



琉球大学学術リポジトリ

University of the Ryukyus Repository

Title	二枚柵防風ネットの基礎杭の引抜き耐力
Author(s)	天野, 輝久; 福島, 弘志; 仲宗根, 功士; 上門, 太; 具志堅, 功
Citation	琉球大学工学部紀要(60): 15-20
Issue Date	2000-09
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/1430
Rights	

二枚柵防風ネットの基礎杭の引抜き耐力

天野輝久* 福島弘志* 仲宗根功士**
上門 太*** 具志堅 功***

The Pullout Resistance of Steel Piles of Wind-proof Double Net System

Teruhisa AMANO* Hiroshi FUKUSHIMA* Kouji NAKASONE**
Futoshi UEJOH*** Isao GUSHIKEN***

Abstract

The resistance to pullout forces subjected to steel piles of newly invented wind-proof double net system is tested. The pullout force and the displacement are measured for simple steel piles with different underground depth and four kinds of piles on which the various attachments are welded to increase the surface friction. The experiment is carried out at two geotechnical sites representing two typical Okinawa's clays.

As the results of the experiment, the piles with fin-type attachment showed the highest pullout resistance which is well estimated by modifying the empirical friction formula.

Key Words: Pullout forces, Friction of piles, Wind-proof net system

1. はじめに

島嶼からなる沖縄県は、夏季には多くの台風が襲来し、冬季には強い季節風が卓越する厳しい風環境にあり、農作物に毎年多くの被害がもたらされる [1]。そのため、野菜・花卉や果樹等の農作物を保護し、生産性及び品質の向上を図るために、圃場周囲に防風林や防風ネット等の防風施設が設置されることが多い。最近では、ビニールハウス等の園芸施設そのものを保護するために周囲に防風ネットを設置するケースも増えている。また、海岸付近の防風・防潮林や街路樹等の緑化木の保護・育成のために防風ネットが使用されることもある。

このような防風施設の設計は、「農地防風施設設計指針 [2]」に準拠して行われている。一般によく使用される一列型の防風ネットの場合、基礎の構造は簡易な埋込み型か又はコンクリート基礎を土中に設けるブロック型となる。しかし、ネットがある程度高くなるとかなり大きなコンクリート基礎を設ける必要があ

り、これが建設コストを圧迫する。この点を改善するために、(株)エコバル舎では、写真1に示すような二列構造システム(防風ネット「ひんぷん」)を開発した(特許申請中, 特願10-33802)。このシステムは、地盤に直接打ち込んだ基礎杭に支柱をクランプで緊結する構造となっており、一列目の上面と二列目の下面に



写真1 防風ネット「ひんぷん」

受理: 2000年6月26日

* 工学部環境建設工学科

(Dept. of Civil Eng. and Architecture, Fac. of Eng.)

** 理工学研究科環境建設工学専攻

(Civil Eng. and Architecture, Graduate School of Eng. and Science)

*** (株)エコバル舎

(Eco Pal Sha Co.)

ネットを配し、風の流れを持ち上げることで減風率の向上を図ろうとするものである [3]. 基礎杭に作用する水平力は一列型の場合に比して半減するが、2本の支柱と斜材とでトラス構造を形成するために、風上側と風下側の基礎杭にはそれぞれ引抜き力と押し込み力が作用する。引抜き力に抵抗するためにコンクリート基礎を設けることは勿論可能であるが、前述したようにコストの上昇は否めない。

そこで本研究では、この新たに開発された二枚柵防風ネットに使用する最も有効かつ安価な基礎杭の形式を模索することを目的として、沖縄県の代表的な土壌を対象として、引抜き抵抗を増すための種々の突起等を取り付けた鋼管杭の引抜き試験を行った。

2. 実験方法

2.1 供試体

実験に使用した供試体を図1に示す。材質は一般構造用炭素鋼鋼管 ($\phi 48.6 \times 2.3$) で、長さは2.0mである。杭の先端は打ち込みを容易にするためにツブシ加工してある。杭の種類には、鋼管をそのまま用いた「標準杭」と引抜き抵抗を増すための種々の加工を施した「特殊杭」とがある。特殊杭は、平鋼 (800×50×8) を2枚溶接した「ヒレ型」、4枚を十字に溶接した「十字ヒレ型」、先端をV字型にした「矢型」、矢とヒレを組み合わせた「ヒレ矢型」の4種類である。本数は標準型については24本、特殊杭についてはそれぞれ8本 (但し、十字ヒレ型は6本) 用意した。

2.2 実験場所

実験は知念村字知念在の (株) 仲善の薬草園の圃場で行なった。当地は島尻泥岩 (方言名; クチャ) の風化土である「ジャーガル」と琉球石灰岩の風化土である「島尻マーヅ」が隣接して存在する地域である [4]. いずれも沖縄の代表的な粘性土壌である。実験は自然状態のままのジャーガルと、かつて厚さ2m程度客土した後転圧した島尻マーヅで行った。実験に先立ち、

スウェーデン式サウンディング試験を各々の土壌について3回づつ行った。島尻マーヅでの試験状況を写真2に示す。図2に示した測定結果によれば、N値に多少のばらつきが見られ、ジャーガルと島尻マーヅでは後者の方が若干大きい。また、後述するように最大の根入れ深さである1.5mに達する前に、固結したクチャや石灰岩の存在に起因してN値が大きくなったケースもある。地表面から各々0.5、1.0及び1.5mまでの各層について平均したN値を表1に示す。

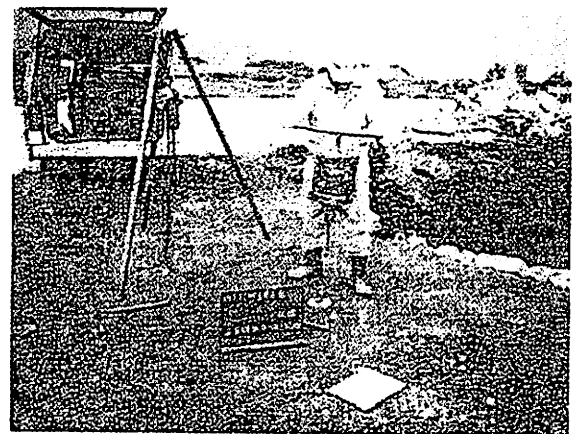


写真2 スウェーデン式サウンディング試験

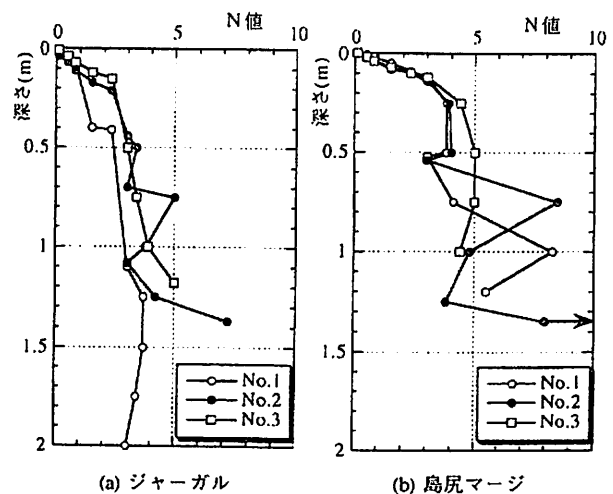


図2 N値分布

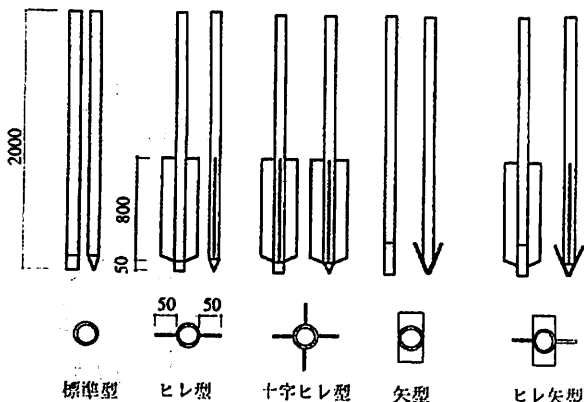


図1 杭の形状

表1 N値 (層平均)

土質	ジャーガル			島尻マーヅ		
	深さ (m) 0~0.5	0~1.0	0~1.5	0~0.5	0~1.0	0~1.5
No. 1	1.5	1.9	2.5	3.4	4.8	5.0
No. 2	2.3	2.9	3.8	3.4	4.8	5.2
No. 3	2.5	3.1	3.7	4.0	4.4	-
平均	2.1	2.6	3.3	3.6	4.7	5.1



写真3 引抜き実験の状況

2.3 試験方法

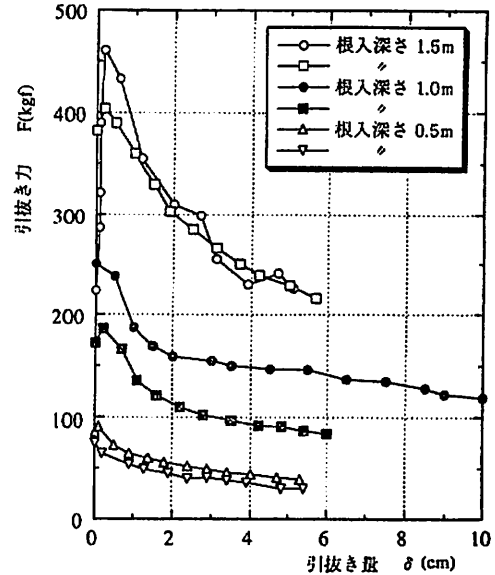
まず、引抜き力を受ける杭の周面摩擦力度を検討するために、標準杭の根入れ深さを50, 100, 150cmの3種類とし、ミニバックホーに取り付けた油圧式ハンマーで杭頭を打撃し所定の深さまで打ち込んだ。特殊杭は、通常の施工例に倣い根入れ深さを150cmとした。杭の打設終了後、写真3に示すようにミニバックホーの固定アームに直読式のホイストスケール(容量2t)を吊り下げ、チェーンブロックを介して杭頭に取り付けたクランプとワイヤーで連結した。引抜き力はチェーンブロックを適宜巻き上げることにより与え、荷重はホイストスケールで計測し、杭の浮き上がり変位(引抜き量)はスケールを用いて目視計測した。

3. 実験結果と考察

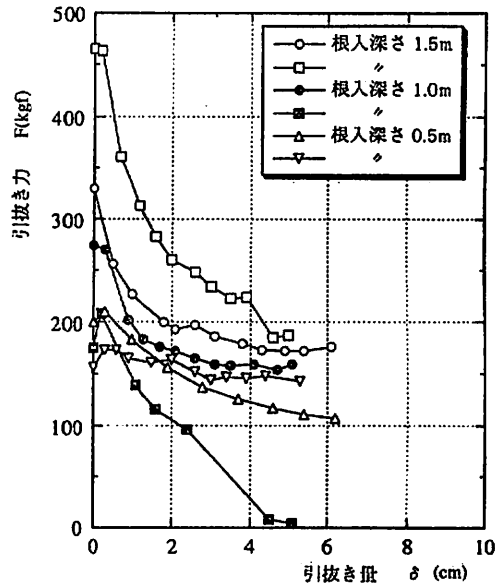
3.1 標準杭

図3に標準杭の引抜き力と引抜き量の関係について各根入れ深さについて2本ずつの結果を示す。土質や根入れ深さに拘わらず、両者の関係は類似のパターンを示す。すなわち、杭に引抜き力を加えると、引抜きが殆ど生じないか或いは数mm程度で最大の引抜き荷重に達する。本論文ではこの荷重を引き抜き耐力と呼称する。その後、引抜き量の増加とともに荷重は急激に低下し始め、数cm程度の引抜き量に至って、一例を除いて引抜き耐力の半分程度に収れんする。

総ての標準杭の引抜き耐力をまとめたものを表2に示す。引抜き耐力にはかなりのばらつきが認められ、特に、()を付したものは他の3本の結果と比べて異常に大きな値を示している。これは杭先端が固結したクチャの層に貫入したためと考え、平均を求める際には除外した。一方、耐力がかなり小さいものもあり、



(a) ジャーガル



(b) 烏尻マージ

図3 荷重-引き抜き量曲線(標準杭)

表2 標準杭の引抜き耐力 (kgf)

土質	ジャーガル			烏尻マージ			
	根入れ深さ(m)	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
No. 1		42	148	396	34	75	206
No. 2		75	186	404	173	208	330
No. 3		91	250	461	210	274	465
No. 4		105	(561)	(783)	236	410	642
平均		78	195	420	163	242	411

特に烏尻マージの根入れ深さ0.5mと1.0mの場合のNo.1のように、平均値の1/3~1/5程度しかなかったものもある。

ところで一般に、打込み杭の引抜き耐力は、

$$P_u = \frac{1}{n} \cdot P_u + W \quad (1)$$

で求めている。ここに、

P_u ：杭の許容引抜き力 (tf)

n ：安全率

P_u ：地盤による杭の極限引抜き力 (tf)

W ：杭の有効重量 (tf)

である。地盤による杭の極限引抜き力は、 τ_i を杭周囲摩擦力度 (tf/m²), S を杭の表面積 (m²) として、

$$P_u = \tau_i \cdot S \quad (2)$$

で算定する。

引抜き力を受ける杭の周囲摩擦力度については実測例が少なく、各種の示方書等でかなり異なった算定式が提案されている。道路橋示方書 [5] では、杭の支持力度に関連する最大周囲摩擦力度 τ を採用し、粘性土に対して、

$$\tau = N \text{ 又は } C (\leq 10) \quad (3a)$$

砂質土に対して、

$$\tau = N/5 (\leq 15) \quad (3b)$$

が提示されている。ここに、 C は粘着力である。一方、建築基礎構造設計指針 [6] では砂地盤における杭の載荷試験から得られた、

$$\tau = N/3 \quad (4)$$

或いはこの値の2/3程度が推奨されている。

さて、表2に示した標準杭の引抜き耐力を各々の根入れ深さに応じた公称表面積で除した周囲摩擦力度と層平均 N 値との関係を示したのが図4である。島尻マーヅで特にばらつきが大きいのが、粘性土である両土質とも(3a)式の摘要はかなりの過大評価となる。実験結果から判断すると、ジャーガルでは、

$$\tau_i = N/2 \quad (5a)$$

島尻マーヅでは、

$$\tau_i = N/3 \quad (5b)$$

がほぼ妥当な周囲摩擦力度を与えると言える。

3.2 特殊杭

図5に特殊杭の引抜き力と引抜き量の関係について各杭毎に2本ずつの結果を示す。まず、ジャーガルの場合、ヒレ型や十字ヒレ型はヒレの効果により標準杭を大きく上回る引抜き耐力を示す。そして、荷重はその後緩やかに低下するが、その低下の度合は標準杭ほど顕著ではない。両者の引抜き耐力を比較すると、摩擦面積の大きな十字ヒレ型の耐力の方が小さい。これは十字に配されたヒレが、打ち込み時にヒレ近傍の土を互いに攪乱してしまうことが原因と思われる。一方、矢杭やヒレ矢杭は打ち込み時に先端の矢が杭周囲の

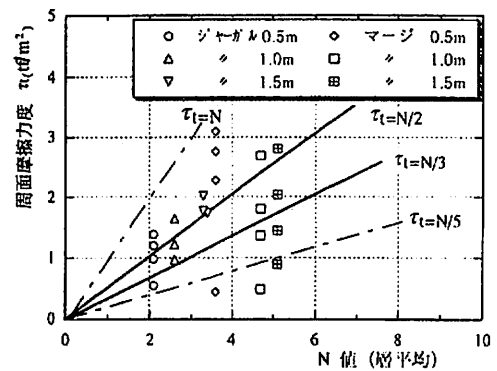
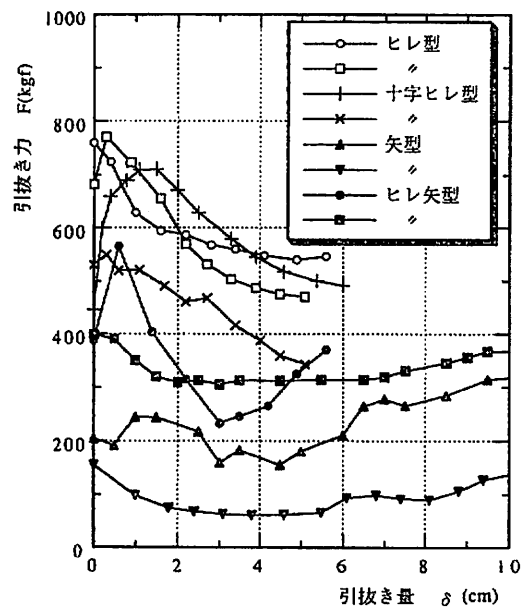
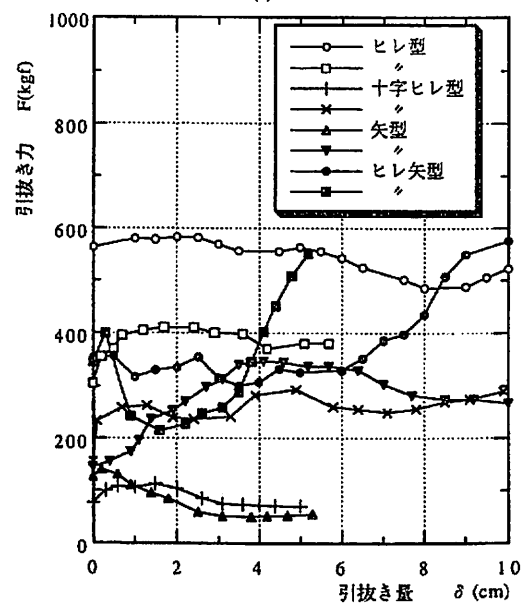


図4 標準杭の周囲摩擦力度



(a) ジャーガル



(b) 島尻マーヅ

図5 荷重-引き抜き量曲線(特殊杭)

表3 特殊杭の引抜き耐力 (kgf)

土質	ジャーガル				島尻マーヅ			
	ヒレ型	十字ヒレ型	矢型	ヒレ矢型	ヒレ型	十字ヒレ型	矢型	ヒレ矢型
No. 1	400	549	91	398	410	113	90	101
No. 2	760	711	155	428	423	263	140	356
No. 3	771	≥908	244	566	583	≥975	360	399
No. 4	833	—	300	762	910	—	365	421
平均	691	723	198	539	582	450	239	319

表4 引抜き耐力の実験値と推定値の比較

(a) ジャーガル

杭型	平均耐力 Fm (kgf)	N値	周面摩擦力度 τ (tf/m ²)	表面積 S (m ²)	推定耐力 Fo (kgf)	Fm / Fo
標準型	420	3.3	1.65	0.229	378	1.11
ヒレ型	691			0.389	642	1.08
十字ヒレ型	723			0.549	906	0.80

(b) 島尻マーヅ

杭型	平均耐力 Fm (kgf)	N値	周面摩擦力度 τ (tf/m ²)	表面積 S (m ²)	推定耐力 Fo (kgf)	Fm / Fo
標準型	411	5.1	1.70	0.229	389	1.06
ヒレ型	582			0.389	661	0.88
十字ヒレ型	450			0.549	933	0.48

土を広範囲に攪乱するために、標準杭よりかなり低い荷重段階ですべり始める。但し、引抜き量の増加とともに矢が効果を発揮し始め、最終的にはすべり始めた荷重を大きく越える抵抗力を示す。一方、島尻マーヅについても荷重-引抜き量曲線はほぼ同様の傾向である。但し、この土質では十字ヒレ型の耐力低下が顕著に現われている。

実験を行った総ての特殊杭の引抜き耐力を表3にまとめた。ジャーガルの平均耐力はヒレ型で691kgf、十字ヒレ型で723kgfであり、平均値としては後者の方が若干大きくなっている。また、矢型とヒレ矢型はそれぞれ198kgfと539kgfで、特に矢型の耐力が極めて小さくなっている。一方、島尻マーヅではヒレ型で582kgf、十字ヒレ型で450kgfであり、ジャーガルの場合と違って、後者の方が小さくなっている。また、矢型とヒレ矢型はそれぞれ239kgfと319kgfであり、ジャーガルと同様、極めて小さな耐力しかない。

以上の結果をまとめると、特殊杭の内ではヒレ型が最も安定した大きな引抜き耐力を示し実用上最も優れている。また、矢杭は打ち込み時に周辺の土を攪乱してしまうので、引抜き量がかなり大きくなった時に大

きな抵抗を示すのは事実だが、実用杭としては適切とは言えない。

表4は標準杭、ヒレ杭及び十字ヒレ杭の3種の杭について、周面摩擦力度に関する提案式(5a)及び(5b)より求めた推定耐力と実験結果とを比較したものである。実験結果と推定耐力の比はジャーガルで1.11、島尻マーヅで1.06であり、当然のことながら、周面摩擦力度の提案式は良い近似になっている。他方、ヒレ型についてもその比はジャーガルで1.08、島尻マーヅで0.88であり、標準杭の結果に基づいて求めた周面摩擦力度式に、ヒレの表面積を単純に累加することで耐力を良く推定できることを示している。しかし、十字ヒレ型については既に述べたように、周囲の土を攪乱してしまうために、このような単純な累加が難しいことが分かる。

なお、最後に(1)式の安全率について付言すれば、道路示方書では常時に対しては6、地震時に対しては3を採ることになっている。一方、建築基礎構造設計指針では長期で3、短期で1.5であり、その取り扱いは何者で大きく異なっている。本研究で対象とする強風時にどのような値を採用すべきかは判断を要する問題で

あるが、標準杭や特殊杭の耐力のばらつきから判断すると、少なくとも3程度の値を採ることが望ましい。

4. 結論

二枚柵防風ネットに使用する鋼管基礎杭の引抜き実験を行い、最も有効な杭形式を確認するとともに、その耐力を推定するための周面摩擦力度の実験式を提案した。本研究によって得られた結論を列記すれば以下のようになる。

- 1) 2枚の平鋼を鋼管杭に溶接したヒレ杭は最も安定した大きな引抜き耐力を示し、実用上優れた杭であると言える。
- 2) 4枚の平鋼を組み合わせた十字ヒレ型は、打ち込み時に周囲の土を攪乱するために、表面積が大きい割には大きな耐力を示さない。
- 3) 矢杭は打ち込み時に先端の矢が杭周囲の土を広範囲に攪乱するために低い荷重段階ですべり始め、実

用杭としては不適切である。

- 4) 標準杭の実験結果から、周面摩擦力度はジャーガルで $N/2$ 、島尻マージで $N/3$ が妥当な近似を与える。
- 5) ヒレ杭の引き抜き耐力は、ヒレの表面積を単純に累加することにより上述の周面摩擦力度式を用いて良く推定できる。

文献

- [1] 比嘉照夫他、沖縄の農業、琉球大学放送公開講座、昭和60年12月
- [2] 農地防風施設設計指針、沖縄県農林水産部農地建設課、1998年6月
- [3] 平田 功、山野井克巳、河合英二、風洞実験による防風ネットの減風効果について、沖縄県林業試験場研究報告、No.38、平成7年
- [4] 山内豊聡、九州・沖縄の特殊土、九州大学出版会、1983年7月
- [5] 道路橋示方書・同解説、日本道路協会、平成6年2月
- [6] 建築基礎構造設計指針、日本建築学会、昭和63年1月