

はりの塑性域分布の直接撮影法について

熊本大学 正員 ○ 崎元達郎
 熊本大学 宮崎靖男
 熊本大学 正員 平井一男

1) はじめに: 鋼構造物や部材の終局強度と有限変位弾塑性解析法で計算した場合、たわみや終局荷重以外に、塑性域の進展状況、分布状態が、現象に忠実であるか確認することが重要である。ところが、終局強度実験に於て、離散的に接着した抵抗線ひずみゲージより得られるデータは、その供試体全体の塑性域の進展、分布を知ろうとする時、無力に等しい。従来、面全体のひずみ測定法として、応力塗料による方法があるが、著者らの経験では塗布の技術、養生中及び実験中の温度、湿度管理に結果が大きく影響され、信頼性に乏しい場合が多い。また、降伏による金属結晶粒の変化を見るために、フリーの試薬等を用いる酸化皮膜法があるが、高温養生が必要であるなど、大型供試体に不向きであるし、実験途中の観察ができない欠点がある。一方、金属の表面を鏡面のように研磨した後、負荷すると金属結晶粒子間にすべりを生じ、光の乱反射による模様(Flow figures, Lüders lines)が観察されることは古くから知られており、小さな供試体については、Nadai が Schlieren 法という光学的方法で写真撮影に成功している¹⁾。本報告では、Schlieren 法にヒントを得た光学的方法で、金属研磨面に生じたリュウダース線模様を直接撮影する方法を述べ、撮影したリュウダース線模様と有限要素法による降伏域分布の解析結果と比較検討した。

2) 直接撮影法: まず、負荷前、供試体の観察する部分をエメリー研磨紙により研磨し、CC/200の程度で、鏡面のように仕上げる。次に、負荷し、リュウダース線模様を発生させる。ところで、このリュウダース線模様は、わずかな光の乱反射によるものであるため、肉眼でも、見る角度によっては、見失う。したがって、これを直接、写真に撮るには、コントラストが弱すぎるし、鏡面での反射光(ハレーション)の処理が困難である。

ここでは、これらの問題点を解決する方法として、図-1に示す方法を用いた。完全に近い点光源を得るために、レーザー光線を用い、ハレーションをさけるために、スクリーンに一度、拡大した像を作り、通常のカメラで撮影した。スクリーンと凸レンズの間のスリットは、円形の孔で、乱反射光をさえぎる役目としており、Schlieren 法の原理と類似の効果となっているものと考えられる。この方法で撮影した写真の一例を図-2に示す。図-2は、中央集中荷重で曲げを受けた溶接H型鋼の単純ばりの荷重点下のウェブのリュウダース線模様を写している。荷重点直下は、押込み(パンチング)の際に見られる同心円状のリュウダース線が観察され、その周り及び下部には、曲げモーメントの大きさに応じた長さの枝状及び鋭い針状のリュウダース線が交錯しているのが明瞭に観察できる。これらのすべり(降伏)現象がかなりマクロなオーダーで、不連続的に生じている点は注目すべきである。

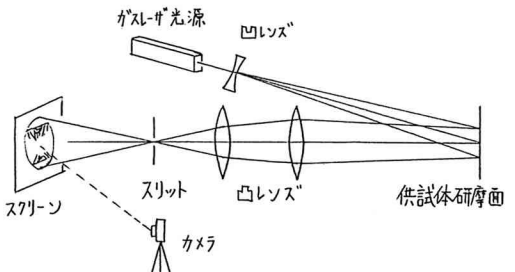


図-1 リュウダース線模様撮影原理図

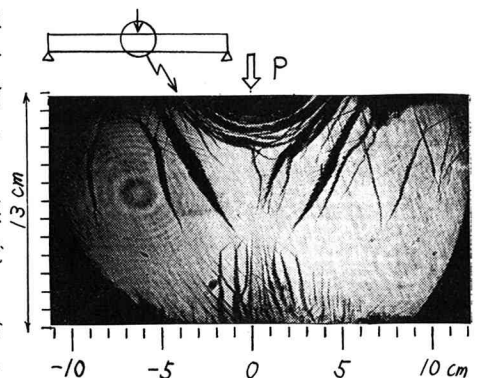
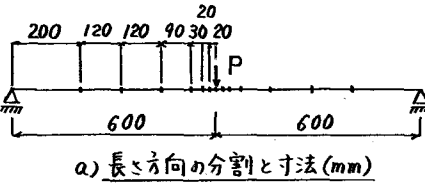


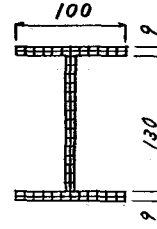
図-2 単純ばりウェブのリュウダース線模様

3) 数値解析結果

果: 数鋼で
きろ溶接H型断
面の単純はり(



a) 長さ方向の分割と寸法(mm)



b) 断面分割と寸法(mm)

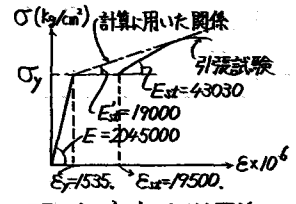


図-4 応力-ひずみ関係

の中央に集中荷
重が載荷する場合

図-3 数値解析モデル

合の実験を行うと同時に、有限要素法による弾塑性解析法²⁾で数値解析を行った。はりには、図-3(a)のように荷重点近くを細かく部材分割し、各部材は図-3(b)のように断面細要素に分割され、部材要素両端の断面細要素の重心点で歪が計算され、降伏が判定される。図-4に引張試験の結果と計算に用いたbi-linea型の応力-歪関係を示す。

溶接残留応力は、切断法により、あらかじめ測定され、自己つり合い条件で補正したものを、計算の初期応力として与えた。(図-5参照) 荷重の増加と共に降伏域の進展する様子を図-6に示す。

降伏域は、ウェブ下辺で引張残留応力と曲げの引張応力が増え合されるために、ウェブ下辺から開始し、この降伏域が長さ方向に進展するとともに、載荷点断面の上下から中立軸に向かって降伏域が広がる。実験に於ても、全く同じ順序で、対応した場所にリューダース線模様が発生するのが観察された。図-7は、最終荷重時の計算による塑性域の¹⁾と実験術のリューダース線のトレース図²⁾の比較である。両者は、非常に良い対応を示している。この図より、リューダース線跡の先端を連ねる包絡線が、計算によって得られる塑性域図に相当していることが解る。

したがって、通常、連続的な領域として塑性域と称し、とらえられている領域の内
部には、リューダース線(すべり領域でみずみ硬化歪 ϵ_{st} の領域)とその間にある弾
性領域(みずみゲージの値は、降伏歪 ϵ_y より小さい事が実験で確認された)が、か
なりマクロなオーダーで混在している事が解る。なお、実験と数値解析は、荷重-
たわみ図に於ても終始よく一致している事を図-8に示している。熊本大学の松尾
日出男教授(資源開発工学科)と、永山邦仁助教授(衝撃エネルギー実験所)には、光学的方法について、貴重
な御意見と機器の貸与をいただいた。記して謝意を表します。また、本研究は、田浦伸介、吉田道三、大生
聡、西見裕司の卒業研究の一部である。数値計算には、九大大型計算機センターのFACOM M-200を用いた。

参考文献

- 1) NADAI, A, "Theory of Flow and Fracture of Solids" McGraw-Hill, Vol.1, 2nded., 1950 P280
- 2) 小松, 崎元: Nonlinear Analysis of Spatial Frames ..., 土木学会論文報告集 No.252, Aug. 1976, P143~157

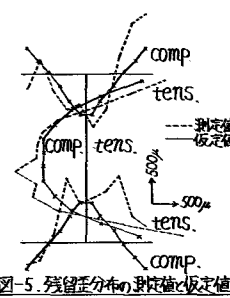
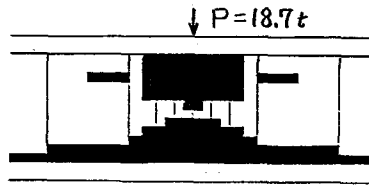
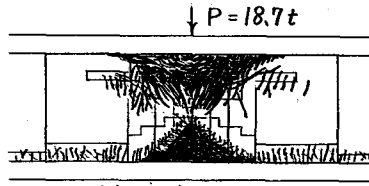


図-5 残留歪分布の測定値と仮定値



a) 解析結果



b) 実験結果

図-7 ウェブの塑性域の比較

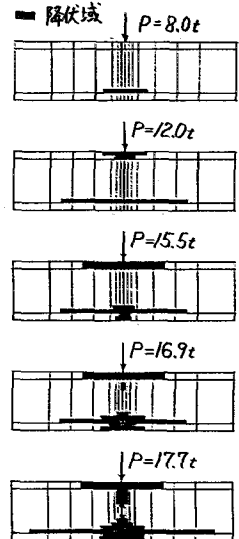


図-6 降伏域の進展

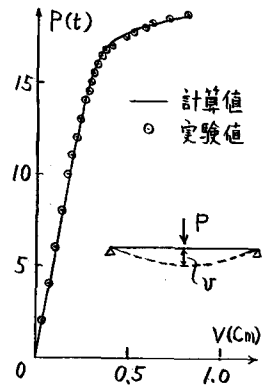


図-8 荷重-中央たわみ曲線