X線回折法による溶接組立材の残留応力測定 (I)

正会員 金 多 潔*
正会員 西 澤 英 和**

I. 緒 言

X線回折法の応用技術のなかでも、特にX線応力測定法は、建築工学上の利用分野の広いものの1つと考えられる。このX線応力測定法も、基本的には基準のゲージ長の変化からひずみを求め、被測定物の応力を算定するものであって、その意味では、通常の応力測定法と何ら異なるものではないが、以下の2点に、計測法としてきわだった特色が認められる。

i) 基準となるゲージ長が、無ひずみ(焼鈍)状態の金属結晶の格子間隔という自然界の不変量であること。

ii) 応力を受けて歪んだ状態にある結晶格子間隔は、X線によって非破壊・非接触的に計測しうること。

従って、通常の応力測定法ではゲージ長が既知でないと応力を評価しえないのに対し、X線応力測定法の場合では、ゲージの貼付等の処置がなされていない、任意の架構部材に対しても応力測定が可能となる訳であって、特に実鉄骨構造物の応力評価に用いた場合、種々の応用分野がひらけてくる。例えば、既存の鉄骨ラーメン架構の柱材に作用する軸方向力を計測する場合などでは、通常当該柱を別の部材で支持しておいて、その柱を切断し、検力器を挿入して軸力を計測するというような破壊的な方法をとらざるを得ない。しかし、X線応力測定法を利用すれば、部材の各部に生じた応力を非破壊的に計測することができるので鋼構造物の応力測定や安全性の評価などを行う上でのメリットが大きいと考えられる。

しかし、X線応力測定法の適用上最も問題となる点の1つは、本法で測定される応力は、残留応力に負荷応力が重畳したものであるため、X線的な測定値の評価に際しては、部材の残留応力の把握が不可欠となると考えられるにもかかわらず、その基礎的な残留応力の測定データが現在のところ極めて少ないことである。

周知のように従来からGunnert法などの破壊的な方法によって、鉄骨部材の残留応力の測定が行われてきたことは事実であるが、破壊法による測定値は部材の板厚方向に分布する残留応力の平均値に相当する場合が多

い。

しかしながら、X線応力測定値は、薄層除去法¹⁾などを除けば、通常は材料の表面残留応力に相当するため、熱間圧延材のように残留応力が平面的のみならず板厚方向にも変化している場合には、X線的に得られた表面応力と、破壊法で得られた計測値とは必ずしも一致しない。従ってX線応力測定法を、架構部材の応力測定に利用するには、破壊法による測定データのみでは不十分であり、部材の無負荷時の表面残留応力の把握が、重要な課題となる。

なお、X線応力測定法が主として表面応力の計測手段であるため、従来の破壊法と比較して、その特色が論じられがちであるが、通常の工学問題を扱う場合、表面応力が計測できれば十分な場合が多い。例えば部材のモーメントや軸力等をひずみゲージ法で測定する際でも、表面での応力値が重要であって、必ずしも部材内部の応力分布までを必要とはしない。このような意味では、X線によって得られる表面応力の測定値は、通常の方法によるものと特に異なるものではなくむしろ、その非破壊性や材料の微視構造の変化に対する鋭敏性に、従来の応力測定法にない優れた特色が存在すると考えられる。

本研究は、以上のような基本的な認識に基づいて、X線応力測定法を、鋼構造物の応力評価手段として利用することを目的として実施するもので、本報では、X線応力測定法として最も標準的な $\sin^2\psi$ 法に着目し、熱間圧延材及び溶接材への適用の可能性に関する基礎的な知見を得るため、小型材及び大型の組立ボックス柱の表面残留応力の測定を行った結果について報告する。

II. X線応力測定法

2.1 X線応力測定の基礎式

X線応力測定の基礎式は用いる回折光学系に応じて数種類あるが、本実験では平板試料に適しかつ測定しやすい $\sin^2\psi$ 法を採用した。

一般にX線の侵入深さは数十 μ と非常に小さいため応力状態は平面応力であると仮定しうる。Fig. 1に示すように座標原点Oで試料表面に沿った応力の測定方向(σ_x 軸)と試料法線方向(σ_z 軸)を含む面内で σ_z 軸と角度 ψ なる傾きをなすOP方向のひずみを $\varepsilon_{\phi\psi}$ とすると

* 京都大学 教授・工博

** 京都大学 助手・工修

(昭和56年7月31日原稿受理日・討論期限昭和57年9月末日)

Fig. 1 $\sin^2 \psi$ 法の座標軸

$$\varepsilon_{\phi\psi} = \left(\frac{1+\nu}{E} \right)_X \cdot \sigma_x \sin^2 \phi - \left(\frac{\nu}{E} \right)_X (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (1)$$

なる関係が成立する。

(1) 式は OP 方向のひずみ $\varepsilon_{\phi\psi}$ が、主応力軸 σ_1 と σ_x 軸のなす角度 ϕ には依存せず、 ϕ 角のみに関係することを示している。

測定すべき応力 σ_x は、(1) 式を $\sin^2 \phi$ で偏微分することで (2) 式のように与えられる。

$$\sigma_x = \left(\frac{E}{1+\nu} \right)_X \cdot \frac{\partial \varepsilon_{\phi\psi}}{\partial \sin^2 \phi} \quad (2)$$

ここで、 $\varepsilon_{\phi\psi}$ を、回折角 $2\theta_{\phi\psi}$ を用いて表現すると

$$\sigma_x = - \left(\frac{E}{2(1+\nu)} \right)_X \cdot \cot \theta_0 \frac{\partial (2\theta_{\phi\psi})}{\partial \sin^2 \phi} \quad (3)$$

なる $\sin^2 \phi$ 法の基本式が得られる²⁾。

本実験では試料測定面法線方向より 0° , 15° , 30° , 45° の 4 方向から X 線を入射して、回折ピーク位置のシフト量を求め最小自乗法を用いて (3) 式に基づいて応力を算出した。

なお、(1)~(3) 式中の添字 X は、機械的に計測される弾性定数とは異なり、X 線の回折に関与する特定の結晶面に対する弾性定数を用いるべきことを示しており、後節 2.3 で考察を加える。

2.2 X 線回折条件

X 線回折の光学系としては、Debye-Sherrer の背面反射粉末写真法を用いた。この方法は多結晶の金属材料に単色の X 線を入射し、反射した回折 X 線を写真や計数管によって検出するものである。

本実験では、デバイパターンの撮影にのみ写真法を用い、X 線応力測定は、平行ビーム法による X 線回折装置を用いた。特性 X 線は Cr-K α 線でフィルターはバ

Table 1 X 線回折条件

	DEBYE PATTERN	STRESS MEASUREMENT
CHARACTERISTIC X-RAY	Cr-K α	Cr-K α
DIFFRACTION PLANE	Fe(211)	Fe(211)
RADIATION AREA	1mm ϕ	2x7.5 mm
TUBE VOLTAGE	30KV	30KV
TUBE CURRENT	10mA	10mA
FILTER	V	V
DISTANCE BETWEEN FILM & SPECIMEN	60mm	—
EXPOSURE TIME	15min (SAKURA N)	—
COUNT RANGE	—	2000 cps
TIME CONSTANT	—	4sec
SCANNING SPEED	—	2deg/min
DIVERGENCE ANGLE OF SLITS	—	0.26 deg.

ナジウム箔を用いた。回折面は Fe(211) である。

その他の X 線回折条件は、Table 1 に一括して示した。

なお、X 線の照射点は、測定に先立ってミルスケール及び加工層を除去するために、過塩素酸及び無水酢酸を 1:4 に混合した JAQUET 液³⁾を調合して、表層部を 30~50 μ 程度電解研磨で除去した。

2.3 X 線の応力と機械的応力の対応

X 線によって測定される応力とひずみゲージ等の機械的な測定法によって得られる応力との対応関係を明らかにするため、既知の機械的応力を負荷して X 線回折によって、フェライト鉄の (211) 回折面に対する弾性定数の測定を行った。これは X 線の回折現象が回折面に対する依存性を有するのでたとえ巨視的には等方弾性体であっても、特定の回折面から得られる X 線の弾性定数には、結晶学的な弾性異方性が反映されるためである。

計測方法は、文献 4) の方法によった。すなわち (1) 式において、1 軸引張応力状態とすると、 $\sigma_1 = \sigma_x$, $\sigma_2 = 0$ であるから

$$\varepsilon_{\phi} = \left(\frac{1+\nu}{E} \right)_X \sigma_x \sin^2 \phi - \left(\frac{\nu}{E} \right)_X \sigma_x \quad (4)$$

ここで Bragg の回折条件を適用すると

$$2 d_0 \sin \theta = \lambda$$

より (λ ; 波長, d_0 ; 無歪の格子間隔)

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0} = -\cot \theta_0 \Delta \theta \quad (5)$$

(3), (4) より

$$2(\theta_{\phi} - \theta_0) = \Delta \theta$$

とおくと

$$2\theta_{\phi} = -2 \tan \theta_0 \left[\left(\frac{1+\nu}{E} \right)_X \sigma_x \sin^2 \phi \right]$$

$$-\left(\frac{\nu}{E}\right)_X \sigma_x] + 2\theta_0 \dots \dots \dots (6)$$

が得られる。ここで θ_0 はゼロひずみ状態における回折角度で $2\theta_0 = 156.40^\circ$ 程度の値をとる。

従って、X 線の弾性定数は以下の 2 式から得られる。

$$\left(\frac{1+\nu}{E}\right)_X = -\frac{1}{2} \cot \theta_0 \frac{\partial^2 (2\theta_\phi)}{\partial \sigma_x \partial (\sin^2 \phi)} \dots \dots \dots (7)$$

$$\left(\frac{\nu}{E}\right)_X = \frac{1}{2} \frac{\partial (2\theta_\phi)}{\partial \sigma_x} \cot \theta_0 \dots \dots \dots (8)$$

実際の測定では (6) 式より $2\theta_\phi$ 角が $\sin^2 \phi$ 及び負荷応力 σ_x に比例すること及び $2\theta_\phi - \sin^2 \phi$ 線図の切辺が σ_x に比例することを利用して、既知の負荷応力に対する $2\theta_\phi - \sin^2 \phi$ 線図の勾配を最小自乗法によって計算し X 線の弾性定数を求めた。

実験に用いた試料は、部材から切削加工によって、Fig. 2 に示す形状に仕上げた後、エメリーペーパーで研磨し、さらに表面の加工層の影響を除くため、 650°C 45 分保持後真空炉冷の条件で応力除去焼鈍を行った。そして、最後に若干電解研磨を施して平板試料を作製し、測定に用いた。試料のデバイ写真及び金属組織を Photo. 1 (a), (b) に示す。

測定には、Fig. 3 に示すような曲げ負荷装置を用い、試料表面に生じた曲げひずみを上面から X 線で測定し裏面に貼付したひずみゲージによって応力のモニターを行った。なお本負荷装置では、ネジの締付力をナットで調整することにより、負荷応力レベルを変えることが可能である。

Fig. 2 曲げ試験片の形状・寸法 (mm)

(a)

(b)

Photo. 1 焼鈍材のデバイ写真と金属組織

Fig. 3 曲げ負荷治具 (mm)

Fig. 4 X 線の弾性定数の測定 (1)

Fig. 4 は、5段階の応力レベルに対する $\text{Cr-K}\alpha$ Fe (211) 面の格子間隔変化を、 $2\theta_\phi$ 回折角から求め $\sin^2 \phi$ の値に対してプロットしたものである。

また、Fig. 5 は Fig. 4 の縦軸の切辺の値を負荷応力に対してプロットし直したものである。

以上 2 つのグラフより最小自乗法により求めた X 線の弾性定数の値は以下の通りであった。

$$\left(\frac{1+\nu}{E}\right)_X = 5.46 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$$

$$\left(\frac{\nu}{E}\right)_X = 1.48 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$$

なお、この実測値は、文献 3), 4) に掲げられた日本材料学会の共同研究結果

$$\left(\frac{1+\nu}{E}\right)_X = 5.62 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$$

$$\left(\frac{\nu}{E}\right)_X = 1.20 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$$

の値と近いので、X 線応力測定標準に準じて

$$K = -\frac{1}{2} \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot \theta$$

$$= -32.44 \text{ kg/mm}^2/\text{deg}$$

の値を採用しても精度上問題を生じないと判断される。従って、以後の計測では、上記の K 値を用い、

Fig. 5 X線の弾性定数の測定 (2)

機械的な応力と X 線の弾性定数を関係付けた。

なお、後節では熱延材と組織的に異なる溶接部の残留応力の測定に際しても同じ値を採用している。これは X 線回折法の原理からも明らかのように、Cr-K α 線で得られる弾性定数は、金属組織の内でも特にフェライトのみの格子間隔の変化を選択的に計測したものであるため、基本的には結晶粒径や熱処理条件等にはほとんど左右されないことが知られているからである。

III. 溶接組立材の X 線応力測定

3.1 試験片・材料

実験に用いた材料は、熱間圧延 P.F.C. (Parallel Flange Channel) 材を、シャフトプレートを介して片面突合せ溶接して組立てたボックス材であり、材料の化学組成及び JIS 1 号試験片による引張試験結果は Table 2 に示す通りである。

また溶接条件並びに供試体の寸法形状の詳細は、Table 3 及び Fig. 6 に示した。

3.2 溶接部の金属組織の X 線の考察

溶接部の X 線応力測定に先立って微視組織に関する考察を加えるため、溶接部近傍の顕微鏡組織観察を試み粒度・硬度の計測と合わせて X 線回折写真による検討を行った。

一般に、低炭素鋼熱間圧延材では、平均結晶粒径が

Table 2 材料の化学組成と機械的性質

C	Si	Mn	P	S
0.25%	0.04%	0.62%	0.013%	0.021%
YIELD STRESS (kg/mm ²)		TENSILE STRESS (kg/mm ²)		ELONGATION (%)
33.6		46.3		33.8

Table 3 溶接条件

WELDING MACHINE	CO ₂ GAS-SHIELDED ARC (DAIHEN A500)
CORE WIRE	MG50 1.2 ϕ (Sinko)
POSITION	FLAT POSITION
VOLTAGE	38 V
CURRENT	300 - 320 A
WELDING SPEED	620 mm/min ; 1st PASS 300 mm/min ; 2nd PASS

Fig. 6 供試体の形状寸法 (mm)

Photo. 2 溶接材のデバイ写真と金属組織

30 μ を超えるような粗粒材が多く、圧延による優先方位の存在とともに、X 線応力測定の実施に際して考慮すべき問題を残している。更に、溶接接合部ではその複雑な熱履歴によって独特の金属組織が形成されており、回折に参与する結晶の数が熱延母材に比較して少なくなり、明瞭な回折像の得難い場合もあるので、組織及びデバイ写真で検討する⁵⁾。

Photo. 2 は、溶接接合部近傍の各点における微視組織と X 線回折パターン (デバイ写真) とを対比して示したものである。デバイ写真に見られる微細な斑点は、X 線照射領域での個々の結晶の回折像に対応しているので

金属結晶の状態をこのような写真から容易に把握することができる。

溶着金属部 (Photo. 2a, b) では、特有の樹状組織および網状パーライトによる粗大化が認められ回折像もかなりの斑点状を呈している。

また熱影響部には、極端な粗大結晶群が存在するため良好な回折パターンを得ることが困難になると予想されるが、1.0 ϕ 程度の照射域から得た回折像は、比較的一様で良好なパターンを示しており、この程度の溶接材では大して支障なく X 線応力測定を実施しうることを示している。

これは、本供試体では、溶接熱影響部の粗大結晶域に近接して細粒域 (Photo. 2c, d) が存在していること、及び粗大結晶自体も内部歪が非常に高いためにすでにサブグレイン⁶⁾ が相当形成されており、金属顕微鏡観察から測定される結晶粒数や粒径と、X線回折から得られる数値とが必ずしも一致しないためと考えられる⁷⁾。

一方、母材 (Photo 1a, b) においては低炭素鋼熱間圧延材に特有なフェライトと層状のパーライト組織を有しており、回折パターンはかなりスポッティとなっている。

Table 4 は JIS G 0552 に従って測定したフェライトの平均粒度をロックウェル B 硬度 (H_{RB}) とともに一括して示したものである。

以上の観察より、本供試体では結晶粒径が 30 μ を越える粗粒領域が存在することが明らかとなったので、測定に際しては、平均照射面積を約 15 mm² と比較的大きくし、かつ部分的に X 線の揺動照射を行うことにした。これは一般に、X 線応力測定の精度を向上させるためには、回折に寄与する結晶粒数を増加させて各方向に一律な回折強度が得られるようにし、同時に検出器の計数性能の許容範囲内で X 線の強度を増加させる必要があるが、本装置の場合、15 mm² 程度の照射面積に対して良

好な回折プロファイルが得られたために以後この値を採用することにしたものである。同様の意味で入射 X 線を $\pm 3^\circ$ 程度揺動させながら X 線照射を行うと、回折に寄与する結晶数がそれ丈増加するので、粗粒材の応力測定を行う上で優利な方法であると考えられる。

3.3 溶接平板の X 線応力測定

3.3.1 X 線応力測定結果

大型ボックス柱の X 線応力測定の実施に先立って、同一材の端部約 30 cm を切りだして、最も複雑な熱履歴を受けるシャフトプレート近傍の残留応力を多点測定した結果を Fig. 7 に示す。

Fig. 7 ロール直交方向の残留応力測定法

測定位置の詳細は図中に示す通りである。測定点はいずれも約 10 mm のピッチで、溶接ビードと直交するように、2 $\times$ 8 mm 程度の領域を除いてビニールテープでマスキングを施し、ビード直交方向の残留応力を測定した。

本測定は、溶接組立ボックス材から切りだした板状の供試体を用いたものであるため、巨視的な残留応力の一部はすでに解放されていると考えられるにもかかわらず、X線の測定結果は溶接に伴う熱的な残留応力の分布性状を良好にとらえている。本測定でまず注目されるのは、溶接ビード直交方向の残留応力は、熱影響部近傍に大きな引張のピークを有する半面、ビード直上では若干圧縮的な傾向を示すことである。この引張残留応力が最大となる点は、本測定に関する限り、マクロ腐食試験で認められる熱影響部より若干母材寄り、ビード中央部より 15~20 mm の距離に位置している。また A, B 両系列の測定値を比較すると、両者の分布形状は略相似であるが、溶接始端部に近い B 系列のパターンの方が A 系列より平均的に圧縮側にシフトした傾向が認められる。このような傾向は、例えば資料 (9) でも指摘されているところで、溶接始端部近傍の過渡的な熱応力分布が溶接の進展とともに安定化し、残留応力値が次第に引張側にシフトしたのと考えられ、今後より詳細な検討を

Table 4 溶接材の粒度と硬度

	CRYSTAL STRUCTURE	GRAIN NO.	HARDNESS
母材	母材 1	7.0	70 H_{RB}
熱影響部	母材 2 細粒化組織	—	74
	細粒化組織 3	8.1	
	細粒化組織 4	—	
	粗粒化組織 5	4.6	
	粗粒化組織 6	—	
溶着金属部	樹状化組織 7	3.0	82
	樹状化組織 7	3.0	

要する事項の1つと思われる。

3.3.2 平板溶接部の硬度分布と半価幅

溶接部近傍の硬度と回折線半価幅の関係を Fig. 8 に示す。半価幅の測定方法は、Fig. 9 に示すように、回折線プロファイル上で、バックグラウンドを補正したピーク高さを求め、ピーク値の1/2の高さにおける回折線の広がり AA' より B(deg) を求めた。

H_{RB} 硬度は、3mm ピッチで板厚方向に計測したため、X 線照射点と硬度測定点には若干のズレが存在するが、Fig. 8 より明らかなように、硬度と半価幅の間には (9) 式で示される関係が成立した。

すなわち、 H_{RB} ：ロックウェル B 硬度

B：半価幅 (deg) とすると

$$[H_{RB}] = 32.1 \times [B] + 42.1 \dots \dots \dots (9)$$

特に本供試体では、ビード中央部が軟化していること、及び熱影響部外縁に若干の硬化領域が存在することが硬度、半価幅のいずれにもあらわれている。

一般に材料の硬度は、降伏応力や疲労限とも密接な関係があること⁸⁾を考えあわせると、溶接部から母材に到る微妙な硬度差を半価幅によって精度よく計測できることは、その計測法の簡便さともあいまって、鉄骨部材の材料強度値の評価法として利用しうるものと思われる。

Fig. 8 半価幅と硬度の分布 (H.V.B. 半価幅)

Fig. 9 半価幅の測定法

3.4 大型溶接組立材の残留応力測定

前節迄の予備的な考察により、溶接部の残留応力が通常の $\sin^2 \psi$ 法によって比較的容易に測定しうる事が確認されたので、大型溶接組立ボックス材の残留応力の実測を試みた。

供試体は、Fig. 10 に示すような材長 2m のボックス材である。測定位置は複雑な残留応力の発生が予想されるシャフトプレートを含むフランジ面で、特に溶接による材軸方向の残留応力の分布形態を把握するために、溶接開始点近傍の C 系列 (本供試体の製作に当ってはエンドタブは使用していない)、及び、溶接始端から材長の 1/3 程度離れた B 系列点並びに部材中央部の A 系列点の 3 ケ所とした。

測定点間隔は入熱量の大きいシャフトプレートに対しては約 15mm のピッチで、P.F.C. 材に対しては約 20mm のピッチとした。

残留応力の測定結果を Fig. 11 に示した。

同図でまず注目されるのは、ビード平行方向に対しては、溶着金属部に大きな引張残留応力の発生が認められることであり、特に生じた引張応力の大きさは、材長方向に沿って必ずしも一定ではなく部材の中央部に近いほど大きくなる傾向がある。本実測例では、材中央ではほぼこの供試体の降伏応力に相当する引張応力が検出された。

シャフトプレート部の残留応力は、中央部が谷となるような対称的な分布性状を示しているが、A 系列点ではほぼ全域が引張応力場となっているのに対し、端部の溶接開始点近傍 C 系列では、10 kg/mm² 程度の圧縮応力の存在が認められる。このような傾向は、3.3.1 の平

Fig. 10 X 線測定位置 (mm)

Fig. 11 溶接組立材の残留応力測定結果

板のビード直交方向の残留応力測定結果でも認められる所であり、残留応力の分布パターンも端部に近い程不規則性が大きいのに対し、材中央部ほど安定化する傾向を示している。これ等の残留応力分布の変化は、溶接の入熱条件の安定化のほかに、ボックス材の溶接施工順序にも依存するものと考えられるが、このような微妙な部材の残留応力分布の変化も X 線で、明瞭に把握できることが、本実測例からも充分確認できた。

IV. 結 び

鉄骨部材の溶接部の残留応力評価に X 線回折法を利用し、溶接部の微視的考察と合わせて残留応力の非破壊的な測定を試みた。その結果、本供試体のように比較的入熱量の少ない溶接部材に対しては、容易に X 線応力測定法を適用できることが明らかになった。

特に、実部材に対して、全く非破壊的に残留応力を測定できる X 線応力測定法は、今後溶接材のみならず鋼構造物の様々な分野での研究法として、極めて有力な評価手段を与えうるものであるとの考えられる。

今後は、単に応力測定のみならず種々の鋼構造物の強度研究に、X 線回折法に基く物理学的な方法論の適用をはかるとともに、精度の向上や実用面への改良を加えて行きたい。

最後に本研究を行うに当たって、線応力測定法の御指導を賜った京都大学物理工学科教授 平 修士博士（故人）

並びに同助手 田中啓介博士の両先生に厚く御礼申し上げますとともに実験供試体を提供して下さった日本鋼管株式会社技術研究所の伊藤茂樹氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本材料学会編：“X 線応力測定法”，養賢堂（1971），pp. 206～224
- 2) 日本材料学会編：“改著 X 線応力測定法”，養賢堂（1981），pp. 57～60
- 3) 日本材料学会：“X 線応力測定法標準”，p. 24, 1973
- 4) X 線材料強度部門委員会：“格子ひずみの回折面依存性に関する共同研究結果”，材料 Vol. 20, No. 219, Dec. 1971, pp. 1257～1271
- 5) 平 修二，林紘三郎，蒲田政信：“溶接部残留応力の X 線的測定と若干の整理”，材料 Vol. 23, No. 244, Jan. 1974, pp. 2～8
- 6) W.A. Wood, S.McK. Cousland, K.R. Sagrant：“Systematic Microstructural Changes Peculiar to Fatigue Deformation”，Acta. Metallurgica. Vol. 11, July 1963, pp. 643～652
- 7) P.B. Hirsch, J.N. Keller：“A Study of Cold-Worked Aluminum by X-ray Micro-Beam Technique”，Acta. Cryst. (1952), 5, pp. 162～167
- 8) 中西英介，森 宗義，植田秀夫：“X 線回折法による材料強度評価”，第 12 回材料強度に関する討論会，1975 年 11 月，pp. 83～93
- 9) 平岡和雄：“スポット・アーク溶接継手の残留応力分布について”，日本非破壊検査協会 414 委員会，資料番号 414-9-81

SYNOPSIS

UDC : 624.078.3

MEASUREMENT OF THE RESIDUAL STRESSES IN THE WELDED STEEL COLUMNS BASED ON THE X-RAY DIFFRACTION METHOD (PART I)

by Dr. KIYOSHI KANETA, Prof. of Kyoto Univ., and HIDEKAZU NISHIZAWA, Assistant of Kyoto Univ., Members of A.I.J.

In order to examine the applicability of the X-ray stress measurement, the X-ray diffraction studies have been performed together with the microscopic observation of materials.

Then, this method has been applied to measure the residual stress of the welded steel columns.

The test results can be summarized as follows.

I) The X-ray measured stress and the mechanical stress well coincide each other.

II) X-ray diffraction method can offer a powerful tool for the evaluation of the residual stress of the welded steel members.