

東北電力株式会社納

本名発電所用 30,000 kW カプラン水車に就いて

深 栖 俊 一* 横 井 信 安**

30,000 kW Kaplan Turbine Supplied for the Honna Power Station
of Tohoku Electric Power CompanyBy Shun'ichi Fukasu and Nobuyasu Yokoi
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The Honna Power Station which is under construction by the hands of Tohoku Electric Power Co. on the Tadami-river electric resource exploitation plan is expected to play when completed a most important role among several power plants being projected or built on the same plan.

Although the main generators of Hitachi's make for the same station are presently under installation in a couple, some space is reserved in the generator room as an addition of one more generator is anticipated.

The Hitachi's waterwheels for the drive of above generators are 30,000 kW (max.) 167 r.p.m. vertical Kaplan turbines, with six blade runner, specified for the effective head of 36.1 m. Because of these salient specification including capacity and head these waterwheels are record-making in this country. Hence scrupulous study by means of the repetition of model test was conducted prior to their design and manufacture.

Particularly, in view of the characteristics inherent in the high head Kaplan turbine most effort was put forth in the testing as to cavitation and newly developed device for the cavitation occurring in the turbine under high head service was taken into use for that purpose. In the selection of the materials used for the turbine utmost consideration was exerted so as to enhance in the end operational safety of the turbine.

〔 I 〕 緒 言

日立製作所は、さきに東北電力株式会社の只見川水力開発計画の一環として片門発電所用 22,500 kW カプラン水車 2 台を製作納入し、既に好調な運転に入っているが、今回更に本名発電所用として 30,000 kW カプラン水車 2 台を製作することになった。

本名発電所は計画に当つて、フランシス水車を使用するか、或いはカプラン水車を採用するかを問題となり、

* ** 日立製作所日立工場

東北電力株式会社に於て種々検討の結果カプラン水車が採用されることになった。第 1 表(次頁参照)からもわかるように本名発電所用カプラン水車はその容量に於て本邦最大であるばかりでなく、有効落差に関しても本邦で始めて 30 m 以上の地点に進出せるものとして、その有する意義は極めて大なるものがあるといわねばならない。従つて本名発電所用カプラン水車の製作に当つては工場内の水力実験室に於て、多数のランナにより慎重な模型試験を施行して水車の性能の改善に努めるとともに、各部の構造及び使用材料の材質に関しても種々検討

第1表 本邦カプラン水車製作例
Table 1. Table of Kaplan Turbines in Japan

納 先	発電所名	kW	H (m)	Q (m ³ /sec)	N (r.p.m.)	Ns (m-kW)	Type	台数	運転開始	製 作 者
東北電力	本名	30,000	36.1	92.9	167	334	K	2/3	建設中	日立
東北電力	柳津	29,000	25.8	120	143	430	K	2/3	1953	三菱
東北電力	上田	23,500	26.3	92.0	160.7		K	2/3	建設中	三菱
東北電力	片門	22,500	20.0	120	125	460	K	2/3	1953	日立
北陸電力	神通川第二	22,500	31.2	80.2	180	378	K	2	建設中	(富士) M
関西電力	兼山	17,200	22.2	88.4	171.5		K	3	1943	三菱
東北電力	山郷	15,500	14.0	125.0	125		K	2	1943	三菱
中部電力	姫川第三	13,000	55.0	26.5	333/400	254/304	K	1	建設中	日立
九州電力	夜明	12,700	20.0	80.0	164	503	K	1	建設中	日立
東北電力	新郷	12,500	20.5	70.0	187.5		K	4	1939	三菱
関西電力	角川	12,000	35.6	38.0	300		K	1	設建中	富士
北海道電力	班溪	10,600	14.1	85.5	150	595	K	1	1953	日立
熊本	藤本	10,600	17.2	69.4	180		K	1	建設中	電業
関西電力	坂上	9,750	26.0	41.0	240		K	1	建設中	電業
東京電力	小田切	9,000	14.1	73.6	167	580	K	2	建設中	三菱
九州電力	大内原	8,330	15.75	60.0	180		K	1	建設中	三菱
東京電力	佐久	7,850	24.3	37.6	250	411	K	1	1938	日立
東京電力	笹平	7,500	11.5	76.3	150		K	1	建設中	E W
九州電力	竹田	7,200	36.9	22.0	360		K	1	建設中	三菱造船
東北電力	信夫	7,000	12.5	70	187.5		K	1	1939	J M V
東京電力	金川	7,000	12.7	62	167	580	K	1	1954	日立
九州電力	大山	6,500	27.1	28	257/300		K	1	1946	電業
北海道電力	蘭越	6,500	13.0	57.4	167	546	K	1	1951	日立
北海道	庁鷹泊	6,350	28.5	25.4	333	440	K	1	1953	日立
中部電力	西平	6,000	21.5	22.1	257	431	K	2	1938	日立
東北電気製鉄	石羽根	6,000	17.0	40	231	552	K	1	建設中	富士
日本電光	赤芝	5,500	21.05		273		K	1	建設中	電業
中部電力	今渡	5,370	12.2	50.7	180	580	K	4	1938	日立
九州電力	三芳	5,240	12.5	47.3	166.7/200		K	1	1937	三菱
高知県	庁吉野	5,200	16.1	37.0	225		K	2	1953	電業
北陸電力	中野	4,200	17.3	22.5	300		K	2	1939	J M V
九州電力	甲佐	4,200	25.4	19.3	360		K	1	1950	三菱
東京電力	日橋川	3,880	21.4	22.2	333	451	K	1	1936	日立
東北電力	繫	3,500	19.8	21.0	300/360		K	1	1939	三菱

を加えて完璧を期した。以下その概略に就いて述べる。

有効貯水量..... 5,397,000 m³

〔II〕 計 画 概 要

(1) 位 置

福島県大沼郡本名村字唐倉 2066

(2) 河川流量

流域面積 2,142 km²

計 画	洪水	豊水	平水	低水	渇水
本名地点	5,400	174	82.5	50.1	33.7
m ³ /sec					

(3) 使用水量有効落差及び発電力

	使用水量 (m ³ /sec)	有効落差 (m)	発電力 (kW)
最大.....	174	34.9	52,000
常時.....	33.7	33.9	9,200
年間発生電力量.....			233,900,000 kW

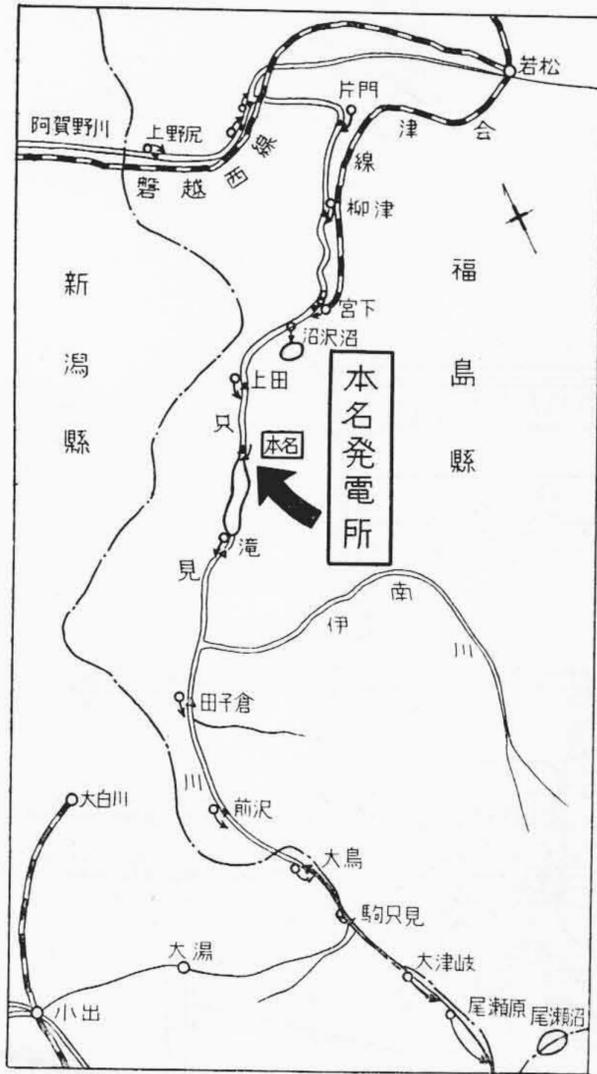
(4) 水車仕様

	落差 (m)	水量 (m ³ /sec)	出力 (kW)	比較回転度 (m-kW)
最高落差	36.1	92.9	30,000	326
基準落差	34.5	91.0	28,100	334
最低落差	24.1	80.0	16,600	403
回 転 数.....				167 r.p.m.
台 数.....				2 台 (将来3台)

〔III〕 建 家 配 置

本名発電所は第2図に示す如く純堰堤式の発電所であつて、将来上流の貯水池の完成後増設出来るように計画されている。

本名地点は土地が狭隘のために建家寸法をつめること



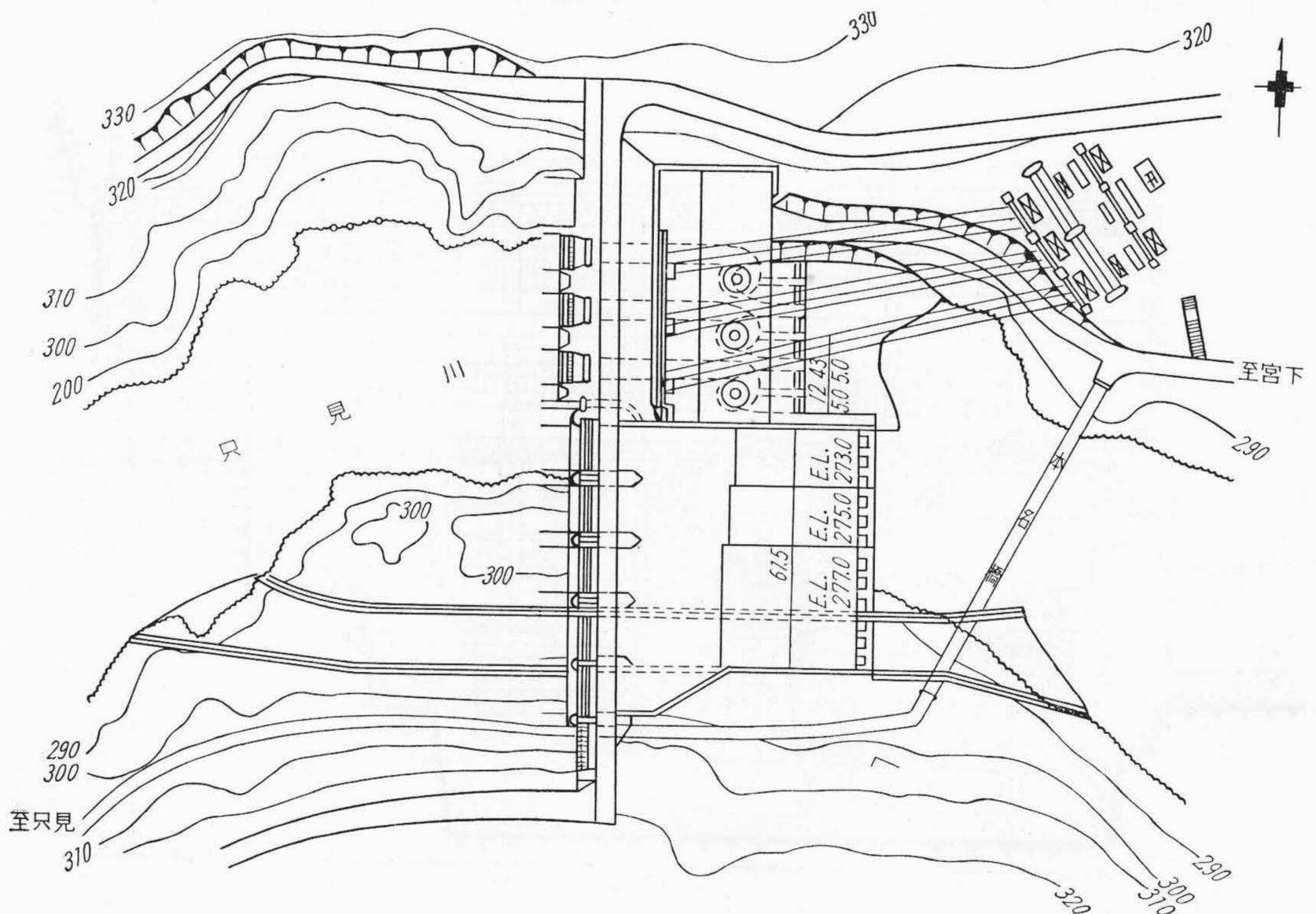
第1図 本名発電所位置図
Fig. 1. Map Showing Location of Honna Power Station

が望ましく、建家配置はこのことを考慮して計画された。据付方式は第3図乃至第5図（次頁参照）に示すように単床式コンクリートバーレル方式を採用し、水車は鋼板製ケーシングによつて建家幅及び水車の中心間距離を極力減少するようにしてある。

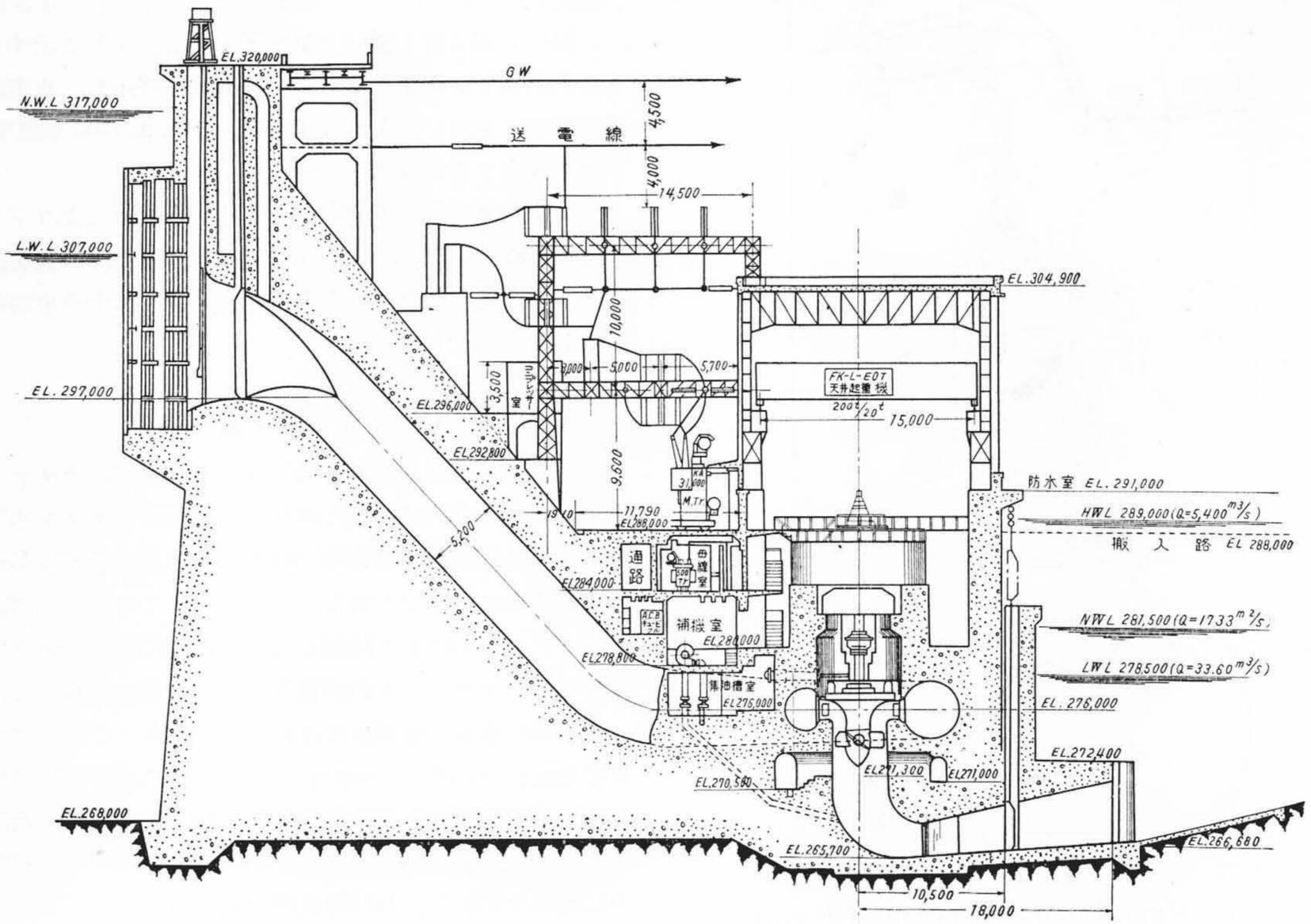
水車ランナは空洞現象発生の見地から放水面より下方に設置され、吸出管出口には特別の角落し昇降装置を設けると共に吸出管及び建家内の排水装置には十分余裕のあるものを用意してある。

[IV] 模型試験

本水車はその適用落差が 36.1 m という本邦カプラン水車としては当時に於ては画期的な高落差カプラン水車であるので模型による効率試験並びに空洞現象試験が実物水車製作に先立つて慎重に行われた。このような高落差カプラン水車に於て問題となるのは特に空洞現象発生によるランナブレードの腐蝕及び振動の発生であつて、このために空洞現象試験には特に意を注ぎこの面に対する安全度を高めるべく努力した。なお空洞現象試験の施行に当つて工場内に従来の低落差試験装置の他に、新たに実落差試験装置が設けられて実物水車と同一の落差の下に精密な試験が行われ好成績を納めることが出来た。以下効率試験及び空洞現象試験の各々に就いて述べるこ

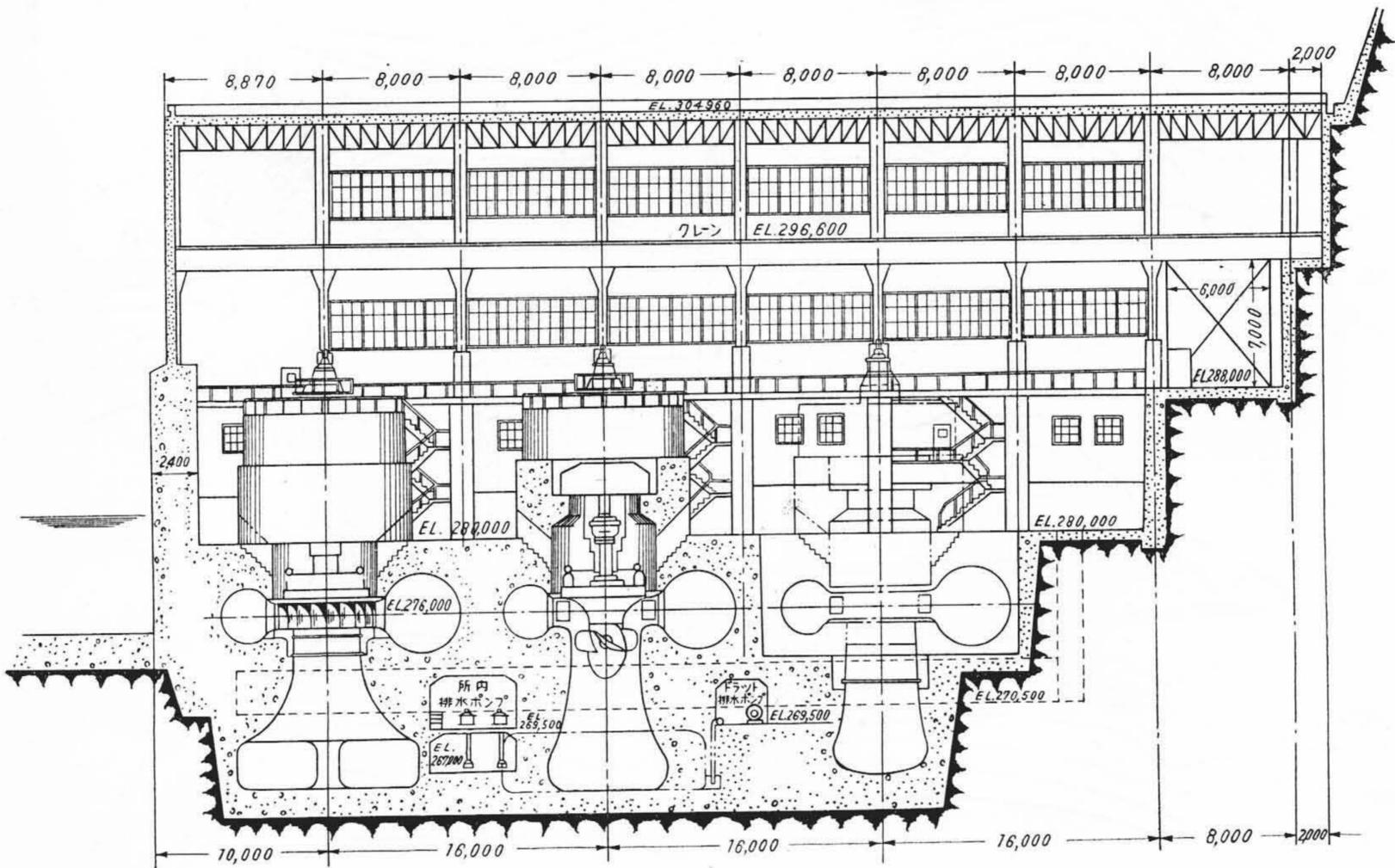


第2図 発電所平面図
Fig. 2. Plan of Power Plant and its Surroundings



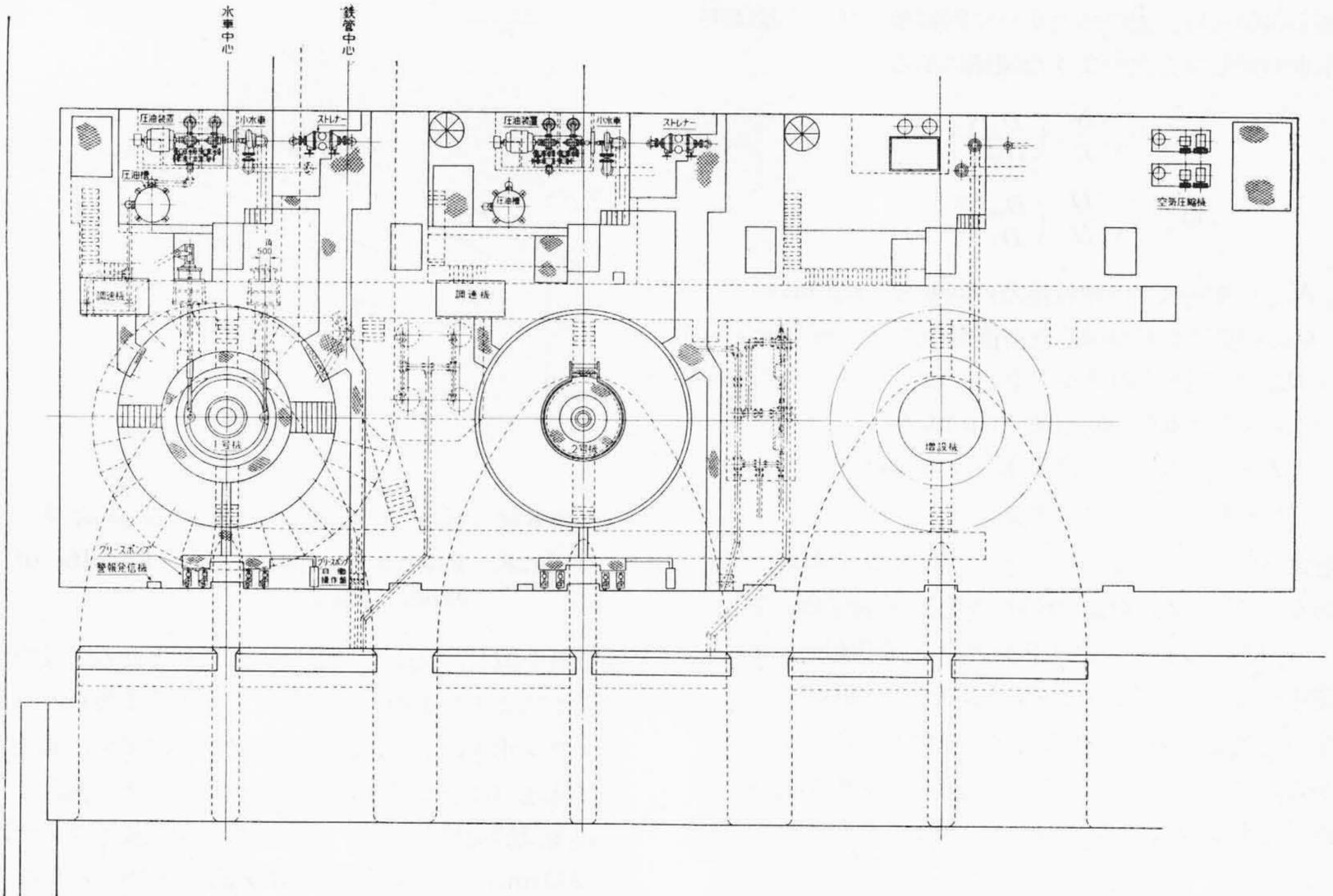
第3図 建家横断面図

Fig. 3. Sectional View of Power House



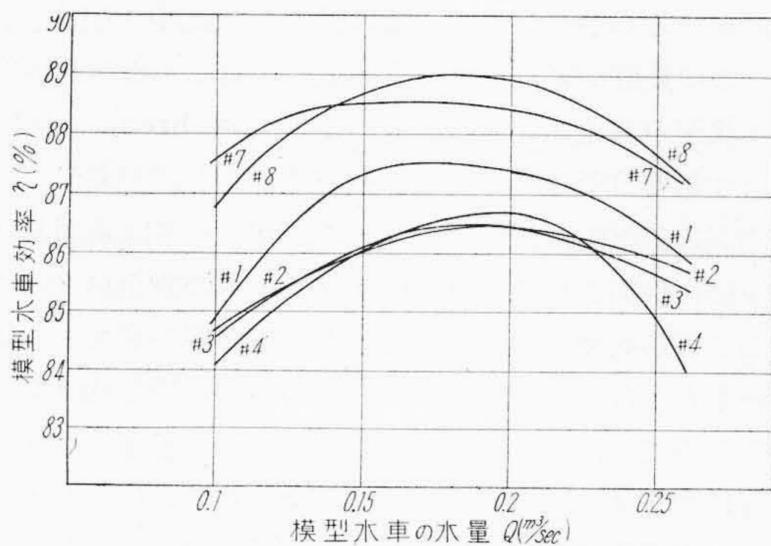
第4図 建家縦断面図

Fig. 4. Sectional View of Power House



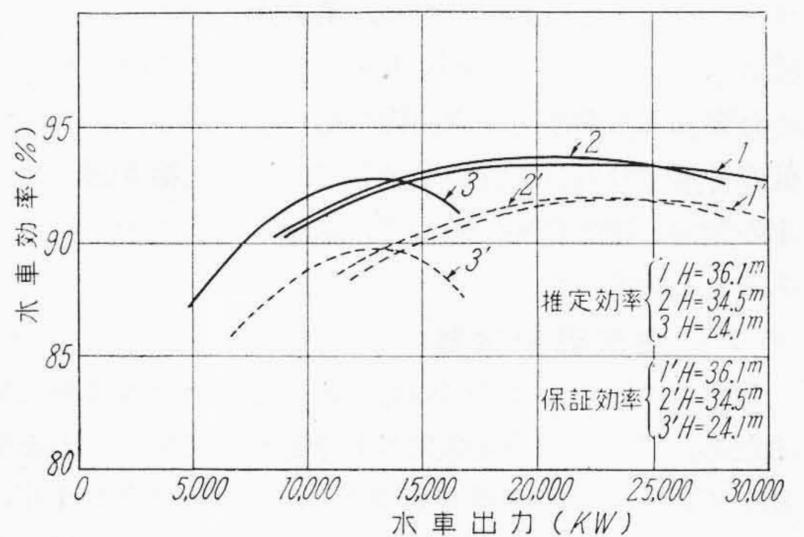
第5図 建 家 平 面 図

Fig. 5. Plan of Power House



第6図 模型水車効率比較曲線

Fig. 6. Model Turbine Efficiency Curves for Various Model Runners



第7図 推定効率曲線及び保証効率曲線

Fig. 7. Expected Efficiency Curves and Guaranteed Efficiency Curves of 30,000 kW Kaplan Turbine

とにする。

(1) 効率試験

効率試験用の模型水車のランナの直径は 500 mm であつて、実物水車に対する縮尺比は 1/7.8 になる。模型水車はケーシング入口から吸出管出口までを実物水車と全く相似に製作して効率の測定を行つた。

本名発電所に於ける落差の変動は極めて大であつて最高落差 36.1 m から最低落差 24.1 m までの間で変化する。

従つて最高落差と最低落差の比は $H_{max}/H_{min}=36.1/24.1 \approx 1.5$ であつて、これを落差が同一である場合の回転数の変化に換算すると、回転数の比は落差の逆比の平方根であるから、 $N_{Hmax}/N_{Hmin} \frac{1}{\sqrt{1.5}} = \frac{1}{1.22}$ となる。このような場合に於ては最高効率点をどの落差に置くかは非常に重要なことであつて、水車の使用状態に就いて出来得る限り発生電力量が大となるようにすることが必要である。

効率試験を行う際の模型水車の回転数並びに水量は実物水車の回転数と次のような関係にある。

$$N_{1m} = \sqrt{\frac{N}{H}} \left(\frac{D_1}{D_m} \right)$$

$$Q_{1m} = \sqrt{\frac{Q}{H}} \left(\frac{D_m}{D_1} \right)^2$$

N_{1m} = 模型水車の単位落差の回転数 (r.p.m.)

Q_{1m} = 模型水車の単位落差換算の水量 (m³/sec)

D_m = 模型水車のランナ直径 (m)

N = 実物水車の回転数 (r.p.m.)

Q = 実物水車に於ける水量 (m³/sec)

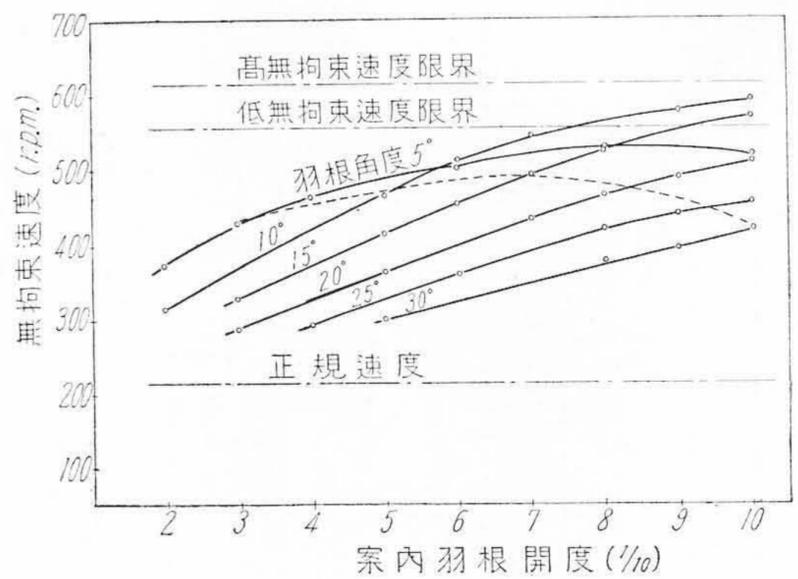
D_1 = 実物水車のランナ直径 (m)

上式から知られるように実物水車のランナ直径を変化させると N_{1m} 及び Q_{1m} の値が変化し効率曲線が変化する。又 Q_{1m} の値の変化はランナの空洞現象性能と密接な関係を有しているから、模型水車の効率試験に於ては落差の変動した場合の効率曲線の変化並びに空洞現象の方からの要求をも考慮して最も適当なランナを選び、その直径も上記の条件に合うように決定されなければならない。

本水車の模型ランナとしては多数のランナが試作されランナのみを取換えて種々実験を行い、又空洞現象試験の結果も考慮して使用ランナを決定した。第 6 図は各種ランナの効率比較曲線であり、第 7 図は使用に決定した模型水車の効率を Moody 1/4 乗式によつて換算して求めた実物水車の推定効率曲線であつて、最高、基準、最低の各落差の場合に就いて示してある。又第 8 図は同水車の無拘束速度曲線であつて、保証に対して十分安全であることを示している。

(2) 空洞現象試験

本水車は本邦には前例のない高落差カプラン水車であるため、空洞現象の発生に対し十分安全であることを確認して置くことが必要であつた。高落差カプラン水車は通常ランナを放水面以下に置いて運転されるが、ランナ中心を放水面に対してどのような位置に設置するかは模型水車による空洞現象試験の結果により決定される。空洞現象の発生し難いランナ程空洞現象の発生状況を或る限度に押えた場合に背圧を少くすることが出来、従つて



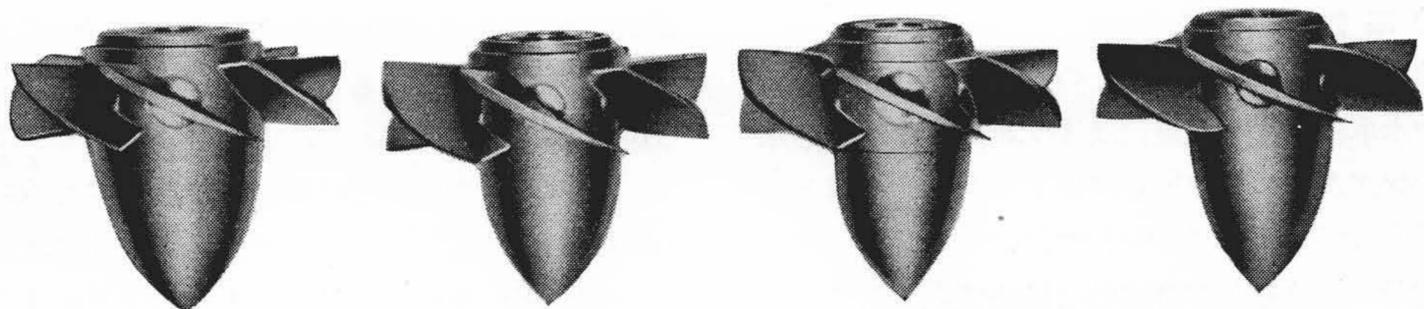
第 8 図 模型水車無拘束速度試験結果

Fig. 8. Runaway Speed Test Results of Model Turbine

掘鑿量を減じ、又水車の取扱いが便利となる。又空洞現象発生による振動の発生を考慮するならば高落差カプラン水車に於ては、空洞現象性能は非常に重要であつて本水車に就いても、多数の模型ランナを製作して空洞現象試験を施行した。空洞現象試験用模型ランナは直径 250 mm のものであつて第 9 図にその例を示す。

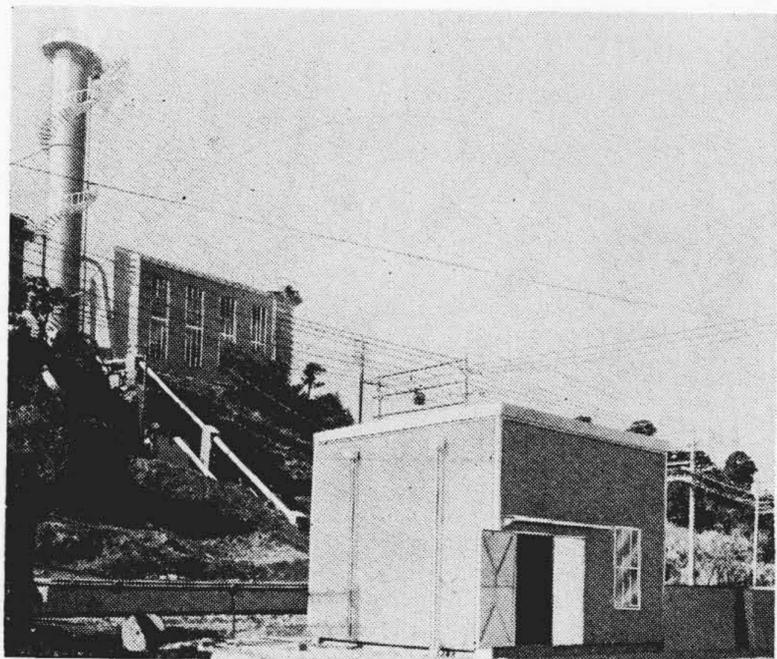
今回の試験に於て特筆されなければならないのは、実落差による空洞現象試験が行われたことである。この実落差試験装置は実物水車と同一落差の下で空洞現象性能を測定するものであつて、第 10 図はこの装置の外観を示す。この装置が完成した結果落差の変動による空洞現象発生状況の変化、並びに落差の変動の σ -break の値に及ぼす影響等興味深い現象を追究することが出来た。

空洞現象試験に使用するランナのブレードは断面形状が正確に作製されており、而もブレードの表面が平滑であることが必要である。ブレードの前縁部の形状を一部変更しただけでも空洞現象性能に非常な影響を及ぼすことからみても、ブレードの断面形状特に前縁部の形状を正確に作製することの必要性が認められる。尚ランナブレードの翼型に就いては東北大学沼知教授の非常な御協力により東北大学高速力学研究所に於て二次元の空洞現象試験が施行され翼型の改良を行い、その結果ランナの空洞現象性能の改善を計ることが出来た。カプラン水車のランナブレードは断面形状が連続的に変化し、而も振

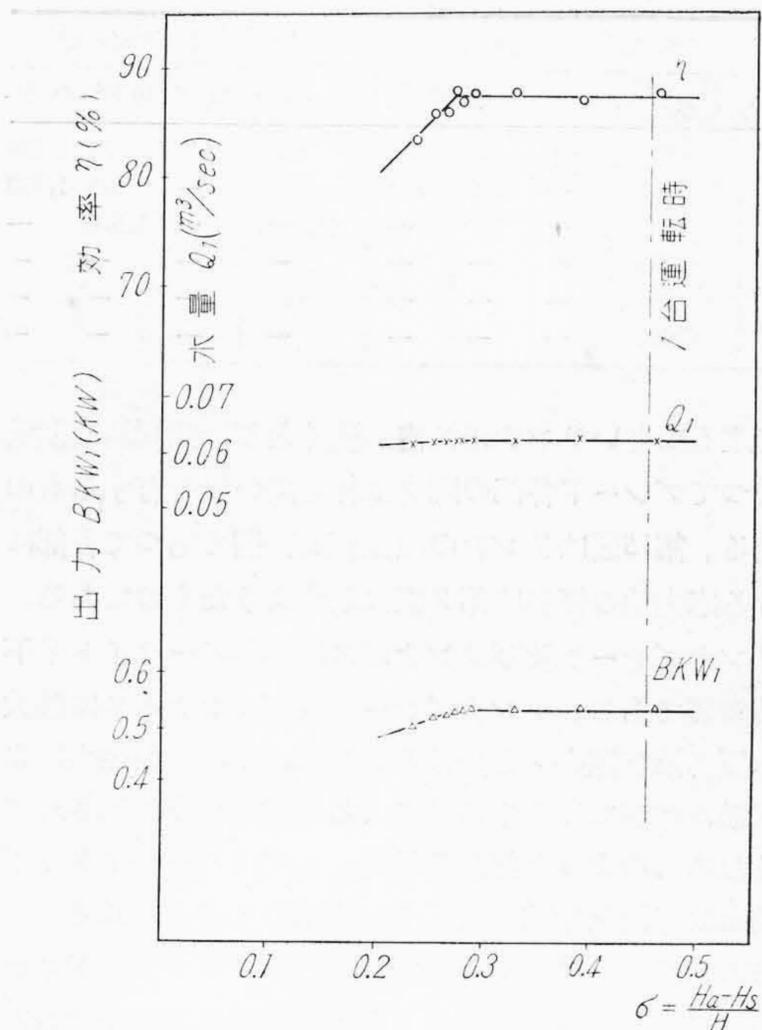


第 9 図 空洞現象試験用ランナ

Fig. 9. Model Runners for Cavitation Test



第10図 実落差キャビテーション装置全景
Fig. 10. General View of High Head Cavitation Test Equipment



第11図 空洞現象試験結果
Fig. 11. Curves Showing Cavitation Test Results

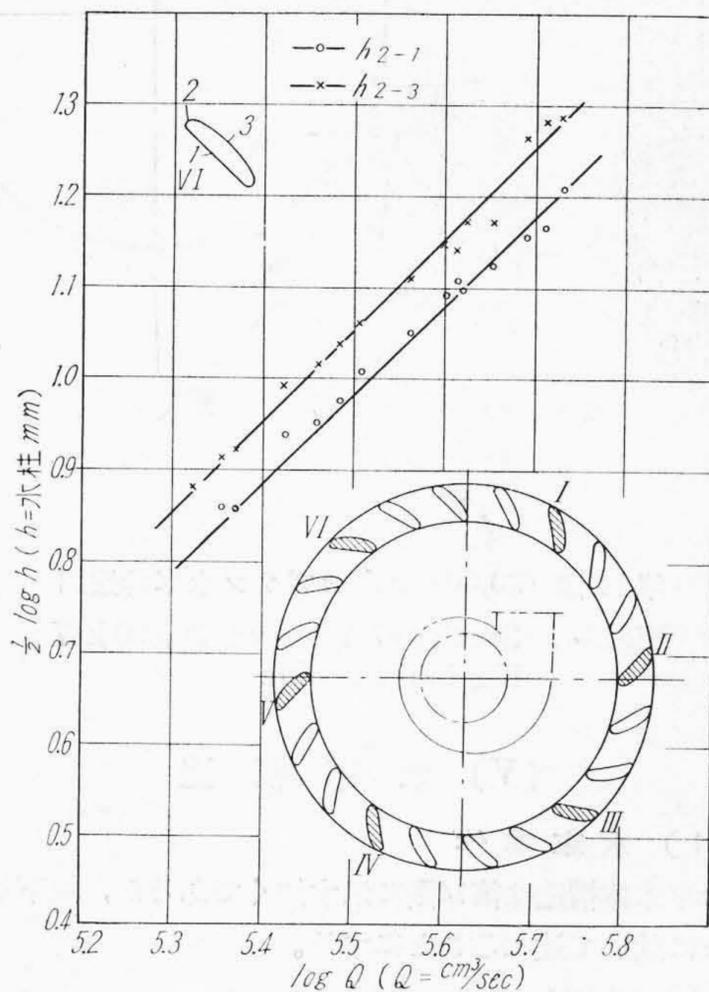
れ角も変化しているから、これを正確に製作することは非常にむずかしいことであるが、模型ランナのブレードは寸法誤差が $1/20mm$ の範囲内に製作せられた。又一箇のランナの一枚一枚のブレードは、お互いに出来るだけ揃って仕上げられることが必要なのでこの点にも注意が払われた。

第11図は空洞現象試験の結果の一例を示したものであり、第12図は空洞現象試験のストロボ写真である。



第12図 6枚羽根ランナによるキャビテーション試験ストロボ写真

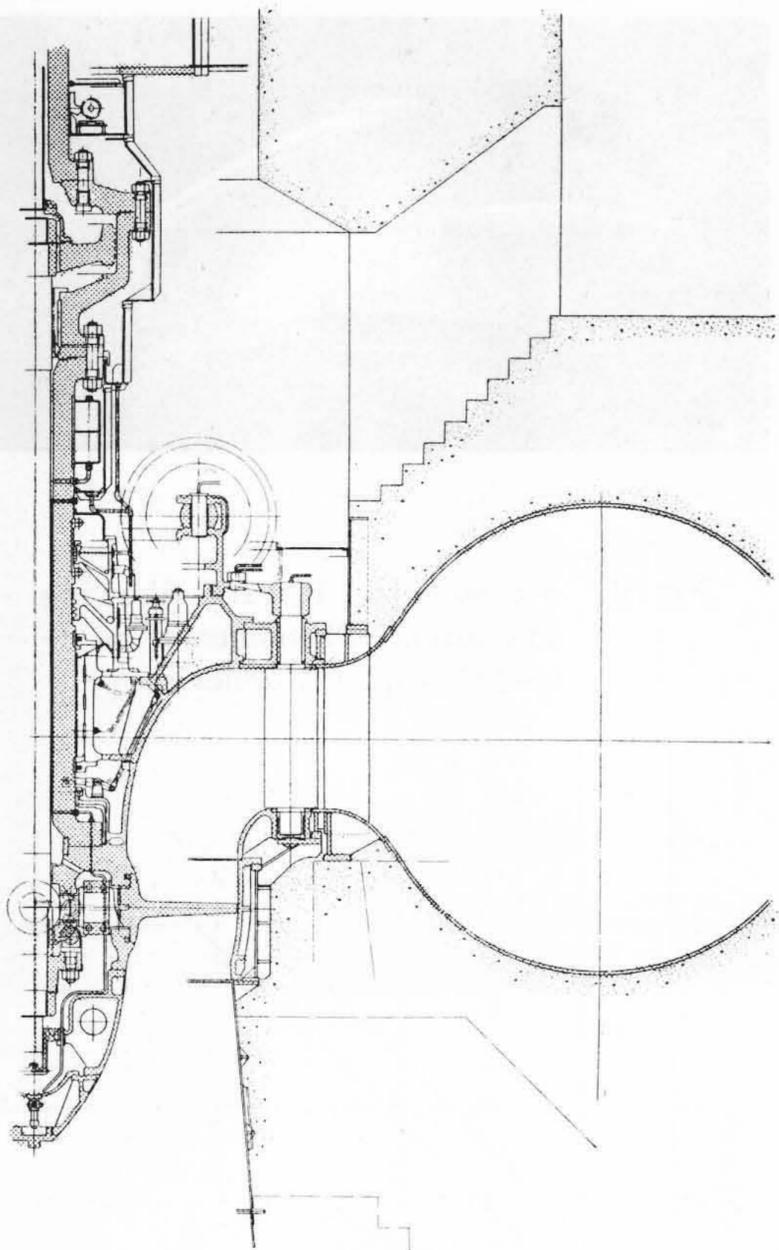
Fig. 12. Stroboscopic Picture Showing Cavitation Phenomenon in 6-bladed Kaplan Runner



第13図 インデックス模型試験結果
Fig. 13. Index Test Results of Model Turbine

(3) インデックス試験

実物水車の効率試験の際に水車の水量を簡便に知る方法としてインデックス試験を実施する目的で模型水車のスピードリングのステイペーンの中数枚に測圧孔を設けて水量と差圧との関係を求め、実物水車に於ける測定の際に都合のよい圧力取出口の位置を予知すると共に、水量と差圧との関係を確認することが出来た。第13図は測圧孔の配置及びVIのステイペーンによる測定結果を示したものである。又各測圧孔の差圧の変化の状態からケーシング内の水の流動状況を略推察することが出来、参考となる点が多かった。



第 14 図 30,000 kW カプラン水車構造図
Fig. 14. Sectional View of 30,000 kW Kaplan Turbine

[V] 水 車 構 造

(1) 水車本体

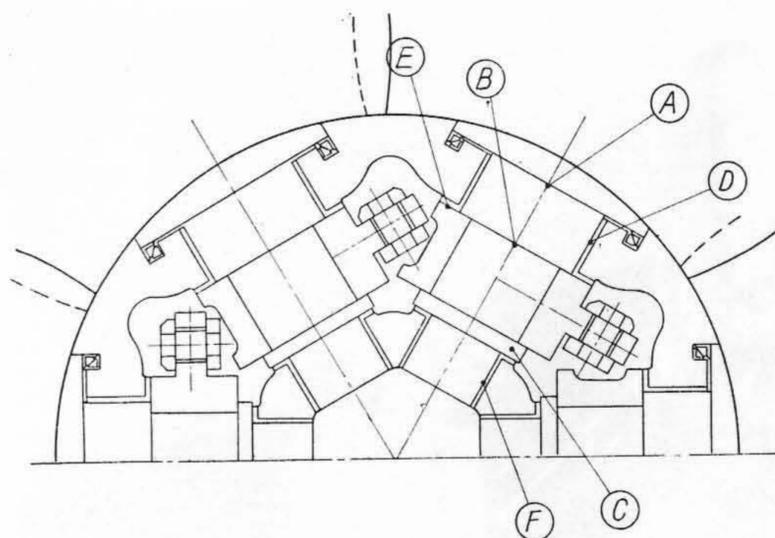
水車本体構造は第14図に示す如くであるが、以下その各々に就いて述べることにする。

(A) ランナ

ランナの羽根枚数は6枚であつて、ランナブレードを操作するボス内機構は相当複雑となつてくるために4枚、5枚羽根のランナに比し直径の大きなランナボスを使用している。

ランナブレードの表面の仕上げ程度並びに形状の僅かな相異がランナの空洞現象性能に重要な影響を及ぼすことが模型試験によつて認められたのでランナブレードの表面の仕上げ及び断面プロファイルを正確に仕上げることに対しては、以前よりも更に十分な注意が払われた。本水車のランナブレードはブレード切削用機械によつて機械仕上げされた後更にグラインダ仕上げによつて平滑に仕上げられた。

本水車のような落差の高い水車で強度的に問題となるのはランナブレードの強度であつて、羽根枚数が多くな



第 15 図 ランナ断面図
Fig. 15. Sectional View of Runner

第 2 表 ランナブレード各部応力値表
Table 2. Table Showing Stress Values of Runner Blade

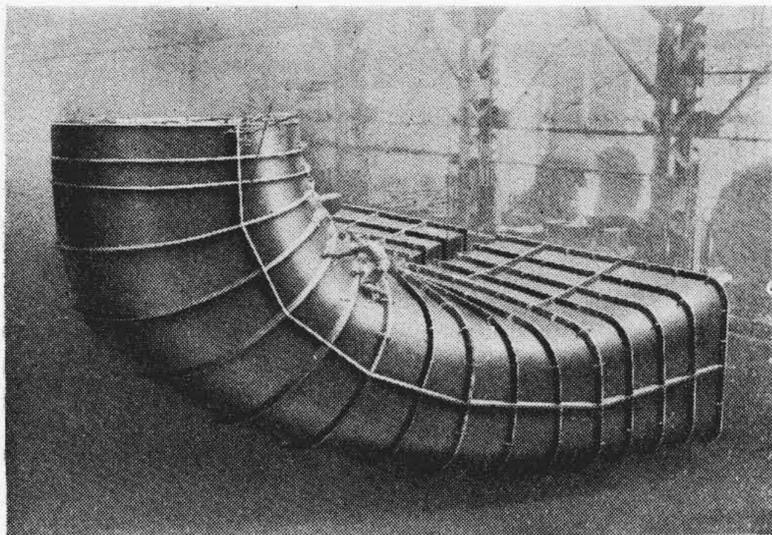
位置	常時応力 (kg/cm ²)				無拘束速度時 応力 (kg/cm ²)			
	引張 (軸受面圧)	曲げ	剪断	合成	引張 (軸受面圧)	曲げ	剪断	合成
A	70	590	135	685	540	590	135	1,150
B	115	—	305	370	930	—	305	1,020
C	(150)	+	185	—	(1,380)	—	1,500	—
D	(195)	—	—	—	—	—	—	—
E	(85)	—	—	—	(680)	—	—	—
F	(205)	—	—	—	—	—	—	—

つて来るに従いランナボス内が狭くなり、空間的な制限によつてブレード各部の応力は相当高い値を有するものとなる。第15図はランナの組立横断面図であつて各部に於ける応力値の概略は第2表に示すようなものである。

ランナブレード及びランナボスは共にパーライト系不銹鋼製である。ランナブレード及びランナボスは強大な水圧力及び遠心力を受けると共に、空洞現象発生による腐蝕、並びに流水中の砂による磨耗の危険に曝されているためこのような部品の材料としてはパーライト系不銹鋼は好適な性質を有しているものと考えられる。

落差が高くなつて来るに従つて、ランナブレードステムの軸受部の軸受圧力はどうしても上昇するのを免れ得ない。従つてこのような軸受部の潤滑を十分に行わせることが必要であつて、本水車では強制注油方式を採用している。これはランナブレード操作時にブレード操作用ロッドが上下に運転するのを利用したものであつてブレード操作用ロッドの下端をプランジャポンプの構造とした。この方法は操作の回数に応じて給油量を増すから便利な方法である。

ランナブレードのステム部分のパッキングはボス内の油を保持すると共に、外部の流水がボス内に浸入するのを完全に阻止するものであることが必要であり、特に落差の高い水車にあつては水車が放水水位以下に設置される



第16図 吸出管製作状況
Fig. 16. Draught-Tube Liner Under Construction



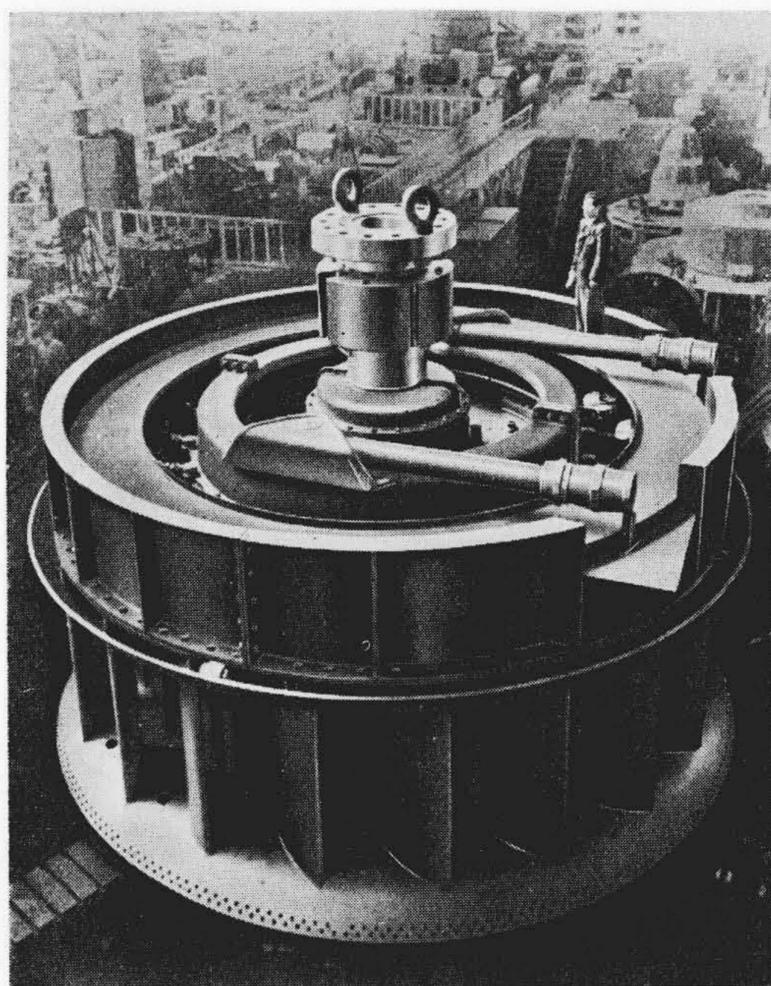
第17図 ケーシング工場内仮組立状況
Fig. 17. Shop Assembly of Spiral-Casing

ことゝ相俟つて流水がボス内に浸入する危険が大である。従つてこれを防ぐにはボス内部の圧力を流水の圧力よりも高く保つて置くのが最も確実であるので、本水車ではこの方法を採用し、水車軸の上部に空気室を取付け主軸内側を通つてボス内部を加圧する構造になつている。又パッキングには耐油性並びに耐久性の確実な皮革製パッキングを使用した。

空気室は油量の変化並びに操作ロッドの上下運動による内部圧力の変化を緩和すると共に油面計の読みからボス内の油の状態を知ることが出来る。

本水車ではボス内漏水排水装置として銅管によつてランナボス底部から主軸内側を通つて外部と連絡し、万一漏水のあつた際には水車停止時に銅管の先のコックを開けばボス内の圧力によつて漏水が銅管を通つて排出される仕組になつている。

ランナブレード操作用のサーボモータは発電機軸と水車軸の中間に位置しており、操作圧油は発電機頂部の圧油送入装置から内側、外側両給油管によつて導かれる。内側給油管はピストンと接続しているため、この運動を



第18図 30,000 kW カプラン水車工場内組立状況
Fig. 18. Shop Assembly of 30,000 kW Kaplan Turbine

圧油送入装置の上部から取出しレバー、ロッドを介して調整機のカム軸に伝えピストンの上下動に応じてカム軸を左右に回転させ、ランナブレードの角度とガイドベーン開度とを或る一定の關係に保たせる役目をしている。

(B) 吸出管

この程度の水車ではランナを出た流水の有するエネルギーが割合に大きいため、吸出管の効率は軽視出来ないものがある。本水車の如く背圧の下で運転されるものでは、掘鑿量を減らすことよりみて吸出管の高さは低い方が望ましい。このために吸出管に就いても模型試験の際に種々比較検討を行つて実物水車に使用する吸出管の形状を決定した。

吸出管は入口から屈曲部の終りまでと、センターピヤーの先端部は鉄板ライナによつて保護されている。第16図は吸出管ライナの製作状況であるが、この図からもわかるように吸出管ライナは適当に分割されてフランジ接手によつて組立てられている。

(C) ケーシング

鋼板製渦巻型であつて、入口径は 4,400 mm である。第17図は工場内仮組立の状況である。これには Winter-Kennedy 法による流量測定用の測圧孔を備えている。

(D) ガイドベーン

ガイドベーンは軸部と一体鑄造の鑄鋼製であつて、ガイドベーン枚数は 20 枚である。ガイドベーンステム軸

受, ガイドベーン操作レバー, リンク類の摺動部は自動グリース給油装置によつて自動的に潤滑されるが, ガイドベーン下部ステム軸受へはガイドベーンの上部ステムから下部ステムへ貫通する孔を通じてグリースを送り上部ステム軸受と同時に潤滑を行うようになつており, 下部ステム軸受へのグリース給油配管を省略している。

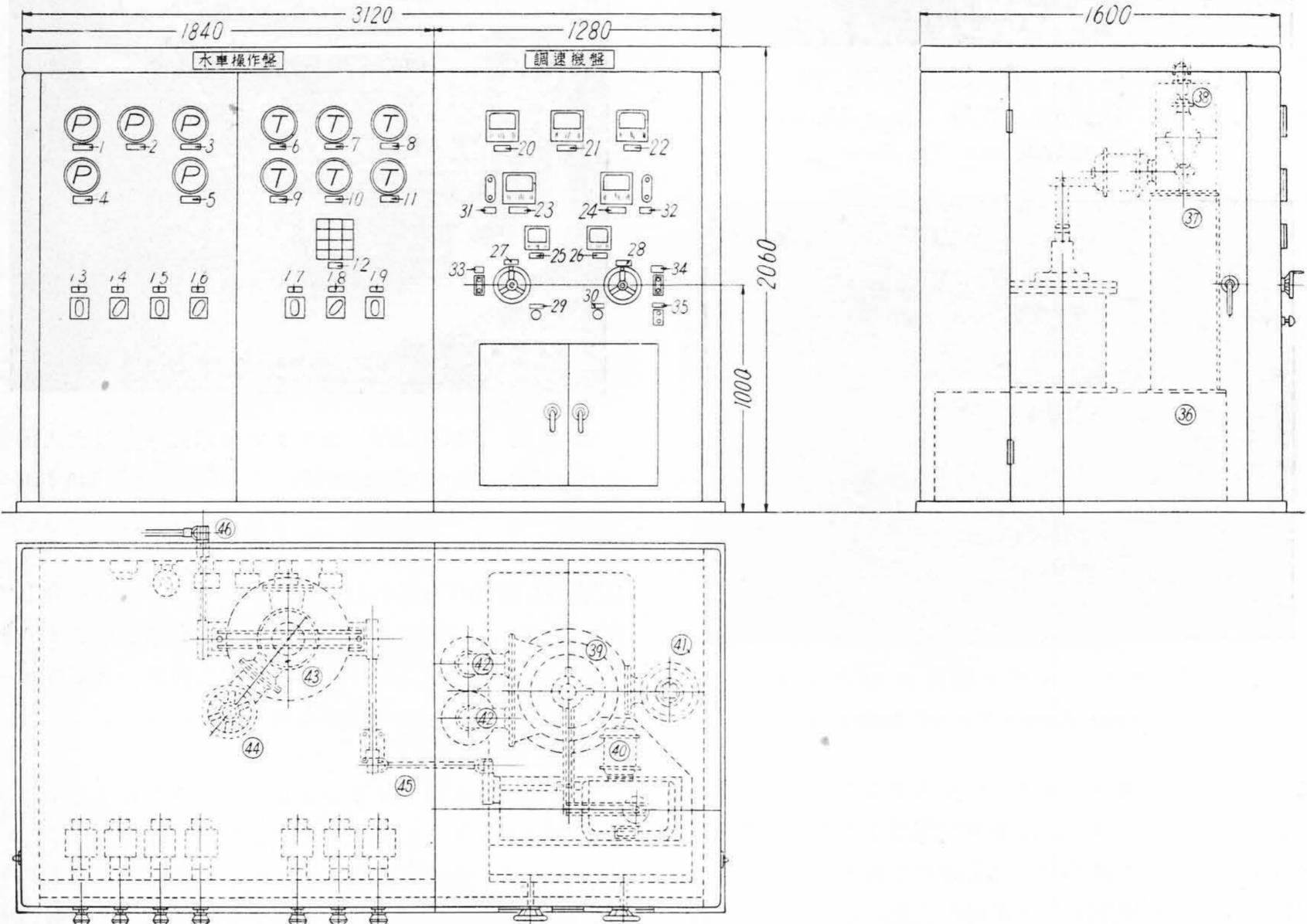
(E) スピードリング

全鋼板熔接構造を採用して製作され, 輸送の関係上 4 つ割りとしてある。

ステイペーンはガイドベーン一枚に就き一枚ずつ取付けられている。ステイペーン 20 枚の中 6 枚には Peck 法による流量測定用の測定孔が設けられ, 銅管によつてバレル内部に導かれている。この Peck 法の測定孔は実物水車に先立つて模型試験によつて特性が確められた。第 18 図に水車の工場内組立の状況を示す。

(F) プロテクトライナ

落差の増昇に伴つて, ブレード外周と側壁との隙間から発生する空洞現象は烈しくなるものと想像され, 又模



1	ケーシング入口水圧	17	水車運転用ハンドル	33	負荷制限操作スイッチ
2	ランナ上部速成計	18	水車停止用ハンドル	34	速度調整操作スイッチ
3	ランナ下部速成計	19	ブレーキハンドル	35	内部照明用スイッチ
4	水車軸受上部水圧	20	油圧計	36	ベース
5	水車軸受下部水圧	21	電力計	37	コントロールボード
6	発電機上部軸受温度	22	回転計	38	スピードボックス
7	発電機推力軸受温度	23	負荷制限及び案内羽根開度	39	案内羽根用配圧弁
8	発電機下部軸受温度	24	速度調整位置	40	アクチュエータモータ
9	水車軸受温度	25	ランナブレード開度	41	ストツプバルブ
10	発電機空気入口温度	26	速度調定率	42	案内羽根操作油管
11	発電機空気出口温度	27	負荷制限ハンドル	43	ランラブレード用配圧弁
12	集合表示器	28	速度調整ハンドル	44	ストツプバルブ
13	変圧器冷却水弁開用ハンドル	29	非常停止ハンドル	45	ランナブレード操作ロッド
14	変圧器冷却水弁閉用ハンドル	30	速度調定率ハンドル	46	ランナブレードレターンロッド
15	水車発電機冷却水弁開用ハンドル	31	負荷制限上下限表示器		
16	水車発電機冷却水弁閉用ハンドル	32	速度調整上下限表示器		

第 19 図 キャビネット型調速機及び水車操作盤盤外観図
Fig. 19. Outside View of Cabinet Type Governor and Instrument Panel

型による空洞現象試験に於てもこの事実は明らかになっている。このためにプロテクトライナをパーライト系不銹鋼製とすることによつて流水中の土砂による磨耗並びに空洞現象発生による腐蝕に対する抵抗性を増大せしめた。

(G) 主軸受及び水車カバー

主軸受はグリース潤滑方式を採用し、軸受の上部及び下部に特殊パッキングを設けてグリースの消費量の軽減を計ると共に軸受部を保護している。(特許第179950号)

内側カバー上部のシーリングボックスはランナ受台を兼ね、水車と発電機を切り離した場合に水車軸に設けた錨がシーリングボックスに支えられ、ランナが上カバーに支持されるようになっている。このため水車の組立分解には便利である。

内側カバーには空気吸入弁を設け、負荷の変動によつてランナ上部に真空が生じた場合、空気を自動的に吸込ませて真空を軽減し、振動の原因を除くようにしてある。又在来の空気弁はハンチングによつて騒音を発するものもあつたが本水車に於てはダッシュポットを附加することによつてハンチングを防止している。内側カバー下部には防水リングを備え、主軸受分解の際に放水路からの水が内側カバー内に浸入して来ないようにしてある。

(2) 調整装置

(A) 圧油装置

単位方式であつて 75 kW 電動機直結の歯車ポンプを常用とし、75 kW 小水車直結の歯車ポンプを予備としているが、必要の場合には小水車直結の方を常用として使用出来るようになっている。常用電動ポンプの電源が停止した場合又は油圧降下第一段の場合には小水車は自動的に起動し、電源復帰又は油圧が常用油圧に戻れば、自動的に小水車は停止する。

圧油ポンプは常用油圧 $18 \text{ kg/cm}^2 \sim 16.5 \text{ kg/cm}^2$ 送油量 $1,500 \text{ l/min}$ 、回転数 480 r.p.m. のものであつて、本邦水車関係の圧油ポンプとしては最大容量のものである。

(B) 自動グリース給油装置

圧油装置と同じく単位方式を採用している。グリースポンプは吐出圧力常用 50 kg/cm^2 、最大 120 kg/cm^2 、吐出グリース量 $60 \text{ cm}^3/\text{min}$ のプランジャ型であり、 $1/2 \text{ HP}$ 電動機により直結駆動される。グリースポンプは主軸受用として常用1台、予備1台、ガイドベーン用として常用1台、予備1台、計4台を備えている。

主軸受用及びガイドベーン用グリースポンプはそれぞれ所定の時間置きに間歇的に給油を行い、断流又は油量不足の際には警報を発すると共に予備ポンプを自動的に起動し、常態に復すれば常用ポンプに切替えるようになっている。

(C) 自動制御装置

1 人制御方式を採用し、配電盤室に於て起動停止操作を行い得るようになっているが、機械室のガバナ操作盤によつても同様な操作を行うことが出来る。

主幹制御機は配電盤室の配電盤に設けられ、準備、起動、励磁、並列、負荷、停止の6段階の操作を行うことが出来る。この操作は一段毎に行うことも出来るが、又任意の位置までハンドルを廻せば機械は自動的にその位置に応じた状態になるようになっている。

同期化装置としては電子管式小勢力自動同期化装置を備え並列の操作により自動的に並列運転に入るようになっている。

第20図(次頁参照)は自動操作方式を示す。

(D) 調速機

(a) キャビネット型調速機

本発電所に使用された調速機はキャビネット型調速機であつて第19図にその外観図を示す。

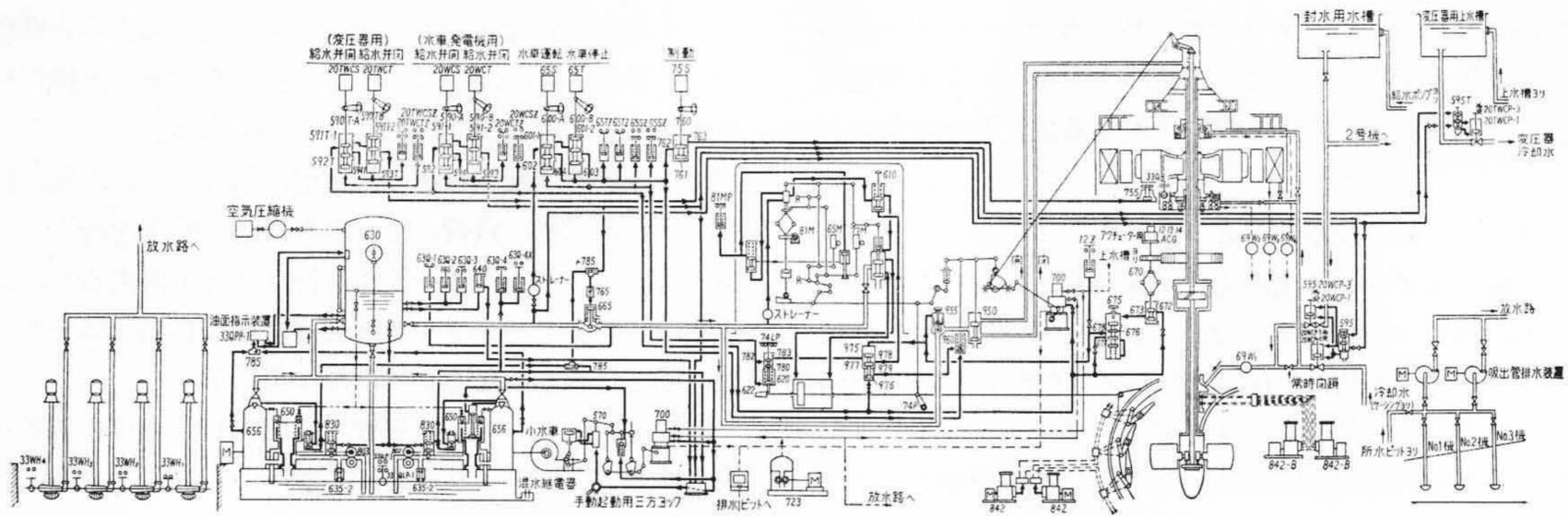
アクチュエータは鋼板製の優美なキャビネットに収められ運転に必要な計器類及び調速機操作用のハンドルがキャビネット前面に整然と配置され、操作を行うのに非常に便利である。

キャビネットの内部は各部機構の点検に便利なように配置され、更に内部照明用の点灯装置を有し点検に便ならしめている。

(b) 落差連動装置

前にも述べたように本名発電所に於ける落差の変動は極めて大きく、最高 36.1 m より最低 24.1 m まで変化する。このような場合に最高効率を現出するランナブレード角度とガイドベーン開度との間の関係は落差の変動に応じて変化するのには当然であつて、特に落差の変動の大きい場合には、落差の変動に応じてランナブレード角度とガイドベーン開度の関係を調整することによつて 2~3% 程度の効率の上昇を得ることが出来る。

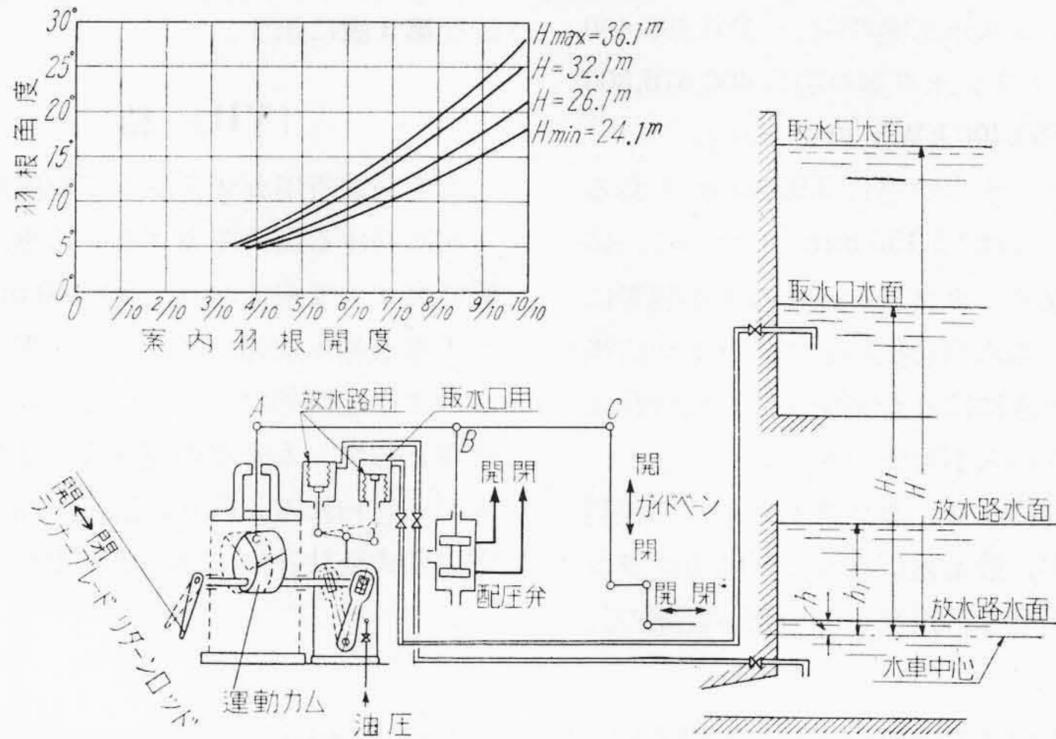
本水車の調速機に用いられる落差連動装置の概略は第21図に示す通りである。落差が一定である場合には普通のものと同様にリターンロッドによりカム軸を回転させて連動カムの形状によつて所定のランナブレード角度とガイドベーン開度との関係を与えることが出来る。取水口水面及び放水路水面の昇降による水圧の変化はそれぞれ取水口用、放水路用のベロウによつて検出されて、取水口水面と放水路水面との間の落差に相当する位置にカム軸を移動させる。従つて連動カムを立体的なものとし、各落差に相当する位置のカムのプロファイルを、その落差の場合の最高効率が現出される関係を与えるように製作すれば水車は如何なる落差の場合にも最良の効率を保持することが出来る。



自 動 器 具 番 号 表

12. 13. 14	遠 心 力 開 閉 器	590T-B	電 磁 弁 (変圧器給水弁閉用)
12Z	油 圧 開 閉 器 (過速時急停止用)	590-A	電 磁 弁 (水車発電機給水弁開用)
20 WCP-1	位 置 開 閉 器 (閉表示用)	590-B	電 磁 弁 (水車発電機給水弁閉用)
20 WCP-3	位 置 開 閉 器 (開表示用)	600-A	電 磁 弁 (水車運転用)
20 TWCP-1	位 置 開 閉 器 (閉表示用)	600-B	電 磁 弁 (水車停止用)
20 TWCP-3	位 置 開 閉 器 (開表示用)	760	電 磁 弁 (制 動 用)
33 QB	浮 動 開 閉 器 (軸受油槽油面低下時警報用)	560	小 水 車 運 転 弁
33 QPP	位 置 開 閉 器 (圧油槽油面低下時警報用)	570	小 水 車 入 口 弁 兼 制 速 機
63 Q-1	油 圧 繼 電 器 (起動用) 16 kg/cm ²	595	水 車 発 電 機 用 給 水 弁
63 Q-2	油 圧 繼 電 器 (警報用) 14 kg/cm ²	595T	変 圧 器 用 給 水 弁
63 Q-3	油 圧 繼 電 器 (停止用) 12.5 kg/cm ²	610	調 速 機 急 停 止 弁
63 Q-4	油圧継電器 (小水車側ポンプ起動用) 14.5 kg/cm ²	620	鎖 定 装 置
63Q-4X	油 圧 開 閉 器 (小水車側ポンプ起動表示)	630	圧 油 槽
20 TWCS	電 磁 石 (変圧器給水弁開用)	635	安 全 弁
20 TWCT	電 磁 石 (変圧器給水弁閉用)	640	油 圧 補 償 弁
20 WCS	電 磁 石 (水車発電機給水弁開用)	650	ア ン ロ ー ダ ー
20 WCT	電 磁 石 (水車発電機給水弁閉用)	656	空 気 補 給 槽
65 S	電 磁 石 (水車運転用)	665	自 動 ス ト ヲ プ バ ル ブ
65 T	電 磁 石 (水車停止用)	670	過 速 度 危 険 防 止 装 置
75 S	電 磁 石 (制 動 用)	675	過 速 度 危 険 防 止 装 置 用 配 圧 弁
20 TWCSZ	油 圧 開 閉 器 (20 TWCS 用)	700	水 位 連 動 装 置
20 TWCTZ	油 圧 開 閉 器 (20 TWCT 用)	723	空 気 ポ ン プ
20 WCSZ	油 圧 開 閉 器 (20 WCS 用)	755	制 動 機
20 WCTZ	油 圧 開 閉 器 (20 WCT 用)	780	油 圧 切 換 弁
65 SZ	油 圧 開 閉 器 (65 S 用)	785	T 型 チ ェ ヲ ク バ ル ブ
65 TZ	油 圧 開 閉 器 (65 T 用)	802	圧 油 ポ ン プ (補 助)
65 M	速 動 調 整 電 動 機	803	圧 油 ポ ン プ (主)
77 M	負 荷 制 限 電 動 機	830	油 圧 切 換 弁
81 M	調 速 機 ス ピ ー ダ ー 駆 動 用 電 動 機	842	グ リ ー ス ポ ン プ (案 内 羽 根 用)
81 MP	油 圧 開 閉 器 (調速機スピードガード保護用)	842-B	グ リ ー ス ポ ン プ (水 車 主 軸 用)
74 P	案 内 羽 根 位 置 開 閉 器	950	ラ ン ナ ベ ー ン 用 配 圧 弁
74 LP	鎖 定 装 置 用 位 置 開 閉 器	955	自 動 油 量 調 整 弁
69 W	水 流 繼 電 器 (起動及び警報用)	960	起 動 用 補 助 ピ ス ト ン
590 T-A	電 磁 弁 (変圧器給水弁開用)	975	油 圧 切 換 弁

第 20 図 1 人 制 御 方 式 自 動 操 作 系 統 図
 Fig.20. Schematic Diagram of Semi-Automatic Control of Water Turbine



第21図 変落差羽根角度対案内羽根開度自動調整装置略図

Fig. 21. Diagram Showing Mechanism Automatically Adjusting Relations between Runner Blade Angle and Guide Vane Opening under Variable Heads

〔VI〕 フランシス水車案とカプラン水車案との比較

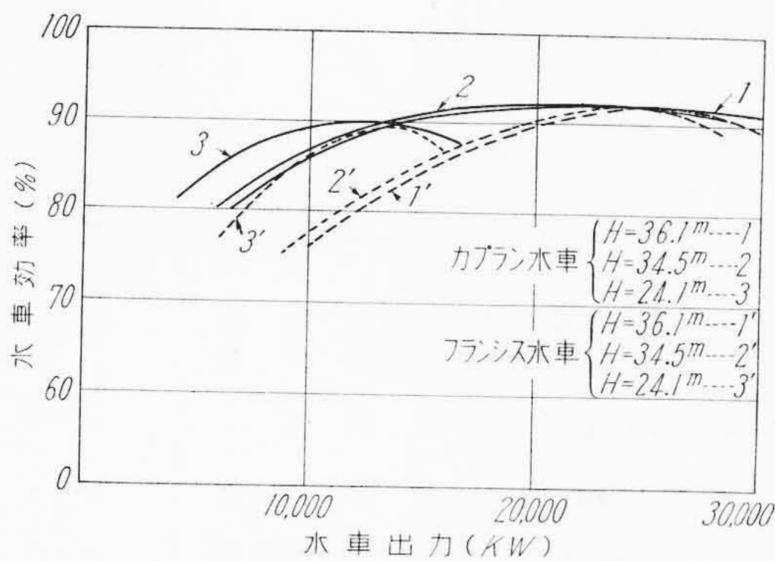
本名発電所の計画に当つてフランシス水車3台案を採用するかカプラン水車3台案を採用するか問題となり種々の検討が行われた。

カプラン水車を採用しようとする場合に問題となつた点は吸出高の問題と水車重量の増加であつた。36 m の落差はフランシス水車としては低い方であるが、カプラン水車としては、本邦に於ては当時その例がなく、空洞現象の発生によるランナの腐蝕並びに振動の発生の心配があつた。しかし模型水車による空洞現象試験の結果は、水車停止時に於てケーシングを放水面下 2.5 m の所に

設置すれば大丈夫との見透しがついたが、フランシス水車の場合にはケーシングを放水面上 2.5 m の位置に設置することが出来、掘鑿量の点より見ればフランシス水車の方が有利である。

水車の重量に就いてはカプラン水車はその構造上フランシス水車より重くなるのはやむを得ない。しかしカプラン水車は回転数を高くとることが出来、これによつて生ずる発電機重量の軽減を合わせ考えればかえつてカプラン水車の方が幾分有利となる。フランシス水車採用の場合の回転数は 136 r.p.m. カプラン水車の場合には 167 r.p.m. である。

フランシス水車案とカプラン水車案それぞれの場合の効率曲線を比較すると第22図の如くなる。年間発生電



第22図 カプラン水車とフランシス水車との効率比較曲線

Fig. 22. Curves Showing Comparison between Kaplan Turbine and Francis Turbine Efficiency

第3表 カプラン水車案とフランシス水車案との比較

Table 3. Comparison between Kaplan Turbine and Francis Turbine Plan

	カプラン水車案	フランシス水車案
ランナ直径 (mm)	3,900 (6枚羽根)	4,150
回転数 (r.p.m.)	167	136
比較回転度 (m-kW)	334	274
水車効率 (%)		
H=36.1 m	{ 全負荷 91.0 1/2負荷 90.5	{ 全負荷 89.5 1/2負荷 84.5
H=34.5 m	{ 全負荷 91.0 1/2負荷 90.5	{ 全負荷 89.5 1/2負荷 84.5
H=24.1 m	{ 全負荷 88.0 1/2負荷 88.0	{ 全負荷 86.5 1/2負荷 82.5
年間発生電力量 (kWh)	400,576,800	396,896,400
吸出高 (m)	-2.5	2.5
水車重量比 (%)	100	80

力量で比較するとフランス水車案の場合 396,896,400 kWh であるのに対しカプラン水車案の場合 400,576,800 kWh であり、年間 3,680,400 kWh の差となる。

ランナの直径はカプラン水車の場合 3,900 mm であるが、フランス水車の場合には 4,150 mm となつて一体では国鉄輸送が不能となり、カプラン水車の方が運搬に便利である。又フランス水車を採用して、ランナ直径を輸送限界内に収めるときには4台案を採用しなければならず、建家寸法の関係から不可能である。

以上述べたような経緯により、カプラン水車案の採用が決定された訳であるが、最も重視されたのはカプラン水車とフランス水車の効率の差異であつた。両案の比

較を第3表に示す。

〔VII〕 結 言

本名発電所用カプラン水車の概略に就いて述べたが、本邦に於ける高落差カプラン水車に対する関心は、近年頓に高まつて来ており、50~60 m 程度の落差のカプラン水車も愈々本邦内に於ても実現されることゝなつた。このような情勢の下にあつて本邦最初の高落差カプラン水車として、本水車の運転成績は各方面の注目を集めるものと思われる。終りに臨んで種々御尽力を賜つた東北電力株式会社各位に厚く御礼申し上げる次第である。



最近登録された日立製作所の特許及び実用新案

(その1)

区 別	登録番号	名 称	工場別	氏 名	登録年月日
特 許	202469	鉄製水銀整流器の点弧装置	日立工場	山口 又右衛門	28. 11. 17
"	202472	電子顕微鏡電子線観察装置	日立工場	田 中 貞之助	"
"	202467	巻上機に於ける副制動機の制御装置	亀有工場	滝 本 秀 彦 秋 田 六 郎	"
"	202474	軸流ポンプに於ける可動翼制御装置	亀有工場	矢 島 光 吉	"
"	202480	起重機安全運転指示装置	亀有工場	尾 島 治 祐	"
"	202468	輪転印刷機の巻取紙張力自動調整装置	川崎工場	森 久 雄	"
"	202473	印刷機及び類似機械に於ける版胴駆動装置	川崎工場	寺 田 勇 夫 猪 島 正 雄	"
"	202466	電子顕微鏡の電子レンズ非点収差補正装置	多賀工場	片 桐 信二郎	"
"	202475	熔接機可動鉄心駆動ウォーム鎖錠装置	亀戸工場	久 米 平 助 田 沢 助 卓	"
"	202476	熔接機の可動鉄心振動防止装置	亀戸工場	久 米 平 助 田 沢 助 卓	"
"	202478	ゲ ッ タ ー 蒸 飛 方 法	茂原工場	内 田 淳 美 畑 捨 三	"
"	202477	電 気 装 置	日立電線工場 中央研究所	吉 川 充 雄 川 松 俊 治	"
"	202471	可撓性大なるリンクチェーン	戸畑工場	三 原 正 一	"
"	202465	巻線層間絶縁試験法	中央研究所	斎 藤 清 吉	"
"	202470	電子顕微鏡焦点照準方法	中央研究所	小 泉 喜八郎	"
"	202479	負 性 抵 抗 体	中央研究所	二 木 久 夫	"
特 許	202481	熱 線 型 流 量 計	中央研究所	井 上 実 夫 角 野 正 夫	28. 11. 17

(第26頁へ続く)