

# 最近に於ける残留應力測定の一傾向

島田 八郎

## 目 次

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 緒 言   |                             |
| 第 1 章 | 結晶とX線干渉圖                    |
| 第 2 章 | X線反射法による歪應力の測定              |
| 第 3 章 | 残留應力測定結果                    |
| (1) 節 | カイザー・ヴァイエルヘルム鐵鋼研究所に於ける二三の研究 |
| (2) 節 | 土木試験所に於ける研究                 |
| 要 約   |                             |

**緒 言** 各種の材料が荷重の下に蒙る應力歪の状態を明かにする事は設計資料として必要缺くべからざるものである、應用力學の多年の努力が其の問題の解決に拂われて來た、然るに鐵鋼にても荷重の状態によつては可塑性延性を呈し、殊に複雑な形狀を有する供試體の場合に於ては所謂應力集中の現象を伴ひ必要な資料を的確に得る事は困難である安全率なるものを引用し、構造物工作物の材料許容應力を更に安全に保つてゐるのは其の事實と裏書きせるものである。

未だ生存競争激烈ならず經濟状態に於ても餘裕ある時代にては安全係數の問題も實用上大なる注意をひかなかつた、然

るに近來各方面に於ける材料節約が叫ばれ更に技術上の諸問題と關聯し最も的確に材料等の諸性質を明かにし更に構造物として強度上の性状を明かにせんとする必要が増加して來た、實驗的に斯かる問題を解決せん爲めの一つの方法として光弾性學がある、元來光弾性學應用の範圍は硝子、セルロイド、フエノライトの如き透明體にて平面應力の場合に順應せる場合で勿論主として弾性限度内の問題を取扱つてゐる若し荷重を限度以外に増大すればフエノライト硝子等に特有な性状が著しく現れて此結果より目的物である鐵等の場合の事情を推察する事は困難となる、勿論殘留應力分布等を明かにする爲めには特に考慮を拂ふ必要がある、然るに土木材料として鐵鋼の使用される場合其の形狀も多種多様に於て局部的に弾性限度を超過せる歪を受け又熱的作用加工作用により殘留應力も可成り存在してゐる、斯かる場合其の値を明かにし最も合理的な設計資料を得んには光弾性學のみにては不充分である。

本論にて紹介せんとするX線反射法による歪應力の測定法は上述せし問題の解決に對する一つの有力な探究法である、1930年頃より實用的に試みんとする提言がSaahs及びWeertsにより爲され最近世界各所殊にドイツに於て其の機能を明かにせんと研究されつゝあるもので未だ攻究を要すべき問題餘多あり黎明期を脱しない、又測定器の取扱ひ方も現在にては光弾性の場合程簡單でない。

然れどもX線反射法には光弾性學に比較して優秀な諸點があり將來に發展性が多分にある、今其の二三の特長を簡單に列挙すれば、下記の様なのである。

- (1) 鐵鋼等實物に就き歪應力分布を測定し得。
- (2) 主として供試體表面應力分布を測定す。

(3) 測定される歪、應力は外力内力何れ起因するも差異がない、即ち外部より荷重による弾性限度以内及び以外の歪にても、熱應力加工等所謂殘留歪にても測定し得従つて材料の勞疲現象等を明かにし得。

(4) 表面應力なれども三立應力を決定し得。

斯かる特長を有するものなるを以て電弧熔接部の熔着部の殘留應力分布並に熔着材の如き不均一材料の外荷重による歪應力分布等工學上重要な問題の解決に可成り大なる應用がある、熔接材の歪分布に關する研究は二三行はれをり又金屬材料試験機とX線反射法を組合せ實物試験に於ける歪應力分布も試みられてゐる、下記に解説程度に如何にX線反射法が實施されつゝあるかを簡単に説明し、應用實例をも述べん。

### 第一章 結晶とX線干渉圖\*

一般に金屬は夫々特有な原子配列を有す、即ち成分原子の一定の幾何學的對稱を有する整然たる點系配置より成る超顯的微粒結晶の集合體である。

今一定の波長の示性X線を投射すれば各原子は新に二次的X線の輻射源となり輻射されたX線が干渉を生じ其の結晶に特有な方向に於て著しく強められる、換言すれば特有な方向に著しく反射X線が存在する。

其の反射線の方角より結晶を構成せる單位空間格子の大きさを決定する、通常單位空間格子の一邊の長さを格子常數と稱し“ $a$ ”なる記號で示す、純鐵の場合を例にとれば第1圖(a)(b)が其の單位格子であり、鐵原子が正六面體の各隅角に

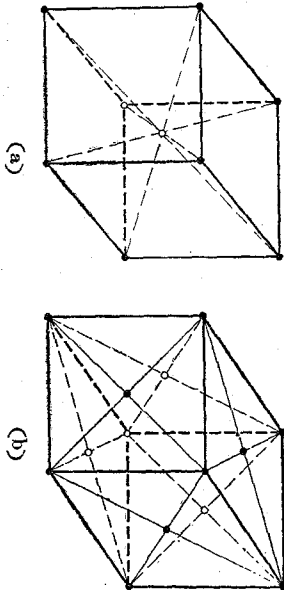
\* 拙著：土木工學に於けるX線の應用(道政改良 昭和11年9月10日11月)参照され度し。

1個ずつ存在してゐる、(a) の場合は更に内部中央に1原子、(b) の場合は各面の中央に1原子ずつ存在せるもので此等は  $\alpha$ ,  $\gamma$  鐵と稱せられてゐる、格子常数等の大略値を示す。

| 圖面  | 名稱         | 格子常数(a) | 測定溫度   | 格子名稱   |
|-----|------------|---------|--------|--------|
| a 圖 | $\alpha$ 鐵 | 2.87 Å  | 18°C   | 體心立方格子 |
| b 圖 | $\gamma$ 鐵 | 3.63 Å  | 1000°C | 面心立方格子 |

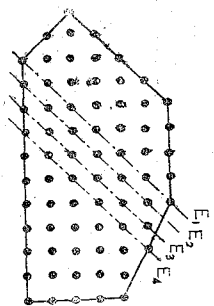
Å(オングストローム) =  $10^{-8}$  cm

構造用鋼にては炭素 (C) を少量含有せるも固溶體として溶媒鐵原子格子の間隙に侵入せるもので部分的には配置も不規則であり従つて全體としての原子點系の配置は純鐵の場合の形式をとる、勿論 C 溶質の浸入する事により格子常数は變化す。此點に關し稍々詳細な研究あるも炭素含有量與へられた場合 C 量に應じて一定の格子常数を有する第1圖 (a), (b) の如き配置の格子をなすと見做し得。

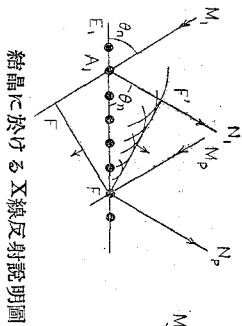


第 1 圖

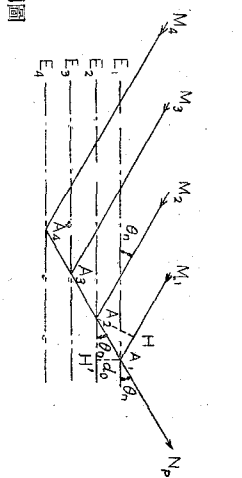
示性 X 線が干渉する有様を第2圖 (a) (b) (c) に就き説明せん。(a) 圖の點系は原子の整然と配置せる様を示すもので従つて、 $E_1, E_2, E_3, \dots$  等の如き原子を含む並行な平面群を結晶内部に推測し得、(b) 圖は其の一平面  $E_1$  内の一群の原子に  $M_1, M_2$  の方向より波面 FF を有する様 X 線が投射された場合各原子より丁度反射線の位置に新に波面の進行する



(a)



(b)



(c)

第 2 圖

狀況を示す  $E' F'$  は其の反射波面である、即ち反射線の方向は  $N_1, N_2$  である。(c) 圖の如く斯かる平面が  $E_1, E_2, \dots$  と一定の間隔に配置せるものとすれば各面より反射し来る  $N_1, N_2$  方向の X 線は互に干渉し平面圖の間隔距離 ( $d_0$ ) 及び入射反射線の傾斜角  $\theta_n$  に應じ互に強さを増大する様干渉す、今示性 X 線波長を  $\lambda$ 、 $\theta_n$ 、 $d_0$  入を第 2 圖 (c) に示す如き反射 X 線と平面群となす角度、平面群間隔とすれば下記 (1) 式の關係が成立つ方向に干渉により X 線強度が増大す。

$$n\lambda = 2d_0 \sin \theta_n \dots\dots\dots (1)$$

$$n = 0, 1, 2,$$

(1) 式はブラッグの基本式と稱せられてゐるもので X 線反射法に於ても基準となるものである、(1) 式の  $d_0$  は單位空間格子の常數 " $a$ " と結晶に於ける "ミイラー" の指數 ( $h, k, l$ ) と (2) 式により聯關せるものである。

$$d_0 = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \dots\dots\dots (2)$$

但し  $h, k, l$  は  $0, 1, 2, \dots$  の如き整数をとる、實驗に於ては一定の波長の X 線 ( $\lambda$ ) にて干渉位置  $\theta_0$  を測定し、一般に  $h, k, l, n$  は別に推定し得るを以て (1) (2) より格子常数 " $a$ " を求め得、X 線反射法の要點は歪状態に應ずる干渉圖線の移動より  $\theta_0$ 、即ち格子常数を測定し得るも逆に格子常数實測より歪状態を明かにせんとするものである、實際上の原子點系は熱的作用其の他自己固有エネルギー等により平均位置を中心とする振動をなし格子擾亂作用をうけ且つ超微結晶粒の大きさも各種多様にて干渉圖線は上述せし程單純に確定せるものでない、従つて干渉圖線幅の擴大現象等を伴ふも原理的には上述せし數式と干渉圖線の移動量より材料内の歪状況を明かにし得るものである。

## 第 2 章 X 線反射法による歪應力の測定

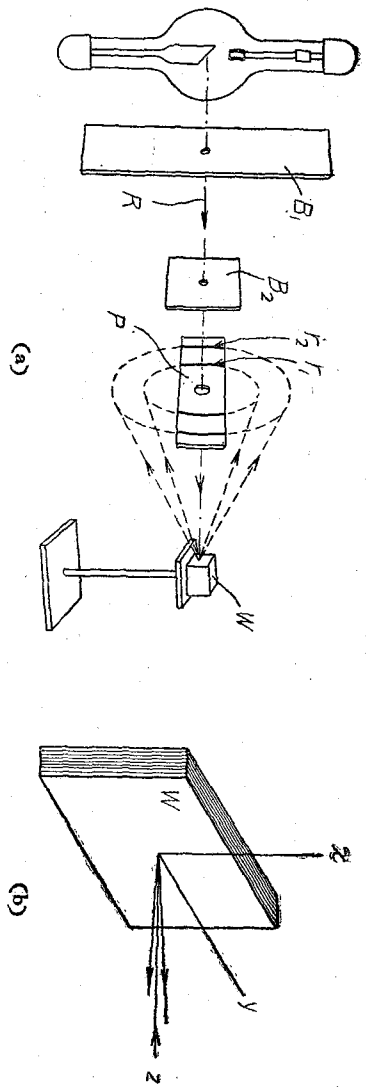
金屬に X 線を投射すれば定つた條件の下に於ては常に一定の干渉線圖をフイルム上に生ず、若し材料に外力が働き伸縮すれば其に應じ格子常数に變化が生ず從來の研究によれば弾性學的歪と格子常数の變化との關係は直線的である、格子常数 (" $a$ ") が變化すれば (1) (2) 式により干渉方向の角度  $\theta_0$  が變る今供試體より一定の距離にフイルムが置かれてをればフイルム上の干渉圖線の位置が  $\theta_0$  に應じ新しく定まる。即ち干渉圖線が移動する事となる、其の移動量が歪の量を定める基準を與へる、此際歪の原因如何に拘らない、即ち弾性限度内の變形なるも可塑性範圍内なるも直接には影響がない。即ち外部よりの荷重によるも熱應力又は残留應力によるも全く同様である、一般の金屬の機械的試驗は或る斷面の平均應力を與へるもので局部に可塑的變形が生じてゐても全く區別する事が其來ない。X 線反射法によれば局部の格子常数を明かにし得、又若し使用せる示性線の波長に比較して大ならざる範圍に變形の存在せる場合 (假りに潜在應力と稱す) には

干渉線の幅が擴大されるが干渉線の移動はない。

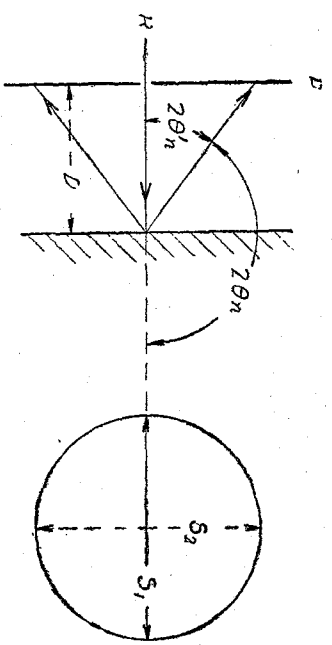
実際には兩者の影響が共に現れるものである例へば或る荷重の下に於て材料内の一部分に可塑的變形の生ずる場合を想像するに若し波長に比して廣範圍にわたり一定の變形(歪)が殘留してをれば干渉線圖の移動を伴ふと同時に局部の小範圍に於ける歪に伴ふ原子格子平面の彎曲等による場合は干渉線幅の擴大を生ず、後者の機械的變形と干渉線幅の擴大度に関する研究も餘多試みられてゐるが未だ的確な結果には到達してゐない (Reagler, Wever 及び Möller の研究は其の有名なものである) 本文では主に原子格子常數の變化する如き歪の場合を述べざる事とする。

一般に應力測定には主應力  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  の大さ並びに方向を定むればよい、X線反射法を利用する時格子常數を充分精密に定めん爲め浸透力は弱い波長の長い示性線を用ふ、反射法其のものも分解度最も大なるものである、鐵類の供試主體では鐵、コバルトの示性線が適してゐる、其の際供試體表面より百分の1程度までX線は浸透する、即ちX線により測定される應力分布は主として表面應力であるが、今測定せんとする部分にX線を異なる二方向の入射角で投射し、得たる干渉圖線より主應力  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  を全部決定する事を得 (Glocker, Osswald, Gison, Wever, Möller) 光弾性の主として平面應力 ( $\sigma_1, \sigma_2$ ) 分布に應用せられるものと此點も著しい相違である、今一般の場合は省略するも所要の點に於ける表面に垂直方向に主應力 ( $\sigma_3$ ) があり且つ  $\sigma_3 = 0 \dots$ にて他の主應力  $\sigma_1, \sigma_2$  が接觸平面内に存在して場合X線反射法により如何に歪状態が測定されるかを説明し實際上に應用せる結果をも述べん。

第3圖 (a) (b) (c) はX線反射法による應力測定装置の説明圖である。(a)圖の  $B_1, B_2$  はX線遮斷壁で中央に小穴を穿ちX線を通すPフィルムにて中央部に穴を穿ちX線は一旦供試體  $M$  の表面に當り反射しつゝ干渉作用を受ける第



X線反射應力測定法解説圖  
 $w$  = 供試體  
 $P$  =  $\gamma$  線  
 $R$  = 投射 X 線  
 $D$  =  $\gamma$  線と供試體間距離





2章に述べた様に或一定の方向に反射線が強められ、格子常数“ $a$ ”とX線波長( $\lambda$ )に應じて定つた干渉圖 $\eta_1, \eta_2$ 等がフイルム上に現れる(b)圖は供試體(W)の表面に於ける座標軸關係を示すものである $x, y, z$ 軸を直角座標とし $z$ 軸を平面に垂直にとり且つ $z$ 軸の方向よりX線が來たるものとする、(c)圖はX線反射法に於ける反射角( $\theta$ )を圖示せるものである、 $S_1, S_2$ はPなるフイルム上に於ける干渉圖線にて一般には楕圓形をなすも最も簡單な場合は圓形をなす、Pと供試表面との距離Dよりして圓形干渉圖の場合は $2\theta_0$ を求め得、更に圖示により明かなる如く必要なる反射角 $\theta_n$ を得、今

$$\sigma_1, \sigma_2 \dots x \sim y \text{ 平面内の主應力}$$

$$a_0, a \dots \text{應力無き状態及び應力状態に於ける格子常数}$$

$$\nu, E \dots \text{ポアソン數、彈性常数}$$

$$\varepsilon_2 \dots \text{Z軸方向の歪}$$

$d_0, d \dots$ 應力無き状態及び應力状態に於ける、Z軸に直角的な原子網平面間の距離

としX線はZ軸方向より投射されるとすれば干渉X線も略々Z軸の方向に反射する、斯かる場合反射X線に関して干渉を左右する格子常数としてZ軸に直角的な原子網平面の距離( $d_0, d$ )を用ひる事が出来る。即ち下式を得

$$\varepsilon_2 = \frac{d-d_0}{d_0} = \frac{a-a_0}{a_0} \dots \dots \dots (3)$$

$$E\varepsilon_2 = -\nu(\sigma_1 + \sigma_2) \dots \dots \dots (4)$$

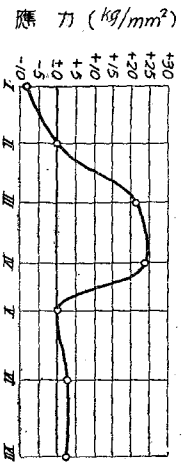
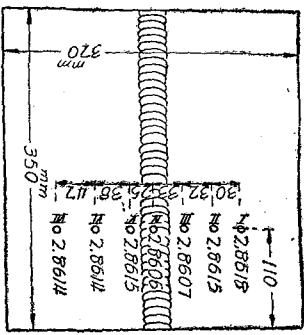
X線干渉圖線の移動より(1)式により格子常数を定め(3)式より、 $\varepsilon_2$ を求め更にE,  $\nu$ を適當に假定する事により

應力 ( $\sigma_1 + \sigma_2$ ) を知り得、實際上供試體各部に於ける平均應力による變形等に應じ  $a_0$  を推定し各部分の應力偏位等を求めるは比較的容易なるも、眞の歪無き状態 ( $a_0$ ) を基準とするには更に別の實測を要す (4) 式は應力  $\sigma_1, \sigma_2$  の和を與へるもので  $\sigma_1, \sigma_2$  を各々別個に求めんには更に表面に垂直以外の別方向より X 線を投射する必要がある事は既に述べた。兎に角にも斯かる方法により干渉圖線の移動より應力の存在を明かにする事が出来る、可動的變形範圍なるか彈性限度内なるかによらず常に測定されるものは格子常数及び歪 " $a$ ", " $\epsilon$ ", "... である。金屬の機械的強度の試験を行ひつゝ X 線反射法を各々局部に適用すれば特種な形状を有する部分の歪の分布を明にし得又加工熱的影響による残留應力を測定し得。應用としては多種多様なるも今一例として標準材料試験に於ける外部的變形と格子常数の變位との關係、電弧熔接部に於ける残留應力の測定に利用せし一二の結果を述べん。

### 第 3 章 残留應力測定結果

#### 1 節 カイザー・ウエルヘルム鐵鋼・研究所に於ける二三の研究

X 線による歪研究は餘多發表されてゐるか其の内二三引用しみる主に Hermann Müller, Josef Barbers の研究を述べん。第 4 圖 (a) (b) は  $350 \times 320 \times 14 \text{ mm}^3$  の軟鐵板の中央を熔接せるものに就き "0" の位置に X 線を投射し X 線反射法にて格子常数を測定せしものを示す、記入せる數字は干渉線の移動より計算せる格子常数 ( $a^{\circ} \text{A}$ ) である、(b) 圖は 2 章 (3) (4) 式より  $E = 21000 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\nu = 0.28$  とをき計算した主應力 ( $\sigma_1 + \sigma_2$ ) を示す、測定位置 III 即ち熔接部附近には可成大なる引張應力の残留してゐる事が分る、後に述べる筆者の實驗せし熔着片の内部斷面内の歪應力と比較すれ



電弧熔接部に於ける表面残留應力の一例

第 4 圖

は反對の傾向を示してゐるが元來 X線放射法は表面至應力の値で必ずしも内部まで此状態が斷續してゐるものと斷定する事は出来ない反つて兩者の結果を比較参照する事により残留應力の性況が明かになる。

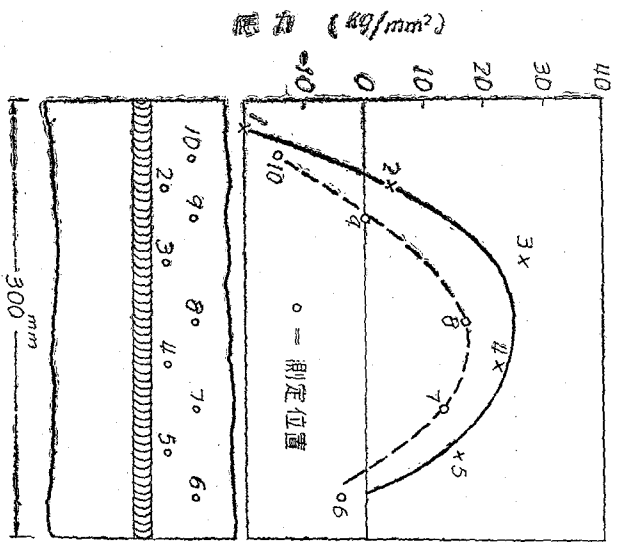
第 5 圖も軟鐵板の熔接部に於ける残留應力の X線による實測値で測定位置により壓縮 (—) 引張り (+) 應力が残留してゐる、斯かる残留應力の改善方法と X線放射法による検査結果は必ず興味ある結果を提供するであらう、彈性試験に於ける平均應力と共に相當する格子常数との關係の一例としてデュラルミン抗張試験片に對する結果を述べん第 6 圖は  $2.00 \times 20.08 mm^2$  斷面を有するものの試験結果で格子常数の變化より求めた表重應力が全く外力による平均應力と同値なる事を

示すもので軟鐵の場合も全く同様である、其の他抗曲試験、及び熱残留力常温加工と弾性試験との組合せ等に於ても同様な結果を得てゐる。

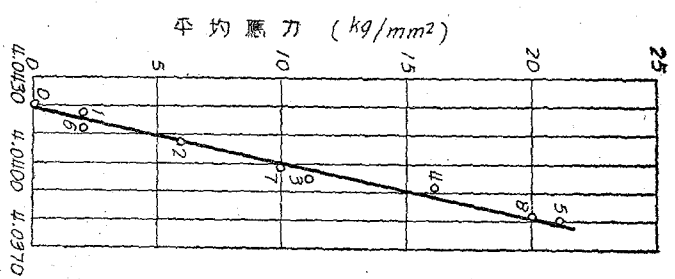
熔接槽造體の場合の一例として Franz Wever, Adolf Rose の熔接せる双T桁の第7圖に示す如きものに就ての實驗結果を見るに測定位置 1, 2, 3, …… 12, に於ける殘留應力は次表(1)の如きものである。

平均  $39 \text{ kg/mm}^2$  と大なる表面歪應力が測定されてゐるが其の原因が熔接以前の素材にあつた事が判明した、ストレンジャー

松 徳



第 5 圖  
電弧熔接部に於ける表面殘留應力の一例

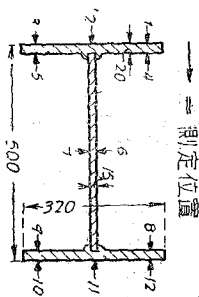


第 6 圖  
引張試験に於ける平均應力と格子歪數との關係を示す

水川

1 表

| 測定位置           | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8 | 9   | 10  | 11  | 12 平均 |     |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-------|-----|
| 殘留應力 $kg/mm^2$ | -27 | -23 | -48 | -27 | -50 | -38 | -59 | 1 | -27 | -38 | -50 | -44   | -39 |



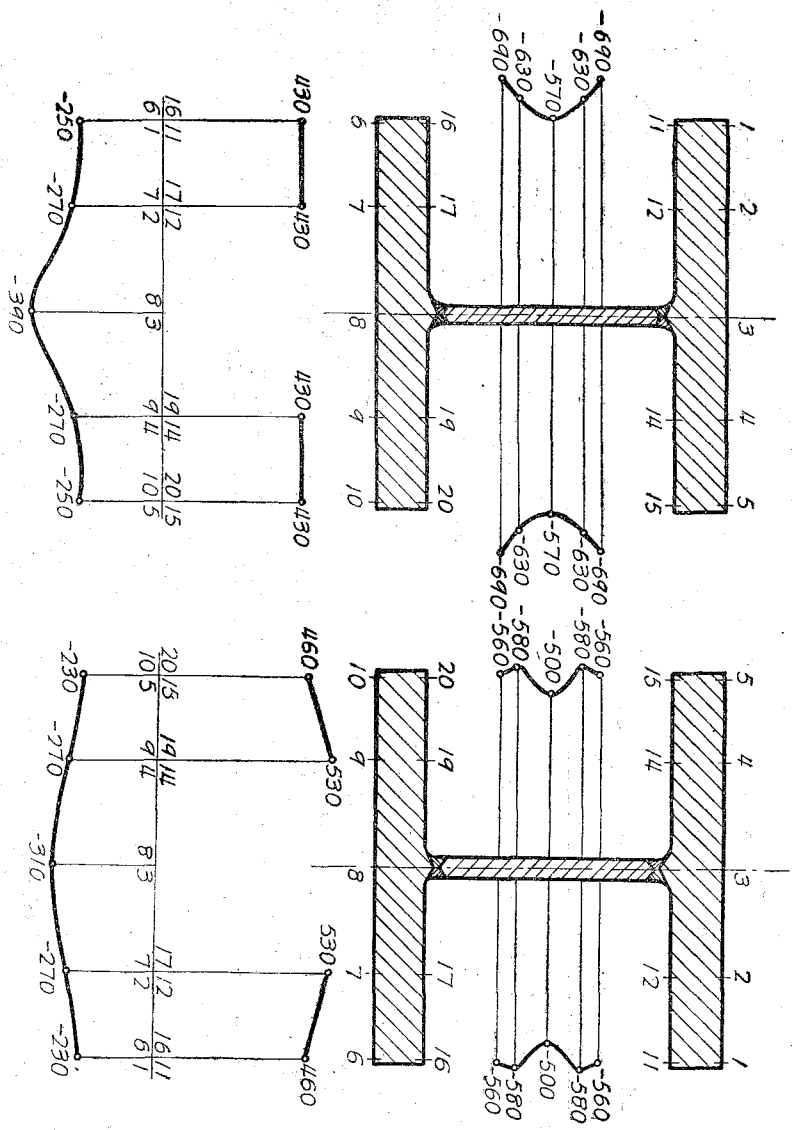
第 7 圖

テによる A. Dornen の研究によれば被覆電極棒裸電極棒の場合で異るも第 8 圖 (a) (b) の如き殘留應力が測定されてゐる。壓縮引張應力共に殘留せるも平均應力として  $6 \sim 2kg/mm^2$  程度の値である。X 線反射法の興ふる値と比較對照するに兩者共に全く獨立せる意義を有するものである事が分る。

此後兩者を同一供試體に並用し最も合理的な資料を得る事が必要である、未だ斯かる點を詳細に解説するに至つてゐない。

## 2 節 土木試験所における研究

熔接部の硬度の分布に關する研究は熔接工學の發達せし當初より屢々試みられ其の原因に就ても種々論ぜられてゐる熔着金屬の冷却の際に於ける膨脹收縮作用と金屬の硬化過程に於ける金屬粘性及び組織變化との相互作用によるもので、内部に大なる歪を殘留するものである、其の結果材料として強度の最も弱點が熔接部附近にあるものとされ種々除歪法が講ぜられてゐる、此の殘留歪存在の一つの目安として硬度の分布が取扱はれてゐる、例へば V 型 X 型衝合熔接の斷面に於



平均残留应力 ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 工筋に於ける機械的測定法による残留应力

a: 被覆電極棒使用

b: 裸電極棒使用

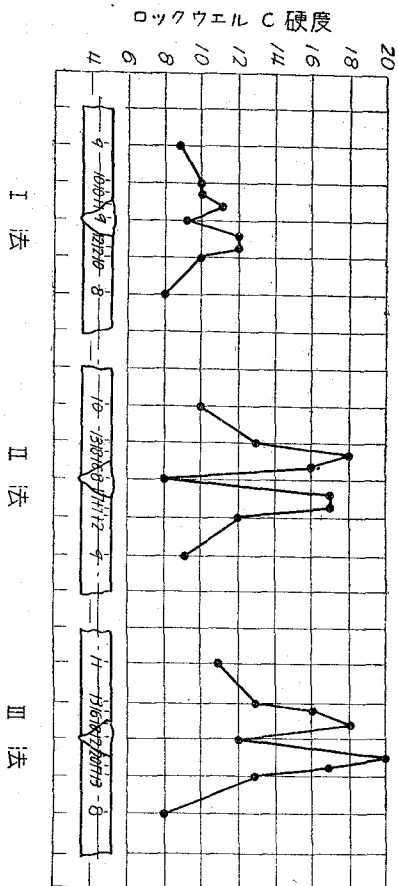
て硬度が母材、熔着鋼との間に如何に分布せるか研究せしもの餘多ある。第9圖は R. Bennecke が高強度鋼に焼き熔着部のロツクウエル硬度の分布を調べた結果である、I. II. III. 法の熔接部の相違の主眼點は

I. 3層及び底部熔着にて、熔接中冷却を防ぐ。

II. 同上、各層操作毎に冷却す。

III. 同上(底部熔着行はず)、同上

である、ロツクウエル硬度の絶対値は3法にて異なるも分布の傾向は全く同一で母材部は硬度小にて融着層附近で一旦硬度を著しく増大し更に熔着金属の中央部に於て又硬度が減少してゐる、實用上斯かる硬度の變動少く且つ其の値の減少する様熔接法、熔接後の操作等種々工夫されてゐる、最も其の効果を合理的に

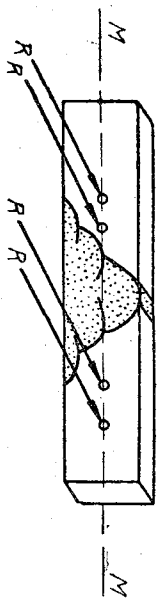


可塑衝合熔接部断面に於ける硬度分布

第 9 圖

行んには硬度の増大する理由を的確に知る事が必要である、金属顕微鏡により金属組織学的研究を行ふも金相の差異を組織を標準化する事により成分の差異等をも推測し得、今本文に解説せんとするX線反射法により各部分の格子常数を測定し歪分布を明かにする事は更に有力な一方法を提供するものである、X線干渉線圖よりして(i)超微結晶粒の大きさ即ち結晶微粒化の問題及び(ii)格子常数の變化による歪の問題等を解決し得るものなれば必ず有效な指示を與へるものである。

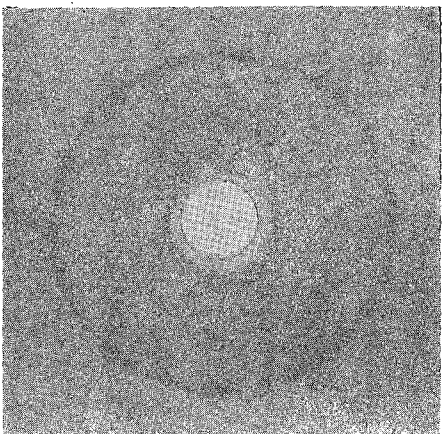
第 10 圖は X 線反射法に使用せし供試體と X 線投射方向との關係を示すものである供試體を徐々に移動し X 線投射位置を變ず圖中 R は X 線の來る方向を示すものである、第 11 圖は 2 章第 3 圖(a)(b)の P フライルム上の干渉圖の一例を示すものである、



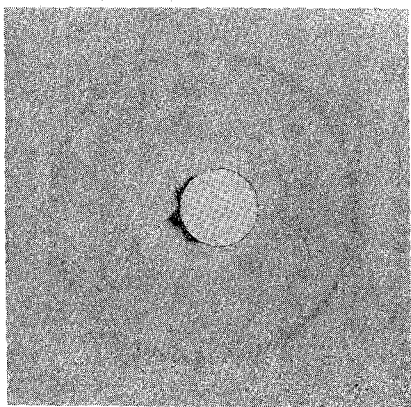
第 10 圖

第 3 圖 (c) に示す如く垂直水平の圓の直径  $S_2$ ,  $S_1$  は略々同一にて圓形干渉圖を與ふるものとする。(a) 圖は除歪操作以前のもので (b) 圖は  $650^\circ$  に 1 時間 30 分加熱し爐以にて 1 晝夜にて常溫まで冷却した供試體に對するものである。兩者共に同じ程度に擴大せる幅の干渉圖線が現れてをる。直径の異なるフライルムへ供試體表面の距離の異なる爲めである、又兩者の顯微鏡寫眞をも撮り金属組織の變化を明かにした、X 線干渉線幅の擴大度より判斷するも干渉圖直径の變化は主として格子常数の變化に起因するものと解釋し得。第 11 圖 (a) (b) の如き二組の X 線反射法干渉圖より第 2 章 (1) (2) (3) (4) 式より格子常数 "a" の變化並に歪に相當する應力を推定し得。第 12 圖 (a) (b) は第 11 圖 (a) (b) に相當する各





(a)  $D = 32.0\text{mm}$



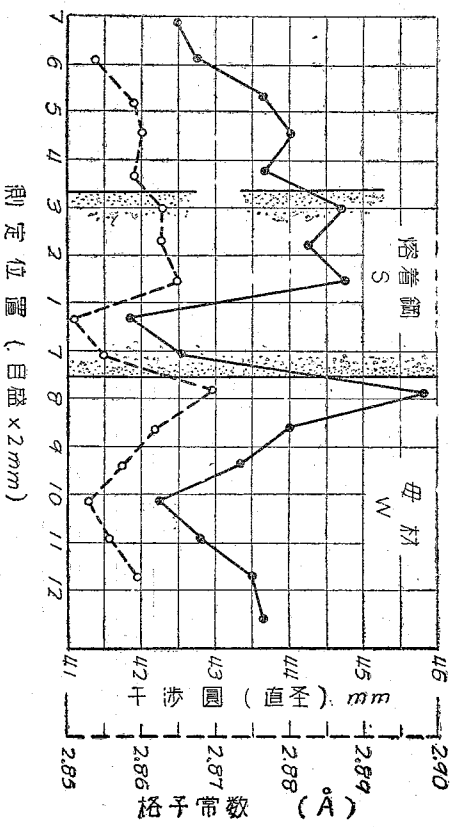
(b)  $D = 28.4\text{mm}$

X線反射能力測定法に於けるX線干渉圖の一例  
第 11 圖

粗のX線反射干渉圖より求めた干渉圖の直径(—●—●—)と格子常数( $a$  Å)……と測定位置との關係を示すもので

ある、熔着鋼部 (S) と母材 (W) に於て格子常数の變化が分る (4) 式  $E\epsilon = -\gamma(\sigma_1 + \sigma_2) \dots$  より表面應力の値が分る。即ち格子常数 (a) の擴大せる部分は表面應力として残留壓縮應力存在し、格子常数の縮小せる部分は残留張力の存在せる事を示す且つ其の絶対値の可成り大にして降伏點を越すものが多い。今假りに母材の或る點に於て除歪せるものが略々歪無き状態にあるのとし  $a_0 = 2.863 \text{ \AA}$  とすれば第 12 圖 (b) の格子常数  $a = 2.870 \text{ \AA}$  に對する應力は  $E = 21,000 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\nu = 0.28$  とすれば容易に計算し得、即ち  $\sigma_1 + \sigma_2 = 80 \text{ kg/mm}^2$  を得  $80 \text{ kg/mm}^2$  は許容強度降伏點を著しく超過する程度のものである、以上の結果にすれば融合層附近には大なる壓縮殘留歪が存在し熔着鋼の中央部には引張殘留歪の存在してゐる事が分る。  $650^\circ \text{C}$  程度除歪操作により可成り歪を去除し得る事を

知ると同時に組織的變化の影響が著しく明瞭に現れてゐる事が分る。



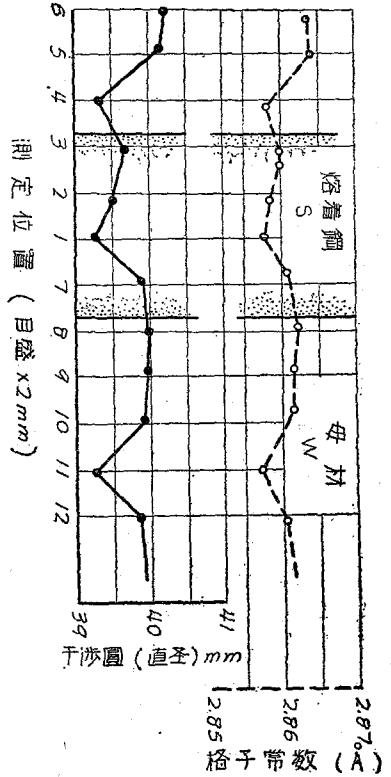
第 12 圖 (a) D = 32mm

本例は一つの熔着片に関する試験であるがX線放射法如何なる利用價值を有するものなるや且つ残留應力研究の有力な方法である事を示すものである。

要約 最近實用化せんとしつつあるX線放射法による歪應力測定方法の概要を述べ

其の特長を考察し光弾性實驗

と比較し兩者の特異性を解説した。原理並に實際例としてポイント、カイザーウルヘム鐵鋼研究所に於ける研究と内務省土木試験所に於て筆者が昭和十一年に行つた試験の中残留應力に関する一例としてV型熔接片の應力分布に關するものをも引用し、其の工學上有效なる方法を紹介した。勿論如何なる方法にても其の長所と共に必ず知所の存在せるものである、本X線放射法に於ても装置の操作上の困難、撮影に長期間を要する事、干渉圖線の所謂平均歪値以外より變る影響、表面應力のみを測定する事等の一面の短所並に未だ研究を要すべき問題を殘せるも之等は利用の立場をして適應せしむれば必ず長所ともなり得るもので鐵鋼を使用する總ての工學部門に亘りしき將來を約束せる方法であらう。



V型熔接片断面圖内の應力分布の除歪操作による影響

第 12 圖 (B) D = 28.4mm