

## II. 太陽光発電設備の評価・回復手法の技術情報および利用ガイド

### 構造土木編

#### II. 構造土木編：目次

1	はじめに .....	26
2	用語の定義 .....	26
3	アレイ支持物(基礎・架台)における評価・回復技術のフロー .....	29
3.1	設計図書の評価(設計図書の有無) .....	31
3.2	簡易現地調査 .....	40
3.3	実物と図面の整合性評価 .....	49
3.4	詳細現地調査 .....	50
3.5	図面の作成 .....	52
3.6	構造計算書作成 .....	53
3.7	構造安全性評価(構造計算書の妥当性) .....	55
3.8	構造計算書の再検討 .....	59
3.9	補強設計・施工 .....	60
3.10	発電事業の継続可否 .....	62
3.11	設計図書の保管 .....	63
4	地盤における評価・回復技術のフロー .....	64
4.1	資料調査(資料・設計図書の評価) .....	65
4.2	簡易現地調査 .....	67
4.3	実物と図面の整合性評価 .....	71
4.4	詳細現地調査 .....	72
4.5	図面の作成 .....	73
4.6	地盤および造成・排水計画の妥当性評価 .....	74
4.7	改善計画・施工 .....	75
4.8	発電事業の可否 .....	77
4.9	設計図書の保管 .....	78
5	評価・回復技術に関する技術資料 .....	79
5.1	太陽電池モジュールの短期許容耐力の評価 .....	79
5.2	太陽電池モジュールの長期荷重に対する強度評価 .....	82
5.3	設計図面の作成支援ツール .....	84
5.4	杭の支持力簡易診断技術 .....	86
5.5	地盤の締固め度測定技術 .....	88
5.6	アルミニウム合金製架台の接合部補強技術 .....	90
5.7	積雪によるアレイ軒先部に作用する沈降荷重の補強技術 .....	97

## 1 はじめに

現時点で太陽光発電所のアレイ支持物や地盤に特化した評価・回復フローやその技術に関する例が十分でないため、本ガイドでは太陽光発電所におけるアレイ支持物(架台、基礎を含む)および地盤の評価・回復に係るプロセスとその内容、手段について詳細を記載した。評価・回復に用いる技術は土木建築分野の技術のうち太陽光発電所のアレイ支持物や地盤に応用可能なものを選定し、実証および検証を行った技術について紹介することとした。本ガイドの整備によって、発電事業者、太陽光発電所の購入者、保険会社等における太陽光発電所の安全性および信頼性評価の一助となることや太陽光発電が今後主力電源となるために、すでに導入された太陽光発電を中心に、長期安定電源へと転換していくことを期待する。

本ガイドは様々な場面で利用されることを想定しており、いくつかの利用シーンについて例示するので参考にされたい。

- ✓ 太陽光発電所の売買の際に売却者または購入者が対象の太陽光発電所の安全性を評価し、その価値を明確にするために利用することが想定される。
- ✓ 保険会社が発電事業者との保険契約を行う際に、本ガイドに基づいた評価がされているか等の確認のために利用されることが想定される。
- ✓ 立入検査によって国から改善命令または計画の作成を要求された際に、本ガイドに基づいて太陽光発電所の安全性評価および回復する等で利用されることが想定される。

なお、本ガイドにおいて、回復とは「元通りに戻すこと」に加えて、「リスクを低減すること」「元の性能よりも性能を向上した状態とすること」として機器交換、補修、補強も含むこととして用いている。

## 2 用語の定義

IEC	国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission)。電気および電子技術分野の国際規格の作成を行う国際標準化機関で、各国の代表的標準化機関から構成されている。
基礎	直接基礎と杭基礎を総称したもの。
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。
切土	自然斜面地盤の土砂・岩石を取り除いて造成された地盤。
杭基礎	基礎杭に架台を連結して、架台からの荷重を、杭を介して地盤に伝える形式の基礎。一般的な建築工事のように鉄筋コンクリート基礎の補強として杭を使用する場合は、これを補強杭工法として区別する。
杭の水平載荷試験	杭の頭部に水平力を加える静的な載荷試験。
傾斜角(度)	本ガイドラインでは、アレイ面の水平面からの傾斜の度合いを示し、角度(°)で表す。地盤について用いられる場合もある。
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。

地盤改良	地盤強度の増大ならびに沈下の抑制等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・置換等の処理を施すこと。
地盤沈下	盛土の締固め不足や排水不良、地盤への载荷等により広範囲にわたって沈下すること。
除錆処理	腐食減量等を求める際に試験片から腐食生成物を除去する方法。腐食生成物を電解によって除去する場合、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。
正圧	一般に物体表面を押し方向に作用する圧力をいう。本ガイドラインでは、アレイの上面を押し方向の風圧力(風力)をいう。また、正圧が生じる風向を順風と呼ぶ。
耐候性	屋外で使用される材料は大気環境中の塩分、光、熱、水分等の影響を受けて腐食する。耐食性のうち、特にこのような大気環境による腐食(大気腐食)に耐える性質。
耐食性	材料が腐食に耐える性質。
太陽光発電	太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式。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。法令により、太陽光発電設備、太陽電池設備等、様々な呼称が用いられる。
太陽電池パネル	現場取付けができるように複数個の太陽電池モジュールを機械的に結合し、結線した集合体。
太陽電池	太陽光等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、太陽電池アレイ等の総称として用いる場合もある。
太陽電池アレイ	太陽電池架台および／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。
太陽電池アレイ用支持物	太陽電池モジュールを支持することを目的とした単柱、架台などの工作物の総称。本ガイドでは単に「アレイ支持物」とも呼ぶ。
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。本ガイドでは単に「架台」とも呼ぶ。
太陽電池モジュール	太陽電池セルまたは太陽電池サブモジュールを耐環境性のため外囲器に封入し、かつ規定の出力をもたせた最小単位の発電ユニット。
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。

転倒モーメント	構造物の基部において構造物を転倒させる方向に作用するモーメント。
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。
塗装	材料表面に塗料を塗ることで、材料に他の性質を付加する表面処理法。塗装による耐食性は材料表面と腐食因子との接触を防ぐことで得られる。
根入れ深さ	地表面から基礎スラブ下端までの掘削深さ。
表面処理	材料表面に耐食性や耐摩耗性、意匠性等、他の性質を付加することを目的として、めっきや塗装等を施す加工。
負圧	一般に物体表面を引く方向に作用する圧力をいう。本ガイドラインでは、アレイの上面を引く方向の風圧力(風力)をいう。また、負圧が生じる風向を逆風と呼ぶ。
風圧荷重	風圧力による荷重。厳密には、風圧力とその作用による構造物の応答も含めて評価した荷重。
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	材料が腐食することの防止。
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。被覆方法で、湿式めっき、熔融めっき、乾式めっきに分類できるが、本ガイドラインでは熔融めっきのみを扱っているため、熔融めっきを指す。
盛土	自然斜面地盤の上に土を盛り上げて造成された地盤。
擁壁	切土または盛土等の安定を図るために、土圧に抵抗する壁体構造物。
連続基礎・布基礎	一連の柱からの荷重を連続した基礎梁(またはフーチングおよび基礎梁)によって支持する基礎。

### 3 アレイ支持物(基礎・架台)における評価・回復技術のフロー

太陽光発電所の公衆安全、発電事業継続およびストック量を維持するためにはアレイ支持物の構造安全性が不可欠である。特に 2012 年の FIT 制度開始後に急速に拡大した一方で、保険事故の分析結果からもわかるように、設計荷重未満の台風、積雪など自然事象による被害が少なからず発生しており、アレイ支持物の構造安全性に関する要求事項の明確化や適正化が進んできている。

このような状況の中で太陽光発電所のアレイ支持物の構造安全に係るリスク評価およびリスクが顕在化されたものを回復することが必要である。一方でアレイ支持物の構造安全性に関する評価・回復のフローやその手段についてはこれまでに明確化されていないため、本ガイドではアレイ支持物の構造に係る評価・回復のフローチャートを示し、各プロセスで使用可能な評価・回復技術を示した。

なお、アレイ支持物を評価する場合の基準は太陽光発電所の設置当時の電気事業法、発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈が原則であるが、発電事業を長期的に継続する場合や太陽光発電を購入する際は、アレイ支持物の構造安全性の観点から最新の発電用太陽電池設備の技術基準への適合や最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン<sup>3.1)</sup>、地上設置型太陽光発電システムの構造設計例<sup>3.2)</sup>、特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版<sup>3.3)~3.5)</sup>等に基づいて設計することが望ましい。また、アレイ支持物を回復する場合の基準は、電気事業法および電気事業法施行規則に準拠し、最新の技術基準に適合することが原則である。

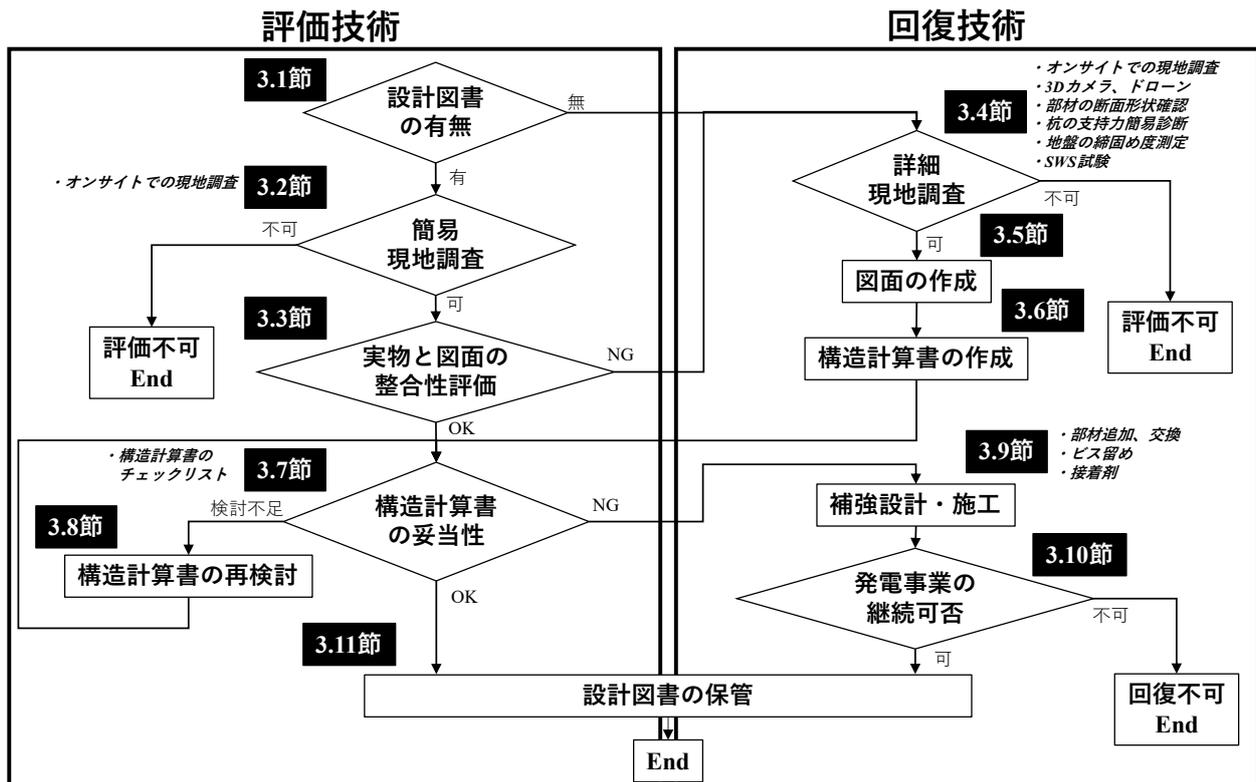


図 3.1 アレイ支持物の構造における評価・回復に係るフローチャート

### 3.1 設計図書の評価(設計図書の有無)

1. アレイ支持物(架台・基礎)の形状や仕様がわかる設計図面(各種構造図面)が揃っていることを確認する。
2. アレイ支持物(架台・基礎)の構造計算書があることを確認する。
3. 上記に示す設計図書が揃っている場合、「3.2 簡易現地調査」、揃っていない場合、「3.4 詳細な現地調査」を行う。

アレイ支持物における設計図書(各種構造図面・構造計算書)および基礎設計に係る地盤調査の資料の有無を確認する。これらの資料がない場合は新たに作成する必要があり、以降の作業工数が増加するため、設計・施工担当者または前発電事業者等に確認し、取り寄せることが望ましい。

アレイ支持物の構造安全性に係る設計図書は次のとおりである。また、設計図書のうちアレイ支持物に関するものを図 3.1.1～図 3.1.15<sup>3,2)</sup>に示す。

- |  |  |
|--|--|
| ① 位置図                                      | :設置場所(GPS の位置情報など)がわかるもの                                       |
| ② 配置図                                      | :太陽電池アレイの配置がわかるもの  |
| ③ アレイ支持物(架台)の正面図<br>(図 3.1.1)              | :一般的にはアレイの南立面図   |
| ④ アレイ支持物(架台)の背面図<br>(図 3.1.2)              | :一般的にはアレイの北立面図   |
| ⑤ アレイ支持物(架台)の側面図<br>(図 3.1.3)              | :一般的にはアレイの東または西立面図<br>(東立面と西立面の架構が異なる場合は東立面図と西立面図を作成する)        |
| ⑥ アレイ支持物(架台)の平面図<br>(図 3.1.4, 図 3.1.5)     | :一般的にはアレイを真上から見た図  |
| ⑦ アレイ支持物(架台)の部品図<br>(図 3.1.6～図 3.1.8)      | :架台に使用している全部材(表 3.1.1 参照)の図面<br>(部材の長さ、断面形状、ボルト穴位置やピッチ、材質等が記載) |
| ⑧ アレイ支持物(架台)の接合部詳細図<br>(図 3.1.9)           | :接合方法の詳細がわかる図面   |
| ⑨ アレイ支持物(基礎)の図および写真<br>(図 3.1.10～図 3.1.15) | :基礎の形状、材質がわかる図面  |
| ⑩ アレイ支持物(架台・基礎)の<br>構造計算書                  | :アレイ支持物の構造安全性について計算された書類                                       |
| ⑪ 太陽電池モジュールの仕様書<br>(図 3.1.16)              | :太陽電池モジュールの形状および重量がわかるもの                                       |
| ⑫ 地盤調査報告書                                  | :簡易貫入試験、SWS 試験結果等  |
| ⑬ 杭の支持力に関する原位置試験結果 <sup>※</sup>            | :杭の鉛直支持力、引抜および水平抵抗力試験または<br>検査の結果                              |

※構造計算書で杭の支持力が適切に評価されている場合は特に必要ない。

(単位:mm)

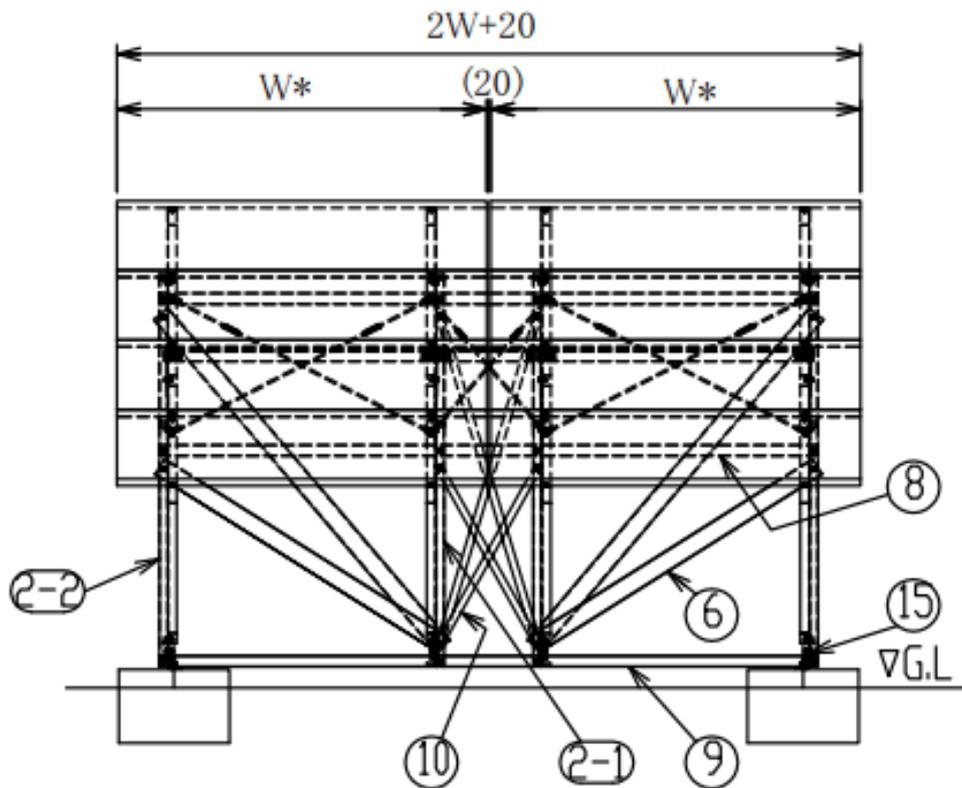


図 3.1.1 ③ アレイ支持物正面図

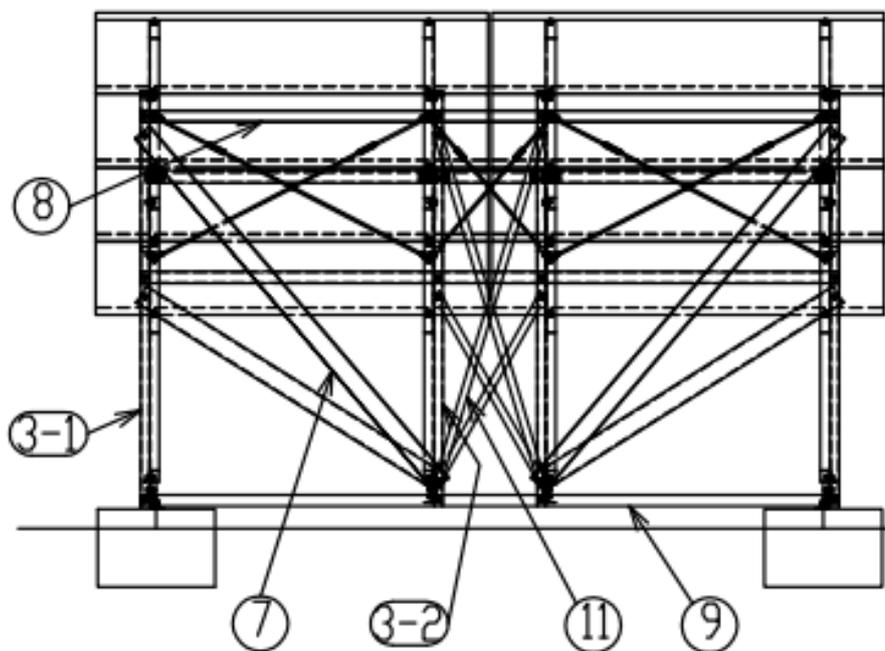


図 3.1.2 ④ アレイ支持物背面図

(単位:mm)

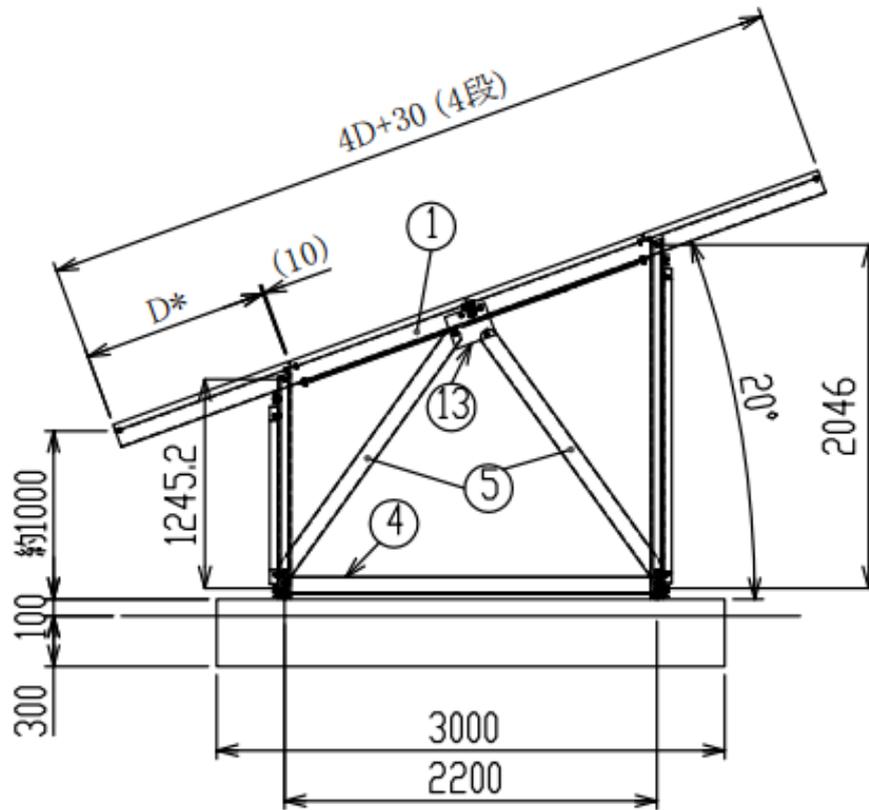


図 3.1.3 ⑤ アレイ支持物側面図

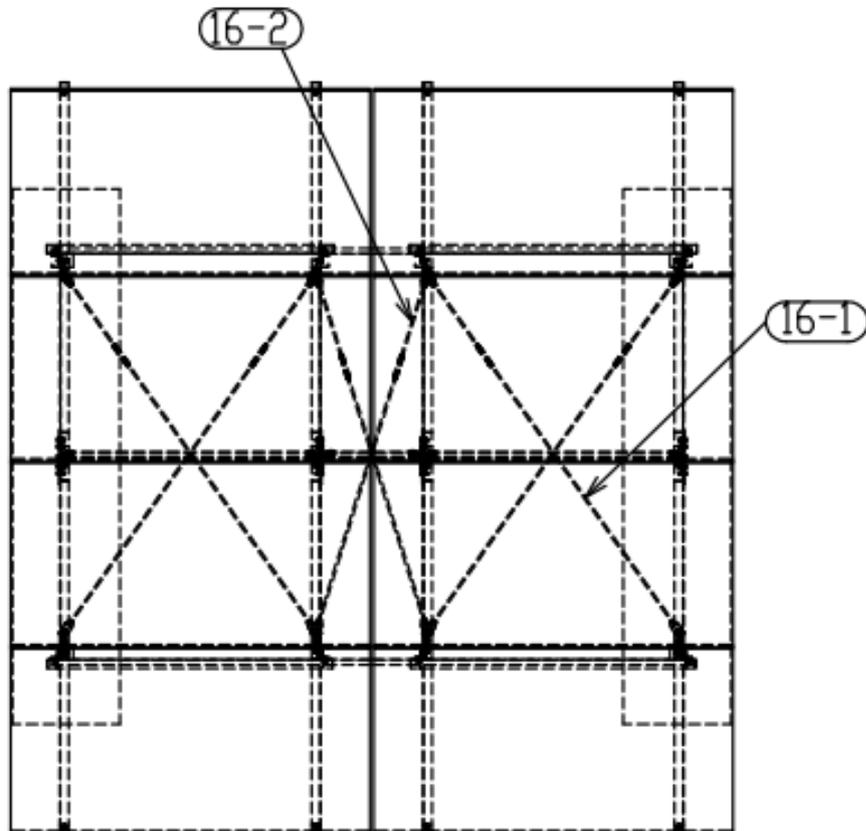


図 3.1.4 ⑥ アレイ支持物平面図

(単位:mm)

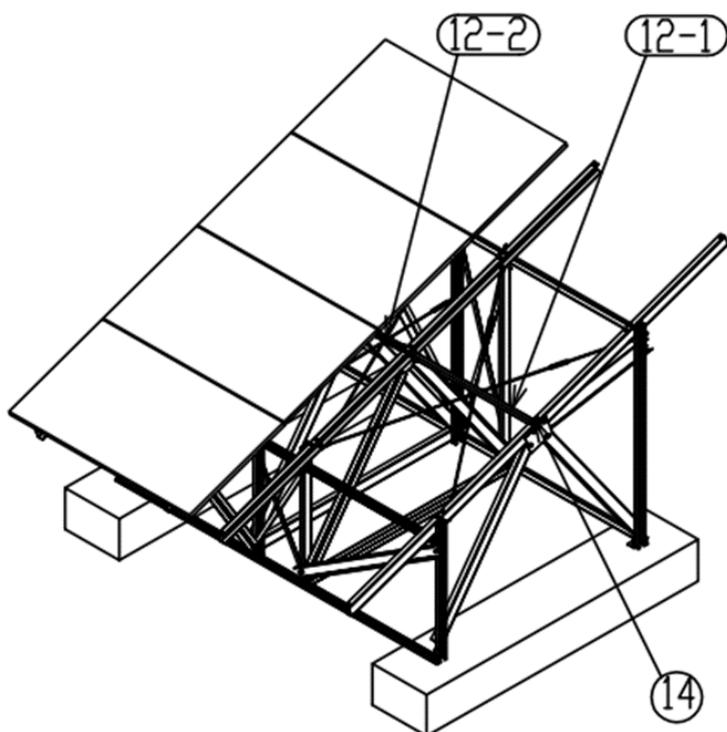


図 3.1.5 アレイ支持物アイソメ

表 3.1.1 支持物の部材リスト

部材番号	部材名	断面	鋼材種	表面処理	数量	備考
1	パネル受け	$[-100 \times 50 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	4	
2-1	支柱前(右)	$C-75 \times 45 \times 15 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	2	
2-2	支柱前(左)	$C-75 \times 45 \times 15 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	2	
3-1	支柱後(右)	$C-75 \times 45 \times 15 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	2	
3-2	支柱後(左)	$C-75 \times 45 \times 15 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	2	
4	つなぎ材	$[-100 \times 50 \times 3.2$	SS400相当	HDZ35相当	2	
5	側面ブレース	$[-100 \times 50 \times 3.2$	SS400相当	HDZ35相当	8	
6	正面ブレース	$[-100 \times 50 \times 3.2$	SS400相当	HDZ35相当	2	
7	背面ブレース	$[-100 \times 50 \times 3.2$	SS400相当	HDZ35相当	2	
8	上弦材	$[-60 \times 30 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	2	
9	下弦材	$[-60 \times 30 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	2	
10	中央ブレース前	$PL-38 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	2	
11	中央ブレース後	$PL-38 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	2	
12-1	横材(端)	$[-60 \times 30 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	2	
12-2	横材(中)	$[-60 \times 30 \times 2.3$	SS400相当	HDZ35相当	1	
13	つなぎプレート	$PL-4.5$	SS400相当	HDZ35相当	4	
14	横材固定金具	$L-75 \times 45 \times 4.5$	SS400相当	HDZ35相当	6	
15	支柱固定金具	$L-125 \times 75 \times 9.0$	SS400相当	HDZ35相当	4	
16-1	ターンバックル(端)	M10	SS400相当	HDZ35相当	4	
16-2	ターンバックル(中)	M10	SS400相当	HDZ35相当	2	

(単位: mm)

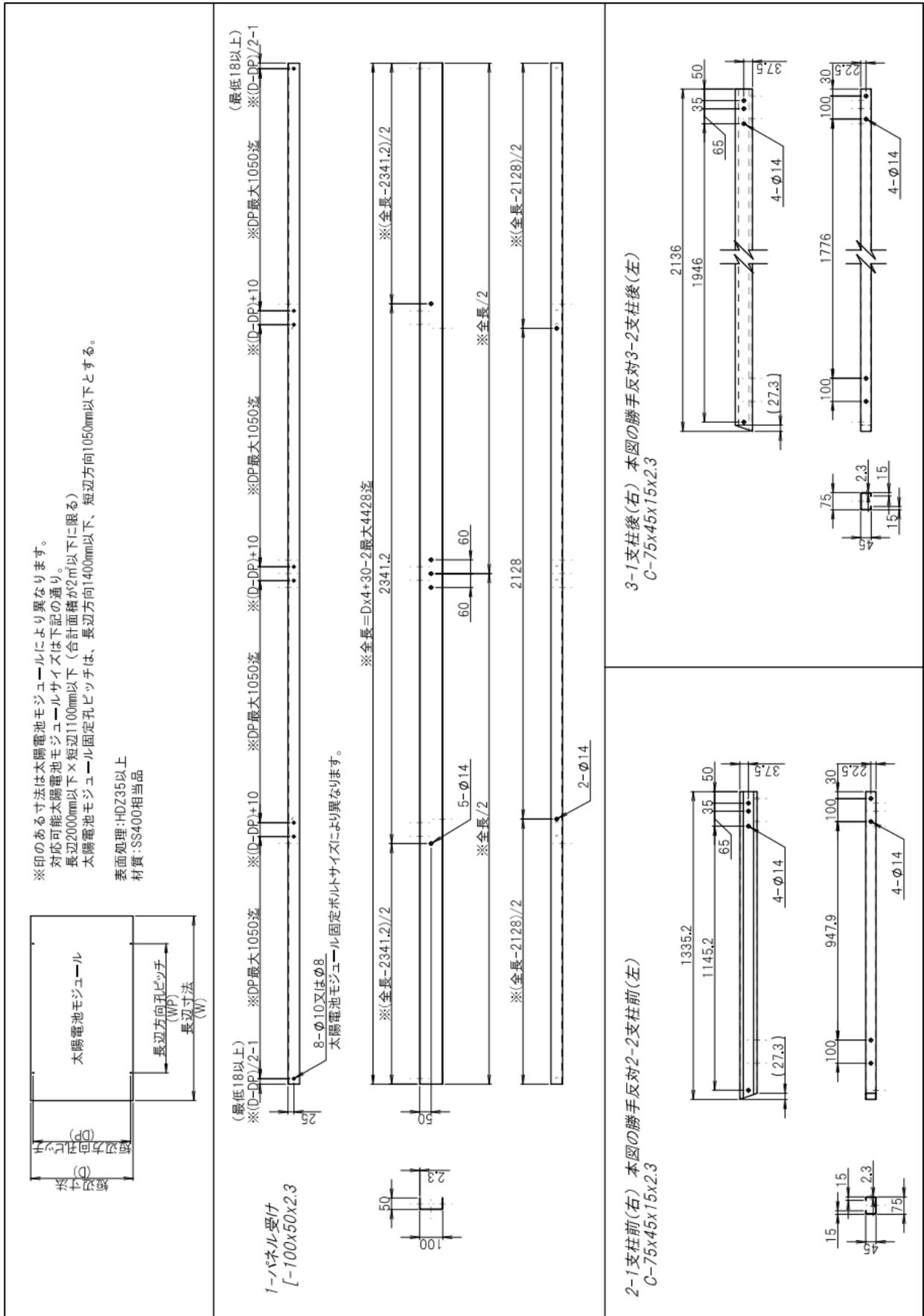


図 3.1.6 部品図 I

(単位: mm)

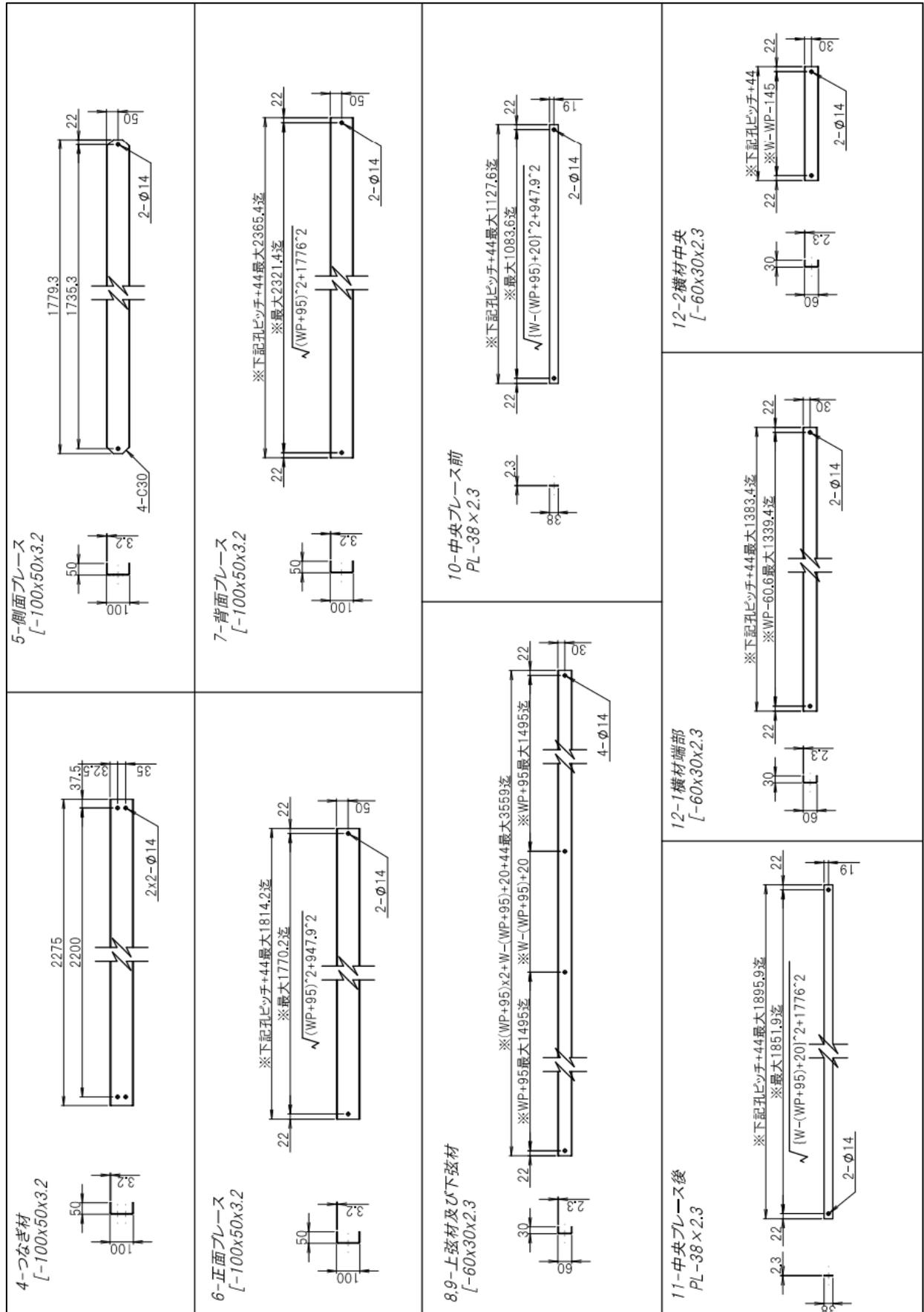


図 3.1.7 部品図 II

(単位: mm)

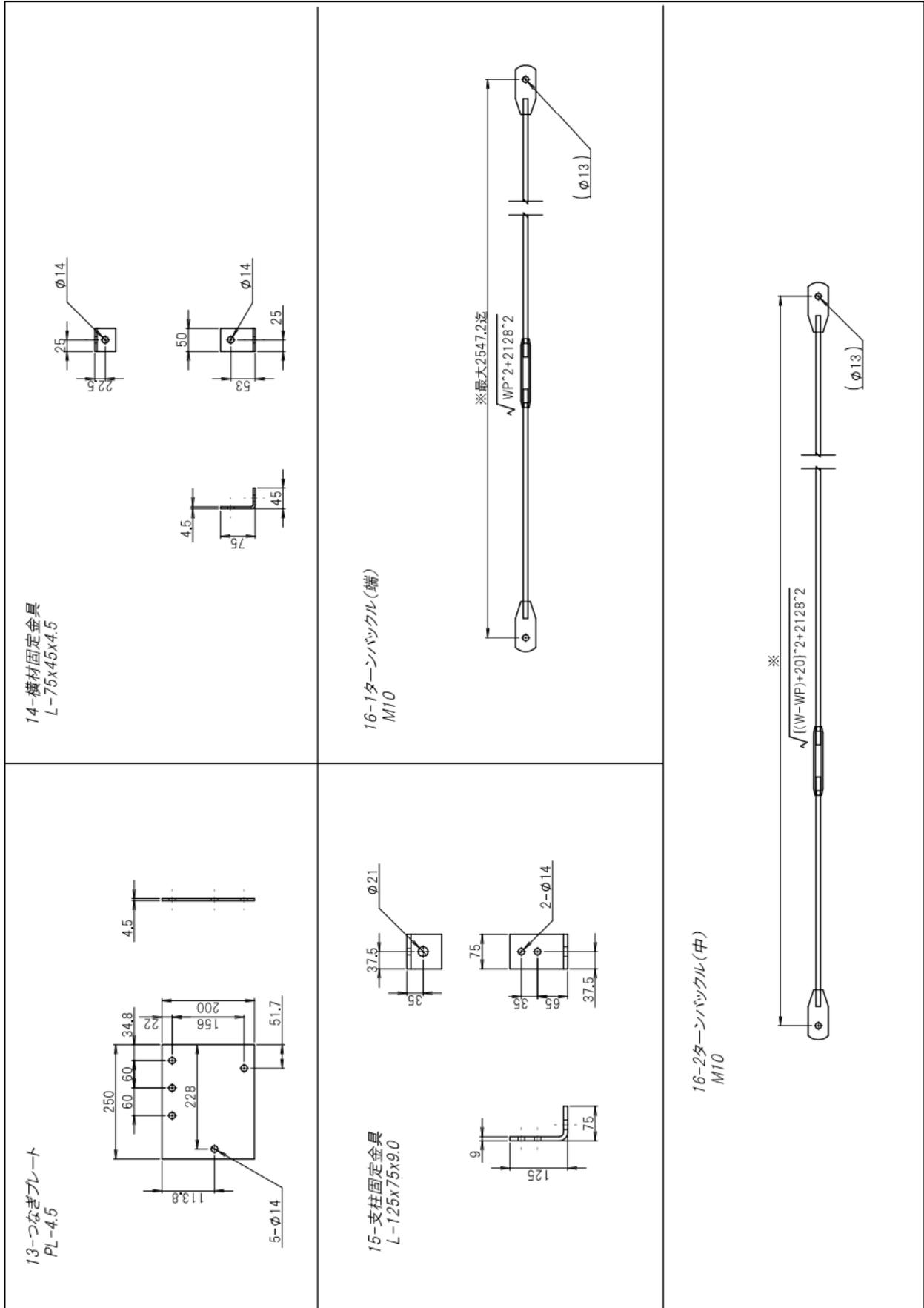


図 3.1.8 ⑦ 部品図 III

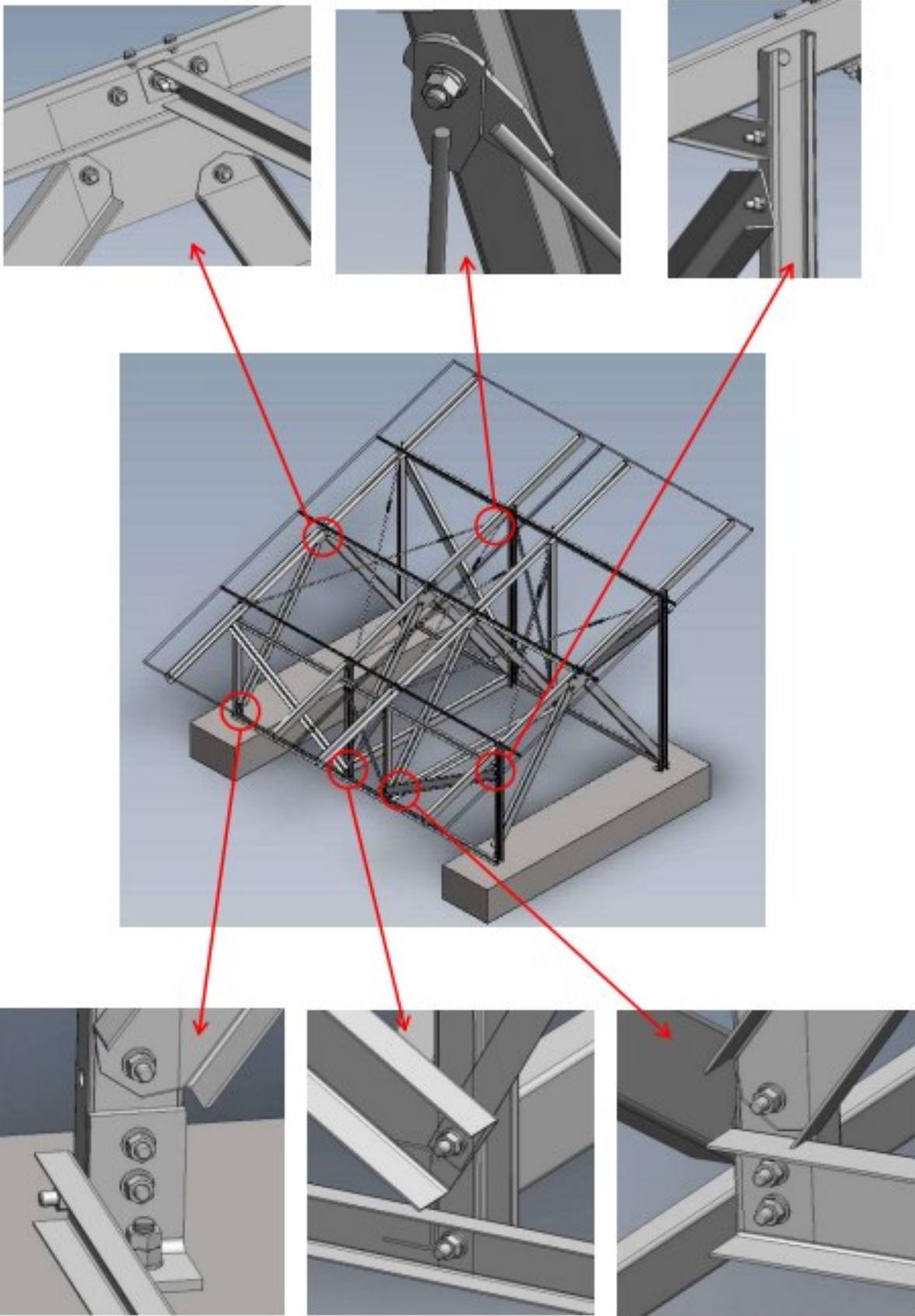


图 3.1.9 ⑧ 接合部詳細図

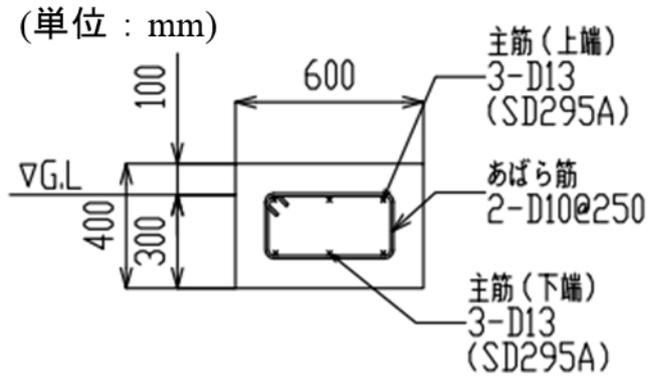


図 3.1.10 ⑨ アレイ支持物(基礎)の断面図



図 3.1.11 ⑨ アレイ支持物(鋼管杭)



図 3.1.12 ⑨ アレイ支持物(先端加工杭)



図 3.1.13 ⑨ アレイ支持物(スクリュー杭)



図 3.1.14 ⑨ アレイ支持物(型钢杭)



図 3.1.15 ⑨ アレイ支持物(コンクリート杭)

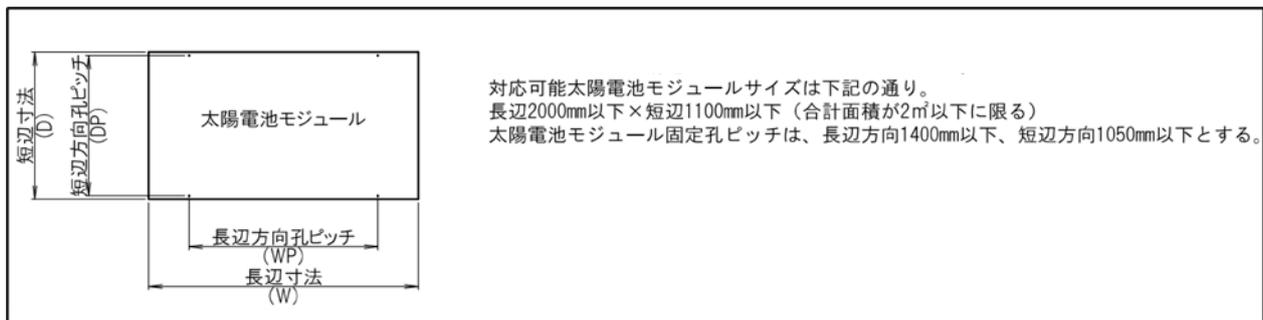


図 3.1.16 ⑪ 太陽電池モジュールの仕様書例

### 3.2 簡易現地調査

1. 設計図書が揃っている場合、実際に設置されているアレイ支持物の架構、設置地盤面の傾斜角度等、材質、部材の断面形状等が設計図書に示されるアレイ支持物の架構、材質、部材の断面形状等と一致していることを確認するために現地調査を行う。
2. 現地調査ではアレイ支持物に関する異状についても確認する。

太陽光発電所では設計図書が揃っている場合でも、実際のアレイ配置やアレイ支持物と図面に示されるアレイ支持物の架構(高さ、柱・梁の間隔、ブレース・方づえの配置、アレイ面傾斜角度等)、設置地盤面の傾斜角度、材質、部材の断面形状等が異なっている可能性がある。ここでは、実際に設置されているアレイ支持物と図面に示されるアレイ支持物の整合性を確認するために簡易的な現地調査を行う。ただし、敷地内に広い面積で隙間なくアレイが設置されており、アレイ支持物の状況が確認できない太陽光発電所は調査できないため「評価不可」となる。

本ガイドでは簡易的な現地調査で実施する内容を項目ごとに整理し、現地調査チェックシート(アレイ支持物)を作成した(表 3.2.1)。この現地調査チェックシート(アレイ支持物)は目視調査によることを基本とし、簡易な計測機器を用いた寸法、角度等の計測を行う内容となっている。これに沿って調査を行うことで、構造設計の非専門家でも専門家が二次評価を行うためのデータを抽出する(一級建築士または構造設計一級建築士等の構造設計の専門家による 2 次評価の前に実施する 1.5 次評価)ことが可能である。現地調査チェックシート(アレイ支持物)の調査内容は大きく 4 項目(設備周辺の確認、架台の確認、基礎の確認、アレイ支持物の損傷・異状箇所の確認)に分類されている。それぞれのチェックポイントについて以下に記載し、使用時の架台部材の名称を図 3.2.1 および図 3.2.2 のように設定する。

「設備周辺の確認」では発電所やその周囲の状況を確認し、発電所の設置条件や第三者被害へのリスクを確認する項目である。また、重機、試験装置や補強部材の搬入が可能であるか、作業員が作業可能であるか等のスペースが敷地内にあるかを確認する必要がある。メンテナンス用の通路がない場合や作業スペースがない場合は、評価不可や回復不可という判断になる懸念がある。

「架台の確認」および「基礎の確認」は実際に設置されているアレイ支持物の架構(高さ、柱・梁の間隔、ブレース・方づえの配置、アレイ面傾斜角度等)、設置地盤面の傾斜角度、材質、部材の断面形状等が図面に示されているアレイ支持物と整合しているか確認するために現地で設置されているアレイ支持物の計測を行う項目である。ここでアレイ支持物(架台、基礎)を計測する際は調査対象の発電所の中から代表的なアレイ支持物<sup>注</sup>を抽出して行うこととする。アレイ支持物の基礎が杭基礎の場合、貫入深さ(1.0 m ~ 2.4 m 程度が想定される)を測定することが難しいため、発電事業者や主任技術者に杭の全長を確認し、杭の突出長から貫入深さを算定することが望ましい。また、アレイ支持物の基礎が直接基礎の場合、根入れ深さを確認するため地盤を掘り下げて(20~30cm 程度)基礎の底面がどれくらいまであるか確認することが望ましい。

「アレイ支持物の損傷・異状箇所の確認」は太陽電池モジュールの割れ、架台部材の曲がりや腐食、基礎の沈下や杭の倒れ等のアレイ支持物に関する異状が発生しているかを確認する項目である。この項目は太陽光発電所の敷地を全体的に調査し、目視によって確認する必要がある。それぞれ確認項目の損傷および異状例については表 3.2.2 に示す。

現地調査チェックシート(アレイ支持物)を用いた簡易的な現地調査の所要時間は 1.5 時間/アレイが想定される。また、現地調査を行う際は、調査対象の太陽光発電所特有の課題やアレイ支持物測定時の課

題( 架台が組み立てられた状態であると閉断面の柱材や斜材等が測定できない)があると想定されるため発電事業者や主任技術者立会いの下、適宜、ヒアリングや架台部材の取り外しを行いながら調査を行うことが望ましい。

注: 太陽光発電所のアレイ支持物が同一の架構、材質で構成されている場合、代表的なアレイを 1 アレイとして問題ないが、複数の異なる架構、材質のアレイ支持物が設置されている場合はすべてのアレイ支持物について調査を行う必要がある。また、アレイ支持物が杭間距離等は異なるが同一の架構、材質で構成されている場合、荷重負担が大きくなる(柱や梁の間隔が大きい)等を考慮し、構造設計上安全側となる(部材等の荷重の負担が大きくなる)アレイ支持物を代表アレイとしても問題ない。

表 3.2.1 現地調査チェックシート(アレイ支持物)

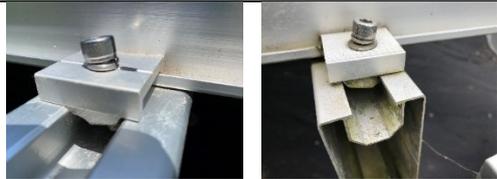
番号	評価内容	評価結果
<b>0</b>	<b>設備周辺の確認</b>	
0.01	発電所内の全景写真・敷地概要	平坦地、ひな壇造成、傾斜地と隣接、急傾斜地(30°以上)、緩傾斜地(30°未満)、起伏
0.02	発電所外周囲の確認	写真撮影
0.03	標識の確認	あり、なし
0.04	フェンスおよび敷地境界付近の確認	あり、なし
0.05	敷地内のスペースの確認	あり、なし
<b>1</b>	<b>架台の確認</b>	
1.01	架台の種類	鋼製、アルミニウム合金製、単管製、複合(鋼製+アルミニウム合金製等)、その他
1.02	アレイの段数	段
	アレイの列数	列
1.03	モジュールの設置向き	横置き、縦置き
1.04	アレイ面の傾斜角度(南北)	度
	アレイ面の傾斜角度(東西)	度
1.05	アレイ設置地盤の平均傾斜角度(南北)	度
	アレイ設置地盤の平均傾斜角度(東西)	度
1.06	アレイの最高高さ	mm
	アレイの最低高さ	mm
1.07	架台の東または西立面	写真撮影
1.08	架台の南立面(水下側)	柱間寸法計測 mm
1.09	架台の北立面(水上側)	柱間寸法計測 mm
1.10	モジュールの型番(裏側)または寸法(縦×横×厚さ)	写真撮影または ( mm × mm × mm )
1.11	モジュール固定金具(押え金具)端部用(モジュール 1 枚を固定)	モジュール端から mm
1.12	モジュール固定金具(押え金具)中央部用(モジュール 2 枚を固定)	モジュール端から mm
1.13	モジュール固定金具とパネル受の接合部(押え金具を使用していない場合)	写真撮影
1.14	パネル受の断面形状	幅 mm
		高さ mm
		厚さ mm
1.15	(パネル受-梁)の接合部	写真撮影
1.16	(パネル受-桁)の接合部	写真撮影
1.17	パネル受けの片持ち長さ(最大を記録)	mm
1.18	梁の断面形状	幅 mm
		高さ mm
		厚さ mm
1.19	(梁-後柱)の接合部	写真撮影
1.20	(梁-東または西立面の筋交いまたは方づえ)の接合部	写真撮影

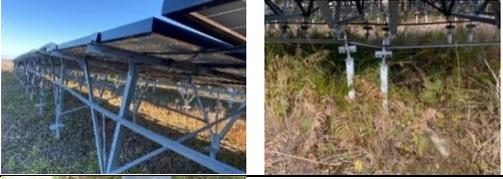
1.21	(梁-前柱)の接合部	写真撮影	
1.22	梁の片持ち長さ(最大を記録)	mm	
1.23	梁の断面形状	幅	mm
		高さ	mm
		厚さ	mm
1.24	(桁-後柱)の接合部	写真撮影	
1.25	(桁-水上側の筋交い又は方づえ)の接合部	写真撮影	
1.26	(桁-前柱)の接合部	写真撮影	
1.27	(桁-水下側の筋交い又は方づえ)の接合部	写真撮影	
1.28	桁の片持ち長さ(最大を記録)	mm	
1.29	後柱の断面形状	幅	mm
		高さ	mm
		厚さ	mm
1.30	(後柱-北立面の筋交いまたは方づえ)の接合部	写真撮影	
1.31	(後柱-東または西立面の筋交いまたは方づえ)の接合部	写真撮影	
1.32	前柱の断面形状	幅	mm
		高さ	mm
		厚さ	mm
1.33	(前柱-南立面の筋交いまたは方づえ)の接合部	写真撮影	
1.34	(前柱-東または西立面の筋交いまたは方づえ)の接合部	写真撮影	
1.35	東または西立面の筋交いまたは方づえの断面形状	幅	mm
		高さ	mm
		厚さ	mm
1.36	水下側の南立面の筋交いまたは方づえの断面形状	幅	mm
		高さ	mm
		厚さ	mm
1.37	水上側の北立面の筋交いまたは方づえの断面形状	幅	mm
		高さ	mm
		厚さ	mm
1.38	柱脚繋ぎ梁の断面形状	幅	mm
		高さ	mm
		厚さ	mm
1.39	その他の部材の断面形状	幅	mm
		高さ	mm
		厚さ	mm
1.40	その他の部材の接合部 (柱-柱、桁-桁の継手など)	写真撮影	
1.41	(基礎-柱脚)の接合部	写真撮影	
1.42	架台の付帯設備(接続箱、集電箱、PCS、ケーブル等)の有無	あり、なし	

2 直接基礎の確認		
2.01	直接基礎の種別	独立基礎、連続基礎、べた基礎、置き基礎、その他
2.02	直接基礎の形状	縦 mm
		横 mm
		地表面高さ mm
2.03	根入れ深さ	mm
2.04	打設間隔(隣の基礎ブロックとの中心間距離)	南北方向 mm
		東西方向 mm
3 杭基礎の確認		
3.01	杭基礎の種別	鋼管杭、型鋼杭、スクリー杭、単管杭、コンクリート杭、その他の杭
3.02	杭兼柱の確認	該当、非該当
3.03	杭基礎の形状	杭径 mm
3.04	打設間隔	南北方向 mm
		東西方向 mm
3.05	杭の突出し高さ	mm
3.06	杭突出部の継手の有無	あり、なし
3.07	根巻きまたはキャストインの寸法	直径、辺の長さ mm
		高さ mm
4 アレイ支持物(架台および基礎)の損傷・異状箇所の確認		
4.01	モジュールの割れの有無	あり、なし
4.02	架台の揺れ(東西方向)	あり、なし
4.03	架台の揺れ(南北方向)	あり、なし
4.04	部材の曲がり	あり、なし
4.05	部材のへこみ	あり、なし
4.06	目視で認識できる柱の倒れ	あり、なし
4.07	架台(部材)の腐食の有無	あり、なし
4.08	接合部の腐食の有無	あり、なし
4.09	接合部の異状(ボルトの緩み・脱落)	あり、なし
4.10	接合部の異状(接合面の滑り)	あり、なし
4.11	接合部の異状(杭と柱の著しい芯ずれ)	あり、なし
4.12	杭材の曲がり	あり、なし
4.13	目視で認識できる杭の倒れ	あり、なし
4.14	杭の腐食の有無	あり、なし
4.15	杭とその周辺地盤のすき間	あり、なし
4.16	杭周辺地盤の侵食	あり、なし

表 3.2.2 アレイ支持物の損傷および異状例

番号	チェックシート No.	写真	事象	最終的なりスク
1	4.01		モジュール割れ	火災 架台の強度低下
2	4.01		モジュール割れ	火災 架台の強度低下
3	4.01		モジュール割れ	火災 架台の強度低下
4	4.04		フランジ変形	支持物の強度低下
5	4.07		架台腐食 高耐食メッキ鋼板のサビが発生。雨水の流水が多い部位や滞留する部位にサビが多く発生する。	架台の強度低下
6	4.07		架台腐食 高耐食メッキ鋼板のサビが発生。雨水の流水が多い部位や滞留する部位にサビが多く発生する。	架台の強度低下

7	4.08		太陽電池モジュールの固定金具の腐食 雨水の流水が多い部位や滞留する部位にサビが多く発生する。	接合部の強度低下、太陽電池モジュールの脱落および飛散
8	4.08		架台ボルトの腐食 雨水の流水が多い部位や滞留する部位にサビが多く発生する。	接合部の強度低下、架台の倒壊および飛散
9	4.09		PV 固定金具欠損 竣工時の取付忘れ PV 固定ナット欠損	接合部の強度低下、太陽電池モジュールの脱落および飛散
10	4.09		ボルト緩み	太陽電池モジュールの脱落および飛散
11	4.09		ボルト緩み	接合部の強度低下、架台倒壊および飛散
12	4.09		ナットの外れ	接合部の強度低下、架台倒壊および飛散
13	4.09	 他の杭位置,全て2本固定されている。	杭の固定ボルトの不足、杭と架台の位置がズレたためボルトが施工できず。	接合部の強度低下、架台倒壊および飛散
14	4.09		フランジボルト緩み	接合部の強度低下、架台倒壊および飛散

15	4.09			ナット締付緩み 合マーク記入、ズレ無。スプリングワッシャーが浮いており締付不足。	接合部の強度低下、架台倒壊および飛散
16	4.09			杭固定ナット緩みナットに合マーク未記入のため緩み、未締付かは不明。 架台ナット緩みナットに合マーク未記入のため緩み、未締付かは不明。	接合部の強度低下、架台倒壊および飛散
17	4.09			固定金具欠品	接合部の強度低下、架台倒壊および飛散
18	4.09			固定金具嵌合不良	接合部の強度低下、架台倒壊および飛散
19	4.11			フランジボルト位置不良	接合部の強度低下、架台倒壊および飛散
20	4.13			基礎杭の沈下	杭基礎の支持力不足 架台の倒壊および飛散
21	4.15			杭とその周辺地盤のすき間	杭の支持力低下、架台の変形、支持物の飛散、土砂流出
22	その他	 他の架台背面全ての柱に筋交が設置されている。		架台の筋交未施工、	架台の強度不足の懸念 架台倒壊の懸念

### パネル受けが南北方向

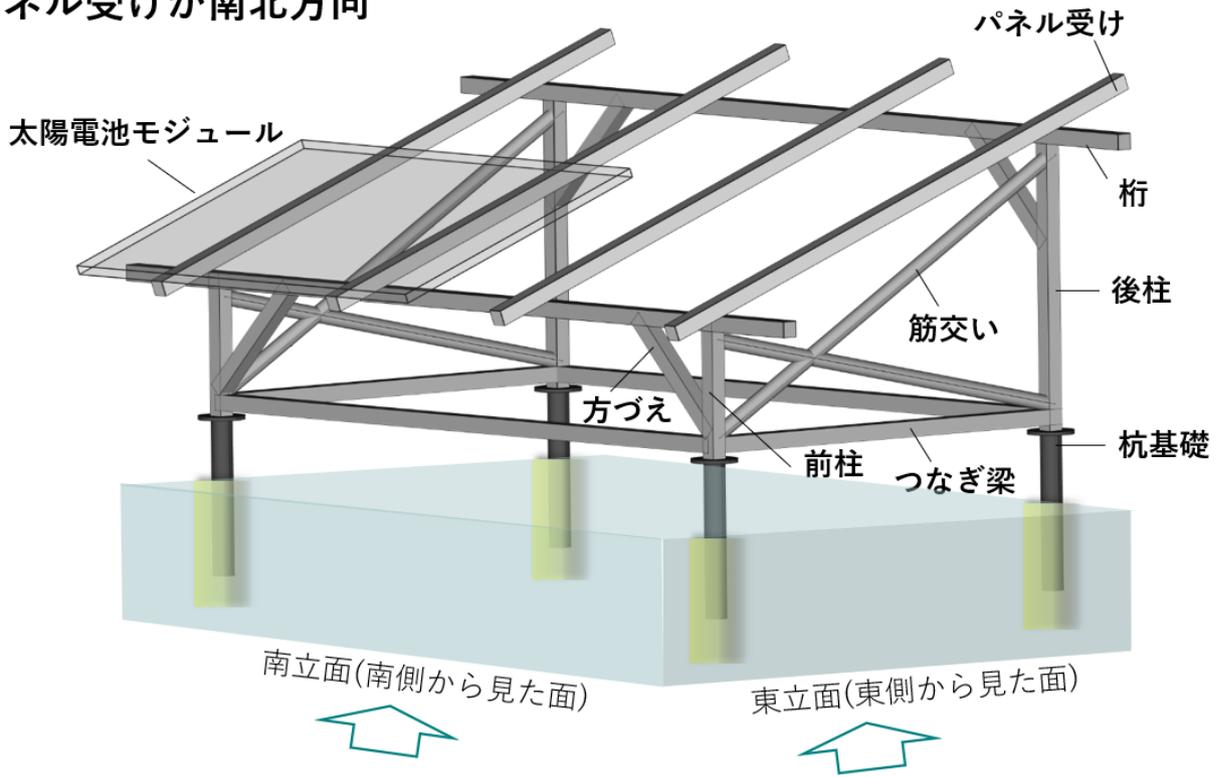


図 3.2.1 架台部材の名称①(参考)

### パネル受けが東西方向

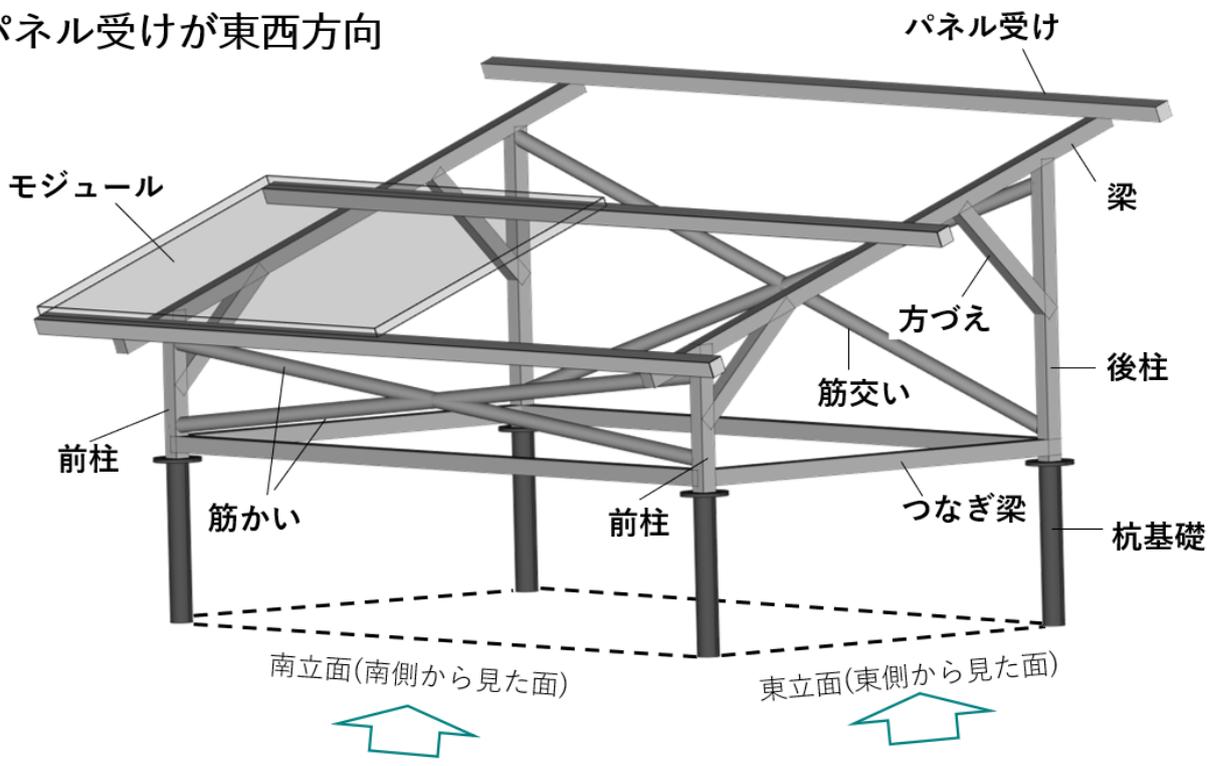


図 3.2.2 架台部材の名称②(参考)

### 3.3 実物と図面の整合性評価

1. 実際に設置されているアレイ支持物と設計図書に示されているアレイ支持物の架構、設置地盤面の傾斜角度、材質、部材の断面形状等を確認する。
2. 実際に設置されているアレイ支持物の架構、材質、部材の断面形状等が設計図書と一致している場合は「3.7 構造安全性評価(構造計算書の妥当性)」を行う。
3. 実際に設置されているアレイ支持物の架構、材質、部材の断面形状等が設計図書と一致していない場合は構造計算書の妥当性が確認できないため、構造図面および構造計算書作成のために「3.4 詳細現地調査」を行う必要がある。

設計図書の内容について妥当性を確認する際に、実際に設置されているアレイ支持物と図面に示されているアレイ支持物の架構(高さ、柱・梁の間隔、ブレース・方づえの配置、アレイ面傾斜角度等)、設置地盤面の傾斜角度、材質および部材の断面形状等が一致している必要がある。ここでは簡易的な現地調査の結果から、実際に設置されているアレイ支持物と設計図書に示されているアレイ支持物の整合性評価を行う。その際の寸法差等の判断の目安は次のとおりである。ただし、施工管理上の設定がある場合には、その数値以内である必要がある。

- ・アレイ面の傾斜角度:2~3°程度
- ・アレイの高さ: 5~10cm 程度(地盤の凹凸による)
- ・柱(杭)間隔: 図面寸法の 2~3%
- ・架台の部材: 外形 ±1mm 程度、長さ 全長の 2~3%程度、部材厚 厚さの 10%程度
- ・直接基礎の場合:外形が図面寸法の 2~3%程度
- ・杭基礎の場合:直径が 1mm 程度、突出高さが図面寸法の 2~3%程度

整合性評価の結果、実際に設置されているアレイ支持物と図面に示されているアレイ支持物の形状、架構等が一致している場合、「3.7 構造安全性評価(構造計算書の妥当性)」で構造安全性を確認する必要がある。一方で、実際に設置されているアレイ支持物と図面に示されているアレイ支持物が一致していない場合、「3.4 詳細現地調査」を行い、新たに設計図書(各種構造図面・構造計算書)を作成する必要がある。

### 3.4 詳細現地調査

1. 設計図書が揃っていない場合や実際に設置されているアレイ支持物と設計図書に示されているアレイ支持物の架構、設置地盤面の傾斜角度、材質、部材の断面形状等が一致していない場合は詳細な現地調査を行う。
2. 太陽光発電所のアレイ配置に関するデータを収集する。
3. アレイ支持物(架台・基礎)の架構、部材の断面形状等に関するデータを収集する。
4. 架台に使用している部材の材質や接合部構造に関するデータを収集する。
5. アレイ支持物の基礎が直接基礎の場合、必要に応じて支持力データ、地盤データ(N 値、土質)を収集する。
6. アレイ支持物の基礎が杭基礎の場合、必要に応じて地盤データ(N 値、土質、地盤反力係数または地盤反力係数と相関のある数値)を収集する。

設計図書が揃っていない場合や実際に設置されているアレイ支持物と図面に示されているアレイ支持物の架構(高さ、柱・梁の間隔、ブレース・方づえの配置、アレイ面傾斜角度等)、設置地盤面の傾斜角度、材質、部材の断面形状等が一致していない場合、設計図書や構造計算書から対象の太陽光発電所における構造安全性評価をすることができない。このような場合は詳細な現地調査を行い、新たにアレイ支持物の構造安全性に係る設計図書を作成および設計に必要なデータを入手する必要がある。ただし、「3.2 簡易現地調査」と同様に、敷地内に広い面積で隙間なくアレイが設置されており、アレイ支持物の状況が確認できない太陽光発電所では、調査ができないため「評価不可」とする。

アレイ支持物の架構(高さ、柱・梁の間隔、ブレース・方づえの配置、アレイ面傾斜角度等)、設置地盤面の傾斜角度、材質、部材の断面形状等の基本的な調査は「3.2 簡易現地調査」と同様に表 3.2.1 の現地調査チェックシート(アレイ支持物)を用いて行うが、その他必要な調査を以下に記述する。

太陽光発電所のアレイ配置図を作成するためにアレイ配置に関するデータ収集を行う。アレイ配置に関するデータの収集は調査対象の太陽光発電所の規模によって有効な調査方法が異なることが想定される。大・中規模における太陽光発電所の場合、敷地全体のアレイ配置を目視調査のみで確認するのは工数がかかるため、Google Earth 等の衛星画像からデータ収集を行うことが有効である。ただし、Google Earth 等によるデータ収集は衛星画像の更新時期によっては調査対象の太陽光発電所を確認できないことも想定されるため注意が必要である。その他の方法としては現地でのドローンを用いた調査が工数の削減に有効であると考えられる。ドローンで撮影した画像データは 3D 化や寸法測定も可能であるため、アレイ配置図作成だけでなく、地盤の現況を確認するための情報収集としても有効な技術である。一方で、小規模の太陽光発電所の場合、ドローンによる調査は操縦者の確保、画像解析等のコストの観点から非効率的であるため、Google Earth 等の衛星画像によるデータの収集や現地調査で目視による確認および計測、写真撮影、ラフスケッチ等のほうが効率的である。

アレイ支持物(架台)の架構に関するデータ収集では、前述したとおり表 3.2.1 に示す現地調査チェックシート(アレイ支持物)を用いて計測することでデータを収集することができる。ただし、太陽光発電所内に種類の異なる複数のアレイ支持物がある場合は、全ての種類について計測する必要があるため、計測に係る工数が増加する。このような場合、架構フレーム作成ツールが工数削減に有効であると考えられる。この技術は対象のアレイ支持物を 360°カメラで撮影し、全天球画像から簡易的に 3 次元フレームとして寸法を捉えることや CAD データとして出力することができる。実施例については「5.3 設計図面の作成支援ツール」

を参照されたい。ただし、寸法精度の観点から架台部材の断面形状に関するデータの収集はできないため、架台部材の断面形状については別途計測する必要がある。また、アルミニウム合金製の部材の断面形状は複雑であり、計測するには工数がかかるだけでなく、部材の断面性能(断面積、断面係数、断面二次モーメントなど)を求める手間がかかるため、設計担当者(架台メーカー)に問い合わせる入手することが望ましい。

アレイ支持物(基礎)に関するデータ収集では、調査対象の太陽光発電所が杭基礎の場合、杭の押込支持力、引抜および水平抵抗力等の支持力データを収集する必要がある。調査方法としては全ての杭に対して現地で設計荷重以上の载荷(押込、引抜、水平方向)を行い、安全性を検査することが望ましい。ただし、全ての杭について支持力を確認するのは非常に多くの工数がかかるため、地盤試験(SWS 試験等)によって太陽光発電所敷地内の最も弱い地盤を調査し、その地盤で最も貫入深さの短い(突出高さの高い)杭を载荷試験の対象とすることが工数削減に有効である。また、土木分野で使用されている杭の衝撃载荷試験の技術を応用した検査方法を用いることも工数削減に有効である。実施例は「5.4 杭の支持力簡易診断技術」を参照されたい。この技術はオンサイトで簡易的に杭の支持力を診断できるもので、加速度計を取り付けた杭基礎にハンマで打撃を与え、杭に与えた打撃荷重と杭の振動(周波数または減衰時間)の関係から杭の支持力を評価することができる。ただし、この技術は定性的な比較評価には適しているが、現時点では定量的な評価まで至っておらず、载荷試験を実施する杭(抵抗力が小さい杭)を選定する際に使用することで工数削減が期待できる。一方で、計算によって杭基礎の支持力を算定することも可能であるが、杭の支持力算定式を用いて基礎の安全性を確認する場合は工法、杭の種類、地盤の強度等の適用範囲を十分に確認する必要がある。例えば国土交通省告示 1113 号第 5 では打撃工法を対象とし、支持力式においては N 値(標準貫入試験による打撃回数)を用いることとされている。これらを踏まえた上で杭基礎の支持力データの収集については载荷試験における工数と設計およびそのデータ収集するための地盤試験に要する工数を比較したうえで発電事業者が選定されたい。

調査対象の太陽光発電所が直接基礎の場合についても地盤試験(SWS 試験結果、平板载荷試験等)によって地盤データを収集する必要がある。その中でも SWS 試験は密な砂質地層、礫・玉石層または固結地層等には適用できない<sup>3,6)</sup>ため注意が必要である。また、平板载荷試験は地盤支持力を調査することができるが、コストが高いことや既設の太陽光発電所のアレイ支持物の周囲では試験の規模を考慮すると実施するスペースがないことも想定される。そこで狭小地でも地盤データが収集可能な動的平板载荷装置を用いた非破壊検査が有効技術として期待できる。その実施例は「5.5 地盤の締固め度測定技術」に示している。この技術は質量 5.5 kg の重錘を高さ 10 cm 程度から地盤に落下させることで地盤バネ係数(K)を測定することが可能で測定した地盤バネ係数(K)は平板载荷試験による K30 値と非常に高い相関関係がある。ただし、この技術も定性的な比較評価には適しているが、定量的な評価には向いていない。そこで対象の太陽光発電所において平板载荷試験が実施可能な箇所を基準となる地盤データを取得し、そのデータと動的平板载荷装置によって収集したデータを比較することで既設の太陽光発電所でも有効な地盤データを収集することができる。

### 3.5 図面の作成

1. 現地調査で収集したデータをもとに各種構造図面を作成する。
2. 太陽光発電所のアレイ配置データからアレイの配置図を作成する。
3. アレイ支持物(架台・基礎)の架構、材質、部材の断面形状等のデータから架台の立面図(正面図、側面図、背面図)、平面図、部品図、接合部詳細図、基礎の断面図を作成する。

対象の太陽光発電所の管理および構造安全性の観点から詳細現地調査で収集したデータをもとに各種構造図面の作成を行う必要がある。アレイ配置図の作成は構造安全性に影響がないため写真データやラフスケッチ等でも問題はないが、敷地内や敷地境界付近にのり面やがけ地等がある場合はその離隔寸法等を確認する必要がある。各種構造図面については「3.6 構造計算書の作成」や「構造安全性評価(構造計算書の妥当性)」でも使用するため、構造設計の専門家等(一級建築士または構造設計一級建築士等)に依頼し、CAD データ等で作成することが望ましい。

### 3.6 構造計算書作成

1. 作成した構造図面をもとにアレイ支持物(架台および基礎)の構造計算書を作成する。
2. 構造計算書作成時は一級建築士または構造設計一級建築士等の構造設計の専門家に依頼する。
3. 構造計算書を作成する際、基本的には太陽光発電所の設置当時の電気事業法、太技省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈などに基づく必要がある。発電事業を長期的に継続する場合や太陽光発電所を購入する等の場合は、アレイ支持物の長期的な構造安全性を鑑みて、最新の発電用太陽電池設備の技術基準<sup>注</sup>への適合や最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン、地上設置型太陽光発電システムの構造設計例、特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版<sup>3.3)~3.5)</sup>等に基づいて設計することが望ましい。

アレイ支持物の構造安全性を確認するために詳細な現地調査で得られた情報および作成した構造図面から構造計算書を作成する必要がある。その際は基本的に構造設計の専門家(一級建築士または構造設計一級建築士等)に作成または監修を依頼し、設計方法は最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン等を参考にされたい。

構造計算書を作成する際の基準は、少なくとも太陽光発電所の設置当時の電気事業法、太技省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈などである。発電事業を長期的に継続する場合や太陽光発電所を購入する際は、アレイ支持物の構造安全性の観点から最新の発電用太陽電池設備の技術基準<sup>注</sup>への適合や最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン、地上設置型太陽光発電システムの構造設計例、特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版等を基準に設計することが望ましい。特に最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドラインや特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版では多雪区域や傾斜地にアレイ支持物を設置する場合は、アレイ面上の積雪と地上に堆積した積雪が繋がることでアレイ支持物の軒先部に沈降荷重が作用することや、アレイ面の風力係数や小地形による風速の割増しがあることが指摘されており、実際にこれらの場所に設置されているアレイ支持物は事故が頻繁に発生している傾向があるため注意が必要である。

アレイ支持物の安全性以外にも太陽電池モジュール選定の妥当性についても確認することが望ましい。太陽電池モジュールの耐久力は JIS C61215-2:2020 の機械的静荷重試験で検証されており、当該 JIS では以下のように定義されている。

$$\text{試験荷重} = \gamma_m \times \text{設計荷重}$$

ここで  $\gamma_m$  は安全係数を示しており、1.5 以上を要求している。試験荷重は当該 JIS の試験方法で検証する最大荷重、設計荷重は試験荷重と安全係数の積として定義されている。一方で、一般的に流通している太陽電池モジュール仕様書(以後、仕様書とする。)が示す耐荷重値はモジュールメーカーによって表記が異なっており、耐荷重値が試験荷重の数値であるか設計荷重の数値であるかが明記されていない。例えば仕様書に記載されている耐荷重値が試験荷重である場合、安全係数  $\gamma_m$  を考慮した数値をもとにモジュールを選定する必要があるが、発電事業者または設計者に周知されているか不明であり、現状では太陽電池モジュールの選定に誤りが生じる可能性があるため、太陽電池モジュール選定の際は仕様書が示す耐荷重値が試験荷重と設計荷重のどちらを示しているかモジュールメーカーに確認することが望ましい。また、多

雪区域では長期的に積雪荷重が作用するため、それに耐えうる安定した品質の太陽電池モジュールを選定する必要がある。現時点では長期的に作用する荷重に対しての太陽電池モジュールの耐荷重値を決定するための試験等がないが、長期的な荷重に対しても将来的に太陽電池モジュールのフレーム変形やセル割れ等が生じる懸念がある(5.2 太陽電池モジュールの長期荷重に対する強度評価)ため、十分な安全係数を確保することが重要である。

部材の材質については現地調査で「鋼製、アルミニウム合金製、単管製、複合(鋼製+アルミニウム合金製等)、その他」までを分類することとしているが、構造計算書作成時にはこれらの材質がアレイ支持物の強度に大きく影響するため、材料の強度区分を設計担当者(架台メーカー)に問い合わせる必要がある。ただし、設計担当者(架台メーカー)から情報を入手できない場合は、当該部材の強度試験や分析によって材料の強度区分を確認することが望ましい。また、強度試験用の部材の用意(余材がない場合)や費用・期間の観点から強度試験や分析によっても使用材料の強度区分を定めることができない場合は、表 3.6.1 に示す材質の強度区分から架台に用いている部材の基準強度を参考に専門家と相談のうえ仮定することとなる。表 3.6.1 に示す鋼材およびアルミニウム合金材の材質は、アレイ支持物で広く使用されており、かつ比較的強度区分が低い材料の例を示している。これら以外の鋼材およびアルミニウム合金材を選定する場合は鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - <sup>3.7)</sup>やアルミニウム建築構造設計規準・同解説 <sup>3.8)</sup>を参考にされたい。

注 例えば、2018 年 9 月 30 日までは電気設備の技術基準の解釈の中で JIS C8955:2004「太陽電池アレイ用支持物設計標準」が引用されていたが、2018 年 10 月 1 日以降は同技術基準の解釈で JIS C8955:2017「太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法」が引用されており、主に設計荷重(風圧荷重)の算定方法が適正化されている。その他にも現在は特殊な設置形態(傾斜地、営農、水上)に応じた太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版等が整備されているため、アレイ支持物の構造安全性を重視する場合は最新の JIS、法令、ガイドラインおよび土木や建築の指針を参照して構造計算を行うことが望ましい。

表 3.6.1 鋼材およびアルミニウム合金材の強度区分の基準強度 F (N/mm<sup>2</sup>)

材質	鋼材	アルミニウム合金材
	SN400 SS400 SM400 SNR400 STK400 SMA400 STKN400 STKR400	A6N01-T5 (A6005C-T5)
基準強度 F	235	175*

※JIS の改定に伴い板厚が  $t \leq 6 \text{ mm}$  で平成 14 年 5 月 14 日国土交通省告示第 409 号の施工後に使用実績が多く一般化された A6N01-T5(A6005C-T5)では 0.2%耐力:205 N/mm<sup>2</sup>, 引張強さ:245 N/mm<sup>2</sup> である。

### 3.7 構造安全性評価(構造計算書の妥当性)

1. 構造計算書を確認して検討項目に不足がないか、検討内容に不備がないかを確認する。
2. 構造計算書の内容が妥当で、強度に問題がない場合、アレイ支持物の構造安全性の評価・回復フローは終了となる。
3. 構造計算書の検討項目の不足や妥当性が確認できない場合、「3.8 構造計算書の再検討」を行う。
4. 構造計算書の評価結果から強度不足が確認された場合、「3.9 補強設計・施工」を検討する。

アレイ支持物の構造安全性を確認するために発電事業者が保持している構造計算書または新たに作成した構造計算書の妥当性評価を行う。構造計算書作成時と同様に構造計算書の妥当性評価を行う場合も構造設計の専門家(一級建築士または構造設計一級建築士等で構造計算書の作成者と異なる第三者)に依頼することが望ましい。また、表 3.7.1 に示す構造計算書の検討項目チェックシートを用いることで、アレイ支持物特有の検討項目についても確認することができるため、構造設計の専門家(一級建築士または構造設計一級建築士等)に依頼する際はこのチェックシートの内容に沿った確認を依頼することが望ましい。

構造計算書の評価する際の基準は、少なくとも太陽光発電所の設置当時の電気事業法、太技省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈などである。発電事業を長期的に継続する場合や太陽光発電所を購入する際は、アレイ支持物の構造安全性の観点から最新の発電用太陽電池設備の技術基準<sup>注</sup>への適合や最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン、地上設置型太陽光発電システムの構造設計例、特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版等に基づいて設計することが望ましい。特に最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドラインや特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版では多雪区域や傾斜地にアレイ支持物を設置する場合は、アレイ面上の積雪と地上に堆積した積雪が繋がることでアレイ支持物の軒先部に沈降荷重が作用することや、アレイ面の風力係数や小地形による風速の割増しがあることが指摘されており、実際、これらの場所に設置されているアレイ支持物は事故が頻繁に発生している。

構造計算書の妥当性確認ができており、アレイ支持物の構造安全性が確保されている場合は、「3.11 設計図書の保管」でこれまで確認および作成した資料を改めて保管し、アレイ支持物の評価・回復フローは終了となる。構造計算書の妥当性確認結果から構造計算書の検討項目の不足や妥当性が確認できない場合は「3.8 構造計算書の再検討」を行う。一方で、アレイ支持物の強度が不足していることがわかった場合は「3.9 補強設計・施工」のフローでアレイ支持物の回復のために補修および補強を行う。

表 3.7.1 構造計算書の検討項目チェックシート

項目	確認内容	評価	
		○	×
設計条件	JIS C8955(2004)に基づいて設計を行っているか		
	JIS C8955(2017)に基づいて設計を行っているか		-
	その他		
	太陽電池モジュールのメーカー名、品番等が明記されているか		
	太陽電池モジュールの重量、寸法が明記されているか		
	モジュールの耐圧荷重が明記されているか		
	許容応力度設計となっているか		
	アレイの配列パターン、傾斜角度が明記されているか		
	基礎形式(杭基礎 or 直接基礎)は記載されているか		
	都市計画区域の内外が明記されているか		
	多雪区域であるか。		
	凍結深度は記載されているか		
	解析ソフトのメーカー名、プログラム名、バージョンは記載されているか		
	使用材料	架台の材質、規格、基準強度、ヤング率などは記載されているか	
使用ボルトの種類、規格、基準強度などは記載されているか			
断面性能(断面積、断面 2 次モーメント、断面係数、断面 2 次半径など)は記載されているか			
防食・防錆方法は記載されているか			
外力の設定 (固定荷重)	モジュールの重量はカタログ等で確認したか		
	架台に PCS・電線を取り付けている場合は架台の荷重として計上しているか		
	接合金具・ボルト等の重量は計上したか		
外力の設定 (積雪荷重)	雪の平均単位荷重(一般の地方・多雪区域)は適切か		
	雪の地上垂直積雪量は適切か		
	確実な滑落方法を確認して勾配係数を設定しているか		
	アレイ高さはアレイ軒先部の沈降荷重を考慮しなくてよい高さか また、十分なアレイ高さが無い場合、沈降荷重を考慮しているか		
外力の設定 (風圧荷重)	設計基準風速は適切に設定しているか		
	地表面粗度区分を適切に設定しているか		
	風力係数は適用範囲内で適切に算定されているか		
	傾斜地に設置している場合、風力係数を算定する際のアレイ面の傾斜角度は地盤面の傾斜角度との相対角度としているか		
	アレイ面だけでなく架台や架台背面の付帯設備に作用する風圧荷重を考慮しているか		
	南北方向だけでなく、東西方向の風圧荷重を考慮しているか		
	支持物構成材に作用する風圧荷重を算定しているか		
外力の設定 (地震荷重)	設計用水平震度は 0.3 以上となっているか。		
	架台に取付く PCS 及び電線の重量を考慮しているか		
	地震地域係数は適切か		
	南北方向だけでなく、東西方向の地震荷重を検討しているか		
外力の設定	一般の地方または多雪区域を確認し、荷重の組合せを決定しているか		
	設置環境(傾斜地等)に応じた荷重を検討しているか		
応力解析	図面と解析モデルの形状および各部材の寸法が一致しているか		
	解析上の支点・節点が図面通りにモデル化されているか(実際の接合状況を模擬できているか)		

	設計荷重が、正しい荷重・方向で入力されているか		
	支持物構成材に作用する風圧荷重を入力しているか		
	単管パイプの緊結金具(クランプ)等で見られる偏心した接合は適切にモデル化されているか		
	モーメント図等に著しく不自然な応力が出ていないか		
	外力の鉛直成分と支点反力の鉛直成分は一致しているか		
	外力の水平成分と支点反力の水平成分は一致しているか		
断面検定 (軽鋼構造)	板要素の幅厚比の検討がすべての部材でOKであるか →NGの場合、部材の有効断面積を求めたか		
	ボルト孔を控除して有効断面積を求めたか		
	山形鋼、溝形鋼の場合... 突出部の無効部分をボルトの本数に応じて求め、有効断面積を求めたか		
	幅厚比制限による有効断面積を求めたか		
	座屈長さ $L_k$ は推奨値を用いたか		
	XY2 方向の細長比を求めたか 1 方向しか求めていない場合、明らかに大きな細長比側か		
	圧縮側フランジは幅厚比制限による有効断面積を求めているか		
	引張フランジとウェブのボルト孔を控除して断面係数を求めているか		
	補正係数 $C_b$ は $M_1$ 、 $M_2$ 、中央モーメントを求めてから算出しているか。また $C_b \leq 2.3$ か		
	はりのウェブの許容せん断応力度を求めているか		
断面検定 (アルミ構造)	ボルト孔を控除して有効断面積を求めているか		
	山形鋼、溝形鋼の場合... 突出部の無効部分をボルトの本数に応じて求め、有効断面積を求めているか		
	座屈長さ $L_k$ は推奨値を用いているか		
	XY 2 方向の一般化有効細長比を求めているか 1 方向しか求めていない場合、明らかに大きな一般化有効細長比側か		
	局部座屈に対する許容圧縮応力度を求めているか		
	引張フランジとウェブのボルト孔を控除して断面係数を求めているか		
	補正係数 $C_b$ は $M_1$ 、 $M_2$ 、中央モーメントを求めてから算出しているか。また $C_b \leq 2.3$ か		
	横座屈長さ $kL_b$ は、材端条件に応じて定めているか		
	はりフランジの局部座屈に対する許容曲げ応力度を求めているか		
	はりウェブの局部座屈に対する許容曲げ応力度を求めているか		
接合部 (鋼構造)	ウェブの許容せん断応力度は板のアスペクト比を用いて求めているか		
	接合金物は強度が保証されたものを用いているまたは強度検討を行っているか		
	ボルトのせん断強度または引張強度の検討はされているか		
	ボルトのピッチ、端あき、縁あき寸法は確保されているか また、上記の寸法を満足しないとき、特別な検討を行っているか		
	部材同士が偏心して取付いている場合、偏心の影響を考慮した検討がされているか		
接合部 (アルミ構造)	長孔を用いている場合、すべりの検討がされているか		
	接合金物は強度が保証されたものを用いているまたは強度検討を行っているか		
	ボルトのせん断強度または引張強度の検討はされているか		
	ボルトのピッチ、端あき、縁あき寸法は確保されているか		

	上記の寸法を満足しないとき、特別な検討を行っているか		
	部材同士が偏心して取付いている場合、偏心の影響を考慮した検討がされているか		
	長孔、ローレット加工の長孔、T 溝・溝ナットが用いている場合、すべりの検討がされているか		
杭基礎	杭の荷重試験(押込、引抜、水平)を行っているか		
	押込・引抜試験の結果に、logP-logS 曲線、P-S 曲線または logP-S 曲線の記載はあるか		
	水平荷重試験で地表面変位 $y_0=0.01\text{m}(1\text{cm})$ の時の荷重荷重を測定しているか		
	建築基礎指針 6.6 節の方法で収斂計算を行って水平地盤反力係数 $K_h$ を求めているか		
	長い杭の条件: $\beta L < 2.25$ を満足しているか( $\beta$ 算出時に杭の腐食しろは見込んでいない) 満足していない場合、短い杭として他の方法で水平地盤反力係数 $K_h$ を求めたか		
	鋼管杭の許容応力度は局部座屈を考慮した基準強度を用いて求めているか		
	杭の断面検定は腐食しろ(片面 1mm)を見込んだ断面で求めているか		
直接基礎 <sup>注1</sup>	礫層の SWS 試験結果は無視しているか(オペレータのメモによる)		
	長期、短期時ともに接地圧は地盤の許容応力度以下か		
	浮上り 架台の重量(基礎を含む) $\geq 1.5 \times$ 風による浮上り力 <sup>3.1)</sup> となっているか		
	転倒 支持物の自重による抵抗モーメント $\geq 1.5 \times$ 水平力による転倒モーメント <sup>3.1)</sup> となっているか		
	横移動 基礎による抵抗力 $\geq 1.5 \times$ 水平力 <sup>3.1)</sup> となっているか。		
	基礎部材の断面算定をおこなっているか		

注 1: 直接基礎における安定計算時の 1.5 は安全率を示している。これについては最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドラインを参考にされたい。

### 3.8 構造計算書の再検討

1. 構造計算書の妥当性評価で検討項目の不足や妥当性が確認できない箇所がある場合、アレイ支持物の構造安全性の評価ができないため、構造計算書の再検討を行う。
2. 再検討後は構造安全性評価を行い、アレイ支持物の強度に問題がない場合は評価・回復フロー終了となるが、強度不足が確認された場合は「3.9 補強設計・施工」を検討する必要がある。

アレイ支持物の構造計算書の妥当性確認結果から検討項目が不足している場合や内容や検討方法が誤っている場合はそれらの項目について再検討を行う。再検討を行う場合についても表 3.7.1 の構造計算書の検討項目チェックシートをもとに設計担当者(架台メーカー等)に依頼することが望ましい。ただし、何らかの都合で設計担当者(架台メーカー等)が対応できない場合は「3.6 構造計算書の作成」と同様の手順で構造設計の専門家(一級建築士または構造設計一級建築士等)に依頼する。

依頼する場合の基準は構造計算書作成時や妥当性評価時と同様に、少なくとも太陽光発電所の設置当時の電気事業法、太技省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈などに準拠する必要がある。発電事業を長期的な継続や太陽光発電所を購入する際は、アレイ支持物の構造安全性の観点から最新の発電用太陽電池設備の技術基準への適合や最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン、地上設置型太陽光発電システムの構造設計例、特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版等に基づいて設計することが望ましい。

### 3.9 補強設計・施工

1. 架構が不安定構造の場合には安定構造となるように部材追加等を行う。
2. 架台部材の強度が不足している場合には部材応力の低減のため、部材追加または部材断面性能の向上等を行う。
3. 接合部の強度が不足している場合、または接合部のすべりが懸念される場合は接合部を補強する。
4. 杭基礎の鉛直支持力および引抜・水平抵抗力や直接基礎の安定性が不足している場合は基礎の補強をする。
5. 部材の腐食や設計で想定される荷重以外での部材の変形や太陽電池モジュールの割れがある場合には部材および太陽電池モジュールの取り換えを行う。

構造計算書の確認結果から構造安全性が確保できていない場合や現地調査で異状があった場合は補強方法、補強内容等の検討や材料の取り換えを行う必要がある。アレイ支持物の補強を行う場合はアレイ支持物の強度変更を伴うため、電気事業法および電気事業法施行規則に準拠し、最新の技術基準に適合する必要があることにも留意されたい。

アレイ支持物(架台)の構造部材の強度不足が懸念される場合は新たに部材の追加や断面性能が向上した部材への取り換え(例えば板厚を厚くする)等の処置を講じる。本ガイド導入編 3.1.8 積雪時における架台部位および材質別の被害事例の分析結果から太陽電池アレイ軒先部に作用する積雪荷重(沈降荷重)によって破損する事例が多い傾向が得られたが、これについては、軒先部に沈降荷重が作用しないようにアレイ支持物の高さを高くするか、軒先部に沈降荷重が作用しても破損しないような補強を行う等の対策が必要である。この際のアレイ支持物の補強としてはアレイ軒先部が下方向に折れ曲がらないように柱材や斜材等を取り付ける方法が考えられ、その際の構造安全性については構造計算によって確認する。

接合部の強度不足が懸念される場合は接合部の強度向上のための措置を講じる。本ガイド導入編 3.1.7 強風時における架台部位および材質別の被害事例の分析結果ではアルミニウム合金製架台の接合部で破損が多く、特に長孔やT溝、溝ナットを用いた接合部での滑りが発生している傾向が得られた。これについては長孔の長さ方向に荷重が作用した時に滑りが生じないような防止措置を講じる。アルミニウム合金製架台における接合部の滑り防止措置に関しては、補強方法の一例を示し、実証実験によってその有効性を確認したため、本ガイド構造土木編の 5.6 アルミニウム合金製架台の接合部補強技術を参考にされたい。

当該補強技術を採用する際は対象の接合部に作用する荷重を適切に評価した上で接合部に要求される強度を満足していること確認する必要がある。特に接合部に作用する荷重はアレイ支持物の設置場所や架構で異なるため、それぞれ設置するアレイ支持物ごとに個別で確認する。

アレイ支持物(基礎)では杭基礎の場合、鉛直支持力、引抜・水平抵抗力、直接基礎の場合、安定性が不足していることが想定されるため、これらに関する補修または補強を行う必要がある。アレイ支持物は基本的に軽量であるため杭基礎の場合は引抜き力、直接基礎の場合は浮上がり力に対する補強が重要となる。杭基礎の補強方法としては杭基礎周辺の地盤を掘削し、掘削した箇所にコンクリートを打設する等の杭状補強<sup>3.1)</sup>、増し杭およびアンカーを用いた引抜き抵抗力の補強等が考えられる。特にアンカーを用いた補強技術としては既設の太陽光発電所での使用を想定し、狭隘地でも施工可能な補強技術<sup>3.9)</sup>があるため参考にされたい。一方で直接基礎の補強については基礎の底面積および重量の増加を目的としたコンクリート

の増し打ちが有効である。ただし、杭基礎の補強時と同様に既設の太陽光発電所に補強施工を行うためのスペースが存在することも重要である。アレイ支持物の設置場所や設置されているアレイ支持物の条件次第では鉛直支持力や水平抵抗力の補強が必要となるが、その場合においても前述の対策を講じることで補強が可能である。

設置されているアレイ支持物に腐食が生じている場合は部材の劣化によりアレイ支持物強度の低下が懸念されるため、塗装等の防錆処理によって補修や必要に応じて部材の取り換え等を行うことが望ましい。

表 3.9.1 各補強箇所の対応策のまとめ

対象箇所		補修・補強方法
支持物	架台	構造部材 ・部材の追加 ・断面性能が向上した部材への取り換え (例 板厚を厚くする、断面高さを大きくする等)
		接合部 ・ボルトによる接合への変更 ・すべりが生じないような対策 (5.6 アルミニウム合金製架台の接合部補強技術等)
	基礎	杭基礎 ・杭状補強 <sup>3.1)</sup> (杭基礎周辺の地盤を掘削し、掘削した箇所にコンクリートを打設する) ・根巻き ・アンカーを用いた補強 ・増し杭による補強
		直接基礎 ・重量の増加を目的としたコンクリートの増し打ち ・底面積の増加を目的としたコンクリートの増し打ち

### 3.10 発電事業の継続可否

1. アレイ支持物の補修・補強の内容および工法から現地への材料の運搬や施工等の作業可能な空間があることを確認する。
2. 作業空間が確保できない場合は太陽光発電所として継続することができないと判断されるため、発電所の(一部)撤去等を検討する。

太陽光発電所の敷地内における状況から作業空間や保守通路が確保されていない場合、アレイ支持物の補修・補強に関する作業や材料の運搬等ができない懸念がある。特に太陽光発電所が設置当時の電気事業法、省令などの関連法令、電気設備の技術基準の解釈などに適合していない場合は補修・補強が必須となるが、補修・補強のスペースがない太陽光発電所は一部のアレイを撤去し、補修・補強のためのスペースを確保した上で作業を行うか、太陽光発電所を撤去し、敷地の原形復旧することも選択肢に入れる等の適正な判断を行う。

### 3.11 設計図書の保管

1. 設計図書が揃っている場合や新たに作成した場合、設計図書を保管する。
2. アレイ支持物の補強、補修や構造計算書の不備により設計変更が生じた場合は最新の設計図書を保管する。

アレイ支持物の構造安全性が確保されていることを発電事業者が対外的に立証できるようにするために、保管または新たに作成した設計図書を保管しておくことを原則とする。設計図書とは「3.1 設計図書の有無」記載した各種構造図面や構造計算書等を示す。また、強度不足により補強補修を行ったアレイ支持物の各種構造図面、構造計算書の不備不足によって構造計算書を再作成および変更、アレイ支持物の腐食や太陽電池モジュールの割れ等によって部材および太陽電池モジュールを取り換えた等の場合はこれらの設計、施工行為がわかるように最新の設計図書および施工状況がわかる資料を保管する。

#### 【参考文献】

- 3.1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、国立研究開発法人産業技術総合研究所他: 地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025 年版、2025
- 3.2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社 奥地建産: 地上設置型太陽光発電システムの構造設計例 - 鋼製架台 -
- 3.3) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、営農型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版、2023
- 3.4) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版、2023
- 3.5) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、水上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版、2023
- 3.6) 公益社団法人 地盤工学会、地盤調査基本と手引き、2013 年 9 月
- 3.7) 一般社団法人日本建築学会、鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - 、2005 年 9 月
- 3.8) アルミニウム建築構造協議会 一般社団法人日本アルミニウム協会、アルミニウム建築構造設計規準・同解説、平成 28 年 3 月
- 3.9) 木村 堯、斉藤 聖司、古部 悟、宇賀神 修一、太陽光アレイ用基礎杭の補強技術の開発、日本太陽エネルギー学会 2023 年研究発表会講演論文集、p. 123-126 (2023)

#### 4 地盤における評価・回復技術のフロー

太陽光発電所の公衆安全、発電事業継続およびストック量を維持するためにはアレイ支持物の構造安全性だけでなく地盤の安全性も必要不可欠である。本ガイドでは太陽光発電所の敷地内地盤における評価・回復に係るフローチャートを示し、各プロセスで使用可能な評価・回復技術を示した。

なお、地盤に変状がある場合には設置時点の状態に回復させることが原則であるが、同様の変状が発生する懸念があるため、評価・回復時点における最新の関係法令や技術指針等に適合した要求性能まで改善施工することが望ましい。

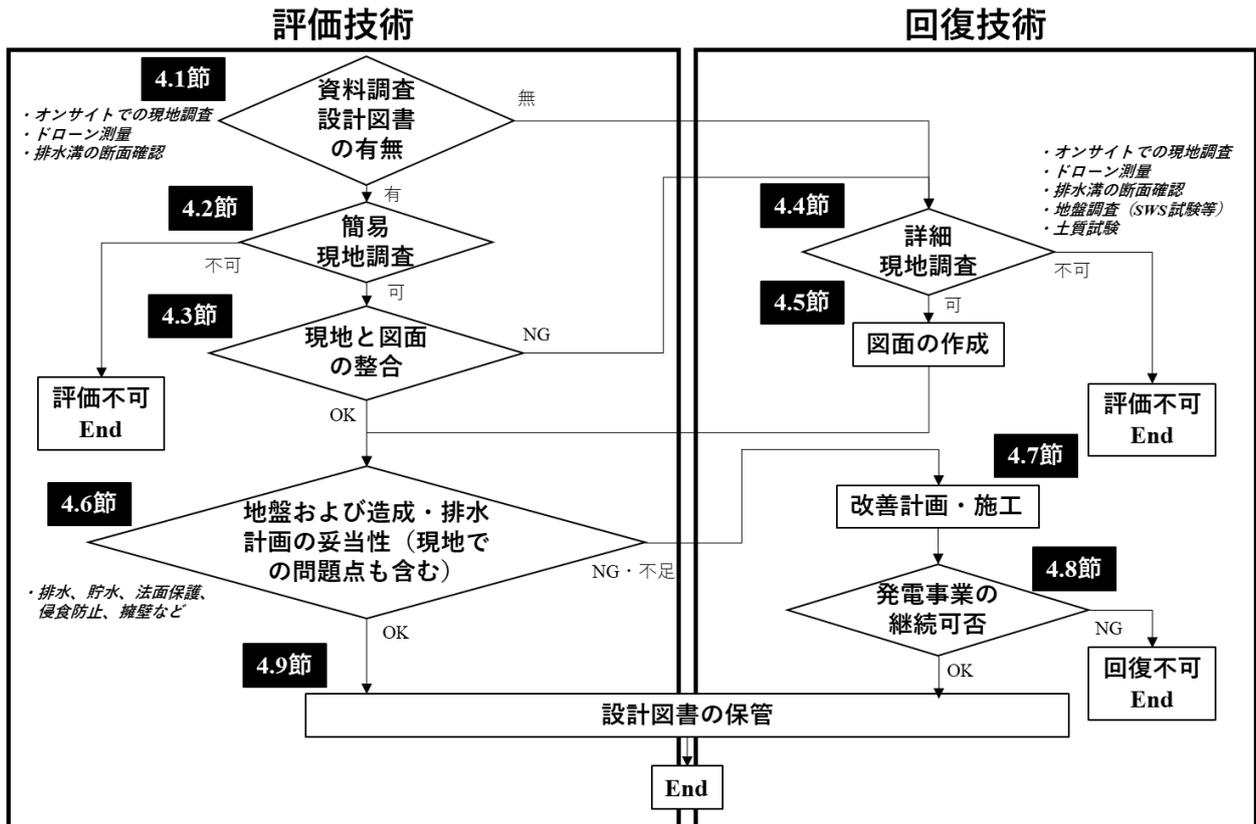


図 4.1 太陽光発電所の地盤における評価・回復に係るフローチャート

#### 4.1 資料調査(資料・設計図書の評価)

1. 対象の太陽光発電所がハザード内(土砂災害警戒区域、土砂災害危険箇所)に設置されているか確認する。
2. 造成・排水計画に必要な設計図書が揃っていることを確認する。
3. 設計図書が無いまたは不足している場合、既往の地盤調査資料や各種文献などを用いて、必要な地盤の情報を補う。
4. 必要な設計図書および資料が揃っている場合は「4.2 簡易現地調査」、揃っていない場合は「4.4 詳細現地調査」を行う。

太陽光発電所の設置場所が、土砂災害防止法<sup>注1</sup>に基づいた土砂災害(特別)警戒区域、国土交通省の要請により各都道府県が調査を実施した土砂災害危険箇所、さらに林野庁が定める調査要領に基づき判定された山地災害危険地区に該当するか確認する。一方、砂防法、急傾斜地法<sup>注2</sup>、地すべり等防止法、森林法による指定区域(地区)内にあるかについても、再度、確認を行う。これらの区域(地区)に指定されている場合は、調査結果等から斜面地盤に関する災害(土石流、地すべり、急傾斜地の崩壊等)が発生する可能性が高いため「4.7 改善計画・施工」のフローで土石流、地すべり、急傾斜地の崩壊に関する対策を講じる。

太陽光発電所の設置場所が林地開発許可制度の対象となっている場合は申請時に提出した設計図書が整理されていると想定されるが、対象外の場合は、必要な設計図書が整理されていないと想定されるため、既往の地盤調査資料や各種文献を用いて必要な地盤情報を補う。地盤関連で必要な設計図書および資料を表 4.1.1 に示す。

注 1: 土砂災害防止法: 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律

注 2: 急傾斜地法: 急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律

表 4.1.1 地盤評価に必要な設計図書の例

No.	項目	図書および資料名
①	事前調査資料 ※最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドラインおよび傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版の事前調査により取得した基礎情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資料調査結果</li> <li>・現地調査結果</li> <li>・地盤調査</li> <li>・測量成果等</li> </ul>
②	設計図書	<ul style="list-style-type: none"> <li>・造成計画の計画根拠資料</li> <li>・地盤の支持力検討結果</li> <li>・地盤改良, 凍上対策検討結果</li> <li>・斜面安定検討結果</li> <li>・滑動崩落防止対策工, のり面保護工検討結果</li> <li>・排水施設検討結果</li> <li>・その他, 施設整備に当り地盤に係る検討結果</li> <li>・上記に基づき作成された設計図面, 使用材料</li> </ul>
③	竣工図書	<ul style="list-style-type: none"> <li>・竣工図面</li> <li>・出来形管理結果</li> <li>・品質管理結果(使用材料含む)</li> <li>・工事記録写真</li> <li>・追加調査結果(測量, 土質調査結果等)</li> </ul>
④	維持管理に係る資料	<ul style="list-style-type: none"> <li>・維持管理計画書</li> <li>・維持・補修記録</li> <li>・既往の被災, 地盤・排水施設等の変状, 変状記録</li> </ul>
⑤	その他資料	<ul style="list-style-type: none"> <li>・関係法令に基づく行政への申請書類等</li> <li>・最新の関係法令, 関連する技術指針等</li> </ul>

## 4.2 簡易現地調査

1. 実際に設置されている排水施設、地盤の傾斜角度等が設計図書に示されているものと一致していることを確認するために現地調査を行う。
2. 現地での地盤および排水施設の状況(侵食、き裂、排水施設の損傷等)を確認する。

地盤に関する設計図書が整理されている場合は、設計図書と一致していることを確認するために現地で排水施設の配置、容量や地盤の傾斜角度等の調査を行う。また、設計通りに設置されている場合でも排水施設や地盤に関する変状が生じている可能性があるため、施設の設置状況や変状の有無についても確認する。地盤に関する現地調査についても表 4.2.1 に示す現地調査チェックシート(地盤)を作成した。この現地調査チェックシート(地盤)は目視調査によることを基本とし、簡易な計測機器を用いて施設寸法や変状の程度等の計測を行う内容となっており、これに沿って調査を行うことで、非専門家でも図面と整合性評価(専門家による2次評価の前に実施する1.5次評価)が可能なデータを現地調査で抽出することが可能である。ここでの専門家は、有識者、地盤調査会社、建設コンサルタント会社、関連資格保有者(技術士-建設部門-土質及び基礎、応用理学部門等、地盤品質判定士)などが該当する。

「地盤の確認」では対象の太陽光発電所における敷地内および敷地境界付近での地盤およびのり面を網羅的に調査し、異状や潜在リスクを確認する項目である。「排水施設の確認」についても「地盤の確認」と同様に敷地内を網羅的に調査し、排水路および調整池の有無、形状、異状等を確認する。これらは太陽光発電所の敷地を全体的に調査し、目視によって地盤および排水施設の損傷・異状箇所を確認する項目である。それぞれ確認すべき項目の損傷および異状例を表 4.2.2 に示す。

アレイ支持物の調査で確認するため調査項目としては記載していないがアレイ支持物の高さが低く、敷地内に広い面積で隙間なくアレイが設置されている場合は、地盤の状況が確認できないため「評価不可」という判断になる。

表 4.2.1 現地調査チェックシート(地盤)

番号	評価内容	評価結果
<b>1</b>	<b>地盤の確認</b>	
1.01	地盤の沈下、斜面崩壊	あり、なし
1.02	敷地外への土砂流出	あり、なし
1.03	地表面の異状(沈下、水平変位)	あり、なし
1.04	擁壁、のり面保護工の異状(隆起・はらみ出し)	あり、なし
1.05	地表面の異状(湧水)	あり、なし
1.06	地表面の異状(き裂)	あり、なし
1.07	地表面の侵食(リル・ガリ)	あり、なし
1.08	のり面保護工の有無	あり、なし
1.09	のり面保護工の種類	道路土工 盛土工指針 P.145 解表 4-8-1 等
1.10	のり面保護工の劣化、変形、破損の有無	あり、なし
<b>2</b>	<b>排水施設の確認</b>	
2.01	排水路の有無	あり、なし
2.02	横排水路の断面形状(東西方向の水路)	幅 mm
		深さ mm
2.03	縦排水路の断面形状(南北方向の水路)	幅 mm
		深さ mm
2.04	排水路の異状(土砂等による詰まり)	あり、なし
2.05	排水路の異状 (排水路周りの洗堀・倒れ・浮き上がり)	あり、なし
2.06	排水路の異状(越水または跳水痕)	あり、なし
2.07	排水路の種類	コンクリート、コルゲート等
2.08	排水路の構造	明渠、暗渠等
2.09	調整池の有無	あり、なし
2.10	調整地の形状	縦 mm
		横 mm
		深さ mm
2.11	調整池の異状(堆砂)	あり、なし
2.12	調整池の異状(その他)	あり、なし
2.13	調整池の堆積土砂の定期的な除去	あり、なし
2.14	敷地外への越水防止用堤体の有無	あり、なし
2.15	越水防止用堤体の劣化や変形、破損の有無	あり、なし

表 4.2.2 表 3.2.2 地盤および排水施設の損傷および異状例

番号	チェックシート No.	写真	事象	最終的なリスク
1	1.01		のり面の侵食、フェンスの傾き	のり面崩壊、土砂崩壊による周辺への被害および敷地外への土砂流出
2	1.01		のり面の崩壊	敷地外への土砂流出、支持物の破損や飛散
3	1.02		地盤の侵食による基礎の露出	基礎の安定性および支持力の低下および基礎の飛散
4	1.03		地盤の沈下	基礎の支持力不足、支持物の破損および飛散
6	1.06		地割れ(地盤亀裂)	基礎の支持力の低下および支持物の破損、飛散、崩壊
7	1.07		地盤侵食	敷地外への土砂流出、基礎の支持力の低下、支持物の破損および飛散

8	2.04		排水路の土砂や枝葉の詰まり	排水機能の低下、敷地外への土砂流出
---	------	---	---------------	-------------------

#### 4.3 実物と図面の整合性評価

1. 実際に設置されている排水施設、地盤の傾斜角度等と設計図書に示されるものが一致しているか確認する。
2. 実際に設置されている排水施設、地盤の傾斜角度等が設計図書と一致している場合は地盤および造成・排水計画の妥当性確認を行う。
3. 実際に設置されている排水施設、地盤の傾斜角度等が設計図書と一致していない場合は、地盤および造成・排水計画の妥当性が確認できないため、図面作成のために「4.4 詳細現地調査」を行う。

地盤および造成・排水計画の妥当性を確認する時に、実際に設置されている排水施設、地盤等の傾斜角度と設計図書に示される排水施設、地盤の傾斜角度等が一致している必要があるため、簡易現地調査の結果に基づいて実物と設計図書の整合性評価を行う。

実際に設置されている排水施設、地盤の傾斜角度等と設計図書に示される排水施設、地盤の傾斜角度等が一致している場合、設計図書から地盤および造成・排水計画の妥当性を確認するために「4.6 地盤および造成・排水計画の妥当性評価」を行う。一方で、一致していない場合、設計図書の妥当性が確認できないため、「4.4 詳細現地調査」を行い、新たに設計図書を作成する。

#### 4.4 詳細現地調査

1. 排水施設の形状や配置等のデータを収集する。
2. 現地での地盤および排水施設の状況(侵食、き裂、排水施設の損傷等)を確認する。
3. 敷地内における地盤の傾斜角度がわかるデータを収集する。
4. 必要に応じて地盤データ(地質調査やボーリング調査)を収集する。

設計図書が揃っていない(保管されていない場合も含む)場合や実際に設置されている排水施設、地盤の傾斜角度等が設計図書に示される排水施設、地盤の傾斜角度等と一致していない場合、地盤および造成・排水計画の妥当性を確認することができない。したがって不備・不足のある設計図書や現地での地盤および排水施設の変状などに関するデータを収集する必要がある。基本的な調査は「4.2 簡易現地調査」と同様に表 4.2.1 の現地調査チェックシート(地盤)を用いて行う。排水施設の配置の不一致や浮き上がり等の変状、排水施設周りの地盤の侵食、洗堀等が生じている場合は設計通りに排水等が行われていない懸念があるため、注意して確認されたい。主任技術者が配置されている設備の場合、雨天時の排水状況を主任技術者に確認することも有効である。

敷地内における地盤の傾斜角度がわかるデータ収集については専門家に依頼して測量を行うことが一般的であるが、大・中規模の太陽光発電所の場合は工数がかかるため、ドローンによる写真撮影やレーザー測量によって得られる地盤の傾斜角度等も工数の削減に有効であると予想される。ドローンで撮影した画像データは 3D 化および寸法測定にも活用できるため地盤傾斜角度に関する図面作成や排水施設等の配置等を把握するために有効な技術である。また、敷地外への土砂流出および敷地内での地盤の崩壊が確認できた場合は、発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令に違反するため、必要に応じて地質調査やボーリング調査等の地盤データの収集した上で、「4.7 改善計画・施工」で早急に対策を講じる。

「4.2 簡易現地調査」と同様にアレイ支持物の高さが低く、敷地内に広い面積で隙間なくアレイが設置されている場合は、地盤の状況が確認できないため「評価不可」という判断になる。

#### 4.5 図面の作成

1. 現地調査で収集したデータから排水施設の形状や配置等の図面を作成する
2. 敷地内における地盤の傾斜角度に関するデータから敷地の図面を作成する。

詳細現地調査で収集したデータもとに各種設計図書の作成を行う。各種設計図書は地盤および造成・排水計画の妥当性評価時に使用するため、専門家等に依頼し、CAD データ等で作成することが望ましい。ここでの専門家は、有識者、地盤調査会社、建設コンサルタント会社、関連資格保有者(技術士-建設部門-土質及び基礎、応用理学部門等、地盤品質判定士)などが該当する。

#### 4.6 地盤および造成・排水計画の妥当性評価

1. 地盤および造成・排水計画に検討不足がないか、検討内容に不備がないかを確認する。
2. 林地開発時と土地の用途が変更されていないかを確認する。
3. 地盤および造成・排水計画図面の内容が妥当で、現地の状況に不備がなければ地盤の評価・回復フローは終了となる。
4. 新たに設計図書(配置図、排水施設の断面形状)を作成した場合、既存の排水施設の性能や容量等に不足がなければ特に問題ないが、不足がある場合は「4.7 改善計画・施工」となる。
5. 現地調査時に地盤に関する問題点(侵食、き裂、排水施設周辺)がある場合、「4.7 改善計画・施工」となり、地盤の回復および排水施設等を追加する。

前項までに収集・整理した資料ならびに設計図書をもとに、最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン<sup>4.1)</sup>、傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版<sup>4.2)</sup>「6. 造成計画」に照らして、検討項目・内容に不備が無いかを確認する。

ガイドラインにはのり面の傾斜角度や小段の設置、排水計画、のり面保護工の計画など、基本的な事項のみを示しているため、技術的な評価に当っては同ガイドライン内で参考文献として示した、林野庁「開発行為の許可基準等の運用について」<sup>4.3)</sup>、大規模盛土造成地の滑動崩落対策ガイドライン<sup>4.4)</sup>、道路土工要綱<sup>4.5)</sup>、切土工・斜面安定工指針<sup>4.6)</sup>、盛土工指針<sup>4.7)</sup>、下水道施設計画・設計指針と解説<sup>4.8)</sup>などの技術指針を参考にすることができる。

太陽光発電設備を設置している自治体によっては、条例・規則等で個別に具体的な規定を設けている場合がある(山梨県:山梨県太陽光発電施設の適正な設置及び維持管理に関する条例、兵庫県:太陽光発電施設等と地域環境との調和に関する条例等)ため留意が必要である。

林地開発申請時の土地の用途が太陽光発電所の設置以外(例えばゴルフ場等)となっており、現在太陽光発電所が設置されている場合は土地の用途の変更に伴い、造成・排水計画の条件も変更されるため、必要に応じて「4.7 改善計画・施工」で排水施設の追加等を検討する。

なお、妥当性評価に当っては、太陽光発電所の設置時点における状態に回復させることが原則であるが、再発の可能性があるため評価・回復時点における関係法令や技術指針、最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン<sup>4.1)</sup>、地上設置型太陽光発電システムの構造設計例<sup>4.9)</sup>、傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版<sup>4.2)</sup>等に適合した要求性能まで改善させることが望ましい。

上記評価に当っては、気象や地形、地質などの自然条件を考慮した適切な設計条件の設定など、多岐にわたる考察が必要であり、これらには専門知識・技術が必要である。このことから、専門家の協力を得ることが望ましい。ここでの専門家としては、有識者、地盤調査会社、建設コンサルタント会社、関連資格保有者(技術士-建設部門-土質及び基礎、応用理学部門等、地盤品質判定士)などが該当する。

#### 4.7 改善計画・施工

1. 排水施設の追加および補修を行う。
2. 地盤の侵食に関する防止措置を行う。
3. ハザードマップ内に設置している太陽光発電所は地盤崩壊や地すべり等が懸念されるため、擁壁や土留め等の設置を行う。
4. 地盤崩壊や地すべり等に関する措置ができない場合は土砂災害等を検知するためのモニタリングや近隣住民への伝達手段等についても検討する。

最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン<sup>4.1)</sup>が公表されるまで太陽光発電設備の設置時における造成計画に係る基本的な考え方が示されていないことから、それ以前に設置された太陽光発電所については検討項目・内容が不足している場合や具体的な検討がなされていない事案が多いと思われる。このような施設や、造成計画の検討書において地盤の安全性が確保出来ない箇所、現地調査により確認された地盤や排水施設の変状については、対策方法を検討し改善計画を立案した上で、確実に対策工を施工する。

また、基本的には太陽光発電所の設置時点における状態まで回復させることが原則であるが、本来は改善時における関係法令や技術指針等に適合した要求性能まで回復させることが望ましい。地盤の改善に関する対策の検討内容やのり面保護工を選定する際には表 4.7.1 に示す図書や表 4.7.2 に示す太陽光発電所で使用されるのり面保護工の特徴を参考にされたい。

これらの検討については参考とする図書や専門家(有識者、地盤調査会社、建設コンサルタント会社、関連資格保有者(技術士-建設部門-土質及び基礎、応用理学部門等、地盤品質判定士))の協力を得ることが望ましい。

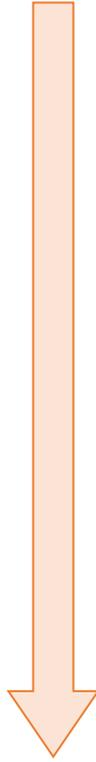
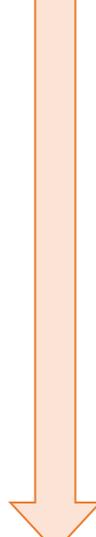
対策工事を行っても要求性能を満足出来ない場合、あるいは要求性能を満足させるための対策工事に高額なコストを要し事業採算が確保出来ない場合等については、太陽光発電所を撤去し、原形復旧することも選択肢に入れたうえで適正な判断を行う。

表 4.7.1 検討内容ごとの参考とする図書

主な検討内容	主に参考とする図書					備考
	道路土工要綱	斜面安定工指針 切土工	盛土工指針	下水道施設計画・設計指針と解説	盛土等防災マニュアルの解説	
排水施設の追加、補修の検討	○	○	○	○	○	
地盤の侵食に対する防止措置		○	○		○	
斜面等の安定性		○	○		○	
地盤崩壊や地すべり等		○			○	注1

注 1) 地盤崩壊や地すべり等に対しては、対策施設にて対応することを基本として考えるが、対策施設設置スペースや施工機械搬入の措置ができない場合は、土砂災害等を検知するためのモニタリングや近隣住民への伝達手段等についても検討する。

表 4.7.2 太陽光発電所で使用されるのり面保護工の特徴

分類	工種	目的	選定条件の目安または留意点	コスト <sup>注</sup>
植生工	種子散布工	侵食防止、植生による早期全面被覆	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1:1.0 より緩勾配、土壌硬度は土砂 23 mm 以下で用いる。</li> <li>・ 主に盛土のり面で用いる。</li> </ul>	低 
	客土吹付工		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1:0.8 より緩勾配、土壌硬度は土砂および礫質土 23 mm 以下で用いる。</li> <li>・ 吹付厚は適用条件により設定する。</li> </ul>	
	植生シート工		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1:1.5 より緩勾配、土壌硬度は粘性土 23 mm 以下、砂質土 27 mm 以下で用いる</li> <li>・ 盛土に適用し、シートはのり面に密着させる必要がある。</li> </ul>	
	植生マット工		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1:0.8 より緩勾配で土壌硬度は粘性土 23 mm 以下、砂質土 27 mm 以下および硬質土砂、岩(植生基材入り)で用いる。</li> <li>・ のり面に密着させる必要がある。</li> </ul>	
	植生基材吹付工		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1:0.5 (木本類を用いる場合は 1:0.6)より緩勾配、土壌硬度は土砂 23 mm 以下および岩等で用いる。</li> <li>・ 吹付厚は適用条件により設定する。</li> </ul>	
	張芝工	芝の全面貼り付けによる侵食防止、早期全面被覆	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1:1.0 より緩勾配で土壌硬度は粘性土 27 mm 以下、砂質土 23 mm 以下で用いる。</li> </ul>	高
構造物工	繊維ネット張工	生育基盤の保持や流下水によるのり面表層部のはく落の防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1:0.8 より緩勾配で、土壌硬度は粘性土 23mm 以下、砂質土 27 mm 以下で用いる。</li> <li>・ 主に岩盤の切土のり面で用いる。</li> </ul>	低 
	金網張工		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1:0.5 より緩勾配で土壌硬度は粘性土 23 mm 以下、砂質土 27 mm 以下で用いる。</li> </ul>	
	じゃかご工	のり面表層部の侵食や湧水による土砂流出の抑制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 砂質土等の侵食されやすい土砂のり面で多量の湧水や表流水による斜面の侵食がある場合に用いる。</li> <li>・ じゃかごの下方は、洗堀を防ぐためにかご径の3倍を確保する。</li> </ul>	
	モルタル・コンクリート吹付工	風化、侵食、表流水の浸透防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ のり面勾配が 1:1.0 より急な岩質のり面。</li> <li>・ のり面に湧水がなく、風化しやすい軟岩などのように浸透水によつてのり面の安定が低下するおそれのある場合、並びに植生を適用できない箇所。</li> </ul>	

注：土木施工単価を目安に判断しているが、敷地の広さ、太陽電池アレイ等の設置状況によってコストは変動する。

出典：日本道路協会「道路土工・切土工・斜面安定工指針(平成 21 年 6 月)」

出典：令和 6 年度北海道開発局道路設計要領 第 1 集 道路 北海道開発局

出典：道路設計の手引き(道路編) 埼玉県県土整備部

出典：林道標準図集 中部森林管理局森林整備課

#### 4.8 発電事業の可否

1. 排水施設の補修・追加や地盤の侵食に関する防止措置等の内容から現地への材料の運搬や施工時に使用する施工機械等の進入および作業可能な空間があることを確認する。
2. 作業空間が確保できない場合は太陽光発電所として安全に継続することができないと判断されるため、発電所を一部撤去した上で作業を行うことや太陽光発電所を撤去し、原型復旧することも検討する。

改善計画・施工が必要な設備の現地での対策工事については、既にアレイ支持物が設置されており、対策施設の設置スペースや進入可能な施工機械等の制約も生じるため、予め施工に係る制約条件を十分考慮しておく。これらのスペースがない場合は、事業採算が確保出来ない場合と同様に太陽光発電所を撤去し、原形復旧することも選択肢に入れたうえで適正な判断を行う。

#### 4.9 設計図書の保管

1. 設計図書が揃っている場合や新たに作成した場合、設計図書を保管する。
2. アレイ支持物の補強、補修や構造計算書の不備により設計変更が生じた場合は最新の設計図書を保管する。

地盤に関する対策がされており、地盤の安全性が確保されていることを発電事業者が対外的に立証できるようにするために、設計図書を保管しておくことを原則とする。設計図書とは「4.1 資料調査(資料・設計図書の評価)」の表 4.1.1 に示す資料を指す。また、地盤の安全性が確保出来ていない箇所や、地盤や排水施設の変状が確認された箇所については、新たに改善計画を立案し、対策工を施工しているため、これらの設計、施工行為がわかるように最新の設計図書および施工状況がわかる資料を保管する。

#### 【参考文献】

- 4-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、国立研究開発法人産業技術総合研究所  
他: 地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2025 年版、2025
- 4-2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: 傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版、2023
- 4-3) 林野庁: 開発行為の許可基準等の運用について、2022
- 4-4) 国土交通省 HP: 大規模盛土造成地の滑動崩落対策ガイドライン  
(<https://www.mlit.go.jp/common/001089012.pdf>)
- 4-5) 社団法人日本道路協会: 道路土工要綱、2009
- 4-6) 社団法人日本道路協会: 道路土工一切土工・斜面安定工指針、2009
- 4-7) 社団法人日本道路協会: 道路土工—盛土工指針、2010
- 4-8) 公益社団法人日本下水道協会: 下水道施設計画・設計指針と解説 2019 年版、2019
- 4-9) 経済産業省 HP: 地上設置型太陽光発電システムの構造設計例  
(<https://www.mlit.go.jp/toshi/web/content/001611436.pdf>)

## 5 評価・回復技術に関する技術資料

### 5.1 太陽電池モジュールの短期許容耐力の評価

#### (1) 背景および目的

太陽電池アレイ支持物の構造設計における要求性能として、許容応力度設計が挙げられる。アレイ支持物(架台・基礎)は構造計算を確認することでそれらの安全性を確認することができるが、太陽電池モジュールについては構造的な許容耐力や終局強度は開示されていない。また太陽電池モジュールの耐久力は IS C61215-2:2020 の機械的静荷重試験で検証されており、当該 JIS では以下のように定義されている。

$$\text{試験荷重} = \gamma_m \cdot \text{設計荷重}$$

ここで  $\gamma_m$  は安全係数を示しており、1.5 以上とされている。試験荷重は当該 JIS の試験方法で検証する荷重、設計荷重は試験荷重と安全係数の積として定義されている。一般的に流通している太陽電池モジュールの仕様書が示す耐荷重値はモジュールメーカーによって表記が異なっており、仕様書に示す耐荷重値が試験荷重か設計荷重の数値であるかが不明であるため、太陽電池モジュール選定の際には注意が必要である。また、近年よく使用されている大型のモジュールや両面発電モジュールについても許容耐力が不明であるため、ここでは複数の太陽電池モジュールについて圧力载荷による破壊試験を行い太陽電池モジュールの短期許容耐力に関して調査した。

#### (2) 試験の内容

モジュールメーカーやモジュール仕様書に示す耐荷重値の異なる 6 種類の太陽電池モジュールを用いて耐風圧試験を行った。耐風圧試験装置はモジュール 1 枚で耐風性能試験が実施できる程度の小型の装置(以下「試験装置」という。)を用いた(図 5.1.1、図 5.1.2)。また、試験では圧力载荷時に試験体のたわみによってモジュールのガラス面がモジュールの支持材に接触することを防ぐために嵩上げ用のブロックを用いて M8 ボルトで接合を行い、試験体を破壊するまで圧力载荷(正圧および負圧)した(図 5.1.3)。なお、嵩上げ用のブロックの詳細は図 5.1.4 に示す。

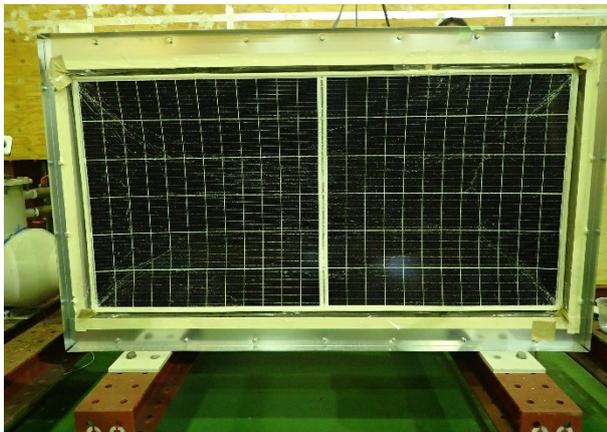


図 5.1.1 耐風圧試験風景

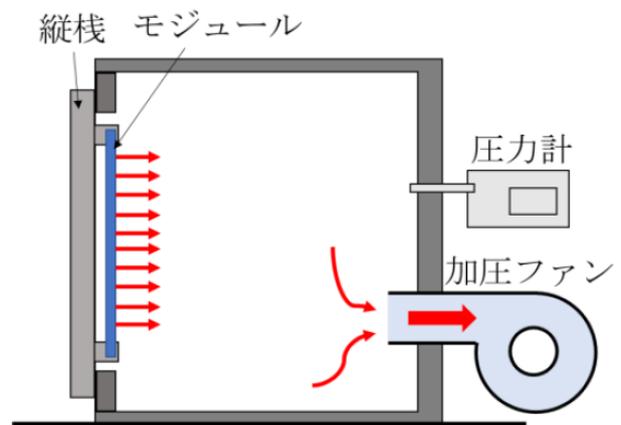


図 5.1.2 耐風圧試験概要

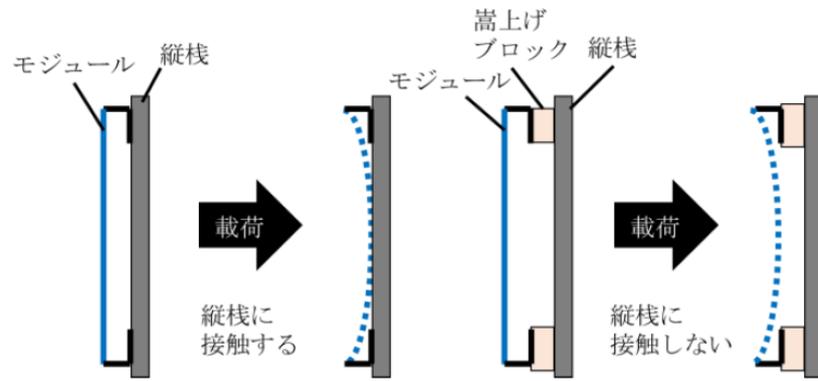


図 5.1.3 試験体の固定方法

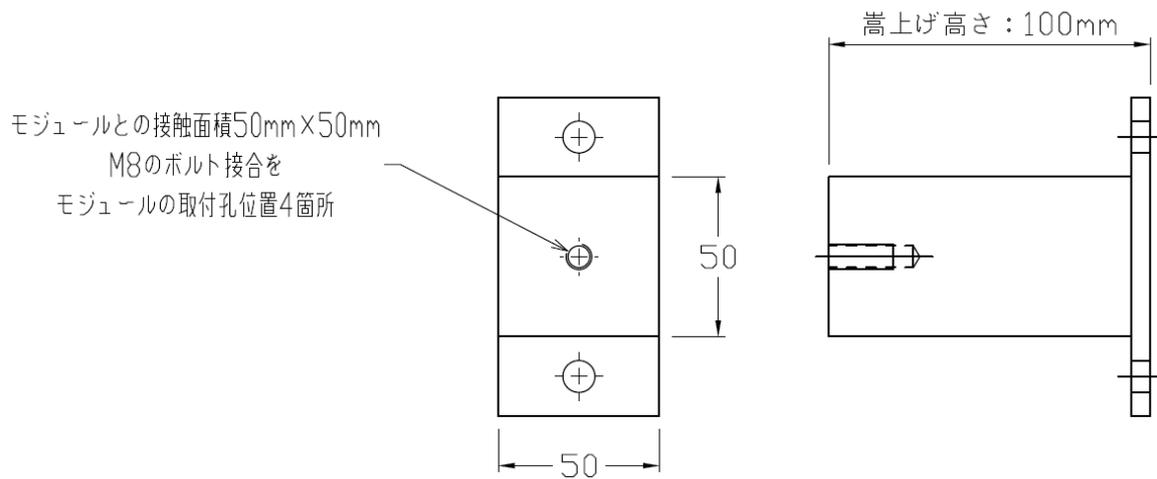


図 5.1.4 嵩上げ用のブロックの詳細図

### (3) 試験結果および考察

各試験体の破壊荷重(正圧、負圧)とそれぞれのモジュール仕様書に記載している耐荷重値の関係を図 5.1.5 および図 5.1.6 に示す。最新の地上設置型太陽発電システムの設計・施工ガイドライン 技術資料 F でも同様の試験を行ったため、これらの結果についても同様に示す。本実験の試験体は、仕様書耐荷重に対して破壊荷重までの裕度が小さい傾向であった。これらの試験体は IEC61215-2:2020「地上設置の太陽電池(PV)モジュールー設計適格性確認及び型式認証ー第 2 部:試験方法」に定義される、試験荷重を太陽電池モジュールの仕様書の耐荷重値と掲載している懸念があるため、太陽電池モジュールを設置する場合は仕様書に示す耐荷重値が試験荷重または設計荷重のどちらを示しているかをモジュールメーカーに対して事前に確認することが望ましい。

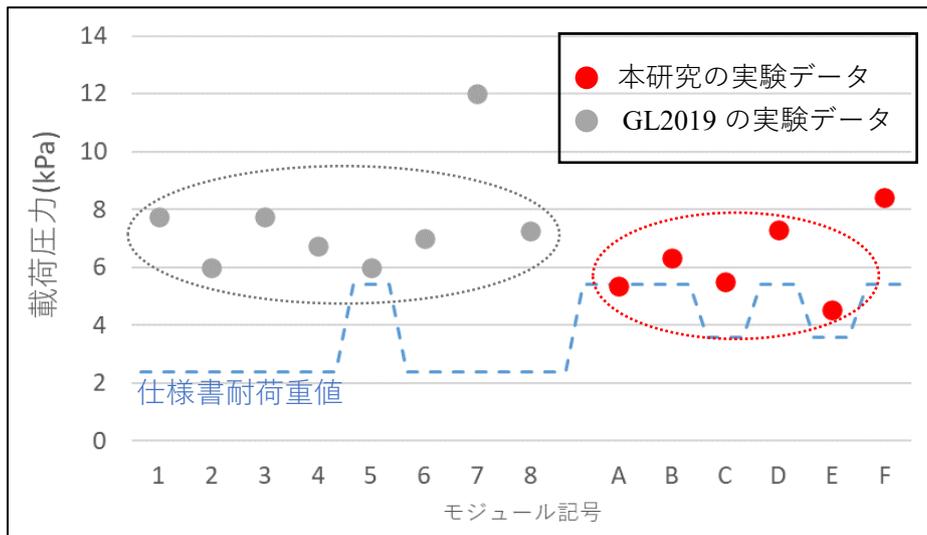


図 5.1.5 正圧の耐風圧試験結果

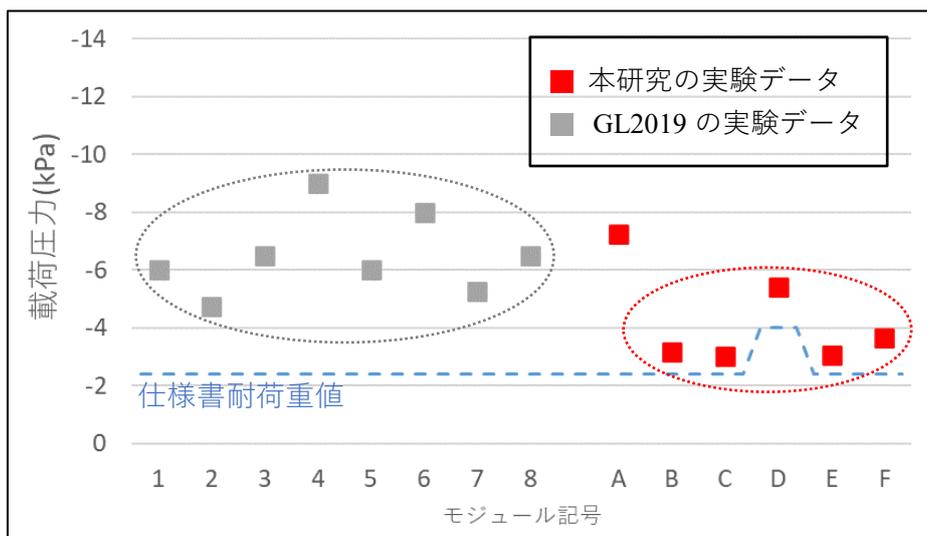


図 5.1.6 負圧の耐風圧試験結果

## 5.2 太陽電池モジュールの長期荷重に対する強度評価

### (1) 背景および目的

5.1 で太陽電池モジュールの短期荷重における許容耐力の調査を行ったが、長期荷重に関する太陽電池モジュールの許容耐力についても多くのモジュールメーカーは明確なデータを提供していないのが現状である。ここでは、多雪地域で想定される長期的な積雪荷重を模擬し、太陽電池モジュールの長期許容耐力に関する強度評価を調査した。

### (2) 試験内容

サイズの異なる 2 種類のモジュールを試験体(写真 5.2.1、写真 5.2.2)として選定し、砂袋による載荷を行った。載荷荷重は各太陽電池モジュールの仕様書に示される耐荷重値をもとにそれぞれ 2400Pa、3600Pa の 2 種類とした。砂袋の載荷期間は長期の積雪荷重を想定し、1 年間のうちの 3 か月間とし、載荷時の変位測定および荷重を取り除いた際に残留変位の測定および目視による観察を行った。なお、モジュールの取付方法は 5.1 節の短期荷重試験と同様である。



写真 5.2.1 60 セルモジュール(面積:1.6m<sup>2</sup>)



写真 5.2.2 ワイドモジュール(面積:2.0 m<sup>2</sup>)



写真 5.2.3 砂袋載荷(2400 Pa)



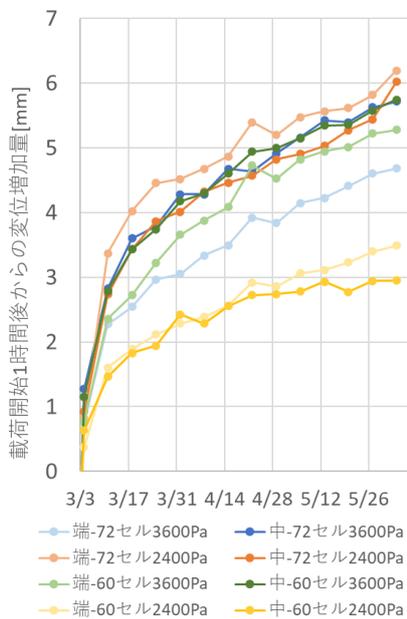
写真 5.2.4 砂袋載荷(3600 Pa)

### (3)試験結果および考察

載荷開始 1 時間後からの太陽電池モジュールの変位量を図 5.2.1 に示す。また、載荷時の変位測定結果および荷重を取り除いた時の残留変位測定結果については、短期荷重試験の結果と比較した(表 5.2.1)。砂袋を載荷した直後の太陽電池モジュールの変位は短期荷重の試験結果と比較して大きな違いはなかったが、徐々に変位が増加し、3 か月後の試験終了時には全ての太陽電池モジュールで短期荷重の試験結果より変位、残留変位ともに大きくなる傾向が得られた。目視による観察では、ガラス割れはなかったが、ボルト固定部付近でアルミフレームに塑性変形がみられた(写真 5.2.5 および写真 5.2.6)。

本調査では 1 年間のうちの 3 か月間を想定して載荷を行ったが、多雪地域に設置しているアレイ支持物では毎年同じような長期荷重が継続して作用し、モジュールのガラス割れ等による破損も懸念されるため、多雪地域に太陽光発電所を設置する際は太陽電池モジュールの長期荷重に関する強度特性についても調査することが望ましい。

表 5.2.1 長期荷重および短期荷重載荷試験結果の比較



モジュール仕様	載荷 [Pa]	試験条件	載荷時変位 [mm]		残留変位 [mm]	
			端部	中央	端部	中央
60セル L1650mm W991mm H40mm	2400	短期	15.4	27.7	0.3	1.0
		長期	18.5	28.2	2.7	3.8
	3600	短期	25.1	39.6	0.7	2.2
		長期	29.6	42.6	4.6	5.3
72セル L2008mm W1002mm H40mm	2400	短期	31.8	44.3	1.4	0.2
		長期	35.5	46.4	5.9	5.9
	3600	短期	49.4	67.4	3.0	1.2
		長期	48.0	71.7	7.6	6.1

図 5.2.1 載荷開始 1 時間後の変位増加量

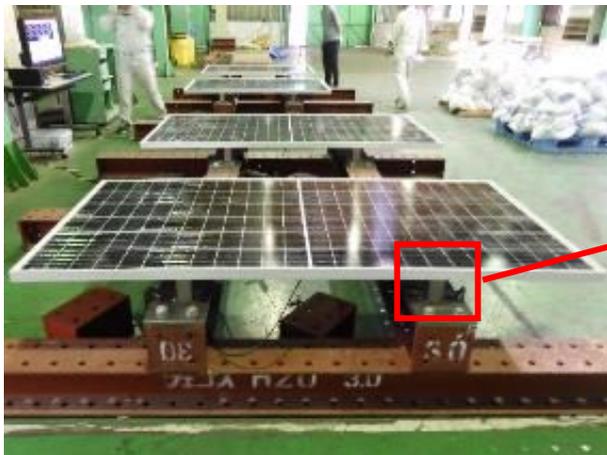


写真 5.2.5 ワイドモジュール除荷時の状況



写真 5.2.6 アルミフレーム変形位置拡大

### 5.3 設計図面の作成支援ツール

#### (1) 背景および目的

既設の太陽光発電所ではアレイ支持物の構造図面や構造計算書が整備されておらず、アレイ支持物の構造安全性を確認することができないケースが多い。このような場合は構造図面や構造計算書を新たに作成する必要がある。そのためには現地調査でアレイ支持物の架構フレームやその寸法を詳細に記録することが求められるが、これらの作業は工数がかかるため、オンサイトで非専門家でもアレイ支持物の架構フレームやその寸法等の情報収集可能な測定の支援技術について調査を行った。

#### (2) 調査内容

当該技術は 360°カメラで撮影した全天球画像から簡易的な 3 次元図面(フレーム図)を作成することができるソフトウェアで対象のアレイ支持物における架構フレームや寸法を捉えることや作成した図面を CAD データとして出力することが可能であるため、現地調査において工数削減に有効である。

計測データの精度を確認するためにフィールドテストにより、360°カメラで写真撮影を行った。本技術は、撮影時の 360°カメラの高さ(写真 5.3.1)と、測量した数値を補正するために基準となるスケール(箱尺等)を撮影対象物とともに撮影することが必要である(写真 5.3.2)。なお、測定データの精度を向上させるためには、360°カメラは水準器を用いて垂直に設置することや、測量値補正用の箱尺は水平面上か垂直に設置することが望ましい。



写真 5.3.1 360°カメラの  
高さ位置確認

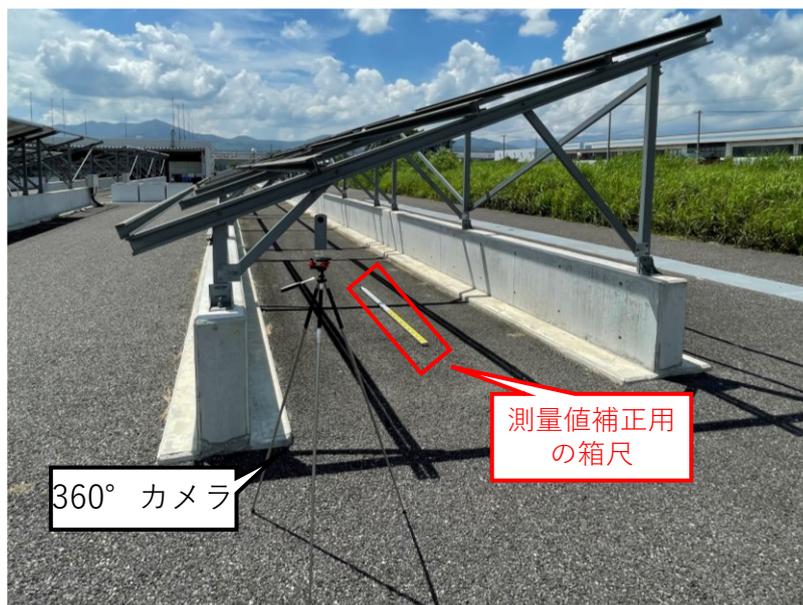


写真 5.3.2 360°カメラを用いた写真撮影状況

### (3) 調査結果

撮影した写真データから 3 次元図面(フレーム図)の作成を行った(図 5.3.1)。比較のための調査対象における架台の寸法を記載したものを図 5.3.2 に示す。梁材(縦材)では 190mm 程度の差はあるが、アレイ支持物の強度を簡易的に評価するための図面作成技術としては有効であると考えられる。また、アレイ支持物の各部材を寸法測定する場合は約 1 時間/アレイの工数がかかることが想定されるが、本技術では約 20 分/アレイと 1/3 程度の工数短縮が見込まれる。

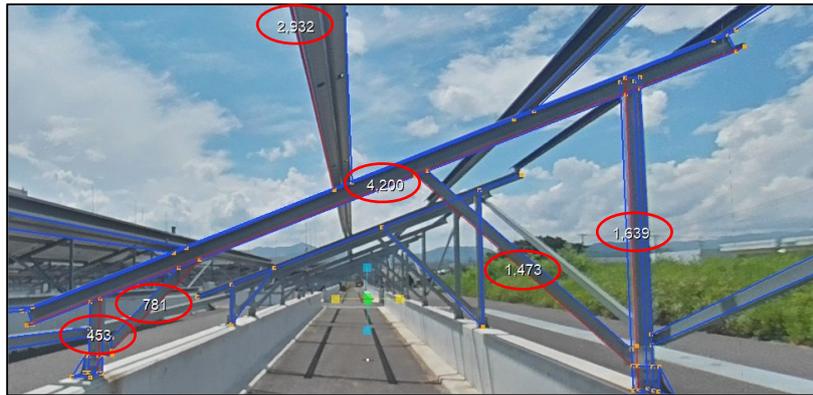


図 5.3.1 360°カメラでから作成した 3 次元フレーム図(単位:mm)

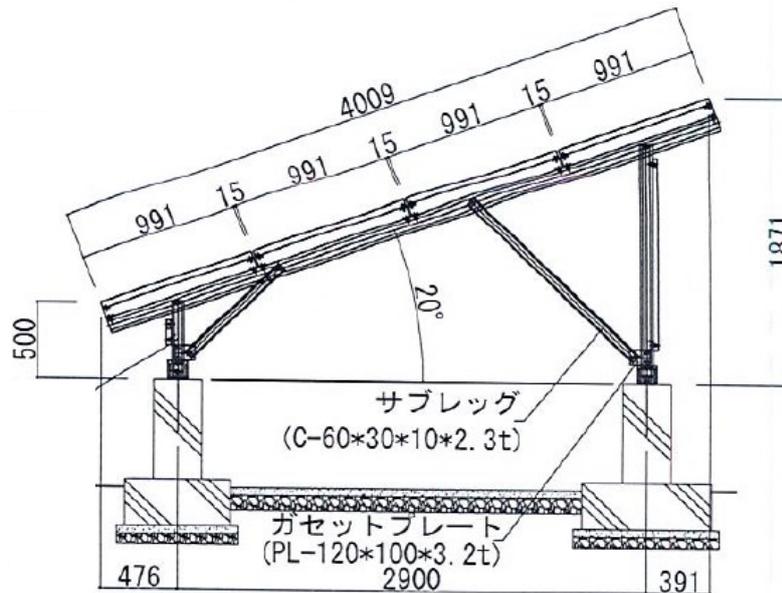


図 5.3.2 調査対象の側面図(単位:mm)

## 5.4 杭の支持力簡易診断技術

### (1) 背景および目的

杭の押込支持力や引抜および水平抵抗力は、杭の貫入状況を目視で確認することができないため、評価することは難しい。一般的にはバックホー等を用いて載荷試験または検査を行い、杭の押込支持力や引抜および水平抵抗力に関する調査を行うが、既設の太陽光発電所では載荷試験または検査を実施するためのスペースがない場合が比較的多い。ここでは土木分野で使用される杭の衝撃載荷試験の技術を応用し、オンサイトによる簡易的な杭の支持力診断技術について調査した。

### (2) 調査内容

測定に用いた機器を図 5.4.1、装置の仕様を表 5.4.1 に示す。加速度計を取り付けたアレイ支持物の杭基礎にハンマで打撃を与え、その打撃荷重と杭の振動(周波数または減衰時間)の関係から、杭の剛性(支持力)を判定した。

測定機器および評価方法の妥当性を確認するために、実証実験を行った。測定は、単管杭、ハット形鋼杭およびスクリュー杭の3種類を対象とし、それぞれ2本は通常施工(健全な状態)の杭、残り1本は、地盤の緩い状態(支持力が弱い状態)を再現した欠陥施工の杭とした。また、杭の打撃方向は押込支持力、引抜および水平抵抗力の測定を想定し、3方向(軸方向鉛直打撃、軸方向上向き打撃、横方向打撃)とした。

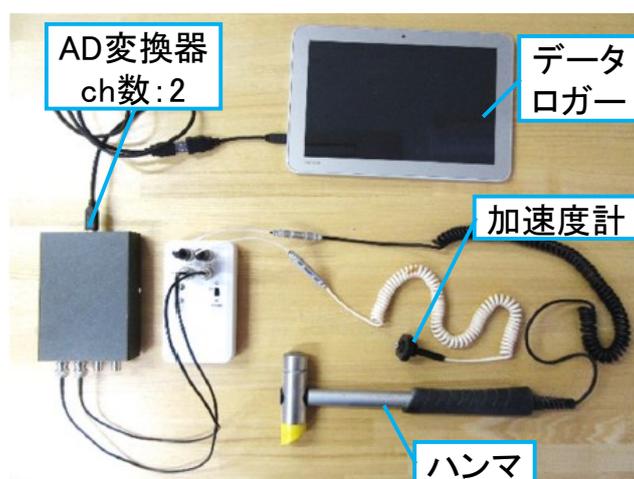


図 5.4.1 測定に用いた機器

表 5.4.1 装置の仕様

項目	規格	備考
チャンネル数	2ch	
分解能	12bit	
サンプリングクロック	10 $\mu$ 秒~10秒	1 $\mu$ 秒単位で可変
データ数	256,000 サンプル	
使用温度	5 $^{\circ}$ C~45 $^{\circ}$ C	
インターフェース	USB1.1 (USB2.0 フルスPEED)	
電源	USB バスパワーにて駆動	
大きさ	30 $\times$ 100 $\times$ 140mm	突起含まず
重さ	約 350g	ケーブル含まず

### (3) 調査結果

#### ○周波数解析結果

支持力が弱い状態を再現した欠陥施工の杭は通常施工(健全な状態)の杭と比較して打撃荷重における周波数が低下する傾向が確認できた。また、軸方向の打撃では一部二つの卓越周波数が見られ、再現性にやや劣る結果が得られた。一方で、横方向の打撃では単一の卓越周波数が観測されたため、検査を行うには軸方向の打撃より横方向の打撃が有効であると考えられる(図 5.4.1)。

#### ○減衰時間

全体的に、支持力が弱い状態を再現した欠陥施工の杭は通常施工(健全な状態)の杭と比較して減衰時間が長くなる傾向にある(図 5.4.2)が、一部、欠陥部の減衰時間が短くなっているものもあるため、管理指標としては周波数解析が適していると推察される。

#### ○まとめ

既設の太陽光発電所において、全ての杭に載荷による検査を行うには、架台から杭基礎を切り離し、杭への加力を行う必要があるため、1本あたり1時間以上かかると考えられる。本技術の打撃による検査では、載荷による検査と同様に架台から杭基礎を切り離す必要はあるが、打撃による検査自体は1本あたり数秒で検査可能である。ただし、事前に判定基準としての健全な杭の打撃データが必要となる。また、検査結果から健全な杭より支持力が低い恐れのある杭を選別でき、載荷による検査対象を絞ることが可能である。

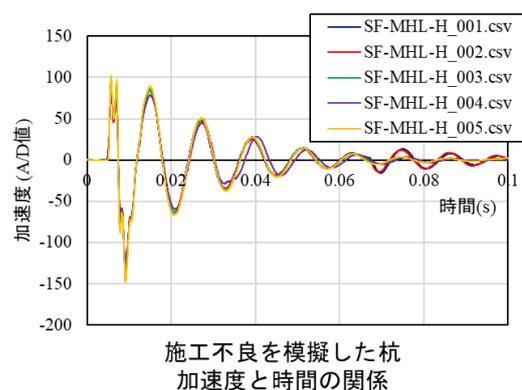
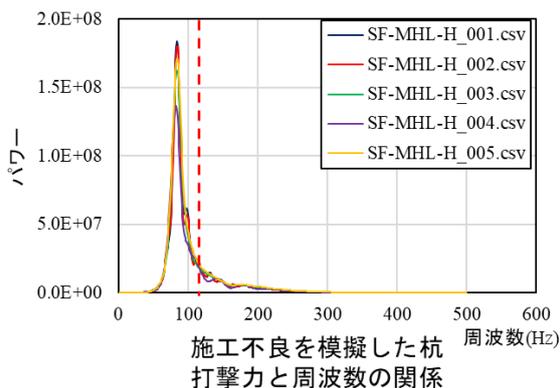
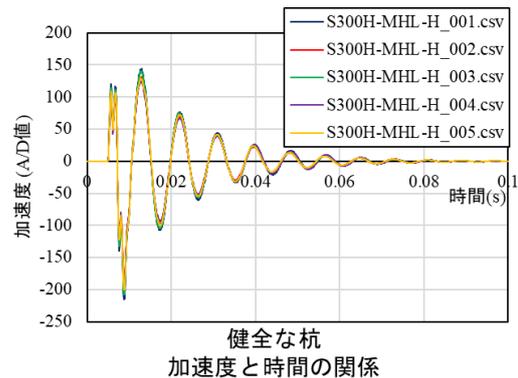
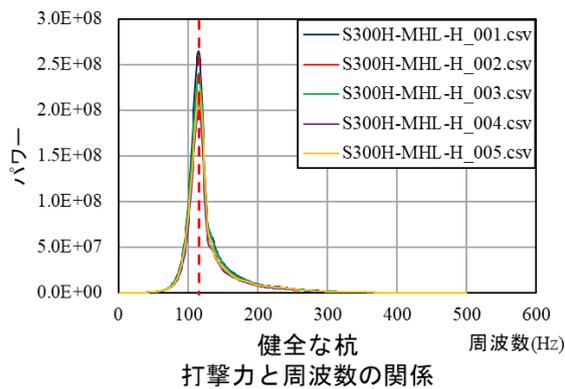


図 5.4.1 周波数解析による評価(一部抜粋)

図 5.4.2 減衰時間による評価(一部抜粋)

## 5.5 地盤の締固め度測定技術

### (1) 背景および目的

地盤調査データがない太陽光発電所では新たに基礎の設計をすることができないため、地盤データを収集する必要がある。特に直接基礎の沈下に関する設計を行う場合、地盤の支持力を調査するために平板載荷試験を行う必要がある。ただし、平板載荷試験は作業に必要なスペースが大きいため既設の太陽光発電所では複数の箇所で実施することが難しく、費用も高額である。そこで狭小地でも使用可能な動的平板載荷試験装置を用いた地盤の非破壊検査技術の可能性およびその使用方法について確認した。

### (2) 調査内容

測定に用いた機器を図 5.5.1、装置の仕様を表 5.5.1 に示す。この装置は盛土、切土、路床、路盤、埋戻し地盤などの剛性をリアルタイムで測定が可能であり、質量 5.5 kg の重錘を高さ 10 cm 程度から地盤に落下させることで地盤バネ係数(K)を測定することができる。測定した地盤バネ係数(K)は平板載荷試験で得られる K30 値と非常に高い相関関係がある。測定する際の落下高さは厳密に管理する必要がなく、多数点測定することにより締固め不足などの管理も容易に測定することができる。

装置の妥当性を確認するために、意図的に締固め度合いを変化させた 3 タイプの砂質土地盤(標準、軟弱、超軟弱)を対象に実証実験を行った。



図 5.5.1 測定に用いた機器

表 5.5.1 装置の仕様

測定器名	超小型動的平板載荷試験装置 (SCT) Soil Compaction Tester
ハンマ質量	5.6kg
サンプリング時間	10 $\mu$ s
測定時間長	10, 20, 40ms (ただしデータ数4096個まで)
測定方法	任意高さからの重錘落下
測定量	地盤反力係数 K30
加速度計感度	10mV/G
周波数範囲	0.5~10kHz
電源	USBバスパワーにて駆動 (駆動時間PCのバッテリーに依存)
記憶容量	使用するPCのハードディスク容量に依存

### (3) 調査結果

基礎地盤の締固め度合いについて動的平板载荷試験装置を用いた非破壊検査で評価可能であるか検討した結果を表 5.5.2 および図 5.5.2 に示す。地盤の状態が標準である場合は K30 値も大きい値を示し、超軟弱である場合は K30 値が小さい値であることが確認できた。この結果から地盤の締固め度合いと測定値の間には関係性があり、地盤の締固め度を簡易的に評価するための技術として期待できる。ただし、当該技術は定性的な比較評価には適しているが、定量的な評価には向いていないため、基準となる箇所（太陽光発電所の敷地内で試験可能な箇所）で平板载荷試験を実施し、そこで得たデータと比較するために動的平板载荷装置を用いて地盤データを収集する方法が有効である。

表 5.5.2 動的平板载荷試験装置の測定結果

測定箇所	地盤種類	地盤の状態	K30 値 (MN/m <sup>3</sup> )	平均値
C-No.1	砂質土	標準	13.2	13.7
C-No.2	砂質土	標準	13.9	
C-No.3	砂質土	標準	14.1	
C-No.4	砂質土	軟弱	11.3	12.1
C-No.5	砂質土	軟弱	12.3	
C-No.6	砂質土	軟弱	12.6	
C-No.7	砂質土	超軟弱	8.1	9.2
C-No.8	砂質土	超軟弱	10.3	
C-No.9	砂質土	超軟弱	9.1	

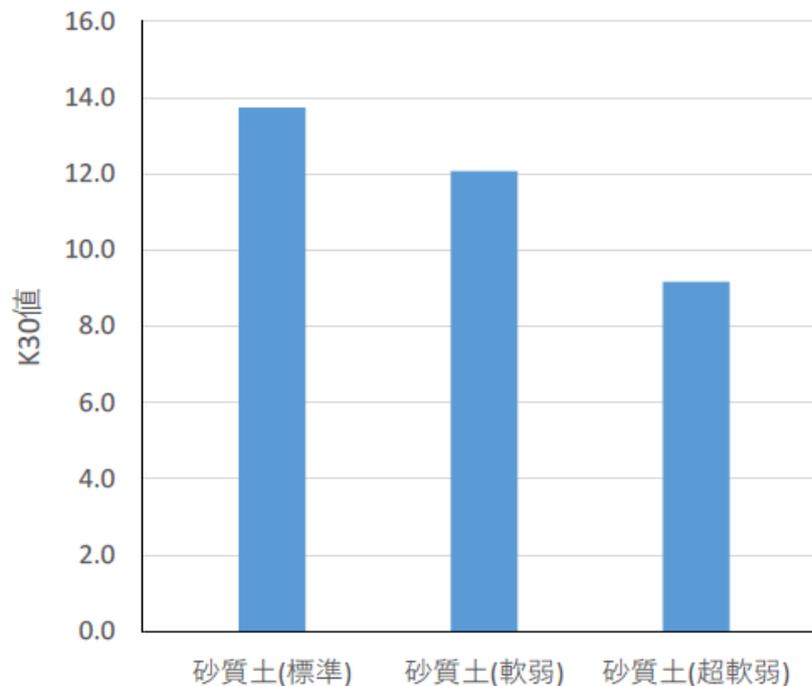


図 5.5.2 地盤の種類と測定結果の関係

## 5.6 アルミニウム合金製架台の接合部補強技術

### 5.6.1 背景および目的

太陽光発電所のアレイ支持物における事故として、保険事故の分析結果からもわかるように強風による接合部の破損が挙げられる。これまでに単管パイプを用いた架台の接合部補強としてねじ止めを行うことで緊結金具(単管クランプ)の滑りや回転に対する補強の有効性が得られている。ここでは、アルミニウム合金製の架台の接合部で頻繁に見られる長孔の接合部やアレイ長辺方向におけるパネル受け材の連結金具とドリルねじを用いた接合部について、滑りや強度の低下が懸念されるため、それらの接合部に関する補強方法の一例を示し、その効果について調査を行った。

### 5.6.2 アルミニウム合金製の架台における長孔の接合部

#### (1) 調査内容

補強を施していない接合部(補強なし接合部)と補強を施した接合部(補強あり接合部)を写真 5.6.1 および写真 5.6.2 に示す。当該接合部のような長孔を用いた接合部は施工誤差を簡易的に調整できるが、孔の長さ方向に荷重が作用したときにボルトが滑る懸念がある。そこで、当該接合部で滑りが生じないように補強方法としてアルミの板材を取り付け、その効果を検証した。補強による効果は柱部材に荷重を載荷(写真 5.6.3)し、補強なし接合部と補強あり接合部の強度を比較することで確認した。



写真 5.6.1 補強なし接合部



写真 5.6.2 補強あり接合部

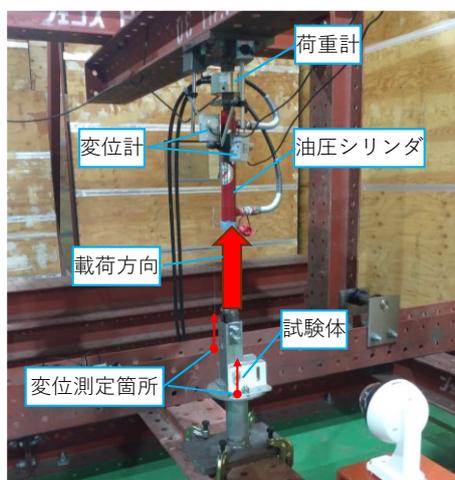


写真 5.6.3 試験装置および荷重状況

## (2) 調査結果

補強なしと補強あり接合部の荷重試験結果を図 5.6.1 に示す。補強なし接合部は 10kN 付近から変位が増加し、ボルトの滑りが生じた(写真 5.6.4)。一方で補強あり接合部はボルトの滑りは発生せず、18kN 付近で金具に変形が生じたため、試験体への荷重を終了した。試験結果からこの接合部の補強方法はボルトのすべりに対して有効であることが確認できたが、太陽光発電所の設置地域や架台の架構によっては接合部に要求される荷重が異なるため、当該補強方法を行うことで接合部の要求性能が満たされるわけではないことに注意されたい。それぞれの接合部において必要な性能を確認した上で補強方法を検討し、必要な性能を満たしているか確認する必要がある。

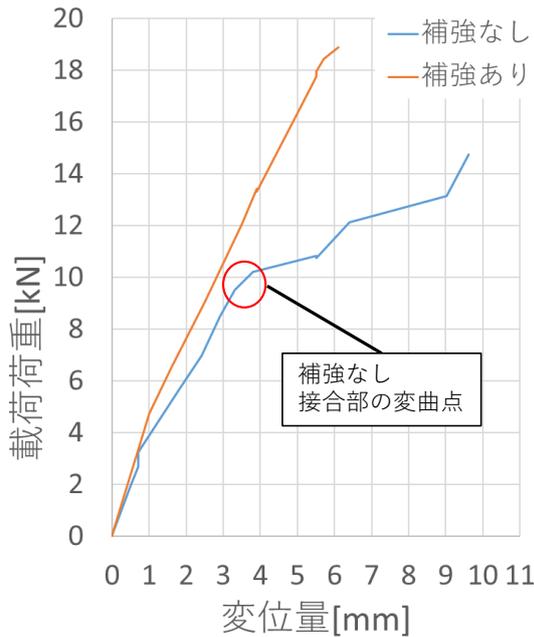


図 5.6.1 各接合部の荷重荷重と変位の関係 写真 5.6.4 補強なし接合部の変曲点におけるボルトの滑り

### 5.6.3 アレイ長辺方向におけるパネル受け材の連結金具とドリルねじを用いた接合部

#### (1) 調査内容

前述した調査内容と同様に補強を施していない接合部(補強なし接合部)と補強を施した接合部(補強あり接合部)を図 5.6.2 および図 5.6.3 に示す。当該接合部はアルミニウム合金製の架台で頻繁に見られ、アレイ長辺方向のパネル受け材または桁材を連結金具とドリルねじで継ぐことで太陽電池アレイを連続的に設置することを実現している。一方で当該接合部(継手)は設計時には接合部(継手)として扱われておらず、同じ形状の部材が連続していると仮定(1つの部材とされている)して構造解析されているため、曲げ剛性が過大評価されている懸念がある。そこで本検証では構造解析で頻繁に見られる継手がなく1つの部材としているもの(接合部なし)と補強なし接合部の曲げ剛性を比較し、構造解析の仮定が妥当であるか曲げ試験(写真 5.6.5)によって評価を行った。また、当該接合部の補強方法として接合部に鋼製の補強金具を取り付けた試験体を補強あり接合部とし、補強なし接合部と同様の試験によって曲げ剛性を比較した。

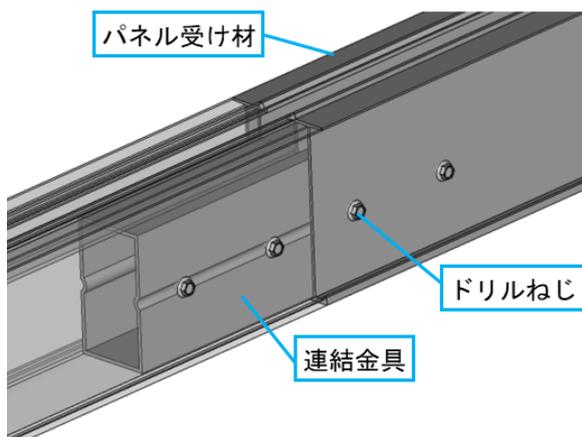


図 5.6.2 補強なし接合部

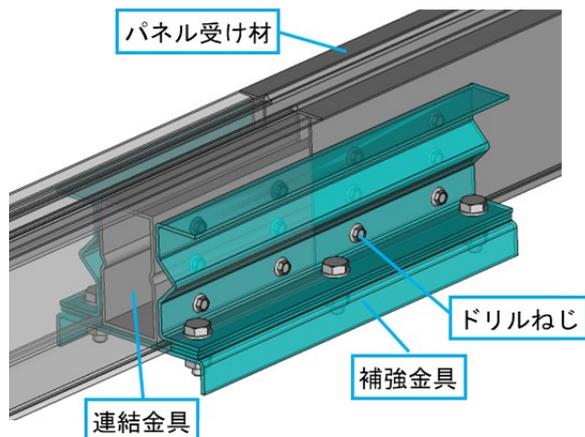


図 5.6.3 補強あり接合部

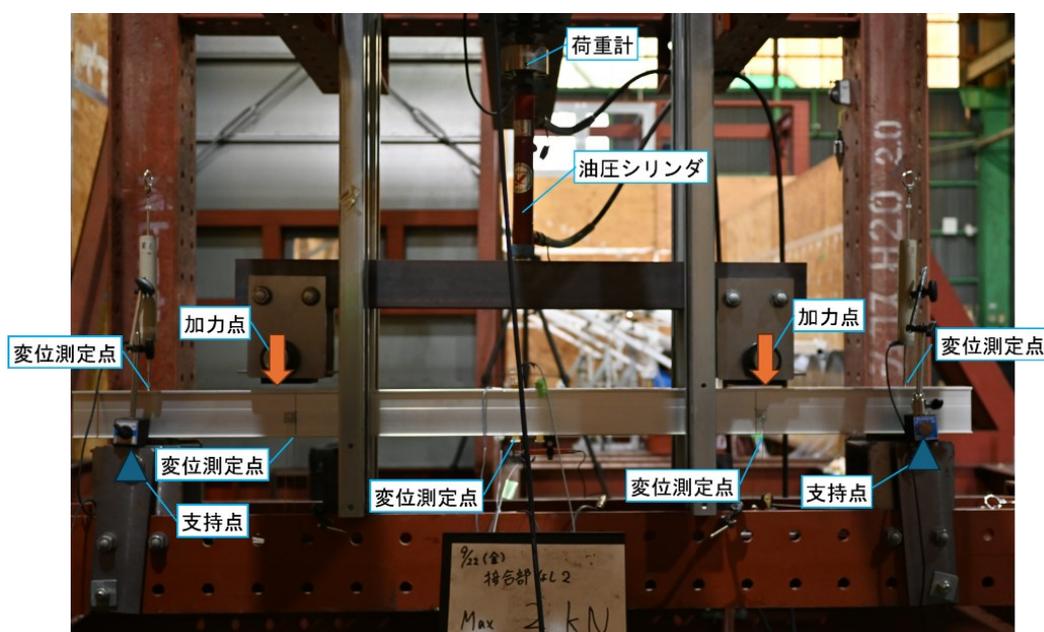


写真 5.6.5 曲げ試験概要

## (2) 調査結果

補強なし接合部、補強あり接合部、接合部なしで比較した曲げ試験結果を図 5.6.4 に示す。

補強なし接合部は接合部なしの試験体と比較して曲げモーメントに対してたわみ、残留たわみの増加量が大きいことが確認され、曲げ剛性が低いことが確認できた。この結果からアルミニウム合金製の架台で頻繁に見られる当該継ぎ手を構造解析上で接合部なしと仮定することは危険な設計となることが分かった。

次に補強方法の効果について確認するために補強あり接合部と補強なし接合部の比較を行った。補強あり接合部は補強なし接合部と比較して曲げモーメントに対するたわみ量、残留たわみは小さく補強による曲げ剛性の向上は確認できた。一方で接合部なしの試験体と比較すると曲げ剛性が低いことが確認できたため、先ほどと同様に当該補強方法を行うことで接合部の要求性能が満たされるわけではないことに注意されたい。

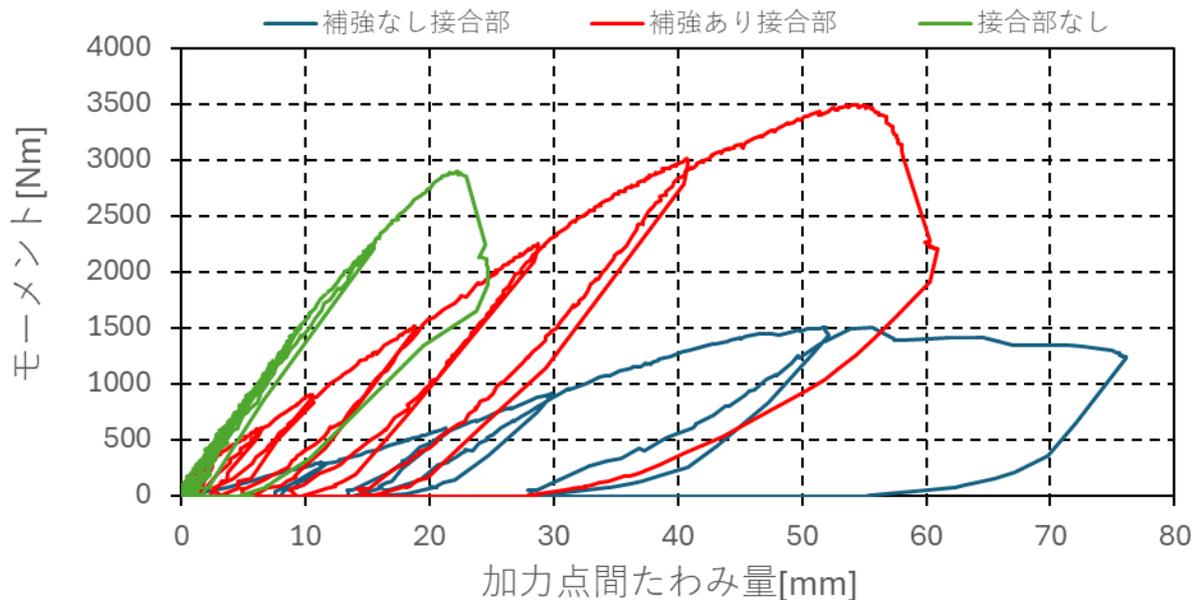


図 5.6.4 曲げ試験の載荷荷重と変位の関係

#### 5.6.4 タッピンねじによる接合部の滑り防止対策

##### (1) 調査内容

アルミニウム合金製の架台で使用される長孔を用いた接合部について、5.6.2 でアルミ板材とドリルねじを用いて滑りに対する補強方法を提案した。この補強方法は滑りに対してある程度の有効性を確認できたが、その汎用性は確認できておらず、載荷試験等によって個別に補強性能の評価を行うことを推奨した。ただし、載荷試験による補強性能の評価は費用や手間がかかるため、簡易な方法かつ設計計算によって補強性能を確認できることが期待されている。

長孔を用いた接合部の滑り防止対策で現場施工可能かつ設計計算ができる方法として、タッピンねじによる締結がある。タッピンねじの接合強度は、アルミニウム建築構造設計規準・同解説<sup>5.3)</sup>で設計計算式が示されている。なお、同規準ではタッピンねじの締結本数に規定は示されていないが、当該計算式の元になった文献<sup>5.4), 5.5)</sup>が示す実験ではタッピンねじの本数が 4 本以上となっている。ここではアルミニウム合金製架台の接合部の滑りに対する補強として、タッピンねじ 1, 2 本の場合でも当該設計計算式が適用できるか実験によって検証を行った。

##### (2) 設計計算式

アルミニウム建築構造設計規準・同解説に示されているタッピンねじの設計許容せん断耐力  $R_S$  はタッピンねじ材の短期に生ずる力に対する許容せん断耐力、被接合材の短期に生ずる力に対する許容支圧耐力、短期に生ずる力に対する許容ねじ傾斜耐力のうち最も小さい値である。

$$R_S = \min[P_S, P_B, P_T] \quad (5.6.1)$$

$$P_S = m \cdot {}_bA_e \cdot {}_b f_s \quad (5.6.2)$$

$$P_B = d \cdot t \cdot f_1 \quad (5.6.3)$$

$$P_T = 1.7(t_T^3 d)^{1/2} \sigma_T \quad (5.6.4)$$

$P_S$  : タッピンねじ材の短期に生ずる力に対する許容せん断耐力(N)

$P_B$  : 被接合材の短期に生ずる力に対する許容支圧耐力(N)

$P_T$  : 短期に生ずる力に対する許容ねじ傾斜耐力(N)

$m$  : せん断面の数

${}_bA_e$  : ねじ部の有効断面積(mm<sup>2</sup>)

${}_b f_s$  : タッピンねじ材の短期に生ずる力に対する許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_B$  : 被接合材の短期に生ずる力に対する許容支圧耐力(N)

$d$  : タッピンねじの呼び径(mm)

$t$  : 接合される両材片の板厚(または板厚の和)の小さい方の値(mm)

$f_1$  : 被接合材の短期に生ずる力に対する許容支圧応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$t_T$  : ねじ先端側の被接合材の板厚 (mm)

$\sigma_T$  : タッピンねじを用いた接合部の基準強度(N/mm<sup>2</sup>)

### (3)検証方法

#### i. 試験体

図 5.6.5 に試験体の概略を示す。試験体 1 枚の長さは 170 mm、幅は 40 mm とした。試験体同士の重複部の長さは 60 mm とし 1 面せん断で締結した。タッピンねじを 1~2 本締結する際は締結位置から試験体端部までの長さを 30mm とし、4 本の場合 2 本を 2 列で締結させた。タッピンねじ 2 列間の間隔は 20mm、タッピンねじ締結位置から試験体端部までの長さは 20mm とした。板厚はタッピンねじ頭側  $t_1$ 、先端側  $t_2$  とした。

試験体の材質、板厚ごとの 0.2%耐力、引張強度、伸びおよびタッピンねじの仕様を表 5.6.1 に示す。タッピンねじの長さは締結後にタッピンねじの突き出し長さが3山以上確保できるものを選定した。また、タッピンねじ径 3.5 mm を用いる場合は全ての試験体の組み合わせ条件において許容せん断耐力はタッピンねじ材の許容せん断耐力で決まることを確認した。径 4.8 mm は、許容ねじ傾斜耐力であった。

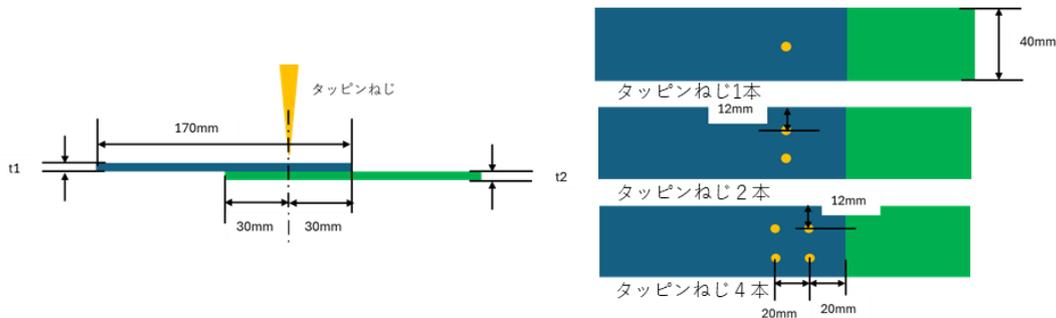


図 5.6.5 試験体概略

表 5.6.1 試験体仕様  
(母材、タッピンねじ)

	試験体	
	2mm	3mm
材質	A6063-T5	
0.2%耐力(MPa)	189.3	195.0
引張強度(MPa)	214.3	223.5
伸び(%)	12.1	14.5
タッピンねじ	ST3.5 長さ16mm	
	ST4.8 長さ19mm	

表 5.6.2 試験体種類

試験番号	試験体板厚		タッピンねじ			試験数
	ねじ頭側 (mm)	ねじ先端側 (mm)	呼び径 (mm)	長さ (mm)	本数	
板厚2+2mm径3.5(1本)	2	2	3.5	16	1	6
板厚2+2mm径3.5(2本)	2	2	3.5	16	2	3
板厚2+2mm径3.5(4本)	2	2	3.5	16	4	3
板厚3+3mm径3.5(1本)	3	3	3.5	16	1	6
板厚3+3mm径3.5(2本)	3	3	3.5	16	2	3
板厚3+3mm径3.5(4本)	3	3	3.5	16	4	3
板厚2+3mm径3.5(1本)	2	3	3.5	16	1	6
板厚2+3mm径3.5(2本)	2	3	3.5	16	2	3
板厚2+3mm径3.5(4本)	2	3	3.5	16	4	3
板厚3+2mm径3.5(1本)	3	2	3.5	16	1	6
板厚3+2mm径3.5(2本)	3	2	3.5	16	2	3
板厚3+2mm径3.5(4本)	3	2	3.5	16	4	3
板厚2+2mm径4.8(1本)	2	2	4.8	19	1	6

## ii. 試験種類と試験方法

試験に使用した試験体の組合せを表 5.6.2 に示す。試験体数は実験値のばらつきを考慮してタッピンねじ 1 本については 6 体、タッピンねじ 2 本および 4 本は 3 体とした。加力装置に試験体を取り付けた状況を写真 5.6.6 に示す。载荷は油圧シリンダを用いて行い、試験体のタッピンねじ頭側に連続的に载荷した。変位測定は引張側の試験体における変位と試験体を固定している土台の変位の 2 か所とし、その相対変位で試験体の変位を観測した。

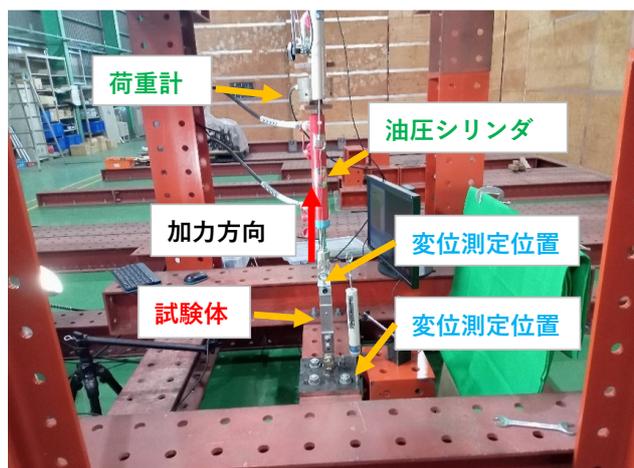


写真 5.6.6 試験体取付状況

## (4)調査結果

各試験体の設計許容せん断耐力と実験の最大荷重値の関係を図 5.6.6 に示す。図 5.6.6 中の水色の線は設計許容せん断耐力と実験の最大荷重値との比が 1:3 で、黒色の線は 1:5 を示している。ほとんどの試験体で実験の最大荷重値は許容設計せん断耐力の 5 倍以上あり、少なくとも全ての試験体で 3 倍以上あることが分かる。従って、前述したアルミ規準の設計許容せん断耐力の計算式を用いるとタッピンねじの本数が 1, 2 本でも安全側に設計可能であることが確認できた。なお、図中の赤丸はタッピンねじ径 4.8mm1 本の結果で、径が大きいタッピンねじを使用しているが、最大荷重実験値の設計許容せん断耐力に対する比率は少し小さくなっている。その理由として、被接合材の板厚とねじ山ピッチとの関係ではないかと思われるが、今回の試験条件では明確な判断はできなかった。

設計許容せん断耐力と最大荷重実験値との関係

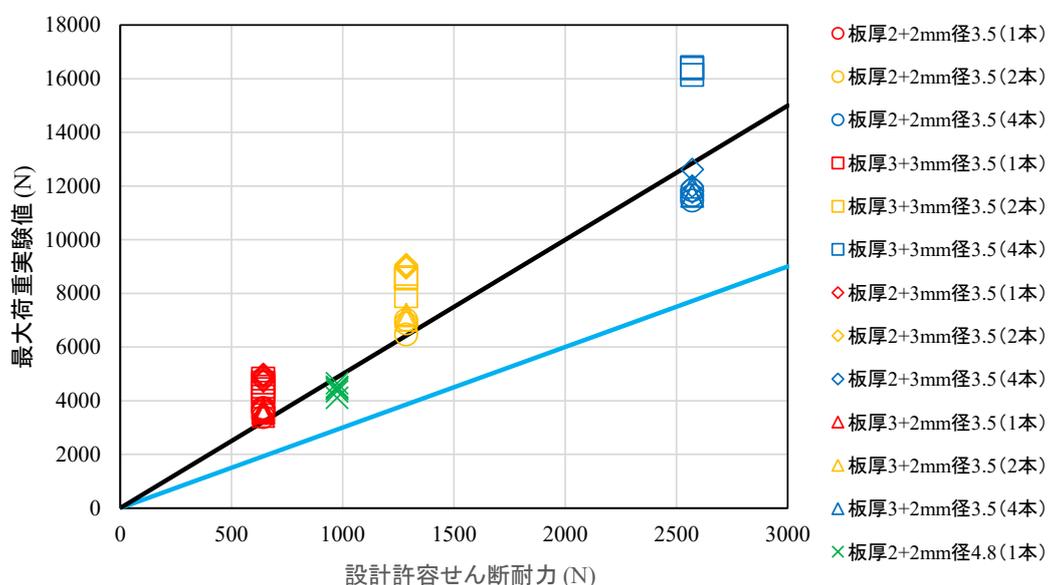


図 5.6.6 設計許容せん断耐力と最大荷重実験値との関係

## (5)まとめ

- ・ 締結するタッピンねじの本数が 1, 2 本と少なくとも、アルミ規準に記されている設計許容せん断耐力の設計計算式を用いると安全側に設計できることが分かった。
- ・ タッピンねじの選定において、被接合体の板厚とねじ山ピッチとの関係にも配慮することが望ましい。

- ・ 設計計算式を用いると安全側に設計することが可能であるが、載荷実験により接合部の強度検証を行うことで合理的な設計ができる可能性がある。ただし、載荷実験で設計する時は、実験による降伏せん断耐力値と設計許容せん断耐力値を比較検証する必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 地上設置の太陽電池（PV）モジュールー設計適格性確認及び型式認証ー第 1 部：試験要求事項 JIS C 61215-1:2020
- 2) 地上設置の太陽電池（PV）モジュールー設計適格性確認及び型式認証ー第 2 部：試験方法 JIS C 61215-2:2020
- 3) アルミニウム建築構造協議会 一般社団法人日本アルミニウム協会、アルミニウム建築構造設計規準・同解説、平成 28 年 3 月
- 4) アルミニウム合金を用いた建築構造に関する研究（その 5）アルミニウム合金薄板のタッピンねじおよび小径ボルト接合の一面せん断実験、秋本、山田、中込、橋本、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1、pp. 267～268、1997 年
- 5) アルミニウム合金を用いた建築構造に関する研究（その 10）アルミニウム合金薄板の一面せん断接合に関する実験的研究、藤本、木村、山田、橋本、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1、pp. 663～664、1997 年

## 5.7 積雪によるアレイ軒先部に作用する沈降荷重の補強技術

### (1) 背景および目的

保険事故の分析結果から確認できる通り、積雪における太陽光発電所のアレイ支持物の事故原因として部材の曲りが多い傾向が得られた。これはアレイ面上の積雪と地上（軒先部）に堆積した積雪が繋がることで生じる沈降荷重による破損であり、これらの破損事故は設計段階で沈降荷重を想定せずに構造計算を行っていることが原因として挙げられる。アレイ支持物を新たに設置する場合は軒先部に沈降荷重が作用しないようにアレイ支持物の高さを高くするか、最新の地上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドラインを参照したうえで軒先部に沈降荷重が作用しても破損しないように設計を行うことで事故原因への対策ができるが、既設の太陽光発電所ではアレイ支持物の高さを高くすることはできないため、アレイ支持物の補修、補強を行う必要がある。

ここでは既設のアレイ支持物を対象にアレイ面上の積雪と地上に堆積した積雪が繋がることで生じる沈降荷重への補修、補強の方法を示す。その際に新たにコンクリート基礎を打設する必要があるため、打設するコンクリート形状を決定するための検討方法、手順等の情報を提供する。

### (2) 調査内容および結果

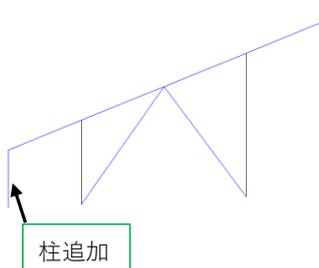
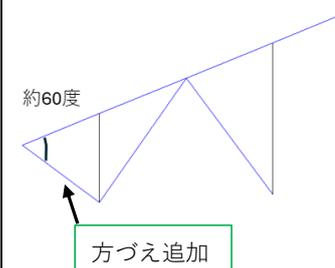
#### i. 補修、補強方法の検討

補修、補強方法については 2 パターン（①アレイ支持物の軒先部に柱部材を追加する方法、②方づえ材を追加する方法）が考えられるため、事前に簡易なフレーム解析によって、有効性や汎用性を評価した。

①の方法は新たにコンクリート基礎を打設する必要があるため、実際に施工する際に現地にある程度の作業スペースを必要とする。一方で②の方法は新たにコンクリート基礎を打設する必要はないが、新たに部材を追加するため、アレイ支持物の構造計算を再度行う必要がある。また、アレイ支持物の形状によっては方づえを追加しても軒先部の沈降荷重に対して有効性がないことが分かった(表 5.7.1 参照)。

現地の状況等にもよるが、有効性および汎用性の観点から①の方法による補修補強方法についての手順を示す。

表 5.7.1 補修補強方法の特長

補修補強方法	①軒先部に柱部材追加	②軒先部に方づえ部材追加
計算モデル		
構造計算	・特に、構造計算の再計算は必要なし。	・構造計算の再計算が必要になる。
既設架台への影響	・既設架台の各部材の応力度の増加はほとんどなし。	・方づえの既設架台への取付位置によって、柱または杭の応力度が増加し、これらの部材を補強する必要がある。
施工性	・追加した柱にコンクリート基礎を施工する必要がある。	・基礎を施工する必要はないが、既設架台の部材を補強が必要になった場合、架台を架台を解体して、部材を取り換えたり、基礎を補強する工事が発生する。

ii. 補修、補強方法の手順

アレイ軒先部の沈降荷重に対する補修、補強手順を検討するにあたって、作用する荷重条件の仮定を簡易なフレーム解析で行った。フレーム解析の結果からアレイ軒先部には沈降荷重とアレイ軒先部におけるアレイ面上の積雪荷重が組み合わさった状態であることが確認できたが、アレイ面上の積雪荷重はアレイ面の傾斜角度によって水平軒先長さが異なるため、本ガイドでは構造設計上、安全側となるように軒先長さの0.5倍の長さ1/2を軒先部が負担すると仮定し、検討を行った。

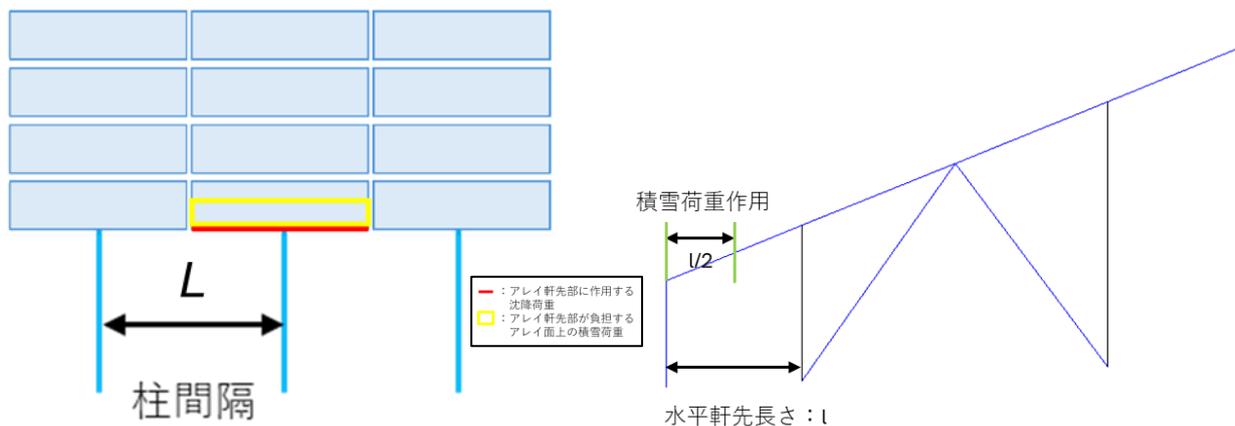


図 5.7.1 補修、補強時に検討する荷重条件 図 5.7.2 アレイ軒先部が負担するアレイ面上の積雪荷重

補修、補強の手順として、柱部材の追加、柱部材の接合、新たな基礎の打設が考えられるが、柱部材の追加や柱部材の接合に関しては前述した荷重に対して許容応力度設計を行うことや接合部の偏心を考慮し、偏心によって作用する付加応力の影響も考慮した上で柱部材の断面形状の選定および接合部の納まりを検討する必要がある。

新たに基礎を打設する際はその基礎が沈下しないことを検討する必要がある。そこで本ガイドでは、軒先荷重を須藤・中俣の式に  $2/3$  を乗じた値(式 5.7.1)とし、軒先荷重と垂直積雪深の関係(図 5.7.3)から、コンクリート基礎形状(底面積)およびアレイ支持物の形状(軒先長さおよび東西方向の柱間隔)、アレイ支持物を設置する環境(地上垂直積雪深および  $N$  値)の関係(図 5.7.4、5.7.5)を示し、これらの関係を用いて当該補修、補強方法を採用する場合に必要なコンクリート基礎形状の概算式とその施工方法を示す。また、これらの関係を求めるにあたっての前提条件を以下に示す。

$$F_{Smax} = 1.4S_{max} \times 2/3 \quad (5.7.1)$$

ここで  $F_{Smax}$  : 軒先荷重 (kN/m)  
 $S_{max}$  : 最大積雪重量(kN/m<sup>2</sup>)

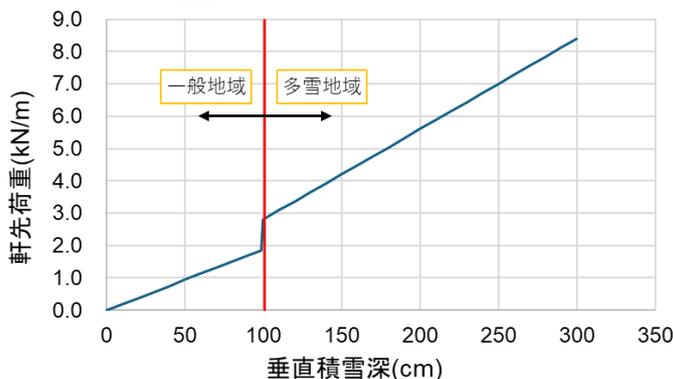


図 5.7.3 軒先荷重と垂直積雪深の関係

## 前提条件

- ・ 基礎の形状 : 正方形または円形
- ・ 基礎高さ : 0.3 m
- ・ 根入れ : なし
- ・ 支持地盤の単位体積重量 : 18 kN/m<sup>3</sup>
- ・ コンクリート単位体積重量 : 23 kN/m<sup>3</sup>
- ・ 短期地盤許容支持力 : 地表面のみで検討しており、地中部に軟弱層があることは想定していない。
- ・ 安全率 : 1.0

各土質(砂質土、粘性土)での地表面 N 値別に当該補修、補強時のコンクリート基礎底面積およびアレイ軒先部に作用する沈降荷重、アレイ軒先部のアレイ面上に作用する積雪荷重および柱間隔の関係を図 5.7.4、5.7.5 に示す。これらの図から補修、補強対象となる太陽光発電設備のアレイ支持物の形状(東西方向の柱間隔)、アレイ支持物を設置する環境(地上垂直積雪深および N 値)を代入することで簡易的にコンクリート基礎底面積を求めることができる。ただし、施工上の理由から当グラフで求めた基礎底面積よりも大きくする時はコンクリート基礎重量が重くなり、地盤反力が大きくなるため、詳細な検討が必要になることに注意が必要である。

図 5.7.4 および 5.7.5 に示す関係は式(5.7.2)および(5.7.3) をもとに導出しているため、本ガイドで示す条件と N 値等が異なる場合は式(5.7.3)から基礎底面積を算定する必要がある。

$$q_a = \frac{2}{3} \times (\alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \quad (5.7.2)$$

$q_a$	: 短期地盤許容支持力(kN)
$\alpha, \beta$	: 基礎断面の形状に応じた係数
$N_c, N_r, N_q$	: 内部摩擦角に応じた支持力係数
$c$	: 粘着力(kN/m <sup>2</sup> )
$B$	: 基礎の短辺方向の長さ(m)
$D_f$	: 地盤面から基礎底までの距離(m)
$\gamma_1$	: 基礎面下地盤の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_2$	: 基礎底から上にある地盤の単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )

$$A = \frac{(F_{smax} + S_{max} \times l/2) \times L}{(q_a \times S - \gamma_c \times h)} \quad (5.7.3)$$

$A$	: コンクリート基礎底面積(m <sup>2</sup> )
$l$	: 水平軒先長さ(m)
$L$	: 柱間隔(m)
$S$	: 安全率
$\gamma_c$	: コンクリート単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )
$h$	: 基礎高さ(m)

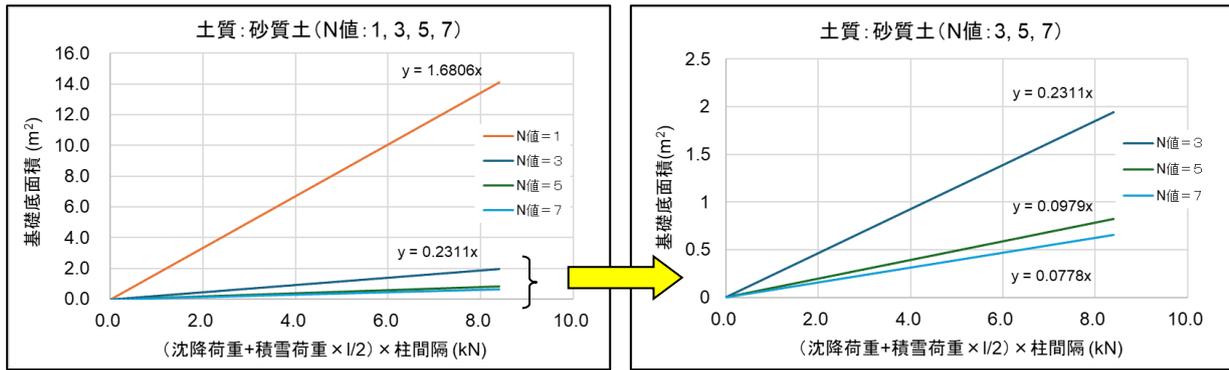


図 5.7.4 軒先荷重+積雪荷重とコンクリート基礎底面積の関係(砂質土)

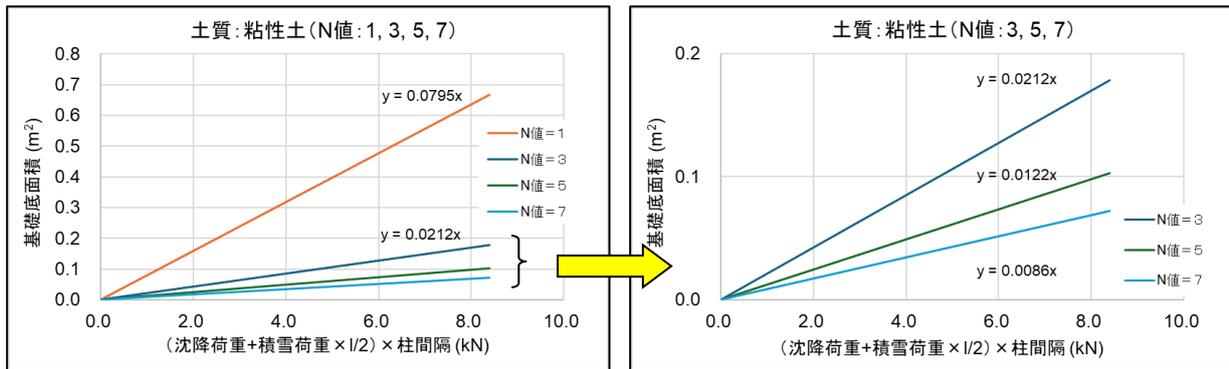
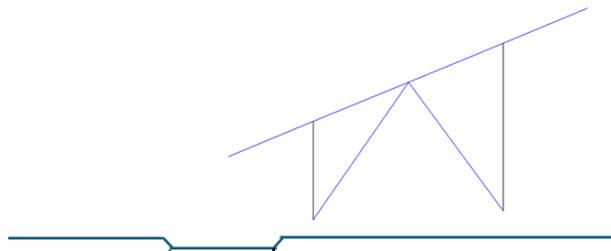


図 5.7.5 軒先荷重+積雪荷重とコンクリート基礎底面積の関係(粘性土)

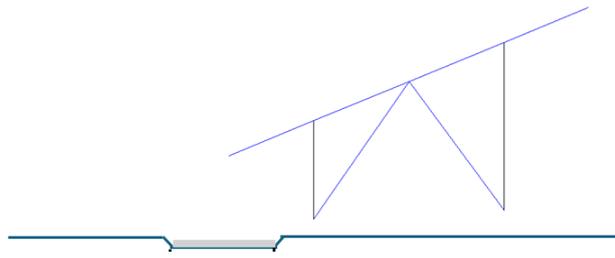
### iii. 施工方法

補修、補強のために追加した柱およびコンクリート基礎について一般的な施工方法を図 5.7.6 に示す。ただし、この施工方法は、設置地盤は平地、コンクリート圧送はポンプ車を用いる、コンクリートミキサー車とポンプ車は現地まで進入可能、さらに架台を撤去せずに施工することが可能な状態を想定した。

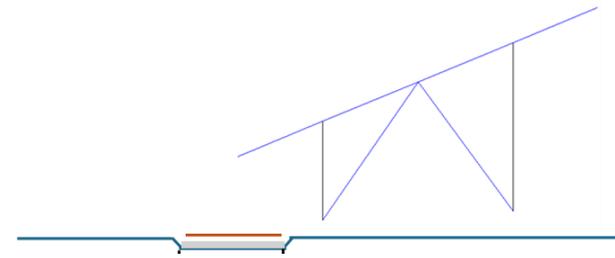
#### 1.) 掘削(深さ 10cm 程度)



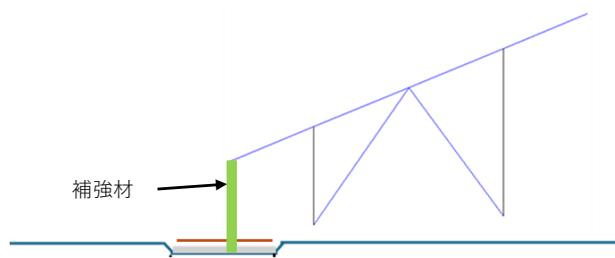
2.) 均し



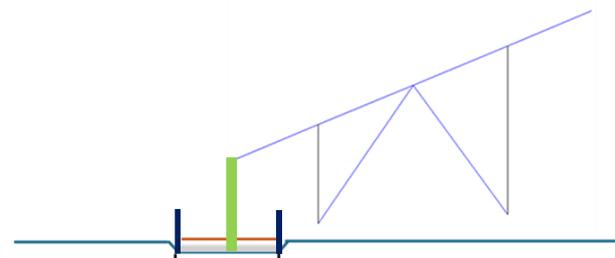
3.) 底版配筋



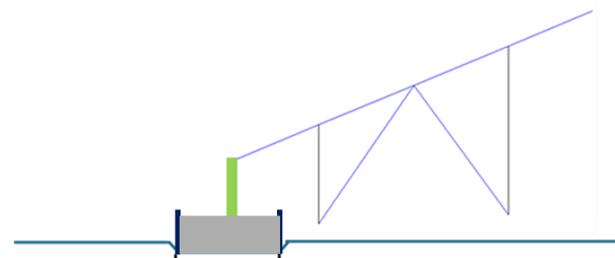
4.) 補強材(柱)設置



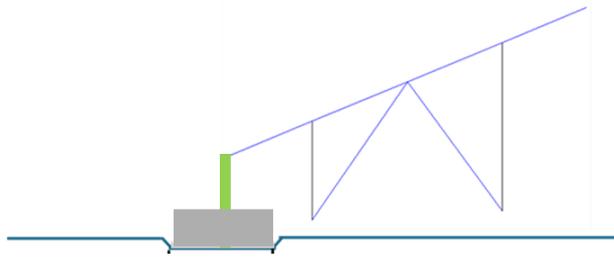
5.) 型枠設置



6.) コンクリート打設



7.) 脱型



8.) 養生・完成

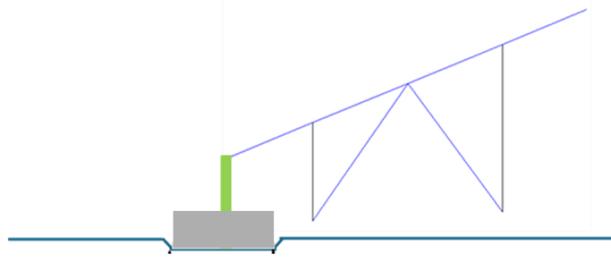


図 5.7.6 補修、補強に関する施工方法