

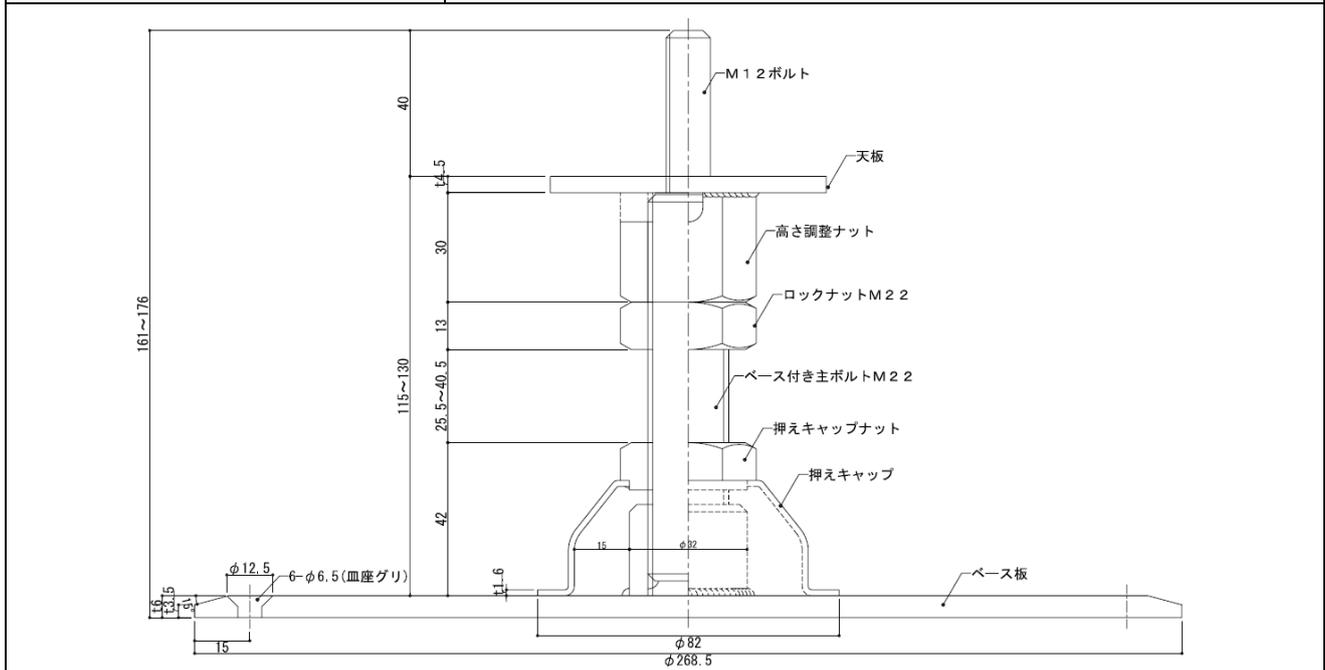
P V - F I X「ソーラーベースS」の設計について

2016年11月1日

田島ルーフィング株式会社

. ソーラーベースSの仕様

材質	一般構造用圧延鋼材 S S 4 0 0	
メッキ	溶融亜鉛メッキ HD Z 4 5 (ボルト部HD Z 3 5)	
重量 (k g)	3.3	
底板寸法 (m m)	直径	268.5
	板厚	6.0
天板部高さ (m m)	120.6 ~ 135.6 (高さ調整範囲 15mm)	
設計耐力 (k N)	引張方向	6.0
	圧縮方向	6.0
	水平方向	2.0
下地固定用アンカーの設計	ソーラーベースS設計耐力内において変位を生じない (アンカー1本当たり引抜き 2000N以上確保 注1)	



注1：必ず現地にてアンカーの引抜き試験を行い、1本当たり2000N以上得られることを確認する
固定にはエポキシ樹脂系接着剤を用いるが、引抜き試験はエポキシ樹脂を用いずに確認する
2000Nを下回る場合は、ソーラーベースSの設置は行わない

注2：実際に使用する架台の構造計算を行い、基礎に作用する力がソーラーベースSの設計耐力を上回らないよう安全性を検討する

注3：ベースレール等、架台の下端部は、ソーラーベースS天板に直に接地するよう固定を行う
嵩上げ材等は用いない

注4：適用下地は、コンクリートのみとする。ALCパネル、スチールデッキ等は不可

・ソーラーベースSの耐力設計

ソーラーベースS耐力設計

ソーラーベースSの設計耐力の設定においては、鋼材の降伏耐力を基準とし弾性範囲内かつ安全率を考慮し設定した。また、鋼材の降伏後から破壊耐力までは十分な余裕をみて製品設計を行っている。

想定外の荷重が生じた場合においても、鋼材の降伏を先行させることで極めて韌性に富んだ製品設計としている。

アンカー部の設計

ソーラーベースSの下地に対する固定部に関しては、アンカー固定を行う設計となっている。このアンカー固定強度の設計においては、ソーラーベースSの降伏後においても引き抜きによる変位、耐力の低下が生じない強度を設定している。

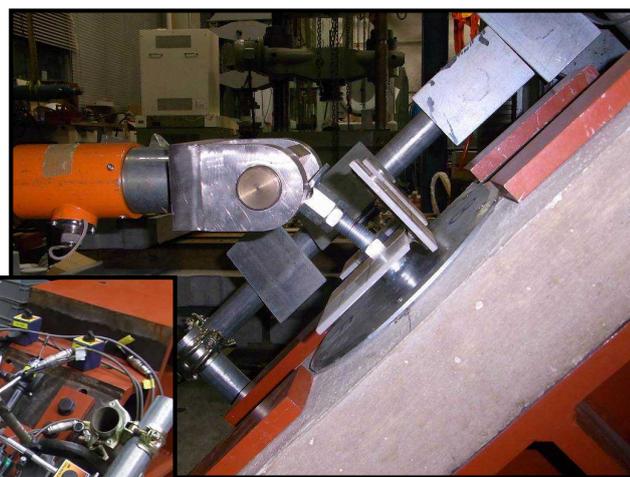
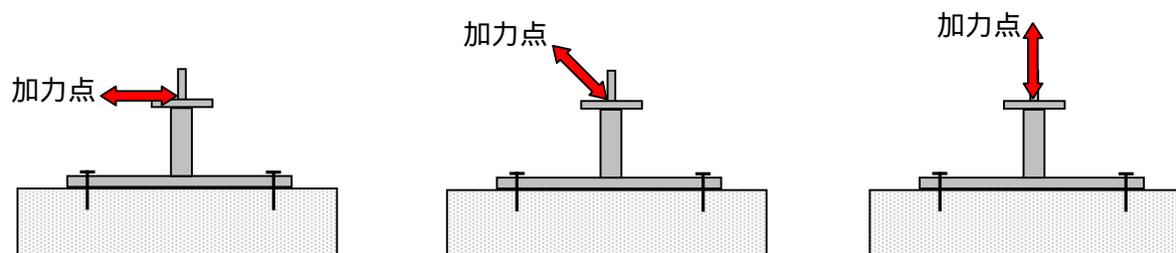
従って、設計耐力は製品形態そのものの状態を用いた実験により決定した。

耐力設定方法

ソーラーベースSは、鋼材を組み合わせて構成された部材である為、製品形態そのものの状態に対する加力試験による実験値から設計耐力を設定した。

加力試験での加力方向は、鉛直方向、水平方向及び斜め45°方向とした。

加力試験における加力点は、実際に力が作用する天板ボルト下端部とし、製品内各部位の荷重-変形関係、破壊状況等より設計耐力を設定した。



ソーラーベース S 設計耐力

ソーラーベース S の加力試験より、設計耐力を鉛直方向 6 k N、水平方向 2 k N とした。

これより、下記「 $(N/6)^2 + (Q/2)^2 \leq 1$ 」で示される領域を安全領域とする設計耐力図を設定した。

加力試験方法、結果については別紙資料参照

(「太陽光パネル設置基礎の構造性能に関する研究」 2011 年日本建築学会大会学術講演梗概)

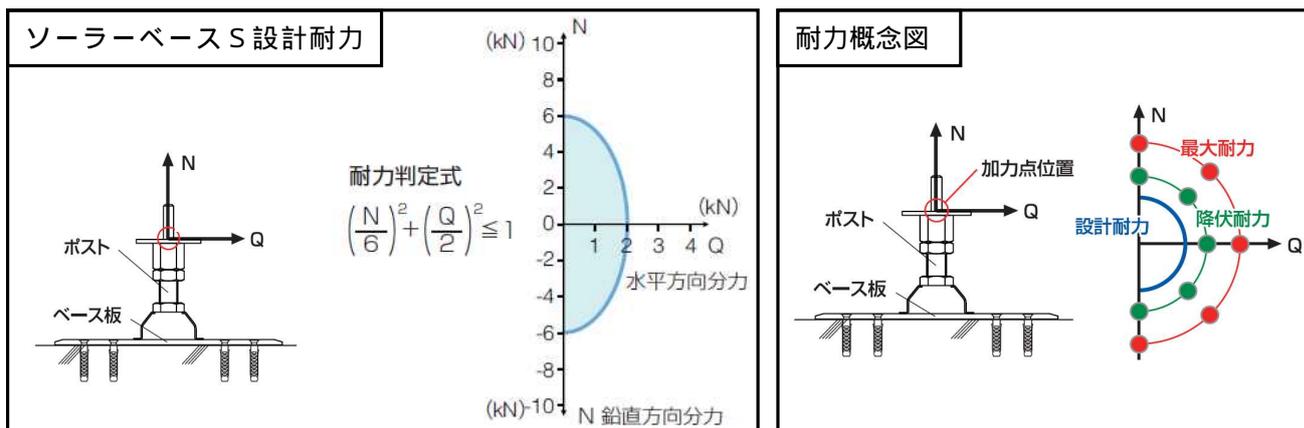
	設計耐力(k N)	最大耐力(k N)	最大耐力時の状態
鉛直 (引張)	6.0	20.0 以上	材料の変形 天板ボルト部の破壊
鉛直 (圧縮)	6.0	30.0 以上	材料の変形 測定限界
水平	2.0	8.0 以上	材料の変形 測定限界

(耐力判定式)

$(N/6)^2 + (Q/2)^2 \leq 1$ **OK**

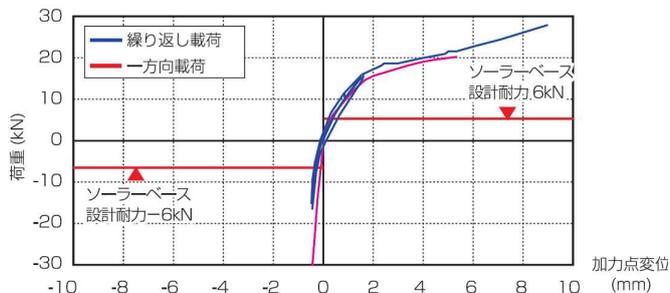
$(N/6)^2 + (Q/2)^2 > 1$ **NG**

N : 架台から基礎部に作用する荷重の鉛直方向分力 (k N)
Q : 架台から基礎部に作用する荷重の水平方向分力 (k N)

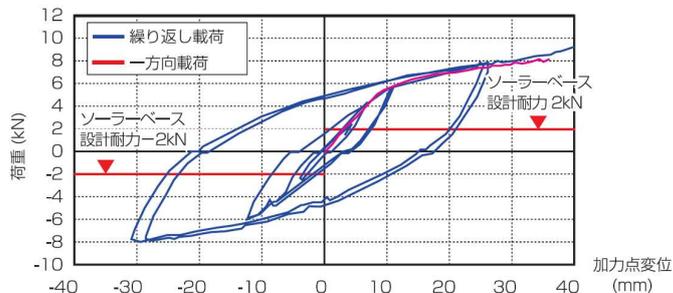


ソーラーベース本体 荷重変形特性

■ソーラベース鉛直方向グラフ



■ソーラベース水平方向グラフ



結果

- 繰り返し載荷及び一方方向載荷の履歴は設計耐力内において同様の結果を示している。
- 繰り返し載荷の履歴より設計耐力内においては、弾性挙動を示していることが確認できる。
- ソーラーベース・ソーラーベースWは弾性限界から終局耐力まで十分な余裕がある。
(設計耐力を超える荷重がかかっても容易に破壊しない)

アンカー固定強度（引抜き耐力）

下地への固定用アンカーの引抜き強度 2000N以下となる低強度コンクリートを用いた加力試験において、アンカー固定部の緩み、ズレは確認されなかった。

アンカーの引抜き試験において、2000N/本をソーラーベースS設置条件とする。



ソーラーベースSへの想定荷重に対する耐力の判定

ソーラーベースSの耐力は、アンカー固定部に依存せずソーラーベース本体耐力で決まる設計とした。

従って、想定荷重に対する耐力判定は以下の通り行う。

想定荷重とソーラーベースSの設計耐力との比較を耐力判定式を用いて行う

現地でのアンカー引抜き試験を行い、引抜き強度が 2000N/本得られることを確認する

引抜き試験は、エポキシ樹脂系接着剤を用いない状態で行う

アンカー一部荷重変形特性

測定項目

ソーラーベース設置時のアンカー部変位

下地コンクリート強度水準

- さまざまな下地想定し、下地コンクリートは低強度および高強度のコンクリートを使用した。

$$F_c = 10\text{N/mm}^2$$

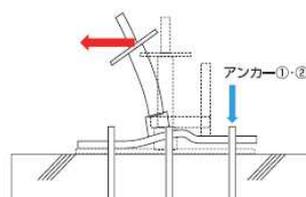
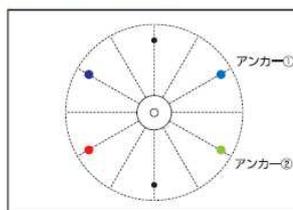
}

$$F_c = 30\text{N/mm}^2$$

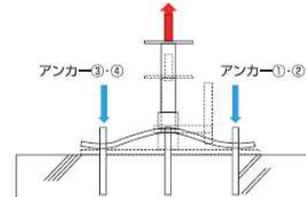
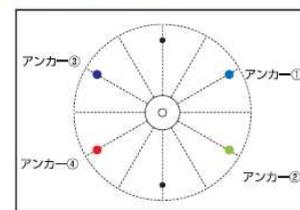


■アンカー一部荷重変形特性試験

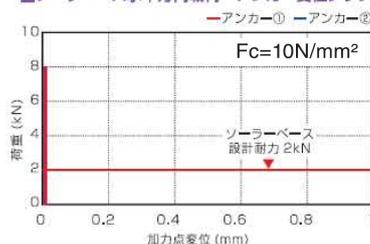
■水平方向への荷重



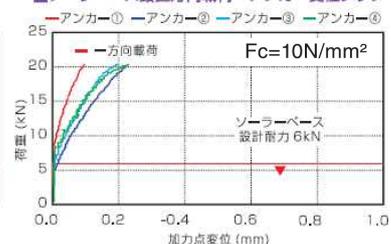
■鉛直方向への荷重



■ソーラーベース水平方向荷重 アンカー変位グラフ



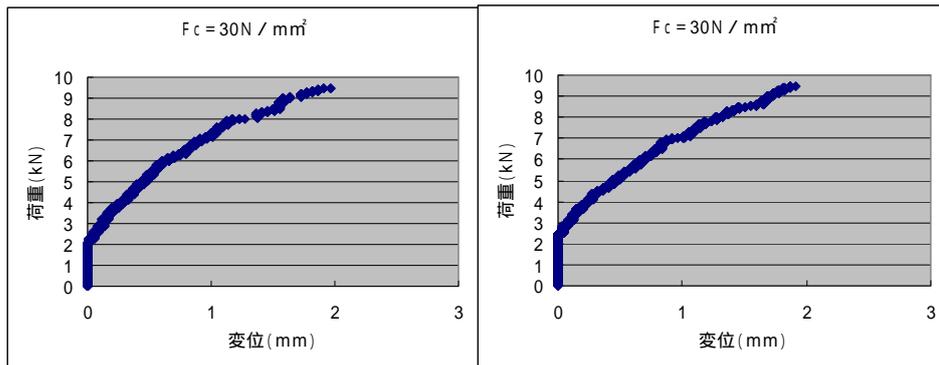
■ソーラーベース鉛直方向荷重 アンカー変位グラフ



結果

- 設計耐力内において固定部の荷重変形特性から耐力は固定部（アンカー部）に依存しない。

・コンクリート $F_c = 30\text{N} / \text{mm}^2$

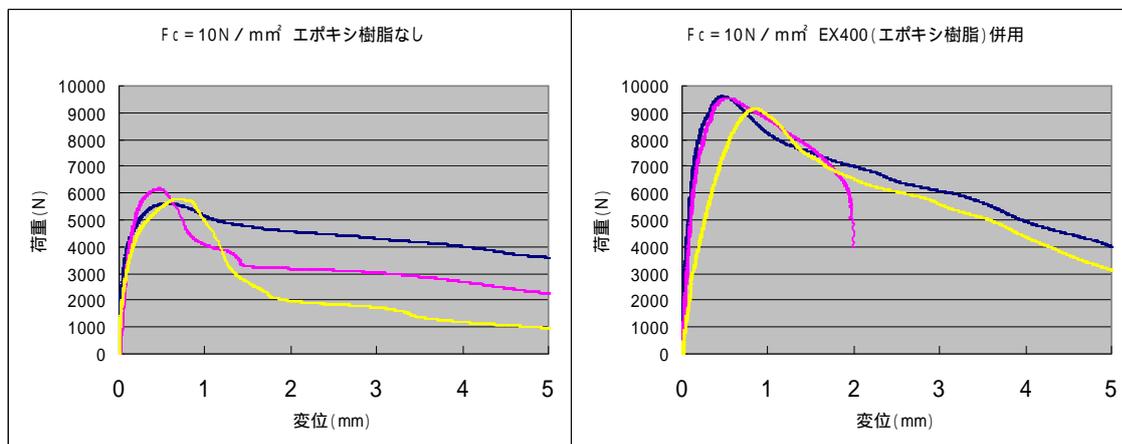


エポキシ樹脂接着剤有無による引抜強度測定

下地コンクリートは、低強度のコンクリートを用いた。

- 試験方法 : 万能材料試験機による引抜試験
- 試験機 : オートグラフ AG - 2000 E (島津製作所)
- 試験速度 : 1mm / min
- 供試体 : P Vアンカー40
ARケミカルセッター EX400 (エポキシ樹脂接着剤)
- 埋込み深さ : 40mm
- コンクリート : 設計基準強度 $F_c = 10\text{N} / \text{mm}^2$ (4週強度 $14.8\text{N} / \text{mm}^2$)

(試験結果)



太陽光パネル設置基礎の構造性能に関する研究

太陽光パネル	基礎	アンカー	正会員	○原田隆一郎* ¹	正会員	渡邊 信* ²
下地コンクリート	載荷試験	降伏耐力	正会員	中沢裕二* ³	正会員	福田杉夫* ³
			会員外	武藤靖幸* ³	正会員	小林正人* ⁴

1. はじめに

太陽光パネルを設置する際には、図 1 の基礎および支持架台が必要である。また、近年ではコンクリートスラブにあと施工が可能な基礎が開発されている。しかし、基礎の構造性能については十分に把握されていない。本研究では、載荷試験を行うことで確認する。

2. 実験概要

基礎の先端には各方向から荷重がかかると想定される。そこで載荷試験により各方向から加力を行い、基礎の破壊性状、最大耐力および降伏耐力を確認する。

写真 1 に基礎を示す。下地コンクリートにケミカルアンカーを用い、ソーラーベースを 6 点固定している。ソーラーベースは SS400 のベースプレート、M22 ボルト、M12 ボルトなどで構成されている。ベースプレート部分の直径は 268.5mm、全体の高さは 15mm 調節が可能であり、本実験では最高高さ 175.5mm の状態で行う。写真 2 にケミカルアンカーを示す。サイズはφ8mm、長さ 55mm である。

表 1 に試験体一覧を示す。試験体は下地コンクリートの強度および加力方向をパラメーターとする。下地コンクリートには低強度の屋根材を想定した F_c (設計基準強度) = 10N/mm² に加え、 $F_c = 35$ N/mm² を使用する。また、コンクリートを使用せず、治具に直接固定し、ソーラーベース単体の挙動を確認する。これにより、コンクリートの有無および強度による影響を確認する。加力方向は水平 (0°)、鉛直 (90°) および 45° 方向とする。なお、45°、90° については正加力 (引き) および負加力 (押し) がある。また、正負繰り返し加力を行い、試験体への影響を確認する。合計 18 種類の載荷試験により基礎の構造性能を評価する。

図 2 に 45° 方向の加力状況を示す。載荷試験は水平に設置したジャッキに対して試験体に角度をつけることにより行う。加力時の変位は矢印方向のジャッキの伸縮量を、荷重はジャッキに取り付けたロードセルにより計測する。図 3 に 45° 方向の正負繰り返し加力計画を示す。

3. 実験結果

図 4 に一方向載荷試験の実験結果を、図 5 に $F_c = 10$ N/mm² を使用した試験体の正負繰り返し載荷試験の実験結果を示す。90° 方向の試験を除き、各試験体に多少ばらつきは見られるが、 $F_c = 10$ 、35N/mm² を使用した試験体はコンクリート無しの試験体のばらつきの範囲内であり、剛性、耐力共に同程度の性能を示している。90° 方向の試験で

はコンクリート有りの試験体において僅かに剛性の低下が確認された。一方、耐力に関してはコンクリートの有無に関係なくほぼ等しいことを確認した。正負繰り返し載荷試験においては同強度のコンクリートを使用した一方向載荷試験の実験結果と比べ、剛性、耐力共に大きな低下がないことを確認した。90° 方向の負加力は剛性の低下を確認したが、耐力に関しては変化が見られなかった。また、コンクリートの破壊は確認されず、鋼材の降伏により安定したループとなることが確認できた。

全試験体で下地コンクリートの破壊は見られず、0° 方向に加力した試験体はポスト部分の曲げ変形が増加したため、加力を中止した。45° および 90° 方向の正加力試験では M12 ボルトが破断したため、加力を終了した。90° 方向の負加力試験は 30kN 程度まで大きな変形は見られず実験装置への影響を考え、破壊箇所が認められない段階で実験を終了した。この時の荷重を最大耐力とする。

4. 降伏耐力の算出

本実験では荷重-変形関係より降伏耐力の算出を行う。その際、本研究では荷重-変形関係を鋼材の履歴曲線の基本関数として Menegotto-pinto モデル (以下 M-P モデル) を用い¹⁾、置換することで降伏耐力位置を明確にする。M-P モデルより得た荷重-変形関係から最大耐力の 20% 時および 40% 時を結んだ剛性を各試験体の初期剛性とし、割線剛性が初期剛性から 5% 低下した時点の荷重を降伏耐力と定義する²⁾。この方法で算出した各試験体の降伏耐力を表 2 に示す。ただし、90° 方向の負加力試験は剛性低下が見られないため、降伏耐力は正加力試験と同程度とした。

各加力方向の降伏耐力に多少ばらつきが見られる。そのため、試験体の破壊状況から 0° 方向および 90° 方向の正加力試験の降伏耐力を (1)、(2) 式により求める。

$$Q_y = \frac{\sigma_y \times Ze}{h} \quad (1)$$

$$N_y = \frac{\sigma_y \times a \times l}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

ここで、 Q_y : 0° 降伏耐力、 N_y : 90° 降伏耐力、 σ_y : 降伏応力 (=273N/mm²)、 Ze : 断面係数、 h : ポスト部分の長さ (=75mm)、 a : 破断面の高さ (=2.0mm)、 l : 破断面の円周 (=32.55mm)

計算値の降伏耐力が M-P モデルにより求めた降伏耐力よりも下回ることを確認したため、基礎の降伏耐力は計算により求めた値とする。表 2 に計算により求めた降伏耐

力を、図 6 に各試験体の降伏耐力および計算により求めた降伏耐力を結んだ境界線を提示したグラフを示す。

5. まとめ

コンクリートの破壊はなく、全試験体で鋼材が先行して降伏することを、90° 方向はコンクリートの有無により剛性が低下することを確認した。また、一方向荷重試験により降伏耐力を求めた。繰り返し荷重試験により耐力低下がないこと確認した。

今後、本研究で求めた降伏耐力を利用し、安全率を考慮した設計用耐力を検討する。

謝辞

本研究は田島ルーフィング(株)開発部の助成および協力を得た。

参考文献

- 飯田智祐、五十嵐規矩夫、金子洋文、柳瀬博友：角材鋼管柱梁接合部パネルの力学的挙動および耐力推定式に関する研究(その 3 繰返し履歴曲線モデル)、日本建築学会大会学術講演梗概論、2005 年 9 月
- 田井暢、宋書海、崔瑤、羅雲標、中島正愛：SFRC 床スラブを鋼製スタッドによって緊結した柱梁接合部の提案とその履歴特性

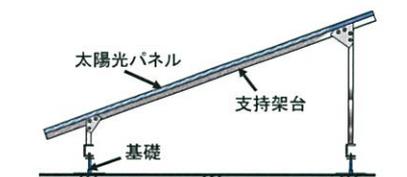


図 1 太陽光パネル設置システム



図 2 加力状況

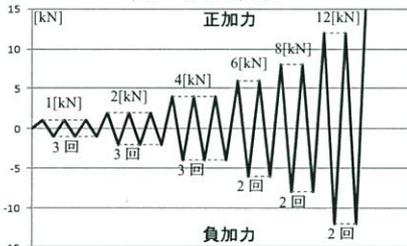


図 3 加力計画

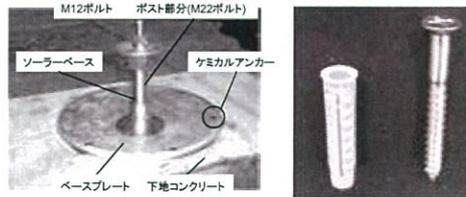


写真 1 基礎 写真 2 アンカー

表 1 試験体一覧

試験体設置角度	コンクリート強度		
	35N/mm ²	10N/mm ²	無し
水平(0°)	一方向	正負繰り返し一方向	一方向×3
45°	一方向(正・負)	正負繰り返し一方向(正・負)	一方向×3(正・負)
鉛直(90°)	一方向(正・負)	正負繰り返し一方向(正・負)	一方向×3(正・負)

表 2 各試験体の降伏耐力および許容耐力

	0° [kN]	45° 引き[kN]	45° 押し[kN]	90° 引き[kN]
35N/mm ²	5.5	15.7	-9.8	13.6
10N/mm ² (1体目)	4.8	13.9	-7.2	12.1
10N/mm ² (2体目)	4.7	-	-	-
10N/mm ² (3体目)	4.2	-	-	-
10N/mm ² (4体目)	3.5	-	-	-
コンクリート無し(1体目)	3.7	12.6	-8.8	11.2
コンクリート無し(2体目)	4.5	13.1	-7.9	12.4
コンクリート無し(3体目)	5.5	12.8	-8.0	11.2
コンクリート無し(4体目)	4.5	-	-10.3	-
降伏点の計算値	2.7	3.0	-3.0	10.3

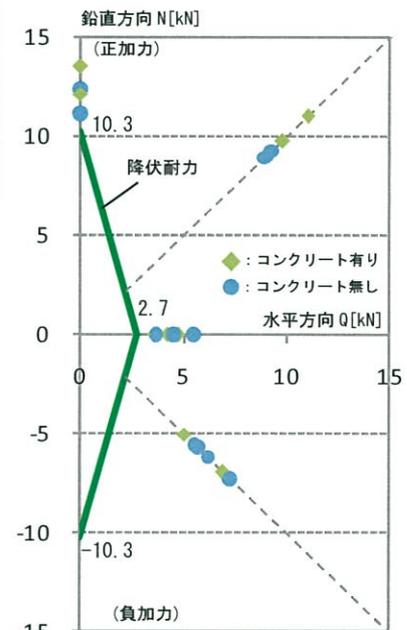
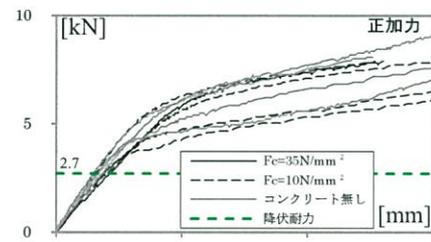
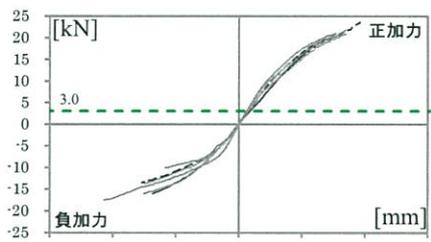


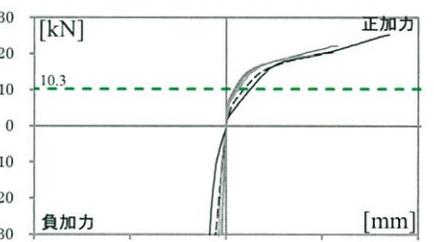
図 6 降伏耐力の境界線



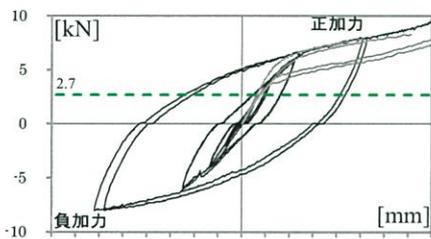
(a) 0° 方向加力



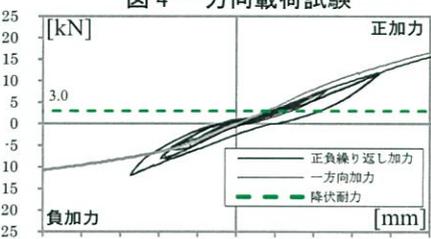
(b) 45° 方向加力
図 4 一方向荷重試験



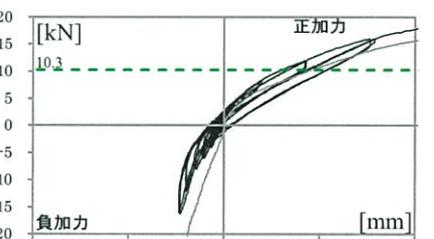
(c) 90° 方向加力



(a) 0° 方向加力



(b) 45° 方向加力



(c) 90° 方向加力

図 5 正負繰り返し荷重試験 (Fc=10N/mm²)

*1 清水建設(株) (元 明治大学)

*2 明治大学大学院 博士課程・前期

*3 田島ルーフィング(株)

*4 明治大学理工学部建築学科 准教授

*1 Shimizu Corporation

*2 Graduate School of Science and Technology, Meiji Univ.

*3 Tajima Roofing INC.

*4 Associate Professor, Dept. of Architecture, School of Science and Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.