

# 鳥居C区画案件

## 架台強度計算書

(JIS C8955:2017準拠)

構造設計

厦門カセング金属科技有限公司

承認	確認	作成
	Fellow	HZX

令和

5

年

7

月

17

日

V1

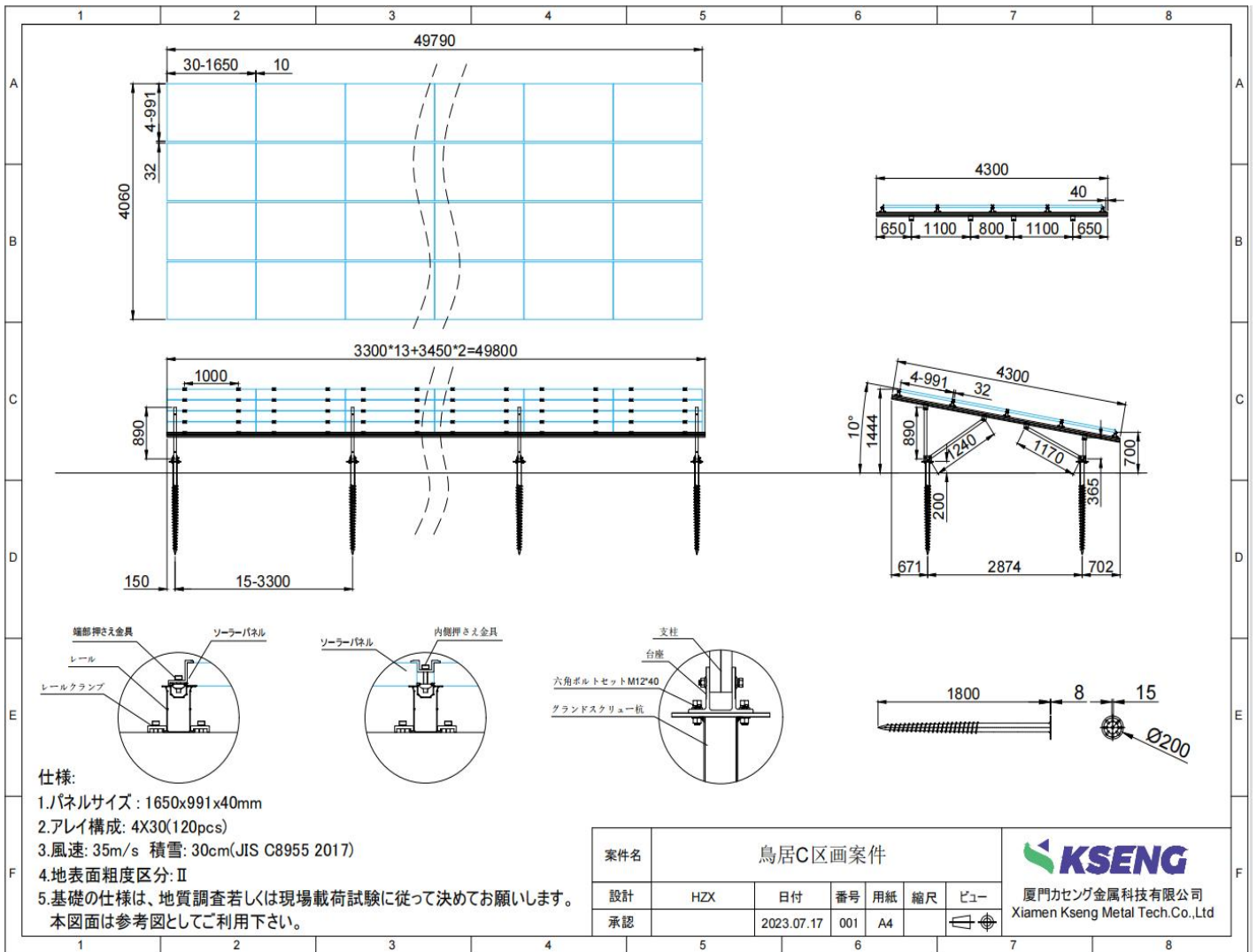
## 計算書目次

§ 1	一般事項
	1-1 架台概要
	1-2 構造設計方針
	1-3 準拠基準・図書
	1-4 使用材料・基準強度
	1-5 GB&JIS材質比較(成分及び機械性能の照査)
	1-6 腐食対策
	1-7 使用部材の許容応力度算定
§ 2	荷重事項
	2-1 固定荷重G
	2-2 風圧荷重
	2-3 積雪荷重
	2-4 地震荷重
§ 3	架構応力の計算
§ 4	接合部の検討
§ 5	基礎の検討

# §1 一般事項

## 1-1 架台概要

1) 建設場所	鳥居C区					
2) 主要用途	通常の太陽光発電所					
3) 規模	総出力	334.8	kW			
4) 構造	アルミ架台					
5) 外力条件						
a) パネル規格	1650	x	991	x	40	mm
b) パネル重量	18.5	kg/枚				
c) 置き方	横置き					
d) パネル枚数	4	x	30	=	120	枚
e) 設置角度 $\theta$	10	°				
f) 設計用基準風速	35	m/s				
g) 地上垂直積雪量	30	cm	一般地域			
h) 地表面粗粒度区分	II					
i) 最大高さ	1.444	m				
j) 設置場所	地上					
k) 東西ピッチ	3300	mm				
l) 計算基準	日本JIS C 8955:2017					
6) 架台図面						



本設計は「建築基準法、同施行令及び告示」・関係法規並びに下記規準に準拠する。

適用基準

- 太陽電池アレイ用支持物設計標準(JISC8955-2017)
- アルミニウム建築構造設計基準・同解説(平成28年3月)
- 電気設備の技術基準の解釈(令和5年3月20日改正)
- 地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2019年度版
- 営農型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン2021年版
- 国土交通省告示第1113号(平成13年7月2日)(最終改正 平成19年9月 告示第1232号)
- 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)
- 2020年版 建築物の構造関係技術基準解説書
- 軽鋼構造設計指針・同解説(2002年)

1-3 使用材料・基準強度

(●は採用を示す)

1) 使用材料

- a. アルミ合金 ● A6005CS(JIS H4100) JIS適合認証品
- b. スクリュー杭 ● SS330(JIS G3101)同等品
- c. ボルト ● SUS304(JIS G 4305)同等品
- d. 塗装 ● アルミ陽極酸化皮膜10 $\mu$ 以上(JIS H 8601 AA10相当)  
● 溶融亜鉛メッキ皮膜80 $\mu$ 以上(JIS H 8641 HDZ55相当)
- e. コンクリート ○ なし
- f. アンカーボルト ○ なし
- g. 溶接 ○ なし

2) 使用材料の基準強度

a. アルミ合金 (N/mm<sup>2</sup>)

種類	材質	基準強度 [F]	長期			短期		
			圧縮	引張		圧縮	引張	
				せん断補強 以外に使用	せん断補強 強に使用		せん断補強 以外に使用	せん断補強 強に使用
アルミ合金	A6005CS	196	130	130	130	196	196	196

b. 鋼管杭 (N/mm<sup>2</sup>)

種類	材質	基準強度 [F]	長期			短期		
			圧縮	引張		圧縮	引張	
				せん断補強 以外に使用	せん断補強 強に使用		せん断補強 以外に使用	せん断補強 強に使用
鋼管杭	Q235B	205	137	137	137	205	205	205

c. ボルト 基準強度 [F] 450 (N/mm<sup>2</sup>)

種類	径	長期 (KN)				短期 (KN)			
		引張	せん断		引張	せん断			
			一面	二面		一面	二面		
SUS304	M8	10.98	6.3	12.6	16.47	9.45	18.9		
SUS304	M10	17.4	10	20	26.1	15	30		
SUS304	M12	25.29	14.58	29.16	37.94	21.87	43.74		

※短期は長期の1.5倍

## 1-4 材質説明、及びGB & JIS比較(成分及び機械性能の照査)

付: 廈門カセング架台使用材料の材質説明

### 一覧表

番号	名称	規格記号	相当JIS規格
1	アルミ合金	A6005CS	JIS H 4100 認証品
		陽極酸化皮膜10 $\mu$ m以上	JIS H 8601 AA10
2	小径回転圧入鋼管杭 (スクリュー杭)	GB Q235B	JIS G 3101 SS330
		熔融亜鉛メッキ80 $\mu$ m以上	JIS H 8641(2007) HDZ55
3	ボルト類	SUS304	JIS B 1181 JIS G 4305

表1-1 アルミ合金化学成分(JIS認証)

材料記号	基準	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	zn	V,Zr,Ni,Bなど	Ti	その他		AL
											個々	合計	
A6005CS	JIS H 4100	0.40~0.90	0.35以下	0.35以下	0.50以下	0.40~0.8	0.30以下	0.25以下	Mn+Cr:0.50以下	0.10以下	0.05以下	0.15以下	残部

表1-2 アルミ合金機械性能比較表

材料記号	基準	引張試験					
		試験箇所肉厚 mm	断面積 cm <sup>2</sup>	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	耐力 N/mm <sup>2</sup>	伸び <sup>a,b)</sup> %	
						A <sub>50mm</sub>	A
A6005CS	JIS H 4100	6以下	-	245以上	205以上	-	8以上

降伏強度Rp0.2  
N/mm<sup>2</sup>

表1-3 アルミ合金陽極酸化皮膜厚さ等級

等級	基準	AA3	AA5	AA6	AA10	AA15	AA20	AA25
平均皮膜厚さ $\mu$ m	JIS H 8601	3.0以上	5.0以上	6.0以上	10.0以上	15.0以上	20.0以上	20.0以上

\*カセング架台の陽極酸化皮膜は10 $\mu$ 以上で管理するので、AA10に相当する。

表2-1 スチール(スクリュー杭)化学成分比較表

材料記号	基準	C	Si	Mn	P	S
SS330	JIS G3101	-	-	-	≤0.050	≤0.050
Q235B	GB/T700	≤0.02	≤0.35	≤0.14	≤0.045	≤0.045

表2-2 スチール(スクリュー杭)機械性能比較表

材料記号	引張試験(鋼板厚みmm 16<5≤40)			
	降伏点又は耐力 N/mm <sup>2</sup>	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	伸び <sup>a)</sup>	
			%	試験片
SS330	205≤	330-430	21≤	1A号
Q235B	235≤	375-500	26≤	GB/T2975

表2-3 スチール(スクリュー杭)皮膜厚さ等級

種類	記号	基準	付着量 g/m <sup>2</sup>	平均めつき膜厚 $\mu$ m(参考)
2種55	HDZ 55	JIS H 8641	550以上	76以上

\*カセング架台の熔融亜鉛メッキ膜厚は80 $\mu$ m以上で管理するので、HDZ55に相当する。

表3-1 ボルト類化学成分比較表

材料記号	基準	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	その他
SUS304	JIS G 4305	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00~ 10.50	18.00~ 20.00	-	-	-	-
SUS304	GB	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00~ 10.50	18.00~ 20.00	-	-	-	-

表3-2 ボルト類機械性能比較表

材料記号	基準	鋼種分類	鋼種区分	強度区分	引張強さ Rm a) 最小Mpa	永久伸び0.2%耐力 Rp0.2 a) 最小Mpa	破断後の伸び A b) 最小mm
SUS304	JIS B 1054-1.2013	オーステナイト系	A2	70	700	450	0.4d
SUS304	GB/T 2098.6-2000	オーステナイト系	A2	70	700	450	0.4d

## 1-5 腐食対策

### 1) 一般的な腐食(均一腐食)について(架台)

「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」8.3 大気中(架台)の腐食と対策(P98)により、架台はアルミAL6005-T5材質を採用し、均一腐食が起こらないで、減肉に至らないので、対象から外しました。

#### 8.3.2 一般的な腐食(均一腐食)

架台は、材料に有効な防食処置を施して使用することが必要である。防食処置は、架台が設置される周辺環境を考慮して選定された適切な表面処理により行うことが必要である。

1. 基本的には材料が鋼材である場合を対象とする。A6000系のアルミニウム合金材の場合、大気環境中では均一腐食が起こらないため、対象から外した。飛来塩分の多い環境ではアルミニウム合金材表面に孔食が無数に発生することがあるが、減肉に至るほどではない<sup>8-1)</sup>。ただし、海水が直接かかるような環境では、問題が生じる可能性がある。

### 2) 地中部(鋼製)の腐食について(鋼管杭)

「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」8.4 地中部(鋼製)の腐食と対策(P107)により、耐食性の確認では、建設技術審査証明や国土交通大臣認定などを参考に検討することも可能である。鋼管杭は溶融亜鉛めっき(後めっき)、平均皮膜80 $\mu$ m以上の表面処理を行い、JIS H 8641 HDZ55相当である。

表 8-3 鋼製杭に用いられる代表的な材料と表面処理の種類

材料	表面処理	特徴
鋼材	溶融亜鉛めっき (後めっき)	加工後にめっきを行うため、切断面や加工部にもめっきがある。 【例】 JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」 など

\* HDZ55の平均膜厚76 $\mu$ mを確保の上、工場内管理基準は平均80 $\mu$ mとする。

### 3) 異種金属接触腐食を防止するための対策

＜異種金属接触腐食とは＞

異なる金属を水などの電解質中で接触させると、電位が低い「卑な」金属側のイオン化(腐食)が助長される現象。「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」8.3.3 異種金属接触腐食の対策(P103)により、アルミ架台は加工完了後、アルマイト処理(陽極酸化)により、絶縁処置を行いました。

対策は、異なる金属を用いることを避けることである。しかし、異なる金属を使用する場合には、次のような防食処置を講じて用いることが望ましい。

#### a) 絶縁処置

異なる金属間に樹脂などの絶縁体を挿入し、金属間の短絡を避ける方法である。主要な部材がアルミニウム合金材の場合には、表面処理に陽極酸化皮膜を用いることで同様の効果が得られる。ただし、陽極酸化皮膜が破壊され、接触する可能性があるので注意が必要である。

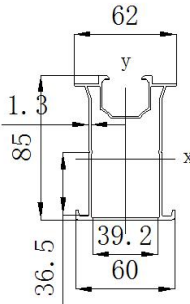
1-6 使用部材の許容応力度算定

アルミニウム建築構造設計基準・同解説(平成28年3月)

1) レール R007

材質 AL6005-T5; F= 196 N/mm<sup>2</sup>; E= 70000 N/mm<sup>2</sup>;

横材切断面パラメーター



A	468.2465	I <sub>p</sub>	636521.8086
I <sub>x</sub>	456646.3320	I <sub>y</sub>	179875.4766
i <sub>x</sub>	31.2286	i <sub>y</sub>	19.5997
W <sub>x</sub> (上)	10746.0609	W <sub>y</sub> (左)	5802.4347
W <sub>x</sub> (下)	10743.1786	W <sub>y</sub> (右)	5802.4347
X軸に回る面積モーメント	6696.2399	Y軸に回る面積モーメント	4332.6334
中心から左縁までの距離	31.0000	中心から右縁までの距離	31.0000
中心から上縁までの距離	42.4943	中心から下縁までの距離	42.5057
主モーメントI1	456646.332	主モーメント1方向	(1.000, 0.000)
主モーメントI2	179875.477	主モーメント2方向	(0.000, 1.000)

A= 468 mm<sup>2</sup>    W<sub>x</sub> = 10743 mm<sup>3</sup>    W<sub>y</sub>= 5802 mm<sup>3</sup>  
 I<sub>y</sub>= 179875 mm<sup>4</sup>    I<sub>p</sub> = 636521 mm<sup>4</sup>    I= 49800 mm    l<sub>b</sub>= 3300 mm  
 f<sub>b</sub>= 128.78 N/mm<sup>2</sup>    f<sub>c</sub>= 11.23 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>t</sub>= 130.66 N/mm<sup>2</sup>    f<sub>s</sub>= 75.4 N/mm<sup>2</sup>

① 許容曲げ応力度

a)横座屈に対する許容応力度

- F : アルミニウム合金の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- β<sub>2</sub> : 材長に沿った方向に存在する溶接による強度低下係数
- v : =3/2+2/3(bλ / bλ<sub>e</sub>)<sup>2</sup> ≤ 2.17
- bλ : 一般化有効細長比=√(M<sub>y</sub>/M<sub>e</sub>)
- bλ<sub>e</sub> : 弾性限界細長比=1/√(0.5β<sub>2</sub>)
- bλ<sub>p</sub> : 塑性限界細長比=0.6 +0.3 (M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub>)
- M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub> : 材両端あるいは横座屈剛端の曲げモーメント比、  
|M<sub>1</sub>| ≥ |M<sub>2</sub>| かつ、M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub>は複曲率曲げのときを正とする
- M<sub>e</sub> : 弾性横座屈モーメント(Nmm)=Cb√(π<sup>2</sup>EI<sub>y</sub>GJ/Lb<sup>2</sup>)
- M<sub>y</sub> : 降伏曲げモーメント =F\*Z<sub>x</sub>(Nmm)
- Z<sub>x</sub> : x軸断面係数(mm<sup>3</sup>)
- EI<sub>y</sub> : y軸まわりの曲げ剛性(Nmm<sup>2</sup>)
- GJ : サンプナンねじり剛性
- Lb : 材長あるいは横座屈補剛間長さ =L
- Cb : モーメント係数 =1.75+1.05(M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub>)+0.30(M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub>)<sup>2</sup> ≤ 2.3
- E : モーヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)
- I<sub>y</sub> : y軸断面の二次係数(mm<sup>4</sup>)
- G : せん断弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)
- J : サンプナンのねじり定数
- L : 部材長(mm)

F	196
β <sub>2</sub>	1
v	1.52
bλ	0.26
bλ <sub>e</sub>	1.41
bλ <sub>p</sub>	0.9
M <sub>2</sub> /M <sub>1</sub>	1
M <sub>e</sub>	32193353.47
M <sub>y</sub>	2105628
Z <sub>x</sub>	10743
EI <sub>y</sub>	12591250000
GJ	17186067000
Lb	3300
Cb	2.3
E	70000
I <sub>y</sub>	179875
G	27000
J	636521
L	3300

bλ	0.26	横座屈
bλ <sub>e</sub>	1.41	
bλ <sub>p</sub>	0.90	
	f <sub>b</sub>	
bλ ≤ bλ <sub>p</sub>	128.78	f <sub>b</sub> = β <sup>2</sup> F/v
bλ <sub>p</sub> < bλ ≤ bλ <sub>e</sub>	-	f <sub>b</sub> = β <sup>2</sup> (1.0 - 0.5(bλ - bλ <sub>p</sub> )/(bλ <sub>e</sub> - bλ <sub>p</sub> ))F/v
bλ <sub>e</sub> < bλ	-	f <sub>b</sub> = F/bλ <sup>2</sup> /v

b)局部座屈に対する許容応力度

Γ d=d/t√(F/E)	1.63	ウェブ
Γ d ≤ 3.29	130.67	f <sub>b</sub> =F/1.5
3.29 < Γ d ≤ 6.57	-	f <sub>b</sub> =F-0.101*F*Γ d
6.57 < Γ d	-	f <sub>b</sub> =14.4*F/Γ d <sup>2</sup>
f <sub>b</sub>	130.67	

② 許容圧縮応力度

a) 座屈に対する許容応力度

- F : アルミニウム合金の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\beta_2$  : 材長に沿った方向に存在する溶接による強度低下係数
- $\nu$  :  $=3/2+2/3(c\lambda/c\lambda_e)^2 \leq 2.17$
- $c\lambda$  : 一般化有効細長比  $=\sqrt{N_y/N_e}$
- $c\lambda_e$  : 弾性限界細長比  $=1/\sqrt{0.5\beta_2}$
- $c\lambda_p$  : 塑性限界細長比  $=0.2$
- $N_e$  : 弾性曲座屈耐力 (N)  $=\pi^2 EI_x/kL_c^2$  (N)
- $N_y$  : 降伏曲げモーメント  $=F \cdot A$  (N)
- A : 断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $EI_y$  : y軸まわりの曲げ剛性 (Nmm<sup>2</sup>)
- $kL_c$  : 材長あるいは横座屈補剛間長さ  $=L_c=L$
- E : ヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)
- $I_y$  : y軸断面の二次係数 (mm<sup>4</sup>)
- L : 部材長 (mm)

F	196
$\beta_2$	1
$\nu$	2.17
$c\lambda$	2.84
$c\lambda_e$	1.41
$c\lambda_p$	0.2
$N_e$	11399.87957
$N_y$	91728
A	468
$EI_y$	12591250000
$kL_c$	3300
E	70000
$I_y$	179875
L	3300

$c\lambda$	2.84	座屈
$c\lambda_e$	1.41	
$c\lambda_p$	0.20	
	$f_c$	
$c\lambda \leq c\lambda_p$	-	$f_c = \beta_2 F / \nu$
$c\lambda_p < c\lambda \leq c\lambda_e$	-	$f_c = \beta_2 (1.0 - 0.5(c\lambda - c\lambda_p) / (c\lambda_e - c\lambda_p)) F / \nu$
$c\lambda_e < c\lambda$	11.23	$f_c = F / c\lambda^2 / \nu$

b) 局部座屈に対する許容応力度

$\Gamma d = d/t\sqrt{F/E}$	1.63	2縁フランジ
	$f_c$	
$\Gamma d \leq 1.34$	-	$f_c = F / 1.5$
$1.34 < \Gamma d \leq 2.69$	116.86	$f_c = F - 0.248 * F * \Gamma d$
$2.69 < \Gamma d$	-	$f_c = 2.41 * F / \Gamma d^2$



b、 縦材 **B013**

材質 AL6005-T5; F=

196

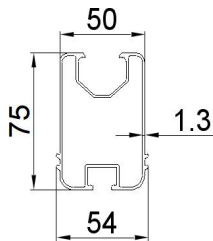
N/mm<sup>2</sup>; E=

70000

N/mm<sup>2</sup>;

**B013**

横材切断面パラメーター



A	451.7342	I <sub>p</sub>	479979.6523
I <sub>x</sub>	318936.4648	I <sub>y</sub>	161043.1875
i <sub>x</sub>	26.5712	i <sub>y</sub>	18.8812
W <sub>x</sub> (上)	8180.4473	W <sub>y</sub> (左)	5964.5625
W <sub>x</sub> (下)	8856.3095	W <sub>y</sub> (右)	5964.5625
X軸に回る面積モーメント	5527.8923	Y軸に回る面積モーメント	3911.7616
中心から左縁までの距離	27.0000	中心から右縁までの距離	27.0000
中心から上縁までの距離	38.9877	中心から下縁までの距離	36.0123
主モーメントI1	318936.461	主モーメント1方向	(1.000,0.000)
主モーメントI2	161043.191	主モーメント2方向	(0.000,1.000)

A= 452 mm<sup>2</sup>    W<sub>x</sub> = 8180 mm<sup>3</sup>    W<sub>y</sub>= 5964 mm<sup>3</sup>  
 I<sub>y</sub>= 161043 mm<sup>4</sup>    I<sub>p</sub> = 479979 mm<sup>4</sup>    I= **4300** mm<sup>4</sup>    l<sub>b</sub>= **1100** mm  
 f<sub>b</sub>= 130.08 N/mm<sup>2</sup>    f<sub>c</sub>= 72.75 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>t</sub>= 130.66 N/mm<sup>2</sup>    f<sub>s</sub>= 75.4 N/mm<sup>2</sup>

① 許容曲げ応力度

a)横座屈に対する許容応力度

- F : アルミニウム合金の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\beta_2$  : 材長に沿った方向に存在する溶接による強度低下係数
- v :  $=3/2+2/3(b\lambda/b\lambda_e)^2 \leq 2.17$
- $b\lambda$  : 一般化有効細長比= $\sqrt{M_y/M_e}$
- $b\lambda_e$  : 弾性限界細長比= $1/\sqrt{0.5\beta_2}$
- $b\lambda_p$  : 塑性限界細長比= $0.6+0.3(M_2/M_1)$
- $M_2/M_1$  : 材両端あるいは横座屈剛端の曲げモーメント比、  
|M1| ≥ |M2| かつ、M2/M1は複曲率曲げのときを正とする
- M<sub>e</sub> : 弾性横座屈モーメント(Nmm)= $C_b\sqrt{(\pi^2 E I_y G J / L b^2)}$
- M<sub>y</sub> : 降伏曲げモーメント =F\*Z<sub>x</sub>(Nmm)
- Z<sub>x</sub> : x軸断面係数(mm<sup>3</sup>)
- E I<sub>y</sub> : y軸まわりの曲げ剛性(Nmm<sup>2</sup>)
- G J : サンプナンねじり剛性
- L<sub>b</sub> : 材長あるいは横座屈補剛間長さ =L
- C<sub>b</sub> : モーメント係数 = $1.75+1.05(M_2/M_1)+0.30(M_2/M_1)^2 \leq 2.3$
- E : モーヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)
- I<sub>y</sub> : y軸断面の二次係数(mm<sup>4</sup>)
- G : せん断弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)
- J : サンプナンのねじり定数
- L : 部材長(mm)

F	196
$\beta_2$	1
v	1.51
$b\lambda$	0.14
$b\lambda_e$	1.41
$b\lambda_p$	0.9
$M_2/M_1$	1
M <sub>e</sub>	79355630.29
M <sub>y</sub>	1603280
Z <sub>x</sub>	8180
E I <sub>y</sub>	11273010000
G J	12959433000
L <sub>b</sub>	1100
C <sub>b</sub>	2.3
E	70000
I <sub>y</sub>	161043
G	27000
J	479979
L	1100

$b\lambda$	0.14	横座屈
$b\lambda_e$	1.41	
$b\lambda_p$	0.90	
	f <sub>b</sub>	
$b\lambda \leq b\lambda_p$	130.08	$f_b = \beta_2 F / v$
$b\lambda_p < b\lambda \leq b\lambda_e$	-	$f_b = \beta_2 (1.0 - 0.5(b\lambda - b\lambda_p) / (b\lambda_e - b\lambda_p)) F / v$
$b\lambda_e < b\lambda$	-	$f_b = F / b\lambda^2 / v$

b)局部座屈に対する許容応力度

$\Gamma d = d/t\sqrt{F/E}$	2.04	ウェブ
$\Gamma d \leq 3.29$	130.67	$f_b = F / 1.5$
$3.29 < \Gamma d \leq 6.57$	-	$f_b = F - 0.101 * F * \Gamma d$
$6.57 < \Gamma d$	-	$f_b = 14.4 * F / \Gamma d^2$
f <sub>b</sub>	130.67	

② 許容圧縮応力度

a) 座屈に対する許容応力度

- F : アルミニウム合金の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\beta_2$  : 材長に沿った方向に存在する溶接による強度低下係数
- $\nu$  :  $=3/2+2/3(c\lambda/c\lambda_e)^2 \leq 2.17$
- $c\lambda$  : 一般化有効細長比  $=\sqrt{N_y/N_e}$
- $c\lambda_e$  : 弾性限界細長比  $=1/\sqrt{0.5\beta_2}$
- $c\lambda_p$  : 塑性限界細長比  $=0.2$
- $N_e$  : 弾性曲座屈耐力 (N)  $=\pi^2 EI_x / kL_c^2$  (N)
- $N_y$  : 降伏曲げモーメント  $=F \cdot A$  (N)
- A : 断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $EI_y$  : y軸まわりの曲げ剛性 (Nmm<sup>2</sup>)
- $kL_c$  : 材長あるいは横座屈補剛間長さ  $=L_c=L$
- E : ヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)
- $I_y$  : y軸断面の二次係数 (mm<sup>4</sup>)
- L : 部材長 (mm)

F	196
$\beta_2$	1
$\nu$	1.82
$c\lambda$	0.98
$c\lambda_e$	1.41
$c\lambda_p$	0.2
$N_e$	91857.33008
$N_y$	88592
A	452
$EI_y$	11273010000
$kL_c$	1100
E	70000
$I_y$	161043
L	1100

$c\lambda$	0.98	座屈
$c\lambda_e$	1.41	
$c\lambda_p$	0.20	
	$f_c$	
$c\lambda \leq c\lambda_p$	-	$f_c = \beta_2 F / \nu$
$c\lambda_p < c\lambda \leq c\lambda_e$	72.75	$f_c = \beta_2 (1.0 - 0.5(c\lambda - c\lambda_p) / (c\lambda_e - c\lambda_p)) F / \nu$
$c\lambda_e < c\lambda$	-	$f_c = F / c\lambda^2 / \nu$

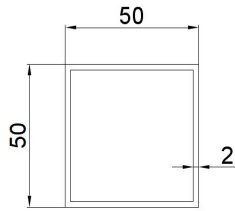
b) 局部座屈に対する許容応力度

$\Gamma d = d/t \sqrt{F/E}$	2.04	2縁フランジ
	$f_c$	
$\Gamma d \leq 1.34$	-	$f_c = F / 1.5$
$1.34 < \Gamma d \leq 2.69$	97.07	$f_c = F - 0.248 * F * \Gamma d$
$2.69 < \Gamma d$	-	$f_c = 2.41 * F / \Gamma d^2$

c、 支柱 **L031**  
 材質 AL6005-T5; F=

196 N/mm<sup>2</sup>; E= 70000 N/mm<sup>2</sup>;

**L031**



横材切断面パラメーター

A	384.0000	I <sub>p</sub>	295423.9922
I <sub>x</sub>	147711.9961	I <sub>y</sub>	147711.9961
i <sub>x</sub>	19.6129	i <sub>y</sub>	19.6129
W <sub>x</sub> (上)	5908.4798	W <sub>y</sub> (左)	5908.4798
W <sub>x</sub> (下)	5908.4798	W <sub>y</sub> (右)	5908.4798
X軸に回る面積モーメント	3458.0000	Y軸に回る面積モーメント	3458.0000
中心から左縁までの距離	25.0000	中心から右縁までの距離	25.0000
中心から上縁までの距離	25.0000	中心から下縁までの距離	25.0000
主モーメントI1	147711.998	主モーメント1方向	(0.924,-0.383)
主モーメントI2	147711.987	主モーメント2方向	(0.383,0.924)

A= 384 mm<sup>2</sup>    W<sub>x</sub> = 5908 mm<sup>3</sup>    W<sub>y</sub> = 5908 mm<sup>3</sup>  
 I<sub>y</sub>= 147711 mm<sup>4</sup>    I<sub>p</sub> = 295423 mm<sup>4</sup>    I<sub>b</sub>= 890 mm  
 f<sub>b</sub>= 130.21 N/mm<sup>2</sup>    f<sub>c</sub>= 88.59 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>t</sub>= 130.66 N/mm<sup>2</sup>    f<sub>s</sub>= 75.4 N/mm<sup>2</sup>

① 許容曲げ応力度

a)横座屈に対する許容応力度

- F : アルミニウム合金の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- β<sub>2</sub> : 材長に沿った方向に存在する溶接による強度低下係数
- v : =3/2+2/3(bλ/bλe)≤2.17
- bλ : 一般化有効細長比=√(M<sub>y</sub>/M<sub>e</sub>)
- bλe : 弾性限界細長比=1/√(0.5β<sub>2</sub>)
- bλp : 塑性限界細長比=0.6+0.3(M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub>)
- M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub> : 材両端あるいは横座屈剛端の曲げモーメント比、  
|M<sub>1</sub>| ≥ |M<sub>2</sub>| かつ、M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub>は複曲率曲げのときを正とする
- M<sub>e</sub> : 弾性横座屈モーメント(Nmm)=Cb√(π 2EI<sub>y</sub>GJ/Lb<sup>2</sup>)
- M<sub>y</sub> : 降伏曲げモーメント =F\*Z<sub>x</sub>(Nmm)
- Z<sub>x</sub> : x軸断面係数(mm<sup>3</sup>)
- EI<sub>y</sub> : y軸まわりの曲げ剛性(Nmm<sup>2</sup>)
- GJ : サンプナンねじり剛性
- Lb : 材長あるいは横座屈補剛間長さ =L
- Cb : モーメント係数 =1.75+1.05(M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub>)+0.30(M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub>)<sup>2</sup>≤2.3
- E : モーヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)
- I<sub>y</sub> : y軸断面の二次係数(mm<sup>4</sup>)
- G : せん断弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)
- J : サンプナンのねじり定数
- L : 部材長(mm)

F	196
β <sub>2</sub>	1
v	1.51
bλ	0.13
bλe	1.41
bλp	0.9
M <sub>2</sub> /M <sub>1</sub>	1
M <sub>e</sub>	73693121.15
M <sub>y</sub>	1157968
Z <sub>x</sub>	5908
EI <sub>y</sub>	10339770000
GJ	7976421000
Lb	890
Cb	2.3
E	70000
I <sub>y</sub>	147711
G	27000
J	295423
L	890

bλ	0.13	横座屈
bλe	1.41	
bλp	0.90	
	f <sub>b</sub>	
bλ ≤ bλp	130.21	f <sub>b</sub> = β 2F/v
bλp < bλ ≤ bλe	-	f <sub>b</sub> = β 2(1.0-0.5(bλ - bλp)/(bλe - bλp))F/v
bλe < bλ	-	f <sub>b</sub> = F/bλ <sup>2</sup> /v

b)局部座屈に対する許容応力度

Γ d=d/t√(F/E)	1.32	ウェブ
Γ d ≤ 3.29	130.67	f <sub>b</sub> = F/1.5
3.29 < Γ d ≤ 6.57	-	f <sub>b</sub> = F - 0.101 * F * Γ d
6.57 < Γ d	-	f <sub>b</sub> = 14.4 * F / Γ d <sup>2</sup>
f <sub>b</sub>	130.67	

② 許容圧縮応力度

a) 座屈に対する許容応力度

- F : アルミニウム合金の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\beta_2$  : 材長に沿った方向に存在する溶接による強度低下係数
- $\nu$  :  $=3/2+2/3(c\lambda/c\lambda_e)^2 \leq 2.17$
- $c\lambda$  : 一般化有効細長比  $=\sqrt{N_y/N_e}$
- $c\lambda_e$  : 弾性限界細長比  $=1/\sqrt{0.5\beta_2}$
- $c\lambda_p$  : 塑性限界細長比  $=0.2$
- $N_e$  : 弾性曲座屈耐力 (N)  $=\pi^2 EI_x / kL_c^2$  (N)
- $N_y$  : 降伏曲げモーメント  $=F \cdot A$  (N)
- A : 断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $EI_y$  : y軸まわりの曲げ剛性 (Nmm<sup>2</sup>)
- $kL_c$  : 材長あるいは横座屈補剛間長さ  $=L_c=L$
- E : ヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)
- $I_y$  : y軸断面の二次係数 (mm<sup>4</sup>)
- L : 部材長 (mm)

F	196
$\beta_2$	1
$\nu$	1.70
$c\lambda$	0.76
$c\lambda_e$	1.41
$c\lambda_p$	0.2
$N_e$	128703.4419
$N_y$	75264
A	384
$EI_y$	10339770000
$kL_c$	890
E	70000
$I_y$	147711
L	890

$c\lambda$	0.76	座屈
$c\lambda_e$	1.41	
$c\lambda_p$	0.20	
	$f_c$	
$c\lambda \leq c\lambda_p$	-	$f_c = \beta_2 F / \nu$
$c\lambda_p < c\lambda \leq c\lambda_e$	88.59	$f_c = \beta_2 (1.0 - 0.5(c\lambda - c\lambda_p) / (c\lambda_e - c\lambda_p)) F / \nu$
$c\lambda_e < c\lambda$	-	$f_c = F / c\lambda^2 / \nu$

b) 局部座屈に対する許容応力度

$\Gamma d = d/t\sqrt{F/E}$	1.32	2縁フランジ
	$f_c$	
$\Gamma d \leq 1.34$	130.67	$f_c = F / 1.5$
$1.34 < \Gamma d \leq 2.69$	-	$f_c = F - 0.248 \cdot F \cdot \Gamma d$
$2.69 < \Gamma d$	-	$f_c = 2.41 \cdot F / \Gamma d^2$

## §2 荷重事項

荷重条件と荷重との組合せは、表1による。

表1-荷重条件と荷重との組合せ

荷重条件		区分	
		一般の地方	多雪区域
長期	常時	G	G
	積雪時		G+0.7S
短期	積雪時	G+S	G+S
	暴風時	G+W	G+W
			G+0.35S+W
地震時	G+K	G+0.35S+K	

本案件は **一般地域** である。

### 2-1 固定荷重

モジュールの重量: G1=	18.5	x	120	x	9.8	=	21756	N(パネル重量xパネル枚数x9.8)
レール総重量: G2=	1.27	x	49.8	x	5	x	9.8	=3106 N(レールm当たり重量x長さx数量x9.8)
縦材総重量: G3=	1.23	x	4.3	x	16	x	9.8	=829 N(縦材m当たり重量x長さx数量x9.8)
総重量: G4=	G1+G2+G3				=	25691.21	N	

### 2-2 風荷重の算定

#### 2-2-1 設計用風圧荷重

アレイに作用する設計用風圧荷重は、式(1)によって算出する。

$$W_p = C_w \times q_p \times A_w \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、  
 $W_p$  : 設計用風圧荷重(N)  
 $C_w$  : 風力係数  
 $q_p$  : 設計用速度圧(N・m<sup>-2</sup>)  
 $A_w$  : 受風面積(m<sup>2</sup>)(アレイを構成する全モジュールの合計面積)

#### 2-2-2 設計用速度圧

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

ここに、  
 $q_p$  : 設計用速度圧(N・m<sup>-2</sup>)  
 $V_0$  : 設計用基準風速(m・s<sup>-1</sup>)  
 $E$  : 環境係数  
 $I$  : 用途係数

a) 設計用基準風速 設計用基準風速は建設地点の地方における過去の台風の記録に基づく風害の程度その他の風の性状に応じて、30 m・s<sup>-1</sup>~46 m・s<sup>-1</sup>の範囲内において定めた基準風速を用いる。

本案件の設計用基準風速 $V_0$ は **35** m/s である。

b) 環境係数 環境係数は、式(3)によって算出する。

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

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

(地表面粗粒度区分係数 **II** → 2.20 )

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

E<sub>r</sub>は、HがZ<sub>b</sub>以下の場合式(4)、HがZ<sub>b</sub>を超える場合は式(5)によって算出する。

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

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

ここに、 Z<sub>b</sub>、Z<sub>G</sub>及びα：地表面粗度区分に応じて表3に掲げる数値  
H：アレイ面の平均地上高(m)

地表面粗度区分		Z <sub>b</sub> (m)	Z <sub>G</sub> (m)	α
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める区域	5	250	0.1
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分Iの区域以外の区域(アレイの地上高が13m以下の場合を除く。)又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分IVの区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線(対岸までの距離が1500m以上のものに限る。以下同じ。)までの距離が500m以内の区域(ただし、アレイの地上高が13m以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線からの距離が200mを超え、かつ、アレイの地上高が31m以下である場合を除く。)	5	350	0.15
III	地表面粗度区分I、II又はIV以外の区域	5	450	0.2
IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域	10	550	0.27

注記 出典:建設省告示第1454号(平成12年5月31日)

ここに、地表面粗度区分係数 II に応じて:

Z<sub>b</sub>= 5 , Z<sub>G</sub>= 350 , α= 0.15

従って、H= 1.444 < Z<sub>b</sub>= 5 ;

$$E_r = 1.7 \left[ \frac{Z_b}{Z_G} \right]^\alpha = 0.899$$

$$E = E_r^2 \times G_f = 1.777$$

c) 用途係数I 用途係数は、表4による。

表4-用途係数

太陽光発電システムの用途	用途係数
極めて重要な太陽光発電システム	1.32
通常の太陽光発電システム	1.0

注記 通常の太陽光発電システムの風速の設計用再現期間を50年とし、これが用途係数の1.0に相当する。

ここは通常の太陽光発電システム用途係数の1.0をとる

2-2-3 風力係数 C<sub>w</sub>

モジュール面の風力係数

風力係数 C<sub>w</sub>

地上設置(単独)順風(正圧)の場合、式(6)による。

$$5^\circ \leq \theta \leq 60^\circ, C_w = 0.35 + 0.055\theta - 0.0005\theta^2 \quad (6)$$

地上設置(単独)逆風(負圧)の場合、式(7)による。

$$5^\circ \leq \theta \leq 60^\circ, C_w = 0.85 + 0.048\theta - 0.0005\theta^2 \quad (7)$$

本案件の設置角度θは 10° である。

$$\text{順風の場合 } C_w = 0.35 + 0.055 \times 10 - 0.0005 \times 10^2 = 0.85$$

$$\text{逆風の場合 } C_w = 0.85 + 0.048 \times 10 - 0.0005 \times 10^2 = 1.28$$

#### 2-2-4 受風面積 $A_w(m^2)$

$$A_w = 1.65 \times 0.991 \times 4 \times 30 = 196.22$$

モジュール作用する風圧力による荷重(順風場合)を風圧荷重 $W_p$ と想定する

$$W^+ = C_w \times 0.6 \times V_0^2 \times E \times I \times A_w$$
$$= 0.85 \times 0.6 \times 35^2 \times 1.777 \times 1.0 \times 196.22 = 217889 \text{ N}$$

支持物に作用する風圧力による荷重(逆風場合)を風圧荷重 $W_p$ と想定する

$$W^- = C_w \times 0.6 \times V_0^2 \times E \times I \times A_w$$
$$= 1.28 \times 0.6 \times 35^2 \times 1.777 \times 1.0 \times 196.22 = 328116 \text{ N}$$

2-3 積雪荷重

設計用積雪荷重は、式(8)によって算出する。

$$S_p = C_s \times p \times z_s \times A_s \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

- Sp: 積雪荷重(N)
- Cs: 勾配係数
- P: 雪の平均単位荷重(積雪1cm当たり  $N \cdot m^{-2}$ )
- Zs: 地上垂直積雪量(cm)
- As: 積雪面積(アレイ面の水平投影面積、 $m^2$ )

a) 勾配係数 はCs、1.0によって算出する。式(8)に置いて、勾配係数Csは、式(9)によって算出する。

ただし、 $\beta$  が60度を超える場合は、Csを0とすることができる。

(アレイ面の積雪の滑落を確実に保証できる場合だけ 式(9)によって算出する)

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

$$= 1$$

ここに、 $\beta$  : 積雪面の勾配(度)を 10 ° とする。

b) 雪の平均単位荷重

式(8)において、雪の平均単位荷重(P)は、積雪1cmごとに1m2につき、一般の地方では20N以上、多雪地域では30N以上とする。

c) 積雪量 アレイ面の設計用積雪量は地上における垂直積雪量(Zs)とし、式(10)によって計算した積雪量に当該区域における局所的地形要因による影響を考慮する。ただし、当該区域又はその近傍の区域の気象観測地点における、地上積雪深の観測資料に基づき、統計処理を行うなどの手法によって、当該区域における 50 年再現期待値を求めることができる場合には、当該手法によることできる。

$$z_s = \alpha \times l_s + \beta \times rs + r \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここに、

- ls: 区域の標準的な標高(m)
- rs: 区域の標準的な海率
- $\alpha, \beta$  及び  $\gamma$  : 区域に応じて定められる係数

本設計において積雪量は上式によらず、県知事が定める数値に基づき、

Zs= 30 cm とする。

$$S_p = C_s \times p \times z_s \times A_s$$

$$= 1.000 \times 20 \times 30 \times 196.22 \times \cos 10^\circ = 115942 \text{ N}$$



2-4 地震荷重 (JIS C8955-2017基準適用)

設計用地震荷重は、一般の地方では式(11)、多雪地域では式(12)によって算出する。

$$K_p = k_p \cdot G \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$K_p = k_p \cdot (G + 0.35S) \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここに、 $K_p$  :設計用地震荷重(N)

$k_p$  :設計用水平震度

$G$  :固定荷重(N)

$S$  :積雪荷重(N)

設計用水平震度

モジュール及び支持物で構成する加構部分及び基礎部分の設計用水平震度は、式(13)によって算出する。ただし、建築物等に設置するアレイの場合は、式(14)によって算出する。

なお、建築物等に設置するアレイを緊結する場合、建築物の構造上主要な部分が、アレイから伝達されるち力に対して安全上支障のないことを確認する。

$$k_p = k_H \times Z \times I \quad \dots\dots\dots (13)$$

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

ここに、 $k_H$  :各部に生じる設計用水平震度

$Z$  :地震地域係数(如表)

$I$  :用途係数

適用箇条	地上設置	建築物等設置		
		耐震クラスS	耐震クラスA	耐震クラスB
架構部分	0.3以上	2.0以上	1.5以上	1.0以上
基礎部分	0.3以上	2.0以上	1.5以上	1.0以上
水平力に対して有効に土が抵抗 でくる土中にある基礎部分	0.1以上	-	-	-

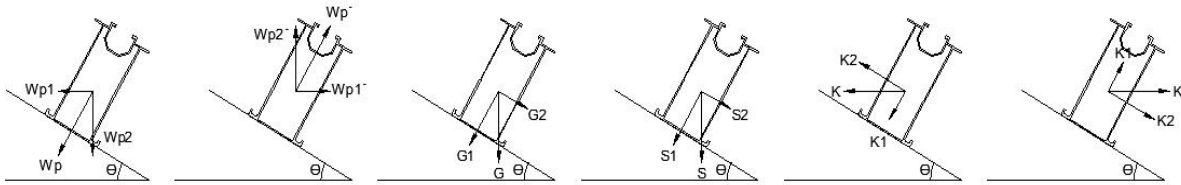
注記 耐震クラスの設定は、太陽光は、発電設備の地震又は地震後の用途を考慮して、建築主又は設計者が設定する

本案件は **一般地域** である。

$$K_p = 0.3 \times G = 25691.21 = 7707.36 \text{ N}$$

### §3 架構応力の計算

#### 3-1 レール験算

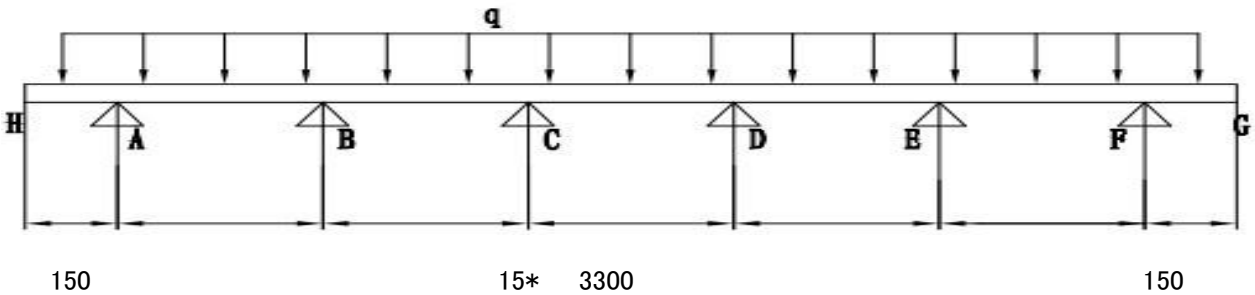


$W_{p2}$	$=$	$W_p \times \cos \theta$	$=$	217889	$\times$	$\cos$	$10^\circ$	$=$	214579	N
$W_{p1}$	$=$	$W_p \times \sin \theta$	$=$	217889	$\times$	$\sin$	$10^\circ$	$=$	37836	N
$W_{p2}'$	$=$	$W_{p'} \times \cos \theta$	$=$	328116	$\times$	$\cos$	$10^\circ$	$=$	323131	N
$W_{p1}'$	$=$	$W_{p'} \times \sin \theta$	$=$	328116	$\times$	$\sin$	$10^\circ$	$=$	56977	N
$G_{41}$	$=$	$G_4 \times \cos \theta$	$=$	25691	$\times$	$\cos$	$10^\circ$	$=$	25301	N
$G_{42}$	$=$	$G_4 \times \sin \theta$	$=$	25691	$\times$	$\sin$	$10^\circ$	$=$	4461	N
$S_1$	$=$	$S \times \cos \theta$	$=$	115942	$\times$	$\cos$	$10^\circ$	$=$	114181	N
$S_2$	$=$	$S \times \sin \theta$	$=$	115942	$\times$	$\sin$	$10^\circ$	$=$	20133	N
$K_1$	$=$	$K \times \sin \theta$	$=$	7707	$\times$	$\sin$	$10^\circ$	$=$	1338	N
$K_2$	$=$	$K \times \cos \theta$	$=$	7707	$\times$	$\cos$	$10^\circ$	$=$	7590	N

#### 3-1-1 短期(強軸)

総荷重:

$G_{41}+S_1$	$=$	25301	$+$	114181	$=$	139482	N
$G_{41}+W_p$	$=$	25301	$+$	217889	$=$	243190	N
$G_{41}+K_1$	$=$	25301	$+$	1338	$=$	26639	N
$G_{41}-W_{p'}$	$=$	25301	$-$	328116	$=$	-302815	N



#### 積雪時験算:

$$F = (G_{41} + S_1) / 5 = 139482 / 5 = 27896 \text{ N}$$

$$L = 49.80 \text{ m}$$

$$q = 560.2 \text{ N/m}$$

$$L_q = 3.3 \text{ m}$$

応

$$\sigma_{\max} = q * L_q^2 / 8 / Z_x = 560.2 * 3.30^2 / 8 = 71.0 \text{ N/mm}^2$$

**暴風時驗算:**

$$\begin{aligned} F &= \frac{G41+Wp}{5} = 48638 \quad \text{N} \\ L &= 49.80 \quad \text{m} \\ q &= 976.7 \quad \text{N/m} \\ Lq &= 3.3 \quad \text{m} \end{aligned}$$

応

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= q * Lq^{2/8} / Zx \\ &= 976.7 \times 3.30^{2/8} / 10.743 \\ &= 123.8 \quad \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

**地震時驗算:**

$$\begin{aligned} F &= \frac{G41+K1}{5} = 5328 \quad \text{N} \\ L &= 49.80 \quad \text{m} \\ q &= 107.0 \quad \text{N/m} \\ Lq &= 3.3 \quad \text{m} \end{aligned}$$

応

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= q * Lq^{2/8} / Zx \\ &= 107.0 \times 3.30^{2/8} / 10.743 \\ &= 13.6 \quad \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

**逆風時驗算:**

$$\begin{aligned} F &= \frac{|G41-Wp'|}{5} = 60563 \quad \text{N} \\ L &= 49.80 \quad \text{m} \\ q &= 1216.1 \quad \text{N/m} \\ Lq &= 3.3 \quad \text{m} \end{aligned}$$

応

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= q * Lq^{2/8} / Zx \\ &= 1216.1 \times 3.30^{2/8} / 10.743 \\ &= 154.1 \quad \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

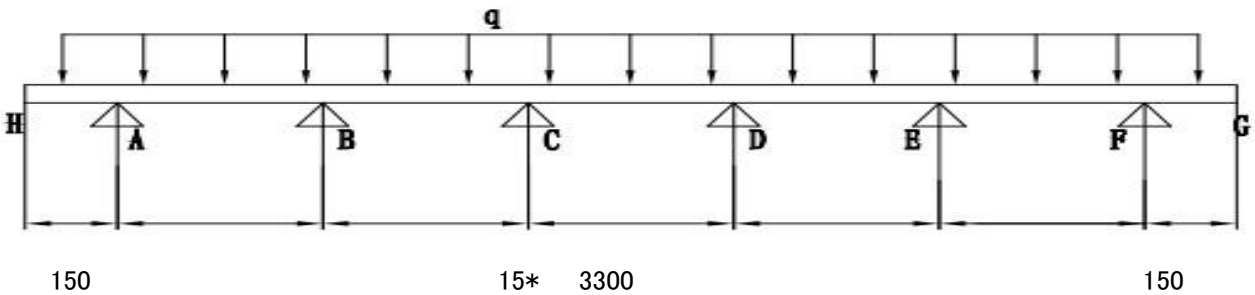
### 3-1-2 短期(弱軸)

総荷重:

$$\begin{aligned} G42+S2 &= 4461 & + & 20133 & = & 24594 & \text{ N} \\ G42 &= 4461 & & & = & 4461 & \text{ N} \\ G42+K2 &= 4461 & + & 7590 & = & 12052 & \text{ N} \end{aligned}$$

逆風の総荷重:

$$G42 = 4461 = 4461 \text{ N}$$



積雪時験算:

$$\begin{aligned} F &= (G42+S2) / 5 \\ &= 24594 / 5 = 4919 \text{ N} \\ L &= 49.80 \text{ m} \\ q &= 98.8 \text{ N/m} \\ Lq &= 3.3 \text{ m} \end{aligned}$$

応

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= q * Lq^2 / 8 / Zx \\ &= 98.8 \times 3.30^2 / 8 / 5.802 \\ &= 23.2 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

暴風時験算:

$$\begin{aligned} F &= G42 / 5 \\ &= 4461 / 5 = 892 \text{ N} \\ L &= 49.80 \text{ m} \\ q &= 17.9 \text{ N/m} \\ Lq &= 3.3 \text{ m} \end{aligned}$$

応

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= q * Lq^2 / 8 / Zx \\ &= 17.9 \times 3.30^2 / 8 / 5.802 \\ &= 4.2 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

地震時験算:

$$\begin{aligned} F &= G42+K2 / 5 \\ &= 12052 / 5 = 2410 \text{ N} \\ L &= 49.80 \text{ m} \\ q &= 48.4 \text{ N/m} \\ Lq &= 3.3 \text{ m} \end{aligned}$$

応

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= q * Lq^2 / 8 / Zx \\ &= 48.4 \times 3.30^2 / 8 / 5.802 \\ &= 11.4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

逆風時驗算：

$$\begin{aligned} F &= 642 / 5 \\ &= 4461 / 5 = 892 \quad \text{N} \\ L &= 49.80 \quad \text{m} \\ q &= 17.9 \quad \text{N/m} \\ Lq &= 3.3 \quad \text{m} \end{aligned}$$

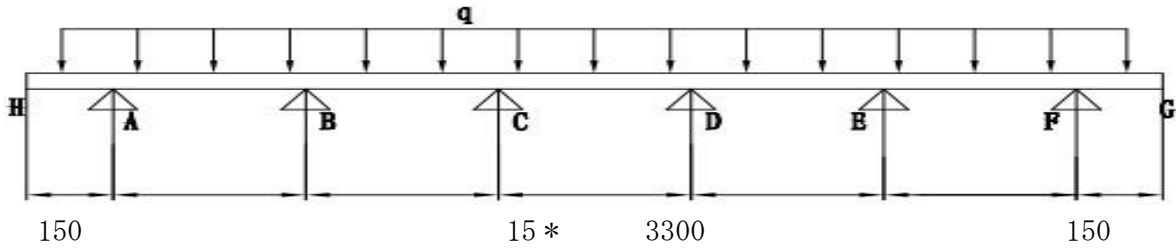
応

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= q * Lq^2 / 8 / Zx \\ &= 17.9 \quad \times \quad 3.30 \quad ^2 / 8 / \quad 5.802 \\ &= 4.2 \quad \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

### 3-1-3 長期 (強軸)

固定荷重：

$$G41 = 25301 \text{ N}$$



$$F = 25301 / 5 = 5060 \text{ N}$$

$$L = 49.80 \text{ m}$$

$$q = 101.6 \text{ N/m}$$

$$Lq = 3.3 \text{ m}$$

応

$$\sigma_{\max} = q * Lq^2 / 8 / Zx$$

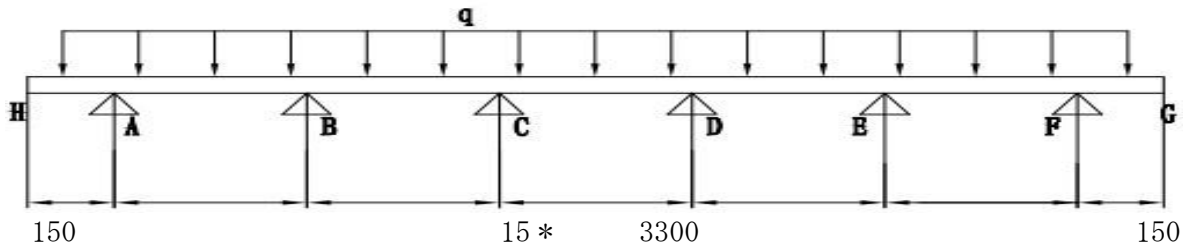
$$= 101.6 * 3.30^2 / 8 / 10.743$$

$$= 12.9 \text{ N/mm}^2$$

### 3-1-4 長期 (弱軸)

固定荷重：

$$G42 = 4461 \text{ N}$$



$$F = 4461 / 5 = 892 \text{ N}$$

$$L = 49.80 \text{ m}$$

$$q = 17.9 \text{ N/m}$$

$$Lq = 3.3 \text{ m}$$

応

$$\sigma_{\max} = q * Lq^2 / 8 / Zx$$

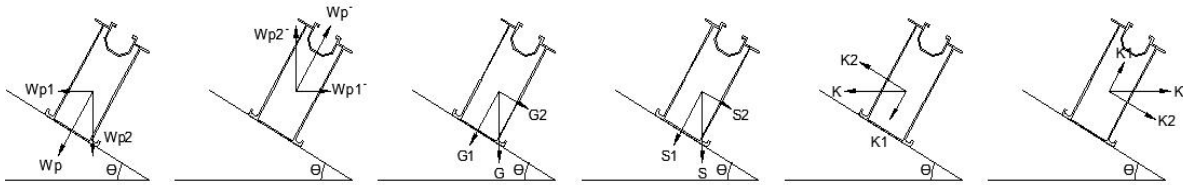
$$= 17.9 * 3.30^2 / 8 / 5.802$$

$$= 4.2 \text{ N/mm}^2$$

### レール 驗算

荷重組合 せ	長期	正圧荷重	負圧荷重	積雪荷重	地震荷重	
	G4	G4+WP	G4+WP'	G4+S	G4+K	
軸応力	0	0	0	0	0	Mpa
強軸応力	12.88	123.75	154.10	70.98	13.56	Mpa
弱軸応力	4.20	4.20	4.20	23.17	11.36	Mpa
規定強度値 [ $\sigma$ ]	128.78	193.18	193.18	193.18	193.18	Mpa
軸応力 + 曲げ応力比率	0.13	0.66	0.82	0.49	0.13	
強度判定 (<1)	ok	ok	ok	ok	ok	

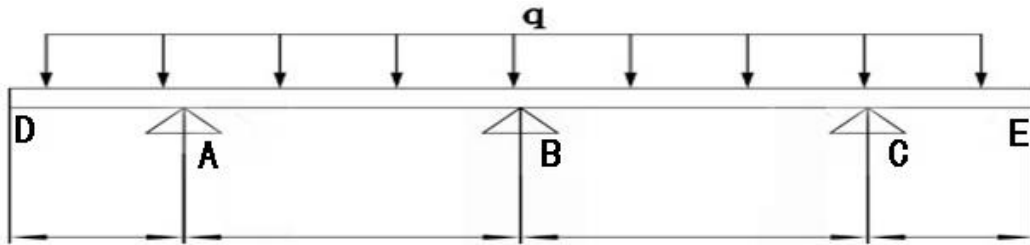
### 3-2 主材驗算



#### 3-2-1 短期（強軸）

正面の総荷重：

$$\begin{aligned}
 G41+S1 &= 25301 & + & 114181 & = & 139482 & \text{ N} \\
 G41+Wp &= 25301 & + & 217889 & = & 243190 & \text{ N} \\
 G41+K1 &= 25301 & + & 1338 & = & 26639 & \\
 \text{逆風場合の総荷重：} \\
 G41-Wp' &= 25301 & - & 328116 & = & -302815 & \text{ N}
 \end{aligned}$$



650

3\* 1100

650

v

#### 積雪時驗算：

$$\begin{aligned}
 F &= (G41+S1) / 16 \\
 &= 139482 / 16 = 8718 \text{ N} \\
 L &= 4.300 \text{ m} \\
 q &= 2027 \text{ N/m} \\
 Lq &= 1.100 \text{ m}
 \end{aligned}$$

応

$$\begin{aligned}
 \sigma &= q * Lq^2 / 8 / Zx \\
 &= 2027.4 \times 1.100^2 / 8 / 8.18 \\
 &= 37.5 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

#### 暴風時驗算：

$$\begin{aligned}
 F &= G41+Wp / 16 \\
 &= 243190 / 16 = 15199 \text{ N} \\
 L &= 4.300 \text{ m} \\
 q &= 3535 \text{ N/m} \\
 Lq &= 1.100 \text{ m}
 \end{aligned}$$

応

$$\begin{aligned}
 \sigma &= q * Lq^2 / 8 / Zx \\
 &= 3534.7 \times 1.100^2 / 8 / 8.18 \\
 &= 65.4 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

#### 地震時驗算：

$$F = (G41+K1) / 16$$

$$= 26639 / 16 = 1665 \text{ N}$$

$$L = 4.300 \text{ m}$$

$$q = 387 \text{ N/m}$$

$$Lq = 1.100 \text{ m}$$

応

$$\sigma = q * Lq^2 / 8 / Zx$$

$$= 387.2 \times 1.100^2 / 8 / 8.18$$

$$= 7.2 \text{ N/mm}^2$$

### 逆風時驗算:

$$F = |G41 - Wp'| / 16$$

$$= 302815 / 16 = 18926 \text{ N}$$

$$L = 4.300 \text{ m}$$

$$q = 4401 \text{ N/m}$$

$$Lq = 1.100 \text{ m}$$

応

$$\sigma = q * Lq^2 / 8 / Zx$$

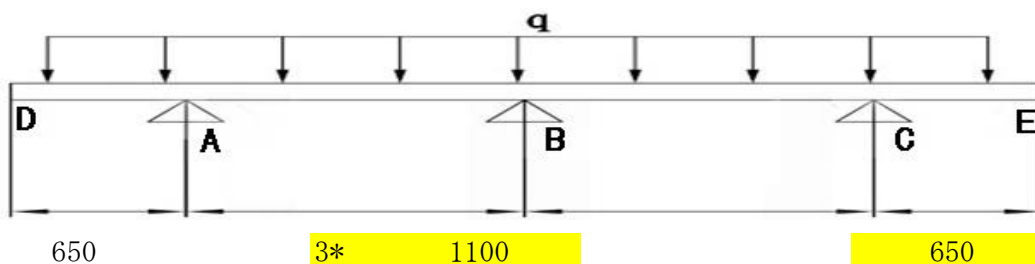
$$= 4401.4 \times 1.100^2 / 8 / 8.18$$

$$= 81.4 \text{ N/mm}^2$$

### 3-2-2 長期 (強)

固定荷重 :

$$G41 = 25301 = 25301 \text{ N}$$



$$F = 25301 / 16 = 1581 \text{ N}$$

$$L = 4.300 \text{ m}$$

$$q = 368 \text{ N/m}$$

$$Lq = 1.100 \text{ m}$$

応

$$\sigma = q * Lq^2 / 8 / Zx$$

$$= 367.7 \times 1.100^2 / 8 / 8.18$$

$$= 6.8 \text{ N/mm}^2$$

### 主材驗算

荷重組合 せ	長期	正圧荷重	負圧荷重	積雪荷重	地震荷重	
	G4	G4+WP	G4+WP'	G4+S	G4+K	
軸応力	0	0	0	0	0	Mpa
強軸応力	6.80	65.36	81.38	37.49	7.16	Mpa
弱軸応力	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mpa
規定強度値 [ $\sigma$ ]	130.08	195.12	195.12	195.12	195.12	Mpa
軸応力 + 曲げ応力比率	0.05	0.33	0.42	0.19	0.04	
強度判定 (<1)	ok	ok	ok	ok	ok	



### 3-3 後柱の検討

後柱にかかる総荷重：

正面場合の総荷重：

$$G4+Wp2 = 25691 + 217889 = 243581 \text{ N}$$

逆風場合の総荷重：

$$G5-Wp2' = 25691 - 328116 = -302425 \text{ N}$$

以上より、座屈検討には最も荷重が大きくなる暴風時の場合について、引抜検討には逆風時について、構造的に検討する。

後柱圧縮応力

$$F/A = 243581 / 32 / 384.00 = 19.8 \text{ N/mm}^2 < 133 \text{ N/mm}^2 - \text{OK}$$

### 3-4 ボルトの検討

M8ボルトが受ける最大軸力： 2050.72 N < 16470 N OK

M10ボルトが受ける最大せん断力： 9450.77 N < 30000 N OK

M12ボルトが受ける最大軸力： 4725.39 N < 37900 N OK

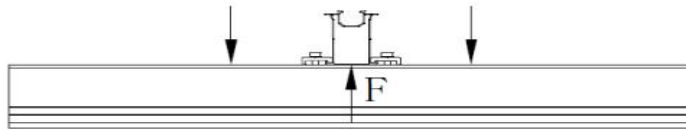
(算定方法)

M8ボルトが受ける最大軸力： (逆風荷重-パネル重量)/押さえ金具数量

M10ボルトが受ける最大せん断力： 柱材の最大応力

M12ボルトが受ける最大軸力： 向上の最大支点反力/2(ボルト2本が同時に作用)

§4 接合部の検討  
4-1 レール固定金具



Result:

Test item	Maximum force(KN)
Pull Test	11.99

Curve:



Force-displacement curve

Test Photo:

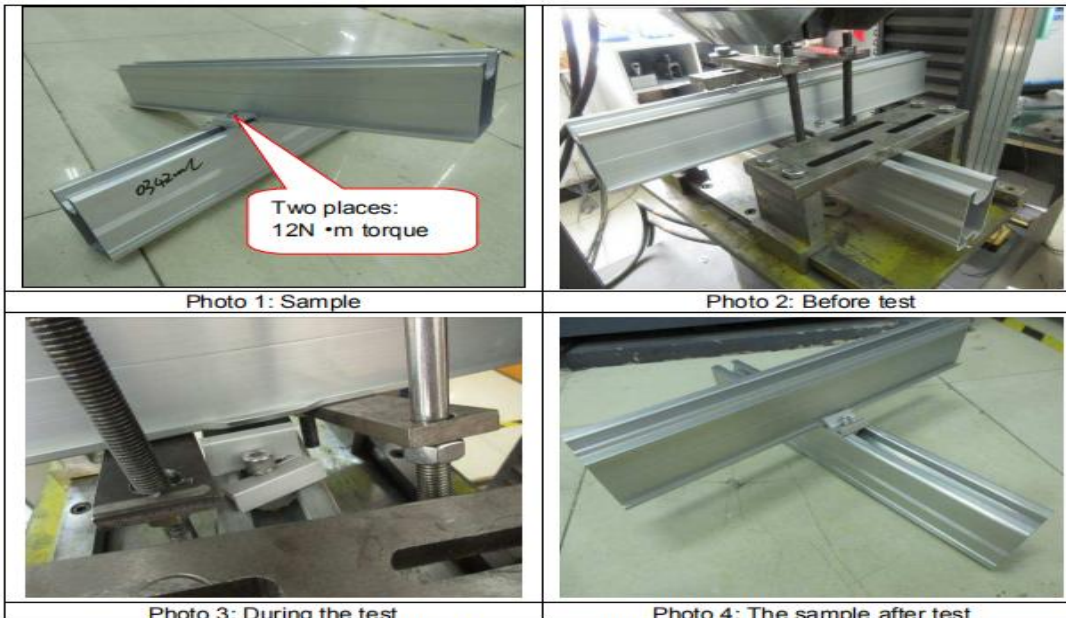


Photo 1: Sample

Photo 2: Before test

Photo 3: During the test

Photo 4: The sample after test

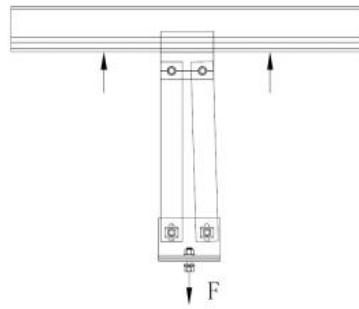
\*\*\*\*\* End of report\*\*\*\*\*

2050.72 N < 6000 N OK 逆風圧/金具総数量

4-2 台座

sketch. Apply the pull force as a rate of 5mm/min till destruction. Determine the maximum force.

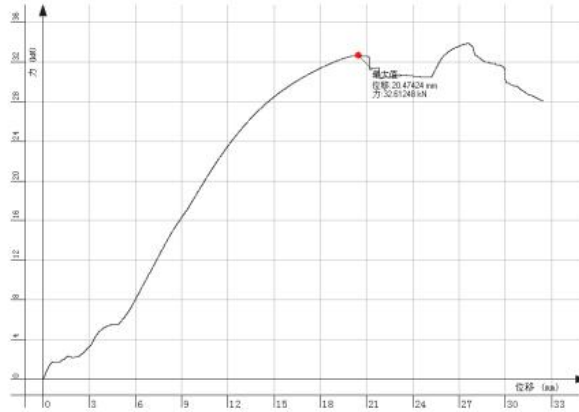
Test sketch:



Test Result:

Test item	Maximum force(KN)
Pull Test	32.61

Test curve:



Test Photo:



Photo 1: Sample



Photo 2: Before test



9450.77

N

<

32610 N

OK

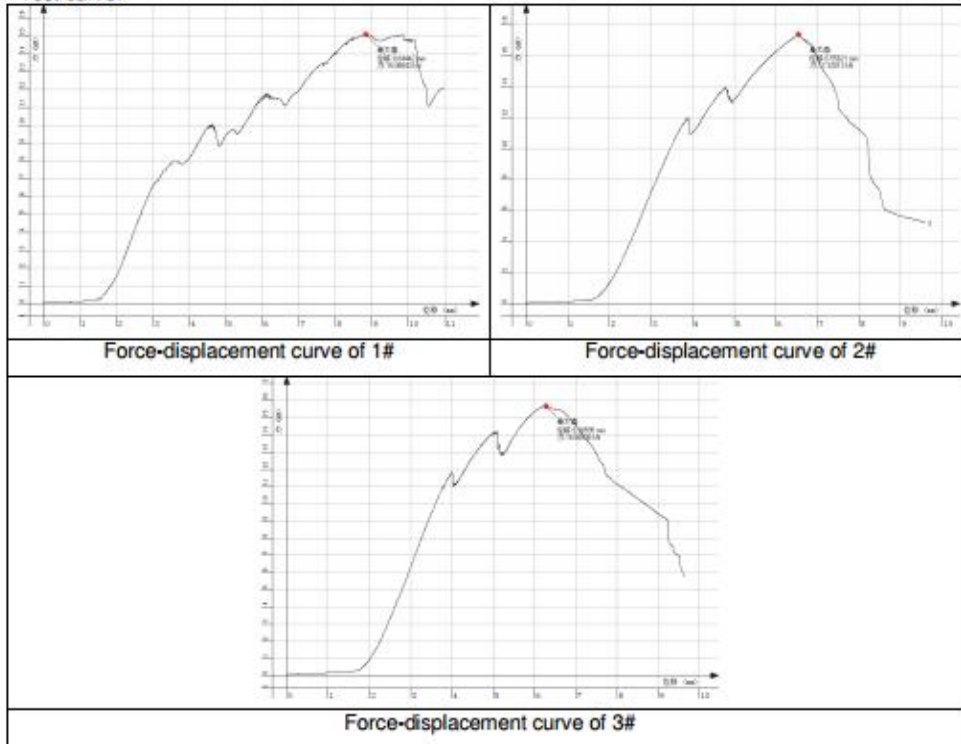
は逆風時の支点反力

4-3 内側固定金具

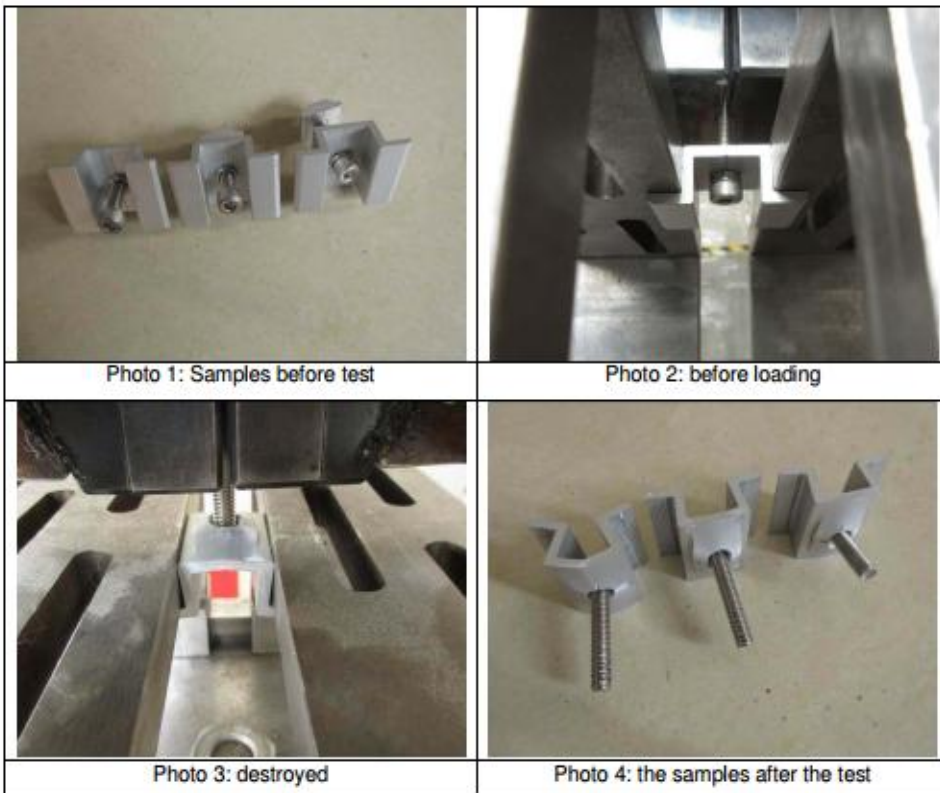
Test Result:

Sample No.	Maximum force (kN)
1#	15.09
2#	17.32
3#	15.67

Test curve:



Test Photo:



\*\*\*\*\* End of report\*\*\*\*\*

1367.15 N < 15090 N

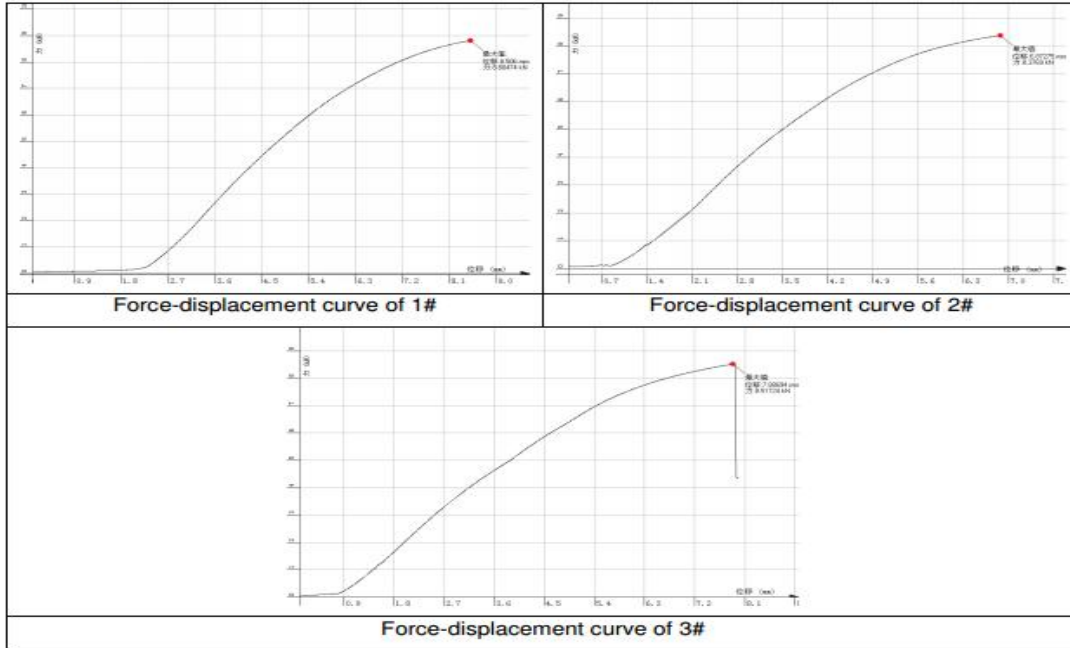
OK 逆風の時、パネルは2個押さえ(中間部)金具で支える。

4-4 端部押さえ金具

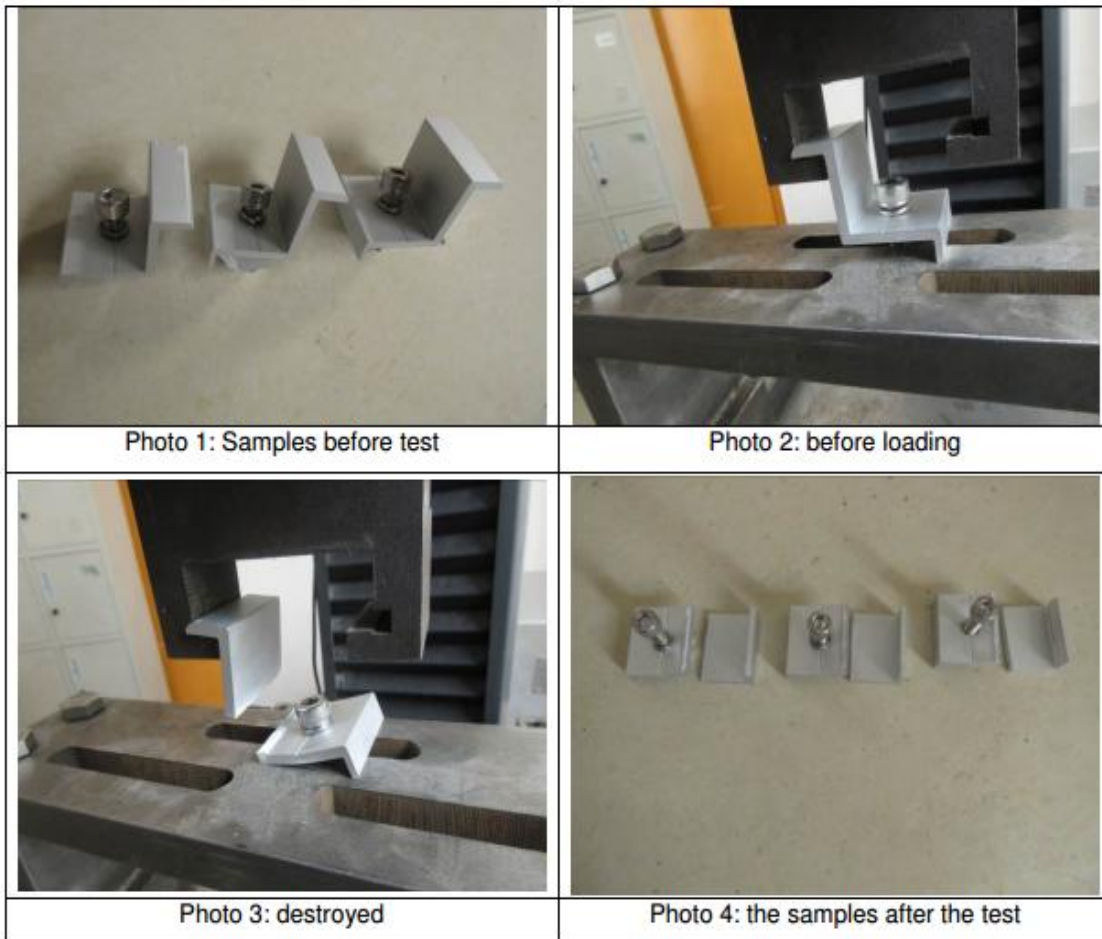
Test Result:

Sample No.	Maximum force (kN)
1#	8.80
2#	8.38
3#	8.52

Test curve:



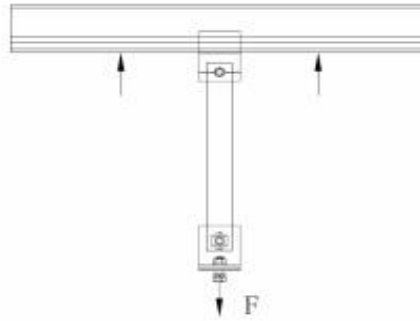
Test Photo:



\*\*\*\*\* End of report\*\*\*\*\*

683.57 N < 8380 N OK 逆風の時、パネルは4個押さえ(端部)金具で支える。

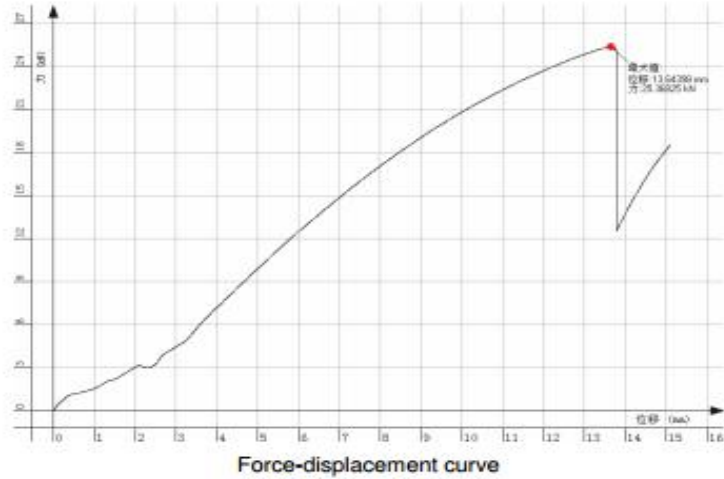
4-5 連結部材



Test Result:

Test item	Maximum force(KN)
Pull Test	25.37

Test curve:



Test Photo:



9450.77    N    <    25370    N    OK    支柱最大軸力(逆風時はソフトエアで計算)

## §5 基礎の検討

国土交通省告示第1113号（平成13年7月2日）

（最終改正 平成19年9月 告示第1232号）

	長期に生ずる力に対する地盤の許容支持力	短期に生ずる力に対する地盤の許容支持力
1	$R_a = 1/3 \cdot R_u$	$R_a = 2/3 \cdot R_u$
2	$R_a = q_p \cdot A_p + 1/3 \cdot R_F$	$R_a = 2 \cdot q_p \cdot A_p + 2/3 \cdot R_F$

$R_a$ : 地盤の許容支持力(単位 kN)

$R_u$ : 載荷試験による極限支持力(単位 kN)

$q_p$ : 基礎ぐいの先端の地盤の許容応力度(次の表の上欄に掲げる基礎ぐいにあつては下欄の当該各項に掲げる式により計算した数値とする。)(単位 kN/m<sup>2</sup>)

基礎ぐいの種類	基礎ぐいの先端の地盤の許容応力度
打込みぐい	$q_p = 300/3 \cdot N$
セメントミルク工法による埋込みぐい	$q_p = 200/3 \cdot N$
アースドリル工法等による場所打ちぐい	$q_p = 150/3 \cdot N$

この表において、N は、基礎ぐいの先端付近の地盤の標準貫入試験による打撃回数(60を超えるときは60とする。)(単位 回)を表すものとする。

$A_p$ : 基礎ぐいの先端の有効断面積(単位 m<sup>2</sup>)

$R_F$ : 次の式により計算した基礎ぐいとその周囲の地盤(地震時に液状化するおそれのある地盤を除き、軟弱な粘土質地盤又は軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質地盤にあつては、建築物の自重による沈下その他の地盤の変形等を考慮して建築物又は建築物の部分に有害な損傷、変形及び沈下が生じないことを確かめたものに限る。以下この表において同じ。)との摩擦力(単位 kN)

$$R_F = (10/3 \cdot N_s \cdot L_s + 1/2 \cdot q_u \cdot L_c) \cdot \psi$$

$N_s$ : 基礎ぐいの周囲の地盤のうち砂質地盤の標準貫入試験による打撃回数(30を超えるときは30とする。)の平均値(単位 回)

$L_s$ : 基礎ぐいとその周囲の地盤のうち砂質地盤に接する長さの合計(単位 m)

$q_u$ : 基礎ぐいの周囲の地盤のうち粘土質地盤の一軸圧縮強度(200を超えるときは200とする。)の平均値(単位 kN/m<sup>2</sup>)

$L_c$ : 基礎ぐいとその周囲の地盤のうち粘土質地盤に接する長さの合計(単位 m)

$\psi$ : 基礎ぐいの周囲の長さ(単位 m)

	長期に生ずる力に対する地盤の引抜き方向の許容支持力	短期に生ずる力に対する地盤の引抜き方向の許容支持力
1	$tR_a = 1/3 \cdot tR_u + w_p$	$tR_a = 2/3 \cdot tR_u + w_p$
2	$tR_a = 4/15 \cdot R_F + w_p + q_p \cdot A_{p1}$	$tR_a = 8/15 \cdot R_F + w_p + 2 \cdot q_p \cdot A_{p1}$

$tR_a$ : 地盤の引抜き方向の許容支持力(単位 kN)

$tR_u$ : 引抜き試験により求めた極限引抜き抵抗力(単位 kN)

$R_F$ : 第一号に掲げる $R_F$ (単位 kN)

$w_p$ : 基礎ぐいの有効自重(基礎ぐいの自重より実況によって求めた浮力を減じた数値をいう。)(単位 kN)

$A_{p1}$ : 羽根有効断面積(単位 m<sup>2</sup>)

N= 4.000 (地質調査の結果による)

Ap	0.0072346	m <sup>2</sup>
Ns	0	
Ls	0	m
qu	60	KN/m <sup>2</sup>
Lc	1.6	m
ψ	0.301	m
qp	400.00	KN/m <sup>2</sup>
Ap1	0.00270	m <sup>2</sup>
wp	106.624	N
RF	14.47	KN

長期許容支持力Ra	短期許容支持力Ra	短期許容引抜力tRa	
7.72	15.43	9.98	KN

荷重状況		計算値		許容値	安全率	判定
長期圧縮力	長期荷重	0.79	KN	7.72	9.76	OK
短期圧縮力	短期正風圧荷重	7.61	KN	15.43	2.03	OK
短期引張力	短期負風圧荷重	9.45	KN	9.98	1.06	OK



## 水平力:

逆風時の水平支点反力 :

図 G1-11 水平地盤反力係数と杭水平変位量の関係  
(塑性化変位 9 cm の例)

$$k_{h0} = \alpha \cdot \xi \cdot E_0 \cdot \bar{B}^{-3/4} \quad (6.1)$$

$$k_h = 3.16 \times k_{h0} \quad (6.2)$$

$$k_h = 1/\sqrt{\bar{y}} \times k_{h0} \quad (6.3)$$

$\bar{y}$ : 無次元化水平変位(各種杭直径の 10%変位(0.1D)を cm 単位にした)

$k_{h0}$ : 基準水平地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$k_h$ : 水平地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$\alpha$ : 評価法によって決まる定数、砂質土  $\alpha=80$ 、粘性土  $\alpha=60$  (1/m)

$\xi$ : 群杭の影響を考慮した係数で、単杭の場合は 1

$E_0$ : 変形係数 700N とした (kN/m<sup>2</sup>)

$\bar{B}$ : 無次元化杭径

$$y_0 = \frac{1+\beta h}{2EI\beta^3} H \quad (6.4)$$

$y_0$ : 地表面変位 (m)

$$\beta = [k_h \cdot B / (4EI)]^{1/4} \quad (1/m)$$

$h$ : 杭の突出長 (m)

$E$ : 杭のヤング率 (kN/m<sup>2</sup>)

$I$ : 杭の断面 2 次モーメント (m<sup>4</sup>)

$H$ : 水平荷重 (kN)

h: 0.2 m  
 N: 4  
 Eo: 2800 KN/m<sup>2</sup>  
 B: 7.6 cm  
 y: 0.76 cm  
 Kho: 48937.05  
 Kh= 56134.65  
 EI= 94.10  
 B= 0.076  
 $\beta$  = 1.83  
 H= 1.18 KN  
 ho=

地中部最大曲げモーメント

$$M_{max} = \left( \frac{-H/2\beta}{(1+2\beta(h+h_0))^2+1} \right)^{0.5} \cdot \exp(-\tan^{-1}(1/(1+2\beta(h+h_0))))$$

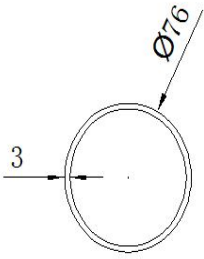
$$= 0.38 \quad \text{KN}\cdot\text{m}$$

地中部最大曲げモーメント発生点

$$l_m = \frac{1}{\beta} \cdot \left( \tan^{-1}(1/(1+2\beta(h+h_0))) \right)$$

$$= 0.285 \quad \text{m}$$

### 切断面パラメーター



A	688.0088	Ip	918147.7461
Ix	459073.8789	Iy	459073.8672
ix	25.8312	iy	25.8312
Wx(上)	12080.8916	Wy(左)	12080.8912
Wx(下)	12080.8916	Wy(右)	12080.8912
X軸に回る面積モーメント	7998.0000	Y軸に回る面積モーメント	7998.0000
中心から左縁までの距離	38.0000	中心から右縁までの距離	38.0000
中心から上縁までの距離	38.0000	中心から下縁までの距離	38.0000

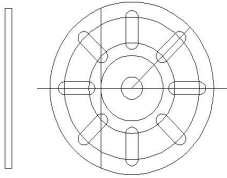
曲げ応力度  $\sigma_b: M/W_x = M/12080 = 31.64 \text{ N/mm}^2$

伸びし応力度  $\sigma_c: F/A = 7612 / 688 = 11.06 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_c + \sigma_b = 42.70 \text{ N/mm}^2 < 205 \text{ N/mm}^2$

だから、杭は強度的にOKと判定できます。

### 杭と台座の偏芯の許容値



切断面パラメーター

A	1479.9784	Ip	4228791.5313
Ix	7893.2188	Iy	4220898.3126
ix	2.3094	iy	53.4041
Wx(上)	1973.3047	Wy(左)	45631.9998
Wx(下)	1973.3047	Wy(右)	45631.9998
X軸に回る面積モーメント	1479.9784	Y軸に回る面積モーメント	34224.0000
中心から左縁までの距離	92.4986	中心から右縁までの距離	92.4986
中心から上縁までの距離	4.0000	中心から下縁までの距離	4.0000
主モーメントI1	7893.219	主モーメントI方向	(1.000, 0.000)
主モーメントI2	4220898.313	主モーメントI2方向	(0.000, 1.000)

支座の最大偏心力は 37803.08 N 仮に、偏心の最大間隔はLとして、  
 $37803.08 * L / 1.973 = 205$

$L = 0.011 \text{ m}$

$= 10.70 \text{ mm}$

台座取り付け偏心 10.7 mm 以内に発生する応力は、安全範囲内と判断できます。