13 H T T R 用制御棒まわりの流れの可視化

日本原子力研究所

高瀬和之、宮本喜晟

A Flow Visualization around the Control Rod in HTTR

Kazuyuki TAKASE* and Yoshiaki MIYAMOTO*

This study was performed in order to investigate flow patterns around a control rod and flow-induced vibration characteristics of that in HTTR (High Temperature engineering Test Reactor). The control rod used in the experiment is a full-sized partial model of HTTR and consists of four control rod elements and a shock absorber. The simulated control rod was suspended vertically in circular duct. The experiment carried out up to $Re_{in}=22000$ using water. Water flowed downward inside and outside paths of the simulated control rod. Flow patterns were visualized by the pearl pigment method and vibration amplitudes were measured by a noncontact displacement sensor. Fundamental flow characteristics around the control rod were observed, such as a counter flow in narrow passage and an oscillory flow in outer channel.

1. まえがき

原研が開発を進めている高温工学試験研究炉⁽¹⁾ (H T T R) は、高温高压のヘリウムガスを冷却材とするガス冷却炉である。H T T R で使用される制御棒は、挿入孔が多少変形していても挿入できるように、中空円筒状をした14個の制御棒要素(外径90mm、内径50mm、長さ320mm)から成り、各要素は6mmの隙間を介してセンターロッドにピン固定されている。また、制御棒の最下端部には外径96mm、長さ494mmのショックアブソーバが接続されている。制御棒は、压力容器上部のスタンドパイプ内に設置された駆動装置からワイヤーによって吊り下げられて、炉心内に挿入される。したがって、制御棒は一種の多関節継手⁽²⁾と考えられ、制御棒の回りを流れる冷却材の流動条件によっては、制御棒は冷却材に誘起されて振動することが考えられる。仮に振動するならば、局所的に生じる流量変動によって炉心内の温度分布や圧力損失に大きな影響を及ぼすことが考えられる。また、冷却材は制御棒要素の内側と外側を流れ、H T T R 定格運転時には内側は乱流、外側は層流となる。このように、内外流路に特性の異なる流れが存在し、さらに冷却材は各要素の隙間を通じて混合するため、流れは不安定な挙動を示すことも考えられる。

本報は、H T T R 用制御棒のように、流れ方向に複数の集中質量を有する物体が鉛直方向に吊り下げられた場合の冷却材流れによる振動現象及びその回りの流れ挙動を、流れの可視化によって実験的に確かめたものである。実験には、H T T R 用制御棒の形状を模擬した模擬燃料棒を使用した。冷却材は、可視化の容易さから水を用い、懸濁注入法により流線を可視化した。

*Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Ibaraki, 319-11 Japan

2. 実験方法

Fig.1 に、模擬制御棒の構造を示す。模擬制御棒は、4 個の制御棒要素と 1 個のショックアブソーバから成り、センターロッドや接続治具を除き、アクリル樹脂で製作されている。実験は、内径102mm、長さ2000mmのアクリル流路内に模擬制御棒を設置し、上流からレイノルズ数 $Re_{in} (=2DV/\nu)$ (代表長さ $D=102\text{mm}$ 、平均流速 V 、動粘性係数 ν) 約22000まで水を流して、模擬制御棒の振動挙動とその回りの流れ挙動を観察した。可視化は、パール顔料(酸化チタンで被覆した雲母の微小な粒子：粒度 $30\mu\text{m}$ 、比重約3)を水流中に懸濁・注入して行った。流れ模様は、流路と平行にスリット光を照射し、 90° 離れた位置からビデオカメラで撮影した。また、流路下部に非接触変位計 (キ-IVSLB-01) を設置して、模擬制御棒の振動振幅を測定した。

3. 実験結果と考察

Photo.1は、模擬制御棒の最下部に設置したショックアブソーバの上端から210mm後流の部分を観察した写真である。Fig.1(1)～(4)に示す一連の写真は、 Re_{in} がそれぞれ0、2200、8100、21200の場合である。図中に見られる2本の縦線はショックアブソーバの側壁を表し、向かって右側が内側流路、左側が外側流路である。内側流路は上流に混合部を有しているため水流中に乱れを生じるものの、 Re_{in} が8000未満では内外流路ともに流れはほぼ一様であり、側壁への流れの影響はほとんど見られない。しかし、 Re_{in} が8000付近から次第に側壁が振動を始め、それに伴って外側流路の流れも周期的に変動する。すなわち、側壁の振動によって外側流路の間隙が減少した時は流速は増大し、逆に増加した時は流速は低下するため、外側流路の流れは間欠流に近い傾向を示す。この傾向は、 Re_{in} が増えるにしたが

Fig.1 Structure of the simulated control rod

Photo.1 Flow patterns around the side wall of the shock absorber

Photo.2 Flow patterns around the mixing section of the shock absorber

Photo.3 Flow patterns around the connecting section between two control rod elements

って一段と強まる。模擬制御棒が振動する要因としては、接続治具やスパーサの後流に発生する放出渦によって、内外流路の圧力バランスが変動するためと考えられる。

Photo.2(1)、(2)は、ショックアブソーバ上端の混合部周辺の流れを観察したものであり、それぞれ Re_{in} が2100、21500の場合である。内外流路を流れる水流の一部は、混合部の前方で合流し後流へと流れる。また、外側流路では、ショックアブソーバ上端の段差部で流れに渦を生じ、この渦は Re_{in} の増加とともに後方へと成長する。振動現象は $Re_{in} > 8000$ で現れ、外側流路の間隙の増減によって流速に変動が見られる。

Photo.3(1)、(2)は、制御棒要素3段目と4段目の接続部回りの流れを観察したものであり、それぞれ Re_{in} が2100、21900の場合である。内側流路の流れと外側流路の流れは、それぞれ接続部の隙間部分に流れ込んで干渉した後、再び内外流路に配分されている。この際、隙間部分の流れの干渉位置は Re_{in} が大きくなるにしたがって、外側流路方向に近づく傾向にある。

Fig.2は、Photo.1に示したショックアブソーバの上端から210mm後流部分の振動振幅とレイノルズ数の関係を示したものである。模擬制御棒の振動は Re_{in} が8000付近から発生し、 $Re_{in}=21200$ で振幅は約3.2mmであった。

4.まとめ

H T T R用模擬制御棒まわりの流れを懸濁注入法を用いて可視化し、次の成果を得た。

- (1) 模擬制御棒は、 Re_{in} が8000付近から次第に振動を始め、それに伴って外側流路の流れも周期的に変動する。
- (2) ショックアブソーバ上端の混合部周辺の流れは、混合部の前方で内外流路を流れる水流の一部が合流した後、混合部を通過して後流へと流れる。
- (3) 制御棒要素の接続部では、内側流路の流れと外側流路の流れがそれぞれ接続部の隙間部分に流れ込んで干渉した後、再び内外流路に配分される。隙間部分の流れの干渉位置は Re_{in} が大きくなるとともに、外側流路方向に近づく。

振動現象は、物体の質量に大きく左右される。また、本制御棒のように振子構造を有する場合には、挿入深さが物体の振動周期に大きな影響を及ぼす。したがって、本結果を直接H T T R用制御棒に適用することは困難であるが、制御棒要素周辺の基本的な流れの様相は判断できるものと考えられる。

参考文献

- (1) 原研、高温工学試験研究炉の現状(1987)。
- (2) 川島豪、下郷太郎、機論C、51-470(昭60)、2644。

Fig.2 Relationship between A and Re_{in} of the simulated control rod