

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

1) まえがき: 鋼構造物や部材の終局強度を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、分布状況が現象に忠実であるか確認することが重要である。軟鋼の表面を鏡面のように研磨した後、負荷すると原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。著者らは、先に、Schlieren法にヒントを得た光学的方法によって、軟鋼で製作した供試体研磨面に生じたリューダース線模様を、直接撮影する方法を報告した¹⁾。本報告では、供試体製作方法と荷重条件を変えた場合の撮影結果と棒理論による弾塑性解析結果を示し、考察を加えた。

2) 供試体: 支間120cmの溶接H形鋼(H148×100)と圧延H形鋼の単純ばりを各々2体製作し、支間中央一実荷重載荷と20cm離れた二実集中荷重を中央部に載荷する場合を行った。ひずみ及びたわみを測定しつつ載荷し、理論塑性モーメント荷重(P_{Pl})を十分に越えた時まで載荷し、除荷した後、上記の方法により、支間中央部のリューダース線模様を撮影した。

3) 数値解析法: 棒要素を用いたマトリクス弾塑性解析法¹⁾²⁾により数値解析を行った。断面分割法により、部材要素面端の断面細要素の重心に実歪を計算し、直歪が降伏歪を越えた時降伏したものと判定した。計算に用いたたカー歪関係は、引張試験で得たたカー歪曲線そのものでなく、弾性部直線と、下降伏歪より歪硬化部曲線に引いた接線よりなるbi-linear型の関係を用いた。また、残留た力は、切断法によりあらかじめ測定し、自己つり合い条件で補正したものを断面細要素の初期た力として考慮した。

4) 実験値と解析値の比較: 荷重を増加するにつれ、塑性域の進展状況が計算されるが、実験に於ても、ほぼ同じ順序で、対応した位置にリューダース線模様が発生するのが観察された。ここでは、それぞれの供試体について、最終荷重時の支間中央部ウェブのリューダース線模様の写真と計算による塑性域分布図を示す。図中、 P_{Pl} は塑性モーメント荷重を示す。数値解は、階段状直線で表され、その内側が降伏域である。

5) 考察: a) 写真に見られるリューダース線(ひびのように黒く写った部分)は、実験の際、負荷の大きい所で発生し、負荷の増加と共にその長さも太さも増して行く。b) 負荷を受けた軟鋼(リューダース材料)内の実歪は、降伏歪に等しいか小さい歪の領域(弾性領域)と、歪硬化開始歪(ϵ_{st})に等しいか大きい歪の領域(リューダース線模様としてとらえられるすべり領域)の二つが存在せず、 $\epsilon_y < \epsilon < \epsilon_{st}$ なる歪を有する歪は存在しないという考えが視覚的に確認できる。c) しかも、この二つの領域は、写真に見るように想像以上の寸法の間隔で不連続的に生じている歪は、注目し値する。すなわち、これら供試体を、有限要素法で、細かにメッシュ切りして解析したとしても、連続体の力学を基礎にするかぎり、厳密なた力、歪は求め得ないことになるからである。このことは、塑性域でのた力(ひずみ)集中の解析等では、特に問題になる可能性がある。d) 一実載荷の写真では、載荷直下は、パンチングの際に見られる同様に円状のリュー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針状のリューダース線が交錯しているのが観察される。e) リューダース線の先端を結ぶ包絡線を考えれば、それに囲まれる領域は、本計算で得られた塑性域にほぼ対応しているが、圧延材二実載荷の中央一様モーメント部分でのリューダース線の発生は、一様でない。f) 残留た力の影響もリューダース線模様の発生領域として、はっきり現れ、計算結果との対比が確認される。

g) 溶接H, 圧延Hと材質が異なれば、リューダース線模様も微妙に異なる。特に、圧延Hの今回の供試体では、ぜい性材の割れの時に見られる円弧状のひびのようなリューダース線が、ウェブ上部から下部に貫通しているのが特徴的である。今後は、リューダース材料で、切り欠き孔を有する板の場合や、非リューダース材料(高張力鋼、コンクリート等)のすべりまたは、亀裂の撮影法の開発に発展させたいと考えている。

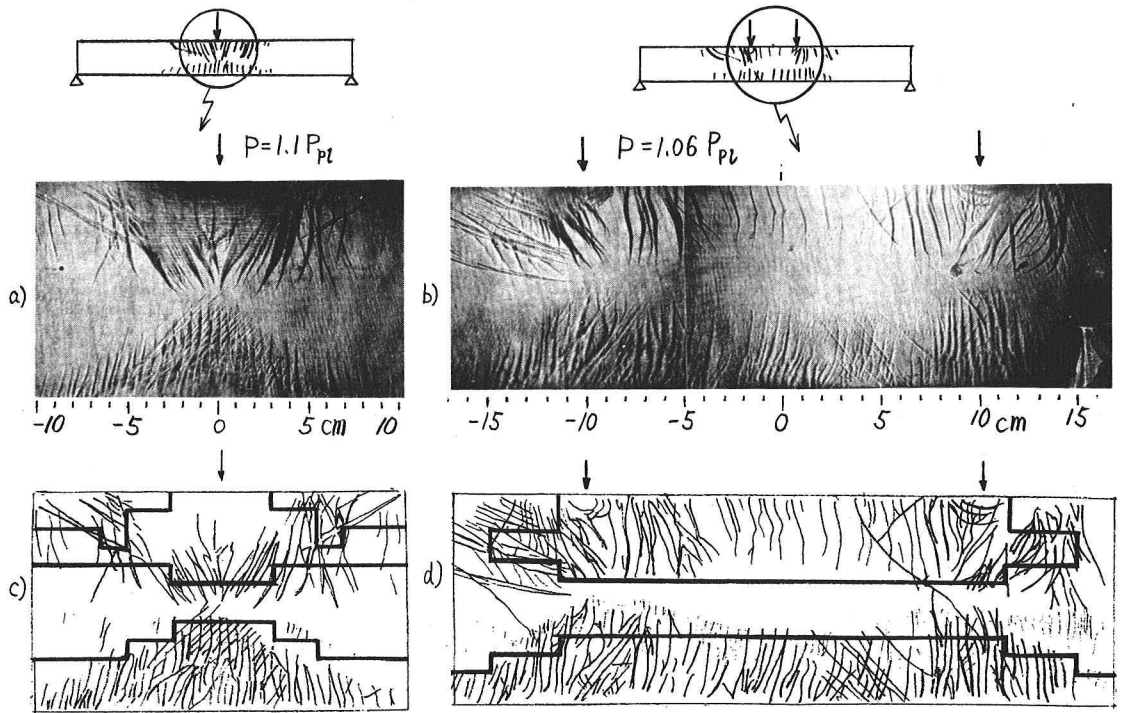


図-1 溶接はりの塑性域 a)-実載荷(写真) b)-実載荷(写真) c)-実載荷(数値解) d)-実載荷(数値解)

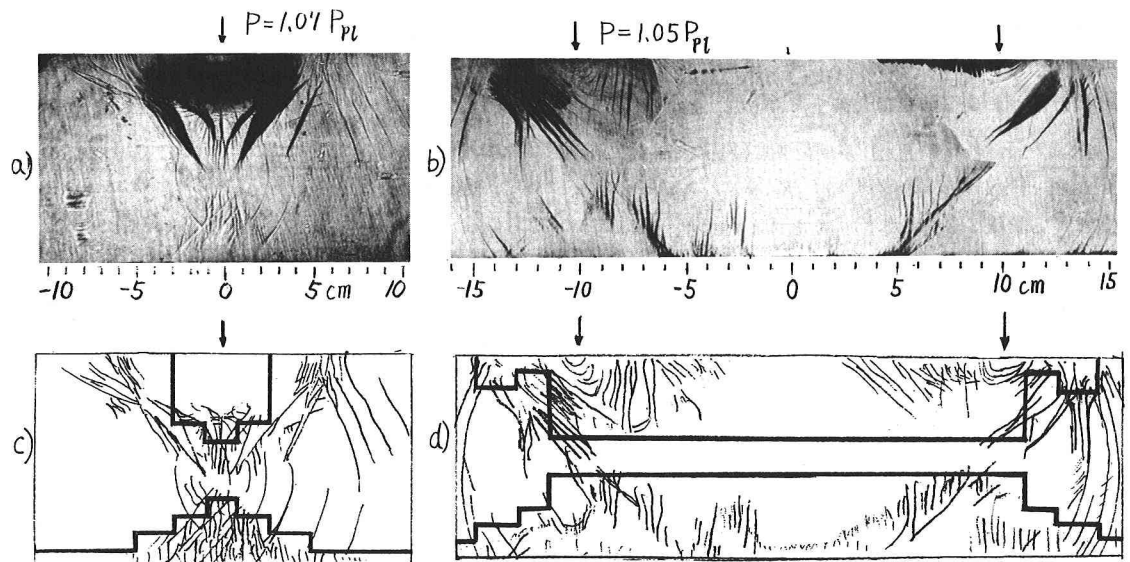


図-2 圧延はりの塑性域 a)-実載荷(写真) b)-実載荷(写真) c)-実載荷(数値解) d)-実載荷(数値解)

参考文献 1) 崎元・宮崎・平井「はりの塑性域分布の直接撮影法について」昭57年度 西部支部 概要集 '83.2, p86-87.

2) 小松・崎元「Nonlinear Analysis of Spatial Frames ...」土木学会論文報告集 No.252, 1976.8, p143-157.