

PSI-5 レーザーシュリーレン法による 鋼の降伏域の直接撮影法

熊本大学 正員 崎元 達郎
五洋建設 横大路桂吾
熊本大学 宮崎 靖男
熊本大学 正員 平井 一男

1)はじめに: 鋼構造物の終局強度や耐荷力を知るためには、弾塑性域での挙動を明らかにする必要がある。有限要素法などの数値解法によって構造物の弾塑性挙動を解析できるようになったが、なんらかの仮定に基づいている限り、解析結果が降伏域の進展等の現象をうまく説明し得ているか確認する必要がある。ところで、実験において、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状況、分布状態を知ろうとする時、無力に近い。一方、金属の表面を鏡面のように研磨した後、負荷すると金属の原子間にすべり(転位)を生じ、光の乱反射によるくもり模様(Flow figures, Luders band)が観察されることは古くから知られている。この模様は、肉眼でも見る角度により見失う程度のコントラストで、通常の写真撮影は困難であるが、Nadai¹⁾は、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、光源にレーザーを用いた同様の方法により、リュードース帯模様を直接撮影する方法について報告した²⁾。しかし、暗室で行う必要がある、静止画像である、載荷しつつ撮影出来ない、等の問題点があった。本報では、これらの問題点を改良した方法について述べ、撮影したリュードース帯模様と有限要素法による降伏域の解析結果との比較検討について報告する。

2)撮影法の原理と実験装置: 図-1に実験装置を模式的に示す。まず、負荷前に、供試体の観察する部分をエメリー研磨紙により研磨し、cc1200程度で、鏡面のように仕上げる。つぎに、供試体を試験機にセットし、レーザー光をあてる。この時、測定部分をカバーできる程度に凹レンズで光束を広げる。研磨面で反射された光は、2枚の凸レンズで集光される。光束が最も細くなった点にスリットを置き、リュードース帯で乱反射した光をカットした後、すりガラス製のスクリーン上に像を結ばせる。すると、リュードース帯模様の部分は暗く、その他の部分は明るく写るので、これを、ビデオカメラで撮影しビデオテープに収録する。ビデオ画像は、実験中も実験後も、随時、ブラウン管でモニターでき、必要に応じて、ハードコピーを取ることができる。

3)供試体と数値解析法: 板厚9mmのSS41材で作成した図-2に示すような供試体を作成し、リュードース帯を直接撮影した。並行して、文献3)に示す有限要素法により塑性域の進展状況を数値解析した。要素は平面ひずみ要素を用い、応力-ひずみ関係は図-3に示すように引張試験から得られた関係(破線)をbi-linear関係に

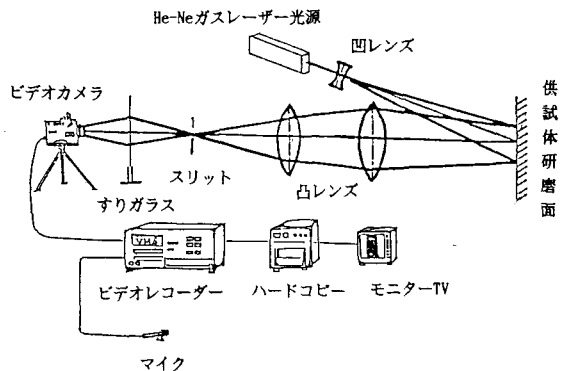


図-1 撮影法の原理と実験装置

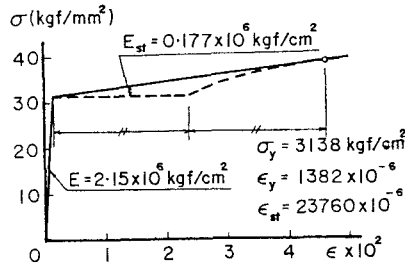


図-3 応力-ひずみ曲線

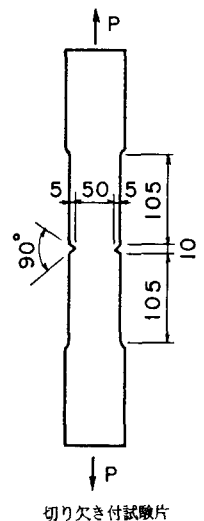


図-2 実験供試体

なおしたものをを用い、降伏は次の式で表される

von Misesの降伏条件で判定した。

$$\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2 = \sigma_0^2$$

4) 実験結果と解析結果：ここでは、切り欠き試験片について図-4に示す。実験では、応力集中を生じる両側の切り欠き先端より図-5に示す板面外のすべりによるリュードース帯が生じ（ $\alpha_1=52$ 度前後）、板幅内に貫通し大きく広がった後しばらくして、両側の切り欠き先端より板面内のすべりによるリュードース帯が板幅の中央に向かって（ $\alpha_2=42$ 度前後）進行する。左右上下の4本の面内のすべり線は、応力の大きい所から順不同に生じ、左右から進展したすべり線の内、先に進展したものが板幅方向に貫通し、後から進展してきたものは、交差後それを貫通しては進展しない。解析では、平面要素を用いているので、板厚方向に生じる板面外のすべりに対応する現象は解析できない。したがって、切り欠き間中央部の降伏域は得られない。しかし、切り欠き先端から約42度方向に進展する降伏域が解析される。それは、14.5t程度では線状をなし、面内すべりによるリュードース帯によく対応するが、やがて図-4b)のように拡大する。解析は2軸対称を仮定して1/4部分のみ行ったので、当然ながら先に述べた左右非対称な実験結果とは一致しない。

この他、供試体の裏面に接着した抵抗線ひずみゲージによる測定結果より次のことが明らかになった。i) その点の計算上のひずみ値が降伏ひずみ値に達していても、リュードース帯がゲージの抵抗線を横切らないかぎりひずみは降伏ひずみを越えない。ii) リュードース帯がゲージの抵抗線を横切るとひずみは降伏ひずみ値を越える。すなわち、リュードース帯の部分のみが降伏域であることが確認された。iii) ゲージの抵抗線の部分がすべてリュードース帯内に含まれた時のひずみ値はひずみ硬化開始ひずみ ϵ_s の70%程度以上で一定しない。これは、同じ様に見えるリュードース帯でもすべり線の発生程度によりひずみの程度が異なり、すべる可能性のあるすべてのすべり面がすべてた状態でひずみが ϵ_s に達すると推定される。iv) リュードース帯がゲージの抵抗線を横切らない（ひずみ値は降伏ひずみ値以下）場合でも、ゲージがリュードース帯近傍にある場合は、影響を受けて、除荷後もひずみが残留する（みかけ上塑性的挙動をする）。v) ひずみの大きさは、引張軸方向が最大で、リュードース帯の進展方向との関係は見出せなかった。

5) あとがき：リュードース帯模様を直接撮影し、固定画像として得る方法について報告した。また、リュードース帯のみが降伏域であることを確認した。また、この種の鋼材の降伏は、現象としては不連続に生じ、連続体の力学で計算される結果とは、かならずしも対応しないことが明らかになった。他の供試体の結果を含むより詳細な結果は、ポスターセッションにて発表予定である。

熊本大学工学部材料開発工学科の頃田英機教授には有益なご意見をいただいた。数値計算には、九州大学大型計算機センターのFACOM M-382を使用した。また、本研究は、昭和61年度科研費（試験研究2）の助成を受けた。

参考文献 1) Nadai, A. "Theory of flow and fracture of solids" McGRAW-HILL, 1950.

2) 崎元他 "鋼はりの塑性域分布の直接撮影法について"、第38回全国大会講演概要集（第1部門）S.58.9

3) 山尾、崎元 "板要素とはり要素の結合による薄肉鋼構造物の・・・" 構造工学論文集、Vol.32A, 1986.3

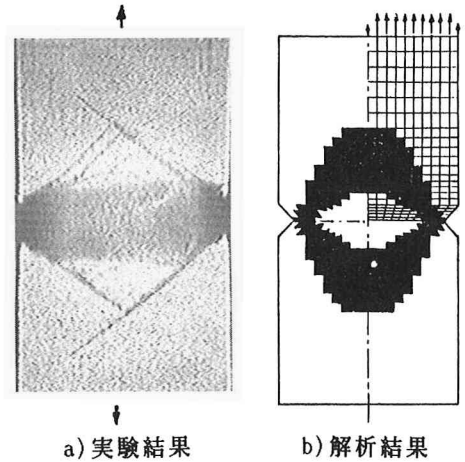


図-4 降伏域の進展(P=14.8t)

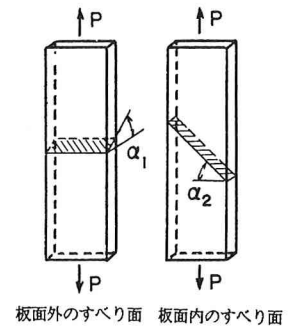


図-5 すべり面の方向