

逆止弁のシート異物噛み込み時の漏洩量と圧力の関係

Relationship between Pressure and the Amount of Leak from a Check Valve when jammed with Foreign Objects

満田 安正 (Yasumasa Mitsuta) *

要約 加圧水型原子力発電所の安全注入系統に設置されている逆止弁は、1次系圧力バウンダリーを構成する機器であり、定期検査毎に厳しい漏洩試験が実施されている。漏洩試験で稀に発見される微量の漏洩は、本研究に先立つ予備研究において、弁のシートの異物噛み込みが主な原因であることと推定している。そこで、本研究では、実際にシートが異物を噛み込んだ状態を模擬し、その場合の圧力と漏洩量の関係を実験的に求めた。異物として3種類の厚さの金属板を選定し、それらをシートに挟んで水の漏洩試験を行った。その結果、厚さ0.005mmの場合、漏洩量はほとんど圧力に依存しないが、厚さ0.01mmになると、それは少し圧力に依存し、厚さ0.015mmでは、圧力約1.47MPaまでは圧力とともに漏洩量が減少するが、それを越えると、漏洩量が順次増加することが明らかになった。最後に、これらの実験をもとに、現在用いられているよりも遥かに低い圧力(0.98MPa程度)で漏洩試験を実施しても十分その目的を達し、その場合の合否の判定基準は現行のものを変更する必要がないことを提案した。

キーワード 逆止弁, スイング式逆止弁, 漏洩試験, 異物噛み込み, 漏洩量測定

Abstract Check valves installed in safety injection systems of a PWR nuclear power station constitute the primary system pressure boundary. They are subjected to stringent leak tests during periodic inspection. A preliminary study preceding this one demonstrated that the small amount of leakage detected on rare occasions was mainly caused by foreign material caught on the valve seats. Based on such findings, the present study experimentally set out to determine the relationship between the pressure and the amount of leakage by simulating the actual condition in which valve seats caught foreign material. Three types of metal sheets with different thickness were selected to simulate foreign material. These sheets were inserted between valve seats and a water leak test performed. The results of the experiments were as follows: For a 0.005mm thick sheet, the leakage amount increased when the pressure exceeded 1.47 MPa. The acceptable maximum leakage of 100cc/h was between leakages at 0.005mm and 0.01mm thick sheets which were little dependent on the pressure over 0.98MPa. As a result, it was proposed that a leak test using a pressure (approximately 0.98MPa) smaller than the one currently used was sufficient for the purpose of leak testing without changing the current criteria for the test results.

Keywords Check valve, swing check valve, leak test; catching of foreign bodies; measurement of leak quantity.

1. はじめに

加圧水型原子力発電所の1次冷却系配管から分岐する安全注入系統配管には、1次系の水が逆流しないように、逆止弁(通常2個直列)が設置されている。従って、逆止弁は両系統を分離するバウンダリー機器としての重要な役割を担っており、定期検

査のたびに厳重な漏洩試験が実施されている。こうしたところに用いられる逆止弁は、図1に示すようなスイング式のものであり、通常運転中は1次冷却系統の圧力が安全注入系統の圧力より高いので弁体は閉止し、水の流入を止めているが、安全注入系統の圧力が1次冷却系統の圧力より高くなると、弁体は開放し、水が流れ込む。

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

このようにスイング式逆止弁は単純な構造であり、一般には信頼性が高いと考えられるが、定期検査の際の漏洩試験において、漏洩の原因となる損傷がない逆止弁に微量の漏洩が稀に観測されることがある。本研究に先立つ予備研究において、実際のスイング式逆止弁について、実際に行われている漏洩試験と同じ条件（圧力3.92～6.86MPaの水圧）で試験を行った結果、逆止弁のシートが薄い異物を噛み込むことが漏洩の原因であることが推定された。そこで、本研究では、厚さの異なる3種類の金属板をシートに挟み、シートの異物噛み込みを模擬した水の漏洩実験を行い、圧力と漏洩量の関係を求めた。そして、これらの実験の結果をふまえて、逆止弁の漏洩試験の条件について再検討を加えた。

2. 実験に用いた逆止弁

2.1 弁の仕様

発電所には種々のサイズの逆止弁が使用されているが、実験には発電所で実際に使用されている呼び口径10インチのスイング式逆止弁を使用した。

型式	スイング式逆止弁
呼び口径	10B

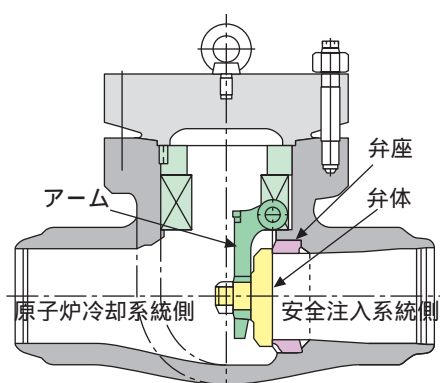


図1 スイング式逆止弁横断面図

主要材質	弁箱	SCS 13
	弁体	SUS F 304
	蓋	SUS F 304
	弁座	SUS 304-B ステライト盛
	圧力温度クラス	1500LB

2.2 閉止動作

実験に使用した逆止弁の弁体は図2に示すようにスピンドルを中心にアームにぶら下がる簡単な構造である。アームと弁体との連結は弁体がアームとの連結部を中心に上下左右方向に必要十分に遊動できる構造である。

弁体は、弁体等の自重による閉止力および逆流時の流体の動圧による閉止力によって閉止する。実験に用いた逆止弁の場合の自重による閉止力は、閉止した状態（弁開度0度）で摩擦係数を0.4として約49Nとなり、シートの閉止面圧は約0.011MPaとなる。図3に弁体の開度と自重による閉止力との関係を示す。また、図4に弁体のシートおよび弁座のシートの位置関係を示す。

3. 実験の方法と装置

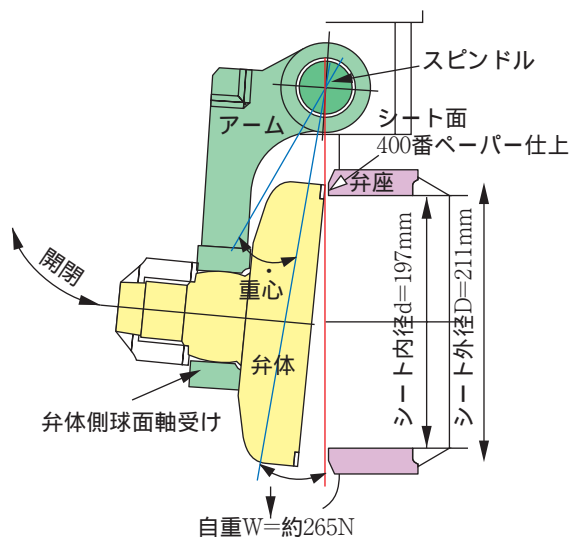


図2 弁座部横断面図

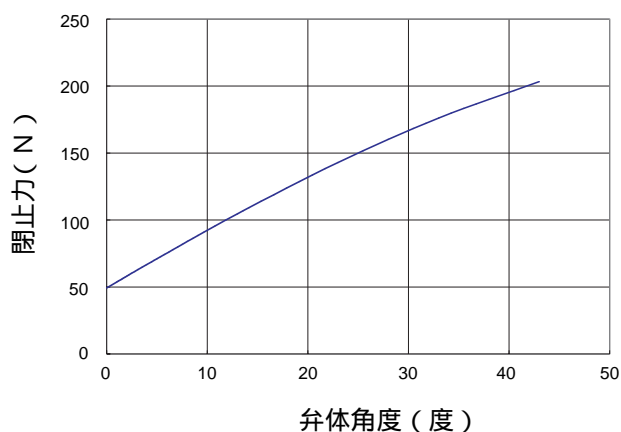


図3 弁体自重による閉止力

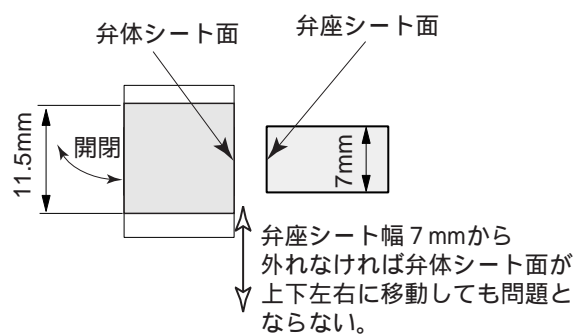


図4 弁体シート面と弁座シート面の位置関係

実験に使用した装置の系統を図5に示す．逆止弁の加圧は，まず系統各部に水道水を張った後，弁V1とV2を閉止する．次に逆止弁の入り口側の水を排水した後，弁V3を開放し，高圧窒素ガスで加圧容器を所定の圧力まで加圧する方法で逆止弁出口側を加圧した．漏洩水は，逆止弁入り口側に設けた計量器で計量した．弁体の背面に圧力をかけた手順を図6に示す．この手順を1回とカウントした．次の手順

を行う前に水張りポンプで系統の水の循環を行い，逆止弁の弁体がスムーズに開閉することを確認した．試験圧力範囲は0～7.85MPaとし予め定めた圧力で，圧力変動が $\pm 0.049\text{MPa}$ 未満に落ち着いた後，10～30分間その圧力を保持して漏洩量を計測した．

4．模擬した異物と取り付け方

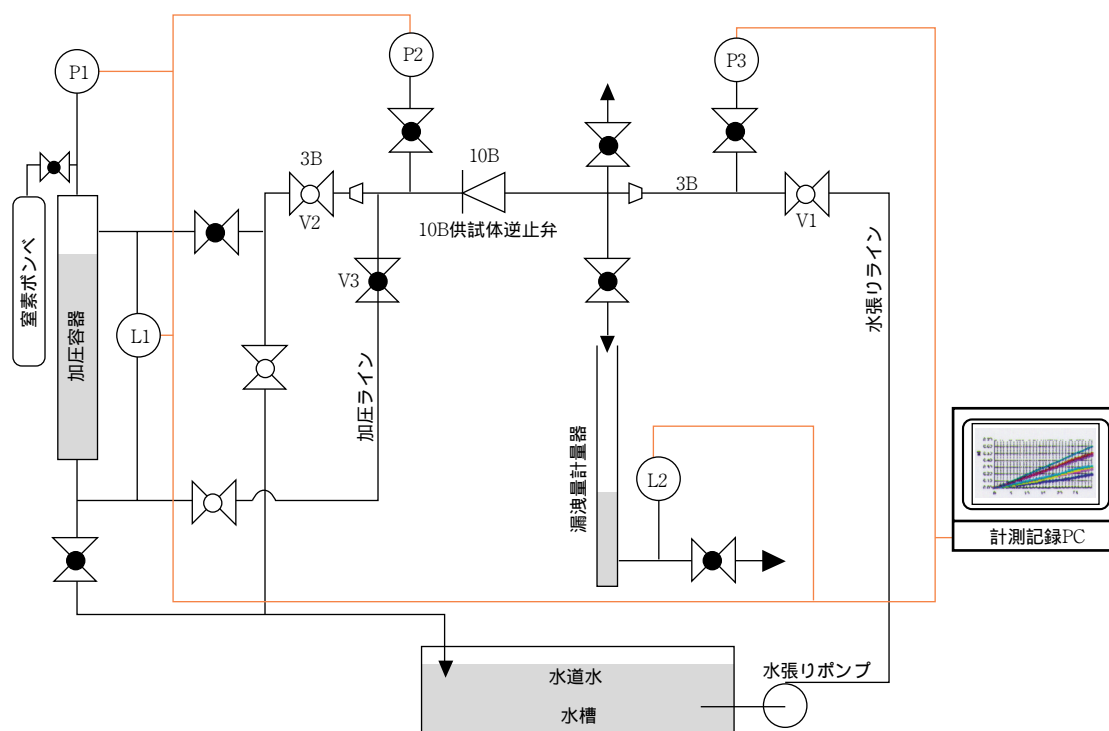


図6 実験装置の系統説明図

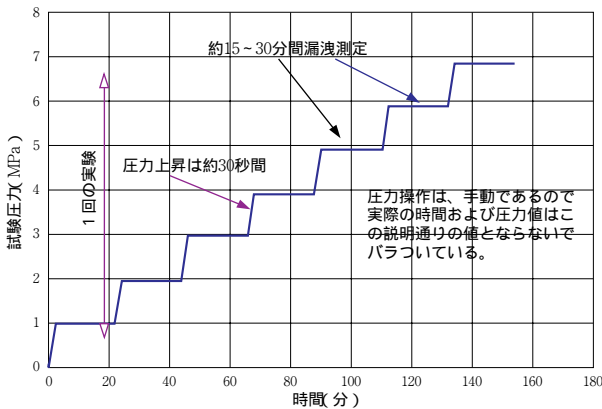


図6 実験圧力上昇線図

法模擬異物として、次の3種類の薄い金属板（箔）を使用した。

商品名：フィラーゲージ

材料：ステンレス鋼

寸法：模擬異物1 幅12.7mm 厚さ0.005mm

模擬異物2 幅同上 厚さ0.010mm

模擬異物3 幅同上 厚さ0.015mm

異物の噛み込ませ方は、図11、図12に示すように、フィラーゲージを適当な長さに切断し、シートを貫通した状態でシート下端付近に噛み込ませた。

5. 実験の結果

模擬異物1,2および3の場合における圧力と漏洩量の関係をそれぞれ図9、図10および図11に示す。この結果、模擬異物1（厚さ0.005mm）では、圧力と漏洩量間には関係がない。ただ圧力範囲が0～0.98MPaでは、圧力が小さいほどバラツキは大きくなる傾向がある。模擬異物2（厚さ0.01mm）では、約0.98MPaから圧力が上昇すればするほど漏洩量に緩やかに増加する傾向がある。しかし圧力範囲が0～1.47MPaでは、異物厚さ0.005mmのデータと同じように圧力が0MPaに近づくほどバラツキは大きくなる傾向がある。模擬異物3（厚さ0.015mm）では、圧力と漏洩量の関係が明確になり、約1.47MPaから圧力が上昇すれば漏洩量が、増加する傾向が明確になっている。また約1.47MPa以下では異物厚さ0.005mmや異物厚さ0.01mmのようにバラツキが大

きなるのではなく、圧力が低下するにつれて漏洩量が増加し、約0.098MPaでまた減少に転ずる傾向がある。これらのデータから次のようなことが分かる。

(1) 0.98～1.47MPaを境にして圧力と漏洩量の関係の傾向が変わる。

(2) 100cc/h程度以上の漏洩が発生する場合は、圧力上昇と共に漏洩量が増加する傾向がある。

各漏洩量と圧力の関係を推定する相関係数の算出は、図9～図11から分かるように、0.98～1.47MPaを境に圧力と漏洩量との関係が変わるので、0.98MPa以上のデータを使用して圧力と漏洩量の相関関係を算出した。

模擬異物1（厚さ0.05mm）

データ数n=110

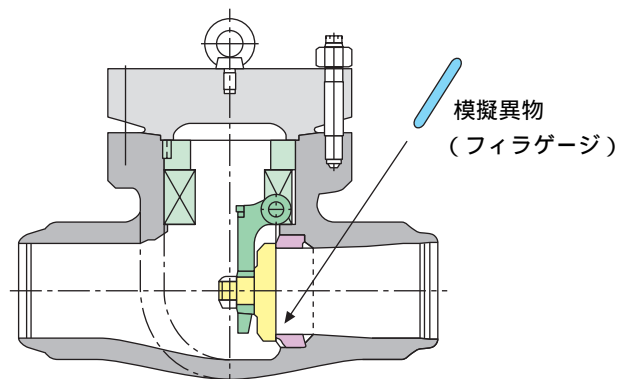


図7 模擬異物取付要領

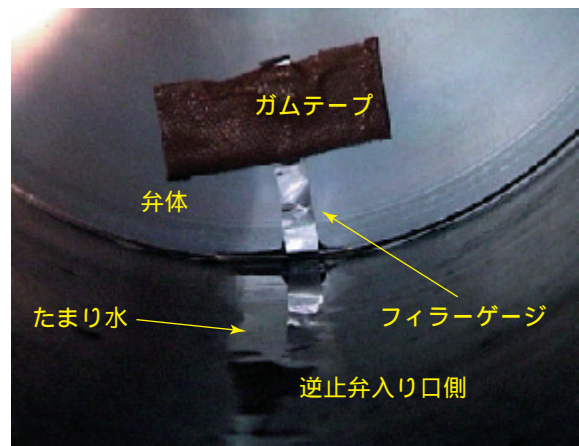


図8 模擬異物取付状況

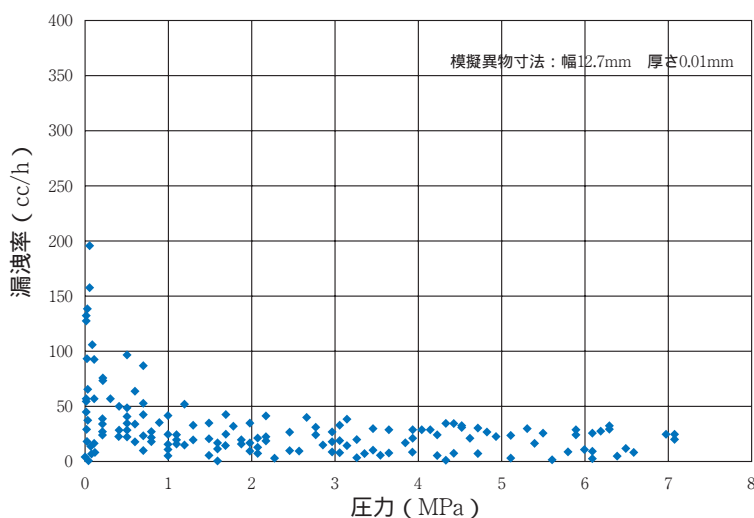


図9 模擬異物1（厚さ0.005mm）の場合の圧力と漏洩量

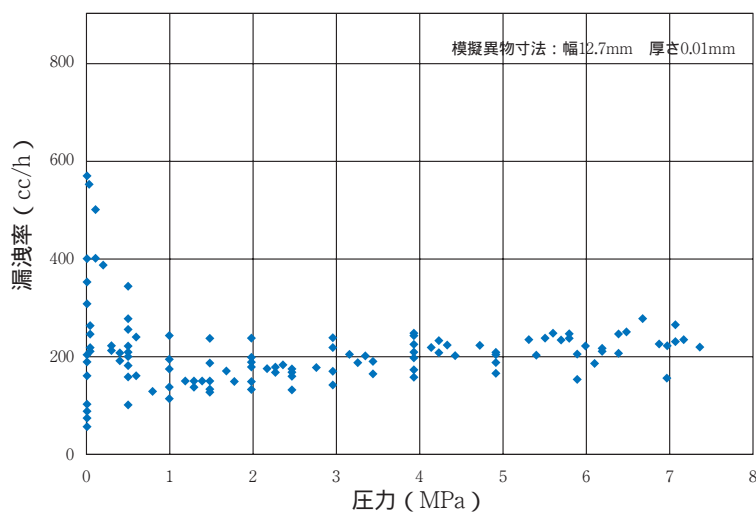


図10 模擬異物2（厚さ0.01mm）の場合の圧力と漏洩量

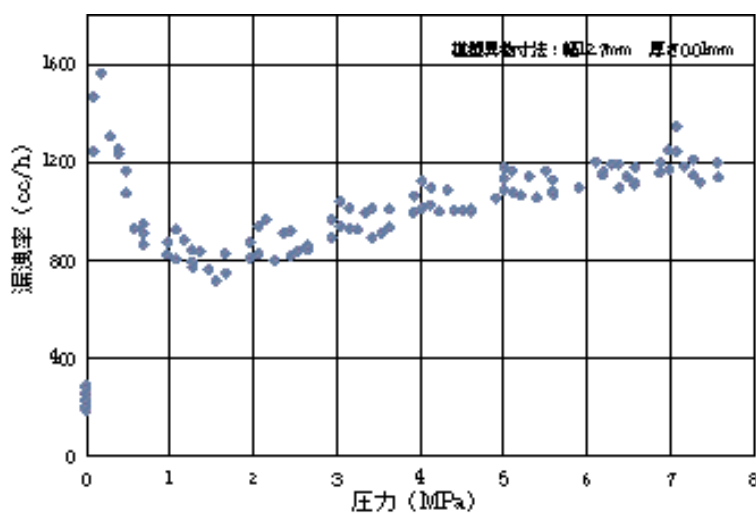


図11 模擬異物3（厚さ0.015mm）の場合の圧力と漏洩量

データの相関係数 $= -0.055$

危険率5%の限界値 (105,0.05)

$= 0.188$

模擬異物2（厚さ0.01mm）

データ数 $n=89$

データの相関係数 $= 0.629$

危険率5%の限界値 (87,0.05)

$= 0.209$

母相関係数の95%信頼限界

0.484 0.740

模擬異物3（厚さ0.015mm）

データ数 $n=90$

データの相関係数 $= 0.9495$

危険率5%の限界値 (88,0.05)

$= 0.207$

母相関係数の95%信頼限界

0.924 0.967

この結果から、厚さ0.005mmでは、圧力と漏洩量の間には相関関係がないが、厚さ0.01mmでは弱い相関があり、厚さ0.015mmになると強い相関があると言える。

試験に用いた逆止弁の場合、これらのデータから漏洩試験の方法と判定基準について次のことがいえる。

- (1) 漏洩試験は圧力と漏洩量の関係が明確になる圧力0.98MPa以上で実施するのが望ましい。
- (2) 判定基準が100cc/時間以下の極微量の場合、試験圧力変更に伴う判定基準の圧力補正は必要でない。

6. まとめと今後の課題

予備研究において、原子力発電所の逆止弁漏洩試験を100回も繰返した実験の結果、漏洩の原因は異物噛み込みであったと推定した。その上で、本研究では、厚さの異なる3枚の金属板を使

って模擬異物噛み込みの漏洩実験を実施し、圧力と漏洩量の関係を測定した。その結果、厚さ0.005mmの異物の噛み込みで圧力と漏洩量間の相関はなかったが、厚さ0.01mmになると両者間に相関が目立ちはじめ、厚さ0.015mmにするとはっきりとした相関が現れた。また後の2つの場合、圧力0.98～1.47MPaで圧力と漏洩量の関係が変化することが分かった。そこで、圧力と漏洩量の関係が明確になってくる圧力約0.98MPa以上で漏洩試験を行うことが可能であると言える。さらに3種類の模擬異物の圧力と漏洩量の関係と現状の判定基準（今回の場合100cc/時間）を比較すると、試験圧力を変更しても判定基準に圧力補正をする必要はないと考えられる。

今後、圧力、異物厚さ、異物幅、流体温度等の各要因がどの程度影響しているのか、またどの程度の圧力で各要因が顕著に影響してくるのか、さらにそれらの要因の複合効果があるのか等を調査し、種々の形式の逆止弁に適應できるような逆止弁のシートの微小隙間からの漏洩のメカニズムの解明ないしは実験式を導出する必要がある。