JUNE 1980

RIIS-RR-28-4

UDC 621.924

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-28-4

最大引張歪クライテリオンの砥石破壊への適用

粂　川　壮　一
吉　久　悦　二

労働省産業安全研究所
MINISTRY OF LABOUR
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

最大引張歪クライテリオンの砥石破壊への適用

—ビトリファイド砥石の直径方向圧縮破壊の場合*—

粂川壮一**, 吉久悦二**

Application of a Maximum Tensile Strain Criterion to the Fracture of Grinding Wheels

—A Case of the Fracture of Vitrified Grinding Wheels under Diametral Compression Test—

by Soichi Kumekawa Etsuji Yoshihisa

Disk specimens and ring specimens which are made of vitrified grinding wheels are loaded along the diameter until they split, and the relation between grinding wheel strength in biaxial state of stress and that in uniaxial state of stress is investgated by adopting the maximum tensile strain criterion for fracture.

Therefore the both equivalent stress of the maximum tensile strain in each state of stress is in good agreement.

The summary from the experimental results is as follows :

(1) Poisson's ratio of the disk specimen measured just before fracture under diametral compression test is 0.27.

(2) Contact width between the disk specimens and loading plates is about the valve of 0.2 times the diameter of the disk specimens (see Table 2)

(3) Under diametral compression tests using crack detect circuits as shown in Fig. 5 and Fig. 6, a initiation crack in the ring specimen grows at the edge of inner hole along the loading axis and that in the disk specimen grows outer part along the loading axis not at the center.

(4) The both equivalent stress of the maximum tensile strain in the disk and in the ring is in good agreement on the basis of the above results (1) to (3). (see Table 4)

(5) Fracture of the disk and the ring specimens which are made of vitrified grinding wheels can be explained well by adopting the maximum tensile strain criterion from the experimental results descrived above.

---

* 昭和 55 年度精機学会春季大会学術講演会において発表

** 機械研究部 Mechanical Engineering Research Division

1. 緒　言

回転中の研削砥石の破壊について従来は，主として平形砥石の遠心破壊強度すなわち1軸引張応力を基本として評価されていたが[1,2,3]，カップ形などの異形砥石の回転中の破壊や，研削荷重など遠心力以外の負荷を受けた状態での破壊を検討する場合には，多軸応力状態での砥石の破壊についての考察が必要となるであろう。

引張応力と圧縮応力の2軸応力状態における脆性材料の破壊については，従来から圧裂試験として黒鉛[4,5]やコンクリート[6]，岩石[7]などの研究がある。しかしながら，脆性材料の多軸応力状態における破壊強度についての確定的なクライテリオンは，従来の研究によってはまだ究明されてはいない[7]。

ところで，脆性材料の破壊に対し，最大引張歪クライテリオンが成立つという研究[8]がある。

一般の3軸応力状態では，ある主応力方向の引張歪は

$$\varepsilon_1=\frac{1}{E}\{\sigma_1-\nu(\sigma_2+\sigma_3)\} \qquad (1)$$

ここに　E：縦弾性係数

ν：ポアソン比

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$：主応力

として表わされ，この (1) 式を変形して得られる σ_e の値

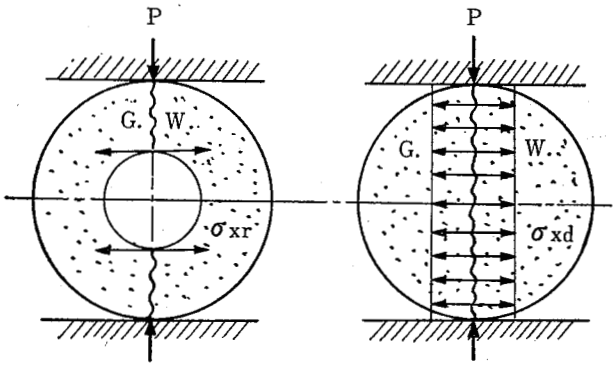
$$\sigma_e=E\cdot\varepsilon_1=\sigma_1-\nu(\sigma_2+\sigma_3) \qquad (2)$$

は，歪の等価応力 (equivalent stress) と呼ばれるが，この最大引張歪クライテリオンによれば，(1) 式で得られる引張歪 ε_1（または，その等価応力 σ_e）の最大値があるクリティカルな値に到達すると破壊を生ずることになる。

本報では，脆性材料の一つである砥石の1軸応力状態と2軸応力状態における破壊に対する最大引張歪クライテリオンの適用の検討を目的とし，その第一段階としてビトリファイド砥石について実験的検討を行ない，かなりの適用性を得たので報告する。

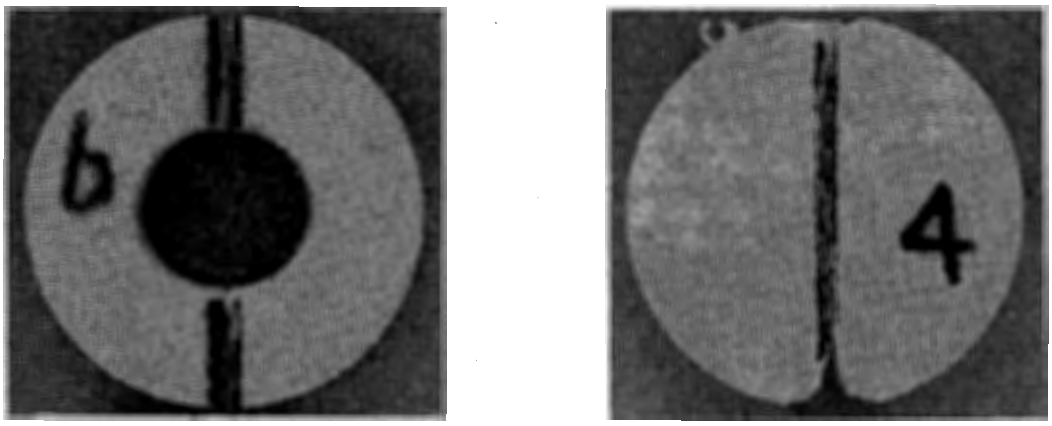
2. 応力解析

Fig. 1-(a) および **(b)** に示すように円輪形砥石および円板形砥石を直径方向に圧縮すると，**Photo 1-(a)** および **(b)** に示すように荷重方向の直径に沿って2個に破壊する。従って，荷重方向と垂直に引き裂く応



(a) Ring　　(b) Disk

Fig. 1 Diametral compression test
直径方向圧縮破壊



(a) Ring specimen　　(b) Disk specimen

Photo 1 Specimens fractured in diametral compression test
直径方向圧縮試験における破壊形態

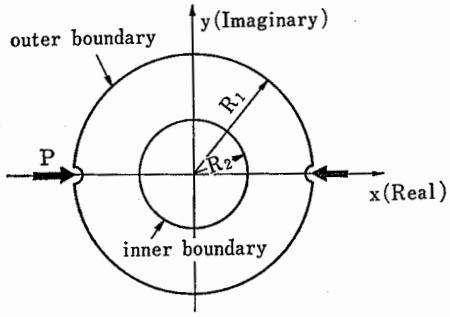


Fig. 2 Boundary condition for a ring
円輪形試験片の境界条件

力すなわち引張応力が破壊に関与していると考えられるので，まずここでは，荷重方向の直径上の応力について解析する。

2.1 一様厚さの中心孔を有する円板が直径方向の対向する集中荷重を受けた場合[9)]

複素平面上に **Fig. 2** のような，円輪形の2重連結領域を考え，外周上で実軸方向に対向する外力を受けているものとすると，外力の特異性を考慮した2つの Goursat の応力関数は

$$\left.\begin{aligned}\varphi(z)&=\frac{P}{2\pi}\log\frac{R_1-z}{R_1+z}+\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_nz^n\\ \psi'(z)&=-\frac{P}{2\pi}\left[\log\frac{R_1-z}{R_1+z}+\frac{R_1}{z-R_1}+\frac{R_1}{z+R_1}\right]\\ &\quad+\sum_{n=-\infty}^{\infty}b_nz^n\end{aligned}\right\}\quad(3)$$

と表わされて境界条件は，内周（$z=R_2e^{i\theta}$）および外周（$z=R_1e^{i\theta}$）で

$$[\varphi'(z)+\overline{\varphi'(z)}]-e^{2i\theta}[\bar{z}\varphi''(z)+\psi''(z)]=0\quad(4)$$

である。

(3) の両式を (4) 式に代入して未定係数法により，a_n，b_n を定めて，応力について整理すると次のようになる。

$$\begin{aligned}\sigma_y=R_e\Big[&-\frac{P}{\pi}\left\{\frac{1}{R_1-z}+\frac{1}{R_1+z}\right\}+2\sum_{n=-\infty}^{\infty}na_nz^{n-1}\\ &+\frac{P\bar{z}}{2\pi}\left\{\frac{1}{(R_1+z)^2}-\frac{1}{(R-z)^2}\right\}\\ &+\bar{z}\sum_{n=-\infty}^{\infty}n(n-1)a_nz^{n-2}+\frac{P}{2\pi}\left\{\frac{1}{R_1-z}+\frac{1}{R_1+z}\right.\\ &\left.+\frac{R_1}{(R_1-z)^2}+\frac{R_1}{(R_1+z)^2}\right\}+\sum_{n=-\infty}^{\infty}nb_nz^{n-1}\Big]\end{aligned}\quad(5)$$

これを，荷重軸上（$y=0$）について求めると

$$(\sigma_y)_{y=0}=\sum_{n=-\infty}^{\infty}n[(n-1)a_n+b_n]X^{n-1}\quad(6)$$

となる。

ここに

$$\varDelta_n=\{1-(R_2/R_1)^n\}R_1{}^n$$

$$A_0=\frac{2P}{\pi R_1}\qquad A_2=\frac{P}{\pi R_1}\{2-(R_2/R_1)^2\}$$

$$A_{2n}=\frac{P}{\pi R_1}\{2n(R_2/R_1)^{2(n-1)}+(1-2n)(R_2/R_1)^{2n}\}\quad(n\geqq2)$$

$$A_{-2n}=\frac{P}{\pi R_1}(R_2/R_1)^{2n}\quad(n\geqq1)$$

$$A_{2n-1}=A_{-2n+1}=0\quad(n\geqq1)$$

$$X=R/R_1\quad(R_2\leqq R\leqq R_1)$$

$$D_n=-A_n(R_2/R_1)^{-n+2}R_1{}^{-n+2}$$

として

$$a_0=b_0=0$$

$$a_1=\frac{P}{\pi R_1}\,\frac{1-2(R_2/R_1)^2}{2\{1-(R_2/R_1)^2\}}$$

$$b_{-1}=\frac{P}{\pi R_1}\,\frac{(R_2/R_1)^2R_1{}^2}{1-(R_2/R_1)^2}$$

$$a_2=b_{-2}=0$$

$$\left.\begin{aligned}a_{-n+1}&=\frac{D_{-n}\varDelta_2-\{D_n/(1-n)\}\varDelta_{2n+2}}{(1-n^2)\varDelta_2{}^2-\varDelta_{2n+2}\varDelta_{-2n+2}}\\ a_{n+1}&=\frac{D_n\cdot\varDelta_2-\{D_{-n}/(1+n)\}\varDelta_{-2n+2}}{(1-n^2)\varDelta_2{}^2-\varDelta_{2n+2}\varDelta_{-2n+2}}\end{aligned}\right\}\quad(n\geqq2)$$

$$\left.\begin{aligned}b_{-n-1}&=\frac{A_{-n}}{1+n}R_2{}^{n+2}-a_{n+1}R_2{}^{2n+2}-a_{-n+1}(1-n)R_2{}^2\\ b_{n-1}&=\frac{A_n}{1-n}R_2{}^{-n+2}-a_{-n+1}R_2{}^{-2n+2}-a_{n+1}(1+n)R_2{}^2\end{aligned}\right\}\quad(n\geqq2)$$

である。

2.2 一様厚さの円板が直径方向の対向した集中荷重を受けた場合[9)]

同様に複素平面上に **Fig. 3** のような円板形の単連結領域を考え，実軸方向に対向する外力を受けているものとすると，外力の2つの特異性を考慮した2つの Goursat の応力関数は (3) 式中の Laurent 級数を Taylor 級数に変えた式で表わされ，境界条件も同様に外周で (4) 式で与えられる。そして，**Fig. 3** において荷重軸上（$y=0$）の応力を求めると

$$\left.\begin{aligned}\sigma_x&=-\frac{P}{\pi R}\left(\frac{R^2}{R^2-x^2}-1\right)\\ \sigma_y&=\frac{P}{\pi R}\\ \tau_{xy}&=0\end{aligned}\right\}\quad(7)$$

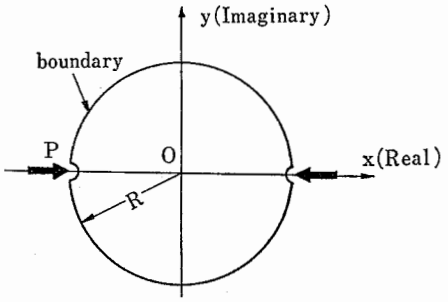


Fig. 3. Boundary condition for a disk
円板形試験片の境界条件

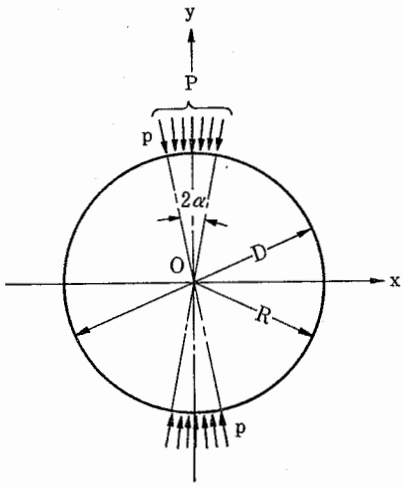


Fig. 4. Diametral compression of a disk over an angular width of 2α
中心角 2α なる接触幅を有する円板の直径方向圧縮

となる*。

しかしながら，荷重点において試験片と加圧板とが接触幅を有する場合は，上記 (7) による応力分布とは異なる訳であるが **Fig. 4** に示すように中心角 2α だけ均一に分布する対向した荷重 P を受ける円板の場合は，荷重軸上の応力は次式によって与えられる[10]。

荷重方向の応力は

$$\sigma_y=-\frac{2p}{\pi}\left\{\frac{(1-\rho^2)\sin 2\alpha}{(1-2\rho^2\cos 2\alpha+\rho^4)}+\tan^{-1}\left[\frac{(1+\rho^2)}{(1-\rho^2)}\tan\alpha\right]\right\} \qquad (8)$$

また，荷重軸に垂直方向の応力は

$$\sigma_x=\frac{2p}{\pi}\left\{\frac{(1-\rho^2)\sin 2\alpha}{(1-2\rho^2\cos 2\alpha+\rho^4)}-\tan^{-1}\left[\frac{(1+\rho^2)}{(1-\rho^2)}\tan\alpha\right]\right\} \qquad (9)$$

ここに　p：円板外周上に 2α の角度で分布する単位角当りの一様荷重

P：p の総荷重

ρ：y 軸上の各点の半径に対する割合 $(=y/R)$

となる。

3. 実　験

3.1 試 験 片

実験に用いた砥石は **Table 1** に示すように砥粒WA，粒度 60#，結合度 M，組織 8，砥粒率 48%，ボンド率 16% であり，形状寸法は円板形試験片は外径 70 mm×厚さ 30 mm とし，円輪形試験片は外径 70 mm×厚さ 30 mm×孔径 30 mm とした。試験片寸法の実測偏差は，外径については +0.2 mm 以内，厚さについては +0.1 mm 以内，内径については +0.2 mm 以内であった。

なお，円輪形試験片は円板形試験片より中心孔を切除して作成したものであり，材質には差異はない。

3.2 実験方法

直径方向圧縮試験（以下単に“圧縮試験”と称す）は，10 Ton 用万能型引張試験機（TENSILON）に圧縮用ロードセルおよび付属の加圧板を装着し，各試験片の破壊荷重 P を測定した。圧縮試験の負荷速度（試験機クロスヘッドの下降速度）は，0.5 mm/min と設定した。

なお，荷重点における集中荷重により局部的に生ず

Table 1. Specimens
試験片

Grain	Grain Size	Grade	Bond
WA	60	M	Vitrified
Size(mm) / Type	Outer Diameter	Thickness	Inner Diameter
Ring	70	30	30
Disk	70	30	—

* 以上の解析においては，説明の都合上で荷重軸は x 軸としていたが，以下においては，荷重軸は y 軸としたので，記号の読み方にご注意下さい。

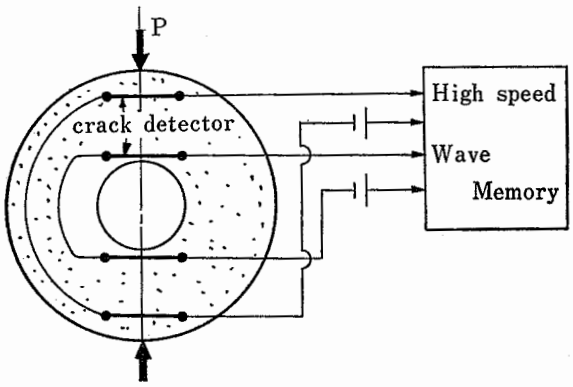


Fig. 5 Block diagram of the crack detect circuit for a ring
円輪形試験片の亀裂検出回路

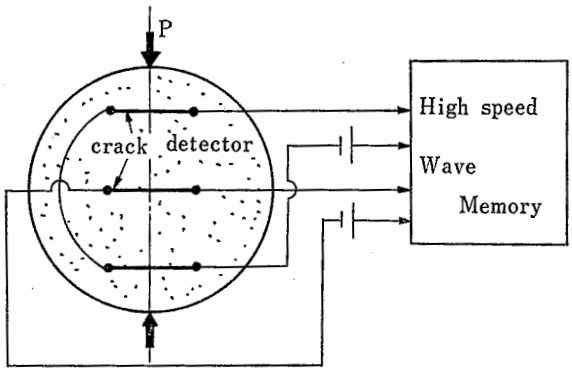


Fig. 6 Block diagram of the crack detect circuit for a disk
円板形試験片の亀裂検出回路

る chipping を減ずるため，また加圧板と試験片との接触幅を測定するために，市販品のアルミフォイル（厚さ 17 μ）を 16 枚重ねに折ったものを試験片と加圧板との間に挟んで負荷を行なった。

また，亀裂の発生部分を確認するための実験は，試料砥石の片面に薄く石膏を塗付し，砥粒が表面に多少露出する程度にまでエメリー紙をかけて平面として，**Fig. 5** および **Fig. 6** に示すように導電性塗料で幅約 1 mm の脆性回路を作成して亀裂の検出を行なった。亀裂の進展速度は高速なため，信号の記録はデジタル高速記録装置（Wave Memory-812 A）を用いて行ない。これをブラウン管オッシログラフで再生して撮影したポラロイド写真によって解析を行なった。

また，円板形試験片の圧縮試験時の破壊直前におけるポアソン比を測定するための実験は，上記と同様の石膏処理を試験片の片面に施し，ロゼット型 2 軸ゲージを貼付して荷重軸方向および荷重軸に垂直な方向の歪測定を行なった。

3.3 実験結果

3.3.1 圧縮試験における破壊荷重

円板形試験片 10 個および円輪形試験片 10 個について圧縮試験を行なって，各々の破壊荷重 P を測定した。破壊荷重の平均値および変動係数 C. V. は，

円板形試験片：P_d=6,316 kg　(C. V. =0.055)

円輪形試験片：P_r=740.8 kg　(C. V. =0.045)

であり，各試験結果を横軸に破壊荷重を採り，縦軸に累積破壊率を採ってプロットすると **Fig. 7** に示すようになる。そして，この Fig. 7 による破壊率 50% の破壊荷重は

円板形試験片：P_{d50}=6,180 kg

円輪形試験片：P_{r50}=732 kg

であるが，本報では，この破壊率 50% の破壊荷重 P_{d50} および P_{r50} を以下において，円板形試験片および円輪形試験片の破壊荷重と称する。

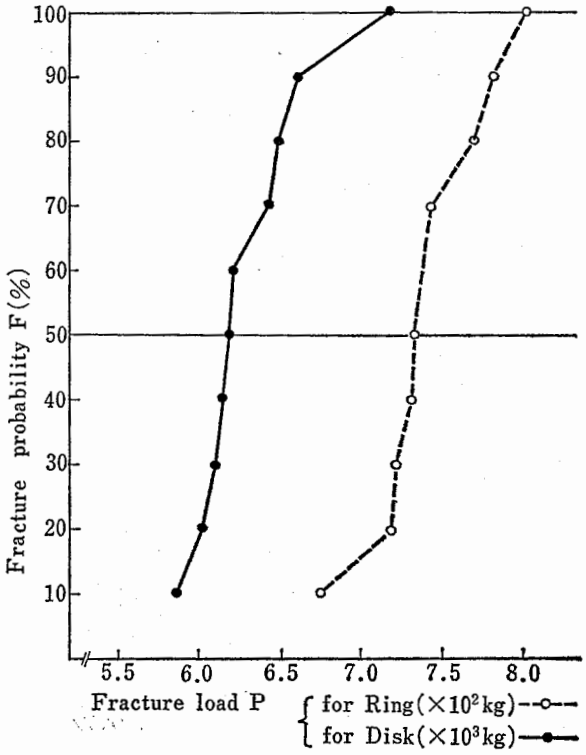


Fig. 7 Result of Diametral compression test
直径方向圧縮試験結果

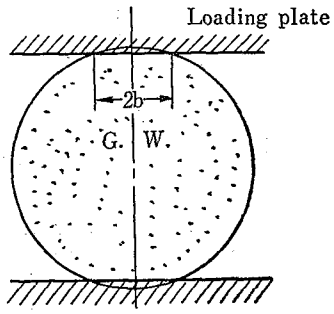
3.3.2　接触幅について

円板形試験片の圧縮試験では，荷重を増加させていく過程で加圧板と接触している試験片の部分が局部的に chipping を生じ，その接触幅が大きくなることが観察されたが，試験片が破壊に到った際の接触幅は，試験片と加圧板の間に挟んだアルミフォイルに残った痕跡から測定した。**Photo 2** は，その一例であり，**Table 2** は，10 個の円板形試験片の加圧板との接触幅である。ただし各データは，上部と下部の接触幅の測定値の平均を示しており，全体の平均値は 14.1 mm（変動係数 C.V.＝0.049）であった。すなわち，外径の約 0.2 の接触幅で破壊に到っている。

Photo 2　Contact marks on shims
接触幅の痕跡

Table 2.　Contact width between specimens and loading plates
試験片と加圧板との接触幅

Specimen No.	Contact width 2*b* (mm)
1	13.9
2	13.6
3	13.6
4	14.1
5	13.7
6	13.3
7	14.2
8	15.8
9	14.1
10	14.8



一方，円輪形試験片の圧縮試験では，3.3.1 で述べたように破壊荷重が低いため，荷重点における試験片の chipping もなく，加圧板との接触幅は 2～3 mm と非常に小さいため，接触幅として問題にする必要はないものと考える。

3.3.3　亀裂の発生部について

圧縮試験において，円板形試験片および円輪形試験片のいずれにしても荷重方向の直径に沿って 2 個に破壊しているのであるが，実際には，どの部分から亀裂が発生し進展しているのか，従来の研究では，コンクリートの場合[6] を除いて，殆んど明らかにされていないようである。そこで，本研究では，亀裂発生部分を知るために Fig. 5 および Fig. 6 に示した亀裂検出回路を作成し，亀裂の進行によって検出回路が破断される時間差によって，おおよその亀裂発生部分を確認した。**Photo 3** は，円板形試験片の場合のブラウン管オッシログラフに再生したポラロイド写真であり，外側の検出回路が中心の検出回路より先に破断していることが観察された。また，円輪形試験片の場合は，孔部に近接した検出回路が，外側の検出回路より先に破断していることが観察された。

3.3.4　破壊直前のポアソン比について

研削砥石のポアソン比については，従来の研究において 0.2～0.25[2,3,11] とされているが，本報では 3.2 で述べた 2 軸型の抵抗線歪ゲージによる測定の結果から，ビトリファイド砥石の円板形試験片の圧縮試験における破壊直前のポアソン比の値として 0.27 を得たので，この値を以下の計算に用いた。

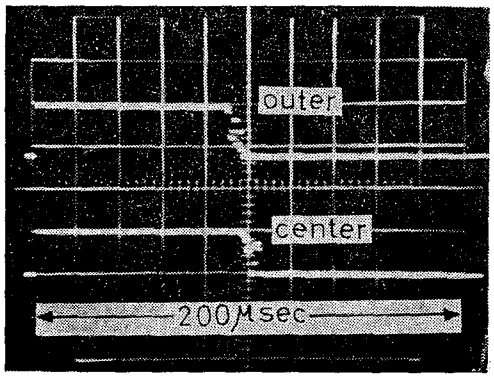


Photo 3　Synchroscopic records of crack detectors on a disk specimen
円板形試験片の亀裂検出記録

4. 考　察

以上の実験結果から，円板形試験片の圧縮試験における荷重軸上の応力分布について，2.2 の前半で集中荷重として行なった応力解析をそのまま適用するには，3.3.2 で述べた荷重点の接触幅についての実験結果から大きな無理があることが判る。従って，ここでは 2.2 の後半で述べた，中心角 2α だけ均一に分布する荷重を受ける円板の場合の応力解析を適用し，実験条件に近似した場合を考えることとする。

Fig. 4 において，$P=2p\alpha R$ であるから，この関係を (8) 式および (9) 式に適用すると

荷重方向の応力は

$$\sigma_y=-\frac{P}{\pi R}\frac{1}{\alpha}\left\{\frac{(1-\rho^2)\sin 2\alpha}{(1-2\rho^2\cos\alpha+\rho^4)}+\tan^{-1}\left[\frac{(1+\rho^2)}{(1-\rho^2)}\tan\alpha\right]\right\} \tag{10}$$

また，荷重軸に垂直方向の応力は

$$\sigma_x=\frac{P}{\pi R}\frac{1}{\alpha}\left\{\frac{(1-\rho^2)\sin 2\alpha}{(1-2\rho^2\cos 2\alpha+\rho^4)}-\tan^{-1}\left[\frac{(1+\rho^2)}{(1-\rho^2)}\tan\alpha\right]\right\} \tag{11}$$

となる。

Fig. 8 に示すような $2b$ なる接触幅を有する圧縮試験の場合について，上記の場合に近似してみると，α が微小な場合は，$2\alpha R\fallingdotseq 2b$ とおくことができるので

$$\alpha\fallingdotseq\frac{b}{R}=\sin\alpha$$

なる関係が得られる。

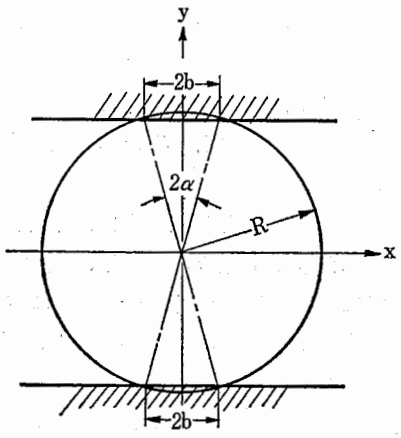


Fig. 8 Diametral compression of a disk over a contact width of $2b$
$2b$ なる接触幅を有する円板の直径方向圧縮

ところで，本実験の場合は，3.3.2 の結果から接触幅は，ほぼ $2b=0.2D=0.4R$ であるので

$$\alpha\fallingdotseq\frac{b}{R}=0.2$$

となる。

従って，この関係を (10) 式および (11) 式に代入すると

$$\sigma_y=-\frac{5P}{\pi R}\left\{\frac{0.39(1-\rho^2)}{1-1.84\rho^2+\rho^4}+\tan^{-1}\left[0.20\frac{(1+\rho^2)}{(1-\rho^2)}\right]\right\} \tag{12}$$

$$\sigma_x=\frac{5P}{\pi R}\left\{\frac{0.39(1-\rho^2)}{1-1.84\rho^2+\rho^4}-\tan^{-1}\left[0.20\frac{(1+\rho^2)}{(1-\rho^2)}\right]\right\} \tag{13}$$

となる。

そして，2.2 で述べた集中荷重とした場合の (7) 式で得られた結果と，上記の $0.2D$ なる分布幅を有する分布荷重とした場合の (13) 式で得られた結果について，円板試験片の分離方向の応力 σ_{xd} についてプロットすると **Fig. 9** のようになる。

一方，(6) 式より得られた結果を，円輪形試験片（本実験では内外径比：30/70）の分離方向の応力 σ_{xr} についてプロットすると **Fig. 10** のようになる。

すなわち，円輪形試験片の場合は，孔の縁の荷重方向の点で荷重軸に垂直な最大の引張応力が発生し，外側に向うに従って減少していき，ほぼ $y/R\fallingdotseq 0.7$ あたりから圧縮応力に変化し，荷重点で最大の圧縮応力となっている。そして一方，円板形試験片の場合では，集中荷重であると，一定の引張応力が荷重軸に垂直な方向に発生していることになるが，$0.2D$ 分布荷重の

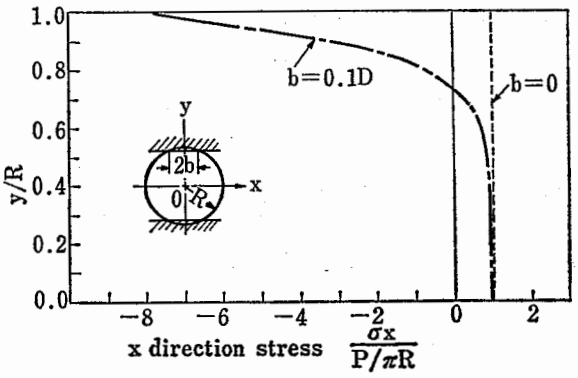


Fig. 9 Distribution of σ_x on the coordirate y for disk
円板形試験片の x 方向応力の荷重軸についての分布

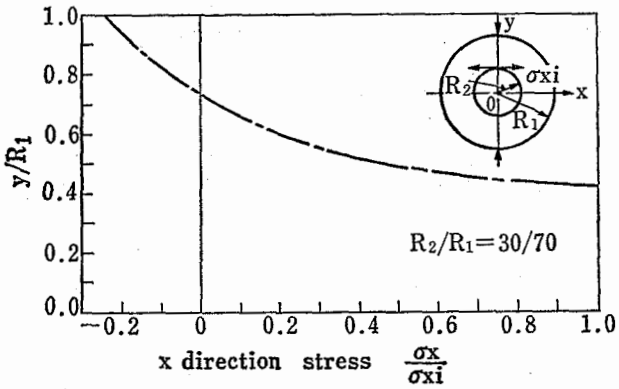


Fig. 10 Distribution of σ_x on the coordinate y for ring
円輪形試験片の x 方向応力の荷重軸についての分布

Table 3. Maximum tensile stress under the diametral compression
直径方向圧縮のもとでの最大引張応力

Type of specimen		Max. tensile stress (kg/mm²)		$\frac{\sigma_{xd}}{\sigma_{xr}}$
Ring		σ_{xr}	3.37	—
Disk	$b=0$	σ_{xd}	1.89	0.55
	$b=0.1$ D	σ_{xd}'	1.80	0.53

場合は，中心で最大の引張応力を発生し，外側に向うに従って徐々に減少し半径の約 2/3 あたりから急激に減少し，ほぼ $y/R=0.7$ あたりから圧縮応力に変化して，荷重点では中心における引張応力の約 8 倍の大きさの圧縮応力となっている。

よって，これらの引張応力の最大値を，3.3.1 に述べた圧縮試験における破壊荷重 P_{r50} および P_{d50} について各々計算すると，**Table 3** のようになる。

すなわち，円板形試験片の破壊時の最大の引張応力は，円輪形試験片のそれの約 53～55% の値としかなっていない訳けであり，破壊時の最大の引張応力を破壊のクライテリオンとすることは妥当でない。

そこで，圧縮試験におけるビトリファイド砥石の破壊は，荷重軸に垂直な方向の最大の引張歪が，あるクリティカルな値に到ったとき生ずるものと考える。すなわち，1. で触れた最大引張歪クライテリオンを導入してみることとする。

円輪形試験片については，荷重軸に垂直な方向の歪は，(1) 式の関係から

$$\varepsilon_{xr}=\frac{1}{E}\sigma_{xr} \tag{14}$$

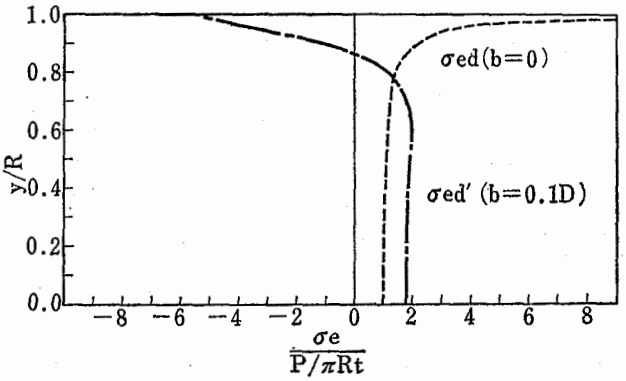


Fig. 11 Distribution of the equivalent stress on the loaded diameter for disk
円板形試験片の歪の等価応力分布

その等価応力は

$$\sigma_{er}=E\varepsilon_{xr}=\sigma_{xr} \tag{15}$$

で与えられる。

また，円板形試験片については，集中荷重とした場合の荷重軸に垂直な方向の歪は

$$\varepsilon_{xd}=\frac{1}{E}(\sigma_{xd}-\nu\sigma_{yd}) \tag{16}$$

その等価応力は

$$\sigma_{ed}=E\cdot\varepsilon_{xd}=\sigma_{xd}-\nu\sigma_{yd} \tag{17}$$

となり，また，0.2D 分布荷重とした場合の荷重軸に垂直な方向の歪は，同様にして

$$\varepsilon_{xd}'=\frac{1}{E}(\sigma_{xd}'-\nu\sigma_{yd}') \tag{18}$$

その等価応力は

$$\sigma_{ed}'=E\cdot\varepsilon_{xd}'=\sigma_{xd}'-\nu\sigma_{yd}' \tag{19}$$

で与えられる。

円輪形試験片の引張歪の 等価応力は，(15) 式から明らかなように，最大引張応力の発生点で最大の値を採るわけであるが，円板形試験片の等価応力は，(17) 式および (19) 式によって，その分布は **Fig.11** のようになる。

すなわち，集中荷重とした場合は，中心から半径のおよそ 1/4 あたりまで徐々に増加し，後急激に増大して荷重点では無限大に近づく。一方，0.2D 分布荷重の場合は，中心から徐々にわずか増加し，半径のおよそ 2/3 あたりで最大値を採り，その後急激に減少し荷重点近くでは，圧縮歪となっている。ところで，本研究では 3.3.3 に述べた実験結果から，中心よりも外側の部分で先に亀裂が発生して破壊に到ることを確認したことから，0.2D 分布荷重の場合として解析し，最

Table 4. Equivalent stress of maximum tensile strain under diametral compression
直径方向圧縮のもとでの最大引張歪みの等価応力

Type of spesimen		Equivalent stress (kg/mm²)		$\frac{\sigma_{ed}}{\sigma_{er}}$
Ring		σ_{er}	3.37	—
Disk	$b=0$	σ_{ed}	3.38	≃1.00
	$b=0.1$ D	σ_{ed}'	3.60	1.06

大引張歪の等価応力は（19）式で得られる最大値であるとするのが妥当であると考える。

円輪形試験片および円板形試験片について，最大歪の等価応力を 3.3.1 の破壊荷重 P_{d50} および P_{r50} について各々算出した結果を **Table 4** に示す。ここで，$\sigma_{er}<\sigma_{ed}'$ となっているが，σ_{er} の発生個所は砥石孔部の表面であり，一方 σ_{ed}' の発生個所は，砥石内部であることから，一般に表面における欠陥は，内部における欠陥より破壊に対してシビヤーになるので圧縮試験における円板形試験片の強度は，円輪形試験片の強度より若干大きくなるものと期待されるであろう。

5. 結　言

筆者らは，従来より研削盤関係の労働災害の中でも最も重篤となる研削砥石の破壊事故を防止するため，研削砥石の強度に関する研究を重ねているが，本報では，その一環としてビトリファイド砥石の1軸応力状態と2軸応力状態における破壊に関し，直径方向圧縮破壊について最大引張歪クライテリオンの導入を試み，かなりの適用性が得られた。

そして，本研究において得られた結果を要約すると，次のとおりである。

① 直径方向圧縮試験におけるビトリファイド砥石の円輪形試験片および円板形試験片の破壊形態は，荷重軸に沿って亀裂が進行して2個に分離破壊する。

② 直径方向圧縮試験におけるビトリファイド砥石の円板形試験片の破壊直前のポアソン比として 0.27 の値を得た。

③ 円板形試験片の場合は，加圧板との接触幅が破壊に到るまでに，直径の約 20% の大きさになった。

④ 破壊時の最大引張応力は，円輪形試験片の場合の値に対して，円板形試験片の場合の値は，集中荷重としては約 55%，また 0.2D 分布荷重としては約 53% となっており，最大引張応力を破壊のクライテリオンとは出来ない。

⑤ 円輪形試験片の亀裂は，荷重軸上の孔部の縁から外側に向って進行していること，また円板形試験片の亀裂は，中心よりも外側の部分から先に発生し，それが荷重軸に沿って進行していることを亀裂検出回路によって確認した。

⑥ 上記の③および⑤の実験結果に基づき最大引張歪クライテリオンを導入した結果，最大引張歪の等価応力が，円輪形試験片の値に対して，円板形試験片の値が 6% 程大きな値となったが，表面欠陥が内部欠陥に比べて破壊に対してシビヤーであることから妥当性があり，ビトリファイド砥石の直径方向圧縮破壊に対して最大引張歪クライテリオンを適用できることが判った。

6. 謝　辞

本研究を行なうに当り，有意義なヒントをいただいた元 Carnegie-Mellon University の Milton C. Shaw 教授に対し，また実験用試料の面でご協力いただいた三井研削砥石（株）豊島五十二・宮崎久光両氏に対し深く感謝の意を表します。

（昭和 55. 3. 31 受付）

文　献

1) 山本明ほか，機論，36 巻 284 号（昭 45-4），655.
2) 井上英夫，精密機械，37 巻 2 号（1971），102.
3) 粂川，産業安全研究所報告，RIIS-RR-25-1，(1976).
4) 尾田十八ほか，機論，42 巻 353 号（昭 51-1），38.
5) 淡路英夫ほか，材料，第 27 巻，第 295 号（昭 53-4），26.
6) たとえば町田篤彦，土木論，第 267 号（1978-11），99.
7) たとえば松尾陽太郎，圧力技術，Vol.15, No.4 (1977)，201.

8) Shaw, M. C., et al., Trans. ASME, Ser B, 97-1 (1975-2), 77.
9) たとえば国尾　武, 固体力学の基礎, 培風館, (昭 52)
10) J. C. Jaeger, Fundamental of Rock Mechanics, Methuen & Co. Ltd., 1969, 246.
11) 太田・伊藤, 昭和 47 年精機学会秋季大会講演前刷, 209.

産業安全研究所研究報告　RIIS-RR-28-4

昭和 55 年 6 月 2 日　発 行

発行所　労働省産業安全研究所
〒108　東京都港区芝 5 丁目35番 1 号
電 話　(03) 453—8441 番 (代)
印刷所　新日本印刷株式会社

UDC 539.43, 620.178, 620.178, 620.187

鋳物材の疲労き裂伝播挙動の破壊力学的およびフラクトグラフィ的特性に関する研究

田中正清

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-78-3, 1～

疲労破壊現象を解明し材料の破壊に関係した災害の原因調査や防止の為の資料を得ることを目的とした研究の一環として，5種の鋳物材について，フラクトグラフィ的および破壊力学的手法により疲労き裂成長挙動を検討した。各々の鋳物材の疲労き裂伝播速度は圧延材の場合と同様に，Elber のき裂閉口概念によって平均応力の効果を考慮した有効応力拡大係数の関数として表現される．破面には各々の材料に特有の微視破面形態が観察されたが，さらに破面と負荷の定量的対応づけの可能性として，従来からのストライエーション間隔のほかに特定の微視破面形態の占める面積率と応力拡大係数の関係の存在が確認された。

UDC 539.43, 620.178, 620.187

A Fracture Mechanics and Fractographic Study on the Fatigue Crack Propagation Behaviour in Some Castings

M. Tanaka

Reserarch Report of the Reseasch Institute of Industrial Safety.
RIIS-RR-28-3. (1980)

Fatigue crack growth behaviours were examined using the methods of fractography and fracture mechanics, for five kinds of castings, in order to analyze the fatigue failure phenomena and to get the information for the prevention of failure accidents. The crack growth rate for each casting was respectively described as a function of the effective stress intensity factor based on the Elber's crack closure concept, similarlly for rolled materials. Various characteristic features of fracture surfaces were clarified qualitatively in eachcasting. Moreover, the quntitative relation were identified of the striation spacings and the area percentage of some kinds of fracture surface morphology to the stress intensity factor.