
オーステナイトステンレス鋼薄板の引張性質におよぼす試験片形状の影響

Effects of Shape and Size of Specimen on Tensile Properties of Metastable Austenitic Stainless Steel Sheets

野原 清彦(Kiyohiko Nohara) 渡辺 健次(Kenji Watanabe) 大橋 延夫(Nobuo Ohashi)

要旨：

供試材として SUS-301 と SUS-304 を用い、引張性質におよぼす試験片形状の影響を検討した。平行部幅の増加につれて伸びが増加した。これは軟鋼と相反する結果で、オーステナイトステンレス鋼では幅拘束の影響は小さく、つかみ拘束が支配的であることを示す。また本鋼種では強度特性が形状の影響を受けるが、これは軟鋼やフェライトステンレス鋼ではみられない特徴である。つかみ拘束の小さい形状を持つ試験片では伸び — 荷重線図において serration が多発する。したがって、ひずみの伝ば性が良好となり、ゆるやかなこう配を有するひずみ分布曲線が得られる。

Synopsis：

The shape and size effects of specimens on tensile behavior were studied using metastable austenitic stainless steel sheets, JIS SUS-301 and SUS-304. Elongation increases with the parallel section width of tensile specimen quite contrary to mild steel sheets. This shows that in austenitic stainless steels the effect of the restriction at gripping section is dominant and that at parallel section width is much small. The tensile strength is influenced by the shape of specimen in the present steel sheets, although this is in no case of mild steel sheets and ferritic stainless steel sheets. Serrated regions in the load-elongation curve appeared more extensively in the specimen having a small restriction at the gripping section. In those cases, propagation of strain is large and the gradient of the strain distribution in stretched specimen is small.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

オーステナイトステンレス鋼薄板の引張性質におよぼす 試験片形状の影響

Effects of Shape and Size of Specimen on Tensile Properties
of Metastable Austenitic Stainless Steel Sheets

野 原 清 彦*

Kiyohiko Nohara

渡 辺 健 次**

Kenji Watanabe

大 橋 延 夫***

Nobuo Ohashi

Synopsis :

The shape and size effects of specimens on tensile behavior were studied using metastable austenitic stainless steel sheets, JIS SUS-301 and SUS-304.

Elongation increases with the parallel section width of tensile specimen quite contrary to mild steel sheets. This shows that in austenitic stainless steels the effect of the restriction at gripping section is dominant and that at parallel section width is much small. The tensile strength is influenced by the shape of specimen in the present steel sheets, although this is in no case of mild steel sheets and ferritic stainless steel sheets.

Serrated regions in the load-elongation curve appeared more extensively in the specimen having a small restriction at the gripping section. In those cases, propagation of strain is large and the gradient of the strain distribution in stretched specimen is small.

1. 緒 言

準安定オーステナイトステンレス鋼薄板の引張試験で得られる特性は引張速度、引張温度および引張試験雰囲気以外に引張試験片の形状もしくは寸法の影響を受けると考えられる。試験片の形状効果に関する研究は軟鋼についてはいくつかの報

告¹⁾があるが、オーステナイトステンレス鋼に関する報告としては清末²⁾によるものとステンレス協会技術委員会機械試験法分科会の報告³⁾がある程度である。本鋼種はマルテンサイト変態を伴いながら変形が進行し、軟鋼やフェライトステンレス鋼とは加工硬化の機構が異なるので、これらの鋼と比べて形状効果にいかなる差が生ずるかを系統的に検討することは興味がある。しかるに清末

* 技術研究所特殊鋼研究室主任研究員

*** 技術研究所特殊鋼研究室室長・工博

** 技術研究所特殊鋼研究室

の報告²⁾では形状因子としてつかみ肩半径とつかみ幅の2因子のみを変化させたときの引張強さ、全伸びおよび伸びひずみ分布を測定しているにすぎず、また機械試験法分科会の報告³⁾では JIS 5号, JIS 13A 号ならびに JIS 13B 号の実用試験片の伸びを測定しているだけで、種々の形状因子の影響を単独に抽出しうるような系統的な実験はなされていない。

そこで本実験では、供試材としてオーステナイトステンレス鋼の代表鋼種でオーステナイト安定度が異なる SUS-301 および SUS-304 鋼薄板をえらび、引張試験片の平行部長さ、平行部幅、つかみ肩半径、つかみ幅などを系統的に変えて実験を

行ない、軟鋼と比較対照しながら結果を検討することにした。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材としては板厚 0.5mm の SUS-301 (ダル仕上げ) と板厚 0.7mm の SUS-304 (ダル仕上げ) を各 1 種類ずつ使用した。チェック分析値を **Table 1** に示す。また ASTM 結晶粒度番号は SUS-301 が 8.3, SUS-304 は 8.4 である。

Table 1 Chemical compositions of specimens (wt %)

Specimen	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr
SUS-301	0.11	1.12	0.63	0.030	0.011	7.17	17.19
SUS-304	0.06	1.54	0.45	0.031	0.009	9.17	18.50

Table 2 Dimensions of tensile test specimens

		Parallel section length, L (mm)	Parallel section width, W (mm)	Shoulder radius, R (mm)	Gripping section width, B (mm)
Standard specimen		60	12.5	35	20
a	1	80	"	"	"
	2	100	"	"	"
	3	140	"	"	"
	4	200	"	"	"
b	1	60	10	"	"
	2	"	15	"	"
	3	"	17.5	"	"
c	1	"	12.5	15	"
	2	"	"	25	"
	3	"	"	45	"
d	1	"	"	35	17.5
	2	"	"	"	22.5
	3	"	"	"	25
	4	"	"	"	30

Gage length, $G=50\text{mm}$

2.2 試験片の寸法諸元

ステンレス鋼薄板の引張試験に通常用いられる JIS 13B 号引張試験片は単軸応力による変形を行なわしめる平行部と、これに必要な力を伝達するつかみ部とからなっている。そこで測定対象の一つである平行部に関しては、平行部長さおよび平行部幅を形状寸法効果の因子としてとりあげる。一方つかみ部に関しては、つかみ肩半径、つかみ幅、つかみ部長さ、つかみ位置およびチャック状態などが平行部の単軸応力状態を乱す因子となり、平行部の変形に影響する可能性が考えられる。このうちつかみ部長さ、つかみ位置およびチャック状態は一定とし、つかみ肩半径とつかみ幅を要因としてとりあげた。

実験に使用した引張試験片の形状寸法諸元を Table 2 に示す。すなわち、表に示した寸法を有する基準試験片を準備し、これを基にして以下のように形状因子を変化させた試験片を作製した。

- (a) 平行部長さ (L): 基準試験片の平行部長さだけを 80~200mm の範囲で 4 水準に変化させた。その他の形状因子は基準試験片と同じである。
- (b) 平行部幅 (W): 基準試験片の平行部幅だけを 10~17.5mm の間で 3 水準に変化させた。
- (c) つかみ肩半径 (R): 基準試験片のつかみ肩半径だけを 15~45mm の間で 3 水準に変化させた。
- (d) つかみ幅 (B): 基準試験片のつかみ幅だけを 17.5~30mm の範囲で 4 水準に変化させた。

なおつかみ部の長さはすべての試験片について 50mm 一定とした。同一形状寸法を有する試験片を各鋼種についてそれぞれ 3 枚ずつ作製し、試験に供した。

2.3 引張試験条件

引張試験機は島津製作所製オートグラフ (10t) を使用した。引張試験は室温 (21°C) の大気中において、クロスヘッド速度を 20mm/min 一定として行なった。つかみ位置はつかみ肩部末端から

10mm 一定とした。吉田ら⁵⁾によれば、アルミニウムキルド軟鋼板の場合、平行部末端から $(W+B)/2$ だけ離れていればつかみ位置の拘束の影響は無視してさしつかえないことが示されている。上記のつかみ位置一定の条件にしたがえば、本実験に用いた Table 2 のすべての試験片について平行部末端からの距離が $(W+B)/2$ より大きく、つかみ位置の影響は無視することができるものと考えられる。すべての試験において同じチャックを使用した。伸び測定のための標点距離は原則として 50mm とした。伸びひずみ分布を測定するために、あらかじめ試験片に 5mm 間隔にケガキ線を入れた。なお平行部長さ変更材の $L=200$ mm の SUS-301 試験片についてはクロスヘッド間隔が短かすぎたため引張試験を行なえなかった。試験片はすべて圧延方向に平行である。

3. 実験結果および考察

3.1 試験片形状による引張特性値の変化

引張試験で得られる特性値は強度、変形および強度・変形複合特性の 3 つに分けることができる。ここでは強度特性として引張強さを、変形特性として全伸びをそれぞれとりあげ、これらの試験片形状による変化をグラフに示す。すなわち Fig. 1 は平行部長さ、平行部幅、つかみ肩半径およびつかみ幅に対する変化を SUS-301 および SUS-304 の場合について示したものである。

平行部長さの増加につれて引張強さは SUS-301 ではかなり顕著に増加し、SUS-304 ではごくわずかに増加する (Fig. 1 のすべての場合についていえることであるが、SUS-301 の特性値は引張強さおよび全伸びともある程度ばらつくのに対し、SUS-304 はきわめてばらつきのすくないことが特徴的である)。全伸びは SUS-301 の場合は値がややばらついていて明らかでないが、SUS-304 は明らかに増加する。平行部幅の増加に対して引張強さは SUS-301 および SUS-304 とも変わらないが、全伸びは両鋼種ともわずかに増加傾向を示す。これは吉田ら⁵⁾によるアルミニウムキルド軟鋼板の場合と対照的である。つかみ肩半径の増加

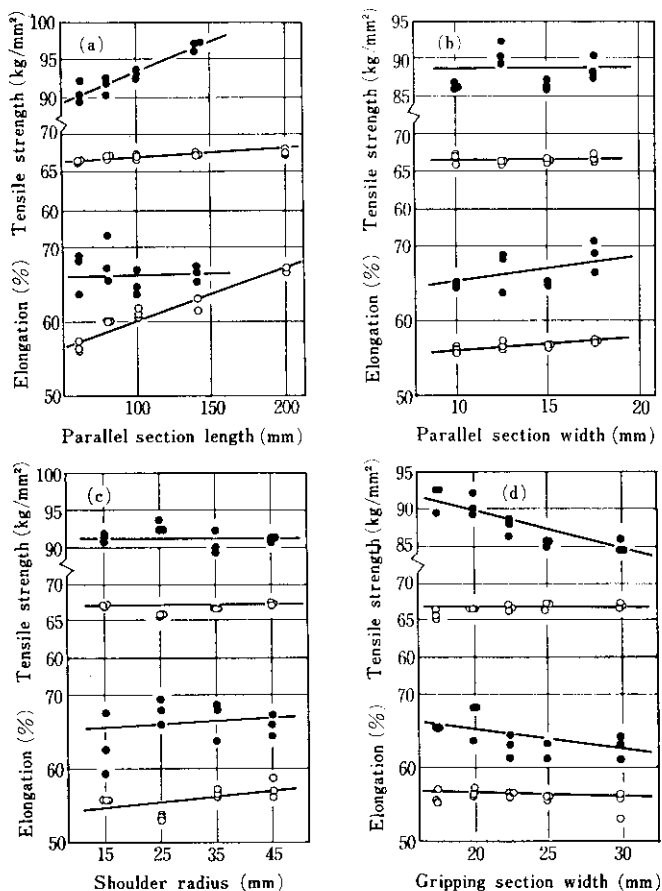


Fig. 1 Change in tensile properties with the shape of tensile specimen (• SUS-301, ○ SUS-304)

につれて引張強さは両鋼種とも変化は認められず、全伸びは両鋼種とも増加する。この全伸びの変化は清末ら²⁾の結果とは逆の傾向である。つかみ幅の増加に対しては引張強さは SUS-301 の場

合明りょうな減少傾向を示し、つかみ幅が 15mm のとき引張強さが約 91.3 kg/mm² だったものが、つかみ幅が 30mm になると引張強さは約 85.0 kg/mm² と 6.3 kg/mm² も減少することがわかる。これに対し SUS-304 はほとんど変化しない。全伸びも引張強さと同様 SUS-301 では明りょうに減少し、SUS-304 ではほとんど変化がない。

以上の結果を軟鋼板の場合とともにまとめて示すと Table 3 のようになる。すなわち平行部長さ、平行部幅、つかみ肩半径およびつかみ幅の各々の増加に対して、引張強さは軟鋼板の場合は変化しないが、オーステナイトステンレス鋼では形状効果を受けることがあることが注目される点である。この事実はオーステナイトステンレス鋼は軟鋼と異なって変態誘起塑性を伴いながら加工硬化が進行するために強度特性といえども形状効果の影響を微妙に受けることが原因していると考えられよう。また全伸びに対する影響のうち平行部幅の影響のみが軟鋼とオーステナイトステンレス鋼とで逆傾向を示す点も注目される。このことは軟鋼で

は幅拘束の影響が大きいのに対し、オーステナイトステンレス鋼では幅拘束よりもむしろつかみ拘束の影響のほうが大きいことを示すものである。

以上は形状因子の単独の効果をみたものである

Table 3 Change in tensile properties with the increase in the values of shape factors

Shape factor	Tensile strength			Elongation		
	SUS-301	SUS-304	Mild steel	SUS-301	SUS-304	Mild steel
Parallel section length	Increase	Increase	Invariable	Invariable	Increase	Increase
Parallel section width	Invariable	Invariable	Invariable	Increase	Increase	Decrease
Shoulder radius	Invariable	Invariable	Invariable	Increase	Increase	Increase
Gripping section width	Decrease	Invariable	Invariable	Decrease	Invariable	Decrease

が、次につかみ部の拘束の程度を表わすパラメータとして

$$(\text{つかみ幅}) / (\text{平行部幅}) \equiv B/W$$

$$(\text{平行部長さ}) / (\text{平行部幅}) \equiv L/W$$

を変化させた場合について述べる。 B/W が大きいほど、また L/W が小さいほどつかみ拘束の影響が増大して、一軸応力状態の乱れが増し、伸び特性は減少し、同時に強度特性にも影響が生じることが推測される。このようなパラメータを規定すると、たとえば B/W の変化に対して平行部幅変更材とつかみ幅変更材の実験結果を同一基準のもとに一つのグラフにプロットすることが可能になる。

引張特性値とこれら形状パラメータの関係を示したのが Fig. 2 である。 B/W と全伸びの関係は本実験範囲内において明らかに右下りの傾向がある。すなわち、つかみ拘束が増すにつれ伸び特性は低下する。また引張強さは SUS-301 では明らかに全伸びと同じく右下りであるが SUS-304 についてははっきりしない。一般に $B/W > TS/PS$ (TS: 引張強さ, PS: 耐力) であればつかみ部は弾性変形しか起こさず、つかみ拘束の影響は生じないが $1 \leq B/W \leq TS/PS$ の場合にはつかみ部

は塑性変形を生じ、つかみ拘束の影響が生ずる¹⁾。本実験材の TS/PS は SUS-301 で約 3.0, SUS-304 で約 2.4 であるからつかみ拘束の影響は当然生ずるものと考えられ、事実図示のようにその影響がみられる。

また L/W の増加につれて引張強さ、全伸びとも値が増加している。すなわち、つかみ拘束の減少につれて伸び特性は増加することが確認された。ただ SUS-301 の全伸びの傾向ははっきりしない。

B/W と SUS-304 の引張強さおよび L/W と SUS-301 の全伸びとの間の関係がはっきりしない点について検討するため Fig. 3 に SUS-301 および SUS-304 の各々について全伸びと引張強さ間の散布図を示した。すなわち、ばらつきの程度の差はあるがいずれにおいても全伸び対引張強さは本実験においては正相関を示すことが明らかである。したがって B/W と SUS-304 の全伸びが負相関を示すこと、および L/W と SUS-301 の引張強さが正相関を示すことから考えて B/W と SUS-304 の引張強さは負相関を、また L/W と SUS-301 の全伸びは正相関を本来それぞれ示すべきであると推察される。以上から B/W および

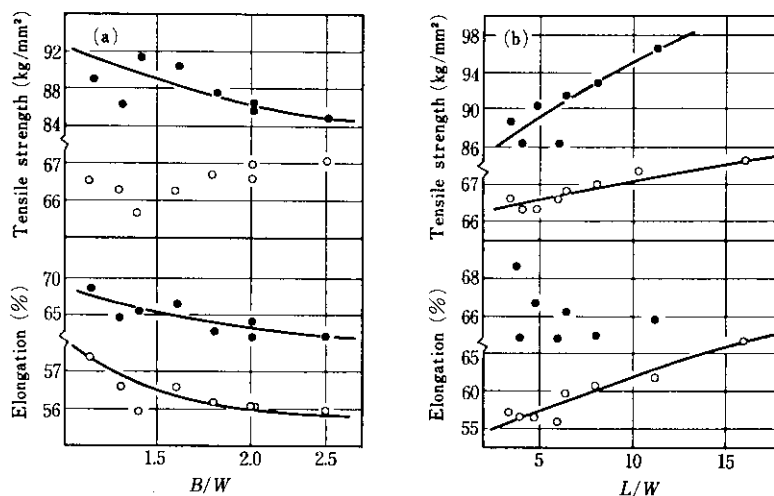


Fig. 2 Relation between shape parameter and tensile properties (• SUS-301, ○ SUS-304; L : parallel section length, W : parallel section width, B : gripping section width)

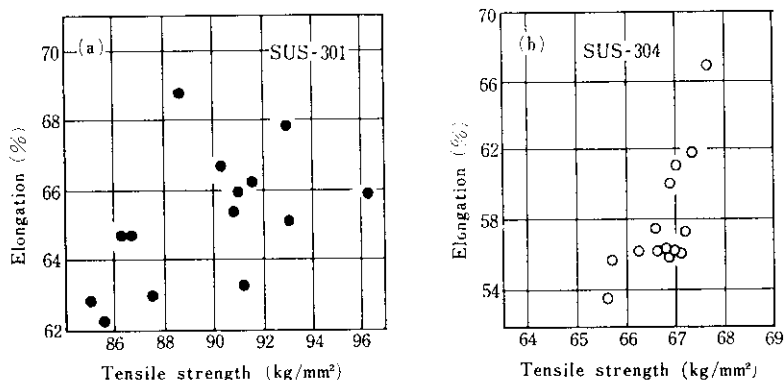


Fig. 3 Relation between tensile strength and elongation

L/W などの形状パラメータを用いてつかみ拘束の程度を表わした場合、オーステナイトステンレス鋼の引張強さおよび全伸びはともにつかみ拘束の増加につれて値が減少傾向を有するといえる。

なお Fig. 1 および Fig. 2 において、SUS-301 のほうが SUS-304 よりも測定点のばらつきが大きいと同時に、形状効果の認められる場合は同じ形状因子もしくは形状パラメータの変化に対して一般に受ける影響の程度が大きいことがわかる。

次に軟鋼においてなりたつとされている⁶⁾ Barba の式ならびに Oliver の式がオーステナイトステンレス鋼においてもなりたつかどうかを確認するために、 $\sqrt{A}/G$ (A : 平行部断面積, G : 標

点距離) と伸び λ (%) の関係および $\log \sqrt{A}/G$ と $\log \lambda$ の関係を Fig. 4 に示した。いずれにおいてもほぼ同一近似精度でそれぞれの関係式がなりたつことがわかる。すなわち最小 2 乗法によって求めた Barba の式は、

$$\lambda = 60.2 + 64.0 \frac{\sqrt{A}}{G} \dots\dots\dots (\text{SUS-301})$$

$$\lambda = 49.2 + 104.0 \frac{\sqrt{A}}{G} \dots\dots\dots (\text{SUS-304})$$

また同様に Oliver の式は、

$$\lambda = 87.2 \left(\frac{\sqrt{A}}{G} \right)^{0.11} \dots\dots\dots (\text{SUS-301})$$

$$\lambda = 104.7 \left(\frac{\sqrt{A}}{G} \right)^{0.23} \dots\dots\dots (\text{SUS-304})$$

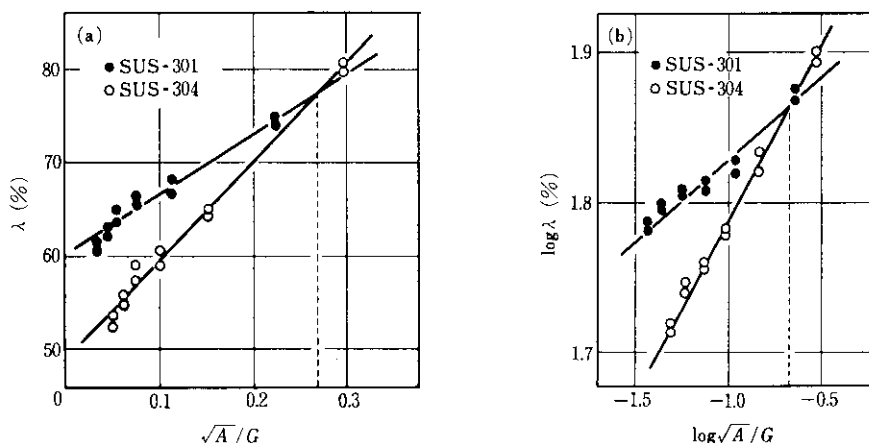


Fig. 4 $\sqrt{A}/G$ vs. λ and $\log \sqrt{A}/G$ vs. $\log \lambda$ (A : cross-sectional area at parallel section, G : gage length, λ : elongation)

となる。図またはこれらの近似式からわかるように、近似直線のこう配は Barba の関係においても Oliver の関係においてもともに SUS-304 のほうが SUS-301 よりも大きい。したがって $\sqrt{A}/G \approx 0.27$ または $\log \sqrt{A}/G \approx -0.7$ を境にして両鋼種の伸びの大小関係が逆転する。ステンレス協会機械試験法分科会のデータ³⁾によると、やはり SUS-301 でも SUS-304 でも Barba の式ならびに Oliver の式がなりたち、近似直線のこう配は両鋼種であり差がない。しかしこれらのデータは SUS-301 が 0.5mm, SUS-304 が 1.2mm および 2.0mm とかなり板厚の異なる材料を用い、また $\sqrt{A}/G$ 値も各板厚ごとに平行部幅と標点距離のみでなく平行部長さ、つかみ肩半径、つかみ幅などの形状因子も同時に変化した場合の値を使用して得られたものなので、Barba の式ならびに Oliver の式について検討するにはあまり適切でない。これに対し本実験結果から得られたデータは両鋼種で板厚はほぼ等しく、 $\sqrt{A}/G$ 値も平行部幅と標点距離のみを変えた場合の値なので、より信頼性に富むものと考えられる。なお試験片断面が伸びにおよぼす効果は、断面積で表わされる効果と断面積が同じでも (平行部幅)/(板厚) の比が異なることに基づく効果に分けられると考えられるが、板厚の違ってもまったく同一材質のものを製造するのはきわめて困難なので、しいて板厚を

変えた場合、後者には材質の変化による効果が必然的に入ってくるので、本実験では鋼種ごとに板厚を一定にしたときの断面積の変化による効果のみを考慮した。

3.2 標点距離による全伸びの変化

一般に全伸びは同一試験片でも標点距離によって変化する。そこで標点距離の全伸びに対する影響をしらべるために平行部長さが 60mm と 140mm の場合について標点距離と伸びとの関係を示したのが Fig. 5 である。いずれにおいても標点距離の増加につれて伸びは減少する。そして平行部長さが 60mm の場合より 140mm の場合のほうが伸びの減少の程度はゆるやかであり、後者の場合 SUS-301 では標点距離が約 60mm, SUS-304 では同じく約 100mm ぐらいいではぼ一定値に達する。平行部長さが 60mm のものでは標点距離が 50mm でも伸びはなお減少途中にあって一定値になっていない。すなわちオーステナイトステンレス鋼の伸び特性を求める場合、平行部長さ 60mm, 標点距離 50mm の JIS 13B 号試験片では安定な値を得にくいことが推測される。さらに、SUS-301 と SUS-304 で伸びの変化が明らかに異なり、後者のほうが変化が激しい。これは次節で述べるひずみ分布の変化と対応している。したがって SUS-304 の伸び特性を求めるには SUS-301 より

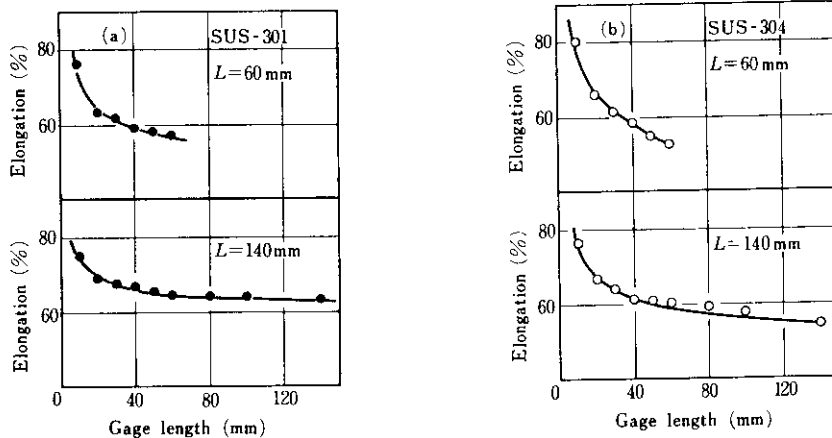


Fig. 5 Relation between gage length and elongation

もさらに長尺試験片を使用する必要がある。以上から平行部長さは短かいほうが、また SUS-301 よりは SUS-304 のほうがひずみ分布におけるこう配が大きいことが予測されるが、このことは次節で明らかとなる。

3.3 ひずみ分布について

破断後の試験片のひずみ分布はどのようにになっているか、またそれが試験片形状によっていかなる影響を受けるか、鋼種によってひずみ分布が異なるかどうかなどを知ることは重要である。試験片の幅方向中心線上に沿った破断後の伸びひずみ分布（標点距離は 5mm）を平行部長さが 60mm と 140mm の場合について描いたのが Fig. 6 である。平行部中央からの距離としては変形前の値で整理した。図中の矢印は平行部末端位置を表わしている。図からひずみ分布曲線は平行部末端付近からつかみ部へかけてのひずみこう配の急な部分と平行部のひずみこう配のゆるやかな部分とからなっていることがわかる。これらはつかみ拘束によって生ずるもので、吉田⁴にならって前者

をつかみ部の 1 次影響領域、後者をつかみ部の 2 次影響領域と呼ぶことにする。

SUS-301 のひずみ分布は SUS-304 に比べてゆるやかなひずみこう配を呈している。これは前述の全伸びの標点距離依存の鋼種間の差に対応するものである。この原因は SUS-301 のほうがオーステナイト安定度が小さい（不安定）ために変形の進行につれて試験片の各所にマルテンサイトが生成してひずみの伝ば性を助ける結果 SUS-304 に比べ均一なひずみ分布を生ずることによるものと考えられる。平行部長さの影響をみると SUS-301 においても SUS-304 においてもそれが長くなると 2 次影響領域のひずみこう配が減少して平坦なひずみ分布を呈するようになる。平行部長さが 60mm の基準試験片では平行部にひずみの平坦な部はなく、とくに SUS-304 ではかなりこう配がきつい。これはやはり前述の伸び値の標点距離による変化の平行部長さの効果に対応している。また平行部長さが 140mm の伸びひずみの絶対値は 60mm の場合より大きい、これは平行部長さの増大につれて全伸びが増加したことに対

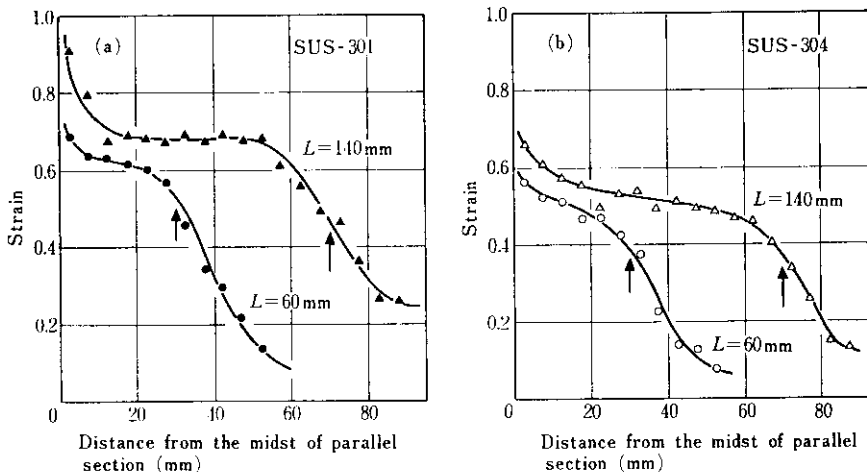


Fig. 6 Effect of parallel section length L on the strain distribution in stretch-broken specimen (Arrows show the end of parallel section, also like in Fig. 7, 8, 9, 10 and 12)

応している。

さらに平行部長さとならんで平行部幅、つかみ肩半径およびつかみ幅の伸びひずみ分布に対する影響をそれぞれ Fig. 7, Fig. 8 および Fig. 9 に示す。まず平行部幅の影響はあまりはっきりしないが、SUS-301 および SUS-304 とともに幅の広いほうが1次および2次影響領域ともひずみこう配が小さくなることからわかる。すなわちつかみ拘束の

影響が小さくなるわけで妥当な結果である。つかみ肩半径の影響は顕著ではないが、肩半径が大きいほうがひずみこう配は多少ゆるやかになると同時に1次影響領域が増加して2次影響領域が減少する。また伸びひずみの値も大きくなる。Fig. 9 のつかみ幅の影響であるが、つかみ幅が大きくなるとひずみこう配が大きくなり、かつひずみの絶対値は小さくなる。これも妥当な結果である。以

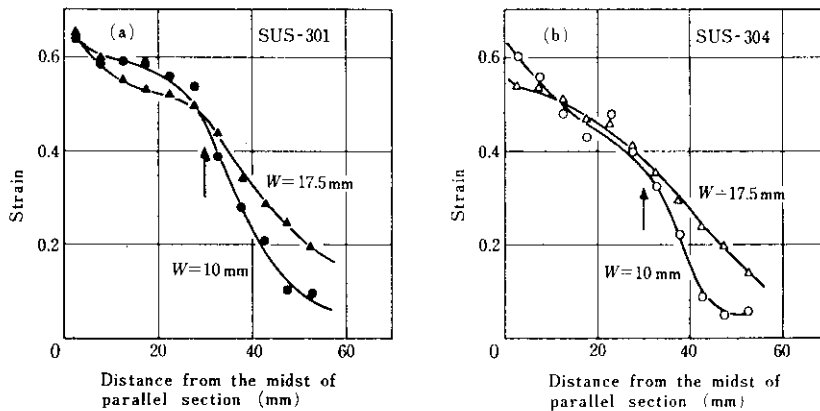


Fig. 7 Effect of parallel section width W on the strain distribution in stretch-broken specimen

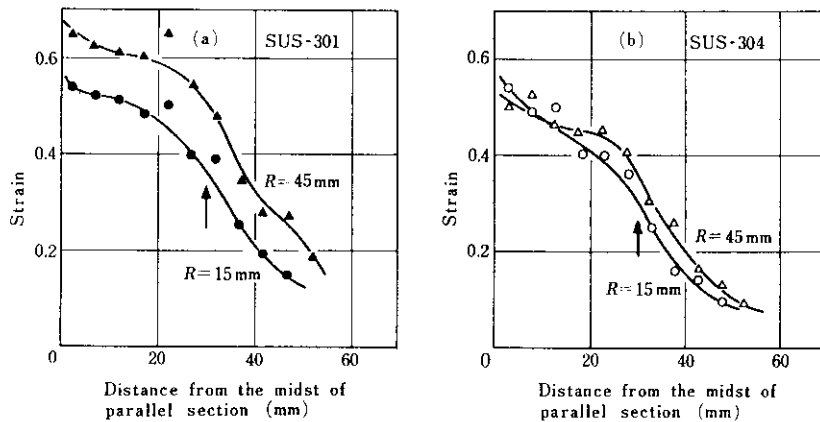


Fig. 8 Effect of shoulder radius R on the strain distribution in stretch-broken specimen

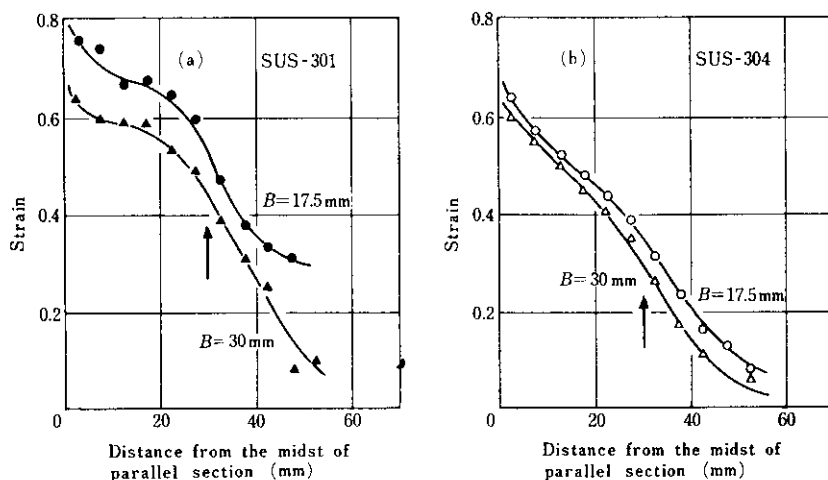


Fig. 9 Effect of gripping section width B on the strain distribution in stretch-broken specimen

上から形状因子が変化してつかみ拘束の影響が大きくなるような条件では1次および2次影響領域のひずみこう配が大きくなり、かつひずみの絶対値は小さくなることが明らかとなった。

次に Fig. 10 には伸びひずみ分布の試験片幅中心部と幅縁部における測定結果を基準試験片について示した。2次影響領域においては両者はよく

一致しているが、平行部末端付近からつかみ部へかけてわずかながら幅縁部のひずみのほうが幅中心部のひずみより大きくなり、さらにつかみ部近傍においてはこれらの大小関係が逆になっている。この傾向は両鋼種とも同様である。これらの結果は吉田ら⁹が軟鋼においてすべり線を使って求めたひずみ分布の傾向と定性的には一致してい

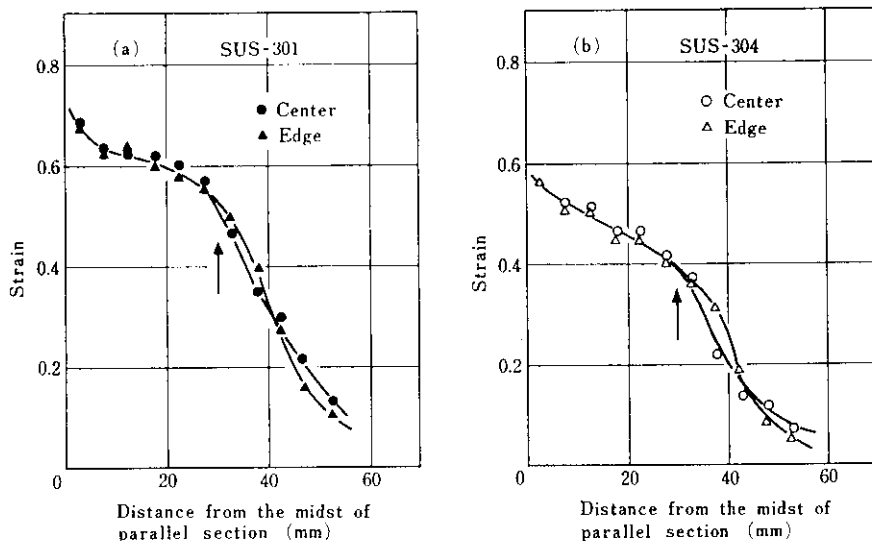


Fig. 10 Strain distribution along longitudinal direction at the center and the edge of width in standard specimen

ることがわかる。すなわち、試験片全体について主応力方向が軸方向の中心線と一致するものと仮定して、すべりが主応力方向に対して 45° 方向に発生するものとする、同一荷重のもとではすべり線が長くなるほどせん断応力が減少するのですべりによって生ずる変形も減少するから伸びひずみ分布は定性的に **Fig. 11** のようになることが想定される。このような巨視的なあいまいな近似の結果と本実験結果を比較するとおおまかな傾向は類似しているといえよう。しかしながら幅中心部と幅縁部のひずみに差のある領域においても量的には

その差はそれほど大きくないこと、2次影響領域の平行部末端側で幅縁部のひずみが幅中心部のひずみより小さくなる領域が **Fig. 10** の実験結果では認められない点は、このすべり線による考え方が軟鋼の場合ほどはあてはまらないことを示すものである。この原因は本鋼種がとくに高ひずみ領域においてマルテンサイト相の生成を伴いながら加工硬化が進行し、軟鋼のように単一相による加工硬化の機構とは異なることにあるのであろう。

Fig. 12 で基準試験片における伸びひずみ分布と厚さひずみ分布を比較した。傾向は両者で変わ

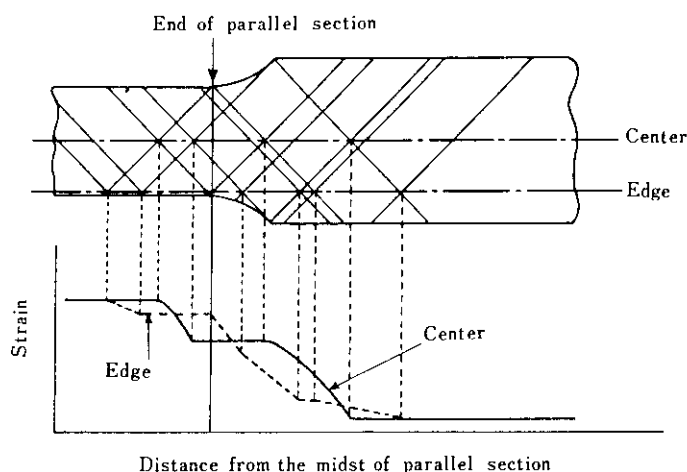


Fig. 11 Strain distributions along the longitudinal direction at the center and the edge of width in tensile specimen suspected from the traces of slip bands after stretching¹⁾

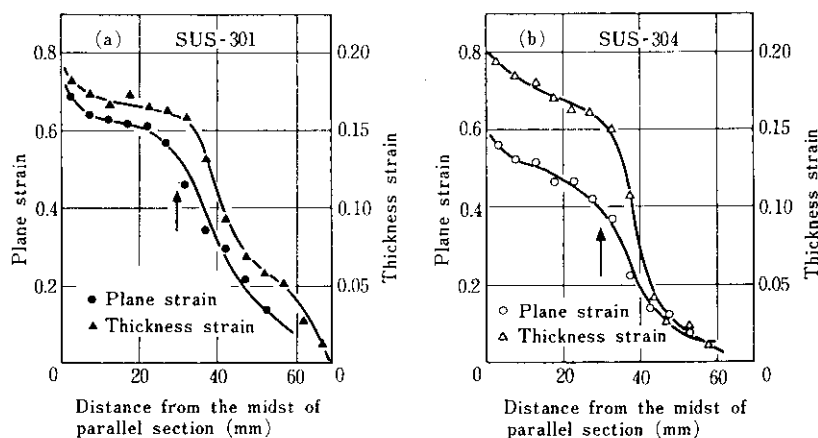


Fig. 12 Plane strain distribution and thickness strain distribution in standard specimen

りないようである。厚さひずみ分布においてもやはり SUS-304 は SUS-301 に比べてひずみの伝ば性が悪いのか、または何らかの理由でより強くつかみ拘束の影響を受けやすいためか、平行部においてもつかみ部においてもひずみこう配が大きい。

3.4 serration について

SUS-304 より不安定な SUS-301 の伸び—荷重線図にはネッキング部のマルテンサイト変態に伴う serration が明りょうに現われるのでこの serration の試験片形状依存の有無に着目してみた。各形状因子ごとに伸び—荷重線図で serration が明りょうに現われる部分をスケッチした結果を Fig. 13 に示す。いずれも 3 本づつのくり返し試験の結果である。平行部長さ (L) は長いほうが serration が多発する傾向が認められ、また平行部幅 (W) は広いほうが明らかに serration はひん繁に生じている。つかみ肩半径 (R) の影響は顕著ではないが、値が大きいほうが serration の

ひん度が多いように見うけられる。そして明らかにつかみ幅 (B) は狭いほうが serration は多く発生する。以上の結果から、serration はつかみ拘束のすくない短冊型に近い試験片形状を有するものほどひん発するという一般的傾向の存在することが明らかである。またつかみ拘束のすくない試験片ほど引張強さおよび全伸びが増加する傾向が認められるが、全伸びの値が同程度でもつかみ拘束のすくないほうが serration が多数発生する例のあることがわかる。つかみ拘束が大きいと、後述するように、平行部中央で破断しやすいことからわかるように、平行部中央付近における応力集中が激しくてこの部分で生じたネッキングが他に伝ばしにくいために serration の発生がすくないのに対し、つかみ拘束が小さいと局部的な応力集中が起こりにくいので平行部各所でネッキングおよびマルテンサイト変態が生じやすいため serration が多数観察されるものと考えられる。その結果ひずみの伝ば性もよくなって一般的に伸びが大きくなるものと思われる。

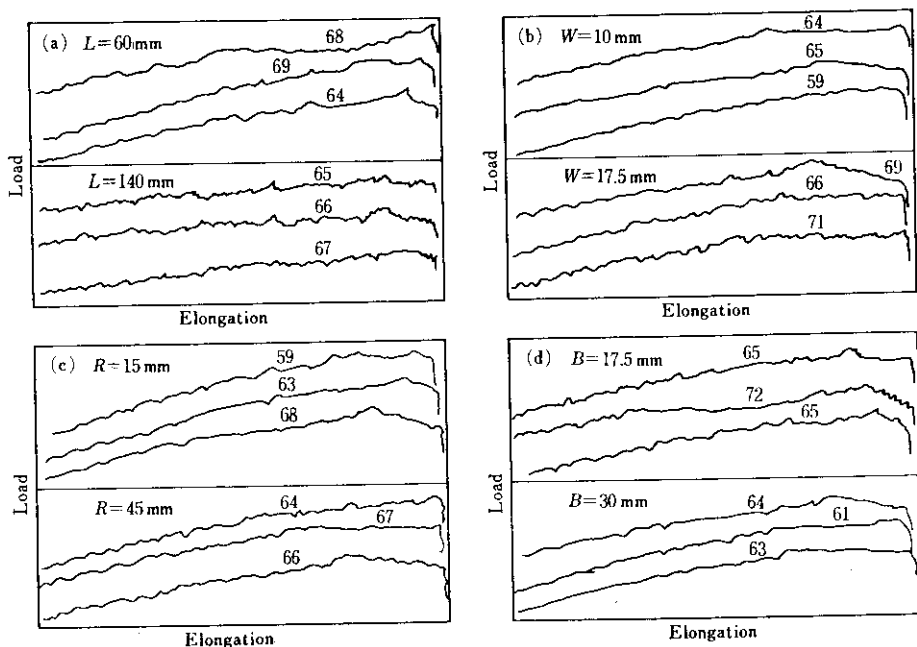


Fig. 13 Influence of shape of tensile specimen on serration phenomena appeared in load-elongation curves of SUS-301 steel sheet (Number in each curve shows total elongation in unit of %)

3.5 破断位置および形状

試験片の破断位置が形状によってどう変わるかをしらべた。結果を Fig. 14 に示す。前述した形状パラメータとして L/W および B/W をとり、また形状因子 R (つかみ肩半径) をも考慮して破断位置との関係を図示してある。破断位置の表わし方は平行部中央から破断位置までの距離を x とし、破断後の平行部長さを L' として $x/(L'/2) \times 100 (\%)$ を求め、これを破断位置の平行

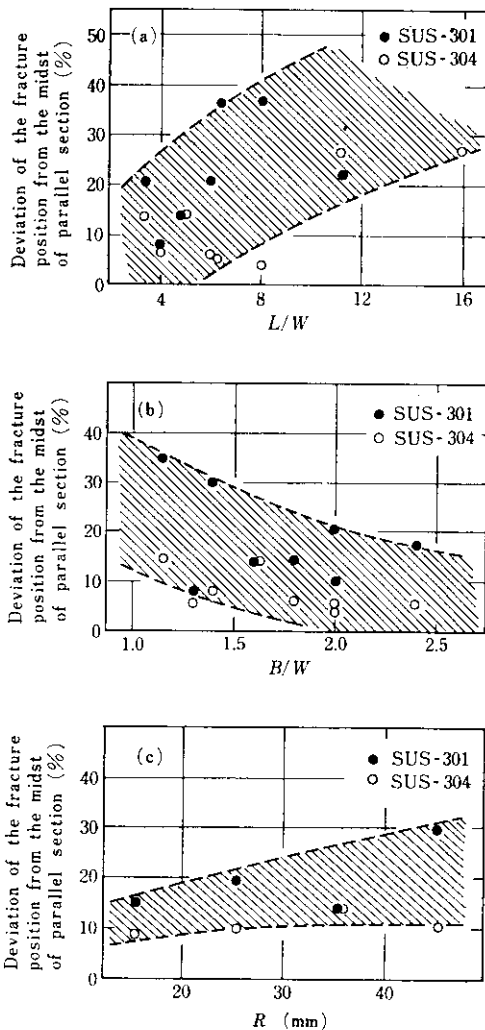


Fig. 14 Relation between shape of specimen and fracture position after tensile testing (L : parallel section length, W : parallel section width, B : gripping section width, R : shoulder radius)

部中心からのずれの量とした。平行部長さの影響を除くために数値を無次元化した。ばらつきはあるが L/W および R の増加、そして B/W の減少につれて破断位置の平行部中央からのずれの量が増加することが明らかである。すなわち、つかみ拘束が減少するにつれて平行部中央で破断しにくくなることがわかる。これはつかみ拘束が小さいとひずみ分布がなだらかになるためである。鋼種間で比較すると、いずれにおいても SUS-301 のほうが SUS-304 よりこのずれが大きい。これは SUS-301 のほうが平行部各所にネッキングが生じやすくひずみの伝ば性がよく、ひずみ分布がよりなだらかになるからである。

次に破断部の形状を Photo. 1 に示す。SUS-301 では各形状因子による破断形状の差は認められない。SUS-304 は平行部幅やつかみ肩半径が小さい場合やつかみ幅が大きい場合、すなわちつかみ拘束の強いときに破断角度が引張方向に対して 45° から直角に近くなる傾向がうかがわれるが

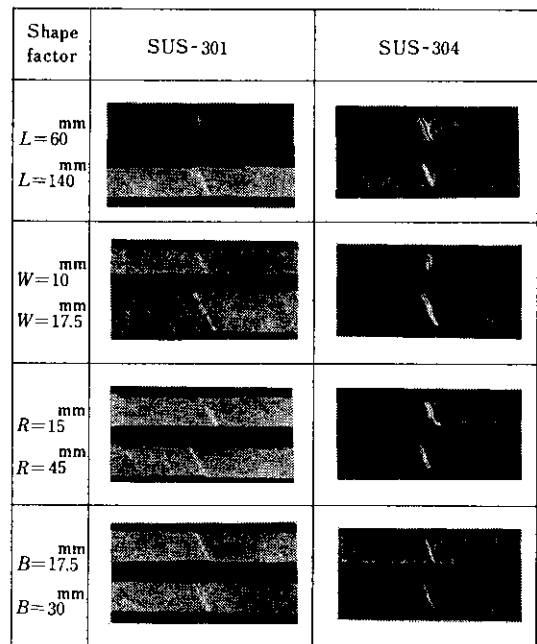


Photo. 1 Shapes of specimens at their fracture positions after tensile testing (L : parallel section length, W : parallel section width, R : shoulder radius, B : gripping section width)

まりははっきりしない。これに対し鋼種間の差は明りょうで、SUS-301 はいずれも引張軸に対してほぼ45°方向に直線的に破断しているのに対し、SUS-304 では同じく45°方向に波状の破断形状を呈している。力学的な原因としては、同じ平行部幅でも SUS-304 のほうが W/t (=平行部幅/板厚) が小さいので、幅方向の拘束度が減ずることが考えられるが、つかみ拘束に対する感受性や材料自身の加工硬化特性なども影響しているであろう。ちなみに吉田ら²⁾によればアルミニウムキルド鋼板では平行部幅の減少につれて破断角度が直角に近くなることが観察されている。

3.6 オーステナイトステンレス鋼の特徴

以上の実験結果からオーステナイトステンレス鋼の引張性質におよぼす試験片形状の影響は本質的には軟鋼の場合と変わらないと考えられるが、緒言でも指摘したように加工硬化機構の差異に起因すると思われる本鋼種の試験片形状依存性の特徴がいくつか認められた。それらをまとめると次のようになる。

- (1) 平行部幅の増加につれて全伸びが増加する。これはアルミニウムキルド軟鋼板と相反する結果である。この事実は軟鋼では平行部幅が大きくなると(平行部幅)/(板厚)に起因する幅拘束の影響が支配的となってつかみ拘束の減少効果は小さくなるのに対し、オーステナイトステンレス鋼では本実験条件の範囲内では幅拘束の影響よりもつかみ拘束の影響のほうが支配的であることを示すものである。
- (2) つかみ幅の増加に対してフェライトステンレス鋼 SUS-430 の全伸びは増加することが報告されている²⁾が、本実験では逆に減少している。なお軟鋼でも減少傾向を示す²⁾。
- (3) 強度特性は軟鋼やフェライトステンレス鋼では試験片形状の影響を受けないが、オーステナイトステンレス鋼では平行部長さやつかみ幅の影響を受ける。
- (4) 試験片幅中心部と幅縁部のひずみ分布は基本的には軟鋼の場合と同じであるが、両者のひずみ量の違いは軟鋼の場合ほど大きな

く、またすべり線を使って求めたひずみ分布との一致性は軟鋼よりも劣る。

- (5) 伸び-荷重線図に現われる serration は試験片形状の影響を受け、つかみ拘束が弱いほど serration が多発する傾向がある。
- (6) 平行部幅が変化しても軟鋼のように破断角度は変わらない。すなわち幅拘束の影響はすくない。

3.7 SUS-301 と SUS-304 の相違

SUS-301 と SUS-304 とで形状効果にいくつかの相違が認められた。まとめると次のようになる。

- (1) 形状因子もしくは形状パラメータの変化による影響に一部差異が認められる(たとえば平行部長さの増加に対して SUS-301 はほとんど変化しないのに SUS-304 は明らかに増加するなど)が、これは形状効果に対する感受性の程度の違いによるものであって、両鋼種間で相反する結果は生じていないことからみても本質的なものとは思われない。
- (2) 標点距離の変化に対する伸びの変化が SUS-301 はゆるやかで SUS-304 は激しい。
- (3) 伸びひずみ分布および厚さひずみ分布(試験片幅中心部および幅縁部とも)におけるひずみこう配は SUS-304 のほうがいずれも大きい。
- (4) つかみ拘束の程度が種々変化しても、つねに SUS-301 のほうが破断位置の平行部中心からのずれが大きい。
- (5) 平行部幅の変化によって SUS-304 の破断角度はわずかに変化するのに対し SUS-301 はほとんど変わらない。
- (6) 伸び-荷重線図に現われる serration は試験片形状によって変化するが、その影響が SUS-301 では明りょうに認められたが SUS-304 ではほとんど認められなかった。これは SUS-304 では serration があまり発生しないことにもよっている。

3.8 望ましい試験片形状

ステンレス鋼薄板の引張試験に現在主として用

いられている JIS 13B 号試験片は、引張特性値におよぼす試験条件（温度、速度、雰囲気など）および試験片形状の影響などを総合的に検討した結果決められたものではなく、取引上の便宜とか試験片を小型にしてよりすくない材料で試験を実施しやすくするなどの配慮のもとに JIS の金属材料引張試験片に関する規定がそのまま適用されているものである。理想からいうとなるべくひずみこう配が小さく、かつ平行部中央で破断してばらつきのすくない安定した特性値の得られるような形状が望ましい。しかしこれは相反する条件であり、ひずみこう配を小さくするにはつかみ拘束を小さくしなければならないし、平行部中央で破断させるにはつかみ拘束を強くしなければならない（幅拘束の影響は前述のようにあまり考えなくてよい）。しかも SUS-301 と SUS-304 とで形状効果に対する感受性が異なる。しかし一応のめやすとして、本実験結果と軟鋼における検討結果から

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{平行部長さ } (L) / \text{平行部幅 } (W) > 5 \\ \text{標点距離 } (G) < L - 2W \\ \text{つかみ幅 } (B) / \text{平行部幅 } (W) \approx \text{引張強さ} \\ \quad (\text{TS}) / \text{耐力 } (\text{PS}) \end{array} \right.$$

なる条件が考えられる。すなわち、 L/W があまり小さいとつかみ拘束の影響領域と局部収縮の影響領域が重なるのであまり好ましくない。平行部末端から平行部幅の距離に相当する領域はつかみ拘束の影響が大きいので標点距離 $G < L - 2W$ である必要がある。 B/W の値は短冊型試験片に相当する 1 よりは大きくしなければならないが、 TS/PS よりあまり大きくするとつかみ部は弾性変形しか起こさなくなるので、塑性変形が生じてある程度つかみ拘束の効果が発生するよう $B/W \approx \text{TS}/\text{PS}$ とする。現在慣用されている JIS 13B 号試験片の平行部長さは 60mm、平行部幅は 12.5mm であるから、つかみ幅を 20mm、標点距離を 50mm とすると

$$L/W = 4.8, \quad G = 50 > 35.0 = L - 2W, \quad B/W = 1.6$$

となり、本鋼種の $\text{TS}/\text{PS} \approx 2.4 \sim 3.0$ であるから上の条件はすべて満たされていない。事実ひずみこう配が大きくて水平部分はほとんどなく、破断

位置もとくに SUS-301 ではばらついている。そこでオーステナイトステンレス鋼の塑性力学的性質を検討するための基礎的な立場から、一試案として JIS 13A 号試験片（ISO 試験片）の平行部をやや狭くした次のような試験片が望ましいのではないかと考える。すなわち、

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{平行部長さ } (L) = 120\text{mm}, \text{ 平行部幅 } (W) \\ \quad = 15\text{mm} \\ \text{つかみ肩半径 } (R) = 25\text{mm}, \text{ つかみ幅 } (B) \\ \quad = 30\text{mm} \\ \text{標点距離 } (G) = 60\text{mm} \end{array} \right.$$

この場合上述の各値は次のようになる。

$$L/W = 8, \quad L - 2W = 90, \quad B/W = 2$$

平行部長さは長いほうがひずみこう配が小さく、 $L/W = 8$ 程度ならつかみ拘束や局部収縮の影響、破断位置のずれもそれほど大きくなかろう。平行部幅の値は小さいほうがすこしでも幅拘束の影響が逃げられる。標点距離を 60mm とすると $L - 2W = 90$ より小さく、つかみの 1 次影響はおよばない。 $B/W = 2$ 程度なら Fig. 2 から全伸びはだいたい定常状態になり、Fig. 13 から破断位置のずれも比較的小さいことが予想される。SUS-301 と SUS-304 で形状効果に対する感受性が異なるので実用的には問題があるが鋼種によって試験片形状を変えることも有意義なことと思われる。

4. 総 括

板厚 0.5mm の SUS-301 および板厚 0.7mm の SUS-304 を用い、引張特性におよぼす試験片形状の影響について検討した。すなわち、つかみ位置を一定にし、平行部長さ、平行部幅、つかみ肩半径およびつかみ幅を変化させて実験を行なった。結果を要約すると次のようである。

- (1) 全伸びは平行部長さ、平行部幅およびつかみ肩半径の増加につれて増大し、つかみ幅の増加につれて減少する。引張強さもほぼ同様の变化をする。平行部幅に関するこの結果は軟鋼とは相反するものであり、オーステナイトステンレス鋼では幅方向拘束の影響が小さいことを示している。また強度特性が形状の

- 影響を受けるのは軟鋼やフェライトステンレス鋼ではみられない本鋼種の特徴である。
- (2) (つかみ幅) / (平行部幅) の増加, (平行部長さ) / (平行部幅) の減少につれて引張強さおよび全伸びは減少する。すなわち, つかみ拘束の増加につれてこれらの特性値は減少する。また標点距離の増加によって伸びは減少する。
- (3) ひずみ分布曲線は軟鋼と同様, 平行部末端付近のひずみこう配の大きい領域と平行部のひずみこう配の小さい領域とからなる。そしてひずみ分布曲線のこう配は平行部長さ, 平行部幅およびつかみ肩半径の増大, つかみ幅の減少につれて減少する。試験片幅中心部と幅縁部のひずみ分布形状はすべり線の発生状況から求めた結果と類似しているが, 軟鋼におけるように明りょうでない。また伸びひずみ分布と厚さひずみ分布はほぼ同様の形態を示す。
- (4) SUS-301 試験片の伸び—荷重線図に現われる serration はつかみ拘束が小さい試験片の場合に多数発生する傾向のあることが確認された。またつかみ拘束が小さい場合は, 破断位置の平行部中央からのずれが大きい。これらのことから, つかみ拘束の小さい試験片においては, 平行部各所で次々とネッキングが生じてひずみの伝ば性がよくなることがわかる。そのために伸び特性も良好になる。また破断部形状は軟鋼のように平行部幅の影響

を受けず, 幅拘束効果が小さいことがわかった。SUS-301 と SUS-304 で破断形状は多少異なる。

- (5) SUS-301 と SUS-304 の形状効果依存の差異が次の諸点で認められた。すなわち, つかみ拘束の変化に対して形状効果に対する感受性が異なる場合のあること, 標点距離の変化に対する伸びの変化が SUS-304 のほうが大きく, これに対応してひずみ分布曲線のひずみこう配も SUS-304 のほうが大きいこと, SUS-301 のほうがつねに破断位置の平行部中央からのずれが大きいこと, 平行部幅の変化に対して SUS-304 の破断角度はやや変化するのに SUS-301 はほとんど変わらないこと, そして試験値のばらつきが大抵の場合 SUS-301 のほうが大きいこと, などである。
- (6) 形状効果の観点からすると現用の JIS 13 B 号試験片はひずみこう配が大きくてひずみ分布の水平部分がほとんどなく, また破断位置の平行部中央からのずれも比較的大きくてオーステナイトステンレス鋼の引張試験片としては好ましい形状とはいえない。つかみ拘束, 幅拘束および局部収縮の影響をなるべく小さくするための形状として, 平行部長さ (L) / 平行部幅 (W) > 5 , つかみ幅 (B) / 平行部幅 (W) $\approx$ 引張強さ (TS) / 耐力 (PS), 標点距離 (G) $< L - 2W$ なる条件が考えられる。

参考文献

- 1) 吉田 (清), 錦織, 林, 津山, 吉田 (和), 布施, 宮内, 矢野, 阿部, 福井: 日本機械学会誌, **67** (1964), 446
- 2) 清末: 日新製鋼技報, **13** (1965), 58
- 3) ステンレス協会技術委員会機械試験法分科会報告, No. 8, (1970)
- 4) 吉田 (清), 錦織, 津山, 林, 吉田 (和), 宮内, 阿部, 福井: 理研報告, **39** (1963), 266
- 5) 吉田, 宮内, 布施, 矢野, 阿部, 福井: 理研報告, **40** (1964), 23
- 6) 日本鉄鋼協会標準化委員会データシート部会伸び値と試験片寸法分科会提出資料, (1969)
- 7) 吉田 (清), 林, 津山, 錦織, 吉田 (和), 宮内, 阿部, 福井: 理研報告, **39** (1963), 282