90 塑性履歴を受けた鋼材の力学的諸性状に関する研究

東工大教授　藤本盛久
同大学院生　○和田　章

1. 概要

鋼材が各種の塑性履歴を受けると，その機械的性質が変化することは，一般によく知られている。通常延性材料は塑性変形により硬くなり，しかも延性は低下することが知られている。従来，鋼材は製造された時の状態で一定に保たれていて，常に明瞭な降伏点，降伏棚と，歪硬化領域を持つものと，見なされており，このような応力－歪曲線を基に研究が進められて来た。しかしながら，塑性設計が実現しつつある現在，鋼材が塑性履歴を受ける可能性が多くなり，前記のような処女状態にのみ，鋼材が存在することは，少なくなることも考えられる。又，最近よく使用されるH型鋼についてみても，溶接によるもの，圧延によるもの等があり，どちらについても，溶接・圧延による残留応力の為に応力－歪曲線は明瞭な降伏現象を示さない。特に溶接によるものについてはその無応力により，降伏点近い残留応力が発生していることが知られている。このような履歴を受けた鋼材に関しては，その機械的性質に何らかの変化が起ることは当然である。たとえば塑性履歴を受けた鋼材の許容応力を，降伏点を基にして決めるのがよいかも問題になるわけである。

鋼構造物の地震時に対しての最大耐力を推定するために，鋼材の塑性域における性状をより正確に把握することが必要になっている。今日まで，単純な引張りをうける場合についての研究は数多くあるが，圧縮，繰返し等をふくめた総合的な研究がされていなかった。又，建築・土木の構造計算（塑性もふくめて）をする時，その構造物の材料は，鋼にしても，コンクリートにしても等方．等質なものとして，取り扱うため，たとえば鉄についてのミクロ的な研究（転移論等）を，そのまますぐに応用することはむずかしい。つまり今日の構造設計には，もっとマクロ的なとらえ方で材料の性質を求明することが必要なのではないか。

昨年来，以上二つのことに着目して，藤本研究室では実験，研究を行なっている。その研究の一環として昨年は守谷一彦氏が構造用普通鋼材（ＳＳ４１）について実験を行なった。今回はそれを受けつぎ，最近よく使われ始めた鋼材（ＳＭ５０Ａ）について同様な実験を行なった。試験材料は昨年と同様に図１に示すようなプレートを焼鈍しをして５枚用意した。その五枚の板を３枚には，それぞれ異なる引張与歪を与え，１枚は曲げ歪を与えて残る１枚は処女状態のままとした。このプレートより，図２に示すように各々１０体づつの試験片を切り出した。その試験片に４枚のストレインーゲージをはって油圧試験機によって引張，圧縮，繰返しの実験を行い，その材料の諸性状を調べた。

この研究は前以って塑性履歴を受けた鋼材（ＳＭ５０Ａ）が再度引張，圧縮等の荷重を受けた場合及び両振りの繰返し荷重を受けた時，鋼材の機械的性質がどのように影響を受けるかをＳＳ４１の鋼材の場合と比較しながら，追求調査したものである。

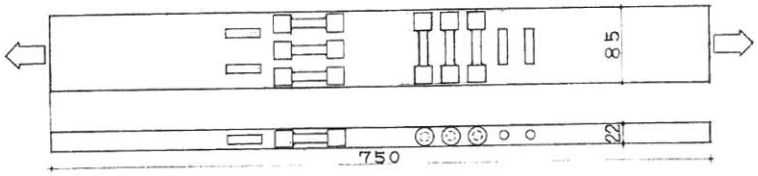


図-1　試験片切出し図

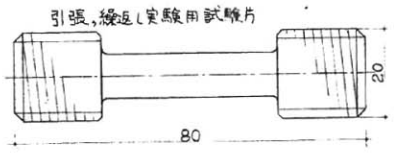
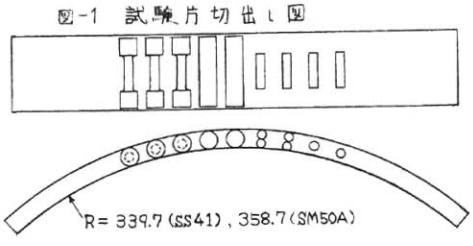
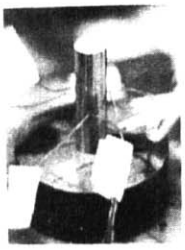


図-2





←全上写真

2. 考察

二つの鋼材の一号試験片による応力－歪曲線を図3に示す。図中点線で書かれているのは，三種類の与歪を与えたときの除荷曲線である。各試験片のくわしい与歪量を表1に示す。各試験片の実験は歪時効を考慮して与歪を与えた後１０日以上してから行なった。このあと，右ページに載せた応力－歪曲線を見ながら実験結果を考察してみよう。

〔比例限，弾性限〕 比例限，弾性限ともに塑性履歴の影響によって下る傾向がある。

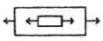
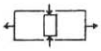
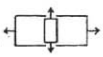
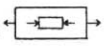
〔降伏点〕 右ページのグラフを見て明らかなように，はっきりとした降伏棚をもつ材料は少なくほとんどは，ラウンドハウス型の曲線になっているので0.2％耐力をもって降伏応力とした。降伏応力は与歪が大きなものほど大きくなることがすべての試験体を通して言えた。

〔最大応力〕 最大応力も与歪の大きな試験片ほど大きな値を示した。

〔降伏比〕 降伏後，破壊までの余裕を示す降伏比は塑性履歴の大きなものほど増加することが表2によくあらわれている。この値は無次元数であるのでＳＳ４１とＳＭ５０Ａとの比較に適していると考え，表2を載せたのであるが，それを見ると塑性履歴の影響は鋼材の違いによってあまり影響されなく与歪の量に影響されるところが多いことがわかる。

〔Bauschinger効果〕 一度ある向きに塑性変形を与えた材料に逆向きの荷重を加えるときは，再び前と同じ向きに荷重を加えるときに比較して変形抵抗は減少する。この現象をBauschinger効果というのだが今回の実験においては長手方向については，はっきりとこの傾向が出ている。しかし直交方向については逆になっているのがわかる。

右ページのグラフを参考にして鋼種，方向，与歪量の異いによる影響を見てみる。

1.  ◦この場合に限らずすべての試験体に対して言えることだがＳＳ４１の方が降伏点を上げたり，降伏棚を回復しているのに対してＳＭ５０Ａではそれがあまり見られない。
2.  ◦この場合については両鋼材の曲線がよく類似している。
   ◦ロール曲げ（点線）の結果は1.5％の曲線とよく一致している。
3.  ◦（４）の場合と同様に弾性限をＳＳ４１の方が回復している
   ◦ロール曲げ（点線）は圧縮の場合と違ってＳＭ５０Ａでは4.5％の曲線とよく一致している。
4.  ◦Bauschinger効果によって（１）の値より両試験体ともひくい値を示している。
   ◦与歪の大きなものほど大きな曲線を描くのは今までの考えに反するものである。

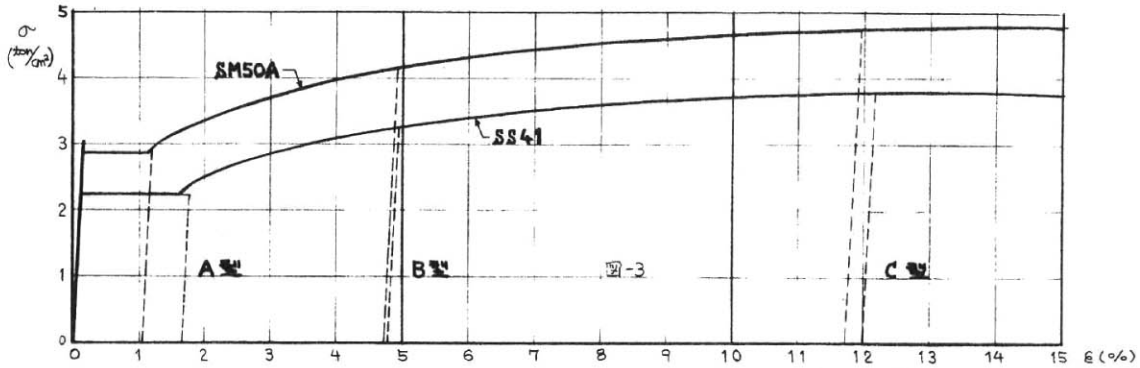


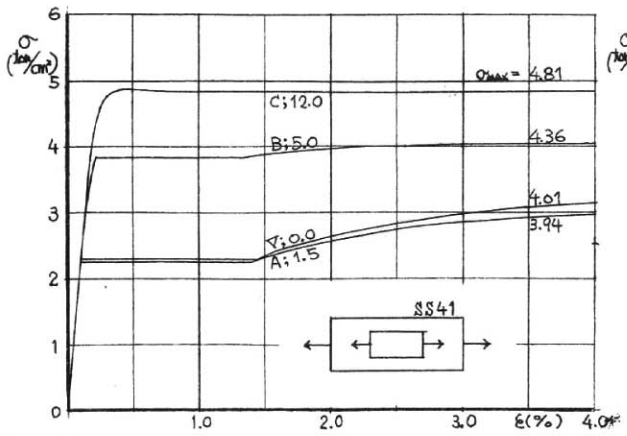
図-3

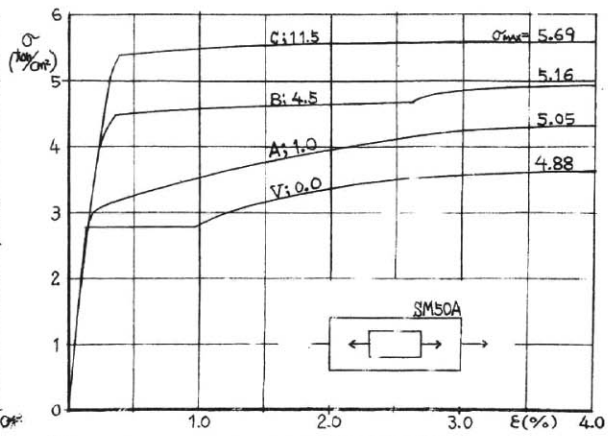
表-1 与歪量

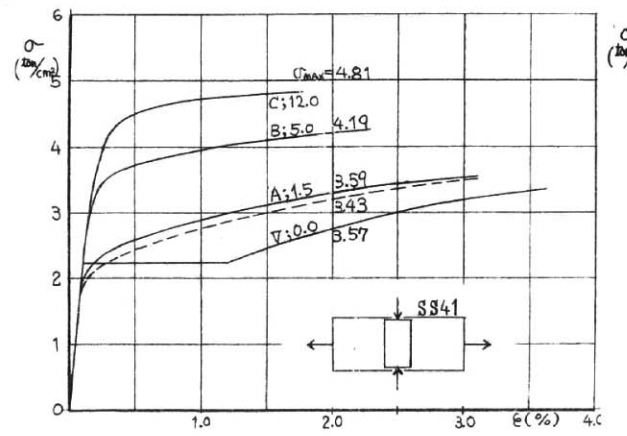
	A型 降伏棚の終り	B型 歪硬化域	C型 最大応力時	M型 ロール曲げ	C	Mn	Si	P	S
SS41	ε=1.67%	4.85	12.04	ρ=339.7 ε=3.24	.20	.47	灯.	.030	.020
SM50A	ε=1.00%	4.74	11.74	ρ=358.7 ε=3.07	.15	1.17	.50	.016	.017

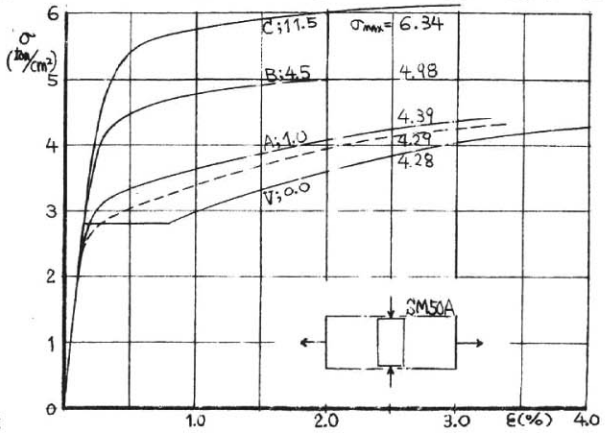
表-2 降伏比

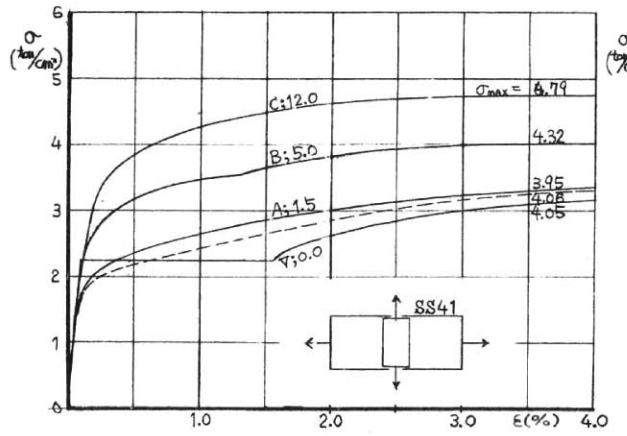
	V		A		B		C	
	SS41	SM50A	SS41	SM50A	SS41	SM50A	SS41	SM50A
	56	56	57	63	87	87	100	95
	56	53	55	56	69	70	75	75
	56	59	56	48	69	52	68	50
	62	65	68	74	84	86	90	85

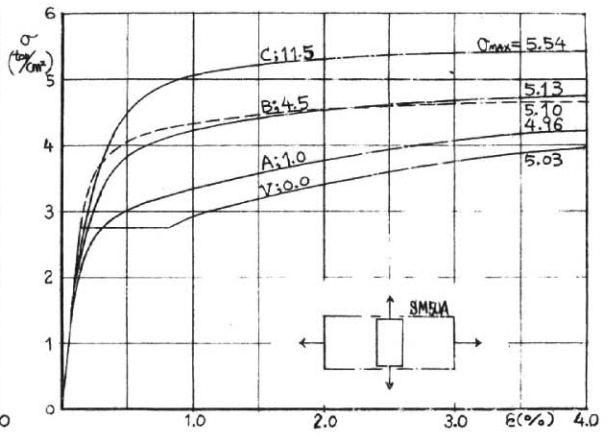

σ (ton/cm²)
σmax = 4.81
C;12.0
B;5.0
V;0.0
A;1.5
4.36
4.01
3.94
SS41
ε(%)

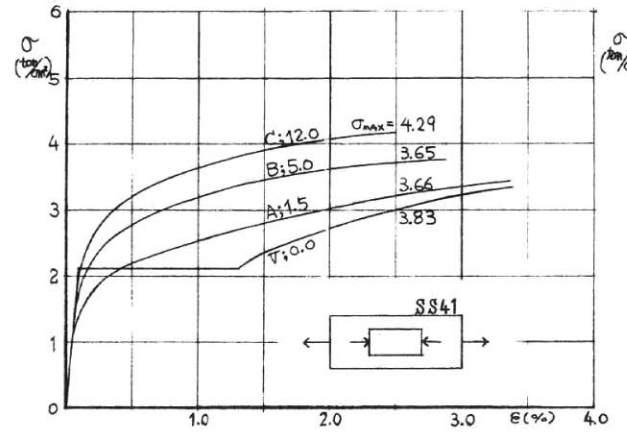

σ (ton/cm²)
C;11.5
σmax = 5.69
B;4.5
5.16
A;1.0
5.05
V;0.0
4.88
SM50A
ε(%)

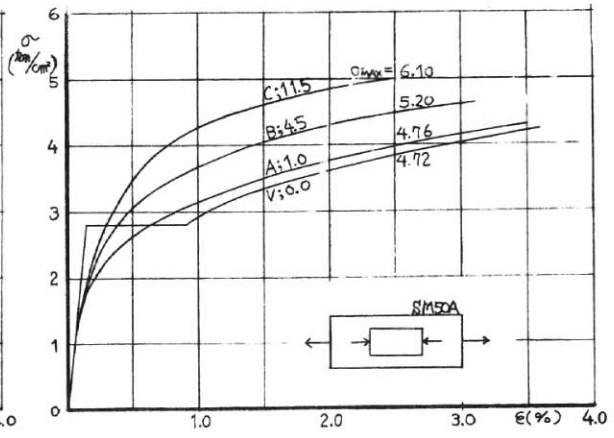

σ (ton/cm²)
σmax = 4.81
C;12.0
B;5.0
4.19
A;1.5
3.59
3.43
V;0.0
3.57
SS41
ε(%)

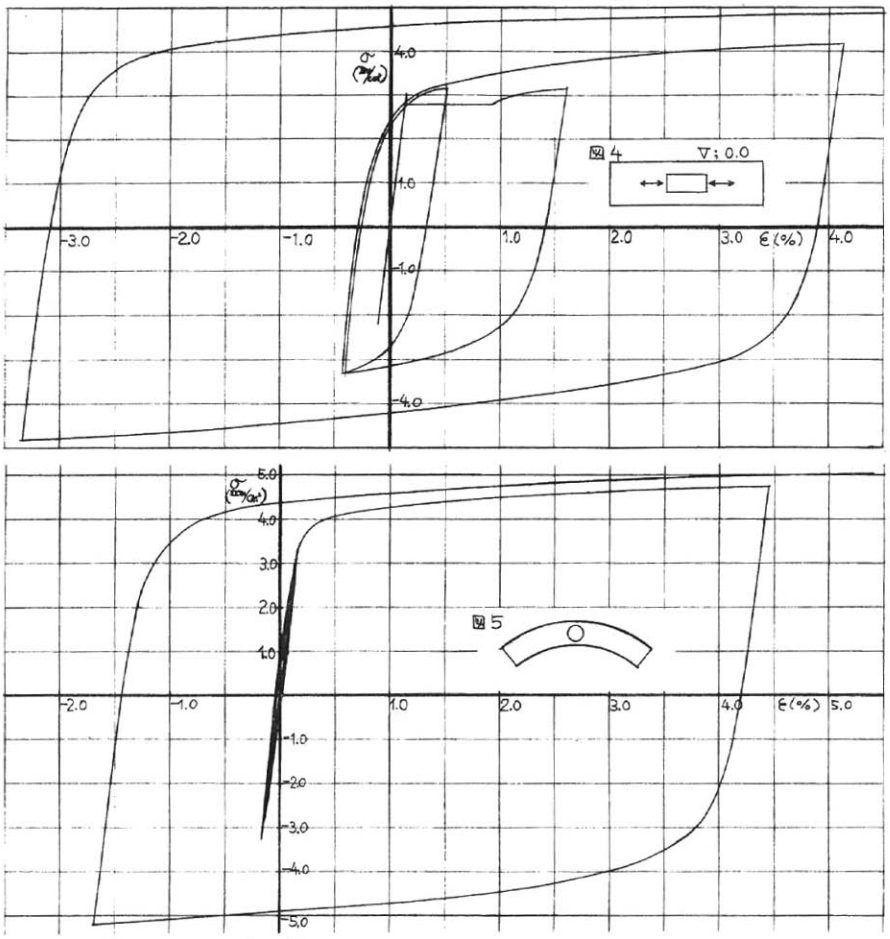

σ (ton/cm²)
C;11.5
σmax = 6.34
B;4.5
4.98
A;1.0
4.39
4.29
4.28
V;0.0
SM50A
ε(%)

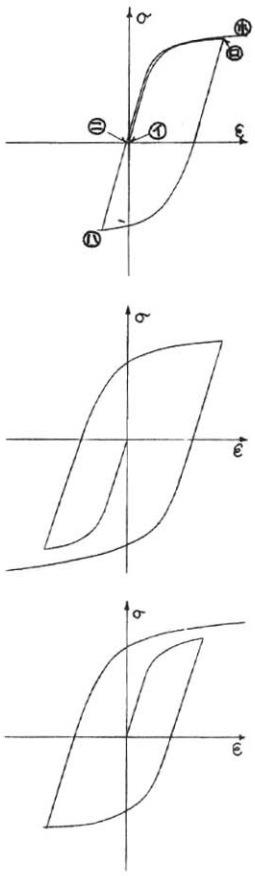

σ (ton/cm²)
C;12.0
σmax = 4.79
B;5.0
4.32
A;1.5
3.95
4.08
4.05
V;0.0
SS41
ε(%)


σ (ton/cm²)
C;11.5
σmax = 5.54
B;4.5
5.13
5.10
4.96
A;1.0
5.03
V;0.0
SM50A
ε(%)


σ (ton/cm²)
C;12.0
σmax = 4.29
B;5.0
3.65
A;1.5
3.66
3.83
V;0.0
SS41
ε(%)


σ (ton/cm²)
C;11.5
σmax = 6.10
B;4.5
5.20
A;1.0
4.76
4.72
V;0.0
SM50A
ε(%)





3. 繰 返 し 実 験 に つ い て

図－4は与歪を与えていない試験体，図－5はロール曲げされたプレートから切り出した試験体の繰返し実験の結果である。他の試験体の結果は与歪の大きなものほど下の図に近い型になっていることを記しておく。ここで両者を比較してわかることは，繰返し荷重量の同じ所では，下の図の方がループの囲む面積が少なくなっている。このことは引張試験，圧縮試験の結果を見てわかるように与歪の大きなものほど降伏点が高くなっていることが理由である。又疲労を受けるような所に使う部材には大きな塑性履歴を与えておくと，使用中に変形が大きくなりにくく有利になることも予想される。

ただし，今回の実験で注目すべきことは図Aのように㊁から㊂へ逆負荷するとき㊀の点が①の近くを通るような㊂で除荷するとその後の曲線㊃は前回の曲線と一致する。しかし，すべての実験結果を通して言えることだが，引張で大きな歪を与えると，図Bのように，圧縮側の曲線は前回の曲線を上まわる。同様なことは，図Cのように，圧縮から引張に移ったときにも言える。そして，大きな歪で引張，圧縮を繰返しているとループなどんどん広がることになる。このような現象については，今日まで，歪の多少にかかわらず図Aのようになるとされて研究が行われて来た。このような考えを基に塑性を考慮した理論解析を行なうと，どうしても実験値が理論値を上まわってしまうのである。もし，図B，図Cのような応力－歪曲線を基にして計算すれば理論値はもっと高くなり実験値と合うことも考えられる。

本研究に当たり構造用鋼材研究連絡会の御協力を頂きました。深く感謝致します。