

Q

安全率と裕度の違いはありますか。

参照 QNo.: FC-04

A

まず、圧力容器を例にとり、安全率と裕度の一般論を説明する。圧力容器を使用する場合は、破壊圧力(耐圧強度)以下の圧力に、使用圧力を制限する。使用する圧力容器を対象として、使用圧力が破壊圧力に対してもつ裕度は、次式で定義される。

$$\text{裕度} = \frac{\text{破壊圧力}}{\text{使用圧力}} \quad (1)$$

ここで、使用する圧力容器の破壊圧力は、破壊試験を行わなければわからない。また、使用圧力は、任意に設定できる。したがって、上式の裕度には定量性がない。裕度を定量化するために安全率(安全係数ともいう)を導入し、使用圧力を次式で制限する。

$$\text{使用圧力} \leq \frac{\text{破壊圧力}}{\text{安全率}} \quad (2)$$

同じ設計仕様の圧力容器について、複数の破壊試験を行えば、得られる破壊圧力は変動する(ばらつきを示す)。破壊圧力の変動は、設計、材料、製造、検査および破壊試験における不確かさの累積的な結果である。そこで、式(2)の破壊圧力は、複数の破壊試験で得られる破壊圧力の平均値または下限値とする。破壊圧力の不確かさを考慮して、安全率を工学的な判断で数値として設定する(例えば 3)。この安全率の設定によって、使用する圧力容器のもつ裕度は、ほぼ安全率以上となることが保証される。「ほぼ」の意味は、裕度が安全率を下回ること(使用する圧力容器の破壊圧力が、複数の圧力容器の破壊圧力の平均値または下限値を下回ること)が、確率的にあり得るからである。

さらに、使用する圧力容器について耐圧試験を行えば、使用圧力が耐圧試験圧力に対してもつ裕度が確実に確保される。

次に、強度設計における一般論を説明する。強度設計では、式(2)における圧力を応力に読み替える。破壊応力は引張強さとする。また、使用応力は引張応力とする。

$$\text{引張応力} \leq \frac{\text{破壊応力}}{\text{安全率}} = \frac{\text{引張強さ}}{\text{安全率}} = \text{許容応力} \quad (3)$$

引張強さを安全率で除した値を許容応力といい、引張応力を許容応力以下に制限するという結果になる。この場合の安全率の値は、歴史的に 5→4→3.5→3→2.4 と変遷してきた。安全率が低減してきた最も大きな理由は、材料の信頼性の向上である。特に、脆性破壊せずに延性破壊するという保証で、引張強さの不確かさは飛躍的に減少した。現状の設計規格における許容応力は、延性破壊の引張強さを基準としている。延性破壊の引張強さにも不確かさはあるけれども、それは許容応力の設定において考慮しない。許容応力の設定に用いる引張強さの値は、材料規格の値(最小値)である。引張強さの実力値が材料規格の値以上であることは、ミルシートで保証されている。この場合

に裕度を用い、裕度は安全率以上と表現する。

降伏点または耐力を基準とする許容応力の場合および疲労強度を基準とする許容応力の場合にも、上記の安全率と裕度の関係は同様である。簡単に言えば、許容応力を設定することによって、裕度の最小値が安全率として定量的に確保されている。

強度設計において、異なる強度を基準とする許容応力が複数ある場合には、複数の許容応力の最小値が、事実上の許容応力になる。最小値を示す許容応力以外の許容応力の場合には、裕度はそれぞれの安全率を十分に超えた値になる。ただし、解析による設計では応力分類があり、応力の種類と対応する許容応力の組合せになることに注意する必要がある。

疲労強度を基準とする許容応力の例を示す。JSME 設計・建設規格⁽¹⁾では、最適 S-N 曲線(データの中央値)に対して応力で2、寿命で20の安全率を考慮し、設計疲労曲線を設定している。設計疲労曲線において、特定の寿命に対する応力振幅が、許容応力である。この安全率には、疲労強度の不確かさだけでなく、設計で考慮する疲労強度低下係数(寸法効果など)が一部含まれており、両者の分離が課題となっている。

なお、式(3)において、強度側に不確かさがあると同様に、応力側にも不確かさがある。両者に設定する安全率を、部分安全係数(Partial Safety Factor)という。この場合にも、安全率と裕度の関係は同様である。

[参考文献]

- (1) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第 I 編 軽水炉規格, JSME S NC1, 日本機械学会, (2012)