

杭基礎の発電風車への適用に関する試設計

豊橋技術科学大学 学生会員 ○澤木達也 高木翔太
豊橋技術科学大学 正会員 三浦均也 松田達也

1. 本研究の目的と意義

近年、世界的な人口の増加とともに、エネルギーの消費量が増大しており、風車のような再生可能エネルギーの導入が急がれている。

しかし、その普及率は高くないのが現状である。その原因のひとつに基礎の設計・施工法の問題がある。風車の基礎には小形から大形に至るまで、重力式基礎が用いられてきたが、重力式基礎には以下のような問題点がある。

・掘削工、型枠工、鉄筋工、埋戻し工、水替え工・工期の長期化・広い設置面積・支柱取り付け部の耐久性の低下・地盤掘削による地盤の緩み・コンクリートの大量使用

これに代わる基礎構造としての杭基礎は、杭長を決定する際、これまでは Chang の式を用いてきたが、本来必要である杭の長さよりかなり長く計算されるため重力式基礎よりも経済的に劣り、採用されずにいる。そこで本研究ではこれらの問題を克服するために杭基礎の適用を検討する。

2. 重複反射法による杭のたわみ挙動解析

研究室では、Chang の式に代わる重複反射法を提案している。これは、地盤の層構造を考慮することができ、有限長の杭のたわみ挙動を解析することが可能である。この方法はたわみ量を杭長の関数として評価できるので、杭の断面形状、地盤条件を決定した後、杭頭変位 1 cm 以内になる最適な杭長を決定でき、Chang の式のような杭長決定の曖昧さがない。

3. 風力の算定方法

風車にかかる風荷重の算定には、JIS. C. 1400-2. 風車-第 2 部：小形風車の設計要件に従った方法と、看板の設計方法（建築基準に準拠）2 種類の方法で解析して比較する。

4. 設計対象および設計条件

設計対象

プロペラ型風車とジャイロミル型風車の二つを対象として試設計する。

プロペラ型風車は製品化されている仕様（表 1）を基に、小型風車における最大サイズまで縮尺を変更し、各サイズにおける必要杭長を検討する。

ジャイロミル型風車も同様に製品化されているものの仕様（表 2）を基に、ロータの数を 2 つにしたものについても検討する。なお、ここではスペースの関係上、プロペラ型のみの結果を示す。

表-1 プロペラ型風車の仕様

高さ	ロータ直径	ロータ面積
7 (m)	8 (m)	2.72(m ²)

設計条件

設計風速：70m/s

支柱：STK400 杭：STK400

地盤条件：N=3, N=5, N=10

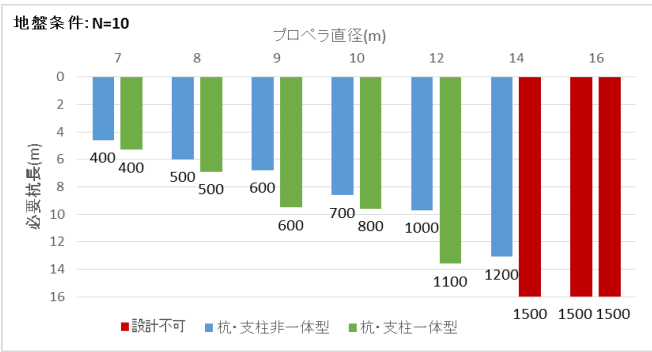
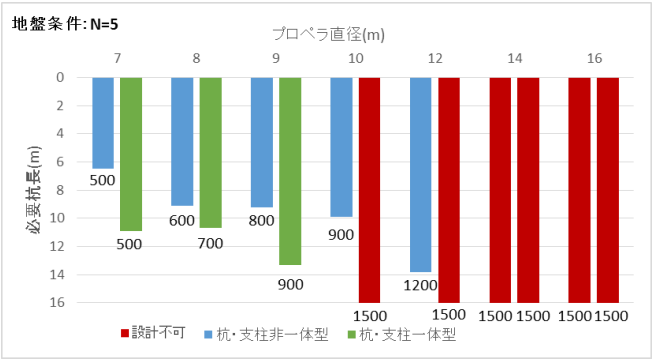
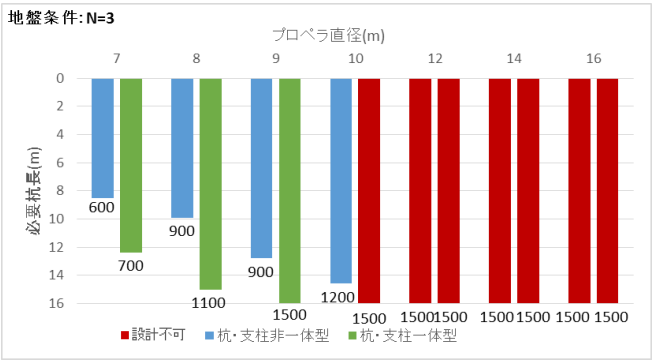
5. 風力算定結果

杭基礎では杭と支柱を一体構造として施工することが可能である。重力式基礎での問題となっていた支柱取り付け部での耐久性の低下もこの方法で解消することができるため、杭と支柱は一体型にすることが望ましい。しかし、算定結果から杭頭変位を 1 cm 以下に抑えるために杭の外径を大きくすると、必要以上に支柱の外径が大きくなり、支柱の応力比にはかなり余裕が生まれることや、支柱の受ける風荷重が大きくなることがわかった。その結果、必要杭長が長くなることがあるため、今回の設計では杭・支柱一体型と非一体型の両方で杭の試設計を行う。

ロータ直径(m)		7		8		9		10		12		14		16	
高さ(m)		14.50		16.57		18.64		20.71		24.86		29.00		33.14	
2.72		2.72		3.55		4.50		5.55		7.99		10.88		14.21	
杭・支柱非一体型															
支柱の外径(mm)		300		400		400		500		500		600		700	
区分		看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車
荷重	プロペラ	15931.26	12245.10	21684.42	15993.60	28337.51	20241.90	36215.83	24990.00	54774.16	35985.60	77423.17	48980.40	104042.58	63974.40
	支柱	17623.83	14856.19	28023.93	22638.00	33043.42	25467.75	46777.76	35371.88	58945.13	42446.25	85648.76	59424.75	117498.69	79233.00
荷重合計		33555.09	27101.29	49708.35	38631.60	61380.93	45709.65	82993.59	60361.88	113719.29	78431.85	163071.93	108405.15	221541.27	143207.40
応力比		0.79	0.63	0.55	0.42	0.78	0.57	0.59	0.42	0.99	0.68	0.96	0.63	0.94	0.60
杭・支柱一体型(N=3)															
支柱の外径(mm)		700		1100		1500		1500		1500		1500		1500	
区分		看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車
荷重	プロペラ	15934.26	12245.10	21684.42	15993.60	28337.51	20241.90	36215.30	24990.00	54774.16	35985.60	77423.17	48980.40	104042.58	63974.40
	支柱	41122.27	34664.44	56047.86	62254.50	122408.56	95504.06	140273.78	106115.63	176835.39	127338.75	214121.90	148561.88	117498.69	169785.00
荷重合計		57056.53	46909.54	77732.28	78248.10	150746.07	115745.96	176489.08	131105.63	231609.55	163324.35	291545.07	197542.28	221541.27	233759.40
応力比		0.09	0.07	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04	0.03	0.07	0.04	0.10	0.06	0.10	0.09
杭・支柱一体型(N=5)															
支柱の外径(mm)		500.00		700.00		900.00		1500.00		1500.00		1500.00		1500.00	
区分		看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車
荷重	プロペラ	15934.26	12245.10	21684.42	15993.60	28337.51	20241.90	36215.30	24990.00	54774.16	35985.60	77423.17	48980.40	104042.58	63974.40
	支柱	29373.05	24760.31	48996.75	39616.50	74318.50	57302.44	140273.78	106115.63	176835.39	127338.75	214121.90	148561.88	117498.69	169785.00
荷重合計		45307.31	37005.41	70681.17	55610.10	102656.01	77544.34	176489.08	131105.63	231609.55	163324.35	291545.07	197542.28	221541.27	233759.40
応力比		0.21	0.17	0.12	0.14	0.10	0.11	0.04	0.05	0.07	0.04	0.10	0.06	0.10	0.09
杭・支柱一体型(N=10)															
支柱の外径(mm)		400.00		500.00		600.00		800.00		1100.00		1500.00		1500.00	
区分		看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車	看板	風車
荷重	プロペラ	15934.26	17332.22	21684.42	15993.60	28482.73	20241.90	36215.30	24990.00	54774.16	35985.60	77423.17	48980.40	104042.58	63974.40
	支柱	23498.44	19808.25	35043.84	28297.50	48998.05	38201.63	74808.71	56595.00	129641.78	93381.75	214121.90	148561.88	117498.69	169785.00
荷重合計		39432.70	37140.47	56728.26	44291.10	77480.78	58443.53	111024.01	81585.00	184415.94	129367.35	291545.07	197542.28	221541.27	233759.40
応力比		0.37	0.37	0.31	0.24	0.28	0.21	0.18	0.13	0.24	0.10	0.10	0.07	0.10	0.09

6. 必要杭長及び必要杭径の算定結果

プロペラ型風車



※グラフ下のデータラベルは杭径を示す

7. 結論

本研究では、従来の重力式基礎と杭基礎がそれぞれ持つ問題点を解決するために、3つの技術を採用し、風車の杭基礎構造を提案した。

- ・重複反射法による杭のたわみ解析手法

Chang の式に代わる杭長の決定方法で、地盤を層構造、杭長を有限で解くことが可能となった。これにより Chang の式で計算される杭長よりも短く計算することができる。

- ・杭・支柱一体構造

重力式基礎で大きな問題となっている支柱取り付け部の耐久性の低下を防止することができる杭・支柱一体構造を採用し、工期の短縮が可能となった。

- ・地盤改良技術を利用した杭の打設

地盤改良を利用し杭を施工することで乱した地盤の剛性・強度を回復させ、適切な横抵抗を得ることができる。

試設計において、ジャイロミル型風車では十分に杭基礎の適用が可能であり、プロペラ型風車ではプロペラ直径 10(m)未満の範囲であれば杭・支柱一体型での杭基礎の適用が可能であるという結果が得られた。