

I-114 亀裂のある鋼板の孔にドリフトピンを圧入した場合の疲労強度

栃木県 正員 本間 毅
 宇都宮大学 正員 阿部英彦
 トビー工業 土橋健治

1. はじめに

ドリルで孔を明けた鋼板は、孔による応力集中により平滑材に比べて、疲労強度が相当低下することが知られている。前年度までの研究で、この円孔に0.1~0.5mm太い径のドリフトピン(以下ピンと呼ぶ)を圧入することで、孔明けのままの試験体よりも疲労強度は著しく向上することが明らかとなった。本研究では、孔縁から約3mm疲労亀裂が進展した後に、小径差のピンを圧入したものに対しても繰り返し荷重を加えた結果、寿命の延伸に効果のあることがわかった。これは、亀裂を残したままストップホールを明けた場合や、孔から再び亀裂が進展し始めた場合の応急処置に役立つものと考えられる。また、有限要素法による3次元弾性解析により、ピンを圧入した鋼板の応力状態についての検討を行った。

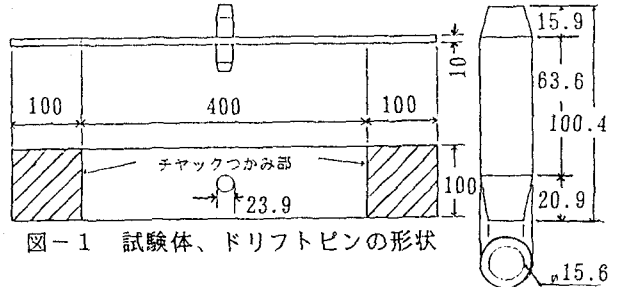


図-1 試験体、ドリフトピンの形状

2. 実験概要

試験体は図-1に示す通りで、側面は機械仕上げを行い、円孔は同一のドリルで開けた。鋼材の機械的性質は表-1に示す通りである。ピン径は表-2に示すように細かく変えた。試験機は電気油圧式サーボ型疲労試験機(容量30tf)、応力波形は正弦波、繰り返し速度は毎秒7回、下限荷重1.52tf(公称応力2.0kgf/mm²)の繰り返し片振引張を与えた。まず試験体に図-2のようにひずみゲージを貼り、上限荷重16.74tf(公称応力22kgf/mm²)で疲労試験機にかけた。そして亀裂が発生し、左右表裏4枚のいずれかのゲージが破断した時点をもって機械を停止した。その後、径差の異なるピンを圧入し、それぞれ種々の応力範囲で疲労試験を行い、その寿命を調べた。なお、全面破断をもって疲労寿命とした。

表-1 鋼材の機械的性質

材料	降伏応力 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び %
SS41	30	46	33

表-2 ドリフトピンの種類

ピンタイプ	ピン径(mm)	挿入量(mm)
1	24.0	0.1
2	24.2	0.3
3	24.4	0.5

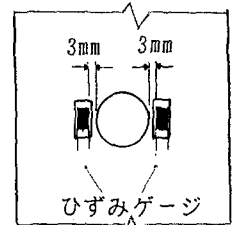


図-2 ひずみゲージ貼付位置図

3. 実験結果

疲労亀裂が3mmに達した後の疲労寿命を、図-3のS-N線図で示す。孔明けの試験体、およびピンを圧入した試験体の破断までの繰り返し数を比較してみると28ないし24.5kgf/mm²といった高い応力範囲では、ピン圧入の効果あまり見られない。しかし、応力範囲が22kgf/mm²程度以下になるとピンの圧入により疲労寿命がかなり伸びて来て、径差の影響も顕著になる。この傾向は応力範囲が小さくなるにつれてより明確に現れてくる。例えば応力範囲17.5kgf/mm²での寿命は、径差0.1mmで孔明け材の約4倍、径差0.3mmでは約12倍、径差0.5mmでは約19倍となった。

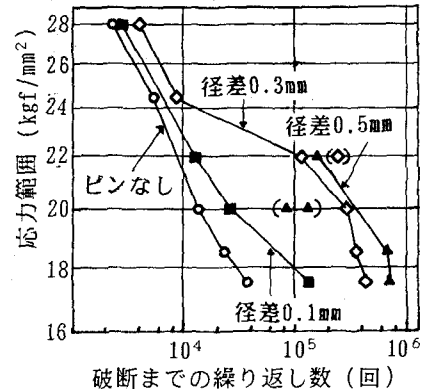


図-3 S-N線図

4. 有限要素法による解析

今年度はピンが鋼板により搾り込まれる効果を見るために、図-4に示すように、孔明け試験体にピンを圧入した状態を3次元的にモデル化して、有限要素法により解析した。モデルの対称性より、厚さ方向も含め全体の8分の1の範囲を解析の対象とした。そして、孔と同じ径のピンが円孔の中で熱膨張するものとして鋼板内およびピン内部の応力状態を弾性解析した。なお、この時の温度はピンの自由な熱膨張量が径差に

なるように設定した。図-5に径差0.1mmのピンを圧入した場合の接線方向の応力の分布例を示す。孔縁の部分では鋼板の側面に比べて約7倍の応力が作用していることがわかる。また、厚さ方向での差を見ると、鋼板表面での応力よりもその少し内部での応力の方がむしろ

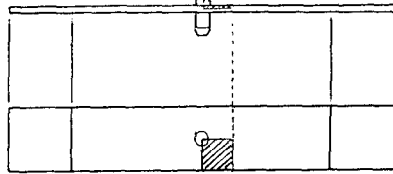


図-4 (a) 解析範囲

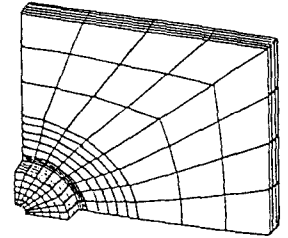


図-4 (b) 立体図

高い傾向がある。また応力はピンの部分では圧縮方向に、そして鋼板の部分では引張方向に働いていることがわかる。図-6は、孔縁近辺の応力の分布を拡大して示したものである。比較のために2次元解析(同じプログラムであるが、孔部も板部も同厚で厚さ方向には分割せず、孔部のヤング率を変化させ、かつ、孔部を温度上昇させて解析したものも併せて示した。これによると、2次元解析で孔部のヤング率を1.3~1.4倍と仮定すれば、3次元解析による孔縁の応力値と近似することがわかる。ただし、3次元の場合、表面から2番目の層からは値がほとんど一致しているが、表面層では値が小さくなっているため、この値はこの図では除いた。

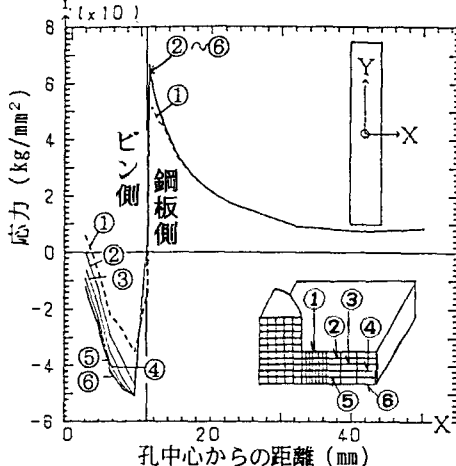


図-5 応力分布(弾性解析)

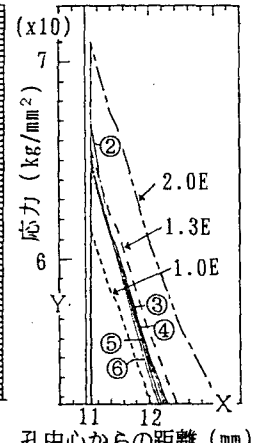


図-6 拡大図

5. 考察

孔にピンを圧入した試験体を引っ張った場合、荷重が低い間は孔とピンとが密着しており、荷重が増すにつれて孔が伸び、孔縁とピンとが離れ始める。これによりピン圧入による余圧が減少して、孔周辺での応力振幅が急に大きくなり、疲労破壊を促進するものと考えられる。これを確かめるために、亀裂が入った孔にピンを圧入したものと、圧入しないものとの両方に対して、疲労試験における上、下限荷重を静的に載荷して、亀裂先端でのひずみを測定した。3つの試験体について、その主たる亀裂発生側の表裏のゲージが示すひずみの変動量の平均値を図-7で比較する。ピン圧入のものは、圧入しないものに比べてかなりひずみが小さいことがわかる。また、ピンを圧入しないものは、線形性が良く保たれているが、圧入したものは非線形性を示している。径差0.3mmの場合の方が、径差0.5mmの場合よりも剛となっているが、これは径差0.3mmの試験体では裏側の亀裂が小さかったためであると考えられる。

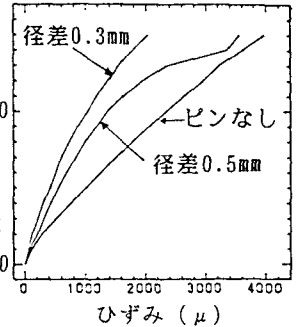


図-7 ひずみの変動量

6. 結論

- (1) 亀裂のある鋼板の孔にドリフトピンを圧入することにより、その後の鋼板の寿命は著しく向上する。特に低荷重域ではその傾向が強い。また径差による疲労寿命への影響は大きく、径差が大きくなると寿命も長くなる。
- (2) ピンの圧入により、孔縁におけるひずみの変動量が減少することが観察され、このことが寿命の伸延に対して効果があると考えられる。
- (3) ピン圧入をピンの熱膨張に置き換えた、有限要素法による3次元弾性解析の結果、ピン圧入による鋼板内の応力の分布は、厚さ方向での差を見ると、鋼板表面での応力よりも、その少し内部の方が高い。