電池アレイ架台を支持するときは、架台柱脚からの鉛直力（圧縮力・引抜力）並びに風圧荷重・地震荷重による水平力を考慮して設計する。



写真 11-1 独立基礎

11.3.2 連続基礎（布基礎）

1. 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である。
2. 連続基礎にて太陽電池アレイ架台を支持するときは、架台柱脚からの鉛直力（圧縮力・引抜き力）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。



写真 11-2 連続基礎

11.3.3 べた基礎

1. 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。
2. 小規模建築物では基礎梁と基礎スラブで構成されるが、太陽電池アレイ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。
3. 基礎梁がな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。
4. 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。



写真 11-3 べた基礎

11.3.4 地盤改良工法

1. 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。
2. 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。
3. 太陽光発電システム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。

11.3.5 支持杭、摩擦杭

1. 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。
2. 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）を選択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。
3. 太陽電池アレイ架台では強風時の負圧による引抜力に特に留意して設計を行う。



写真 11-4 杭基礎

11.3.6 杭状補強

1. 杭基礎の中には、上述のように杭単独で架台荷重を受け持つ工法と地盤改良工法によって改良した地盤に杭を貫入する工法や先行して場所打ちコンクリート杭を打設し、そこに杭を埋設する工法など、他の工法と混合して用いることもある。



柱状改良杭に鋼管杭埋設

場所打ちコンクリート杭に鋼管杭埋設

写真 11-5 杭状補強

11.4 直接基礎の設計

11.4.1 一般事項

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、長期荷重時に生じる地盤の最大接地圧が長期許容応力度（極限支持力度を安全率3で除した値）以下となるようにし、かつ、接地圧はできる限り等分布で、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、地盤が軟弱な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（極限支持力度を安全率1.5で除した値）を超過しないようにする。
3. 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。
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。あと施工アンカーなど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たものとする。
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・施工条件を適切に考慮して決める。土質試験などを実施しない場合、表11-2などを参考に μ の値を設定する。
10. 受働土圧は建築基礎構造設計指針¹¹⁻²⁾の5.4節を参考に設定する。
11. 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。
12. 地盤の凍結が想定される地域では凍上対策を検討する。

表 11-2 土質による地盤の摩擦係数※ 盛土規制法施行令別表 3¹¹⁻¹⁾より

土質	摩擦係数 (μ)
岩、岩層、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15cm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

11.4.2 地盤の許容支持力

1. 地盤の許容支持力は建築基準法施行令第 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。

建築基準法施行令第 93 条

地盤の許容応力度および基礎杭の許容支持力は、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、地盤の許容応力度については、地盤の種類に応じて、それぞれ表 11-3 の数値によることができる。

表 11-3 地盤の許容応力度

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応力度を定める方法が規定されているので、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、表 11-4 の(1)項、(2)項または(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 SWS 試験の荷重が 1kN 以下で自沈する層が存在する場合、も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 SWS 試験の荷重が 0.5kN 以下で自沈する層が存在する場合にあっては、太陽電池アレイ架台・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、変形及び沈下が生じないようにする。

表 11-4 地盤の許容応力度を定める方法

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)	$q_a = \frac{2}{3} \times (i_c a C N_c + i_\gamma \beta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q)$
(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_γ 、 i_q 、 a 、 β 、 C 、 B 、 N_c 、 N_γ 、 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_γ 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。 $i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$ $i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2$ 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または短径及び長辺または長径の長さ（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 基礎荷重面の短辺または短径（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また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また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	平板載荷試験による降伏荷重度の $\frac{1}{2}$ の数値または極限応力度の $\frac{1}{3}$ 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 SWS 試験における 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）									

11.4.3 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、表 11-5 に掲げ

る改良体の許容応力度によるものとする。（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 参照。）

表 11-5 地盤の改良体の許容応力度

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。	

上述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などの結果に基づいて、表 11-6 に掲げる式によることができるものとする。

表 11-6 地盤の改良体の許容応力度（載荷試験による）

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 平板載荷試験または載荷試験による極限応力度（単位 kN/m ² ）	

11.4.4 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およ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に準拠して設計を行う。

<独立基礎>

- ・ 一体の鉄筋コンクリート造とする。
- ・ 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。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。
- ・ 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。
- ・ 立ち上がりを高くする場合には、柱筋・帯筋を配置する。

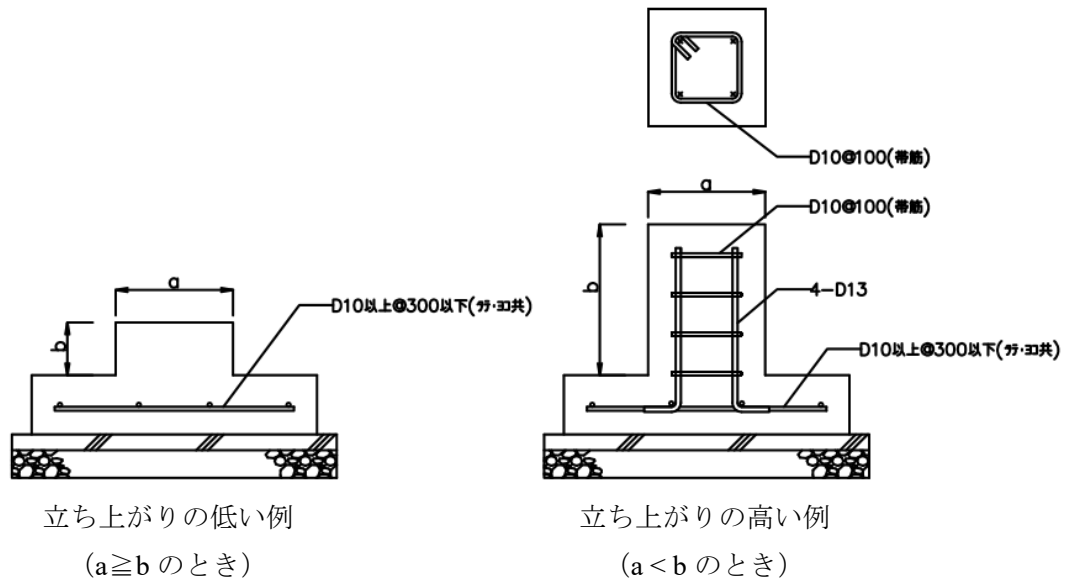


図 11-2 独立基礎の構造例

<連続基礎（布基礎）>

- 一体の鉄筋コンクリート造とする。
- 底盤を設ける場合は、厚さ 150mm とする。
- 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。
- 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。補強筋の端部は 180 度のフックを設ける。

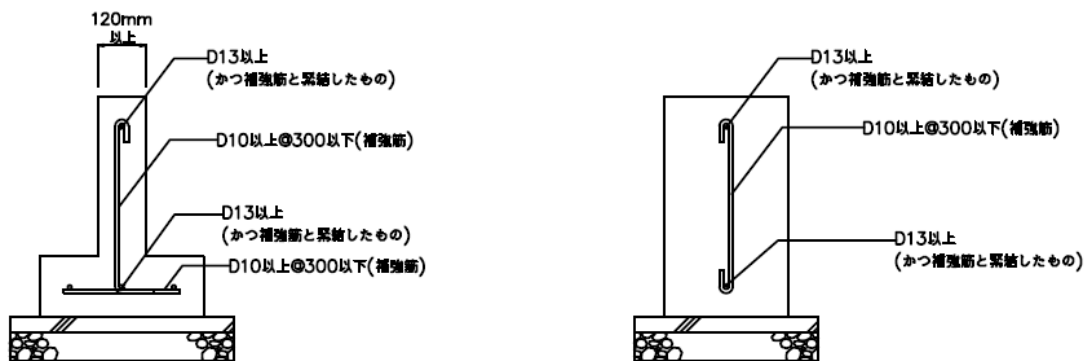


図 11-3 連続基礎（布基礎）の構造の例

<べた基礎>

- ・ 一体の鉄筋コンクリート造とする。
- ・ 立上り部分がある場合、その主筋として D13 以上の異形鉄筋を、立上り部分の上端及び立上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。
- ・ 立上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。補強筋には端部にフックを設ける。
- ・ 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。
- ・ 立上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。底盤厚さとして 150mm 以上を推奨する。

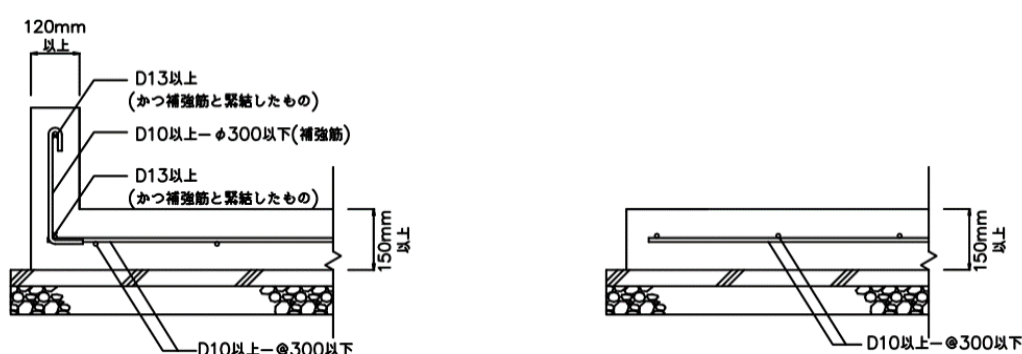


図 11-4 ベた基礎の構造の例 (左: 基礎梁あり、右: 底盤のみ)

11.4.5 地盤改良工法

1. 地盤許容応力度の評価及び浅層混合処理工法の設計は、国土交通省告示第 1113 号及び (一財) 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」¹¹⁻³⁾ に準拠して行う。

11.4.6 凍上対策 (凍結深度対策)

1. 冬期に地盤が凍結する寒冷地において太陽電池アレイ架台を設置する際、直接基礎を用いる場合にはその底面が「最大凍結深さ」よりも浅いと凍結と融解の繰り返しで、基礎そのものや架台が歪んだり、変位したりする懸念がある。このため、寒冷地では布基礎や独立基礎を用い、埋設時には基礎底板 (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に埋設する。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なければならない。

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 5.5.10 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。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。

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。また、フーチング幅は土圧が作用するように、十分に広くなる。

図 11-5 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、埋設深さを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 倍程度の深さとなるよう設計することで凍上を防ぐことができる（実証実験の結果については【特殊な設置形態（傾斜地設置型・営農型・水上設置型）の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025 年版技術資料：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。

べた基礎については対凍上性を有していないため、寒冷地で使用する基礎としては不適切である。また、フーチングを有さない独立基礎についても、埋設深さを深くしても凍上してしまうことが実証実験により明らかとなっているため、これを寒冷地で用いるのは不適切である。（実証実験の結果は【特殊な設置形態（傾斜地設置型・営農型・水上設置型）の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025 年版技術資料：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）。

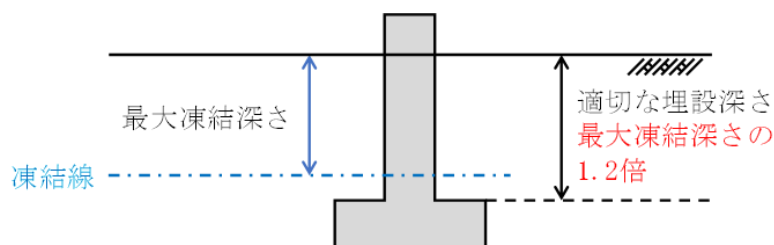


図 11-5 独立基礎及び布基礎の適切な埋設方法

11.5 杭基礎の設計

11.5.1 一般事項

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、これを考慮した緊結に使う金具などをボルト等で緊結する。

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、小さい方の値とする。
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、載荷試験を行って求める。
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。
10. 杭の高止まりなどの施工不良を考慮し、事前に対策方法を検討する。

太陽光発電設備に使用する杭は建築物用と比較して短いものが多い。そのため杭の抵抗力は、地表面近くの不均質な地盤性状の影響を受けやすく、打設位置によって異なる傾向を示す場合が多い。また、太陽光発電設備の杭は架台の支柱に直接接合されることが多く、アレイの中のひとつの杭の抵抗力不足がアレイ全体の強度を大幅に低下させることが想定されるので、杭の載荷試験によって必要な抵抗力があることを確実にすることが重要である。なお、アレイの中のひとつの杭の抵抗力が不足した場合の架台の強度低下への影響については、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 2025 年版¹¹⁻⁴⁾の【技術資料:太陽光発電システム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)】に示したので参照されたい。

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 5.5.10 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。

架台の基礎として、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。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 11-6 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 11-6(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【特殊な設置形態(傾斜地設置型・営農型・水上設置型)の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025 年版技術資料: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 11-6(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、羽根のない円筒型の杭や H 形鋼の杭、羽根の小さなスクリュー杭等でも、埋設深さが適切であれば、凍上による変位を低減することができる。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。

以上に加え、寒冷地では杭周辺の地盤が凍結融解履歴を受けることで、春期に杭の引抜抵抗が低下してしまう懸念がある。実証実験では、スパイラル杭の引抜抵抗の低下は羽根のない円筒型の杭に比べて小さかったことから、本ガイドラインではスパイラル杭の使用を推奨する（実証実験の結果は【特殊な設置形態（傾斜地設置型・営農型・水上設置型）の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025 年版技術資料：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）。

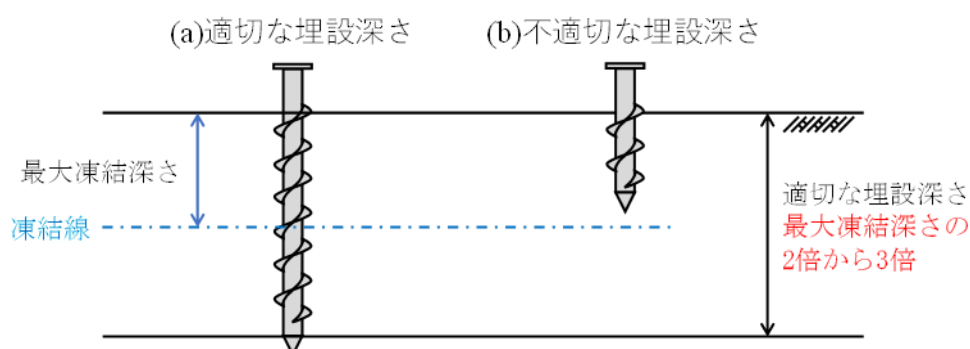


図 11-6 杭基礎の適切な埋設方法

11.5.2 杭の鉛直許容支持力

1. 杭の支持力（押し込み力・引抜き力）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・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。
2. 国土交通大臣認定杭及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。
3. 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。杭の引抜き抵抗力の算定においては支持杭・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。

太陽光電池アレイ架台に使われる杭基礎は、一般的な建築物に使われる杭基礎とは異なり、小径で浅層に使われること、引抜きが重要な荷重ということ特徴を十分考慮して設計する。

杭支持力の実証試験（2025 年度版の【技術資料：杭基礎支持力の実証試験】参照）の結果から、試験による支持力は設計計算式から求められる支持力よりも小さくなる傾向にあるため、現地での載荷試験から求めた支持力を用いて、設計することを基本とする。

施工不良を考慮した杭支持力の実証試験（【2019年度版技術資料 G2】参照）の結果から、支持力が標準施工よりも低減することがあるので、施工管理は十分に注意して行う。

押し込み支持力、引抜き支持力の現地試験結果から許容支持力を求める時は、鉛直変位が0.1D（杭径の10%）以上になるまで支持力を測定する。その時の極限支持力は最大値を採用しても良いとする。その極限支持力の1/3を長期許容支持力とし、2/3を短期許容支持力とする¹¹⁻⁵（図11-7を参照）。ただし、地盤が固いなどで0.1Dまで変位させられない場合は、設計支持力に対して安全率を考慮した支持力を十分確保されていることを確認できれば、0.1Dまで変位させなくても良いとする。

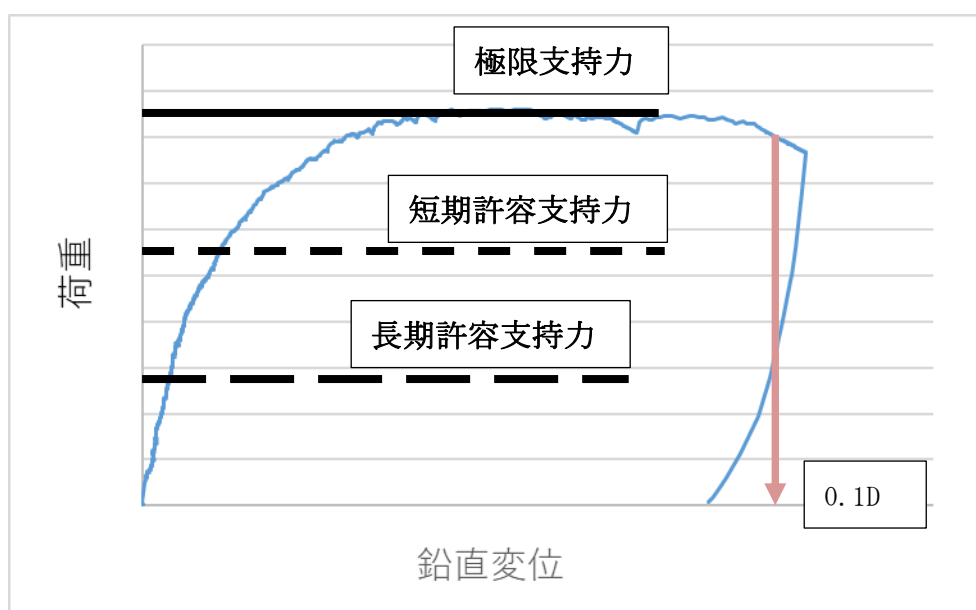


図 11-7 载荷試験による鉛直変位と支持力の関係（模式図）

11.5.3 杭の水平抵抗力及び水平変位

1. 杭の水平抵抗力及び水平変位は、水平载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¹¹⁻²⁾」に示されている水平抵抗算定式を用いて適切に求める。

設計で想定される杭頭の固定条件及び鉛直荷重が作用する状態で、水平载荷試験を行い、その結果を設計に反映することは最適な方法である。しかし、このような状態の再現には、特殊な装置を必要とするため、水平载荷試験は、一般には杭頭自由で鉛直荷重が作用しない状態で行われる。したがって、水平载荷試験は、水平抵抗算定式に適用する地盤の諸定数を求めるための試験として位置付けるべきである。

架台の水平力による杭の水平変位は、場合によっては架台に発生する応力に非常に大きな影響を与えることになる。したがって、これを正しく推定するためには水平载荷試験によって水平地盤反力係数を求める¹¹⁻⁶⁾。

水平載荷試験での水平荷重と水平変位の関係を求めるには、地表面変位で 0.1D（杭の直径）まで測定することとする。水平地盤反力係数の算出においては、杭体が弾性範囲にあることが前提であるため、直径が 10cm 程度の小径の杭体であれば、0.1D が妥当であると考えられる。ただし、杭径が直径 10cm よりも大幅に大きくなる場合は、地表面変位を 1cm とすることが望ましいと考える。

水平載荷試験で求めた水平地盤反力係数を用いて、設計条件の下で改めて水平抵抗算定式の計算によって、杭の設計用限界水平抵抗力や設計用限界水平変位を求めることができる。また、設計計算において、地表面変位が 0.1D 以上あるいは 1cm 以上変位すると予想される場合は、水平変位が予想される変位を超えるまで載荷することが望ましい。この時、短期荷重条件による水平変位によって、架台部材、接合部、杭頭接合部などが、許容応力度以下であること、杭体は腐食しをを除いた有効断面で許容応力度以下であることを確認する。

風による水平力を受けた時の周面摩擦力への影響については、【2019年度版技術資料 G3】を参照されたい。

載荷試験方法は、「杭の押し込み試験方法」地盤工学会基準（JGS 1811-2002）、「杭の引抜き試験方法」地盤工学会基準（JGS 1813-2002）、「杭の水平載荷試験方法」地盤工学会基準（JGS 1831-2010）による。

11.5.4 杭状補強



1. 改良を行った地盤に杭を埋設して杭基礎とする場合、あるいは先行して場所打ちコンクリート杭を打設しそこに杭を埋設する場合など、杭と他工法を混用する場合は、現地での載荷試験などを実施して、適切に支持力を求める。


一般的な建築物では、浅い層で杭状に補強した地盤に杭を貫入して基礎とする構造物は殆んどないと考えられる。よって、適切に設計計算によって支持力を求めるのは困難であるため、現地で載荷試験を実施して支持力を求めることを基本とする。（【2019年度版技術資料 G4】参照）

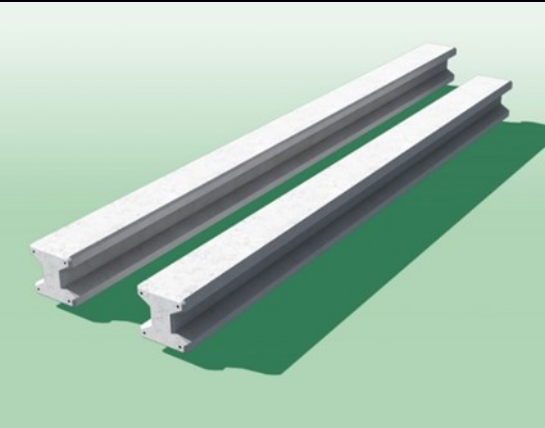
11.5.5 杭の種類

以下に、代表的な杭の種類を示す。示した例以外にも、多種多様な杭が存在する。

表 11-7 杭の種類

杭の種類	外観写真
鋼管杭	
先端加工付鋼管杭	

杭の種類	外観写真
<p>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>	<div style="text-align: center;">  <p>(スクリュー杭)</p>  <p>(スパイラル杭)</p> </div>
<p>形鋼杭</p>	
<p>コンクリート杭</p>	

杭の種類	外観写真
コンクリート杭	

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) 一般財団法人日本建築センター：「建築物のための地盤改良の設計及び品質管理指針」、2018
- 11-4) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：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 2025年版、2025
- 11-5) 公益社団法人地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説（第一回改訂版）、2004
- 11-6) 公益社団法人地盤工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説（第一回改訂版）、2010

12. 腐食防食

12.1 適用範囲

1. 本章で対象とする運用期間は、適切な点検、メンテナンスにより 20 年以上の動作に耐える期間とする。動作に耐えるとは、太陽光発電システムが腐食により動作異常を起こさない状態のことである。
2. 本章で対象とする架台の主要な部材は、鋼材、アルミニウム合金材とする。
3. 本章で対象とする基礎の主要な部材は、鋼材とする。

12.2 一般事項

1. 金属材料の腐食形態は、均一腐食と局部腐食に大別できる。
2. 均一腐食に対する防食方針：材料に構造上致命的な腐食による減肉がないこと。
3. 局部腐食に対する防食方針：各腐食原因による腐食箇所が集中しないこと、また、太陽光発電システムに構造上致命的な腐食による損傷が発生しないこと。

均一腐食とは、材料表面の大部分にほぼ均一に腐食が生じる現象のことである。

局部腐食とは、一部に極端な腐食が生じる現象のことである。腐食が局在化する原因は多種多様であり、本章では 12.3.3 異種金属接触腐食、12.3.6 孔食、12.4.3 土壌マクロセル腐食などがこれに当たる。

12.3 大気中における架台の腐食と対策

12.3.1 表面処理の種類

1. 架台に用いられる代表的な表面処理は、表 12-1 などである。
2. 材料は鋼材とアルミニウム合金材とする。それ以外の材料を用いる場合または耐食性が不明の場合は、耐食性に問題がないことを確認して用いる。

ここでは鋼材から締結材によく用いられるステンレス鋼は除いた。鋼材には様々な目的で合金元素が添加されるが、添加されることで腐食形態や腐食速度が変わる可能性がある。そのため耐食性を確認し、不明の場合には、大気暴露試験等により耐食性に問題がないことを確認して使用する。

アルミニウム合金材は架台の主要な部材で多用されている A6000 系とした。ただし、5.2 アルミニウム合金材で示した「アルミニウム建築 構造設計基準・同解説」（アルミニウム建築構造協議会）では、A6000 系以外のアルミニウム合金材も示されている。これらの A6000 系以外の材料は、本章で示す腐食形態や腐食速度と異なる可能性があるため、A6000 系以外の材料を用いる場合には、大気暴露試験等により耐食性に問題ないことを確認する。耐食性

の確認では、大気暴露試験等を実施することが望ましいが、建設技術審査証明や国土交通大臣認定などを参考に検討することも可能である。

表 12-1 架台に用いられる代表的な材料と表面処理の種類

材料	表面処理	特徴
鋼材 (ステンレス鋼を除く)	溶融亜鉛系めっき (先めっき)	めっきした後に加工するため、切断面はめっき層がなく、加工部と切断面近傍ではめっきの消失が少し早くなることもある。 【例】 JIS G 3302 「溶融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯」 JIS G 3317 「溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき鋼板及び鋼帯」 JIS G 3321「溶融 55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板及び鋼帯」 JIS G 3323 「溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板及び鋼帯」 など
	溶融亜鉛系めっき (後めっき)	加工後にめっきを行うため、切断面や加工部にもめっきがある。 【例】 JIS H 8641 「溶融亜鉛めっき」 日本溶融亜鉛鍍金協会規格「溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき」 など
	亜鉛めっき + 塗装	めっき上に塗装を施した材料である。 【例】 JIS G 3312 「塗装溶融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯」 JIS G 3318 「塗装溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき鋼板及び鋼帯」 JIS G 3322「塗装溶融 55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板及び鋼帯」 など ただし、別途、塗装を行う場合は、塗装とめっきの相性を考慮して選択する必要がある。
アルミニウム合金材	処理あり (陽極酸化処理)	材料は局部腐食のみ発生し、ほとんど減肉しない。

材料	表面処理	特徴
(A6000系)	(化成処理)	陽極酸化皮膜は一般にアルマイトと呼ばれ、絶縁性があり、太陽電池モジュールが接地されない。 化成皮膜は、酸またはアルカリ性水溶液を用いて無電解で生成した皮膜である。溶液や処理条件により成分や構造が異なり、表面をセラミックス化することもあるため、太陽電池モジュールが接地されない可能性がある。 【例】 JIS H 8601「アルミニウム及びアルミニウム合金の陽極酸化皮膜に関する全般的な規格」 など
	処理なし	飛来塩分のない環境（内陸かつ融雪剤等の影響がない）の場合は、ほとんど減肉しない。 飛来塩分のある環境（海岸付近または融雪剤等の影響を受ける）の場合は、孔食は無数に発生するが、ほとんど減肉しない。

12.3.2 一般的な腐食（均一腐食）

1. 架台は、材料に有効な防食処置を施して使用する。防食処置は、架台が設置される周辺環境を考慮して選定された適切な表面処理により行う。

基本的には材料が鋼材である場合を対象とする。A6000系のアルミニウム合金材の場合、大気環境中では均一腐食が起こらないため、対象から外した。飛来塩分の多い環境ではアルミニウム合金材表面に孔食が無数に発生することがあるが、減肉に至るほどではない¹²⁻¹⁾。ただし、海水が直接かかるような環境では、問題が生じる可能性がある。

この現象は一般的には大気腐食と呼ばれ、材料表面に降雨や結露、水の吸着により、液膜が形成し、この下で腐食が進行する現象のことである。そのため材料表面の大部分がほぼ均一に腐食する。腐食因子として温度、湿度、降水量、大気汚染物質（飛来塩分や工場の排気ガスなど）があり、これらの相互作用により腐食量が増減する。特に太陽電池モジュールは屋根として機能するため、架台は雨掛かりのない環境に置かれる。雨掛かりが腐食に与える影響については、12.3.4 雨掛かりのない環境中での腐食を参照のこと。

均一腐食の例として、耐食性の確認や腐食速度測定などに用いられる暴露試験片の外観を図12-1に示す。表面処理の選択を誤ると、環境によっては早期に腐食が進行し、材料の腐食による減肉が起こり始める。

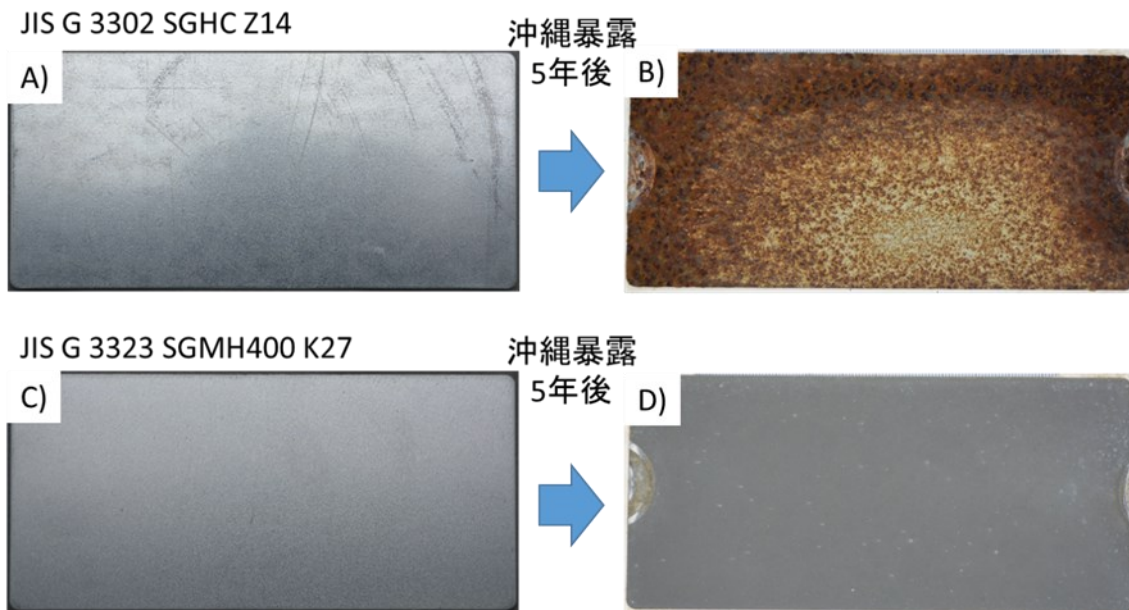


図 12-1 均一腐食例 A) 未暴露試験片 (JIS G 3302 SGHC Z14)、B) 沖縄県で 5 年間暴露された試験片 (JIS G 3302 SGHC Z14)、C) 未暴露試験片 (JIS G 3323 SGMH400 K27)、D) 沖縄県で 5 年間暴露された試験片 (JIS G 3323 SGMH400 K27)

対策としては、架台の主要な部分が設置される環境に合わせ、次のような表面処理を適切に講じることが必要である。表面処理の耐用年数が不明の場合には、個々の環境に合わせ大気暴露試験（【2019 年度版技術資料 H】参照）等を実施し、評価して用いることが望ましい。

a) めっき

材料表面を金属または非金属の薄膜で被覆することにより、腐食を防止する方法である。大気腐食の防食によく用いられるのは、溶融亜鉛めっき (JIS H 8641) である。亜鉛めっきの耐用年数¹²⁻²⁾ の推定には以下の式を用いることが多い。

$$\text{耐用年数} = \frac{\text{亜鉛付着量}(\text{g}/\text{m}^2) \times 0.9}{\text{亜鉛の腐食速度}(\text{g}/\text{m}^2/\text{year})}$$

この式を用いて評価した溶融亜鉛めっき (亜鉛付着量 550 (g/m²)) の代表的な環境での耐用年数を一般社団法人日本溶融亜鉛鍍金協会資料より引用¹²⁻³⁾し表 12-2 に示す。

表 12-2 亜鉛の平均腐食速度と耐用年数

暴露試験地域	腐食速度 (g/m ² /year)	耐用年数 (year)
都市・工業地帯	8.0	62
田園地帯	4.4	113
海岸地帯	19.6	25

b) 塗装

材料表面に塗料を塗ることで材料表面に直接液膜が形成されないようにして、腐食を防止する方法である。塗料の種類、塗装方法、下地処理、塗膜厚さ、塗装する環境などにより塗膜の性能や耐用年数が著しく変わるため、仕様や施工方法は塗装メーカーなどに相談の上、決定する。

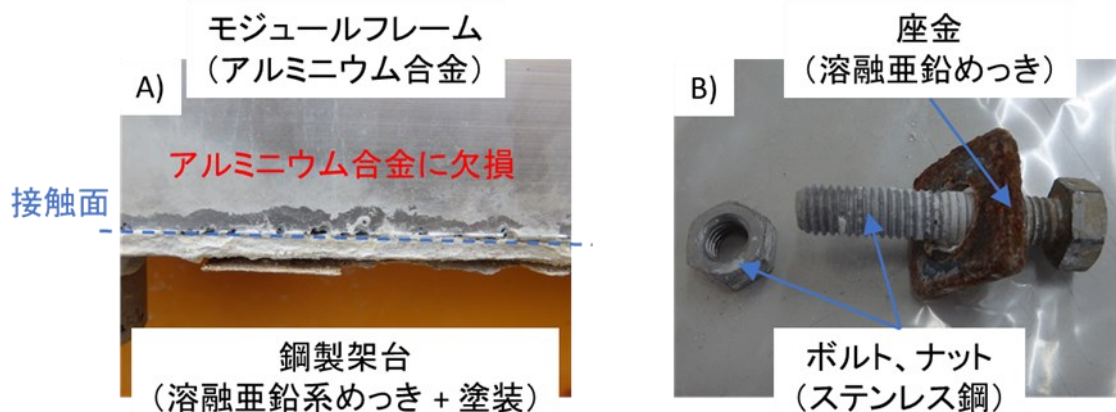
12.3.3 異種金属接触腐食

1. 異なる金属を組み合わせて用いると異種金属接触腐食の原因となるので、可能な限り同じ金属を用いる。ここでの金属は、主要な部材だけでなく、締結材であるボルト、ナット等も含む。ただし、有効な防食処置を講じて用いる場合、または対策の必要がないことを確認し、適切なメンテナンス期間を定めている場合はこの限りではない。

12.3.1 表面処理の種類において、ステンレス鋼は主要な部材から除いたが、締結材としてはステンレス鋼が用いられることも多い。異種金属接触腐食は主要な部材と締結材のステンレス鋼が接触することで容易に発生するため、ここではステンレス鋼についても記載した。

異種金属接触腐食とは、金属（めっき層も含む）が種類の異なる他の金属との接触（短絡）によって、接触している付近で腐食が促進される現象のことである。太陽光発電設備では、アルミニウム合金製架台に鋼製杭を使用する（アルミニウム合金と溶融亜鉛めっきの接触）、鋼製架台にステンレス鋼製ボルトを使用する（溶融亜鉛系めっきとステンレス鋼の接触）などによって生じることが多い。

太陽光発電設備の異種金属接触腐食の例として、鋼製架台と太陽電池モジュールのフレーム（アルミニウム合金、陽極酸化処理あり）の接触により発生した腐食（図 12-2 A）と、ステンレス鋼製ボルト、ナットに溶融亜鉛めっきされた鋼製座金を用いた例（図 12-2 B）を図 12-2 に示す。後述する対策の a) 絶縁処理が図 12-2 A には施されていたが、大気汚染物質（飛来塩分や工場の排気ガスなど）が非常に多い環境であったため、腐食が顕在化したと考えられる。一般的には、図 12-2 A の使用方法で異種金属接触腐食は顕在化しないと思われる。



(A) 鋼製架台と太陽電池モジュールフレーム、
(B) ステンレス鋼製ボルト、ナットと溶融亜鉛めっきの座金
図 12-2 太陽光発電システムに見られる異種金属接触腐食例

対策は、異なる金属を用いることを避けることである。しかし、異なる金属を使用する場合には、次のような防食処置を講じることが望ましい。

a) 絶縁処置

異なる金属間に樹脂などの絶縁体を挿入し、金属間の短絡を避ける方法である。主要な部材がアルミニウム合金材の場合には、表面処理に陽極酸化皮膜を用いることで同様の効果が得られる。ただし、海塩粒子が付着することによって、陽極酸化皮膜が破壊され、接触する可能性があるので注意が必要である。

b) 防水処置

両金属を完全に塗料等で被覆するなど、異なる金属間が雨水などの電解質で繋がることを避ける方法である。ただし、塗装には必ず微小なクラックがあり、電解質が浸透するため、定期的に点検する。

c) ガルバニック電流測定による腐食の評価

大気環境を模擬する溶液中での異種金属接触腐食を電気化学的に評価する方法である。測定された電流密度から接触面での異種金属接触による腐食速度を見積もることとなるが、測定には架台が設置される環境を模擬できる溶液の選定や測定装置の選定、使用など専門的知識を必要とするため、測定は専門家と十分協議の上、実施することが望ましい。

また、異種金属接触腐食の対象となる部分は、得られる試験結果からメンテナンス期間を定め、定期的に点検する。

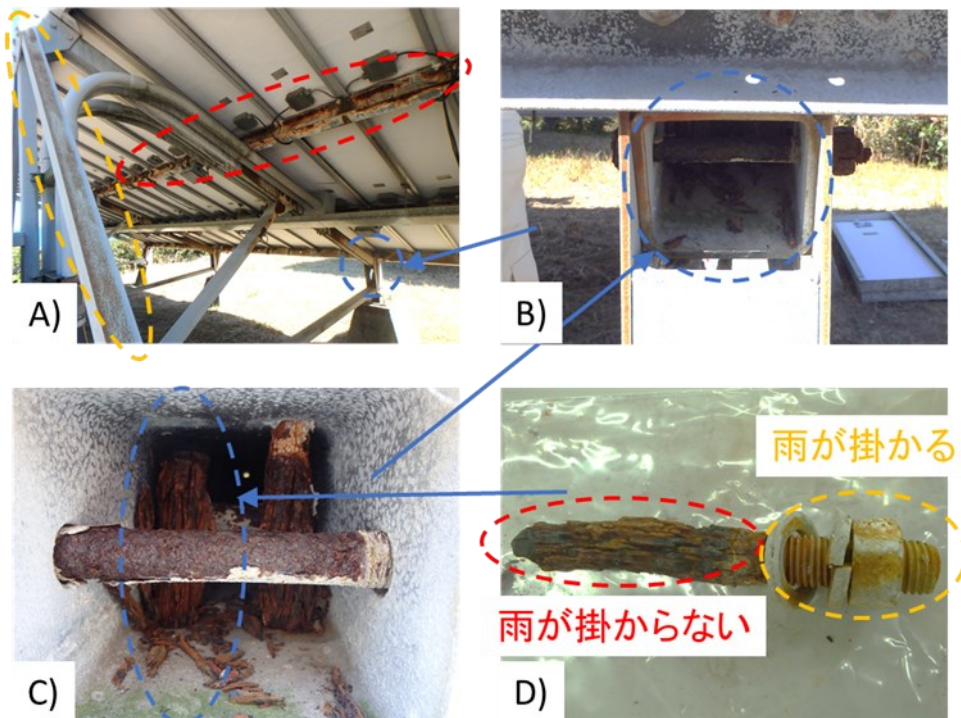
12.3.4 雨掛かりのない環境中での腐食

1. 架台は、太陽電池モジュールが屋根として機能し大部分が雨に掛からないため、8.3.2 一般的な腐食（均一腐食）で考えられる腐食より、腐食が促進される可能性がある。このことに留意し、材料の選択、表面処理の決定を行うことが望ましい。

大気腐食において、降雨は材料表面を濡らし、腐食が促進されるが、大気汚染物質（飛来塩分や工場の排気ガスなど）を洗い流し、腐食を抑制する効果もある。そのため、架台のように雨掛かりがない環境では大気汚染物質が材料表面に蓄積し、腐食を促進させる場合がある。

雨掛かりのない環境中での腐食事例として、雨掛かりの違いによる部材ごとの腐食状態の違い（図 12-3 A）と縦棧となる角パイプを貫通したボルトの雨掛かりの違いによる腐食形態の違い（図 12-3 D）を図 12-3 に示す。図 12-3 B、C でボルトの詳しい設置箇所を示した。特に図 12-3 D に示したボルトの雨掛かりがない部分は鉄が全く残っておらず、破断していた。このことから、図で示した架台の設置された環境における雨掛かりのない場所での腐食速度は、雨掛かりのある場所と比較して著しく速かったものと考えられる。

雨が掛かりやすい 雨が掛かりにくい



- (A) 雨が掛かりやすい所と雨が掛かりにくい所の比較（溶融亜鉛めっき）、
(B) 縦棧となる角パイプ、(C) 角パイプ内部、(D) 角パイプを貫通していた鋼製ボルト

図 12-3 雨掛かりのない環境中での均一腐食

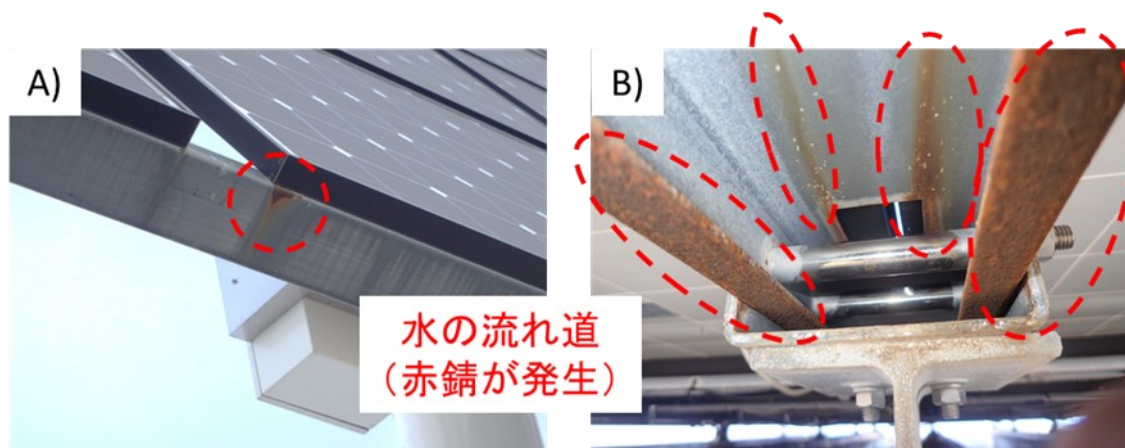
対策は 12.3.2 一般的な腐食（均一腐食）と同様であるが、12.3.2 一般的な腐食（均一腐食）で想定される腐食速度よりも数倍速い腐食速度となることがある。特に雨掛かりのない環境中での腐食は、沿岸部で腐食速度が増大する傾向が顕著であり、内陸部では腐食速度が減少する傾向にある。このことを考慮して対策を検討し、メンテナンスを行っていくことが望ましい。詳細は【2019 年度版技術資料 H】を参照のこと。

12.3.5 流水部の腐食

1. 架台では、その構造上、雨水等の流れ道は決まっており、いつも同じ場所を流れている。一般的に水があるほうが腐食は発生し易いため、金属表面に水の流れ道が可能な限りできないような設計とし、流水部となる箇所は点検、メンテナンスを定期的に行うことが望ましい。ただし、有効な防食処置を講じている場合はこの限りではない。

架台では、その構造のため金属表面に雨水、結露水の流水部、滞留部が見られる。特に太陽電池モジュールにより集められた雨水、結露水は、太陽電池モジュールの四隅において、いつも同じ隅から排出されることが多い。水があると腐食は発生しやすくなることから、太陽電池モジュールを支える主要な部材には流水部、滞留部に腐食が発生しやすい。また、雨だれを受ける金属表面にも腐食が発生し易い。

架台で発生した流水部の腐食事例を図 12-4 に示す。錆が雨等で流されて腐食していないのに腐食しているように見える部分（一般的に「もらい錆」と呼ぶ）も見られるため、赤錆に見えるところが全て腐食しているわけではない。しかし、流水部でない部分と比較すると腐食の進行は速い。



- A) 横棧（溶融亜鉛系めっき）に発生した腐食、
- B) 縦棧（溶融亜鉛めっき）に発生した腐食

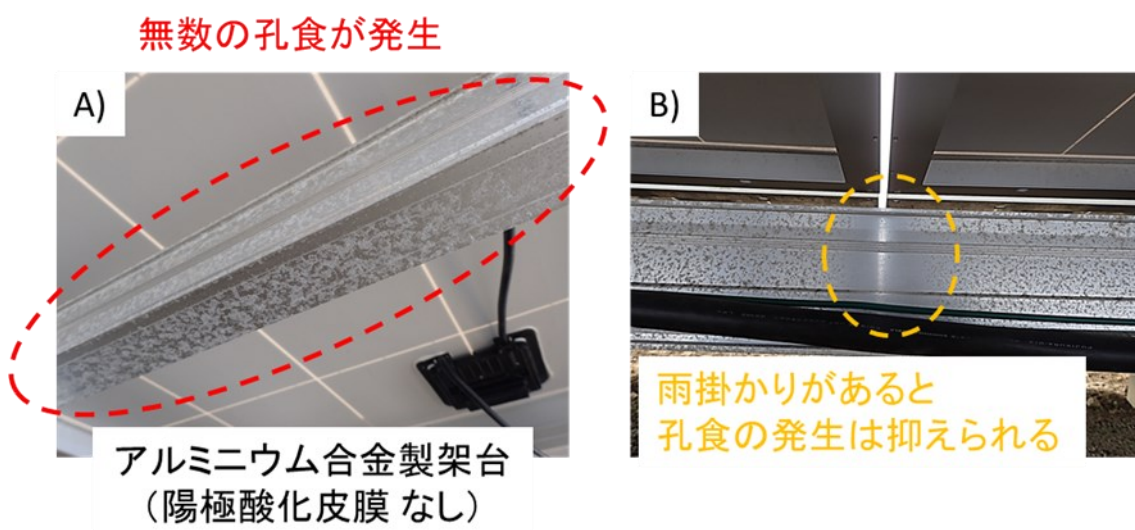
図 12-4 架台に発生した流水部の腐食例

対策として、可能な限り水が伝え流れる部分を小さくし、どうしても流れる部分には重防食塗装、防食テープなどの防食処置を講じることが望ましい。

12.3.6 孔食

1. 材料表面にできる孔状の腐食で、架台の主要な部材がアルミニウム合金材の場合に見られる局部腐食である。金属や合金により腐食形態が異なり、発生により強度に影響を与える可能性があるため、問題が生じないことを確認してから用いることが望ましい。

架台に発生した孔食の事例を図 12-5 に示す。アルミニウム合金材の表面全体に孔食が無数に発生しているが、雨掛かりのない環境でも貫通孔は確認できなかった（図 12-5A）。孔食は付着塩分の濃度や結露水の pH などに依存して発生するため、雨掛かりがあると洗浄されて付着塩分濃度が低下し、孔食の発生は抑えられる（図 12-5B）。



- A) 縦棧（アルミニウム合金材、陽極酸化皮膜なし）に発生した孔食、
- B) 雨の洗浄効果により孔食が抑えられた例

図 12-5 架台に発生した孔食例

アルミニウム合金材で発生する孔食では、ステンレス鋼などと比較して、貫通損傷など著しい腐食が生じることは少ないが、金属や合金によって孔食の形態が異なるため、問題ないことを確認してから用いることが望ましい。また、孔食は応力腐食割れや腐食疲労（急速な亀裂の発生や大きな損傷）の起点となる可能性がある。そこでメンテナンス時の経過観察を行うことが望ましい。

12.4 鋼製杭基礎の地中部での腐食と対策

12.4.1 表面処理の種類

1. 材料は鋼材とする。それ以外の材料を用いる場合または耐食性が不明の場合は、耐食性に問題ないことを確認して用いる。
2. 基礎に用いられる代表的な表面処理は、表 12-3 などである。

ここでの鋼材には締結材によく用いられるステンレス鋼は含まれない。鋼材には様々な目的で合金元素が添加されるが、添加されることで腐食形態や腐食速度が変わる可能性がある。そのため耐食性を確認し、不明の場合には、暴露試験等により、耐食性に問題がないことを確認して使用する。

耐食性の確認では、暴露試験等を実施することが望ましいが、建設技術審査証明や国土交通大臣認定などを参考に検討することも可能である。

表 12-3 鋼製杭に用いられる代表的な材料と表面処理の種類

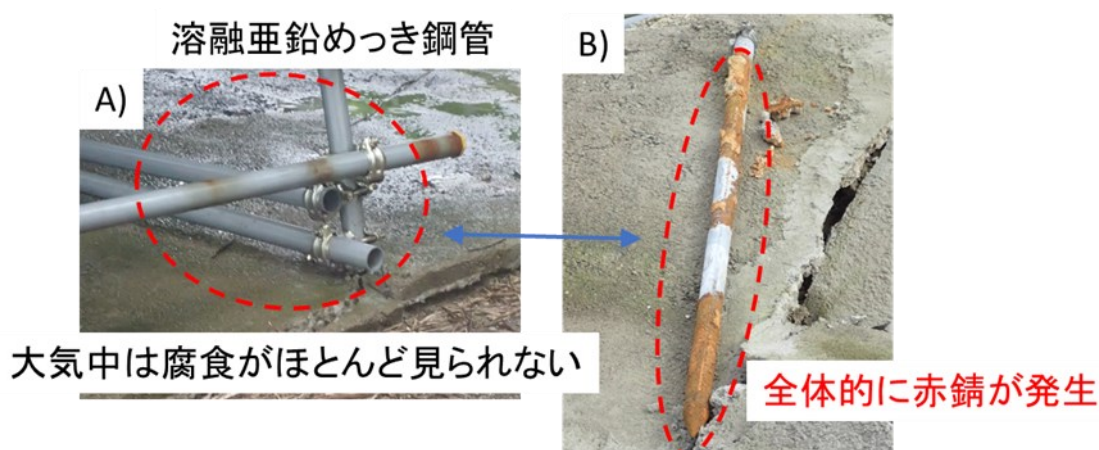
材料	表面処理	特徴
鋼材	熔融亜鉛めっき (後めっき)	加工後にめっきを行うため、切断面や加工部にもめっきがある。 【例】 JIS H 8641 「熔融亜鉛めっき」 など
	亜鉛合金めっき (先めっき)	めっきした後に加工するため、切断面はめっき層がなく、加工部と切断面近傍ではめっきの消失が少し早くなる。 パイプにする際の溶接部には亜鉛溶射 (JIS H 8300) が用いられる。 【例】 JIS G 3302 「熔融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯」 JIS G 3323 「熔融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板及び鋼帯」 など
	亜鉛めっき + 塗装	めっき上に塗装を施した材料である。 パイプにする際の溶接部には亜鉛溶射 (JIS H 8300) が用いられる。 【例】 JIS G 3312 「塗装熔融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯」 など ただし、別途、塗装を行う場合は、塗装とめっきの相性を考慮して選択する。

12.4.2 埋設部の腐食

1. 鋼製杭基礎の埋設部は腐食しやすい環境に曝され、一般的に大気中と同等かそれ以上に腐食が進行し易いため、材料に有効な防食処置を施して使用する。特に埋設部の腐食は点検、メンテナンスが容易でないことに留意し、防食処置を施すことが望ましい。

埋設部の腐食は一般的に土壌腐食と呼ばれ、土壌中で起こる金属の腐食のことである。腐食因子として土壌の pH、含水率、土質、通気性など多岐に渡り、腐食を予測することが難しい。

太陽光発電システムに溶融亜鉛めっき鋼管が基礎に用いられた際の腐食事例を図 12-6 に示す。図 12-6 A に示した溶融亜鉛めっき鋼管の架台より、図 12-6 B で示した基礎のほうが全体的に腐食速度は速いことが確認された。



- (A) 架台（溶融亜鉛めっき鋼管）の腐食状態、
(B) 基礎杭（溶融亜鉛めっき鋼管）の腐食状態

図 12-6 埋設部の腐食例

対策は、基礎杭に次のような防食処置を講じることで行うことができる。ただし、確実な防食処置が「a) 腐食しろの確保」以外にないことから、腐食しろの確保を行うことが望ましい。また、本節で取り扱う腐食は土壌中で発生するため、再塗装や杭の交換が容易でないことから、腐食しろの確保と重複して防食処置を用いるほうがより望ましい。

a) 腐食しろの確保

耐用年数の均一腐食による減肉を予測し、設計値にその減肉厚さを加算する対策方法である。常時水中及び土壌中にある部分に対して 1mm 以上の腐食しろ¹²⁻⁴⁾を見込むことが望ましい。また、形鋼杭や開口のまま用いられた鋼管杭のように鋼板の両面に土が接している場合は片面につき 1mm の腐食しろ（両面の合計 2mm）を見込むことが望ましい。詳細は【2019 年度版技術資料 I】を参照のこと。

b) めっき

材料表面を金属または非金属の薄膜で被覆することにより、腐食を防止する方法である。土壌腐食には 12.4.1 表面処理の種類で示したようなめっきが用いられるが、大気中の溶融亜鉛系めっきの効果と比較して、土壌中での効果は非常に小さいとされる¹²⁻⁵⁾、¹²⁻⁶⁾。

c) 塗装

材料表面に塗料を塗って、材料表面と土壌が接触しないようにして、腐食を防止する方法である。塗料の種類、塗装方法、下地処理、塗膜厚さ、塗装する環境などにより塗膜の性能や耐用年数が著しく変わることに加え、施工時に塗膜の剥がれ、傷が発生することも考えられることから、仕様や施工方法は塗装メーカーなどに相談の上、決定する。

d) 電気防食（カソード防食）

材料に電流を流し、材料表面の電位を変化させて腐食を防止する方法である。直接、直流電源を接続する外部電源方式と防食する材料にマグネシウム合金を接続し、これにより発生する電位差を利用する流電犠牲陽極方式がある。

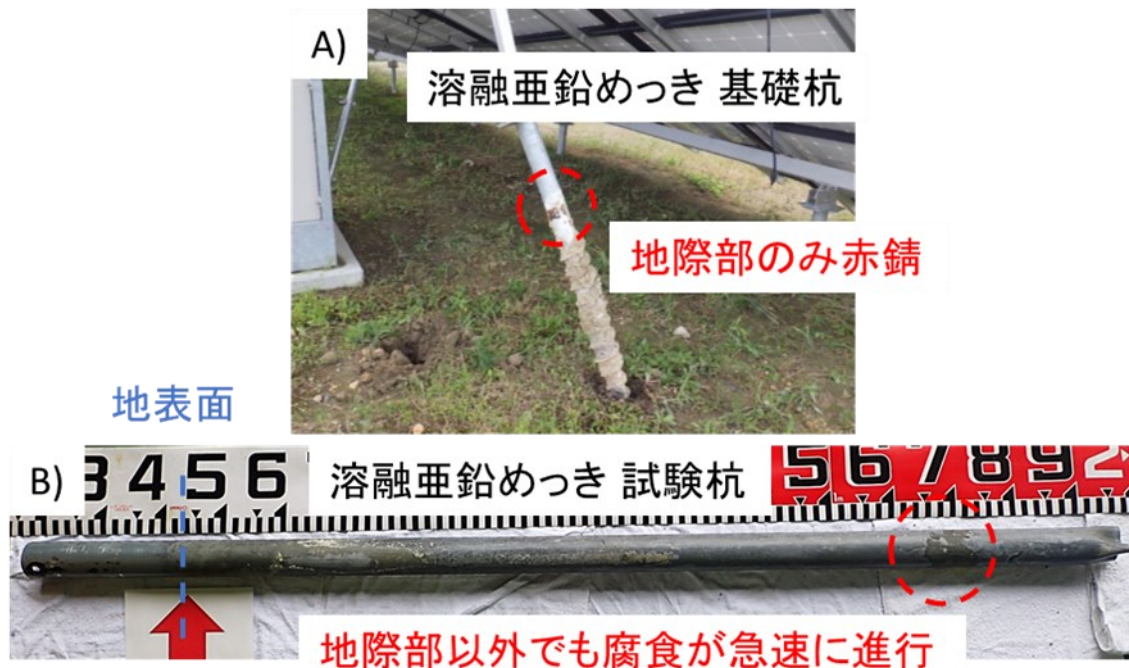
太陽光発電設備では、メンテナンスの必要性が低い流電犠牲陽極方式が望ましい。

12.4.3 地際部の腐食

1. 鋼製杭基礎は、金属表面の触れている環境が著しく変化する境目付近で著しい腐食が生じやすく、より有効な防食処置を講じることが望ましい。

地際部の腐食は土壌マクロセル腐食と呼ばれ、代表例はコンクリート内を貫通し土壌中に入るような鋼管に、そのコンクリートと土壌界面付近で局所的な腐食が発生し、数年で貫通孔が発生するような現象のことである。太陽光発電設備の鋼製杭では、大気と土壌界面、性質の異なる土壌界面で発生する可能性がある。また、地際部では大気汚染物質（飛来塩分や工場の排気ガスなど）の濃化、環境の変化により、著しい腐食、貫通孔が生じやすい。

地際部の腐食事例を図 12-7 に示す。地際部のみ赤錆が発生しており（図 12-7 A）、深い埋設部より腐食速度が非常に速い。また、このような腐食は地際部だけでなく、金属表面の環境変化があれば、深い埋設部でも腐食速度が速くなる場合（図 12-7 B）もある。



- (A) 地際部のみ腐食した基礎杭（溶融亜鉛めっき）、
 (B) マクロセルが深い埋設部で発生したと考えられる試験杭（溶融亜鉛めっき）

図 12-7 地際部の腐食例

対策は 12.4.2 埋設部の腐食と同様であるが、土壤腐食ではなく土壤マクロセル腐食が発生した場合を想定し、防食仕様を決定することが望ましい。また、土壤マクロセル腐食の発生箇所が予見できる場合には、該当箇所への塗装や防食テープの貼付を行うことが望ましい。

12.5 管理・点検・メンテナンス

1. 腐食対策を取り入れた設計であっても、腐食は確実に進展しており、長期的に太陽光発電設備の構造安全性を維持するためには、適切な管理のもとで点検、メンテナンスを行うことが不可欠である。
2. 電気事業法に準じて、保安規程に腐食状況を確認する点検項目も定めることが望ましい。
3. 運用期間中は保安規程に従い、適切な間隔で点検が継続されることが望ましい。
4. 点検結果に応じて、適切なメンテナンスを行うことが望ましい。

構造安全性の高い太陽光発電設備を長期にわたって維持するためには、代表的な損傷・劣化である腐食の程度や状況を適切に把握し、それらに合わせた適切な対策を取る。また、防食処置が施された材料を用いても、環境の変化などにより想定以上の腐食や想定されてい

なかった腐食が発生する可能性がある。これら不測の事態へも対応するため、設計時の調査項目を考慮し、次のようなことを設計段階で盛り込むことが望ましい。

a) 点検期間の設定

金属材料を用いると運用開始時から腐食は進展するが、想定した腐食の進展より大幅に大きい場合、安全性の低下は免れない。加えて飛散等の問題が起こると大規模改修となり、ライフサイクルコストが増大することになる。定期的に点検を実施することで、安全性を確保し、ライフサイクルコストも最適化できる。点検では、本章で挙げた項目に加え、「太陽光発電事業の評価ガイド（太陽光発電協会）」や「腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル（土木学会）」なども参考に点検項目を設定し、適切な間隔で点検を実施することが望ましい。

b) メンテナンスを考慮した設計

主要な部材の容易な交換や太陽電池モジュール下の空間確保などを考慮して設計することで、著しく腐食した場合の対応の幅が広がり、より効率的な維持管理を行うことができる。

c) 腐食形態とそのメンテナンス工程の詳細な記録

点検により腐食箇所が見つかり、より詳細な調査やメンテナンスが行われるが、メンテナンス前の腐食形態とその際行われたメンテナンスの内容が詳細に分かると調査が簡略化でき、適切なメンテナンスを行うことが可能となる。そのため、腐食に関する調査結果とメンテナンス内容の詳細を記録することが望ましい。

参考文献

- 12-1) 一般財団法人日本ウエザリングテストセンター、平成 14 年度 経済産業省委託「新発電システムの標準化に関する調査研究」（新発電関連要素機器の長期耐久性及び寿命予測標準化）成果報告書、p-金-1、2003
- 12-2) 公益社団法人腐食防食学会：住宅の腐食・防食 Q&A、p.29, 263、2004
- 12-3) 一般社団法人日本溶融亜鉛鍍金協会：JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」解説
- 12-4) 公益社団法人腐食防食学会：住宅の腐食・防食 Q&A、p.130、2004
- 12-5) 亜鉛めっき鋼構造物研究会：溶融亜鉛めっきの耐食性、p.14、1993
- 12-6) F. C. Poter: Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys, Marcel Dekker, p.342-343, 1994

13. 電気設備の設計

13.1 一般事項

1. 感電、火災その他人体に危害を及ぼし、または物件に損傷を与えるおそれがないように設計する。

太陽光発電設備は電気工作物であるため、電気設備に関する技術基準に適合し、感電、火災その他人体に危害を及ぼし、または物件に損傷を与えるおそれがないようにすることが必要である。太陽光発電の電気設備の基本的な構成を下記に示す。太陽電池モジュールにはセルストリングの保護素子としてバイパス回路（バイパスダイオードを含む電気回路）が複数内蔵されている（セルストリングとバイパス回路で構成する回路範囲をクラスタと呼ぶことが多い）。太陽電池モジュールを電氣的に直列にした単位を太陽電池ストリングと呼び、それを並列にしたものを太陽電池アレイと呼ぶ。接続箱には、太陽電池ストリングからの配線が納められ、ここでアレイ単位に集電されるものが一般的である。接続箱内には過電流防止素子、逆電流防止素子、SPD（Surge Protective Device: サージ防護デバイス等）などが設置されていることが一般的である。そこからパワーコンディショナの入力に接続される。

一般的な構成は図 13-1 のようなものであるが、大規模な太陽光発電設備の場合などにおいて、接続箱からパワーコンディショナの間に集電箱を設けて集電する構成、パワーコンディショナにより交流回路として集電する構成などもある。また、接続箱がなく太陽電池ストリングが直接パワーコンディショナに接続されるケース、太陽電池モジュール単位にパワーエレクトロニクス機器が接続される構成などもある。

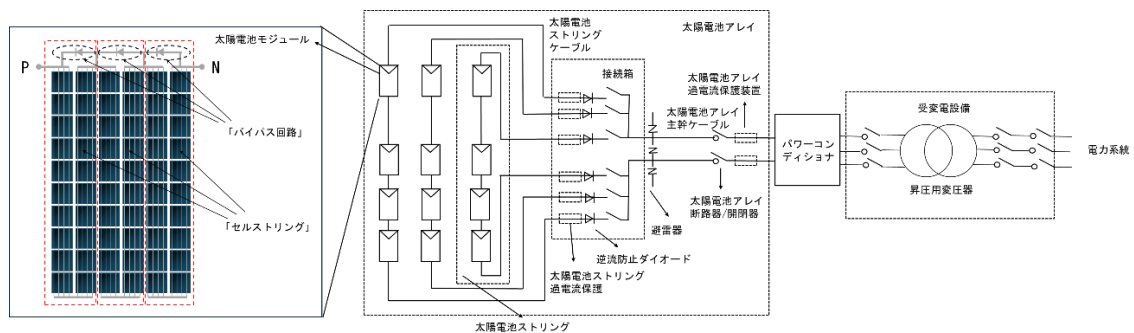


図 13-1 太陽光発電の電気設備の基本的な構成

太陽電池アレイの最大システム使用電圧が直流 750V 以下の場合は、直流回路については、低圧設備の基準に従って設計を行う。太陽電池アレイの最大システム電圧が直流 750V を超える場合は、高圧の電気工作物の設備となる。高圧設備の場合、機器の耐圧、電気設計を高圧設備に適合したものとするとともに、太陽電池アレイ全体及び関連する配線・保護設備へのアクセスは、取扱者に限定する。

また、交流回路のシステム電圧は、パワーコンディショナ、変圧器、受変電設備の機器の公称電圧とする。交流 600V を超える場合は、高圧の電気工作物となる。

13.1.1 感電リスクに対する保護

1. 取扱者以外に対して接触防護措置を原則とした電気設計とする。
2. 非充電の露出導電性部分を保護接地する。
3. 地絡検知・遮断機能、警報機能、接地の確保を定期的に確認できる設計及び体制とする。

基本的な感電防止対策としては、一般的な電気設備設計に倣い、接触防護措置、保護接地、対地電圧の制限、内部絶縁（二重絶縁、強化絶縁等）、検知器・遮断器を設置することを原則とする。

一般的な考え方として、太陽光発電設備を構成する電気機器・配線（太陽電池モジュール、パワーコンディショナ、配線）は、露出した電路が存在しないように設計されているため（2重絶縁：IEC 61730¹³⁻¹⁾ クラス II モジュールなど）、通常時において接触することにより感電するものではない。したがって、通常時においては、太陽電池モジュール、パワーコンディショナ、配線に対して接触防護措置が必須ということではないが、事故時においては一般的な電気工作物よりも充電部が残留する危険がある。そのため、原則として電気設備の技術基準の解釈における接触防護措置（簡易接触防護置を含む）を行う。簡易接触防護措置（設備に人が容易に接触しないように講じる措置）は下記のいずれかによる。

- ①屋内にあっては床上 1.8m 以上、屋外にあっては地表上 2m 以上の高さに、かつ、人が通る場所から手を伸ばしてもふれることのない範囲に施設する。
- ②設備に人が接近または接触しないよう、さく、へい等を設け、または設備を金属管に収める等の防護措置を施す。

さく、塀については、発電設備とさく、塀等との距離を空けるようにした上で、構内に容易に立ち入ることができないような高さのさく、塀等を設置する。さく、塀等の使用材料については、ロープ等の簡易なものではなく、金網フェンス等の第三者が容易に取り除くことができないものを用いる。また、電技解釈及び解説（第 38 条）を参考とすることが望ましい。電技解釈の解説では、充電部分との最小離隔距離は 0.5m とされている（使用電圧：7kV 以下）。

なお、現在、再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法施行規則の認定基準（5 条）において、さくまたは塀の設置を求めている。また、高圧設備については、発電所等への取扱者以外の者の立入の防止対策を求めている（電気事業法 省令第 23 条第 1 項）、電技解釈第 38 条）。さらに、小規模事業用電気工作物に該当する太陽電池発電設備については、原則、さく、塀の設置義務がある。

基本的には取り扱い者以外が電気設備に接触することは想定していないが、事故時に電路となる可能性がある非充電の露出導電性部分は、保護接地を行うことで取扱者等が接触

した場合においても感電リスクを下げるができる。具体的な非充電の露出導電性部分としては、太陽電池モジュールのフレーム、接続箱及び集電箱の筐体、パワーコンディショナ、金属配管、ラックなどがあげられる。

非充電の露出導電性部分が充電される事故が発生した場合は、地絡検知機能により速やかに検知する必要がある。そのため、地絡検知・遮断機能、警報機能、接地の確保を定期的に確認できる設計及び体制とする。また、地絡検知に不感帯がないこと、想定する感電電流から IEC/TS 60479-1¹³⁻²⁾の安全限界の DC-3 におさまるような時限以内に遮断が可能なこと、事故後速やかに所有者・運用者へ通知できる警報機能、接地の確保を定期的に確認できる設計や保守点検計画及び体制が取れることが必要である。具体的な保護設計は 13.3.1 を参考とする。

13.1.2 異常発熱・火災リスクに対する保護

1. 太陽電池モジュールに近接する場所に可燃物がないようにする。
2. ケーブル、コネクタなど配線を行う場所には可燃物がないようにする。
3. 接続箱・集電箱などの筐体には不燃材を利用する。
4. 地絡検知・遮断機能、過電流検知・遮断機能、事故発生時の警報機能、発熱・アーク故障発生を検知・遮断する機能を備えること及び定期的に保守点検できる設計及び体制とする。

異常発熱・火災リスクとしては、機器等の一部が異常発熱し、そこに接触して火傷や熱傷を負うおそれがある。また、機器等の異常発熱による周囲機器の故障や絶縁破壊、または周辺部材や可燃物への発火、延焼を引き起こすおそれがある。さらに、電気機器からの直接の発火、それによる周辺部材や可燃物への発火、延焼を引き起こすおそれがある。主な異常発熱、発火のリスクとして、太陽電池モジュールからの異常発熱・発火と、その他配線、電気機器からの異常発熱・発火が想定される。

太陽電池モジュールでは、その発電特性により部分的な出力低下が存在する場合に発熱する。その保護回路としてバイパス回路(バイパスダイオードを含む電気回路)が存在する。通常はこの機能により異常発熱は回避されるが、バイパス回路が機能しない場合に、部分的な異常発熱、またそこから発火するリスクがある。また、太陽電池モジュール内の電路とアルミフレームとの絶縁破壊、部分的な断線による異常発熱などの事例もある。他に、雷害により太陽電池モジュールのバイパスダイオードが短絡した場合など、ジャンクションボックス部分の焼損も事象例として確認されている(図 13-2 参照)。



図 13-2 太陽電池モジュールからの異常発熱・発火事例

太陽電池モジュール以外では、基本的な電気設備と同様に、配線部、コネクタ等接続部、端子台などの接続部などにおける通常接触部の断線や通常非接触部の電氣的接触（短絡、地絡等）が発熱・発火の要因となる。これらの事故時には、直流アークが発生することがある。太陽光発電の特徴として、直流回路である太陽電池アレイは、供給可能なエネルギーが太陽エネルギーに制限されることから、事故電流もそれに伴い制限がある（例えば、一枚の太陽電池からは短絡電流以上は供給できない）。そのため、事故の様相にもよるが、直流アークにより回路を切断せずに継続することもある。

アークが発生する可能性がある場所・要因として（図 13-3 参照）、通常接触部の断線によるものとしてケーブルの断線箇所、コネクタ接続部、太陽電池モジュール内があり、これを直列アークと呼ぶ。また、通常非接触部の電氣的接触によるものとして、ケーブルの敷設や接続箱・集電箱の端子部などの正負極間の絶縁破壊による短絡時のアーク発生があり、これを並列アークと呼ぶ。地絡（電路と対地間との電氣的接触）としては、ケーブルの直接的な大地への接触、通常非接触部の電氣的接触及びその部分が保護接地している場合などが想定される。地絡発生時に発生するアークを地絡アークと呼ぶ。国内では太陽電池アレイの正負極が接地されていないシステムが多いため、直流側に 1 か所だけ地絡故障が発生した際には、パワーコンディショナの停止や接続箱等における遮断器の開放によって地絡電流が流れなくなるが、2 か所目の地絡が発生すると、パワーコンディショナの停止や接続箱等における遮断器の開放をしても、停止が困難になる電路の閉回路が発生し、地絡アークが継続する可能性がある。また昨今では、ケーブルの盗難が増加しているが、盗難によるケーブル切断時には同様な火災リスク等が存在するため、注意が必要である。

このように、太陽電池モジュールや太陽電池以外のケーブル等からの発火のリスクがあるため、その周辺に可燃物が存在すると延焼し火災が発生するリスクがある。そのため、太陽電池モジュールや太陽電池以外のケーブル等に近接する場所に可燃物がないようにする。地上設置型では、枯草、防草シートなどが可燃物として想定される。

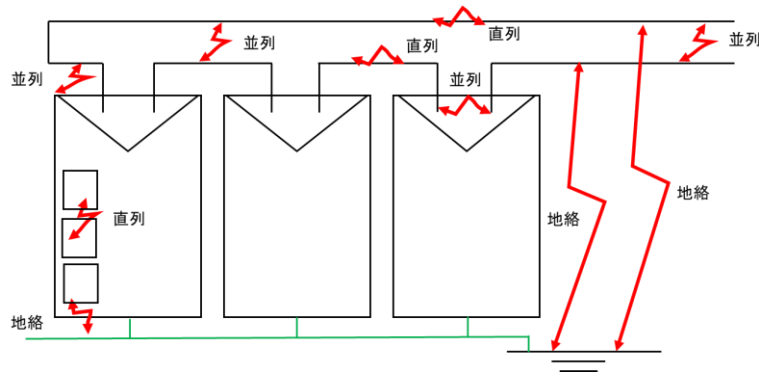


図 13-3 太陽電池モジュール以外からの異常発熱・発火（アーク）が発生する可能性がある代表的な箇所

13.2 基本設計

13.2.1 システム電圧の考え方

1. 直流回路のシステム電圧は、太陽電池モジュールの標準試験状態の開放電圧を利用して、直並列による太陽電池アレイ全体の開放電圧とする。
2. 直流回路の最大システム使用電圧は、太陽電池アレイの最低推定動作温度に補正した開放電圧とする。

太陽光発電設備の保護設計や機器選定時における直流回路のシステム電圧は、太陽電池モジュールの標準試験状態の開放電圧を利用して、直並列による太陽電池アレイ全体回路の開放電圧とする。基本的には太陽電池アレイを構成する太陽電池ストリングの最大直列数と太陽電池モジュールの開放電圧の乗算により決定される。また、太陽電池モジュールの電圧は、セル温度により変化する。一般的な結晶系シリコンの太陽電池は、セル温度が上がると電圧が下がり、セル温度が下がると電圧が上がる。太陽電池モジュールの銘板に示す定格電圧は、標準試験状態の 25℃の時の電圧を示している。電圧と温度との関係は、温度補正係数として与えられているため、この値は太陽電池モジュールメーカーから提供される値を利用することが望ましい。太陽電池モジュールのセル温度は、周囲の気温からの変化量が、入射する日射強度（温度を上昇させる効果）と風速（温度を下げる効果）により決まる。そのため、最大システム使用電圧（設計時に想定する電圧を使用電圧とする）は、発電可能時間帯における最低気温（早朝など）を利用することが望ましい。最低推定動作温度は、近隣の気象官署などから過去 20 年程度の発電可能時間帯における最低気温（早朝など）を利用することが望ましい（なお、気象の統計における最低気温は夜間も含む）。

交流回路のシステム電圧は、パワーコンディショナにおいて直流から交流に変換された交流電圧が基本となり、その後変圧器及び受変電設備により系統へ連系する電圧へ昇圧することになる。そのため、交流回路のシステム使用電圧は、それぞれの回路状態から決定する。

13.2.2 システム電流の考え方

1. 直流回路のシステム電流は、太陽電池モジュールの標準試験状態の短絡電流を利用して、直並列による太陽電池アレイ全体の短絡電流とする。

太陽光発電設備の保護設計や機器選定時における直流回路のシステム電流は、太陽電池モジュールの標準試験状態の短絡電流を利用して、直並列による太陽電池アレイ全体の短絡電流とする。基本的には太陽電池アレイを構成する太陽電池ストリングの並列数と太陽電池モジュールの短絡電流の乗算により決定される。また、太陽電池モジュールの電流は、セル温度により変化する。一般的な結晶系シリコンの太陽電池は、セル温度が上がると電流が増加し、セル温度が下がると電流が減少する（電圧と逆方向）。しかしながら、その変化量は電圧ほど大きくないため、通常の動作温度の範囲内では、無視できる程度であるため、温度補正は想定しなくてもよい。

また、両面受光型モジュールを利用する場合は、両面に入射される日射強度をシミュレーションにより求め、最大の短絡電流を計算する。その際、太陽電池モジュールのバイフェーシャルファクターや設置環境を考慮する。これらシミュレーションができない場合は、IEC 62548-1:2023¹³⁻³⁾ の Annex に記載がある、IEC 61215¹³⁻⁴⁾ で規定されている BNPI (Bifacial NamePlate Irradiance : 表面に 1000W/m²、裏面に 135W/m² を照射した足し合わせの値) による値を採用することが望ましい。

交流回路のシステム電流は、パワーコンディショナの直流から交流に変換する交流電圧との関係で決定する。その後、変圧器及び受変電設備により系統へ連系する電圧へ昇圧することになる。そのため、交流回路のシステム電流は、それぞれの回路状態から決定する。

13.2.3 直並列回路の基本的な構成方法

1. 太陽電池アレイを構成する太陽電池ストリングの並列回路は、太陽電池アレイ内部での逆電流が発生しないように構成する。

太陽電池アレイ内の並列接続された太陽電池ストリング間に電圧差がある場合、太陽電池の発電電流と逆方向の電流（逆電流）が流れる。通常、太陽電池モジュールには逆電流の耐量が存在し、逆流防止素子や過電流防止素子が並列回路には用いられているが、太陽電池ストリング内に不具合がある場合やストリング並列数が多い場合、また並列回路中に逆流防止素子や過電流防止素子が存在しない場合には、太陽電池モジュールの逆電流の耐量や配線の許容電流を超える危険な逆電流が流れるおそれがある。そのため、太陽電池ストリングの設計時の電圧は、構成するすべて太陽電池ストリングの電圧が同一となるようにする必要がある。IEC 62548-1:2023¹³⁻³⁾ では、太陽電池アレイ内を構成する複数の太陽電池ストリングの標準試験状態における開放電圧がそれぞれ異なる場合、その中の電圧の最低値と最高値が 10%以内になることを求めている。

設計方法としては、同一太陽電池アレイ内に利用する太陽電池モジュールは、標準試験状態における開放電圧及び最大出力動作電圧の定格値並びに温度係数が類似のものとするこ
と、または、互換性のあるものとするのが望ましい。また、ストリング間の電圧差が発生
した場合でも、逆電流等の影響を緩和する装置として、太陽電池ストリングごとに MPPT 制
御可能なパワーコンディショナや DC/DC コンバータ、モジュール単位の MPPT 制御可能な
装置を利用することにより、それら装置の使用範囲内の電圧差を許容することができる。逆
流防止素子（ブロッキングダイオード等）を利用する場合は、ストリング間に電圧差が発生
した場合でも、逆電流を防止することが可能となる。

異なる型式の太陽電池モジュールを混在させる場合は、JIS C 8957 : 2019 太陽電池モジ
ュール・アレイ互換性標準¹³⁻⁵⁾を参考に設計することが望ましい。JIS C 8957 : 2019 では適用
範囲を「出力が 50kW 未満の太陽光発電システムに供する結晶系シリコン太陽電池モジ
ュール」としているため、適用範囲に留意する。なお、直並列回路を構成する各ストリングが
異なる方位や傾斜である場合のシステム電圧やシステム電流の決定方法としては、IEC
62548-1:2023¹³⁻³⁾の Annex F に normative が参考となる。

13.2.4 遮断器、断路器及び開閉器の設置

1. 事故時の事故電流を遮断できる遮断器を設置する。
2. 安全に保守点検作業が行えるようにするため、太陽電池ストリングからパワーコンデ
ィショナまでの太陽電池アレイ内に電路を遮断可能な手段を設ける。

太陽電池アレイ内には、事故時の事故電流を遮断するための遮断器を設置する必要があ
る。危険事象に関する具体的な保護設計は 13.3 を参照し、それぞれの目的に応じた箇所に
遮断器、断路器及び開閉器を設置する。また、安全に保守点検作業が行えるようにするため、
各所に電路を遮断可能な手段を設ける。

IEC 62548-1:2023¹³⁻³⁾ / JISC 62548:2023¹³⁻⁶⁾ では、各太陽電池ストリングには開閉器を求め
ている。開閉器の他、シース付きコネクタ、断路器を許容している。太陽電池サブアレイに
は、パワーコンディショナに直接接続しない場合には開閉器の設置を求め、事故電流を遮断
できる遮断器やヒューズの設置を推奨している。パワーコンディショナに直接接続する場
合には、事故電流を遮断できる遮断器やヒューズの設置を求めている。太陽電池アレイには、
事故電流を遮断できる遮断器やヒューズの設置を求めている。

なお、断路器を利用する場合、電流が流れた状態で開閉を行うと、電流を遮断できずア
ーク発生などの事故のおそれがある。そのため、開路作業時にはパワーコンディショナから太
陽電池ストリング方向に電氣的に接続された順番に開路作業を行い、閉路作業は、逆順で行
う必要がある。それぞれの設置場所に電気回路の図面を配置するなど、操作手順に誤りがな
いようにする。また、太陽電池は昼間の作業時には活線状態となる。開放電圧 30V を超え
るシステムでは、全て直流アークを発生するおそれがあるため、負荷遮断のための特別な構

造をもたないコネクタを利用していない場合は、安全上危険なため通電中に開閉しないようにリスクコミュニケーションを取ることや表示をする。

13.2.5 接地及び等電位ボンディング設計

1. 太陽電池アレイ内の接地は、感電保護、装置の機能動作のため、雷害保護の種類や目的に応じて、接地方法、当該導体のサイズ及び配線を設計する。

太陽電池アレイ内の接地には、目的に応じて下記のような種類がある。

(1) 保護接地・等電位ボンディング

- ・事故発生時に非充電の露出導電性部分が充電された場合において、人が接触したときの電位差を制限させるため。
- ・地絡故障電流の流れる経路を確保するため。
- ・地絡故障電流による異常発熱やアークの発生を防止するため。

(2) 機能接地・等電位ボンディング

- ・絶縁抵抗測定、漏れ電流検出などの保護装置、パワーコンディショナの動作を確実にするため。
- ・太陽電池モジュールの種類に応じた劣化を防止するため（例えば、PID：potential induced degradation など）。

(3) 雷害保護接地・等電位ボンディング

- ・雷による電圧、電流の侵入防止、侵入時の機器保護のため。

接地には上記観点から多種多様な目的と方法が考えられる。その際に前述の保護接地及び機能接地設計との協調を考慮して設計する。

また、太陽光発電設備の特徴として、①電路に直流部分と交流部分の2種類が存在すること、②直流電路と交流電路が相互に絶縁されている場合と絶縁されていない場合とがあること、③太陽電池モジュールのフレーム、架台、接続箱の金属筐体等が屋外に面的に展開するものがあること、④パワーコンディショナは分散型のように面的に展開されるものや集中型のようにキュービクルなどに1か所に集中しているものなど種類が様々であること、などがある。

また、接地箇所が中性線と露出導電性部分と大地との組合せで大別されるTN系、TT系、IT系については、国内の交流電気設備の多くはTT系であるのに対し、太陽光発電設備の直流回路にはこれらすべての場合が存在する。さらに、絶縁パワーコンディショナでは運転時も停止時も共にIT系であるが、非絶縁（トランスレス）パワーコンディショナでは、運転時はTT系、停止時はIT系となることがある（パワーコンディショナ出力側の交流電路の接地方法により異なる）。そのため、目的ごとに発生する事象を想定したトポロジを考慮して設計する。

接地する方法として、電線以外にも抵抗、導電性の部材（例えば架台など）を利用できる。接地に利用する接地・等電位ボンディング用導体は、上記の様々な目的に応じて、導電性の部材等の種類を重複して利用することもできる。C種及びD種接地工事の場合は、引張強さ0.39kN以上の金属線または直径1.6mm以上の軟銅線を利用する。また、機器の故障時の事故電流及び雷害対策を想定して流れる電流（13.3.5を参照）、機械的強度、耐腐食性を考慮し、内線規程¹³⁻⁷⁾1350-3を参考に決定する。なお、雷害対策の設計によっては、導体サイズを大きくする。

接地用導体の材料、種類、絶縁、表示、識別、接地及び接続は、法令及び法規に規定されている接地用導体の規定に適合するように行う（規格がない場合には、JIS C 60364-5-54¹³⁻⁸⁾の規定に適合とすることが望ましい）。また、全ての電路と機器の接地導体との間は、高インピーダンスとする。

(1) 保護接地・等電位ボンディング

非充電の露出導電性部分については、接地する必要がある。非充電の露出導電性部分としては、太陽電池モジュールのフレーム、架台、接続箱の金属筐体、パワーコンディショナの金属筐体、金属配管、ラックがある。電技省令（電技解釈17条）では、電路に施設する機械器具の金属製の台及び外箱には、使用電圧の区分に応じ、接地工事を施すことが求められており、交流/直流300Vを超える低圧システムではC種接地工事、直流750V、交流600Vを超える高圧システムではA種接地工事をする。なお、設備容量や対地電圧により緩和規定がある（電技解釈及び解釈解説の17条、29条などを参考とすること）。

等電位ボンディングには主等電位ボンディング及び補助等電位ボンディングの二つの形がある。主等電位ボンディングとは、露出した導電部位を主接地端子に接続することである。これらの導体を主等電位ボンディング導体という。補助等電位ボンディングとは、露出した導電部位を他の露出した導電部位及び/または外部の導電部位に接続することである。

保護接地に関する等電位ボンディングについては、近接する太陽電池モジュール間が連続して接触する可能性があるため、等電位に保つ必要がある。等電位の取り方は、太陽電池モジュールが面的に広がっているため、補助等電位ボンディングとすることが望ましい。具体的には太陽電池モジュール間を電線で接続する方法や、鋼材の架台を通じて等電位とする方法がある。架台と太陽電池のアルミフレームは腐食防止の処理がされていることや、埃や枯れ葉などの絶縁物が挟まることもあるため、適切に接地極までの間の導通が取れていることを確認する。

(2) 機能接地・等電位ボンディング

機能接地については、パワーコンディショナに内蔵されたものを含む絶縁抵抗監視などの抵抗値測定・異常検出方法として、高抵抗接地などの機能接地が行われていることがある。その場合、接地は単一点で当該電気設備の主接地端子に接続する。また、パワーコンディショナの運転時、停止時においてどのような接地回路になっているかについても仕様書、図面

等に残しておく。さらに、面的に広がった太陽電池モジュールのフレームが等電位に保たれていない場合、正確に絶縁抵抗を測定できないことがあるため、等電位ボンディングを確保する。

太陽電池モジュールの種類によっては、劣化等（PID：Potential induced degradation など）を防止するために太陽電池アレイの正または負の主導体のいずれかに機能接地を要求する場合がある。この場合の機能接地はできるだけ抵抗を利用して行い、直接接地はしないことが望ましい。具体的な抵抗の数值は、製造業者と相談して決定する。このような接地を行う場合は、1点目の地絡故障が2点の地絡による閉回路になることから、絶縁監視装置やパワーコンディショナ等による検知すると同時に速やかに事故点を除去する設計とする。

(3) 雷害保護接地・等電位ボンディング

雷害からの機器損傷を保護するため、外部 LPS 及び内部 LPS とともに接地回路の構成が重要となる。具体的な保護方法は、13.3.5 を参照して設計する。

13.2.6 交流回路と直流回路の分離

1. 交流回路と太陽電池アレイの直流電力回路とは、パワーコンディショナ内部または外部に設置された変圧器等により分離する。

交流回路と太陽電池アレイの直流電力回路との分離は、パワーコンディショナ内部または外部に設置された変圧器等で行い、直流分の流出を防止する。

13.2.7 系統連系における保護協調

1. 電力系統との保護協調可能な装置を設置し、電力系統事故時には安全に太陽光発電設備を停止するシステムとする。
2. 太陽光発電設備内に事故が発生した場合、電力系統への波及事故が発生しないシステムとする。

国内の系統連系に係る規程は、電気事業法第 17 条に規定する託送供給義務等（オープンアクセス）の下、大きく分けて、「送配電等業務指針」、「電技解釈第 8 章」、「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」、「系統連系規程」、「系統連系技術要件（託送供給等約款別冊）」、「系統アクセスルール」から構成されている。電力広域的運営推進機関が定める「送配電等業務指針」は、一般送配電事業者及び送電事業者が行う送配電等業務（託送供給の業務その他の変電、送電及び配電に係る業務）の実施に関する基本的な事項等を定めている。当該指針に基づき、一般送配電事業者は系統連系の技術要件を明確に定め、公表している。資源エネルギー庁が定める「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」は、系統連系を可能とするために必要な要件のうち、電圧、周波数等の電力品質を確

保していくための事項等についての考え方を整理したものであり、これに対応して、日本電気協会が定める「系統連系規程」は、当該ガイドラインの内容を具体化すると共に連系検討に携わる実務者向けに保安面からの基準である電気設備の技術基準の解釈及びその解説を示したものである。また、「系統連系技術要件(託送供給等約款別冊)」は、上記に基づいて、発電事業者が一般送配電事業者と発電量調整供給契約を締結する際に遵守すべき系統連系に係る技術要件を定めたものであり、「系統アクセスルール」として、発電側からの接続検討申込等の具体的な運用を定めている。

太陽光発電設備が系統連系を行う場合には、これらの法規、基準を遵守し、電力系統との保護協調を行う。太陽光発電設備に用いられるパワーコンディショナは、系統連系規程に定められる機能を有しているため、電力系統との保護協調は基本的にはパワーコンディショナがその機能を担っている。しかしながら、利用する電圧階級によっては、地絡過電圧継電器(OVGR)を用いることがある。この場合、OVGRで電力系統側の事故を検知した場合は、それに協調して太陽光発電設備内のパワーコンディショナを停止するシステムとする。

また、太陽光発電設備内で発生した事故により、系統側への直流分流出などの波及事故を引き起こすおそれがある。通常、パワーコンディショナが直流回路の地絡や電力系統への直流分流出を検知して、速やかに停止する機能を有している。直流回路の地絡検知、絶縁監視装置を利用する場合は、検知した場合に直流分を流出させないため、パワーコンディショナと連携するシステムとする。

13.2.8 電氣的、電磁氣的影響の防止

1. 発電設備からの電磁波や電線を通じた電磁波が周辺の電波環境に影響を与えないように適切な措置をする。

太陽光発電設備に用いられるパワーコンディショナは、高周波スイッチングにより直流を交流に変換するため、スイッチングノイズが発生する。太陽電池アレイとパワーコンディショナ間の直流(DC)伝導妨害波と放射妨害波、及びパワーコンディショナから低電圧系統間の交流(AC)伝導妨害波と放射妨害波が想定される(図13-4参照)。この内、太陽電池アレイからの放射妨害は、太陽電池アレイ内の配線がアンテナになり放射妨害波が周囲の機器に影響を及ぼすことが懸念されていたが、これまでの研究等の放射妨害波測定では、放射妨害のレベルが非常に小さいことが知られている。

太陽光発電設備から、発生する電磁波の検証については、一般社団法人電気安全研究所が磁界測定を行っており、人への環境影響がないとのデータが示されている。太陽電池モジュールの裏側から20cm離れた位置で測定した結果は、最大で8.33 μ T(マイクロテスラ)であったこと、また交流磁界(パワーコンディショナ)の測定結果として、パワーコンディショナ(250kW)から20m離れた位置で測定値が70 μ T程度であったことを示している。国際非電磁放射線防護委員会(INCNIIRP)が定めた制限に関するガイドラインの静磁界:400mT及び交流磁界(50Hz):200 μ Tに比べ影響のない小さい値であることや、距離が離れるほ

ど静磁界の影響は小さくなる結果であった¹³⁻⁹⁾。電技第 27 条の 2、電技解釈第 31 条においても、発電所、蓄電所、変電所、開閉所及び需要場所以外の場所に施設する変圧器、開閉器及び分岐装置から発生する磁界は、第 3 項に掲げる測定方法により求めた磁束密度の測定値（実効値）が、商用周波数において $200 \mu\text{T}$ 以下であることを求めている。

また、太陽光発電設備用の系統連系用パワーコンディショナについては、他の電気・電子機器への EMC 的影響の可能性から、放射、伝導妨害波許容値が CISPR11¹³⁻¹⁰⁾や CISPR16¹³⁻¹¹⁾において示されている。これらと連携して、IEC 62920¹³⁻¹²⁾ではパワーコンディショナにおける EMC に対する要求仕様及びテスト方法を規定しているため、本規格に適合したパワーコンディショナを用いることが望ましい。

また、配線方法などにより発電設備ごとの対処が必要なことから、周辺環境へ影響が確認される場合は、設置場所の変更、筐体やケーブルを遮蔽するシールド、パワーコンディショナ等へのノイズフィルターの追加、配線のループの低減などの対策が考えられる。

無線通信への妨害の事例は総務省ホームページ¹³⁻¹³⁾に掲載されているため、参照されたい。

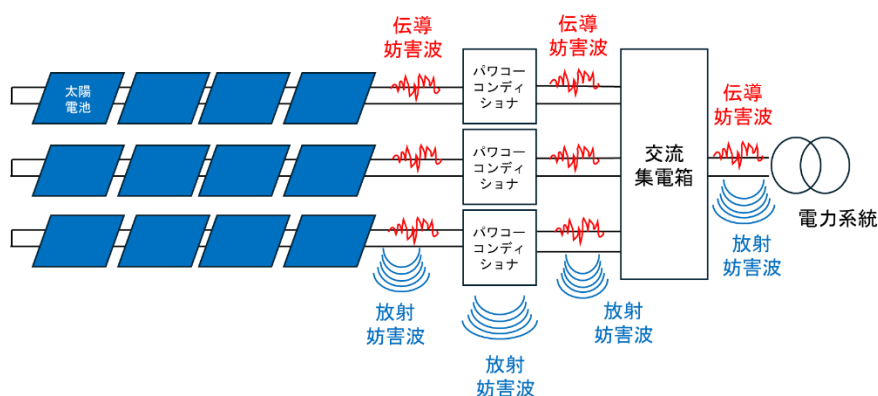


図 13-4 放射妨害波及び伝導妨害波のイメージ

13.3 危険事象に対する保護設計

太陽光発電設備における危険事象としては、地絡（対地間絶縁）故障、正負極間の絶縁故障、過電流、異常発熱による発火、アーク発生、雷害及び過電圧があげられる。

太陽光発電設備が他の電気設備と異なる特性として、太陽エネルギーにより出力が制限される特性がある。正負極を短絡してもそれだけでは事故電流は流れないことに注意が必要である。その他の特性として、直流であることや、太陽電池の電流電圧特性から、アークが発生した場合においても安定してアークが継続する可能性もある。

また、太陽光発電設備の電路の遮断方法として、接続箱内の開閉器、断路器、遮断器、パワーコンディショナの停止などが想定される。ただし、これらの箇所でも電路を開放した場合でも、太陽光が太陽電池に照射される状態では太陽電池は発電を継続するため、太陽電池ア

レイ側は電圧が印加され続けている。また、地絡、短絡事故が発生している場合には、電気的な閉回路を形成することがあり、事故電流も継続して流れるおそれがある。そのため、接続箱における電路の開放やパワーコンディショナの停止を行っても、危険事象が継続するおそれがあることに注意が必要である。

さらに電気設備としては、太陽電池モジュールが面積的に広範囲に広がって設置されており、雷害に対する保護対策に関する範囲が広いことも特徴である。

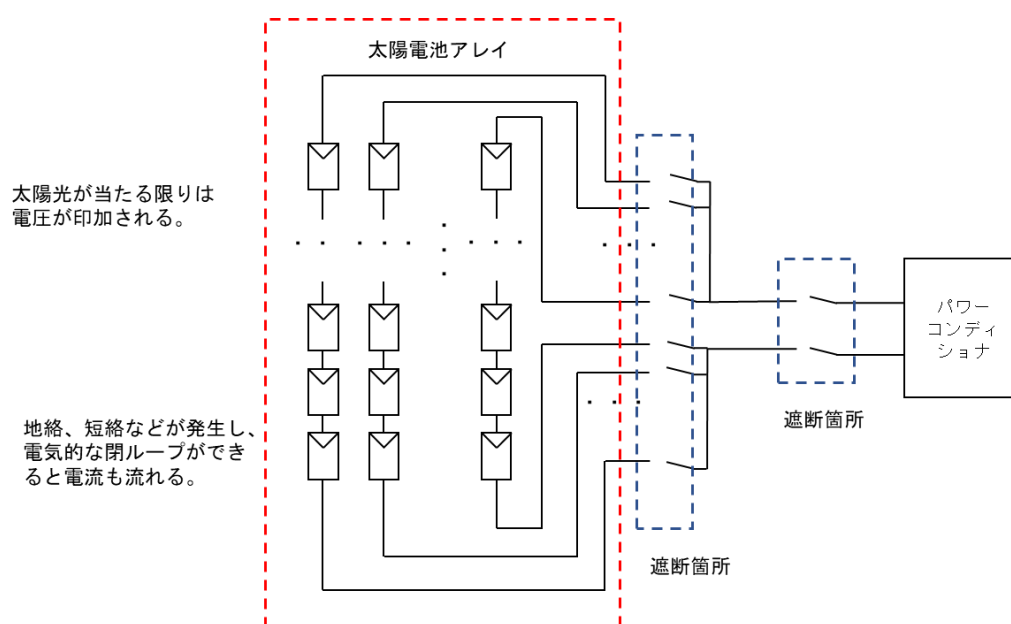


図 13-5 太陽電池アレイ内の電圧が残る範囲

13.3.1 地絡（対地間絶縁）故障に対する保護

1. 太陽光発電設備を構成する電気機器は、適切な絶縁性能を有する機器とする。
2. 電路-対地間の絶縁を確保するために、適切に配線する。
3. 地絡故障を検知、警報及び事故電流を遮断できる装置を設置する。

原則として、地絡（対地間絶縁）故障を発生させないためには、太陽光発電設備を構成する電気機器には、対地間に対する絶縁性能を有する機器を選定する。各機器に必要な性能としては、JIS C 60364-4-41:2010¹³⁻¹⁴⁾を参考として二重絶縁または強化絶縁とし、太陽電池モジュール、接続箱、集電箱、ケーブル、コネクタなどの直流部分で使用される機器は JIS C 0365 系に従い、クラス II または同等の絶縁性能をもつものとする。また、これら機器や配線は、電路-対地間の絶縁を確保するために、適切に施工を行う（14.4.2 を参考とする）。

もし地絡故障が発生した場合には、その事象を検知し、事故電流を遮断する装置が必要である（電技第 36 条などを参考）。地絡検知装置としては、パワーコンディショナに付属した機能、外付け機能が存在する。地絡検知方法は、電気回路の種類ごとに異なる（図 13-6 参照）。太陽光発電設備を構成する回路は、直流側の電路の接地の有無、交流側のトランス（変

圧器)の有無、変圧器の接地箇所の違いなど様々であり、それぞれ事故電流の様相が異なる。例えば、直流側の電路の片側が接地されている場合は、1点目の地絡故障においても事故電流が流れる。また、高周波トランスなどを内蔵しているパワーコンディショナを利用する場合は、交流側の接地と分離されているため、交流回路を含めた地絡電流が流れない。その他、パワーコンディショナの直流地絡検知用に機能接地している場合もある。そのため、構成する電気回路に応じて適切に検知方法、機器を選定する。

具体的な地絡検知を行う方法としては、太陽電池アレイ側の絶縁抵抗監視・検知方法、残留電流監視モニタによる監視・検知方法がある(図13-7参照)。太陽電池アレイ側の絶縁抵抗監視装置については、JIS C 62548(2023)¹³⁻³⁾/IEC 62548-1(2023)¹³⁻⁶⁾において、運転開始直前及び少なくとも24時間に1回の頻度で、対地間の絶縁抵抗を測定することを求めている。パワーコンディショナ内蔵の場合はIEC 62109-2¹³⁻¹⁵⁾に適合したもの、絶縁監視装置はIEC 61557-2¹³⁻¹⁶⁾、IEC 61557-8¹³⁻¹⁷⁾に適合した装置とする。残留電流監視モニタによる監視・検知については、連続残留電流の限界値の監視によって実施する。各装置は、JIS C 62548(2023)¹³⁻³⁾/IEC 62548-1(2023)¹³⁻⁶⁾に規定されている装置等を利用する。なお、地絡検知手法については、絶縁抵抗の測定方法が様々存在し、手法によっては不感帯が存在する場合や利用可能な電気回路構成があるため、機器の仕様書及び太陽光発電設備全体の回路構成を確認し、不感帯の範囲などを把握しておくことが重要である。

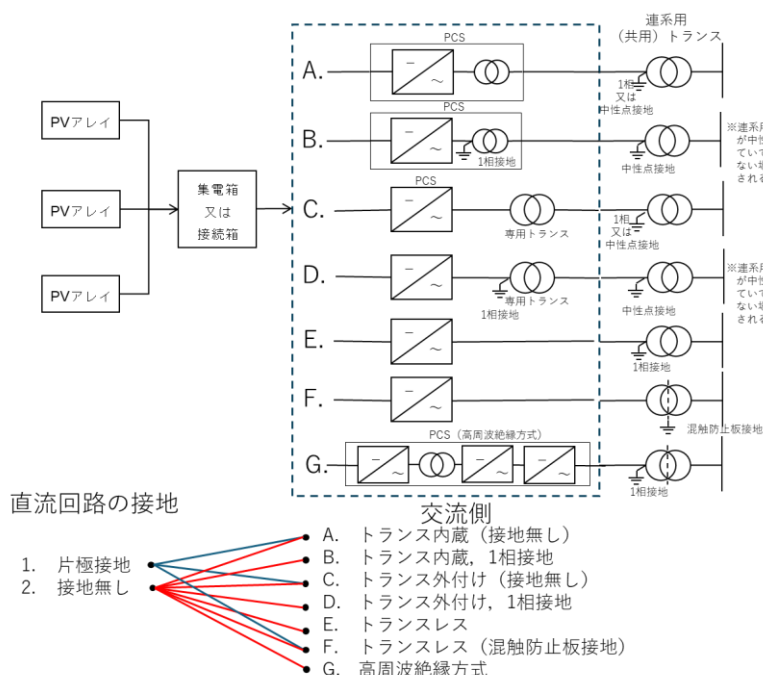


図13-6 直流側と交流側の接地等に関する構成例

方式	零相電流監視方式	中点接地監視方式	中点接地監視方式 (接地抵抗可変)
回路概要			
方式	対地電位切替方式 (定電圧素子使用)	接地極を切替	信号印加方式
回路概要			

図 13-7 地絡検知装置（絶縁抵抗測定方法）種類

地絡を検知した場合は、事故電流を速やかに遮断する必要がある。国内では太陽電池アレイの正負極が接地されていないシステムが多いため、直流側に 1 か所の地絡故障が発生した時にはパワーコンディショナの停止や接続箱等における遮断器の開放により地絡電流が流れなくなるが、2 か所目の地絡が発生した場合には、パワーコンディショナの停止や接続箱等における遮断器の開放をしても、停止が困難になる電路の閉回路が発生する可能性がある。そのため、1 か所目の直流側地絡故障発生時に確実に検知を行い、速やかに対処する必要がある（IEC TR 62336 Managing fire risk related to photovoltaic systems on buildings¹³⁻¹⁸⁾では、地絡故障は多くが施工不良や気象関連の問題による損傷の兆候であるため、2 点目の同様な地絡故障が発生する可能性を想定した対処の期間としては 1 週間以内が推奨されている）。

また、地絡故障により発生する感電を防止するためには、直流 60V 以下の電圧まで低下させる必要がある。その方法としては、太陽電池を遮光すること、太陽電池モジュールごとに機器を付ける MLPE (Module Level Power Electronics) の利用などがある。

また、地絡故障を検知した際にそれを知らせるための警報装置を設置することが重要である。装置の仕様は、JIS C 62548(2023)¹³⁻³⁾/IEC 62548-1(2023)¹³⁻⁶⁾を参考にする。警報装置は、太陽光発電設備の発電を停止するか、または地絡故障が修復されるまで警報の発報を継続すること、保守点検員や所有者が故障に気付くことを確実にする方式とすることなどを求めている。

13.3.2 絶縁故障(正負極間)に対する保護

1. 太陽光発電設備を構成する電気機器は、適切な絶縁性能を有する機器とする。
2. 電路の正負極間の絶縁を確保するために、適切に配線する。

原則として、正負極間絶縁故障を発生させないためには、太陽光発電設備を構成する電気設備は、正負極間に対する絶縁性能を有する機器を選定する。

各機器に必要な性能としては、JIS C 60364-4-41:2010¹³⁻¹⁴⁾を参考として二重絶縁または強化絶縁とし、太陽電池モジュール、接続箱、集電箱、ケーブル、コネクタなどの直流部分で使用される機器は JIS C 0365 系に従い、クラス II または同等の絶縁性能をもつものとする。また、これら機器や配線は、電路の正負極間の絶縁を確保するために、14.4.2 を参考とし適切に施工を行う。特に太陽電池アレイが広範囲に広がることから配線距離が長くなるため、ケーブルの敷設箇所、また接続箱やパワーコンディショナなど電気が集中するところの端子台などの接続部は、正負極間について物理的な距離を取る配線を行うことが有効である。

正負極間の短絡が発生した場合、太陽電池の発電特性から短絡電流は流れるが、必ずしも事故電流とならないこともある。そのため、電路の正負極間の絶縁故障を検知する有効な手法が現状存在しない。しかしながら、太陽電池ストリング間の正負極の短絡時に並列アークの発生や、事故発生による太陽電池ストリングの電圧が低下することによる逆電流の発生の可能性がある。これら事故の様相により、例えば、アーク検知できる場合や過電流保護により遮断することができる。

13.3.3 過電流に対する保護

1. 過電流を防止する回路を太陽電池ストリングごとに設置する。

太陽光発電設備の直流側の過電流として、並列する太陽電池ストリングから電流が流入する事故電流がある（逆電流）。逆電流による太陽電池モジュールの熱耐力は、JIS C 61730-1¹³⁻¹⁹⁾ 及び JIS C 61730-2¹³⁻²⁰⁾が規定する安全性試験によって 2 時間の通電試験で適格性が確認されており、「最大過電流保護定格」の値として太陽電池モジュールに表示されている。この範囲内であれば、太陽電池モジュール内における異常発熱が発生するリスクは少ないが、太陽電池モジュール内や当該太陽電池ストリングの配線等に不具合があると、その不具合箇所に電流が流れることで異常発熱などが発生する可能性があるため、保護が必要となる。

また、電技解釈 148 条では、低圧幹線に電気を供給する電源が太陽電池のみであって、当該低圧幹線の許容電流が当該低圧幹線を通過する最大短絡電流以上である場合は過電流遮断器を省略できるとされている。ただし、電技解釈 200 条では、「太陽電池モジュールに接続する負荷側の電路には、その接続点に近接して開閉器その他これに類する器具を施設すること、また、太陽電池モジュールを並列に接続する電路には、その電路に短絡が生じた場合に電路を保護する過電流遮断器その他の器具（逆流防止ダイオード等）を施設すること」を求めている。電技解釈 200 条は小規模発電設備に関する項目であるが、太陽電池ストリングや太陽電池アレイの過電流（逆電流など）の事故電流については小規模以外の太陽光発電設備も同様であるため、これに従い太陽電池ストリング単位には遮断可能な開閉器もしく

は、過電流保護素子を設置することが望ましい。

過電流検知・遮断機能として、ヒューズによる保護がある。ヒューズは IEC 60269-6¹³⁻²¹⁾ に適合した gPV ヒューズを利用する。また、ケーブルの通電容量、太陽電池モジュールの最大逆電流定格及び他の機器の最大電流を超過しない条件を基にヒューズの定格を選択する。定格は、JIS C 62548(2023)¹³⁻³⁾/IEC 62548-1(2023)¹³⁻⁶⁾を参考に決定する(13.4.4 参照)。考え方としては、通常の運転時には直列に接続されたヒューズが溶断されないように、短絡電流よりも余裕をもった値では溶断されない値とし(例えば、太陽電池アレイでは短絡電流の 1.5 倍、太陽電池ストリングでは、短絡電流の 1.25 倍以下では溶断しない)、事故電流においては遮断される必要がある(例えば、短絡電流の 2.4 倍以上では溶断する)。なお、ヒューズ定格は温度により変化するため、温度特性も加味した選定を行う。また、両面受光型モジュールを利用する場合は、両面に入射される日射強度を基にシミュレーションにより最大の短絡電流を計算する(13.2.2を参照)。

また過電流防止としては、健全な並列ストリングから事故点があるストリングへの電流の流れ込みによる逆電流を防止する逆流防止ダイオードや逆流防止リレーが存在する。定格は、JIS C 62548(2023)¹³⁻³⁾/IEC 62548-1(2023)¹³⁻⁶⁾、JEM 1493¹³⁻²²⁾、JEM 1508¹³⁻²³⁾を参考に決定する(13.4.5 参照)。

なお、ヒューズ利用時にはヒューズが溶断するまでの間は事故電流が流れること、逆流防止ダイオードはダイオードの短絡事故時には逆流防止の機能が失われることから、それぞれ火災につながる過電流(逆電流)を保護できないリスクが存在するため、相互の機能を補完するためには、両方の素子の利用と、正負極の両極にそれぞれ素子を設置することが望ましい。

13.3.4 異常発熱・アーク発生に対する保護

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. 異常発熱・アーク発生を検知・遮断する回路を設置することが望ましい。2. 異常発熱・アーク発生を防ぐために、適切に配線する。 |
|---|

アーク故障発生を保護・遮断する機能としては、太陽光発電用のアーク故障検知装置が存在する。アーク故障検知・遮断装置を利用する場合は、IEC 63027:2023 Photovoltaic power systems - DC arc detection and interruption¹³⁻²⁴⁾または UL 1699b¹³⁻²⁵⁾ に適合した装置を利用する。基本的には、正負どちらかの片極側におけるアーク(直列アーク故障)を検知することを想定している装置のため、正負極間の絶縁低下によるアーク(並列アーク故障)は検知できない場合があることに注意が必要である。

また、周辺へ延焼しないような期限内に事故点を遮断できることが重要である。IEC 63027 における試験条件では、750J 以下もしくは 2.5s 以内の検知・遮断としている。事故後速やかに所有者や保守点検者へ通知できる警報機能の設置、保守点検計画及び体制を取ることを推奨する。

また、異常発熱、アーク発生の事故として配線ケーブルやコネクタ部で発生した事例があ

る。コネクタでは、異種嵌合により異常発熱をすることがあり、それが発展して断線及びその際のアーク発生による焼損などのおそれがある。そのため、JIS C 62548(2023)¹³⁻³⁾/IEC 62548-1(2023)¹³⁻⁶⁾などにおいて、太陽光発電設備におけるコネクタは、同じメーカーの同じ製品ファミリーであることを求めている。これら異種嵌合による危険性については、IEC TR 63225¹³⁻²⁶⁾が参考となる。

13.3.5 雷害及び過電圧に対する保護

1. 太陽光発電設備への直撃雷を防ぐ受雷部システムや、大地から侵入する雷電流を捕捉し、設備への流入を防ぐ防雷地線を設置する（外部 LPS）。
2. 接続箱、集電箱などの電位差を軽減する等電位ボンディングを行う（内部 LPS）。
3. 配線には雷サージの影響を遮蔽できるように金属配管を利用することやシールドケーブルを用いる。また、誘導ループ面積を極力小さくする。

太陽光発電設備では、広大な敷地にアレイが配置され、接続箱、集電箱がキュービクルから離れて点在する場合もあるため、雷被害が発生している。しかし発電設備の性質上、完璧な雷害対策を行うのは困難であるため、理想的な対策と比べれば効果は下がるが簡易な対策例を示す。

太陽光発電設備に対する雷害対策は、外部 LPS（受雷部システム、引下げ導線システム、接地システム）、内部 LPS（等電位ボンディング、SPD : Surge Protective Device: サージ防護デバイス等）で構成される。外部 LPS は突針などの受雷部などにより構成され、太陽光発電設備等への雷の直撃（直撃雷）、及び太陽光発電設備から距離のある他地点の雷撃時に発生する電位差起因の雷電流の流入を防ぐ、または軽減させる役割がある。内部 LPS は、できる限り狭いエリアごとの等電位ボンディングや SPD の設置によって、逆流防止ダイオードや接続箱、集電箱の電気電子機器を雷サージから保護する役割がある。基本的な構成例と役割を表 13-1、図 13-8 に示す。

表 13-1 雷害に対する保護対策の種類と目的

雷害に対する保護対策	目的
外部LPS 受雷部システム 引き下げ導線システム 接地システム	<ul style="list-style-type: none"> 発電設備への直撃を軽減 設備への雷電流の流入を阻止
内部LPS 等電位ボンディング 耐雷トランス SPD : Surge Protective Device	<ul style="list-style-type: none"> 保護する機器（パワーコンディショナ、接続箱など）をエリアごとに等電位化 電位の分離 雷サージの処理

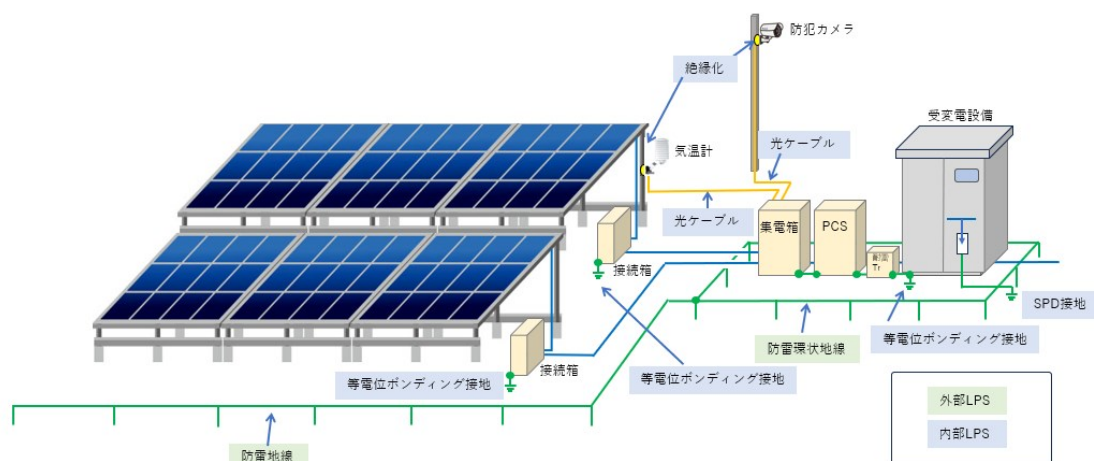


図 13-8 外部 LPS と内部 LPS による雷害に対する保護対策例

具体的な対策方法としては、IEC TR 63227 Lightning and surge voltage protection for photovoltaic (PV) power supply systems¹³⁻²⁷⁾、IEC TS 62738¹³⁻²⁸⁾を参考とすることが望ましい。

太陽光発電設備への雷害事故事例における、事故電流の経路は必ずしも明確ではないが、太陽電池のバイパスダイオードの短絡故障及び接続箱内の逆流防止ダイオードの短絡故障に起因したバイパス回路への逆電流流入による焼損、パワーコンディショナのスイッチング素子の故障や焼損事故などが確認されている。IEC TR 63227¹³⁻²⁷⁾では、太陽電池モジュールへの誘導電流を防ぐために、外部 LPS は太陽電池アレイから 0.5m の離隔距離をとって設置することを推奨している。そのため、太陽電池モジュールよりも 0.5m 以内にある架台へ雷電流が流れる場合には（例、架台への直撃雷）、太陽電池モジュールへの電磁誘導による故障のおそれが見込まれる。例えば、太陽光発電設備用の外部 LPS と太陽電池アレイと架台で構成される等電位ボンディングを分離することにより、雷電流の流入を阻止することができるため、架台を通じた太陽電池モジュールへの電磁誘導のリスク低減が期待できる。また、電路に雷電流が流入することによる、機器の破損が見込まれる。そのため、太陽光発電設備外からの雷電流を流入させないことによりリスク低減が期待できる。また、電路に雷

電流が流入することによる、接続箱や集電箱、パワーコンディショナなどの機器の破損が想定されるため、太陽光発電設備外から雷電流を流入させないことによりリスク低減が期待できる。

これらを考慮して、太陽光発電設備周辺に存在する雷撃を受けやすい送配電線などを考慮した外部 LPS の例を図 13-9 及び図 13-10 に示す^{13-27, 13-29}。図 13-9（簡易対策）では、防雷環状地線を施設しないため、外部からの雷電流が架台や設備に流入するおそれがあり、太陽電池モジュールよりも 0.5m 以内にある架台へ雷電流が流れる場合には、電磁誘導によるバイパスダイオードの短絡故障などのリスクは残る。しかし、発電所内に面的に点在している接続箱や集電箱、パワーコンディショナ間にかかる電位差を低減できると期待でき、それら機器破損のリスクを低減できることから、隣接する架台を接続することが望ましい。

SPD の選定及び設置については、JIS C 5381-31¹³⁻³⁰ 及び JIS C 5381-32¹³⁻³¹を参考とし、また、メンテナンスを行えるような箇所に設置することが望ましい。

配線については、同じ太陽電池ストリング及び太陽電池アレイ主幹の配線は太陽光発電設備内にループができないよう注意して正極と負極の配線を共に束ねるように設置することが望ましい（図 13-11、13-12 を参考）。なお、束ねる場合に正負極間の短絡事故のリスクがあるため、正負極の配線をそれぞれ分離して配管により束ねることが望ましい。束ねる対象には、接地・ボンディング用の導体が含まれる。また、長いケーブル（例えば、約 50m 以上の太陽電池アレイ主幹ケーブル）については、樹脂電線管への設置、地中埋設、遮蔽層を等電位ボンディングに接続した機械的保護を備えたケーブルの使用、SPD による保護などが望ましい。ただし、SPD の接地には雷電流が流れるため、等電位ボンディングには接続せず別接地とする。

また、太陽光発電設備に点在する防犯カメラ、気象センサー、データログなども、通信線が集電箱などに繋がっている場合もあるため、できる限り等電位になるよう雷害対策をする。

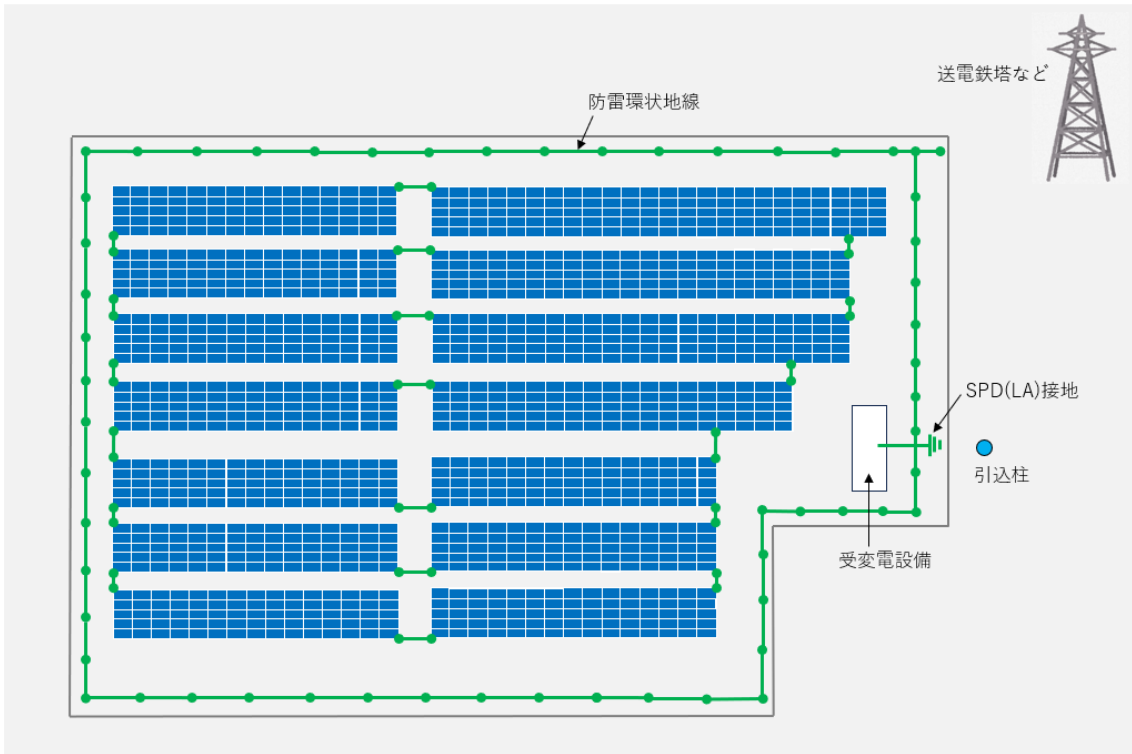


図 13-9 地上設置の雷害に対する保護対策（外部 LPS）の例

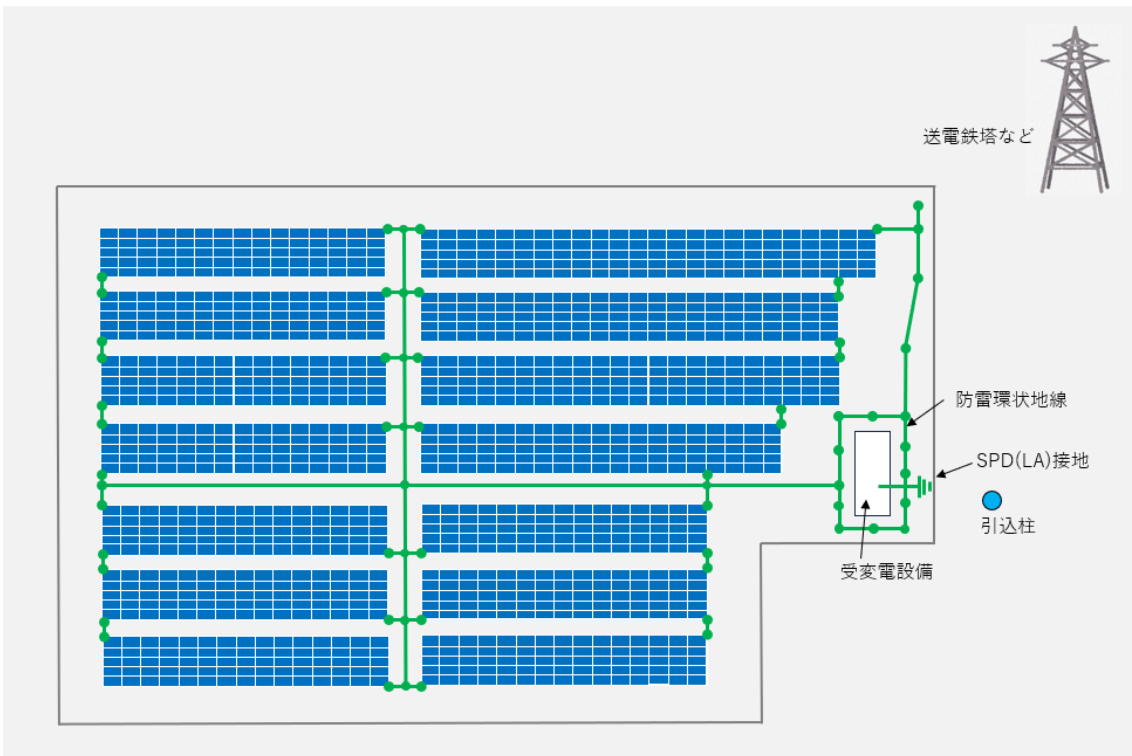


図 13-10 地上設置の雷害に対する保護対策（外部 LPS）の例（簡易対策）

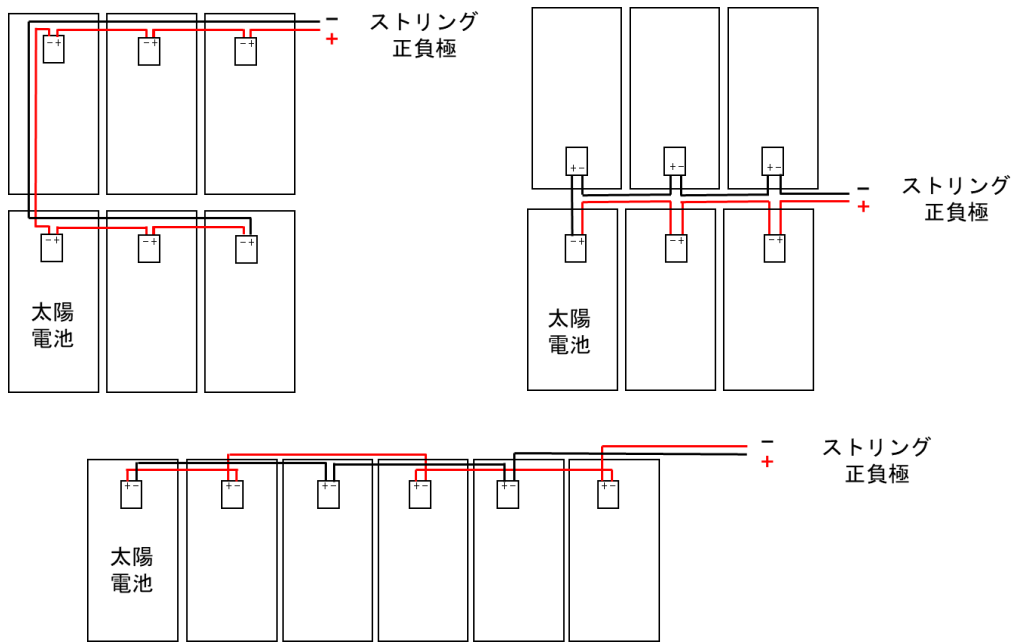


図 13-11 雷電流で発生する過電圧を減じるための配線によるループを最低限にする配線例（6直列の例）

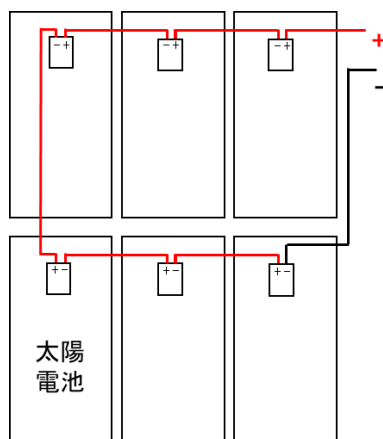


図 13-12 雷電流で発生する過電圧を減じるための配線によるループが大きい配線例（6直列の例）

13.4 電気機器の選定及び設置場所

1. 直流回路で利用する電気機器は、直流用途の定格をもつ機器を選定する。
2. 太陽電池ストリング、太陽電池アレイの設置場所に応じた、最大システム電圧と最大システム電流を想定した同等以上の定格電流値をもつ機器を選定する。
3. 場所及び環境に適合した IP 等級をもつ機器を選定する。
4. 場所及び環境に応じた温度定格値をもつ機器を選定する。

太陽光発電設備に利用する電気機器は、太陽電池アレイ側の直流回路で利用する場合、直流用途を想定した定格を有するものを利用すること、それぞれの機器は最大システム電圧（13.2.1を参照）、最大システム電流（13.2.2を参照）を想定した同等以上の定格電流値をもつ機器を選定すること、屋外に設置される機器が多いため場所及び環境に適合したIP等級、温度定格値をもつことを確認する。

13.4.1 太陽電池モジュール

1. 国際電気標準会議（IEC）の IEC60891-1 認証機関により太陽電池モジュールの種類に応じた IEC 61215 及び IEC 61730 シリーズの規格に適合することの認証を受けたものまたはこれらと同等以上の性能の製品を選定する。

太陽電池モジュールには認証機関により認証された製品を用いる。規格として、IEC 61215 及び IEC 61730 シリーズもしくは、JIS C 61215、JIS C 61730 シリーズに適合したものを用いる。また、太陽電池モジュールの火災試験については、JIS C 8993¹³⁻³²⁾、IEC 61730-2(2004)¹³⁻³³⁾、ANSI UL 790¹³⁻³⁴⁾、UL 1703¹³⁻³⁵⁾に従って電圧区分の確認及び火災安全等級の分類がある。利用する発電設備の電圧区分、必要な火災安全等級を確認して太陽電池モジュールを選定する。また、太陽電池メーカーが提供する火災安全等級等を明記したマニュアルがある場合はそれも参照する。

13.4.2 接続箱及び集電箱

1. システム電圧、システム電流に適合した接続箱及び集電箱を選定する。
2. 環境条件に適切な外郭のIP等級の接続箱及び集電箱を選定する。
3. 保守点検、施工性に配慮した接続箱及び集電箱を選定する。
4. 周囲への延焼防止と認められる措置を施した筐体を用いた接続箱及び集電箱を選定する。

直流 750V 以下の太陽光発電設備においては JEM 1493 「太陽光発電システム用接続箱および集電箱」¹³⁻²²⁾、直流 750V を超え 1,000V 以下においては JEM 1508 「太陽光発電システム用接続箱および集電箱 直流 750V を超え 1,000V 以下対応」¹³⁻²³⁾の要件を満足する、もしくはそれ以上の性能を持つ接続箱を選定する。

環境に暴露されている接続箱及び集電箱は、JIS C 0920¹³⁻³⁶⁾に従い、少なくとも IP44 適合で、耐紫外線性をもつものを選定することが望ましい。また、熱帯地域では、更に高いIP等級とすることが望ましい。

接続箱及び集電箱内には各種機器（遮断器、ヒューズ、断路器及び開閉器、逆流防止素子、SPD など）が収納されるため、各機器が視認できる状態であり、保守点検または修理が可能である必要がある。また、各種機器では温度設計を行うことが重要であり、接続箱及び集電箱の利用環境における温度上昇を想定した仕様を選択する。

接続箱における焼損事例として、接続箱の直流電気配線部分（端子台部分）での極間短絡事故が報告されており、その要因として圧着端子の施工不良やネジ締めが不完全な状態であったことなどが挙げられている。そのため、施工時のエラーを防ぐことが安全性向上に有効である。対策方法として、施工管理、施工技術の向上と同時に、施工性を配慮した装置の選定が重要である。施工性が配慮されていない装置では取り付け時や配線時における施工エラーを招きやすくなるため、十分なガタースペースを設けられている接続箱及び集電箱を選定することが望ましい。また、断路器を利用する場合、電流が流れた状態で開閉を行うと、電流を遮断できずアーク発生などの事故のおそれがあるため、危険の表示やリスクコミュニケーションを行う。

また、接続箱及び集電箱内で発火した際の周囲への延焼防止と認められる措置（金属や難燃性の素材を内部もしくは筐体へ利用等）を施した筐体を用いた接続箱及び集電箱を選定することが望ましい。

13.4.3 遮断器、断路器及び開閉器

1. 危険事象の保護設計対応した定格電圧、電流を有する遮断器、断路器及び開閉器を選定する。
2. 保守点検時に安全に作業できるような定格電圧、電流を有する遮断器、断路器及び開閉器を選定する。

遮断器、断路器及び開閉器の設置場所は 13.2.4 を参照し、危険事象に対応する保護設計は 13.3 を参照する。設置場所ごとシステム電圧、システム電流が異なるため、それぞれの電圧、電流に対応できる定格を有する遮断器、断路器及び開閉器を選定する。また、太陽電池アレイの事故電流が、通常の動作電流とは逆方向に流れる可能性があるため、極性がないものを選定する。さらに、遮断器、断路器及び開閉器は利用する動作温度により定格が変化するため、利用環境を考慮し、温度特性から想定した定格とする。

遮断器は IEC 60898-2¹³⁻³⁷⁾ または JIS C 8201-2-1¹³⁻³⁸⁾ のいずれかに適合しているもの、開閉器は JIS C 8201-1¹³⁻³⁹⁾ 及び JIS C 8201-3¹³⁻⁴⁰⁾ に適合しているものを選定する。

13.4.4 直流ヒューズ

1. 危険事象の保護設計に対応する定格電圧、電流を有する直流ヒューズを選定する。
2. 保守点検時に安全に作業できるようなヒューズ等を選定する。

直流ヒューズは、基本的に 13.3.3 の過電流に対する保護に利用する。そのため、その設置場所に対応したシステム電圧、システム電流に適した定格を有するヒューズを選定する。直流回路に利用するヒューズに交流用のヒューズを利用すると焼損などの事故のおそれがあるため、注意が必要である。太陽電池用のヒューズとして、IEC 60269-6¹³⁻²¹⁾ に適合した gPV

ヒューズを選定する。ヒューズは利用する温度環境により定格容量が変化するため、利用する温度環境を想定し、温度特性を考慮して定格を決定する。

保守点検時など、ヒューズに負荷遮断の機能が必要とされる場所でヒューズを絶縁手段として断路機能に使用する場合、ヒューズを組み込んだ開閉器の使用を推奨する。ヒューズを納めるヒューズベース及びヒューズホルダは、太陽電池アレイの最大システム電圧と同等以上の電圧定格値をもつこと、該当するヒューズと同等以上の定格電流値をもつこと、ヒューズの定格値及び特性が変わらないことが求められる。また、設置場所に適した保護等級をもつ製品を選定する。

13.4.5 逆流防止素子

1. 危険事象の保護設計へ対応する定格電圧、電流を有する逆流防止素子を選定する。

逆流防止素子（ブロッキングダイオード）は、基本的に 13.3.3 の過電流に対する保護の代替として逆電流防止のために利用される。そのため、その設置場所に対応したシステム電圧、システム電流に適した定格を有する逆流防止素子を選定する。JIS C 62548:2023¹³⁻³⁾/IEC 62458-1:2023¹³⁻⁶⁾では、最大システム電圧の 1.3 倍の耐圧、太陽電池ストリングの短絡電流の 1.4 倍の定格電流を求めている。ただし、雷サージによりダイオードが短絡している事例も確認されているため、耐圧は雷サージを加味する必要があるが、素子単体の耐圧で対応するだけでなく接続箱内の SPD との協調により耐電圧を設計することが望ましい。

また、逆流防止素子が放熱設計の異常により故障していた事例が海外の初期の太陽光発電設備において確認されている。そのため、接続箱内の温度設計を確認し、利用する環境及び電流を想定した素子温度を想定して、放熱設計が適切である素子を選定することが重要である。

13.4.6 雷保護素子

1. 危険事象の保護設計へ対応する定格電圧、電流を有する雷保護素子を選定する。

雷保護素子は、基本的に 13.3.5 の雷害及び過電圧に対する保護として利用される。そのため、その設置場所に対応したシステム電圧、システム電流に適した定格を有する素子を選定する。雷保護素子の一つである SPD の選定、設置は、JIS C 5381-31¹³⁻³⁰⁾ 及び JIS C 5381-32¹³⁻³¹⁾を参考とすることが望ましい。特に直流回路で利用可能な素子であることを確認することが重要である。また、直流回路に用いる SPD は、SPD が絶縁劣化した際に焼損することがないように機能を有したものを選定することが望ましい。

13.4.7 アーク故障検知・遮断装置

1. 危険事象の保護設計に対応する定格電圧、電流を有するアーク検知装置を選定する。

2. IEC 63027 または UL 1699b 規格に適合した装置を選定する。

アーク故障検知・遮断装置は、基本的に 13.3.4 のアーク発生に対する保護として利用することができる。そのため、利用する場合はその設置場所に対応したシステム電圧、システム電流に適した定格を有する装置を選定する。また、アーク故障検知・遮断装置の仕様及び試験方法である、IEC 63027:2023 Photovoltaic power systems - DC arc detection and interruption¹³⁻²⁴⁾または UL 1699b¹³⁻²⁵⁾があるため、この規格に適合した装置を選定する。ただし、この規格では、正負どちらかの片極側におけるアーク（直列アーク故障）を検知することを想定しているため、正負極間の絶縁低下によるアーク（並列アーク故障）は検知できないこともあることに注意が必要である。

アーク故障検知・遮断装置には、外付けの装置及びパワーコンディショナ内蔵のものがある。アーク故障検知・遮断装置は、パワーコンディショナからのスイッチングノイズ等により誤動作（正常時に検知するなど）する可能性がある。そのため、外付けの装置の場合は、パワーコンディショナとの組み合わせを確認する。

13.4.8 ケーブル・電線管

1. ケーブル・電線管は、危険事象に対する保護設計、電圧降下及び推定事故電流に対応した許容電流を有するものを選定する。
2. ケーブルは、利用する周辺温度を加味した許容電流を有するものを選定する。
3. 配管内に収納されるケーブルは、電線の断面積に応じて減少させた許容電流を有するものを選定する。

太陽電池アレイに利用するケーブルは、通常時はシステム電圧(13.2.1)、システム電流(13.2.2)への適合、また 13.3 に示す各種危険事象に対する保護設計、電圧降下及び推定事故電流に対応した耐圧、許容電流を有するものを選定する。直流回路に対しては、直流で利用可能であること、耐水性を有すること、地絡事故及び絶縁故障（正負極間）のリスクを最小限とするような絶縁性能を有するケーブルを選定することが重要である。電技解釈において、小規模発電設備の場合は電技解釈第 200 条、それ以外は電技解釈第 46 条に利用するケーブルに関する項目があるため、それぞれに適合するケーブルを選定する。

また、ケーブルは用途に適した温度定格値を有するため、太陽電池モジュールと接触しているか、またはその近くに設置されるケーブルは、周辺温度を考慮して定格値を決定する。太陽電池モジュールは、周囲温度から 40℃程度上回る温度で運転する機会が多いため、これらを考慮してケーブルの許容電流を決定する。さらに、太陽電池ケーブルの設置場所及び施工方法によっては、配管内に収納される電線の断面積に応じて、許容電流を減少させる必要がある。配管内への多条敷設が要因による正負間の短絡や地絡事故事例も散見されるため、設計・施工時には注意が必要である。この敷設環境を考慮した電流減少係数は、JIS C

60364-5-52¹³⁻⁸⁾、電技解釈 146 条、内線規程¹³⁻⁷⁾1340 節 (資料 1-3-3、6.7. 12) に基づいて、多条敷設の低減率計算により決定する。

屋外暴露されていたり、金属製トレイ及び金属性電線管に設置されたりするケーブルの場合、配線の保護を強化することが重要である。IEC 62930¹³⁻⁴¹⁾の 5.1.2 (Construction) に従い、太陽電池モジュールに直接つながるケーブルは、JIS C 3664¹³⁻⁴²⁾のクラス 5 の要求事項に適合したものが望ましい。

13.4.9 コネクタ (プラグ・ソケット)

1. コネクタ (プラグ・ソケット) は、システム電圧、システム電流及び危険事象に対する保護設計に対応した定格容量を有するものを選定する。
2. 異種嵌合にならないコネクタ (プラグ・ソケット) を選定する。

コネクタ (プラグ・ソケット) は、通常時はシステム電圧 (13.2.1)、システム電流 (13.2.2) への適合、また 13.3 に示す各種危険事象に対する保護設計に対応した定格容量を有するものを選定する。特に直流回路に対しては、直流で利用可能であること、場所に適した IP 等級、耐紫外線性能を有すること、利用環境に適合した温度定格を有すること、複数極を有する場合は分極している製品の選定が求められる。コネクタ (プラグ・ソケット) は、IEC 62852¹³⁻⁴³⁾に適合し、JIS C 61730-1¹³⁻¹⁾で規定するクラス II に適合するものを選定する。

また、異種嵌合のコネクタ等を利用する場合、異常発熱することがあり、それが発展して断線及びその際のアーク発生による焼損などのおそれがある。そのため、IEC 62548-1:2023¹³⁻³⁾などでは太陽光発電設備におけるコネクタは、同じメーカーの同じ製品ファミリーであることを求めている。これら異種嵌合による危険性については、IEC TR 63225¹³⁻²⁶⁾が参考となる。

さらに、コネクタの接続が容易に外れないこと、訓練を受けていない人が接触しないようにすることを想定し、二つの異なる動作または工具によって接続が解除されるようなロッキングタイプのものを選定する。

13.4.10 パワーコンディショナ・直流調整装置 (DC/DC コンバータ)

1. パワーコンディショナ及び直流調整装置 (DC/DC コンバータ) は、システム電圧、システム電流及び危険事象に対する保護設計に対応した定格容量を有するものを選定する。
2. IEC 62109-1 及び機器の種類に応じた IEC 62109 規格群、JIS C 8990 に適合する製品を選定する。
3. 「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」の規定に適合した製品を選定する。

パワーコンディショナ及び直流調整装置（DC/DC コンバータ）は、通常時はシステム電圧（13.2.1）、システム電流（13.2.2）へ適合し、また 13.3 に示す各種危険事象に対する保護設計に対応した定格容量を有するものを選定する。また、設置する周辺環境を考慮して選定する。考慮する環境として、IEC 62109-1:2010¹³⁻⁴⁴⁾の箇条 6 を参考とすることが望ましい（周囲温度・湿度、汚染度、耐紫外線など）。IEC 62109-1¹³⁻⁴⁴⁾ 及び機器の種類に応じた IEC 62109 規格群、また JIS C 8980「小出力太陽光発電用パワーコンディショナ」¹³⁻⁴⁵⁾に適合した機器を選定する。

また、パワーコンディショナは、電力系統との系統連系保護協調の機能を担っている。そのため、電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドラインの規定に適合したもの、具体的には系統連系規程に定められた機能を有している製品を選定する。国内では、電気安全環境研究所において系統連系保護装置等認証を行っているため、低圧系統連系保護装置等認証もしくは、高圧系統連系保護装置等認証に登録されている製品、もしくは社内試験によりこれと同等の性能を有すると認められる製品を選定する。

さらに、IEC 62920¹³⁻¹²⁾において、パワーコンディショナにおける EMC（Electromagnetic Compatibility；電磁両立性）に対する要求仕様及びテスト方法を規定しているため、本規格に適合したパワーコンディショナを選定することが望ましい。

13.4.11 受変電設備

1. 連系する電圧区分に適した受変電設備を選定する。

受変電設備は、連系区分に合わせた構成及び機器を選定する。太陽光発電設備の容量ごとに連系区分が決まっており、50kW 未満は低圧連系、50kW 以上～2000kW 未満が高圧連系、2000kW 以上が特別高圧連系となる。連系する電圧区分により必要な保護装置などが異なるため、適切な機器・設備を選定する。

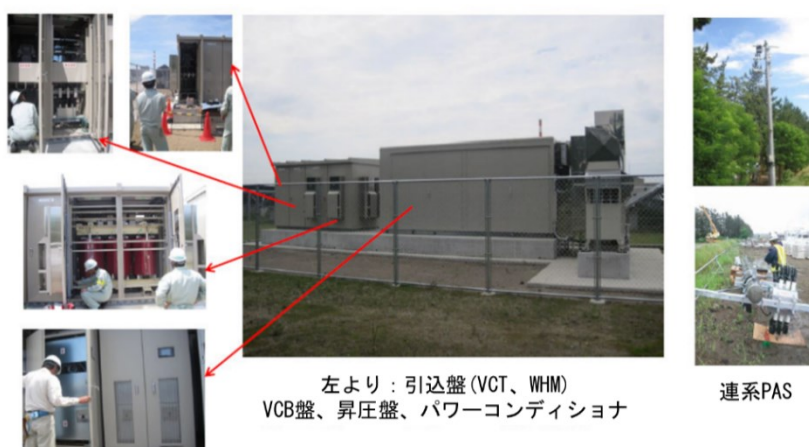


図 13-13 高圧設備の受変電設備の例

出典：太陽光発電協会



図 13-14 特別高圧設備の受変電設備の例

出典：太陽光発電協会

13.4.12 接触防護措置（さく、塀）

1. 発電設備とさく、塀等との距離を空けるようにした上で、構内に容易に立ち入ることができないような高さのさく、塀等を設置する。
2. さく、塀等の使用材料については、ロープ等の簡易なものではなく、金網フェンス等の第三者が容易に取り除くことができないものを選定する。

さく、塀については、発電設備とさく、塀等との距離を空けるようにした上で、構内に容易に立ち入ることができないよう、1.5m以上の（高圧受電設備規定 1130-2 を参考）高さのさく、塀等を設置する。柵塀等の使用材料については、ロープ等の簡易なものではなく、金網フェンス等の第三者が容易に取り除くことができないものを用いる。また、高圧以上の設備については電技解釈及び解説（第 38 条）を参考とし、さく、塀等を選定、設置する。電技解釈の解説では、充電部分との最小離隔距離は 0.5m とされている（使用電圧：7kV 以下）。



図 13-14 適切な高さ、柵の設置事例 ¹³⁻⁴⁶⁾

13.5 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 ¹³⁻⁴⁷⁾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 ¹³⁻⁷⁾「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には、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おそれがある。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。

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 ¹³⁻⁴⁸⁾、¹³⁻⁴⁹⁾の

場所に電気機器を設置しないことが原則となる。やむを得ず急勾配の場所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し滑落防止対策を施す。また、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。

さらに、昨今、ケーブル盗難被害が急増しているため、さく、塀の設置や監視カメラ等のセキュリティ監視装置の導入などの設計や通報体制などを設計時から検討することが望ましい。

13.6 表示及び文書

13.6.1 機器の表示

1. 全ての電気機器は、IEC 規格または JIS で規定する表示の要求事項に従って表示を行う。

所有者や保守点検などの取扱者の作業安全等のため、全ての電気機器は、IEC 規格で規定する表示の要求事項または JIS (JIS C 62548 : 2023¹³⁻⁶⁾等) で規定する表示の要求事項に従って表示を行う。表示は日本語で行い、適切な警告記号を用いることが望ましい。特に、下記のような表示を行うことが望ましい。

- ・ 太陽光発電設備の入り口などに「太陽光発電設備」であることがわかるような標識を掲げる。
- ・ 太陽光発電設備の入り口などに発電事業者、保守点検責任者の連絡先などの緊急連絡先の標識を掲げる。
- ・ 接続箱、集電箱に「直流：太陽光発電設備（太陽光発電システム）」であることがわかるような表示をする。
- ・ 接続箱、集電箱に「日中は通電」と表示したラベルを表示する。
- ・ 遮断器、断路器及び開閉器に、太陽電池アレイの配線図に従って識別名または番号を表示する。
- ・ 遮断器、断路器及び開閉器に、全てオン及びオフの位置を明確に表示する。

13.6.2 文書化及び保管

1. 太陽光発電設備の設計・施工・竣工検査、使用前自主検査または使用前自己確認の文書を保管する。

太陽光発電設備の設計・施工・竣工検査、使用前自主検査または使用前自己確認の各種文書を保管する。文書一覧については、IEC 62446-1¹³⁻⁵⁰⁾、使用前自主検査または使用前自己確認の解釈や各保安監督部の QA 資料、太陽光発電事業の評価ガイド¹³⁻⁵¹⁾などが参考となる。

13.7 サイバーセキュリティ

1. 自家用電気工作物（発電事業の用に供するもの及び小規模事業用電気工作物を除く。）に係る遠隔監視システム及び制御システムにおいては、「自家用電気工作物に係るサイバーセキュリティの確保に関するガイドライン（内規）」（20220530 保局第1号 令和4年6月10日）による設計とする。

サイバー攻撃等により、電気工作物の損壊等による人体への危害や物件の損傷、著しい供給支障などが発生するのを防止するため、電気工作物の設置者は、対策を講ずる必要がある。供給支障につながる可能性も否定できないことから、平成27年6月の産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会（第10回）の審議を踏まえ、平成28年9月の省令改正により、電気工作物におけるサイバーセキュリティ対策が求められている。太陽光発電設備のうち、自家用電気工作物（発電事業の用に供するもの及び小規模事業用電気工作物を除く。）に係る遠隔監視システム及び制御システムにおいては、「自家用電気工作物に係るサイバーセキュリティの確保に関するガイドライン（内規）」（20220530 保局第1号 令和4年6月10日）に従った対策を行う。なお、自家用電気工作物の構内に太陽光発電設備を設置する場合は、太陽光発電設備の設備容量が50kW未満の場合においても、自家用電気工作物となるため注意が必要である¹³⁻⁵²⁾

参考文献

- 13-1) IEC 61730-1:2023 Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction
- 13-2) IEC/TS 60479-1 :2018 Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects
- 13-3) IEC 62548-1:2023 Photovoltaic (PV) arrays - Part 1: Design requirements
- 13-4) IEC 61215-1-2:2022 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-2: Special requirements for testing of thin-film Cadmium Telluride (CdTe) based photovoltaic (PV) modules
- 13-5) JIS C 8957 : 2019 太陽電池モジュール・アレイ互換性標準
- 13-6) JISC 62548 : 2023 太陽電池（P V）アレイの設計要求事項
- 13-7) 一般社団法人日本電気協会: 内線規程 JEAC8001-2022、2022
- 13-8) JIS C 60364-5-52 : 2006 建築電気設備- 第5-52部：電気機器の選定及び施工- 配線設備
- 13-9) JET 一般財団法人 電気安全環境研究所, 太陽光発電システムから発生する静磁界と低周波磁界の測定結果, JET Report vol.52
- 13-10) CISPR11 :2015 Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement

- 13-11) CISPR16 -1-4:2020 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Antennas and test sites for radiated disturbance measurements
- 13-12) IEC 62920:2021 Photovoltaic power generating systems - EMC requirements and test methods for power conversion equipment
- 13-13) 総務省 太陽光発電システムを原因とする無線通信の妨害について
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/ele/pvsystem/index.htm>
- 13-14) JIS C 60364-4-41:2010 低圧電気設備- 第 4-41 部 : 安全保護-感電保護
- 13-15) IEC 62109-2 :2011 Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters
- 13-16) IEC 61557-2 :2019 Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V AC and 1 500 V DC - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 2: Insulation resistance
- 13-17) IEC 61557-8 :2014 Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems
- 13-18) IEC TR 62336 :2021 Managing fire risk related to photovoltaic systems on buildings
- 13-19) JIS C 61730-1 : 2020 太陽電池 (PV) モジュールの安全適格性確認- 第 1 部 : 構造に関する要求事項
- 13-20) JIS C 61730-2 : 2020 太陽電池 (PV) モジュールの安全適格性確認- 第 2 部 : 試験に関する要求事項
- 13-21) IEC 60269-6: 2021 Low-voltage fuses - Part 6: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems
- 13-22) JEM 1493: 2016 太陽光発電システム用接続箱及び集電箱直流 750 V 以下対応
- 13-23) JEM 1508: 2016 太陽光発電システム用接続箱及び集電箱 直流 750 V を超え 1000 V 以下対応
- 13-24) IEC 63027:2023 Photovoltaic power systems - DC arc detection and interruption
- 13-25) UL 1699b: 2018 Photovoltaic (PV) DC Arc-Fault Circuit Protection
- 13-26) IEC TR 63225:2019 Incompatibility of connectors for DC-application in photovoltaic systems
- 13-27) IEC TR 63227:2020 Lightning and surge voltage protection for photovoltaic (PV) power supply systems
- 13-28) IEC TS 62738 :2018 Ground-mounted photovoltaic power plants - Design guidelines and recommendations
- 13-29) 『雷サージ新理論 (仮称 K 理論) とそれに基づいた接地システムについて』,電気学会 産業応用部門全国大会, 1995.8.8
- 13-30) JIS C 5381-31 : 2020 低圧サージ防護デバイス- 第 31 部 : 太陽電池設備の直流側に接続する サージ防護デバイスの要求性能及び試験方法

- 13-31) JIS C 5381-32 : 2020 低圧サージ防護デバイス- 第 32 部 : 太陽電池設備の直流側に接続する サージ防護デバイスの選定及び適用基準
- 13-32) JIS C 8993 : 2020 太陽電池 (PV) モジュール用火災試験方法
- 13-33) IEC 61730-2: 2004 Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing (初版)
- 13-34) ANSI/UL 790 Fire Tests of Roof Coverings (Building Integrated Photovoltaics products only)
- 13-35) UL 1703: Standard for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels
- 13-36) JIS C 0920 : 2003 電気機械器具の外郭による保護等級 (IP コード)
- 13-37) IEC 60898-2 :2016 Electrical accessories - Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations - Part 2: Circuit-breakers for AC and DC operation
- 13-38) JIS C 8201-2-1 : 2011 低圧開閉装置及び制御装置-第 2-1 部 : 回路遮断器 (配線用遮断器及びその他の遮断器)
- 13-39) JIS C 8201-1 : 2020 低圧開閉装置及び制御装置-第 1 部 : 通則
- 13-40) JIS C 8201-3 : 2009 低圧開閉装置及び制御装置-第 3 部 : 開閉器, 断路器, 断路用開閉器及びヒューズ組みユニット
- 13-41) IEC 62930:2017 Electric cables for photovoltaic systems with a voltage rating of 1,5 kV DC
- 13-42) JIS C 3664:2007 絶縁ケーブルの導体
- 13-43) IEC 62852:2014 Connectors for DC-application in photovoltaic systems - Safety requirements and tests)
- 13-44) IEC 62109-1:2010 Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 1: General requirements
- 13-45) JIS C 8980 「小出力太陽光発電用パワーコンディショナ」
- 13-46) F I T 制度に基づく標識及び柵塀等の設置義務に関するお知らせ (注意喚起)
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/announce/20210401.pdf
- 13-47) 一般社団法人日本電気協会: 高圧受電設備規程 JEAC 8011-2020、2020
- 13-48) 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。
- 13-49) 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。」
- 13-50) IEC 62446-1:2016 Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 1: Grid connected systems - Documentation, commissioning tests and inspection
- 13-51) 太陽光発電事業の評価ガイド <https://www.jpea.gr.jp/guide/>
- 13-52) 経 済 産 業 省 電 力 安 全 課 HP:
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/electric/detail/setsubi_hoan.html

14. 施工

14.1 一般項目

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. 実際の施工管理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、設計の見直しを行う。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。

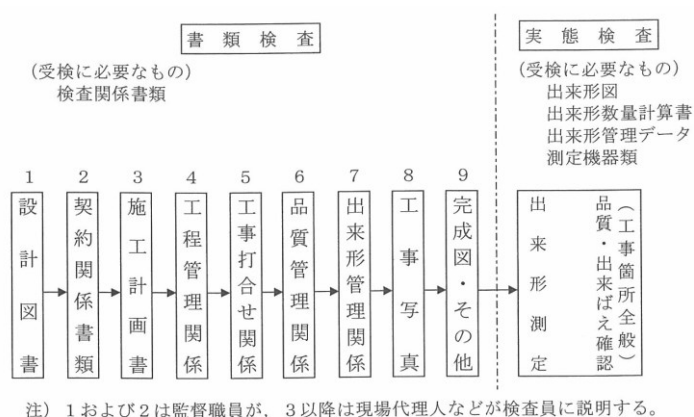
太陽光発電設備の供用中に、点検診断や維持補修を行う場合、実際に施工された状況を把握しておくことが重要である。このことから、施工時点において設計から変更した内容についてでき得る限り詳細に記録するとともに、変更した理由を併せて記録することが望ましい。

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。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。

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。



解図 6-2 検査の順序

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を検討する。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。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。また、海外の太陽光関連の法規制やガイドラインにも、造成工事などで発生した粉塵による汚染などを防ぐために適切な対策を行うことなどの記載もある。それらの海外の法規制・ガイドラインの調査結果は【技術資料：海外の法規制・ガイドライン調査】にまとめている。

14.2 基礎工事

14.2.1 直接基礎工事

1. 基礎は、設計図書通りの平面的な位置及び高さとなるように設置する。
2. 根入れをするために地盤を掘削した場合には転圧などを行い、所定の地盤強度を確保した上で直接基礎を設置する。
3. 場所打ちコンクリートの場合は、設計図書に示された強度のコンクリートを打設する。また、強度試験用の供試体を作成し、所定の養生方法、養生期間後に試験を行い強度が確保できていることを確認する。
4. 場所打ちコンクリートの基礎の場合は、架台の施工開始までに必要な養生期間を確保する。
5. 設計で想定した土質条件と現地が異なる場合には、直接基礎の要求性能が確保できる基礎形状に変更するか、杭基礎等別の基礎形式に変更する。

基礎にプレキャストコンクリートを採用する場合には、場所打ちコンクリートと同様の出来形管理及び品質管理を行う。

太陽光発電設備は平面的に広範囲に設置されることが多く、事前の土質調査結果による設計条件と現地が異なる場合が想定される。このような場合は実際の地盤条件を加味し、地盤の許容支持力や凍上対策等の設計の見直しを行った上で、基礎としての要求性能を満たすよう適正に施工する。必要に応じて、別の基礎形式に変更することも選択肢として検討することも肝要である。

14.2.2 杭基礎工事

1. 基礎は設計図書とおりに平面的な位置及び高さとなるように設置する。
2. 固い地盤または転石等によって杭を所定の深さまで打設できない、あるいは杭の高止まりが発生した場合は、基礎の要求性能が確保できる別の基礎の形式に変更する。
3. 打撃貫入による施工の場合は騒音等の影響を考慮して、施工の時間帯に配慮するとともに、必要に応じて防音措置を施す。
4. 回転貫入による施工の場合には、回転数と貫入量を適切に管理して打設する。
5. 打設後、杭の載荷検査を実施し、必要な抵抗力が確保できていることを確認する。
6. 設計で想定した土質条件と現地が異なる場合には、杭基礎の要求性能が確保できる杭種及び諸元に変更するか、直接基礎等別の基礎形式に変更する。

構造設計上の施工許容差を事前に確認し、その範囲内で施工する。杭の打設後に平面的な位置や高さが施工許容差を超える場合は、構造設計者に基礎や架台の強度への影響の有無を確認し、必要に応じて強度確保のための措置を施す。

杭基礎工事の施工前に、杭の高止まりなどの施工不良時のリスクを考慮して、事前に基礎の要求性能が確保できる対策方法を検討しておくことが望ましい。

太陽光発電設備は平面的に広範囲に設置されることが多く、事前の土質調査結果による設計条件と現地が異なる場合が想定される。このような場合は実際の地盤条件を加味し、杭の種類、杭径・杭長等の設計の見直しを行った上で、杭基礎としての要求性能を満たすよう適正に施工する。必要に応じて、別の基礎形式に変更することも選択肢として検討することも肝要である。

14.3 架台工事

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、施工要領を定める。

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、施工要領を変更する。

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. 実際の施工管理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。

強風等によって作業の危険性が考えられる場合には、作業を中止する。重機の取り扱いについては、十分に安全に配慮する。

14.4 電気設備・配線工事

電気設備・配線工事は、電気設備の技術基準及び解釈に適合するよう施工する。

14.4.1 電気機器取付け・設置場所に関する注意点

1. 接続箱、集電箱、パワーコンディショナなどの電気機器は、周囲の保有距離や点検通路を確保できるように取り付ける。
2. 接続箱、集電箱、パワーコンディショナなどの電気機器は、機器の設置の求められる仕様（パワーコンディショナの地面からの距離、放熱など）を満たすように取り付ける。
3. 接続箱、集電箱、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。
4. 接続箱、集電箱、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。
5. 接続箱、集電箱、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おそれがない場所に設置する。
6. 塩害、重塩害地域に設置する場合、接続箱、集電箱、パワーコンディショナなどの電気機器は、対応可能な機器の選定及び設置方法で取り付ける。

接続箱、集電箱、パワーコンディショナなどの電気機器は、周囲の保有距離や点検通路を確保できるように取り付ける、また、機器の設置の求められる仕様（パワーコンディショナの地面からの距離、放熱など）を満たすように取り付ける。特に水の浸入、結露、錆の発生などに注意する。特に水平設置タイプでは、入線方法の注意や水抜き穴からの水が抜けるように取り付ける。電線引き込み部が加工されていない場合は、穴加工など行った後に塗装（防錆）処理を行う。入出線にはコーキング処理を行うことが有効である。

また、機器の温度上昇を避けるため、直射日光が当たる場所に設置しないようにすることが望ましい。直射日光が当たる場所に設置する場合は、クリーム色やアイボリー色など、薄色系の塗装色を選定し、日射の影響を軽減することが望ましい。

キュービクルの設置場所については高圧受電設備規程¹⁴⁻⁴⁾「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¹⁴⁻⁵⁾「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。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、太陽電池アレイと設置場所が離れてしまうケースでは、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。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。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、特に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け高さが確保できる場所に設置する。

さらに、地上設置においては排水計画が重要となる。排水路付近は越水のおそれがあるため、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。また、設置する土地によっては石や木材などが敷地内に落下するおそれがあるため、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、このおそれがない場所とする。なお、落石などの対策にはさくや落石防止ネットなどの利用が考えられる。

機器の搬入作業について、機器の大きさ、重量を事前に確認し、搬入経路、設置場所に支障がないか事前の現地調査が必要である。また、大型機器には機器本体の重心を示すシールやマーキングが施されているため、搬入時の落下、移動時の転倒防止対策に反映することが重要である。工事作業においては、下記のような労働安全衛生を考慮して実施する。

- ・感電防止：
 - ・絶縁手袋を着用する。
 - ・絶縁処理された工具を使用する。
 - ・降雨、降雪時の作業は行わない。
 - ・遮光シート、太陽電池モジュール間接続ケーブルなどの接続順序を事前に検討し、無電圧、低電圧になるように工夫する。
- ・その他
 - ・電動工具を使用する場合は、その工具の扱い、携帯方法に十分注意する。
 - ・部材の切断作業には、必要に応じて保護手袋、保護めがね、防塵マスクなどを着用する。

- ・作業エリアの明示、作業動線の確認、確保、立ち入り禁止処置を施す。
- ・太陽電池モジュールの運搬時の強風によるあおられに注意する。

14.4.2 配管、配線、接続

1. JIS C 60364-5-52 の一般要求事項を考慮した配管、配線、接続を行う。
2. 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。
3. 落石などの落下物のおそれがない場所に配線する。

配管、配線、接続については、電気設備に技術基準の解釈による他、JIS C 60364-5-52¹⁴⁻⁶⁾の一般要求事項を原則とする。その他、下記のような点に注意する。

- ・ ケーブルの敷設は、風及び/または雪の影響で疲労が発生しないように支持する。
- ・ ケーブルの敷設は、鋭利な端面から傷がつかないように保護する。
- ・ ケーブルの敷設は、製造業者の指定する許容曲げ半径に従い、過剰な張力及び負荷力によってケーブルが損傷することを防ぐ方法とする。
- ・ ケーブルが太陽光に暴露される場合、耐紫外線対策として、紫外線から適切な保護ができる配線経路に敷設する、または紫外線に耐性のある電線管等を利用する。
- ・ 太陽光に暴露される非金属電線管は、全てを耐紫外線の製品とする。
- ・ 電線管、ケーブルトレイ、ラックなど、他の金属部品についても同様に耐紫外線対策に留意する。
- ・ ケーブル結束バンドを支持手段として使用する場合は、ケーブルが損傷しないように設置する。
- ・ ケーブルの結束バンドは、耐紫外線の製品を利用し、当該太陽光発電設備の寿命と同等以上であるか、または予定されている保守期間と同等以上とする。
- ・ ケーブル及び太陽電池モジュールの敷設は、電線管等に水が溜まらないようにする。
- ・ 設置中に全ての配線、接続の緊結性及び極性を確認する。
- ・ 太陽電池アレイの配線は、落雷で発生する過電圧を減じるため、図 14-2 に示すようにケーブルを並行に配置するなど配線が作るループ面積が最小限になるようにすることを推奨する。なお、束ねる場合に正負極間の短絡のリスクがあるため、正負極をそれぞれ分離して配管により束ねることが望ましい。
- ・ ケーブルの余長がある場合、巻き溜りとした箇所は、高温になり、断線、短絡事故につながるおそれがあるため、余長は最低限にする。
- ・ 地中配線または地中配管をする場合、電技解釈第 120 条に準拠して管路式で施設する場合は JIS C 3653¹⁴⁻³⁾「電力用ケーブルの地中埋設の施工方法」により 0.3m 以上の埋設深さに、直接埋設式の場合は地表面 1.2m 以上の深さに埋設する。なお、電技解釈 120 条では、車両重量物の圧力の有無や直接埋設/管路式の方式により規定が異なるため、用途にあわせて設計する。

- ・ ケーブルを埋設する場合は、ケーブルを保護する処置が必要であり、地震や地盤沈下に耐えるよう目安としてその延長が 30m を超えるごとに地中箱（ハンドホール）を設けることが望ましい。
- ・ ケーブルを埋設しない場合は、電気設備の技術基準第 166 条により施設する。

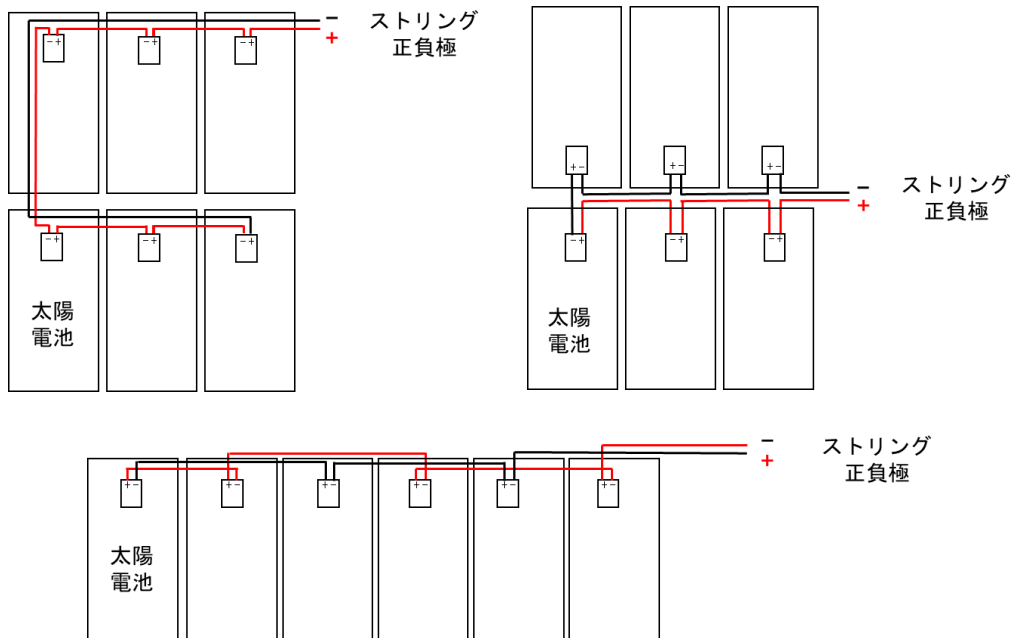


図 14-2 雷電流で発生する過電圧を減じるための配線によるループを最低限にする配線例（6 直列の例）

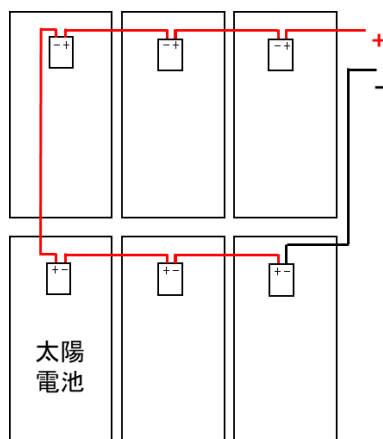


図 14-3 雷電流で発生する過電圧を減じるための配線によるループが大きい配線例（6 直列の例）

接続箱内の配線については、下記のような点に留意する。

- ・ 正極導体と負極導体との間で直流アークが発生するリスクを最小限にするため、接続箱内では可能な限り正極導体と負極導体とを分離することが望ましい。
- ・ 導体が電線管なしで接続箱及び集電箱に入る場合は、箱内のケーブルが外れないよう、引張力を逃がす手段（ケーブル押さえコネクタなど）を用いる。
- ・ ケーブルの入線口は、当該筐体の IP 等級を維持する。
- ・ 接続箱及び集電箱内の結露は、場所によっては問題となる場合があるため、必要に応じて湿度への対応や溜まった水を排水するための対策をする。

地上設置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 6.1 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おそれがあるため、ラックの利用、地中配線や架空配線を利用することが望ましい。



写真 14-1 ラックによる地上配線の例



写真 14-2 架空配線の例

設置場所によって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、配線経路はこのおそれがない場所とする。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、やむを得ない場合に対して電技解釈第131条に「がけに施設する電線路」の施設方法が規定されている。

所有者や保守点検などの取扱者の作業安全等のため、配線に対して識別の表示を行うことが望ましい。識別表示方法は、恒久的かつ摩滅不能な識別表示や IEC 62930¹⁴⁻⁸⁾に適合するケーブルなど JIS C 62548:2023¹⁴⁻⁹⁾/IEC 62548-1:2023¹⁴⁻¹⁰⁾の規定が参考となる。

14.4.3 接地工事

1. 接地する機械器具の金属製外箱、配管などと接地線の接続は、電氣的にも機械的にも確実に行う。

接地する機械器具の金属製外箱、配管などと接地線の接続は、電氣的にも機械的にも確実に行う。接地線が外傷を受けるおそれがあるときは、接地すべき機器から 60cm 以内の部分及び地中部分を除き、合成樹脂管（厚 2mm 未満の合成樹脂製電線管、CD 管を除く）、金属管などに収める（内線規程 1350-3）。

アルミニウムと銅を接続する場合、接続部分に水分などが付着するとアルミニウムが腐食するため、アルミニウム用の端子などを使用する。また、その接続部分にコンパウンドを塗布するなど対策を行う。

金属管及び各機器の工事は、内線規程 3110 節を参照にする。

接地極は埋設または打ち込み接地極として、銅板や銅棒などを使用することが望ましい。埋設場所は水気のあるところで、土質が均質でガスや酸などによる腐食のおそれのない場所を選び、地中に埋設または打ち込む。接地極の種類、寸法は、内線規程 1350-7 を参考にして選定する。また、接地極と接地線との接続は、銀ろう付けその他確実な方法によって行う（内線規程 1350-7）。

太陽電池モジュールと架台との接地を行う場合、異種金属間の電気化学的腐食（ガルバニック腐食）を防止するように配慮する。例えば、異種金属間の電気化学的腐食（ガルバニック腐食）を低減するため、ナイロン製ワッシャ、ゴム絶縁体など、隔離材料を用いる。

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

14-4) 一般社団法人日本電気協会: 高圧受電設備規程 JEAC8011-2020、2020

14-5) 一般社団法人日本電気協会: 内線規程 JEAC8001-2022、2022

- 14-6) JIS C 60364-5-52 : 2006 建築電気設備- 第 5-52 部 : 電気機器の選定及び施工- 配線設備
- 14-7) JIS C 3653 : 2004 電力用ケーブルの地中埋設の施工方法
- 14-8) IEC 62930:2017 Electric cables for photovoltaic systems with a voltage rating of 1,5 kV DC
- 14-9) JISC 62548:2023 太陽電池 (P V) アレイの設計要求事項
- 14-10) IEC 62548-1:2023 Photovoltaic (PV) arrays - Part 1: Design requirements

15. 維持管理計画

15.1 一般項目

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においては、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おいては、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あたっては、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するると良い。

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 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。

15.3 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。
2. 常時監視をしない場合、電技解釈第 47 条の 2 規定による設計とする。

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。

13.5「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、集電箱、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、太陽電池アレイと設置場所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。そのため、接続箱、集電箱、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。

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。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。やむを得ず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。また、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。

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や発電設備全体の接地抵抗など、それぞれの目的に応じて注意点（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）がある。測定方法の注意点などの詳細は、【特殊な設置形態（傾斜地設置型・営農型・水上設置型）の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025 年版技術資料：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】にまとめているので参考にされたい。

また、常時監視をしない太陽光発電設備において、随時巡回方式により施設する場合には、他冷式の特別高圧用変圧器の冷却装置が故障したときまたは温度が著しく上昇したときに、パワーコンディショナの運転を自動停止する装置を施設する。また、随時監視制御方式により施設するときは、「発電所の種類に応じ警報を要する場合」とする。「発電所の種類に応じ警報を要する場合」とは、パワーコンディショナの運転が異常により自動停止した場合、運転操作に必要な遮断器が自動的に遮断する場合である。詳細は、電技解釈第 47 条の 2 を参照すること。

15.4 緊急時の対応（設計時における配慮事項）

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接続箱等における迅速な遮断、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、市区町村、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が公開している文書^{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必要がある。太陽光発電設備では人が常駐して常時監視していないことが多いため、緊急時の異常発生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及び小規模事業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について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。また、消防隊員への保護措置は、UL 3741 Photovoltaic Hazard Controlが参考となる¹⁵⁻¹⁴⁾。

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¹⁵⁻¹⁵⁾。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。15.3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 JEAC8021-2023、2023
- 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) ANSI/CAN/UL 3741:2020, Photovoltaic Hazard Control
- 15-15) 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「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」事業および太陽光発電システムの安全確保のための実証」事業、及び委託業務（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。