

単純引張或は圧縮加工材の引張, 圧縮及び曲げについて

福井伸二・佐藤四郎*

(1953年12月2日受理)

The Tensile, Compressive and Bending Tests of Mild Steel after Plastic Deformation by Simple Tension and Compression.

SHINJI FUKUI and SHIRO SATO

(Received December 2, 1953)

ABSTRACT: The tensile, compressive, bending and hardness tests are shown about specimens of usual carbon steel (0.22% C) after plastically deformed by statical tension and compression. The experimental results are as follows:

(1) The proportional limit in the direction of pre-working is about 80-90% of the actual pre-working stress, but decreases about 30-50% of that in the opposite direction due to the Bauschinger effect.

(2) On the bending test of the tensile pre-worked specimens, yielding starts at first on compression side of bending, and then the proportional limit on the compression side rises to about 2-3 times of the compressive proportional limit obtained after tensile pre-working.

(3) Reversely to above mentioned, on the bending test of the compressive pre-worked specimens, yielding starts at first on tension side of bending, and then the tensile proportional limit rises to about 2 times of that obtained by tension test.

(4) The difference of the proportional limits between tension and compression side of bending is about 10%, and this value is much smaller than that found in the case of the tension and the compression test of the pre-worked specimens.

(5) The smaller the degree of pre-working is, the larger hysteresis loop for the first cycle of bending is obtained. Compressive residual strain is found after bending in total cross section of specimen pre-worked by tension, and tensile residual strain is found by compressive pre-working.

(6) When the specimen is pre-worked up to about 10% strain, the hardness value does not rise for 5-10% strain in opposite direction to the pre-working, and shows work softening.

(7) On the other hand, the work softening is not clear for smaller pre-working of about 3-5%, and the specimen shows work-hardening somewhat similar to that of virgin metal.

* 保安大学校

1. 緒 言

普通構造用軟鋼に予め引張あるいは圧縮塑性加工を与えた後, マルテンス歪計を用いて引張, 圧縮及び曲げ試験の各種比例限を求め, 予め与えた加工方向への応力値と, 所謂 Bauschinger 効果により低下する逆方向への応力値とを比較した。次に引張あるいは圧縮加工材の逆方向荷重にともなう硬度変化についても実験を行った。なお本実験は“加工硬化した鋼材の疲労 (第2報)”⁽¹⁾に關聯して行った実験である。

2. 実験材料と実験方法

実験に供した材料は 0.22% 炭素鋼の 880 度 1 時間焼鈍材* である。

予め与えた加工の程度としては, 引張加工では見掛応力で 24.0 kg/mm², 30.0 kg/mm², 35.0 kg/mm² 及び 40.0 kg/mm² の 4 種とし, 圧縮加工では 25.0 kg/mm², 33.0 kg/mm², 41.0 kg/mm² 及び

50.0 kg/mm² の 4 種としたことは“加工硬化した鋼材の疲労 (第2報)”の場合と同様である。このような予め加工を与えてから, すべての試験片は製作し直し, 以下に述べる各種の実験に供した。試験片の直径はすべて 10 mm で, 歪測定には 30mm 標点距離のマルテンス歪計を使用した。尚予め加工後少くも 1 ヶ月は常温時効させてから実験を行った。

3. 引張試験ならびに圧縮試験

予め各々 4 種の引張あるいは圧縮加工を与えた材料の, 引張試験並に圧縮試験による応力-歪關係を示すと第 1, 2 図となる。引張加工後の圧縮試験片の高さは 50 mm としたが, 圧縮加工後の圧縮試験は荷重が相当大とならねば降伏しないので, 高さを 30 mm として挫屈を防ぎ, この場合のみ 20 mm の標点距離のマルテンス歪計を使用した。第 1, 2 図の応力-歪曲線が直線部分から離れる点を比例限とし, 各々 2 本ずつ行った平均値

第1表 予め引張加工材の引張, 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)		降 伏 点		比 例 限 (σ_c)		
			kg/mm ²	比*	kg/mm ²	比*	kg/mm ²	比*	
24.0	24.2	1.0	22.5	0.93	27.0	1.12	7.5	0.31	0.33
30.0	30.8	2.3	24.0	0.78	33.0	1.08	8.5	0.28	0.35
35.0	36.4	3.9	31.5	0.87	39.5	1.09	10.5	0.29	0.33
40.0	42.7	6.3	35.0	0.82	46.0	1.07	12.5	0.29	0.36

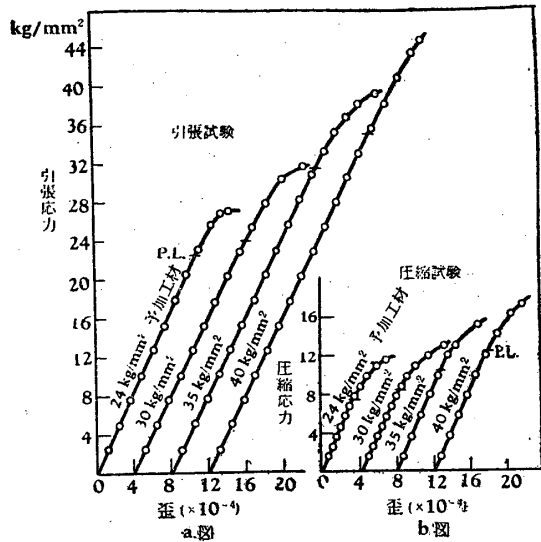
* 比は予め引張加工実応力値に対するものである。

第2表 予め圧縮加工材の圧縮, 引張試験

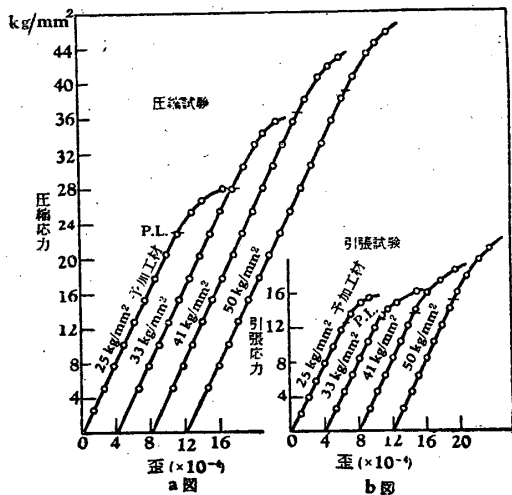
予 め 圧 縮 加 工			圧 縮 試 験				引 張 試 験		σ_t/σ_c
見掛応力 kg/mm ²	実 応 力 kg/mm ²	有 効 歪 %	比 例 限 (σ_c)		降 伏 点		比 例 限 (σ_t)		
			kg/mm ²	比*	kg/mm ²	比*	kg/mm ²	比*	
25.0	24.6	1.7	23.0	0.93	28.5	1.16	12.5	0.51	0.54
33.0	32.3	3.3	28.0	0.87	36.0	1.11	12.8	0.40	0.46
41.0	38.7	5.7	36.5	0.94	44.0	1.14	13.5	0.35	0.37
50.0	45.9	8.5	39.0	0.85	48.5	1.06	15.0	0.33	0.38

* 比は予め圧縮加工実応力値に対するものである。

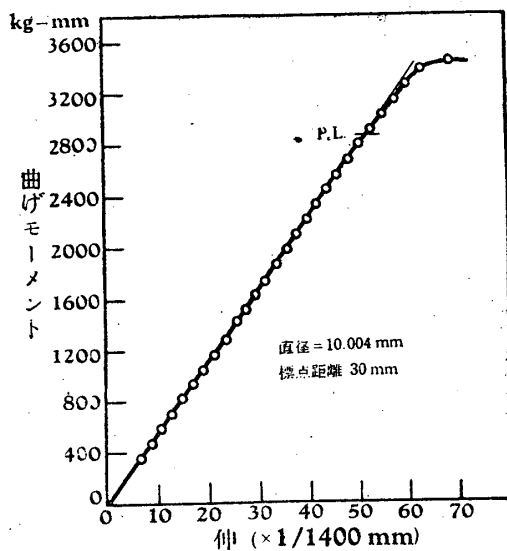
* 本材料の化学的成分並に焼鈍材の機械的性質については文献(1)を参照。



第1図 予め引張加工材の引張, 圧縮試験



第2図 予め圧縮加工材の圧縮, 引張試験



第3図 母材の曲げ試験

を示すと第1, 2表となる。

予め引張加工を与えた場合の引張試験の比例限は、予め与えた実応力値より 10% 程度低く、降伏点は 10% 程度高く出た。圧縮試験の比例限は Bauschinger 効果により甚だ低くなり、予め与えた実応力値に比べると約 70% も低下しており、引張試験時の比例限に比べると約 65% も低い。

予め圧縮加工を与えた場合の圧縮試験の比例限は、予め与えた実応力値より 10% 程度低く、降伏点は 5~15% 程度高い。このような傾向は予め引張加工を与えた前述の場合と同様である。引張試験の比例限は予め与えた実応力値より 50~70% も低く、圧縮比例限の 40~50% の値を示している。

4. 曲げ試験

予め引張並に圧縮加工後の静曲げ試験を行う前に、一応母材の静曲げ試験を行つた。尚曲げ試験はすべて四点荷重による単純曲げモーメントを掛け、歪は前と同様に標点距離 30 mm のマルテンス歪計を試験片の上下面に取りつけて測定した。母材の上下面の伸び及び縮みの平均と曲げモーメントとの関係を示すと第3図となる。第3表に3本の試験片で得られた曲げ比例限並びに降伏点を示す。この曲げ比例限並びに降伏点は、振り試験⁽²⁾

第3表 母材の曲げ試験

試験片番号	直径 mm	曲げ比例限		曲げ降伏点モーメント kg-mm
		M kg-mm	σ kg/mm ²	
No. 1	9.996	2880	29.4	3310
No. 2	10.007	2930	29.8	3360
No. 3	10.004	2890	29.4	3380
平均			29.5	

により得られた振り降伏点 13.2 kg/mm² より、中西博士の理論で計算すると非常によく合っている。

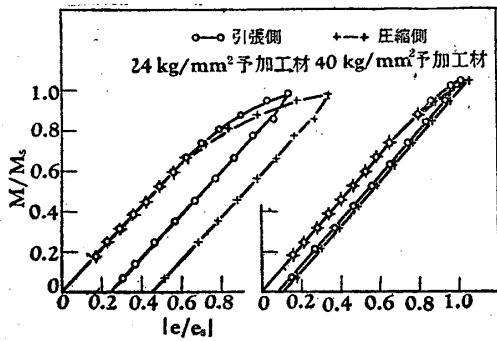
次に予め引張あるいは圧縮加工材の曲げ試験を行うと、前節で述べたように引張応力と圧縮応力とに対して甚だしく比例限や応力-歪曲線に相違がある為に、引張側と圧縮側とで変形の度合を異にする。今 24.0 kg/mm² と 40.0 kg/mm² の予め

引張加工材と、 25.0 kg/mm^2 と 50.0 kg/mm^2 の
 予め圧縮加工材とを例に取つて、曲げモーメント
 と引張側、圧縮側の伸び縮みを図示すると、第4、
 5 図となる。図に於て M_s とは母材の曲げ降伏
 モーメントであり、 e_s とは M_s に対する最大弾
 性歪であつて、図はすべて無次元であらわした。
 予め引張加工材では、圧縮側が早く降伏し変形も

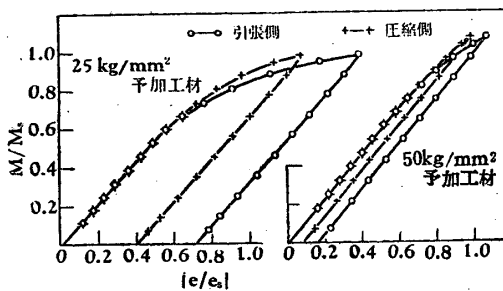
大きく、圧縮加工材に対しては、引張側が早く降
 伏を起し変形も大きい。そして予め加工の程度が
 大きい程、同程度の曲げモーメントに対して引張
 側と圧縮側との変形量の差が小さくなつている。

予め加工材の各々 2 本づつ行つた曲げ試験の、
 引張側と圧縮側の比例限の平均値を示すと第 4、
 5 表となる。参考のために前節に得られた引張試
 験、圧縮試験の時の値をも示しておいた。均一応
 力下にては前節で述べたように Bauschinger 効
 果により甚だしく低下する比例限も、曲げ試験の
 時には加工により強められた側に助けられて比例
 限が上つている。予め引張加工材では圧縮側比例
 限は圧縮試験の時の 2~3 倍となり、予め圧縮加
 工材の引張側比例限は引張試験の時の 2 倍近くな
 つている。予め加工とは逆方向の応力側が降伏す
 ると、同方向の応力側は均一応力下で示す比例限
 より少し低い応力で降伏に引込まれて行くよう
 である。第 4 表の σ_{Mt}/σ_t 、第 5 表の σ_{Mc}/σ_c がそれ
 を示している。従つて曲げ試験の引張側と圧縮側
 の比例限の差は余りなく、精々 10% 程度である。

次に予め引張あるいは圧縮加工材の繰返モー
 メントによる引張側と圧縮側の第 1 回目の履歴曲
 線を第 6、7 図に示す。最初の曲げで引張側とな
 る方の履歴曲線を左に、圧縮側となる方を右側に
 して示した。予め引張加工材では圧縮側となる時に



第 4 図 予め引張加工材の曲げ試験



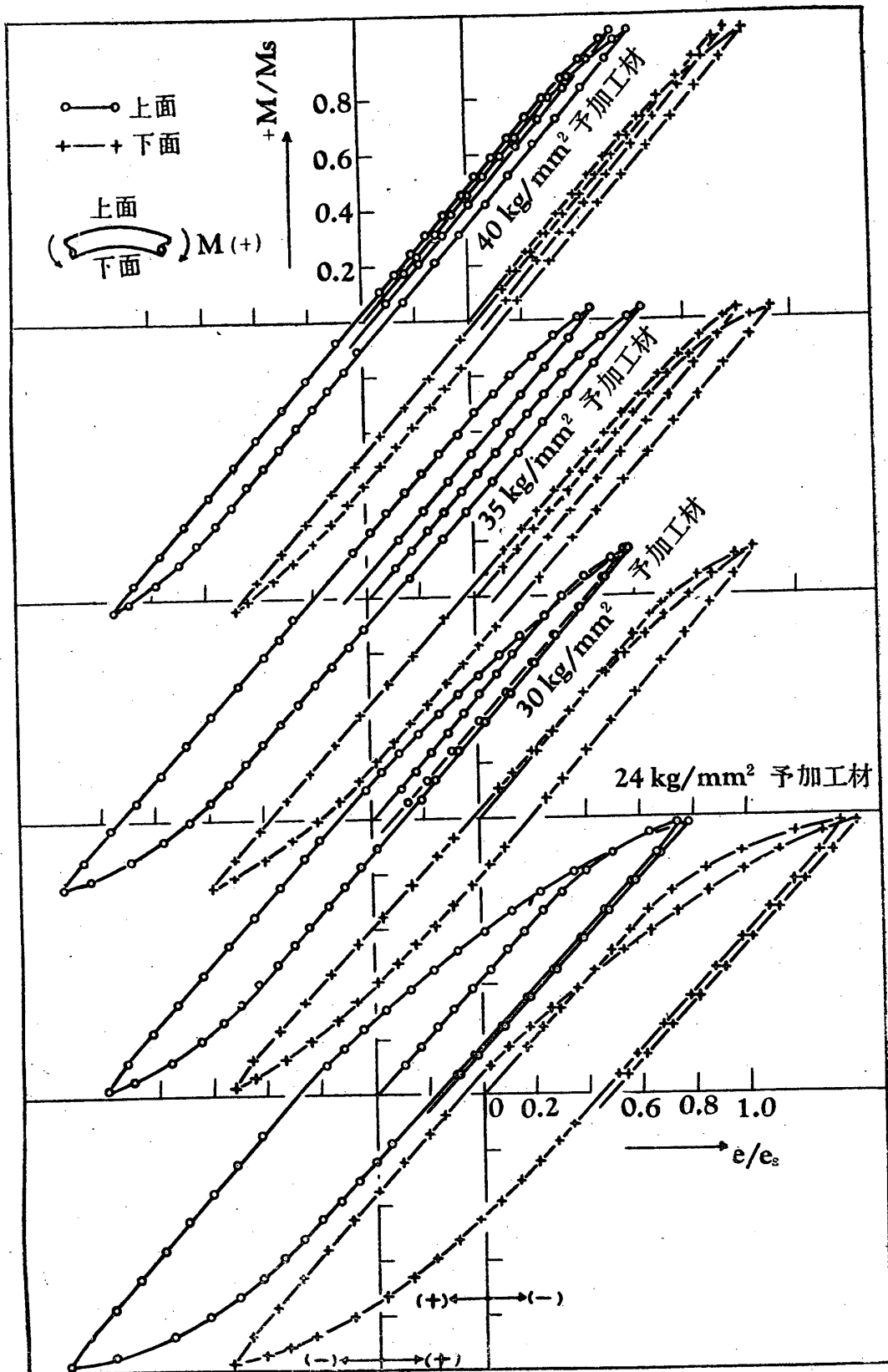
第 5 図 予め圧縮加工材の曲げ試験

第 4 表 予め引張加工材の曲げ試験の比例限

予め引張加工 見掛応力 kg/mm ²	引張側比例限		引張試験 比例限 σ_t	σ_{Mt}/σ_t	圧縮側比例限		圧縮試験 比例限 σ_c	σ_{Mc}/σ_c	σ_{Mt}/σ_{Mc}
	M/Ms	σ_{Mt}			M/Ms	σ_{Mc}			
24.0	0.68	23.2	22.5	1.03	0.62	21.1	7.5	2.8	1.10
30.0	0.72	24.5	24.0	1.02	0.65	22.1	8.5	2.6	1.11
35.0	0.79	26.9	31.5	0.85	0.71	24.2	10.5	2.3	1.11
40.0	0.78	26.6	35.0	0.76	0.71	24.2	12.5	1.9	1.10

第 5 表 予め圧縮加工材の曲げ試験の比例限

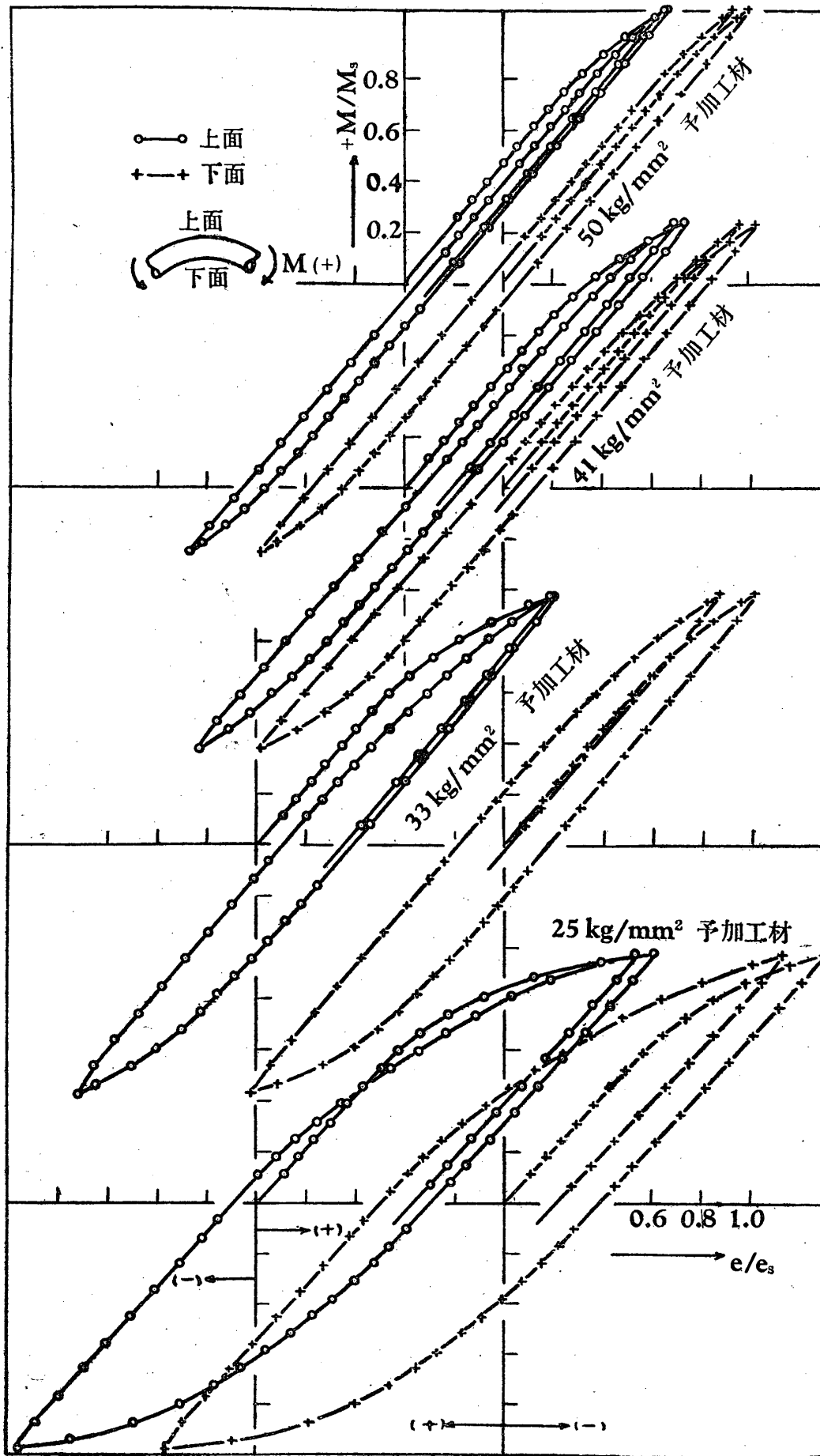
予め圧縮加工 見掛応力 kg/mm ²	圧縮側比例限		圧縮試験 比例限 σ_c	σ_{Mc}/σ_c	引張側比例限		引張試験 比例限 σ_t	σ_{Mt}/σ_t	σ_{Mc}/σ_{Mt}
	M/Ms	σ_{Mc}			M/Ms	σ_{Mt}			
25.0	0.62	21.1	23.0	0.92	0.60	20.5	12.5	1.6	1.03
33.0	0.67	22.8	28.0	0.81	0.60	20.5	12.8	1.6	1.11
41.0	0.76	25.9	36.5	0.82	0.73	24.9	13.5	1.8	1.04
50.0	0.83	28.3	39.0	0.73	0.73	24.9	15.0	1.7	1.14



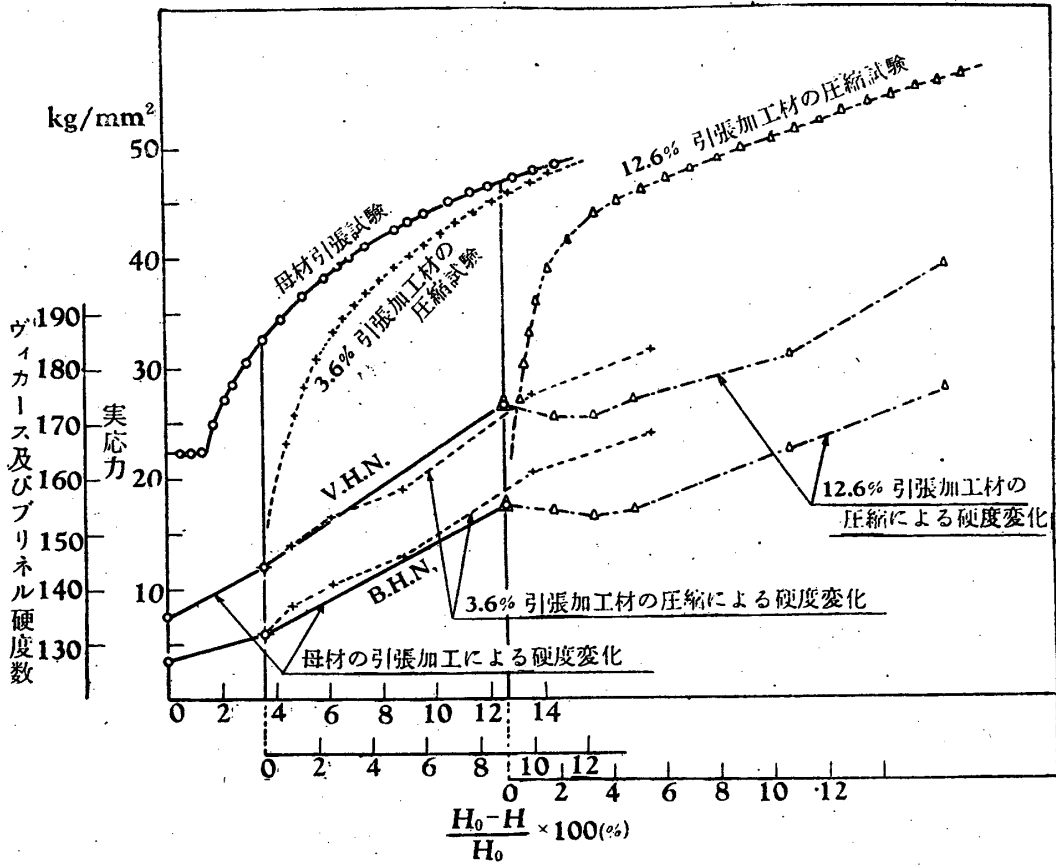
第6図 予め引張加工材の曲げ試験時の上面と下面の履歴曲線

大きく変形していることがわかり、初め引張側となつて大して変形しなくとも、逆方向モーメントとなつて圧縮側になると大きく変形する。従つて全体的に圧縮残留歪が大きく残つて行く傾向を示

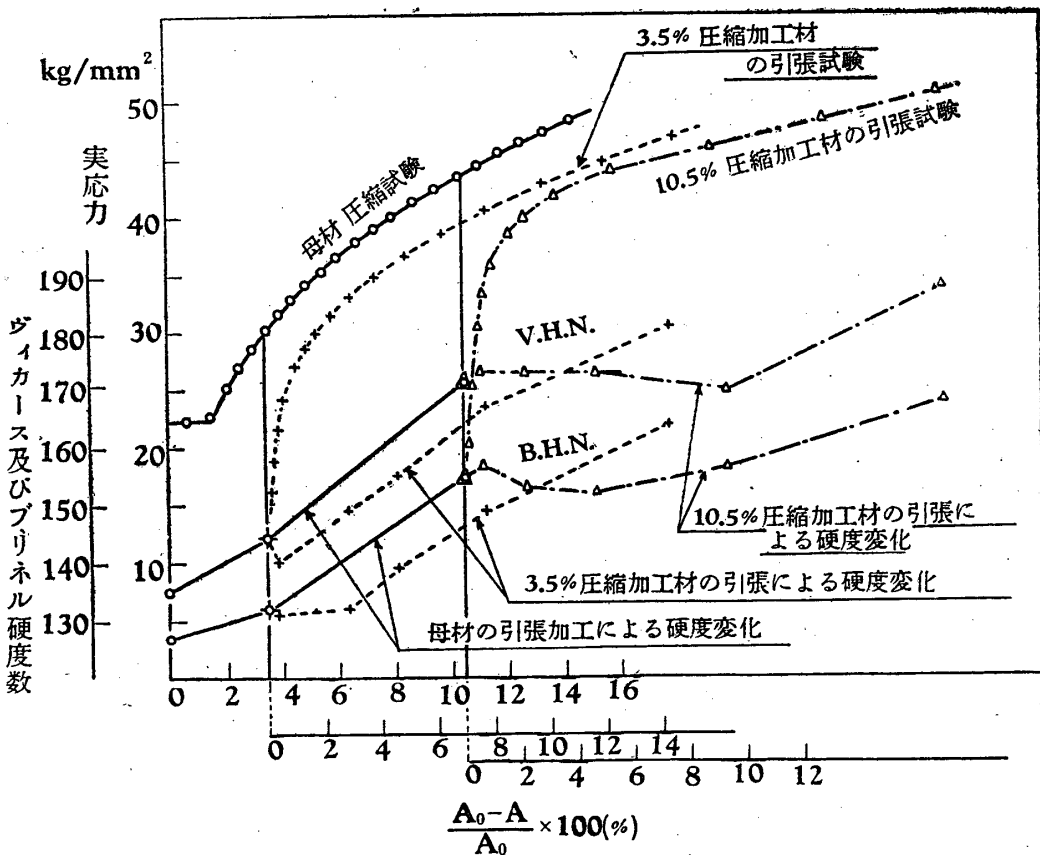
す。予め圧縮加工材ではその逆である。尙予め加工の程度が大きい程、小さな加工のものより大きな繰返モーメントを掛けたに拘らず、履歴曲線の描く面積が小さく、残留歪も小さくなつてゐる。



第7図 予め圧縮加工材の曲げ試験時の上面と下面の履歴曲線



第8図 予め引張加工材の圧縮塑性変形にともなう硬度変化



第9図 予め圧縮加工材の引張塑性変形にともなう硬度変化

5. 逆方向荷重にともなう硬度変化

材料の都合上、本節の実験には0.17%炭素鋼⁽³⁾を使用した。

3.6%並びに12.6%の予め引張加工を与えた後、各種の圧縮塑性変形を与え、圧縮試験片中央部の硬度をブリネル及びヴィカース硬度試験機で測定した。その結果を第8図に示す。

同様に3.5%並びに10.5%の予め圧縮加工後、各種の引張塑性変形にともなう硬度変化の様子を第9図に示す。

3.5%程度の僅かな塑性変形を与えた場合には、逆方向への変形にともなう硬度変化は第8、9図でもわかるように母材の一方向のみの加工にともなう硬度変化とほぼ同じ硬度値を示して変化している。しかるに予め10%以上の大きな塑性変形を与えた場合は、逆方向へ5~10%程度の加工歪までは大した硬度値に変化なく、むしろ軟化するような傾向を示し、それ以上の加工に対して硬度値は上昇している。Polakowski⁽⁴⁾の実験は予め与える変形として10%程度の割合大きな加工歪に対して加工軟化を論じており、この程度の加工歪の場合には本実験結果とよく合っている。しかし僅かな予め加工に対しては逆方向荷重による加工軟化の現象は明瞭でない。

6. 結 論

予め引張あるいは圧縮塑性変形を与えた後、引張、圧縮、曲げ及び逆方向荷重にともなう硬度変化につき実験を行い、次のような結果を得た。

(1) 予め与えた加工と同方向への比例限は予め加工の実応力値より10~20%程度低く、逆方

向への比例限はBauschinger効果により50~70%も低い。

(2) 予め引張加工材の曲げは先づ圧縮側より降伏し始めるが、圧縮側比例限は圧縮試験の時の比例限の2~3倍である。

(3) 予め圧縮加工材の曲げは先づ引張側より降伏し始め、引張側比例限は引張試験の比例限の約2倍である。

(4) 予め加工材の曲げの時の引張側と圧縮側の比例限値の差は、引張と圧縮試験の比例限値ほど大きな差はなく、精々10%程度のものである。

(5) 予め加工が小さい程、第一回目の繰返モーメントに対して大きな履歴曲線を描き、予め引張加工材では全体的に圧縮歪が、予め圧縮加工材では引張歪が残つて行く傾向を示す。

(6) 10%程度の大きな予め加工歪を与えた場合には、逆方向変形が5~10%程度までは硬度が上昇せず、それ以上の変形に対して硬度は上昇して行く。

(7) 3.5%程度の僅かな予め加工歪に対しては、逆方向変形にともなう加工軟化の現象は明瞭でなく、ほぼ母材の一方向変形時の硬度変化と似ている。

終りに臨み実験に種々御便宜をたまわつた中西不二夫先生及び実験室各位並びに終始実験に協力して下された北川義雄氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- (1) 福井・佐藤：理工研報告，4 (1950) 211.
- (2) 福井・佐藤：理工研報告，5 (1951) 259.
- (3) 福井・佐藤・北川：理工研報告，7 (1953) 135.
- (4) Polakowski: The Iron Age, 170 (1952) 106.; J. Iron Steel Inst., 169 (1951) 337.