

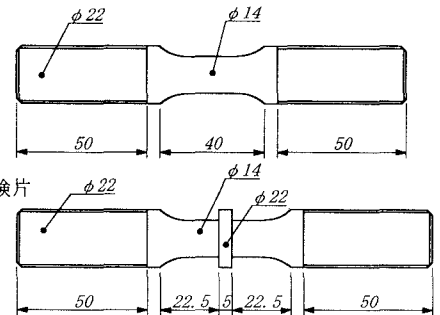
1. まえがき

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。試験片は構造物の溶接部を模して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。

平行試験片



突起付き試験片

図-1 丸棒試験片

3. 試験結果

繰返し塑性ひずみを与えた後、応力範囲 $\Delta \sigma = 239 \text{ MPa}$ (応力比 $R=0.06$) で高サイクル疲労試験を行った結果を図-2 に示す。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 $n_L/N_L = 0.001$ ($n_L=1$) でも n_H は大きく低下している。

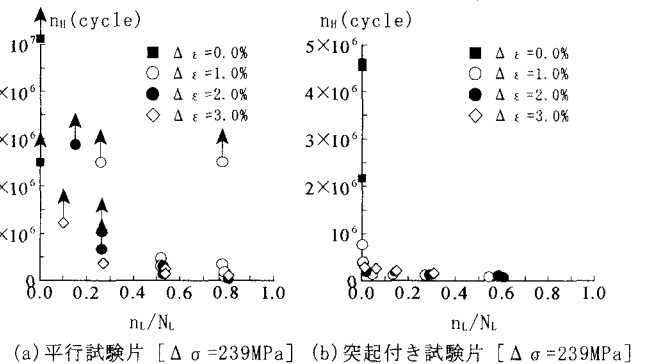


図-2 高サイクル疲労試験結果

4. 単調塑性ひずみの影響

突起付き試験片に、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) を与えた試験片の S-N 線図を図-3 に示す。応力範囲 $\Delta \sigma$ は 239 MPa と 294 MPa (応力比 $R=0.06$) である。図-3 の S-N 関係は次式で与えられる。

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

ここに、 N_{H0} : 単調塑性ひずみを受けた試験片の高サイクル疲労寿命、 $m=7.71$ 、 $c_0=9.57 \times 10^{23}$ 。

図-3 の試験結果において単調塑性ひずみの大きさと N_{H0} の関係を図-4 に示す。横軸には全ひ

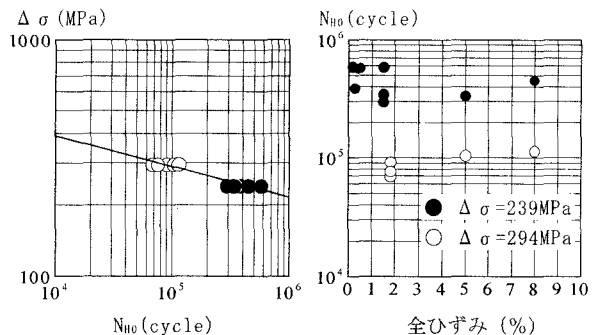


図-3 単調塑性ひずみを受けた試験片の S-N 線図

図-4 単調塑性ひずみの影響

ずみ(弾性ひずみ+塑性ひずみ)がとってある。全ひずみの大きさが 0.2%から 8%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。

5. 繰返し塑性ひずみの影響

図-2(b)の縦軸を N_{H0} で基準化した結果を図-5 に示す。単調塑性ひずみを $n_L = 0$ 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動させた試験の結果も示してある。ひずみ範囲の変動パターンは表-1 に示す 2 種類である。 θ が 0.148 と 0.605 の 2 種類に対して試験を行った。変動ひずみによる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、変動ひずみの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。

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

試験結果は $a=0.139$ と $a=0.476$ の曲線の間に分布している。

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考慮した高サイクル疲労の S-N 曲線が次式で与えられる。

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

式(3)は応力範囲 $\Delta \sigma = 239 \text{ MPa}$ における疲労試験から導いた式であり、別の応力範囲において成り立つかどうかを確認するため、応力範囲を変えて高サイクル疲労試験を行った。試験結果を図-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 $a=0.139$ と $a=0.476$ に対するものである。図-6(a)の場合、 $\Delta \sigma = 188 \text{ MPa}$ に対する結果は直線の間に入っていないが、図-6(b), (c)では直線の間に入っており、式(3)の形式によって繰返し塑性ひずみが高サイクル疲労に与える影響を考慮することができると考える。

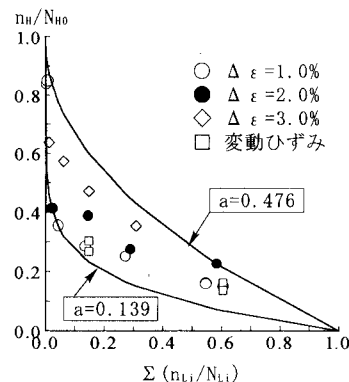


図-5 疲労試験結果
[$\Delta \sigma = 239 \text{ MPa}$]

表-1 ひずみ範囲の変動パターン

	前半载荷	後半载荷
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

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

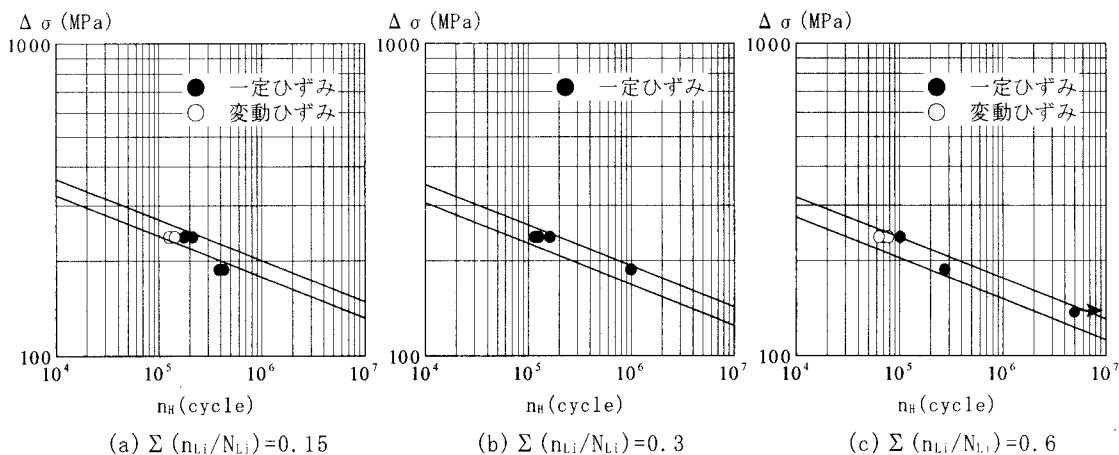


図-6 高サイクル疲労試験結果 [$\Sigma(n_{Li}/N_{Li}) = 0.15, 0.3, 0.6$]