

熱成層界面を有する直管およびエルボ配管における 熱応力発生メカニズムに関する研究

Study on the mechanism of stress generation of straight pipe and elbow pipe
which has thermal stratification

東京大学	栗林 大	Hiroshi KURIBAYASHI	Non-Member
東京大学	久永 晃司	Koji HISANAGA	Non-Member
東京大学	鈴木 正昭	Masaaki SUZUKI	Member
東京大学	佐藤 拓哉	Takuya SATO	Non-Member
東京大学	笠原 直人	Naoto KASAHARA	Member

In nuclear power plants, a lot of failure cases by high cycle thermal fatigue have been reported, which is induced by temperature fluctuation of the coolant. To ensure the safety of the nuclear power plants, the thermal fatigue failure should be prevented adequately. Thus The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) published the high cycle thermal fatigue evaluation guideline. In the guideline, it is proposed that the structural integrity can be judged by the location of thermal stratification, which is typical thermal fatigue phenomenon in nuclear power plants. However, this evaluation method is not rational enough because the method is not based on stress. Thus stress evaluation method is needed. To develop stress evaluation method, it is necessary to clarify the mechanism of stress generation caused by thermal stratification. In this paper, the mechanism of stress generation of elbow pipe is studied by comparing with the mechanism of stress of straight pipe.

Keywords: High cycle thermal fatigue, Pipe, Thermal stratification oscillation, Thermal stress

1. 研究背景

原子力プラントにおいて、冷却材の温度変動により誘発される高サイクル熱疲労に起因する破損事故が多く報告されている[1]。流体温度変動による接液構造物の熱疲労破損は熱流体と構造の両分野に跨る複雑な現象である。流体の温度変動は構造表面に熱伝達で伝わり、熱伝導により構造内温度が変動し、熱膨張/収縮が拘束されて繰り返し熱応力が発生する。

熱疲労破損をもたらす典型的熱流動現象として、主管を流れる高温流体が閉塞分岐配管に侵入し滞留していた低温流体との境界に熱成層を生じさせ、その層が上下に変動する熱成層界面ゆらぎ (Fig.1) がある。

熱成層界面ゆらぎに対して、現行の日本機械学会指針[2]では熱応力の定量的評価法が十分に整備されていないことから、界面が閉塞分岐配管のエルボ部でないことを

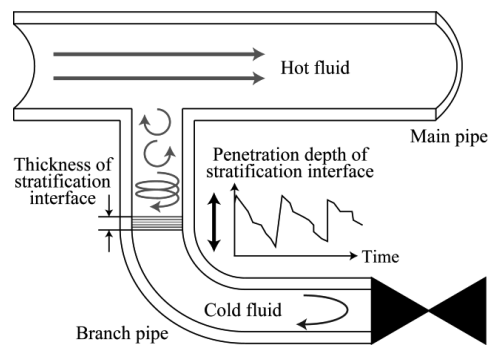


Fig.1 Thermal stratification oscillation
at closed branch pipe

求めており、極めて保守的である。そこで著者らは鉛直管での熱成層界面ゆらぎに対する発生熱応力予測手法を開発した[3]。しかし提案された予測法は、最も有害とされている、熱成層界面がエルボ配管に存在する場合には適用できない。

2. 研究目的

連絡先:栗林 大、〒113-8656 文京区本郷 7-3-1
東京大学大学院工学系研究科 原子力国際専攻
E-mail: hiroshi.kuribayashi116@gmail.com

熱成層界面がエルボ配管に存在する場合の応力予測を可能にするためには、熱応力発生メカニズムを明らかにする必要がある。本研究では熱成層界面が鉛直管、水平管に存在する場合とエルボ部に存在する場合との比較を行うことで、エルボ部に存在する場合の熱応力発生メカニズムを検討することを目的とする。

3. 熱応力解析

熱成層界面がエルボ部に存在する場合は、界面位置に応じてさらに二種類に分類できる。一つは界面が水平管にかからない場合 (Fig.2(a)) であり、配管長手方向温度分布が支配的な荷重源になると考えられる。もう一つは界面が水平管にかかる場合 (Fig.2(b)) であり、周方向温度分布が支配的な荷重源になると考えられる。

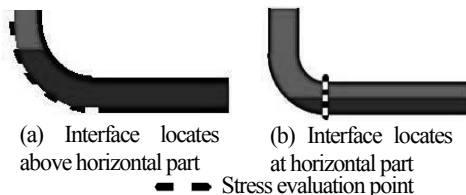


Fig.2 Two types of interface location at elbow

これらの場合に対して有限要素解析を行った。主な条件は、外径:250mm、板厚:10mm、高温流体温度差:140°C、材料:SUS316、要素:8節点6面体要素、である。変形図をFig.3に、応力分布を鉛直管・水平管のものと比較した結果をそれぞれFig.4、Fig.5に示す。

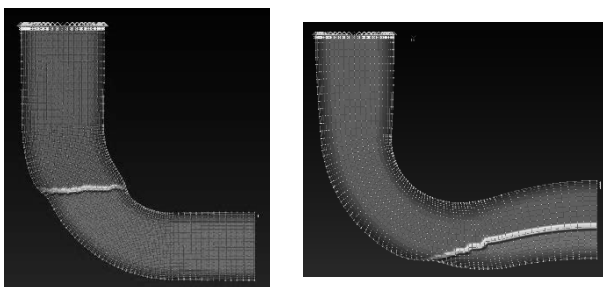


Fig.3 Deformation (contour represents temperature)

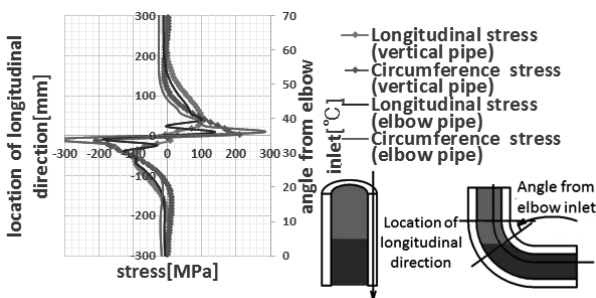


Fig.4 Stress distribution comparing elbow pipe (Fig.2(a)) and vertical pipe

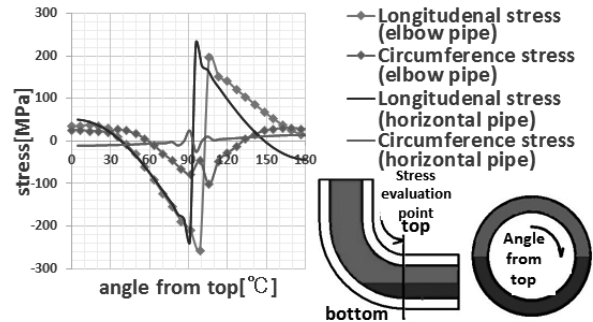


Fig.5 Stress distribution comparing elbow pipe (Fig.2(b)) and horizontal pipe

4. 結論と今後の課題

熱成層界面がエルボ部に存在する場合に対し熱応力発生メカニズムを検討し、以下の知見を得た。

Fig.2(a)の場合、長手方向応力・周方向応力ともに、熱成層が鉛直管に存在する場合の応力分布とよく似た分布を示した。よって Fig.2(a)の場合は鉛直管の場合と類似の熱応力発生メカニズムである。応力値に着目すると Fig.2(a)の場合の方が鉛直管で生じる応力値と比べ大きな値を示していることから、エルボはより強く変形を拘束することがわかる。

Fig.2(b)の場合、長手方向応力は、曲げ変形を許容する熱成層が水平管に存在する場合の応力分布とよく似た分布を示した。Fig.3(b)の様にエルボが曲げ変形を許容するためと考えられる。よって Fig.2(b)の長手方向応力は水平管のそれと類似の熱応力発生メカニズムである。一方、周方向応力は熱成層が水平管に存在する場合とは異なる応力分布を示した。これは、エルボが水平部の自由な断面変形を拘束するためである。

今後は、エルボにおいて強い拘束が為されることに合理的な説明を与え、鉛直管と水平管の中間的性質を持つエルボ内部の応力発生メカニズムを明らかにしていく必要がある。

参考文献

- [1] O. Gelineau, C. Escaravage, J. Simoneau and C. Faïdy : “High Cycle Thermal Fatigue : experience and state of art in French LMFRs”, SMiRT16, Paper#1311, 2001 .
- [2] 日本機械学会, “配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針”, JSME S017, 2003.
- [3] 栗林大, 鈴木正昭, 笠原直人, “熱成層界面ゆらぎに対する熱応力評価法と疲労損傷評価法の開発”, 日本保全学会第12回学術講演会, 2015.

