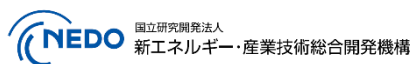


地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン

2019 年版

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」事業の結果として得られたものです。

2019 年 4 月 26 日



はじめに

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、本設計ガイドラインは、2015 年から太陽光発電協会にて作成を進めてきた「地上設置型太陽光発電システム設計・施工ガイドライン（案）」をベースに、NEDO の「太陽光発電システム効率向上・維持管理技術開発プロジェクト」の一環として編集作業を進め、学識者からなる専門委員会での討議を経て刊行する運びとなった。

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

一五十音順・敬称略一

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 恵 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 （東北大学）
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 （N T T 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（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

執筆担当（◎主査、○幹事）

・風荷重WG

◎植松 康（東北大学）	○高森 浩治（奥地建産）
相原 知子（大成建設）	井上 康美（太陽光発電協会）
大関 崇（産業技術総合研究所）	大竹 和夫（竹中工務店）
ガヴァンスキ江梨（大阪市立大学）	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（大阪市立大学）
田村 良介（N T T ファシリティーズ）	松本 知大（建材試験センター）
丸山 敬（京都大学）	安永 隼平（J F E スチール）
山 本 学（鹿島建設）	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	(N T T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)		

目次

1. 総 則	6
1.1 適用範囲	6
1.2 引用規格	6
1.3 用語・記号の定義	6
1.4 設計方針	12
2. 設計計画	14
2.1 一般事項	14
2.2 設計フロー	14
2.3 被災事例	15
2.3.1 土砂災害・水害	15
2.3.2 基礎沈下または崩壊（積雪荷重による）	15
2.3.3 架台の損傷（風圧荷重による）	16
2.3.4 架台の損傷（地震荷重による）	17
3. 調査及び計画	18
3.1 事前調査	18
3.1.1 事前調査の概要	18
3.1.2 地形の調査による地盤の見方	19
3.2 資料調査	20
3.3 現地調査	20
3.4 注意が必要な地形・地盤	22
3.4.1 軟弱地盤	22
3.4.2 埋立地	22
3.4.3 盛土地盤	23
3.4.4 造成地（山地・丘陵地）	23
3.4.5 崖・急斜面	23
3.4.6 谷底低地	24
3.4.7 地盤の液状化	24
3.4.8 傾斜地	24
3.4.9 森林伐採地	24
3.5 地盤調査	24
3.5.1 基本事項	24
3.5.2 原位置試験	25
3.5.3 調査法から得られるパラメータ	26

3.5.4 スウェーデン式サウンディング試験（SWS試験）	27
3.5.5 標準貫入試験	28
3.5.6 ラムサウンディング試験	29
3.5.7 簡易動的コーン貫入試験	29
3.5.8 平板載荷試験	29
3.6 基礎の選定方法	30
3.7 造成・排水の計画	30
3.7.1 基本的な考え方	31
3.7.2 切土	31
3.7.3 盛土	32
3.7.4 排水	32
3.7.5 滑動崩落防止対策	33
3.7.6 法面保護工	34
3.7.7 維持管理	34
3.8 配置計画（ラフプラン）	34
3.8.1 事前情報からのモジュールレイアウト検討	34
3.8.2 架台の傾斜角と離隔距離	35
3.8.3 太陽電池アレイ用架台の配置検討	36
4. 設計荷重	38
4.1 想定荷重	38
4.2 風圧荷重	39
4.2.1 設計用風圧荷重	39
4.2.2 設計用速度圧	39
4.2.3 風力係数	44
4.3 積雪荷重	46
4.4 地震荷重	48
4.4.1 設計用地震荷重	48
4.4.2 設計用水平震度	49
4.4.3 地震地域係数	49
4.4.4 用途係数	49
5. 使用材料	51
5.1 鋼材	51
5.2 アルミニウム合金材	51
5.3 コンクリート	52
5.4 その他	52

6. 架台の設計	53
6.1 架台の構造形式	53
6.1.1 基本構造形式の安定原理.....	53
6.1.2 主な構造形式例	54
6.1.3 柱脚部の支持条件（杭基礎）	55
6.1.4 構造解析	56
6.2 構造設計	58
6.2.1 概要	58
6.2.2 構造計算方針.....	58
6.2.3 適用または参考にする関連法令・学会指針類.....	58
6.3 構造設計フロー	59
6.4 性能目標の設定	59
6.5 構造計画	59
6.6 荷重の算定.....	60
6.7 応力と変形の算定.....	60
6.7.1 応力とその種類について.....	60
6.7.2 部材接合部のモデル化	60
6.7.3 手計算による応力算定	60
6.7.4 解析ソフトによる応力算定	61
6.8 鋼製架台における部材の設計.....	61
6.8.1 適用または参考にする関連法令・学会指針類.....	61
6.8.2 部材設計の考慮事項	62
6.8.3 部材の許容応力度の算定.....	62
6.8.4 材料の定数.....	64
6.8.5 材料の基準強度	64
6.8.6 圧縮フランジの支点間距離，座屈長さ，補剛の考え方	64
6.8.7 有効断面積，局部座屈防止の考え方	66
6.9 鋼製架台における接合部の設計	66
6.9.1 ボルトの孔径について	67
6.9.2 ボルト接合等におけるはしあき、へりあき距離について.....	67
6.9.3 長孔などによる接合について	67
6.9.4 部材が偏心して接合される場合の検討.....	68
6.9.5 モジュールと架台の接合について	68
6.10 アルミニウム合金製架台における部材の設計	69
6.10.1 適用または参考にする関連法令・学会指針類.....	69
6.10.2 部材設計の考慮事項	70

6. 10. 3 部材の許容応力度の算定	70
6. 10. 4 材料の定数	72
6. 10. 5 材料の基準強度	72
6. 10. 6 圧縮フランジの支点間距離、座屈長さ、補剛の考え方	73
6. 10. 7 有効断面積，局部座屈防止の考え方	73
6. 11 アルミニウム合金製架台における接合部の設計	74
6. 11. 1 接合部設計の考慮事項	74
6. 11. 2 ボルトの孔径について	75
6. 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	75
6. 11. 4 長孔などによる接合について	75
6. 11. 5 部材が偏心して接合される場合の検討	78
6. 11. 6 モジュールと架台の接合について	78
6. 12 部材の応力度検定	78
6. 12. 1 圧縮応力を受ける部材	78
6. 12. 2 引張応力を受ける部材	78
6. 12. 3 曲げ応力を受ける部材	78
6. 12. 4 組合せ応力を受ける部材	78
6. 13 基礎の設計	78
7. 基礎の設計	79
7. 1 一般事項	79
7. 2 基礎に働く外力と反力	79
7. 3 基礎の形式	81
7. 3. 1 独立基礎	81
7. 3. 2 続基礎（布基礎）	82
7. 3. 3 べた基礎	82
7. 3. 4 地盤改良工法	82
7. 3. 5 支持杭、摩擦杭	83
7. 3. 6 杭状補強	83
7. 4 直接基礎の設計	84
7. 4. 1 一般事項	84
7. 4. 2 地盤の許容支持力	85
7. 4. 3 セメント系固化材による地盤改良体の許容支持力	88
7. 4. 4 鉄筋コンクリート造の直接基礎設計上の注意事項	89
7. 4. 5 地盤改良工法	91
7. 4. 6 凍上対策（凍結深度対策）	91
7. 5 杭基礎の設計	92

7.5.1 一般事項	92
7.5.2 杭の鉛直許容支持力	92
7.5.3 杭の水平抵抗力及び水平変位	93
7.5.4 杭状補強	94
7.5.5 杭の種類	95
8. 腐食防食	98
8.1 適用範囲	98
8.2 一般事項	98
8.3 大気中（架台）の腐食と対策	98
8.3.1 表面処理の種類	98
8.3.2 一般的な腐食（均一腐食）	100
8.3.3 異種金属接触腐食	102
8.3.4 雨掛かりのない環境中での腐食	104
8.3.5 流水部の腐食	105
8.3.6 孔食	106
8.4 地中部（鋼製）の腐食と対策	107
8.4.1 表面処理の種類	107
8.4.2 埋設部の腐食	108
8.4.3 地際部の腐食	109
8.5 管理・点検・メンテナンス	110
〔技術資料 A〕 傾斜地に設置される太陽光発電システムの風荷重の割り増しについて ...	A-1
〔技術資料 B〕 地上設置型太陽電池アレイの積雪荷重算定方法について	B-1
〔技術資料 C〕 杭基礎上に設置する架台のモデル化について	C-1
〔技術資料 D〕 地上設置型太陽光発電システム用架台の耐風性能試験	D-1
〔技術資料 E〕 地上設置型太陽光発電システム用架台の接合部単体試験	E-1
〔技術資料 F〕 太陽電池モジュールの耐風性能試験	F-1
〔技術資料 G1〕 杭基礎支持力の実証試験	G1-1
〔技術資料 G2〕 施工不良による周面摩擦力への影響	G2-1
〔技術資料 G3〕 風の脈動による周面摩擦力への影響	G3-1
〔技術資料 G4〕 杭状補強工法の杭載荷試験	G4-1
〔技術資料 H〕 雨掛かりのない環境の腐食試験とその耐用年数試算	H-1
〔技術資料 I〕 地際を含む浅層土壌中の腐食試験と腐食対策	I-1
〔技術資料 J〕 耐食性を評価する腐食試験の代表例	J-1
〔付録 A〕 地上設置型太陽光発電システムの構造設計例（鋼製架台）	
〔付録 B〕 地上設置型太陽光発電システムの構造設計例（アルミニウム合金製架台）	

1. 総 則

1.1 適用範囲

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

〈解説〉

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

1.2 引用規格

JIS C 8955:2017 「太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法」

JIS C 8960:2012 「太陽光発電用語」

1.3 用語・記号の定義

太陽光発電：	太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式。光起電力効果を利用した太陽電池を用いるのが一般的である。
太陽電池：	太陽光などの光の照射を受けてそのエネルギーを直接電気エネルギーに変える半導体装置。光起電力効果を利用した光電変換素子の一種。太陽電池セル、太陽電池モジュール、太陽電池パネル、太陽電池アレイなどの総称として用いる場合もある。
太陽電池モジュール：	太陽電池セル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。
パワーコンディショナ：	主幹制御監視装置、直流コンディショナ、インバータ、直流/直流インタフェース、交流/交流インタフェース、交流系統インタフェースなどの一部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。
太陽光発電システム：	光起電力効果によって太陽エネルギーを電気エネルギーに変換し、負荷に適した電力を供給するために構成された装置及びこれらに附属する装置の総体。
太陽電池パネル：	現場取付けができるように複数個の太陽電池モジュールを機械的に結合し、結線した集合。
太陽電池アレイ：	太陽電池架台及び／または基礎、その他の工作物をもち、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。
基礎：	直接基礎と杭とを総称したもの。
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ための必要な面積を確保するスラブまたは片持ちスラブ、底盤、フーチング、ベースともいう。
スラブ：	鉛直方向の荷重を支持する床版・底版。
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。
アンカーボルト：	構造物の柱や土台をコンクリート基礎に定着するために埋め込んで用いるボルト。
直接基礎：	基礎スラブからの荷重を直接地盤に伝える形式の基礎。
独立基礎：	単一柱からの荷重を独立したフーチングによって支持する基礎。
複合基礎：	2 本以上の柱からの荷重を 1 つのフーチングによって支持する基礎。
連続基礎・布基礎：	一連の柱からの荷重を連続した基礎梁（またはフーチング及び基礎梁）によって支持する基礎。
べた基礎：	上部構造の広範囲な面積内の荷重を単一の基礎スラブまたは梁と基礎スラブで地盤に伝える基礎。
地業：	直接基礎のスラブと地盤とのなじみをよくするため、基礎スラブの下部に砂、砕石、コンクリートなどの施工を行うことをいう。
杭基礎：	基礎杭に架台を連結して、架台からの荷重を、杭を介して地盤に伝える形式の基礎。一般的な建築工事のように鉄筋コンクリート基礎の補強として杭を使用する場合は、これを補強杭工法として区別する。
鋼杭：	鋼管杭、形鋼杭など。
小口径鋼管杭：	鋼管径として 50～200mm 程度の一般構造用炭素鋼鋼管を使用した杭。
既製コンクリート杭：	既製鉄筋コンクリート杭などの総称。
打込み杭：	既製の杭体をほぼその全長にわたって地盤中に打ち込みまたは押し込むことによって設置される杭。
埋込み杭：	既製の杭体をほぼその全長にわたって地盤中に埋め込むことによって設置される杭。
摩擦杭：	主として周面摩擦で支持させる杭。
支持杭：	軟弱な地層を貫いて硬い層まで到達し、主としてその先端抵抗で

	支持させる杭。
地盤改良：	地盤の強度の増大ならびに沈下の抑制などに必要な土の性質の改善を目的とし、土に締固め・脱水・固結・置換などの処理を施すことをいう。
浅層混合処理工法：	表層地盤に対してセメント系の固化材などの添加や混合及び締固めにより面的に地盤を改良する工法。
極限（鉛直）支持力：	構造物を支持し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。
許容（鉛直）支持力：	極限（鉛直）支持力を安全率で除した値で、かつ部材が許容される応力度以内にあるときの鉛直力。地盤の抵抗力のみを指す場合は、地盤の許容応力（度）とも呼ぶ。
接地圧：	基礎スラブと地盤の間に作用する圧力。
原位置試験：	原状の地盤において行う土の性質を調べる試験。
自沈層：	スウェーデン式サウンディング（SWS）試験において、1 k N以下の荷重で地盤中に沈み込む地層のことをいう。
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。
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割線勾配。
土質試験：	試掘やボーリングによって採取された試料を対象として行う土の物理的性質や力学的性質などの室内試験の総称。
粘着力：	粘土粒子間の電気化学的な吸着力。
内部摩擦角：	土粒子の機械的な噛み合わせによって生ずる抵抗角。
粒度：	土に含まれる大小粒子の混合の程度。
含水比：	ある容積の土に含まれる水の質量の土粒子だけの質量に対する比率を百分率で表した数値。
圧密：	荷重の作用により土が長い時間をかけて排水しながら体積を減少させる現象。これによる沈下を特に圧密沈下という。
軟弱地盤：	構造物の支持地盤として十分な支持力をもたない地盤。
沖積層：	完新世の時代に堆積した地層を沖積層という。主に低地を構成している。
洪積層：	更新世の時代に堆積した地層を洪積層という。主に台地・段丘を構成している。
地盤沈下：	地盤が地下水の汲みあげや地盤への載荷などのために広範囲にわたって沈下すること。
不同沈下：	構造物の不均一な沈下で、沈下形状は一体傾斜と変形傾斜に分類される。傾斜角、変形角、相対沈下量などで評価する。
傾斜角：	不同沈下の傾斜の程度。不同沈下した差分（鉛直距離）を水平距離で除してラジアンで示す。

変形角：	構造物の途中から変化する傾斜角の相互の差であり、それぞれの傾斜角の差をラジアンで示す。
液状化：	砂質土地盤で、地震動の作用により粒子間の水圧が急上昇して、液体のようになる現象のことをいう。
造成地盤：	設計された地盤高になるように手が加えられた人工的地盤。主に切土と盛土のことをいう。
切土：	丘陵地の土砂・岩石を取り除いて造成された地盤。
盛土：	自然地盤の上に土を盛り上げて造成された地盤。
擁壁：	切土または盛土などの安定を図るために、土圧に抵抗する壁体構造物。
主働土圧：	壁から土が離れる側に移動した場合の壁に作用する圧力。
受働土圧：	壁から土に向かって移動した場合の壁に作用する圧力。
静止土圧：	壁及びこれに接する土が静止状態にある時の壁に作用する圧力。
根入れ深さ：	地表面から基礎スラブ下端までの掘削深さ。
根切り：	構造物の基礎あるいは地下部分を構築するために行う地盤の掘削。
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。
防食：	材料が腐食するのを防止すること。
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。
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。
腐食形態：	腐食要因ごとに共通している特徴的な様子のこと。
腐食生成物：	腐食によって生成した物質のこと。通常は固体物質を指し、材料表面に付着するかまたは環境中に分散して存在する。一般的には錆（さび）という。
腐食減量：	腐食試験後の試験片を除錆処理してその重さを量り、試験前の試験片重量と比較して求められる値のこと。腐食量ともいう。腐食により失われた材料の量を意味する。また、腐食減量は電気化学的手票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。
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のこと。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。
腐食速度：	単位時間及び単位面積あたりの腐食減量のこと。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。
耐食性：	材料が腐食に耐える性質のこと。
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）に耐える性質のこと。
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のこと。
大気腐食試験：	耐候性を評価する試験のこと。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。
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のこと。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下で実施するので、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。
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のこと。
めっき：	材料表面を金属や非金属の薄膜で被覆することにより、材料に他の性質を付加する表面処理法のこと。被覆方法で、湿式めっき、溶融めっき、乾式めっきに分類できるが、本誌では溶融めっきのみ扱っているため、溶融めっきを指していることもある。
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のこと。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のこと。
飛来塩分：	海浜地帯で潮風によって運ばれてくる塩分のこと。一般に飛来塩分量は離岸距離が大きくなるほど減少するが、地形条件や気象条件に影響を受けるため、注意を要する。また、積雪地域では融雪材が塩分であることもあるので、本誌では融雪材の塩分も飛来塩分に含めた。
付着塩分：	材料表面に付着した塩分のこと。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。
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。
腐食しろ：	製品において、使用中の腐食によって失われることを予め想定して、その分だけ増しておく厚さのこと。
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。一般には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。
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のこと。
孔食：	金属内部に向かって孔状に進行する局部腐食。
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。
耐用年数：	材料が使用に耐える年数のこと。
陽極酸化処理：	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皮膜を生成させる表面処理方法のこと。
陽極酸化皮膜：	陽極酸化処理により生成した金属表面の酸化皮膜のこと。
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のこと。
化成皮膜：	化成処理により生成した金属表面の皮膜のこと。
溶射：	溶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のこと。
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、電気伝導性を示す性質を有する物質のこと。
もらい錆：	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のこと。
応力腐食割れ：	負傷環境下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。
腐食疲労：	腐食環境下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て、き裂が生じて破壊に至る現象。
地際部：	鋼管杭が地面と接するところのことであるが、本誌では、地表面から深度 200mm 程度の範囲とした。
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のこと。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。

1.4 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。

本設計ガイドラインでは、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が外力に対する安全性の確保を目的として、設計上各部に生ずる応力度が超えないよう定めた限界の応力度」¹⁻¹⁾であり、地震荷重や風圧荷重などの短期荷重に対応する短期許容応力度と自重や多雪区域の積雪荷重などの長期荷重に対応する長期許容応力度に分類される。太陽光発電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ことは、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、本設計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ため、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¹⁻²⁾。しかしながら、本設計ガイドラインで要求する許容応力度設計を確実にすれば、再現期間500年の風圧荷重に対しても倒壊・崩壊しない強度をほぼ確保できることから、本設計ガイドラインでは再現期間500年の風圧荷重に関する要求事項については明記しないこととした。

地盤については、基礎や上部構造に地震・暴風・大雪による荷重が作用した場合に十分な耐力（反力）が確保できることを確認するだけでなく、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ろを考慮した設計を行うこととした。

参考文献

1-1) 彰国社：建築大辞典（第2版）、1993年6月

1-2) 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、2015年6月

2. 設計計画

2.1 一般事項

1. 設計の計画は 2.2 節のフローを参考に進める。
2. 過去の被災事例を参考に、地域特性・環境特性を考慮して計画を進める。

2.2 設計フロー

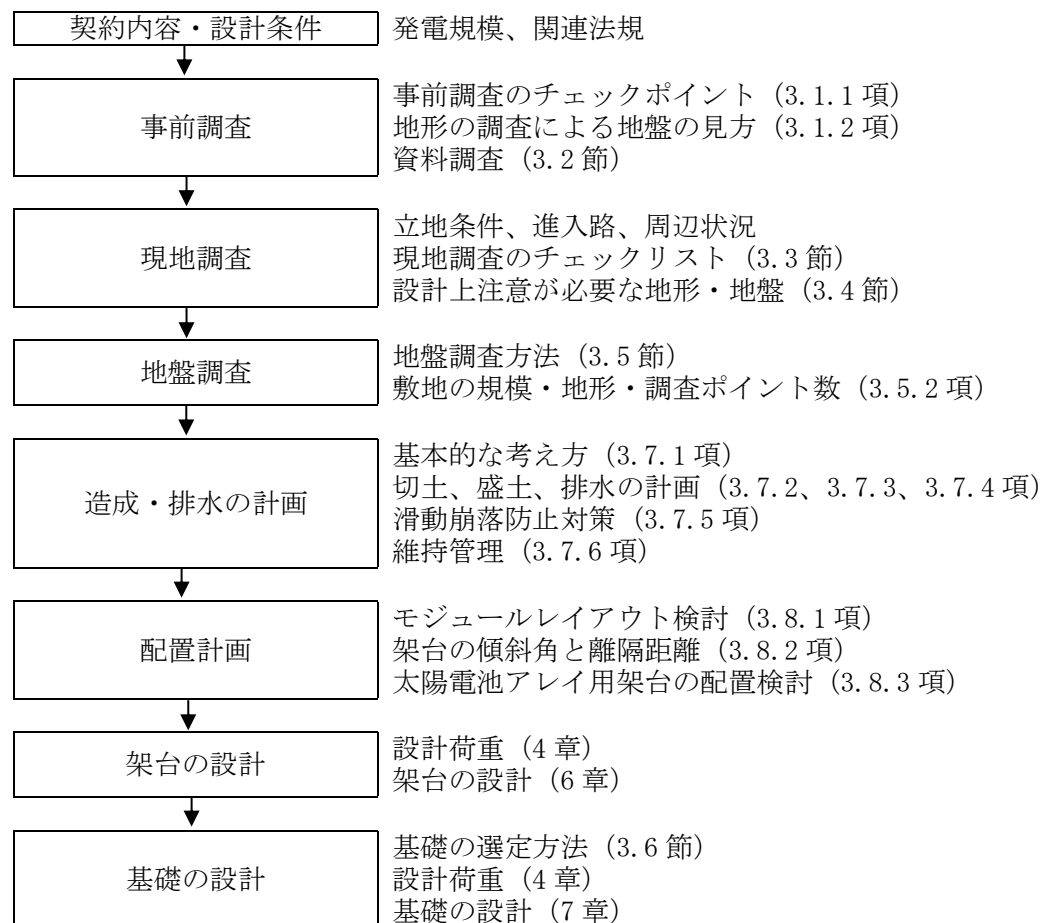


図 2-1 地上設置型太陽光発電システムの設計フロー

2.3 被災事例

2.3.1 土砂災害・水害

堤防の決壊による土砂水害が発生。
基礎地盤の流失により、基礎から崩壊した。



大雨により、法面の崩壊が発生。
法面保護工が崩れて流出した。



大雨により、傾斜地の崩壊が発生したため、法肩部分の架台が流出した。



2.3.2 基礎沈下または崩壊（積雪荷重による）

多雪区域での地上設置架台では、積雪荷重によって基礎沈降が発生する場合があります、事前設計の段階で最大積雪状態でのアレイ荷重の確認が重要になる。

基礎部の地耐力と合わせて、設計段階では当該区域での過去の積雪量を確認し、基礎、架台設計に反映することが好ましい。



積雪荷重により、架台が損傷している。

単管架台の強度不足、単管杭の支持力不足と推察される。



積雪荷重により、架台が損傷している。

パネル受け材が、積雪荷重により、曲げ破壊した。



積雪荷重により、架台が損傷している。

前柱（杭）が、積雪荷重により、倒壊した。



2.3.3 架台の損傷（風圧荷重による）

突風によって、破損した事例。

部材の接合部の耐力と杭の支持力不足と推察される。



台風によって、折損したアルミ製架台。

金属部材が脆性的に破損している事例は珍しく、部材の強度不足が原因である。



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。



台風によって、水上設置架台が飛散した。

風圧に抵抗する重量不足が原因である。



2.3.4 架台の損傷（地震荷重による）

地震によって、架台の並びが乱れた。

地震による被災事例は珍しく、架台が揺れに弱い構造（一本足）であったのと基礎杭の支持力不足が原因である。



3. 調査及び計画

3.1 事前調査

基本事項：敷地調査は、事前調査（資料調査・現地調査）により、適切に把握する。

3-1)

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

3.1.2 地形の調査による地盤の見方

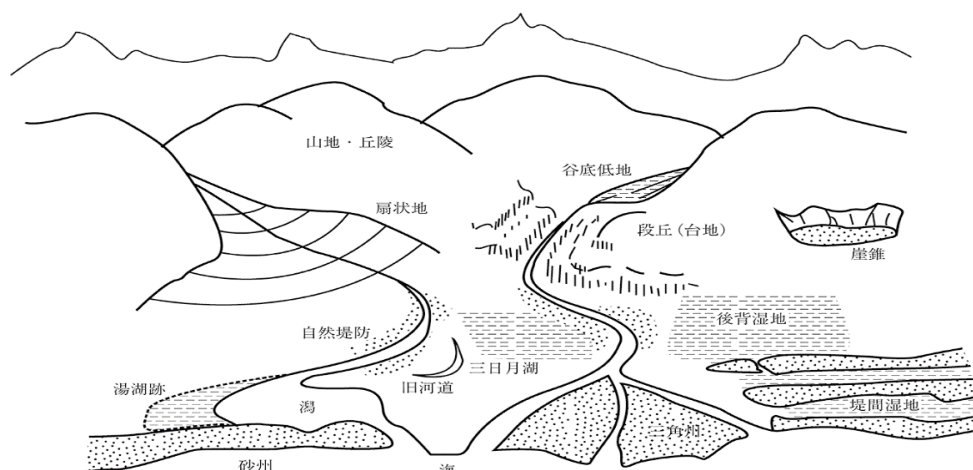


図 3-1 地形模式図

出所) 日本建築学会：小規模建築物を対象とした地盤・基礎³⁻¹⁾

表 3-1 地形区分と地盤の良否³⁻²⁾

○：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。	× 場合 によっ ては 不適

3.2 資料調査

1. 資料調査では、国土地理院発行の地形図や土地条件図などの地図資料、既往地盤調査資料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. 地名や植生などは、地域に固有な地盤条件を知る資料として有用である。
3. 小規模構造物の地震被害には、地盤条件に起因するものが多く、その危険性について調べる。

3.3 現地調査

1. 現地調査では、調査地を中心として周辺の観察を行い、資料調査の結果と照合しながら敷地の地盤状況を把握する。
2. 現地調査では、地形や造成盛土などの状況から、地盤の安全性や不同沈下の危険性について評価する。

＜太陽光発電システムの設置にあたっての重要な調査項目＞

方角、傾斜度・向き、平坦度、陥没の有無、前面道路（幅員）、障害物の有無、隣地の利用状況、海岸からの距離、系統連系ポイント

現地調査にあたっては下表のチェックリストを合わせて参考にする。

表 3-2 現地調査のチェックリストの例（調査地を含む周辺状況）³⁻¹⁾

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	凍土地帯・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 無し・有（ ） m 段差 無し・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

3.4 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 3.4 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、調査のポイントはここにする必要がある。

これらの地盤を造成する場合には「3.7 造成・排水の計画」を参照すること。

3.4.1 軟弱地盤

敷地の地層が泥土、腐植土（有機物が腐って土になったもの）などで構成された土地、沼や緩い砂などからなる海岸を埋め立てた土地を一般に軟弱地盤と呼んでいる。このような軟弱地盤は周辺の土地の高さに比べて必ず低い位置にある。三角州や河川沿いなどの低地には軟らかい土が堆積し、谷底にあたるような低い土地も同じである。

このような土地に太陽電池架台を設置すると、不同沈下が生じたり、地震の時、架台は大きく揺れる傾向があるため、対策が必要である。³⁻²⁾

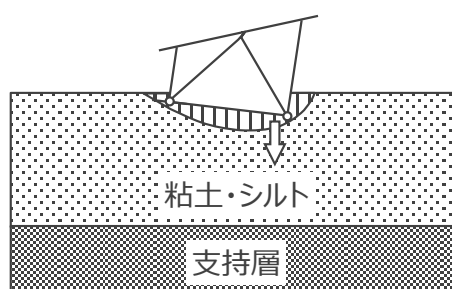


図 3-2 地盤沈下地層（深い軟弱地盤地域）

3.4.2 埋立地

沼、水田、湿地、谷、海岸などに土砂を埋めた土地を埋立地という。

このような土地に太陽電池架台を設置すると、地震の時、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、基礎が壊れるおそれがあるため、対策が必要である。³⁻²⁾

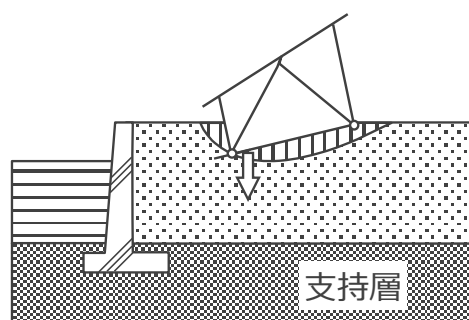


図 3-3 海岸の埋立地

3.4.3 盛土地盤

盛土は、普通 1m^3 当たり $16\sim 18\text{kN}$ もの重量がある。軟弱な地盤の上に盛土をすると、その重さを受けた軟弱層は水を絞り出すようにして徐々に沈下を起こす。これを圧密沈下という。

もし、軟弱層の厚さが厚い場合には不同沈下を起こすおそれがある。³⁻²⁾

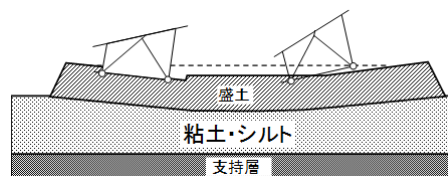


図 3-4 軟弱地盤上の盛土

3.4.4 造成地（山地・丘陵地）

山地や丘陵地などを盛土や切土で造成した敷地は、安定するまでに盛土部分が元の地形の斜面に戻るような変形をしようとする。

このような地盤に架台を設置すると、架台と一緒に基礎が不同沈下で壊れるおそれがある。基礎は、しっかりとした支持地盤（架台と基礎の重さを支えられるだけの十分な強度をもつ地盤）に設置することが必要である。³⁻²⁾

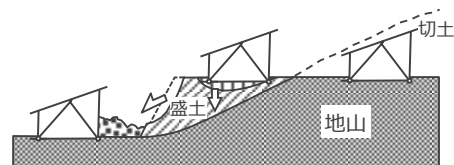


図 3-5 斜面の盛土造成地と崖下

丘陵地の造成では切土された土を谷側に盛土をして平らにするので元の山地と盛土との境目ができる。

このようなところが最も不同沈下を起こしやすくなる。この場合には盛土側を地盤改良などによって固めるかまたは杭を打つなどの対策が必要である。

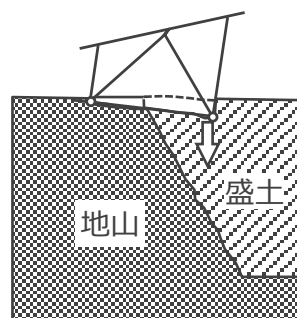


図 3-6 異種地盤

3.4.5 崖・急斜面

崖や急斜面に接近した場所（崖麓線）では、集中豪雨や地震による土砂崩れや擁壁の倒壊で、架台が押しつぶされる危険がある。

このような場所にやむを得ず架台を設置する場合は、崖の保護のための工事をした上で、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。³⁻²⁾

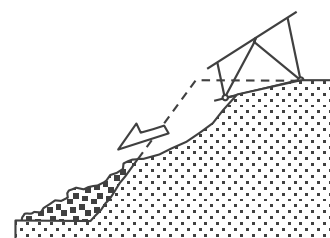


図 3-7 崖麓

3.4.6 谷底低地

丘陵や台地を下った先には谷がある。一般に谷筋には腐植土のような軟弱な地層が堆積する。その上に盛土された場合、谷底の軟弱層は圧密沈下を起こす。その時、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。

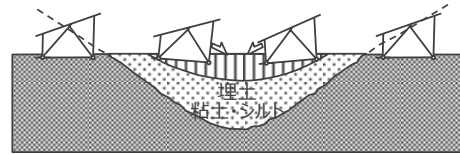


図 3-8 谷底低地

このため、杭で支持させるなどの対策が必要になる。³⁻²⁾

3.4.7 地盤の液状化

水で飽和したゆるい砂層などが、地震などの強い振動・衝撃を受け（間隙水圧が上昇してせん断抵抗を失い）液状となることが、地盤の液状化現象である。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^{3-3)、3-4)}。

3.4.8 傾斜地

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

3.4.9 森林伐採地

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

3.5 地盤調査

3.5.1 基本事項

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

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

太陽電池架台の設計では、中規模以上の建築物のように地盤調査に十分な費用がかけられない状況にあるので、3.1 で述べたように充実した事前調査を実施し、その結果を踏まえて地盤調査や土質試験を実施する必要がある。

地盤調査方法には、標準貫入試験、スウェーデン式サウンディング試験（以後、SWS試験と呼ぶ）、簡易動的貫入試験などがある。

また、地盤の許容支持力を原位置にて測定する方法として平板載荷試験がある。

3.5.2 原位置試験

1. 原位置試験は、基礎設計に必要な設計用地盤定数を求めることを目的として実施する。この設計用地盤定数には、地盤の支持力だけではなく、地下水位や土質区分も含まれる。
2. 原位置試験は、SWS試験を中心に行うものとする。ただし、事前調査やSWS試験で十分な情報が得られていないと判断した場合や圧密沈下が生ずる地盤では適切な原位置試験を選定し実施する。
3. 調査ポイントの箇所数と測定位置は敷地の規模と形状、地盤の状態により異なるため注意が必要である。調査ポイント数については図 3-9 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ていないような場合は、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 3-9 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³⁻⁴⁾。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。

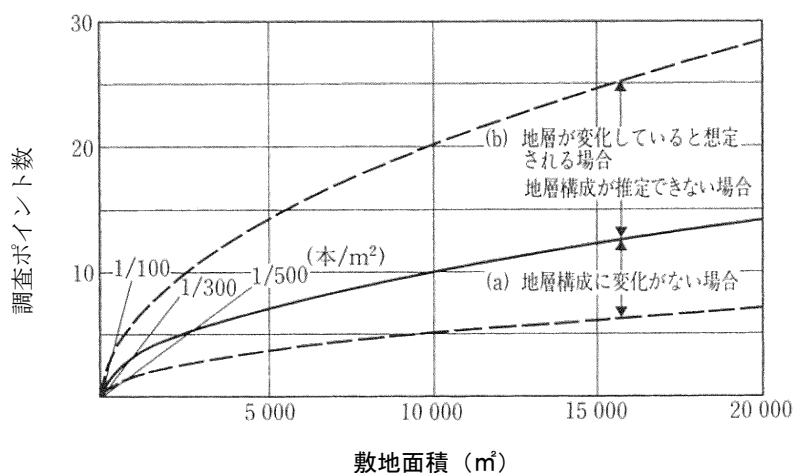


図 3-9 調査ポイント数の目安

（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）

3.5.3 調査法から得られるパラメータ

各調査法の特長及び得られるパラメータを表 3-3 にまとめた。

表 3-3 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	- 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。	- 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。	W_{sw} : 貫入に必要な最低荷重。 N_{sw} : 1 k N 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 1 m あたりの半回転数。	- N 値との関係 粘性土の場合 $N=2W_{sw}+0.67N_{sw}$ 砂質土の場合 $N=3W_{sw}+0.50N_{sw}$ - 一軸圧縮強さの関係 $qu=45W_{sw}+0.75N_{sw}$ (kN/m²) - 支持力との関係	10m 程度
標準貫入 試験	- 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。	- 軟弱な有機質土などは $N=0$ となり、微細な判定はできない。 - 作業スペースが大きい。 - 費用が高額である。 - 打撃音がする。 - SWS 試験と比較して測点数が少ないため、地層の分布が把握しにくい。	- N 値 - 土質	- 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 (新規追加)	- 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 値に換算しても 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。	- SWS 試験に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。	N_{dm} 値 N_d 値	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

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)
簡易動的コーン貫入試験	- 急傾斜地の斜面調査用に小型軽量化されたコーン貫入試験。 - 標準貫入試験の補足手段として、手軽に支持層までの深さや軟弱層の厚さを確認できる。	SWS試験と同じ	- Nd 値 (100mm ごとの打撃回数) - 自重沈下は Nd=0 とする	- Nd=4 以上のとき 粗粒土 $N=0.7+0.34Nd$ 砂質土 $N=1.1+0.30Nd$ 粘性土 $N=1.7+0.34Nd$ - Nd=4 以下のとき 粗粒土 $N=0.50Nd$ 砂質土 $N=0.66Nd$ 粘性土 $N=0.75Nd$	
平板载荷試験	地盤の支持力を直接判定できる。	- 影響する地盤の深さ方向の範囲は、载荷板幅の 1.5～2.0 倍程度である事。 - 作業スペースが大きい。 - 費用が高額である。 - 深度方向の調査が困難。	$Kp=\Delta P/\Delta S$ (MN/m²) Kp: 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)	許容支持力	0.6m程度 (円形の载荷板幅 30cm として)

3.5.4 スウェーデン式サウンディング試験（SWS試験）

SWS試験は静的貫入試験の1種であり、JIS A 1221（スウェーデン式サウンディング試験）方法に規定されている。³⁻⁵⁾

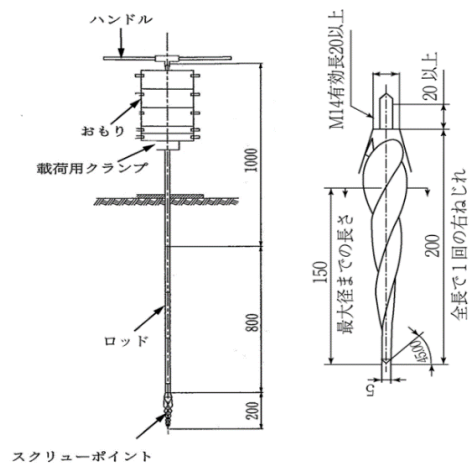


図 3-10 SWS試験（手動式）

3.5.5 標準貫入試験

標準貫入試験は、JIS A 1219 に規定されている。

SWS 試験では評価が難しい硬い支持層、水位や土質区分の測定ができる。また、土をサンプリングできるため、土層の確認ができる。³⁻⁵⁾

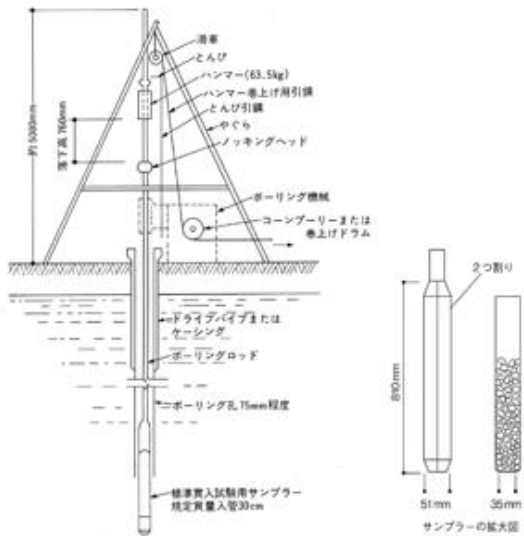


図 3-11 標準貫入試験

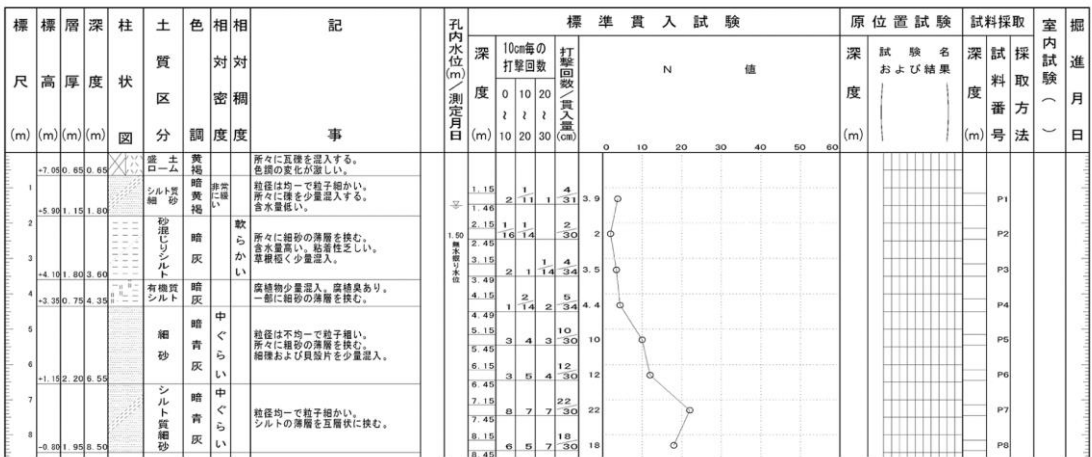


図 3-12 土質柱状図の例

3.5.6 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、Nd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。

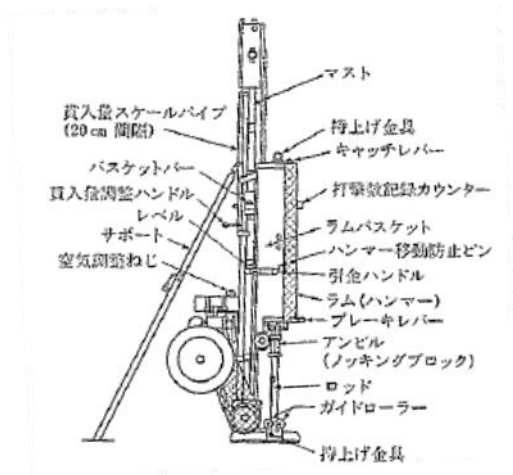


図 3-13 ラムサウンディング試験機

3.5.7 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。

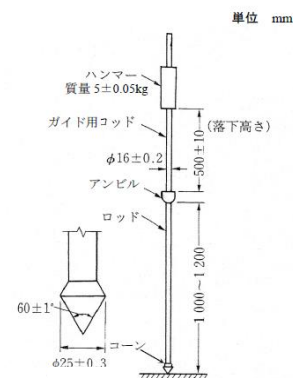


図 3-14 簡易動的コーン貫入試験機

3.5.8 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。

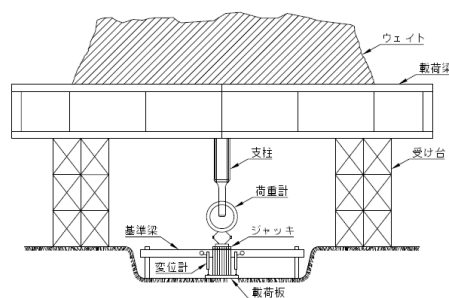


図 3-15 平板載荷試験

3.6 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载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あり、杭の打設が困難な場合には直接基礎とする。
3. 直接基礎を採用するときは、図 3-16「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 3-16 を参考に選定することができる。

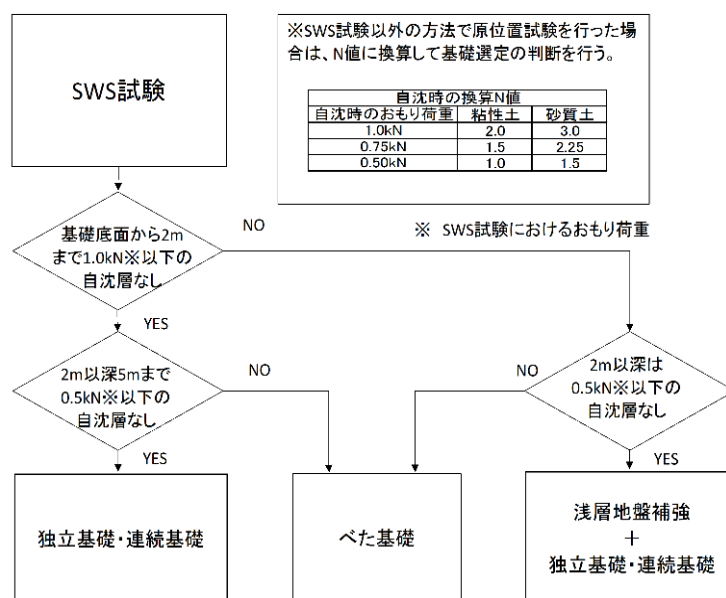


図 3-16 SWS 試験結果に基づく直接基礎の選定の目安

3.7 造成・排水の計画

斜面を伴う造成を行う場合、地滑り等により土砂や地上設置型太陽光発電システムが流出し二次災害を生じさせないように、事前に十分な工学的検討を行い、安全性を確保する。

自然の斜面地形を活かして地上設置型太陽光発電システムを設置する場合、洗掘や雨裂による土砂流出の恐れがあるため、法面保護工を行う等、安全性を確保する。

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、多岐に亘る工学的知見をもって技術的判断を行う必要があるため、必要に応じ専門家の協力を得ることが望ましい。

3.7.1 基本的な考え方

地上設置型太陽光発電システムは、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。

豪雨や地震等の災害による斜面地滑りや暴風等による太陽光発電施設倒壊等により、周辺の社会基盤や家屋などに影響を与えた事例がある。今後、ますます自然災害が多発し、また、その規模が激化する中で、太陽光発電施設の安全性を十分確保する必要がある。

太陽光発電施設は、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滑りの変動（以降、「滑動崩落」という。）を生じた場合、太陽光発電施設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、法面の勾配・形状等の設定方法、排水処理方法などについての基本的な考え方を示す。

なお、ここで示した基本的な考え方は、国土交通省による「宅地防災マニュアル³⁻⁶⁾」を参考にして整理している。具体的な検討においては「宅地防災マニュアルの解説³⁻⁷⁾」ならびに道路土工要綱等^{3-8)～3-10)}を参照すると良い。検討には、前項までに示した各種調査結果に加え造成設計技術等、多岐に亘る工学的知見を必要とすることから、必要に応じ専門家の協力を得ることが望ましい。

3.7.2 切土

切土により造成を行う場合、その法面勾配は下記を目安に出来る。法高が5mより大きい場合は、法高5m程度ごとに幅1～2mの小段を設けること。

表 3-5 切土法面の勾配（擁壁の設置を要しない場合）³⁻⁶⁾

法面の土質	法高	がけの上端からの垂直距離	
		①H≤5m	②H>5m
軟岩（風化の著しいものは除く）		80 度以下 (約 1 : 0.2)	60 度以下 (約 1 : 0.6)
風化の著しい岩		50 度以下 (約 1 : 0.9)	40 度以下 (約 1 : 1.2)
砂利、まさ土、関東ローム、硬質粘土、その他これらに類するもの		45 度以下 (約 1 : 1.0)	35 度以下 (約 1 : 1.5)

地山は複雑な地層構成をなしていることが多く、法面高が大きくなるに伴う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、余裕のある法面勾配にするなど、法面の安定化に配慮する必要がある。

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

3.7.3 盛土

盛土により造成を行う場合、その法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。法高が5mより大きい場合は、法高5m程度ごとに幅1～2mの小段を設けること。

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

- 法面が特に大きい場合
- 盛土が地山からの湧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

3.7.4 排水

切土、盛土等による造成地盤において、雨水や湧水等は法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、法面の安定性低下に直接影響を及ぼす。

これらのことから、法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
- 法面を流下する地表水は、法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
- 法面排水工の流末は、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出来ないことが想定される。このような条件の場合は、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法面の安定性低下など、逆効果となる場合もあり得ること、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、計画に当っては十分留意すること。浸透施設の計画等に当っては、3-11、3-12)の図書を参考にすることが出来る。

なお、排水処理単独で対策するのではなく、法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。

3.7.5 滑動崩落防止対策

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、事前に法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。さらに、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 3-17 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合せて対策することが望ましい。

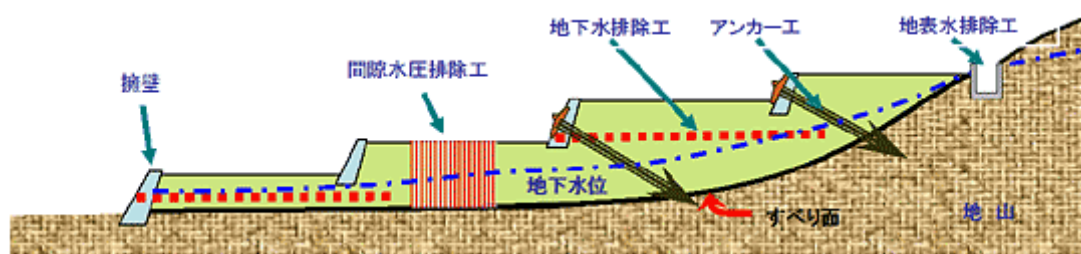


図 3-17 滑動崩落対策イメージ図³⁻¹³⁾

3.7.6 法面保護工

切土、盛土によるほか、自然地形による斜面地形の法面を利用する場合、洗掘や雨裂による土砂流出の恐れがあるため、法面保護工を行うなど、安全性を確保する必要がある。

法面保護工は、植物または構造物で法面を被覆し、法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。

法面保護工は法面緑化工と構造物工に大きく分けられ、法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。

法面保護工の選定に当たっては、法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。

具体的な法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、3-9)の図書を参考にすることが出来る。

3.7.7 維持管理

切土、盛土等により造成を行う場合、太陽光発電施設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当っては、維持管理に要するコストや手間も勘案し、確実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。

3.8 配置計画（ラフプラン）

3.8.1 事前情報からのモジュールレイアウト検討

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

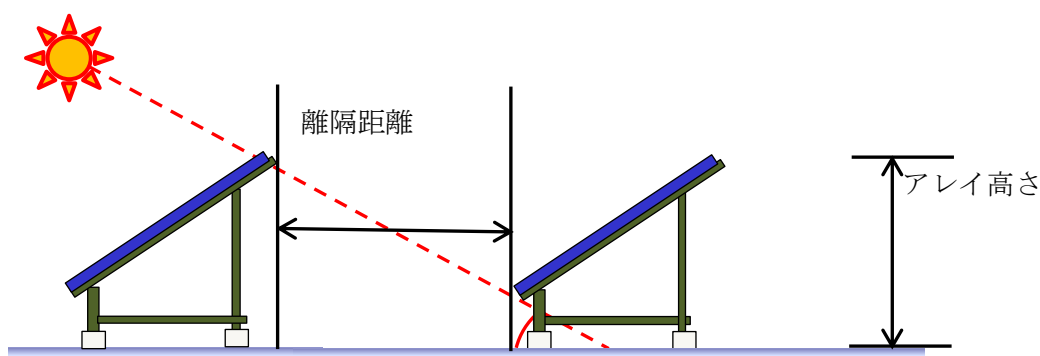
5. 多積雪地域では傾斜角を大きくすることで積雪荷重が軽減できるが、アレイ前部の落雪対策として、架台の脚部を嵩上する検討も必要となり架台コストへの影響も考慮する必要がある。

3.8.2 架台の傾斜角と離隔距離

1. 敷地に対してアレイ架台の配置検討では、発電量が大きくなる南向きに配置することや年間発電量が最大になる傾斜角度を確保することが望ましい。
2. 複数の太陽電池アレイを設置する場合は、陰の影響を最小化するための離隔距離の確保が必要となる。
3. 複数の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、傾斜角を小さくし隔離距離を短くする場合には、メンテナンススペースの確保に留意すること。
5. 積雪地域などでアレイ傾斜角を大きくすると、アレイの高さが高くなり離隔距離が大きくなる。
6. 設置場所の周辺の建物や樹木の陰にならない位置に配置する。

3.8.3 太陽電池アレイ用架台の配置検討 ³⁻¹⁴⁾

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



参考文献

- 3-1) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針
- 3-2) 日本建築学会：建築士のためのテキスト 小規模建築物を対象とした地盤・基礎
- 3-3) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計の手引き（2005 年）
- 3-4) 日本建築学会：建築基礎設計のための地盤調査計画指針
- 3-5) 日本建築学会：構造用教材（2014 年（改定））
- 3-6) 国土交通省 HP：宅地防災マニュアル
(http://www.mlit.go.jp/crd/web/topic/pdf/takuchibousai_manual070409.pdf)
- 3-7) 宅地防災研究会：[第二次改訂版]宅地防災マニュアルの解説[Ⅰ][Ⅱ]（平成 19 年）
- 3-8) (社)日本道路協会：道路土工要綱(平成 21 年度版)（平成 21 年）
- 3-9) (社)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)
（平成 21 年）
- 3-10) (社)日本道路協会：道路土工 盛土工指針(平成 22 年度版)（平成 22 年）

- 3-11) (社)雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透施設技術指針(案) 調査・計画編
(平成 18 年)
- 3-12) (社)雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透施設技術指針(案) 構造・施工・維持管理編
(平成 9 年)
- 3-13) 国土交通省 HP (<http://www.mlit.go.jp/crd/web/jigyo/jigyo.htm>)
- 3-14) 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）

4. 設計荷重

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」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。

4.1 想定荷重

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・地震荷重のほか、基礎に直接作用する固定荷重、土圧・水圧、地震荷重、その他の荷重とする。

- ① **固定荷重 (G)** : モジュールの質量 (G_M) と支持物などの質量 (G_K) による荷重の総和。
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 4-1 に従う。

表 4-1 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	$G + K$	$G + 0.35S + K$

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。

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

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。

4.2 風圧荷重

4.2.1 設計用風圧荷重

太陽電池アレイ用支持物の設計用風圧荷重は、式(1. a) のアレイに作用する風圧荷重と式(1. b) の支持物構成材に作用する風圧荷重の両方を考慮しなければならない。アレイの風圧荷重はモジュールの面に垂直に作用することとし、支持物構成材の風圧荷重は水平に作用することとしてもよい。なお、アレイ面の受風面積は、モジュールの周囲に付けられる部材を含む面積とする必要がある。

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

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

ここに、	W_a :	アレイの設計用風圧荷重 (N)
	W_b :	支持物構成材の設計用風圧荷重 (N)
	C_a :	アレイ面の風力係数 (4. 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/m ²)
	A_a :	アレイ面の受風面積 (m ²)
	A_b :	支持物構成材の鉛直投影面積 (m ²)

4.2.2 設計用速度圧

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

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

ここに、	q_p :	設計用速度圧 (N/m ²)
	V_0 :	設計用基準風速 (m/s)
	E :	環境係数
	I_w :	用途係数

a) 設計用基準風速

設計用基準風速は建設地点の地方における過去の台風の記録に基づく風害の程度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 8955:2017 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

環境係数は、式(3)によって算出する。

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

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

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

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

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

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

表 4-2 ガスト影響係数 G_f

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

表 4-3 Z_b 、 Z_g 及び α

地表面粗度区分		Z_b (m)	Z_g (m)	α
I	都市計画区域外にあって、極めて平たん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_r 及び G_r は、平成 12 年建設省告示第 1454 号に基づいている。ただし、表 4-3 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、設計風速への影響を考慮する必要がある。その際には建築物荷重指針⁴⁻¹⁾に示された方法などによって適切な風速の割り増しを行うことが望ましい。同指針では、傾斜地等に建設される建築物については小地形による風速の割り増し係数 E_g を用いて設計風速を補正している。これに倣って式(3)の環境係数 E を式(3. a) とすることにより、設計風速の割り増しを考慮することができる。

$$E = (E_r \times E_g)^2 \times G_r \dots\dots\dots (3. a)$$

小地形による風速の割り増し係数 E_g は式(3. b)により求められる。

$$E_g = (C_1 - 1) \left\{ C_2 \left(\frac{Z}{H_s} - C_3 \right) + 1 \right\} \exp \left\{ -C_2 \left(\frac{Z}{H_s} - C_3 \right) \right\} + 1、かつ 1 以上\dots\dots (3. b)$$

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

C_1, C_2, C_3 : 小地形による風速の割り増し係数 E_g を定めるパラメータで、小地形の形状、小地形の傾斜角 $\theta_s(^{\circ})$ 、小地形の頂部から建設地点までの水平距離 $X_s(m)$ に応じて、図 4-1、図 4-2 により定める。傾斜角 $\theta_s \geq 60^{\circ}$ の場合の風速の割り増し係数 E_g は、 $\theta_s = 60^{\circ}$ の値と同じとする。

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

H_s : 傾斜地または尾根の高さ(m)

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

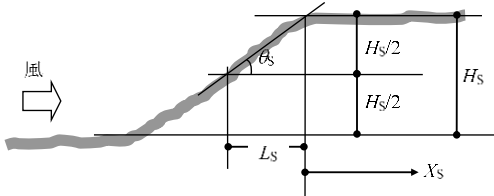


図 4-1 傾斜地

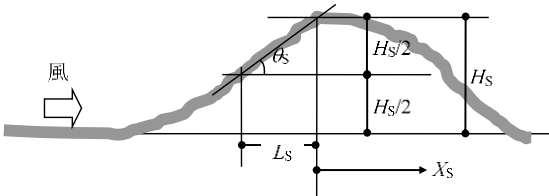


図 4-2 尾根状地形

表 4-4 E_g を定めるパラメータ（傾斜地）

$\theta_s (^\circ)$		X_s/H_s									
		-4	-2	-1	-0.5	0	0.5	1	2	4	8
7.5	C_1	1.15	1.3	1.5	1.5	1.6	1.45	1.3	1.3	1.2	1.15
	C_2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4
	C_3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
15	C_1	0.4	1	1.2	1.55	2.1	1.65	1.5	1.3	1.2	1.15
	C_2	0.9	0	0.65	0.85	1	0.8	0.7	0.55	0.45	0.35
	C_3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
30	C_1	0.7	-0.5	1.05	1.1	1.3	1.3	1.25	1.2	1.15	1.1
	C_2	0.65	1.2	1.65	1.5	1.45	1.3	0.9	0.9	0.85	0.6
	C_3	-2	-2	1	0.8	0.3	0.3	0.5	0.7	1.2	1.4
45	C_1	0.8	0	-3.5	1.1	1.2	1.35	1.3	1.2	1.15	1.1
	C_2	0.5	1	1.6	2	1.1	1.3	1.3	1.3	0.9	0.55
	C_3	-2	-2	-2	0.8	0.3	0.2	0.75	1.05	1.4	2
60	C_1	0.6	0.1	-1.8	-2.4	1.2	1.4	1.35	1.25	1.15	1.1
	C_2	0.65	0.9	1.3	2.6	2	1.8	1.7	1.5	0.85	0.45
	C_3	-2	-2	-2	-1	0.5	0.5	0.8	1.2	1.9	3.1

表 4-5 E_g を定めるパラメータ（尾根状地形）

$\theta_s (^\circ)$		X_s/H_s									
		-4	-2	-1	-0.5	0	0.5	1	2	4	8
7.5	C_1	1.1	1.2	1.35	1.35	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1
	C_2	1	1	1	1	1.5	1.2	1.1	2	1.6	0
	C_3	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.5	0.9	0
15	C_1	1	1.05	1.2	1.25	1.3	1.4	1.3	1.25	0.35	0.65
	C_2	0	0	1	1	1	1.5	1.5	2	3	2
	C_3	0	0	0	0	0	0.5	0.6	1.1	0.2	0.3
30	C_1	0.75	0.55	0.85	1	1.2	1.3	1.25	1.2	1.1	1.02
	C_2	1.5	2	2	0	1	2	2	1.6	1.7	1.7
	C_3	0	0	0	0	0	1.1	1.3	2.1	2.2	2.8
45	C_1	0.75	0.55	0.2	0.75	1.15	1.2	1.15	1.12	1.1	1.02
	C_2	1.5	2	2	3	1	2.5	2.5	2	1.6	1.3
	C_3	0	0	0	0	0	1.2	1.9	2.2	2.5	3.2
60	C_1	0.75	0.55	0.2	0.2	1.15	1.12	1.15	1.12	1.1	1.02
	C_2	1.5	1.5	1.8	3	1	2.2	2.5	2	1.6	1.3
	C_3	0	0	0	0	0	1.8	2	2.3	2.6	3.4

注) 表に掲げる傾斜角 $\theta_s (^\circ)$ 及び水平位置 X_s/H_s の中間値に対する風速の割り増し係数 E_g については、最も近い2つの傾斜角と水平位置について、風速の割り増し係数を求めた上、それらについて直線補間した値とする

小地形による風速の割増し係数 E_g の計算例を末尾の【技術資料A】にまとめている。

c) 用途係数

用途係数は、表 4-6 による。

表 4-6 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）⁴⁻²⁾ 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。

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

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。

$$R'_t = R_t / R_{50} \quad (\text{参考式 2})$$

R_t : (参考式 1) で算出した再現期間 t 年の再現期間換算係数

R_{50} : (参考式 1) で算出した再現期間 50 年の再現期間換算係数

4. 2. 3 風力係数

a) 太陽電池アレイ面の風力係数

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 4-7 に示す設置形態の場合は、近似式(6) ～ (7)によって算出してもよい。

地上設置 順風（正圧）の場合、式(6)による。

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

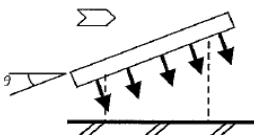
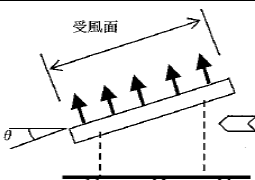
ただし、5 度 ≤ θ ≤ 60 度

地上設置 逆風（負圧）の場合、式(7)による。

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

ただし、5 度 ≤ θ ≤ 60 度

表 4-7 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 4-3 で定義する中央部アレイでは、近似式の値を 0.6 倍して使用してもよい。
注記 ≡ は風向、→は風圧力の方を表す。		

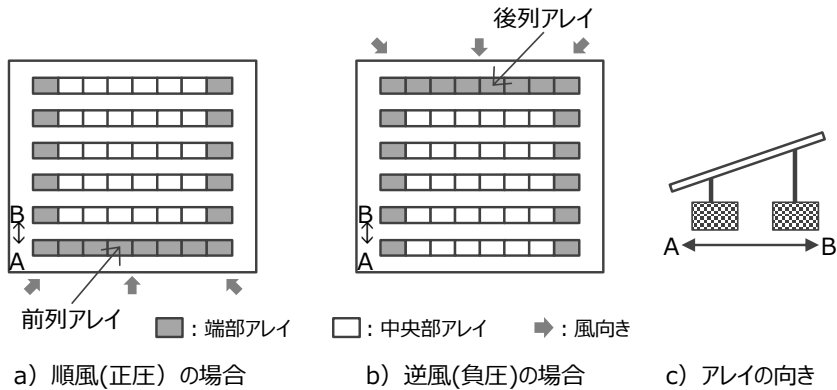


図 4-3 端部アレイおよび中央部アレイ

太陽電池アレイ面の風力係数は、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、近年の研究成果に基づいている。なお、太陽光発電システムを傾斜地に設置する場合には、アレイ面の風力係数への影響についても考慮することが望ましい。しかし、傾斜地に設置される太陽光発電システムのアレイ面の風力係数については、研究事例が少なく不明な点も多い。末尾の【技術資料 A】を参考に傾斜地における風力係数を便宜的に設定する方法についてまとめている。

b) 支持物構成材の風力係数

支持物構成材の風力係数は、風洞実験によって定める。単体部材の断面形式が表 4-8 に示す断面形状の場合は、表 4-8 に示す数値を用いてよい。

表 4-8 単体部材の風力係数 C_f

断面形状		風力係数	断面形状		風力係数
→ 	円形断面	1.20 (0.75) ⁽¹⁾	→ 	T 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 $r/d \neq 0.2$ 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(1) 括弧内の数値は、次の計算式によって求められる風速 $V(\text{m/s})$ を超える場合を示す。

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

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。

4.3 積雪荷重

設計用積雪荷重は、式(8)によって算出する。

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

ここに、 S_p : 積雪荷重 (N)
 C_s : 勾配係数
 P : 雪の平均単位荷重 (積雪 1cm 当たり N/m²)
 Z_s : 地上垂直積雪量 (m)
 A_s : 積雪面積 (アレイ面の水平投影面積) (m²)

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)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。

a) 勾配係数

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

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

ここに、 θ : アレイ面の傾斜角度 (度)

ただし、 $0 < \theta \leq 60$

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

ただし、 $\theta > 60$

勾配係数 C_s とは地上積雪重量を構造物の屋根上に載荷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 項に示される屋根形状係数を準用している。太陽電池アレイの C_s はその傾斜角度から算定され、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（地盤面あるいは屋根面からの持ち上げ高さが低い）場合など、雪の滑落が期待できない場合には、勾配係数による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、アレイ面の地上高が滑落雪による堆積深さに対応していない傾向が強く、アレイ面の積雪と地上に堆積した積雪が繋がることが多い。この場合、アレイ面の軒先で積雪量が増加することに注意が必要である。近年の研究成果をもとに太陽光発電システムの積雪荷

重の考え方について【技術資料B】にまとめており、積雪量が多い地域に太陽光発電システムを設置する場合の参考となる。

b) 雪の平均単位荷重

式(8)において、雪の平均単位荷重(P)は、積雪 1 c m ごとに 1 m²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 項では、多雪区域における積雪の単位荷重は特定行政庁が定めることとしているが、JIS C 8955:2017 では 30N 以上として与えている。なお、多雪区域の定義は、4.1 節に示すとおりである。

c) 地上垂直積雪量

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、式(11)によって計算した積雪量に当該区域における局所的地形要因による影響を考慮する。ただし、特定行政庁が当該区域またはその近傍の区域の気象観測地点における地上積雪深の観測資料に基づき、統計処理を行うなどの手法によって、当該区域における 50 年再現期待値を求めることができる場合には、当該手法による値を用いることができる。

$$Z_s = \alpha \times I_s + \beta \times r_s + \gamma \dots\dots\dots (11)$$

ここに、
 I_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 (k m) 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。本来、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ため、設計者が垂直積雪量を任意に定めることはない。そのため特定行政庁が規則で定める値がある場合にはその値を用いることとしている。また、同告示は 1993 年版の建築物荷重指針に基づいているが、建築物荷重指針は 2015 年に更新されており、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た^{4-1)、4-2)}。垂直積雪量の算定においては、これらの値を総合的に判断する必要がある、その考え方については【技術資料B】にまとめている。

d) 積雪後の降雨による割増荷重

太陽電池アレイ上端から下端までの水平投影長さが 10m 以上、かつ、アレイ面の傾斜角度が 15 度以下の場合、平成 19 年国土交通省告示第 594 号に従って割増荷重を考慮する必要がある。

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、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システムは、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。この割増荷重の解説についても【技術資料 B】にまとめている。

4.4 地震荷重

4.4.1 設計用地震荷重

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

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

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

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

4.4.2 設計用水平震度

モジュールと支持物で構成される架構部分及び基礎部分の設計用水平震度は、式(14)によって算出する。

$$k_p = k_H \times Z \times I_K \dots\dots\dots (14)$$

ここに、 k_H : 各部に生じる水平震度であり、表 4-9 に掲げる数値
 Z : 地震地域係数
 I_K : 用途係数

表 4-9 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システム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。

4.4.3 地震地域係数

地震地域係数は JIS C 8955:2017 の表 10 に従って設定する。（ここでは同表を省略する。）

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。

用途係数は、表 4-10 による。

表 4-10 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

4.4.4 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」の重要度係数に準じている。

参考文献

- 4-1) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説、2015 年
- 4-2) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説、1993 年

5. 使用材料

5.1 鋼材

架台に使用される鋼材は、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料でなければならない。また、使用される目的、部位、環境条件、耐久性等を考慮して適切に選定する。

1. 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—」（日本建築学会）及び「軽鋼構造設計施工指針・同解説」（日本建築学会）に従い、適切に選定する。
2. 鉄筋は、特別の場合のほか、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に従い、適切に選定する。
3. 金網は、JIS G 3551「溶接金網及び異形鉄筋格子」に従い、適切に選定する。
4. ステンレス鋼等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。
5. 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」及び「軽鋼構造設計施工指針・同解説」（日本建築学会）に記載がない、もしくは海外規格等の鋼材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。

5.2 アルミニウム合金材

架台に使用され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でなければならない。また、使用される目的、部位、環境条件、耐久性等を考慮して適切に選定する。

1. 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」（アルミニウム建築構造協議会）に従い、適切に選定する。
2. 「アルミニウム建築 構造設計規準・同解説」に記載がない、もしくは海外規格等のアルミニウム合金材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。

5.3 コンクリート

コンクリート材料は、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。

1. 架台に使用され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」（日本建築学会）または「コンクリート標準示方書」（土木学会）に従い、適切に選定する。

5.4 その他

その他の材料を用いる場合には、目的、使われる部位、環境条件、耐久性等を勘案し、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。

1. 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。

6. 架台の設計

6.1 架台の構造形式

1. 架台は安定構造を基本とする。
2. 架台は柱脚部の支持状況について十分に考慮すること。

6.1.1 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 6-1 a. 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、節点での部材の角度変化を抑える目的で方づえを設けたり、節点を剛接合としたラーメン構造としたりすることで安定を図る。

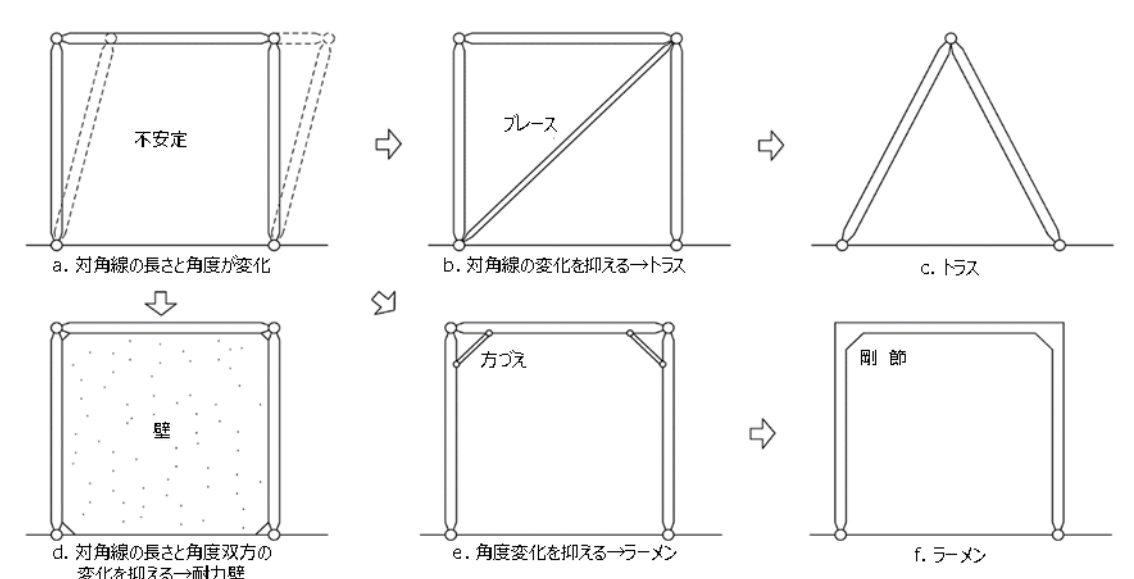
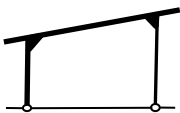
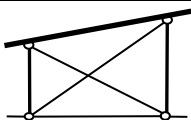
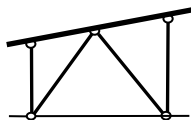
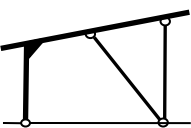
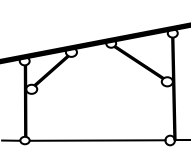
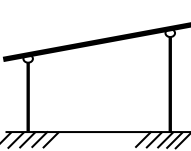
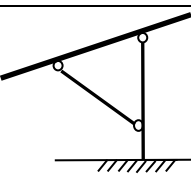


図 6-1 基本構造形式の安定原理

6. 1. 2 主な構造形式例

代表的な構造形式例（南北方向）を表 6-1 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こと。

表 6-1 架台の代表的構造形式例

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。 柱と横架材は軸力と曲げモーメントが働く部材として設計する。
②ピン構造 (引張ブレース)		節点が全てピン接合で、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		柱と横架材の節点がピン接合であるが、方づえを設けて節点での部材の角度変化を抑えた構造。 ①のラーメン構造と同様に、柱と横架材は軸力と曲げモーメントが働く部材として設計する。特に柱材の断面が不足すると、過大な変形を生じたり、曲げ破壊に至ることがあるので注意が必要。
⑥柱構造 (片持ち柱)		地中から立ち上がった杭を柱として、その上に受梁を渡した構造。（ブレースを設けていない構造） 杭頭の変位量が大きくなるため杭材の曲げ強度、変位量に留意が必要。
⑦柱構造 (片持ち柱一本足)		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、変位量に留意が必要。

6.1.3 柱脚部の支持条件（杭基礎）

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留意が必要である。

杭基礎にて架台を支持する場合は、柱脚部の支持状況について留意する必要がある。

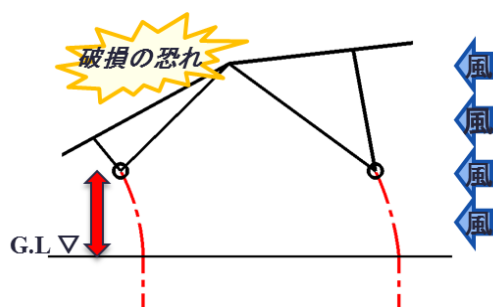
6.1.1 及び 6.1.2 で示した基本構造形式は柱脚がピン支持あるいは剛接などで、鉛直変位や水平変位が生じないことを前提に架構が成立している。架台を杭基礎にて支持する場合には、柱脚部に働く水平力・杭の突き出し高さ・杭を支持している地盤の影響を受けて柱脚部に変位が生じる。架構の境界条件が変わると上部の架台に付加的な曲げが生じるなどして崩壊につながることもあるので、これらを担保した設計とする必要がある。架台の安定を保てない場合には杭頭をつなぎ材で接合するなどして、柱脚が変位しても上部構造が成立するような架構構造とする必要がある。

水平力と杭を支える地盤バネの関係については 7.5.3 を参照のこと。また、「柱脚部の支持条件」については末尾の【技術資料 C】について参照のこと。

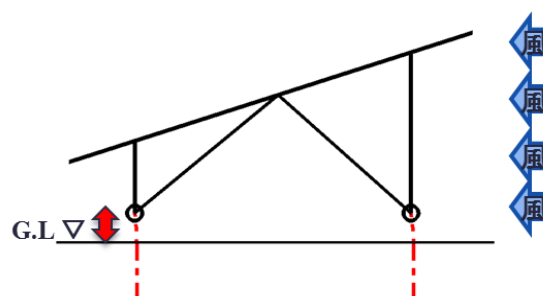
鋼杭頭部の変位が架台に及ぼす影響を図 6-2 に示す。

■ 柱脚つなぎ材なしの場合

➤ 鋼杭突出高い

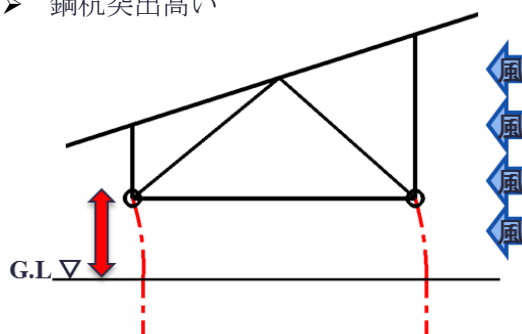


➤ 鋼杭突出低い



■ 柱脚つなぎ材ありの場合

➤ 鋼杭突出高い



➤ 鋼杭突出低い

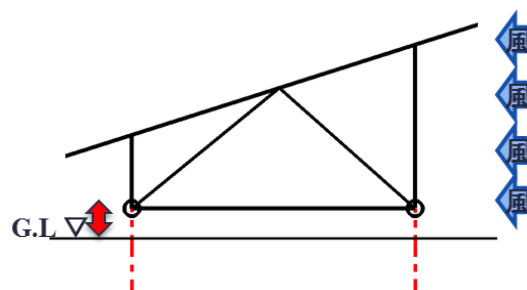


図 6-2 水平力を受ける場合の架台と杭の変形（イメージ）

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 6-3 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。

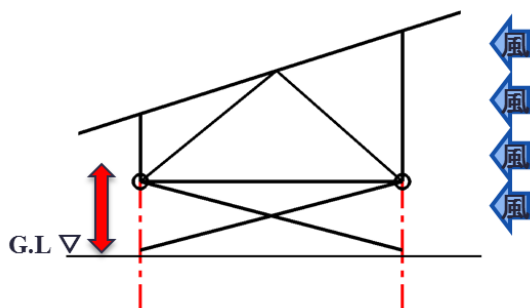


図 6-3 杭頭部の水平変位に対する補強例

6.1.4 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こと。
2. 各部材及び接合部の剛性が適切に評価されていること。
3. 接合部が偏心している場合は、構造モデルに考慮されていること。構造モデルに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る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こと。
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については、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行方向の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には、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）とモデル化する。ただし、剛接合とモデル化を行う場合は、曲げモーメントを伝達できるだけでなく、曲げモーメントにより接合部に相対的な角度変化が生じないことも要件となる。相対的に角度変化が生じる場合を半固定（半剛接と言う場合もある）と呼び、この場合は実験から曲げモーメント M と相対回転角 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相対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 : 相対回転角 [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 6-4）

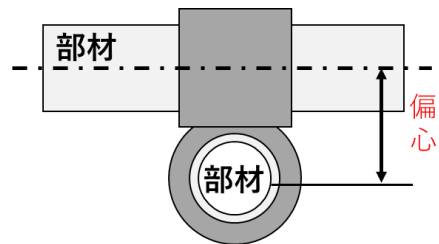


図 6-4 偏心している接合部の例

<杭基礎の場合>

杭基礎の場合は、杭頭の変形の程度により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は、杭と上部構造を一体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杭をモデル化したばねを設ける方法がある。これ等については、末尾の【技術資料 C】を参照する。

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。

6.2 構造設計

6.2.1 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【技術資料D】及び【技術資料E】について参照のこと。

6.2.2 構造計算方針

1. 荷重の算定は「4. 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。

6.2.3 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・学会指針類については、以下に示したものによる。

適用又は参考にする 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	
電気設備技術基準とその解釈	経済産業省
電気設備技術基準とその解釈の解説	経済産業省
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	日本規格協会
軽鋼構造設計施工指針・同解説	日本建築学会
鋼構造設計規準—許容応力度設計法—	日本建築学会
薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き	一般社団法人日本鉄鋼連盟
アルミニウム建築構造設計規準・同解説	アルミニウム建築構造協議会

6.3 構造設計フロー

架台の構造設計は、一般的に図 6-5 の流れで行う。

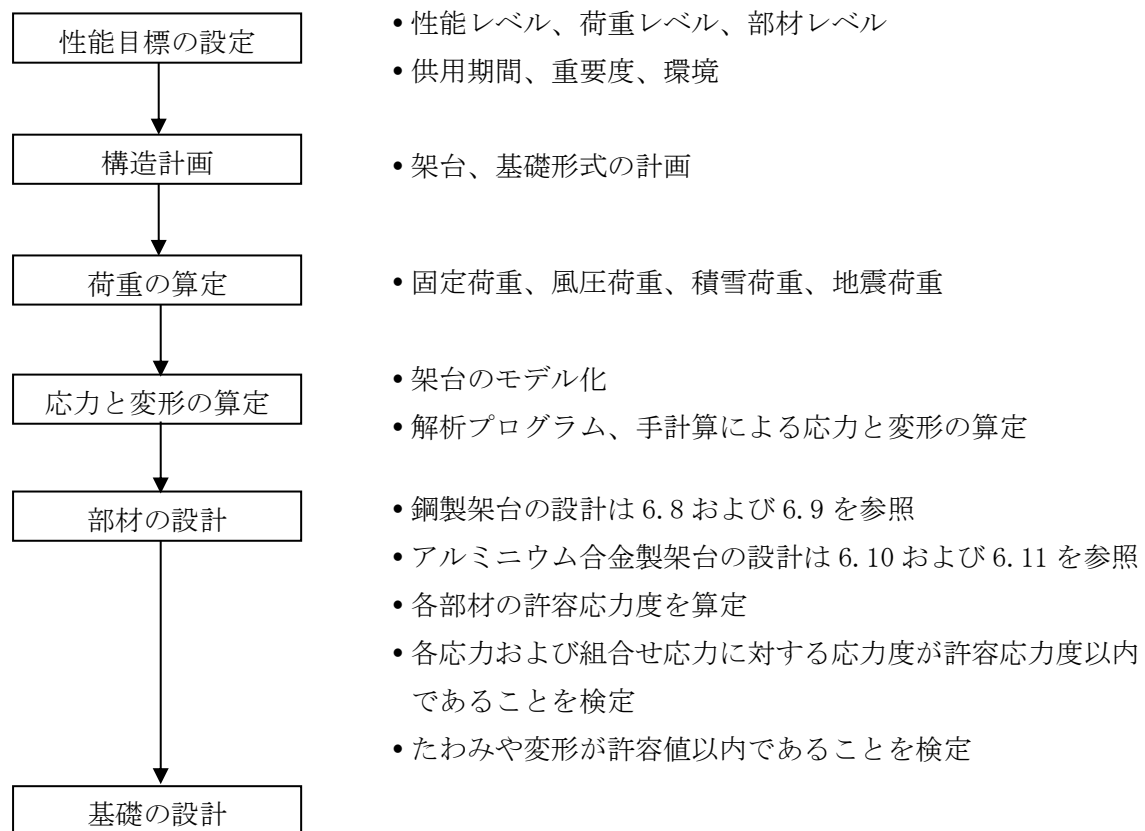


図 6-5 構造設計フロー

6.4 性能目標の設定

「電気設備の技術基準の解釈第 46 条 2」の規定により、JIS C 8955:2017 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。

6.5 構造計画

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。

6.6 荷重の算定

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。

風圧荷重や積雪荷重等の算出は、4章設計荷重を参照のこと。

6.7 応力と変形の算定

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。

6.7.1 応力とその種類について

算定する応力と変形は、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。

6.7.2 部材接合部のモデル化

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、主に接合部の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や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。

6.7.3 手計算による応力算定

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。

6.7.4 解析ソフトによる応力算定

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。

6.8 鋼製架台における部材の設計

太陽電池アレイの架台の鋼構造部分に適用する。

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。

細長い部材で構成されることが多い架台では、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本来が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に納まりと安全性を検討する。詳細は 6.9 鋼製架台における接合部の設計による。

6.8.1 適用または参考にする関連法令・学会指針類

1. 6.2.3 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」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」（以下：軽鋼指針）を用いる。なお、板厚 2.3mm 未満の部材では、薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き（一般社団法人日本鉄鋼連盟）を用いるか、強度試験等による妥当性の確認を行って「軽鋼指針」を準用する方法も考えられる。

6.8.2 部材設計の考慮事項

部材の設計で考慮すべき事項を表 6-2 に示す。

表 6-2 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	◎	◎		

6.8.3 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、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、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 6-3 及び図 6-6 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 6-3 突出脚の無効長さ h

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	$h - t$	$0.7 h$	$0.4 h$	$0.25 h$

t : 材厚

n : ボルト本数

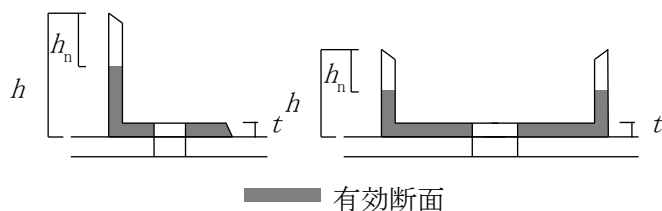


図 6-6 有効部分の取り方

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、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 6-7 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 ($F=235\text{N/mm}^2$) とした時を示しているため、「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取り去っ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/mm^2)

F : 基準強度 (N/mm^2)

I_s : リップ自身の重心軸まわりの断面 2 次モーメント

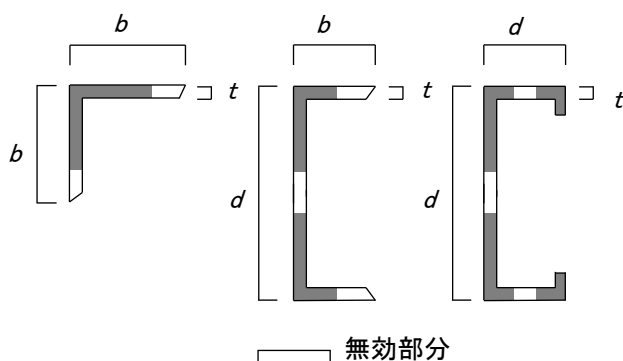


図 6-7 無効部分の取り方

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、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取り去っ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。

6.8.4 材料の定数

材料の定数は、適用または参考にする関連法令・学会指針類による。

6.8.5 材料の基準強度

許容応力度の算定に用いる材料の基準強度 F は、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）の小さい値で算定するので注意する。

6.8.6 圧縮フランジの支点間距離、座屈長さ、補剛の考え方

主に圧縮応力となるフランジが横方向に振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 6-8）、負の風圧荷重の場合には下フランジが圧縮側（図 6-9）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。

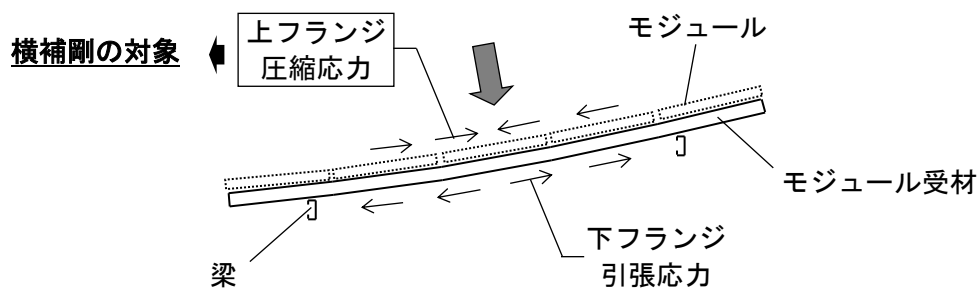


図 6-8 正の風圧荷重におけるモジュール受材の補剛対象位置の例

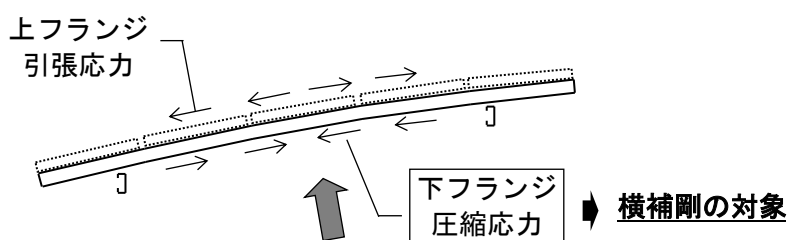


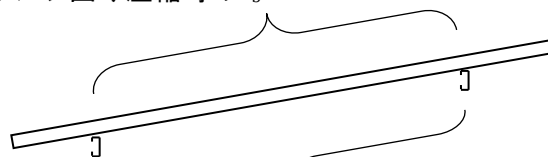
図 6-9 負の風圧荷重におけるモジュール受材の補剛対象位置の例

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 6-10 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支点間隔としない）

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	▷ フランジの横移動の拘束
----	--------------------	---------------

上フランジ曲げ圧縮時の l_b



下フランジ曲げ圧縮時の l_b

モジュール受材に横補剛なし

図 6-10 モジュール受材の支点間距離 l_b の取り方の例

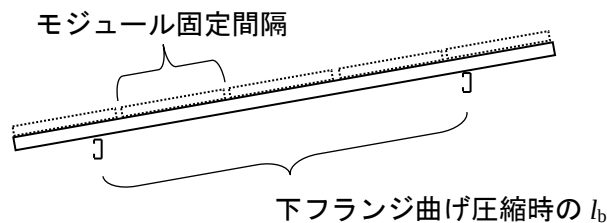
(2) 注意：モジュールの固定間隔をモジュール受材の支点間隔とする場合

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、モジュールによる補剛効果（座屈止め）を期待することは、架台を構成する構造部材の一部としてモジュールを見做すことになる。そのため、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モジュールの使用方法に対してモジュールメーカーの保証に問題が生じないことも確認しなければならない。

しかし、それでも図 6-11 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の支点間隔は、上フランジが圧縮となる正圧時に対してはモジュール固定間隔となるが、下フランジが圧縮となる負圧時に対しては、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、モジュール受材の梁による支持間隔が支点間距離となる。

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必要がある。

上フランジ曲げ圧縮時の $l_b \quad \equiv \quad$ モジュール固定間隔



条件

- ・モジュールのメーカー保証
- ・モジュールや固定ボルトの強度安全性が確認できている

図 6-11 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)

6.8.7 有効断面積，局部座屈防止の考え方

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。

6.9 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。

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。

6.9.1 ボルトの孔径について

ボルトの孔径は、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。

6.9.2 ボルト接合等におけるはしあき、へりあき距離について

はしあき、へりあき距離は、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。

6.9.3 長孔などによる接合について

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。

長孔等の接合方法は、自重や台風、地震の外力によりズレを生じるなどの不具合が想定されたため、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く、ストッパーを設けたり摩擦接合としたりするなど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力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。

6.9.4 部材が偏心して接合される場合の検討

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より算定した応力に、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。

6.9.5 モジュールと架台の接合について

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 6-12 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場合がある。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 6-13 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必要がある。

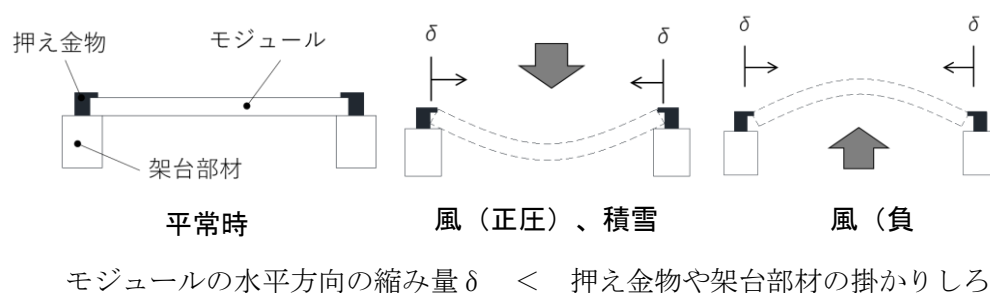
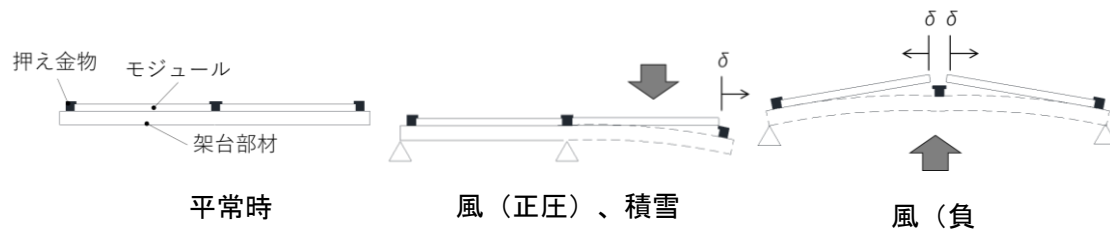


図 6-12 モジュールの上押え金物における掛かりしろの確認
(モジュールがたわんだ場合)



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 6-13 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)

6. 10 アルミニウム合金製架台における部材の設計

太陽光発電架台の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（アルミニウム建築構造協議会）」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、「アルミニウム建築構造設計規準・同解説（アルミニウム建築構造協議会）」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。

6. 10. 1 適用または参考にする関連法令・学会指針類

6. 2. 3 適用または参考にする関連法令・学会指針類を参照

アルミを建築構造物に使用する場合の設計規準として「アルミニウム建築構造設計規準・同解説（アルミニウム建築構造協議会）」（以下、アルミ設計規準と記す）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。

6. 10. 2 部材設計の考慮事項

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。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、1mm未満の部材を用いることが出来るとしている。

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ニウム合金の場合、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。

6. 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、アルミニウム建築構造設計規準・同解説（アルミニウム建築構造協議会）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。これ等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）」（日本建築学会）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、「軽鋼構造設計施工指針・同解説」（日本建築学会）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出来るとされている。

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、この変形を少な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応じ板幅も広がり、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、アルミ告示 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踏襲している。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、圧縮力と付加曲げとして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必要がある。

<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。その理由は、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溶接影響部では許容応力度が異なることによる。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、そのことも考慮する必要があることによる。

6. 10. 4 材料の定数

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 6-4 に示すとおりである。

表 6-4 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 (/℃)
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と限定している。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、J I S 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、この限りではない。

6. 10. 5 材料の基準強度

1. 材料の基準強度は、適用または参考にする関連法令・学会指針類を参照。
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 6-14 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。

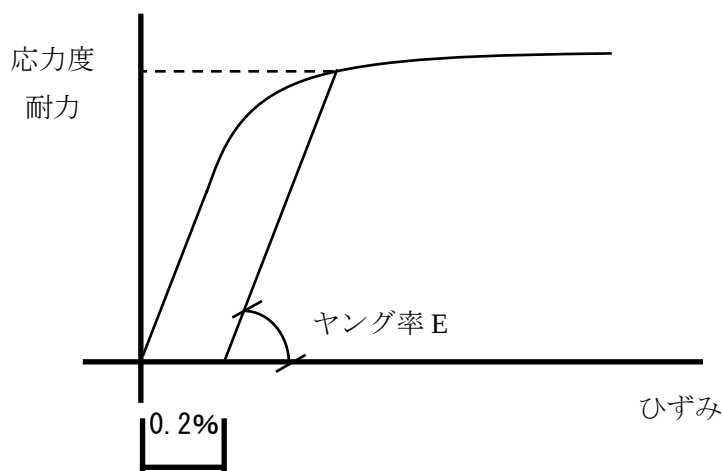


図 6-14 模式的に表したアルミの応力—歪関係

<告示と J I S 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 J I S 規格の記号を簡略化したものである。アルミ材質を表す記号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告示第 409 号と J I S 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、告示の数値の方が J I S 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 J I S 規格では耐力が 205N/mm^2 、引張強さ 245N/mm^2 である。このことから、基準強度 F 値を 196N/mm^2 と考えることも出来、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。

6. 10. 6 圧縮フランジの支点間距離、座屈長さ、補剛の考え方

6. 8. 6 圧縮フランジの支点間距離、座屈長さ、補剛の考え方を参照。

6. 10. 7 有効断面積， 局部座屈防止の考え方

適用または参考にする関連法令・学会指針類を参照。

型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。

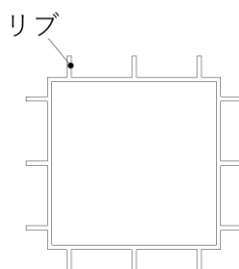


図 6-15 リブによる局部座屈防止方法

6.11 アルミニウム合金製架台における接合部の設計

1. 接合部の設計は適用または参考にする関連法令・学会指針類を参照。
2. 各部材及び接合部の剛性や偏心等が適切に評価されていること。
3. 接合部の破断は、設計荷重により生ずる応力度の 1.5 倍程度以上であること。

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、鋼材のように許容応力度設計をすれば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。

6.11.1 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必要がある。
2. 接合部に用いる締結材はアルミニウム合金との接触による電食を考慮する。
3. アルミニウム合金の支圧強度は鋼材に比べて低いことを考慮する。

一部の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では、構造設計者が予期していないと考えられる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、外力を受けることで接合部の形状が初期の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、初期形状の維持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、初期形状で構造設計を行うことは安全な構造設計であると言えない場合があり得る。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必要がある。

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を使用する。

アルミの長期許容支圧応力度は、 $1.1F$ （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。

6.11.2 ボルトの孔径について

ボルトの孔径については、適用または関連法令・学会指針類を参照。

ボルトの使用方法は、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基準に示されている。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、或いは、実験で確認する必要がある。

6.11.3 ボルト接合等におけるはしあき、へりあき距離について

はしあき、へりあき距離は、適用または参考にする関連法令・学会指針類を参照。

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。

6.11.4 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の場合には、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に期待した接合の場合には、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、引張ボルトとして所要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、リダクゼーション、バラつき、などの評価が必要である。

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出来ない。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必要が生ずる。

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バラつきの評価、導入軸力のリダクゼーションを考慮した増し締め等を評価し、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共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。これ等の評価については、「高力ボルト接合設計施工ガイドブック（日本建築学会）」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ずることがあってはならないことを付け加える。

< T型溝を用いた接合部 >

形材に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ことから、アルミ形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型溝を用いた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無い場合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こととする。

T溝に作用する荷重が材長に直交方向であれば、アルミ形材でその荷重に抵抗することになる。アルミ形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、閉断面のアルミ形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ことに注意を要する。また、風による繰返し载荷で当該部分にゆるみが生じないことも必須である。

<タッピングねじホール>

図 6-16 に示すように形材にタッピングねじホールを設けることが出来、この部分を用いてタッピングねじで接合する場合がある。この場合のタッピングねじの引抜耐力は、タッピングねじ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、タッピングねじホールを構造的に使用するのであれば、設計された形状のタッピングねじホールとタッピングねじの組合せで実験を行い、耐力を求める必要がある。

タッピングねじホール



図 6-16 タッピングねじホール

<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、「アルミ建築構造施工要領」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、時に荷重が作用した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必要がある。

6.11.5 部材が偏心して接合される場合の検討

6.9.4 部材が偏心して接合される場合の検討を参照。

6.11.6 モジュールと架台の接合について

6.9.5 モジュールと架台の接合についてを参照。

6.12 部材の応力度検定

部材の応力度検定は、圧縮・引張・曲げの応力に対して行う。

6.12.1 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。

6.12.2 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。

6.12.3 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積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。

6.12.4 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。

6.13 基礎の設計

基礎の設計は、7章を参照。

7. 基礎の設計

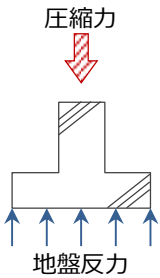
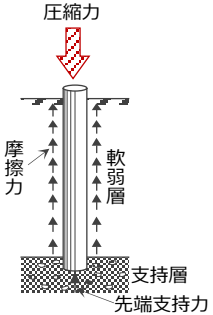
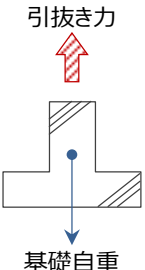
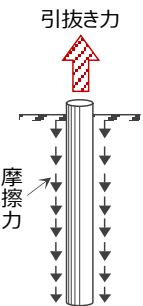
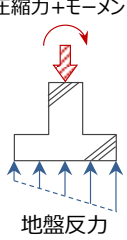
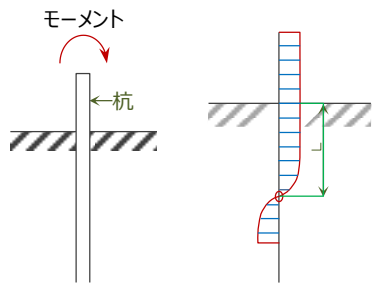
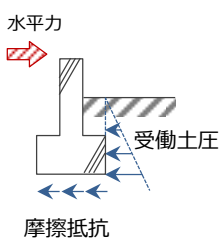
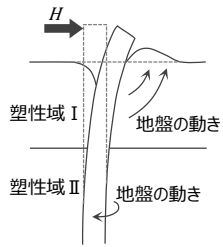
7.1 一般事項

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、地盤も含め適切な形式の基礎とする。
3. 基礎の構造：鉄筋コンクリート造による直接基礎または杭基礎（支持杭及び摩擦杭）とする。
4. 基礎の設計：架台同様に、許容応力度設計とする。

7.2 基礎に働く外力と反力

架台から基礎に伝わる外力として、軸力（圧縮力、引抜き力）、水平力、モーメント等がある。また、これに対する反力を直接基礎と杭基礎の各々について表 7-1 に示す。

表 7-1 基礎に働く外力と反力

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

7.3 基礎の形式

太陽電池アレイ架台を支える基礎は図 7-1 のように分類される。

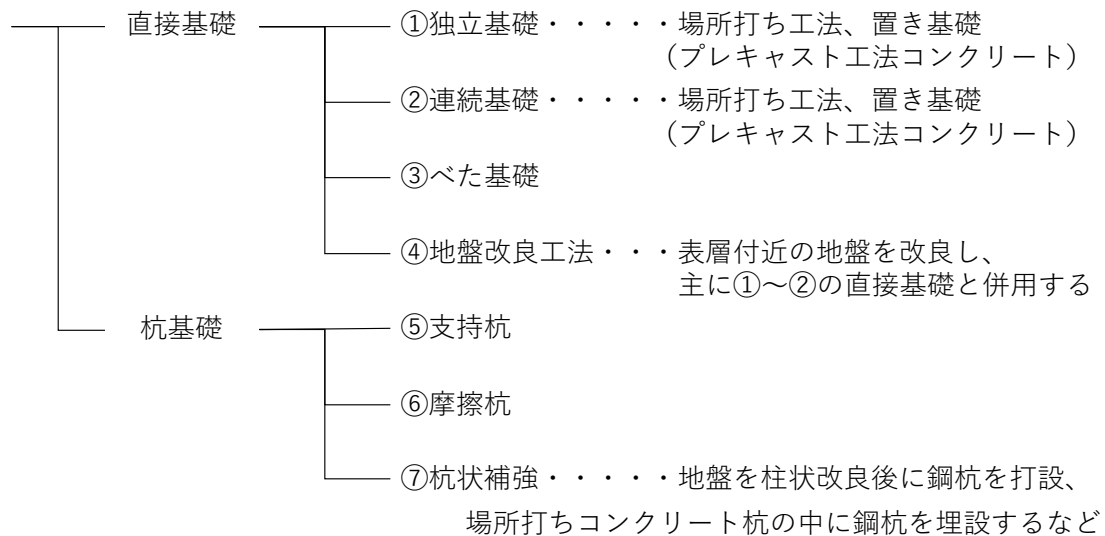


図 7-1 基礎の種類

7.3.1 独立基礎

単一柱からの荷重を独立したフーチングによって支持する基礎である。

独立基礎にて太陽電池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。



7.3.2 続基礎（布基礎）

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

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。



7.3.3 べた基礎

上部架台の広い範囲内の荷重を、単一の基礎スラブで地盤へ伝える基礎である。

小規模建築物では基礎梁と基礎スラブで構成されるが、太陽電池アレイ用の基礎では基礎スラブのみのものも含めてべた基礎と呼ぶ。

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。

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。



7.3.4 地盤改良工法

セメント系固化材を混合、攪拌、転圧することで地盤の支持力を改善する工法である。

柱状に深層まで改良する深層混合処理工法と表層付近の地盤を改良する浅層混合処理工法がある。

太陽光発電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。

7.3.5 支持杭、摩擦杭

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

事前の地盤調査により土壌の硬さを把握し、適切な杭工法（杭材・打設方法）の選択をすることが必要である。杭には支持層まで到達させる支持杭と一定深さまで打設して周面摩擦を支持力とする摩擦杭がある。

太陽電池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必要がある。



7.3.6 杭状補強

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

7.4 直接基礎の設計

7.4.1 一般事項

1. 直接基礎の底面の大きさと位置：基礎底面の大きさは、不同沈下を避けるため、常時荷重時に生じる地盤反力が長期許容支持力（安全率3）以下とし、かつ、できるだけ均等になるようにすることが望ましい。特に、地盤が軟弱な場合または一様でない場合には、注意して計画する。また、短期荷重時において生じる地盤反力が、短期許容支持力（安全率1.5）を超過しないようにする。
2. 短期荷重時の地反力分布：短期荷重時には柱脚部に上部構造からの圧縮力と水平力が同時に働くため、基礎底面では圧縮力に加えて曲げモーメントが作用する。このため地反力は台形（あるいは三角形）分布となるが、その最大値が地盤の短期許容支持力を超えないようにする。また、水平力による転倒及び滑動について検討を行う必要がある。
3. 基礎と上部構造との緊結：太陽電池アレイ架台は基礎に設置されたアンカーボルトなどにより基礎と土台あるいは柱脚を緊結する。特に、特殊な定着方法をとる場合には力の作用方向によって基礎に割裂破損が生じないことを確認する。
4. 引抜き抵抗力：直接基礎の場合は、架台からの引抜き荷重が、基礎自重（浮き上がり抵抗力）を超えないように決定する。また、この時の安全率を1.5以上とすること。
5. 水平抵抗力：風圧荷重または地震荷重により柱脚に働く水平力が地盤の摩擦抵抗力と受働土圧を合計した値を超えないように決定する。摩擦抵抗力は基礎底盤下面における鉛直力に地盤の摩擦係数（ μ ）を乗じて求める。ただし、この時の鉛直力は全鉛直荷重から柱脚部に働く引抜き力を減じたものとする。地盤の摩擦係数（ μ ）は、地盤条件とともに、基礎底面の形状・施工条件を適切に考慮して決めること。土質試験などを実施しない場合には、 μ として表7-2等を参考に値を採用する。また、水平抵抗力の安全率を1.5以上とする。
6. 受働土圧は建築基礎構造設計指針⁷⁻¹⁾の3.4節を参考にする。
7. 転倒に対する検討：基礎及び架台の自重による安定モーメントはモジュールや架台に作用する荷重による転倒モーメントを上回るように決定する。このときの安全率を1.5以上とすること。

＜宅地造成等規制法施行令別表 3 より＞

表 7-2 土質による地盤の摩擦係数（参考）

土質	摩擦係数 (μ)
岩、岩屑、砂利または砂	0.5
砂質土	0.4
シルト、粘土、または、それらを多量に含む土 (擁壁の基礎底面から少なくとも15 c m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

7.4.2 地盤の許容支持力

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

建築基準法施行令第 93 条

地盤の許容応力度及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 7-3 の数値によることができる。

表 7-3 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について規定しているので、参考にして以下のように定める。

地盤の許容応力度を定める方法は、表 7-4 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 2 m 以内の距離にある地盤に SWS 試験の荷重が 1 k N 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 2 m を超え 5 m 以内の距離にある地盤に SWS 試験の荷重が 0.5 k N 以下で自沈する層が存在する場合にあつては、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 7-4 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)	$q_a = 30 + 0.6 \overline{N_{sw}}$												
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)	$q_a = 60 + 1.2 \overline{N_{sw}}$												
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$\overline{N_{sw}}$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/m²） 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													
<table><tr><th rowspan="2">係数</th><th colspan="2">基礎荷重面の形状</th></tr><tr><th>円形</th><th>円形以外の形状</th></tr><tr><td>a</td><td>1.2</td><td>$1.0 + \frac{0.2B}{L}$</td></tr><tr><td>β</td><td>0.3</td><td>$0.5 - \frac{0.2B}{L}$</td></tr></table>			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	$0.5 - \frac{0.2B}{L}$
係数	基礎荷重面の形状												
	円形	円形以外の形状											
a	1.2	$1.0 + \frac{0.2B}{L}$											
β	0.3	$0.5 - \frac{0.2B}{L}$											
この表において、β及びLは、それぞれの基礎荷重面の短辺又は短径及び長辺又は長径の長さ（単位m）を表すものとする。 C 基礎荷重面下にある地盤の粘着力（単位 kN/m²） B 基礎荷重面の短辺又は短径（単位m）													

N _c 、N _y 及びN _q 地盤内部の摩擦角に応じて次の表に掲げる支持力係数										
内部 摩擦角	0°	5°	10°	15°	20°	25°	28°	32°	36°	40° 以上
N _c	5.1	6.5	8.3	11.0	14.8	20.7	25.8	35.5	50.6	75.3
N _y	0	0.1	0.4	1.1	2.9	6.8	11.2	22.0	44.4	93.7
N _q	1.0	1.6	2.5	3.9	6.4	10.7	14.7	23.2	37.8	64.2
この表に掲げる内部摩擦角以外の内部摩擦角に応じたN _c 、N _y 及びN _q は、表に掲げる数値をそれぞれ直線的に補間した数値とする。										
γ ₁	基礎荷重面下にある地盤の単位体積重量又は水中単位体積重量（単位 kN/m ³ ）									
γ ₂	基礎荷重面より上方にある地盤の平均単位体積重量又は水中単位体積重量（単位 kN/ m ³ ）									
D _f	基礎に近接した最低地盤面から基礎荷重面までの深さ（単位 m）									
q _t	平均載荷試験による降伏荷重度の $\frac{1}{2}$ の数値又は極限応力度の $\frac{1}{3}$ の数値のうちいずれか小さい数値（単位 kN/m ² ）									
N′	基礎荷重面下の地盤の種類に応じて次の表に掲げる係数									
係数	地盤の種類									
	密実な砂質地盤			砂質地盤 （密実なものを除く）			粘土質地盤			
N′	12			6			3			
N _{sw}	基礎の底部から下方 2m以内の距離にある地盤の S W S 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）									

7.4.3 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 7-5 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 7-5 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又は載荷試験の結果に基づいて、表 7-6 に掲げる式によることができるものとする。

表 7-6 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/m²） 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/m²）	

7.4.4 鉄筋コンクリート造の直接基礎設計上の注意事項

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

＜独立基礎＞

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

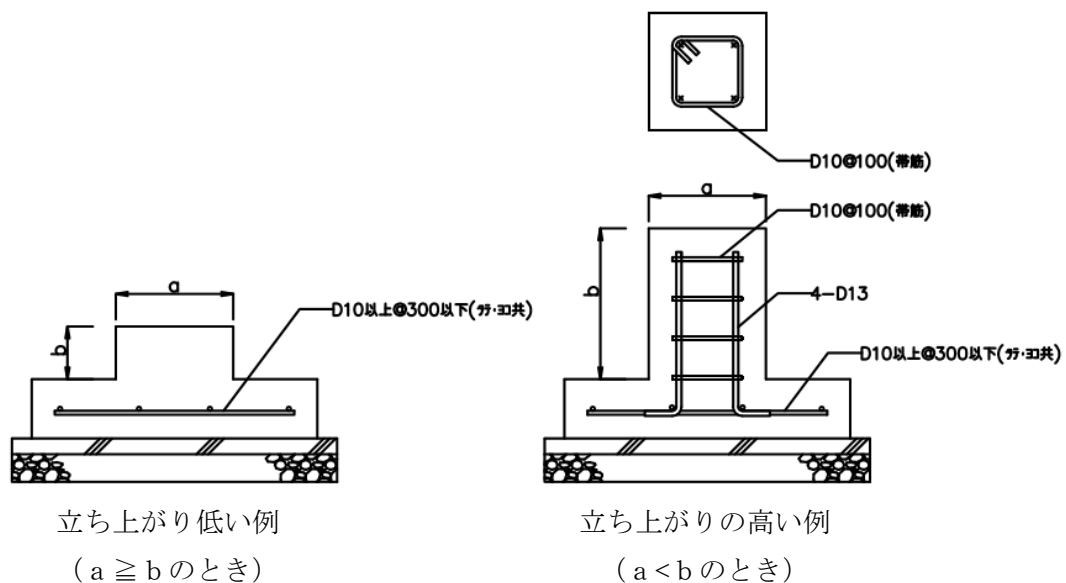


図 7-2 独立基礎の構造例

<連続基礎（布基礎）>

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

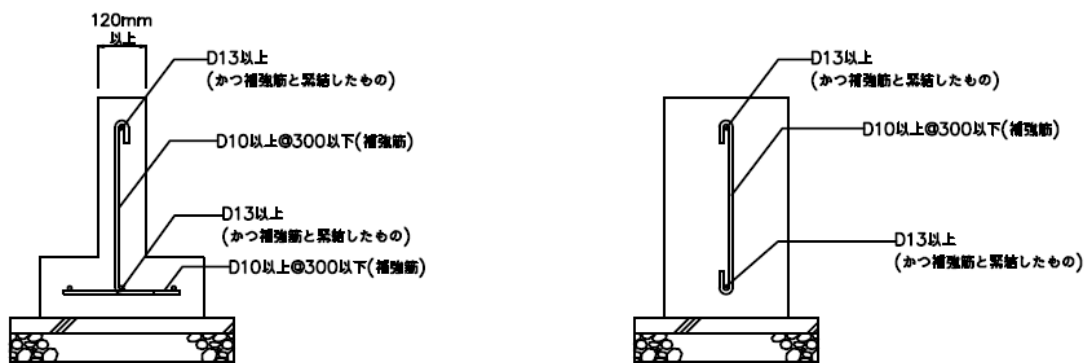


図 7-3 連続基礎（布基礎）の構造の例

〈べた基礎〉

1. 一体の鉄筋コンクリート造とすること。
2. 立ち上がり部分がある場合、その主筋として D13 以上の異形鉄筋を、立ち上がり部分の上端及び立ち上がり部分の下部の底盤にそれぞれ 1 本以上配置し、かつ補強筋と緊結したものとすること。
3. 立ち上がり部分の補強筋として D10 以上の鉄筋を 300mm 以下の間隔で縦に配置したものとすること。補強筋には端部にフックを設けること。
4. 底盤の補強筋として D10 以上の鉄筋を縦横に 300mm 以下の間隔で配置したものとすること。
5. 立ち上がり部分のない底盤に直にアンカーボルトを配置する場合は、アンカーボルトに必要な埋め込み長さを確保すること。また、アンカーボルトのかぶり厚（60mm 以上）を考慮して底盤の厚さを決める必要がある。底盤厚さとして 150mm 以上を推奨。

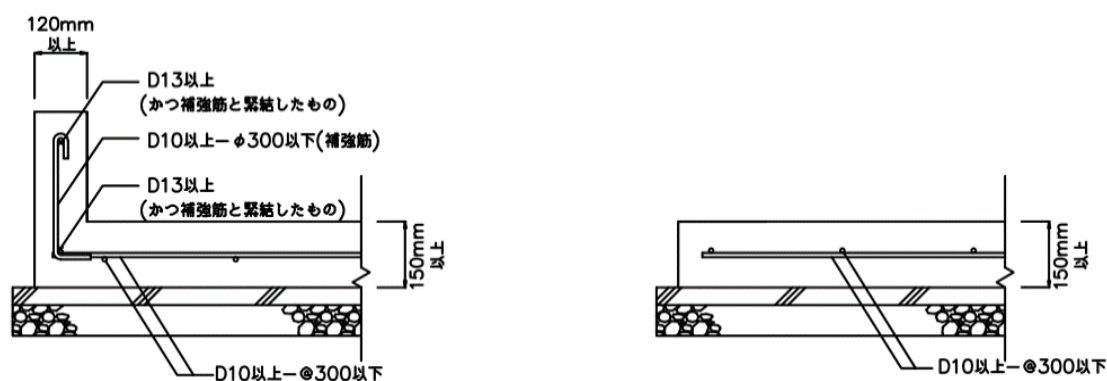


図 7-4 ベタ基礎の構造の例（左：基礎梁あり、右：底盤のみ）

7.4.5 地盤改良工法

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」⁷⁻²⁾ に準拠して行う。

7.4.6 凍上対策（凍結深度対策）

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

凍結深度は特定行政庁による定められた値があるときはこれに従うこととする。

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

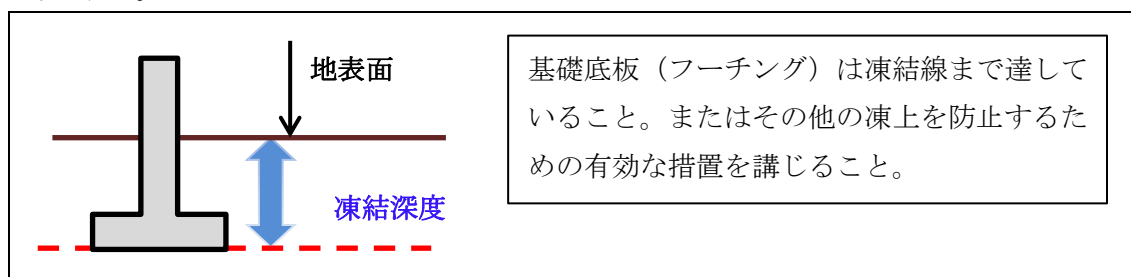


図 7-5 凍結深度と基礎底板の位置

7.5 杭基礎の設計

7.5.1 一般事項

1. 杭基礎は杭の種類・打設方法・杭径・杭長・杭材強度などを考慮して適切に選定する。
2. 杭基礎に使用する材料は、使用目的や地盤条件に適したものを選定する。
3. 杭基礎の杭芯と上部構造柱芯に偏心がある場合は、これを考慮した金具などを準備しボルト等で緊結する。
4. 杭の長期、短期許容支持力は、地盤から定まる長期、短期許容支持力と杭体の長期、短期許容力のうち、小さい値とする。

7.5.2 杭の鉛直許容支持力

1. 杭の支持力（押込み力・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. 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. 引抜き抵抗：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、先端引抜き抵抗を算入できるものとする。

1. 太陽光電池アレイ架台に使われる杭基礎の特徴は、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、引拔力が重要な荷重であることを十分考慮して設計する。
2. 杭支持力の実証試験（【技術資料 G1】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。
3. 施工不良を考慮した杭支持力の実証試験（【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。
4. 押し込み支持力、引拔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⁷⁻³⁾。図 7-6 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。

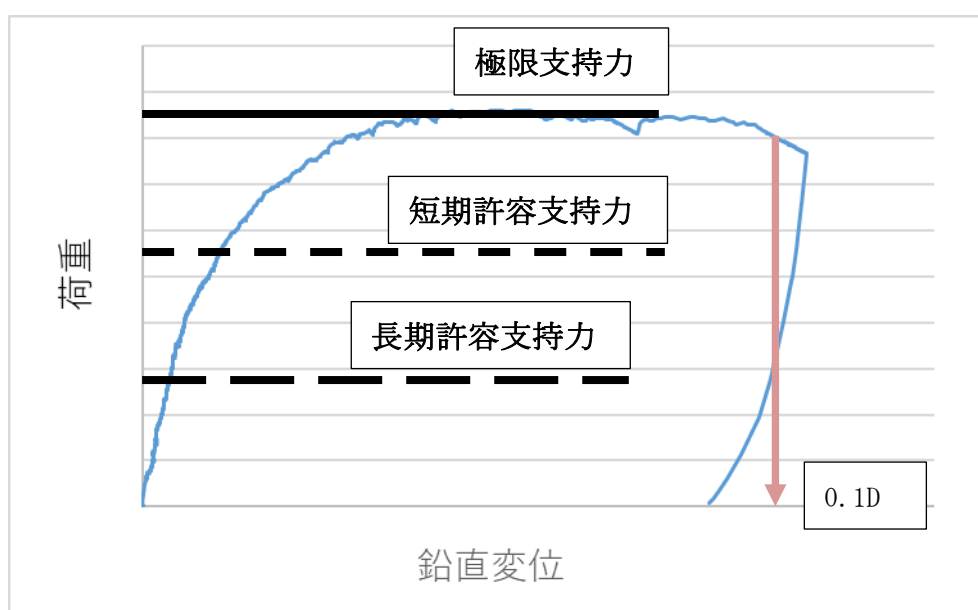


図 7-6 載荷試験による鉛直変位と支持力の関係（模式図）

7.5.3 杭の水平抵抗力及び水平変位

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：日本建築学会⁷⁻¹⁾」に示されている水平抵抗算定式を用いて適切に求める。

1. 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、水平載荷試験を行い、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、水平載荷試験は、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、設計条件に適合していない試験は、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と考える。

2. 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、水平載荷試験によって水平地盤反力係数を求めることを基本とする⁷⁻⁴⁾。
3. 水平載荷試験での水平荷重と水平変位の関係は、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、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える。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。
4. 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。
5. 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、【技術資料 G3】を参照。

載荷試験方法は、「杭の押込み試験方法」地盤工学会基準（JGS 1811-2002）、「杭の引き抜き試験方法」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 1831-2002）による。

7.5.4 杭状補強

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。

一般的な建築物の基礎で、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。（【技術資料 G4】参照）

7.5.5 杭の種類

以下に、代表的な杭の種類の一例を示す。示した例以外にも、多種多様な杭が存在する。

表 7-7 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
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）	(スクリュー杭) (スパイラル杭)
形鋼杭	
コンクリート杭	

杭の種類	外観写真
コンクリート杭	

参考文献

- 7-1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針
- 7-2) 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」
- 7-3) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説（第一回改訂版）
- 7-4) 地盤工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説（第一回改訂版）

8. 腐食防食

8.1 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こととする。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とする。
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。

8.2 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。

1. 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。
2. 局部腐食は、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 8.3.3 異種金属接触腐食、8.3.6 孔食、8.4.3 土壌マクロセル腐食などがこれに当たる。

8.3 大気中（架台）の腐食と対策

8.3.1 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 8-1 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。

1. ここでの鋼材から、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。
2. 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して使用する。

3. 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 8-1 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無く、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。

材料	表面処理	特徴
アルミニウム合金材 (A6000 系)	処理あり (陽極酸化処理) (化成処理)	材料は局部腐食のみ発生し、ほとんど減肉しない。 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。

8.3.2 一般的な腐食（均一腐食）

架台は、材料に有効な防食処置を施して使用することが必要である。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ことが必要である。

1. 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⁸⁻¹⁾。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。
2. 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（飛来塩分や工場の廃棄ガスなど）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、課題は雨掛かりの無い環境に置かれる。雨掛

かりが腐食に与える影響については、8.3.4 雨掛かりのない環境中での腐食を参照のこと。

3. 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 8-1 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。

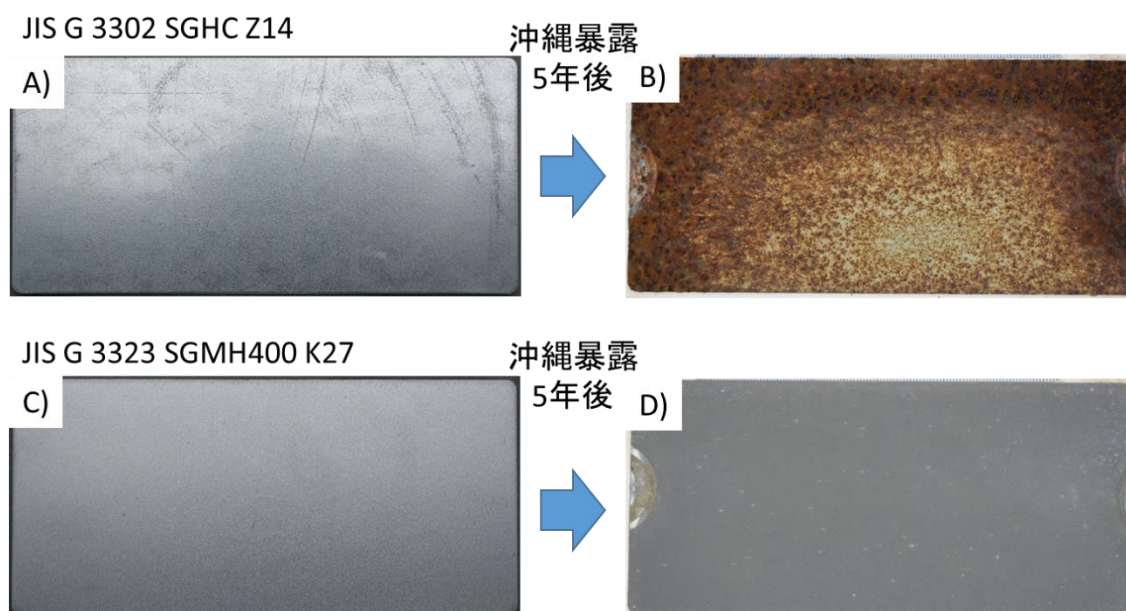


図 8-1 均一腐食例 A) 未暴露試験片 (JIS G 3302 SGHC Z14)、B) 沖縄県で 5 年間暴露された試験片 (JIS G 3302 SGHC Z14)、C) 未暴露試験片 (JIS G 3323 SGMH400 K27)、D) 沖縄県で 5 年間暴露された試験片 (JIS G 3323 SGMH400 K27)

4. 対策としては、架台の主要な部材に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（【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⁸⁻²⁾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⁸⁻³⁾し表 8-2 に示す。

表 8-2 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、仕様決定、施工には塗料メーカーなどに相談の上、決定する。

8.3.3 異種金属接触腐食

異なる金属を組合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必要がある。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。

- 8.3.1 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。太陽光発電システムでは、アルミニウム合金製架台に鋼製杭を使用（アルミニウム合金と溶融亜鉛めっきの接触）する、鋼製架台にステンレス鋼製ボルトを使用（溶融亜鉛系めっきとステンレス鋼の接触）するなどによって生じることが多い。
- 太陽光発電システム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 8-2 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 8-2 B）を図 8-2 に示す。後述する対策の a) 絶縁処理が図 8-2 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 8-2 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。

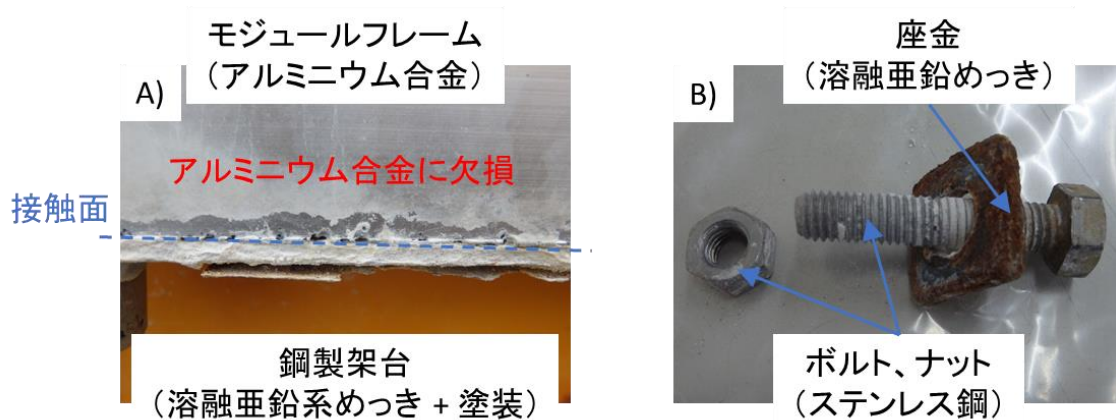


図 8-2 太陽光発電システムに見られる異種金属接触腐食例 A) 鋼製架台と太陽電池モジュールフレーム、B) ステンレス鋼製ボルト、ナットと溶融亜鉛めっきの座金

4. 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て用いることが望ましい。

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、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、定期的な点検が必要である。

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、定期的に点検する必要がある。

8.3.4 雨掛かりのない環境中での腐食

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。

1. 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。
2. 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 8-3A）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 8-3D）を図 8-3 に示す。図 8-3B）、C）でボルトの詳しい設置箇所を示した。特に図 8-3D）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早かったものと思われる。

雨が掛かりやすい 雨が掛かりにくい

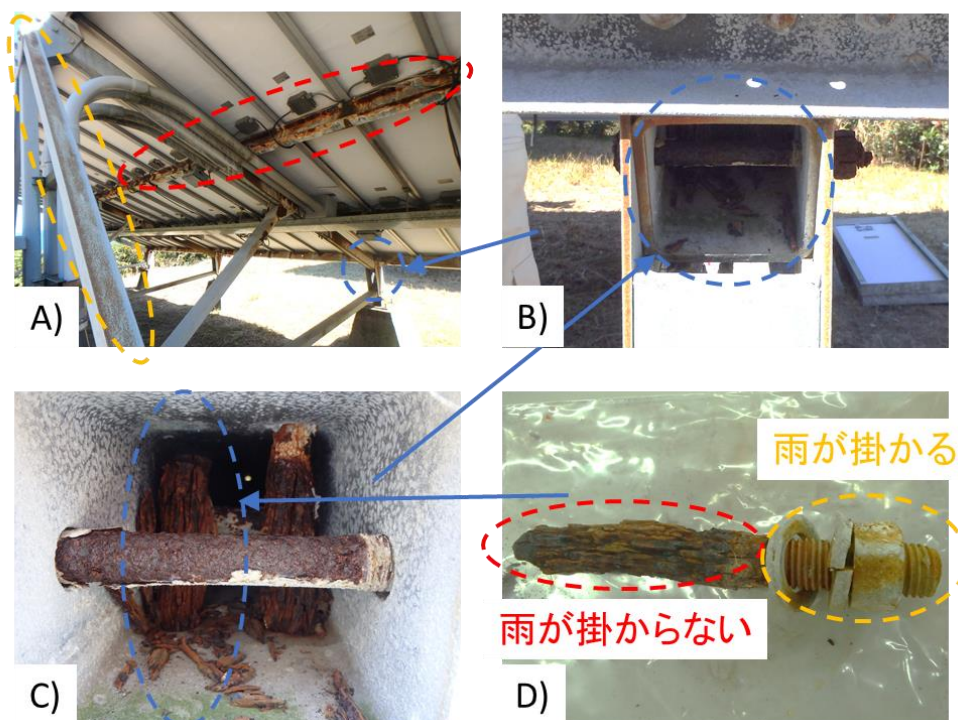


図 8-3 雨掛かりのない環境中での均一腐食例 A) 雨が掛かりやすい所と雨が掛かりにくい所の比較（溶融亜鉛めっき）、B) 縦棧となる角パイプ、C) 角パイプ内部、D) 角パイプを貫通していた鋼製ボルト

3. 対策は8.3.2 一般的な腐食（均一腐食）と同様であるが、8.3.2 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の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【技術資料H】を参照のこと。

8.3.5 流水部の腐食

架台は、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。

1. 架台は、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も腐食が発生し易い。
2. 架台で発生した流水部の腐食事例を図8-4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。

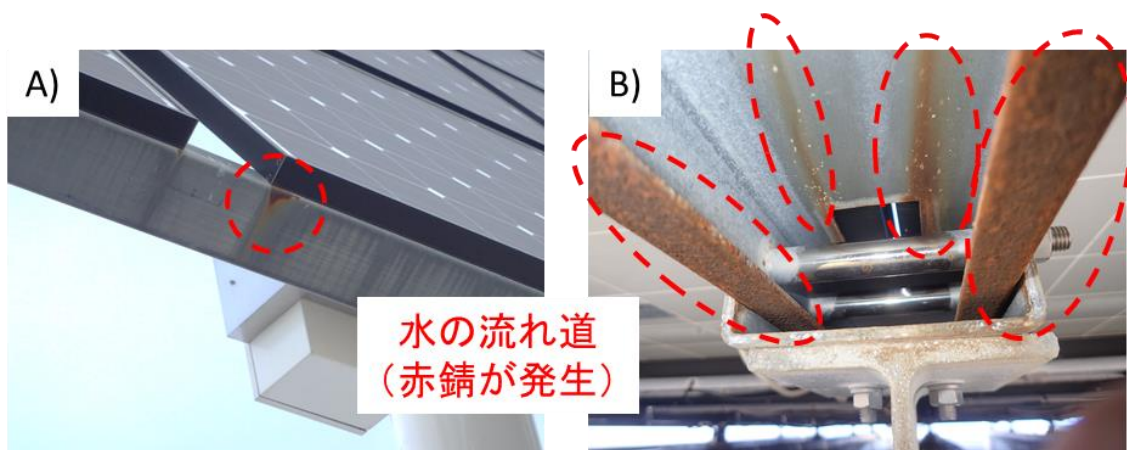


図8-4 架台に発生した流水部の腐食例 A) 横棧（溶融亜鉛系めっき）に発生した腐食、B) 縦棧（溶融亜鉛めっき）に発生した腐食

3. 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。

8.3.6 孔食

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。

1. 架台に発生した孔食の事例を図 8-5 に示す。アルミニウム合金材の表面全体で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 8-5A）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 8-5B）

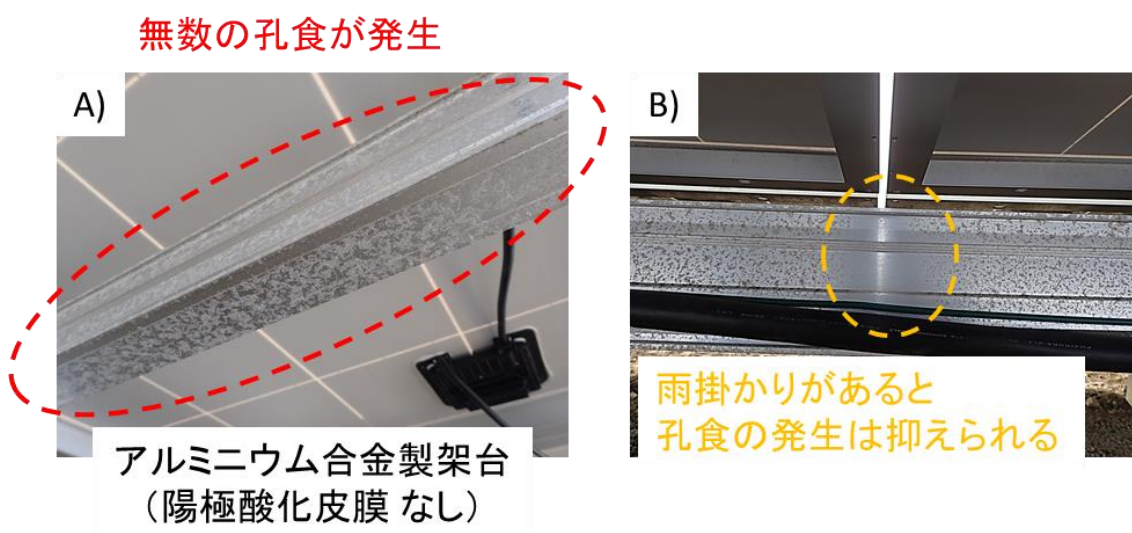


図 8-5 架台に発生した孔食例 A) 縦棧（アルミニウム合金材、陽極酸化皮膜なし）に発生した孔食、B) 雨の洗浄効果により孔食が抑えられた例

2. アルミニウム合金材で発生する孔食は、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。

8.4 地中部（鋼製）の腐食と対策

8.4.1 表面処理の種類

1. 基礎に用いられる代表的な表面処理は、表 8-3 などである。
2. 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。

1. ここでの鋼材から、締結材に良く用いられるステンレス鋼は除いた。鋼材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。
2. 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 8-3 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無く、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必要がある。

8.4.2 埋設部の腐食

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ことが必要である。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。

1. 一般的には土壌腐食と呼ばれ、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。
2. 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 8-6 に示す。図 8-6A) に示した溶融亜鉛めっき鋼管の架台より、図 8-6B) 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。

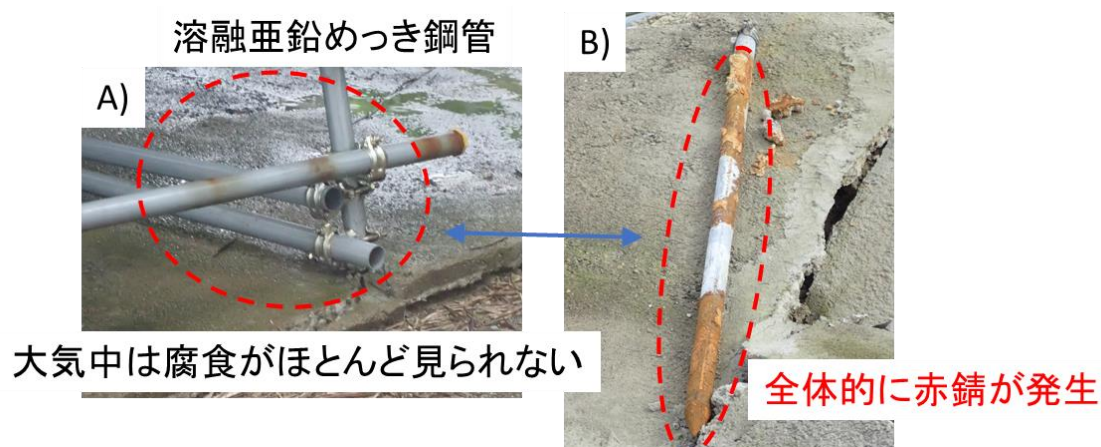


図 8-6 埋設部の腐食例 A) 架台（溶融亜鉛めっき鋼管）の腐食状態、B) 基礎杭（溶融亜鉛めっき鋼管）の腐食状態

3. 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⁸⁻⁴⁾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【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8.4.1 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^{8-5)、8-6)}。

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、仕様決定、施工には塗料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。

太陽光発電システムでは、メンテナンスや設備の必要性などから、流電犠牲陽極方式が望ましいと思われる。

8.4.3 地際部の腐食

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。

1. 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。太陽光発電システムの鋼製杭では、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。
2. 地際部の腐食事例を図 8-7 に示す。地際部のみ赤錆が発生（図 8-7A）しており、深い埋設部より腐食速度が非常に速い。また、見出しでは地際部の腐食としたが、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 8-7B）もある。

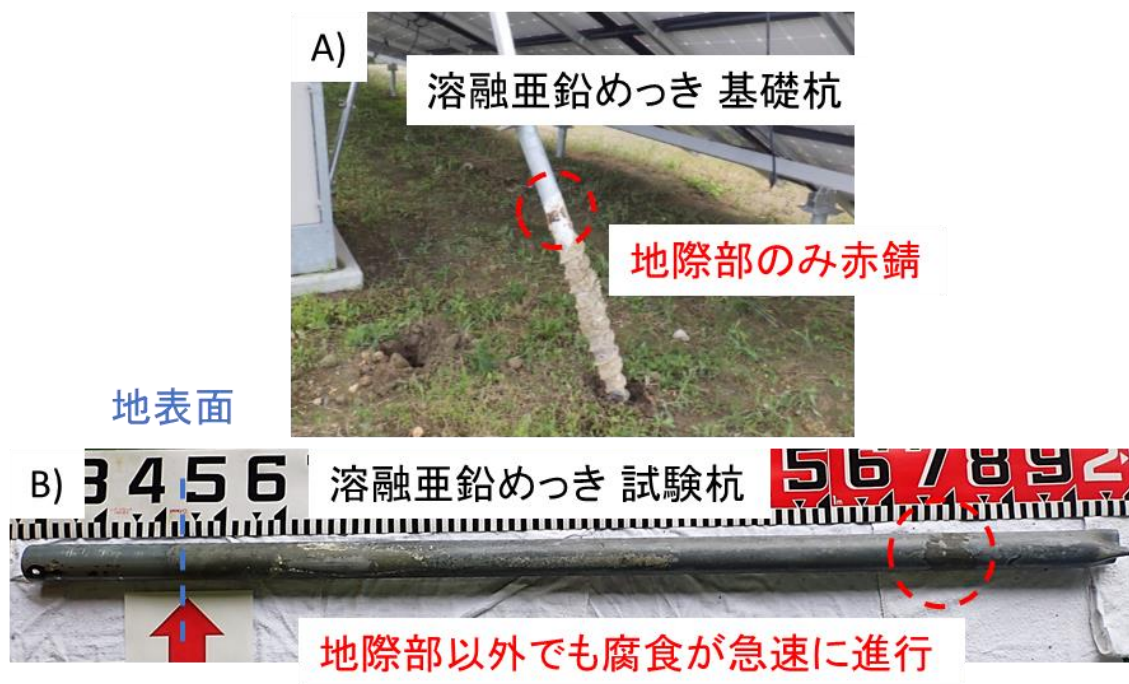


図 8-7 地際部の腐食例 A) 地際部のみ腐食した基礎杭（溶融亜鉛めっき）、B) マクロセルが深い埋設部で発生したと考えられる試験杭（溶融亜鉛めっき）

3. 対策は 8.4.2 埋設部の腐食と同様であるが、土壌腐食ではなく土壌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、土壌マクロセル腐食の発生箇所が予測できる場合には、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。

8.5 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システム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。

1. 構造安全性の高い太陽光発電システム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ことが必要である。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をするため、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）」なども参考に設定し、適切な間隔で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

- 8-1) (財)日本ウエザリングテストセンター編，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）
- 8-2) 腐食防食協会編，住宅の腐食・防食 Q&A，丸善，p. 29，263（2004 年）
- 8-3) JIS H 8641 「溶融亜鉛めっき」 解説
- 8-4) 腐食防食協会編，住宅の腐食・防食 Q&A，丸善，p. 130（2004 年）
- 8-5) 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 年）
- 8-6) F. C. Potter, Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys, Marcel Dekker, p. 342-343（1994）

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」事業の結果として得られたものです。