熱成層界面ゆらぎによる配管熱疲労に関する信頼性評価

Reliability assessment on thermal fatigue of pipes induced by oscillation of thermally stratified fluid

*鈴木 正昭 [1]
[1] 東京理科大学

熱成層界面ゆらぎに対する発生熱応力の周波数応答関数およびそれに基づく熱疲労損傷評価法を開発した。開発した熱疲労損傷評価法を用いて配管の信頼性解析を実施し、疲労強度のばらつき、および熱成層界面ゆらぎ現象において特徴的な支配因子である無次元界面厚さが熱疲労き裂発生確率に及ぼす影響を評価した。

キーワード：不確実性、信頼性、高サイクル熱疲労、熱成層、閉塞分岐配管

1. 序論

原子力プラントの冷却系配管に高サイクル熱疲労破損をもたらし得る典型的現象として「閉塞分岐配管における熱成層界面ゆらぎ」がある（図 1）。日本機械学会により策定された評価指針では、熱成層界面の位置をもって構造健全性を評価・判定する。本研究では熱成層界面ゆらぎに対する熱疲労損傷評価法を構築し、現行指針の高度化および配管熱疲労破損リスクの定量評価に資することを目的とする。

2. 周波数応答関数に基づく熱疲労損傷評価

これまで、熱成層界面ゆらぎにより発生する熱応力を、その周波数応答特性を考慮し理論的かつ合理的に評価する手法として、熱応力の周波数応答関数を開発している。また、熱成層界面の厚さ H_t や変動距離 L_m 等の各因子が発生熱応力へ与える影響を調べ、無次元界面厚さ $H_t^* \equiv H_t/L_m$ が特徴的な発生熱応力の支配因子であることを明らかにしている。本研究では、熱成層界面ゆらぎに対して周波数応答関数およびパワースペクトル密度関数に基づく合理的な熱疲労損傷評価法を開発した（図 2）。

3. 熱疲労損傷に対する配管の信頼性解析

強度に関する不確実性として疲労試験データのばらつきおよび疲労強度低減効果のばらつきを、また、荷重に関する不確実性として無次元界面厚さをパラメータとしてそれぞれ考慮した。開発した熱疲労損傷評価法を用いてモンテカルロ解析を実施し、各不確実性因子が熱疲労き裂発生確率に及ぼす影響を評価した（図 3）。ここでは、分岐管への界面の侵入が深くなる小口径配管に対して留意すべきであることが示唆された。

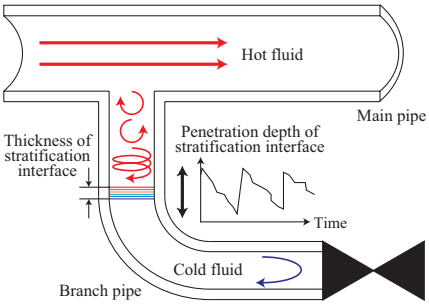

図 1 閉塞分岐配管における熱成層界面ゆらぎ

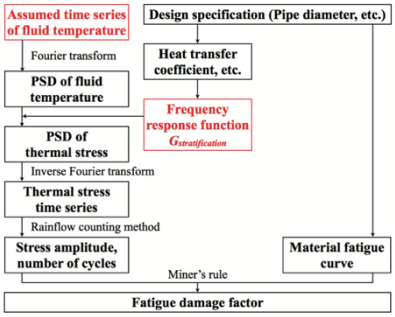

図 2 熱成層界面ゆらぎに対する熱疲労損傷評価法

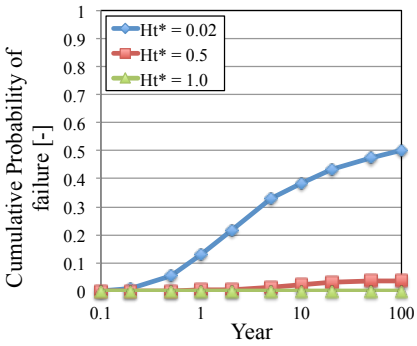

図 3 累積き裂発生確率と無次元界面厚さの関係の例

*Masaaki Suzuki[1]
[1]Tokyo University of Science