

Q

原子力設備に対する疲労解析の設計的ポイントを教えてください。

参照 QNo.: FC-03

A

JSME 発電用原子力設備規格の設計・建設規格では、クラス 1 機器に対して疲労解析(疲労評価)が求められている。疲労解析のポイントとしては、一次応力解析と疲労解析を満足する適切な構造(形状、厚さ)の確保を行い、疲労解析の結果が一次応力解析の結果を満足しない場合は、一次応力解析の精緻化及び構造の適正化で対応し、疲労解析における設計過渡条件の変更及び設備側での対策を行わないことが望ましい。

容器の設計では、まず一次応力解析で設計圧力、事故時荷重、地震荷重などに対する強度を満足する必要がある。ここで、一次応力解析で裕度をもたせるには厚さを大きくするが、厚さを大きくすると疲労解析に影響する熱応力が増加することになり、一次応力解析に対しては過度に保守的にならないように適切な厚さを確保する必要がある。配管の設計では、系統設計に基づき必要な口径と設計圧力から基本的な厚さが決まる。したがって、配管サポートの適切な設計に基づき地震荷重などによる一次応力を低減する必要がある。

疲労解析では、設計過渡条件において、疲労累積係数が 1.0 以下を基準とする。一次応力解析により構造が決まり、設計過渡条件に対する応力解析で変動応力が得られる。この変動応力は、一般的には熱応力が支配的になる。疲労解析で基準を満足しない場合は、熱応力の低減を検討する。なお、厚さを大きくすると疲労き裂が発生した場合に進展に対する裕度は確保できるが、設計段階では設計疲労線図に基づく疲労き裂発生防止という観点で、熱応力を低減するという設計を目指す必要がある。熱応力の低減には、例えば以下が考えられる。

[応力解析の精緻化]

- ・応力解析での熱伝達係数の適正化、線膨張係数などの物性値の温度依存性の考慮を行い、温度分布及び熱応力分布の精緻化を図る。
- ・適切な疲労強度減少係数または応力集中係数を採用する。
- ・簡易弾塑性解析を用いている場合には、弾塑性解析により K_t 係数の精緻化を図る。(設計・建設規格では、弾完全塑性体を仮定した弾塑性解析による K_t 係数の設定を認めている。)

[構造の適正化]

- ・一次応力解析と疲労解析の両方を満足するように、構造の適正化を図る。(両者を繰返し行い、最適化を図る。)
- ・疲労強度減少係数を低減するような溶接方法(突合せ溶接)を採用し、大口径配管に対しては裏波を除去することも考えられる。
- ・ポンプなどに対する振動対策を行った配管設計を行う。
- ・配管に設置されるウェルなどに対しては、JSME 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S012)を用いた流力振動評価を行う。

- ・配管合流部での温度揺らぎなどに対しては JSME 配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針 (JSME S017)を用いた熱疲労評価を行う。
- ・流体振動に対する評価を行う。(例えば, 蒸気発生器伝熱管U字管部流力弾性振動防止指針 (JSME S016))

[設計過渡条件の変更]

- ・仮定している設定温度の精緻化を図る。
- ・加熱速度及び冷却速度の精緻化を図る。
- ・過渡回数の精緻化を図る。

[設備側での対策]

- ・管台のコーナ部の熱応力が大きい場合は, サーマルスリーブを設置する。
- ・疲労解析で基準を満足しない系統がある場合は, 2系統にして, 交互に使用することで繰返し数を軽減する。
- ・注入される冷却水によるステップ状の温度差が大きい場合は, それにつながる配管またはタンクを加熱するように設備を追加する。