

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

石川島播磨重工業(株) 正会員 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. 試験片

試験片を図-1 に示す。試験片は丸棒である。平行試験片は直径が 10mm と 14mm の 2 種類である。突起付き試験片は弾性応力集中係数 K_t が 2.70 となるように試験片の中央に環状突起を残した。溝入り試験片は K_t が 3.75 となるように試験片の中央に環状溝をつけた。

3. 低サイクル疲労試験

低サイクル疲労試験により、各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、試験片の平行部のひずみを制御した。低サイクル疲労試験の結果を図-2 に示す。各試験結果は次式で表される。

$$(\Delta \epsilon)^{m_L} \cdot N_L = c_L \quad (1)$$

ここで、 $\Delta \epsilon$: 全ひずみ範囲

m_L と c_L : それぞれ定数

4. 高サイクル疲労試験

4.1 単調塑性ひずみが高サイクル疲労に与える影響

塑性ひずみを与えない試験片と、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)を与えた試験片に対する高サイクル疲労試験の結果を図-3 に示す。高サイクル疲労試験は荷重制御で行った。図-3 の S-N 関係は次式で表される。

$$(\Delta \sigma)^{m_0} \cdot N_H = c_0 \quad (2)$$

溝入り試験片の試験結果より、単調塑性ひずみを受けると塑性ひずみを与えない場合と比較して疲労寿命が低下している。したがって、繰返し塑性ひずみを受けた試験片の高サイクル疲労を評価する際、単調塑性ひずみを受けた試験片の S-N 関係を用いる。

4.2 繰返し塑性ひずみが高サイクル疲労に与える影響

繰返し塑性ひずみを受けた試験片の高サイクル疲労試験の結果を図-4 に示す。横軸は式(1)の N_L に対する、与えた塑性ひずみの繰返し回数 n_L の比である。縦軸は式(2)の N_H に対する、 n_L 回の繰返し塑性ひずみを受けた後の高サイクル疲労寿命 n_H の比である。図-4 の試験結果は次式で近似できる。

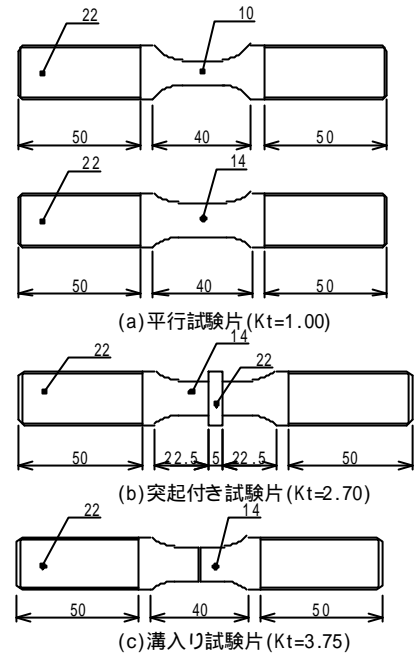


図-1 試験片

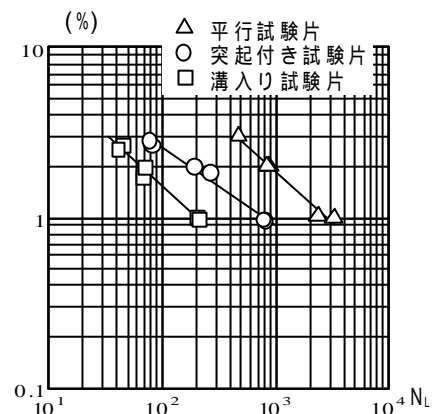


図-2 低サイクル疲労試験結果

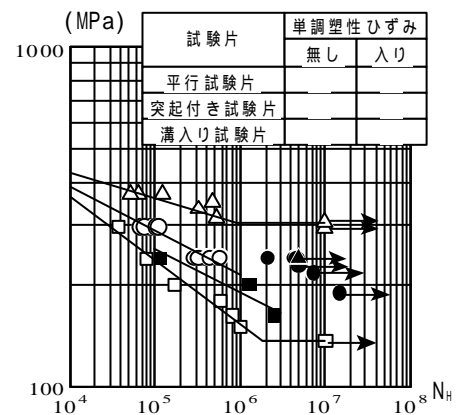


図-3 高サイクル疲労試験結果

$$\frac{n_H}{N_H} + \left(\frac{n_L}{N_L}\right)^b = 1 \quad (3)$$

繰返し塑性ひずみのひずみ範囲を変動させた場合の結果を図-4(b)に白丸で示す。ひずみ範囲の変動パターンは表-1 に示す 4 種類である。変動ひずみを受けた試験結果はひずみ範囲一定で行った試験結果の分布の中にある。したがって、変動ひずみを受けた場合も考慮できるように、式(3)は次式に改められる。

$$\frac{n_H}{N_H} + \left(\sum \frac{n_L}{N_L}\right)^b = 1 \quad (4)$$

式(2)と式(4)から N_H 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が次式で与えられる。

$$(\Delta S)^{m_0} \cdot n_H = \left\{ 1 - \left(\sum \frac{n_L}{N_L}\right)^b \right\} \cdot c_0 \quad (5)$$

単調塑性ひずみを導入した試験片の疲労限を $\Delta \sigma_{0caf}$ 、繰返し塑性ひずみを受けた試験片の疲労限を $\Delta \sigma_{caf}$ とし、単調塑性ひずみを導入した試験片と繰返し塑性ひずみを導入した試験片の疲労限が現れる繰返し回数が等しいと仮定すると、繰返し塑性ひずみを受けた試験片の疲労限が次式で与えられる。

$$\Delta S_{caf} = \Delta S_{0caf} \left\{ 1 - \left(\sum \frac{n_L}{N_L}\right)^b \right\}^{1/m_0} \quad (6)$$

繰返し塑性ひずみを受けた溝入り試験片の S - N 曲線および疲労限を図-5 に示す。実験結果は式(5)、(6)の直線の間分布している。

表-1 ひずみ範囲の変動パターン

試験片	前半载荷	後半载荷	(n_L/N_L)
T1	=2.47%	=0.78%	0.101
	$\frac{n_L}{N_L} = 0.055$	$\frac{n_L}{N_L} = 0.046$	
T2	=0.83%	=2.60%	0.114
	$\frac{n_L}{N_L} = 0.052$	$\frac{n_L}{N_L} = 0.062$	
T3	=0.83%	=2.61%	0.459
	$\frac{n_L}{N_L} = 0.214$	$\frac{n_L}{N_L} = 0.245$	
T4	=2.82%	* =1.00%	0.612
	$\frac{n_L}{N_L} = 0.293$	$\frac{n_L}{N_L} = 0.321$	

* :ひずみゲージ剥離のため、ひずみの目標値で整理

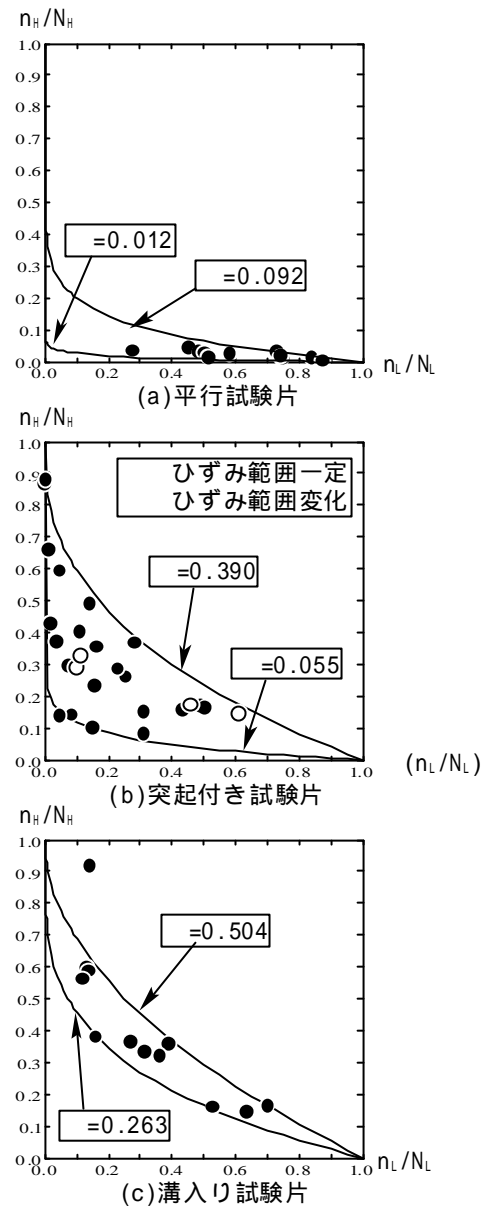


図-4 n_L/N_L と n_H/N_H の関係

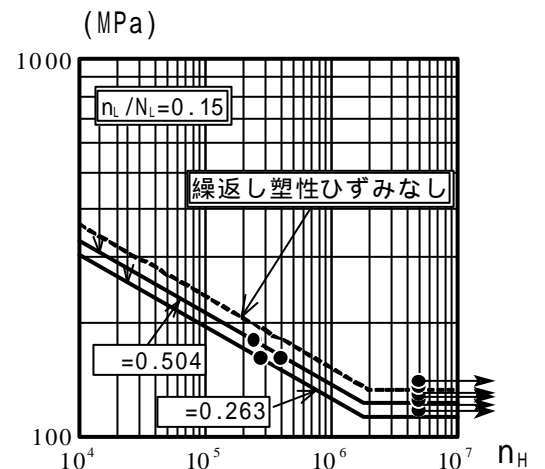


図-5 繰返し塑性ひずみを受けた溝入り試験片の S - N 曲線および疲労限