

加工硬化した鋼材の疲労 (第8報)

福井伸二, 佐藤四郎*, 北川義雄

(1953年12月2日受理)

On the Fatigue of Work-Hardened Steel (8th Report)

SHINJI FUKUI, SHIRO SATO and YOSHIO KITAGAWA

(Received December 12, 1953)

ABSTRACT: The Ono type rotary bending fatigue limits are shown about specimens of 0.53% carbon steel after plastically deformed by statical tensile or compressive stresses. The experimental results are as follows: (1) Comparing with the annealed state, the fatigue limit falls about 4% and 1% respectively for about 1% strain of tensile and compressive pre-working, and then rises for large strain. This tendency is similar to that obtained by the usual carbon steel (2nd and §7 of 5th reports). The fatigue strength of specimens after tensile pre-working is weaker than that by compressive pre-working of the same degree. (2) Repolishing of surface after pre-working rises the fatigue limit, but the degree of rise is smaller than that on the usual carbon steel. (3) Results of statical tensile, compressive, and uniform bending tests on pre-working specimens, and hardness tests on the specimens stressed in a direction opposite to that of pre-working, are shown.

第1表 実験材料の化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.53	0.26	0.47	0.030	0.024	0.22

1. 緒言

前回までの実験はすべて 0.22% 及び 0.17% 炭素鋼という下降伏点踏み場が非常に大きく、且つ時効も顯しい材料を使用して来た。今回は 0.53% 炭素鋼を使用して、予め引張或は圧縮加工材の回転曲げ疲労試験を行つて、今迄の低炭素鋼を使用時の実験結果⁽¹⁾⁽²⁾と比較する。尚予め加工材の引張、圧縮、曲げ試験及び逆方向荷重にともなう硬度変化についても実験したので併せ報告する。

2. 実験材料と実験方法

実験に供した材料は直径 25 mm の丸棒の 0.53% 炭素鋼材で、その化学的成分を第1表に示す。実験に際しては 880 度で 1 時間焼鈍して用いた。

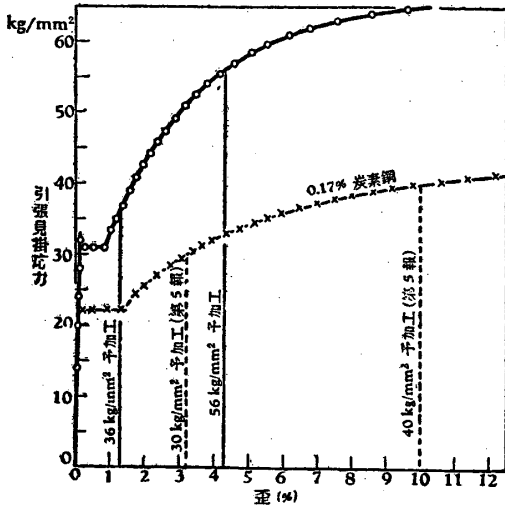
焼鈍材の引張見掛け応力と歪との関係を第1図に示す。比較の為に第5報第7節⁽²⁾で使用した 0.17% 炭素鋼材の応力-歪関係をも併せ示した。本実験に使用した材料でも下降伏点の踏み場の現象が見られ、降伏現象は 0.8% 程度の歪で終了して加工硬化の段階に入っている。0.17% 材では 1.4% 程度の歪で降伏現象が終了している。焼鈍材の機械的性質を第2表に示す。

疲労試験前に与える加工の程度としては、引張並びに圧縮加工共に 36.0 kg/mm², 56.0 kg/mm² の2種の見掛け応力を撰んだ。36.0 kg/mm² の予加工は第1図でも見られるように、降伏現象を終了した直後の加工程度である。引張塑性変形は直

* 保安大学校

第2表 焼鈍材の機械的性質

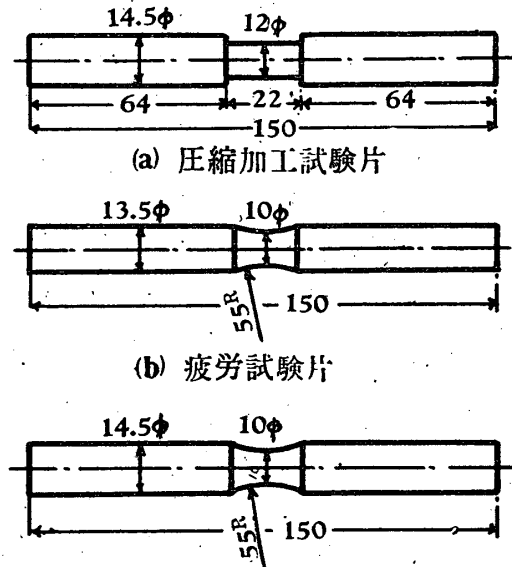
降伏点 kg/mm ²	弾性係数 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	破断強さ kg/mm ²	伸率 %	断面収縮率 %	硬 度 数	
						ブリネル	ヴィカース
31.0	2.08×10 ⁴	66.3	96.6	24.4	36.8	176	185



第1図 引張試験の応力-歪線図

径 15 mm, 長さ 150 mm の丸棒で与え, 圧縮塑性変形は第2図 (a) に示す如き試験片を, 第2報⁽¹⁾で示した圧縮装置の中に入れて与えた. このような加工を与えてから, いづれも第2図 (b) に示す疲労試験片を作り, 表面を電解研磨してから実験を行つた.

又塑性加工された表面の疲労強度に及ぼす影響を見る為, 第2図 (c) に示す試験片の表面を電解研磨した後, 第3表に示す塑性加工を与え, チャック部のみ試験機の掴み部分の直径 13.5 mm



(c) 引張並びに圧縮加工試験片

第2図 試験片の寸法, 形状

に切削して疲労実験を行つた. 向いづれも塑性変形を与えてから, 軟鋼を使用した時と同様に, 少くも1ヶ月以上の期間を置いてから疲労試験を行つた.

使用した疲労試験機は小野式回転曲げ試験機で毎分 2,300~2,500 回転で実験を行い, 疲労限の決定には 10⁷ 回の繰返数を以てした.

第3表 予め引張並びに圧縮加工材の引張, 圧縮試験

予め引張加工			引張試験		圧縮試験		σ_c/σ_t
見掛応力 kg/mm ²	実応力 kg/mm ²	有効歪 %	比例限 (σ_t) kg/mm ²	比*	比例限 (σ_c) kg/mm ²	比*	
36.0	36.4	1.1	8.0	0.22	3.4	0.09	0.43
56.0	58.4	4.1	9.0	0.15	3.1	0.05	0.34
予め圧縮加工			圧縮試験		引張試験		σ_t/σ_c
見掛応力 kg/mm ²	実応力 kg/mm ²	有効歪 %	比例限 (σ_c) kg/mm ²	比*	比例限 (σ_t) kg/mm ²	比*	
36.0	35.6	1.1	10.0	0.28	2.7	0.08	0.27
56.0	54.3	3.1	10.5	0.19	3.0	0.06	0.29

* 比は予め加工の実応力値に対するものである.

註 母材の引張, 圧縮比例限は各々 24.0 kg/mm², 25.0 kg/mm² である.

3. 静的試験

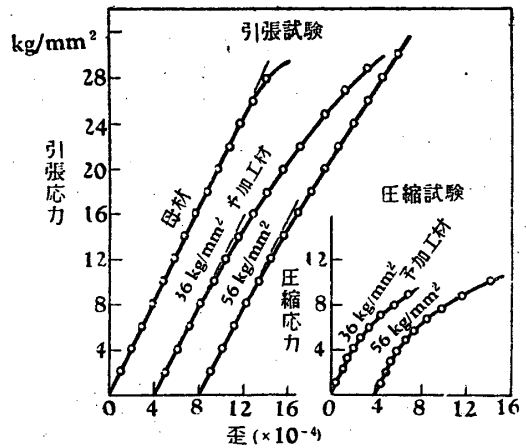
予め引張並びに圧縮加工材の引張、圧縮及び曲げ試験を行つて、疲労試験結果の参考にした。試験片は予め加工後削り直して直径 10 mm とし、歪測定に対し引張及び曲げ試験には 30 mm のマルテンス歪計を使用した。圧縮試験は挫屈の恐れから高さを 30 mm とし、20 mm のマルテンス歪計を用いた。予め引張加工材の引張、圧縮試験の応力-歪線図を第3図に、予め圧縮加工材のそれらを第4図に示す。曲線が直線部分から離れる点を比例限とし、各々2本づつ行つた平均値を示すと第3表となる。

予め引張加工材の引張比例限、予め圧縮加工材の圧縮比例限は共に予め与えた実応力値の 15 ~ 30% と甚だしく低下している。これは 0.22% 炭素鋼の 80~90%⁽³⁾ の値と著しい相異を示している。又 36.0 kg/mm² 及び 56.0 kg/mm² の加工を与えても比例限には両者に大して差はないが、大きな加工を与えた方が曲線は立つている。

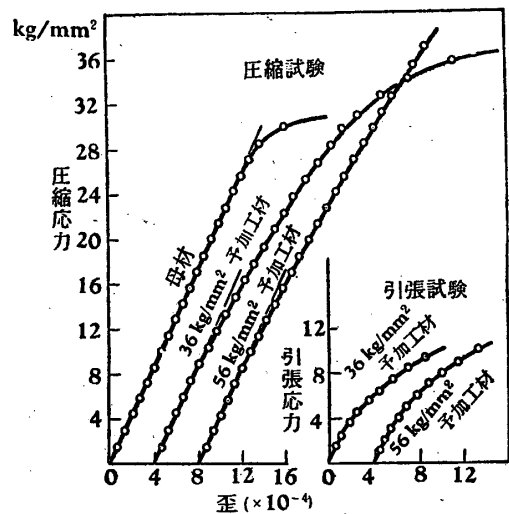
予め引張加工材の圧縮比例限と、予め圧縮加工材の引張比例限は Bauschinger 効果により甚だ低くなり、曲線も急激にねている。比例限值はこの場合も 0.22% 炭素鋼のそれとくらべて甚だしく低く、低炭素鋼材に比し本材料は Bauschinger 効果が著しい。

次に曲げ試験を行うと、前述のように引張応力と圧縮応力とに対し応力-歪関係が甚だしく異なるために、引張側と圧縮側では同一モーメントに対し変形を異にする。第5、6図に曲げモーメントに対する引張側と圧縮側との歪を图示した。图中 M_s とは最大弾性曲げ応力が母材の下降伏点 31.0 kg/mm² になる時のモーメントであり、 e_s はその時の歪である。ちなみにこの材料では母材の曲げ試験の比例限は、母材の引張下降伏点応力とほとんど一致した。曲げ試験の引張側と圧縮側の比例限を示すと第4表となり、予引張加工材では第3表に示す引張試験時の引張比例限に、予圧縮加工材では圧縮試験時の圧縮比例限に近い値を示している。そして引張側と圧縮側の比例限にそれほど大した差はない。この事は 0.22% 炭素鋼材⁽³⁾ に於けると同様である。

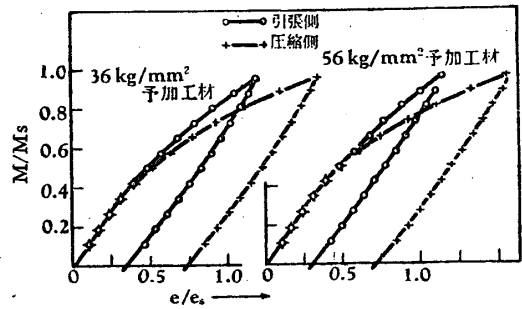
次に予め引張、圧縮加工材の繰返モーメントに



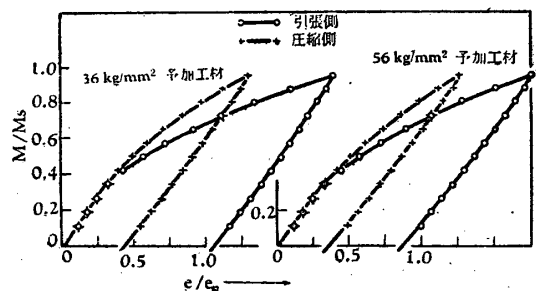
第3図 予め引張加工材の引張、圧縮試験



第4図 予め圧縮加工材の圧縮、引張試験



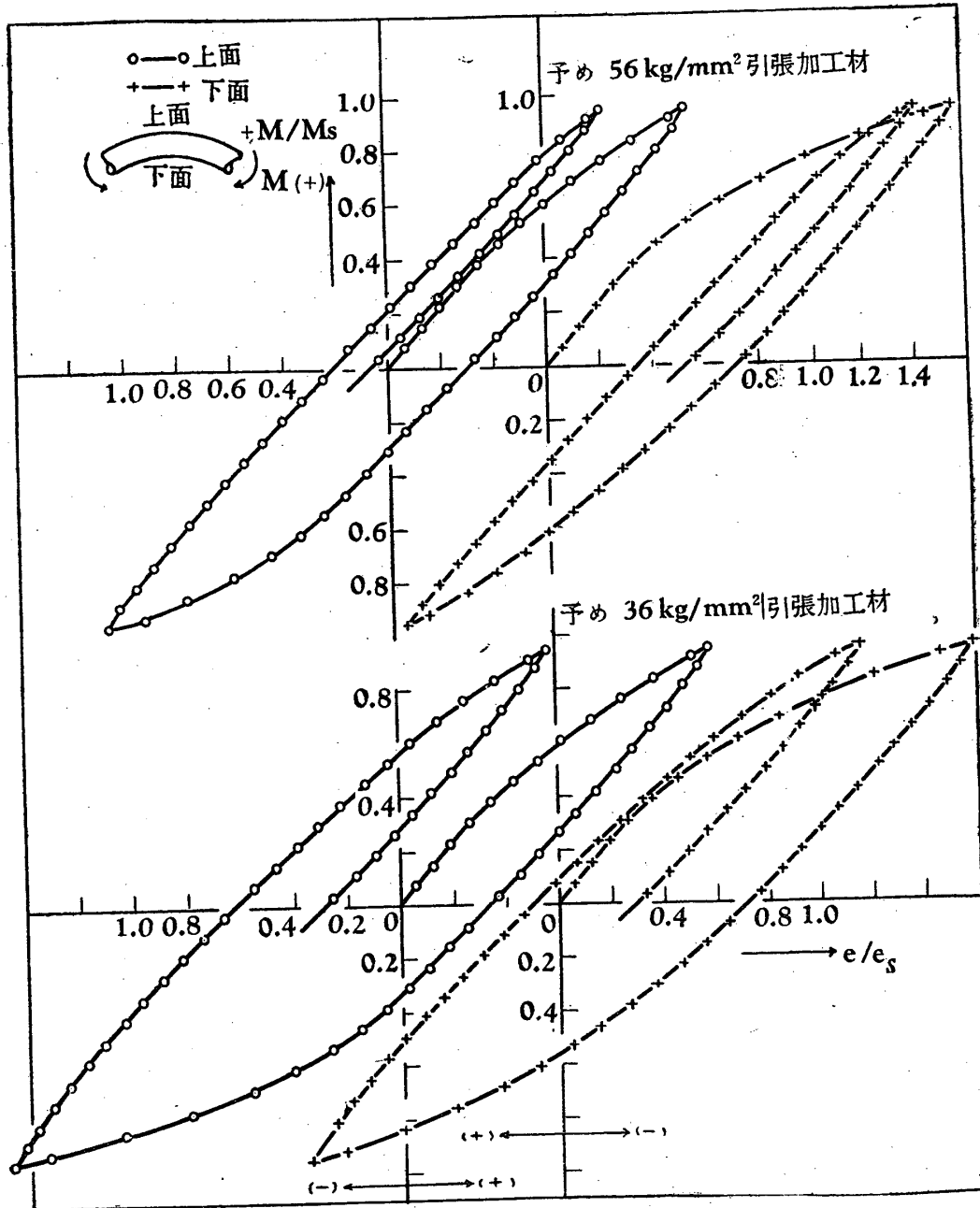
第5図 予引張加工材の曲げ試験



第6図 予圧縮加工材の曲げ試験

第4表 予引張, 圧縮加工材の曲げ比例限

予引張加工見掛力 kg/mm ²	引張側比例限 kg/mm ²	圧縮側比例限 kg/mm ²	予圧縮加工見掛力 kg/mm ²	圧縮側比例限 kg/mm ²	引張側比例限 kg/mm ²
36.0	8.5	8.5	36.0	8.5	8.0
56.0	10.0	9.0	56.0	10.0	9.0

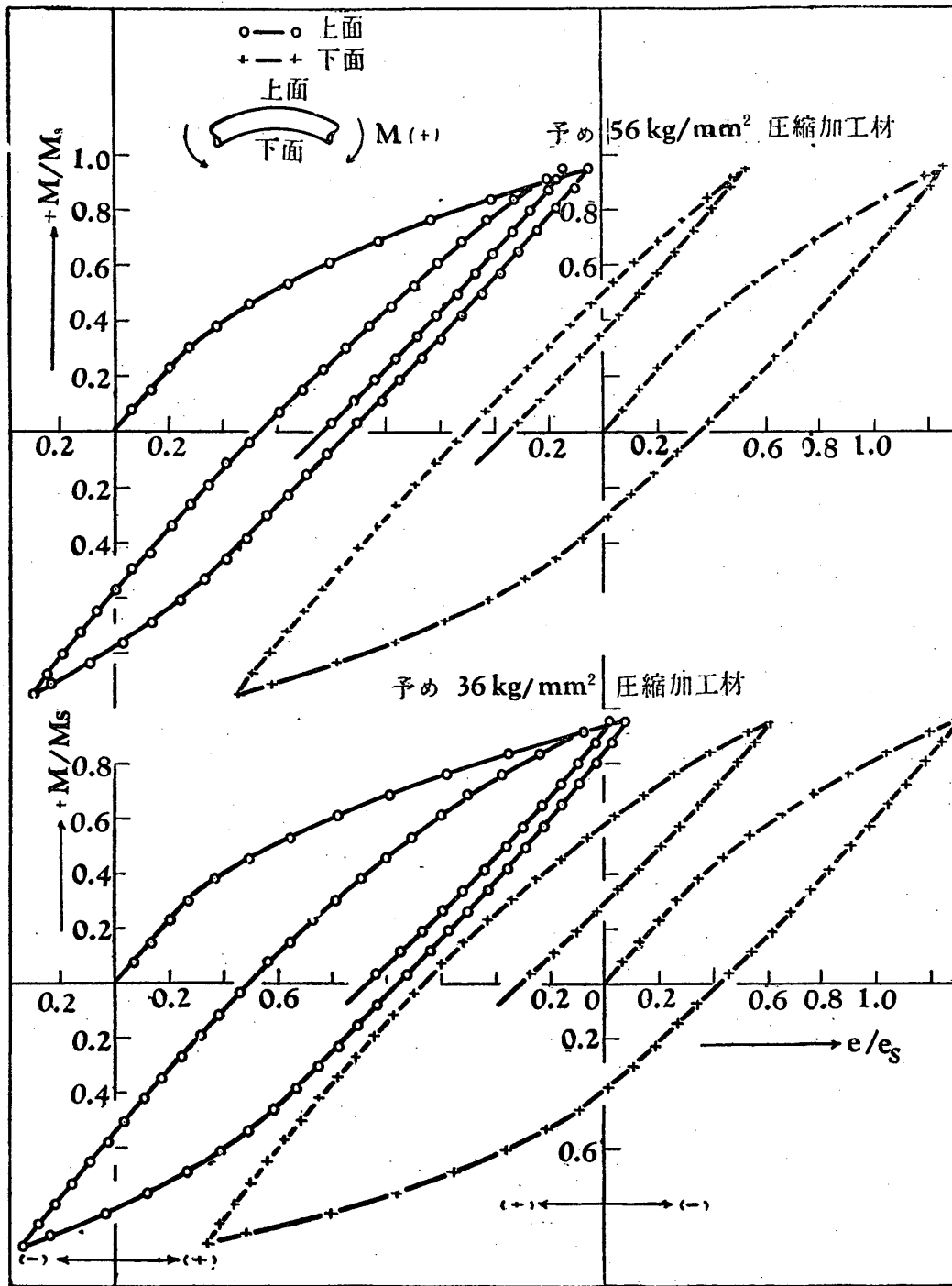


第7図 予引張加工材の曲げモーメント—至履歴曲線

よる第1回目の履歴曲線を取ると第7, 8図となる。最初の曲げで引張側となる方の履歴曲線を左側に、圧縮側となる方を右側に描いた。予め引張加工材では第1回の繰返モーメントで上下面共に圧縮残留歪が存在し、全体的に縮んできている。予め圧縮加工材ではその逆である。又履歴曲線の

面積は予め加工が大なる程小であり、第2回目の履歴曲線の面積を比較すると更に顯著になる事が図より予想される。

次に逆方向変形にともなう硬度変化につき前報告⁽³⁾と同様にして実験を行い、第9, 10図にその結果を示す。第10図には10%の予め圧縮加工



第8図 予圧縮加工材の曲げモーメント-歪履歴曲線

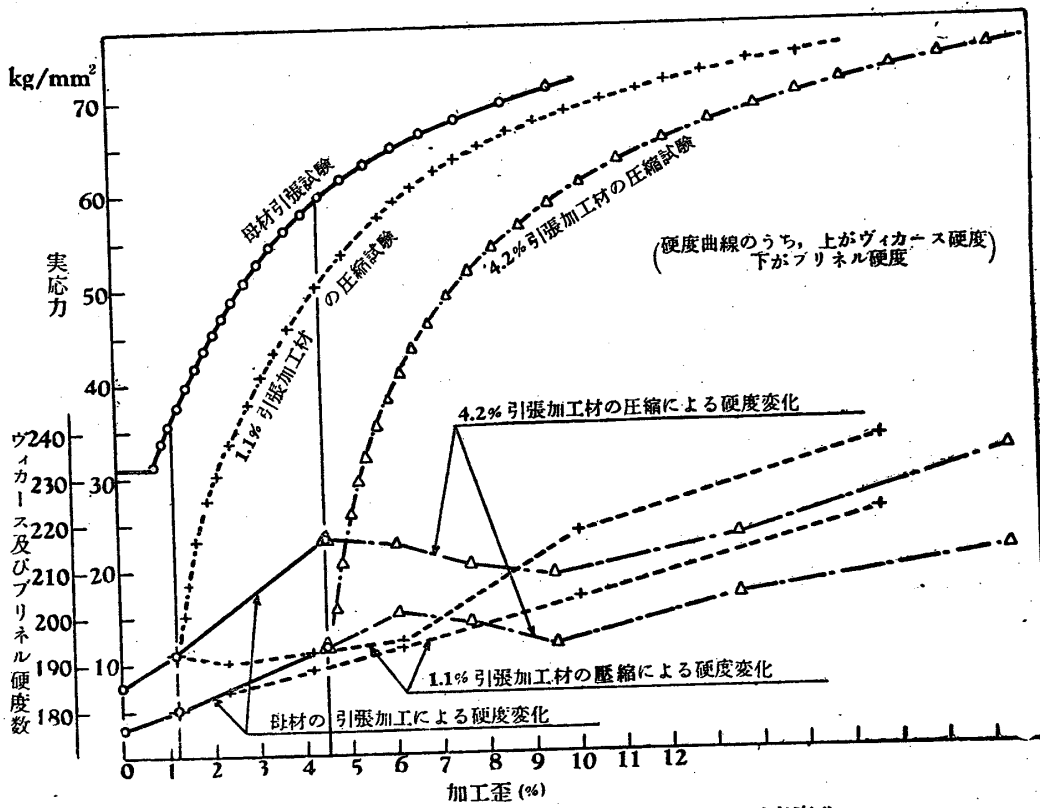
材という大きな加工歪を与えた場合についても実験を行つたので追加し示しておいた。これらの結果から 0.17% 炭素鋼の時と同様に、逆方向へ数%程度の加工歪までは大して硬度値に変化なく、むしろ軟化の傾向を示し、それ以上の加工歪に対して硬度値は上昇して行く。そして予め加工が大なる程、硬度値に大して変化のない逆方向加工歪の大きさが増している。

4. 疲労試験結果とその考察

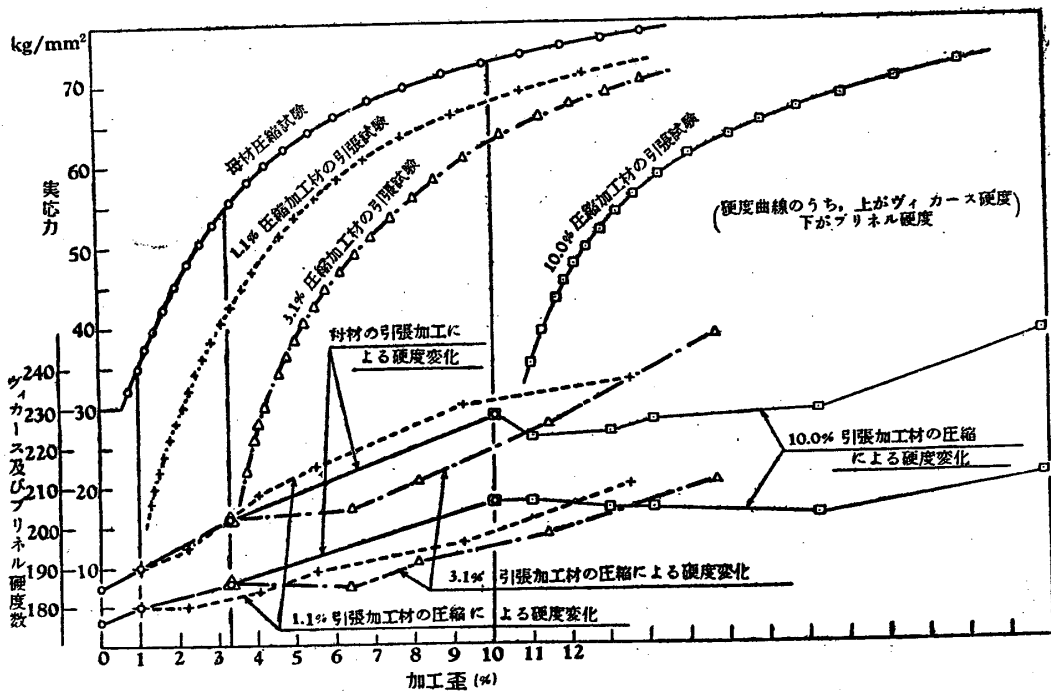
疲労試験の繰返応力-繰返数関係を図示すると

第11図となる。第11図(a)は予め引張並びに圧縮加工後試験片を製作し直したものであり、(b)図は試験片表面が予め加工のままのものである。この図より得られる疲労限の値を第5表に示した。予め加工の有効歪を横軸にして疲労限の値を図示すると第12図となる。第12図中には、ブリネル並びにヴィッカース硬度数の変化と第5報第7節(2)で得られた 0.17% 材の疲労限値をも併せ示した。

加工後試験片を製作し直したものの疲労強度



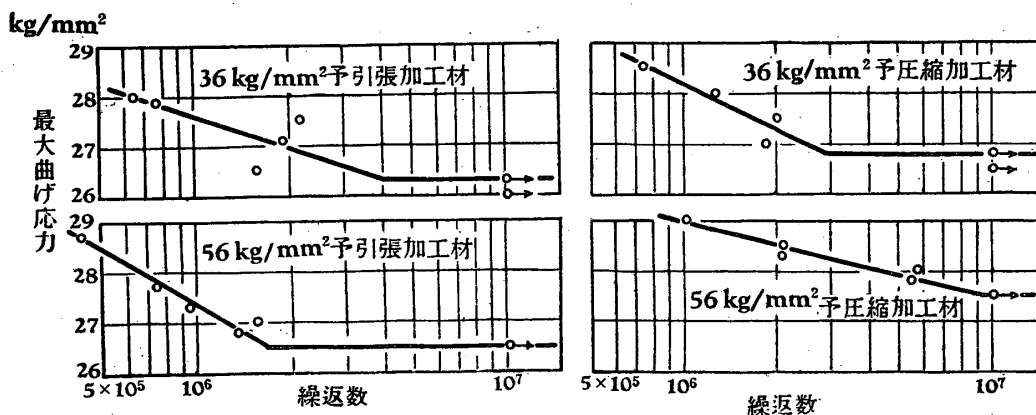
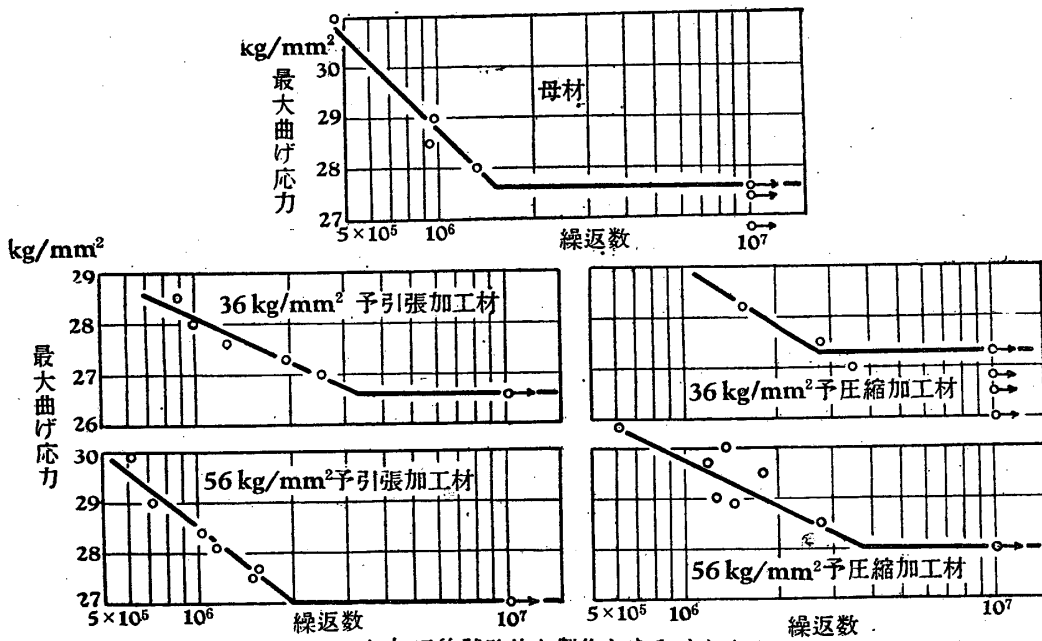
第9図 予引張加工材の圧縮加工にともなう硬度変化



第10図 予圧縮加工材の引張加工にともなう硬度変化

第5表 予め引張, 圧縮加工材の疲労限

予め引張加工力 kg/mm ²	表面状態	疲 勞 限		予め圧縮加工力 kg/mm ²	表面状態	疲 勞 限	
		応 力 kg/mm ²	比			応 力 kg/mm ²	比
母 材		27.6	100				
36.0	研 磨	26.6	96	36.0	研 磨	27.3	99
	加工のまま	26.3	95		加工のまま	26.8	97
56.0	研 磨	27.0	98	56.0	研 磨	28.0	101
	加工のまま	26.5	96		加工のまま	27.5	100

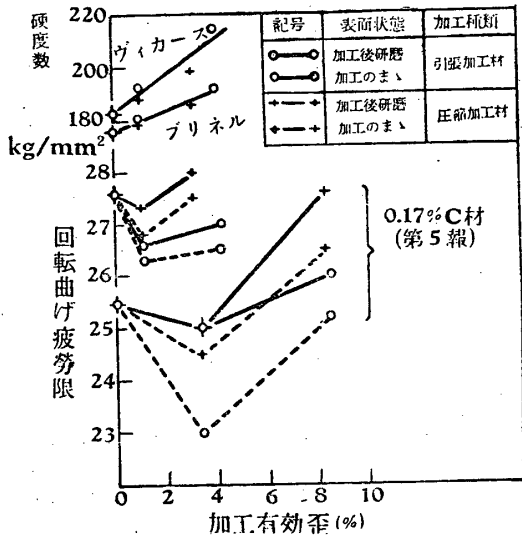


第 11 図 繰返応力-繰返数関係図

は、加工硬化の疲労強度に及ぼす影響を示すものと考えられ、第2報⁽¹⁾に於ける0.22%軟鋼材と同様に、歪で1.1%という僅かな加工を与える、硬度はブリネル硬度数で2%、ヴィッカース硬度数で4%と硬くなっているに拘らず、疲労限

は母材のそれに比べ引張、圧縮加工材でそれぞれ4%、1%と僅かに低下し、それ以上の加工を与えると上昇して行く。

試験片表面を研磨後、引張並びに圧縮加工を与え、加工後表面をそのままにしたものでは、加工

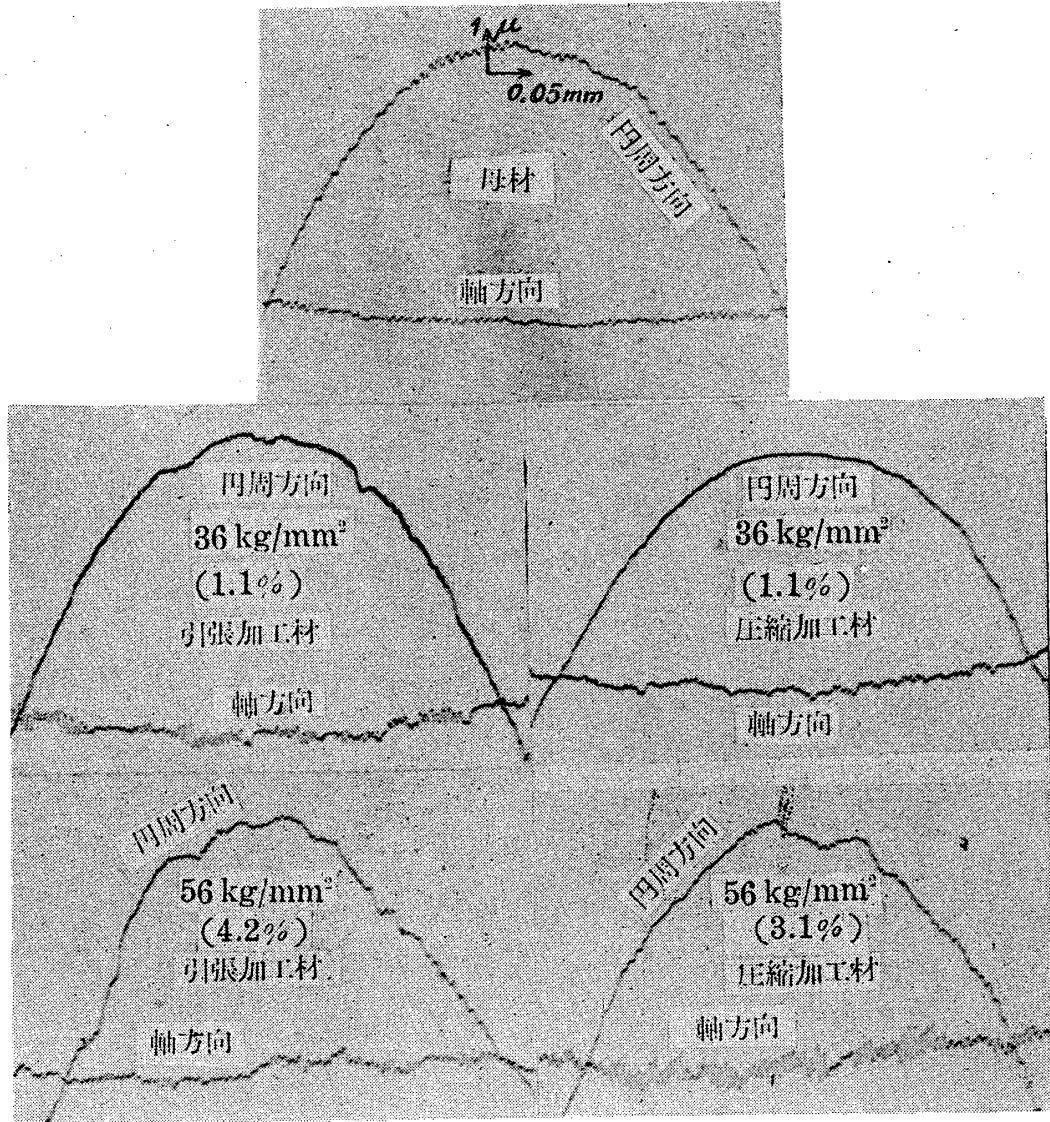


第 12 図 加工有効歪と疲労限との関係

硬化と加工による表面層の影響があらわれて、第

11, 12 図に示すように、前述の加工硬化のみと考えられる場合に比し疲労限は低下している。1.1%歪を与えた引張、圧縮加工材の疲労限はそれぞれ母材より5%、3%と低い。それ以上の加工を与えると疲労限は上昇して行き、第5報第7節の軟鋼材と同様な傾向を示している。しかし軟鋼材の僅かな引張加工による表面層は著しく疲労強度を弱めていたが、本材料に於てはそれは見られない。しかし軟鋼材と同様に、引張加工材の方が圧縮加工材より疲労強度は低い。

第 13 図に加工材の表面アラサの状態を小坂式表面検査機により縦5,000倍、横100倍で測定した結果を示す。加工程度が大なる程表面状態は悪くなるが、疲労強度は加工硬化の影響の方が大なる為強くなっている。



第 13 図 引張並びに圧縮加工材の表面状態

5. 結 論

予め降伏点以上の引張並びに圧縮加工を与え加工硬化せしめた 0.53% 炭素鋼の回転曲げ疲労試験を行つて、次のような結果を得た。

(1) 加工程度の上昇と共に疲労限は始めやや減少し、その後加工度の上昇と共に増大する。本実験では 1.1% の加工率で疲労限は引張加工で 4%、圧縮加工で 1% と減少した。

(2) 加工後表面をそのままにしたものでは、加工表面層の影響により、加工後研磨せるものよ

り疲労限は低い。しかし軟鋼材 (第5報) に於ける程著しくはない。

(3) 加工材の静的引張、圧縮、曲げ試験並びに逆方向荷重にともなう硬度変化につき実験を行つた。

終りに臨み本実験は文部省科学研究費の補助を受けたのでここに謝意を表する。

文 献

- (1) 福井・佐藤: 理工研報告, 4 (1950) 210.
- (2) 福井・佐藤・北川: 理工研報告, 6 (1952) 359.
- (3) 福井・佐藤: 本報告 p. 237.