

HPIS

HPIS C107 TR 2005

フェライト系高温構造機器の クリープ疲労寿命評価法

Creep-Fatigue Life Evaluation Scheme for Ferritic Component
at Elevated Temperature

HPIS C107 TR 2005

平成 17 年 7 月 制定

社団法人日本高圧力技術協会

High Pressure Institute of Japan

目 次

はじめに

ページ

第1部 評価方法

第1章 適用対象と適用範囲	1
第2章 非弾性挙動の予測	2
2.1 評価手順	2
2.2 有限要素解析の結果の整理	3
2.3 ひずみ範囲の予測	4
2.4 応力緩和過程の予測	5
第3章 クリープ疲労寿命評価	6
3.1 評価の考え方	6
3.2 使用する材料特性	6
3.3 疲労損傷算出	6
3.4 クリープ損傷算出	7
3.5 クリープ疲労寿命算出	7

第2部 評価法の背景

第1章 適用対象と適用範囲	8
第2章 非弾性挙動の予測	9
2.1 SRL法概念	9
2.2 理論的な検討	12
2.2.1 変断面棒	12
2.2.2 梁の弾塑性曲げ	13
2.2.3 変断面梁の曲げ	16
2.2.4 理論的な検討のまとめ	22
2.3 有限要素解析による検討	23
2.3.1 有孔平板モデル	23
2.3.2 多孔板の応力再配分挙動	36
2.3.3 管板モデル	42
2.3.4 Yピースモデルの応力再配分挙動	47
2.3.5 ノズルモデル	50
2.3.6 スカートモデル	93
2.3.7 液面近傍の応力再配分挙動	112
2.4 実験による検討	116
2.4.1 実験法および試験条件	116
2.4.2 高温疲労試験	116

2.4.3 クリープ疲労試験	118
2.5 SRLに及ぼす各種因子の影響	121
2.5.1 単調負荷と繰返し負荷の比較	123
2.5.2 非弾性構成則	130
2.5.3 負荷荷重	134
2.5.4 弾塑性とクリープ	139
2.5.5 対象形状	141
第3章 クリープ疲労損傷の評価	142
3.1 評価の考え方	142
3.1.1 時間消費則	142
3.1.2 延性消耗則	148
3.1.3 本評価法の考え方	148
3.2 材料特性	150
3.2.1 JNCデータ	150
3.2.2 NIMSデータ	179
3.2.3 鉄鋼協会データベース	187
3.3 試験データによる検証	195
3.3.1 材料特性	195
3.3.2 検証計算	195

付録

付録-1 委員会開催実績

付録-2 対外発表論文一覧

はじめに

火力発電あるいは石油化学などの高温プラントで用いられている 2 1/4Cr-1 Mo 鋼に対するクリープ疲労き裂発生寿命評価法を示すことが、この技術報告書の目的である。機器の使用開始前の設計基準だけでなく、機器の使用開始後の保守管理に役立てることを目的とする。適用においては 550°C 以下とし、核燃料サイクル開発機構、物質・材料研究機構、日本鉄鋼協会にて取得したデータを用いた。高速炉関連で開発した核燃料サイクル機構の材料変形および強度に関わる実験式を基礎に、実験結果を補完して材料実験式を作成し、またその精度を検証している。また、疲労寿命とクリープ寿命の実験値からクリープ疲労寿命の評価を行い、実験値に対して提案の評価法は十分な精度があることを確認しており、火力や化学プラントなどの高温機器に対する基礎資料として役立てることができる。

本報告書で考慮するクリープ疲労き裂発生寿命とは、高温で使用される機器中の厳しい温度変動による繰返し熱応力のために生じる損傷のことであるが、高温条件下では塑性変形とクリープ変形が同時に生じるため、これらの相互作用を考慮した寿命の評価が重要になる。これらの予測技術は、各国において設計基準として体系化されているが、十分な適用実績を積んでいるとは言い難いのが現状である。

応力を膜・曲げ・ピークの成分に分類してひずみの集中を評価する従来法(応力分類法)は 1960 年代にシェル・ビーム解析を想定して開発された簡易なものである。火力発電あるいは石油化学などの高温プラントで用いられている構造は、板厚の大きい 3 次元形状ともいべきもので、応力分類自体が困難であることから、無理な分類による精度の低下と、それを補うための過度の保守性を招くため、FEM 解析と整合する精緻な方法が要望されている。

切欠き底の非弾性域の応力とひずみの関係は、その積が一定であるように変化することをノイバーは示したが、この関係は弾性解から非弾性解を求める方法として広く内外で用いられている。切欠き底よりはその度合いが緩やかな構造物の応力とひずみを評価する方法が、現在、検討されているが、そのうちのひとつとして、非弾性解を弾性解で無次元化した応力-ひずみ曲線に基礎を置く手法が考えられる。このため、本報告書では、非弾性解を弾性解で無次元化した応力-ひずみ曲線について、検討を行った結果、構造物の形状や構造物の構成則あるいは荷重の大きさにあまり依存しない一本の応力再配分軌跡曲線(SRL 曲線、Stress Redistribution Locus)が存在することを示した。即ち、構造物には構成式や荷重の大きさに依存しない、応力再配分特性が存在するが、このような軌跡が存在する場合の条件についても本報告書では検討している。

本報告書は、FEM 解析で得られた応力・ひずみを基礎に、クリープ疲労破損強度評価を、高精度に予測できる手法の開発を目標としている。これらの手法は弾性解析から非弾性挙動を予測し、さらにこれらの力学量から疲労寿命とクリープ寿命、さらにはこれらからクリープ疲労寿命を予測する手順の 2 つから構成されている。プラントの典型的な構造不連続部である、応力集中部を有する構造について応力再配分軌跡を数値的に求め、実機において応力再配分軌跡について検討し、また、実際の熱過渡事象による応力についても検証している。これらを組み合わせることにより、FEM 弾性解析から応力再配分モデルによって応力・ひずみを求め、さらにクリープ疲労強度が算定できる。