

軟弱地盤に対応した耐候性ハウスの基礎

片岡 正登 宮崎 朋浩

キーワード 軟弱地盤 耐候性ハウス 基礎 スパイラル杭

The pile foundation of pulastic house that is resistant typhoon at the retrained soft ground

masato.kataoka tomohiro.miyazaki

目 次

1. 緒言	5 8
2. 地耐力調査	5 8
1) 場所	5 8
2) 調査区	5 8
3) 調査方法	5 8
4) 結果及び考察	5 8
3. ハウス基礎の垂直、水平耐力調査	5 9
1) 供試基礎	5 9
2) 調査方法	6 0
3) 結果及び考察	6 0
4. 耐候性ハウス設計支援システム	6 2
1) ハウスの概要	6 2
2) 構造計算方法	6 3
(1) 前提条件	6 3
ア. 地盤	6 3
イ. ハウス	6 3
ウ. 外力	6 3
(2) スパイラル支持力	6 4
(3) 外力計算	6 5
ア. 固定荷重 (G)	6 5
イ. 地震力 (K)	6 5
ウ. 風圧力	6 6
3) 構造計算の照査	6 6
5. 摘要	6 7
6. 謝辞	6 7
7. 引用文献	6 7
8. Summary	6 8

1. 緒 言

諫早湾干拓地は平坦な農地の少ない本県にとって貴重な財産であり 2007 年に入植が開始される予定である。当干拓地では土地利用型大規模露地野菜の経営や収益性の高い大規模施設園芸団地として意欲ある農業者の創意工夫によるモデル的経営が期待されている。

当地は筑後川などの河川によって搬出された阿蘇・久住山系の火山灰質の土砂が潮汐によって泥土部分が沈降堆積することでできる干潟を干陸させた海成沖積土壌である。その土壌は有明海の海底土（通称ガタ土）を母材とした海成沖積土壌で粒経の細かい粘土が約 50 %、シルトが約 40 % 占めており、重粘質土壌（土性：HC）に分類される。特に粘土分はスメクタイトを主体とする 2 : 1 型粘土鉱物が多く含まれており、陽イオン保持性が高く膨潤・収縮性に富んだ性質を持つ。土壌の三相分布は固相率約 25 %、気相率 0 ~ 25 %、液相率 50 ~ 75 % であり仮比重は 0.6 ~ 0.7 程度と軽い。下層部は還元状態のグライ層であり気相率が極めて少なく透水性も悪い。干陸地は礫層のない有効土壌が 1 m 以上の均質な土壌で、起伏の

ない平坦地のため、表面排水が悪い上に土壌透水性も低いため土壌は湿潤になりやすく地盤は軟弱である。

また、中央干拓地における瞬間最大風速の発現日数（2002 ~ 2004 年平均）を見ると 10 m/秒未満 146 日（40 %）、10 ~ 20 m/秒 200 日（55 %）、20 ~ 30 m/秒 15 日（4 %）、30 m/秒以上 4 日（1 %）と他地域と比較し非常に強い風の影響を受ける地域である。

このため既耕地と異なる施設の基礎工法、構造等不明な課題が多く緊急な究明が求められており、軟弱地盤に対応した基礎工法、構造の解明を行った。

なお、本報告は 2002 年から 2003 までの 2 カ年間実施した国庫事業による「野菜生産費低減に寄与する気象災害に強い低コスト園芸施設の開発」に基づくものである。

また、この事業は近畿中国四国農業研究センター、熊本県農業研究センター、沖縄県農業試験場と共同で実施し、本県は軟弱地盤に対応した基礎工法について担当した。

2. 地耐力調査

1) 場 所

諫早湾干拓造成畑（細粒強グライ土壌）。
緑肥作物を年 2 作栽培し、刈り取り後耕耘により鋤きこむ。

2) 調査区

A 区：緑肥の作付け回数 1 回
B 区：緑肥の作付け回数 2 回

3) 調査方法

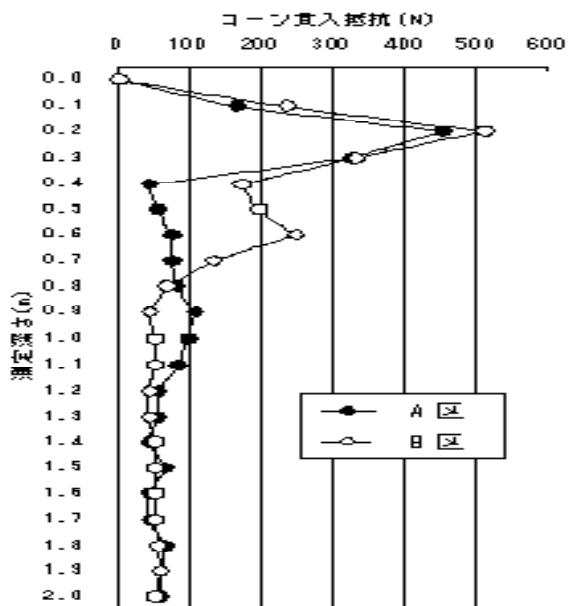
JIS A1220「オランダ式二重管ポータブルコーン貫入試験方法」に準じ地下 5 m まで測定。

4) 結果及び考察

地耐力は A 区、B 区とも地表下 0.2 m で最

大となり、A 区 453N、B 区 556N であった。A 区では 0.4 m 以下の地耐力は 100N 程度で一定になっているが B 区では 0.7 m までの地耐力が増加し 0.9 m 以下では A 区と同様であった。（図 1）

これは緑肥の栽培を繰り返すことにより物理性の改善と土壌上層部の乾燥が促されたために地耐力が増加すると考えられた。



3. ハウス基礎の垂直、水平耐力調査

1) 供試基礎

6種類10タイプ (表1、写真1)

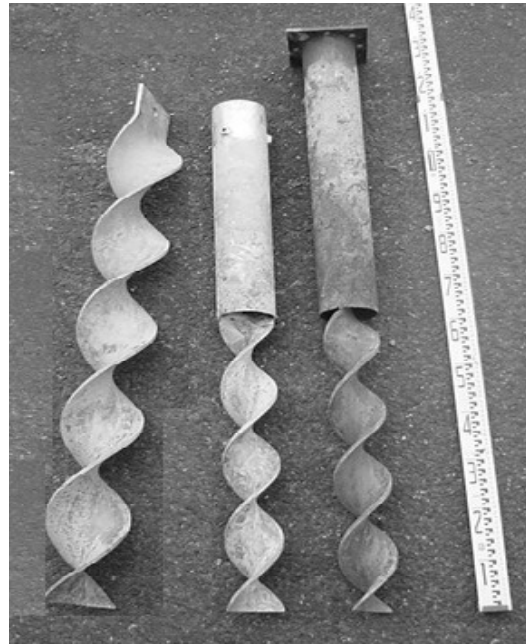
各基礎とも地上部が10cm残るよう に埋設し、埋設期間は8週間

表1 供試基礎の概要

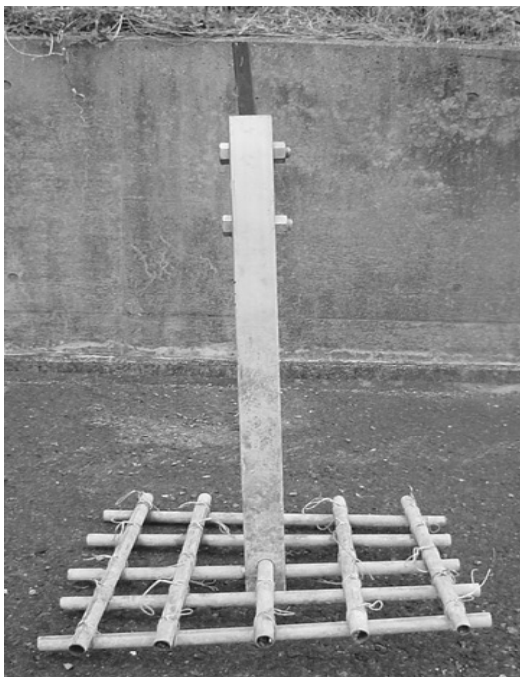
調査した基礎	概要			
	全長	底面	上面	
コンクリート基礎	750	200×200	150×150	
井桁基礎	全長	井桁面	径19×500のパイプを5本×5本組み合わせる	
	800	500×500		
	全長	スパイラル幅	スパイラル長	パイプ長
スパイラル1	1100	75	1100	
スパイラル2	1100	150	1100	
パイプ付きスパイラル1	1100	100	600	500
パイプ付きスパイラル2	1400	100	600	800
	全長	花びら部幅	らせん部幅	
花びら杭1	1100	30	水平耐力調査に使用	
花びら杭2	1100	50	垂直耐力調査に使用	
らせん杭1	1100		30	水平耐力調査に使用
らせん杭2	1100		50	垂直耐力調査に使用



花びら基礎 らせん基礎



スパイラル杭 パイプ付スパイラル杭



井桁基礎



コンクリート基礎

図2 調査に用いたハウス用基礎

2) 調査方法

2の2)のB区において、地盤工学会基準 JGS1813-200X「杭の引き抜き試験方法」に準じて変異量 20mm まで測定

3) 結果及び考察

(1) 地耐力の違いによる垂直耐力の比較

緑肥栽培が基礎の耐力に及ぼす影響を調べるため3種類の基礎（コンクリート基礎、井桁基礎、スパイラル基礎）についてA区、B

区で垂直耐力を調査した。コンクリート基礎については A 区、B 区の差は見られなかったが井桁基礎、スパイラル基礎については B 区の耐力が高かった。(図 3)

(2)各基礎の垂直耐力

各基礎について垂直耐力(変異量 20mm)を測定したところ最も大きい耐力を示した基礎はスパイラル 2 であった。次いで花びら杭 2、スパイラル 1、パイプ付きスパイラル 1 の順であった。このことから土壌との接触面積が広いものほど垂直耐力が大きくなりス

パイラル部分の幅が広いスパイラル基礎ほど垂直耐力が大きかった。(図 4)

(3)各基礎の水平耐力

水平耐力ではパイプ付きスパイラル 2 が最も高かった。次いで花びら杭、パイプ付きスパイラル 1、コンクリート基礎であった。スパイラル 1 及び垂直耐力が大きいスパイラル 2 の水平耐力は低かった。このことから水平耐力は基礎の断面積が大きく、長さが長いものほど高くなった。(図 5)

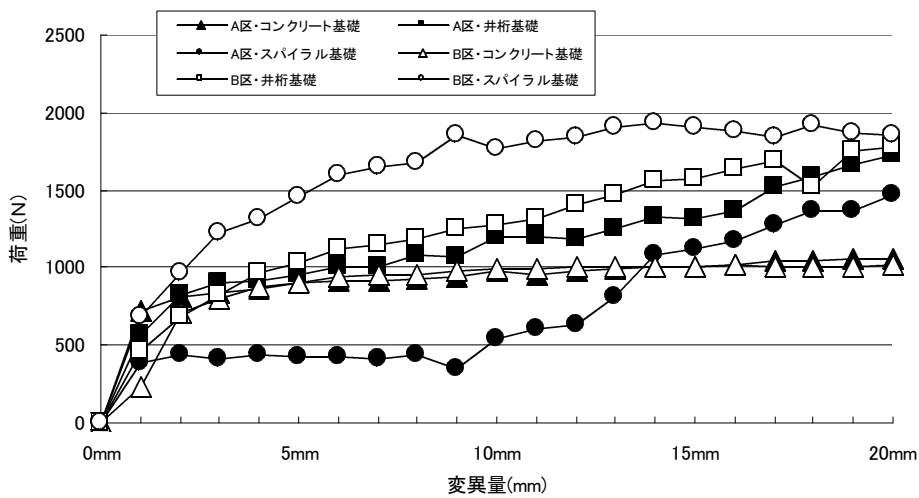


図 3 A、B 区の垂直耐力の比較

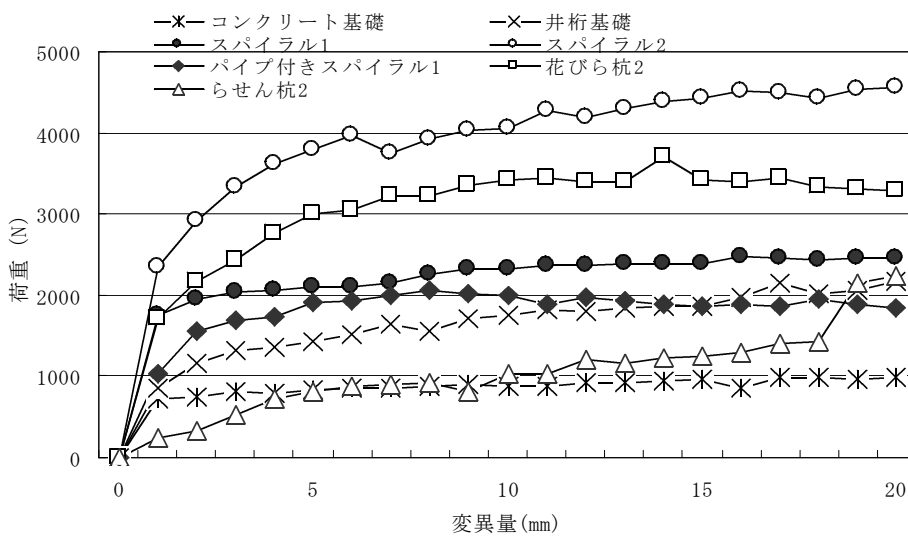


図 4 各基礎の垂直耐力

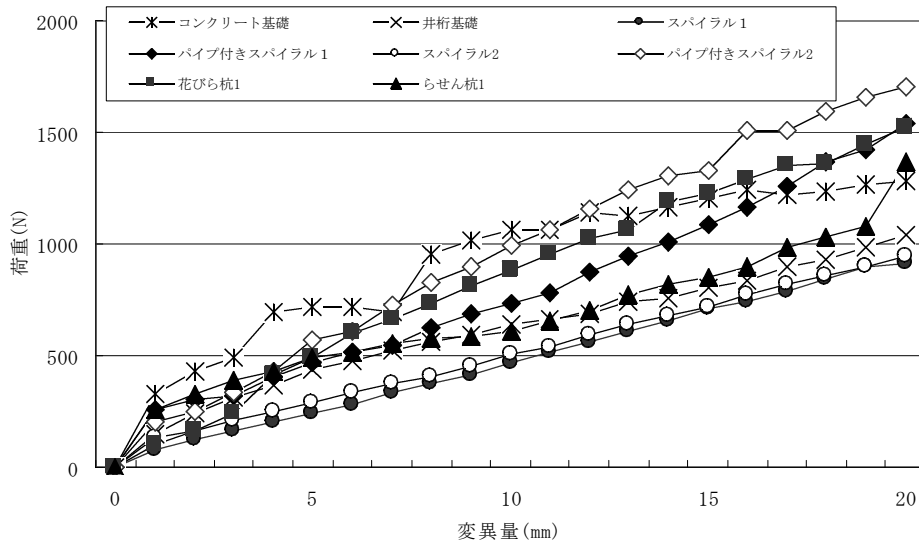


図5 各基礎の水平耐力

4. 耐震性ハウス設計支援システム

1) ハウスの概要

本県の干拓地におけるハウス基礎の調査結果及び共同研究機関での調査結果に基づきハウスの構造を検討した。ハウスは高張力鋼を用いた切妻型単棟ハウスで屋根部に陸ばりを入れたものである。軒高は 2.5 m、棟高

3.3 m、間口 6.0 m、長さ 12 m で基礎の感覚は 3.0 m とする。基礎にはスパイラル基礎(幅 100mm、長さ 1000mm、スパイラルの厚さ 9mm) 2 本を用いそれぞれの基礎同士を金具で連結し、さらに金具同士を高張力鋼の角パイプで連結した根太基礎工法で行った。(図 6、7、8、9)

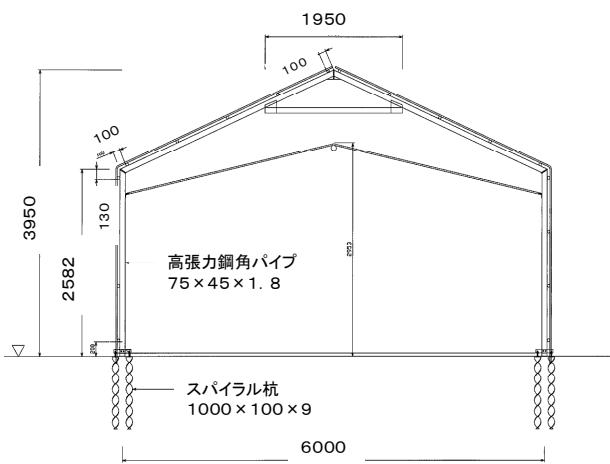


図6 ハウスの構造(妻面)

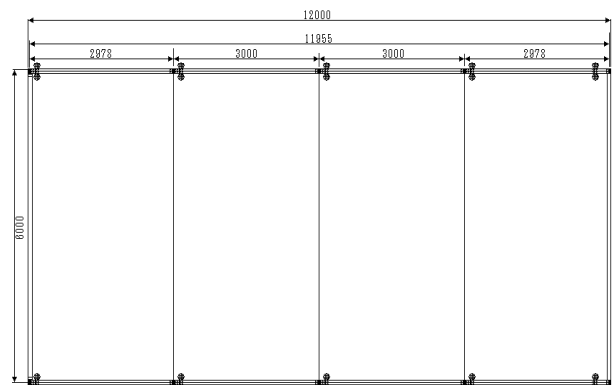
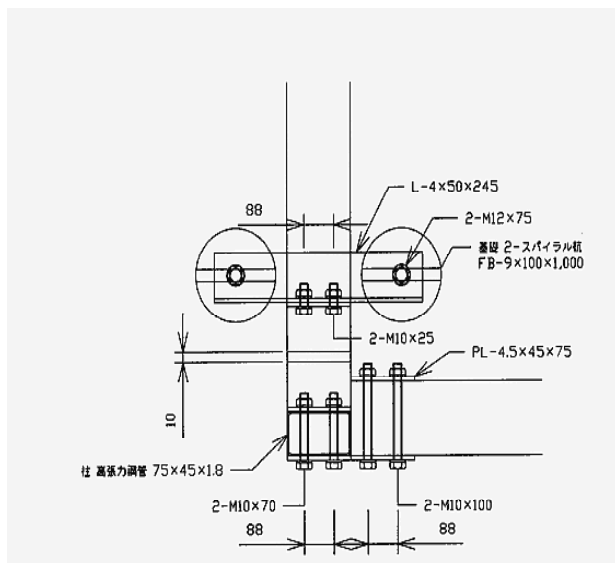


図7 ハウスの構造(上面図)

(上面図)



(側面図)

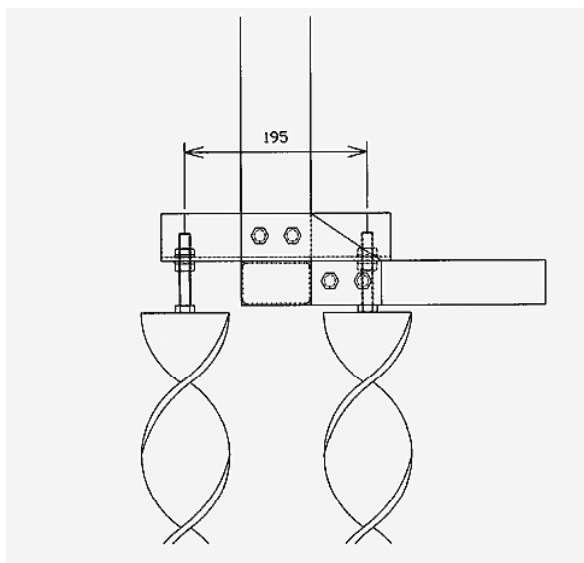


図8 スパイラル基礎の連結

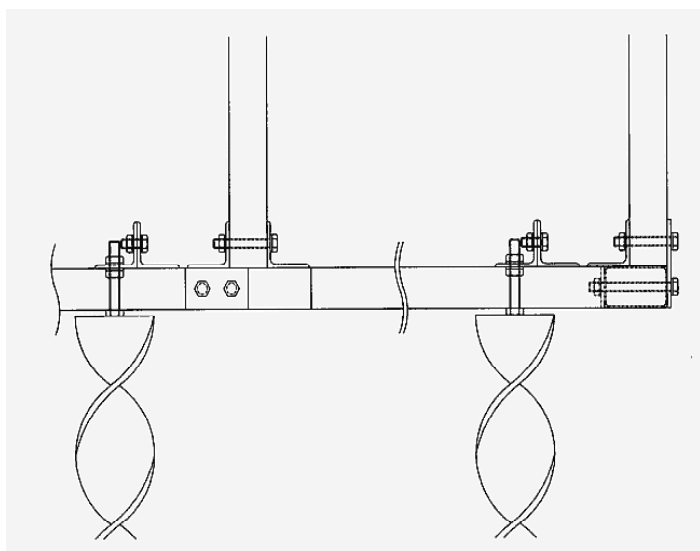


図9 根太基礎

2) 構造計算

(1) 前提条件

ア. 地盤

地耐力調査の結果、地下1.0mを超えるとN値は0.5程度を見積もることが出来るが地下1.0mより上の部分は一定していない。しかしスパイラル杭は1000mmを使用するので地下1.0mまでの地盤を考慮し、おおよその下方平均としてN値1.5とする。

イ. ハウス

間口6.0m、1スパン3.0m長さ12mの単棟ハウス
ウ. 外力

ハウスに作用する荷重として、固定荷重（ハウス自重）、地震力、風圧力を考慮する。地域性を考え積雪荷重は無視する。

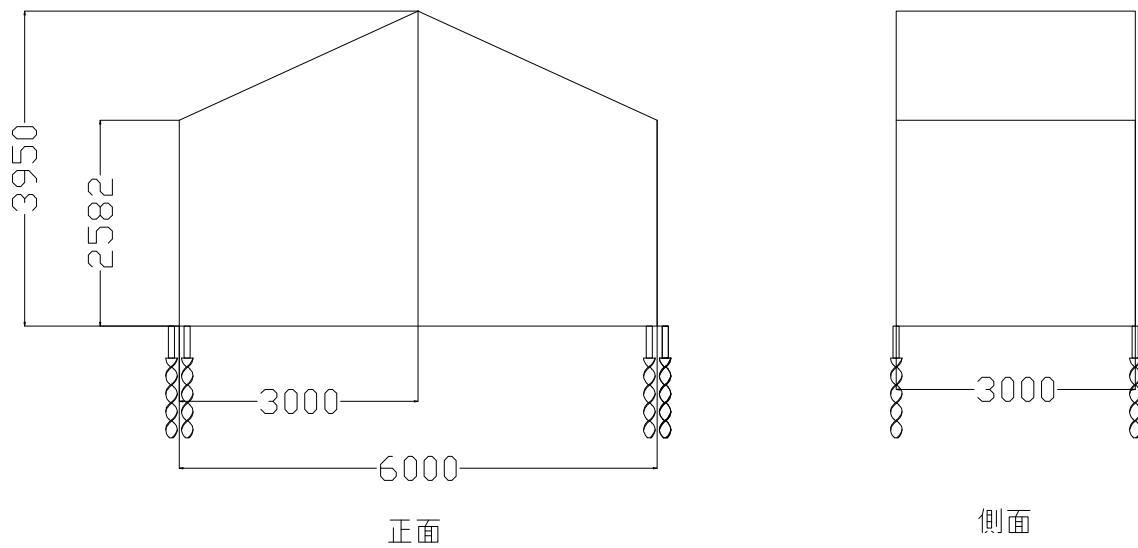


図 10 ハウス概念図 (1 スパン)

(2) スパイラル杭支持力

スパイラル杭の鉛直支持力に関しては崇城大学工学部の平田篤夫教授によって提案されている。スパイラル杭の形状的性質から、支持力は鉛直方向には引き抜きも押し込みも同等に作用する。なお、下記は土木用杭の計算式 (安全率=3) である。許容支持力 $P = 2LW \tau$

$L = H / \sin \theta$ (m) : スパイラル端部延長

H : スパイラル全長

スパイラルのねじれ角 : $\theta = 45^\circ$

許容せん断幅 : $W = \pi D / 6$ (m)

スパイラル幅 : D (m)

せん断強度 : $\tau = C + \sigma_n \cdot \tan \phi$ (N/m²)

粘着力 : $C = \phi = \sqrt{A \cdot N} + B$ N / 106 × 10⁶

内部摩擦角 : (°)

N 値 : N 定数 : A = B = 15

鉛直方向応力 : $\sigma_v = \gamma \cdot z$ (N/m²)

地盤の単位体積重量

$\gamma = 2.0$ (tf/m³) = 19.6 × 10³ (N/m³)

水平方向応力 $\sigma_n = \lambda \sigma_v$ (N/m²)

側圧係数 $\lambda = \nu / 1 - \nu = 0.6667$

ポアソン比 : $\nu = 0.4$

地盤条件

砂質土 : $C = 0, \phi > 0$

粘土質 : $C > 0, \phi = 0$

通常土 : $C > 0, \phi > 0$

また、モーメントに対しては図 11 の要領で支持する。

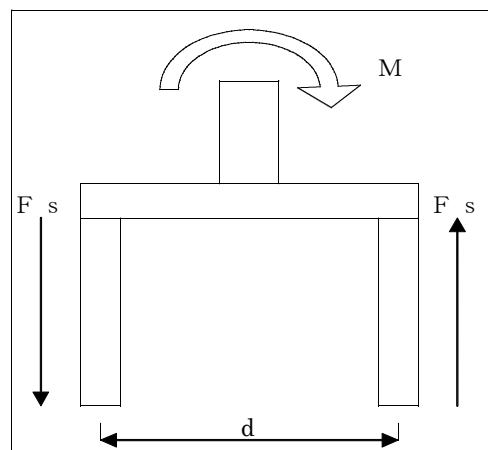


図 11 モーメントに対する支持力

図 11 において $M = F s d$ が成り立つ。従ってモーメントが作用することによって片方にかかる荷重は $F s = M / d$ となる。

農業用杭の計算

農業用杭においては土木用杭と異なり安全率=2として算出する。杭は幅 100mm、長さ 1000mmのものを使用するとする。

N 値 1.5 の粘性土において粘着力は

$$C = (1.5/160) \times 10^6 = 9.375 \times 10^3 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$= 956.63 \text{ (kgf/m}^2\text{)}$$

内部摩擦角は $\phi = 0^\circ$ である。

幅 100mm、長さ 1000mm のスパイラル基礎において

地盤の体積重量は $\gamma = 2.0 \text{ (tf/m}^3\text{)}$
 $= 2,000 \text{ (kgf/m}^3\text{)}$

杭中心深度は $z = 1.0/2 = 0.5 \text{ (m)}$

鉛直方向応力は $\sigma_v = 2000 \times 0.5 = 1000$
 $\text{(kgf/m}^2\text{)}$

水平方向応力は $\sigma_n = 0.6667 \times 1000$

$$= 666.7 \text{ (kgf/m}^2\text{)}$$

せん断強度は $\tau = 956.63 + 666.7 \tan 0^\circ$
 $= 956.63 \text{ (kgf/m}^2\text{)}$

スパイラル端部延長 $L = 1.0/\sin 45^\circ$
 $= 1.414 \text{ (m)}$

許容せん断幅 $W = \pi \times 0.100/6$
 $= 0.0524 \text{ (m)}$

スパイラル基礎の許容支持力は
 $P_1 = 2 \times 1.414 \times 0.0524 \times 956.63$
 $= 141.8 \text{ (kgf)}$

ここで上記 P_1 は土木用杭の場合の許容支持力であるので農業用杭 (安全率 = 2) の場合のスパイラル基礎の許容支持力は

$$P = (3/2) \times P_1 = 212.7 \text{ (kgf)}$$

(3) 外力計算

ア 固定荷重 (G)

a 構造体

使用されている主な鋼材とそののべ長さ及び単位長さ重量は以下のとおりである。

表2 主な使用鋼材と重量

鋼材	のべ長さ [m]	単位長さ重量 [kgf/m]	重量 [kgf]
高張力鋼管 75 × 45 × 1.8	27.416	3.22	88.28
高張力鋼管 38.1 φ × 1.6	54.000	1.44	77.76
19.1 φ × 1.2 鋼管*	82.307	0.53	43.62

* 19.1 φ × 1.2 鋼管は 450mm ピッチで側面方向に配されるため 1 スパンあたり 3000/450 = 6.67 から 7 本としている。

以上より 1 スパン当たりの構造体荷重は

$$G_1 = 88.28 + 77.76 + 43.62$$

$$= 209.66 \text{ (kgf)}$$

b 被覆材 (硬質プラスチック)

1 棟につき見積もり面積は

$$A_2 = 6.0 \times 3.0 = 18.0 \text{ (m}^2\text{)}$$

使用する被覆材は厚さ 1.2mm、見付面積当たりの重量は $g_2 = 1.5 \text{ (kgf/mm} \cdot \text{m}^2\text{)}$

従って被覆材の重量は $G_2 = 1.2 \times g_2 A_2$
 $= 1.2 \times 1.5 \times 18.0 = 32.4 \text{ (kgf)}$

以上より固定荷重は 1 スパン当たり

$$G = G_1 + G_2 = 242.06 \text{ (kgf)}$$

イ.地震力 (K)

社団法人日本施設園芸協会 (羽倉弘人著) 「園芸用施設安全構造基準 (暫定基準) 平成 9 年度版」より固定荷重、作物荷重、標準せん断係数 0.2 及び地震地域係数 Z を乗ずるものとする。長崎県内は概ね Z = 0.8 である。また、地盤が非常に軟弱であることを考慮し地震係数 1.5 を乗ずるものとする。よって

$$\text{地震力 } K = 0.2 \times 1.5 \times Z \times G = 58.09 \text{ (kgf)}$$

地震時には (G + K) を想定すればよいので 1 スパン当たり $G + K = 300.15 \text{ (kgf)}$

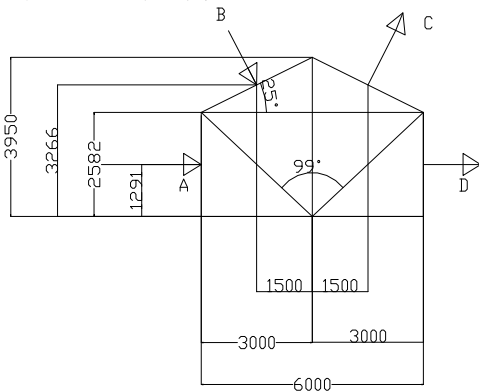
3.95(m)であるので風速 $V=50(m/s)$ のとき

$$\begin{aligned} \text{速度圧 } q &= 0.016V^2\sqrt{h} \\ &= 79.50(\text{kgf}/\text{m}^2) \end{aligned}$$

このとき風圧 $P=qCA$ である。Aは見付面積、Cは各地点において変化する風力係数。簡略化のためハウスを以下の4点に分割し、それぞれの要素から荷重及びモーメントを算定する。ただし、鉛直下向き、時計回りを正とする。

図12中各要素A~Dに対して、それぞれにx方向、y方向に P_x 及び P_y を算定する。ただし、図中の棟中央を $x=0$ 、地表面を $y=0$

図12 風圧力の各要素



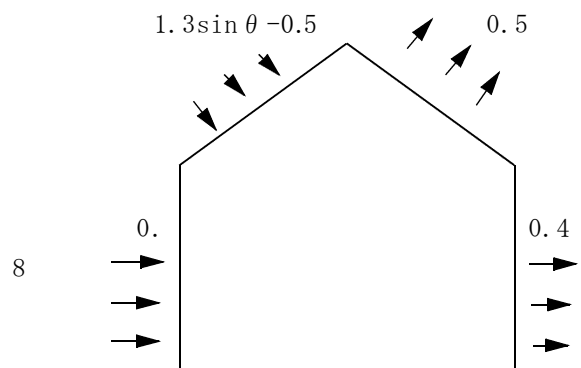
の原点とする。下表に各要素のデータを記す。ここでx方向の原点からのずれを $X(m)$ 、y方向の原点からのずれを $Y(m)$

x方向の見付面積を $A_x(\text{m}^2)$ 、y方向の見付面積を $A_y(\text{m}^2)$ とする。x方向の荷重を $P_x(\text{kgf})$ 、y方向の荷重を $P_y(\text{kgf})$ とする。また、B点の風力係数 C は $C_B=1.3\sin\theta-0.5(\theta=25^\circ)$

表より風圧力による鉛直力 $W=\sum P_y=321.97(\text{kgf})$ (上向き)、転倒モーメント

$$M=\sum(P_x \times y)+\sum(P_y \times x)=806.9(\text{kgf}\cdot\text{m})$$

図13風力係数



点	C	A_x [m ²]	A_y [m ²]	P_x [kgf]	P_y [kgf]	X [m]	Y [m]	$P_x \times Y$ [kgf·m]	$P_y \times X$ [kgf·m]
A	0.8	7.7463	0	492.66	0	-3.00	1.291	636.07	0
B	0.05	3.1028	9.000	12.33	35.78	-1.50	3.266	40.27	-53.67
C	0.5	3.1028	9.000	123.34	-357.75	1.50	3.266	402.82	-536.63
D	0.4	7.7463	0	246.33	0	3.00	1.291	318.04	0

表3 風圧力

(3)構造計算の照査

3)の(2)のイより幅100mm、長さ1000mmのスパイラル杭は1本当たり212,7(kgf)の支持力を持つ。

また、スパン当たり4本のスパイラル杭が支持するものとする。

ア.常時

固定荷重のみを考慮する。

$G=242.06(\text{kgf})$ なので1本当たり $242.06 \div 4=60.52 < 212.7(\text{kgf})$

イ.地震力

$G+K=300.15(\text{kgf})$ を4本で支持するので

$$300.15 \div 4 = 75.03 < 212.7(\text{kgf})$$

ウ.風圧力

スパイラルの間隔は $d=6m$ である。このときモーメントによって両端に作用する荷重は $F_s=M/d=806.9/6.0=134.48(\text{kgf})$

さらに鉛直荷重が作用するが、これも片端ずつ分担して支持すると考えることができるので両端それぞれに作用する F_1 、 F_2

$$\begin{aligned} \text{は } F_1 &= F_s + W/2 = 134.48 + (-321.97/2) \\ &= -26.51(\text{kgf}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_2 &= -F_s + W/2 = -134.48 + 321.97/2 \\ &= -295.47(\text{kgf}) \end{aligned}$$

$$F_2 = -F_s + W/2 = -134.48 + 321.97/2 \\ = -295.47(\text{kgf})$$

図 10 に示すとおり片端では 2 本のスパイラル杭がこれらの荷重を支持することとなる。

最大で $F_2 = -295.47(\text{kgf})$ の荷重を 2 本で

支持することになるので 1 本当たり

$$F = |295.47/2| = 147.74(\text{kgf}) < 212.7(\text{kgf})$$

以上のことから耐候性ハウスは諫早湾干拓地の軟弱地盤でも 50m/s の風速に耐えることが出来る。

5. 摘 要

- 1) オランダ式二重管ポータブルコーン貫入試験によると干拓地の地耐力は地表下 20 cm で最大約 0.5N となり、以下は減少し 90 cm 以下は 0.1N で一定となる。
- 2) 軟弱地盤においてスパイラル杭、井桁基礎、コンクリート基礎の垂直耐力、水平耐力を比較するとスパイラル杭が高い。
- 3) 開発したハウスは間口 6m、軒高 2.5m、棟高 3.3m、長さ 12m で基礎の間隔は 3.0m である。骨材には高張力鋼角パイプ(75mm × 45mm)

- を使用している。
- 4) 基礎にはスパイラル基礎(長さ 1000mm、幅 100mm、厚さ 9mm)2 本を用い、それぞれの基礎同士を金具で連結し、さらに金具同士を高張力鋼角パイプパイプで連結した根太基礎工法である。
 - 5) スパイラル杭は 1 本当たり 212.7 kgf の支持力を持ち風速 50m/s で受ける垂直支持力 147.7 kgf より大きい。

6. 謝 辞

共同で研究を実施した近畿四国中国農業研究センター、熊本県農業研究センター及び沖縄農業試験場の関係各位には試験方法等助言をいただいた。

試験実施及び施設の設置にあたっては当场干拓科の寺井(現:農村整備課参事)、小林両科長を

はじめ職員の皆様に多大なご協力をいただいた。

G T ・スパイラル有限会社の後藤社長にはスパイラル杭に関するデータ提供及び施設の設置にあたってのご協力をいただいた。

本稿を草するにあたり以上の各位及び関係機関に対し深甚なる感謝の意を表します。

7. 引用文献

- 1) (社)日本施設園芸協会:施設園芸ハンドブック四訂
- 2) 農業施設学会:農業施設ハンドブック
- 3) 豊田裕道:園芸用プラスチックハウスの耐風性向上のための簡易基礎工法について 29(4)215 - 223、30(1) 31 - 39、30(1)61 - 67

- 4) 農業土木学会:土地改良事業計画設計 基準 212 - 233
- 5) 日本施設園芸協会(羽倉弘人著):低コスト耐候性鉄骨ハウス施行マニュアルー風対策ー
- 6) 甲本達也:農業土木学会誌第 63 巻第 1 号

The pile foundation of pulastic house that is resistant tyhoon at the retrained soft ground

Masato.Kataoka Tomohiro.Miyazaki

Summary

- 1) Bearing capacity becomes most lage about 0.5N at underearth 20cm by a method for duch-style portable corn penetration test and less than 90cm become constant in 0.1N.
- 2) I compared a perpenndicular proof stress , a level proof stress with a spiral stake , a double cross basics and the concrete basics. As a result , a spiral stake is the storongest.
- 3) The plastic house which I developed is 3m to basic distance at frontage 6m , amount of eaves 2.5m , amount of ridge 3.3m , 12m in length..
I use an asking a high tention steel corner pipe (75mm × 45mm) for aggregate.
- 4) I use two spiral stakes (1000mm in length , 100mm in width , thickness 9mm) for foundations and conect each foundations by metal fillings snd it is commen joint basics method of construction that connected metal fittings which an asking a preposterous price steel corner pipe more.
- 5) A spiral stake has suppuor power of 212.7kgf per one and is bigger than vericality support 147.7kgf to recieve at wind verocity 50m/s.

ハウス建設手順

①スパイラル杭



②スパイラル杭基礎打ち込み



③屋根部陸ばり



④根太基礎



⑤高張力鋼角パイプと母屋パイプ



⑥ブレス設置



⑦ビニペット設置



⑧ハウス全景

