

武蔵工業大学 正員 皆川 勝  
 武蔵工業大学 正員 西脇威夫  
 武蔵工業大学 正員 増田陳紀

1. はじめに 鋼構造物が過大な荷重によって非弾性域での負荷履歴を受けた場合の安全性の評価、さらに非弾性域での負荷を受けた後、構造物が崩壊に至らなかった場合の残存耐力の推定を合理的に行うためには、鋼材の履歴応力-ひずみ性状を明らかにし、かつ負荷履歴が鋼材の機械的性質におよぼす影響を定量的に把握することが必要であると思われる。本研究は繰返しの負荷履歴を受けた鋼材の機械的性質を静的引張試験により調べ、さらに定荷重面振り引張圧縮履歴を受けた鋼材の履歴応力-ひずみ曲線の数式化を試みようとしたものである。

2. 試験方法 供試鋼材はSM58Qであり、ミルシートによる機械的性質と化学成分を表-1に示す。試験片は板厚3mmの厚板からその軸を圧延方向と一致させて採取したものであり、試験片の形状と寸法を図-1に示す。本研究で実施した試験は、1)定荷重面振り引張圧縮破断試験( $\sigma_a/\sigma_y = 0.7 \sim 1.19$ )および2)定荷重面振り引張圧縮または荷重振幅漸増漸減(図-2参照)の負荷履歴を与えた試験片の、ひずみ時効促進処理(100°Cで1時間の煮沸)後の静的引張破断試験である。ここで $\sigma_a$ は応力振幅、 $\sigma_y$ は降伏応力である。実験2)における負荷の種類を表-2に示す。 $\sigma_a/\sigma_y = 0.95 \sim 1.19$ の試験は荷重速度が約0.25 cycle/min, 荷重波形が三角波の静的繰返し試験であり、 $\sigma_a/\sigma_y = 0.70 \sim 0.80$ の試験は荷重速度が約75 cycle/min, 荷重波形が正弦波の動的繰返し試験である。荷重強度は疲労試験機ロードセルの出力を、軸方向ひずみは試験片に貼付した塑性域用ひずみゲージの出力を、それぞれ動ひずみ計を介してX-Yレコーダに記録した。結果の整理はすべて公称応力-工学ひずみを用いて行った。なお、試験片の破面は走査電子顕微鏡を用いて観察し、負荷履歴の影響を調べた。

3. 試験結果 得られた荷重-ひずみ曲線の例を図-3(a), (b)に示す。また、履歴材の静的引張破断試験における応力-ひずみ線図の例を図-4(a), (b)に示す。図-5, 図-6はそれぞれ履歴材の引張強さと降伏応力(下降伏点または0.2%耐力)の処女材のそれとの比を示したものである。引張強さは繰返し応力によって鋼材が軟化した場合(C, T, TCおよびTT-type)は低下し、硬化した場合(CCおよびCT-type)は上昇するようである。降伏応力は負荷履歴の最終過程が引張の場合(T, TTおよびCT-type)はひずみ硬化によって上昇するが、ひずみ時効の影響は少ないと思われる。最終過程が圧縮の場合(C, TCおよびCC-type)にはパウシंगाー効果によって降伏応力は著しく低下した。また、T-typeの試験片を除いていずれの場合も降伏棚は現われなかった。図-7は応力 $\sigma$ とその応力における接線係数 $E_t (=d\sigma/d\varepsilon)$ の関係を、それぞれ処女材の降伏応力 $\sigma_y$ とヤング率 $E$ で無次元化して示したものである。負荷履歴の最終負荷に対して逆負荷が作用した場合、 $E_t$ は応力の増加に伴って急激に減少している。写真-1は試験片の破面を走査顕微鏡で観察した1例で、 $\sigma_a/\sigma_y = 0.95$ ,  $N = 200$ 回の定荷重履歴を受けた試験片の場合である。通常の引張破断面に見られるラングムルに囲まれて、応力繰返しの影響と思われる痕跡が見られる。

降伏応力を超える応力振幅での定荷重面振り引張圧縮試験における履歴曲線を、図-8に示す座標系を用いて、 $\sigma = \sigma_y + (\sigma - \sigma_y)^m$ の形で表わし、推定式を導いた。ここで、 $K$ と $m$ は繰返し数の1次関数とし、その係数を応力振幅の1次関数として近似した。図-9は推定曲線と実験曲線とを比較して示したものである。

4. おわりに 構造物が受ける負荷履歴は多種多様であり、用いられる鋼種も種々あるが、ここでは構造物の軽量化の要請から多用されているSM58Qを供試鋼材に選び、最も基本的な負荷形式としての定荷重面振りの負荷を受けた鋼材の性質を調べた。今後さらに $\sigma_y$ の蓄積等の必要はあるが、本報告は負荷履歴を受けた鋼

表-1 供試鋼材の機械的性質と化学成分

TENSION TEST				CHEMICAL COMPOSITION(%)																
Y.P. kg/mm <sup>2</sup>	T.S. kg/mm <sup>2</sup>	EL. %		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ceq							
kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%		x100	x100	x100	x1000	x1000	x100	x100	x100	x100	x100							
60	71	28		14	29	129	21	3	2	47	13	4	42							

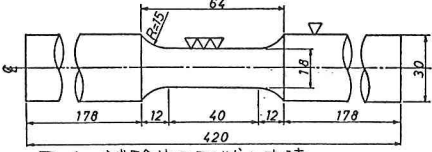


図-1 試験片の形状と寸法

表-2 負荷の種類

履歴	定荷重面振り引張圧縮		荷重振幅漸増漸減				
タイプ	C	T	L	TC	TT	CT	CC
外一負荷	引張	引張	自動履歴	引張	引張	圧縮	圧縮
最終負荷	圧縮	引張		圧縮	引張	引張	圧縮
$\sigma_a/\sigma_y$	0.95, 1.10		0.70, 0.80	$\sigma_1/\sigma_y=1.00$	$\sigma_2/\sigma_y=1.10$		

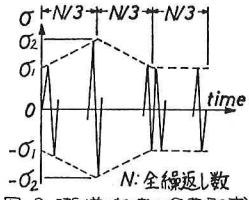


図-2 漸増・漸減の負荷形式

図-3, 5, 6中のNは繰返し数,  $N_f$ は右破断点繰返し数である。

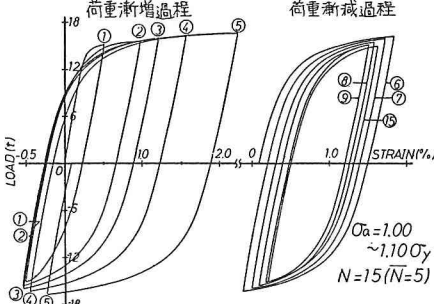


図-3 荷重振幅漸増漸減試験

図-3 荷重-ひずみ曲線の例

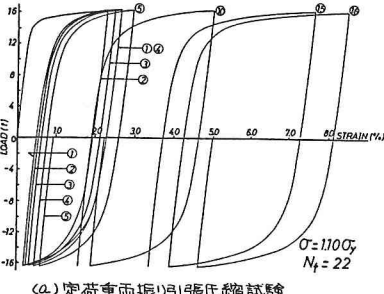


図-4(a) 定荷重面振り引張圧縮試験

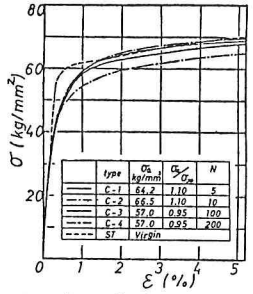


図-4(a) C-type

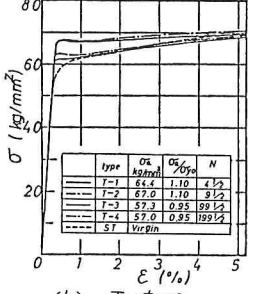


図-4(b) T-type

図-4 履歴材の引張試験における応力-ひずみ関係

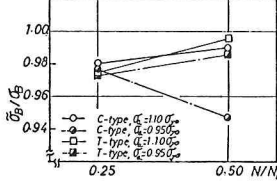


図-5(a) 定荷重面振り引張圧縮履歴材

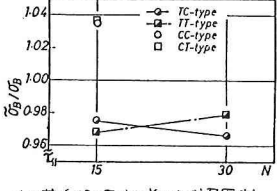


図-5(b) 荷重振幅漸増漸減履歴材

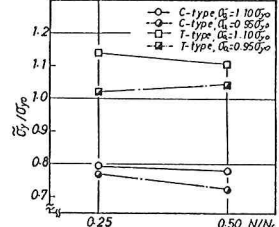


図-6(a) 定荷重面振り引張圧縮履歴材

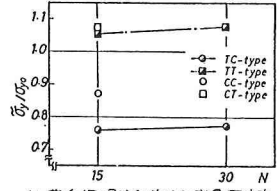


図-6(b) 荷重振幅漸増漸減履歴材

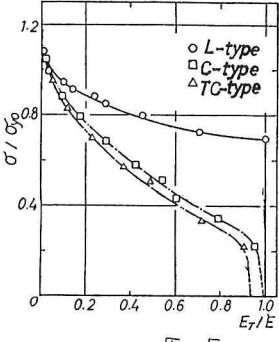


図-7 履歴材の  $\frac{\sigma_y}{\sigma_{y0}} - \frac{E_T}{E}$  関係

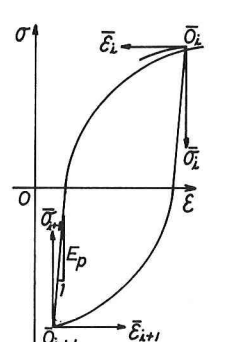


図-8  $\sigma - \epsilon$  座標系

材の安全性を検討する上での基礎的資料となるものとする。

本研究は昭和55年度文部省科学研究費補助金によって実施したものである。なお、本研究を行うにあつて

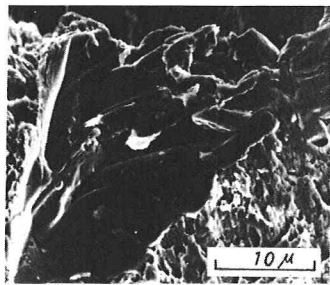


写真-1 定荷重面振り引張圧縮履歴材の破面 ( $\sigma_a/\sigma_y=0.95$ ,  $N=200$ 回)

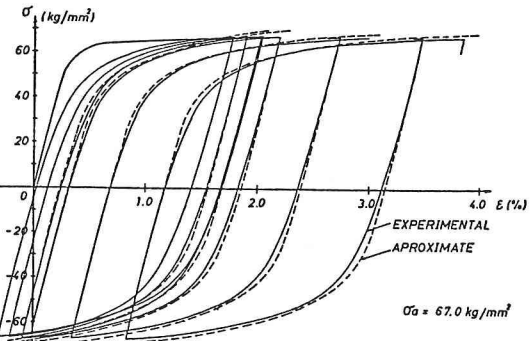


図-9 推定履歴応力-ひずみ曲線と実験曲線の比較

の梨谷保司(ピーシー橋梁), 藤巻羊司(横河工事), 正木建美(東亜建設) 各氏の協力に感謝いたします。