

構造設計理解のために 基礎の基礎！

奥地建産株式会社
奥地 誠

ENEVOLUTION
OKUJI

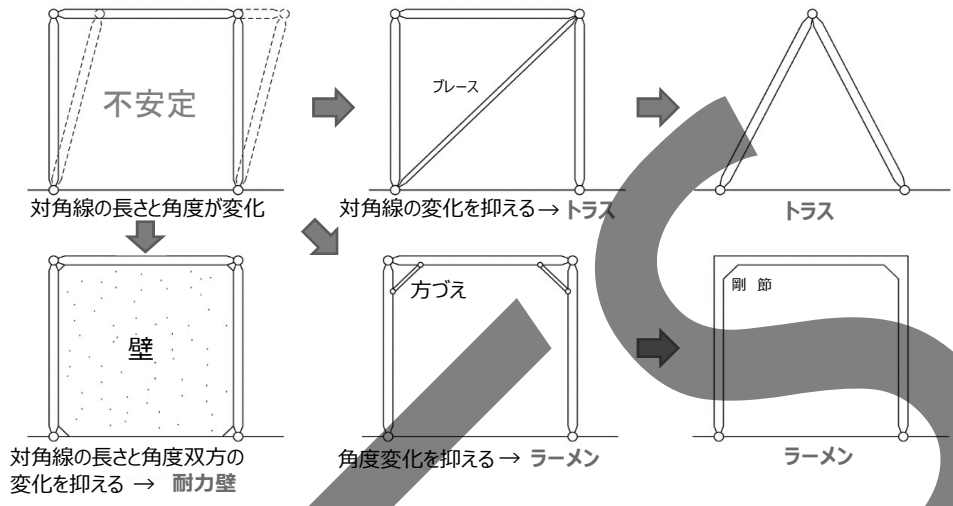
目次 ここに注目！

- 1) 安定？不安定？＝構造＝
- 2) ピンとラーメン？ボーリングや中華の話ではありません！
- 3) 積雪深？55cm？101cm？
- 4) 基礎？杭の設計？
- 5) まとめ(問題点と設計方針)

※本資料は数式等をできる限り使用せず、専門家でない方々の理解促進することを目的に作成たもので、比喩的表現などがあることをご容赦願いたい

ENEVOLUTION
OKUJI

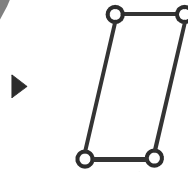
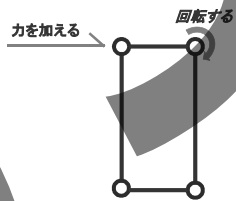
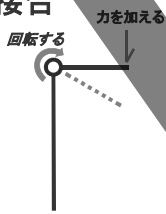
1) 安定・不安定



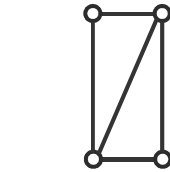
基本項構造形式の安定原理

ENEVOLUTION OKUJI

ピン接合

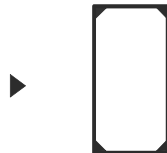
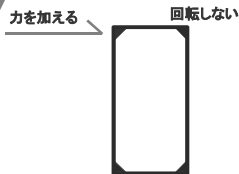


四つの交点すべてが回転するので崩れる



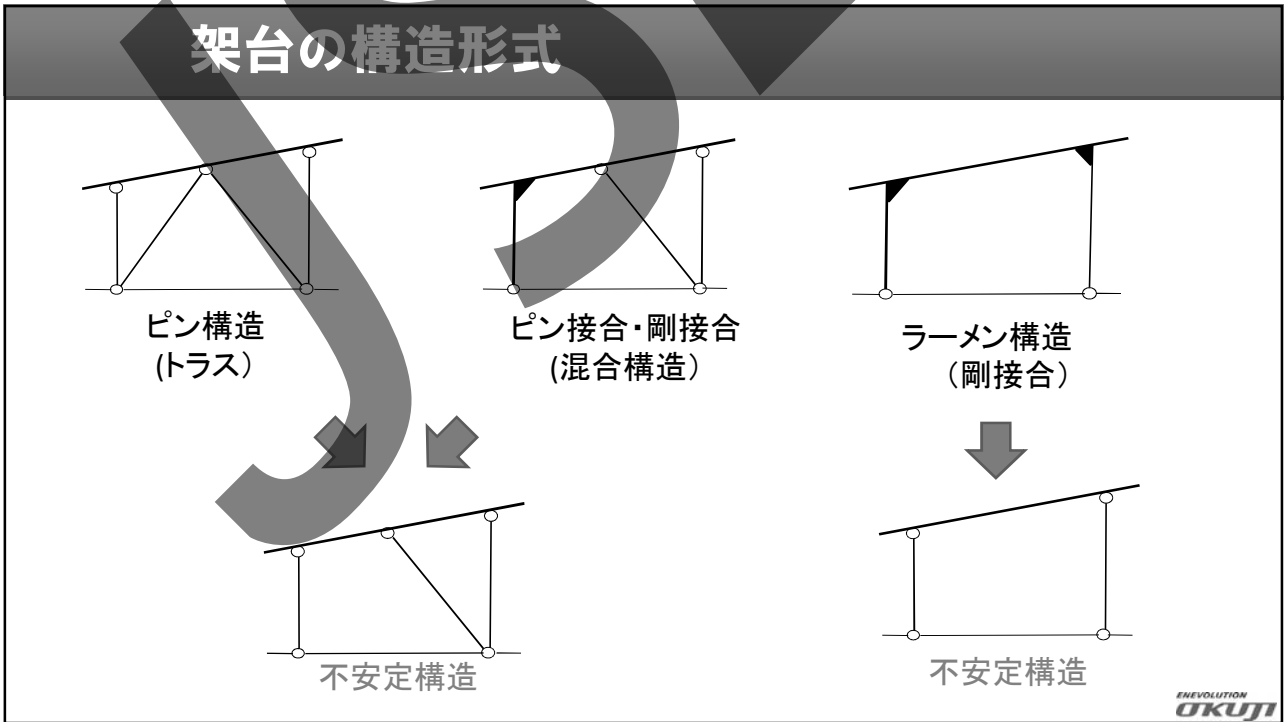
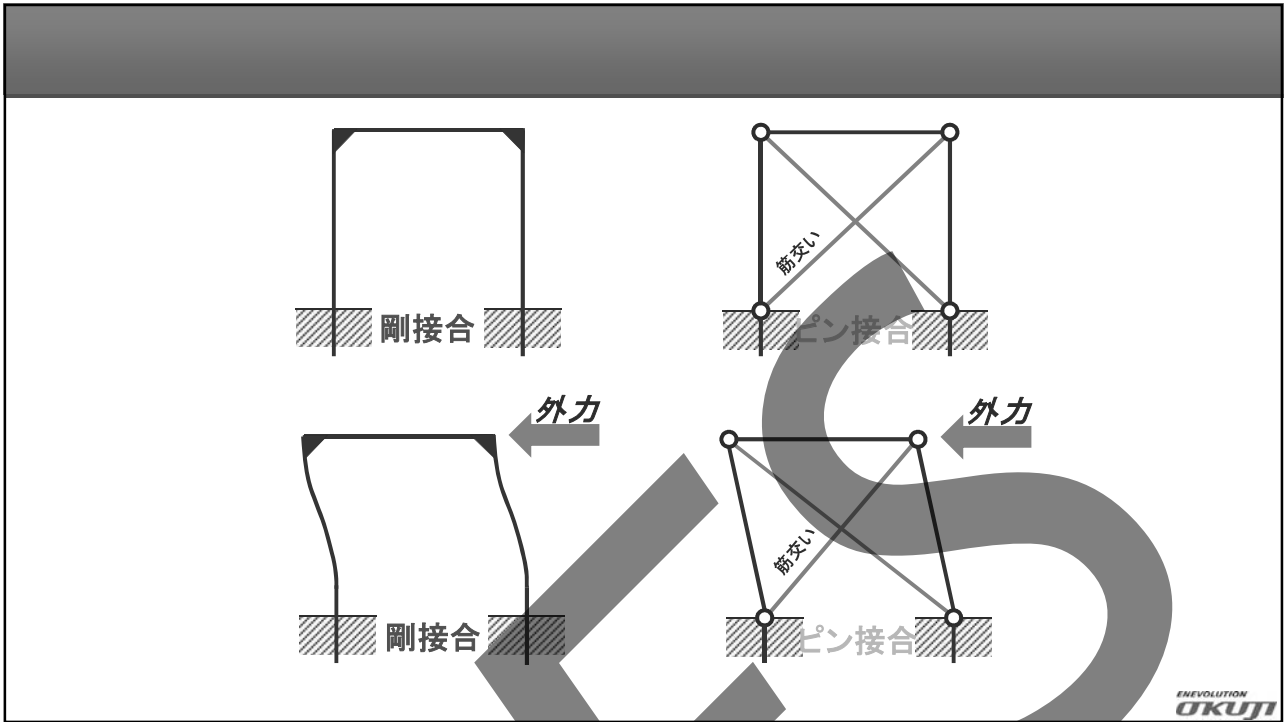
斜めの材によって拘束され崩れない

ラーメン接合

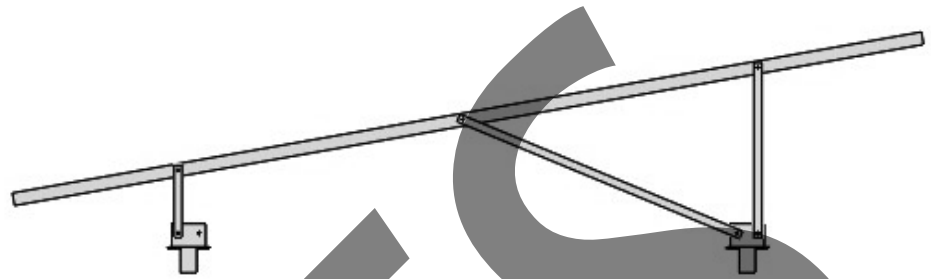


四つの交点すべてが回転しないので崩れない

ENEVOLUTION OKUJI



被害発生の様式図

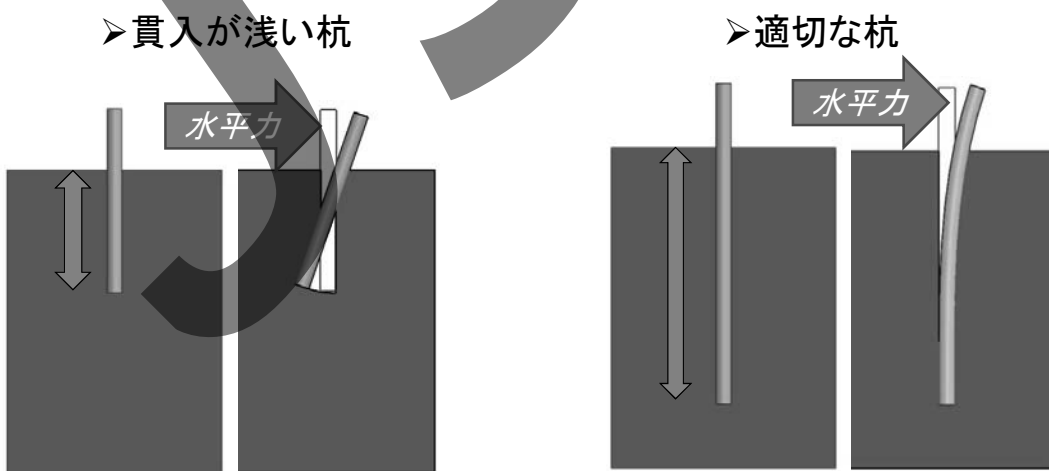


杭頭が動く！崩壊過程

ENEVOLUTION
OKUJI

鋼管杭頭部の変位について 1

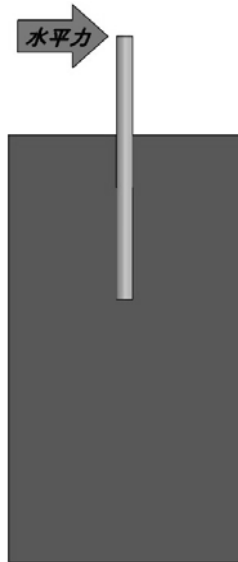
■ 鋼管杭貫入深さの違いによる頭部の変位



ENEVOLUTION
OKUJI

鋼管杭頭部の変位アニメーション

➤ 貫入が浅い



➤ 貫入が深い



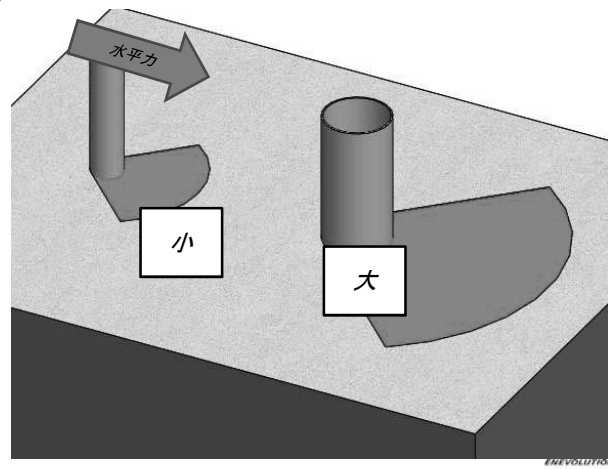
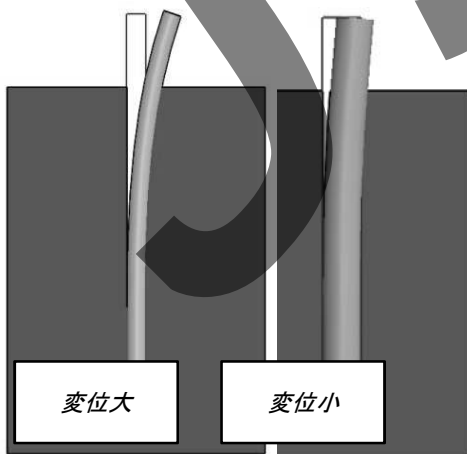
ENEVOLUTION
OKUJI

鋼管杭頭部の変位について 2

➤ 細い径の場合

➤ 太い径の場合

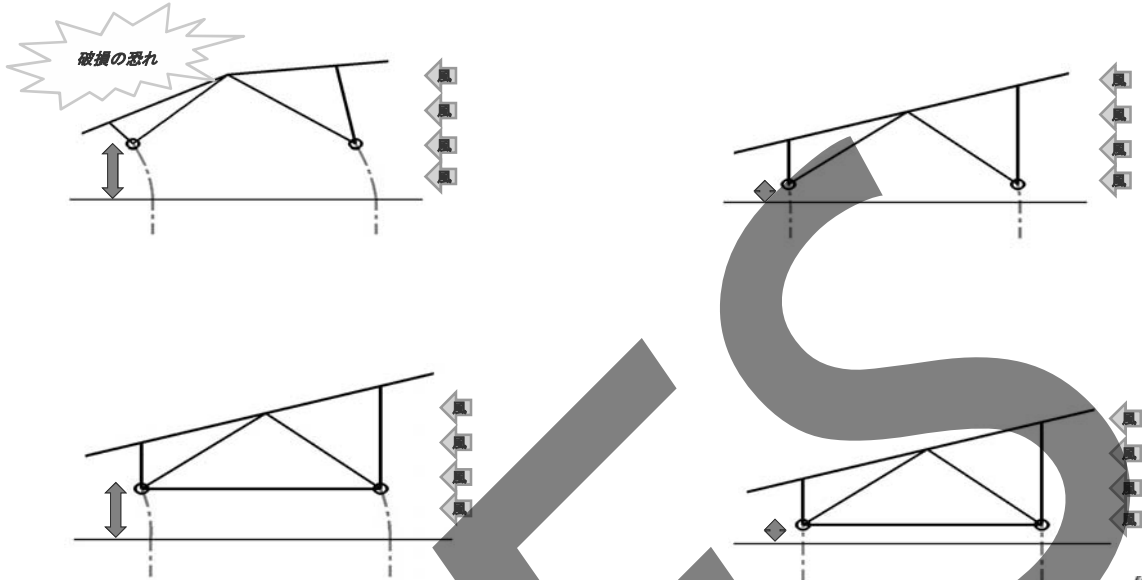
■ 鋼管杭の径違いによる地盤(地表面)の抵抗力



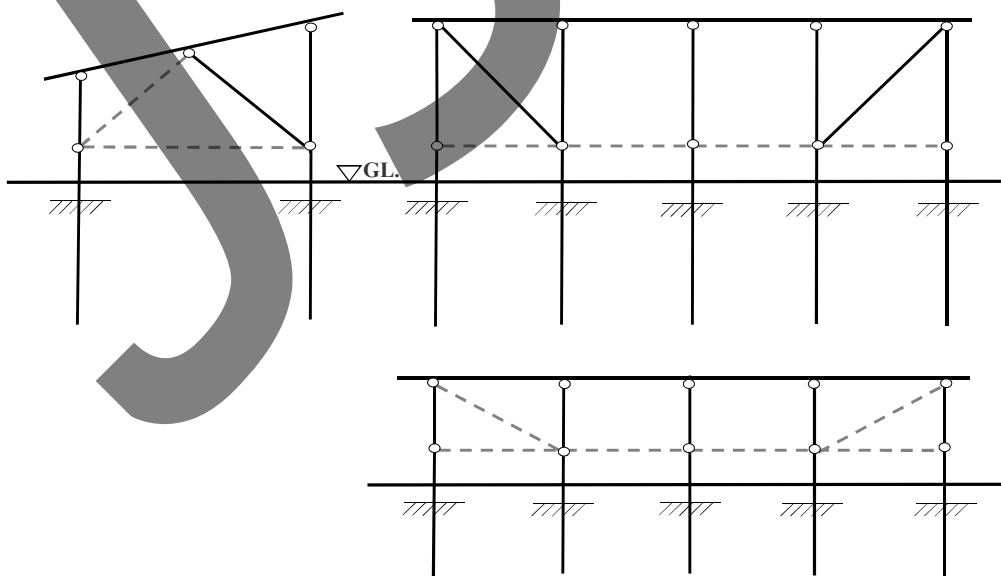
ENEVOLUTION
OKUJI

鋼管杭頭部の変位が架台へ及ぼす影響

■ 柱脚つなぎ材無しの場合

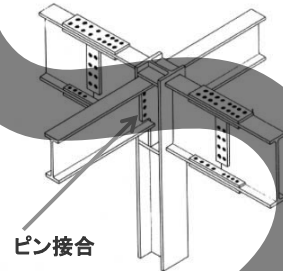
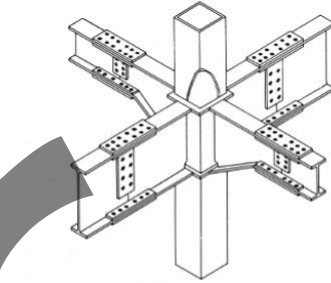
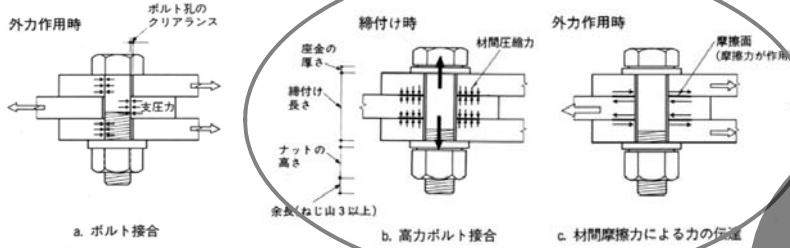


問題点と対策



2) ピンとラーメン・・・構造計算では？

ボルト接合の違い



ピン接合

出展: 構造用教材 日本建築学会

ENEVOLUTION OKUJI

構造計算書上・・・ラーメン

LCO083 B ソーラーパネルアルミ架台 構造検討書 横置4段5列 10° P=1750

2017/03/06

3. 設計方針

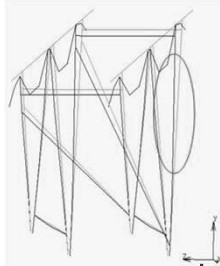
- A. 本検討は、横置 4 段 5 列 南北10° P=1750 仕様のユニットの検討を行う。
(添付図面「太陽光パネルアルミ架台 LCO083-001～003-C」の横置4段12列 南北10° P=1750 仕様の右側面から横置4段5列の構造解析を行う。)
- B. それぞれのアルミフレームの連結はブラケットおよびボルトの連結であり全固定と考え架台をラーメン構造とする。

ENEVOLUTION OKUJI

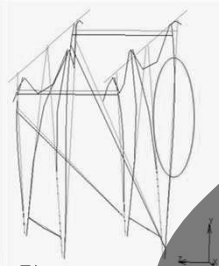
ピンとラーメンの構造計算上の違い



弊社の架台モデル



ラーメンモデル



変形
ピンモデル

	Load stress [N/m ²]
実験値	5038 - 5278
ピンモデル	5330
ラーメンモデル	13480



砂袋載荷試験
(雪荷重想定)

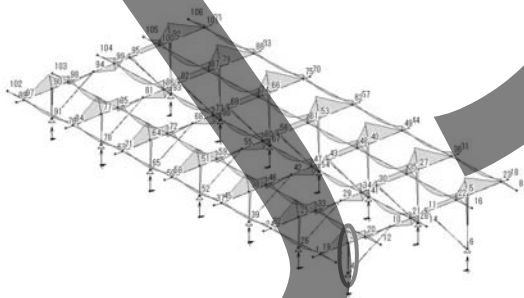


この事例の場合 破壊荷重は
構造計算上 2.50倍 の誤差
実験値とは 2.68倍 の誤差

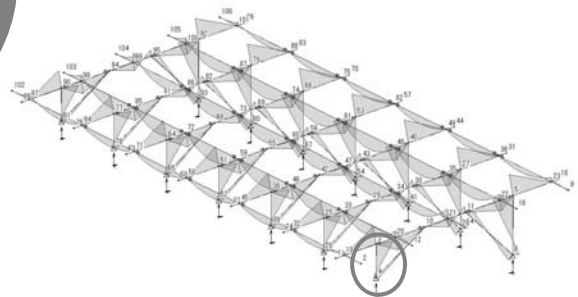
解析ソフト: Marc MSC Software社

ENEVOLUTION
OKUJI

本事例（対策案）での構造計算結果



ラーメン構造



ピン構造

検定比 0.26:0.7 2.69倍

解析ソフト: CADTOOL フレーム構造解析 キャデナス・ウェブ・ツール・キャド株式会社

ENEVOLUTION
OKUJI

3)積雪深 実際積雪深(鳥取気象台)

鳥取 2017年2月(日ごとの値) 主な要素

日	気圧(hPa)		降水量(mm)				気温(℃)			湿度(%)		風向/風速(m/s)				日照時間(h)	雪(cm)		天気概況	
	現地	海面	最大		平均	最高	最低	平均	最小	平均	最大	最大瞬間	風向	風速	風向		降雪	最深積雪	昼(06.00-18.00)	夜(18.00-翌日06.00)
	平均	平均	1時間	10分間	平均	最高	最低	平均	最小	平均	最大	最大瞬間	風向	風速	風向		合計	値		
1	1018.6	1020.6	1.5	0.5	0.5	3.6	8.8	-1.3	76	47	4.4	9.6	北北西	16.2	北北西	0.0	---	1	曇時々雨	曇一時雨後一時雪、みぞれを伴う
2	1020.1	1022.1	3.0	1.0	0.5	5.1	8.4	2.2	68	48	3.9	10.1	北	17.1	北	1.3	---	---	雨一時雪(曇、あられを伴う)	曇時々雨後一時雪
3	1020.4	1022.4	1.0	0.5	0.5	7.0	11.9	2.6	67	43	3.3	6.1	北西	10.3	北北西	4.2	---	---	曇時々晴一時雨、あられを伴う	曇一時雨
4	1019.0	1021.0	0.0	0.0	0.0	6.3	13.9	1.2	72	42	2.4	3.8	東南東	5.4	北北西	9.3	---	---	晴	曇時々晴後一時雨
5	1007.6	1009.5	8.5	3.0	1.0	7.8	11.4	3.5	82	59	3.3	7.3	南南東	11.7	南南東	0.0	---	---	雨(曇)	雨、曇、あられを伴う
6	1010.4	1012.4	57.5	8.0	2.0	4.2	7.5	1.0	83	51	5.4	9.7	北北西	18.5	西	0.0	---	0	大雨時々みぞれ、曇、あられを伴う	雨後曇時々雪、あられを伴う
7	1019.6	1021.6	1.5	0.5	0.5	4.1	5.9	2.1	64	50	5.5	8.7	北北西	15.1	北北西	0.4	---	0	曇時々みぞれ一時雨、あられを伴う	曇
8	1015.8	1017.8	0.0	0.0	0.0	4.1	8.0	1.7	71	50	2.3	4.6	北	8.6	北北西	2.0	---	---	曇時々雨	曇時々雨
9	1002.5	1004.4	1.5	1.0	1.0	4.9	7.9	1.4	69	42	3.8	8.2	西	14.9	西南西	1.5	---	0	曇時々曇	曇一時雨(曇、雪、あられを伴う)
10	1006.2	1008.2	69.0	9.0	2.0	0.4	2.4	-1.1	89	64	4.1	9.1	北北西	16.4	西北西	0.6	65	62	大雪、曇、あられを伴う	大雪、あられを伴う
11	1013.9	1015.9	44.0	5.5	1.5	0.0	0.9	-1.0	93	85	2.7	6.4	西	13.2	西	0.0	30	91	大雪、曇、あられを伴う	曇時々曇、曇、あられを伴う
12	1021.7	1023.7	28.5	10.0	3.0	1.0	4.6	-0.5	90	64	2.4	6.2	西	9.7	西	4.0	10	88	曇時々曇、あられを伴う	曇、あられを伴う
13	1025.6	1027.6	22.5	4.0	1.5	1.1	2.9	0.3	94	86	1.9	4.7	東北東	6.6	東北東	0.4	2	76	曇後一時曇、あられを伴う	みぞれ後雪一時曇
14	1026.5	1028.5	12.0	4.0	1.5	1.8	4.6	0.4	89	72	2.3	7.0	北北西	11.4	北	1.9	4	67	曇時々曇、あられを伴う	曇時々みぞれ、あられを伴う
15	1027.6	1029.6	0.0	0.0	0.0	3.3	9.2	0.0	90	46	2.2	4.2	東南東	6.2	南東	5.1	---	42	曇(曇)	曇
16	1021.5	1023.4	---	---	---	6.7	14.4	0.3	64	33	3.7	7.2	南東	9.7	南	8.5	---	38	晴後一時曇	曇後一時雨
17	1014.6	1016.6	5.5	3.0	1.0	8.9	12.4	4.0	78	50	4.2	8.8	南南東	13.8	南南東	0.0	---	30	雨時々曇	雨一時曇
18	1015.1	1017.0	3.5	2.5	1.0	4.6	10.5	1.0	83	45	2.8	9.0	西北西	16.6	西北西	3.2	---	21	曇後一時雨	みぞれ時々雨一時曇
19	1017.1	1019.0	3.5	3.5	1.0	4.7	10.5	0.8	73	39	2.4	5.6	北北東	10.8	北	8.2	1	16	曇一時雨後一時曇、みぞれを伴う	曇
20	1007.3	1009.3	9.0	4.5	1.0	8.4	11.7	3.7	65	47	6.9	13.5	南東	20.5	南東	1.1	---	11	雨時々曇	曇時々曇一時雨、みぞれを伴う
21	1025.6	1027.6	0.0	0.0	0.0	3.5	6.2	0.9	62	45	5.5	11.5	北北西	19.6	北北西	1.8	---	1	曇一時雨後一時曇、あられを伴う	晴
22	1017.8	1019.7	6.0	2.5	1.0	5.6	11.7	-1.9	67	28	4.8	11.4	北北西	21.6	南	3.8	---	---	曇後時々雨	雨
23	1006.5	1008.4	22.5	4.0	2.0	9.0	13.3	4.2	85	72	4.6	10.3	北北西	18.5	北北西	0.1	---	---	雨	雨時々曇後一時雪、あられを伴う
24	1017.3	1019.3	0.5	0.5	0.5	5.2	8.9	2.6	67	45	3.5	8.8	北北西	14.5	北	8.3	---	---	晴一時雨、あられを伴う	曇時々雨、みぞれを伴う
25	1018.4	1020.4	0.0	0.0	0.0	4.8	9.4	1.8	74	48	2.9	5.7	西南西	9.1	西北西	3.6	---	---	曇時々晴一時雨	晴
26	1020.7	1022.7	5.5	3.0	1.5	4.8	10.7	-0.2	75	38	2.6	6.7	西北西	9.4	西北西	4.0	---	---	曇後一時雨	雨後一時曇、あられを伴う
27	1025.2	1027.2	0.0	0.0	0.0	4.8	8.1	0.5	66	44	2.1	5.3	東北東	8.8	北北東	1.5	---	---	曇一時晴	曇一時晴
28	1023.9	1025.9	0.0	0.0	0.0	3.8	10.1	-0.3	71	47	2.1	4.4	北西	6.2	北	4.2	---	---	曇(曇)時々晴	晴後一時曇

17年
2月
11日
→ 91cm

ENEVOOLUTION OKUJI

3)積雪深?...構造計算上!

2015/10/31

1. 一般事項

- A. 本計算書は太陽光発電設備架台部分の構造検討書である。
- B. 本設備は以下の設計条件を満足する地域に建設するものとする。
 - a. 施工地 = 鳥取県鳥取市覚寺
 - b. 地表面粗度区分 = III
 - c. 設計用基準風速 $V0 = 32 \text{ m/s}$ 以下
 - d. 基準積雪 $H0 = 55 \text{ cm}$ 以下
 - e. 用途係数 $I = 1$

55cm? 根拠?

2017/03/06

1. 一般事項

- A. 本計算書は太陽光発電設備架台部分の構造検討書である。
- B. 本設備は以下の設計条件を満足する地域に建設するものとする。
 - a. 施工地 = 鳥取県鳥取市覚寺
 - b. 地表面粗度区分 = III
 - c. 設計用基準風速 $V0 = 32 \text{ m/s}$ 以下
 - d. 基準積雪 $H0 = 101 \text{ cm}$ 以下 (多雪区域)
 - e. 用途係数 $I = 1$
 - f. 下端から上端までの高さ4m以下

101cm?

ENEVOOLUTION OKUJI

鳥取市建築基準法施行細則

別表(第5条の2関係)
(本表…追加〔平成16年規則123号〕)

区域	基準積雪量(メートル)	標高に乗ずる数値
合併前の国府町の区域	1.2	0.0056
合併前の福部村の区域	1.2	0.0036
合併前の気高町、鹿野町及び青谷町の区域	0.8	0.0036
上記以外の市域	1.0	0.0036

備考 この表において合併前の国府町、合併前の福部村、合併前の気高町、合併前の鹿野町及び合併前の青谷町とは、それぞれ平成16年10月31日現在の国府町、福部村、気高町、鹿野町及び青谷町をいう。

$1.0 \text{ m} + 5.0 \text{ m} \times 0.0036 = 1.018 \text{ m}$
構造計算上安全側の値: 102cm

構造計算において「値」は常に安全側に丸める!



ENEVOLUTION
OKUJI

雪荷重 まとめ

$$55 \text{ cm} \times 20 \text{ N/m}^2 / \text{cm} = 1100 \text{ N/m}^2$$

多雪

$$101 \text{ cm} \times 30 \text{ N/m}^2 / \text{cm} = 3030 \text{ N/m}^2$$

1.84倍の積雪深 2.75倍の雪荷重

破壊荷重

$$91 \text{ cm} \times 20 \text{ N/m}^2 / \text{cm} = \underline{1820 \text{ N/m}^2}$$

※設計雪荷重の2/3以下で破壊

※勾配係数除く

ENEVOLUTION
OKUJI

4) 基礎・杭

当初の設計データが無い・・・

問題が起こってから・・・スエーデン式サウンディング試験

※肝心の杭の「押込、引抜 原位置試験」データが無い

途中で出てきた、計算書も「土質」が異なる・・・

手塚さんのメールから

杭関係

杭の補強について対象や手法が2転3転し、図面提出も時間がかかりました。

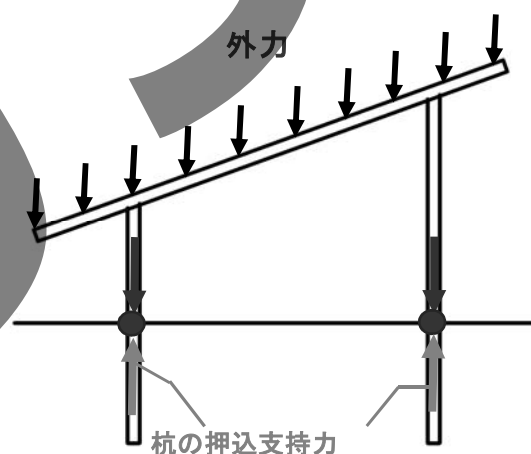
最終的に、

杭まがり沈下か所(資料5)について、曲がり等ある箇所はすべて新品に交換、

杭はすべて引き抜き検査を行い、12kN出ない箇所については、沈み防止部材(資料6)を設置することになりました。

ENEVOLUTION
OKUJI

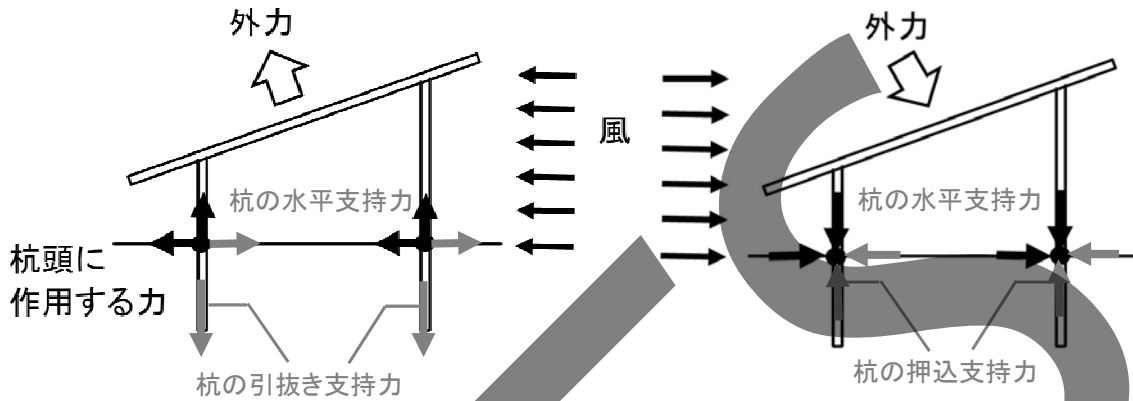
基礎に伝わる力(雪)



ENEVOLUTION
OKUJI

基礎に伝わる力（風）

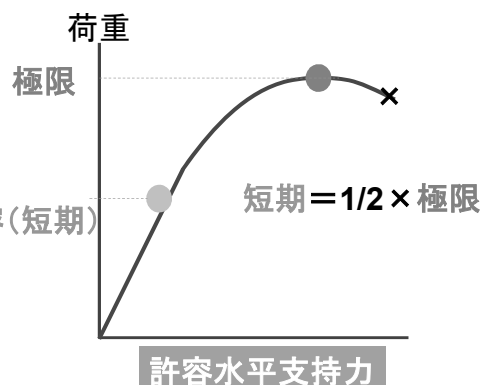
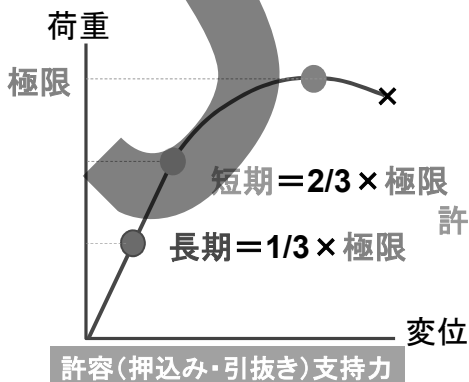
■杭基礎の場合（風荷重の例）



ENEVOLUTION
OKUJI

杭の許容支持力

1. 杭の長期許容支持力は、地盤から定まる長期許容支持力と杭体の長期許容圧縮力のうち小さい値とする。
2. 杭の支持力（押込み力・引抜き力・水平力）は載荷試験を行い求めることを基本とする。杭の長期許容支持力は極限支持力の1/3、杭の短期許容支持力（押込み・引抜き）は極限支持力の2/3とする。また杭の短期許容水平支持力は極限支持力の1/2とする。



ENEVOLUTION
OKUJI

原位置試験(例)と理論値のかい離率



杭種類	断面(mm)	貫入深さ(mm)	試験項目	設計計算値(kN)	試験結果(kN)	結果/設計乖離率%
スクリュー大	Φ 89.1	1200	押込み	36.6	76	208%
			引抜	36.6	28	77%
			水平		11.5	-
スクリュー小	Φ 76.3	1200	押込み	35.4	49.5	140%
			引抜	35.4	28	79%
			水平		7.5	-
形鋼	108×100×26 t4.5	1500	押込み	41.5	35	84%
			引抜	41.5	11	27%
			引抜	41.5	5	12%
			水平		34	-

※ 弊社試験 砂質土地盤の実施例



ENEVOLUTION
OKUJI

まとめ 問題点・確認ポイント

- | | |
|-------------|-----------------|
| 1) 構造形式 | 安定・不安定構造 |
| 2) 構造計算方法 | ピン・ラーメン(拘束条件)接合 |
| 3) 荷重設計(外力) | 根拠の明確化(JIS・法遵守) |
| 4) 基礎杭の支持力 | 原位置試験 |

ENEVOLUTION
OKUJI

まとめ 設計の方針（設計者の方々へ）

- 架台、基礎、および部材間の各接合部は、稀に起こる地震・暴風・大雪に対して許容応力度設計を行うことを基本とする。
- 地盤については、基礎および上部構造で想定された地震・暴風・大雪時の荷重（鉛直荷重、引抜き荷重、水平荷重）に対して十分な耐力を有し、かつ有害な沈下・傾斜などを起こさないことを確認する。
- 架台および基礎の長期耐久性に関する要求性能は、目標を定めて設計・施工および保全がなされるよう設計時に配慮する。

ENEVOLUTION
OKUJI