

Kodak Gray Scale

A 1 2 3 4 5 6 **M** 8 9 10 11 12 13 14 15 **B** 17 18 19



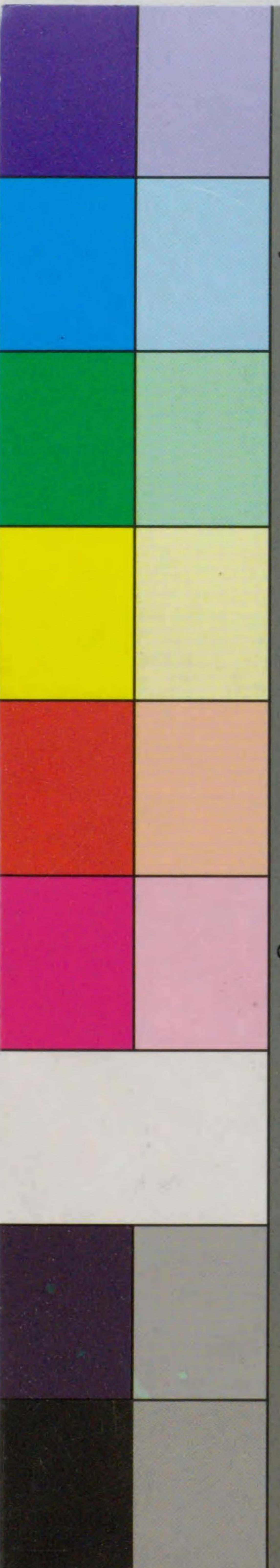
© Kodak, 2007 TM: Kodak

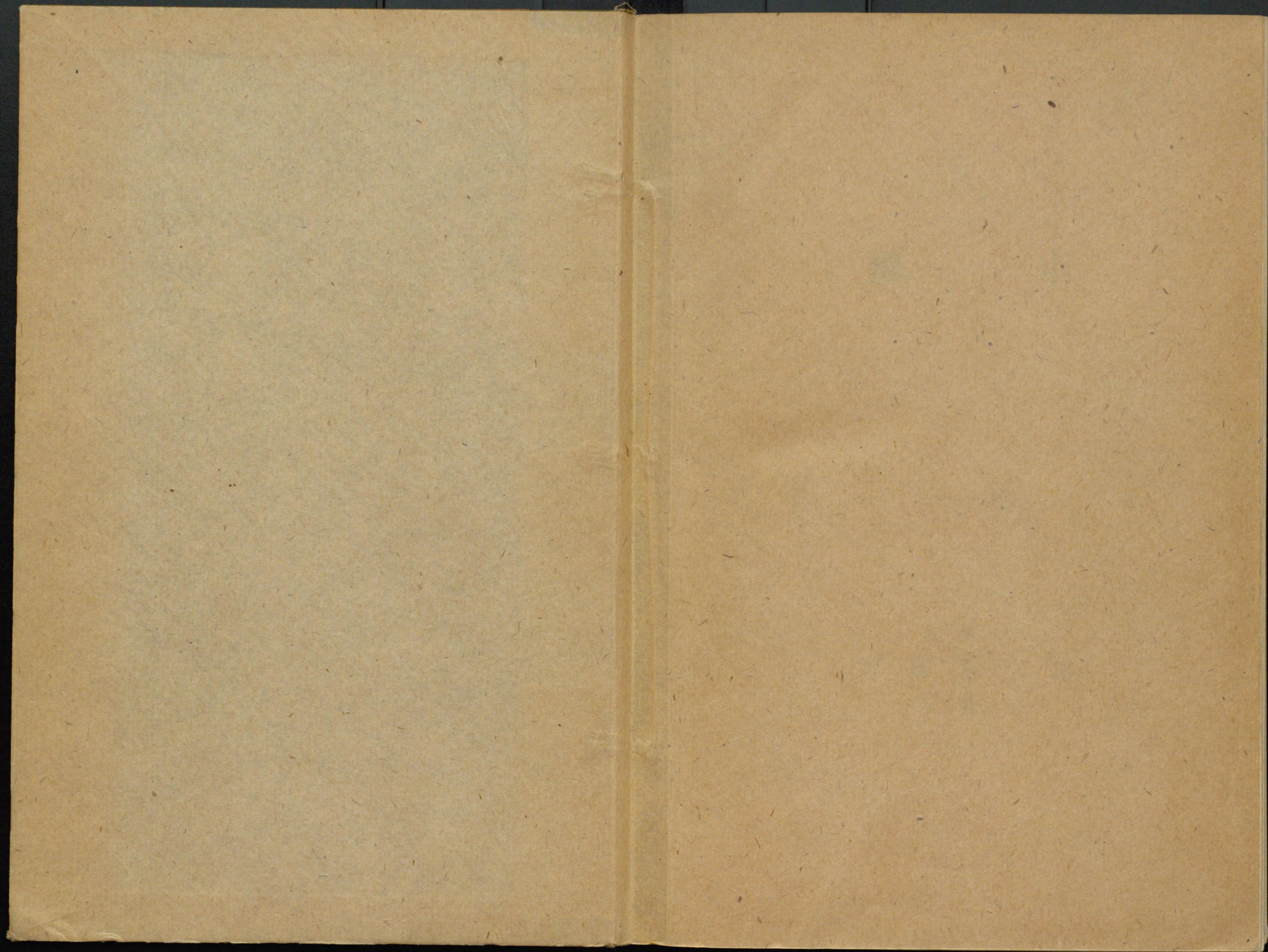
inches 1 2 3 4 5 6 7 8
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Kodak Color Control Patches

Blue	Cyan	Green	Yellow	Red	Magenta	White	3/Color	Black
------	------	-------	--------	-----	---------	-------	---------	-------

© Kodak, 2007 TM: Kodak



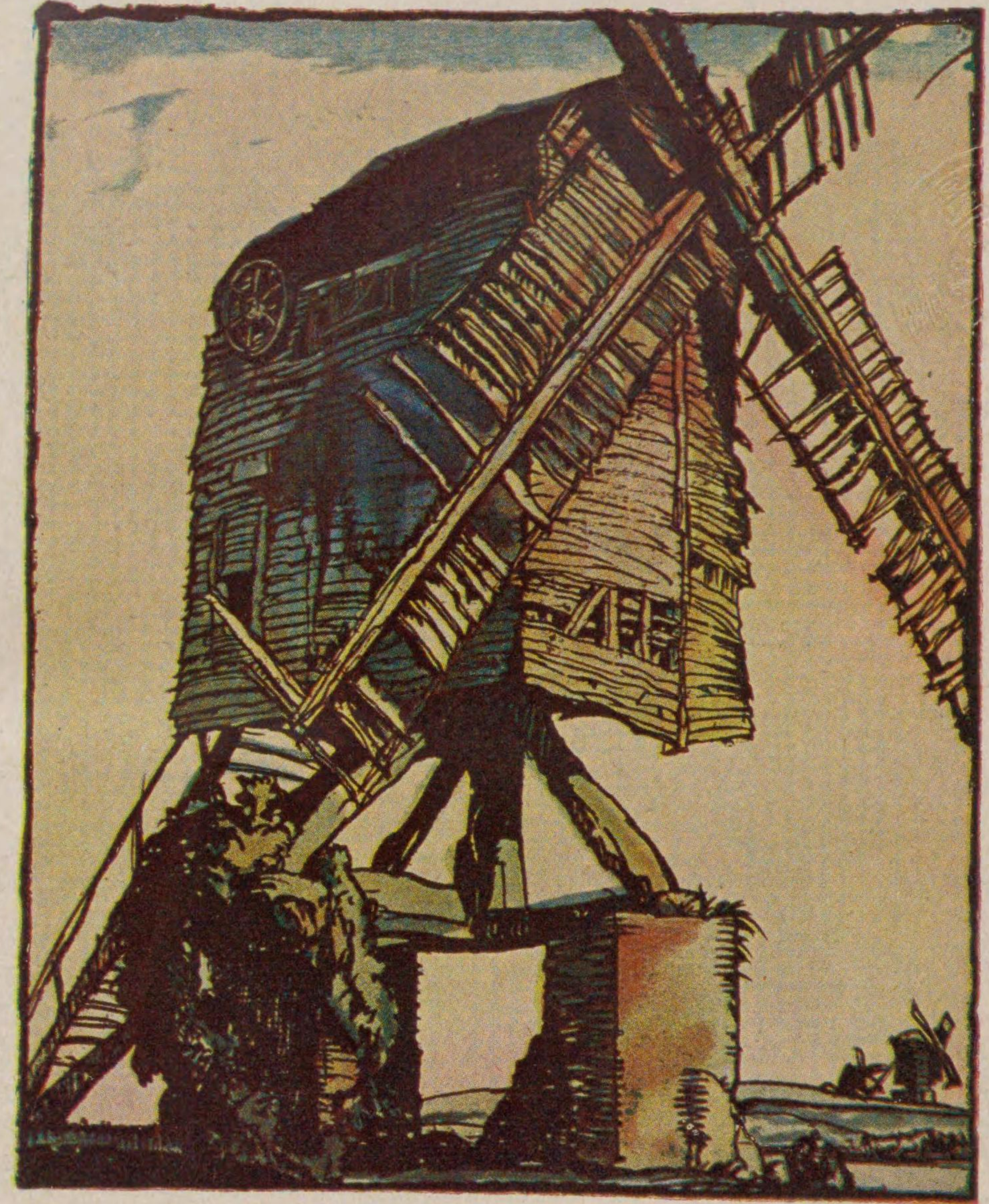


74667
9



工 學 士
安 東 幸 二 郎
著






工政會出版部
版

序

邦家の興廢は産業の隆替に由る所極めて大にして、産業の消長は動力の廉不廉に起因するもの頗る多し。現時世界の列強齊しく意を動力に致せるもの、誠に所以ありと謂ふべし。我邦天恵の菲薄を以て、能く列強に伍して經濟戦裡に輸贏を争はんこと、釐毫の資源も尙之を苟くもすべからざるなり。

工學士安東幸二郎君此に見るあり、曩に風力の活用に志し、研鑽に努むる事年あり、頃者其造詣の一斑を公にせんことを企て、原稿「風車」を草して余に序文を需む。就て之を閲するに、風車の沿革と理論に筆を起し、其機構を説き、設計を論じ、汎く萬般の應用に及ぶ。絮説簡明適確、悉



圖は往時貴重なる原動機として製粉作業に用ひられたサセツクスの風車小屋である。

今は唯行人の旅愁を唆るに過ぎない。

く著者が親しく行へる研究と実験に
 基き、廣く涉獵せる文獻と既設の實
 例に則れるもの、蓋し先人の企及せ
 ざりし名著にして、著者苦心の跡歴
 然たるものあり。即ち其機構設計を
 論じては各種算式を示して、工業技
 術家に對する有力なる指針を爲し、
 其應用を説いては風車の設備、運轉
 の經費を例示し、加ふるに幾多の寫
 眞、圖表を以てし、實用上適切なる
 參考資料を提供す。更に將來に於け
 る風力發電に關して詳説せるの項、
 蓋し著者が最も意を用ゐたる所にし
 て、風力の輕視すべからざるを道破
 し、識者の覺醒を促して遺す所なし。
 余は本書の出現が、必ずや我邦農村
 振興の計畫に對し甚大なる反響を與
 ふるに至るべく、工學の徒亦由て以
 て大に啓發する所あるべきを疑はず。

常に動力國策の將來に對し焦慮せ
 る余は、本書原稿を讀了して欣快禁
 ずる能はず、特に所感を記して、以
 て序となす。

昭和二年孟夏向ヶ岡寓居に於て

工學博士 加 茂 正 雄

自序

機械文明の生命は原動力である。原動力貧弱にしては工業の發達は勿論のこと機械利用による一般國民生活の向上を望むことは到底出來ない。

然るに我邦に於いては動力燃料たる石炭の埋藏量僅に八十億噸、石油又僅に十二億噸と稱せられ向後百年を出でずして使用し盡すであらうと云はれ、亦最も天恵の豊なる水力も經濟的に利用し易き地點は殆んど盡きたるかの觀があり、動力問題は今や朝野の識者の等しく頭を悩ます處となつてゐる。

然るに本邦に於いては風力に恵まれたる地方頗る多きに拘はらず、未だ殆んど利用の途の講せられぬ状態にあるのは甚だ遺憾とする處である。成る程風力は其の強弱常ならず利用上不便の點がないとはいはれぬけれども、又必ずしも經濟的利用が不可能とは速斷することは出來ない。

著者の見解に依れば本邦の風力は三千万馬力を下らず、水力の總額六百萬馬力と稱せらるゝに比し捨てられたる動力の如何に莫大なるかに驚くであらう。若し此の莫大なる動力を經濟的に活用するの途が完全に拓ける時が來るならば國家の福利は

如何ばかりであらうか。

歐米特にスカンヂナビヤ諸國、ドイツ、北米合衆國、南米アルゼンチン等は既に盛んに風車を利用し農業諸機械の運轉或は電燈照明等に應用し農村開發のため着々其の効果を收めつゝあるのであつて、アルゼンチンの如きは1910年北米合衆國より壹萬五千臺の風車を輸入したと報せられてゐる。

本邦の如き年々農村の疲弊して行くのは彼等が全く機械文明に取り残されたるに一因する。今日喧しい農村振興策の第一は正に農村の動力化に置かれねばならない。然らば此の農村動力化は如何にして爲す可きか。農村作業の如き不連続性の仕事に對しては水力、火力よりも風力に此を俟つのが寧ろ經濟的な點が甚だ少くない。家庭用、公衆用水道、排水、澆灌、粃磨、精米等の農業機械の運轉は現在でも容易に行はれてゐる處であり、又風力發電に依れば電燈照明、果實野菜の温室、電氣栽培等も立派に行はれ得るのである。かくして農村は自給自足の風力原動に依り暗黒より光明への一步を運び得るであらう。

著者は茲に鑑る處あり、前に濱松高等工業學校在職中政府の科學研究獎勵費を受けて風力利用問題

を研究し、後東京帝大航空研究所にて研究を續行しつゝあるが、未だ既問題の研究を盡すことは出來ない。然るにも拘はらず今小著を刊行せんとするは其の一端を公にし大方の識者の注意を喚起せんとするの微衷に出でたものである。幸にして諸賢の高教を得而して又之に依り風力利用の端緒が開かれるならば著者の欣快之に如くものはない。

本書を草するに當り参考せる書籍及び雜誌は次に列擧したものである。

Otto Sterz: Moderne Windturbinen.

Hollenberg: Neueren Windrader.

Hammel: Ausnutzung der Windkräfte.

Esselborn: Lehrbuch des Maschinenbaues.

G. Eiffel: Etudes sur L'Helic Aérienne.

S. Drzwiecki: Théorie générale L'hélice.

Wclff: The windmill as a prime mover.

S. Robert and B. Sc. Ball: Natural Sources of Power.

Brangwin: Windmill.

Elektrotechnische Zeitschrift. 1925, Heft. 11, S. 315.

” ” ” ” 29, S. 949.

” ” ” ” 39, S. 1405.

” ” 1926, Heft. 46, S. 1369.

終りに此の書を出版するに就いて多大の援助を添へられた航空研究所々長工學博士男爵斯波忠三郎先生、序文を賜はりし東京帝大教授工學博士加茂正雄先生、出版費の補助を與へられた桐生高等工業學校同窓會、及び出版元工政會の方々に厚く感謝の意を表します。

昭和二年七月

安 東 幸 二 郎

風 車 目 次

第壹編	概 論	1
第 一 章	風車の沿革	1
第 二 章	舊式風車	4
第 三 章	現代式風車の出現	11
第 四 章	本邦に於ける風車の應用 と其將來	16
第 五 章	特殊型風車	20
第貳編	風車の理論	26
第 六 章	風速と風壓	26
第 七 章	揚力及び抗力	28
第 八 章	羽根の理論的立場	34
第 九 章	彈性衝突よりする羽根の 理論	35
第 十 章	エーロフォイルとしての羽 根の理論 羽根の微小微分の出力 及び能率	45

	ピッチ及び迎角	54
	羽根の全面の仕事及び 能率	63
第十一章	特性係数	73
第十二章	風車の実験	76
	米國式風車	79
	オランダ式風車	86
	二枚羽根風車	89
	豎型風車	90
	諸型式風車の比較	92
第參編	風車及び附屬機構	97
第十三章	羽根車の型式と風車の馬 力及び廻轉數	97
	風車の馬力	97
	風車の廻轉數	100
第十四章	羽根車の構造	102
	羽 根	102
	ボス及び車軸	112
	ボールビヤリング	117
第十五章	傳導機構	117
	クランク仕掛け	117

	齒輪装置	120
第十六章	機 臺	125
第十七章	自働風向装置	127
	風向板	127
	風向車	128
第十八章	調速並に安全装置	129
	自働調節羽根式	130
	側面調節板式	134
第十九章	停止装置	137
第二十章	滑油供給装置	138
第二十一章	代表的風車圖說	141
第二十二章	風車塔	146
	塔の高さ	146
	塔の構造	146
	基 礎	147
	塔の設計	152
第四編	風車の應用	165
第二十三章	利用概說	165
第二十四章	給水装置	167
	一般装置	167
	自働運轉制御装置	172

給水装置の設計 175

第二十五章 排水及び灌漑装置 181

 一般装置 181

 灌漑用水目論見 186

第二十六章 農業及び農業生産機械 189

第二十七章 風力発電装置 202

 風力発電の効用 202

 発電装置の要件と其構成 204

 風力発電装置の實例 214

 ヒューザム港風力発電所 215

 エーベンハウゼン・グーテス

 ホルツェン発電所 217

 ヒンツービー・バイ・マルメー

 風力発電所 219

 ビルダール発電所 220

 エンケービッヒ発電所 221

 アルナーブ・バイ・アカーブ

 国立農業學校発電所 222

 アルレーフ・バイ・マルメー

 製糖工場風力発電所 222

 オエルテフタ停車場の

 風力発電所 223

 コベンハーゲン開門工

事場風力発電所 223

シーメンス・シュツケルト

會社風力発電装置 227

アルゲ・マイネ電機株式

會社風力発電装置 232

東プロシヤ、ブードウエー

テン・ノウエニンケン風

力発電所 233

カエリンコン機械會社

風力発電装置 235

風力発電装置の設計及

び目論見 237

諸種原動力價格對照表 243

第五編 風 248

第二十八章 風の種類 248

大氣の循環に依る風 248

颶風及び颶風 249

季節風 249

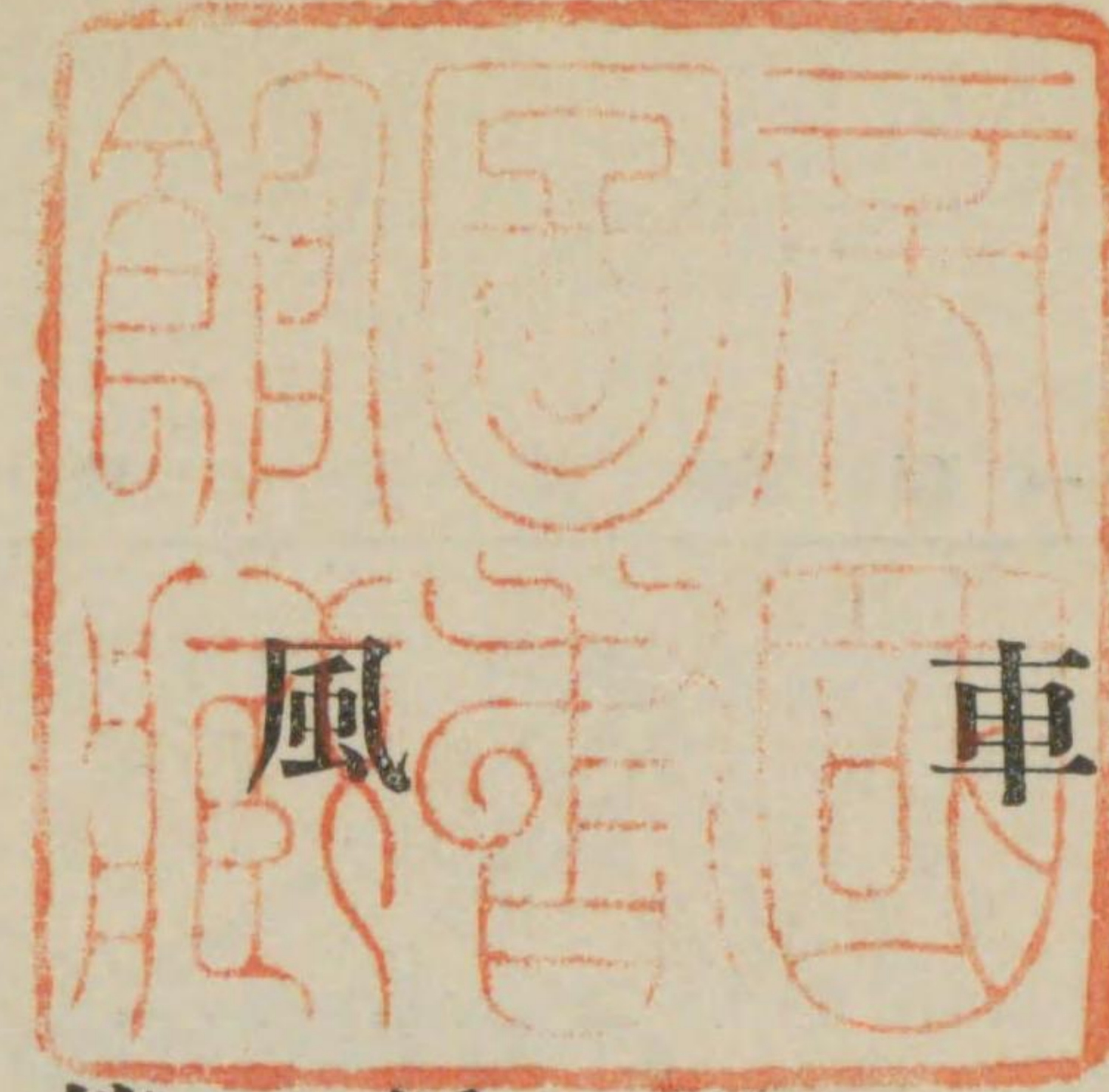
海陸風 249

山谷風 250

地方風 250

第二十九章 風速及び風速表 251

	風速表	251
	風速に依る風の名稱	253
	高層氣流	254
第三十章	風力測定器	255
	風位板	255
	風速計	256
	風壓計	258



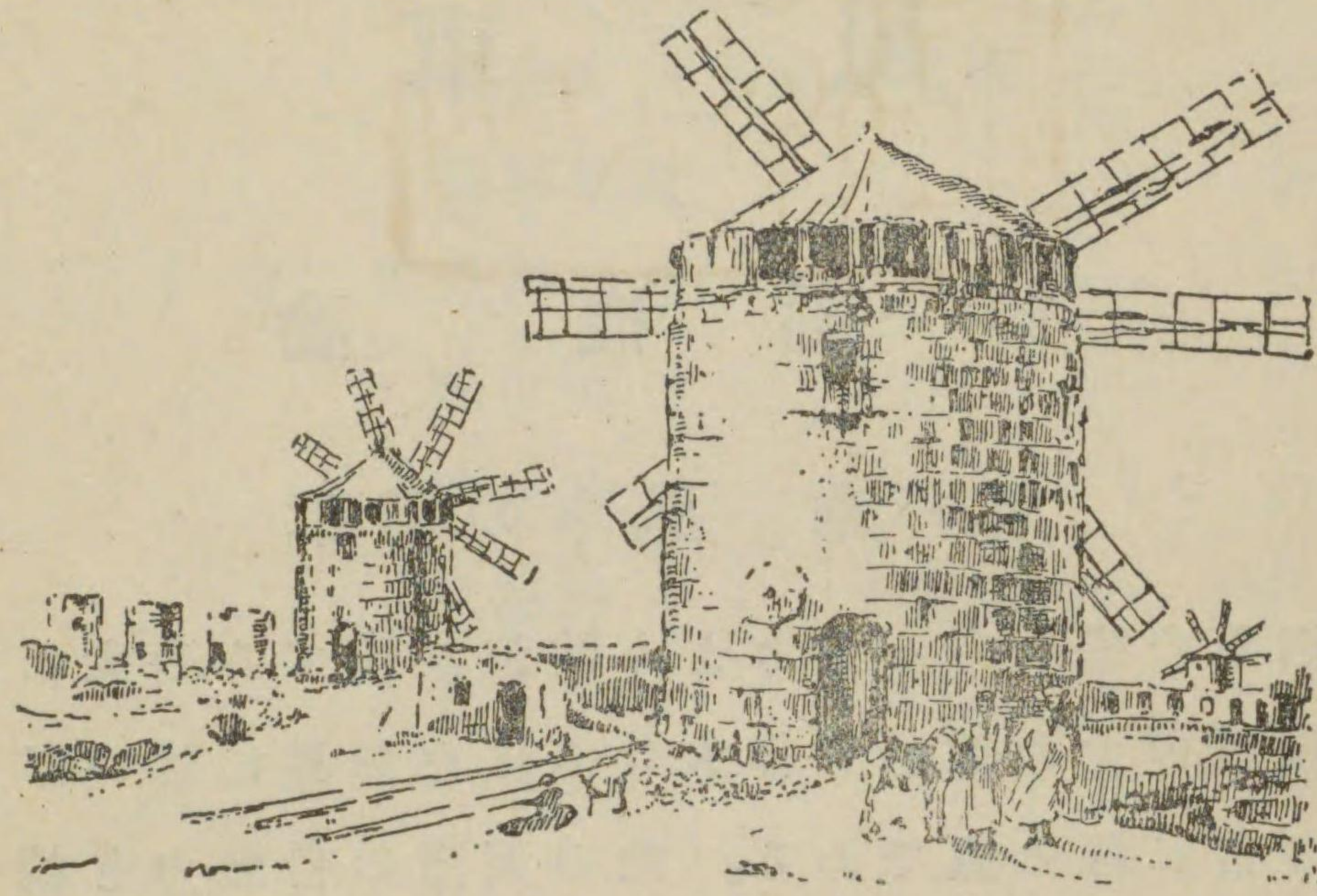
第一編 概論

第一章 風車の沿革

樹葉の囁きの小さきより波浪怒號するの大に至る迄風の力の微妙に偉大なるは自然界に於いて吾々の常に觀る處である。此の天惠の自然力を轉化し人類の利用厚生に應用するの考案は餘程昔から人間の頭腦に閃めいて居つた問題で、風車は實に帆走船と共に此の希望が具體化された古代人發明所産の一つである。

古くは、エジプト、ナイル河畔アレキサンドリアの海濱近くの沼地に遺された數基の風車塔の如きは三千餘年前既に磨穀用として建設せられたもので現存する最古の風車塔であらうと云はれてゐる。第一圖に揚げたのは即ちこの風車塔の遺跡である。

然し此より先風車は何處に於いて何人の手に依つて發明せられたかは全く知るに由ないけれども、一般にエジプト、ペルシャ、インド等に紀元前既に廣く用ひられて居つたと信せられて居る。ノイマン



第一圖

(Neumann)氏の1881年に著した書物には、風車は水の乏しい亞細亞で作られたもので、人類の最初の機械的動力だと云つて居る。此に對しジョン・ベックマン(John Beckmann)教授は其の著磨穀機(Corn Mill)の中に近東地方に於いて初めて風車が發明せられたと云ふ點に疑問を挾むのであるが、ワシントン・アービング(Washington Irving)氏の回々教皇史(History of Caliph)或はボヘミヤ年代紀にも古くベルシヤに風車の使用せられた事が見え、又紀元718年ハレック(Halek)と呼ぶ人が水車を發明する迄はボヘミヤには風車磨穀機のみが用ひられ水車はなかつたと記載されてある。彼様に風車の起原は近東地方にあると思は

れるが、此が最も善く利用せられたのは歐洲で、多くの異論はあるが、十字軍遠征に依り近東から齎らされた風車が遍く歐洲に廣がつたものだと云ふ。或は十字軍遠征路中歐洲の陬地に單獨に建てられてあつた風車を見て、凱旋將卒が故郷に此を輸入したものであるまいか。マビヨン(Mabillon)氏の發表した1105年の史料書にはフランスの修道院は水車並に風車の建設を許可する旨を記載されて居る。後1143年には英國に於いて造られて居り、1332年にはバルトロメヲ・ベルデ(Bartolomeo Verde)なる人がベネチアに風車建設を進言して成功し、又1393年にはオランダ、スピール市に風車が建設せられるに至つた。ドイツには十一世紀の頃既に造られてあつたらしいが、1443年フランクフルトに建設せられたのは最も有名な記録である。

斯くして十二世紀以來歐洲には續々として風車の建設を見、特にオランダの如きは重要な低地の排水作業を専ら此に俟つ事になり近世蒸氣機關が發明される時代に及んだのである。オランダの水郷に一段の景趣を添へ詩人墨客の詩興を唆り、エトランゼーの旅愁を慰めた風車も實は、かくして人間生活の爲に絶えざる廻轉を奉仕して來たのである。

昔、風車の建設には多額の経費を要したので、自然風車は貴族の専有する處であつた。彼等は領地の百姓をして其の穀物を挽かしめ中には無法な賃金を取り立てた。此等の史實は十一世紀に初まつて居る風車使用料の計算書とも云ふべき Molendina bannaria に依るも明白である。後、百姓が風車を建て様として貴族の壓迫に依り目的を達し得なかつた實例も多く残されてゐる。然し僧院の勢力の旺盛であつた當時、風車は忽ち僧院の附屬物の如くに建設され、貴族との係争を惹起した事件も少くなかつた。

風車を廻つて表はれた封建時代の社會状態、思想問題等は仲々興味ある問題で幾多の資料が遺されてゐる。然し吾々は今、風車が如何に古い動力機械であつたかを知るに止めなければならない。

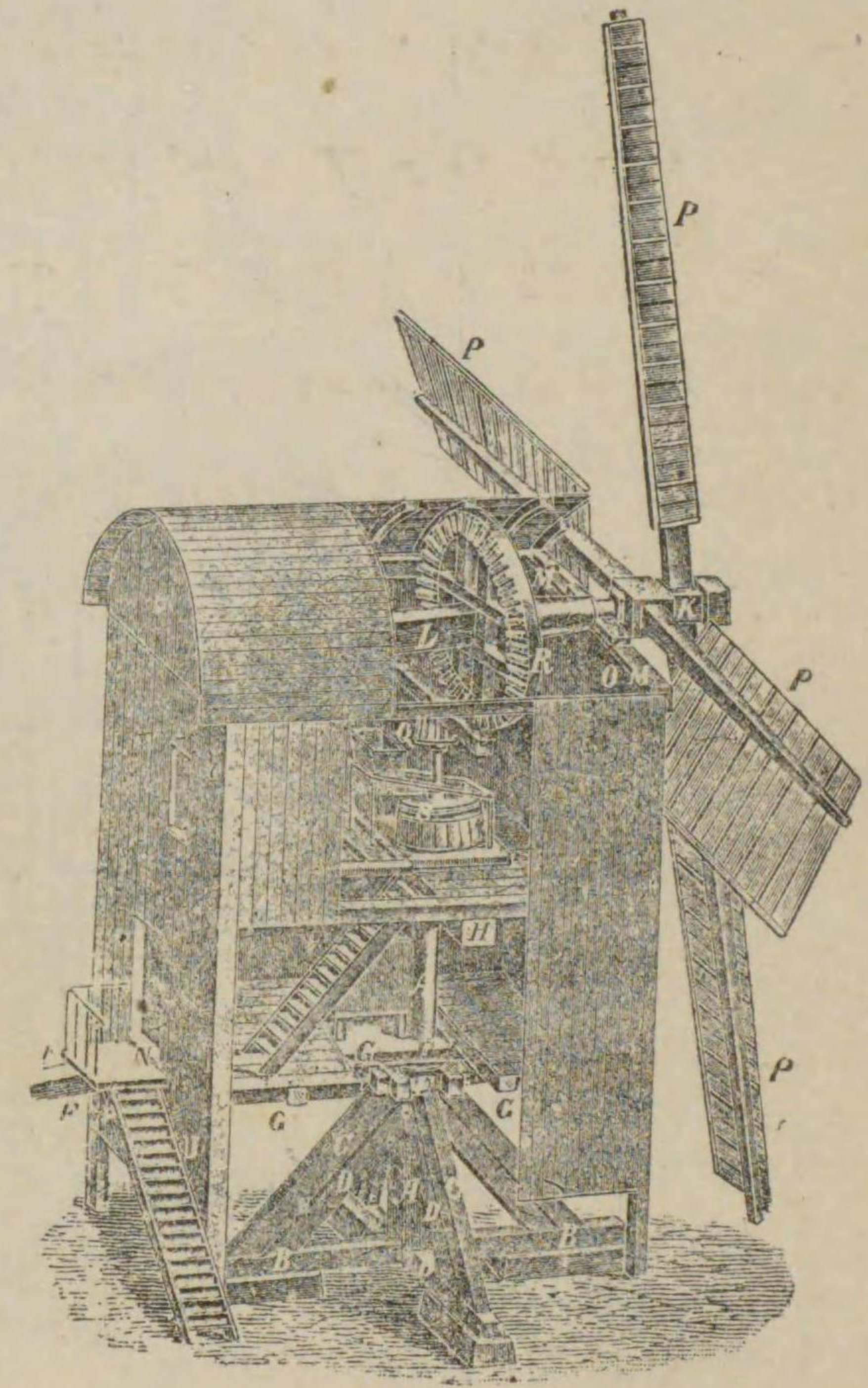
支那及び本邦に於いても風車はしばしば利用せられたが、多くは頗る幼稚なもので歐洲に於ける様な發達は見られなかつた。此に就いては後章少しく述べることであらう。

第二章 舊式風車

歐洲に於いて實用に供せられた風車の最も古い型式は箱型風車 (Post mill 或は Bock Muhlen) と稱す可

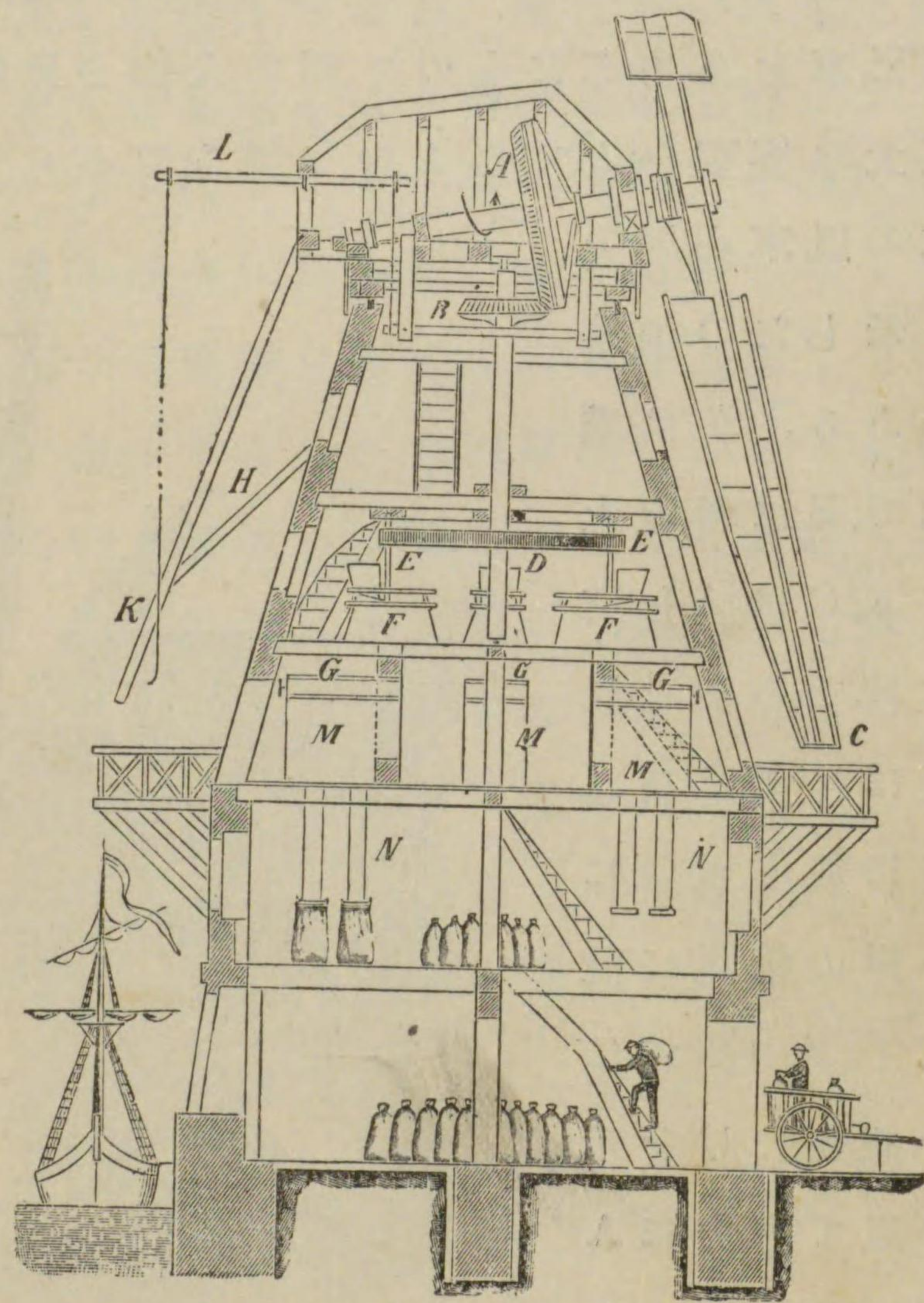
きもので、風車及び其の附屬の機械を一つの小屋に設備し、此の小屋の床の真中を太き垂直支軸にて貫き、全装置を此の支軸の上に保持するのである。垂直支軸は更に周圍から迫り上げられた數本の木材に依り堅固に支へられて居る。風車、小屋共に材料は木材である事は言を俟たない。口繪は廢棄された箱型風車を寫生したもので、側の人物と比較し如何に巨大な容姿をしてゐるか判るであらう。此の型式の風車小屋の

内部を示したのが第二圖である。Aは垂直支軸で、Bは軸の土臺となり、CはAを支ふる木材である。風車小屋は杵E及びAの先端に載り、風向に應じ小屋の後尾に設けた把手F (圖には其の一部分だけを示す) を以て自由にA軸の廻りに旋回させる事が出来る。風車PP



第二圖

より得た動力は齒車R Qの啮合はせに依り磨穀機Sを働らせるのである。作業者は二箇の階段に依り磨穀室に入る事が出来る。此の式は多くドイツに於いて用ひられオランダにも及んで居るがオランダの沼地に置かれたものは把手を一廻はす

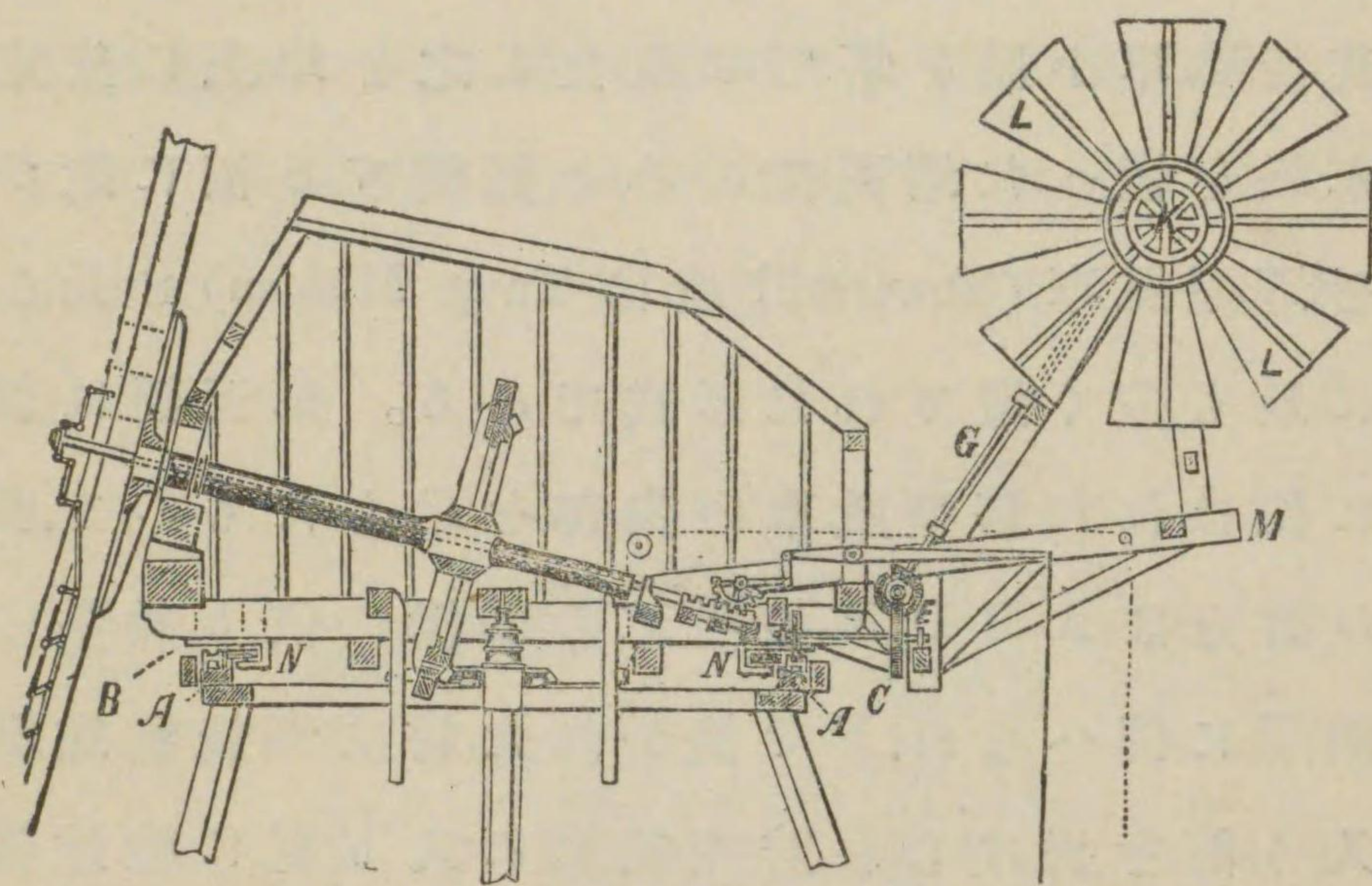


第三圖

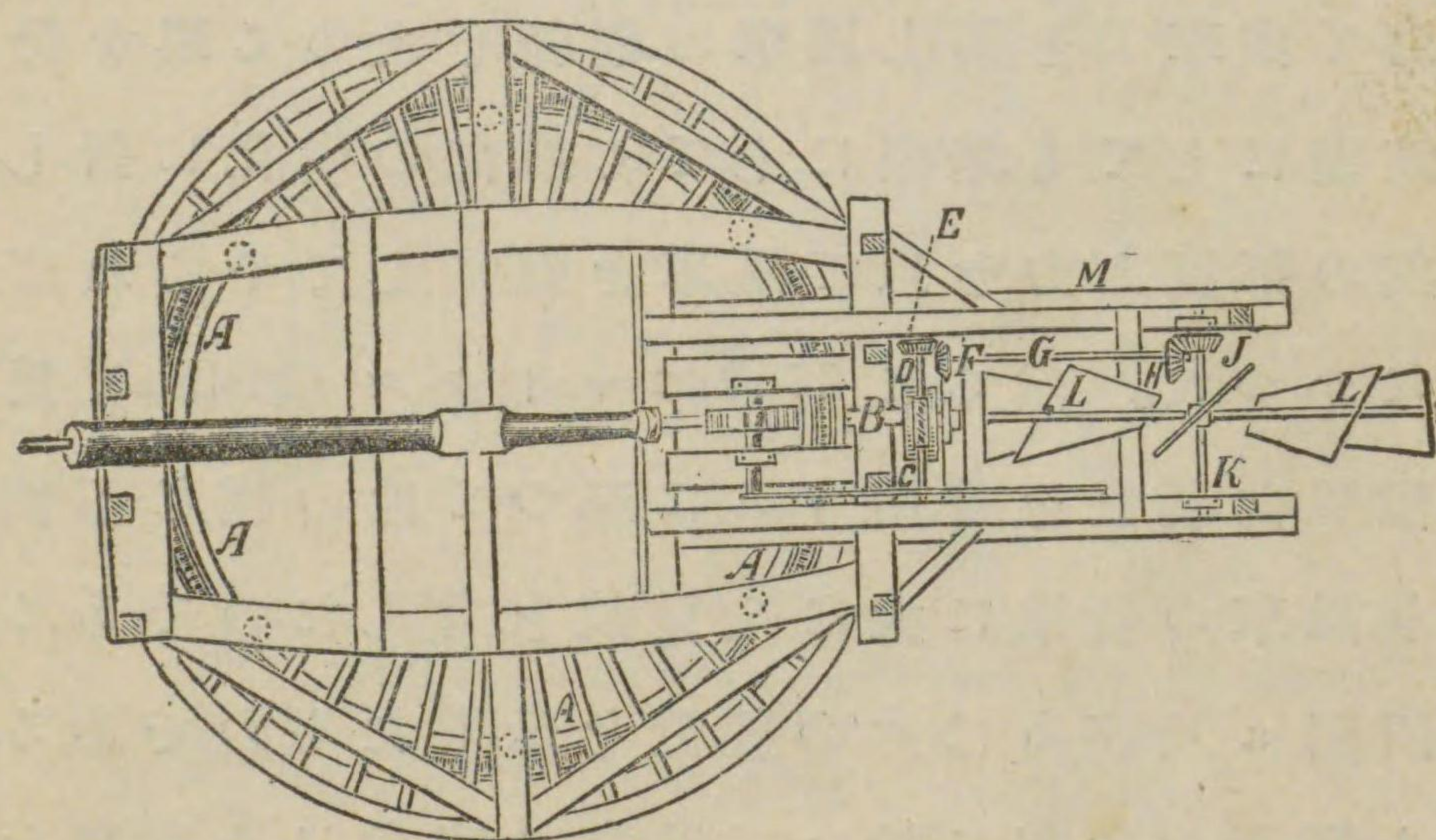
煩を省くために装置全體を船の上に載せ風向に従ひ碇を入れ換へたのであつた。

其後風車小屋を塔形に改良し之を地上に安定し、風車軸を横へた塔蓋部のみを廻轉する様に造つた。此を塔型風車 (Towermill 或は Turm Muhlen) と云ひ、和蘭に最も多く遣された形式である。第三圖は製粉用に使はれた塔型風車の内部を示したもので、風車Cの動力はA B D Eの齒車の聯働に依り數臺の製粉機Fに傳へられ、Fで挽かれた粉は螺旋輸送機Gに入り篩を掛けられ貯藏箱Mに入り更に輸送管を通じて袋に納められ封束せらる。風の方向に従ひ塔蓋部の旋廻は把手Hを以て行はれ、又風車の廻轉を制動し様とする時は引繩Kを引けばレバーLは跳ねて齒車Bを壓し風車の廻轉を止める事を得る。

箱型にしても塔型にしても風向の變化に對しては其の都度人力を以て風車を廻はしてやらねばならなかつた。然るに1750年マイクル (Meikle) 氏が自働風向装置を發明するに至つて此の様な不便を除き風車の發達に大なる貢獻を爲したのである。第四圖 a 及び b は此の装置を示したものである。即ち、塔蓋の後部に於いて風車と直角に小風車を取付け此の風車の廻轉を一段或は數段の齒車聯働に



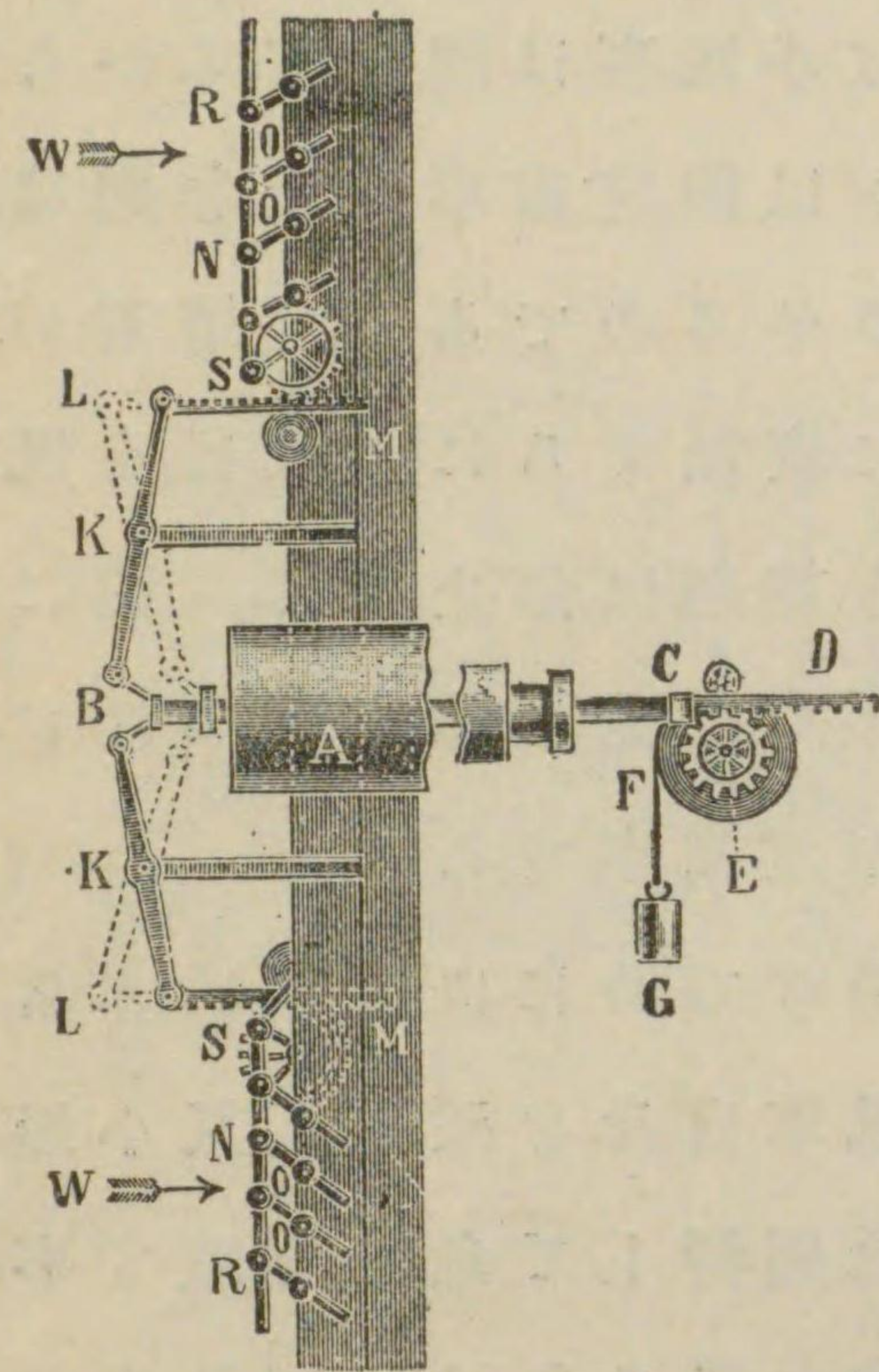
第四圖 (a)



第四圖 (b)

依り塔上に刻まれた固定齒車と噛み合ふピニオンに傳へる。風向が變はれば小風車は廻轉するから塔蓋に設けられたピニオンは固定齒車の上を廻り歩き従つて塔蓋を旋廻させるのである。塔蓋が段々に旋廻し主風車が風に直面するに至れば、小風車の面は風と平行するから旋廻は停止する。圖に於いてLは小風車、J H F E Cは齒車聯働でAはピニオンと噛み合ふ塔上の固定齒車である。

風車に衝る風が強きに過ぎる時には風車は非常に廻轉數を増し其の爲に風車自身を破損し又小屋の中の磨穀機等を徒らに急廻轉して危険を醸す事が多く、作業者は非常な危険を冒さなければならなかつた。其故に安全装置と調速装置とは絶體に必要な装置である。往時は此んな場合には人手を以て風車の向きを換へ同時に制動装置を作用させた。帆布を羽根に使用する様になつてからは風速の大小に依り一人手を以て帆布の張り方を加減して僅に此の目的に沿ふて居たのである。然るに1780年になつてキュビット (Cubit) 氏が羽根車の遠心力を利用し自動調速装置に成功した。此は第五圖に示した様な製置で風車の軸心Aを空虚にし此の中空を通じBCDなる軸を挿入しB端をKLなる桿杆



第五圖

に連ねる。CDとBとの連結はBが廻轉してもCDが廻らない様にしてある。而してD端はEなる齒車と噛み合はしE軸にある小滑車Fには重錘を吊してあるのでBCDは常に左に押されてゐる。風車の羽根は多くの小羽根より成り立ち〇〇の諸點で自在に止められ一端をRNSなる桿に結ぶ。

而してS端はラックLMと噛み合ふピニオンに止められてゐるからBが左に押されて居れば羽根は圖に示す様な位置に置かれるが、風がWの方向から強く衝る時は風車の廻轉速度は増しRNSなる桿は重錘Gの力に逆ひ遠心力にて外側に飛び出すから各小羽根は風向に對し平行の位置を取るに至るから風衝面を減少し従て廻轉を落すのである。第四圖に於いて此と大同小異の装置を附し調速の目的に供してゐる。調速装置としては其後種々な考

案が公にせられたが此は後に述ぶる事にする。

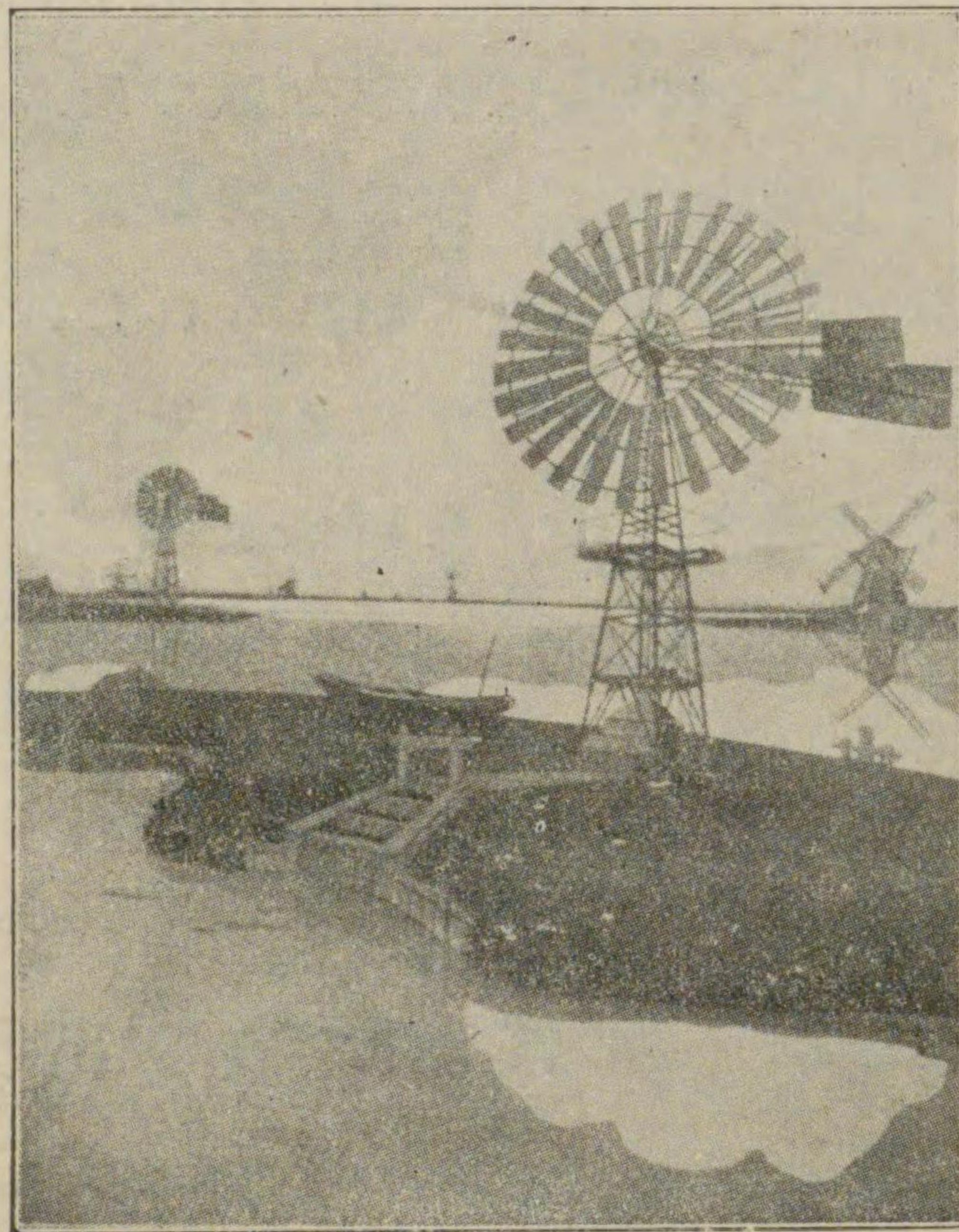
彼様にして風車の重要な機構が漸次發明進歩せられるに従ひ風車も随分大型のものが造られ其の直徑が20メートル乃至30メートルにも及んだものがある。其の多くは羽根の數は4枚で稀に2枚又は6枚等のものが板又は帆布を以て造られてゐた。従つて風車小屋の如きも非常に背の高いもので30メートル位の高さのものも建れられた。材料は木材又は石材で内部は第三圖にある様に數層に分たれ上より下に運行される製粉作業に便し今日行はれて居る製粉工場の先驅を爲したものである。圖に示したものは水邊に立てられたもので製品及び原料などの運搬に便せられてゐる。

第三章 現代式風車の出現

ワットが蒸氣機關を發明し續いて起つた歐洲の産業革命のため不確實な風力を以て農村が其の農業生産品を悠長に加工する事は最早や經濟的に許さなくなり、家内工業が工場作業に移る様になつてからは風力利用は段々に衰微し、又排水作業の如きも新式機關に壓倒される様になつて來たが、近年再び此の貴重なる自然力を有用化する事に注意が

向けられ、往時よりも遙に進歩した型式を以て現代風車が現はれるに至つた。

舊式風車では其の材料は殆ど木材であつたが、新式では之を金屬に變へ重量を輕減し直徑を小さく



第六圖

して羽根の數を多くした。此の考案は米國の初期移住民が何とかして農業動力を得むとして生み出したもので所謂米國式風車の出現となつたのである。此の風車は微風にもよく廻轉し小動力用としては四枚羽根のオランダ式よりも遙に優秀で價格

も安く出来るので一般に廣く用ひられるに至つた。米國殖民省の統計によれば 1910年南米アルゼンチンだけでも 15000 臺の米國式風車を輸入してゐると報せられ如何によく此の風車が行はれてゐるかと判るであらう。

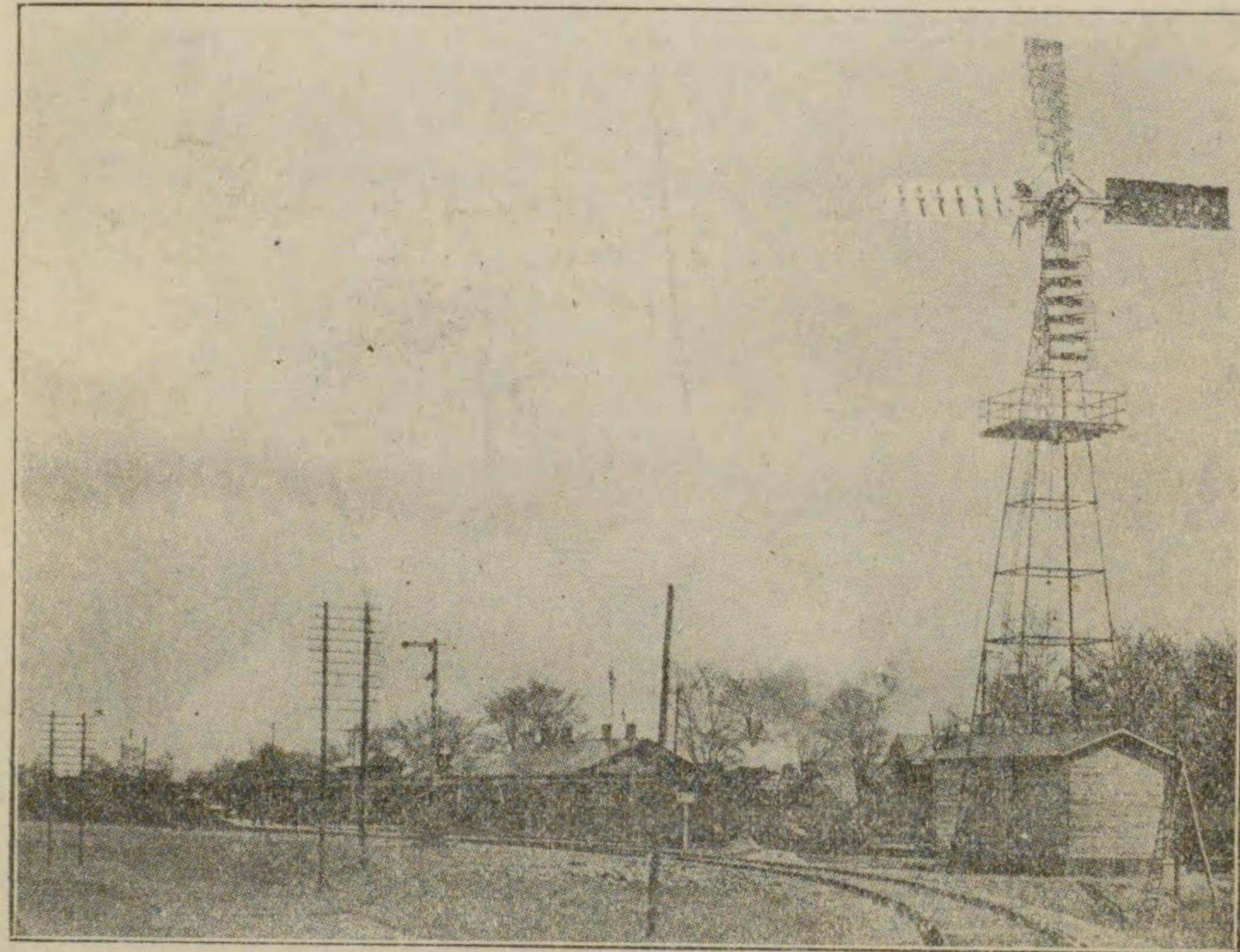
第六圖は此の米國式風車を排水用に使つてゐる光景で遙に見えるのはオランダ式風車である。米國式風車は一方多葉式風車とも云へるが、此の多葉式を改良したものに第七圖に示す様な變つた形のものも現はれてゐる。

四枚羽根の風車は始動状態が重い缺點はあるが、多葉式よりも能率がよいと云ふ特長があ



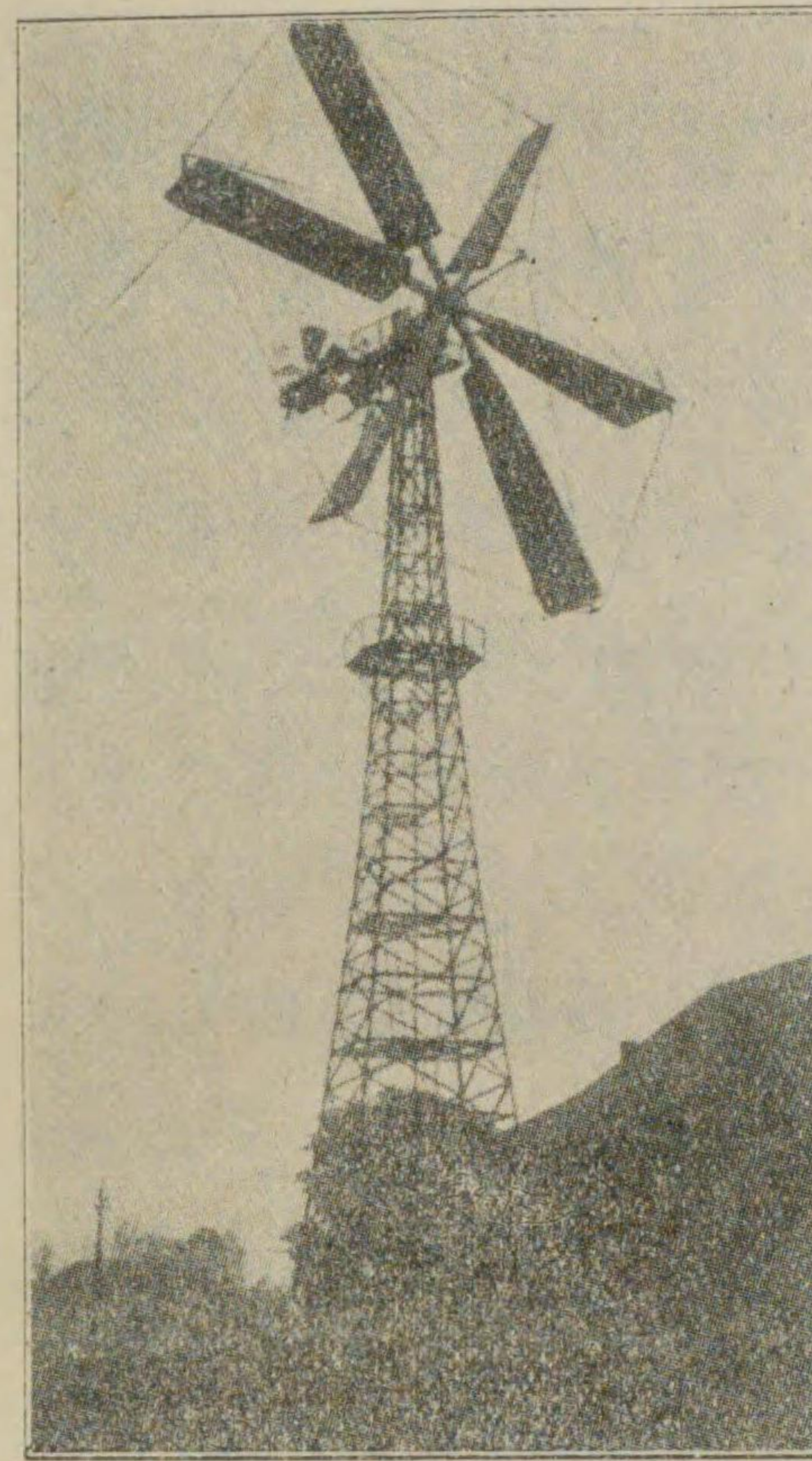
第七圖

るので歐洲方面では昔の型を改良して相變らず此を使つて居る。此の新らしい四枚羽根の風車をドイツ式と云ひ第八圖に示す様に羽根は鎧板の如き小羽根から組立てられ風速に應じ此の小羽根が位置を變へ調速作用を行ふ様にされてゐる。風車塔は今では殆んど鐵塔になつた。



第八圖

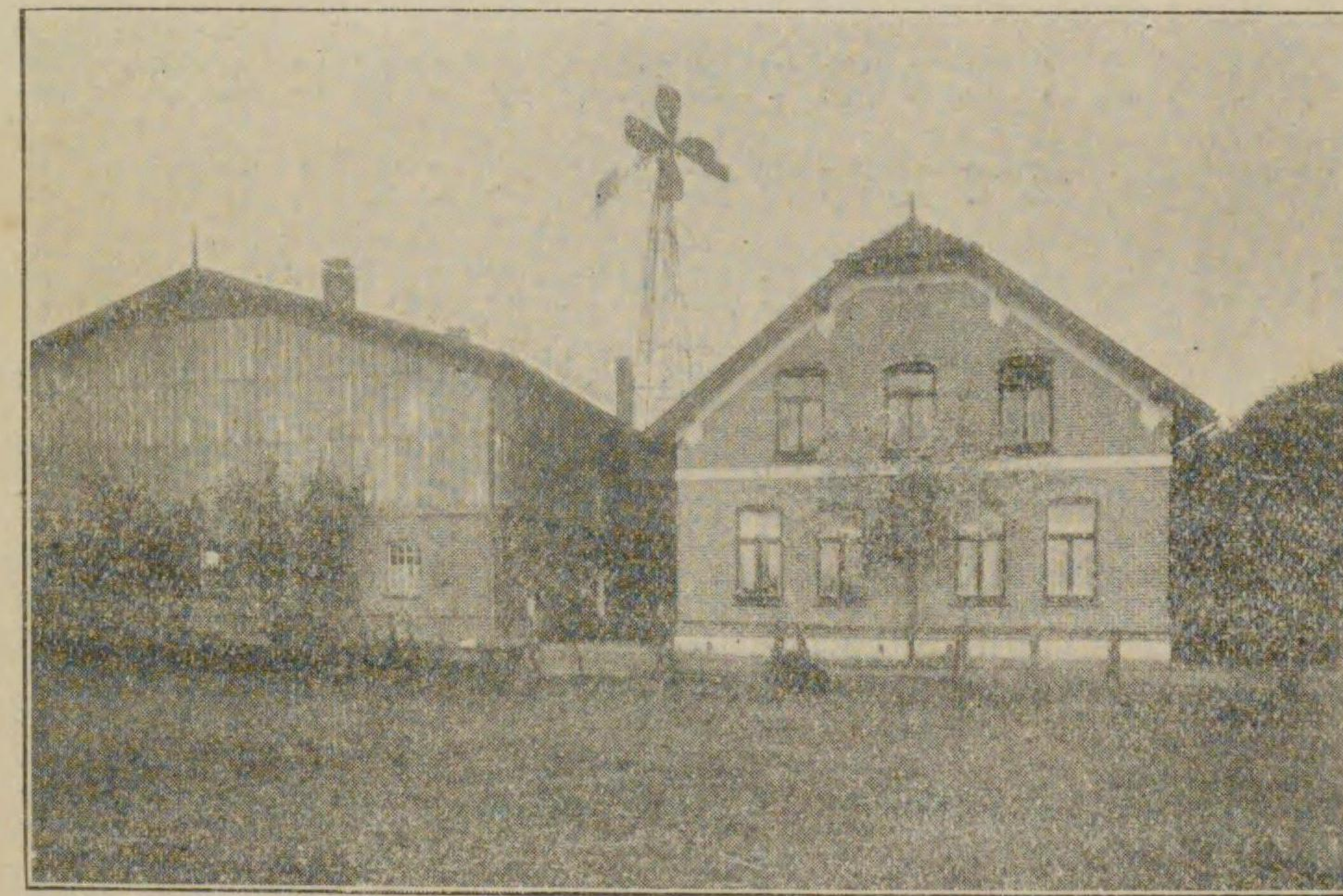
第八圖に示したのはスウェーデン國有鐵道エルテフタ (Oertöfta) 停車場に設備したもので、羽根面積20平方メートル、塔の高さ20メートルで50箇の白熱電燈及び5箇の弧光燈を點する發電機と揚水用渦巻ポンプを運轉させて居るものである。



第九圖

近時流體力學の研究が進み、此を應用した特殊な羽根形の風車が造られる様になつた。第九圖及び第十圖が即ち此等で今迄板で造られた羽根を最も有効に風を利用し得られる様な厚みを持つた流線形の羽根としたものである。

彼様に風車の羽根車の改良が進歩したと同時に、



第十圖

此の不確實で間渴的な風力を均一した力を以て連続的に利用する方法も段々に講せられ、特に風力発電装置の進歩と共に今日では風力利用は決して觀過する事の出来ない有用な動力となりつゝあるのであつて嘗つて利用せられた排水、灌漑、磨穀作業から進んでは発電用として廣く應用される氣運に向つて居る。

第四章 本邦に於ける風車の應用と其將來

東洋諸國では風車の利用は餘り發達しなかつたが、本邦では遠州地方に於いて竹桿を骨とし此に藁莖を張つた粗末な風車を以て米搗を行つてゐるのは今でもよく見る處で、暴風のある毎に此等の風車は破壊せられて其都度作り換へてゐる有様である。第十一圖は此の幼稚な風車である。又信州諏訪湖畔湖南村地方の水田中には昔から木製の風車が點々と建てられ、風のまにまに廻はつてゐるのは一寸珍しい景色であるが、此は水田中から有機體を溶解した肥料に富むだ水を汲み出して此を灌漑してゐるのであつて、本邦に於ける風車の應用としては珍しい利用法である。第十二圖は此の有様を示

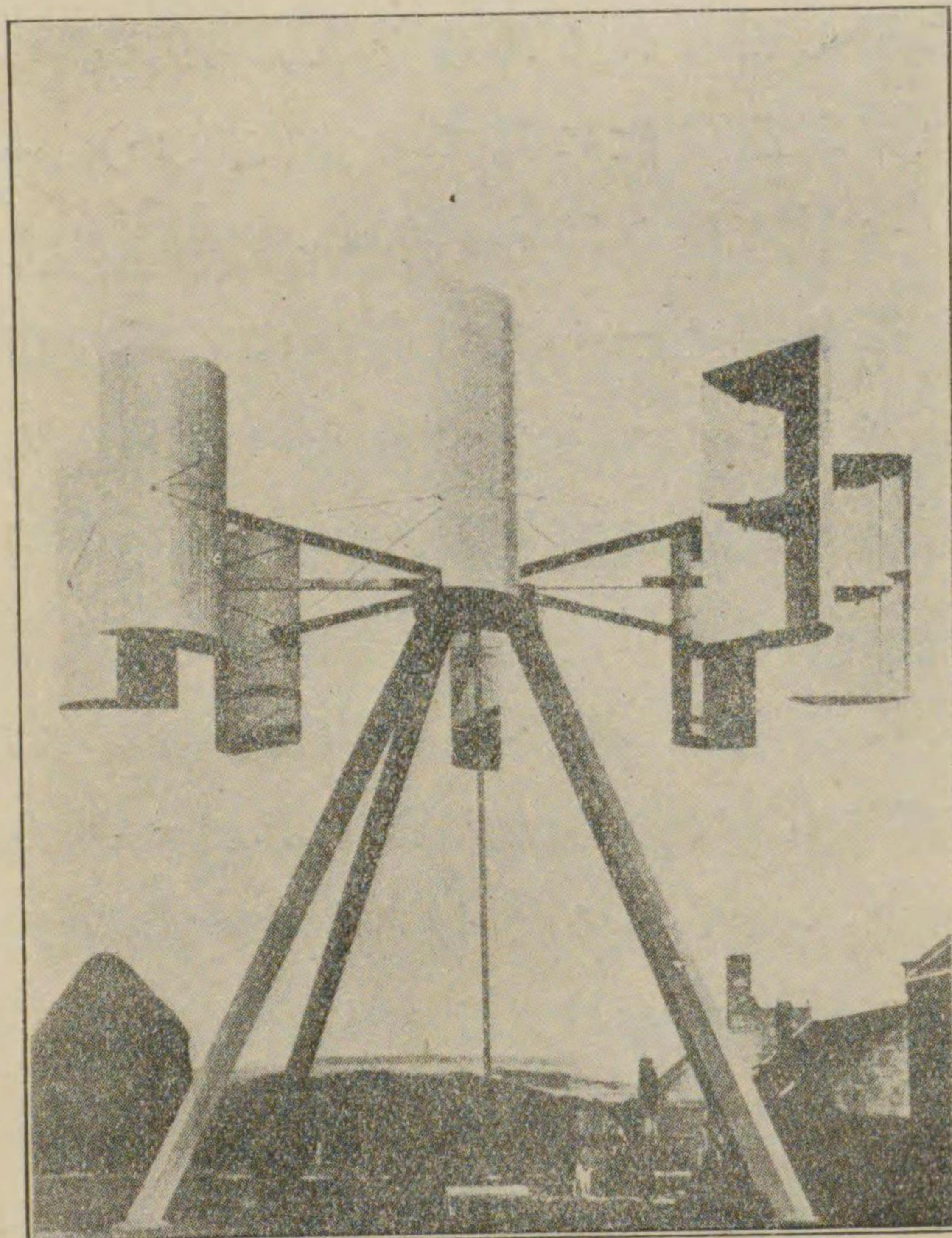
であるから、風力の如き多少不規則な動力を用ふる事は左程不便ではない。又小規模の電燈設備も蓄電器を用ふれば容易に實現し得られ、貯水池に向ひ揚水作業を行ふ如きは最も有利な風力應用法である。彼様な小單位の動力も集積すれば少なからざる額に達するものであるから、此の種の仕事を風力に俟つ事は莫大な利益になるであらう。

試に本邦に於ける風速表より判斷して秒速5メートルの風を利用し得られる地積を我邦全面積の1/4と假定し（實際此の位に見ても差支ない）一臺の風車が占むべき地積を $300m \times 300m = 0.09km^2$ とし一臺の風車の直徑を20メートルに取れば、本邦の面積は約678,700平方キロメートルであるから風車の總臺數約180萬臺、一臺の出力風速5メートルの時16馬力を出し得るから總出力は約3,000萬馬力となり、水力の600萬馬力に比し捨てられたる動力の如何に莫大なるかが判るであらう。故にたとへ風力が不確實で利用上不便であるとしても、此の様な天惠の自然力を徒に看過する事は出来ないであらう。風力の一大缺點とされた長短様々な間渴的吹來も發電装置の改良に依り大いに其の不便を輕減し得られる様になつたから、此の装置を安價に製作し得

られる様になれば、將來風力発電所は農村組合用或は自家用として好んで用ひられるは勿論、大規模の発電所としても風力の利用は益々改良進歩せられなければならない。

第五章 特殊型風車

普通實用に供せられて居る風車は其の軸が殆んど水平に置かれてゐるが、車軸を垂直に取つたもの



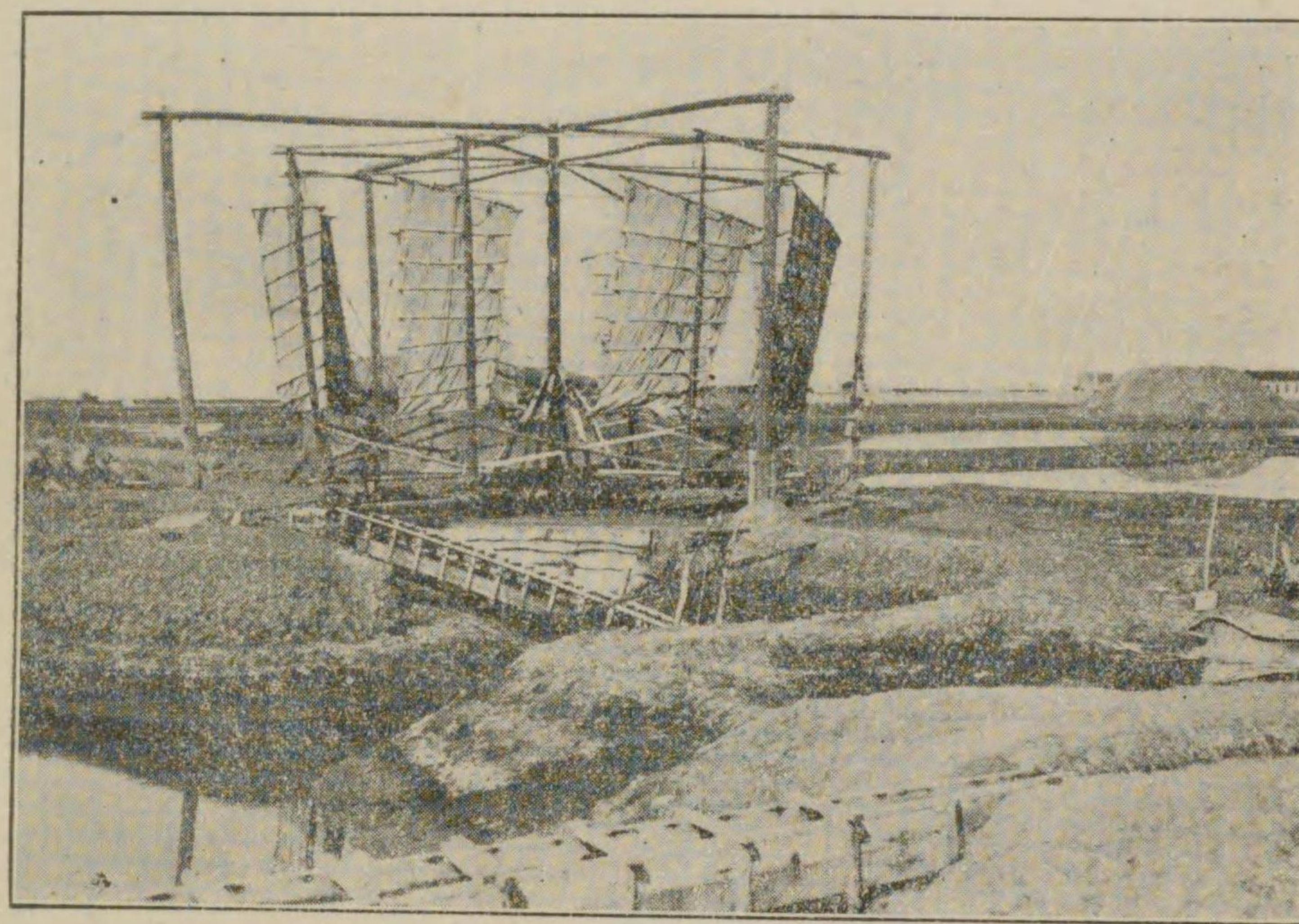
第十三圖

もある。前車を水平軸風車、後者を堅軸風車と云ふ。

第十三圖はブリース (Blyth) 氏が造れるもので、風承箱は半圓壘形で高さ10フィート巾6フィートで總數8

箇を有し風車全體の直徑は26フィートあると云ふ。

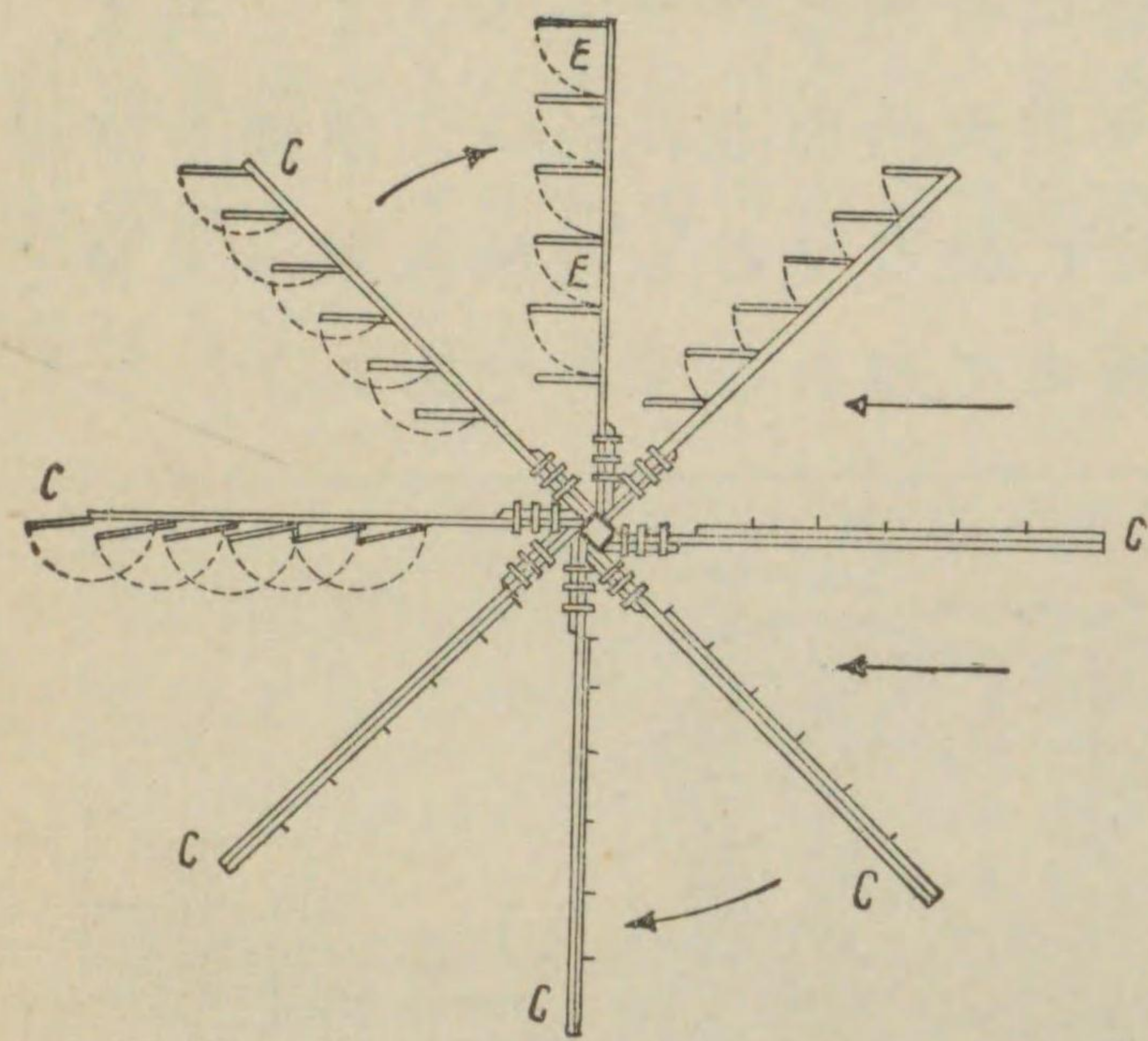
又第十四圖は支那大沽地方に於いて灌漑や鹽田の海水の汲み上げに使つてゐる堅軸風車で、木材と葦とで作られた極めて粗末なものである。



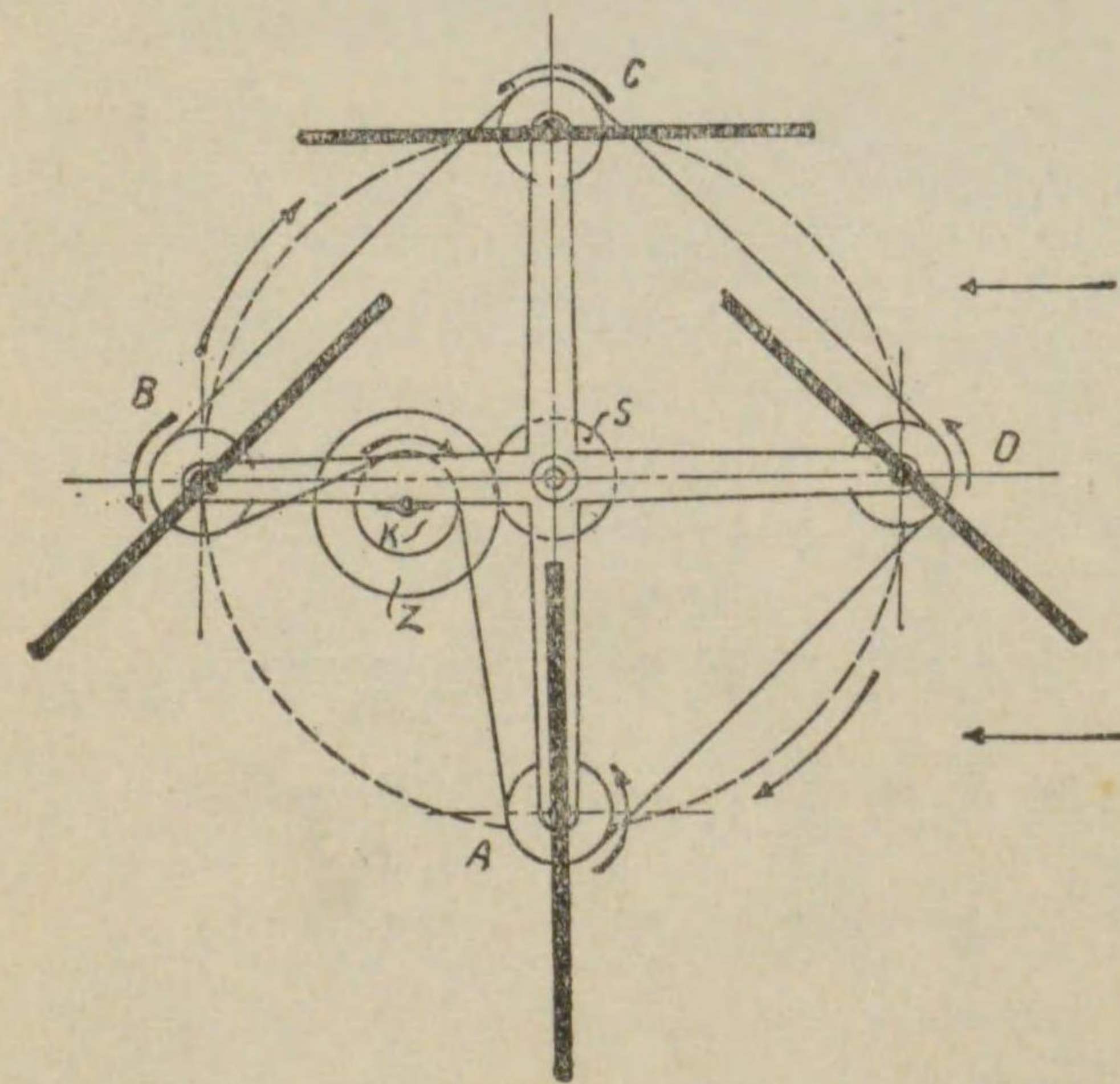
第十四圖

第十五圖は何枚かの板を蝶番で車のスポークに止め、風車が廻轉するに従ひ風を受ける可き位置にある羽根板は閉ぢ、風の方向に逆行の位置にある羽根板は開いて抵抗を少くする様に工夫されたものである。

又第十六圖に掲げたのは4本の腕木に4枚の羽根板の中心を置き、此の中心に車A, B, C, D, を附し一方風車の軸に固定した齒車Sと噛み合ふ齒車Z



第十五圖

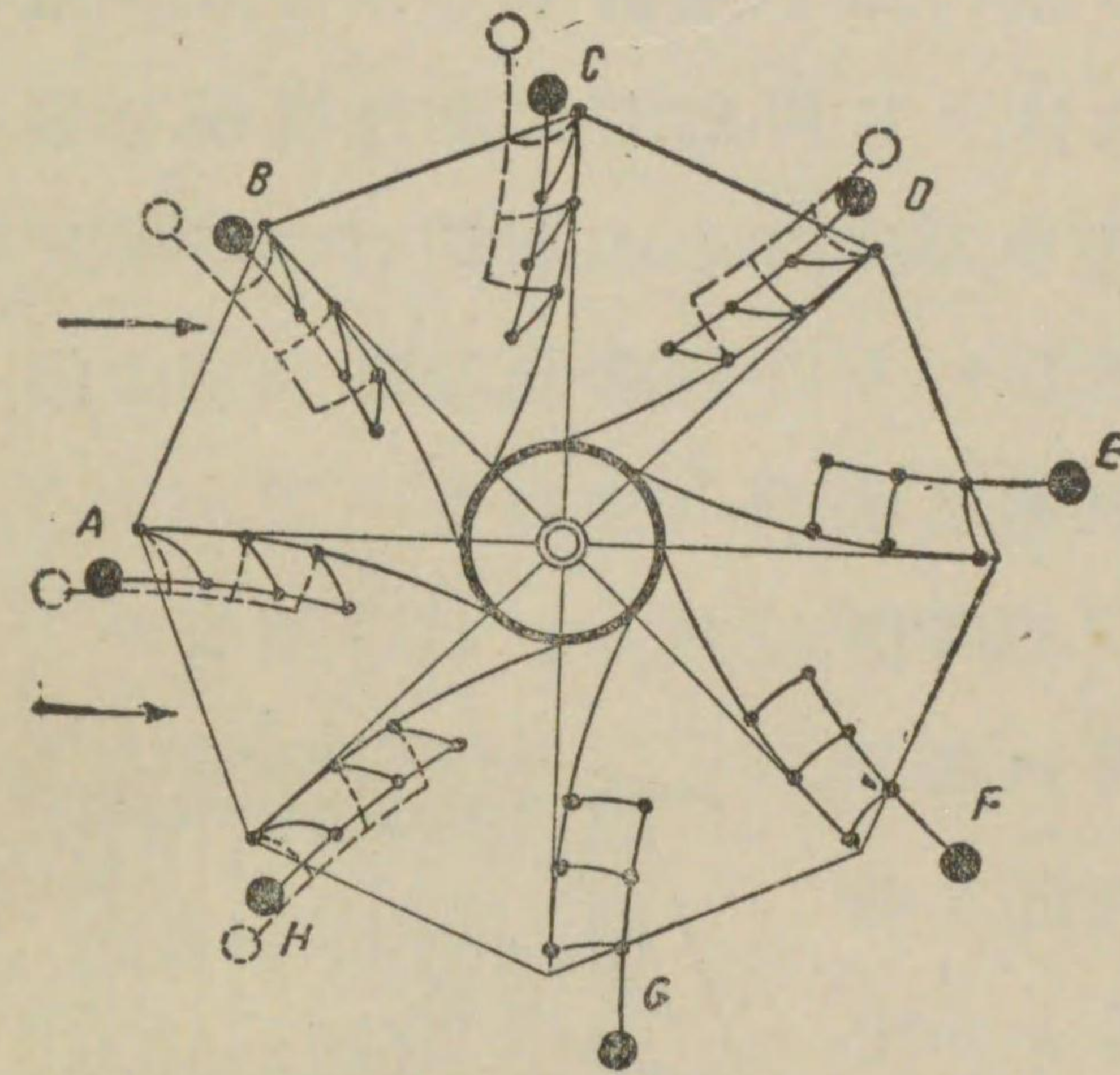


第十六圖

を腕木の一つに設ける。KはZと軸を同ふする車で、A、K、B、D、は一本のロープを掛けられて居る。風車の一廻轉に對し羽根板も同じく一自轉する様にされてゐるから、風力を受ける面は風向に直面し、風力に逆行の面は風と平行し、其の中途にある面は兩者の中間角度を取り

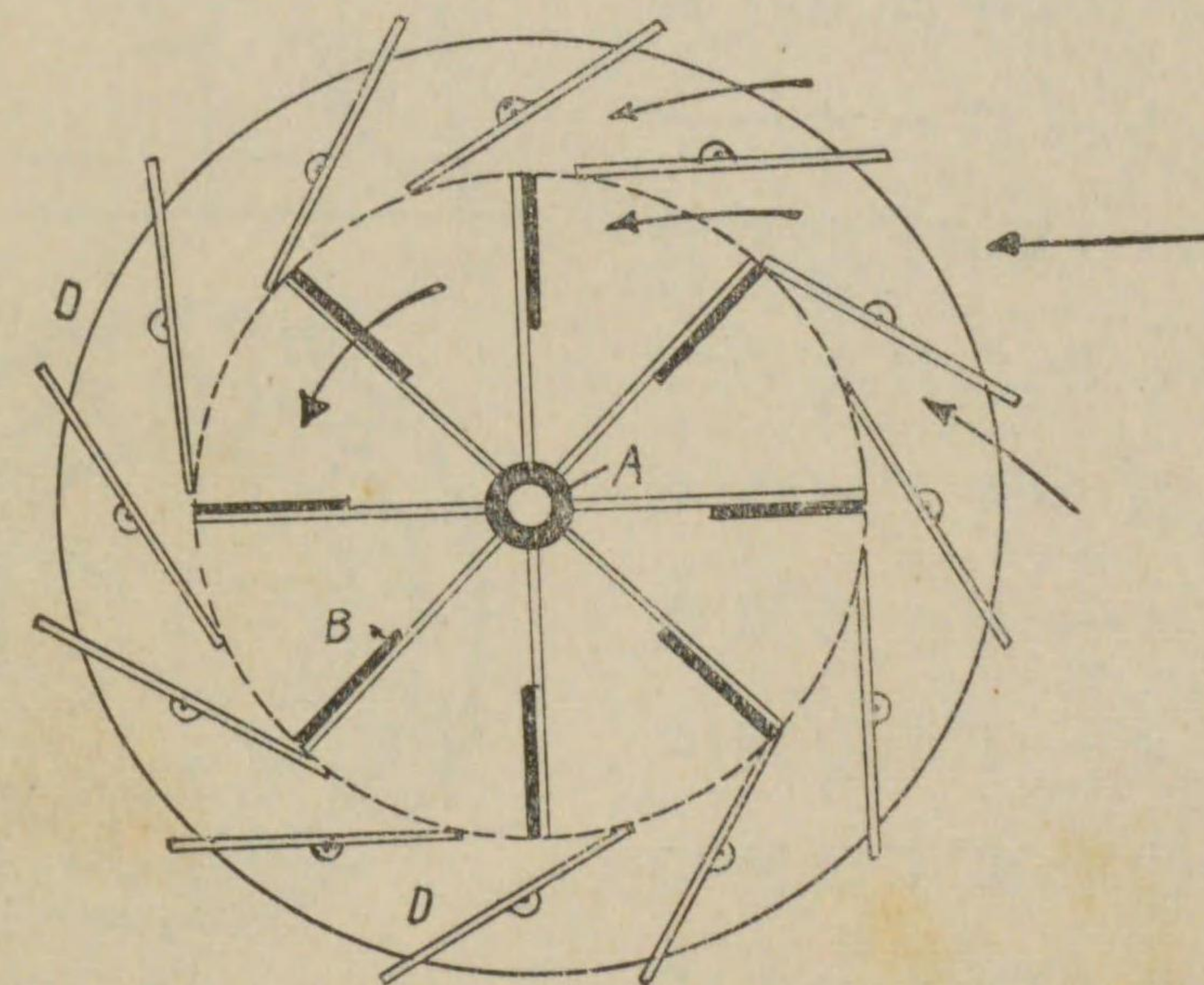
風に對し成る可く有効に、又抵抗少なき様に工夫されたものである。然し羽根自身が廻轉しつゝ自轉

するのであるから、其の空氣抵抗が大で到底實用にはなり難い。



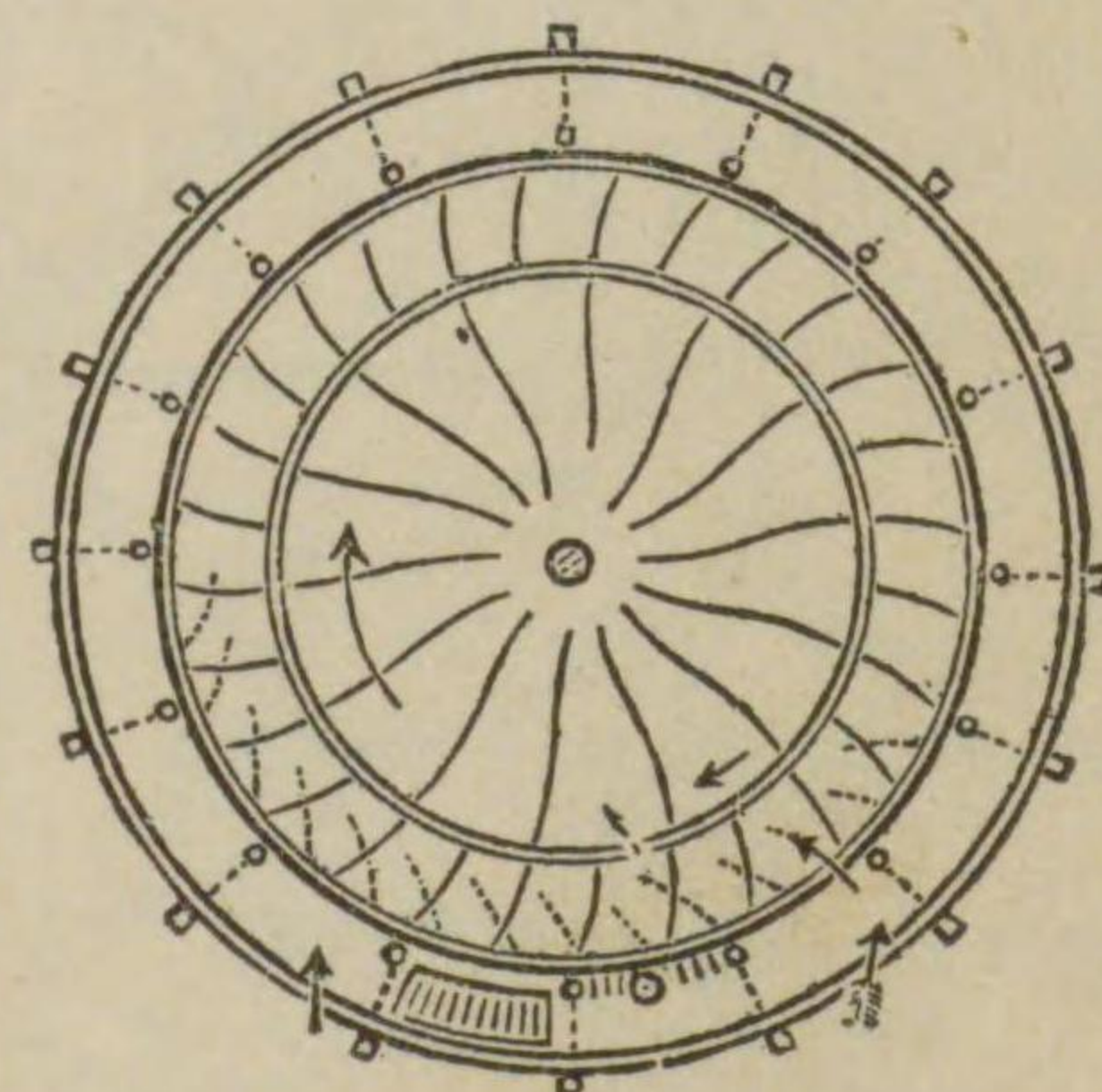
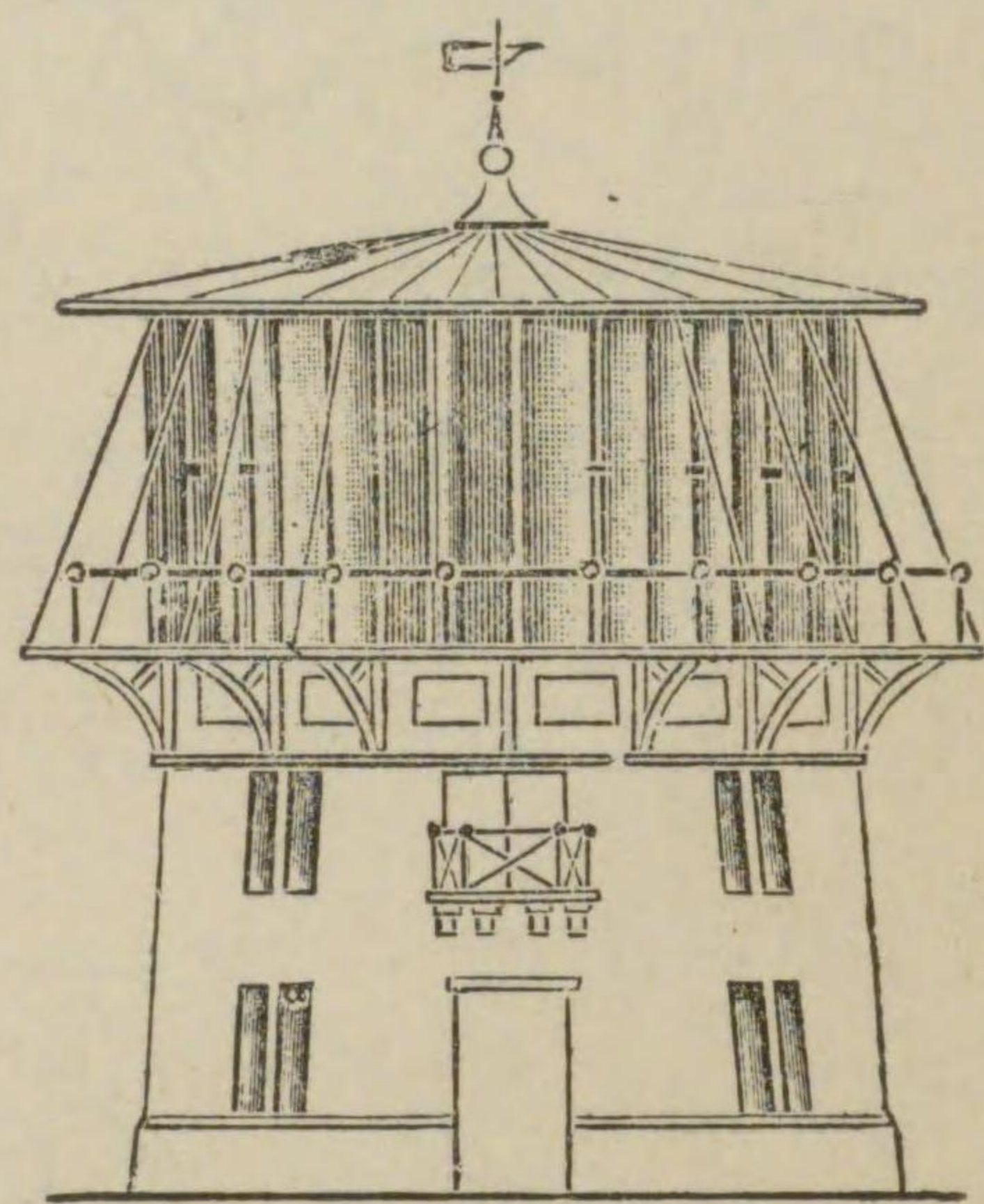
第十七圖

第十七圖は軸を水平に横へ、八角塼の各頂點から羽根を覗かせる。羽根の端には重錘を附してあるから角塼の下方には羽根が出張つて



第十八圖(a)

風を受けるが、角濤の上部は反對に重錘のために羽根は角濤内に隠れ、風に對する抵抗を少くする。此も實用にはならない。第十八圖 (a) は風車羽根には改良を加へぬ代りに固定した案内羽根を備へ風を風車羽根に導き入れ成る可く多くの羽根に風が直角に衝る様にしたもので、第十八圖 (b) は此を實用化したもので、風車は丁度水力タービンと同様な考へを以て案内羽根も風車羽根も共に適當な曲面をなし、風は外周より中心に向て流れ、中央に於いて軸方向に流れ去る。圖に示したものはハノーバーのウルフ (Wolf) 氏が六十餘年前に作つたもので、風車の直徑 5.84 メートル、高さ 3.60 メートルで、風速毎秒 7.3 メートルの時 5 乃至 6 馬力を出す設計であつた。此れをウルフ式又はフランス式風車と云



第十八圖 (b)

ふ。この式では調速作用は案内羽根の開閉に依り容易に目的を達する事が出来るが、案内羽根を通る間に風は餘程勢力を殺されるから、強風でなければ此の風車は使はれない。

一般に豎軸風車は水平軸風車に比し風車面積に對する風衝有効面積が小さいと云ふ事が非常な短所で、此が爲に建設並に取扱上便利な點があるに拘はらず實用に供せられない所以で、僅に最後のウルフ式風車が強風の地方に利用し得られるのみである。

第二編 風車の理論

第六章 風速と風圧

總べて速度を有する物體が他の物體に衝突して其の速度の大いさ或は其の方向を變ずれば其處に運動量の變化を來す。ニュートンの第三法則の教ふる所に従へば此の運動量の變化は即ち力であつて此を他に及ぼすに至るのである。風が此に直面する板に壓力を及ぼすのは此の運動量の變化に依る力のためであつて、吾々は此の力の單位面積に及ぼす大いさを稱して風壓と稱する。

今風の速度を毎秒 V メートル、

空氣 1 立方メートルの重量を γ キログラム、
(標準状態に於いて $\gamma=1.293$ キログラム)

重力の加速度を g メートル(9.80 メール毎秒毎秒)

平板の面積を S 平方メートルとすれば

1 秒間に平板に吹き衝る風の量 Q は、

$$Q=VS$$

運動量の變化即ち力 F は

$$F=\frac{\gamma}{g} QV=\frac{\gamma}{g} V^2 S$$

故に風壓 p は

$$p=\frac{F}{S}=\frac{\gamma}{g} V^2=\rho V^2$$

即ち風壓は風速の自乗に正比例する。然し乍ら上式の關係は風の速度が生じ得る理論的壓力で實際平板に衝る風壓を測定して見ると上式の様な關係では表はれずして、次の様な關係を示す。即ち

$$p=K\frac{\gamma}{g} V^2 \quad \text{或は} \quad p=K'V^2$$

茲に K, K' は平面の精粗形状等に依つて異なる實驗値で次の様な値を有して居る。

エィフェル (G. Eiffel) 氏が實驗した結果に依れば、

圓板	$K'=0.071$
正方形	$=0.0716$
矩形 (0.50m × 0.25m)	$=0.0732$
矩形 (0.177m × 0.707m)	$=0.0744$

又フランク (Frank) 氏の實驗に依れば

圓板	$K'=0.0691$
正方形	$=0.0727$
矩形 (0.30m × 0.15m)	$=0.082$

此の様な結果を示すのは平板の後方に氣流の渦巻を生じ、其の渦流の影響を受けて理論的の壓力

よりも却つて大きい値を示してゐるのである。

次に風の有する勢力は力學の教ふる所に依り

$$P' = \frac{\gamma}{2g} V^2 \text{ m.kg/sec}$$

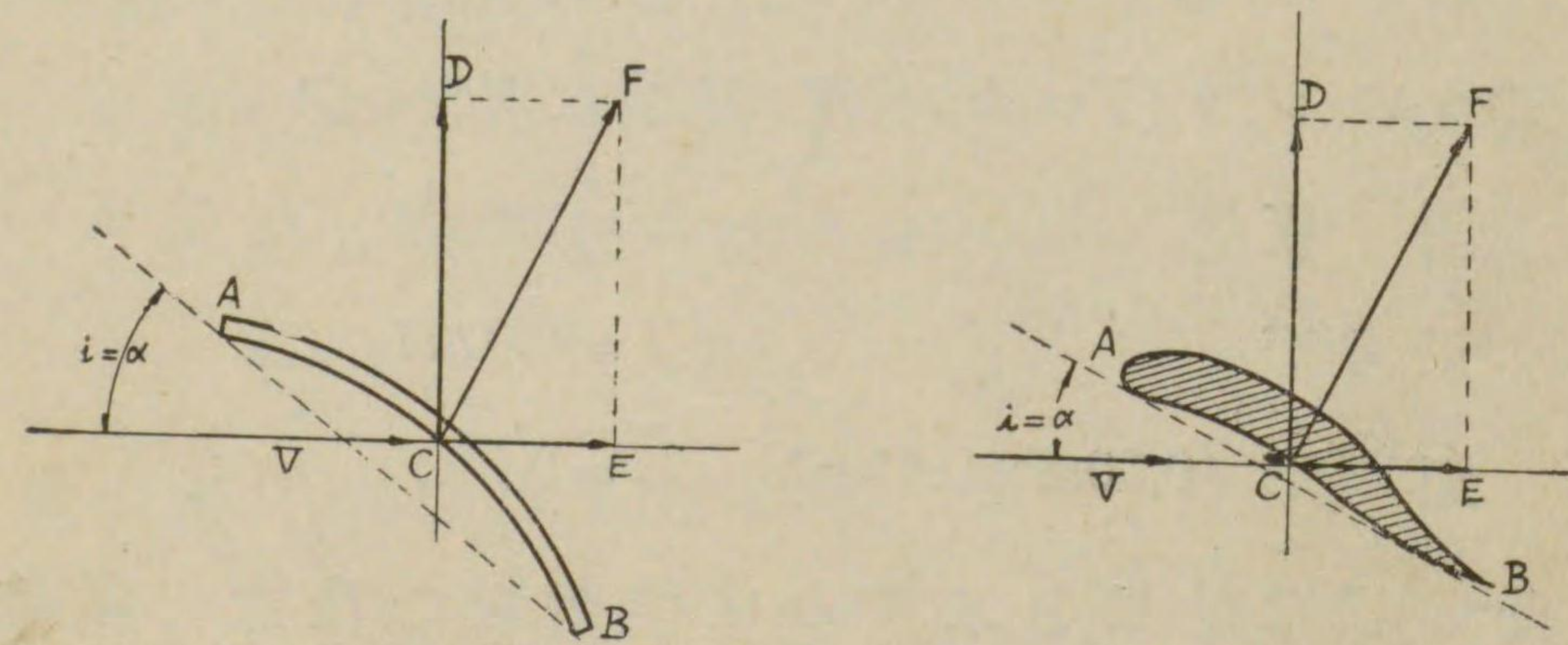
此れは單位立積の空氣の有する勢力である。故に切斷面積 S を通過する速度 V なる空氣の勢力は

$$P = \frac{\gamma}{2g} S V^3 \text{ m.kg/sec}$$

即ち風の有する勢力は風速の3乗に比例するのである。

第七章 揚力及び抗力

第十九圖に示す様に風の流に對し平面、曲面或は厚みをもつた面を傾斜させて置けば風壓の一部分は其の面を風の流に直角の方向に押し揚げんとし



第十九圖

又他の一部分は其の面を風の方向へ運び去らんとする力を生ず。吾々は前者を揚力、後者を抗力と呼ぶ。圖に於いて AB は曲面 CD は揚力、 CE は抗力 CF は其の合力である。彼様に揚力及び抗力を生じ得る膨みをもつた切斷面を吾々は特にエーロフォイル (Aerofoil) と呼んでゐる。然し平面でも曲面でも特殊な場合に於けるエーロフォイルと見てもよろしい。

扱て揚力、抗力及び其の合力は風壓に起因して起るもので、従つて風速の自乗に比例する。普通次の様に置く。

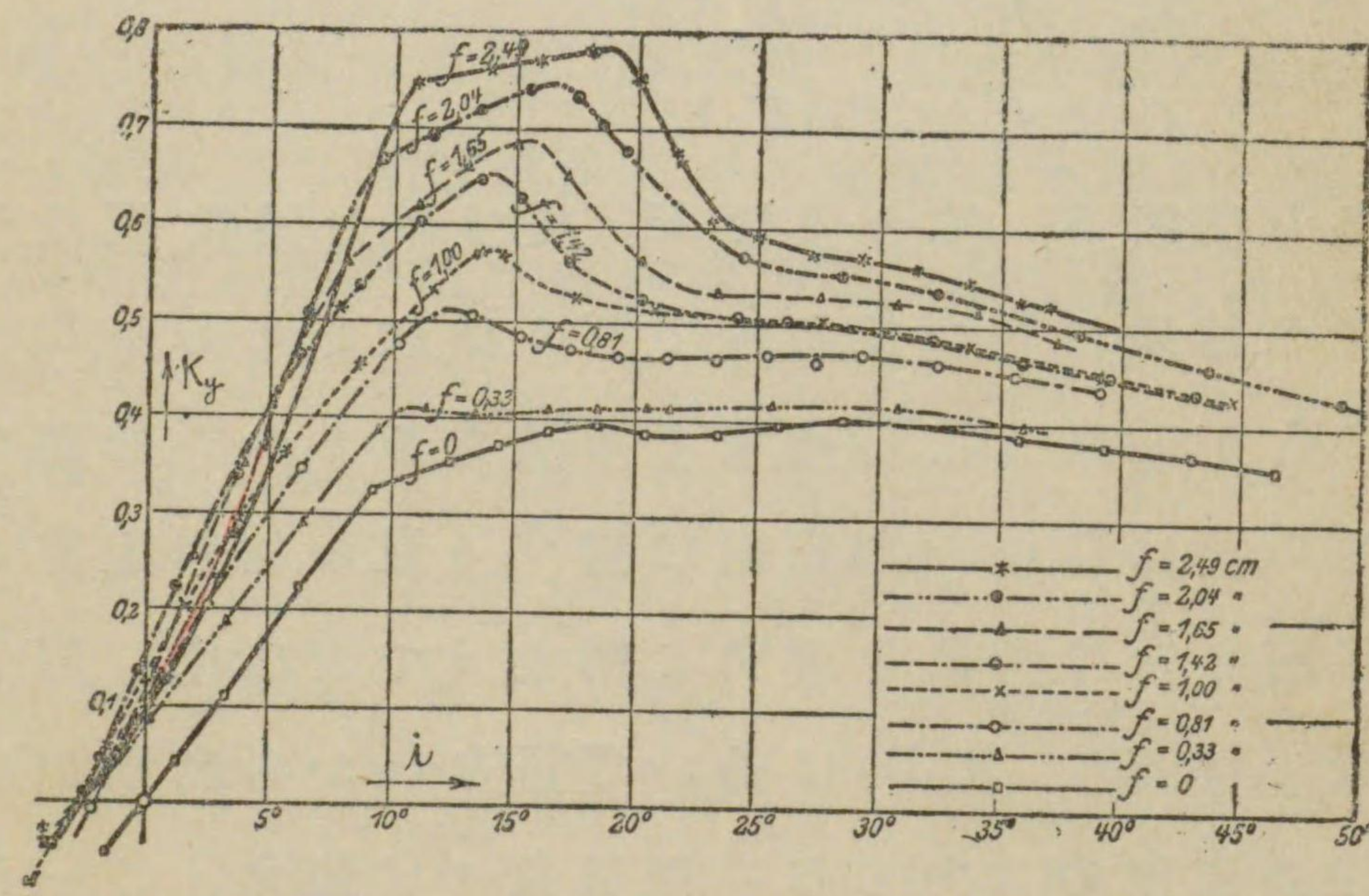
$$\text{揚力 } CD = K_y V^2$$

$$\text{抗力 } CE = K_x V^2$$

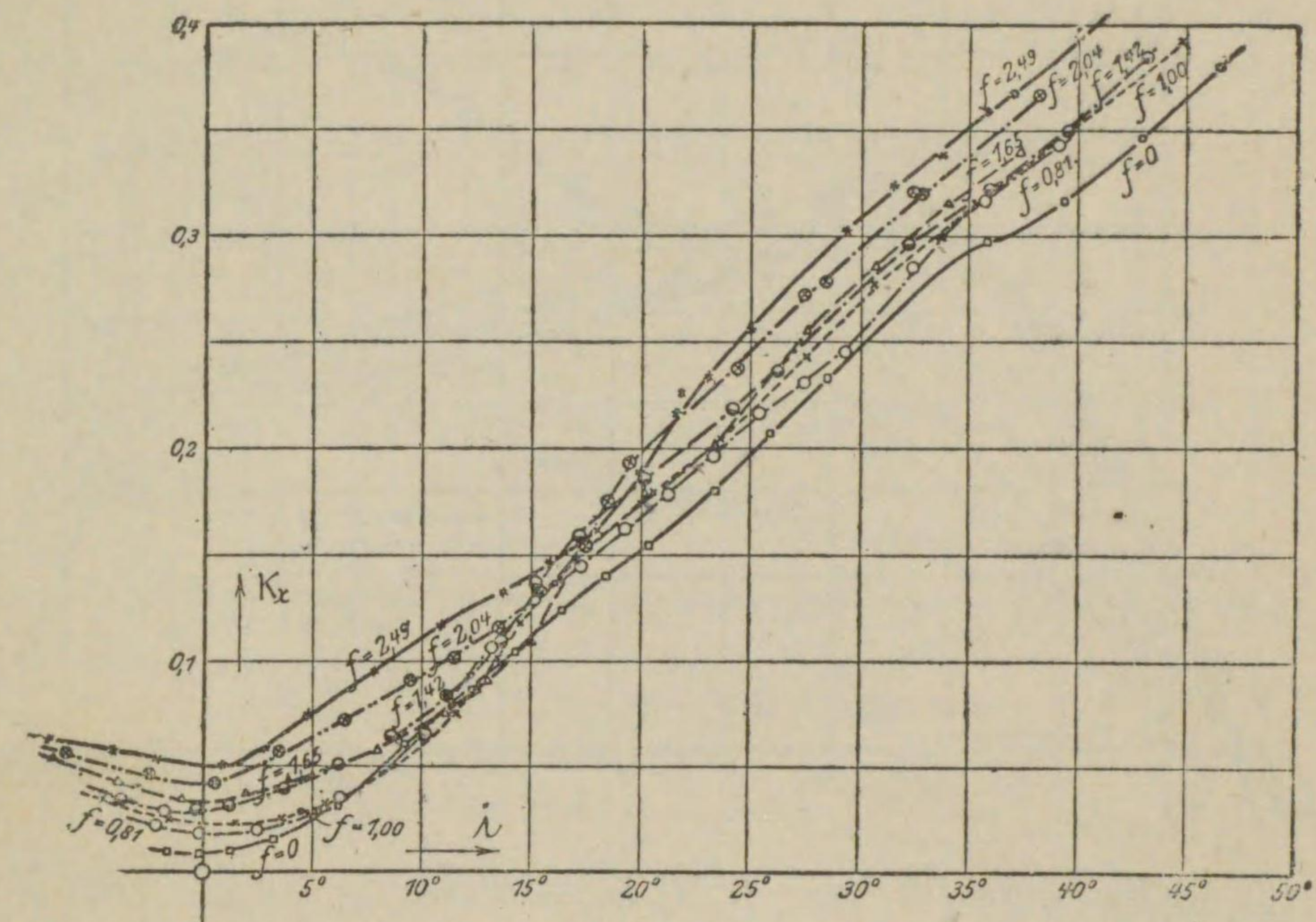
$$\text{合力 } CF = K_i V^2$$

揚力係數 K_y 、抗力係數 K_x 、及び合力係數 K_i は皆實驗の結果に俟つて初めて判る係數であるが、 K_i は K_y 、 K_x が知れば自然定まる數であるから殊更に實驗の要はない。羽根面に對する風の相對速度と羽根面となす角度を迎角と稱し i で表はす。第十九圖では羽根 AB は動いて居ないから羽根が風の絶對速度の方向となす傾斜角 α は迎角 i と一致して居る。此の迎角 i に依り K_y 及び K_x なる係數は

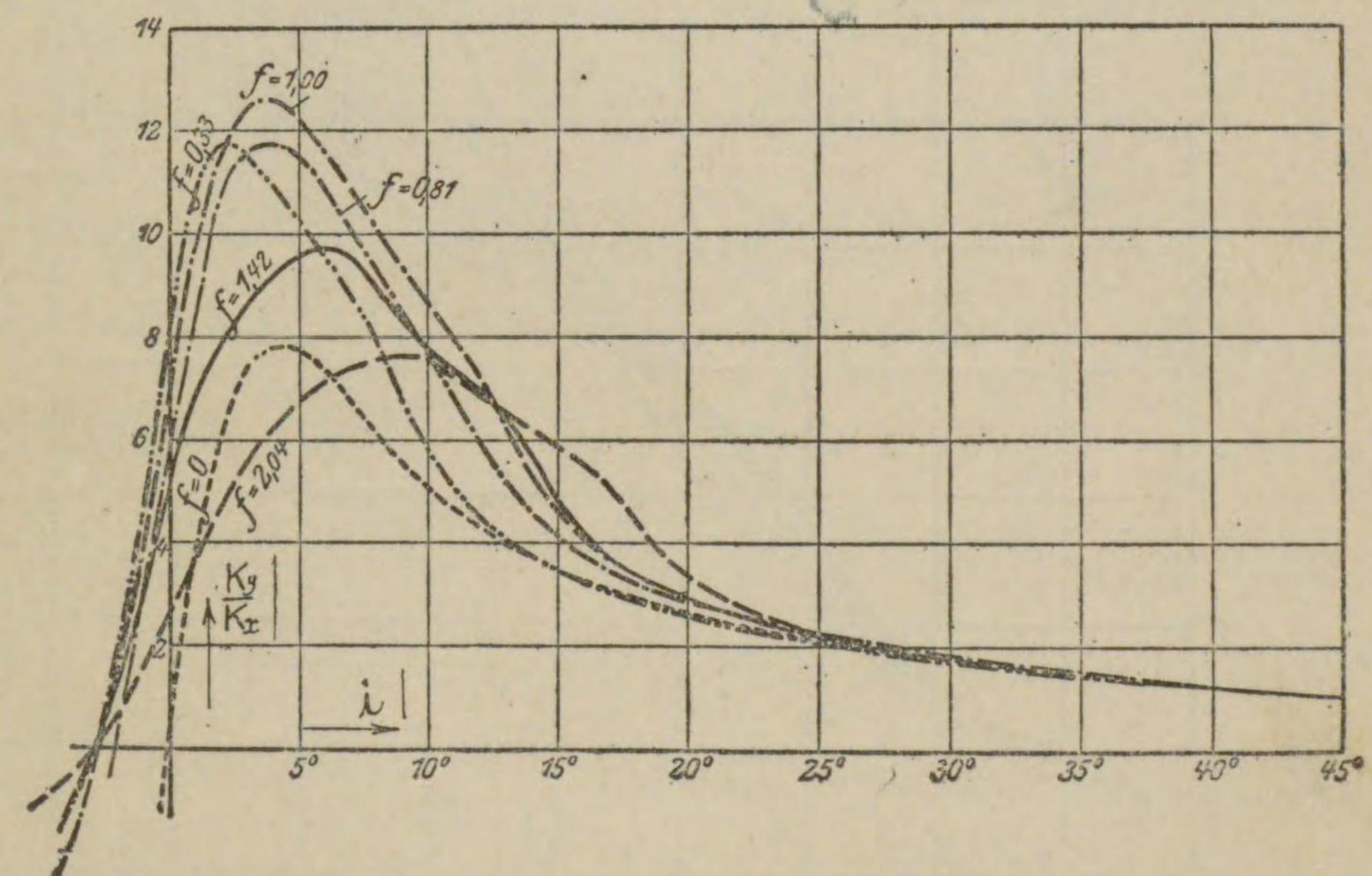
最もよく影響せられ、又面の曲り方、或はエーロフョイルの形状、幅と長さとの比、即ちアスペクトレシヨ—其の他面の精粗等に依り變化するから一々實驗の上定めなければならない。第十九圖乃至第二十圖に擧げたものはフェップル(O.Föppl)氏の實驗になる薄板に關する揚力係數 K_y 、抗力係數 K_x の實驗値及び其の比を圖解したもので、薄板の反曲率 f (但 $f = \frac{t}{s}$) を種々に換へたるものと反曲率を一定にしてアスペクトレシヨ—を種々に換へたるものとに就き迎角 i の變化に供ふ K_y 及び K_x の値を示したものである。



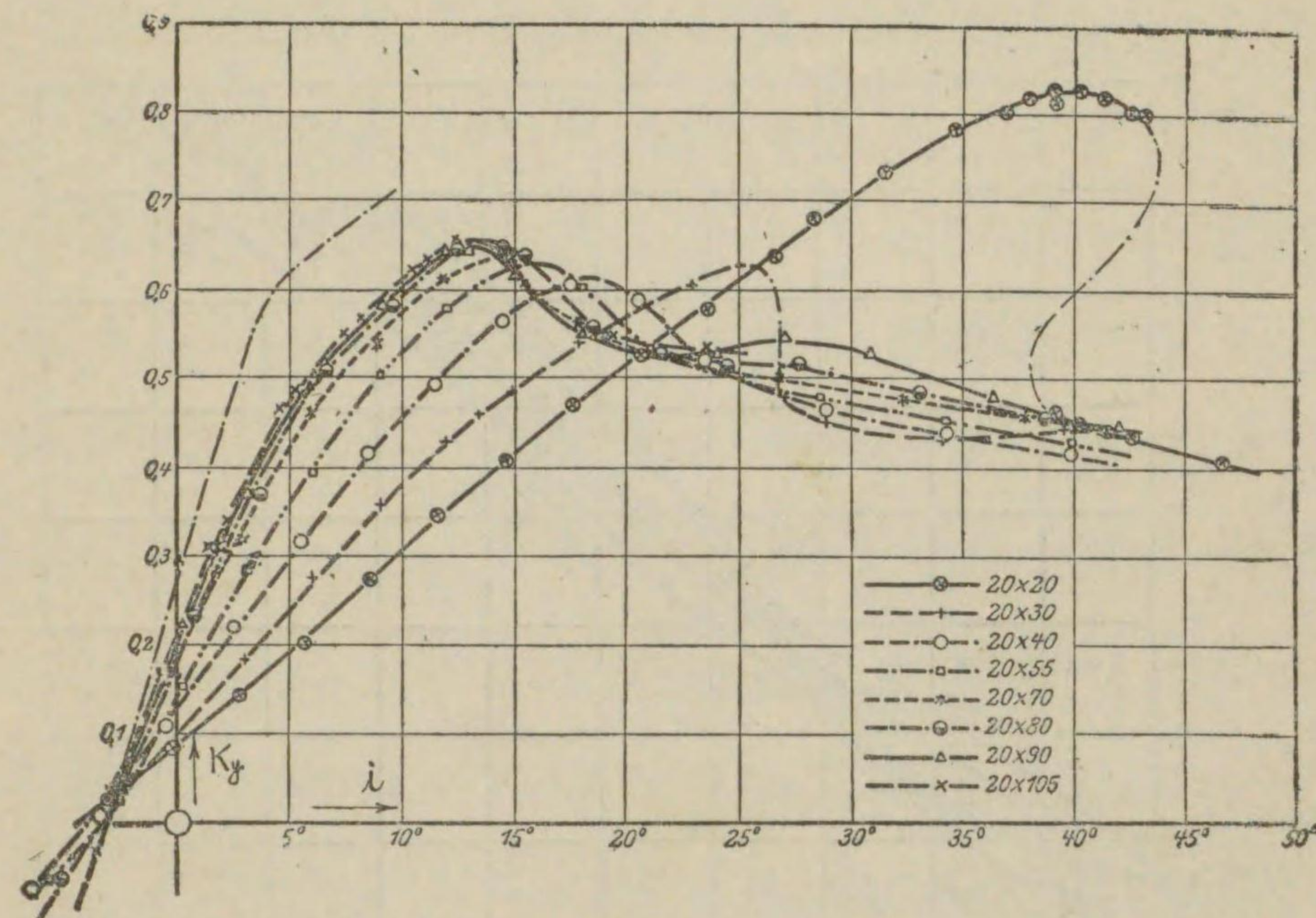
第二十圖



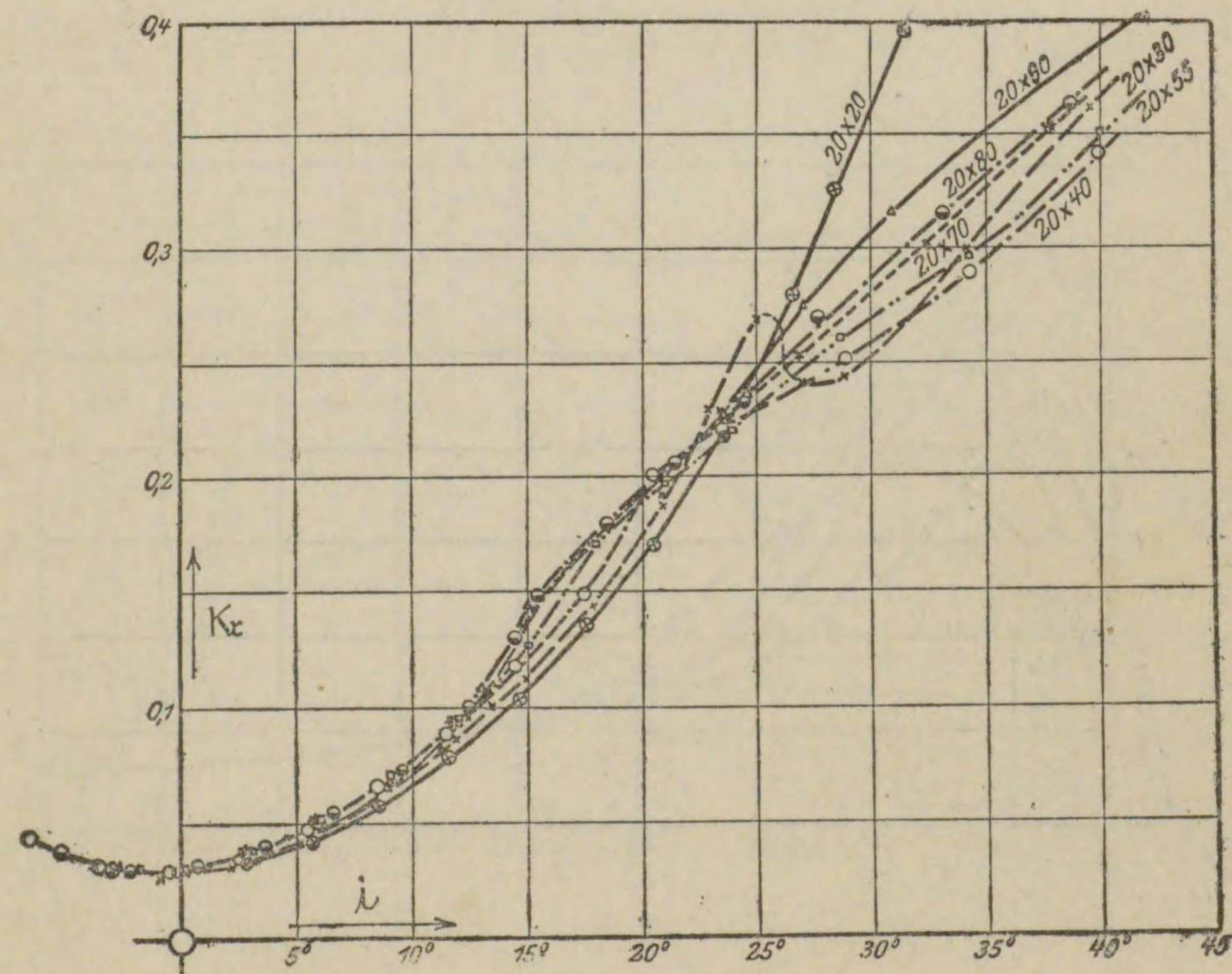
第二十一圖



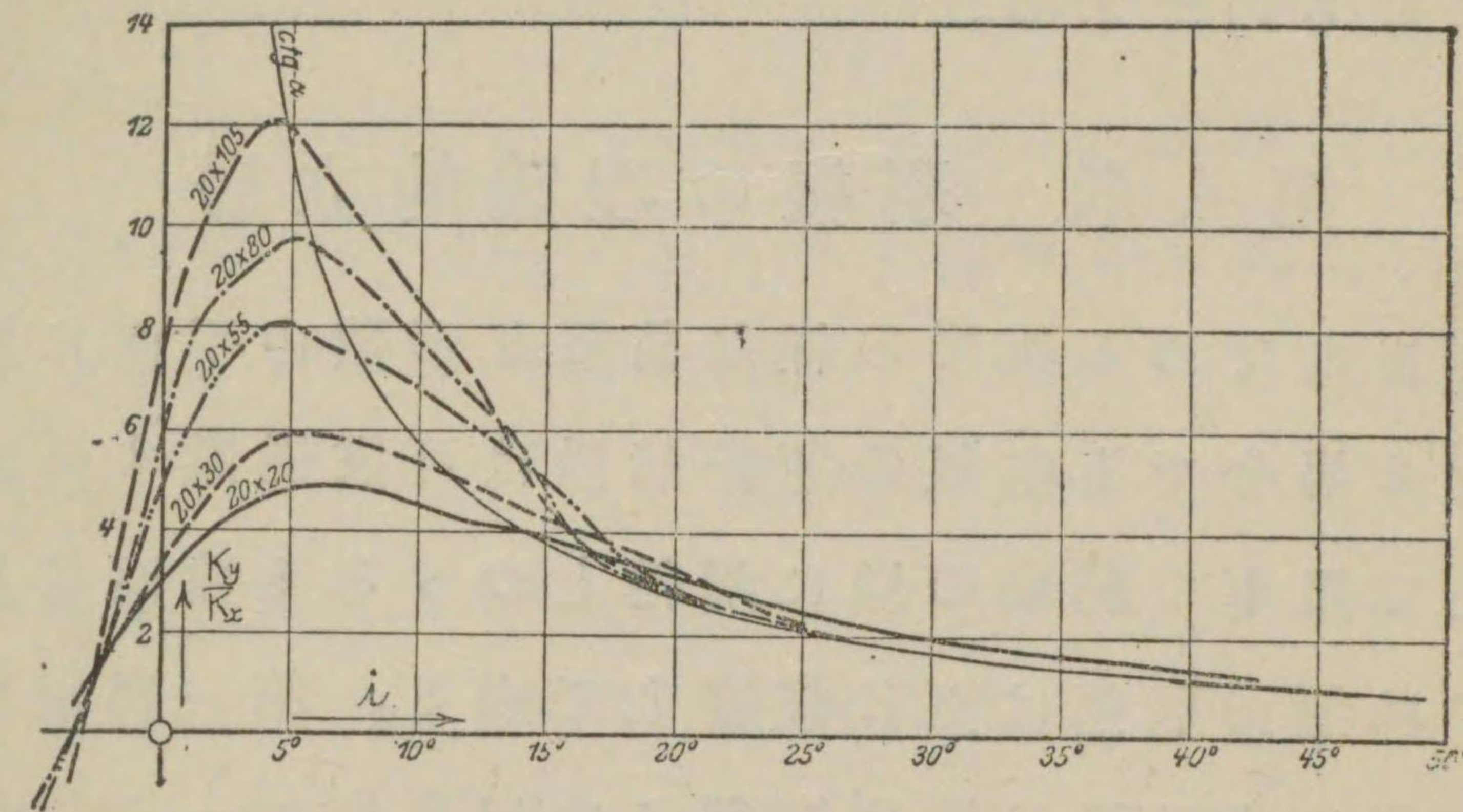
第二十二圖



第二十三圖



第二十四圖



第二十五圖

風車に應用せられる羽根としては曲面板は最も重要な位置にある故に茲に擧げたのであるが、第九圖及び第十圖の様な厚みを持つた羽根を取扱はんとするならば又此に相當したエーロフォイルの揚力並に抗力の實驗値を採らねばならない。茲に擧げた結果から見ると揚力は大體迎角 i が $10^\circ \sim 20^\circ$ の間に於いて最も大きく又反曲率 f の大きい程揚力も大きくなる。而して $\frac{K_y}{K_x}$ の値はアスペクトレシヨ一の如何に拘はらず、 5° 附近に於いて最大になる事も注目しなければならない。斯様にして我々は任意の形状のエーロフォイルが任意の迎角を保つ時に於ける係數を知る事に依り其の揚力及び抗力を決定する事が出来る。此が風車の羽根を取扱ふ上に便

利になるのである。

第八章 羽根の理論的立場

静止してゐる矩形の様な簡単な形状の平面に風が衝る場合でも空氣の運動状態は可成混亂する。まして風車の羽根の様に廻轉しつつある曲面に對しては運動状態は更に複雑して來る。第一羽根車の半径に沿ひ風と風車羽根との速度比が日々變化し其上遠心力、羽根と羽根との間隔、軸心部の影響等が錯雜し其運動状態は簡単な想像を許さない。従つて風車の羽根と此に衝つて仕事をする處の風の關係を満足に理論化する事は未だ出來てゐない。

以前から最もよく行はれて居た風車の理論としては平板に及ぼす風壓の羽根の運動方向に於ける分壓が仕事をするものと考へて出來た理論と、平板に對し風が完全弾性衝突を爲すものと考へて構成された理論とがあるけれども今日の流體力學の立場からすれば氣流の複雑な運動を無視した粗漏な理論である事を免れない。猶曲面羽根を使つた時は取扱が面倒になるばかりで實用的價值に遠ざかる。

飛行機に用ひられる空氣推進機は氣流中に廻轉

する羽根車として風車と其の作用が甚だ似通つたもので其理論は餘程進歩して居る。風車の理論も又推進機と同様に取扱ふ事が出来るが、此とても完全なものだとは云はれぬ。今迄行はれた推進機の理論としてはフルード (W. E. Froude) 氏が提唱せる運動量の變化に依る理論と、エーロフイルの研究より發展し上記フルード氏及びドルツェウヰッキー (Drzewiecki) 氏等に依り編まれたエーロフイルよりする理論等で何れも羽根の一部分に就いて微分的に考へ此を羽根全體に及ぼしたものである。吾々は古い理論として先づ完全弾性衝突よりする理論を取扱ひ次にエーロフイルよりする理論を一般風車に就いて取扱つて見やう。

第九章 弾性衝突よりする羽根の理論

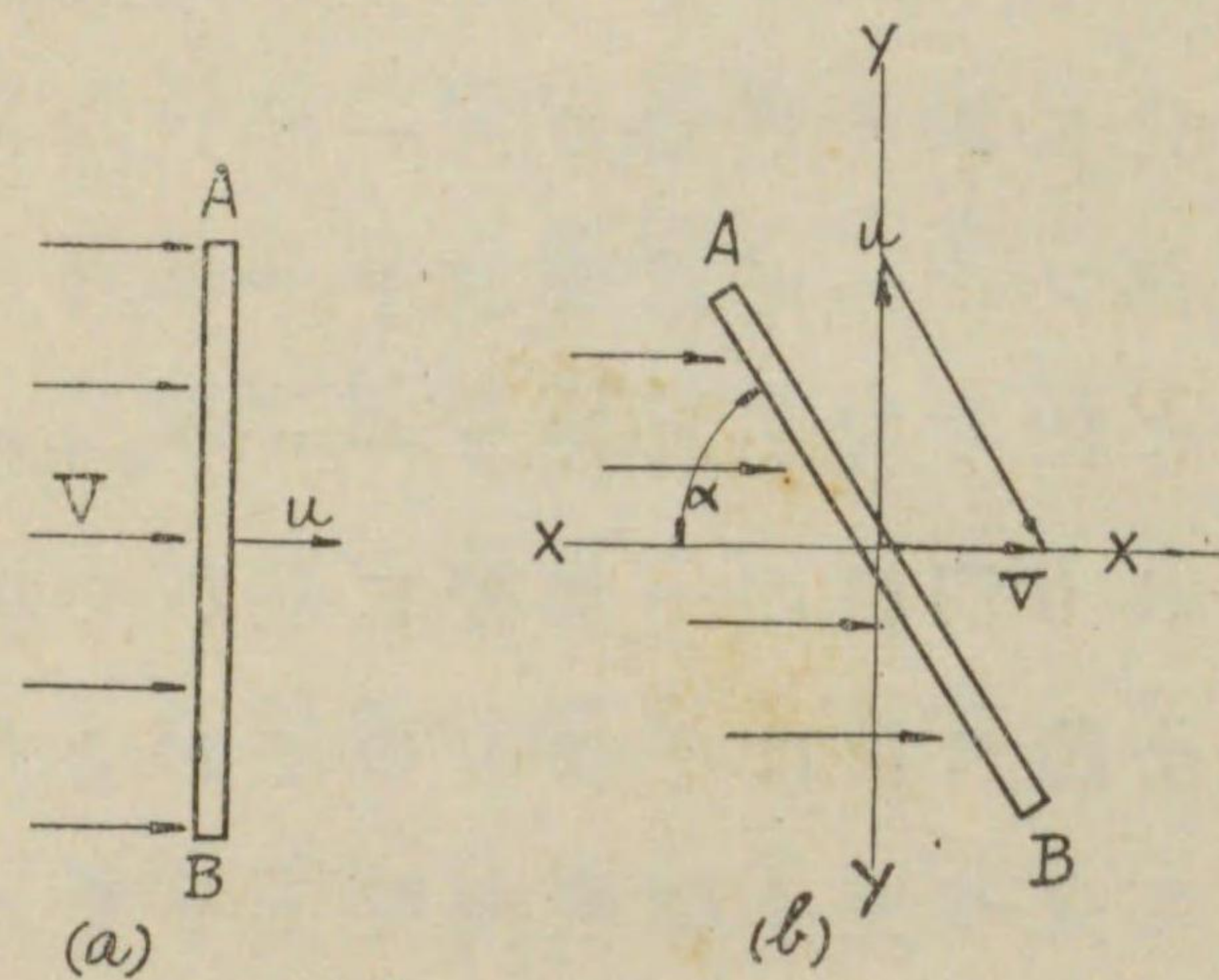
風速 V なる風が面積 S を有し風と同方向に u なる速度を以て移動する平板に直角に弾性衝突をすれば衝突後有すべき風の速度 V_1 は板と空氣の摩擦抵抗を無視すると次の如くなる。

$$V_1 = \frac{(m-M)V + 2Mu}{m+M}$$

但し m 及び M は風及び板の質量である。

板の質量に比し風の質量は極めて小さいものであるから此を省略すれば、

$$V_1 = 2u - V$$



第二十六圖

初速 V の風が面積 S なる平板に衝り終速 V_1 になりたりとすれば此の間になせる仕事 P_u は、

Q を 1 秒間に平板に衝る風の容積、

γ を空気 1 立方メートルの重さとするれば、

$$P_u = Q\gamma \cdot \frac{V^2}{2g} - Q\gamma \cdot \frac{V_1^2}{2g}$$

然るに $V_1 = 2u - V$

$$\text{故に } P_u = \frac{Q\gamma}{2g} (V^2 - 4u^2 + 4uV - V^2) = \frac{4Q\gamma}{2g} \cdot u \cdot (V - u)$$

然るに $Q = S \cdot (V - u)$

$$\text{故に } P_u = \frac{4\gamma}{2g} \cdot S \cdot u \cdot (V - u)^2$$

若し平板が風の方に對し α の角度を保ち此と直角の方向へ u の速度を以て動きつゝあるものとすれば上式に於いて

V の代はりに $V \sin \alpha$

u の代はりに $u \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$

を代入すれば風が傾斜せる平面に衝突し此れを風と直角な方向へ押しやる場合に於ける仕事の大きさとして次の式を得る。

$$P_u = \frac{4\gamma}{2g} \cdot S (V \sin \alpha - u \cos \alpha)^2 u \cos \alpha \text{ m.kg/sec}$$

上式に於いて $V \sin \alpha = u \cdot \cos \alpha$ の時

$$P_u = 0$$

となるから α の値は

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{u}{V} = \tan \alpha$$

を限度とし常に

$$\tan \alpha > \frac{u}{V}$$

を保たなければ風は板に對し仕事をする事は出来ない。

今上式に於いて表はされる羽根の仕事の極大値

を與へる α の大いさを見出すために上式を α につきて微分し零に等しと置けば、

$$\frac{dP_u}{da} = \frac{d\left\{\frac{4\gamma}{2g} \cdot S \cdot (V \sin \alpha - u \cos \alpha)^2 u \cos \alpha\right\}}{da} = 0$$

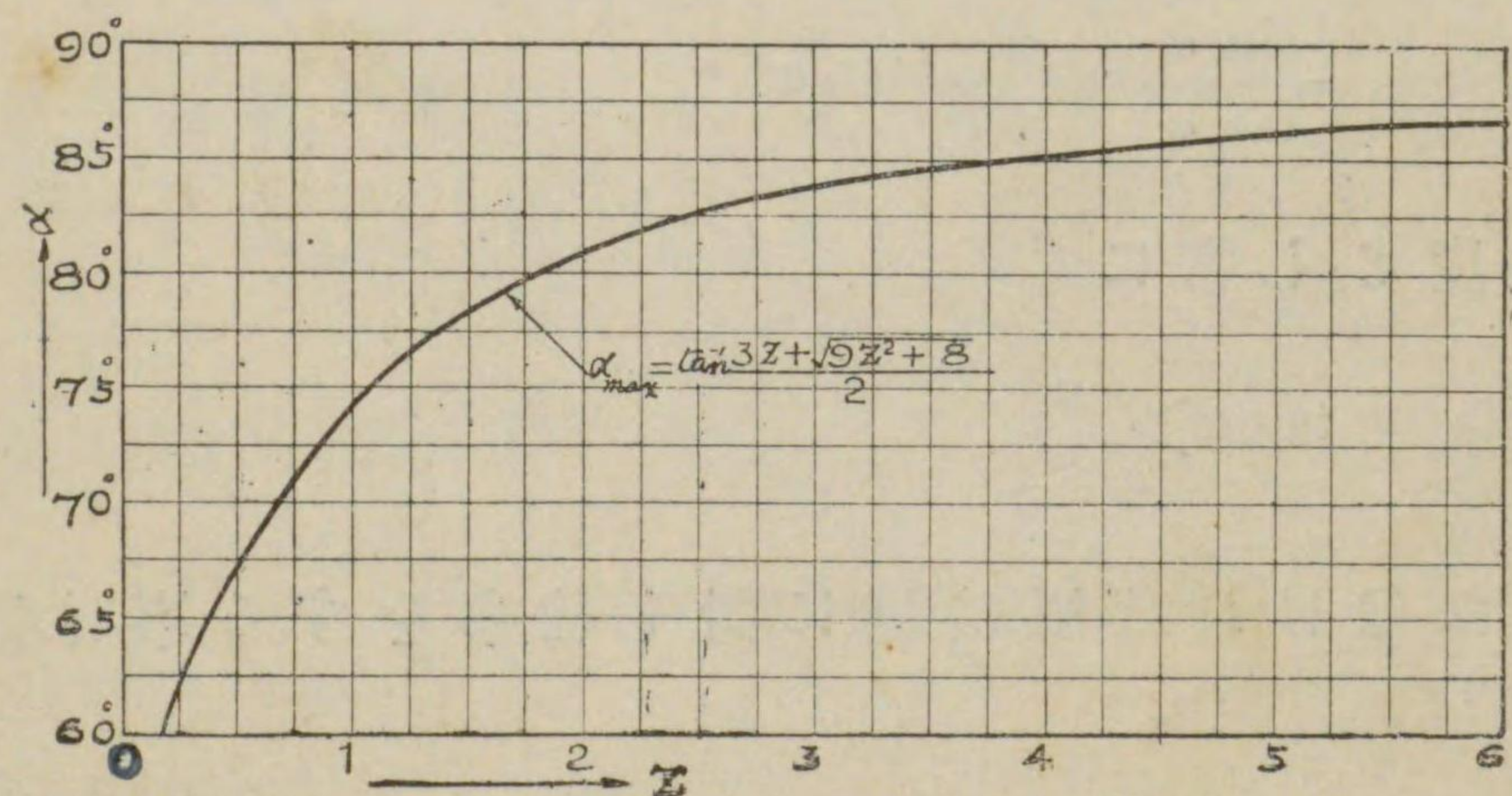
$$\text{此より } (\tan \alpha)^2 - 3 \frac{u}{V} \tan \alpha - 2 = 0$$

$$\frac{u}{V} = z \text{ とすれば}$$

$$\tan \alpha = \frac{3z + \sqrt{9z^2 + 8}}{2}$$

$$\alpha_{max} = \tan^{-1} \frac{3z + \sqrt{9z^2 + 8}}{2} \dots \dots (1)$$

z に種々なる値を與ふる毎に此に相當した α_{max} の値を得られる。第二十七圖は z を横軸に取り其に應じて仕事の極大値を與ふる α の値を示したも



第二十七圖

第一表

z	0.20	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	6.00	8.00	10.00
α	60°12'	61°27'	67° 1'	71° 9'	74°19'	78°12'	81° 0'	83°48'	85°18'	86°50'	87°38'	88° 5'

ので第一表は其の數値を掲げたのである。羽根の速度 u は半径に沿ひ漸次に變化するから z の値も其に應じて變化する。此の變化に應じて與ふべき α の値は第二十六圖及び第一表より略決定する事が出来る。例へば $z=1$ の時には $\alpha=74°19'$, $z=2$ の時には $\alpha=81°$, が最も有効な角度である事が判る。

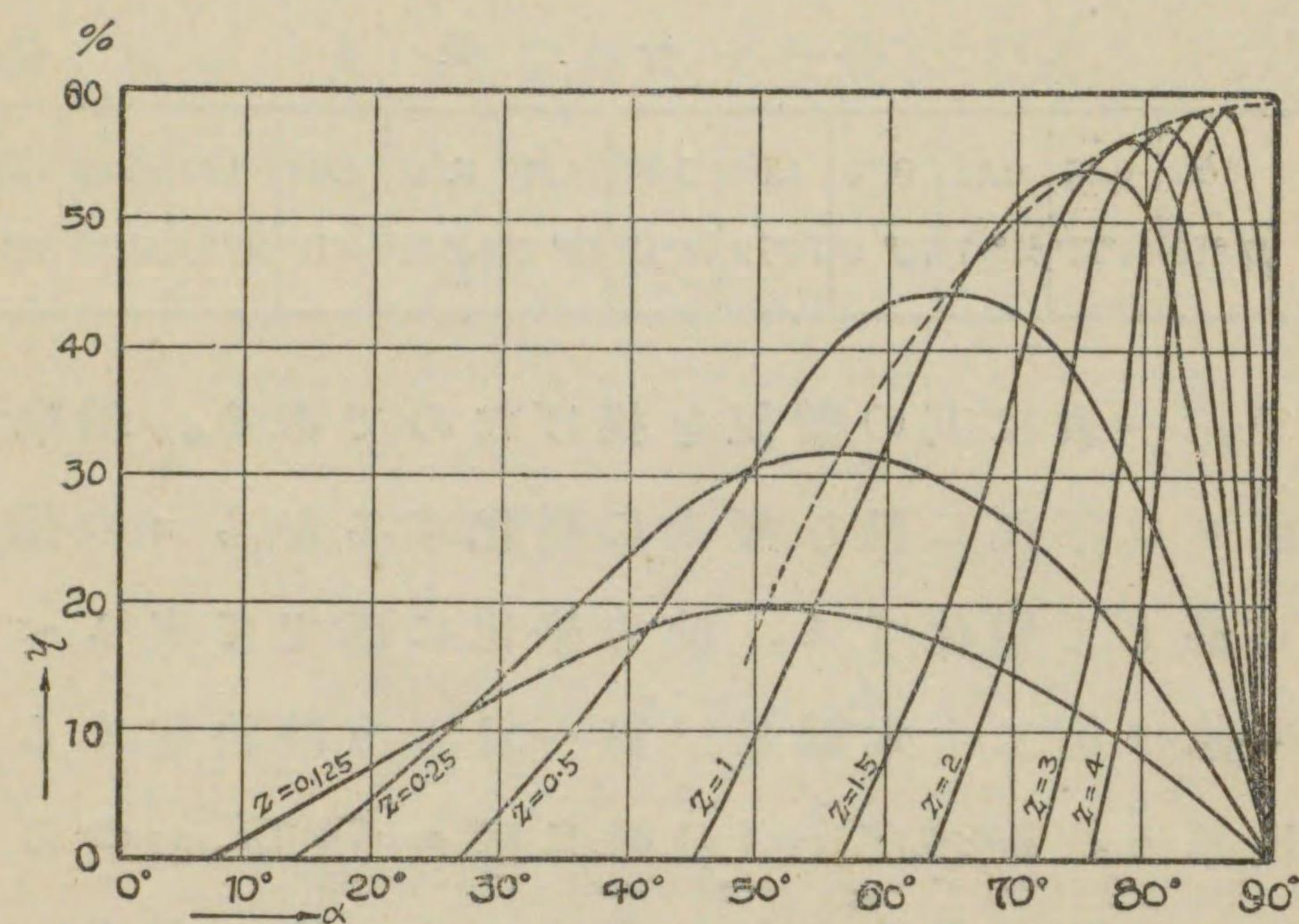
偪て風の方に對し α の傾斜を爲す面積 S の平板に對して速度 V なる風が爲し得る仕事の量は

$$P = \frac{\gamma \cdot S \cdot V^3}{2g} \sin \alpha$$

故に羽根の能率は

$$\eta = \frac{P_u}{P} = 4(\sin \alpha - z \cos \alpha)^2 \cdot z \cdot \cot \alpha \dots \dots (2)$$

α_{max} を見出したときと同様に上式を微分し零に等しと於けば η の極大値 η_{max} を知る事を得る。上式に於いて α 及び z を變へれば η の値は其度毎に變化して行く。第二十八圖は種々なる z の値に對し α を變へた場合に於ける η の有様を圖示したもので點線は z の各値に對する η の極大値を連ねた



第二十八圖

曲線で z の値の大なる程 η は大になるが 60% を超える事は出来ない。

以上は單純なる平板に就いて述べたのであるが、風車羽根の場合には平板の速度 u は各所に於いて異ふから (従つて P_u , a_{max} 及び η_{max} は羽根の各所で異つて来る。) 第二十六圖に於いて AB を中心より任意の位置の距離に於いて半徑に直角な面で切斷した切口として其速度を u とすれば

$$u = \omega r$$

但し ω は羽根車の角速度である。

中心より半徑 r の位置にある微小面積 Δs のなす仕事は、

$$\Delta P_u = \frac{4\gamma}{2g} \cdot \Delta s \cdot (V \sin \alpha - \omega r \cdot \cos \alpha)^2 \omega r \cdot \cos \alpha$$

羽根全體の仕事は

$$P_u = \Sigma \frac{4\gamma}{2g} \cdot \Delta s \cdot (V \sin \alpha - \omega r \cdot \cos \alpha)^2 \omega r \cdot \cos \alpha \quad \dots (3)$$

Δs 並に α を r の函數として表はすか或は $\frac{\omega r}{V} = z$ の函數として表はされれば上式は積分する事を得る。

次に羽根全體としての能率は何うかと云ふに η は z の値に依り異ふのであるから羽根の各所に於ける η は半徑に沿ひ漸次に變化し其の有様は半徑の小になる程 η は小さくなる。例へば外周速度を風速の 2.5 倍即 $z=2.5$ と取つた場合其の最大能率は 58% に及ぶが半徑 $\frac{1}{2}$ の位置に於いては $z=0.83$ となり最大能率は 53% を出でない。普通の風車では羽根の内徑は外徑の約 $\frac{1}{3}$ であつて全體の羽根の能率としては 55% を最大能率と見るのを至當とする。然れば、利用し得られる仕事量 P_u は、

$$P_u = 0.55 \times \frac{\gamma S}{2g} V^3$$

$$\frac{\gamma}{g} = 0.132 \quad \text{とすれば}$$

$$P_u = 0.0363 S V^3$$

馬力になほせば

$$HP_u = \frac{0.036 SV^3}{75} = 0.000484 SV^3 \dots (4)$$

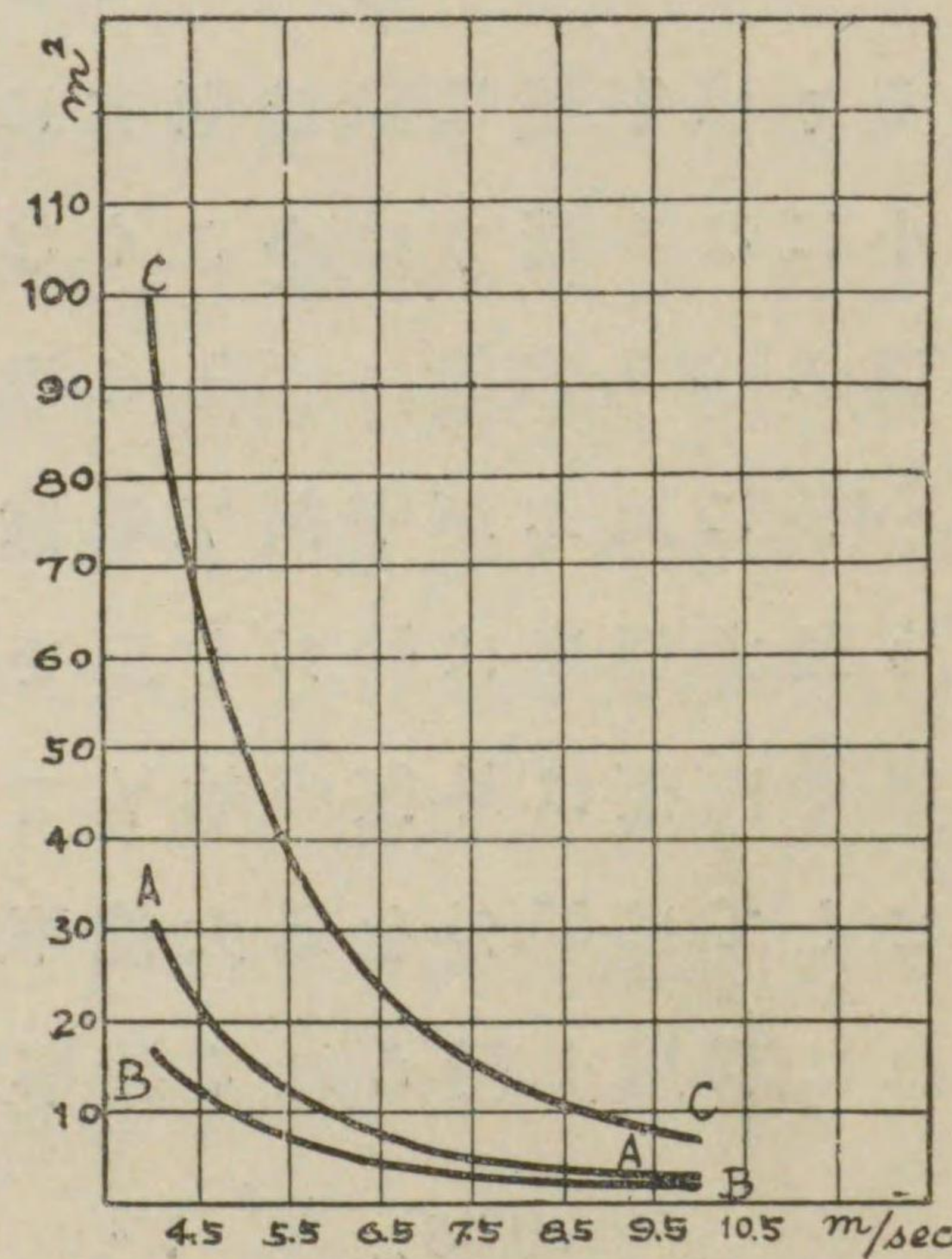
(此の値は羽根が平面なる場合に於けるものである。現存現はれてゐる曲面羽根の新式風車では利用馬力は殆んど此の2倍に及んで居る。)

1馬力に要す可き羽根面積は、

$$S = \frac{1}{0.000484 V^3} \dots (5)$$

第二十九圖 AA 曲線は風速の大いさに依り1馬力を出し得可き面積を此の式より算出して圖示したもので圖中 BB 曲線は理論的所要面積を示す。

以上述べた衝突の理論に依り風速毎秒5メートル、1馬力を發生する平面羽根風車の面積及び角度を決定して見やう。



第二十九圖

傳導装置の間に失はれる馬力を利用馬力の25%と見れば風車の出す可き馬力は

$$HP_u = 1.25$$

(5)式に依れば此の馬力を出すに必要な面積は

$$S = \frac{1.25}{0.000484 \times 5^3} \doteq 20.7 \text{ m}^2$$

通例内径 d は外径 D の $\frac{1}{3}$ に取る。又羽根面積は普通の例に従ひ、風車羽根取付面積の82%にとれば、

$$\begin{aligned} 20.7 &= \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times 0.82 \\ &= \frac{\pi}{4} \left(D^2 - \frac{1}{9} D^2 \right) \times 0.82 \end{aligned}$$

$$\therefore D^2 = \frac{20.7}{0.573}$$

$$D \doteq 6 \text{ m} \quad d = \frac{D}{3} = 2 \text{ m}$$

従つて羽根の長さ l は

$$l = \frac{D-d}{2} = \frac{6-2}{2} = 2 \text{ m}$$

羽根の数を n とし一枚の羽根の外周の幅を b_s とすれば

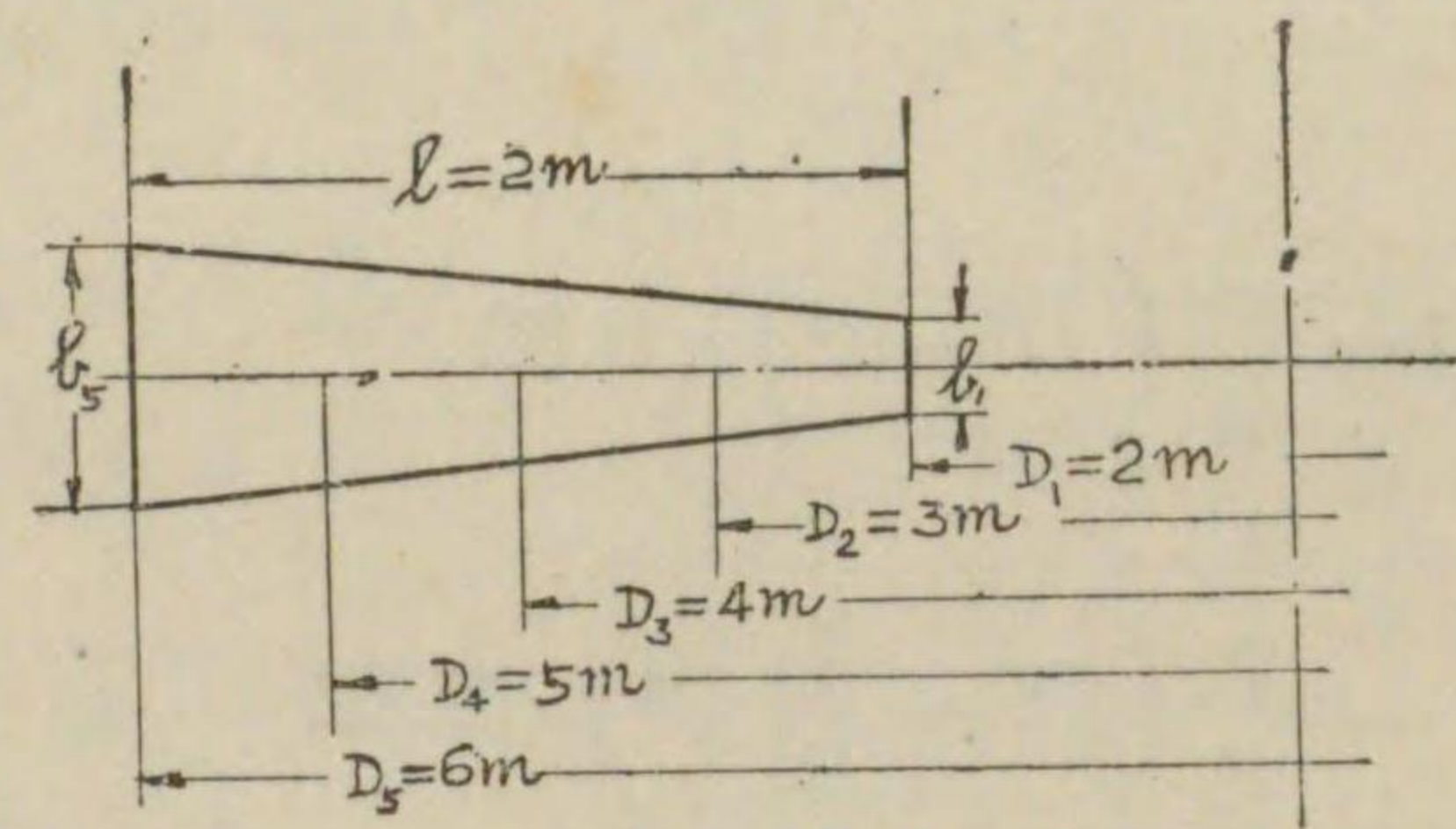
$$nb_s = \pi D \times 0.82 = 15.44 \text{ m}$$

普通幅は半径の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}$ に取るから今第三十圖の b_5 を $\frac{D}{2}$ の約 $\frac{1}{5}$ にするために羽根の数を 24 枚にすれば

$$b_5 = \frac{15.44}{25} = 0.645 \text{ m}$$

$$\text{従つて } b_1 = 0.645 \times \frac{2}{6} = 0.215 \text{ m}$$

次に羽根車の外周速度を風速の 2.5 倍に取れば第三十圖に示す羽根の各點に於ける z の値は、



第三十圖

$$D = D_5 = 6 \text{ m} \quad z_5 = 2.5$$

$$D_4 = 5 \text{ m} \quad z_4 = 2.5 \times \frac{5}{6} = 2.085$$

$$D_3 = 4 \text{ m} \quad z_3 = 2.5 \times \frac{4}{6} = 1.67$$

$$D_2 = 3 \text{ m} \quad z_2 = 2.5 \times \frac{3}{6} = 1.25$$

$$d = D_1 = 2 \text{ m} \quad z_1 = 2.5 \times \frac{2}{6} = 0.835$$

以上の各 z の値に對し (1) 式を應用し最も有効な

角度 a_{max} を求むれば次の様になる。

$$a_5 = 82^\circ 40'$$

$$a_4 = 81^\circ 20'$$

$$a_3 = 79^\circ 28'$$

$$a_2 = 76^\circ 40'$$

$$a_1 = 72^\circ$$

此等の角度は第二十七圖を利用すれば圖上より略其の値を知る事を得る。

車の廻轉數 n は風速 5 メートルの時

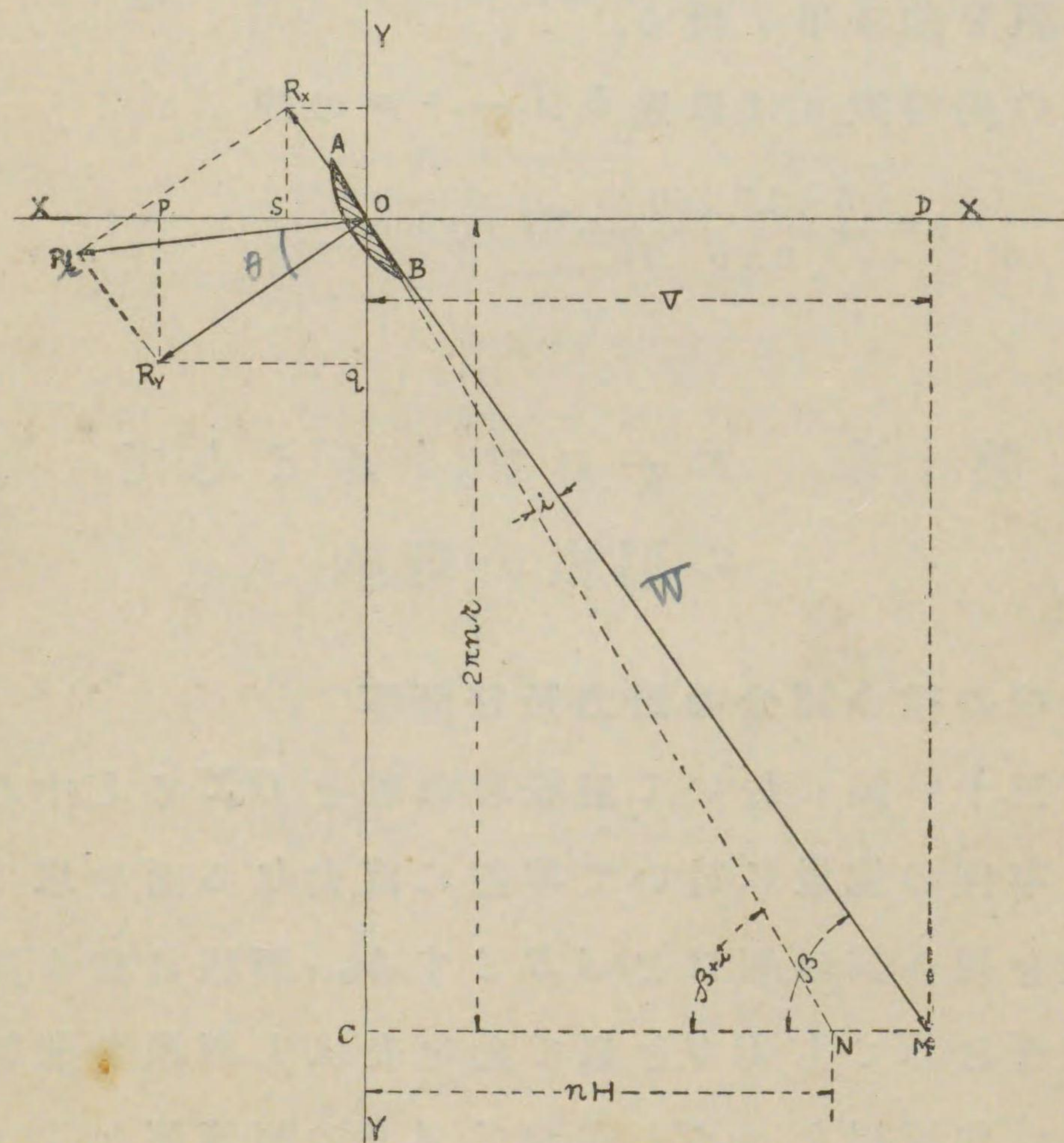
$$n = \frac{5 \times 2.5 \times 60}{\pi \times 6} \doteq 24 \text{ rev/min.}$$

第十章 エーロファイルとしての羽根の理論

羽根の微小部分の出力及び能率

第三十一圖に於いて羽根車の軸を OX とし中心より半径の位置に於いて半径に直角なる面を以て羽根を切り其の切口を AB とする。羽根に衝る風の速度を V とし DO を以て此を表はし、羽根の廻轉數を n 、角速度を ω とし従つて AB の周速度を $2\pi nr$ とし OC を以て表はす。然る時は風と羽根との合

成速度 MO は羽根に對する相對速度を表はす。換言すれば羽根を靜止して居るものと考へるか或は羽根に乗り風の運動する有様を見るときは風は MO の方向並に大いさを以て羽根に突き衝ると考へてよろしい。さうすれば AB は速度 MO なる氣流中に迎角 i を保つてをるエーロファイルと見る事が出来る。さうして其の結果として MO に直角の方



第三十一圖

向に R_y を生じ平行なる方向に抗力 R_x を生ずる。而して R_i は其の合力を示す。既に述べた様に

$$R_i = K_i S W^2 \dots \dots \dots (6)$$

但し K_i は迎角 i , アスペクトレシヨ一切斷面の形狀、

面の精粗に關係する合力係數、

S はエーロファイルの表面積、

W は相對速度の大いさ、

今 θ を R_i と R_y がなす角とすれば

$$\tan \theta = \frac{R_x}{R_y} = \mu$$

この値は一つのエーロファイルの一定の迎角に對しては定つたものであるが抵抗 R_x を減ずる事に依り小さくする事を得るもので羽根面の精粗に關係する常數である。

偕て羽根に生じた此等の力を風車の軸心 OX の方向と風車の回轉方向 OY の方向に分けて見れば

$$Op = R_y \sin \beta$$

$$Os = R_x \cos \beta = \mu R_y \cos \beta$$

OX の方向の分力の總和は

$$Op + Os = R_y \sin \beta + \mu R_y \cos \beta$$

切斷面を羽根の一微小部分と考ふれば軸心の方向に起る力は

$$dF = dR_y(\sin \beta + \mu \cos \beta) = dR_y \cos \beta (\tan \beta + \mu)$$

$$= dR_y \frac{\tan \beta + \mu}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$$

故に OX の方向即ち風の方に有する勢力は

$$dP_m = dF \cdot V = dR_y \cdot V \cdot \frac{\tan \beta + \mu}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$$

然るに微小面積 ds に就いては

$$dR_y = K_y \cdot W^2 \cdot ds$$

$$W^2 = V^2 + \omega^2 r^2$$

又 $\frac{\omega r}{V} = \frac{2\pi nr}{V} = \tan \beta$

切斷面の長さを l とすれば

$$ds = l \cdot dr$$

$$dR_y = K_y W^2 \cdot ds = K_y \cdot l (V^2 + \omega^2 r^2) \cdot dr$$

$$= K_y \cdot l (V^2 + V^2 \tan^2 \beta) \frac{V}{\omega} d(\tan \beta)$$

故に

$$dP_m = K_y \cdot l (V^2 + V^2 \tan^2 \beta) \frac{V}{\omega} d(\tan \beta) \cdot V \cdot \frac{\tan \beta + \mu}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$$

$$= K_y \cdot l \cdot \frac{V^4}{\omega} (1 + \tan^2 \beta) d(\tan \beta) \frac{\tan \beta + \mu}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$$

$$= \frac{V^4}{\omega} K_y \cdot l (\tan \beta + \mu) \sqrt{1 + \tan^2 \beta} d(\tan \beta)$$

..... (7)

次に風車の廻轉方向に起る力即ち OY の方向の力は

$$oq = R_y \cos \beta$$

$$ot = R_x \sin \beta$$

OY 方向の合力は

$$oq - ot = R_y \cos \beta - R_x \sin \beta = R_y (\cos \beta - \mu \sin \beta)$$

$$= R_y \cdot \cos \beta (1 - \mu \tan \beta)$$

$$= R_y \cdot \frac{1 - \mu \tan \beta}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$$

AB を羽根の一微小部分と考へこの微小部分の力より起る廻轉モーメントを求むれば

$$dC = dR_y \frac{1 - \mu \tan \beta}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}} \cdot r = dR_y \cdot \frac{V}{\omega} \tan \beta \cdot \frac{1 - \mu \tan \beta}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$$

故に風車を廻轉する爲に有効に利用せられる勢力は

$$dP_u = dC \cdot \omega = \frac{V}{\omega} \tan \beta \cdot dR_y \cdot \omega \frac{1 - \mu \tan \beta}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$$

$$= V \tan \beta \cdot K_y \cdot l (V^2 + V^2 \tan^2 \beta) \frac{V}{\omega} d(\tan \beta) \cdot \frac{1 - \mu \tan \beta}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$$

$$= \frac{V^4}{\omega} K_y \cdot l (1 - \mu \tan \beta) \sqrt{1 + \tan^2 \beta} \cdot \tan \beta \cdot d(\tan \beta)$$

..... (8)

上の諸式に於いて $\tan \beta = z$ とすれば

$$dP_m = \frac{V^4}{\omega} \cdot K_y \cdot l \cdot (z + \mu) \cdot \sqrt{1 + z^2} \cdot dz \dots\dots (7')$$

$$dP_u = \frac{V^4}{\omega} K_y \cdot l \cdot (1 - \mu z) \sqrt{1 + z^2} \cdot z \cdot dz \dots\dots (8')$$

故に微小部分の能率は

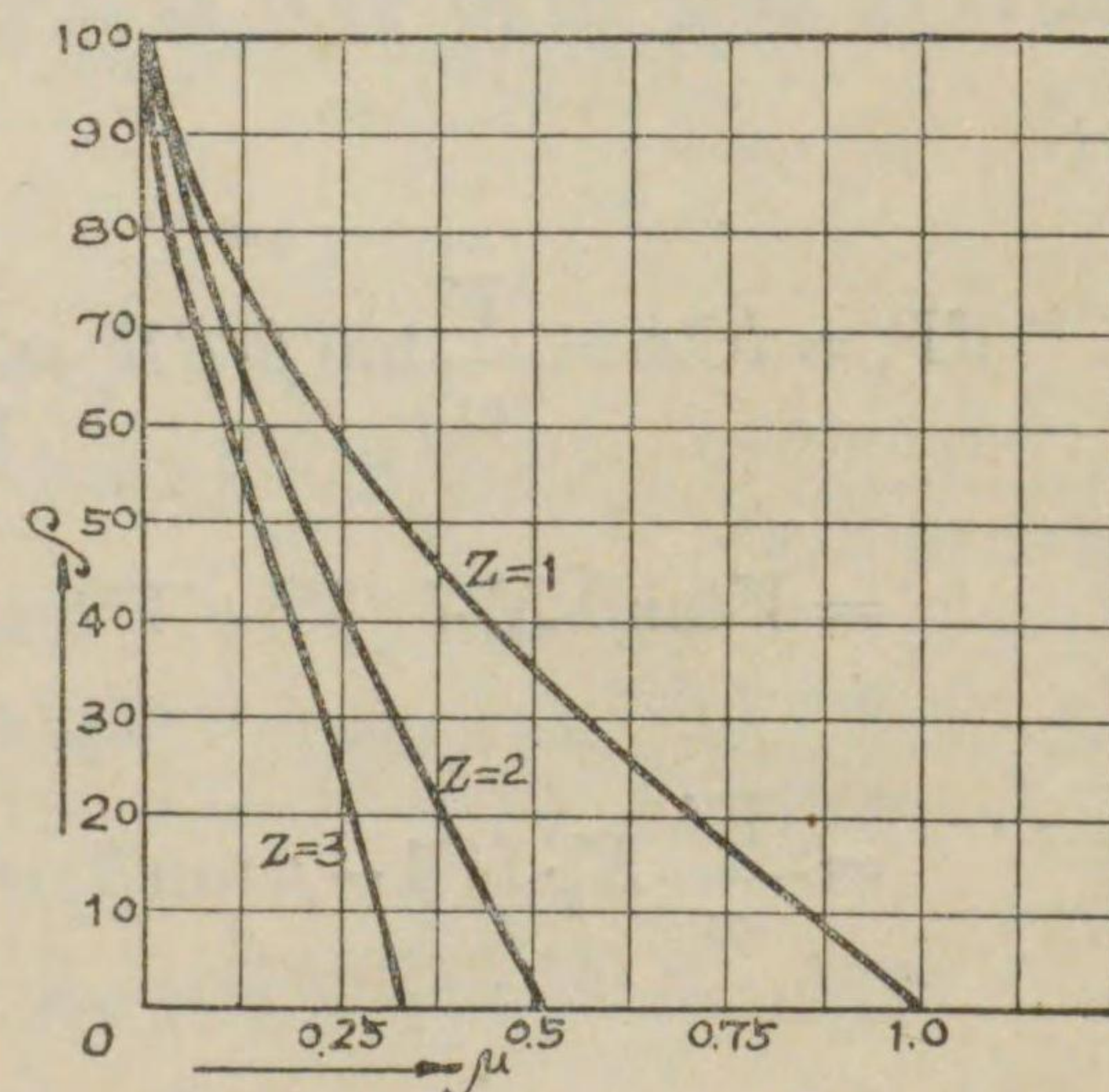
$$\rho = \frac{dP_u}{dP_m} = \frac{z(1 - \mu z)}{z + \mu}$$

或は

$$= \frac{\tan \beta (1 - \tan \theta \cdot \tan \beta)}{\tan \beta + \tan \theta} = \frac{\tan \beta}{\tan(\beta + \theta)} \dots (9)$$

此に依つて見ると θ は小さくなる程 ρ の値は 1 に近づく。 θ の小さくなること云ふことは取りも直ほさず μ の小さくなる事で羽根面の平滑状態をよくすると云ふ事を意味する。今 z を一定に保ち μ

の値を變ずれば z の各値に對し ρ の種々な曲線を得る。第三十二圖は此の有様を示し第二表は其の數値を示したもので μ の値の増加は急激に能率を落す事が判るであらう。其故に μ



第三十二圖

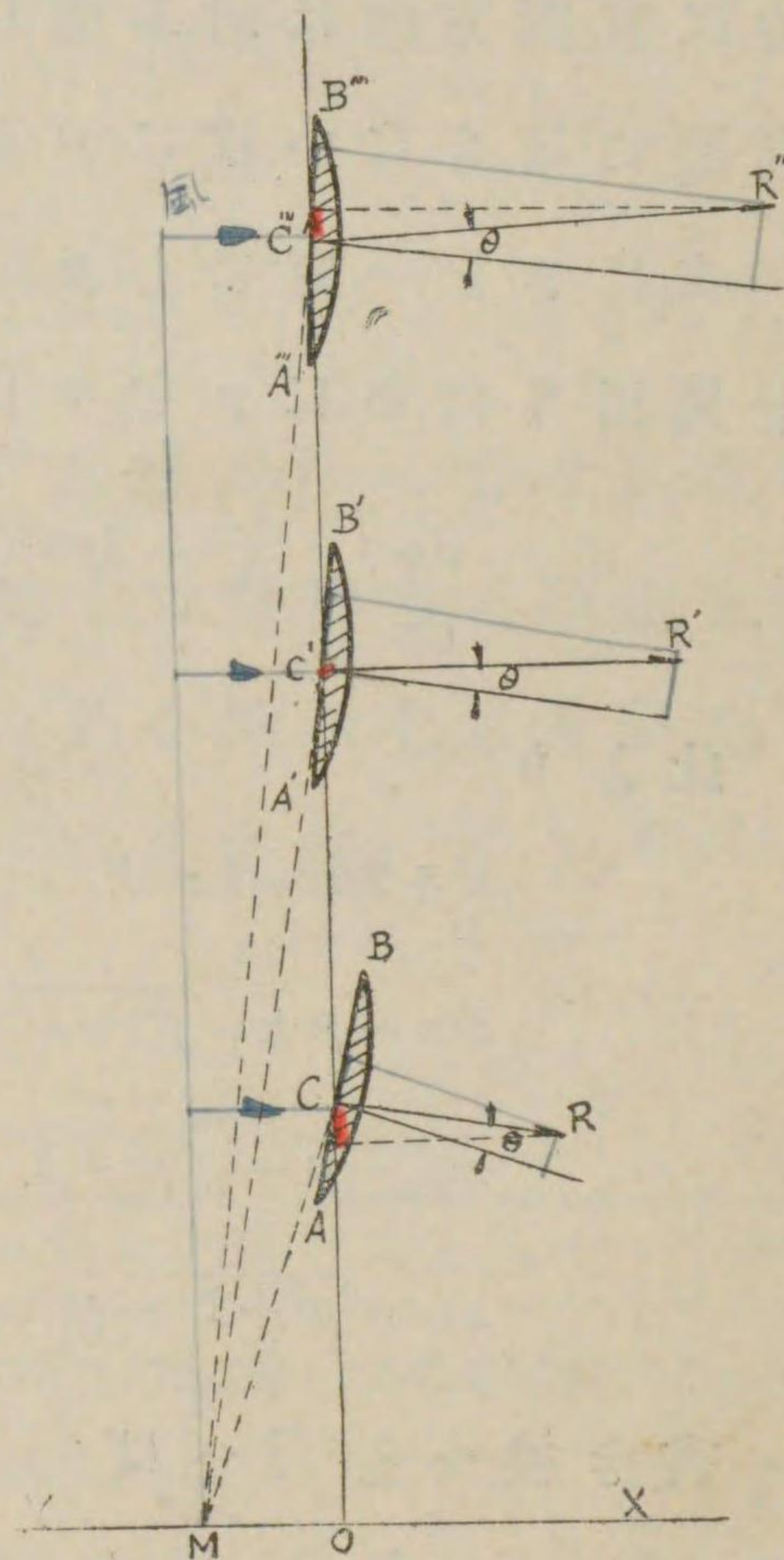
第二表

z	$\mu=0,00$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,333	0,5	1,00
1	$\rho=1$	0,905	0,818	0,739	0,667	0,500	0,333	0
2	$\rho=1$	0,878	0,762	0,651	0,545	0,286	0	
3	$\rho=1$	0,836	0,677	0,524	0,375	0		

は羽根の各部分に就いて最も小さくなる様に羽根の形状及び迎角を定めなければならぬ。エーロファイルの形によつても異ふ

けれども普通 $\frac{R_x}{R_y} = \mu$ の有様は i が 0 より進むに従つて小になり再び増加するが、平板又は曲面板より成る羽根にあつては $i=3^\circ$ 内外に於いて μ は最小となる。前に示せる第二十二圖及び第二十五圖は $\frac{1}{\mu}$ の曲線を示せるもので其最大値が μ の最小の値を示す事になる。

偕て次に有効に利用される勢力 dP_u を見るに $z=0$



第三十三圖

の時零となり、此より z の増加するに従つて増加し或る點で最大となり $z = \frac{1}{\mu}$ で再び零となる。此より z が増加すれば dP_u は負になる。 ρ の變化も此に準ずる。

此を實際の羽根に就いて観るに羽根の切口の中心からの距離に従ひ第三十三圖の様に合成力 R_i の廻轉方向の分力が漸次に變化し AB の切口では分力は廻轉方向に向いて居るが、 $A''' B'''$ に行けば分力は反對方向に向ふ様になる場合がある。我々は斯様にならない様に μ を取らねばならない。

次に μ を一定にし ρ の最大値を與ふる z の條件を見出すために ρ を z に就き微分し零と置けば

$$\frac{d\rho}{dz} = \frac{(1-2\mu z)(z+\mu) - z(1-\mu z)}{(z+\mu)^2} = 0$$

此より

$$z^2 + 2\mu z - 1 = 0$$

$$z = -\mu \pm \sqrt{\mu^2 + 1}$$

$$z = -\mu - \sqrt{\mu^2 + 1} \text{ は不合理故捨て}$$

$$z = \sqrt{\mu^2 + 1} - \mu$$

書き換へを行へば

$$z = \sec \theta - \tan \theta = \frac{1 - \sin \theta}{\cos \theta}$$

$$= \frac{\cos^2 \frac{\theta}{2} + \sin^2 \frac{\theta}{2} - 2 \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2}}{\cos^2 \frac{\theta}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2}}$$

$$= \frac{\cos \frac{\theta}{2} - \sin \frac{\theta}{2}}{\cos \frac{\theta}{2} + \sin \frac{\theta}{2}} = \frac{1 - \tan \frac{\theta}{2}}{1 + \tan \frac{\theta}{2}} = \tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2} \right)$$

即ち能率の極大値 ρ_m を與ふる z の値は

$$z_m = \tan \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} \right) \dots \dots \dots (10)$$

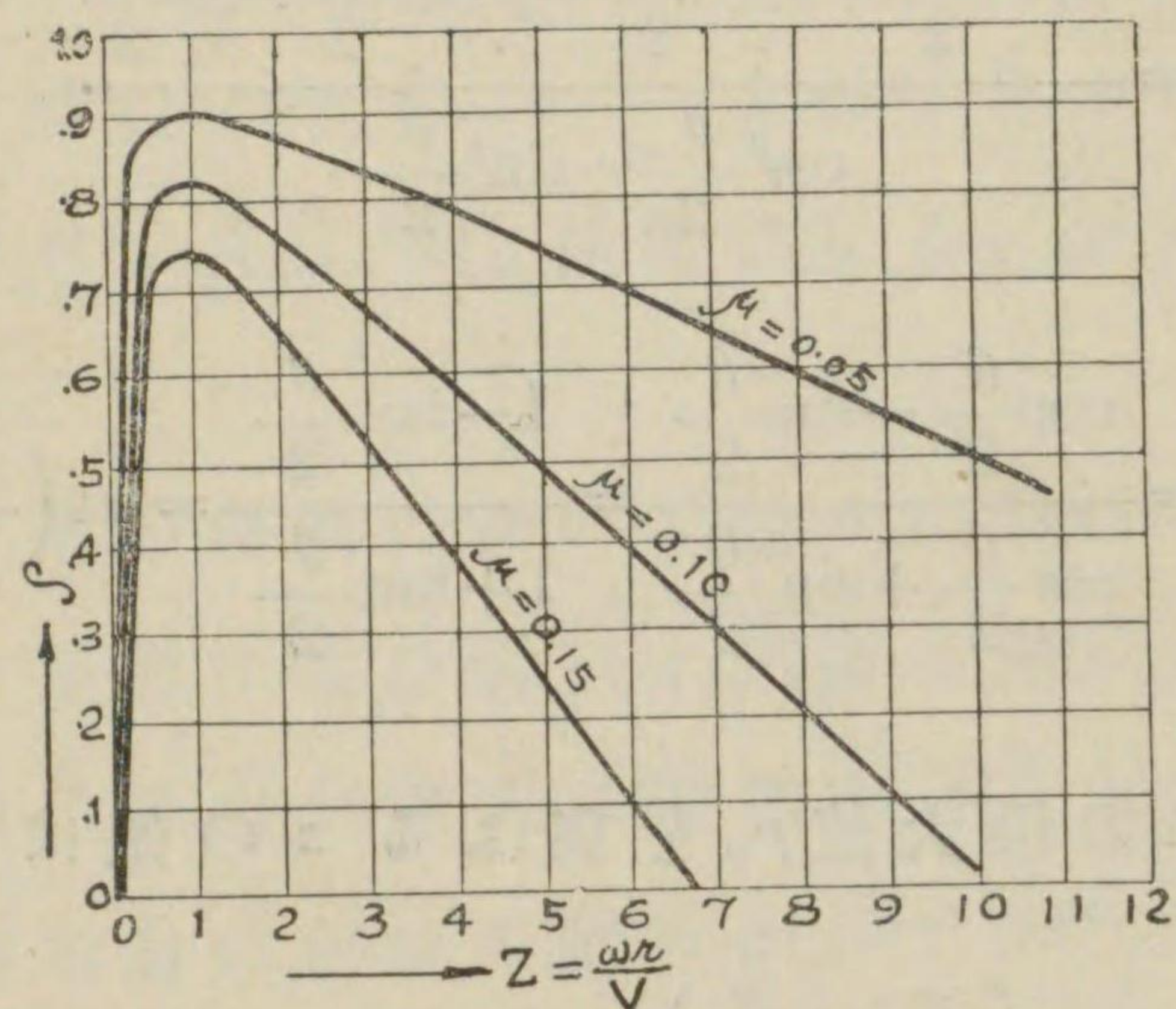
此を (9) 式に入れば

$$\rho_m = 2\mu^2 + 1 - 2\mu\sqrt{\mu^2 + 1} = z_m^2 \dots \dots \dots (11)$$

第三表は μ の値 0.5, 0.10 及び 0.15 の各々に就いて z の値を 1 より 10 迄變更して得たる ρ の値を表示したもので第三十四圖は此を圖示したものである。 ρ_m を與ふる z_m の値は三つの各線につき 0.951, 0.905 及び 0.861 である。

第三表

μ	$z=0.$	z_m	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
0.05	$\rho=0$	0,904	0,904	0,878	0,836	0,790	0,742	0,694	0,645	0,596	0,547	0,490
0.10	$\rho=0$	0,819	0,818	0,762	0,677	0,585	0,490	0,393	0,295	0,199	0,099	0
0.15	$\rho=0$	0,741	0,739	0,651	0,524	0,385	0,242	0,097	頁	頁	頁	頁



第三十四圖

ピッチ (Pitch) 及び迎角

ネヂを廻轉すれば其山形は雌ネヂの傾斜面を滑つて軸心の方向へ進む。此と同様に風車の羽根が廻轉するに従ひ其の傾斜面に沿ひ空氣を雌ネヂとして軸心方向に自由に移動し得るものと考へたとき其の羽根が1回轉に軸心方向に進む長さを稱してピッチ (Pitch) と云ふ。第三十一圖に於いて OC は1分間に羽根の移動する長さであるがこれを1回轉に羽根 AB が圓周的に進行した長さとすれば此の間に羽根が空氣の雌ネヂを滑つて進む距離は ON でこれが羽根 AB のピッチである。

風車の羽根が風の相對速度の方向となす角即ち

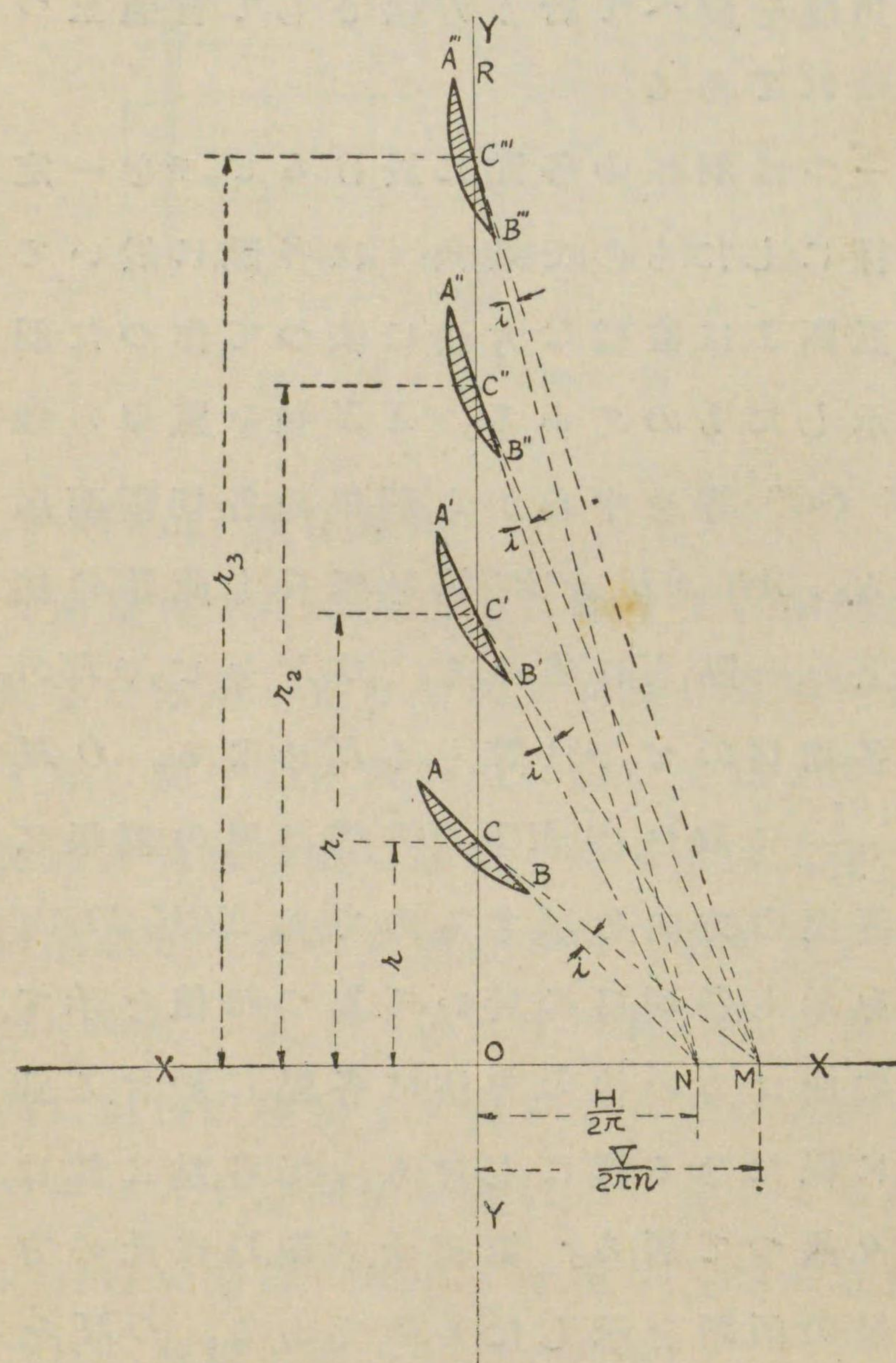
迎角 i は最も有効に仕事をする様に與へねばならないが羽根に對する風の相對速度の方向は各點に於いて異ふのであるから羽根の傾斜も此に應じて異つて行かねばならない。中心よりの位置に依り羽根の角度を變へて行く方法として普通三つの方法が行はれてゐる。

其の一つは羽根の各點に於けるピッチを一定に保たせる様にしたもので迎角 i は各點に於いて異ふ。第三十五圖 I は彼様な方法に依つて作つた羽根の傾斜を示したものである。 XX 軸を風車の軸とし OC, OC', OC'' 等を中心から羽根の各切斷面迄の半径とする。 $AB, A'B', A''B''$ 等を延長し此等の線を OX 線上の一點 N に集める。 ON をピッチ H の $\frac{1}{2\pi}$ に取れば各切口のピッチは等しく H となる。 OM を風速 V の $\frac{1}{2\pi n}$ に取れば MC, MC' 等は風の羽根に對する相對速度の方向を示すもので角 $NCM, NC'M$ 等は迎角 i を示し各切口に於いて異つた値を示す。

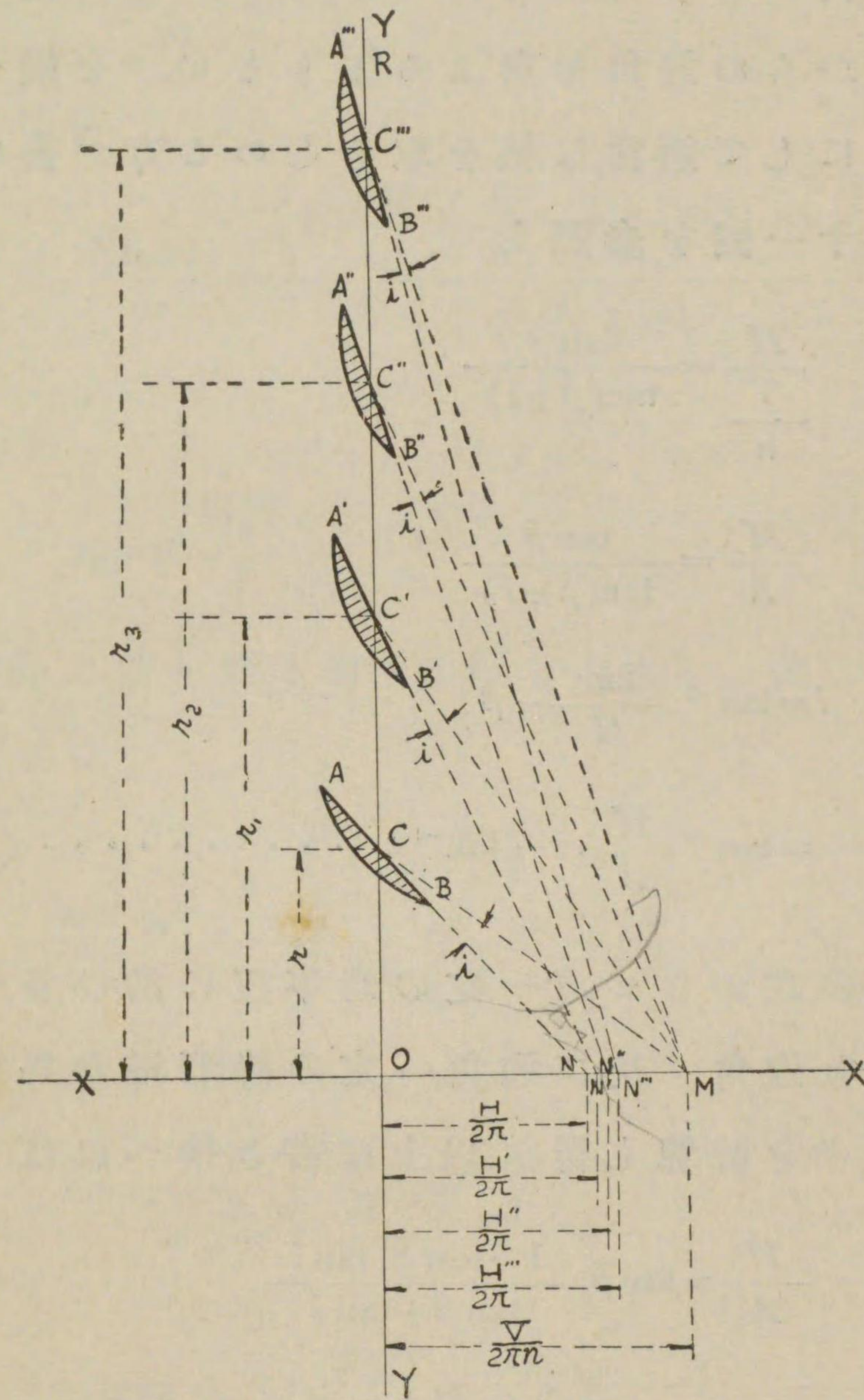
羽根の曲げ方の他の方法は各點に於ける迎角 i を一定に保たせる様にしたもので各點に於けるピッチは各々異つて居る。第三十六圖 II は此の方法に依る羽根の傾斜を示したものである。 OM を $\frac{V}{2\pi n}$ に取り $A'B', A''B''$ 等の各斷面が MC, MC', MC'' 等と

なす角即ち迎角 i を一定にしたもので $AB, A'B', A''B''$ を延長して得た ON, ON', ON'' 等は各切口のピッチの $\frac{1}{2\pi}$ になり各異つた値をもつてゐる。

第三の方法は迎角を適宜な割合に變化させる方



第三十五圖 (I)



第三十五圖 (II)

法で前二者の何れにも屬せず其の間にあるものである。

最も有利な結果を與へる迎角 i の値は極めて狭

い範囲内にあるものであるからピッチを一定にして望ましからぬ迎角を與ふるよりもピッチを變へ迎角を一定にして適當な値を取らしめる方が善い。偕て、第三十一圖を参照し

$$\frac{H}{V} = \frac{\tan \beta}{\tan(\beta+i)}$$

或は $\frac{H}{A} = \frac{\tan \beta}{\tan(\beta+i)}$

又 $i = \tan^{-1} \frac{2\pi r}{H} - \beta$

或は $= \tan^{-1} \frac{H}{A} \cdot z - \tan^{-1} z \dots\dots\dots (12)$

此等の式からピッチ一定の時半径に沿ひ各切口に與ふ可き迎角 i 及び迎角一定の時羽根の各點に與ふるピッチを計算し得。以上は書き換へれば

$$\frac{H}{A} = \tan \beta \cdot \frac{1 - \tan \beta \tan i}{\tan \beta + \tan i}$$

$$\tan i = \frac{\tan \beta \left(1 + \frac{H}{A}\right)}{\frac{H}{A} + \tan^2 \beta} = \frac{z \left(1 + \frac{H}{A}\right)}{\frac{H}{A} + z^2}$$

ピッチ一定の時の極大値を與ふる z の値 z_m を見出すために

$$\frac{d(\tan i)}{dz} = 0$$

と置けば

$$\frac{d(\tan i)}{dz} = \frac{\left(1 + \frac{H}{A}\right)\left(\frac{H}{A} + z^2\right) - 2z^2\left(1 + \frac{H}{A}\right)}{\left(\frac{H}{A} + z^2\right)^2} = 0$$

此より

$$z_m = \sqrt{\frac{H}{A}}$$

z が此の値を取る時 i は最も大きい。此の時 $\tan i$ の大いさは

$$\tan i_m = \frac{\sqrt{\frac{H}{A}}\left(1 + \frac{H}{A}\right)}{\frac{H}{A} + \left(\frac{H}{A}\right)^2}$$

此式を變形して

$$\tan i_m = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{A}{H}} + \sqrt{\frac{H}{A}} \right)$$

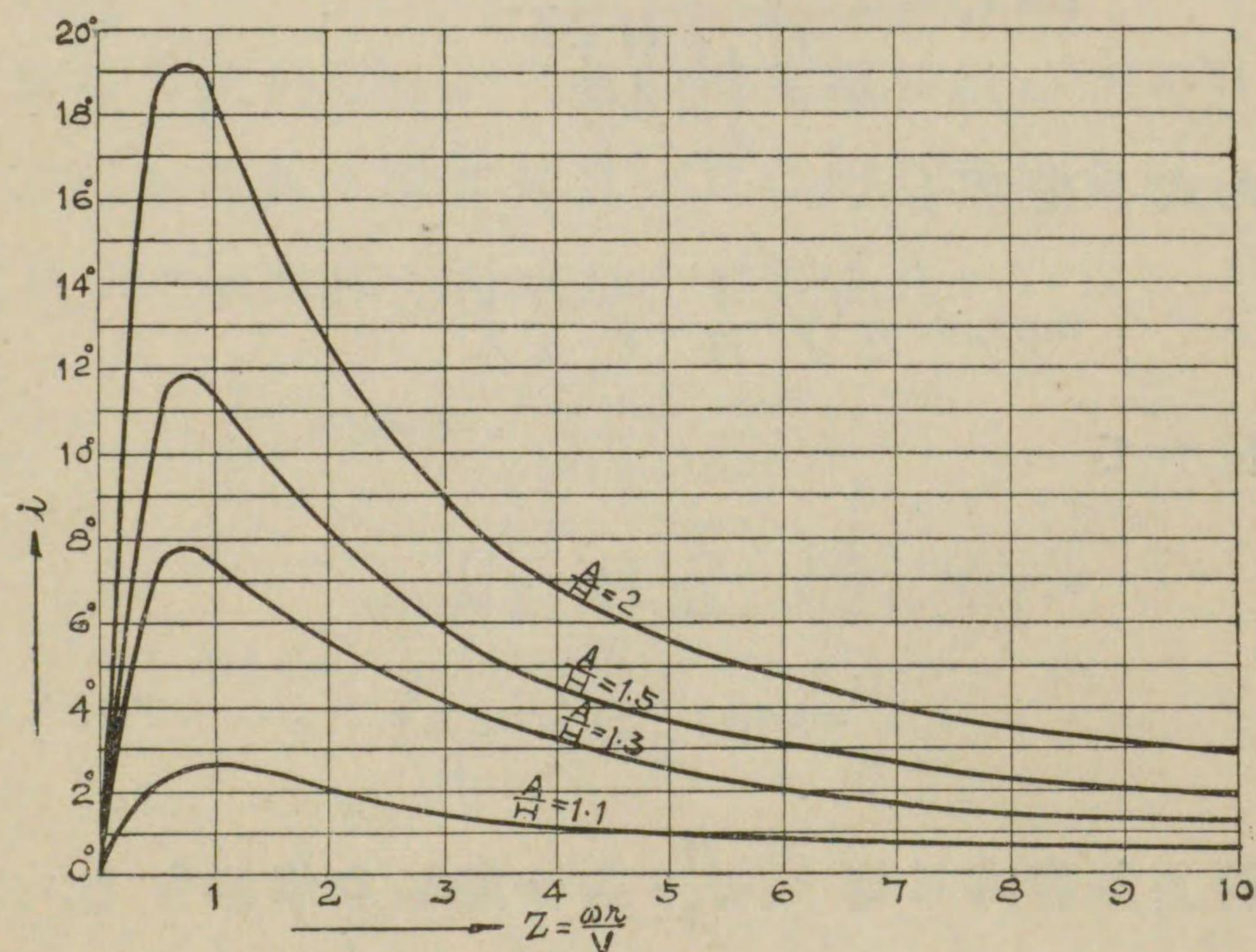
従つて

$$i_m = \tan^{-1} \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{A}{H}} + \sqrt{\frac{H}{A}} \right) = \tan^{-1} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{z_m} + z_m \right) \dots\dots\dots (13)$$

以上の諸式に依り $\frac{H}{A}$ の一定なる値に對し z を種々に變へて得たる結果を表示すれば第四表の如

第四表

$\frac{A}{H}$	z	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
1,1	$i=0,00$	2,70	2,12	1,58	1,22	1,00	0,85	0,74	0,64	0,57	0,51
1,2	" 0,00	5,20	3,94	2,92	2,28	1,86	1,56	1,39	1,18	1,05	0,95
1,3	" 0,00	7,44	5,54	4,06	3,15	2,57	2,16	1,86	1,63	1,46	1,31
1,4	" 0,00	9,45	6,92	5,06	3,91	3,18	2,72	2,31	2,02	1,80	1,62
1,5	" 0,00	11,30	8,13	5,90	4,58	3,72	3,12	2,69	2,36	2,10	1,91
1,6	" 0,00	13,00	9,22	6,68	5,15	4,19	3,52	3,03	2,65	2,36	2,13
1,7	" 0,00	14,55	10,18	7,34	5,67	4,60	3,86	3,33	2,91	2,61	2,36
1,8	" 0,00	15,95	11,06	7,94	6,13	4,97	4,17	3,59	3,14	2,81	2,54
1,9	" 0,00	17,24	11,83	8,48	6,53	5,31	4,46	3,83	3,37	2,99	2,71
2,0	" 0,00	18,43	12,54	8,97	6,91	5,60	4,70	4,04	3,54	3,17	2,86



第三十六圖

くなり此を圖示すれば第三十六圖となる。此の圖に依りピッチ一定の場合風車の中心から外周に至る羽根の迎角 i の變化の状態が知られる。

次に迎角一定なる場合風車の中心より外周に向ひピッチは如何様に變化して行くかを見やう。前出の式を再び引用すれば

$$\frac{H}{A} = \frac{\tan \beta}{\tan(\beta+i)} = \frac{\tan \beta(1-z \tan i)}{z + \tan i}$$

$$= \frac{z(1-z \tan i)}{z + \tan i} \dots \dots \dots (14)$$

此の式を以てピッチの變化を知る事が出来るが今 $\frac{H}{A}$ の極大値を求むるために、

$$\frac{d\left(\frac{H}{A}\right)}{dz} = 0$$

とをけば

$$\frac{d\left(\frac{H}{A}\right)}{dz} = \frac{(1-2z \tan i)(z + \tan i) - z(1-z \tan i)}{(z + \tan i)^2} = 0$$

此より $\frac{H}{A}$ の極大値を與ふる z の値として

$$z_{max} = \sqrt{\tan^2 i + 1} - \tan i$$

或は

$$= \frac{1 - \sin i}{\cos i} = \frac{\cos^2 \frac{i}{2} + \sin^2 \frac{i}{2} - 2 \sin \frac{i}{2} \cos \frac{i}{2}}{\cos^2 \frac{i}{2} - \sin^2 \frac{i}{2}}$$

$$= \frac{\cos \frac{i}{2} - \sin \frac{i}{2}}{\cos \frac{i}{2} + \sin \frac{i}{2}} = \frac{1 - \tan \frac{i}{2}}{1 + \tan \frac{i}{2}}$$

$$= \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{i}{2}\right)$$

此の時 $\frac{H}{A}$ の極小値は次の様に表はされる

$$\left(\frac{H}{A}\right)_{\min} = \frac{\sqrt{\tan^2 i + 1} (1 - \sqrt{\tan^2 i + 1} \tan i)}{\sqrt{\tan^2 i + 1} - \tan i + \tan i}$$

此を計算すれば

$$= 1 - 2 \tan i \sqrt{\tan^2 i + 1} + 2 \tan^2 i$$

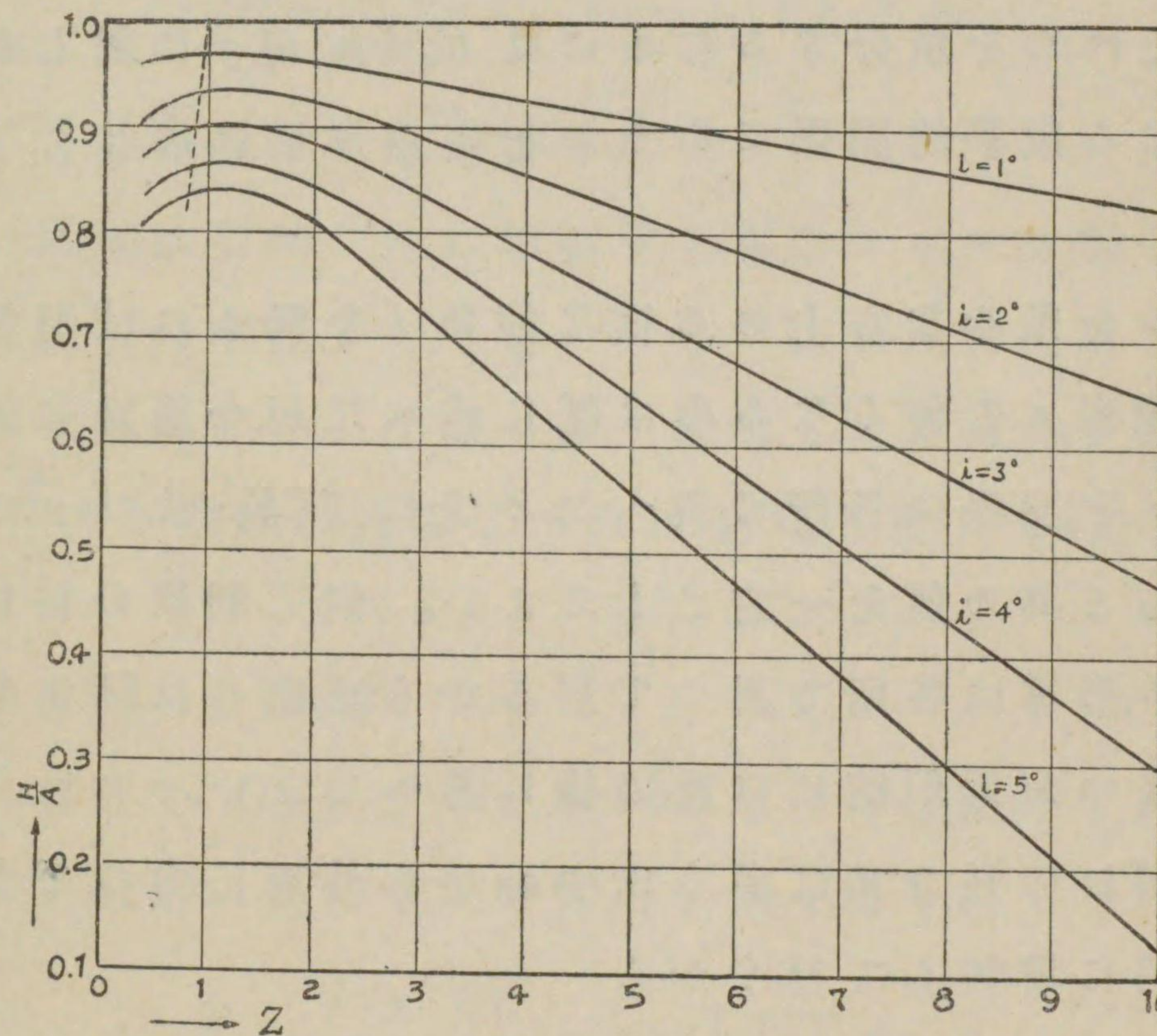
$$= \sqrt{\tan^2 i + 1}^2 - 2 \tan i \sqrt{\tan^2 i + 1} + \tan^2 i$$

$$= \left(\sqrt{\tan^2 i + 1} - \tan i\right)^2 = z_{\max}^2 \dots \dots (15)$$

第五表は迎角 i を $1^\circ \sim 5^\circ$ の間で一定に保つた時 $\frac{H}{A}$ の値の變化を表示したもので第三十七圖は此を圖解せるものである。

第五表

i	$z=0,5$	1	2	3	4	5	7	10
1°	$\frac{A}{H}=0,966$	0,967	0,960	0,944	0,927	0,910	0,890	0,824
2°	" 0,919	0,933	0,924	0,891	0,857	0,820	0,752	0,648
3°	" 0,833	0,900	0,884	0,836	0,784	0,731	0,629	0,474
4°	" 0,847	0,869	0,845	0,791	0,708	0,641	0,505	0,798
5°	" 0,8145	0,840	0,807	0,728	0,636	0,553	0,383	0,124



第三十七圖

羽根全面の仕事及び能率

以上述べた處に依り羽根の微小部分に作用する風の仕事及び羽根の角度等の關係が判つた。次に

最も妥當と思はれる假定を設けて dP_u 及び dP_m を積分し羽根總體の作用を調べやう。(7')式及び(8')式を再び引用する。

$$dP_m = \frac{V^4}{\omega} K_y \cdot l \cdot (z + \mu) \cdot \sqrt{1 + z^2} \cdot dz$$

$$dP_u = \frac{V^4}{\omega} K_y \cdot l \cdot z (1 - \mu z) \cdot \sqrt{1 + z^2} \cdot dz$$

此れらを積分するためには $K_y \cdot l \cdot \mu$ が z に對し如何なる數學的關係にあるかを定めなければならぬ。

μ を最小ならしめる様な迎角 i を與ふれば羽根の能率 ρ の善くなる事は既に述べたが、今適當な迎角 i を羽根の各所に與へたとすれば K_y 及び μ は殆んど其の値を一定としてよい。但し羽根の切口、長さ、形等は各所で異つて居るから正確には斷定出來ないが、近似的には此の様に考へてよい。

切口の長さ l は多くは中心から外周に向つて直線的に増加して行くから

$$l = \frac{R}{\varepsilon}$$

但し ε は正の整數で表はされる常數である。

$$\text{然るに } \frac{\omega R}{V} = Z$$

$$\text{或は } R = \frac{VZ}{\omega}$$

$$\text{故に } l = \frac{V \cdot Z}{\varepsilon \omega}$$

(7')式及び(8')式に代入すれば

$$dP_m = \frac{V^5 Z}{\varepsilon \omega^2} K_y \cdot (z + \mu) \sqrt{1 + z^2} \cdot dz$$

$$dP_u = \frac{V^5 Z}{\varepsilon \omega^2} K_y \cdot (1 + \mu z) \sqrt{1 + z^2} \cdot dz$$

となり積分する事を得る。

風車は車軸や此に輻輳する車のスポーク等のために外周半徑 R の $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ は羽根に使用する事は出來ない。今最も多く使用したる場合を取り $\frac{1}{5}R$ を羽根の内徑とすれば内徑に於ける z の値 Z_0 は

$$Z_0 = 0.2Z$$

其處で dP_u 及び dP_m を $0.2Z$ より Z 迄積分すれば羽根總體に及ぼす風の作用を知り得る。

$$P_m = \frac{V^5 Z}{\varepsilon \omega^2} K_y \int_{0.2Z}^Z (z + \mu) \sqrt{1 + z^2} \cdot dz$$

$$P_u = \frac{V^5 Z}{\varepsilon \omega^2} K_y \int_{0.2Z}^Z z (1 - \mu z) \sqrt{1 + z^2} \cdot dz$$

若し羽根の數が a 枚ある時は

$$P_m = \frac{aV^5 Z}{(2\pi)^2 n^2 \varepsilon} K_y \int_{0,2Z}^z (z + \mu) \sqrt{1+z^2} dz$$

$$P_u = \frac{aV^5 Z}{(2\pi)^2 n^2 \varepsilon} K_y \int_{0,2Z}^z z(1 - \mu z) \sqrt{1-z^2} dz$$

然るに

$$\int \sqrt{1+z^2} dz = I_1 = \frac{1}{2} z \sqrt{1+z^2} + \frac{1}{2} \log(z + \sqrt{1+z^2})$$

$$\int z \sqrt{1+z^2} dz = I_2 = \frac{1}{2} \sqrt{1+z^2} (z^2 + 1)$$

$$\int z^2 \sqrt{1+z^2} dz = I_3 = \frac{1}{4} \sqrt{1+z^2} \left(z^3 + \frac{1}{2} z \right) - \frac{1}{8} \log(z + \sqrt{1+z^2})$$

此の積分を P_m 及び P_u の積分に代入すれば

$$P_m = \frac{aV^5 Z}{(2\pi)^2 n^2 \varepsilon} K_y \left[I_2 + \mu I_1 \right]_{0,2Z}^z \dots \dots \dots (16)$$

$$P_u = \frac{aV^5 Z}{(2\pi)^2 n^2 \varepsilon} K_y \left[I_2 - \mu I_3 \right]_{0,2Z}^z \dots \dots \dots (17)$$

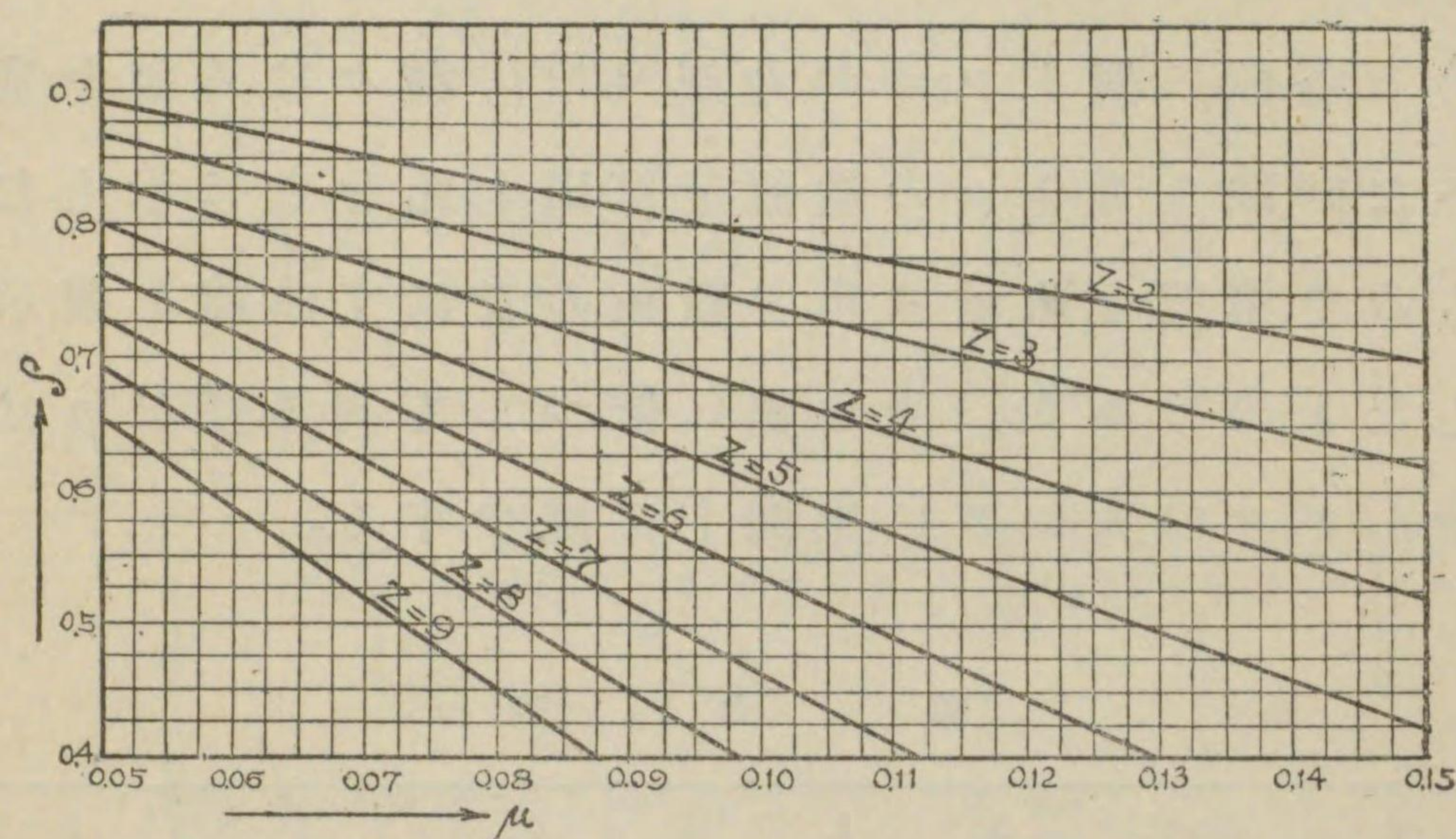
従つて

$$\rho = \frac{P_u}{P_m} = \frac{1 - \mu \frac{I_3}{I_2}}{1 + \mu \frac{I_1}{I_2}} \dots \dots \dots (18)$$

第六表は上式に依つて Z の値が 2 乃至 9 の間にある各値に對し $\mu=0,05$ 乃至 $0,20$ の種々なる値を與へた時取る可き ρ の數値を算出し此を表に示したもので、第三十八圖は此の數値の表はす曲線を圖示したものである。此の圖に依つても判る様に ρ は殆んど μ の大いさに比例して減少する。

第六表

μ	$Z=2$	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
0,05	$\rho=0,893$	0,867	0,835	0,801	0,766	0,729	0,693	0,656
06	" 872	841	803	762	721	676	632	588
07	" 852	816	771	723	673	623	572	520
08	" 832	790	739	685	627	569	511	452
09	" 812	765	708	646	582	517	451	
10	" 793	741	677	608	537	465		
11	" 774	716	646	570	492			
12	" 755	692	615	532				
13	" 737	667	584	495				
14	" 718	643	554					
15	" 700	620	523					
16	" 683	596	493					
17	" 665	573						
18	" 647	550						
19	" 631	527						
20	" 614	505						



第三十八圖

(17) 式に於いて

$$Q = Z(I_2 - \mu I_3) = \frac{\epsilon \omega^2 P_a}{\alpha V^5 K_y} \dots \dots \dots (19)$$

とすれば羽根の取扱上便利な事が多い。Qを稱して仕事常數と云ふ。第三十九圖は $\mu=0,15$ の時此のQがZの變化に従ひて畫く曲線を示したものであるが μ を換へればこの曲線は更に異つた形を示す。然し乍ら此等の曲線についてZと μ との關係を調べると殆んど次の様な數學的關係を示す。

$$Q = 0,411Z^{3.9} - \mu 0,307Z^{4.9} \dots \dots \dots (20)$$

此の式を微分し零と置きQの極大値 Q_{max} を與ふ

るZの値を算出すれば

$$Z_{max} = \frac{1.066}{\mu}$$

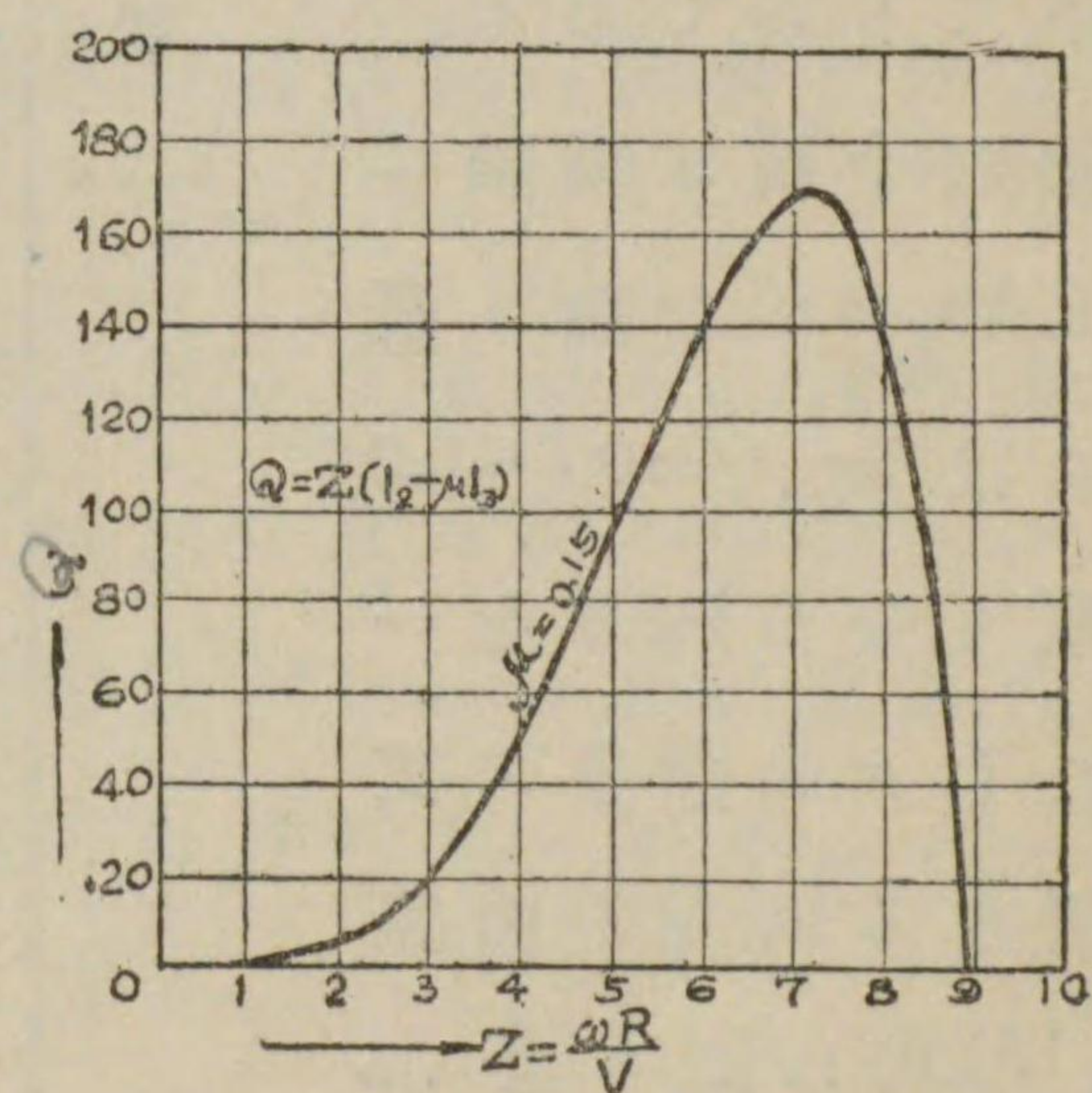
又(20)式を零と置いて $Q=0$ の時のZを求むれば

$$Z_0 = \frac{1.339}{\mu}$$

故に $\mu=0.15$ なる場合にはQの値は $Z=7.1$ の時最大に $Z=8.9$ の時零となること圖に示す通りである。故にこの場合風車の外徑が

$$R = 8.9 \frac{V}{2\pi n}$$

よりも大になる時は發生する仕事は負號を帯びる。換言すれば此の車を n 廻轉させる爲には人爲的に仕事を加へてやらねばならない。又第三十九圖に明である様に同じ仕事量を示すZの値は二つある。即同一の風車でも同じ仕事量を示す廻轉數は大小二つあるのである。此は風車に限らず普通の原動機でも實驗せられる事である。



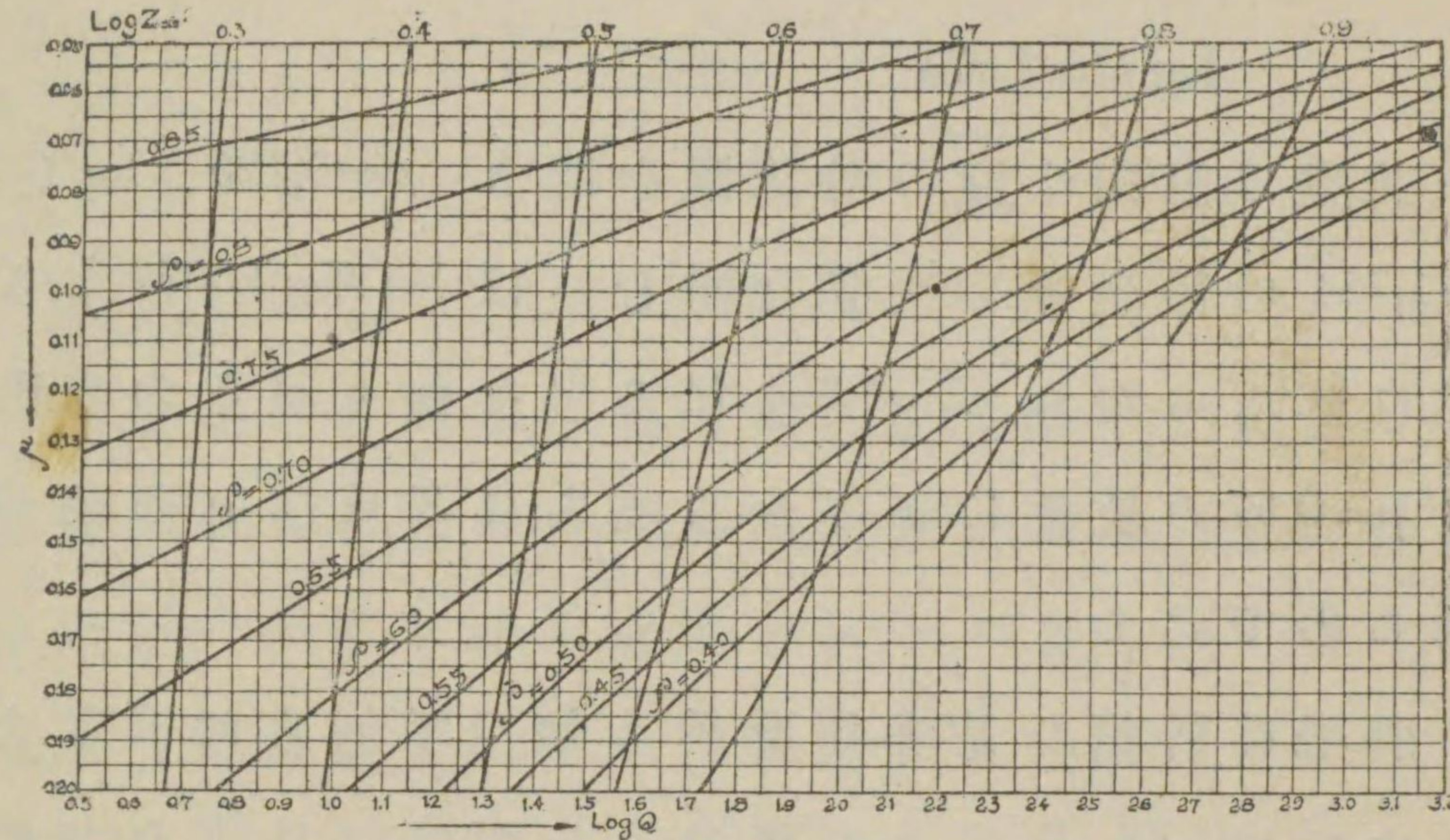
第三十九圖

儲て所定の状態で作用して居る風車の仕事及び能率等を算出するには(16)式(17)式及び(18)式を用ふればよいのであるが、所定の Z に適應する I_1, I_2, I_3 を算出するのはかなり面倒であるから第七表は種々なる Z に対する I_1, I_2, I_3 の \log を豫め算出し計算を容易にするため掲げたものである。

第四十圖は縦軸に $\mu=0.05\sim 0.20$ を取り横軸には $\log Q=0.5\sim 3.2$ を取り、先づ $\log Z$ を一定にし μ の數多の値に対する $\log Q$ の曲線を(19)式に依り畫く。此が $\log Z=0.3\sim 0.9$ の

第七表

Z	$\log Z$	$\log I_1$	$\log I_2$	$\log I_3$
2	0,301	0,4060	0,5098	0,6839
		Δ		
3	0,4771	0,6997	1,0000	1,3471
		Δ		
4	0,6021	0,9249	1,5553	1,8299
		Δ		
5	0,6990	1,1058	1,6360	2,2090
		Δ		
6	0,7782	1,2553	1,8678	2,5213
		Δ		
7	0,8451	1,3855	2,0648	2,7860
		Δ		
8	0,9031	1,4984	2,2368	3,0160
		Δ		
9	0,9542	1,5984	2,3885	3,2191



第四十圖

間に於いて縦に走る7本の曲線になる。次に ρ を一定にし μ の數多の値に対する $\log Q$ を前出の諸式に依り算出して畫けるものが $\rho=0.40\sim 0.85$ の間にとつた10本の曲線である。此の圖を使用し我々は容易に所定の風速廻轉數及び仕事量の關係を知る事を得る。

今此の計算圖の應用を試みて見やう。飛行機搭載の無電用發電機の2枚羽根風車が $\varepsilon=6$ 即ち $l=\frac{r}{6}$ なる羽根の形式を有し秒速30メートルの風速に對し毎分4500の廻轉を以て毎秒60キログラムメートルの仕事をするものとする。

今此の風車の羽根の $K_y=0.022$ $\mu=0.125$ とすれば

(19) 式より

$$\log Q = 1.874$$

其處で第四十圖の計算圖を開き $\mu = 0.125$ $\log Q = 1.784$ の兩坐標の交點を求めれば $\log Z = 0.6399$ なる點に落ちるから、 $Z = 4.364$ なる事を知り、又その交點は $\rho = 0.57$ の位置にあるから直ちに Z 及び ρ の値が判るのである。

羽根の計算で是非實驗的に知つて居らねばならぬのは K_y 及び μ の値であるが、これは種々な風車の羽根に就いて一實驗的に定めて置かねばならぬもので餘程厄介な事である。此等の數値を定めるために用ふる式は前に掲げた式から導かれる。

$$\mu = \frac{I_2(1-\rho)}{\rho I_1 + I_3} \dots\dots\dots (21)$$

$$K_y = \frac{P_u \cdot \varepsilon \cdot \omega^2}{a \cdot V^5 \cdot Z (I_2 - \mu I_3)} \dots\dots\dots (22)$$

佛國エイフェル (Eiffel) 研究所に於いて行つた No.31 の羽根を有する風車の實驗結果は、下記の通りである。

i	μ	K_y
0°	0,218	0,0137
3	0,132	0,0281

i	μ	K_y
6	0,125	0,0441
9	0,136	0,0509
12	0,146	0,0571

以上述べた理論は飛行機搭載用風車を目標として提唱せられたものであるが普通地上にて行はれる諸型式の風車にも適用せらるべきものである。唯、飛行機搭載用のものは風速非常に早く、羽根車の廻轉數も小さき風速を利用する地上のものよりも遙に多い。従つてこれに適する様に其の形も兩者に於いて大いに異り高速度のものは二枚羽根、低速度のものは多葉式になつて居る。此がため μ 及び K_y 等の常數が兩者に於いて自ら異つて來る事を注意しなければならない。

第十一章 特性係數

風が風車の羽根に衝り此をして有効に作用せしむる壓力は風速の自乗と風を受くる面積との相乗積に比例する事は既に述べた。即ち

$$F_u \propto V^2 D^2 \quad \text{或は} \quad F_u = A V^2 D^2$$

但し F_u は有効總壓力、 V は風速、 D は風車の直徑である。風速を一定に保つても風車の廻轉數を換へ、

羽根車の周速度と風速との比 Z を變化すれば F_u は變化する。此の事實は風速 V 及び風車の直径の一定である限り A なる係数が $\frac{V}{\pi nD}$ 或は $\frac{V}{nD}$ の値の如何に依り變化する函數なる事を意味する。

$$F_u = V^2 D^2 \cdot f_1 \left(\frac{V}{nD} \right)$$

然るに

$$V = nD \left(\frac{V}{nD} \right)$$

故に

$$F_u = n^2 D^4 \cdot f_1 \left(\frac{V}{nD} \right) \dots \dots \dots (23)$$

$$f_1 = \frac{F_u}{n^2 D^4} \dots \dots \dots (24)$$

従つて風車を廻轉せんめんとする廻轉モーメント C_u は

$$C_u = n^2 D^5 \cdot f_2 \left(\frac{V}{nD} \right) \dots \dots \dots (25)$$

$$f_2 \left(\frac{V}{nD} \right) = \frac{C_u}{n^2 D^5} \dots \dots \dots (26)$$

又風車の出し得る仕事は

$$P_u = 2\pi n^3 D^5 f_3 \left(\frac{V}{nD} \right) = n^3 D^5 f_3 \left(\frac{V}{nD} \right) \dots \dots \dots (27)$$

$$f_3 \left(\frac{V}{nD} \right) = \frac{P_u}{n^3 D^5} \dots \dots \dots (28)$$

同様にして風が風車の羽根に衝り風速の方向に於いて出し得べき理論的總壓力は

$$F_m V^2 D^2 f_4 \left(\frac{V}{nD} \right) = n^2 D^4 \cdot f_4 \left(\frac{V}{nD} \right) \dots \dots \dots (29)$$

$$f_4 \left(\frac{V}{nD} \right) = \frac{F_m}{n^2 D^4} \dots \dots \dots (30)$$

又其の方向に有する仕事は

$$P_m = n^3 D^5 f_5 \left(\frac{V}{nD} \right) \dots \dots \dots (31)$$

故に

$$\frac{P_u}{P_m} = \rho = f_6 \left(\frac{V}{nD} \right) \dots \dots \dots (32)$$

以上諸種の係數は $\frac{V}{nD}$ に依り變化する無名數で全然實驗に依つて定めらる可き値であるが幾何學的相似の風車にあつては此等の係數は全く等しい。即ち $\frac{F_m}{n^2 D^4}$, $\frac{C_u}{n^2 D^5}$, $\frac{P_u}{n^3 D^5}$, ρ 等は幾何學的相似の大小數多の一群の風車に共通な特性を表示する。故に吾々は此等の係數を稱して風車の特性係數と云ふ。風車を實驗するに當りあらゆる大いさのあらゆる型式のものを實驗室内に据える事は設備上全然不可能である。幸にして此等の特性係數は幾何學的相似の車には共通であるから小型の風車を



用ひて此等の係数の大小變化の有様を求め此に依つて各型式の風車の利害得失を論ずる事を得る。

特性係数は以上掲げた4種類に限らず F_m, P_m, P_u, C_u の各々に D, n, V の中2箇宛を組合はせて得る總計12種類の特性係数がある。今此を配列し其相互間の關係を挙げれば第八表の様になる。表中其列頭に表はれた係数を任意の行頭の係数から求め様とすれば其の交點に位置する數値を乗すればよい。例へば、

$$\frac{C_u}{n^2 D^5} (\text{第二列}) = \frac{P_u}{n_3 D_5} (\text{第一行}) \times \frac{1}{2\pi}$$

第十二章 風車の實驗

風車實驗の目的は羽根の數、角度、形等を様々に變更し其等の各々に就いて車の周速度と風速との關係を變へた時風車の發生する仕事量が如何になるかを知らむためである。而して此の結果を比較研究する事に依り我々は所要の目的に叶ふ最も有効な風車を選定し得られるのである。

風車を實驗するには先づ第一に風速の分布一樣なる風を得る事が必要である。これが爲には流體力學の實驗に使用する風洞を當てるのが最も都合

	9	10	11	12
$\frac{P_u}{V^3 D^2}$	$\frac{C_u}{V^2 D^3}$	$\frac{P}{V^3 D^2}$	$\frac{F}{V^2 D^2}$	
$\left(\frac{V}{nD}\right)^{\frac{5}{\rho}}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 2\pi$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{\rho}$
$\left(\frac{V}{nD}\right)^{\frac{5}{2\pi\rho}}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{2\pi}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{2\pi\rho}$
$\left(\frac{V}{nD}\right)^5$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 2\pi\rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3$
$\left(\frac{V}{nD}\right)^4$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 \rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 2\pi\rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$
	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 2\pi$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{\rho}$
$\left(\frac{nD}{V}\right)^{\frac{2}{2\pi}}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{2\pi}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{2\pi\rho}$
	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 2\pi\rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$
	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 2\pi\rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$
$\frac{2}{\rho}$	1	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 2\pi$	$\frac{1}{\rho}$	$\frac{1}{\rho}$
$\frac{3}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^{\frac{1}{2\pi}}$	1	$\left(\frac{V}{nD}\right)^{\frac{1}{2\pi\rho}}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^{\frac{1}{2\pi\rho}}$
ρ^2	ρ	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 2\pi\rho$	1	1
ρ^2	ρ	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 2\pi\rho$	1	1

第 八 表

番 號	特 性 係 數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	$\frac{P_u}{n^3 D^5}$	1	2π	$\frac{1}{\rho}$	$\frac{V}{nD} \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5 2\pi$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 2\pi$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{\rho}$
2	$\frac{C_u}{n^2 D^5}$	$\frac{1}{2\pi}$	1	$\frac{1}{2\pi\rho}$	$\frac{V}{nD} \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5 \frac{1}{2\pi}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{2\pi}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{2\pi\rho}$
3	$\frac{P}{n^3 D^5}$	ρ	$2\pi\rho$	1	$\frac{V}{nD}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5 \rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5 2\pi\rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^5$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 2\pi\rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3$
4	$\frac{F}{n^3 D^4}$	$\frac{nD}{V} \rho$	$\frac{nD}{V} 2\pi\rho$	$\frac{nD}{V}$	1	$\left(\frac{V}{nD}\right)^4 \rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^4 2\pi\rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^4$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^4$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 \rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 2\pi\rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$
5	$\frac{P_u n^2}{V^5}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5 2\pi$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^4 \frac{1}{\rho}$	1	2π	$\frac{1}{\rho}$	$\frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 2\pi$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{\rho}$
6	$\frac{C_u n^3}{V^5}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5 \frac{1}{2\pi}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^4 \frac{1}{\rho}$	$\frac{1}{2\pi}$	1	$\frac{1}{2\pi\rho}$	$\frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{2\pi}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{2\pi\rho}$
7	$\frac{P n^2}{V^5}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5 \rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5 2\pi\rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^4$	ρ	$2\pi\rho$	1	1	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 2\pi\rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$
8	$\frac{F n^2}{V^4}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5 \rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5 2\pi\rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^5$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^4$	ρ	$2\pi\rho$	1	1	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 2\pi\rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$
9	$\frac{P_u}{V^3 D^2}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 2\pi$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 2\pi$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 \frac{1}{\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 \frac{1}{\rho}$	1	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 2\pi$	$\frac{1}{\rho}$	$\frac{1}{\rho}$
10	$\frac{C_u}{V^2 D^3}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{2\pi}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{nD}{V}\right) \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{2\pi}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^3 \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right) \frac{1}{2\pi}$	1	$\left(\frac{V}{nD}\right) \frac{1}{2\pi\rho}$	$\left(\frac{V}{nD}\right) \frac{1}{2\pi\rho}$
11	$\frac{P}{V^3 D^2}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 \rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 2\pi\rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 \rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 2\pi\rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$	ρ	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 2\pi\rho$	1	1
12	$\frac{F}{V^2 D^2}$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 \rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3 2\pi\rho$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^3$	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 \rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2 2\pi\rho$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$	$\left(\frac{V}{nD}\right)^2$	ρ	$\left(\frac{nD}{V}\right)^2 2\pi\rho$	1	1

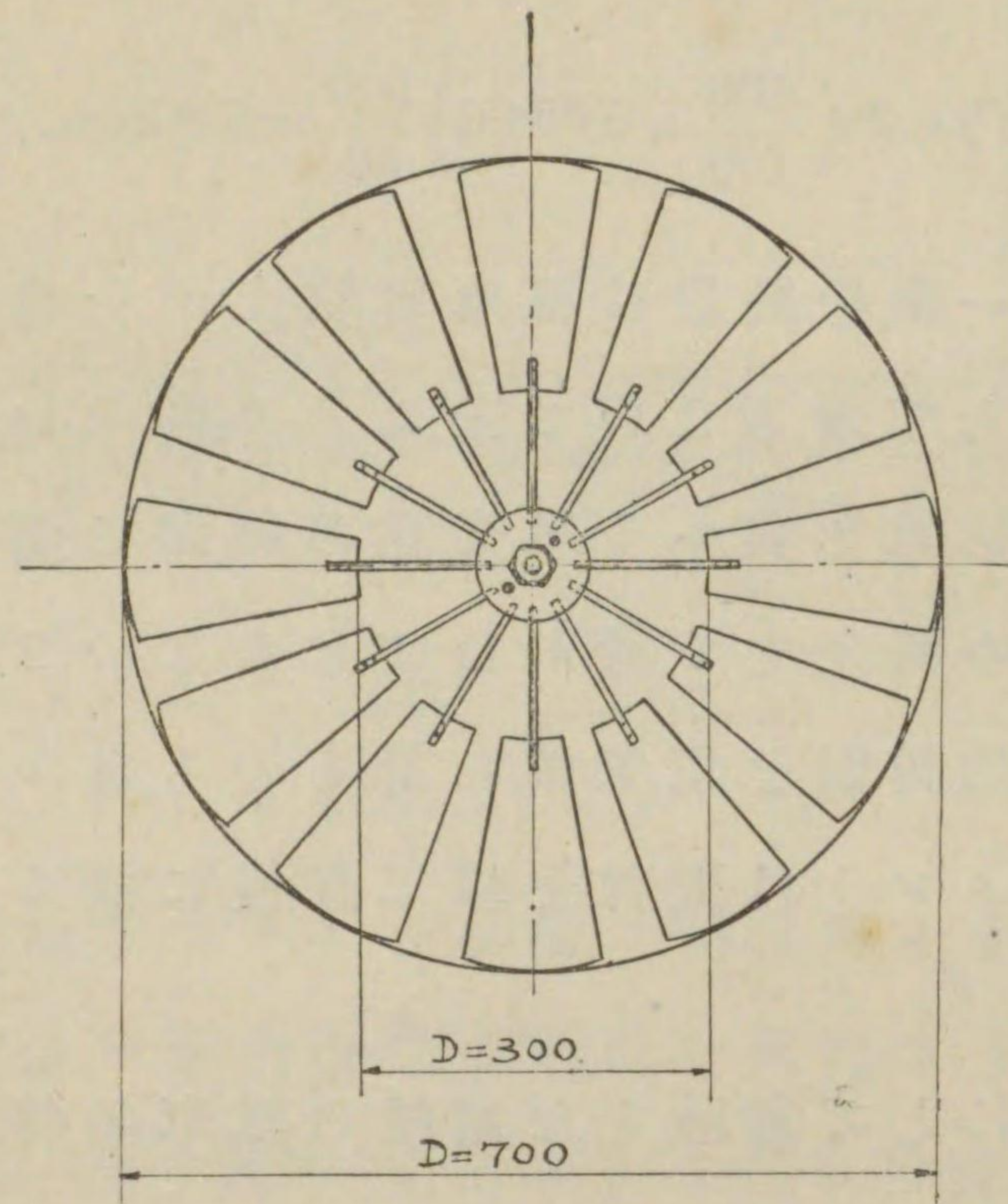
め此に依
を得る。
 F_m, P_m, P_w
て得る總
し其相互
表中其列
ら求め様
いばよい。

様々に變
速との關
可になる
と比較研
最も有効
布一様
は流體
最も都合

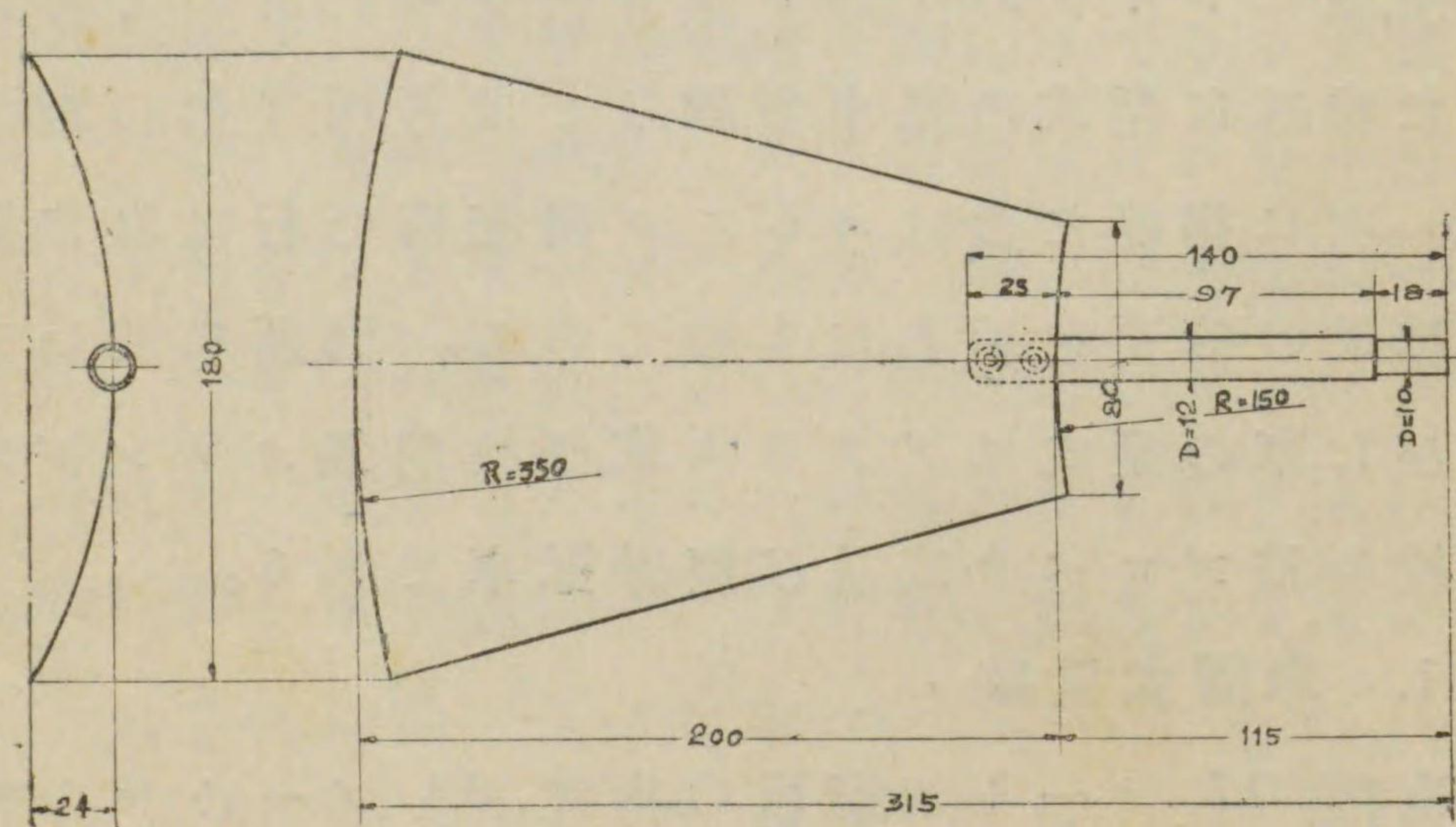
よい。此の風洞には種々な型式があるが要するに或る切口面積の間だけ風速の分配状態の等しい風を得ると同時に測定器を備へて實驗に必要な測定をなし得るものであればよい。風洞の大いさに對し使用する模型の大いさには自ら制限がある。其れは模型を風洞の大いさに近けると其周壁の影響を受けて精密な値を得られなくなるからである。故に普通模型の大いさは風洞直徑の $\frac{1}{2}$ に止めたい。

風車の實驗に於いて必要な觀測値は風速、風車の廻轉數、風車の廻轉モーメントであるが、風速はピトー管にて測るから容易であるが、風車の模型の仕事量の如きは誠に小さいものであるから廻轉數や廻轉モーメントは風車の運動を少しでも阻害する事のない様にして測定しなければ誤差のみ大きくなつて實驗の價値を失ふ。

第四十一圖は佛國エイフェル研究所に於いて實驗せる模型の装置である。Aは風車、Bは其の軸でボールベヤリング $R_1 R_2$ を以つて支へられる。而して風車全體を支持する組杵は刃端 $C_1 C_2$ を以て針金 $F_1 F_2$ の下端に吊されて居る。又風車の軸向の押力は組杵の中央上部で受けて居る。Tは非常に軽い廻轉計で軸端に固定しFは軸を締めつけて摩擦を

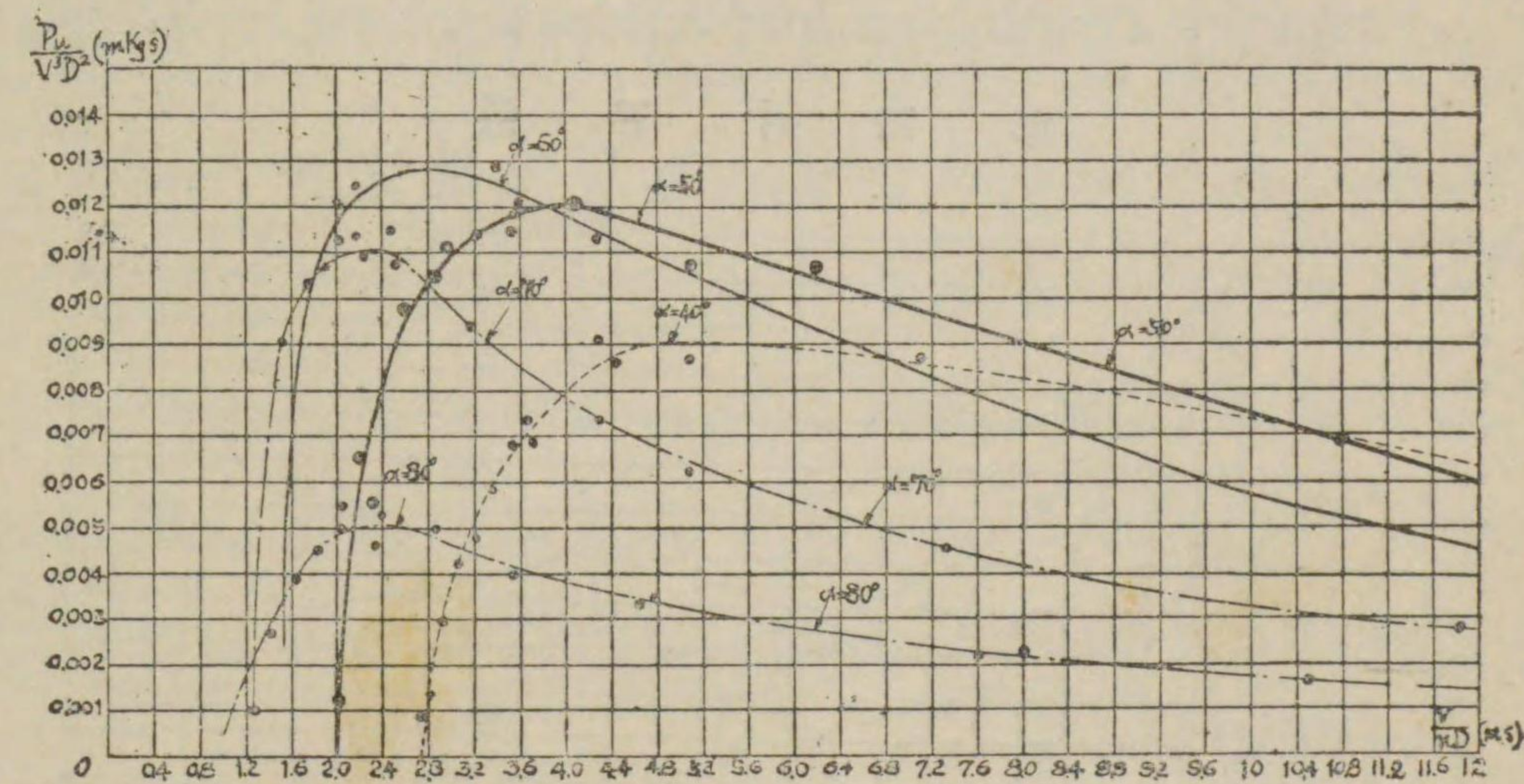


第四十二圖 (I)

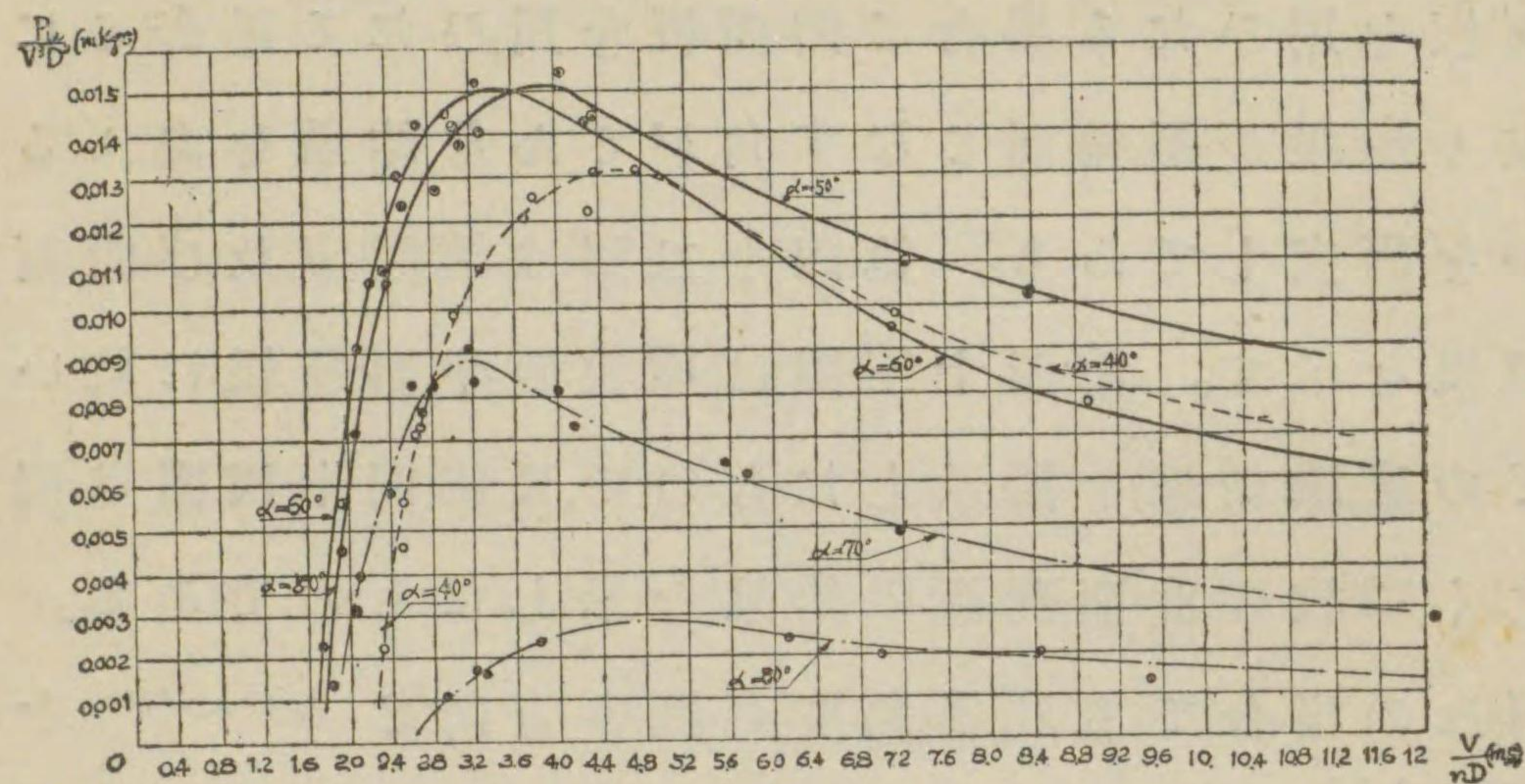


第四十二圖 (II)

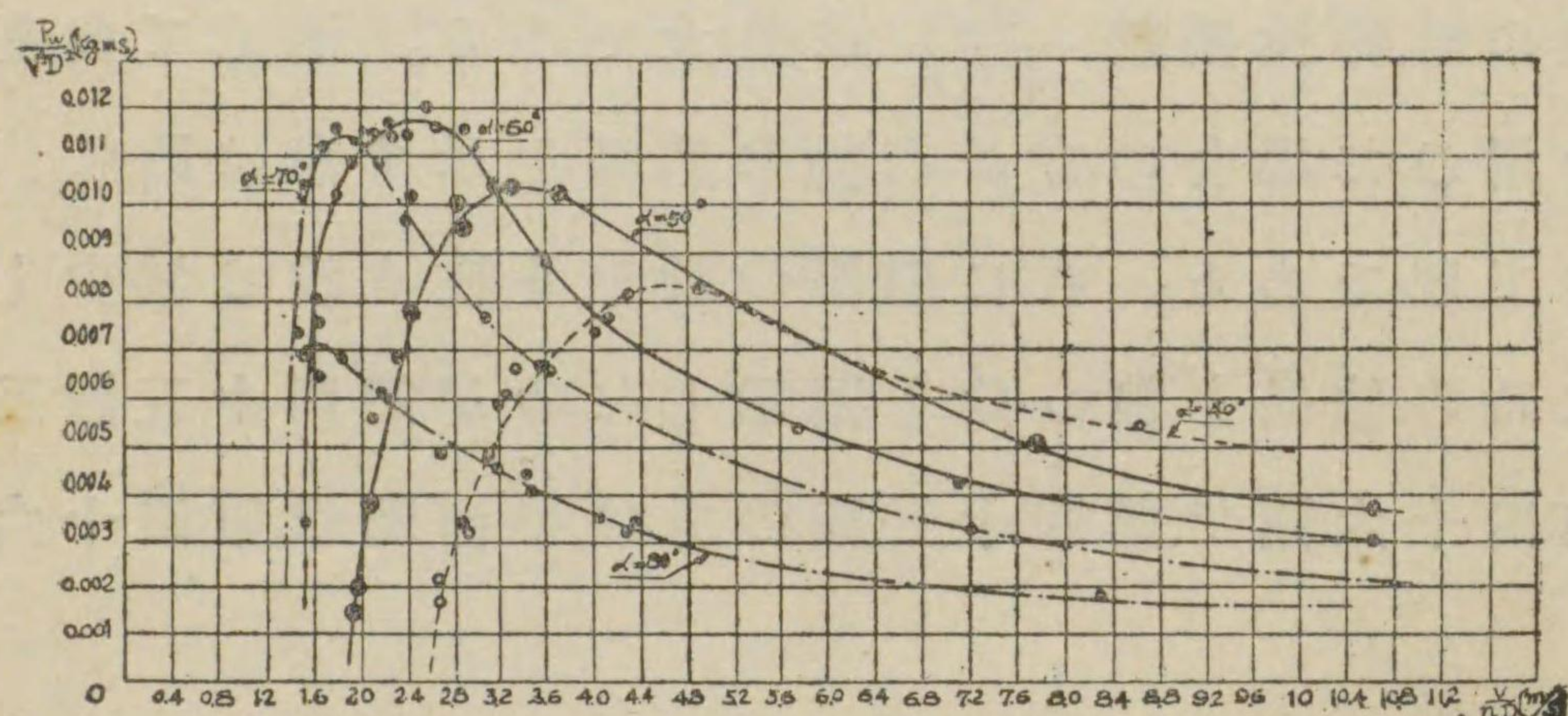
面板を用ひたる場合と曲面板を用ひたる場合とに依り羽根が廻轉面となす角がどんな結果を與ふかを研究してゐる。第四十二圖は模型車及び曲面羽根を示す。第四十三圖は12枚の平面羽根に就いての實驗結果を圖示したもので、又第四十四圖は同じく12枚の曲面羽根の結果を示したものである。何れの場合でも羽根角度が風の方向と $50^\circ \sim 40^\circ$ をなし $\frac{V}{nD}$ の値が $3 \sim 4$ の時、換言すれば周速度が $0.8 V$ 位の時、特性係數 $\frac{P_u}{V^3 D^2}$ は最大である。而して曲面を用ひた場合の方が有効な結果を示す事は圖に依つて明である。次に羽根の數を6枚4枚と減少した時の結果を測り此を圖示したのが第四十五圖及第四十六圖で、第四十五圖の方は平面羽根、第四十六



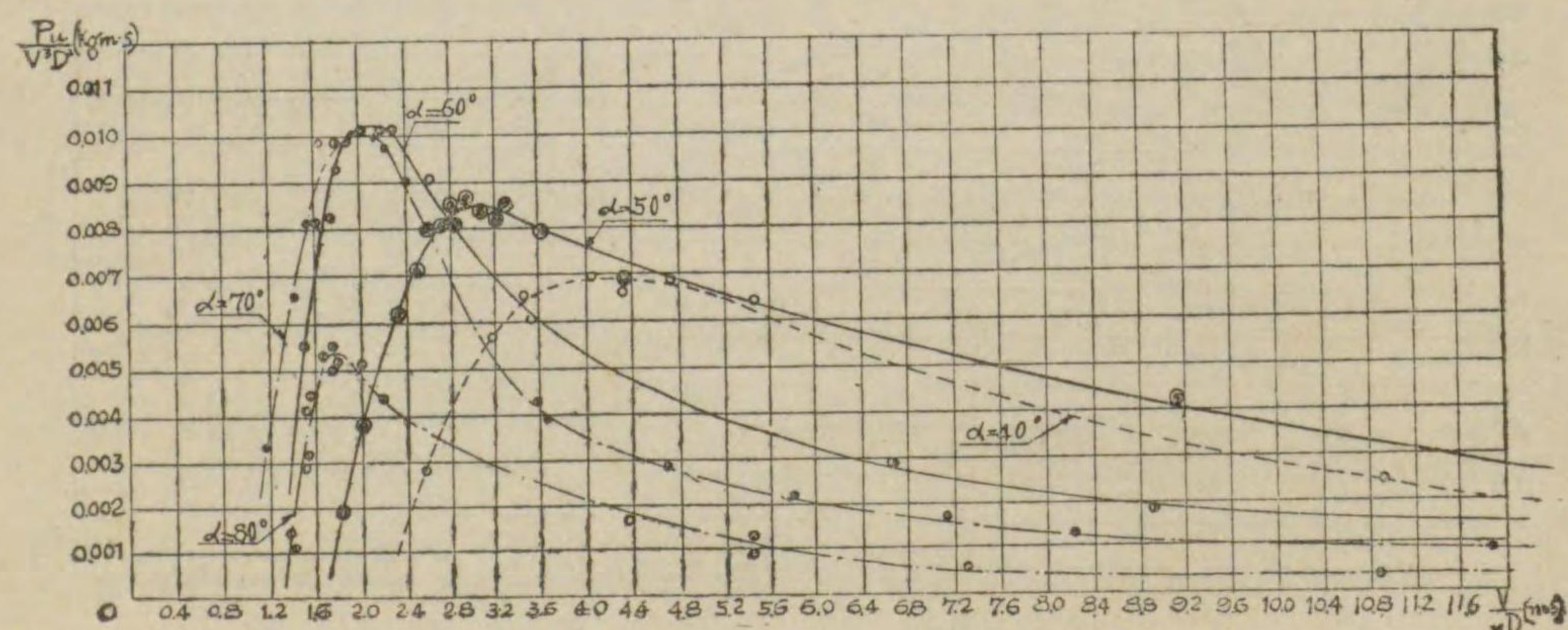
第四十三圖



第四十四圖



第四十五圖



第四十六圖

圖の方は曲面羽根を用いた場合である。いづれの場合でも12枚羽根の時よりも $\frac{V}{nD}$ の小なる點即ち廻轉數の大きい處で $\frac{P_u}{V^3 D^2}$ の最大値が起り其の値は小さくなる。結局以上を比較して見れば12枚の曲面羽根が廻轉數最も小にして發生する仕事量は最も大きい。此の時 $\frac{P_u}{V^3 D^2}$ の値は約 0,015 なる故此の風車の馬力の公式は

$$P_u = \frac{1}{75} \times 0,015 V^3 D^2 = \frac{2}{10,000} V^3 D^2 \text{ HP}$$

此れは今日の進歩した風車よりも能力の低劣な事を示してゐるが、其れは廻轉面に對する羽根の角度が羽根車全面について同様である事及び羽根の形灣曲率等が適當でないからでこの模型風車が決してアメリカ式の代表的なものと言ふ譯ではない。

風車は風の有無に従ひ不定時に運轉を開始し或は停止する故常に見張人を置いて始動及び停止を司る譯には行かない。従つて風車は荷物を擔ふたまゝで停止し次の時には全荷重のまゝで始動しなければならぬ様な場合がしばしば起つて來る。此の時風車が容易に始動し始めるためには始動廻轉モーメントが大きくなればならぬ。此は實際上非常に必要な條件で我々は發生馬力の大きいと共に始

動廻轉モーメントの大きい事を希望する。其處で廻轉モーメント C_u に對する特性係数を種々なる羽根に就いて求めた結果は次表に示されるのである。

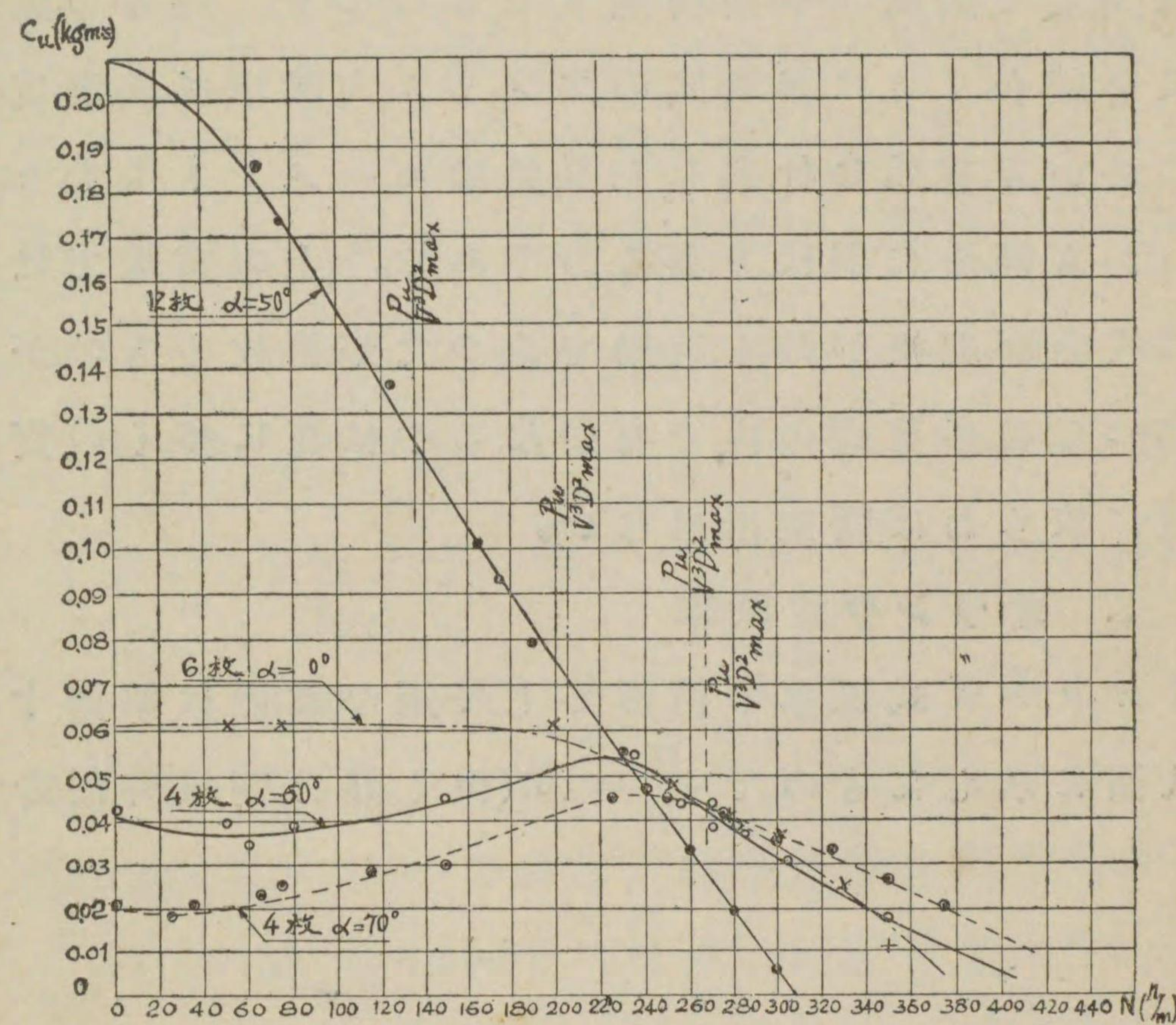
表 九 表
特性係数 $\frac{C_u}{V^2 D}$ の比較表

羽根の數	羽根面積 m^2	風に對する羽根の角度 α°				
		80°	70°	60°	50°	40°
平面 4 枚	0,105	"	0,0020	0,0024	0,0044	"
" 9 枚	0,157	0,0020	0,0036	0,0049	0,0071	0,0082
" 12 枚	0,314	0,0030	0,0057	0,0092	0,0132	0,0188
曲面 12 枚	0,314	0,0033	0,0056	0,0118	<u>0,0161</u>	0,0194
" 4 枚	0,105	0,0003	0,0018	0,0033	0,0039	0,0048

此れに依れば曲面12枚羽根風車の係数が最も大きいから始動状態も一番よろしい。馬力の最大なる時の α° の値は 60° で其の時の始動廻轉モーメントは

$$C_u = 0,0161 D^3 V^2 \text{ kgm.}$$

然し茲に注意を引く點は各風車の廻轉モーメントと廻轉數との關係である。第四十七圖は此の關係を示すもので面白い結果になる。曲面12枚羽根の場合には廻轉數とモーメントとは殆んど逆比例



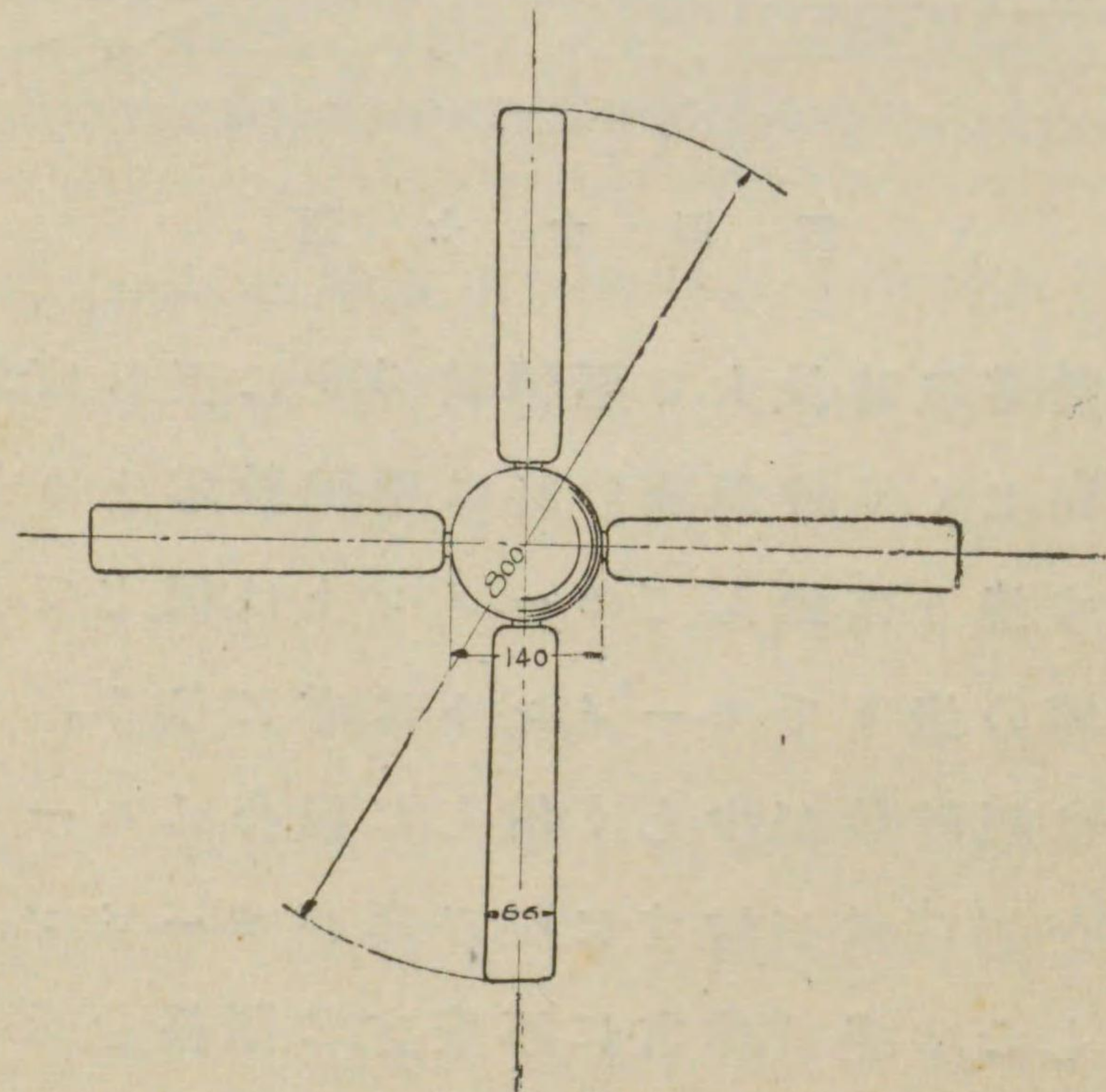
第四十七圖

し廻轉數零の時最大で廻轉數 310 に至れば零に落ちる。同じく6枚羽根の時は廻轉數零より最大馬力を示す邊り迄殆んどモーメントは同じで其より400廻轉の邊りでモーメントは零になる。4枚羽根の時は廻轉數が少しく増した場合にモーメントは下るが廻轉數が増すに従ひ再びモーメントを増す。然しこの邊は非常に不安定な關係を示してゐる。馬力最大の邊りから安定な状態になり次第に

減少して矢張 400 回轉邊りで零になる。此等の結果を総合するに多葉式のアメリカ式風車は低速度に於いて有効な仕事をし又始動モーメントも大きいから輕快に廻はり得るのである。上の實驗では 12 枚曲面羽根が最も有効であつたが何枚のものが總べての多葉式の内で有効なるやは更に多くの實驗に依らねば斷定出来ない。

2. オランダ式風車

オランダ式風車の模形として用ひたのは第四十八圖に示したもので $\frac{H}{D}=0.6$ (但し H は羽根外周の



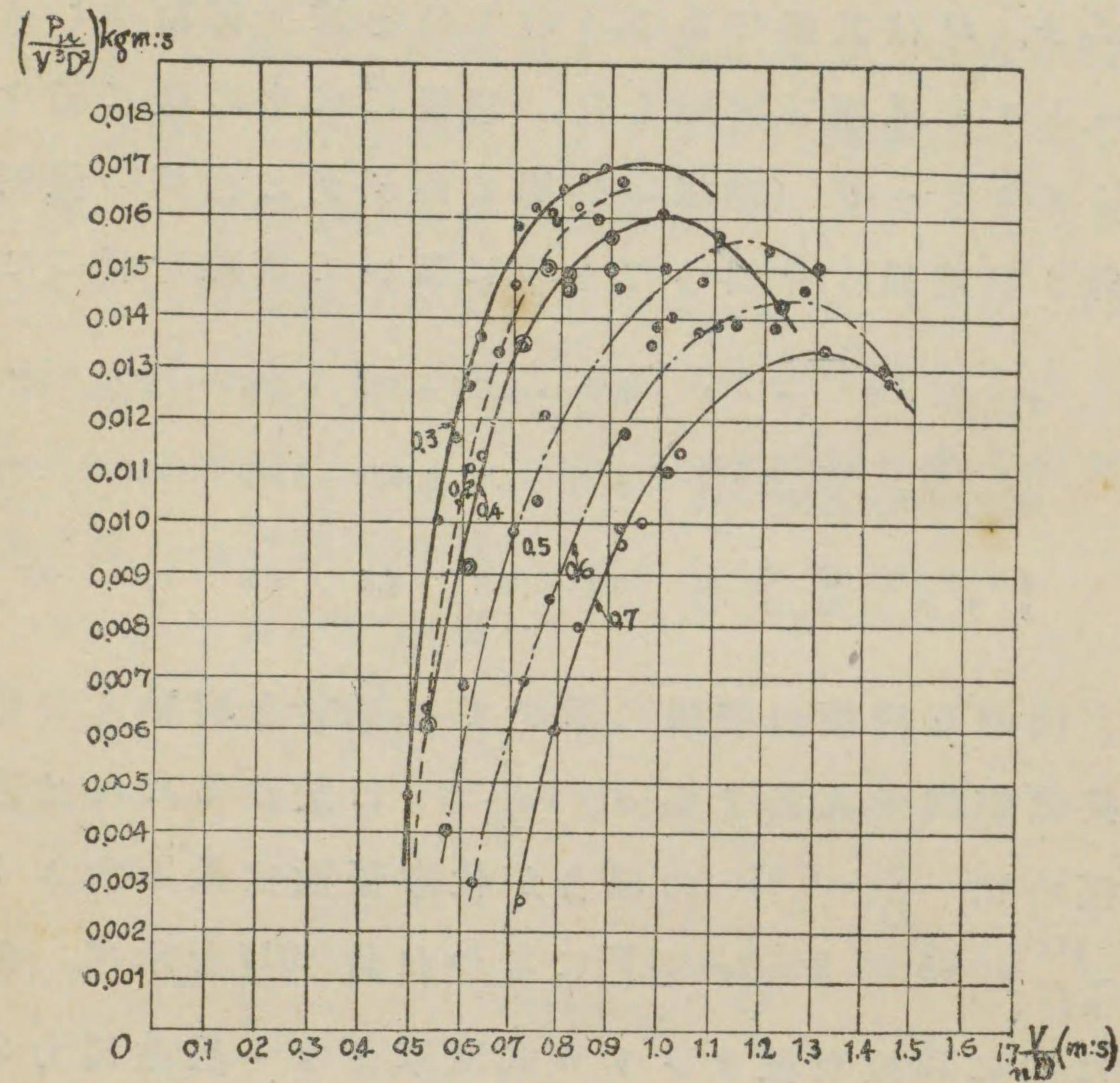
第四十八圖

ピッチ、 D は直徑である。) のものを探り毎秒 6.1 メートルの風速で實驗した。羽根には次の様に種々なデカラージ (羽根の外周の傾斜角と内周の傾斜角との差異) を與へたものに就いて實驗を行つた。

デカラージ	-9.5°	-7.1	-4.7	-2.4	0°	2.2°
$\frac{3}{4}R$ に於ける羽根と廻轉面とのなす角(90°-α)	4.8	7.2	9.8	11.9	14.3	16.5°
$\frac{4}{3}R$ に於けるリラチアピッチ $\frac{h}{D}$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

此の 6 種類の羽根に就いて $\frac{P_u}{V^3 D^2}$ を實驗した結果は第四十九圖である。 $\frac{3}{4}R$ に於けるピッチと直徑の比 $\frac{h}{D}=0.95$ の場合が仕事係数は最も大きく $\frac{V}{nD}=0.95$ 即 $2\pi nR=3.3V$ になつた時 0.017 を示す。此は明に 12 枚羽根アメリカ式風車よりも發生馬力の大きい事を示すものである。然し此の時に於ける風車の廻轉數は遙に増加してゐるのであつて、アメリカ式風車の最大馬力を出す邊りの廻轉數では發生する馬力は極めて低い。始動廻轉モーメントの係數に就いては次の結果を得た。

$\frac{3}{4}R$ に於ける $\frac{h}{D}$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
$\frac{C_u}{V^2 D^3}$	0.0038	0.0053	0.0065	0.0072	0.0092	0.0090



第四十九圖

$\frac{h}{D}=0.3$ の場合は発生馬力は大きいけれども始動モーメントの係数は如何にも小さいから、少しく馬力は落ちてでも始動モーメントの大きい $\frac{h}{D}=0.5$ なる風車を選びたい。此の場合に於いて $\frac{h}{D}=0.3$ なる風車との利害得失を調べて見ると、 $\frac{h}{D}=0.5$ の時の最大馬力の位置は $\frac{V}{nD}=1.2$ 即ち $\pi nD=2.62V$ であるから、

廻轉数は $\frac{h}{D}=0.3$ の時よりも $\frac{3.30-2.62}{3.30}=21\%$ 少くなり、

$\frac{C_u}{V^2 D^3}$ は $\frac{h}{D}=0.3$ の時よりも $\frac{0.0072-0.0053}{0.0053}=36\%$ 大となり、

$\frac{P_u}{V^3 D^2}$ は $\frac{h}{D}=0.3$ の時よりも $\frac{0.0170-0.0155}{0.0170}=9\%$ 少くなる。

であるから我々は勿ろ始動状態のよい $\frac{h}{D}=0.5$ の方を選んだ方がよい。この時

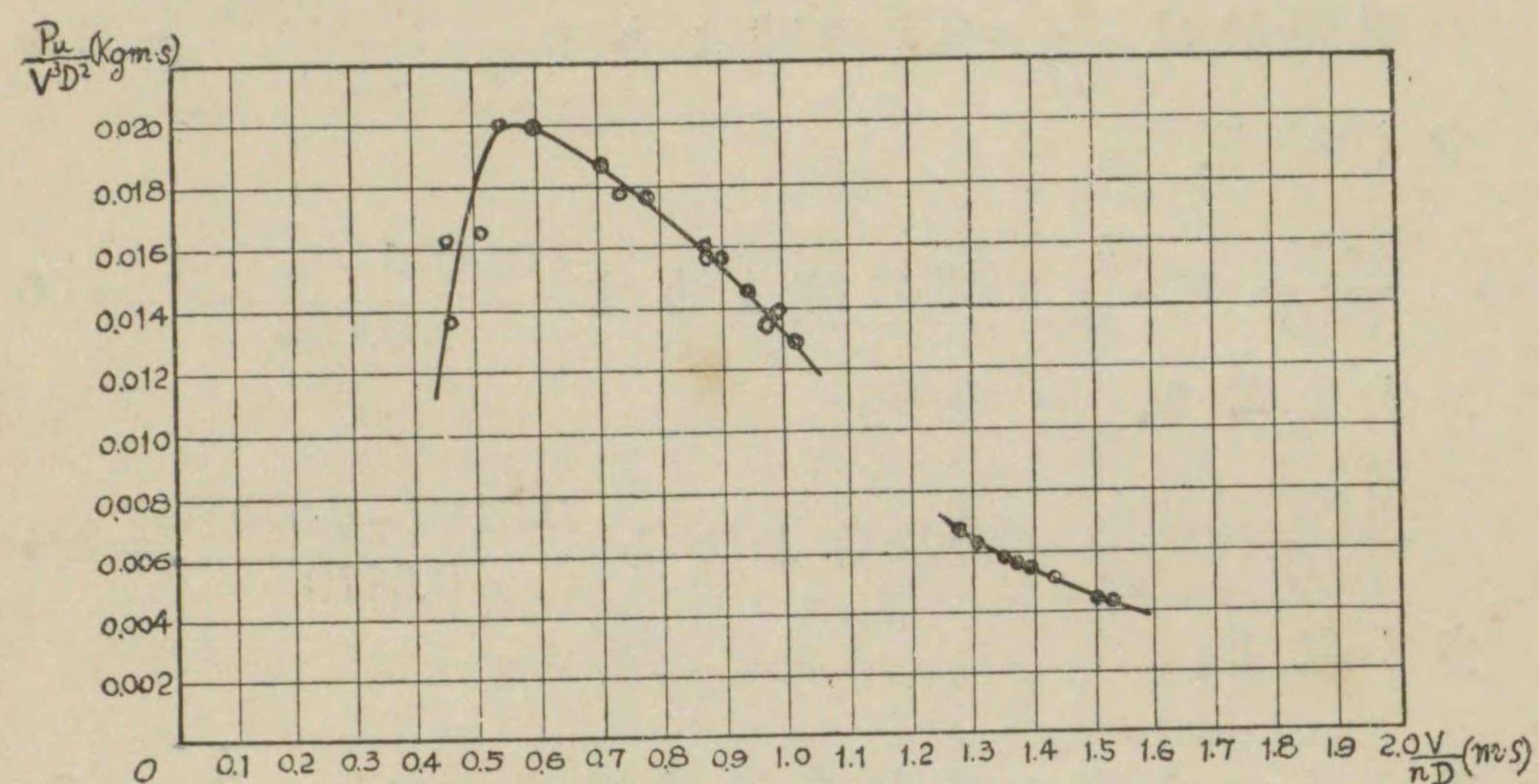
$$P_u = \frac{1}{75} \times 0.0155 D^2 V^3 = \frac{2}{10,000} D^2 V^3 \text{ HP}$$

$$C_u = 0.0072 D^3 V^2 \text{ kgm.}$$

此の式ではアメリカ式風車よりも始動状態は悪いが構造上アメリカ式風車よりも大きな直径を得られ、猶 C_u は D の 3 乗に比例するのであるから大きな風車では左程始動は悪くはない。其故此は大型の風車に應用されるに適する。

3. 二枚羽根風車

$\frac{H}{D}=0.3$, $\alpha=82.5^\circ$ の羽根を有する車に就いて實驗せる結果をとつたもので第五十圖は此を示したのである。 $\frac{P_u}{V^3 D^2}$ の最大値は $\frac{V}{nD}=0.55$ 即ち $\pi nD=5.7V$ に於いて約 0.020 に達し発生馬力は他の型式の風



第五十圖

車に比し最も大きい。然し之に反して $\frac{C_u}{V^2 D^3}$ は非常に小さく12枚羽根アメリカ式風車の $\frac{1}{60}$ に減ずる。従つて此の様な風車を用ひた場合には相當の廻轉數を得た後漸次に荷物をかける方法をとらねばならない。

4. 豎型風車

實驗に用ひた風車は第五十圖に示した車で、第五十一圖は此の實驗装置を示したものである。PP'は風車に摩擦抵抗を附與する分銅で T は廻轉計である。風車下端のローププーリーの半徑を R とし廻轉數を N とすれば其仕事量は

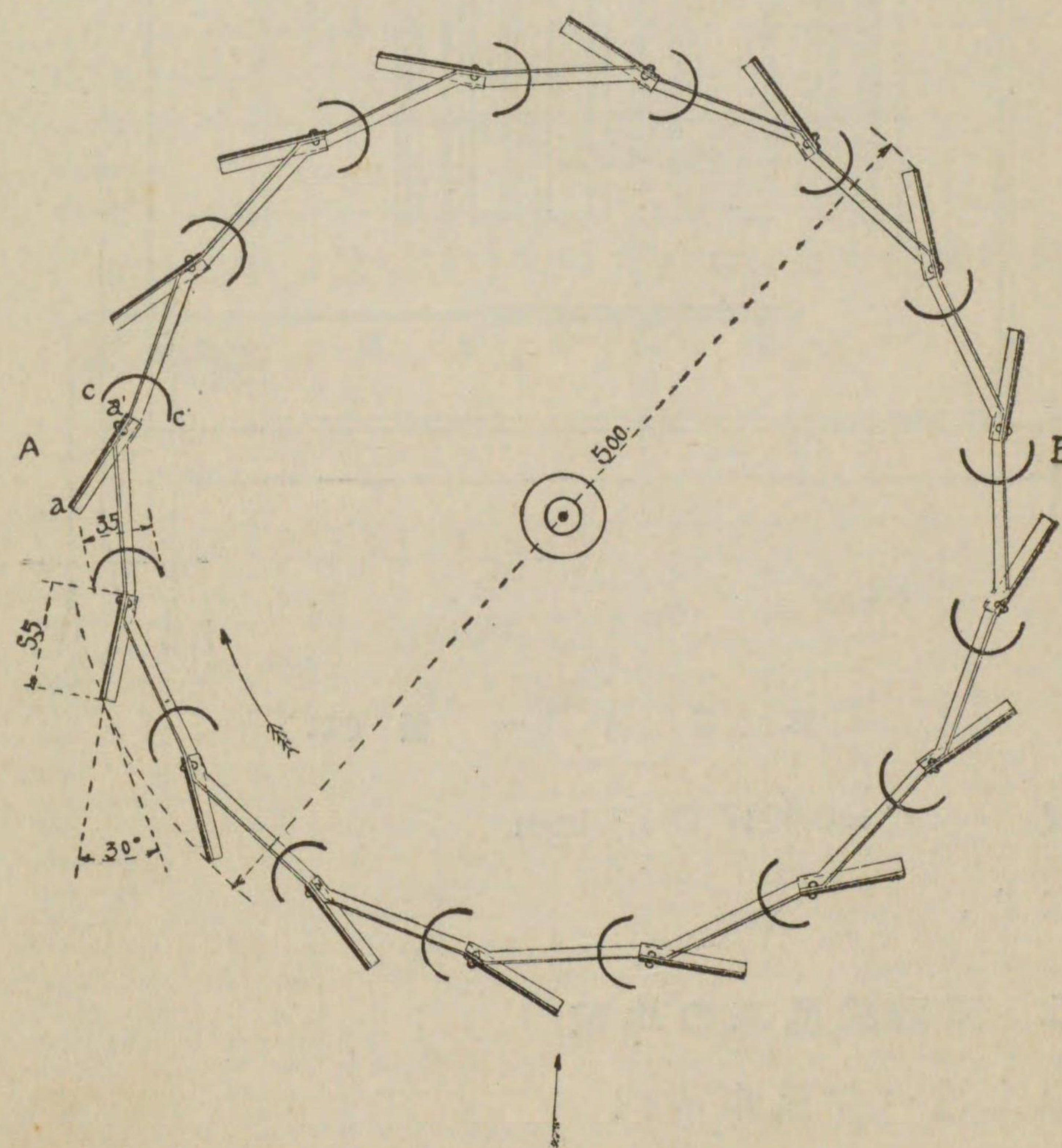
$$P_u = 2\pi(P - P')R \cdot \frac{N}{60}$$

第五十二圖は此の風車を風速 8.20 m/sec, 9.85 m/sec, 及び 15 m/sec に就いて實驗した結果で $\frac{V}{nD}$ 即 $\pi nD = 0.35 V$ の邊で最大仕事量を示し

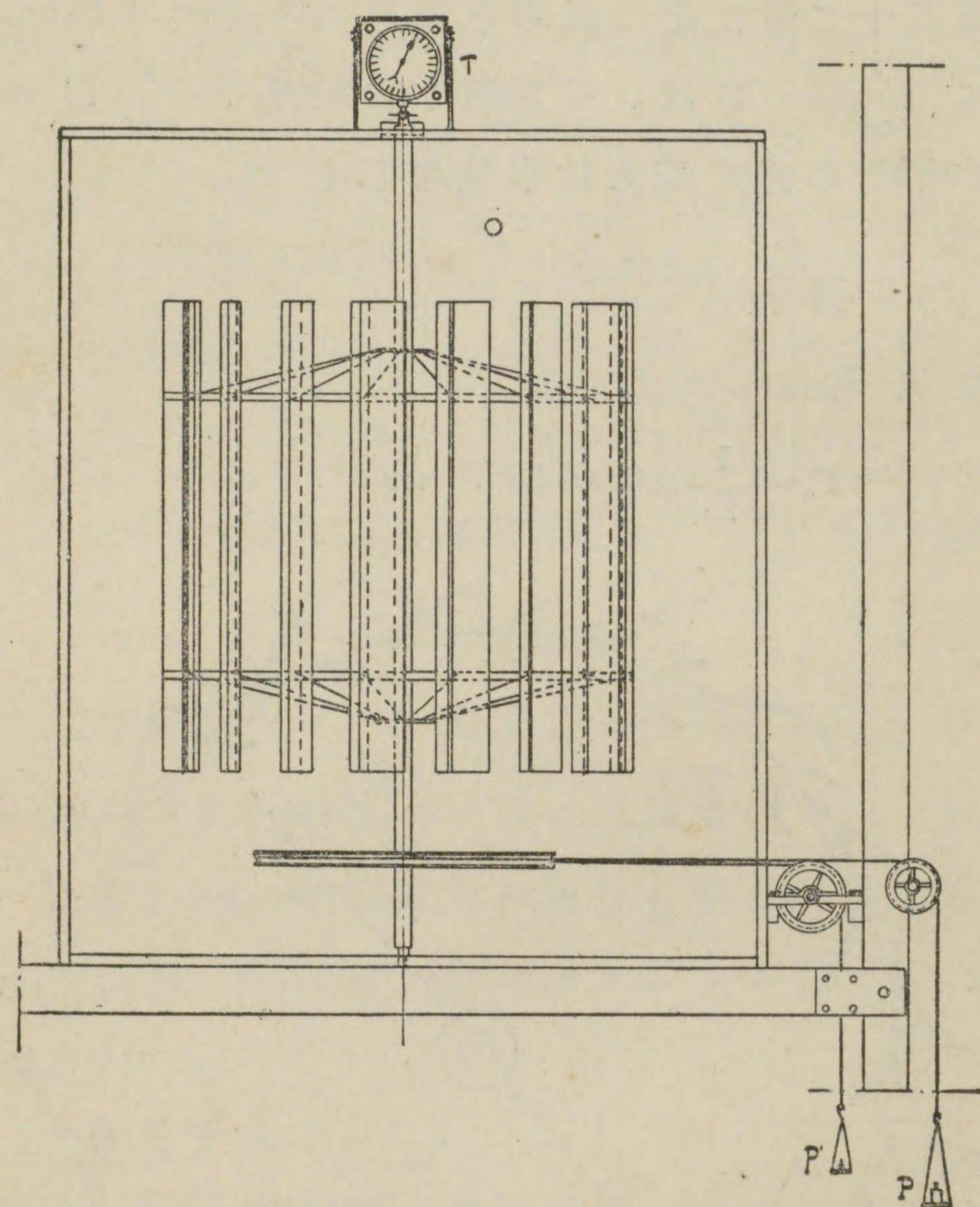
$$\frac{P_u}{V^3 D^2} = 0.0032$$

となり、 P_u は

$$P_u = \frac{1}{75} \times 0.0032 D^2 V^3 \text{ HP}$$



第五十一圖 (I)



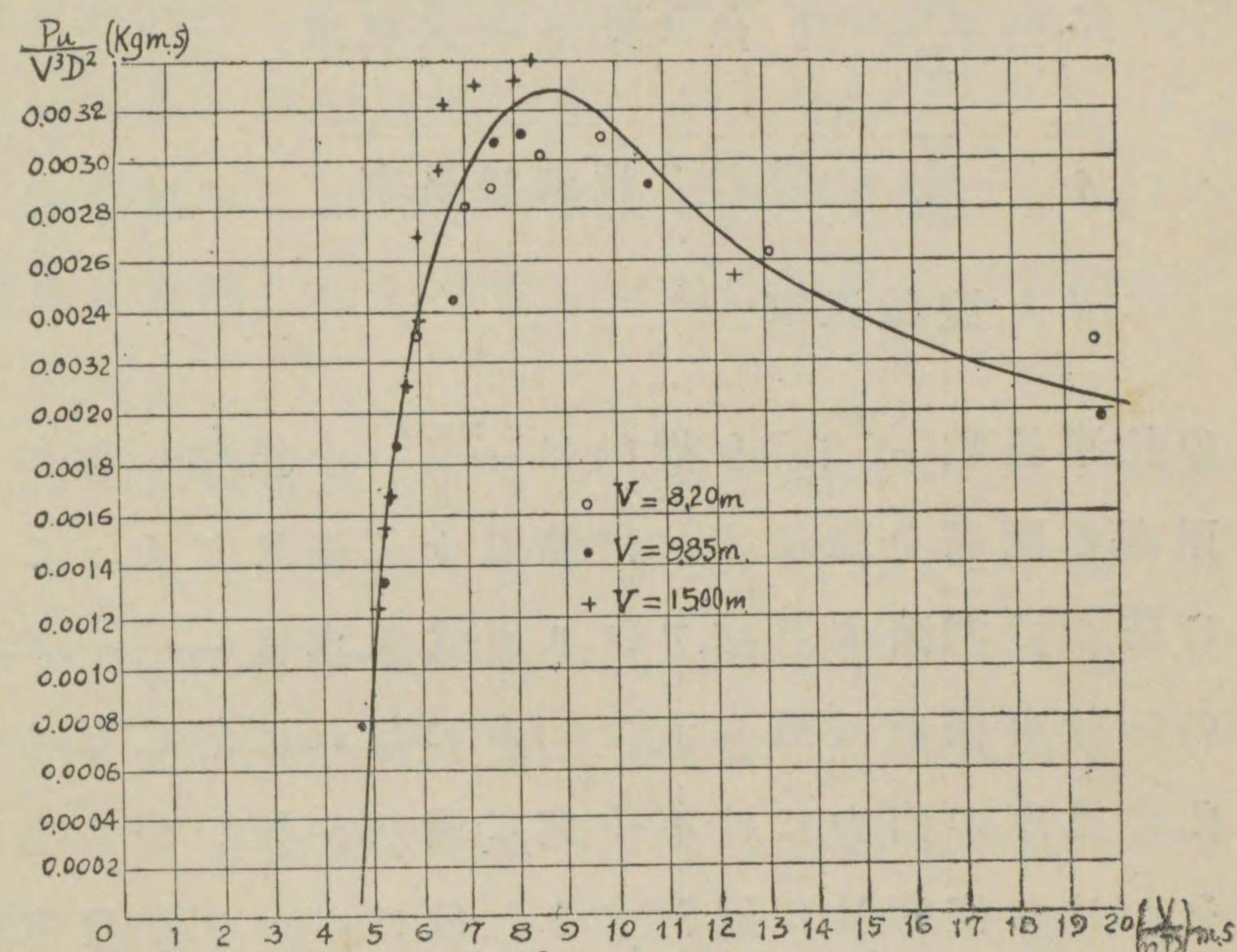
第五十一圖 (II)

又 $C_u = 0,0017 D^3 V^2$ kgm.
となる。

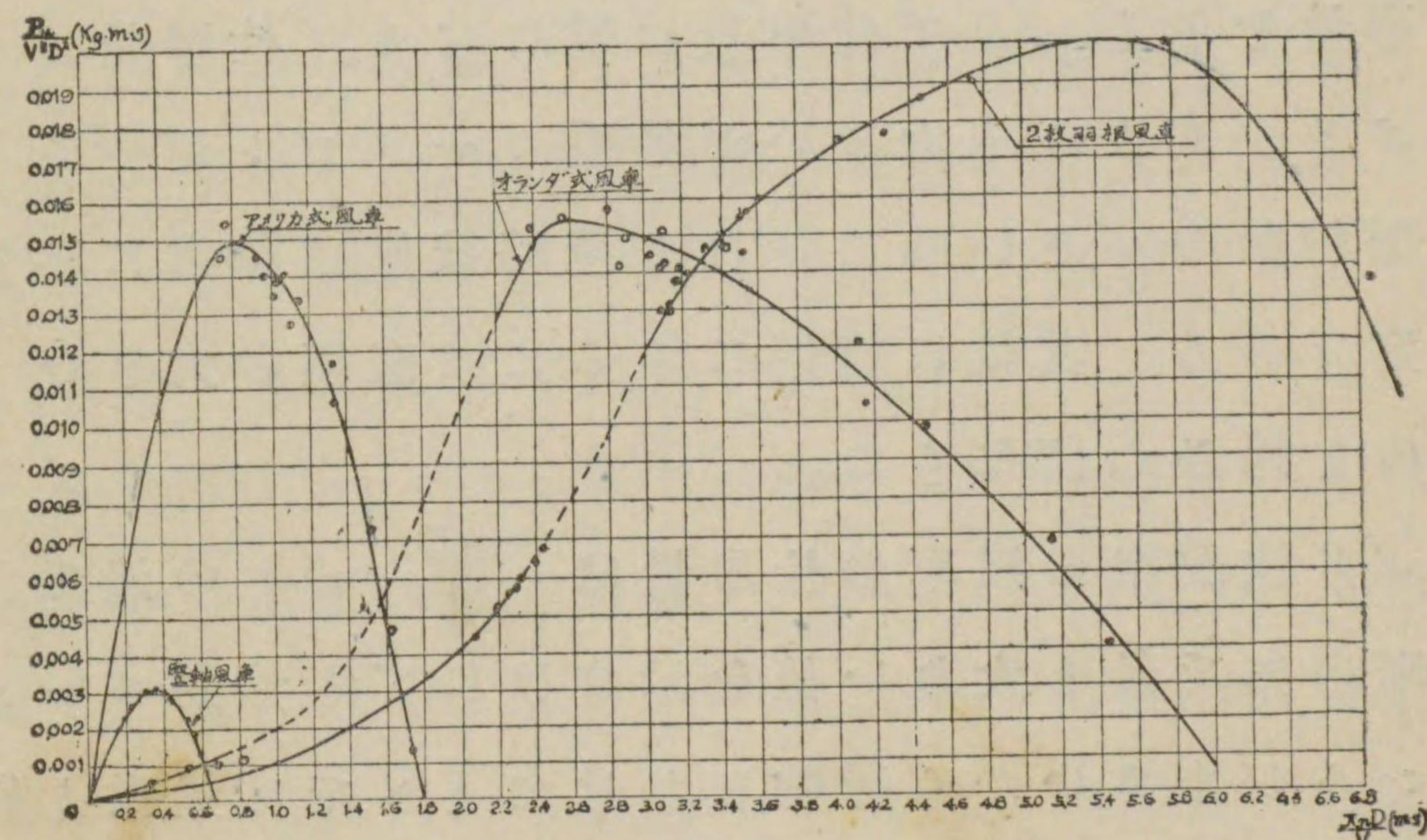
5. 諸型式風車の比較

以上述べた風車の内

a. 曲面12枚羽根アメリカ式風車



第五十二圖



第五十三圖

b. $\frac{H}{D}=0.5$ のオランダ式風車

c. $\frac{H}{D}=0.03$ の 2 枚羽根風車

d. 豎軸風車

の仕事係数 $\frac{P_u}{V^3 D^2}$ を縦軸に $\frac{\pi n D}{V}$ を横軸に取つて兩者の關係を圖示すれば第五十三圖となる。これに依つて判斷すればアメリカ式風車は $\frac{\pi n D}{V}=0.8$ の時仕事係数は最も大で 1.8 になれば零になるが、此の風車の出力には不安定な箇所が無いから荷物をかけた儘容易に廻轉する。故にポンプや發電機の運轉には最も良い。

4 枚羽根オランダ式風車は $\frac{\pi n D}{V}=2.6$ で最大仕事量を示し 6.0 で仕事量は零になる。仕事量はアメリカ式よりも大きいが始動モーメントが小さく廻轉數の小さい時に於ける運轉状態は非常に不安定である。其故に實用にするには直徑の大きいものを用ひねばならぬ。

2 枚羽根の風車の仕事量は $\frac{\pi n D}{V}=5.5$ の邊で諸車の中で最も大きい値を示すけれども始動モーメントが小さいから荷物をかけたまゝでは始動し難いと云ふ缺點がある。飛行機に搭載し非常に早い

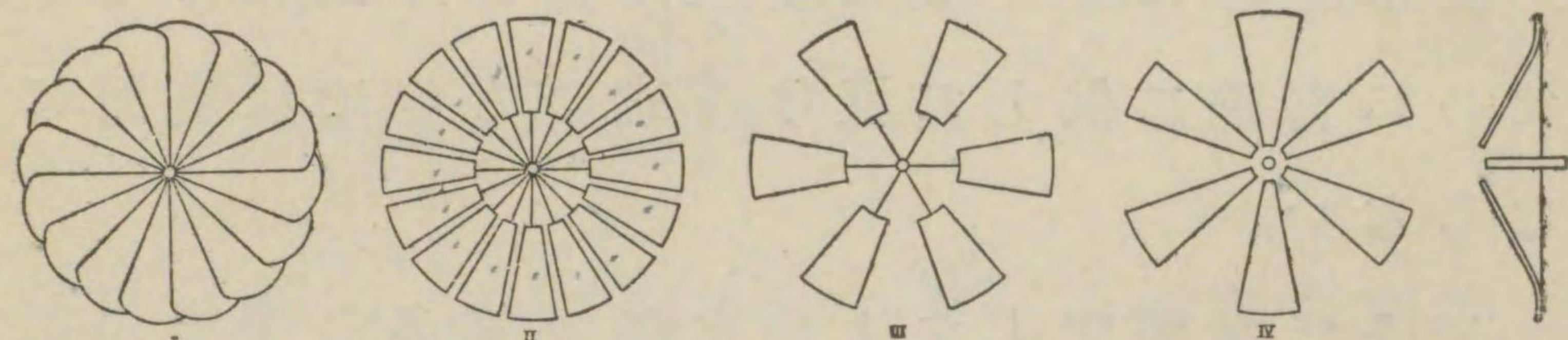
風速を利用して發電用に使はれてゐるが風速の小さい陸上には未だ用ひられるに至らない。

豎形風車に至つては發生馬力が如何にも小さいために實驗に供した様な型式のものでは實用にはならない。

以上比較研究したものは種々雑多な型式の風車の中から僅な型のものを選んで研究したに過ぎないから決して比較研究の凡べてを盡したものではない。故に例へば此處ではアメリカ式風車が $\pi n D=0.8 V$ で最大能力を示してゐるが此れは風車の内周外周共に同様な傾斜角を與へた羽根に就いてゝあつて、半徑に沿うて適當な角度に曲げられた羽根についてはどんな結果になるかは研究されてゐない。又反曲率に就いても如何様な度合なものがよいか、又流線形の厚羽根を用ひたらどんな成績を與ふるか等も調べられてゐない。

猶此の外に有名な風車の研究家デンマークのラクール (Dr. La Cour) 博士の如きも風車の型式に依る馬力の比較研究を發表したものがあつた。其は第五十四圖に示す I より III に至る 4 箇の型式の風車に就いて行つたもので I は羽根が深く重り合ふ程度に込み合つたもので II, III と漸次に羽根數を

少くし IV は III に更に反りを打たせたものである。



第五十四圖

型式	I	II	III	IV
面積	1	0.4	0.15	0.16
馬力	1	1.11	1.14	1.48

表は其の結果を表示したもので I の羽根車の羽根面積を 1, 其の馬力を 1 とした時此と同じ直径の他の型式の風車の羽根面積及び馬力を示したものである。此に依つて見ても羽根を込み入らす事は空氣の混亂を惹き起すに止まり返へつて馬力は減ずるに至るものである。

第三編 風車及び附屬機構

第十三章 羽根車の型式と風車の馬力及び廻轉數

風車の馬力

風車の型式に依る利害得失は大略前編に於いて述べた。本章では著明な二三風車の實際の發生馬力を示し風車設計及び應用の參考に供する。第十表はアメリカ式ヘルクүүл風車の馬力表であるが其の發生馬力は大略次の式で示さる。

$$P_u = \frac{AV^3}{2300} \text{ HP} \dots\dots\dots (33)$$

但し A は風車全面の廻轉面積

V は風速毎秒メートル

P_u は發生馬力

第十表 風車の馬力發生表

風車直径 m	風速 m/sec							
	3	3½	4	4½	5	6	7	8
2	HP 0,04	HP 0,06	HP 0,08	HP 0,13	HP 0,17	HP 0,30	HP 0,70	HP 0,70
2½	0,05	0,08	0,12	0,17	0,24	0,40	0,65	0,98
3	0,07	0,12	0,18	0,25	0,35	0,6	0,9	1,3

風車直径 m	風 速 m/sec							
	3	3½	4	4½	5	6	7	8
	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP
3½	0,09	0,15	0,20	0,3	0,45	0,75	1,2	1,7
4	0,13	0,2	0,3	0,45	0,6	1,0	1,65	2,4
4½	0,16	0,26	0,4	0,55	0,75	1,3	2,0	3,1
5	0,23	0,36	0,5	0,75	1,0	1,8	2,8	4,25
5½	0,28	0,45	0,65	0,9	1,25	2,25	3,5	5,25
6	0,33	0,55	0,8	1,1	1,5	2,65	4,2	6,3
6½	0,4	0,6	0,9	1,3	1,8	3,1	5,0	7,4
7	0,45	0,7	1,1	1,5	2,0	3,6	5,7	8,5
7½	0,5	0,8	1,15	1,7	2,35	4,0	6,5	9,7
8	0,6	0,9	1,4	1,9	2,7	4,6	7,3	11,0
8½	0,65	1,0	1,5	2,1	3,0	5,2	8,2	12,3
9	0,7	1,15	1,7	2,5	3,4	5,8	9,25	13,8
10	0,9	1,4	2,1	3,0	4,15	7,1	11,3	16,7
11	1,1	1,7	2,5	3,6	4,9	8,5	13,5	20,0
12	1,3	2,0	3,0	4,25	5,8	10,0	16,0	23,8

又第十一表は矢張りアメリカ式の一つコンチネンタル風車の馬力表であるが、此の風車の馬力は前掲のものよりも約10%程大きい。

第 十 一 表

直径 m	羽根面積 m^2 $(0.89 \cdot \frac{\pi D^2}{4})$	風速 5 m/sec に於ける發生 馬 力	直径 m	羽根面積 m^2 $(0.89 \cdot \frac{\pi D^2}{4})$	風速 5 m/sec に於ける發生 馬 力
4	11.2	0.58	9.5	63.1	4.6

直径 m	羽根面積 m^2 $(0.89 \cdot \frac{\pi D^2}{4})$	風速 5 m/sec に於ける發生 馬 力	直径 m	羽根面積 m^2 $(0.89 \cdot \frac{\pi D^2}{4})$	風速 5 m/sec に於ける發生 馬 力
4.5	14.1	0.86	10.0	70.0	5.2
5.0	17.5	1.15	10.5	76.5	5.8
5.5	21.1	1.44	11.0	84.6	6.3
6.0	25.2	1.73	11.5	92.5	6.9
6.5	29.7	2.01	12.0	101.0	7.5
7.0	34.2	2.3	12.0	109.5	8.6
7.5	39.4	2.6	14.0	137.0	9.2
8.0	44.8	2.9	16.0	179.0	10.3
8.5	50.5	3.5	18.0	226.0	13.8
9.0	56.6	4.1	20.0	279.0	16.1

此等の風車の羽根の内径は構造上外径の $\frac{1}{3}$ 以下には出来ないし、羽根と羽根との間隔も相當にをかなければならないから羽根の廻轉面に於ける投影面積は羽根だけが描く廻轉面積の70~85%にとる。換言すれば風車全面の描く廻轉面積の60~75%にとるのである。第十二表はヘルキュール風車の直径と羽根の投影面積とを表示したもので此の面積をSとすれば發生馬力は次式で表はれる。

$$P_u = \frac{S V^3}{1500} \text{ HP} \dots\dots\dots (34)$$

第十二表

直径 m	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	11	12
羽根面積 m ²	2.0	5	6	8	10	12.5	15	18	21	24	28.3	32	36	40	45	49.5	59.2	69

近來エーロフイルの研究が進歩し空氣推進機に似通つた羽根を使用するに至つた。第十三表は第十圖に示したウルヘルム・アーレン會社(Wilhelm Ahren)の製作にかゝるレペラー風車の馬力表で殆んど次の式で示し得られる。

$$P_u = \frac{AV^3}{950} \text{ HP} \dots\dots\dots (35)$$

但し A, V, P_u 共(33)式と同様である。

第十三表

風速 m	3	4	5	6	7	8
直径 m						
3	HP 0.20	HP 0.45	HP 0.89	HP 1.52	HP 2.51	HP 3.64
4	0.36	0.85	1.62	2.89	4.57	6.81

風車の廻轉數

風車の外周速度と風速との比 Z は風車の能率に最も重要な關係を有してゐる。其故に羽根車の設計に當つては吾々は風車の型式に従つて適當な Z の値を選定し廻轉數を豫定するの必要を生ずる。

然るに Z の値は既に述べた様に羽根の形に依つて左右せられるから實驗の結果に依り Z の値を適當に選擇するより仕方がない。今 Z の値の普通の標準を示せば、

- アメリカ式 Z=1.0~2.5
- オランダ式 Z=2.5~3.5
- プロペラ式 四枚羽根 Z=2.5~4
- プロペラ式 二枚羽根 Z=3~7.5

第五十三圖に示したアメリカ風車では Z=0.8 で仕事量は最大になり上記の値とは大分に開きがあるけれども第五十三圖のものは羽根形が極めて簡單で實用されてゐるものとは異ふからである。又廻轉速度は利用風速の大小に依り幾分加減しなければならぬ。オットー・ステルツ氏はアメリカ式風車では Z は次の様に與へるが良いと云つてゐる。

風速 m/sec	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8
Z	1.96	1.91	1.86	1.84	1.82	1.8	1.78	1.7

更に此を標準としてアメリカ式風車について種々なる風速に於ける廻轉數を表示すれば第十四表の通りになる。

第十四表 風車廻轉數

風車の直径 m	風速3~4 m/sec に於ける風車廻轉數 rev/min							
	3	3 ¹ / ₂	4	4 ¹ / ₂	5	6	7	8
2	56	64	71	79	87	105	120	130
2 ¹ / ₂	45	51	57	63	70	84	95	104
3	37,5	42	47	52,8	58	70	80	87
3 ¹ / ₂	32	36	41	45	50	60	68	74
4	28	32	36	39	44	52	60	65
4 ¹ / ₂	25	28,5	32,5	35	39	46,5	53	58
5	22,5	25,5	28,5	31,6	35	42	48	52
5 ¹ / ₂	20,5	23	26	28,8	32	38	43	47
6	18,7	21	23,5	26,4	29,2	35	40	43,5
6 ¹ / ₂	17,3	19,5	22	24,4	27	32	37	40
7	16	18,2	20,5	22,6	25	30	34	37
7 ¹ / ₂	15	17	19	21	23,4	28	31,6	34,6
8	14	16	18	19,8	22	26	29,8	32,6
8 ¹ / ₂	13,3	15	16,8	18,6	20,6	24,6	28	30,6
9	12,5	14,2	16	17,6	19,5	23,2	26,5	29
10	11,3	12,8	14,3	15,8	17,5	21	24	26
11	10,2	11,6	13	14,4	16	19	22,6	23,6
12	9,4	10,7	12	13,2	14,5	17,5	20	21,6

第十四章 羽根車の構造

羽 根

風車の設計上最も大切な要件は羽根の形及びその傾斜角の拗り方である。前に述べた理論及び實

験は此處に於いて必要になるのである。然るに風車の利用する風速は絶えず動搖するので折角一定の要項に當て嵌つた風車を精密に設計しても其だけの効力を見ない事がある。其處で吾々は理論的基礎の下に最も近似的な實際化を行ふのである。

プロペラー式風車の羽根の角度を與へる方法には種々ある。即ち、

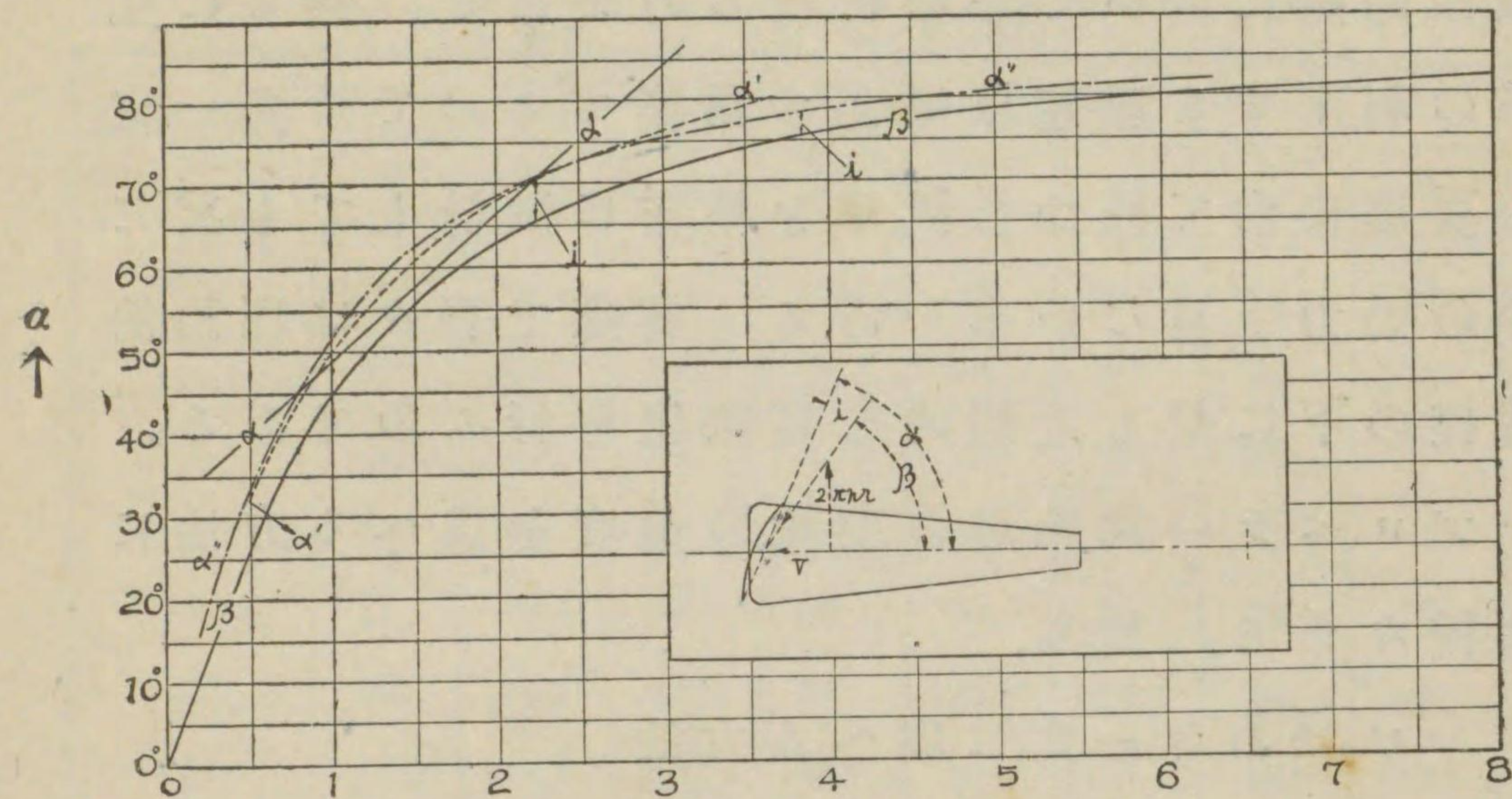
ピッチ H を一定に與へる方法

迎角を i 一定に與へる方法

デカラージを與へて内側のピッチよりも外側の

ピッチを大或は小にする方法。デカラージ正の時は外側に行くに従ひピッチ大になりデカラージ負の時は外側に行くに従ひピッチは小になる。

ピッチ一定の場合及び迎角 i 一定の場合、羽根の傾斜角の有様は第三十五圖(I)及び(II)に示した様になるが、更に此の傾斜角の半徑に沿ひて變化する曲線を描けば第五十五圖となる。圖中 $a''a''$ 線はピッチを $\frac{A}{H}=1.3$ になる様に保つた時の傾斜角 α の變化を示す曲線であり $a'a'$ 線は迎角 i が $i=5^\circ$ に保たれた時の α の曲線である。 $\beta\beta$ 線は $\tan^{-1}z$ の曲線で風の絶對速度と風の相對速度のなす角度で羽根角度



→ 第五十五圖

は必ず此の曲線の外側に位置しなければ風的作用を殆んど受ける事は出来ない。デカラージを興へた場合でも決して α 線が β 線の内側に入らぬ様に注意しなければならない。

ピッチ一定の時の要項は、

$$\frac{A}{H} = 1.2 \sim 2.0$$

此の時羽根の各部に於ける の変化は第三十六圖に示した通りである。

又迎角 i を一定にとる場合には羽根の形によつても異ふが、

$$i = 3^\circ \sim 10^\circ$$

にすれば大過は無い。

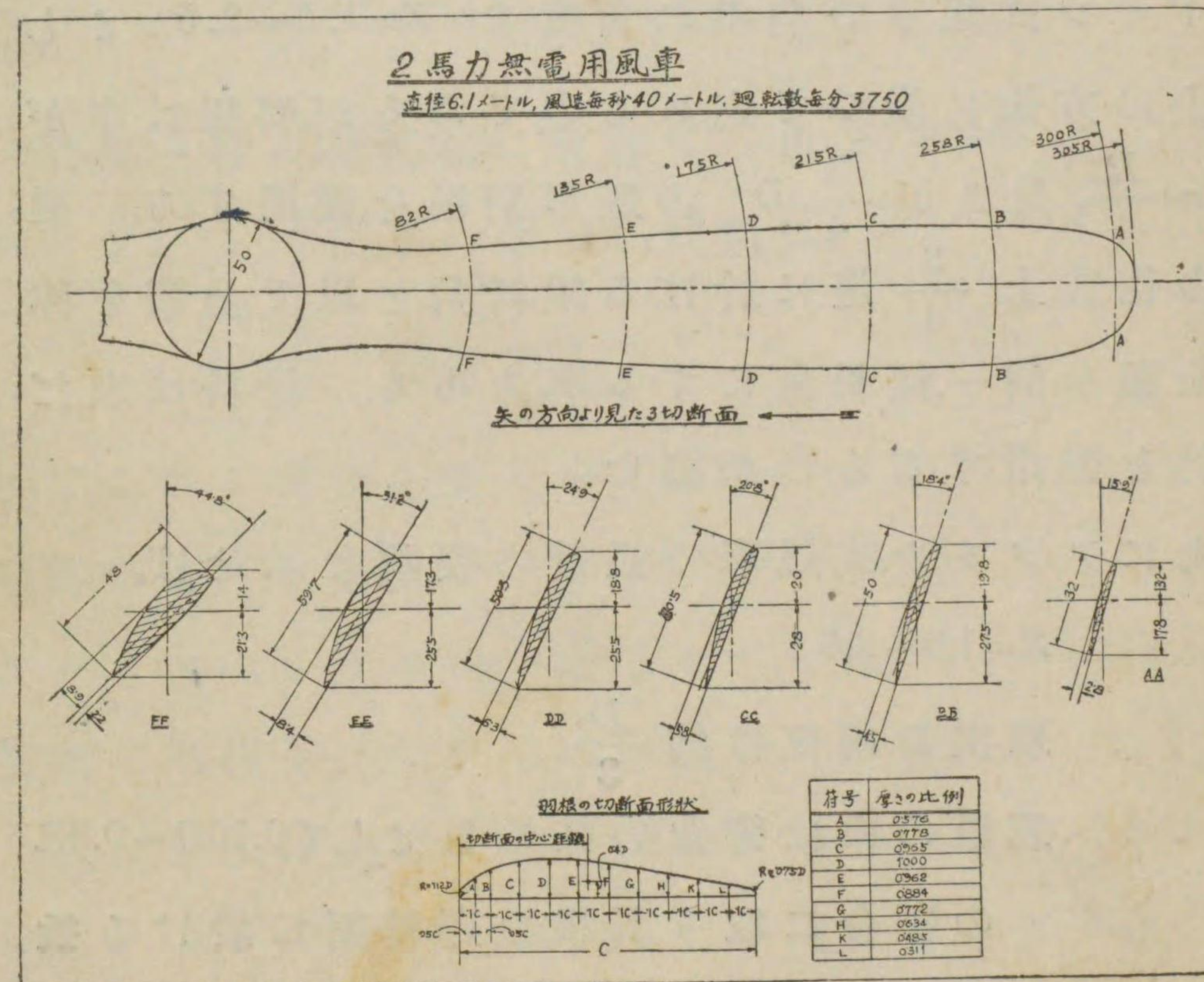
デカラージのある羽根も上の兩者の要項の間に當嵌まるやうに設計するを要する。

第五十六圖に示したものは飛行機に搭載し無電用發電機を運轉する直径 0.61 メートル二枚羽根風車で風速毎秒 40 メートルで毎分 3750 廻轉し 2.1 馬力を發生し得るものである。其の要項は、

$$Z=3$$

$$\text{外周の } \frac{A}{H} = 1.2, \quad i = 2.6^\circ$$

$$\text{内周の } \frac{A}{H} = 1.6, \quad i = 6.8^\circ$$



第五十六圖

で、羽根は正のデカラージを與へられて居る。羽根の材料は木材で、其の各部分に於けるエーロフォイルの形は圖に示す比例に依つて畫く事を得る。羽根の巾は全體を通じ殆んど同様に平均約 $\frac{R}{5}$ である。プロペラ式風車に於ては此の羽根形の外に種々な型式のものがあるが多くは飛行機用で陸上に用ひられて居るものとしては第九圖及び第十圖の様に羽根は4枚以上になり羽根の幅も $\frac{R}{3}$ 位迄廣く採つたものである。羽根の内徑は $\frac{1}{4}D$ 迄用ひ Z の値は 1.5~2.5 として設計する。

ドイツ式風車の羽根の角度も $Z=1.5\sim 2.5$ として上の方法に倣つて定めるのであるが、羽根は巾が $\frac{R}{5}\sim\frac{R}{4}$ 、長さが $\frac{3}{4}D$ の矩形羽根を使用する。製作の便宜上 $\frac{3}{4}$ 邊に於ける傾斜角を以て全體を律し全面を同一傾斜角にする事もある。材料は未だ木材を使用するものが多い。

次にアメリカ式風車の設計の要項を示せば、

$$Z=1.0\sim 2.5$$

羽根の内徑は約 $\frac{D}{3}$

羽根の巾は彎曲の弦の長として $0.15R\sim 0.3R$ の割合に取り羽根の廻轉面に於ける投影面積が梯形を爲す様にする。

反曲率 $f=0.1\sim 0.15$

迎角 $i=3^\circ\sim 7^\circ$

此に従つて今風速毎秒6メートルを利用し2.5馬力を發生する直徑6メートルの風車を設計して見やう。

廻轉面に於ける羽根の投影面積 A を羽根の廻轉面積の72%にすれば、

$$A_p = \frac{\pi}{4} \left(D^2 - \frac{D^2}{9} \right) \times \frac{72}{100} = 18 \text{ m}^2$$

羽根の外周の巾の廻轉面への投影長さの總和は、

$$\frac{\pi D \times 75}{100} = 13.6 \text{ m}$$

羽根一枚の廻轉面に投影する巾を $0.2R$ として0.6メートルにすれば、羽根枚数は、

$$\frac{13.6}{0.6} = 22.7 \rightarrow 24$$

となるから羽根を按分する都合から24枚にする。其處で第五十七圖の ab を0.6メートル HIV を $\frac{2}{3} \cdot 3 = 2$ メートルにとり車の中心と a, b を結べば $abhg$ は羽根の廻轉面に於ける投影面積である。

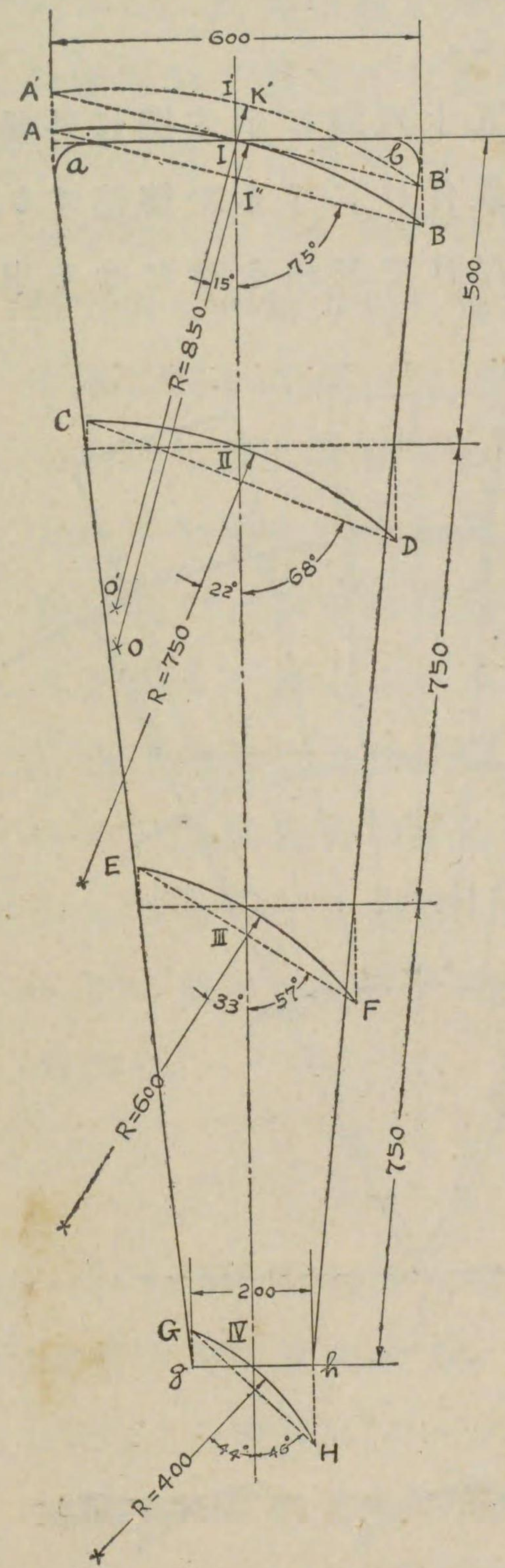
次に羽根の角度であるが圖に示した様な4ヶ所に於ける z の値から $\tan^{-1}z$ を見出し風の相對速度が風の方角となす角度 β を求めると、

位置	I	II	III	IV
zの値	2.5	2.08	1.46	0.834
β	68°15'	64°20'	55°35'	39°50'

この β の變化の状態は第五十六圖の $\beta\beta$ 線で示される。今この $\beta\beta$ 線と迎角 i が4°前後になる様に圖上で案配して aa なる直線を引けば各位置に於ける傾斜角 a の大きさ及び迎角 i の大きさは、

位置	I	II	III	IV
a	75°	68°	57°	46°
i	6°45'	3°40'	1°25'	6°10'

此は簡便の爲に行つたまで、 $a'a'$ 線或は $a''a''$ 線の様に與へるも一方である。偕てかくして各位置の傾斜角が判つたならば各位置に於ける羽根の傾斜及び切口の形を畫く。先づ直線 $A'B'$ を圖の様にI-IV線と75°をなす様に引き、 aA' 、 bB' を以て兩端を定めれば $A'B'$ は羽根の實際の弦の長さになる。曲面の反曲率を $\frac{1}{10}$ にせば $\frac{A'B'}{10}$ に等しく $A'B'$ に直角に IK' を取り $K'I$ の延長上に中心を置き $A'K'B'$ なる圓弧を畫けばIの部分の實際の形及び傾斜角を表はし得たのである。 ab 上のIは $A'B'$ 上のI'點と同一の點であるから圖を見易くするためにI'をI點迄ずらせ兩者を重ねるとI



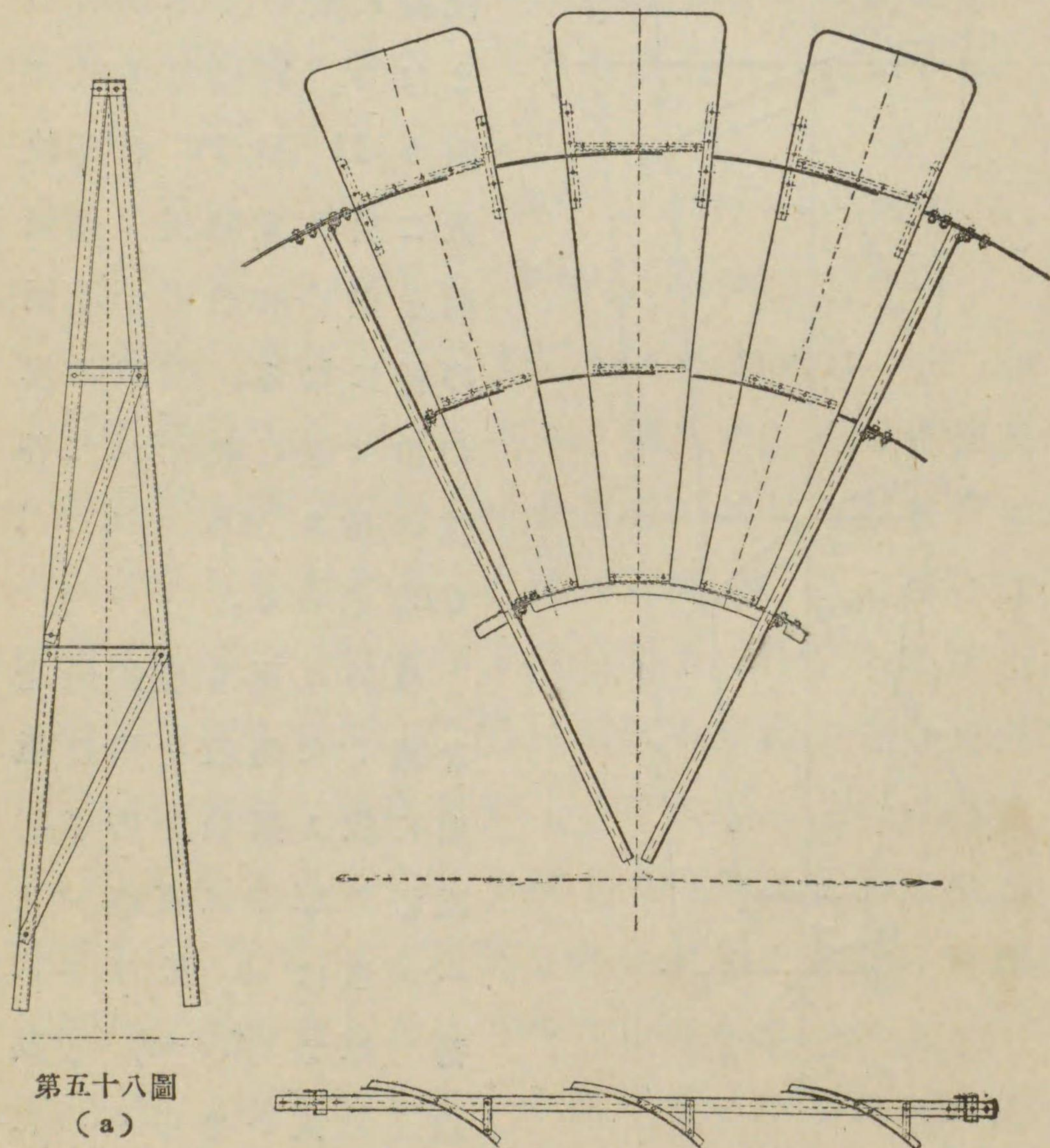
第五十七圖

はI''に移るI''OをIO'に平行に引きOを中心として圓弧 AIB を畫けば $A'I'B'$ は AIB に移りIの羽根形を其の位置に於いて示すものとなる。同様な方法に依りII III IVの各位置に於ける羽根の切斷面を畫けば第五十七圖のようになる。羽根の眞の中は圖に表はれた各弦の長さ AB 、 CD 、 EF 、 GH である。

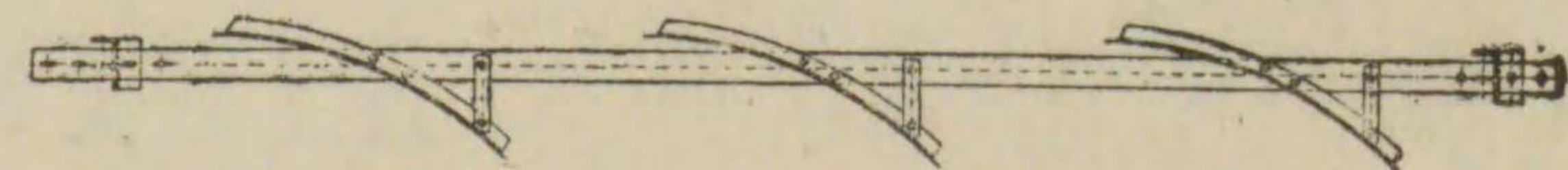
材料は専ら亞鉛鍍金を施した鐵板を用ひ風雨に依る腐蝕を防ぐ。鐵板の厚さは直径8.5メートル迄はB. W. Gで17番(厚さ1.47 mm)を其以上の大きさのものには同じく15番(厚さ1.83

mm) を用ふれば充分である。

此等の薄板の羽根は第五十八圖に示す様に外輪、中輪、内輪に角鐵を添へて鋸付けにするか銲接する。小徑のものは外輪と内輪だけで羽根を持たせる事



第五十八圖 (a)



第五十八圖 (b)

もある。此等の輪を所定の位置に確保するために角鐵を以て組立てた腕杵を適當に配置し車のスポークの役目をさせる。圖中側面に取出して示したのが此である。腕杵は風壓に依り軸心の方向と廻轉方向との兩方向に屈曲モーメントを受ける。第十章に於いて述べた dF に r を乗じたものを積分し、羽根の數だけ倍すれば軸心方向のモーメントの大きさを得られるし、又同章に於ける dC を積分し、羽根數だけ倍すれば廻轉方向のモーメントの大きさを得る。然しこれは可成煩雜であるから羽根の $\frac{2}{3}$ 邊の軸向應力及び廻轉應力が羽根全體に及ぼすものとし其合力の中心も又羽根の長さの $\frac{2}{3}$ の點にかゝるものとし前者に依る總モーメントを M_1 、後者に依る總モーメントを M_2 とすれば腕杵の有すべき強力は、

$$K_{b1} = \frac{M_1}{W_1} \quad K_{b2} = \frac{M_2}{W_2} \dots\dots\dots (36)$$

但し K_{b1} K_{b2} は夫々腕杵の軸方向の屈曲強力及び廻轉方向の屈曲強力。 W_1 W_2 は同じく其等の方向に於ける鐵杵のモーメント・オブ・エリアである。合成強力 K_b は、

$$K_b = \sqrt{K_{b1}^2 + K_{b2}^2} = 600 \sim 80 \text{ kg./cm}^2.$$

に取るを要する。此に依り腕杵の強さを略決定する事を得る。

ホズ及び車軸

轂（ボス）は鑄物或は鍛造で作る。短き圓塼の前後兩端に鑿を附した形で此の鑿に羽根の杵を鉸付け或はボルト緊めにする。齒輪聯動装置のものでは後方の鑿の外周に齒形を作り或は齒形を有する輪具を鉸付けにして齒車に共用する。（第八十三圖参照）

ボスと車軸とはキーで止め一緒に廻轉するものとボスだけが機臺に固定せられた車軸の周圍を廻轉するものと二つある。前者は多くクランク聯動装置に用ひられ後者は齒輪聯動装置に用ひられる。軸承の部分には廻轉の圓滑を計るため充分に滑油を供給する装置が必要である。念の入つたものではボールベヤリングを使用する。（第八十三圖参照）普通の軸承の軸に接する部分は殊に眞鍮を以て作り接觸を完全にしてある。（第八十三圖参照）

今 HP_u を風車の最大馬力、 n を毎分廻轉數とすればボスの受ける拗りモーメント M_t は、

$$M_t = \frac{HP_u \times 75 \times 60 \times 100}{2\pi n} = 71620 \frac{HP_u}{n} \text{ cm. kg} \dots\dots\dots (37)$$

此のモーメントを外徑 D 、内徑 d なるボスの強力で受けねばならないからボスの材料は少くも次の式を満足する必要がある。

$$\frac{\pi}{18} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} \cdot K_t = M_t \dots\dots\dots (38)$$

但し K_t = 拗り強力。鑄鐵ならば $160 \sim 200 \text{ kg./cm}^2$ 。然るに内徑 d は固定軸の大いさを決定するものであるから先づ此の大きさを適當に決定せねばならない。此の軸の大いさを決定するのに必要な事柄は滑油が充分に浸み渡る様に軸承壓力 p を或る程度以内にすること、固定軸にかゝる羽根車の重量に依る曲げモーメントに充分に堪へる強さを有す可きことである。

l を軸とボスとの接する長さとし、 G を風車の重量とすれば、

$$G = l \cdot d \cdot p.$$

即ち $l = \frac{G}{d \cdot p} \dots\dots\dots (39)$

但し $p < 30 \text{ kg./cm}^2$ 。

なる關係を保てば軸承壓力の方の要件は叶ふ。次に其の強力については第五十九圖 a の様に軸受が二ヶ所にある場合には曲げモーメントは、

$$M_b = \frac{G}{2} (l_1 + l_2)$$

であるから軸の直
径 d は次の式を満
足すればよい。

$$\frac{\pi}{32} \cdot d^3 \cdot K_b = M_b$$

故に

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_b}{K_b}} \dots \dots \dots (40)$$

但し材料の曲げ強力 K_b は

- 錬鐵では $K_b = 400 \text{ kg./cm}^2$.
- 鋼鐵では $= 600 \sim 800 \text{ kg./cm}^2$.

第五十九圖 b の様な軸承けの場合には、

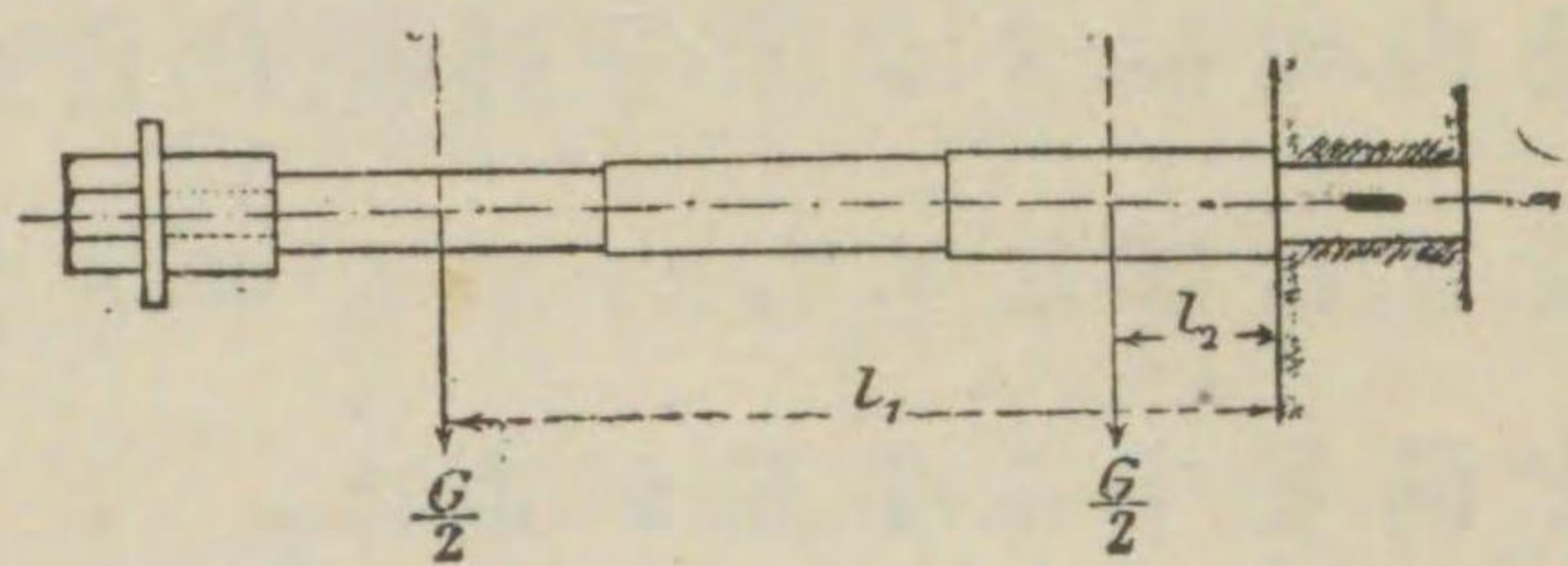
$$M_b = G \cdot l$$

前同様に

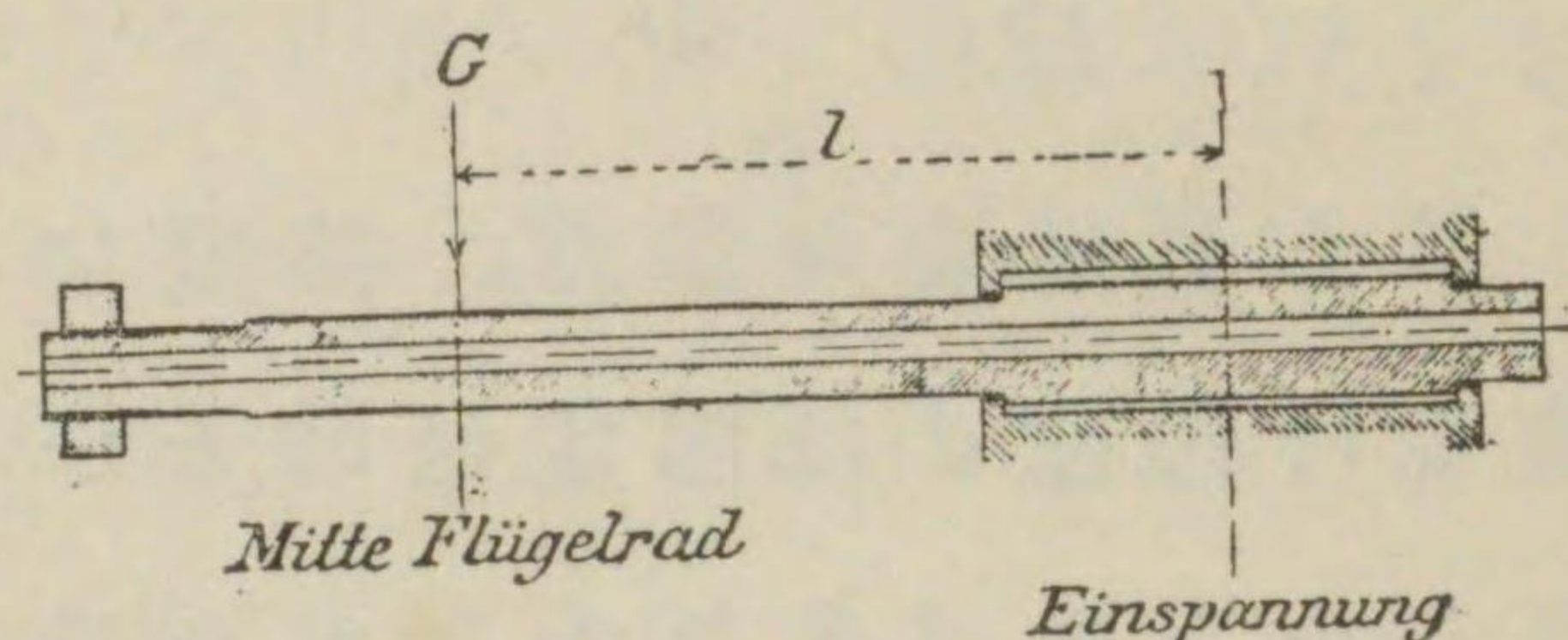
$$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} \cdot K_b = M_b \dots \dots \dots (41)$$

但し K_b は鑄鐵では $130 \sim 250 \text{ kg./cm}^2$ である。
此等の諸式から l 及び d を適當に決定するのであ
る。

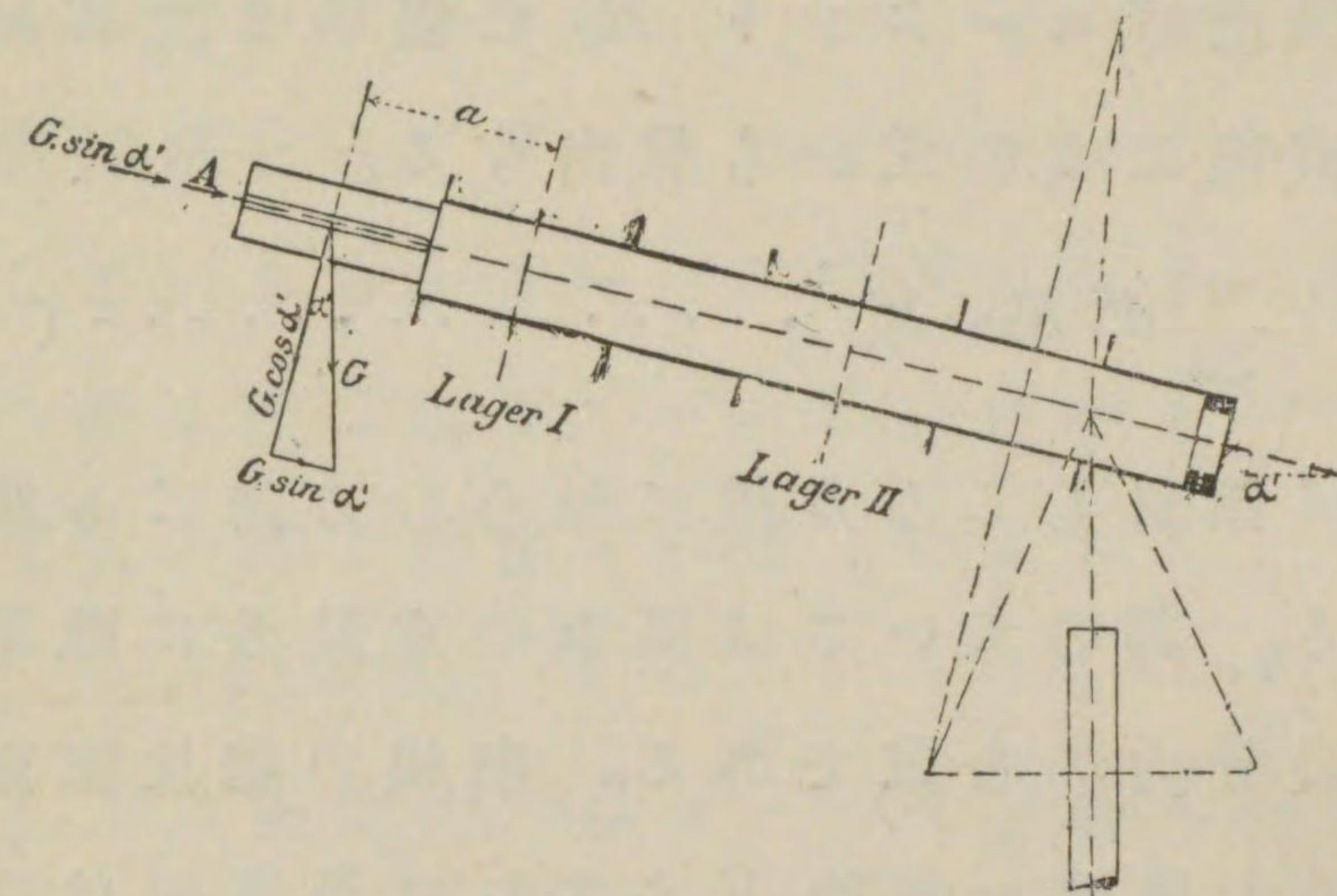
次にボスが軸にキー止めにされ車軸と一緒に廻



第五十九圖 (a)



第五十九圖 (b)



第六十圖

轉するものに就いて考へる。第六十圖は此の場合
に於ける有様を示したものである。普通風車の面
は垂直面に對し 10° 以内の角度を以て上向きに設
置されるが、圖も此の様に傾いた場合を示してゐる。
今軸の傾きを水平面に對し α' とすれば軸承 I にか
ゝる曲げモーメントは、

$$M_b = G \cos \alpha' \cdot a \text{ cm.kg} \dots \dots \dots (42)$$

又拗りモーメントは

$$M_t = 71620 \cdot \frac{N}{n} \text{ cm. kg.} \dots \dots \dots (43)$$

故に合成曲げモーメントは材料力學の教ふる處に
依り

$$M_{\text{合}} = \frac{3}{8} M_b + \sqrt{\left(\frac{5}{8} M_b\right)^2 + \left(\frac{5}{8} M_t\right)^2} \dots \dots \dots (44)$$

此の合成曲げモーメント M_b に堪ゆるため軸の有す可き直径は次の式から算出する。

$$\frac{\pi}{32} d^3 \cdot K_b = M_b \dots \dots \dots (45)$$

又軸は傾斜してゐる故に軸心の方向にも應力が作用する。其の大いさは風車の重量並に風壓の軸心方向の分力の合成である。羽根の總投影面積を S とし最大風速を毎秒 V とすれば全風壓は略ぼ

$$F = \frac{\gamma V^2 S}{g}$$

従つて軸心方向の分力は

$$F' = F \cdot \cos \alpha'$$

又風車の重量の軸心方向の分力は

$$G \cdot \sin \alpha'$$

此の二つの合成壓縮力に堪え得る材料は、少くとも次式を満足する必要がある。即ち、

$$\frac{\pi}{4} d^2 \cdot K_a = F' \cdot \cos \alpha' + G \cdot \sin \alpha' \dots \dots \dots (46)$$

以上諸種の應力に対する材料の強力は、

$$K = K_b + K_a$$

であつて

$$\text{鍊鐵では } K = 300 \sim 400 \text{ kg./cm}^2.$$

$$\text{鋼鐵では } K = 400 \sim 600 \text{ kg./cm}^2.$$

ボールビヤリング

摩擦抵抗を少くするためボールビヤリングを用ふることがある。ボールの直径は應力に對し十分に堪へ得る様にする。バハ氏及びストリベック氏に依れば次の式で計算すればよいと云ふ。

$$P = C \cdot d^2 \text{ kg.} \dots \dots \dots (47)$$

但し P は全壓力、 d はボールの直径、 C は常數で

$$\text{鑄鐵ボールでは } C \leq 2.5$$

$$\text{鋼鐵ボールでは } C = 30 \sim 50$$

第十五章 傳導機構

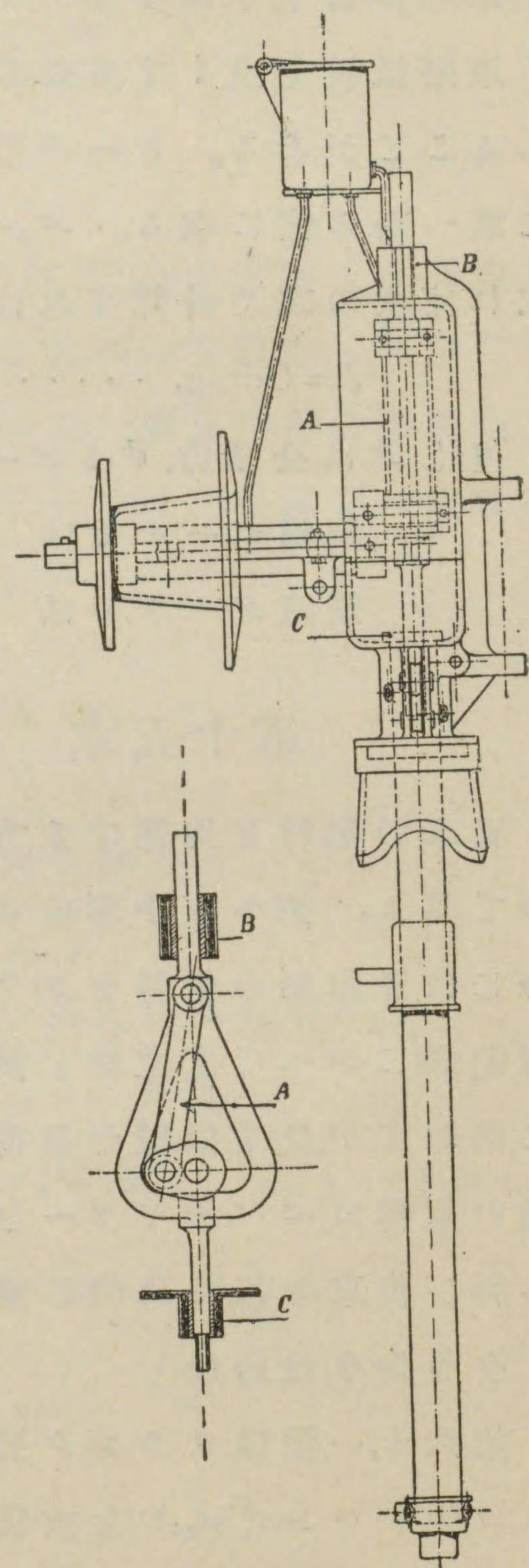
風車の廻轉を傳達する方法はその應用目的に依つて異ふ。例へば小形のポンプを運轉する様な場合には風車軸の廻轉をクランク聯働装置を以て往復運動にかへて直立軸を働かし往復ポンプを直接に動かすが、農業機械や發電機を運轉する時は風車軸の廻轉はベベルギヤを以て直立軸の廻轉に變へ再び齒車を以て目的の機械を作らかすのである。

クランク仕掛け

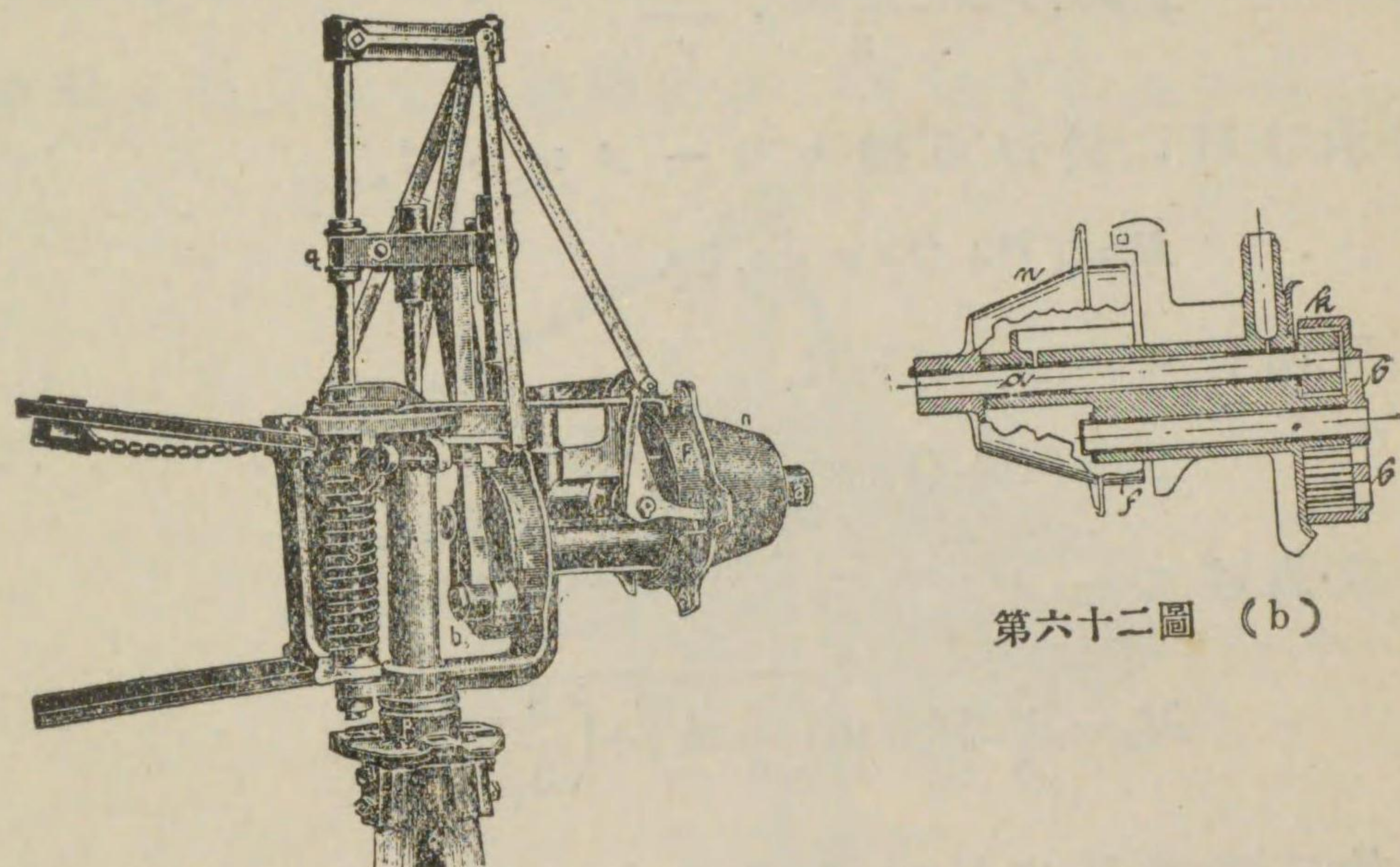
第六十一圖はクランク装置の一つでクランク及びコネクティングロッドを前後の二つに分け往復軸は二股に分かれてクランクを抱く様に作つてある。

Aは其のコネクチングロッド B, Cは往復軸のクランクより来る應力を受ける軸承けである。頂上にある油槽は滑油を入れるためである。

2~5メートルの小さい直径の風車では廻轉が迅過ぎるから普通此等の風車では風車軸の廻轉を $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ に落す。第六十二圖は其の一つを示したものでnは羽根車のボス、aは其の軸でKは其の軸端にあるピニオンである。bはKと噛み合ふ内側齒車で此の齒車に植えたピンを以てコネクチングロッドを作ら



第六十一圖

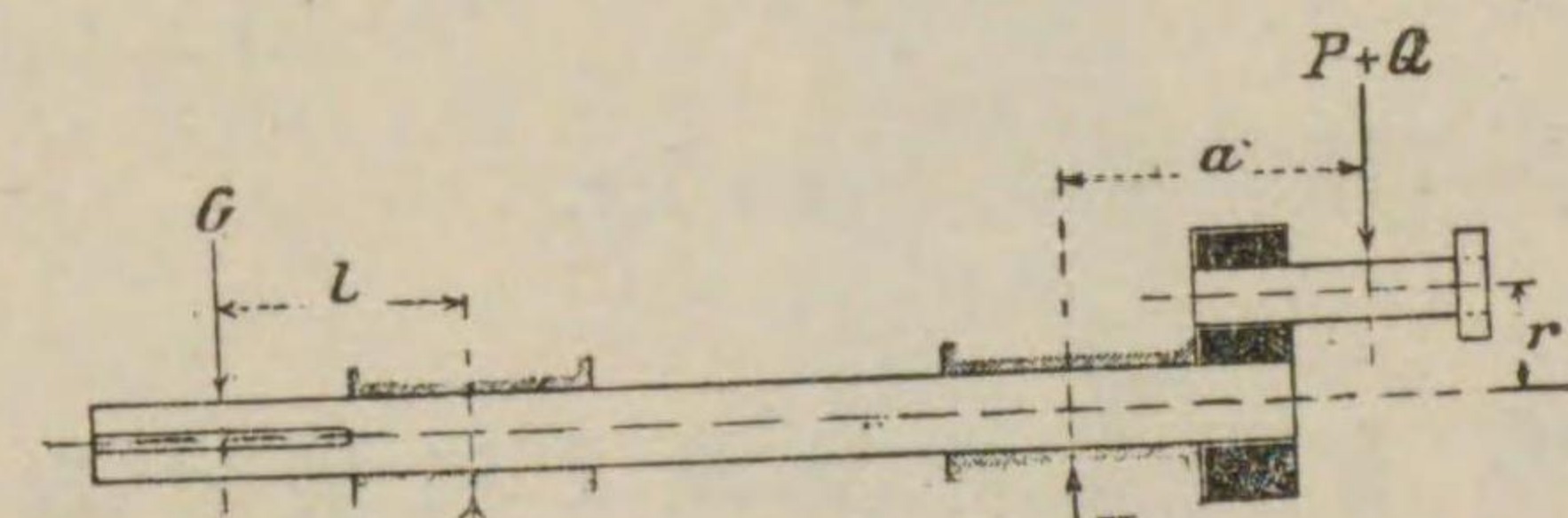


第六十二圖 (b)

第六十二圖 (a)

かせるのである。a軸及びbの軸を承ける部分は機臺と共に鑄造されて充分に風車の重量に堪え得る様に出來てゐる。

今第六十三圖の様なクランク軸を例に取り軸の大きさを決定して見やう。I及びIIは軸承としク



第六十三圖

ランクの半径をrとする。P及びQを夫夫ポンプの作用力及びポンプ仕掛けの重量とし軸承よりaの位置に作用するものとせば、

$$P = 71620 \frac{HP_u}{n} \cdot \frac{1}{r}$$

軸承けIIに於ける拗りモーメントは、

$$M_t = (P + Q) \cdot r \text{ cm. kg.}$$

又曲げモーメントは、

$$M_b = (P + Q) \cdot a \text{ cm. kg.}$$

合成曲げモーメントは、

$$M_w = \frac{3}{8} M_b + \sqrt{\left(\frac{5}{8} M_b\right)^2 + \left(\frac{5}{8} M_t\right)^2}$$

故に軸承IIに於ける軸の太さは、

$$d = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \cdot \frac{M_w}{K_b}} \dots\dots\dots (48)$$

軸承けIに於ける曲げモーメントは、

$$M_b = G \cdot l \text{ cm. kg}$$

但しGは風車の重量である。又拗りモーメントは、

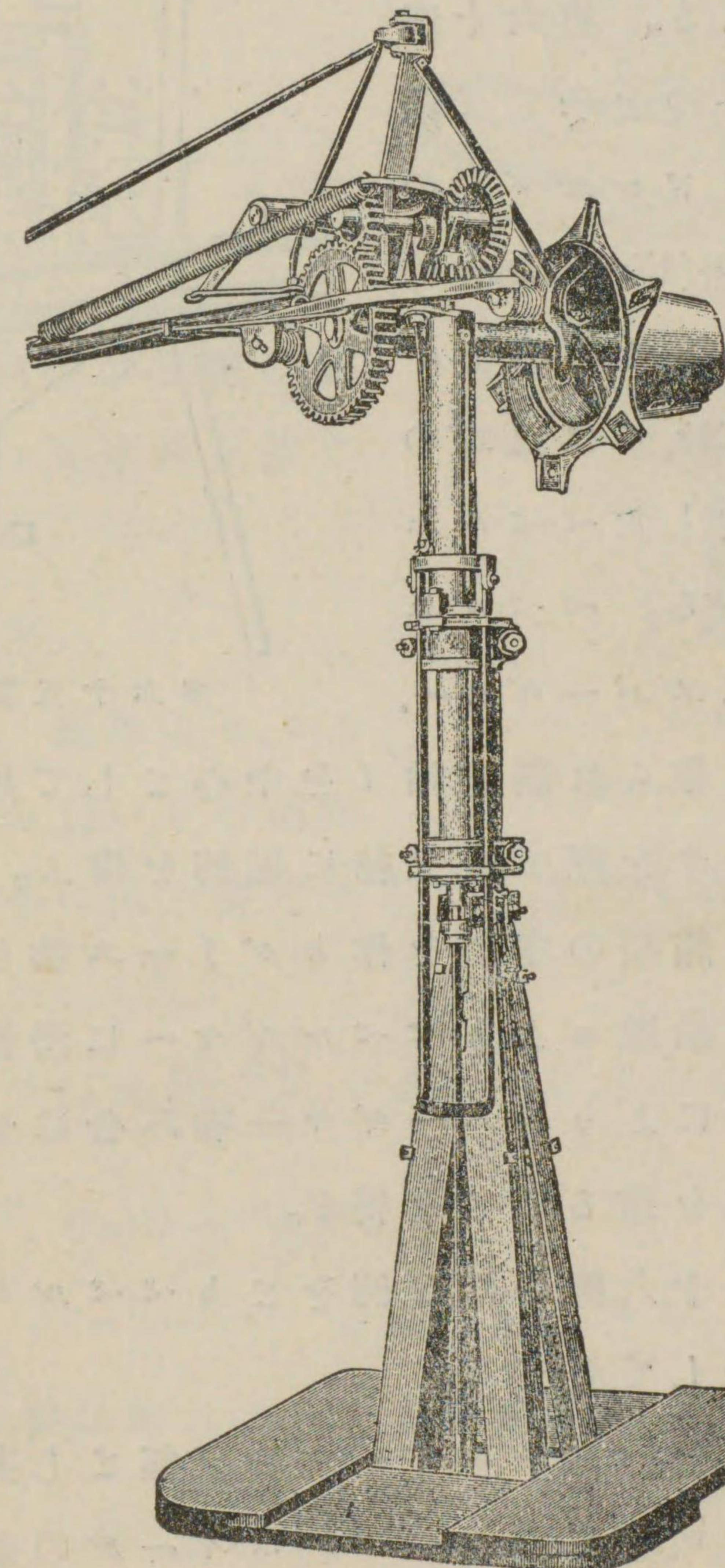
$$M_t = 71620 \frac{HP_u}{n} \text{ cm. kg.}$$

前同様に M_w を計算し軸承Iに於ける軸の直径を算出する事を得る。

齒輪装置

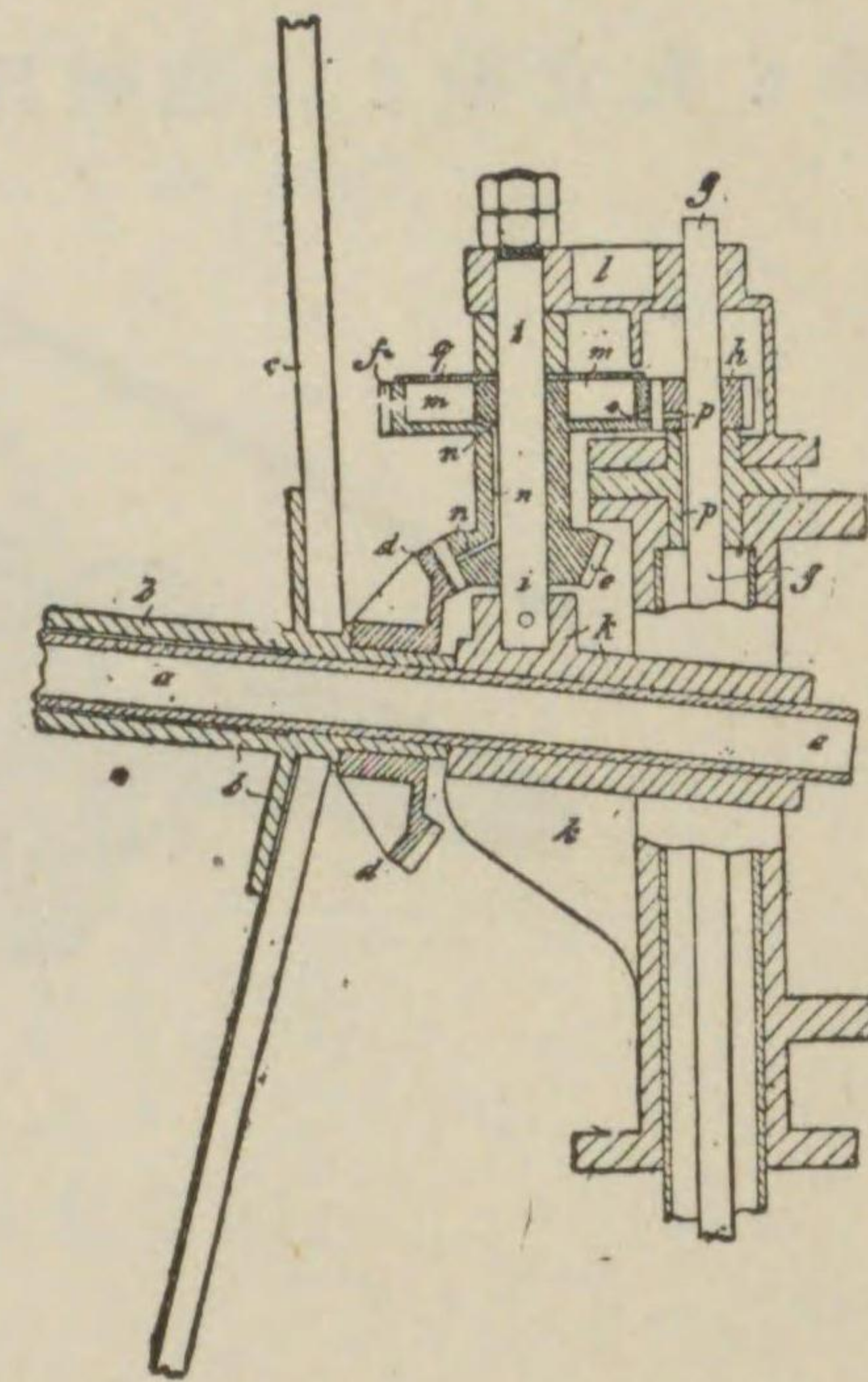
齒車を以て風車の廻轉を直立軸に傳ふる場合に一段の齒車で傳導するものと數段の齒輪装置を經

て傳導するものとある。一段の齒車を用ふる時風車軸と直立軸との廻轉比は 1:4 以下にとり此れ以



第六十四圖

上直立軸の廻轉を早め様とする時には二段以上の齒車を用ふる。第六十四圖は其の一つを示し又第六十五圖はドレスデンのラインシュ會社(Firma Reinsch)の製作にかゝるもので a は固定風車軸、 d は風車のボスに固定したべベルホイールである。べベルホイール e はスパーギヤ、



第六十五圖

f と一體に作られ固定軸 i を中心として廻轉し f h の噛み合せを経て直立軸に廻轉を傳ふ。齒車 f には m なる箱型の空所を作りグリース油を詰めて蓋 g を爲し油道 n よりべベルギヤに滑油を施し又 s, p の溝によりスパーギヤ噛み合せ及び直立軸に滑油を送ることを得る。

偕て第六十六圖の様な例をとりべベルギヤの齒車を設計して見やう。

d_1 を風車軸べベルホイールの直径とし其の齒数を z_1 とし、 d_2 を直立軸べベルホイールの直径とし其の齒数を z_2 とする。而して兩者の廻轉數を夫

夫 n_1 及び n_2 とする。さうすると齒車の傳導比は、

$$g = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

小さい方のべベルホイールの齒数は廻轉の圓滑を計り又摩耗を防ぐため

$$z_2 \geq 20$$

に取る。齒車のピッチ t は馬力の大きさと廻轉數、齒數等に依り決定せらるゝもので次の式を用ふる。

$$t = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{450}{C \cdot \phi \cdot z}} \cdot \frac{HP_v}{n} \text{ cm.} \dots \dots \dots (49)$$

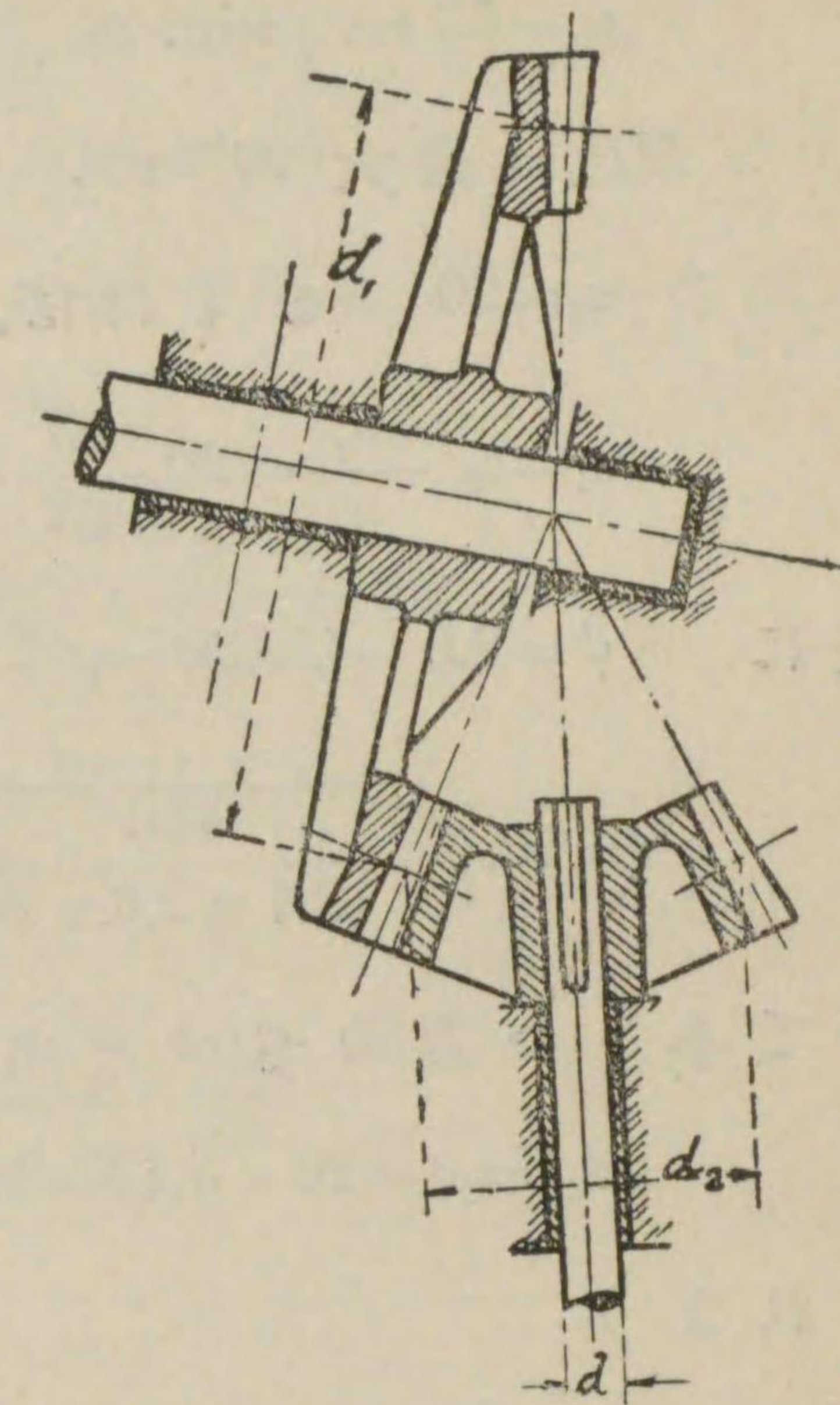
茲に $C = 20 - \sqrt{n}$

又 $\phi = 2 \sim 3$ なる常數である。

而して齒の厚さ s は普通次の様に定める。

$$s = \frac{19}{40} \cdot t$$

例へば $n_1 = 23 \text{ rev./min.}$



第六十六圖

$$n_2 = 53 \text{ rev./min.}$$

$$HP_u = \text{最大 } 10.5 \text{ HP.}$$

$$z_2 = 20 \quad \text{とすれば,}$$

$$z_1 = z_2 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 20 \cdot \frac{53}{23} = 46$$

$$\text{茲に } \psi = 2.6 \quad C = 20 - \sqrt{53} = 12.7 \quad \text{とをけば,}$$

$$t = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{450}{12.7 \times 2.6 \times 20} \times \frac{10.5}{53}} = 5.13 \text{ cm.}$$

依つて小さい方のべベルホイールの周囲は、

$$\pi d_2 = z_2 t = 20 \times 5.13 = 102.6 \text{ cm}$$

これより

$$d_2 = 33 \text{ cm.} \quad \text{と定める。}$$

然れば

$$\pi d_2 = 103.67 \quad \text{と變はり}$$

$$t = 5.18 \text{ cm.} \quad \text{と訂正する。}$$

齒の中央の厚さ及び中央の明きは夫々

$$s_1 = \frac{19}{40} t = \frac{19}{40} \cdot 5.18 = 2.46 \text{ cm.}$$

$$s_2 = \frac{21}{40} t = \frac{21}{40} \cdot 5.18 = 2.72 \text{ cm.}$$

$$\text{齒の頂上の厚さ } s_3 = 0.3 t = 0.3 \times 5.18 = 1.55 \text{ cm.}$$

$$\text{齒の底の厚さ } s_4 = 0.4 t = 0.4 \times 5.18 = 2.07 \text{ cm.}$$

$$\text{齒の巾 } b = 2.6 \times t = 2.6 \times 5.18 = 13.00 \text{ cm.}$$

風車軸に附する齒車の直徑は

$$d_1 = 2.3 \times d_2 = 2.3 \times 33.0 = 75.9 \text{ cm.}$$

直立軸は拗り力を受けるのであるから次の式より

直徑 d を算出する。

$$\frac{\pi}{16} d^3 K_d = M_d = 71620 \cdot \frac{N}{n} \text{ cm. kg.}$$

$$\text{茲に鍊鐵なれば } K_d = 250 \text{ kg./cm}^2.$$

前例に此を應用すれば、

$$\frac{\pi}{16} d^3 \times 250 = 71620 \times \frac{10.5}{53}$$

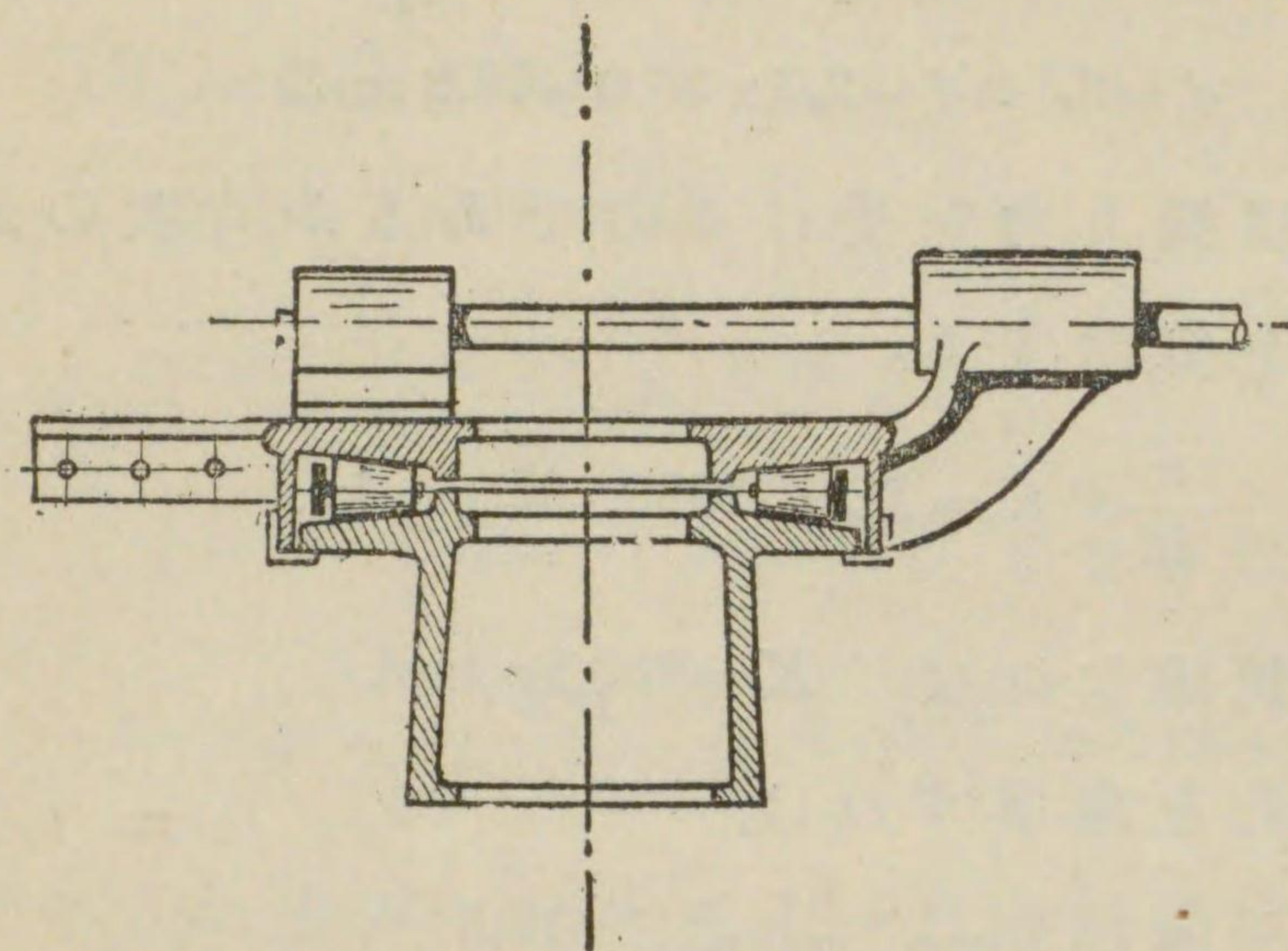
$$\text{故に } d = 5 \text{ cm}$$

第十六章 機 臺

風車の羽根車及び傳導装置は塔頂に据えた機臺に載り、風の方向に従ひ自由に旋廻し得ると共に羽根車にかゝる風壓に依る倒壊モーメントに對し充分安定を保たねばならない。

機臺が塔頂に於いて自由に旋轉し得るためには普通機臺と塔頂との間にボール或はローラーを挿入し摩擦を減ずる。第六十七圖はローラーを挿入した機體承けを示し第八十三圖はボールを挿入した機臺承けを示したものである。

G を機臺及び此にかゝる全荷重。



第六十七圖

i をローラーの數

d をその平均の直徑

l をローラーの長さ とすれば、

ローラーは次の式から算出される。

$$G = C i l d \dots\dots\dots (50)$$

但し鑄鐵の座に對して鑄鐵のローラーなれば

$$C \leq 25$$

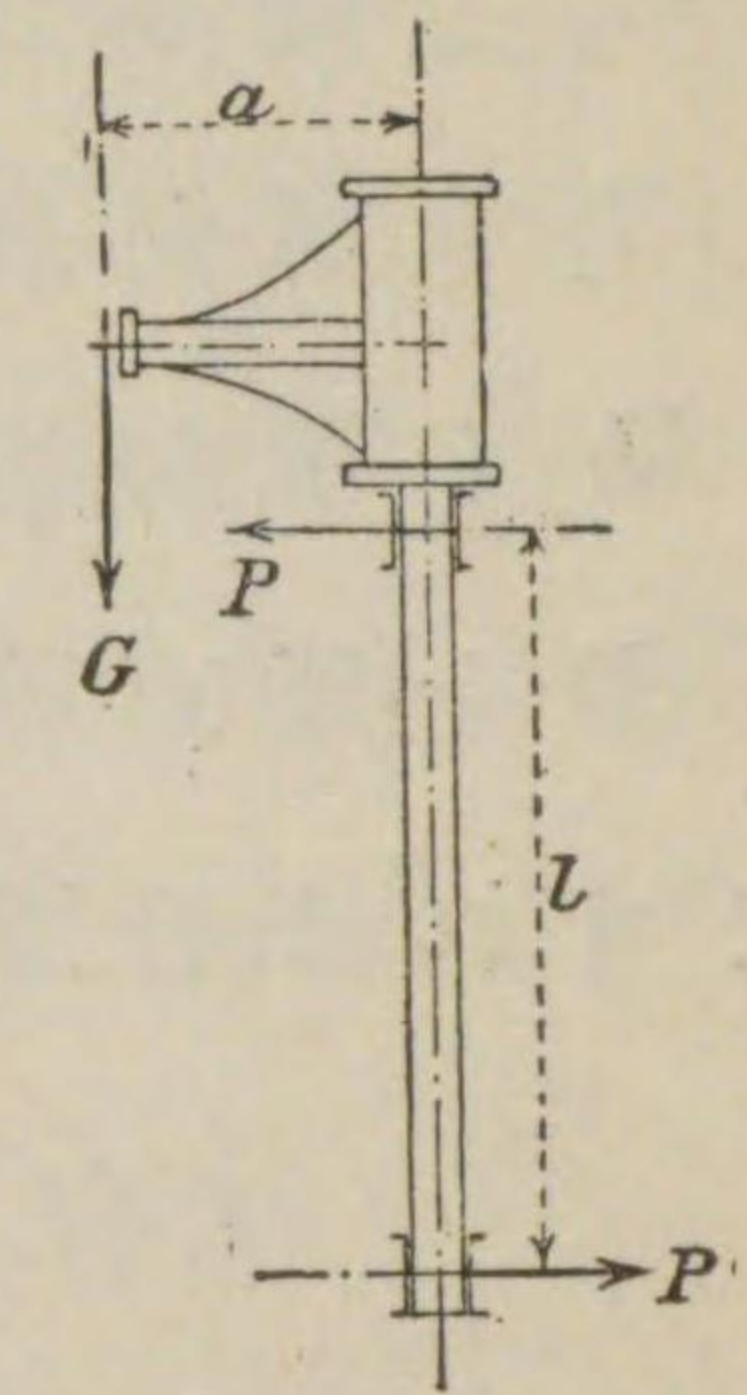
鋼鐵の座に對して鋼鐵のローラーなれば

$$C \leq 60$$

ボールベアリングの場合は前に掲げた(47)式に依り其の直徑を定め得られる。

次に機臺が風の倒壞モーメントを安全に受ける

ためには多くは機臺の下部から長い圓嚙を出し此を塔頂並に塔頂より少し下れる位置で押へる。第六十八圖で風車の重量を G とすれば機臺の倒壞モーメントは $G a$ でこれに堪ゆる可き力は二ヶ所の承けの壓力 P である故



第六十八圖

$$G a = P l$$

$$P = \frac{G a}{l} \dots\dots\dots (51)$$

l を長くすれば P は益々小さくなり機臺は安全に然も圓滑に旋廻し得るのである。 l は1~2メートルに取るのが普通であるが長いのは4メートルに至るものがある。

第十七章 自動風向装置

風向板

風の方向の如何に拘はらず羽根車を自動的に風に直面させるため用ふる方法の一つとして風向板を用ひる。此れは風車機臺の後方に於いてピンを以て止められた平面板で常に羽根車に對し直角に位置する様にスプリングを以て強く引張つて居る。

l_1 を機臺より風向板の内側端迄の距離。

l_2 を風向板の長さ。

b を風向板の幅。

D を風車の直径。

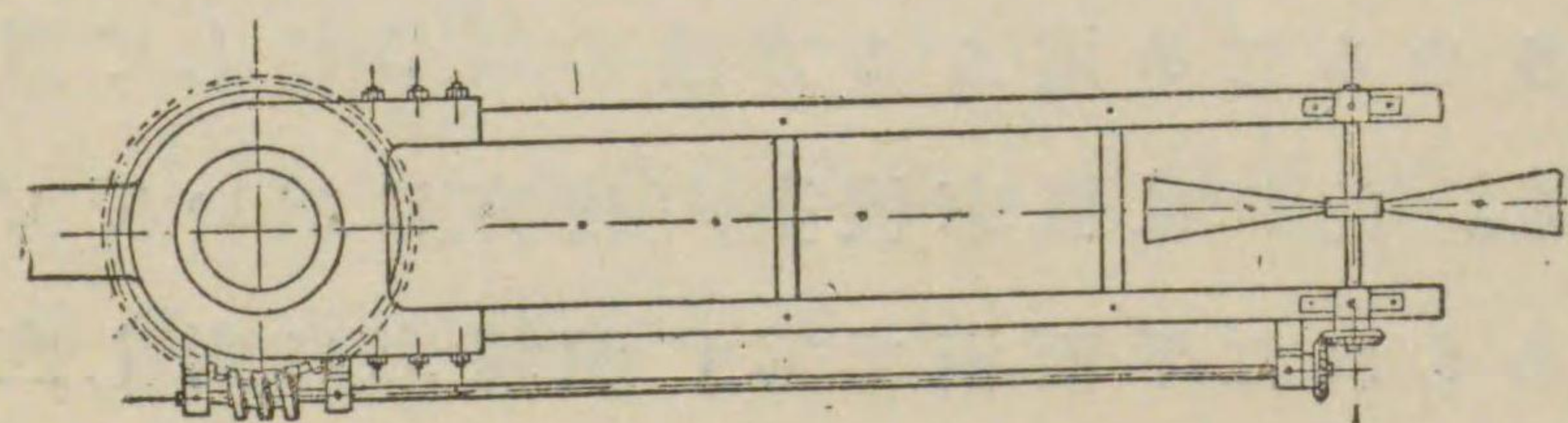
とすれば、普通行はれてゐる各寸法の比例は、

$$l_1 + l_2 = D \quad l_2 \leq \frac{D}{2} \cdot b = \frac{D}{4} \dots\dots (52)$$

風向板は單獨に用ひられる事もあるが後に述べる側面節調板と併用して自働調速作用の目的を達することが出来る。

風向車

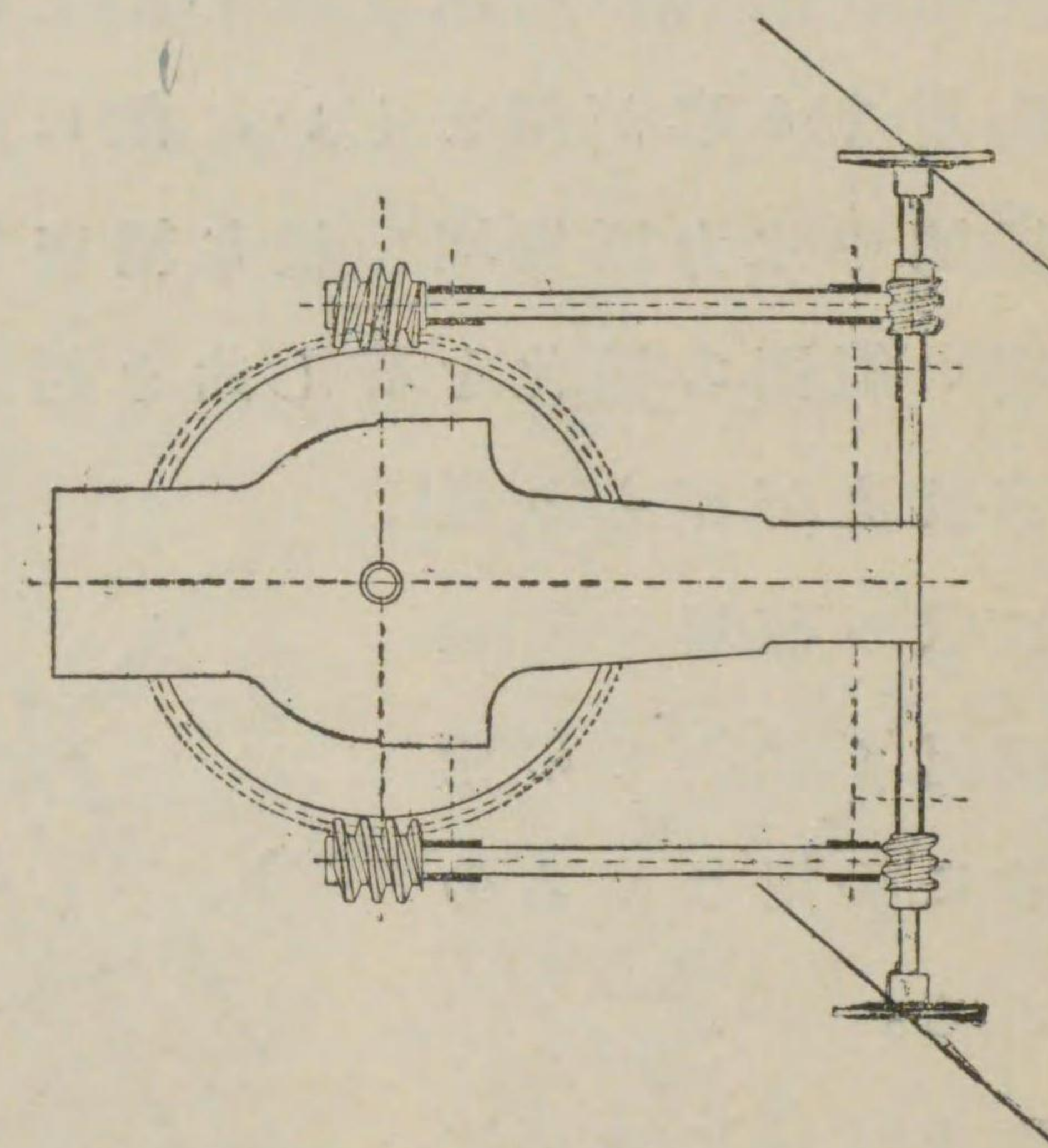
此は風車機臺の後方へ長く突出した枠の上に風車面に對し直角に置かれた小型風車を云ふのであつて、風が風車面に傾斜して吹いて來た時には此の小風車が廻轉し此の廻轉はベベルギヤーを経て横軸に傳はる。此の横軸の他端にはウォームを固定し塔頂に刻まれたウォームギヤーと噛み合ふから風向車が廻轉しつゝある間は機臺はウォームギヤーの周



第六十九圖

圍を旋り、風車面は風に直面し小形風車は風と平行するに至つて止む。第六十九圖は此の風向車を示したものである。風向車の羽根の角度は車の面に對し $40^\circ \sim 45^\circ$ で羽根の數は $4 \sim 8$ 枚、直径は主風車の大きさに依つて異ふけれども $1.5 \sim 3.0$ メートルが普通である。材

料は木材或は鐵板を用ひる。圖に示したウォームギヤーではウォームホイールの齒數は 39 枚ある故風向車は 39 廻轉で風車機臺は一旋廻する。風向車は一箇と限ら



第七十圖

ず二箇を据えて感覺を鋭敏にしたものがある。(第七十圖)

第十八章 調速並に安全裝置

總べて機械は一定の廻轉數を以て終始運轉することが其機能の上から云つても又安全の點から云

つても非常に必要なことである。風車にあつては原動力たる媒質が風と云ふ強弱の變轉定まりないものであるから他の原動機の様には正確な廻轉調節を行ふことは面倒であるのみならず風車の機能を削ぐのみで無益である。寧ろ風力に應じて或る程度迄は廻轉の増減を許し不定の風力を出来るだけ利用する事が望ましい。故に風車の調速装置は熱機關や水力原動機の様な精密なものを要せず餘程廣い範圍の變化を許し此を超過する様な場合に

調節装置が作らき強風に依る破壊を防止し調速と保全との兩目的に併用されるのである。

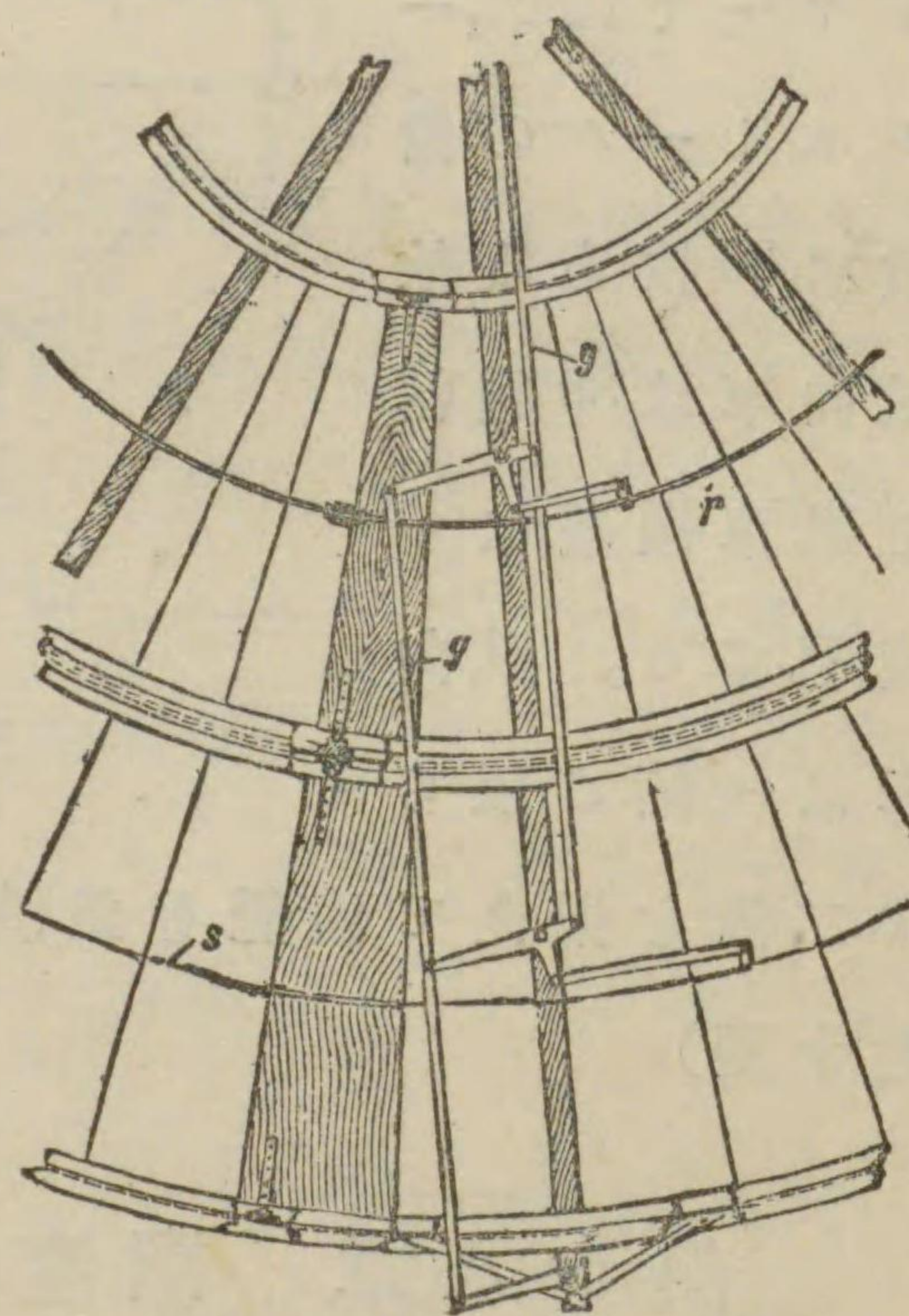
調速方法に次の二通ある。

- 1. 自働調節羽根式
- 2. 側面調節板式

自働調節羽根式

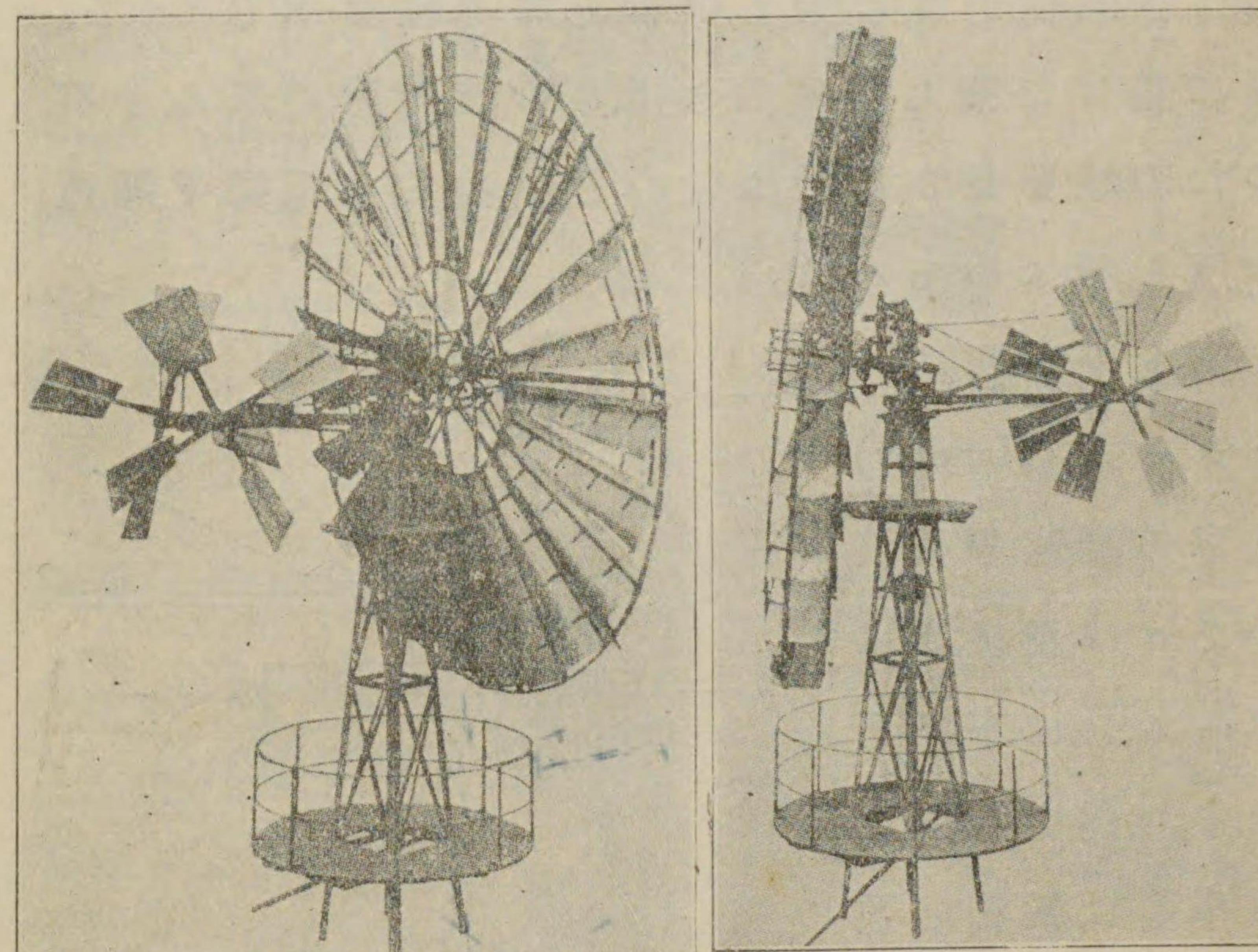
此の式は箇々の羽根が風の強さに應じ

て風の方向に平行に傾き風の衝る面積を少くして



第七十一圖

調速の目的を達するものであるが此にも種々な様式がある。第七十一圖は其の一様式を示したもので各羽根は内外兩輪の間に固定せずして羽根を縦に貫く軸心を支へるに止める。羽根の軸心は羽根の巾の中心を通らずして一方に偏してゐるから軸心の兩側に於いて羽根面積は不平均となり従つて風壓は均衡を失して各羽根を拗らうとする。然る



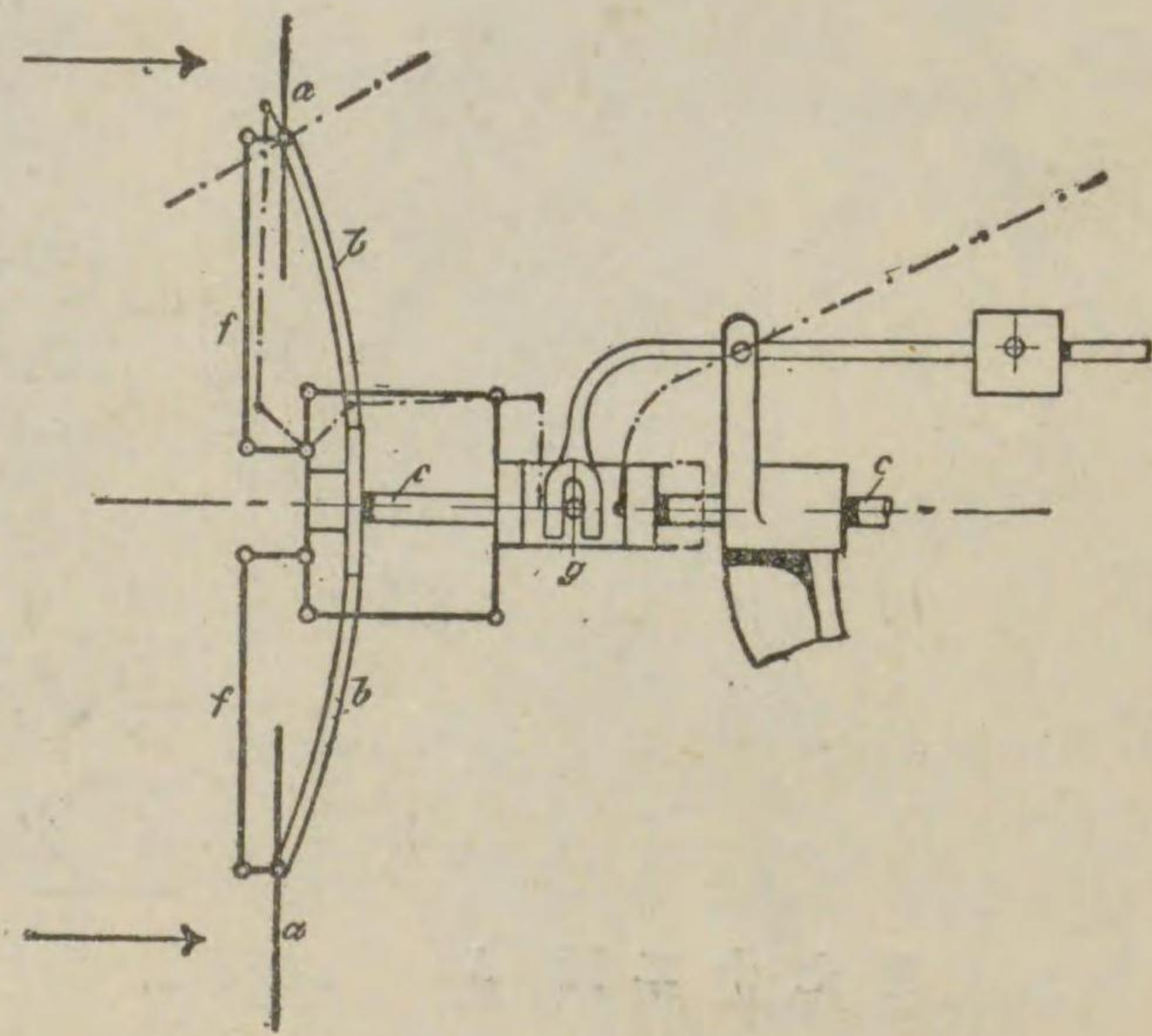
第七十二圖 A

第七十二圖 B

に羽根の狭い側は r 及び s なる兩輪に連がり更に此の兩輪は連桿 g 及び鎖を経てスプリング又は重量を加へられてゐる故風壓の不均衡から生ずる羽

根の拗れを支へることを得る。然るに風壓が餘りに強くなり過ぎる時は不均衡の力は益々大になり又連桿 g も遠心力で外側へ飛び出す様になるから加重に打勝つて各羽根は軸心を支點として風の方向に平行し風に衝る面積を小さくし廻轉を落すに至るのである。第七十二圖A,Bは此の式の調速装置を採用せる風車の寫眞でAは普通の羽根の位置Bは各羽根が風に對し平行した有様を示してゐる。既に掲げた第九圖の如きも、あの流線形の厚みを有つた羽根を長さに沿ふ軸心を中心として拗り調速作用を行ふのである。

第七十三圖はハラデー式 (Haradey) 風車の調速安全装置で a は羽根、 b はアーム、 c は車軸を示す。然して風車の全面は數箇の扇形に分割され各扇形は其の真中より

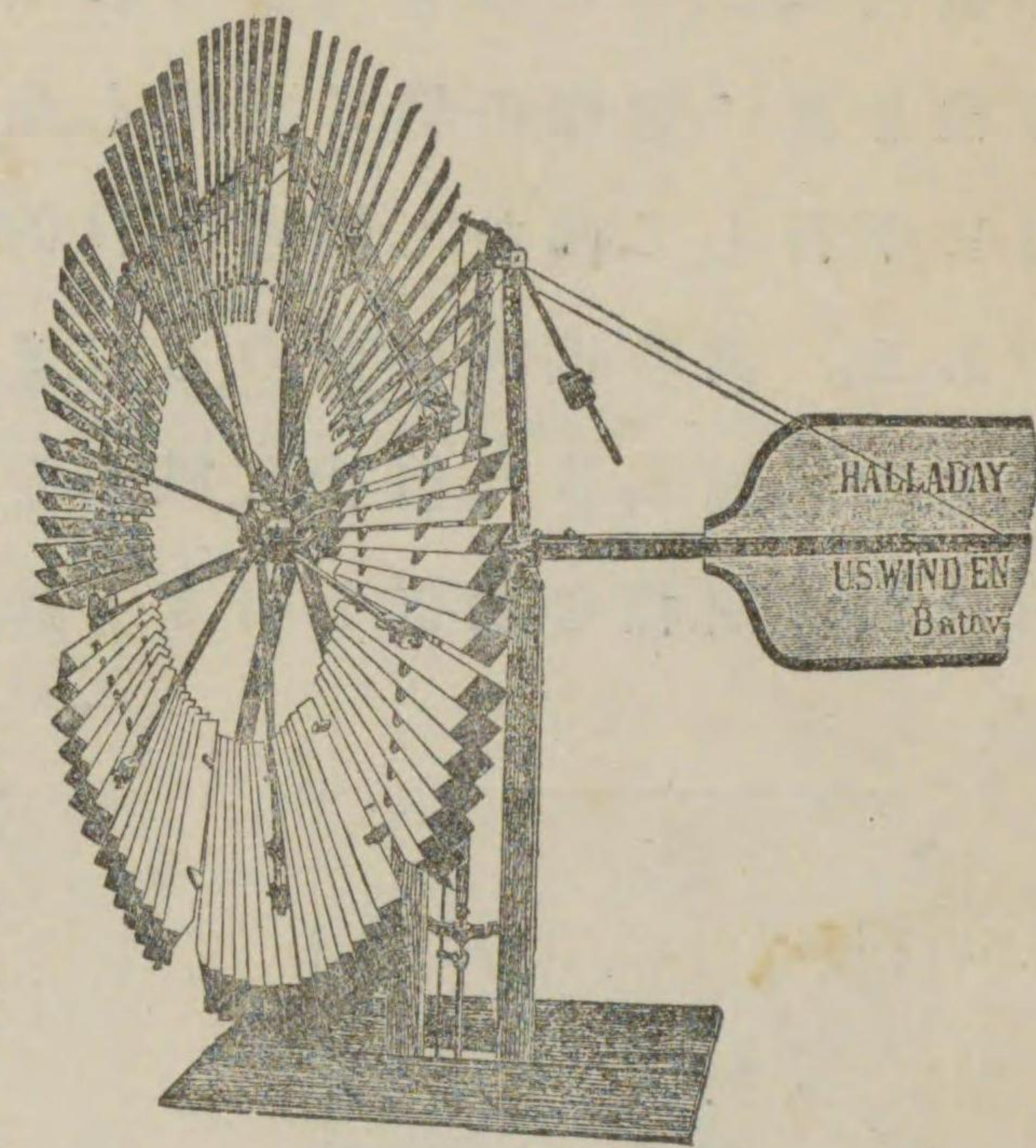


第七十三圖

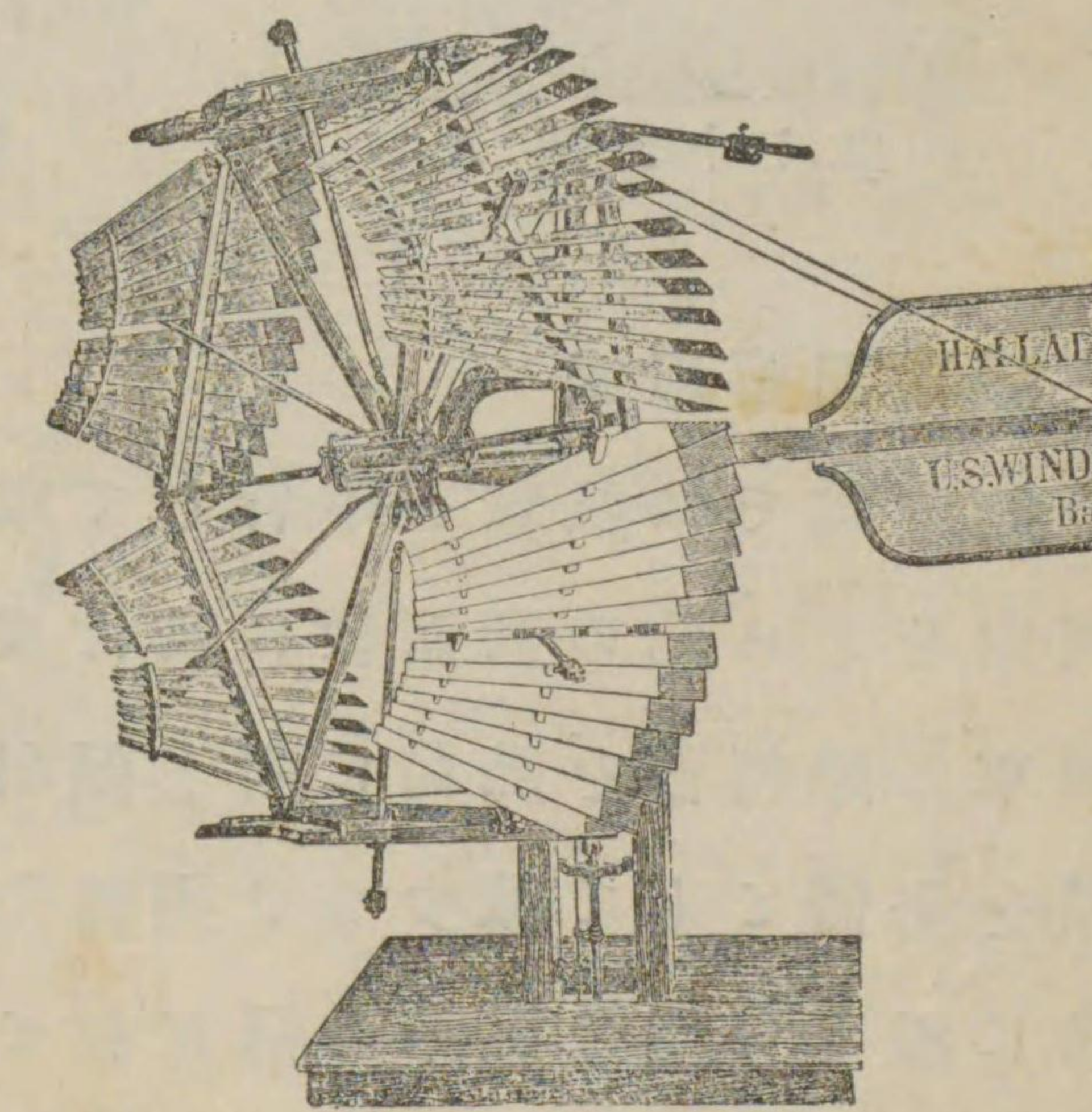
少しく下つた位置に支軸を有し羽根は此の軸棒を中心に折れ返へる様に作られてゐる。支軸より外

周は内周よりも羽根面積廣き故常に不平均な風壓が羽根に作らいて

ゐるが連桿 f 及びカラ g を経て荷せられた加重に依つて僅に平衡を保つ。其故一度強風に見舞はるれば不平均の力は増加し加重に打勝つて羽根を折り曲げるに至るのである。風の有無に拘はらず風車を停止しやうとする時にはカラ g を左手に引き羽根 a を折り曲げるのである。第七十四圖A,Bは此の様な風車の常態と折り曲つた有様を示したものであ



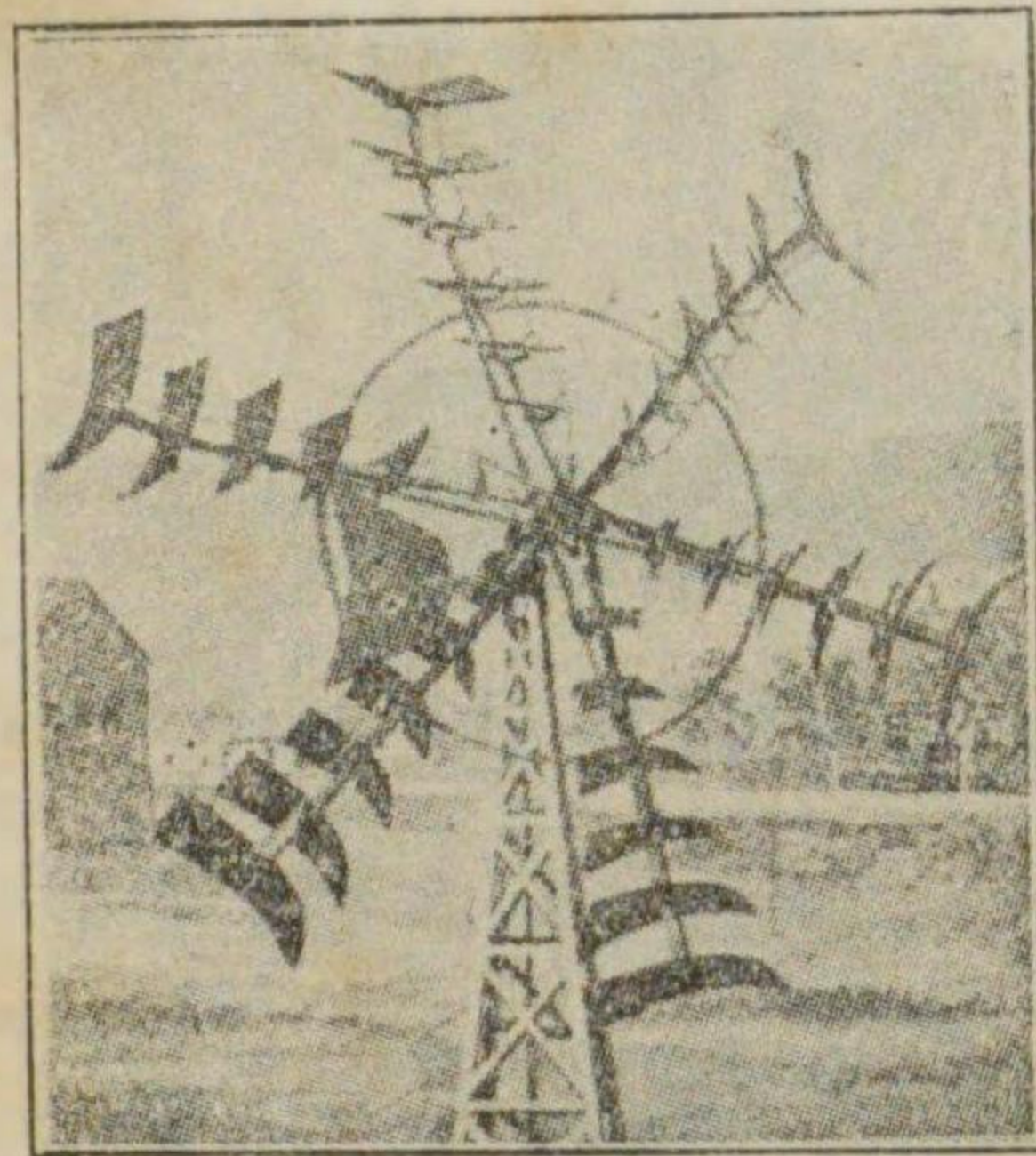
第七十四圖 A



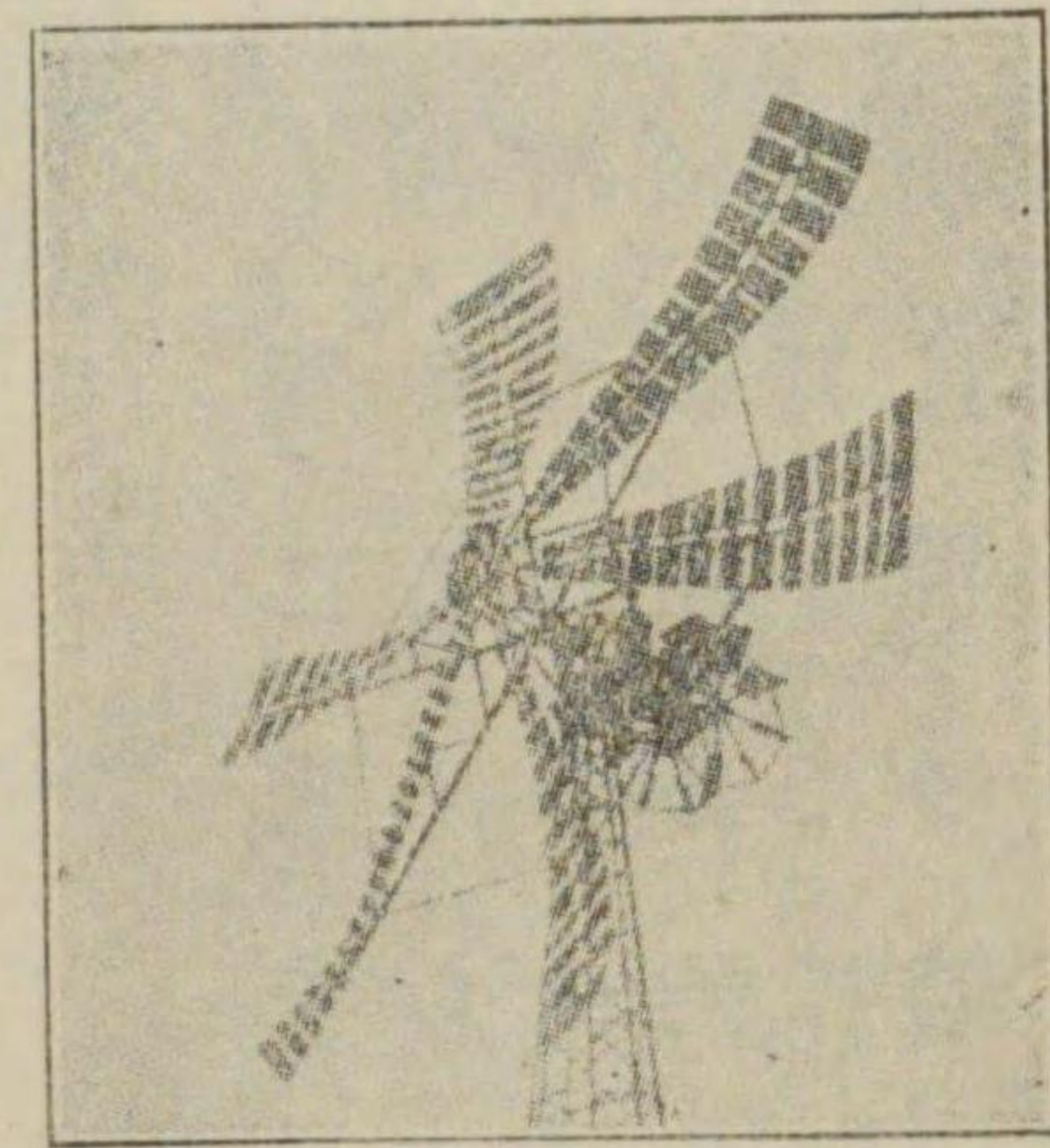
第七十四圖 B

る。此の式は現在では餘り用ひられてゐない。

獨逸式風車に専ら用ひられてゐる調速装置に各羽根を更に鎧板の様に分割し此の小さき鎧羽根を風に平行して動かし調速の目的を達してゐるものがある。其の機構は前のものと大同小異である。第七十五圖A,Bは彼様な風車を示すものであり又第八圖も同様な装置を有する風車の全景である。



第七十五圖 A

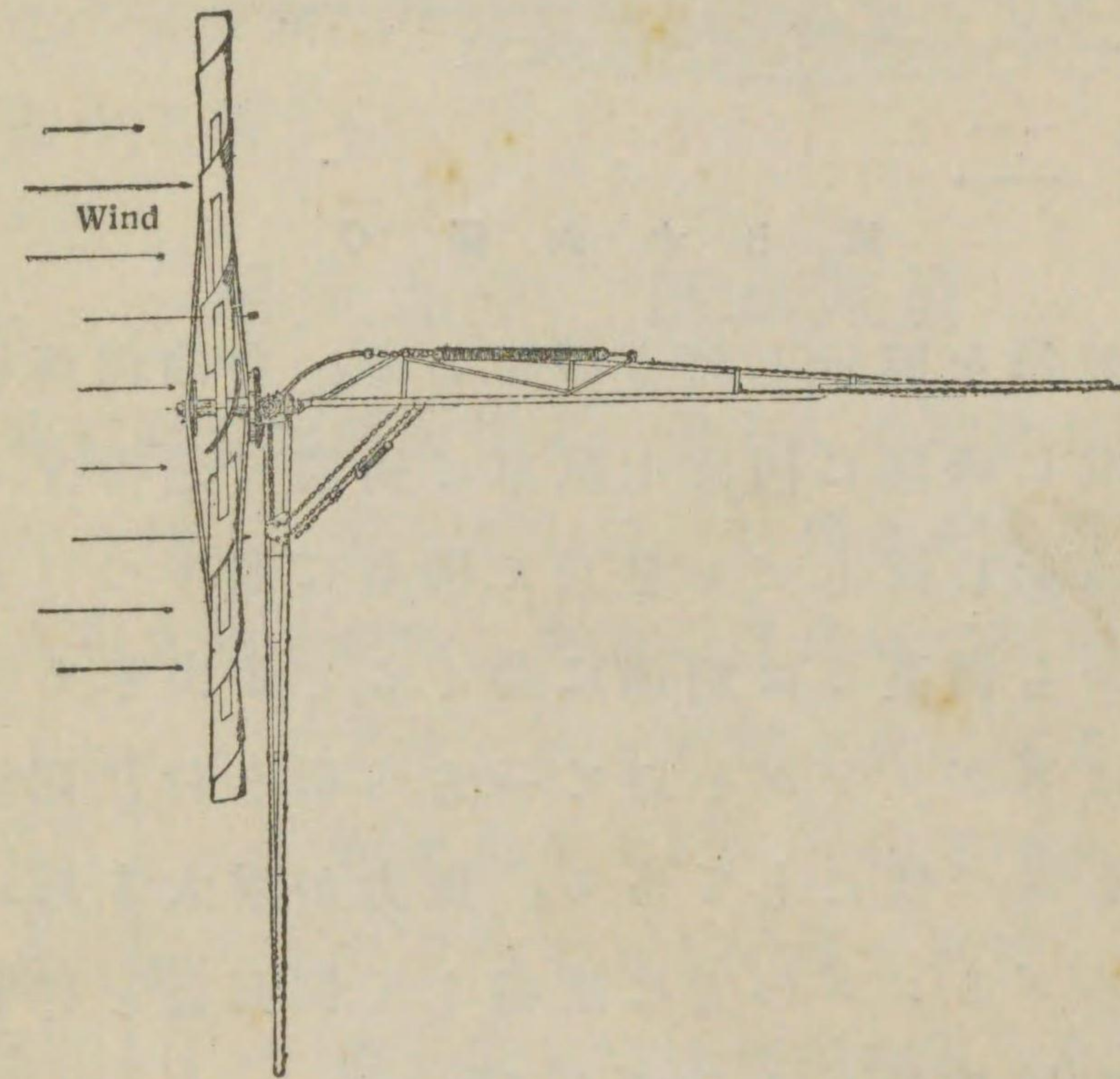


第七十五圖 B

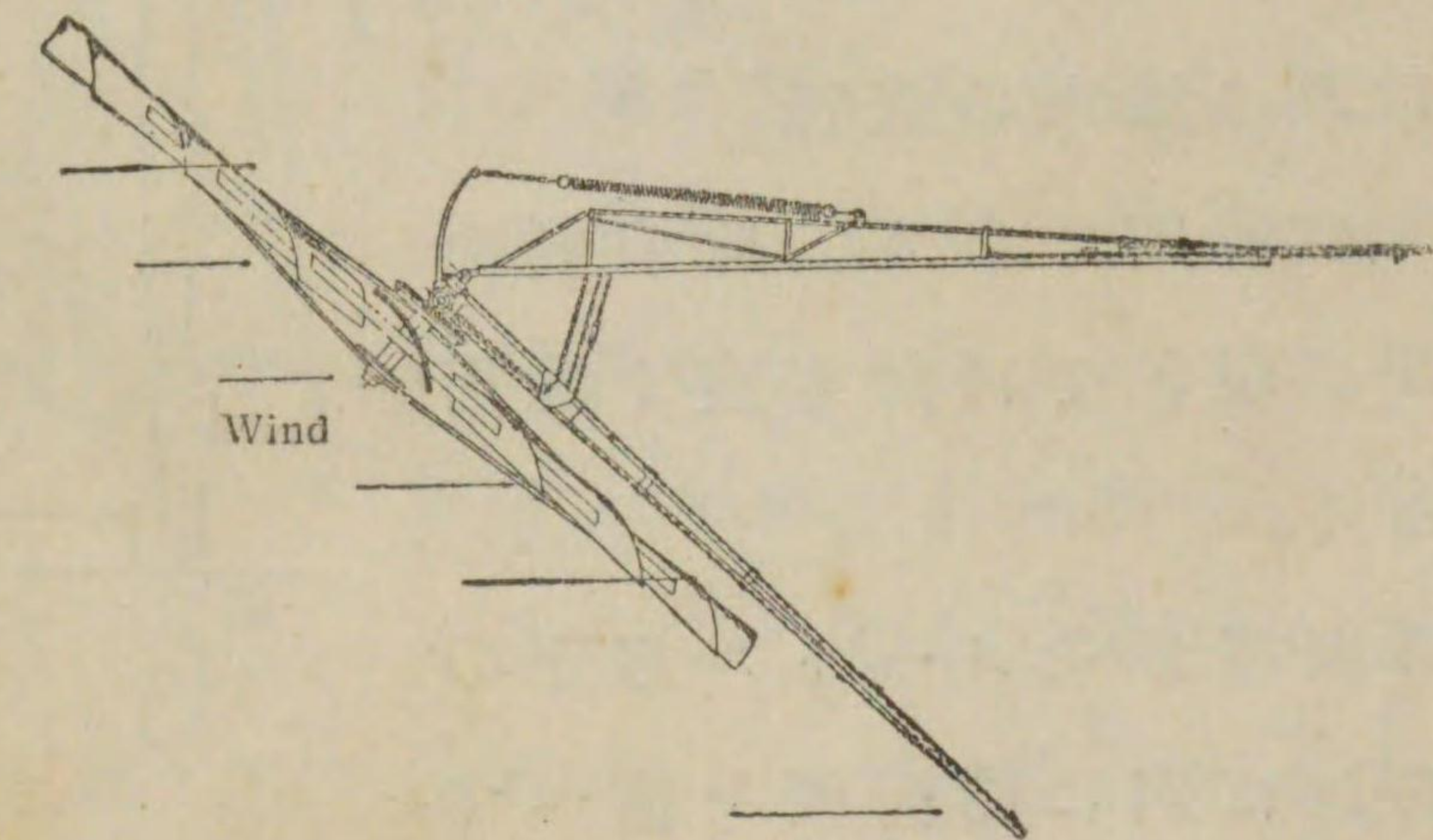
側面調節板式

此の式では風車と平行して車の側面に平面板を突出せしめ此の側面板に及ぼす風壓の大小に従ひ風車の廻轉面を風向に對し傾斜せしめ風の衝る面積を全體として減少させ廻轉の調節を計る。風速特に激しい時は風車は風向板と相重り全く風を避けるに至るのである。第七十六圖A,B,Cは普通の

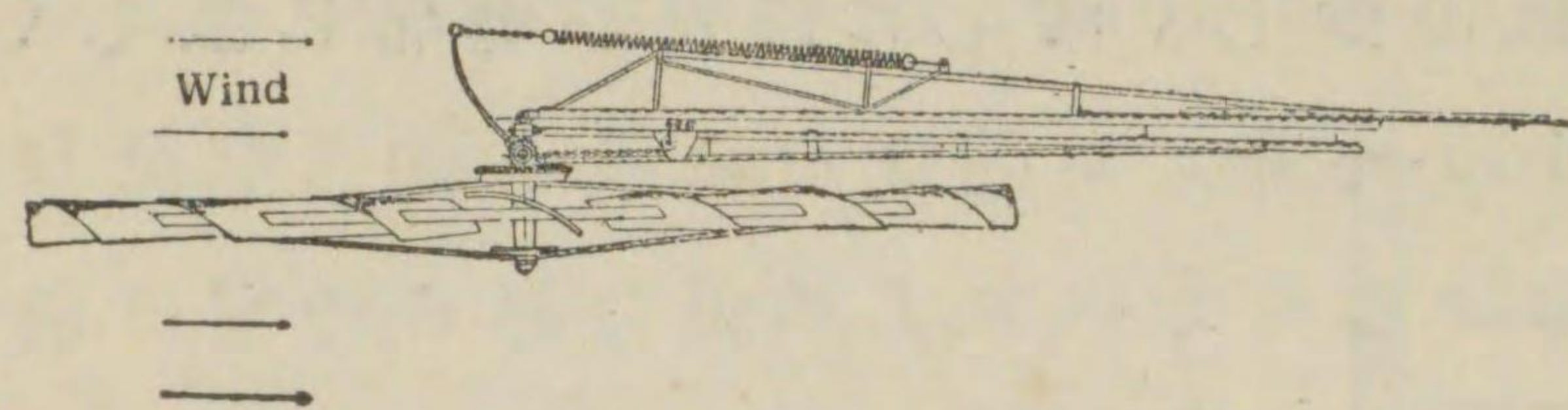
状態と風の少しく増した時及び非常に激しくなつ



第七十六圖 A



第七十六圖 B



第七十六圖 C

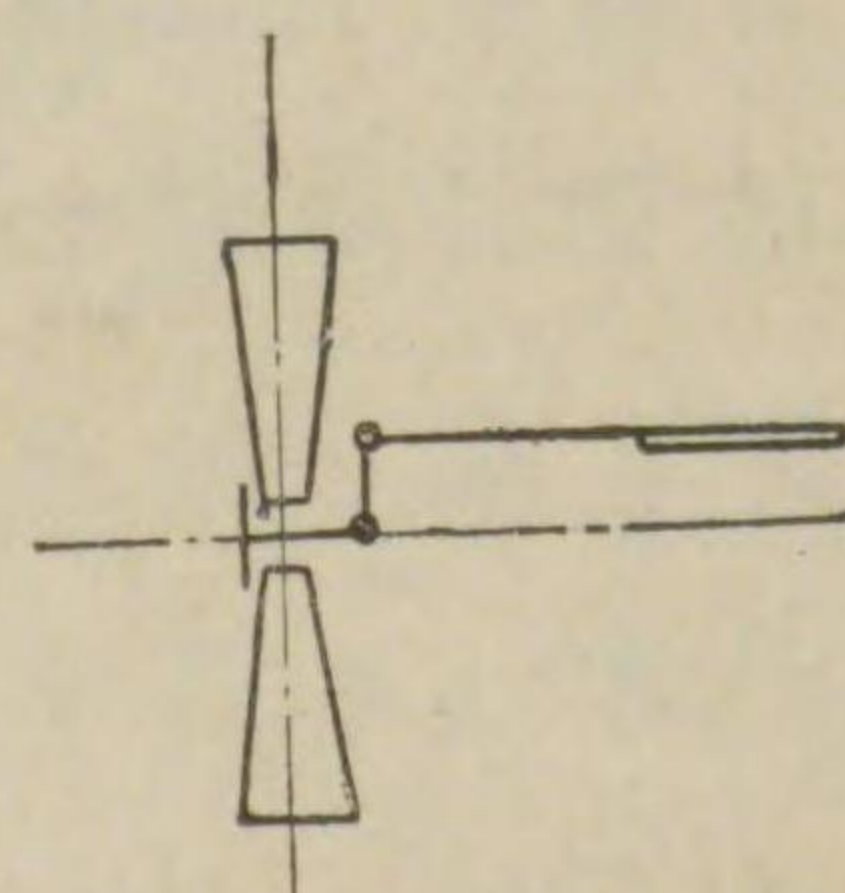
た時の状態を圖示したものである。勿論側面板は風車と共に機臺に固定し風車と同體に廻轉する。風向板は此に反しピンを以て機臺に取りつけられてゐるから機臺とは別箇に動くことが出来るので風向板はスプリングを以て一方へ引き付け側面板と直角を保つ様にしてある。風力が増大すれば風は此のスプリングの力に反抗して側面板を押し曲げ調節作用を始めるのである。

$$\left. \begin{array}{l} \text{側面板の長さは } l = \frac{D}{4} \\ \text{幅は } b = \frac{D}{4} \cdot \frac{2}{3} = \frac{D}{6} \end{array} \right\} \dots (53)$$

但し D は風車の直徑。

とするのが通則である。此の側面板調節式が現在では最も廣く應用されてゐる。

風車の直徑が3メートル以下のものであれば別に側面板を備へずとも風車の中心を外して風向板を

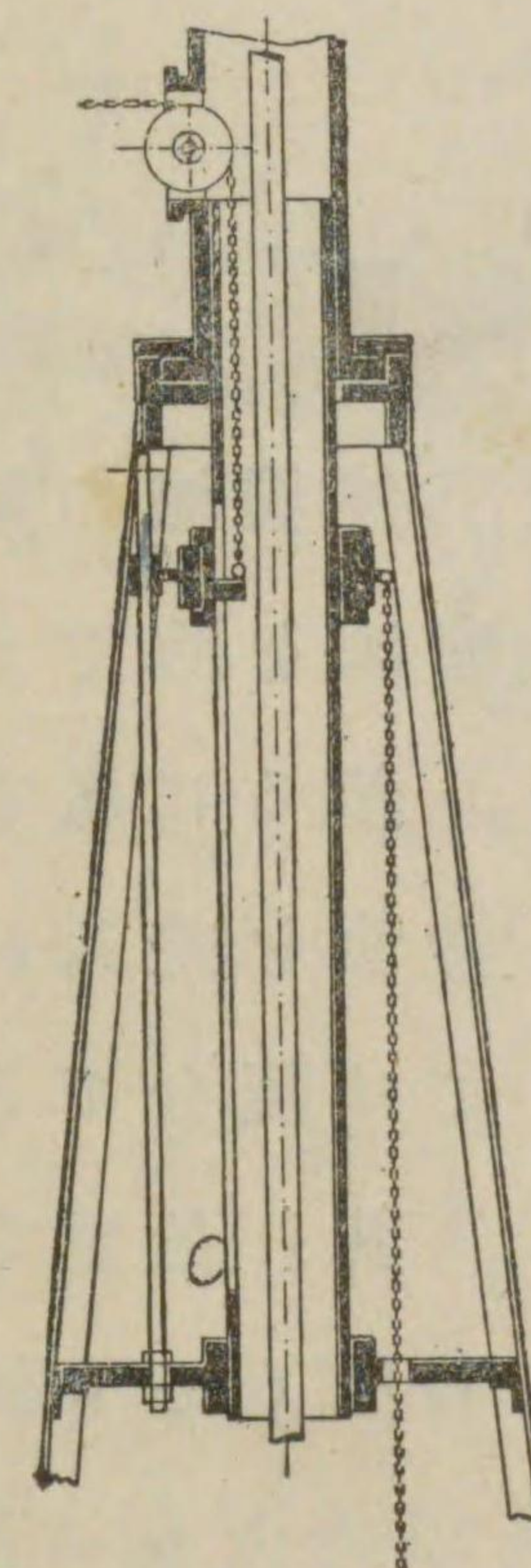


第七十七圖

取付ければ風車自身が側面板の役目を果し強い風に對しては傾斜して廻轉を落すに至るものである。(第七十七圖)

第十九章 停止装置

風車は隨時運轉を停止し得ることが必要である。此がため地上に近き所に設けた停止桿を動かし此に連る引き繩を以つて塔頂の風向板と風車面とを



第七十八圖

二つに折り曲げるか或は各羽根の面を風の方向に平行させ廻轉を止めるのであるが此と同時に制動装置を緊めつけ廻轉停止を確實にしたものもある。然るに機臺は塔頂にあつて風向に依り常に旋轉して止まないものであるから此が爲に引き繩が拗れない様に工夫することが必要である。第七十八圖はこの装置を示したものである。機臺の安定を保つため機臺の下方に長く突出した圓塼に長穴を穿ち此の

圓塼を緩く抱いた輪具の突起部を此の長穴にのぞかせ風向板或は其の他の停止装置に連結した鎖を

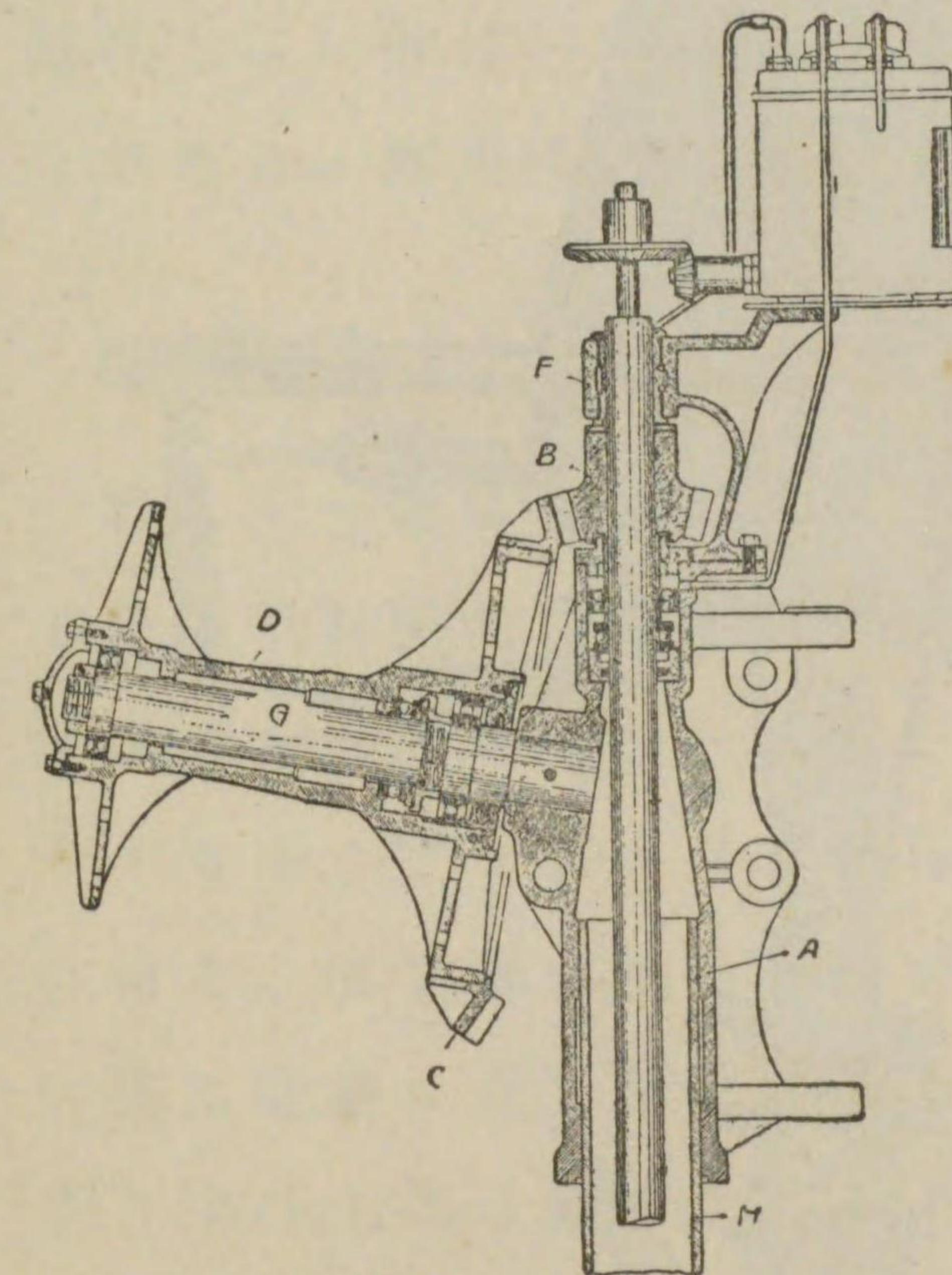
此の輪具に結び付ける。更に此の輪具の中程を軽く抱いた外側輪具があつて此は塔に固定した案内棒に依り其の上下運動のみが許される。地上に近き停止桿に連る引き繩は此の外側の輪具に結ばれるから機臺が如何に旋轉しても内側の輪具が旋轉するのみで外側の輪具は何等其の影響を受けない。然も引き繩を引くときは外側の輪具は内側の輪具をも引き下すことを得るから停止作用は何等故障なく行はれるのである。

第二十章 滑油供給装置

風車軸、ベベルギヤ、クランク装置其他機械の摩耗する部分には絶えず滑油を供給し磨滅を防ぐと共に廻轉の圓滑を計らねばならない。然るに風車は地上高き處に設置されてゐるから滑油を差入れるために其の都度塔頂へ攀ち登ることは扼介であるのみならず危険を伴ふ仕事である。其れ故風車では少くとも一週間位は滑油を供給しなくても済む様な装置が必要である。

第八十二圖及び第八十三圖は直立軸の頂端並に風車軸の尖端に油壺を設け此より油送管を経て各要所へ滑油を送る。油を適度に流下させるために

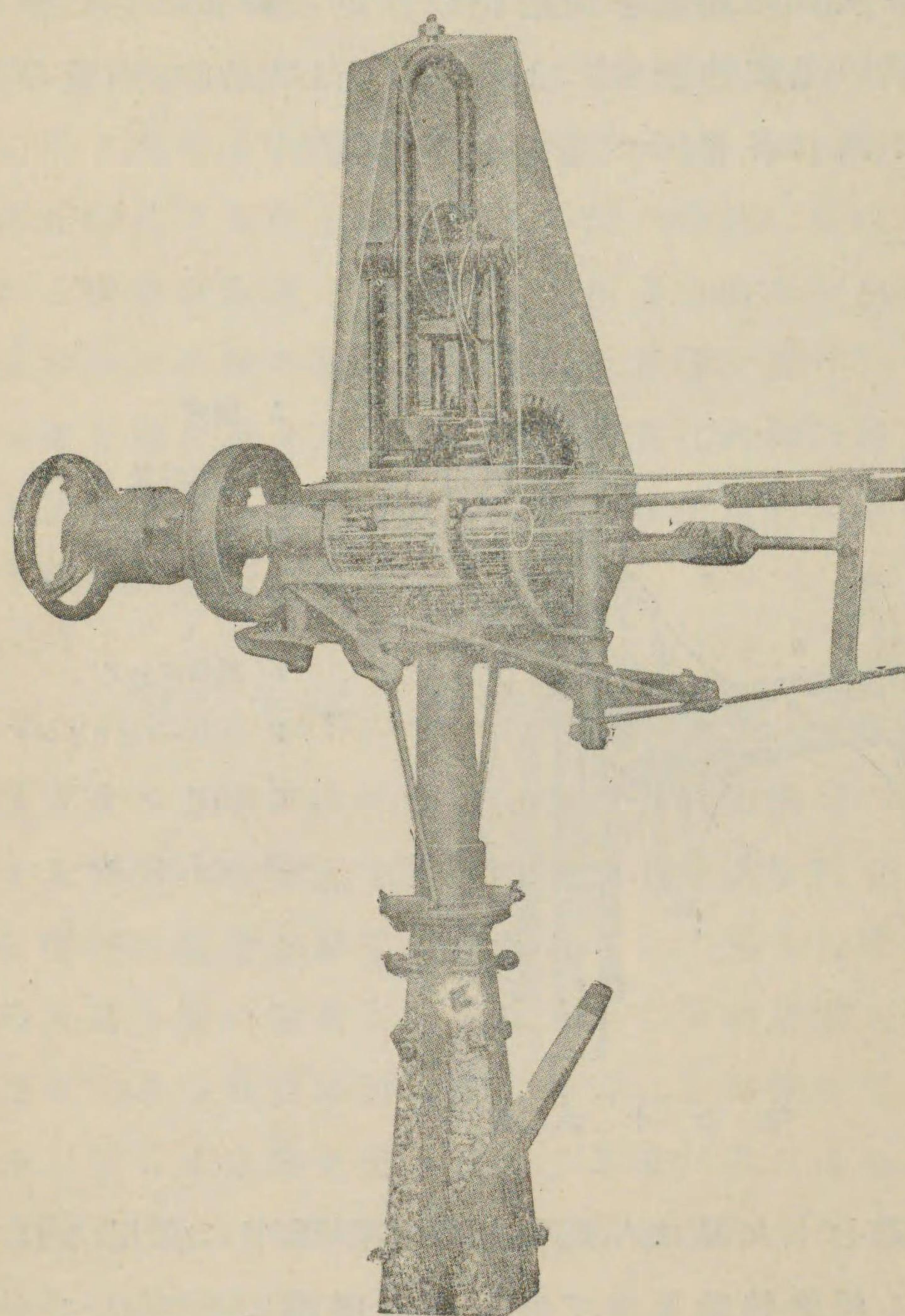
燈心又は木綿繩を油送管の口から油壺の中に垂らし其の毛細管現象により吸ひ上げられる少量の油を不斷に各要所へ送る工夫である。



- A 機臺
- B 齒輪装置
- C 齒車リム
- D 轂
- E 滑油ポンプ
- F カラー・ピヤリング
- G 油道
- H ガイドチューブ

第七十九圖

第七十九圖はA. E. G.社製作の風車に採用されて居る滑油供給装置で直立軸の頂端に小さきベベルギヤを設け此れに依つて機頭に備へ付けた油槽内の滑油ポンプを働かし積極的に油を要所要所に循環させる装置である。



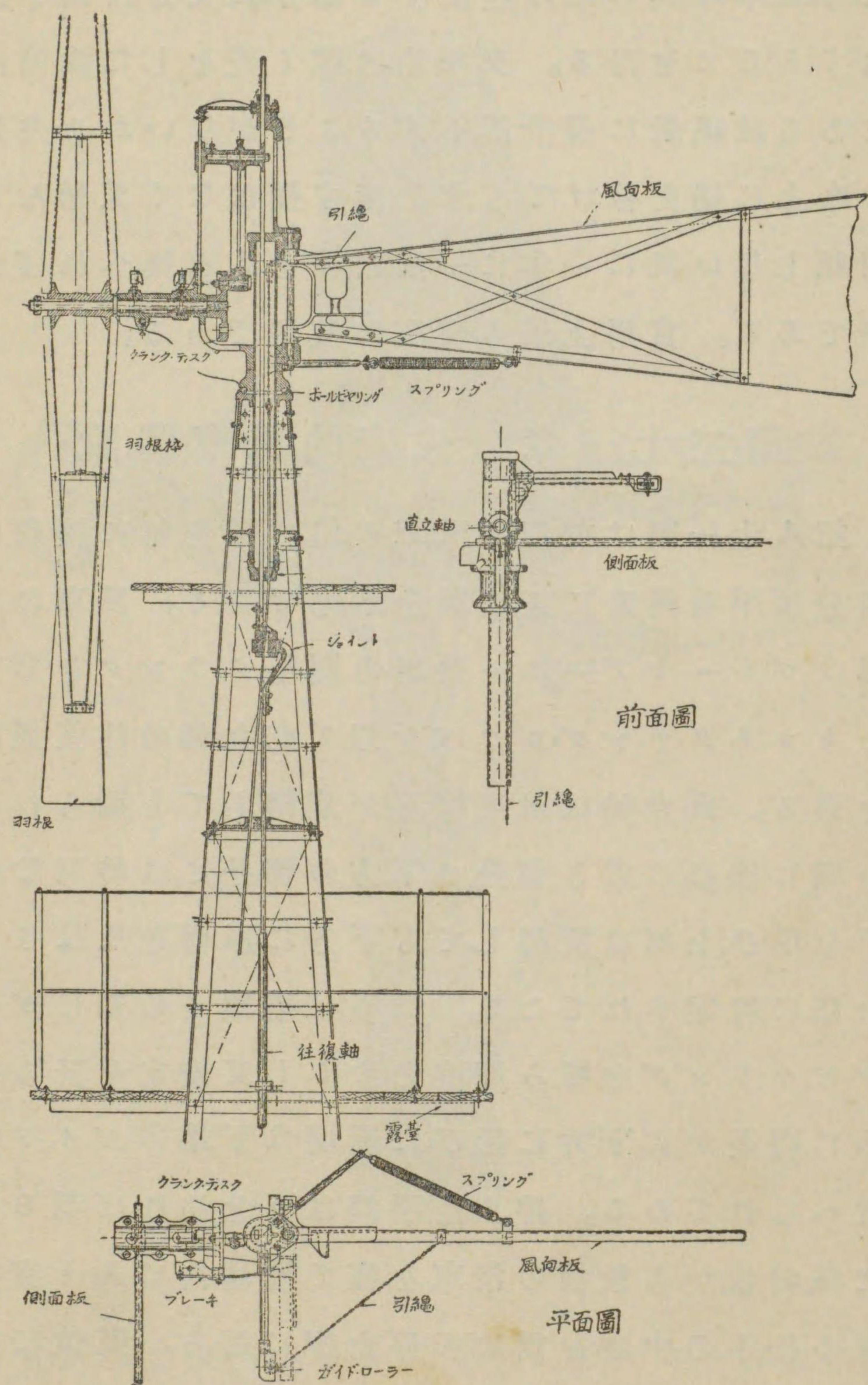
第八十圖

又第八十圖はアメリカ、エーロモーター會社の風車機構の主要部で悉く油槽中に收められ齒輪裝置

は勿論車軸其の他の運動する部分に充分滑油を供給することを得る。又滑油は確く蓋をした油槽内にある故絶対に飛散落下することがないから井戸の直上に据え付けても水を汚す憂はなく又殆んど消耗しない故に一年に一度滑油を入れ換へれば充分である。實用上最も便利な装置である。

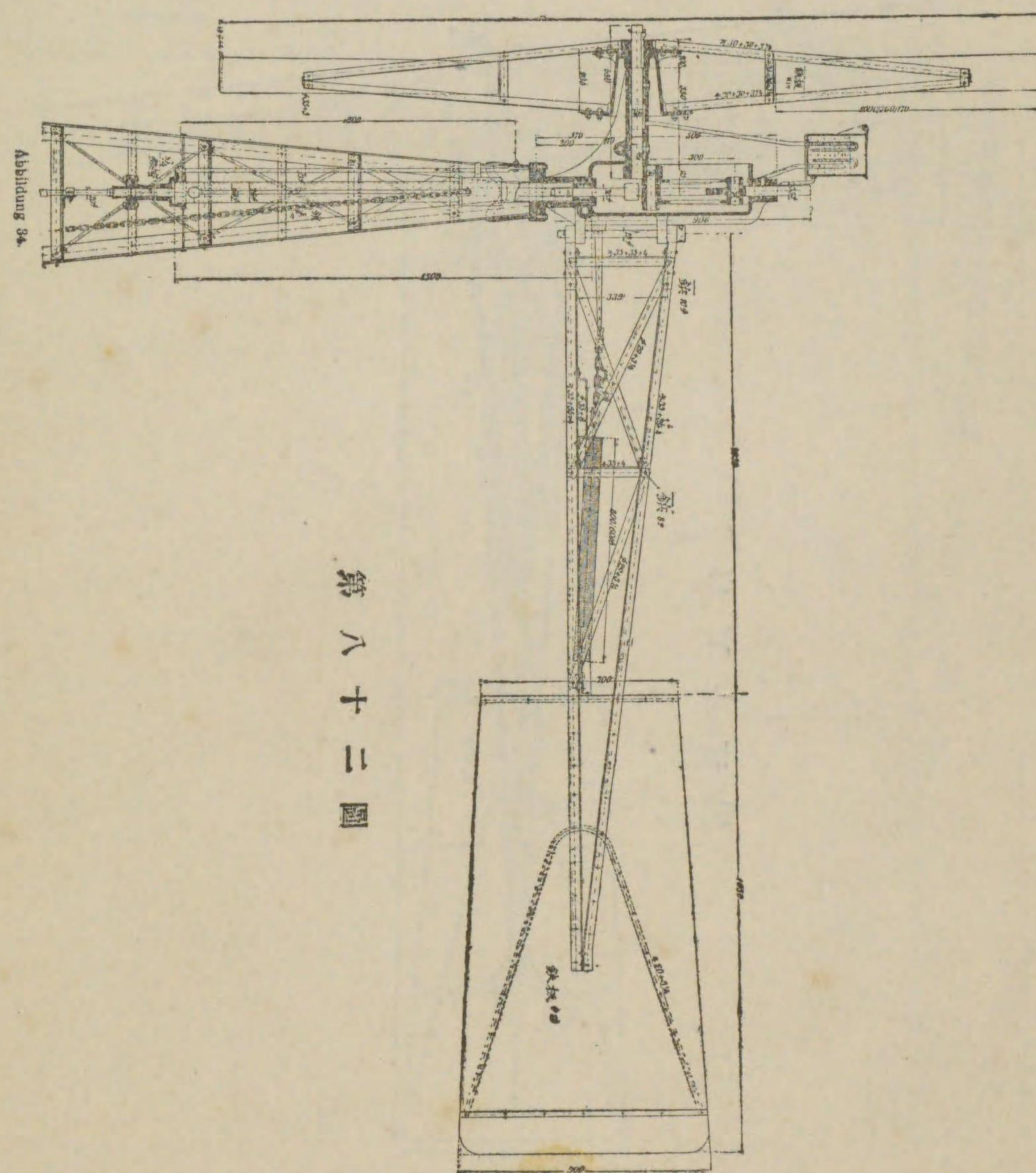
第二十一章 代表的風車圖說

第八十一圖は唧筒用風車の組立圖で特に機頭の部分は平面圖並に正面圖を示してある。風車の内端はブレーキプーリー兼用の圓板クランクを形づくりコネクティング・ロッドを以て直立軸の往復運動を司る。直立軸は風車機臺が旋轉しても拗られない様に機臺に近き部分と下方の部分とは特別な接手を用ひ、上部は旋轉しても下方に影響を及ぼさない様に考案されてゐる。機臺は塔頂との間にボールベヤリングを挿み摩擦を少くし又安定を計るために機臺から下方に延びた圓塙は下端のガイドに支へられてゐる。停止用引繩は圖を辿れば判る様に風向板から數箇の滑車を徑て圓塙内に入り直立軸の接手の中空を貫いて停止桿に連る。其故に機臺が旋廻しても繩は拗れることがないのである。



第八十一圖

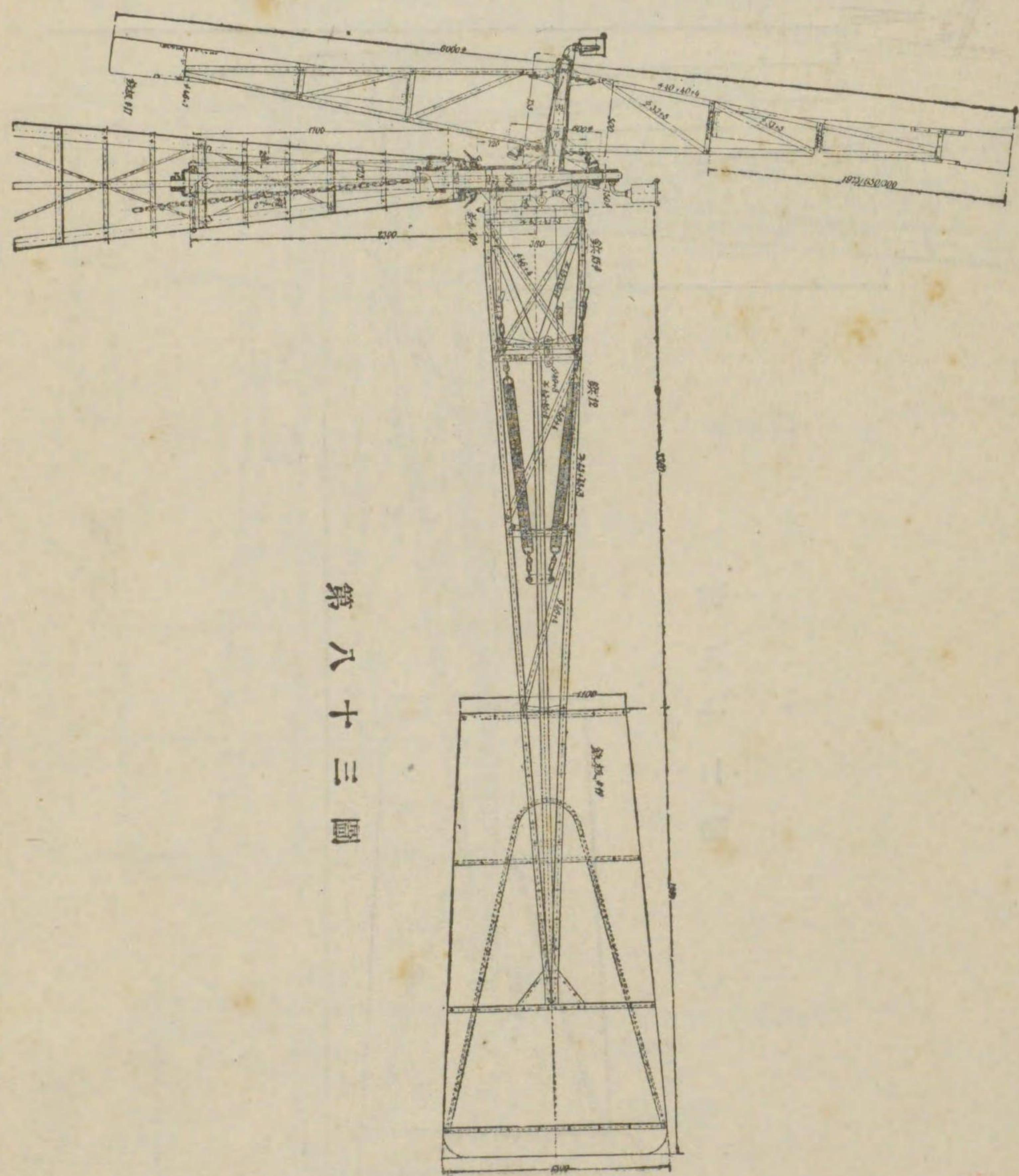
運轉停止を確實にするために風向板と風車とが折れ重つた時風方板の根元に設けた突起が圓板クラックの周圍に接するブレーキバンドを締めつける。平面圖に於いて點線は其の場合に於ける風向板の位置である。調節は側面板を以て行ふ式である。



第八十二圖

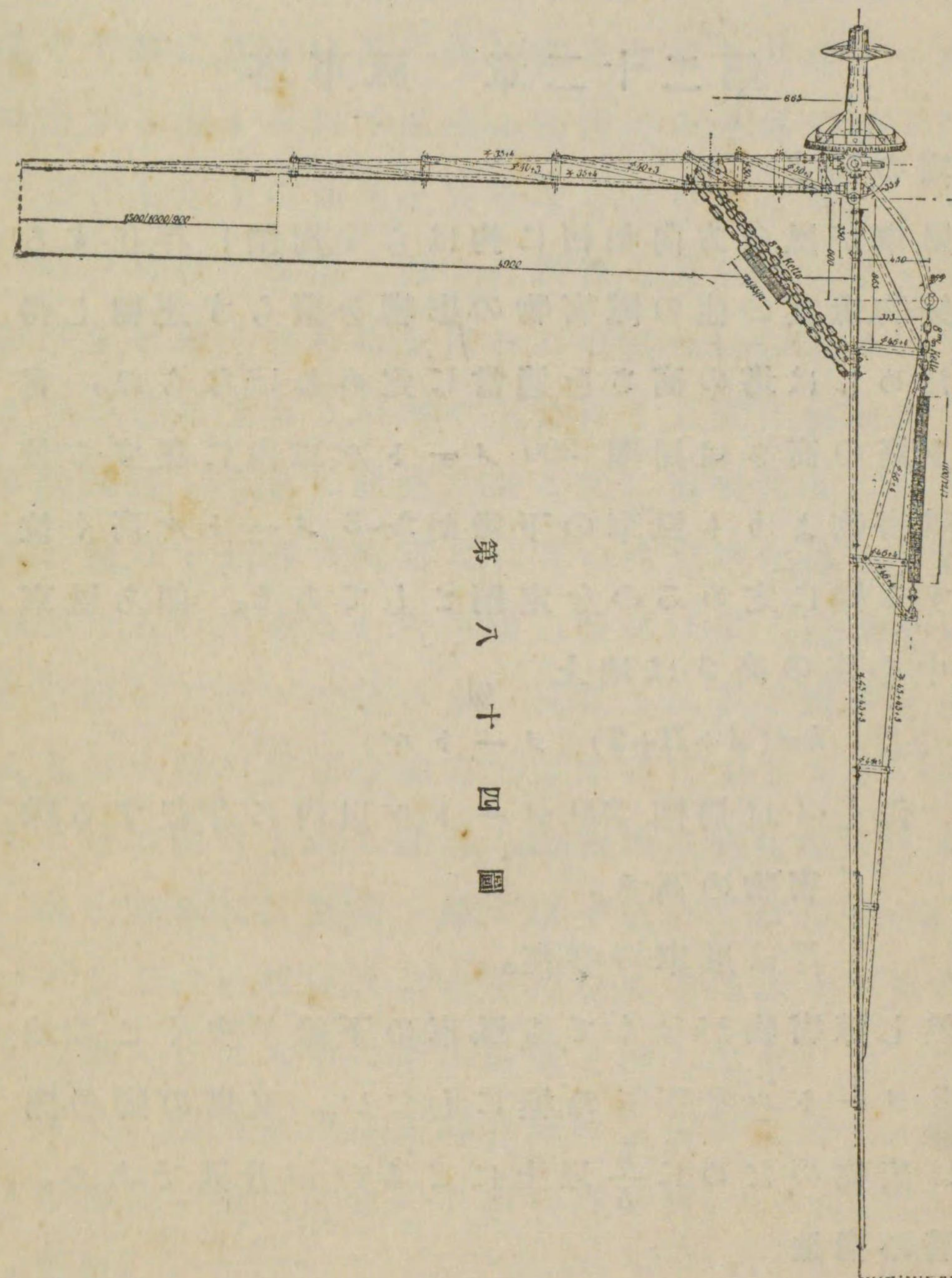
第八十二圖は更に羽根車のボス、クランク装置、給油装置等を改良した直徑3メートルのポンプ用風車である。圖中書き入れた各部の寸法は製作上多大の参考となるであらう。

第八十三圖及び第八十四圖はベベルギヤー傳導



第八十三圖

装置の新式風車で風車面は直立面に對し7°の傾斜を保つ。風向板と側面板とを結ぶ一條の鎖の他にスプリングを挿入した鎖を使用して風向板と側面



第八十四圖

板とが急に開いた場合衝激を惹して機體を破損せぬ様に工夫されてゐる。第八十四圖は其の機構を示したものである。

第二十二章 風車塔

塔の高さ

風車が風の方向如何に拘はらず、周圍に存在する建築物、森、其の他の障害物の影響を蒙らず運轉し得るためには塔の高さを適當に定めねばならぬ。實驗上塔の高さは周圍 300 メートル以内に在する最高障害物よりも風車の下縁が 2~3 メートル高く位置する様に定めるのを定則としてある。即ち風車の中心迄の高さは地上

$$h = (A + B + 2) \text{ メートル}$$

但し A は周圍 200 メートル以内に存在する障害物の高さ。

B は風車の半径。

然し障害物がなくても風車の下縁が少くとも地上 3 メートルを下らぬ様にしたい。又塔の脚の開きは安定のために $\frac{h}{5}$ 以上にとるのが普通である。

塔の構造

塔の形は梁柱を以て組立てた三角或は四角錐塔

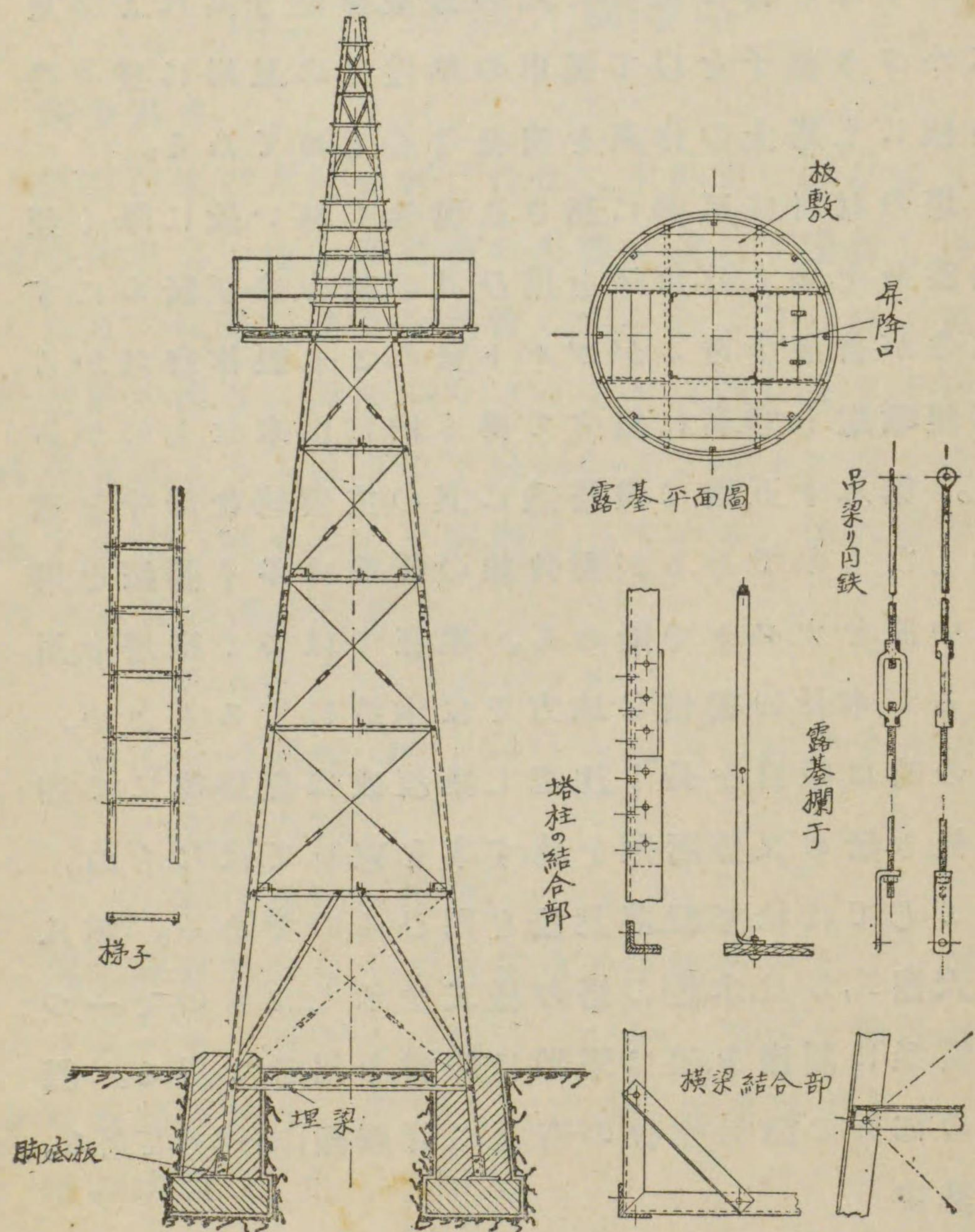
を普通とし風車の機構を點檢し或は滑油を供給する必要から塔頂近くに必ず露臺を設け此に攀ち登る可き梯子を備へる。高き塔に於いては風車の羽根の下端に當る位置に此の露臺を置き其れより更に小さき梯子を以て風車の軸近くの足場に登り得る様にし塔上の作業を安全ならしめてゐる。

塔の材料は風雨に曝され腐蝕し易い故に厚く亜鉛渡金を施した角鐵を用ひ其の結合は鋸緊めにするのが普通であるがボルト緊めとし製作會社から解體輸送し容易に組立て得る様に出来たものがある。第八十五圖は鐵塔並に其の主要結合部分を圖示したものであるが對角線の張梁は多く圓鐵を用ひ中間をナットで緊める。現在では多く鐵塔を用ふるが木材の安價な地方では木造にするもよい。此の時は繼目を最も注意し鐵板或は鐵條等にて固く抱き緊め又防腐劑を施す事を忘れてはならぬ。材としては松、杉、樅、落葉松を用ひるのである。第八十六圖 A, B は木造の塔の様式を示したもので一つは橫梁に圓鐵を、他は塔脚に鐵材を用ひて居る。繼目の部分の鐵材抱合の有様は詳細圖に示されて居る。

基礎

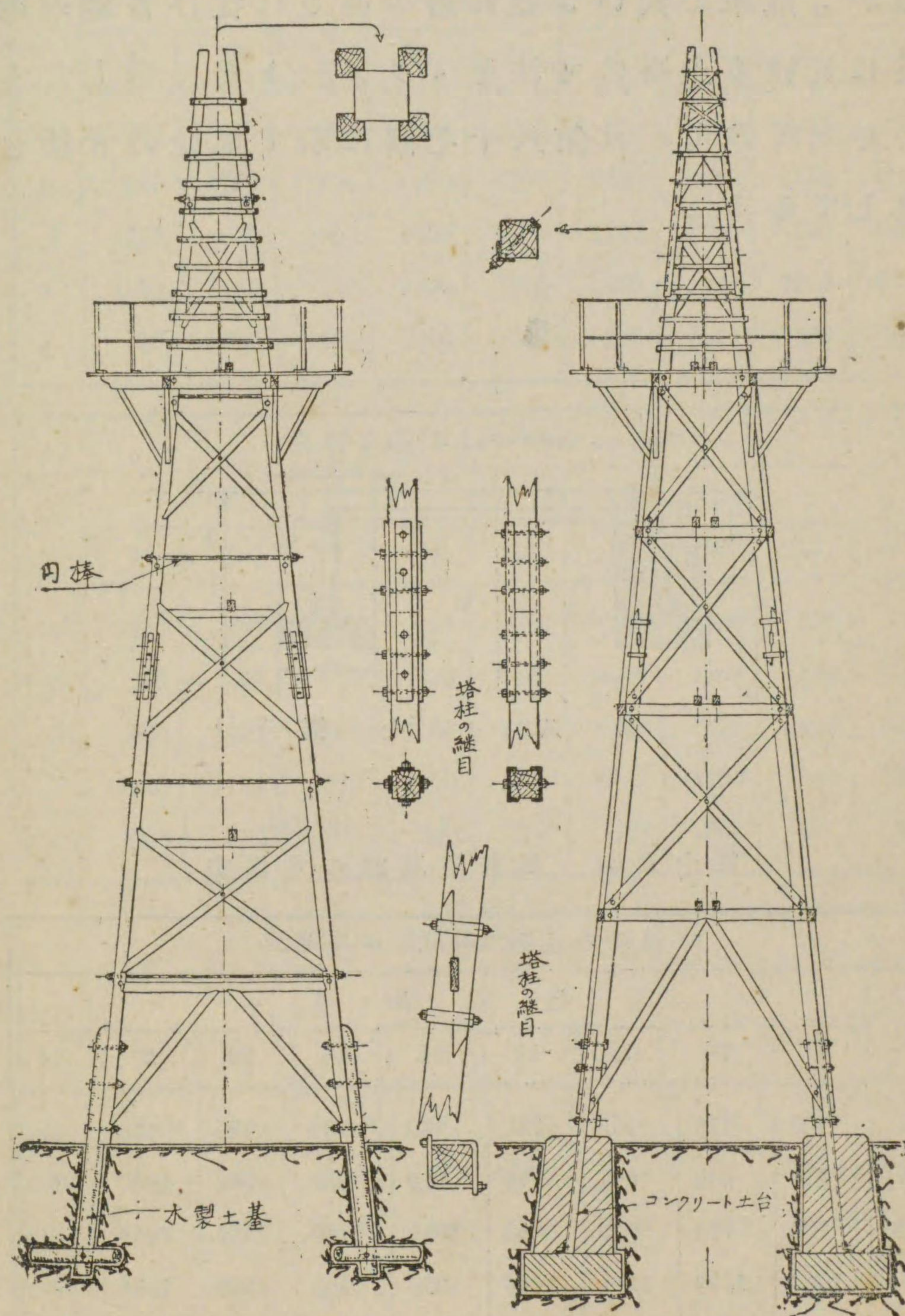
土臺は何れの場合でもコンクリート或は煉瓦積

とし塔脚は脚底板を穿かせて土臺中に埋めるか或は土臺に埋めたボルトで締めつける。土臺の寸法は塔が受ける倒壊モーメントに堪へ得る重量を有



第八十五圖

し、又地盤に對する加重を其の地盤の許容耐力以下



第八十六圖 A

第八十六圖 B

風車の直径 6.5~8.5 メートル									
	塔の高さ								
	8	10	12	14	16	18	20	22	24
a	250	250	250	250	250	250	250	250	250
b	1000	1050	1050	1160	1160	1160	1160	1290	1420
B	1250	1290	1290	1420	1420	1420	1420	1550	1680
h	1300	1350	1500	1600	1800	2000	2150	2150	2200
c	400	400	400	400	400	400	400	400	400

風車の直径 8.5~12 メートル									
	塔の高さ								
	8	10	12	14	16	18	20	22	24
a	250	250	250	250	250	250	250	250	250
b	1050	1160	1160	1290	1290	1420	1420	1550	1550
B	1200	1290	1420	1420	1550	1680	1680	1680	1810
h	1400	1450	1600	1700	1900	2100	2300	2400	2550
c	450	450	450	450	450	450	450	450	450

塔の設計

塔の受ける外應力は次の二つに分けることが出来る。

- A. 風車機體並に塔自身に及ぼす風壓に起因する水平應力。
- B. 風車機械並に塔自身の重量に依る垂直應力。

此の兩者の荷重の合力に對し塔の各部分が充分な

る強力を有し同時に水平應力のために轉倒することがない様に塔を安定しなければならぬ。

①. 塔の材料の中で其の根本は最も大きな應力が加へられるからこの部分の材料の大いさを定めれば他の部分は大略に案配することが出来る。今茲に其の略計算を示す。

G_1 を風車機體の重量。

G_2 を塔の重量。

f を塔柱の切斷面積總和。

K_a を材料の壓縮強力とすれば

塔の根元に於ける垂直荷重に對して材料は次の式を満足すればよい。

$$f \cdot K_a = G_1 + G_2$$

$$\text{或は } K_a = \frac{G_1 + G_2}{f} \text{ kg./cm.}^2 \dots\dots\dots (54)$$

又 S_1 を風車の風に衝る有効面積、平方センチメートル

S_2 を塔の梁柱に風の衝る總面積、平方センチメートル

p を最大風壓、毎平方センチメートル・キログラム とし塔の中を頂上も根元も同じに見れば高さ h の塔を折らうとするもモーメントは

$$M_b = S \cdot p \cdot h + S_1 \cdot p \cdot \frac{h}{2} \dots\dots\dots (55)$$

其處で W を塔全體としての塔の中心に對するモジュラス・オブ・セクション cm^3 とし

K_b を材料の屈曲強力毎平方センチメートル、キログラムとすれば

材料は次の式を満足すれば宜敷い。

$$K_b = \frac{M_b}{W} \dots\dots\dots (56)$$

然らば W は如何にして定めるか、此は慣性モーメントの定理を應用すれば良いが、次に例を以て此の求め方を説明しやう。

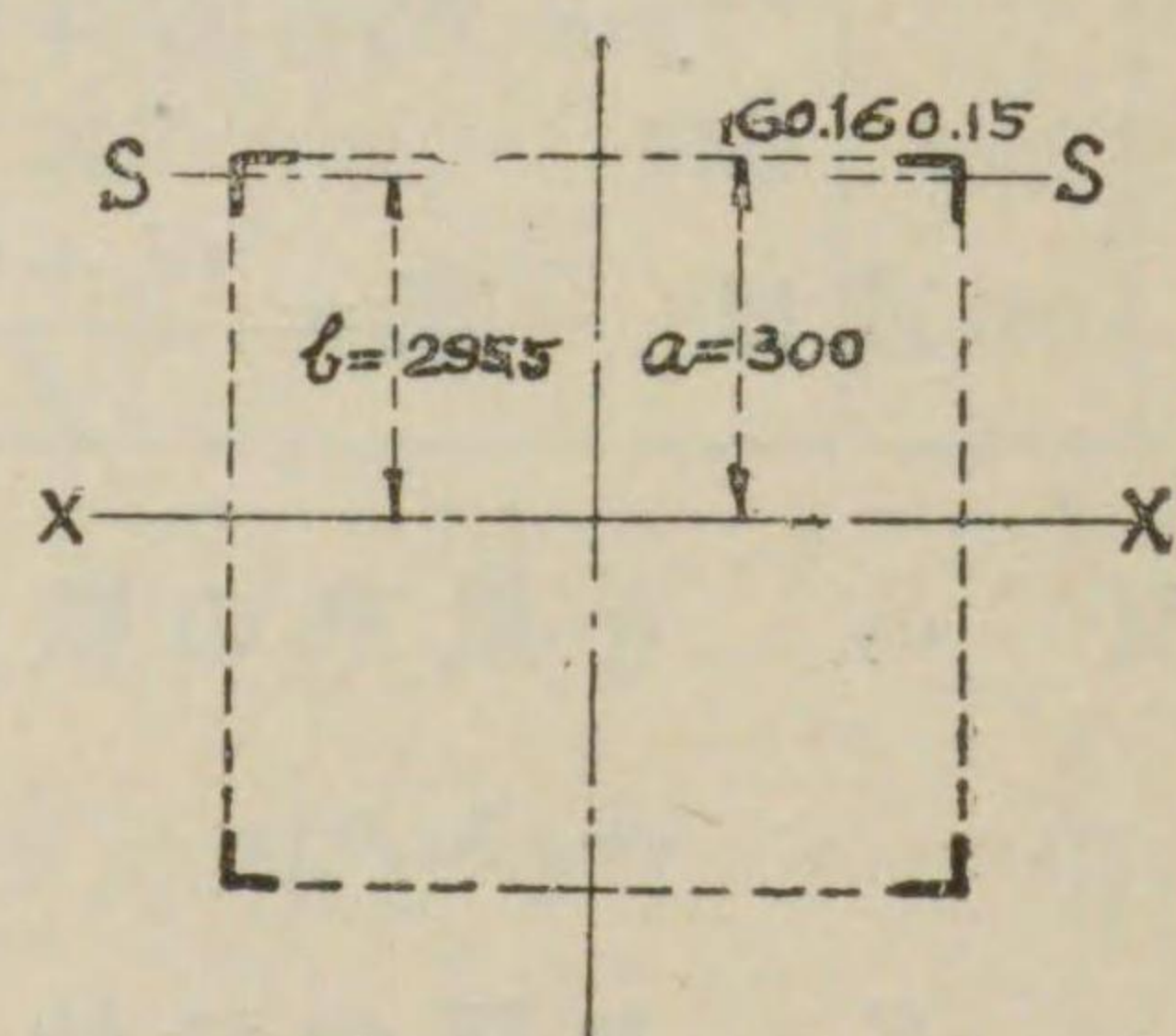
第八十八圖は角鐵を以て作れる塔の根元の切斷面であるが W を見出すためには先づ塔の中心 XX 軸に對する慣性モーメントを算出する。

J_x, J_s を一本の柱の XX 軸及び SS 軸に對する慣性モーメントとすれば

$$J_x = J_s + f \cdot b \dots\dots\dots (57)$$

160 mm. \times 160 mm. \times 15 mm. なる角鐵の J_s 及び f は

$$J_s = 1099 \text{ cm}^4$$



第八十八圖

$$f = 46.1 \text{ cm}^2$$

なる故

$$J_x = 1099 + 46.1 \times 295.5^2 = 4021099 \text{ cm}^4$$

故にモジュラス・オブ・セクション W は

$$W = \frac{J}{a} = \frac{16084936}{300} = 53614 \text{ cm}^3$$

此の様にして得た W の値を前式に用ふるのである。材料は水平垂直兩種の應力を加へられるから其の合成強力 K は次の範圍内にとることを要する。即ち $K = K_a + K_b = 1000 \sim 1200 \text{ kg./cm}^2$

II. 上述の方法に依れば塔柱の大いさを定めることは出来るが他の支梁の大いさは定まらない。實際に於いて塔は梁柱が交錯し此に加はる應力も夫々異つてゐる其れ故次に例示する様に此らの力を總べて材料に加はる壓縮 (或は伸張) 應力に引き直し材料力學に於ける柱の計算法に従ひ、次の式を用ひて材料の大いさを定める方が鄭寧である。

$$J = \frac{nPl^2}{\pi^2 E} \dots\dots\dots (58)$$

但し J は材料の中心に關する慣性モーメント cm^4

P は壓縮 (或は伸張) 應力キログラム

l は材料の長さセンチメートル

n は常數

E は材料のヤングス・モジュラス
而して又純壓縮（或は伸張）應力に對しては次の式で材料の大いさを定める。

$$F = \frac{P}{K} \dots\dots\dots (59)$$

但し F は材料の切斷面積。平方センチメートル
 K は材料の安全強力。每平方センチメートル
一・キログラム

次に説明する例に於いては次の様な條件で角鐵並に丸鐵の計算を行つた。

$$n = 4$$

$$E = 2 \cdot 10^6$$

$$K = 750 \text{ kg./cm.}^2$$

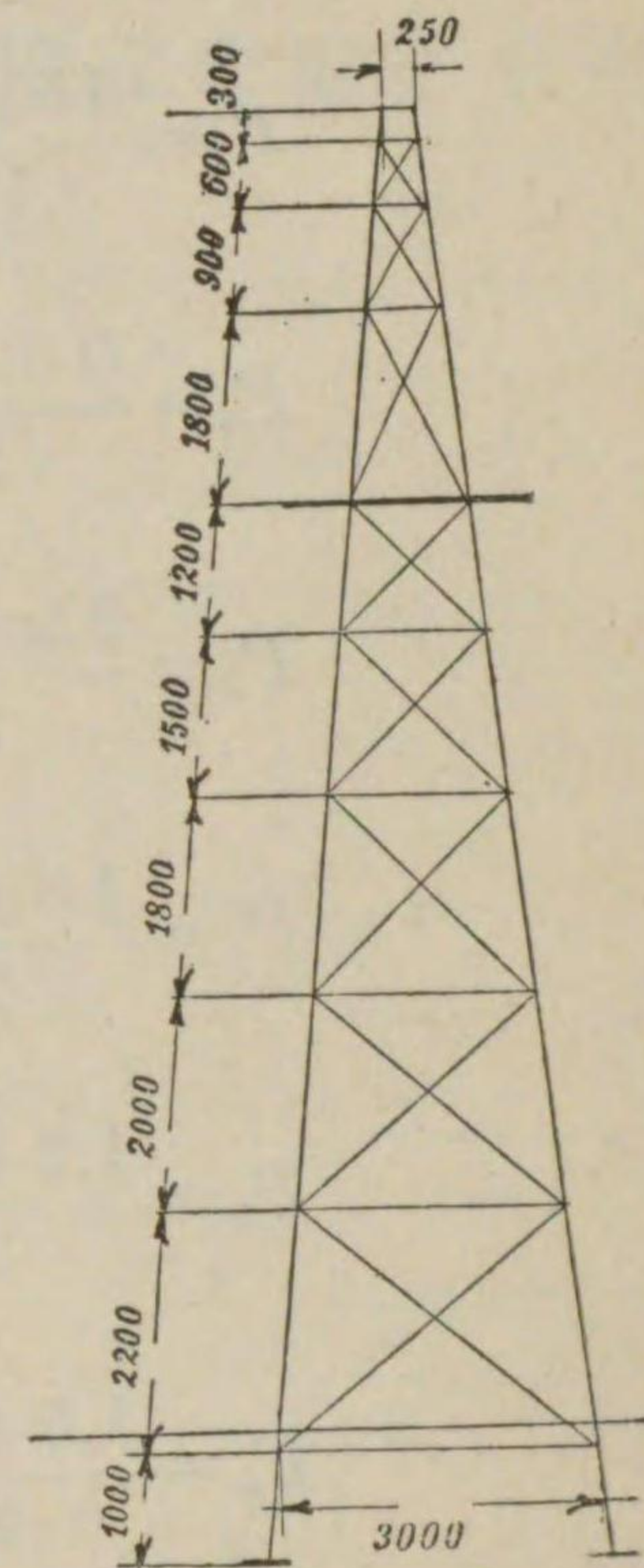
従つて用ふる式は

$$\left. \begin{aligned} J &= \frac{Pl^2}{5 \times 10^6} \\ F &= \frac{P}{750} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (60)$$

例。風車の直徑 6 メートル塔の高さ 12 メートルの鐵塔の計算を試みる。

此の風車は羽根面積 18 平方メートルで風速毎秒 8 メートル迄は調速装置が作らき 8 メートルを超せば運轉は止む。此の時風に衝る總面積は 2 平方

メートルとなる。又最大風速は毎秒 40 メートル即ち一平方メートル當り 150 キログラムの風壓を生ずるものとし風を受ける塔の面積は塔が設計された後でなければ判らないが經驗上 4 平方メートル以下と假定する。塔の組立は第八十九圖の如くし塔頂には更に 0.3 メートルの機臺を設ける。地上に於ける塔脚の開きは安定を計るため塔の高さの $\frac{1}{4.5}$ にとり 3 メートルとし猶塔脚は 0.4 メートルだけ地中に埋りコンクリート臺上に結着せられる。



第八十九圖

A. 水平應力

風車に加はる風壓は $150 \times 2 = 300 \text{ kg.}$

此の風壓の片側の脚一本にかゝる大いさは $\frac{300}{2} = 150 \text{ kg.}$

塔に加はる風壓は $150 \times 4 = 600 \text{ kg.}$

此の風壓の片側の脚一本 1 メートルの長さにかゝる大いさは $\frac{600}{2 \times 12} = 25 \text{ kg.}$

故に第八十九圖を参照すれば水平應力は機體頂

上から各接合点につき順次に次の様になる。

$$P_0 = 150 + \frac{0.3}{2} \cdot 25 = 154 \text{ kg.}$$

$$P_1 = \frac{154 \times 12}{11.7} + \frac{0.3+0.6}{2} \cdot 25 = 170 \text{ ''}$$

$$P_2 = \frac{0.6+0.9}{2} \cdot 25 = 19 \text{ ''}$$

$$P_3 = \frac{0.9+1.8}{2} \cdot 25 = 34 \text{ ''}$$

$$P_4 = \frac{1.8+1.2}{2} \cdot 25 = 38 \text{ ''}$$

$$P_5 = \frac{1.2+1.5}{2} \cdot 25 = 34 \text{ ''}$$

$$P_6 = \frac{1.5+1.8}{2} \cdot 25 = 41 \text{ ''}$$

$$P_7 = \frac{1.8+2.0}{2} \cdot 25 = 48 \text{ ''}$$

$$P_8 = \frac{2.0+1.8}{2} \cdot 25 = 48 \text{ ''}$$

B. 垂直應力

風車機構の重量 $G = 1600 \text{ kg.}$

此の重量の各塔脚に加はる大いさは

$$\frac{1600}{4} = 400 \text{ kg.}$$

塔の重量

$$G' = 1550 \text{ kg.}$$

故に塔脚一本1メートルの平均の重量は

$$\frac{1550}{4 \cdot 12} = 32 \text{ kg.}$$

然れば機臺頂上から各接合点の垂直荷重を求めれば

$$G_0 = 400 \text{ kg.}$$

$$G_1 = 400 + 0.3 \cdot 32 = 410 \text{ ''}$$

$$G_2 = 410 + 0.6 \cdot 32 = 429 \text{ ''}$$

$$G_3 = 429 + 0.9 \cdot 32 = 458 \text{ ''}$$

$$G_4 = 458 + 1.8 \cdot 32 = 516 \text{ ''}$$

$$G_5 = 516 + 1.2 \cdot 32 = 554 \text{ ''}$$

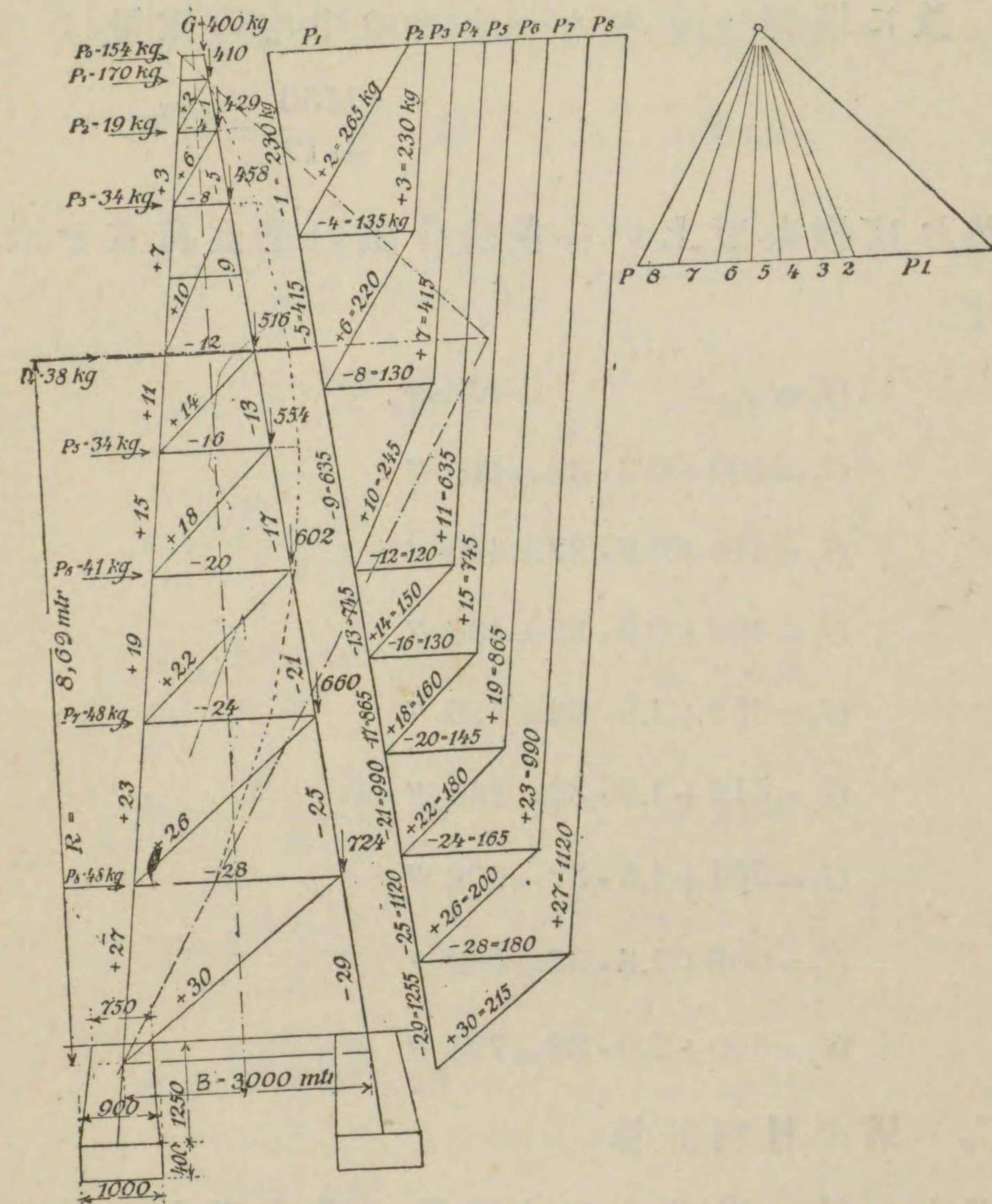
$$G_6 = 554 + 1.5 \cdot 32 = 602 \text{ ''}$$

$$G_7 = 602 + 1.8 \cdot 32 = 660 \text{ ''}$$

$$G_8 = 660 + 2.0 \cdot 32 = 724 \text{ ''}$$

C. 塔の材料計算

以上に於いて求めた水平及び垂直應力を材料に加はる壓縮(或は伸張)應力に引き直すために圖式計算を用ふるが便利であり又間違も少ない。第九十圖は此の計算を示したものである。風壓の合成力の作用點も同じく圖式計算を以て求められるのであつて圖中右側のフース・ポリゴン (Force Polygon) 及び圖中の點線はこの計算を示す。各梁柱に



第九十圖

は番号をつけ更に壓縮力の加はるものには負符號(-)を伸張應力の加はるものには正符號(+)を冠してあるから讀者は圖式計算法の教ふる處に従つて數字番號及び符號等を照合し應力の求め方を知ることが出來やう。かくして各材料に加はる應力

が知れば先に示した計算式

$$J = \frac{Pl^2}{5 \times 10^6}$$

$$F = \frac{P}{750}$$

に従ひ必要な材料の大いさを決定する事が出来る。

次の表は上式を應用し各組立の材料を決定した總括表である。

第十六表 風車鐵塔計算表

梁柱の番號	合梁柱に懸る荷重		最大荷重 kg.	梁柱の長さ cm.	必要なる		選擇せる材料	材料の有する	
	風に依る荷重 kg.	塔重量に依る荷重 kg.			慣性モーメント $J \text{ cm.}^4$	切斷面積 $F \text{ cm.}^2$		Jの大きさ cm.^4	切斷積 $S \text{ cm.}^2$
縦の柱									
- 1	230	410	940	60	0.46	0.85	角鐵 mm. 50×50×5	11.5	4.8
- 5	415	429	844	90	1.37	1.33	"	"	"
- 9	635	458	1093	90	1.77	1.46	"	"	"
-13	745	516	1261	120	3.64	1.68	"	"	"
-17	865	554	1419	150	6.40	1.89	"	"	"
-21	990	602	1592	180	10.30	2.12	mm. 55×55×5	15.5	5.3
-25	1120	660	1780	200	14.25	2.38	"	"	"
-29	1250	724	1979	180	12.80	2.64	"	"	"
横の支梁									
- 4	135		135	45	0.055	0.18	角鐵 mm. 40×40×5	5.5	3.8
- 8	130		130	65	0.110	0.173	"	"	"

梁柱の 番 號	各梁柱に懸 る 荷 重		最大 荷 重 kg.	梁柱 の 長 さ cm.	必要なる		選 擇 せ る 材 料	材料の有する	
	風に依 る 荷 重 kg.	塔重量に 依る 荷 重 kg.			慣性モー メント J cm. ⁴	切斷 面積 F cm. ²		Jの 大 い さ cm. ⁴	切斷 面積 S cm. ²
-12	120		120	105	0.264	0.16	角鐵 mm. 40×40×5	5.5	3.8
-16	130		130	135	0.474	0.173	"	"	"
-20	145		145	170	0.843	0.193	"	"	"
-24	165		165	210	1.43	0.22	"	"	"
-28	180		180	250	2.25	0.24	"	"	"
對 角 線 張 梁									
+ 2	265		265			0.354	直徑14mm. の圓鐵、中 央にてナツ ト緊めさす		1.31
+ 6	220		220			0.294			"
+10	245		245			0.329			"
+14	150		150			0.2			"
+18	160		160			0.214			"
+22	180		180			0.24			"
+26	200		200			0.266			"
+30	215		215			0.287			"

D. 塔の安定

塔は風壓のため倒壊モーメントを受けるから此のモーメントに拮抗するに足る基礎を與へねばならぬ。此がためには先づ風壓の合成力の作用點を求め。圖式計算で此を求める方法は第九十圖に示す通りであるが、今此を計算で求めて見ると地上より作用點迄の高さRは

$$R = \frac{170 \cdot 12 + 19 \cdot 11.4 + 34 \cdot 10.5 + 38 \cdot 8.7 + 34 \cdot 7.5 + 41 \cdot 6.0 + 48 \cdot 4.2 + 48 \cdot 2.2}{170 + 19 + 34 + 38 + 34 + 41 + 48 + 48} = 8.69$$

風壓の總和は此の點に作用して塔を倒さむとし塔及び風車の重量は塔を安定しやうとする。故に差し引き塔を倒さむとするモーメントは

$$M_t = \sum P \cdot R - \frac{G + G'}{4} \cdot B$$

但しBは塔脚の開きである。

従つて此に拮抗するために相對する基礎に與ふ可き力は

$$Z = \frac{M_t}{B} = \frac{\sum P \cdot R}{B} - \frac{G + G'}{4} = \frac{432 \cdot 8.7}{3} - \frac{1600 + 1550}{4} = 462 \text{ kg.}$$

今基礎を第九十圖の様な形にコンクリートで作つたとすれば其の重さは

$$G' = \left(\frac{0.75 + 0.9}{2} \right)^2 \cdot 12.5 \cdot 1600 = 1360 \text{ kg.}$$

但し1600 kg.はコンクリート1立方メートルの重さである。

基礎に此だけの重量を附與すれば安定は充分である。

E. 地盤

地盤にかゝる最大應力は

$$P_m = 1600 + \frac{1550}{4} + 1360 + 1.0^2 \cdot 4 \cdot 200 = 4139 \text{ kg.}$$

故に圖の様な土臺を用ひたならば毎平方センチメートルに對し

$$\frac{4139}{10000} = 0.4139 \text{ kg./cm.}^2$$

或は毎平方メートルに對し 4.14 トンの壓力が地盤にかゝる。此の壓力が其の土地の許容地耐力の以内になればよい。各種の地質の許容地耐力 T は大略次の通りである。

上等岩床	$T=150\sim 300 \text{ ton/m.}^2$
下等岩床	= 50~100 "
上等厚層粘土層	= 40~60 "
普通厚層粘土層	= 20~40 "
普通粘土層	= 10~20 "
軟質粘土層	= 7.5~15 "
極めて堅き砂利層	= 80~100 "
堅き砂利層	= 20~40 "
乾燥せる砂地	= 15~30 "
普通赤土	= 15~22 "
堆土及び流砂(沖積層)	= 5~10 "

第四編 風車の應用

第二十三章 利用概説

吾々は産業上及び日常生活上最も便利な動力としては電力を挙げたいのであるが、其に次いで熱機關水力タービンに依る原動力である。此等は各々一長一短あり、土地の狀況に依つては他所より送電を受けるよりも石油エンジンや水力タービンに依り直接動力を得る方法が便利な場合がある。然し乍ら熱機關には石炭石油等の燃料の購入運搬に多大の費用を要し、又水力タービンは水の乏しい地方では用ひる事は出来ない。彼様な時には風力を利用し風車の動力を直接或は間接に電力化して使用するのが勿しろ經濟的な場合がある。吾々の自然界は造物主の微妙な攝理に依り水力の乏しい地方には其反面に風力の饒な天恵を觀るのである。若し吾々が風速毎秒 4 メートルの風を 1 年 2,000 時間以上得られるなれば風力利用は優に經濟的利用を可能ならしめるものである。而して風車の建設は水力タービンの様に其の位置を選ぶ必要なく殆んど何處へでも建てられ又風車の構造は至つて簡

單であるから取扱上他の原動機の様に特殊な注意が要らず、常に監視點檢の必要もない。風車の壽命は少くとも15年~20年は保つもので其間無償の風を利用し滑油の外は殆んど消耗品を要しないのである。然し乍ら風力利用の難關は風力の不安定に存するから此の缺陷を補ふため貯水槽、蓄電池等を設けて剩餘の動力を貯蓄する方法が講せられ又萬一に備へるために豫備内燃機等を設備するが、現在では完全に此の缺陷を除くには多少の經濟的損失を覺悟しなければならぬ。此の點が風力利用に於ける研究問題で將來此の問題の解決に依つて完全なる利用方法が有利に行はれる時が來るであらう。此の様な現状であるから利用風力が多少動搖するのは免れないのであつて風車の應用が連續作業を要する工業方面よりも隨時作業を以て足りる家庭、農村方面に重用せらるゝのは此が爲である。

風車の應用を其目的に依つて大別すれば次の四通りとなる。

1. 給水装置 自家用公衆用水道。
2. 排水並に灌漑装置 { 沼澤の排水田畑、園藝農
場の灌漑。
3. 農業並に農業製産機械 { 稻核き、脱穀、精米、製
粉、製板、藁切り、バタ
製造。

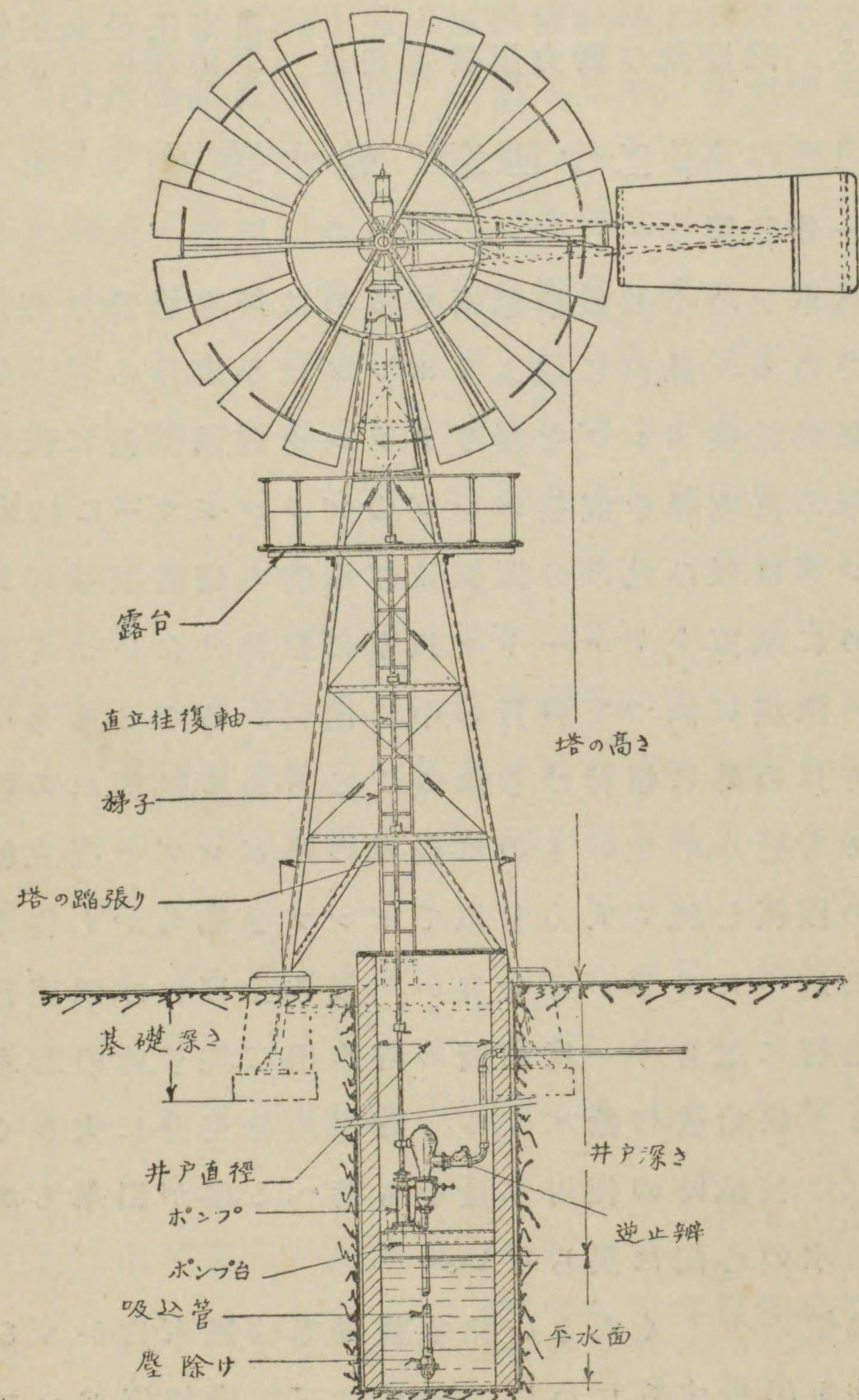
4. 點燈及び動力用發電装置 { 自家用公衆用電
燈、諸機械運轉、
房、電氣栽培

第二十四章 給水装置

一般装置

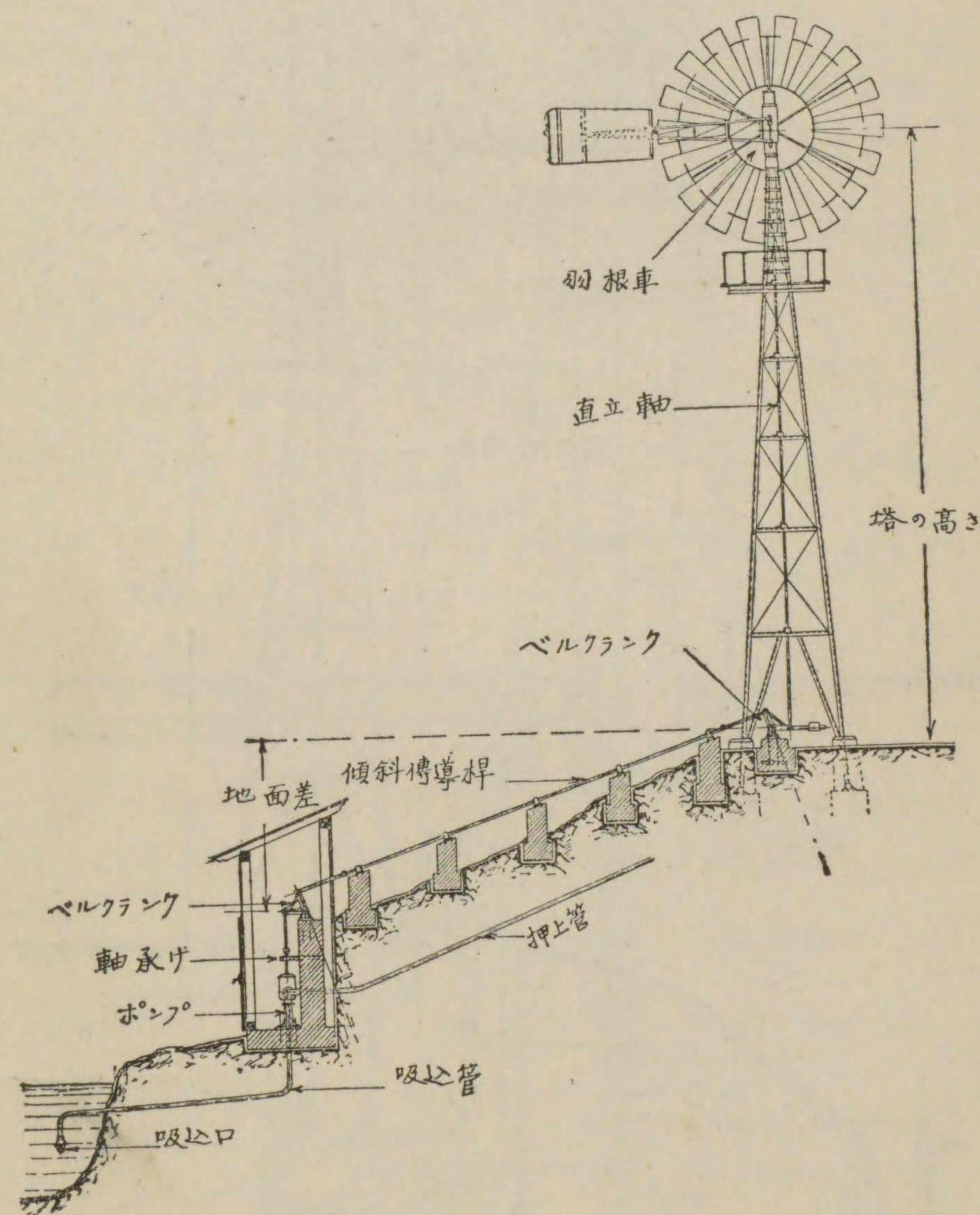
風車を給水装置に應用するのは最も適當な利用法である。此れに用ふるポンプは小容量の場合には單働往復ポンプを用ひクランク聯動装置に依り風車の直立軸を直接ポンプのプランジャーに結ぶ。ポンプは吸ひ込みの關係及び水管の摩擦抵抗等のために水面上7メートル以下に据付けたいから井戸の深淺に依つて井戸の中に据付かることもあり、又井戸の外に据付けられることもある。何れの場合でも極小容量のものは無風の時ポンプと直立軸との關係を絶ち人力を以てポンプを働らかし得る様に造つたものが都合良い。汲み上げた水は直接供給管に送らず一度高所の貯水槽に注ぎ、此の貯水槽より供給管に給水する。貯水槽を充分に大きく取れば無風時の使用水量をも蓄へる事が出来るから斷水の心配は要らない。

容量の少しく大きい給水装置では風車にかゝる荷物を平均するために二聯又は三聯働往復ポンプを据え風車の直立軸は廻轉式を用ひベベルギヤー



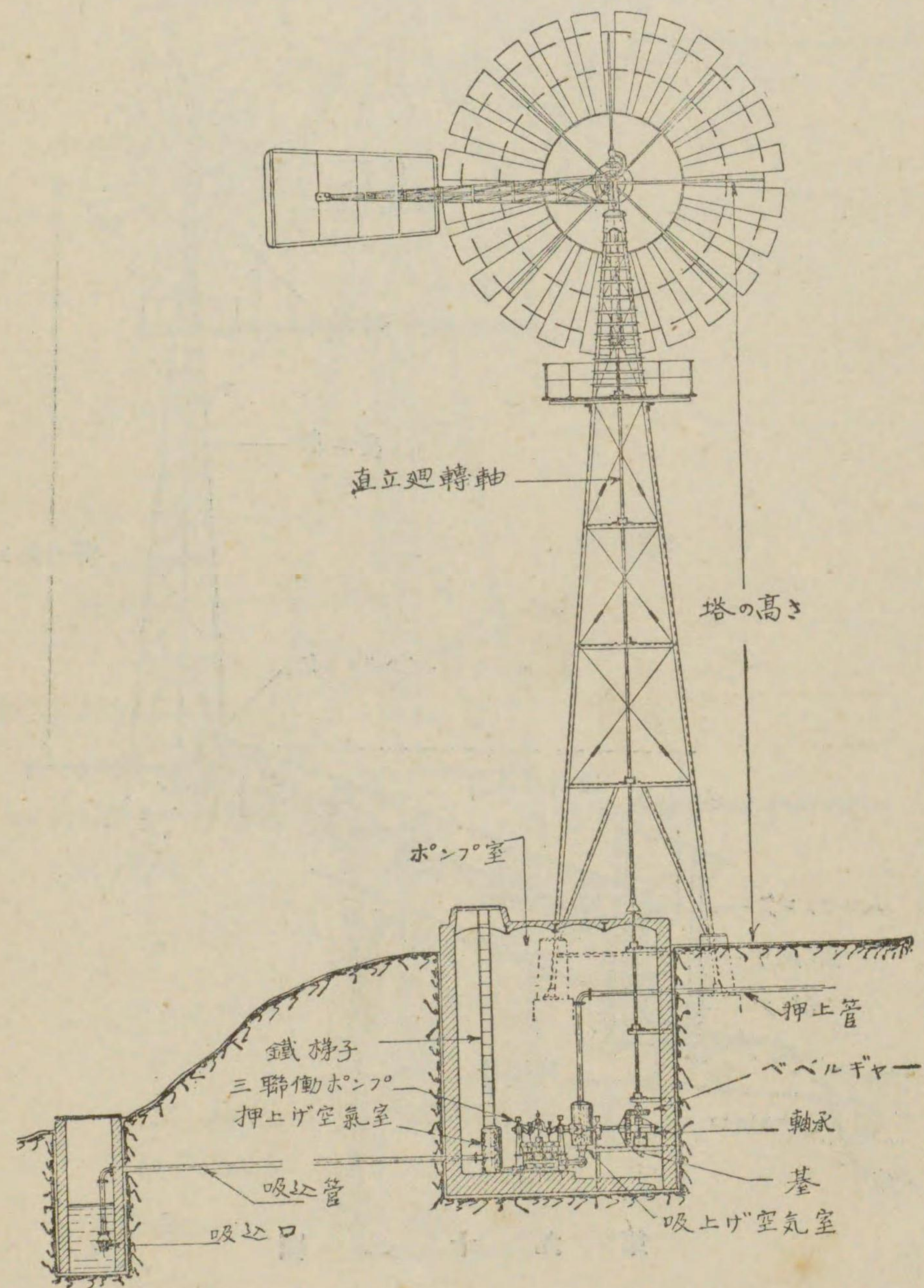
第九十一圖

を以て唧筒を働かす。第九十一圖は井戸水を水源にした場合の供給装置を示し、第九十二圖は水源と塔とが離れて居る場合の傳導法を示したもので、何れも單働往復ポンプを用ひて居る。

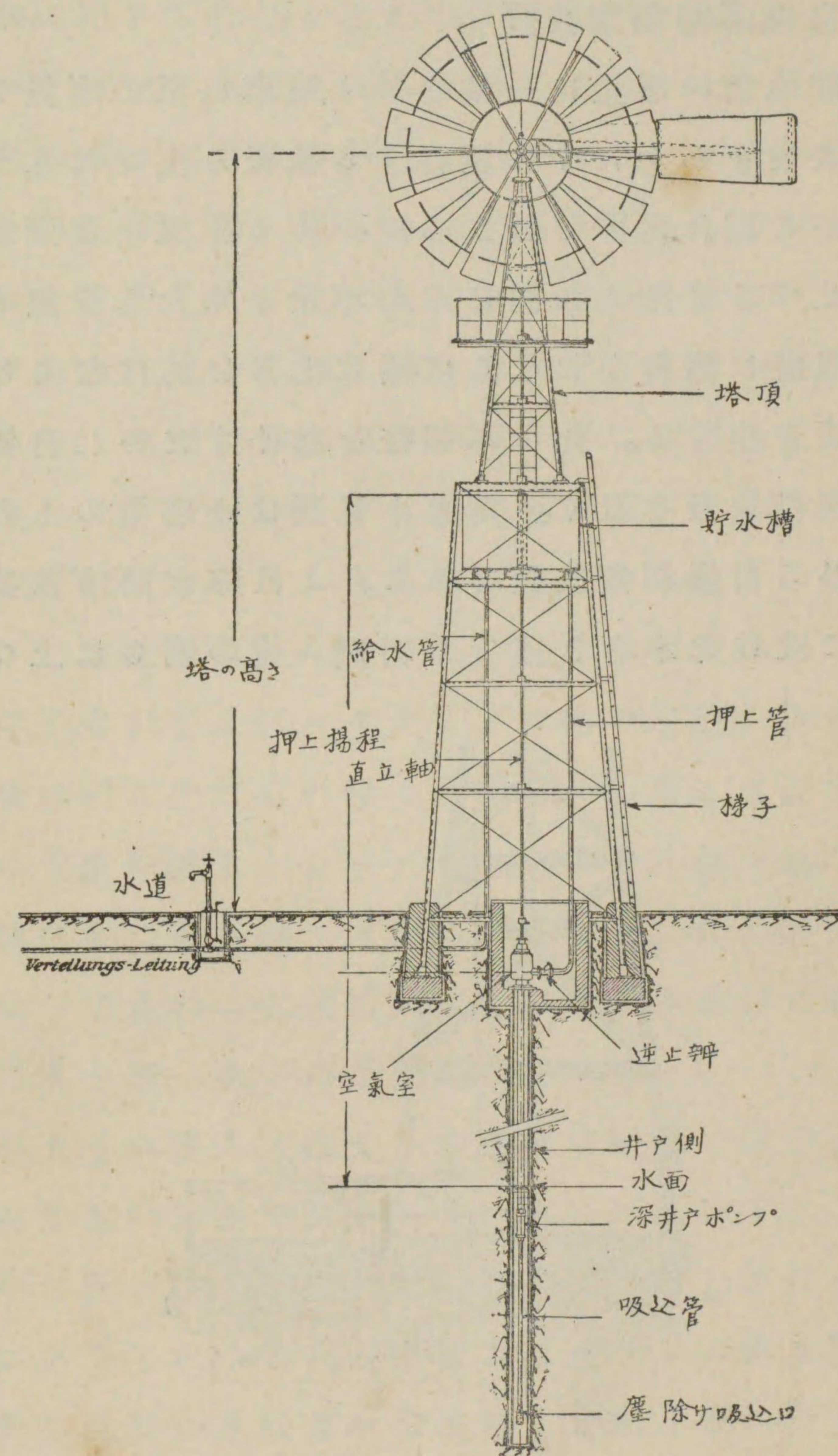


第九十二圖

第九十三圖は三聯働ポンプを用いたもので又第九十四圖は深井戸ポンプの運轉装置を示してゐる。此には貯水槽を風車塔上に設備してある。



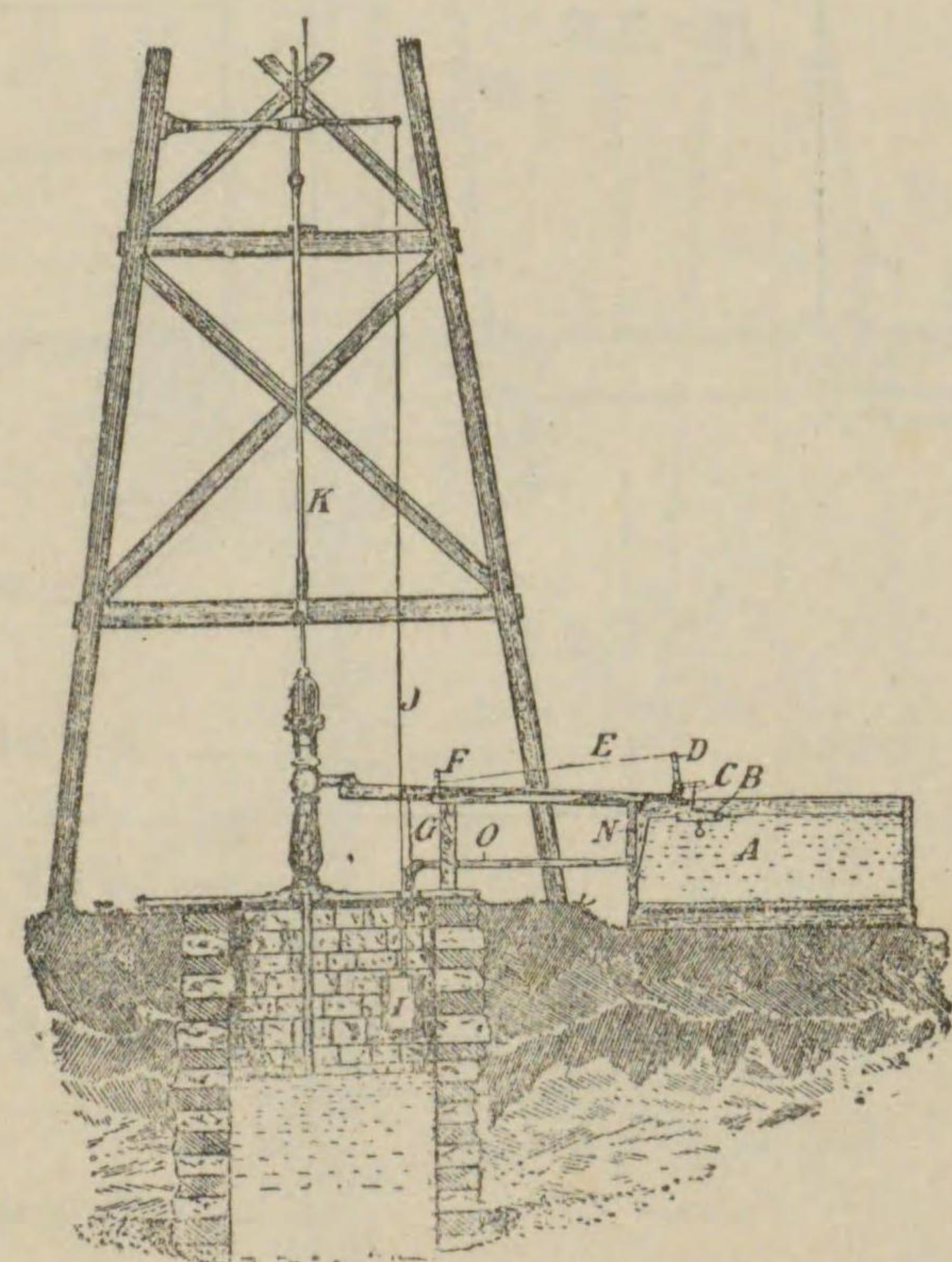
第九十三圖



第九十四圖

自働運轉制禦装置

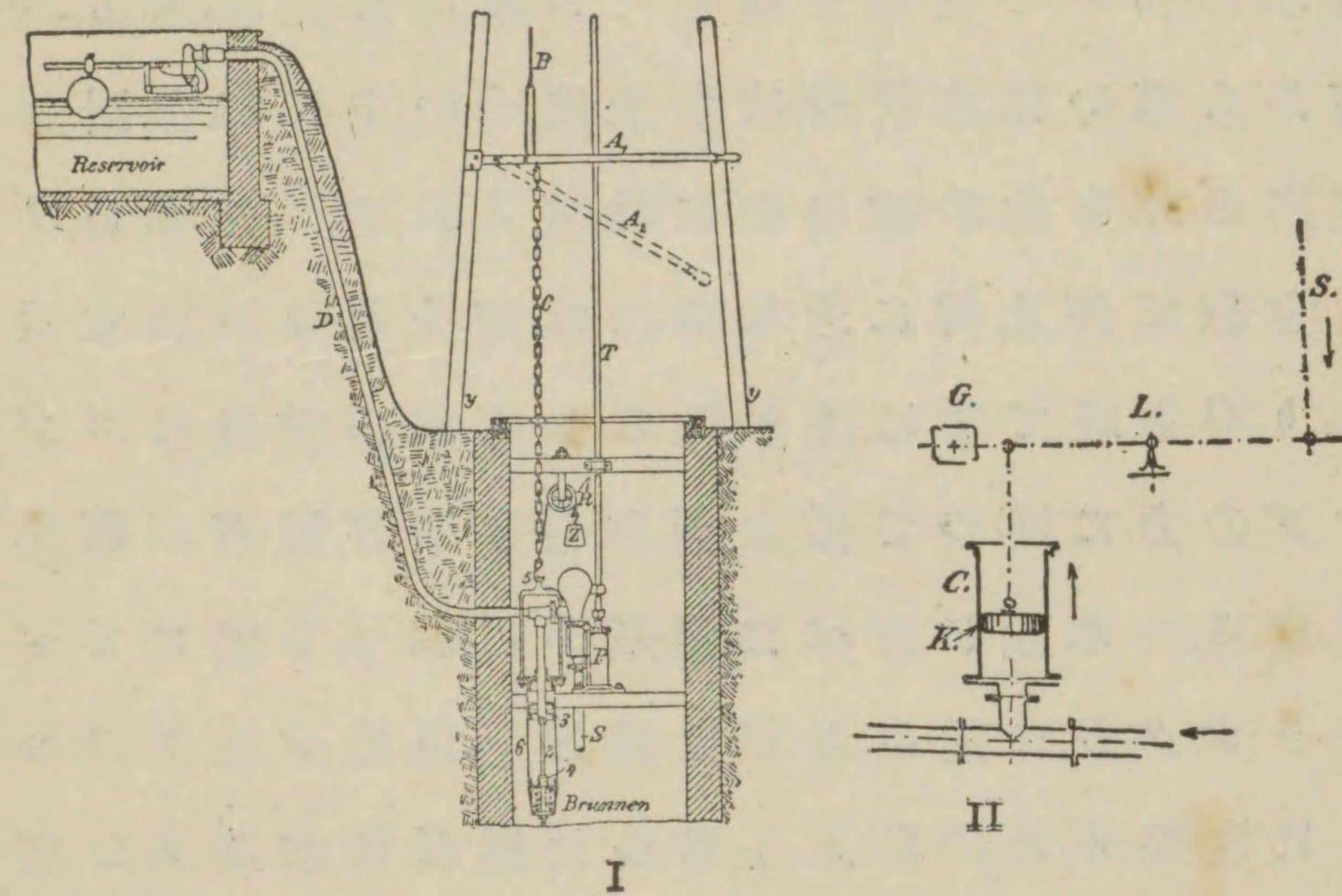
貯水槽の容量は一定であり、風車は風の有無に従ひ晝夜をわかたずに運轉する故汲み上げた水が水槽から溢れ出すと云ふ心配がある。又一度運轉を休止すると知らぬ間に水の不足を來たし折悪しく無風時に際會したならば斷水しなければならない不便を生ずる。此の不都合を無くすために自働運轉制禦装置を置く。第九十五圖は小容量のものに用ひる自働制禦装置である。Aは貯水槽、Nは其一方に設けた小さき室で水面が一定の高さに上つた



第九十五圖

時水は初めて仕切を超えてN室内に注ぎ入る。N室から導いた水管Oは水承椀Iの上に口を開きN室内の水を此の椀の中に注ぎ入れる。水受けIはJを以て停止桿に連なる。水面上昇すれば水はNよりOを経てIに注ぎ入るから水の重量はスプリングの力に逆つて停止桿を引き下げ風車の廻轉を止める。水面に浮べた浮子BはCなる鎖にてベルクランクDに連がりDは鎖Eを以てベルクランクFに連絡する。Fより吊つた鎖Gは水承Iの底に設けた水止栓に結んである。故に水面が降下すれば浮子Bが下りベルクランクと鎖の連絡に依り水止栓は引き上げられ水は水承椀Iの底より流出しIの重量が減るからスプリングの力に依り風車は運轉位置に撥ね返へり廻轉が始まる。此の時停止桿及び水承椀Iも共に元位置に復し水止栓は再び流出孔を押へ次の停止作用に備へる。

第九十六圖Iは少しく大容量の装置に用ひられる自動運轉制禦装置である。水面が上昇すれば水槽中に浮べた浮子の作用に依り吐き出し管のバルブが閉ぢられ水管D内の壓力はポンプに依り増加し此の水壓は分岐管から水筒6の内に浸入し此を押し下す。故に水筒の上に緊めつけられた柄も



第九十六圖

下降し鎖 C を引き運轉を停止せしめるに至る。貯水槽の水面下降すれば吐き出しバルブは開き D 管内の水壓減少する故に水筒 6 内の水壓も従て減少し平衡重 Z の重量により 6 は元の位置に復し鎖 C は緩み風車は運轉状態に戻る。同圖 II は以上の機構を圖解したもので C は水筒 K は平衡重 G に壓へられたバiston で S は停止桿につながる鎖である。吐出し口閉ぢらるれば水壓上昇し水は C に入り G の重量に逆つて K を押し上げ従つて S を引き下げ風車の運轉を休止する。吐出し口開き水壓減すれば G の重さに依り K は元位置に戻り風車は運轉し始める。

給水装置の設計

風車の大きさは揚水量と揚水頭に依つて定まるが揚水量は又使用水量に依つて定められる。家庭に於ける使用水量といふものは大略定つてゐるもので特別の場合を除き次表に示す處を出でない。

庖厨飲料洗濯用水 1 人 1 日當り

20~30 リットル

清掃用水

10~20 リットル

浴室用水

200~300 リットル

庭園道路の撒水 1 平方メートル當り

1~2 リットル

牛馬 1 頭の用水

45 リットル

豚 1 頭の用水

15 リットル

之を要するに家庭に於ける用水量は 1 人 1 日當り 50~100 リットルに取れば良い。此の様な標準に依つて定めた 1 日の用水量を Q_d 立方メートルとし、無風の日用のため風のある日には 1 日の用水量の m 倍を汲み上げることにし、風は 1 日の内 n 時間吹くものとすれば總揚水頭 H メートルに對し必要な馬力は

$$HP = \frac{\gamma \cdot m Q_d \times H}{n \times 60 \times 60 \times 75 \times \eta} \dots\dots\dots (61)$$