

## 討15-2

## 構造物の疲れ挙動と試験片試験との関連

高温構造安全技術研究組合 藤村理人

1. はしがき 大型構造物の設計コードに疲れ解析が導入されたのは原子力プラントが最初である。現在では化学プラントの設計にも導入されている。これらの構造設計コードにおける設計疲れ曲線は小型疲れ試験の結果をもとにして保守的に求めたものである。例えば疲れ破断曲線の Best fit curve をもとにして、応力レベル（ひずみよりの換算）の  $1/2$  か、破断繰返し数の  $1/20$  のいずれか小さい値をつないで設計疲れ曲線をつくったものである。ところがこれらの設計疲れ曲線を使用して設計した大型構造物が、設計上求めた疲れ寿命（設計繰返し数）の  $20$  倍に相当する程の安全余裕があることは保証されていない。すなわち設計上繰返し数  $100$  を保証するために設計疲れ曲線より求めた応力値を用いた構造物は  $2000$  回の繰返し寿命を保証されているものではない。ノズル付圧力容器モデル試験ではつねに疲れき裂の発生は設計疲れ曲線に対応しており、破損は  $R = -1$  試験片試験破断繰返し数よりはよい。このような試験片試験と構造試験とは喰い違いがある。

2. 試験片疲れ挙動 ここで論ずるのはひずみ制御型疲れで応力レベルとしては比較的高く、破断繰返し数は  $\sim 10^4$  以下の疲れ挙動である。大型構造、ここでは圧力容器に限定、は変形を使用寿命、 $\sim 10^5$  hr で  $1\%$  以下におさえるため、ほとんどの部材が弾性挙動であって、局部にピーク応力を発生し、低サイクル疲れ挙動を示す。このような部材はノズル内側コーナ、フランジ取付部、高張力ボルトなどごく限定されている。これらの寿命中繰返し数は高々  $\sim 100$  回である。これらの部材において、試験片挙動を対応せしめると、試験片挙動はピーク応力部、すなわちノズルであれば内側コーナにおける疲れき裂発生までの挙動である。決してノズルコーナの外側までの貫通破損までの挙動と対応するものではない。すなわち、試験片疲れ挙動は構造疲れにおける発生に対応するものであって、試験片疲れ伝播は構造物における疲れき裂伝播挙動とは一致するものではない。

3. 切欠き効果 疲れ挙動における切欠き効果は疲れ損傷を大きく影響する。すなわち鋭い切欠きがある場合に疲れ強さは減少するが、その減少率はほぼ理論応力集中率  $K_t$  のほぼ逆数と考えられている。しかしながら、高いひずみ振巾の疲れ挙動ではその減少率は  $1/K_t$  をはるかに上回る。しかしながら、一般構造物における切欠きによる疲れき裂減少係数は  $3$  以下であって、切欠きの  $K_t$  より低いことが確認されている。これは構造物における  $3$  次元応力場における切欠き効果は試験片のそれと比較して全く小さいことから明らかである。

4. 疲れき裂伝播挙動 一般に試験片の疲れき裂伝播速さ  $dN/dt$  は応力拡大振巾  $\Delta K$  の  $n$  乗と考えられ、 $n$  の値は  $3 \sim 4$  とされている。しかしながら構造物の荷重-ひずみ制御型繰返し挙動ではき裂伝播速度はほぼ一定であって、薄肉設計の場合においても  $\Delta K$  の  $5/3$  乗程度の伝播速度である。このことは厚肉であれば長い寿命が保証できることを意味しており、大型厚肉容器の場合の繰返し寿命はきわめて大きいことを示している。

5. まとめ 試験片試験において構造物の健全性の評価に対応できるのは疲れき裂の発生までの挙動である。構造物の疲れき裂発生以後の伝播と破損に至るまでの挙動を正確に促えるためには、構造モデル試験による必要がある。とくに切欠き効果の評価については試験片試験によると過大に評価する可能性がある。また試験片試験は一般に加速効果がいちじるしく、繰返し速度、ひずみレベルにおいて実機との対応に大きな疑問を提供する場合がある。試験片試験データは設計疲れ曲線をつくるためには有用ではあるが、構造物の健全性の評価に役立つことは少なく、構造試験の実施が必要である。