

I - A30 繰返し塑性ひずみが鋼材の高サイクル疲労に与える影響

大阪大学大学院 学生員 大野 勝 大阪大学大学院 正会員 大倉一郎

1. まえがき

阪神・淡路大震災は土木鋼構造物に大きな被害をもたらした。被災した橋梁の復旧作業の際、損傷の軽微な鋼部材は再利用された。再利用された鋼部材の中には地震荷重による繰返し塑性ひずみが導入されている可能性がある。本研究では、繰返し塑性ひずみが高サイクル疲労に与える影響を丸棒試験片の疲労試験によって調べた。

2. 丸棒試験片による疲労試験の概要

丸棒試験片を図-1に示す。試験片は平行部中央に環状突起を付けた突起付き試験片と、突起のない平行試験片である。最初、低サイクル疲労試験を行い、試験片の低サイクル疲労亀裂発生寿命 N_L を求めた。低サイクル疲労試験は完全両振りで、試験片平行部のひずみを制御した。次に、繰返し塑性ひずみを与えた試験片に高サイクル疲労試験を行った。高サイクル疲労試験は荷重制御で行った。

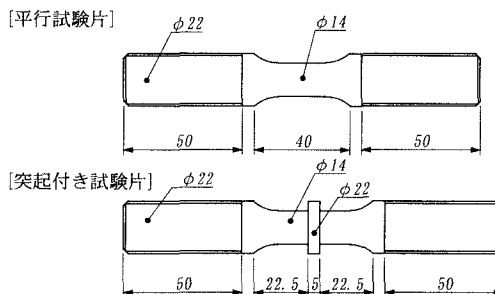


図-1 丸棒試験片

3. 試験結果

試験結果を図-2に示す。ここで高サイクル疲労試験の応力範囲は $\Delta\sigma = 239\text{MPa}$ (応力比 $R=0.06$) である。縦軸は高サイクル疲労寿命 n_H (破断寿命) であり、横軸は低サイクル疲労亀裂発生寿命 N_L に対する、塑性ひずみの繰返し回数 n_L の比である。平行試験片では、 $n_L/N_L = 0.25$ を超えると n_H が大きく低下している。突起付き試験片では、 $n_L/N_L = 0.001$ ($n_L=1$) ですでに n_H は大きく低下している。

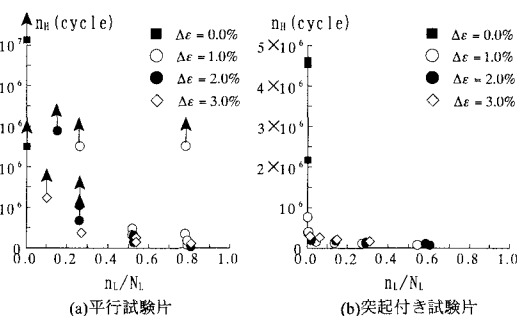


図-2 高サイクル疲労試験結果 [$\Delta\sigma = 239\text{MPa}$]

4. 単調塑性ひずみの影響

単調荷重による塑性ひずみ(これを単調塑性ひずみと呼ぶ)を受けた突起付き試験片の高サイクル疲労寿命 N_{H0} と、単調塑性ひずみの大きさの関係を図-3に示す。図-3には、塑性ひずみを受けていない試験片の高サイクル疲労寿命も示している。高サイクル疲労試験の応力範囲 $\Delta\sigma$ は 239MPa と 294MPa (両者とも $R=0.06$) である。単調塑性ひずみを与えた試験片の高サイクル疲労寿命は、与えない試験片に比べて大きく低下している。全ひずみの大きさが 0.2% から 8% の間では、各応力範囲において N_{H0} のばらつきが小さいので、単調塑性ひずみの大きさが高サイクル疲労寿命に与える影響は小さい。

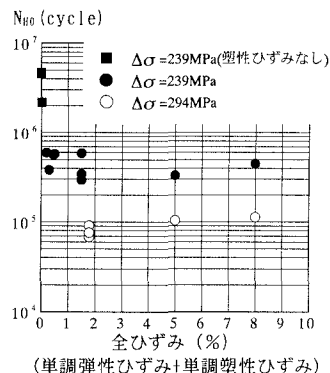


図-3 単調塑性ひずみの影響

図-3の試験結果をS-N線図で表したものを図-4に示す。図-4の単調塑

キーワード：繰返し塑性ひずみ、高サイクル疲労

連絡先：〒562-0871 吹田市山田丘 2-1 TEL06-6879-7620 FAX06-6879-7621

性ひずみを受けた試験片に対する S-N 関係は次式で与えられる。

$$(\Delta\sigma)^m \cdot N_{H0} = c_0 \quad (1)$$

ここで、 $m = 7.71$, $c_0 = 9.57 \times 10^{23}$ 。

5. 繰返し塑性ひずみの影響

図-2(b)で繰返し塑性ひずみを受けた試験片の n_H を N_{H0} で基準化した結果を図-5 に示す。ここで、図-5 においては、単調塑性ひずみは塑性ひずみの繰返しとみなさず $n_L = 0$ としている。さらに図-5 には、繰返し塑性ひずみのひずみ範囲を変化させた試験結果も示してある。ひずみ範囲の変化パターンは表-1 に示す 2 種類である。 θ が 0.148 と 0.605 の 2 つを考慮した。ひずみ範囲を変化させた場合の試験結果は、ひずみ範囲一定で行った試験結果のばらつきの中にある。したがって、ひずみ範囲が変化する場合、繰返し塑性ひずみが高サイクル疲労に与える影響は、繰返し塑性ひずみの寿命比の線形和によって考慮できる。

図-5 の試験結果を次式で近似した。

$$\frac{n_H}{N_{H0}} = 1 - \left(\sum_i \frac{n_{Li}}{N_{Li}} \right)^\alpha \quad (2)$$

試験結果は $\alpha = 0.139$ と $\alpha = 0.476$ の曲線の間分布している。

式(1)と式(2)より N_{H0} を消去することにより、繰返し塑性ひずみを受けた鋼材の高サイクル疲労の S-N 曲線が次式で与えられる。

$$(\Delta\sigma)^m \cdot n_H = \left\{ 1 - \left(\sum_i \frac{n_{Li}}{N_{Li}} \right)^\alpha \right\} \cdot c_0 \quad (3)$$

式(3)は応力範囲 $\Delta\sigma = 239\text{MPa}$ に対するものであり、別の応力範囲においても成立するかどうかを確認しなければならない。別の応力範囲で高サイクル疲労試験を行った結果を図-6 に示す。ここで与えたひずみ範囲は 3% である。図中の直線は、式(3)において $\alpha = 0.139$ と $\alpha = 0.476$ に対するものである。

図-6(a)においては、 $\Delta\sigma = 188\text{MPa}$ に対する結果が直線の間から

少し外れているが、図-6(b), (c)では直線の間試験結果が入っている。したがって式(3)は別の応力範囲においても成立している。

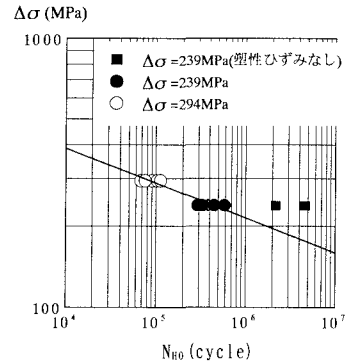


図-4 S-N 線図

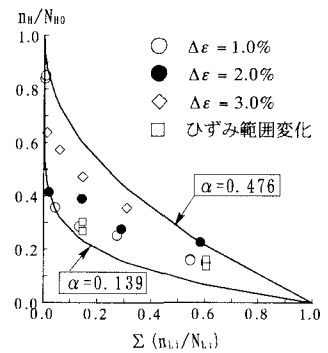


図-5 疲労試験結果
[$\Delta\sigma = 239\text{MPa}$]

表-1 ひずみ範囲の変化パターン

	前半載荷	後半載荷
パターン1	$\Delta\varepsilon = 1\%$ で 0.5θ	$\Delta\varepsilon = 3\%$ で 0.5θ
パターン2	$\Delta\varepsilon = 3\%$ で 0.5θ	$\Delta\varepsilon = 1\%$ で 0.5θ

$$\left(\theta = \sum_{i=1}^2 \frac{n_{Li}}{N_{Li}} \right)$$

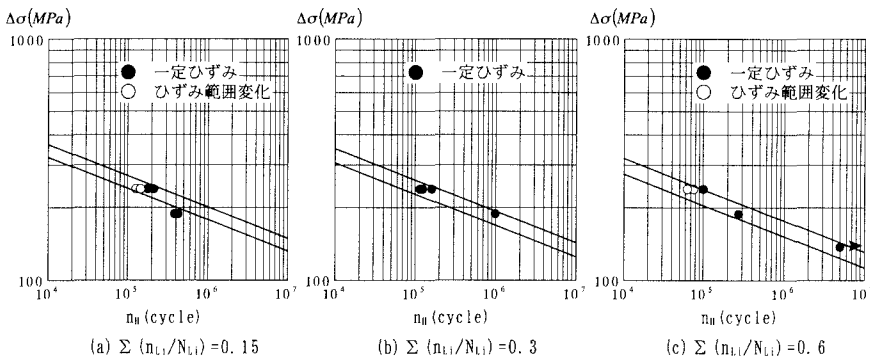


図-6 高サイクル疲労試験結果 [$\Sigma(n_{Li}/N_{Li}) = 0.15, 0.3, 0.6$]