

I-A28

ステンレス鋼の極低サイクル疲労強度

（財）電力中央研究所 正会員 ○ 酒井 理哉
齋藤 潔

1. はじめに

高速炉機器などの耐震設計合理化のためには、地震荷重に対する破壊モードを把握し、適切な損傷評価法を整備する必要がある。著者らはこれまでに高速炉薄肉配管の地震荷重による最終的な破壊モードが低サイクル疲労によるき裂発生であることを明らかにし¹、数値解析に基づく疲労損傷評価法を提案し、試験との比較により精度を確認した^{2,3}。しかしながら、地震荷重による数回から数百回程度の繰り返しによる低サイクル疲労による破壊については疲労強度データがほとんど無く、既往データを外挿した推定値を使用しているのが現状である。このため、高速炉機器などに用いられるステンレス鋼について、地震荷重による疲労破壊評価に必要な破断繰り返し数 200 回以下の極低サイクル疲労データを収集することを目的として試験を行い、既往データを補うとともに、既往の疲労カーブ⁴を補正する式を提案し、地震荷重に対する疲労破壊評価の精度向上に資する。

2. ステンレス鋼の低サイクル疲労試験

ステンレス鋼の低サイクル領域の疲労データを収集するため、SUS304 製の丸棒、平板試験片を用いて、ひずみ範囲、ひずみ速度の载荷条件をパラメータとして変化させた試験を実施した。

試験片は SUS304 製の丸棒試験片、平板試験片の 2 種類を用いる。試験片の形状は図 1 に示す。母材のミルシートによる素材の化学成分表を表 1 に、引張試験より得られた機械的性質を表 2 に示す。

試験には（財）電力中央研究所 我孫子研究所に設置された高精度材料強度試験機（INSTRON 8500 型試験機）を用いた。

制御方法は数サイクル分のひずみ挙動と载荷ストロークとの関係を調べて変位制御で試験を行った。この方法は実質的にひずみ制御試験とみなすことができる。

载荷速度は地震荷重を想定し、試験機の载荷能力範囲で 0.1%/sec～10%/sec に設定し、疲労強度に対するひずみ速度の影響を検討した。

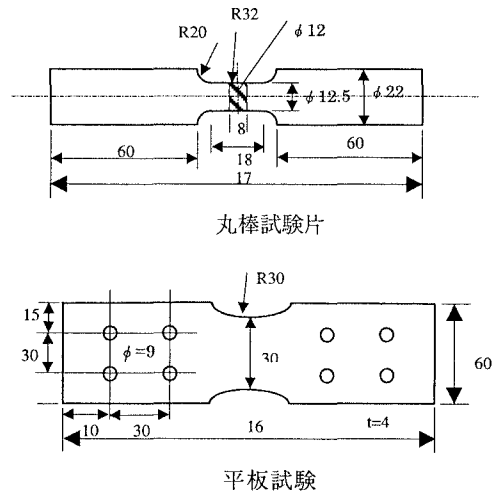


図 1：試験片の形状

表 1：化学成分(%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
丸棒	0.06	0.59	0.91	0.023	0.002	8.14	18.11
平板	0.04	0.58	0.95	0.026	0.001	8.24	18.21

※熱処理：1080℃，3 分間

表 2：機械的性質

	縦弾性係数 GPa	ポアソン比	降伏応力 MPa	引張強さ MPa	破断延性 %
丸棒	202	0.285	256	652	71
平板	201	0.268	242	647	76

Keyword：ステンレス鋼，極低サイクル疲労，疲労強度

〒270-1194 我孫子市我孫子 1 6 4 6 TEL 0471-82-1181 FAX 0471-83-2962

3. 試験結果

試験結果をひずみ範囲と破断繰り返し数について整理した結果を図2に示す。図中には文献4を参照し、室温（20℃）におけるひずみ速度 10^{-3} (mm/mm/sec)の条件での Wada らによるベストフィットカーブを比較のため示している。

データはひずみ範囲 1%～10%，破断繰り返し回数 $10^1 \sim 10^3$ 回程度で分布しており，100 回以下の低サイクル疲労域では Wada の曲線と大きなずれが生じている。これは Wada が作成した回帰式は $10^2 \sim 10^4$ 回程度のデータを元に作成され保証範囲に含まれていないためである。

ひずみ速度の違いによる疲労寿命の影響は明瞭に現れず，低サイクル領域では，ほとんどばらつきの範囲に含まれる結果となった。ステンレス鋼にはひずみ速度の材料物性への影響は存在するが，試験結果からみて，低サイクル領域の破断繰り返し数が少ない範囲では，ひずみ速度の違いによる材料物性の変化は相対的に疲労強度に与える影響は小さいため，地震荷重による疲労破壊ではひずみ速度の影響を考慮しなくて良いものと思われる。

4. 回帰曲線

試験結果を全ひずみ範囲と破断繰り返し数の両対数軸にプロットしたデータをもとに二次の回帰式を作成した。

回帰式：

$$\begin{aligned} \log_{10} \Delta \varepsilon_f = & -0.52236 \\ & -0.45452 \cdot (\log_{10} N_f) \\ & + 0.02992 \cdot (\log_{10} N_f)^2 \end{aligned}$$

これらを試験結果および Wada 式と同時にプロットした結果を図3に示す。

今回の試験データの範囲が低サイクルに偏っていることと，Wada 式との連続性を考えて，以下の範囲で回帰式を提案する。

$$\text{破断繰り返し数： } N_f \leq 200$$

$$\text{ひずみ範囲： } \Delta \varepsilon_f \geq 0.04$$

5. まとめ

大ひずみ領域におけるステンレス鋼の低サイクル疲労強度について，丸棒，平板の試験片を用いて疲労試験を行い，従来データの無い破断繰り返し回数 200 回以下の疲労曲線を提案した。今回行ったステンレス鋼の低サイクル疲労試験は，従来ほとんどデータが無かった範囲をカバーするものであり，耐震安全性の向上に必要な疲労破損評価の精度向上に有効である。

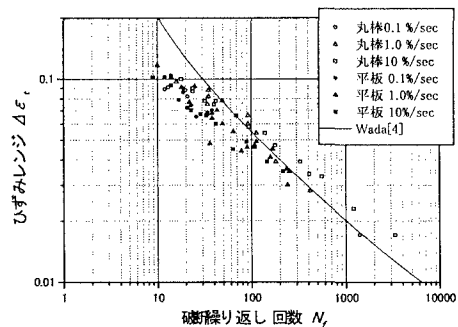


図2： $\Delta \varepsilon_f - N_f$ 関係

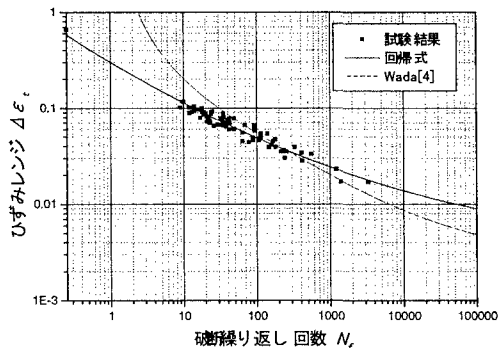


図3：疲労カーブ

- 1) 酒井，山本，萩原：曲がり管の崩壊挙動に関する検討，第51回土木学会年次学術講演会，1-A，1995.9，pp.142-143
- 2) 酒井，他：曲がり管の動的崩壊挙動に関する検討，第52回土木学会年次学術講演会，1-A，1996.9，pp.118-119
- 3) 地震荷重下における曲がり管の低サイクル疲労評価，第53回土木学会年次学術講演会，1-A，1997.9，pp.470-471
- 4) Wada, Y. et al., "A Statistical Approach of Fatigue Life Prediction for SUS304, 316 and 321 Austenitic Stainless Steels", ASME PVP Vol.123, pp.37-42, 1987