

応力とかたさの関係について

小笠原 淳

Relation of Stress and Vickers Hardness

Jun OGASAWARA

1 緒 言

かたさ試験は材料試験の一つとして、その簡便さの故に広く用いられている反面、かたさの定義は他の物理量のように明確でなく、使用目的に応じた解釈のもとに、引張強さ、降伏強さなど、種々の性質の目安として用いられ関係式もいくつか示されている。

Tabor¹⁾らはかたさ H と降伏応力 σ の間に $H=C\sigma$ の関係を示し、引張り試験を行なわないで材料の降伏強さを推定できるとしているが、測定すべき材料に残留応力が存在するときは、残留応力によりかたさが変化することが知られ、かたさと応力の影響の問題に関して現在までにいくつかの報告がなされている。

すなわち、ブリネルかたさにおける引張りまたは圧縮応力とかたさの関係についてのG.SinesとR.Carson²⁾の実験、A.Dervishyan³⁾の実験、ロックウェルかたさにおける圧縮応力とかたさについての⁴⁾大和久、宮下の実験、ビッカースかたさにおける引張り、圧縮応力とかたさについての^{5) 6)}平らの実験などがある。

この結果、かたさは試料表面の内部応力により影響を受け、引張応力により減少し、圧縮応力により増加し、引張応力の方が大きく変化することが知られ、また、かたさと応力の間には直線関係があるとされている。

しかし、応力とかたさの関係が材料によりどのようなかはまだ明らかでなく、このためには異なる材料に

対しての多くの実験結果の比較が必要とされる。

本実験は、試料としてS40C, SK 4, SNC 3, SUS27の4種を用い、この実験のために製作した曲げ装置をマイクロビッカースかたさ試験機に取り付け、弾性限度内の曲げ応力を与えて、応力下におけるかたさの変化を調べたものである。

2 実験方法

2.1 試 料

実験に使用した試料は、機械構造用炭素鋼 S40C, 炭素工具鋼 SK 4, ニッケル・クロム鋼 SNC 3, ニッケル・クロム系ステンレス鋼 SUS27 の4種で、いずれも厚さ3 mm, 幅10 mm, 長さ30 mmの板状に加工後、エメリー仕上げ電解研磨を行ない真空炉により標準熱処理を行なった。表1に試料の化学成分ならびに機械的性質を示す。なお試料枚数は種別により異なるが3~5枚である。

2.2 かたさならびに応力測定について

本実験用に製作した曲げ装置の概要は図1に示すもので、図2に見るようにマイクロビッカースかたさ計に取り付け、試料に弾性限度内の曲げ荷重を与えることにより、試料に圧縮ならびに引張応力を与えかたさを測定した。

微小かたさについては測定精度、ばらつきの問題、押込荷重とかたさに関する荷重依存性などいろいろな問題

表 1 材料の化学成分および機械的性質

	化 学 成 分 (%)					機 械 的 性 質						
	C	Si	Mn	Ni	Cr	降 伏 点 kg/mm ²	上 降 伏 点 kg/mm ²	下 降 伏 点 kg/mm ²	引 張 強 さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %	弾 性 限 kg/mm ²
S 40 C	0.44	0.34	0.65	—	—	—	40.9	39.3	63.4	32.0	57.8	25.4
SK 4	1.00	0.34	0.86	—	0.25	—	43.1	40.4	67.5	32.3	58.9	23.6
SNC 3	0.33	0.34	0.45	3.60	0.76	—	53.9	52.7	71.4	31.7	67.1	33.0
SUS27	0.33	1.10	1.65	9.27	19.45	26.8	—	—	66.9	52.7	46.7	12.7

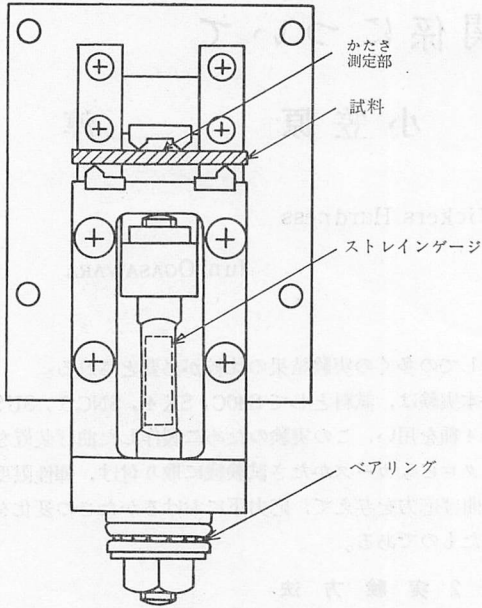


図1 曲げ装置

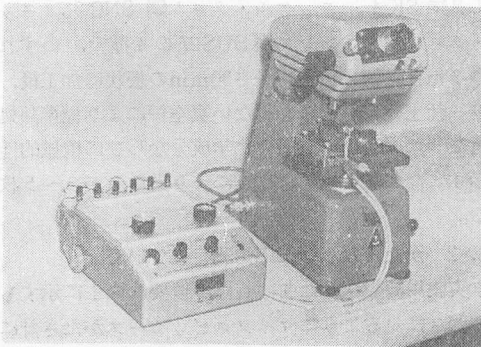


図2 実験装置

があるが、測定はおもに筆者が行なうことでばらつきを避け、また測定面は板厚3mm分のごくわずかの部分であるので押込荷重として100gを用い(1部500gを使用)、圧こんのかたさに及ぼす影響を考慮して圧こん間隔を200 μ とし、各試料について圧縮側から引張側まで13~14点を2~3列かたさ測定を行なった。なお、川崎の実験によれば55°Cで9%の引張加工を与えた後の軟鋼のかたさの上昇は100分まで割合ゆるやかであるとされているが、かたさ測定中の応力の変動と硬化を避けるため、負荷時間は可能な限り短くとることにつとめた。

負荷中の試料に生ずる応力の測定は抵抗線ひずみ計によった。すなわち、製作した装置の引張荷重をかける柱部の底面に引張方向にそってひみずゲージ(ベークライ

トゲージ、ゲージ率2.00)を張り付け、共和製SM-60ATひずみ測定器によりひずみを読みとり、それより負荷荷重を求め試料に生じている応力を計算する方法をとった。ひずみ-荷重の検定に用いた直線は図3の通りで、あらかじめ既知の荷重を負荷することによりひずみを求め直線性の補正を行なった。マイクロピッカースかたさ計に取り付けた装置全体の写真を図2に示した。

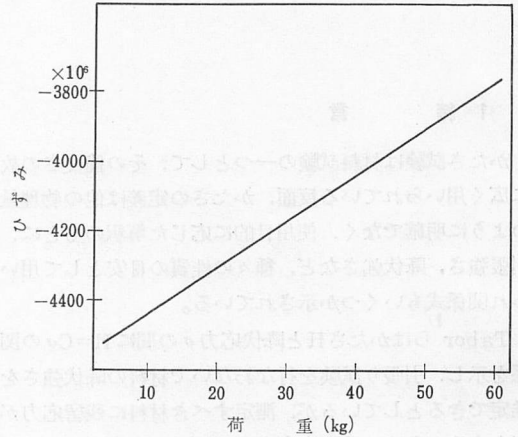


図3 荷重-ひずみ図

3 実験結果および考察

3.1 応力によるかたさの変化について

図2に示す装置によって弾性限度内の応力を試料に与えた場合の応力とかたさの関係を図4に示す。いずれも押込荷重は100gの場合で、横軸に応力、縦軸にマイクロピッカースかたさをとってある。いずれの場合も、かたさは圧縮応力によって増加し、引張応力によって減少し、圧縮応力側と引張応力側とは変化の割合はことなっている。

この結果から、圧縮応力側では引張応力側に比べて測定値のばらつきが大きくなる傾向はみうけられるが、A. Dervishyan³⁾や平ら⁶⁾の報告のように、応力とかたさの関係は直線的であると考えられ、圧縮側に比べて引張側では直線の勾配が大きくなっている。4種の折れ線の勾配について考える場合、第1として平らの報告(炭素鋼焼なまし材の場合)のように、かたさはほぼかたい材料ほど変化割合が大きくなるものとみられ、第2として、本実験の4種の試料のうち、S10C、SK4は炭素鋼系としてその直線の勾配はやや似た傾向にあり、SNC3 SUS27はニッケル・クロム系として炭素鋼系に比べて圧縮側の勾配が大きくなり、圧縮側と引張側が一本の線に近づいてきている。

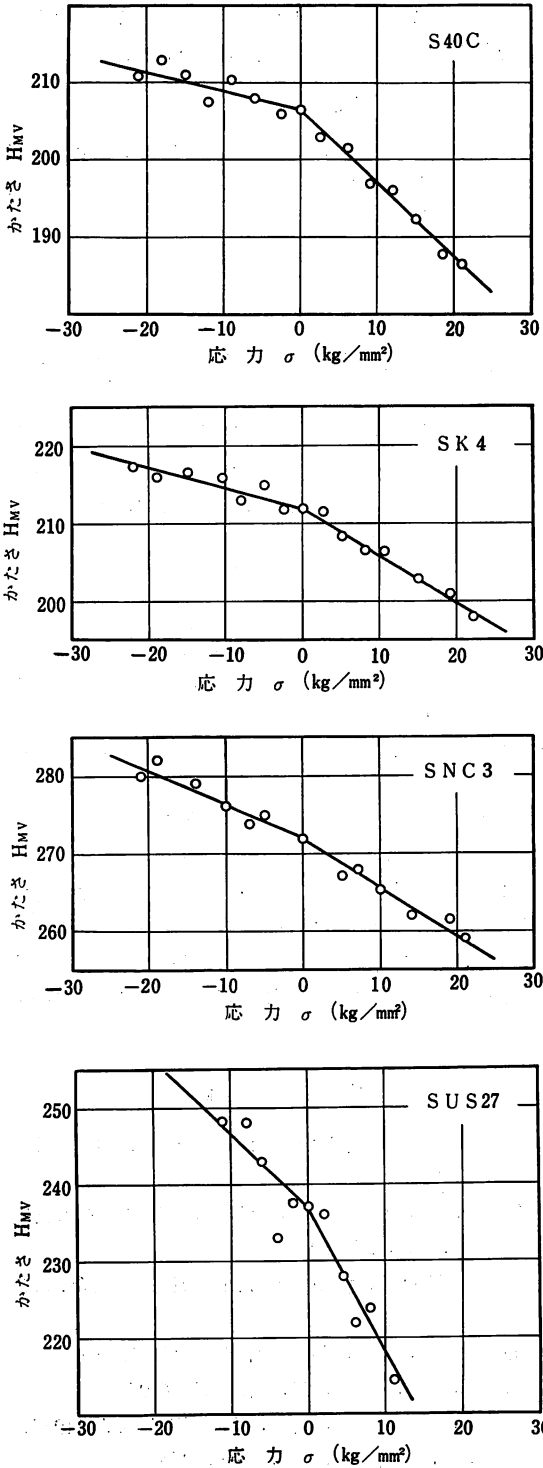


図4 応力とかたさの関係

以上から、かたさが大きく残留応力をもつ材料では常にかたさ測定値にこの影響を考慮する必要があるが、材料の組成のちがいによっても応力とかたさの関係が異なってくることを考慮しなければならず、応力とかたさの関係の複雑さがわかる。

なお、SUS27の勾配は他の3種にくらべて異常にきつくなっているが、これは何に起因するものかまだ不明である。

マイクロビッカースかたさは押込荷重による荷重依存性が問題になるが、図5は押込荷重を500gとした場合

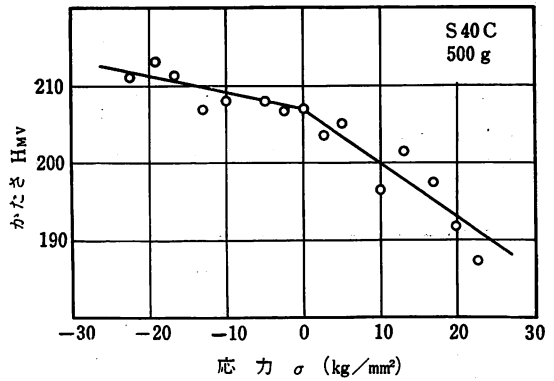


図5 応力とかたさの関係

のS40Cの応力とかたさの関係である。図4のS40Cの場合に比べて折れ線の勾配がやや小さくなっていることがわかる。ここで試料負荷応力は弾性限度内にとどめているので、応力負荷状態に対しての試料の押込荷重による変形はほぼ一定と考えられるから、応力によるかたさは相対的に変わらないものと考えられ、このS40Cの2本の折れ線のちがいはマイクロビッカースかたさの荷重依存性によるものと思われる。

この引張応力によりかたさが減少し、圧縮応力によってかたさが増加することについて、G.Sines²⁾らは最大せん断応力説に基づき、負荷応力が圧子押込時の降伏に影響を及ぼす、すなわち圧子直下で試料表面と 45° をなす面での圧子荷重によるせん断力と引張応力によるせん断力の方向が一致する事より、降伏が容易になるためにかたさが変化するものと説明しているが、この説では圧縮応力によるかたさの変化はないことになる。また、平ら^{5) 6)}はHillの塑性理論により圧子の押し込みによる応力の解放という見地から定性的に説明している。すなわち、圧子押込時に試料表面は局部的に2つに分けられるが、引張応力があるときは更に圧子の外側に移動して圧こん対角線が増大してビッカースかたさは減少し、圧縮応力が存在すればこの応力により圧子より内側へ移動してか

たさが増加するものと説明し、また、三主応力成分を考慮に入れて降伏条件を考えるために八面体せん断応力説の適用を試み、実験結果の解明に進展が見られるが、三次元問題としての完全な解明は非常に困難でまだ見られない現状である。

3.2 圧こんの形状変化について

押込荷重 100g によりかたさ試験を行なったときの、ビッカース圧こんの付加応力の方向とそれに直角な方向の対角線長さの比を求めたのが図6である。図6において横軸には応力 σ をとり、縦軸には圧こん対角線比 a/b をとった。ここで、応力方向と一致した圧こん対角線長さを b 、応力方向と直角の方向の対角線長さを a としてあ

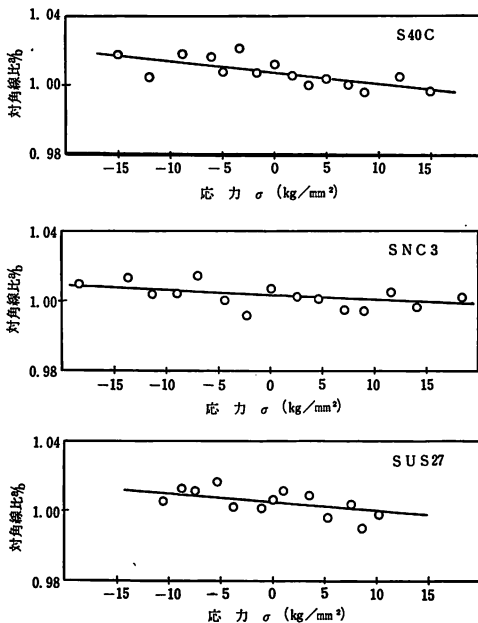


図6 圧こん対角線比

る。

図にみられるように、ばらつきは大きいがかたさによってほぼ直線的に変化していることがわかるが、この形状変化について平らは、弾性回復時に生ずる差であるとし、応力方向および直角方向で塑性変形量が異なり、従って弾性回復量にも差を生じて対角線長さに差が出ると説明し、かたい材料ほど応力による対角線比が大きく変化すると述べている。しかし本実験においては、試料のかたさによる差は明らかでなく、わずかに直線性を知らるに止まった。ここでも応力とかたさの関係において

考えられた、炭素鋼系とニッケル・クロム系の相違が、変形の程度に影響を及ぼしているかどうかは興味のある点であるが、今回の結果からは不明である。

4 結 言

S40C, SK 4, SNC 3, SUS27 の 4 種について、弾性限度内の応力下におけるかたさの変化を調べた結果は次のようである。

(1) かたさは圧縮応力によって増加し、引張応力によって減少するが、その変化の状態は直線的である。直線の勾配は引張応力による場合の方がきつくなっている。また押込荷重が増したときは直線の傾きが小さくなり、これは微小かたさの荷重依存性によるものと思われる。

(2) かたさの変化は、かたい材料ほどその程度が大きくなるものと考えられる。

(3) 応力とかたさの関係を表わす直線は、炭素とニッケル・クロム系では異った傾向があり、後者の圧縮側の傾きは前者のそれより大きく、材料の組成による相違が考えられる。

(4) ビッカース圧こん形状において、応力と圧こん対角線比の関係は直線的とみられるが、本実験では試料による相違は明確でない。

今回の実験は試料の種類も少なく、まだ不明確な点が多い。今後、材料の組成による相違や加工の程度による挙動の相違など更に検討する必要がある。

終りにのぞみ、この実験における曲げ装置ならびに試料は島津製作所紫野工場工場長代理松下鶴三氏によって準備されたものであることを付記し、秋田大学鉱山学部教授芹田陽氏の御配慮と共に両氏に対し深く感謝申し上げます。また実験にあたり本校機械工学科杉沢、樋渡両技官の協力を得た事を感謝します。

文 献

- 1) D. Tabor, Proc. Roy. Soc. A, 192, 247 (1948)
- 2) G. Sines and R. Carlson, ASTM Bulletin No. 180, 35 (1952)
- 3) A. Dervishyan, ASTM Bulletin, No. 215, 71 (1956)
- 4) 大和久, 宮下, かたさ研究会資料, 32—36
- 5) 平, 吉岡, 材料, 11, 105, 386 (1962)
- 6) 平, 松木, 三木, 材料, 16, 171, 1027 (1967)
- 7) 川崎, 材料, 13, 129, 445 (1964)