

無落差暗きょ排水用風力ポンプの利用に関する研究

中島 幸次*

Studies on the Windmill-pump in No-head Underdrainage.

Kouji NAKASHIMA

I 緒言

水田利用再編対策の実施にともない、麦、大豆、飼料作物などが転作作物として、転換畑で栽培されるようになった。これら畑作物の栽培においては、地下水位を低くすることと、地表水を早く排除することが望まれる。このため、湿田、半湿田の多い県内の転換畑は、排水溝や暗きょなどの設置あるいは敷設が必要である。

基盤整備がすすみ、は場表面と排水路との落差が暗きょの施工に必要な深さ以上あれば、暗きょ排水を行うのに支障はない。この落差がないか、または極めて小さい場合は、暗きょおよび明きょから、機械を利用して排水しなければならない。このような場合、エンジン、またはモーターで駆動するポンプを利用して排水する方法があるが、運転経費がかかることのほか、降雨の度にポンプを運転しなければならないし、ポンプ運転中は監視が必要である。

そこで以上のような欠点がなく、は場表面と排水路との落差が小さいところでも利用できる風力ポンプに着目し、その性能試験および利用試験を1980~82年にわたって実施し、本県における利用の可能性、風力ポンプ1台当たりの負担可能面積などについて、地下水位の変動の点から検討した。その結果、若干の知見を得たので、ここに報告する。

この試験を遂行するにあたり、御指導、御助力いただいた農業機械科服部昭三科長をはじめ、関係各位に深く謝意を表す。

*農業機械科

II 試験方法

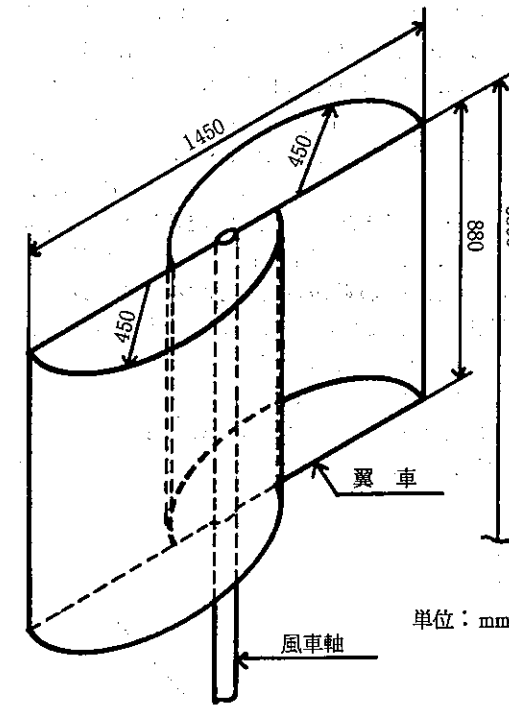
1. 供試風力ポンプ

本試験に供試した風力ポンプの仕様および使用方法は次のとおりである。風力ポンプの諸元を第1表に示す。風力ポンプは、風車がサボニウス形、ポンプがダイヤフラム形である。

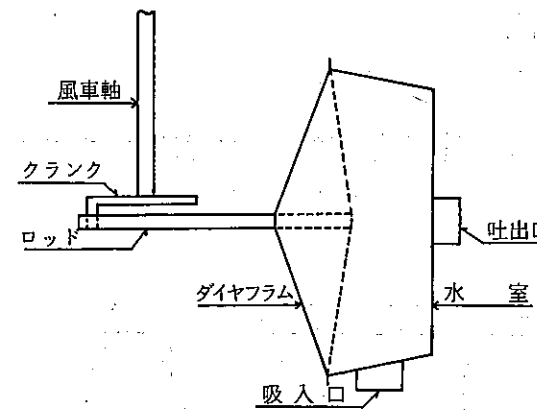
第1表 風力ポンプ諸元表

全重量	3.3 m
高量	68 kg
風車形式	サボニウス形
翼車直径	1.45 m
翼車高	0.88 m
ポンプ形式	ダイヤフラム形
ダイヤフラム直径	200mm
作動ストローク	50mm
吸入管口径	30mm
吐出管口径	30mm

サボニウス形風車の概要を第1図に示す。サボニウス形風車は、2枚の翼車をもった垂直軸形風車である¹⁾。本試験に用いた風車は、2枚の半円筒形の翼車を使用したものであり、全高3,300mm、翼車直径1,450mm、翼車高880mmとコンパクトなものである。2枚の半円筒形の翼車は、回転軸を中心として350mmかさなりあっている。この風車の特徴は、低回転、高トルクで揚水用などに適していることである²⁾。また、垂直軸形であるため、風向に対する追従機構が不要である。強風下でも、回転数は無制限に大きくならないので、回



第1図 サボニウス形風車概要図



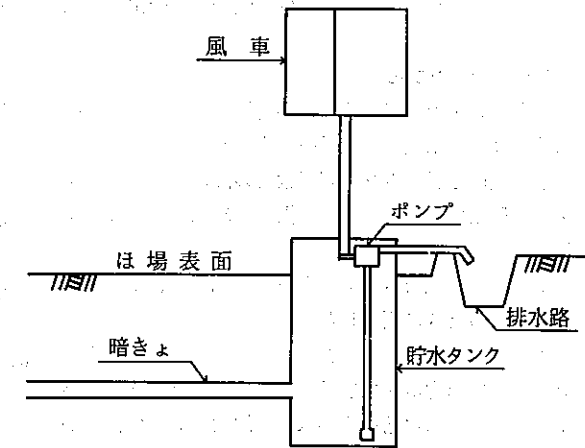
第2図 ダイヤフラム形ポンプ概要図

転数の制御機構も不要である。

ダイヤフラム形ポンプの概要を第2図に示す。ダイヤフラム形ポンプは、ゴムでつくられた円盤状の隔膜と水室をもち、水室には吸入弁、吐出弁が備えられている。本試験に用いたポンプはダイヤフラム径200mm、ダイヤフラムの作動ストローク50mmであり、風車軸のクランクによって、ロッドを介してダイヤフラムが駆

動される構造になっている。一般にダイヤフラム形ポンプは他のポンプに比較し、空運転や土砂、異物の混入に対しても故障しにくく、低回転で揚水できるという特徴がある。

風力ポンプの使用方法を第3図に示す。風力ポンプを使用する場合、暗きょから排出される水を貯水タンクに集めて、この水を風力ポンプによって排水路などへ排水できるように設置する。



第3図 風力ポンプ設置図

設置にあたっては、強風時に転倒しないように基礎の支柱とステーを強固な構造とし、危険を避けるため、農道など、人の通る所からなるべく離れた場所に設置することが望ましい。また、風速の大小は周囲の地形に大きな影響を受けるので、同一は場において最も風速が大きい場所に設置するように配慮する。

2. 試験項目と方法

1) 風車の性能

風車の性能試験は、風車からポンプを取り外した状態で、平均風速と風車回転数の関係を調査した。

平均風速の測定には、風杯型風程式風速計と自記電接計数器を使用した。風速計は風車の翼車と同じ高さとし、翼車から約6m離れた所に設置して、10分間平均風速を測定した。

風車の回転数は、自記電接計数器を使用して10分間単位で記録し、それを1分間当たりに換算した。風車軸にウォーム歯車式減速機とマイクロスイッチを取り付け、風車20回転を1電接とした。

2) ポンプの性能

ポンプの性能試験は、ポンプの回転数とポンプ吐出

量の関係を調査した。

ポンプはモーターで駆動した。ポンプ回転数はウォーム歯車式減速機と割りブリーを使用し、15~90rpmの範囲で連続して変化できるようにした。

ポンプの揚程は、ポンプとポンプ駆動系統全部を高さが変えられる台の上のせ、33, 60, 89, 125cmの4段階を設けた。

ポンプ運転時間は5分間とし、5分間当たりのポンプの回転数と吐出量から、毎分の回転数と吐出量を求めた。

3) 風力ポンプの性能

風力ポンプの性能試験は、平均風速と風力ポンプ回転数および排水量との関係を調査した。

平均風速と風力ポンプ回転数との関係は、風力ポンプが空運転のときと、ポンプ揚程が50cmのときに測定した。

平均風速と風力ポンプ排水量との関係は、ポンプ揚程が50cmのときに測定した。

用、排水路沿いに貯水タンクを埋設し、その貯水タンクの上に風力ポンプを設置した。貯水タンクは、パイプによって用水路から導水し、風力ポンプの揚程が50cmとなるようにした。

平均風速の測定は、風車の性能試験と同様に風杯型風程式風速計を使用し、10分間平均風速を測定した。

風力ポンプ回転数は、自記電接計数器を使用して10分間単位で記録し、それを1分間当たりに換算した。ポンプ駆動クランクによってマイクロスイッチを作動させ、風力ポンプ1回転を1電接とした。

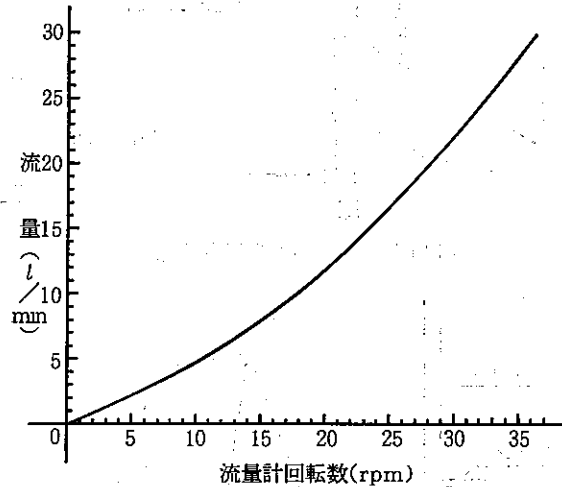
排水量は、回転バケツ形流量計によって測定した。

回転バケツ形流量計の回転数は、自記電接計数器を使用して10分間単位で記録し、それを1分間当たりに換算した。流量計の回転軸の突起によってマイクロスイッチを作動させ、流量計1回転を1電接とした。

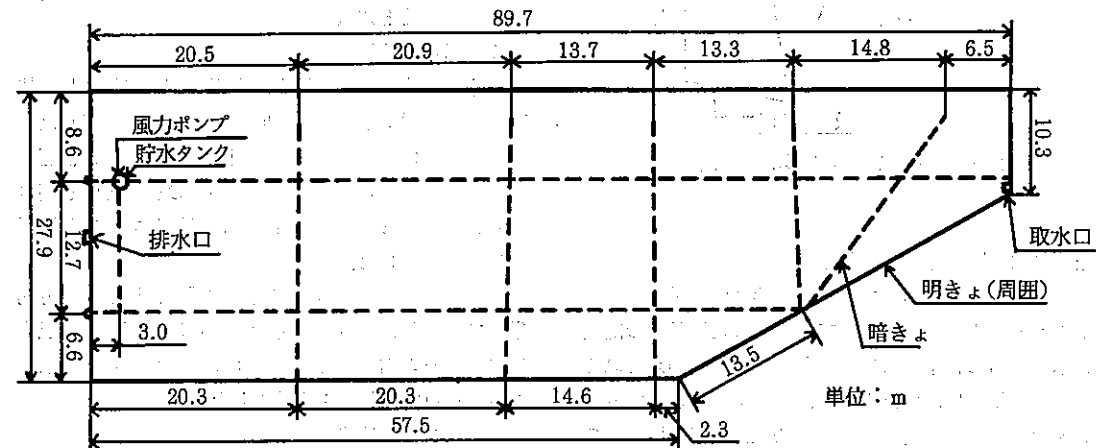
排水量の測定に使用した回転バケツ形流量計は自作のものであり、測定範囲は0~30l/minであった。流量計の1分間当たりの回転数と流量との関係を第4図に示す。流量計の1回転当たりの流量は回転数が高くなるに従い、わずかながら増加する傾向にあるため、流量計の回転数と流量との関係は2次曲線となった。この図を使用して流量計の1分間当たりの回転数から、風力ポンプの排水量を求めた。

4) 転換畑における風力ポンプの利用試験

大豆が栽培されている転換畑に、風力ポンプを設置



第4図 流量計回転数と流量の関係



第5図 風力ポンプ設置ほ場図

して利用試験を行った。この試験においては、地下水位、雨量、平均風速、風力ポンプ回転数の4項目を測定した。

雨量、平均風速および風力ポンプ回転数は、9時から翌日の9時までを1区切りとした。

雨量は、本試験場で観測している気象値を使用した。平均風速は、風杯型風程式風速計と自記電接計数器を使用し、9時から翌日の9時までの日平均風速を測定した。

風力ポンプ回転数は、自記電接計数器を使用し、風力ポンプ1回転が1電接となるようにして、9時から翌日の9時までの回転数を測定した。

風力ポンプを設置した転換畑は、面積が22.2aである。施工してある暗きょは有管碎石暗きょであり、暗きょの集水管の深さは約80cmである。風力ポンプの貯水タンクの深さは集水管の深さと同じく約80cmとした。暗きょ施工状況、ほ場の形状および風力ポンプの設置場所を第5図に示す。風力ポンプ吐出口とは場表面との差が40cmとなったため、風力ポンプの揚程は地下水位に40cmを加えたものとなった。

地下水位は毎日9時に測定した。地下水位の1日当たりの変動量を地下水位変動とした。地下水位変動は、地下水位が上昇する方向を負、下降する方向を正とした。

これらの調査結果と県下各地の気象観測値を考慮して、風力ポンプの利用可能性、その負担可能面積を検討した。

III 試験結果および考察

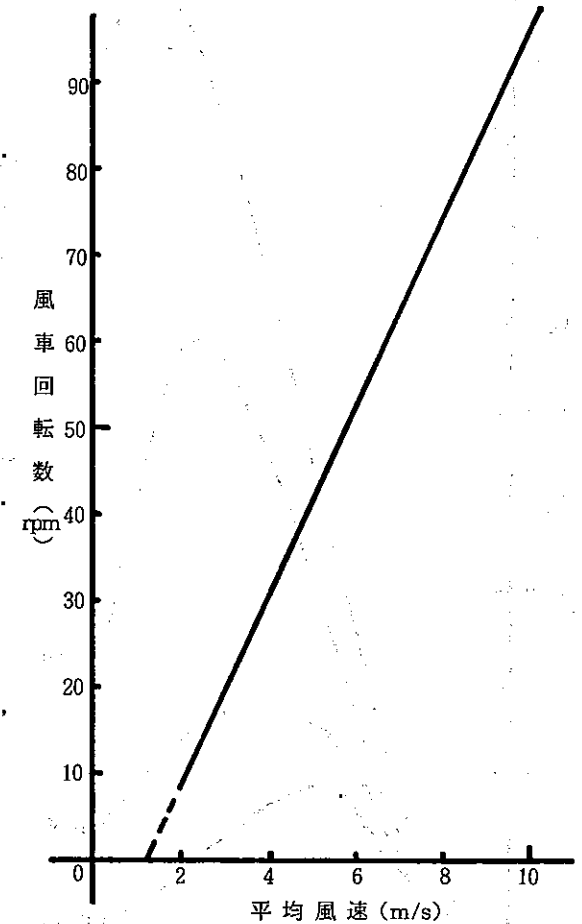
1. 風車の性能

10分間平均風速と風車回転数との関係を第6図に示す。10分間平均風速V(m/s)と風車回転数R(rpm)との回帰式は1式ようになり、回帰係数r=0.933となった。

$$R = -13.16 + 10.87V \quad (1)$$

$$(V \leq 10)$$

風車の回転をみると、風車の受風面が風向と直交して停止しているときは容易に起動するが、受風面が風向と平行に停止しているときは起動しにくいことが観察された。このため、風車の起動風速は1.5~3.0m/sと安定しなかった。しかし、起動後は1.2~1.3m/s以上の風速があれば、安定した回転を持続した。第6図に示すとおり、風車の回転数は、10分間平均風速10m/sで約95rpmとなった。

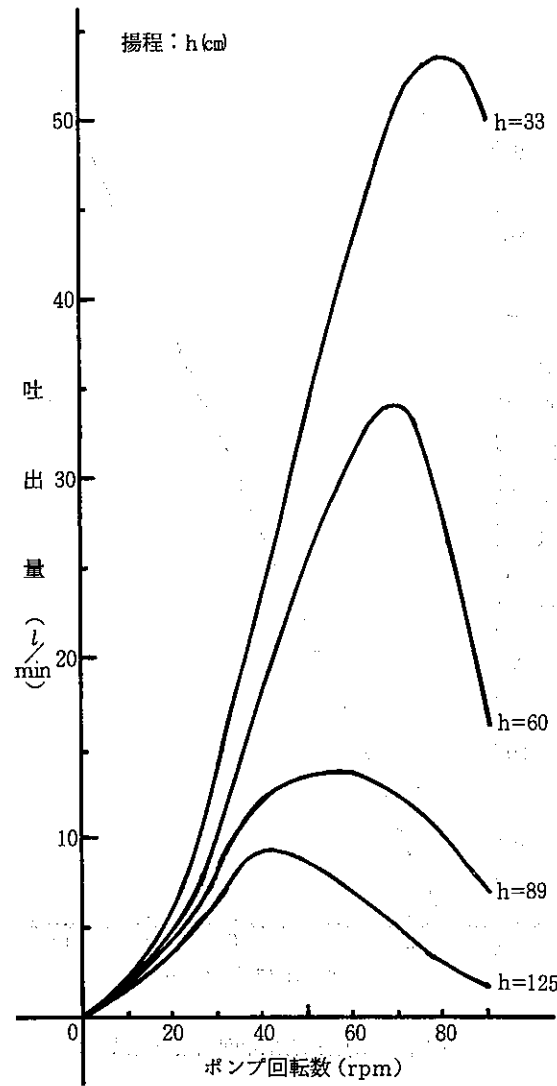


第6図 平均風速と風車回転数の関係

2. ポンプの性能

ポンプの回転数と吐出量との関係を、第7図に示す。吐出量はポンプ回転数が30rpm以下では、揚程による差は小さい。しかし、30rpm以上になると吐出量の差は大きくなり、低揚程ほど多く吐出する傾向を示した。また、ポンプが一定回転数以上になると吐出量は減少傾向を示し、揚程が大きくなるほど低回転でこの傾向が表われた。この理由として、ダイヤフラムのゴムが駆動するロッドの動きに追従しなくなることが考えられる。

全般に、ポンプ吐出量は一定回転数以下ではポンプ回転数に比例して増加し、ポンプ揚程に反比例する。



第7図 ポンプ回転数と吐出量の関係

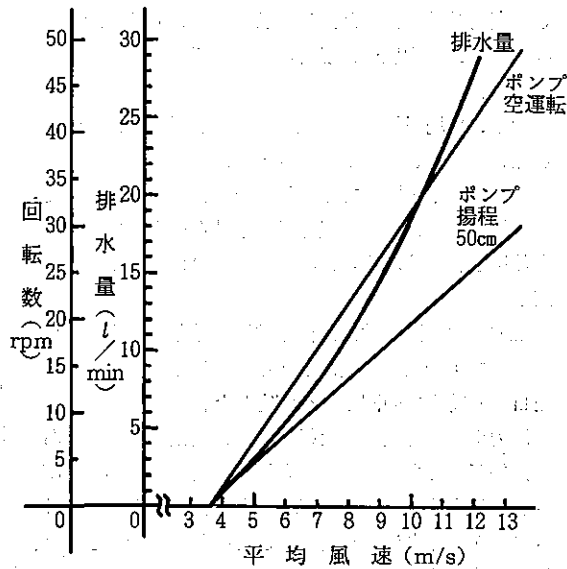
このことは、吐出量を調査した香川農試^{注1)}、滋賀農試^{注2)}の事例においても同様の傾向が報告されている。

3. 風力ポンプの性能

10分間平均風速と風力ポンプの回転数、排水量との関係を第8図に示す。この図によれば、風力ポンプが空運転のときや、ポンプ揚程が50cmのとき、風力ポン

注1) 香川農試(1980): 四国地域試験研究打合せ会議資料(農業機械化関係試験成績概要), 四国農試, p.46.

注2) 滋賀農試(1981): 農業機械近畿中国地域試験研究打合せ会議成績概要集, 中国農試, p.89~90.



第8図 平均風速と風力ポンプの回転数、排水量の関係

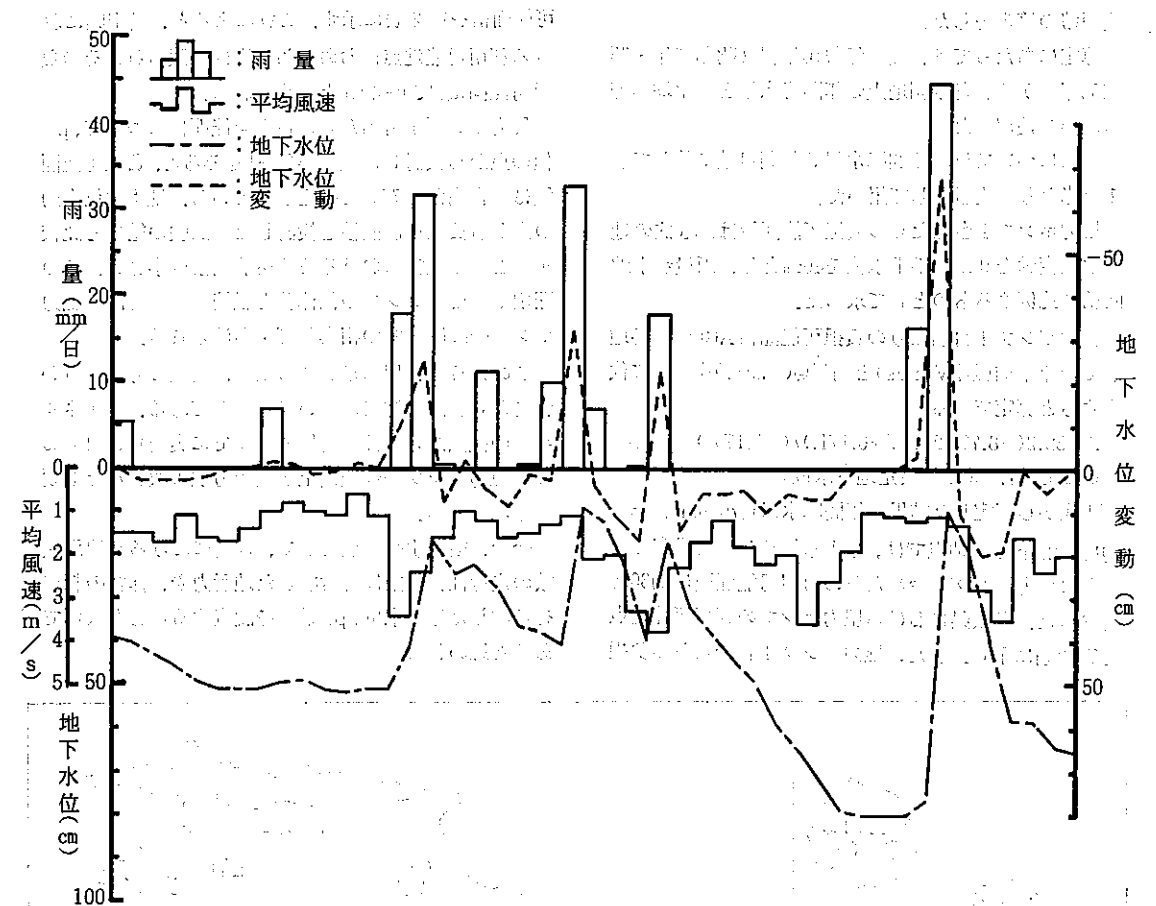
プの起動風速は約3.5m/sとなった。風力ポンプの回転数をみると、10分間平均風速が大きくなるに従い、ポンプが空運転のときの方が、ポンプ揚程50cmのときよりも回転数が多かった。また、風力ポンプの起動後は、約3.0m/s以上の風速があれば回転を継続した。この結果、風力ポンプが起動するためには、約3.5m/s以上の10分間平均風速が必要であった。

無負荷時の風力ポンプの起動風速についてみると、調査事例^{注1)}では1.5m/s以上であり、本試験と差がみられた。この理由として、風速の測定方法の相異および前にのべた風車の受風面が風向と平行に停止していたことが考えられる。

風力ポンプの揚程が50cmのときの10分間平均風速と排水量との関係(第8図)をみると、風力ポンプの排水量は、10分間平均風速10m/sでは約19l/minであり、このときの風力ポンプ回転数はおよそ20rpmであった。

今回調査した風力ポンプの回転数をみると、調査事例^{注1), 2)}に比較して、本試験の調査結果は全体に少ない傾向にあった。これは、長町^{注3)}もべているように、風力ポンプのダイヤフラムの材質、組立工作の差、軸受部の機械損失の差などによってポンプの回転数に

注3) 長町均他(1980): 施設農業への新エネルギー利用〔太陽、風〕編。フジテクノシステム; 629~642



第9図 地下水位変動と雨量、平均風速、地下水位の調査結果

がいが生じたものと考えられる。

4. 転換畑における風力ポンプの利用試験

1) 風力ポンプの回転数

風力ポンプをは場に設置した場合、地下水位の上下動によりポンプの揚程が変化し、ポンプの負荷に影響を与える。その結果、風力ポンプの回転数も、地下水位の上下動によって変化すると考えられる。そこで、風力ポンプの回転数については、日平均風速と地下水位の2項目を変動要因とし、風力ポンプ1日当たりの回転数を目的変数として重回帰分析を行った。

風力ポンプの回転数R(回/日)と、日平均風速V(m/s)、地下水位L(cm)との重回帰式は、(2)式のようになり、回帰係数r=0.836となった。

$$R = -1484.3 + 1437.4V - 7.5L \quad (2)$$

(2)式から、地下水位を40cm(ポンプ揚程80cm)と設

ポンプは回転する。

2) 地下水位の上下動

地下水位変動と、雨量、平均風速および地下水位の調査結果を第9図に示す。試験は場における地下水位は、は場表面から25cm以上、通常40cm程度であった。地下水位の上下動については、平均風速、雨量、地下水位の3項目を変動要因とし、地下水位変動を目的変数として重回帰分析を行った。

地下水位変動H(cm)と、平均風速V(m/s)、雨量Q(mm/日)、地下水位L(cm)との重回帰式は、(3)式のようになり、回帰係数r=0.926となった。

$$H = 8.77 - 1.17Q + 2.24V - 0.17L \quad (3)$$

3) 利用可能場所および負担可能面積の算定

地下水位変動と平均風速、雨量、地下水位との重回帰式(3)式から、島根県内の各気象観測地点における利用可能性の検討および風力ポンプ1台当たりの負担可

能面積の算定をした。

算定にあたっては、農業気象10年報（昭和43年～昭和52年）から、各観測地点の年間降水量と年平均風速の数値を使用した。

雨量については、年間降水量を年間日数で除して、1日当たりの雨量として用いた。

風力ポンプ1台当たりの負担可能面積は、(3)式の地下水位変動を0cm、地下水位を40cmとし、雨量が土地面積に比例するものとして求めた。

風力ポンプ1台当たりの負担可能面積A(a)は、各地点での年平均風速V(m/s)と雨量Q(mm/日)を(4)式に代入すると算定できる。

$$A=22.2(-8.77-2.24V+0.17L)/(-1.17)Q \quad (4)$$

ここで、L=40cm（設定地下水位）

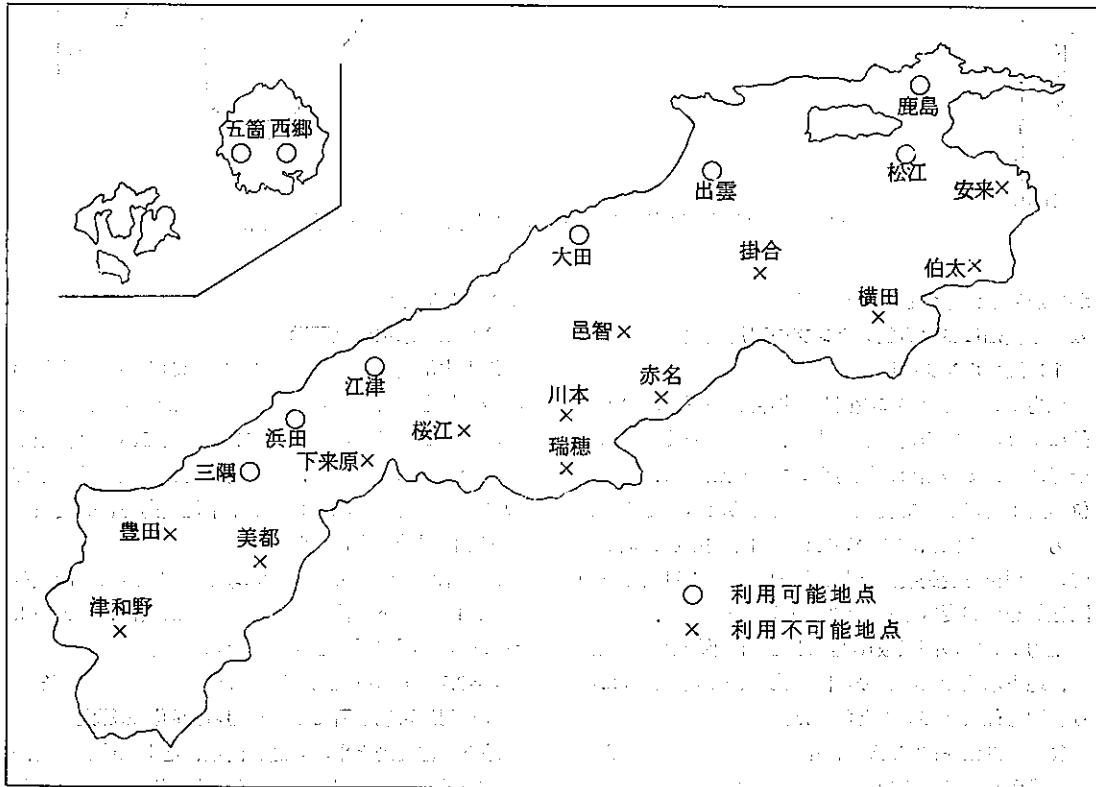
(4)式から算定した結果、年間降水量1,700mm、年平均風速2.3m/sの地点では、地下水位を40cmと設定したときの風力ポンプ1台当たりの負担可能面積は約30aとなった。島根県における風力ポンプの利用可能地点を第10図に示す。また、風力ポンプ1台当たりの負担

可能面積を第2表に示す。これによると、島根県における利用可能地点はおおむね海岸部に限られ、その負担可能面積は20～40aと考えられる。

風力ポンプ1台当たりの負担可能面積について、pF値の点から検討した調査事例⁽²⁾をみると、負担可能面積は1台当たり72aと推定されている。地下水位変動の点から負担可能面積を検討した本試験の結果と比較すると、本試験における負担可能面積は小さい。この理由は、風力ポンプの個体差と風速の測定方法、風力ポンプの設置場所の相異などがあげられる。

このように、風力ポンプの試験は各種の方法で行われており、試験結果についても区々である。省エネルギーの観点から一部の地域ではすでに実用化されており、風力ポンプの性能向上と使用方法の改善なども要望されている。

今後、検討すべき点として、ほ場における営農用機械の走行性、作業性を考慮した地耐力や、作物の栽培を考慮した地下水位、pF値等を調査することも大切であると思われる。



第10図 県内利用可能地点図

IV 摘 要

サボニウス形風車と、ダイヤフラム形ポンプを使用した無落差暗きょ排水用風力ポンプの性能試験および利用試験を行い、次のような結果を得た。

1. 風車単体の起動風速は、1.5～3.0m/sであった。起動後は、1.2～1.3m/s以上の風速があれば、風車は回転を継続した。ポンプ吐出量は、一定回転数以上になると減少傾向を示した。この傾向はポンプの揚程が高くなると、低回転で表われた。
2. 風力ポンプの起動風速は、約3.5m/sであった。起動後は、約3.0m/s以上の風速があれば、風力ポンプは回転を継続した。風力ポンプの揚程が50cmのとき、

排水量は風速約10m/sで約19l/minであり、風力ポンプの回転数はおよそ20rpmであった。

3. 設定地下水位を40cmとしたときの風力ポンプ1台当たりの負担可能面積は、年間降水量1,700mm、年平均風速2.3m/sの場所では、約30aとなった。また、島根県内における利用可能場所は、おおむね海岸部に限られ、その負担可能面積は20～40aとなった。

引 用 文 献

- 1) 小林 正他 5名 (1980)：農業動力学，文永堂，p.5
- 2) 牛山 泉 (1984)：風力（農業機械学会編：農業機械ハンドブック）；コロナ社，p.114.

第2表 利用可能地点と負担面積

観測所名	所 在 地	年間降水量 (mm)	年平均風速 (m/s)	利用可能性	負担面積 (a)
松江	松江市西津田町1282	1,879	2.7	○	29.8
浜田	浜田市大辻町235の3	1,698	3.9	○	43.2
西郷	隠岐郡西郷町西町大城1の2	1,672	3.4	○	39.5
鹿島	八束郡鹿島町北講武411	1,845	2.0	○	24.0
出雲	出雲市芦渡町2440	1,775	2.5	○	29.3
安来	安来市荒島町1192	1,779	1.1	×	—
伯太	能義郡伯太町母里239の1	1,778	1.1	×	—
掛合	飯石郡掛合町掛合2165	2,112	1.4	×	—
横田	仁多郡横田町中村1293の3	1,818	1.2	×	—
赤名	飯石郡赤名町赤名912	2,073	1.3	×	—
大田	大田市川合町吉永1050の甲	1,886	1.4	○	18.6
邑智	邑智郡邑智町久保383	1,902	1.0	×	—
江津	江津市敬川字東沖浜2343	1,585	1.9	○	27.5
桜江	邑智郡桜江町今田字六地藏328	1,996	0.9	×	—
川本	邑智郡川本町川本1294	1,911	1.1	×	—
瑞穂	邑智郡瑞穂町下田所902の1	1,996	1.0	×	—
下来原	那賀郡金城町下来原188の4	2,133	1.0	×	—
三隅	那賀郡三隅町三隅字岡崎569	1,697	2.3	○	29.4
美都	美濃郡美都町都茂1873の1	1,952	1.0	×	—
豊田	益田市横田810	1,765	1.2	×	—
津和野	鹿足郡津和野町田二穂31	1,809	1.2	×	—
五箇	隠岐郡五箇村北方1254	1,737	2.2	○	27.3

Summary

The performance test and utility test of the windmill-pump in no-head underdrainage were made. This windmill-pump consists of a savonius type windmill and diaphragm pump. The results obtained are summarized as follows;

1. The velocity of the wind that the only windmill started to revolve was 1.5~3.0m/s. After the windmill started to revolve, it kept revolution on the velocity of the wind over 1.2~1.3m/s. When the pump revolved over a limit, the water volume which was discharged by the pump was decreased. It appeared at the lower revolution on the higher lift head of the pump.

2. The velocity of the wind that the windmill-pump started to revolve was about 3.5m/s. After the windmill-pump started to revolve, it kept revolution on the velocity of the wind over 3.0m/s. When the lift head of the pump was 50cm and the velocity of the wind was 10m/s, the revolution of the windmill-pump was about 20 rpm and the water volume which was discharged by the windmill-pump was about 19 l/min.

3. When the underground water level was 40cm from the field surface, the draining ability area of a windmill-pump was about 30a on the place that the precipitation in a year was 1700mm and the average velocity of the wind in a year was 2.3m/s. The adaptable region of the windmill-pump in Shimane prefecture was limited to the coast in general and the draining ability area of a windmill-pump in this place was 20~40a.