

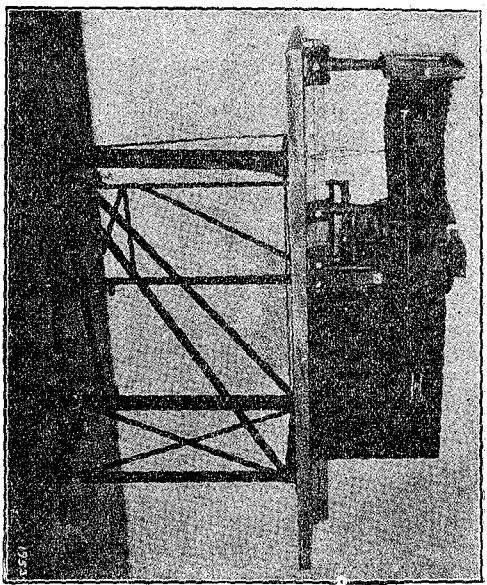
## 構造物の實驗解法〔完〕

青木 榆男

schlioren 法 本法は元素粒子の不純物を検査するに用ひられたもので、これを歪模様の検出に應用したのは L. Prandtl 氏の提言をいれた A. Nadai 氏である。

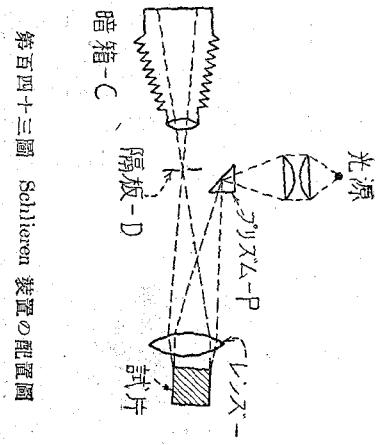
磨かれた可塑性材料の表面に現はれる歪模様を極めて精密に寫し出そうとするもので、第百四十二圖に示すものはウェスティング電氣會社の研究部で作ったこの光學裝置である。

この裝置の原理は極めて平滑に磨きあげられたる材料表面に映する像が表面に生ずる歪みのために亂れる事を利用したもので、第百四十三圖に示す機構を有してゐる。光源から出た光はプリズム  $P$  に反射し、其一側の小圓孔を通過して試片の研磨面に當る。試片面に反射した光は、レンズによつて、ある距離に小圓孔の像を結ぶ。この位置には不透明なる隔板  $D$  を裝置することが出来る様になつてゐる。試片の表面完全に平滑なれば  $P$  の小圓孔の像は  $D$  に完全に結ばれ、暗箱  $C$  の

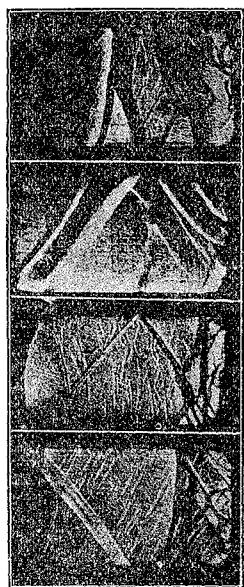


第百四十二圖 臨模撮影用光學装置

ピント硝子には試片の表面が一樣に照し出される。今もし  $D$  に於ける光の結束點に不透明隔板を置いたとすれば試片からの光束は完全に遮断されてピント硝子上の像は全く消失してしまう。併しもし試片面に研磨の際の擦痕、或は歪模様等の不規則面ありたりとせば、この部分よりの反射光線は他の平滑面よりの光束の如く  $D$  點にて完全に結束せざるが故に  $D$



第百四十三圖 Schlieren 裝置の配置圖



第百四十四圖 Schlieren 法によつて求めたる軟鋼抗壓試片の四面に現はれたる Lude: 氏線

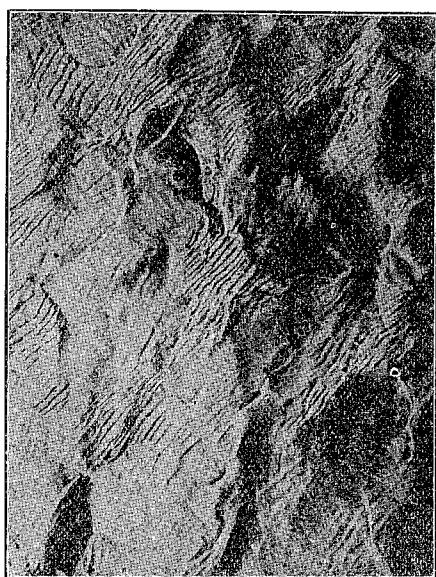
の不透明隔板を廻りて後に進み、暗箱のピント硝子上にこれ等不規則面の像を寫し出でに至る。

これ等の像は D に不透明隔板を挿入せざれば其検出は殆んど困難である。第百四十四圖はこの方法によつて寫し出でした軟鋼抗壓試片上に現はれた Lüder 氏線である。

**顯微鏡検査** この方法では歪曲様の全貌を知ることは困難であるが、一局部に辺りの發生の有無を確實に定めることができ。一般に歪をうけたる材片より試片をとり研磨並腐蝕後、これを検鏡するも歪をうけたる部分とうけざる部分との間に著しい組織の相違を認めるることは困難だとされてゐる。

併し試験前に充分琢磨したる試片につき試験の前後に検鏡するとき、辺りの發生を明瞭に認めることが出来る。第百四十五圖は極めてよく研磨されたる軟鋼試片に現はれた Lüder 氏線の境目に沿つて寫した顯微鏡寫真であつて、結晶粒面上に生じた波状の皺を容易く認めることが出来る。この辺り線の方向が揃つて一定の方向にむいてゐることも、辺りの發生の機構から考へて面白い現象である。又これ等の辺り線は Taylor, Elam 両氏が鐵の單結晶に塑性變形をなさしめたる際の辺り線と全く同一であると云はれてゐる。

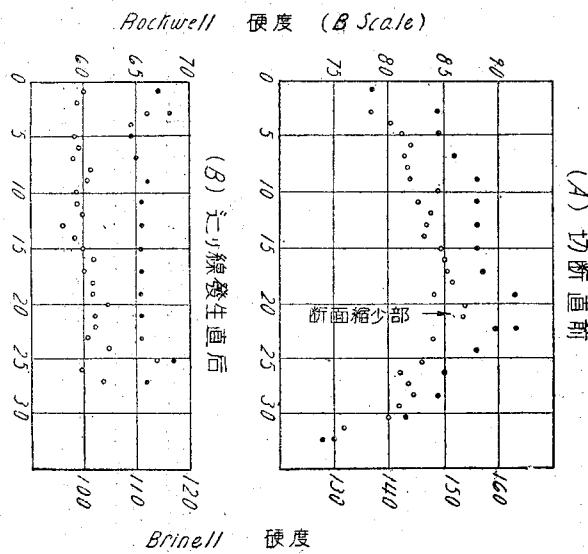
**硬度の變化による方法** 本法では概略的に歪の發生を求めるに過ぎない。元來金屬が永久變形をうくるに至るとき、



第百四十五圖 軟鋼結晶粒上に現はれたる辺り線

其硬度が變形前に比して高まることを應用したものである。硬度増加の割合は變形の多少に比例する。第百四十六圖は抗張試驗片の長さの方向の硬度の變化をブリネル及ロックウェルの硬度計にて測定したものである。B圖は試片平行部の兩側フライエット部に歪模様の發生せる直後に測定した硬度で、歪發生部が著しく高い硬度を示してゐる事が知れる。この硬度の增加は歪が試片全體に亘るにつれ試片全般に生ずる事である。A圖は更に載荷が進み局部縮少が起り正に破断せんとする直前のものである。試片の各部の硬度は B に比して甚しく増加してゐる。局部縮少を起した部分は特に硬度の増加の顯著な事が知れる。

X-Ray 檢査  
こゝに面の發生が銅の結晶組織に如何なる變化を及ぼすかを究めるために



A - 破断直前 (伸長 31.3%) B - 歪模様発生直後  
第百四十六圖 抗張試驗片に於ける硬度分布圖

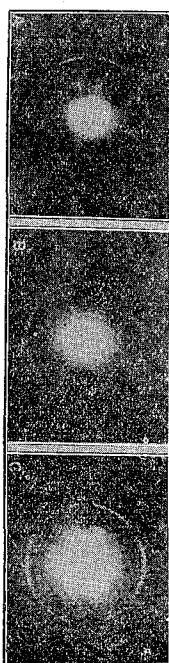
は極めて重要な試験なるべきも、これ面の発生状態の全般を検するためには左程便利な試験とは云へない。又結晶組織の問題に關しての記述は本稿の目的外に屬するから、こゝでは一拡張試片について行はれた實驗結果を示すに止める。第百四

十七圖 A は試片に現はれた歪模様の附近で、こ

りを起しておらない部分の X-Ray 寫眞、B は歪模様の現はれたこゝの起つた部分のもので、兩者の間にはそれほど著しい差が示されない。C に變形の最も著しく起つておる試片把握部をうつしたもので、このものは前二者に較べると其結晶組織の異常を明かに認めることが出来る。

錆の發生状況によるもの 永久歪をうけた金屬が然らざるものに比して耐蝕性に乏しいことは幾知の事柄である。この傾向は錆をうけた部分と、うけざる部分とが互に接しておるとき、又海水等の電解物質中に浸つておるときに然に著しい。これは前者が後者に對して陽極の位置にたつことによるものである。この點に關しての詳細は、「腐蝕法」の項に於て説明した如くである。

この理由によつて一枚片が局部的に錆をうけておると、この部分



第百四十七圖 塑性變形を起したる鋼板の X-Ray 寫眞



第百四十八圖 剪断されたる鋼板に發生せる錆

の錆が他の部分に比して急激に発生し歪模様を明かに示すに至る。この現象を歪模様の検出に利用することは行はれて居ないが、鋼構造物に発生した錆が局部的永久歪の存在を示して居ることが屢々ある。鋼構造物の耐久性の立場から見て斯くの如き局部的永久歪の存在することは極めて恐るべき事柄と云はねばならぬ。第百四十八圖は剪断した鋼板に剪断に際して起つた永久歪に沿つて錆の発生した状態を示したものである。

#### 歪模様の實例

抗張試験片に発生するにり模様についてはすべて説明するところがあつたから、以下抗壓材、抗張材共他につき歪模様の発生並にこれによる應力分布に關する研究の數例を擧げたいと思ふ。

**抗壓試験片**　軟鋼類の如き延性材料の抗張試験にて、試片斷面内の應力を均一に分布せしむることは左程困難ではないが、圓盤形又は角盤形の試片を用ひた抗壓試験にては應力の均一分布が伸々困難である。先づ兩端面を正確に平行且試片の軸に直角に仕上ることの困難である外に、たゞこれが完全に出来たとするも、試験機の加壓板と試片端面間の磨擦は試片各斷面の均一なる横變形を妨げ、試片中央部のみの膨みを生し、こゝに應壓力の不均等分布を引き起すのが常である。従つて抗壓試験片に發生するにり面はすべて端面に於ける摩擦抵抗の影響をうけてをるものと考へねばならぬ。

軟鋼抗壓試験片に現はれる歪模様の一例はすでに第百四十四圖に示した如くで、これは四角盤の試片の四面に現はれるものを Schieren 法で撮影したものである。

抗壓試験片の形狀が圓盤形の場合、石材、混漿土等の脆質材料、又は軟鋼の如き延性質材料たるをとはず、最大變形部は端面を底とし、端面とある角度を保つ圓錐面であつて、脆質材料にをいては、崩壊の前にこの圓錐面に沿つてにりが起り、載荷の進みにつれてこの圓錐の外方部がはみ出さるゝに至る。脆質材料にあらはるゝも一つの徵候は圓錐の周圍面に 2 組

の螺旋の発生することである。これは變形の著しく起る2組の螺旋面と圓錐表面との交線として現はれて來たもので Prandtl, Rinne 兩氏が Carrasa 大理石についてやつた實驗に於ても極めて明瞭に示されてゐる。第百四十九圖に示したものは同様のに螺旋を黒色價パラフィンの模型を用ひて Nadai 氏が求めたものである。高さの異つた5種の圓錐について實驗を行つてゐるが、こゝには其3種を示した。表面に現はれた螺旋は、圓錐の母線とほゞ  $45^{\circ}$  ( $45^{\circ}$  より幾分少) の角度を有して居り、最大荷重に達する前まで、これ等の螺旋組が數本づゝ試片の表面上に現はれて來る。

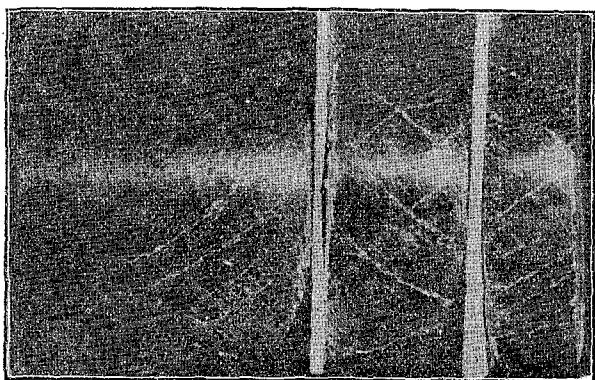
第百五十圖はこれ等試験片の試験後の縱斷面を示したもので、端面の縁より變形部分が放射状に發達し、

両端圓錐形の部分は試験機加壓

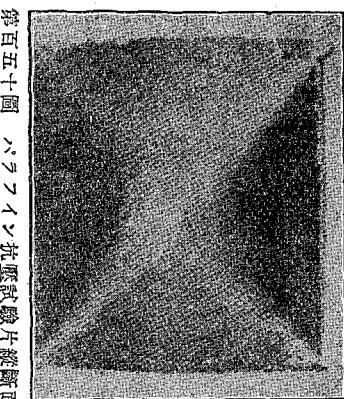
板に附着して壓力を傳達してを

るかに見受けられる。之の

起るこの變形部分が示す傾きは材料の種類加壓板と試片との摩擦の大小、試片の高さとの直徑との比によつて異なる。寫眞に掲げた例では加壓板は荒仕上げにてパラフィンとの間に充分なる摩擦をもつた場合で、高さと直徑の比



第百四十九圖 パラフィン抗压试験片表面に現



第百五十圖 パラフィン抗压试験片縱斷面

に對して次の變化を示してゐる。

高さ / 直徑	1.00	0.5	0.33
傾斜角	36°	25°	21°

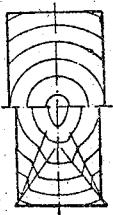
四角形の抗壓試片にては圓槽形と幾分其趣きを異にしてゐる第百五十一圖はパラフィン四角槽試片の比較的高さの低いもの、例で試片の中央斷面の變形を示してゐる。試験は最初より2分された四角槽を合せて壓縮したもので表面に残つてゐるバイト目が元來同心圓であつたものが著しく變形してゐることがわかる。これによつて見るにこり面は端角から對角線狀に内部に進み、こりの度は中央部が比較的少く、バイト目の同心圓はこの附近では橢圓形となれるも線部に進むにつれてこりは著しくなり、バイト目に喰ひ違ひの起つてゐることが明かである。第百五十二圖はこの状態を示したもので、左半は變形前、右半は變形後の状態を示す。

こり面の方向はこの試片では丁度對角線上に現はれてゐるが、圓槽形試片の場合と同様各種の條件によつて其傾斜角が變つて來る。

以上は中央斷面に現はれた變形であるが、試片の表面に現出するこり線は角槽の線邊附近には殆んど生ぜず、側面の中央部に主に發生する。第百五十三圖は断面 36 mm 平方、高さ 60 及 36 mm のパラフィン試片の表面に現はれたこり線を示したものである。こり線の發生状態は方形斷面の中へ内接する圓槽を考へ、圓槽試片の場合表面に現はれる 2 組の螺旋



第百五十一圖 高さの低き四角槽抗壓試験片——中央縱断面にして内部の變形状態を示せり

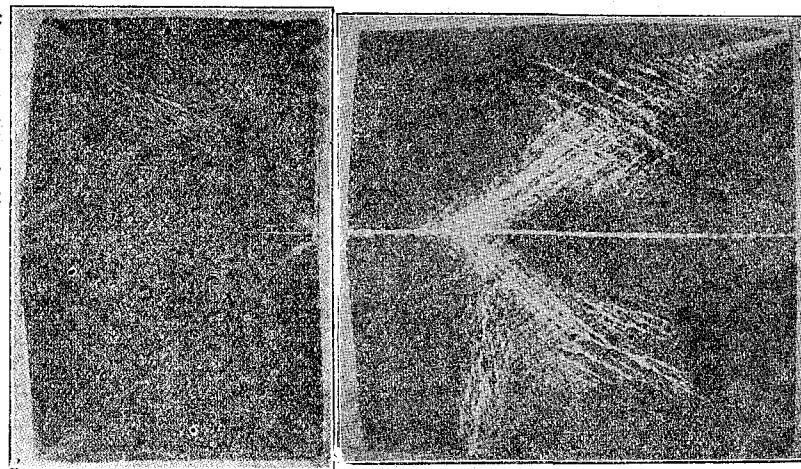


第百五十二圖 低き四角槽に起る變形

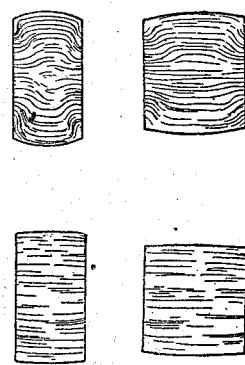
線を考へると、そこに類似の關係が思考される。

材料が軟鋼の如き延性の大なるものでは上記の如き明瞭な二重面を認ることは出来ない。多くは両端面が加壓板との間の摩擦に妨げられて中央部のみが膨み、ペール橢形に壓縮せらるゝに止まる。両端の摩擦の大小で、この傾向に著しい差が出来ることは第百五十四圖の例で知ることが出来る。左は兩端面に油と石墨との混和物を塗つた場合で中央部の膨みが極めて僅かであるに反し、右の滑剤を使用しなかつたものは顯著な膨みが認められる。

**試片小孔の影響** 抗張抗壓材等に凹形の切込みある場合、この部分にて應力の著しい増大することは彈性學上衆知の問題であり、すでに



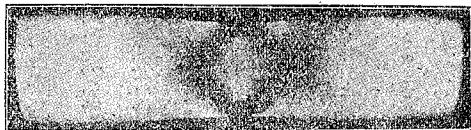
第百五十三圖 角標試片の表面に現れる二重線



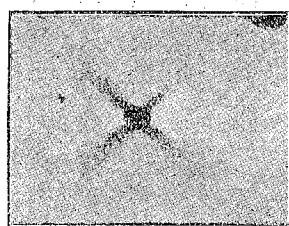
第百五十四圖 軟鋼の抗壓試験片の變形

光彈性實驗の項に於て説いた點であるが、材片中に小孔の存在する場合も孔の廻りにて大なる應力を生じた面の發生に大なる影響を與ふるに至る。第百五十五圖は銅の抗張試片の兩側に切込みを有した場合のたたき面の發生を示したものであり、第百五十六圖は銅の抗張試片が中央に小孔を有するときのたたき面を

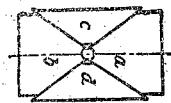
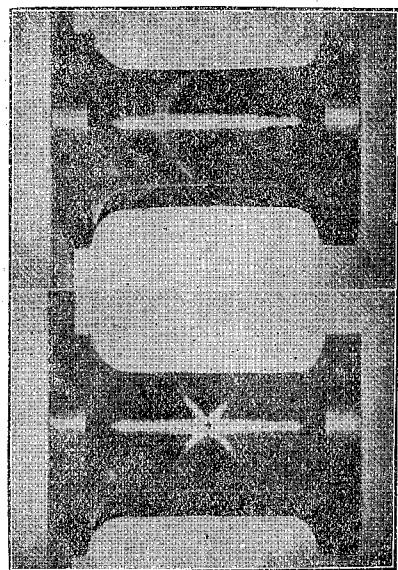
第百五十五圖 切込みを有する銅抗張試片のたたき面



第百五十六圖 小孔を有する銅抗張試片のたたき面



第百五十七圖 パラフィン抗張試片の小孔の影響

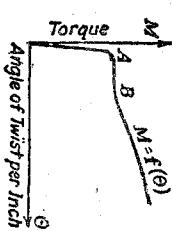


第百五十八圖 小孔あるパラフィン抗張材のひびき  
第百五十九圖 同上試片の破壊

示してをる。

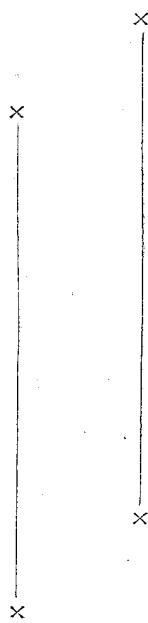
比較的脆質の材料の抗壓試片に小孔を有する場合の例として第百五十七圖に軟ペラフインの試片に現はれたにり面を掲げた。この試片は圓錐形にして其中央に加壓の方向に直角に貫通せる小孔を有するもので、加壓の状況を見るににり面の発生前より試片の塑性變形が一樣でないことがよく認められ小孔の軸にて交る二平面の變形著しく遂にこの面にてにりを起すに至る。この面は加壓の方向とある角度を保ち載荷の進行と共に第百五十八圖の如き跡みを示し、遂に第百五十九圖の  $c-d$  の部分がはみ出さるゝに至る。

**抗張材の歪緩機**　軟鋼類の如き軟金屬に於ける振應力より生ずるにり面は其最大剪力の面と一致して来る。従つてこれ等のにり面は互に直角な 2 種の群から成つてゐる。一群は抗張材の横断面の方向、他の群は其軸に平行の面である。抗張材が降伏點以上に抜けられた時内部に生ずるにり面の一群は其材片の横断面について Fry 氏の齒蝕法を行つて検出することが出来る。斷面上ににり面は黒線となつて現はれる。にり線の發生状況を見るに、振應力が第百六十圖の Torque-



Twist 圖表の  $A-B$  部に達したとき、先づ其斷面周圍の最初に塑性變形を起した部分に發生 第百六十圖 Torque twist 表

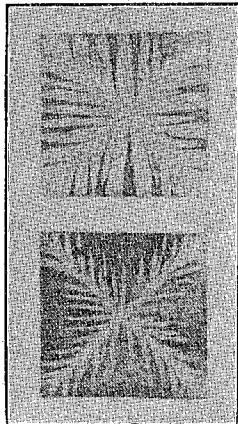
し、振りの増加と共に、これに隣接して新たなにり線が生じ、元のにり線は楔形に内部の最小應力の部分に向つて發達してゆき、遂に斷面全體がにり線で覆はれて仕舞ふに至る。このにり線の方向は常に應力線に垂直であり、従つて縁邊に直角に發生する。第百六十一圖及第百六十二圖は、正方形並に斜方形の斷面の抗張材に生した歪緩機の一例である。(完)  
追書、本誌第十三卷第一號に「構造物の實驗解法」と題して本稿を書きはぢめて以來回を重ねること十三回、こゝにそ



大體を書き終つたので、一先づ筆を擱くこととする。この間筆者の怠惰は屢々原稿を中斷せしめ完了するに二年半の時日を要した有様である。この點この問題に興味をもたれた讀者に對しては非常に御迷惑であつたことと思ふ。こゝに深く御詫びする次第である。

第一百六十一圖

正方形断面抗振材の断面に現はれた歪模様



第一百六十二圖

斜捲形断面抗振材の断面に現はれた歪模様

