

小水力發電

小水力發電

小水力發電事業協議会顧問

織田史郎著

織田史郎著

序

終戦後電力事情が悪化して農村電力のため小水力発電所の建設の適切なることが叫ばれ出して既に五カ年を経過した。この間小水力発電については反対論者もあつたが、遂に其の眞価が認識せらるるところとなつて、近年漸く各所にその建設を見るようになった。政府に於ても這般の事情に鑑みて、これが助成の途を講じられたから、遠からず無数の小水力発電所が全国農村の到るところに出来上ることと思われる。往時建設せられた小水力発電所にはその計画にも施工の上にも、どうかと思われる点が多々あつて、兎角これが小水力発電の価値を云々される原因となつている。数が非常に沢山となる場合には、これに関与する人も多くを要し、その何れにも計画や施行に當つて斯界の練達者を以て充てる訳には行かなくなり、勢い昔日の失敗を繰返す處れなしと言えない結果となる。小水力発電に関する参考書となるべき著述が市上に乏しいことは、更にこの憂へを増すものである。たまたま昨春東京に於て小水力発電の講習会が開催せられ、著者も一講師として其の豪席をけがしたのであるが、その際聴講者各位より叙上の理由から開発の指針となるべき著述の要望があつた。著者は小水力発電の提唱者の一人として、其の責任を痛感し淺学を省みずここに小著をものした次第である。本書は初級の技術者に設計の資料を与え、又計画を目論まれる一般の人々へも或る程度の理解を得られるようにとの考えから数式を並べることが可及的に避けて、図表を多くし、設計上の資料とすると共に、大略の数値を直ちに想定し得られるように努めた。然し乍ら小水力問題の最近の情勢に鑑みて、その上梓を急いだため尙不徹底の点が多々あることと思う。是等の点については、今後更に訂正増補を加える積りであるが、本書が一応多少でも指針の役目を果せば、著者の幸とするところである。

本書の刊行は、書肆に依頼する積りであつたが、色々な事情から非売品と

して自費出版することとした。出版に当つて、株式会社明電舎、三菱電機株式会社、東洋電機製造株式会社、イームル工業株式会社、神鋼電機株式会社から多大の御助力を得た。又本書内の図表の作成と原稿の整理には、イームル工業株式会社の技師諸君の協力を煩わしたことが非常に多い。茲に御協力下さつた諸会社並びに各位に対し謹んで感謝の意を表する。

昭和27年7月20日

広島にて 著 者 識

目 次

	頁
第 1 章 総 論	1
I 水力資源と小水力	1
II 農村と小水力資源	3
III 小水力資源の性格	5
IV 小水力発電の方式	11
第 2 章 開発計画の基本事項	13
I 落差と水量と出力（発電力）の関係	13
II 落差を得る方法	13
III 水力発電所の構成	14
IV 有効落差と損失落差	16
V 使用水量の決定	18
VI 河川流量の推定と実測	20
第 3 章 取水堰堤	26
I 概 説	26
II 背 水	27
III 取水堰堤の形式と構造	29
IV 堰堤の附帯施設	31
1. 土砂吐口 2. 魚 道	
第 4 章 取水口と制水門	33
I 位置の選定	33
II 構 造	34

第 5 章 沈 砂 池	38
I 概 説	38
II 構 造 其 の 他	39
第 6 章 水 路	41
I 概 説	41
II 開 渠	44
a. 縮放し開渠 b. 被覆工を施した開渠	
III 木 樋	54
IV 蓋 渠	55
V 隧 道	60
IV 水 路 橋	60
第 7 章 上 水 槽	65
I 概 説	65
II 構 造	66
第 8 章 水 圧 管 路	70
I 概 説	70
II 水 圧 鉄 管	72
III 伸 縮 接 合	76
IV 固 定 台 及 び 支 持 台	77
V 鉄 筋 コ ン タ リ ー ト 水 圧 管	78
第 9 章 余水路、放水路、その他	82
I 余 水 路	82

	目	次	3
Ⅱ 放水路		82
Ⅲ 雑		83
第10章 発電所		84
Ⅰ 位置の選定		84
Ⅱ 基礎工事		84
Ⅲ 建物		85
第11章 水車		86
Ⅰ 水車の種類		86
Ⅱ フランシス水車の原理と型式		86
Ⅲ フランシス水車の構造		92
Ⅳ プロペラ水車の型式		95
Ⅴ プロペラ水車の構造		98
Ⅵ ベルトン水車の原理と型式		99
Ⅶ ベルトン水車の構造		103
第12章 水車の性能		106
Ⅰ 特有速度		106
Ⅱ 効率		108
Ⅲ 速度の変動		111
Ⅳ 無拘束速度		114
第13章 水車の附属装置		115
Ⅰ 入口弁		115
Ⅱ 制圧機		117
Ⅲ 自動调速機		120

VI 吸 出 管	126
第14章 水車の選定	131
I、基本要項	131
II 水車種類の選択	131
III 水車型式の選定	133
IV 廻 転 機	134
第15章 発 電 機	135
I 概 説	135
II 交流発電機の種類と型式	136
III 交流発電機の電圧、力率及び廻転数	138
IV 発電機の効率	139
V 励 磁 機	140
VI 同期発電機の構造	141
VII 誘導発電機の構造	145
VIII 発電機の概略寸法	146
IX 水車との連結法	147
第16章 制 御 装 置	150
I 概 説	150
II 計器及び計器用変成器	153
III 開 閉 装 置	155
IV 保 護 装 置	159
V 自 動 制 御	162
VI 結 線	165

第17章 機器の配置と配線	170
I 概 説	170
II 機器の配置	171
III 配 線	180
第18章 建設費、資材及び労務者数	184
I 概 説	184
II 建 設 費	186
III 資材所要量	192
IV 労務者延人員	203
第19章 運転及び保守	209
I 従 業 員	209
II 消 耗 品	210
III 常備工具類	211
第20章 発電原価	214
I 概 説	214
II 工作物の耐用年数と償却率	214
III 公課と保険料	216
IV 年間発電々力量	217
V 発電原価の計算例	218
第21章 結 論	225
I 小水力発電の価値	225
II 小水力発電の将来性	228

Ⅲ 開発への助成	232
附 録	234
発電用機械器具購入仕様書 (附 見積心得)	
索 引	249

第1章 総 論

I 水力資源と小水力

戦争によつて国土と資源の大半を失ひ、狭い国土に圧縮された8,300万を
超ゆる日本人の生活が容易ならぬものであることは、我々の日常身を以て体
験していることであつて、この苦境から一日も速かに脱却したいと念願しな
い国民は一人もいないであろう。然しながら今更、国土の拡張や新資源の獲
得は奇蹟でも起らないかぎり夢に属することで、先づ不可能の問題である。
我々は限られたる国土の中で限られたる資源を最高度に活用して国の経済力
を涵養し、一步々々と日本人の生活を向上させて行くより外に方法はない。
我々の叡智と努力とはかかる悪条件のもとにあつても必ずや遠からずその目
的を貫徹するであろうことは、過去の日本人の歴史から見て疑いのないところ
である。

そこで活用すべき資源は何かと云う問題に逢着する。我国土は昔から資源
に乏しいことは衆知の通りであるが、独り水力資源だけは地理的環境に恵ま
れていると云うべきか、国土面積が狭いにも拘らず比較的になきなものを包
蔵しているのである。戦前に於て我国はアメリカに次いで水力国といわれ
600万kWの水力発電を持つていたと云うことは、この資源が如何に我国の国
力の増進に役立つていたかを物語るものであつて、これからの日本の再建に
は何をおいても眞先きにこの水力資源を登場せしめて十二分にその眞価を發
揮せしめなければならないことは、今更論議の余地のないところである。

水力資源の開発は、戦争前には年々30万kW内外も造つていたのであるが
戦争中から麻痺状態となり、終戦後はしばらく冬眠状態をつづけたために、
終戦直後の混乱期は別として、国民は永い間、電力不足と質の低下には悩ま
されつづけて来たのである。漸く最近になつて若干の発電力が増強されて、

やや愁眉をひらいたかの感があつたが、湯水に当面して見ると電力事情は極度に悪化して、その弱体を露呈し産業界にも国民生活へも大きな混乱を巻き起した。

電力需要増加の趨勢から見ても、斯様な開発速度では仲々満足されるべきものではなく、又長期に亘る立遅れを取返すだけでも容易ならぬ努力を要することであろうから、日本再建の基盤とするからには国を挙げてその開発に一生懸命にならなければならない。又開発の方策にしても限りある資源のことであるから、総ゆる角度から検討して最高度にこれを活用することを忘れてはならない。

我国の水力資源として発表せられている最近の資料は第1.1表に示した通

第1.1表 我国の包蔵水力

昭22-12末商工省電力局調

(単位 kW)

地域	既 開 発			未 開 発			合 計		
	地点 数	最 大	常 時	地点 数	最 大	常 時	地点 数	最 大	常 時
北海道	51	279,670	126,870	156	975,720	533,050	207	1,255,390	658,920
東 北	173	872,150	394,890	408	3,223,900	1,650,420	581	4,096,050	2,045,310
関 東	80	522,190	275,870	110	1,302,170	772,160	190	1,824,360	1,048,030
中 部	461	3,545,190	1,529,960	553	5,286,720	2,774,140	1,014	8,831,910	4,304,100
近 畿	60	182,980	85,110	124	707,260	242,220	184	890,240	327,330
中 国	58	288,530	106,190	161	783,650	362,920	219	1,072,180	469,110
四 国	52	230,220	71,760	89	660,170	247,230	141	890,390	318,990
九 州	116	534,570	214,240	119	641,570	384,600	235	1,176,140	598,840
全 国	1,051	6,455,500	2,804,890	1,720	13,581,160	6,966,740	2,771	20,036,660	9,771,630

(注) 1. 既開発地点最大出力 300kW未滿のものを除く。

2. 未開発地点計画最大 1,000kW未滿を除く。

3. 濁水期電力の増強を図り利水治水の綜合利用を増進せしめる見地よりできるだけ多くの貯水池を選定し、濁水期補給発電地点の計画を行った結果、常時(濁水期)出力の増加をみた。

4. 最大出力の採り方は経済的限度を考慮し平水又は豊水を観準として、堰堤式においては2月水量程度を標準とした。

り、包蔵水力は最大出力にて総計 2,000万kW となつており、うち既開発のものが645万kW、未開発分が尙 1,358万kW あることとなつている。この資料

には既開発で300kW未満、未開発で1,000kW未満のものは計上してないから所謂小水力は含まれていない。小規模のものは不経済でもあり、且大した力にもならないであろうと云う先入観から今迄等閑視されているもので、国として小水力に関する何等の調査もしておらず、統計や資料の如きものも何一つ無いのである。

斯かる状態であるから、正確なる数値は期し得ないけれども、著者が陸地測量部発行の5万分の1の地図によつて、ザツト調べあげた近畿以西の西日本一帯に散在する小水力の状態から推定すると、数kW以上300kW位までの小水力地点は全国を綜合すれば恐らく50万kW~60万kWは得られそうに思えるのである。これを徹底的に開発利用したとすれば、毎年500万屯の石炭を掘出したことに掛合うわけであるから、問題にならない程に微力なものは決してない。

又小水力の用途は大水力のように大都市や工業地帯の大需要を対象とするものではなくて、農村の小需要を地元にて供給しようとするものであるからその使用効率が非常に高く、農村の需要電力を大水力に依存している従来の非能率なやり方と比較にならない利益がある。

建設費に於ても発電電力100kW以上のものは大水力発電に比し、決して高くないならず、50kW位の地点でも良いものは大水力に比べて遜色のないものは沢山ある。これ等のことについては後節に詳しく述べるが、小水力資源に対する世人の過まつた先入観を一掃し、新たなる認識のもとにその開発を促進せしめることは、再建途上にある我国で忘れてならない一課題たるべきものである。

II 農村と小水力資源

今日、農村は8,300万を越ゆる日本人の食糧自給問題について重大なる責務を負わされている上に、農村自体の経済が極度の行詰まりに当面していて非常な苦澁を嘗めつつある。このままで推移すれば農村は自滅するより外に

途はないであろうとは、屢々耳にする言葉であつて、農村は勿論安閑としてはいられないが、社会も亦平然として之を看過することは出来ない問題である。仮に当面の経済的危局を切抜け得たとしても、農村将来の経営には尙多くの不安が残つている。

食糧問題が多分に世界的の性格を帯びて来た今日、環境に恵まれていない我国の食糧生産が果して他国のそれと対抗して、その地歩を守り続けて行けるか否かと云うことを考えるだけでも、農村の人々は眞に寒心に堪えないものがあることを察するに難くない。我国の農村は最早、米麦の生産のみに安んじているわけにはいかない段階にあるので、恵まれていない環境を何物かによつて補ない、永遠に安定なる自立策を眞剣に考究し、確立しなければならない。農村の有識者によつて、多角的農村の経営が画策せられているのも農産物反当収量の劃期的増大を狙うところの温床栽培の奨励なども、皆その現れである。然しながら之等幾多の農村厚生策も原始的形態のままでは決して成し遂げ得るものではなくて、動力とか電力とかの所謂文明の利器の助けを借らなければその効果を挙げることは難しい。

電力は今日、農村としては不可欠のものとなつているのであるが、現下の電力事情から見て、この電力が農村の期待どほりに電力業者から得られるのは或る限られたる範囲の村のみであつて、多くの農村は近き将来にその望を達することは到底至難のことであろう。何となれば大多数の農村は電力系統上から見て電力の利用効率が極めて低く、電力施設への投資価値から見ても都市や工業需要に較べて著しく条件が悪い。従つて条件の良いものから先着とれる傾向は争われぬ事実となつて現われるであろうからである。

然しながら幸いにして農山村には到るところに小川があり溪流がある。これ等は概ね水勢急にして、時には瀑布となり又あるときは急湍となつて、無為に大河川に向つて流れ去つて流れているけれども、何れも立派な水力資源である。

この中から利用するに都合のよいものを拾い上げて活用すれば、それは直

接に動力ともなり、又電力として思う存分に駆使することが出来る。

附近に利用可能な水力地点のあるところは眞に恵まれた農村であつて、この天与の資源の活用さえすれば、他者に依存しなくてもその目的は達せられるのである。

水力は白い石炭と云われている程に貴重なものである。お金を河中に流す人はいないが、お金の等しいものが徒らに流れ去つていることに気が付かない人は洵に多いらしい。水力地点の大小に応じてそれぞれ活用方法の工夫さえすれば、それは直ちに富を生み出す源泉となるのであるから、農村の達識の士は速かにこの小水力地点に着目せられて其の活用を計り、農村の自立厚生のための貴重な資とせられんことを切望するものである。

政府も遺般の事情に鑑みて、昭和26年度から農林漁業資金融通法なる法律をもうけて、その資金の中から農村の小水力開発に要する資金を低利に貸出す途を拓いて呉れたから、資金面での困難は相当緩和されている。

Ⅲ 小水力資源の性格

物を造る場合に小さいものより大きなものの方が割安につくことは殆んど常識に属することで多くの場合に眞実である。

発電所を造る場合であつても、同じ形態即ち形が似ていて単に寸法の上で大小があると云う丈けのものであれば、斯かる考え方に勿論間違ひのあるわけは無く、大きい発電所は格安に出来て小さいものが不利であることは当然のことである。斯ような物の考え方が小水力発電の場合にも一般の人々の頭を支配していて、小水力発電は高くはつくのだが、他の理由から此際造つたらよいと云うように考えられたり、又我々が斯界の権威者とも思つているような方の言としても時に斯ようなことを聞かされて嘖然とすることがあるのである。

何故かと云うに、大水力地点と小水力地点とでは、其の性格が判然と異つておつて、斯ような単純な考え方は当てはまらないからである。

曩に述べたところの著者の行つた西日本地区の小水力地点の調査は、図上調査であるから、超低落差の地点は調べ得ないため、最低落差を10米内外とし最高は150米位に止めた。将来大発電所の出来そうな主流や大きな支流は避けて、小河川や溪流を対象とし、附近に人家の無いところも見通がすこと

第1.2表 西日本の小水力地点数及び発電力等の概数

地区	府 県 名	発電地点数	発 電 力 kW	平均比水路長 L/H	一地点平均 発 電 力 kW
近畿	滋 賀	49	3,000	23	61.2
	奈 良	61	2,720	20	44.6
	和 歌 山	79	2,670	21	33.8
	兵 庫	70	1,710	35	24.4
	京 都	70	1,520	34	21.7
	三 重	56	1,530	27	27.3
	大 阪	33	560	22	17.0
	小 計	418	13,710	26	32.8
中国	岡 山	189	7,250	38	36.5
	島 根	110	9,180	32	83.5
	鳥 取	129	9,400	23	73.0
	広 島	157	7,100	35	45.0
	山 口	57	3,640	30	64.0
	小 計	642	36,570	31	57.0
四国	高 知	97	6,240	37	64.0
	愛 媛	100	7,900	23	79.0
	徳 島	54	5,190	27	96.0
	香 川	11	240	37	22.0
	小 計	262	19,570	28	76.0
九州	熊 本	154	12,400	24	80.5
	宮 崎	147	10,900	28	74.2
	大 分	107	10,250	30	95.8
	鹿 児 島	144	7,400	29	51.4
	福 岡	51	1,680	27	33.0
	佐 賀	33	1,650	22	50.0
	長 崎	34	510	26	15.0
	小 計	670	44,790	27	66.9
計	1,992	114,640		57.5	

(注) 本表は10kW以上の溪流利用地点を図上調査したものである。
本表には灌漑水路利用の低落差地点は含んでいない。

として、出力10kWから300kW位の範囲を拾い上げたものである。何分にも5万分の1の図上調査であるから正確なりとは云い兼ねるも小水力地点の外貌は窺がい得るものと思う。

第1.2表に示すごとく地点数1,992、発電電力総計114,640kWであるが、この調査から次のようなことが判つた。

1. 使用水量は毎秒1立方メートルを超えるものは極めて稀であつて、多くは0.5立方メートル以下である。(湧水量を基準として)
2. 河川の勾配は急峻なところが多いから容易に手頃の落差が得られる。
3. 水路の互長は最短100メートル位から最長2,000メートルにわたつているが、500メートルから1,000メートルの範囲にあるものが大多数を占める。
4. 水量が少なく水路互長が短かいから、水路は河川に併行して構築することとなり、殆んど開渠によつて導水することが出来て、隧道を必要とすることは滅多に起らない。
5. 落差1メートルを得るために必要な水路の長さ(仮に比水路長と云う)は7メートルから80メートルにわたつているが、大多数のものは10メートルから50メートルの範囲内にある。第1.2表中に各県別に比水路長の平均値を掲げたが、之から見て小水力の比水路長は平均30メートル前後と見ることが出来る。

以上列記した小水力地点の性格と比較するために、既設の大中規模の発電所の諸量を第1.3表に示した。此の表中の数値から比水路長を見ると、古く建設せられた著名な発電所には35メートル前後という非常に短かいものもあるが、大部分のものは50メートル以上で、中には200メートルを超えるものもある。今後開発せられる水路式の大中容量の発電地点は、比水路長が恐らく100メートル程度のものが大多数と見て間違いないところであらう。

次に水路互長にしても、大水力地点は概ね河川勾配が緩であるから所望の落差を得るためには河川の相当に長い区間に互つて利用しなければならぬ。水量が多いから河岸に沿つて開渠を構築して導水し得る場合は稀であり、自然、河川の屈曲部を選んで開発し、水路は隧道によつて短路をとることが普

第1.3表 既設大中水力発電所の諸量

発電所名	最大出力 kW	水 量 Q m ³ /s	有効落差 H. m	水路互長 L. m	比水路長 L/H	河川名
谷 村	13,500	15.30	113.32	5,850	50.2	桂 川
鹿 留	16,800	15.72	142.42	4,950	34.7	〃
駒 橋	17,000	26.41	104.54	6,800	65.0	〃
早川第一	25,100	15.03	227.27	10,450	48.1	早 川
上 麻 生	27,000	62.56	51.3	6,400	124.6	飛 弾 川
女 子 畑	21,750	49.62	71.2	7,000	98.5	玖 珠 川
大 井 早	4,200	10.15	54.8	4,100	74.8	鯉川、千瀬川
高 千 穂	12,800	19.48	83.33	4,500	54.0	五ヶ瀬川
山 須 原	13,000	33.90	40.50	5,500	136.0	耳 川
大淀川第一	15,000	44.52	42.42	3,950	93.0	大 淀 川
川上川第五	2,400	12.52	25.8	4,100	159.0	川 上 川
上 齊 原	2,700	4.90	71.5	3,000	42.0	遠 藤 川
久 田	6,000	6.87	116.9	8,780	75.3	吉 井 川
成 羽 川	12,900	13.91	110.3	13,800	125.0	成 羽 川
黒 坂	15,000	10.00	185.8	9,080	49.2	日 野 川
熊 見	11,200	47.30	30.1	7,450	247.0	江 川
土 井	8,000	7.60	129.6	4,600	38.4	太 田 川
加 計	15,000	8.90	217.6	6,950	32.0	湖 山 川
吉ヶ瀬	18,900	20.00	114.1	7,150	62.5	太 田 川
間 野 平	9,000	25.00	47.3	5,200	110.0	〃
錦川第一	4,000	4.34	115.69	7,650	66.0	錦 川
小瀬川第一	2,700	5.56	68.4	3,340	48.8	小 瀬 川

(注) 有効落差1米当り水路長を便宜上「比水路長」と仮称した。

通となる。

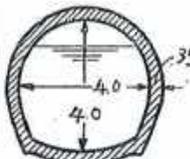
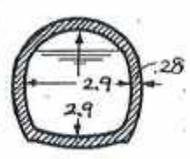
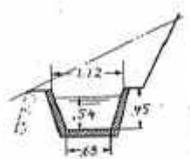
斯様に大水力と小水力とでは、水路の構成が根本的に異つていて、大水力は長い隧道を要するのに対して、小水力は短かい開渠で足りると云う結論となり、水路費の上に大きな相違を来たすのである。

試みに水量が毎秒20立方メートルの比較的大きな発電所と、毎秒10立方メートルの中容量発電所と、毎秒0.5立方メートルの小容量発電所との発電電力1kW当りの導水路費と、主要資材の一つであるセメントの所要量とを色々な比水路長をとつて

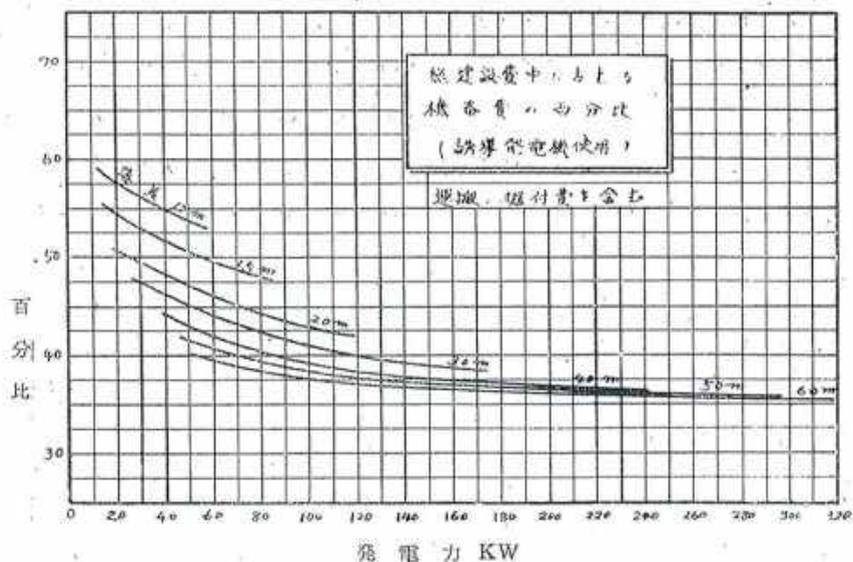
算出して見ると第1.4表の通りになる。

比水路長を大、中、小水力の各々について、それぞれ平均値と思えるものを表中で比較して見ると、建設費に於て小水力は、大中水力の約半額となり、セメント所要量は似寄つたものとなつている。但し、この比較にとつた小水力は水量が毎秒0.5立方メートルのものであるから、水量がこれより多い小水力は

第1.4表 導水路の建設費と資材量

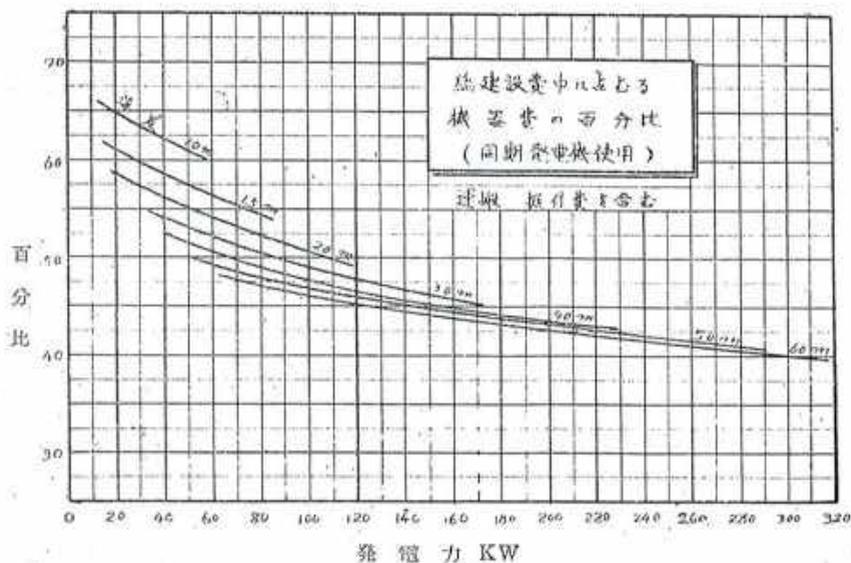
		大 水 力		中 水 力		小 水 力	
水量 立方米/秒		20.0		10.0		0.5	
水路勾配		1:2000		1:1000		1:500	
水路の型式及寸法		隧 道 		隧 道 		開 渠 	
		水路全長に亘り 1:3:6 コンクリート内張		全 左		1:3:6 コンクリート内張 石垣其他附帯工事を 含む	
長さ1米当建設費		78.400円		48.700円		22.650円	
セメント量		1.19屯		0.77屯		0.073屯	
落差1米当発電力		165KW		81KW		3.4KW	
発電力1KW当建設費及資材量	比水路長	建設費	セメント量	建設費	セメント量	建設費	セメント量
	150米	71.300円	1.08 屯				
	100 #	47.500円	0.72 屯	60.000円	0.95 屯		
	70 #	33.200円	0.504 屯	42.000円	0.665 屯	54.500円	1.505 屯
	50 #			30.000円	0.476 屯	39.000円	1.075 屯
	35 #					27.250円	0.752 屯
	30 #					23.400円	0.644 屯
	25 #					19.500円	0.537 屯
20 #					15.600円	0.429 屯	

(昭和26年7月調)



發電力 KW

第1.5圖



發電力 KW

第1.6圖

更に有利となり、0.3立方メートルか0.2立方メートルのように少ないものは幾分不利となることは当然である。

小水力の欠点は、建設費の内、機器費の占むる割合が大きいことである。朝鮮動乱後、機械は極端な値上りを見て、小水力の建設を非常に困難ならしめた感はあるが、前述の水路費の低額で済むようなところ、即ち比水路長の短い地点を選んで建設することとすれば、未だ大水力に較べて決して遜色のあるものではない。

IV 小水力発電の方式

小水力発電は、その発生電力の消化方法によつて二つの方式に分かつことが出来る。即ち

1 単独式自家発電

2 連継式自家発電

とである。

前者は電力業者の供給区域の外で、所謂未点灯地域に新規に発電所を設けて電力を使用せんとする場合と、電力業者の供給区域内ではあるが、電力業者に供給余力がないとかその他特別の理由で或る特定の需要のみを対象としてその自家専用の目的で造られる場合とがある。その何れの場合でも発電所の外に配電線、屋内線其の他、附随する一切の施設の建設を伴うことは勿論である。

後者の連継式自家発電とは、発電所も需要も電力業者の既設配電線に近接している場合であつて、別途に配電線を設けることなく、電力業者の施設を利用して電力の供給を行わんとするものである。

小水力発電の開発は、その何れの場合にも起るものであるが、我国のように全国の津々浦々に送電気の普及している国では、今後連継式自家発電の旺んになる可能性は非常に大きい。

電力業者の供給区域内で単独式自家発電の方式を採用することは、既存の

ものと別に配電施設をなすものであるから、前述のように特別の理由がないかぎり、現下の国情からは到底容認せられないものであり、又発電した電力の有効なる利用と云う見地からも都合が悪く、必ずしも経済的な方法とは云えない場合もある。

連継式自家発電は、一種の托送方式の如く見られるが、電力業者との間に托送としての取引をなすことは、殆んど不可能に近い煩雑さがあり、電力業者も亦斯かる形式を好むものでもない。そこで自家発電と云う名称からすれば甚だ変則な方法ではあるが、発電所で発生した電力は発電所に於て一応全部を電力業者に売り渡し、農村に必要とする電力は再び箇々に買い戻すと云う形とすれば、業者との間の取引は非常に簡単となるのである。

村は建設費を基礎として原価を算出し、若干の利潤を得るような価格を以て電力業者に売り渡し、村の需用家は一般の電力需要者と同一の料金を以て電力を使用する方法であるから、需用家箇々の使用料は直ちに低額とはならないが、売電料金よりの利益を以て間接に報いられると云うことになる。

連継方式の、他の優れた点は発生電力量の多いことである。需要の年負荷率は、農村需要では60%を得ることは相当に難しい問題で、30%に達しないこともあり得る。従つて自家需用丈けを対象として発電する単独式自家発電では、低負荷の時間には水は空しく捨ててしまい、発電所が一年間に発生した全電力量は、一年中全能力を發揮したときの50%とか30%とかになつて、甚しく不経済なこととなるのであるが、連継式では、発電所は年中殆んど全能力を以て発電し続けて、自家需要に充てた残りの電力は全部隣接村の需要に自動的に流れて行き有効に消化されるものである。国家的見地からしても誠に都合のよい方式と云える。

尙、連継式に於ては、発電機として誘導発電機を使用することが出来て、その価格が安いばかりでなく、発電所の自動運転と云うことが極めて簡単となり、下級技術者による発電所の保守も心配なく行われる利点がある。

第2章 開発計画の基本事項

I 落差と水量と出力（発電力）の関係

水力発電所は高所にある水の保有しているエネルギーを利用して、水車を運転し、これを原動機として発電機を廻転して、エネルギーを電気の形として取出すものであるから、落差の高いほど、又、水量の多いほど大きな出力が得られるわけである。

この関係を式を以て表わすと、次のようになる。

$$\text{理論水力 } P_{\text{L}} = 13.14 H \cdot Q \quad \text{馬 力} \cdots \cdots (2.1)$$

$$\text{又は } P_{\text{L}} = 9.8 H \cdot Q \quad \text{キロワット} \cdots \cdots (2.2)$$

$$\text{水車出力 } P_{\text{T}} = 13.14 H \cdot Q \cdot \eta_{\text{T}} \quad \text{馬 力} \cdots \cdots (2.3)$$

$$\text{又は } P_{\text{T}} = 9.8 H \cdot Q \cdot \eta_{\text{T}} \quad \text{キロワット} \cdots \cdots (2.4)$$

$$\text{発 電 力 } P_{\text{G}} = 9.8 H \cdot Q \cdot \eta_{\text{T}} \cdot \eta_{\text{G}} \quad \text{キロワット} \cdots \cdots (2.5)$$

上式中

H = 米単位にて表した有効落差

Q = 毎秒立方米にて表した使用水量

η_{T} = 水車の効率（小水力では0.75～0.85）

η_{G} = 発電機の効率（0.82～0.93）

効率の詳細については、後章にて説明する。小出力には小さい値を出力が大きくなるにつれて大きい値をとればよろしい。

発電力の大略の見当をつけるだけならば、下式によつてもよい。

$$\text{発 電 力 } P_{\text{G}} = (6.0 \text{ 乃至 } 7.6) H \cdot Q \quad \text{キロワット} \cdots \cdots (2.6)$$

II 落差を得る方法

前節に述べたように、大きな発電力を得るためには、高い落差を利用する

か、使用水量を多く取ればよい。

高い落差を得るためには、河川の長い区間に亘つて利用することと、高い堰堤を築いて水面を高めて行くこととの二様の方法がある。後者は近年大発電所の建設にしばしば用いられている方法である。

大発電所の場合に高堰堤を築造するのは、これによつて、其の上流を貯水池として洪水期の水量調節に備えるのが主たる目的であつて、莫大なる建設費を要するけれども、規模が大きいために経済的に採算可能となるのである。小水力の場合には、この方式は特別に有利な好適な地形であるか、又は他の目的と共用せられない限り、不経済な方法であつて一般には用いられない。

小水力発電所の殆んどものは、河川の自然勾配と導水路の勾配との差によつて落差を得るところの、いわゆる水路式発電の形式によつて造られるものと考えて間違いない。従つて高い落差を得なければ成るべく急勾配の河川を利用すると云うことになる。

小水力開発の対象となる支流や溪流のような小河川は一般に勾配が急であつて、小区間を利用するだけで、希望の落差を容易に得られる例は多い。小水力発電の建設費が意外に安いことは、河川勾配が急峻なことに最も大きな原因があるのであるから、計画に当つては、特にこの特徴を有効に利用することに留意しなければならない。落差を高くするために取水堰堤を取水のための必要高さ以上に高めることは多くの場合最も拙劣なる計画であつて、厳に慎まねばならないことである。

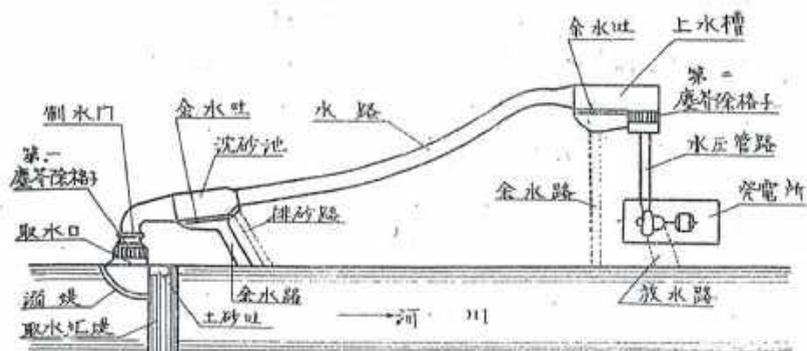
Ⅲ 水力発電所の構成

小水力開発は前述した通り、水路式による場合がその殆んどであるから、本書に於ては、この方式についてのみ記述することとする。

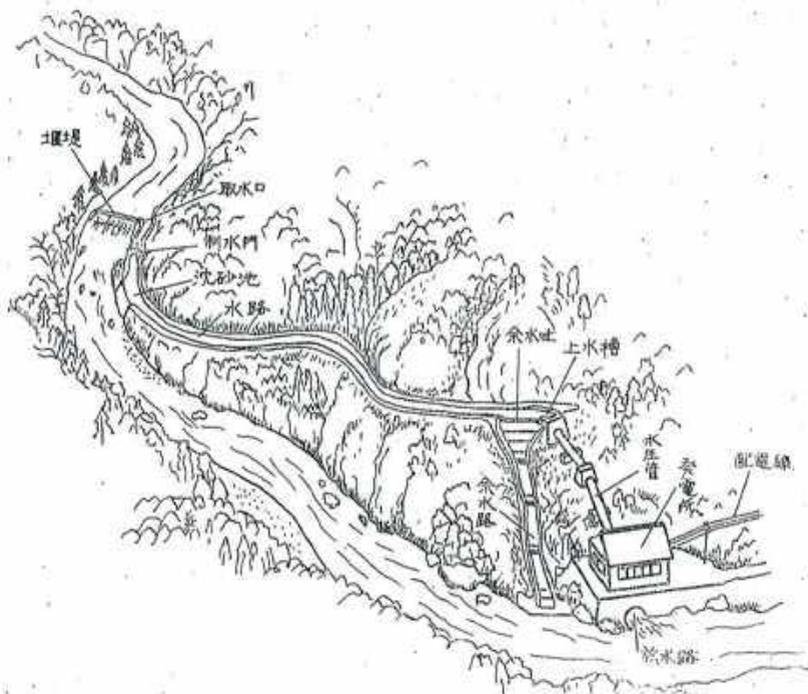
水力発電所は、下記の諸設備の組合せによつて構成せられている。

取 水 設 備 (取水堰堤、取水口、塵芥除格子、制水門、余水吐)

- 除砂設備 (沈砂池、又は排砂装置)
- 導水設備 (開渠、蓋渠、隧道、水圧管)
- 水圧保持設備 (上水槽)



第2.1図 発電所諸施設の配置順序



第2.2図 小水力発電所の鳥瞰図

排水設備 (余水吐、余水路)

発電設備 (水車、调速機、調圧機、発電機、制御盤)

放水設備 (放水路、放水口)

其の他 (発電所建物及び基礎等)

以上は取水より放水迄を大體施設の順序に並べて書いたものであるが、更に此等の配置を一層判り易くするため、第2.1図に施設の配置順序図を、第2.2図に鳥瞰図を示した。

設備の構造や機能、設計上の問題については、後章に於て詳しく述べる。

IV 有効落差と損失落差

取水口の水位と放水口の水位との高低差を総落差と云い、上水槽の水位と放水位との高低差を見掛落差と云われている。

出力の計算に用いた有効落差とは、水車に有効に働いている落差のことで総落差より水車以外の諸設備中に生ずる損失落差を差引いたものである。

此等各部の損失落差は、次に示すように、總て計算によつて其の概數値を求めることが出来る。単位は米とする。

(1) 取水口に於ける損失落差 h_1

$$h_1 = 1.3 \frac{V^2}{2g} \approx 0.066V^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

g = 重力の加速度 = 9.81m/sec²

V = 入口通過直後の流速 (m/sec)

(2) 第一塵芥除格子による損失落差 h_2

$$h_2 = 0.1 \frac{V^2}{2g} \approx 0.005V^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

V = 塵芥除格子通過の際の流速 (m/sec)

(3) 水路入口に於ける損失落差 h_3

$$h_3 = 0.05 \frac{V_2^2}{2g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \dots\dots\dots (2.8)$$

V_1 = 水路入口前の流速 (m/sec)

V_2 = 水路内の流速 (m/sec)

若し $V_1 = 0.66V_2$ と仮定すれば、上式は

$$h_a = 0.025V_2^2 \text{ となる。}$$

- (4) 水路勾配による損失落差 h_a

$$h_a = I L \dots\dots\dots (2.9)$$

I = 水路勾配 (小水力では $\frac{1}{500} \sim \frac{1}{1000}$ 位である)

L = 水路の互長 (m)

- (5) 沈砂池による損失落差 h_b

沈砂池の構造によつて差異があれども、小水力では大略下式の程度と見ればよい。

$$h_b = 0.2 \frac{V^2}{2g} \approx 0.01V^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

V = 沈砂池終端の流速 (m/sec)

- (6) 第二葉芥除格子による損失落差 h_c

$$h_c = 0.1 \frac{V^2}{2g} \approx 0.005V^2 \text{ (m/sec)}$$

V = 葉芥除格子通過の際の流速 (m/sec)

- (7) 水圧管入口に於ける損失落差 h_r

$$h_r = 0.1 \frac{V^2}{2g} \approx 0.005V^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

V = 管入口の流速 (m/sec)

- (8) 水圧管内摩擦による損失落差 h_s

$$h_s = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$f = \frac{124.6n^2}{D^{\frac{1}{3}}} \text{ (Manning氏に依る)}$$

L = 管の長 (m)

D = 管の内径 (m)

n = 粗度係数 ≈ 0.014 (焊接鉄管)

V = 管内の流速 (m/sec)

- (9) 水圧管の屈曲による損失落差 h_o

$$h_o = \phi \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{\alpha^\circ}{90^\circ} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\phi = 0.131 + 1.847 \left(\frac{r}{R} \right)^{3.5}$$

V = 管内の流速 (m/sec)

r = 管の半径 (m)

R = 屈曲部の曲率半径 (m)

α° = 屈曲角度

(10) 漸縮管による損失落差 h_{10}

$$h_{10} = f \frac{V_2^2}{2g} = 0.01 \frac{V_2^2}{2g} \approx 0.0005 V_2^2 \dots \dots (2.15)$$

V_2 = 管径小なる部分の流速 (m/sec)

(11) 放水路内の損失落差 h_{11}

$$h_{11} = \frac{V^2}{2g} + I L$$

V = 放水路内の流速 (m/sec)

I = 放水路の勾配 (1/1000位)

L = 放水路の互長 (m)

以上により総損失落差 h は

$$h = h_1 + h_2 + h_3 \dots \dots + h_{11} \text{ となる。}$$

V. 使用水量の決定

河川の流量は季節によつて非常に変化があるものであるから、どの位の水量をとつて発電所の出力を決定するかは、需要の性質、補給発電力の有無等によつて考え方が異つて、仲々難しい問題である。

河川の流量を表わす為の目安としては、一般に元廊時発電水力調査局で制定した。次の様な定義によつてゐる。

- | | | |
|---|------|-------------------|
| a | 最小水量 | 一年の内、日流量の最小なるもの |
| b | 渴水量 | 〃 355日間これより降らないもの |
| c | 低水量 | 〃 275日間 〃 |
| d | 平水量 | 〃 185日間 〃 |

- e 豊水量 〃 95日間 〃
- f 洪水量 数年に一回起る出水量
- g 最濁水量、最大洪水量

古老の記憶や、口碑等を参酌して過去のものを推定したもの

往時の水力発電所は、火力発電所による補給も考えず、単独で専属の需要に供給していたため、使用水量の基準を濁水量として建設せられたものが相当あつた。水力資源活用の意味から実に勿体ないやり方なので、漸次大きな水量を以つて計画せられるようになり、今日では貯水池のない大規模な発電所でも使用水量を前記の、平水量以上にとることは殆んど常識となつている。従つて濁水期の不足電力は貯水池のある発電所から補給したり、火力発電所によつて補つているのである。

小水力発電所で単独方式のものは、電気事業の創生時代のように専属の需要に電力の供給をしておるもので、別に補給発電力をもつていないものである。従つて電力需要が季節的に変動する水量に、或期間比例して増減するようなもの、換言すれば、濁水期に需要が最小になる様な条件でもない限り使用水量を濁水量以上には取り得ないこととなる。過去に建設せられた小水力発電所には河川の流量の調査が不徹底であつたため、使用水量を過大にとつて建設し、濁水期が来るたび毎に電灯も満足に点じ得ないようなものが沢山あつて小水力自家発電の価値を云々せられることがしばしばあつたことは、我々の記憶にまた新たところである。

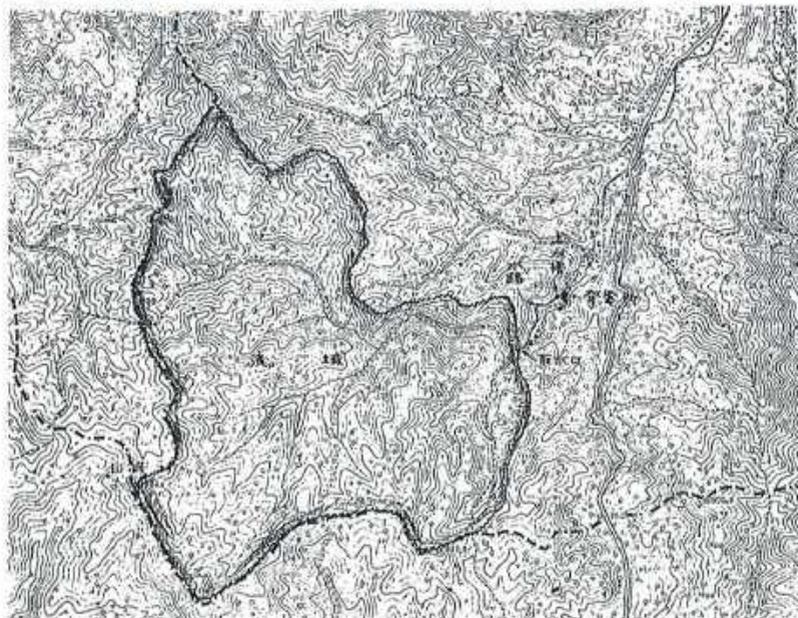
連続式小水力発電の場合は、発生電力は一つの商品の如きものであるからその質が良くなければ売りにくいことは当然である。電力業者がこれを買取る場合を考えても季節によつて減少するような電力であれば、その不足分を自分の方で補給し得るように、火力発電なり、貯水池なりを用意して置かなければならないと云うこととなるから、そんな電力は希望しないであろうし買つて呉れるとしてもその価格は甚しく安い価格となることは止むを得ない

であろう。斯く考え来ると、水力資源の活用と云う見地からすれば、甚だ遺憾なことではあるけれども、小水力発電所の使用水量は特別の事情のない限り湯水量を基準とすることが無難だということになる。即ち発電所に取水し得る水量は、湯水期に他の目的の用水があれば、湯水量よりそれだけ減じたものとし、無ければ湯水量をそのまま使用水量とする。

VI 河川の流量の推定と実測

使用水量の基準が決つたならば、その基準となるべき河川流量が、取水口の前地点に於て何程あるかの推定をしなければならぬ。

このため最初に着手すべきは、図上よりの推定である。陸地測量部発行の5万分の1地図により(2.3図)取水口前地点上流の流域面積(降雨がこの地点を流過する範囲の全面積のことであつて、取水地点の河川を横断して兩岸の山の屋根伝いにたどり上流一帯を囲んだ面積)を平方杆の単位で計り、



第2.3図 流域と発電地点の関係

之にその地方の1平方杆当りの河川流量基準値を乗する。即ち濁水量を基準とすれば、濁水量を掛けてその地点の流量と見るのである。1平方杆当りの流量は流量要覧（今は資源庁で発行しているが、古いものは電気庁で発行したのものもある。）の中からその附近の河川のものを見出して、流域の森林状態や耕地の有無、地形、地質、面積の広狭などより、幾分の修正を加えて決定する。こうして推定した値が実際のものとは大きな差異があつては困るから、次には濁水期と思われる時期に河川流量の実測を行つて（数年間行うことが出来れば理想的であるが、多くの場合不可能であるから、その時の流量状態が過去のそれと多いか少ないか記憶によつて検討を加えてみる。）一応確める必要がある。

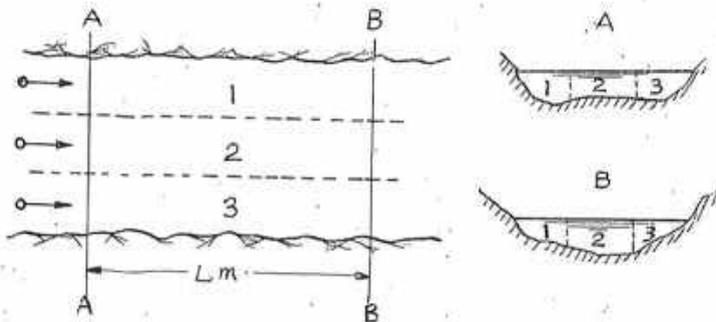
実測の方法には色々なやり方があるが、特別な計測器を要しないものの二、三につき説明する。

(1) 比較的流量の多い場合（例えば流量が毎秒0.3立方米以上の程度）

a 表面浮子法

最も簡単な方法であるが、それだけ誤差は多い。取水予定地点の附近に於て、或る長さ互つて河川の断面や勾配が比較的均等な場所を選び、河川を横断して、或る間隔 $L(m)$ を以て上流及び下流に二本の見透線を設ける。（第2.4図のA—A線及びB—B線）

上流より木片などを浮子として流し、此の二線のもとを通過するに要



第2.4図 浮子測水

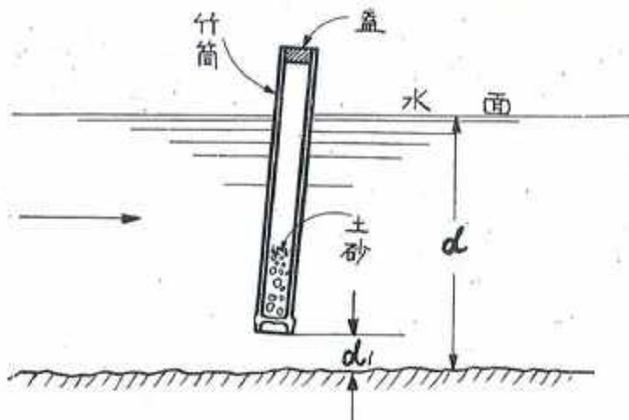
する時間 (t 秒) をストップウォッチにて計る。平均流速は表面浮子の速さの約 0.8 であるから、平均流速 V_m は次の式によつて求められる。

$$V_m = 0.8 \frac{L}{t} \quad (\text{m/sec}) \dots\dots\dots (2.17)$$

この浮子法は一般に河川を第 2.4 図の如く数区分して、区分毎にその中心を浮子を流して平均流速を求め、各区分の平均断面積に乗じたものを集計して全流量と見るのである。

b 桿浮子法

桿浮子は普通に竹を切つてその一端の節だけ残して底とした竹筒を作り、底に土砂を詰めて、なるべく直立して流れるようにしたもので充分である。その長さは河底に接触しない程度に出来る限り長い方がよい。(第 2.5 図) これを表面浮子法に於けると同様に流して、二つの



第 2.5 図 桿 浮 子

見透線間を流過するに要する時間を計つて、その流速を求める。この浮子の流速と水の平均流速との間には少しの喰違ひがあるから、下の式によつて、水の平均流速 (V_m) を求める。

$$V_m = \left(1.012 + 0.116 \sqrt{\frac{d_1}{d}} \right) v \quad (\text{m/sec}) \dots\dots (2.18)$$

$v =$ 浮子の流速 (m/sec)

d = 水深 (m)

d_1 = 浮子の下端と河底との距離 (m)

上式中括弧内のものを K にて表わせば

$$V_m = kv \text{ (m/sec)}$$

となり、 $\frac{d_1}{b}$ と K の関係を数値で表わせば、次の通りである。

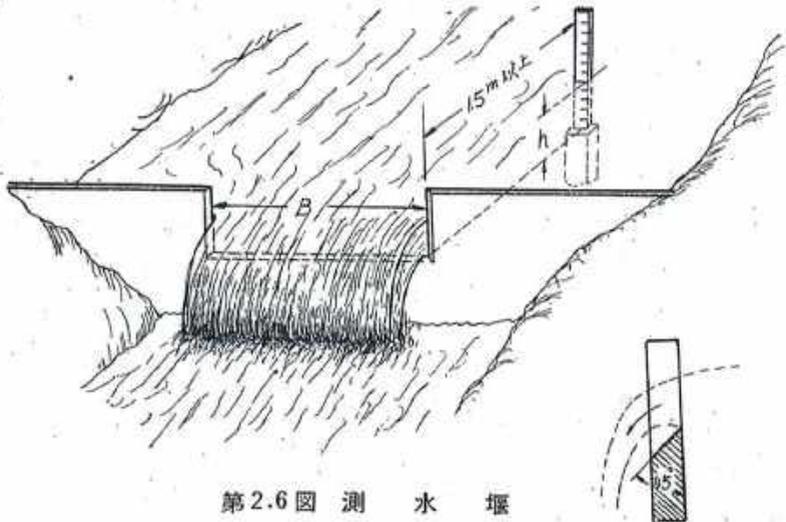
d_1/b 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4

K 0.99 0.97 0.95 0.94 0.93 0.92 0.90 0.89

本法は表面浮子によるものより正確な値を得られるけれども、河底の起伏が大きい場合は使われない。尚 d_1 は d の $\frac{1}{4}$ 以下であることが必要である。

(2) 流量の少ない場合

堰測法によつて正確に計ることが出来る。この方法は河川を横切つて板を以て堰を造り、その上流側の流速を殆んど静水状態に近くなる程に、水面を高めて堰止める。堰板には矩形の欠口部をその中央に設けて、水をここから流下せしむること第2.6図のようにする。堰板の欠



第2.6図 測水堰

口部の周辺は図示してあるように上流側に双形に削り取り、その角度は45度位いが適当である。

欠口部よりの溢流水深 h (m)を計れば、次の公式によつて流量の算出が出来る。

$$Q = 1.84 (b - 0.2h) h^{\frac{3}{2}} \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \dots\dots\dots (2.20)$$

式中 b = 欠口部の巾 (m)

h = 溢流水深 (m)

堰の上流の流速が静止状態に近くならないときは(この流速を接近速度と云う)その影響を考慮した次式によつて流量の算出をすればよい。

$$Q = 1.84 (b - 0.2h) \left\{ (h + h_a)^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}} \right\} \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \dots\dots (2.21)$$

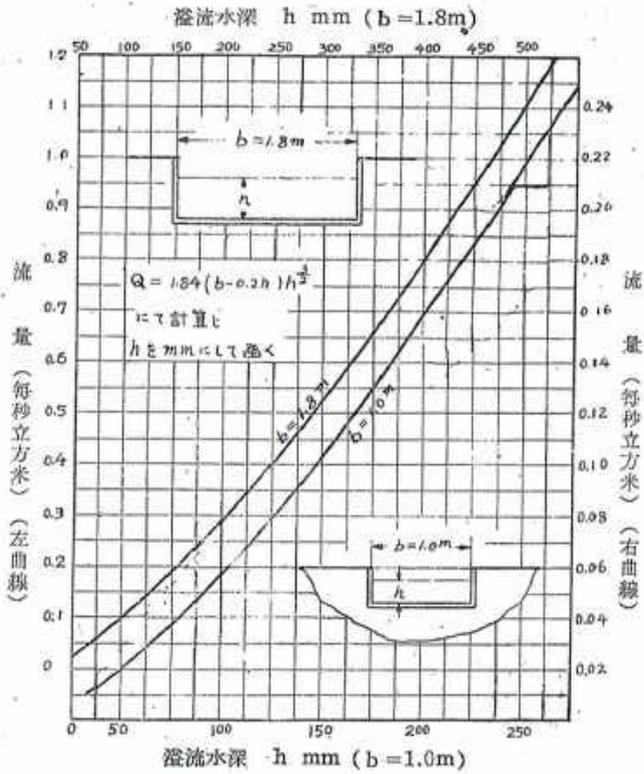
式中 $h_a = \frac{v_a^2}{2g} = 0.051v_a^2$ (m)

v_a = 接近速度 (m/sec)

堰測法を以て流量を計る場合には、次の点に注意を要する。

- 溢流水深の測定は堰板より上流1.5m以上離れた点に於て堰頂上の水面高を計らねばならない。
- 堰の上流側に接近した点の全水深は溢流水深の4倍以上あること。
- 溢流水深が欠口部の巾の $\frac{1}{3}$ より深くなくてはいけない。
- 堰板の両袖の長さは各々溢流水深の3倍以上あることが望ましい。
- 堰板を設置する際には堰頂を正確に水平とすること。

堰測法の計算の手数を省くため、欠口巾が1.0mと1.8mの二種につき、溢流水深と流量との関係を曲線図として第2.7図に示した。本図は接近速度を零として算出したものである。



第 2.7 図 矩形測水堰流量図

第3章 取水堰堤

I 概 説

水路への導水を容易ならしむるために、河川を横断して堰堤を築造し、その上流側の河川水位を高める。斯様な堰堤を取水堰堤という。小水力発電所の建設に当つては、灌漑用堰堤や砂防堰堤のような既存のものを利用し得るものがしばしばあるから、斯様な施設の利用は建設費を切詰める上から最も望ましい。尚、新規に築造計画中之等堰堤があるような場合にも同じ理由からその兼用を策することは勿論必要である。

取水堰堤は概して低いものであるから、その設計や施工上に充分の注意や検討を怠りがちとなる傾向があり、これが禍根となつて後日それ自体が洪水のため破壊されたり、附属施設や周辺を損壊した例が非常に多い。小水力といえども取水堰堤の使命は非常に重く、これが損壊した場合の損失は事業経営上に甚大な影響を与えるものであるから計画当初よりこの点充分に留意してかからねばならない。

取水堰堤を新設する場合に考慮しなければならない主な事項を次に列挙する。

- a 堰堤の位置の選定は取水口と併せて行い、砂礫の堆積によつて将来取水に困難を生じないように、河川の屈曲と流心の状態に注意して決めること。
- b 岩盤が露出しているところ、或は容易に岩盤に達し得るようなところに岩盤に堤体を密着させて築造することが望ましい。
- c 岩盤がなく、砂礫や玉石交りの地盤上に築造する場合は、後に詳述するように水切工に充分留意すること。
- d 堰堤はなるべく河川に直角に設けること。河底岩盤の状況などによ

コンクリートの配合は1:3:6を使用する。土壤の上に設ける基礎は適度の厚さの割栗石を搗き込んで根固めをなし、その上にコンクリートの施工をなす。杭打工をなして地盤の支持力の不足を補うこともあるが、小水力には滅多にないことである。

Ⅱ 建 物

建物の主部は機械室である。この外に必要なに応じて休憩室、倉庫、便所等を附加する。監視員の住居を同一建物内に設けたものもあるが、保安の上から好ましくない。多少建設費は嵩むけれども別棟とする方がよい。

小水力は機械が小さく、台数も一組の場合が多く、機械室の面積は規模に応じて5坪～12坪で充分である。水車、発電機、制御盤(配電盤)の配置を、運転操作、監視の便宜を考慮して決定し、縦横の寸法を定める。

建物は木造で結構であるが、配電盤の裏面、側面の壁は火災の虞れがあるから床面から天井迄耐火構造とすることが望ましい。

梁は機械の解体の際に、チェーンブロックを取付けて重量物を吊り上げることがあるから、丈夫なものを使用し、且つ充分な高さが必要である。

床面の高さはなるべく洪水面上に相当の余裕を見て決定するがよいが、水車の種類や型式によつて、水車の据付高さに限度があり無暗に高くすることは出来ない。このことについては後章吸出管のところでも詳述するから、それを参照して水車の据付高さを定め、若し洪水面以下に据付けねばならないときは建物の下半を鉄筋コンクリート造の防水壁とするか、敷地の周囲に防水堤を設けなければならない。

建物の出入口及び窓は機器の搬入、搬出、分解等に際して困難を生じないように機器の配置、道路の位置などを充分考慮してその位置や寸法を定めることが必要である。

第11章 水 車

I 水車の種類

発電用の水車は水力タービンとも呼ばれ、高所にある水が保有しているエネルギーを機械的仕事に変換して、発電機を運転する役目をもっているものである。使用される落差の高低、水量の多寡によつて、その構造を異にしているが、水車内を流過する間の水の作用の相違によつて、次の二種類に大別せられている。

A 反動水車

水がある程度の圧力をもつて水車のランナーの外周全面から流入し、ランナー内を流過する間に圧力が段々減少して反動力を生じランナー羽根を押してこれを廻転するものである。水は水車の内部を充満して流れ、ランナーよりの放水は吸出管にて放水溝に導かれる。この水車に属するものとしては、プロペラー水車とフランシス水車とがある。

B 衝動水車

水のもつている圧力を全部速力に換えて、ノズルから噴出せしめ、この噴射水をランナーの外周に取付けてある水受（バケツト）に衝突させて機械的廻転力を発生させるものであつて、ペルトン水車がこれに属する。

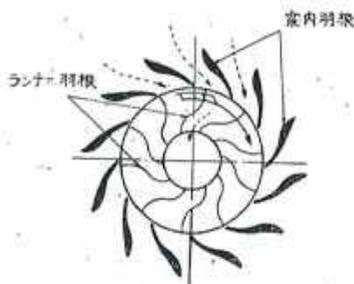
プロペラー水車の一種に、ランナー羽根の角度が変化し得るようになったカプラン水車と云うものがあるが、カプラン、フランシス、ペルトンと云う名称は何れもその発明者の名を冠したものである。

II フランシス水車の原理と型式

フランシス水車の適用される範囲は非常に広く、小水力発電用水車として

も、その大半はこの種の水車を使用することとなるのであろう。

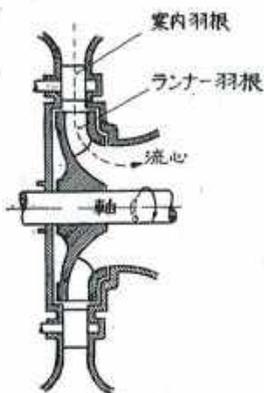
その原理は、第 11.1 図に示すように、ランナーの外周に案内羽根が設けて



あつて圧力のある水は、四周よりその間隙を通つて適当な角度でランナーに流入する。ランナーには又沢山の羽根があつて、この流入水はランナー羽根の間隙を流過する間にその圧力、流速、流向などを変化して、羽根に対し押圧力を発生し、ランナーを矢印の方向に廻転せしむる。ランナーを通過した水は吸出管によつて順次速度を減じて放水溝の水面下に排出せらるるようになってゐる。第 11.2 図には第 11.1 図と直角の方向から見た断面を示す。1 図の方は高落差用であつて、水はランナー羽根の間を通る間には余り軸方向に変向しないもの。2 は低落差用のもので、ランナー羽根通過中の水は輻射方向から軸方向に極度に流向を変するものである。以上二例は両極端のものを示したもので、この中間に色々の形態のものが出るわけにて、その詳細については、後章にて述べることにする。

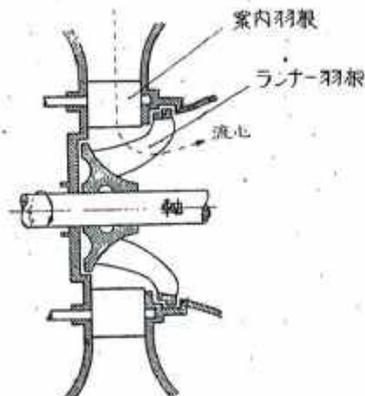
第 11.1 図 フランシス水車の原理

ランナーを通過した水は吸出管によつて順次速度を減じて放水溝の水面下に排出せらるるようになってゐる。第 11.2 図には第 11.1 図と直角の方向から見た断面を示す。1 図の方は高落差用であつて、水はランナー羽根の間を通る間には余り軸方向に変向しないもの。2 は低落差用のもので、ランナー羽根通過中の水は輻射方向から軸方向に極度に流向を変するものである。以上二例は両極端のものを示したもので、この中間に色々の形態のものが出るわけにて、その詳細については、後章にて述べることにする。



第 11.2 図の 1

高落差用フランシス水車の断面



第 11.2 図の 2

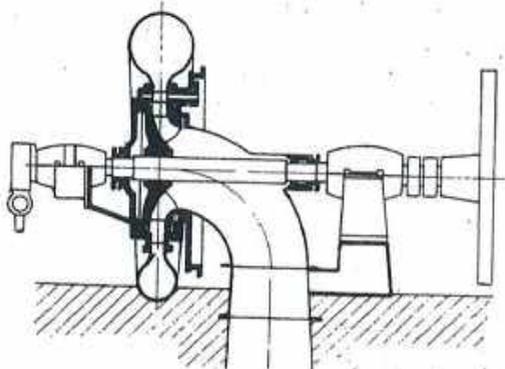
低落差用フランシス水車の断面

フランスス水車の型式は、適用範囲が広いために、ランナーの箇數、放水の數、外被の形状、軸の向きなど色々な組合せによつて使用目的に副うものを作るからその種類は非常に多い。

解り易くするために一々形態図を附して、現在並びに最近迄使用せられてゐる型式のものについて説明する。

a. 横軸単輪単流渦巻フランスス水車 (第 11.3 図)

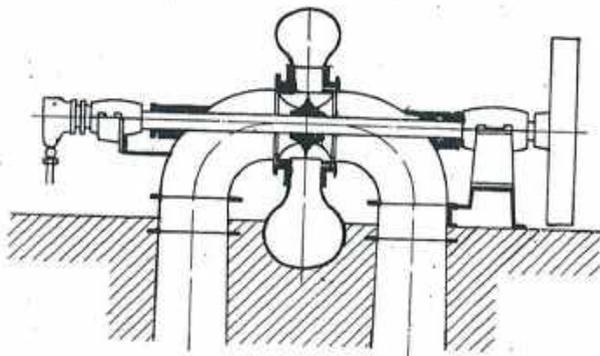
水平軸上に、一方向へのみ放水するランナーを備え、圧力水を導入する外被を渦巻形としたもので、中小規模の水車に多い。



第 11.3 図 横軸単輪単流渦巻フランスス水車

b. 横軸単輪複流渦巻フランスス水車 (第 11.4 図)

水車軸上に、両方向へ放水するランナーを備え、渦巻形の外被を有

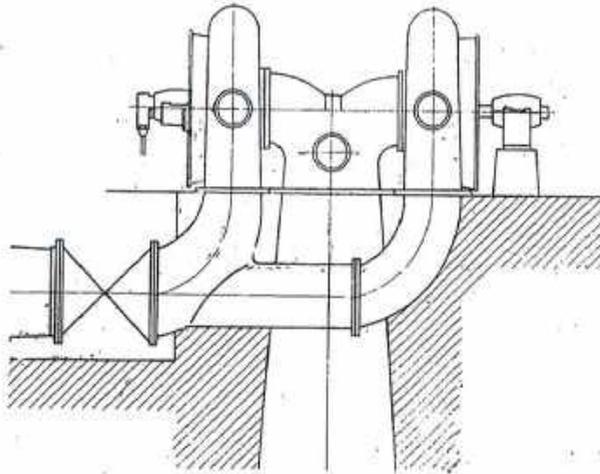


第 11.4 図 横軸単輪複流渦巻フランスス水車

るもので、中小規模の水量が比較的に多い場合に使用例が多い。

c. 横軸二輪単流渦巻フランシス水車 (第11.5図)

横軸単輪単流渦巻水車を二箇向い合せにして一軸上に継ぎ、放水用の吸出管を共用としたものである。往時、中規模以上の発電所に時々用いられたが、近年は殆んど使用せられない。

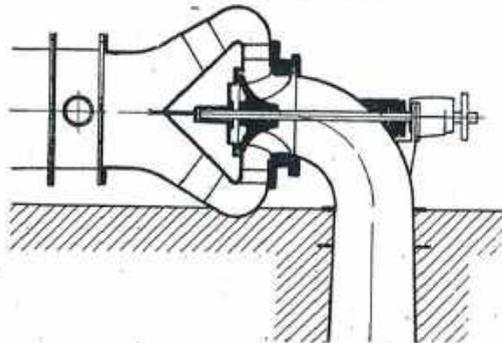


第11.5図 横軸二輪単流渦巻フランシス水車

d. 横軸単輪単流前口フランシス水車 (第11.6図)

水を水車軸心方向より導入し、外被は円錐形の筒を横置した形状を備えている。外被を除いた外は a の水車と大同小異である。

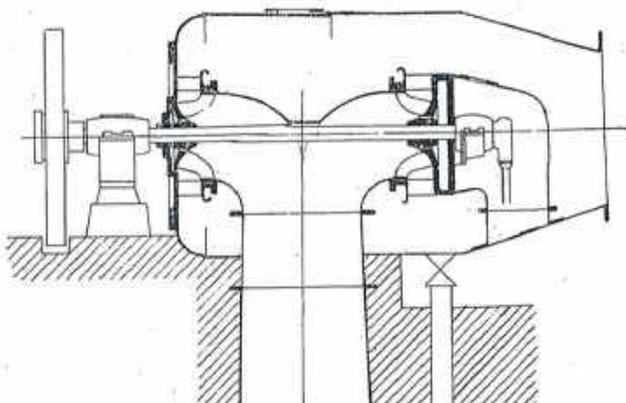
往時、低落差の水車によく使用されたものである。価格が安いから小水力用として今後再び採用を見るものと思う。



第11.6図 横軸単輪単流前口フランシス水車

e. 横軸二輪単流前ロフランシス水車 (第 11.7 図)

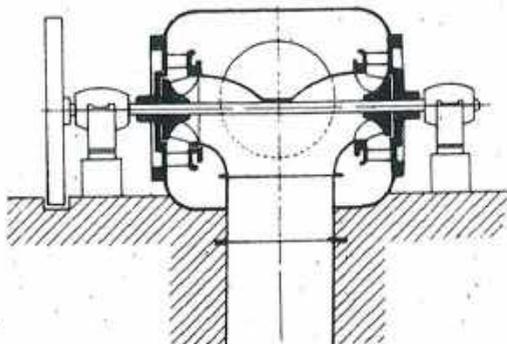
bの如く水圧管と水車軸心を一致せしめて、軸上に一方向にのみ放水するランナー二箇を向い合せて取付け、吸水管を中央に一箇設けて共用としたものである。従つてその外被は、横置した円筒胴となる。往時中落蓋で中規模のものによく使用せられたもので、今は余り用いられない。



第 11.7 図 横軸二輪単流前ロフランシス水車

f. 横軸二輪単流横ロフランシス水車 (第 11.8 図)

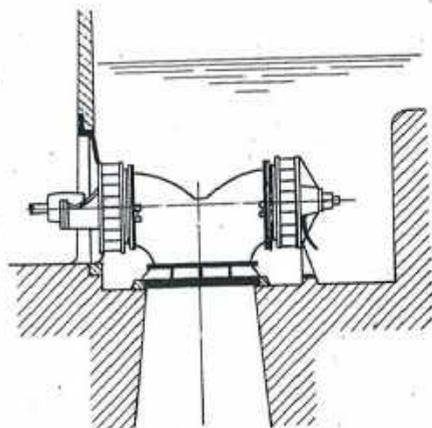
円筒胴及び内容は e の前口水車と同一であるが、水圧管の接続箇所が軸心と直角に円筒胴の中央部にあるものである。e の水車と同じく往時用いられたが、今は殆んど採用されない。



第 11.8 図 横軸二輪単流横ロフランシス水車

g. 横軸二輪単流露出フランス水車 (第 11.9 図)

e、fの水車の円筒胴を除き、裸のまま水槽の底に据付けて使用するもので、以前は低落差の中規模水車によく採用せられたが、近來はカプラン水車のように低落差で効率のよい水車が出現したからその影を潜めた。然しながら価格が安いから今後小水力用として再登場する可能性がある。

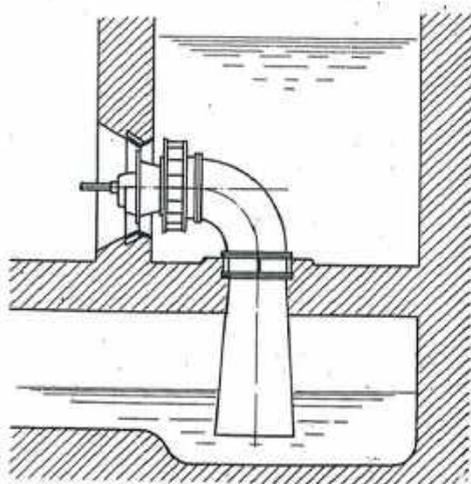


第 11.9 図

横軸二輪単流露出フランス水車

h. 横軸単輪単流露出フランス水車 (第 11.10 図)

gの露出水車を二分して同じく水槽の底部に据付けて使用する。gの水車より水量の少ないところに用う。今後も小水力低落差用として同じ理由により使われるであろう。

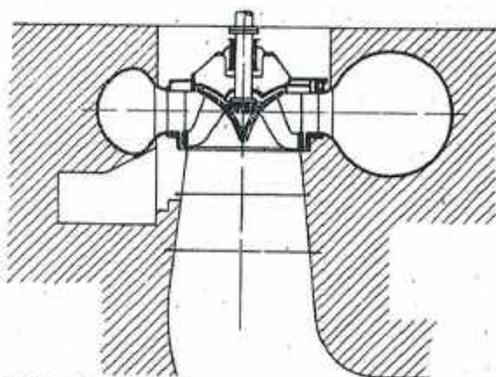


第 11.10 図

横軸単輪単流露出フランス水車

i. 縦軸単輪単流渦巻フランス水車 (第 11.11 図)

aの水車を堅軸としたもので、近代の大発電所に最も多く用いられている型式である。渦巻外被は落差の高低、水量の多寡によつて、鑄鋼

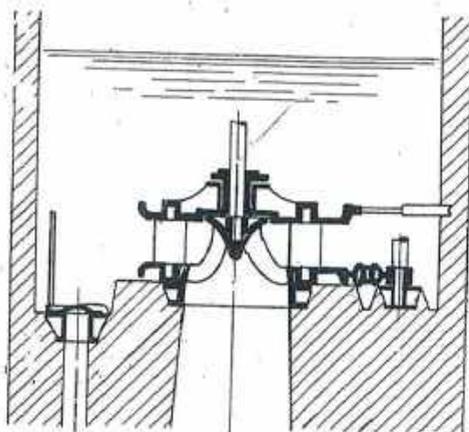


第 11.11 図 堅軸単輪単流渦巻フランシス水車

製、鑄鉄製、鋼板製、コンクリート製などがある。

I. 堅軸単輪単流露出フランシス水車 (第 11.12 図)

Iの水車の渦巻外被を除いて、水槽の底部に裸のまま据付け使用するもので、発電用の水車としては余り例がないが、小動力用の豆水車に時々見受けるものである。

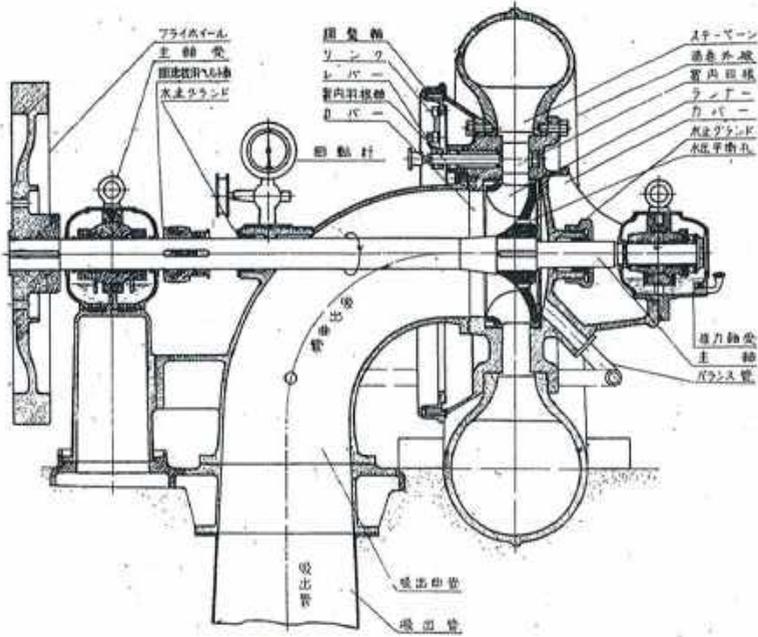


第 11.12 図

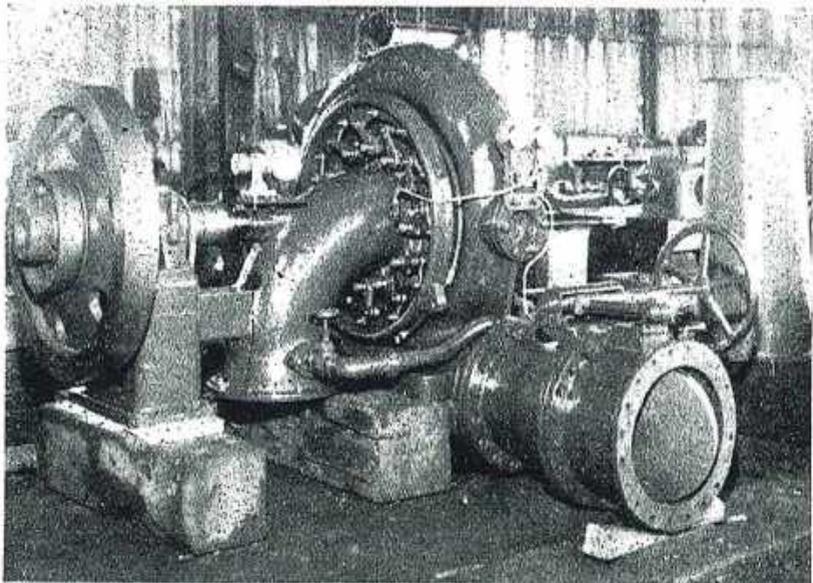
堅軸単輪単流露出フランシス水車

II フランシス水車の構造

第 11.13 図は単輪単流渦巻型フランシス水車の断面を第 11.14 図は外観を示したものである。水は渦巻外被の内面全周から外被の内側に配列せられたステーパーンの間を通つて流入し、案内羽根によつてその流入角度を整えて

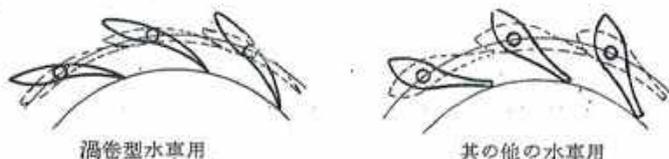


第 11.13 図 単輪単流渦巻フランス水車の構造図

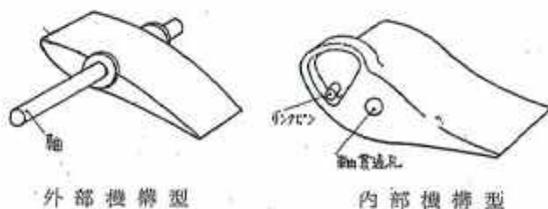


第 11.14 図 単輪単流渦巻フランス水車の外観

ランナーに入る。Ⅰ項に述べた原理によつて、水の有するエネルギーをランナー羽根に与えてランナーを廻転せしめ流向を車軸方向に変えて流出する。以後吸出曲管及び吸出管を通つて排水溝に放出される。ステーベーンは渦巻外被の内周を縫ぎ合せて水圧により外被の開くことを防ぐ補強のためのものであつて、案内羽根への流水の邪魔にならないように流線形状の翼の形をなし適当な角度を以て外被と一体に鑄造せられている。大型タービンに於てはこの部分を外被と別々に造ることもあり、かかる場合には周壁と總称してスピードリングと呼んでいる。案内羽根は第 11.15 図のような断面をなし、軸心を中心として或る角度旋回し得るようにしてあつて、その角度を変化して通水量の増減をなし又閉止も出来る。案内羽根の構造には二種類あつて、第 11.16 図のように羽根と軸とが一体に造られ、軸をカバーより外方に突出さ



第 11.15 図 案内羽根の断面形状



第 11.16 図 案内羽根の構造

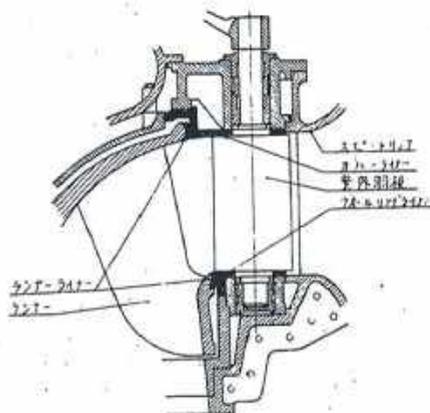
せたものと、他の一つは羽根に軸の貫通する孔を設けて羽根だけ回転するようにし、これを動かす機構を水車の内側に納めたものである。前者を外部機構型と云い、主として落差の高いところに用い、後者は内部機構型と云つて低落差のものに多く用う。案内羽根はレバー、リング等を介して調整輪に箇々に連結せられておつて、調整輪を小角度旋回することによつてその開閉

が行われる。調整輪は外部機構型に於てはカバー又は外被の外側に支持部が設けられてこれに嵌入し、その上を摺動して小角度動き得るようになっていゝる。内部機構型の調整輪はカバーの内部に嵌められ水中にて小角度旋回し得るようにし、その旋回は外部よりカバーを貫いて設けられた調整軸によつて行われる。現今の渦巻型水車では内部機構型は余り使用されない。

ランナーは主軸に嵌挿し、軸受によつて支持せられる。主軸受は一箇のものも二箇のものもある。何れの場合でも一箇の推力軸受を備えている。ランナーはその両面に受ける水圧が異なり吸出管側に向つて推力を受けているから、この不平衡力を平衡せしめるためにランナーの中心部に近接して数箇の孔を穿つのを普通とするが、尙、その上に図のようにバランス管を設けることもある。

外被の両側はカバーを以て覆われ、一方のものには吸出曲管を連結する。高落差に用うるもの又は流砂の多い場所に用うる水車のカバー内側は鋼板製の内張（ライニング）をなす。その他ランナーの外周及びこれに対向している面は落差の如何に拘らず、磨耗に備えて高炭素鋼又は青銅製のライニングをすることが丁寧なやり方である。（第11.17図参照）

主軸の貫通部は水漏れを防ぐため水止めパッキングを入れてある。

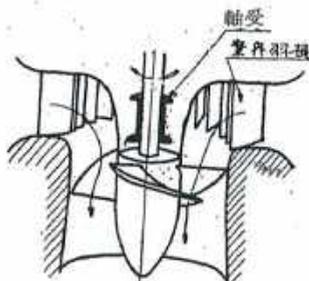


第 11.17 図 ライナー構造例

Ⅳ プロペラー水車の型式

低落差に於て効率もよく高速廻転を得られる反動水車の一種で、比較的近年の発達に属するものである。原理の上ではフランス水車と大同小異であ

るが、ランナーを流通する水の方向が終始軸方向であることとランナーの羽根が船の推進機のような形をしていること、羽根の数が少なく3~7枚である点など、ランナーの形状に於てフランス水車のもと著しく異つておる。(第11.18図) プロペラー水車には一軸上に二箇以上のランナーをもつているものはなく常に一箇である。



第11.18 図

プロペラー水車原理図

プロペラー水車の一種に、カプラン水車と云つて、ランナー羽根の角度を出力に応じて変化せしめ、負荷が変化しても常に高効率を維持し得るようにしたものがある。カプラン氏の発明に成るもので、その後沢山の学者の研究により近年非常な改良進歩がもたらされて、段々とフランス水車の領域を侵蝕して来ている。現在数万馬力のものでは落差40米以上のところにも使用されつつある。

小水力に於ては、機械が小さいから余り高い落差には不向きであるが、10m~15mより低いところで、水量が比較的多い場合は構造が簡単で価格が安く、高速廻転が得易い点などから考えて、プロペラー水車の使用を奨め度い。

その型式は、軸の向き、外被の形、ランナー羽根の可動か否かによつて分類表示されている。次に形態図と対照して説明する。

a. 縦軸渦巻固定羽根プロペラー水車 (第11.19 図)

b. 縦軸渦巻可動羽根プロペラー水車 (第11.19 図)

何れも直立軸で、渦巻外被を有し、異なるところはランナー羽根を前者は固定してあり、後者は動かし得るようにしてある点である。

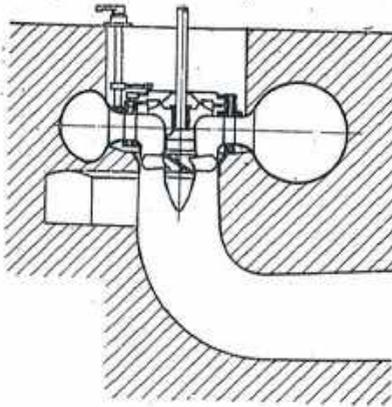
c. 縦軸露出固定羽根プロペラー水車 (第11.20 図)

d. 縦軸露出可動羽根プロペラー水車 (第11.20 図)

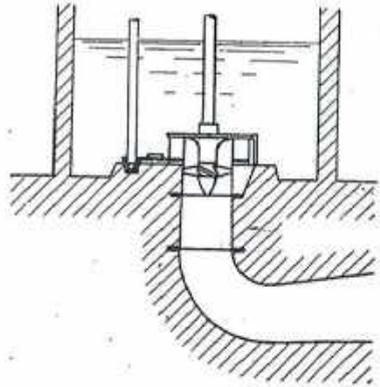
水槽の底部に裸のまま据付ける形態のもので、その他の点は a、b に類似のものである。

- e. 横軸渦巻固定羽根プロペラー水車 (第 11.21 図)
- f. 横軸渦巻可動羽根プロペラー水車 (第 11.21 図)
- g. 横軸露出型固定羽根プロペラー水車 (第 11.22 図)
- h. 横軸露出型可動羽根プロペラー水車 (第 11.22 図)

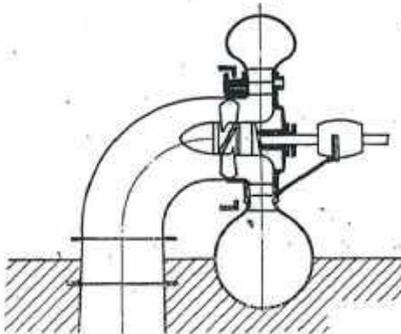
以上 e、f、g、h は夫々 a、b、c、d の水車の軸を横向きとしただけの違いである。



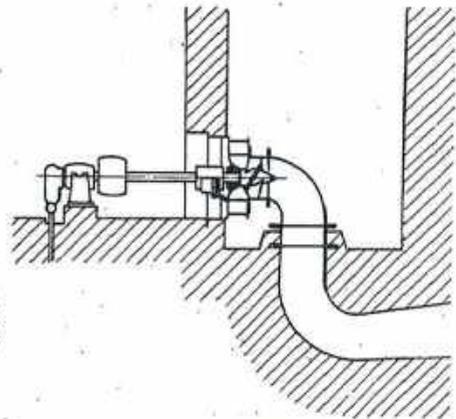
第 11.19 図 縦軸渦巻固定 (又は可動) 羽根プロペラー水車



第 11.20 図 縦軸露出固定 (又は可動) 羽根プロペラー水車

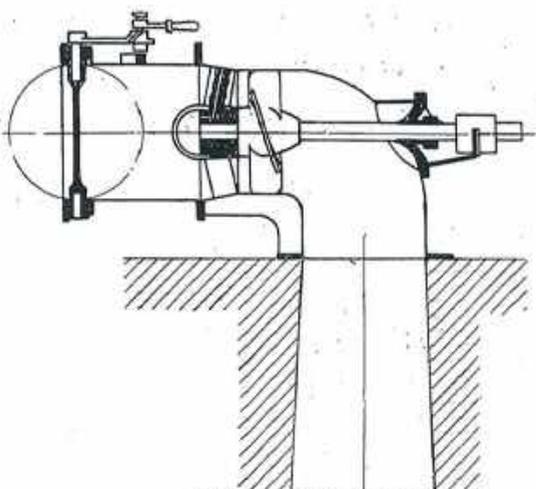


第 11.21 図 横軸渦巻固定 (又は可動) 羽根プロペラー水車



第 11.22 図 横軸露出固定 (又は可動) 羽根プロペラー水車

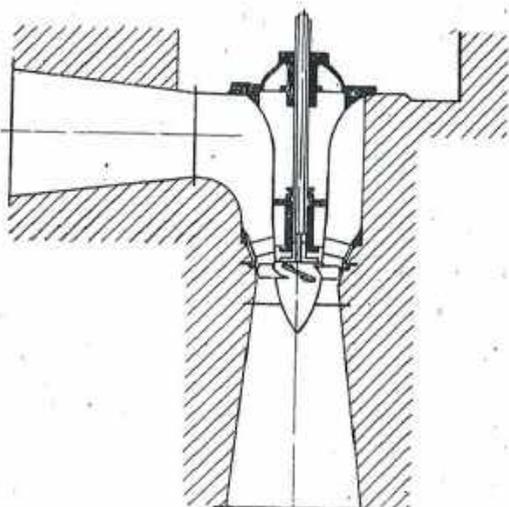
上記の8型式のプロペラー水車は、何れも可動案内羽根を有じ、これによつて水量の調節を行うものであるが、この外に軸流プロペラー水車なるものがある。これには案内羽根を固定してランナー羽根を可動にしたものと、両羽根共に固定したものがあり、何れも小規模のものを対象として造られたものである。



第 11.23 図 横軸々流固定（又は可動）羽根プロペラー水車

軸の向きは、縦、横、任意に選択し得るも、小水車には横軸の方が一般に便利である。

第 11.23 図は横軸々流可動（又は固定）羽根プロペラー水車、第 11.24 図は縦軸々流可動（又は固定）羽根プロペラー水車のそれぞれ形態を示したものである。



第 11.24 図 縦軸々流固定（又は可動）羽根プロペラー水車

V プロペラー水車の構造

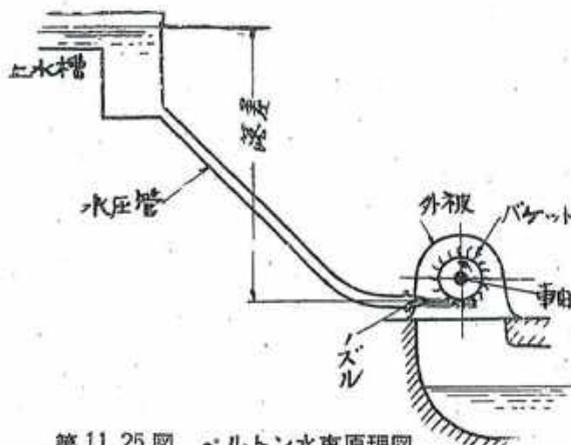
外被、案内羽根などはフランス水車と大同小異であるが、ランナーの位

盤を吸出管側にスロートリングなるものを設けてその中に置いてある点がフランス水車と違っている。従つて案内羽根を通過した圧力水は直後の水室内で流向を軸方向に弯じて渦巻流れとなつてスロートリングに流入する。かくしてその中に装置してあるプロペラ型のランナーの羽根に作用してこれを廻転する。ランナーはハブと羽根とよりなり、固定羽根型のもので小さいものは一体に鑄造され、大きいものはハブの周囲に孔を穿ち羽根に設けた心棒を貫通せしめハブ内部より固定してある。可動羽根型のもはハブ内にて羽根心棒の各々にレバーを取付けリング及び主軸内を貫通している調節棒によつて外部から羽根を小角度旋回するように構成せられている。調節棒を動かすには、大型のものは油圧式のサーボモートルにより、小型のものは手動によるものもある。

以上述べたところは普通型のプロペラ水車の構造であるが、小水力によく用いられる軸流プロペラ水車では、第 11.23 図のように案内羽根が当初より水を軸方向に通すようにして固定してある。従つてこの種の水車は出力の調節は入口に設けられた蝶形弁の開閉によつて行われる。

VI ベルトン水車の原理と型式

ベルトン水車の原理は、第 11.25 図に示すように、水をノズルから落差に相当する全圧力を以て高速に噴出させ、ランナーの外周に取付けであるバケットに衝突させて、その衝撃力によつてランナー



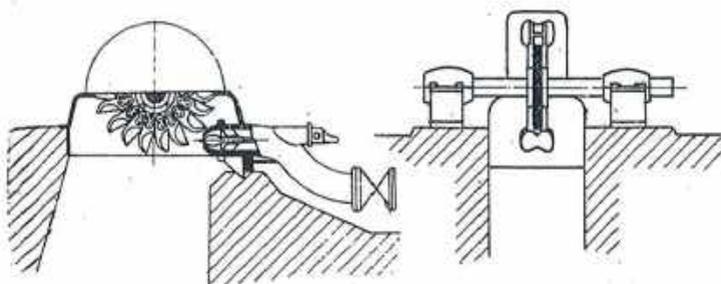
第 11.25 図 ベルトン水車原理図

を廻転させるようにしたものである。噴射水はランナーの外周に対して切線方向に射出せられるから、タンゼンシャル水車とも呼ばれることもある。斯様な仕掛けであるからランナーは空気中で廻転しており、フランシス水車のように水車内部に水が充満しているものではない。

落差と水量の関係からノズルの数、ランナーの数が変わり、又軸の向きによつても区別が生じ、次のような数種の型式がある。形態図と対照して説明を加える。

a. 横軸単輪単射ペルトン水車 (第11.26図)

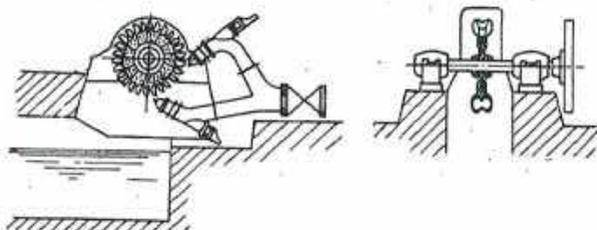
水平軸に一箇のランナーを附し、ノズル一箇を設けて水を噴射せしむるもので、ランナー周壁は外被を以て覆われている。



第11.26図 横軸単輪単射ペルトン水車

b. 横軸単輪双射ペルトン水車 (第11.27図)

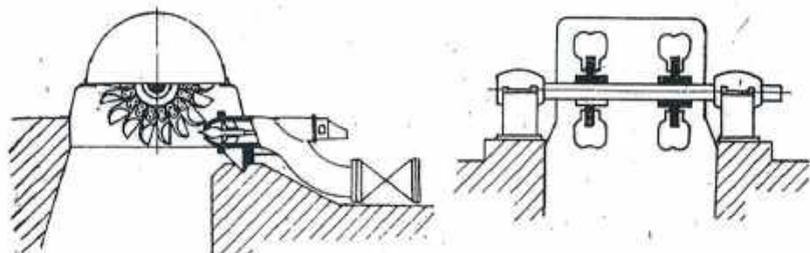
aと異なるところは、二箇のノズルを以て一箇のランナーに水を噴射するようにした点のみで、同一落差及び水量の場合に **a**より高速廻転が得られる。



第11.27図 横軸単輪双射ペルトン水車

c. 横軸二輪双射ペルトン水車 (第 11.28 図)

軸上に二箇のランナーを備え、各一箇宛のノズルを有し共通外被で囲つたもので高落差の大発電所に使用せられる。同一落差及び水量のもとでは、bと同じ廻転数を得られるが、価格が高いから小水力には使用せられないものと見るべきであろう。

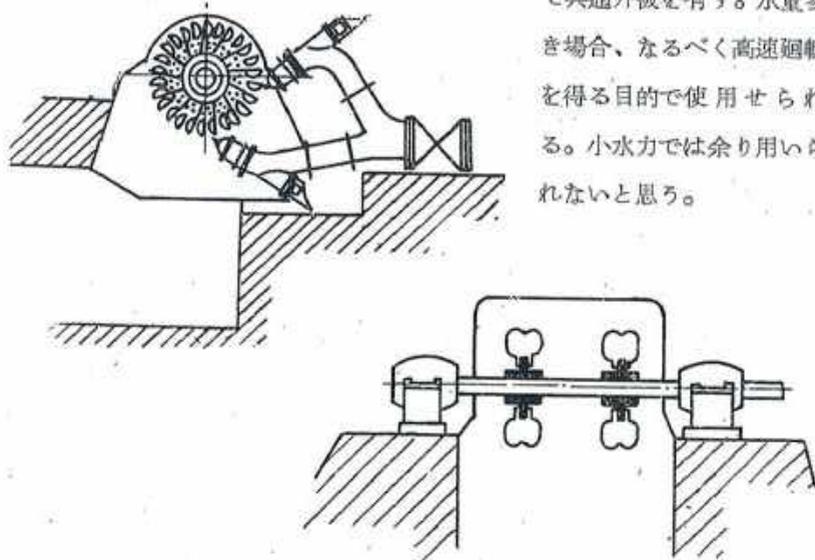


第 11.28 図 横軸二輪双射ペルトン水車

d. 横軸二輪四射ペルトン水車 (第 11.29 図)

二箇のノズルを有するランナー二箇を一軸上に取付けたるものであつ

て共通外被を有す。水量多き場合、なるべく高速廻転を得る目的で使用せられる。小水力では余り用いられないと思う。

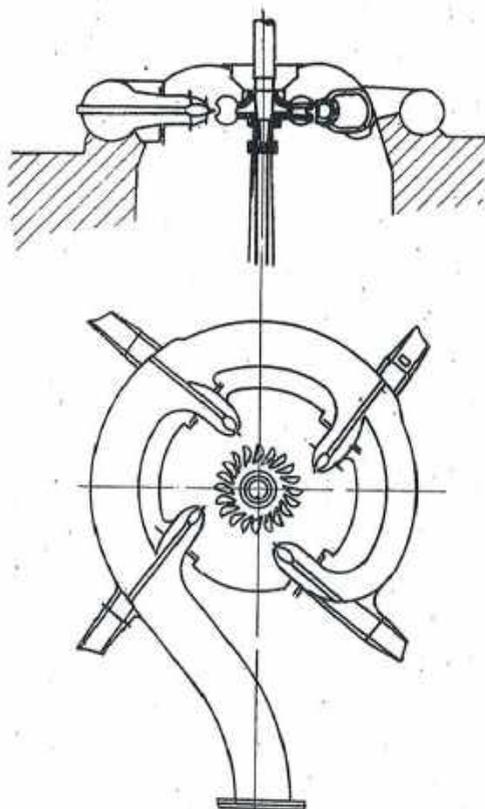


第 11.29 図 横軸二輪四射ペルトン水車

c. 縦軸単輪多射ベルトン水車

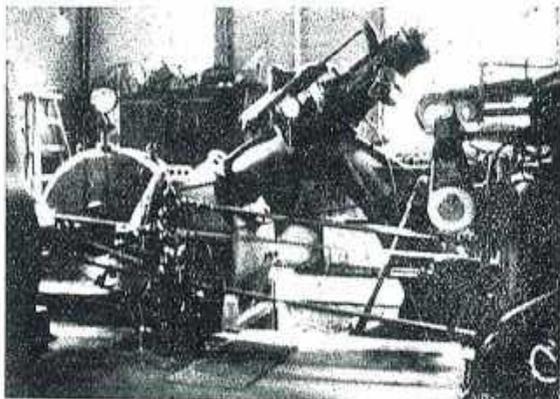
(第11.30図)

直立軸の下端に一箇のランナーを取付けこれを囲んで多数のノズルを配置して水を噴射する。ノズルの数は2～6箇を使用出来るから、高速廻転を得るに便利である。ノズルへの配水管はノズル数が多いときは普通渦巻型にしてある。この型式は我が国では見ないが、歐洲では相当に使用されている。



第11.30図 縦軸単輪多射ベルトン水車

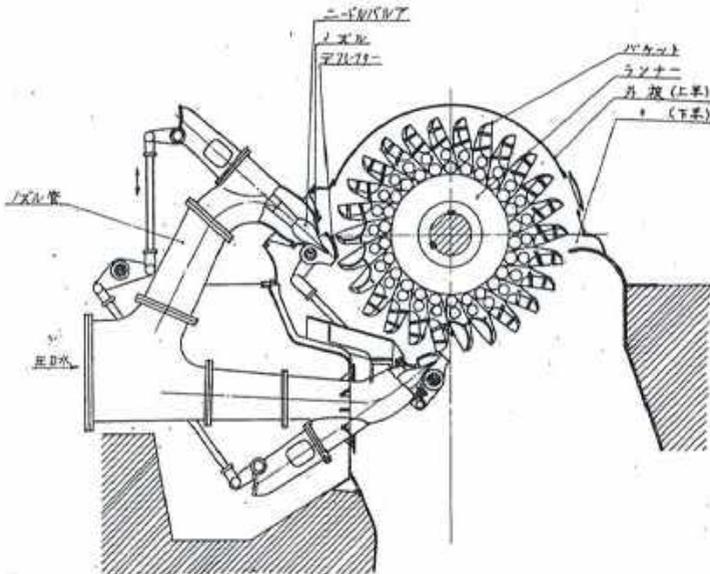
第11.31図に横軸単輪双射ベルトン水車の設置の一例を示した。



第11.31図 ベルトン水車の外観

Ⅶ ベルトン水車の構造

ベルトン水車の主要部はバケツトを多数外周に装着したランナーとこれに水を噴射せしめるノズルとである。第 11.32 図は単輪双射ベルトン水車の断面図にして圧力水は左端より入り二つのノズル管に岐れて、それぞれのノ



第 11.32 図 単輪二射ベルトン水車の構造

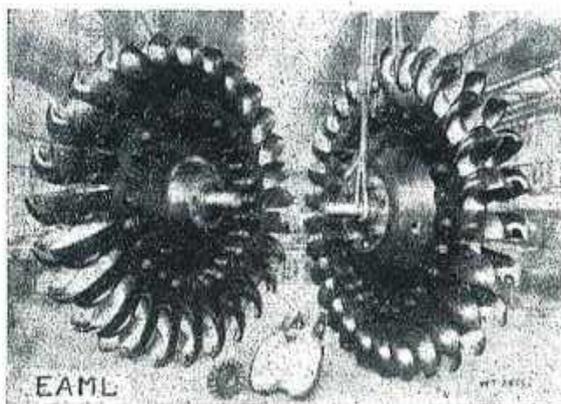
ズルに至り、水圧全部を流速に変じて噴射し、ランナーのバケツトに衝撃を与え、ランナーを廻転せしめる。ノズルの先端はノズルチップと云い、その内部に前後に動かし得るニードルバルブを備えている。噴射水量はその出入りによつて加減せられ、チップ周辺と密接せしめるときは水を遮断することが出来る。

ノズルの前にはジェットデフレクターと称するものを設けることが発電用水車にはしばしばある。デフレクターはその支軸を中心として小角度旋回することが出来、これが噴射水棒の前面に突出すれば噴射水棒はこれに邪魔せられて斜に射向を変えてバケツトにあたらないようになり、ノズルを閉じた

ことと同じ作用をなす。異なるところはニードルバルブによる噴射水量の加減は、そのまま水圧管内の流量の増減となれどもデフレクターの方は水量の変化がない点である。従つて負荷が減少したり、遮断せられたときは直ちにバケツトに射入する水量を減するか、又は閉止しなければならないが、後章に述べる通り、水圧管内の水衝作用を軽減するため、水圧管内の流量は急変せしめてはならないから、先ずデフレクターによつて噴射水を変向せしめて一応バケツトに当る分量を減するか、或は射入しないようにして置き、ニードルバルブを徐々に閉じて噴射水を減少又は閉止せしめるのである。次いでデフレクターは緩くりと旧位置に復するようにする。

以上は调速機による自動調節の場合であるが、手動操作のものにはジェットデフレクターは不要である。

ランナーは第 11.33 図の如く、主軸に嵌入した円板（ランナーディスク）の外周に多数のバケツトを有するものでバケツトの取付けはボルトによつて締付けたものが普通であるが、小水車にはランナーディスクと一体に鑄造せられたるものもある。第 11.34 図はボルトにて取付けるバケツトの構造を示したものである。



第 11.33 図 ペルトン水車ランナーの外観

外被は普通上下に二分せられていて、点検、手入などの際は上半を取除い

て行うことが出来る。外被の下部の内側でノズルに対向する部分には噴射水の衝撃に対し防壁を設けたものもある。

ベルトン水車のランナーは、常に空気中で廻転するものであるからランナーの下縁は洪水時と雖も水面上に出なければならぬ。従つてフランス水車と異なり、上水槽水面から放水溝水面に至る全落差が有効に利用出来ない。



第 11.34 図
ランナーバケット

第12章 水車の性能

I 特 有 速 度

水車は落差と水量が同じ場合でも、その廻転数の相違によつて形状が著しく異なる。従つて落差と水量が異なれば、その場合々々に応じて最適の廻転数と最良の水車型式がある筈である。

水車ランナーの形状が相似であるものは、その形態の大小に拘らず、略々同様な特性を有するものであるから、その形状を表示する何かの方法を定めておくことによつて、任意の落差や水量に対して最適の水車を選定することが非常に便利になる。斯様な理由から一般に特有速度なるものを以て、水車特にランナーの形状を定むる目安とせられている。

特有速度とは、その水車と相似形の水車を造つて単位落差で運転し単位出力を出すに要する1分間の廻転数を云う。

単位落差としては、日本及び歐洲では1米を採り、米英では1呎を採つている。単位出力としては、歐洲も米英も1馬力としているが、日本では発電用水車には1キロワットを採用し、一般水車には1馬力も使われている。従つて同じ形状ではあるが、数字の上では(m—kW)制、(m—HP)制、(ft—HP)制の間に次のような関係が生じて来る。

(m—kW) 制	(m—HP) 制	(ft—HP) 制
1	1.158	0.2622
0.8637	1	0.2265
3.814	4.416	1

水車の容量 (kW又はHP)、落差及び廻転数が判つておれば、その特有速度 n_s は、次の式によつて算出する。

$$n_s = n \sqrt{\frac{P}{H^{1.25}}} \dots \dots \dots (12.1)$$

式中 n = 水車の毎分廻転数

P = 水車容量 (kW又はHP)

H = 有効落差 (m)

茲で注意を要することは、水車容量 (P) はフランス水車なれば単流ランナー1箇分の出力であるから、複流ランナーの場合には $\frac{1}{2}$ としなければならぬ。ペルトン水車の場合はノズル1箇分の出力を以て計算する。

計算例 1 落差 $H=25$ m、毎分廻転数 $n=900$ 、容量 $P=150$ kW
の単輪複流フランス水車の特有速度を求める。

$$P = 150/2 = 75 \dots\dots\dots \text{複流なるにより 2分す}$$

$$n_s = 900 \times \frac{\sqrt{75}}{25^{1.25}} = 900 \times \frac{8.65}{56} = 139.0 \dots (\text{m—kW}) \text{ 制}$$

即ち $n_s = 139.0$ となる。これを (m—HP) 制に換算して見ると

$$139.0 \times 1.158 = 161.0 \dots\dots\dots (\text{m—HP}) \text{ 制となる。}$$

計算例 2 落差 $H=100$ m、毎分廻転数 $n=600$ 、容量 $P=150$ 馬力
の単輪双射ペルトン水車の特有速度を求める。

ノズルが双射なるを以て2箇あるから

$$P = 150/2 = 75$$

$$n_s = 600 \times \frac{\sqrt{75}}{100^{1.25}} = 600 \times \frac{8.65}{316} = 16.4 \dots (\text{m—HP}) \text{ 制}$$

即ち $n_s = 16.4$ となる。これは (m—kW) 制では

$$16.4 \times 0.8637 = 14.2 \text{ となる。}$$

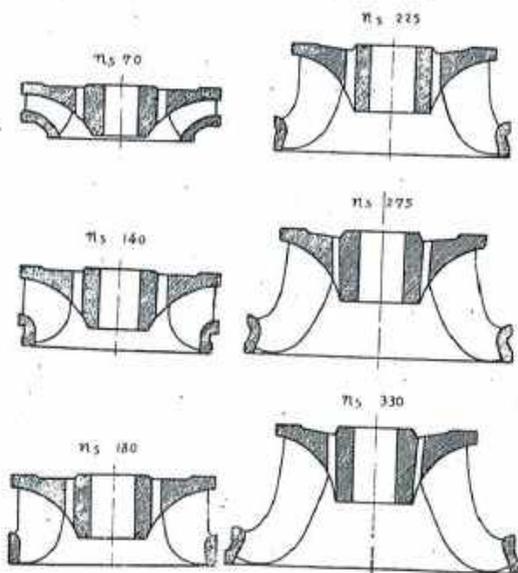
水車はその種類によつて、それぞれ特有速度に適應範囲があつて、大容量の水車では、大略次のように採られている。

水車の種類	n_s (m—kW)	n_s (m—HP)
ペルトン水車	8.5~22	10~25
フランス水車	43~350	50~400
プロペラ水車	260~850	300~1,000

水車の廻転数は高く採るほど設備費が安くなるから、一般に効率を低下せしめない範囲で高く決める傾向となつているのであるが、小容量反动水車で

は、水車廻転数が余りに高くなり過ぎて、運転保守に不適当な場合も生ずるから特有速度の適応範囲の最高限度は前掲のものより大分低くなる。

第12.1図にフランスス水車のランナー形状が特有速度によつて異なる状態を各々断面図によつて示した。(n_sはm-IP制によつた)



第12.1図 フランスス水車の特有速度とランナーの形状

II 効 率

有効落差 H_m 、水量 Q m³/sec の保有しているエネルギーが全部機械的エネルギーに変換出来れば第2章 I に示した理論水力

$$P_0 = 13.14 H \cdot Q \text{ 馬力} \dots\dots\dots (12.1)$$

$$\text{又は } P_0 = 9.8 H \cdot Q \text{ キロワット} \dots\dots\dots (12.2)$$

の出力が得られるわけで、効率は1.0である。然し水車内に於ては、摩擦や渦流による損失、軸受の摩擦損失、空気との摩擦による損失などのため、水車軸端に於て利用される出力 P_T 即ち水車の馬力数は理論水力 P_0 より小さくなつてゐる。この水車出力 P_T と理論水力 P_0 との比を水車の効率 η と云う。

即ち

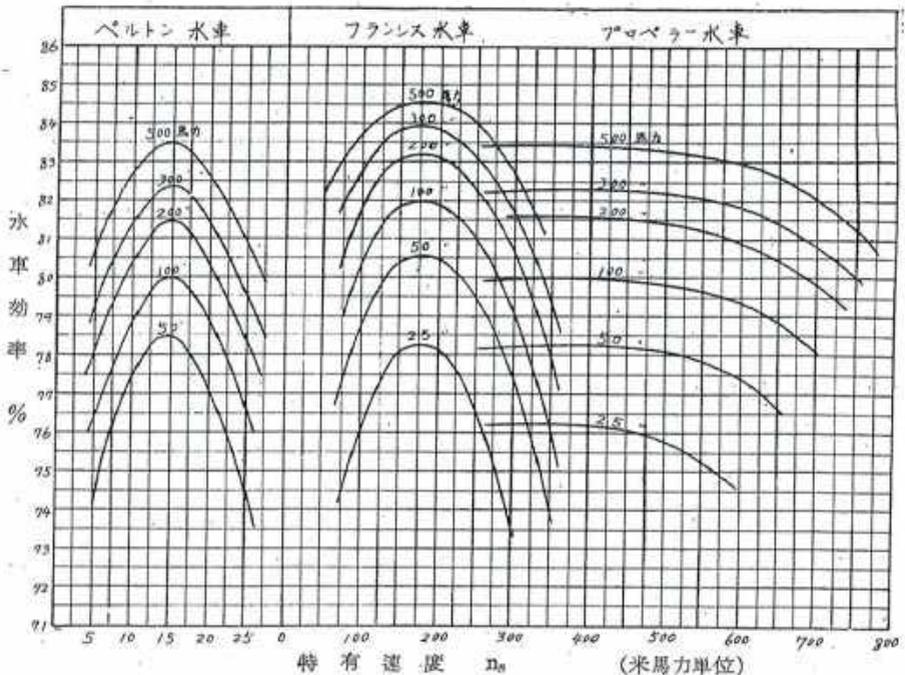
$$\eta_T = \frac{P_T}{P_0} = \frac{P_T}{9.8H \cdot Q} \dots \left(\begin{array}{l} P_T = \text{キロワ} \\ \text{ツトのとき} \end{array} \right) \dots \dots \dots (12.3)$$

$$\text{或は} \quad \frac{P_T}{13.14H \cdot Q} \dots \left(\begin{array}{l} P_T = \text{馬力} \\ \text{のとき} \end{array} \right) \dots \dots \dots (12.4)$$

を以て表わされる。

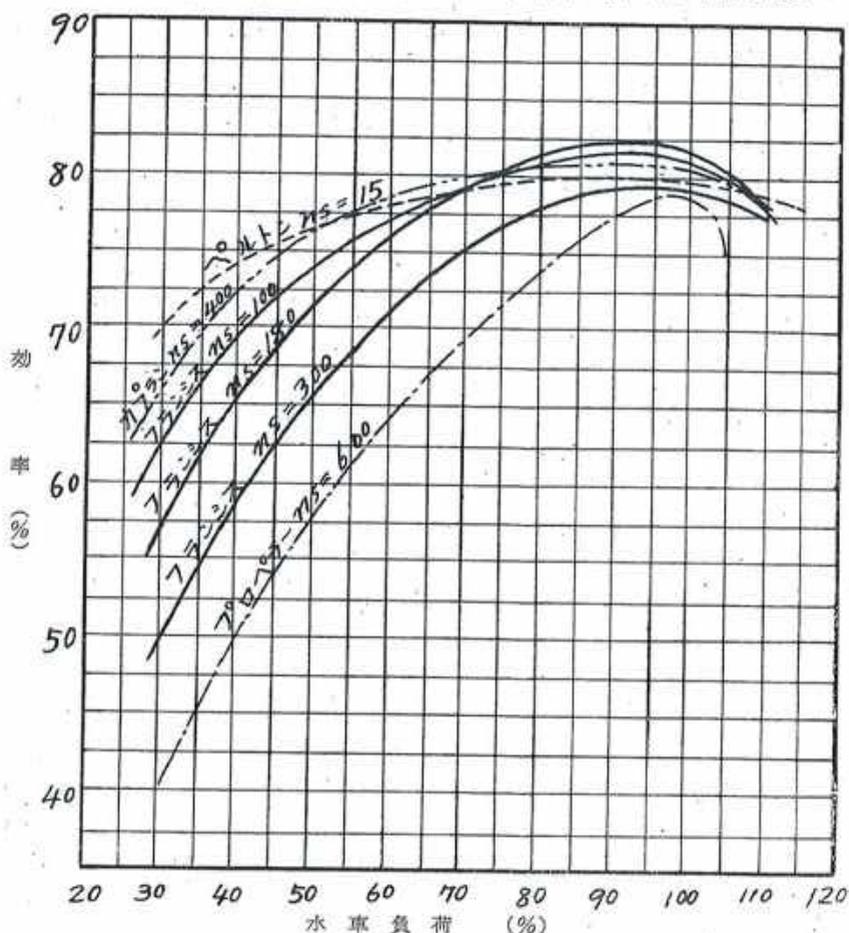
水車効率は、水車の種類、容量及び特有速度によつて異なり、又負荷状態によつても異なる。

第 12.2 図は各種の水車の容量と特有速度が異なるに従い、その最大効率が如何なる程度に異なつているかを示した図表である。本図にとつた特有速度は (m-IP) 制であるが、どの種類の水車でも、最大効率の高い或る範囲の特有速度と云うものがあつて、斯様な特有速度のものが作り易いと云うことを示唆しているとも見ることが出来る。



第 12.2 図 各種水車の最高能率曲線

最大効率の点は普通に、水車の出力が全出力の80%から90%位の間にあるように設計される場合が多い。従つてその前後の出力では効率は低くなる。出力の変化と効率の変化する度合は、水車の種類及び特有速度によつて非常に異つてゐる。第12.3図には容量100馬力程度の各種水車の効率曲線を示したものである。図中ベルトン水車は最も効率の変化少なく、フランス水車は特有速度の低いものは比較的に変化が少ないが、特有速度が高くなるにつれて部分負荷時の効率が悪くなる。プロペラー水車に於ては、固定羽根ラン



第12.3図 100馬力の各種水車の効率

ナーと可動羽根ランナーとでは著しい相違があつて、固定羽根の効率変化は殆んど直線状を示し、部分負荷に於ける効率は甚しく低下する。これに反して可動羽根（カプラン水車）に於ては効率の変化少なく、ペルトン水車のそれに似て良い性能となつている。

斯様に水車の効率は負荷状態によつて非常に變化するものであるから、使用水量が季節的に變化するような発電所を建設する場合には、効率の低下を充分留意して計画せねばならない。

又これと逆に水量の變化のない発電所の計画に當つては、全出力の時、水車が最大効率であるようにすればよいから、部分負荷時の効率低下は考える必要がないこともある。かかる場合はプロペラー水車のように部分負荷時の効率の甚しく低下するものでも何等意に介する必要はなく、高速廻転が容易に得られて機械の価格が安くなる点からよく用いられるのである。

II 速度の變動

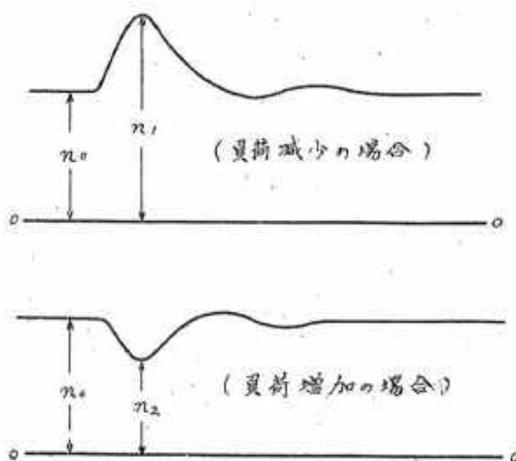
水車が或る負荷のもとで一定速度 (n_0) を以て廻転しているとき、急に負荷が減少すると、水車の弁を調節して水車の出力を減じ新しい負荷と均衡せしめなければならない。

この操作は一般に自動調速機によつて行われるが

(小さい水車の場合は人手によるものもある) 調節を完了する迄に数秒の

時間を要するから、この間に水車の廻転数は

第12.4図に示すように、(n_0) から (n_1) 迄一度上昇して再び (n_0) に下



第12.4図 水車の速度変化

降する。

又水車が無負荷又は或る負荷のもとで (n_0) の速度で廻転しているとき負荷するか、或は負荷を急に増加すると、水車弁を開いて調節をする間に廻転数は (n_2) 迄下降して再び (n_0) 迄戻つて来る。

斯様に負荷が変動する度毎に、水車の廻転速度が変化することは好ましいことではないが、止むを得ない現象である。そこで運転の安全と云う見地から、この速度変動の割合を或る範囲内に制限することが一般に要求せられている。速度の変動の割合は、速度変動率と称し次式を以て表わされる。

$$\text{速度変動率 } \delta = \frac{n_1 - n_0}{n_0} \dots \text{水車弁を閉じるとき} \dots \text{(12.5)}$$

(負荷減少)

$$\delta = \frac{n_0 - n_2}{n_0} \dots \text{水車弁を開くとき} \dots \text{(12.6)}$$

(負荷増加)

式中 n_0 = 変化前の廻転数

n_1 = 上昇した最高廻転数

n_2 = 降下した最低廻転数

普通に採用せられている速度変動率は、第 12.1 表に示した程度の範囲内にあり、水車が自動電圧調整機を具備した発電機を運転する場合には比較的大きな値を許し、然らざるものはなるべく小さい値を選ぶがよい。誘導発電機を運転する水車の場合の速度変動率は更に大きい値をとつて差支えない。

第 12.1 表 速度変動率

負荷の増減の割合	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
速度変動率 δ	0.02 ~ 0.035	0.035 ~ 0.06	0.15 ~ 0.25

速度の変動は負荷の変化が大きい程、水弁調整に要する時間 (ガバナータイム) が長い程、又廻転部の重量が軽い程大きくなる。水車が水圧管によつて給水せられているときは、水衝作用による水圧の変動も速度変動に影響してくる。又水車の種類や特有速度によつても速度変動率は異なる。

これら一切を考慮して速度変動率 δ を求むる式は次の通りである。

$$\delta = \frac{n_1 - n_0}{n_0} = \frac{180,000 P \cdot m \cdot T}{n_0^2 G D^2} \times \left(1 + \frac{h}{H_0}\right)^{\frac{3}{2}} \dots (\text{負荷減}) \dots (12.7)$$

$$\delta = \frac{n_0 - n_2}{n_0} = \frac{180,000 P \cdot m \cdot T}{n_0^2 G D^2} \times \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{H_0}\right)^{\frac{3}{2}}} \dots (\text{負荷増}) \dots (12.8)$$

式中 $P = kW$ で表わした負荷の増減

T = 水弁調整時間 (秒)

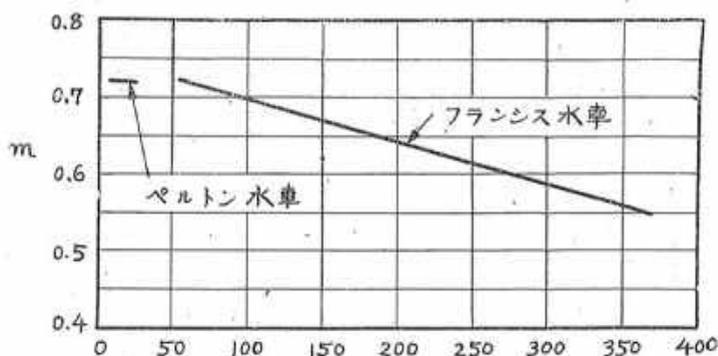
n_0 = 規定廻転数 (毎分)

(GD^2) = フライホキール効果 ($m^2 \cdot kg$)

h = 水衝作用により増減した水圧に相当する落差 (m)

H_0 = 変動前の有効落差 (m)

m = 水車の種類及び特有速度によつて定まる係数で 第 12.5 図



に示したものと

第 12.5 図 係数 m の数値

フライホキール効果とは、廻転体の惰勢の働きを示す目安にして、水車及び発電機の廻転部とフライホキールの重量が重い程、又直径が大きい程、大きい値となる。従つて重量の重い、直径の大きいフライホキールを取付ければ速度変動は小さくなる。

調整時間は、水車の種類、水圧管の長さ及水速及び制圧機の有無によつて異なり、普通 1.5 秒～5 秒位の間にとられている。比較的低落差の小水車や露出型水車は短かく 1.5 秒～2.5 秒位、大水車では 3 秒～5 秒の範囲にあるものが多い。

制圧機を持っていない水圧鉄管から給水せられている水車の調整時間(T)は、次の式で計算した値より短かくしては水圧上昇のため危険である。

$$T \geq 0.273 \frac{lv}{H} \text{ 秒} \dots\dots\dots (12.9)$$

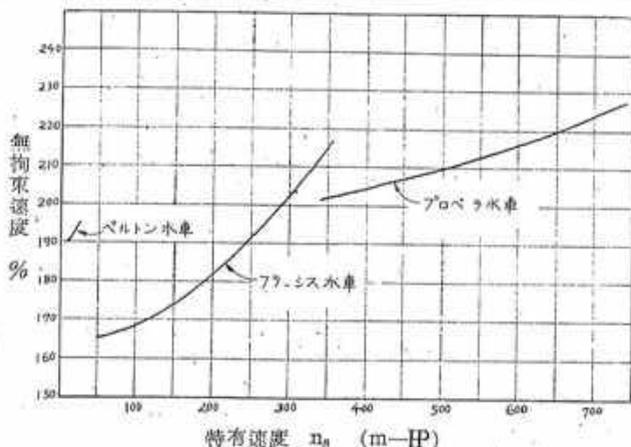
- 式中 l = 水圧管の全長 (m)
 v = 水圧管内の流速 (m/sec)
 H = 有効落差 (m)

Ⅳ 無拘束速度

水車の無拘束速度は逸走速度又は走り放し速度とも云われ、水車の案内羽根を全開して空廻ししたときに出る最大速度のことである。発電所に於て負荷が遮断された際、運悪く木片や小石のような固形物が案内羽根に挟まつて水の遮閉が出来ず、水車の廻転が極度に上昇して無拘束速度近くに達することは往々起ることである。斯様な場合には、水車入口傘を閉塞するとか適宜の方法によつて通水の停止を計らねばならないが、速度上昇によつて機械が破損してはならないから、水車も発電機もフライホイールも安全に無拘束速度に耐える強度をもつていなければならない。

無拘束速度は水車の種類及び特有速度によつて異なり、普通正規廻転速度

の百分率を以て表わされている。その値は第12.6図に示す如く反動水車では特有速度の大きいほど大きくなる。



第12.6図 各種水車の無拘束速度

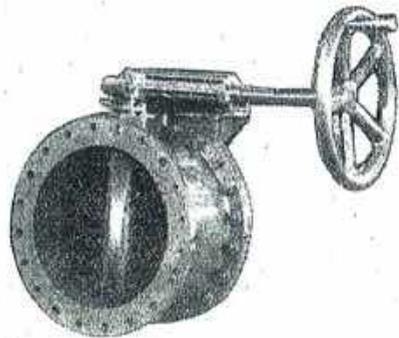
第13章 水車の附属装置

I 入口弁

水圧管と水車との接続点には普通に入口弁を挿入して水圧管が満水せられていても水車への水を遮断し得るようにする。入口弁として用いらるる弁の種類には、蝶形弁、ロータリー弁、スルース弁及びジョンソン弁の四種があるが、我国で最も多く用いられているものは蝶形弁とスルース弁である。ロータリー弁はスイスのエツシャー・ウイス社の製造するもので同社製の水車に用いられており、ジョンソン弁は米国にてよく用いられる。

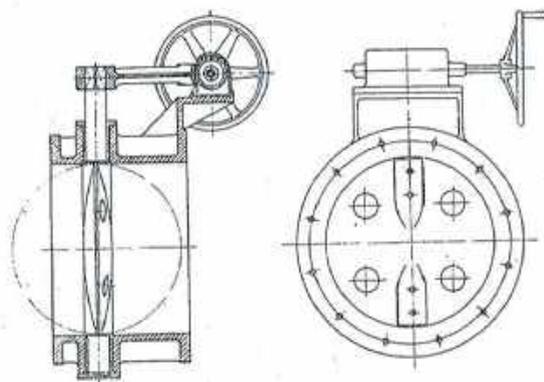
小水力においてはフランス水車及びプロペラ水車の用い得る落差の範囲では殆んど蝶形弁を使用し、特に小口径の水車の場合にはスルース弁を使用する。高落差のベルトン水車の場合にはスルース弁を使用する。

蝶形弁 蝶形弁は円筒形の胴殻の中に殆んど円形に近き楕円形の弁板を嵌入してこれを或る角度だけ旋回し得るようにして弁の開閉を行う構造である。第13.1図及び第13.2図にその外形と構造を示した。図の如く弁板を貫いて旋回用の軸があり、胴殻に設けた軸受により支持せられている。軸の一端は軸受より外方に突出して、レバー又はウォーム歯車を取付け外部より弁板を旋回せしめ



第13.1図 蝶形弁の外形

る。弁板は開放位置にて流心と併行し、閉塞はこれと約 75° ~ 80° 廻転したところで胴殻周囲と密着せしめて行う。旋回角度を大きくすると、弁板が胴殻に喰い付く傾向が強くなつて閉塞位置から開く場合に大きな力を要すること



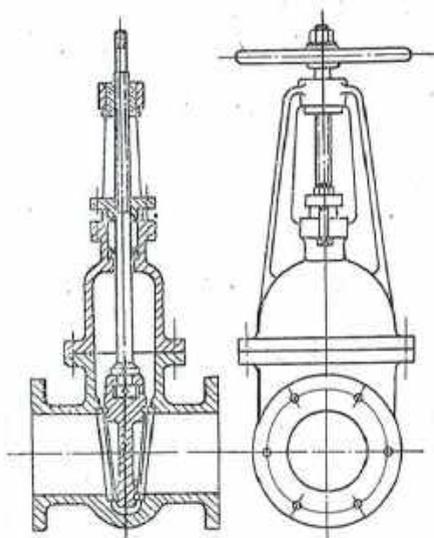
第 13.2 図 蝶形弁の構造

となるから一般に以上の程度の旋回角を用いている。弁の開閉操作は小型のものは手動式により、大型のものは水圧又は油圧によるのが普通であるが、自働発電所用の弁においては小型のものでも、水圧又は油圧によつて操

作することができる。

蝶形弁は全開位置から閉塞の方向に小角度旋回すると、流水の爲め自動的に閉塞せんとする傾向があつて、その旋回力は全開位置より約 20° 閉じた位置において最大となる。かような性格をもつている弁であるから、弁の操作機構を取外したり、仮止めの方法などで全開位置に保つて通水することは厳に慎まなければならない。不用意にかかることを行つて水車運転中、振動のため仮止め装置が外れて急閉し、水圧管内に極端な水衝圧を発生して水圧管や弁が破裂して大事故を起した例がある。

蝶形弁は構造が簡単で価格が安いと云う利点があるが、水密が不完全で幾分の漏水があり、高落差には不向きである。



第 13.3 図 スルース弁の構造

スルース弁 第 13.3 図に示す

如く、弁扉が流心と直角方向に上下に摺動して開閉を行う構造であるから、弁内での落差損失が少なく、水密も完全である。構造も複雑で形態も大きくなるから自然高価となるが、水密が良いから高落差に用いられる。弁の開閉は小型のものは手動式が多いが、自働発電所においては水圧又は油圧による操作も行われる。手動式のものは弁扉に取付けてある開閉棒にネジを切つてあり、これによつて開閉をなすのであるが、ネジが弁の内部にあるものと弁外にあるものと両様に作られている。後者の方が信頼度が高く価格は高いがこれを用いる方がよい。

入口弁にはその操作を軽くするために側路弁（バイパス弁）を設けて弁を開く前にこれを開いて、主弁両側の水圧を平衡せしむるようにしたものがある。大発電所のものにしばしば用いられるものであるが、小水力ではその必要は余り起らない。

第13.4図に小型スルース弁の外形を示した。



第13.4図
スルース弁の外形

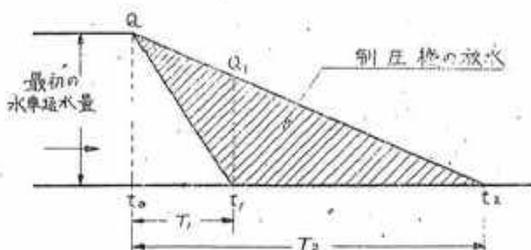
II 制 圧 機

発電機の負荷が急減して水車の通水量を減少せしめなければならない場合に、速度の変動を小さくするためには調整時間（閉塞時間）は可及的に短くしなければならないが、一方水圧管内の水衝圧は閉塞時間の短い程大きくなつて来るから水圧管がある程度より長くなると、閉塞時間を短くすることは不可能となる。

かような場合には制圧機を設けて、水車の方の閉塞時間に無関係に水圧管内の流量の調節を行う必要が生じてくる。

第13.5図において最も極端な場合であるところの全負荷遮断の例をとつて説明をすると、最初に水車は Q_0 の水量を以つて運転中とする。負荷が遮

断されると水車の通水は速度変動を考慮して T_1 秒間に $Q t_1$ 線に沿つて減少し t_1 点において零となる。水圧管内の通水は水衝圧を考慮すれば T_1 より長い T_2 秒間に



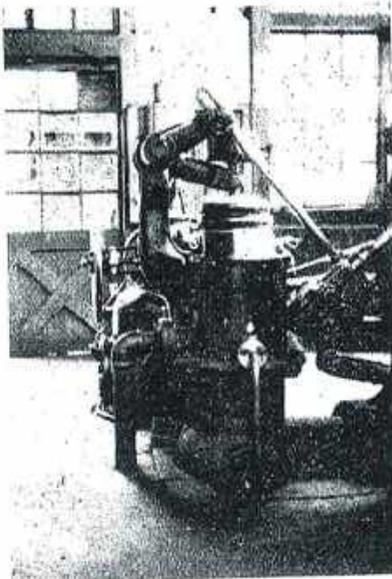
第13.5図 制圧機の動作

$Q t_2$ 線に沿つて減少せしめなければならない。従つて水車が閉塞し始めると斜線を施した範囲の水は水車以外から放水せしめねばならない。制圧機はこの役割を引受けるものであつて、 t_0 点において水車が閉塞を始めると同時に放水を開始し、水車が閉塞を終つた t_1 点即ち T_1 秒後に最大水量 Q_1 を放水するようになり、以後は閉塞を始めて t_2 点即ち最初より T_2 秒後に完全に放水を停止するものである。

かような原理によるものであるから、制圧機の始動は、水車の案内羽根を閉塞する自動调速機と連動せしめ閉塞は调速機に無関係に自己の能力を以つて行われるようになつている。

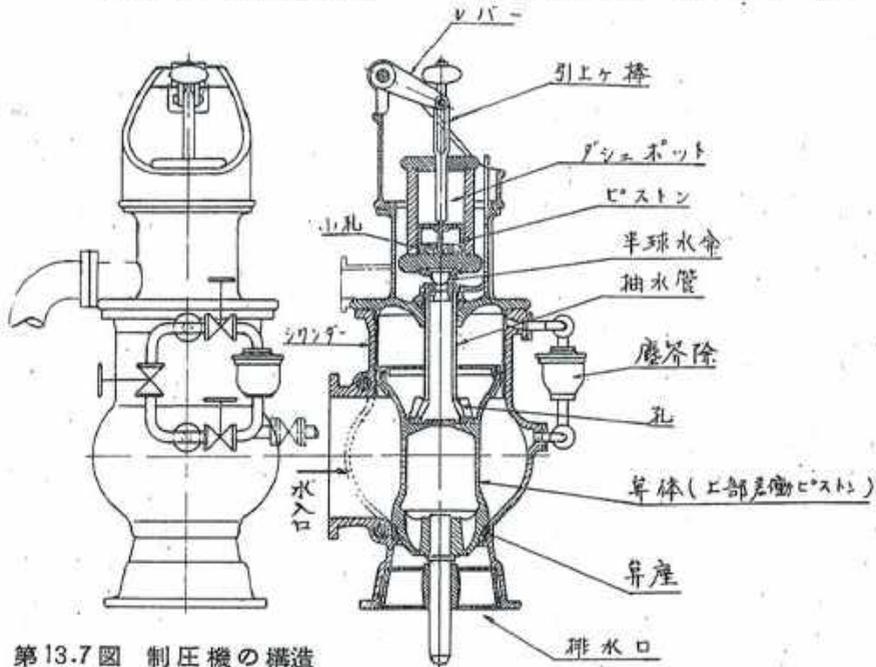
制圧機には水圧によつて放水弁を開閉するものと、油圧によつてこれをなすものとの二種類があり、小水車には普通前者が用いられている。

第13.6図は水圧にて動作する制圧機の外観を示し第13.7図はその構造を示したものである。図によつてその動作を説明する。制圧機の外殻は堅軸の円筒となして圧力水は左方の入口より入り下方の排水口より放出せらるるようになつて内部に弁体をもつてある。弁体はその上端が差働ピストンとなつて外殻上方のシリンダー内に縦り上下に動き弁座において排水口の開閉をなす。シリンダーへは塵芥除を通して圧力水が供給せられておるから、弁体は差働ピストンとなつて常に下方に押下げられ弁座に密着してある。水車の負荷が急減し调速機が動作を始めると、これに連結している上部のレバーが反時計方向に廻つて引上げ棒を引上げる。引上げ棒の下方はダンヌボットに継



第 13.6 図 制圧機の外観

がり急に引上げられるときは全部一体となつて上る。ダシユボツトの底には半球状の突起があつて、整圧機外殻の上部カバーを貫通して弁体とともに上下に摺動する抽水管の上口と、水弁を形成しているから、この水弁が開き、シリンダー内部の水圧が降下して弁体は下方の水圧のため上方に押上げられ弁座と離れて排水することとなる。かくして弁体は抽水管口が半球蓋に接近してシリンダー内の水圧が高まり差働ピストン上下の圧力が平衡するまで上昇し制圧



第 13.7 図 制圧機の構造

機は全放水をなす。以後はグツシュポットの外筒が自重にて徐々に降下するから半球水弁が閉ぢる傾向となりシリンダー内の水圧が幾分高まり差働ピストンは外筒の降下に伴つて下方に押下げられ遂に弁体が弁座に密着して放水を停止するに至る。前述の T_2 秒なる時間の調節はグツシュポット内ピストンに設けたる小孔の調節によつて行われるのである。

ベルトン水車の場合ジェットデフレクターを有するものは水圧管内の流速の急変は起らないから制圧機を別に設くる必要はないが、小型ベルトン水車ではジェットデフレクターを設けず、制圧機を使用したものもある。

II 自動調速機

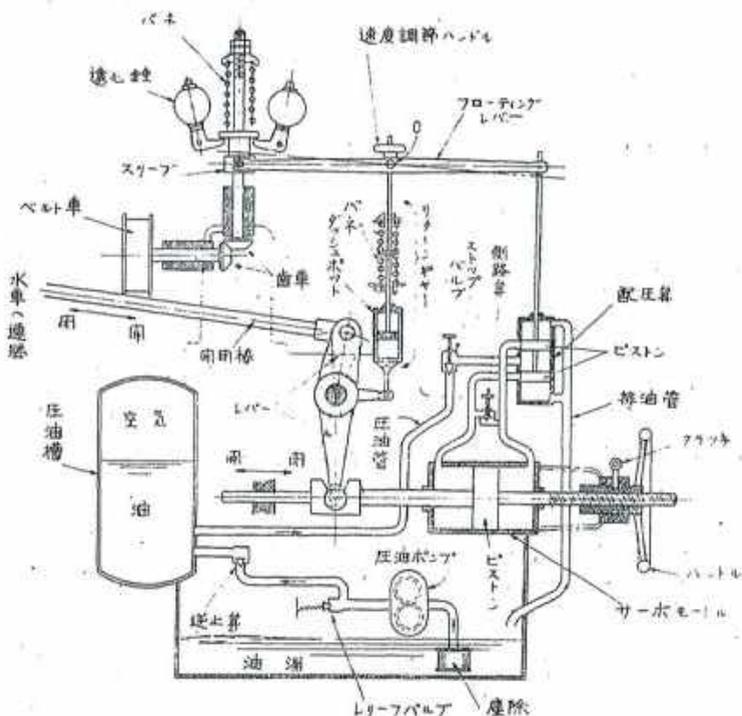
交流発電機は他の大容量電力系統と連続せられて発電しているときは、その廻転数は負荷の増減に拘らず、系統の周波数が変化しないかぎり自動的に一定速度を保持する性能を有するものである。しかしながら何かの原因によりこれが電力系統から突如として切離されるようなことがあると、水車は無負荷となつて、そのまま放置すれば廻転数は上昇して遂には無拘束速度にまで到達する。

又単独発電方式の場合には、発電機の負荷が増減するたびごとに水量の調節を行わなければ、廻転数は甚だしく変動して周波数の変化を招来して使用に堪えない状態となる。

よつて水車の廻転数は如何なる負荷の増減があつても常に一定の廻転数を保持せしめるように、自動的に水車開口度を加減してその調節を計らねばならない。これが即ち自動調速機の任務である。

自動調速機の基本原理は水車軸より廻転せしめられている遠心錘が、廻転数の増減にともないその位置を鋭敏に変化する点を利用し、その運動を基として水車の開口度を調節するようにしたものである。遠心錘の力は微弱であるから水車の調速機は普通に油圧を介在して、水車弁の開閉を強力に行い得るように構成してある。

第13.8図は原理の説明図を示したものであつて、ベルト車は水車軸よりベルトによつて伝動され傘歯車を介して遠心錘を廻転する。遠心錘は廻転数の変化に応じてバネに抗し外方への開きを変じ、これに連結してあるスリーブを上下せしめる。従つて廻転数が負荷の減少又は遮断によつて上昇を始むるときはスリーブは上昇しこれに継がるフローテングレバーはその中央0点を中心として右下りに傾斜し配圧弁内のピストンを下降せしめる。配圧弁には圧油が圧油ポンプより圧油槽を経て供給されているから、圧油は中央油孔から入り下方油孔を通つてサーボモートルの左側に圧入されピストンを右方に圧動せしめる。これがためレバーは反時計式に廻転して開閉棒を左方に押し水車弁の開きを減少せしめ速度の上昇を押える。同時に小レバーによりリターンギヤを上方に押し上げて、0点を上方に働かし、フローテングレバー



第13.8図 油圧式自動调速機の機構

の右端を上げて配圧弁内ピストンを中性位置に帰す。従つてサーボモートル、ピストンの移動は停止す。リターンギヤーにはダンヌポットがあつて、フローテングレバーの0点の高さを（一度上昇した水車速度が正規の速度に復帰するため遠心錘が開きを減じてスリーブが下降するからそのため配圧弁ピストンが中性位置から上らないように）緩りと下降せしめて旧位置に復帰せしめる。

負荷が増加した場合はスリーブが下降して總ての働作は前の逆となり水車の弁を開いて廻転を一定に保つ。

圧油ポンプは小水車の場合は水車軸よりベルトによつて運転されている。従つて調速機の働作しない時も常に油圧を圧油槽に送ることとなり圧力が過度に上昇するおそれがあるから、油圧が規定値まで上昇したときは、レリーフバルブが自動的に開いて圧油を油槽に排出するようにしてある。

水車を手働にて運転するには、クラツチを押下げて、ネジ棒とハンドルを連結し、側路弁を開いた上ハンドルを廻転して行ろ。

以上は単独発電方式に使用する自動調速機について説明したものであるが常に他の電力系統と接続して発電するところの所謂連続式発電方式においては本項の初頭に述べた通り、発電機の廻転数は電力系統の周波数が変化しなければ殆んど一定しているから、かかる発電方式の場合には遠心錘によつて廻転数を一定に保持する機構は必ずしも必要としない。発電機が系統から切離されたときのみ、水車弁を閉じて廻転数の上昇を防止する装置と、水槽の水位を一定に保持して、通水量一杯に水車が水を呑んで最大限の出力を常に発生し得るようにする装置とを備えれば、それだけでも事足りるのである。誘導発電機による場合は廻転数は負荷の大小により若干変化し、負荷の増加と共に幾分上昇する性質を有するものであるから、遠心錘によつて廻転数を一定に保持することは却つて都合が悪いこともある。従つてかかる方式においては上水槽の水位を水車弁開度に関聯せしめて、水位が低下しない限度に水車を最大開口せしめるようにし、発電機が電力系統から切離された場合は

ものであつて、配圧弁を上下せしむるために遠心錘の働作に換うるに水圧によつたものである。上水槽水面から h の深さの点に放水口を有する放水弁を設けて h に相当する水圧を以つて放水する。これを調圧水管(径40mm位)に受けて発電所内に導入する。この水は一箇の手動弁と二箇の電磁弁とにより適宜放水され調圧水管内に、ある水位を保持するようにしてある。この水位に相当する水圧は小水管にてスクリーンを経て電磁切換弁に至り更に水圧リレーに連結してある。

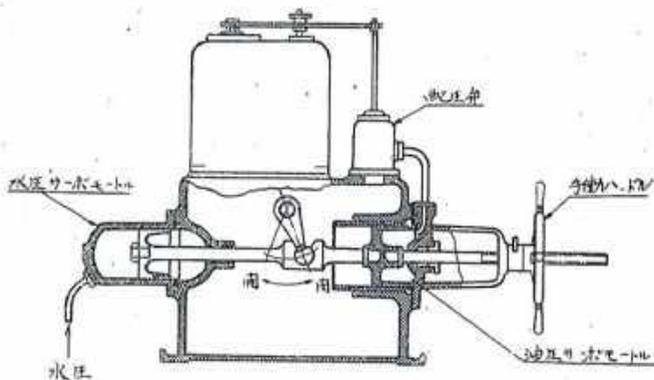
水車の起動前には、調圧水管内の水位は負荷用電磁弁が開いており手動弁からの放水と加えて上水槽内よりの放水と平衡するようなある高さを保つてゐる。起動スイッチを閉ずるときは電磁切換弁が動作して前記水圧を水圧リレー内に送る。水圧リレーはその水圧に相当するだけバネに抗してその心棒を上方に持上げ、フロートングレバーの右端を上方に傾斜せしめ配圧弁を引上げる。これによりサーボモートルのピストンが開の方向に圧動されて水車は起動する。水車の速度が段々上昇して規定値の附近に達すると発電機の軸端に設けたる遠心ガススイッチが閉じて補助リレーにより電路主遮断器を閉じ発電機を電線路に接続す。同時に負荷用電磁弁を閉じる。しかるときは排水は手動弁よりの排水量と上水槽放水弁の排水量が平衡するに及んで停止する。

このため水圧リレー内の水圧は段々上昇するを以つて配圧弁を持上げ水車弁の開きを増加して発電機は負荷を増加して行く。手動弁の開きは予め調整することによつて上水槽水位を規定値に保つて全負荷をとり得るようしておくことは勿論である。電流制限電磁弁は電力系統の電圧が著しく降下した場合誘導発電機は過電流となるおそれがあるを以つて、低電圧リレーによつてこれを開き、調圧水管内の水位を下げ、水車の開口を減じて過電流を防止する保護装置である。復帰装置の作用は自働調速機と同様なるを以つて説明を略す。

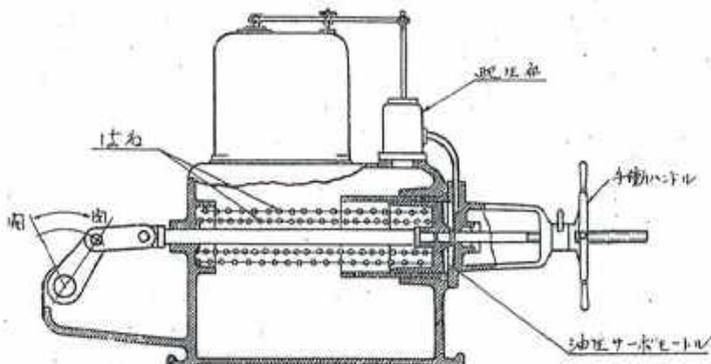
電力系統が停電したとき又は停止の目的で起動スイッチを切断したときは

電磁切換弁は下つて水圧リレー内の水圧を開放して零となすを以つて配圧弁は下降し、サーボモートルのピストンは急速に右方に動いて水車を停止せしめる。

本調速機の圧油ポンプは小型水車にて運転するものであるが水車軸よりベルトを以つて運転する場合には手動機構によつて起動し、水車は無負荷となつたとき停止せず正規速度にて運転しているように各弁の調整をしておく必要がある。圧油ポンプがベルト運転又は電動機運転の場合水車が無負荷となつた際停止するには、配圧弁、サーボモートルの構造を変更し第 13.10 図の通り油圧が減じて水圧を以つて水車を閉塞し得るようにするか又は第 13.



第 13.10 図 油圧、水圧差動式調速機



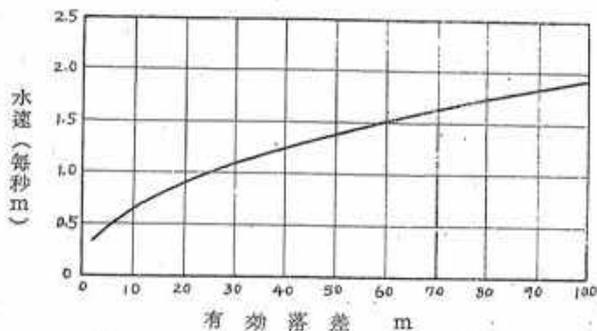
第 13.11 図 油圧ばね差動式調速機

11図のように、水圧シリンダーに換うるにベネを以つて閉塞する ようにする。

Ⅳ 吸 出 管

小水力発電所の機械室床面の高さは普通に洪水位以上に設けられる。反動水車を使用する場合には、水車に吸出管を附して、放水路水面下に水を排出するようにする。かくすることによつて水車と放水面までの落差は有効に利用せらるることとなり、又吸出管の断面積は末拡がりとして出口における水速を極めて緩かにすることが出来るから、排棄損失を減少せしめ水車の全効率を良くすることが出来る。

吸出管出口に於ける水速は、落差の高低によつて異なり、低いものほど水速を緩にする。第13.12図に落差と水速の最大限度との關係を示した。本図

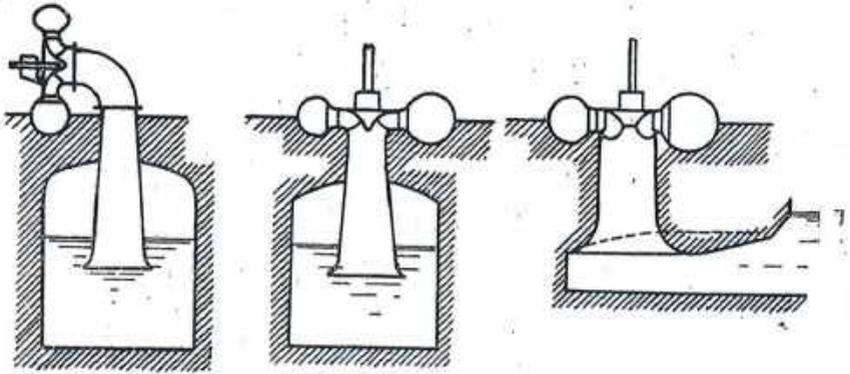


第13.12図 吸出管出口の水速最大限度

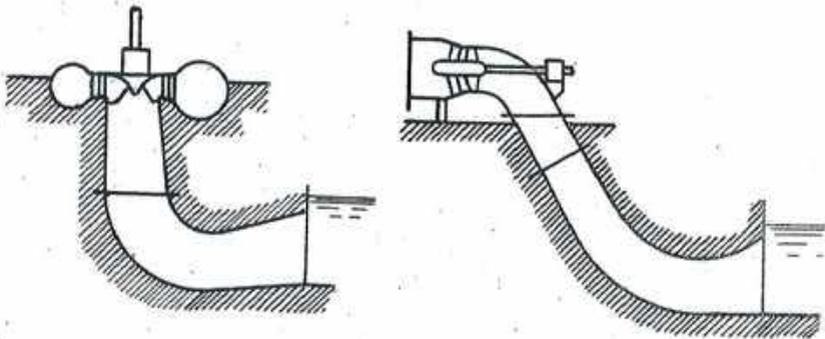
を参照して水速を決定して吸出管出口面積を算出し、水車ランナー出口面積から上記の面積まで徐々に断面を拡大し得るよう吸出管の長さを求

めればよい。円錐型吸出管においては、拡がり角を管の軸心に対し $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 、円錐頂角にては $10^{\circ}\sim 14^{\circ}$ とすれば損失が少ないと云われている。

吸出管は、水車の型式、水量の多寡、その他の事情により種々な形状に作り得る。それを構成す材質も鋼板或いは鑄鉄によるものあり、コンクリート造のものもある。第13.13図に普通使用せられている吸出管の數種を示し型式名及び効率の大略を附記しておいた。(A)図は前口水車にも、露出型水車にも亦プロペラ水車にも用いられるもので、横軸水車の吸出管の標準型と



A 曲り円錐型 $(\eta_s = 40\%)$ B 円錐型 $(\eta_s = 80\%)$ C 拡散型 $(\eta_s = 80\%)$



D 曲り型 $(\eta_s = 80\%)$ E 反転曲り型 $(\eta_s = 50\%)$

第13.13図 吸出管の型式

も云える。曲り部は鑄鉄製、円錐部は鋼板製が一般に用いられる。(B)図は
 堅軸の小水車に使用せられるもので、円錐部を相当長く作れば効率が良い。
 (C)及び(D)図は大容量の堅軸水車に用いられる型式で円錐部は鑄鉄又は鋼
 板製としてコンクリート中に埋設し、下部の曲り部分は多くコンクリートで
 造る。小水力においても低落差で大水量の露出型水車やプロペラ水車に(D)

を用うると効率が良い。(E)図は吸出管の曲り角を 90° より小さくし、その断面も矩形としてある。(A)より幾分高い効率を狙つたもので地形に応じて施設すれば基礎工費を節減することが出来る。

放水溝へ天井より垂下した構造の鋼板又は鑄鉄製円錐型吸水管は、管内の水の渦流のため、いわゆる味噌すり振動を常に起しておつて天井附根で折損するおそれがあるから、振止め装置を以つて吸出管を放水溝周壁に堅固に固定しなければならない。吸出管の出口は常に放水面下に置く。円錐形のものにおいては出口を 0.5m 内外水面下に沈め、放水溝周壁との間隔も各々出口径以上離す。溝底との距離は直径の 1.5 倍以上が望ましい。

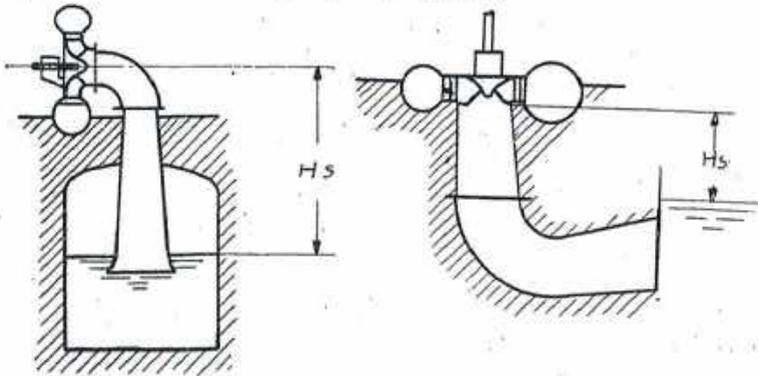
コンクリート造の部分の水速は毎秒 3m を超過するとコンクリートが侵蝕されるおそれがあるから、管内水の廻転運動をも考慮して流速の想定をなし、かかる部分は鋼板又は鑄鉄を以つて内張りをする必要がある。

水車の放水面上の高さ、即ち吸出高さは大気圧と関連し、又水車の種類や特有速度、吸出管の型式等によつて異なり、無暗と高くすることは出来ない。

吸出高さの選定を過つて高くし過ぎた場合は、水車の運転中ランナー羽根の出口附近にて空洞現象なるもの発生し、ランナー羽根を甚だしく侵蝕しその寿命を短縮せしむるばかりでなく、水車効率を低下せしめたり、振動を発生する等色々な障害を起すことがある。故に吸出管の型式の選定、設計及び吸出高さの決定等は水車製造者に一任するが最も安全な方法であるが、計画にあたり大体の目安を得る必要も起るから次に吸出高さの大略を求むる計算方法を述べる。

吸出高(H_s)とは第13.14図に示すように横軸水車においては水車軸心より放水面までの高さを、縦軸水車ではランナー羽根下端より放水面までの高さを指すものである。吸出高は水車設置場所の標高、水車ランナーの特有速度、水中に溶解含有している空気量、水の温度、吸出管の形状等によつて影響を受けるものであつて大略次式によつて算出することが出来る。

$$H_s = \sqrt{B} - \sigma H$$



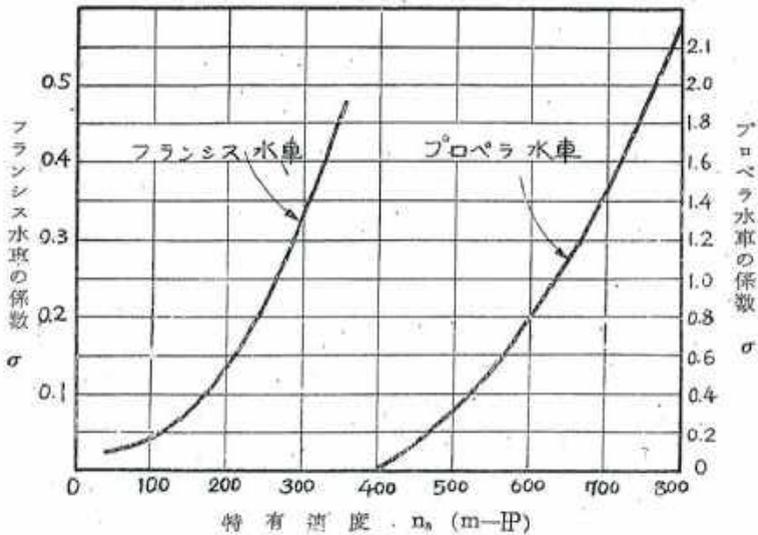
第 13.14 図 吸出高の測り方

式中 ~~σ~~ — 水中に含有する空気量、温度等によつて定まる係数
~~= 0.95~~

σ = 特有速度と水車の種類によつて定まる係数 (第13.15図)

B = 水柱で表した設置場所の大気圧 (m) (第13.16図)

H = 有効落差 (m)



第 13.15 図 吸出高係数 σ

計算例 標高 700m の地点に設置する、有効落差 $H = 30m$ 、

出力 $P = 100$ 馬力、廻転数 $n = 900$ 回毎分の単輪単流型フランシス水車の吸出高の最高限度を求む。

解 先ず水車の特有速度を (12.1) 式によつて算出すれば

$$n_s = \frac{n \sqrt{P}}{H^{0.25}} = 900 \times \frac{\sqrt{100}}{30^{0.25}} = 900 \times \frac{10}{70} \approx 128$$

$n_s = 128$ に相当する σ を第 13.15 図より求めれば

$$\sigma = 0.06$$

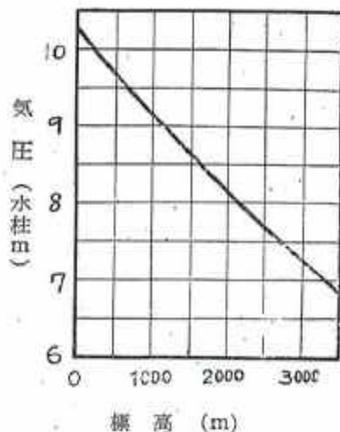
標高 700m に於ける大気圧 (水柱) B は第 13.16 図より

$$B = 9.5$$

k_s を 0.7 と仮定して

$$H_s = k_s B - \sigma H = 0.7 \times 9.5 - 0.06 \times 30 = 4.85 \text{m}$$

即ち吸出高 H_s は 4.85m 以下でなければならぬ。



第 13.16 図 大気圧 (水柱)

第14章 水車の選定

I 基本要項

小水力発電所に於ては、水車発電機の台数は1台の場合が多く、取水量がそのまま水車の使用水量となるものが多い。

有効落差と使用水量が決定したならば、第11章及び第12章に述べた点を参照し、次に列挙した諸条項の各々をなるべく満足するように、水車の種類や型式を選択し、構造を定め且つ廻転数の決定をするのである。

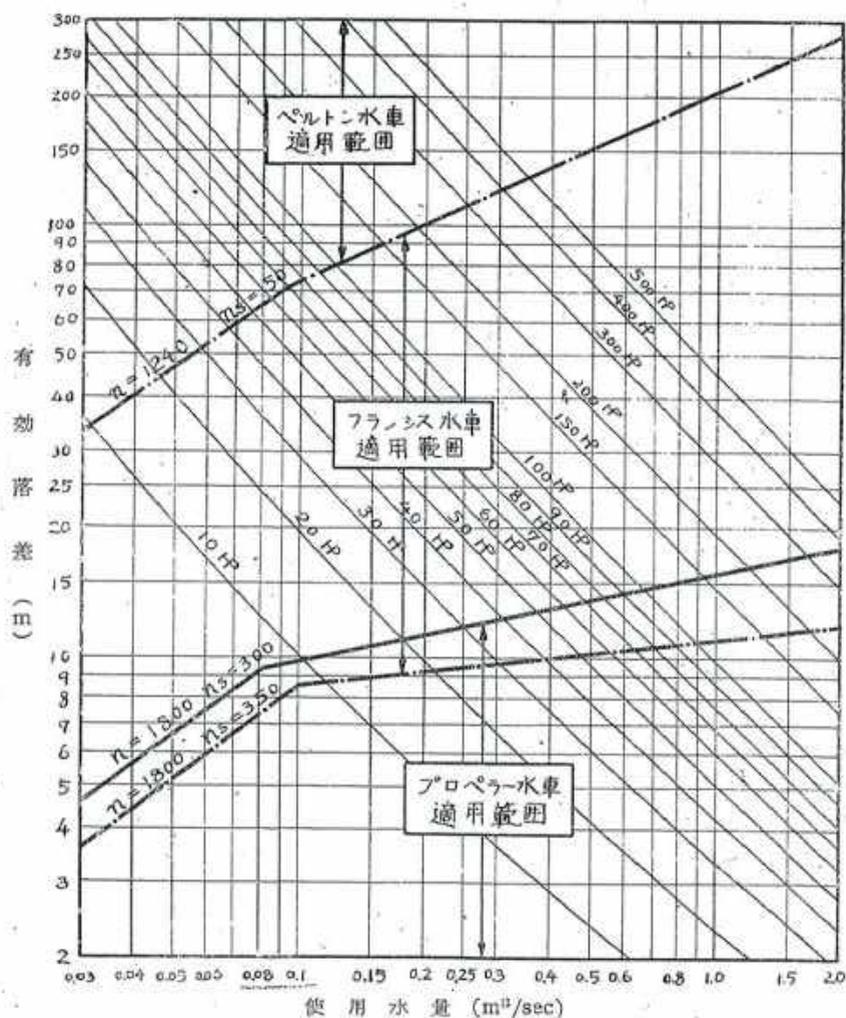
1. 能率が良いこと。
2. 廻転数は運転保守に支障ないかぎりなるべく高くすること。
3. 価格が低廉なること。
4. 構造が簡単で取扱が容易なものであること。
5. 堅牢で寿命が長いこと。

これら各項は他の項と同調するものもあるが、又背反するものもあるから、発電所設置場所の地形、発電所の使用条件などに応じて、その比重を考慮することは勿論である。

II 水車種類の選択

取扱いが困難とならない範囲で水車の廻転数を高く選べば、水車の価格も発電機（直結型）の価格も安くなり建設費を低下せしめるから、低落差の発電所になるほど高い特有速度の水車を使用する。

第14.1図は有効落差と使用水量が決定した場合に、如何なる種類の水車が最も適するか、容易にこれを見出し得るように各種水車の適用範囲を示したものである。特有速度の一番高いプロペラ水車は最低落差に適し、その落差の最高限度は小容量のもので10m位、水量が多くなり馬力が多くなるに従つ



第 14.1 図 各種水車の適用範囲

て、15m 或いはより以上にも使用出来る。

フランシス水車の適用範囲の下限はプロペラ水車の適用範囲と重つて、有効落差 10m 位から上の方に使用せられる。その特有速度は最高 350 迄として画いたものである。適用範囲の上限は特有速度の許し得る最低限度 50 をとつて画いたもので、この鎖線より上は使用出来ない。

ペルトン水車の適用落差は大発電所に於ては一般に 200m 以上とせられているが、小水力発電の場合には極小水量で約 60m、水量が多くなつて 100m 位がその最低落差の限度となる。その特有速度はフランス水車に比べて極度に低いから廻転速度が低く、設備費が高価となるから限界落差附近での使用は余り好ましくない。

Ⅱ 水車型式の選定

小水力発電所用水車は超低落差の場合を除き普通に横軸型が使用せられる。これは監視や取扱が便利のためと、水車及び発電機の価格が安いからである。

ランナーから見ると、プロペラ水車に於ては単輪が普通である。フランス水車に於ても多くの場合単輪単流型であるが、落差が低くて水量の多いところは高い廻転数を得るために単輪復流型又は二輪単流型が用いられる。ペルトン水車は高落差小水量に於ては単輪単射を、落差が低くなるに従い単輪双射型を用う。更に落差が低くなるか又は水量が多くなれば二輪四射型を用うることとなるが、高価となるから出力の小さいものには好ましくない。

外被の点から見ると、その必要のない露出型と称するものの限界は出力の大きい即ち水量の多い場合は 15m 位迄使われるが小水量に於ては是より幾分低い 10m 前後とすればよい。前口型の外被は 10m 以上 25m 位の落差に使用される。価格が安いけれども軸受の一箇が水中にあるを以て流砂の多い場合は考慮を要する。横口外被は二輪単流フランス水車に用いられる型式であるが近来余り使用されない。渦巻外被は反動水車には理想的の型式ともいふべきものである。落差数 m のコンクリート製のものから、300m の高落差用の鑄鋼製のものまで使用されているが小水力に於てはコンクリート渦巻外被は余り用いられない。落差も高いところはペルトン水車の適用範囲となるから鑄鋼製の必要も殆んど起らず、主として鑄鉄製の渦巻外被が用いられる。

小水力発電に於ては総建設費の内、機器の占むる割合が大水力発電に比し

非常に大きいから、型式の擇定も大水力に採られている傾向をそのまま踏襲することを避け、落差、水量、水車の種類並びに廻転数などを勘案してIに述べた諸項を出来る限り満すように慎重に行わねばならない。

IV 廻 転 数

10kW 以下の小発電機は水車とベルト連結によつて運転せらるることが多いけれども、より大きい発電機の場合は水車と直結して運転する方が、保守上に手数がかからないから都合が良い。

発電方式が交流の場合には発電機の廻転数は周波数と一定の関係があつて極数に応じて第14.1表のような値となる。これら多くの廻転数のうちから運転保守に都合のよい範囲で出来るだけ速い廻転数を選ぶ。

発電機容量に関して好ましき廻転数は第14.2表の如く容量の大なるほど低いものとなる。

第14.1表 交流発電機の廻転数

極 数	同期発電機		誘導発電機	
	50~	60~	50~	60~
4	1,500	1,800	1,560	1,870
6	1,000	1,200	1,040	1,250
8	750	900	775	930
10	600	720	620	745
12	500	600	520	625
14	428.5	514	445	535
16	375	450	390	470
18	333	400	350	420
20	300	360	315	380

第14.2表 保守上より好しき廻転数

水 車 馬 力 数	発 電 機 K V A	最高廻転数	
		50~	60~
0 ~ 15	10以下	1,500	1,800
12 ~ 75	75	1,000	1,200
60 ~ 500	400	1,000	900
500 以上	400以上	750	720

第15章 発 電 機

I 概 説

水の保有しているエネルギーを水車によつて機械的の動力として取出すことについては前章迄に述べたところであるが、発電所に於ては更にこれを電気エネルギーの形に変換しなければならない。即ち水車によつて発電機を廻転して所望の電力を引出すのである。

発電機の主要部は電線を捲いて作った線輪(コイル)と磁極と、磁極から出ている磁力線を通り易くするための鉄心より成り、これらを固定したり又廻転し得るようにするため、外枠や軸や軸受などを備えて一体に組立てられている。適当に配置され、接続せられている線輪の前を磁極が動くか又はその反対に静止している磁極の前をコイルが動けば、線輪の中に電気が起りこれを外部に引出して目的物に接続すれば電流が流れる。このコイルを発電子線輪という。発電機は斯様な原理を応用して作られたものであつて、コイルと磁極との相対的運動を最も具合よく連続的に行わしめるため、その何れか一方を廻転軸の上に適当に配列して廻転せしむるよう構成してある。磁極は自転車灯の豆発電機や電話機内にある信号用発電機などでは永久磁石を用いているが、電力を引出す目的の発電機では小さいものでも総て電磁石を用いてある。磁石の極には衆知の通り北極(N極)と南極(S極)とがあるから普通に発電機ではこれを交互に配列する。従つて磁極と線輪とが相対的に連続して動けば線輪の中に起る電気の向きは極が変わるたび毎に反転する。即ち発電機の発電子線輪内の電流は常に交流が流れているのである。これをそのまま外部に引出したものが交流発電機と云われているもので、外部に引出す前に整流子というもので電流の向きを一方向に揃えてあるものが直流発電機である。交流の場合に周波数何サイクルということは電流の向きが一秒間に反

転する往復回数をいうのである。例えば四つの磁極を以ている発電機は一廻転すれば電流反転の往復回数は二回であるから、一分間に1,800廻転して居るとすれば毎秒30廻転となり ($2 \times 30 = 60$) となつて60サイクルということになる。

直流発電機は特別の目的でもない限り一般の電力需用への発電機としては現今余り用いられない。小規模の場合に電灯用としては余り不便はないが、ラジオを聞いたり、モーターを使つたりする場合には一般の市販品がそのまま使用出来ず、又電線路が長い場合には交流のように変圧器を以て電圧を自由に且容易に変換出来ない不便なことがあるためである。従つて一般に発電所に於ては直流発電機は主発電機の磁極の電磁石を作るための励磁機として小容量のものが使用されているに過ぎない。

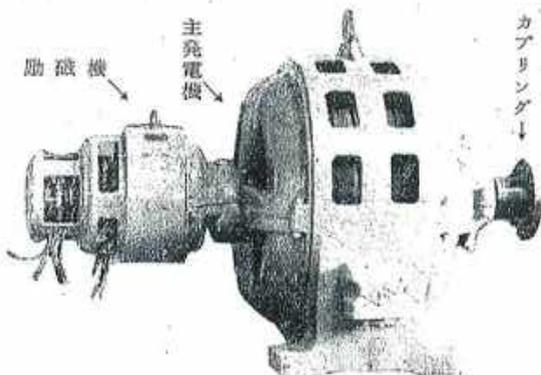
Ⅱ 交流発電機の種類と型式

発電所に使用せられる交流発電機は殆んど三相交流のものであるが、数kWの小容量のものには単相交流のものも使用されることがある。

磁極の励磁という点から分類すると次のように二種類に大別される。

1. 同期発電機 (第15.1図)
2. 非同期発電機 (第15.2図)

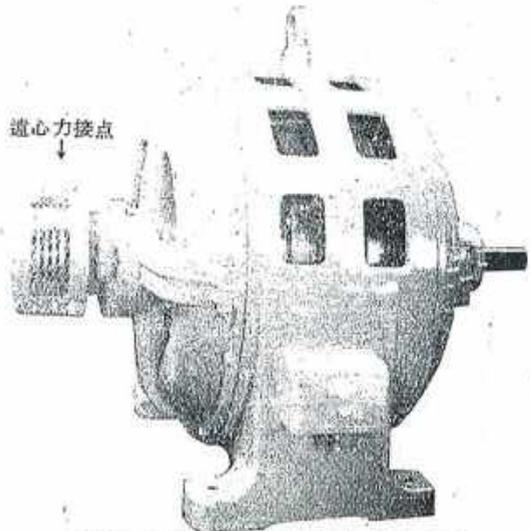
同期発電機は磁極を直流を以て励磁するもので、構造上から更に廻転界磁型と廻転発電機型と誘導子型との三つに別けられる。小容量のものに廻転発電機型を用うることがあるが大多数のものは廻転界



第15.1図 同期発電機(開放型)

磁型即ち磁極が廻るようになつたものを使用する。誘導子型というのは発電子鉄輪も磁極も静止していて誘導子という鉄片が廻転するものであるが、高周波発電機として用いられるのみで電力用としては使用することはない。

非同期発電機は磁極を以つて励磁するもので、交流励磁機を持つてゐるものと、励磁機が無いものがある。何れも電力系統から励磁電流（交流）を取つて発電するものである。小水力発電に於いては多く後者を使用する。一名、誘導発電機とも稱せられその構造は籠型誘導電動機と同一であつて特定の磁極と云うものは持つていない。



第 15.2 図 非同期発電機（開放型）
（誘導発電機）

廻転軸の向きよりすれば水車と同じく堅軸型

と横軸型とがあり、小水力では殆んどが横軸型であつて堅軸型は減多に用いられない。

外枠の型式は冷却方式と関係があつて次のように分類することが出来る。

- | | |
|-------|---|
| 開放型 | 外枠の四周が大きく開口しているもの。 |
| 半閉型 | 開口部を孔のある蓋又は金網などをもつて閉ざし外物より保護したもの。 |
| 閉鎖通風型 | 機械の大部分を閉鎖して冷却用空気の入口と出口とを設けたものである。 |
| 全閉型 | 大型発電機に用いられるもので完全に密閉し冷却用空気は機内と空気冷却器との間を循環せしめる。 |

以上の外に水素冷却式なるものがあるが小水力発電機には使用されることはないから略す。

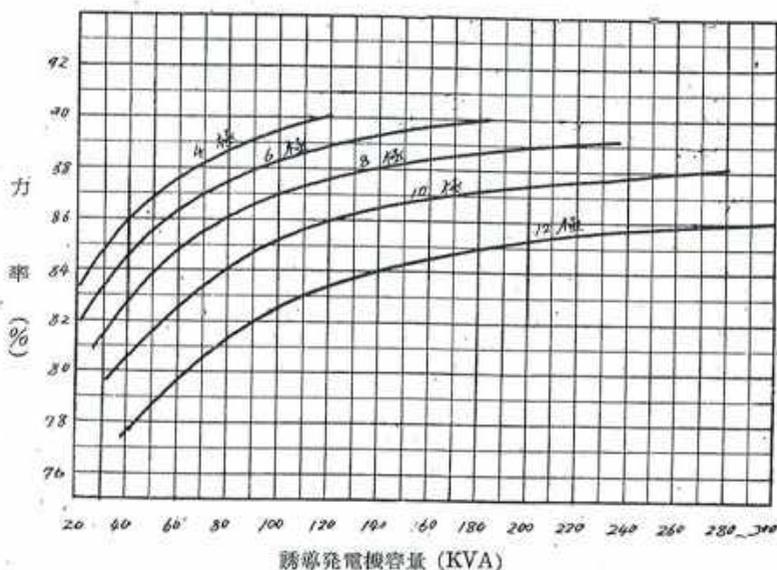
Ⅱ 交流発電機の電圧、力率及び廻転数

わが国に於ける発電機の標準定格電圧は、110V、220V、3,300V、(3,450V)、6,600V及び11,000Vとなつている。

110Vのものは5KVA位より以下のものに使用せられ、220Vのものは20KVA位までのものに使用せられ、これより大きい出力のものには3,300V又は3,450Vのものが主として使用せられる。6,600V及び11,000Vは大容量発電機に対する電圧であるから小水力には縁のないものである。

発電機の定格力率とは、如何なる力率の負荷に応じ得る性能を有しているかを表示したものであつて、励磁機のある発電機の場合にのみ意味のあるものである。わが国では80%を標準としている。

誘導発電機では発電機から出している電力の力率は発電機に固有のもので



第15.3図 誘導発電機の固有力率

あつて、電圧の変化により僅かに変動する程度のものである。従つて負荷の力率が定まつたものであれば、力率の過不足は誘導発電機を接続している電力系統中の他の同期発電機によつて補はれている譯である。

誘導発電機固有の力率は、第 15.3 図に示したように容量の大きくなる程良くなり、極数の多いもの程悪くなる。

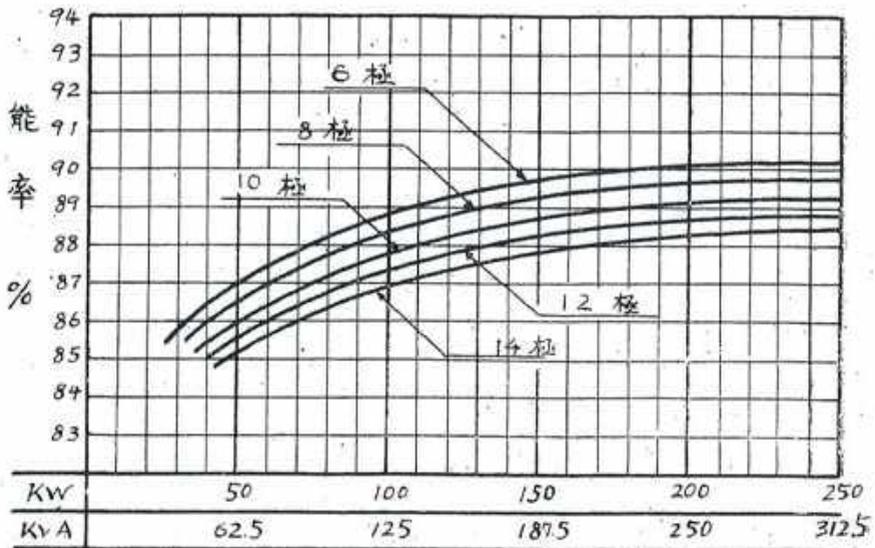
発電機の毎分廻転数 (n) は周波数 (f) と磁極数 (p) とに対して、同期発電機では

$$n = \frac{120f}{P} \dots\dots\dots (15.1)$$

によつて算出した数となり、誘導発電の場合はこれより 3 乃至 5 % 多い数値となる。前章の第 14.1 表及び第 14.2 表に示したものを参照せられたい。

Ⅳ 発電機の効率

発電機の効率は容量の大きいほど廻転数の速いものほど高くなり次式を以つて計算され一般に百分率で表される。



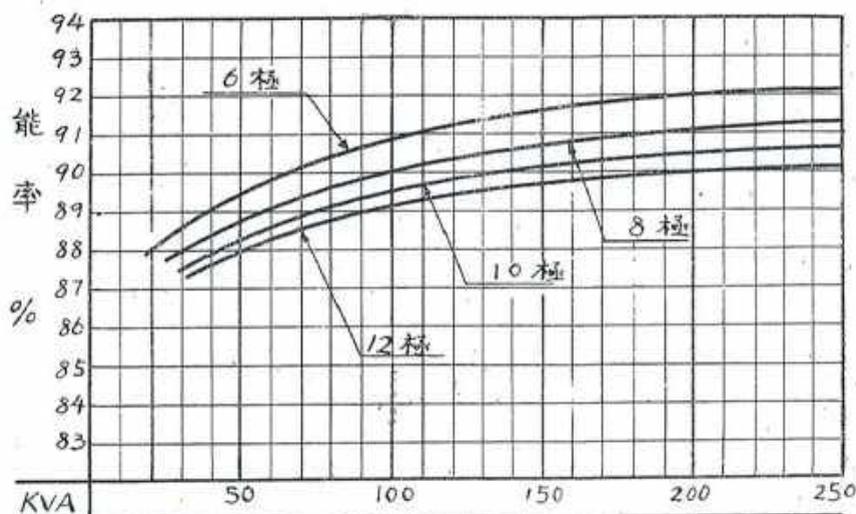
同期発電機の容量
第 15.4 図 同期発電機の効率

$$\eta_0 = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{総損失}} \times 100$$

損失は発電機線輪や励磁線輪（誘導発電機の場合は廻転子導体）内に生ずる銅損失、鉄心内に生ずる鉄損失、軸受その他による機械的摩擦損失、送風冷却による機械的損失、回転部の空気との摩擦損失等よりなつてゐる。

同期発電機のように励磁機を持っているものの損失には励磁に要する電力一切を損失として加算する。

第 15.4 図及び第 15.5 図に小型発電機の効率を図表として示した。



誘導発電機の容量

第 15.5 図 誘導発電機の効率

V 励 磁 機

小水力発電に於いては励磁機として複捲直流発電機を使用し、主発電機と直結して運転するものが多い。励磁機の電圧は 110V が普通である。容量は発電機容量の大きい程大きく又廻転数の少ないものほど大きくなり、大略第 15.1 表に示した程度のものを採用。

数 KVA の小容量交流発電機で廻転発電機型のものには別に励磁機を置か

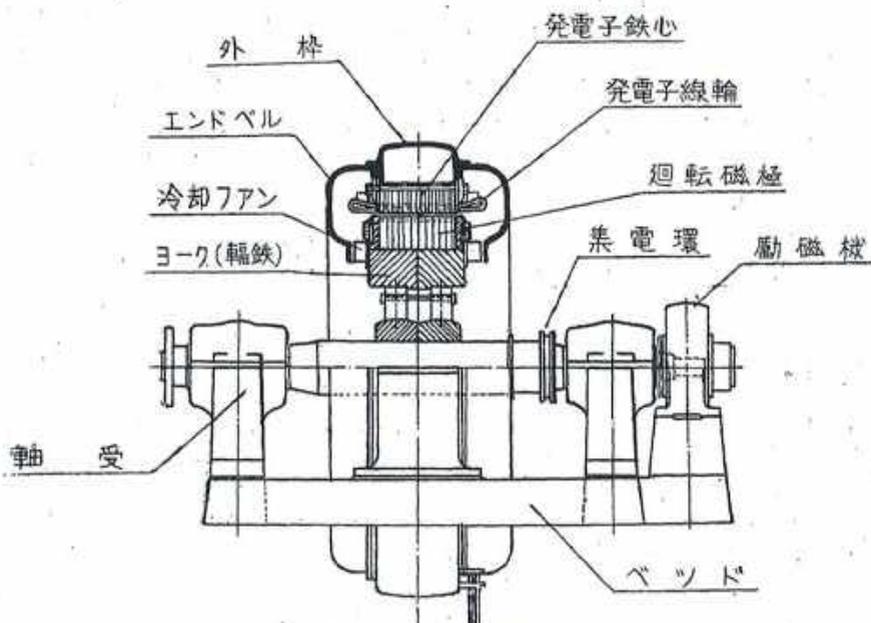
第 15.1 表 交流同期発電機の励磁機の容量

6 極		8 極		10 極		12 極	
発電機 KVA	励磁機 KW	発電機 KVA	励磁機 KW	発電機 KVA	励磁機 KW	発電機 KVA	励磁機 KW
15	1.0	30	1.5	50	2.0	50	3.0
20	1.0	40	1.5	75	3.0	75	3.0
30	1.5	50	2.0	100	3.0	100	4.0
40	2.0	75	3.0	150	4.0	150	5.0
50	2.0	100	3.0	200	5.0	200	5.0
75	2.0	150	4.0	250	5.0	250	5.0
100	3.0	200	4.0	300	6.0	300	6.0
150	4.0	250	4.0	350	6.0	350	7.5
200	4.0	300	5.0	400	7.5	400	7.5
250	4.0	350	5.0	500	7.5	500	10.0
300	5.0	400	5.0	600	10.0	600	10.0

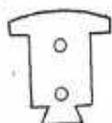
主発電機電流の一部を分流して整流子を通して直流を得、これを以つて主磁極の励磁を行つているものもある。

VI 同期発電機の構造

水車で運転する同期発電機は凸極型と云うもので、磁極が第 15.6 図に示すように周囲に突出しているものである。磁極鉄心は小型のものでは鋳鉄製のものもあるが、普通第 15.7 図のような形に薄鉄板を打抜いたものを重ね合せて端板を両面に当て鉄綴したものをを用うる。磁極を廻転子輻鉄の周囲に取付けるには、鋳鉄製のものは第 15.8 図 a、b のように二種類あつて a は鉄心部が輻鉄と一体に鋳造され磁極端部 F を楔止めしたもの、b は磁極全体を輻鉄にボルトを以つて締付けたものである。廻転の速い発電機には薄鉄板を重ね合せたものを第 15.9 図のように輻鉄に設けた鳩尾溝に楔止めしたものが良い。



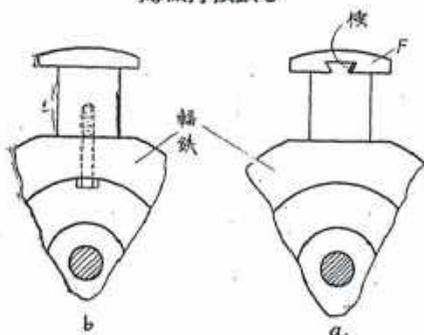
第 15.6 図 同期発電機の構造



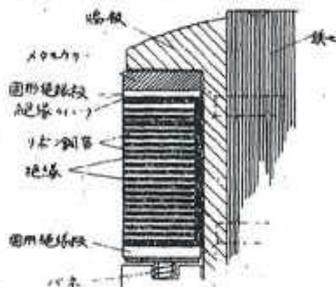
第 15.7 図
薄板打抜鉄心



第 15.9 図 薄鉄板磁極の取付



第 15.8 図 鑄鉄磁極の取付



第 15.10 図 界磁線輪断面

磁極鉄心の外周には、これを電磁石とするためのコイル即ち界磁線輪を捲く。界磁線輪は小型機では綿巻した平角線を以つて捲いて作るが、少し大型となればリボン状の銅帯を第 15.10 図のようにマイカ、アスベストなどをもつて絶縁して平打捲きにしたものを用い、鉄心との間には更に固形絶縁板を挿入して堅固に取付ける。廻転の速いものには線輪が遠心力のため変形しないように押え金を以つて側面より締付けたものもある。

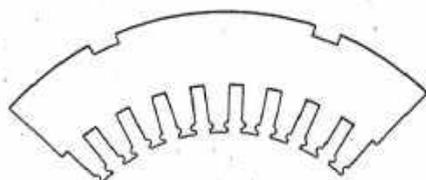
廻転子輻鉄（ヨーク）は小型のものは鋳鉄製であるが、高速のものや大型機には鋳鋼製を用いたり、厚い鋼板を重ねてボルト締となし、ヨークとスパイダーを一体に造つたものも用いられる。

ヨークの両側面には冷却ファンを取付けて界磁線輪及び発電子の冷却を行わしめる。

界磁線輪へ励磁機から励磁電流を供給するためには、主軸に二箇の集電環（スリツプリング）を主軸と絶縁して取付けこれに黒鉛ブラシを圧着摺動せしめて行ろ。

主軸は鍛鋼材にて造りスパイダーに挿入してキーにより固定してある。

発電子鉄心は薄い厚さの珪素鋼板を重ね合せて造つたものである。第 15.11 図に示すように内側に多数の線輪嵌込用の溝と外側に固定用の溝とをもつた扇



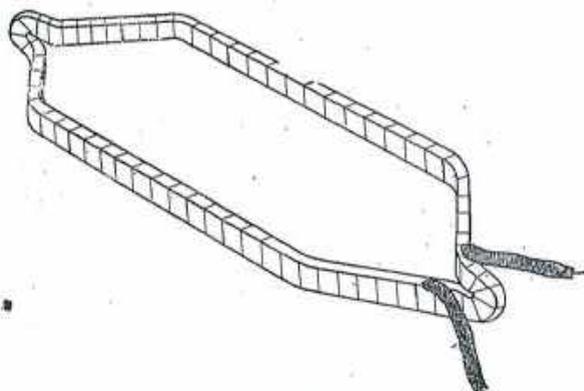
第 15.11 図 発電子鉄心打抜

形に打抜いた鋼板を継ぎ合せて輪形状にし、積層する際には厚さ数程ごとに間隔片を挟んで通風間隙を設けて冷却に備える。外枠の内周には数箇所の突起があつて鉄心の外周の溝をこれに嵌めながら積み重ね積層端に押え板を当ててボルトにより締付くるか又は環状のキーを入れて固定する。（小型機の場合には打抜は輪状に行うものもある）。

発電子線輪は綿糸で被覆した銅線（大型機には角線を小型機に丸線を普通用いている）を以つて捲き上げこれを鉄心に設けた溝に嵌込むに都合のよい

矩形断面の形に整形して外周を綿テープ、マイカテープ等によつて捲き絶縁ワニス又はコムバウンド等を含浸して正確な寸法に固めたものである。

発電子線輪全体の結線の方式には色々の種類があるが最も多く用いられているものは重複捲線と云う方法で第15.12図に示したような同一形状のコイルを溝数だけ作つてあつて、これを順序よく溝に嵌込んだものである。従つ



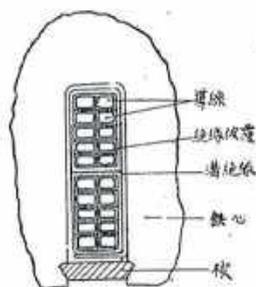
第15.12図 発電子線輪

て一つの溝の中には二つのコイルの一脚ずつが重なつて入つてゐることとなる。溝に嵌入れたコイルは、これが抜け出さないように溝の口を第15.13図のように絶縁物で作つた楔

によつて止めてある。各発電子線輪はその一端に於いて互に結線して三相交流の場合には三本、単相交流の場合には二本の口出線を以つて外部に引出されている。

発電子を固定している外枠には鋳鉄製のものゝ鋼板を溶接によつて組合せて造つたものと二種があり小型機には前者が多く、大型機には近來後者が多く用いられている。

外枠の両側には線輪の端部を保護するためにエンドベルトと云う覆板を取付ける。小型機の場合にはこれを延長して軸受の支持を兼ねた構造が多い。この場合にはエンドブラケットと云われている。



•第15.13図
発電子線輪の構造

軸受は小型機には球軸受又はコロ軸受を用いると保守が楽であるが一般的

には油輸入り軸受が用いられる。

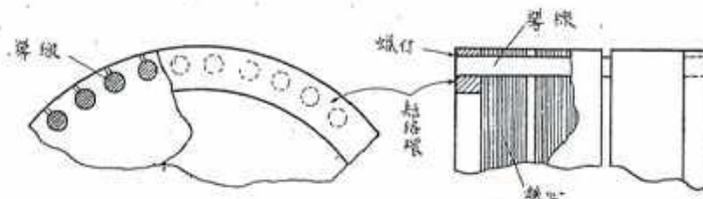
ベツドは発電子外枠及び軸受を正確なる位置に堅固に支持する役目をなすもので鑄鉄製のものも鋼板熔接構造のものもある。小型機で軸受がエンドブラケットに取付けてあるものでベツドを省略したものがあるが、かかる構造は好ましくない。水車の分解手入れの度に発電機を基礎より取外さねばならない不便が起るから注意すべきである。ベツドは小型機の場合には普通小型電動機に使用されているようなレールを用いてもよい。

VII 誘導発電機の構造

誘導発電機は前に述べた如く籠型誘導電動機の構造と同一であつて、しかもそのうち最も単純な一重籠型のものである。

発電子も外枠も同期発電機と何等異なるところはない。同期発電機と相違するところは励磁機を持たないこと、励磁用集電環のないこと、廻転子が根本的に異つている点である。

廻転子はスパイダーの外周に硅素鋼板より打抜いた輪状の薄板を積層して堅固に締付け、その外周に第 15.14 図の如く多数の溝（普通円形であるが平



第 15.14 図 誘導発電機廻転子の構造

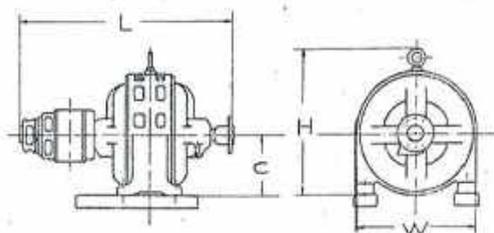
角形に抜くこともある) を作つて内部に銅棒を挿入し、銅棒の両端は鉄心外にて短絡環に挿込み釦付けしてある。短絡環は良電導性であるとともに水車が無拘束速度となつたときでも安全にこれに耐えるために充分な機械的の強さを要する。短絡環のみにてこれに耐えないときは鋼製環にて補強する。

VIII 発電機の概略寸法

発電機の寸法は同一KVAの容量のものであつても廻転数（又は極数）によつてその大きさが異なつて、廻転数の多いものほど小さい形態となる。又製造者によつても多少各部の寸法を異にするものである。

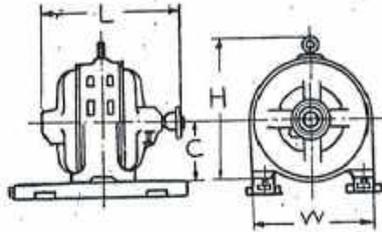
計画当初の参考に資するため第15.2表に同期発電機の概略寸法を、第15.3表に誘導発電機の概略寸法を示した。

第15.2表 三相同期発電機



極 数	KVA (kW)	概 略 寸 法			
		L	H	W	C
6	37.5 (30)	1360	750	655	345
	62.5 (50)	1610	1000	870	430
	93.5 (75)	1730	1120	990	490
	125 (100)	1830	//	//	//
8	37.5 (30)	1610	1000	870	430
	62.5 (50)	//	//	//	//
	93.5 (75)	1730	1120	990	490
	125 (100)	1830	//	//	//
10	93.5 (75)	1730	1120	990	490
	125 (100)	1830	1295	//	//
	250 (200)	2250	1505	1600	500
	375 (300)	2400	//	//	//
12	93.5 (75)	1840	1295	990	490
	125 (100)	2010	//	1370	//
	250 (200)	2250	1505	1600	500
	375 (300)	2400	//	//	//

第 15.3 表 三相誘導発電機



	極 数				概 略 寸 法 mm			
	6	8	10	12	L	H	W	C
容	20				820	580	470	250
	30				930	640	540	285
	40	30			1000	710	610	320
	50	40			1060	750	660	345
	75	50	40		1460	930	830	410
量	100	75	50		1570	1000	870	430
	150	100	75	50	1630	1060	930	460
	200	150	100	75	1710	1120	980	490
KVA		200	150	100	1780	1230	1070	530
			200	150	1820	1310	1160	570
				200	2000	1410	1260	620

Ⅸ 水車との連結法

水車と発電機との連結方法としては次の四種類のものが用いられている。

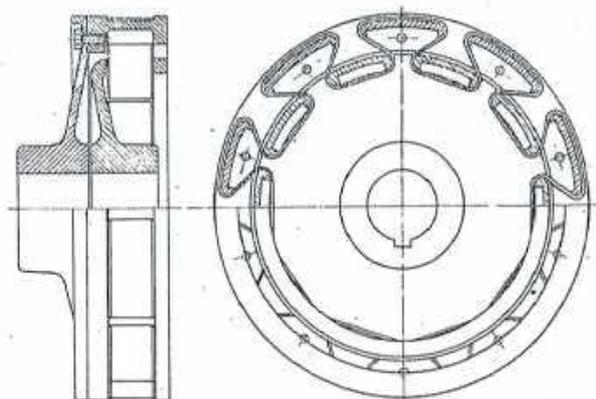
1. ベルト連結
2. 歯車連結
3. 撓接手連結(直結)
4. フランジ接手連結(直結)

1.のベルト連結には平ベルトによるものとVベルトによるものと二種があるけれども、Vベルトによるものが総ゆる点から考慮して都合がよい。ベルト連結の長所は水車の廻転数を発電機の回転数の如何に関せず任意に選び得る点にあり、低い水車の廻転数を以つて発電機を高速運転せしめ得る便利はある。

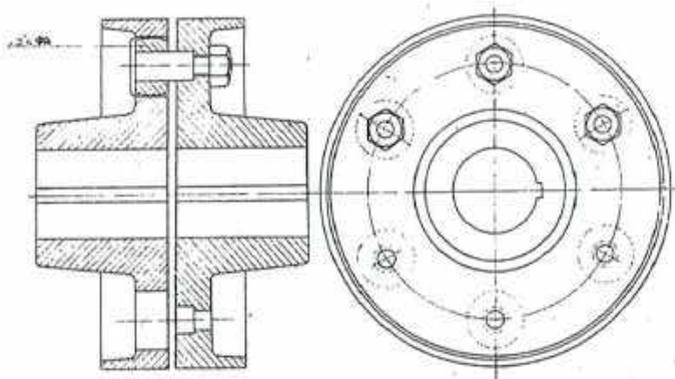
が、その使用限度は 10 kW 以下に置くことが望ましい。

2. の歯車連結は余り例のないものであるが、低落差の堅軸水車を使用する場合に横軸発電機を傘歯車を介して運転し水車の低速回転を以て発電機を高速に運転しているものがある。超低落差小水力の開発に使用せられる可能性はある。

3. の撓接手連結には革帯撓接手（第 15.15 図）によるものとゴム輸入り撓接手（第 15.16 図）によるものとが用いられている。前者は 1,000 kW 以上の発電機にも用いられたものがあり、後者は 50 kW 以下の小容量機に使用さ



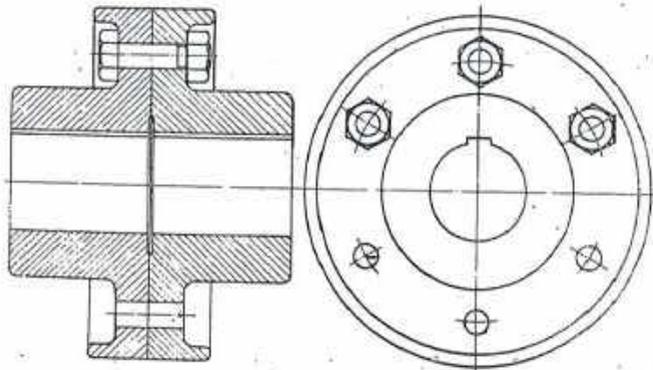
第 15.15 図 革帯撓接手



第 15.16 図 ゴム輸入り撓接手

れる。鍍接手の特長としては水車の軸心と発電機の軸心が正確に一直線上に無く少しの狂いがあつても支障なく運転し得ると云うにあるけれども、軸心の狂いが目に見える程度の場合には決して良い結果は得られない。しばしば革帯の補修を要し又ゴム輪の取替えが必要となる。

4.のフランジ接手連結は最も信頼出来る連結法であつて現在では大容量機は勿論小容量機にまでも用いられるようになった。取付の当初に、他の連結法の如く作業が容易ではないが入念に心出しを行つて振付けて置けば永久に心配のない手数のかからない方法であから、著者の最も推奨するものである。第15.17図はその構造を示したものである。



第15.17図 フランジ軸接手

第16章 制 御 装 置

I 概 説

発電機の電圧の調整、電圧、電流、電力、力率、電力量等の計測及び計量並びに発生電力の開閉を行うため発電所には制御盤を設ける。制御盤は俗に配電盤ともいい、発電所の規模が大きい場合には発電機盤、励磁機盤、変圧器盤、送電盤、補助盤等より成つているが、小水力の場合には発電機1台のことが多くて制御盤は極めて簡単となり、発電機盤、励磁機盤及び送電盤と別々に分つことなく通常一面乃至二面位にまとめ、自働電圧調整機及びその附属品も総てこの上に装備している。盤の型式は小水力では直立盤を用う。

盤は幅 400 mm、500 mm、600 mmの何れかを用い、高さは 1,900 mm位のものが小水力用として便利である。盤は大理石板にて作つたものと 3.2 mm 厚位の鋼板にて作つたものとあり、黒色或いは明朗色に塗装をなし、鉄枠にて支持せられている。

盤の表面には計器、継電器、自働電圧調整機、計器用切換開閉器、界磁開閉器、自働接触器、操作開閉器、双型開閉器、油入遮断器ハンドル、界磁抵抗器ハンドル、表示灯、銘板等を取付け、盤の裏面及び支持枠上に油入遮断器、界磁抵抗器、計器用変成器類、断路器、避雷器等を装備し、必要なる配線をなし高圧線は支持碍子を以て絶縁する。

第 16.1 図及び第 16.2 図は同期発電機用制御盤で手動運転方式に使用するもの、第 16.3 図は同期発電機の全自働式制御盤を示し、第 16.4 図及び第 16.5 図は半自働運転方式を採用した誘導発電機用制御盤の一例を示したものである。