軟鋼の圧縮に就て⁽¹⁾

(昭和 12 年 3 月 28 日 大阪関西支部講演會に於て発表)

正 員 中 原 益 治 郎⁽²⁾ 准 員 范 忠 相⁽³⁾

摘 要

軟鋼の圧縮変形に関する研究は工学上重要な問題であるが、余り詳しく調べられてゐない。それでは圧縮変形と引張変形との関係をのべ、尙数個の円筒試験片を積み重ねて圧縮した時の実験結果を報告する。

1. 試験片

材料としては第1表の様な成分を有する軟鋼を用いた。

第 1 表

	C	Si	P	S	Mn
%	0.17	0.15	0.034	0.044	0.40

試験片は丸棒のまま 850°C で約 1 h 焼鈍し、これを緩冷した後所定の寸法に仕上げた。試験片の形は直径 10 mm 及び 20 mm の円筒であつて、その高さは直径の 1/4, 3/10, 1/2, 3/4, 1, 1½, 2, 2½, 3 倍の数種とした。

2. 圧縮降伏点の測定

試験片の直径を d_0 、高さを h_0 とするとき、圧縮降伏応力 σ_y (下降伏点をとる) とこの h_0/d_0 の値と如何なる関係があるかを調べた。その実験結果は第2表と第1図に示す。

この結果をみると、 h_0/d_0 の値が大になるに従つて、 σ_y は少しづつ低下してゐることがわかる。また直径 20 mm の

第 1 図 圧縮下降伏点

第 2 表

試験片番号	h_0/d_0	σ_y , kg-cm ⁻²	
		$d_0=10$ mm	$d_0=20$ mm
1	1/4	2 575	—
2	3/10	2 490	—
3	1/2	2 440	2 520
4	3/4	2 490	2 480
5	1	2 125	2 500
6	1½	2 350	2 350
7	2	2 240	2 350
8	2½	2 175	2 280
9	3	2 200	2 290

ものは直径 10 mm のものより概して僅か乍ら σ_y が大である様に思はれる。これは直径の小なるものは試験片の上下の圧縮面が正確に軸に直角に仕上げ難いために起つたことではないかと推測してゐるが、これは確かに断言出来ないことであつて、尙今後も研究の必要があると思ふ。又別に同一材料の引張試験を行つた処、引張降伏応力 σ_y を測定した処

$$\sigma_y = 2 490 \text{ kg-cm}^{-2}$$

を得た。この σ_y と σ_y とを比較するには、本実験の結果だけでは不満足に思はれるが、 σ_y に対して σ_y が少し低い様に見られる。一般に σ_y は少し高い時もあり、少し低い時もある一定しないことが時々見られるから、現今第2図の様な圧縮試験片に依つて、 σ_y と σ_y との比較を研究しようとしてゐるから、その結果は次の機会に発表することにする。

3. 圧縮応力歪線図

圧縮応力歪線図は第3図に於て試験番号 1 ~ 9 までを曲線で示されてゐる (各試験片の寸法は第2表の通りで直径は総て 10 mm である)。

ここに圧縮実応力といふのは眞の実応力を意味するものではなく、次の計算法に依たものである。

$$\text{圧縮実応力} = PA_0^{-1} (1 - \epsilon) \dots (1)$$

ここに P は荷重、 A_0 は変形前の断面積、 ϵ は圧縮歪である。

第 2 図

第 3 図 圧縮実応力歪線図と引張実応力歪線との比較 (直径 10 mm)

[第 3 卷 第 12 号]

(1) On the Compression of Mild Steel. (2) Masujiro NAKAHARA, Member, The Osaka Imperial University, 大阪帝國大學。 (3) Chuso HAN, Associate Member.

故にこの実應力と称するものは近似的実應力の平均値とでもいふべきものである。歪はダイヤルゲージで測定した。第3図に於て試験番号10のみは唯一つ低く離れてゐるが、これは別のものであつて後に詳述するが、他の9個の曲線は略一團となつて画かれてゐる。筆者は h_0/d_0 の大小と曲線の高低(應力の大小)との間に如何なる関係があるかを見出したかつたのであるが、遺憾ながら本実験ではその目的が達せられなかつた。歪の小なる処(歪 $\times 100$ が5以下のところ)では曲線群の應力の最大と最小との差が相當に大きい。即ち歪 $\times 100$ が1の処では應力の最大が約2650 kg/cm²で最小が約2250 kg/cm²であつて、その差の400 kg/cm²は平均の2450 kg/cm²の16%強に當つてゐる。然し歪の大なる処では曲線群は密集してゐて、歪 $\times 100$ が10の処では應力の最大と最小とが夫々4800と4500 kg/cm²で、その差の300 kg/cm²は平均の4650 kg/cm²の約6.45%に當つてゐる。これを見ると、試験片の高さが直径の1/4より3倍に到る種々の試験片の圧縮試験の結果は、降伏應力は前述の様に高さが増すに従て低下してゐて、全体の應力歪線にはこの降伏應力の大小が歪の小なる処では相當に影響を及ぼし、歪が増大するに従てこの影響が少くなつて、歪 $\times 100$ が7以上の処では9本の曲線が密集して揃つて来る様に見られる。

次に実験者は別に同材の引張試験を行ひ、その実應力歪線図を得て、同じ第3図中に書いてみた。これが番号10の曲線である。これは降伏点では圧縮の線群の略中間なる2490 kg/cm²の処を水平に右に通り、歪 $\times 100$ が2を過ぎる処より漸次右上に上昇してゐる。そして全体に於ては圧縮の線群よりは遙かに下位に離れて画かれてゐる。この図でみると圧縮線群と引張の曲線(番号10)とは甚しき懸隔がある様に見えるが、筆者は塑性学上では2者の間に一定の関係があるものと信じてゐるのであつて、その関係を次に述べようと思ふ。

4. 圧縮と引張との関係

第3図に圧縮と引張との各應力線図を併せて示した処、両者の間に相當の隔のあることは一見明かであるが、これは塑性学上よりみると當然のことであつて、歪も應力も前記計算の儘で同一図上に両者を画いてこれを比較するのは誤りである。

まづ歪に就て述べる。今試験片の原形の高さを h_0 とし、その変化の量を Δh_0 とすれば歪 ϵ は、

$$\epsilon = \Delta h_0 / h_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

であるが、引張試験のときに仮に無限に長く延びて直径が0に達したとすると、その時は $\epsilon = +\infty$ であつて、圧縮試験の時に仮に無限に薄く展て厚さが0に達したとするとその時は $\epsilon = -1$ である。この矛盾があるために、塑性学では歪 ϵ を用ひないで有効歪 ϵ_{ef} を用ひる。 ϵ_{ef} は次の式で示される。

$$\epsilon_{ef} = \int_{h_0}^{h_1} dh/h \quad \dots\dots\dots (3)$$

但し h は変形の途中の高さ、 h_1 は変形後の高さを示す。

昭和12年8月]

引張のときには、

$$\epsilon_{ef} = \log_e h_1 - \log_e h_0 = \log_e (1 + \epsilon) \quad \dots\dots\dots (4)$$

圧縮のときには、

$$\epsilon_{ef} = \log_e h_1 - \log_e h_0 = \log_e (1 - \epsilon)^{-1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。歪 ϵ をこの有効歪 ϵ_{ef} になほして画かれた線図が第4図であつて、これでは引張の曲線(番号10)は圧縮の線群となほ隔りがある。それは縦軸に実應力その儘をとつてあるからであつて、これも塑性学上より適當な補正を必要とするのである。

第4図

次にその應力の補正に就て述べる。

筆者の塑性理論では主應力を $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ とし、 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ なるときはひり率は $\{\sigma_1 - (1 - \sin \phi)(1 + \sin \phi)^{-1} \sigma_3\}$ の函数で示されてゐる。聯立應力のときのひり率と引張に於て $\{\sigma_1 - (1 - \sin \phi)(1 + \sin \phi)^{-1} \sigma_3\}$ と同じ値の引張應力のときのひり率は同じであるから、 $\{\sigma_1 - (1 - \sin \phi)(1 + \sin \phi)^{-1} \sigma_3\}$ を仮に相當引張應力といふこととし、これを σ_{eq} で示すと、

$$\sigma_{eq} = \{\sigma_1 - (1 - \sin \phi)(1 + \sin \phi)^{-1} \sigma_3\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

但し $\phi = 3^\circ \sim 4^\circ$

引張のときには、 $\sigma_1 = \sigma_t$ (引張應力), $\sigma_2 = 0, \sigma_3 = 0$ とすると

$$\sigma_{eq} = \sigma_t \quad \dots\dots\dots (6)'$$

圧縮のときには、 $\sigma_1 = 0, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = \sigma_c$ (圧縮應力) とすると

$$\sigma_{eq} = -(1 - \sin \phi)(1 + \sin \phi)^{-1} \sigma_c \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\sigma_c < 0, \sigma_{eq} > 0$$

今歪を有効歪になほし、應力を相當引張應力になほし、これらを夫々横軸と縦軸にとり、 $\phi = 3^\circ$ として圧縮と引張の曲線を描くと第5図の様になる。同じく $\phi = 4^\circ$ としたものが第6図である。第5図と第6図とをみると、引張の曲線(番号10)は他の多くの圧縮の曲線群の中に交つてゐることが判る。これより考ふれば、筆者の理論の様に相當引張應力と有効歪との間には引張と圧縮との如何に拘らず一定の関係を有することが判る。尙詳細に第5図と第6図とをみると、 $\phi = 3^\circ$ とした第5図では引張の曲線(番号10)は歪の大なる処では曲線群の最下位にあり(相當引張應力が最も小である)、 $\phi = 4^\circ$ とした第6図では有効歪 $\times 100$ が5のあたりでは引張の

第 5 図

第 6 図

曲線(番号 10)が曲線群の最高位(相当引張強度が最も大である)にある故に、この実験に用いた材料に対しては ϕ の値は 3.5° とすることが最も適當であるやうに思はれる。尚第 5 図及び第 6 図に於て引張の降伏強度が圧縮の降伏強度よりも大になつてゐる。この点に就ては前述の様に、今後一層の研究が必要であると考へてゐる。

5. 積み重ね圧縮試験

積み重ね圧縮試験といふのは、第 7 図の (a) 及び (b) に示す様に、試験片 1 個の高さ h' のものを数個積み重ねて圧縮する試験である。

この実験の目的は 1 個の試験片を圧縮するときと、数個重ねて圧縮するときと如何なる差違があるかを調べることである。例へば第 7 図で説明すると、試験片の直径は

(a), (b),

(c) のい

づれも等

しく d_0

として、

(a) では 1

個の高さ

h' のも

のを 4 個

積んで

h_0 の高

さにし、

(b) では 2 個積んで h_0 の高さにし、(c) では 1 個の高さ h_0 のものを取り、その各々の圧縮試験を行つて各強度歪線図をとつてみる。そしてその各線図の間に如何なる差違があるか

第 7 図

第 8 図 積み重ね圧縮

をみるのである。

第 8 図より第 13 図まではその実強度歪線を示してある。第 8 図では $d_0 = 10$ mm, $h_0 = 30$ mm とし、曲線番号の 1 より 6 まで 6 種の積み重ね方をした試験結果の線図を一つの図中に纏めてある。試験片の積み重ね方は図中に示してあるが、例へば番号 5 のものは $(h'/d_0 = \frac{1}{2}) \times 6$ とある。これは $d_0 = 10$ mm, $h'/d_0 = \frac{1}{2}$, $\therefore h' = 5$ mm

即ち直径 10 mm, 高さ 5 mm の試験片を 6 個積み重ねて、30 mm の高さとして圧縮したことを示す。図中の 6 個の試験に於ては、積み重ねたる数は悉く異なるが各の全体の高さ(積み重ねの高さ)は等しく 30 mm である。

この図でみると 6 個の曲線は密集してゐるから高さ 30 mm の 1 個の試験片を圧縮したときと、数個の試験片を

積み重ね

て 30 mm

の高さに

したもの

を圧縮し

たときは

強度歪線

上では大

した差違

がないこ

とがわか

る。たゞ

番号 5 と 6 の曲線はその右端が点線で画かれて、それが特別に低くなつてゐる(強度が特に小である)。これは積み重ね数が多いために肉眼で見得るほどに彎曲したので、その彎曲

したときの曲線を点線で示して置いたのである。

第9図より第13図までは同じく積み重ね試験の結果を示してあるが、図中に書き入れてあるやうに、積み重ね高さの等しいものに対する線図を一つの図中に纏め、積み重ね高さの異なる毎に図を別にしてある。

第11図 積み重ね圧縮

第12図 積み重ね圧縮

これらのいづれの線図をみても、應力歪線には積み重ねの数は殆ど影響しないことが判つた。

実験者はこの実験結果を得て、次には数種の薄板を重ねたものゝ圧縮試験を計画し、延いては、数種の薄板を重ねたものゝ圧延に就て研究したいと考えてゐる。

6. 結 び

この実験に就て得たる結果は次の通りである。

(a) 圧縮下降伏應力は試験片の高さが増すに従つて少しづつ低下する。

(b) 試験片の高さに依て圧縮下降伏應力が異なる故に、その影響をうけて應力歪線は歪の小さな所では試験片の高さが高い程應力が小である。然し歪が大になると、その影響が少くなつてきて試験片の高さの如何に拘らず應力が一定に近づくやうな傾向が認められた。

(c) 圧縮應力歪線と引張應力歪線との間の関係が塑性理論

第13図 積み重ね圧縮

に依て説明された。

(d) 積み重ね試験では、應力歪線は殆ど試験片の積み重ね数には関係しないことが判つた。

(附) 炭素量の甚だしい鋼では圧縮下降伏應力が特に小さいことが多い。この点に就ては尙研究をなしました他の機会に報告する心算である。

排気ガス組成より推算した不燃焼炭素量に就て⁽¹⁾

(昭和12年5月1日 名古屋地方講演會に於て講演)

准 員 下 山 鑛 一⁽²⁾

摘 要

機関の運転に際して燃焼が非常に悪いときには、排気ガス中に炭素が、不燃焼の儘で排出されることが容易に認められる。而して混合気濃度が適正であり且、排気ガスの色、臭等も悪くないと思はれる様な場合でも、機関の圧縮比、容積効率、燃焼室の形、点火又は噴油の時期或は燃料の霧化状況、空気との混合状況等その他種々の原因に依て多少の不燃焼炭素が排出されて、燃料の損失、機関性能への影響を生ずることを考へねばならぬと思ふ。

本実験に於ては、排気ガスの分析を行ひ、それより燃料中より不燃焼の儘排出される炭素量を推算することを目的としたものである。

1. 排気ガス組成より空気燃料重量比の計算

液体燃料の燃焼生成ガス組成は簡単に CO_2 , CO , O_2 , H_2 , CH_4 , N_2 , C , H_2O より成るものと考え、こゝに C は不燃焼炭素である。今これ等各成分の 1m^3 又は 1kg における組成は第1表に示す通りである。

(1) On the Unburned Carbon Computed from Exhaust Gas Analysis. 本稿の講演題名は、排気ガス組成より推算せる不燃焼炭素量と機関性能に就て。
(2) Kōichi SHIMOYAMA, Associate Member. The Nagoya Technical College. 名古屋高等工業学校。

第 1 表

成 分	CO_2	CO	CH_4	H_2O
成分 1m^3 中の組成 (kg)	C 0.535 7 H ₂ — O ₂ 1.428 6	0.535 7 — 0.714 3	0.535 7 0.180 0 —	— 0.090 0 0.714 3
成分 1kg 中の組成 (kg)	C 0.272 7 H ₂ — O ₂ 0.727 2	0.428 6 — 0.571 4	0.748 5 0.251 5 —	— 0.111 9 0.888 1

昭和12年8月]