

東北電力株式会社新大倉発電所納

5,500 kW 可動翼斜流水車および6,200 kVA 交流発電機について

5,500 kW Movable Blade Diagonal Flow Turbine and 6,200 kVA A. C. Generator
Delivered to Tohoku Electric Power Co., Inc.

横井信安* 井上久男* 北野豊*
Nobuyasu Yokoi Hisao Inoue Yutaka Kitano

内 容 梗 概

わが国最初の本格的な可動翼斜流水車であるばかりでなく、世界最高落差の可動翼斜流水車である東北電力株式会社新大倉発電所用斜流水車は、昭和34年以来模型試験による研究を経て、製作、据付を完了し、昭和36年6月運転を開始した。96.9 mの高落差に適応する可動翼斜流水車を製作するために、模型試験による性能研究にあわせて、構造面についても各種の研究がなされた。また6,200 kVA 交流発電機は1,875 rpmに達する無拘束速度に耐えるようヨークはシャフトと一体鍛造としている。本文は新大倉発電所の概要、斜流水車の模型試験、構造および発電機の構造などについて概述したものである。

第1表 わが国高落差可動翼水車

納 先	発電所名	kW	H (m)	N (rpm)	形 式	台数	製作所	製作年度
東北電力	新日向川	15,500	113.4	600	斜 流	1	日立	製作中
東北電力	新大倉	5,500	96.9	750	斜 流	1	日立	1961
電源開発	黒又川第二	19,500	79	273	斜 流	1	富士	製作中
熊本県電	市房第一	15,800	73.35	400	カプラン	1	日立	1960
関西電力	殿山	17,000	71.0	400	カプラン	1	日立	1957
四国電力	穴内川	13,500	69.5	360	斜 流	1	日立	製作中
北海道電力	岩知志	14,500	59.5	375	カプラン	1	日立	1958
四国電力	新三縄	7,300	57.7	514	カプラン	1	東芝	1958
関西電力	天ヶ瀬	50,000	57.0	180	斜 流	1	三菱	製作中
中国電力	竹市	7,000	56.0	600	カプラン	1	東芝	1957
中部電力	姫川第三	13,000	55.0	400/333	カプラン	1	日立	1956
北海道庁	二股	15,000	55.0	333	カプラン	1	三菱	1960
東北電力	新落合	20,600	52.0	273	カプラン	1	富士	1959
電源開発	大鳥	100,000	51.0	125	カプラン	1	日立	製作中
四国電力	名頃	1,360	46.65	720/600	斜 流	1	東芝	1961

1. 緒 言

斜流形水車はランナ羽根角度を可変にできる構造的長所をもっているため、カプラン水車のように落差変動や負荷変動に対して平坦なすぐれた効率特性を有している。また適用落差はカプラン水車の適用落差限界をこえフランシス水車の適用落差領域にまで適用できる。東北電力新大倉発電所用5,500 kW 可動翼斜流水車(H=96.9~70.3m)は、高落差カプラン水車に引き続いて斜流水車の高落差域への発展に先鞭をつけたもので、わが国最初の本格的な可動翼斜流水車であるばかりでなく、世界最高落差の可動翼斜流水車である。

可動翼斜流水車はフランシス水車と比較して、効率特性がすぐれ、比速度を高く選定できるなどの長所を有する反面、ランナ羽根を可動とするために、機構が多少複雑になり、無拘束速度も一般に高く、吸出し高さも深くなるなどの短所もある。したがって、フランシス水車と、可動翼斜流水車との電力発生量、発電機を含めた製作費、工事費などを比較検討して、新大倉発電所に可動翼斜流水車が採用されることに決定されたのである。

この可動翼斜流水車の製作にあたっては模型試験を綿密に行なったほか、ランナ操作機構などの新しい構造部分については試験装置を製作して慎重に検討し、水車ランナは1,712 rpmの無拘束速度試験を行なって万全を期した。斜流水車独特のランナ羽根外周間げきを保持するためにランナ外周保護装置や主軸変位測定装置が設けられている。

昭和36年6月運転を開始し、受入試験、特殊試験、官庁試験を好成績で終了して、現在営業運転にはいつている。ここに新大倉発電所用可動翼斜流水車および交流発電機の概要を紹介する次第である。

2. 発電所計画概要

新大倉発電所は仙台市を流れる名取川水系広瀬川の支流にあたる大倉川上流に、建設省によって築造された、洪水調節を主目的とし、かんがい、水道、工業用水に利用する大倉ダムの下流に位置する。大倉ダムの上流、右岸よ水口を設けて取水し、これより375 mの圧力トンネルを経て、サージタンクに連絡する。これよりさらに延長208 mの水圧管1条を経て、水車に導水し、最大5,200 kWを発電して、延長1,004 mの放水路を経て大

* 日立製作所日立工場

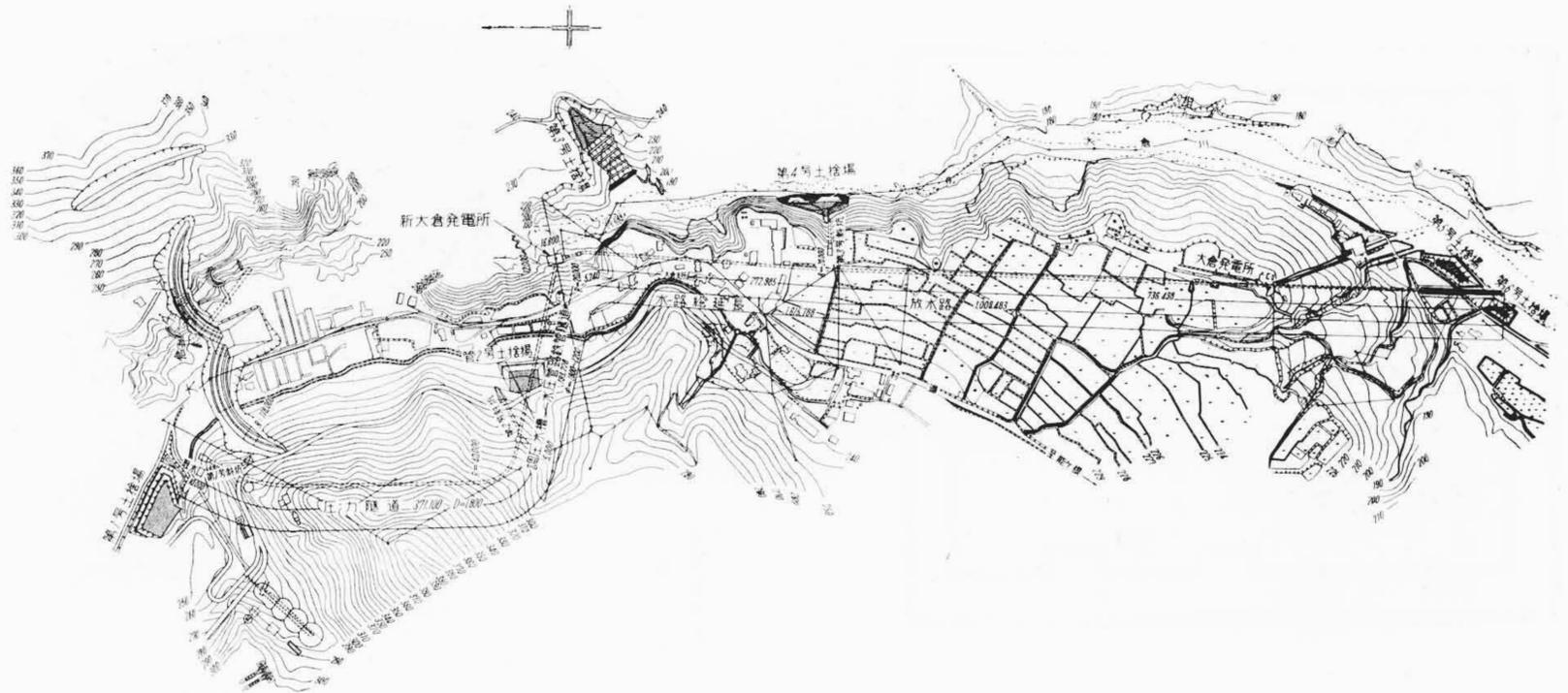


第1図 発電所位置図

倉川に放流する。

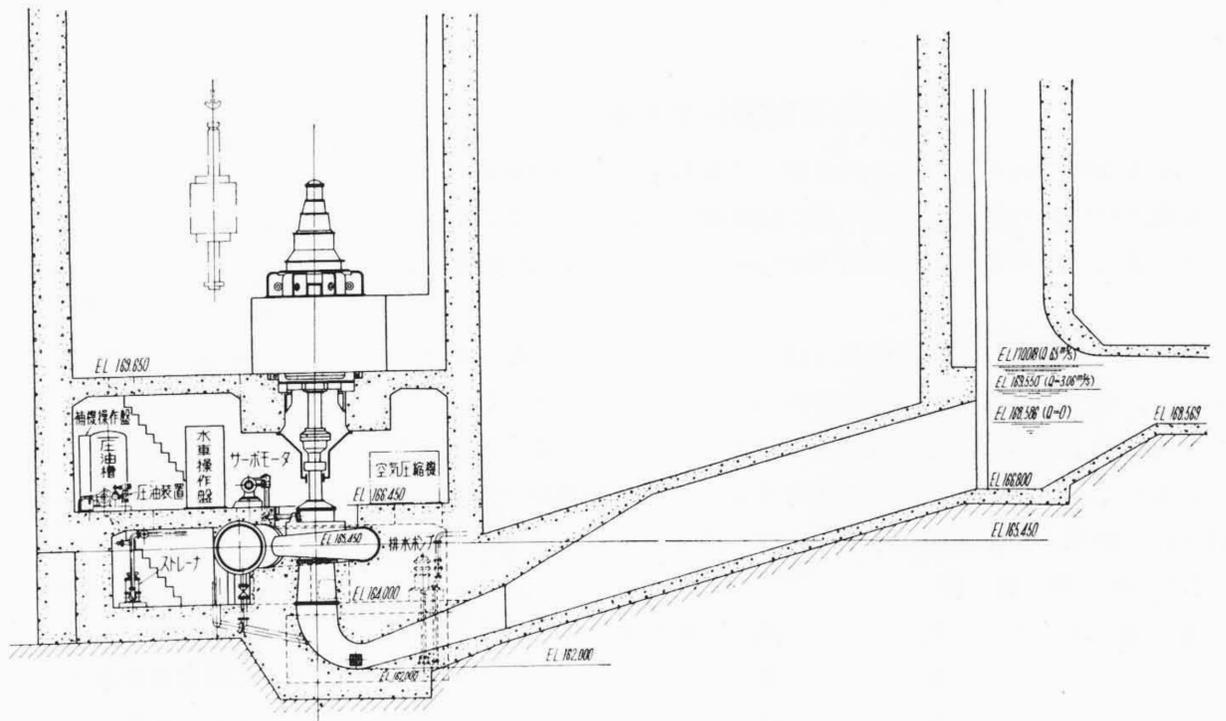
2.1 発電所計画概要

取水川名	名取川水系広瀬川支流大倉川
貯水池	総貯水量 28,000,000 m ³ 有効貯水量 25,000,000 m ³
流域面積	88.5 km ²



第2図 ダムおよび発電所付近図

湛水面積	1.6 km ²
満水位標高	270.60 m
使用水量	
最大	6.5 m ³ /s
常時	3.06 m ³ /s
有効落差	
最大使用水量時	96.9 m
(貯水池満水位の場合)	
常時使用水量時	70.3 m
(貯水池最低水位の場合)	
発電所出力	
最大	5,200 kW
常時	1,500 kW
発生電力量	
年間	29,194 MWH
冬期	9,119 MWH
ダム	



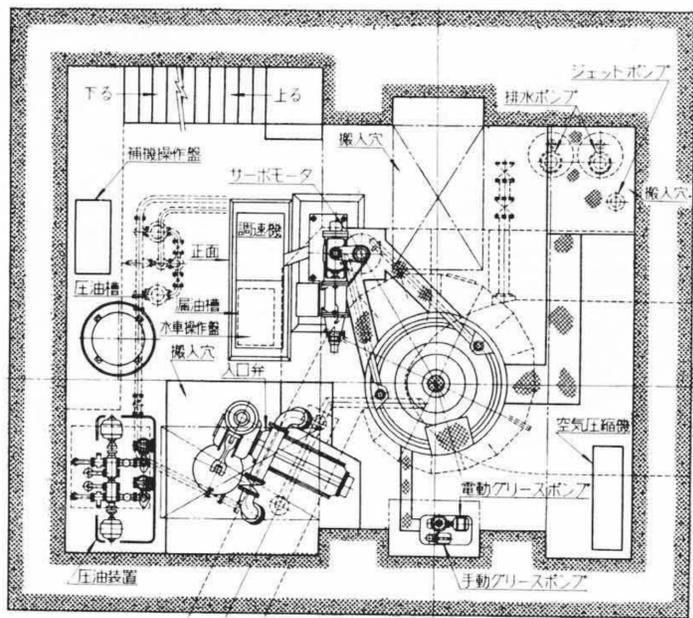
第3図 5,500 kW 斜流水車据付断面図

形式	二重アーチ式 コンクリートダム		
高さ	82.00 m	内径	2.2 m
長さ	320 m	亘長	1,004 m
体積	225,000 m ³	基準標高	
導水路		最大出力時 (Q = 6.5 m ³ /s)	常時 (Q = 3.06 m ³ /s)
形式	馬蹄形圧力トンネル	取水口水位	EL. 270.0
内径	1.90 m	水槽口水位	EL. 269.39
亘長	375.382	放水池水位	EL. 171.78
調圧水槽		放水口水位	EL. 168.00
形式	非溢水流形水室調圧水槽		
高さ	45.40 m		
断面	ライザー内径 2.5 m		
	下部・中部水室内径 1.8 m		
	上部水室内径 5.0 m		
水圧管路			
形式	コンクリート巻立鉄管トンネル		
内径	1.8~1.2 m		
亘長	約 208 m		
放水路			
形式	扁平馬蹄形		

2.2 建屋および機器の配置

落差を有効に利用するため、地表の EL. 198.400 に対し、水車中心は EL. 166.450 に設置された地下式発電所で、発電機室上部と地表との間に配電盤室、事務室などを4階に分けて収容している。水車室は二床式で、斜流水車のランナ外周間げきの変化を極力少なくするために、発電機室床をできるだけ低くし、発電機を支持するはりは、たわみが少なくなるように工夫されている。

放水路が非常に長いため、吸出し管出口にサージタンクが設けられ、吸出し管の形状には特別な考慮がはらわれている。斜流水車の採用により、発電機の回転数は750 rpmとなり、励磁機を発電機に直結すると、発電機の高さが比較的高くなるので、直結方式をや



第 4 図 5,500 kW 斜流水車据付平面図

め、誘導電動機により駆動される別置形励磁装置が設けられている。

3. 5,500 kW 可動翼斜流水車

回転数 600 rpm のフランスス水車、回転数 750 rpm の斜流水車、回転数 600 rpm の斜流水車の三案が比較検討されたが、建設費、発生電力量などを考慮の上回転数 750 rpm の斜流水車案が採用された。

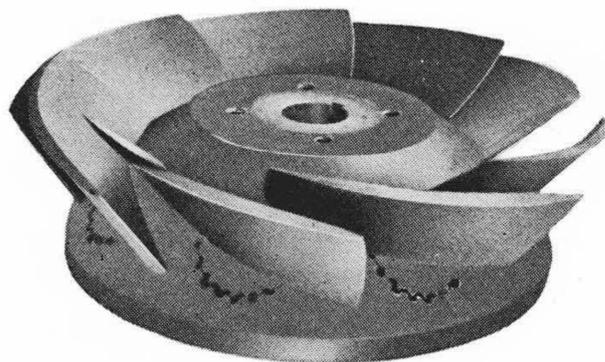
本水車に与えられる有効落差は最高 96.9 m より最低 70.3 m まで変化し、かつ最大水量 6.5 m³/s 時の出力をできるだけ多くし、しかも常時水量 3.06 m³/s 時の効率をできるだけ高くするよう希望されているので、最適の水車仕様を選定するために、慎重かつ詳細に検討された結果、その仕様は下記のとおり決定された。

3.1 水車仕様

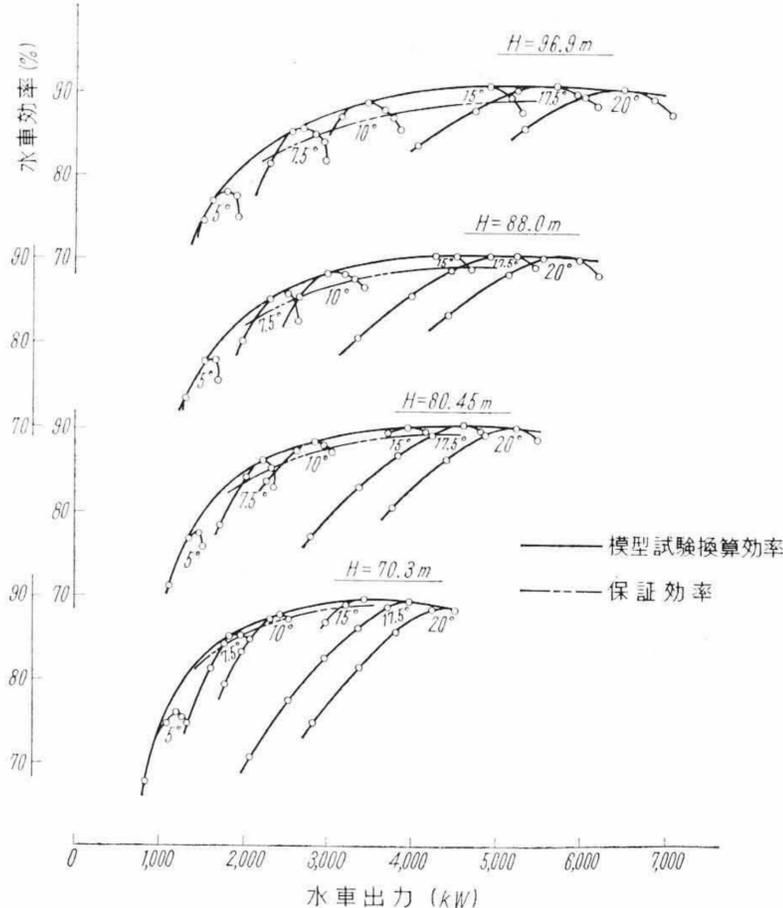
有効落差	最 高	96.9 m
	基 準	85.0 m
	最 低	70.3 m
水車出力	最高落差時最大	5,500 kW
	基準落差時最大	4,830 kW
	最低落差時最大	3,350 kW
使用水量	最高落差時最大	6.5 m ³ /s
	基準落差時最大	6.5 m ³ /s
	最低落差時最大	5.8 m ³ /s
回 転 数		750 rpm
比 速 度		202 (m-kW)
形 式		VD-1 RS (DMS-V)
台 数		1 台
回 転 方 向		発電機側より見て時計方向
据 付 方 式		二床式
最大速度変動率		40%
最大水圧上昇率		45%
ケーシング中心最大静水圧		145 m
発電機に要する GD ²		13.6 t-m ²
高無拘束速度		1,712 rpm (228%)

3.2 模型試験

昭和 32 年頃より斜流水車および斜流ポンプ水車の試作研究を開始していたので、東北電力株式会社と新大倉発電所の斜流水車の共同研究を行なうことに決定した当時、相当量の研究資料が蓄積され、



第 5 図 模 型 ラ ン ナ



第 6 図 効 率 試 験 結 果

すでに新大倉発電所に適用可能な模型ランナの試験を完了していた。さらに性能の改善をはかるために、引き続いて模型試験が継続され、水車効率、キャビテーション性能とも、全体的に保証値を上まわる良好な結果を得ることができた。そのほか、性能面ではランナ羽根外周間げきと水車効率の変化、吸出し高さとの関係など、構造面ではランナ操作機構試験装置、ランナステムパッキング試験装置などの特殊試験を実施して、性能、構造両面とも万全を期した。

(1) 効率試験

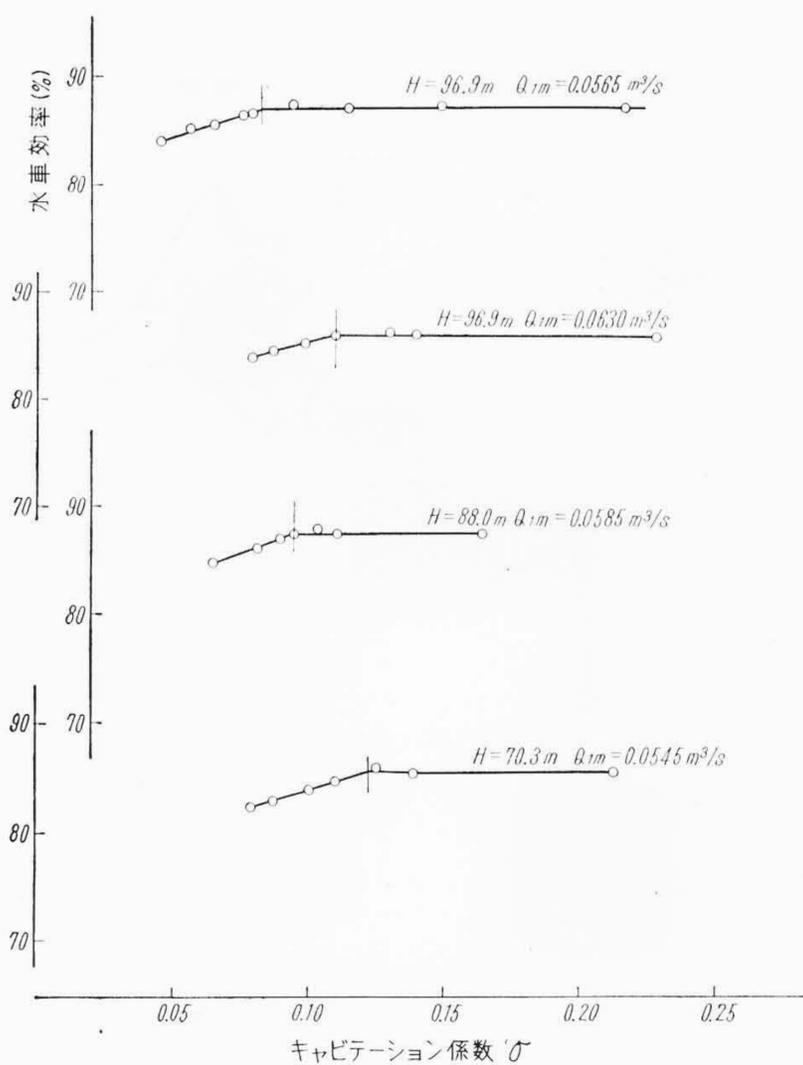
試作研究において開発したランナをもとにして、ランナ前後の流速分布の測定、キャビテーションの発生状況などを考慮して、翼形入口角、出口角、翼のねじりなどに逐次改良を加えながら、4 個の模型ランナを製作して試験した。また斜流水車に最適な水力学的形状を決定するために、4 種類のケーシング、3 種類の吸出し管、および 2 種類のガイドベーンなどを組み合わせて、綿密な比較試験が繰り返され、最終ランナおよび水車形状が決定された。第 6 図に各落差における実物水車の模型換算効率と保証効率を示す。効率の換算は moody の 1/5 乗式を最高効率点に適用し、この点の換算値と模型水車の効率の差をほかの点にも一様に加える方式によった。推定効率は全運転領域にわたって、保証効率を上まわった。

(2) キャビテーション試験

効率試験に用いられた同一ランナを高落差キャビテーション試験装置に組み込んで実施した。水車効率の向上およびキャビテーシ



第7図 キャビテーション発生状況比較試験例



第8図 模型水車のキャビテーション性能

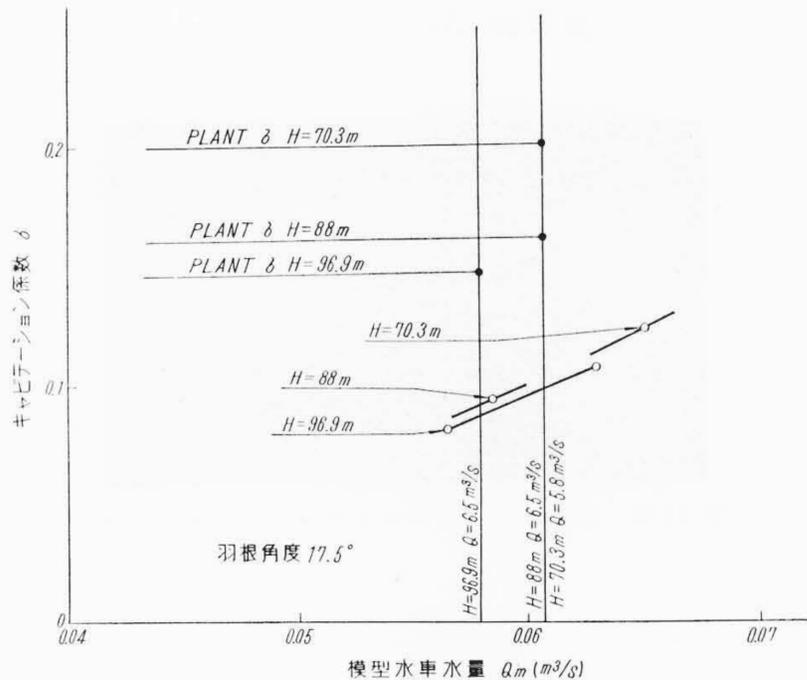
ン性能の改善をはかることを目標にして同一ランナボスに翼形、入口角、翼厚などを異にした数種類のランナ羽根を組み、各ランナ羽根のキャビテーション発生状況を観察し、キャビテーション性能の良好なランナ羽根を選定して、改良を重ねて行なった。第7図にそれぞれのランナ羽根のキャビテーション発生状況の比較写真を示す。

効率試験において選定された最終ランナはキャビテーション性能も最もすぐれ、全運転落差領域において、翼面は無キャビテーションになっていることが確かめられた。斜流水車は水圧推力の変化や温度変化による水車、発電機軸の伸縮のためにランナ羽根外周間げきの変化が予想されるので、ランナ羽根外げきとギャップキャビテーション発生状況との関係も観察された。

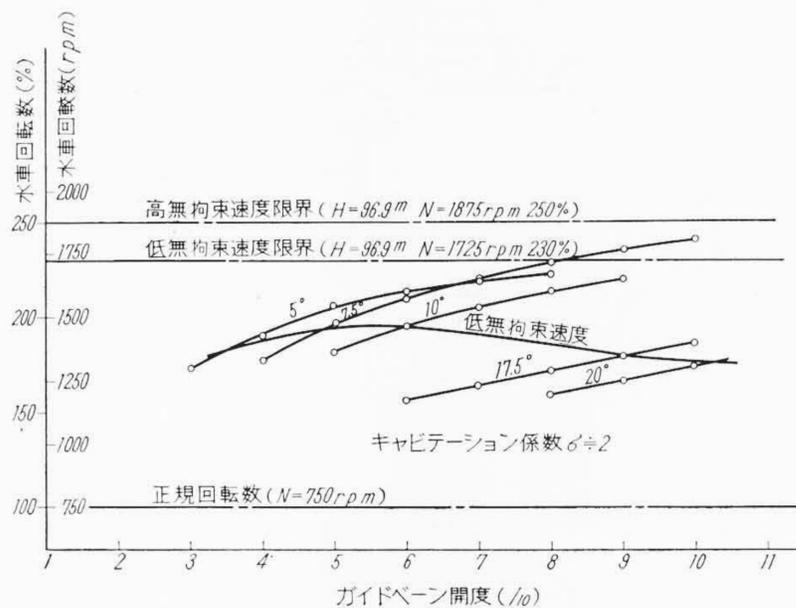
第8図および第9図に示すように、シグマブレイキの測定値は、水車中心標高 165.45 m におけるプラントシグマに対して、きわめて小さくなっており、全運転落差領域にわたって十分安全な運転が行なえることが確認された。

(3) 無拘束速度キャビテーション係数試験 (NR-σ 試験)

第10図に示す無拘束速度に従来行なわれてきたものと同じ方法により、効率試験時に動力計の負荷を零として各開度角度について



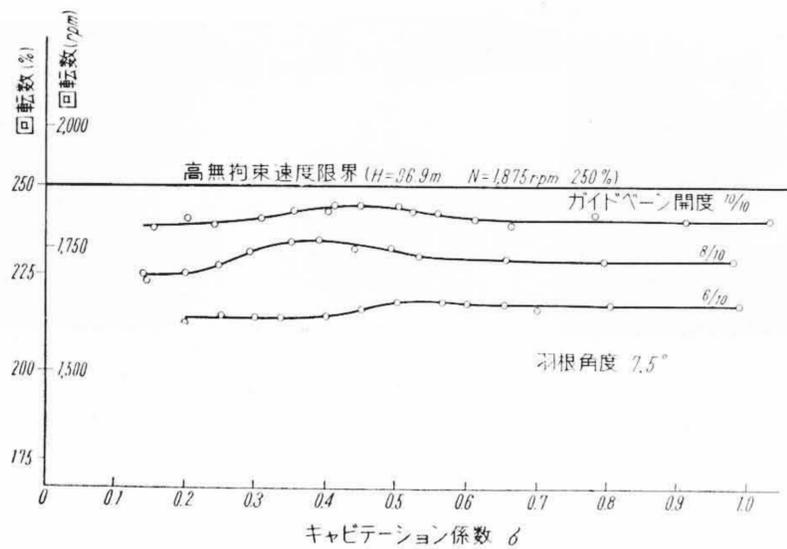
第9図 総合キャビテーション性能



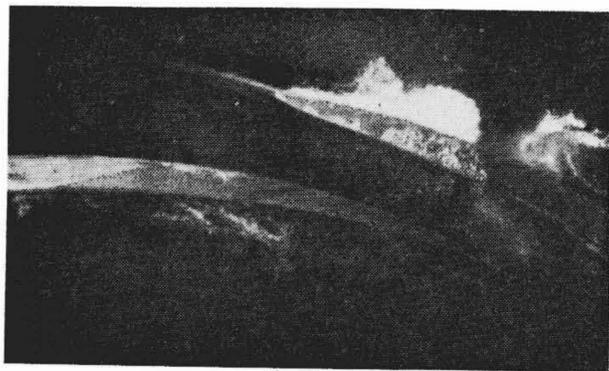
第10図 無拘束速度曲線

の無拘束速度を求めたものである。この試験の場合のキャビテーション係数はほとんど一定で $\sigma \div 2$ である。

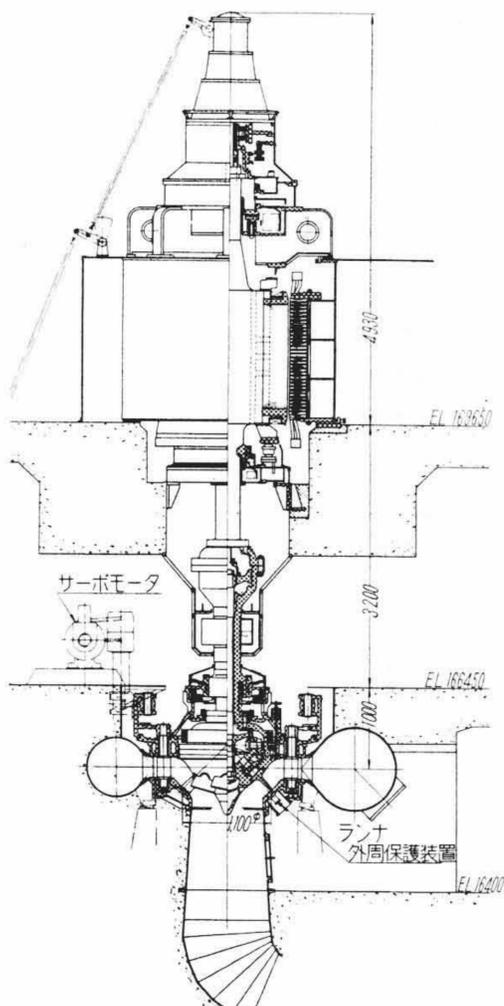
近年の研究によれば、カプラン水車の無拘束速度は、キャビテーション係数の影響を受けることが判明している。斜流水車に対しても同様の性質があるものと考えられるので、高落差キャビテーション試験装置において NR-σ 試験を実施した。試験は無拘束速度が最も高いランナ羽根角度 7.5 度とガイドベーン角度の組合せについて行なわれた。その結果の一例を第11図に示す。斜流水車の無拘束速度が、あるキャビテーション係数において極大値を示す傾向は、カプラン水車の場合ほど顕著に現れない。新大倉発電所のプラントシグマは無拘束速度の極大値を示すキャビテーション係数より低



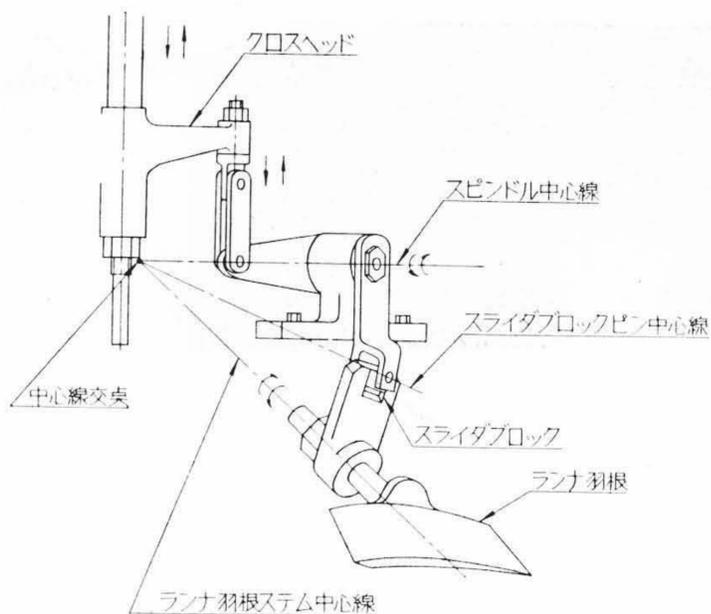
第11図 $N_R-\sigma$ 曲線



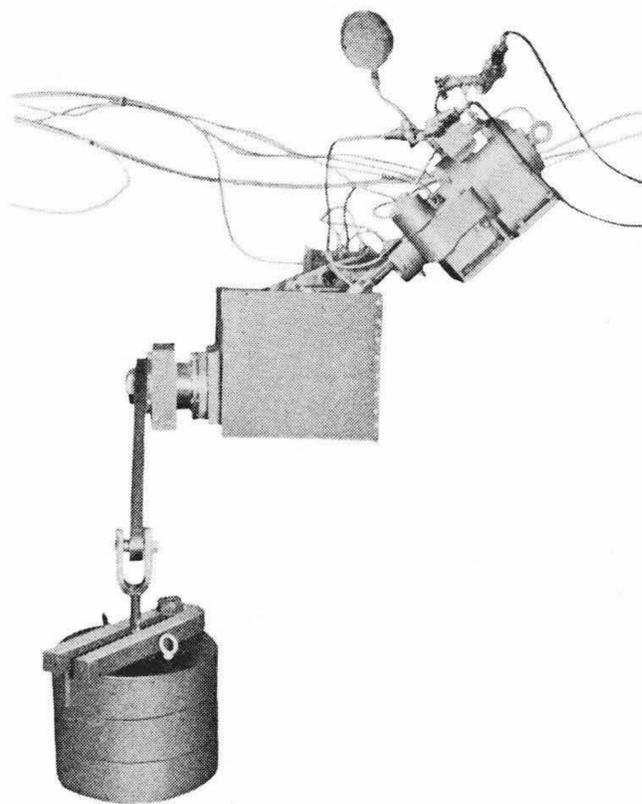
第12図 無拘束速度時キャビテーション発生状況



第13図 斜流水車および発電機構造図



第14図 ランナ羽根操作機構



第15図 ランナ操作機構試験装置

く、模型試験時の無拘束速度より低くなることが確認された。第12図は無拘束速度状態におけるランナのキャビテーション発生状況であって、ランナ羽根の入口部作用面にキャビテーションの発生が見られブレーキの作用を行なっているものと思われる。

(4) ランナ羽根操作機構試験

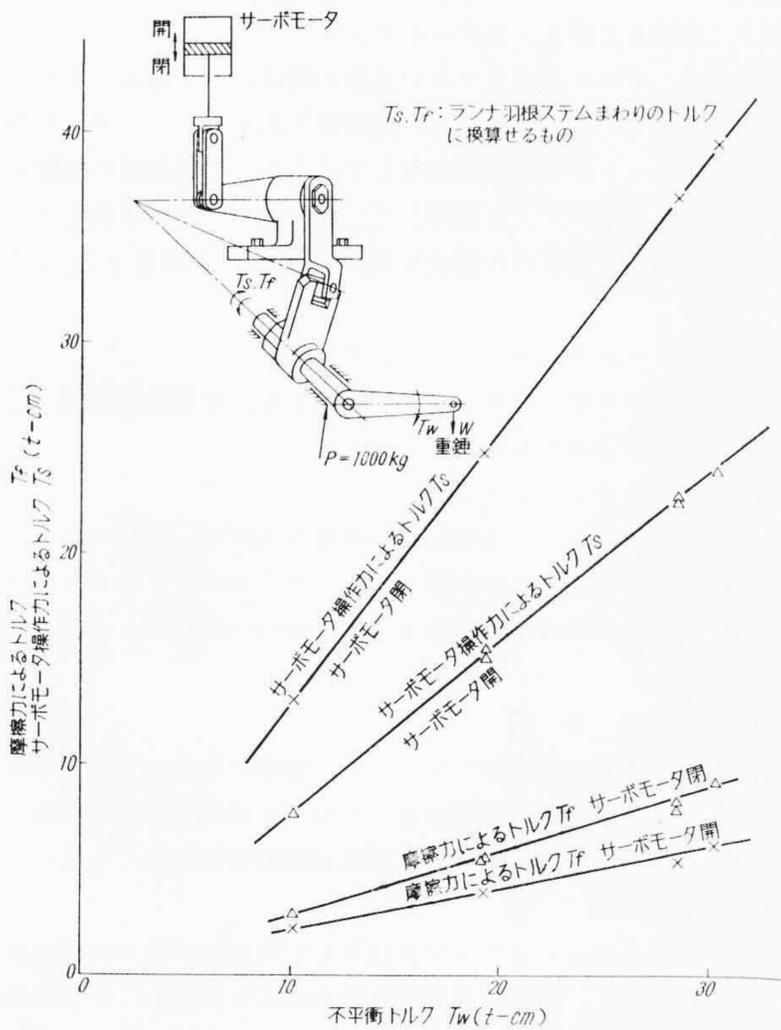
可動翼斜流水車の羽根を動かすサーボモータの構造は、回転式サ

ーボモータによるもの、上下動式サーボモータによるものの両者に大別される。新大倉発電所に関してはこれらの利害得失を詳細に検討された結果、上下動サーボモータの構造が採用されることになった。

ランナ操作機構は第13図水車構造図および第14図ランナ羽根操作機構図に示されるように、主軸の途中に設けられた上下動式ランナサーボモータにより水平方向に設けられたスピンドルを回転させ、このスピンドルの回転がスライダブロックを介して、円すい状に配置されたランナ羽根システムを回転させる。この場合スピンドル中心線、スライダブロックの中心線およびランナ羽根システムの中心線の3つの直線が同一点で交わることによって、幾何学的にはなめらかに運動が伝達されることになる。ランナ操作機構は斜流水車の構造上最も重要な部分であり、各構成要素の製作上の誤差によりスライダブロックの滑動面と、ブレード操作レバーのみぞ部滑動面との間に「コジレ」を生ずる可能性がある。立体幾何学的に各構成要素の製作誤差と「コジレ」の関係を解析する一方、実物と同一寸法同一材料をもって製作した試験装置により下記試験を行なった。

(a) 製作精度の測定

治具ボーラにて部品ごとに角度の誤差を測定したが、治具ボーラの読みとして現れる角度誤差は認められず、組立てられたラン



第16図 ランナ操作力測定例

ナ操作機構は荷重を加えた状態において非常になめらかに運動を伝達することが確認され、各構成部分の製作精度の良さを裏づけた。

(b) サーボモータストロークの測定

実測されたランナ羽根回転角度とサーボモータストロークとの関係はほとんど直線関係に近く、開閉時のヒステレシスは認められなかった。

(c) 操作力の測定

実物のランナ羽根には水圧力と遠心力が作用するので、ランナ羽根を操作するには水圧力による不平衡トルクと水圧力、遠心力、およびサーボモータ操作力により各軸受部に発生する摩擦抵抗トルクとの和のうちかつ操作力をランナサーボモータによって与える必要がある。試験装置において、実物ランナ運転時の荷重関係を再現させるために、レバーの先に重錘を掛け水圧力による不平衡トルクを、オイルジャッキにより軸受支持力を与えて試験した。実測された操作力は設計されたランナサーボモータで十分であることを示した。

(d) 2万回操作試験

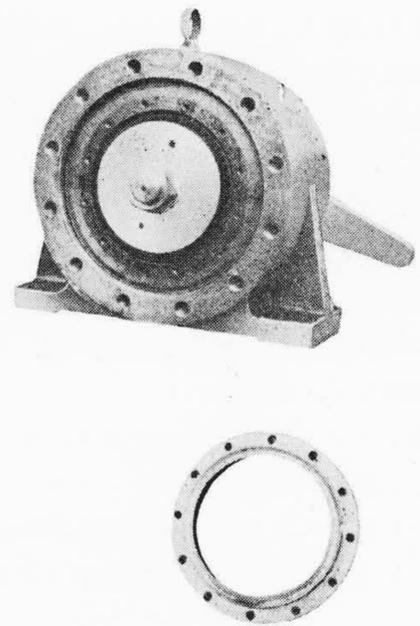
前述のとおり、試験装置において実物ランナ運転時の最大荷重状態を実現させて、連続2万回の耐久操作試験を実施した。耐久試験中なんら異常は認められず、サーボモータ操作力、しゅう動部摩擦耗量およびランナ羽根角度とサーボモータストロークとの関係など、いずれも試験前後の値に差異を認めなかった。

(e) 応力測定

ランナ操作機構の各部にストレンゲージをはって荷重を掛けて操作し、各部の応力を測定したが、高落差カプラン水車のランナ各部の応力と比較して、特に高い点は認められなかった。

(5) ランナステムパッキング試験装置

斜流水車のランナ羽根ステムは水車軸に対して斜めに円すい状に設けられているために、ランナ羽根ステムには水圧力ばかりでなく、遠心力の曲げモーメントが作用する。したがって、ランナステムパ



第17図 ランナステムパッキング試験装置



第18図 ランナ

ッキングには常に一樣な圧力が作用するとは限らない。第17図のように実物と同一寸法のステムパッキング試験装置を製作し、実物運転状態における遠心力および水圧力によるたわみに相当する偏心(0, 0.2, 0.48)を持った円板(ランナステム相当)を取付け、ランナ羽根角度に相当した変位を与えるために1時間ごとに5回、円板を回転させながら約24時間この試験を継続して漏油、漏水の有無を測定した。

いずれの円板を使用した試験においても漏油、漏水は皆無であった。

3.3 水車本体

記録的な高落差可動翼斜流水車としてランナ、主軸受、封水装置、ディスチャージリング、ランナ外周保護装置、および主軸変位測定装置の構造、材質などには特に注意が払われた。

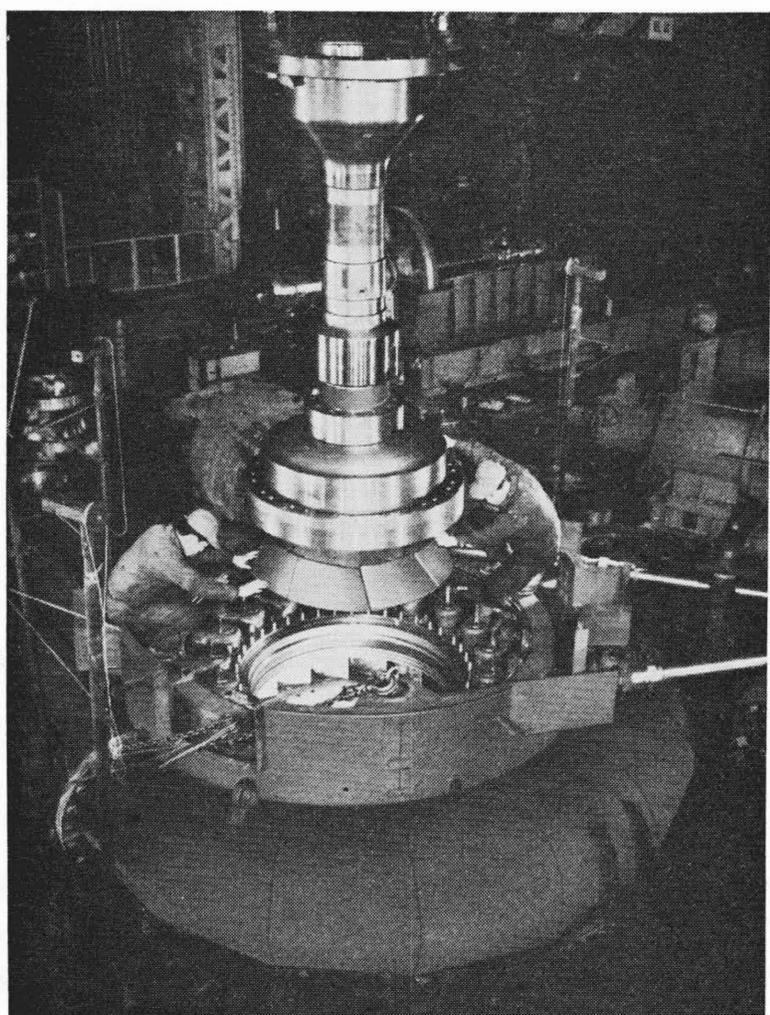
(1) ランナ

ランナ羽根ステムの中心線の形成する円すい体の頂角は90度で、羽根枚数はキャビテーション性能を検討して8枚に決定された。ランナ羽根は13Cr 鋳鋼に耐食性の優秀な17-7Cr-Niが肉盛されており、キャビテーション性能を高めるため、その仕上は特に入念に行なわれた。模型試験の結果得られた性能の優秀なランナ羽根形状を実物に再現するために、ならい機械による機械加工を採用してランナ羽根を正確に仕上げ、さらにグラインドによりきわめて平滑な研磨が施された。

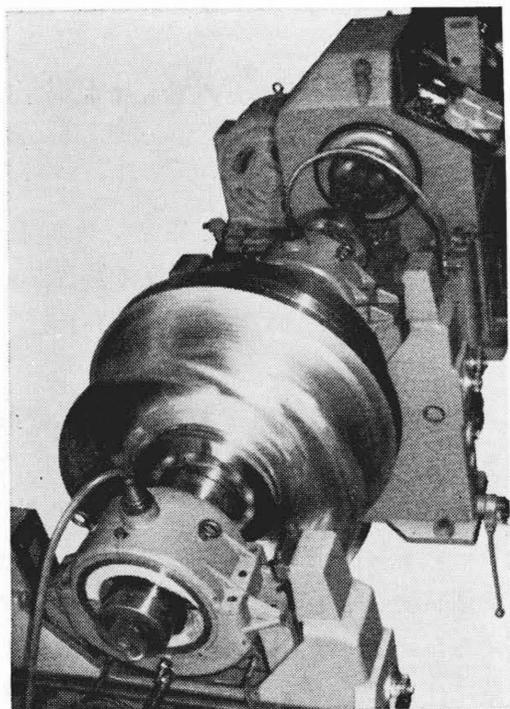
ランナボスの強度は強大な水圧力ならびに無拘束速度時のランナ羽根の遠心力を保持するために特に高いことが要求されるので、新たに開発された抗張力 70 kg/mm^2 以上の Ni-Cr-Mo-Mn 鋳鋼を使用した。ランナボス面やランナ羽根ステムの穴は、ランナ羽根とランナボスの間の間げきやランナ操作機構の運動を正確にかつなめらかにするために、特別に工夫された雇いやならいゲージを使用して入念に加工された。

ランナは工場で組立てられて無拘束速度試験、ダイナミックバランス試験、操作試験などが実施された。

無拘束速度試験はランナ羽根、ランナボス、ランナ操作機構などの応力の高くなると思われる箇所にストレングージをはって、応力分布を測定しながら進められた無拘束速度 $1,712 \text{ rpm}$ において、もっとも応力の高くなる部分の応力も降伏点の $1/3$ 以下であることが確かめられた。



第19図 ランナ組込作業



第20図 ダイナミックバランス試験

(2) 主軸およびランナサーボモータ

ランナサーボモータはカプラン水車と同様に上下動式である。主軸とランナサーボモータは一体の鍛鋼製である。ランナサーボの下部には操作ロッドの案内軸受を有しているが、この軸受には複合形のシエブロンパッキングを使用して、サーボモータ操作油とランナボス充てん油のおおの漏油を別個に取り出す構造となっている。

(3) ケーシング・スピードリング

ケーシングとスピードリングは一体として、全鋼板熔接製、二分割フランジ接続方式である。

(4) ディスチャージリング

ディスチャージリングは耐食性の優秀な 13Cr 鋳鋼製であり、これを支持する下カバーは鋼板製である。ディスチャージリングはランナ羽根と一様な間げきを保持するようならい機械により正確に加工されている。

(5) 案内羽根

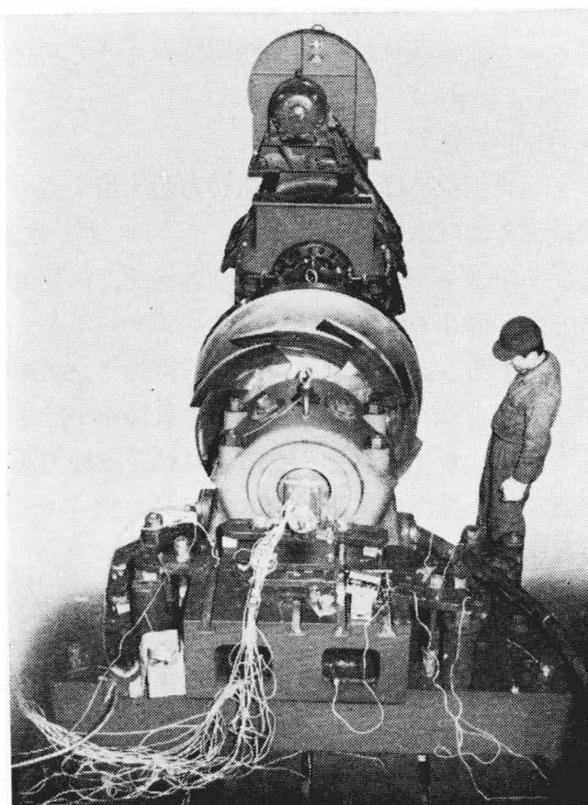
案内羽根は性能的に問題のないことが確認されたので従来のカプラン水車、フランス水車の構造がそのまま採用でき、分解および組立の容易な垂直形構造とした。案内羽根枚数は18枚である。

(6) 主軸受

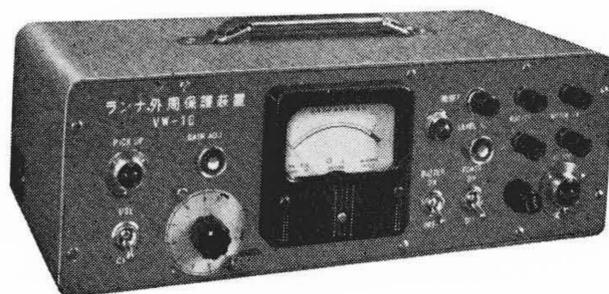
主軸受は、バビットメタルを裏ばりした円筒形軸受で内面に斜めの油みぞを切って、潤滑油を潤滑させる方式を採用し、さらに冷却効果を増すため主軸受に直接冷却管を埋込み、直接冷却する方式も兼用する構造になっている。

(7) 封水装置

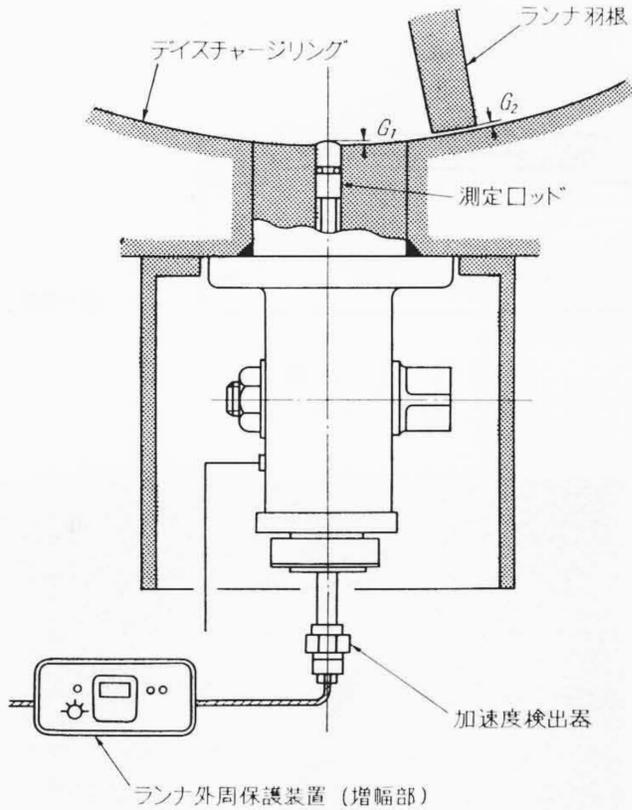
ランナボス外周部に三段のカーボンパッキングの封水装置を設け、この封水装置より漏れた水は、ランナ背圧室より所内排水装置に排出されるので、ランナ背圧部は低い圧力となり、水圧による軸



第21図 無拘束速度試験



第22図 ランナ外周保護装置



第23図 ランナ外周保護装置構造図

方向推力が減少する構造となっている。

(8) ランナ外周保護装置および主軸変位測定装置(特許申請中)

ディスチャージリングに設けられたランナ外周保護装置はディスチャージリングの球面より G_1 だけ測定ロッドを突起させ、ランナ羽根の外周間げき G_2 が規定値より減少して、 G_1 より小さくなると、ランナ羽根は測定ロッドの突起部に衝突する。衝突によって生ずる加速度は測定ロッド他端に設けられた加速度検出器に検出され、配電盤の継電器を動作させて水車を停止させる。

一方運転中に測定可能なダイヤルインジケータを設けて、主軸の変位も監視できるようになっている。

3.4 調整装置

(1) 调速機

機械式调速機で、案内羽根開度の変化に応じて最良の水車効率を維持するように、ランナ羽根角度を調整する立体カムによって、96.9 m より 70.3 m までの変落差に対応して常に最適の角度、開度の関係を保つようになっている。また本発電所の放水量は多目的利用に適合させるため、全変落差にわたって水量を制限する装置を付加している。

(2) 運転制御装置

一人制御方式が採用され、配電盤室ですべてが行なわれるようになっている。

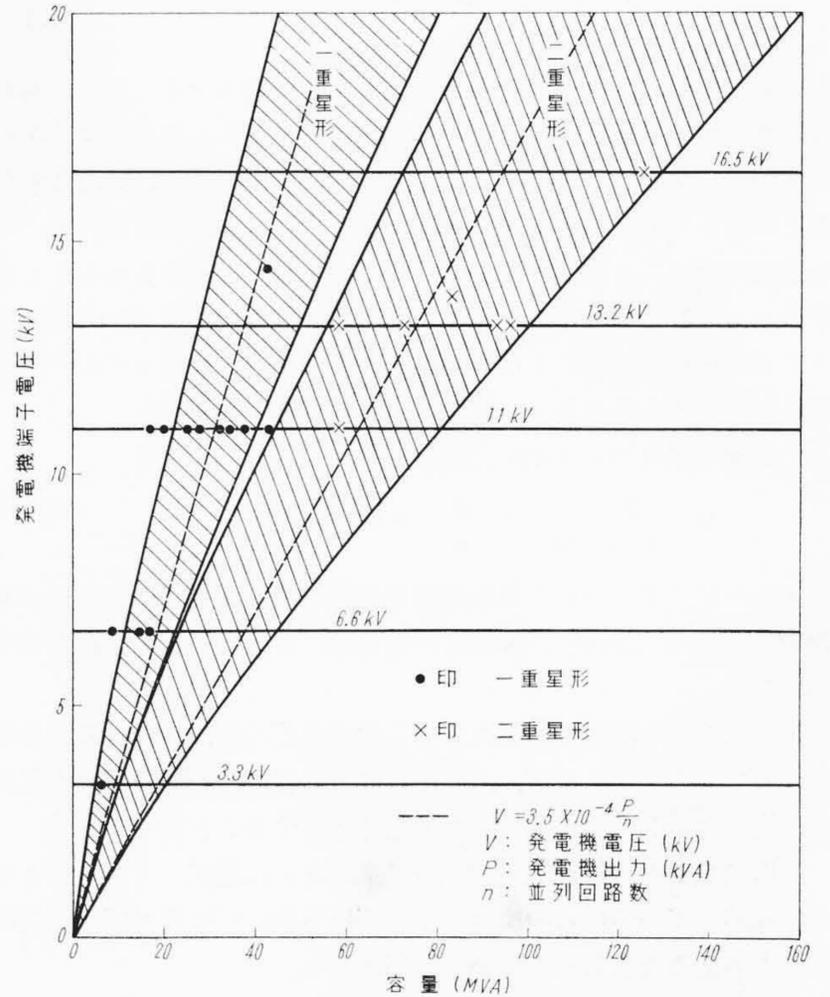
(3) 入口弁

入口弁は油圧式で圧油喪失時には自動的に重錘により閉鎖される構造となっている。

4. 6,200 kVA 交流発電機

本機は斜流水車によって駆動される、日立製作所最初の交流発電機である。斜流水車のランナとディスチャージリングは通常の水車のように垂直円筒面で相対しているのではなく、円すい面で相対しているため、回転体が垂直方向に大きく変位すると、ランナとディスチャージリング間のギャップが大きく変化し、水車の特性を悪くし、場合によってはランナとディスチャージリングが接触するおそれがある。そのため

- (イ) 上部ブラケットおよび固定子わくの剛性をましたわみを小さくすること
- (ロ) 固定子わくの伸び、シャフトの伸びを考慮に入れて、ラン



第24図 ターンコイル発電機の容量対電圧の製作実績

ナの変位をある値以下におさめること

(ハ) 万一推力軸受が焼損しても、ランナがディスチャージリングに接触しないように考慮して設計すること

などの特別な考慮を必要とする。

そのほか本機は高速機であるので、シャフトとヨークが一体鍛造としていること、固定子コイルに1ターンコイルを採用していること、励磁機を別置としていることなどの特長を備えている。

本機の仕様は次のとおりである。

形 式	立軸閉鎖風道換気形制動巻線付
容 量	6,200 kVA
電 圧	3,300 V
回 転 数	750 rpm
周 波 数	50 Hz
極 数	8
力 率	0.85

4.1 固定子

本機の固定子わく外径は2.6 m であり、重量も輸送制限内にはいるので固定子は分割せず、固定子コイルを入れたまま一体輸送した。固定子わくは通常の水車発電機に比べ剛性を増し、たわみが特に少ないように設計している。

固定子コイルは1ターンのハーフコイルで製作した。1ターンコイルで経済的に製作できるかどうかは、諸種の因子から考慮せねばならないが、最も大きな因子は発電機出力と端子電圧である。

いま、発電機出力を P (kVA)、端子電圧を V (kV)、発電機電流を I (A) とすると

$$P = \sqrt{3} VI \dots \dots \dots (1)$$

電機子周辺1 cm あたりのアンペアコンダクタを ac 、並列回路数を n 、スロットピッチを τ_s (cm) とすれば、1ターンコイルの場合は

$$ac = \frac{I}{n} \times 2 \frac{1}{\tau_s} \dots \dots \dots (2)$$

(1), (2)式より

$$V = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{1}{ac} \frac{1}{\tau_s} \frac{P}{n} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、一般的にいうと ac を過小に選ぶと機械は大きくなり、過大に選ぶと温度上昇が大きくなり、またインピーダンスが大きくなり特性が悪くなるので、 ac の値にはある適当な範囲がある。発電機出力などによって異なるが、通例 ac は 500~650 程度に選定される。 τ_s を過大に選ぶことは、固定子コイルによる熱源を集中させることを意味し、温度上昇の点から好ましくない。また τ_s を過小に選ぶとコイルの占積率が悪くなり、機械が大きくなる。 τ_s はコイルの絶縁厚さによっても異なるが、通常 4~8 cm 程度である。

いま $ac=550$, $\tau_s=6$ cm に選ぶとすれば、(3)式より

$$V = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{1}{550} \frac{1}{6} \frac{P}{n} = 3.5 \times 10^{-4} \frac{P}{n} \dots\dots\dots(4)$$

1 ターンコイルの日立製作所製交流発電機の製作例を示せば第 24 図のとおりであって、●印は一重量形、×印は二重量形結線の実例である。

発電機を最も経済的に製作できる端子電圧の値は、設計の諸条件によって異なってくるが、大略の傾向として第 24 図の斜線内であれば機械を著しく大きくすることなく設計することができる。

本機は 6,200 kVA で、端子電圧を 3,300 V に選び、1 ターンコイルを採用している。この場合端子電圧を 6,600 V に選べば、発電機だけを考えると著しく不経済な機械となる。

固定子コイルは無溶剤の合成樹脂を用いた“SLS コイル”であって、熱サイクルに対してきわめて強いことが実証されている。

4.2 回転子

本機は 1,875 rpm (定格速度 750 rpm の 250%) というきわめて高い無拘束速度に耐えるようにするため、ヨークとシャフトは一体鍛造で製作した。工場において無拘束速度試験が実施され、十分安全であることが確認された。

ヨークには軸方向および半径方向に通風孔を設け中央部の通風効果を増している。

界磁コイルの絶縁ボビンには強大な遠心力と熱サイクルを受けるが、さきに行なった 3.5 m の実物大界磁線輪の試験装置を用いた試験結果より、十分に信頼のおける絶縁ボビンを採用している。

界磁極は薄鋼板を積層し、両端に鍛鋼製端板をあててリベットにより締付けたもので、界磁極頭には低抵抗の制動巻線を取り付けている。

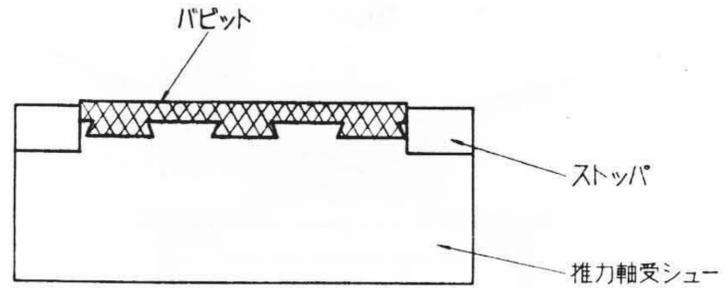
4.3 軸受その他

上部ブラケットは固定子わくと同様に、斜流水車用として特に剛性を増し、たわみが少ないように設計している。工場および現地において、各部の変位を実測した結果、斜流水車ランナとディスチャージリングは接触するようなことはなく安全な運転のことが実証された。

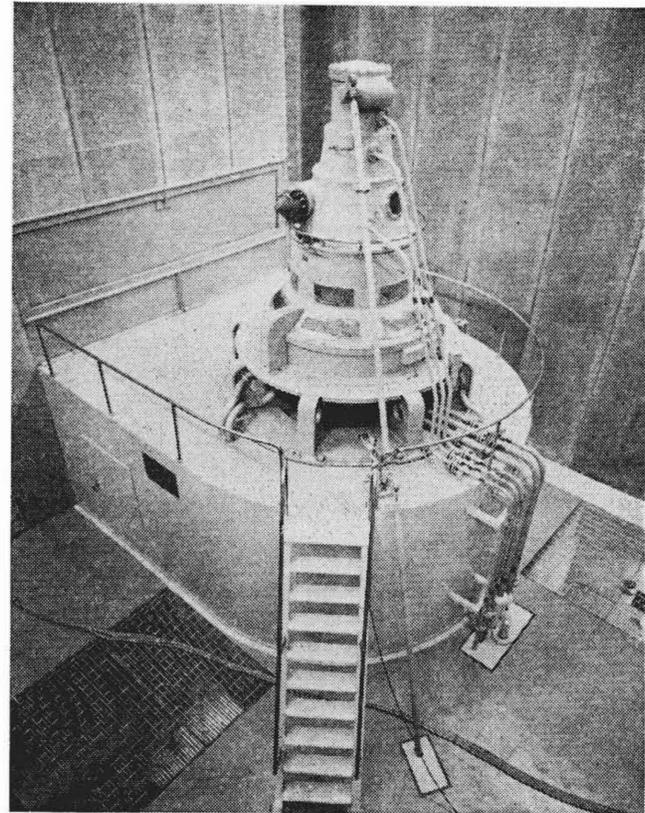
推力軸受はシュアの荷重を外部から調整できるキングスベリー形を採用した。万一推力軸受シュアが焼損しても水車ランナがディスチャージリングにあたることのないように、第 25 図のように推力軸受シュアの両側部にストップを設けた。案内軸受は、セグメント形軸受の特長を生かし、しかも調整する必要のないセグメント形円筒軸受を採用している。セグメント形円筒軸受は、従来の円筒形軸受に比べ軽量に製作でき、しかも調整ボルトを必要としない特長を有するので、分解組立がきわめて容易である。

4.4 励磁機ほか

発電機上部ブラケットの上方には、回転子に電流を流すためのス



第 25 図 推力軸受シュア



第 26 図 6,200 kVA 交流発電機

リップリング、永久磁石発電機、圧油導入装置および圧油導入装置の下方に歯車駆動によって遠心力開閉器を設けた。

本機は高速機であるので、外形に比べ高さが高くなる。さらに発電機頂部には斜流水車用の圧油導入装置がつくので全高が高くなるので励磁機別置方式を採用した。

第 26 図に現地に据付けられた 6,200 kVA 交流発電機を示す。

5. 結 言

新大倉発電所用 5,500 kW 可動翼斜流水車および 6,200 kVA 交流発電機は昭和36年6月運転を開始し7月には営業運転にはいった。

新大倉発電所に可動翼斜流水車を採用するについては計画初当にフランス水車を採用した場合とを慎重に比較して決定されたものである。可動翼斜流水車は製品重量、価格、および掘さく費の点では、フランス水車を上まわるが、負荷変動および落差変動に対する効率低下の少ないことによる発生電力量の増加を総合すると可動翼斜流水車案が有利となる。

今後、この種の水車はさらに高落差に進出できるものと思われる。

終りに本発電所の建設にあたり、あるいは機器の製作にあたり、貴重な指針を与えてくださった東北電力株式会社の関係者各位に本稿をかりて厚くお礼申し上げる次第である。