

関西電力株式会社新成発電所納め

60,000kW新形構造水車の製作並びに運転実績

Manufacture and Operation of 60,000kW New Type Water Turbine for Shinnarude Power Station, Kansai Electric Power Co.

近年ますます大容量化されてきた水車、ポンプ水車にあっては性能、強度面での信頼性向上、並びに発電所保守の省力化、運転維持費低減など経済性の向上が強く要望されている。昭和50年3月に運転を開始した関西電力株式会社新成発電所用60,000kW水車は、これらを背景として随所にぎん新な構造を採り入れた新形構造の水車である。水車主要部であるスピードリング、ケーシング、上カバーなどを合理的な新構造とし、信頼性を高めるとともに案内羽根軸受の無給油化、水車軸受の無冷却水化などにより保守の省力化、信頼性の向上を図った。新構造に対しては強度、性能の解析を行なう一方、実荷重試験、縮小水圧模型試験、性能試験、各種の作業性確認試験などを行ない、その結果、新構造は従来構造のもつ高い信頼性を更に前進させた構造であることが確認され、現地試験でも良好な結果を得た。

小林倫明* Kobayashi Michiaki
田中瑞穂** Tanaka Mizuho
佐藤正二** Satô Syôji
鈴木睦男** Suzuki Mutsuo
柳田 勲** Yanagida Isao

1 緒 言

関西電力株式会社新成発電所(以下、新成発電所と略す)用60,000kWフランシス水車は、電力需要増大に対応し建設された尖頭負荷の発電所である。本発電所は当初より性能、強度面での高い信頼性と、運転に対する高い経済性をもつ新形構造水車の開発、実用化研究の結果を用い、実機の設計、製作を経て昭和50年3月運転を開始した。営業運転に先立ち行なわれた各種の現地調整試験では、良好な結果が得られ、現在好調に営業運転中である。

以下に本発電所用新形構造水車の開発研究、並びに現地運転結果につき報告する。

2 発電所及び水車の概要

新成発電所は近年の著しい電力需要の増大、特に関西電力株式会社管内における昭和50年度夏季のピーク需要に呼応し、庄川に建設された発電所であり、既設の同社成発電所のすぐ上流に隣接し、成出制御所から遠隔制御される常時無人の発電所である。なお、本発電所は既設の成出ダムを共用し、既発電所建設時に将来の増設を考慮し設置された取水口を改造し、最大使用水量130m³/sを取水、新たに設ける延長162.098mの導水路、及び延長128.191mの水圧管路により導水し、最大58,200kWを発電、延長18.825mの放水路により庄川に放流するものである。

2.1 発電所計画の概要

- (1) 取水河川名：庄川水系 庄川
- (2) 調整池：既設成出調整池を共用し、総貯水量9,709,000m³、有効貯水量3,186,000m³の規模をもつ。利用水深は6.1mである。
- (3) ダム：既設成出ダムを共用する、高さ53.2m、堤頂幅3.0m、堤頂長さ190.0mの重力式可動せき型コンクリートダムである。
- (4) 取水口：既設成出取水口を改造したスクリーン幅員14.4mをもつ側方取水形で制水門は鋼製ローラーゲート1門を設備

している。

- (5) 導水路：内径6.40m、延長162.098mをもつ近似円馬てい形及び円形圧力式である。
- (6) 水圧管路：内径6.40～4.35m、管長128.191m、管厚15～19mmの鋼製地下埋設式である。
- (7) 放水口：水路幅員11.2m、延長21.313mをもつ長方形開渠形である。

2.2 設備計画の概要

設備計画の概要は図1、2に示すとおりで、図1は水路縦断面を、図2は発電所建屋縦断面を示す。

2.3 水車の仕様

- (1) 形 式：立て軸フランシス水車×1台
最大出力：60,000kW
有効落差：最高53.1m、最低47.0m
最大流量：130m³/s
回転速度：163.6rpm
比 速 度：279m-kW

3 新形構造水車の概要及び特徴

3.1 新形スピードリング、ケーシング、上カバー

本発電所用スピードリング、ケーシング、上カバーには従来形構造水車より更に性能強度の信頼性を高めた合理的な構造が採用されたが、その特徴を次に述べる。

- (1) スピードリングに作用するケーシング引張力、上カバー引張力、その他外力の着力点を合理的に配置させることにより、それら外力によりスピードリングに生ずる曲げモーメントを最小に選定し、従来形ステーベーンの付け根部、及び従来形ケーシング胴板とスピードリングとの接続部に生じていた大きな曲げ応力の集中を除去し、応力の平均化を図った。なお、これによりステーベーン付け根部、ケーシング胴板付け根部の応力を小さくすることができ、信頼性を向上させた。
- (2) 上カバーに加わる水圧力の伝達経路を単純化して、上カ

* 関西電力株式会社建設部電気課 ** 日立製作所日立工場

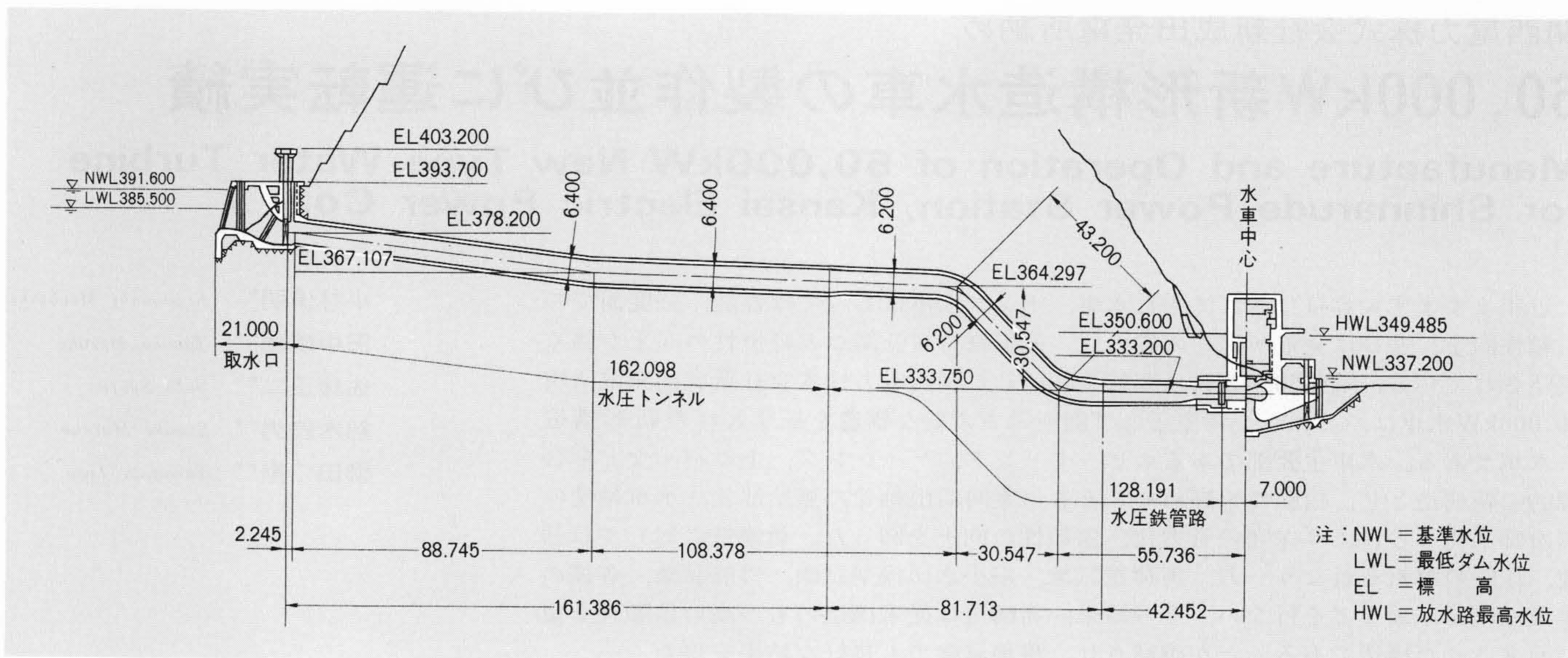


図1 水路縦断面図 ダム、取水口より下部放水路に至る水路の断面を示す。

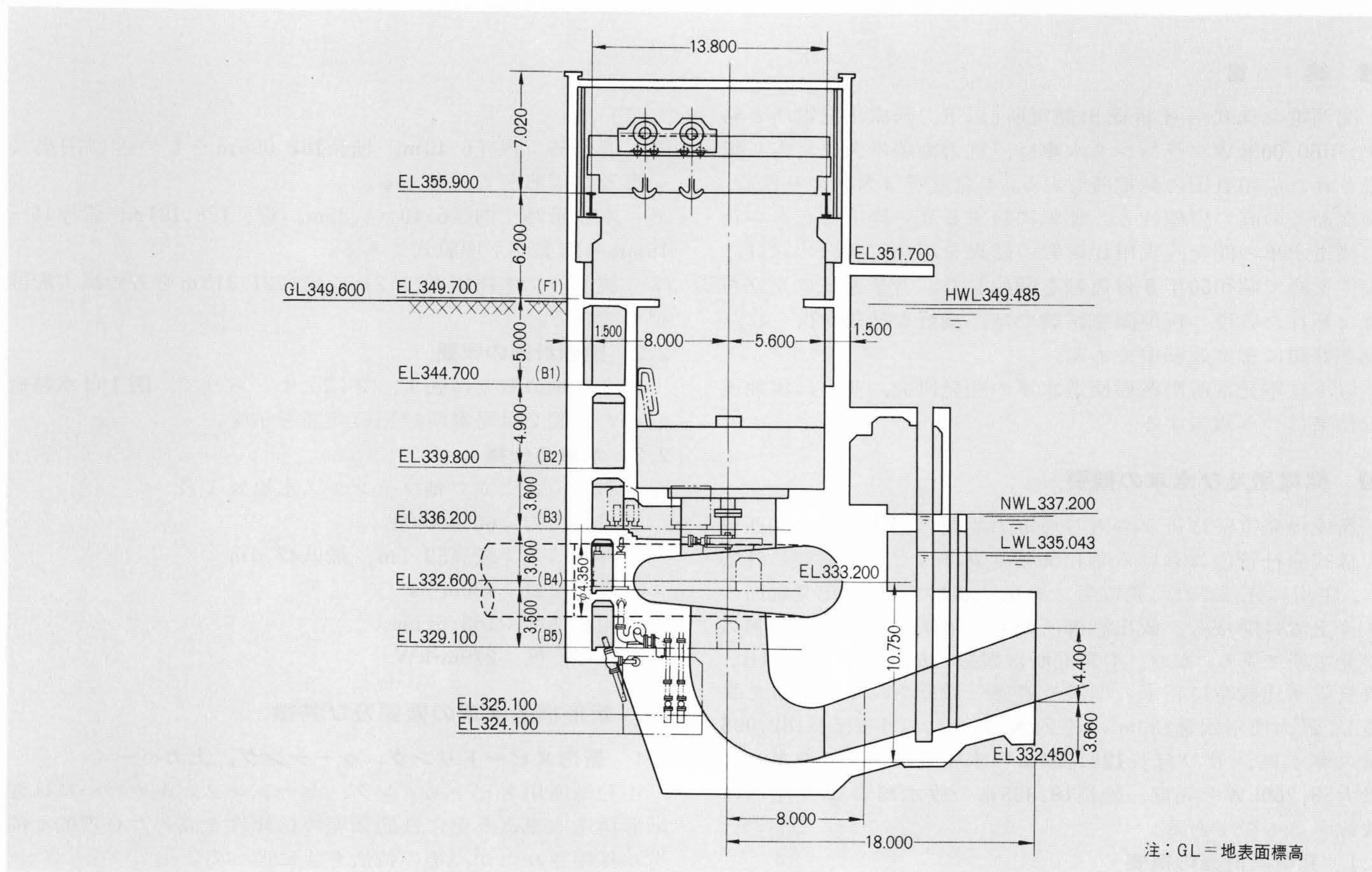


図2 発電所建屋断面図 発電所建屋及び機器据付寸法を示す。

バーの放射状リブに生ずる応力を大幅に低減した。なお、これにより上カバーのたわみ量を小さくすることができ、信頼性を向上させた。

(3) 大きな応力の集中が無くなったこと、及び構造的な簡略化を行ない構成部品数の低減を図ったこと、並びに荷重伝達経路の単純化により水車主要部の信頼性が著しく向上した。なお、この新形構造と従来形構造との比較を図3に示す。

3.2 水車主軸受の無冷却水化

従来から水車主軸受には冷却水管を設け、軸受冷却に使用

していたが、低損失形軸受の開発、実用化に伴い、無冷却水化が可能になった。これにより冷却水量の低減、断水リレーなどの省略による保守の簡素化並びに信頼性の向上が可能になった。

3.3 案内羽根軸受、操作機構用軸受の無給油化

従来から案内羽根軸受、操作機構用軸受にはグリース潤滑軸受が採用されてきたが、これに代わる軸受として軸受摺動面に固体潤滑剤を埋め込んだ無給油軸受を全面的に実用化した。これにより得られる利点を次に述べる。

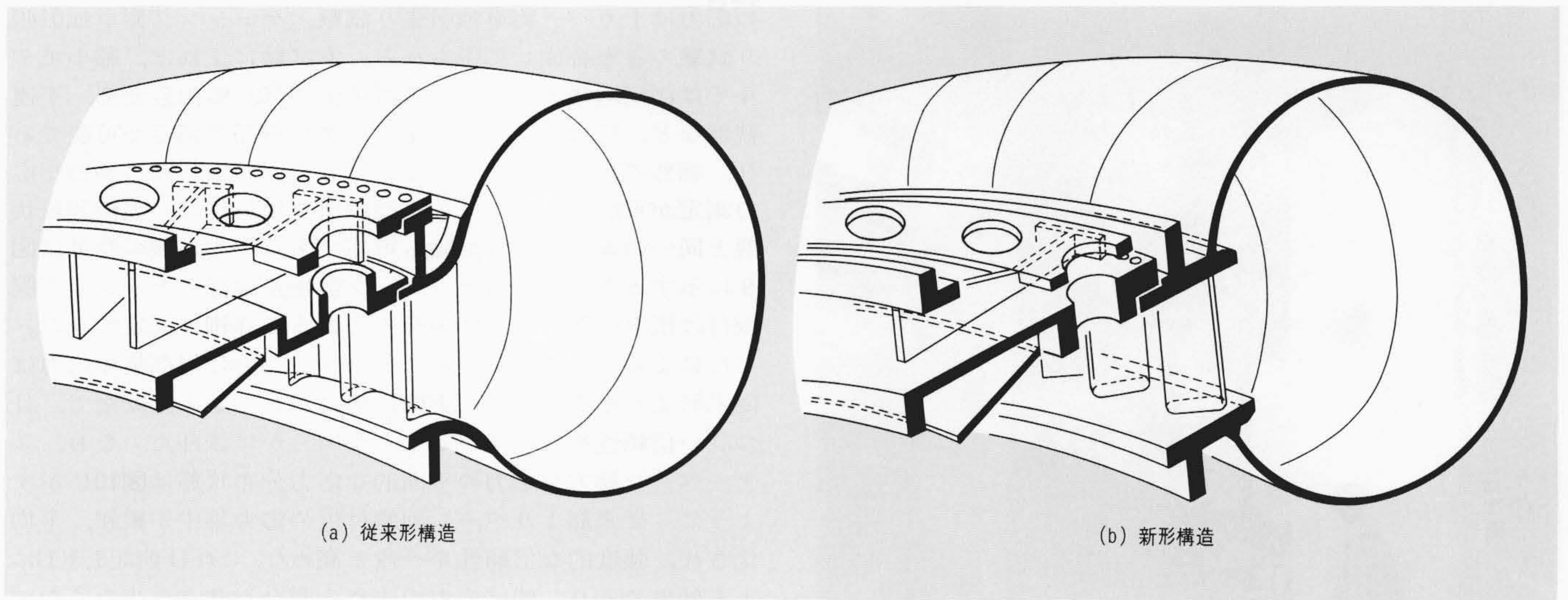


図3 新形構造と従来形構造の外観比較 新構造を採用した部分の従来構造との比較を示す。

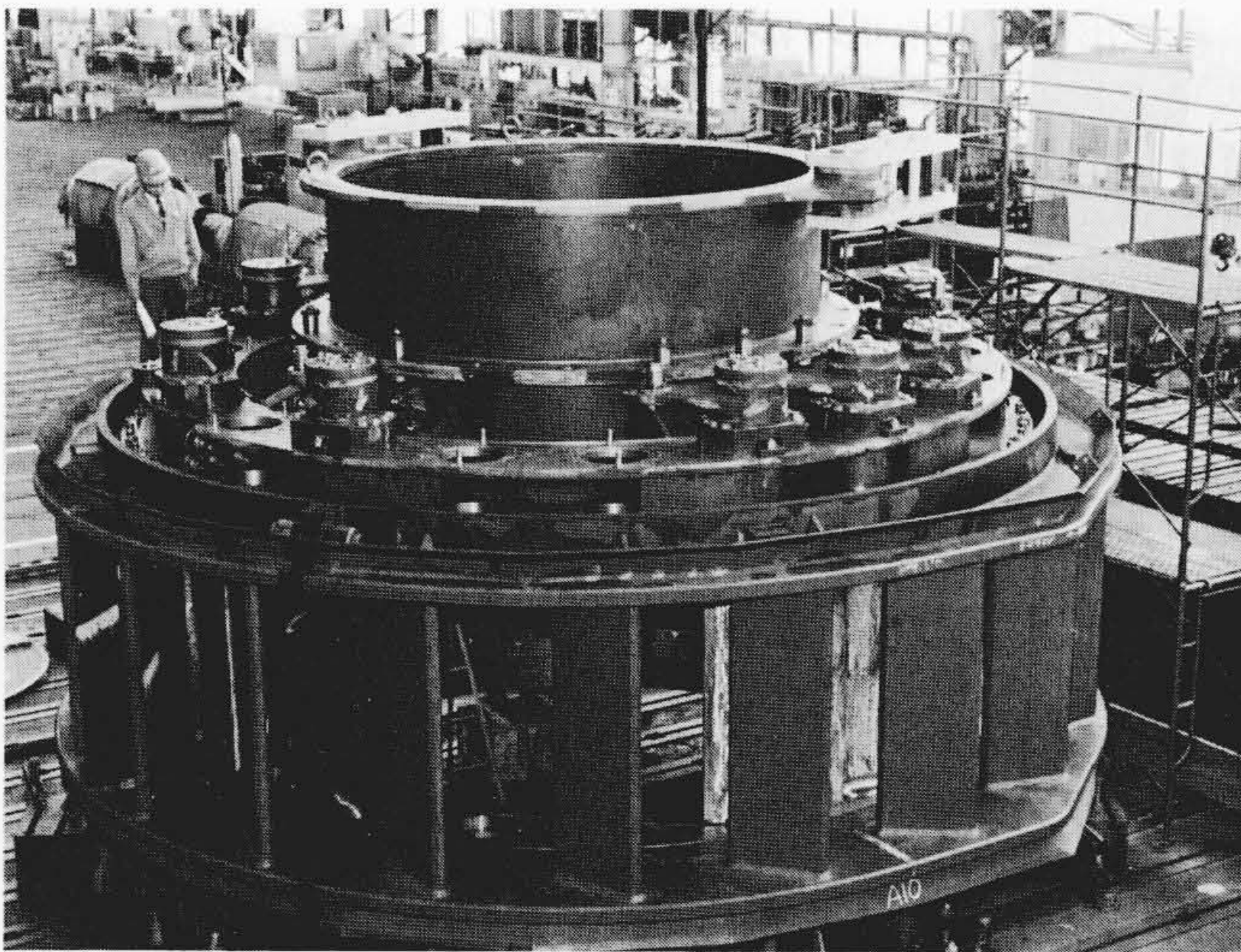


図4 新形構造水車の工場組立状況 水車本体を工場組立てし、部品相互の取付関係、主要寸法の検査を実施した。

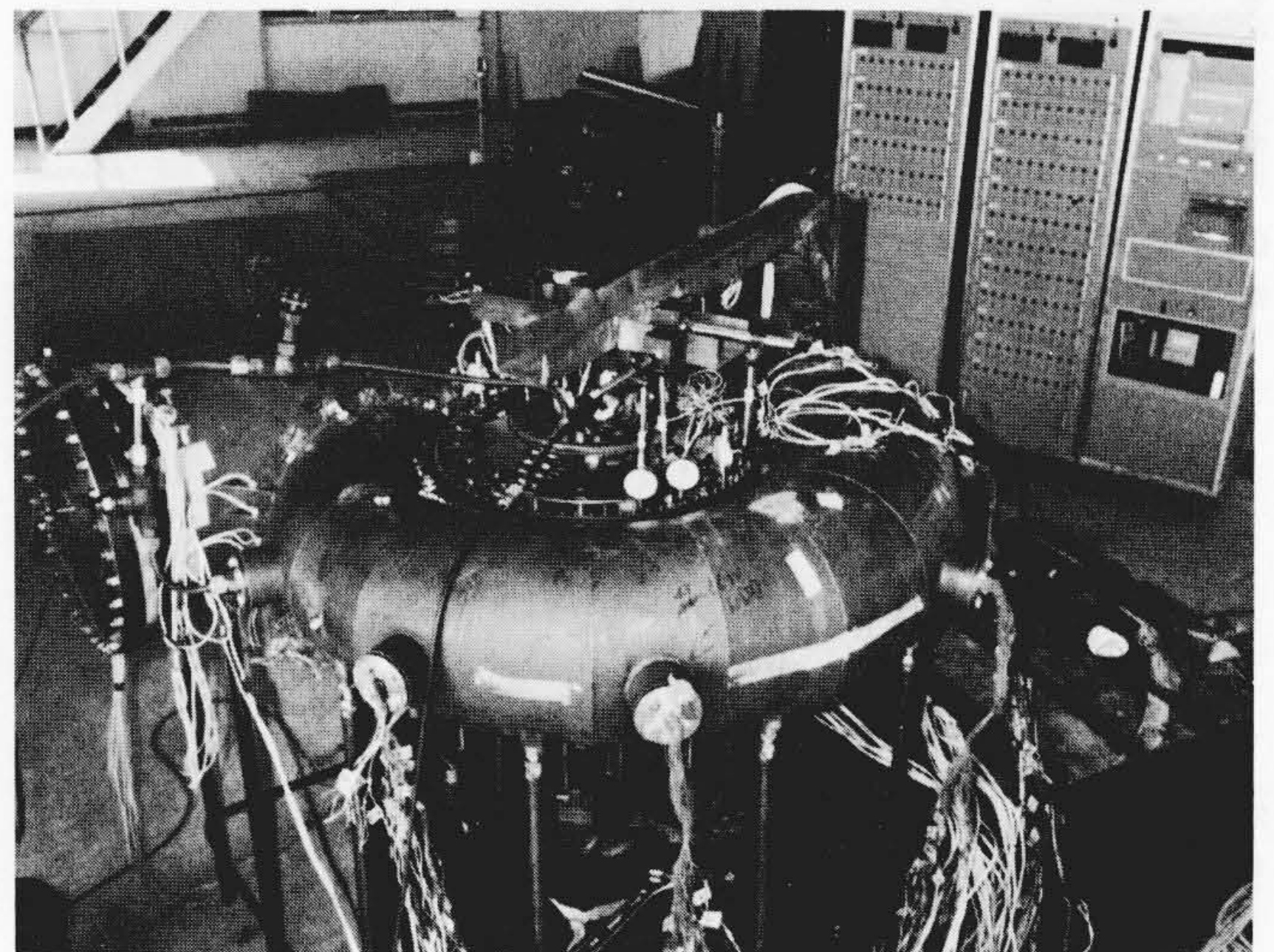


図5 $\frac{1}{10}$ 縮小水圧模型による応力測定 応力測定中の水圧模型を示す。各部水圧は、実機と同じく調整できるように考慮されている。

- (1) 運転保守が容易になる。
- (2) 信頼性が向上した。
- (3) 運転維持費の低減が可能になる。
- (4) 従来形より摩擦係数が小さく、操作力の低減、油圧サーボ機構のコンパクト化が可能になる。

などであるが、これらについては別途報告する予定である。

以上の新構造を採り入れた水車の工場組立状況を図4に示す。

4 新形構造の開発研究

4.1 強度の検討

前述のような特徴をもつスピードリング、ケーシング、上カバーなどの新構造に対し、その安全性と強度の確認として有限要素法をはじめ、各種の強度解析を行なう一方、図5に示す縮小水圧模型による水圧試験、及び図6に示す実物大、部分スピードリングの大形構造物試験機による実荷重試験を行なった。

4.1.1 縮小水圧模型による水圧試験

試験装置はスピードリング、ケーシング、上カバーを実機相似の $\frac{1}{10}$ として製作し、上カバーに作用する水圧を実機と同

様に負荷できるようにランナクラウン外径シール相当部に中間隔壁を設け、この内側、外側各の水圧を別個に調節できるように考慮されている。本装置によると上カバー、スピードリング及びケーシングは実機運転状態と同一の水圧荷重を再現でき、また水圧負荷状態における各部品の変形拘束度、部品相互間の影響力なども実機運転状態を再現できるように考慮した。図7に本モデルによる新形ケーシングの応力測定の結果を示す。新形ケーシング胴板付け根部に生ずる大きな曲げ応力の集中は、従来形より大幅に低減されていることが確認された。なお上カバーたわみの実測値は図8に示すように計算値とよく一致している。また、たわみ量は従来形より小さく、信頼性の高い合理的な構造であることを示している。これは、上カバーの荷重伝達経路を単純化したことにより、上カバー放射リブに水圧荷重を伝達させず、単に補剛部材としていること、荷重伝達経路に極厚鋼板を使用したことなどによる。

4.1.2 大形構造物試験機によるスピードリング実荷重試験

試験機は引張り、圧縮ともに各1,000t、曲げ2,000t-mの試験負荷容量をもつ大形構造物試験機であり、油圧式低速繰返し装置付きで静的強度試験はもちろん、プログラム制御試験も可能である。試験用モデルは試験機の最大荷重を考慮し決定

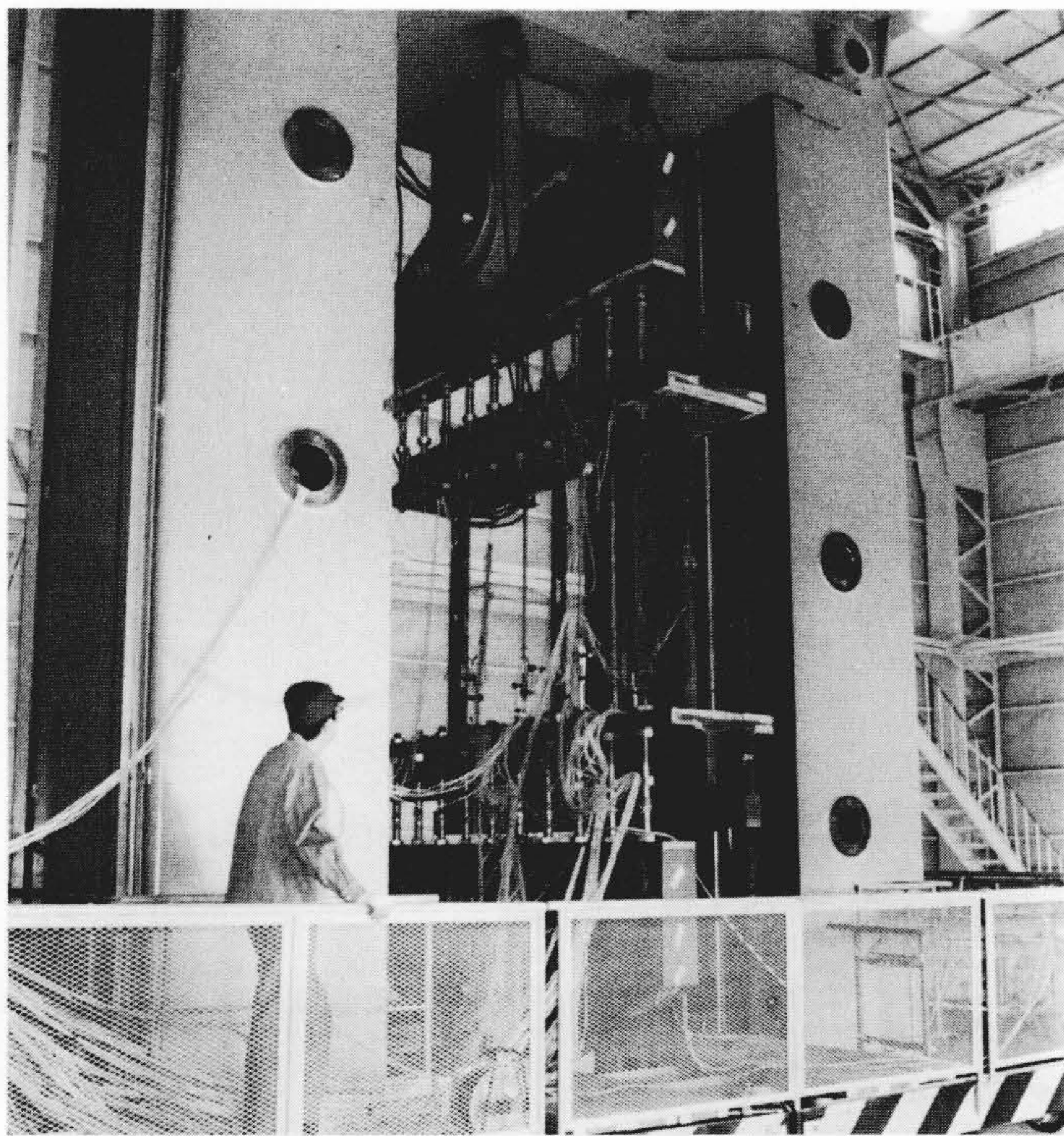


図6 大形構造物試験機による実荷重試験 実機寸法をもつ新形部分スピードリング モデルを使用した実荷重試験を示す。

されたもので、ステーパーン3枚をもつ実物大の部分モデルであり、スピードリング全周の約3/4が直線状に製作されている。このモデルは、モデルスピードリング下部を試験機ベッドに固定し、上カバー取付ねじ穴の部分に負荷屋を取り付けて、上カバー取付部及びケーシング胴板部を各単独に所定の荷重で引っ張り、試験に供せられた。試験荷重はケーシング側引張力590 t、上カバー側引張力145 tである。実機運転時

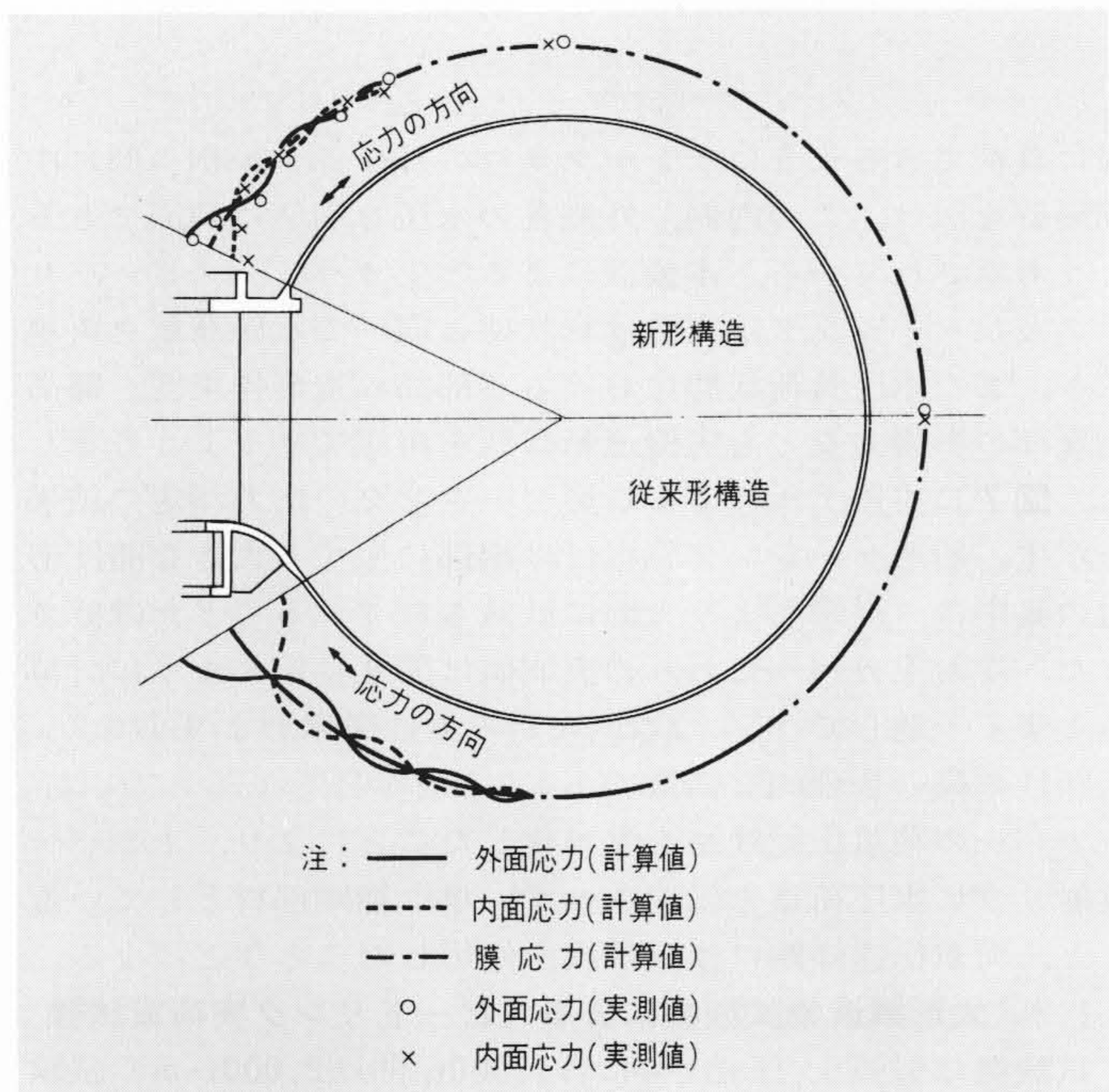


図7 水圧模型によるケーシング応力測定結果 新形と従来形とのケーシング応力比較を示す。水圧模型実測応力は、計算値とほぼ一致している。

の応力は上カバー側単独引張り試験、ケーシング側単独引張り試験の各を合成して得られる。本試験によれば、縮小モデルでは測定困難とされている溶接止端部、断面急変部、不連続部など、特に応力集中の生じやすい細部の測定が可能であり、細部の相似性が失われることもなく、広範囲に詳細な応力測定が可能である。更に本試験機を用いれば、実機運転状態と同一の繰返し疲労試験も可能である。本試験の結果は図9に示すとおりで、ステーパーン溶接止端部、ケーシング胴板付け根溶接部、その他細部の応力まで詳細に測定できた。これによると、新形構造のステーパーン付け根部集中応力は従来形より相当小さく、実機採用に対しても十分安全で、且つ高い信頼性をもっていることが明らかにされた。なお、ステーパーン軸方向応力の平面的な応力分布状態は図10に示すように、従来形よりペーン両端付近の応力集中が緩和、平均化され、強度的な信頼性を一段と高めた。これは前記3.1(1)による効果であり、曲げ応力の占める割合が非常に少なくなっているためである。

4.2 新形スピードリングの水力性能

新成出発電所水車の新構造に対する水力性能の確認として、スピードリングに整流板を設けた模型水車によりその効果を確認した。その結果、整流板の有無による水力性能の差はほとんどなく、新構造スピードリングの水力性能に及ぼす悪影響がないことが分かった。これとは別に、新構造に対する水力性能の確認として性能試験を行なった。本試験は $n_s=140m-kW$ クラスの水車を対象としたもので試験結果は図11に示すとおりで、各落差ともに従来形より高い効率を示している。なお、ケーシング、ステーパーン間の水頭損失も従来形より小さく、図12に示すように別に実施された流速分布状況も良好であった。総じて、新形構造の水力性能は従来形と同程度若しくはそれ以上であると言える。これは、案内羽根へ流入する直前での直線流路が従来形より非常に長く、流れの案内効果、整流効果が優れているものと考えられる。

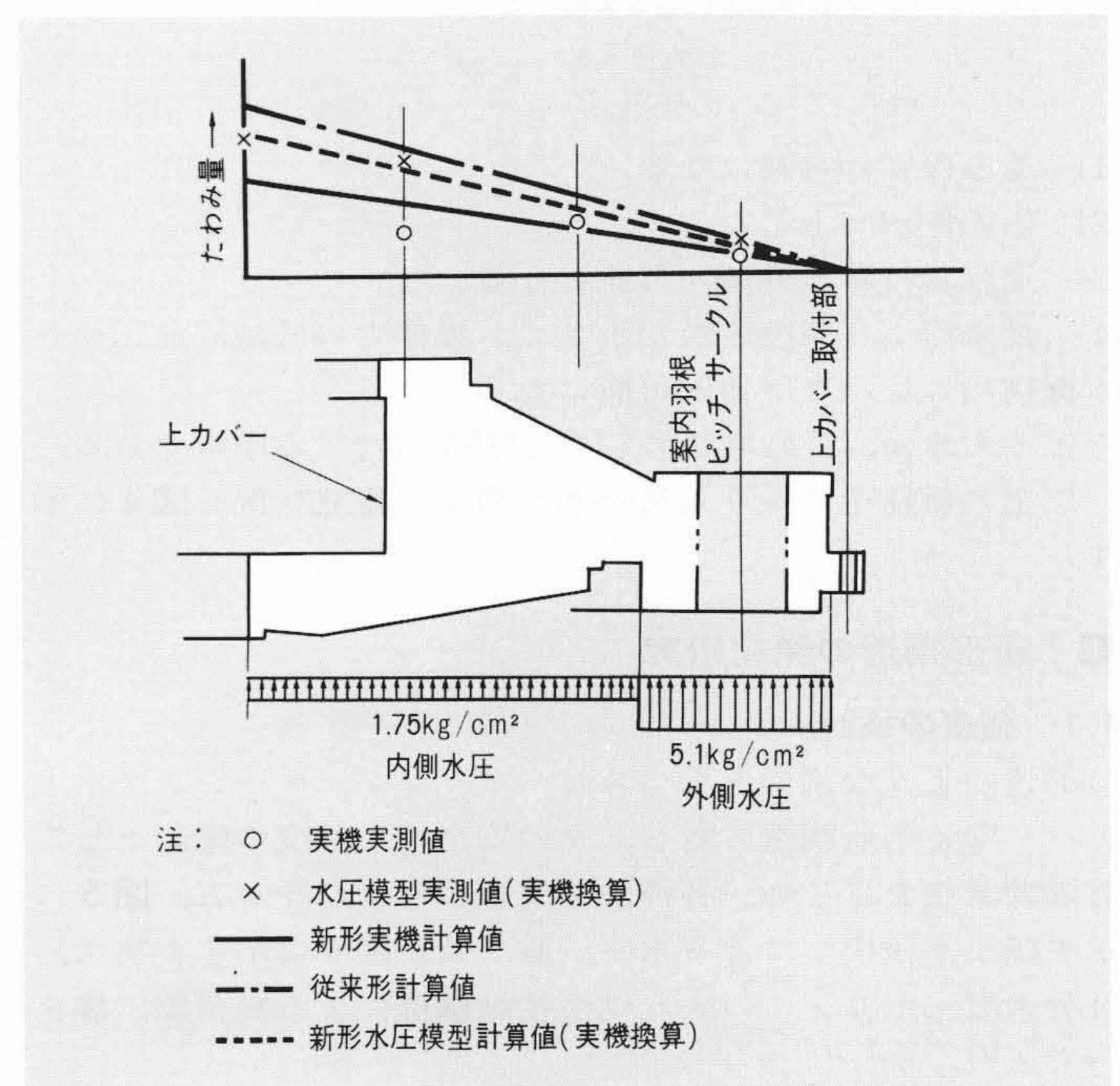


図8 上カバーたわみ測定結果 水圧模型及び実機の上カバーたわみを示す。水圧模型と実機との間のたわみ量差は、部分的に幾何学的相似性を欠いていることによる。

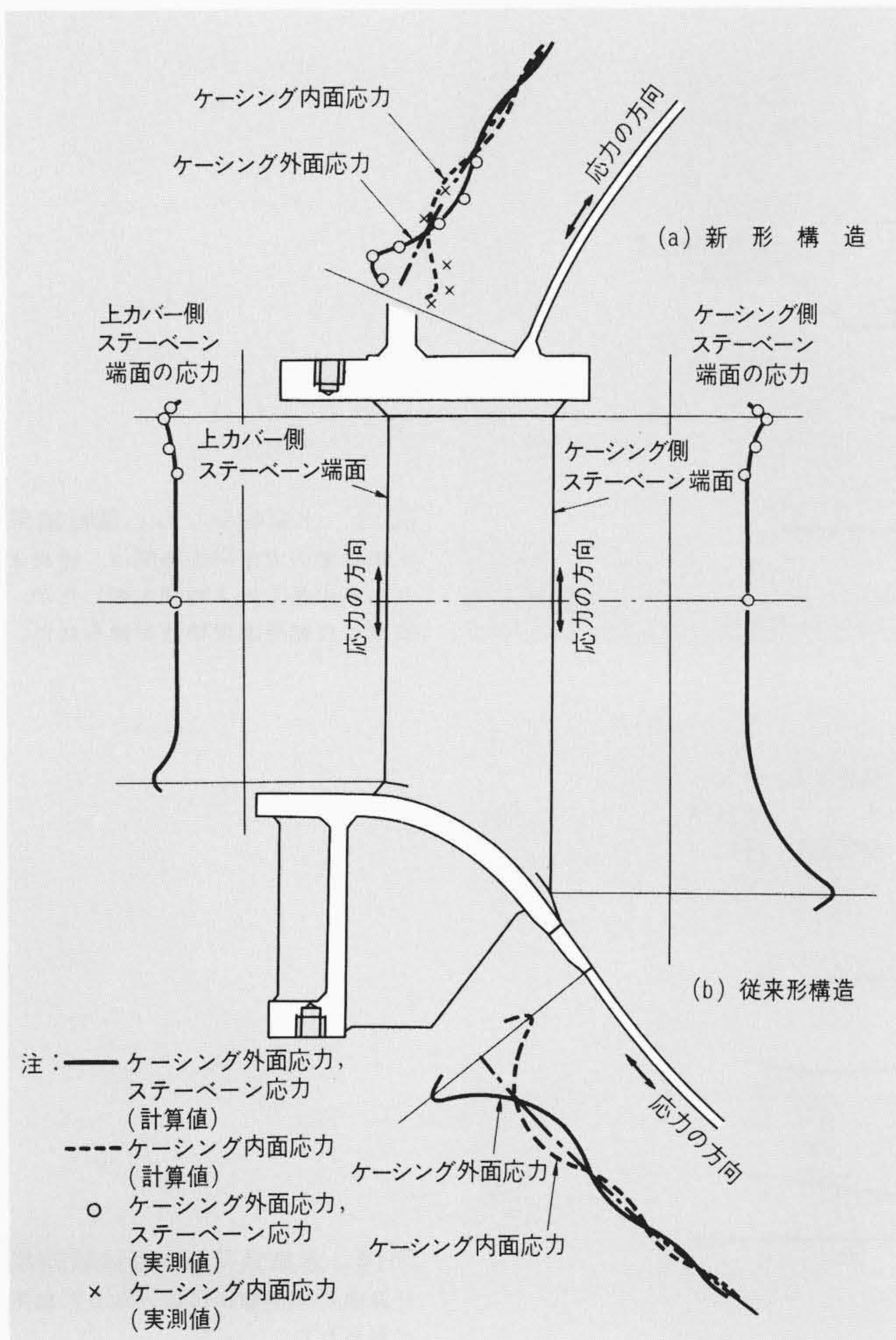


図9 実荷重試験による応力測定結果 応力測定結果は、計算値とよく一致しており、且つ従来形の大きな応力集中が緩和されている。

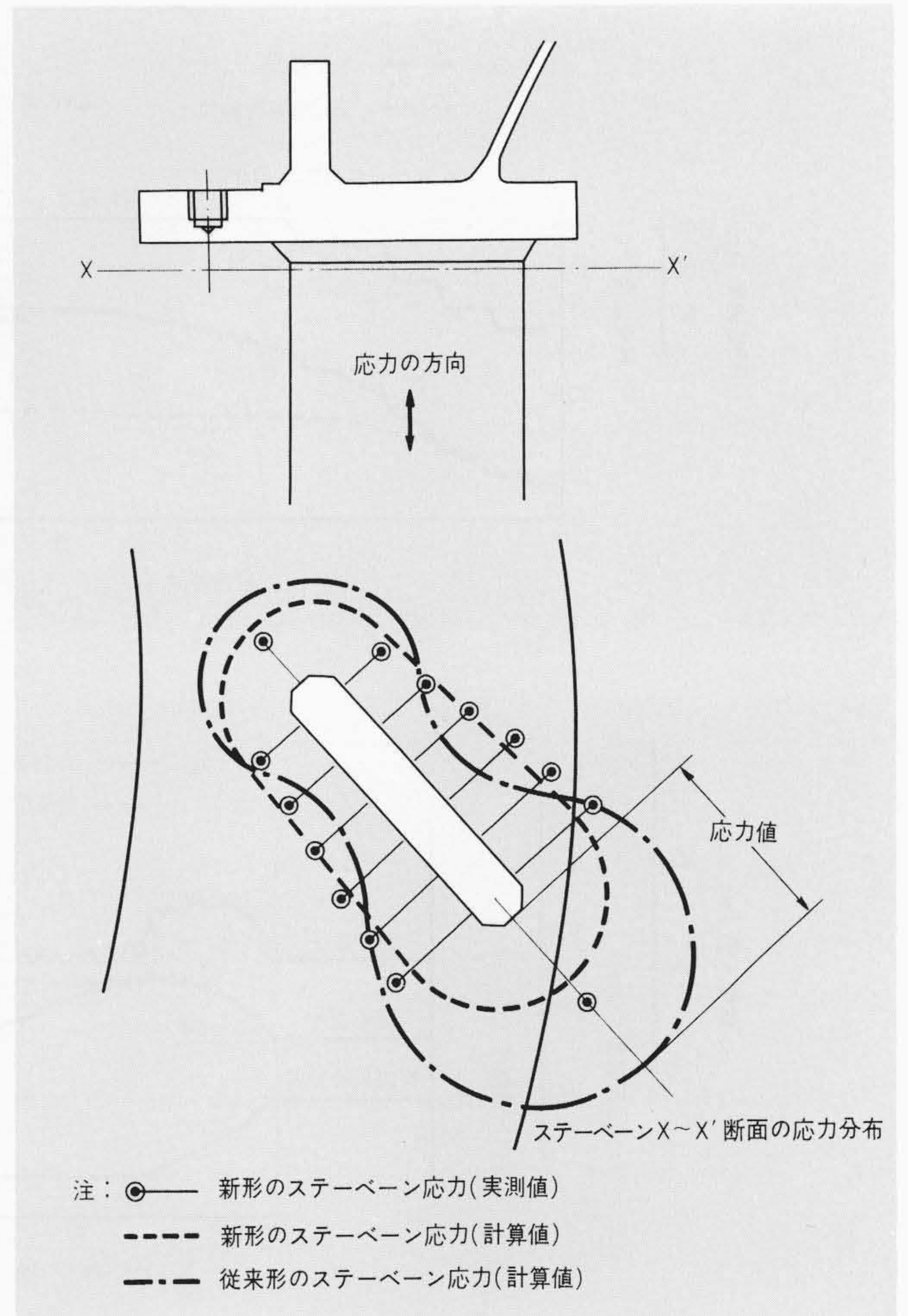


図10 実荷重試験によるステーパーン応力測定結果 ステーパーン軸方向応力の平面分布状況を示す。従来形のペーン端部の応力集中が緩和され平均化されている。

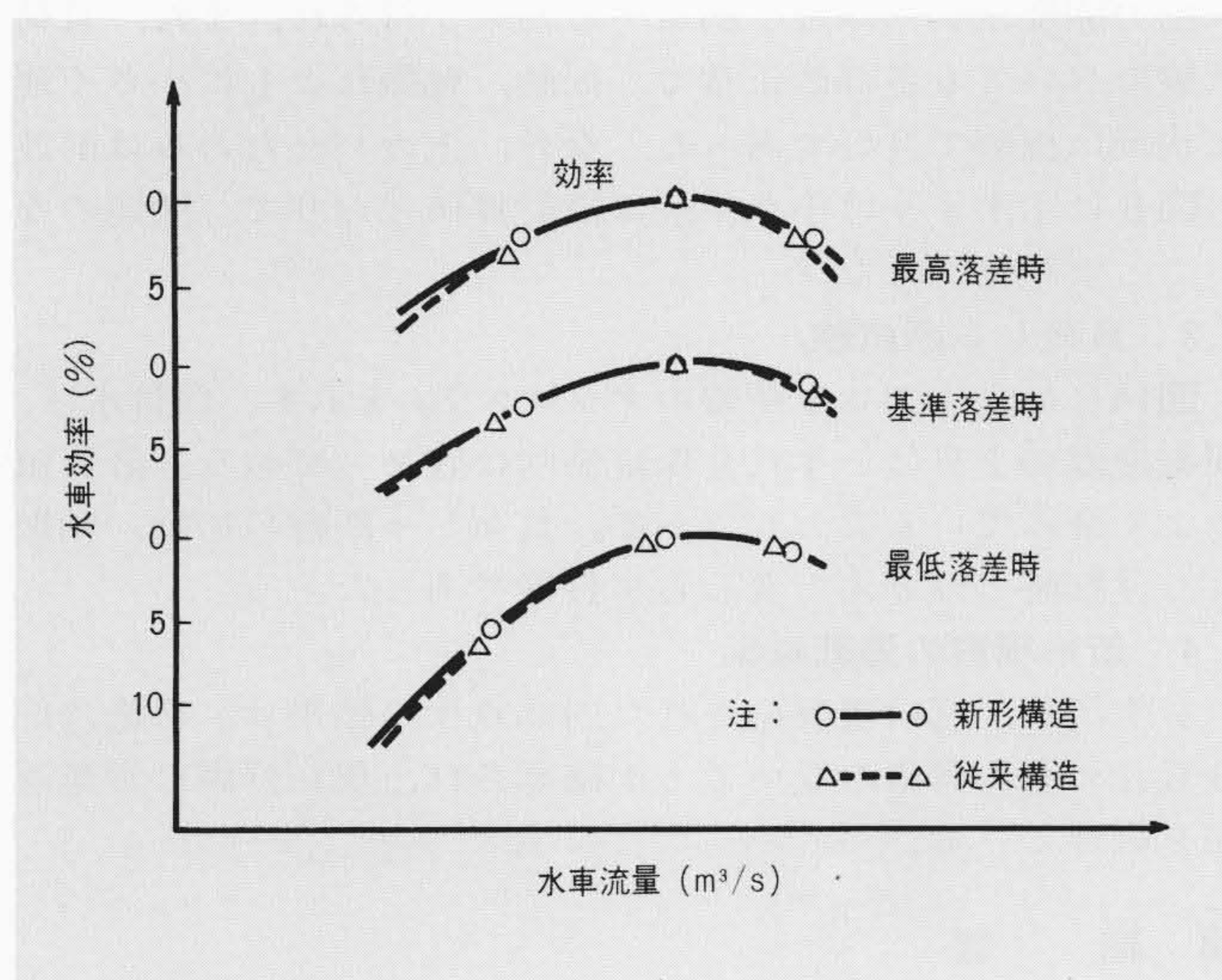


図11 新形、従来形水車の性能比較 水車効率の比較を示す。従来形よりわずかではあるが優れていることが分かる。

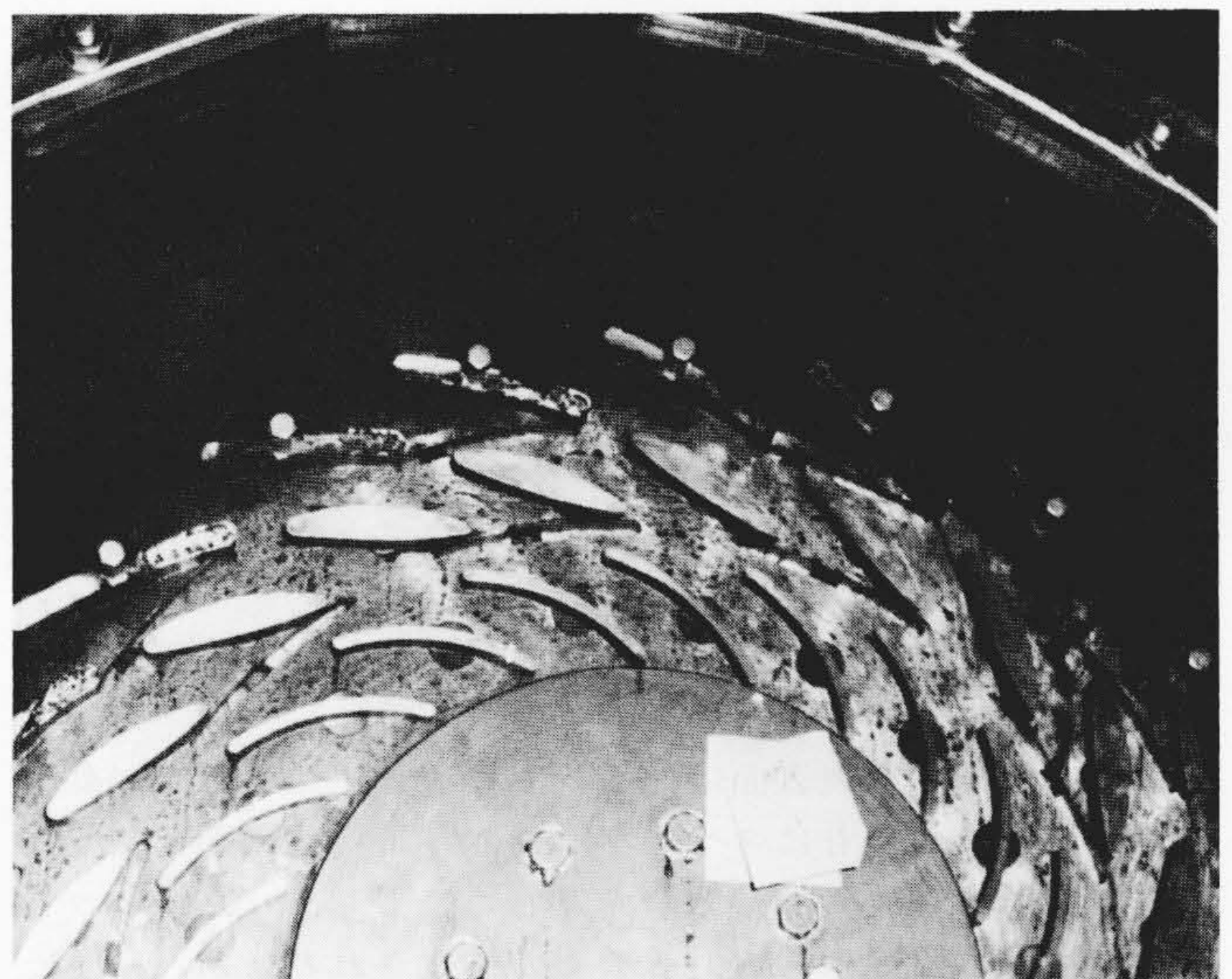


図12 新形水車の流跡測定 新形スピードリングにおける各部分の流跡をモデルにより確認した。

5 新形構造の設計、製作

新形構造の設計製作に際しては、前記のような一連の試験により得た各種の技術データを基礎に、高い信頼性を得るため万全を期して設計製作し、更に高度な溶接技術、非破壊検

査技術、並びに独自の品質保証体制の成果を結集して製作されたものである。

5.1 設計、製作

スピードリングの製作に際しては、設計段階でよく吟味された材質が選定、使用された。ステーパーン端部の溶接は実

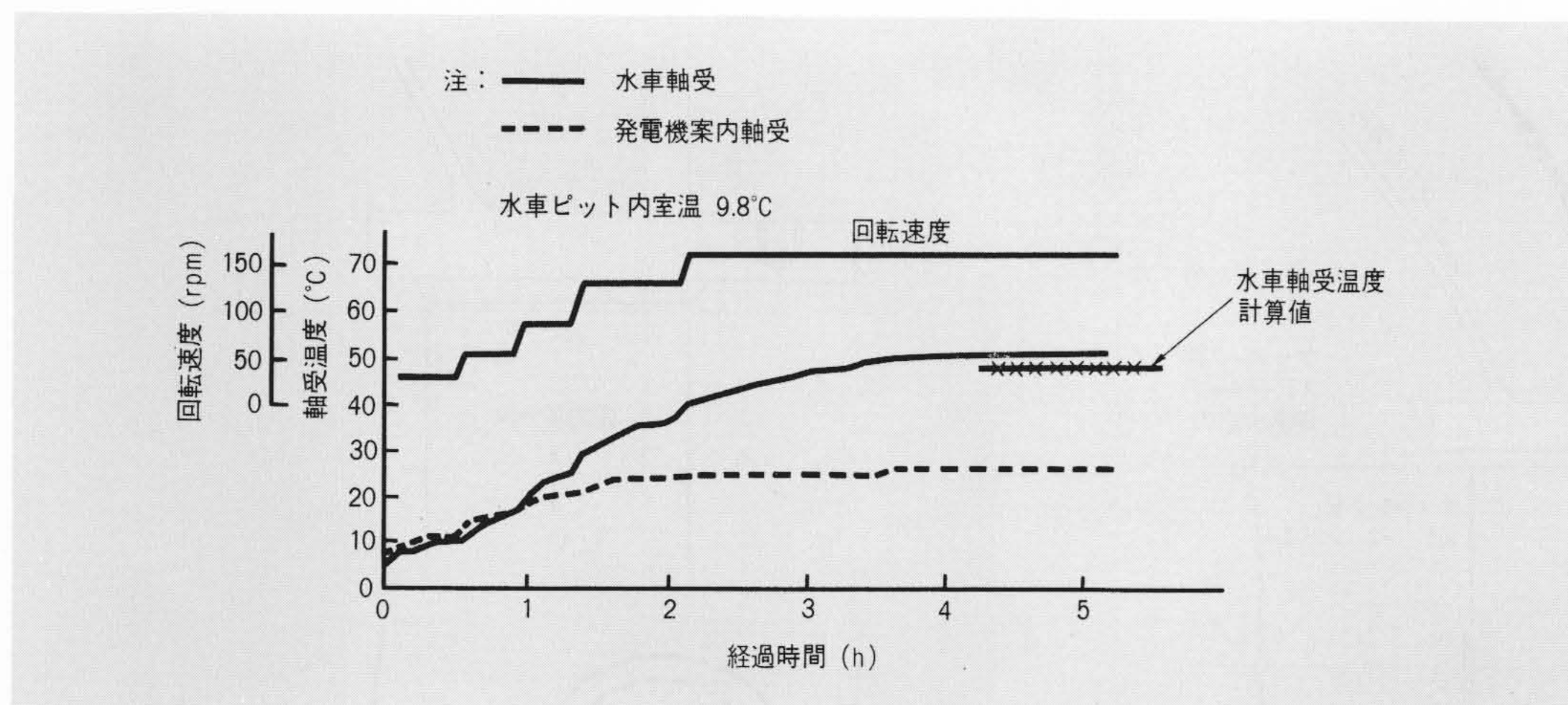


図13 水車軸受ならし運転結果
水車軸受の温度平衡時間は、従来よりも多少長く約4時間を要したが、安定した軸受温度特性が得られた。

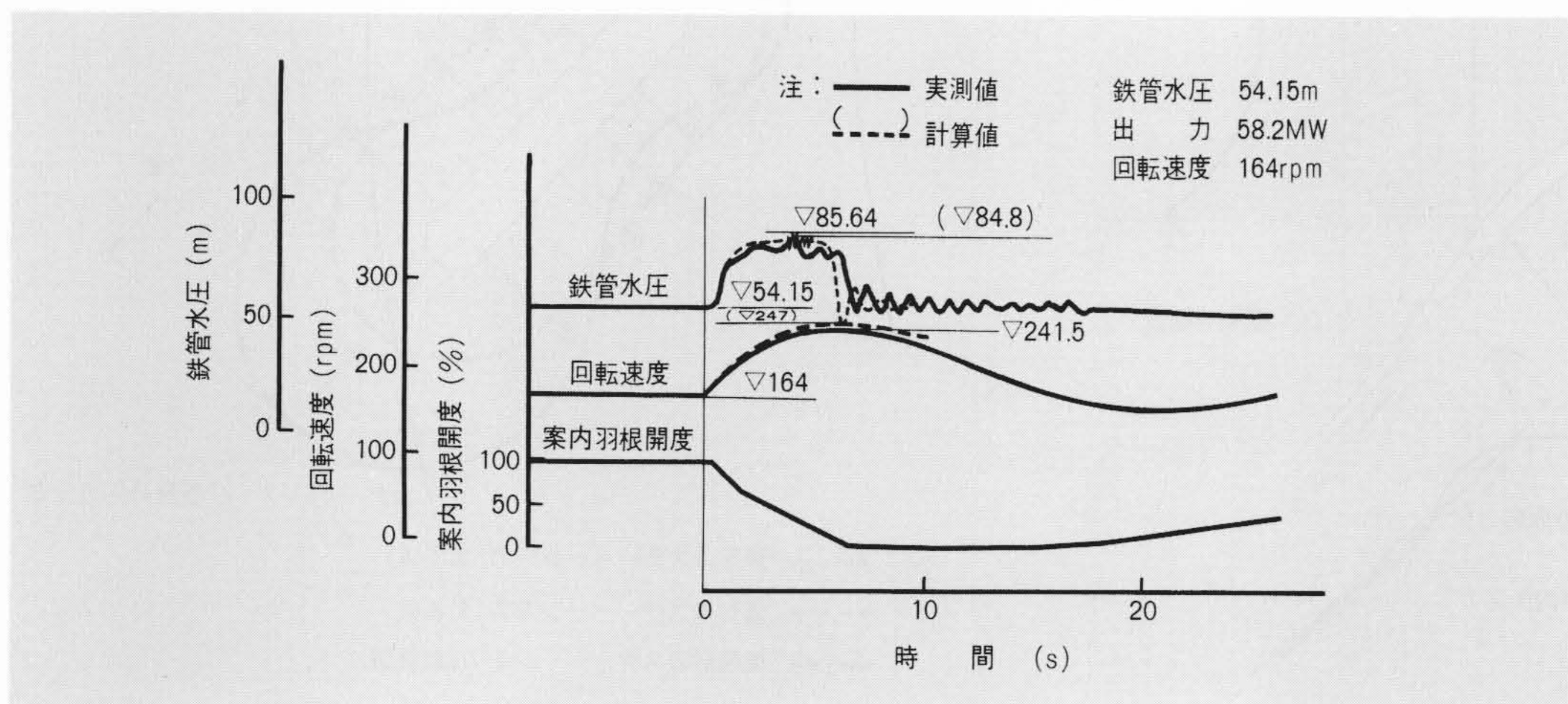


図14 水車負荷しゃ断試験結果
計算値と実測値はほぼ一致した結果が得られた。

荷重試験で安全性を確認したが、更にこの部分は超音波探傷検査を実施し、十分な安全性を確認した。また、ケーシング胴板の内周端部とスピードリングとの溶接部に対しては、設計段階で実機大部分モデルを製作し、その作業性を十分検討のうえ実機の製作に供した。

5.2 検査

従来、ケーシングとスピードリングとの溶接部に対しては、現地で多く使用されている放射線検査が一部適用不可能な部分をもつため、工場で超音波探傷検査を実施し、有害欠陥がないことを確認した。ケーシング胴板はスピードリングに傾斜して接続されているため、超音波探傷検査の実機適用に当たっては部分模型により確認試験を実施し、60度斜角探触子による検査法とした。

なお、溶接すみ肉表面は磁気探傷検査が併用され、信頼性確保に努めるとともにステーパーン両端溶接部に対しても、超音波探傷検査を実施し万全を期した。なお、ケーシングの現地溶接部は、従来の放射線検査が適用された。

6 現地試験及び運転結果

6.1 軸受ならし運転

本水車の軸受には12セグメントから成るセグメント形軸受が採用され、且つ冷却管なしの新構造が採用されている。軸受温度の平衡時間は従来構造より幾分長く要する傾向が見られたが、軸受温度の異常上昇はなく、温度特性は安定していることが確認された。図13は無負荷において行なわれた軸受ならし運転結果を示すものである。

6.2 水車運転特性

出力開度試験は保証を満足する結果が得られ、また、負荷試験においても各部は正常で、振動、軸振れともに小さく運転状況は極めて良好であった。なお、上カバーたわみは前述の図8に示すように小さく、ほぼ計算値どおりで、問題のないことが確認された。

6.3 負荷しゃ断試験

図14に最大出力しゃ断時のオシログラムを示す。鉄管水圧、回転速度の上昇はいずれも保証値内に収まっており、計算値によく合っていることが分かる。負荷しゃ断時の振動、軸振れも運転時とほとんど変わらず良好であった。

6.4 新形構造の運転結果

有水調整、試験後実施された内部点検の結果は、新構造部分も含め全く異常のないことが確認され、現在好調に営業運転を続けている。

7 結 言

新成発電所用新形構造水車の開発研究、製作、並びに運転実績についてその概要を述べた。本新形水車は、従来実績のうえに確立された日立水車の技術と独自の品質保証体制を駆使し、十分な各種の試作、検討を経て完成されたものである。今回の製作実績と運転実績は貴重なものであり、今後ますます大容量化するものと思われる水車及びポンプ水車の製作に果たす役割は非常に大きいものと確信する。終わりに、本発電所機器の設計製作に当たり、貴重な指針を供与された関係各位に対し厚く謝意を表わす次第である。