

### 325 繰返し変動圧力を受ける安全破裂板の疲労強度(実物要素の疲労特性)

小宮, 直樹 / 大川, 功

---

(出版者 / Publisher)

日本材料学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

学術講演会前刷 / 学術講演会前刷

(巻 / Volume)

41

(開始ページ / Start Page)

327

(終了ページ / End Page)

329

(発行年 / Year)

1992-05-22

芝浦工業大学  
法政大学工学部

正 ○ 小 宮 直 樹  
正 大 川 功

### 1. 緒 論

圧力容器、配管系などの密閉された部材が過剰圧力あるいは負圧により破損することを防止するための安全装置として安全破裂板が用いられる。著者らはこれまでに、引張破裂型破裂板が一定圧力の繰返しを受ける場合の疲労寿命および繰返しにともなう静破裂圧力の変化について調べた<sup>1), 2)</sup>

しかし、実機においては繰返し圧力は多様に変動すると考えられることから、本研究では上記一定繰返し圧力の場合に加え、まず最も基本的な変動パターンである二段二重試験を行い、寿命および繰返し後の静破裂圧力の変化について検討した。

### 2. 試料および実験方法

**2.1 試料** 供試材はCu 99.96%のタフピッチ銅(C1100)の薄円板で、外径150 mm、平均板厚は0.08 mmである。水素ガスふん囲気中、550℃で2h保持後徐冷の焼鈍を施し、試験に供した。熱処理後の機械的性質を表1に示す。また、図1に示すように試料を固定し、0.05MPa/秒で昇圧して静破裂圧を求め、これを定格破裂圧 $P_s$ とした。これを表中にあわせて示す。

**2.2 繰返し作用圧一定試験** 試料に $P_s$ の50~90%の一定空気圧 $P_c$ を負荷し、大気圧との間を10秒周期で繰返して疲労破裂するまでの繰返し数 $N_f$ を求めた。

また、 $P_s$ の50~80%の一定作用圧 $P_c$ を所定の回数だけ繰返した後の静破裂圧 $P_{cs}$ の変化を調べ、これより $P_{cs}$ が定格破裂圧 $P_s$ の95%を維持する限界の繰返し数 $N_L$ (安全破裂板の使用限界ともいべき繰返し数で、以下これを耐用限界と呼ぶ)を求めた。さらに所定の回数繰返し後に試料中央部より試験片を切り出し、引張特性および硬さの変化について調べた。

**2.3 繰返し作用圧変動試験** 一次作用圧 $P_{c1}$ から二次作用圧 $P_{c2}$ へと一次繰返し数比 $R_1=N_1/N_{f1}$ にて変動した場合の $P_{c2}$ での疲労破裂するまでの繰返し数比 $R_2=N_2/N_{f2}$ を求めた。 $P_{c1}=0.6P_s$ から $P_{c2}=0.8P_s$ へと変動の場合は $R_1=0.23, 0.45, 0.68$ 、 $P_{c1}=0.5P_s$ 、 $P_{c2}=0.8P_s$ の場合は $R_1=0.25, 0.50, 0.75$ とした。

さらに、 $P_{c1}=0.6P_s$ 、 $R_1=0.45$ および $P_{c1}=0.5P_s$ 、 $R_1=0.50$ 繰返し後に $P_{c2}=0.8P_s$ に変動して破裂圧 $P_{cs}$ の変化を調べ、2.2と同様に耐用限界 $N_L$ を求めた。

### 3. 実験結果および考察

**3.1 繰返し作用圧一定試験** 一定繰返し作用圧 $P_c$ 下での供試材の疲労寿命 $N_f$ を図2に示す。 $P_c$ が定格破裂圧 $P_s$ の50%あるいは $N_f=10^5$ 付近までの寿命はほぼ片対数線図上の直線で表すことができる。

図3に一定圧力 $P_c$ を所定の回数繰返した後の静破裂圧 $P_{cs}$ の変化を示す。図中の水平破線は定格破裂圧 $P_s$ の±5%を表している。いずれの $P_c$ においても $P_{cs}$ は繰返し数比 $R=N/N_f=0$ での $P_{cs}=P_s=100\%$ から繰返しにともなう減少し、 $R=1$ においてついに $P_{cs}<P_c$ となって破裂する傾向を示す。著者らはこの $P_{cs}$ の変化傾向を次式により表した。<sup>2)</sup>

$$\frac{P_{cs}-P_c}{1-P_c} = (1-R)^m \quad (1)$$

図中の曲線は式(1)により描いたものであるが、 $P_c$ が小さくなるにつれて $P_{cs}$ の低下は遅くなる傾向が認められ、これに対応して $m$ の値も $P_c=80\%$ では0.348に対し、 $P_c=50\%$ では0.0618と小さくなる。

表1 機械的性質および静破裂圧

Mechanical properties		
0.2% proof stress	MPa	65
Ultimate strength	MPa	187
Elongation	%	28
Static burst pressure $P_s$	MPa	0.497
Vickers hardness	Hv	54

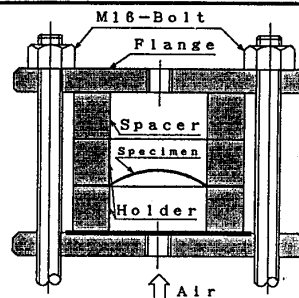


図1 試料の固定方法

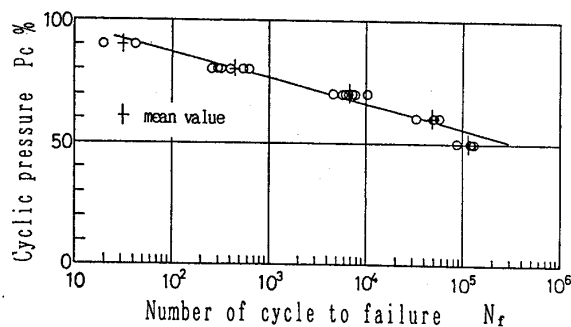


図2 一定繰返し圧力下での疲労寿命

また図中の鉛直破線は定格破裂圧 $P_s$ の95%を維持する限界の繰返し数比(耐用限界繰返し数比) $R_L$ を示しており、これは式(1)を用いると

$$R_L = \frac{N_L}{N_r} = 1 - \left[ \frac{0.95 - P_c}{1 - P_c} \right]^{1/m} \quad (2)$$

により求められる。 $P_c=80\%$ では $R_L=0.56$ に対し、 $P_c=50\%$ では $R_L=0.82$ となり、繰返し圧力が低い場合は疲労寿命の近傍まで使用可能であることがわかる。

ここで、耐用限界 $N_L$ に基づく繰返し数比

$$R' = \frac{N}{N_L} = \frac{N/N_r}{N_L/N_r} = \frac{R}{R_L} \quad (3)$$

を用いると、式(1)より次式が得られる。

$$\frac{P_{cs} - P_c}{0.95 - P_c} = \left[ \frac{1 - R_L R'}{1 - R_L} \right]^m \quad (4)$$

式(4)は耐用限界に至るまでの $P_{cs}$ の変化を $R'$ に対して表示したものであり、これを図4に示す。

図5は一定圧力 $P_c=80, 70$ および $60\%$ の繰返しにともなう引張特性と硬さの変化を示したものである。図中の水平線は処女材の、左端の実験点は1サイクル繰返し後の値である。いずれの作用圧においても最初の1サイクルで耐力、引張強さ、硬さはともに著しく増加し、逆に伸びは減少しており、顕著な硬化を示す。以後の変化は比較的緩やかで、耐力、引張強さはしだいに減少し、やや軟化することを示している。

### 3.2 繰返し作用圧変動試験

図6は横軸に一次圧力 $P_{c1}$ での繰返し数比 $R_1=N_1/N_{r1}$ 、縦軸に二次圧力 $P_{c2}$ での繰返し数比 $R_2=N_2/N_{r2}$ ととり、変動圧力下での寿命試験結果を示したものである。(a)、(b)ともに $R_2$ の実験値のばらつきは大きい、平均値はいずれもMiner則を示す斜線の下方に位置しており、累積繰返し数比 $\Sigma R=R_1+R_2$ は1よりも大となる。また、一定圧力 $P_{c1}$ 、 $P_{c2}$ での $P_{cs}$ の変化はいずれも式(1)で表されるから、指数をそれぞれ $m_1$ 、 $m_2$ とすると、 $R_1$ において $P_{c1}$ から $P_{c2}$ へと変動した場合、繰返し数比 $R_2$ は

$$R_2 = \frac{1}{1 - P_{c2}} [(1 - P_{c1})(1 - R_1)^{m_1} - (P_{c2} - P_{c1})]^{1/m_2} \quad (5)$$

により求められる。図中の曲線は式(5)により描いた

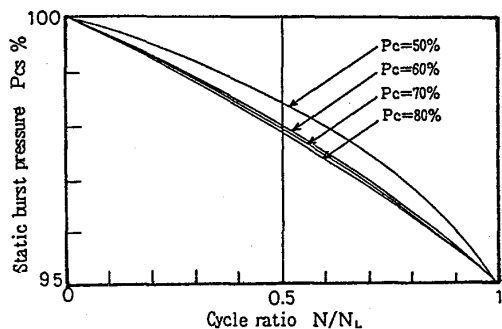


図4 耐用限界に至るまでの静破裂圧の変化

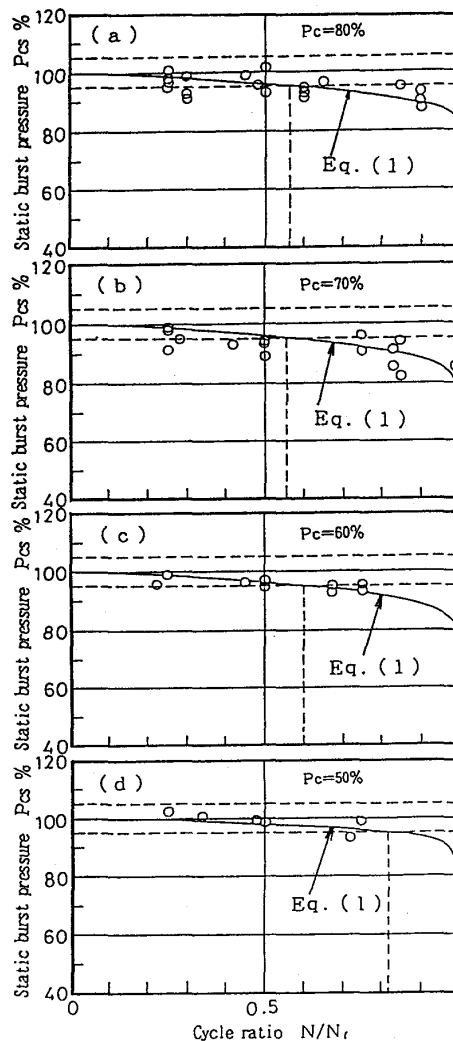


図3 一定圧力繰返しにともなう静破裂圧の変化

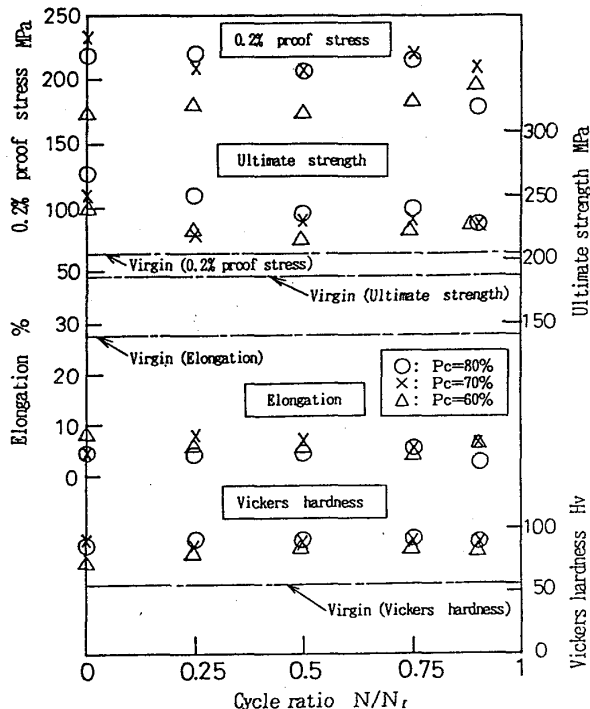


図5 一定圧力繰返しにともなう機械的性質の変化

もので、(a)ではほぼ Miner則が成立、(b)では $\Sigma R > 1$ となるが、いずれも $\Sigma R$ は実験値の方が大きい。

図7に変動後の二次圧力 $P_{c2}$ での静破裂圧 $P_{cs}$ の変化を示す。実線は式(1)を、また一点鎖線は実験点の変化傾向を表す曲線である。縦の破線はこれらの曲線に対する耐用限界繰返し数比 $R_L$ を示す。(a)、(b)いずれの場合とも変動後の $P_{c2}$ での $P_{cs}$ の低下は、式(1)の処女材に $P_{c2}$ を繰返した場合に比べてかなり遅く、これに対応して $R_L$ もかなり大きくなることわかる。

つぎに一定圧力 $P_{c1}$ 、 $P_{c2}$ での $R_L$ をそれぞれ $R_{L1}$ 、 $R_{L2}$ とし、 $R_1$ において $P_{c1}$ から $P_{c2}$ へと変動したとすると、耐用限界に基づく変動時の繰返し数比は式(3)より $R' = R_1/R_{L1}$ で、また耐用限界に達するまでの繰返し数比は、式(5)と同様にして次式より求められる。

$$R_2' = 1 - \frac{1}{R_{L2}} \left[ 1 - \frac{1}{1 - P_{c2}} \{ (1 - P_{c1})(1 - R_1)^{m-1} - (P_{c2} - P_{c1})^{1/m-2} \} \right] \quad (6)$$

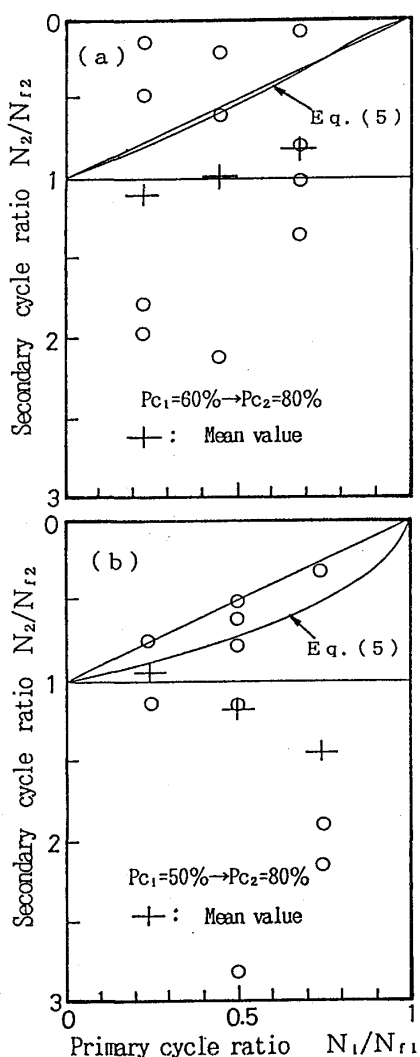


図6 変動圧力下での疲労寿命

図8は変動圧力下での耐用限界に関する一次および二次繰返し数比 $R_1' = N_1/N_{L1}$ と $R_2' = N_2/N_{L2}$ の関係を示したものである。図6の疲労寿命の場合と同様、耐用限界に関しても $\Sigma R' > 1$ となるが、実験値は式(6)による値よりも大となった。

#### 4. 結論

本研究により、Cu安全破裂板の一定圧力 $P_c$ の繰返しにともなう静破裂圧 $P_{cs}$ の変化は式(1)により表すことができ、 $P_c$ が小さいほど $P_{cs}$ の低下は遅いことが明らかとなった。また二段二重変動圧力下では、圧力上昇の場合、寿命および耐用限界に関する累積繰返し数比は1よりも大となり、いずれも一定圧力に対する式(1)による予測値よりもかなり大きいことがわかった。

#### 参考文献

- 1) 小宮直樹, 大川 功, 第19回疲労シンポジウム前刷集, 170(1988).
- 2) 小宮直樹, 大川 功, 第39期日本材料学会学術講演会前刷集, 49(1990).

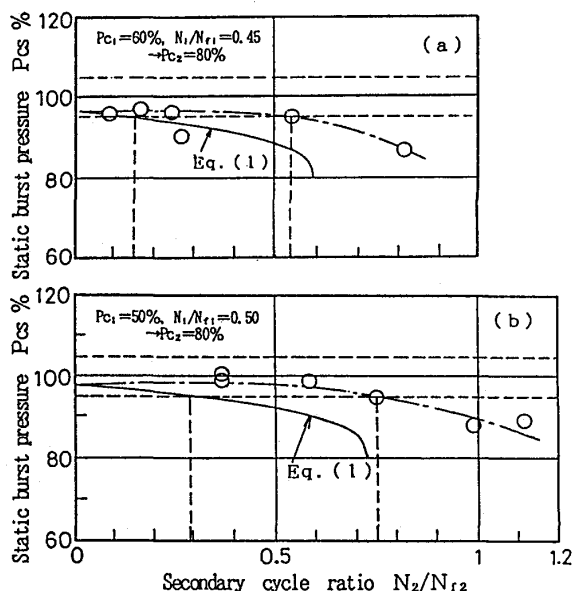


図7 繰返し圧力変動後の静破裂圧の変化

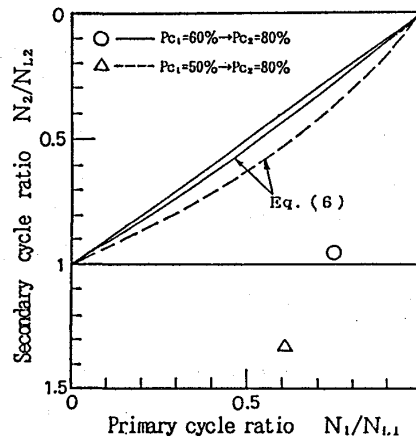


図8 変動圧力下での耐用限界