

土木研究所資料

ステンレス鋼のダム用ゲート適用に 関 する 試 験 調 査

平成7年3月

建設省土木研究所
材料施工部機械研究室

ステンレス鋼のダム用ゲート適用に 関 する 試 験 調 査

機械研究室	室 長	吉 田	正 篤 ¹⁾
	室 長	杉 山	正 晴
	研 究 員	茂 木	正 克 己
		米 村	邦 人 ²⁾
	部外研究員	佐 藤	丈 茂 ³⁾
	部外研究員	賀 谷	

1) 現 水資源開発公団

2) 部外研究員在職期間（平成4年4月から平成5年3月まで）

3) 部外研究員在職期間（平成5年4月から平成6年3月まで）

要 旨

近年の材料加工技術の発展を背景にステンレス鋼が構造部材として用いられるようになり、ダム・堰等の河川構造物においても、ステンレス鋼を用いたメンテナンス合理化が図られている。しかし、ステンレス鋼は普通鋼と機械特性が異なるため、明確になっていない課題が残されている。

本調査は、ダム・堰等を使用されるオーステナイト系のステンレス鋼を対象とし、設計基本強度に0.2%耐力を採用することの妥当性を確認するために文献調査及び繰返し負荷試験を実施した。また、腐食を帯びた状態でのステンレス鋼の強度特性を引張試験により検証したものである。

キーワード：ステンレス鋼、設計基本強度、0.2%耐力、ひずみ、強度特性、腐食、孔食、ダム用ゲート、メンテナンスフリー

ま え が き

河川構造物等の放流設備は、洪水調節や発電等、河川水を多目的に利用・制御する重要な設備であるため、常にその機能を維持することが求められている。また、放流設備は腐食や塗装の損傷を受けやすい環境下に設置されているため、他の構造物に比べ腐食の発生頻度が高い状態にある。その対応策として比較的早くからステンレス鋼を構造部材として用いられてきた。しかし、ステンレス鋼はSS400 や SM400 等の普通鋼と比較して明確になっていないいくつかの課題が残っている。

そこで本調査においては、オーステナイト系ステンレス鋼を対象とし、①設計基本強度の考え方及び②腐食と強度特性に関する課題を明確にすることを目的として、平成4年度から平成5年度にわたって実施したものである。

平成7年3月

機械研究室 室 長 吉 田 正

目 次

まえがき

1. 総 論	1
2. ステンレス鋼の設計基本強度に関する調査	2
2.1 調査概要	2
2.2 ステンレス鋼の基本特性	3
2.3 ステンレス鋼の機械的性質に関する調査	6
2.4 ステンレス鋼の応力－ひずみ線図に関する調査	10
2.5 ステンレス鋼の疲労強度に関する調査	16
2.6 設計基本強度に関する調査	18
2.6.1 耐力の決め方	18
2.6.2 耐力を基準とした設計基本強度の設定	18
2.6.3 設計基本強度の補正等に関する調査	21
2.7 ステンレス鋼の設計基本強度に関する試験	22
2.7.1 試験目的	22
2.7.2 引張試験方法	22
2.7.3 引張試験結果	24
2.7.4 繰返し負荷試験の応力決定	30
2.7.5 繰返し負荷試験方法	30
2.7.6 繰返し負荷試験結果	34
2.7.7 考察	40
2.8 まとめ	41
3. ステンレス鋼の腐食と強度特性に関する調査	42
3.1 調査概要	42
3.2 調査方法	42
3.2.1 室内腐食促進試験	42
3.2.2 引張試験	45
3.2.3 疑似腐食試験	46
3.3 調査結果	48
3.3.1 室内腐食促進試験結果	48
3.3.2 引張試験結果	50
3.3.3 疑似腐食試験結果	55
3.4 まとめ	57

4. 結 論	58
4.1 ステンレス鋼の設計基本強度に関する調査	58
4.2 ステンレス鋼の腐食と強度特性に関する調査	58
あ と が き	59
参 考 資 料	61
• 付録1 ミルシートの化学成分のまとめ	63
• 付録2 ミルシートの引張性質のまとめ	73
• 付録3 繰返し負荷試験のひずみと応力の測定値	81
• 付録4 繰返し負荷試験のひずみと応力のグラフ	97
• 付録5 孔食の表面観察	115
• 付録6 画像処理による孔食表面観察	123
• 付録7 孔食部断面の顕微鏡観察	129
• 付録8 引張試験後の表面観察	137

1. 総 論

ダム・堰等の水門扉は腐食や塗膜の損傷を受けやすい環境に設置されており、近年、保守・管理上の観点から、構造部材として耐食性、耐久性に優れたステンレス鋼を使用するケースが増えている。しかし、ステンレス鋼は普通鋼（SS, SM 等）と比較すると明確になっていないいくつかの課題が残っている。

ステンレス鋼は普通鋼材のように応力－ひずみ曲線にみられる降伏点がでない材料である。そのため、現在の設計においては耐力ベースの考え方により、JIS 規定の0.2%オフセット耐力を設計基本強度に採用している。しかし、0.2%耐力をベースとする考え方の根拠となるものが明確に示されていない。この問題は設計に用いる許容応力を決める際の安全率〔ダム・堰施設技術基準（一次案）2-0-7 解説 1. (1)〕とも関連するものと思われる。

また、ステンレス鋼が水門扉等に使われる理由としては、前述のとおり耐食性に優れている点が挙げられる。ステンレス鋼の耐食性についてはこれまでも数多くの暴露試験等により、その実態についてはかなり明確にされている。しかし、これはあくまでも腐食・耐食の実態についての把握が主たる目的のものであり、腐食材の強度評価を目的としたものではない。

本調査では設計基本強度の考え方及び腐食状態での強度特性を調査対象として取り上げ、文献の調査及び検討並びに実験等によりこれらを明らかにすることを目的としている。

それぞれの調査の背景及び目的は以下のとおりである。

① ステンレス鋼の設計基本強度に関する調査

ステンレス鋼には普通鋼と比べ明確になっていないいくつかの課題が残っている。その一つに普通鋼の応力－ひずみの関係にみられるような明確な降伏点が表われないことに関連してステンレス鋼の設計基本強度を決定した根拠が明確になっていない点が挙げられる。

そこで、本調査では各種既存データを収集し、これらの資料をもとに検討を加え、設計基本強度として0.2%耐力を採用していることの妥当性を確認するものである。

② ステンレス鋼の腐食と強度特性に関する調査

放流設備は腐食や塗装の損傷を受けやすい環境下に設置されているため、他の構造物に比べ腐食の発生頻度が高い状態にある。その対応策として比較的早くからステンレス鋼を構造部材として用いられてきたが、使用環境によっては腐食が生じているものもある。今後、増大が予想されるステンレス鋼構造物を適切に維持していく上で、腐食を帯びた状態でのステンレス鋼の強度特性を明らかにし、構造物として十分な強度を有しているかを把握し、適切な補修を行っていく必要がある。

そこで、本調査ではオーステナイト系ステンレス鋼の腐食を帯びた状態における強度特性について実験的に検証することを目的としている。

2. ステンレス鋼の設計基本強度に関する調査

2.1 調査概要

設計基本強度として0.2%耐力を採用していることの妥当性を確認するために、次に示す項目の調査・実験を実施することとした。

① ステンレス鋼の機械的性質に関する調査

下記の事項の確認を目的とし、鋼材メーカーからミルシートを入手することとした。

- ・化学成分ばらつき

- ・引張試験データのばらつき

(メーカー間の差、製造年度における差、板厚における差、JIS 規定値との差)

また、調査は次の条件で実施した。

- ・調査対象年度：昭和40年、45年、50年、55年、60年、平成2年

- ・鋼種：SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L

- ・板厚：8mm, 12mm, 16mm, 24mm, 32mm

- ・鋼材メーカー：5社以上

- ・ミルシート部数：各年度、鋼種、板厚ごとに3件以上

② ステンレス鋼の応力-ひずみ線図に関する調査

ステンレス鋼の応力-ひずみ線図は鋼材メーカーからデータの提供を受け同種ごとに整理することとした。検討にあたってはグラフから弾性限の応力度を読み取り、その値と0.1%、0.2%耐力の応力度の比を求めることによって設計基本強度と安全率の相互の考え方を整理した。

- ・鋼種：SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L

- ・板厚：8mm, 12mm, 16mm, 24mm, 32mm

- ・応力-ひずみ線図：L方向(圧延方向)、C方向(圧延に直角方向)

③ ステンレス鋼の疲労強度に関する調査

ゲートの使用頻度や水位変動回数及び耐用年数を考えた繰返し回数に対して、疲労による影響の有無を確認する目的で鋼材メーカーからデータを入手し、考察を加えた。

④ 設計基本強度に関する調査

収集したデータに基づき実際の耐力値等について調査を行うとともに、ステンレス鋼の設計基本強度として耐力を基準とした場合の得失等について整理した。

⑤ ステンレス鋼の設計基本強度に関する試験

また、繰返し負荷試験によってひずみの累積傾向を確認し、設計基本強度として0.2%耐力を採用することの妥当性を実験的に裏付けることとした。

なお、繰返し負荷試験の実験方法等については、2.7で詳しく述べることとする。

なお、繰返し負荷試験の実験方法等については、2.7で詳しく述べることとする。

2.2 ステンレス鋼の基本特性

本調査で取り扱うステンレス鋼は、一般的に河川構造物等への使用が考えられる SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L の 4 鋼種であり、いずれも 18% Cr-8% Ni を基本的な化学成分とするオーステナイト系ステンレス鋼である。それらの基本特性をデータシートの形式にまとめたものを図2.1～図2.4に示す。

データシート中の化学成分及び機械的性質は JIS 規格より引用しており、物理的性質は文献資料等より引用している。

図2.1の SUS304は18-8ステンレス鋼の代表的な鋼種として知られており、本調査での主対象として取り扱う鋼種である。図2.2の SUS304L は SUS304の低炭化物鋼であり、強度は低くなるが、溶接熱影響部での炭化物析出を少なくし、耐食性を改善した鋼種である。図2.3の SUS316は Mo を添加することによって耐孔食性を高めた鋼種で強度的には SUS304と同等である。図2.4の SUS316L は SUS304L と同様なねらいで SUS316の低炭化物化を図った鋼種である。図2.1～図2.4より、引張性質や硬さ基準の設定等には多少の差はあるがおおむね同じような傾向がみられ、また物理的性質における熱膨張率や熱伝導率でも同等な値を示している等々、これら鋼種は物性的には類似の鋼種として取り扱うことができると考えられる。

(a) 化学成分

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	その他
0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00~ 10.50	18.00~ 20.00	—	—	—	—

(b) 固溶化熱処理状態の機械的性質（オーステナイト）

耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	硬さ		
			HB	HRB	HV
205以上	520以上	40以上	187以下	90以下	200以下

(c) 物理的性質

比 重	7.92 (室温)					
ヤング率 (kgf/mm ²)	25℃	100℃	200℃	250℃	400℃	600℃
	19250	18500	17850	17250	15900	14050
線膨張率 (cm/cm℃) ×10 ⁻⁶	0~100℃	0~316℃	0~538℃	0~649℃		
	17.3	17.8	18.4	18.5		
熱伝導率 (cal/s·cm·℃)	100℃	200℃	300℃	500℃	700℃	800℃
	0.039	0.041	0.044	0.052	0.061	0.064
比 熱 (cal/g·deg)	20~100℃	20~300℃	20~500℃	20~700℃	20~900℃	
	0.125	0.126	0.131	0.137	0.141	

図2.1 SUS304の基本特性

(a) 化学成分

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	その他
0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	9.00~ 13.00	18.00~ 20.00	—	—	—	—

(b) 固溶化熱処理状態の機械的性質（オーステナイト）

耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	硬さ		
			HB	HRB	HV
175以上	480以上	40以上	187以下	90以下	200以下

(c) 物理的性質

比 重	8.03 (室温)					
ヤング率 (kgf/mm ²)	19700 (室温)					
線膨張率 (cm/cm℃) ×10 ⁻⁶	0~100℃	0~316℃	0~538℃	0~649℃		
	17.3	17.8	18.4	18.5		
熱伝導率 (cal/s·cm·℃)	100℃	500℃				
	0.0389	0.0513				
比 熱 (cal/g·deg)	0~100℃					
	0.12					

図2.2 SUS304Lの基本特性

(a) 化学成分

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	その他
0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.00~ 14.00	16.00~ 18.00	2.00~ 3.00	—	—	—

(b) 固溶化熱処理状態の機械的性質（オーステナイト）

耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	硬さ		
			HB	HRB	HV
205以上	520以上	40以上	187以下	90以下	200以下

(c) 物理的性質

比 重	7.95 (室温)					
ヤング率 (kgf/mm ²)	25℃	535℃	810℃	860℃		
	19500	15850	13750	13400		
線膨張率 (cm/cm℃) ×10 ⁻⁶	0~100℃	0~316℃	0~538℃	0~649℃	0~815℃	
	16.0	16.2	17.5	18.5	20.0	
熱伝導率 (cal/s·cm℃)	100℃	200℃	300℃	500℃	700℃	800℃
	0.038	0.043	0.047	0.055	0.062	0.065
比 熱 (cal/g·deg)	20~200℃	20~400℃	20~600℃	20~800℃		
	0.122	0.124	0.128	0.134		

図2.3 SUS316の基本特性

(a) 化学成分

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	その他
0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	12.00~ 15.00	16.00~ 18.00	2.00~ 3.00	—	—	—

(b) 固溶化熱処理状態の機械的性質（オーステナイト）

耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	硬さ		
			HB	HRB	HV
175以上	480以上	40以上	187以下	90以下	200以下

(c) 物理的性質

比 重	7.92 (室温)					
ヤング率 (kgf/mm ²)	室温	600℃	650℃	700℃	800℃	
	19700	14300	13900	13100	12400	
線膨張率 (cm/cm℃) ×10 ⁻⁶	0~100℃	0~316℃	0~538℃	0~649℃	0~816℃	
	16.0	16.2	17.5	18.5	20.0	
熱伝導率 (cal/s·cm℃)	100℃	500℃				
	0.0389	0.0513				
比 熱 (cal/g·deg)	0~100℃					
	0.12					

図2.4 SUS316Lの基本特性

2.3 ステンレス鋼の機械的性質に関する調査

本調査は、板厚 8 mm から 32 mm までの市販板材のミルシートを収集し、化学成分値や 0.2% 耐力及び引張強さ等の強度データを整理することによって、JIS 規格では表わされないステンレス鋼の実データの把握を行った。鋼材メーカー名と今回入手したデータ種類の一覧を表 2.1 にまとめる。

なお、ミルシートは、化学成分、引張性質ごとに分類し、整理した詳細資料を以下に示す付録 1 及び付録 2 にまとめる。

付録 1 ミルシートの化学成分のまとめ

付録 2 ミルシートの引張性質のまとめ

(鋼種、鋼材メーカー、年度、板厚で分類)

(1) 化学成分のばらつき

化学成分は JIS 規格で規定されているが、ミルシートにて市販材の各成分範囲を調査した結果を表 2.2 に示す。表中には、各元素の平均的な含有量と調査範囲での最大値と最小値を示している。各元素の特徴及び傾向を次にまとめる (付録 1 参照)。

C : 強度に影響の大きい元素である。各鋼材メーカーともにばらつきが大きく、JIS 規格の規定値の 30~95% の範囲 (例えば、SUS304 の新日鐵データでは規定値 0.08% 以下に対して、0.025~0.078%、SUS304L の日本冶金データでは規定値 0.03% 以下に対して、0.01~0.027% の範囲等) にわたっている。

Si, Mn : 規定値以下であれば特に問題ない。規定値の 50% 以上含有されているものが多い。

P, S : 化学成分としては、P は規定値の 70% 以下に、S は規定値の 50% 以下に抑えられているものが多い。

Cr, Ni : 耐食性の維持や相の安定化に関して、オーステナイト系ステンレス鋼に不可欠の元素である。成分範囲は上限、下限が規定されているためにばらつきは小さい。

Mo : 耐孔食性に優れる SUS316 系に含有される。成分の上限と下限の規定範囲が狭いためばらつきは小さい。

(2) 引張試験データのばらつき

市販材の引張試験データを鋼材メーカー間の差、製造年度、板厚及び JIS 規定値との比較という項目で各々の傾向を調べた結果を以下に概説する (付録 2 参照)。

① 鋼材メーカー間の差

各鋼材メーカーの 0.2% 耐力及び引張強さを同一鋼種、同一板厚で比較すると、鋼材メーカー間でかなりの差がみられるが、特定の鋼材メーカーに特徴づけられるような傾向もないことから、化学成分の C にみられるようなばらつきと考えられる。

表2.1 入手試料一覧表 (ステンレス鋼)

メーカ名	機械的性質の調査	応力-ひずみ線図(S-S)の調査	疲労曲線 (S-N) の調査	備 考
日本冶金工業(株)	1) SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L 板厚 8, 12, 16, 24, 32 mm 2) 上記材料の化学成分	1) SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L	1) SUS304, SUS304N2 2) SUS304, SUS304L, SUS316の疲労強度デー タ	
新日本製鉄(株)	—	1) 高温時 S-S カーブ SUS304	1) SUS304, SUS316	
日本鋼管(株)	1) SUS316, SUS304N2, SUS329J2L	1) SUS304, SUS316, SUS304N2, SUS329J2L	—	
川崎製鉄(株)	—	1) SUS304L	—	熱処理は日本冶金に依 頼している。
神戸製鋼(株)	—	—	—	
住友金属工業(株)	1) SUS304 常温, 薄板 SUS304 常温/高温 厚板 2) 上記材料の化学成分 3) 連続鍛造材と鋼塊材	—	—	データは日本ステンレ ス作成, 但し10/1付で 住友金属工業に合併。
日本金属(株)	1) SUS304 2) 上記材料の化学成分	—	—	
日本ステンレス(株)	1) SUS304 2) 上記材料の化学成分	—	—	

表2.2 化学成分のばらつき比較表

材料	メーカー名	項目	化 学 成 分 (%)								備 考
			C	S i	M n	P	S	C r	N i	M o	
S U S 304	J I S G 4304		0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.045以下	0.030以下	18.00～ 20.00	8.00～ 10.50		
	新日本製鉄	最大値	0.078	0.53	1.85	0.022	0.020	19.30	11.73		データ数
		平均値	0.053	0.43	1.66	0.011	0.017	18.40	10.61		3
		最小値	0.025	0.36	1.57	0.005	0.012	17.39	9.89		
	日本 冶金	最大値	0.070	0.74	1.77	0.039	0.010	18.46	9.25		データ数
		平均値	0.060	0.58	1.31	0.031	0.006	18.20	8.65		18
		最小値	0.050	0.48	0.98	0.026	0.003	18.01	8.29		
	住友金属	最大値	0.044	0.82	1.27	0.029	0.002	18.99	9.74		データ数
		平均値	0.041	0.78	1.19	0.024	0.0014	18.60	9.59		32
		最小値	0.036	0.74	1.17	0.019	0.0009	18.32	9.46		
S U S 304L	J I S G 4304		0.030以下	1.00以下	2.00以下	0.045以下	0.030以下	18.00～ 20.00	9.00～ 13.00		
	日本 冶金	最大値	0.027	0.82	1.72	0.036	0.011	18.70	11.75		データ数
		平均値	0.019	0.62	1.51	0.029	0.007	18.31	10.36		18
		最小値	0.010	0.48	0.89	0.019	0.002	18.03	10.03		
S U S 316	J I S G 4304		0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.045以下	0.030以下	16.00～ 18.00	10.00～ 14.00	2.00～ 3.00	
	新日本製鉄	最大値	0.075	0.53	1.62	0.023	0.020	18.51	14.77	2.67	データ数
		平均値	0.050	0.43	1.60	0.015	0.016	17.41	13.91	2.42	3
		最小値	0.028	0.24	1.55	0.008	0.014	16.65	12.60	2.03	
	日本 冶金	最大値	0.090	0.77	1.88	0.037	0.013	17.55	12.00	2.55	データ数
		平均値	0.050	0.66	1.44	0.033	0.006	17.08	11.10	2.22	18
		最小値	0.040	0.57	0.92	0.027	0.003	16.74	10.65	2.04	
	日本 鋼 管	最大値	0.036	0.51	1.07	0.030	0.002	16.54	10.98	2.17	データ数
		平均値	0.036	0.51	1.07	0.030	0.002	16.54	10.98	2.17	1
		最小値	0.036	0.51	1.07	0.030	0.002	16.54	10.98	2.17	
S U S 316L	J I S G 4304		0.030以下	1.00以下	2.00以下	0.045以下	0.030以下	16.00～ 18.00	10.00～ 14.00	2.00～ 3.00	
	日本 冶金	最大値	0.030	1.00	1.90	0.037	0.016	17.64	14.06	2.56	データ数
		平均値	0.019	0.72	1.52	0.032	0.006	17.34	12.54	2.24	18
		最小値	0.010	0.49	1.10	0.027	0.003	17.08	12.03	2.00	

② 製造年度における差

製造年度毎の0.2%耐力及び引張強さを同一鋼材メーカ、同一鋼種、同板厚で比較するとほとんど差はなく、製造年度によるばらつきはみられない。

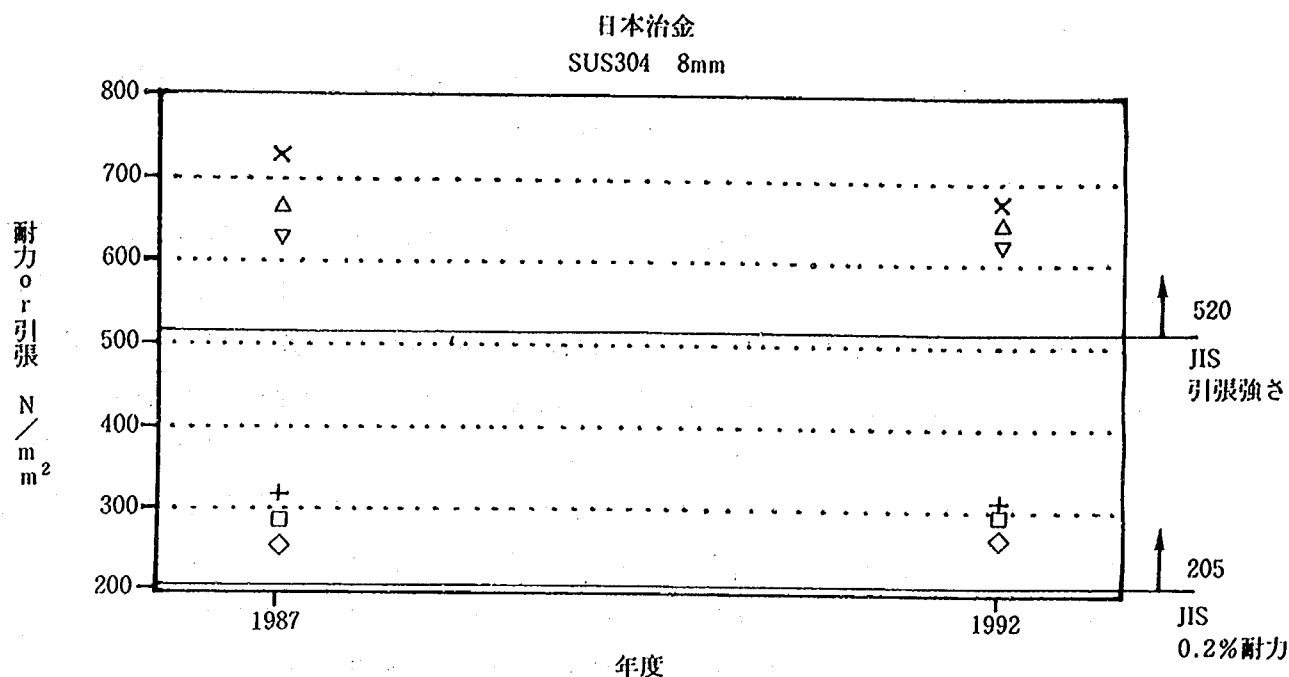
③ 板厚における差

いずれの鋼種においても、板厚が厚くなるほど0.2%耐力が小さくなる傾向があり、板厚32mmでは板厚8mmの80~90%になっている。特に差の大きい例としては、1987年日本冶金製のSUS316Lの耐力では板厚32mmのものは板厚8mmのものの約70%になっている。一方、引張強さは板厚が厚くなっても耐力のような強度低下はなく、強度低下したものでも90%までである。さらに、データ点数は少ないが、特に強度変化のないものや逆に若干強度増加したようなもの（例えば、新日鉄SUS304L）もみられる。板厚の影響が生じる理由として、0.2%耐力で板厚の影響が大きいのは厚いものほど板厚中央まで圧延加工の影響が効いていないためであり、引張強さで板厚の影響が小さくなるのはオーステナイト系ステンレス鋼では加工硬化率が大きいため、最終的な強度レベルでは加工硬化の影響が支配的になるためであると考察される。

④ JIS 規定値との差

図2.5は鋼種ごとにJIS規格の0.2%耐力と引張強さの下限值を表示しており、これを基準にして実データ（平均値を目安とする）とJIS規定値との差を表2.3にまとめる。

以上の①から④の結果をまとめると、鋼材メーカ、製造年度において、いずれの鋼種も0.2%耐力はJIS規格の下限値の1.2倍以上、引張強さはJIS規格の下限値の1.1倍以上となっていることがわかる。



□ 耐力 (平均値) + 耐力 (最大値) ◇ 耐力 (最小値) △ 引張 (平均値)

図2.5 0.2%耐力と引張強さの下限值

表2.3 実データとJIS規定値の差

鋼 種	JIS 規定値に対する比	
	0.2%耐力	引張強さ
SUS304	1.3~1.5倍	1.2~1.3倍
SUS304L	1.4~1.6倍	1.1~1.2倍
SUS316	1.2~1.4倍	1.1~1.2倍
SUS316L	1.4~1.7倍	1.1~1.2倍

2.4 ステンレス鋼の応力-ひずみ線図に関する調査

鋼種別の応力-ひずみ線図に対応する供試材の引張性質と化学組成を表2.4に、鋼種別の応力-ひずみ線図を図2.6~2.10にまとめる(図2.6, 図2.7: SUS304, 図2.8: SUS304L, 図2.9: SUS316, 図2.10: SUS316Lの応力-ひずみ線図を示す)。

図2.6~2.10の、①~⑤の応力-ひずみ線図はいずれも同様な曲線を描いており、線図の基本的な形状に関しては各鋼種間での差異はない。各図にはオフセット法による0.1%耐力と0.2%耐力を図示している。

0.1%耐力はJIS規格では規定されていないため、通常のミルシートには表示されない耐力である。0.1%耐力は弾性限近くの勾配の急な曲線部分に位置するため、0.2%耐力に比べ測定精度上の誤差を生じやすい。

表2.4 鋼種別比較表(ステンレス鋼)

鋼 種	グラフ 番号	板厚 (mm)	Y. S (N/mm ²)	T. S (N/mm ²)	EI (%)	HB	TP 形状 TP厚(mm)	化 学 成 分							
								C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SUS304	①	8	356	658	54.4	187	13B号 7.49	0.05	0.55	1.18	0.028	0.005	8.25	18.11	
	②	12	306	639	58.4	177	13B号 12.33	0.05	0.53	1.20	0.028	0.004	8.26	18.14	
	③	16	271	636	59.6	170	10B号 12.52	0.05	0.52	1.19	0.028	0.004	8.25	18.14	
	④	16	253	638	61.0	163	10B号 12.52	0.05	0.49	1.24	0.028	0.004	8.25	18.20	
	⑤	25	248	613	60.8	160	10B号 12.52	0.05	0.52	1.29	0.030	0.004	8.32	18.18	
	⑥	25	259	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
SUS304L	⑦	6	283	567	58.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	⑧	12	288	575	58.2	156	13B号 11.67	0.016	0.70	1.58	0.026	0.003	10.08	18.19	
	⑨	12	277	598	64.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	⑩	15	274	588	67.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
SUS316	⑪	12	257	549	64.6	143	13B号 11.72	0.04	0.62	1.28	0.032	0.003	10.74	16.74	2.11
	⑫	25	231	561	64.0	143	10B号 12.52	0.04	0.62	1.28	0.032	0.003	10.74	16.74	2.11
	⑬	35	246	552	65.8	143	10B号 12.52	0.04	0.62	1.28	0.032	0.003	10.74	16.74	2.11
SUS316L	⑭	12	273	549	59.2	148	13B号 11.82	0.017	0.72	1.26	0.029	0.003	12.01	17.28	2.02
	⑮	25	233	550	61.8	139	10B号 12.53	0.020	0.71	1.25	0.030	0.002	12.05	17.26	2.05

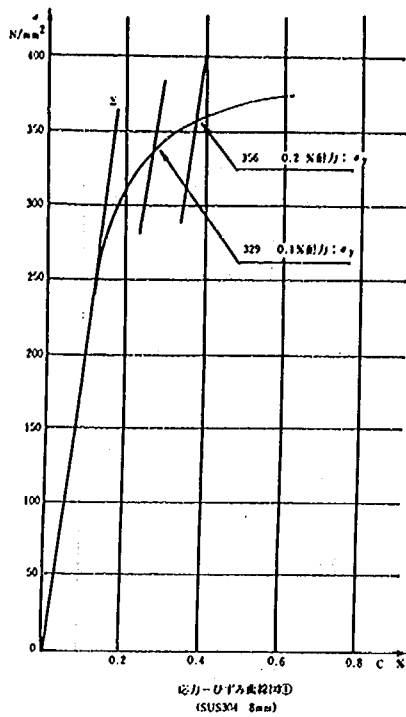
注記：①, ②, ③, ④, ⑤, ⑧, ⑪, ⑫, ⑬, ⑭, ⑮ 日本冶金工業㈱

⑥ 新日本製鉄㈱

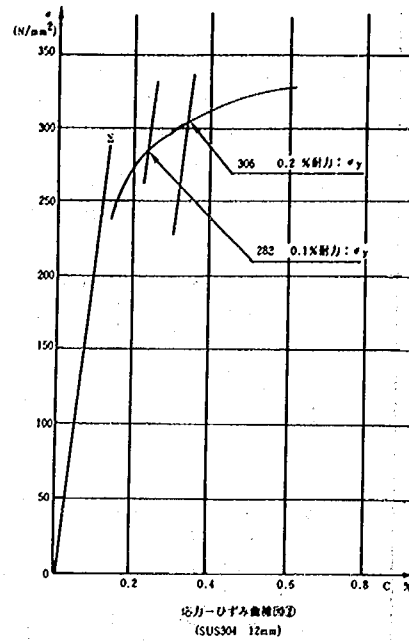
⑦, ⑨, ⑩ 川崎製鉄㈱

よりデータ抜粋

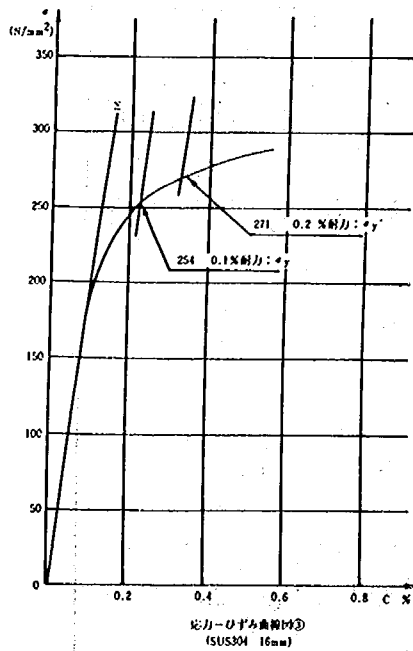
① SUS304 8mm



② SUS304 12mm



③ SUS304 16mm



④ SUS304 16mm

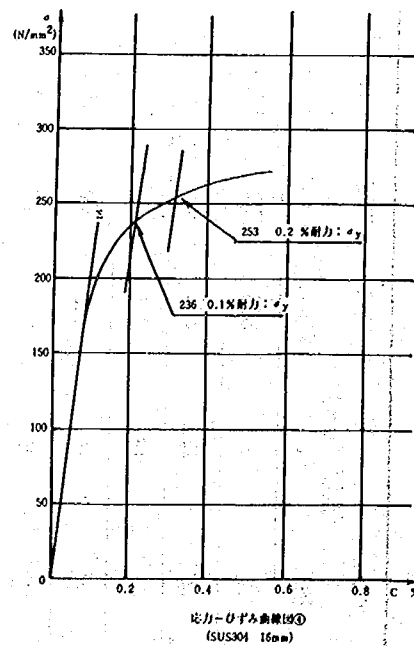
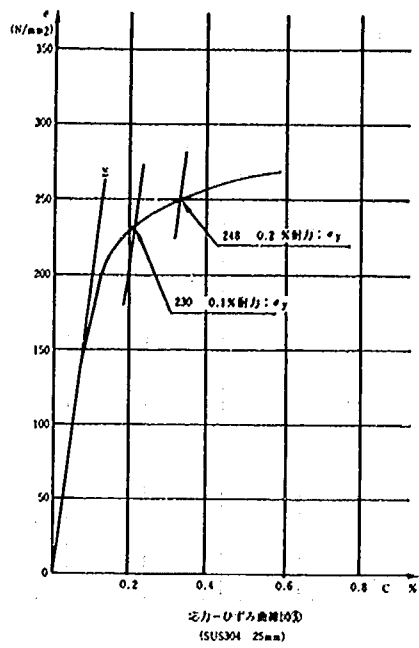


図2.6 SUS304の応力-ひずみ線図 (1/2)

⑤ SUS304 8mm



⑥ SUS304 25mm

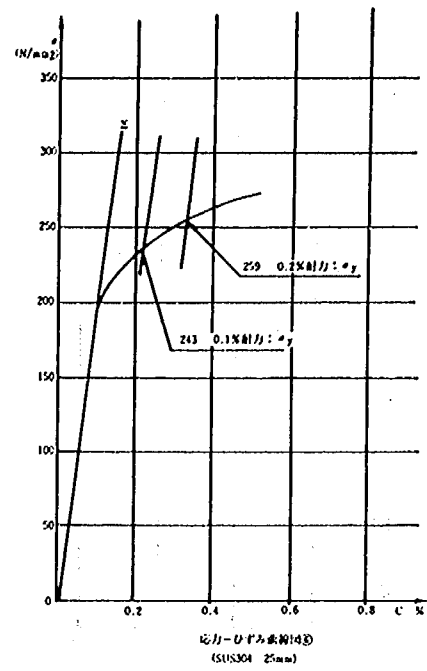
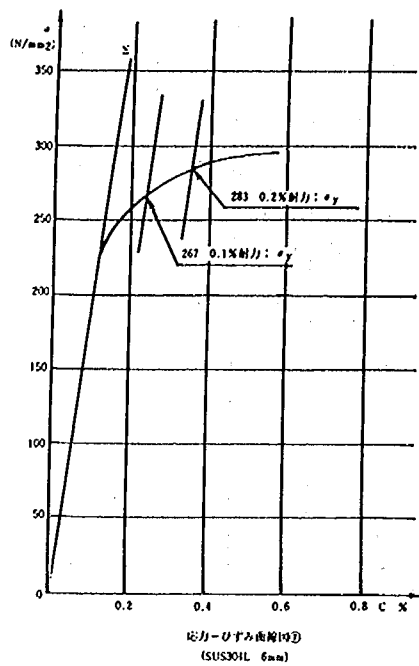
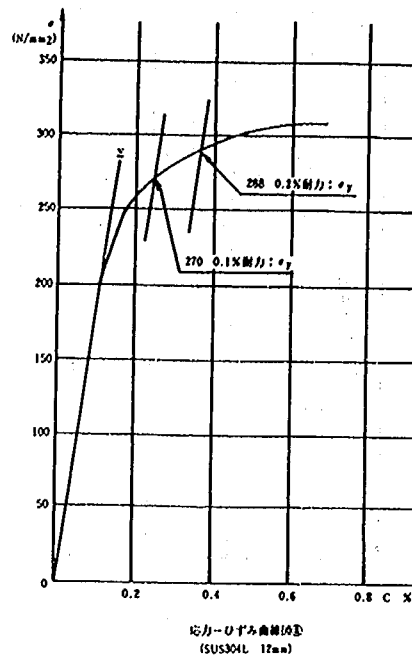


図2.7 SUS304の応力-ひずみ線図 (2/2)

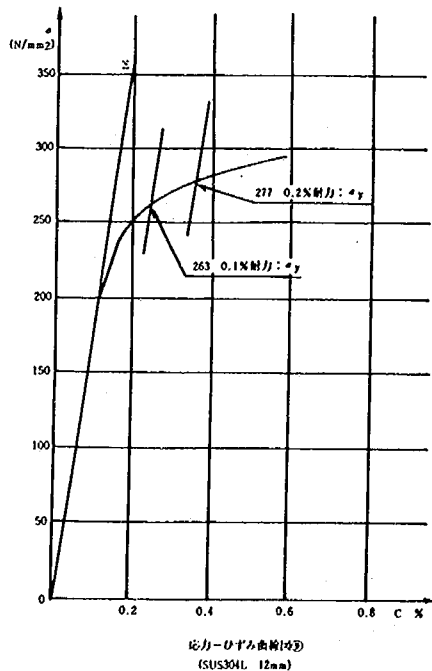
⑦ SUS304L 6mm



⑧ SUS304L 12mm



⑨ SUS304L 12mm



⑩ SUS304L 15mm

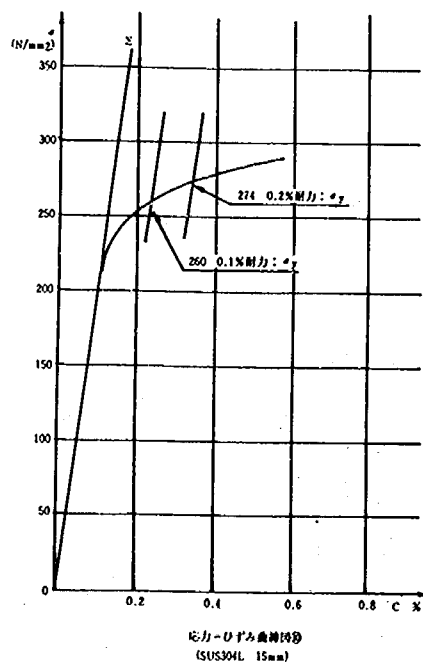
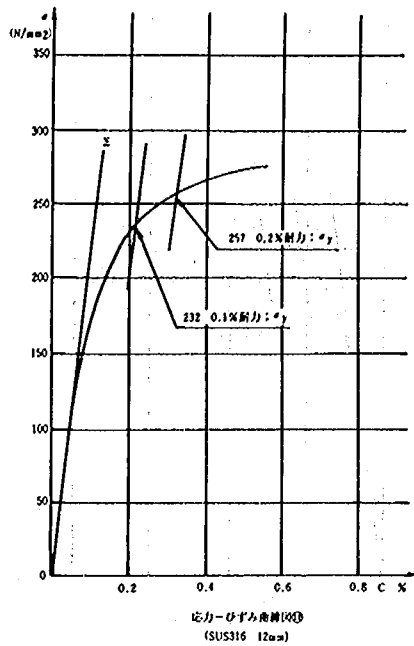
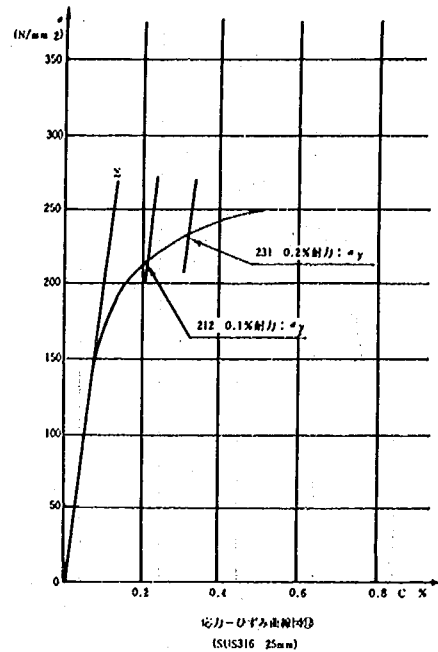


図2.8 SUS304L の応力-ひずみ線図

⑪ SUS316 12mm



⑫ SUS316 25mm



⑬ SUS316 35mm

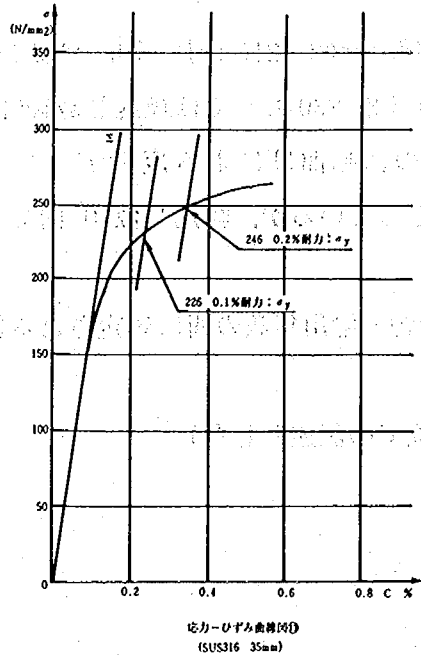


図2.9 SUS316の応力-ひずみ線図

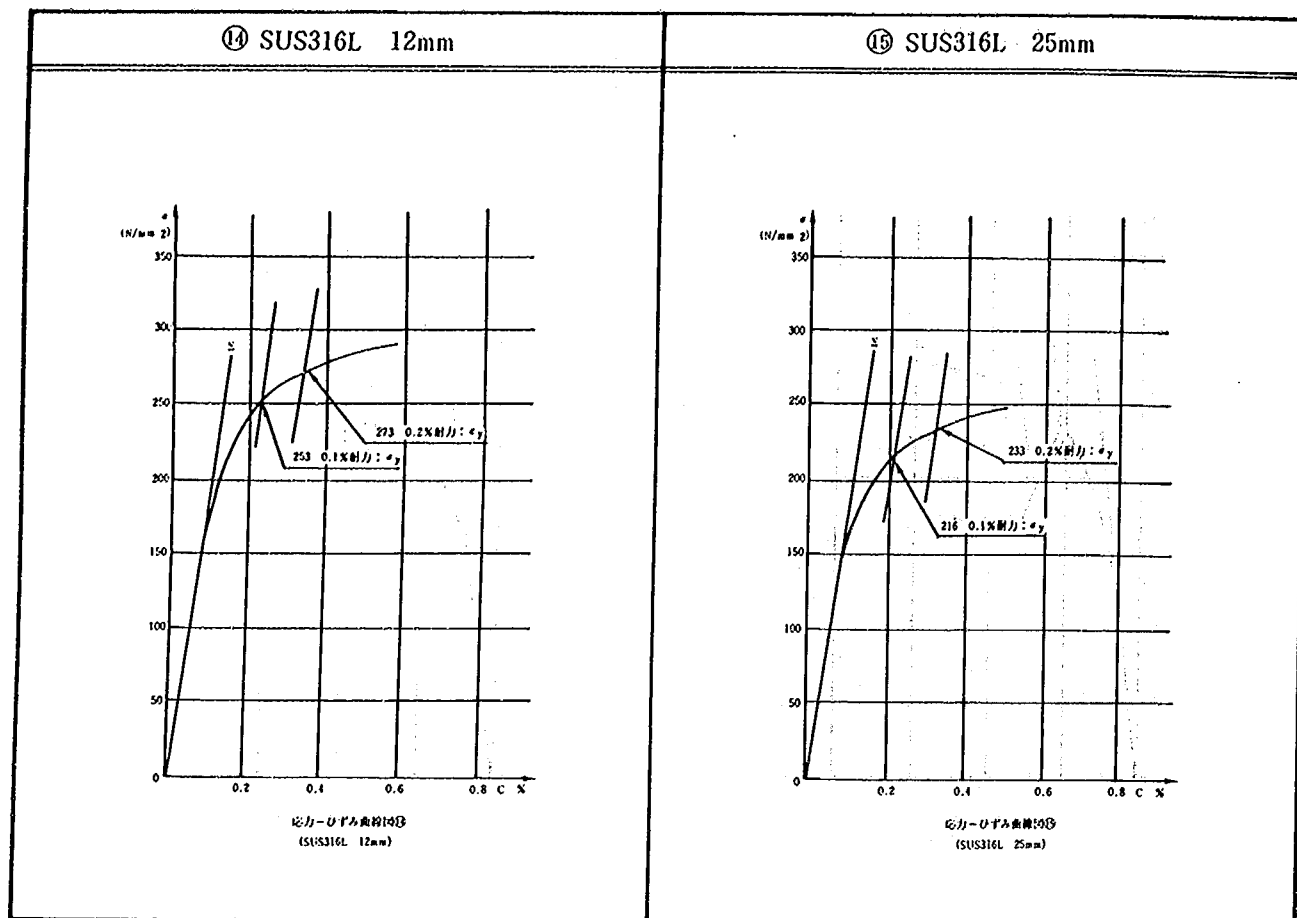


図2.10 SUS316L の応力-ひずみ線図

2.5 ステンレス鋼の疲労強度に関する調査

SUS304及びSUS316の疲労試験のS-N曲線を図2.11及び図2.12に示す。図2.11はSUS304の回転曲げによる疲労データであるが、炭素量の低い試料（SUS304L）では繰返し数 10^7 回での疲労強度が 20 kgf/mm^2 となっている。図2.12はSUS316の回転曲げによる疲労データである。SUS304と同様にC量の低いものでは疲労強度が小さくなっているが、繰返し数 10^7 回での疲労強度は $20 \sim 25 \text{ kgf/mm}^2$ の範囲となっている。

なお、疲労破壊に対しては、ダム・堰用ゲート等構造物で耐用年数の間に想定される負荷の繰返し数を推定することが必要である。

（注：収集した疲労データに基づいているため、重力単位での記述とした）

試験機 回転曲げ型 3,000rpm

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
○	0.078	0.53	1.35	0.022	0.012	10.21	19.30
●	0.055	0.39	1.57	0.006	0.018	9.89	18.51
×	0.025	0.36	1.57	0.005	0.020	11.73	17.39

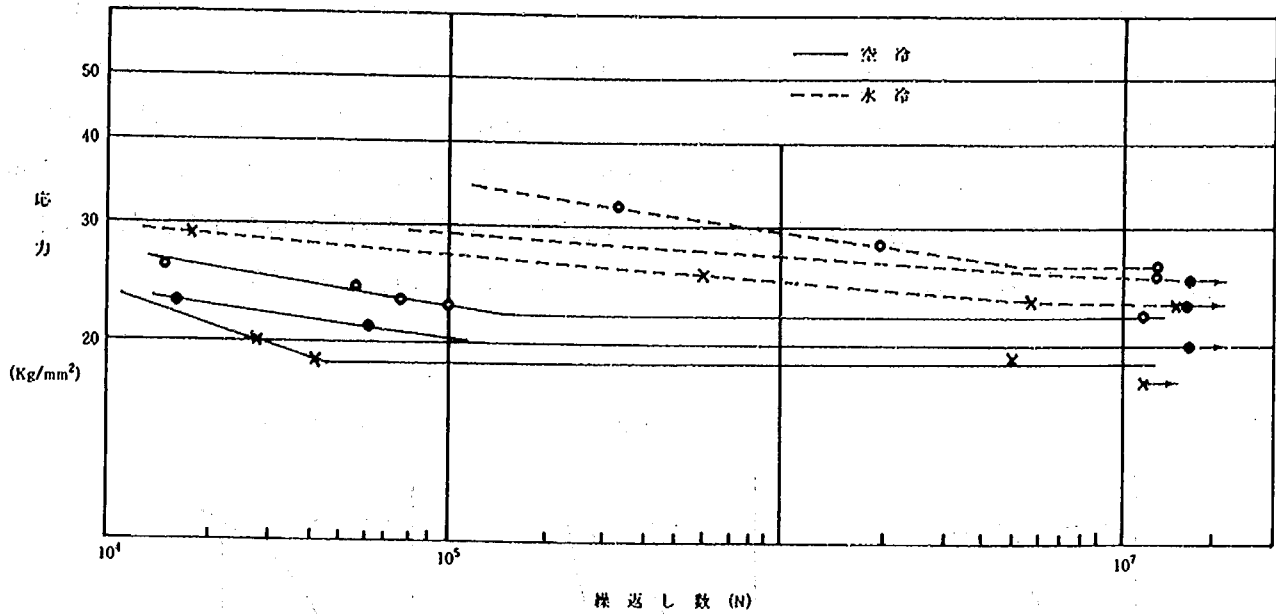


図2.11 SUS304のS-N曲線

試験機 回転曲げ型 3,000rpm

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
○	0.075	0.24	1.62	0.023	0.014	14.35	18.51	2.63
●	0.028	0.53	1.62	0.003	0.020	14.77	16.65	2.67
×	0.048	0.51	1.55	0.014	0.015	12.60	17.07	2.57

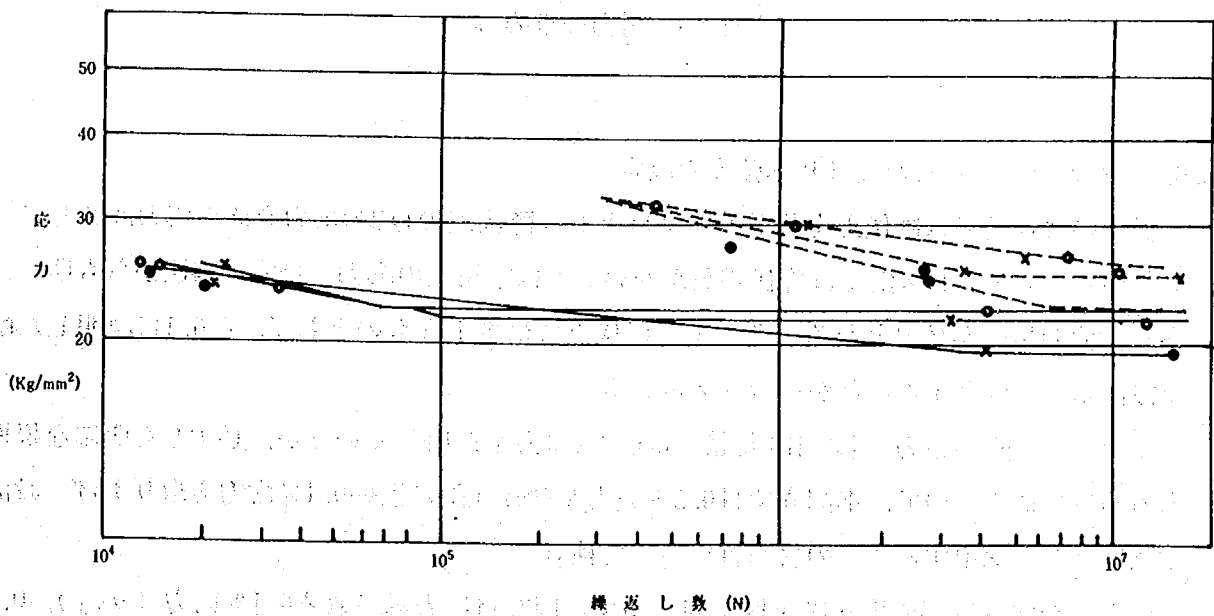


図2.12 SUS316のS-N曲線

2.6 設計基本強度に関する調査

2.6.1 耐力の決め方

耐力を測定する方法としては、図2.13（JIS 規格引用）に示すような(a)オフセット法、(b)永久伸び法、(c)全伸び法の3方法がJIS 規格によって決められている。現在、それらの中で最も一般的に採用されているのはオフセット法であり、応力-ひずみ線図を利用して弾性変形部分に平行線を引き、0.1%や0.2%ひずみの位置での平行線が線図と交わる荷重試験片平行部の初期断面積で除して、0.1%耐力や0.2%耐力とするものである。ミルシートや本調査にて表示する耐力はすべてこの方法で求められている。設計基本強度の決め方を検討するにあたって、本調査で取り扱う耐力はすべてオフセット法によって求められたものとする。

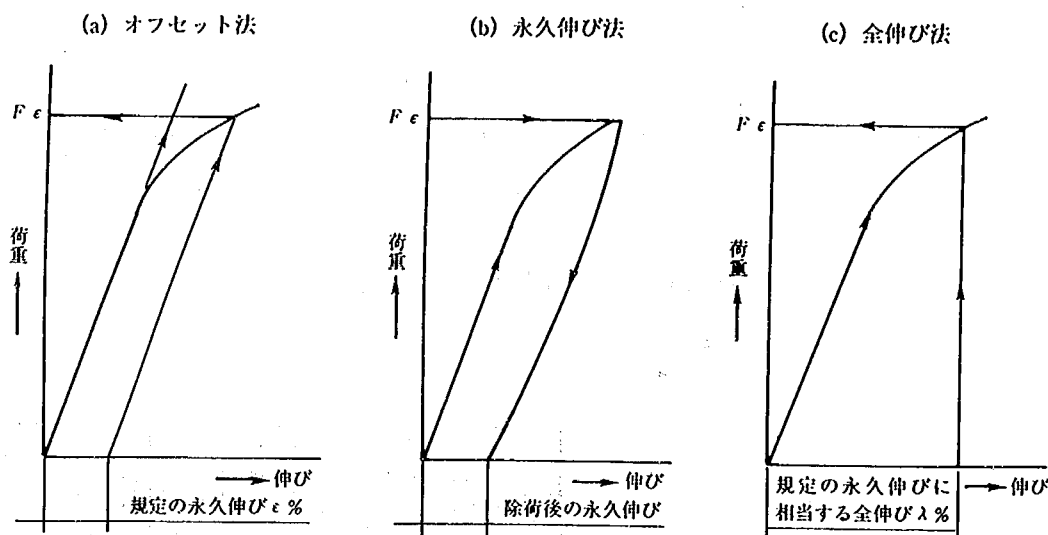


図2.13 耐力の求め方

2.6.2 耐力を基準とした設計基本強度の設定

従来の普通鋼では降伏点を設計基本強度とし、降伏点の1/2の応力を許容応力度として採用している。ステンレス鋼では降伏現象がないことは本調査の応力-ひずみ線図からも明らかであり、他の指標が必要となる。そこで、降伏点に相当するものとして、2.6.1に説明した耐力を設計基本強度とすることが一つ考えられる。

ステンレス鋼の耐力としてJIS 規格では0.2%耐力を採用しているが、必ずしも明確な根拠があるわけではないので、本調査では0.2%耐力及び弾性限に近い0.1%耐力を取り上げ、設計基本強度として採用することの妥当性について検討した。

応力-ひずみ線図の模式図を図2.14に示す。図2.14に表示される0.1%耐力 ($\sigma_{0.1}$)、0.2%耐力 ($\sigma_{0.2}$) 及び見かけの弾性限 (σ_e 、応力-ひずみ線図で真の弾性限を判断することはできないため、本報告書ではこのように表現する) の各値を、図2.6~2.10の①~⑮の応力-

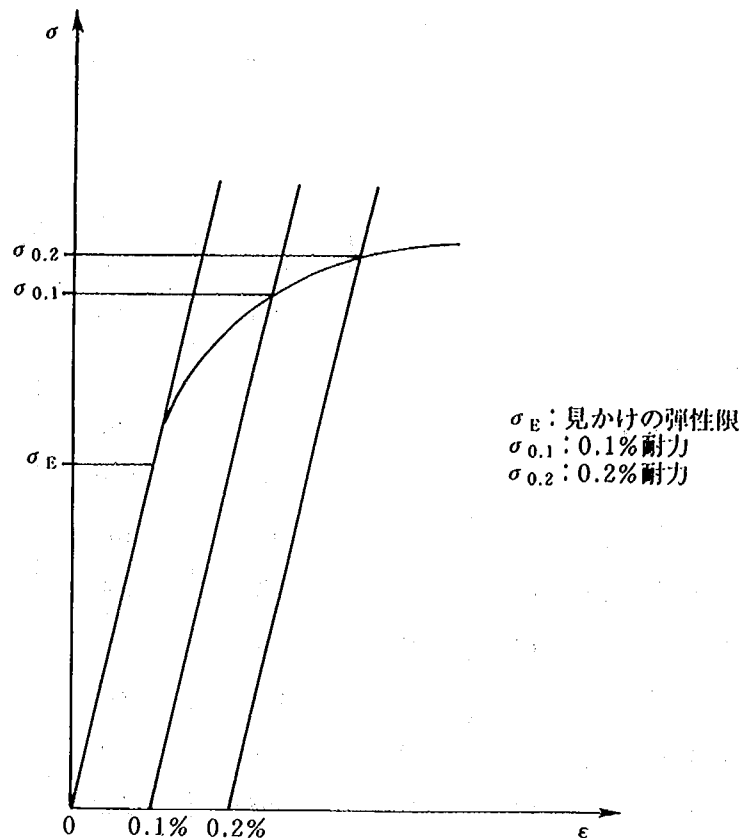


図2.14 応力－ひずみ線図における耐力等の決め方

ひずみ線図より読み取り、両耐力と見かけの弾性限との比率を表2.5に示す。言い換えれば、JIS 規定値に相当する0.2%耐力の応力が作用したとしても、実際は0.2%のひずみが生じていないことになる。

また、ステンレス鋼の耐力を設計基本強度として扱い、普通鋼と同様に1/2の係数を乗じたものを許容応力度として扱った場合、弾性域の強度に基づく設計がなされていることになる。

この表においても、実際の0.1%耐力、0.2%耐力がそれぞれJIS 規定値を上回っていることがわかる。

次に、設計基本強度として0.1%耐力と0.2%耐力のどちらを優先すべきかという点について、それぞれの耐力の得失を以下に比較した。

表2.5 応力－ひずみ線図からの読みとり値

鋼種	メーカー名	板厚 (mm)	グラフ 番号	σ_E (N/mm ²)	$\sigma_{0.1}$ (N/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)
SUS 304	日本冶金	8	①	220	329	356
	日本冶金	12	②	168	282	306
	日本冶金	16	③	152	254	271
	日本冶金	16	④	150	236	253
	日本冶金	25	⑤	126	230	248
	新日本製鉄	25	⑥	192	243	259
SUS 304L	川崎製鉄	6	⑦	218	267	283
	日本冶金	12	⑧	182	270	288
	川崎製鉄	12	⑨	204	263	277
	川崎製鉄	15	⑩	200	260	274
SUS 316	日本冶金	12	⑪	120	232	257
	日本冶金	25	⑫	114	212	231
	日本冶金	35	⑬	118	226	246
SUS 316L	日本冶金	12	⑭	158	253	273
	日本冶金	25	⑮	126	216	233

ここに σ_E : 見かけの弾性限 (N/mm²)
 $\sigma_{0.1}$: 0.1%耐力 (N/mm²)
 $\sigma_{0.2}$: 0.2%耐力 (N/mm²)

(1) 0.1%耐力の場合

<長所>

- 0.2%耐力より弾性限に近いので、塑性変形に対してはより安全側での評価基準となり得る。

<短所>

- 0.1%耐力値は通常材料ミルシートでは得られない。
- 応力－ひずみ線図より0.1%耐力を求める場合、0.2%耐力よりも線図の勾配が大きい位置となるため、測定誤差が生じやすい。
- 従来の0.2%耐力を0.1%耐力に変更する場合は、鋼材メーカーに混乱を生じさせる。併記の場合は余分な測定費が生じる。
- 新たなJIS規格を制定する必要がある。

(2) 0.2%耐力の場合

<長所>

- 炭素鋼等の降伏強さに相当する応力としてJIS規格に強度規定があるため、材料ミルシー

トでは必須項目として、容易にデータが得られる。

- 応力－ひずみ線図からの読み取り誤差が小さい。

<短所>

- 加工硬化の関係に伴い塑性変形が0.1%耐力時より進行した位置での基準値となる。

以上の検討結果並びに、特に実用的な観点に基づいて両耐力を比較した場合には、0.2%耐力を設計基本強度とすることが適切と判断される。

2.6.3 設計基本強度の補正等に関する調査

(1) 大きさ、形状など

引張試験データの調査結果より、ステンレス鋼では耐力に及ぼす板厚の影響がかなり大きいことがわかる。表2.5より、SUS304の0.2%耐力を8mmと32mmの板厚で比較すると、32mmの板厚では8mmの板厚の80～90%の値となっている。このことは耐力を設計基本強度として、同じ係数（例えば1/2）を乗じて許容応力度を設定した場合、許容応力度の数値は板厚ごとに、あるいは板厚範囲によって表示する必要性を示している。

設計基本強度は静的な強度指標に基づいて設定されるが、実構造物において動的な負荷を受けるものに適用する場合には本調査だけで十分とはいえない。まず、対象構造が平滑材である場合には、許容応力度を耐力の1/2として設定した応力値は繰返し数 10^7 回での疲労破壊応力（ 20 kgf/mm^2 ）よりはるかに小さい応力となることから、疲労破壊の問題はないと判断される。しかし、対象構造が切欠き構造等を有する場合（使用中の構造変化も考慮する）には、応力集中による著しい疲労強度の低下が生ずることも考えられるため、別途疲労設計基準にて許容応力値の検討が必要である。

(2) 他のステンレス鋼への適用

SUS304やSUS316等、今回調査したステンレス鋼に関しては物性的に類似した鋼種であることから、設計基本強度に関する考え方は同一とすることができると考える。さらに、JIS規格ではオーステナイト系ステンレス鋼と規定される鋼種まで範囲を広げても、ほぼ同様な考え方が可能と思われる。その場合、実データに基づいた検証は必要である。一方、フェライト系、マルテンサイト系及び析出硬化型のステンレス鋼では、応力－ひずみ線図を始めとする強度特性や物性値が異なるため、本調査での設計基本強度をそのまま適用することには問題がある。

2.7 ステンレス鋼の設計基本強度に関する試験

2.7.1 試験目的

ダム・堰等のゲートにステンレス鋼を使用する場合、ステンレス鋼は普通鋼と異なる応力-ひずみ挙動を示すことから、従来の普通鋼の設計基本強度の考え方を引用することができないことは前述のとおりである。そこで、設計基本強度として耐力を基準とすることが考えられ、現在適用されているが、ステンレス鋼の耐力は塑性域であることから、耐力基準では弾性域での設定ではないため、耐用期間中に受ける繰返し負荷によって、累積的に塑性ひずみが生じることが懸念される。そこで、この問題を実験的に確認するために、耐力基準で4レベルの負荷を設定し、繰返し試験を行うことによってひずみの累積変化を確認し、設計基本強度に耐力基準を採用していることの妥当性を検討することとした。

2.7.2 引張試験方法

(1) 供試材

供試材は市販の板厚16 mm、幅500 mm×長さ500 mmのものとした。また、試験片は同一の鋼板から採取することとした。

供試材のミルシートの化学成分分析結果を表2.6に示す。いずれの成分値も JIS 規格の成分範囲を満足しているが、SUS316は SUS304に比べて炭素量が低くなっている。供試材の材質確認のために行った断面ミクロ組織観察の結果を写真2.1に示す。これより、両鋼種ともに溶体化処理材の組織を呈しており、圧延方向に沿って加工による組織のフローがみられるが、板材としては標準的なものであり、特に問題はないと考える。

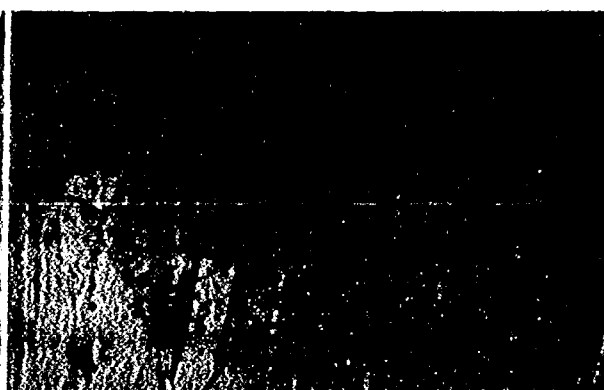
表2.6 母材の化学成分

(wt %)

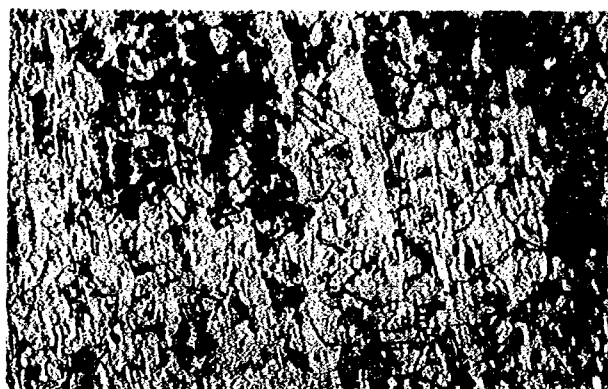
材 料		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SUS304	JIS 規定値	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ～10.50	18.00 ～20.00	—
	ミルシート	0.05	0.60	0.96	0.033	0.008	8.23	18.25	—
SUS316	JIS 規定値	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.00 ～14.00	16.00 ～18.00	2.00 ～3.00
	ミルシート	0.04	0.70	1.04	0.026	0.004	10.08	17.01	2.20



(a) SUS304 L 方向



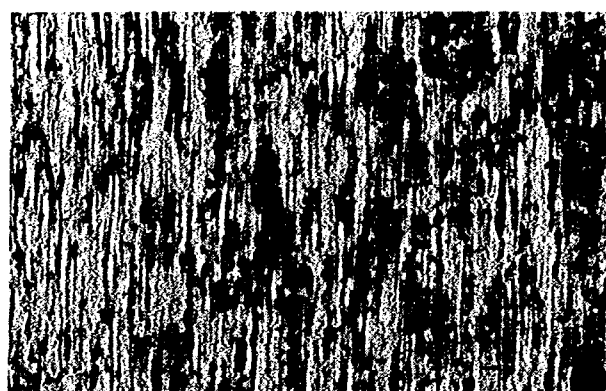
(b) (a) の詳細



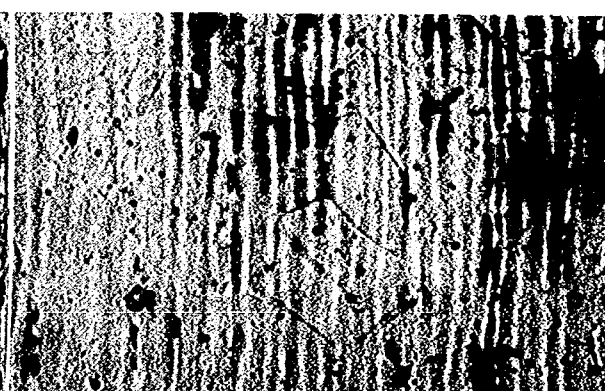
(c) SUS304 C 方向



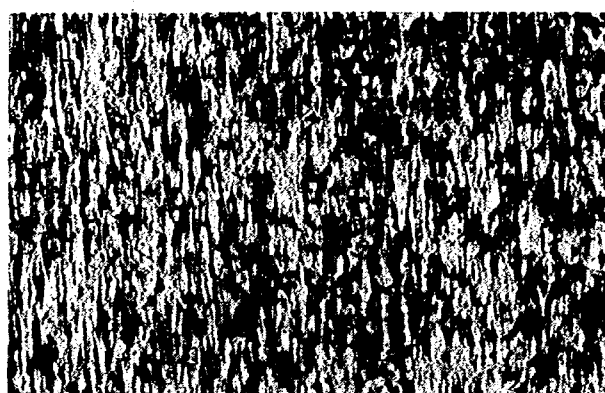
(d) (c) の詳細



(e) SUS316 L 方向



(f) (e) の詳細



(g) SUS304 C 方向



(h) (g) の詳細

100μm

25μm

写真2.1 供試材の断面ミクロ組織

(2) 試験方法

引張試験は次の要領で行った。

- 1) 試験片形状：形状及び寸法を図2.15に示す。
- 2) 試験片数量：表2.7に示す。SUS304, SUS316ともに板のL方向及びC方向より、各3本ずつ合計12本の試験片を採取した。
- 3) 試験機：島津オートグラフ10トン容量引張試験機
- 4) 試験要領：JIS Z 2241に基づいて行った。
- 5) 測定項目：①0.2%耐力を越える領域までの詳細な荷重－伸び線図
②0.1%耐力, 0.2%耐力, 引張強さ, 伸び, 絞り, 破断位置に関するデータ

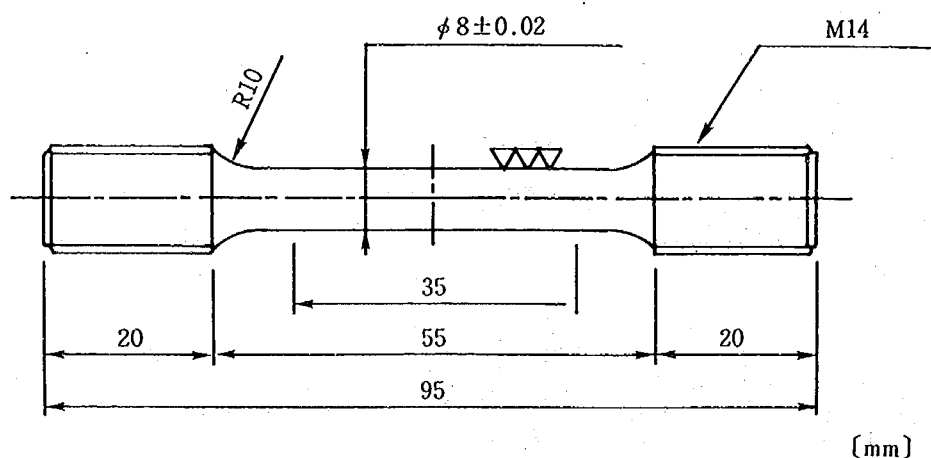


図2.15 引張試験片の形状及び寸法
(JIS Z 2201)

表2.7 試験片の数量

(単位：本)

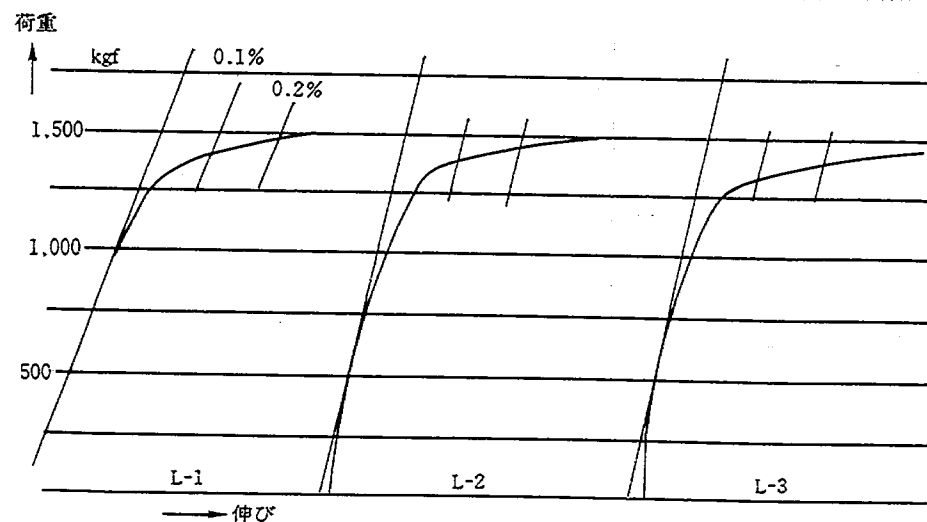
試験片種類	負荷レベル	SUS304		SUS316		合計
		L方向	C方向	L方向	C方向	
引張試験片	—	3	3	3	3	12

(注) L方向：板材の圧延方向

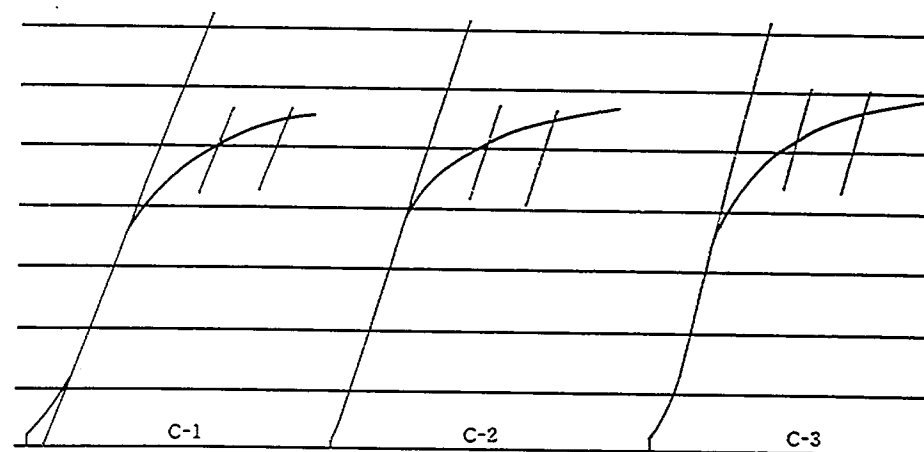
C方向：圧延方向に直角方向

2.7.3 引張試験結果

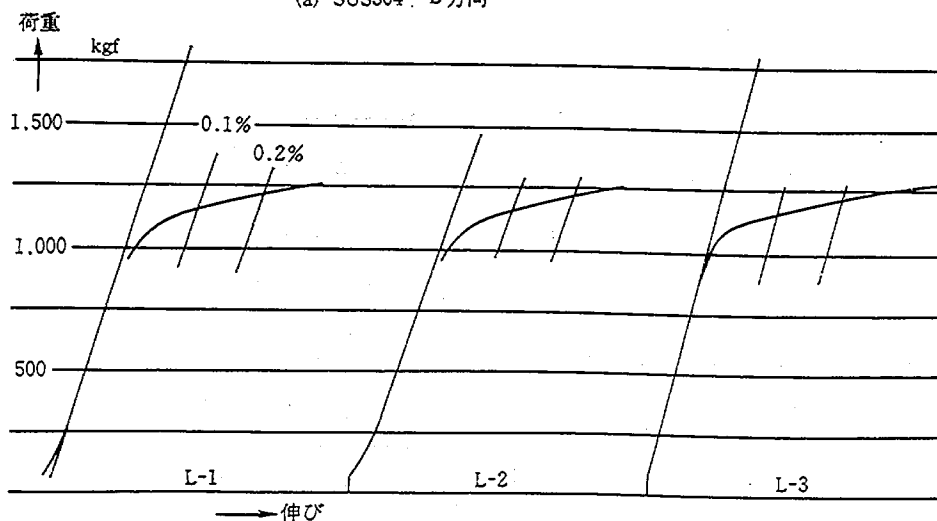
引張試験を実施した全試験片の荷重－伸び線図を図2.16にまとめる。図中には見かけ上の弾性限, 0.1%耐力及び0.2%耐力の位置を示している。測定結果を表2.8に、表2.8の測定値をSUS304とSUS316ごとにグラフ化したものを図2.17及び図2.18に示す。また、全試験片の破断外観写真を写真2.2に示す。表2.8より、すべての測定値はSUS304及びSUS316のJIS規格における引張性質を満足しており、各3本の試験片間での測定値のばらつきは小さい。JIS規格で



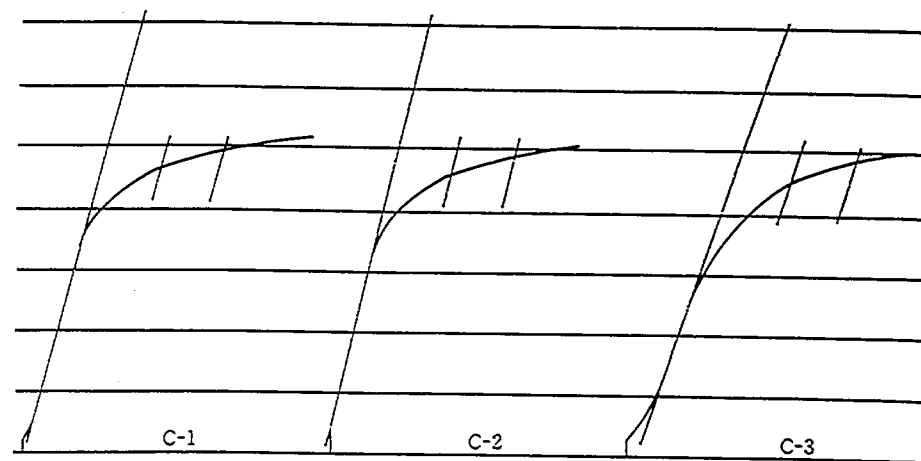
(a) SUS304 L方向



(b) SUS304 C方向



(c) SUS316 L方向



(d) SUS316 C方向

図2.16 SUS304及びSUS316供試材の荷重-ひずみ線図

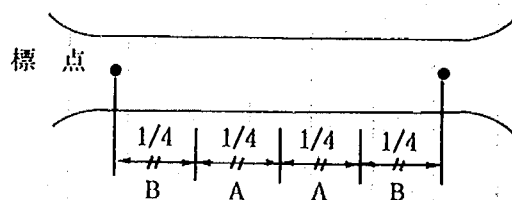
表2.8 引 張 試 験 結 果 (室 温)

材 料	採取方向	T P 記号	引 張 性 質					
			0.1%耐力 N/mm ²	0.2%耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	絞り %	破断位置
S U S 304	L 方向	L-1	274	285	640	63.2	76.8	A
		L-2	271	281	641	63.6	75	A
		L-3	260	272	640	63.2	78	A
	C 方向	C-1	246	266	634	60.7	69.8	A
		C-2	247	266	634	61.4	72.4	A
		C-3	252	274	635	62.1	72.4	A
	J I S 規格			205 以上	520以上	40以上	(60以上)	
S U S 316	L 方向	L-1	227	237	595	62.5	81.4	A
		L-2	225	236	595	62.9	81.4	A
		L-3	226	236	595	62.1	81.9	A
	C 方向	C-1	227	240	594	62.1	76.2	A
		C-2	223	237	594	62.9	76.8	A
		C-3	222	237	593	62.9	76.8	A
	J I S 規格			205 以上	520以上	40以上	(60以上)	

(注1) JIS規格では0.1%耐力の規定はない。

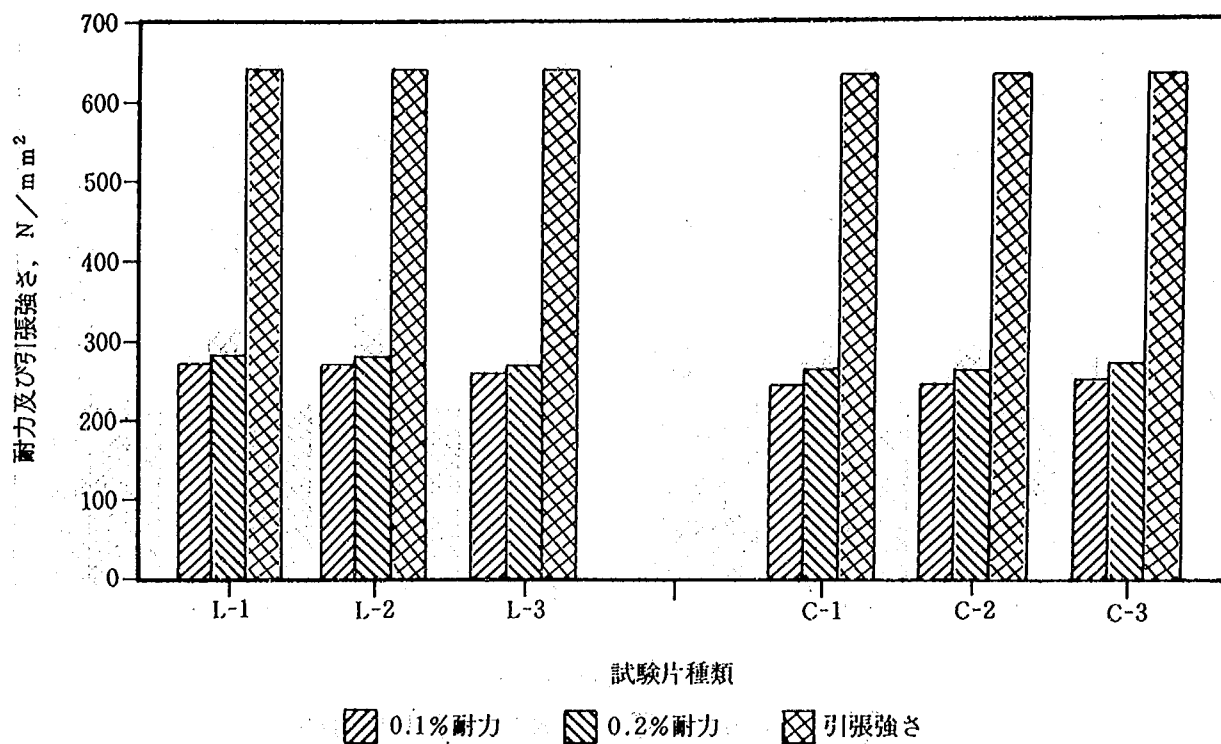
(注2) JIS規格では板材の絞り値の規定はないので棒材の規定値を()で参考表示した。

(注3) 破断位置の表示は下記のとおり。



破断位置

(a) 耐力及び引張強さ



(b) 伸び及び絞り

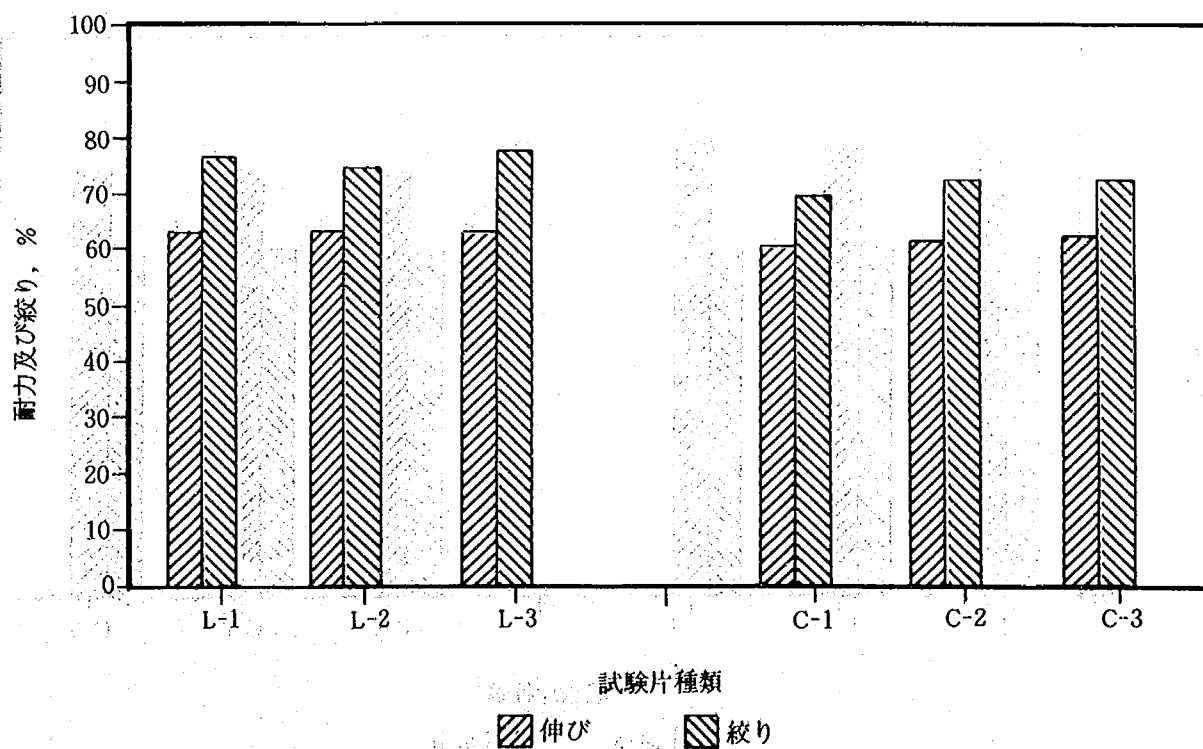
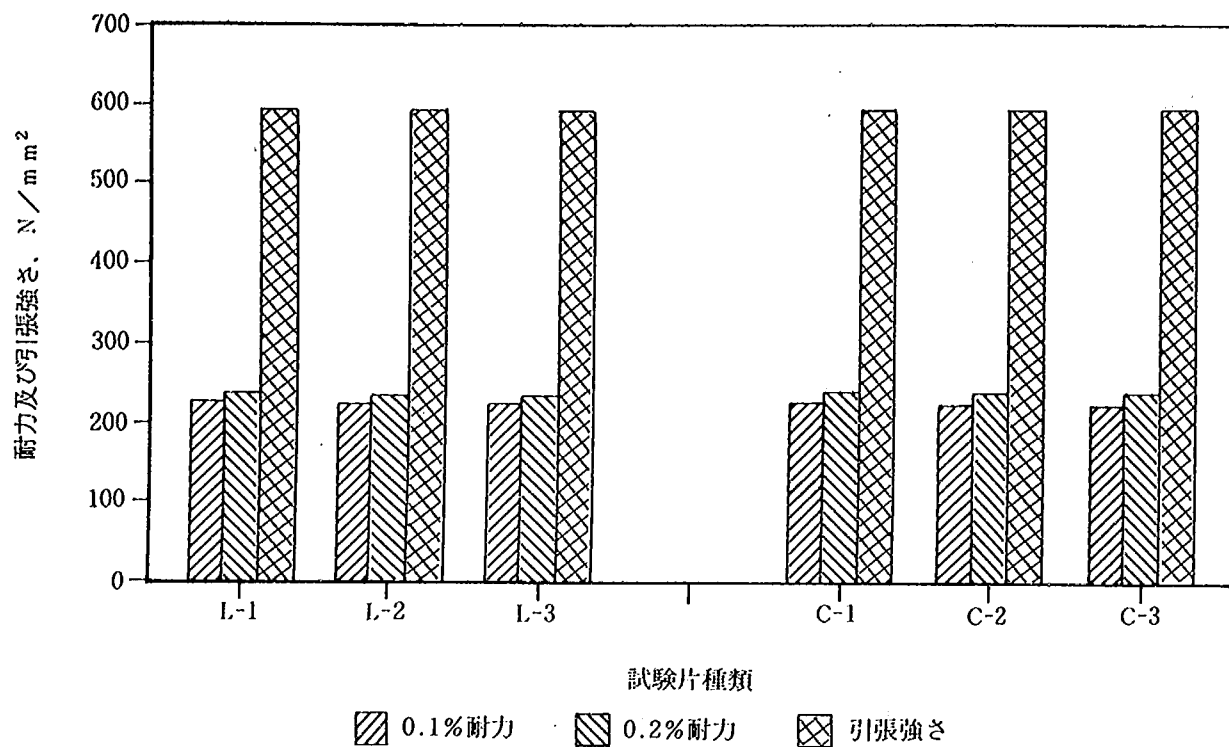


図2.17 SUS304の引張試験結果

(a) 耐力及び引張強さ



(b) 伸び及び絞り

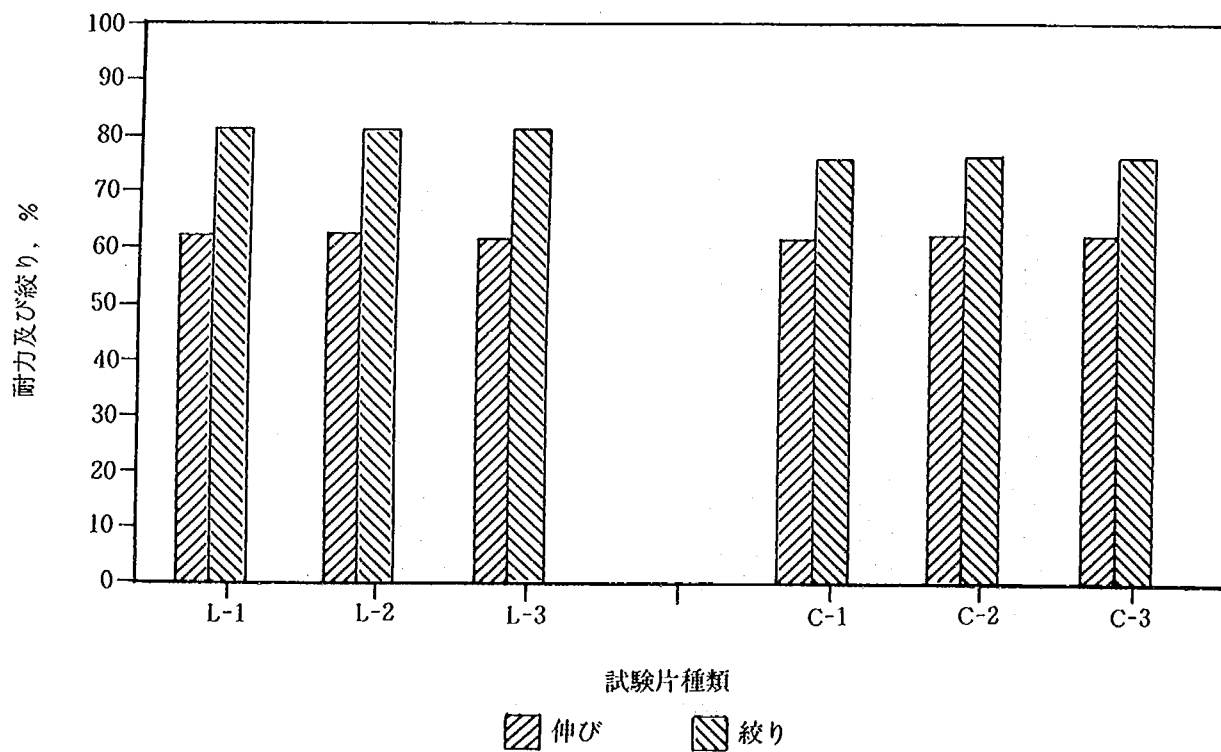
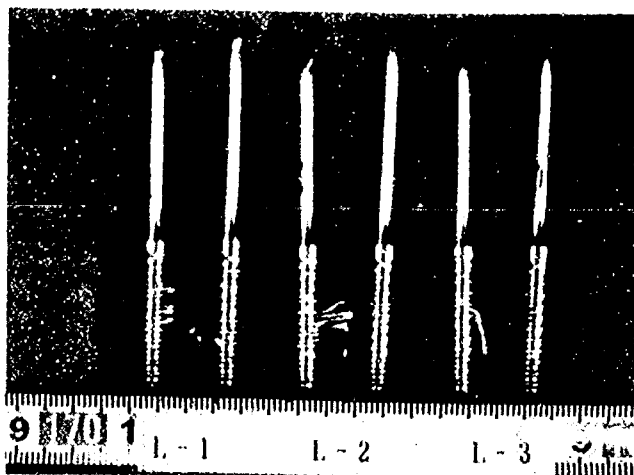
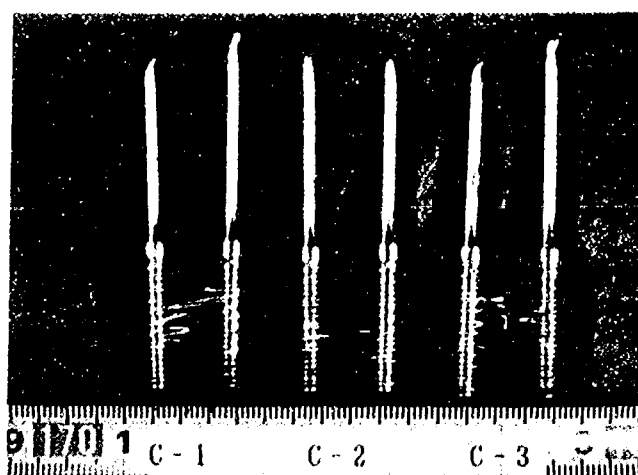


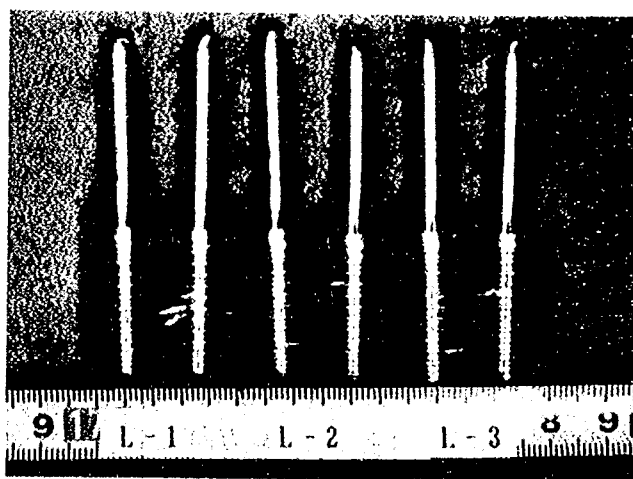
図2.18 SUS316の引張試験結果



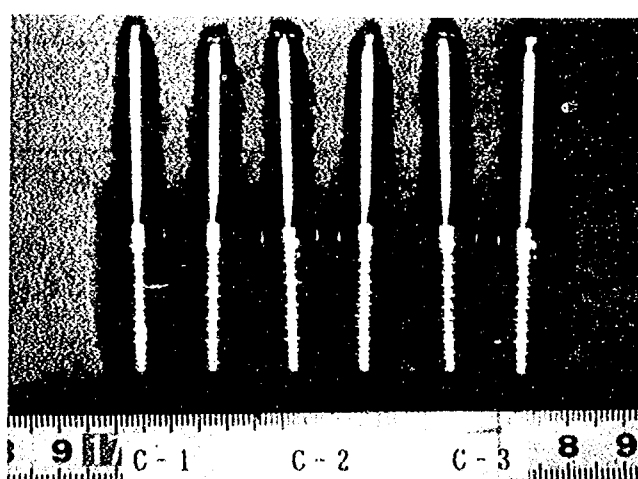
(a) SUS304 板のL方向



(b) SUS304 板のC方向



(c) SUS316 板のL方向



(d) SUS316 板のC方向

写真2.2 引張試験後の試験片外観

は SUS304と SUS316の0.2%耐力や引張強さは同じ下限値で規定されているが、本供試材では SUS304の方が SUS316より10～15%高い値を示している。この原因の一つとしては両鋼種の含有炭素量の差が考えられる。図2.17より、SUS304の場合、0.1%耐力、0.2%耐力、引張強さ、伸び、絞りのすべてにおいてL方向試験片の方がC方向試験片より若干高い値を示している。図2.18より、SUS316の場合は絞りにおいてL方向試験片の方が若干高い値を示しているが、それ以外の項目ではL方向とC方向の差はほとんどない。写真2.2より、各試験片の破断位置はいずれも試験片平行部の中央付近であり、破断形態には特に問題はない。

2.7.4 繰返し負荷試験の応力決定

繰返し負荷試験（引張試験と同一板材で実施）の応力を決めるため、表2.8に基づき SUS304及び SUS316のL方向とC方向の各3本の試験片の平均値を求めた（表2.9）。各測定値にばらつきが小さいことから、平均値を採ることには特に問題はないと判断した。表2.9の0.1%耐力及び0.2%耐力の値に基づき、繰返し負荷試験の4応力レベルは表2.10のように決定した。

表2.9 引張試験結果（平均値）

材 料	採取方向	引 張 性 質			
		0.1%耐力 N/mm ²	0.2%耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸 び %
SUS304	L方向	268	279	640	63.3
	C方向	248	269	634	61.4
SUS316	L方向	226	236	595	62.5
	C方向	224	238	594	62.6

（註）いずれの値を試験片3本の平均値

表2.10 繰返し負荷試験の設定応力

（単位：N/mm²）

負荷レベル	SUS304		SUS316	
	L方向	C方向	L方向	C方向
0.1%耐力	268	248	226	224
0.2%耐力	279	269	236	338
0.2%耐力×2/3	186	179	157	159
0.2%耐力×1/2	140	135	118	119

2.7.5 繰返し負荷試験方法

繰返し負荷試験は次の要領で行うこととした。

- (1) 試験片形状：形状及び寸法を図2.19に示す。
- (2) 試験片数量：表2.11に示す。SUS304、SUS316ともに板のL方向及びC方向より、各5本（内1本は予備）ずつの試験片を採取した。
- (3) 試 験 機：①島津サーボパルサー EHF-UA20疲労試験機
 ②容 量 ……±20トン（使用レンジは±2トン）
 ③伸び計 ……MTS（MODEL 632.50C-05 GL=21mm）
- (4) 試験条件：①温度、環境 ……室温、大気中

- ②制 御 方 法 ……荷重制御, 片振り (0 ~ 引張)
 ③繰返し波形 ……正弦波
 ④負 荷 応 力 ……表2.10 (前述)
 ⑤繰返し速度と試験回数……表2.12に試験片毎に詳細を示す。
 ⑥温 度 測 定 ……SUS304-C3の試験片平行部の表面温度
- なお, ④及び⑤をまとめた試験条件一覧表を表2.13に示す。

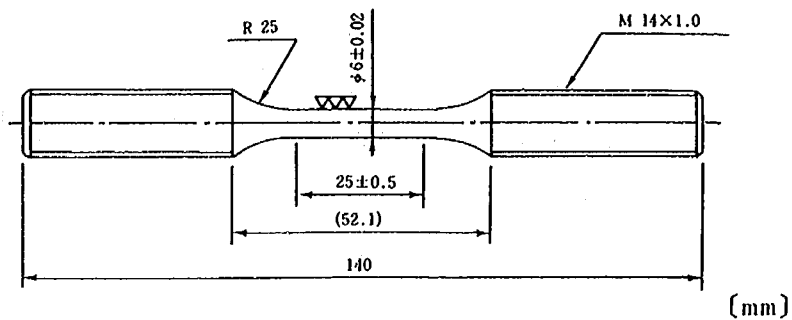


図2.19 繰返し負荷試験片の形状及び寸法

表2.11 試験片の数量

(単位: 本)

負荷レベル	SUS304		SUS316		合 計
	L 方向	C 方向	L 方向	C 方向	
0.1% 耐力	1	1	1	1	4
0.2% 耐力	1	1	1	1	4
0.2% 耐力×2/3	1	1	1	1	4
0.2% 耐力×1/2	1	1	1	1	4
予 備	1	1	1	1	4
合 計	5	5	5	5	20

(注) L 方向: 板材の圧延方向 C 方向: 圧延方向に直角方向

表2.12 繰返し速度と回数のパターン

負荷レベル	SUS304		SUS316	
	L 方向	C 方向	L 方向	C 方向
0.1% 耐力	①	①	①	①
0.2% 耐力	①	①	①	①
0.2% 耐力×2/3	③	③	③	③
0.2% 耐力×1/2	③	③	③	③

表2.13 繰返し負荷試験条件

試験片No.	周波数 (Hz)	負荷レベル	負荷応力 (N/mm ²)	試験回数 (cycles)	データ収録間隔 (cycles)	備考
304-L2	2	0.1%耐力	268	1×10^5	1000	
-L3		0.2%耐力	279			
-L4		0.2%耐力 $\times 2/3$	186	1×10^6	10000	
-L5		0.2%耐力 $\times 1/2$	140			
304-C1	2	0.1%耐力	248	1×10^5	1000	
-C2		0.2%耐力	269			
-C3	※	0.2%耐力 $\times 2/3$	179	1×10^6	10000	
-C4		0.2%耐力 $\times 1/2$	135			
316-L1	2	0.1%耐力	226	1×10^5	1000	
-L2		0.2%耐力	236			
-L3	※	0.2%耐力 $\times 2/3$	157	1×10^6	10000	
-L4		0.2%耐力 $\times 1/2$	118			
316-C1	2	0.1%耐力	226	1×10^5	1000	
-C2		0.2%耐力	238			
-C3	※	0.2%耐力 $\times 2/3$	159	1×10^6	10000	
-C4		0.2%耐力 $\times 1/2$	119			

※ 2 Hz で 10^5 回まで行い、その後20 Hzで行う。ただし、 3×10^5 、 5×10^5 、 7×10^5 、 1×10^6 近傍では、2 Hz でひずみ測定を行った。

(5) 測定項目：①繰返し負荷応力の記録……パソコンでデータ取り込み

②繰返し負荷に伴うひずみ変化（変位）の記録……同上

③温度測定チャート（試験片 SUS304-C3にて実施）

(6) 試験状況：①全体外観……写真2.3に試験状況の全体外観を示す。

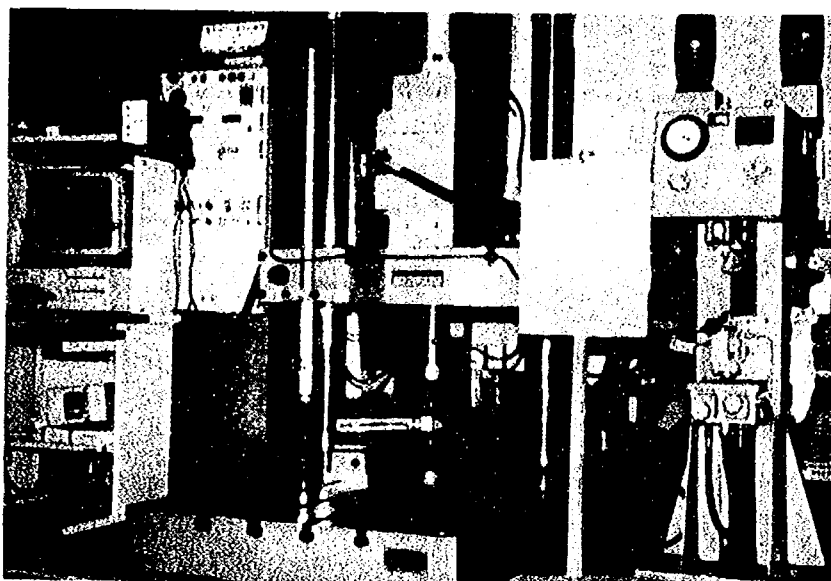
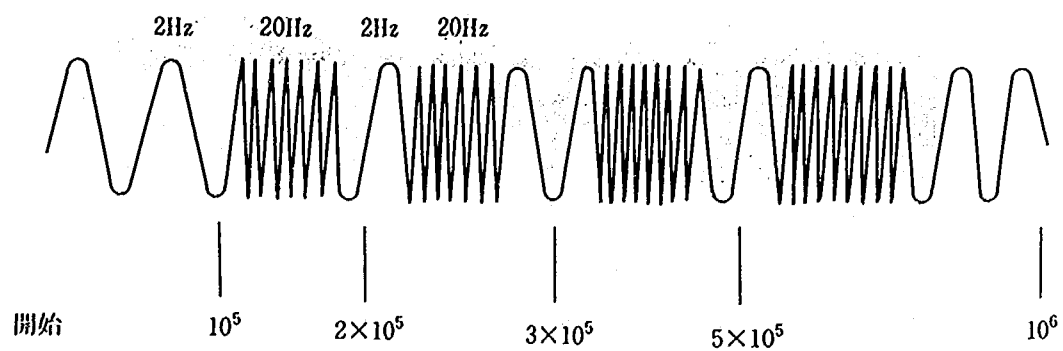
②変位計測状況……写真2.4に試験片平行部での変位の計測状況を示す。

表2.12に①～③で表示したパターンの負荷の繰返し速度、繰返し回数及びひずみと応力の計測間隔は以下のとおり。

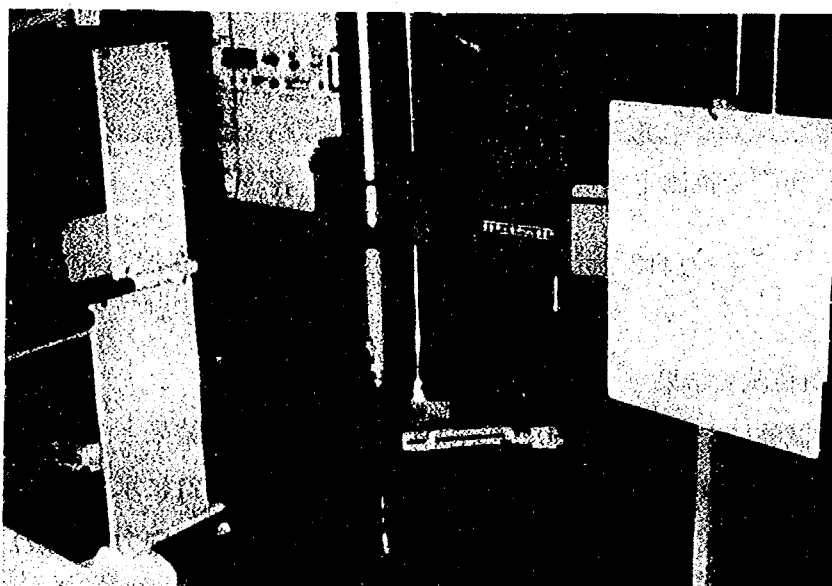
① 2 Hz で 10^5 回まで行う。この間、1,000回に1回の割合で応力とひずみの計測を行う。

② 2 Hz で 10^6 回まで行う。この間、 10^5 回までは1,000回に1回の割合で応力とひずみの計測を行い、その後は 10^6 回までは10,000回に1回の割合で応力とひずみの計測を行う。

③ 2 Hz で 10^5 まで行い、その後20 Hz で 10^6 回まで行う。ただし、20 Hz の間にひずみ測定を2 Hz にて行う。この場合の応力とひずみの計測は下記を目安で行う。なお、本試験は②の促進試験である。

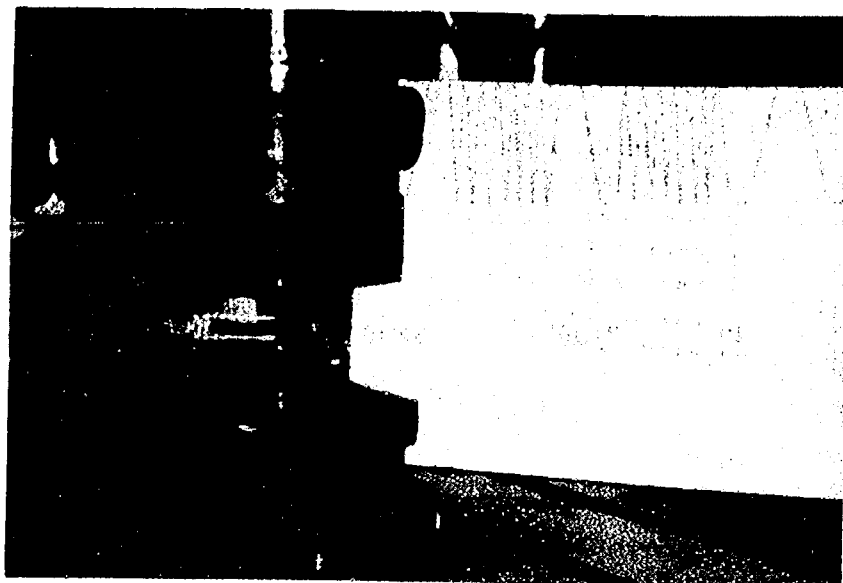


(a) 試験装置

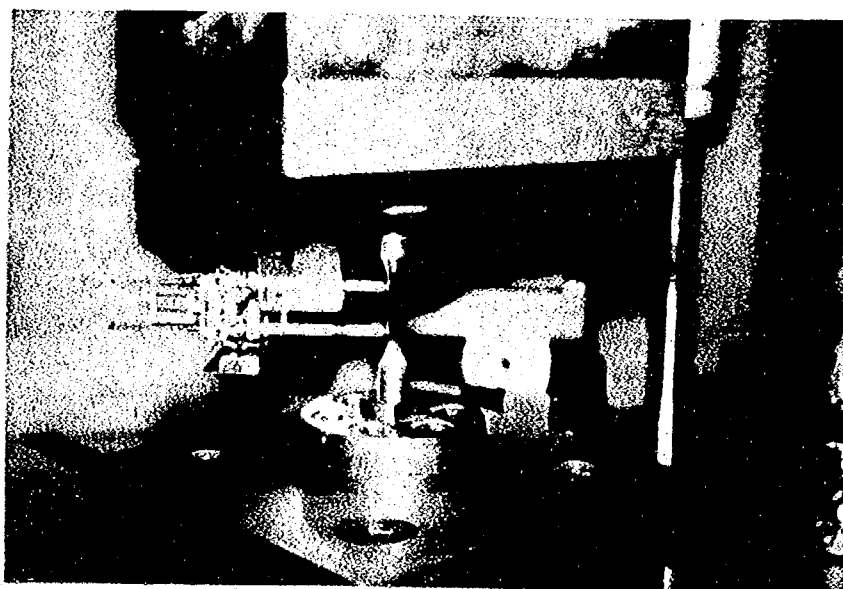


(b) 試験片部分

写真2.3 繰返し負荷試験状況



(a) 試験状況



(b) 変位測定状況

写真2.4 繰返し負荷試験のひずみ計測状況

2.7.6 繰返し負荷試験結果

繰返し負荷試験によって得られた全試験片のひずみの測定結果として、付録3には全測定値データを、付録4には測定値をグラフ化（例を図2.20，図2.21に示す）したものをそれぞれ添付した。試験では繰返し負荷応力は繰返し数が増加しても最大応力（引張）をほぼ一定の圧力レベルに、最小応力を0になるように設定しており、付録4のグラフにはその記録が示されている。ひずみ測定結果には最大ひずみと最小ひずみが示されているが、最大ひずみは引張負荷時に生じたひずみであり、最小ひずみは負荷が0の時のひずみである。すなわち、最小ひずみ

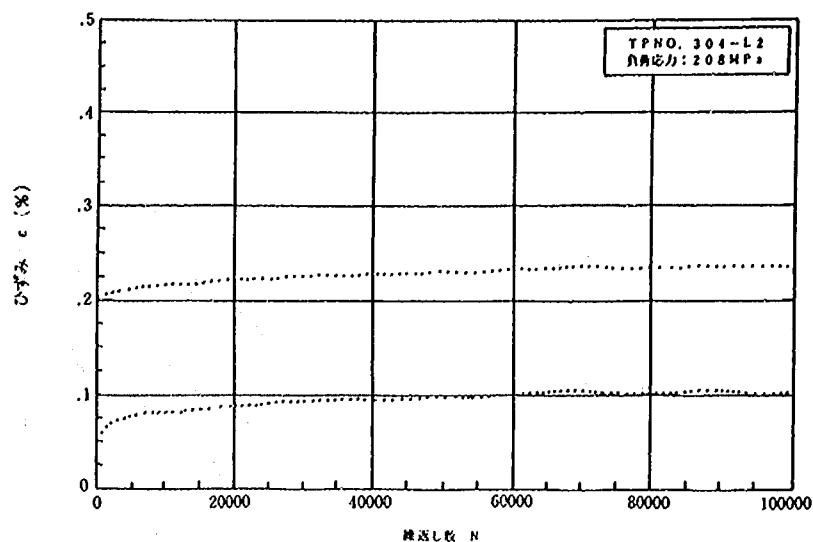


図2.20 繰返し数とひずみの関係

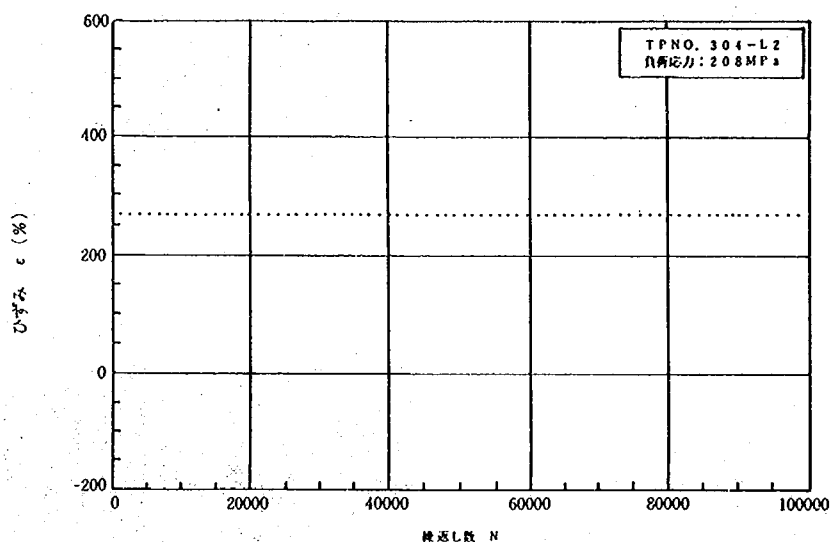
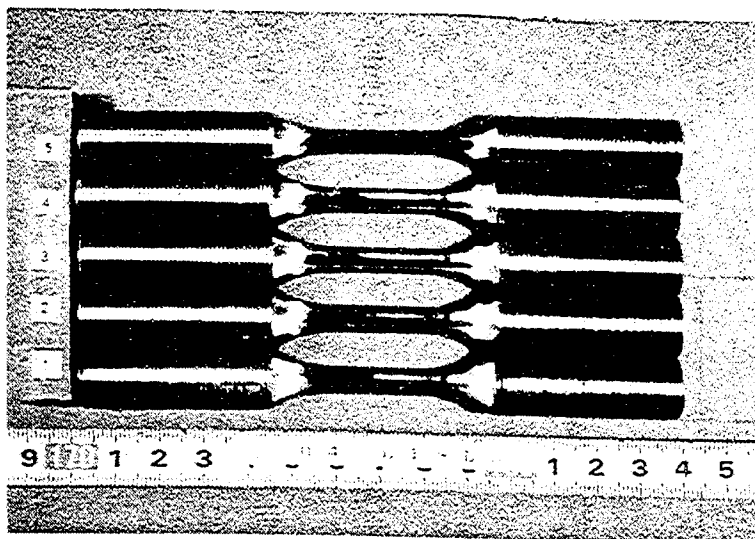


図2.21 繰返し数と応力振幅の関係

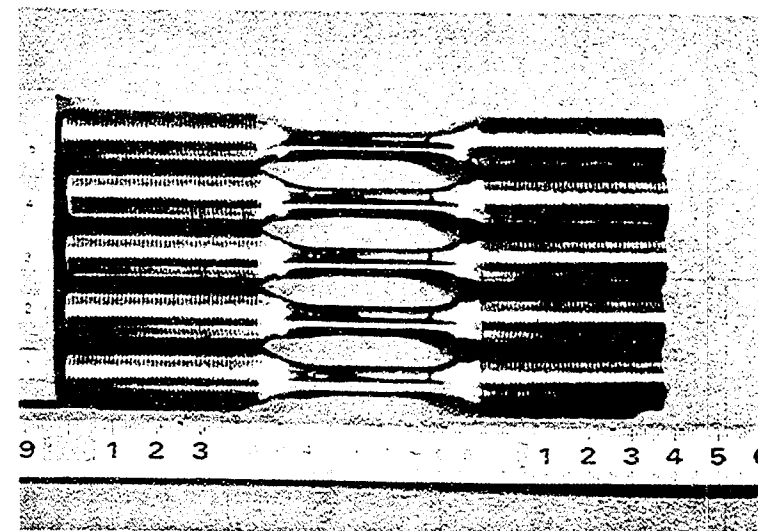
は塑性ひずみを示していると判断できる。付録3及び付録4より、ひずみデータの変化傾向を次に概説する。

- ① 0.2%耐力と0.1%耐力の負荷をかけた試験では初期ひずみが生じている様子がみられ、負荷応力が大きいものほど初期ひずみは短時間で明瞭に生じている。
- ② いずれの負荷条件でも、繰返し数が多くなったところでは最大ひずみ、最小ひずみともほぼ平行に変化している。
- ③ 10^6 回までの繰返し負荷試験でひずみ計測を断続的に実施したものでは、測定中のセンサー途中取付により測定誤差が生じたものがみられる。

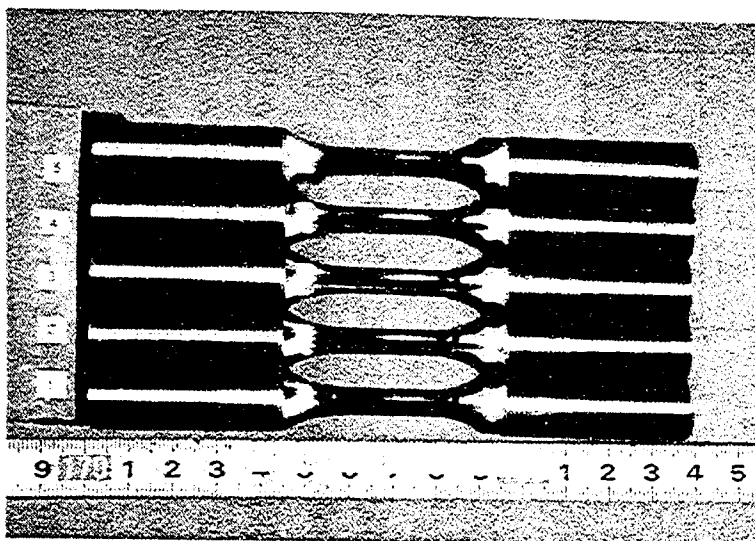
試験後の試験片外観を写真2.5に示す。これには予備試験片も含めた全試験片を示しているが、今回の試験範囲で疲労破壊した試験片や変形の大きい試験片はない。



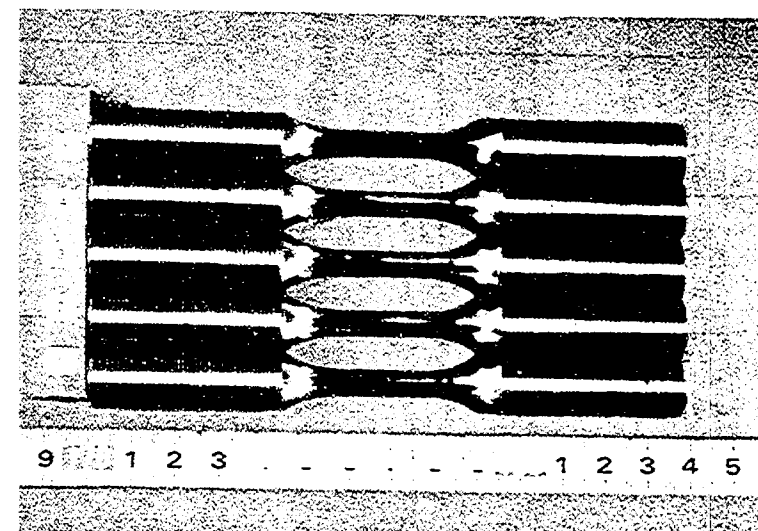
(a) SUS304-L1~L5



(b) SUS304-C1~C5



(c) SUS316-L1~L5



(d) SUS316-C1~C5

写真2.5 繰返し負荷試験後の試験片外観

(1) 最大ひずみの変化

付録3のデータより所定の繰返し数ごとの最大ひずみを抜き出し、ひずみの変化としてまとめたものを表2.14に示す。表2.14には初期ひずみとのひずみ変化率や各繰返し数間でのひずみ変化率も示している。この表より、初期段階（1回目）と負荷の繰返し数が 10^4 、 10^5 、 10^6 回での最大ひずみをグラフ化したものを図2.22に示す。これより、ひずみ増加傾向はSUS304とSUS316との間ではほとんど差がみられない。また、負荷の大きさと最大ひずみとはよい相関を示しており、0.2%耐力で最も大きく、0.2%耐力 $\times 1/2$ で最も小さくなっている。最大ひずみの最大値はSUS316-L2（0.2%耐力）の 10^4 回で記録されている0.462%である。同一鋼種のL方向とC方向でのひずみ変化は負荷の大きい場合はL方向のひずみが若干大きい傾向がみられるが、負荷が小さい場合には差はない。次に、ひずみ変化率をみるとほとんどの試験片で初期ひずみが最も大きく（SUS316-L1、L2、C2では初期ひずみ以降のひずみ増加が大きいものもある）、その後のひずみ増加は小さくなる傾向を示している。特に繰返し数が 10^4 回から 10^5 回にかけてのひずみ増加は小さい。なお、SUS304-C4やSUS316-L4の試験片のように、 10^6 回でのひずみ変化に増加率が大きいものがみられるが、これは負荷及びひずみがともに小さいためと断続的にひずみ計測したことで測定誤差が生じたものと判断される。

表2.14 繰返し負荷試験の最大ひずみの変化

材料	記号 耐力基準		最大耐力 N/mm ²	各繰返し数における最大ひずみ、%					ひずみ変化率				備考
				① 1回目	② 10^3	③ 10^4	④ 10^5	⑤ 10^6	④/①	④/②	④/③	⑤/③	
304	L 2	σ 0.1	268	0.176	0.204	0.215	0.235		1.34	1.15	1.09		10 ⁵ 回停止
	L 3	σ 0.2	279	0.276	0.357	0.387	0.416		1.51	1.17	1.07		10 ⁵ 回停止
	L 4	σ 0.2 $\times 2/3$	186	0.103		0.116	0.124	0.125	1.20		1.07	1.08	10 ⁶ 回まで
	L 5	σ 0.2 $\times 1/2$	140	0.078		0.081	0.083	0.084	1.06		1.02	1.04	10 ⁶ 回まで
	C 1	σ 0.1	248	0.158	0.176	0.183	0.186		1.18	1.06	1.02		10 ⁵ 回停止
	C 2	σ 0.2	269	(*) 0.307	0.317	0.327	0.331		1.08	1.04	1.01		10 ⁵ 回停止
	C 3	σ 0.2 $\times 2/3$	179	0.104		0.122	0.125	0.137	1.20		1.02	1.12	10 ⁶ 回まで
	C 4	σ 0.2 $\times 1/2$	135	0.077		0.079	0.075	0.124	0.97		0.95	1.57	10 ⁶ 回まで
	L 1	σ 0.1	226	0.191	0.297	0.348	0.35		1.83	1.18	1.01		10 ⁵ 回停止
	L 2	σ 0.2	236	0.167	0.405	0.462	0.459		2.75	1.13	0.99		10 ⁵ 回停止
	L 3	σ 0.2 $\times 2/3$	157	0.088		0.128	0.132	0.127	1.50		1.03	0.99	10 ⁶ 回まで
	L 4	σ 0.2 $\times 1/2$	118	0.061		0.063	0.066	0.095	1.08		1.05	1.51	10 ⁶ 回まで
316	C 1	σ 0.1	226	0.199	0.269	0.284	0.295		1.48	1.10	1.04		10 ⁵ 回停止
	C 2	σ 0.2	238	0.132	0.292	0.321	0.344		2.61	1.18	1.07		10 ⁵ 回停止
	C 3	σ 0.2 $\times 2/3$	159	0.089		0.108	0.114	0.137	1.28		1.06	1.27	10 ⁶ 回まで
	C 4	σ 0.2 $\times 1/2$	119	0.064		0.084	0.104	0.109	1.63		1.24	1.30	10 ⁶ 回まで

(注1) 304 C2の①のデータ(*)は100回目の最大ひずみ値を採用している。

(注2) σ 0.1と0.2はそれぞれ0.1%耐力と0.2%耐力を示す。

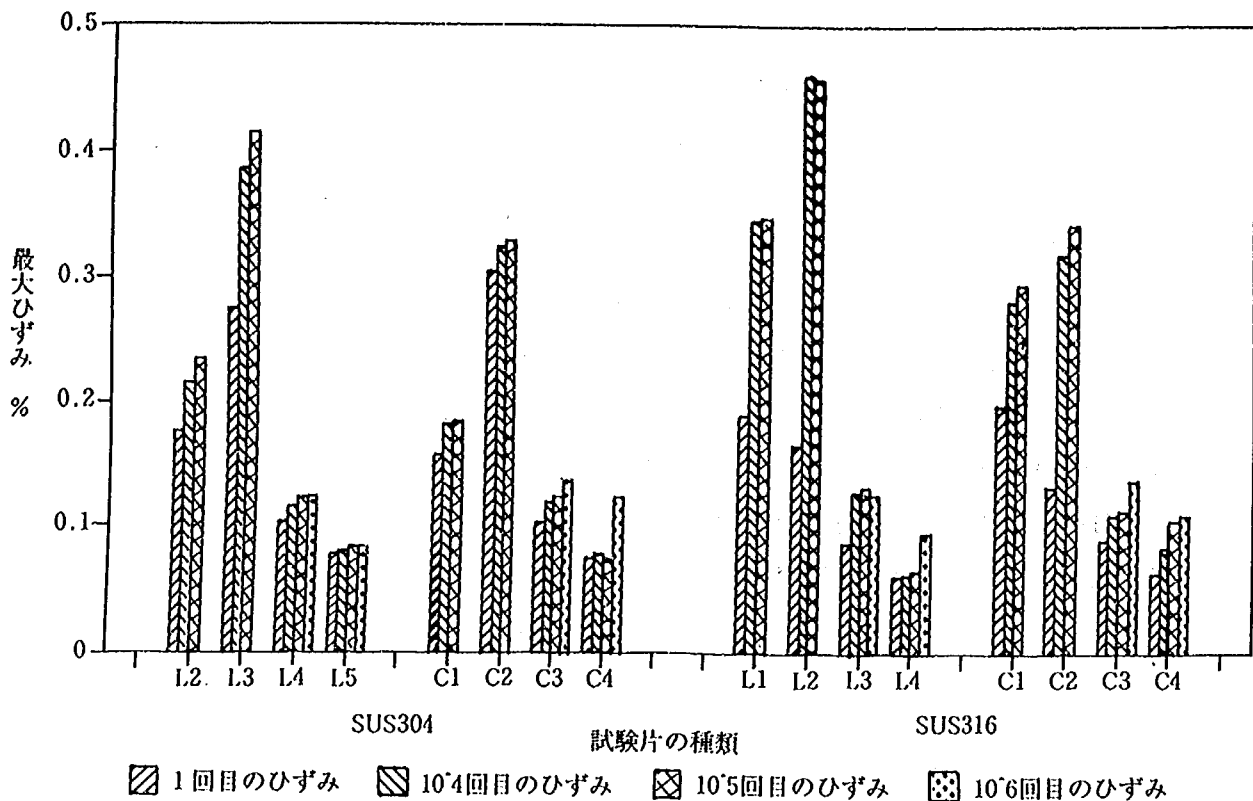


図2.22 負荷応力ごとの繰返し数と最大ひずみ

(2) 最小ひずみの変化

最大ひずみの場合と同様に、付録3のデータより所定の繰返し数ごとの最小ひずみを抜き出し、ひずみの変化としてまとめたものを表2.15に、グラフ化したものを図2.23に示す。表2.15より、0.1%耐力や0.2%耐力の場合の最小ひずみはそれぞれ0.1%, 0.2%に近い値となっており、このことから最小ひずみは塑性ひずみに相当するものと判断される。図2.23より、最小ひずみの変化傾向も最大ひずみの場合（図2.22）とほとんど同じであるが、ひずみの大きさは全体に最大ひずみの約1/2となっている。SUS304とSUS316の比較やL方向とC方向の比較では、ひずみが小さいためにばらつきはやや大きくなっているが、最大ひずみの場合とほとんど同じ傾向を示している。測定した最小ひずみの中で最も大きい値は、SUS316-L2（0.2%耐力）の10⁵回で記録した0.33%であったが、0.2%耐力の2/3や1/2の負荷での最小ひずみはまったく問題のない大きさと判断される。

(3) 試験片温度の影響

一般に疲労試験においては、負荷の繰返し速度を速くすることによって温度上昇が生じ、疲労強度が低下することが知られている。本試験も数十年という長期間に受ける負荷の繰返しを想定した試験であるから、繰返し速度が速すぎて試験片の温度上昇が生ずるような方法であっては試験結果の評価を行う上で問題がある。この点を確認するためにSUS304-C3試験片を用いて、負荷の繰返し速度を20 Hz、繰返し数が10⁶回近傍の高サイクル領域で、試験

表2.15 繰返し負荷試験の最小ひずみの変化

材料	記号	耐力基準 N/mm ²	各繰返し数における最小ひずみ, %					最小ひずみの変化率				備考
			① 1回目	② 10 ³	③ 10 ⁴	④ 10 ⁵	⑤ 10 ⁶	④/①	④/②	④/③	⑤/④	
304	L 2 σ 0.1	268	0.035	0.06	0.082	0.101		2.89	1.68	1.23		10 ⁵ 回停止
	L 3 σ 0.2	279	0.138	0.213	0.242	0.268		1.94	1.26	1.11		10 ⁵ 回停止
	L 4 σ 0.2×2/3	186	0.013		0.024	0.03	0.032	2.31		1.25	1.33	10 ⁶ 回まで
	L 5 σ 0.2×1/2	140	0.008		0.012	0.014	0.015	1.75		1.17	1.25	10 ⁶ 回まで
	C 1 σ 0.1	248	0.037	0.055	0.061	0.064		1.73	1.16	1.05		10 ⁵ 回停止
	C 2 σ 0.2	269	(*) 0.173	0.18	0.19	0.193		1.12	1.07	1.02		10 ⁵ 回停止
	C 3 σ 0.2×2/3	179	0.018		0.032	0.035	0.045	1.94		1.09	1.41	10 ⁶ 回まで
	C 4 σ 0.2×1/2	135	0.011		0.013	0.01	0.057	0.91		0.77	4.38	10 ⁶ 回まで
316	L 1 σ 0.1	226	0.075	0.181	0.232	0.233		3.11	1.29	1.00		10 ⁵ 回停止
	L 2 σ 0.2	236	0.048	0.275	0.33	0.33		6.88	1.20	1.00		10 ⁵ 回停止
	L 3 σ 0.2×2/3	157	0.008		0.049	0.05	0.049	6.25		1.02	1.00	10 ⁶ 回まで
	L 4 σ 0.2×1/2	118	0		0.002	0.006	0.035			3.00	17.50	10 ⁶ 回まで
	C 1 σ 0.1	226	0.09	0.155	0.168	0.181		2.01	1.17	1.08		10 ⁵ 回停止
	C 2 σ 0.2	238	0.03	0.174	0.204	0.228		7.60	1.31	1.12		10 ⁵ 回停止
	C 3 σ 0.2×2/3	159	0.012		0.03	0.036	0.06	3.00		1.20	2.00	10 ⁶ 回まで
	C 4 σ 0.2×1/2	119	0.005		0.022	0.043	0.049	8.60		1.95	2.23	10 ⁶ 回まで

(注1) 304-C2の④のデータ(*)は100回目の最小ひずみ値を採用している。

(注2) σ 0.1と0.2はそれぞれ0.1%耐力と0.2%耐力を示す。

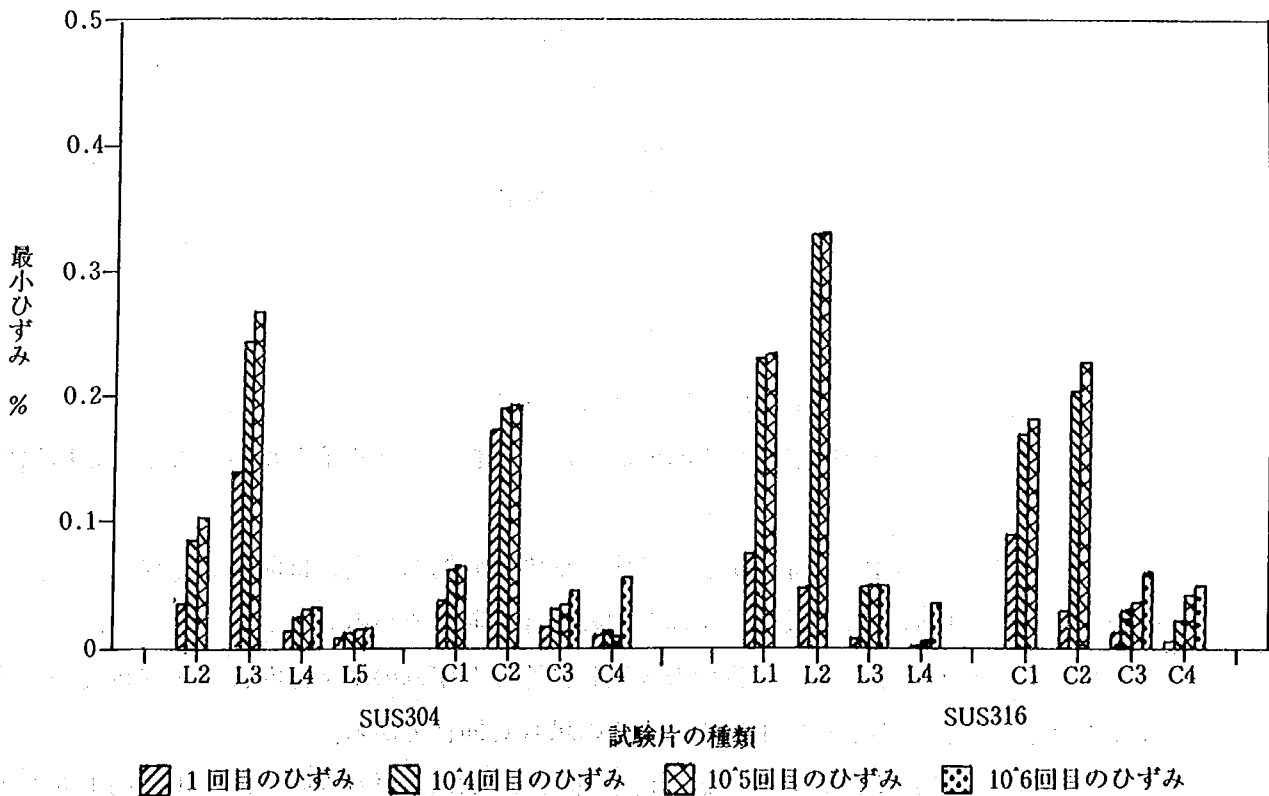


図2.23 負荷応力ごとの繰返し数と最小ひずみ

片表面の温度を測定した。測定結果を図2.24に示す。図2.24より、試験片表面温度は室温より2℃低い温度で一定であり、本試験条件下での温度レベルの変動や上昇はないことが明らかである。よって今回の実験において、温度上昇による疲労強度の低下はみられないことが確認できた。

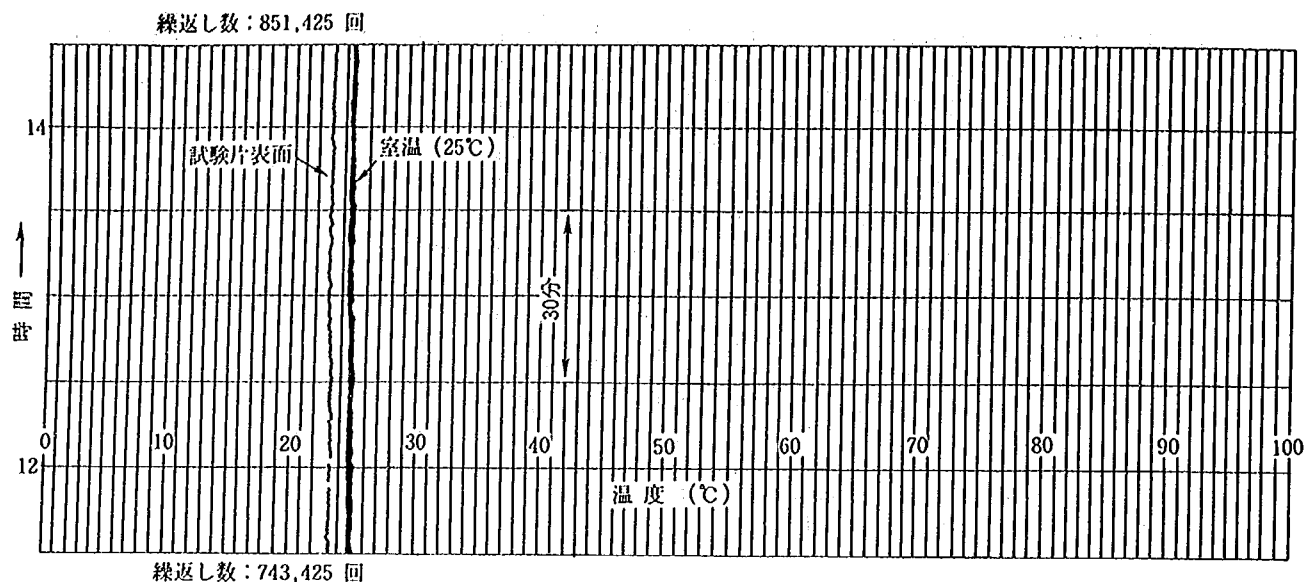


図2.24 繰返し負荷試験中の試験片表面の温度測定結果

- ・試験片 : SUS304-C3
- ・試験温度 : 室温 (25℃)
- ・負荷 : 179N/mm^2
- ・負荷の繰返し速度 : 20Hz

2.7.7 考察

繰返し負荷試験で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) ひずみ変化としては初期段階のひずみ増加が最も大きく、高サイクル側でのひずみ増加は小さくなる。
- (2) SUS304とSUS316の間で負荷の繰返しに伴うひずみの増加傾向には明瞭な差異はない。これは最大ひずみ変化の場合も最小ひずみ変化の場合も同様である。
- (3) 両鋼種ともにL方向とC方向で負荷の繰返しに伴うひずみの増加傾向には差異はない。これは最大ひずみ変化の場合も最小ひずみ変化の場合も同様である。
- (4) 最小ひずみは塑性ひずみと判断され、0.2%耐力の2/3や1/2の負荷ではひずみの大きさやひずみ増加は全く問題ないと考えられる。
- (5) 本試験の最大繰返し速度 (20 Hz) 条件下での高サイクル側においても、試験片表面温度の上昇はないことから、本試験結果に繰返し速度の影響はないことが確認できた。

2.8 まとめ

本調査において、実際の強度等の機械的特性は、JIS 規定値をかなり上回る値を有していることがわかった。JIS 規定値との比率は、0.2%耐力で1.2~1.7倍、引張強さで1.1~1.3倍程度であり、ひずみの少ない領域の方がJIS 規定値との差が大きいことがわかった。言い換えれば、JIS 規定に相当する0.2%耐力の応力が作用したとしても、実際は0.2%のひずみが生じていないことになる。

繰返し負荷試験からは、ひずみの増加傾向は初期ひずみが最も大きく、高サイクル側では小さくなることがわかった。また、0.2%耐力の2/3及び1/2の繰返し負荷においては、ひずみの累積がほとんどみられず、材料特性が変化することはない程度であることが明らかになった。

これらの結果から次のことがいえる。

- (1) ステンレス鋼の実際の機械的特性を考えると、設計基本強度として0.2%耐力を採用しても、0.2%のひずみが生じるような応力ではないので、塑性ひずみの影響はさほど受けない。
- (2) 設計基本強度に耐力を耐用しても、1/2などの係数を乗じて設計しているのでひずみの累積はほとんどみられない程度である。
- (3) 実際のゲートに加わる水圧（負荷）及び開閉回数（繰返し回数）を考慮すると、ひずみ累積量はゲートの機能を影響するものではないと考える。

3. ステンレス鋼の腐食と強度特性に関する調査

3.1 調査概要

河川構造物は腐食や塗装の損傷を受けやすい環境下に設置されているため、他の構造物に比べ比較的早くからステンレス鋼が構造部材として用いられてきた。昭和40年代に設置された設備ではすでに20年以上が経過し、腐食状況が目立ち始めたものも出てきている。今後、増大が予想されるステンレス鋼構造物を適切に維持していく上で、腐食を帯びた状態での強度特性を明らかにし、構造物として十分な強度を有しているかを把握し、適切な補修を行っていく必要がある。

本調査では、腐食を帯びた状態での強度特性を確認するために、電気化学的手法を用いた室内腐食促進試験によりステンレス鋼に孔食を生じさせた後に引張試験を実施し、強度確認を行うこととした。

また、室内腐食促進試験においては孔食寸法にばらつきが生じ、かつそれらの計測が全数でなく代表部について実施することとなる。さらに、孔食近傍の組織変化が及ぼす強度への影響が不明確である。そこで、機械加工により疑似的に孔食を形成した試験片についても引張試験を行い、強度低下の相違について確認することとした。

3.2 試験方法

3.2.1 室内腐食促進試験

室内促進試験は以下に示す孔食電位測定法を利用した孔食促進試験を行うものとした。なお、試験片は現状の水門設備で最も一般的に用いられている SUS304 及び SUS316 とし、試験片は JIS Z 2201 13B 号試験片とした。

孔食深さや孔食個数がある程度コントロールして再現性良く腐食を進行させるため、孔食電位測定 (JIS G0577) を利用した電気化学的手法により孔食を発生・成長させ腐食量をコントロールすることとした。

(1) 実験装置

室内促進試験で用いる実験装置の概要を図3.1、写真3.1に示す。

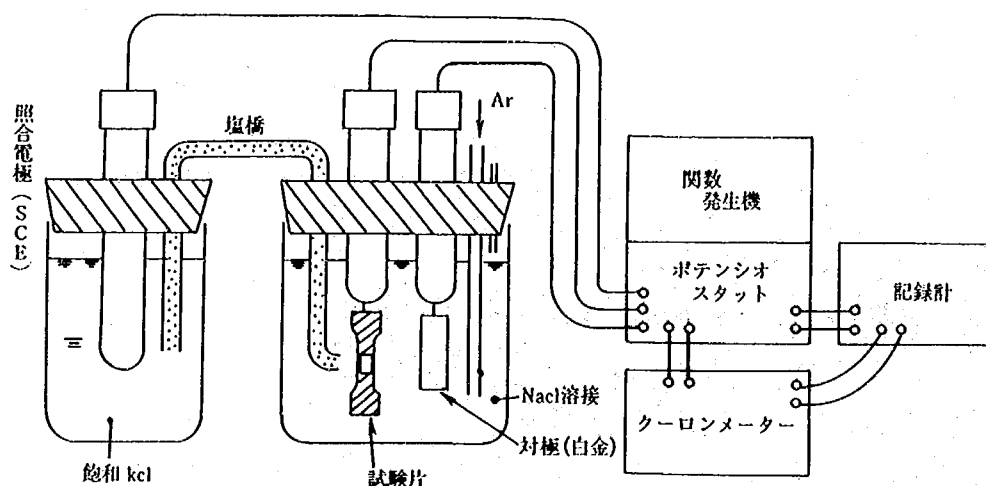


図3.1 室内促進試験実験装置概要

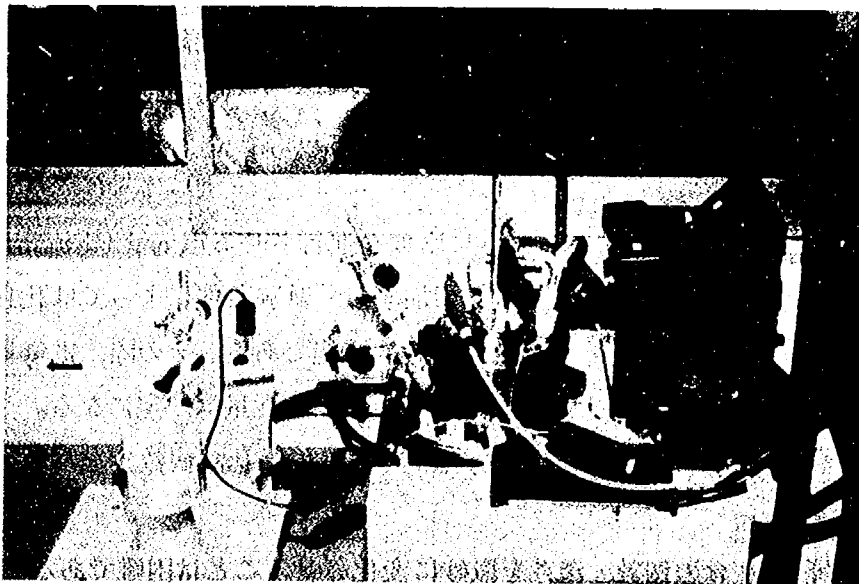
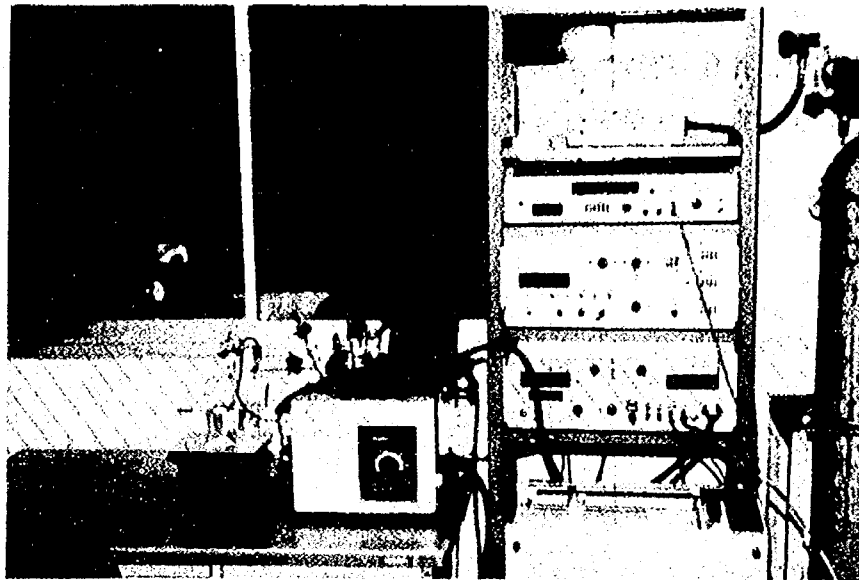


写真3.1 室内促進試験実験装置

(2) 試験片

① 材質

試験片の材質は、水門設備の構造部材として最も一般的に用いられている SUS304、河口堰等海水の影響のある場合に用いられる SUS316とした。

② 形状・寸法

試験片は腐食後機械試験を行うことを考慮し JIS 規格の金属材料引張試験片（JIS Z2201 13B号）を用い、腐食試験時にはつかみ部等をマスキングすることにより当該箇所（平行部中央）のみ孔食を発生させるようにした。

③ 板厚

試験片板厚は孔食の影響を短時間で出すため、通常の水門設備で用いるものよりも薄い 2 mm のものを採用し実験を行った。試験片の形状寸法を図3.2に示す。

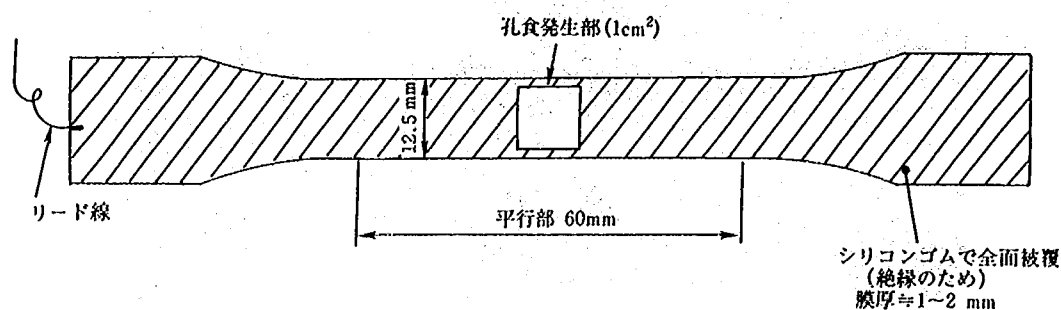


図3.2 試験片形状・寸法概略図（室内促進試験）

(3) 試験ケース数

孔食の深さや個数は図3.3に示すように腐食を進行させる電気量（電流密度×時間）によって決まり、電気量の増加に伴い腐食量も増加する。試験条件によっては孔食の個数を少なくして深さを大きくしたり、あるいはその反対も可能である。その際、電気量を一定にすれば孔食の深さや個数が変化しても、試験片のトータル腐食量は一定になる。

今回の実験では電気量（腐食量・孔食深さ）、電位（孔食個数）をパラメータとして実験を行うこととした。

試験の特性上、孔食の個数・深さを微妙に変化させることは困難であることから、表3.2(1)、(2)に示すように腐食量及び孔食個数・深さの調整は3レベル（大・中・小）とした。

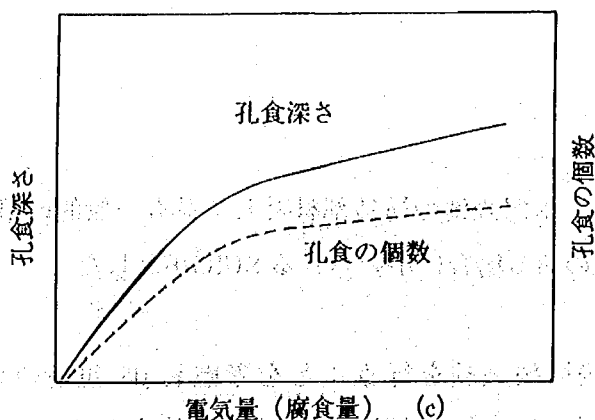


図3.3 電気化学測定における孔食と電気量の関係

表3.1 (1) 試験ケース数 (室内腐食試験/SUS304)

試験片 No	腐食量	孔食個数 (1 cm ² あたり)	最大孔食深さ (μ m)	備 考 (3.5%NaCl, 30℃)
A 1	小 電気量 (20 C)	少 (10~20)	大 (約350 μ m)	320 mV 保持
A 2		中 (50~100)	中 (約200 μ m)	450 mV 保持
A 3		多 (約400)	小 (約250 μ m)	800 mV 保持
B 1	中 電気量 (100 C)	少 (10~20)	大 (約550 μ m)	320 mV 保持
B 2		中 (50~100)	中 (約350 μ m)	450 mV 保持
B 3		多 (約400)	小 (約250 μ m)	800 mV 保持
C 1	大 電気量 (200 C)	少 (10~20)	大 (約700 μ m)	320 mV 保持
C 2		中 (50~100)	中 (約450 μ m)	450 mV 保持
C 3		多 (約300)	小 (約350 μ m)	800 mV 保持

表3.1 (2) 試験ケース数 (室内腐食試験/SUS316)

試験片 No	腐食量	孔食個数 (1 cm ² あたり)	最大孔食深さ (μ m)	備 考 (3.5%NaCl, 45℃)
A 1	小 電気量 (20 C)	少 (10)	大 (約350 μ m)	320 mV 保持
A 2		中 (50~100)	中 (約200 μ m)	450 mV 保持
A 3		多 (約500)	小 (約150 μ m)	800 mV 保持
B 1	中 電気量 (100 C)	少 (10)	大 (約500 μ m)	320 mV 保持
B 2		中 (50~100)	中 (約350 μ m)	450 mV 保持
B 3		多 (約400)	小 (約250 μ m)	800 mV 保持
C 1	大 電気量 (200 C)	少 (10)	大 (約500 μ m)	320 mV 保持
C 2		中 (50~100)	中 (約400 μ m)	450 mV 保持
C 3		多 (約300)	小 (約300 μ m)	800 mV 保持

試験片本数は2本/条件とする。

3.2.2 引張試験

引張試験はJIS Z2241により行うものとする。

試験条件は以下のとおりであり、SUS304、SUS316とも同様である。

①標点距離：50.0 mm

②引張速度：3 mm/min (0.2%耐力まで)

30 mm/min (0.2%耐力以降破断まで)

③制御種別：クロスヘッド制御

3.2.3 疑似腐食試験

室内促進試験では孔食寸法（大きさ・形状・深さ）にばらつきがあり、かつそれらの計測が全数でなく代表部について実施することとなる。

したがって、試験結果から強度特性を明確に把握することが困難となることが考えられた。その対策として、機械加工により一定の均一な寸法の削孔を行い、疑似孔食を形成させた試験片についても機械試験を行い、孔食による強度的変化の傾向を把握することとした。

(1) 試験片

室内促進試験と同様 JIS Z 2201 13B号試験片とする。

疑似孔食の寸法・個数は室内促進試験の孔食深さ；大に相当するものについて行うこととした。また、本試験結果は材質によってほとんど変わらないと考えられることから 1 材質（SUS304）とした。

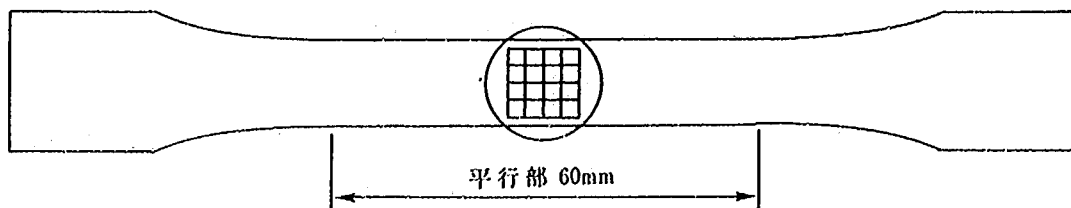
試験片の形状・寸法を表3.2、図3.4に示す。削孔位置は平行部の中央 1 cm^2 の中で均等にばらつかせるものとした。

(2) 試験ケース数

室内促進試験結果を考慮し、2 条件程度を設定する。試験片本数は 2 本／条件とする。

表3.2 試験片仕様（疑似腐食試験／SUS304）

試験片 No.	孔径 (mm)	孔深さ (mm)	孔 個 数		備 考
			表	裏	
①	$\phi 0.5$	0.80	9	0	基本パターン
②	$\phi 0.5$	0.80	5	4	削孔量・深さ同一 裏表削孔
③	$\phi 0.5$	0.42	9	9	削孔数同一 裏表削孔
④	$\phi 0.3$	0.50	9	0	孔径：小



NO.	削孔位置・径		備考
	表	裏	
①			径 ϕ 0.5mm 深さ 0.8mm
②			径 ϕ 0.5mm 深さ 0.8mm
③			径 ϕ 0.5mm 深さ 0.42mm
④			径 ϕ 0.3mm 深さ 0.5mm

図3.4 試験片形状・寸法概略図（疑似腐食）

3.3 試験結果

3.3.1 室内腐食促進試験結果

孔食深さの測定結果を SUS304 については表 3.3 に、SUS316 については表 3.4 に示す。なお、測定は孔食発生部内の 8 箇所について実施した。

また、孔食の面積及び個数の計測については SUS304 のみを対象とし、画像処理によって観察することとした。画像処理の結果については付録 5 及び付録 6 に示す。

孔食の発生条件と測定結果をまとめたもの表 3.5 に示す。本表は画像処理によって表面観察を行った SUS304 について示したものである。これより、孔食深さについては、ある程度設定どおりにコントロールされているが、孔食個数の大きな条件（A 3，B 3，C 3）についてはかなりばらつきが生じた。これは、孔食個数の大きな条件では孔食が密に発生したために周辺のものと同ー化してしまい、数が減ってしまったものと考ええる。

表 3.3 孔食深さの測定結果（SUS304）

試験片 No.	孔 食 深 さ 実 測 値 (μm)										孔食全体の 平均深さ* (μm)
	8 個 の 測 定 値								最大値	平均値	
A 1 a b	312	291	283	273	271	243	235	225	312	267	300
	410	398	336	323	311	279	174	131	410	295	300
A 2 a b	266	170	168	153	152	150	141	123	266	165	190
	183	180	179	166	162	147	136	125	183	160	190
A 3 a b	118	106	103	100	100	98	94	93	118	102	130
	120	120	112	103	102	98	94	92	120	105	120
B 1 a b c	559	547	529	504	490	425	420	386	559	483	430
	540	538	518	465	432	424	406	400	540	465	440
	551	542	478	475	469	465	452	405	551	480	380
B 2 a b	342	339	327	320	318	312	312	278	342	319	350
	351	332	329	326	325	308	303	300	351	322	350
B 3 a b	323	295	286	283	280	270	270	248	323	282	290
	237	205	205	193	193	190	190	187	237	200	330
C 1 a b c	670	616	595	532	530	500	496	494	670	554	470
	766	684	626	610	591	559	552	484	766	609	510
	664	651	626	600	594	580	566	562	664	605	620
C 2 a b	448	446	440	439	434	423	412	408	448	431	440
	499	488	478	435	430	419	375	342	499	433	440
C 3 a b	352	337	335	328	324	323	319	305	352	328	300
	356	347	331	316	294	293	283	274	356	312	280

*：（全体の腐食量）／{孔食表面積（画像処理で求めた数値）} により求めた値

表3.4 孔食深さの測定結果 (SUS316)

試験片 No.		孔 食 深 さ 実 測 値 (μm)										孔食全体の 平均深さ* (μm)
		8 個 の 測 定 値								最大値	平均値	
A 1	a	365	340	301	285	252	200	—	—	365	291	190
	b	330	312	308	290	255	245	225	218	330	273	150
A 2	a	210	206	205	203	202	193	191	189	210	200	200
	b	167	166	150	137	129	126	120	80	167	134	210
A 3	a	147	137	135	135	127	120	105	80	147	123	150
	b	126	124	122	116	112	112	108	107	126	116	160
B 1	a	522	492	425	412	402	313	311	285	522	395	280
	b	465	438	427	418	368	317	309	307	465	381	260
	c	638	438	380	308	300	246	—	—	638	385	390
B 2	a	341	332	302	282	263	260	258	239	341	285	210
	b	328	306	293	274	260	237	235	225	328	270	230
B 3	a	306	240	230	223	220	217	212	210	306	232	120
	b	220	220	217	212	208	208	205	190	220	210	130
C 1	a	450	314	290	266	263	260	232	230	450	288	250
	b	418	410	396	352	314	309	296	210	418	338	210
	c	637	570	503	486	447	329	309	240	637	440	280
C 2	a	328	320	313	308	304	300	282	274	328	304	200
	b	422	371	333	303	302	301	263	255	499	433	200
C 3	a	310	286	284	273	272	265	239	235	310	271	200
	b	275	270	266	257	255	238	234	220	275	252	190

* : (全体の腐食量) / {孔食表面積 (点算法で求めた数値)} により求めた値

表3.5 腐食発生条件とその測定結果

試験片 NO	腐食量	設 定 条 件		測 定 結 果	
		孔食個数 (1 cm ² あたり)	最大孔食深さ (μm)	孔食個数 (1 cm ² あたり)	最大孔食深さ (μm)
A 1	小 電気量 (20 C)	10~20	350	26, 10	312, 410
A 2		50~100	200	114, 68	266, 183
A 3		約500	150	204, 235	118, 120
B 1	中 電気量 (100 C)	10~20	550	25, 17, 20	559, 540, 551
B 2		50~100	350	100, 86	342, 351
B 3		約400	250	138, 227	323, 237
C 1	大 電気量 (200 C)	10~20	700	21, 14, 23	670, 766, 664
C 2		50~100	450	84, 64	448, 499
C 3		約300	350	148, 124	352, 356

(注) 試験本数は B 1, C 1 が 3 本, その他は 2 本とした。

3.3.2 引張試験結果

引張試験結果について SUS304の結果を表3.6に、SUS316の結果を表3.7に示す。なお、表中の破断位置については、2.7.3と同様の表示とした。

また、引張試験後の破断状況については付録8に示す。

ステンレス鋼の腐食形態は孔食となるため、重量減や板厚の平均減少度から評価することはほとんど無意味であり、この場合、測定すべき重要な値は最も深い孔食の深さであるといわれている。そこで、表3.8のとおり同一腐食量の試験片（表3.1のC群）の引張試験結果を整理することとした。

これにより、0.2%耐力、引張強さについてはどの条件においてもさほど差がみられないが、伸びについては孔食深さの影響と思われる強度低下を確認することができた。

そこで、孔食深さと各強度の低下傾向を考察することとした。

表3.6 機械試験結果（室内促進試験／SUS304）

試験片 No.	平均断面積 (%)	最大孔食深さ (μm)	0.2%耐力 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)		伸 び (%)	破 断 位 置
				実測値	推定値		
孔食なし	a	100	277	650	—	57.6	A
	b	100	276	649	—	56.2	A
A 1	a	99.7	274	650	648	53.6	A
	b	99.7	279	650	648	53.0	A
A 2	a	99.7	279	645	648	53.6	A
	b	99.7	279	652	648	53.2	A
A 3	a	99.7	277	649	648	54.6	A
	b	99.7	275	648	648	54.2	A
B 1	a	98.6	277	635	641	44.8	A
	b	98.6	275	645	641	49.0	A
	c	98.6	274	638	641	49.6	A
B 2	a	98.6	266	636	641	48.8	A
	b	98.6	275	639	641	50.0	A
B 3	a	98.6	274	640	641	49.0	A
	b	98.6	281	642	641	50.0	A
C 1	a	97.2	272	628	632	43.2	A
	b	97.2	273	633	632	44.0	A
	c	97.2	273	634	632	44.0	A
C 2	a	97.2	274	635	632	45.2	A
	b	97.2	273	633	632	46.0	A
C 3	a	97.2	274	634	632	48.8	A
	b	97.2	274	630	632	46.8	A

（注）平均断面積は通電量から算出した値である。

表3.7 機械試験結果（室内促進試験／SUS316）

試験片 No.	平均断面積 (%)	最大孔食深さ (μm)	0.2%耐力 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)		伸 び (%)	破 断 位 置
				実測値	推定値		
孔食なし	a	—	293	610	—	55.4	Λ
	b	—	291	610	—	55.6	Λ
A 1	a	365	293	610	609	53.0	Λ
	b	330	293	612	609	52.6	Λ
A 2	a	210	293	609	609	53.4	Λ
	b	167	289	608	609	53.0	Λ
A 3	a	147	293	610	609	54.0	Λ
	b	126	287	605	609	53.6	Λ
B 1	a	522	289	600	602	47.6	Λ
	b	465	287	596	602	47.4	Λ
	c	638	290	605	602	45.8	Λ
B 2	a	341	285	604	602	47.4	Λ
	b	328	285	605	602	57.4	Λ
B 3	a	306	284	601	602	47.6	Λ
	b	220	281	601	602	49.2	Λ
C 1	a	450	282	595	593	44.8	Λ
	b	418	285	593	593	45.2	Λ
	c	637	280	590	593	45.4	Λ
C 2	a	328	284	595	593	46.6	Λ
	b	499	285	591	593	45.8	Λ
C 3	a	310	280	592	593	46.0	Λ
	b	275	281	585	593	46.6	Λ

(注) 平均断面積は通電量から算出した値である。

表3.8 引張試験結果 (SUS304)

試験条件		0.2%耐力 [N/mm^2]	引張強さ [N/mm^2]	伸 び [%]
孔食個数 少 孔食深さ 大	a	272	628	43.2
	b	273	633	44.0
	c	273	634	44.0
孔食個数 中 孔食深さ 中	a	274	635	45.2
	b	273	633	46.0
孔食個数 多 孔食深さ 小	a	274	634	48.8
	b	274	630	46.8

(注) 試験条件は表3.1(1)のC群（腐食量200C）である。

(1) 孔食深さと0.2%耐力の関係

孔食のない試験片の0.2%耐力は、SUS304で277 N/mm²、SUS316で292 N/mm²であり、JISの規定値である205 N/mm²をかなり上回る値であった。孔食が発生した場合の強度低下を図3.5及び図3.6に示す。若干の強度低下はみられるが、孔食深さに起因するものとはいえない程度であった。母材の強度のばらつきを考えると、強度的には問題にならない程度の低下であると思われる。

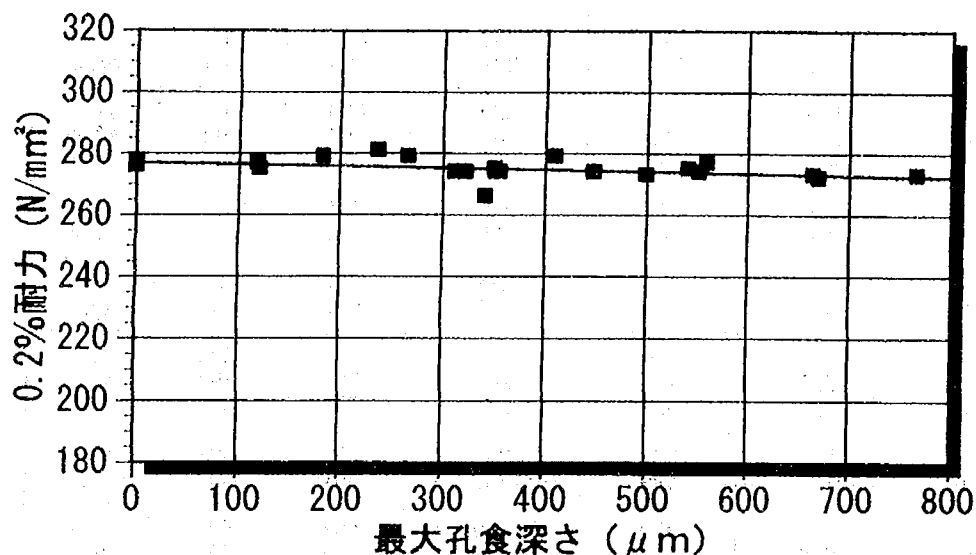


図3.5 最大孔食深さと0.2%耐力の関係 (SUS304)

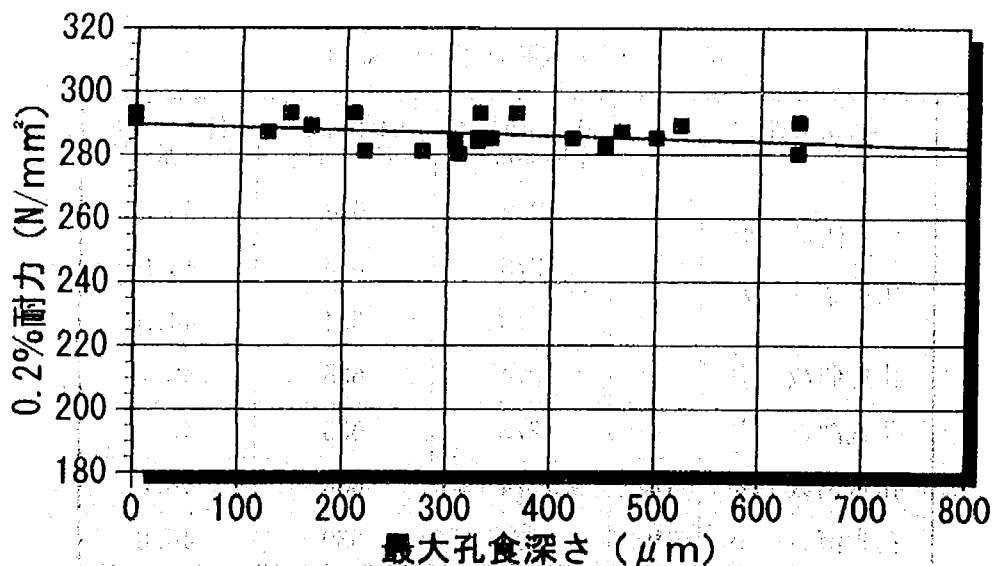


図3.6 最大孔食深さと0.2%耐力の関係 (SUS316)

(2) 孔食深さと引張強さの関係

孔食のない試験片の引張強さは、SUS304で 650 N/mm^2 、SUS316で 610 N/mm^2 であり、JISの規定値である 580 N/mm^2 をかなり上回る値であった。特にSUS316は、JIS規定値よりも1割以上高い値を示した。孔食が発生した場合の強度低下を図3.7及び図3.8に示す。SUS304とSUS316で母材の強度がそれぞれ異なっていたが、強度低下の傾向は同程度であった。今回の試験条件においては、引張強さがJIS規定値を下回ることはなく、十分な強度を有していたといえる。

0.2%耐力の強度低下の傾向と比較すると、引張強さの方が低下傾向が大きい。このことから塑性変形量の大きな領域にあたる引張強さは孔食の影響を受けやすく、変形量の小さな領域にあたる0.2%耐力はさほど影響を受けないと推察される。

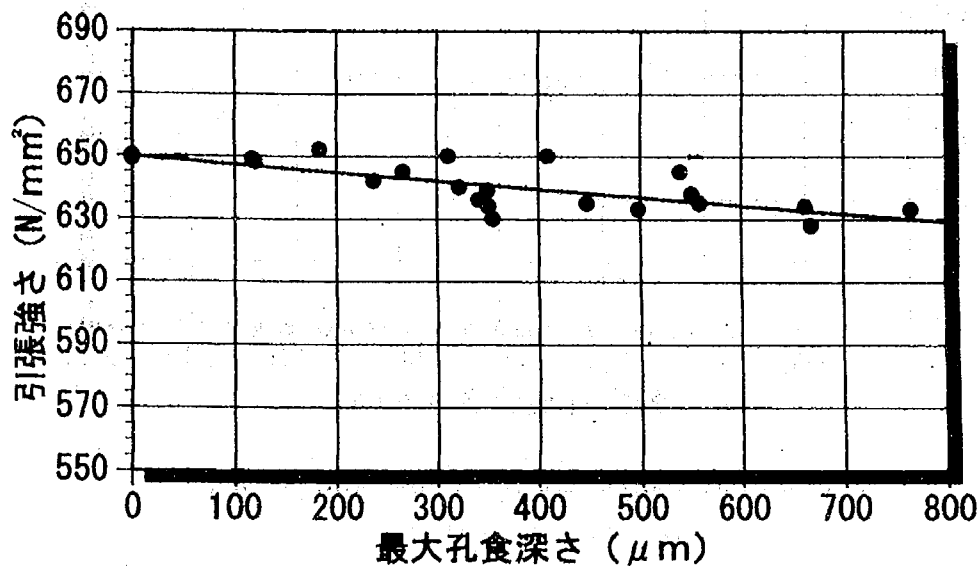


図3.7 最大孔食深さと引張強さの関係 (SUS304)

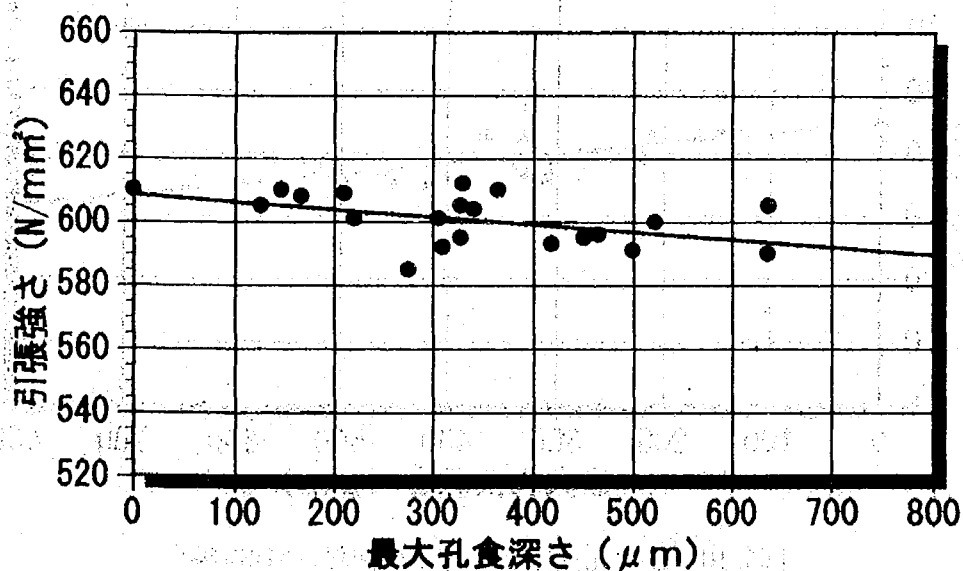


図3.8 最大孔食深さと引張強さの関係 (SUS316)

(3) 孔食深さと伸びの関係

孔食のない試験片の伸びは、SUS304、SUS316とも JIS の規定値を 4 割程度上回る値であった。孔食が発生した場合の強度低下を図3.9及び図3.10に示す。今回の試験条件においては JIS 規定値である40%を下回らなかったものの回帰式から求めると、孔食が約900 μm 程度で JIS 規定値を下回ると推察される。このことから、破綻寸前の領域にあたる伸びや絞りなどの機械的特性は引張強さよりも著しく孔食の影響を受けるものと考えられる。

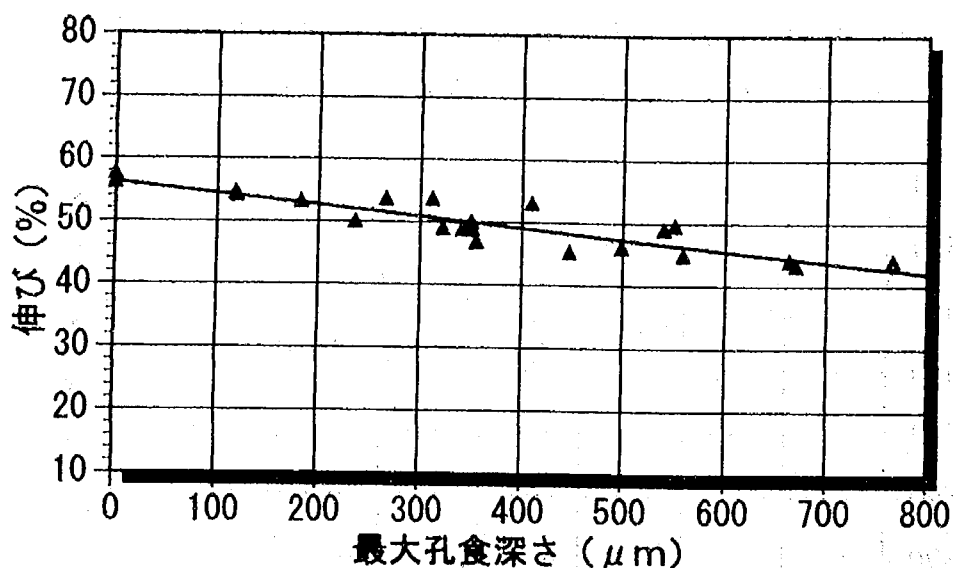


図3.9 最大孔食深さと伸びの関係 (SUS304)

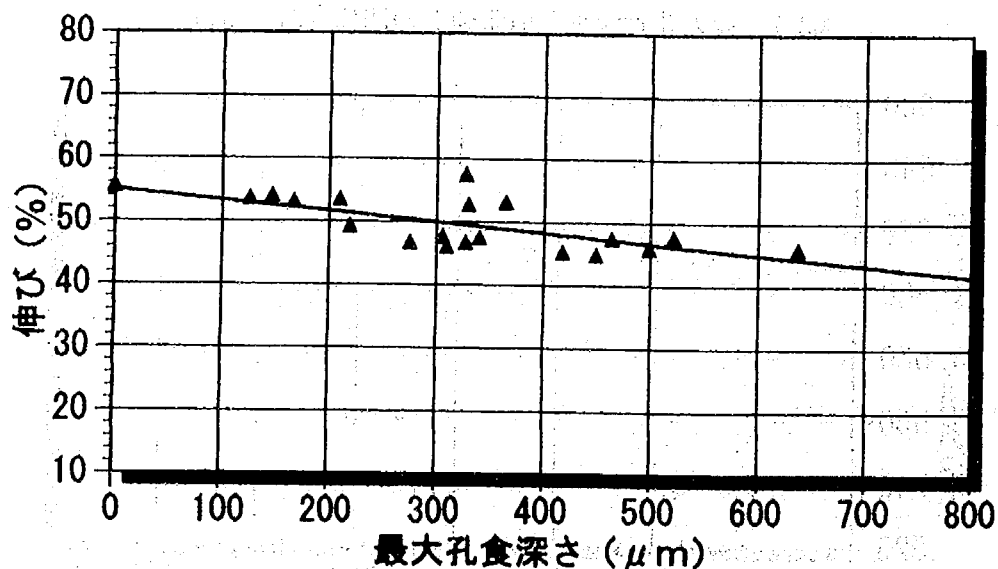


図3.10 最大孔食深さと伸びの関係 (SUS316)

3.3.3 疑似腐食試験結果

疑似腐食試験片の削孔形状は図3.11のとおりである。

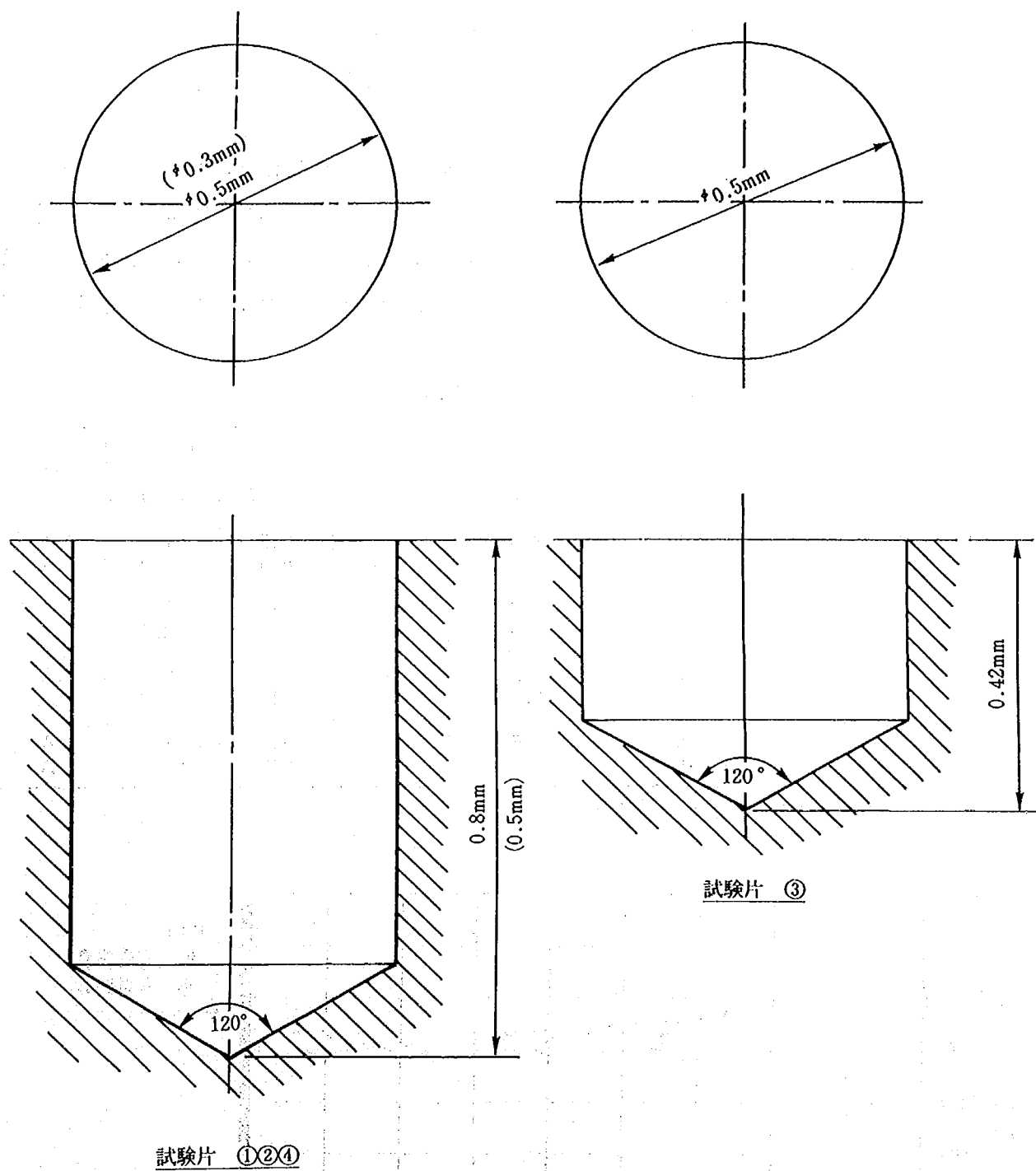


図3.11 疑似腐食試験片の削孔形状

表3.9に疑似腐食形成後の引張試験結果を示す。また、引張試験後の破断状況については付録8のとおりである。

引張試験の結果については、室内腐食促進試験の考察と同様に、最大孔食深さと強度低下の関係に着目し評価を行うものとした。ゲートに加わる負荷等を考慮すると、ひずみの少ない0.2%耐力での評価が望ましいと考えられるが、前述のとおり0.2%耐力は孔食の影響をあまり受けず強度低下の傾向が小さいということから、ここでは引張強さについて考察図を示すこととした。

図3.12は図3.7に疑似腐食試験片の引張試験結果をプロットしたものである。この結果、双方とも同様な低下傾向を示している。よって、現場等において腐食した構造物強度確認を行い、その状態に機械加工した試験片を用いて引張試験を行えば、ある程度の機械特性は確認できるものと思われる。しかし、鋼材の腐食状態を十分に調査すること、加工時には

表3.9 疑似腐食試験の引張試験結果

試験片 No.	平均断面積 (%)	最大孔食深さ (μm)	0.2%耐力 (N/mm^2)	引 張 強 さ		伸 び (%)	破断位置
				実測値	推定値		
1 E 1	99.5	800	278	639	646	51.0	A
E 2	99.5	800	275	675	646	52.0	A
2 E 3	99.5	800	272	636	646	51.6	A
E 4	99.5	800	275	638	646	52.4	A
3 E 5	99.5	840	273	639	646	52.4	A
E 6	99.5	840	273	637	646	53.2	A
4 E 7	99.9	500	276	639	649	57.4	A
E 8	99.9	500	279	641	649	57.4	A

(注) 平均断面積は通電量から算出した値である。

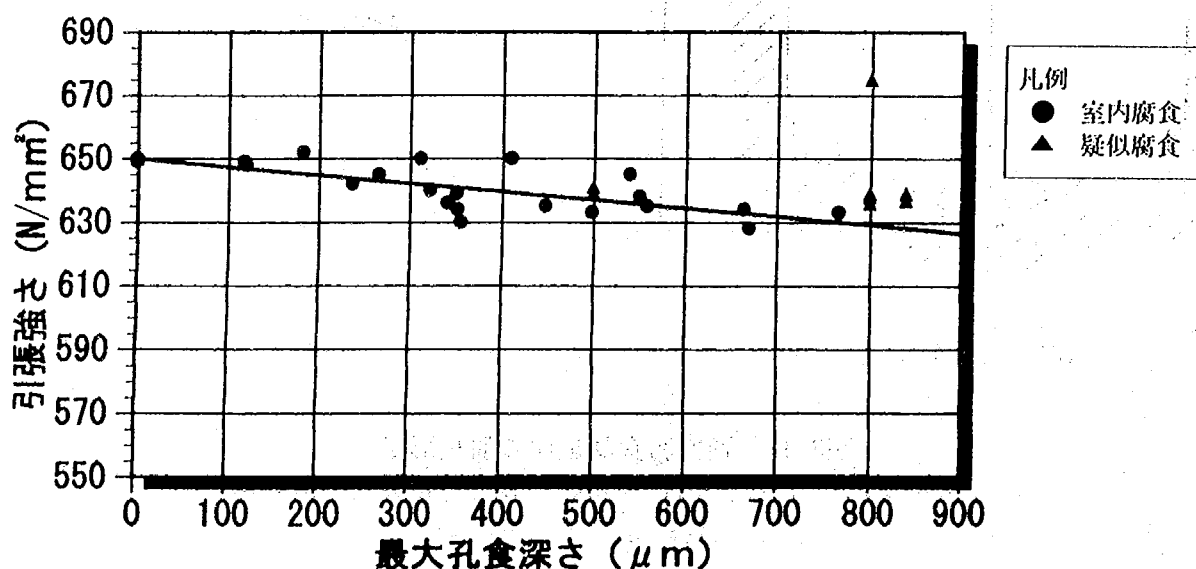


図3.12 疑似腐食試験後の引張強さの低下特性

加工硬化等に十分留意することが重要である。

3.4 まとめ

ダムにおけるステンレス鋼の強度的な使用状況を考えると、変形を起こすような要因はありえない。また、本実験から、変形量の小さな領域にあたる0.2%耐力はさほど孔食の影響を受けず、変形量の大きな領域にあたる引張強さや伸びなどは孔食の影響を受けて強度低下を示すことが確認された。よって、近年の精錬技術の向上に伴い母材強度がJIS 規定値をかなり上回っていることや、ステンレス鋼の一般的な腐食速度を考えると、耐用期間において0.2%耐力がJIS 規定値を下回ることはなく十分な強度を有するものと考ええる。すなわち、強度面から考えるとステンレス鋼のゲート設備への適用及び0.2%耐力の設計基本強度への採用は妥当であると考ええる。しかし、現場毎に水質等の環境条件が異なるため、十分な調査を行った上で最も適したステンレス鋼材を選定する必要がある。

4. 結 論

4.1 ステンレス鋼の設計基本強度に関する調査

本調査において、実際の強度等の機械的特性は、JIS 規定値をかなり上回る値を有していることがわかった。JIS 規定値との比率は、0.2%耐力で1.2~1.7倍、引張強さで1.1~1.3倍程度であり、ひずみの少ない領域の方がJIS 規定値との差が大きいことがわかった。言い換えれば、JIS 規定に相当する0.2%耐力の応力が作用したとしても、実際は0.2%のひずみが生じていないことになる。

繰返し負荷試験からは、ひずみの増加傾向は初期ひずみが最も大きく、高サイクル側では小さくなることがわかった。また、0.2%耐力の2/3及び1/2の繰返し負荷においては、ひずみの累積がほとんどみられず、材料特性が変化することはない程度であることが明らかになった。

これらの結果から次のことがいえる。

- ① ステンレス鋼の実際の機械的特性を考えると、設計基本強度として0.2%耐力を採用しても、0.2%のひずみが生じるような応力ではないので、塑性ひずみの影響はさほど受けない。
- ② 設計基本強度に耐力を耐用しても、1/2などの係数を乗じて設計しているのでひずみの累積はほとんどみられない程度である。
- ③ 実際のゲートに加わる水圧（負荷）及び開閉回数（繰返し回数）を考慮すると、ひずみ累積量はゲートの機能を影響するものではないと考える。

4.2 ステンレス鋼の腐食と強度特性に関する調査

ダムにおけるステンレス鋼の強度的な使用状況を考えると、変形を起こすような要因はありえない。また、本実験から、変形量の小さな領域にあたる0.2%耐力はさほど孔食の影響を受けず、変形量の大きな領域にあたる引張強さや伸びなどは孔食の影響を受けて強度低下を示すことが確認された。

これらのことから以下のことが結論づけられる。

- ① 近年の精錬技術の向上に伴い母材強度がJIS 規定値をかなり上回っていることや、ステンレス鋼の一般的な腐食速度を考えると、耐用期間において0.2%耐力がJIS 規定値を下回ることではなく十分な強度を有するものとする。
- ② 強度面から考えるとステンレス鋼のゲート設備への適用及び0.2%耐力の設計基本強度への採用は妥当であるとする。しかし、現場毎に水質等の環境条件が異なるため、十分な調査を行った上で最も適したステンレス鋼材を選定する必要がある。

あ と が き

本調査により、ステンレス鋼の設計基本強度の設定において0.2%耐力を採用することの妥当性及び腐食量による強度低下の経過を実験的に把握することができた。

今回の検討においては、ひずみの累積や腐食量の影響による強度低下をテストピースレベルで評価したものである。今後は実構造物レベルの評価を目的として、使用環境と腐食速度に関する調査を行うとともに、実構造物としての機能を加味した評価指標について検討を行っていく必要があると考える。

最後に、本報告書は近畿地方建設局大滝ダム工事事務所の協力を得て調査試験を実施し、その成果をとりまとめたものである。貴事務所に感謝の意を表するとともに、本調査結果が今後のこの分野における研究や基準等を検討する際の参考になれば幸いであると考えている。

参 考 資 料

- 付録1 ミルシートの化学成分のまとめ
- 付録2 ミルシートの引張性質のまとめ
- 付録3 繰返し負荷試験のひずみと応力の測定値
- 付録4 繰返し負荷試験のひずみと応力のグラフ
- 付録5 孔食の表面観察
- 付録6 画像処理による孔食表面観察
- 付録7 孔食部断面の顕微鏡観察
- 付録8 引張試験後の表面観察

付録 1

ミルシートの化学成分のまとめ

SUS304 化学成分表(新日鉄)

ステンレス鋼材料シート・データ管理

発行年	ミルメーカ	鋼種	板厚 (mm)	化学成分 (%)							
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
1988	新日鉄	SUS 304	3.00	0.04	0.45	0.85	0.027	0.005	8.44	18.35	
1990	新日鉄	SUS 304	3.00	0.05	0.43	0.85	0.029	0.005	8.47	18.32	
1990	新日鉄	SUS 304	6.00	0.04	0.48	0.85	0.030	0.005	8.45	18.33	
1990	新日鉄	SUS 304	3.00	0.05	0.45	0.84	0.029	0.004	8.51	18.31	
1990	新日鉄	SUS 304	3.00	0.05	0.45	0.84	0.029	0.004	8.51	18.31	
1990	新日鉄	SUS 304	8.00	0.05	0.45	0.84	0.029	0.004	8.51	18.31	
1990	新日鉄	SUS 304	3.00	0.05	0.47	0.86	0.030	0.007	8.45	18.28	
1979	新日鉄	SUS 304	9.00	0.05	0.53	0.91	0.028	0.007	8.62	18.44	
1981	新日鉄	SUS 304	9.00	0.06	0.43	0.84	0.030	0.005	8.63	18.32	
1981	新日鉄	SUS 304	9.00	0.05	0.48	0.86	0.026	0.007	8.69	18.28	
1981	新日鉄	SUS 304	9.00	0.06	0.47	0.87	0.026	0.005	8.69	18.34	
1981	新日鉄	SUS 304	9.00	0.06	0.45	0.84	0.029	0.007	8.65	18.51	
1982	新日鉄	SUS 304	9.00	0.04	0.46	0.81	0.028	0.007	8.67	18.42	
1982	新日鉄	SUS 304	9.00	0.04	0.46	0.81	0.026	0.006	8.63	18.33	
1982	新日鉄	SUS 304	9.00	0.05	0.50	0.82	0.027	0.009	8.68	18.33	
1982	新日鉄	SUS 304	9.00	0.06	0.52	0.84	0.026	0.009	8.70	18.28	
1983	新日鉄	SUS 304	9.00	0.04	0.51	0.85	0.027	0.005	8.65	18.53	
1985	新日鉄	SUS 304	9.00	0.05	0.49	0.82	0.023	0.009	8.68	18.27	
1985	新日鉄	SUS 304	9.00	0.04	0.59	0.87	0.024	0.004	8.68	18.38	
1985	新日鉄	SUS 304	9.00	0.04	0.45	0.83	0.028	0.004	8.62	18.33	
1986	新日鉄	SUS 304	9.00	0.05	0.46	0.81	0.032	0.006	8.61	18.35	
1986	新日鉄	SUS 304	9.00	0.06	0.48	0.82	0.027	0.006	8.60	18.46	
1991	新日鉄	SUS 304	9.00	0.05	0.47	0.82	0.029	0.005	8.40	18.28	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.06	0.65	1.01	0.033	0.002	9.10	18.23	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.06	0.62	0.97	0.033	0.005	9.39	18.34	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.06	0.65	0.98	0.033	0.003	9.18	18.29	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.06	0.61	0.93	0.032	0.005	9.35	18.25	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.05	0.65	0.98	0.033	0.003	9.14	18.35	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.06	0.62	0.97	0.033	0.005	9.39	18.34	

SUS304 化学成分表(新日鉄)

発行年	ミルメーカ	鋼種	板厚 (mm)	化学成分 (%)							
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
1981	新日鉄	SUS 304	10.00	0.05	0.47	0.82	0.028	0.004	9.62	18.24	
1991	新日鉄	SUS 304	10.00	0.05	0.50	0.82	0.029	0.007	8.40	18.23	
1978	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.61	0.97	0.033	0.003	9.05	18.32	
1978	新日鉄	SUS 304	12.00	0.05	0.44	0.83	0.026	0.003	8.58	18.56	
1981	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.43	0.81	0.026	0.007	8.63	18.30	
1981	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.51	0.83	0.026	0.004	8.61	18.40	
1981	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.46	0.89	0.029	0.007	8.76	18.43	
1982	新日鉄	SUS 304	12.00	0.05	0.48	0.82	0.029	0.006	8.63	18.24	
1982	新日鉄	SUS 304	12.00	0.05	0.49	0.81	0.028	0.006	8.66	18.37	
1984	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.53	0.81	0.027	0.004	8.64	18.38	
1984	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.48	0.81	0.029	0.007	8.70	18.26	
1984	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.53	0.81	0.027	0.004	8.64	18.38	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.06	0.62	0.97	0.033	0.005	9.39	18.34	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.06	0.65	0.98	0.033	0.003	9.18	18.29	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.06	0.61	0.93	0.032	0.005	9.05	18.25	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.05	0.65	0.90	0.033	0.003	9.14	18.35	
1978	新日鉄	SUS 304	10.00	0.06	0.62	0.97	0.033	0.005	9.39	18.34	
1981	新日鉄	SUS 304	10.00	0.05	0.47	0.82	0.028	0.004	8.62	18.24	
1991	新日鉄	SUS 304	10.00	0.05	0.50	0.82	0.029	0.007	8.40	18.23	
1978	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.61	0.97	0.033	0.003	9.05	18.32	
1978	新日鉄	SUS 304	12.00	0.05	0.44	0.83	0.026	0.003	8.58	18.56	
1981	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.43	0.81	0.028	0.007	8.63	18.30	
1981	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.51	0.83	0.026	0.004	8.61	18.40	
1981	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.46	0.89	0.029	0.007	8.76	18.43	
1982	新日鉄	SUS 304	12.00	0.05	0.48	0.82	0.029	0.006	8.63	18.24	
1982	新日鉄	SUS 304	12.00	0.05	0.49	0.81	0.028	0.006	8.66	18.37	
1984	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.53	0.81	0.027	0.004	8.64	18.38	
1984	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.48	0.81	0.029	0.007	8.70	18.26	
1984	新日鉄	SUS 304	12.00	0.06	0.53	0.81	0.027	0.004	8.64	18.38	

SUS304 化学成分表(日本冶金)

ステンレス鋼材ミルシート・データ管理											
発行年	ミルメーカー	鋼種	板厚 (mm)	化学成分 (%)							
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
1989	日本冶金	SUS 304	3.00	0.05	0.53	1.22	0.030	0.004	8.32	18.19	
1978	日本冶金	SUS 304	9.00	0.04	0.56	1.24	0.027	0.003	8.57	18.14	
1980	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.48	0.95	0.033	0.002	8.51	18.27	
1980	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.51	1.27	0.037	0.003	8.64	18.10	
1981	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.44	0.99	0.032	0.004	8.37	18.22	
1981	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.43	0.98	0.032	0.003	8.38	18.16	
1981	日本冶金	SUS 304	9.00	0.04	0.62	1.55	0.031	0.003	8.54	18.10	
1981	日本冶金	SUS 304	9.00	0.04	0.46	0.98	0.030	0.001	8.63	18.13	
1981	日本冶金	SUS 304	9.00	0.08	0.69	0.94	0.031	0.001	8.60	18.42	
1981	日本冶金	SUS 304	9.00	0.08	0.69	0.94	0.031	0.001	8.60	18.42	
1982	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.64	1.31	0.033	0.003	8.37	18.10	
1982	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.52	1.29	0.031	0.002	8.30	18.10	
1982	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.64	1.31	0.033	0.003	8.37	18.10	
1982	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.52	1.29	0.031	0.002	8.30	18.10	
1983	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.49	1.18	0.029	0.003	8.42	18.13	
1985	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.54	1.22	0.027	0.004	8.30	18.14	
1986	日本冶金	SUS 304	9.00	0.04	0.52	1.21	0.027	0.005	8.60	18.21	
1986	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.56	1.22	0.030	0.002	8.31	18.14	
1986	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.56	1.22	0.030	0.002	8.31	18.14	
1986	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.56	1.22	0.030	0.002	8.31	18.14	
1988	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.46	1.21	0.030	0.007	8.31	18.16	
1989	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.61	1.24	0.031	0.004	8.25	18.18	
1991	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.52	1.21	0.029	0.004	8.25	18.16	
1992	日本冶金	SUS 304	9.00	0.05	0.49	1.24	0.029	0.005	8.26	18.14	
1980	日本冶金	SUS 304	10.00	0.04	0.56	0.95	0.031	0.004	8.54	18.01	
1981	日本冶金	SUS 304	10.00	0.04	0.50	0.94	0.029	0.004	8.59	18.26	
1985	日本冶金	SUS 304	10.00	0.05	0.50	1.19	0.027	0.004	8.30	18.14	
1991	日本冶金	SUS 304	10.00	0.06	0.65	1.21	0.030	0.004	8.31	18.15	
1981	日本冶金	SUS 304	12.00	0.04	0.58	0.98	0.034	0.002	8.51	18.03	

SUS304 化学成分表(日本冶金)

発行年	ミルメーカ	鋼種	板厚 (mm)	化学成分 (%)							
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
1981	日本冶金	SUS 304	12.00	0.05	0.39	1.01	0.031	0.004	8.50	18.14	
1985	日本冶金	SUS 304	12.00	0.05	0.56	1.21	0.029	0.005	8.40	18.18	
1986	日本冶金	SUS 304	12.00	0.05	0.53	1.17	0.026	0.005	8.30	18.15	
1986	日本冶金	SUS 304	12.00	0.05	0.53	1.17	0.026	0.005	8.30	18.15	
1986	日本冶金	SUS 304	12.00	0.05	0.61	1.21	0.027	0.003	8.26	18.09	
1988	日本冶金	SUS 304	12.00	0.05	0.51	1.25	0.026	0.004	8.32	18.14	
1991	日本冶金	SUS 304	12.00	0.06	0.56	1.21	0.029	0.004	8.31	18.13	
1978	日本冶金	SUS 304	14.00	0.05	0.62	1.26	0.031	0.003	8.31	18.06	
1992	日本冶金	SUS 304	14.00	0.05	0.51	1.22	0.030	0.004	8.37	18.12	
1985	日本冶金	SUS 304	16.00	0.05	0.57	0.96	0.028	0.006	8.58	18.11	
1986	日本冶金	SUS 304	16.00	0.05	0.53	1.19	0.028	0.004	8.54	18.07	
1989	日本冶金	SUS 304	16.00	0.04	0.50	1.23	0.026	0.005	8.30	18.20	
1991	日本冶金	SUS 304	16.00	0.05	0.48	1.19	0.026	0.004	8.25	18.23	
1980	日本冶金	SUS 304	20.00	0.05	0.55	1.08	0.024	0.005	8.62	18.24	
1984	日本冶金	SUS 304	30.00	0.05	0.52	1.23	0.027	0.004	8.34	18.08	
1991	日本冶金	SUS 304	32.00	0.05	0.51	1.19	0.027	0.004	8.28	18.18	

SUS304 化学成分表(日本金属)

ステンレス鋼材ミルシート・データ管理											
発行年	ミルメーカー	鋼種	板厚 (mm)	化学成分 (%)							
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
1983	日本金属	SUS 304	8.00	0.06	0.60	0.96	0.028	0.008	8.56	18.59	
1983	日本金属	SUS 304	9.00	0.05	0.57	1.02	0.030	0.006	8.53	18.24	
1984	日本金属	SUS 304	9.00	0.05	0.60	0.96	0.031	0.010	8.52	18.10	
1986	日本金属	SUS 304	9.00	0.05	0.59	1.02	0.034	0.005	8.44	18.29	
1982	日本金属	SUS 304	10.00	0.05	0.59	0.95	0.032	0.007	8.55	18.45	
1982	日本金属	SUS 304	10.00	0.05	0.59	0.95	0.032	0.007	8.55	18.45	
1983	日本金属	SUS 304	12.00	0.06	0.61	1.00	0.029	0.005	9.18	18.57	
1984	日本金属	SUS 304	12.00	0.05	0.63	1.06	0.030	0.007	8.54	18.48	
1986	日本金属	SUS 304	12.00	0.06	0.66	0.97	0.035	0.004	8.53	18.00	
1983	日本金属	SUS 304	15.00	0.06	0.60	0.98	0.029	0.007	8.51	18.32	
1987	日本金属	SUS 304	16.00	0.06	0.58	1.05	0.031	0.008	8.77	18.63	
1991	日本金属	SUS 304	16.00	0.06	0.64	0.95	0.034	0.008	8.38	18.10	
1991	日本金属	SUS 304	16.00	0.06	0.64	0.95	0.034	0.008	8.38	18.10	
1983	日本金属	SUS 304	18.00	0.06	0.64	1.05	0.028	0.014	8.51	18.35	
1983	日本金属	SUS 304	19.00	0.06	0.59	0.93	0.030	0.006	8.55	18.41	
1983	日本金属	SUS 304	22.00	0.06	0.79	0.97	0.027	0.007	8.61	18.21	
1986	日本金属	SUS 304	22.00	0.05	0.58	0.98	0.025	0.009	8.60	18.24	
1986	日本金属	SUS 304	25.00	0.06	0.57	1.02	0.032	0.011	8.54	18.25	
1986	日本金属	SUS 304	29.00	0.06	0.63	0.96	0.028	0.005	8.57	18.66	

SUS304 化学成分表(日本鋼管)

ステンレス鋼材ミルシート・データ管理

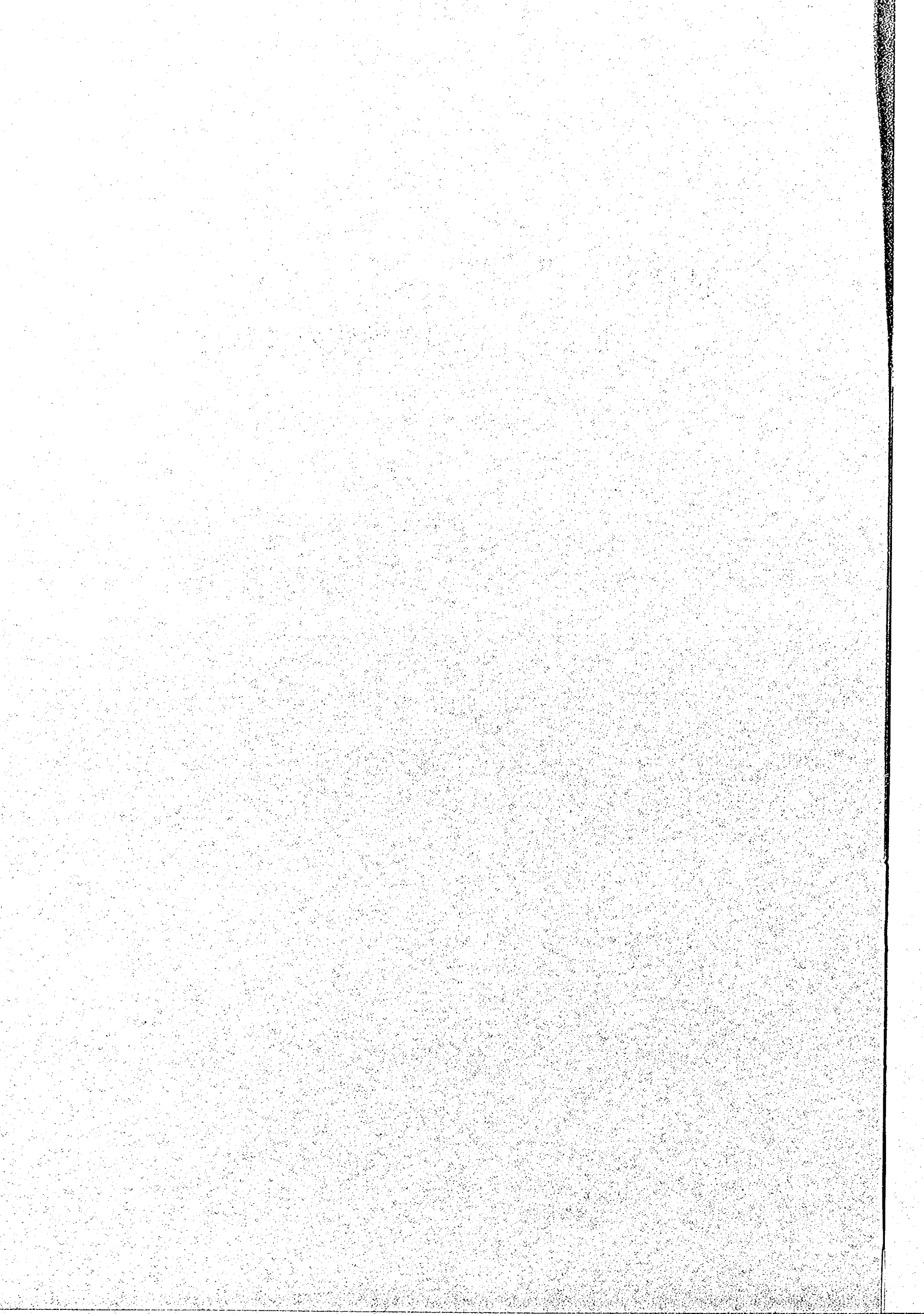
発行年	ミルメーカ	鋼種	板厚 (mm)	化学成分 (%)							
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
1987	日本鋼管	SUS 304	9.00	0.04	0.55	1.06	0.030	0.002	8.65	18.46	
1988	日本鋼管	SUS 304	9.00	0.05	0.65	1.05	0.030	0.004	8.60	18.60	
1989	日本鋼管	SUS 304	9.00	0.04	0.53	1.12	0.032	0.002	8.40	18.38	
1989	日本鋼管	SUS 304	9.00	0.04	0.58	0.99	0.030	0.002	8.42	18.36	
1989	日本鋼管	SUS 304	9.00	0.04	0.53	1.02	0.032	0.002	8.44	18.35	
1989	日本鋼管	SUS 304	9.00	0.04	0.54	1.03	0.032	0.002	8.44	18.29	
1989	日本鋼管	SUS 304	12.00	0.04	0.51	1.08	0.030	0.003	8.52	18.37	
1988	日本鋼管	SUS 304	14.00	0.04	0.56	1.15	0.030	0.003	8.85	18.66	
1989	日本鋼管	SUS 304	14.00	0.05	0.46	1.02	0.032	0.002	8.27	18.68	
1989	日本鋼管	SUS 304	14.00	0.05	0.60	0.99	0.029	0.001	8.37	18.38	
1987	日本鋼管	SUS 304	16.00	0.04	0.51	1.02	0.031	0.007	8.39	18.14	
1987	日本鋼管	SUS 304	16.00	0.04	0.51	1.02	0.031	0.007	8.39	18.14	
1989	日本鋼管	SUS 304	16.00	0.04	0.53	1.01	0.034	0.003	8.39	18.52	
1985	日本鋼管	SUS 304	20.00	0.04	0.62	1.05	0.024	0.003	8.57	18.49	
1987	日本鋼管	SUS 304	25.00	0.04	0.66	1.04	0.028	0.008	8.36	18.17	

SUS304 化学成分表(日本ステンレス)

ステンレス鋼材ミルシート・データ管理											
発行年	ミルメーカー	鋼種	板厚 (mm)	化学成分 (%)							
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.06	0.41	0.84	0.018	0.003	8.23	18.01	
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.07	0.35	0.83	0.027	0.003	8.32	18.51	
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.06	0.44	0.88	0.019	0.001	8.29	18.20	
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.06	0.41	0.84	0.018	0.003	8.23	18.01	
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.06	0.36	0.83	0.021	0.003	8.22	18.15	
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.06	0.44	0.88	0.019	0.001	8.29	18.20	
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.06	0.44	0.88	0.019	0.001	8.29	18.20	
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.06	0.36	0.83	0.021	0.003	8.22	18.15	
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.07	0.35	0.83	0.027	0.003	8.32	18.51	
1990	日本ステンレス	SUS 304	8.00	0.06	0.36	0.83	0.021	0.003	8.22	18.15	
1985	日本ステンレス	SUS 304	9.00	0.04	0.68	0.95	0.033	0.006	8.26	18.39	
1991	日本ステンレス	SUS 304	9.00	0.06	0.45	0.85	0.032	0.008	8.30	18.12	
1991	日本ステンレス	SUS 304	12.00	0.06	0.45	0.85	0.032	0.008	8.30	18.12	

付録 2

ミルシートの引張性質のまとめ



ミルシートの引張性質のまとめ
(鋼種、ミルメカ、年度、板厚で分類)

ステンレス鋼材ミルシート・データ整理											
SUS304 日本冶金											
年	板厚 (mm)	データ数	耐力(0.2%)			引張強度			HB		
			平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値	最大値	最小値
1987	8	12	297.42	317	253	666.08	738	625	174.33	185	153
	12	11	286.73	301	246	666.18	687	635	171.55	176	156
	16	8	278.13	281	260	659.75	676	642	173.58	179	167
	24	6	258.39	275	249	651.58	664	636	164.33	170	156
	32	3	264.67	272	259	668.33	675	659	163.80	167	168
1992	8	23	292.89	311	265	652.78	675	621	175.84	187	167
	12	28	275.79	303	234	637.64	668	614	167.14	179	149
	16	17	273.59	296	247	646.29	684	638	167.47	176	160
	24	15	266.87	296	247	648.47	684	638	162.47	178	160
	32	19	266.37	293	254	652.40	673	621	162.16	178	156

SUS304L 日本冶金											
年	板厚 (mm)	データ数	耐力(0.2%)			引張強度			HB		
			平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値	最大値	最小値
1987	8	6	287.67	317	239	577.88	616	533	164.33	188	145
	12	5	254.38	295	207	558.28	579	531	147.88	167	129
	16	7	233.29	247	217	578.14	583	556	158.88	156	139
	24	2	228.58	231	226	568.58	576	561	143.88	143	143
	32	1	247.88	247	247	564.88	564	564	146.88	146	146
1992	8	23	274.57	309	225	577.35	606	545	159.91	175	148
	12	25	259.88	285	225	573.76	588	549	153.84	167	135
	16	18	255.86	277	235	573.30	585	568	153.88	159	136
	24	16	238.86	273	217	567.44	592	544	147.75	159	138
	32	18	246.88	287	210	563.22	585	537	150.22	178	148

S U S 3 1 6 日本冶金											
年	板厚 (mm)	データ数	耐力(0.2%)			引張強度			H B		
			平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値	最大値	最小値
1987	8	2	260.50	261	260	580.50	583	578	152.00	154	150
	12	15	273.47	309	252	582.73	599	567	152.73	167	143
	16	7	260.14	270	250	580.71	587	576	149.57	153	146
	24	2	245.00	247	243	573.50	574	573	146.00	146	146
	32	5	246.40	255	240	570.20	577	564	142.80	144	140
1992	8	23	280.00	315	252	590.75	618	560	160.65	170	132
	12	27	273.40	312	234	575.59	590	560	153.15	165	143
	16	17	257.88	283	230	576.65	588	563	150.88	161	143
	24	13	250.38	267	235	578.58	592	564	142.23	150	135
	32	12	240.00	266	232	569.03	587	555	143.67	149	136

S U S 3 1 6 L 日本冶金											
年	板厚 (mm)	データ数	耐力(0.2%)			引張強度			H B		
			平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値	最大値	最小値
1987	8	72	264.50	328	209	547.13	586	504	146.22	179	124
	12	22	256.91	287	226	557.77	580	539	144.86	152	137
	16	49	244.32	264	220	557.04	573	530	144.49	156	131
	24	5	230.00	255	220	551.40	565	542	134.00	137	131
	32	1	229.00	229	229	530.00	538	538	133.00	133	133
1992	8	44	272.14	356	228	562.50	600	541	150.66	180	135
	12	25	261.00	285	235	554.00	578	540	146.72	156	137
	16	16	252.13	269	228	555.79	570	535	147.63	164	137
	24	14	240.93	266	210	555.79	568	536	143.64	150	132
	32	17	234.18	265	210	547.00	565	527	139.41	152	131

ステンレス鋼材ミルシート・データ管理

SUS304 新日鉄

年	板厚 (mm)	データ数	耐力(0.2%)			引張強度			R _B		
			平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値	最大値	最小値
	3										
	12										
1980	16										
	24										
	32	3	251.54	265	235	601.03	608	586	144.00	146.00	143.00
	3										
	12										
1985	16	3	277.66	294	265	601.06	617	588	155.67	160.00	151.00
(1984)	24	6	258.03	274	245	604.34	627	588	150.50	156.00	142.00
	32	3	261.34	265	255	614.14	617	606	156.00	160.00	146.00
	3	7	301.00	343	265	614.60	627	588	151.71	160.00	146.00
	12	8	301.35	333	274	617.40	627	608	156.63	164.00	150.00
1990	16	3	277.66	294	265	591.23	598	578	153.00	158.00	143.00
(1989)	24	6	271.14	274	265	604.34	617	588	152.67	154.00	149.00
(1986)	32	3	267.66	274	265	607.60	617	588	159.00	163.00	156.00

SUS304L 新日鉄

年	板厚 (mm)	データ数	耐力(0.2%)			引張強度			R _B		
			平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値	最大値	最小値
	3										
	12										
1980	16										
	24										
	32										
	3	3	277.66	294	265	558.60	559	559	144.00	147.00	138.00
	12	3	261.34	274	255	555.34	559	549	142.67	151.00	135.00
1985	16	3	297.46	314	274	568.40	578	559	155.67	165.00	151.00
(1984)	24	3	246.23	265	235	568.40	578	559	142.00	142.00	142.00
(1987)	32	3	254.80	255	255	568.40	568	568	139.00	147.00	135.00
	3	3	303.30	323	274	555.34	578	529	143.67	151.00	138.00
	12	3	290.74	294	284	571.66	578	568	153.00	157.00	151.00
1990	16	3	264.60	284	245	561.86	568	559	143.33	147.00	136.00
(1989)	24	3	241.74	255	225	565.14	578	549	141.33	151.00	135.00
	32	3	251.54	255	245	571.66	578	568	147.00	149.00	145.00

SUS316 新日鉄

年	板厚 (mm)	データ数	耐力(0.2%)			引張強度			H B.		
			平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値	最大値	最小値
	3										
	12										
1980	16										
	24										
	32										
	6	5	278.32	294	265	558.68	568	539	136.28	142.00	127.00
	12	3	287.46	304	265	535.74	539	529	145.33	151.00	138.00
1985	16	3	298.74	304	274	561.86	568	549	151.33	156.00	147.00
	24	3	264.60	274	255	568.40	578	559	146.67	151.00	142.00
	32	3	258.06	274	235	578.20	588	568	148.33	156.00	142.00
	8	3	294.00	314	274	571.66	588	559	144.33	147.00	142.00
	12	3	294.00	333	265	574.74	598	559	151.67	157.00	147.00
1990	16	3	277.63	284	265	568.40	568	568	146.33	150.00	142.00
(1989)	24	3	277.66	284	274	578.20	588	568	146.00	150.00	141.00
	32	3	274.49	284	265	571.63	578	568	148.67	151.00	147.00

SUS316L 新日鉄

年	板厚 (mm)	データ数	耐力(0.2%)			引張強度			H B.		
			平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値	最大値	最小値
	6										
	12										
1980	16										
	24										
	32										
	8	3	271.14	274	265	532.46	539	529	137.00	138.00	135.00
	12	3	298.74	294	284	535.74	539	529	144.00	147.00	138.00
1985	16	3	258.06	265	255	542.23	559	519	140.00	147.00	131.00
	24	3	248.26	255	235	548.80	559	529	140.00	147.00	135.00
	32	3	254.80	265	245	552.06	559	549	142.00	142.00	142.00
	8	4	301.35	323	294	551.25	578	539	149.00	149.00	135.00
	12	3	300.54	314	294	542.26	549	539	146.67	151.00	143.00
1990	16	3	261.34	265	255	545.54	559	539	139.00	142.00	137.00
	24	3	254.80	255	255	558.60	559	559	139.00	141.00	138.00
	32	3	258.06	284	245	555.34	578	529	141.67	147.00	138.00

ステンレス鋼材ミルシート・データ管理

SUS304 日本鋼管

年	板厚 (mm)	データ数	耐力(0.2%)			引張強度			HB		
			平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値 N/mm ²	最大値 N/mm ²	最小値 N/mm ²	平均値	最大値	最小値
1987	9	1	274.40	274	274	597.80	598	598	161.00	161.00	161.00
	14										
	16	1	294.00	294	294	607.60	608	608	167.00	167.00	167.00
1988	9	1	225.40	225	225	588.00	588	588	153.00	153.00	153.00
	14	1	225.40	225	225	588.00	588	588	165.00	165.00	165.00
	16										
1989	9	4	267.05	294	245	607.60	617	598	152.75	163.00	145.00
	14	2	274.40	264	265	592.90	593	588	163.00	169.00	157.00
	16	1	254.80	255	255	607.60	608	608	164.00	164.00	165.00

付録 3

繰返し負荷試験のひずみと応力の測定値

付表1-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-L2
 負荷応力(MPa): 268
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1000	267	-2	0.176	0.035
2	1000	269	-2	0.204	0.060
3	2000	269	-2	0.207	0.072
4	3000	268	-1	0.210	0.076
5	4000	268	-2	0.212	0.078
6	5000	268	-2	0.214	0.079
7	6000	268	-1	0.214	0.081
8	7000	268	-1	0.215	0.081
9	8000	267	0	0.215	0.083
10	9000	267	-0	0.215	0.083
11	10000	267	0	0.215	0.082
12	11000	268	1	0.216	0.083
13	12000	268	0	0.216	0.083
14	13000	268	0	0.217	0.085
15	14000	268	0	0.217	0.085
16	15000	268	0	0.218	0.085
17	16000	268	0	0.220	0.087
18	17000	268	0	0.221	0.087
19	18000	268	-0	0.222	0.088
20	19000	268	-0	0.223	0.089
21	20000	268	0	0.223	0.090
22	21000	268	0	0.224	0.090
23	22000	268	0	0.224	0.090
24	23000	268	0	0.224	0.091
25	24000	268	0	0.223	0.089
26	25000	268	-1	0.225	0.091
27	26000	268	-1	0.225	0.091
28	27000	268	0	0.225	0.092
29	28000	268	-0	0.226	0.093
30	29000	268	-0	0.227	0.093
31	30000	268	-1	0.227	0.093
32	31000	268	-1	0.227	0.094
33	32000	268	-1	0.227	0.094
34	33000	268	0	0.228	0.094
35	34000	268	-0	0.228	0.094
36	35000	268	-1	0.229	0.095
37	36000	268	-0	0.228	0.095
38	37000	268	0	0.229	0.095
39	38000	268	-0	0.228	0.095
40	39000	268	-0	0.229	0.095
41	40000	267	-0	0.229	0.096
42	41000	268	-0	0.229	0.096
43	42000	269	0	0.229	0.095
44	43000	268	-0	0.229	0.096
45	44000	268	-0	0.229	0.096
46	45000	268	-0	0.230	0.098
47	46000	268	-0	0.231	0.098
48	47000	269	0	0.231	0.098
49	48000	268	-0	0.232	0.098
50	49000	268	-1	0.232	0.098
51	50000	268	-0	0.232	0.099
52	51000	268	-0	0.232	0.098
53	52000	268	-1	0.231	0.098
54	53000	268	-1	0.231	0.097
55	54000	268	0	0.231	0.098
56	55000	268	0	0.231	0.098
57	56000	268	-1	0.232	0.099

付表1-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-L2
 負荷応力(MPa): 268
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
58	57000	268	-1	0.233	0.099
59	58000	268	-0	0.233	0.100
60	59000	268	-1	0.233	0.099
61	60000	268	-0	0.233	0.100
62	61000	268	-0	0.233	0.100
63	62000	268	-0	0.234	0.100
64	63000	268	-1	0.234	0.102
65	64000	268	0	0.234	0.102
66	65000	268	0	0.235	0.102
67	66000	268	-0	0.237	0.103
68	67000	268	0	0.237	0.104
69	68000	268	-0	0.236	0.102
70	69000	268	-1	0.236	0.104
71	70000	268	-1	0.236	0.102
72	71000	267	0	0.236	0.103
73	72000	268	-1	0.235	0.103
74	73000	267	-0	0.235	0.101
75	74000	267	0	0.235	0.101
76	75000	267	0	0.234	0.101
77	76000	267	-0	0.234	0.101
78	77000	267	0	0.234	0.101
79	78000	267	0	0.235	0.103
80	79000	267	0	0.234	0.102
81	80000	267	1	0.234	0.102
82	81000	267	1	0.235	0.103
83	82000	268	0	0.235	0.103
84	83000	267	0	0.235	0.103
85	84000	267	1	0.235	0.103
86	85000	267	1	0.236	0.104
87	86000	267	0	0.236	0.104
88	87000	266	0	0.236	0.104
89	88000	267	0	0.237	0.104
90	89000	267	1	0.236	0.104
91	90000	267	0	0.235	0.103
92	91000	267	0	0.235	0.104
93	92000	267	0	0.235	0.103
94	93000	267	0	0.236	0.104
95	94000	267	0	0.237	0.103
96	95000	268	0	0.236	0.102
97	96000	268	-0	0.236	0.102
98	97000	268	0	0.235	0.102
99	98000	268	0	0.235	0.101
100	99000	268	-1	0.235	0.100
101	100000	258	-1	0.235	0.101

付表2-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-L3
 負荷応力 (MPa): 279
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	277	3	0.276	0.138
2	1000	280	-0	0.357	0.213
3	2000	280	-0	0.367	0.223
4	3000	280	-1	0.370	0.226
5	4000	280	0	0.374	0.230
6	5000	280	-1	0.377	0.232
7	6000	280	-0	0.379	0.235
8	7000	280	-1	0.382	0.237
9	8000	281	-1	0.385	0.240
10	9000	281	-1	0.386	0.241
11	10000	281	-1	0.387	0.242
12	11000	281	-1	0.386	0.241
13	12000	280	-2	0.387	0.241
14	13000	281	-1	0.389	0.243
15	14000	281	-1	0.391	0.246
16	15000	281	-1	0.390	0.244
17	16000	282	-2	0.393	0.247
18	17000	282	-2	0.393	0.247
19	18000	281	-1	0.396	0.251
20	19000	282	-1	0.399	0.252
21	20000	282	-1	0.397	0.251
22	21000	281	-2	0.397	0.250
23	22000	282	-1	0.399	0.254
24	23000	282	-2	0.397	0.251
25	24000	282	-2	0.399	0.253
26	25000	281	0	0.400	0.252
27	26000	282	-2	0.399	0.252
28	27000	281	-2	0.400	0.252
29	28000	282	-1	0.400	0.251
30	29000	281	-2	0.402	0.253
31	30000	282	-1	0.401	0.252
32	31000	280	-2	0.402	0.254
33	32000	282	-2	0.404	0.254
34	33000	283	-1	0.404	0.254
35	34000	283	-1	0.405	0.253
36	35000	285	-1	0.406	0.255
37	36000	285	-1	0.408	0.258
38	37000	283	-1	0.408	0.258
39	38000	281	-2	0.410	0.262
40	39000	284	-1	0.410	0.260
41	40000	285	-1	0.411	0.262
42	41000	283	-1	0.411	0.261
43	42000	285	-0	0.410	0.260
44	43000	287	0	0.411	0.261
45	44000	283	-1	0.411	0.259
46	45000	284	0	0.411	0.261
47	46000	285	-0	0.411	0.261
48	47000	282	-2	0.410	0.262
49	48000	282	-2	0.411	0.260
50	49000	282	-0	0.411	0.260
51	50000	282	0	0.411	0.261
52	51100	281	2	0.411	0.259
53	52000	282	2	0.411	0.259
54	53000	283	3	0.410	0.259
55	54000	283	0	0.411	0.260
56	55000	282	3	0.410	0.260
57	56000	281	0	0.410	0.260

付表2-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-L3
 負荷応力 (MPa): 279
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
58	57000	281	0	0.409	0.257
59	58000	282	-2	0.409	0.259
60	59000	283	0	0.410	0.258
61	60000	283	-1	0.411	0.261
62	61000	283	-1	0.412	0.262
63	62000	282	-2	0.412	0.252
64	63000	280	0	0.415	0.266
65	64000	281	1	0.416	0.266
66	65000	281	0	0.413	0.264
67	66000	281	0	0.413	0.264
68	67000	280	1	0.412	0.254
69	68000	281	1	0.412	0.263
70	69000	282	1	0.411	0.263
71	70000	282	1	0.415	0.266
72	71000	280	0	0.415	0.267
73	72000	280	0	0.411	0.263
74	73000	280	0	0.415	0.266
75	74000	282	2	0.411	0.262
76	75000	282	1	0.415	0.268
77	76000	281	0	0.412	0.264
78	77000	282	1	0.414	0.264
79	78000	282	0	0.416	0.268
80	79000	283	0	0.412	0.263
81	80000	284	0	0.418	0.268
82	81000	283	0	0.415	0.266
83	82000	284	1	0.413	0.263
84	83000	285	1	0.418	0.267
85	84000	284	1	0.413	0.264
86	85000	284	1	0.417	0.267
87	86000	286	2	0.415	0.285
88	87000	285	1	0.417	0.268
89	88000	286	1	0.420	0.270
90	89000	284	0	0.415	0.265
91	90000	284	2	0.418	0.267
92	91000	283	0	0.416	0.266
93	92000	285	1	0.414	0.264
94	93000	284	0	0.419	0.269
95	94000	282	0	0.418	0.268
96	95000	282	-0	0.413	0.264
97	96000	282	-1	0.412	0.265
98	97000	282	-2	0.414	0.265
99	98000	282	-1	0.411	0.263
100	99000	282	-2	0.413	0.266
101	100000	282	-2	0.416	0.268

付表3-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-L4
 負荷応力 (MPa): 186
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	183	2	0.103	0.013
2	10000	184	1	0.116	0.024
3	20000	185	0	0.124	0.031
4	30000	185	0	0.124	0.032
5	40000	185	-0	0.123	0.030
6	50000	185	-0	0.123	0.030
7	60000	186	-1	0.124	0.032
8	70000	186	-1	0.124	0.030
9	80000	186	-1	0.123	0.030
10	90000	186	-1	0.125	0.033
11	100000	186	0	0.124	0.030
12	110000	186	-1	0.124	0.030
13	120000	186	-1	0.124	0.029
14	130000	186	-1	0.123	0.028
15	140000	186	-1	0.125	0.029
16	150000	186	0	0.125	0.030
17	160000	185	0	0.124	0.031
18	170000	186	0	0.124	0.031
19	180000	186	0	0.123	0.029
20	190000	186	-1	0.124	0.031
21	200000	186	-1	0.123	0.031
22	210000	186	-1	0.124	0.031
23	220000	186	1	0.124	0.030
24	230000	187	1	0.123	0.029
25	240000	186	0	0.124	0.029
26	250000	186	-0	0.124	0.030
27	260000	186	0	0.124	0.030
28	270000	186	1	0.124	0.030
29	280000	186	1	0.124	0.030
30	290000	185	-1	0.123	0.030
31	300000	186	0	0.124	0.030
32	310000	186	-0	0.123	0.029
33	320000	186	0	0.124	0.031
34	330000	185	0	0.125	0.032
35	340000	184	-1	0.124	0.032
36	350000	184	-1	0.124	0.032
37	360000	184	-1	0.124	0.032
38	370000	184	-1	0.123	0.031
39	380000	184	-1	0.123	0.031
40	390000	184	-1	0.124	0.032
41	400000	184	-1	0.123	0.031
42	410000	184	-1	0.124	0.032
43	420000	184	-1	0.124	0.032
44	430000	184	-1	0.124	0.031
45	440000	184	-1	0.124	0.031
46	450000	185	-1	0.123	0.030
47	460000	185	-1	0.124	0.031
48	470000	184	-1	0.125	0.032
49	480000	184	-1	0.124	0.030
50	490000	185	-0	0.124	0.031
51	500000	185	-0	0.124	0.031
52	510000	185	-0	0.124	0.032
53	520000	185	-1	0.124	0.031
54	530000	186	-1	0.124	0.031
55	540000	186	-1	0.124	0.030
56	550000	184	-1	0.124	0.031

付表3-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-L4
 負荷応力 (MPa): 186
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
57	560000	184	-1	0.125	0.032
58	570000	184	-1	0.125	0.032
59	580000	184	-1	0.126	0.033
60	590000	184	-1	0.125	0.032
61	600000	184	-1	0.125	0.032
62	610000	185	-1	0.123	0.030
63	620000	185	-1	0.125	0.031
64	630000	185	-1	0.125	0.032
65	640000	185	-1	0.125	0.032
66	650000	185	-1	0.125	0.032
67	660000	185	-1	0.125	0.032
68	670000	186	-1	0.125	0.031
69	680000	187	-1	0.125	0.032
70	690000	186	-1	0.125	0.032
71	700000	185	0	0.124	0.031
72	710000	185	0	0.124	0.032
73	720000	185	0	0.124	0.031
74	730000	185	0	0.125	0.033
75	740000	185	0	0.125	0.032
76	750000	185	0	0.125	0.033
77	760000	185	0	0.124	0.031
78	770000	186	0	0.124	0.031
79	780000	186	0	0.124	0.031
80	790000	186	-0	0.123	0.030
81	800000	186	-0	0.124	0.031
82	810000	186	-0	0.125	0.032
83	820000	187	0	0.125	0.031
84	830000	187	0	0.125	0.032
85	840000	187	0	0.124	0.031
86	850000	185	-0	0.125	0.032
87	860000	185	0	0.123	0.031
88	870000	185	0	0.123	0.031
89	880000	185	0	0.123	0.031
90	890000	184	-0	0.124	0.032
91	900000	185	0	0.123	0.031
92	910000	185	0	0.123	0.031
93	920000	185	0	0.124	0.032
94	930000	186	0	0.124	0.031
95	940000	186	0	0.125	0.033
96	950000	186	0	0.125	0.032
97	960000	186	0	0.125	0.032
98	970000	187	0	0.125	0.033
99	980000	187	0	0.126	0.033
100	990000	187	0	0.125	0.033
101	1000000	184	0	0.125	0.032

付表4-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-L5
 最大応力 (MPa): 140
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	139	0	0.078	0.008
2	10000	139	2	0.081	0.012
3	20000	139	1	0.084	0.015
4	30000	139	1	0.084	0.016
5	40000	139	1	0.083	0.014
6	50000	139	1	0.082	0.013
7	60000	140	1	0.081	0.012
8	70000	141	0	0.083	0.012
9	80000	140	-0	0.083	0.012
10	90000	140	0	0.083	0.013
11	100000	139	1	0.083	0.014
12	110000	139	1	0.083	0.014
13	120000	139	1	0.084	0.015
14	130000	139	1	0.084	0.016
15	140000	139	1	0.084	0.016
16	150000	139	1	0.084	0.015
17	160000	140	1	0.083	0.013
18	170000	141	1	0.084	0.014
19	180000	142	2	0.083	0.014
20	190000	141	1	0.083	0.013
21	200000	141	1	0.082	0.012
22	210000	141	1	0.082	0.013
23	220000	139	1	0.084	0.015
24	230000	139	1	0.084	0.016
25	240000	139	1	0.084	0.015
26	250000	138	1	0.084	0.015
27	260000	139	1	0.085	0.015
28	270000	139	0	0.085	0.016
29	280000	139	0	0.085	0.017
30	290000	139	0	0.085	0.017
31	300000	139	1	0.085	0.017
32	310000	140	1	0.085	0.017
33	320000	139	1	0.086	0.017
34	330000	140	1	0.086	0.017
35	340000	139	1	0.086	0.017
36	350000	138	0	0.086	0.017
37	360000	139	1	0.085	0.016
38	370000	138	1	0.084	0.016
39	380000	139	0	0.085	0.017
40	390000	139	1	0.084	0.015
41	400000	140	1	0.083	0.014
42	410000	140	1	0.083	0.013
43	420000	140	1	0.083	0.013
44	430000	141	1	0.083	0.013
45	440000	141	1	0.083	0.013
46	450000	142	2	0.084	0.014
47	460000	141	1	0.083	0.014
48	470000	139	0	0.083	0.014
49	480000	138	1	0.082	0.014
50	490000	139	1	0.082	0.013
51	500000	139	1	0.082	0.013
52	510000	139	1	0.083	0.014
53	520000	140	1	0.083	0.013
54	530000	140	1	0.083	0.013
55	540000	141	1	0.084	0.015
56	550000	141	1	0.084	0.014
57	560000	140	1	0.083	0.014

付表4-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-L5
 最大応力 (MPa): 140
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
58	570000	141	1	0.083	0.013
59	580000	141	1	0.082	0.012
60	590000	140	1	0.082	0.012
61	600000	140	1	0.082	0.013
62	610000	140	1	0.082	0.013
63	620000	140	1	0.082	0.012
64	630000	140	1	0.082	0.013
65	640000	140	1	0.081	0.011
66	650000	140	1	0.081	0.012
67	660000	140	0	0.081	0.011
68	670000	140	0	0.080	0.010
69	680000	140	1	0.081	0.011
70	690000	141	1	0.081	0.011
71	700000	141	1	0.082	0.012
72	710000	141	0	0.082	0.012
73	720000	139	1	0.082	0.013
74	730000	139	1	0.082	0.013
75	740000	139	1	0.082	0.013
76	750000	139	1	0.082	0.013
77	760000	139	1	0.081	0.013
78	770000	139	1	0.081	0.012
79	780000	139	0	0.082	0.012
80	790000	140	0	0.082	0.013
81	800000	140	0	0.083	0.013
82	810000	140	1	0.082	0.012
83	820000	140	0	0.082	0.013
84	830000	140	1	0.083	0.013
85	840000	140	1	0.083	0.013
86	850000	141	1	0.083	0.013
87	860000	141	0	0.084	0.014
88	870000	140	0	0.085	0.016
89	880000	140	1	0.084	0.015
90	890000	139	1	0.085	0.016
91	900000	139	1	0.084	0.015
92	910000	139	1	0.083	0.014
93	920000	139	0	0.085	0.016
94	930000	140	1	0.084	0.015
95	940000	139	0	0.083	0.015
96	950000	139	0	0.084	0.015
97	960000	140	0	0.083	0.014
98	970000	140	0	0.083	0.014
99	980000	140	1	0.083	0.014
100	990000	140	1	0.084	0.015
101	1000000	140	1	0.084	0.015

付表5-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-C1
 最大応力 (MPa): 248
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	248	1	0.158	0.037
2	1000	249	1	0.176	0.055
3	2000	248	1	0.178	0.057
4	3000	248	1	0.180	0.058
5	4000	249	-1	0.181	0.058
6	5000	249	-1	0.181	0.059
7	6000	249	-1	0.182	0.060
8	7000	248	-1	0.182	0.059
9	8000	249	-1	0.182	0.059
10	9000	249	-1	0.182	0.060
11	10000	249	-1	0.183	0.061
12	11000	249	-1	0.183	0.060
13	12000	248	-0	0.182	0.061
14	13000	248	-0	0.183	0.061
15	14000	248	-1	0.183	0.061
16	15000	248	-0	0.183	0.061
17	16000	248	-1	0.183	0.060
18	17000	248	-1	0.183	0.061
19	18000	248	-1	0.183	0.062
20	19000	249	-1	0.183	0.060
21	20000	248	-1	0.183	0.060
22	21000	249	-1	0.183	0.061
23	22000	249	-1	0.183	0.061
24	23000	249	-1	0.184	0.060
25	24000	249	-1	0.184	0.061
26	25000	249	-1	0.184	0.062
27	26000	249	-0	0.184	0.062
28	27000	249	-1	0.184	0.062
29	28000	249	-1	0.184	0.062
30	29000	249	-1	0.183	0.060
31	30000	250	-1	0.183	0.060
32	31000	249	-1	0.184	0.061
33	32000	249	-1	0.184	0.061
34	33000	249	-1	0.183	0.060
35	34000	249	-1	0.183	0.060
36	35000	249	-1	0.183	0.060
37	36000	249	-0	0.186	0.063
38	37000	249	-1	0.184	0.061
39	38000	249	-0	0.185	0.063
40	39000	249	-1	0.184	0.062
41	40000	249	-1	0.185	0.063
42	41000	249	-1	0.184	0.061
43	42000	249	-1	0.185	0.062
44	43000	249	-1	0.184	0.061
45	44000	249	-1	0.184	0.062
46	45000	249	-1	0.184	0.061
47	46000	249	-1	0.184	0.061
48	47000	249	-1	0.184	0.062
49	48000	249	-1	0.185	0.063
50	49000	249	-1	0.186	0.063
51	50000	249	-1	0.186	0.063
52	51000	249	-1	0.186	0.063
53	52000	249	-1	0.186	0.063
54	53000	249	-1	0.186	0.063
55	54000	249	-0	0.186	0.063
56	55000	249	-1	0.186	0.063
57	56000	249	-0	0.186	0.064

付表5-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-C1
 最大応力 (MPa): 248
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
58	57000	249	-1	0.186	0.063
59	58000	249	-1	0.186	0.063
60	59000	249	-1	0.186	0.062
61	60000	249	-1	0.184	0.061
62	61000	249	-0	0.185	0.063
63	62000	249	-0	0.184	0.061
64	63000	249	-1	0.185	0.062
65	64000	249	-1	0.185	0.062
66	65000	249	-1	0.185	0.062
67	66000	249	-1	0.185	0.062
68	67000	249	-1	0.184	0.061
69	68000	249	-1	0.187	0.063
70	69000	249	-1	0.184	0.061
71	70000	249	-1	0.187	0.064
72	71000	249	-1	0.184	0.061
73	72000	250	-1	0.187	0.064
74	73000	249	-1	0.185	0.062
75	74000	249	-0	0.187	0.064
76	75000	249	-1	0.185	0.062
77	76000	249	-1	0.186	0.063
78	77000	249	-1	0.186	0.063
79	78000	249	-0	0.185	0.063
80	79000	249	-1	0.186	0.063
81	80000	249	-1	0.186	0.063
82	81000	249	-1	0.186	0.064
83	82000	249	-1	0.186	0.064
84	83000	249	-1	0.186	0.063
85	84000	249	-1	0.186	0.063
86	85000	248	-0	0.185	0.063
87	86000	248	0	0.185	0.063
88	87000	248	-0	0.185	0.063
89	88000	248	-0	0.186	0.063
90	89000	248	-1	0.186	0.063
91	90000	248	0	0.186	0.064
92	91000	248	-0	0.186	0.063
93	92000	249	1	0.186	0.064
94	93000	249	1	0.186	0.065
95	94000	249	-0	0.185	0.063
96	95000	248	-1	0.186	0.063
97	96000	248	-0	0.186	0.063
98	97000	248	-1	0.185	0.063
99	98000	248	-0	0.186	0.064
100	99000	247	0	0.186	0.065
101	100000	248	-0	0.186	0.064

付表6-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-C2
 最大応力 (MPa): 269
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	100	264	2	0.307	0.173
2	1000	268	0	0.317	0.180
3	2000	269	0	0.322	0.186
4	3000	269	0	0.325	0.189
5	4000	269	0	0.326	0.190
6	5000	269	1	0.325	0.188
7	6000	269	1	0.325	0.188
8	7000	269	0	0.325	0.189
9	8000	269	0	0.325	0.189
10	9000	269	0	0.326	0.189
11	10000	269	0	0.327	0.190
12	11000	269	0	0.327	0.190
13	12000	269	0	0.328	0.191
14	13000	270	0	0.328	0.190
15	14000	270	0	0.329	0.190
16	15000	270	0	0.327	0.189
17	16000	270	0	0.328	0.189
18	17000	271	-0	0.327	0.189
19	18000	271	-0	0.327	0.188
20	19000	270	-0	0.327	0.190
21	20000	271	-1	0.328	0.189
22	21000	271	-0	0.328	0.190
23	22000	271	-1	0.328	0.189
24	23000	271	-1	0.327	0.188
25	24000	271	-1	0.328	0.190
26	25000	270	0	0.327	0.189
27	26000	270	0	0.326	0.189
28	27000	270	0	0.327	0.189
29	28000	270	-2	0.326	0.189
30	29000	270	1	0.327	0.189
31	30000	271	-2	0.328	0.190
32	31000	271	-4	0.327	0.190
33	32000	271	-3	0.327	0.190
34	33000	271	-4	0.327	0.190
35	34000	271	-3	0.327	0.190
36	35000	271	-4	0.326	0.189
37	36000	271	-2	0.328	0.190
38	37000	271	-2	0.328	0.190
39	38000	270	-3	0.328	0.190
40	39000	270	-3	0.328	0.190
41	40000	270	-3	0.330	0.190
42	41000	268	-1	0.328	0.190
43	42000	268	-1	0.328	0.189
44	43000	270	0	0.327	0.190
45	44000	270	0	0.328	0.190
46	45000	270	-0	0.329	0.189
47	46000	269	0	0.329	0.190
48	47000	267	-1	0.329	0.190
49	48000	269	-1	0.330	0.191
50	49000	270	0	0.328	0.190
51	50000	270	1	0.328	0.190
52	51000	270	-0	0.329	0.191
53	52000	270	-1	0.328	0.191
54	53000	268	-1	0.328	0.192
55	54000	269	-2	0.329	0.192
56	55000	271	0	0.329	0.192
57	56000	270	0	0.330	0.193
58	57000	269	-1	0.329	0.192
59	58000	269	-1	0.329	0.192

付表6-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-C2
 最大応力 (MPa): 269
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
60	59000	270	-0	0.330	0.192
61	60000	270	-1	0.330	0.192
62	61000	273	-1	0.330	0.192
63	62000	272	-1	0.330	0.192
64	63000	270	-1	0.330	0.192
65	64000	270	-1	0.329	0.191
66	65000	270	-1	0.329	0.192
67	66000	270	-1	0.330	0.192
68	67000	270	-1	0.330	0.192
69	68000	259	-1	0.330	0.192
70	69000	270	-1	0.331	0.192
71	70000	259	-1	0.330	0.192
72	71000	259	-0	0.330	0.192
73	72000	258	0	0.330	0.192
74	73000	268	0	0.330	0.192
75	74000	269	0	0.330	0.193
76	75000	269	0	0.330	0.192
77	76000	269	0	0.330	0.192
78	77000	268	1	0.330	0.192
79	78000	268	1	0.330	0.193
80	79000	268	1	0.331	0.194
81	80000	268	1	0.329	0.193
82	81000	267	2	0.330	0.193
83	82000	267	2	0.332	0.196
84	83000	267	1	0.331	0.195
85	84000	267	1	0.330	0.194
86	85000	268	1	0.330	0.195
87	86000	268	1	0.330	0.194
88	87000	268	1	0.330	0.194
89	88000	268	1	0.330	0.194
90	89000	268	1	0.330	0.194
91	90000	268	1	0.330	0.194
92	91000	268	1	0.330	0.193
93	92000	268	1	0.331	0.194
94	93000	268	1	0.329	0.192
95	94000	268	1	0.330	0.193
96	95000	269	1	0.331	0.194
97	96000	269	0	0.330	0.193
98	97000	269	0	0.332	0.194
99	98000	269	0	0.332	0.194
100	99000	269	0	0.331	0.193
101	100000	269	0	0.331	0.193

付表7 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-C3
 真荷重 (MPa): 179
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	176	1	0.104	0.018
2	10000	178	0	0.122	0.032
3	20000	177	1	0.123	0.034
4	30000	178	1	0.123	0.033
5	40000	178	0	0.124	0.034
6	50000	178	0	0.124	0.034
7	60000	178	0	0.125	0.035
8	70000	178	0	0.125	0.035
9	80000	178	0	0.125	0.035
10	90000	178	0	0.126	0.036
11	100000	178	0	0.125	0.035
12	110000	178	0	0.125	0.036
13	316600	179	0	0.135	0.046
14	317000	179	0	0.137	0.046
15	318000	179	0	0.135	0.045
16	521000	179	0	0.133	0.042
17	522000	179	1	0.132	0.042
18	523000	179	1	0.132	0.041
19	740000	179	0	0.131	0.041
20	741000	180	0	0.131	0.040
21	742000	180	0	0.131	0.040
22	743000	179	1	0.130	0.040
23	940000	180	-0	0.135	0.043
24	950000	180	-1	0.135	0.043
25	960000	180	-1	0.136	0.044
26	970000	180	-1	0.135	0.043
27	980000	180	-1	0.135	0.043
28	990000	180	-1	0.135	0.043
29	1000000	180	-1	0.137	0.045

付表8 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 304-C4
 真荷重 (MPa): 135
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	135	1	0.077	0.011
2	10000	135	2	0.079	0.013
3	20000	135	2	0.079	0.013
4	30000	135	2	0.078	0.012
5	40000	135	2	0.078	0.013
6	50000	135	2	0.077	0.012
7	60000	135	2	0.076	0.011
8	70000	135	2	0.076	0.010
9	80000	135	2	0.076	0.010
10	90000	135	2	0.077	0.012
11	100000	136	2	0.075	0.010
12	305841	135	-0	0.086	0.021
13	310000	135	0	0.086	0.020
14	320000	136	1	0.086	0.020
15	330000	134	0	0.086	0.020
16	340000	134	0	0.085	0.019
17	350000	134	0	0.086	0.021
18	360000	135	1	0.085	0.020
19	521001	135	1	0.106	0.040
20	530000	135	1	0.104	0.039
21	540000	135	1	0.104	0.039
22	550000	135	-1	0.103	0.038
23	560000	134	0	0.104	0.037
24	570000	135	1	0.104	0.037
25	700000	135	1	0.120	0.054
26	710000	135	1	0.121	0.056
27	720000	136	1	0.120	0.055
28	730000	138	1	0.120	0.054
29	740000	138	2	0.119	0.053
30	750000	139	2	0.121	0.054
31	760000	138	1	0.119	0.052
32	969001	135	1	0.123	0.057
33	970000	135	3	0.124	0.057
34	980000	135	2	0.124	0.058
35	990000	135	2	0.124	0.058
36	1000000	135	1	0.124	0.057

付表9-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-L1
 最大応力 (MPa): 226
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	226	2	0.191	0.073
2	1000	229	0	0.297	0.181
3	2000	231	-0	0.317	0.200
4	3000	231	1	0.330	0.213
5	4000	230	0	0.338	0.221
6	5000	230	1	0.341	0.225
7	6000	230	1	0.343	0.226
8	7000	230	2	0.346	0.229
9	8000	229	1	0.347	0.230
10	9000	230	1	0.347	0.230
11	10000	230	1	0.348	0.232
12	11000	230	1	0.347	0.232
13	12000	229	0	0.346	0.231
14	13000	229	0	0.346	0.230
15	14000	230	1	0.346	0.228
16	15000	230	0	0.346	0.229
17	16000	231	2	0.346	0.228
18	17000	231	1	0.345	0.228
19	18000	231	1	0.346	0.227
20	19000	230	1	0.346	0.229
21	20000	230	1	0.346	0.228
22	21000	230	1	0.346	0.228
23	22000	229	1	0.346	0.228
24	23000	229	0	0.347	0.228
25	24000	229	0	0.347	0.229
26	25000	229	1	0.347	0.230
27	26000	229	0	0.347	0.230
28	27000	230	0	0.347	0.229
29	28000	229	-0	0.348	0.229
30	29000	229	0	0.347	0.230
31	30000	229	-0	0.348	0.229
32	31000	227	1	0.348	0.230
33	32000	227	0	0.347	0.229
34	33000	228	0	0.348	0.229
35	34000	228	1	0.348	0.230
36	35000	229	1	0.348	0.230
37	36000	228	0	0.348	0.229
38	37000	229	1	0.348	0.229
39	38000	230	1	0.348	0.228
40	39000	230	1	0.348	0.229
41	40000	229	0	0.349	0.230
42	41000	229	0	0.348	0.228
43	42000	230	0	0.347	0.227
44	43000	231	1	0.347	0.228
45	44000	230	0	0.348	0.229

付表9-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-L1
 最大応力 (MPa): 226
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
46	45000	230	0	0.349	0.229
47	46000	232	1	0.348	0.227
48	47000	232	2	0.348	0.228
49	48000	233	2	0.348	0.227
50	49000	233	2	0.348	0.227
51	50000	232	1	0.348	0.228
52	51000	232	2	0.348	0.228
53	52000	232	2	0.349	0.229
54	53000	232	1	0.348	0.229
55	54000	231	1	0.349	0.228
56	55000	230	-0	0.348	0.228
57	56000	230	0	0.349	0.228
58	57000	229	-0	0.349	0.229
59	58000	229	-1	0.348	0.228
60	59000	228	-0	0.349	0.230
61	60000	228	-1	0.349	0.230
62	61000	228	0	0.349	0.232
63	62000	228	-1	0.349	0.230
64	63000	228	-1	0.350	0.231
65	64000	228	-1	0.350	0.230
66	65000	228	-1	0.350	0.230
67	66000	228	-1	0.350	0.231
68	67000	228	0	0.348	0.230
69	68000	228	-1	0.349	0.230
70	69000	228	-0	0.349	0.230
71	70000	228	-1	0.350	0.230
72	71000	228	-0	0.350	0.231
73	72000	228	-1	0.350	0.231
74	73000	228	-0	0.350	0.231
75	74000	228	-0	0.350	0.231
76	75000	228	-1	0.350	0.231
77	76000	227	-1	0.350	0.231
78	77000	228	-1	0.350	0.230
79	78000	228	-0	0.350	0.230
80	79000	230	0	0.349	0.229
81	80000	225	-2	0.349	0.233
82	81000	224	-3	0.350	0.232
83	82000	229	0	0.350	0.231
84	83000	227	-0	0.349	0.231
85	84000	228	0	0.350	0.231
86	85000	228	-1	0.351	0.231
87	86000	228	-1	0.350	0.231
88	87000	227	-1	0.351	0.232
89	88000	229	0	0.352	0.233
90	89000	228	0	0.352	0.233
91	90000	228	-1	0.352	0.233
92	91000	228	-0	0.352	0.233
93	92000	227	-0	0.351	0.232
94	93000	226	-1	0.351	0.232
95	94000	227	-1	0.351	0.232
96	95000	228	0	0.351	0.233
97	96000	227	-0	0.351	0.233
98	97000	227	-1	0.351	0.233
99	98000	226	-1	0.351	0.232
100	99000	226	-1	0.350	0.232
101	100000	226	-1	0.350	0.233

付表10-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-L2
 負荷力 (MPa): 236
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	229	2	0.167	0.048
2	1000	236	-0	0.405	0.275
3	2000	236	0	0.422	0.292
4	3000	236	0	0.437	0.307
5	4000	237	-0	0.445	0.315
6	5000	237	-0	0.453	0.323
7	6000	237	-0	0.456	0.327
8	7000	237	-0	0.458	0.328
9	8000	237	-1	0.462	0.333
10	9000	237	-1	0.462	0.333
11	10000	236	-1	0.462	0.330
12	11000	238	0	0.463	0.330
13	12000	237	0	0.463	0.330
14	13000	239	1	0.463	0.329
15	14000	237	0	0.463	0.329
16	15000	237	0	0.465	0.333
17	16000	237	1	0.464	0.333
18	17000	237	1	0.464	0.331
19	18000	237	1	0.464	0.332
20	19000	237	0	0.464	0.332
21	20000	237	1	0.464	0.332
22	21000	237	1	0.464	0.331
23	22000	237	1	0.464	0.330
24	23000	237	1	0.466	0.334
25	24000	236	1	0.465	0.332
26	25000	237	1	0.465	0.332
27	26000	236	1	0.465	0.333
28	27000	237	1	0.465	0.332
29	28000	238	2	0.465	0.333
30	29000	237	1	0.465	0.333
31	30000	237	1	0.466	0.333
32	31000	237	1	0.466	0.334
33	32000	237	1	0.466	0.334
34	33000	237	1	0.466	0.334
35	34000	237	1	0.465	0.333
36	35000	237	1	0.465	0.332
37	36000	237	1	0.466	0.334
38	37000	237	1	0.466	0.333
39	38000	237	1	0.466	0.333
40	39000	237	1	0.466	0.333
41	40000	237	0	0.466	0.333
42	41000	237	1	0.465	0.333
43	42000	237	0	0.466	0.334
44	43000	237	1	0.466	0.334
45	44000	237	1	0.466	0.334
46	45000	237	1	0.466	0.334
47	46000	237	1	0.466	0.334
48	47000	237	1	0.466	0.335
49	48000	237	1	0.466	0.334
50	49000	237	1	0.465	0.334
51	50000	237	1	0.465	0.334
52	51000	237	1	0.464	0.334
53	52000	237	1	0.464	0.333
54	53000	237	1	0.464	0.333
55	54000	237	1	0.464	0.333
56	55000	237	1	0.464	0.333
57	56000	237	1	0.464	0.333

付表10-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-L2
 負荷力 (MPa): 236
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
58	57000	237	1	0.463	0.333
59	58000	237	1	0.463	0.333
60	59000	237	0	0.462	0.332
61	60000	237	-0	0.461	0.331
62	61000	237	1	0.460	0.330
63	62000	237	1	0.459	0.330
64	63000	237	1	0.459	0.330
65	64000	237	1	0.458	0.330
66	65000	237	1	0.458	0.330
67	66000	237	1	0.458	0.330
68	67000	237	1	0.458	0.329
69	68000	237	1	0.458	0.329
70	69000	237	1	0.457	0.329
71	70000	237	1	0.457	0.329
72	71000	237	1	0.457	0.329
73	72000	237	1	0.457	0.328
74	73000	238	1	0.459	0.329
75	74000	237	1	0.459	0.329
76	75000	237	1	0.459	0.329
77	76000	237	1	0.459	0.329
78	77000	237	1	0.459	0.329
79	78000	237	1	0.459	0.329
80	79000	237	1	0.459	0.329
81	80000	238	1	0.458	0.329
82	81000	237	1	0.459	0.329
83	82000	237	1	0.458	0.329
84	83000	237	1	0.459	0.329
85	84000	238	1	0.459	0.329
86	85000	238	1	0.458	0.329
87	86000	238	1	0.459	0.329
88	87000	238	1	0.458	0.329
89	88000	238	1	0.459	0.329
90	89000	238	1	0.459	0.329
91	90000	237	1	0.459	0.329
92	91000	237	1	0.459	0.329
93	92000	238	1	0.459	0.329
94	93000	238	1	0.459	0.329
95	94000	238	1	0.459	0.329
96	95000	238	1	0.459	0.329
97	96000	238	1	0.459	0.329
98	97000	238	1	0.459	0.329
99	98000	238	1	0.459	0.329
100	99000	238	1	0.459	0.329
101	100000	238	1	0.459	0.330

付表11 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-L3
 最大応力 (MPa): 157
 G L (mm) : 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	156	1	0.088	0.008
2	10000	157	1	0.128	0.049
3	20000	158	1	0.130	0.051
4	30000	157	1	0.130	0.050
5	40000	157	1	0.130	0.050
6	50000	157	1	0.131	0.050
7	60000	156	1	0.132	0.050
8	70000	157	1	0.133	0.050
9	80000	157	1	0.133	0.049
10	90000	156	1	0.132	0.049
11	100000	157	-0	0.132	0.050
12	307081	156	-1	0.118	0.040
13	310000	156	1	0.118	0.038
14	320000	156	1	0.120	0.040
15	330000	156	1	0.120	0.039
16	473241	157	1	0.128	0.049
17	480000	157	1	0.128	0.049
18	490000	158	1	0.129	0.049
19	500000	157	0	0.129	0.049
20	510000	156	0	0.129	0.049
21	520000	156	1	0.129	0.049
22	530000	156	0	0.129	0.049
23	540000	157	0	0.129	0.050
24	550000	156	0	0.128	0.049
25	560000	156	1	0.129	0.049
26	570000	156	0	0.129	0.048
27	580000	156	1	0.129	0.048
28	709301	157	0	0.116	0.038
29	710000	158	1	0.117	0.036
30	720000	156	2	0.117	0.037
31	730000	156	1	0.115	0.036
32	740000	156	-0	0.116	0.035
33	930541	155	1	0.126	0.049
34	940000	156	1	0.127	0.049
35	950000	157	1	0.127	0.050
36	960000	157	1	0.128	0.049
37	970000	157	1	0.127	0.049
38	980000	156	0	0.126	0.049
39	990000	156	-0	0.127	0.049
40	1000000	156	-0	0.127	0.049

付表12 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-L4
 最大応力 (MPa): 118
 G L (mm) : 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	117	-2	0.061	0.000
2	10000	117	-1	0.063	0.002
3	20000	117	-1	0.062	0.002
4	30000	118	0	0.063	0.003
5	40000	117	0	0.063	0.004
6	50000	117	0	0.064	0.004
7	60000	117	0	0.064	0.004
8	70000	118	0	0.064	0.004
9	80000	118	0	0.064	0.004
10	90000	118	0	0.065	0.005
11	100000	118	0	0.066	0.006
12	211131	117	5	0.071	0.011
13	220000	117	0	0.072	0.012
14	230000	118	0	0.073	0.014
15	240000	117	-0	0.072	0.013
16	250000	117	0	0.073	0.014
17	260000	117	-1	0.074	0.015
18	270000	118	-1	0.074	0.014
19	280000	118	0	0.074	0.014
20	290000	117	1	0.075	0.016
21	300000	118	1	0.075	0.015
22	511001	117	-0	0.072	0.011
23	520000	117	-0	0.072	0.012
24	530000	117	-0	0.071	0.011
25	540000	118	-1	0.072	0.012
26	686131	117	1	0.076	0.017
27	690000	118	0	0.076	0.016
28	700000	118	0	0.075	0.015
29	710000	118	1	0.075	0.015
30	720000	117	0	0.075	0.015
31	730000	117	-0	0.074	0.014
32	740000	118	-1	0.074	0.013
33	750000	118	0	0.075	0.013
34	760000	118	-0	0.075	0.013
35	770000	119	-0	0.076	0.014
36	780000	119	0	0.076	0.014
37	963810	117	0	0.094	0.035
38	970000	118	1	0.094	0.034
39	980000	119	1	0.094	0.034
40	990000	118	1	0.093	0.033
41	1000000	118	1	0.095	0.035

付表13-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-C1
 負荷応力 (MPa): 224
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	222	1	0.199	0.090
2	1000	223	-0	0.269	0.155
3	2000	223	-0	0.274	0.159
4	3000	223	0	0.277	0.162
5	4000	223	0	0.279	0.164
6	5000	223	-1	0.280	0.165
7	6000	224	-1	0.281	0.165
8	7000	224	-0	0.282	0.166
9	8000	226	0	0.283	0.168
10	9000	227	0	0.283	0.167
11	10000	227	0	0.284	0.168
12	11000	228	0	0.284	0.166
13	12000	228	-0	0.285	0.168
14	13000	228	-0	0.285	0.167
15	14000	228	0	0.285	0.167
16	15000	229	-1	0.285	0.169
17	16000	228	-1	0.286	0.171
18	17000	228	-2	0.286	0.170
19	18000	229	1	0.287	0.170
20	19000	228	0	0.288	0.169
21	20000	228	-0	0.289	0.171
22	21000	229	1	0.289	0.173
23	22000	229	0	0.289	0.172
24	23000	228	-0	0.290	0.173
25	24000	230	1	0.290	0.172
26	25000	228	0	0.292	0.175
27	26000	231	1	0.292	0.175
28	27000	230	1	0.292	0.175
29	28000	229	0	0.292	0.174
30	29000	230	1	0.292	0.174
31	30000	228	0	0.292	0.175
32	31000	231	1	0.292	0.174
33	32000	229	0	0.292	0.174
34	33000	230	0	0.292	0.175
35	34000	230	1	0.292	0.174
36	35000	229	0	0.292	0.175
37	36000	228	-1	0.292	0.174
38	37000	229	0	0.292	0.176
39	38000	228	-0	0.293	0.176
40	39000	227	-1	0.293	0.176
41	40000	227	-1	0.295	0.178
42	41000	227	-1	0.295	0.178
43	42000	226	-1	0.294	0.178
44	43000	227	-1	0.295	0.179
45	44000	226	-1	0.295	0.179
46	45000	226	-2	0.294	0.177
47	46000	226	-1	0.293	0.177
48	47000	224	-2	0.292	0.176
49	48000	225	-2	0.293	0.177
50	49000	225	-2	0.293	0.177
51	50000	224	-2	0.292	0.176
52	51000	224	-2	0.293	0.178
53	52000	224	-2	0.293	0.177
54	53000	223	-2	0.292	0.176
55	54000	224	-2	0.293	0.177
56	55000	223	-3	0.293	0.177
57	56000	224	-2	0.293	0.177

付表13-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-C1
 負荷応力 (MPa): 224
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
58	57000	224	-2	0.293	0.177
59	58000	225	-1	0.293	0.177
60	59000	224	-2	0.294	0.179
61	60000	223	-2	0.294	0.178
62	61000	223	-3	0.294	0.179
63	62000	225	-1	0.294	0.179
64	63000	224	-0	0.294	0.178
65	64000	224	0	0.295	0.180
66	65000	224	0	0.295	0.180
67	66000	224	0	0.296	0.181
68	67000	224	0	0.296	0.181
69	68000	224	-2	0.294	0.178
70	69000	227	-1	0.294	0.178
71	70000	227	-1	0.295	0.179
72	71000	226	-1	0.296	0.180
73	72000	226	-1	0.298	0.182
74	73000	225	-1	0.299	0.183
75	74000	224	-2	0.299	0.183
76	75000	223	-2	0.299	0.183
77	76000	224	-2	0.298	0.183
78	77000	224	-2	0.298	0.182
79	78000	223	-2	0.297	0.182
80	79000	223	-3	0.297	0.183
81	80000	222	-2	0.298	0.183
82	81000	222	-2	0.298	0.183
83	82000	222	-2	0.298	0.183
84	83000	225	0	0.296	0.182
85	84000	224	0	0.296	0.182
86	85000	221	-1	0.295	0.181
87	86000	219	-2	0.295	0.181
88	87000	220	-2	0.295	0.182
89	88000	222	-0	0.295	0.181
90	89000	222	0	0.295	0.181
91	90000	222	-0	0.295	0.180
92	91000	220	-2	0.295	0.182
93	92000	219	-2	0.296	0.182
94	93000	219	-2	0.296	0.182
95	94000	220	-2	0.295	0.182
96	95000	219	-2	0.295	0.181
97	96000	219	-2	0.295	0.182
98	97000	219	-2	0.295	0.182
99	98000	220	-2	0.295	0.181
100	99000	219	-2	0.295	0.181
101	100000	220	-2	0.295	0.181

付表14-1 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-C2
 最高応力 (MPa): 238
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	214	-0	0.132	0.030
2	1000	238	0	0.292	0.174
3	2000	238	0	0.303	0.185
4	3000	237	0	0.308	0.190
5	4000	237	0	0.311	0.193
6	5000	237	0	0.313	0.195
7	6000	237	0	0.315	0.197
8	7000	237	0	0.316	0.199
9	8000	237	0	0.318	0.201
10	9000	237	0	0.320	0.202
11	10000	237	0	0.321	0.204
12	11000	237	0	0.322	0.205
13	12000	237	0	0.323	0.206
14	13000	237	0	0.324	0.207
15	14000	237	0	0.325	0.208
16	15000	238	0	0.326	0.208
17	16000	238	0	0.326	0.209
18	17000	238	0	0.327	0.209
19	18000	238	0	0.327	0.210
20	19000	238	0	0.328	0.210
21	20000	238	0	0.329	0.211
22	21000	238	0	0.329	0.211
23	22000	238	0	0.329	0.211
24	23000	238	0	0.330	0.212
25	24000	238	0	0.331	0.213
26	25000	238	0	0.331	0.213
27	26000	238	0	0.331	0.214
28	27000	238	0	0.332	0.214
29	28000	238	0	0.332	0.214
30	29000	238	0	0.332	0.215
31	30000	238	0	0.332	0.215
32	31000	238	0	0.333	0.215
33	32000	238	0	0.333	0.215
34	33000	238	0	0.333	0.215
35	34000	238	0	0.333	0.216
36	35000	238	0	0.333	0.216
37	36000	238	0	0.333	0.216
38	37000	238	0	0.334	0.217
39	38000	238	0	0.333	0.216
40	39000	238	0	0.334	0.217
41	40000	238	0	0.334	0.217
42	41000	238	0	0.334	0.217
43	42000	238	0	0.334	0.217
44	43000	238	0	0.334	0.217
45	44000	238	0	0.335	0.218
46	45000	238	0	0.335	0.218
47	46000	238	0	0.335	0.217
48	47000	238	0	0.335	0.218
49	48000	239	0	0.336	0.218
50	49000	239	1	0.336	0.218
51	50000	239	0	0.336	0.218
52	51000	239	1	0.337	0.219
53	52000	239	1	0.337	0.219
54	53000	240	1	0.337	0.220
55	54000	240	1	0.338	0.220
56	55000	240	1	0.338	0.220
57	56000	240	1	0.338	0.221

付表14-2 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-C2
 最高応力 (MPa): 238
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
58	57000	240	1	0.338	0.220
59	58000	240	1	0.340	0.222
60	59000	240	2	0.342	0.224
61	60000	240	2	0.343	0.225
62	61000	242	2	0.341	0.222
63	62000	242	3	0.342	0.223
64	63000	242	3	0.342	0.223
65	64000	238	0	0.340	0.222
66	65000	238	0	0.339	0.221
67	66000	238	0	0.339	0.220
68	67000	238	0	0.338	0.220
69	68000	238	0	0.339	0.221
70	69000	239	0	0.341	0.222
71	70000	239	0	0.342	0.223
72	71000	239	0	0.342	0.223
73	72000	239	0	0.343	0.224
74	73000	239	0	0.341	0.223
75	74000	239	0	0.342	0.224
76	75000	239	-0	0.342	0.224
77	76000	239	-0	0.344	0.225
78	77000	239	-1	0.343	0.225
79	78000	239	-1	0.345	0.226
80	79000	239	-1	0.345	0.226
81	80000	239	-1	0.344	0.226
82	81000	239	-1	0.344	0.226
83	82000	239	-1	0.345	0.226
84	83000	239	-1	0.345	0.226
85	84000	239	-1	0.346	0.227
86	85000	239	-1	0.345	0.226
87	86000	239	-1	0.345	0.226
88	87000	239	-1	0.347	0.228
89	88000	239	-1	0.346	0.228
90	89000	239	-1	0.346	0.227
91	90000	238	-1	0.346	0.227
92	91000	238	-1	0.346	0.227
93	92000	241	0	0.346	0.227
94	93000	237	-2	0.346	0.228
95	94000	240	0	0.346	0.227
96	95000	237	-1	0.345	0.226
97	96000	234	-2	0.344	0.226
98	97000	235	-2	0.343	0.226
99	98000	235	-3	0.345	0.227
100	99000	239	-1	0.346	0.227
101	100000	237	-0	0.344	0.228

付表15 繰返し負荷試験結果

TP.No. = 316-C3
 繰り返し力 (MPa): 159
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	158	0	0.089	0.012
2	10000	159	1	0.108	0.030
3	20000	158	1	0.110	0.032
4	30000	158	0	0.110	0.032
5	40000	157	0	0.110	0.032
6	50000	157	0	0.111	0.033
7	60000	157	-0	0.111	0.033
8	70000	157	1	0.112	0.034
9	80000	157	0	0.112	0.035
10	90000	157	0	0.113	0.035
11	100000	158	1	0.114	0.036
12	278500	159	-1	0.117	0.038
13	280000	159	-0	0.116	0.037
14	290000	159	-0	0.116	0.036
15	300000	159	-1	0.116	0.036
16	505950	159	0	0.126	0.047
17	510000	160	0	0.126	0.048
18	520000	159	-1	0.128	0.048
19	530000	159	0	0.128	0.048
20	540000	159	1	0.128	0.049
21	550000	159	-0	0.128	0.049
22	560000	159	-1	0.127	0.048
23	570000	159	0	0.127	0.048
24	580000	159	0	0.128	0.049
25	590000	159	0	0.128	0.049
26	742400	159	1	0.124	0.048
27	750000	158	2	0.124	0.049
28	760000	157	0	0.125	0.048
29	770000	157	-1	0.125	0.050
30	981000	159	0	0.138	0.062
31	990000	159	1	0.137	0.060
32	1000000	159	0	0.137	0.060

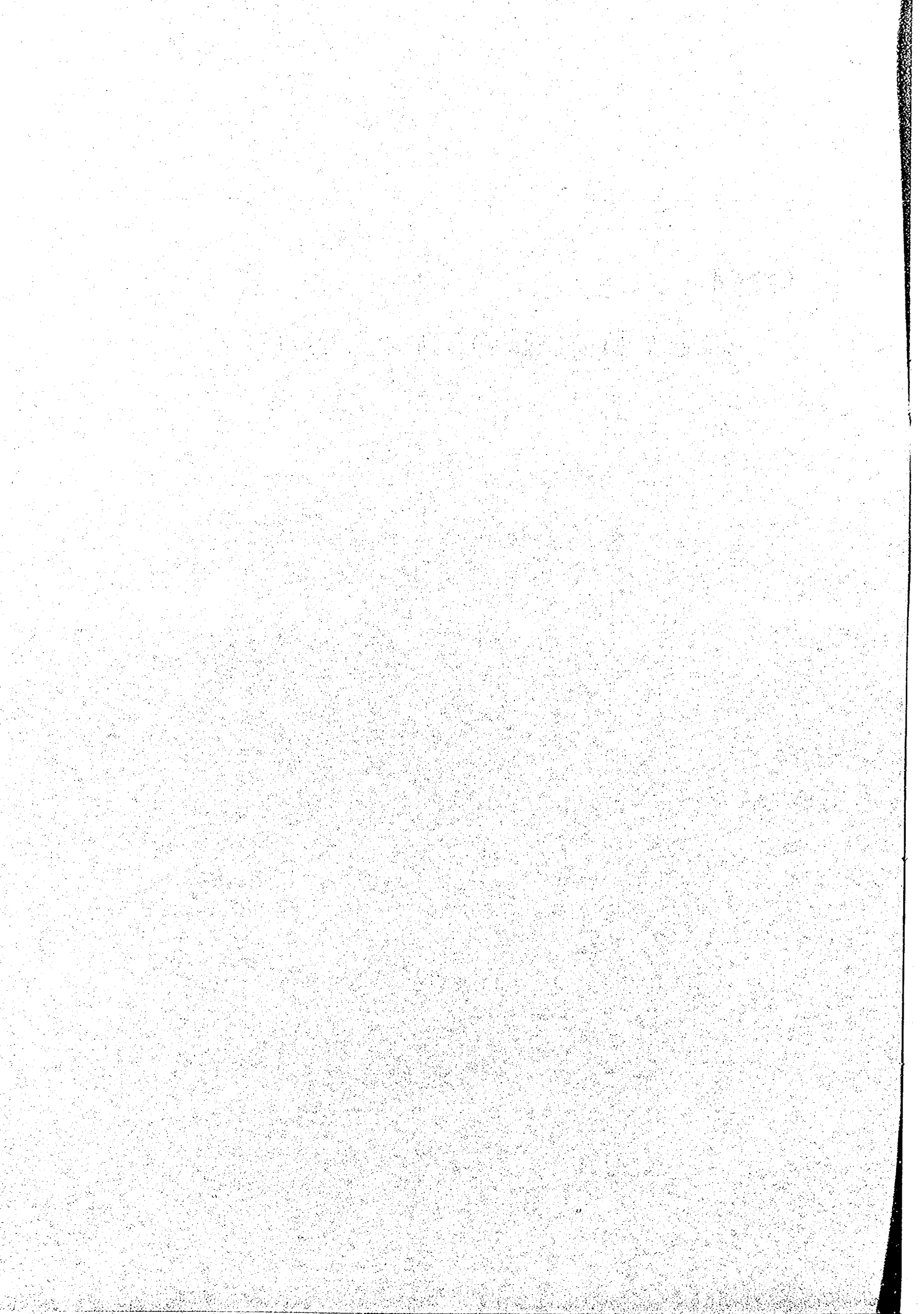
付表16 繰返し負荷試験結果

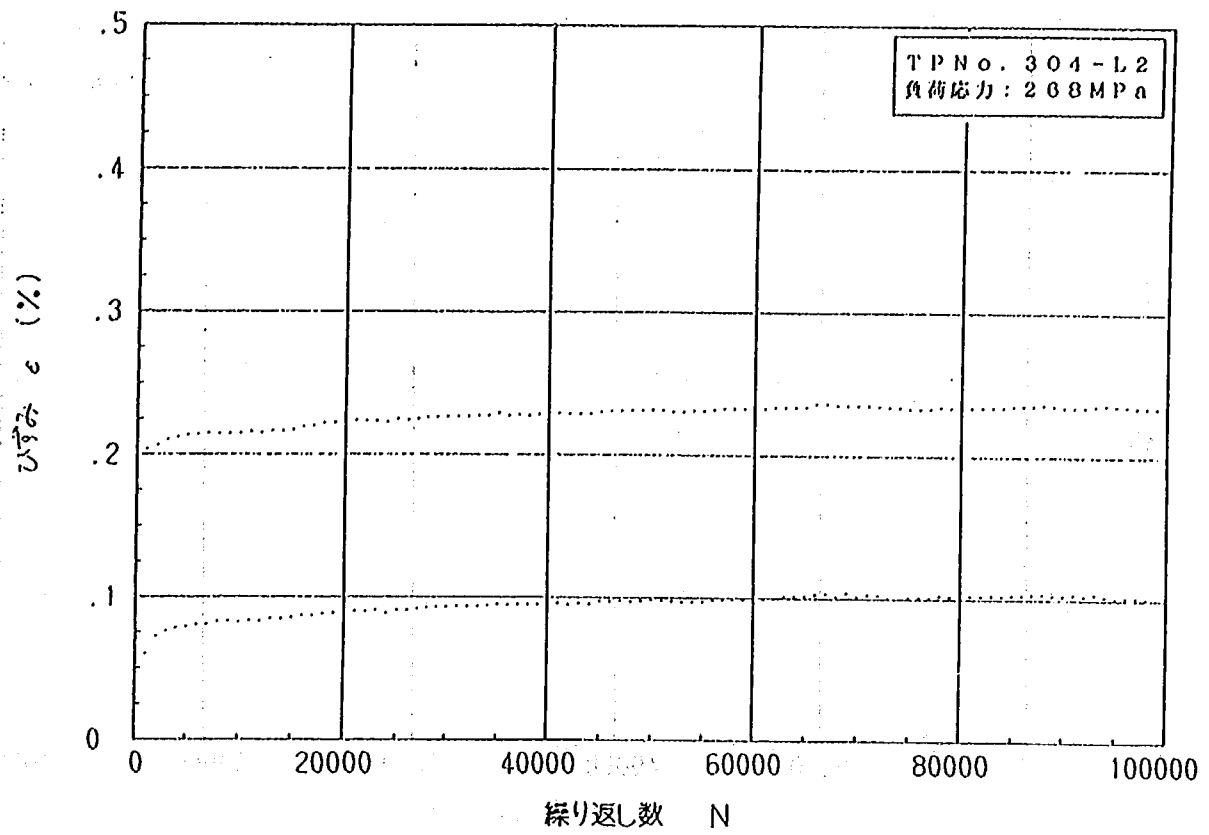
TP.No. = 316-C4
 繰り返し力 (MPa): 119
 G L (mm): 21

N	回数 (cycle)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	最大歪 (%)	最小歪 (%)
1	1	117	1	0.064	0.005
2	10000	117	-1	0.084	0.022
3	20000	118	-0	0.090	0.029
4	30000	118	-0	0.092	0.031
5	40000	119	-0	0.097	0.037
6	50000	118	-0	0.099	0.039
7	60000	118	-0	0.101	0.042
8	70000	119	0	0.103	0.042
9	80000	120	-0	0.104	0.043
10	90000	118	0	0.103	0.043
11	100000	118	0	0.104	0.043
12	110000	120	0	0.105	0.042
13	335270	119	0	0.099	0.037
14	340000	118	0	0.098	0.036
15	350000	118	0	0.099	0.038
16	478680	118	0	0.091	0.029
17	480000	119	-0	0.092	0.029
18	490000	119	-0	0.091	0.031
19	500000	119	1	0.090	0.029
20	684800	118	1	0.083	0.021
21	690000	118	1	0.082	0.021
22	700000	118	1	0.084	0.022
23	930000	121	0	0.112	0.051
24	940000	119	0	0.112	0.051
25	950000	118	-0	0.113	0.052
26	960000	119	-0	0.112	0.052
27	970000	119	-0	0.112	0.053
28	980000	119	0	0.110	0.051
29	990000	119	0	0.109	0.049
30	1000000	120	1	0.109	0.049

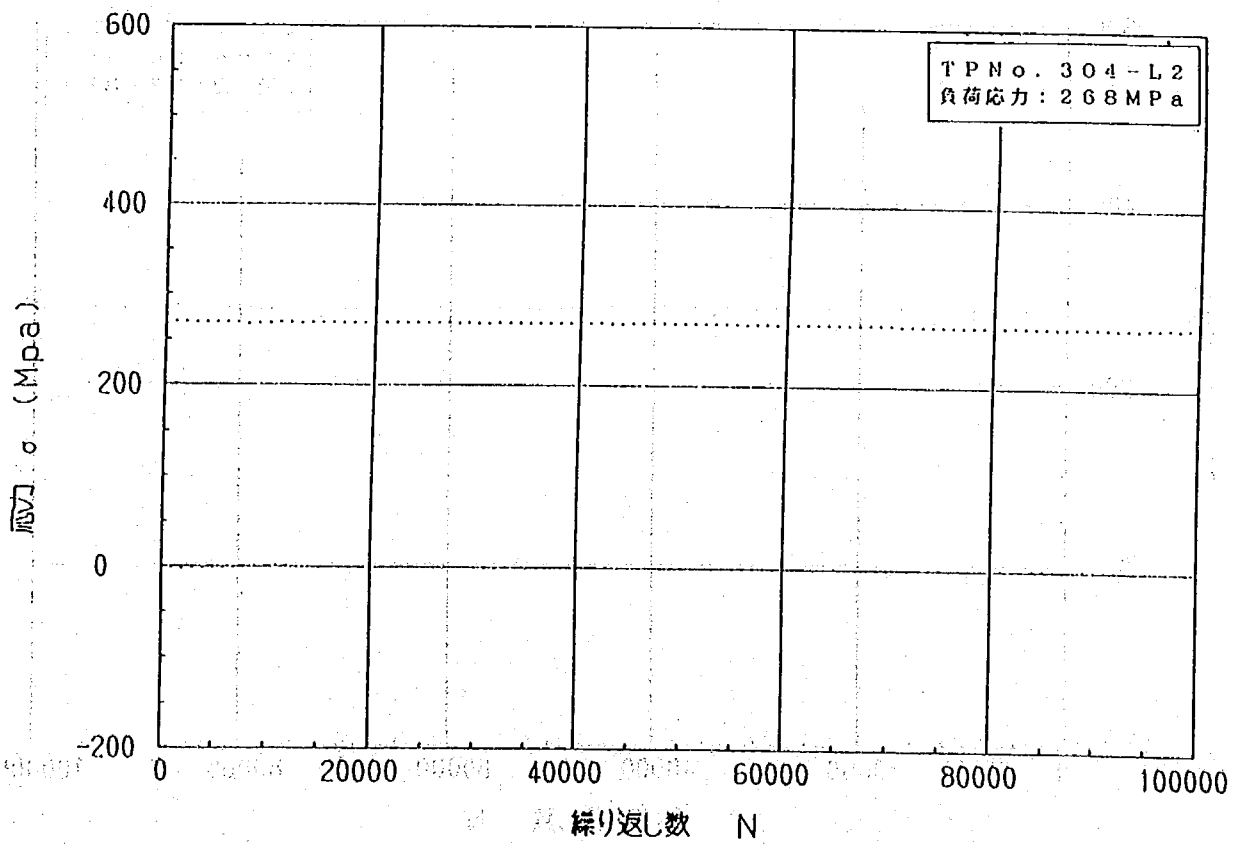
付録 4

繰返し負荷試験のひずみと応力のグラフ

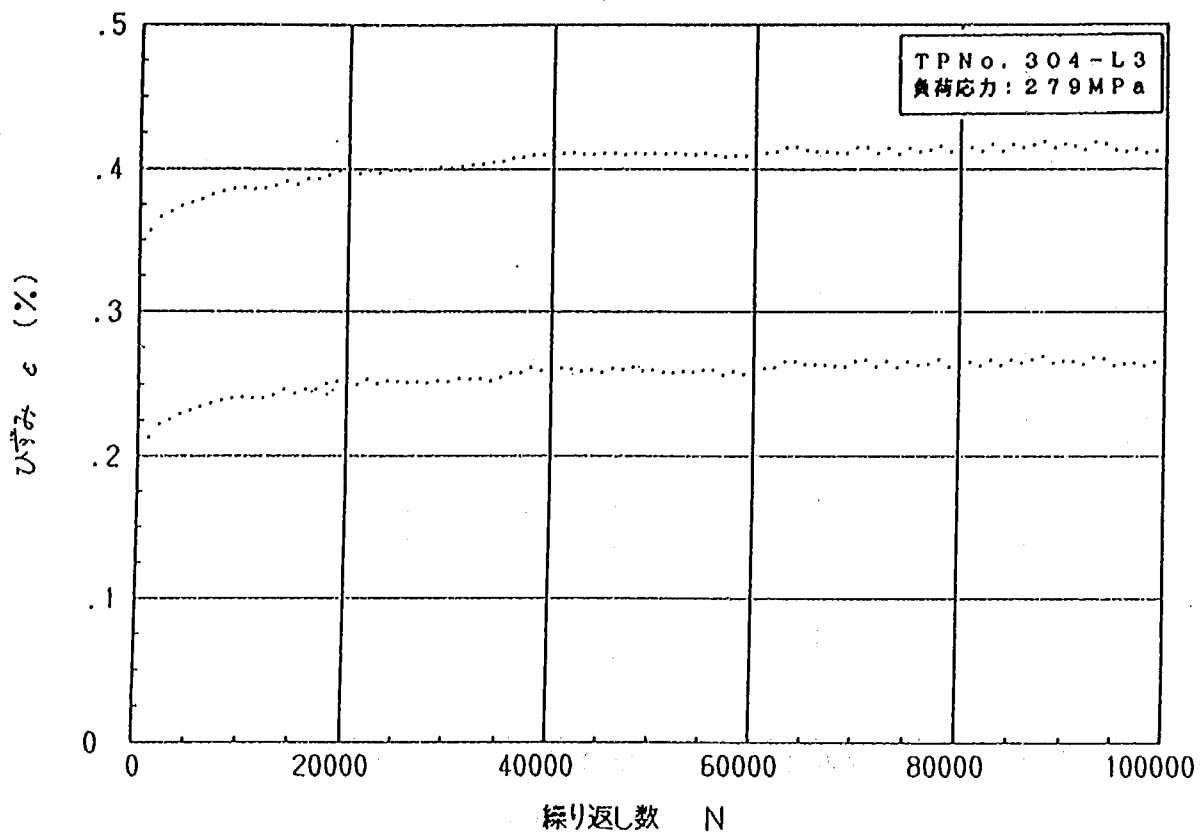




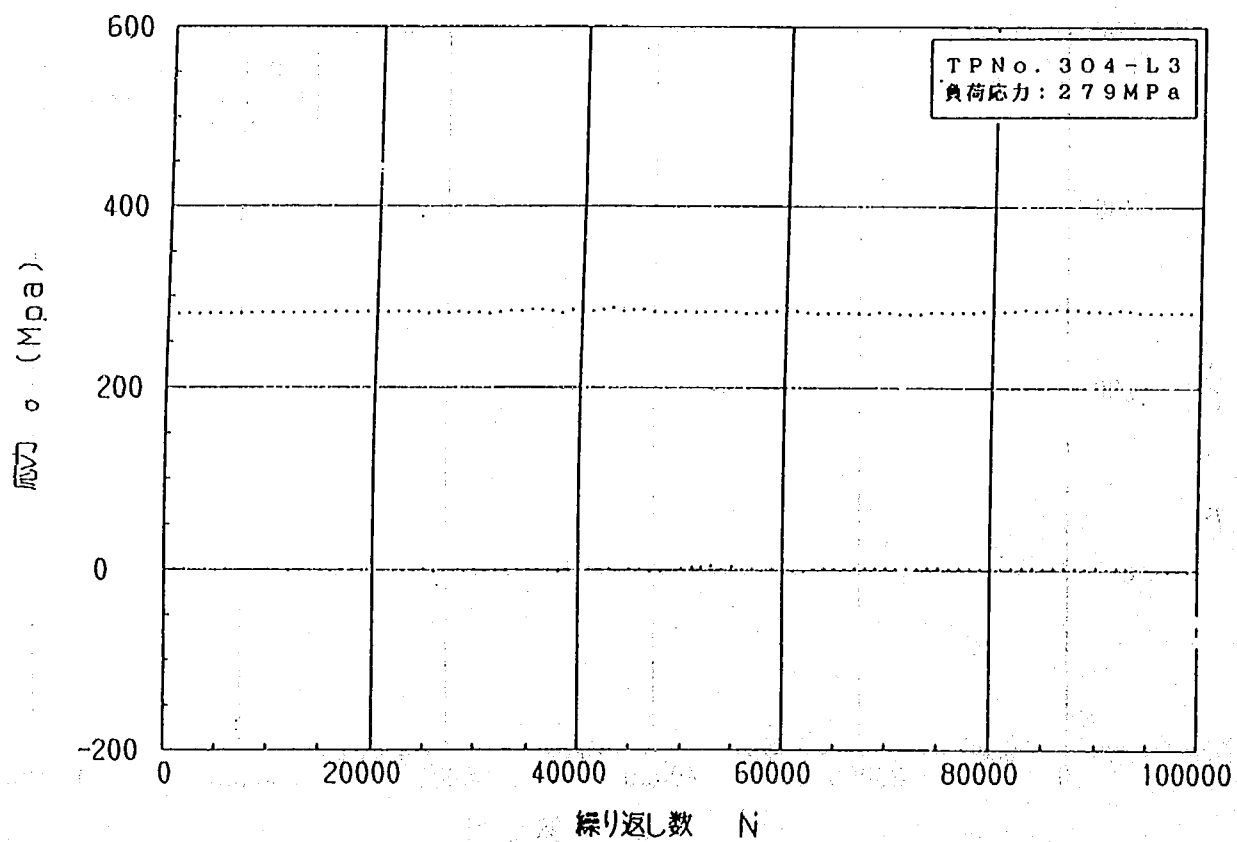
付図1-1 繰返し数とひずみの関係



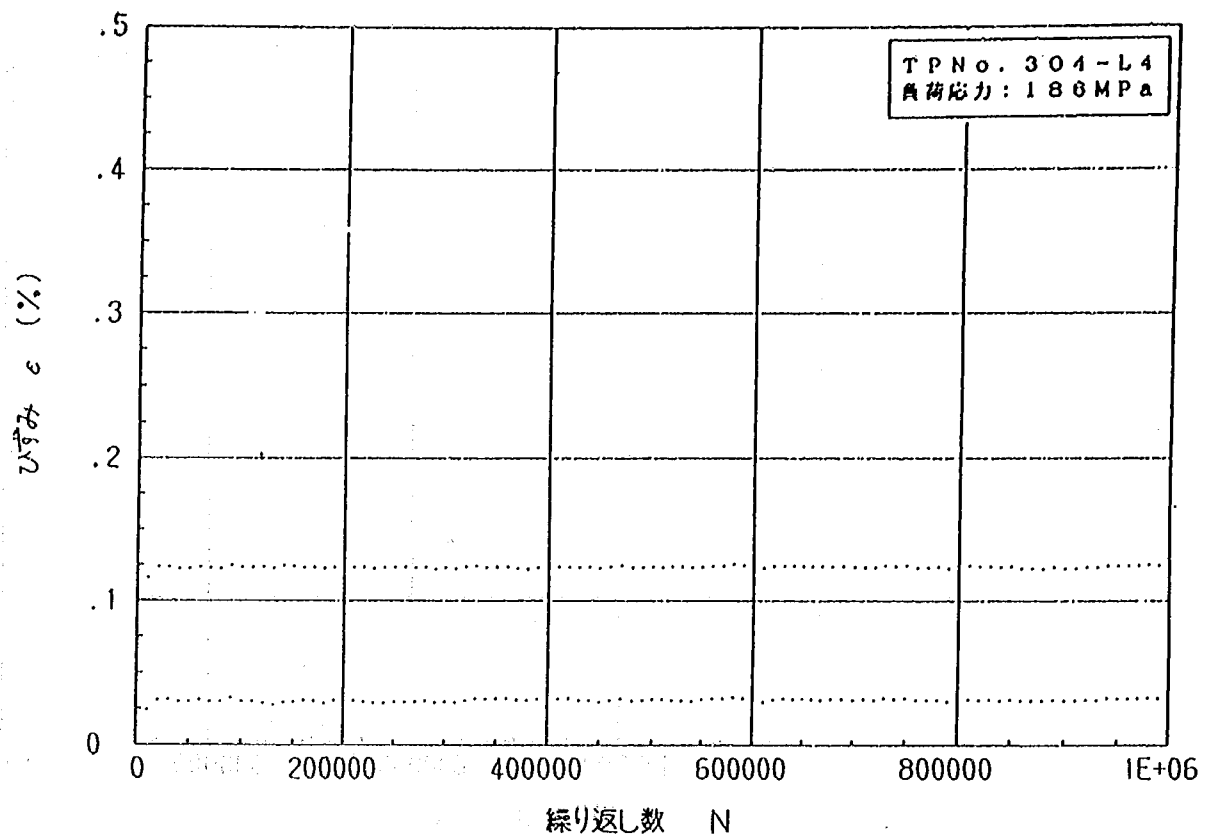
付図1-2 繰返し数と応力振幅の関係



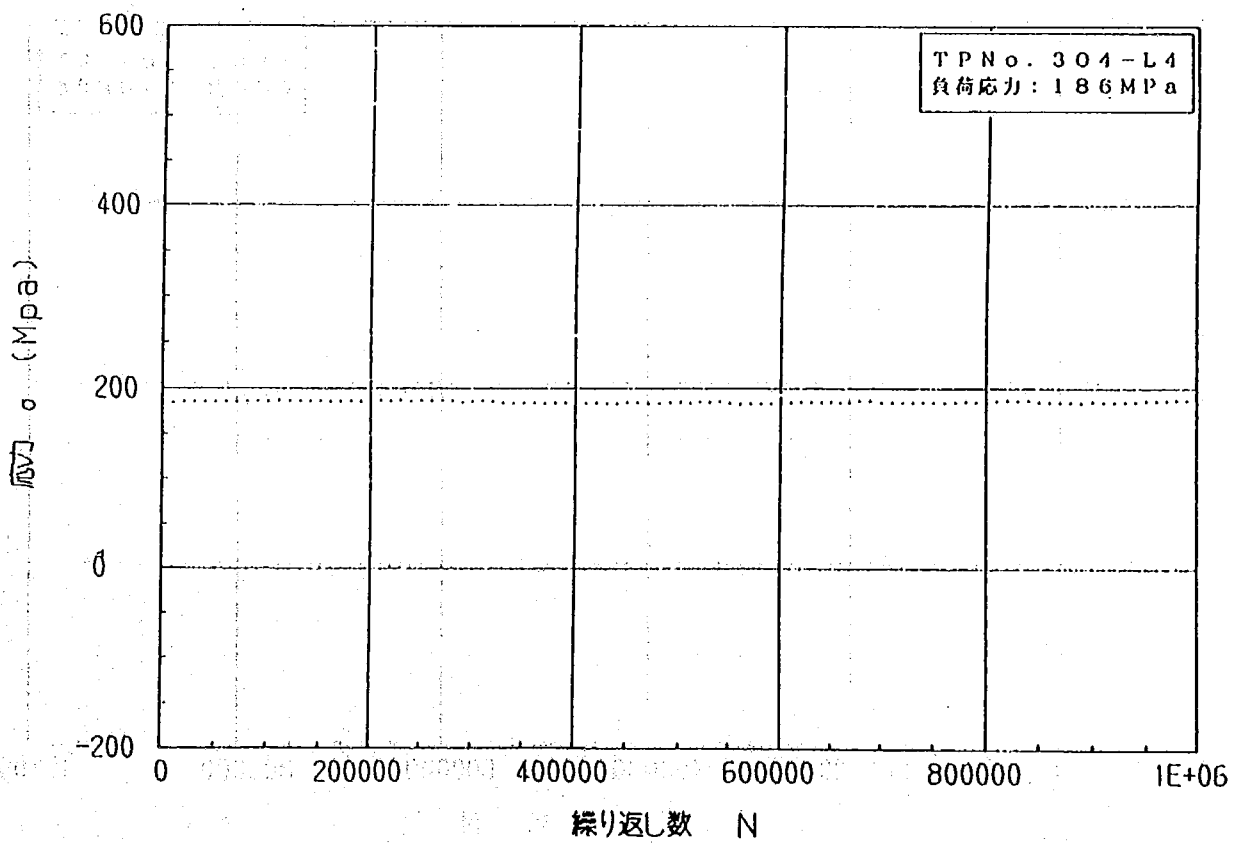
付図2-1 繰返し数とひずみの関係



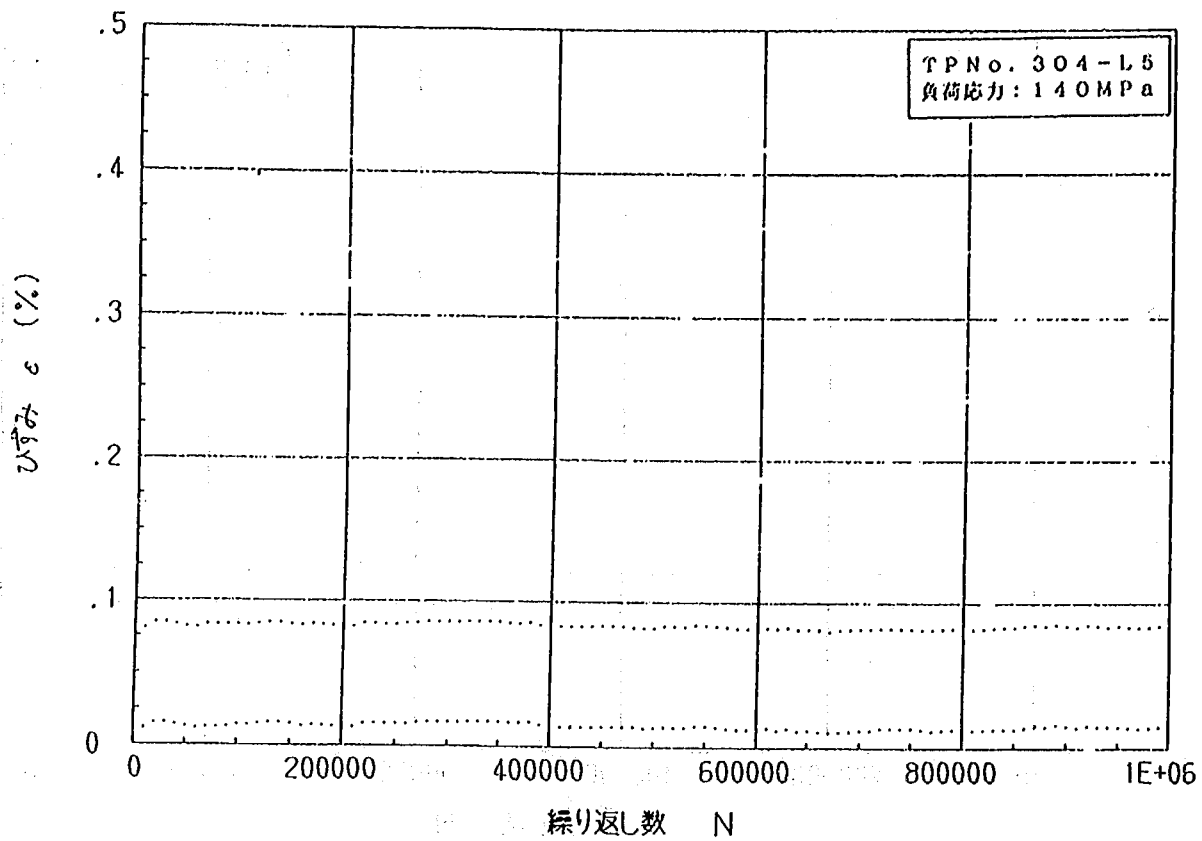
付図2-2 繰返し数と応力の関係



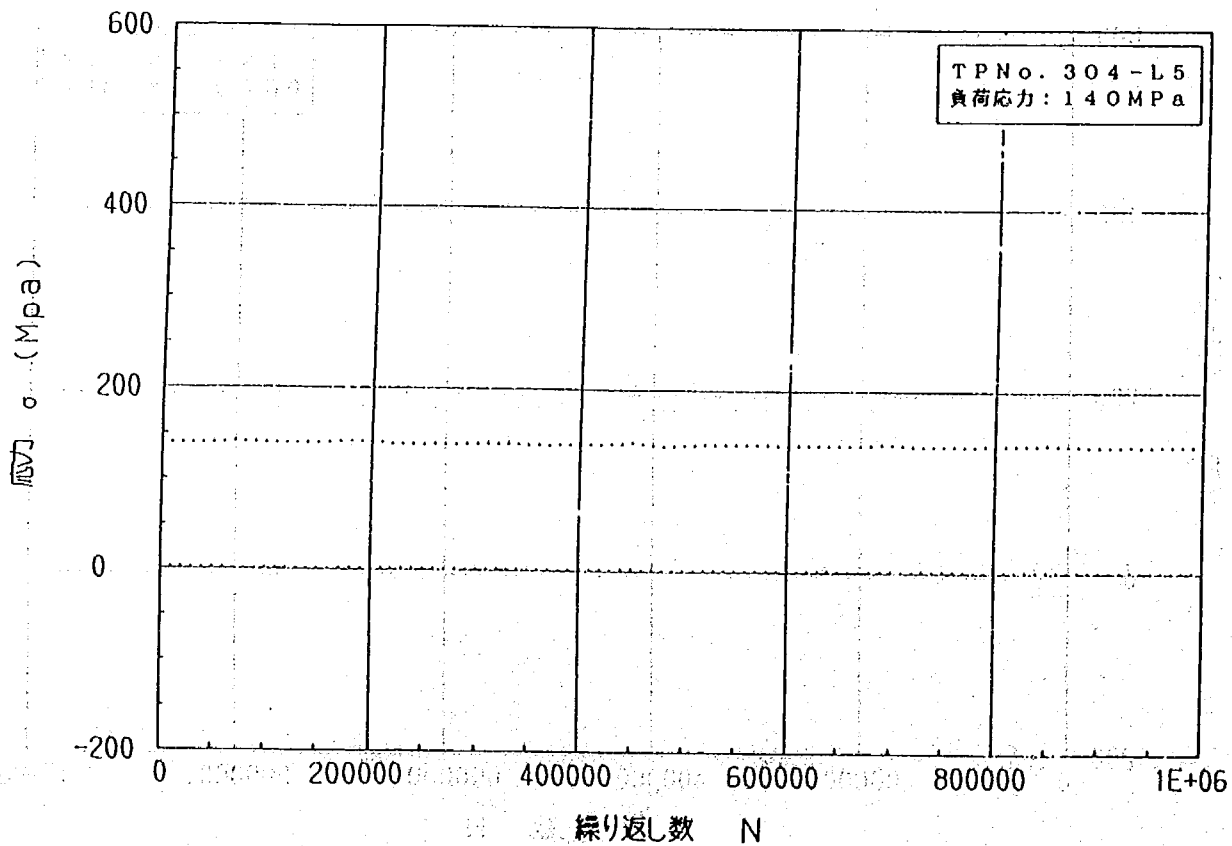
付図3-1 繰返し数とひずみの関係



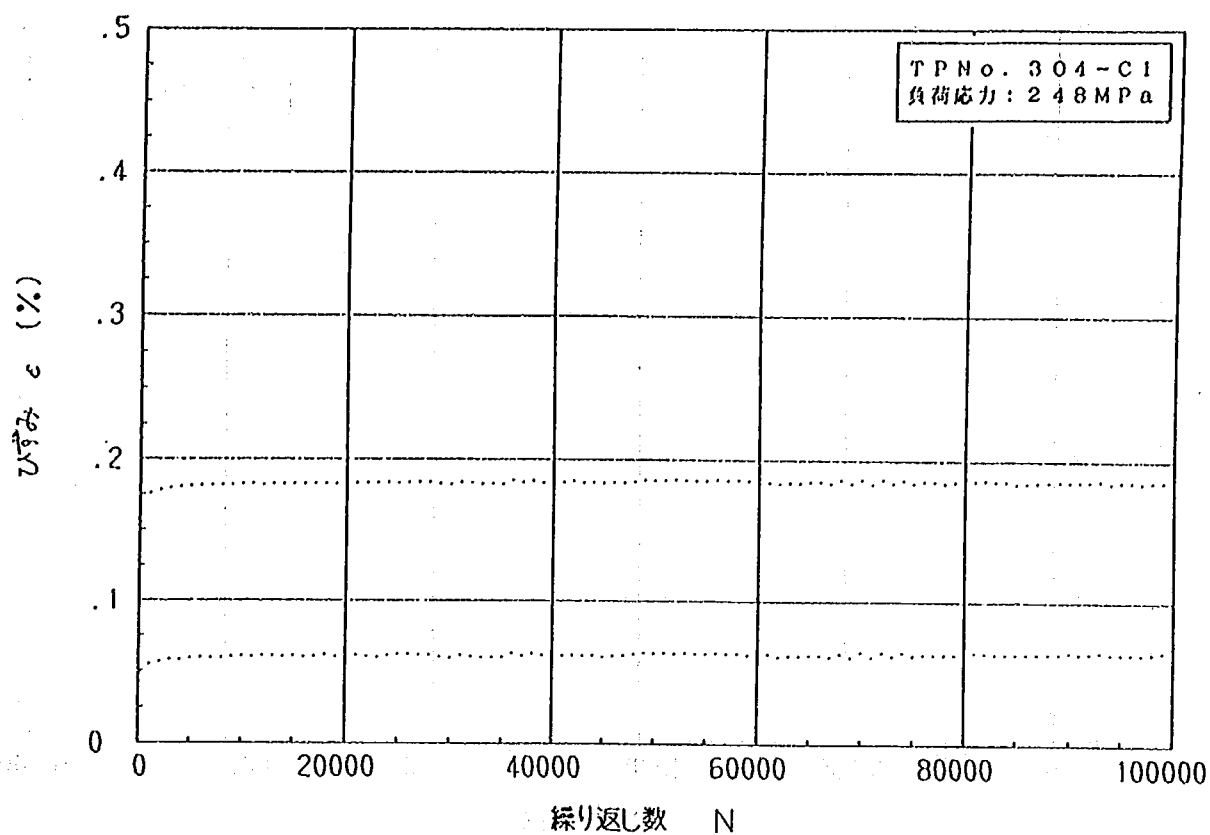
付図3-2 繰返し数と応力の関係



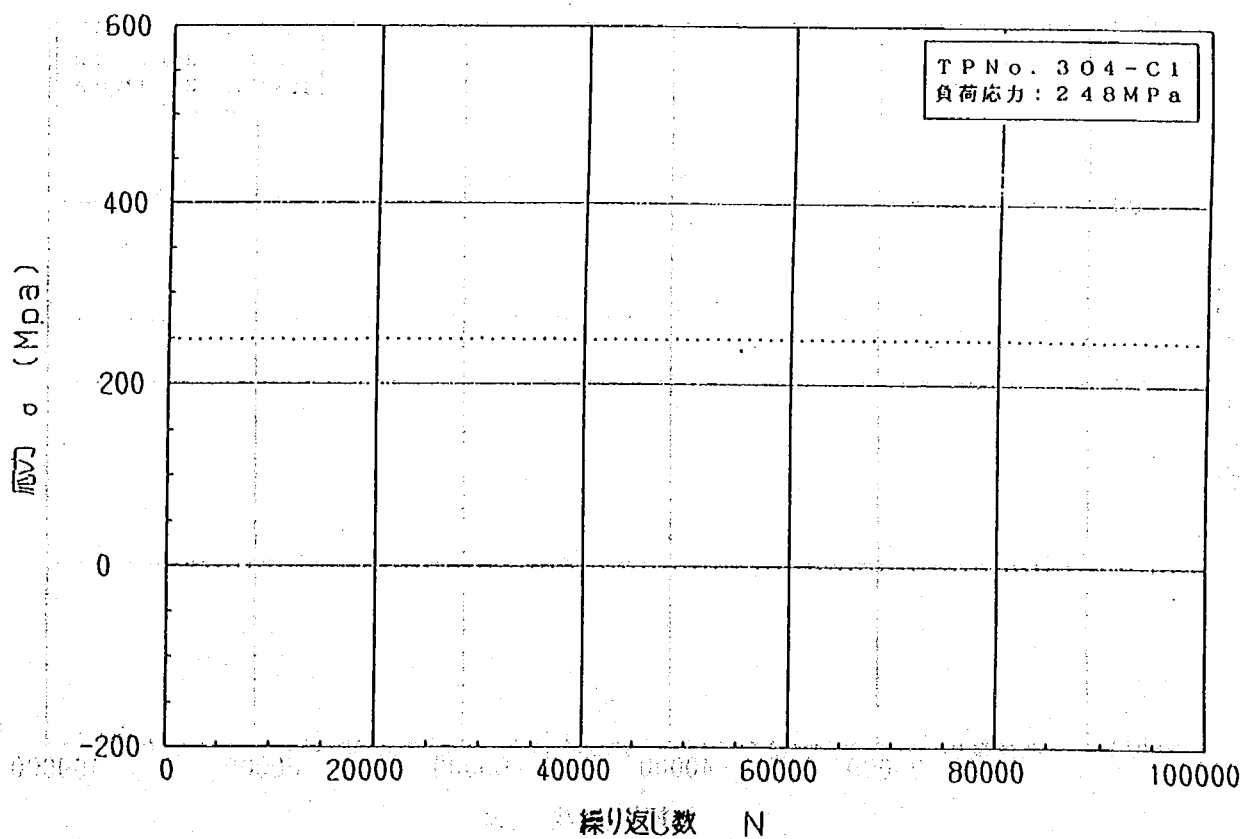
付図4-1 繰返し数とひずみの関係



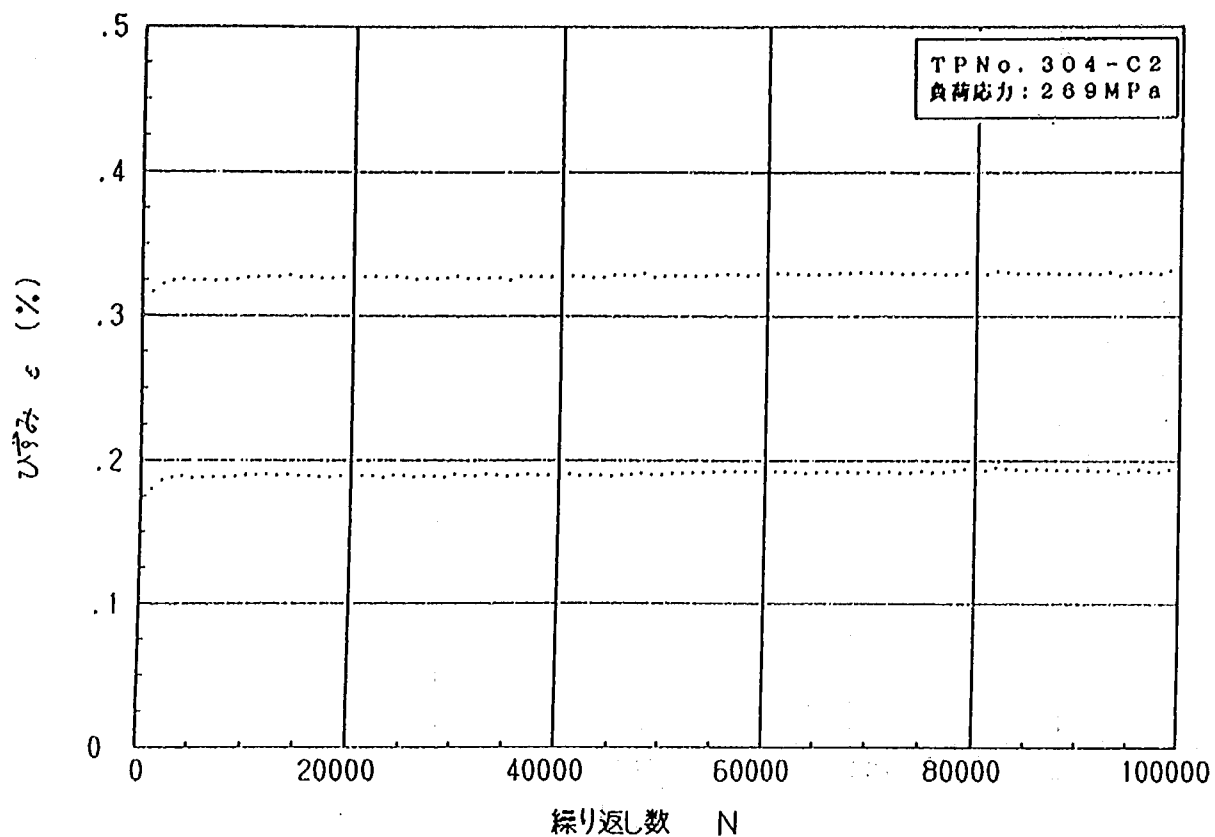
付図4-2 繰返し数と応力の関係



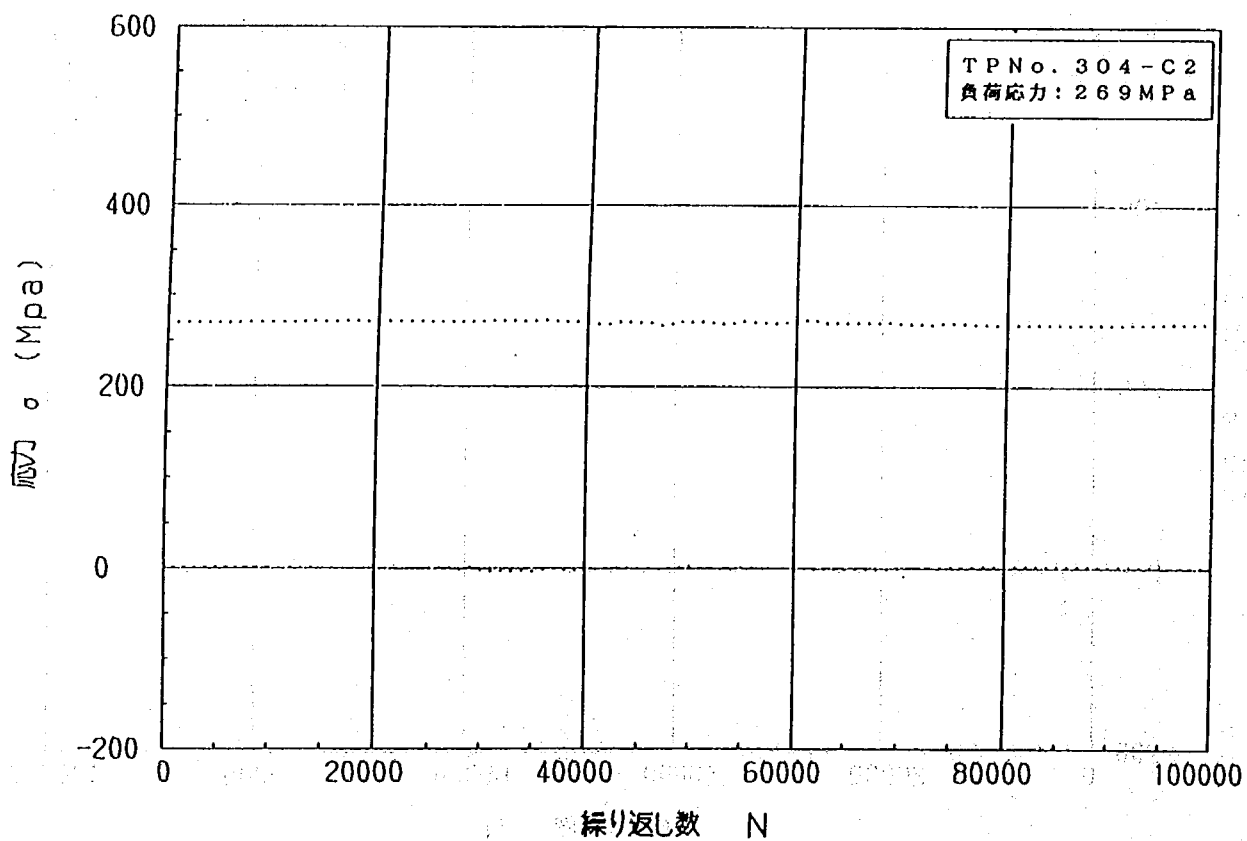
付図5-1 繰返し数とひずみの関係



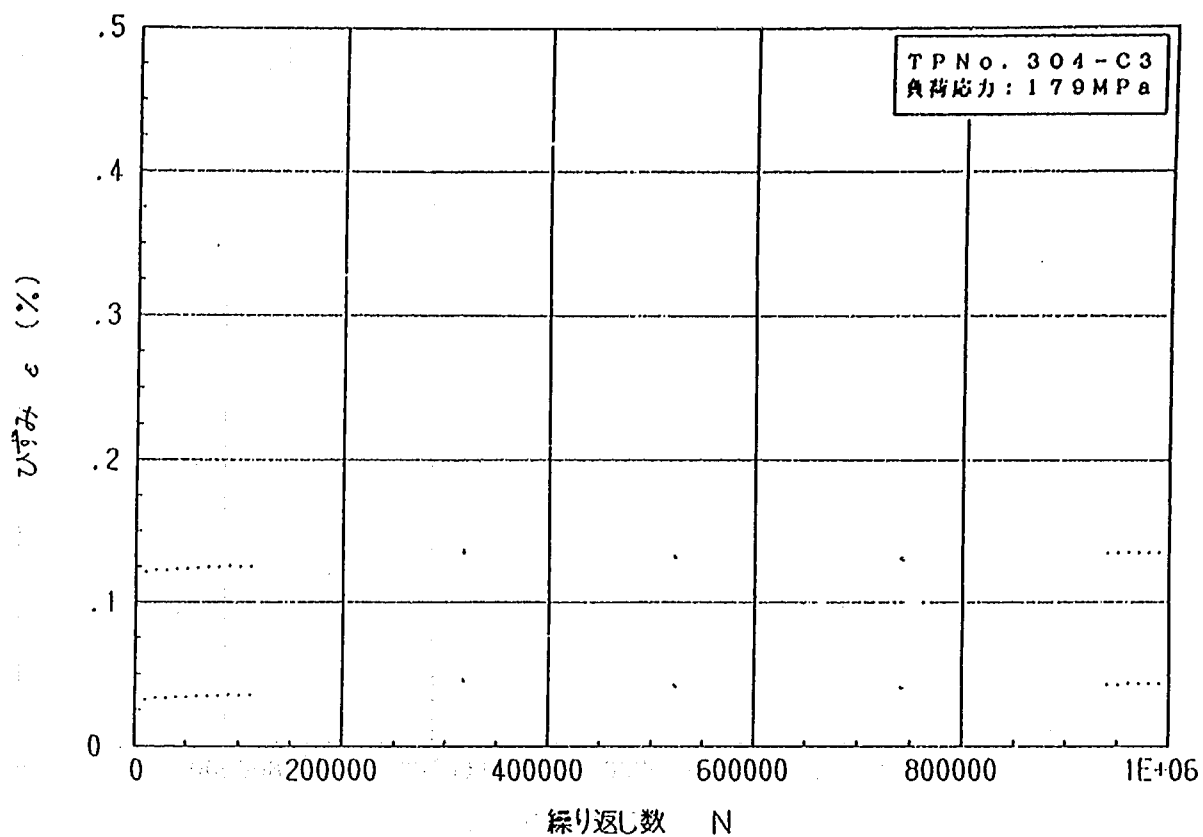
付図5-2 繰返し数と応力振幅の関係



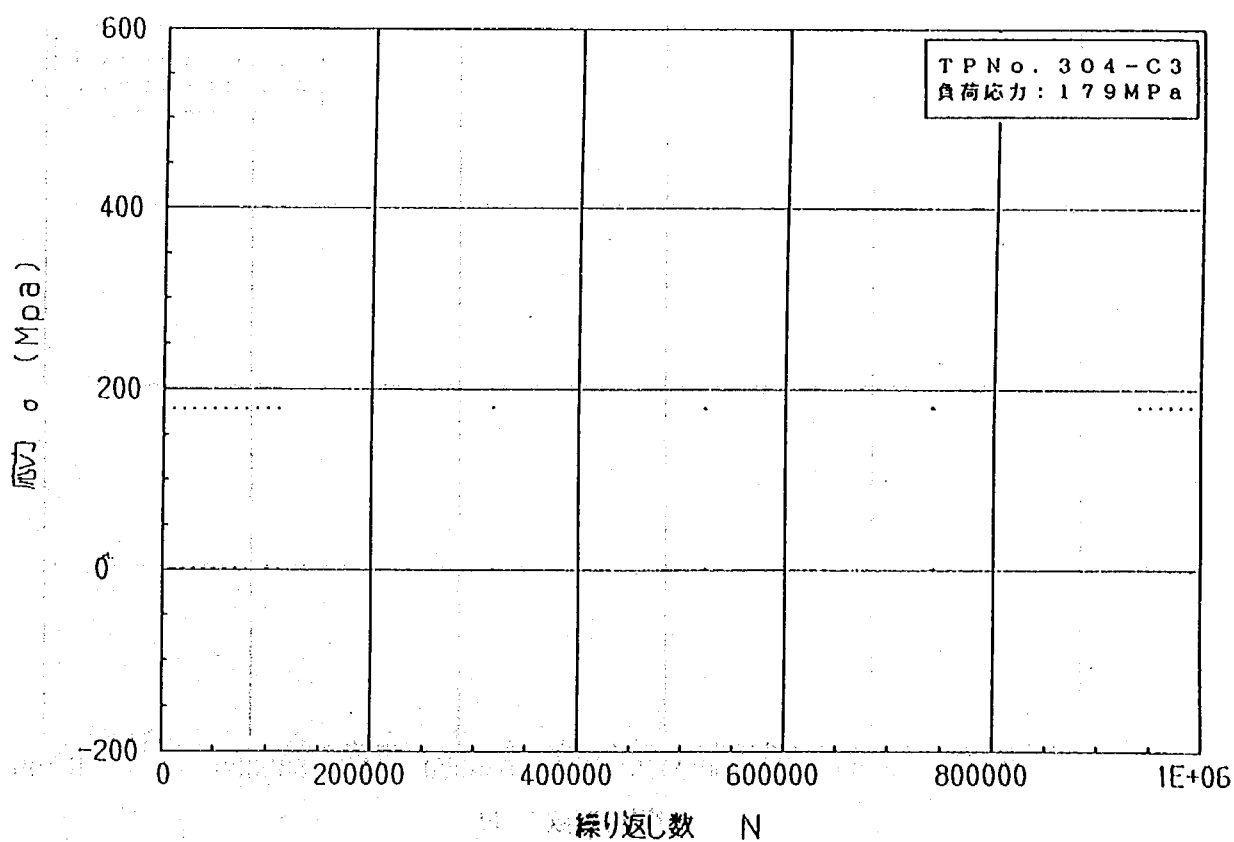
付図6-1 繰返し数とひずみの関係



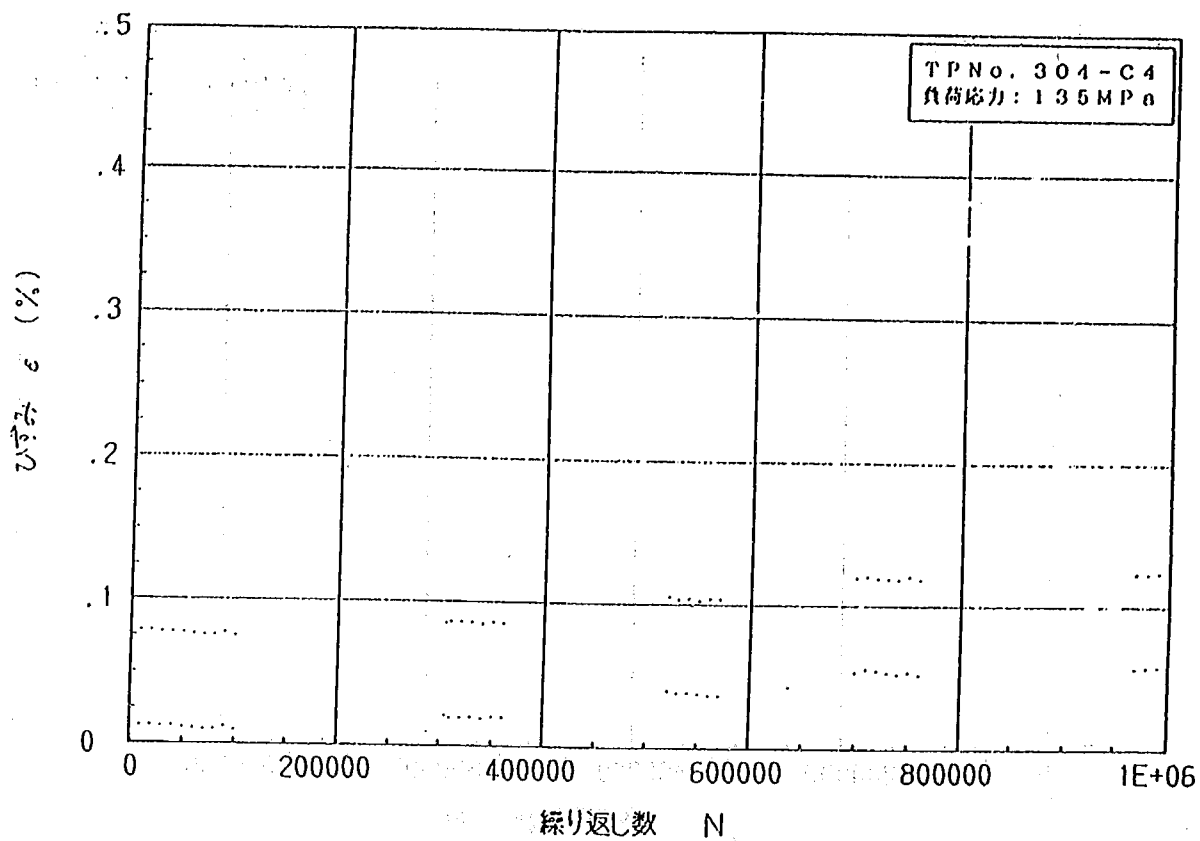
付図6-2 繰返し数と応力の関係



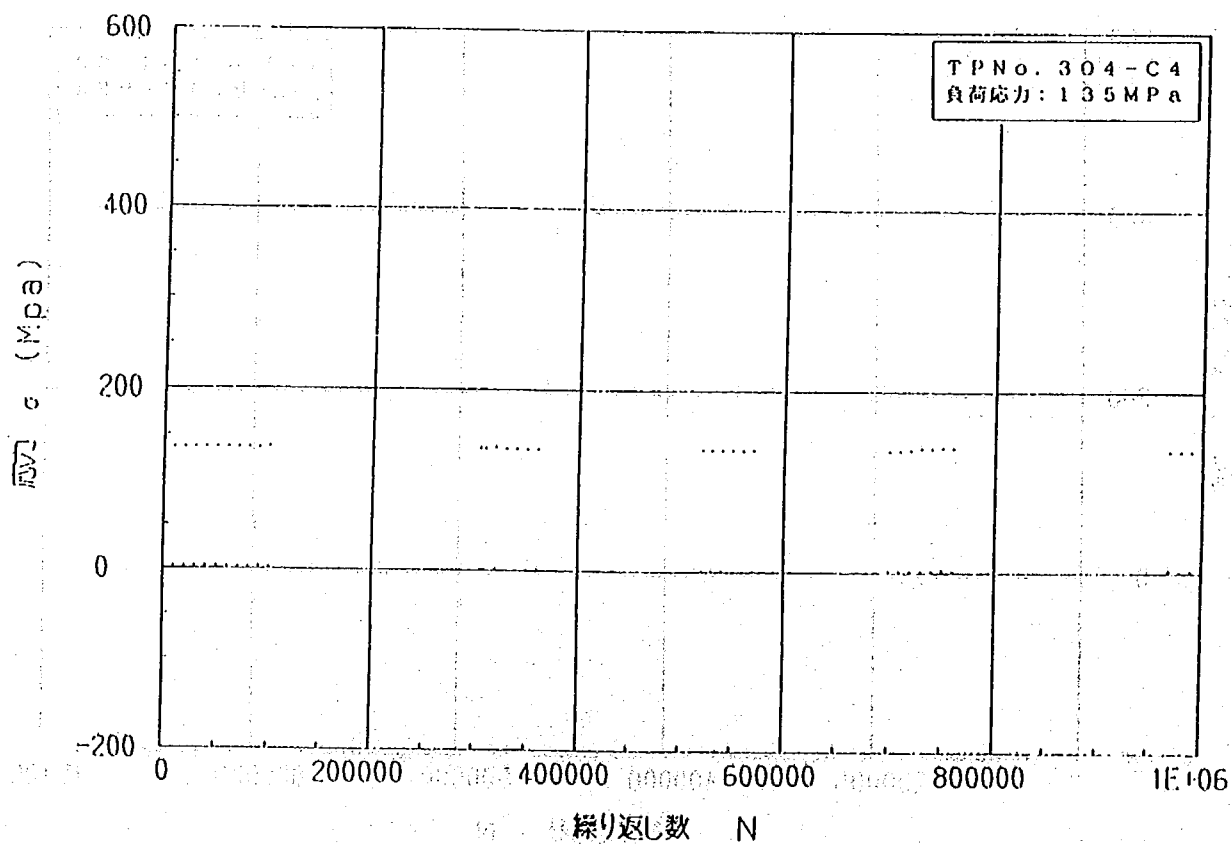
付図7-1 繰返し数とひずみの関係



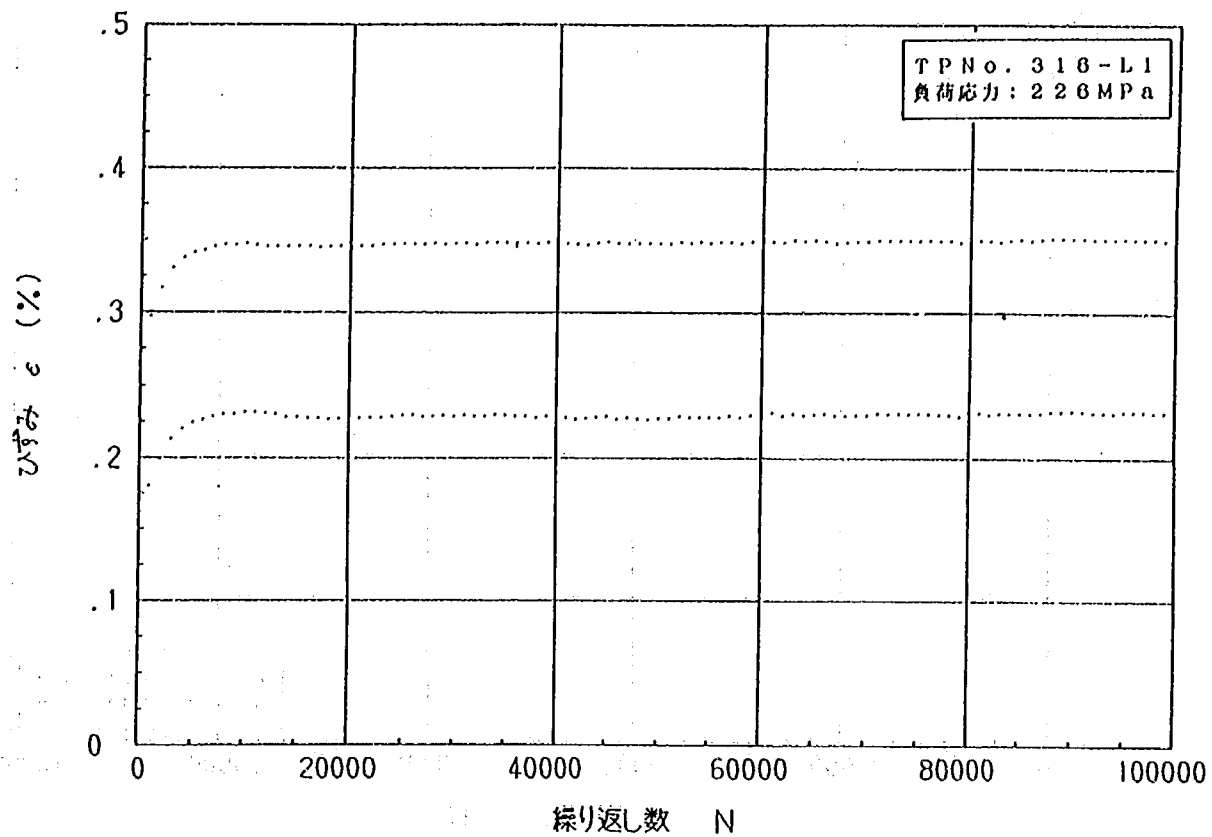
付図7-2 繰返し数と応力の関係



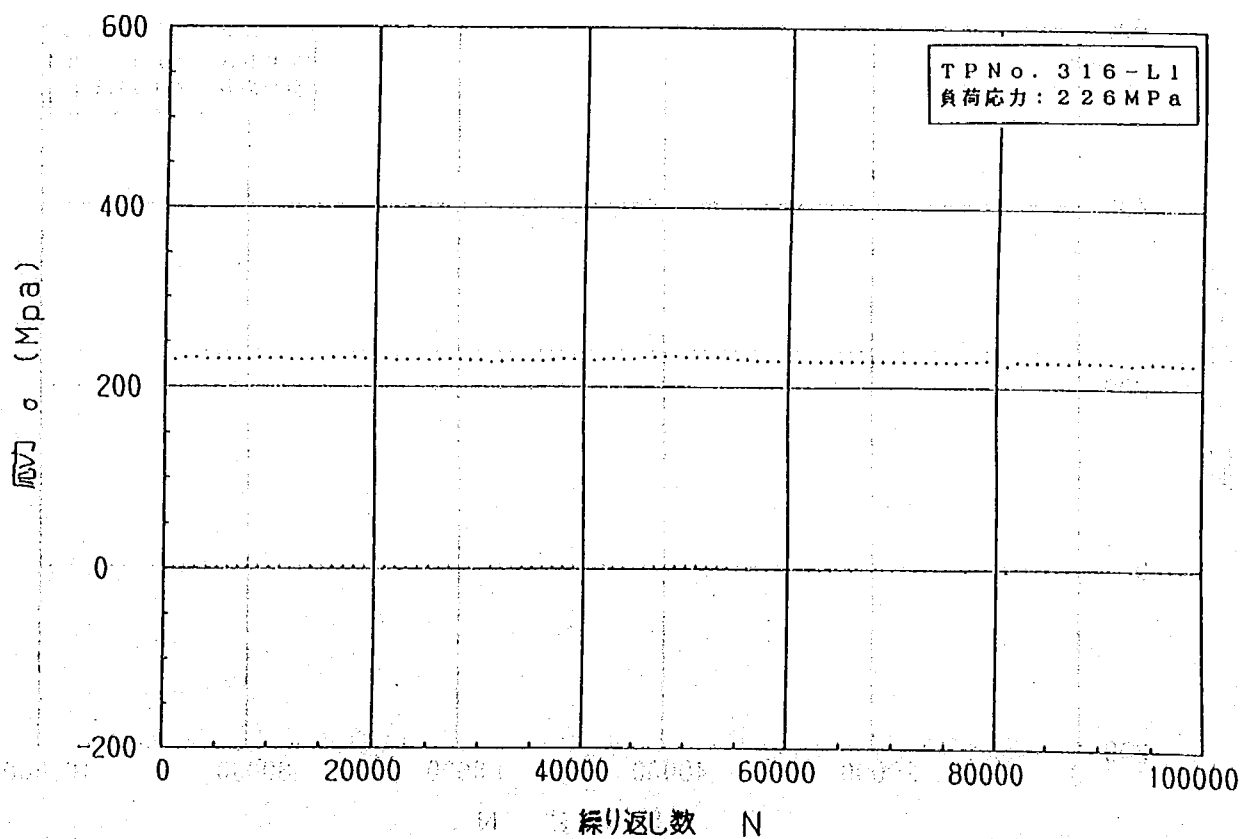
付図8-1 繰返し数とひずみの関係



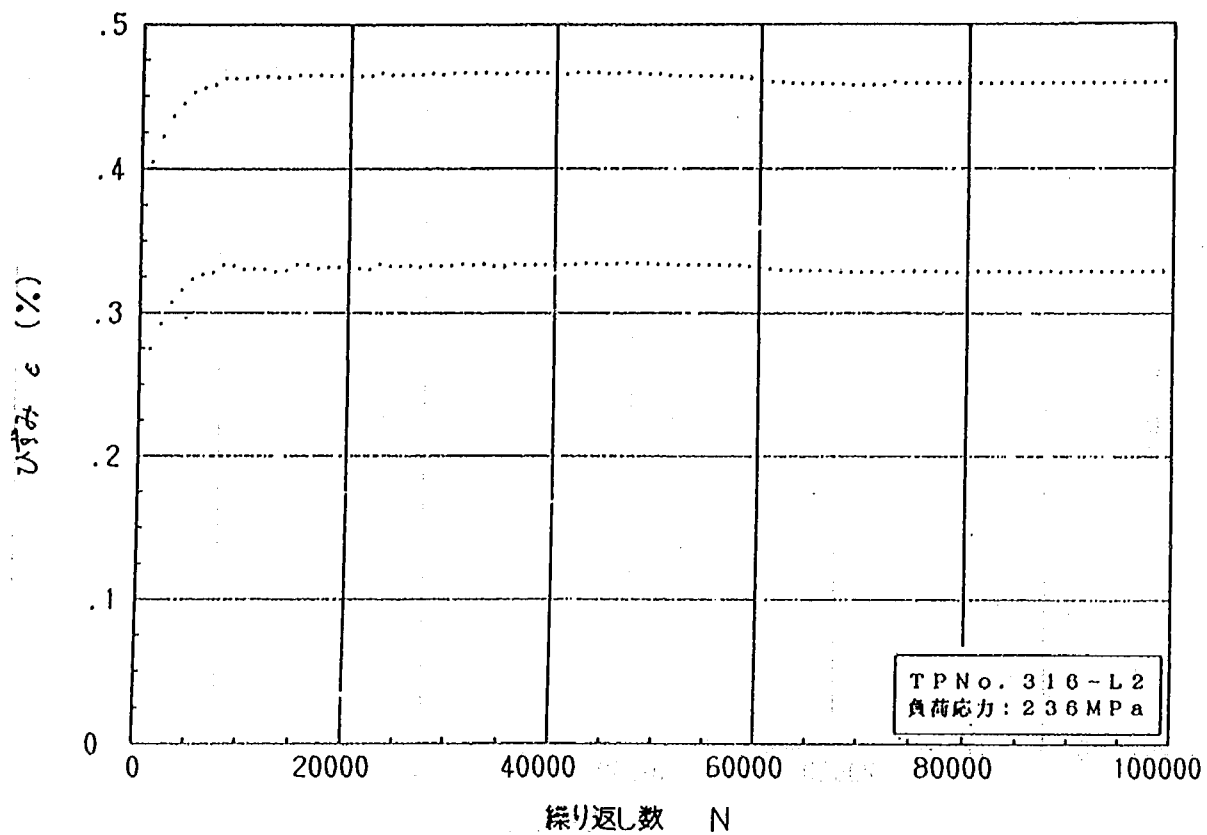
付図8-2 繰返し数と応力の関係



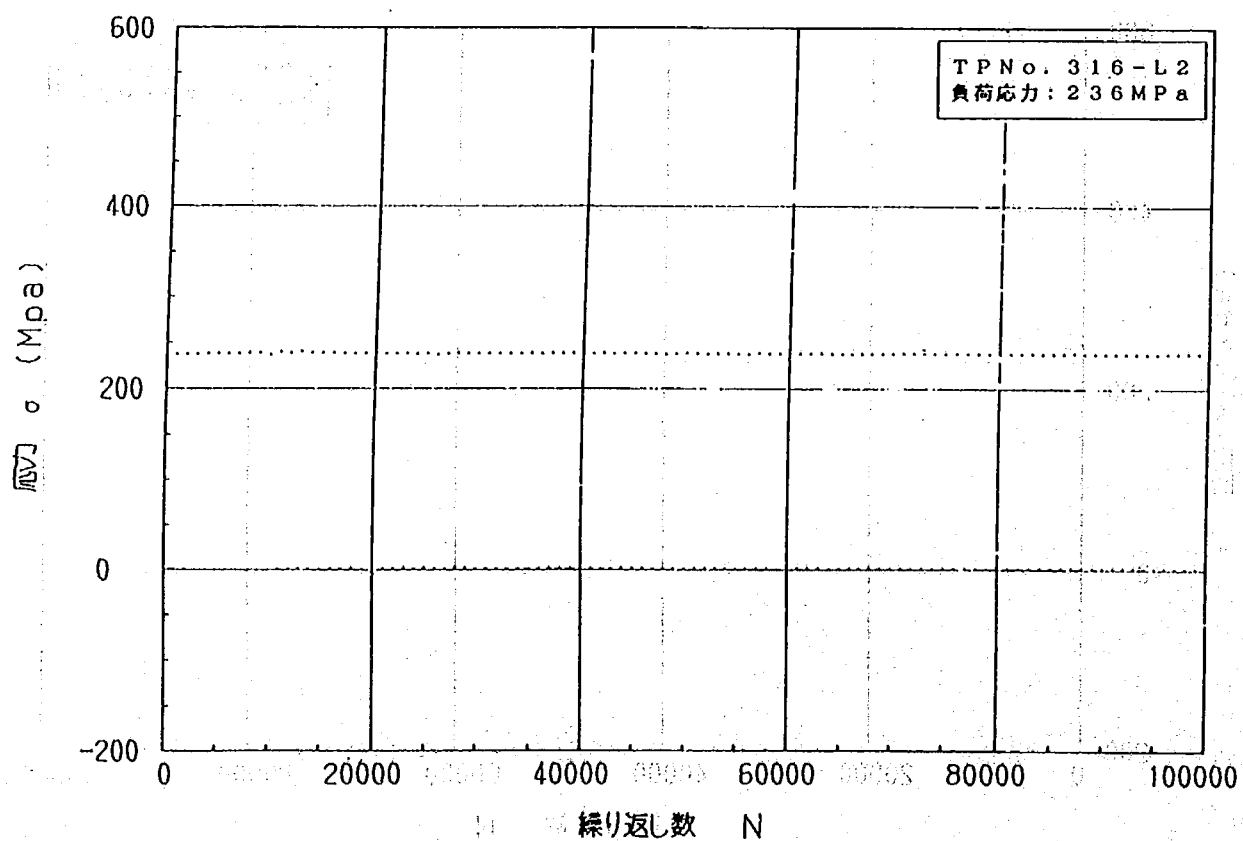
付図9-1 繰返し数とひずみの関係



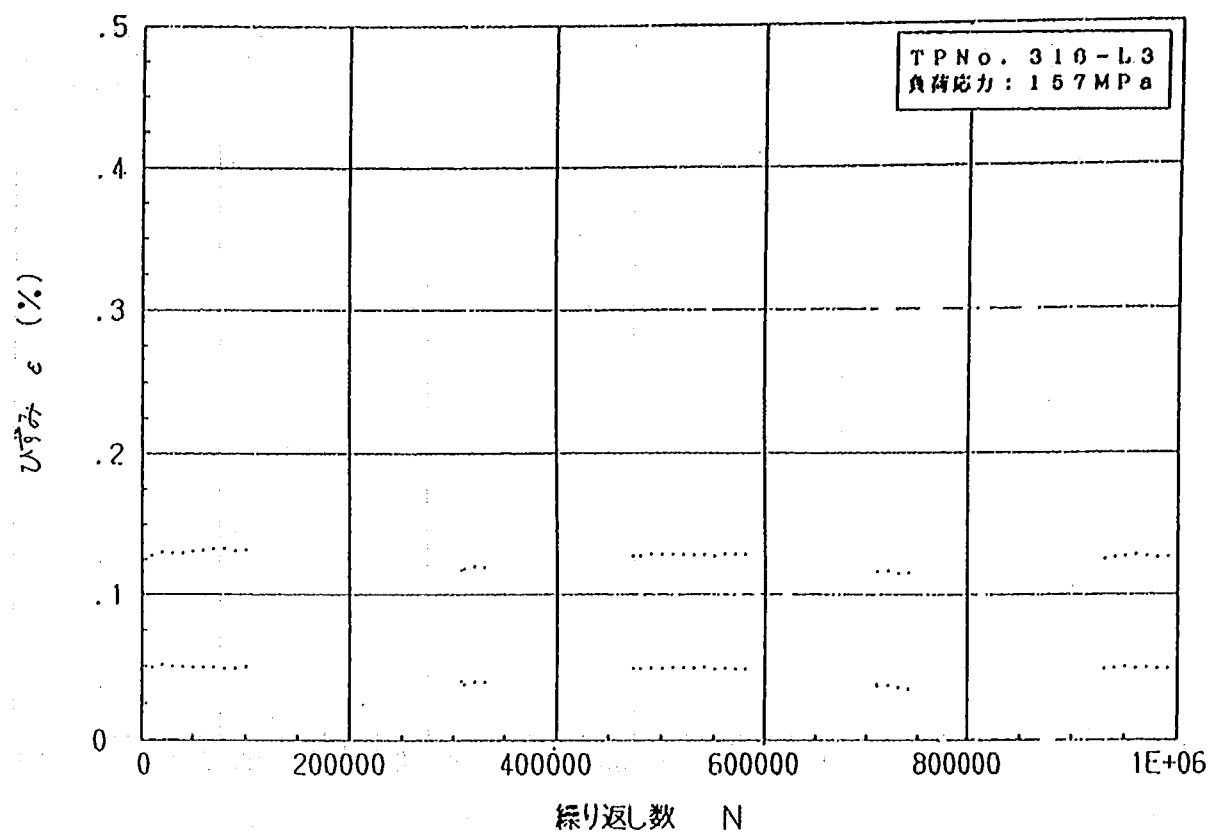
付図9-2 繰返し数と応力の関係



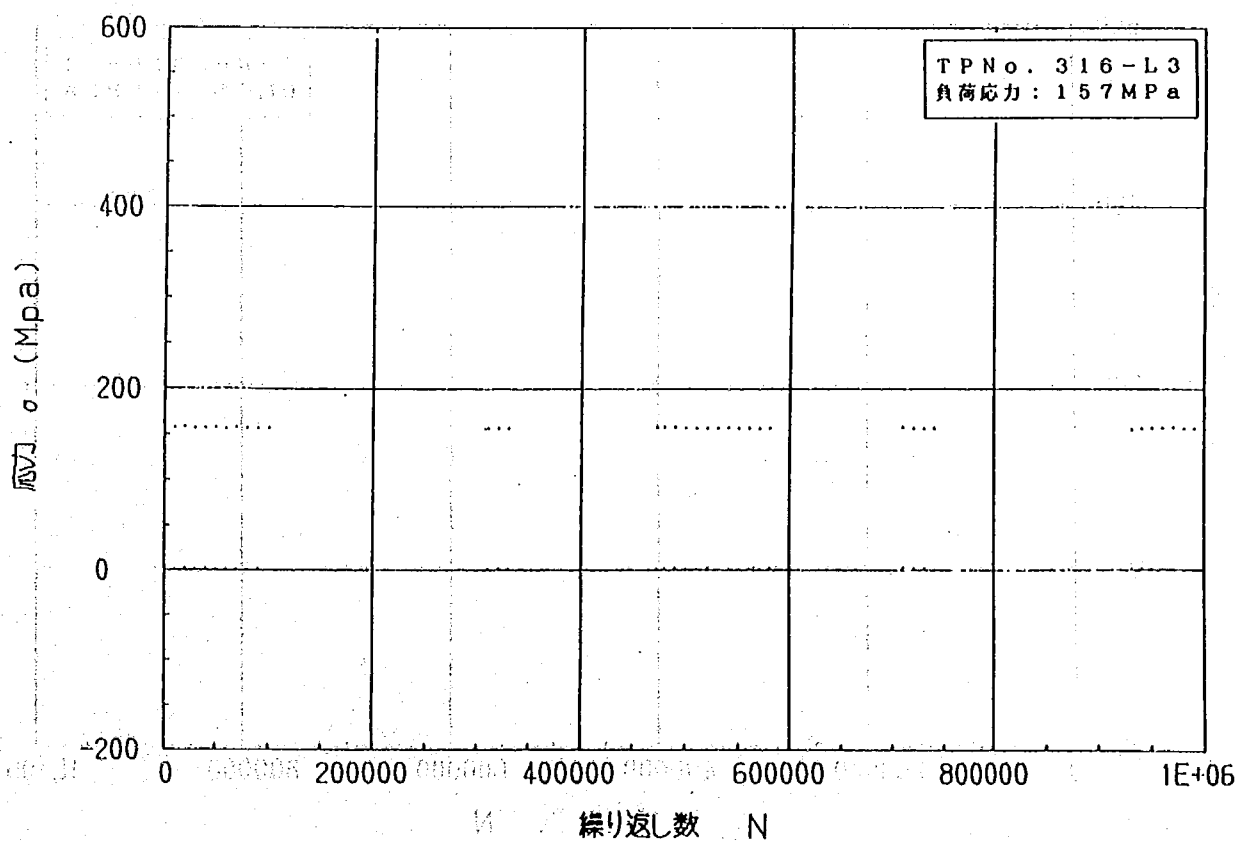
付図10-1 繰返し数とひずみの関係



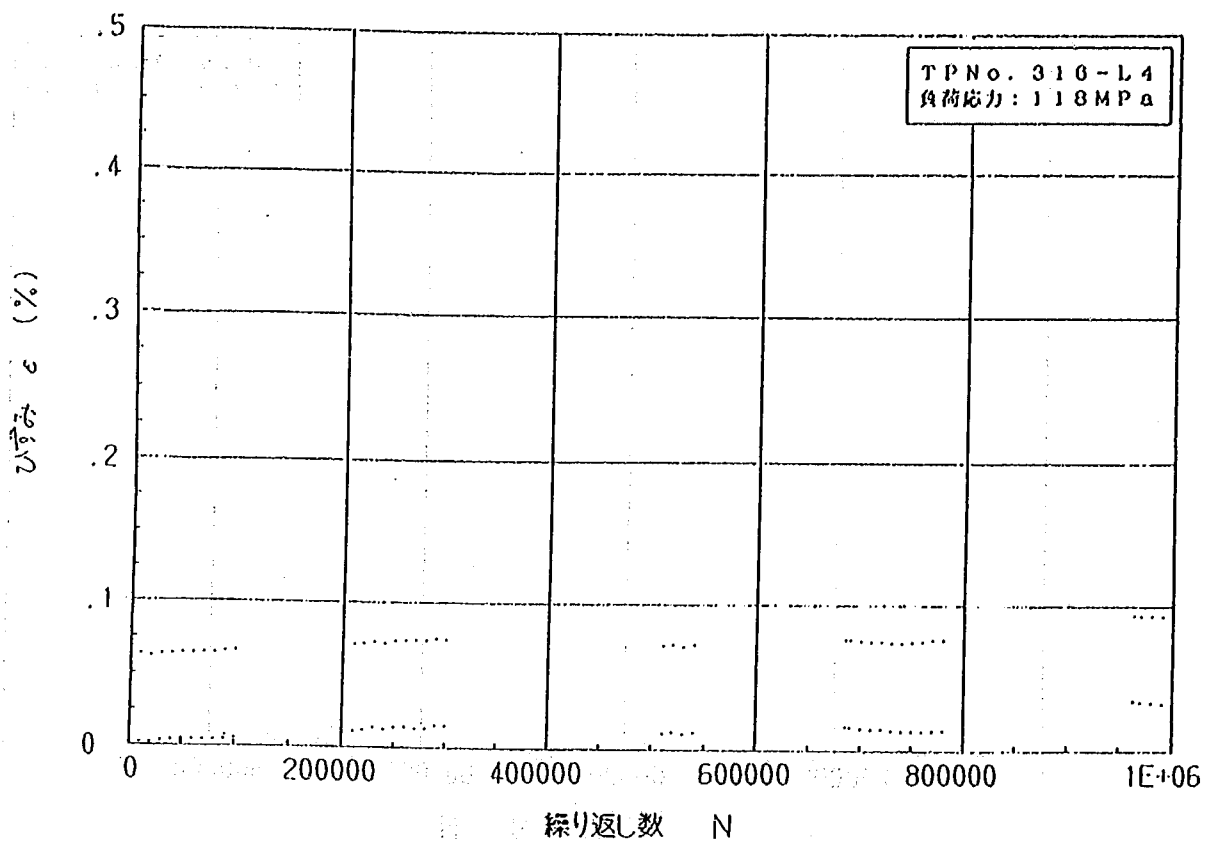
付図10-2 繰返し数と応力の関係



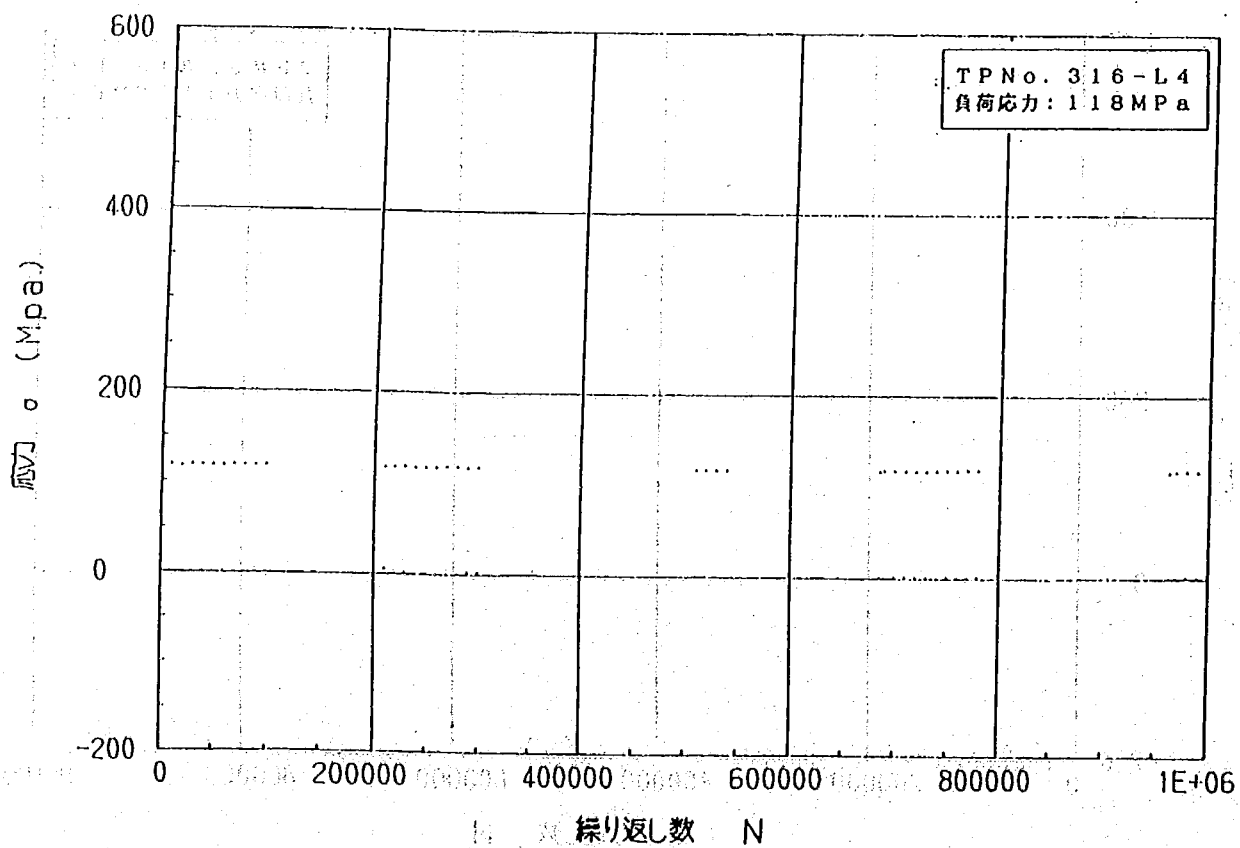
付図11-1 繰返し数とひずみの関係



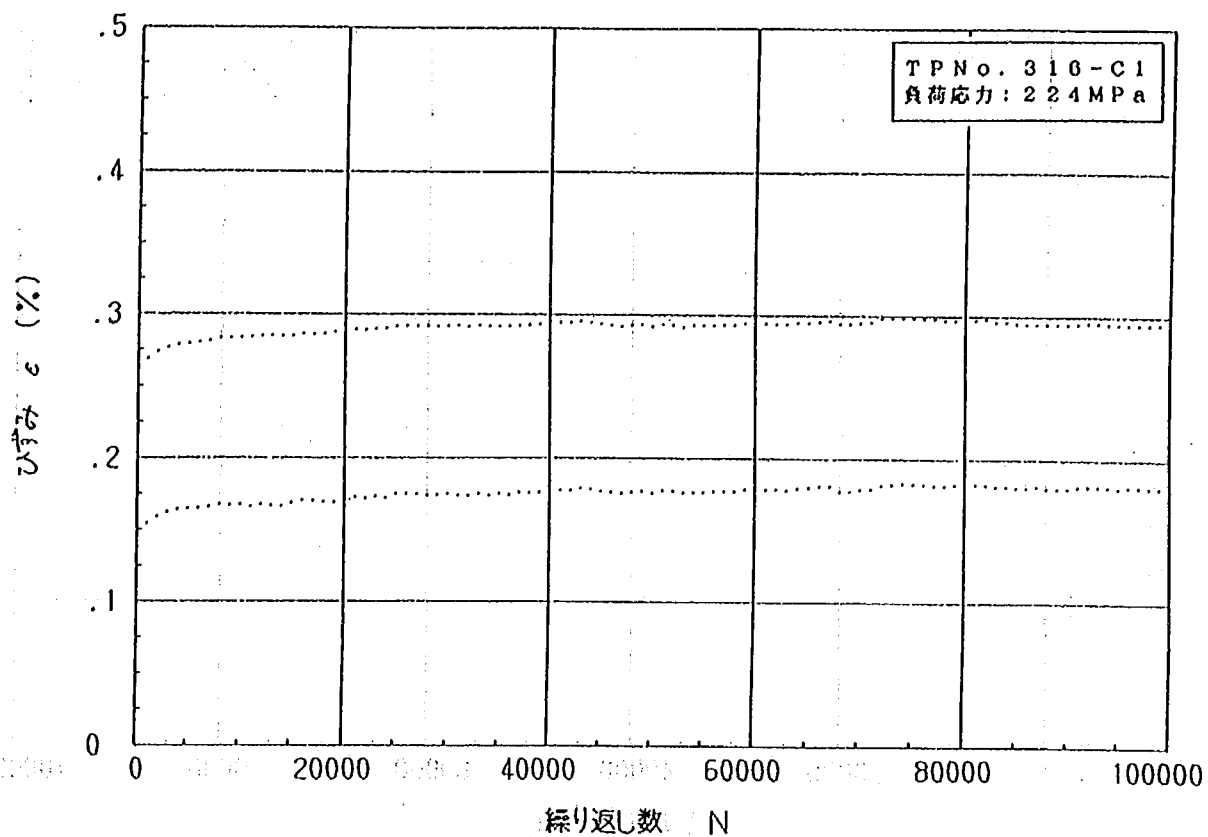
付図11-2 繰返し数と応力の関係



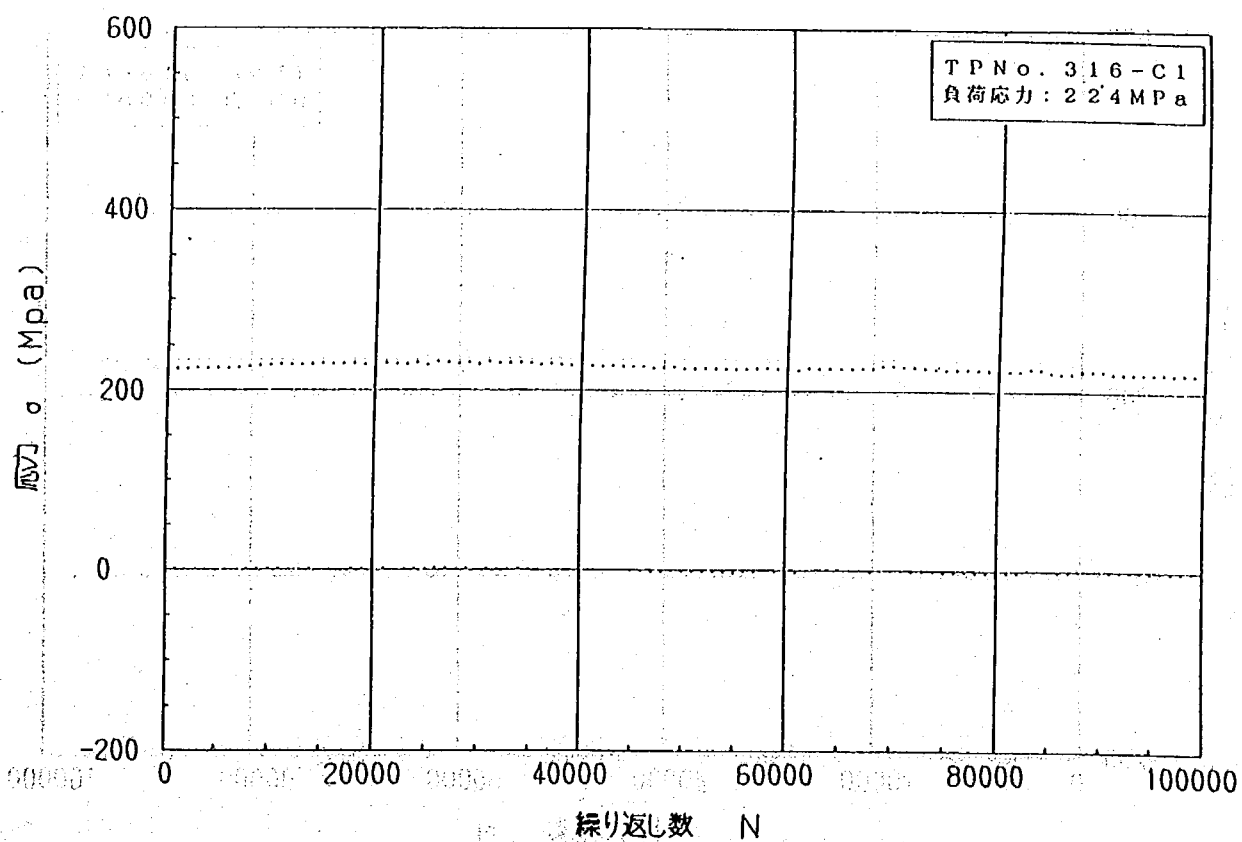
付図12-1 繰返し数とひずみの関係



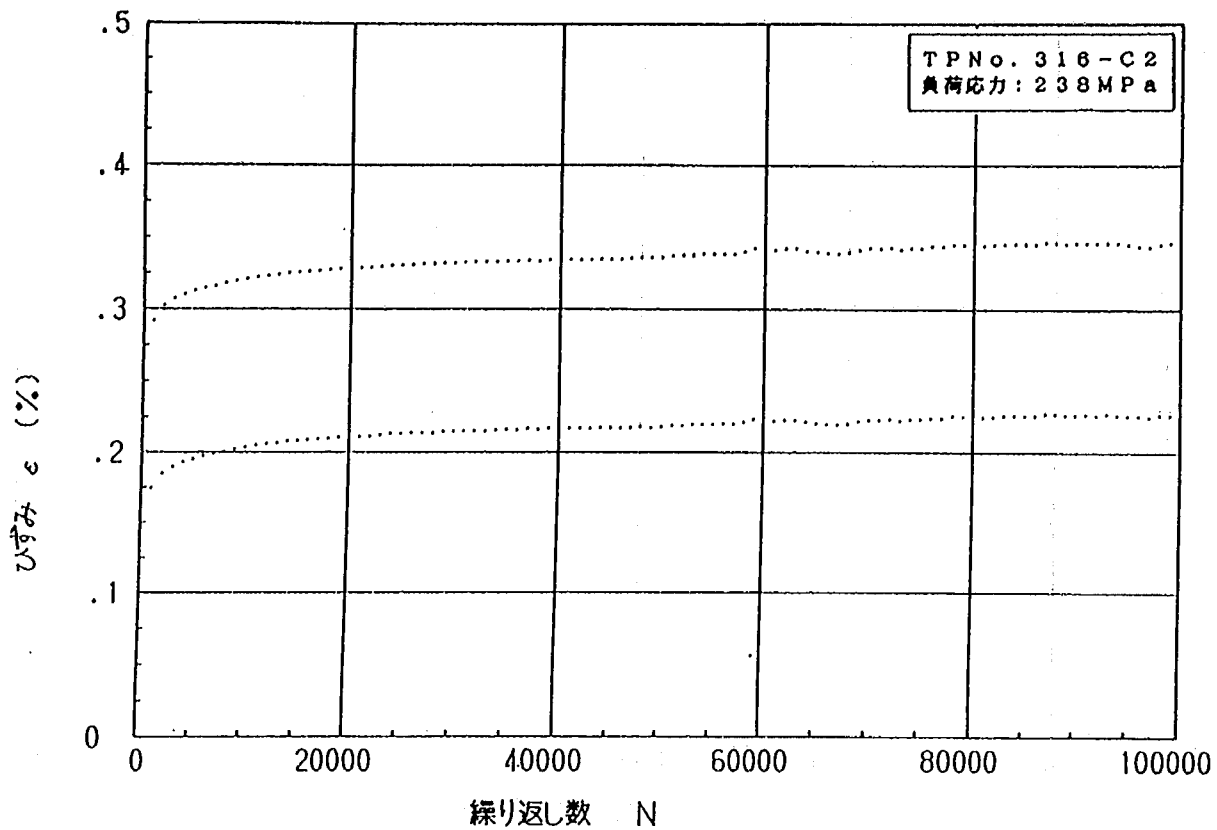
付図12-2 繰返し数と応力の関係



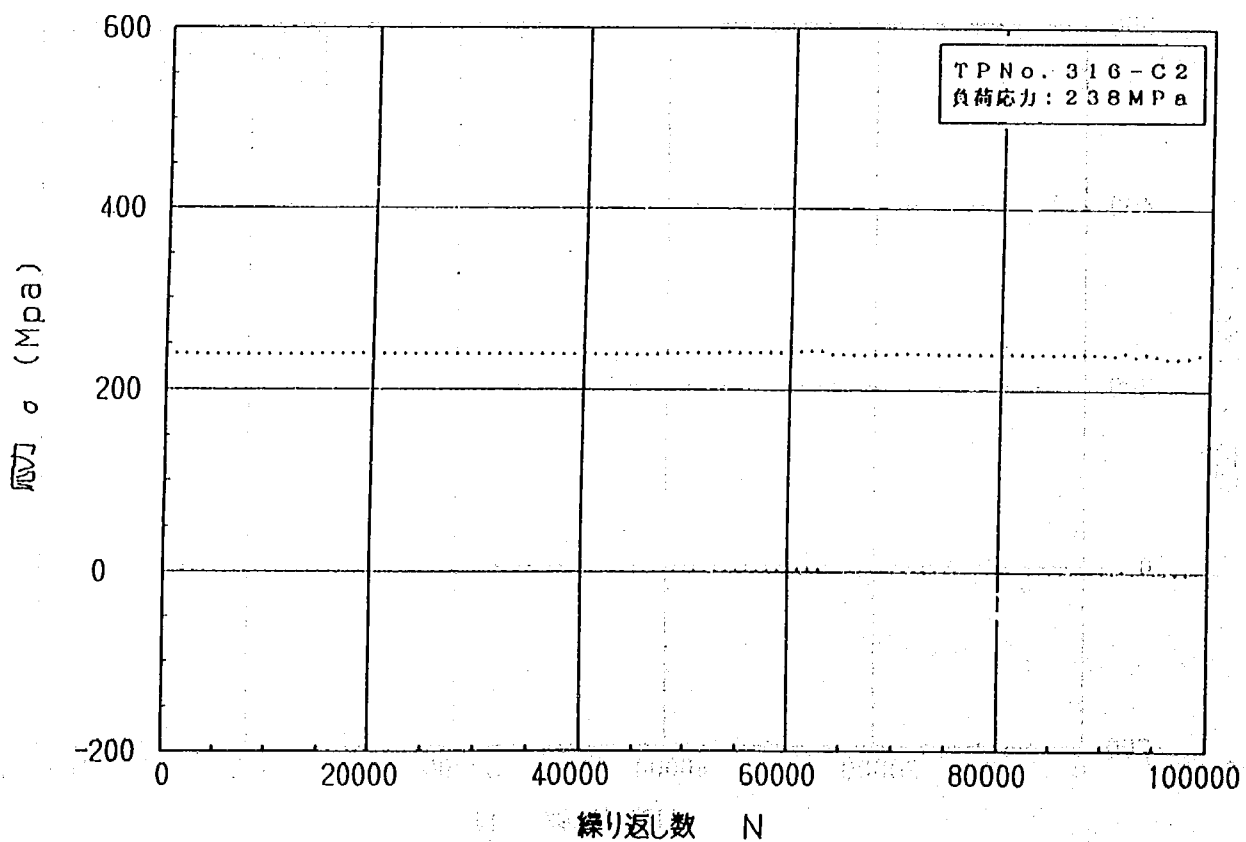
付図13-1 繰返し数とひずみの関係



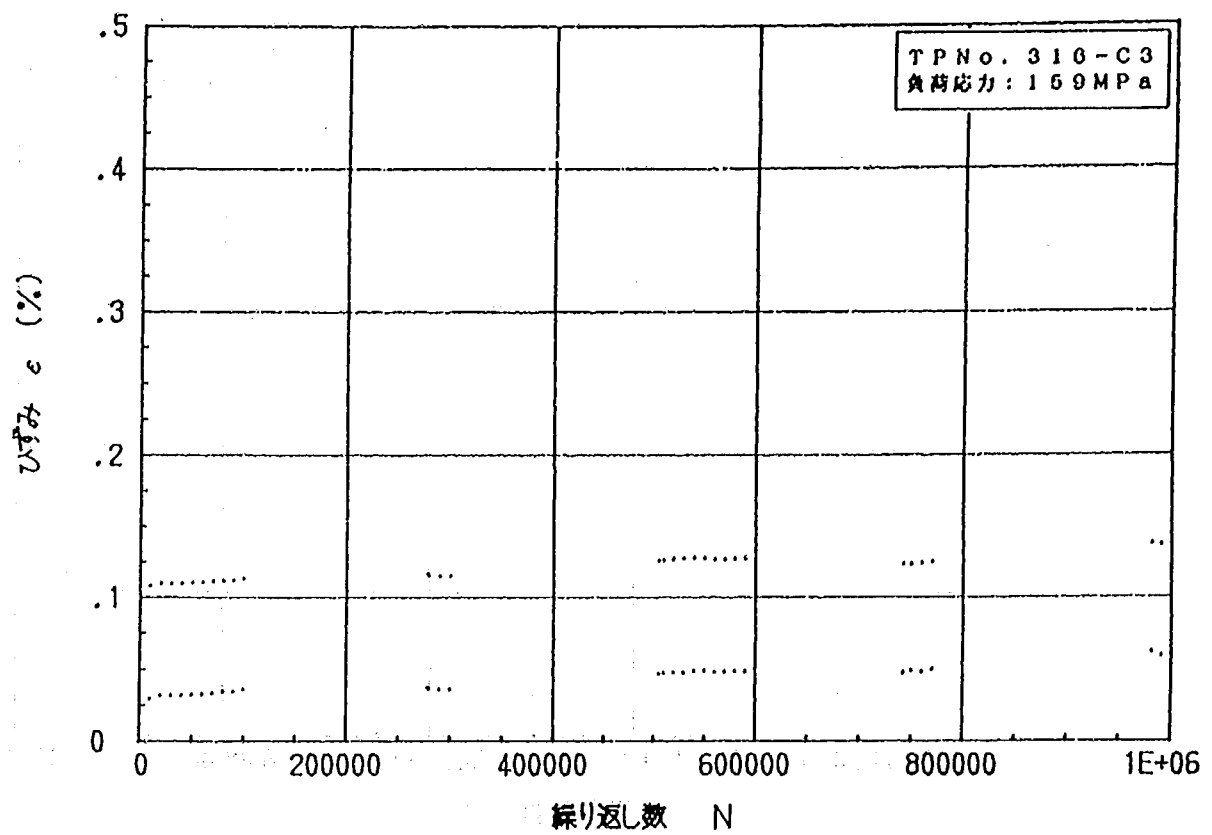
付図13-2 繰返し数と応力の関係



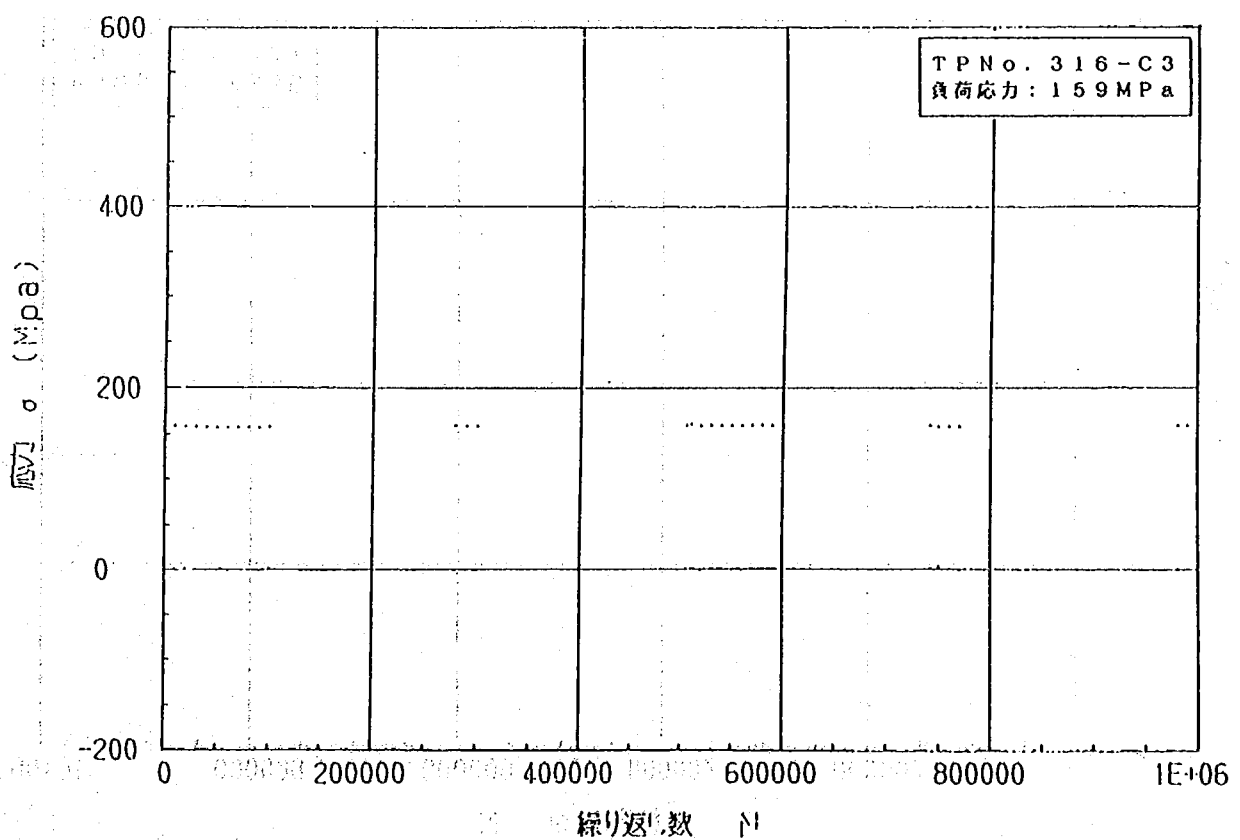
付図14-1 繰返し数とひずみの関係



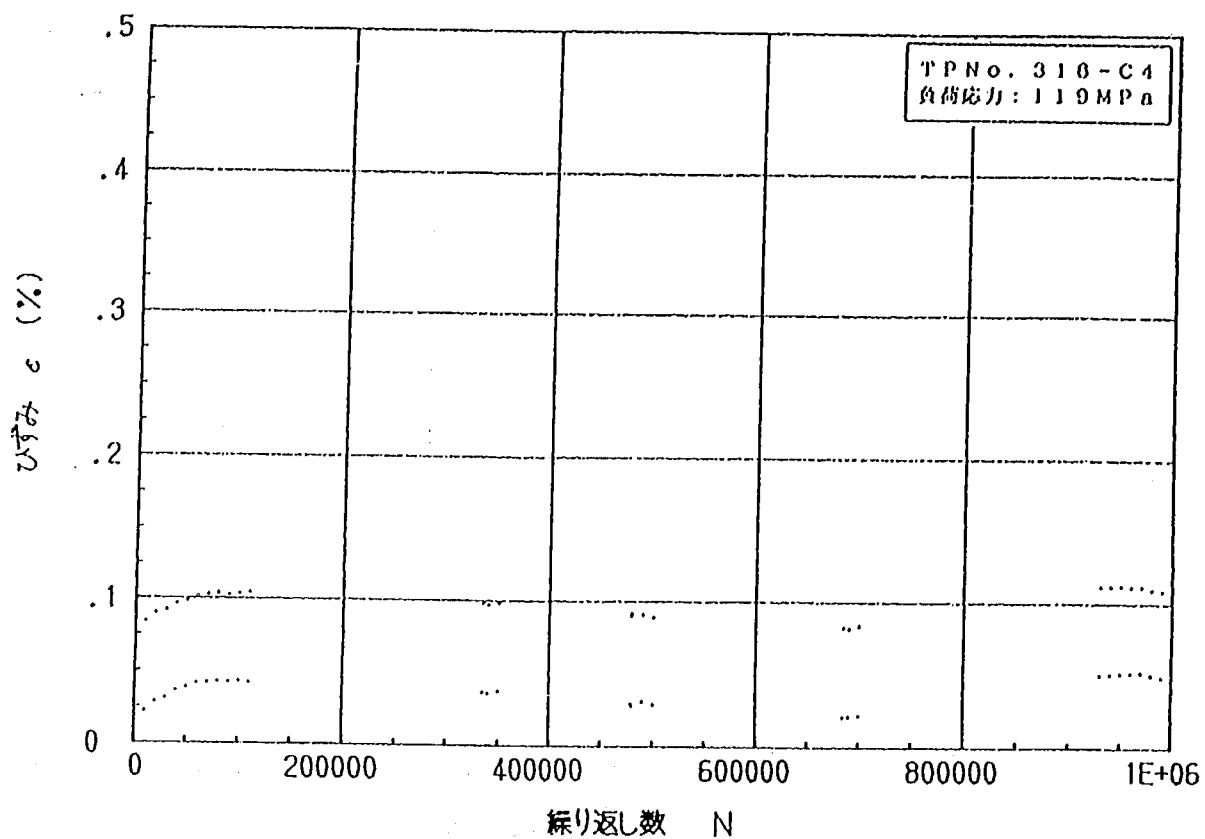
付図14-2 繰返し数と応力の関係



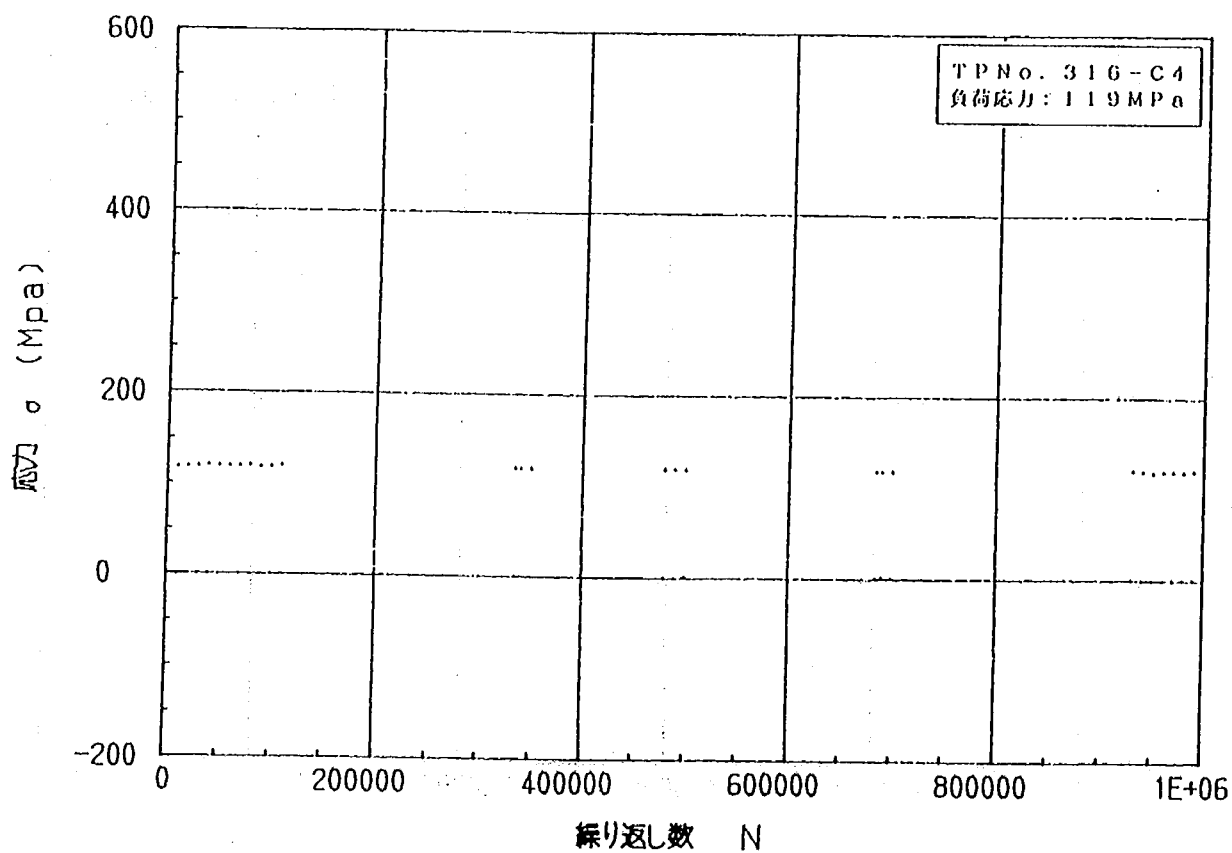
付図15-1 繰返し数とひずみの関係



付図15-2 繰返し数と応力の関係



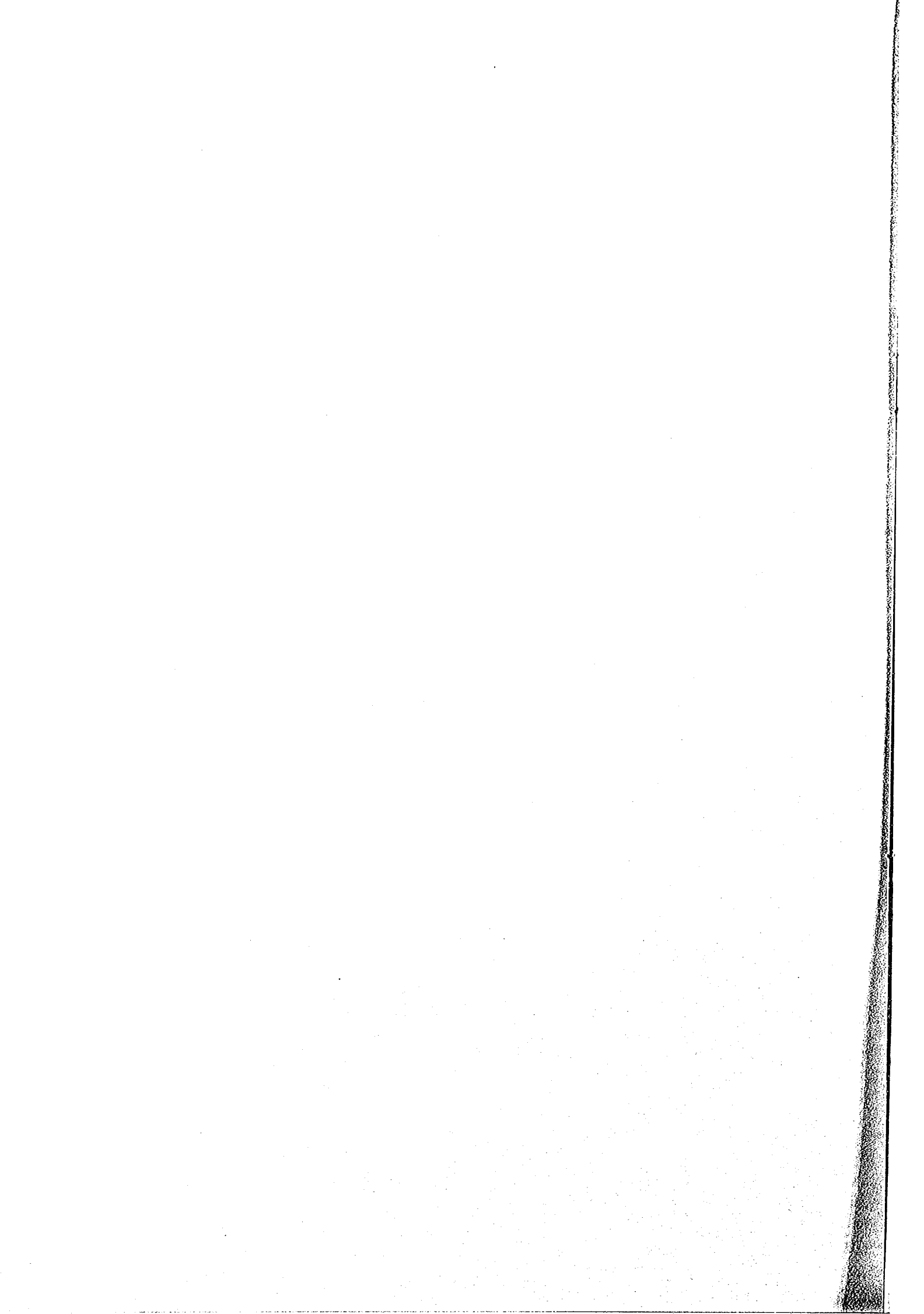
付図16-1 繰返し数とひずみの関係

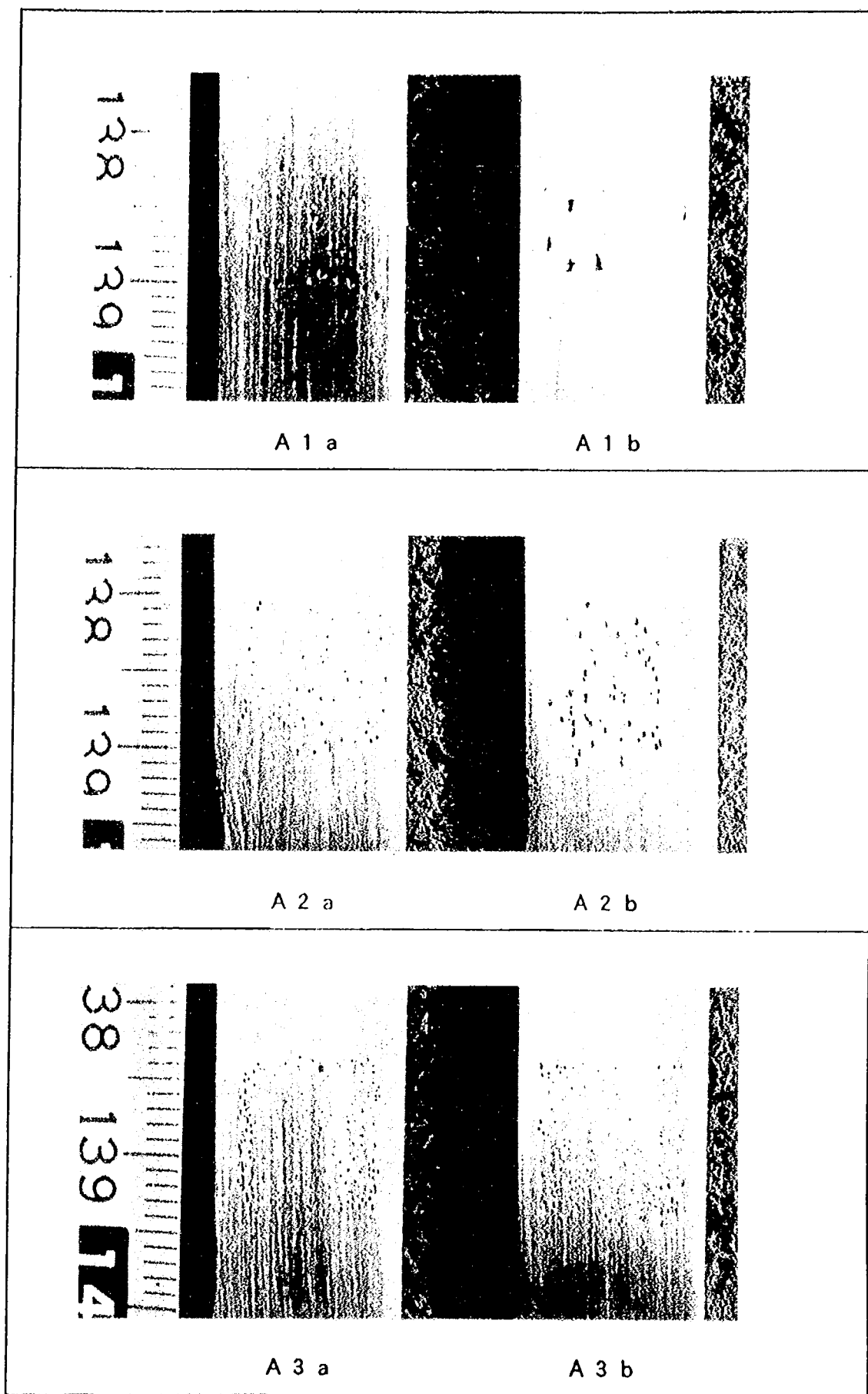


付図16-2 繰返し数と応力の関係

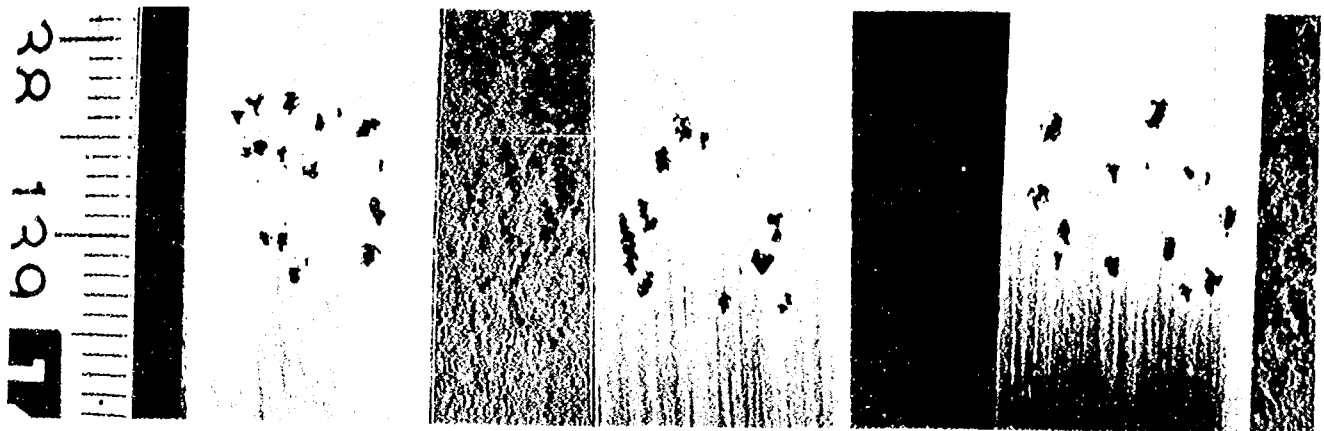
付録 5

孔食の表面観察





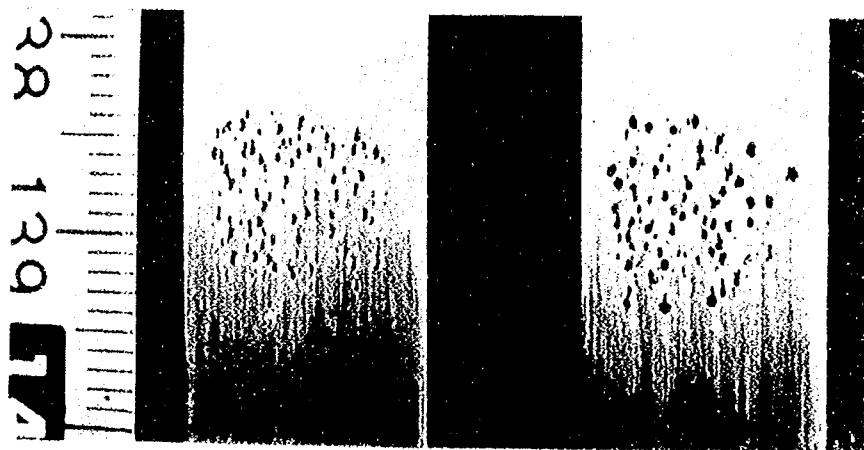
付写真1 孔食の表面観察結果 (SUS304)



B 1 a

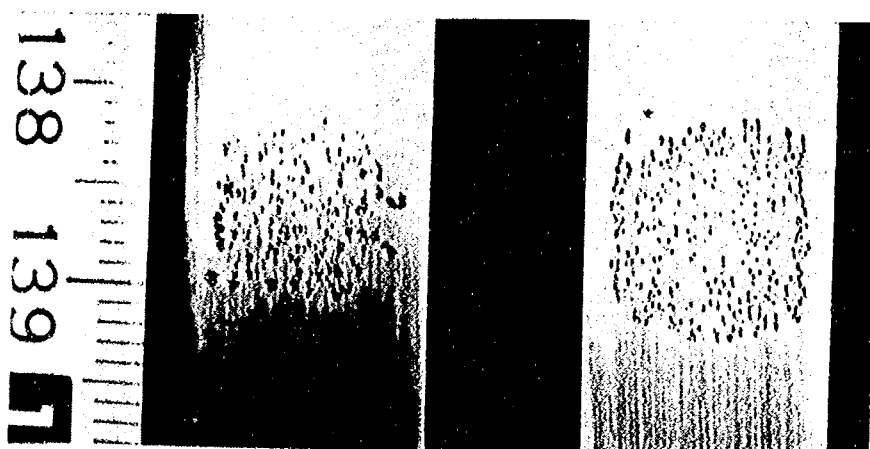
B 1 b

B 1 c



B 2 a

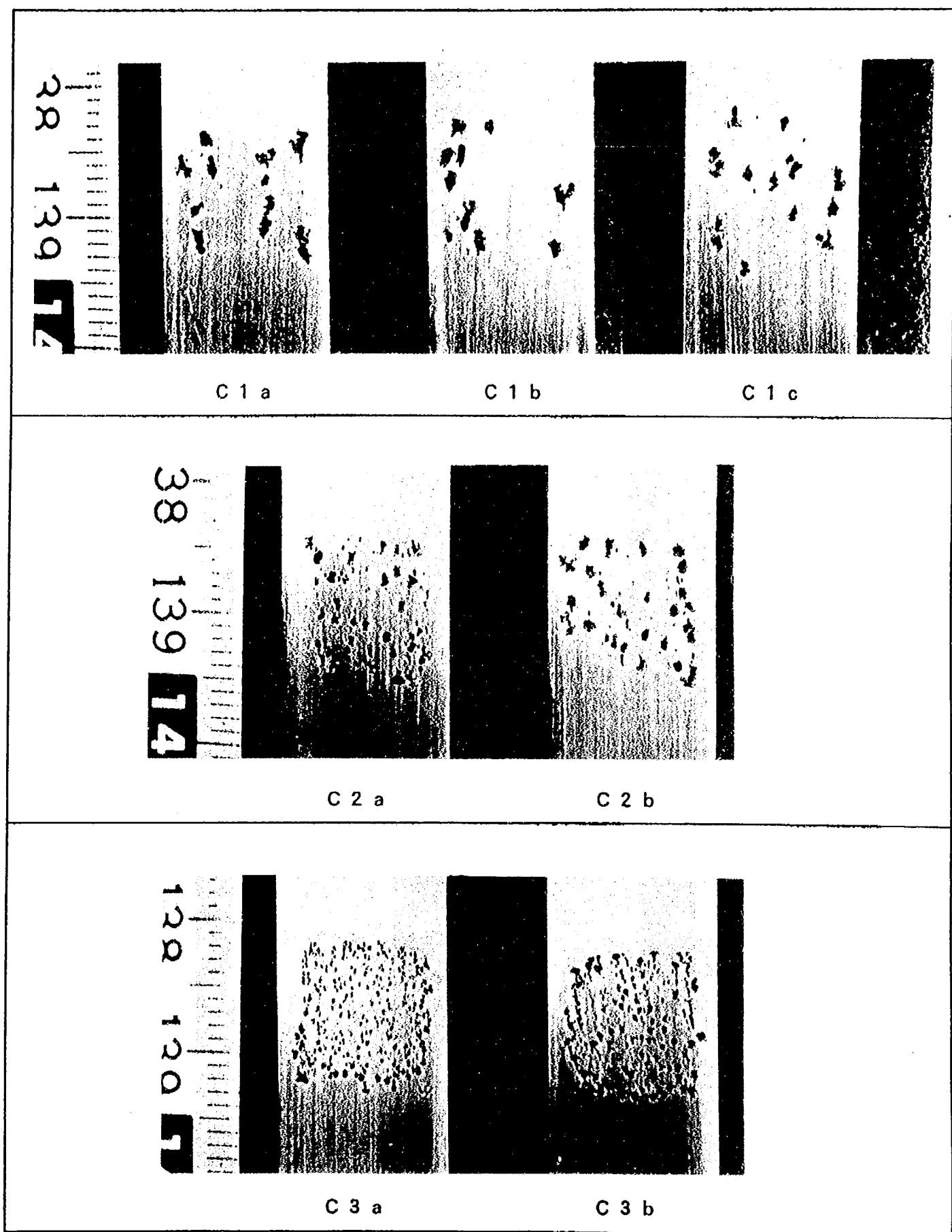
B 2 b



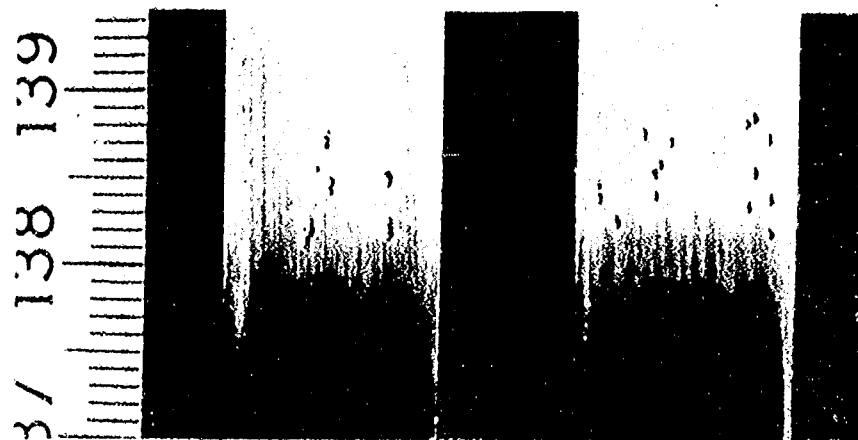
B 3 a

B 3 b

付写真2 孔食の表面観察結果 (SUS304)

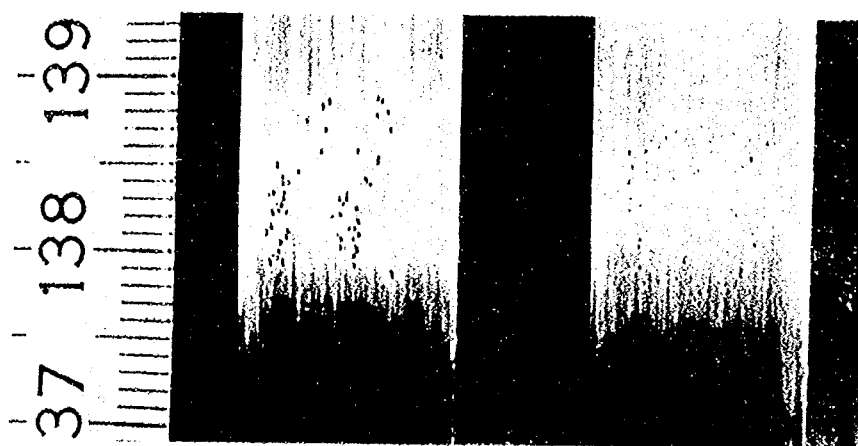


付写真3 孔食の表面観察結果 (SUS304)



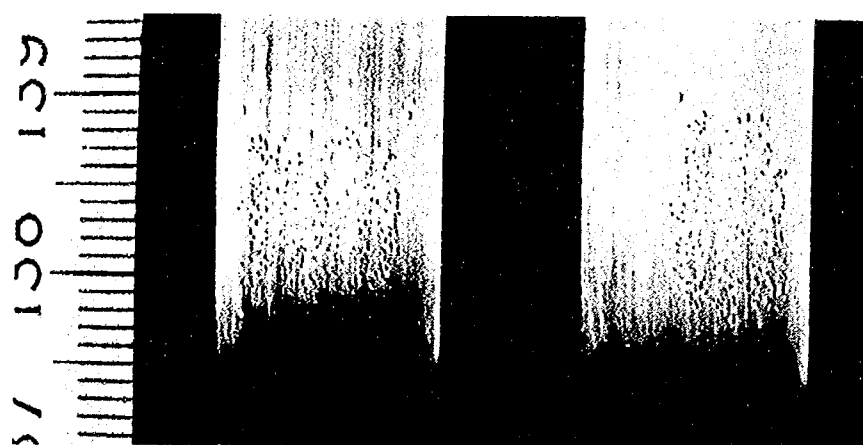
A 1 a

A 1 b



A 2 a

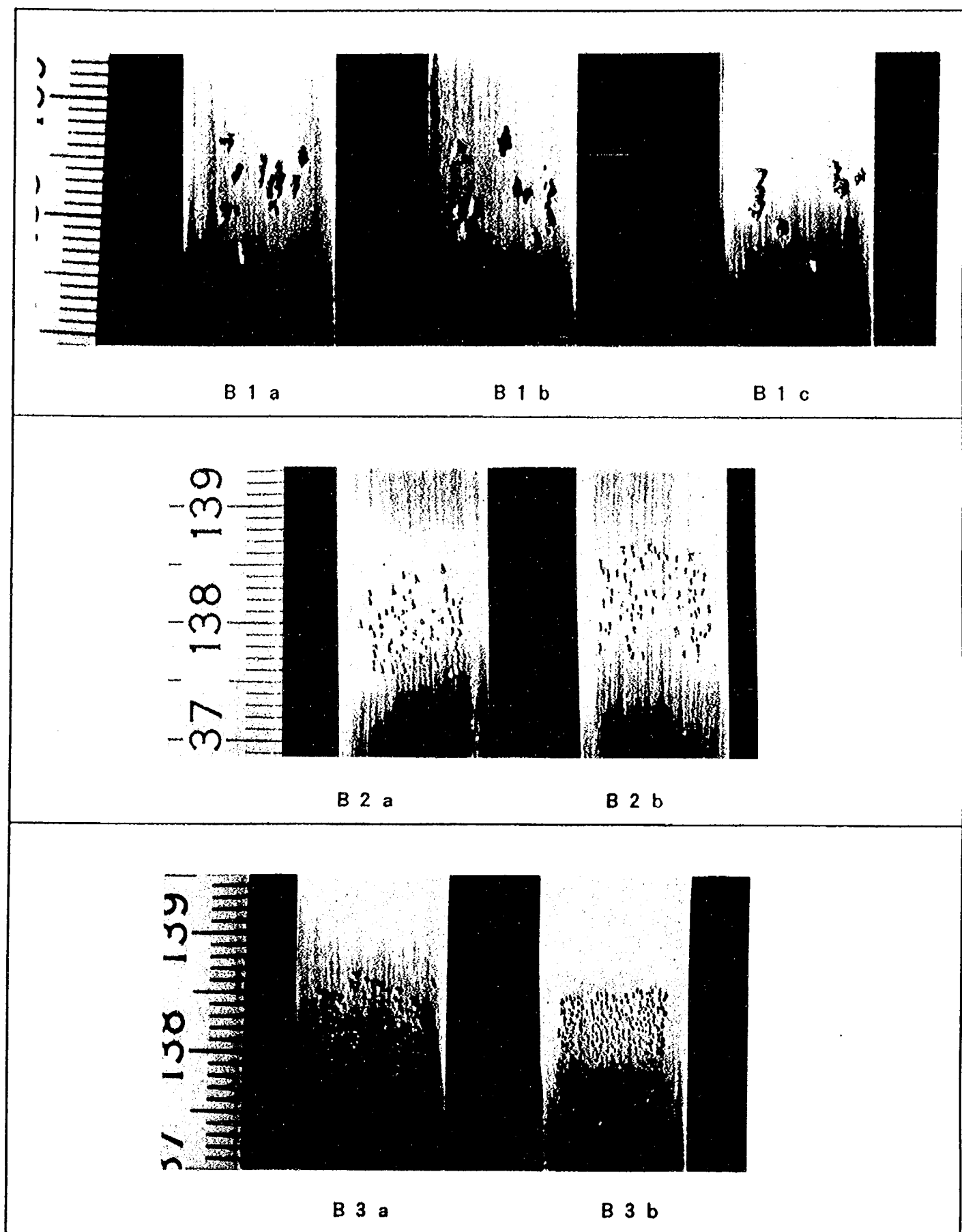
A 2 b



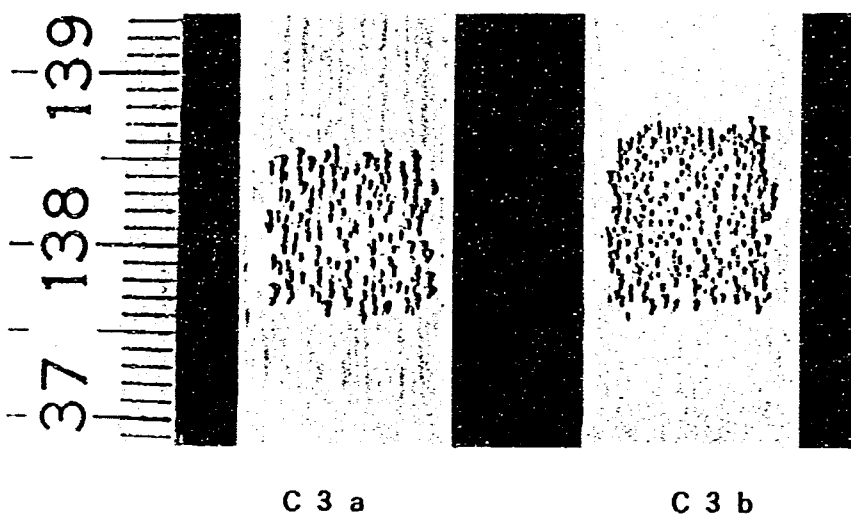
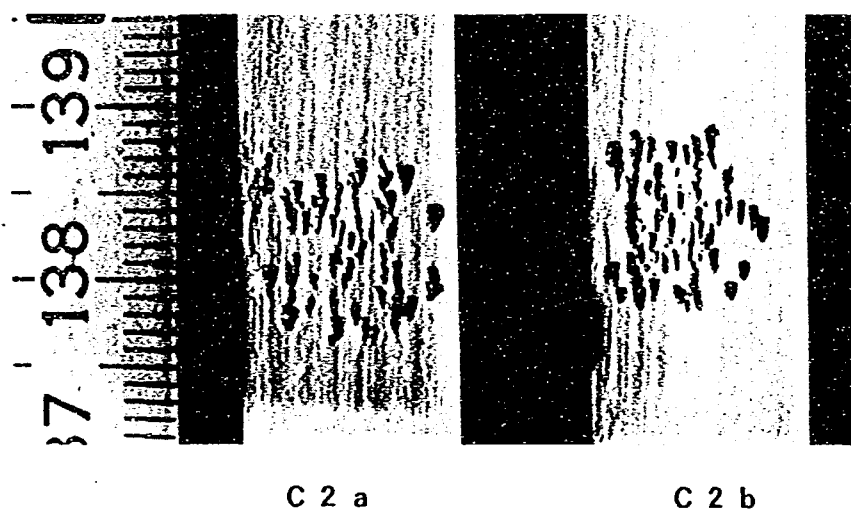
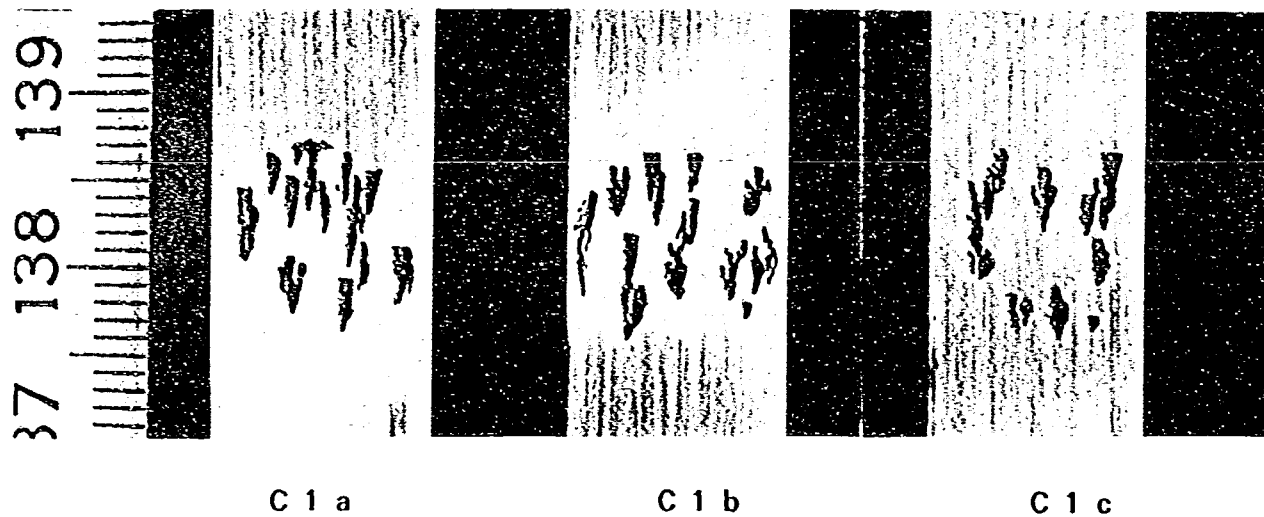
A 3 a

A 3 b

付写真4 孔食の表面観察結果 (SUS316)



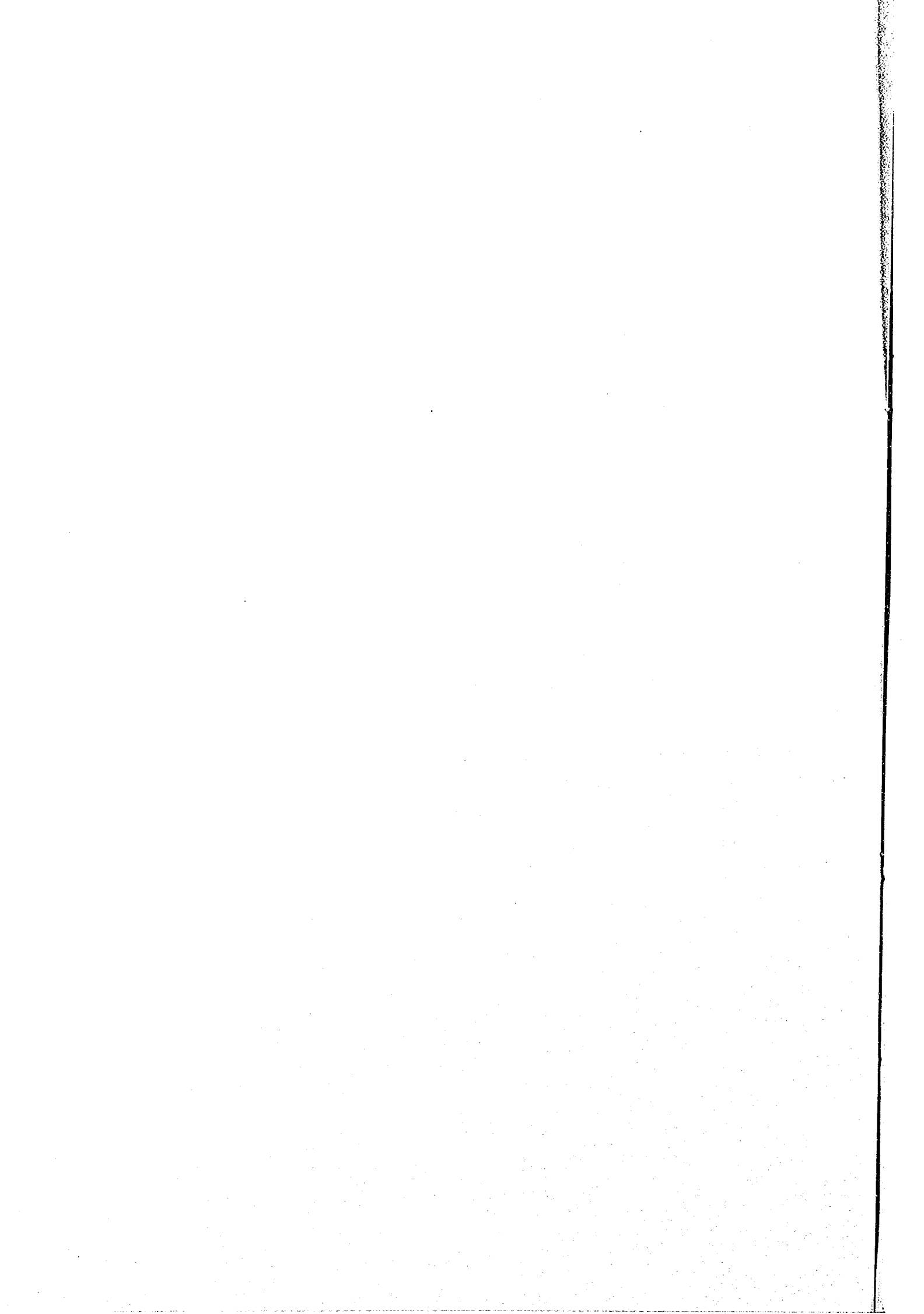
付写真5 孔食の表面観察結果 (SUS316)



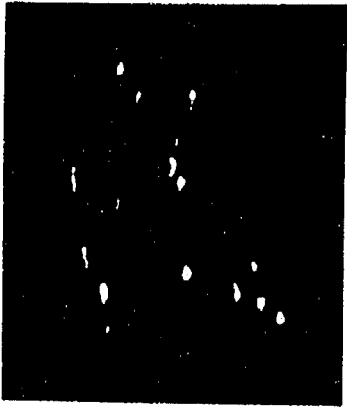
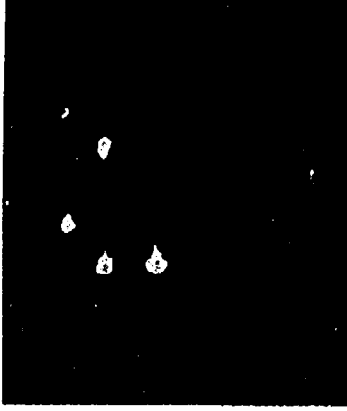
付写真6 孔食の表面観察結果 (SUS316)

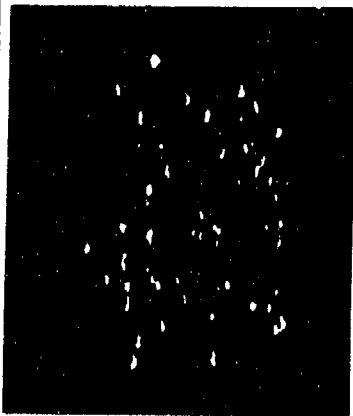
付録6

画像処理による孔食表面観察

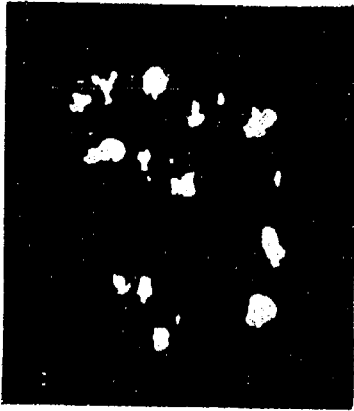
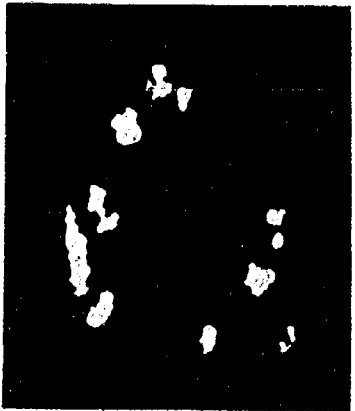
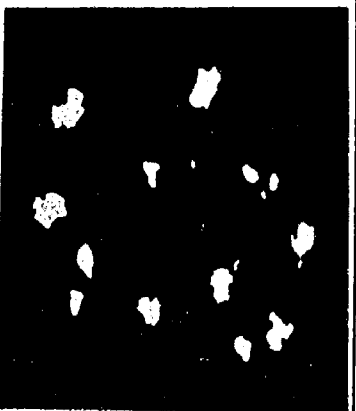


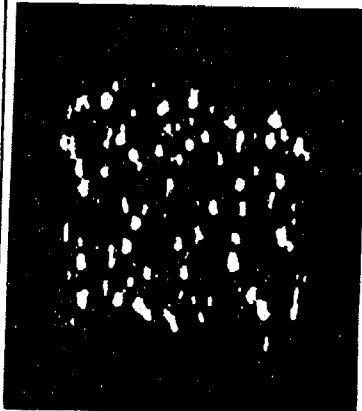
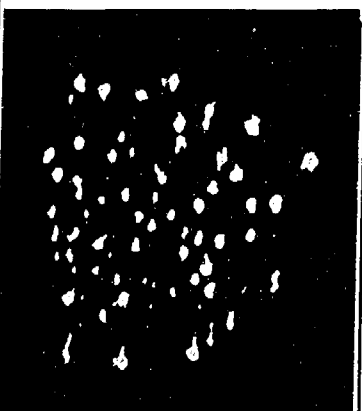
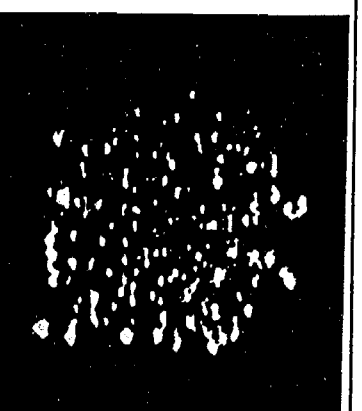
付表17 画像処理による孔食表面観察 (SUS304)

	A 1 a	A 1 b	A 2 a
表面状況			
孔食面積率	1.9 %	1.8 %	2.9 %
孔食個数	26	10	114
平均面積	0.086 mm ²	0.22 mm ²	0.031 mm ²
最大面積	0.21 mm ²	0.55 mm ²	0.14 mm ²
最小面積	0.01 mm ²	0.02 mm ²	0.01 mm ²

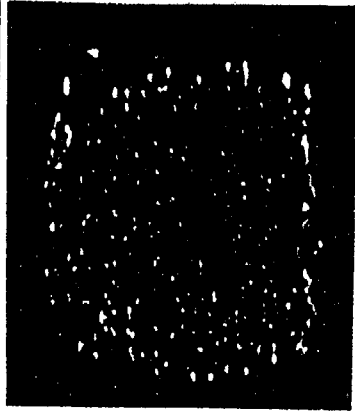
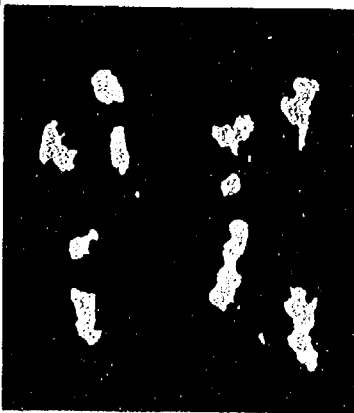
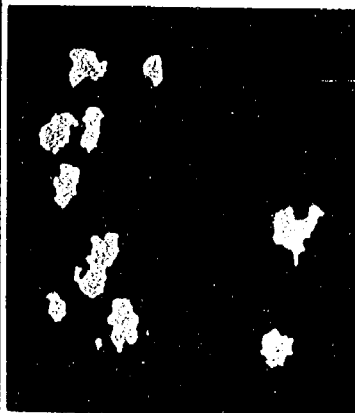
	A 2 b	A 3 a	A 3 b
表面状況			
孔食面積率	3.0 %	4.2 %	4.9 %
孔食個数	68	204	235
平均面積	0.053 mm ²	0.025 mm ²	0.025 mm ²
最大面積	0.17 mm ²	0.13 mm ²	0.24 mm ²
最小面積	0.01 mm ²	0.01 mm ²	0.01 mm ²

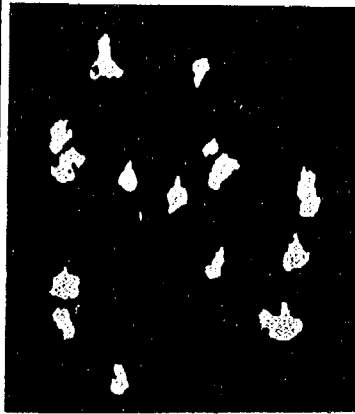
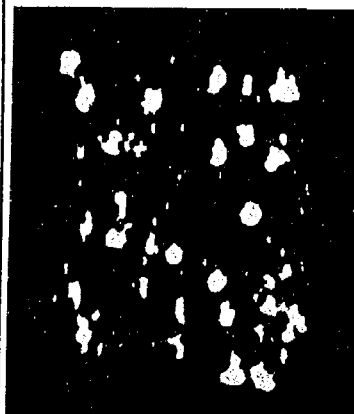
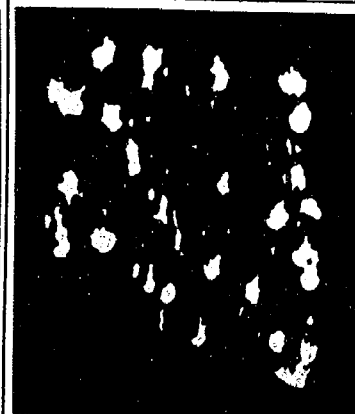
付表18 画像処理による孔食表面観察 (SUS304)

	B 1 a	B 1 b	B 1 c
表面状況			
孔食面積率	6.3 %	6.3 %	7.2 %
孔食個数	25	17	20
平均面積	0.31 mm ²	0.45 mm ²	0.44 mm ²
最大面積	0.95 mm ²	1.65 mm ²	1.15 mm ²
最小面積	0.01 mm ²	0.01 mm ²	0.01 mm ²

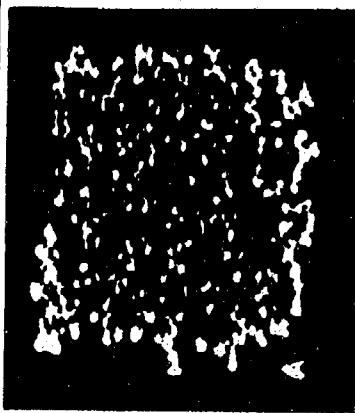
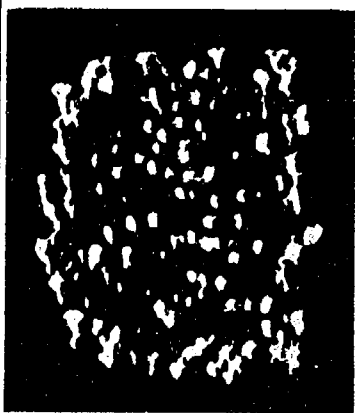
	B 2 a	B 2 b	B 3 a
表面状況			
孔食面積率	8.0 %	8.1 %	9.4 %
孔食個数	100	86	138
平均面積	0.096 mm ²	0.11 mm ²	0.083 mm ²
最大面積	0.65 mm ²	0.38 mm ²	0.69 mm ²
最小面積	0.01 mm ²	0.01 mm ²	0.01 mm ²

付表19 画像処理による孔食表面観察 (SUS304)

	B 3 c	C 1 a	C 1 b
表面状況	 5 m m	 5 m m	 5 m m
孔食面積率	8.2 %	11.7 %	10.8 %
孔食個数	227	21	14
平均面積	0.044 mm ²	0.68 mm ²	0.93 mm ²
最大面積	0.29 mm ²	2.31 mm ²	2.27 mm ²
最小面積	0.01 mm ²	0.02 mm ²	0.01 mm ²

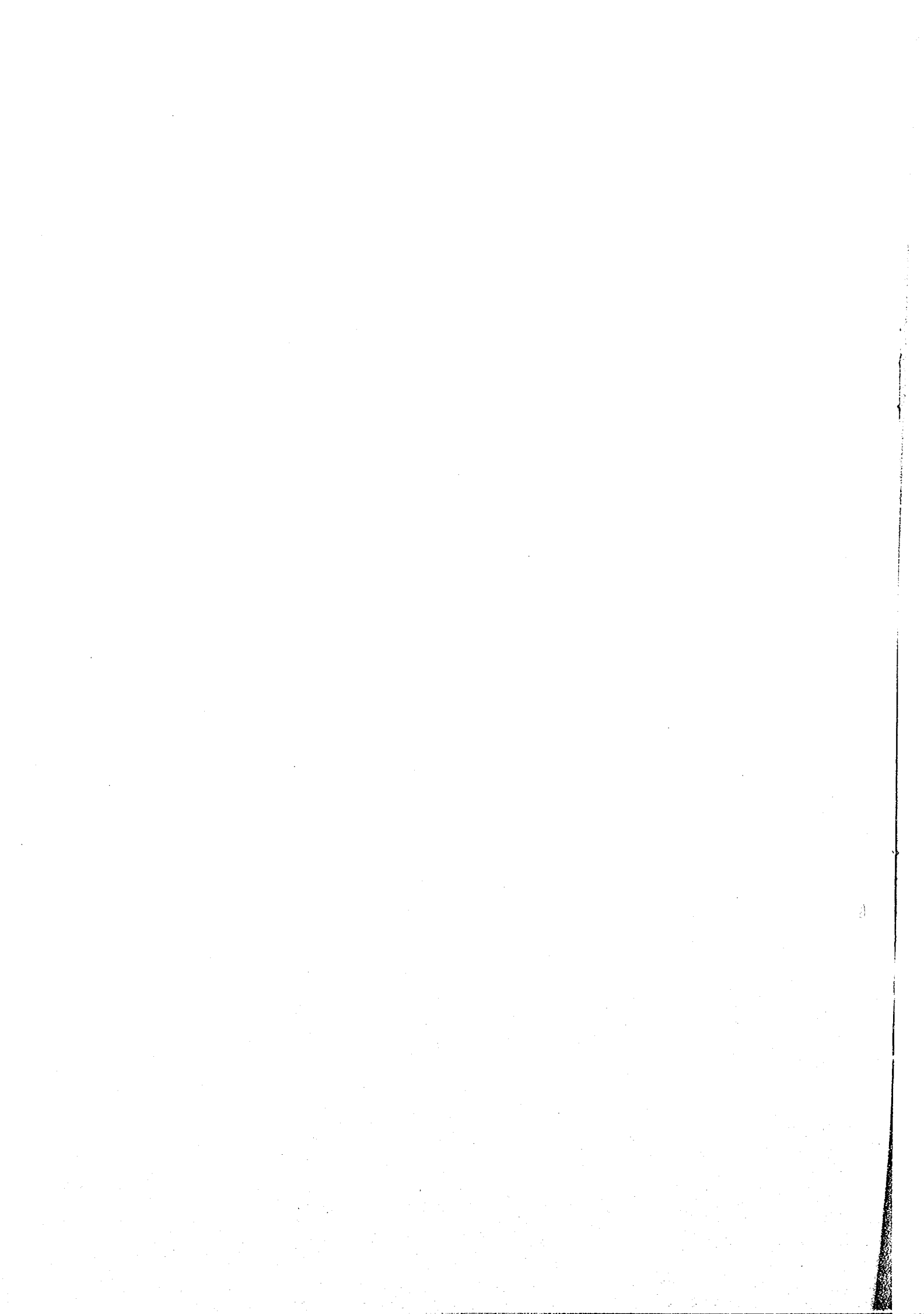
	C 1 c	C 2 a	C 2 b
表面状況	 5 m m	 5 m m	 5 m m
孔食面積率	9.0 %	12.7 %	12.8 %
孔食個数	23	84	64
平均面積	0.47 mm ²	0.18 mm ²	0.24 mm ²
最大面積	1.33 mm ²	1.31 mm ²	1.23 mm ²
最小面積	0.01 mm ²	0.01 mm ²	0.01 mm ²

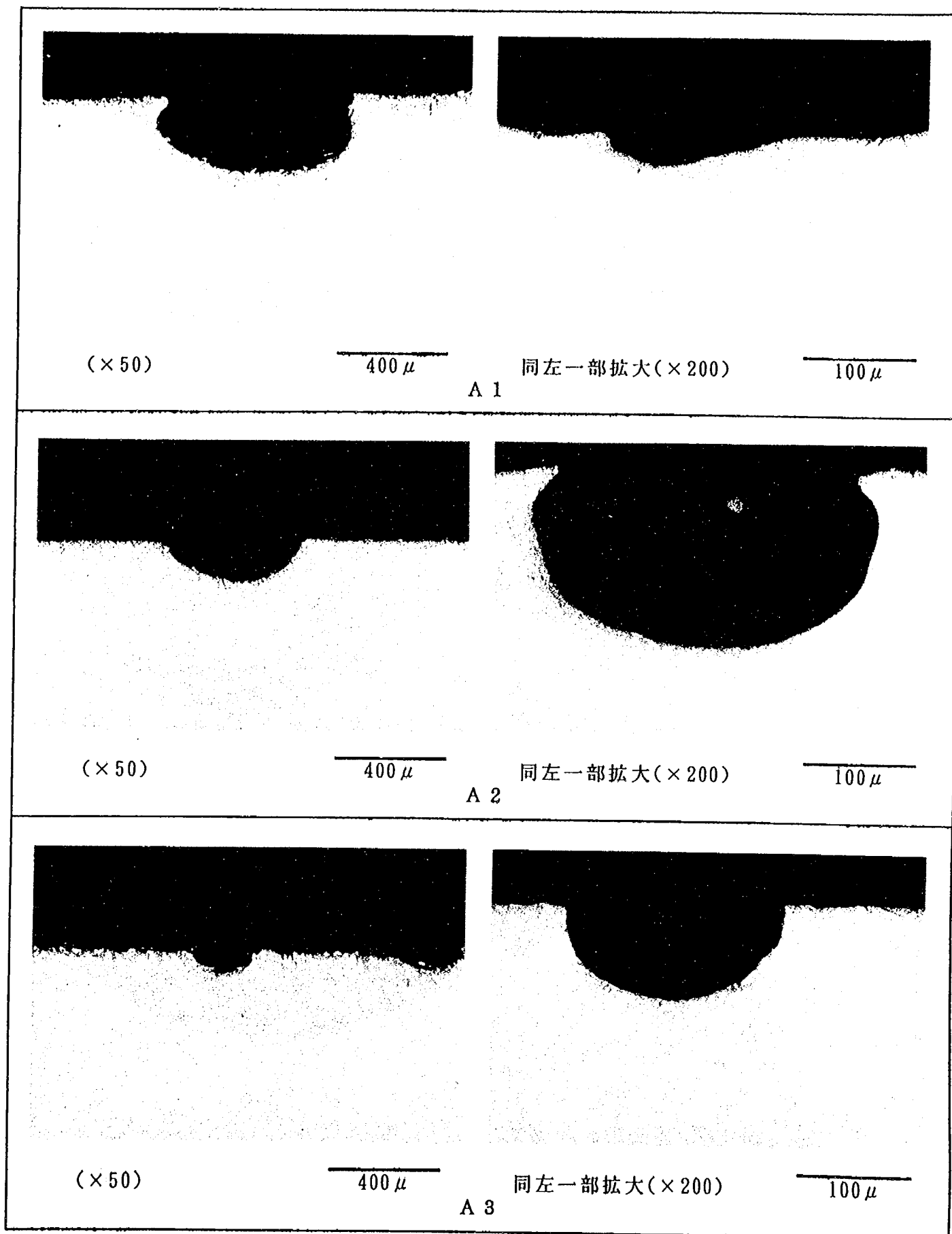
付表20 画像処理による孔食表面観察 (SUS304)

	C 3 a	C 3 b	
表面状況	 5 m m	 5 m m	
孔食面積率	1 9 . 0 %	1 9 . 6 %	
孔食個数	1 4 8	1 2 4	
平均面積	0 . 1 5 m m ²	0 . 1 9 m m ²	
最大面積	1 . 7 2 m m ²	1 . 4 1 m m ²	
最小面積	0 . 0 1 m m ²	0 . 0 1 m m ²	

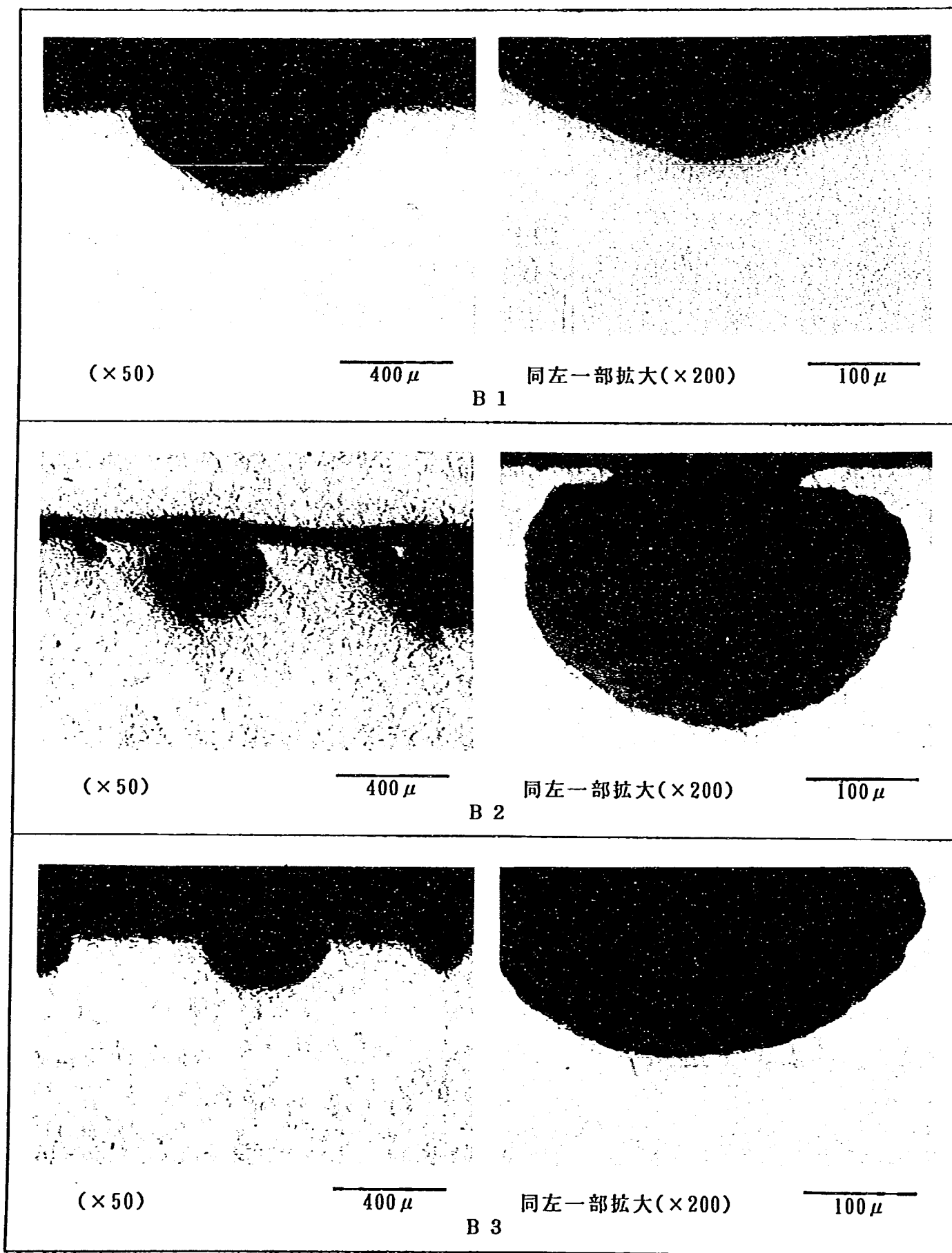
付録 7

孔食部断面の顕微鏡観察

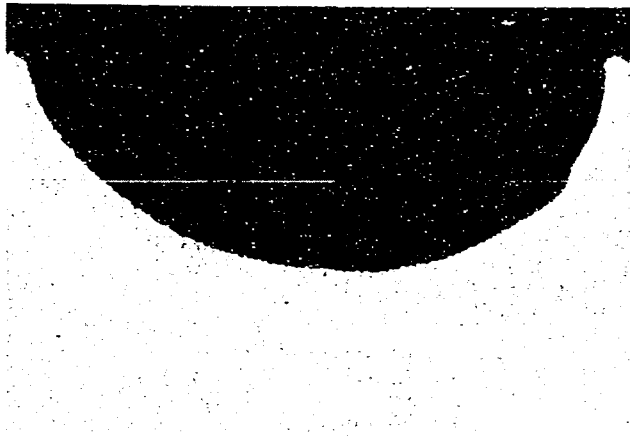




付写真 7 孔食部断面の顕微鏡観察結果 (SUS304)

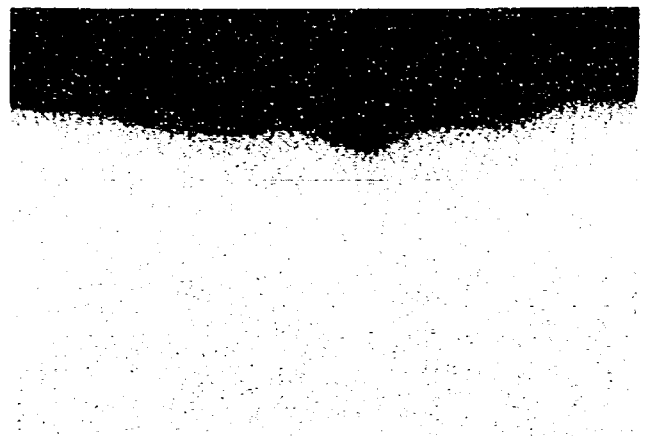


付写真 8 孔食部断面の顕微鏡観察結果 (SUS304)



(× 50)

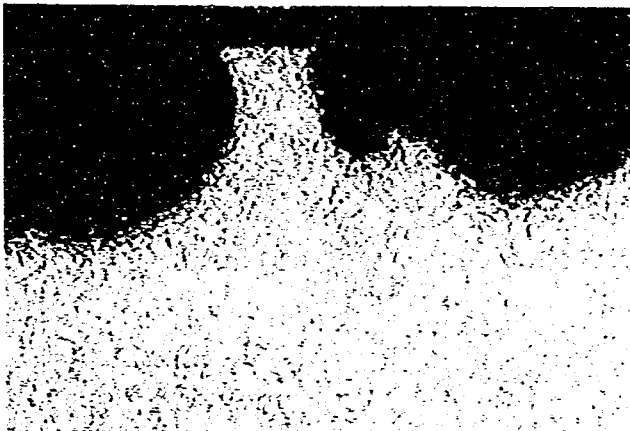
400 μ



同左一部拡大(× 200)

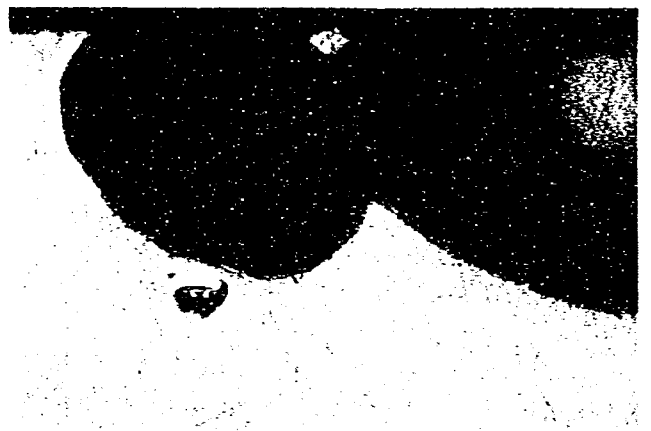
100 μ

C 1



(× 50)

400 μ



同左一部拡大(× 200)

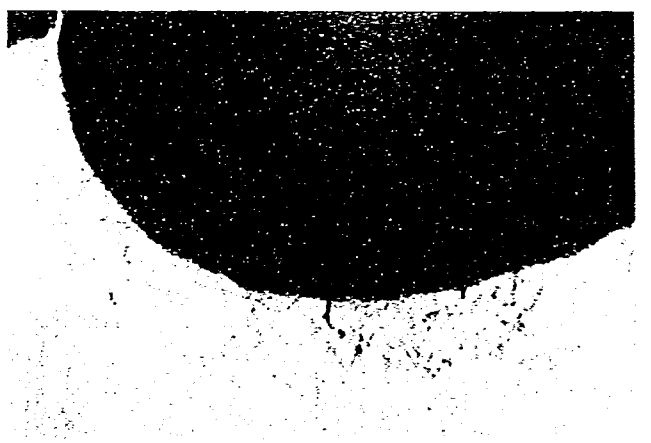
100 μ

C 2



(× 50)

400 μ



同左一部拡大(× 200)

100 μ

C 3

付写真 9 孔食部断面の顕微鏡観察結果 (SUS304)



(×50)

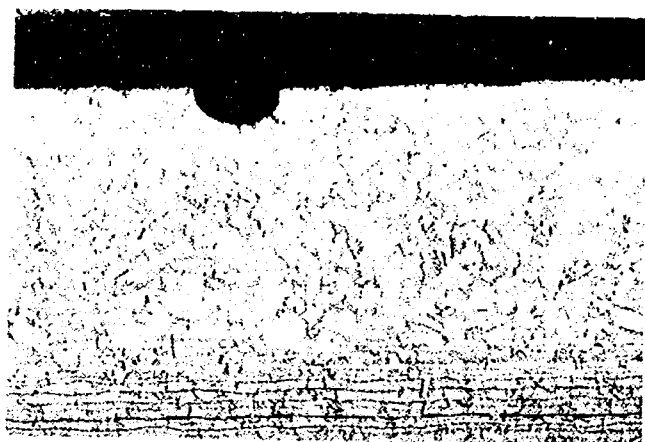
400 μ



同左一部拡大(×200)

100 μ

A 1



(×50)

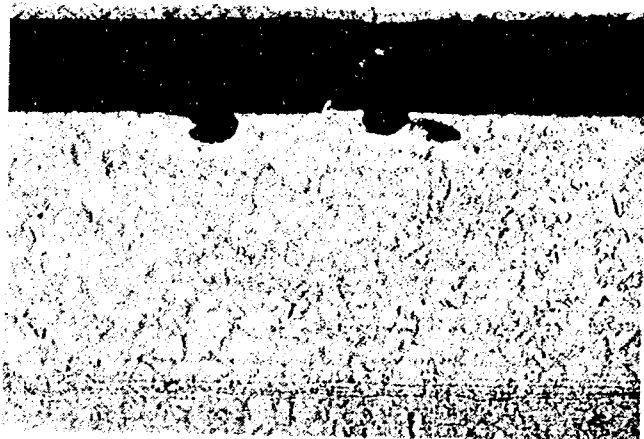
400 μ



同左一部拡大(×200)

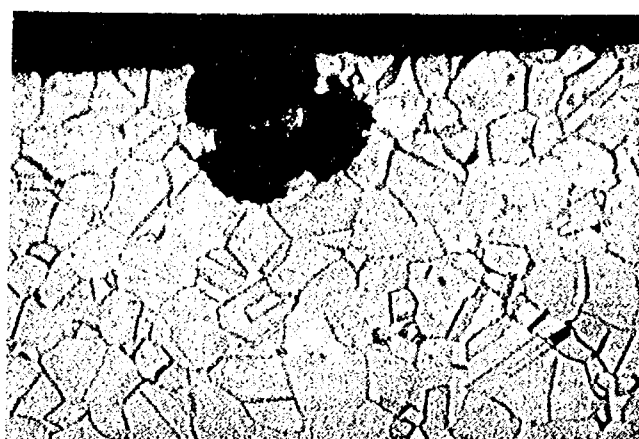
100 μ

A 2



(×50)

400 μ

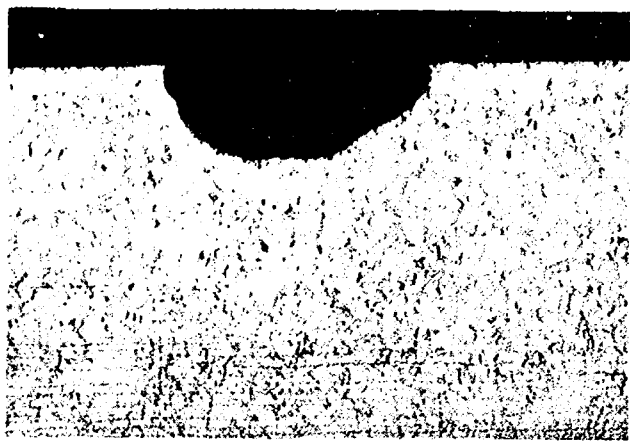


同左一部拡大(×200)

100 μ

A 3

付写真10 孔食部断面の顕微鏡観察結果 (SUS316)



(×50)

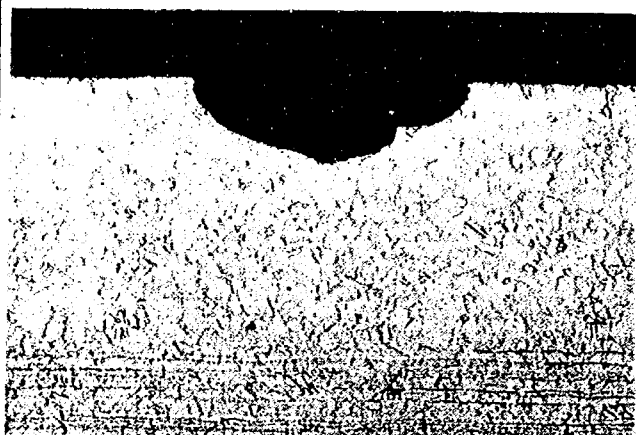
400 μ



同左一部拡大(×200)

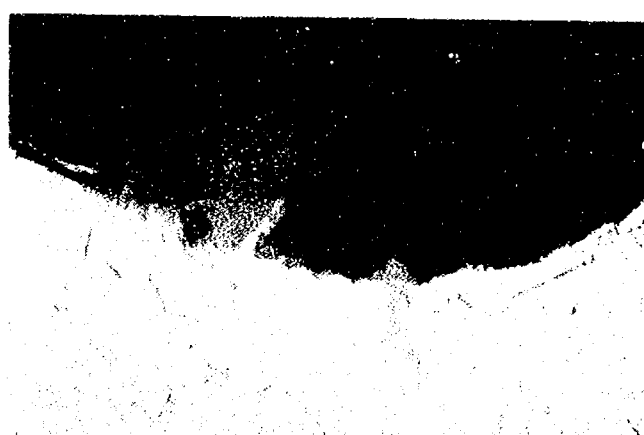
100 μ

B 1



(×50)

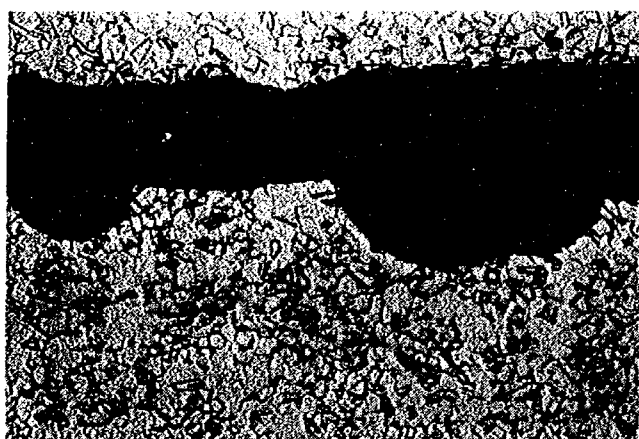
400 μ



同左一部拡大(×200)

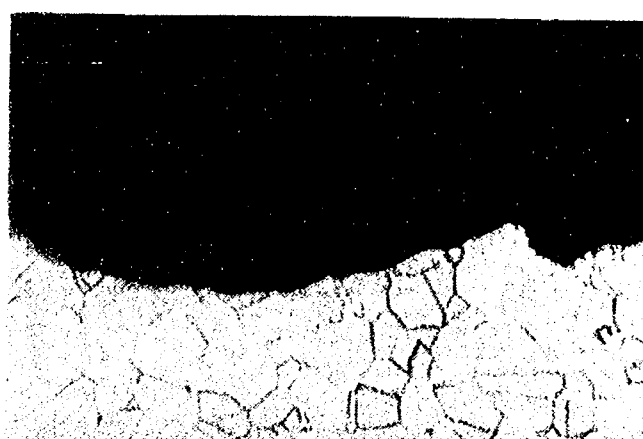
100 μ

B 2



(×50)

400 μ

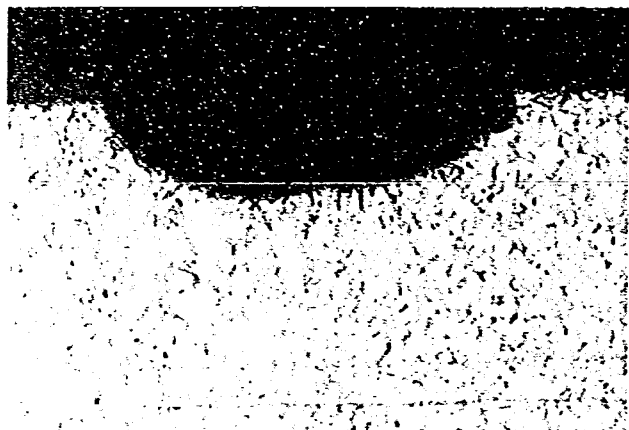


同左一部拡大(×200)

100 μ

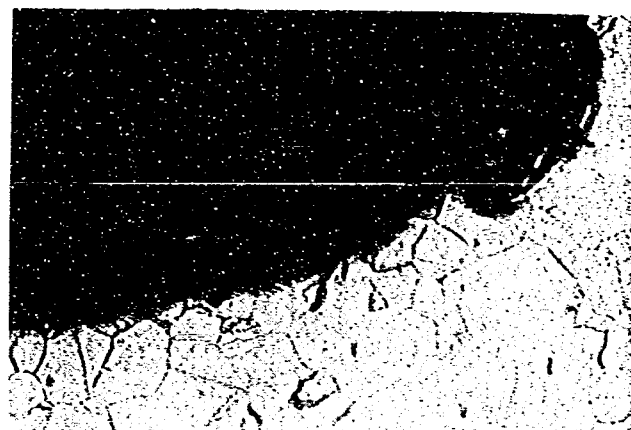
B 3

付写真11 孔食部断面の顕微鏡観察結果 (SUS316)



(× 50)

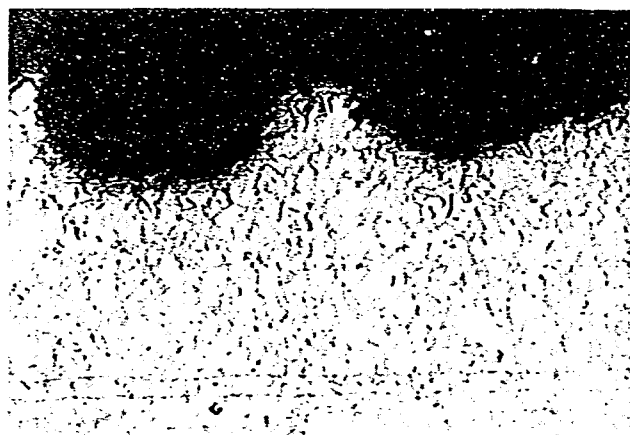
400 μ



同左一部拡大(× 200)

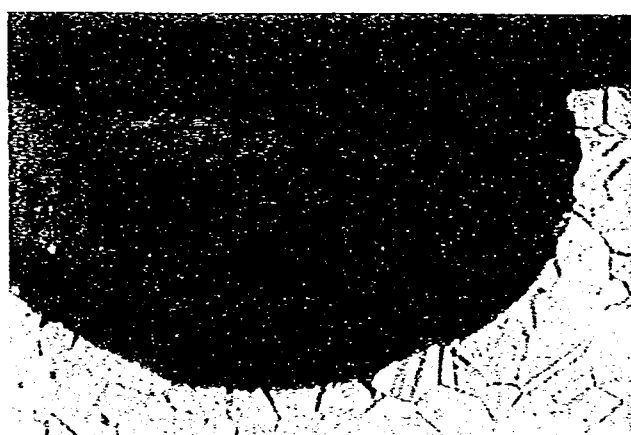
100 μ

C 1



(× 50)

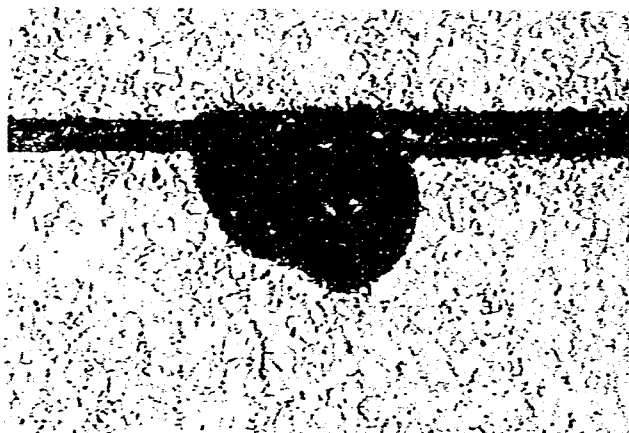
400 μ



同左一部拡大(× 200)

100 μ

C 2



(× 50)

400 μ



同左一部拡大(× 200)

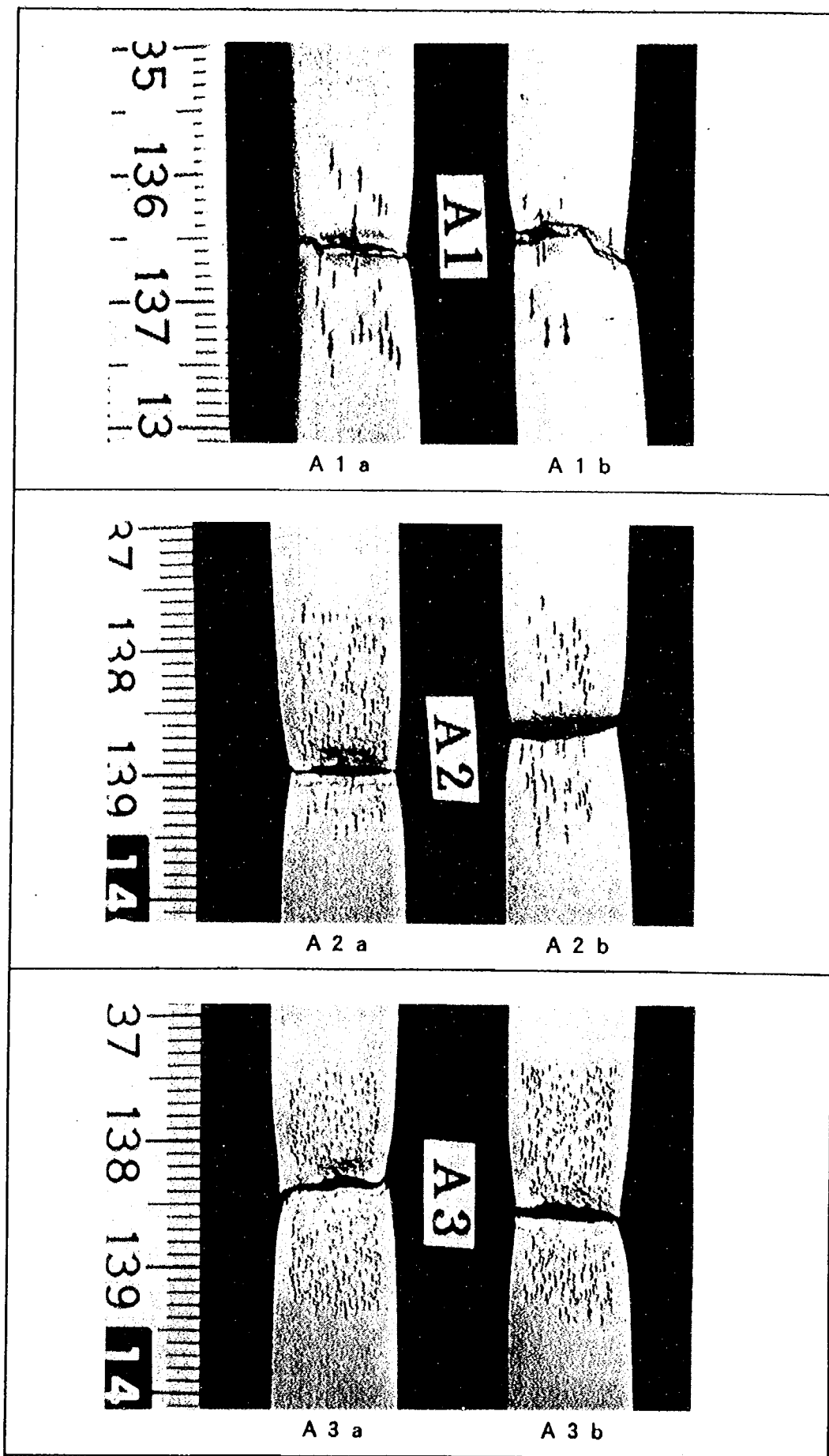
100 μ

C 3

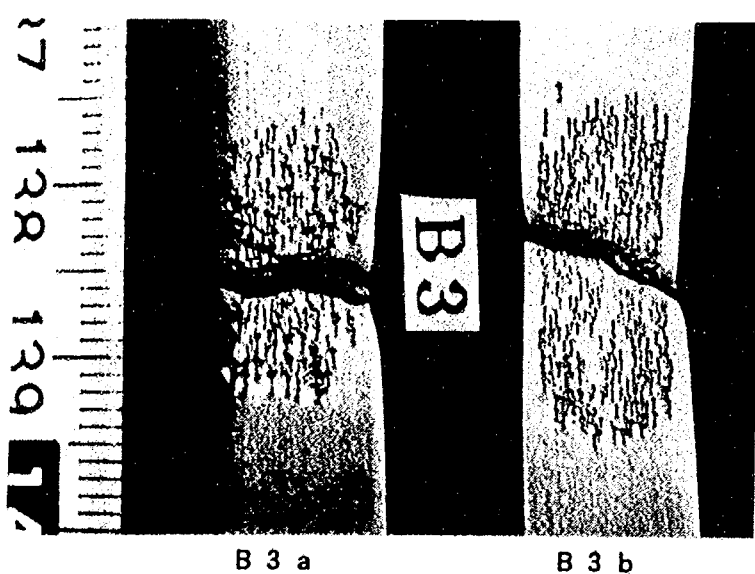
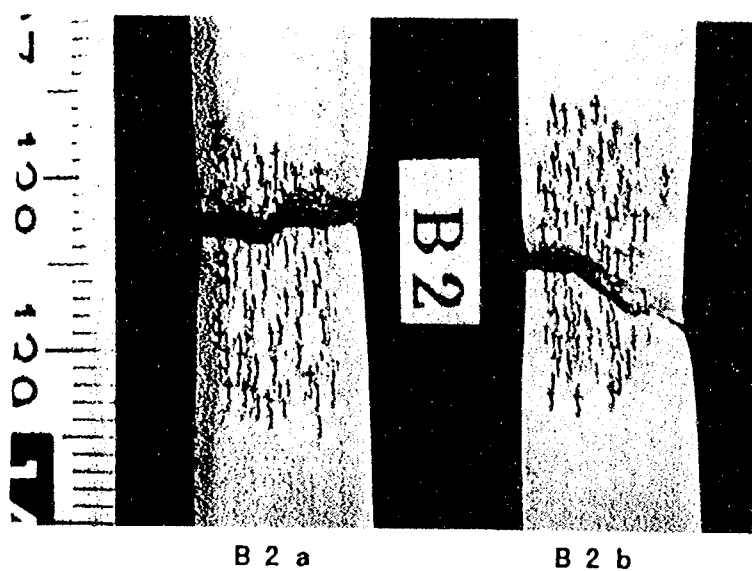
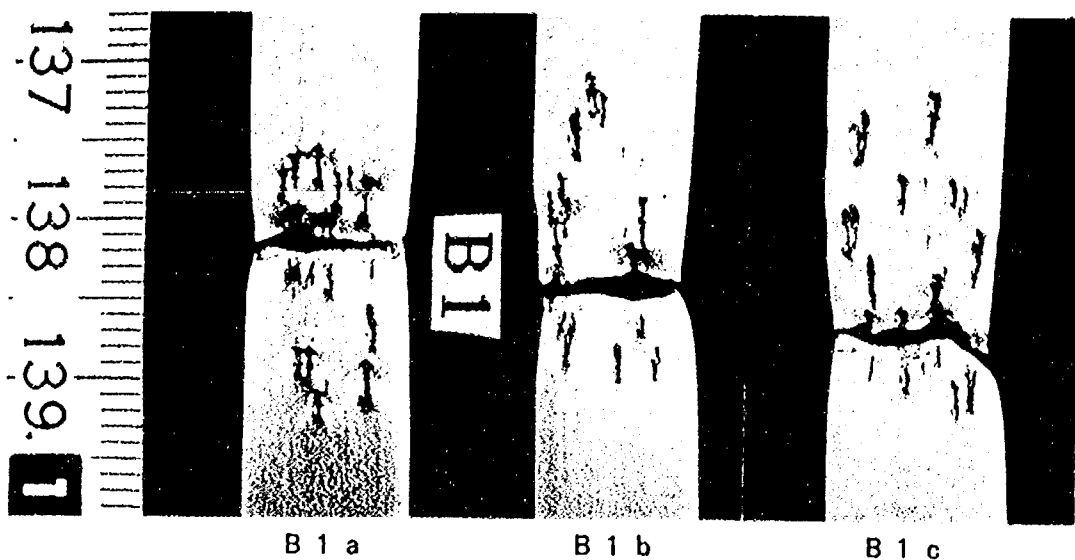
付写真12 孔食部断面の顕微鏡観察結果 (SUS316)

付録 8

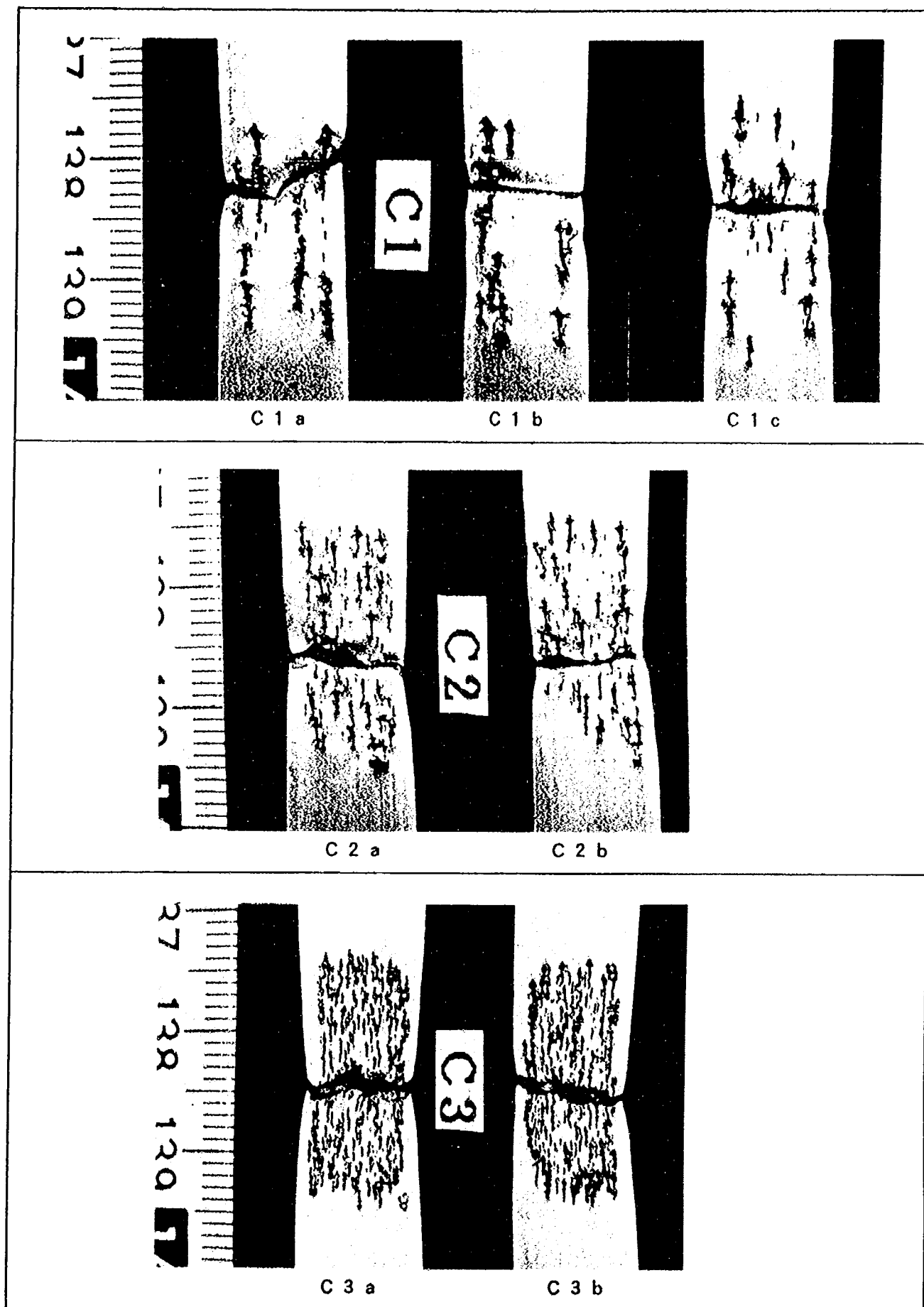
引張試験後の表面観察



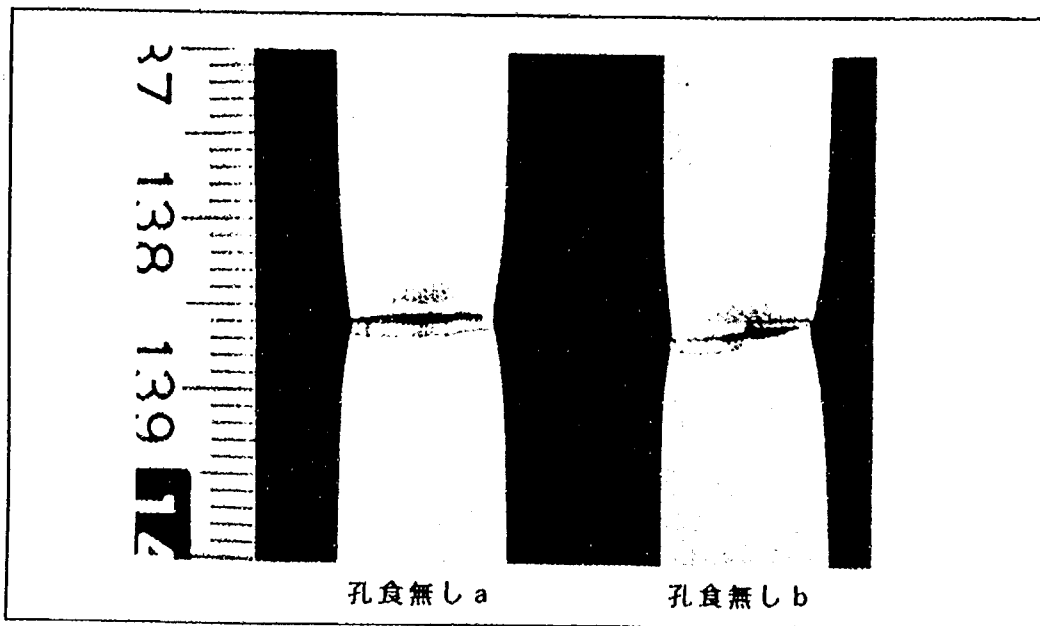
付写真13 引張試験後の表面観察結果 (SUS304)



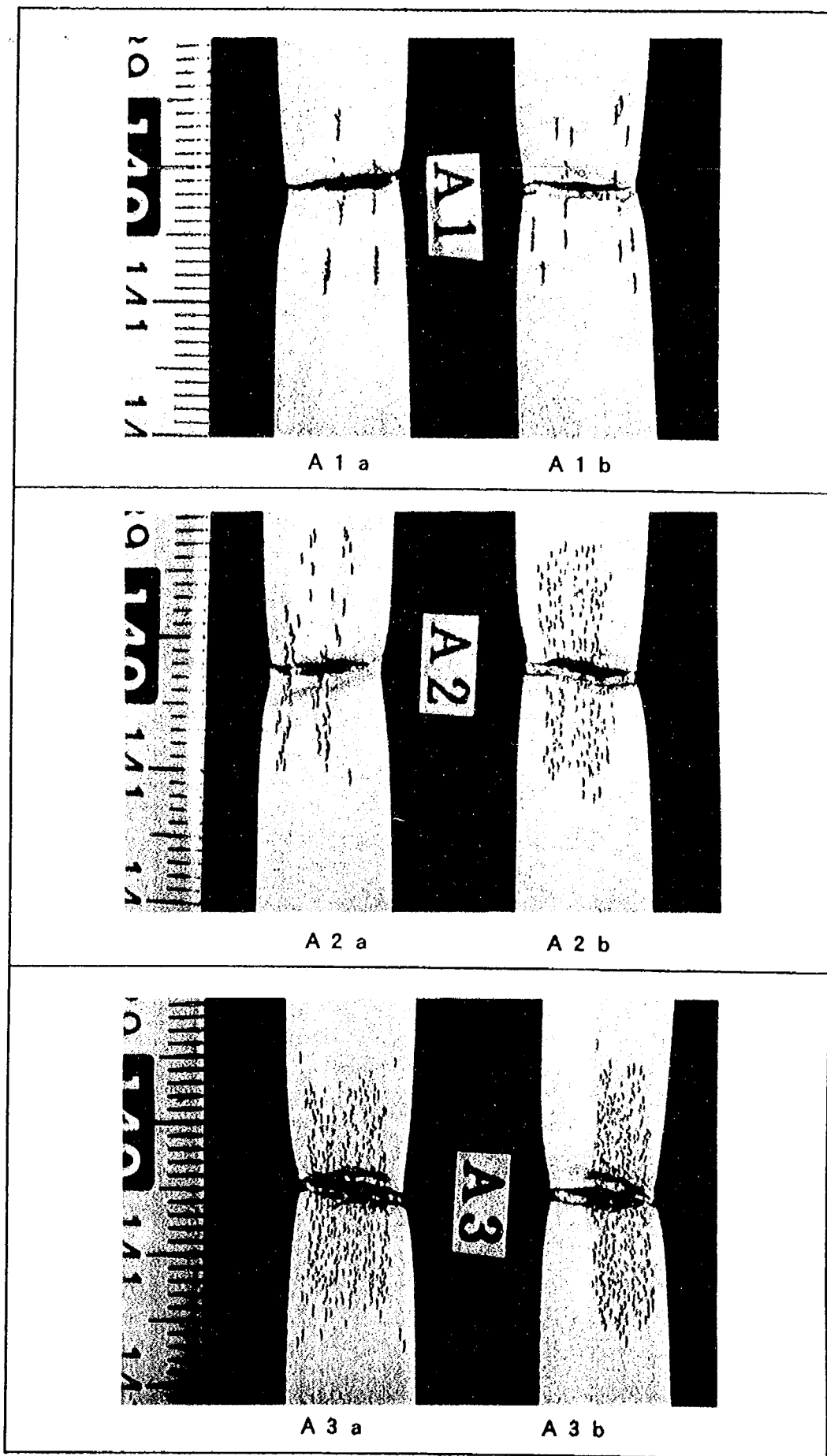
付写真14 引張試験後の表面観察結果 (SUS304)



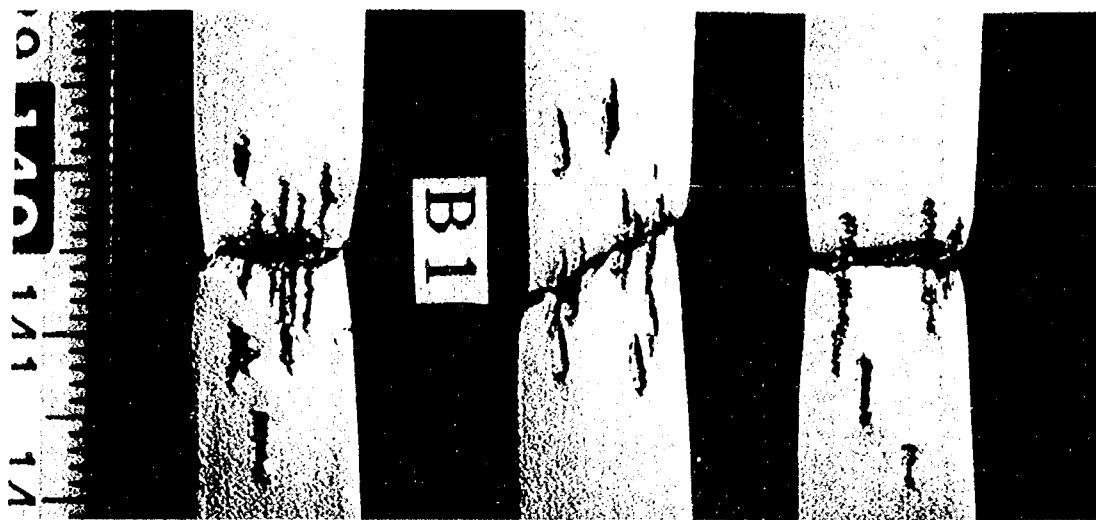
付写真15 引張試験後の表面観察結果 (SUS304)



付写真16 引張試験後の表面観察結果 (SUS304)



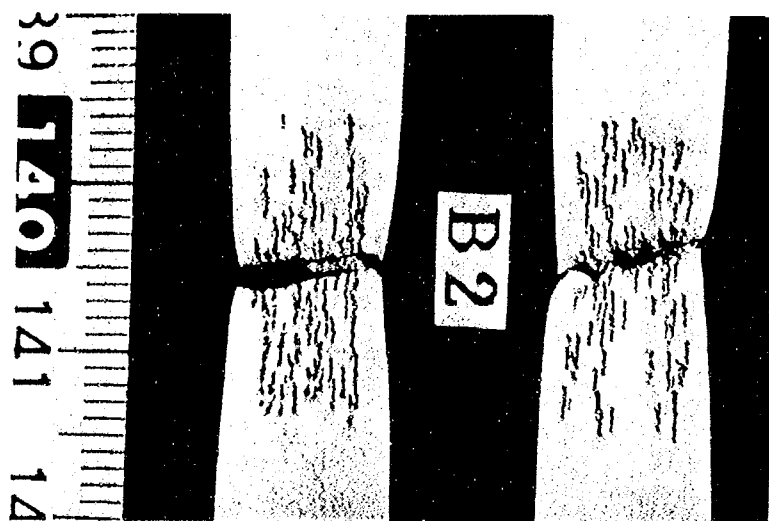
付写真17 引張試験後の表面観察結果 (SUS316)



B 1 a

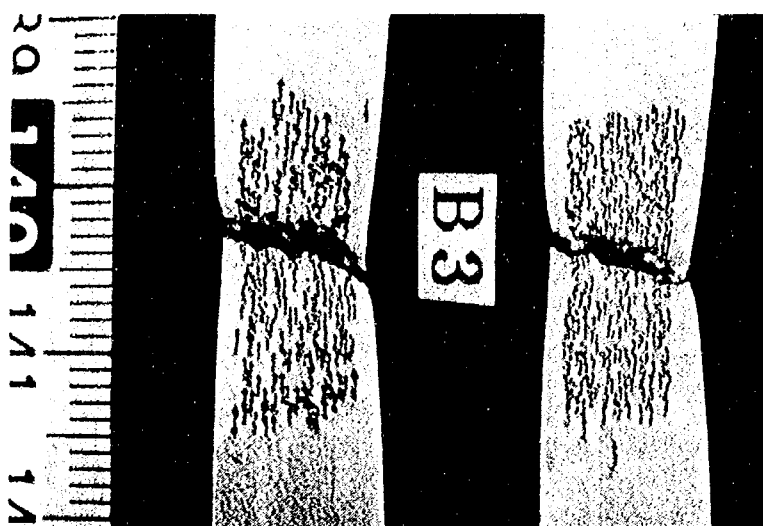
B 1 b

B 1 c



B 2 a

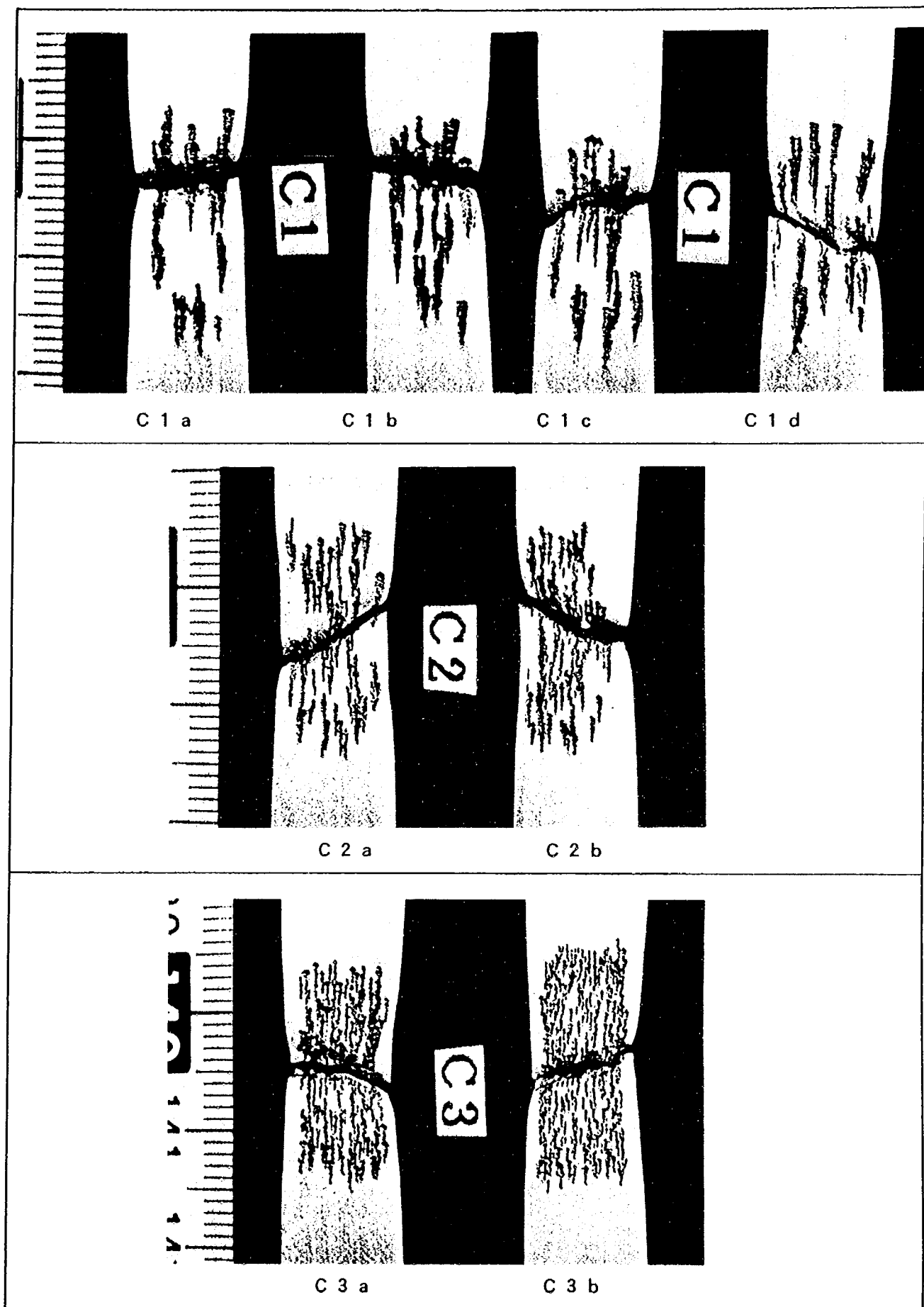
B 2 b



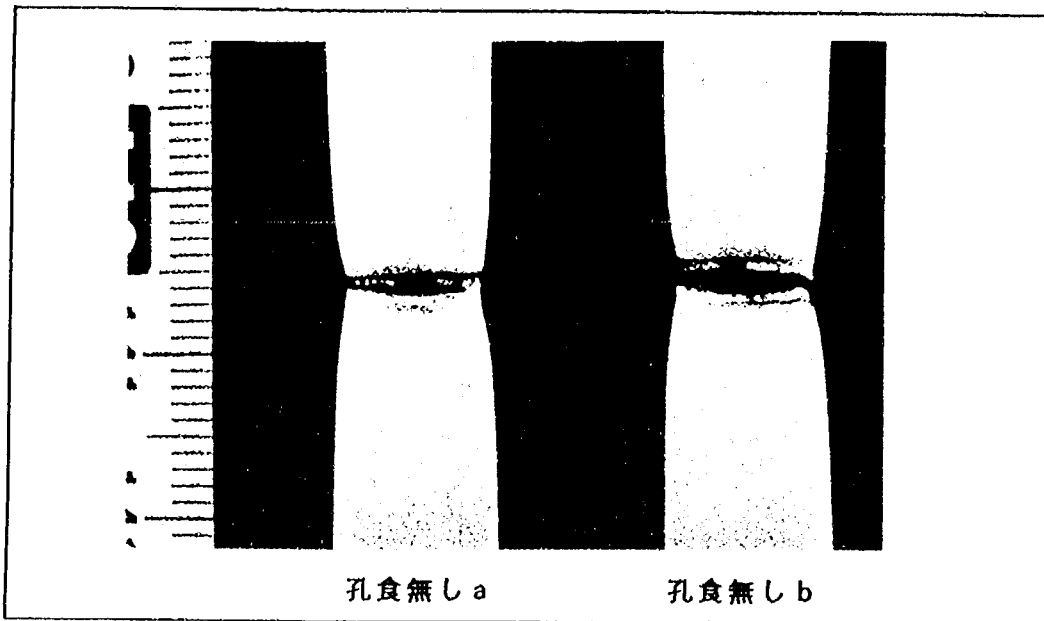
B 3 a

B 3 b

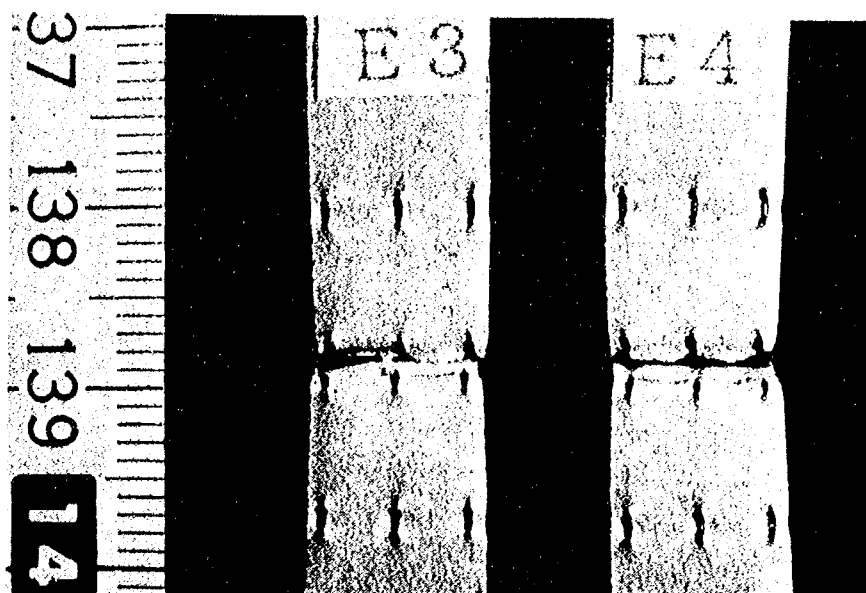
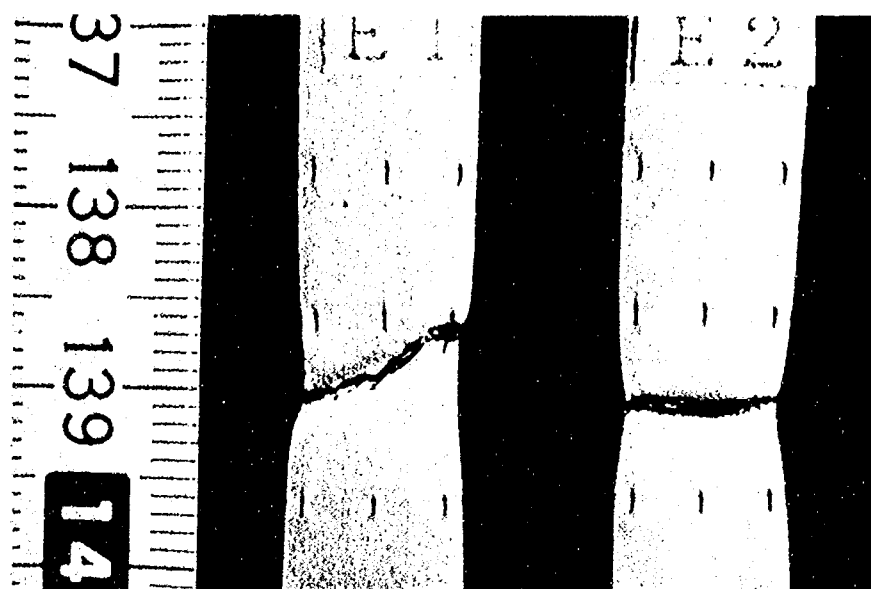
付写真18 引張試験後の表面観察結果 (SUS316)



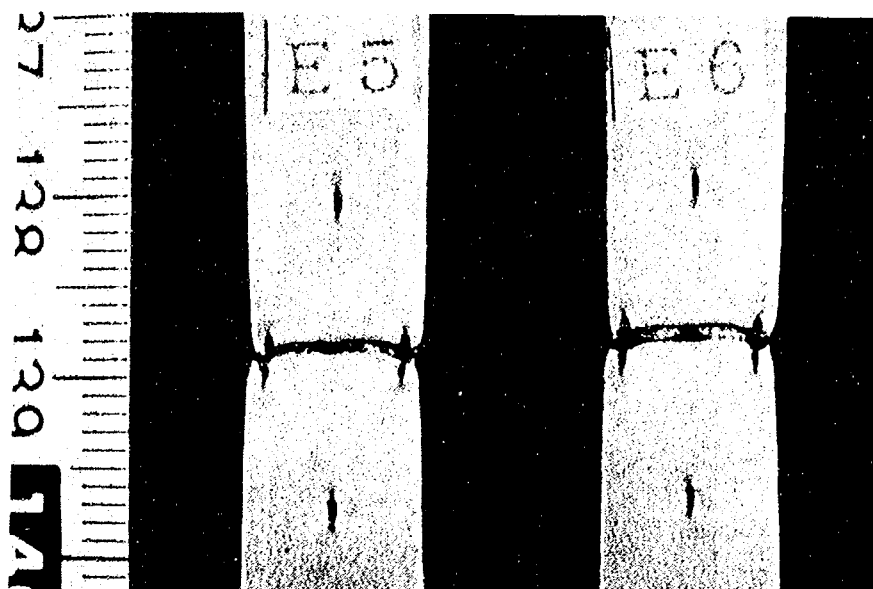
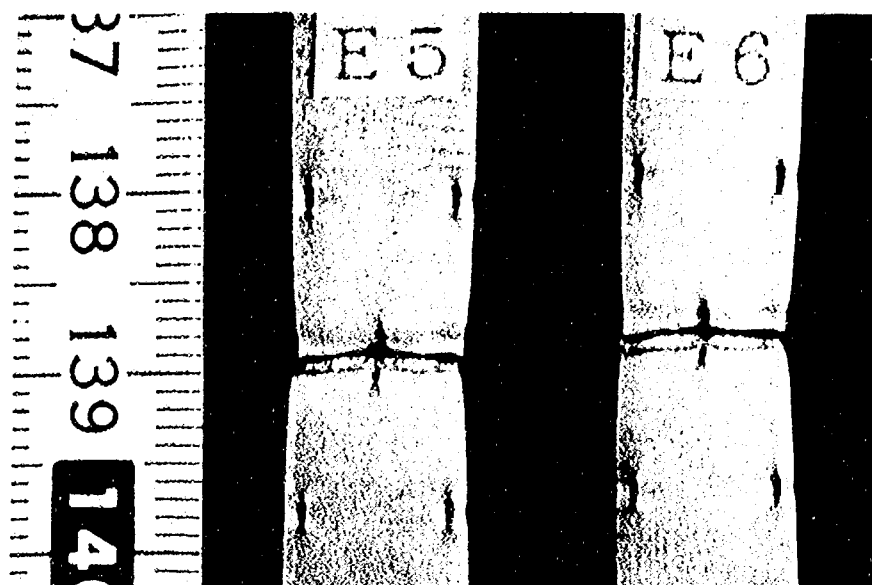
付写真19 引張試験後の表面観察結果 (SUS316)



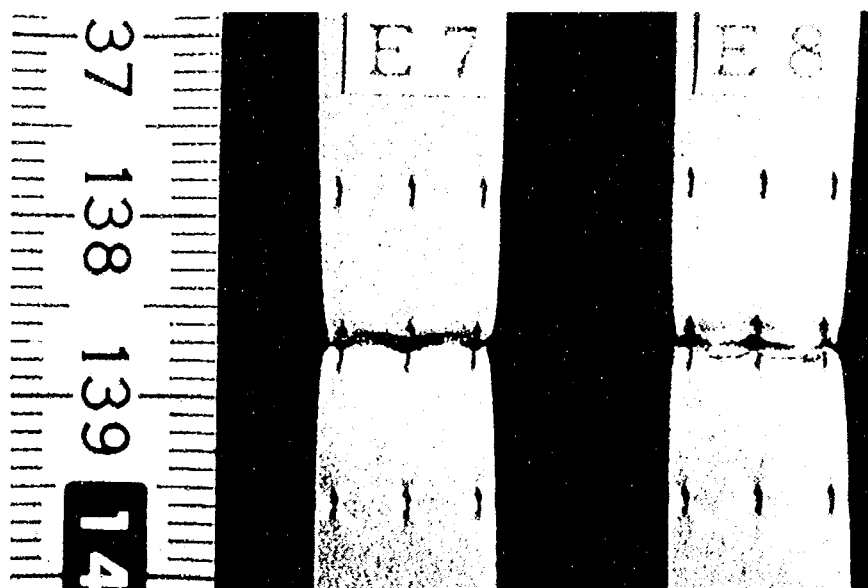
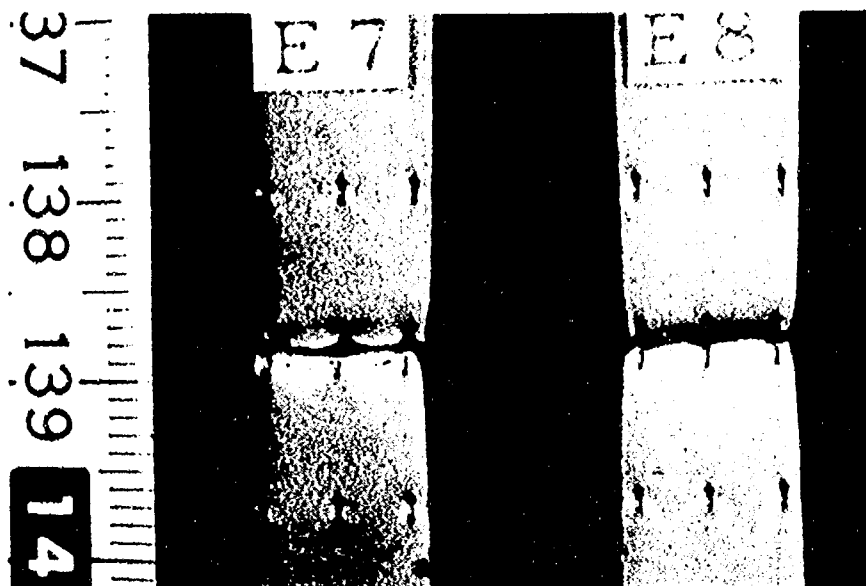
付写真20 引張試験後の表面観察結果 (SUS316)



付写真21 引張試験後の表面観察結果（疑似腐食試験／SUS304）



付写真22 引張試験後の表面観察結果（疑似腐食試験／SUS304）



付写真23 引張試験後の表面観察結果（疑似腐食試験／SUS304）

ステンレス鋼のダム用ゲート適用に
関する試験調査

土木研究所資料 第3344号
平成7年3月(1995)
材料施工部機械研究室

要 旨

近年の材料加工技術の発展を背景にステンレス鋼が構造部材として用いられるようになり、ダム・堰等の河川構造物においても、ステンレス鋼を用いたメンテナンス合理化が図られている。しかし、ステンレス鋼は普通鋼と機械特性が異なるため、明確になっていない課題が残されている。

本調査は、ダム・堰等に使用されるオーステナイト系のステンレス鋼を対象とし、設計基本強度に0.2%耐力を採用することの妥当性を確認するために文献調査及び繰返し負荷試験を実施した。また、腐食を帯びた状態でのステンレス鋼の強度特性を引張試験により検証したものである。

キーワード：ステンレス鋼、設計基本強度、0.2%耐力、ひずみ、強度特性、腐食、孔食、ダム用ゲート、メンテナンスフリー

郵便はがき

50円切手
をはって
下さい。

305□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所
材料施工部機械研究室

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料 第3344号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

土木研究所資料第3344号

ステンレス鋼のダム用ゲート適用に
関する試験調査