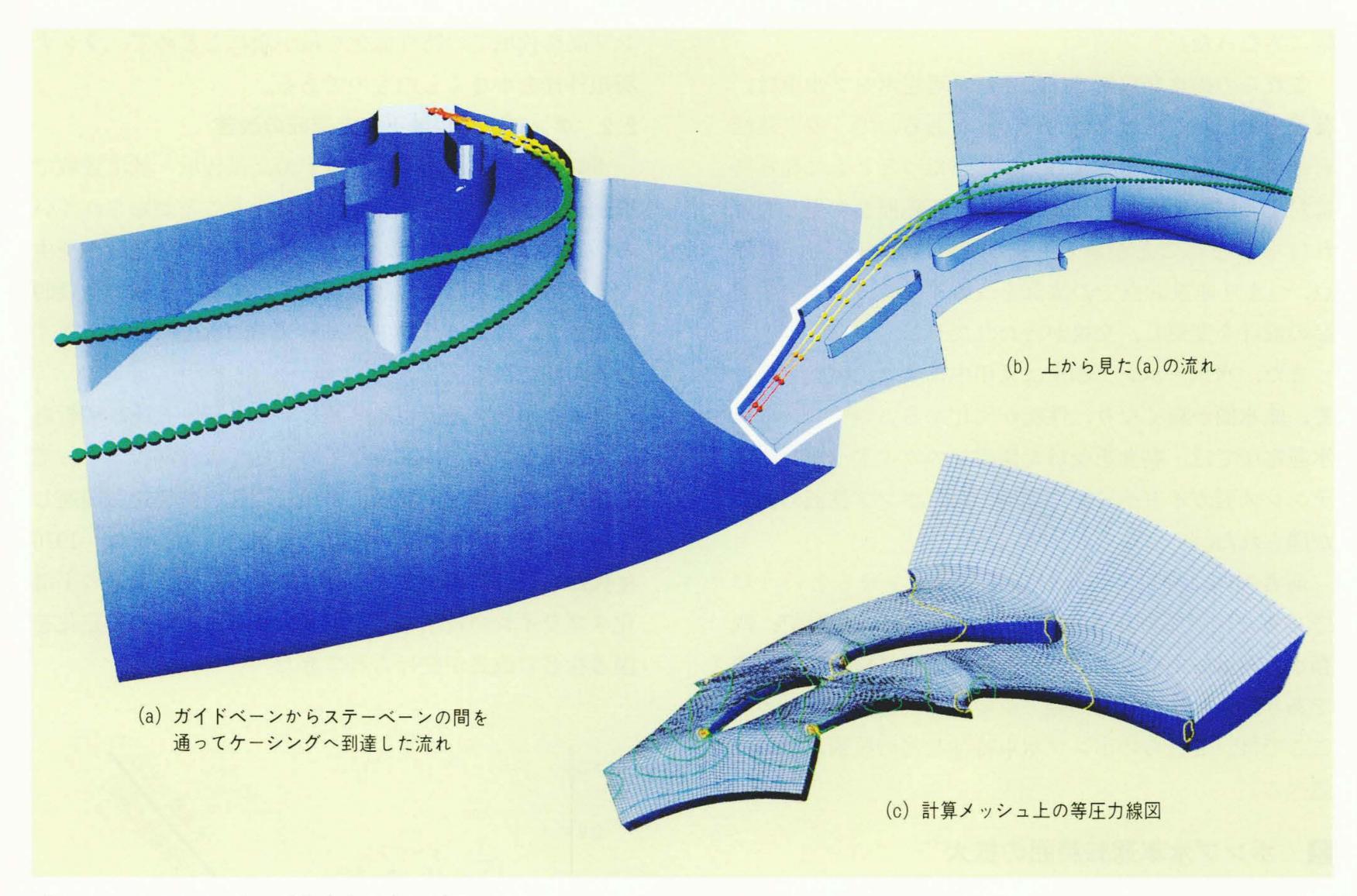
水力発電設備(水車)の予防保全技術

―ポンプ水車特性改善―

Preventive Maintenance of Hydro Power Generating Equipment

Performance Improvement of Pump-Turbines—

新倉和夫* Kazuo Niikura 吉田正博* Masahiro Yoshida 震明克真* Katsumasa Shinmei 佐藤譲之良** Jôshirô Satô



ガイドベーン周りの流れ計算(ポンプ運転) 数値流体力学の進歩により、水車・ポンプ水車内部流れの様相が可視化されるようになり、水車・ポンプ水車主幹部品の設計変更を含む予防保全に威力を発揮しつつある(計算要素数90,480 k-ε乱流モデルによる三次元乱流解析結果)。

水力発電所の中には、運転開始後数十年を経たものも少なくない。その中で稼動し続けてきた水力発電設備、とりわけ水車は最も信頼性が高く、長寿命機械の一つに数えることができる。しかし、水車の信頼性を維持していくためには、あらゆる機械がそうであるように、普段のメンテナンスや定期的なオーバホール、さらに機器の将来の寿命を見越した予防保全が必要である。

日立製作所は電力会社との連携により,小は摩耗 した部品の交換から,大は新技術を採用したラン ナ・ガイドベーンなどの主要部品の交換まで, さまざまの水車の予防保全活動を展開してきた。近年は老朽化した部品を単に交換するというだけでなく, 主要部品の交換によって水車・ポンプ水車性能の回復を図ったり, また運転水位の変化等に対応して新たに主要部品の設計を行って特性改善を図ることも, 既存水力発電設備のポテンシャルを最大限に引き出すという意味で予防保全と位置付け, 積極的な活動を推進している。

^{*} 日立製作所 日立工場 ** 日立製作所 日立工場 工学博士·技術士(機械部門)

1 はじめに

わが国では、昭和30年代から本格的な揚水発電所の建設が始まった。これら初期の揚水発電所の多くは、水位差が100 m前後の、自然流入のあるダム式の揚水発電所であったので、渇水期と豊水期とで、発電所の落差が大幅に異なった。

これらの揚水発電所で採用される可逆ポンプ水車は, 落差変動に対しては本質的に限界があるので,安定運転 可能な落差範囲が存在する。年月がたつとともに発電所 に対する運転要求も変わり,この運転範囲を変更しなけ ればならないことがある。そのために運転範囲の限界 点,つまり非設計点での流れを改善するように,主要部 品の設計を変更し,交換が行われたりしている。

また、水車・ポンプ水車は使用中に壊食や腐食を受けて、流水面が粗くなり、性能が劣化する。いくつかの揚水発電所では、腐食を受けた鋳鋼製のガイドベーンがステンレス製ガイドベーンに交換され、ポンプ性能の回復が図られた。

前者の例は発電所の運転時間を増加させるという形で、また後者の例は直接効率を上げるという形で、既存水力発電設備のポテンシャルを最大限に引き出すものであり、近年、予防保全活動の重要な部分を担っている。ここでは、これらのポンプ水車特性改善の技術について述べる。

2 ポンプ水車運転範囲の拡大

一般によく知られているように、ポンプ水車の運転水位 限界の一つに水車最低落差があり、もう一つにポンプの最 高揚程がある。両者はもろ刃の剣のような性格を持ってお り、一方を改善すると他方が悪化するのが普通である。

2.1 水車低落差域不安定運転の改善

ポンプ水車は、水車低落差域運転時に振動の大きい不 安定運転になることがある。これは、ポンプ水車がポン プとしても機能するように設計されているため、ランナ 羽根外径が水車専用機に比べて大きめになっているから である。このため、ランナ内部の水に作用する遠心力が 大きくなり、低落差域では、水が高い所から低い所へ流 れようとする力とランナが水を遠心力で高い所へ上げよ うとする力がきっ抗するようになり、内部の流れが不安定 になる。また、ランナの水車入口での流れもランナ羽根に 沿わなくなり、いわゆる二重性能が発生することもある。

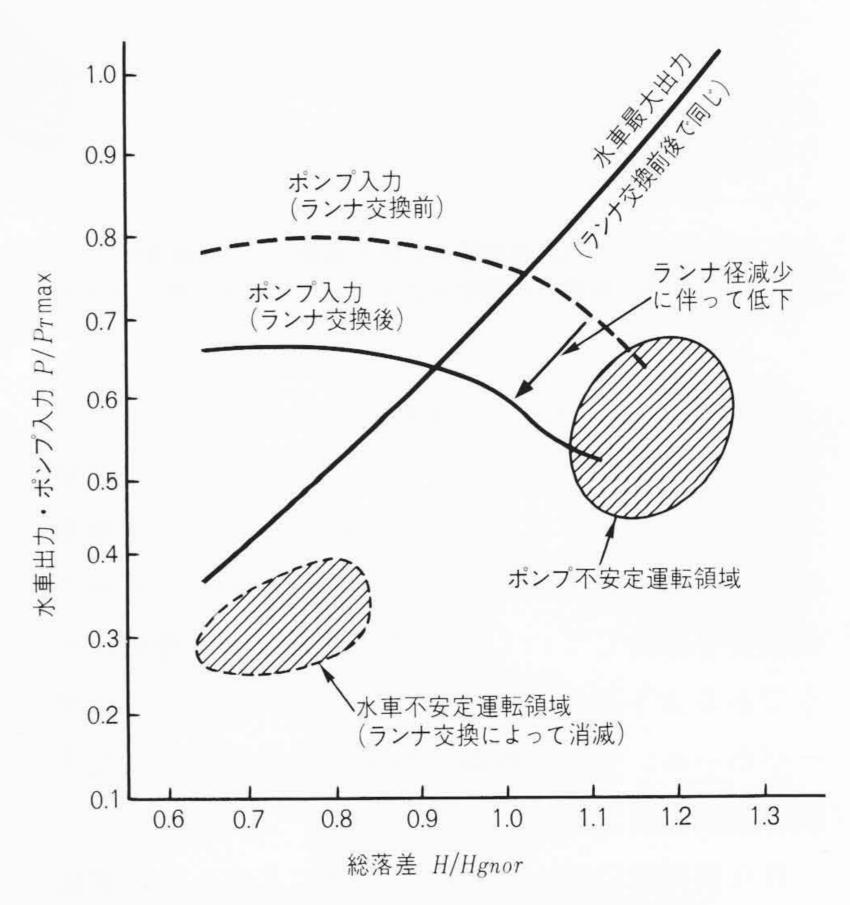
これについては、ランナ羽根外径を小さく設計変更す

ることによって、特性改善を図ることができる。また、 水車二重性能は、ランナ羽根の水車入口に後退角を付けることによって解消される¹⁾。ランナ羽根外径を縮小し、 水車低落差域での不安定運転領域を解消した例を図1に 示す。ランナ羽根外径の縮小は、次に述べるポンプの高 揚程域での特性を悪化させる。したがって、この例はポ ンプ高揚程域での特性低化を最小限にとどめて、ランナ 羽根外径を小さくしたものである。

2.2 ポンプ高揚程域不安定運転の改善

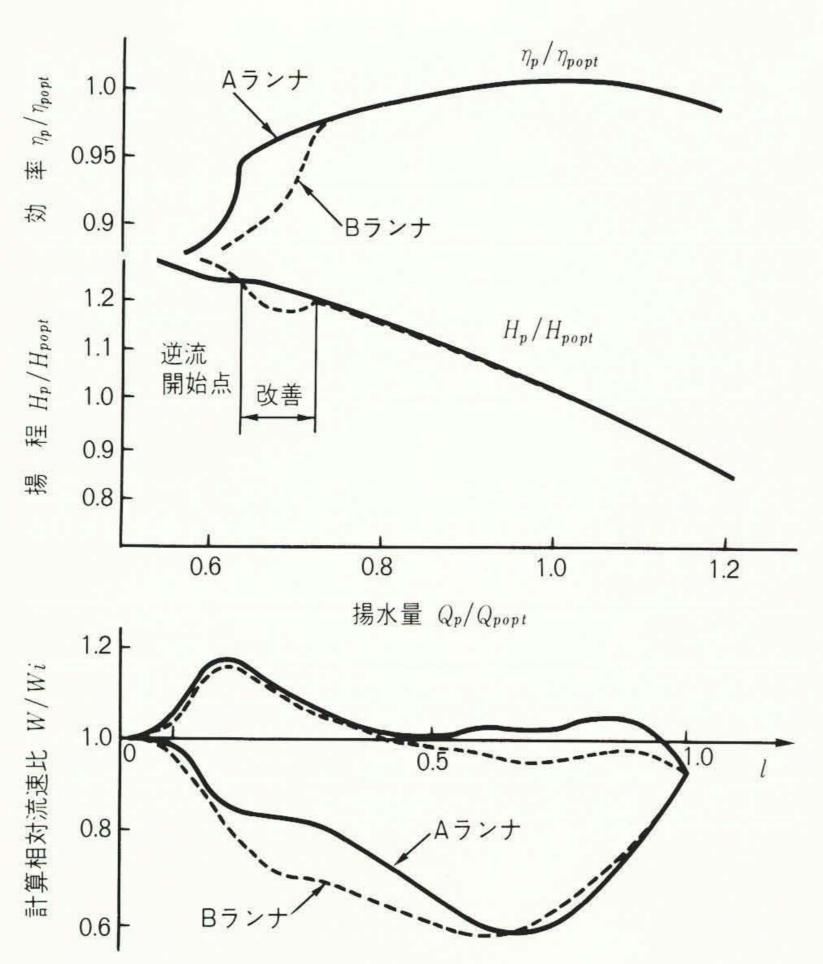
ポンプ水車は、ある揚程以上の高揚程域・低流量域で振動の大きい不安定な運転状態になることが知られている。これはランナのポンプ入口部で部分的に逆流が発生するためである。この運転状態では騒音・振動が全般的に大きく、特にドラフトチューブでの水圧脈動が大きくなるのが特徴である。

従来,ポンプ逆流現象の始まりは準三次元流れ解析あるいはポテンシャル解析などの非粘性流れ解析によって計算された,ランナ翼面上の相対流速の減速比と関連していることが知られていた。この準三次元解析は,1970年代から設計に適用されるようになったが,最近の平滑化スプラインの技法などが取り入れられ,解の安定化を図るなどの改良が続けられてきた。



注:Prmax(水車最大出力), Hgnor(水車基準落差相当総落差)

図 I ポンプ水車不安定運転領域 ランナ交換によって水車 低落差時不安定運転領域が消滅し、ポンプ入力およびポンプ高揚程 不安定運転領域が移動する。



注:略語説明 opt (最高効率点を示す添字)

図2 ランナ翼面流速シミュレーションとポンプ高揚程特性 ランナ翼面上相対流速比を準三次元解析によって計算したもの である。入口部の流速低下の割合が小さいBランナのほうが逆流開 始揚水量が少なく,性能がよいことを示している。

その結果、ポンプ逆流開始点は、ランナ羽根ポンプ入口付近の減速のスピード、つまり翼負荷の掛け方にも大きく依存していることが明らかになった。これらの非粘性流れ解析を行いながら、羽根の負荷分布が最適になるようにランナを設計した例を図2に示す。

また他の例として、ランナ外径、水車出口径を変えないで、ランナ羽根形状だけを大幅に設計変更し、逆流特性を大幅に改善した例を図3に示す。この例では、既設ポンプ水車の埋設部品に手を加えることなく、ランナ交換だけで高揚程運転域を拡大することが可能になる。

最近の計算機の高性能化と,数値流体力学の進歩に応じて,今後は徐々に乱流解析に移行し,さらに,ポンプ 水車非設計点の性能改善を図るため努力したい。

3 ガイドベーン交換による性能の回復

ポンプ水車のガイドベーンは, 普通鋳鋼製(SC46)の場合, 長年の使用によって腐食を受け, 表面に小さい腐食穴(腐食ピット)の開いた状態になる。腐食ピットは表面粗さを増大させ, 性能を低下させる原因となる。

3.1 ガイドベーン表面粗さとポンプ性能

一般に,ガイドベーン周りの流れは流速が速いことか

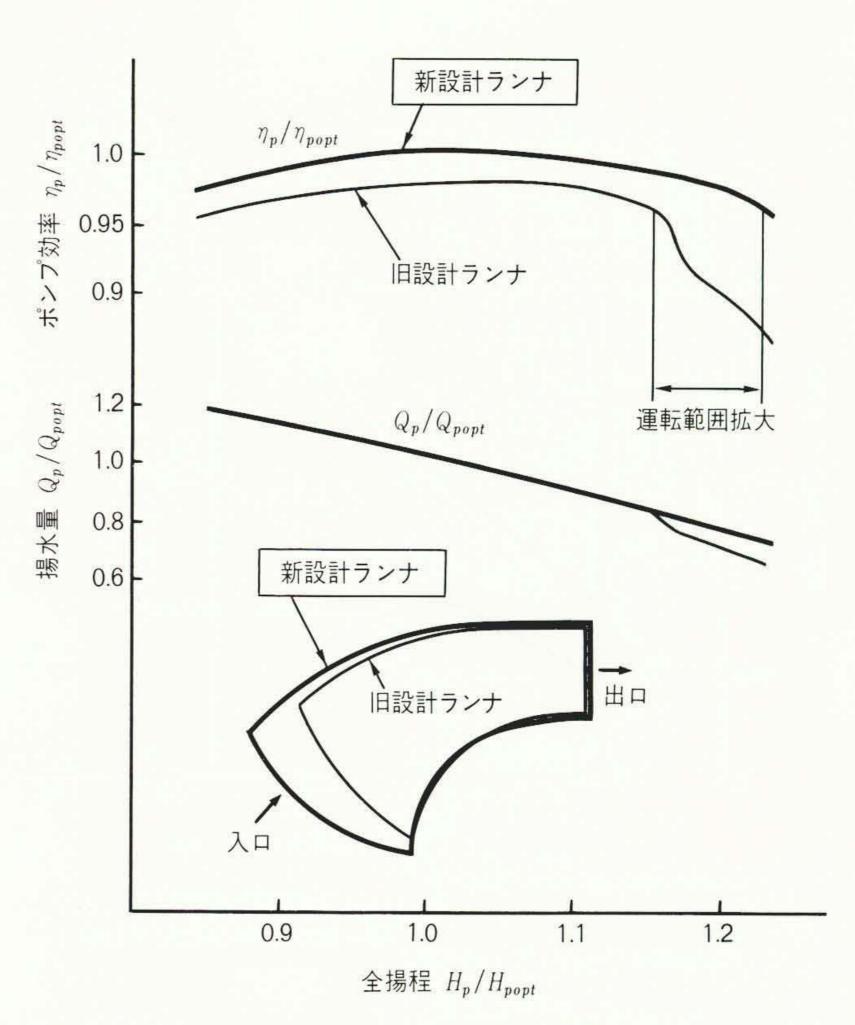


図3 新設計ランナによるポンプ運転範囲の拡大 翼面流速分布を最適にするため、子午断面形状を含む大幅なランナの設計変更を行った。模型試験によって、高揚程域の運転範囲の拡大が認められる。

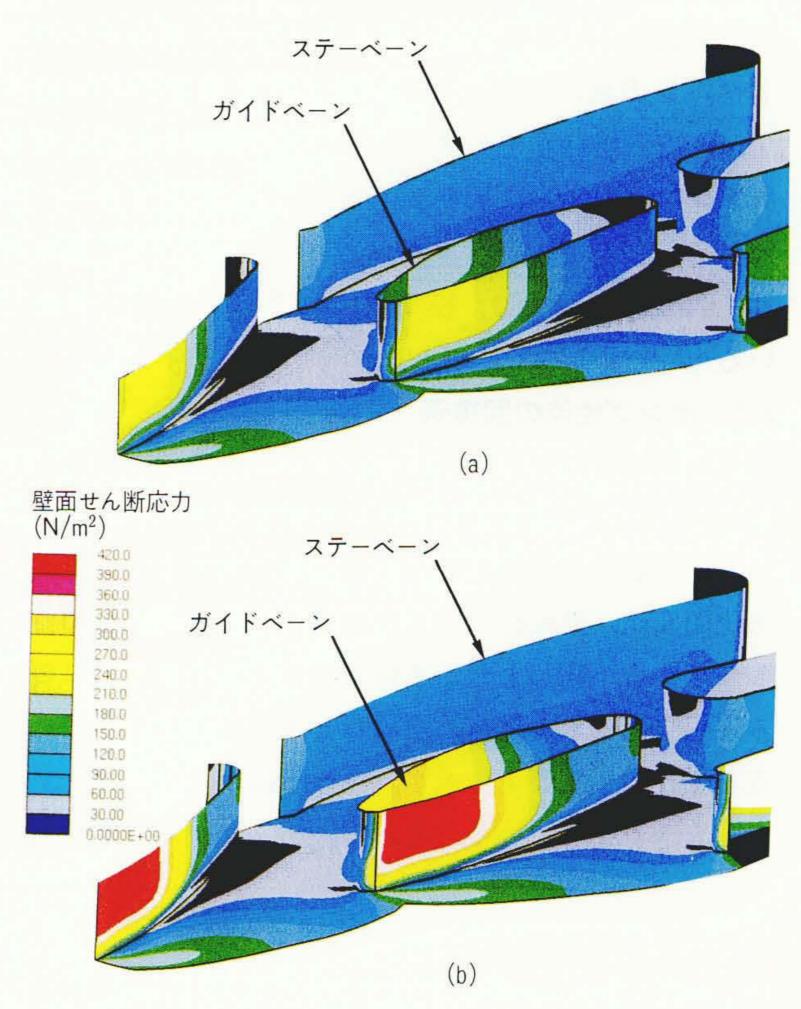


図 4 ガイドベーン他壁面せん断応力計算値分布 表面粗さの大きい場合(a), 壁面せん断応力計算値は, 表面粗さの小さい場合(b)に比べて著しく大きく, 性能低化が予想される。

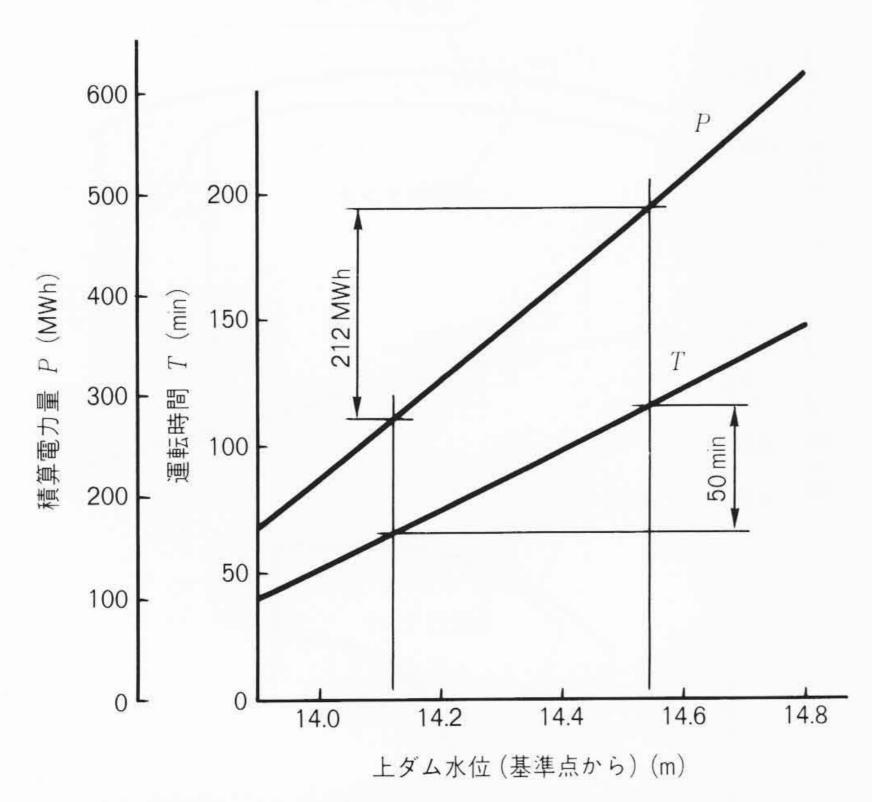


図5 建設時ポンプ運転記録 ポンプ運転記録の中で、上ダム水位・積算電力量および運転時間の一部をグラフ化して表示したものである。

ら、表面粗さの増大による性能低下の度合いは大きい。特に、ポンプ水車のポンプ運転時には減速流れになるため、表面粗さの影響はさらに大きくなる。滑らかなガイドベーン表面の壁面せん断力分布計算値を図4(a)に示す。一方、粗いガイドベーン作用面の壁面せん断力分布計算値は、同図(b)に示すようにきわめて大きくなり、性能低下が予想される。実際、ガイドベーン表面粗さの性能に及ぼす影響は、模型試験によっても検証されている²⁾。

3.2 ポンプ性能の回復例

運転開始後12年を経過したポンプ水車で、SC46鋳鋼製ガイドベーンを、SCS1ステンレス製ガイドベーンに交換した。建設時の運転記録から、図5に示すような上ダム水位の変化、運転時間および積算電力量の関係を知ることができる。同じ上ダム水位差間を運転するときに要する運転時間と電力量を、建設時と運開後十数年を経た時点とで比較して表1に示す。運転時間が長く、ポンプ入力が大きくなっていることから、明らかにポンプ性能が

表 I ポンプ運転時間と電力量(建設時とガイドベーン交換 前の比較) ガイドベーン交換前は建設時に比べて運転時間が 長く電力量も多い。

項目	建設時	ガイドベーン 交換前
上池水位(始め)	13.99 m	同左
上池水位(終わり)	14.77 m	同左
運転時間	93 min	102 min
積 算 電 力 量	393 MWh	412MWh

表 2 ポンプ運転時間と電力量(建設時とガイドベーン交換 後の比較) ガイドベーン交換により,運転時間も積算電力量も ほぼ建設時に戻っている。

項目	建設時	ガイドベーン 交換後
上池水位(始め)	14.11 m	同左
上池水位(終わり)	14.55 m	同左
運転時間	50 min	52 min
積 算 電 力 量	212 MWh	221MWh

低下していることがわかる。ガイドベーン交換後のポンプ運転時間を、やはり同じ水位差間を運転した建設時のものと比較して**表2**に示す。その結果、建設時とほぼ同じ運転時間が得られ、ガイドベーン交換による性能の回復を確認した。

この例は純揚水式発電所であり、上池への自然流入がないことから、揚水時の上ダム水位の変化を見ることによって、ポンプ性能の低下を知ることができたものである。一般的には、現地でこのようにポンプ水車の性能差が現れるのはまれなことである。

4 おわりに

以上,水力発電設備(水車)の予防保全に関する日立製作所の最近の取組みについて述べた。

予防保全ではふだん,機器の状態を点検・監視しながら将来の機器の使用状況の変化に対応するなど,先手管理が重要である。今後とも,電力会社をはじめ関係方面の指導を得ながら,予防保全を推進していく考えである。

終わりに、この予防保全技術開発にあたり多大なご指導とご協力をいただいた関係各位に対し、深く感謝する 次第である。

参考文献

- 1) 山部:フランシスポンプ水車の水車運転時の二重性能の 改善,日立評論, **54**, 3, 199~202(昭47-3)
- 2) T. Yokoyama, et al.: Some Operating Experiences

at Off-design Points for Pump-Turbines and Hydraulic Turbines: Proceedings of the IAHR, Sterling, 1984, p.604