

M-04 応力緩和（リラクゼーション）

1. 概要

高温で、一定の歪みの下で応力が低下する現象を応力緩和（リラクゼーション）と呼んでいる。初期応力が大きいほど、応力の低下割合は早く進行する。高温で使用されるボルトなどの締結体は、応力緩和によりボルトの緩みをもたらす。溶接後熱処理による残留応力の低減はこの応力緩和現象によってもたらされる。

2. 損傷機構、損傷事例

高温で使用される装置、例えば火力発電用のタービンケーシングやバルブ類などの締め付けボルトは、高い応力下で高温に加熱されるため、使用中に応力緩和（リラクゼーション）し、締め付け力は時間とともに減少し、ボルトが緩む事態を招く。

応力緩和挙動は残留応力の低下割合と時間との対比で理解することが出来る。図1は、縦軸が残留応力の低下割合（初期応力に対する割合：%）、横軸は時間（対数）で、初期応力は100%としている。時間は対数目盛りとしているため、時間ゼロ（残留応力100%）はプロットされてないが、時間の経過による残留応力の低下（緩和）傾向の相違を示す。一番上の曲線は、低温あるいは初期の残留応力が小さい条件での応力緩和傾向であり、残留応力の低下（緩和）速度は遅い。一番下の曲線は、高温あるいは初期の残留応力が大きい場合であり、残留応力の低下（緩和）速度は早い。すなわち、応力緩和は、温度が高いほど初期応力値が大きいほど、早く進行する。

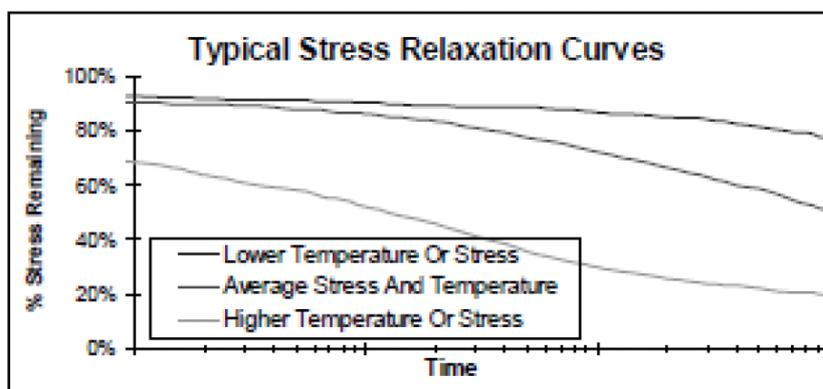
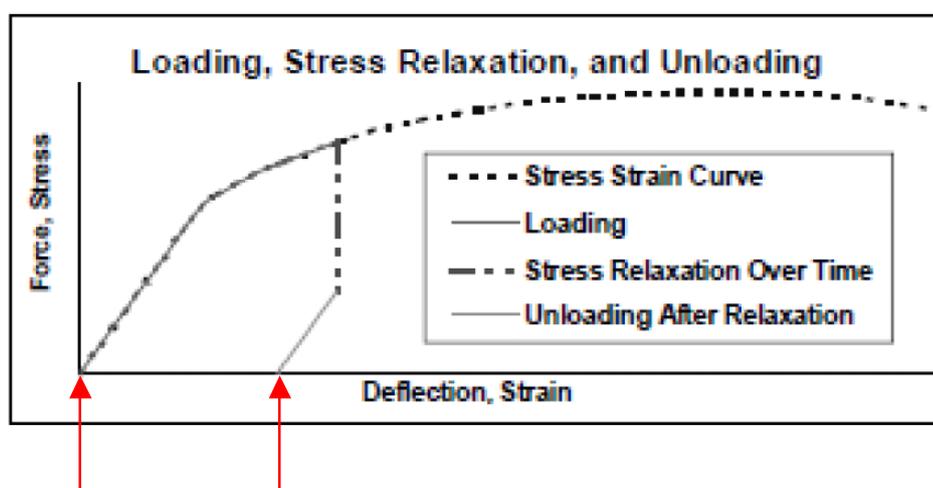


図1. 応力緩和曲線¹⁾

応力緩和は、材料の負荷が除去された後に元の形状に戻りにくくなる現象でもある。図2は応力を負荷し、一定の歪みに達した時点で、定歪み状態で保持した場合の応力緩和挙動と、応力を除去した場合の、歪みの変化を示す。まず歪みゼロから、応力-歪み線図に従って歪みを増大させると、荷重（応力）は増大する。一定の歪み・一定の荷重（応力）の個所で保持すると、応力は応力緩和により減少する。その後、荷重を除いても、歪みは元の常態（ゼロ）にはならず、一定の歪みが残る。応力緩和は一定の歪みの下での応力の減少である。



初期歪み（ゼロ） 応力緩和後の歪み

図2. 応力緩和の応力歪み曲線²⁾

一方、高温ではクリープが生じる（C-00 参照）。クリープは応力一定の下での歪みの増加である。応力緩和は、高温条件下において、クリープ歪みが時間とともに累積するため、弾性ひずみ成分がその分小さくなり、結果として応力が低減していく現象として理解することができる。

すなわち、全歪み（ ε ）を弾性歪み（ ε_e ）とクリープ歪み（ ε_c ）の和とする。

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_c = \text{一定}$$

で、時間とともにクリープ歪み（ ε_c ）は増加するので、弾性歪み（ ε_e ）が小さくなり、応力 $\sigma = \varepsilon_e \times E$ は低下する。（E：ヤング率）

高温で使用される装置のバルブ等に関しては、応力緩和を生じにくい鋼材の選定が必要となる。

3. 参考文献

- 1) Technical Tidbits Vol.2 No.7 (2000年7月)
- 2) Technical Tidbits Vol.2 No.6 (2000年6月)