

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

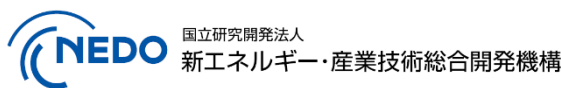
技術資料：

実物大模型実験による太陽電池アレイ架台の

凍上被害発生メカニズム解明の検討

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。

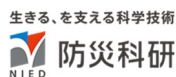
2023 年 4 月 28 日



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





## 実物大模型実験による太陽電池アレイ架台の凍上被害発生メカニズム解明の検討

### 1. 背景

近年、北海道の山間部や遊休農地などにおいて、太陽光発電設備が積極的に建設されている。しかしながら、凍上現象によるものと考えられる様々な被害が、道東地域で散見されるようになってきた。写真 1-1 は太陽電池アレイ架台の凍上被害の一例である。写真から、パネル間で段差が生じて、太陽電池モジュールが幾分反り上がっている様子が確認できる。架台が変形し続けると太陽電池モジュールの傾きや破損、倒壊の恐れがある。



写真 1-1 太陽電池アレイ架台の凍上被害の一例

2019 年に公開された「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」では、凍上対策に関する記載は十分ではなかった。特に、布基礎については、ガイドラインで示された埋設深さでは、凍上対策として十分な効果が得られない懸念があった。また、杭については具体的な凍上対策について明示されていなかった。

そこで、太陽光発電設備の建設に使用されている布基礎と各種の杭について実物大模型実験を行い、その凍上挙動を明らかにすることに取り組んだ。本資料では、布基礎と各種の杭の 2021 年冬期の凍上挙動について詳述するとともに、布基礎および杭の適切な埋設方法について紹介する。

### 2. 実験概要

太陽電池アレイの実物大模型は、凍上性を有する粘性土（凍上性・中位）で作られた盛土上に施工した。

図 2-1 は本研究で施工した布基礎と 2 種類の杭（H 形鋼杭とスパイラル杭）を模式的に示したものである。図中には各種の計測機器の配置についても併せて示した。実験は全 8 ケース実施している。まず、布基礎と 2 種類の杭には、北見市で想定される最大凍結深さ（ここ

では 0.7m に設定) よりも埋設深さが浅いケース (Case 1, 3, 6) と深いケース (Case 2, 4, 5, 7, 8) がある。次に、H 形鋼杭には埋戻し土に碎石を用いた置換工法を想定したケース (Case 5) がある。さらに、スパイラル杭には凍結深さを浅い羽根の数を減らしたケース (Case 7) と羽根の数が多きケース (Case 8) がある。本研究では全てのケースにおいて、盛土を開削した後に、布基礎と杭の設置を行っている。なお、通常、H 形鋼杭は打設で、スパイラル杭は回転貫入させることで施工されるが、後述の荷重計を埋設する目的で、布基礎同様に埋戻しで施工した。

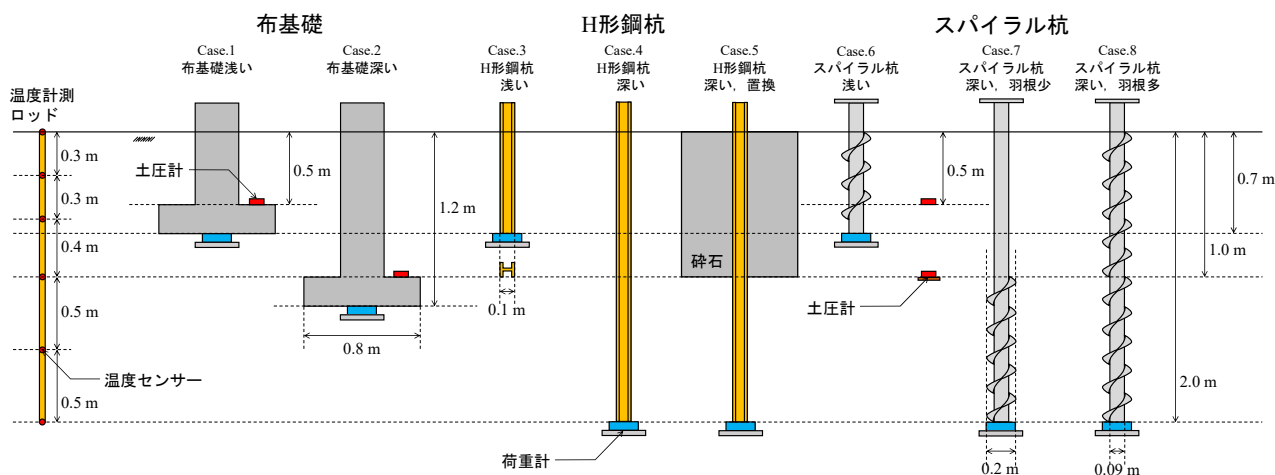


図 2-1 布基礎と 2 種類の杭 (H 形鋼杭とスパイラル杭) の模式図

各種の計測機器のうち、荷重計は凍上融解に伴う布基礎の底面および杭先端にかかる荷重の変化を、温度計測ロッドは布基礎および杭周辺の凍結深さを、土圧計は布基礎のフーチング上面やスパイラル杭の羽根にかかる土圧を計測することを目的として埋設している。荷重、土中温度、土圧は毎時自動計測した。各ケースの凍上量については、定期的 (概ね 1 週間に 1 度) に水準測量を行うことで観察している。なお、実物大模型周辺では計測期間中に除雪を行った。

### 3. 実験結果および考察

図 3-1 は布基礎と 2 種類の杭の凍結深さ、鉛直変位量、荷重、土圧の経時変化を表している。まず、H 形鋼杭 (図 3-1(b)) の挙動を見ると、12 月末頃に凍結深さが約 30cm に達し、荷重が減少していることが分かる。その後、荷重がゼロになると浅い杭 (Case 3) では徐々に凍上していることが確認できる。また、深い杭 (Case 4) では遅れて凍上が始まるものの、その凍上量は 1/2 程度に低減されていることが確認できる。一方で、碎石で置換したもの (Case 5) でも凍上が発生している。これは置換範囲外の地盤と置換した碎石とが凍結し、一体となって凍上したためと考えられる。次に、スパイラル杭 (図 3(c)) に着目すると、H 形鋼杭同様に凍結が進行すると荷重が低下し、浅い杭 (Case 6)、羽根を減らした杭 (Case

7)、埋設深さが深く羽根が多い杭 (Case 8) の順に凍上が発生している。しかしながら、埋設深さが深く羽根が多い杭 (Case 8) では凍上量が極めて少ないことが確認できる。土圧を見ると、凍結深さが 0.5m に達した時点で、深さ 0.5m の土圧の上昇を確認することができる。このことから、スパイラル杭の羽根に土圧が作用し、これにより杭の持ち上がりが抑制されたものと考えられる。最後に、布基礎 (図 3(a)) に着目すると、浅い布基礎 (Case 1) では凍結深さがフーチング上面に達した時点で、荷重および土圧がゼロとなり、凍上が発生していることが確認できる。一方で、深い布基礎 (Case 2) では荷重はゼロになるものの、フーチング上面の土圧は凍結深さが深くなるに従って、上昇を続けていることがわかる。このことから、フーチング上面に土圧が作用し、これにより布基礎の持ち上がりが抑制されたものと考えられる。

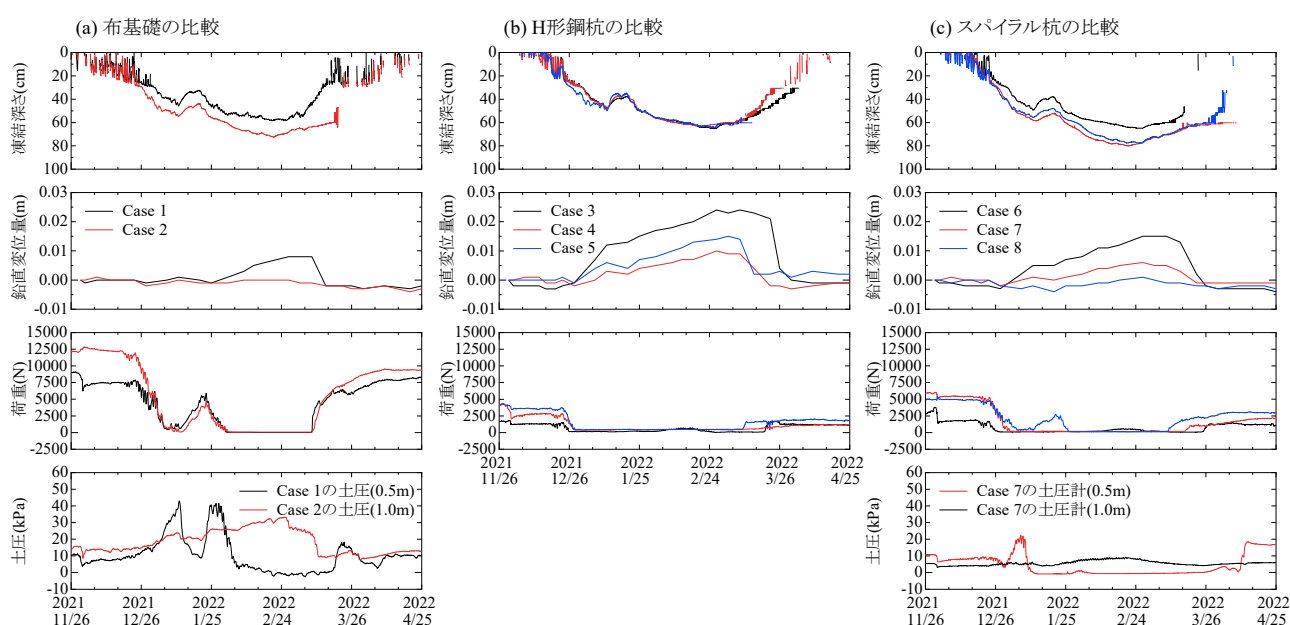


図 3-1 布基礎と 2 種類の杭の凍結深さ、鉛直変位量、荷重、土圧の経時変化

#### 4. 実験結果から得られた知見をもとにした基礎および杭の適切な埋設方法

架台の基礎として、布基礎やスパイラル杭を用いることは凍上対策として有効である。これは、布基礎のフーチングおよびスパイラル杭の羽根の上面に、土圧が作用して、凍上による鉛直上方への変位を抑制するためである。

図 4-1 に布基礎ならびにスパイラル杭の適切な埋設方法について示す。布基礎では図 4-1(a)のように、埋設深さを地表面からフーチング上面までの深さとして、予測される最大凍結深さの 1.2 倍程度の深さで設計することで凍上を防ぐことができる。また、スパイラル杭では図 4(b)のように、最大凍結深さの 2 倍から 3 倍程度深く埋設することで、凍上対策として高い効果が得られることが明らかとなった。なお、羽根の無い円筒型の杭や H 型鋼の杭、

羽根の小さなスクリー杭等でも、埋設深さが適切であれば、凍上による変位を低減することができると考えられる。

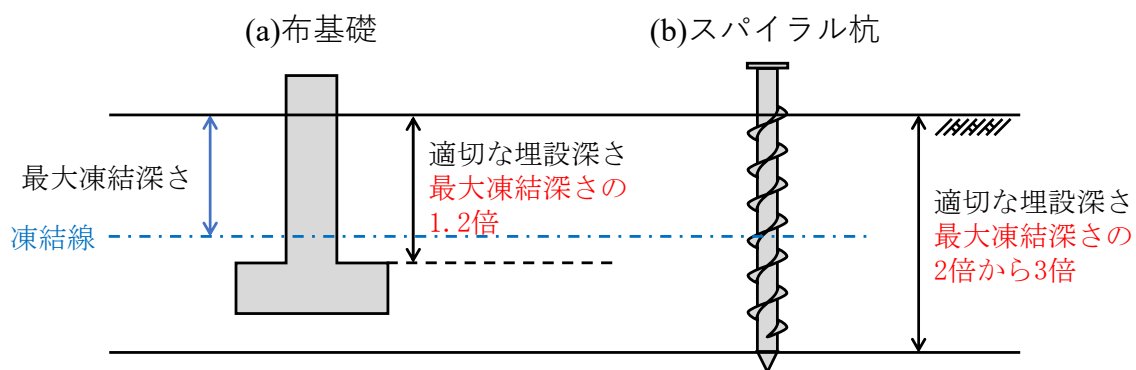


図 4-1 布基礎ならびにスパイラル杭の適切な埋設方法

以上の基礎および杭の適切な埋設方法については、傾斜地設置型ならびに営農型太陽光発電設備だけでなく、地上設置型太陽光発電設備にも有効であると考えられる。

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。