

溶接残留応力の測定ラウンドロビン測定結果

新潟大学・鈴木賢治

2005年11月8日 火曜日

目次

| | | |
|-----|------------------|----|
| 第1章 | はじめに | 2 |
| 第2章 | SUS304 溶接残留応力の測定 | 3 |
| 2.1 | SUS304 測定方法 | 3 |
| 2.2 | 実験結果 | 6 |
| 第3章 | SM570 溶接残留応力の測定 | 17 |
| 3.1 | SM570 の測定 | 17 |
| 3.2 | 実験結果 | 19 |

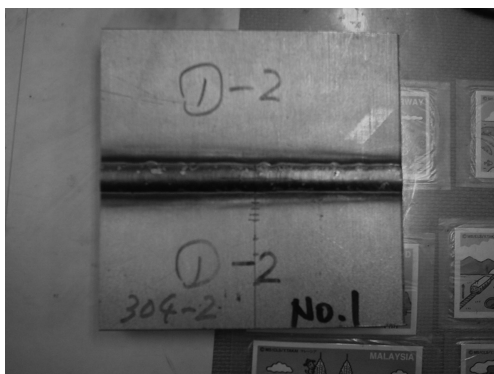
第1章 はじめに

開先形状はU字開先(幅6mm x 深さ7mm)で、各材料の圧延方向は溶接線に垂直である。溶接は、

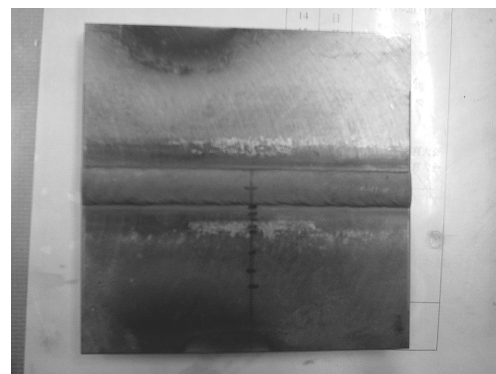
1. SUS304(母材) + Y308(溶接金属)
2. SM570(母材) + YGT60(溶接金属)

とし、溶接方法はTIG半自動溶接である。溶接部の始端、終端から捨てシロをとり、試料観察に回す。溶接線垂直に4個を切り出し、内3個をラウンドロビンとし、残りを中性子応力用の d_0 として利用した。

今回の実験で用いた試験片は図1.1(a)のSUS304と、(b)のSM570である。試験片の番号は、SUS304-2およびSM570-2である。測定応力は、全て溶接線垂直方向の残留応力である。



(a) SUS304



(b) SM570

図 1.1: 溶接試験片の概観

第2章 SUS304 溶接残留応力の測定

2.1 SUS304 測定方法

まず SUS304 の応力測定を行った。測定方向 x , y は図 2.1 のようにし、今回の実験では溶接部分の中心を 0 として y 方向, $-35, -25, -20, -15, -12.5, -10, -7.5, -5, 0, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25, 28$ の合計 17 点の応力を測定した。ただし, -5 の測定点は溶接部分と母材の境界に照射域が入るので, 正確な ψ 角の設定が困難であり, 正しい測定ができない可能性がある。そのため, はじめ $\psi = 0$ を母材法線方向で測定し, 次に溶接表面法線を $\psi = 0$ にして 2 回目の測定を行った。また, $+$ 方向に 35 mm までとしなかったのは, 試験片と X 線管球制限による。

SUS304 の測定条件は基本的に表 2.1 のように行ったが, 測定点によってバックグラウンドが十分にとれなかったり, フルスケールが足りないなど, 状況が変わったため, その都度変更を加えた。

測定装置の概観を図 2.2 に示す。横型ゴニオ回折装置, 並傾法による測定である。カウンターはシンチレーションカウンターである。回折ピークはチャートに出力し, 全て作図法にて半価幅中点法から 2θ を決定した。

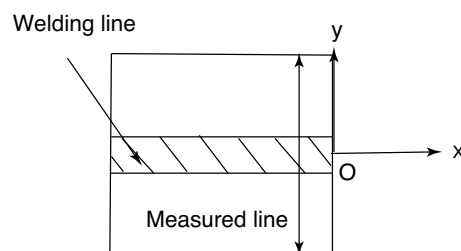


図 2.1: 測定方向

表 2.1: SUS304 の応力測定条件

| Materials | SUS304 |
|-------------------------------|------------------------|
| Tube voltage | 30 kV |
| Tube current | 30 mA |
| Measurement method | Iso inclination method |
| Characteristic X-ray | Cr-K β |
| Diffraction | 311 |
| Diffraction angle $2\theta_0$ | 148.5deg |
| Scanning angle 2θ | 152~144 deg |
| $\sin^2\psi$ | 0~0.6 (0.1 step) |
| Time constant | 20 sec |
| Full scale | 2 kcps |
| Chart speed | 20 mm/min |
| Scanning speed | 1 deg/min |
| Stress constant K | -366 MPa/deg |
| Peak determination | Half value breadth |

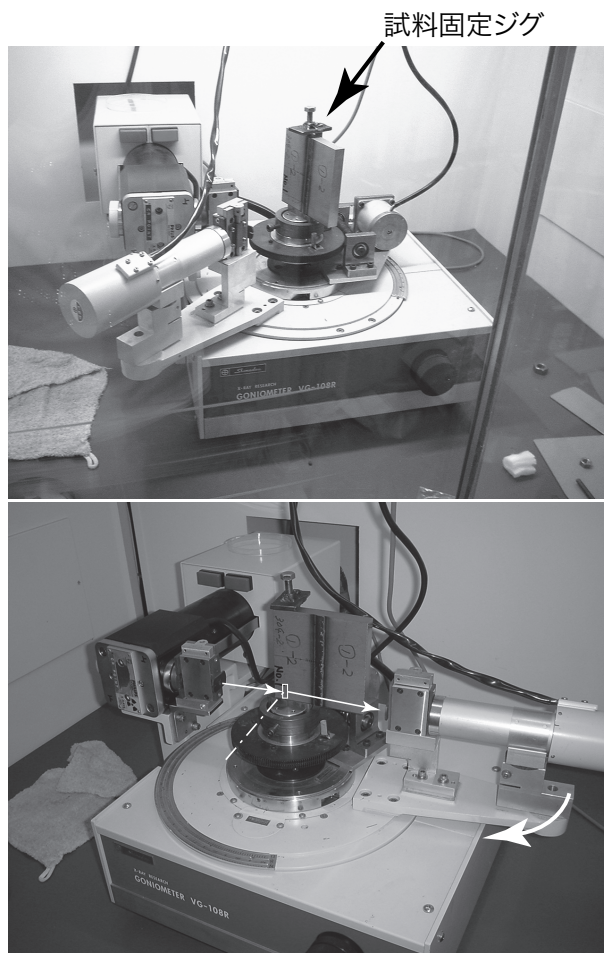


図 2.2: 測定装置の概観と製作した試料固定ジグ

2.2 実験結果

測定結果を以下の表 2.2 から 2.19 に示す。また、図 2.3 から 2.5 に 2θ - $\sin^2 \psi$ 線図を示す。-5, 0, 5 の 3 点については溶接部であるために回折強度曲線がばらつきが見られたので、図 2.6 に、 2θ - $\sin^2 \psi$ 線図とともに、各 $\sin^2 \psi$ ごとの回折強度のグラフも示した。

そして、試験片の溶接部を含む応力の分布を図 2.7 に示した。

表 2.2: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = -35\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 148.11 | 147.944 |
| 0.1 | 18.43 | 148.07 | 147.904 |
| 0.2 | 26.56 | 148.08 | 147.914 |
| 0.3 | 33.21 | 148.27 | 148.104 |
| 0.4 | 39.23 | 148.34 | 148.174 |
| 0.5 | 45.0 | 148.47 | 148.304 |
| 0.6 | 50.76 | 148.56 | 148.394 |

表 2.3: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = -25\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 147.97 | 147.80 |
| 0.1 | 18.43 | 148.04 | 147.87 |
| 0.2 | 26.56 | 148.15 | 147.98 |
| 0.3 | 33.21 | 148.31 | 148.14 |
| 0.4 | 39.23 | 148.41 | 148.24 |
| 0.5 | 45.0 | 148.46 | 148.29 |
| 0.6 | 50.76 | 148.47 | 148.30 |

表 2.4: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = -20\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 148.04 | 147.87 |
| 0.1 | 18.43 | 148.16 | 147.99 |
| 0.2 | 26.56 | 148.22 | 148.05 |
| 0.3 | 33.21 | 148.19 | 148.02 |
| 0.4 | 39.23 | 148.13 | 147.96 |
| 0.5 | 45.0 | 148.25 | 148.08 |
| 0.6 | 50.76 | 148.20 | 148.03 |

表 2.5: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = -15\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 148.42 | 148.25 |
| 0.1 | 18.43 | 148.45 | 148.28 |
| 0.2 | 26.56 | 148.41 | 148.24 |
| 0.3 | 33.21 | 148.21 | 148.04 |
| 0.4 | 39.23 | 148.12 | 147.95 |
| 0.5 | 45.0 | 148.02 | 147.85 |
| 0.6 | 50.76 | 147.96 | 147.79 |

表 2.6: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = -12.5\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 148.77 | 148.60 |
| 0.1 | 18.43 | 148.71 | 148.54 |
| 0.2 | 26.56 | 148.58 | 148.41 |
| 0.3 | 33.21 | 148.34 | 148.17 |
| 0.4 | 39.23 | 148.25 | 148.08 |
| 0.5 | 45.0 | 148.02 | 147.85 |
| 0.6 | 50.76 | 147.85 | 147.68 |

表 2.7: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = -10.0\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 148.98 | 148.81 |
| 0.1 | 18.43 | 148.83 | 148.66 |
| 0.2 | 26.56 | 148.85 | 148.68 |
| 0.3 | 33.21 | 148.54 | 148.37 |
| 0.4 | 39.23 | 148.40 | 148.23 |
| 0.5 | 45.0 | 148.21 | 148.04 |
| 0.6 | 50.76 | 148.08 | 147.91 |

表 2.8: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = -7.5\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 148.87 | 148.70 |
| 0.1 | 18.43 | 148.70 | 148.53 |
| 0.2 | 26.56 | 148.63 | 148.46 |
| 0.3 | 33.21 | 148.54 | 148.39 |
| 0.4 | 39.23 | 148.46 | 148.29 |
| 0.5 | 45.0 | 148.43 | 148.26 |
| 0.6 | 50.76 | 148.34 | 148.17 |

表 2.9: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = -5.0\text{mm}$ (一回目)

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|-----------|
| 0.0 | 0.0 | 148.38 | 148.21 | 1244 |
| 0.1 | 18.43 | 148.39 | 148.22 | 1392 |
| 0.2 | 26.56 | 148.37 | 148.20 | 1745 |
| 0.3 | 33.21 | 148.31 | 148.14 | 1335 |
| 0.4 | 39.23 | 148.33 | 148.16 | 1192 |
| 0.5 | 45.0 | 148.37 | 148.20 | 1172 |
| 0.6 | 50.76 | 148.42 | 148.25 | 1206 |

表 2.10: SUS304 の σ_x 応力測定結果 $y = -5.0\text{mm}$ (二回目)

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|-----------|
| 0.0 | 0.0 | 148.34 | 148.17 | 1505 |
| 0.1 | 18.43 | 148.34 | 148.17 | 1285 |
| 0.2 | 26.56 | 148.43 | 148.26 | 1000 |
| 0.3 | 33.21 | 148.44 | 148.27 | 1224 |
| 0.4 | 39.23 | 148.55 | 148.38 | 1516 |
| 0.5 | 45.0 | 148.56 | 148.39 | 1042 |
| 0.6 | 50.76 | 148.67 | 148.50 | 808 |

表 2.11: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = 0.0\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------|
| 0.0 | 0.0 | 148.47 | 148.30 | 1088 |
| 0.1 | 18.43 | 148.44 | 148.27 | 832 |
| 0.2 | 26.56 | 148.46 | 148.29 | 762 |
| 0.3 | 33.21 | 148.49 | 148.32 | 640 |
| 0.4 | 39.23 | 148.34 | 148.17 | 8060 |
| 0.5 | 45.0 | 148.54 | 148.37 | 958 |
| 0.6 | 50.76 | 148.67 | 148.50 | 820 |

表 2.12: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = 28\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 147.83 | 147.66 |
| 0.1 | 18.43 | 147.93 | 147.76 |
| 0.2 | 26.56 | 148.17 | 148.00 |
| 0.3 | 33.21 | 148.13 | 147.96 |
| 0.4 | 39.23 | 148.32 | 148.15 |
| 0.5 | 45.0 | 148.35 | 148.18 |
| 0.6 | 50.76 | 148.53 | 148.36 |

表 2.13: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = 25\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 147.92 | 147.75 |
| 0.1 | 18.43 | 147.88 | 147.71 |
| 0.2 | 26.56 | 148.05 | 147.88 |
| 0.3 | 33.21 | 148.18 | 148.01 |
| 0.4 | 39.23 | 148.33 | 148.16 |
| 0.5 | 45.0 | 148.40 | 148.23 |
| 0.6 | 50.76 | 148.51 | 148.34 |

表 2.14: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = 20\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 147.91 | 147.74 |
| 0.1 | 18.43 | 147.96 | 147.79 |
| 0.2 | 26.56 | 148.11 | 147.94 |
| 0.3 | 33.21 | 148.15 | 147.98 |
| 0.4 | 39.23 | 148.33 | 148.16 |
| 0.5 | 45.0 | 148.39 | 148.22 |
| 0.6 | 50.76 | 148.55 | 148.38 |

表 2.15: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = 15\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 148.26 | 148.09 |
| 0.1 | 18.43 | 148.17 | 148.00 |
| 0.2 | 26.56 | 148.23 | 148.06 |
| 0.3 | 33.21 | 148.18 | 148.01 |
| 0.4 | 39.23 | 148.28 | 148.11 |
| 0.5 | 45.0 | 148.29 | 148.12 |
| 0.6 | 50.76 | 148.23 | 148.06 |

表 2.16: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = 12.5\text{mm}$

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 148.61 | 148.44 |
| 0.1 | 18.43 | 148.52 | 148.35 |
| 0.2 | 26.56 | 148.42 | 148.25 |
| 0.3 | 33.21 | 148.29 | 148.12 |
| 0.4 | 39.23 | 148.16 | 147.99 |
| 0.5 | 45.0 | 148.10 | 147.93 |
| 0.6 | 50.76 | 148.04 | 147.87 |

表 2.17: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = 10\text{mm}$

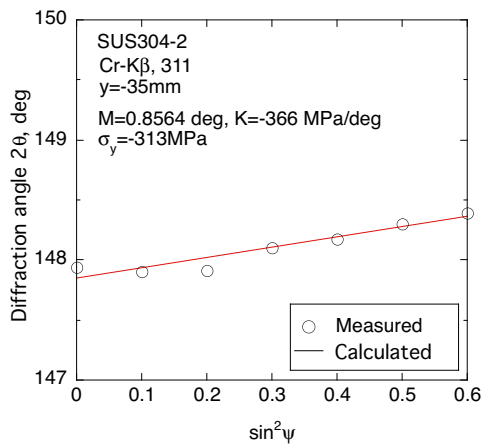
| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 148.85 | 148.68 |
| 0.1 | 18.43 | 148.70 | 148.53 |
| 0.2 | 26.56 | 148.64 | 148.47 |
| 0.3 | 33.21 | 148.45 | 148.28 |
| 0.4 | 39.23 | 148.32 | 148.15 |
| 0.5 | 45.0 | 148.17 | 148.00 |
| 0.6 | 50.76 | 148.03 | 147.86 |

表 2.18: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = 7.5\text{mm}$

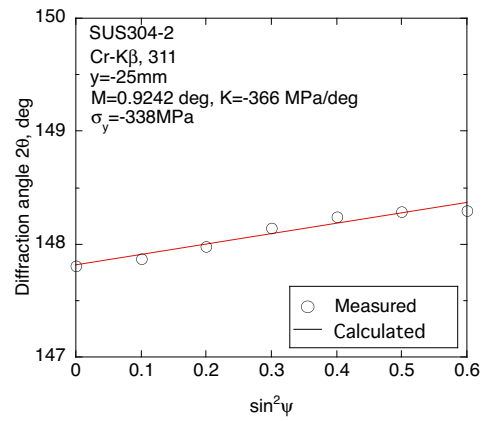
| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | 149.01 | 148.84 |
| 0.1 | 18.43 | 148.83 | 148.66 |
| 0.2 | 26.56 | 148.74 | 148.57 |
| 0.3 | 33.21 | 148.57 | 148.40 |
| 0.4 | 39.23 | 148.40 | 148.23 |
| 0.5 | 45.0 | 148.22 | 148.05 |
| 0.6 | 50.76 | 148.03 | 147.86 |

表 2.19: SUS304 の σ_y 応力測定結果 $y = 5\text{mm}$

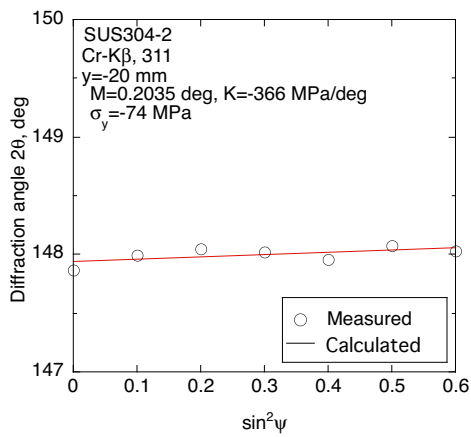
| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------|
| 0.0 | 0.0 | 148.26 | 148.09 | 912 |
| 0.1 | 18.43 | 148.33 | 148.16 | 1038 |
| 0.2 | 26.56 | 148.43 | 148.26 | 1164 |
| 0.3 | 33.21 | 148.45 | 148.28 | 1052 |
| 0.4 | 39.23 | 148.51 | 148.34 | 1020 |
| 0.5 | 45.0 | 148.51 | 148.34 | 956 |
| 0.6 | 50.76 | 148.51 | 148.34 | 858 |



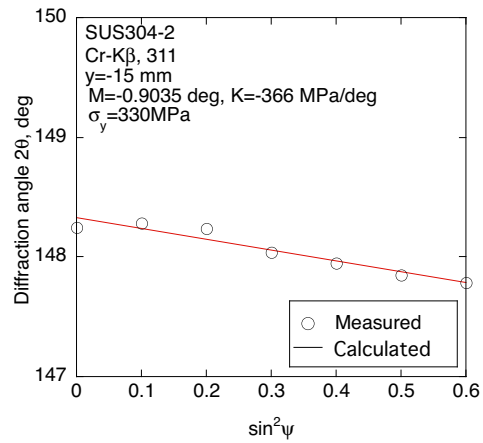
(a) $y = -35$ mm



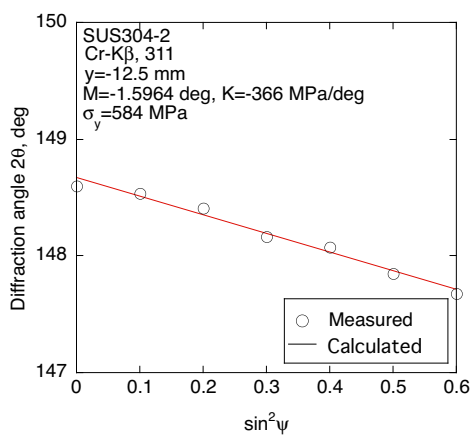
(b) $y = -25$ mm



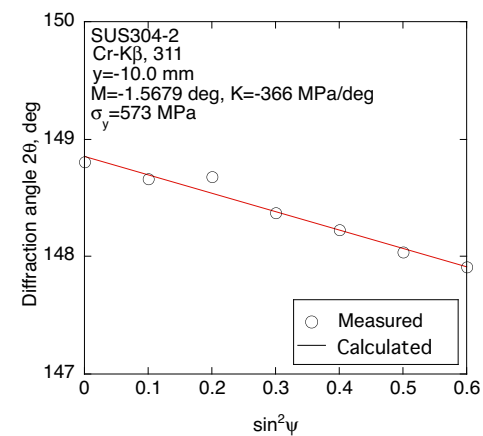
(c) $y = -20$ mm



(d) $y = -15$ mm

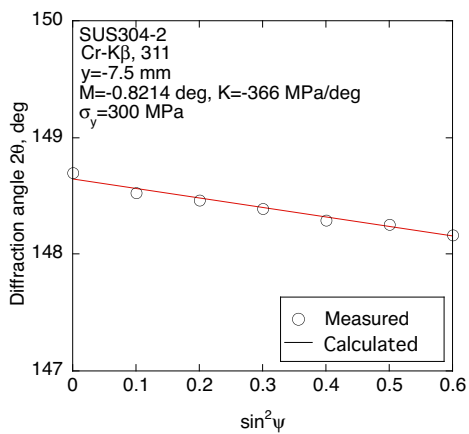


(e) $y = -12.5$ mm

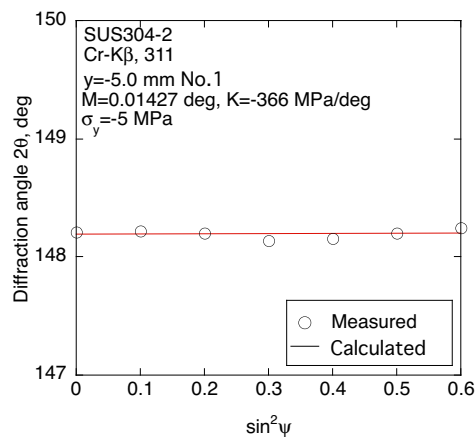


(f) $y = -10$ mm

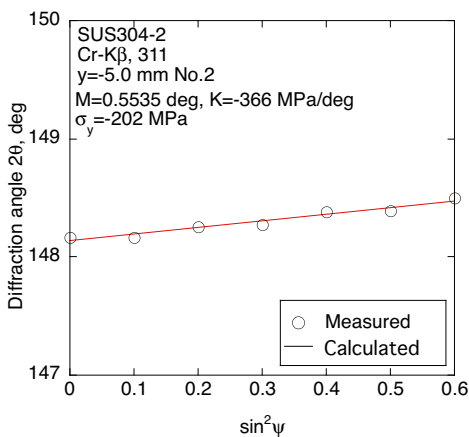
図 2.3: $\sin^2 \psi$ - 2θ 線図



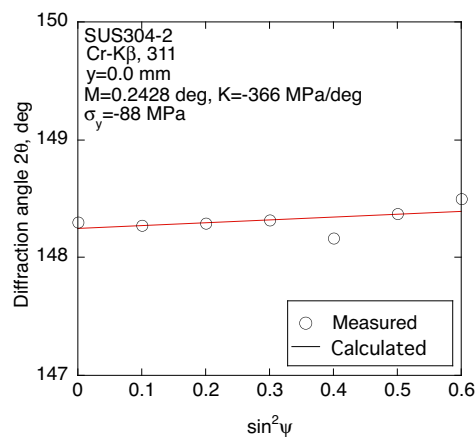
(g) $y = -7.5$ mm



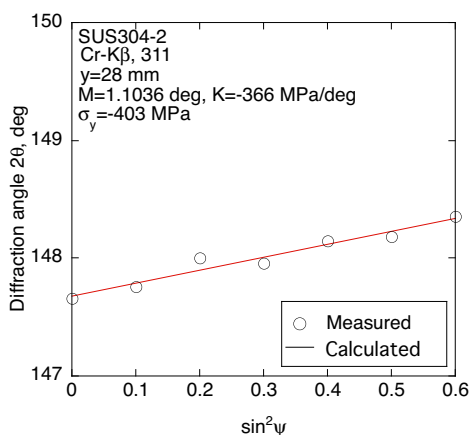
(h) $y = -5$ mm(1回目)



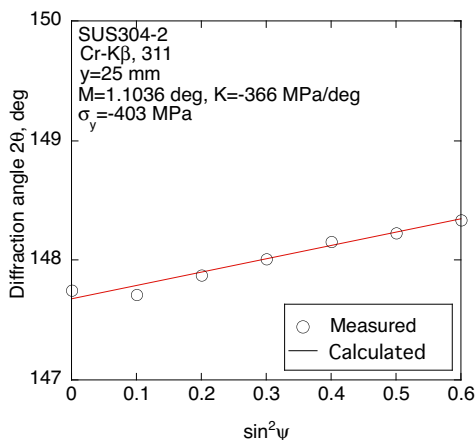
(i) $y = -5$ mm(2回目)



(j) $y = 0$ mm

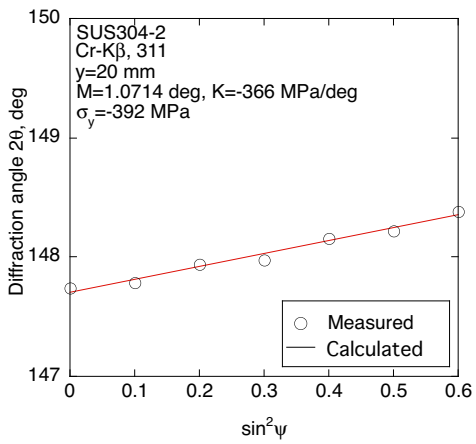


(k) $y = 28$ mm

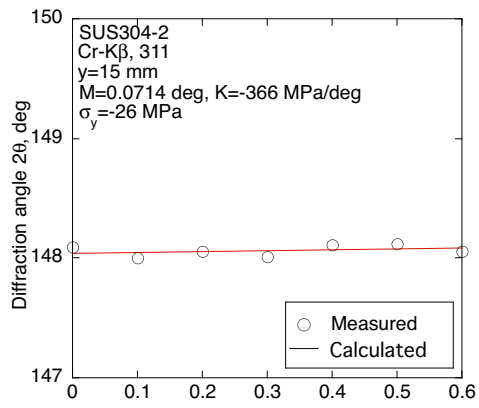


(l) $y = 25$ mm

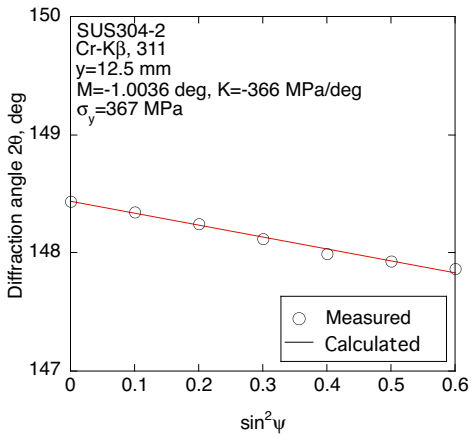
図 2.4: $\sin^2 \psi$ - 2θ 線図



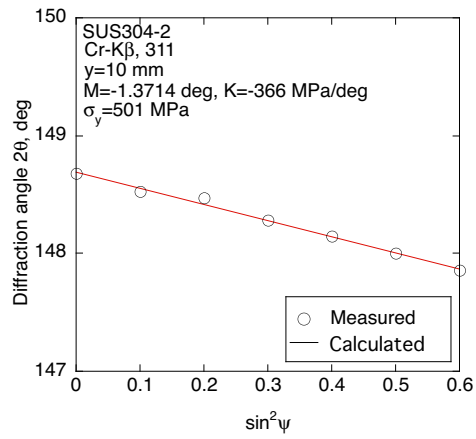
(m) $y = 20$ mm



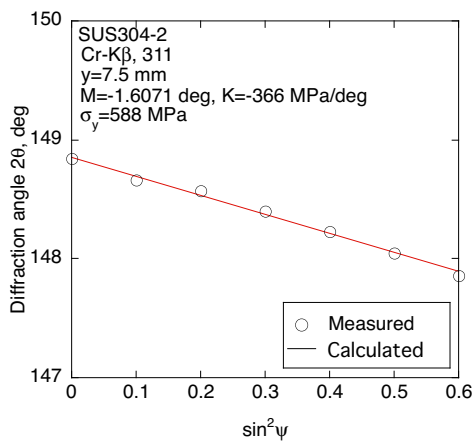
(n) $y = 15$ mm



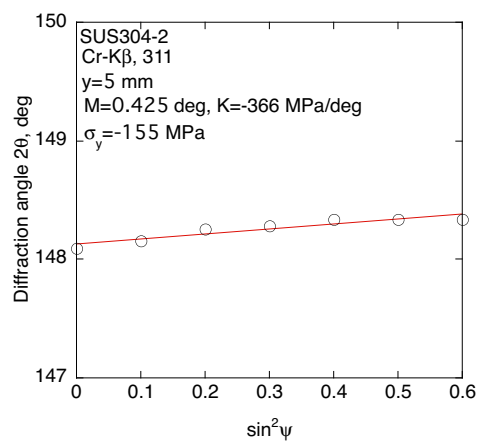
(o) $y = 12.5$ mm



(p) $y = 10$ mm

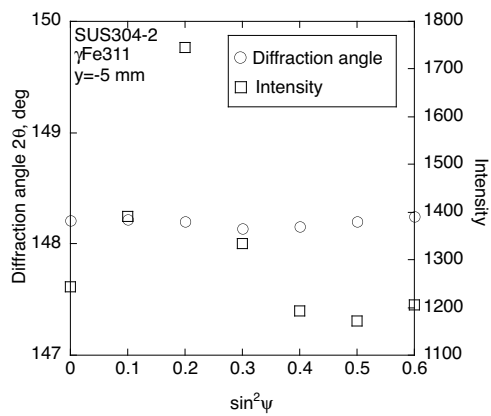


(q) $y = 7.5$ mm

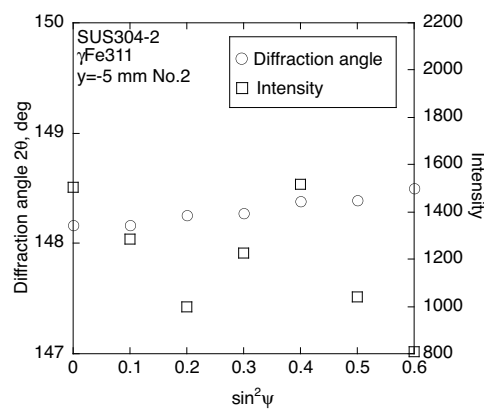


(r) $y = 5$ mm

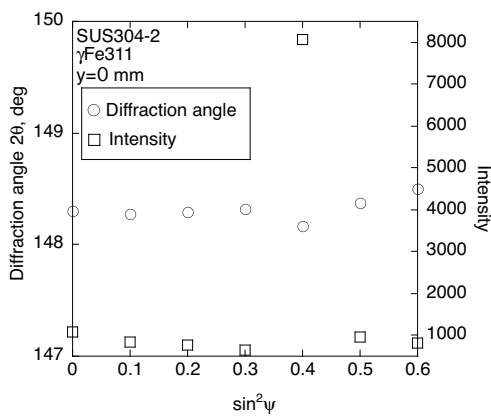
図 2.5: $\sin^2\psi$ - 2θ 線図



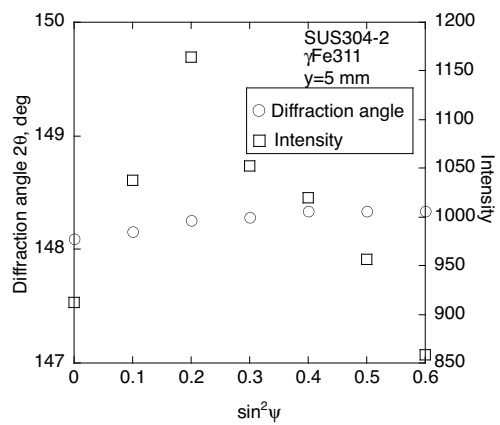
(a) $y = -5$ mm (一回目)



(b) $y = -5$ mm (2回目)



(c) $y = 0$ mm



(d) $y = 5$ mm

図 2.6: $\sin^2\psi$ - 2θ 線図と回折強度

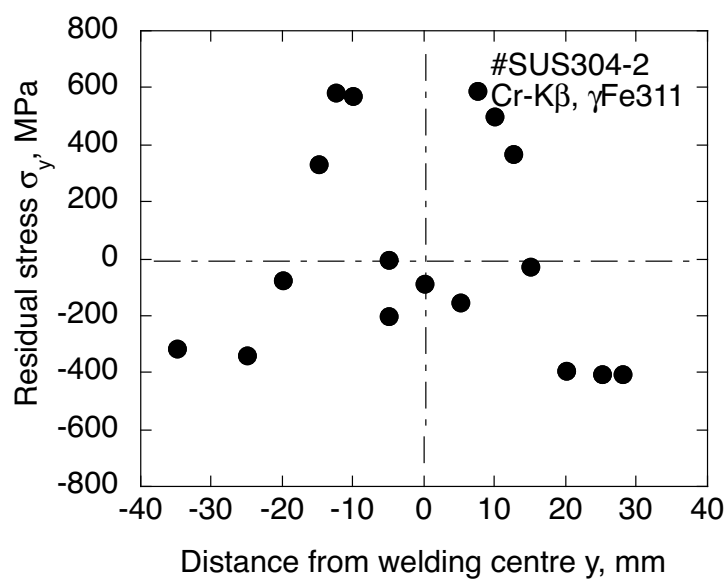


図 2.7: SUS304 の残留応力分布

第3章 SM570 溶接残留応力の測定

3.1 SM570 の測定

実験に用いる試験片は図1のSM570である。

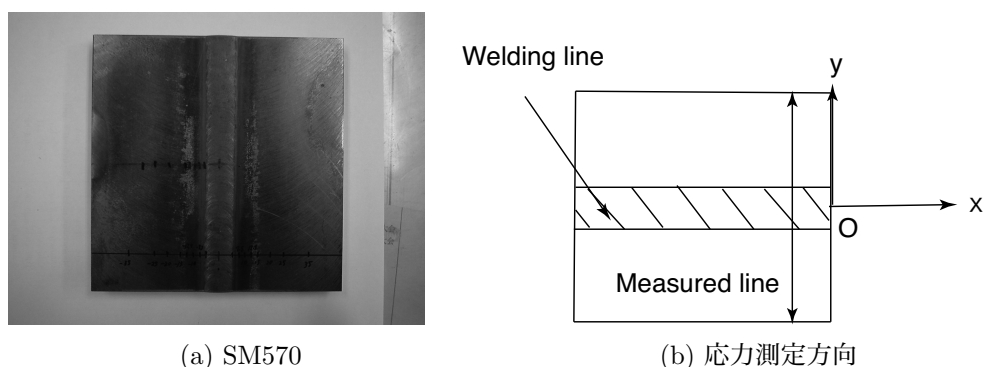


図 3.1: SM570 溶接試験片の概観

SUS304と同様，図3.1(b)のように溶接中心から，溶接方向と垂直な方向，すなわち y 方向の残留応力を測定した。測定点は，溶接中心から -35 mm ， -25 mm ， -20 mm ， -15 mm ， -12.5 mm ， -10 mm ， -7.5 mm ， -5.0 mm ， 0.0 mm ， 5.0 mm ， 10 mm ， 12.5 mm ， 15 mm ， 20 mm ， 25 mm ， 28 mm である。今回も 35 mm の点では試験片がX線発生装置にぶつかってしまうため， 28 mm までとした。

測定条件は，「X線応力測定法標準－鉄鋼編－」に従い，表3.1のように定めた。

1

¹ $y = -10.0\text{ mm}$ の測定点を測定していた際に不注意により検出器をX線発生装置にぶつけてしまい， 2θ 位置がややずれている可能性有り。ただし，Ag粉末試験片を用いて角度の誤差を測定した。その結果， $\Delta 2\theta = 0.106\text{ [deg]}$ となり， $y = -10.0\text{ mm}$ 以降の測定での回折角の誤差補正をしている。

表 3.1: SM570 の応力測定条件

| Materials | SM570 |
|-------------------------------|------------------------|
| Tube voltage | 30 kV |
| Tube current | 10 mA |
| Measurement method | Iso inclination method |
| Characteristic X-ray | Cr-K α |
| Filter | V foil |
| Diffraction | α -Fe, 211 |
| Diffraction angle $2\theta_0$ | 156.4 deg |
| Scanning angle 2θ | 160 ~ 150 deg |
| Time constant | 10 sec |
| Full scale | 2 kcps |
| Chart speed | 10 mm/min |
| Scanning speed | 1 deg/min |
| Stress constant K | -318 MPa/deg |
| Peak determination | Half value breadth |

3.2 実験結果

以下に実験結果を表 3.2 から 3.19 に示す。SM570 の測定では、溶接中心から離れた位置にも強度のばらつきが見られたため、 2θ - $\sin^2\psi$ 線図だけでなく、 $\sin^2\psi$ による強度の変化もあわせて示した。

表 3.2: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = -35$ mm

| $\sin^2\psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|--------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.81 | 156.64 | 0.976 |
| 0.1 | 18.43 | 156.73 | 156.56 | 1.338 |
| 0.2 | 26.56 | 156.71 | 156.54 | 1.328 |
| 0.3 | 33.21 | 156.68 | 156.41 | 1.482 |
| 0.4 | 39.23 | 156.47 | 156.30 | 1.594 |
| 0.5 | 45.0 | 156.56 | 156.39 | 1.534 |
| 0.6 | 50.76 | 156.50 | 156.33 | 1.324 |

表 3.3: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = -25$ mm

| $\sin^2\psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|--------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.73 | 156.56 | 1.046 |
| 0.1 | 18.43 | 156.68 | 156.51 | 1410 |
| 0.2 | 26.56 | 156.64 | 156.47 | 1.366 |
| 0.3 | 33.21 | 156.61 | 156.44 | 1.594 |
| 0.4 | 39.23 | 156.56 | 156.39 | 1.900 |
| 0.5 | 45.0 | 156.57 | 156.40 | 1.805 |
| 0.6 | 50.76 | 156.45 | 156.28 | 1.364 |

表 3.4: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = -20$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.64 | 156.47 | 1.084 |
| 0.1 | 18.43 | 156.58 | 156.41 | 1.514 |
| 0.2 | 26.56 | 156.59 | 156.42 | 1.472 |
| 0.3 | 33.21 | 156.57 | 156.40 | 1.770 |
| 0.4 | 39.23 | 156.54 | 156.37 | 2.180 |
| 0.5 | 45.0 | 156.55 | 156.38 | 2.085 |
| 0.6 | 50.76 | 156.53 | 156.36 | 1.394 |

表 3.5: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = -15$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.55 | 156.38 | 3.130 |
| 0.1 | 18.43 | 156.56 | 156.39 | 4.560 |
| 0.2 | 26.56 | 156.57 | 156.40 | 4.240 |
| 0.3 | 33.21 | 156.53 | 156.36 | 5.400 |
| 0.4 | 39.23 | 156.52 | 156.35 | 6.790 |
| 0.5 | 45.0 | 156.56 | 156.39 | 6.690 |
| 0.6 | 50.76 | 156.56 | 156.39 | 4.160 |

表 3.6: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = -12.5$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.57 | 156.40 | 3.330 |
| 0.1 | 18.43 | 156.54 | 156.37 | 4.930 |
| 0.2 | 26.56 | 156.56 | 156.39 | 4.370 |
| 0.3 | 33.21 | 156.58 | 156.41 | 5.510 |
| 0.4 | 39.23 | 156.57 | 156.40 | 8.160 |
| 0.5 | 45.0 | 156.61 | 156.44 | 7.560 |
| 0.6 | 50.76 | 156.64 | 156.47 | 4.270 |

表 3.7: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = -10.0$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.43 | 156.32 | 3.280 |
| 0.1 | 18.43 | 156.43 | 156.32 | 4.750 |
| 0.2 | 26.56 | 156.46 | 156.35 | 4.420 |
| 0.3 | 33.21 | 156.44 | 156.33 | 5.440 |
| 0.4 | 39.23 | 156.51 | 156.40 | 7.850 |
| 0.5 | 45.0 | 156.55 | 156.44 | 6.320 |
| 0.6 | 50.76 | 156.64 | 156.53 | 3.720 |

表 3.8: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = -7.5$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.28 | 156.17 | 3.575 |
| 0.1 | 18.43 | 156.29 | 156.18 | 3.930 |
| 0.2 | 26.56 | 156.34 | 156.23 | 4.090 |
| 0.3 | 33.21 | 156.37 | 156.26 | 4.310 |
| 0.4 | 39.23 | 156.44 | 156.33 | 4.610 |
| 0.5 | 45.0 | 156.51 | 156.40 | 4.430 |
| 0.6 | 50.76 | 156.56 | 156.45 | 3.790 |

表 3.9: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = -5$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.46 | 156.35 | 2.835 |
| 0.1 | 18.43 | 156.43 | 156.32 | 2.765 |
| 0.2 | 26.56 | 156.37 | 156.26 | 3.165 |
| 0.3 | 33.21 | 156.35 | 156.24 | 3.215 |
| 0.4 | 39.23 | 156.26 | 156.15 | 3.185 |
| 0.5 | 45.0 | 156.23 | 156.12 | 2.720 |
| 0.6 | 50.76 | 156.17 | 156.06 | 2.235 |

表 3.10: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 0$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.62 | 156.51 | 3.255 |
| 0.1 | 18.43 | 156.50 | 156.39 | 3.405 |
| 0.2 | 26.56 | 156.44 | 156.33 | 2.605 |
| 0.3 | 33.21 | 156.33 | 156.22 | 2.290 |
| 0.4 | 39.23 | 156.23 | 156.12 | 2.210 |
| 0.5 | 45.0 | 156.16 | 156.05 | 2.340 |
| 0.6 | 50.76 | 156.06 | 155.95 | 2.730 |

表 3.11: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 5$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.46 | 156.35 | 2.820 |
| 0.1 | 18.43 | 156.33 | 156.22 | 3.680 |
| 0.2 | 26.56 | 156.32 | 156.21 | 3.620 |
| 0.3 | 33.21 | 156.24 | 156.13 | 3.515 |
| 0.4 | 39.23 | 156.33 | 156.22 | 3.545 |
| 0.5 | 45.0 | 156.33 | 156.22 | 3.785 |
| 0.6 | 50.76 | 156.37 | 156.26 | 3.775 |

表 3.12: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 5$ mm (マスクング)

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.32 | 156.21 | 1.905 |
| 0.1 | 18.43 | 156.30 | 156.19 | 2.760 |
| 0.2 | 26.56 | 156.24 | 156.13 | 2.745 |
| 0.3 | 33.21 | 156.21 | 156.10 | 2.455 |
| 0.4 | 39.23 | 156.24 | 156.13 | 2.370 |
| 0.5 | 45.0 | 156.25 | 156.14 | 2.435 |
| 0.6 | 50.76 | 156.24 | 156.13 | 2.350 |

表 3.13: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 7.5$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.35 | 156.24 | 3.115 |
| 0.1 | 18.43 | 156.40 | 156.29 | 4.095 |
| 0.2 | 26.56 | 156.48 | 156.37 | 3.965 |
| 0.3 | 33.21 | 156.53 | 156.42 | 4.960 |
| 0.4 | 39.23 | 156.55 | 156.44 | 7.520 |
| 0.5 | 45.0 | 156.62 | 156.51 | 7.110 |
| 0.6 | 50.76 | 156.70 | 156.59 | 3.620 |

表 3.14: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 10$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.51 | 156.40 | 3.100 |
| 0.1 | 18.43 | 156.51 | 156.40 | 4.060 |
| 0.2 | 26.56 | 156.51 | 156.40 | 4.010 |
| 0.3 | 33.21 | 156.52 | 156.41 | 5.280 |
| 0.4 | 39.23 | 156.49 | 156.38 | 7.600 |
| 0.5 | 45.0 | 156.56 | 156.45 | 6.740 |
| 0.6 | 50.76 | 156.64 | 156.53 | 3.840 |

表 3.15: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 12.5$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.55 | 156.44 | 2.965 |
| 0.1 | 18.43 | 156.52 | 156.41 | 3.945 |
| 0.2 | 26.56 | 156.53 | 156.42 | 3.885 |
| 0.3 | 33.21 | 156.52 | 156.41 | 4.910 |
| 0.4 | 39.23 | 156.50 | 156.39 | 6.690 |
| 0.5 | 45.0 | 156.52 | 156.41 | 6.200 |
| 0.6 | 50.76 | 156.56 | 156.45 | 3.850 |

表 3.16: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 15$ mm

| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.57 | 156.46 | 2.900 |
| 0.1 | 18.43 | 156.55 | 156.44 | 4.070 |
| 0.2 | 26.56 | 156.54 | 156.43 | 3.840 |
| 0.3 | 33.21 | 156.53 | 156.42 | 4.560 |
| 0.4 | 39.23 | 156.51 | 156.40 | 6.060 |
| 0.5 | 45.0 | 156.53 | 156.42 | 5.870 |
| 0.6 | 50.76 | 156.56 | 156.45 | 3.885 |

表 3.17: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 20$ mm

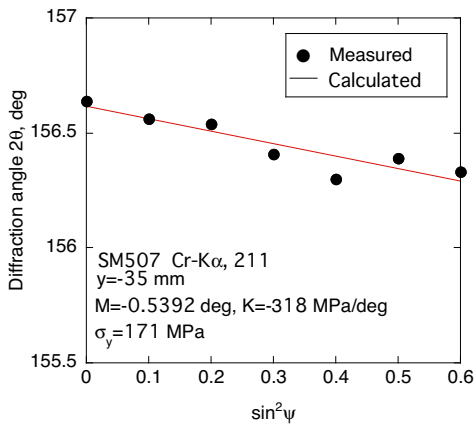
| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.61 | 156.50 | 2.735 |
| 0.1 | 18.43 | 156.54 | 156.43 | 3.800 |
| 0.2 | 26.56 | 156.53 | 156.42 | 3.590 |
| 0.3 | 33.21 | 156.45 | 156.34 | 4.265 |
| 0.4 | 39.23 | 156.49 | 156.38 | 5.320 |
| 0.5 | 45.0 | 156.47 | 156.36 | 5.260 |
| 0.6 | 50.76 | 156.46 | 156.35 | 3.865 |

表 3.18: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 25$ mm

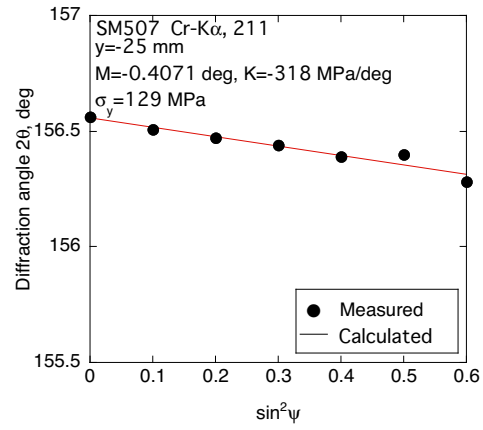
| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.63 | 156.52 | 2.445 |
| 0.1 | 18.43 | 156.62 | 156.51 | 3.475 |
| 0.2 | 26.56 | 156.61 | 156.50 | 3.375 |
| 0.3 | 33.21 | 156.53 | 156.42 | 3.800 |
| 0.4 | 39.23 | 156.61 | 156.50 | 4.490 |
| 0.5 | 45.0 | 156.49 | 156.38 | 4.605 |
| 0.6 | 50.76 | 156.44 | 156.33 | 3.760 |

表 3.19: SM570 の σ_y 応力測定結果 $y = 35$ mm

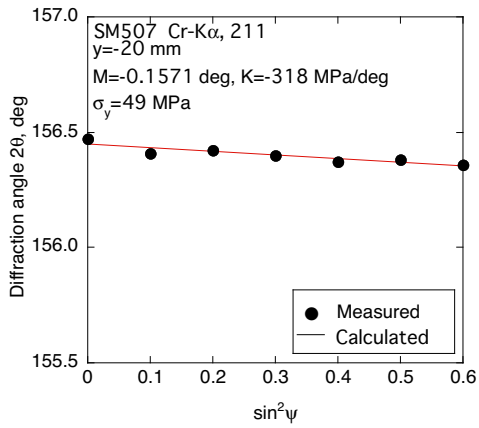
| $\sin^2 \psi$ | ψ (deg) | 2θ (deg) | $2\theta + \Delta 2\theta$ (deg) | Intensity (kcps) |
|---------------|--------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 0.0 | 0.0 | 156.68 | 156.57 | 2.645 |
| 0.1 | 18.43 | 156.66 | 156.55 | 3.635 |
| 0.2 | 26.56 | 156.64 | 156.53 | 3.525 |
| 0.3 | 33.21 | 156.58 | 156.47 | 3.865 |
| 0.4 | 39.23 | 156.49 | 156.38 | 4.420 |
| 0.5 | 45.0 | 156.48 | 156.37 | 4.565 |
| 0.6 | 50.76 | 156.43 | 156.32 | 3.870 |



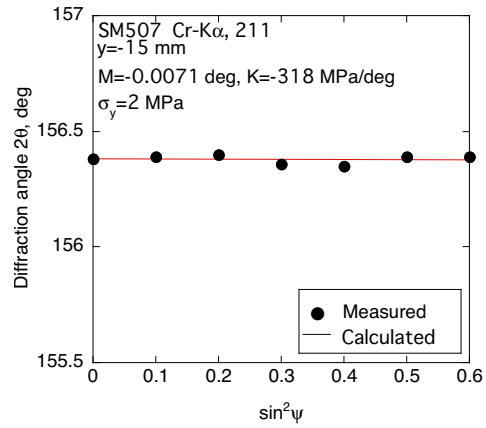
(a) $y = -35$ mm



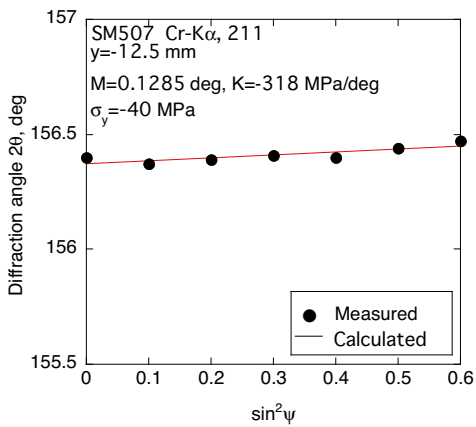
(b) $y = -25$ mm



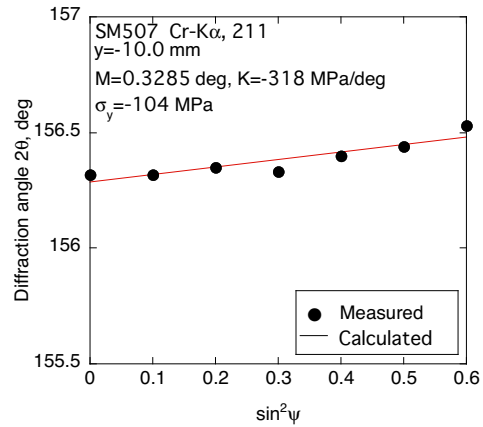
(c) $y = -20$ mm



(d) $y = -15$ mm

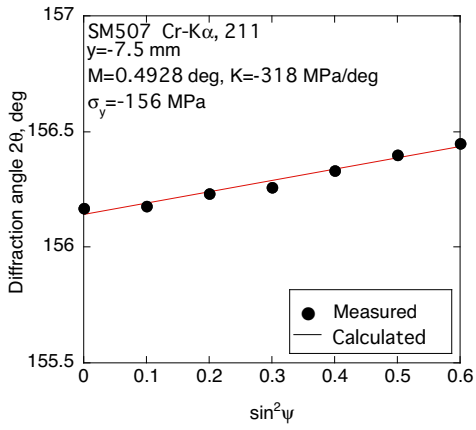


(e) $y = 12.5$ mm

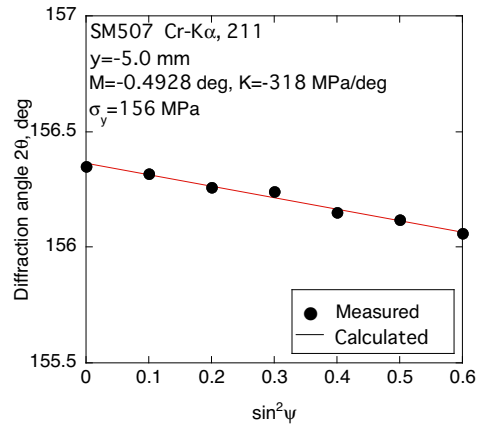


(f) $y = -10.0$ mm

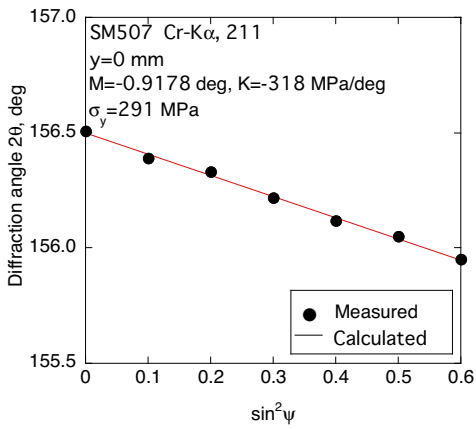
図 3.2: 2θ - $\sin^2\psi$ 線図



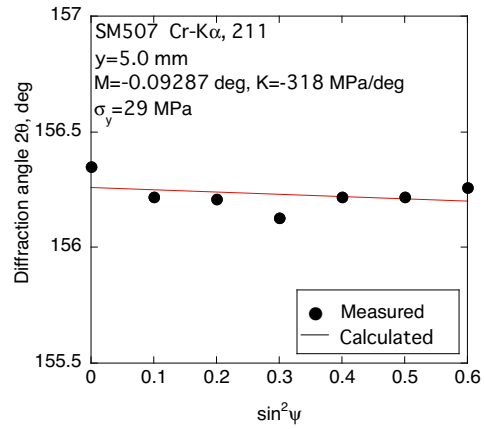
(g) $y = -7.5$ mm



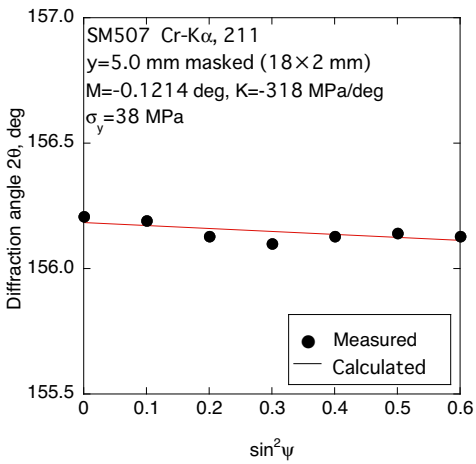
(h) $y = -5.0$ mm



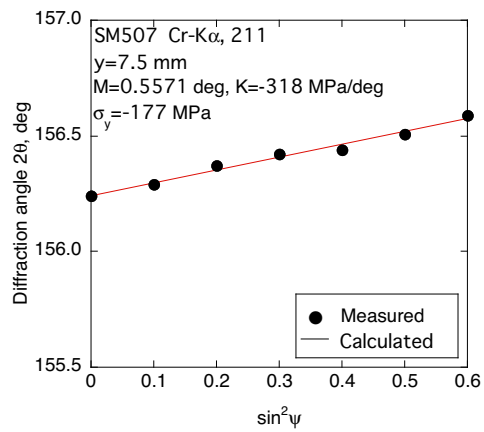
(i) $y = 0$ mm



(j) $y = 5.0$ mm

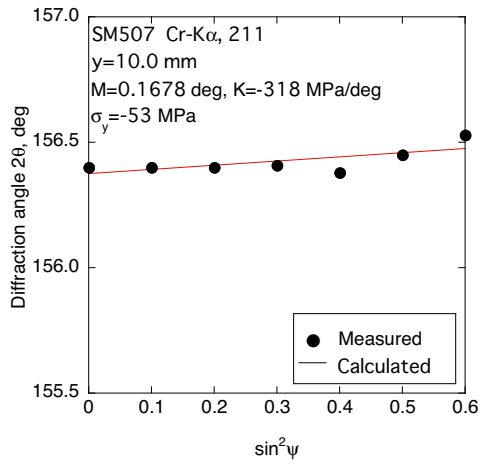


(k) $y = 5.0$ mm (マスク)

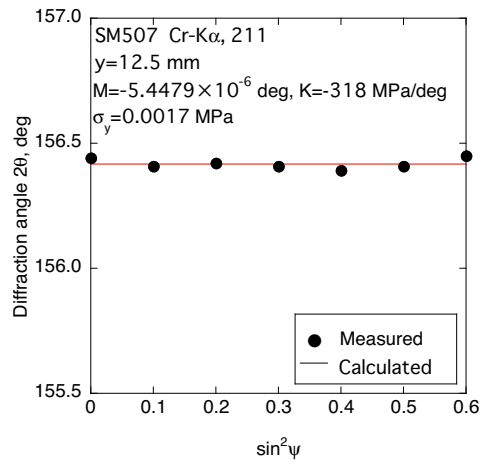


(l) $y = 7.5$ mm

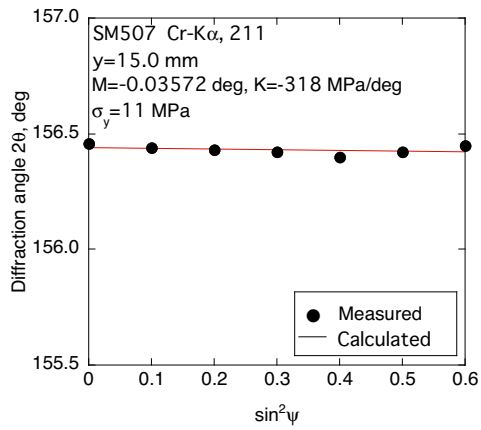
図 3.3: 2θ - $\sin^2\psi$ 線図



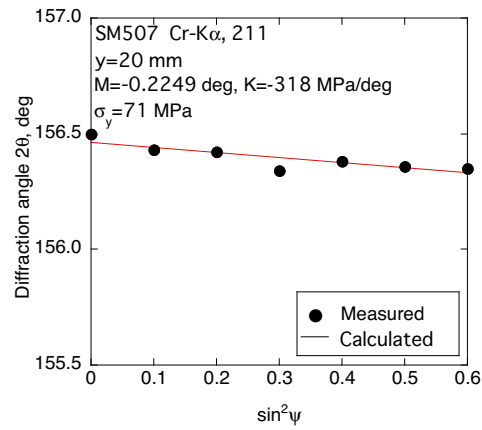
(m) $y = 10$ mm



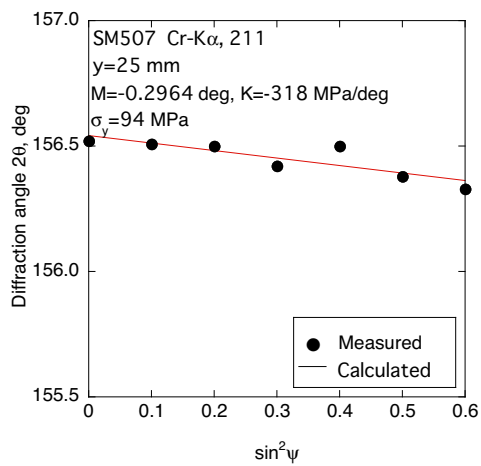
(n) $y = 12.5$ mm



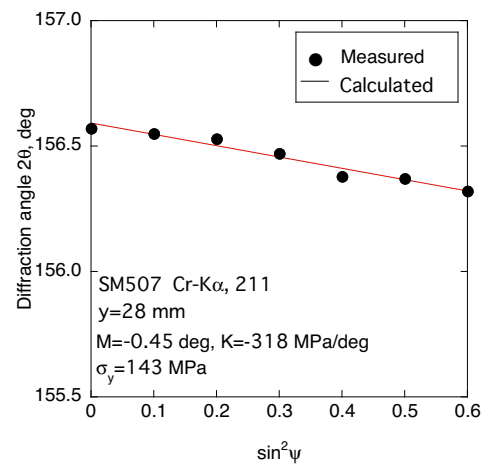
(o) $y = 15$ mm



(p) $y = 20$ mm



(q) $y = 25$ mm



(r) $y = 28$ mm

図 3.4: 2θ - $\sin^2\psi$ 線図

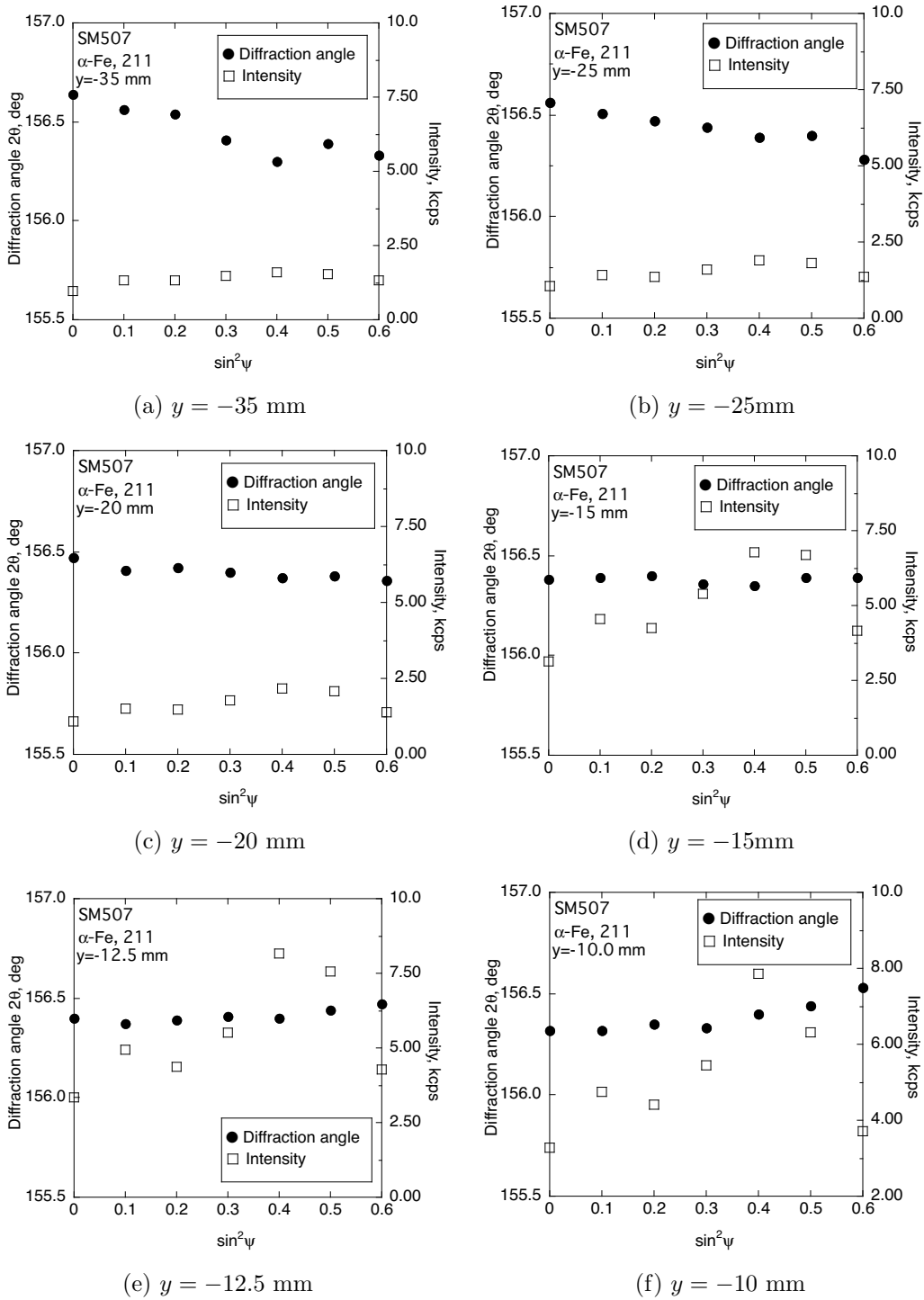


図 3.5: 2θ - $\sin^2\psi$ 線図と強度

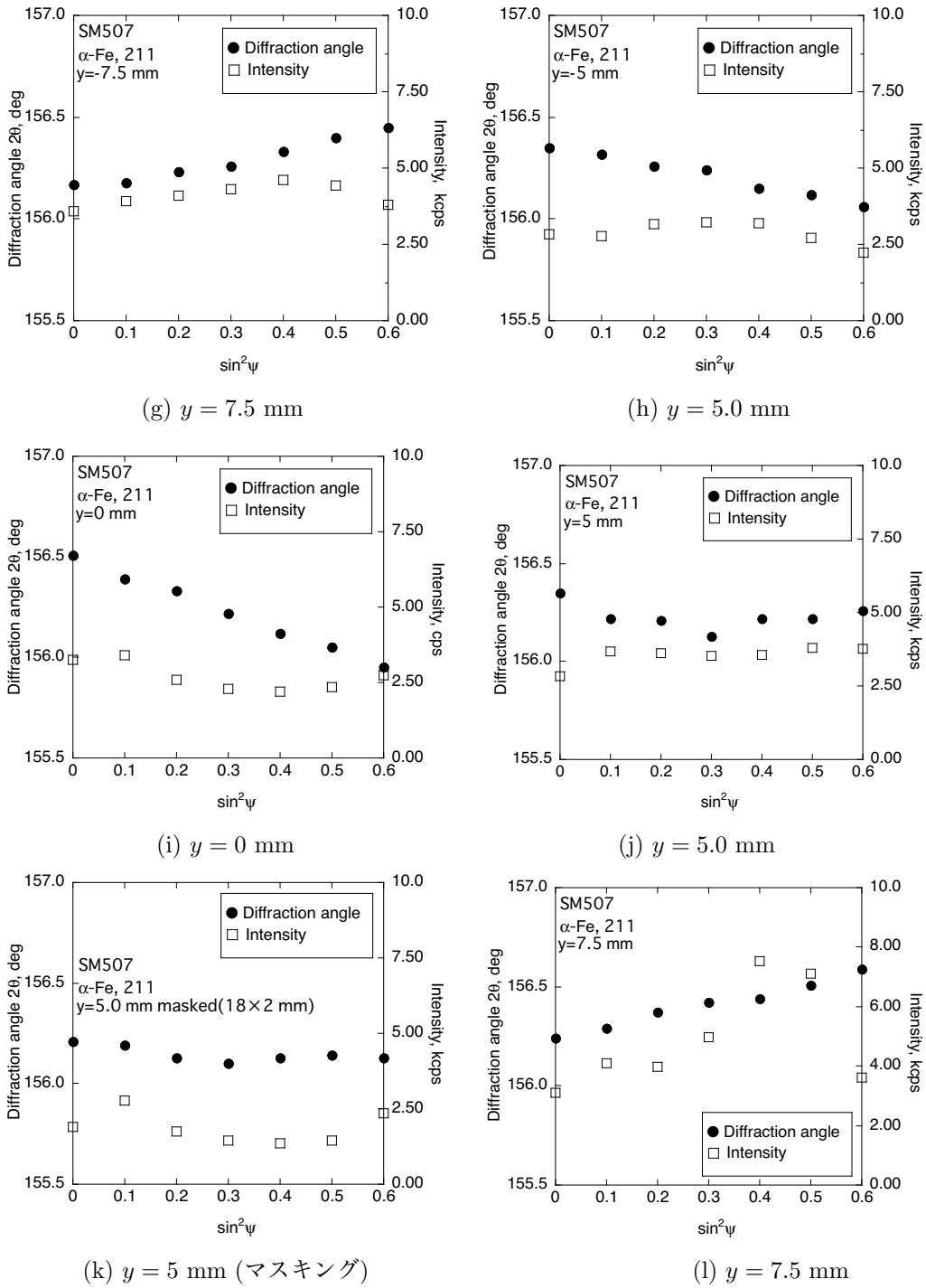


図 3.6: 2θ - $\sin^2\psi$ 線図と強度

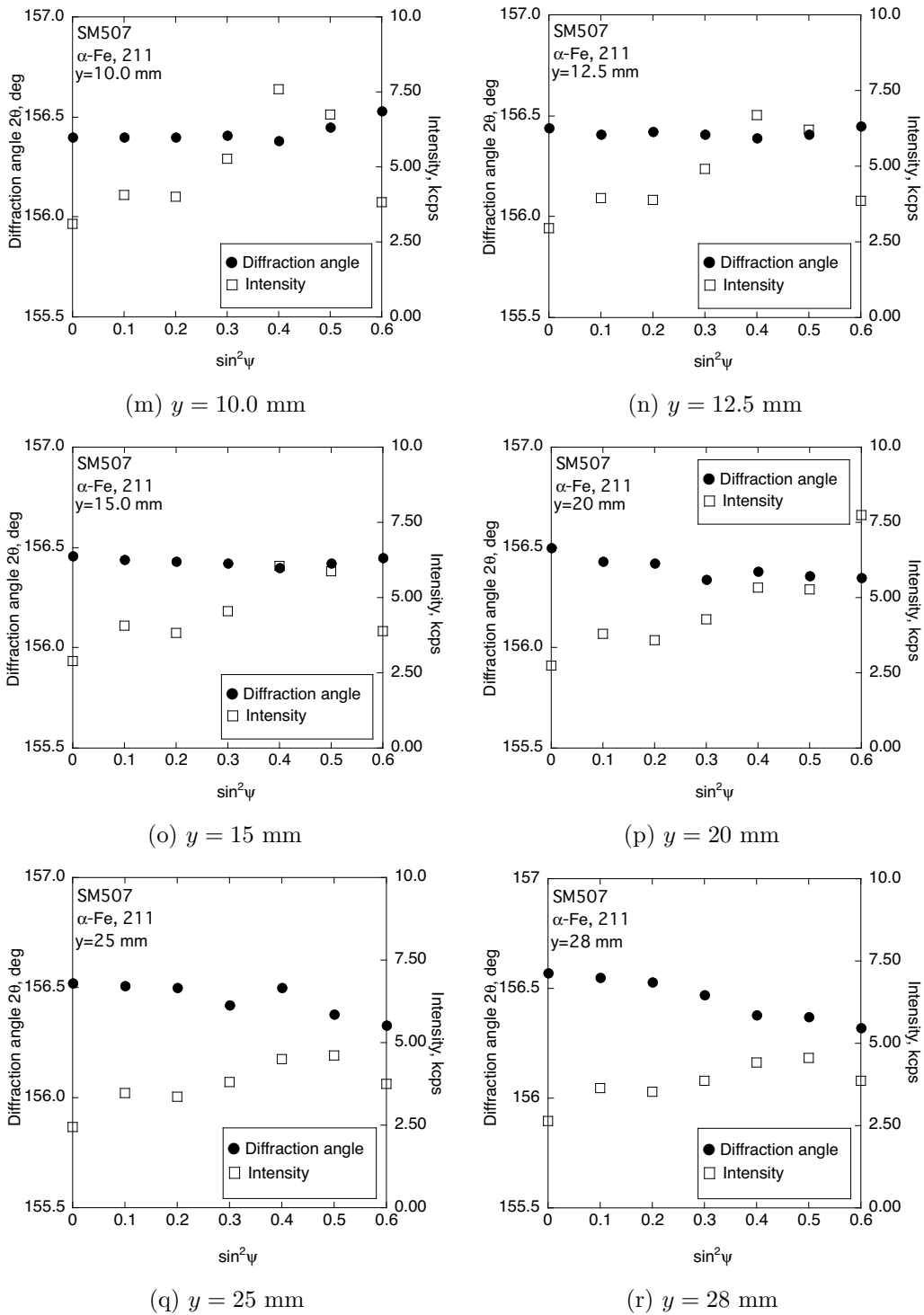


図 3.7: 2θ - $\sin^2\psi$ 線図と強度

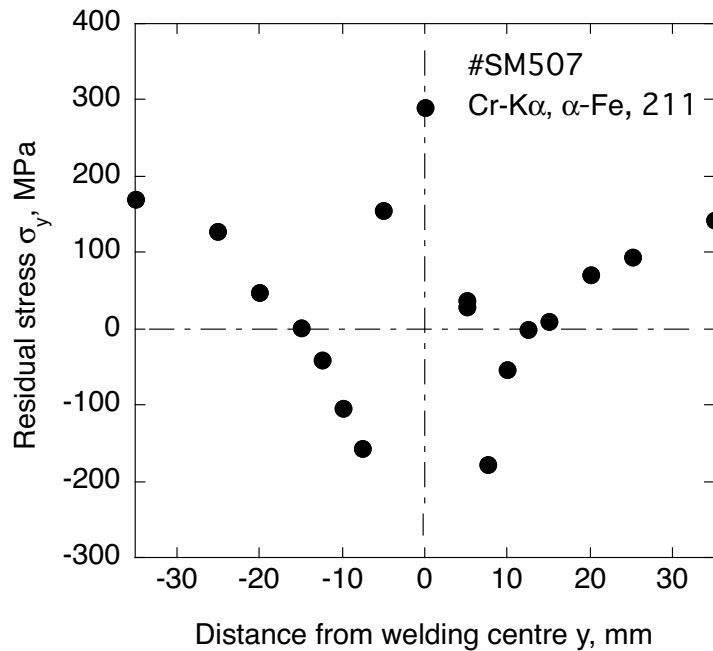


図 3.8: 溶接中心からの測定点における残留応力 σ_y の分布

図 3.2 から 3.7 に $2\theta\text{-sin}^2\psi$ 線図を示す。SM570 の測定では、図の通り、溶接中心から 15 ~ 7.5 mm, $-15 \sim -10$ mm にかけて、回折強度に大きなばらつきがみられた。これは材料内部に強い集合組織が存在しており、材料の結晶粒が強い優先方位を持っていることを示している。今回の場合は、 $\psi = 39.23$ (deg) のときにもっとも強い回折強度が得られた。

回折強度曲線の幅も、測定点により著しい変化が見られた。試験片の端から溶接部に近づくにつれ、回折曲線の幅が大きい方が、熱影響部からは回折線幅が小さくなっている。溶接による熱の影響に少ない部分では、研削などによる表面加工の影響により、回折 X 線が散乱し、検出器がカウントする X 線量が少なくなっているためであろう。

$y = 5.0$ mm の測定点では、 $2\theta\text{-sin}^2\psi$ 線図を作成したところ、図 3.3 (j) のように非常にばらつきがみられ、最小自乗近似によりひいた直線の信頼性が乏しかった。これは、この測定点が溶接部分の端に位置しており、ビニールテープでマスキングした (図 3.9)。今回は、マスキングの幅を 8×2 mm とした。マスキングをすることにより、図 3.3 (k) のように $2\theta\text{-sin}^2\psi$ 線図のばらつきはかなり減少したことからマスキングは効果的であったと言える。

残留応力の分布は図 3.8 のとおりである。溶接中心から 25 ~ 35 mm では、100 ~ 200 MPa の引張り、15 ~ 20 mm では、0 ~ 50 MPa の引張り、溶接による熱の影響を受けていると思われる 7.5 ~ 12.5 mm では 50 ~ 200 MPa の圧縮、溶接部である 5.0 mm では急激に引張りになり、溶接中心では最も高い約 300 MPa の引張り応力が測定された。SUS304 の場合では溶接中心から 10 mm 付近、つまり溶接部から少し離れた部分において強い引張り応力が測定されたが、SM570 では、溶接部で最も強い引張り応力が測定された。

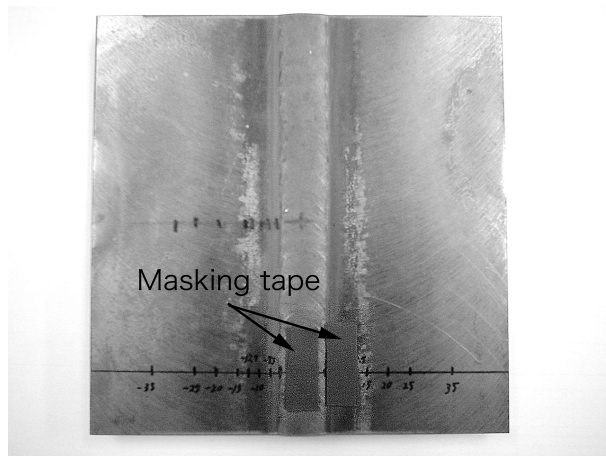


図 3.9: マスキングした溶接試験片