

蒸気発生器のU字管における流体と熱の連成解析

Coupled Analysis of Flow and Heat in U-bent Tube of Steam Generator

○ 白崎 実, 理研 情報環境室, 〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1, E-mail : shirazaki@postman.riken.go.jp

姫野 龍太郎, 理研 情報環境室, 〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1, E-mail : himeno@postman.riken.go.jp

Minoru SHIRAZAKI, The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), 2-1, Hirosawa, Wako-shi, Saitama
Ryutaro HIMENO, The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), 2-1, Hirosawa, Wako-shi, Saitama

In steam generators of the pressurized-water reactor (PWR), complex phenomena including heat transfer, two-phase flow, turbulent flow, and vibration induced by fluid-structure interaction occur. Numerical simulation is indispensable for the estimation of reliability of the reactor. As a preliminary study, coupled analysis of flow and heat in U-bent tube of the steam generator is presented. Unified approach using finite element method is selected to solve the flow-heat coupling problem.

1. はじめに

加圧水型原子炉の蒸気発生器では、核分裂によって生じた熱エネルギーを蒸気の運動エネルギーとして取り出すために、炉心を流れる一次系流体がU字管群内部へと流れ、このU字管群の管壁を介して二次系流体に熱が伝達される。これらの熱伝達の過程は流体-熱-構造の連成現象であるうえ、一次系、二次系の流体は二相流であると考えられ、多くの物理現象を含んだ非常に複雑な現象であるといえる^{1, 2}。U字管群において誘起される振動に関する知見は、原子炉の安全性および信頼性の面から非常に重要である。これは、U字管内流の影響や熱的な要因などが発生原因であると考えられるものの、そのメカニズムの詳細についてはわかっていないことが多い。

本研究では蒸気発生器におけるこれらの連成現象を調べるために第一歩として、U字管と発生する振動を抑制するために取り付けられた制振板(Antivibration Bar, AVB)を模したモデルに対して流れと熱の効果のみを考える。

熱流体解析の場合には、境界において等温条件や熱流束条件などが課せられたうえで熱を含む流体の運動が解かれることが多い。一方、本解析対象ではU字管に流入する一次系流体の熱はU字管壁を介して二次系流体に伝わるために、これらの連成によって流れ場と温度分布が決まる。この連成現象をそれぞれの系ごとに個別に解いて連成させるためには、一次系流体～U字管壁とAVB～二次系流体の間で、変化する境界条件を毎計算ステップごとに擦り合わせながら解析を進めていく必要がある。

そのため、ここでは流体と熱とを分離せず、U字管壁やAVBを流速零の流体として取り扱うことで流体と熱との連成を行い、流体と構造物との間の境界条件を考慮することなく取り扱う³。

2. モデルの設定と数値計算手法

本解析では単一U字管を考え、その内部を一次系流体が流れ、外部に二次系流体が存在している二次元モデルを考える。一次系流体と二次系流体とはU字管壁を介して熱を交換する。本モデルでは、実際のU字管群に設置されるAVBの熱的な影響を調べるために、これをモデルに含めている。

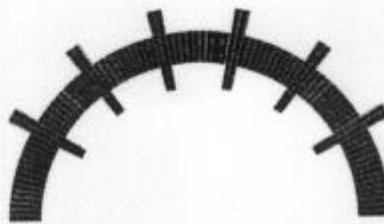


Fig. 1: Conceptual Mesh of U-bent Tube with Antivibration Bar

これらを統一的に解くための支配方程式は非圧縮性流体に対する連続の式、Navier-Stokes方程式、エネルギー方程式であり、流体と熱伝達を行う構造物とを分離することなく構造物を流速零の仮想的な流体として取り扱う。

U字管内部の一次系の流れはほぼ強制対流であると考えられるが、二次系の流れにおいては浮力による影響も無視できないことが予想されるため、ここでは浮力の効果を無視することなく支配方程式に残しておく。

支配方程式を有限要素法によって離散化し、Fractional Step法を適用する。この際、流速と圧力のいずれにも線形三角形要素を用いる。Fig.1は、U字管とAVBの有限要素メッシュの概念図である。

講演において、一次系、二次系流体の流れおよびU字管壁、AVBの熱分布について考察する。

参考文献

1. 平田, 間本, "先端企業における熱流体技術", 日刊工業新聞社, (1997), pp. 93-116
2. Iwase, et al., "Verification test on flow induced vibration in tube bundle of PWR steam generator", Proc. 5th Int. Conf. of Nuclear Engineering, 71, (1997)
3. 厚木, 他, "VOF法を用いた熱流体/構造系の有限要素統一解析", 第11回数値流体力学シンポジウム講演論文集, (1997), pp. 323-324