

〔解説〕

原子力発電用炉心冷却系ポンプ

山口 啓*

1. まえがき

原子力発電用ポンプは、想定されるあらゆる運転状態に対処し、かつ絶対的安全性を確保するために一般のポンプにくらべ性能・機能上厳しい要求が課せられる。東京電力福島第一原子力発電所6号、1100 MW、BWRに納入した非常時用炉心冷却系ポンプのうち代表的な高圧炉心スプレイポンプについて述べる。

2. ポンプ性能

高圧炉心スプレイポンプは、原子炉冷却材喪失事故時に、サブプレッションプールの水を炉心ノズルからスプレイし炉の冷却減圧を行うもので、炉内圧力に応じ約 90kgf/cm^2 から 20kgf/cm^2 の広範囲の吐出し圧で運転される。すなわち、図1の仕様点A、B、Cが規定され、H-Q曲線はこの3点を満足する右下りの滑らかなものでなければならない。さらに、締切揚程およびランアウト流量(ポンプH-Q曲線とシステム抵抗曲線との交点)もその最大許容値が制限されている。

また、ポンプは締切点からランアウト流量まで、キャビテーションに対して安全に運転されねばならない。図1にポンプ据付床面レベルにおける Available NPSHを示す。

このH-Q曲線およびNPSHを満足するポンプは立軸多段ディフューザーポンプ(ピットバレル形)以外にない。仕様点AおよびB、Cを勘案して、 $18\text{ m}^3/\text{min} \times 560\text{m} \times 1480\text{rpm}$ を設計要項点とし、段数を10段、1段当りのポンプ比速度を300として設計した。しかしNs300では普通締切揚程比(H_0/H_{bep})は1.3~1.4程度であり、これを $950\text{m}/560\text{m} \approx 1.7$ まで高めるため、羽根出口角度を 18° と小さくし、羽根出口外径を前面シュラウド側で大きくし、かつ2段目以後各段羽根車入口直前に旋回流防止バッフルを設けた。モデルによる実験で修正を繰返し、最終的

* 榎原製作所

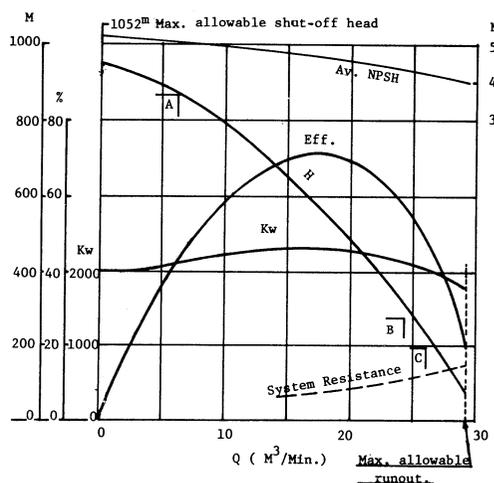


図1 高圧炉心スプレイポンプ性能曲線

に図1実物ポンプ工場性能試験結果を得た。NPSHについてもわずかの余裕をもって満足し得た。

3. 耐震設計

原子力ポンプは、構造上・機能上の安全性を確認するため、すべての部分について設計計算を行うことが要求される。とくに本ポンプはその形状から耐震設計が重視された。原子力用機器の耐震解析は、その機器の固有振動数が、20Hz以上の場合には十分に剛であるので静的解析を、20Hz以下の場合には動的解析を行い、応力・変位が許容値以内で、機能を安全にはたすことができることを確認しなければならない。ポンプの如き回転機械はでき得れば剛構造にするのが望ましい。

本機は据付床面ベースで2分し、床上部分と床下部分に分けて解析した。床下部分は、バレルが沈められる基礎コンクリート穴中間にサポートリングを埋設設置してバレルを支持し、またバレル(内面)とポンプとは3ヶ所の支持点を設けて剛構造とした。設計地震加速度 3 g (起り得る地震加速度の2倍)

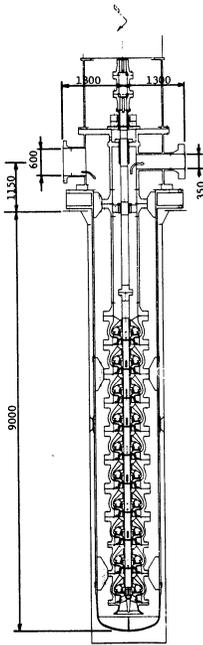


図2 高圧炉心スプレイポンプ構造図

を用いて静的解析を行い各部の応力を許容値以下となるよう寸法、肉厚などを決定した。

4. 製作

原子力用ポンプはASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. III Nuclear Power Plant Componentの規格にしたがって製作する。

製作に当っては信頼性確保のため、設計から出荷まですべての過程の品質保証体制を確立し、一切の業務を基準化し、これを確実に実施せねばならない。

本ポンプは工学的安全設備の一次系に属するので、ASME Sec. IIIのClass IIの基準が適用される。大気と接するバレルおよび吸込・吐出口ケーシングは放射能もれに対する安全上からとくに重要で厳しい品質管理が行われた。材料は炭素鋼が指定されているが、その最低使用温度が脆性破壊上問題がないことを確認しなければならない。本機は鋼板SGV42

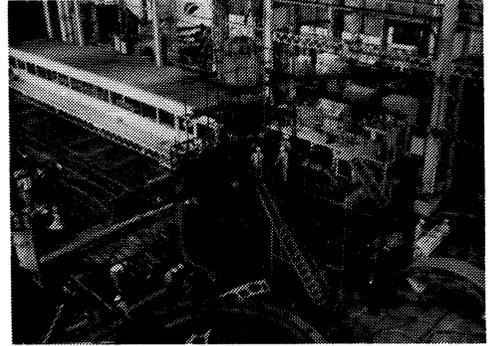


図3 工場試験

鍛鋼SFVV1を使用し、溶接構造とした。(鋳鋼で製作することも可能であるが、その場合は全面X-Ray検査を行い、補修して無欠陥のものとせねばならない。)まず材料の一部を切り取って溶接を行い、溶接部、熱影響部、母材からそれぞれ試験片をとり、Vノッチシャルピー衝撃試験を行い、 -17.8°C において試験片3ヶの衝撃値がそれぞれ規定値⁽¹⁾を下回らないことを確認した。溶接作業はASMEの有資格者がSec. IIIの規定にしたがって施行し、溶接線は全線X-Ray検査および液浸検査を行い、ASMEの判定基準に合格するものとした。

インペラは13Cr鋳鋼、ディフューザーケーシングは鋳鋼とし、それぞれ磁粉探傷、液浸検査を行なった。シャフトは13Cr鋼で超音波探傷、液浸検査を行なった。その他の小物部品についても鍛造品を使用して安全を期した。

5. あとがき

以上高圧スプレイポンプにつきごく概略を記したが、原子力ポンプは種々の厳しい要求のため手間もコストもかかるが、この要求をこなすことによって設計上、製造上の進歩のかたとと思われる。

【参考文献】

- (1) 原子力発電所用機器の最低使用温度の確認試験方法、JEAC 4206-1973、日本電気協会