

Title	閉塞配管におけるキャビティーフロー型熱成層と高サイクル熱疲労に関する研究
Author(s)	谷本, 浩一
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/46015
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	谷本浩一
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第19059号
学位授与年月日	平成16年11月11日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	閉塞配管におけるキャビティーフロー型熱成層と高サイクル熱疲労に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 片岡 勲 (副査) 教授 香月 正司 教授 武石賢一郎 教授 梶島 岳夫 助教授 大川 富雄

論文内容の要旨

原子力、火力プラントで常に流れがある主管より分岐した端部閉塞配管において、主管のキャビティーフローよって侵入した高温水と閉塞分岐管の放熱によって滞留している低温水との間で熱成層が発生し、変動に伴う構造健全性への影響が懸念された。1999年4月に発生したキャビティーフロー型熱成層と考えられる損傷事例を受けて、国は、温度変動に起因する高サイクル熱疲労に対する配管の設計指針の策定を指示した。この指示に従い、日本機械学会が中心になり、配管設計指針を2003年11月に発行した。この指針では、界面が曲がり管近傍に停留しないように、曲がり管の位置を規定する必要があるが、キャビティーフロー型熱成層の特性については、分岐管の内径、主管の流速等に対する影響度合いが不明確であり、既往研究からもその特性を解明するには至っていなかった。そこで、本研究では、可視化、高温・高圧実験を行い、その結果を元に物理モデルを構築し、侵入深さ(先端位置)を予測する手法を確立した。

まず、2章において、可視化試験では、対象部位に対してアクリル製の装置を用いて流況可視化を行った。また、侵入深さに支配すると考えられる要因(主管流速、分岐管内径、分岐管引き回し、放熱)について感度試験を行い、各々の影響度合いを明確にした。さらに加圧型軽水炉(PWR)を対象とした実温・実圧試験もを行い、流体の物性、放熱(実機並み)が、侵入深さへ及ぼす影響評価も行った。

次に3章では、可視化試験結果および実温・実圧試験結果から、キャビティーフローの侵入が、分岐垂直管内にとどまる場合(L₁評価)と分岐水平管へ侵入する場合(L₂評価)に対して、予測手法を確立した。実験検証解析では、侵入深さに対して予測精度が、10%~20%程度であり、予測手法の妥当性および設計指針への適用が可能であることが判明した。

4章では、熱成層が不安定となる主管に対して分岐管が高い位置にある場合に、3章で開発した手法の適用性を見極めるとともに、キャビティーフローと自然循環との干渉を明確にした。

最後の5章では、開発したL₁評価とL₂評価を用いて、策定されたキャビティーフロー型熱成層に対する設計指針を紹介するとともに、その手法の有効性を示した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、原子力、火力プラント等の安全性に極めて重要となる閉塞配管におけるキャビティーフロー型温度成層とそれによる高サイクル熱疲労に関して、現象の詳細な実験によりそのメカニズムを明らかにするとともに、正確な予測手法を提案したもので、その主な成果は以下のようである。

- (1) キャビティーフロー型熱成層の特性について、分岐管が垂直管のみの場合と、垂直管と水平管が組み合わさった場合について、アクリル管を用いた可視化実験と高温、高圧での実験を行い、高温水の進入深さに及ぼす、主管流速、分岐管内径、形状、放熱等の影響を明らかにした。キャビティーフローの進入深さは主管流速が大きくなる程、分岐管内径が大きくなるほど深くなり、同一条件では垂直管と水平管が組み合わさった場合の方が垂直管のみの場合よりも短くなった。また、流体温度が 200℃までは粘性の影響が大きく、200℃を超えると、配管からの放熱による密度差の影響が大きいかも明らかにした。
- (2) キャビティーフロー型熱成層の特性についての実験結果に基づき、キャビティーフロー型熱成層の生成のメカニズムの考察を行い、進入深さの予測手法を確立した。まず、垂直管でのキャビティーフロー型熱成層は主管の流れによって誘起される旋回流により生成されることから、この旋回流の減衰特性を渦レイノルズ数の関数として、また熱成層界面位置を局所リチャードソン数の関数としてそれぞれ整理し、配管からの放熱と、旋回流の減衰特性から、進入深さを予測し、実験結果を誤差 10%以内で予測できることを示した。また、垂直管と水平管が組み合わさった場合には、現象をキャビティーフローの水平管への進入部分と水平管での自然対流部分に分けてモデル化し、その特性を渦レイノルズ数で整理できることを示した。これにより、水平管部分への進入深さを予測し実験結果を誤差 20%以内で予測できることを示した。
- (3) 分岐管が主管より高い位置にある場合のキャビティーフローの自然循環との相互作用についての実験並びに解析を行い、その特性を明らかにした。キャビティーフローによって熱成層界面が分岐管内を移動し、それにより自然循環力が生じるメカニズムを明らかにするとともに、自然循環力がキャビティーフローの強さに線形に比例しないことを示した。キャビティーフローの自然循環の相互作用について、実験によって得られたモデルに基づき、熱流体数値シミュレーションにより予測する手法を確立し、実験結果を良好に再現することが可能であることを示した。
- (4) キャビティーフロー型熱成層に関する以上の研究成果を基に、配管の高サイクル熱疲労に関する評価方法を確立した。垂直管内での熱成層界面は安定で温度変動は小さいが、水平管内にキャビティーフローが進入すると温度変動は大きくなるため配管の高サイクル熱疲労の原因となる。従って、キャビティーフローが水平管部分に進入するか否かを予測することにより、配管の高サイクル熱疲労を評価できる。主管の平均流速、流体温度、分岐管内径、肉厚、材質、幾何学的形状に対して、キャビティーフローの進入深さを予測し、配管の高サイクル熱疲労を評価する手法を開発した。この結果は日本機械学会の「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」(日本機械学会基準 S017) として実用化されている。

以上のように、本論文は、原子力、火力プラント等の安全性を評価する上で極めて有用な、閉塞配管におけるキャビティーフロー型熱成層のメカニズムを明らかにするとともに、キャビティーフローの進入深さを正確に予測する手法を提案し、配管の高サイクル熱疲労の信頼しうる評価手法を開発している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。