

名古屋大学工学部 大塚昭夫, °西村誠二

1. 緒言 著者らはこれまで低強度鋼の延性破壊条件を明らかにするための研究の一環として、応力三軸度と延性破壊発生時の有効塑性ひずみ及び破壊発生部破面上のディンプル寸法の分布などとの関係について検討を行ったが、本報告では、このような関係が予ひずみによって如何なる影響をうけるかについて検討した。

2. 供試材、試験片及び実験方法 供試材は直径24mmのSS41丸棒で、その化学成分及び機械的性質を表1に、顕微鏡組織及び介在物の分布状況を図1に示す。実験は直径20mmの平滑(切欠半径300mmR)丸棒試験片に10%、20%、40%と3種類の引張予ひずみを与えた後、図6中に示すような切欠半径6mmR、3mmR、1mmRの内周切欠試験片を採取して行った。また、予ひずみなしの場合についても同様の切欠試験片及び平滑(切欠半径50mmR、実断面直径6 $\phi$ )試験片を用いて実験を行い予ひずみ材の結果と比較した。延性破壊発生時の有効塑性ひずみを求めるため負荷の途中で除荷し、試験片中央縦断面を切断して延性き裂の有無を調べた。さらに、予ひずみの有無と破壊発生部のディンプル寸法の分布との関係も明らかにするため、破面の走査電顕観察を行い、前報<sup>(1)</sup>と同様な方法でディンプルの寸法(平均直径)を測定した。すなわち、いずれの試験片でも中心部から破壊が発生しているので、試験片中心部の直径2mmの円の範囲内でも視野測定し、その平均値を解析に用いた。有効塑性ひずみ $\bar{\epsilon}_p$ は試験片最小断面直径(負荷前の値= $d_0$ 、負荷後の値= $d$ )を測定し、 $2 \ln(d_0/d)$ を用いて求めた。応力三軸度を表すパラメータとしては $\sigma_m/\bar{\sigma}$ ( $\sigma_m$ =平均応力、 $\bar{\sigma}$ =有効応力)をとり、この $\sigma_m/\bar{\sigma}$ はくびれの曲率半径 $R$ と最小断面半径 $a$ を測定し、Bridgmanの式<sup>(2)</sup>  $\sigma_m/\bar{\sigma} = 1/3 + \ln(a/2R+1)$ を用いて算出した。

3. 実験結果及び考察 (1) 延性破壊発生時のひずみに及ぼす予ひずみの影響 図2は予ひずみ $\bar{\epsilon}_p$ を様々に変えた場合の3mmR試験片の真応力と $\bar{\epsilon}_p$ の関係も、さ

表1. 供試材の化学成分及び機械的性質

Steel	Chemical compositions (%)					Yield stress kg/mm <sup>2</sup>	Tensile strength kg/mm <sup>2</sup>	Reduction of area %
	C	Si	Mn	P	S			
SS41	0.16	0.23	0.48	0.034	0.020	30.3	46.8	65.9

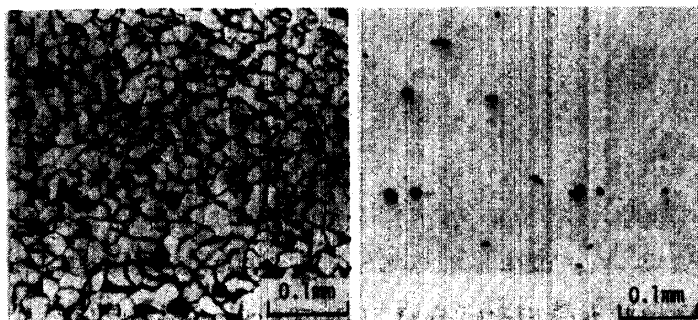
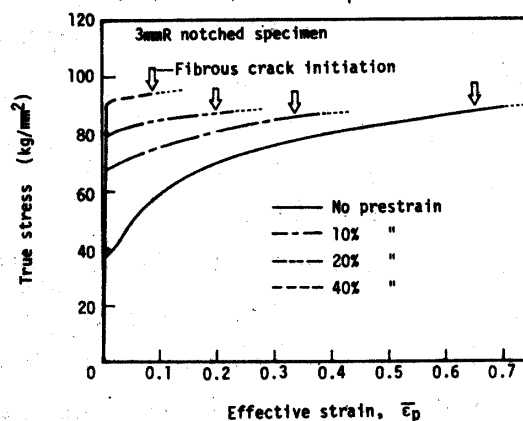


図1. 供試材の顕微鏡組織と介在物の分布状況(圧延方向断面)

図2. 真応力-有効ひずみ( $\bar{\epsilon}_p$ )線図、3mmR試験片

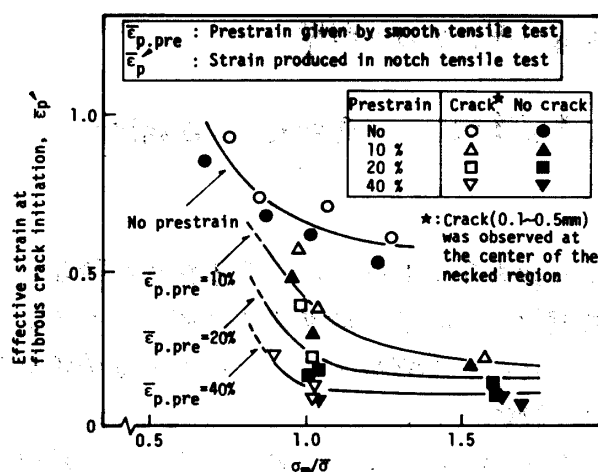


図3. 平滑試験片で予ひずみ( $\bar{\epsilon}_{p,pre}$ )を与えた後、切欠を付した試験片の引張試験時の延性破壊発生ひずみ( $\bar{\epsilon}_p'$ )に及ぼす予ひずみ( $\bar{\epsilon}_{p,pre}$ )の影響

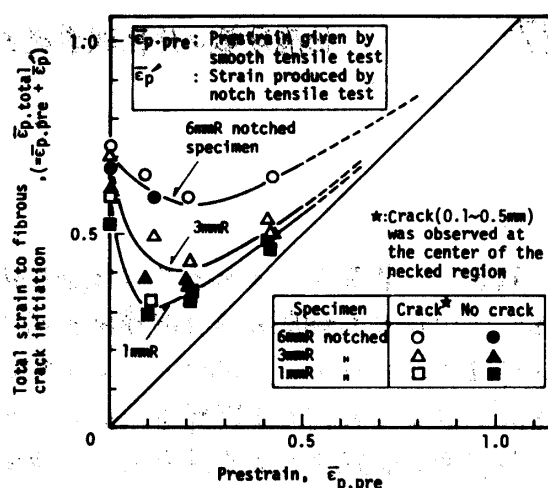


図4. 延性破壊発生時の全塑性ひずみ( $\bar{\epsilon}_{p,total} = \bar{\epsilon}_{p,pre} + \bar{\epsilon}_p'$ )に及ぼす予ひずみ( $\bar{\epsilon}_{p,pre}$ )の影響

た、図3は破壊試験時の延性破壊発生ひずみ $\bar{\epsilon}_p'$ と $\sigma_m/\sigma$ の関係を示したものである。これらの図から、 $\sigma_m/\sigma$ の値如何にかかわらず $\bar{\epsilon}_{p,pre}$ が増すに従い $\bar{\epsilon}_p'$ は大幅に減少することがわかる。

(2) 予ひずみと延性破壊発生時の全塑性ひずみとの関係 図4は $\bar{\epsilon}_{p,pre}$ と延性破壊発生に至るまでの全塑性ひずみ $\bar{\epsilon}_{p,total} (= \bar{\epsilon}_{p,pre} + \bar{\epsilon}_p')$ の関係を示したものである。同図より、いずれの切欠の試験片においても $\bar{\epsilon}_{p,pre}$ の増加に伴い $\bar{\epsilon}_{p,total}$ は減少し、ある最小値に達した後増加する。そして、 $\bar{\epsilon}_{p,pre}$ の増加に伴う $\bar{\epsilon}_{p,total}$ の減少の程度は $\sigma_m/\sigma$ の大きい程(すなわち、切欠が鋭くなる程)著しいことがわかる。

(3) ダインプル寸法の分布 図5(a)(b)(c)は予ひずみなしの、(d)(e)(f)は20%予ひずみ材のそれぞれ6mmR、3mmR、1mmR切欠試験片の破面写真で、同じ試験片のダインプル寸法の分布を示したのが図6である。図5及び図6から、同じ切欠鋭さ(同程度の応力三軸度)の試験片を比較すると、20%予ひずみ材の方が予ひずみなしの場合に比べて小さいダインプルの占める比率が大きいことがわかる。この傾向を定量的に示したのが図7で、 $\sigma_m/\sigma$ と直径20 $\mu\text{m}$ 以上の比較的大きなダインプルの占める面積率との関係を示したものである。

この図からも、20%予ひずみ材の方が予ひずみなしの場合に比べて小さいダインプルの占める面積

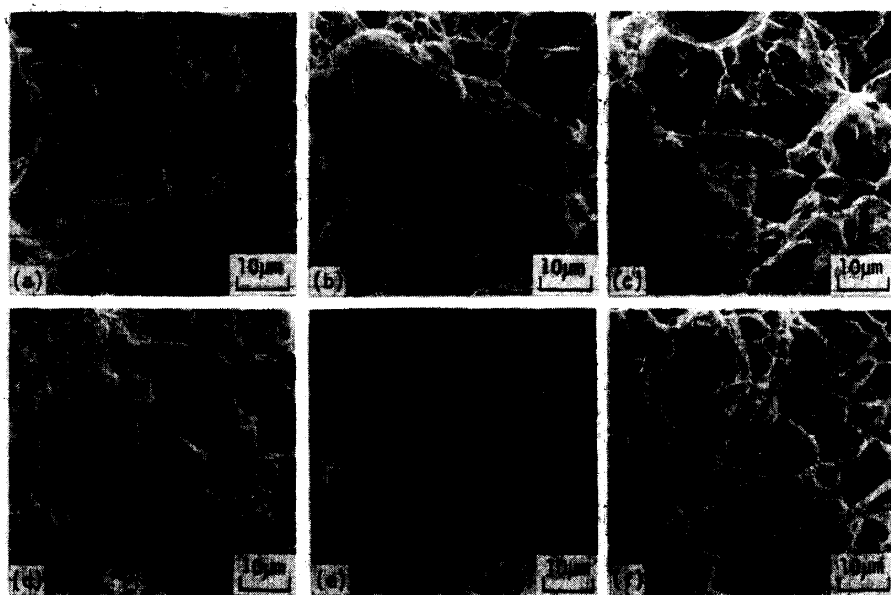


図5. 破面の走査電顕写真 (a)予ひずみなし、6mmR、(b)予ひずみなし、3mmR、(c)予ひずみなし、1mmR、(d)20%予ひずみ、6mmR、(e)20%予ひずみ、3mmR、(f)20%予ひずみ、1mmR試験片

率が大きくなる。なお、予ひずみなしの場合前報と同様の $\sigma_m/\bar{\sigma}$ の増加に伴い大きなダインプルの占める面積率が大きくなるが、予ひずみ材の場合はこの傾向は顕著でない。

(4) 延性破壊発生過程について 前述のとおり、予ひずみ材の $\bar{\epsilon}_p$  totalは予ひずみなしの場合と比べて小さくなり、また小さなダインプルが多くみられることは、延性破壊発生までのマイクロボイドの発生・成長・合体過程が予ひずみに

影響をうけるためと考えられる。すなわち図8に示すように、同じ応力三軸度(切欠鋭さ)の試験片を比較すると、予ひずみなしの場合は負荷の初めより $\sigma_m/\bar{\sigma}$ が大きいため、負荷の初期に比較的小数の大きな介在物より発生したボイドが大きく成長して合体して破壊する。それに対して $\sigma_m/\bar{\sigma}$ の小さい状態で予ひずみを受けた場合は、予ひずみの段階では $\sigma_m/\bar{\sigma}$ が小さいため、ボイドは大きく成長せず、一様に多数のボイドの残った状態では小さなボイドが形成された状態になっているので、これに切欠を付けて $\sigma_m/\bar{\sigma}$ が大きくなった状態で破壊試験を行うと、これらの多数の小さなボイドあるいはボイドの核が一斉に成長し、ボイドが小さいうちに早期に合体して破壊する。従って、破面上には予ひずみ材の方が予ひずみなしの場合に比べて小さなダインプルが多くみられ、かつ、破壊発生時のひずみ値が小さくなるものと考えられる。

(参考文献) (1) Otsuka et al.: Proc. Int. Conf. Fract. Mech. in Eng. Appl., Bangalore (1978). (2) 大塚他: 材料, 29, 717 (1980). (3) 大塚他: 日本材料学会第9期学術講演会前報, 233 (1980). (4) P. W. Bridgman: Studies in Large Plastic Flow & Fracture, McGraw-Hill, New York (1952).

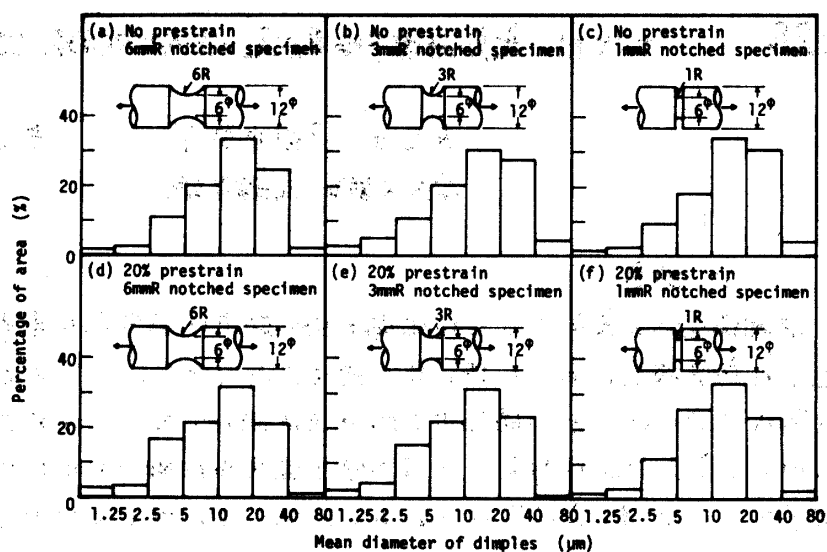


図6. 各寸法のダインプルの占める面積率。(a)予ひずみなし, 6mmR. (b)予ひずみなし, 3mmR. (c)予ひずみなし, 1mmR. (d)20%予ひずみ, 6mmR. (e)20%予ひずみ, 3mmR. (f)20%予ひずみ, 1mmR. 試験片

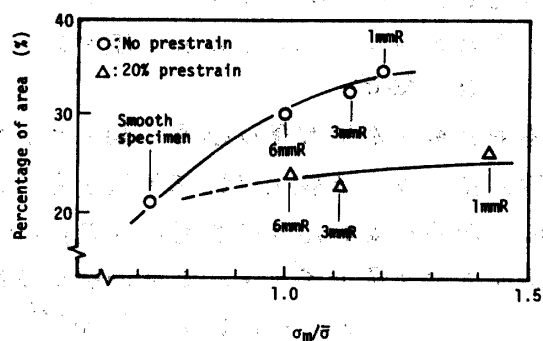


図7. 応力三軸度( $\sigma_m/\bar{\sigma}$ )と平均直径 $\mu m$ 以下のダインプルの占める面積の割合(破面に対して占める比率(面積率))との関係

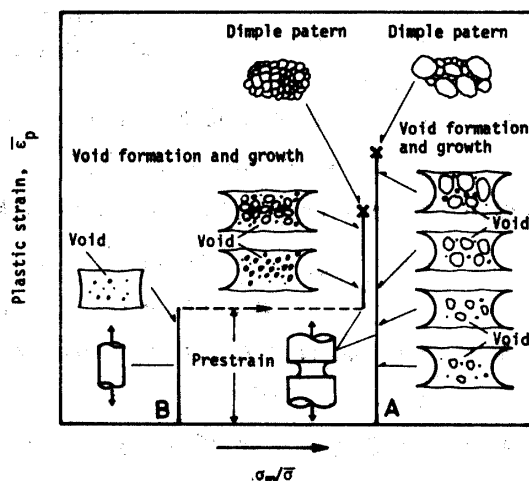


図8. ボイドの発生・成長・合体過程に及ぼす予ひずみの影響。初めの応力三軸度を付与した試験片の破壊発生過程(A)と平滑材で予ひずみを与えて後、切欠を付けて引張試験を行った場合(B)の比較。