X 線の應力測定法に及す永久歪の影響⁽¹⁾

(昭和 15 年 3 月 15 日 第 113 回関西支部講演會に於て講演)

正員 西原利夫⁽²⁾ 正員 小島公平⁽³⁾ 外 2 名⁽⁴⁾

摘 要

軟鋼の試験片に、弾性限度内及び降伏点以上の引張荷重を加へ、荷重を除いた後の残留應力を X 線的に測定し、以て永久変形が原子格子歪に與へる影響に就き実験した。その結果、降伏点以上の引張荷重を加へて永久変形を與へたる後、その荷重を除いた時、原子的には残留歪のないことを確かめ得た。従て、材料の履歴の如何に拘らず、X 線の應力測定は弾性的應力に関する限り可能であることを確認した。

1. 理論的考察

先づ Glocker 氏により提案された X 線の應力測定法、即ち二つの方向の原子平面間の距離を測定することより、任意の方向の表面應力を測定する方法、の理論的考察を行ふ。

第 1 図に於て、平面 $\sigma_1 O \sigma_2$ を試験片面とし、その上の任意の一点 O における主應力を夫々 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 主應力 σ_1, σ_3 の方向の伸を夫々 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ とする。然る時、本実験の如き材料の表面の應力状態を取扱ふ場合には、問題は 2 次的で、 $\sigma_3 = 0$ と考へられる。尙この平面上にて O を通り互に直交する 2 方向の應力を σ_x, σ_y 伸を $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ とする。次にその法線が被測定物表面と直角な或特定の原子平面間の距離を d_R 、第 1 図に於てその法線方向が OP なる原子平面間の距離を $d_{\phi, \psi}$ とすると、次の関係式が成立する⁽⁵⁾。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{(1+\nu)\sin^2\psi} \cdot \frac{d_{\phi, \psi} - d_R}{d_R} \\ \sigma_y &= \frac{E}{(1+\nu)\sin^2\psi} \cdot \frac{d_{\phi+90^\circ, \psi} - d_R}{d_R} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

但し E = 弾性係数。 ν = ボアソン比。

この式より $d_{\phi, \psi}$ 、 $d_{\phi+90^\circ, \psi}$ 及び d_R を X 線的に測定すると、それに相應する方向の直交する應力値を求め得る。これが R. Glocker 氏の提案である。本実験では、X 線の入射方向は第 1 図に於て、 $\phi=0, \psi=0$ なる方向と、 $\phi=0, \psi=$

第 1 図

45° なる 2 方向にして、X 線は C_0 の $K\alpha_1$ 線 (波長 = 1.78529 X.U.) を用ひ、鉄の (3, 1, 0) 面間の距離を測定したため、試験片面の法線と原子平面の法線との間には約 9°10' の傾きがあるから、実際に測定し得られるものは $d_{0, 9^\circ 10'}$ と $d_{0, 45^\circ \pm 9^\circ 10'}$ であり、この中 $d_{0, 9^\circ 10'}$ と $d_{0, 35^\circ 50'}$ とを測定した。

第 1 図に於て OP の方向の伸を $\varepsilon_{\phi, \psi}$ とすると⁽⁶⁾、

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\phi, \psi} &= \varepsilon_1 \cos^2\phi \sin^2\psi + \varepsilon_2 \sin^2\phi \sin^2\psi + \varepsilon_3 \cos^2\psi \\ &= \sin^2\psi (\varepsilon_1 \cos^2\phi + \varepsilon_2 \sin^2\phi) + \varepsilon_3 \cos^2\psi \\ &= \varepsilon_x \sin^2\psi + \varepsilon_y - \varepsilon_y \sin^2\psi \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

$$\therefore \varepsilon_{\phi, 9^\circ 10'} = \varepsilon_x \sin^2 9^\circ 10' + \varepsilon_y - \varepsilon_y \sin^2 9^\circ 10'$$

$$\varepsilon_{\phi, 35^\circ 50'} = \varepsilon_x \sin^2 35^\circ 50' + \varepsilon_y - \varepsilon_y \sin^2 35^\circ 50'$$

$$\therefore \varepsilon_{\phi, 35^\circ 50'} - \varepsilon_{\phi, 9^\circ 10'} = (\varepsilon_x - \varepsilon_y) (\sin^2 35^\circ 50' - \sin^2 9^\circ 10')$$

然るに、次の関係がある⁽⁷⁾。

$$E(\varepsilon_x - \varepsilon_y) = (1+\nu)\sigma_x$$

$$\therefore \varepsilon_{\phi, 35^\circ 50'} - \varepsilon_{\phi, 9^\circ 10'} = 1 + \nu / E \cdot \sigma_x \cdot (\sin^2 35^\circ 50' - \sin^2 9^\circ 10') \dots\dots\dots(5)$$

原子平面間の距離 d と伸 ε との間には

$$\varepsilon_{\phi, \psi} = (d_{\phi, \psi} - d_0) / d_0$$

なる関係がある⁽⁸⁾。

但し、 d_0 は應力の存在せぬ時の原子平面間の距離である。

$$\begin{aligned} \therefore \varepsilon_{\phi, 35^\circ 50'} - \varepsilon_{\phi, 9^\circ 10'} &= (d_{\phi, 35^\circ 50'} - d_{\phi, 9^\circ 10'}) / d_0 \\ &= (d_{\phi, 35^\circ 50'} - d_{\phi, 9^\circ 10'}) / d_{\phi, 9^\circ 10'} \end{aligned}$$

故に、(3) より

$$\sigma_x = \frac{E}{1 + \nu \sin^2 35^\circ 50' - \sin^2 9^\circ 10'} \cdot \frac{d_{\phi, 35^\circ 50'} - d_{\phi, 9^\circ 10'}}{d_{\phi, 9^\circ 10'}}$$

従て、 $E = 21\,000 \text{ kg/mm}^2$ 、 $\nu = 0.28$ と仮定すると

$$\sigma_x = 51\,698.9 (d_{\phi, 35^\circ 50'} - d_{\phi, 9^\circ 10'}) / d_{\phi, 9^\circ 10'} \text{ kg/mm}^2$$

本実験では主應力の方向は既知であり、これを測定せんとして、 $\phi=0$ としたから、次式より σ_1 を求めることが出来る。

$$\sigma_1 = 51\,698.9 (d_{0, 35^\circ 50'} - d_{0, 9^\circ 10'}) / d_{0, 9^\circ 10'} \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots(4)$$

2. 実験方法

(i) 試験片 材料は炭素含有量 0.1% 以下の軟鋼にして、その顕微鏡写真を第 2 図に示す。寸法は $2 \times 20 = 40 \text{ mm}^2$ 、標

(1) Effect of the permanent set of the X-ray-stress Measurement.

(2) Toshio NISHIHARA, Member, The Kyōto Imperial University. 京都帝国大学。

(3) Kōhei KOJIMA, Member, The Osaka Imperial University. 大阪帝国大学。

(4) 桑江和夫, Kazuo KUWAE, Associate Member, Student of the Kyōto Imperial University. 京都帝国大学学生。

(5) 藤井和夫, Kazuo FUJII, Associate Member, Student of the Kyōto Imperial University 京都帝国大学学生。

(6) この式の成立に就ては次記論文参照。西原利夫外 1 名、機械学会誌(附論文集、42 卷 159 頁(昭 14-2)、(1) (112) 式。

(7) 脚註(5)と同じ、但し(4)式。

(8) 脚註(5)と同じ、但し(8)式。

点距離=100 mm しにて、第3図に示す。加工後、真空炉（真空度約 10^{-5} mmHg）中にて、 900°C に 1 h 保ち、後炉中にて徐冷して焼鈍を施した。

(ii) X線発生装置 略図を第4図に示す。図に於て、

A: アンメータ; V: ボルトメータ; T: 変圧器

R_1, R_2 : 加減抵抗; M.A.: ミリアンメータ; S.G.: 火花間隙; Sh: Shearer X線管球; K: コック;

X線管球は金属製 Shearer 管球を用ひ、これをセンコーオイルポンプで排気し、対陰極は

第2図

Coを用いた。高圧は中央を地絡した 150 kV の変圧器を用ひたが、管球の対陰極側を地絡したから、75 kV しか用ひてゐない。管球にかゝつてゐる電圧は並列に入れた火花間隙でその大体を知り得るが、正確にどれだけかゝつてゐるかは不明である。ポンプに依て常に排気し、一方コック K を用ひて適宜に新しい空気を管球に送り、管球中は常に一定の圧力に保つ。然る時、管球は恰度 X 線の出るに都合のよい真空度（約 10^{-2} mmHg）に於て自ら整流して、別に整流器を必要としない。管球中を流れる電流は約 7~9 mA、露出時間は 5~8 h で撮影した。

(iii) 撮影装置 カメラは前回の曲げ試験に用ひたものをそのまゝ用ひた⁽⁹⁾。

次にカメラ製作誤差、即ち試験片上の X 線の入射点、フィルムに画く円弧の中心、及び回転台の回転の中心の3点が一致しないための補正も前回の実験と同様に行つた⁽¹⁰⁾。

(a) 第5図（金箔）に於て $R_0 \approx l_1/\phi_0$ となるための補正図に於て X 線がフィルムを貫く点 A とフィルムの中心 O_F 、試験片回転の中心 O_R とは一直線上にあると仮定し、且物尺に依る測定及び金箔の撮影より

$$x=2\text{mm}, y=1.3\text{mm}, R_F=117.2\text{mm}.$$

となる。 P_0 と O_F とが一致せぬ故

$$R_0 = l_1'/\phi_0$$

而して実際フィルム上で測定し得るものは l_1 なる故、 l_1 と l_1' との相違を考へる。 $\triangle ABP_0$ に於て次の関係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} R_F \sin \phi_1/2 &= a/2 \\ (R_F - a \sin \phi_1/2 - y)^2 + (a \cos \phi_1/2 - x)^2 &= b^2 \\ a^2 &= R_0^2 + b^2 - 2R_0b \cos \phi_0 \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

ϕ_0 の値を用ひて、(5) より ϕ_1 を求めることは困難であるから $\phi_1 \approx \phi_0$ として、(5) より ϕ_0 を求める。

(9) 西原利夫外 3 名、機械学会論文誌、第 6 巻 24 号、1-15 頁（昭 15-8）参照。 (10) 脚註 (9) に同じ、但し、1-16, 17 頁。

第3図

第4図

第5図

第6図

$$\lambda = 2d \sin \theta, \quad d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

に金箔の時の値を代入して θ を、從て ϕ_0 を計算すると、

$$\phi_0 = 0.3927 \text{ rad.} \quad \therefore \phi_1 \approx \phi_0 = 0.3927 \text{ rad.}$$

[昭和 16 年 8 月]

を得る。これを (5) に代入して ϕ_0 を求めると

$$\phi_0 = 0.3979 \text{ rad.}$$

$$\therefore l_1' - l_1 = R_0 \phi_0 = 0.10 \text{ mm}$$

$$\therefore R_0 = (l_1 + 0.10) / \phi_0 \dots\dots\dots (6)$$

45° の斜撮影の時 ($x = 2.0 \text{ mm}$, $y = 0.4 \text{ mm}$) も同様に
て計算した結果、

$$(R_0)_{45^\circ} = \{(l_1)_{45^\circ} + 0.20\} / \phi_0 \dots\dots\dots (7)$$

(b) 第 6 図 (鉄) に於て $\phi \neq l/R$ となるための補正
金箔の時と同様にして (5) に於て、

$$x = 2.0 \text{ mm}, \quad y = 1.3 \text{ mm}, \quad \phi_1 = 0.3200 \text{ rad.}$$

と置けば、 $\phi = 0.3212 \text{ rad.}$

$$\therefore l' - l = -0.27 \text{ mm}$$

$$\therefore \phi = 2\psi = (l - 0.27) / R \dots\dots\dots (8)$$

45° の斜撮影の時は、 $x = 2 \text{ mm}$, $y = 0.4 \text{ mm}$ となるから、

$$\phi = 0.3204 \text{ rad.}$$

$$\therefore l' - l = -0.08 \text{ mm}$$

$$\therefore \phi_{45^\circ} = 2\psi_{44^\circ} = (l_{45^\circ} - 0.08) / R_{45^\circ} \dots\dots\dots (9)$$

第 7 図

(c) 第 7 図に於て $l_1 \neq L_{90}/2$ となるための補正
 l_2 に対しても (5) と同様に次の式が成立つ。

$$\left. \begin{aligned} R_F \sin \phi_2 / 2 &= a_2 / 2 \\ (R_F - a_2 \sin \phi_2 / 2 - y)^2 + (a_2 \cos \phi_2 / 2 + x)^2 &= b_2^2 \\ a_2^2 &= R_0^2 + b_2^2 + b_2^2 - 2R_0 b_2 \cos \phi_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (10)$$

前述の如く $\phi_0 = 0.3927 \text{ rad}$ を用ひて ϕ_1, ϕ_2 を求めるこ
とは困難であるから、試みに依り $\phi_0 = 0.3927 \text{ rad}$ を與へる
如き ϕ_1, ϕ_2 を求めると次の値を得る。

$$\phi_1 = 22^\circ 6' = 0.3856 \text{ rad.} \quad \phi_2 = 22^\circ 12' = 0.3876 \text{ rad.}$$

$$\therefore l_1 / L_{90} = \phi_1 / (\phi_1 + \phi_2) = 0.4989 \dots\dots\dots (11)$$

45° の斜撮影の時も

$$(l_1)_{45^\circ} / L_{45^\circ} = 0.4989 \dots\dots\dots (12)$$

であるとする。

上の結果を用ひて次の如く計算する。金箔に対する撮影の
測定値は

$$L_{90^\circ} = 90.62 \text{ mm}, \quad L_{45^\circ} = 90.65 \text{ mm}, \quad S_1 = 99.55 \text{ mm}$$

となつたから (11), (12) より

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= 0.4989 \times L_{90^\circ} = 45.21 \text{ mm} \\ (l_1)_{45^\circ} &= 0.4989 \times L_{45^\circ} = 45.22 \text{ mm} \end{aligned} \right\}$$

$\therefore$ (6), (7) より

$$\left. \begin{aligned} R_{90^\circ} &= (45.21 + 0.10) / \phi_0 = 115.4 \text{ mm} \\ R_{45^\circ} &= (45.22 + 0.20) / \phi_0 = 115.7 \text{ mm} \end{aligned} \right\}$$

但し $\phi_0 = 0.3927 \text{ rad}$ をとる。第 8 図に於て

第 8 図

$m = S_1 - l_1 = 54.34 \text{ mm}, \quad m_{45^\circ} = (S_1)_{45^\circ} - (l_1)_{45^\circ} = 54.53$
mm となるから、鉄に就て次の式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} l_{90^\circ} &= S_{90^\circ} - 54.34 \text{ mm} \\ l_{45^\circ} &= S_{45^\circ} - 54.53 \text{ mm} \end{aligned} \right\}$$

故に補正 (b) を考へて、

$$\left. \begin{aligned} l'_{90^\circ} &= l_{90^\circ} - 0.27 = S_{90^\circ} - 54.61 \text{ mm} \\ l'_{45^\circ} &= l_{45^\circ} - 0.08 = S_{45^\circ} - 54.61 \text{ mm} \end{aligned} \right\}$$

故にフィルム上で $S_{90^\circ}, S_{45^\circ}$ を読めば、(8), (9) より $\phi_{90^\circ},$
 ϕ_{45° が求められる。

本実験に於ては、各、別の試験片に対し、荷重を加へ直ち
に荷重を除いてカメラに収め、試験片面に直角及び 45° の方
向より X 線を入射して各 2 枚の写真を撮つた。第 9 図に

第 9 図 (a)

第 9 図 (b)

その一部を示す。

この干渉線の距離 S_{90° , S_{45° を 1/10 mm 目盛のガラス製物尺にて測定して、上述の補正により、 ψ_{90° , ψ_{45° を計算し、Bragg の方程式、

$$n\lambda = 2d \sin \theta, \quad n=1, 2, 3, \dots$$

を用いて、反射面となつた原子平面間の距離 d を求める。これ等の d の値を (4) に代入して σ_1 を求めた。

次に又 (h, k, l) なる方向の原子平面間の距離 d とそれを作ると考へられる 格子常数 a との関係は

$$d = a / \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

なるを以て a が計算される。

3. 実験結果

以上の実験結果を第 1 表及び第 10 図及び 11 図に示す。

4. 吟味

以上の実験にて直接測定せしものは l' と R となり。 l' 及び R に夫々 $\Delta l'$, ΔR の誤差がある時、 d 或は a に Δd 或は Δa の誤差があるとする⁽¹¹⁾、

$$\Delta d/d = \Delta a/a = 1/2R \cot \theta \{ \Delta l' - (\pi - 2\theta) \Delta R \} \dots \dots \dots (13)$$

第 8 図に於て

$$l' = S - (S_1 - L/2) - \text{const.}$$

となるから、次の式が得られる。

$$\Delta l' = \Delta S - \Delta S_1 + \Delta L/2$$

L は干渉線間の距離であり、 S_1 , S' は鮮明なる基準線から干渉線までの距離であるから

$$\Delta L = 0.1 \text{ mm}, \quad \Delta S = \Delta S_1 = 0.05 \text{ mm}$$

とせば

$$\Delta l' = 0.15 \sim 0.05 \text{ mm}$$

となるから $\Delta l' = 0.1 \text{ mm}$ とおく。

第 10 図

第 1 表

荷重 kg	應 力 kg/mm²	l' mm	ψ	$\cos \psi$	d Å	a Å	σ_1 kg/mm²
荷重前 200	5.0	90° 37.16	9° 13' 30"	0.98708	0.90435	2.8598	-5.1
		45° 37.11	9° 11' 20"	0.98717	0.90426	2.8595	
		90° 37.24	9° 14' 40"	0.98702	0.90439	2.8599	-2.3
		45° 37.26	9° 13' 30"	0.98708	0.90435	2.8598	
荷重前 300	7.5	90° 37.22	9° 14' 20"	0.98703	0.90438	2.8599	-2.3
		45° 37.24	9° 13' 15"	0.98709	0.90434	2.8597	
		90° 37.06	9° 12' 0"	0.98714	0.90429	2.8596	+0.6
		45° 37.18	9° 12' 20"	0.98713	0.90430	2.8596	
荷重前 400	10.0	90° 36.87	9° 9' 10"	0.98727	0.90416	2.8592	-0.6
		45° 36.94	9° 8' 50"	0.98728	0.90415	2.8592	
		90° 36.94	9° 10' 10"	0.98722	0.90421	2.8593	-1.7
		45° 36.99	9° 9' 30"	0.98725	0.90418	2.8593	
荷重前 500	12.5	90° 36.74	9° 7' 10"	0.98737	0.90407	2.8590	-4.6
		45° 36.69	9° 11' 0"	0.98718	0.90399	2.8595	
		90° 37.28	9° 15' 20"	0.98698	0.90443	2.8600	+0.6
		45° 37.39	9° 15' 30"	0.98697	0.90444	2.8601	
600	15.0	90° 36.96	9° 10' 30"	0.98720	0.90423	2.8594	-0.6
		45° 37.04	9° 10' 20"	0.98721	0.90422	2.8594	
780	19.5	90° 37.05	9° 11' 50"	0.98715	0.90428	2.8596	-0.6
		45° 37.12	9° 11' 30"	0.98716	0.90427	2.8595	
770	19.3	90° 37.16	9° 13' 30"	0.98708	0.90435	2.8598	0
		45° 37.25	9° 13' 30"	0.98703	0.90435	2.8598	
770	19.3	90° 36.90	9° 9' 35"	0.98725	0.90418	2.8593	-0.6
		45° 36.98	9° 9' 25"	0.98726	0.90417	2.8593	
800	20.0	90° 37.14	9° 13' 10"	0.98709	0.90433	2.8597	-0.6
		45° 37.21	9° 12' 50"	0.98711	0.90432	2.8597	
1 000	25.0	90° 37.12	9° 14' 20"	0.98703	0.90438	2.8599	-5.7
		45° 37.24	9° 11' 45"	0.98715	0.90428	2.8596	
1 124	28.1	90° 37.31	9° 15' 40"	0.98696	0.90445	2.8601	-4.0
		45° 37.29	9° 14' 0"	0.98705	0.90438	2.8598	
1 124*	28.1	90° 37.44	9° 17' 40"	0.98687	0.90453	2.8603	-2.3
		45° 37.47	9° 16' 40"	0.98691	0.90449	2.8602	

*局部的に大きい伸を生じたる部分の測定値。

(11) 西原利夫外 1 名、機械学会論文誌、3 巻 207 頁 (昭 12-8)。(15) 式。

第 11 図

又 $\Delta R = 0.05\text{mm}$ とすると、この実験では

$\theta \approx 80^\circ$, $R \approx 115\text{mm}$ であるから

$$\Delta d/d = 9.1 \times 10^{-5} \quad (14)$$

(4) より

$$\Delta \sigma_1 = 516.98 \cdot 9 \cdot \frac{1}{d_{0,9^\circ 10'}} \left(\Delta d_{0,35^\circ 50'} - \frac{d_{0,35^\circ 50'}}{d_{0,9^\circ 10'}} \cdot \Delta d_{0,9^\circ 10'} \right) \text{kg/mm}^2$$

この式で $d_{0,35^\circ 50'} \approx d_{0,9^\circ 10'}$, 又 $\Delta d_{0,35^\circ 50'} \approx \Delta d_{0,9^\circ 10'} = \Delta d$ とすると

$$\Delta \sigma_1 = 516.98 \cdot 9 \cdot \frac{1}{d_{0,9^\circ 10'}} (2 \cdot \Delta d \sim 0)$$

となるから

$$\Delta \sigma_1 = 51198.9 \pm \Delta d/d \quad (15)$$

とおく。これに (14) の値を代入すると

$$\Delta \sigma_1 = \pm 4.7 \text{ kg/mm}^2 \quad (16)$$

尚、斜撮影の時、カメラの回轉台を廻すから、その時の回轉角度の誤差に依る應力値の誤差は僅少にして前の l , R の誤差に依る $\Delta \sigma_1$ に比し無視し得る⁽¹²⁾。

5. 結 論

加工した材料を焼鈍すると、内部應力はなくなると考へられる。依て、荷重を加へる前の、即ち焼鈍したまゝの試験片に就き、X 線的に應力を測定した結果、平均 -3.2 kg/mm^2 の値となつた。しかしてこの値は零となるのが當然であり、又測定誤差 $\pm 4.7 \text{ kg/mm}^2$ の範囲内にあるので、果して焼鈍した材料の内部應力はないと考へてよい。蓋しこの平均 -3.2 kg/mm^2 なる値の生じた原因はカメラの製作上の誤差

を補正する時、各要素の測定における誤差によるものと思はれる。今第 10, 11 図に於て、 -3.2 kg/mm^2 を應力値の零線として、測定誤差である $\Delta \sigma_1 = \pm 4.7 \text{ kg/mm}^2$ なる範囲を考へると、各の実験結果の値はこの範囲内に含まれることになる。即ち、弾性限度内及び降伏点以上の引張荷重を與へたる後、荷重を除いた軟鋼では、残留應力を X 線的に測定すると、測定誤差の範囲内で零であることを知る。而して X 線の應力測定法は原子格子の変形、即ち弾性的変形を把握するものであるから、降伏点以上の引張荷重を與へても、荷重を除くと、原子格子の歪は回復して弾性的変形の部分は元の状態に復し、残る永久変形は結晶粒の滑り等に基づくものであると考へられる。即ち、降伏点以上の引張荷重を加へて永久変形を與へた後、その荷重を除いた軟鋼には、原子的には残留歪がないことを確かめ得た。

従て弾性的應力は勿論、降伏点以上の應力を與へたことのある材料に対しても、その材料の履歴の如何に拘らず、X 線の應力測定は弾性的應力に関する限り可能であることを確認した。

又第 9 図に於て、弾性限度内の荷重を加へた場合、結晶粒は唯弾性的変形をなすのみであるから、試験片を加工後焼鈍したため大きく成長した結晶によつて、干渉線は点の列となつてゐるが、降伏点を越えると結晶粒に滑りを生じて、小さい結晶粒に分かれるため、干渉線は点から線になり始め、更に荷重を増すと、結晶粒は微細に破壊されるため、干渉線は幅の廣い線となつてくる。これより、降伏点を越えて結晶粒が滑り始めることを定性的に認め得る。

既に弾性限度内の荷重を與へた時、X 線の測定應力値は機械的測定の應力値とよく一致することが確かめられて⁽¹³⁾ いるが、降伏点以上の荷重を與へた時、X 線の測定應力が如何なる値を示すか吟味すべきであるが、今回は装置の都合上未解決に終つた。

尙装置の関係でフィルムを、入射 X 線を軸として、その周りに回轉する撮影法を用ひなかつたため、弾性限度内の場合第 9 図の如く干渉線は点の列となつて現はれ、測定が困難であり、不精確になる恐れがあつたが、測定に際し同心円を画いた別紙を當て、大体主なる点の配列を決定し、その中心を読んだ。しかし、この一見非科学的方法が回轉に依る誤差も含まれず、却て精確である様に思はれる。

附記。この実験の一部は服部奉公會の援助に依るものである。こゝに感謝の意を表す。

(昭和 16 年 5 月 5 日受付)

(12) 脚註 (9) に同じ、但し I-18 頁。

(13) 脚註 (9) に同じ。