

種々の半円形環状ノッチを持つ 丸棒の捩りによる応力集中について

茶 木 弥 三 郎

On the Stress Concentration of Circular Shaft with Various Semicircular Notches for Torsion

Yasaburo CHAKI

The photoelastic method is used to investigate the stress concentration of circular shaft with various semicircular circumferential notches subjected to twisting moment.

Then, I carried out this experiment by means of the longitudinal halving method of the photoelasticity.

And it is shown that,

- (1) Stress concentration according to notch also appears in the bottom of it in the case of torsion.
- (2) These stress concentrations can avoid by means of taking the radius of curvature of the notch largely.

1. ま え が き

構造物に切欠き等が存在する場合に生ずる応力集中を調べることは、構造物の設計にあたり、局部応力の集中を緩和させるのに重要なことである。そこで我々は捩りの場合について調べてみた。

今物体に捩りモーメントを加えたときに生ずる応力の分布状態を光弾性的に調べるには、一般的には、フロイトの剪断応力差積分法によるスライス法や細切断法、あるいはレーベン、国尾等による光散乱法、また西田等¹⁾による縦半切断法がある。

そこで我々は、普通の平行光法を使って比較的容易にまた高い精度で調べることの出来る縦半切断法を使って、半円形環状ノッチを持つ丸棒に捩りモーメントを加えたときに、その溝底に生ずる応力集中率 α を D/d を一定として、曲率半径 ρ を種々変化させた場合の α の変化を、凍結法光弾性実験によりエポキシ樹脂を用いて調べた。これによって、 ρ の変化に対する α の変化割合を知り、実際の構造物の設計の場合の一考察としたい。

2. モデルの作成

試験用モデルは、図1に示すようなもので $D=50\text{mm}$ 、 $d=40\text{mm}$ 、 $L=130\text{mm}$ にして曲率半径 ρ を5種類に変化させて、1種類につき3本づつ試験片を作った。

その詳細寸法は第1表に示す、作成方法は、まずアラ

表 1. 試験片の詳細寸法

ρ	C (mm)	d (mm)	Angle of twist (度)
10/2	50.04	39.85	8.0
	49.98	40.00	9.5
	49.98	40.01	10.2
15/2	50.04	40.00	11.0
	49.98	39.85	10.4
	49.98	40.00	10.5
20/2	49.98	39.90	8.0
	50.02	39.95	11.6
	49.84	40.01	11.4
25/2	49.98	39.85	10.0
	49.99	40.10	11.8
	50.12	40.00	11.0
30/2	49.98	40.05	15.6
	50.01	39.80	13.4
	49.98	40.10	11.5

ルダイトBを 140°C で溶解して、100:30の割合で硬化剤を混ぜ、離型剤(シリコングリス)を薄く塗ったボール紙の型をあらかじめ同温度に熱しておき、それに注型して均熱炉中で一定時間キュアリングした後、1時間に 5°C の割合で 80°C まで徐冷した後、電源を切って炉中放冷して素材を作成した。

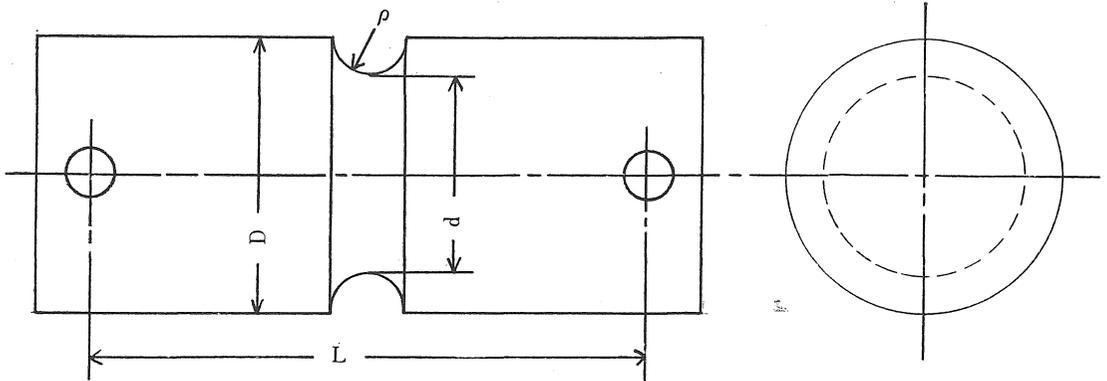


図 1. 試 験 片 形 状

炉内が室温に達したとき、ボール紙をはずして未切削の刃物により、旋盤とフライス盤によって加工し、規定の寸法に仕上げた。それを熱風循環式電気炉内の振り装置にとりつけ、図 2 に示す様な凍結サイクルに従って実行し、除荷後モデルの長手方向に平行に半切断して、等色線写真を撮影した。なお切削については、加工による熱応力が入らない様に十分に冷却油をかけて慎重に行った。

3. 理 論

光弾性材料で作った丸棒に振りモーメントを加えて凍結し、スライスしたときに、図 3 のように、つまり y 軸に平行に、スライス面 (Z 軸) に垂直に偏光を投じたときの光弾性縞次数 N は、 α : 材料の光弾性感度、 $\tau_{\theta z}$: 接線方向のせん断応力、 γ : 原点 O から求めようとする点までの距離とすれば、

$$N = \frac{\alpha}{2} \int_0^y \tau_{\theta z} \cdot \cos\theta \cdot dy = \frac{\alpha}{2} \int_0^y \tau_{\theta z} \cdot \frac{y}{r} \cdot dy$$

ここで $y \cdot dy = r \cdot dx$

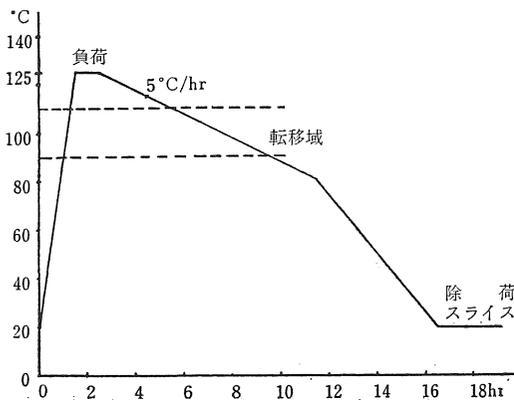


図 2. 凍結サイクル

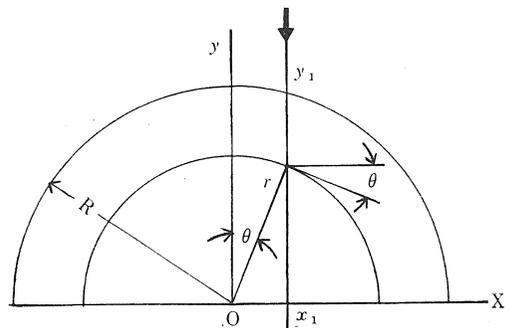


図 3. 試験片の断面図

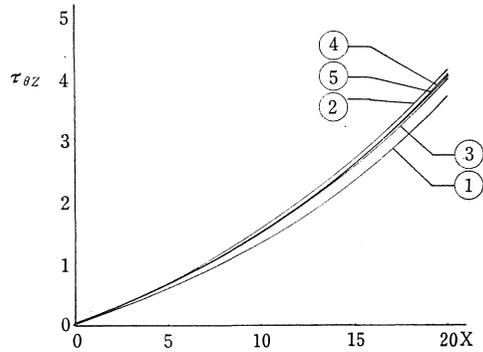


図 4. 最小断面における $\tau_{\theta z}$ の分布

であるから

$$N = \frac{\alpha}{2} \int_{r=x}^{r=R} \tau_{\theta z} \cdot dx \quad \text{となり}$$

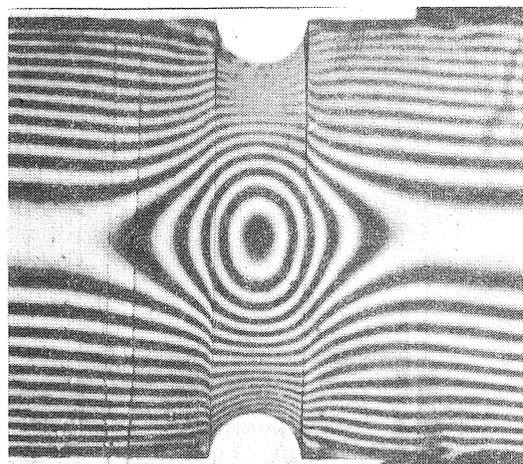
のたがって

$$\tau_{\theta z} = \frac{2}{\alpha} \cdot \frac{\partial N}{\partial x} = \frac{2}{\alpha} \cdot \frac{\partial N}{\partial r}$$

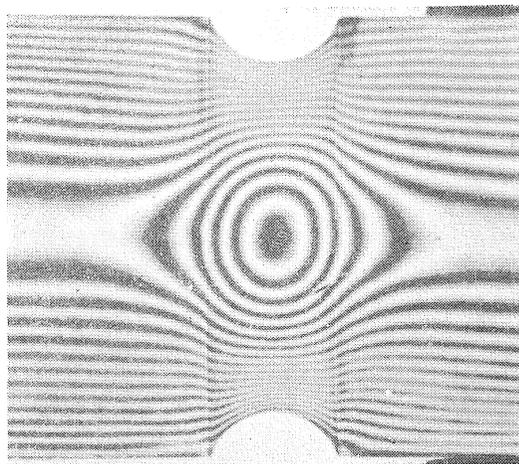
となる。

またもう 1 つのせん断応力 $\tau_{\theta r}$ (半径方向のせん断応力) は、

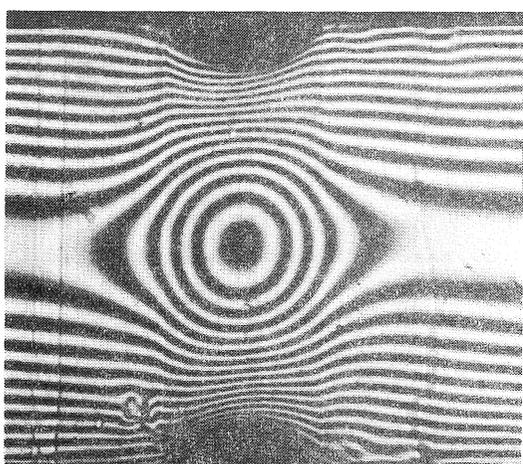
$$(\tau_{\theta r})_z = r \cdot \frac{\partial}{\partial r} \int_{z_0}^z \frac{1}{r} \cdot \tau_{\theta z} \cdot dz + (\tau_{\theta z})_{z_0}$$



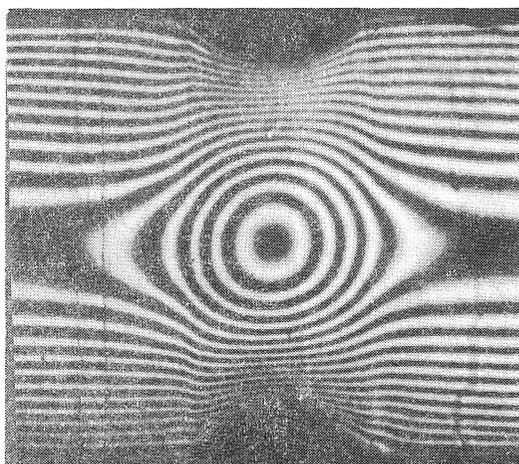
(a) $\rho = \frac{10}{2}$



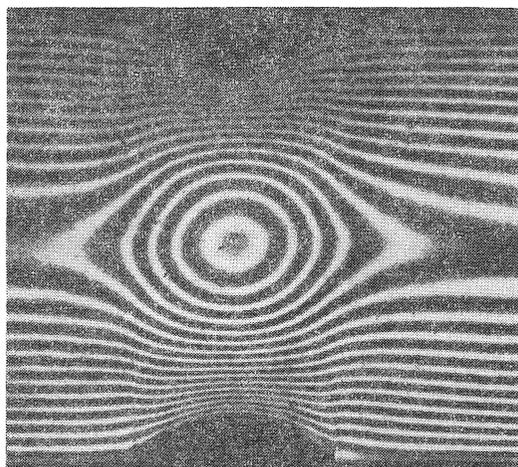
(b) $\rho = \frac{15}{2}$



(c) $\rho = \frac{20}{2}$



(d) $\rho = \frac{25}{2}$



(e) $\rho = \frac{30}{2}$

図 5. 種々のノッチを持つ光弾性縞写真

$$= \frac{2}{\alpha} \int_{z_0}^z \left(\frac{\partial^2 N}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial N}{\partial r} \right) \cdot dz + (\tau_{\theta r})_{z_0}$$

となる。最小断面 OX 上での $\tau_{\theta z}$ の分布を図 4 に示す。図中の番号 (1, 2, 3, 4, 5) はそれぞれ $\rho=10/2$, $\rho=15/2$, $\rho=20/2$, $\rho=25/2$, $\rho=30/2$ である。

4. 実験の結果と考察

実験により得られたスライスの等色線写真を図 5 に示す。これから切欠き底に生ずる最大剪断応力 τ_{max} を求め、また切欠き底の最小断面について、外力より求めた応力 τ_0 を基準応力として、($\tau_0=16T/\pi d^3$)、応力集中度 α を、 $\alpha=\tau_{max}/\tau_0$ により求めた。

τ_0 , τ_{max} , α の値を第 2 表に、また α と ρ/d の関係を図 6 のグラフに示す、

表 2. 各ノッチにおける τ_0 , τ_{max} , α の値

ρ	τ_0	τ_{max}	α
10/2	2.17	3.21	1.48
	2.78	3.84	1.48
	2.59	4.06	1.57
15/2	3.01	3.87	1.29
	2.83	4.38	1.55
	2.87	4.19	1.46
20/2	2.17	2.99	1.38
	3.18	4.43	1.39
	3.11	4.45	1.43
25/2	2.72	3.58	1.32
	3.21	4.25	1.32
	3.01	4.23	1.40
30/2	3.99	4.34	1.09
	3.64	4.25	1.17
	3.15	3.54	1.13

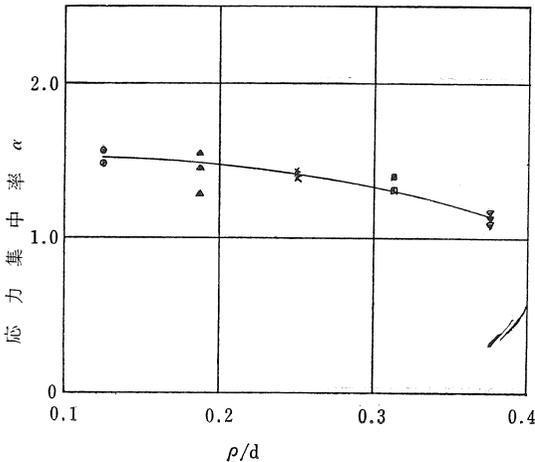


図 6. 応力集中度と曲率半径の関係

図 6 により D/d を一定として ρ/d を小さくしてゆくと、接線がグラフの上側になることから、増加割合が小さくなり、振りによる切欠きの影響は、引張りや曲げに比べて、引張りの場合は約 30%、曲げの場合は約 20% 振りによる応力集中度が低くなる傾向にあるように思われる。

以上の実験から振りの場合も圧縮や曲げの場合と同様に切欠きによる応力集中度が存在し実際の構造物の設計にあたっては、出来るだけ鋭い切欠きを避け、曲率半径 ρ を大きくとって、局部応力の集中を分散させることにより、構造物の耐久度を増すことが出来ると思う。なおこの実験において、捩れ角にバラツキがあるのは、アラライト B と硬化剤の混合比の誤差によるのではないかと思われる。

終りに本実験について、御指導してくださった片岡教授をはじめ、機械工学科の諸先生方および試験片の製作に協力して頂いた、志賀、岩月、飛田、成田の学生諸氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) M. NISHIDA, M. HONDO: proc. 7th Japan Nat. Congr. Appl. Meclr. 1957 (1958), 143
- 2) FROCHT: PHOTOELASTICITY. Vol. 2
- 3) 辻二郎, 西田正孝, 河田幸三: 光弾性実験法 (日刊工業新聞社)
- 4) 応力測定法 (朝倉書店)