

傾斜地設置型/営農型/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

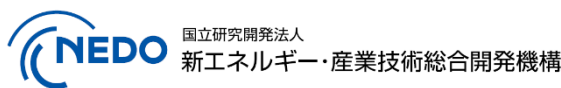
技術資料：

太陽光発電システム用架台の耐風性能試験

(一部杭基礎支持力が不足している場合)

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（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」事業の結果として得られたものです。

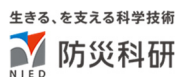
2023 年 4 月 28 日



構造耐力評価機構  
Structural Performance Evaluation Institute



太陽光発電協会  
Japan Photovoltaic Energy Association



公立大学法人 大阪  
University Public Corporation Osaka





## 太陽光発電用架台の耐風性能試験（一部杭基礎支持力が不足している場合）

### 1. 概要

「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 技術資料」【技術資料 G1】<sup>1)</sup>杭基礎支持力の実証実験により、貫入深さが 1~3m の杭基礎では、地盤調査より得た地盤特性値から推定した極限周面摩擦力に対して試験結果が大きくばらつくことが示された。斜面に太陽光発電設備が建設された場合には、杭基礎施工の困難さもあり、架台を支持する一部の杭基礎では支持力が不足する可能性が考えられる。

同文献【技術資料 E1】<sup>2)</sup>では、太陽光発電用架台の全柱脚が固定された条件下で耐風性能試験を実施し、「設計荷重」に対して「破壊荷重<sup>3)</sup>」が 1~4 倍程度の安全率があることが示されている。本資料では、文献<sup>2)</sup>で実施された太陽光発電用架台の耐風性能試験を基本とし、さらに一部の杭で支持力が不足している架台を想定した試験を実施する。試験結果より、一部の基礎浮き上がりに対する太陽光発電用架台の脆弱性を明らかにし、対処案を提示する。

### 2. 試験計画


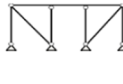

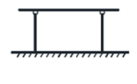
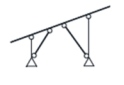
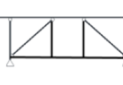

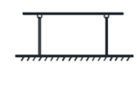

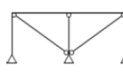

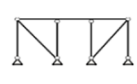
試験体は、文献<sup>2)</sup>において耐風圧性能試験が実施された太陽光発電用架台のうち、「iii ピン構造（アルミニウム製）」およびモジュール面支持架構を「列数に応じて連結」を採用した（表 2-1 黄色枠線）。本架台では、東西に配した 5 本のパネル受け材を南北に配したピン構造で支持する。太陽電池モジュールの寸法および配列は、全て文献<sup>2)</sup>に準じた。太陽光発電用架台を支持する杭のうち一部の杭基礎支持力が不足しているという支持条件は、6 箇所ある柱脚のうち 1 箇所のみ固定せず浮き上がりを許容する支持条件とすることで簡単にモデル化した。なお、非固定支持とした柱脚は、負圧力下で最も大きな引抜き力が作用する北側中央に位置する。試験体架台の設計荷重は 1334Pa である。

試験では、太陽電池モジュール設置面の鉛直方向変位を計測した。また、基礎固定条件の違いによる架台に発生する応力分布の違いを比較するために、南北方向に配した架構（表 2-1(a)側面）に歪ゲージを添付した。

耐風圧試験に用いた装置は、文献<sup>2)</sup>を参照されたい。シートによる漏気防止処置は、非固定支持とした柱脚の浮き上がり変位を 450mm 程度まで許容できるように行った。

表 2-1 一部基礎非固定用試験体の架台構造形式 (文献<sup>2)</sup> 転記)

(a) 構造形式

No.	構造形式	構造形式図		材質	No.	構造形式	構造形式図		材質
		側面	背面				側面	背面	
i	ピン構造			鋼製	iv	柱構造			アルミニウム + 鋼製
ii	方づえ + ピン構造			鋼製	v	柱構造			アルミニウム + 鋼製
iii	ピン構造			アルミニウム製	vi	ピン構造			鋼製 単管パイプ

(b) モジュール面支持架構の形式

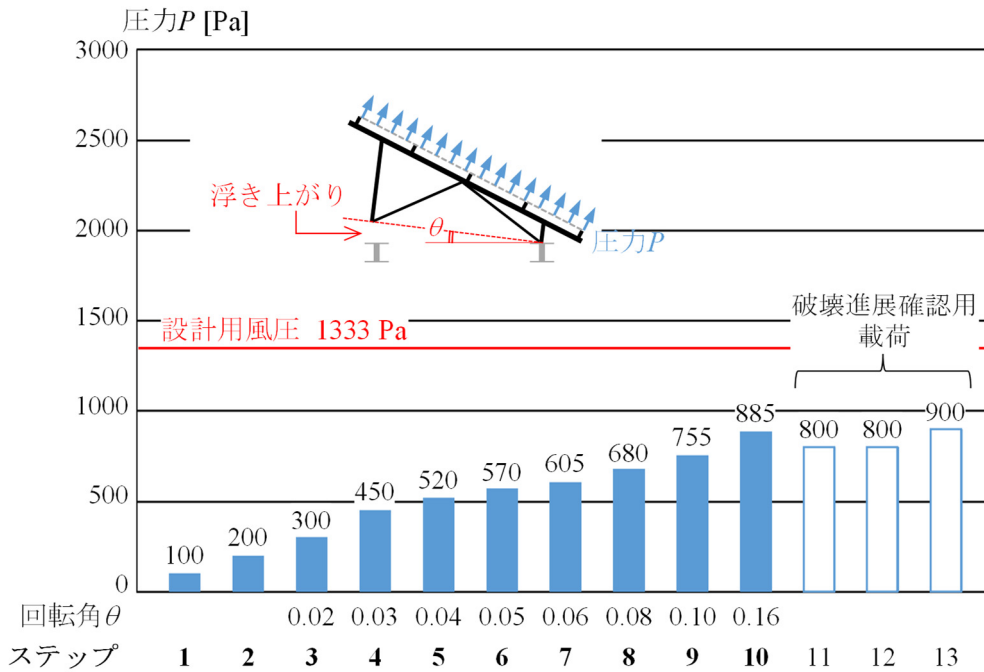
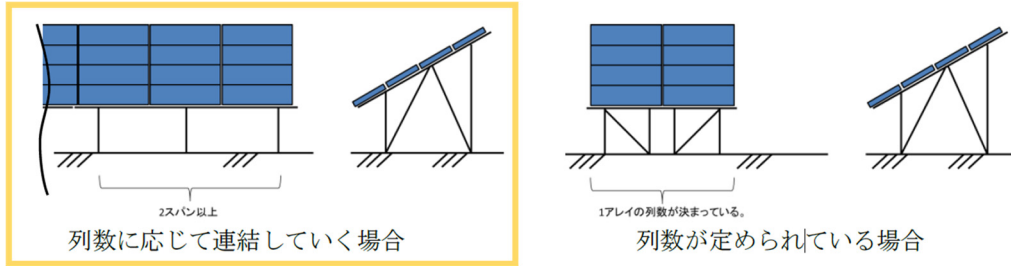


図 2-1 載荷試験の荷重ステップ (一部基礎非固定支持条件)

加圧は、杭に引抜きが発生する負圧载荷のみ実施した。図 2-1 に、一部基礎非固定試験における载荷ステップを示す。载荷は、目標圧力あるいは浮き上がり回転角  $\theta$  が目標値に達した後、圧力を 10 秒程度維持してから除荷するという方法で実施した。浮き上がり回転角  $\theta$  は、図 2-1 中に定義した柱脚の浮き上がりを許容した構面における架構回転角である。図 2-1 に示すように、载荷ステップ 3 までは目標圧力  $P$  を 100Pa ずつ上昇させ、それ以降は浮き上がり回転角  $\theta$  を 0.01rad (0.06rad 以降は 0.02 rad) ずつ増加させた。载荷ステップ 10 では、浮き上がり変位が漏気防止シートの限界に達するまで载荷した。载荷ステップ 11~13 では、载荷ステップ 10 で生じたパネル受け材連結部破壊後の架台の損傷進展を確認するため、 $P = 800\sim 900\text{Pa}$  で繰り返し载荷した。なお、文献<sup>2)</sup>の全基礎固定試験における载荷ステップでは、架台が破壊に至るまで荷重ステップ毎に圧力  $P$  を 250Pa ずつ上昇させている。詳細は、文献<sup>2)</sup>を参照されたい。

### 3. 試験結果

図 3-1 に、全基礎固定支持条件における架台の破壊性状を示す。全基礎固定支持条件では、1250Pa において梁と支柱接合部に滑りが発生し、1800Pa において太陽電池モジュール受け材押え金具の緩みが見られ、最終的には 2600Pa において中央北側の基礎締結金具でボルトの端ぬけ破壊および基礎板の破断が発生した。全基礎固定支持条件における終局荷重 2600Pa は、設計荷重 1334Pa に対して 2 倍の余裕度を有することが示された。なお、文献<sup>2)</sup>では接合部の滑りが発生した 1250 Pa が架台の破壊荷重と判断している<sup>3)</sup>。

図 3-2 に、一部基礎非固定支持条件における架台の破壊性状を示す。北側中央の柱脚が浮き上がり、太陽電池モジュール面が大きく歪曲した。680Pa で非固定支持柱脚直上に配した北側中央の太陽電池モジュールフレームが座屈し、755Pa で同太陽電池モジュールのカバーガラスが破損した。その後も加圧し続けると、885Pa で最も北側に配したパネル受け材中央の連結部で太陽電池モジュール受け材が支圧破壊し、その後の繰り返し载荷で一つ南側の受け材押え金具が破損し落下した。架台の破壊荷重は 680Pa と判断でき、設計荷重 1334Pa に大きく満たなかった。

歪計測値から推定した曲げモーメント分布より、一部非固定支持条件において、東西方向のパネル受け材に発生した曲げモーメントは南北方向の梁に発生した曲げモーメントの 1/10 程度に留まることが分かった。一部基礎浮き上がり時に太陽電池モジュール受け材が抵抗して東西に隣接する南北架構まで応力を伝達するには、太陽電池モジュール受け材の曲げ剛性は低すぎることを示唆される。また、一部非固定支持条件においては、パネル受け材中央の連結部の固定度の低さが原因で、北側中央柱脚が浮き上がった際に中央の連結部で太陽電池モジュール受け材が折れ曲がるような変形を生じた (図 3-2 右)。その結果、折れ曲がり部直上に配したモジュールのフレームが座屈し、その後のカバーガラスの破損を誘発したと考えられる。文献<sup>2)</sup>においても指摘されているが、太陽光発電用架台では、接合部および継手部の破損で耐風圧性能が決定される傾向にあることが、本試験でも明らかとなった。



パネル受け材押え金具の緩み (1800 Pa)

基礎締結金具の破損 (2600 Pa)

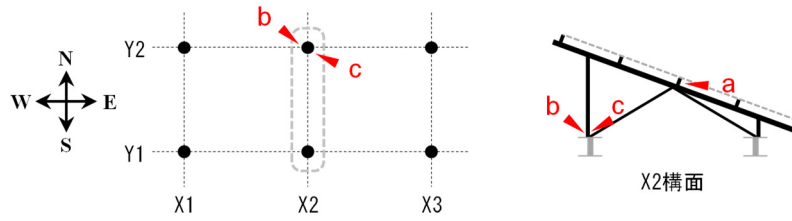
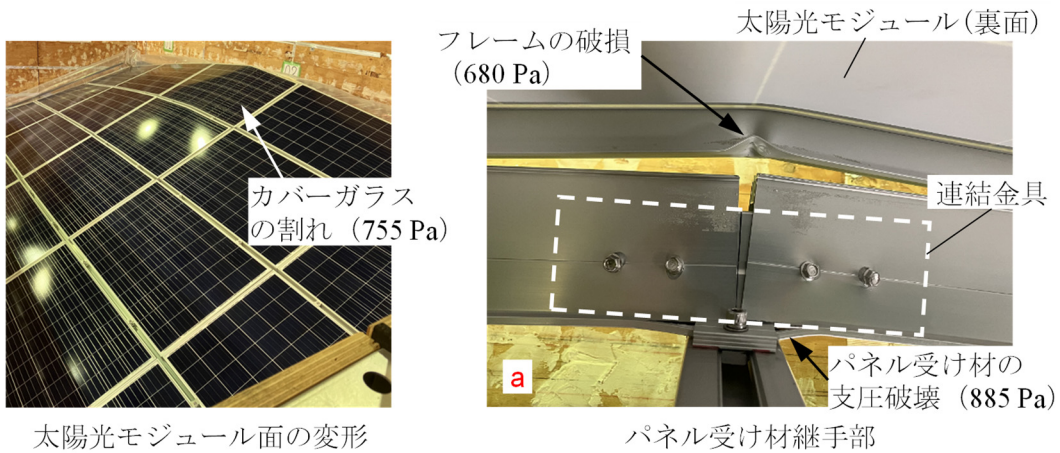


図 3-1 耐風圧実験における太陽光発電用架台の破壊状況 (全基礎固定支持条件)



太陽光パネル面の変形

フレームの破損 (680 Pa)

カバーガラスの割れ (755 Pa)

太陽光パネル(裏面)

連結金具

パネル受け材の支圧破壊 (885 Pa)

パネル受け材継手部

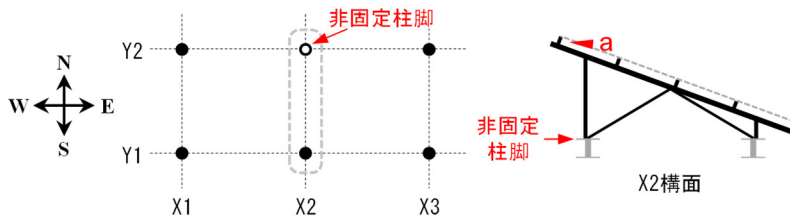


図 3-2 耐風圧実験における太陽光発電用架台の破壊状況 (一部基礎非固定支持条件)

#### 4. 設計時の留意点

以上より、太陽光発電用架台において一部の杭で支持力が不足した場合は、主に東西方向への架構の曲げ剛性の低さから、想定する耐風圧性能の保証が困難である可能性が示された。対処法として、第一に全ての杭基礎における設計支持力の確保が考えられるが、杭支持力の検査は実務上大きな労力を伴う。架台側の対処法として、東西方向の部材の曲げ剛性の向上や弱点となる可能性の高い接合部の補強、あるいは斜材を配して積極的に架台の浮き上がり剛性を増加させるなどが考えられる。

#### 参考文献・注釈

- 1) 地上設置型太陽光パネル発電システム架台の設計ガイドライン 2019年版 技術資料【G1】 , 2019年4月26日
- 2) 地上設置型太陽光パネル発電システム架台の設計ガイドライン 2019年版 技術資料【D1】 , 2019年4月26日
- 3) 「破壊」時と判断する条件は、①部材が破壊した場合（座屈、折損）、②接合部に滑りや変形による破壊が生じた場合、③試験体に著しい変形（100 mm 以上）が生じ、試験体の一部が試験装置に接触した場合、としている。

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（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」事業の結果として得られたものです。