

Q

熱疲労はなぜ生じるのでしょうか。どのような例がありますか。

参照 QNo.: FA-27, FC-03, FC-05

A

機器の部材が加熱または冷却され、何らかの拘束により部材が温度変化に伴う自由な伸縮ができない場合に熱応力が発生する。また、部材の拘束がない場合にも、部材の内部に温度勾配があると熱応力が発生する。熱応力が材料に繰返されると疲労き裂が発生し、進展して最終的に破壊に至る。これを熱疲労という。熱疲労強度は、等価温度を定めて、等価温度に等しい一定温度の高温疲労強度から予測できる。等価温度として、温度範囲の上限温度、平均温度などが用いられる。

例えば、引張強さが 400 MPa 程度の鉄鋼材料の場合、一般に疲労限度は 200 MPa 程度である。これに対して、温度範囲が 100°C の場合に、熱応力の応力振幅は 110 MPa となる(線膨張係数 $\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 縦弾性係数 $E = 200 \text{ GPa}$, 温度範囲 $\Delta T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, 熱応力振幅 $\sigma_T = \alpha E \Delta T / 2 = 110 \text{ MPa}$)。

したがって、100°C 程度の温度範囲がある場合に、平均応力、残留応力、応力集中などの寄与があれば、熱疲労が生じる可能性がある。

圧力による応力などが支配的な場合には、部材の断面積を増大して応力を軽減できる。しかし、熱応力は、部材の断面積に無関係であり、逆に断面積の増大に伴い大きくなる場合もあるので、注意が必要である。

高温水を扱う軽水炉で問題となる事象は、「高低温水合流の温度揺らぎによる熱疲労」と「熱成層による熱疲労」の 2 つがある⁽¹⁾。

(1) 高低温水合流の温度揺らぎによる熱疲労

高温水と低温水が合流すると主流中に温度揺らぎが生じ、境界層を経て、部材表面で温度変動が生じ(図 1 参照)、熱応力の変動が発生する。これが繰返されると疲労き裂が発生、進展して破壊に至ることがある。

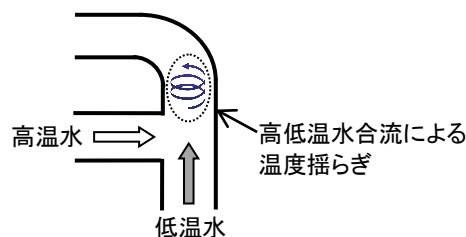


図 1 高低温水合流の温度揺らぎによる熱疲労の例

(2) 熱成層による熱疲労

一端が高温の主配管に接続され、他端が閉塞された分岐管には、主配管の流れに誘起されるキャビティーフローが発生する。図2に示すように、このキャビティーフローの先端が配管の曲がり部に位置する場合には、配管の水平部で上部が高温、下部が低温となる熱成層という状態が生じ、この温度差により熱応力が発生する。熱成層界面の位置は不安定である場合が多く、バルブからの微小漏洩量の時間的変化などにより上下に変動する。したがって、熱成層界面近傍の配管内面で熱応力が変動し、疲労き裂が発生、進展して破壊に至ることがある。

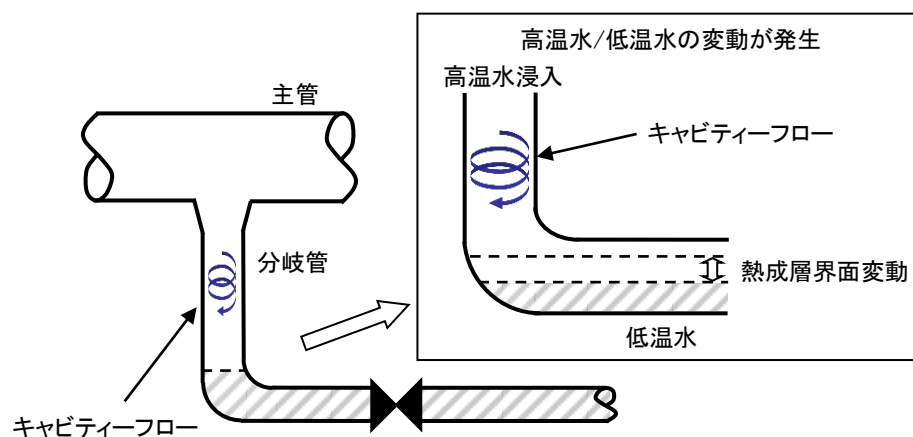


図2 熱成層による熱疲労の例

[参考文献]

- (1) 配管の高サイクル熱疲労評価指針、JSME S017、日本機械学会、(2003)