

## 128 微小き裂による2. 25Cr-1Mo鋼の高温疲労損傷計測の可能性検討

石川島播磨重工業(株) 正 ○野中 勇 北川正樹

## 1. はじめに

我が国では、経年発電ボイラ機器が多くなっているが、電力需要の高まりに対して、発電所の立地難から、これら経年機器の延命が検討されている。そのためには、機器の余寿命診断精度をあげる必要があり、非破壊検査を中心とした、種々の損傷計測法が開発されている。ボイラ機器の主な損傷形態はクリープ損傷であり、この計測法については、既に、実用化されているものもある。一方、ボイラ機器のなかには、管寄管台のように、疲労損傷が問題になる部位もあり、疲労損傷計測法についても開発する必要がある。

本研究では、疲労過程で発生、進展する微小き裂から、損傷計測の可能性を、実験室レベルで検討した。

## 2. 実験方法

供試材はボイラ用2. 25Cr-1Mo鋼母材とHAZ 再現材で、図1に金属組織を示す。HAZ 再現材は母材に比べて結晶粒が粗大化している。丸棒試験片(直径10mm, 標点距離30mm)を製作し、570℃で、歪み範囲0.4～2%の歪み制御疲労試験を実施し、各種寿命比での表面微小き裂の分布状態と最長き裂の長さを測定した。各種寿命比で試験を中断し、室温まで降温し、ブランクレプリカで試験片表面の酸化膜を除去した後、試験片表面のレプリカを採取し、拡大投影器で観察した。

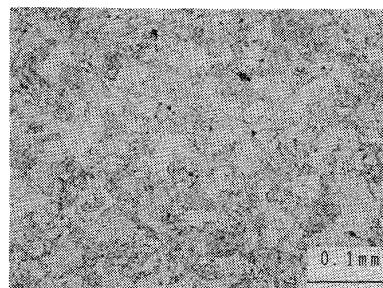
## 3. 実験結果および考察

## 3. 1 き裂の様相

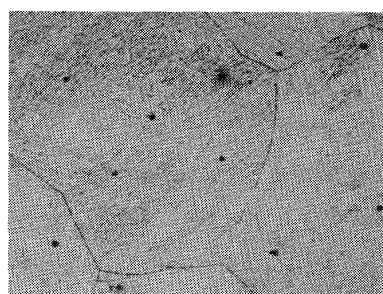
母材およびHAZ 再現材の、歪み範囲1%におけるき裂の分布状況を図6に、同様に、歪み範囲0.5%におけるき裂の分布状況を図7に示す。

1%程度の高歪み範囲においては、損傷初期の段階から多数の微小き裂が発生し、成長、合体して巨視き裂に至っている。また、母材のき裂が応力軸に直角方向に発生、成長しているのに対し、HAZ 再現材のき裂は応力軸に45度のすべり線方向に発生しているのが特徴である。

一方、0.5%程度の低歪み範囲においては、高歪みの場合に比べて、き裂の発生が遅く、き裂の数も非常に



2. 25Cr-1Mo鋼 母材



2. 25Cr-1Mo鋼 HAZ再現材

図1 供試材の金属組織

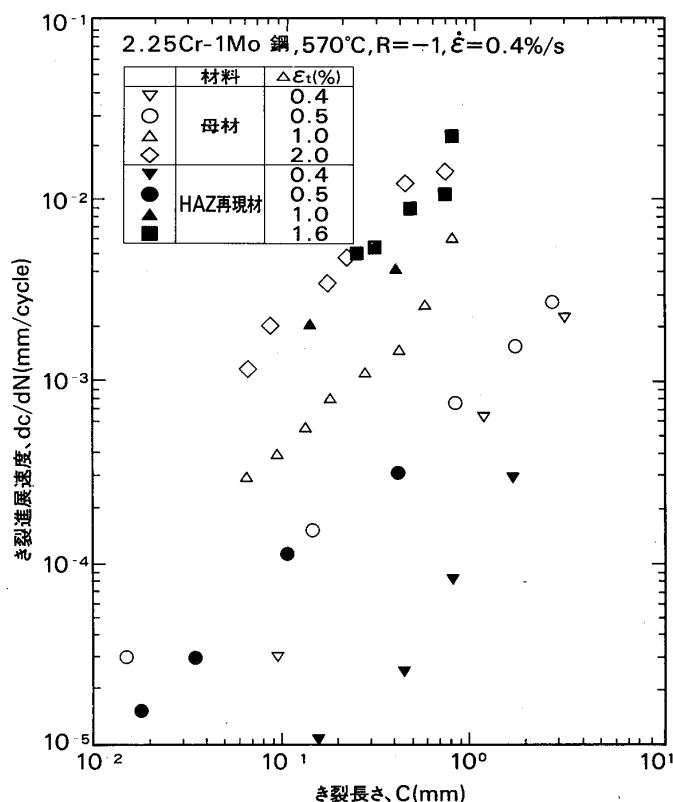


図2 2. 25Cr-1Mo鋼の570℃における疲労き裂進展速度とき裂長さの関係

少なくなっている。また、母材、HAZ 再現材ともに、き裂は応力軸に直角方向に発生、成長している。

### 3. 2 き裂進展速度とき裂長さの関係

き裂の中で、最終的に巨視き裂に成長したき裂に着目し、そのき裂進展速度を測定した。母材およびHAZ 再現材の、各歪み範囲における、き裂進展速度とき裂長さの関係を図2に示す。母材とHAZ 再現材は、ほぼ近い値を示す。また、殆どのデータは、両対数グラフ上で、傾き1の直線で近似でき、この直線は歪み範囲に依存し、歪み範囲が高くなると、上方に平行移動する。以上のことから、き裂進展速度は次式で表される。

$$dC/dN = \alpha C$$

$$= 0.0049 \Delta \epsilon_i^{2.69} C \quad (1)$$

ここで、 $dC/dN$ ：き裂進展速度、 $\Delta \epsilon_i$ ：歪み範囲、 $C$ ：き裂長さである。(1)式から、き裂進展速度を予測した結果を図3示す。HAZ 再現材の歪み範囲0.4%の場合を除いて、比較的精度良く、き裂進展速度を予測できた。また、(1)式から次式が導かれる。 $N/N_f =$

$$(1/\alpha N_f) \ln(C/C_f) + 1 \quad (2)$$

ここで、 $N_f$ ：疲労寿命、 $C_f$ ：疲労寿命時のき裂長さである。(2)式より、疲労寿命を予測できる。

### 3. 3 最大き裂長さと疲労寿命比の関係

母材およびHAZ 再現材の、各歪み範囲における、最大き裂長さと疲労損傷の関係を図4に示す。ただし、疲労寿命比=1の定義は、最大き裂長さが2～5mm程度になった時とした。母材、HAZ 再現材とも片対数上で直線となる。ただし、直線の傾きは、歪み範囲が高くなる程小さくなり、歪み範囲依存性を示す。つまり、歪み範囲が高い場合は、疲労寿命の初期から、き裂が発生、成長するが、歪み範囲が低くなると、き裂の発生は疲労寿命の後期に移る。

図4の結果から、HAZ 再現材の疲労寿命比は、次式で表される。

$$N/N_f = 0.7 \Delta \epsilon_i^{0.84} (\log C + 1.06 \Delta \epsilon_i^{-1.07}) \quad (3)$$

ここで、 $C$ ：最大き裂長さである。(3)式から疲労寿命比を予測した結果を図5に示すが、精度良く、疲労寿命比が予測できることがわかる。以上のことから、実験室レベルでは、平滑部の疲労損傷を微小き裂の最大き裂長さから予測できる可能性が示された。

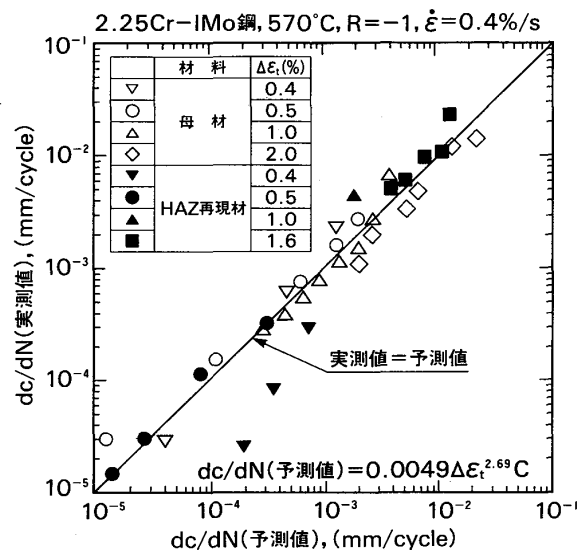


図3 2.25Cr-1Mo鋼の570℃における疲労き裂進展速度の予測

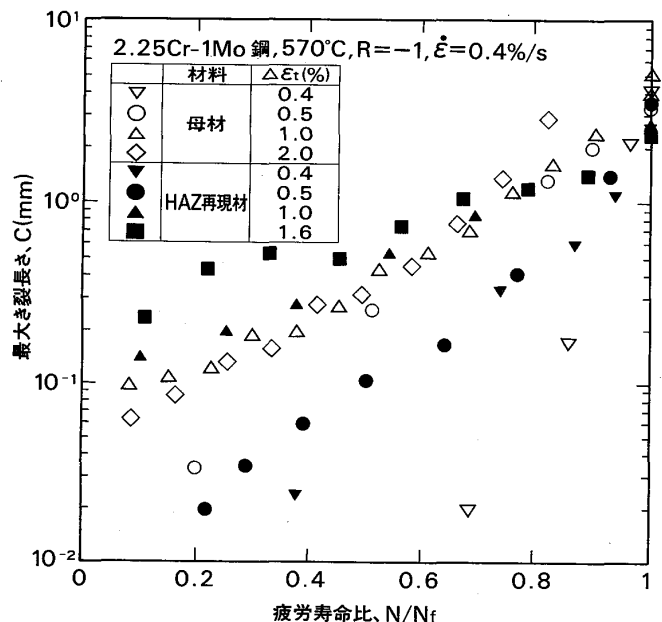


図4 2.25Cr-1Mo鋼の570℃における疲労寿命比と最大き裂長さの関係

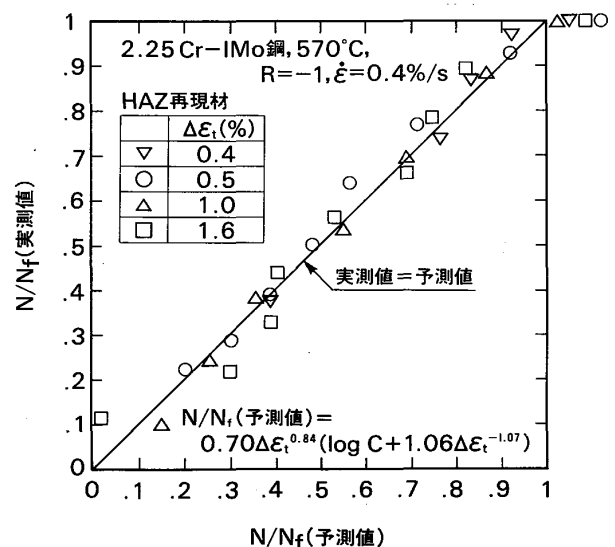


図5 2.25Cr-1Mo鋼の570℃における疲労寿命比の予測

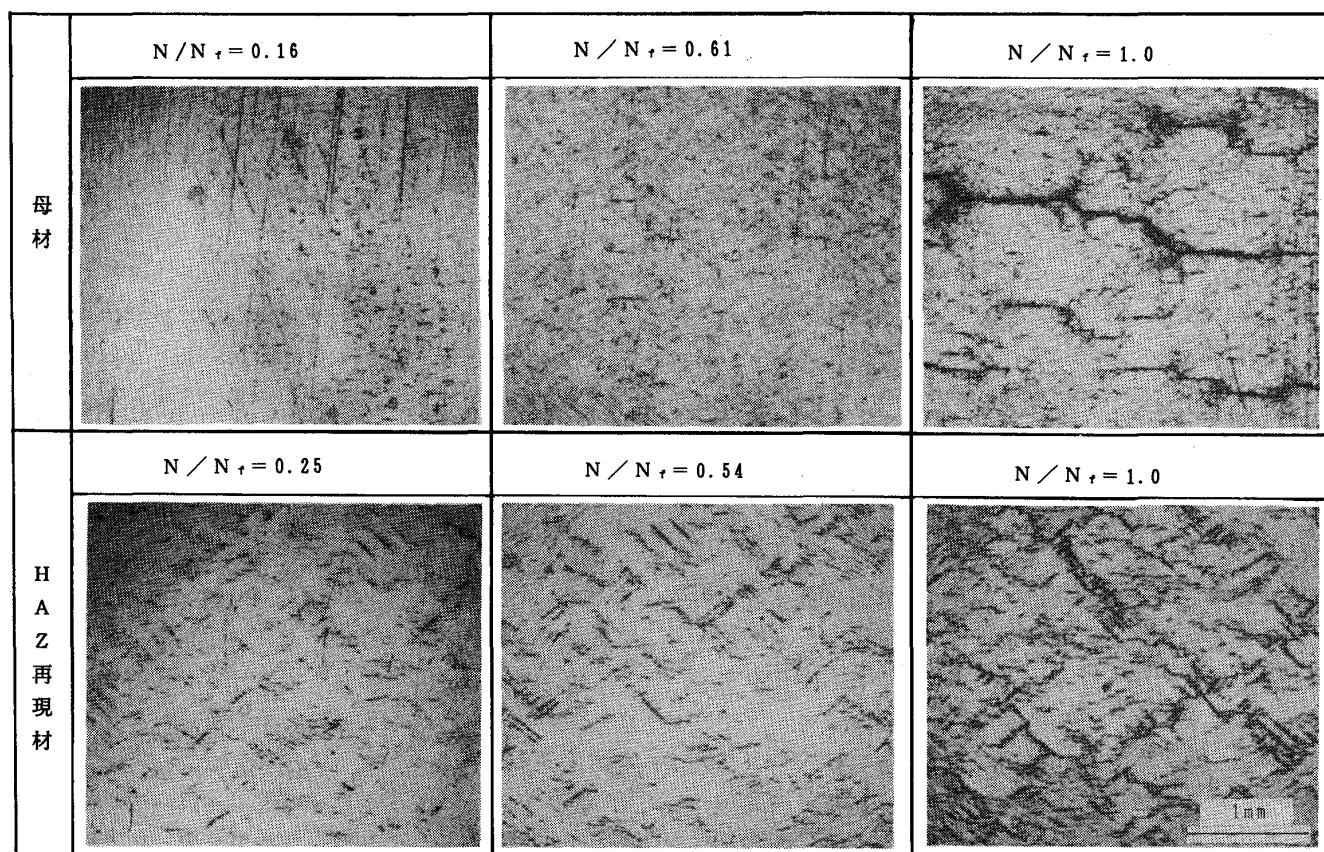


図 6 2.25Cr-1Mo鋼の高歪み制御試験における表面き裂の分布状況 (570 °C,  $\Delta \epsilon_t = 1\%$ )

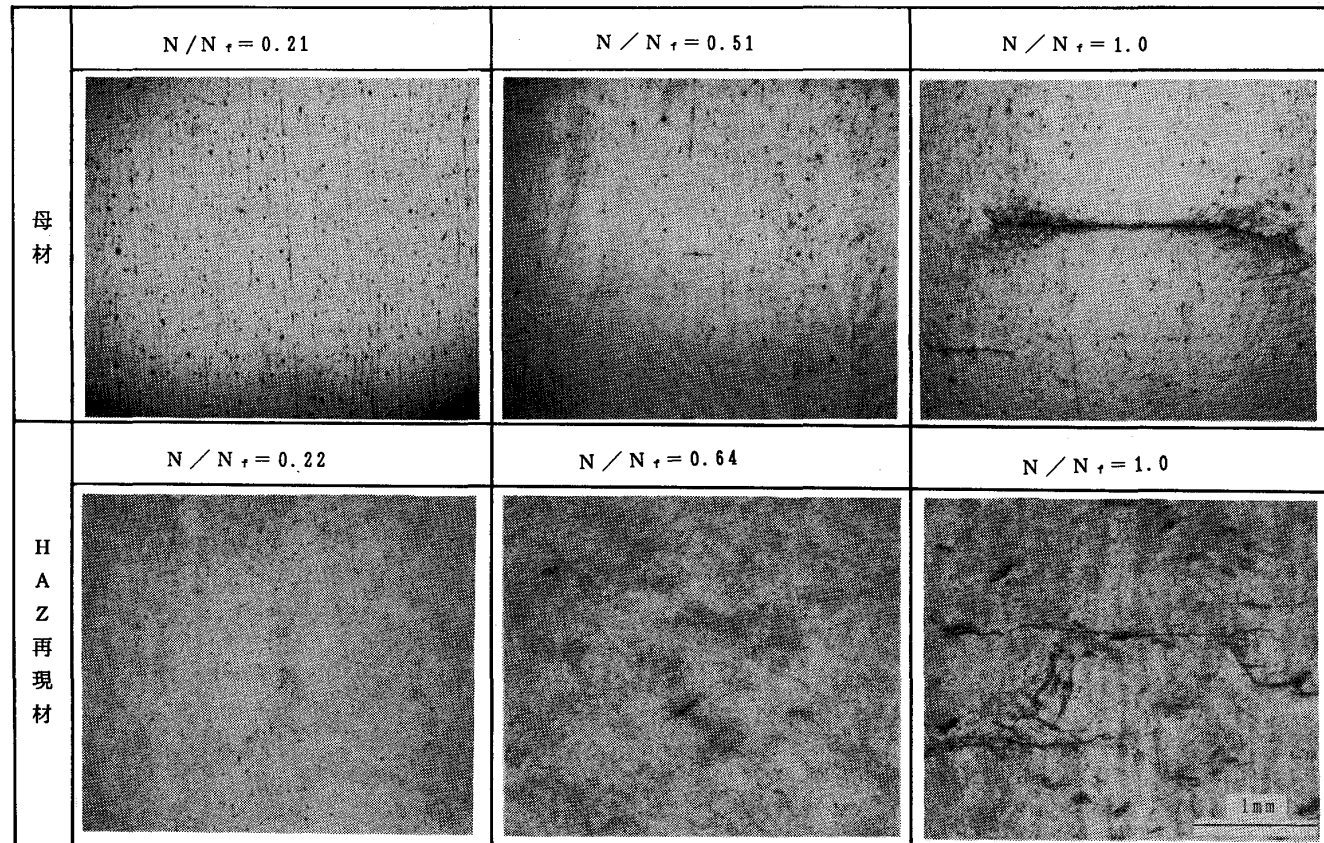


図 7 2.25Cr-1Mo鋼の低歪み制御試験における表面き裂の分布状況 (570 °C,  $\Delta \epsilon_t = 0.5\%$ )