

心持材のねじりとモアレ法による膜実験

田中輝明*

On Wooden Column under Torsion and Experiment
of Membrane by Moire Method

By Teruaki Tanaka*

Synopsis: In general, a wooden column can be assumed as an anisotropic member that has different modulus of rigidity in the direction perpendicular to the annual ring.

By taking the stress function, an anisotropic wooden column loaded by torque can be solved and compared with isotropic solution. The solution of torsional problem in isotropic has been related to the membrane analogy. Hence, the corresponding torque acting to column can be obtained by experimentation of membrane analogy.

And in the case of anisotropic problems the stress acting to the column can be investigated by making a comparison between new experimental method and theory

要旨：心持材の木柱は年輪方向とその直交方向では、せん断弾性係数の異なる異方性体と考えられる。この異方性体の木柱が、ねじりモーメントを受ける場合を、応力関数を用いて解を求め、等方性の場合との相違を検討した。また、等方性の場合、ねじりと薄膜のたわみは相似的關係にあり、薄膜のたわみ実験からねじりによる応力が求まるので、異方性断面の膜実験をおこなってその妥当性を示し、2, 3の場合について応力を求め、その性質を論じた。

§1 序

建物の剛心が偏っている場合に横力を受けると、柱はねじりモーメントを受ける。また、柱芯とはり芯がずれて接合されている場合にも、柱はねじりモーメントを受ける。通常架構材として用いられている木材の心持材では、年輪方向とその直交方向とは、せん断弾性係数の異なる直交異方性体と考えられる¹⁾。この異方性体の心持材がねじりを受ける場合の力学的性状を、応力関数を用いて求め、等方性との相違を検討した。また、等方性の場合、ねじりと薄膜のたわみは相似的關係にあり²⁾、薄膜のたわみを実験的に求めることによって、ねじりによる応力を知り得るが、異方性断面のねじりについての膜実験を提案し、解析解が求まるものの実験をおこなって、理論解と比べて実験方法の妥当性を検討した。さらに、2, 3の解析解のない異方性断面について膜実験をお

こない、応力を求めて、その性質を論じた。

§2 応力関数と膜のたわみ

年輪の中心をねじり中心、および極座標の中心として (Z 軸)、横断面を r, θ 面とする材で、半径方向 (r 方向) のせん断応力、せん断弾性係数、せん断ひずみを

$$\tau_r, G_r, \gamma_r$$

とし、円周方向 (θ 方向) のそれらを

$$\tau_\theta, G_\theta, \gamma_\theta$$

とする (図1)。

応力とひずみの関係は

$$\gamma_r = \frac{1}{G_r} \cdot \tau_r, \quad \gamma_\theta = \frac{1}{G_\theta} \cdot \tau_\theta$$

である。

u, v, w を r, θ, z 方向の変位、 ω を単位長さ当りのねじり角とすれば、断面の回転に対応する変位は次のようになる³⁾。

$$u=0, \quad v=\omega z r, \quad w=\omega \varphi(r, \theta)$$

応力は

*建築学科 教授
Professor, Division of Architecture

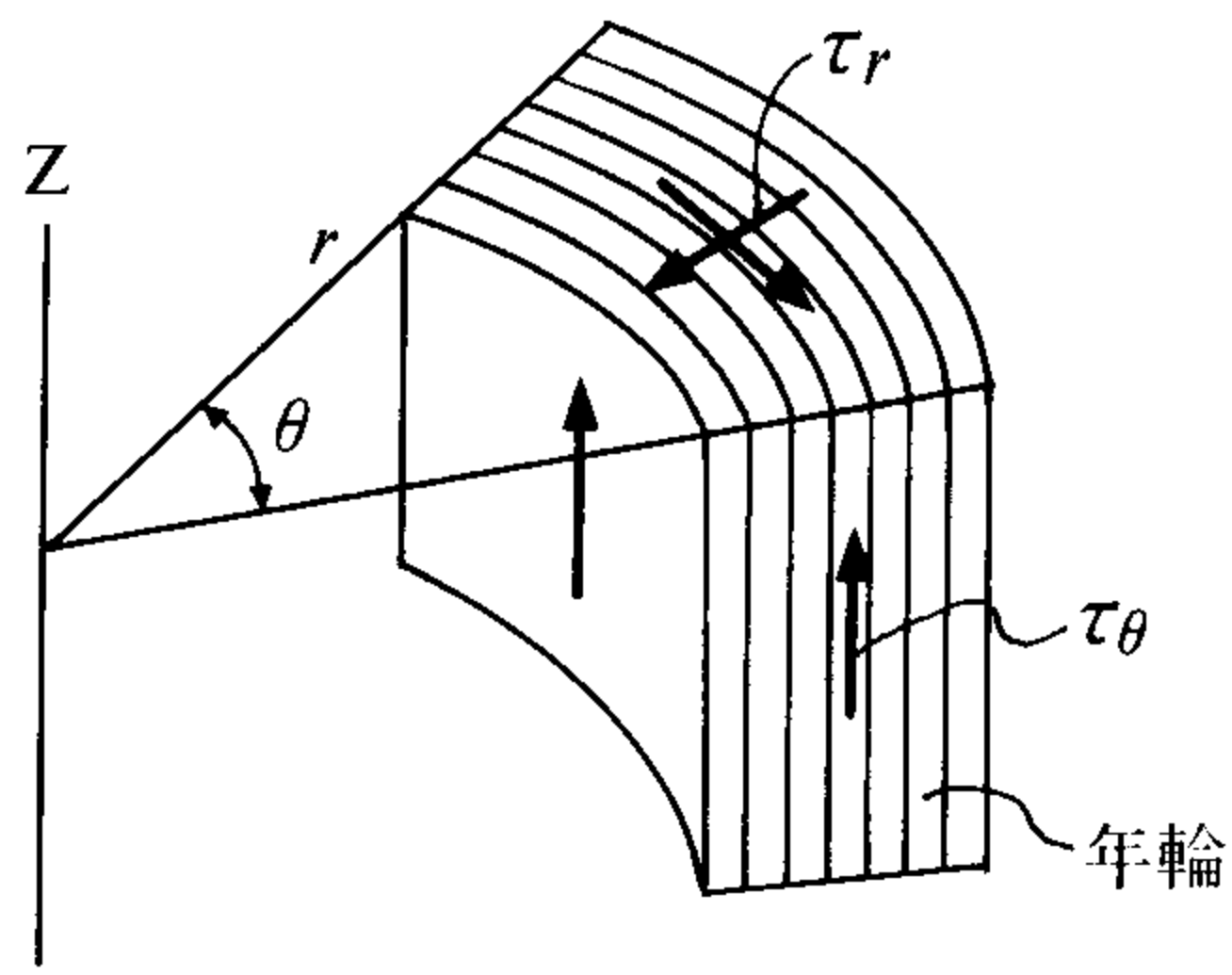


図1 木柱に働くせん断応力

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \sigma_z = \tau_{r,\theta} = 0$$

$$\tau_\theta = G_\theta \cdot \omega \left(r + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right)$$

$$\tau_r = G_r \cdot \omega \frac{\partial \varphi}{\partial r}$$

となる。

$k = G_\theta / G_r$ とおく。 $k=1$ は等方性の場合である。

Z方向のつり合いの式は

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} + k \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} = 0 \quad (1)$$

となり、(1)式で $r=r'$, $\theta = \sqrt{k} \theta'$ とおくと

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r'^2} + \frac{1}{r'} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r'} + \frac{1}{r'^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta'^2} = 0 \quad (2)$$

となる。(2)式は二次元のラプラスの式である。 φ に共役な調和関数 ψ を考えると、Cauchy-Riemann の方程式から

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r'} = \frac{1}{r'} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \theta'}, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial \theta'} = -r' \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r'}$$

が成り立つ。応力関数を

$$\Psi = \sqrt{G_r \cdot G_\theta} \cdot \omega \left(\psi - \frac{1}{2} \sqrt{k r^2} \right)$$

とおけば、つり合いの式(1)は

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial r} + k \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \theta^2} = -2G_\theta \cdot \omega \quad (3)$$

となる。応力関数 Ψ を用いて応力をあらわすと次のようである。

$$\tau_\theta = G_\theta \cdot \omega \left(r + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right) = -\frac{\partial \Psi}{\partial r} \quad (4)$$

$$\tau_r = G_r \cdot \omega \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \quad (5)$$

ねじりモーメントは内部のせん断応力によるモーメントの和に等しいから

$$M_t = \int (\tau_\theta \cdot r) dA = 2 \int_0^{2\pi} \int_0^r \Psi \cdot r \cdot dr \cdot d\theta$$

$$= 2 \iint \Psi dA \quad (6)$$

つり合いの式(3)で $r=r'$, $\theta = \sqrt{k} \theta'$ とおくと

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial r'^2} + \frac{1}{r'} \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial r'} + \frac{1}{r'^2} \cdot \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \theta'^2} = -2G_\theta \cdot \omega \quad (7)$$

となる。

また、一様な引張力(T)を受け、等分布荷重(p)の作用する薄膜の鉛直方向のたわみ(w)に関しては、(8)式が成り立つ⁴⁾(図2)。

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} = -\frac{p}{T} \quad (8)$$

すなわち、ねじり応力関数 Ψ は薄膜のたわみ w に対応し

$$-2G_\theta \omega = -\frac{p}{T}$$

とおくことによって薄膜のたわみ状態から応力関数 Ψ の値を求めることができ、したがって解析解の求め難い断面形状でも、膜実験から応力を求めることができる。

§3 膜実験

膜実験装置の概要を図3に示す。厚さ0.2 mmのゴム膜に一様な張力を与え、断面境界で固定し、裏板をあて、ゴム膜部分に空気圧で等分布荷重を加えた。この状態の試験体に直線平行格子を通し光源より照らし、モアレ法によるたわみの等高線の縞を求める。別に基準膜として円形断面を用い、一縞当たりのたわみ量についての検定をおこなう。

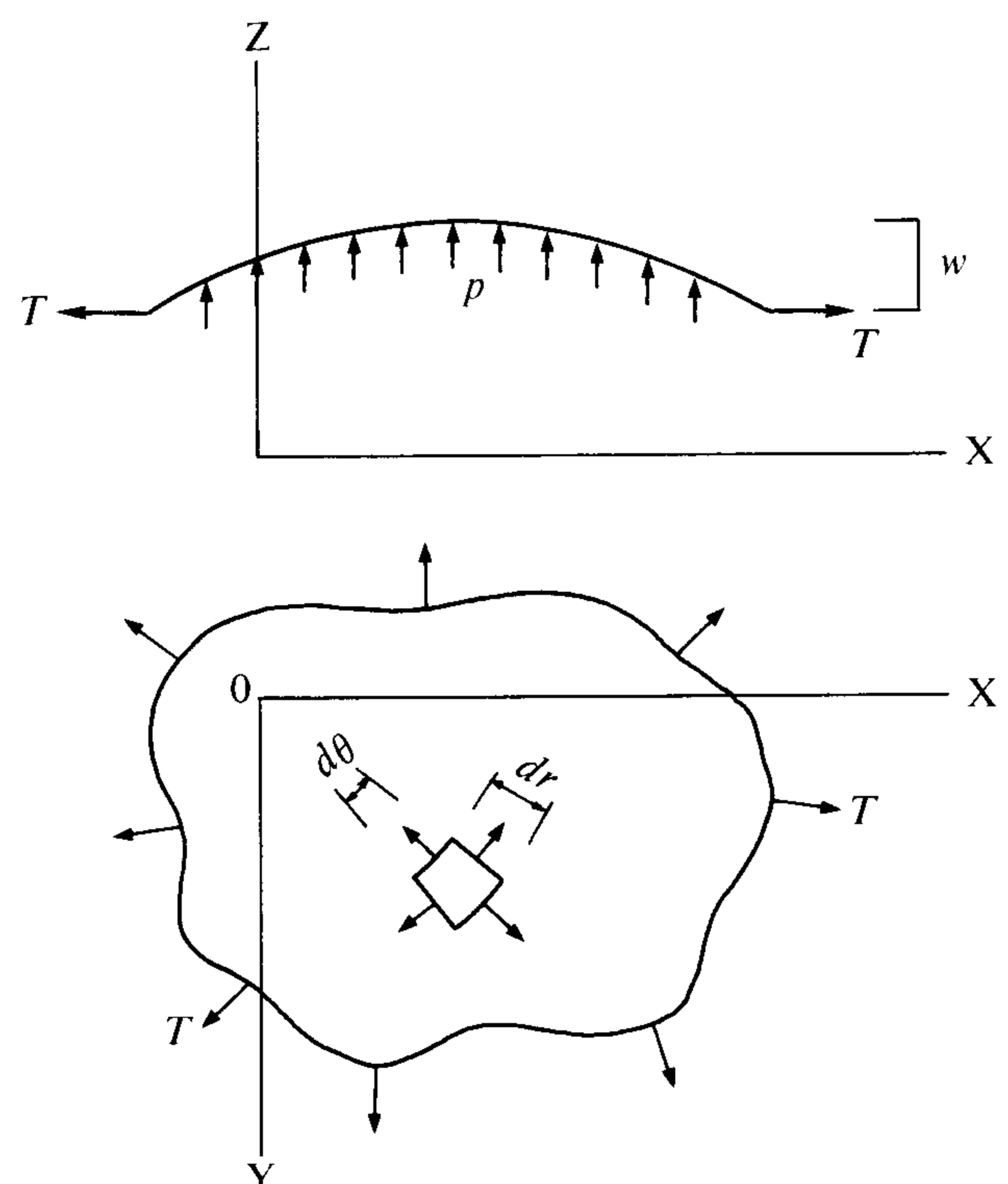


図2 薄膜のたわみ

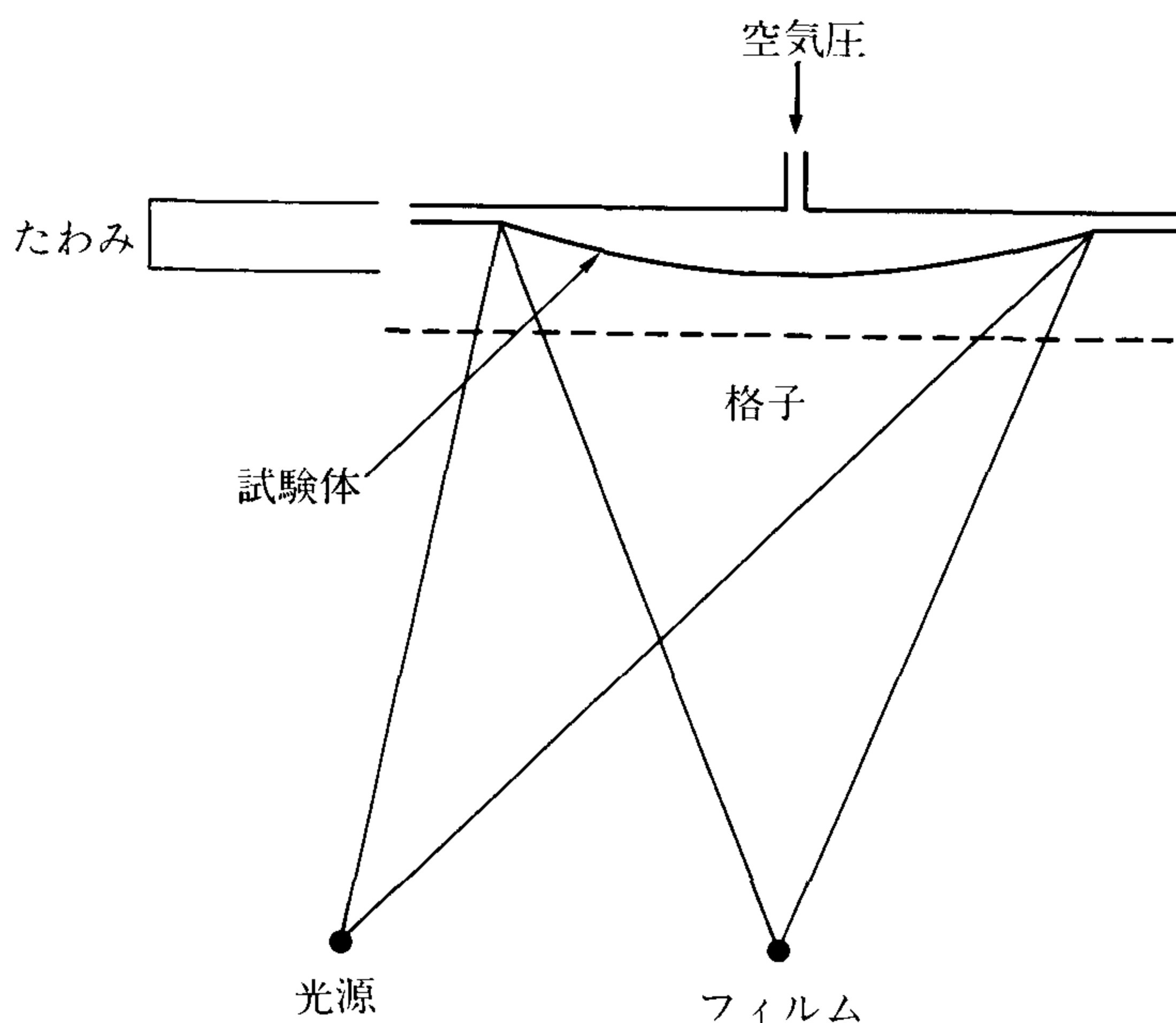


図3 実験装置の概要

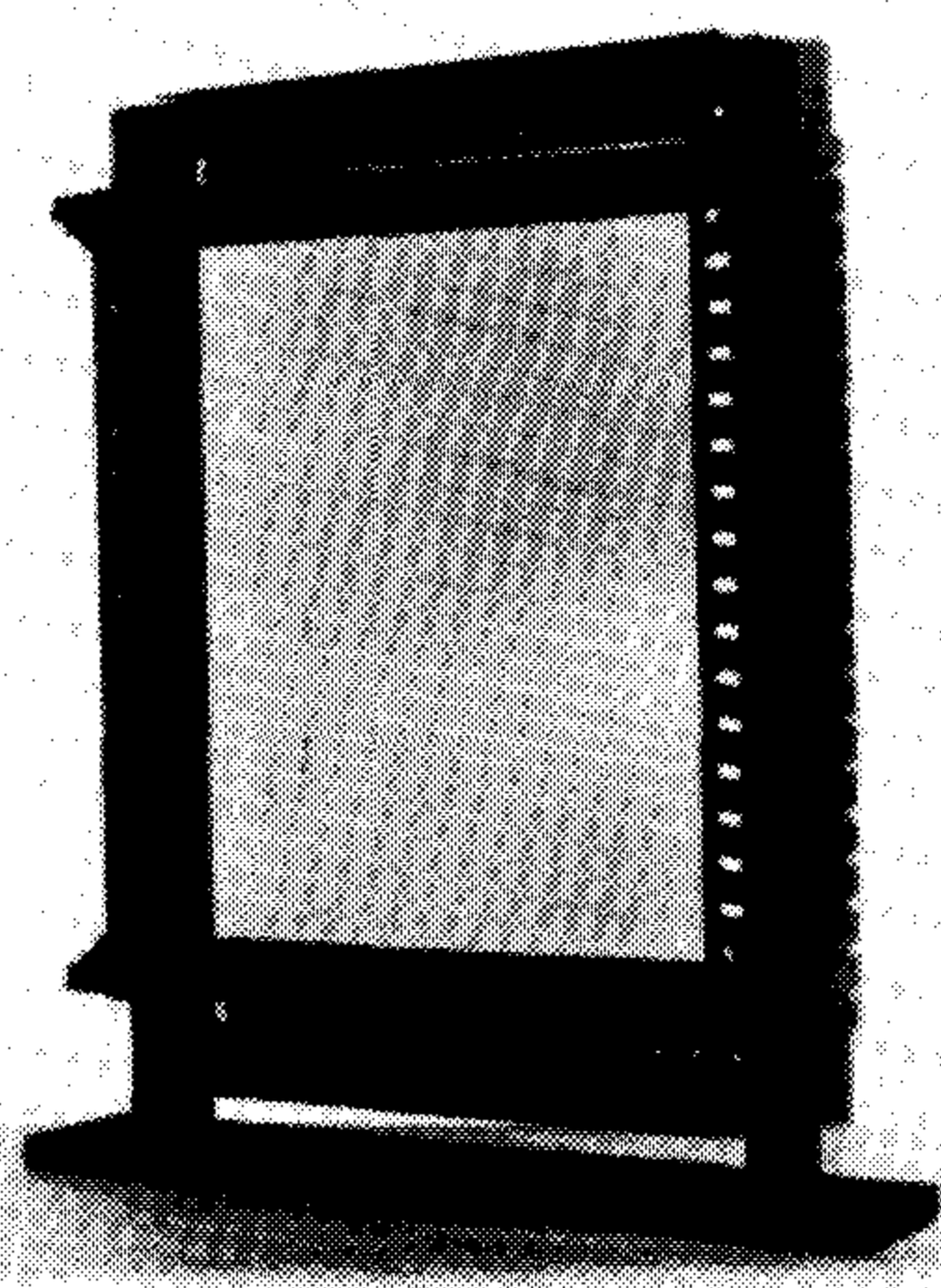


写真1 モアレ実験装置

§4 円形断面の場合

半径を a とする。応力関数を

$$\Psi = \frac{1}{2} G_{\theta} \cdot \omega (a^2 - r^2) \tag{9}$$

とおく。応力、ねじりモーメント、およびねじり角は次のようになる。

$$\tau_{\theta} = -\frac{\partial \Psi}{\partial r} = 2 \frac{M_t}{\pi a^4} \cdot r \tag{10}$$

$$\tau_r = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} = 0 \tag{11}$$

$$M_t = 2 \int \Psi \cdot dA = G_{\theta} \cdot \omega \cdot a^4 \cdot \frac{\pi}{2} \tag{12}$$

$$\omega = \frac{M_t}{G_{\theta}} \cdot \frac{1}{a^4} \cdot \frac{2}{\pi} \tag{13}$$

これらの応力、ねじり角、およびねじりモーメントは、 G_{θ} をせん断弾性係数とする等方性の場合と一致する。

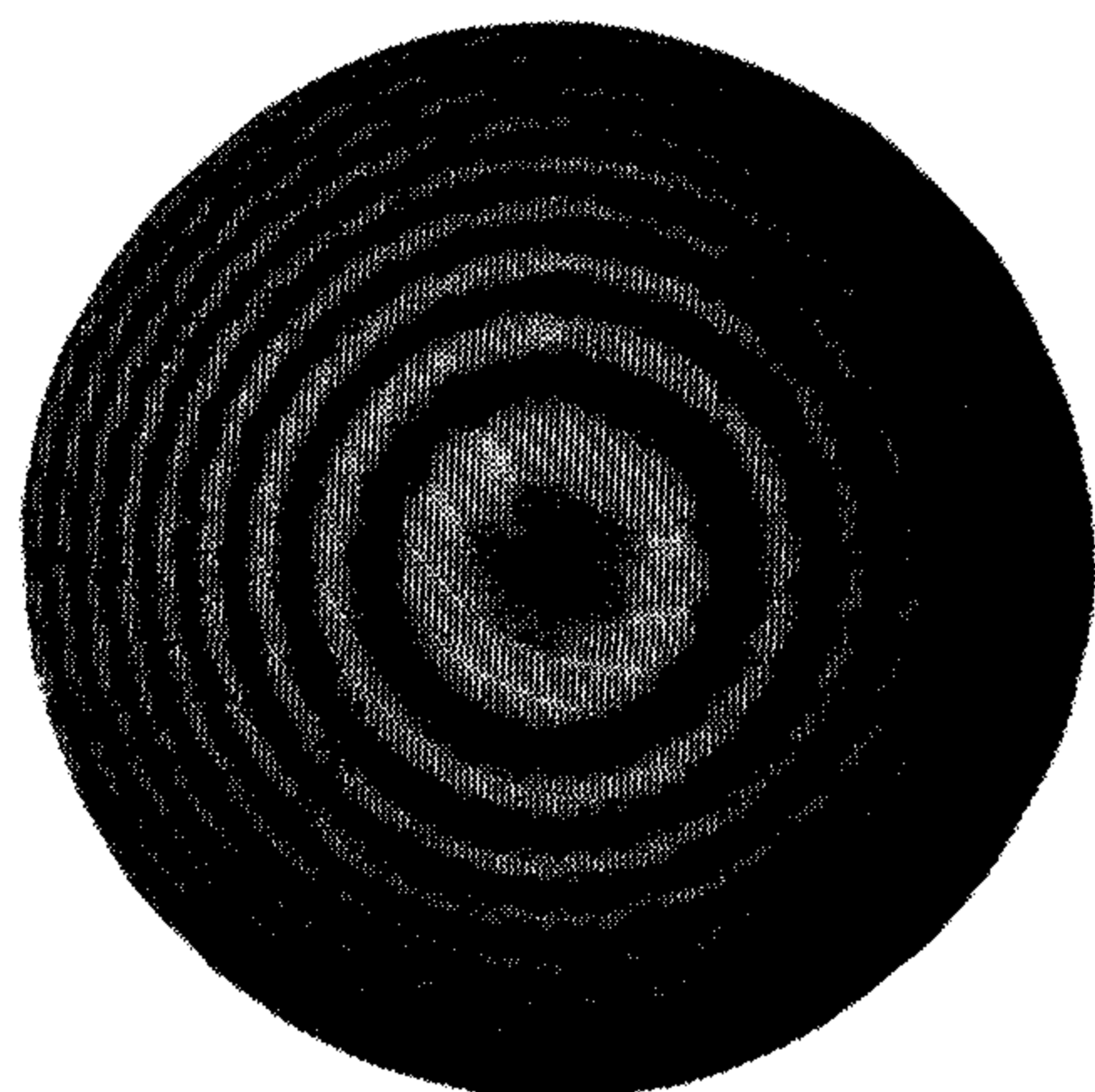


写真2 円形断面膜実験写真 (基準膜)

図4は円形断面のねじり応力関数及びねじりによるせん断応力をあらわしており、写真2は円形断面の膜実験たわみ等高線写真である。実験の結果の膜のたわみを図4に黒丸で示しており、ほぼ一致している。これを基準膜として用いる。

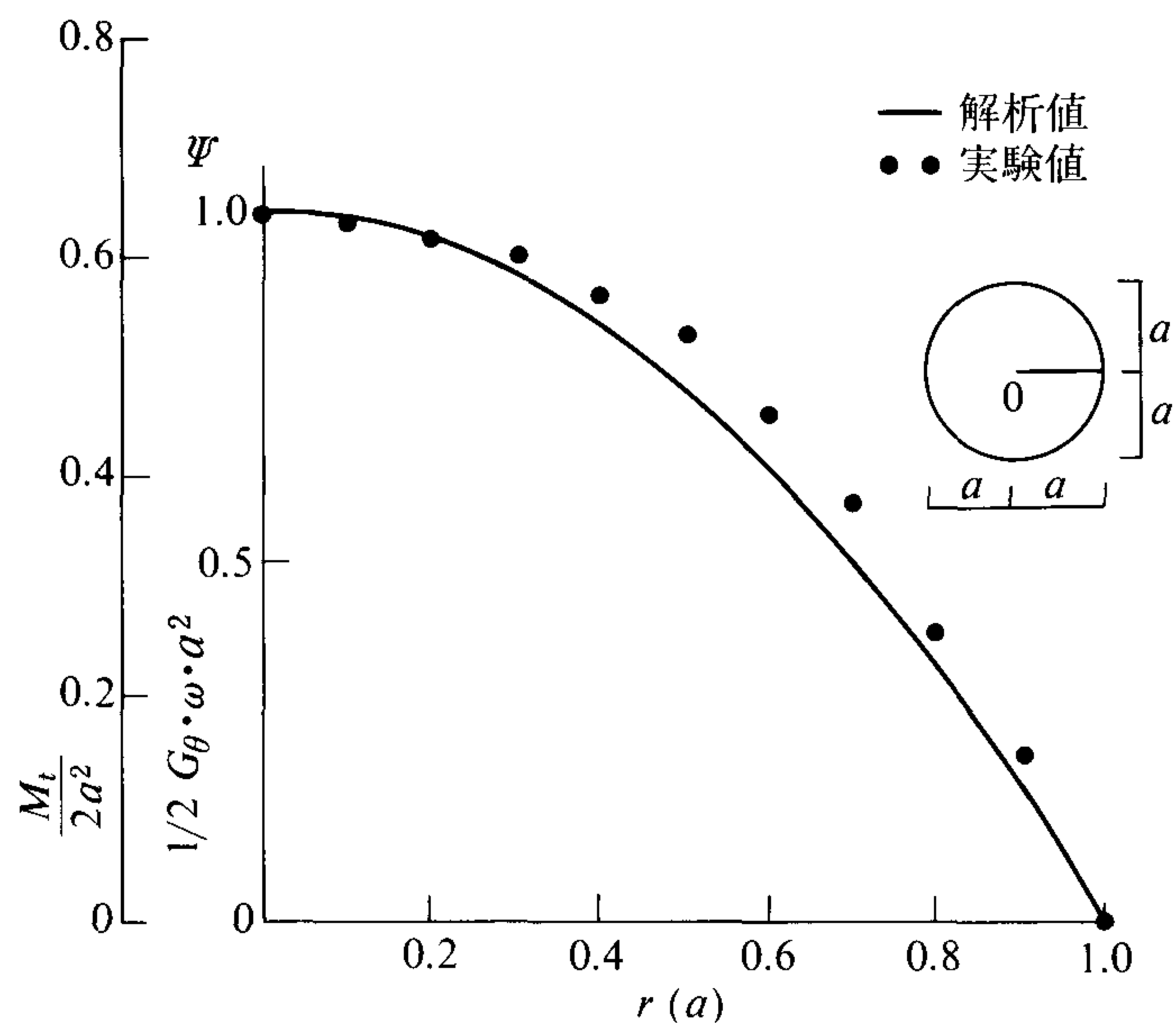


図4 a 円形断面のねじり応力関数と膜実験のたわみ

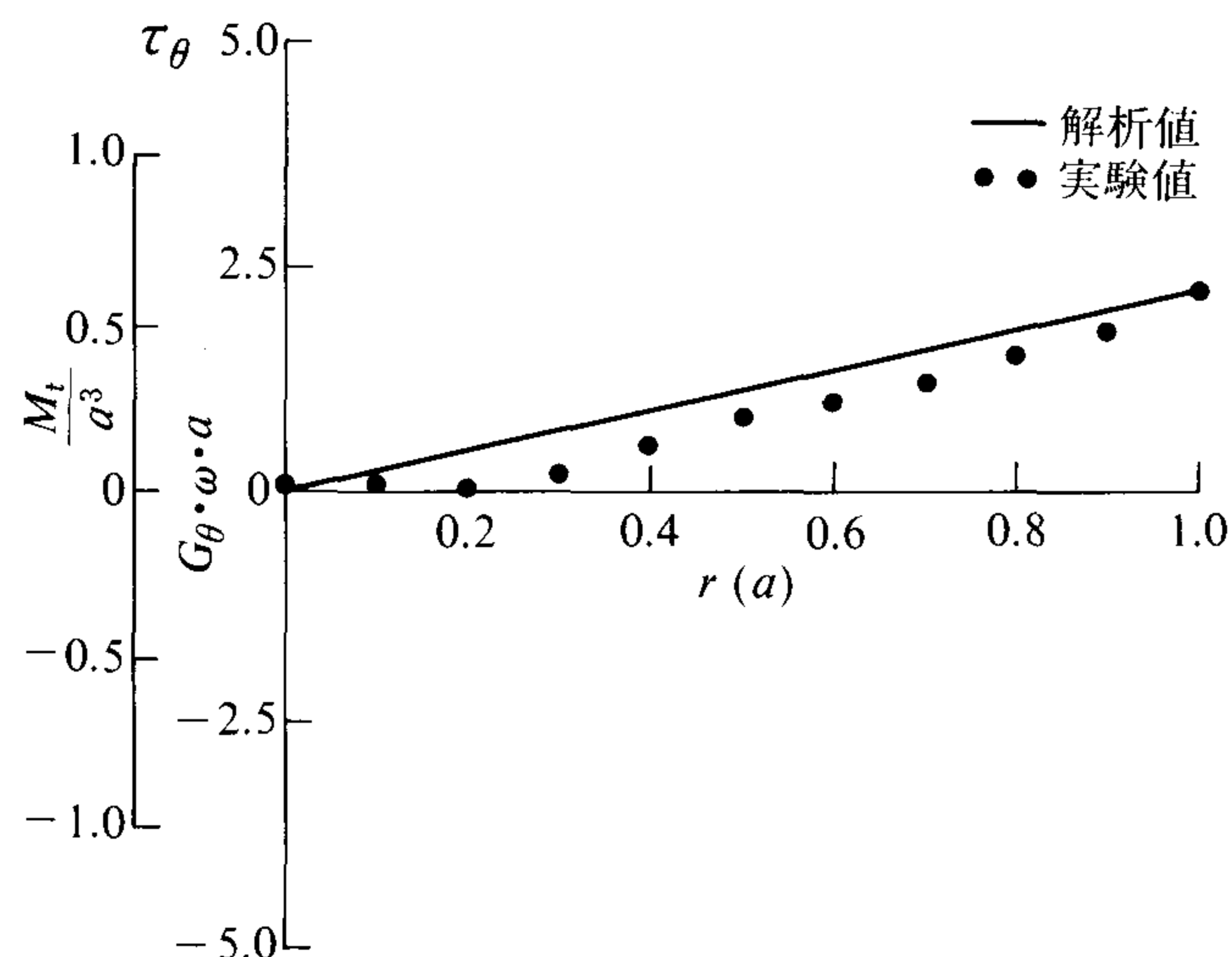


図4 b 円形断面のせん断応力

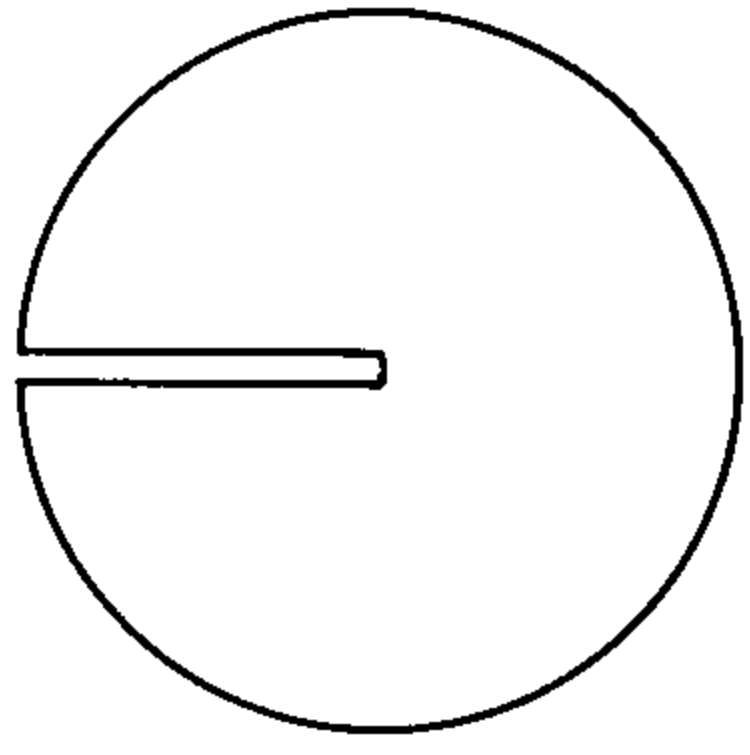


図5 スリットのある
円形断面

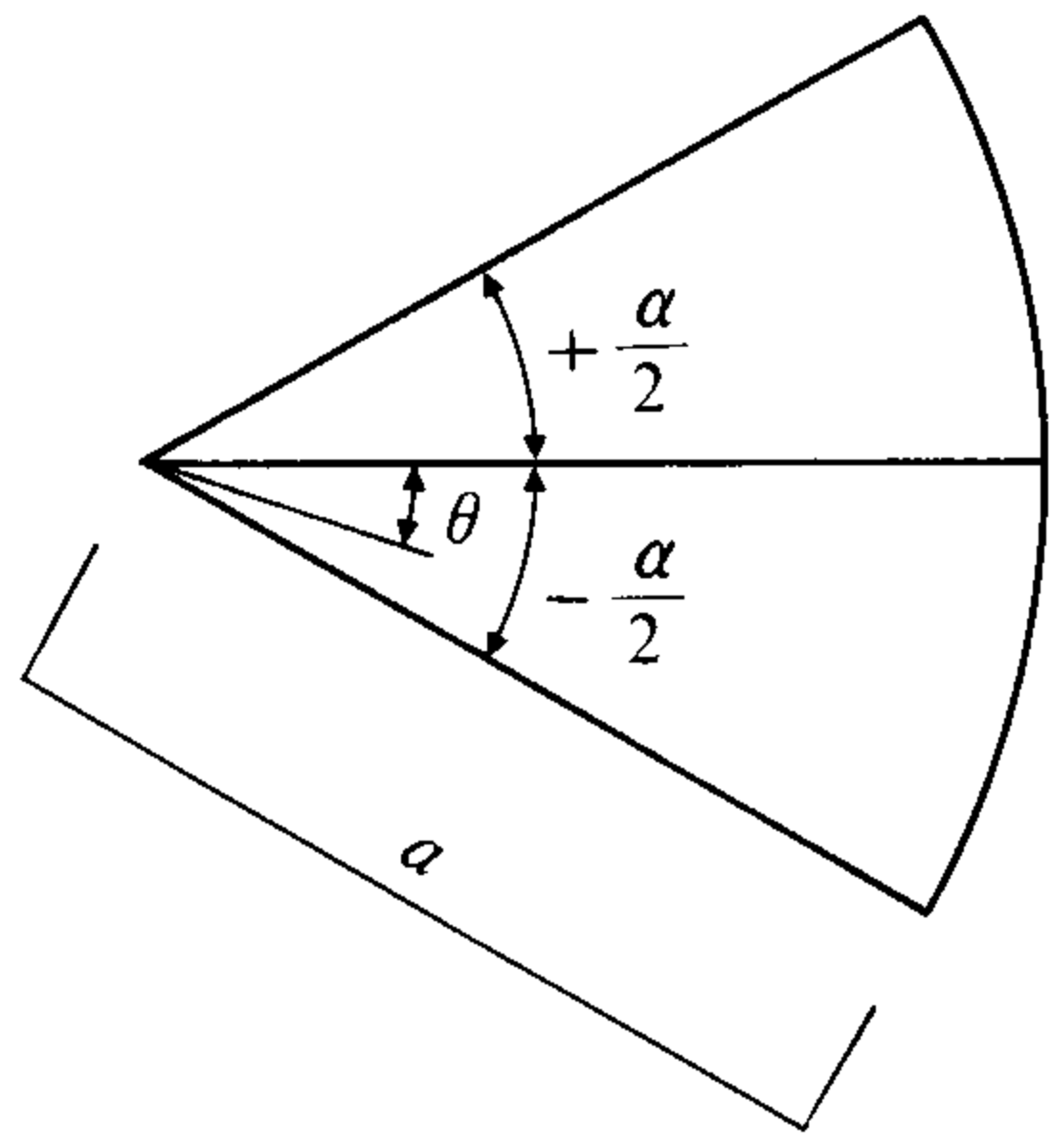


図6 扇形断面

§5 スリットのある円形断面

図5のようなスリットのある円形断面は、半径 a 、 $\theta = \pm\alpha/2$ を境界とする扇形断面で、 $\alpha = 2\pi$ の場合である (図6)。

つり合いの式(3)で $r=r'$ 、 $\theta = \sqrt{k}\theta'$ 、 $\Psi = \sqrt{k}\Psi'$ とおけば、(3)式は等方性の場合のラプラスの方程式となる。すなわち、等方性で $r'=0 \sim a$ 、 $\theta' = +\alpha/(2\sqrt{k}) \sim -\alpha/(2\sqrt{k})$ の Ψ' の値を求めれば、 $\Psi = \sqrt{k}\Psi'$ は $r=0 \sim a$ 、 $\theta = +\alpha/2 \sim -\alpha/2$ のときの異方性の解である。等方性の二直角の角度が α/\sqrt{k} のねじり応力関数 Ψ' は次式である⁵⁾。

$$\Psi' = -\frac{1}{2} \sqrt{G_r \cdot G_\theta} \omega \left\{ -r^2 \left(1 - \frac{\cos \frac{2}{\sqrt{k}} \theta}{\cos \frac{\alpha}{\sqrt{k}}} \right) + \frac{16a^2 \alpha^2}{\pi^3 k} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} (-1)^{\frac{n+1}{2}} \cdot \left(\frac{r}{a} \right)^{\frac{n\sqrt{k}\alpha}{\alpha}} \cdot \frac{\cos \frac{n\pi}{\alpha} \theta}{n \left(n^2 - \frac{4\alpha^2}{k\pi^2} \right)} \right\} \quad (14)$$

したがって、異方性の二直線の角度が α の場合の応力は次のようになる。

$$\tau_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} = \sqrt{k} \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi'}{\partial \theta} = \frac{1}{2} \sqrt{k} \sqrt{G_r G_\theta} \omega \left\{ r \left(-\frac{2}{\sqrt{k}} \frac{\sin \frac{2}{\sqrt{k}} \theta}{\cos \frac{\alpha}{\sqrt{k}}} \right) + \frac{16a\alpha^2}{\pi^3 k} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left(\frac{r}{a} \right)^{\frac{n\sqrt{k}\alpha}{\alpha} - 1} \cdot \frac{\frac{n\pi}{\alpha} \sin \frac{n\pi}{\alpha} \theta}{n \left(n^2 - \frac{4\alpha^2}{k\pi^2} \right)} \right\} \quad (15)$$

$$\tau_\theta = -\frac{\partial \Psi}{\partial r} = -\sqrt{k} \frac{\partial \Psi'}{\partial r} = \frac{1}{2} \sqrt{k} \sqrt{G_r G_\theta} \omega \left\{ 2r \left(1 - \frac{\cos \frac{2}{\sqrt{k}} \theta}{\cos \frac{\alpha}{\sqrt{k}}} \right) - \frac{16a\alpha^2}{\pi^3 k} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} (-1)^{\frac{n+1}{2}} \frac{\sqrt{k}}{\alpha} \pi \left(\frac{r}{a} \right)^{\frac{n\sqrt{k}\alpha}{\alpha} - 1} \cdot \frac{\cos \frac{n\pi}{\alpha} \theta}{\left(n^2 - \frac{4\alpha^2}{k\pi^2} \right)} \right\} \quad (16)$$

ねじりモーメントは

$$\begin{aligned} M_t &= 2 \int \Psi dA = \sqrt{k} \sqrt{G_r G_\theta} \omega \int_0^{\frac{\alpha}{2}} \int_0^a \Psi' r \cdot dr \cdot d\theta \\ &= 2 \sqrt{k} \sqrt{G_r G_\theta} \omega \left[-\frac{a^4}{4} \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\sqrt{k}}{2} \tan \frac{\alpha}{\sqrt{k}} \right) - \frac{16a^4 \alpha^2}{\pi^3 k} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n \sqrt{k} \pi} \cdot \frac{\alpha}{n\pi} \cdot \frac{1}{n \left(n^2 - \frac{4\alpha^2}{k\pi^2} \right)} \right] \end{aligned} \quad (17)$$

ねじり角は

$$\omega = \frac{M_t}{2 \sqrt{k} \sqrt{G_r G_\theta}} \frac{1}{-\frac{a^4}{4} \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\sqrt{k}}{2} \tan \frac{\alpha}{\sqrt{k}} \right) - \frac{16a^4 \alpha^2}{\pi^3 k} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n \sqrt{k} \pi} \cdot \frac{\alpha}{n\pi} \cdot \frac{1}{n \left(n^2 - \frac{4\alpha^2}{k\pi^2} \right)}} \quad (18)$$

図7はスリットのある円形断面の外周の応力の計算値である。円周方向のせん断応力 τ_θ はスリットの反対側で最大となる。この値は k の値が大きくなる程大きな値となる。半径方向のせん断応力 τ_r は、スリット部分の断面の中心では

$$\begin{aligned} k < 4 \text{ のとき } & \tau_r = \infty \\ k = 4 \text{ のとき } & \tau_r = 0.71(M_t/a^3) \\ k > 4 \text{ のとき } & \tau_r = 0 \end{aligned}$$

となり、 $k=4$ のときだけ一定値をもつ。このことはモアレ法によるたわみ等高線写真で $r=0$ の点では $k < 4$ は入隅となり、 $k > 4$ は出隅となるので、その傾斜から明らかである。

膜実験はスリットのある円形断面で $k = G_\theta / G_r$ とし、 $k=1, 16/9, 4, 9$ の場合について行った。断面形状は $r=r', \theta = \sqrt{k} \theta'$ の仮定が成り立つように r 方向を一定とし θ 方向を $1/\sqrt{k}$ 倍した形状となり、 $\theta' = \pi, 3/4\pi, 1/2\pi, 1/3\pi$ ($\alpha = 2\pi, 3/2\pi, 2/3\pi$)の境界をもつ断面形

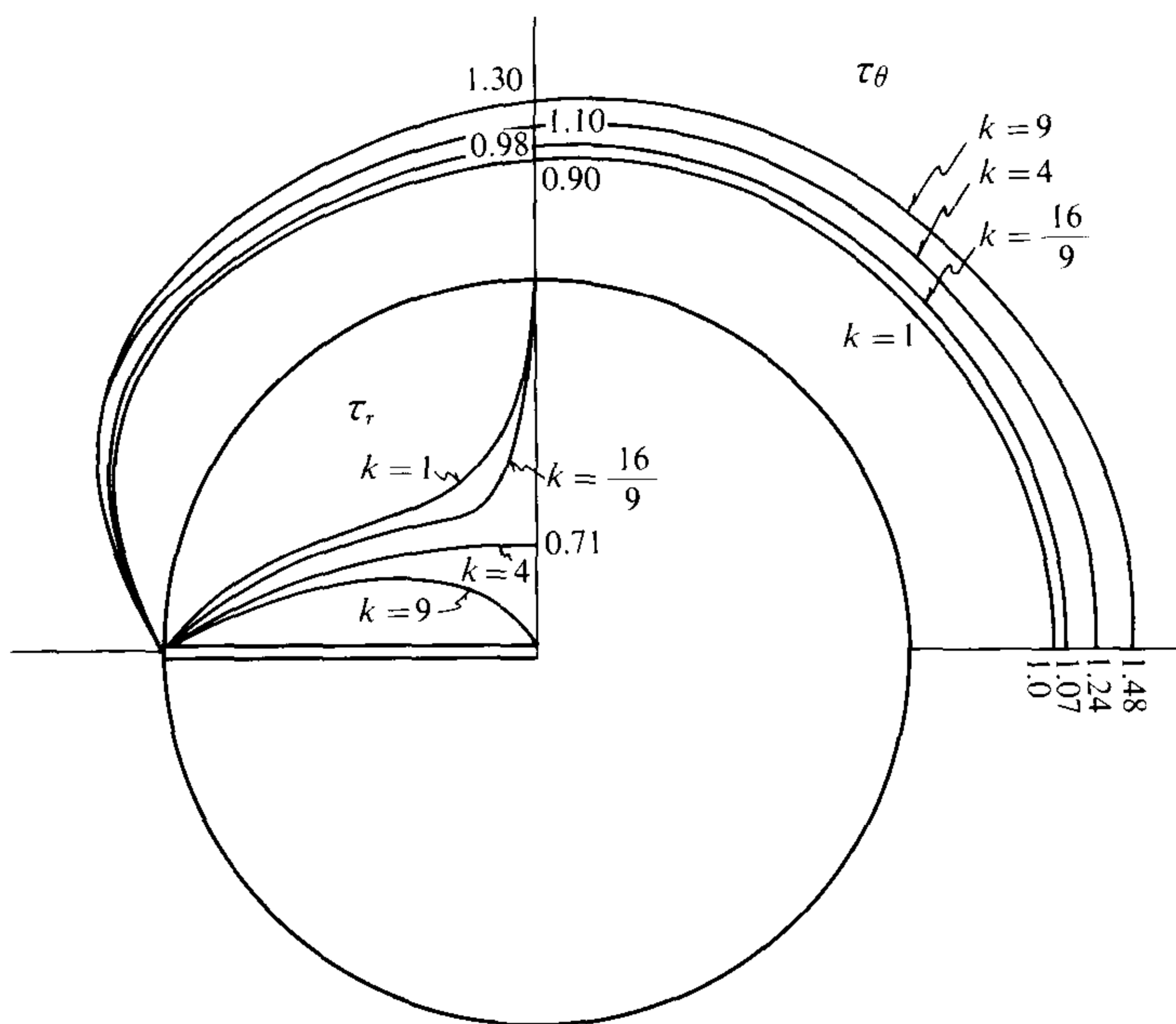


図7 スリットのある円形断面の周辺の応力 (M_t/a^3) (計算値)

状となる (図8)。写真3~写真6はモアレ法膜実験によるたわみ等高線写真であり、図9~図12は $\theta=0$ の部分の円周方向の応力関数、およびせん断応力 τ_θ の値である。実験値を黒丸で示してあり、解析値と実験値はよく一致している。 k の値に対する最大せん断応力の値は図13の如くであり、 k の値が大きくなると τ_θ の値はほぼ直線的に増加する。

§6 種々の断面の膜実験

膜実験は比較的簡単におこなえ、前述のようにかなりの精度で解が求まるので、解析が困難な複雑な異方性断面のねじり応力を求めるとき、この方法を用いると便利である。以下に2, 3の異方性断面について膜実験による解析を示す。

(i) 正方形断面

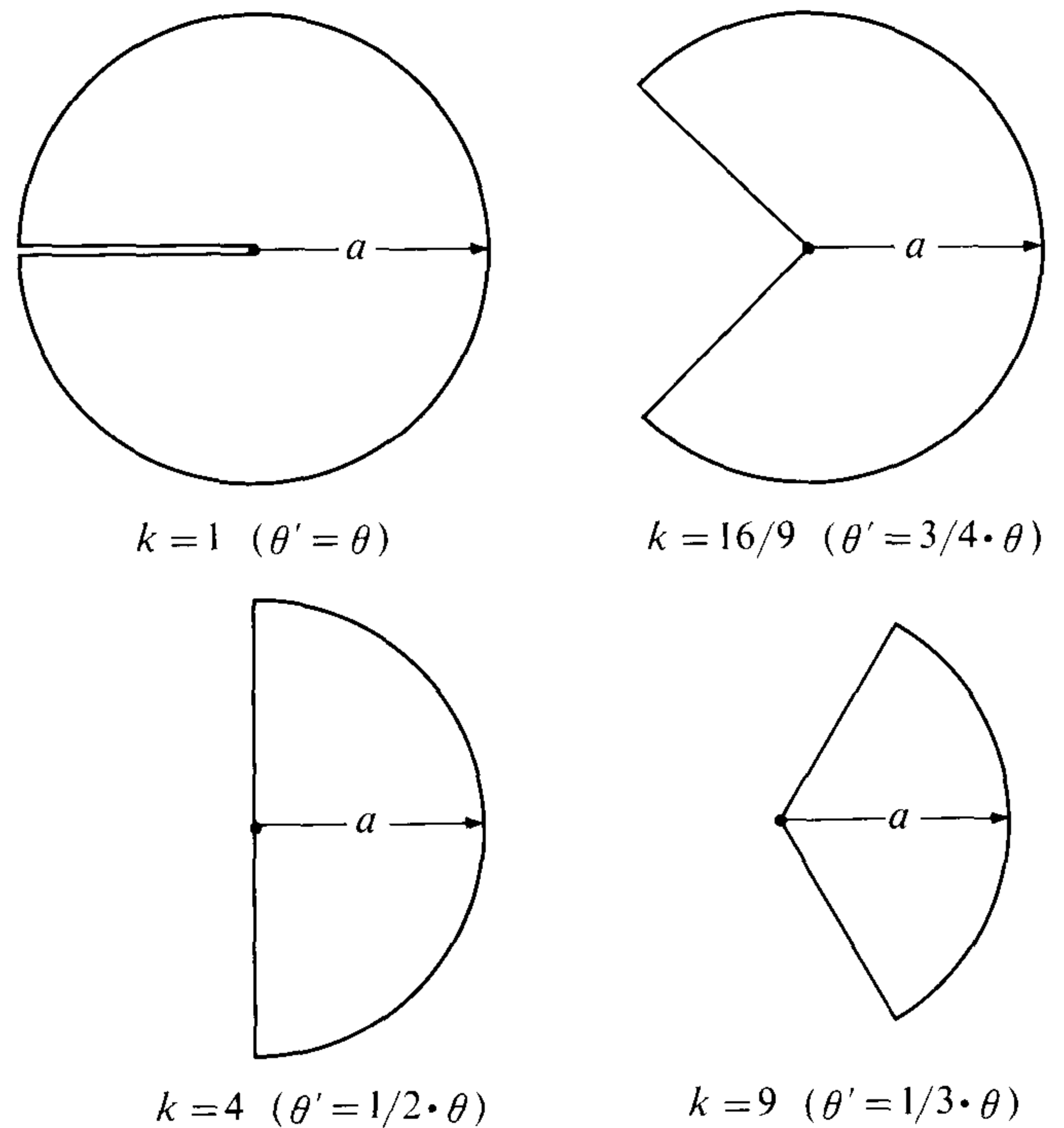


図8 スリットのある円形断面の膜実験断面形状

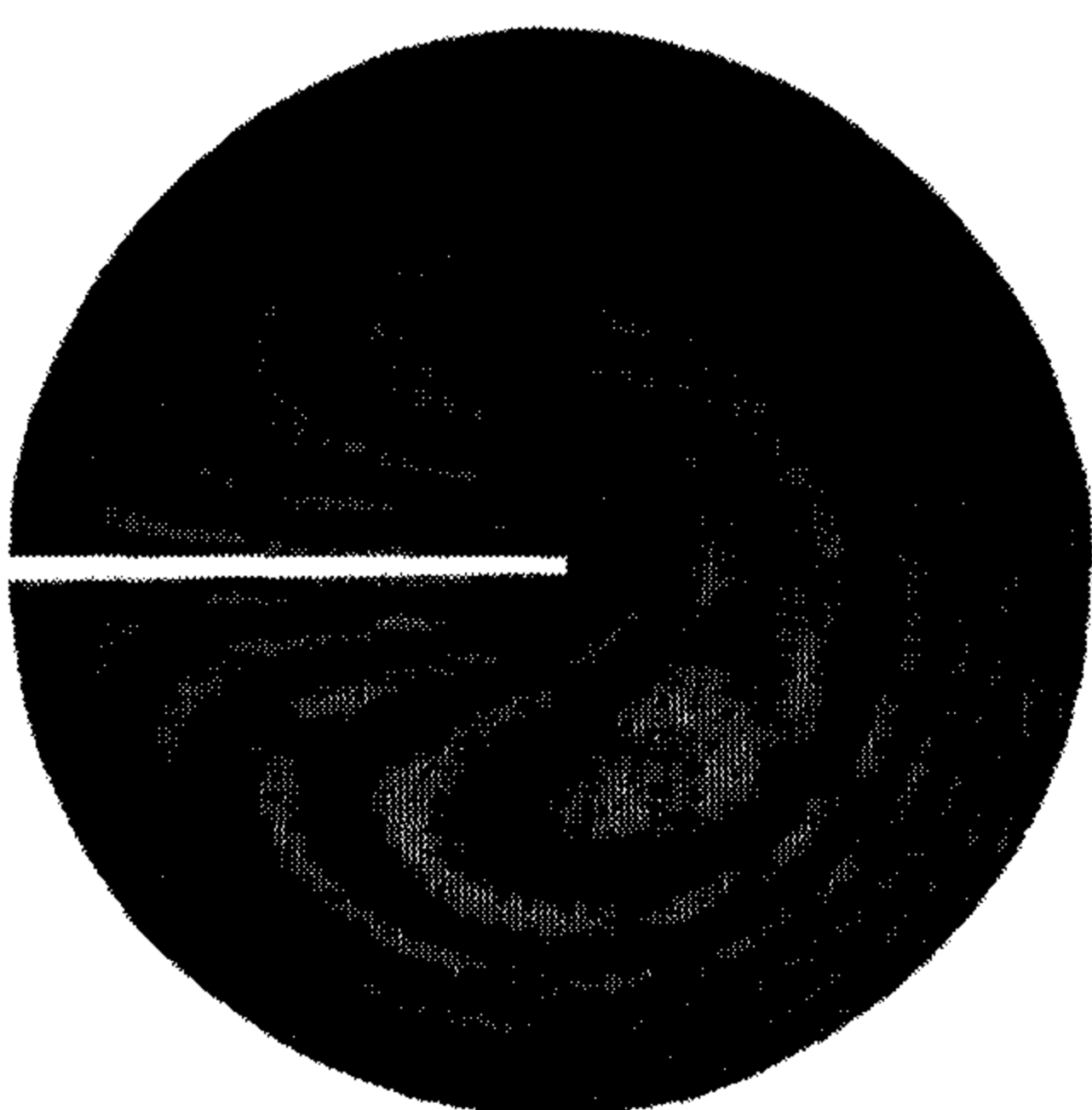


写真3 スリットのある円断面膜実験写真 $k=1$

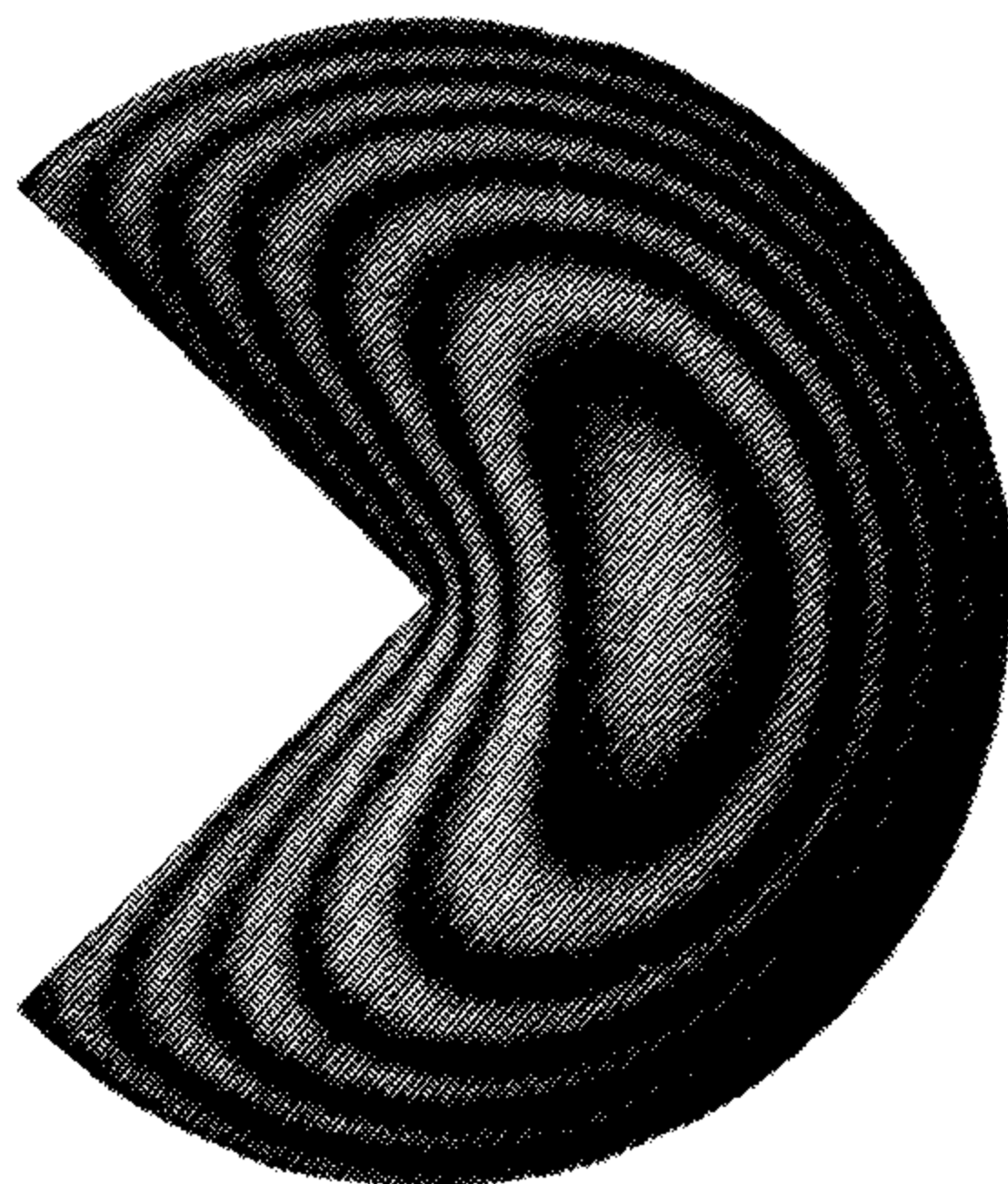


写真4 スリットのある円断面膜実験写真 $k=16/9$

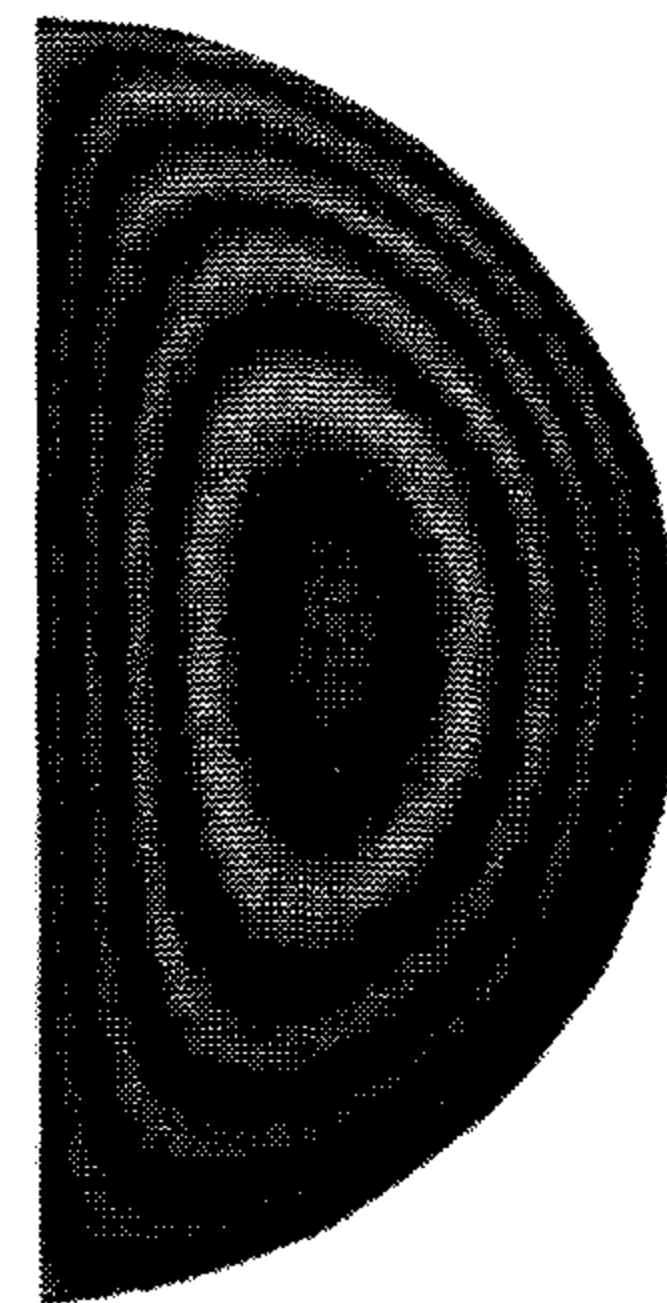


写真5 スリットのある円断面膜実験写真 $k=4$

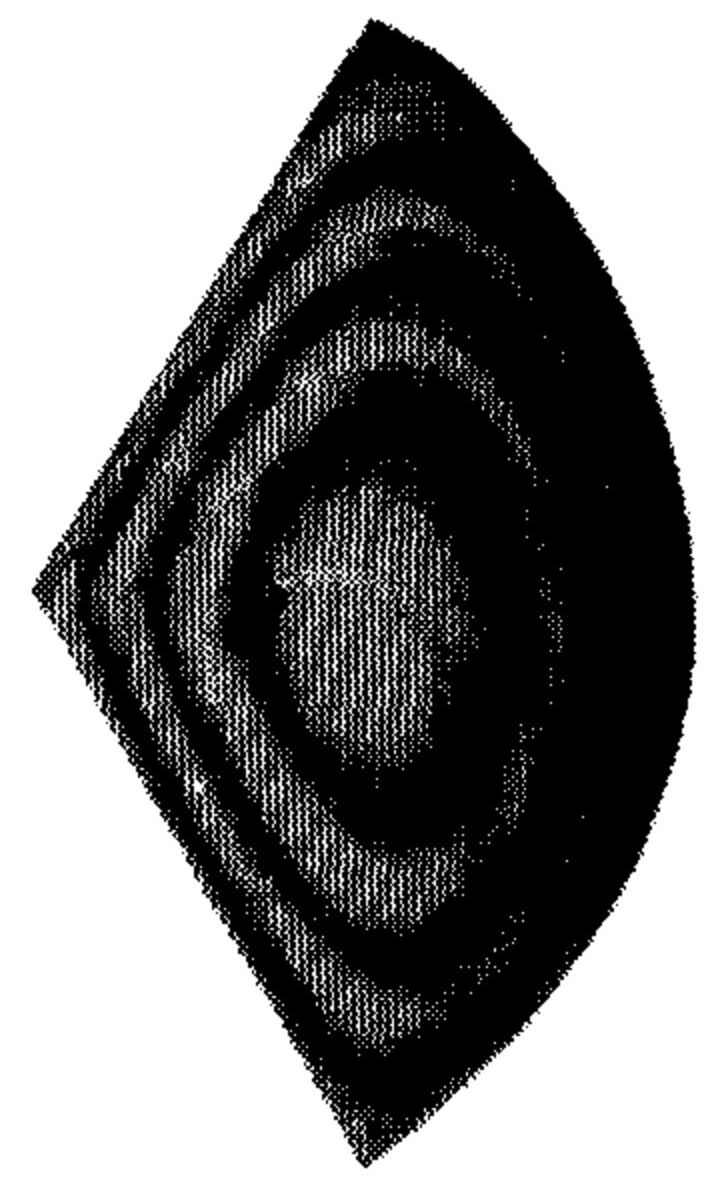


写真6 スリットのある円断面膜実験写真 $k=9$

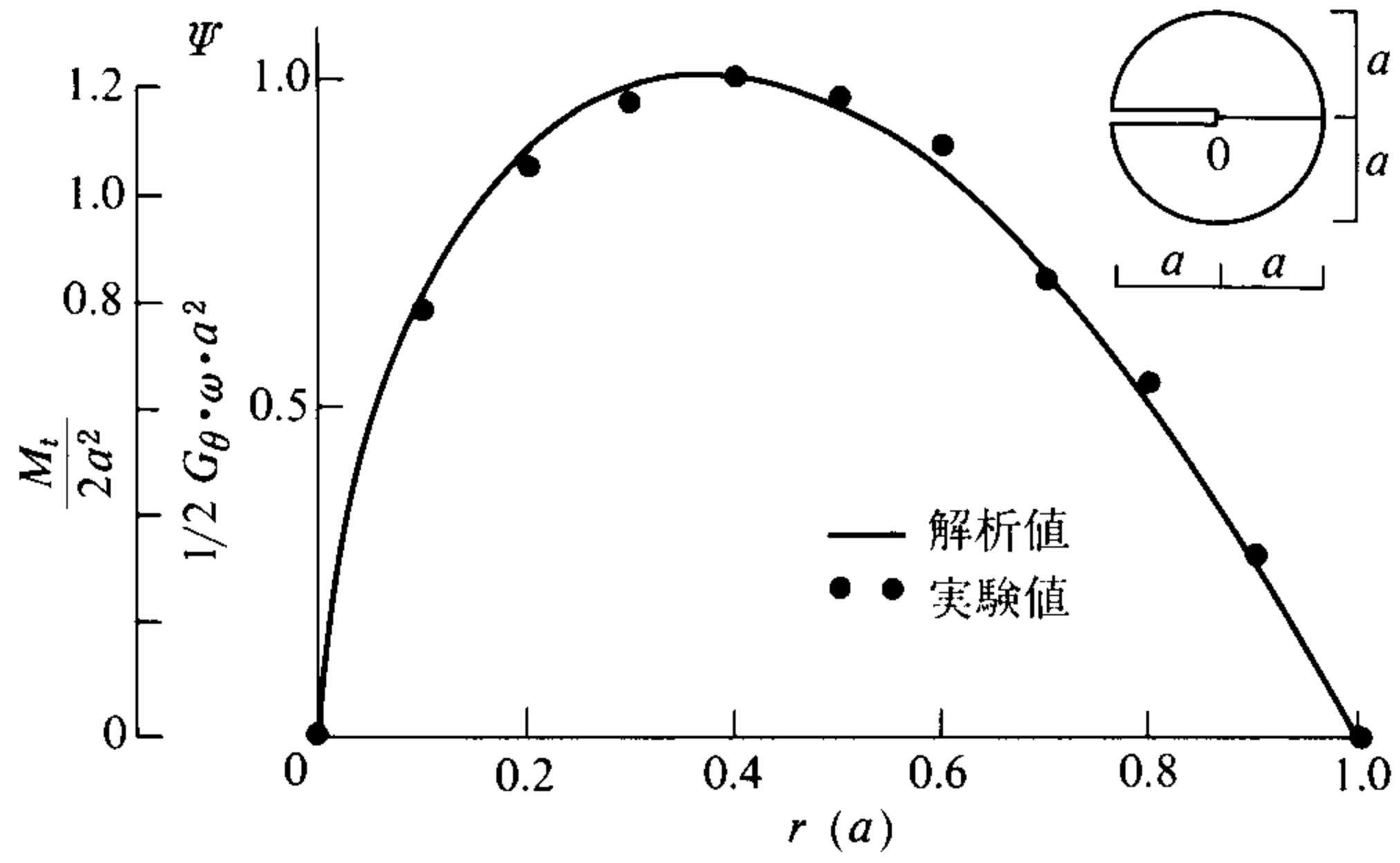


図9 a $k=1$ のねじり応力関数と膜実験のたわみ ($\theta=0^\circ$)

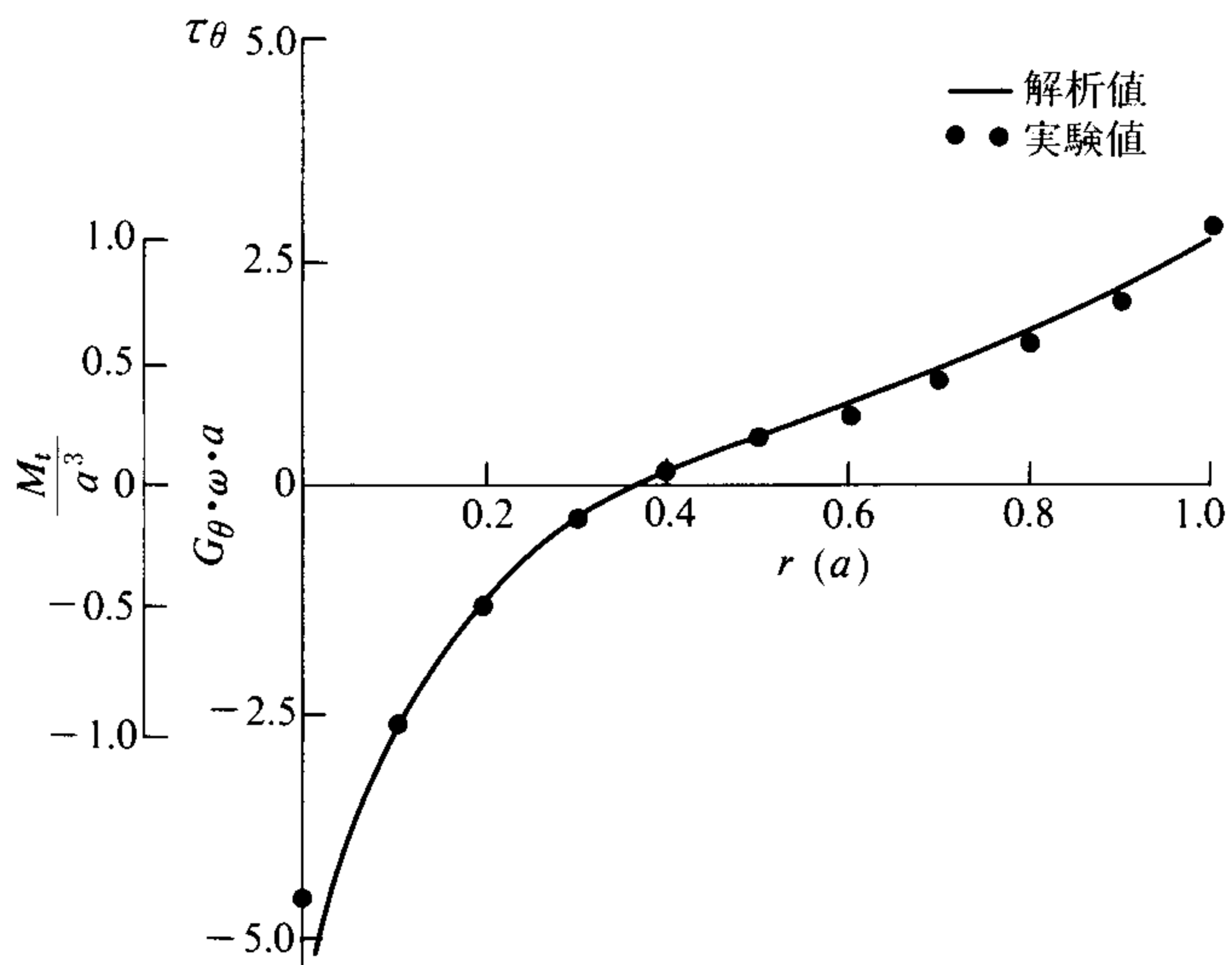


図9 b $k=1$ のせん断応力 ($\theta=0^\circ$)

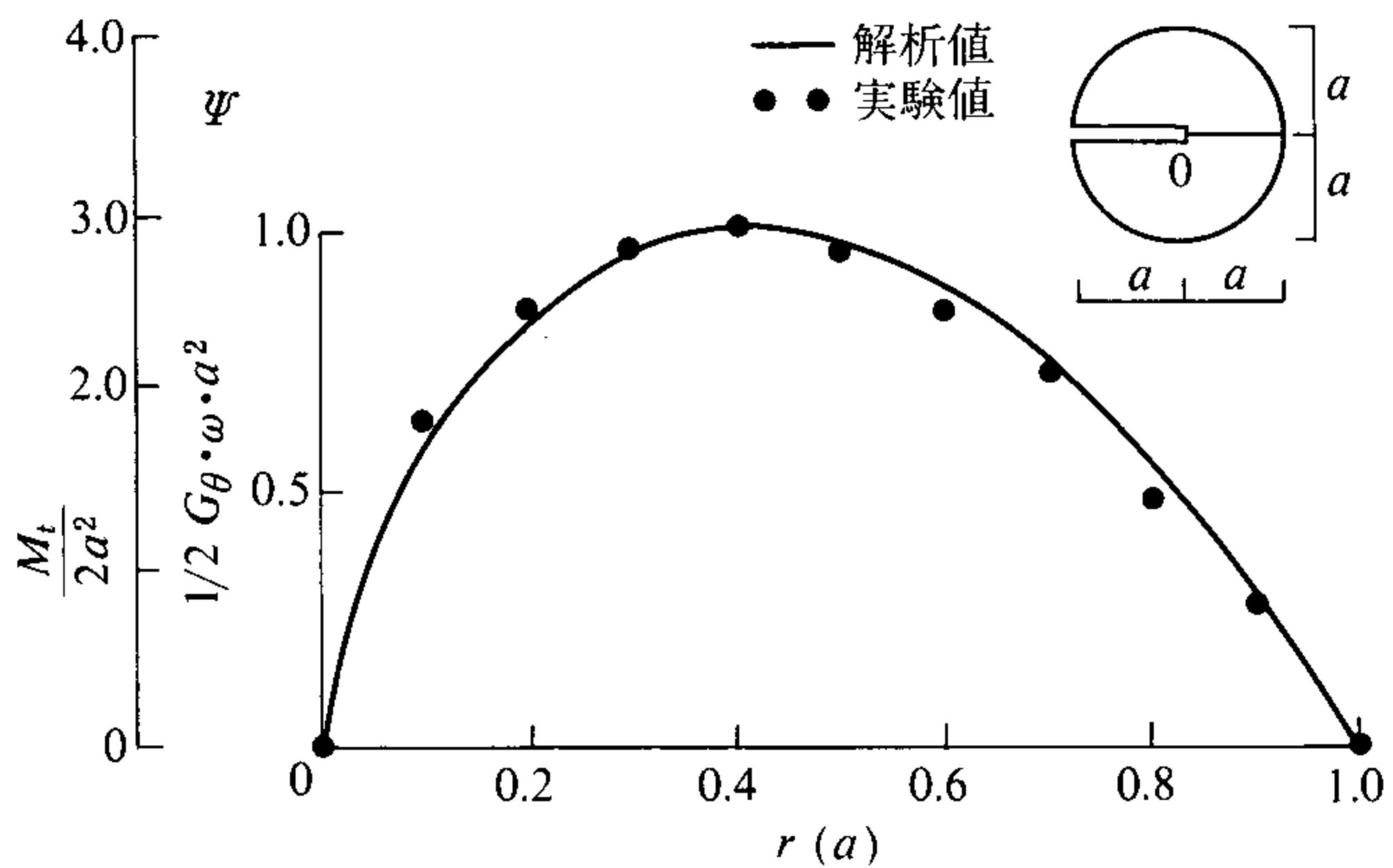


図10 a $k=16/9$ のねじり応力関数と膜実験のたわみ ($\theta=0^\circ$)

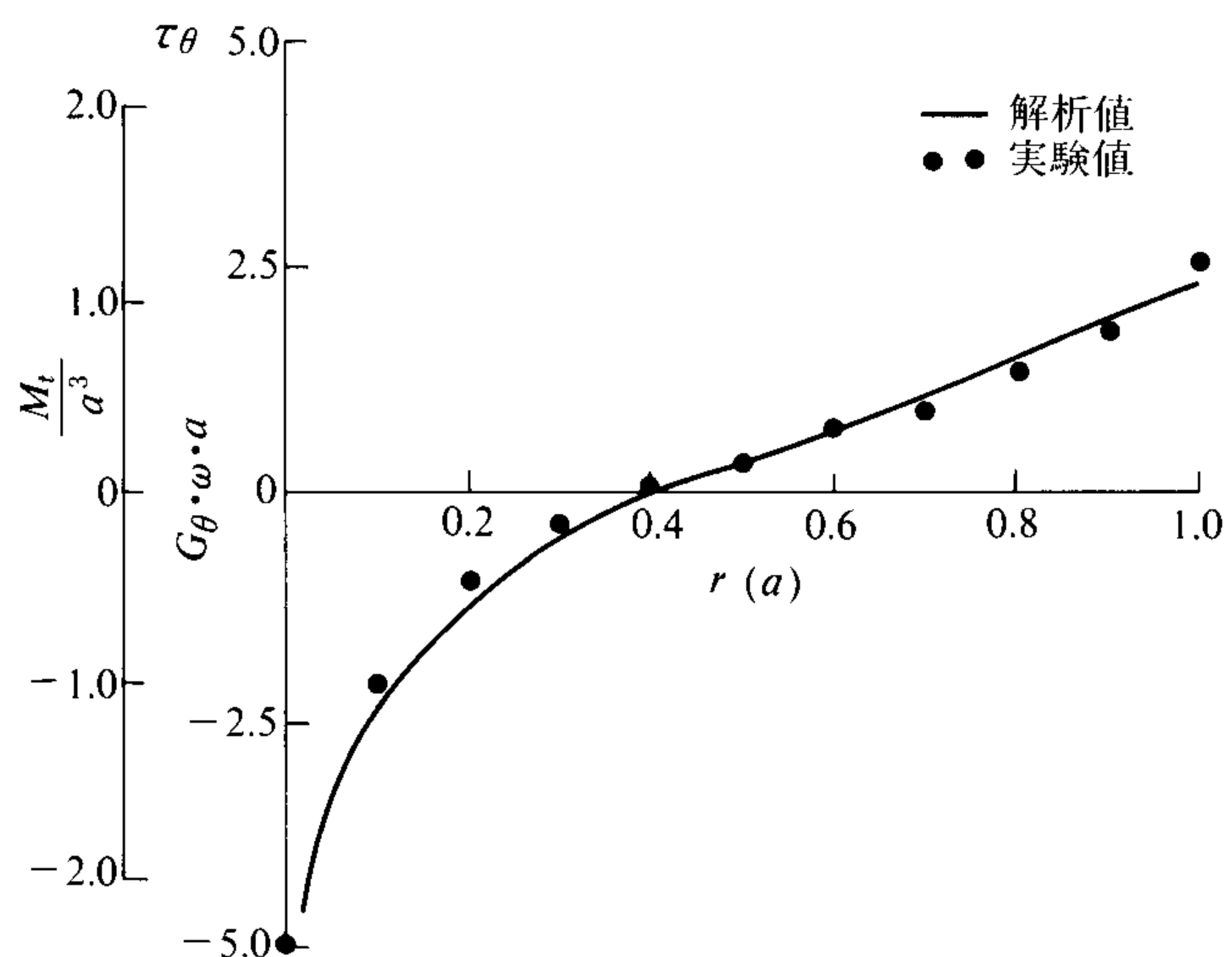


図10 b $k=16/9$ のせん断応力 ($\theta=0^\circ$)

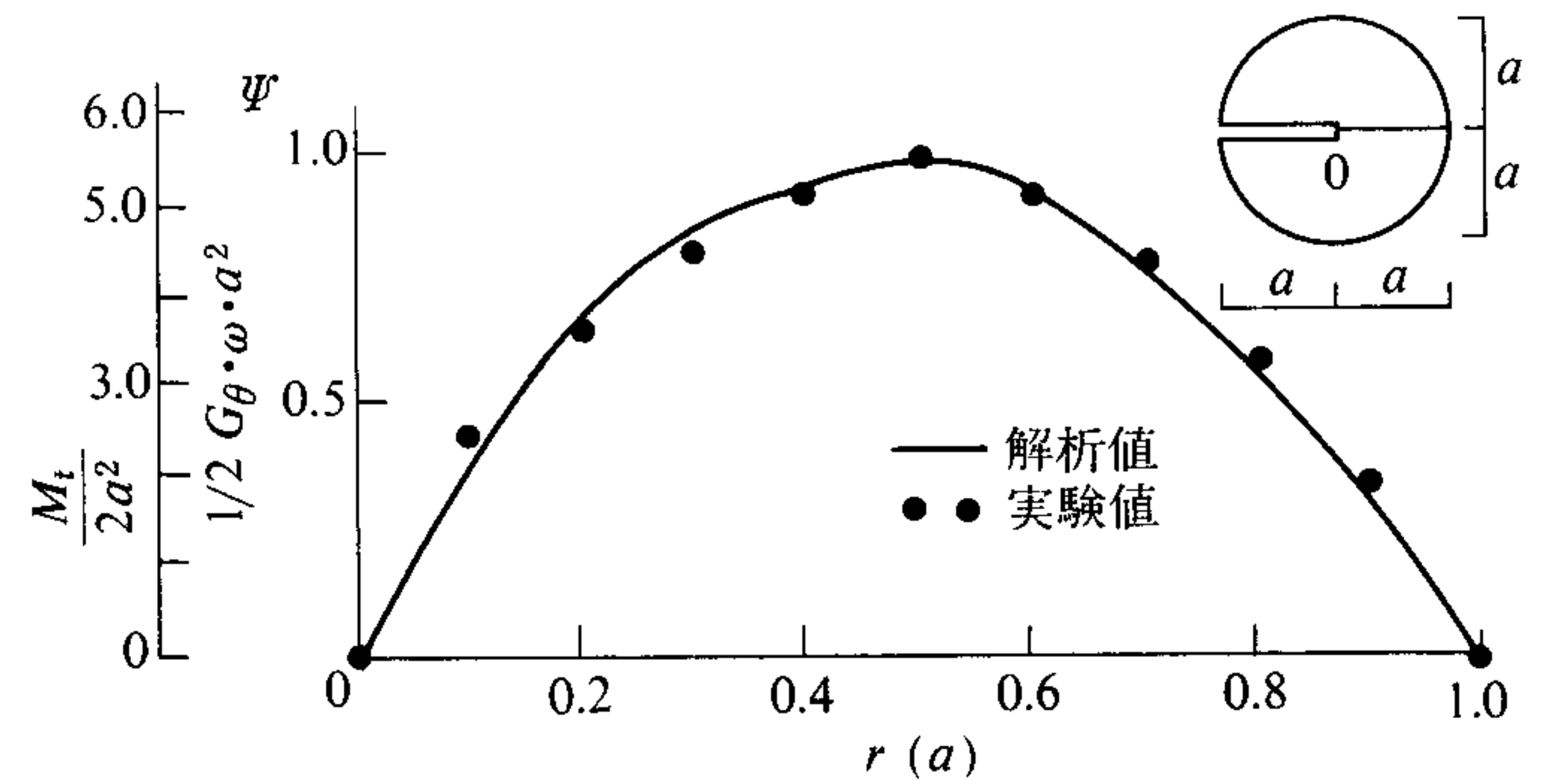


図11 a $k=4$ のねじり応力関数と膜実験のたわみ ($\theta=0^\circ$)

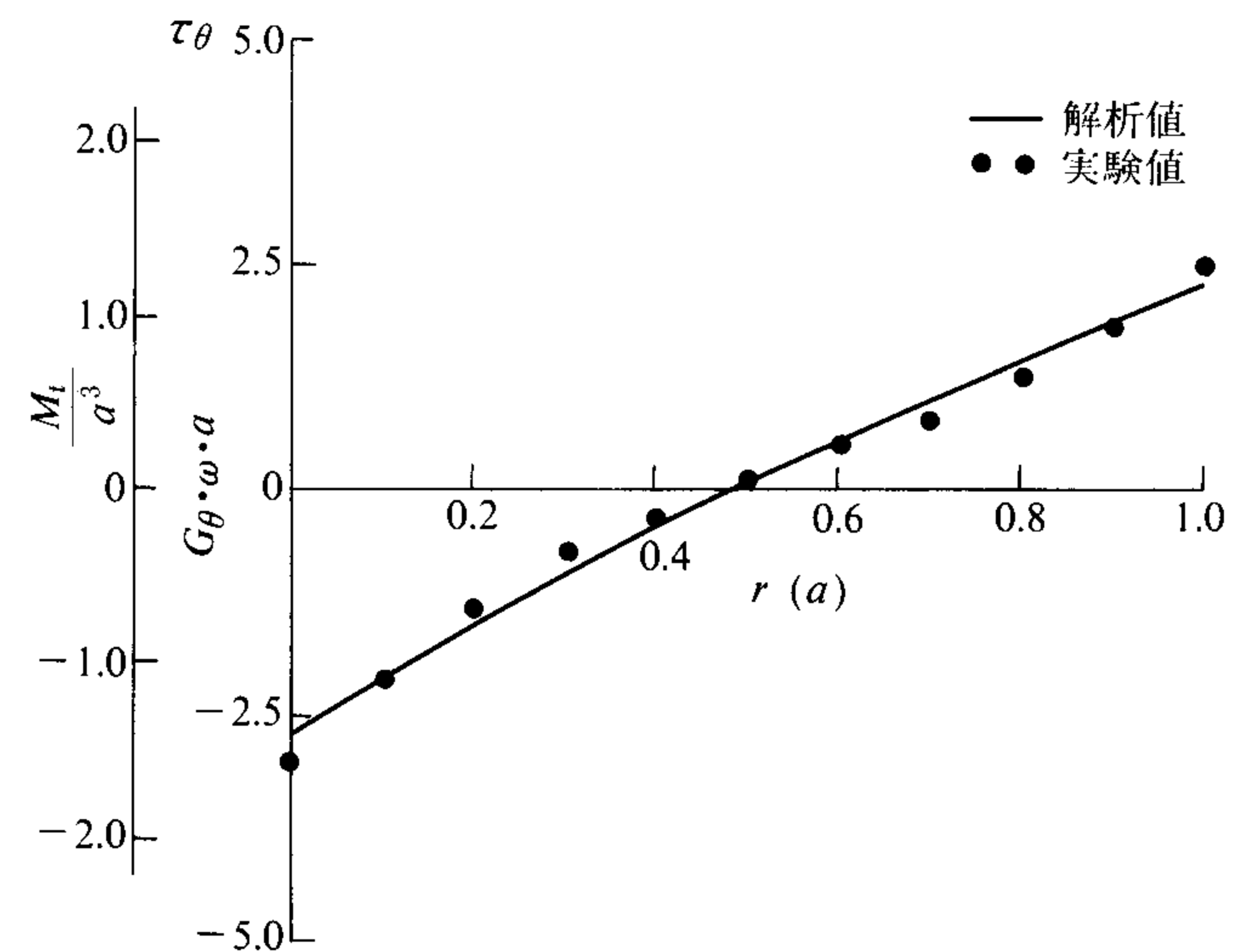


図11 b $k=4$ のせん断応力 ($\theta=0^\circ$)

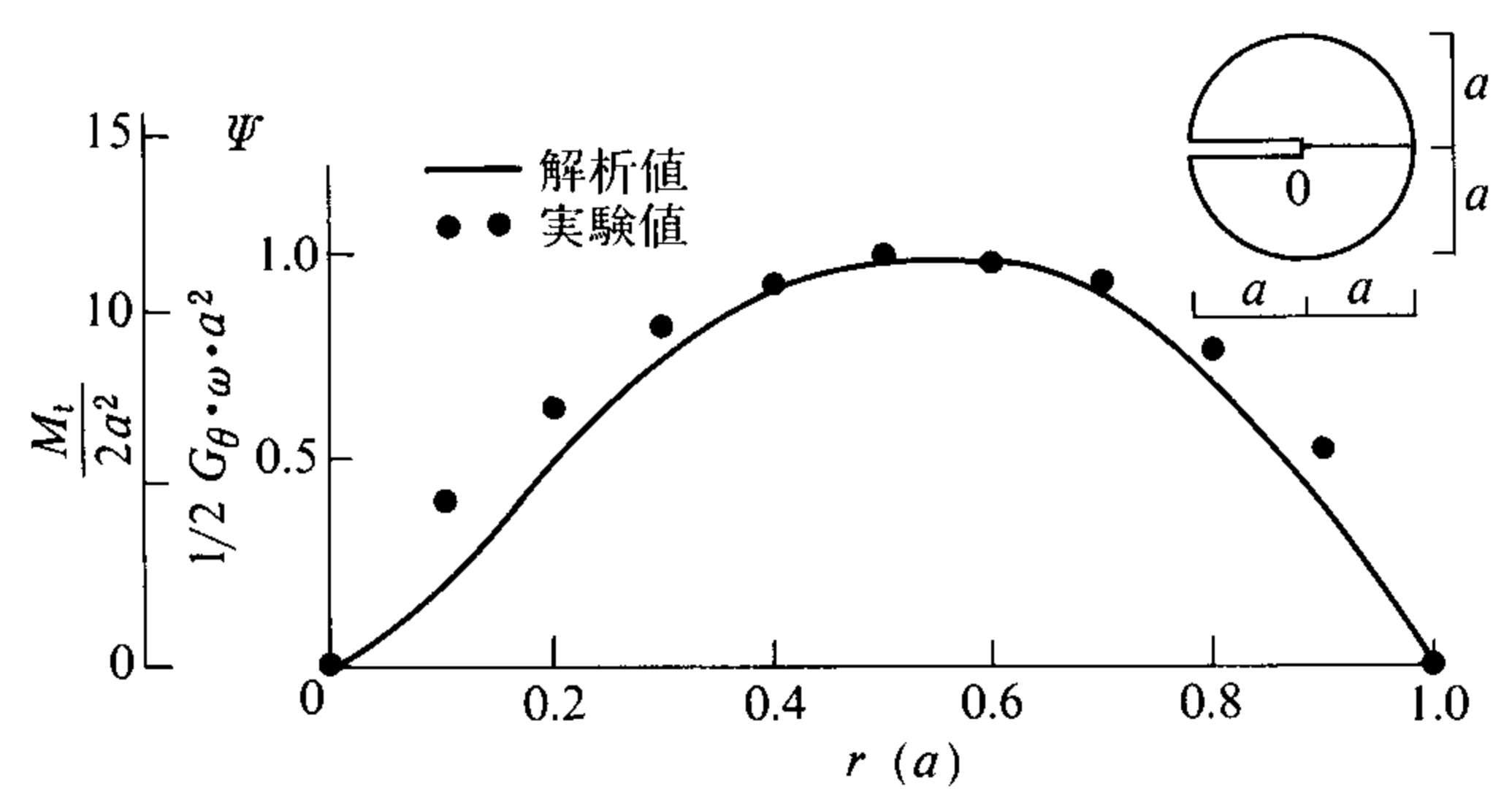


図12 a $k=9$ のねじり応力関数と膜実験のたわみ ($\theta=0^\circ$)

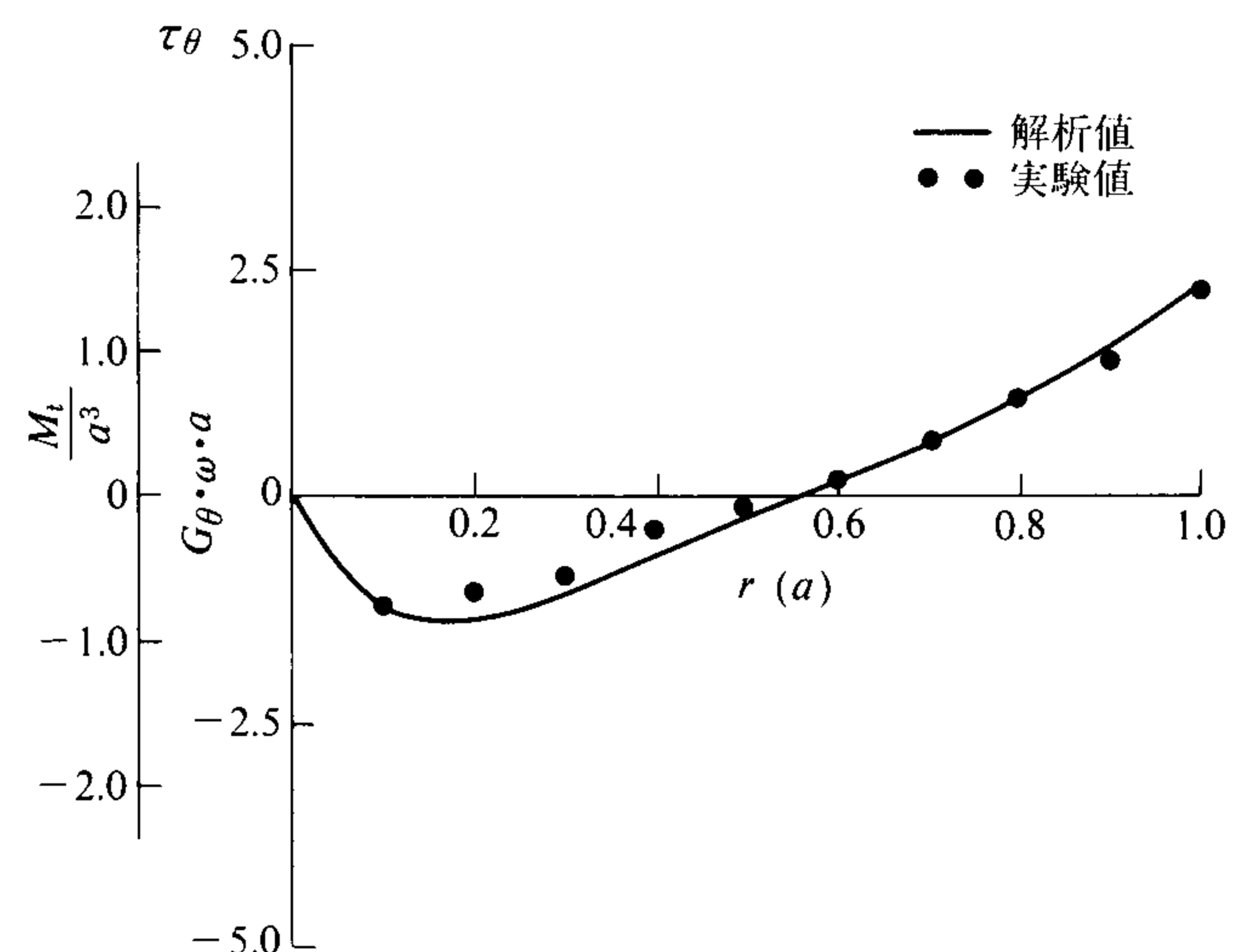


図12 b $k=9$ のせん断応力 ($\theta=0^\circ$)

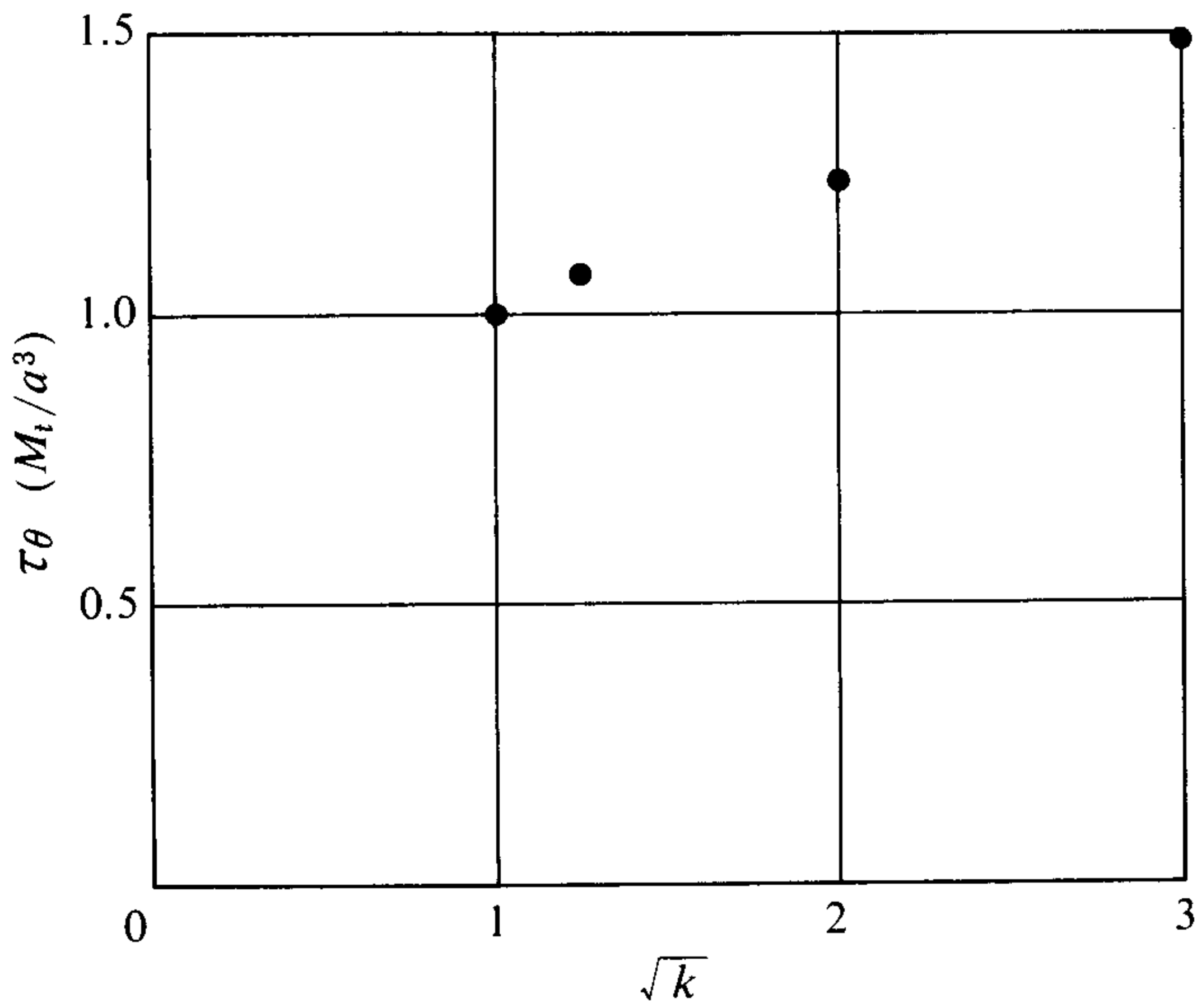


図13 スリットのある円形断面最大せん断応力

一辺を $2a$ の正方形とする。

膜実験は $k=1/16, 4/16, 9/16, 1, 4, 9$ についておこなう。断面形状は極座標で各々 $r=r', \theta=\sqrt{k}\theta'$ が成り立つように、 r 方向を一定とし、 θ 方向を $1/\sqrt{k}$ 倍した形状であり、正方形断面は $k=1/16$ では1ヶ所、 $k=4/16$ では2ヶ所、 $k=9/16$ では3ヶ所、 $k=4$ では8ヶ所、 $k=9$ では12ヶ所の角のとがった境界をもつ形状となる(図14)。モアレ法による膜のたわみ等高線写真を写真7~写真12に示す。これにより求まる応力関数、および

せん断応力の $k=1$ の場合を図15~図16に示す。

正方形心持材の場合、せん断応力 τ_{θ} の最大値は、何れも辺中央に生じることが、モアレのたわみ等高線写真から分る。この最大値は k の値による変化は少ない。 k の値が大きくなる程、突出部の縞数が減ってきて、突出部の応力が少くなる。このことは k の値の増加に伴って正方形の角の部分の効果が減少し、内接する円断面に近づくものと考えられる。

たわみ等高線より膜の占める体積を算出し、ねじり角 ω とねじりモーメント M_t の関係を求めると表1の如くなり、ほぼ等しい値となるが、 k の値の増加によりねじり角の値が小さくなる傾向にある。

k に対応する最大せん断応力の値は図17の如くであり、 $k < 1$ では $\tau_{\theta} \doteq 0.6 M_t/a^3$ 、 $k > 1$ では $\tau_{\theta} \doteq 0.8 M_t/a^3$ となる。

(ii) スリットのある正方形断面

正方形断面でスリットのある場合は、心持材に背割りのある場合である。断面形状はスリットのある円形断面の場合と同じである。写真13~写真16は $k=1, 16/9, 4, 9$ の膜実験たわみ等高線写真である。図18はこれより求めた $k=1$ の応力関数とせん断応力である。 τ_{θ} の最大値はスリットの反対側で最大となる。 k の値と最大せん断応力 τ_{θ} の関係は図19の如くであり、最大せん断応力は $k > 1$ ではほぼ一定の値となる。スリット部分で断面の中心におけるせん断応力 τ_r の値は、スリットのある円

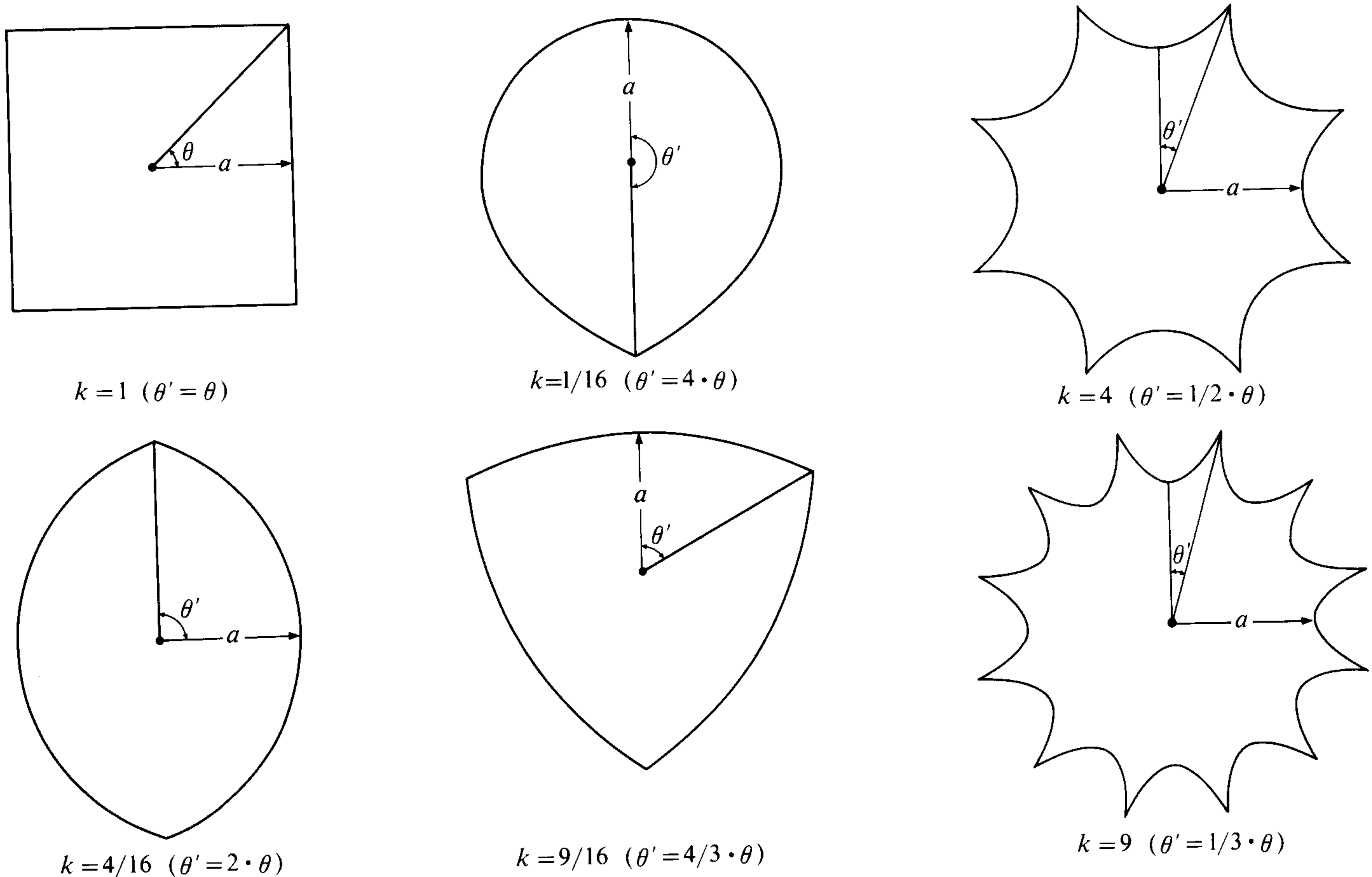


図14 正方形断面の膜実験断面形状

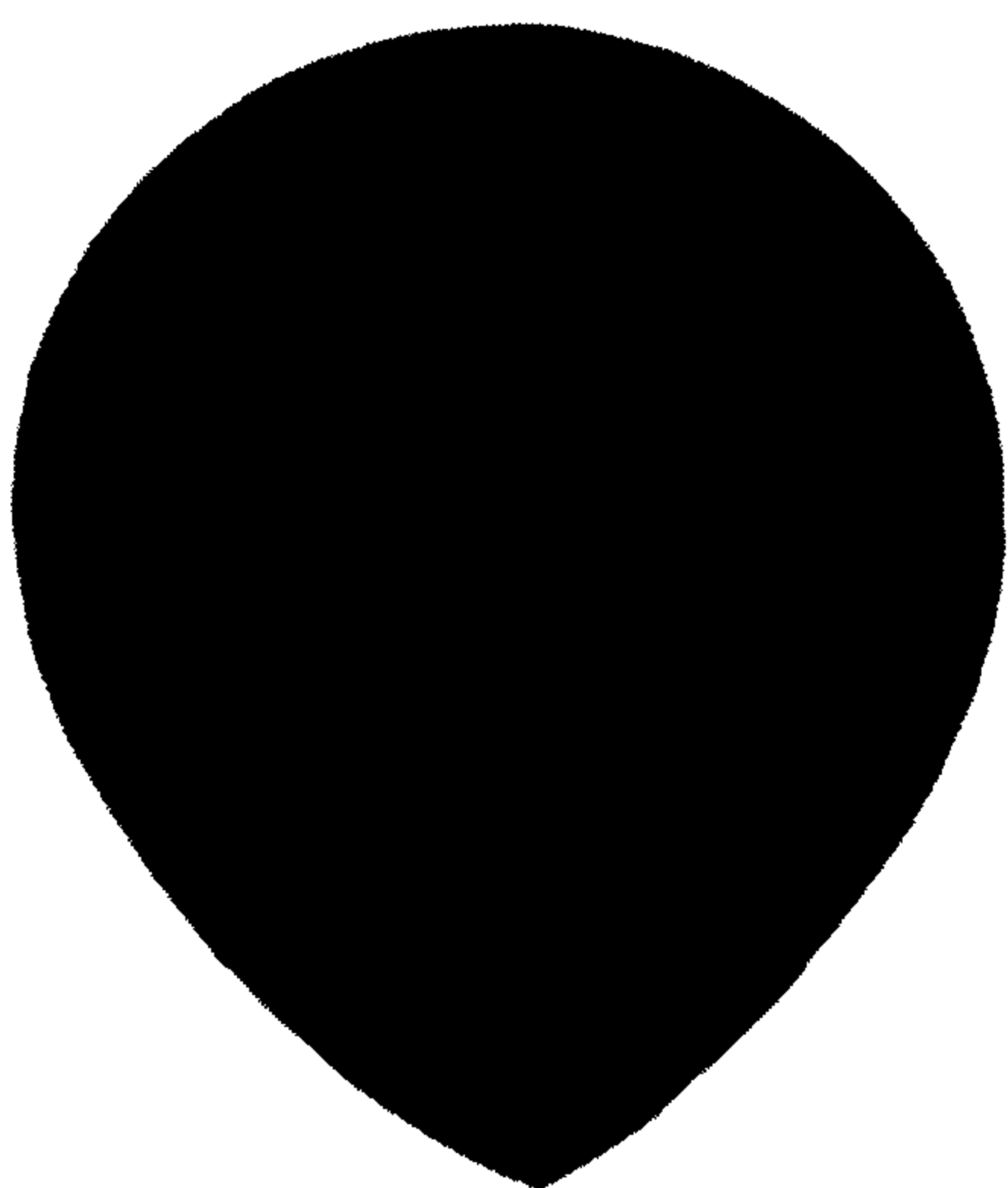


写真7 正方形断面膜実験写真
 $k=1/16$

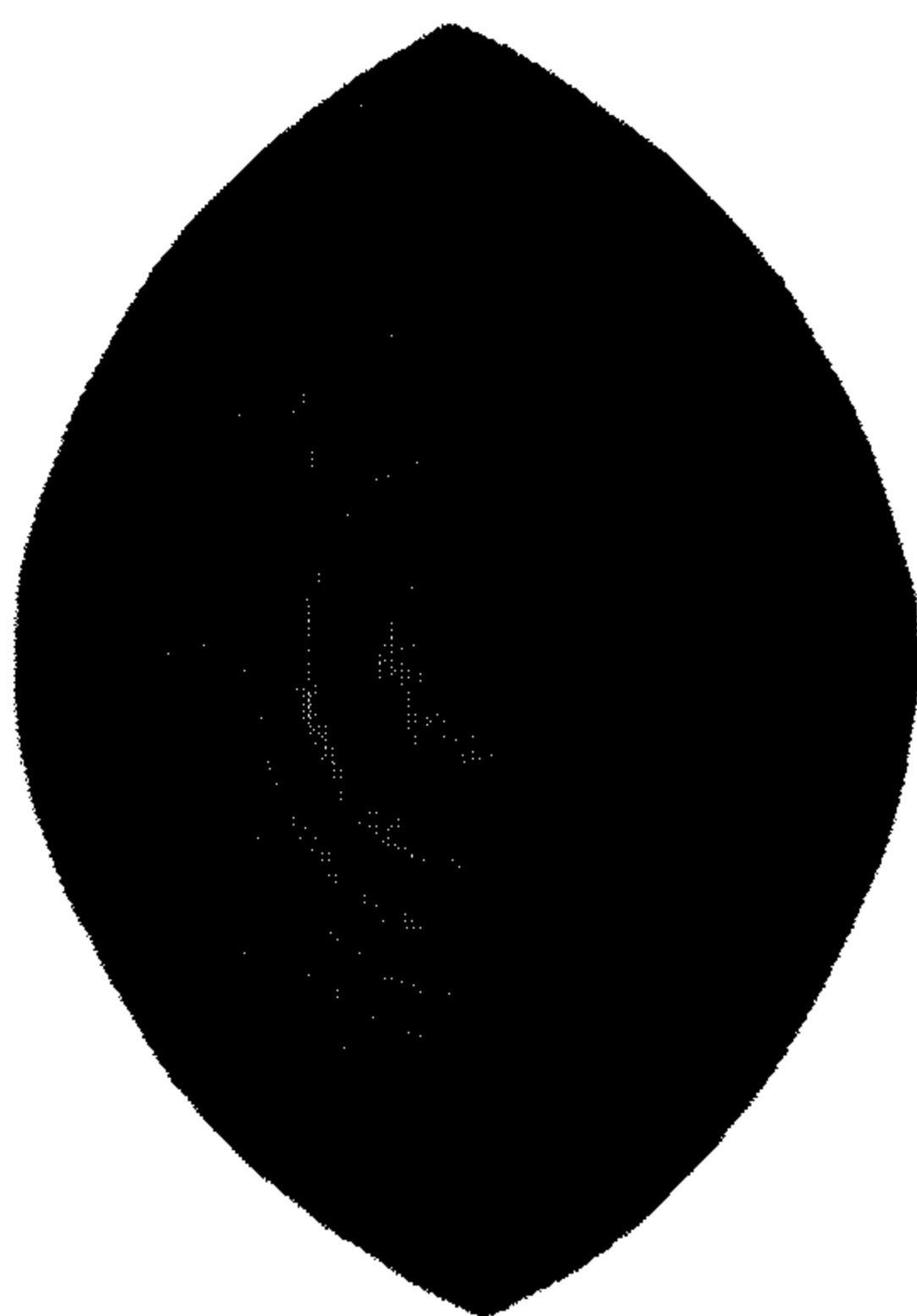


写真8 正方形断面膜実験写真
 $k=4/16$

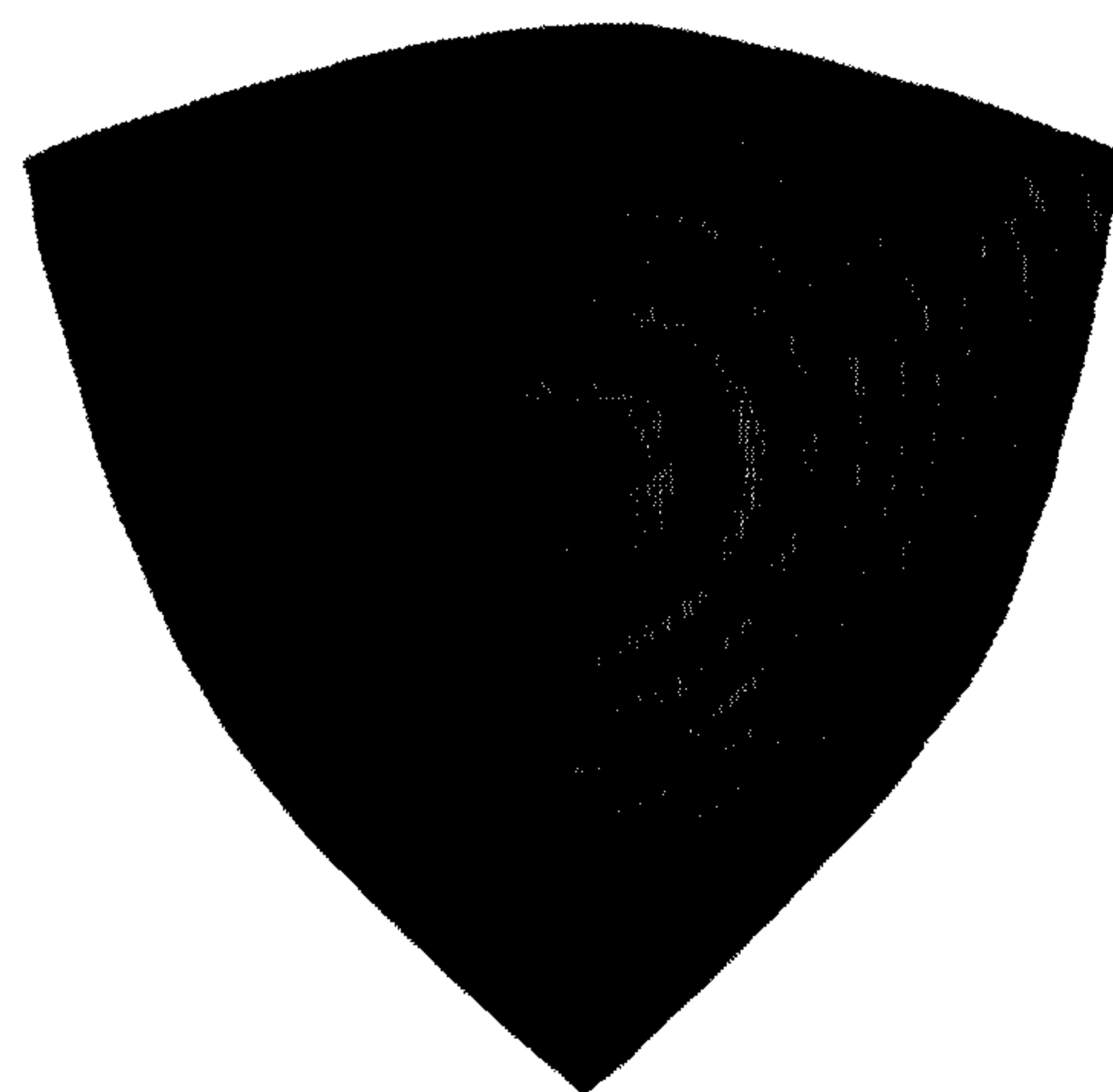


写真9 正方形断面膜実験写真
 $k=9/16$

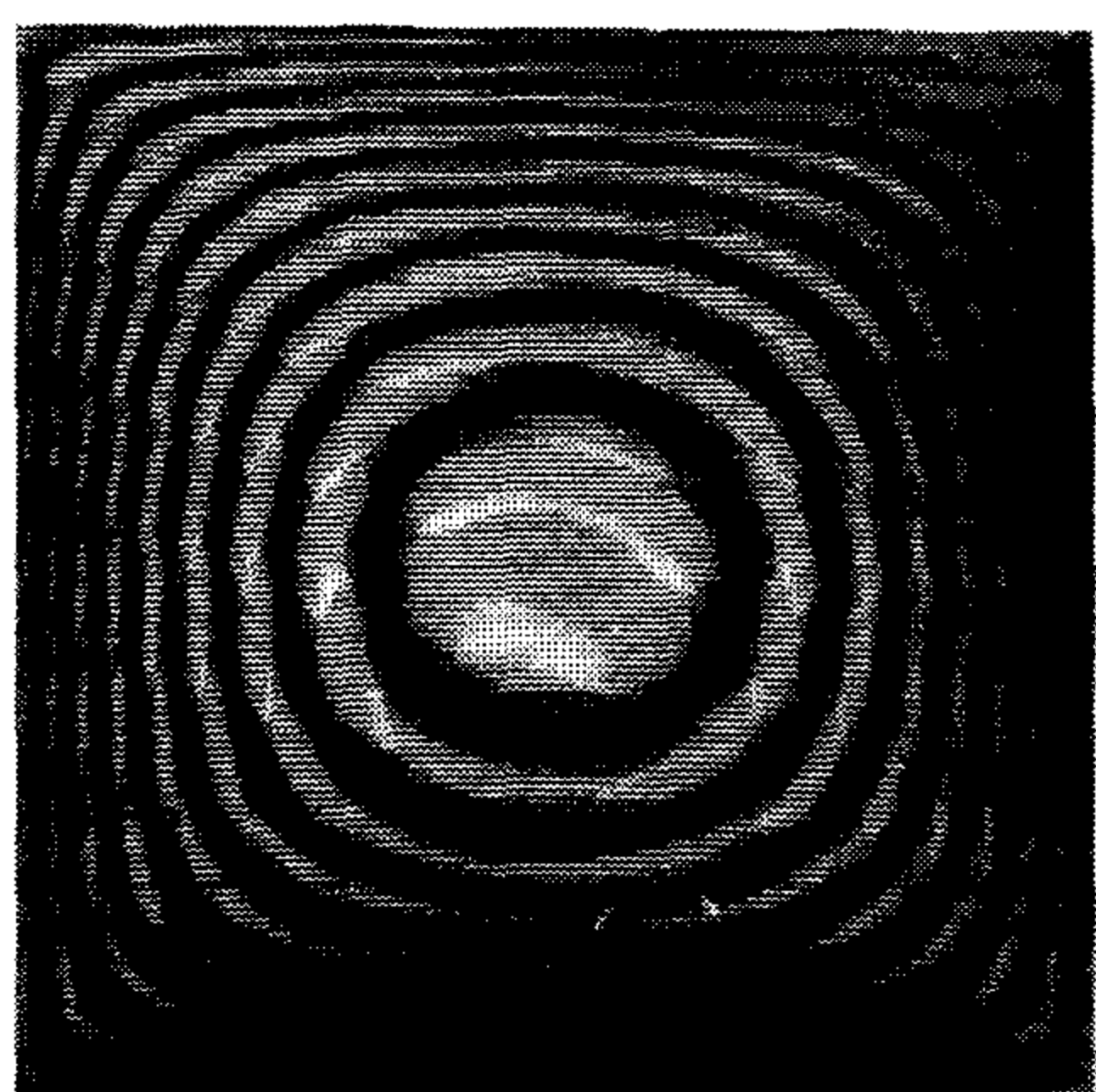


写真10 正方形断面膜実験写真
 $k=1$

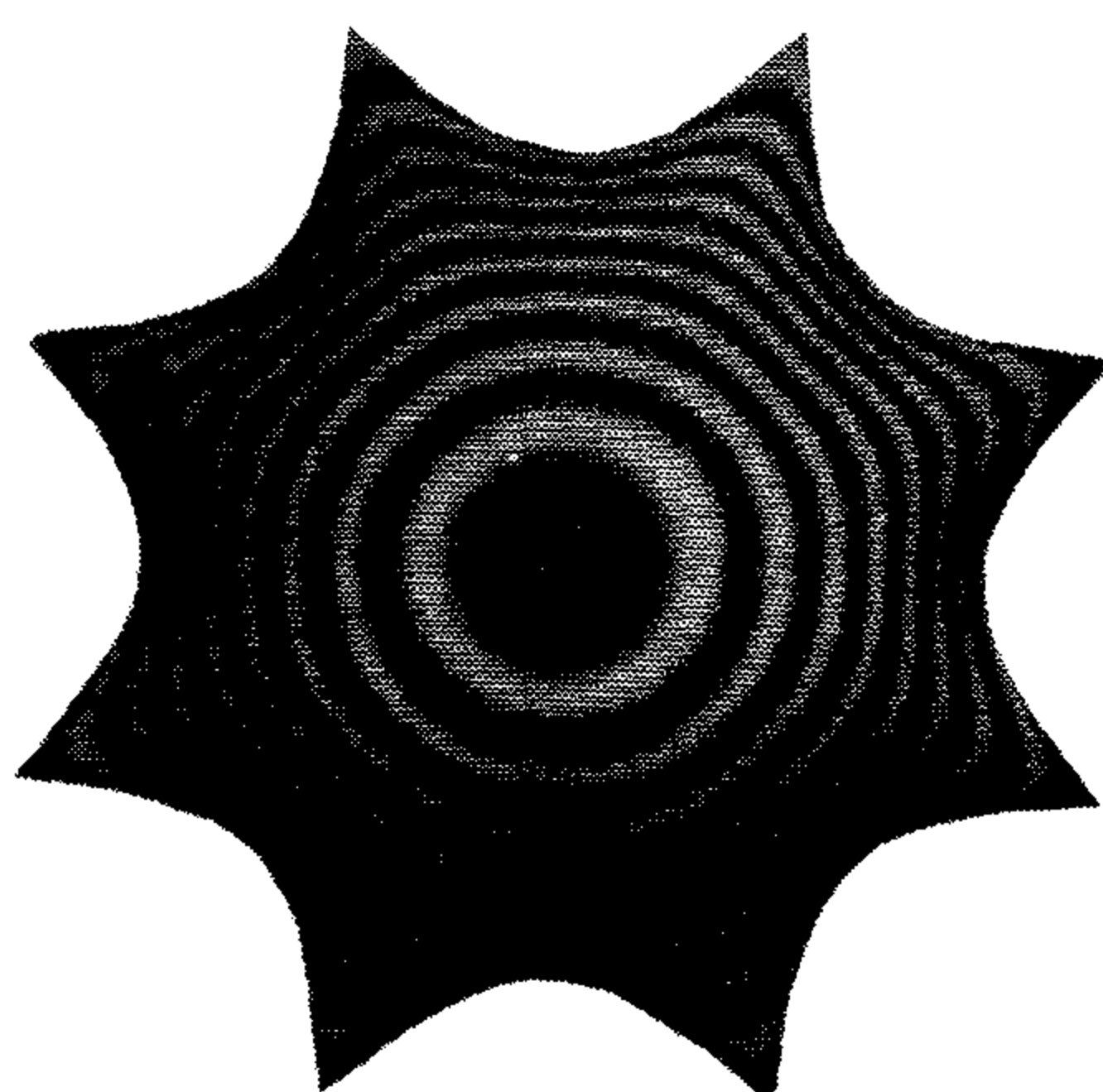


写真11 正方形断面膜実験写真
 $k=4$

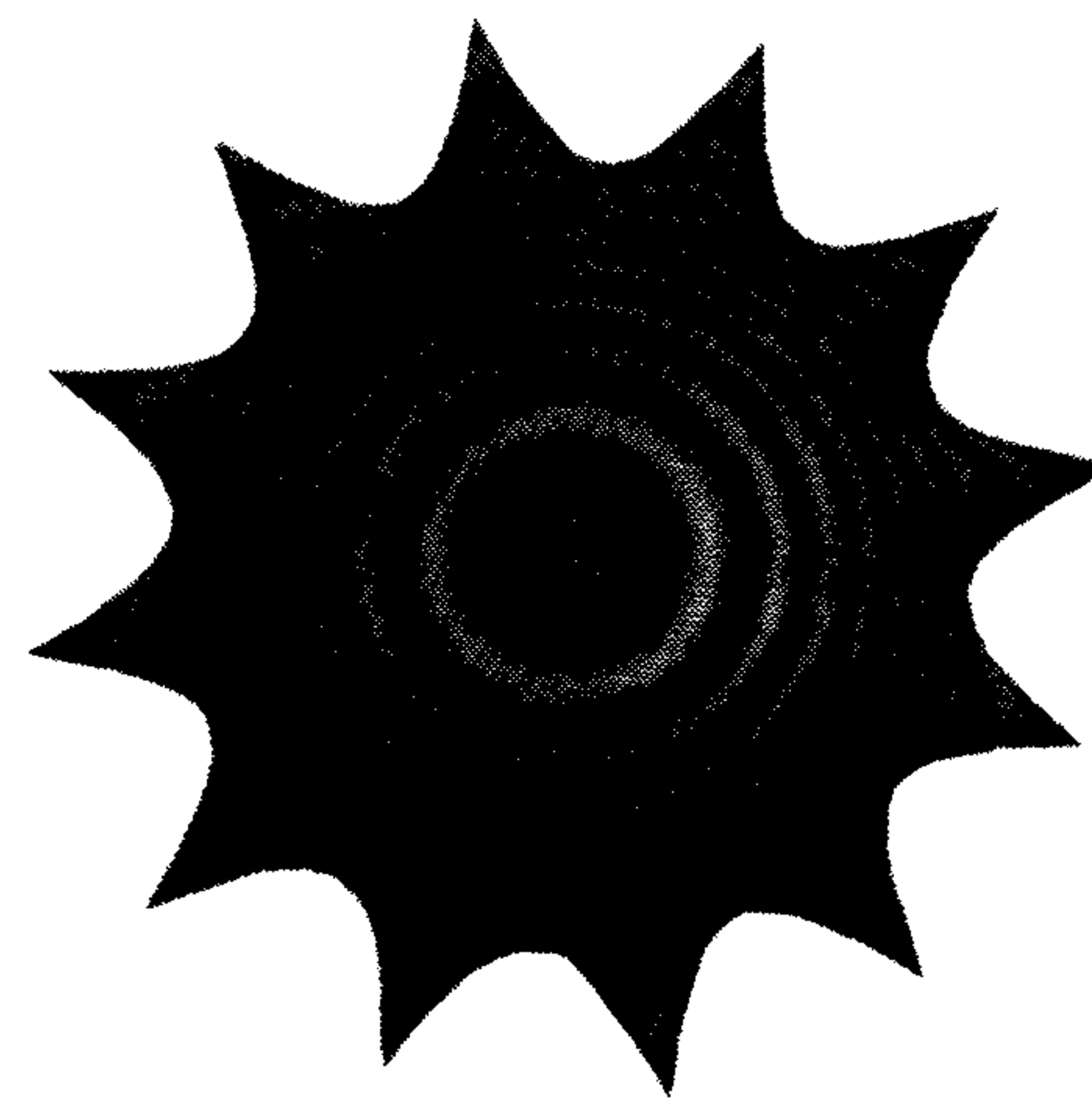


写真12 正方形断面膜実験写真
 $k=9$

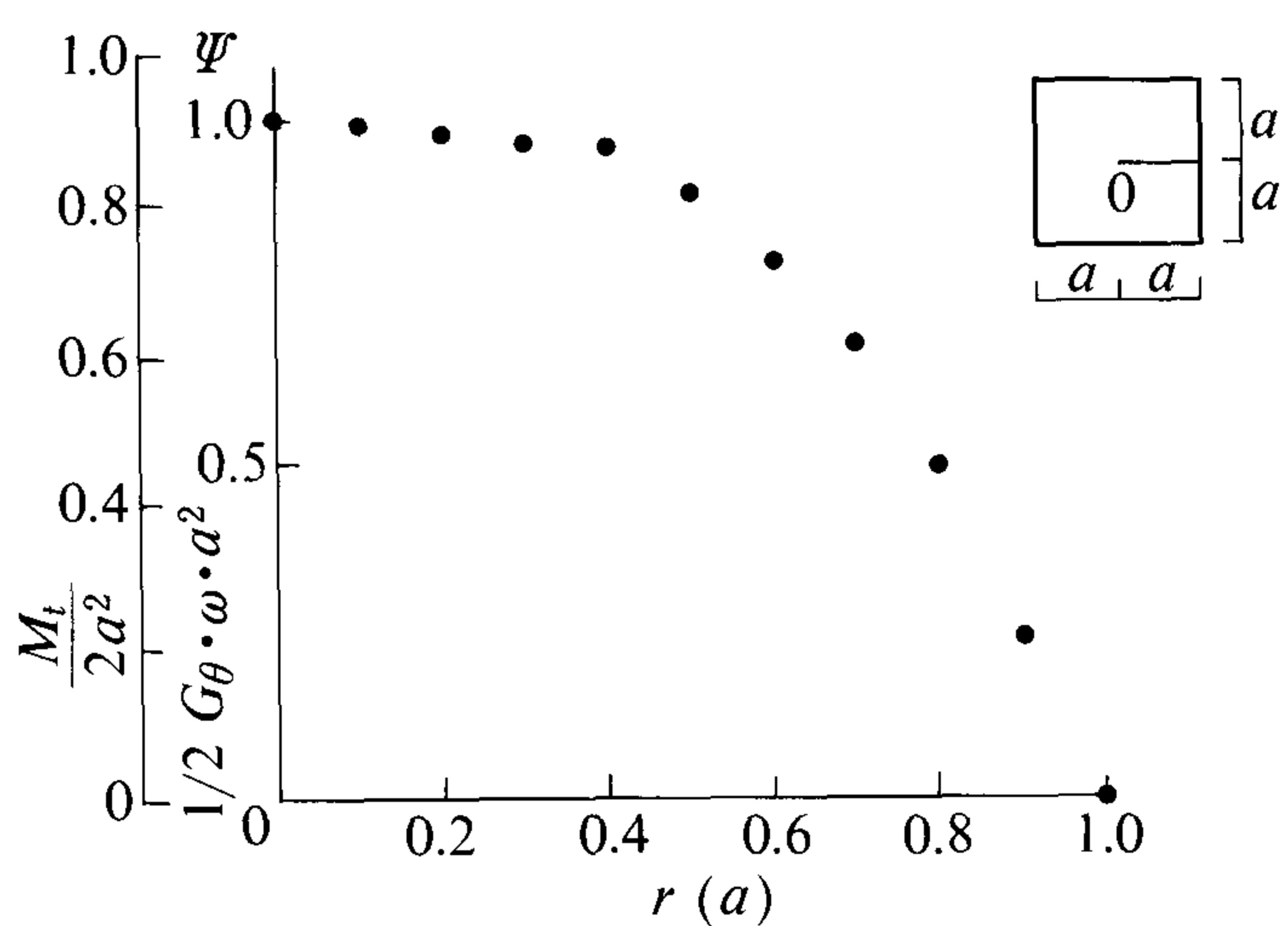


図15a $k=1$ のねじり応力関数 ($\theta=0^\circ$)

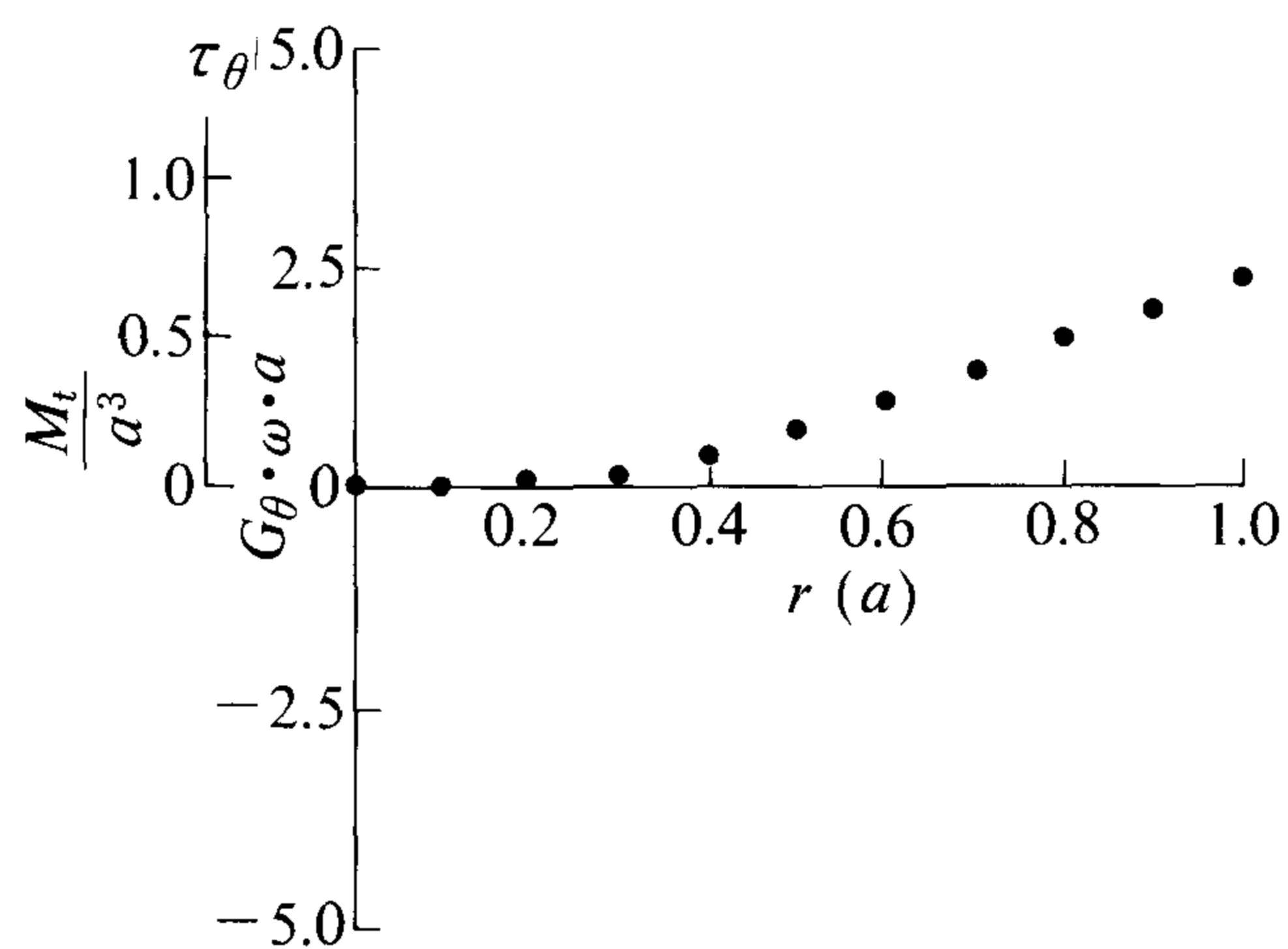


図15b $k=1$ のせん断応力 ($\theta=0^\circ$)

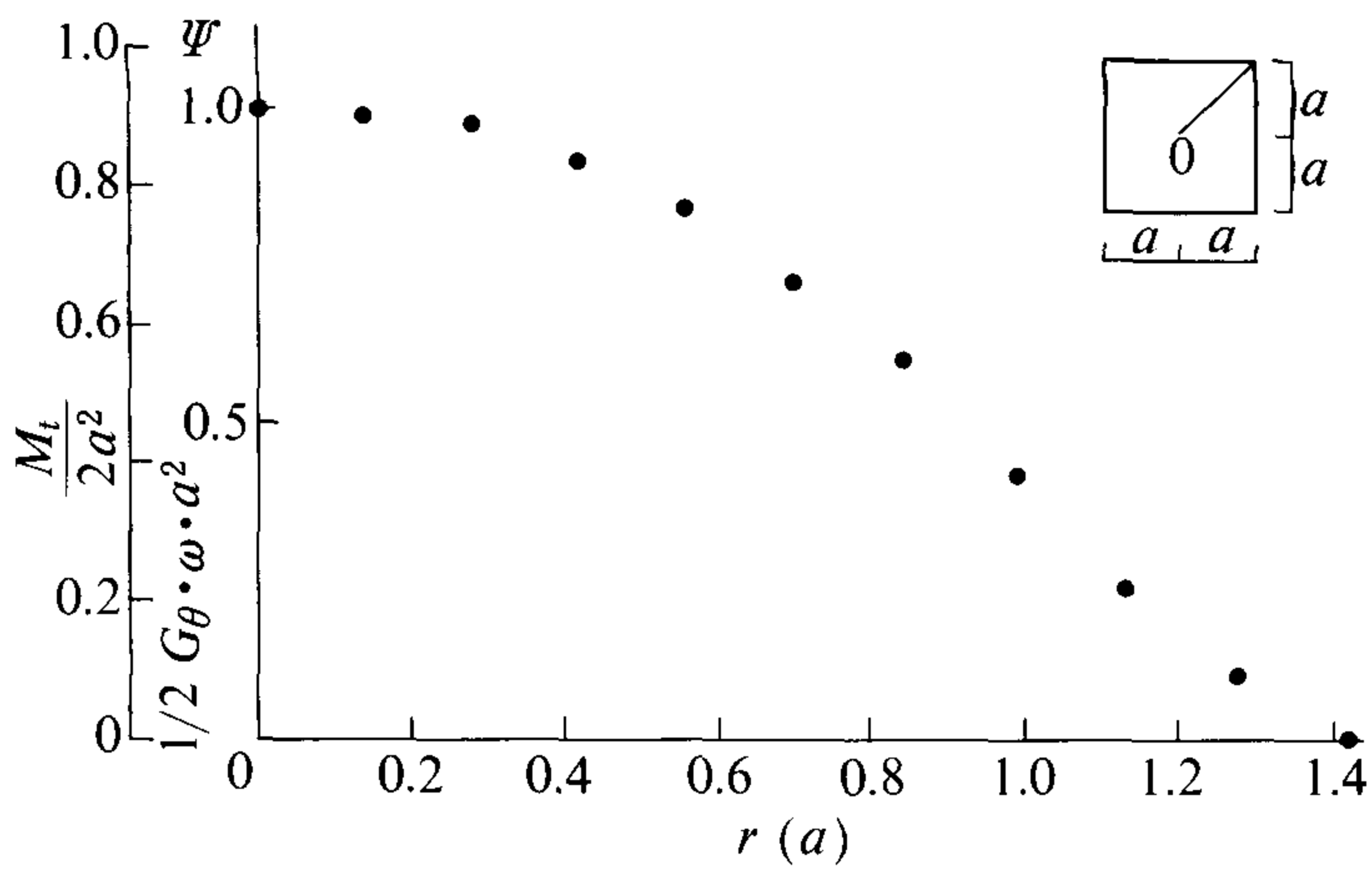


図16a k=1のねじり応力関数 (θ=π/4)

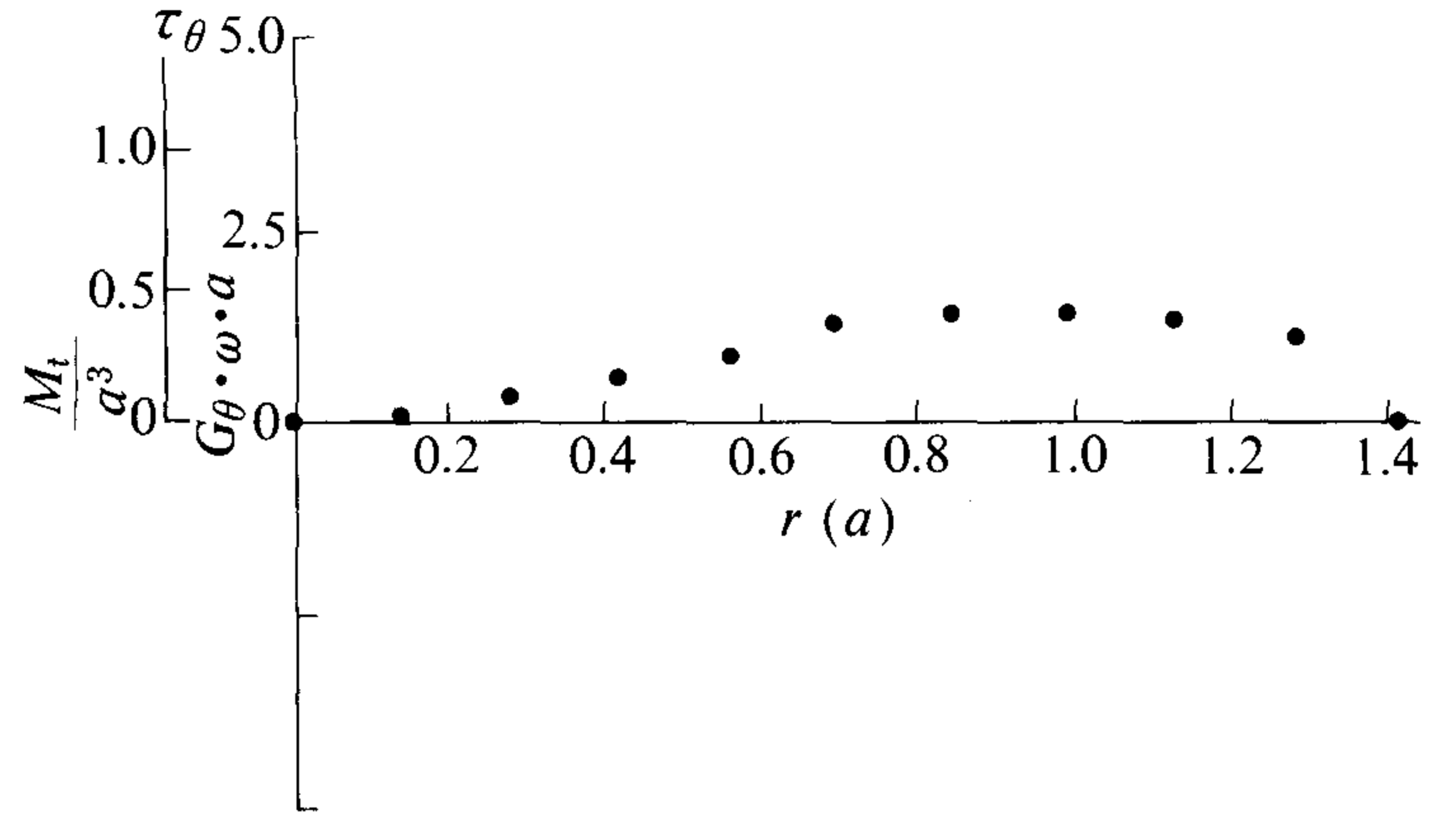


図16b k=1のせん断応力 (θ=π/4)

表1 正方形断面のkの値に対するωとMtの関係

| k | 1/16 | 4/16 | 9/16 | 1 | 4 | 9 |
|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| ω ($Mt/G_\theta \cdot a^4$) | 0.49 | 0.46 | 0.48 | 0.48 | 0.42 | 0.40 |

形断面の場合と同じよしに、k=4の場合のみ一定値をもつ。

(iii) 長方形断面

a×2aの辺をもつ長方形断面ではk=1, 4, 9に対して写真17~写真19のような膜実験たわみ等高線写真となる。kの値が増大する程、長辺の端部の縞が少なくなり、応力が小さい。これは正方形断面に比べて非常にねじり抵

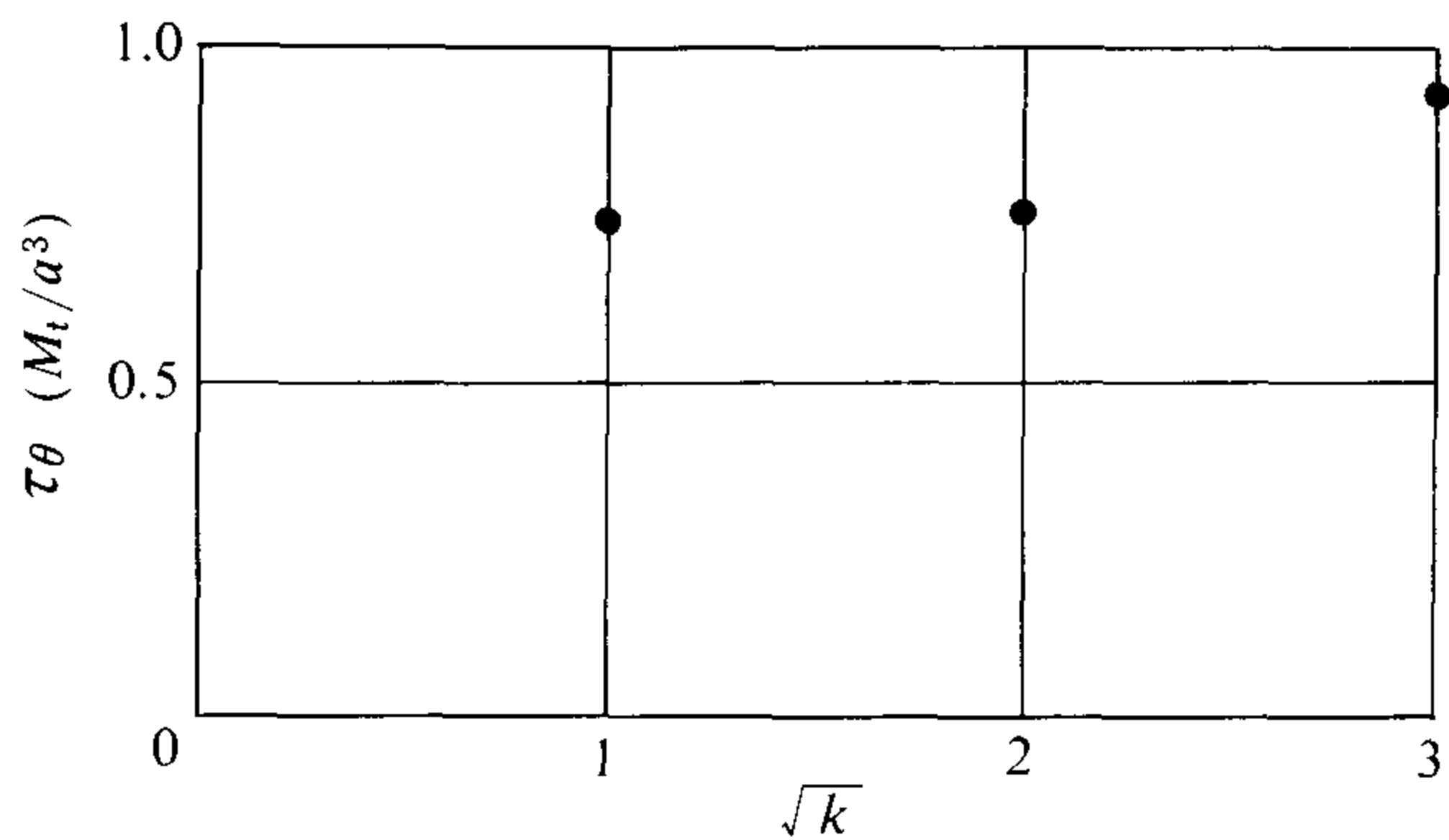


図17 正方形断面最大せん断応力

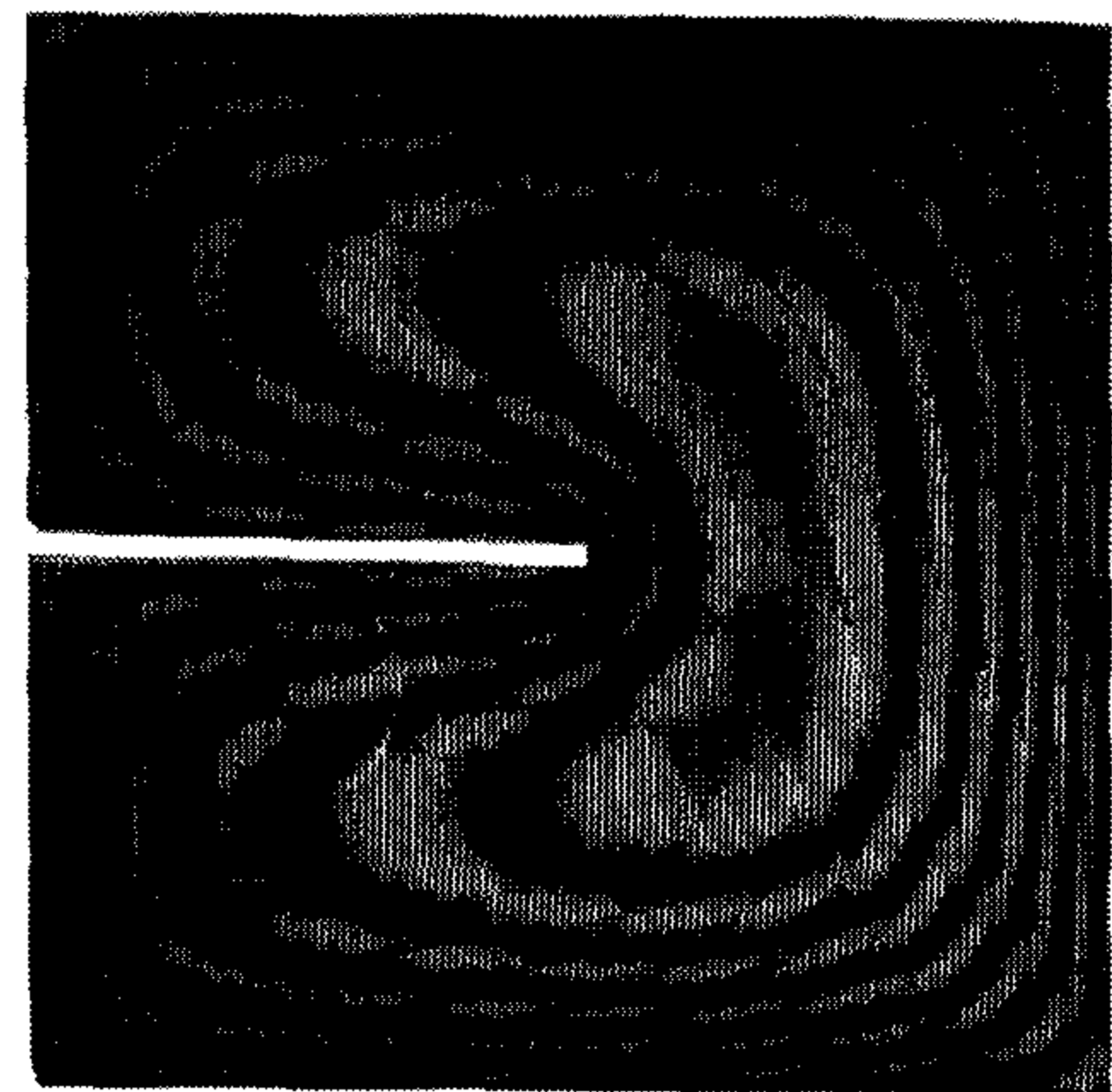


写真13 スリットのある正方形断面膜実験写真 k=1

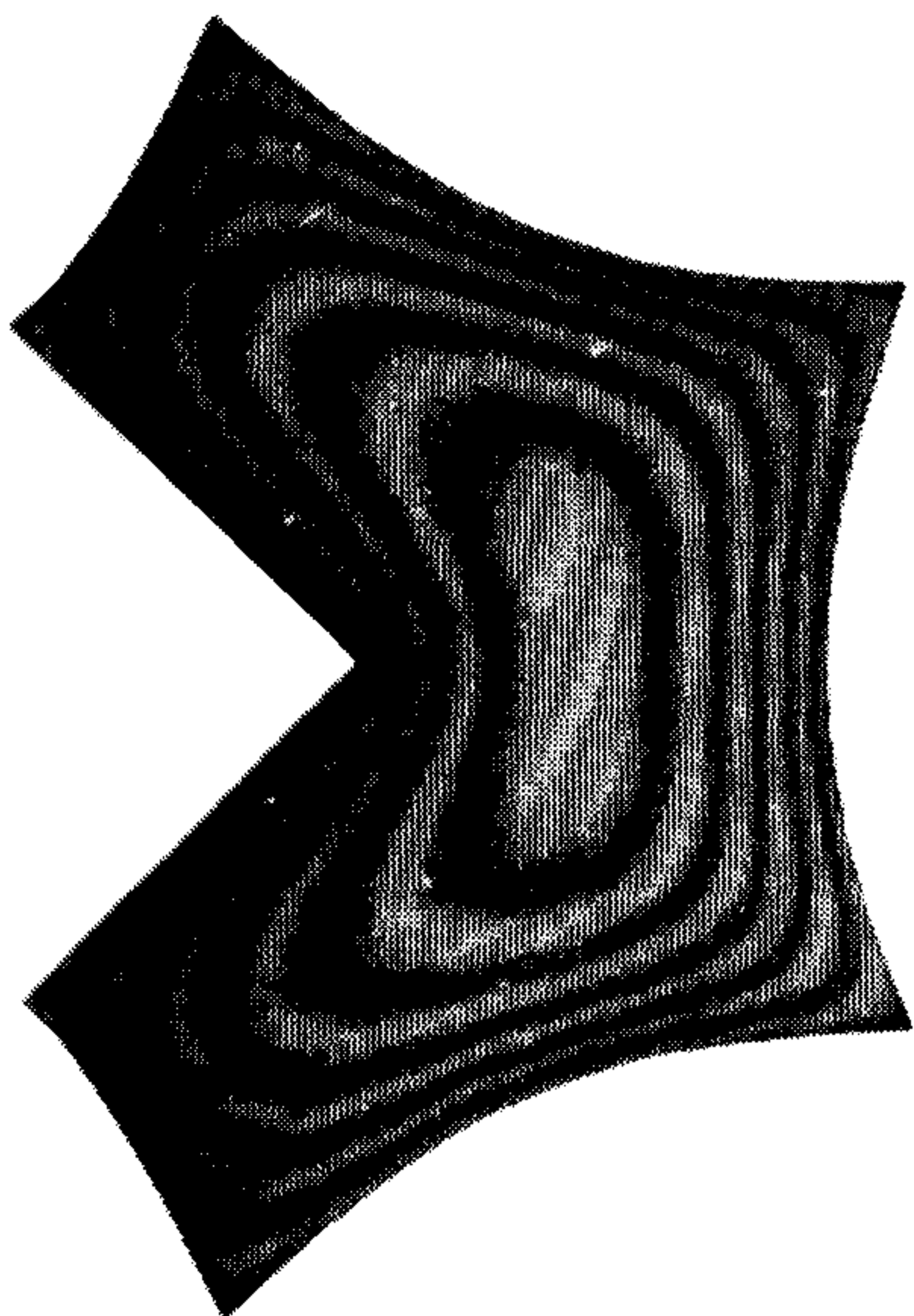


写真14 スリットのある正方形断面膜実験写真 k=16/9

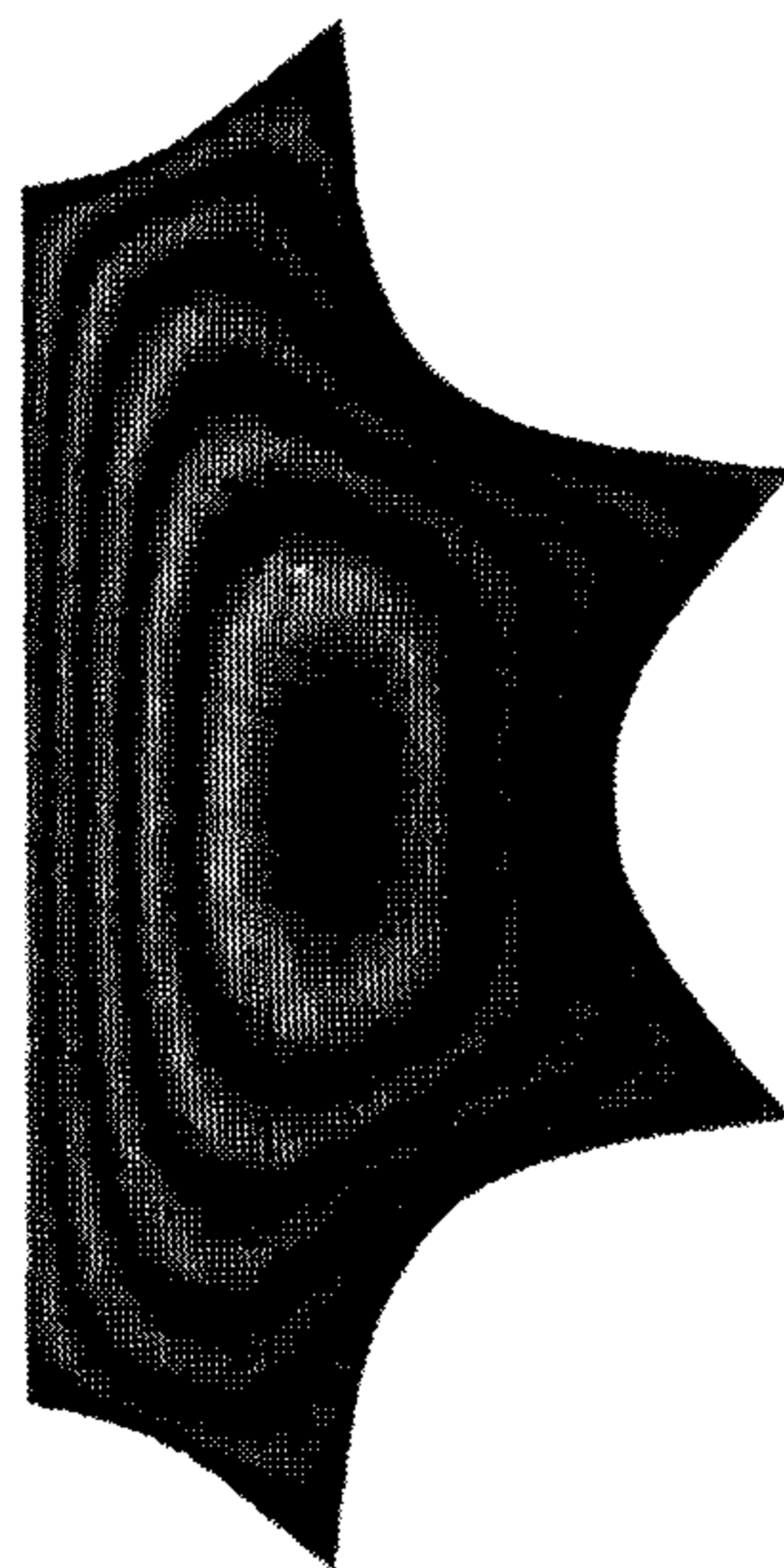


写真15 スリットのある正方形断面膜実験写真 k=4

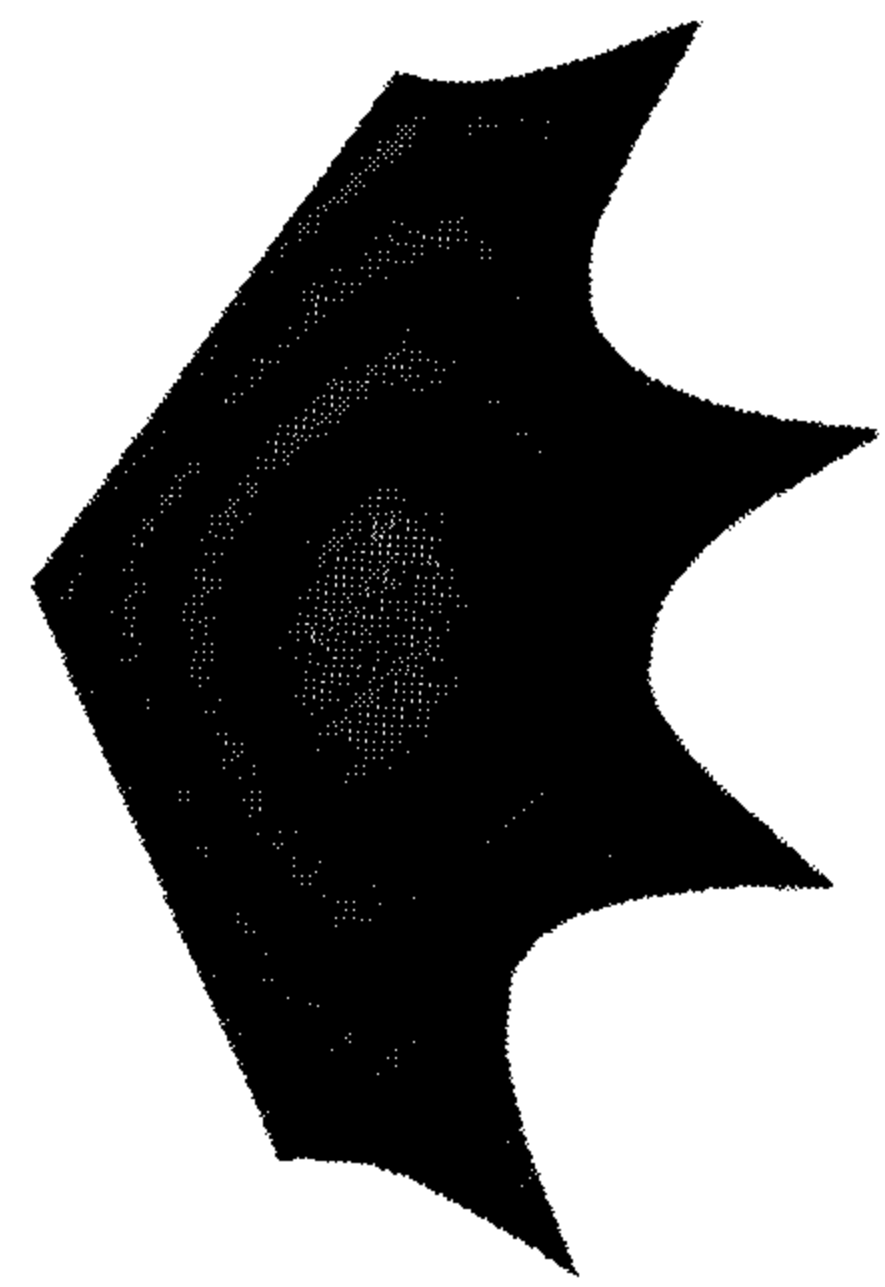


写真16 スリットのある正方形断面膜実験写真 k=9

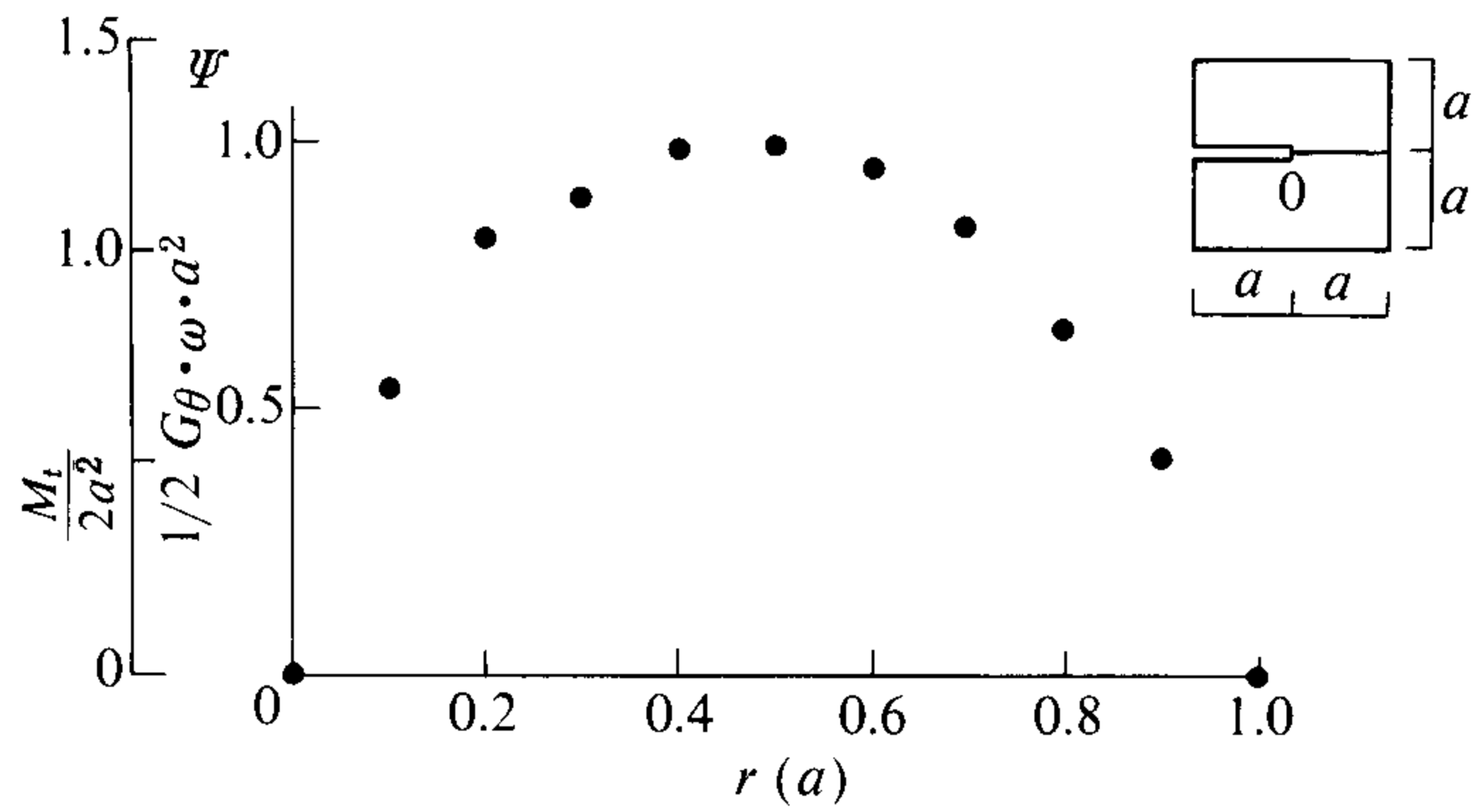


図18a $k=1$ のねじり応力関数 ($\theta=0^\circ$)

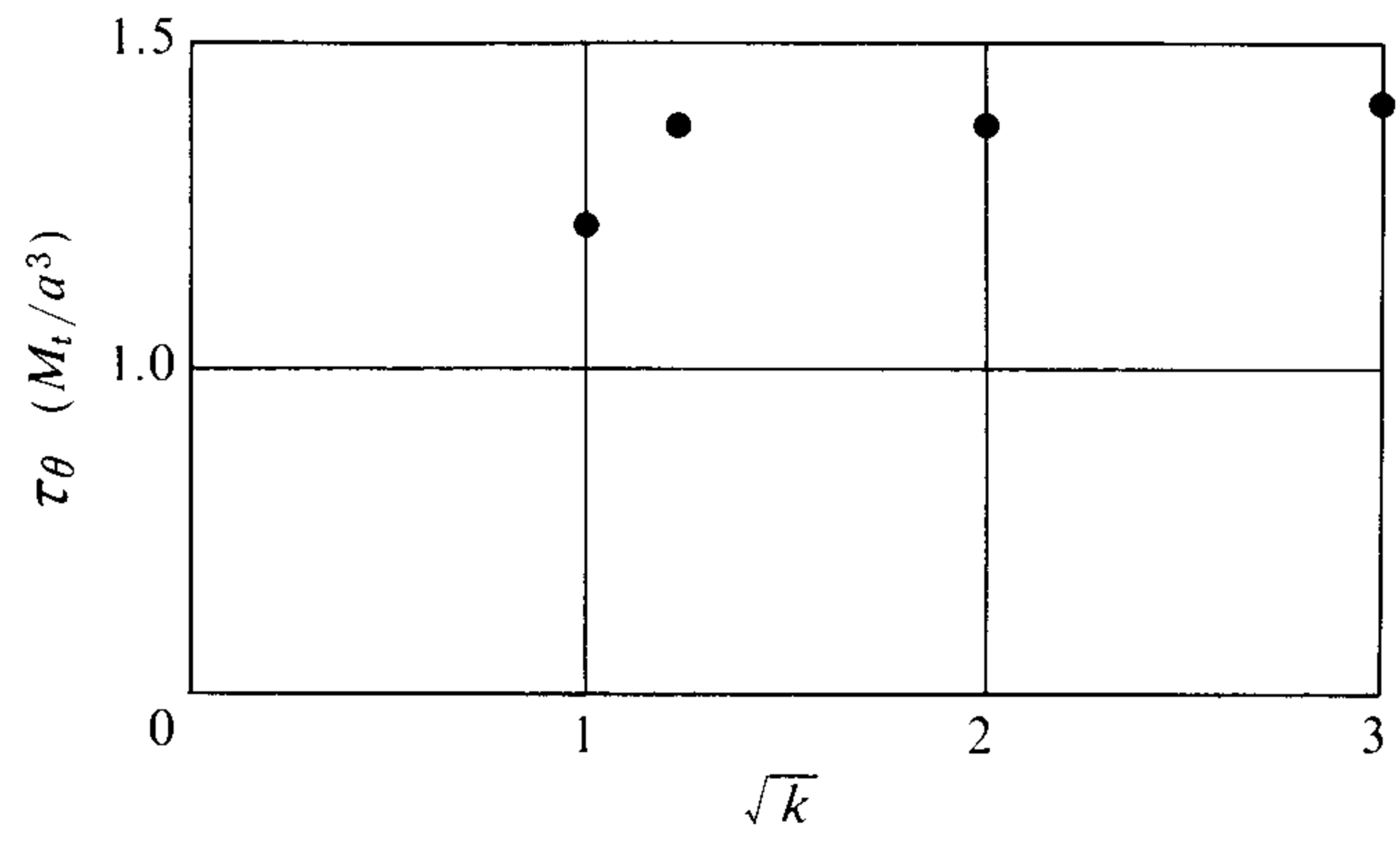


図19 スリットのある正方形断面最大せん断応力

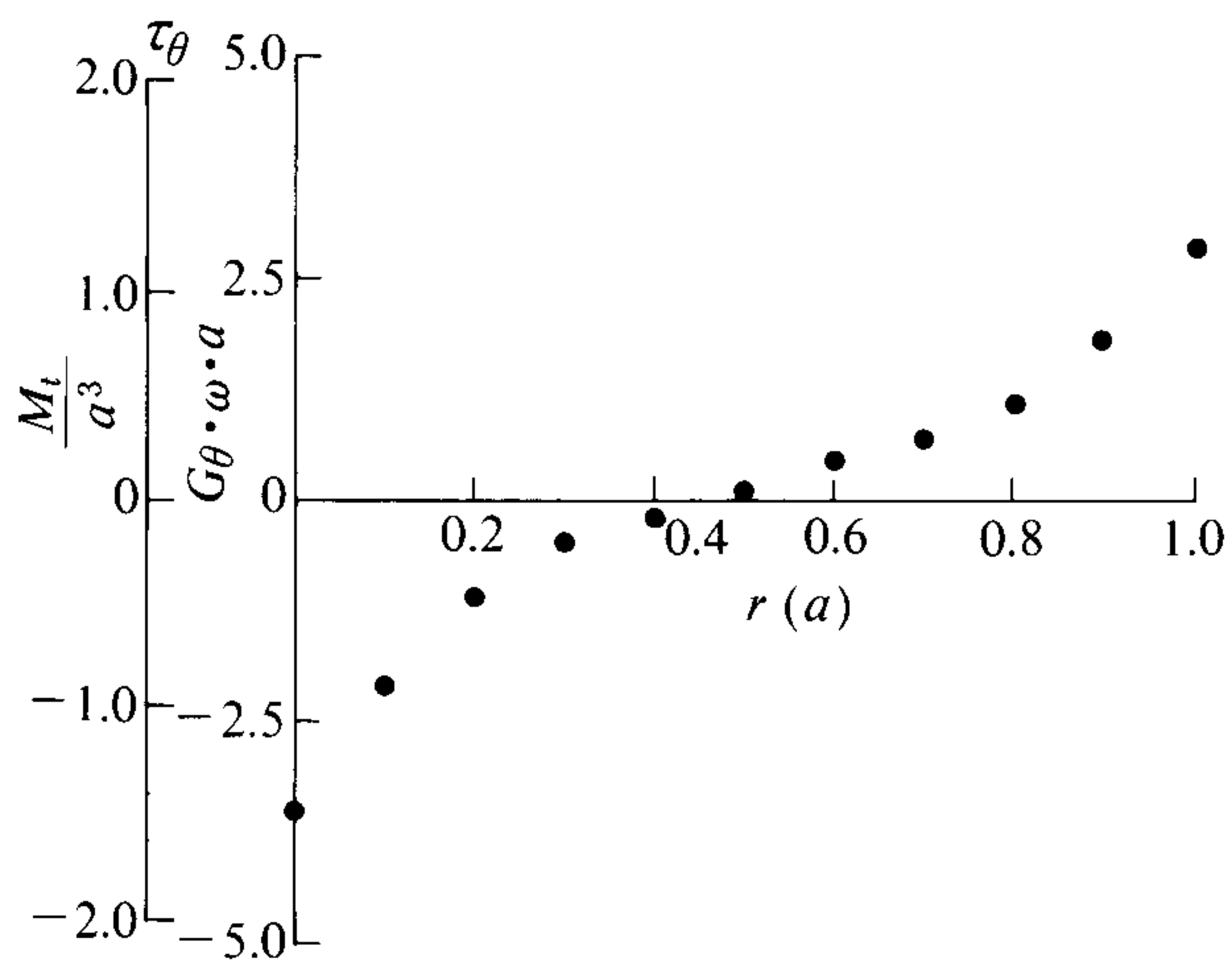


図18b $k=1$ のせん断応力 ($\theta=0^\circ$)

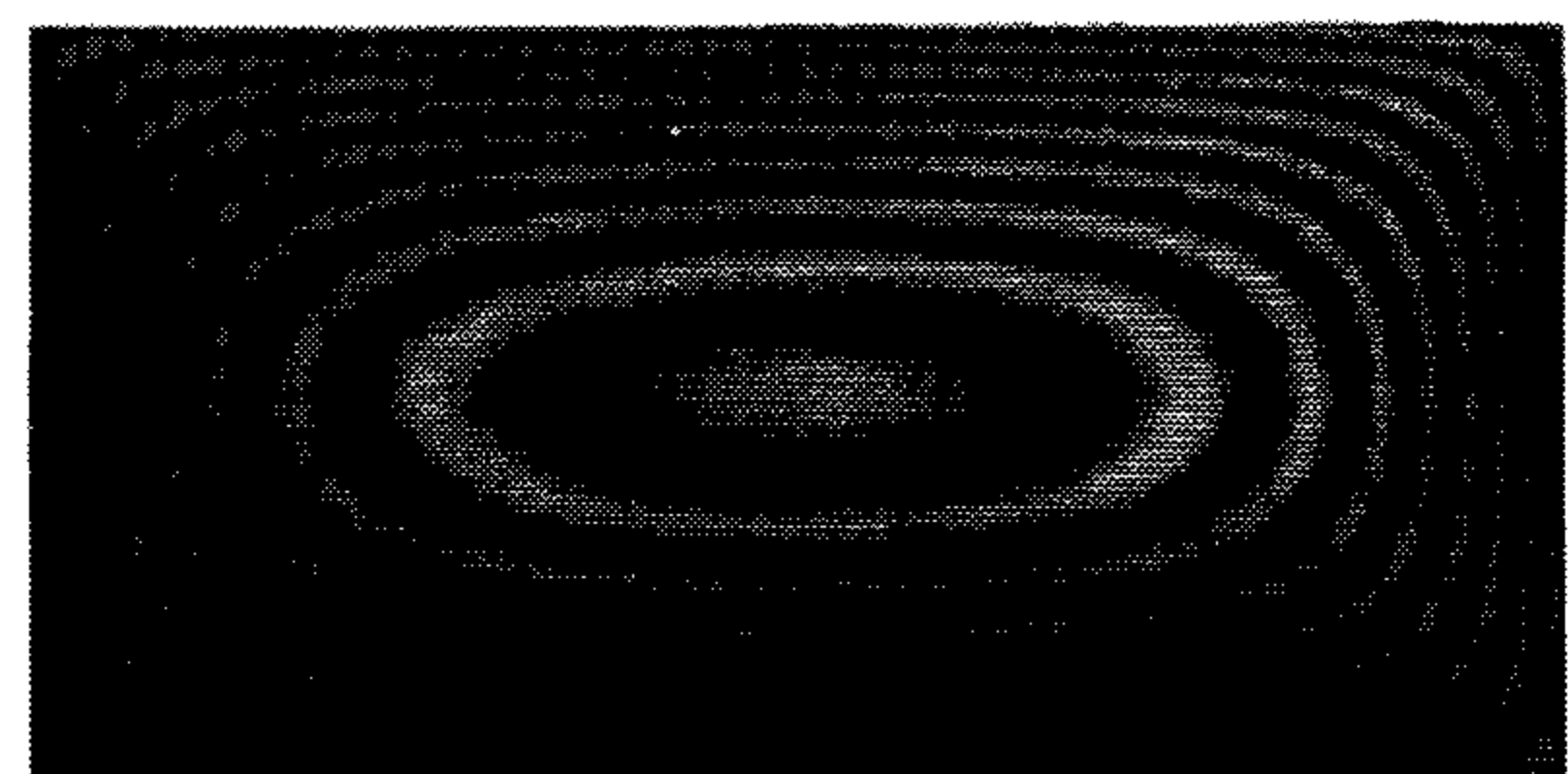


写真17 長方形断面膜実験写真 $k=1$

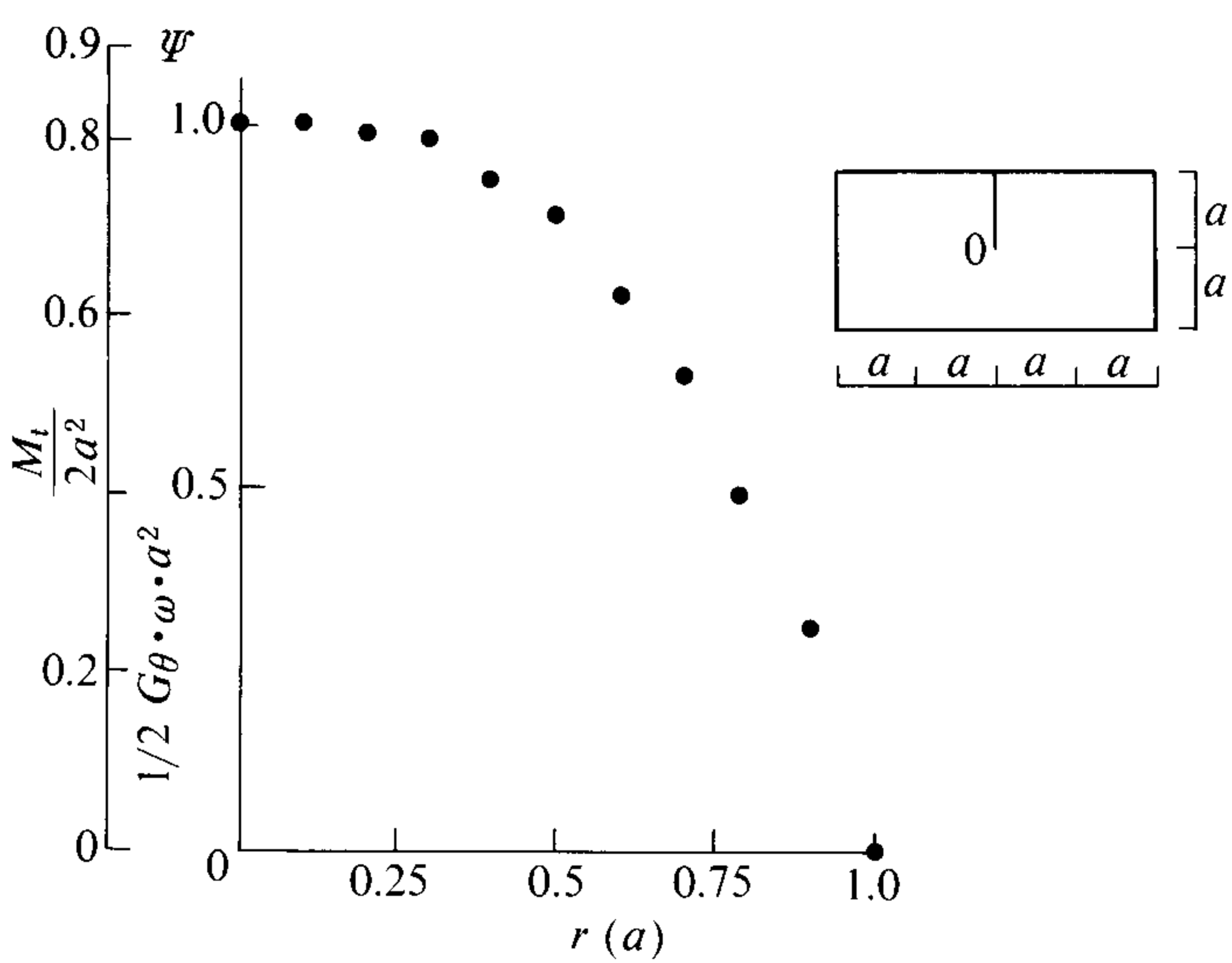


図20a $k=1$ のねじり応力関数 ($\theta=\pi/2$)

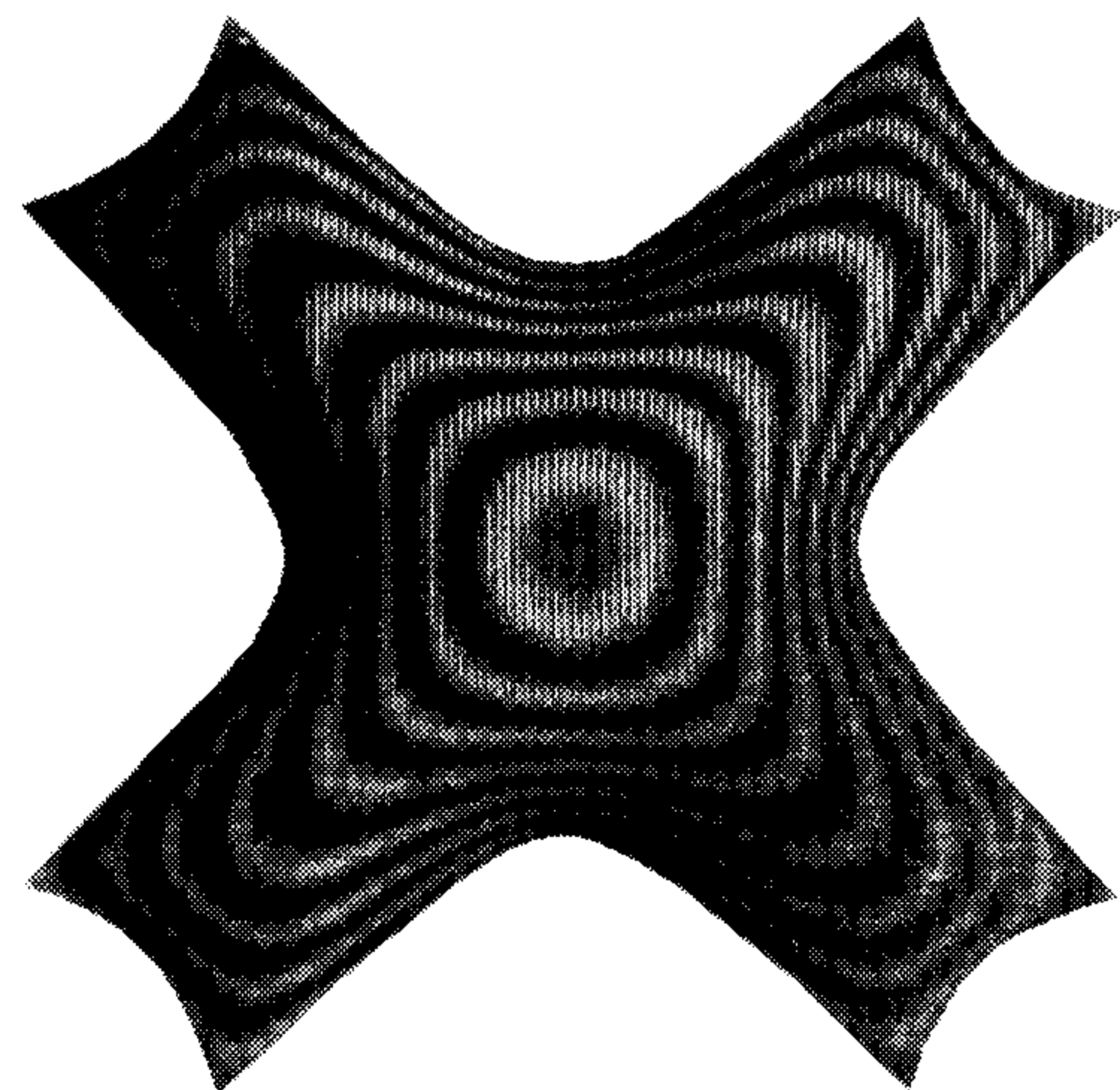


写真18 長方形断面膜実験写真 $k=4$

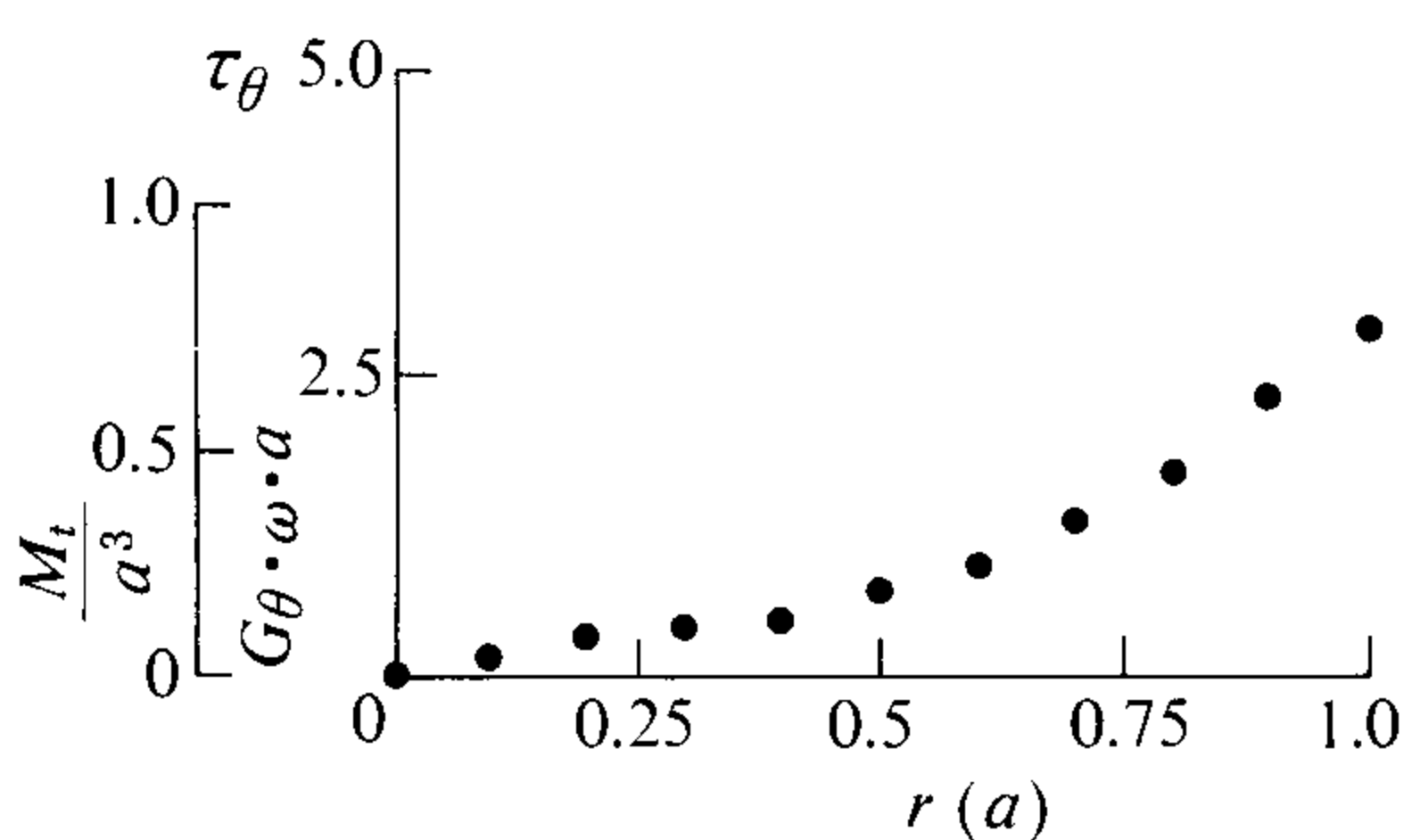


図20b $k=1$ のせん断応力 ($\theta=\pi/2$)

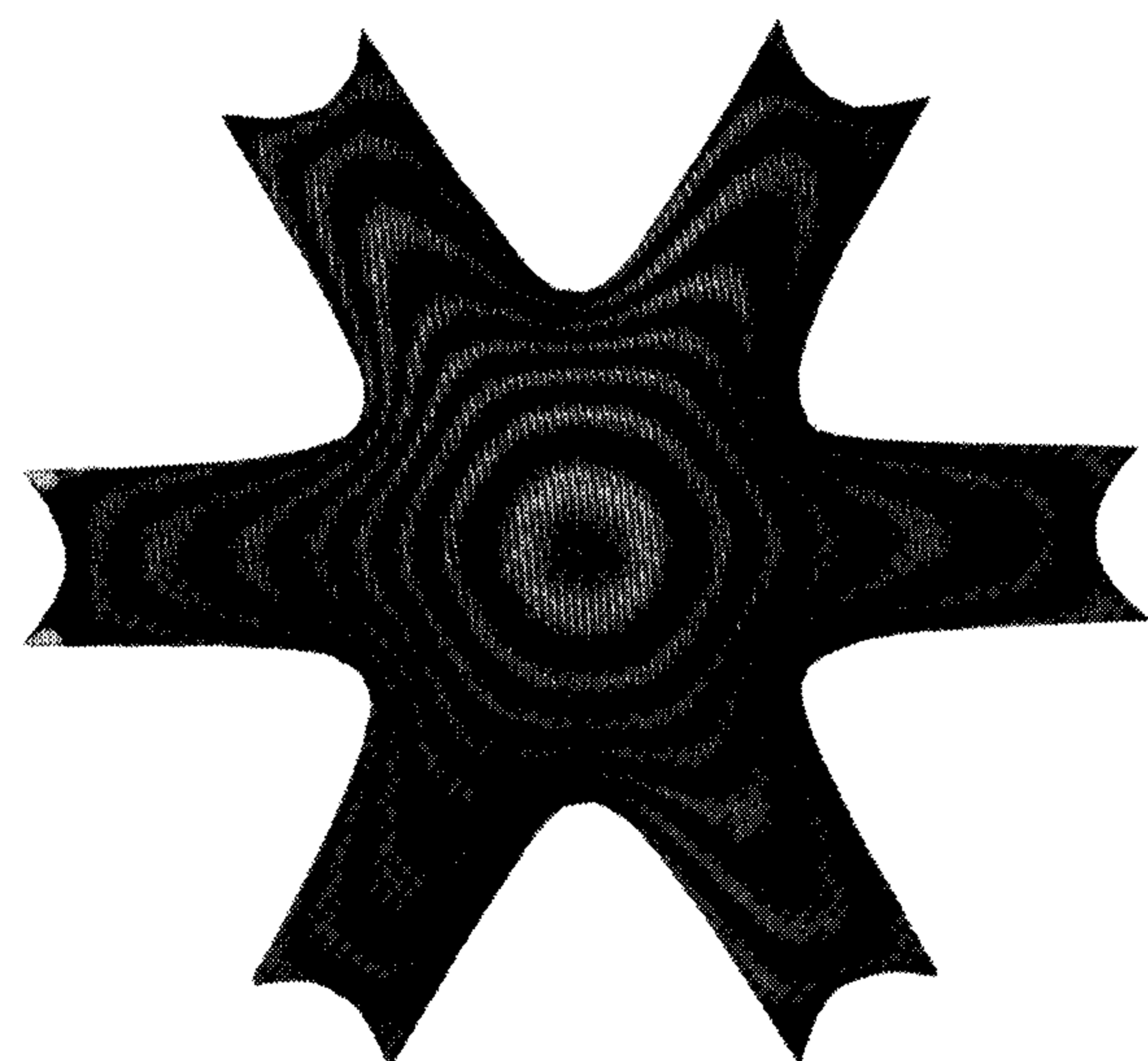


写真19 長方形断面膜実験写真 $k=9$

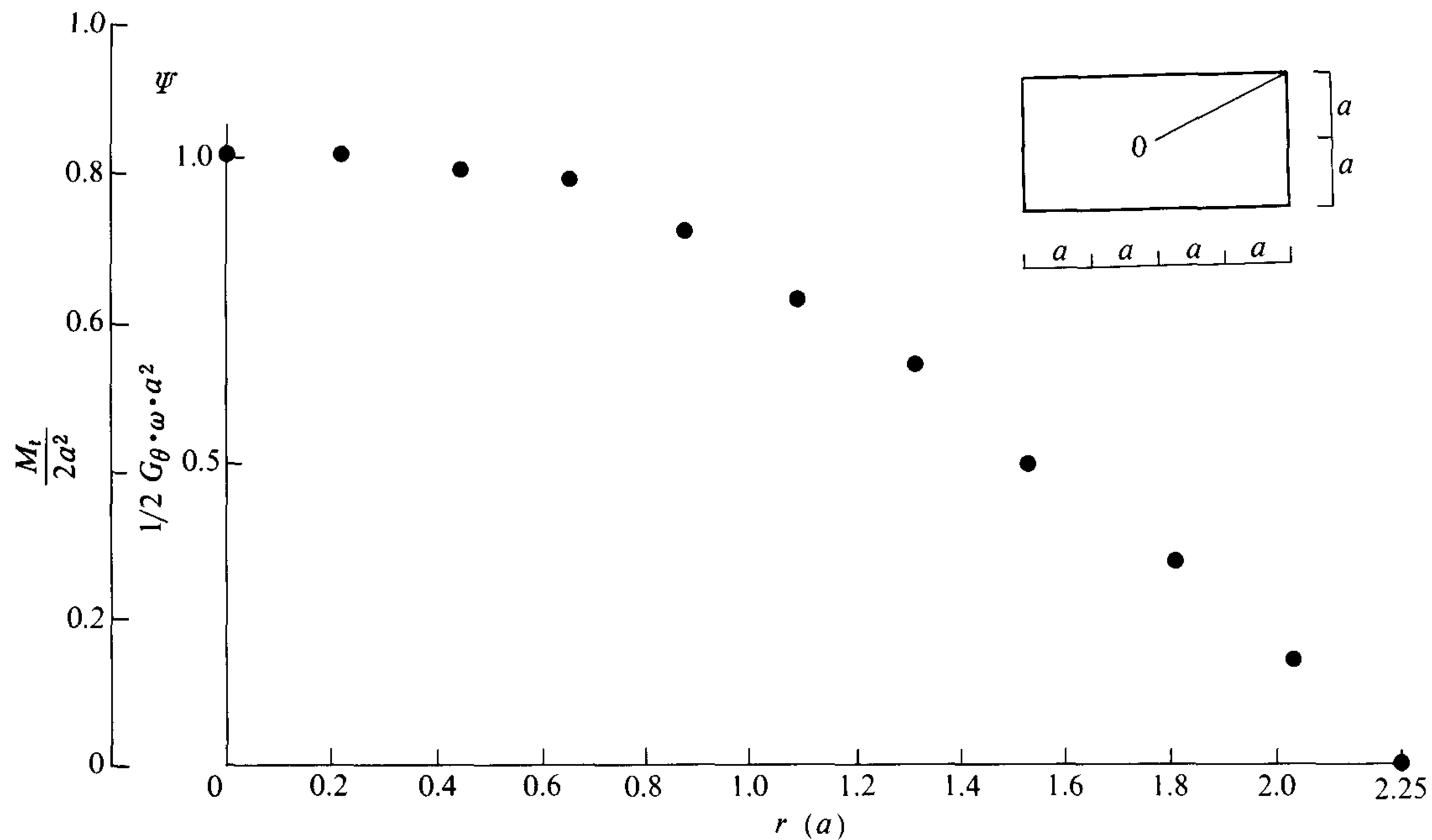


図21 a k=1 のねじり応力関数 ($\theta = \pi/4$)

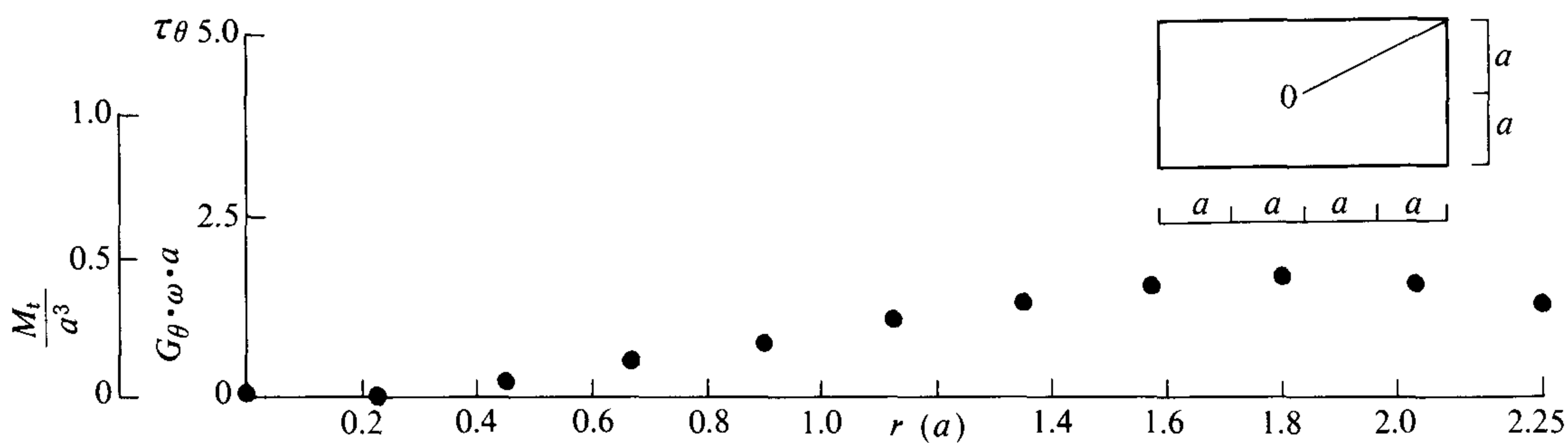


図21 b k=1 のせん断応力 ($\theta = \pi/4$)

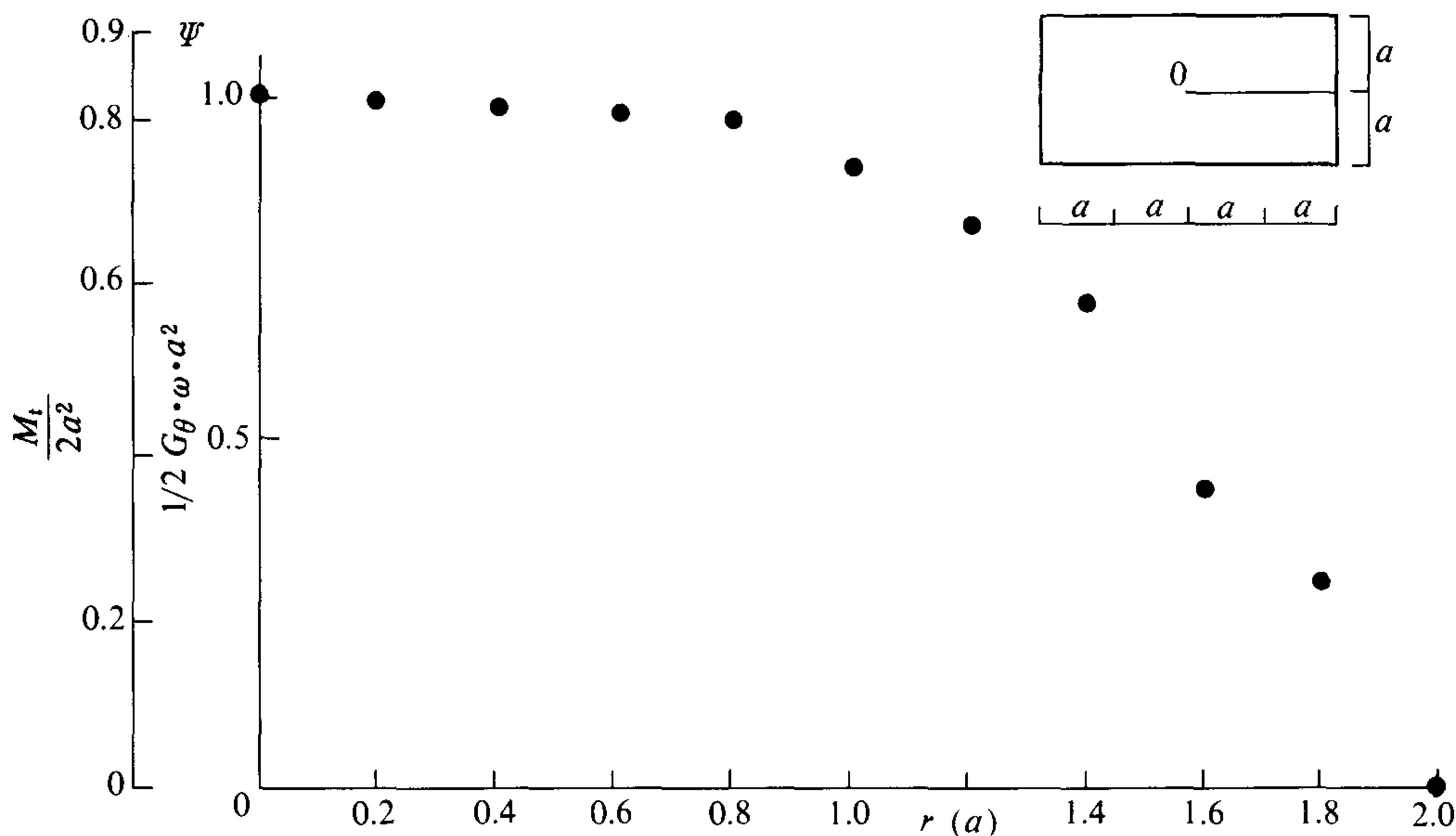


図22 a k=1 のねじり応力関数 ($\theta = 0^\circ$)

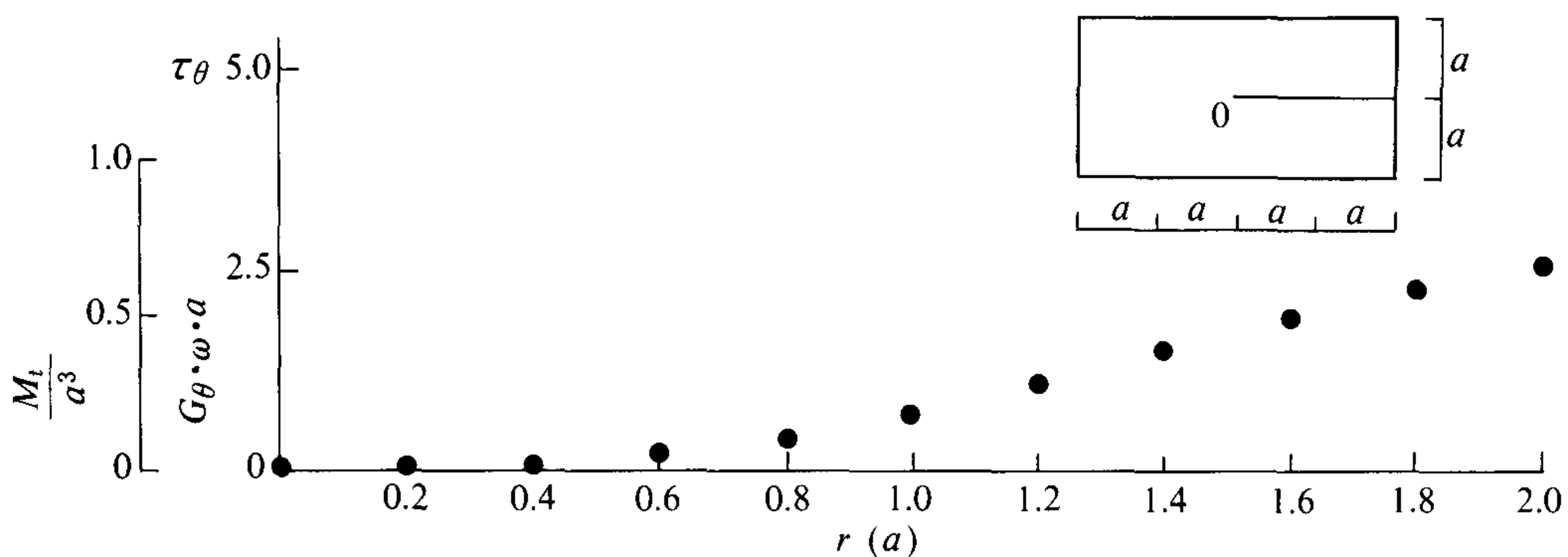


図22 b k=1 のせん断応力 ($\theta = 0^\circ$)

抗が減少することを示している。

最大せん断応力は長辺の中央に生じる。図20～図22は実験写真より求めた $k=1$ の応力関数とせん断応力である。 k と最大せん断応力 τ_θ の関係は図23の如くなり、 k の値にかかわらず、ほぼ $\tau_\theta=0.75 M_t/a^3$ の一定値となる。

§7 結 び

ねじりを受ける心持材の応力は、応力関数の(3)式を断面について解けばよい。これを用いると(4)、(5)、(6)式からせん断応力とねじりモーメントが求まる。また、せん断弾性係数の比を $k=G_\theta/G_r$ としたとき、ねじり応力関数は $\theta=\sqrt{k}\theta'$ とおいた薄膜のたわみに相似となるので、そのたわみ曲面より応力関数の解を容易に求め得る。これを用いてその傾斜からせん断応力を、体積からねじりモーメントを求めることができる。これは解析解の求め難い異方性断面形状の場合、膜実験をおこなうことによって、ねじり問題を取扱うことができることを示している。

一般に $\theta'=1/\sqrt{k}\theta$ とおいた異方性断面で、入隅になる部分の応力は無限大となり、出隅になる部分の応力は0になる。木柱では縦方向の亀裂がよく見られ、また、背割りのある場合もある。これは、スリットのある断面に相当するが、 k の値が大きい場合は、ねじりによる亀裂の進展はないものと考えられる。

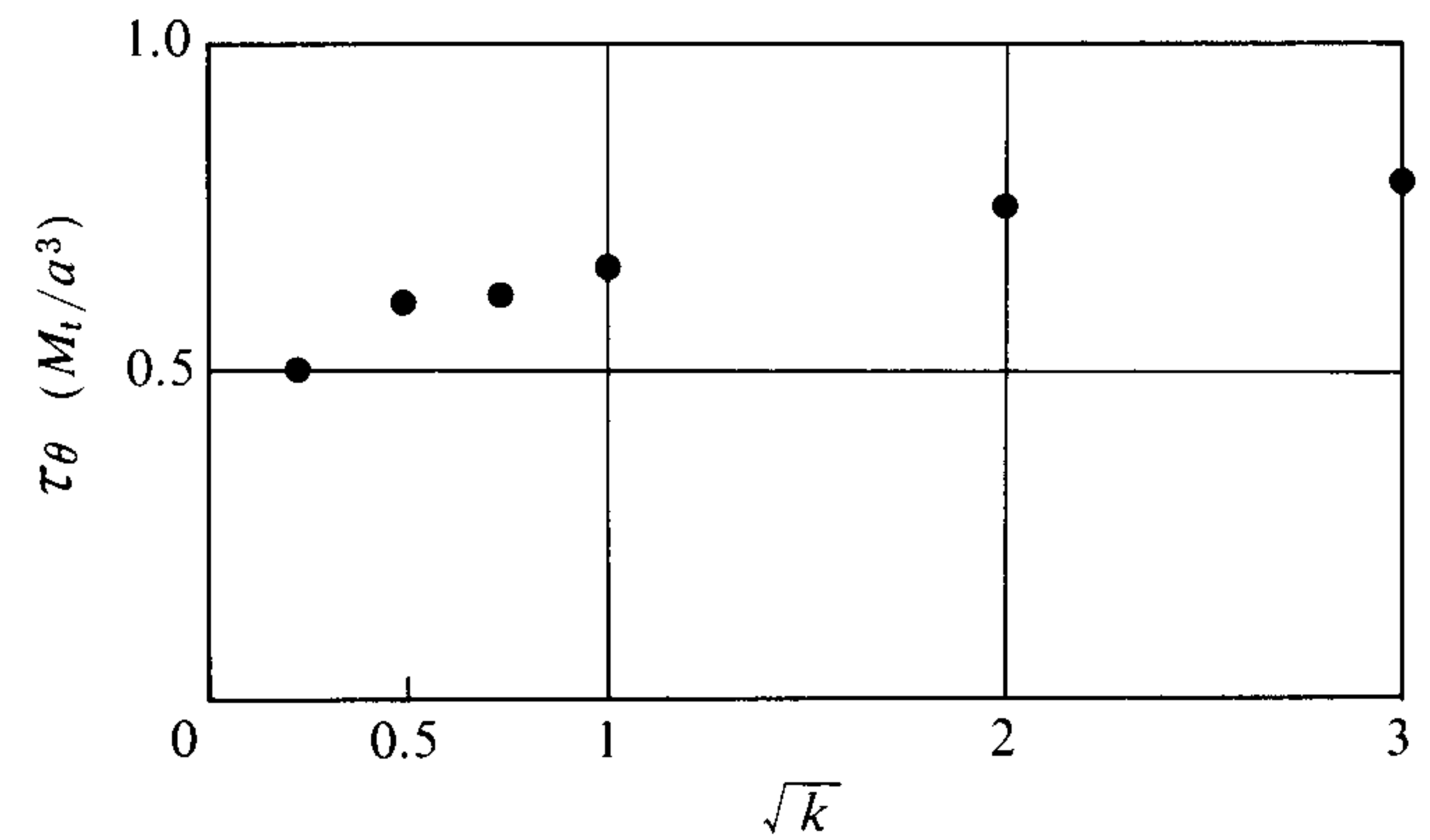


図23 長方形断面最大せん断応力

(原稿受付 昭和61年9月30日)

参 考 文 献

- 1) 林業試験所監修：木材工業ハンドブック，(丸善) p. 131 昭和57年6月
- 2) Timoshenko & Goodier; Theory of Elasticity (Third Ed. 1970) p. 303, 同金多潔監訳「弾性論」コロナ社, p. 317 昭和54年
- 3) 同上：p. 293, および同訳書 p. 308
- 4) 同上：p. 304, および同訳書 p. 318
- 5) 同上：p. 313, および同訳書 p. 328
- 6) 田中輝明, 松井源吾：「木柱のねじりと膜のたわみについて」日本建築学会構造系論文報告集第360号 昭和61年2月