

## 報 文

## 基礎的材料試験に関する一考察

香川職業訓練短期大学校 堀 家 覚・島 田 公 八  
西 田 真 之

### A Examination On Fundamental Material Testing

Satoru Horike, Kōhachi Simada, Masayuki Nisida

**要 約** 今回、機械工学の材料試験分野において最も基礎的な引張試験についてCAD、三次元測定機を用いて実験を行い、今後、新しい機器や装置を有効に利用した実験システムについて教材の観点より検討する際の一助とする。今回は、軟鋼薄板材とその焼きなまし材を用いて行った実験の結果を報告する。

試験材としては、冷間圧延鋼板(SPC-C)を用い、CNCタレットパンチプレスで加工したJIS 5号試験片とした。焼きなましは試験片が酸化されないよう真空熱処理炉により行った。また、試験片には変形の様子を見るために円形模様を印刷した。引張速度は5mm/minから500mm/minまでの6段階とし、それぞれの試験片について、引張強さ、降伏強さ、降伏比、破断強さ、破断伸びを求めた。さらに、それぞれの試験片について、円形模様よりひずみの測定および解析を行った。

## I はじめに

最近の技術革新の進展は急速であり、われわれの生活の様々な分野において従来の考え方を一変させつつある。機械工学の分野においても、情報化、新素材の開発、加工技術の高効率化、高速度化や高精度化など、先端加工技術の開発とその変化は急激である。

しかし、そうした状況の変化においても、基礎的教育訓練の重要性は変わることなく、むしろそのような時代であるからこそ、修得した確実な基礎的知識を各分野で応用できる技術者の重要性はますます増している。

さらに最近では、今までは用いられなかった先端的な機器や装置が一般に広く普及してきており、教育現場においてもこうした機器が手軽に利用できるようになった。そのため、従来では不可能であったり、経費や時間的な面から困難であった実験もできるようになってきている。

そこで今回、材料の機械的性質を調べるためのもっとも基礎的、かつ重要な方法である引張試験の再検討を試みた。引張試験は、材料のもつ基本的な性質である引張強さ、降伏強さ、伸び等の特性値が得られる。また、加工

硬化指数、r値、異方性等は成形性、形状性の評価のための重要なデータになる。しかしながら、実験装置や方法等の点において、多くの実験手引書には従来どうりのことしか書かれていない。このことから教育現場の現状に即して、より多角的に教材としての観点から引張試験をとらえる必要性がある。

特に、多くの実験手引書には降伏現象のより明確な焼きなまし材を用いた応力-ひずみ線図で書かれているが、市販の圧延材では塑性変形がすでにある程度進展しており、明確な降伏現象がみられない。そのため、教科書に書かれているような理想的な応力-ひずみ線図は得られない。また、最近の市場の多様化は製品のサイクルを短くし、より効率的な加工方法を要求しており、加工速度の高速度化が著しく進んでいる。こうした状況より今回は、冷間圧延鋼板とその焼きなまし材について、引張速度による影響を調べ検討した。

## II 実験方法

### 2-1 試験片と製作方法

試験片はSPC-C(公称板厚1.0mm)を用い、形状、寸法はJIS Z2201に定める5号試験片にした。(図-1参照)

試験片はCNCタレットハンチプレスを使用し圧延方向に対して90°で連続打ち抜きを行って製作した。

そして試験片の半数を真空熱処理炉で、900℃×20分の焼きなましを行った。

さらに、試験片の全体の変形を見るために引張試験前に図-2のようなCADで描いた模様を印刷し、試験後に変形量を三次元測定機で測定した。

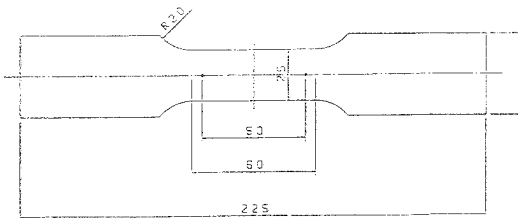


図-1 試験片の形状・寸法

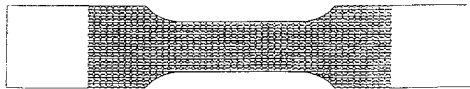


図-2 試験の模様

### 2-2 引張実験

試験機は、5トン万能引張圧縮試験機を用い、荷重はロードセルにより、伸びはクロスヘッドの移動量を直接とり、付属のデータ処理装置で処理した。同時に、出力端子からの信号電圧をAD変換器を介してパソコンに入力した。

引張速度は5, 20, 50, 100, 200, 500mm/minの6種類とした。

試験片は焼きなましをしない圧延のままのもの（以後圧延試験片と呼ぶ）と焼きなましをしたもの（以後焼きなまし試験片と呼ぶ）の2種類を用い、各引張速度について、それぞれの試験片を10枚ずつ引張試験した。

### 2-3 ひずみの測定

引張試験で破断させた試験片において、各引張速度の条件に対して、圧延試験片と、焼きなまし試験片とを各々3枚ずつ抜き出し、三次元測定機を用いてひずみの測定を行った。図-3に測定した長径A、短径Bの箇所を示す。

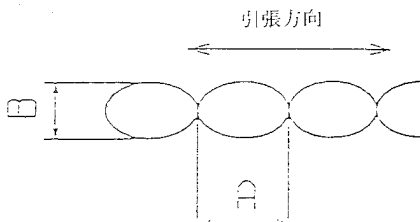


図-3 測定箇所

今回は測定に要する時間と労力を考慮してひずみが最も正確に測定できると考えられる中央部の長径と短径方向の測定だけにとどめた。測定精度に関しては、三次元測定機の測定精度が1000分の1ミリメートルであり、また、測定に使用した測定用顕微鏡の倍率が20倍であることなどより、測定の人的要因によって生じる誤差を加味しても100分の1ミリメートル程度の精度が期待できると考えられる。なお、測定データは一日フロッピーディスクに保存した後、パソコンを用いて処理した

## III 実験結果と考察

### 3-1 機械的性質について

最初に、装置のデータ処理機で作図した荷重-伸びのグラフと、装置の出力端子からの信号電圧を基に作図したグラフを比較した。すると、100mm/minの引張速度から遠くなってきて500mm/minの時に最も大きく違っていた。50mm/min以下の速度では差はなかった。これは、引張速度が大きくなると電圧の変化に記録ペンが追従できなくなるからだと思われる。図-4と図-5に5mm/minと500

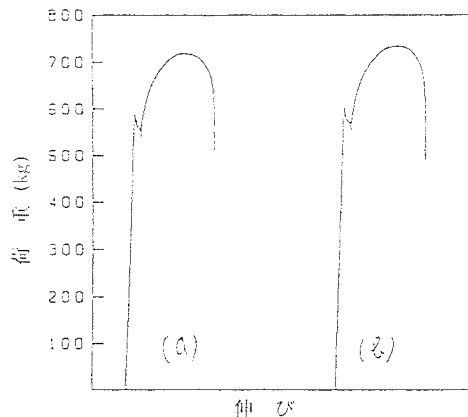


図-4 荷重と伸び (引張速度: 5 mm/min)

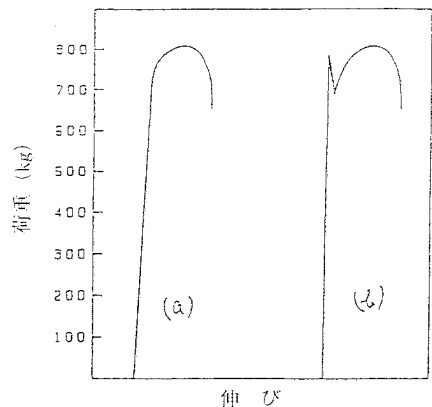


図-5 荷重と伸び (引張速度: 500mm/min)  
荷重 (kg)

mm/minの引張速度におけるそれぞれのグラフを示す。

(それぞれの図の(a)の曲線は装置のデータ処理機で作図したもので、(b)の曲線は出力端子の信号電圧を基に作図したものである。) 5 mm/minの場合は両図とも同じになるが、500mm/minの場合には装置の作図したグラフに降伏点が出ておらず、記録ペンが電圧変化に追従できなかったことがわかる。故に、データは電圧から求めたものを使った。

次に、引張速度と引張強さの関係を表したものが図-6である。焼きなまし試験片の引張強さは引張速度の増加にともなって大きくなっている。ところが、圧延試験片の引張強さは引張速度が20mm/minから500mm/minにおいては焼きなまし試験片とほぼ同じ値を示しているが、5 mm/minになると逆に大きくなっている。

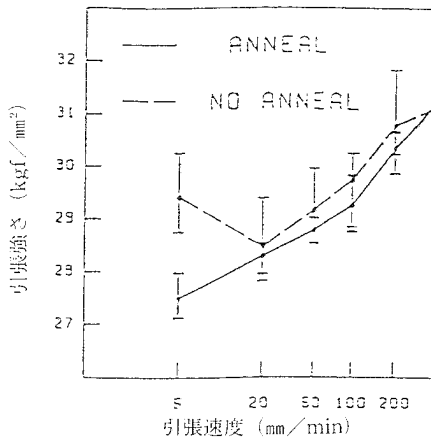


図-6 引張速度と引張強さ

図-7は引張速度と降伏強さの関係を表したもので、両試験片とも降伏強さは引張速度の増加にともなって大きくなっている。特に焼きなまし試験片の増加の割合は引張強さのそれよりも大きく、引張速度が500mm/minになると降伏強さは引張強さに近い値になっている。すなわち、引張速度は引張強さより降伏強さにより影響を与えることがわかる。

図-8は引張速度と降伏比の関係で、焼きなまし試験片は常に圧延試験片より大きな降伏比を示している。

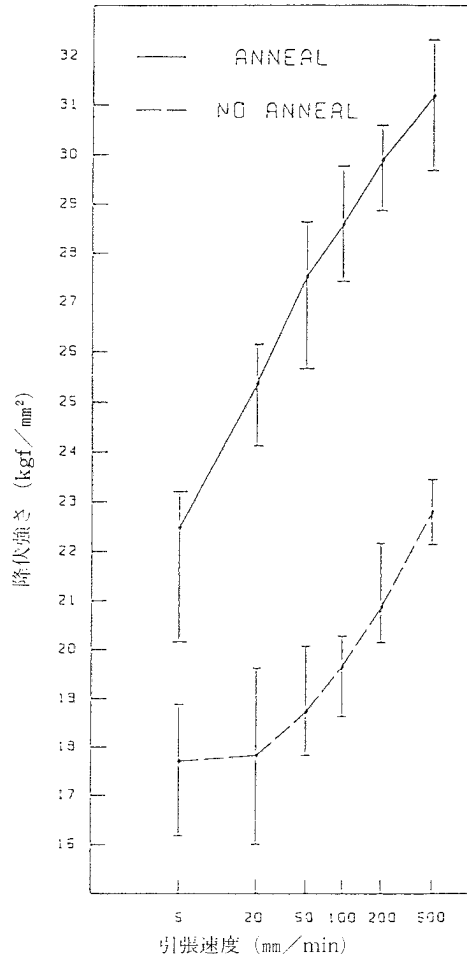


図-7 引張速度と降伏強さ

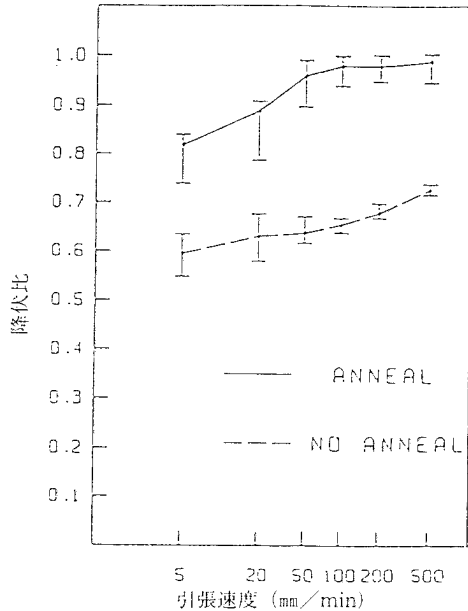


図-8 引張速度と降伏比

図-9は破断応力と引張速度の関係で、引張速度が100 mm/minを超えるとデータが安定し両試験片ともほぼ同じ値になっている。しかし、これ以下の引張速度ではデータがばらつき信頼性に欠けている。

これは測定装置の性能上荷重の変化が小さい場合、測定データの誤差が大きくなるためだと思われる。

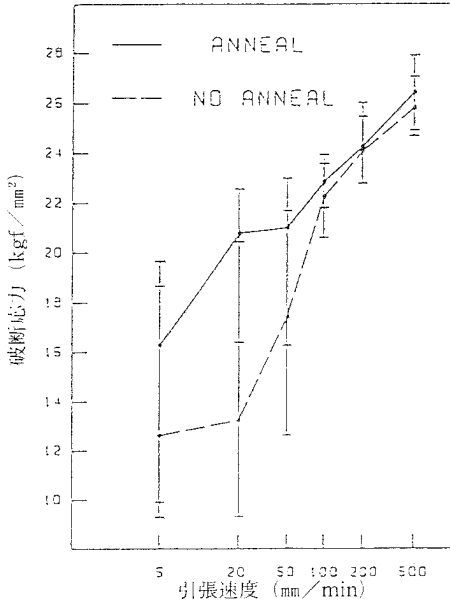


図-9 引張速度と破断応力

破断伸びと引張速度の関係は図-10のように両試験片とも引張速度の変化に関係なく、圧延試験片は43%前後、焼きなまし試験片は49%前後の破断伸びを示している。そして、どの引張速度に対しても約5~6%ぐらい焼きなまし試験片の破断伸びが大きくなっている。これは、降伏現象における伸びの差が出ていると思われる。

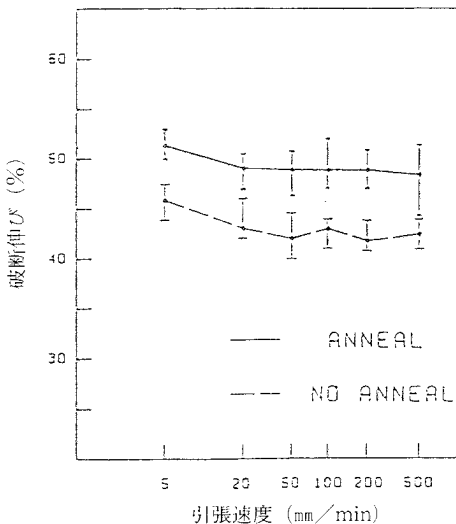


図-10 引張速度と破断伸び

### 3-2 ひずみについて

図-11は熱処理別に、変形前の試験片の各位置に対する変形後の長径短径比の様子を示したものである。長径短径比に関しては対数比  $[\log (B/A)]$  を取り無次元化してある。また図-12は同じ結果を破断位置を基準(各試験片の破断位置をグラフの中央にずらした)として記録したものである。これらの図より、ひずみは若干であるが焼きなましに依存し、焼きなましを施した試験片は全体的にひずみ大きいことがわかる。これは、破断伸びと引張速度の関係と同様に降伏現象における伸びの差が出ていると思われる。さらに、図-11において焼きなまし試験片の中央部分の変化が圧延試験片に比較して鋭くなっている。これは、焼きなまし試験片の破断部分がほぼ中央に集中しているのに対して圧延試験片の破断部分にばらつき

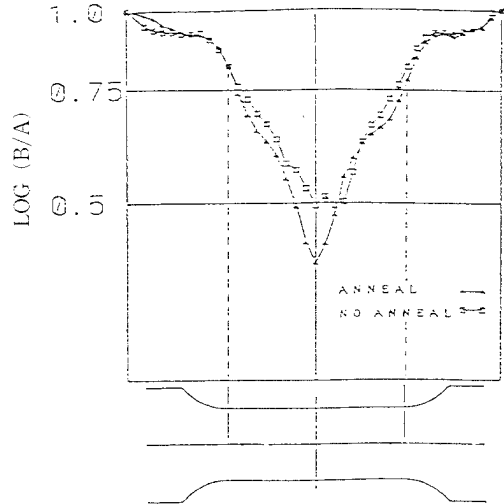


図-11 測定位置と変形の関係

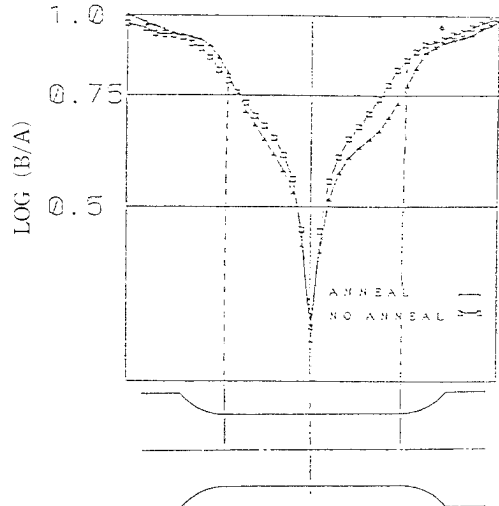


図-12 測定位置と変形の関係  
(破断位置を中央に合わせたもの)

が多いことを示している。なお、図-13は図-12の変化を縦横それぞれの対数ひずみにして表したものである。この図より、縦横の対数ひずみはその傾向において非常に良好な一致を示しており、長径短径の対数比〔 $\text{LOG}(B/A)$ 〕を用いて測定結果を表現した方が試験片に生じているひずみの特徴をより強調して表現できることになる。

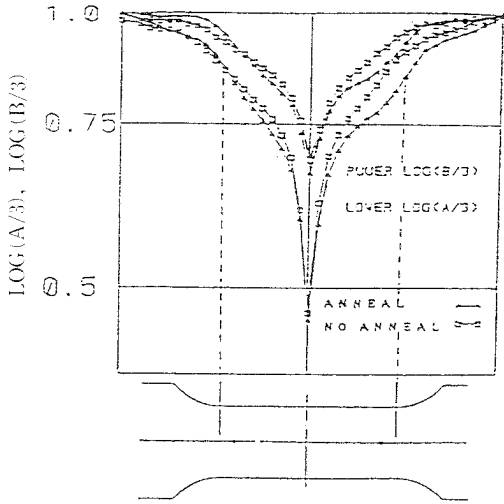


図-13 測定位置と対数ひずみの関係

図-14は図-11の傾きの変化をあらわしたものである。この図より試験片の両肩部の半径(以後Rと表す)部分を過ぎたあたりで傾きの減少、つまり変形の小さい部分の存在が確認される。図-15は図-12に関して同様の表現をしたものである。この図では、R付近の傾きの変化は図-14に比較してやや鈍くなっている。特にばらつきの激しい圧延試験片においてその傾向が顕著である。このことより、R部分の傾きの変化は破断の位置ではなくもとの

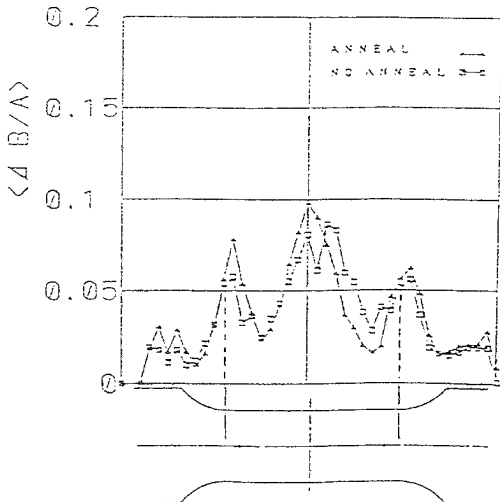


図-14 測定位置と傾きの関係

試験片の形状に依存する。つまり、Rを過ぎたあたりでの変化は、絞り等による影響よりも主にRの影響によって変形が抑えられているためと考えられる。このことから、純粹に平行部分の変化を観察したい場合にはRの影響の出る部分(今回の実験の場合はRの終わりから約15mmの領域)を考慮する必要があると考えられる。

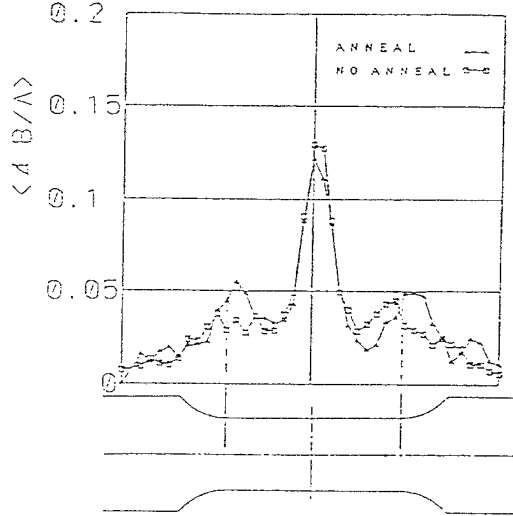


図-15 測定位置と傾きの関係  
(破断位置を中央に合わせた)

なお、図-16に示すように変形と速度の関係については今回の実験では確認できなかった。この確認に関しては更に精度のよい測定方法の考慮が必要であると思われる。

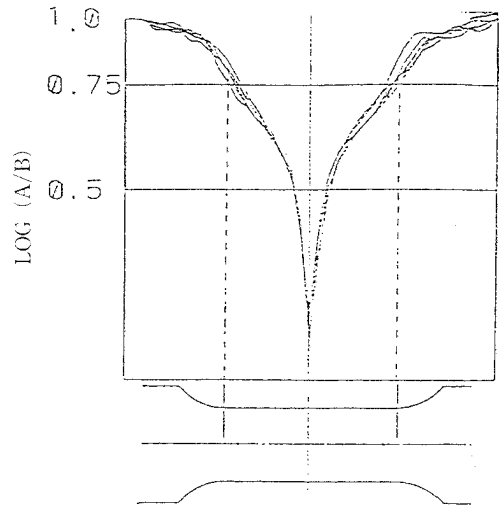


図-16 測定位置と変形の関係  
(速度別)

## IV 結 論

今回、CAD、三次元測定機、パソコン等を用いて引張試験を行って以下のような結論を得た。

1. 今回使用した引張試験機においては、100mm/min以上の速度において記録ペンが電圧変化に追従できなくなる。
2. 圧延材の場合、低速の引張試験においては20mm/minを境として引張強さが大きくなる傾向がある。
3. 当然のことながら、焼きなまし材の方が圧延材より伸びが大きい。これは、破断伸びの場合にも同様の傾向になっている。
4. 試験片の形状（R部）による影響が平行部（約15mm）に及び、くびれの影響と重なっている。
5. CAD、三次元測定機、パソコン等を用いることにより以前に比べ短時間に精度よくデータを収集することができる。

最後に、今回の実験にあたり終始ご協力いただいた情報システム科の山口力教官に心より感謝致します。

## V 参考文献

- 宮川大海・坂本庸晃：[金属学概論]，朝倉書店  
 中川元・遠藤達雄・盛中清和・光永公一：[材料試験法]，養賢堂  
 幸田成康：[金属学序論]，コロナ社  
 黒木剛司・大森宮次郎・友田陽：[金属の強度と破壊]，森北出版  
 [プレス加工便覧]，日本塑性加工学会編