



鉄筋のガス圧接継手に関する 共 同 研 究 報 告 書

(2)温度および繰返し載荷の影響

1998年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所
材料施工部コンクリート研究室
(社) 日 本 圧 接 協 会

Copyright © (1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

鉄筋のガス圧接継手に関する 共同研究報告書

(2)温度および繰返し载荷の影響

建設省土木研究所 コンクリート研究室 室 長 河野 広隆
主任研究員 森濱 和正
研究員 加藤 俊二
圧接技術委員 大石橋宏次
" 宇佐美 滋
" 菊池 郁雄
" 原沢 秀明

要 旨

兵庫県南部地震の際に、RC構造物中のガス圧接継手の破断が問題となった。これを受け、土木研究所と日本圧接協会は、鉄筋の圧接部が種々の条件下で地震のような载荷速度の大きい荷重を受けたときの挙動を把握し設計に反映させるための検討、および、圧接部の施工の信頼性を向上させるための検討を、共同研究として実施している。

本報告書では、外気温が高速载荷時の圧接部の挙動に及ぼす影響に関する実験、D51までの太径の鉄筋の圧接部の高速载荷実験、塑性域の正負繰返し载荷試験、せん断と引張が複合して作用する载荷試験、さらにそれらの試験前・後の圧接部の金属的考察の結果を報告する。

キーワード：ガス圧接継手，熱間押抜法，超音波探傷法，载荷速度，温度，弾・塑性域正負繰返し，曲げ試験，組織観察，衝撃特性，硬さ，遷移温度

目 次

1. まえがき	1
2. 実験概要	2
2. 1 引張試験	2
2. 2 金属学的調査	4
3. 試験片の作製および検査結果	5
3. 1 鉄筋の種類	5
3. 2 試験片の作製	7
3.2.1 圧接方法	7
3.2.2 圧接結果	9
3. 3 超音波探傷試験結果	17
3. 4 曲げ試験結果	17
4. 引張試験	20
4. 1 試験方法	20
4.1.1 試験項目	20
4.1.2 载荷速度および試験温度の影響に関する試験方法	20
4.1.3 経時変化の影響に関する試験	20
4. 2 载荷速度および試験温度の影響に関する試験結果	26
4.2.1 試験結果	26
4.2.2 強度に及ぼす試験温度の影響	38
4.2.3 ヤング係数、伸び、絞りに及ぼす試験温度の影響	38
4.2.4 伸び変位	38
4.2.5 応力—ひずみ関係	38
4.2.6 圧接部で破断した鉄筋の金属学的調査結果	42
4. 3 経時変化の影響に関する試験結果	61
4.3.1 試験結果	61
4.3.2 強度に及ぼす時間、温度の影響	61
4.3.3 ヤング係数、伸び、絞りに及ぼす時間の影響	61
5. 繰返し载荷試験	64
5. 1 試験方法	64
5. 2 試験結果	71
6. 複合载荷試験	76
6. 1 試験方法	76
6. 2 試験結果	77
7. 金属学的調査	79
7. 1 試験方法	79
7. 2 マクロ観察結果	84
7. 3 ミクロ観察結果	93
7. 4 ビッカース硬さ試験結果	102
7. 5 シャルピー衝撃試験結果	105
7.5.1 試験温度0℃での衝撃特性	105
7.5.2 遷移温度	106
7.5.3 引張試験前・後の比較	107
8. まとめ	136
実験データ一覧	139

1. まえがき

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震において、鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋の継手部に破断現象がみられた。

現在、鉄筋コンクリートで造られている橋脚などの耐震設計の考え方は、通常の荷重や中規模までの地震に対しては、残留変形が生じない範囲で耐え（弾性設計）、大地震に対しては、変形によりエネルギーを吸収することで、崩壊を免れるという考え方（塑性設計）を採っている。しかしながら、この地震で見られた破断現象が、変形によるエネルギー吸収が小さいまま生じているものとする、これは想定している外力より小さい力で崩壊が生じる可能性のあることを意味する。

载荷速度、繰返し载荷などの外力の形態によって鉄筋継手の強度が大きく影響を受けるとすると、現在の設計体系を根底から揺るがしかねないことであり、構造物の安全性の確保のため、地震時などに生じる外力に対する鉄筋継手の挙動を明確にすることは、極めて重要で急務となっている。

前報¹⁾では、鉄筋継手の90%以上を占めるガス圧接継手について、地震時に作用する特徴的な荷重である高速载荷の影響および一方向繰返しについて引張試験による検討を行った。施工方法および管理方法については、現在実施されている標準的な圧接方法、超音波探傷試験による検査方法に対し、目視による全数検査が可能になると考えられる熱間押抜法についても検討した。また、引張試験前・後の試験片について、圧接界面、熱影響部、母材部の顕微鏡によるミクロ、マクロな組織観察、ビッカース硬さ試験による硬さ分布、シャルピー衝撃試験による特性の調査を行い、圧接部の金属学的考察を行った。これらの結果より、圧接を適切に行えば圧接部から破断することはない。その理由として、圧接部は熱の影響により耐衝撃性は低下するものの、引張後は、ふくらみがあるので塑性化せず耐衝撃性は変化しない。それに対し、母材部は塑性ひずみを生じ、耐衝撃性が低下するためであることが明らかになった。

本報告書では、外気温が高速载荷時の圧接部の挙動に及ぼす影響に関する実験、D51までの太径の鉄筋の圧接部の高速载荷実験、弾・塑性域の正負繰返し载荷実験、せん断と引張が複合して作用する载荷実験、さらにそれらの試験前・後の圧接部の金属学的調査結果をとりまとめたものである。

1) 共同研究報告書第188号、鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書(1) 载荷速度の影響、1997年8月

2. 実験概要

2. 1 引張試験

検討した実験項目は以下のとおりである。前報との違いがわかるように、下線を引いた項目は前回のみ、前回と今回行ったのは枠囲いを、今回新たに行った項目には二重の枠囲いをつけた。

今回追加した項目は、鉄筋径をさらに太くした場合の高速載荷の影響、地震荷重の影響では弾性域・塑性域における正負の繰返し、および引張とせん断の複合作用、また環境条件の影響では温度についてであり、いずれも兵庫県南部地震では被害を拡大した可能性のある重要な項目である。さらに、鉄筋の製法による違いをみるため電炉品に加え高炉品についても検討した。

凡例	前回
	前回・今回
	今回

1) 継手部に加わる荷重条件の影響

a. 地震時に加わる荷重の影響

① 載荷速度

地震時には通常の方法試験時の引張試験の載荷速度よりかなり速い速度で引っ張られている。

前回は標準的な試験のひずみ速度 (0.01%/sec) から10倍ずつ速くし、最高約30%/secであったが、今回は標準的な速度と高速 (約5%/sec) の2種類である。

② 高ひずみ繰返し

一方向繰返し

弾・塑性正負繰返し

地震時には大変形の正負交番繰返し荷重を受ける。

前回は一旦塑性域まで載荷後、除荷して破断まで引っ張る2回繰返しと、塑性域で破断まで繰返す疲労試験を行った。今回は、何種類かのパターンで弾性域・塑性域において荷重を漸増させながら一方向および正負の繰返しを行った。

③ 引張とせん断の複合作用

ひび割れ発生位置では引張と同時に大きなせん断力を受ける。

圧接部に作用するせん断力を変化させ、引張試験を行った。

b. 鉄筋の種類の影響

① 呼び名(鉄筋径)

鉄筋径が太くなるほど圧接面の処理、圧接時間など施工がむずかしくなると考えられる。この影響を見るため径を変えた試験を行った。

前回D19, 25, 32であった。今回はD25, 38, 51である。

② 強度

前回SD295A, 345, 390の3種類であった。今回はSD345のみである。

③ 製法

電炉

高炉

製法が異なると化学成分も異なることから圧接性も異なることが考えられる。

前回は電炉品のみであったが、今回はD51の電炉品および高炉品についても試験した。

c. 環境条件の影響

①経時変化

圧接部は溶融直前まで（1300～1400℃）加熱され、組織が変化する。それが圧接後の時間経過に伴い変化することがないか確認する。

前回は圧接後2ヶ月経過まで引張強度を調べた。今回は1年（実際には17箇月）経過時の引張試験を行った。

②温度（低温脆化）

温度により鉄筋の機械的性質は異なる。一般に低温では脆くなる。特に一旦加熱された圧接部の影響について確認する。試験は常温から-40℃について行った。

2) 施工条件に関する検討

a. 施工方法

①標準的な圧接方法

通常行われている圧接方法をここでは標準圧接と呼ぶ。標準圧接の場合でも1)の諸条件に耐えるのか検討する。

②熱間押拔法

標準圧接の直後に圧接部のふくらみをせん断刃で押拔除去する工法であり（詳しくは3.2節参照），表面外観によって接合品質の良否を判定することができる。目視により全数の品質検査が可能と考えられるこの方法による圧接について検討する。この圧接方法を，ここでは押拔圧接と呼ぶ。

b. 品質管理方法

主な検査方法には下記のものがあるので，適宜適用した。なお，(社)日本圧接協会の標準仕様書では，外観検査と超音波探傷検査によるとしている。引張試験による検査はこれら2つの検査方法の補助的なものとして扱われている。また，曲げ試験は技量資格検定試験で適用される。

①外観検査

主として圧接部のふくらみの形状・寸法を目視（必要に応じてノギス等の計測器を使用）によって検査する。合否判定基準はJIS Z 3120（鉄筋コンクリート用棒鋼ガス圧接継手の検査方法），及び詳細な基準は上記標準仕様書に示されている。

②超音波探傷検査

JIS Z 3062（鉄筋コンクリート用異形棒鋼ガス圧接部の超音波探傷方法及び判定基準）に準じて検査する。本法の特徴としては，検査結果と引張強さの間には明確な関係があることである。このため標準仕様書では引張試験に替えて超音波探傷試験を推奨している。

③引張試験

JIS Z 3120に準じて検査される。判定基準は引張強さがJIS G 3112（鉄筋コンクリート用棒鋼）の規定値と同等であることである。

④曲げ試験

JIS Z 3120では、やむを得ない場合に、引張試験を曲げ試験に替えてよいとしている。実際にはふくらみのついたままの試験片で実施することになっており、あまり適用されない。設計上は過度の曲げ変形を生じることはないので、曲げ試験での検査の妥当性には議論のあるところである。曲げ試験はどちらかといえば、技量の善し悪しを厳しく調べるために実施されている。これについてはJIS Z 3881（ガス圧接技術検定における試験方法及び判定基準）に示されている。

⑤熱間押抜法による外観検査

上記標準仕様書では、圧接部の検査は、外観検査及び超音波探傷検査によるのを原則としている。しかし、押抜き後のせん断面（圧接部）の表面外観により圧接部の品質が判定できる工法として本方法を示している。

2. 2 金属学的調査

前報と同様、引張試験前・後の圧接部のマクロ、ミクロな顕微鏡観察、ビッカース硬さ、シャルピー衝撃試験を行った。今回は、引張試験時に温度の影響についても検討することから、シャルピー試験も温度を変えて行い遷移温度も求めた。

3. 試験片の作製および検査結果

3. 1 鉄筋の種類

実験に使用した鉄筋は、JIS G 3112に適合するSD345のD25, D38, D51の電炉品と、高炉品のD51である。いずれも同一ロットのものを使用して実験した。鉄筋の化学成分を表-3.1.1に、表-3.2.2に機械的性質を示す。表-3.1.2には実断面積の結果も併記した。化学成分は鉄筋の種類に応じて変化しており、電炉品に比べ高炉品はSi, Mn, V, Alがやや高い値となっており、P, Cu, Cr, Ni, Snは低くなっている。節の形状、寸法を表-3.1.3および図-3.1.1に示す。今回使用した電炉品は竹節、高炉品は斜め節である。

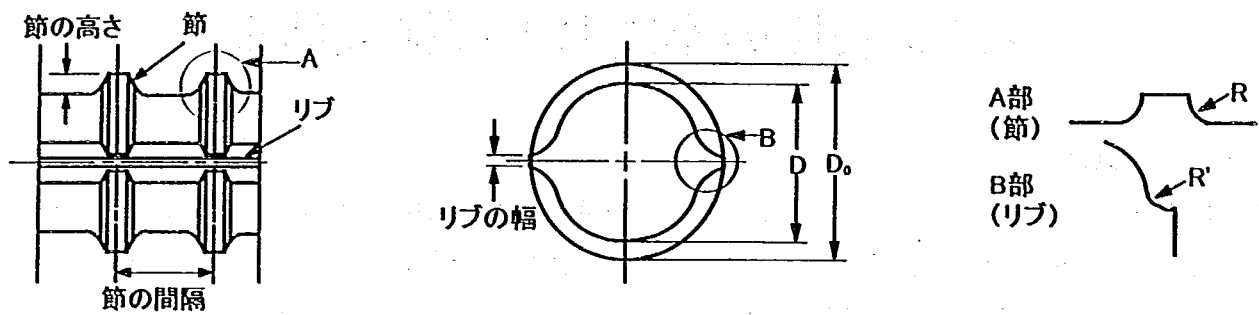
表-3.1.1 化学成分分析結果

(単位 %)

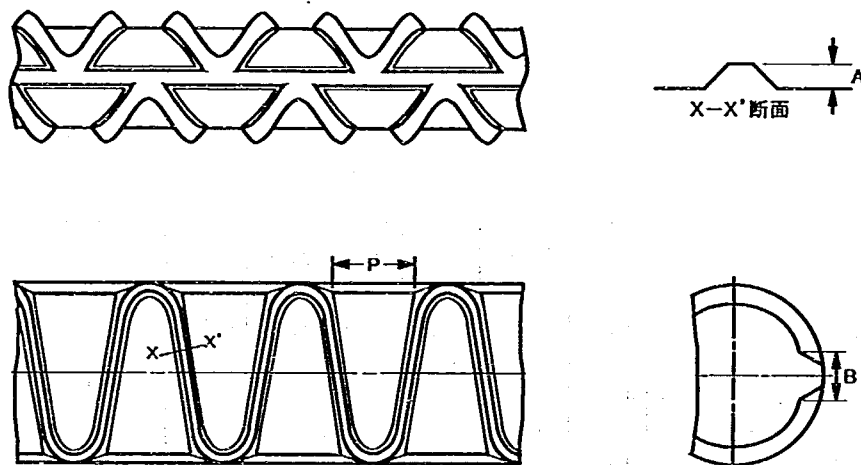
呼び名	製法	化学成分														
		C	Si	Mn	P	S	$C + \frac{Mn}{6}$	Cu	Cr	Ni	Sn	V	Nb	Al	Mo	Ti
D25	電炉	0.23	0.14	1.00	0.028	0.035	0.40	0.43	0.23	0.08	0.036	0.007	0.004	0.005	0.004	0.005
D38	電炉	0.24	0.14	1.05	0.029	0.034	0.42	0.38	0.26	0.09	0.030	0.016	0.003	0.002	0.008	0.006
D51	電炉	0.23	0.18	1.11	0.029	0.012	0.42	0.29	0.18	0.07	0.024	0.016	0.002	0.003	0.002	0.006
D51	高炉	0.23	0.39	1.43	0.010	0.014	0.47	0.00	0.05	0.01	0.002	0.052	0.002	0.013	0.000	0.006
JIS規格		0.27以下	0.55以下	1.60以下	0.040以下	0.040以下	0.50以下	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表-3.1.2 機械的性質

呼び名	製法	公称断面積 (mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	試験片	伸び (%)	絞り (%)	実断面積 (mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
D25	電炉	506.7	380.1	589.7	2号	22.9	50.9	465.2	414.0	642.2
D38		1140.0	401.8	593.2	3号	23.3	48.9	1068.2	428.5	532.7
D51		2027.0	392.4	581.1	3号	24.8	48.3	1891.8	421.5	624.1
D51	高炉	2027.0	394.9	566.2	3号	22.3	47.3	1748.9	458.1	656.9
規格値 (SD345)		—	345~440	490以上	2号 3号	18以上 16以上	—	—	—	—



(a)電炉品



(b)高炉品

図-3.1.1 鉄筋の形状・寸法

表-3.1.3 鉄筋の形状・寸法

製法	呼び名	節の間隔		節の高さ		リブの幅(mm) (節の隙間の和の最大値)		標準直径		曲率		単位質量 kg/m
		mm		mm		2		mm		mm		
		JIS(Max)	製品寸法	JIS	製品寸法	JIS(Max)	製品寸法	D	Do	R	R'	
電炉	D25	17.8	14.0	1.3~2.6	1.6	20.0/2	4.0	23.4	26.6	4.8	2.34	3.98
	D38	26.7	17.0	1.9~3.8	2.6	30.0/2	5.0	35.3	40.5	6.7	3.52	8.95
	D51	35.6	15.1	2.5~5.0	3.0	40.0/2	5.0	47.4	53.4	7.75	4.74	15.9
高炉	D51	35.6		2.5~5.0		40.0/2		50.8				15.9

3. 2 試験片の作製

3. 2. 1 圧接方法

(1) 標準圧接

標準的なガス圧接継手は、
図-3. 2. 1のように鉄筋端面同
士を突合せ、軸方向に圧縮力
を加えながら、突合せ部分を
酸素アセチレン炎で加熱し、
接合端面を溶かすことなく、
赤熱状態にし、ふくらませて
接合した継手である。

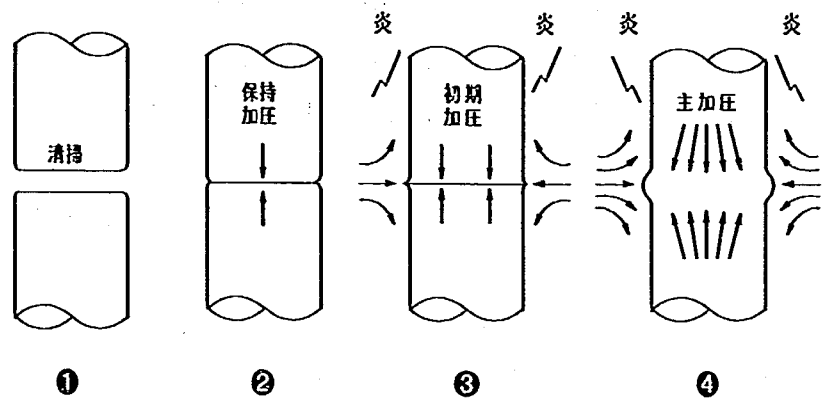


図-3. 2. 1 ガス圧接継手

ガス圧接法は溶接法の分類でいえば、圧接法であり、接合機構でいえば、固相接合である。接合界面の健全性を確保するには、加熱、加圧、及び時間が重要な因子となる。特に、鉄筋のガス圧接では、接合界面の健全性は次の2段階に分けて考えることが出来る。

界面の健全性＝(1) 十分な温度上昇及び一次アプセットによる空隙密着による界面間の原子拡散＋
(2) 十分且つ均質な温度保持下での、さらなる原子拡散、及び二次アプセットによる界面面積の拡大による、継手強度の安定化・強度化と界面の表面酸化部分の分散・押し出しによる品質の向上

なお、上記の健全性確保のためには、圧接前の圧接端面の錆、付着物が完全に除去され、出来るだけ平滑に仕上げられていることが、重要な前提条件である。

今回の試験においては、通常の現場で見られる管理状態での継手を対象として各種試験を実施することとしている。このため、圧接品質と関係が深いとされるふくらみの大きさ(ふくらみ径)を一つの目安と考えた。そこで、過去に施工されたガス圧接継手のふくらみ径を調査した結果、呼び名の約1.6倍となるような施工条件として作製した。

標準工法による試験片の作製時の圧接方法は手動で行い、圧接協会の標準仕様書に準じた次の手順、条件によった。

1) 準備作業

- ・圧接端面の切断は、高速砥石式切断機により鉄筋軸に直角に切断する。
- ・圧接作業直前に、圧接端面の錆、付着物は、ディスクグラインダで完全に除去し、出来るだけ平滑に仕上げ、その周辺をかるく面取りする。
- ・鉄筋に圧接器を取り付け、突合わせ面の隙間は3mm以下で、偏心、曲がりのないことを確認する。
- ・圧接器の締め付けボルトは、鉄筋の表面に締め付けきずを与えやすいので、きずの生じにくい先端部の形状の良好なボルトを使用した。

2) 加熱・加圧作業

- ・加熱は、圧接端面間のすきまが完全に閉じるまでは、界面の表面酸化を防ぐため還元炎にて、火炎が圧接端面から外れないように加熱する。界面形成には、温度上昇が十分に高いこと(1,200-1,300

℃)が必要であり、これが界面における原子拡散を促進させる重要な条件となっている。とくに、端面の鉄筋中心部を含めた温度上昇が必要である。

- ・圧接端面間のすきまが完全に閉じたことを確認した後、中性炎にて鉄筋の軸方向にバーナーを揺動させる(幅焼き)。このときの加熱範囲は、圧接面を中心に鉄筋径の2倍程度とする。この場合も、界面の十分な温度上昇(原子拡散の促進)と鉄筋の表面と中心部の温度差を少なくする様に均一且つ十分な加熱を行う。

- ・加圧は、半自動ポンプにより行い、設定圧力は鉄筋断面に対し、上限圧を38MPa、下限圧を19MPaとした。

上限圧とは、鉄筋に十分なアプセットを与えるために設定する圧力であり、30MPa以上であれば良いとされている。ただし、過度に上限圧を高めると、加熱温度の不十分さあるいは不均一さのうちに、アプセットが急進することにより、不完全な界面形成を引き起こす恐れがある。今回の上限圧の値は過去の多くの試験の結果から適正な値とされている値である。

下限圧とは、上限圧(初期圧、あるいは1次加圧)に設定されて加熱の進んだ鉄筋が、高温強度の低下のままに残圧によって縮み始め、圧力もまた低下してくる。ある圧力までさがったところで、再び加圧し、十分な加圧(通常は上限圧)による最終アプセットを得て、圧接を完了させる。この再加圧直前の圧力を下限圧という。下限圧はふくらみ形成のタイミングを与える極めて重要な指標であるといえる。すなわち、健全な界面を得るには、界面近傍の加熱温度の十分さと均一さが必要であり、その温度条件を満足した時の圧力である。今回の下限圧の値は上限圧との関連も考慮して設定し、上限圧の1/2程度とした。

最終アプセットでのふくらみ形成は界面についてみれば、鉄筋径方向への面積拡大過程である。この過程において継手強度の安定化・強度化と界面の表面酸化部分の分散・押し出しによる品質の向上が十二分に達成されるところにガス圧接の利点がある。

- ・最終アプセットが終了した後、加熱を停止する。圧接器の取り外しは、鉄筋加熱部分の火色消失後とする。

(2) 押抜圧接

熱間押抜法は、図-3.2.2に示すように、標準的な圧接法での圧接終了直後に、図-3.2.3のような圧接器に取り付けられた押し抜き刃を動かして、ふくらみ部を除去する。この除去作業のみが工程として加わるのみであり、その作業時間は、5-10秒程度にしか過ぎない。

本工法の特徴は、除去したふくらみ部分が鉄筋径(呼び名)の1.2倍程度と母材鉄筋の最大径に近い仕上がり寸法であること、せん断面の外観を目視観察することで圧接部の品質が判定できること、などである。

不良圧接を目視観察で判定できる原理は、図-3.2.4の概念図に示すように、押し抜きによる作用力(引張力)が圧接面に生じる現象を利用している。不良圧接の場合には、この引張力に耐えられずに、割れや線状傷が圧接面の表面に生じるので、目視で圧接部の健全性が判断できる。

3.2.2 圧接結果

圧接時には、全試験片について圧接時間（押抜法の場合は押抜きの時間も測定）、鉄筋軸方向の縮み量（アプセット量として試片冷却後に測定）を調べた。圧接後には、外観検査として、圧接品質と関係が深いとされるふくらみの大きさ（ふくらみ径）及びふくらみの軸方向長さ（ふくらみ長さ）を計測した。その結果を表-3.2.1および図-3.2.5~3.2.8に示す。

標準圧接についてみると、圧接時間の平均は、D25が1分45秒、D38が3分42秒、D51が電炉材で6分42秒、高炉材で6分25秒であった。これらの時間は一般的な値といえる。変動係数についてはD25が7.5%であるが他の径は5%程度である。径が細く、圧接時間が短い分D25に変動がややあったが、手動圧接は熟練者の作業となると全般的には時間変動が小さいといえる。アプセット量／鉄筋径の平均は、D25が1.19、D38が1.12、D51が電炉材で1.0、高炉材で1.01であった。アプセット量は普通鉄筋径の1倍といわれているので、これらの数値もまた一般的な数値といえる。変動係数についてはいずれも5%程度かそれ以下である。圧接時間の変動の少なさがこのように安定したアプセット量の結果になったといえる。ふくらみ形状については、まず、ふくらみ径／鉄筋径は平均的には1.61であり、変動係数は約2%とばらつきは小さい。また、ふくらみ長さ／鉄筋径も平均的には1.36であり、ふくらみ径に応じた適正なふくらみ長さとなっている。

次に、押抜圧接についてみると、圧接時間の平均は、D25が1分47秒、D38が3分44秒、D51が電炉材で5分36秒、高炉材で5分23秒であった。これらの時間を標準圧接と比較すると、D51のみ押抜圧接の方が短い時間となっているが、他の径ではやや押抜圧接の方が長い時間となっている。変動係数についてはD25が7.0%、D38が9.9%であるがD51は5%程度である。強いていえば、押し抜き作業が入る分だけ、径が細く、圧接時間が短い時には変動がやや生じるのかも知れないが、全般的には時間変動は小さいといえる。アプセット量／鉄筋径の平均は、D25が1.05、D38が同じく1.05、D51が電炉材で0.84、高炉材で同じく0.84であった。標準圧接よりもやや小さい値であるが、問題のない数値といえる。変動係数についてはD25がやや大きい、他の径では5-7%程度である。ふくらみ形状については、まず、ふくらみ径／鉄筋径はD51についてのみ測定した。押し抜き刃で除去された円筒形部分の直径であることから、極めて均一な直径（電炉材：1.17、高炉材：1.18）と変動係数（電炉材：0.5%、高炉材：0.8%）となっている。また、ふくらみ長さ／鉄筋径はすべての径について計測した。平均的には1.29であり、標準圧接よりやや小さいとはいえ、適正なふくらみ長さとなっている。

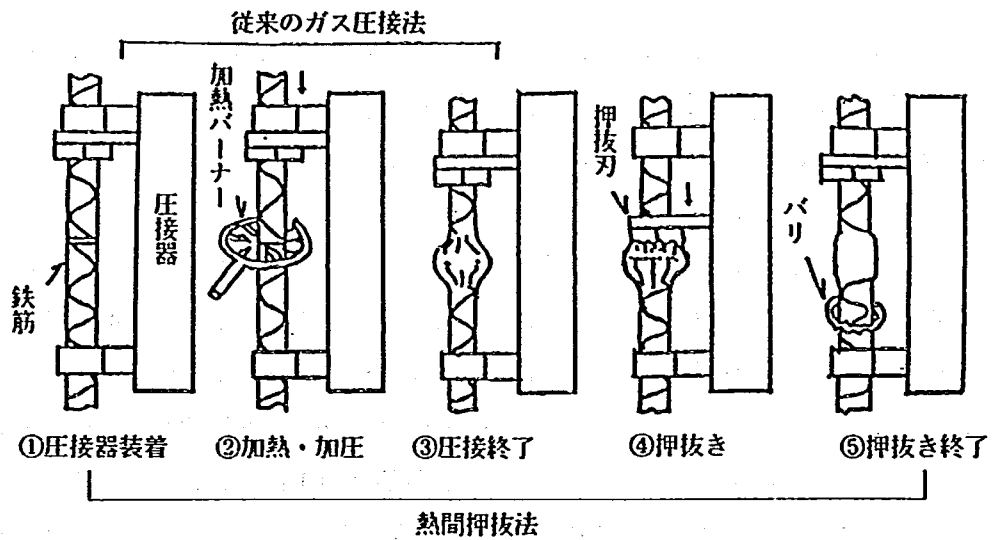


図-3.2.2 圧接・押抜き作業の施工順序

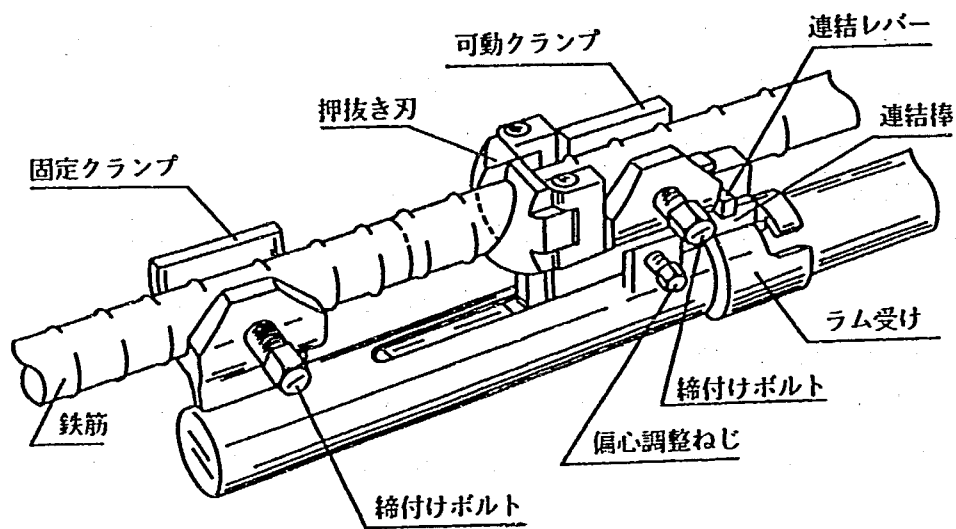


図-3.2.3 圧接装置の基本的な構造

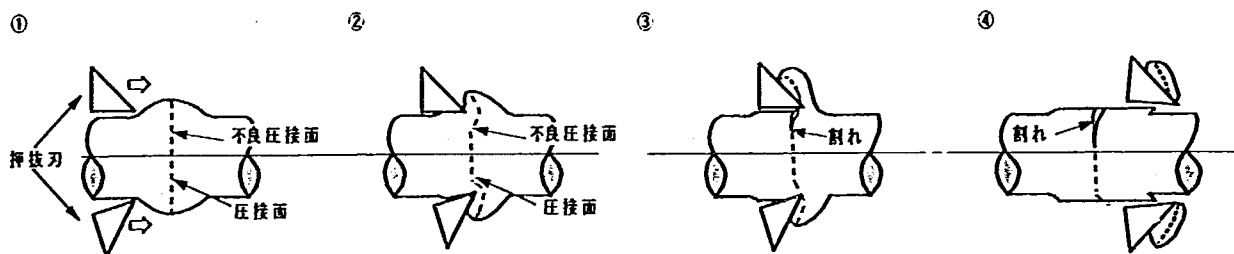


図-3.2.4 熱間押抜き法

表-3.2.1 圧接の検査結果

(1)圧接時間

圧接方法	鉄筋の種類		本数	圧接時間				
	材質	径		最大 (秒)	最小 (秒)	平均 (秒)	標準偏差 (秒)	変動係数 (%)
標準	電炉	D25	63	117	65	105	7.9	7.5
		D38	50	235	200	222	7.3	3.3
		D51	50	444	350	402	21.5	5.4
	高炉	D51	50	439	344	385	22.4	5.8
押抜	電炉	D25	63	122	92	107	7.5	7.0
		D38	50	265	187	224	22.1	9.9
		D51	16	362	313	336	14.5	4.3
	高炉	D51	16	366	293	323	19.8	6.1

(2)アプセット量

圧接 方法	鉄筋の種類		本数	アプセット量					アプセット量/鉄筋径				
	材質	径		最大 (mm)	最小 (mm)	平均 (mm)	標準 偏差 (mm)	変動 係数 (%)	最大	最小	平均	標準 偏差	変動 係数 (%)
標準	電炉	D25	63	33	26	30	1.6	5.3	1.32	1.04	1.19	0.06	5.3
		D38	50	46	40	42	1.3	3	1.21	1.05	1.12	0.03	3.0
		D51	50	57	45	51	2.6	5	1.12	0.88	1	0.05	5.0
	高炉	D51	50	55	47	52	1.7	3.2	1.08	0.92	1.01	0.03	3.2
押抜	電炉	D25	63	32	20	26	2.6	10	1.28	0.8	1.05	0.11	10.0
		D38	50	44	32	40	2.8	7.1	1.16	0.84	1.05	0.08	7.1
		D51	16	48	38	43	2.97	7	0.94	0.75	0.84	0.06	7.0
	高炉	D51	16	46	36	43	2.3	5.4	0.9	0.71	0.84	0.05	5.4

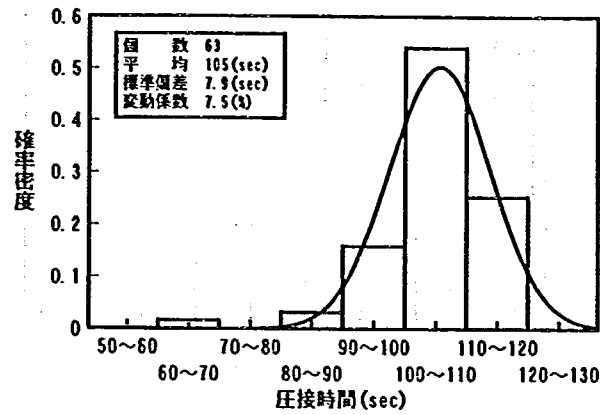
(3)ふくらみ径

圧接 方法	鉄筋の種類		本数	ふくらみ径					ふくらみ径／鉄筋径				
	材質	径		最大 (mm)	最小 (mm)	平均 (mm)	標準 偏差 (mm)	変動 係数 (%)	最大	最小	平均	標準 偏差	変動 係数 (%)
標準	電炉	D25	63	44	39	42	0.8	1.9	1.76	1.56	1.67	0.03	1.9
		D38	50	64	59	61	1.1	1.7	1.68	1.55	1.62	0.03	1.7
		D51	50	82	73.5	78.9	1.7	2.1	1.61	1.44	1.55	0.03	2.1
	高炉	D51	50	84	77	81	1.7	2.2	1.65	1.51	1.58	0.03	2.2
押拔	電炉	D25	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		D38	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		D51	16	60.2	59.2	59.8	0.29	0.5	1.18	1.16	1.17	0.01	0.5
	高炉	D51	16	60.9	58.9	60.2	0.48	0.8	1.19	1.15	1.18	0.01	0.8

(4)ふくらみ長さ

圧接 方法	鉄筋の種類		本数	ふくらみ長さ					ふくらみ長さ／鉄筋径				
	材質	径		最大 (mm)	最小 (mm)	平均 (mm)	標準 偏差 (mm)	変動 係数 (%)	最大	最小	平均	標準 偏差	変動 係数 (%)
標準	電炉	D25	63	36	31	34	1.1	3.4	1.44	1.24	1.34	0.05	3.4
		D38	50	57	50	53	1.6	2.9	1.50	1.32	1.39	0.04	2.9
		D51	50	78.5	66	70.3	3.1	4.5	1.54	1.29	1.38	0.06	4.5
	高炉	D51	50	78	61	66	3	4.5	1.53	1.2	1.3	0.06	4.5
押拔	電炉	D25	63	36	29	32	1.1	3.6	1.44	1.16	1.27	0.05	3.6
		D38	50	52	47	49	1.4	2.9	1.37	1.24	1.29	0.04	2.9
		D51	16	66.5	63.5	64.3	0.83	1.3	1.30	1.25	1.26	0.02	1.3
	高炉	D51	16	75	63	67.2	2.49	3.7	1.47	1.24	1.32	0.05	3.7

標準圧接



押抜圧接

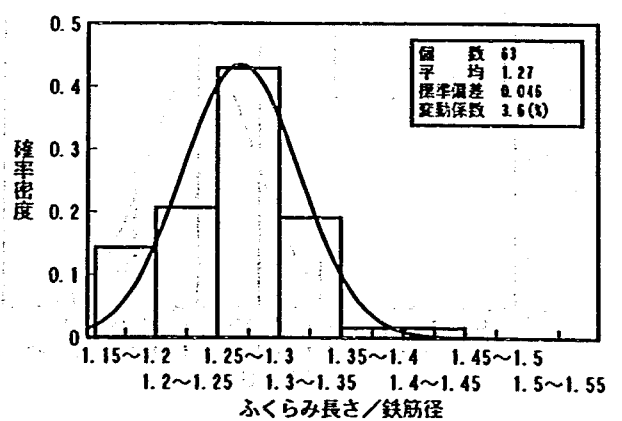
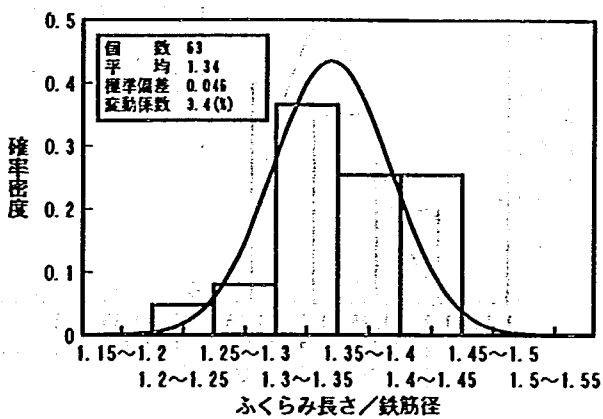
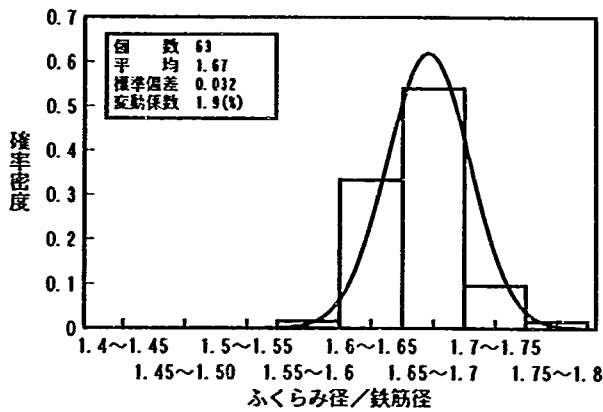
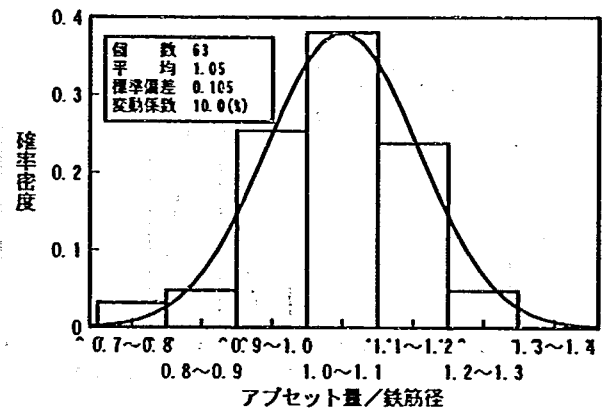
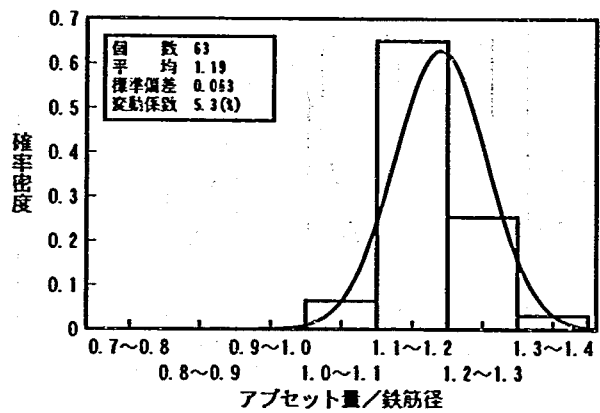
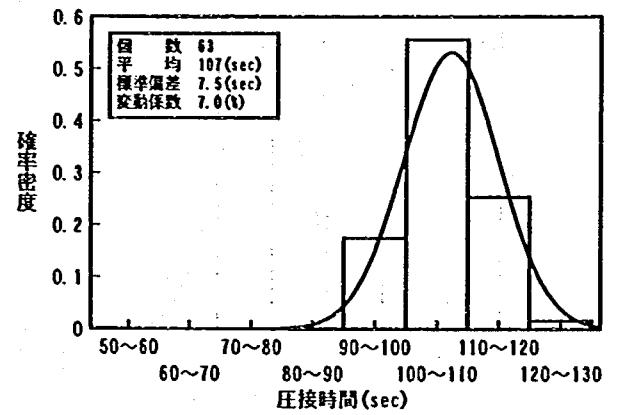
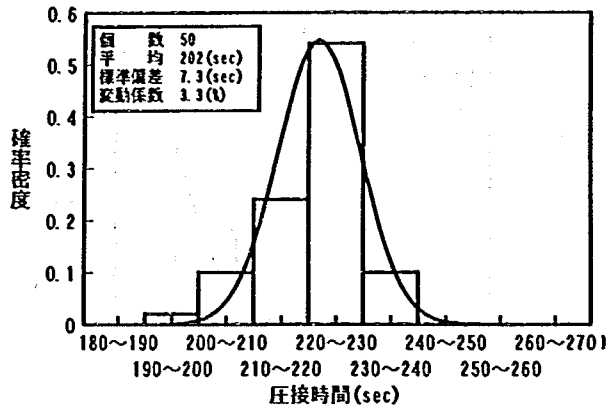


図-3.2.5 D25の各分布図

標準圧接



押抜圧接

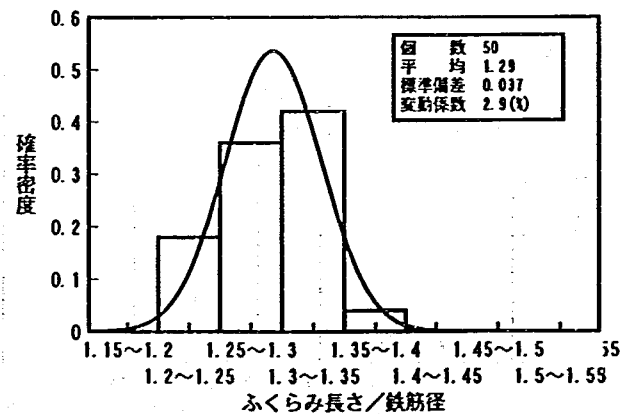
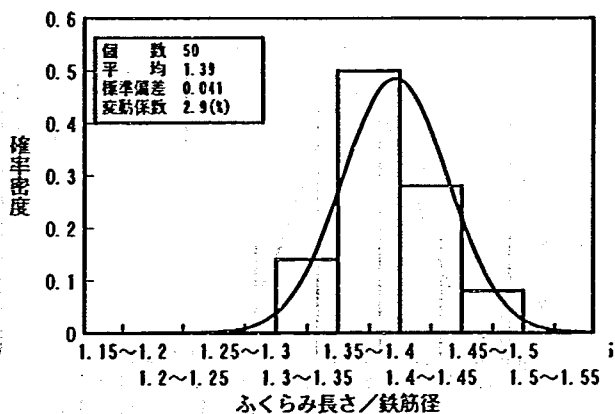
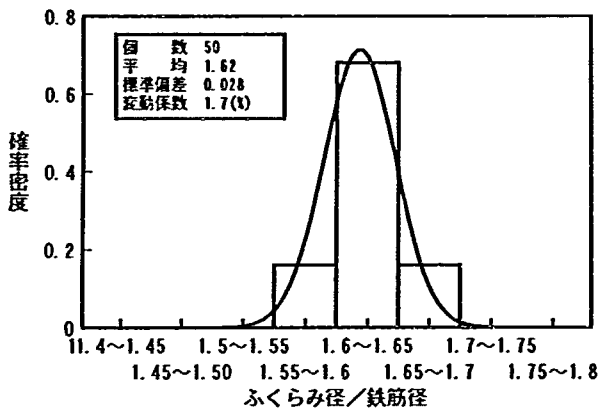
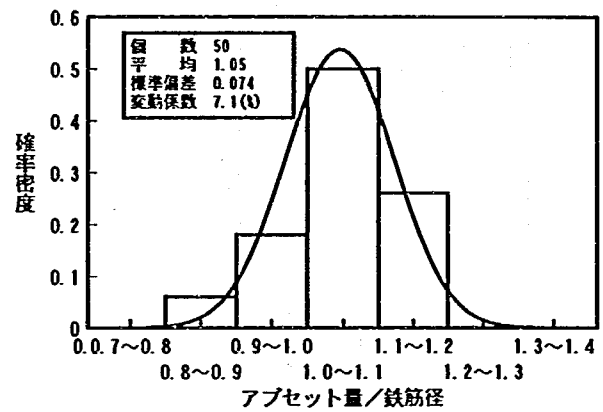
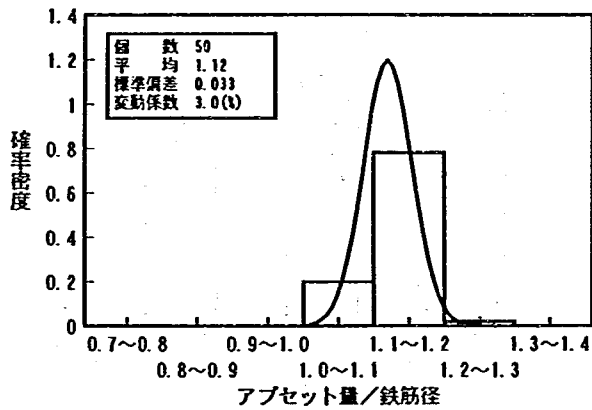
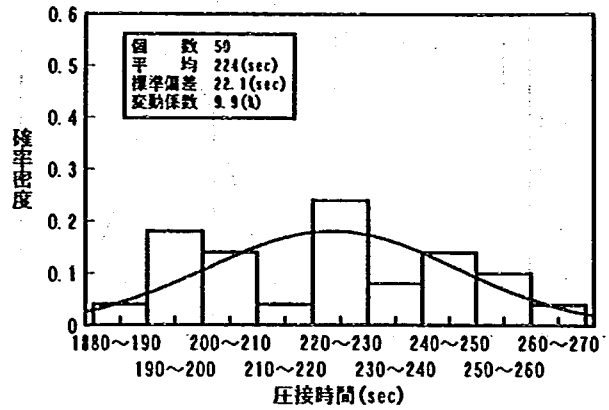
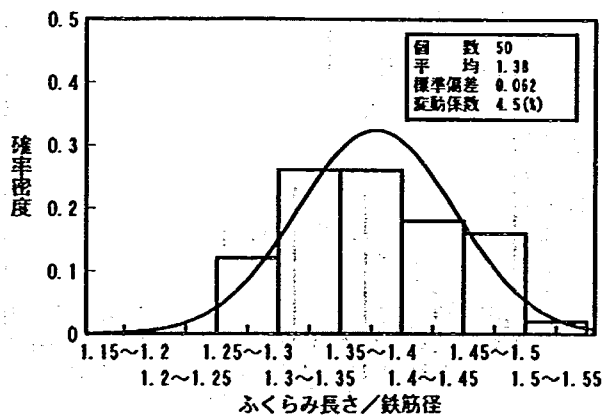
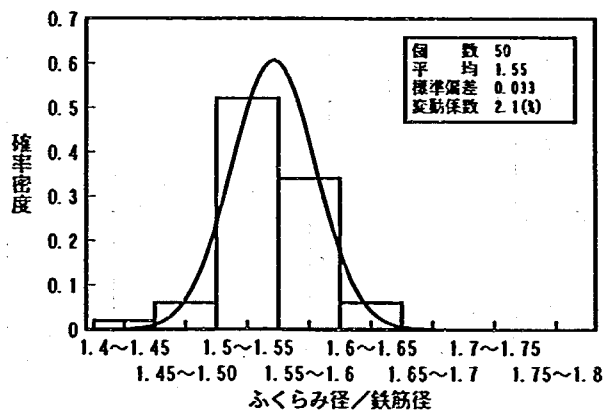
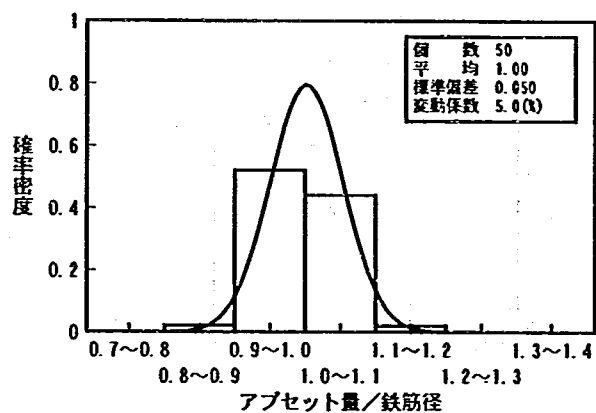
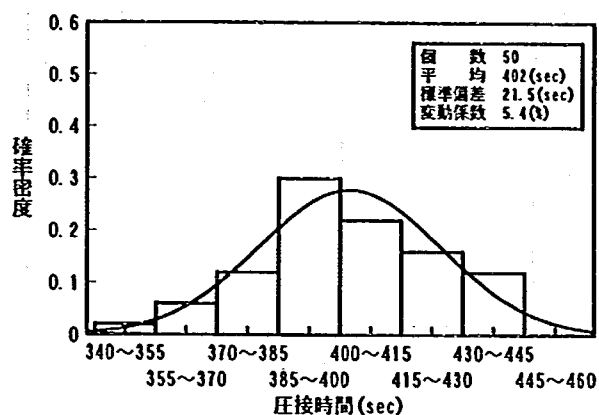


図-3.2.6 D38の各分布図

標準圧接



押抜圧接

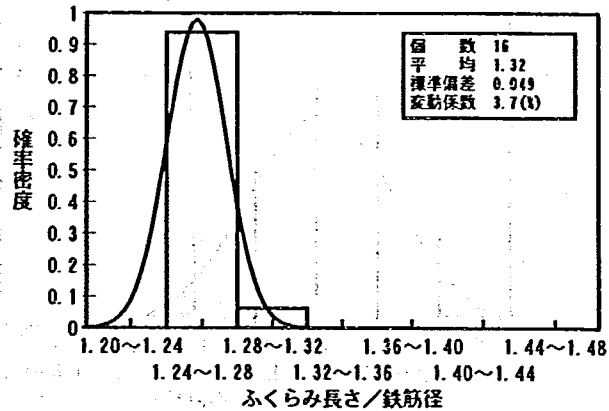
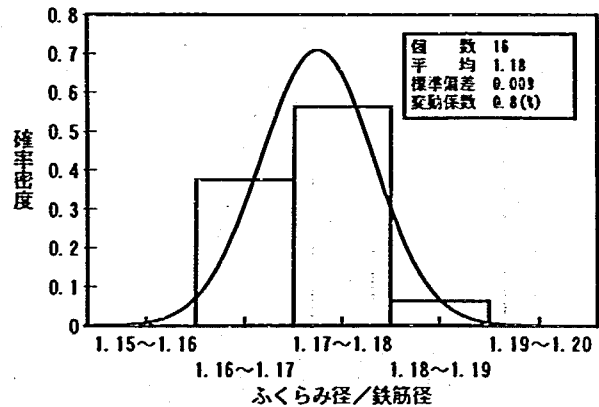
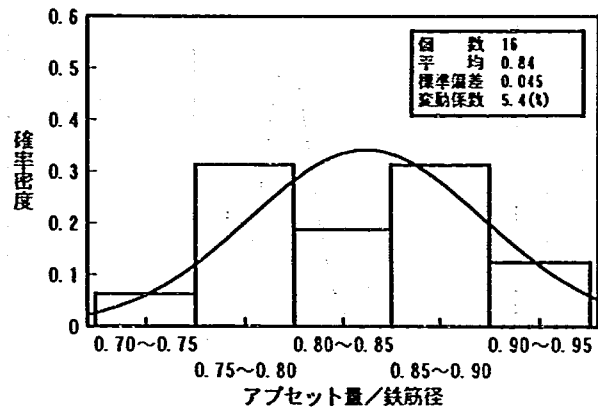
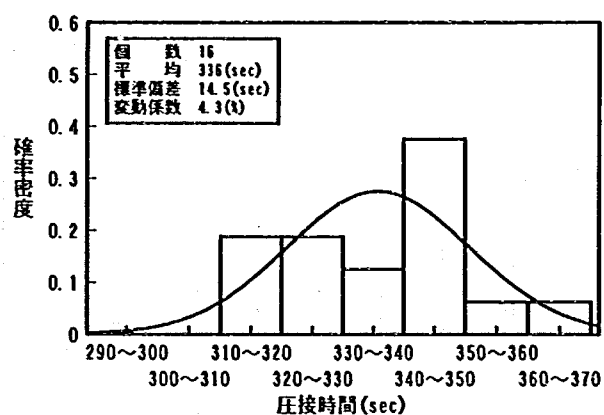


図-3.2.7 D51電炉の各分布図

標準圧接

押抜圧接

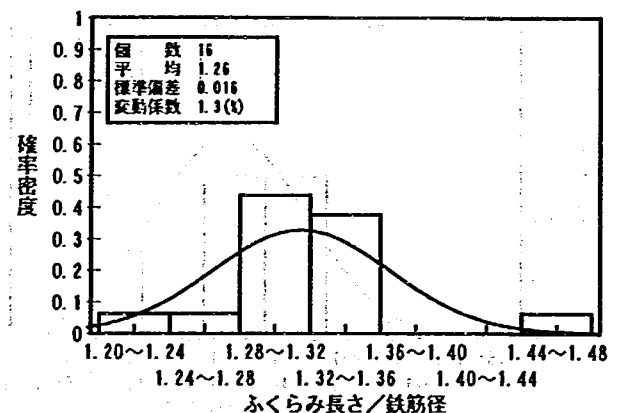
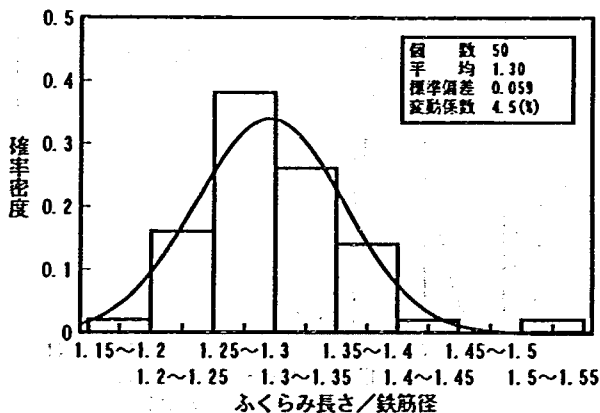
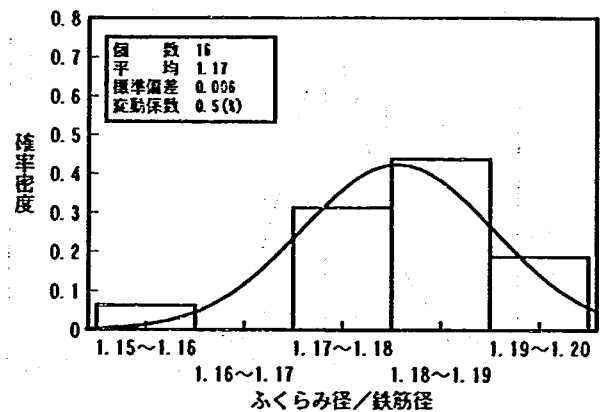
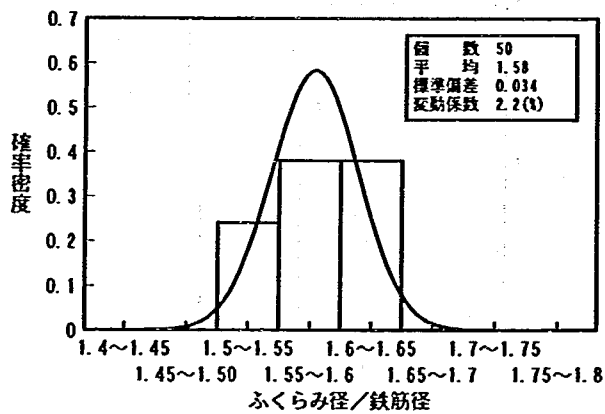
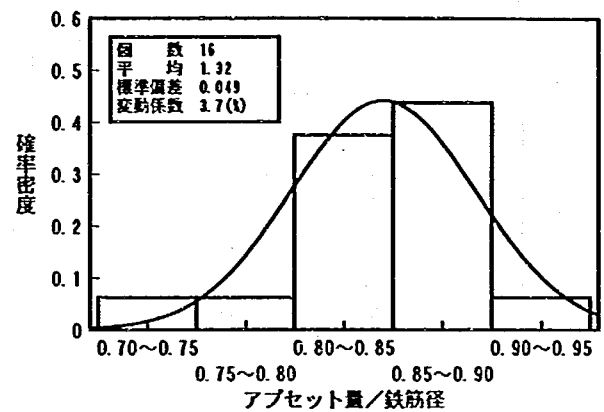
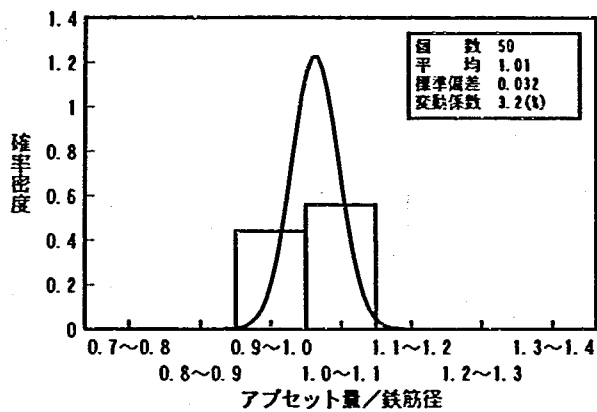
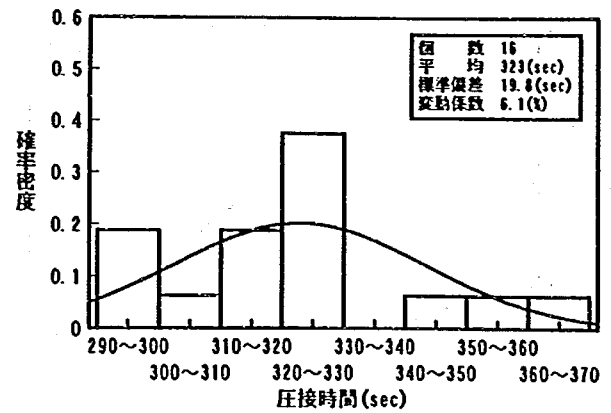
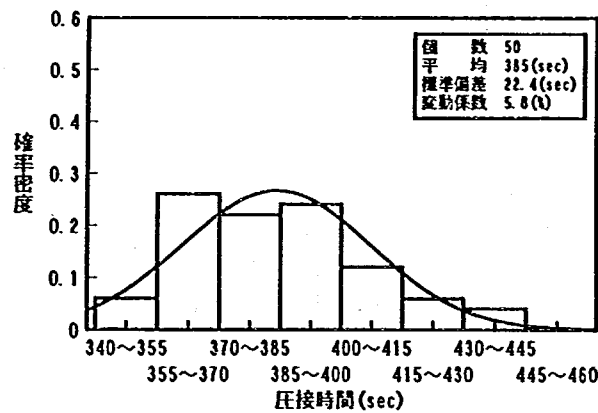


図-3.2.8 D51高炉の各分布図

3. 3 超音波探傷試験結果

圧接面の接合が良好に行われているかどうかを確認するため、鉄筋径、標準圧接、押抜圧接ごとに3本ずつ、計24本の超音波探傷試験を行った。JIS Z 3062では「合否判定レベルは、基準レベルより24dB感度を高めたレベルとする」と規定されている。今回の試験では、さらに6dB感度を高めた、30dBに合否判定レベルを設定した。

試験の結果はすべて合格であり、合否差（＝合否判定レベル音圧－圧接部反射音圧）はD51の一部を除いてすべて-6dB以下と良好であった。

D51は、電炉品6本のうち1本が合否差より-5dB、それ以外は-6dB以下であった。高炉品は、6本のうち2本が-4dB、1本が-5dB、残り3本は-6dB以下であり、-6dB以外のものも小さな信号音といえる。

3. 4 曲げ試験結果

超音波探傷試験を行った試験片に対し、JIS Z 3881-1997に準じた、技量検定試験に適用される、曲げ試験を実施した。

この場合の曲げ試験方法は、JIS Z 2248(金属材料曲げ試験方法)の押曲げ法であり、曲げ角度は90度までとし、押し曲げた後、湾曲部の表面状態を観察した。

曲げ試験の結果は、写真-3.3.1～3.3.8のように、破断などの異常はなく、すべて合格であった。

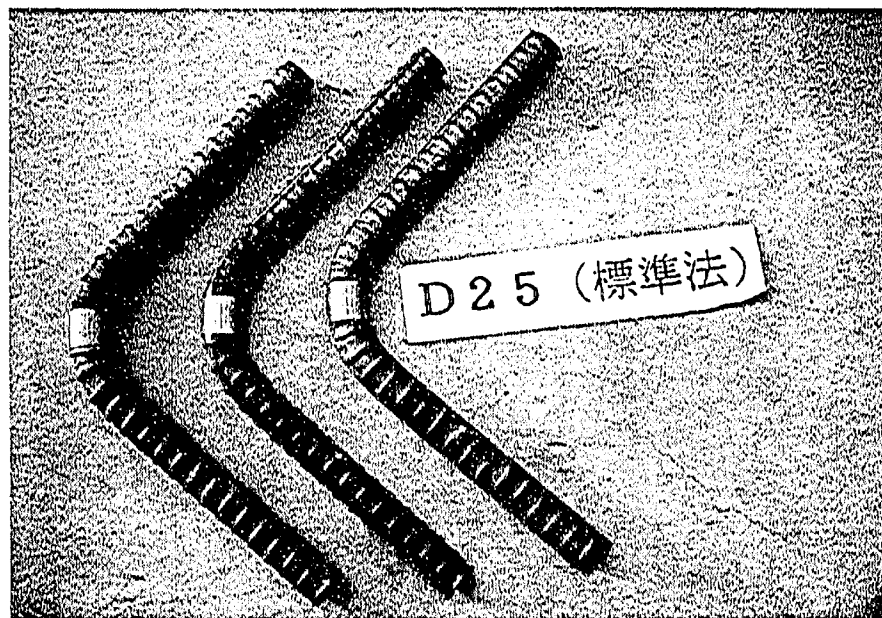


写真-3.3.1 曲げ試験結果 (D25, 標準圧接)

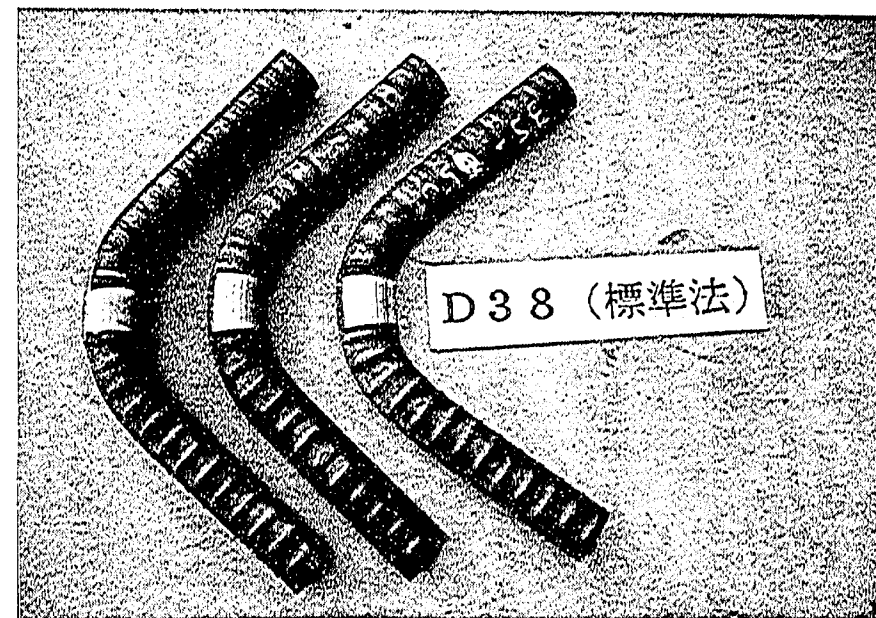


写真-3.3.3 曲げ試験結果 (D38, 標準圧接)

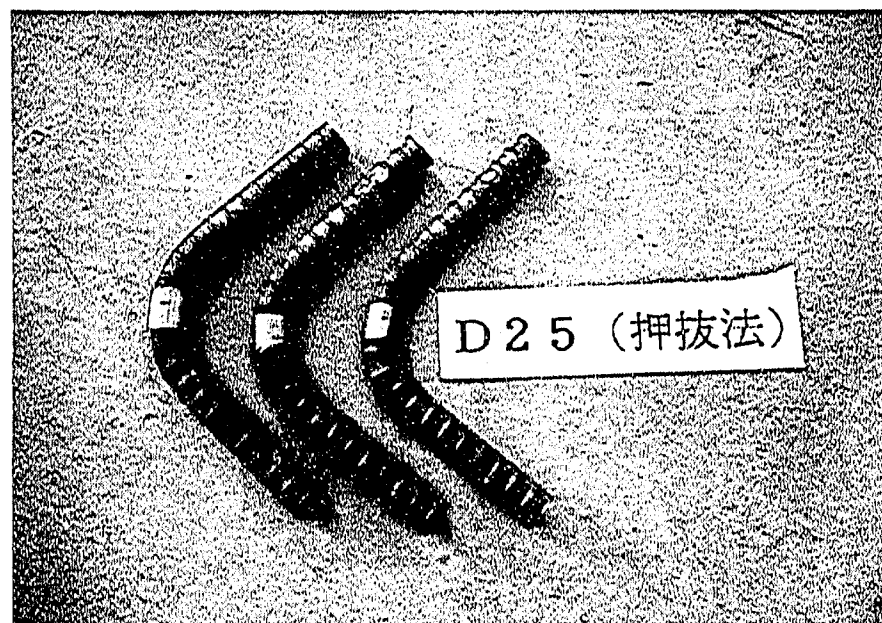


写真-3.3.2 曲げ試験結果 (D25, 押抜圧接)

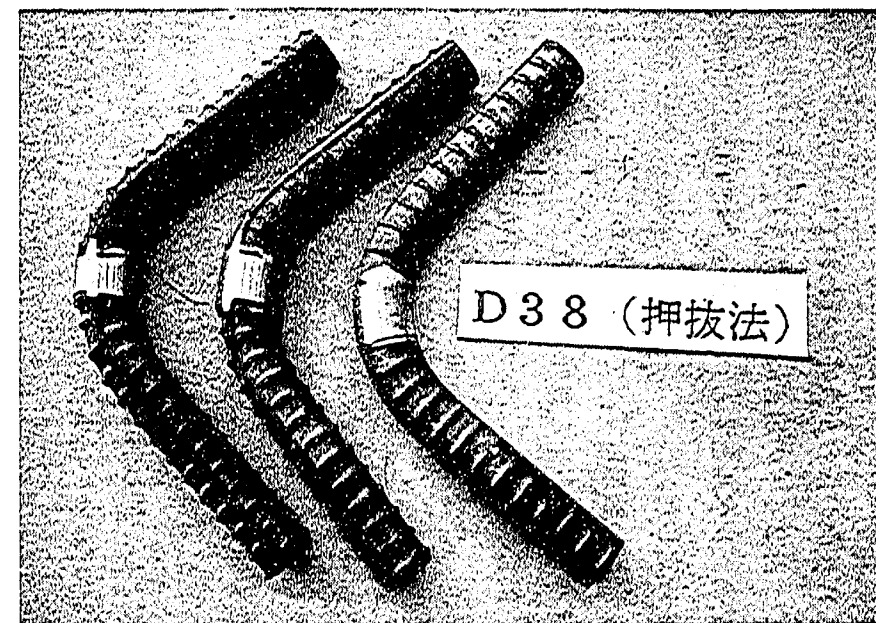


写真-3.3.4 曲げ試験結果 (D38, 押抜圧接)

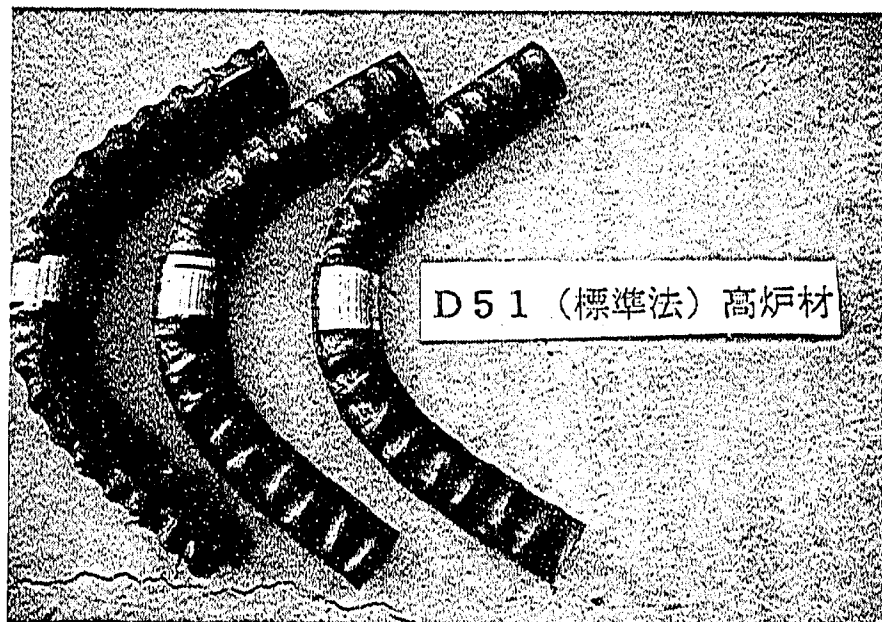


写真-3.3.5 曲げ試験結果 (D51電炉, 標準圧接)

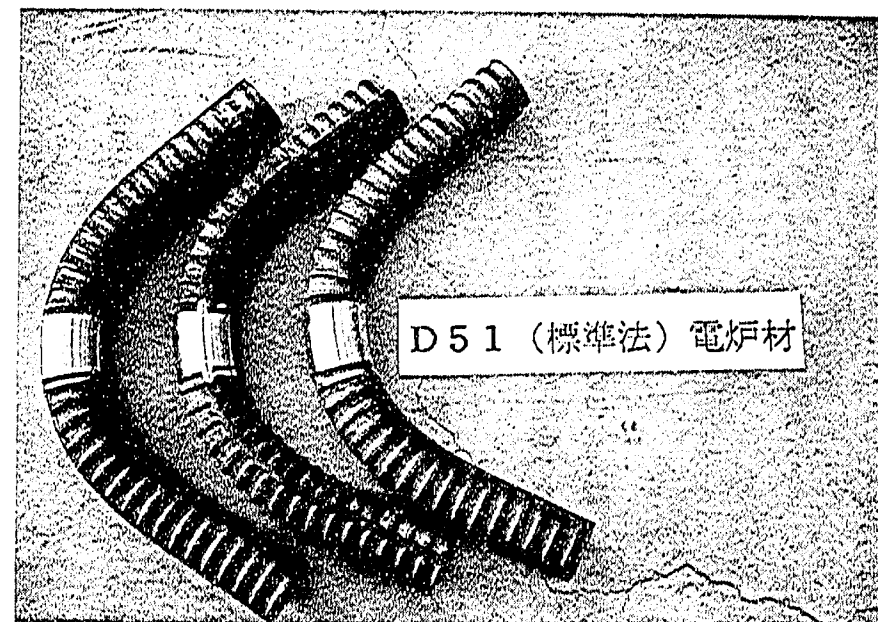


写真-3.3.7 曲げ試験結果 (D51高炉, 標準圧接)

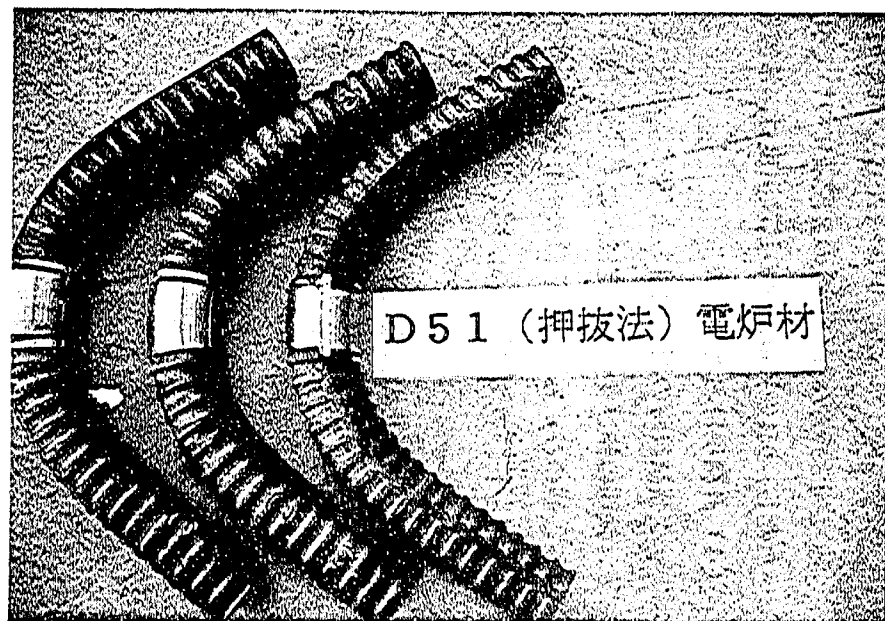


写真-3.3.6 曲げ試験結果 (D51電炉, 押抜圧接)

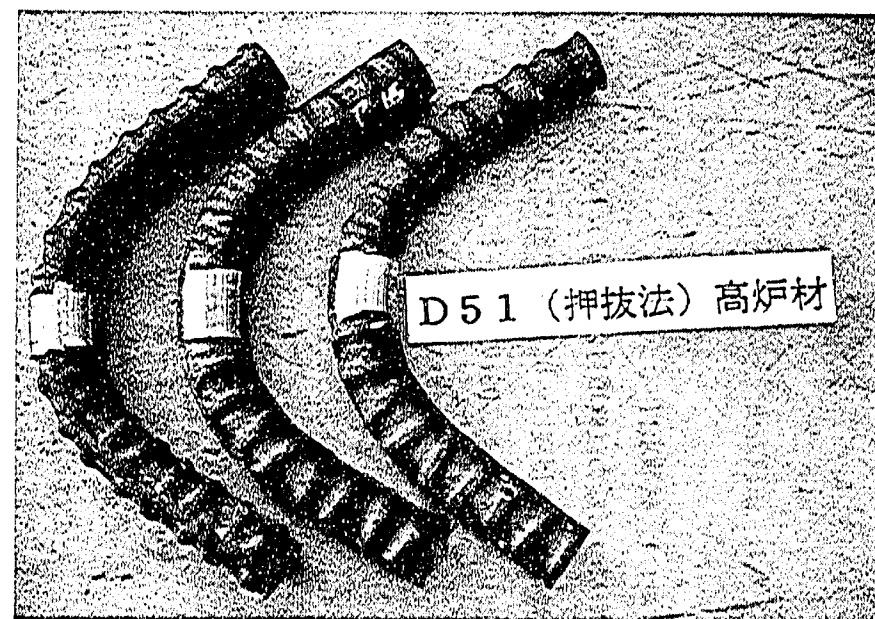


写真-3.3.8 曲げ試験結果 (D51高炉, 押抜圧接)

4. 引張試験

4. 1 試験方法

4. 1. 1 試験項目

引張試験の試験項目は表-4. 1. 1のように載荷速度と試験温度、経時変化の2種類について実施した。載荷速度と温度は、D25、38、51について載荷速度を2段階、温度を4段階変化させた。D51は電炉品に加え高炉品も行った。D51の押抜圧接は常温と-40℃の2段階である。

経時変化は、前報に引き続き、D25について圧接後17ヶ月経過した試験片の引張試験である。

4. 1. 2 載荷速度および試験温度の影響に関する試験方法

(1) 試験片

載荷速度、温度用引張試験に用いた試験片の形状・寸法は表-4. 1. 2のとおりである。鉄筋の両側には、低温による強度増加に対しチャック部分が破断しないように太い鋼棒を溶接した。

鉄筋部分の長さは5Dとし、標点間距離が4D確保できるようにした。鉄筋の長さを通常の8Dより短くしたのは、圧接部分の評価を厳しくするためである。

(2) 試験片の設置

引張試験は図-4. 1. 1の2000kN万能試験機に恒温槽を取り付け、図-4. 1. 2のように試験片を設置した。

(3) 載荷速度および試験温度

試験温度は、常温、0℃、-20℃、-40℃の4段階に設定し、載荷速度をひずみ速度約0.01%/sec(標準速度)と約5%/sec(高速)の2段階について引張試験を行った。

ただし、D51の押抜圧接の試験温度は、常温と-40℃の2段階である。

(4) 計測項目および方法

引張試験時の測定項目および測定フローを表-4. 1. 3および図-4. 1. 3に示す。

鉄筋の伸び変位の測定は、光学式変位計を用い、図-4. 1. 2のように取り付けて測定した。

鉄筋のひずみ測定位置は表-4. 1. 4のとおりである。

破断伸びの測定位置は、図-4. 1. 4のように全長4Dと、圧接部を挟んで上下に2.5Dについて測定した。

4. 1. 3 経時変化の影響に関する試験

前報と同じ方法で試験した。引張速度は標準とし、降伏応力、引張強さ、ひずみ、伸び変位、破断後には伸び、絞りを測定した。

表 - 4.1.1 試験項目

鉄筋の種類		試験項目	載荷速度	温度	試験片の種類	試験本数	
鉄筋径	製法					1水準 当たり	合計
D 2 5	電炉	載荷速度・温度	2 段階	4 段階	S , P , N	2	4 8
		経時変化	標準	常温	S , P	5	1 0
D 3 8	電炉	載荷速度・温度	2 段階	4 段階	S , P , N	2	4 8
D 5 1	電炉	載荷速度・温度	2 段階	4 段階	S , N	2	3 2
				2 段階	P	3	1 2
D 5 1	高炉	載荷速度・温度	2 段階	4 段階	S , N	2	3 2
				2 段階	P	3	1 2
合計							1 9 4

1) 載荷速度

標準：JISの引張試験方法（ひずみ速度・・・降伏前0.1%/sec, 降伏後約0.01%/sec）

高速：ひずみ速度 約5%/sec

2) 温度

常温, 0, -20, -40℃の4段階

2段階は, 常温と-40℃

3) 試験片の種類

S：標準圧接, P：押抜圧接, N：母材

表-4.1.2 試験片数量一覧

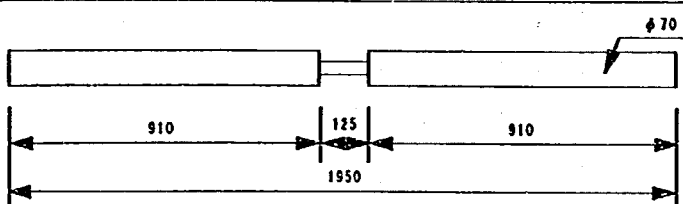
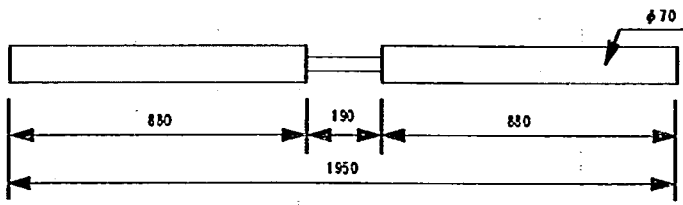
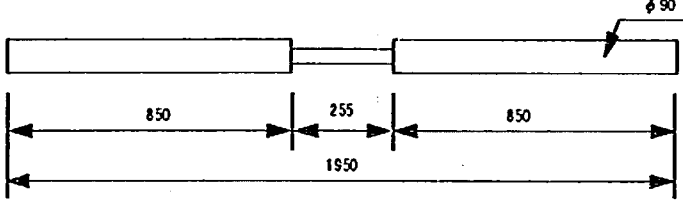
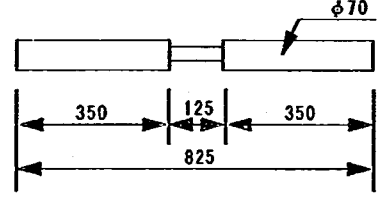
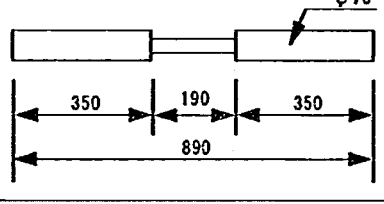
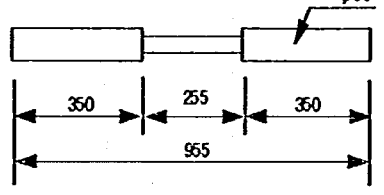
実験	試験片形状		鉄筋径	取組の種	本数	寸 法 図	
速度・温度用 引張試験	長い タイプ 常温、 低温用		D25	N	16本		
				S	16本		
				P	16本		
			D38	N	16本		
				S	16本		
				P	16本		
		D51	電 炉	N	16本		
				S	16本		
				P	12本		
			高 炉	N	16本		
				S	16本		
				P	12本		
	短い タイプ (常温用)		D25	N	4本		
				S	4本		
				P	4本		
			D38	N	4本		
				S	4本		
				P	4本		
		D51	電 炉	N	4本		
				S	4本		
			高 炉	N	4本		
				S	4本		

表-4.1.3 載荷速度および試験温度の影響に関する試験の測定項目および測定機器

項 目	センサー	数 量
荷 重	試験機出力	1 点 (降伏, 最大, 破断荷重等を求める)
変 位	光センサー	左右 2 点 : (鉄筋の伸び量確認, 一様伸び, 載荷速度, 等を求める)
鉄筋のひずみ	ひずみゲージ	(ヤング係数等を求める) 母材試験片 中央部 左右 2 点 : 単軸 上つかみ部 左右 2 点 : 単軸 (短いタイプはなし) 下つかみ部 左右 2 点 : 単軸 (短いタイプはなし) 圧接試験片 圧接部 左右 2 点 : 単軸 母材部 左右 2 点 : 単軸 下つかみ部 左右 2 点 : 単軸 (短いタイプはなし)
鉄筋温度	熱電対	1 点 : (鉄筋の実験時温度測定用)
鉄筋の伸び	デジタルノギス	3 箇所 (上部, 下部, 全体) J I S 準拠
鉄筋の絞り	デジタルノギス	1 箇所 : (破断位置) J I S 準拠
破断後の観察	カメラ	写真撮影によって記録を残す。

表-4.1.4 ひずみゲージ貼付位置

形状	種類	数 量	概 略 図
長いタイプ	母材	常 温 : 単軸 6枚*16本=96枚	
		0, -20度 : 単軸 6枚*32本=192枚	
		-40 度 : 単軸 6枚*16本=96枚	
	圧接	常 温 : 単軸 6枚*24本=144枚	
		0, -20度 : 単軸 6枚*48本=288枚	
		-40 度 : 単軸 6枚*24本=144枚	
短いタイプ	母材	単軸 2枚*16本=32枚	
	圧接	単軸 4枚*24本=96枚	

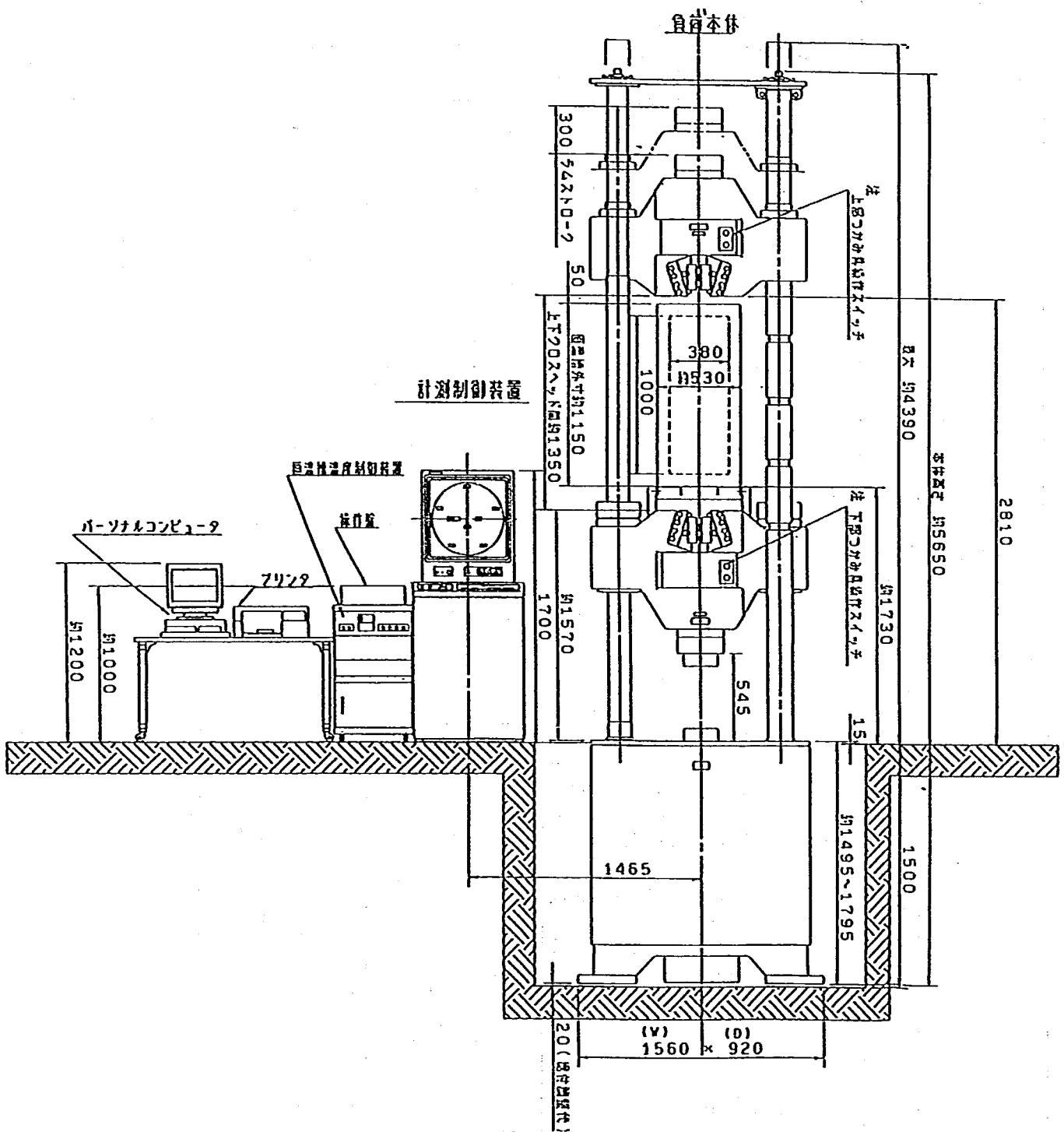


図-4.1.1 2000kN万能試験機

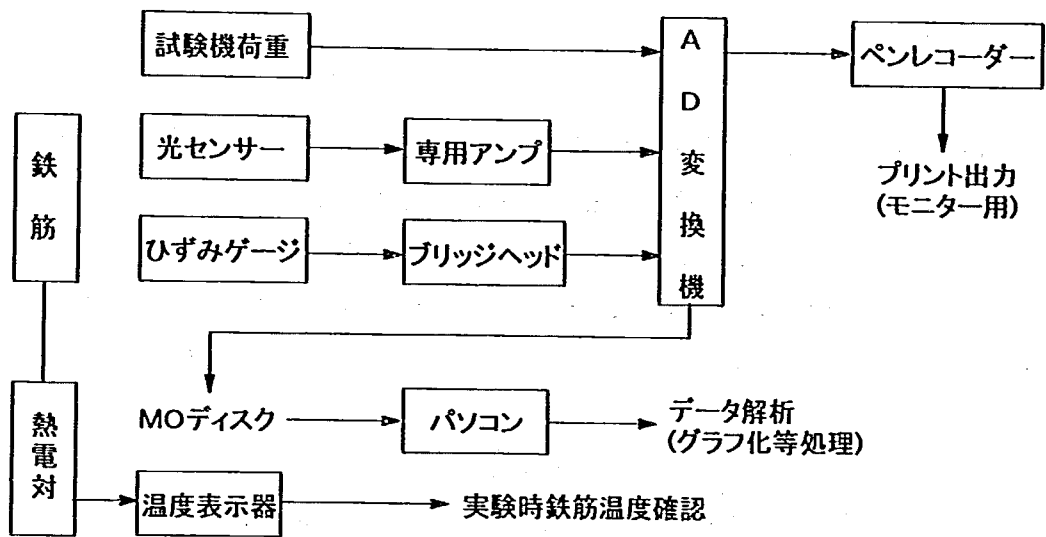


図-4.1.3 測定フロー

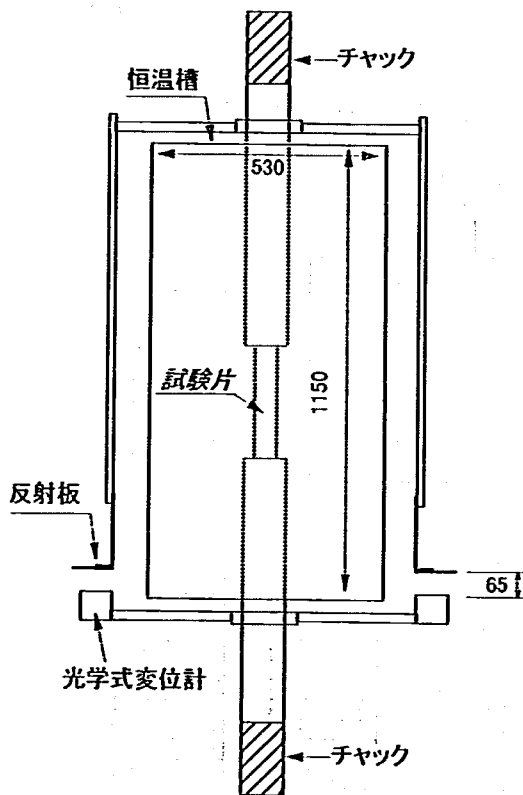


図-4.1.2 試験片設置

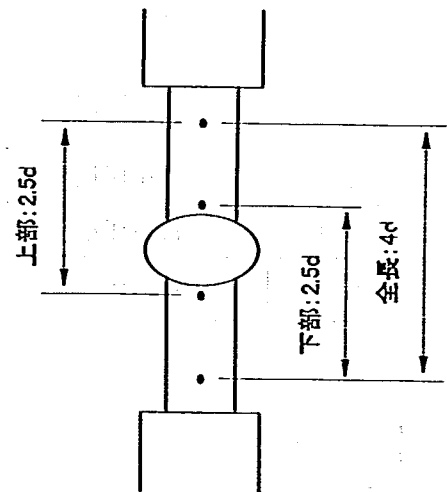


図-4.1.4 破断伸び測定位置

4. 2 載荷速度および試験温度の影響に関する試験結果

4. 2. 1 試験結果

載荷速度が標準と高速の場合に、試験温度を変化させて引張試験を行った結果は、表－4. 2. 1および図－4. 2. 1～4. 2. 4のとおりである。図の横軸は試験温度、縦軸は降伏応力、引張強さ、ヤング係数、一様伸び、破断伸び、絞りの6項目について示してある。ここで一様伸びとは、最大荷重時の伸びのことである。鉄筋を引っ張ると図－4. 2. 5のように降伏すると降伏域が広がり、ひずみ硬化がはじまる位置で全域が降伏する。その後は最大荷重まで一様に伸び、その後は弱い部分がくびれていき破断する。一様伸びは、くびれる直前の伸びである。

破断時の伸びを、ここでは破断伸びと呼び、一様伸びと区別する。

高速載荷時の降伏応力は、データがうまく記録されず、読み取り不可能であった。

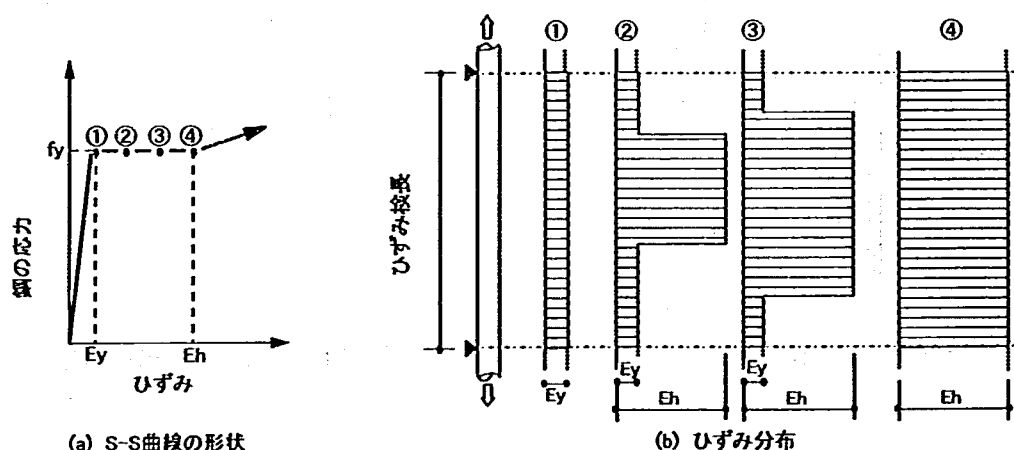
鉄筋径ごとに母材、標準圧接、押抜圧接を比較した破断までの伸び変位は図－4. 2. 6、圧接鉄筋の圧接界面、母材の中心位置で測定した降伏直後までのひずみは図－4. 2. 7のとおりである。

ほとんどの鉄筋は、母材部で破断したが、表－4. 2. 2の6本は圧接部で破断した。しかしながら、破断時の荷重はほぼ最大荷重に達していた。それらについては金属学的調査を実施した(4. 2. 6項)。

また、一部には鋼棒に溶接した部分で破断したものもあった。これらについてもほぼ最大荷重に達していた。

表－4. 2. 2 圧接部で破断した鉄筋の種類、試験条件、破断位置

鉄筋の種類		圧接の種類	試験条件		破断位置	本数
呼び名	製法		速度	温度		
D 5 1	高炉	標準圧接	標準	0℃	圧接界面	1
D 5 1	高炉	標準圧接	高速	－40℃	圧接付根部	2
D 5 1	高炉	押抜圧接	標準	－40℃	圧接付根部	2
D 5 1	電炉	押抜圧接	高速	－40℃	圧接付根部	1

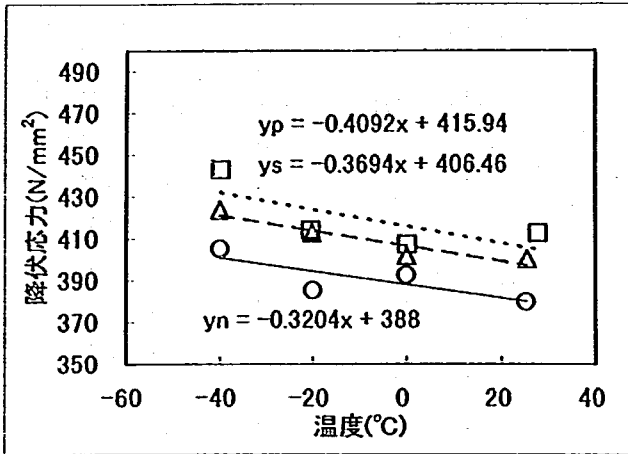


図－4. 2. 5 軟鋼降伏時のひずみの進展特性

表-4.2.1 引張試験結果

鉄筋の種類		載荷速度	試験温度	降伏点		引張強さ		ヤング係数	一様伸び	破断伸び	絞り
呼び名	製法			ひずみ速度 %/sec	降伏点 N/mm ²	ひずみ速度 %/sec	引張強さ N/mm ²				
D25	母材	標準	25.2	0.012	379.8	0.22	593.1	180.1	11.67	28.08	45.60
			0.0	0.012	392.6	0.22	607.0	179.8	11.29	24.65	43.50
			-20.0	0.014	335.4	0.22	610.2	180.7	12.21	25.41	44.85
			-40.0	0.011	405.2	0.22	623.5	187.2	12.06	25.79	50.48
		高速	25.1	1.323		14.29	618.7	132.5	14.31	26.86	52.45
			0.0	1.209		14.24	628.3	142.4	13.68	25.42	48.30
			-19.8	0.989		13.81	638.6	151.7	15.43	26.88	44.45
			-40.2	0.880		13.80	652.4	178.2	14.77	26.57	49.35
	標準圧接	標準	25.4	0.017	400.3	0.21	611.8	198.5	7.21	14.78	46.50
			0.0	0.011	401.8	0.21	623.5	185.3	7.79	15.74	53.15
			-20.2	0.011	412.8	0.22	642.3	188.1	7.80	15.84	43.00
			-40.1	0.017	423.8	0.23	654.6	188.1	8.28	17.31	54.14
		高速	21.9	1.164		13.97	627.6	171.0	8.79	14.85	48.10
			0.0	1.195		14.07	634.5	166.1	9.58	16.27	51.20
			-20.0	1.230		13.76	646.5	150.4	9.58	15.98	47.05
			-40.0	1.208		13.27	659.3	157.2	9.89	16.20	48.60
	押抜圧接	標準	27.7	0.010	412.7	0.21	612.0	193.4	7.65	18.71	54.15
			0.1	0.011	407.2	0.22	624.7	184.3	8.12	17.64	45.25
			-20.5	0.011	414.1	0.21	637.6	184.3	8.48	18.31	42.80
			-39.9	0.010	443.1	0.21	681.0	192.4	6.95	15.17	49.00
		高速	24.3	1.660		13.72	630.0	79.9	9.81	15.91	37.10
			0.1	0.432		13.48	641.1	239.4	10.25	17.47	45.90
-20.2			1.169		13.49	651.9	138.9	10.59	17.01	48.10	
-40.1			1.088		13.84	669.6	170.9	10.45	17.10	43.25	
D38	母材	標準	26.0	0.012	393.3	0.22	594.9	181.2	18.53	24.27	47.20
			-0.1	0.011	416.4	0.22	612.0	183.6	19.71	23.11	47.70
			-20.0	0.011	424.9	0.23	628.8	187.6	18.69	24.39	49.40
			-40.4	0.012	442.9	0.22	637.8	189.5	20.06	24.91	45.77
		高速	23.8	0.498		8.14	626.0	184.0	21.28	25.16	49.80
			-0.1	0.622		8.35	628.5	191.5	22.67	24.52	48.35
			-20.3	0.621		8.01	642.0	198.8	21.74	25.45	49.10
			-40.3	0.493		7.89	654.5	195.5	22.45	24.92	50.70
	標準圧接	標準	33.5	0.014	399.2	0.20	605.2	181.8	12.93	16.93	48.00
			-0.5	0.011	414.4	0.22	625.0	187.9	12.78	16.47	46.05
			-20.3	0.011	439.3	0.22	635.9	188.1	12.68	15.99	48.30
			-39.9	0.010	443.2	0.19	652.7	195.4	12.80	17.91	53.20
		高速	26.1	0.574		7.97	625.3	190.6	16.48	17.60	49.05
			0.1	0.520		6.94		179.5		15.46	44.80
			-20.1	0.565		7.05	648.6	194.7	15.19	15.66	48.00
			-40.2	0.538		7.01	663.2	192.5	15.39	14.74	40.60
	押抜圧接	標準	27.1	0.011	410.0	0.22	613.7	187.0	13.15	16.90	47.70
			-0.2				621.0			16.98	48.20
			-19.8	0.012	429.9	0.20	639.9	192.1	13.42	17.29	46.20
			-40.2	0.010	447.7	0.21	651.4	201.8	13.04	17.09	42.09
		高速	23.0	0.553		7.34	633.8	191.2	16.21	17.18	45.90
			0.0	0.608		7.81	641.3	196.3	15.97	16.87	45.95
-20.1			0.604		7.76	652.0	200.2	16.68	17.26	33.65	
-40.2			0.654		7.63	656.7	186.0	16.20	16.27	44.10	
D51電炉	母材	標準	25.0	0.012	397.5	0.22	595.2	182.2	29.09	24.36	45.95
			-0.3	0.011	410.7	0.22	596.3	182.5	30.05	24.82	45.15
			-20.2	0.011	417.1	0.22	607.4	184.5	29.28	24.47	47.80
			-40.0	0.011	430.9	0.22	617.3	188.5	29.35	23.54	51.10
		高速	24.8	0.422		4.09	600.1	198.9		24.84	47.75
			-0.3	0.419		3.98	605.4	202.0		26.67	42.80
			-19.9	0.414		3.81	595.6	202.3		25.56	48.80
			-40.2	0.408		3.65	621.2	206.1		24.04	39.50
	標準圧接	標準	31.8	0.010	398.6	0.21	595.4	184.3	15.47	16.32	48.75
			-0.2	0.011	401.9	0.20	608.3	189.8	15.68	16.13	47.05
			-19.9	0.011	417.3	0.20	619.6	187.4	18.23	17.43	46.25
			-39.8	0.011	437.6	0.20	635.5	189.6	16.63	15.60	42.87
		高速	27.8	0.418		3.70	607.5	192.7	20.46	16.42	48.30
			-0.4	0.395		3.46	625.4	199.7	20.53	16.75	47.20
			-20.0	0.407		3.15	639.6	200.8	19.86	15.64	46.10
			-39.9	0.364		2.95	643.7	208.1	19.67	18.18	43.70
	押抜圧接	標準	22.4	0.011	408.8	0.23	591.3	185.4	25.40	19.12	48.10
			-40.1	0.015	453.1	0.21	598.1	191.5	18.23	5.53	
			21.0	0.534	435.1	3.45	608.6	175.3	26.13	17.21	43.80
			-39.7	0.388	486.9	3.42	596.1	192.8		5.01	
		高速	21.5	0.011	398.4	0.23	570.1	189.2	27.60	24.38	24.60
			-0.1	0.013	407.9	0.22	580.3	183.7	29.41	24.83	50.20
-20.3			0.011	416.2	0.23	590.5	183.8	29.66	25.52	53.95	
-40.2			0.011	442.3	0.22	611.4	189.3	29.31	26.07	53.39	
D51高炉	標準圧接	標準	23.9	0.458		4.08	588.2	194.2	28.23	25.59	52.65
			-0.4	0.427		4.04	597.4	193.2	30.06	25.71	43.70
			-20.3	0.408		3.94	606.2	204.8	28.25	26.77	61.40
			-40.2	0.423		3.58	625.2	201.0	28.51	25.55	50.60
		高速	32.7	0.014	380.1	0.20	587.3	178.4	12.15	16.16	51.55
			0.1	0.020	406.9	0.20	598.8	191.4	17.23	18.45	50.60
			-20.2	0.013	409.8	0.21	597.0	182.3	15.66	17.69	49.50
			-40.2	0.011	427.2	0.21	615.4	193.5	16.75	17.15	55.55
	押抜圧接	標準	29.4	0.395		4.08	584.3	208.1	20.34	17.32	53.10
			-0.4	0.413		3.95	603.0	190.8	19.60	16.48	54.05
			-20.3	0.415		3.88	614.8	195.1	19.35	17.93	56.35
			-40.1	0.393		3.60		189.5			

標準



高速

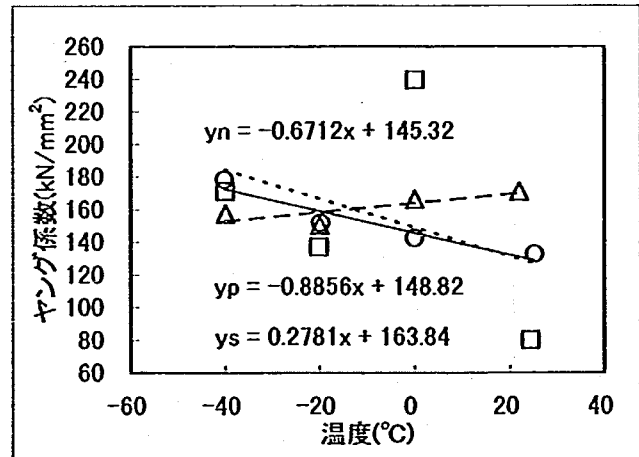
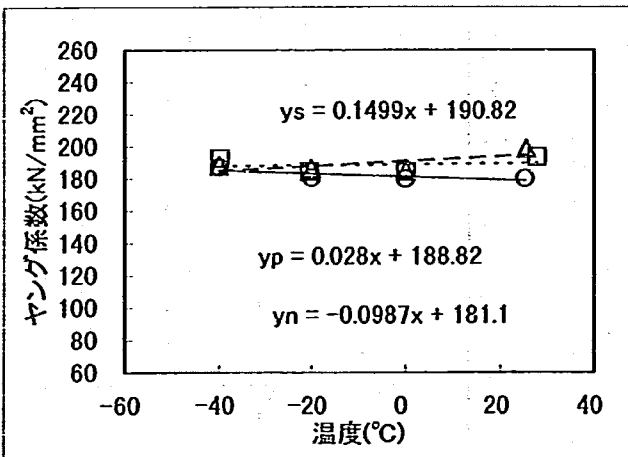
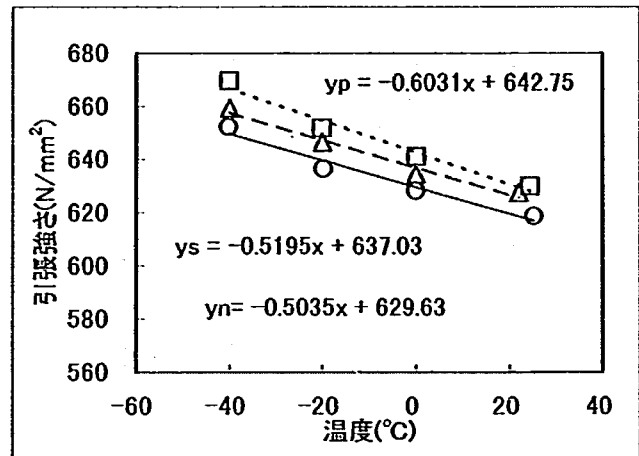
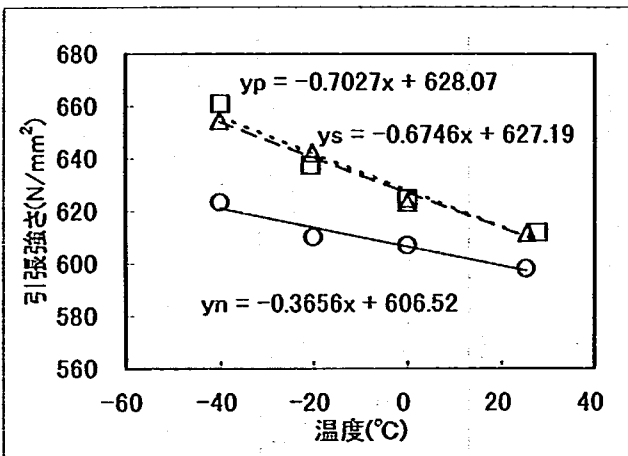
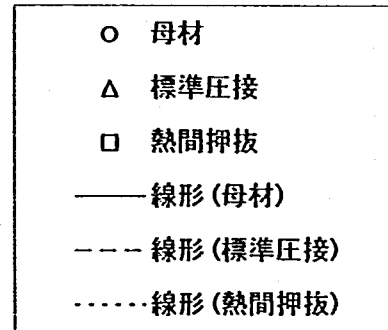


図-4.2.1 载荷速度, 試験温度の影響 D25 (その1)

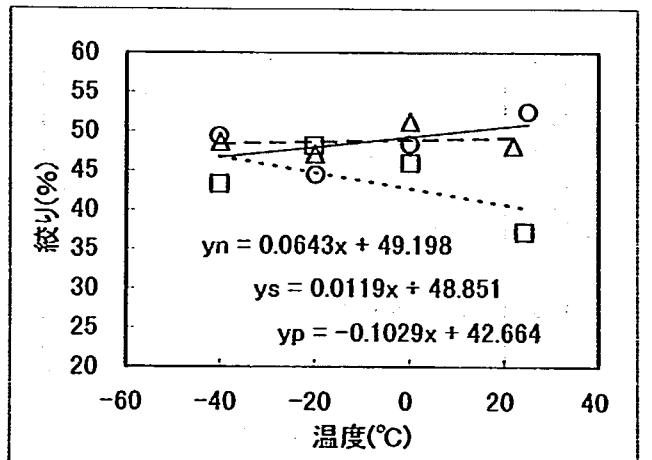
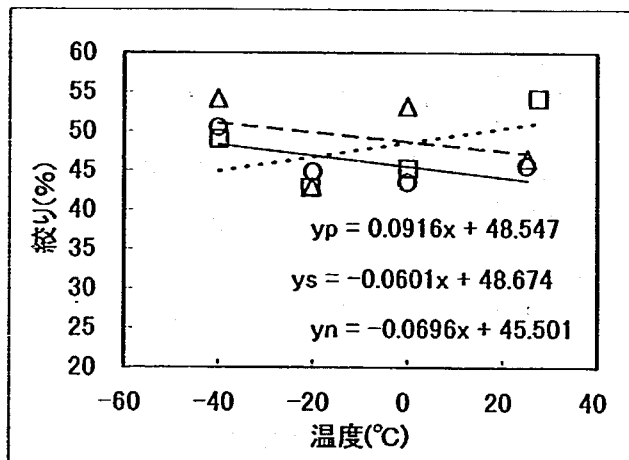
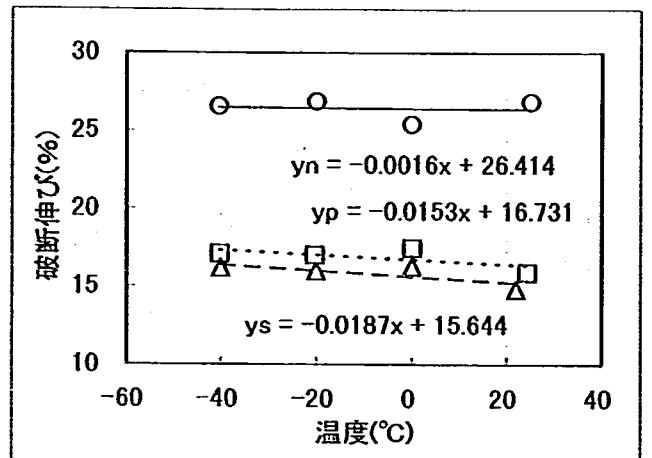
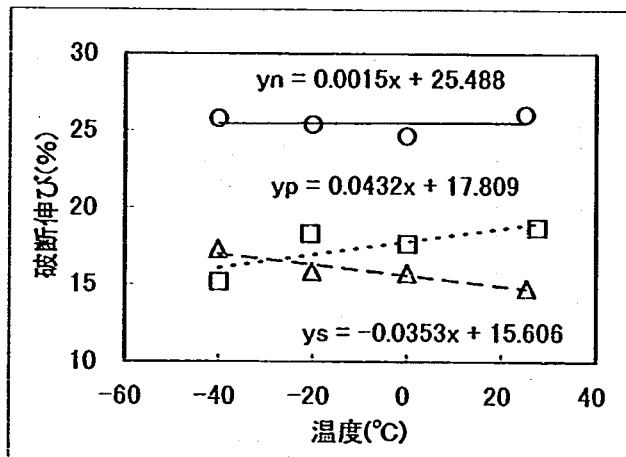
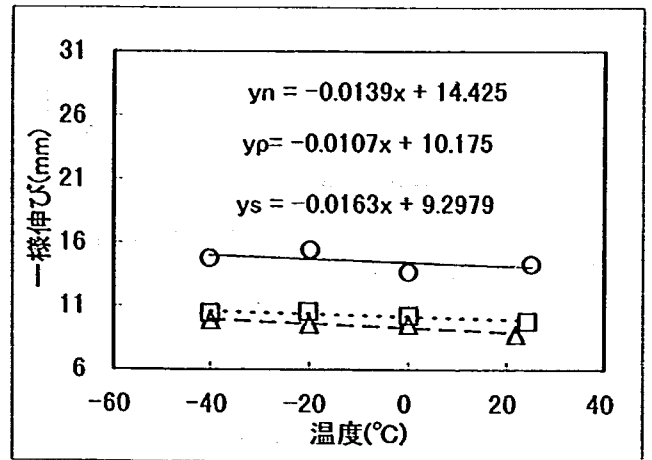
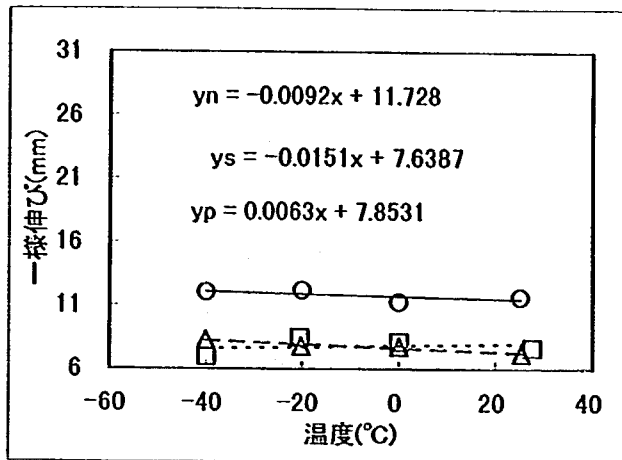
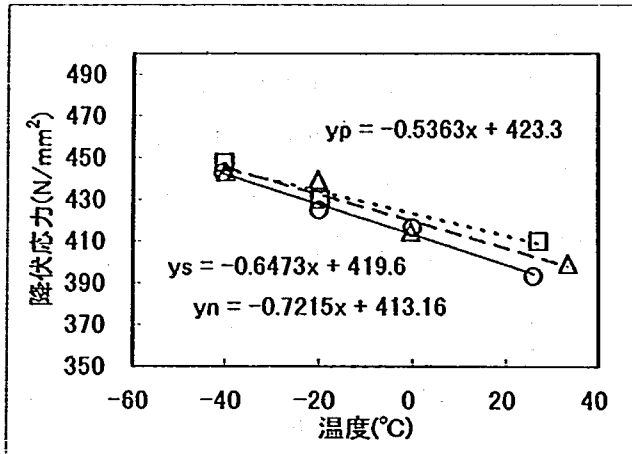


図-4.2.1 載荷速度, 試験温度の影響 D25 (その2)

標準



高速

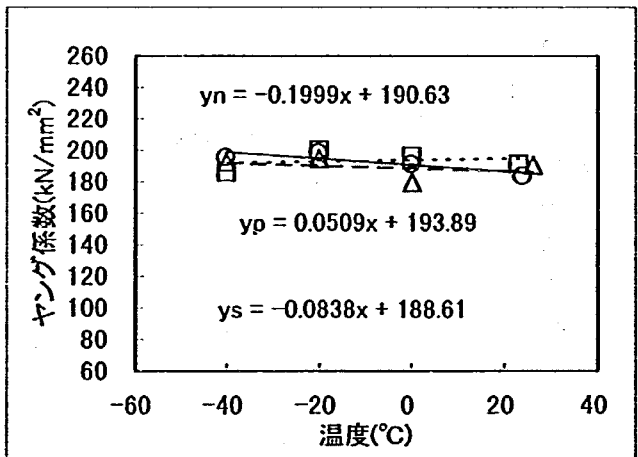
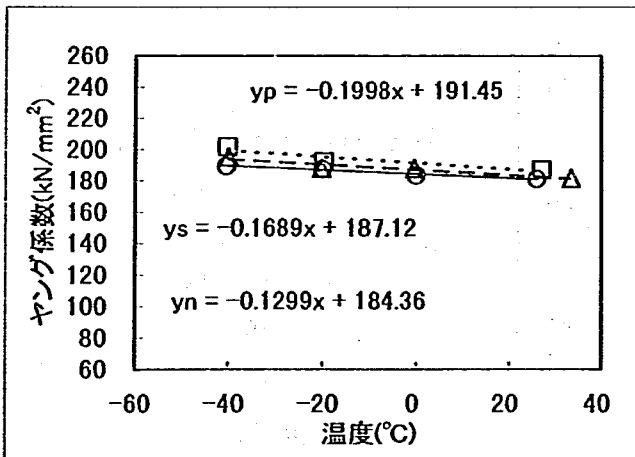
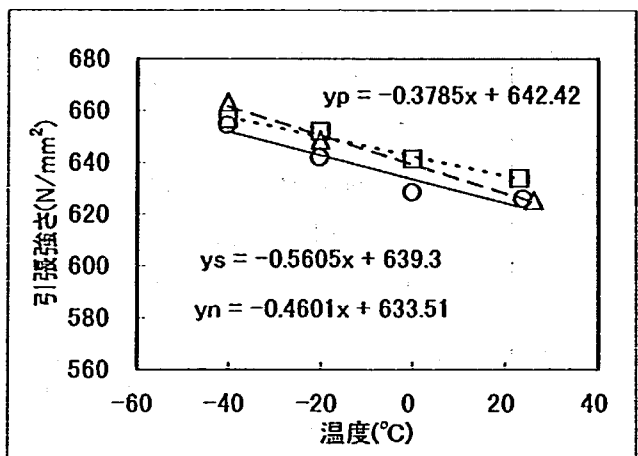
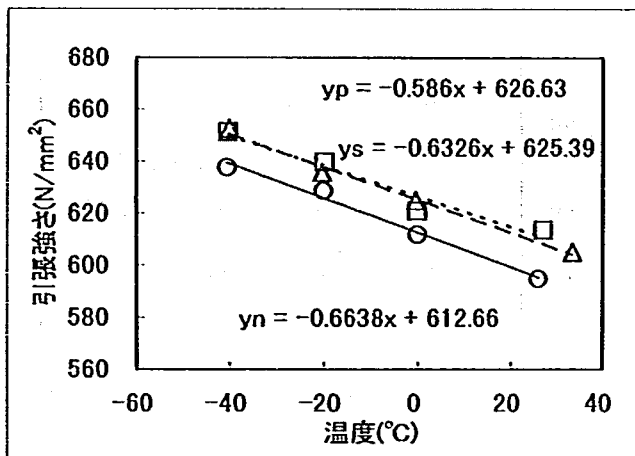
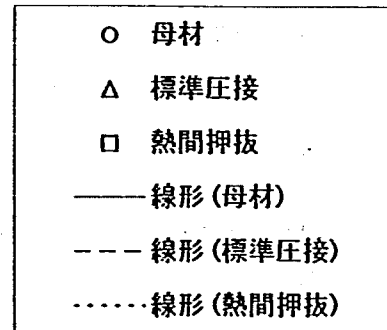


図-4.2.2 載荷速度, 試験温度の影響 D38 (その1)

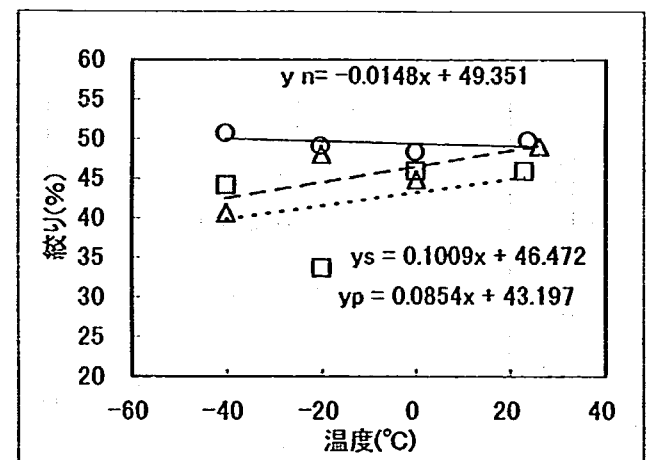
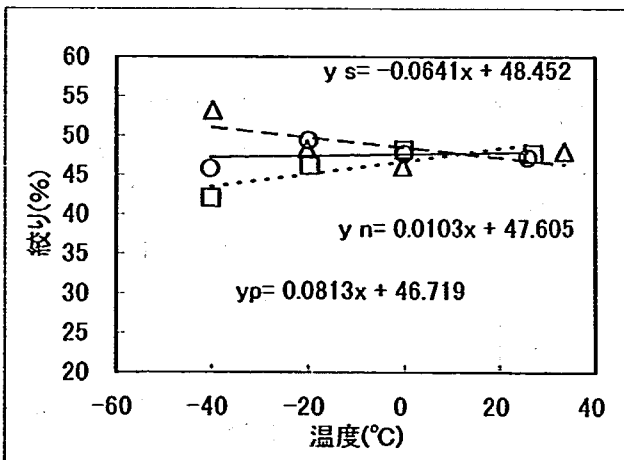
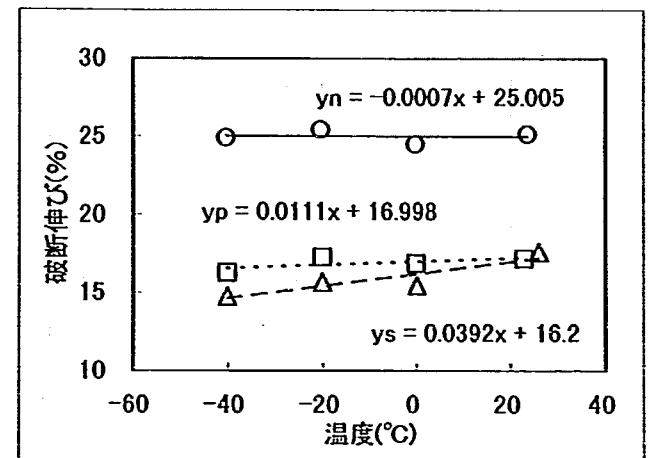
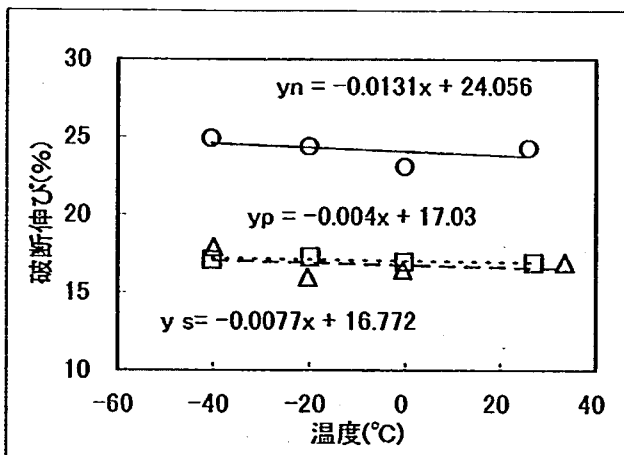
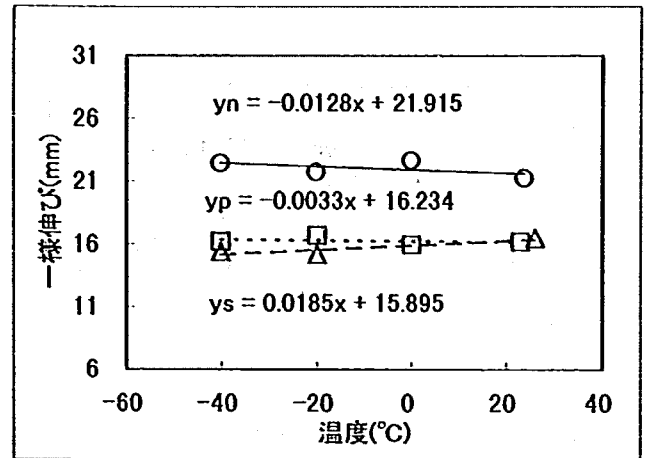
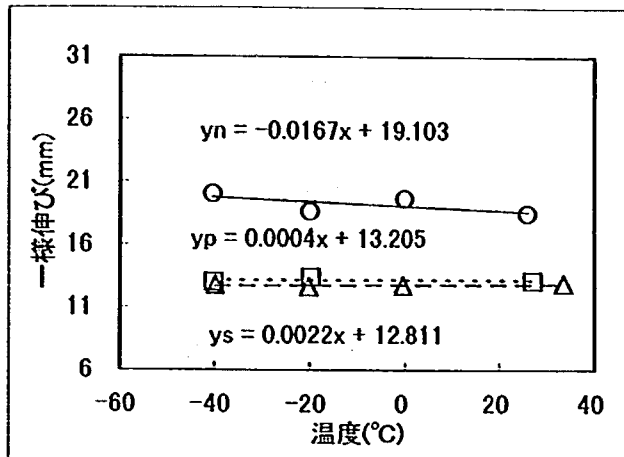


図-4.2.2 載荷速度, 試験温度の影響 D38 (その2)

標準

高速

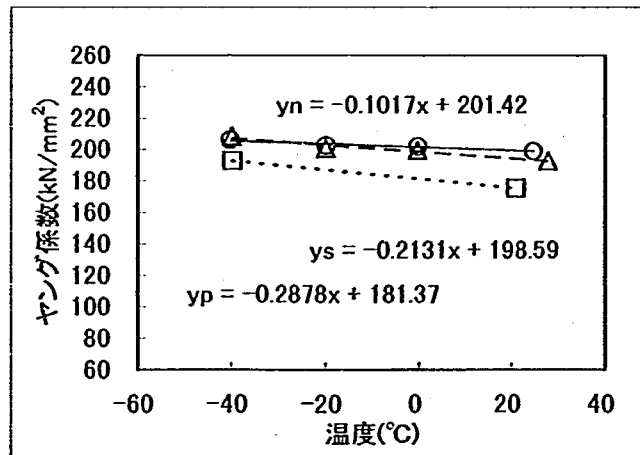
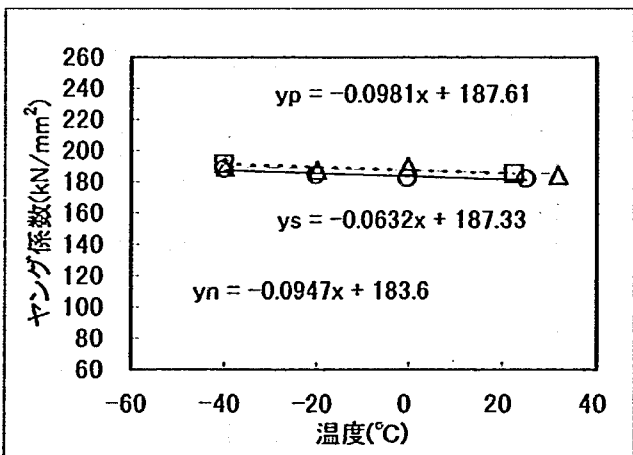
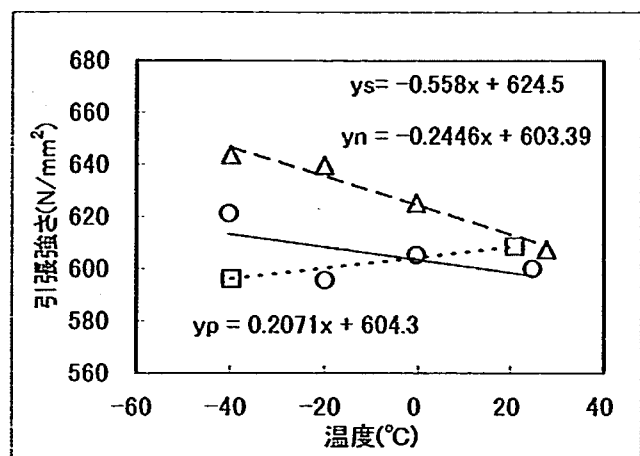
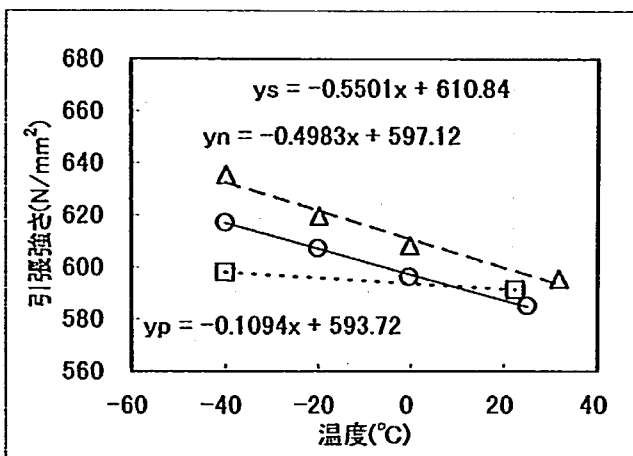
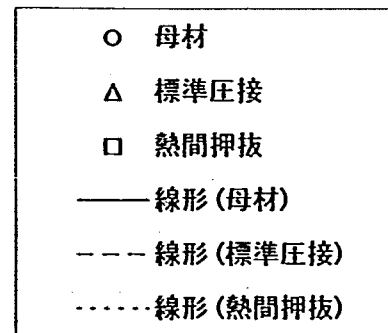
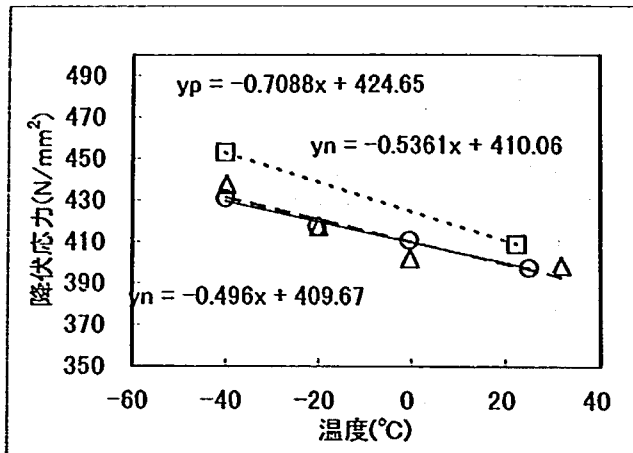
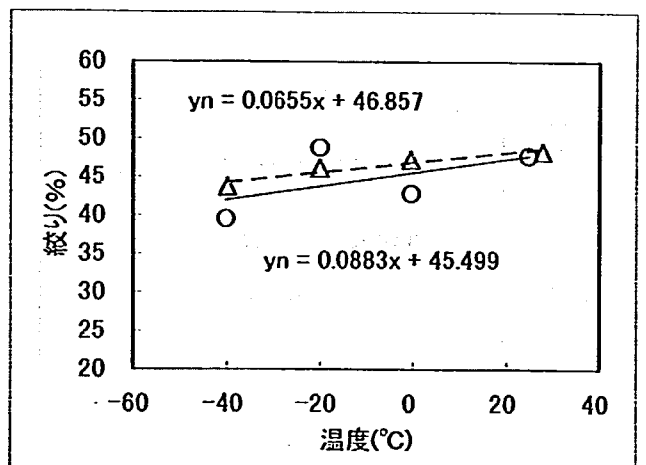
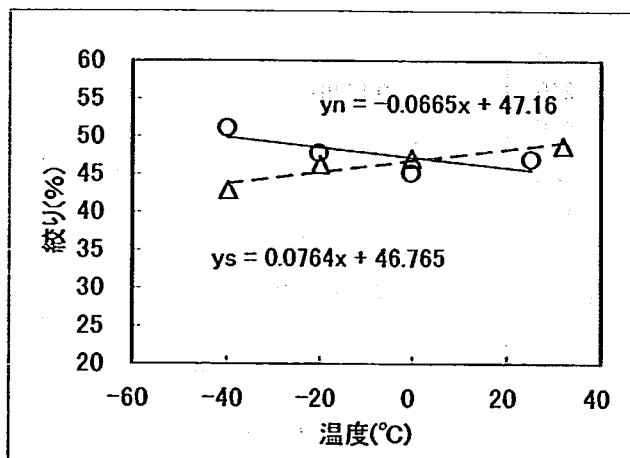
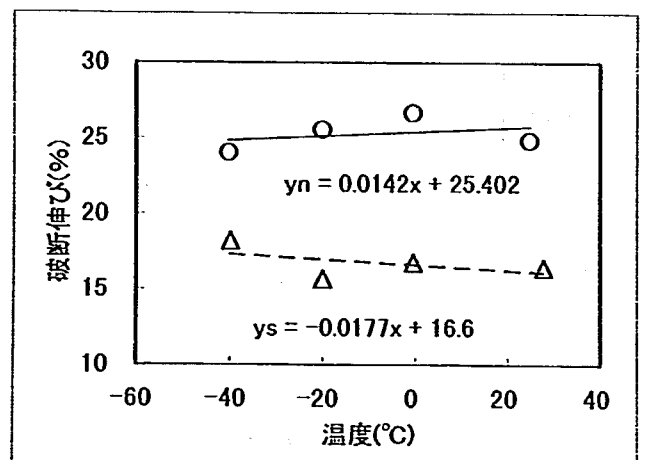
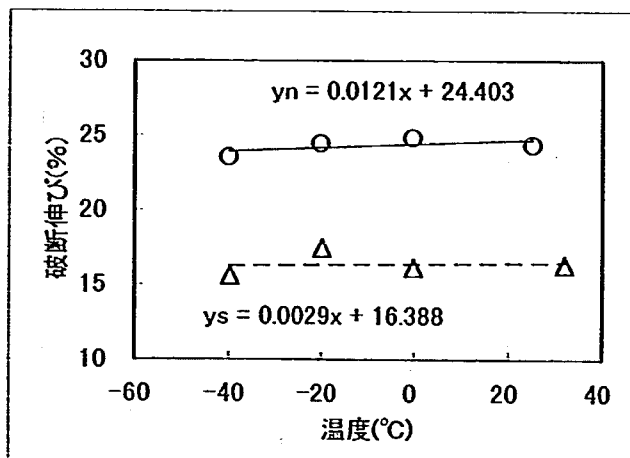
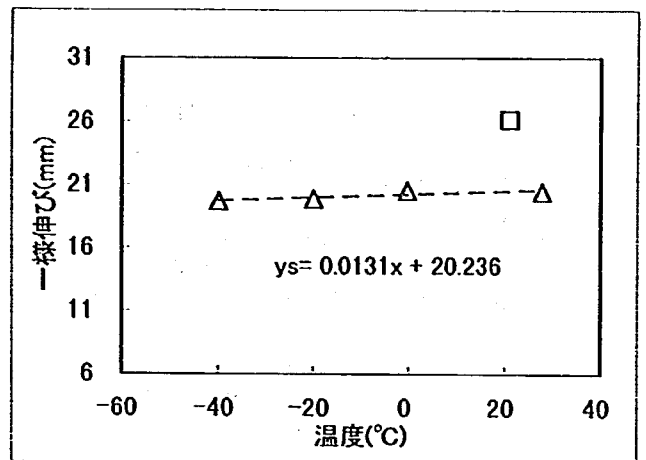
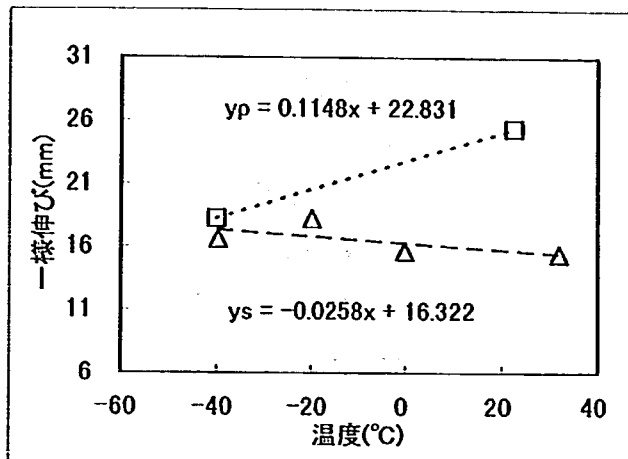


図-4.2.3 载荷速度, 試験温度の影響 D51電炉 (その1)



図一4.2.3 載荷速度, 試験温度の影響 D51電炉 (その2)

標準

高速

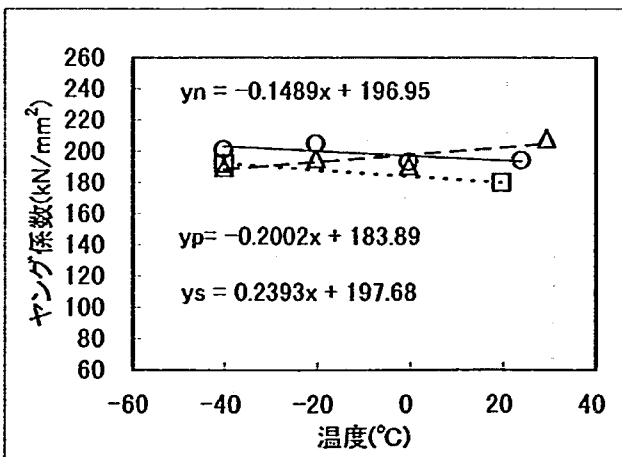
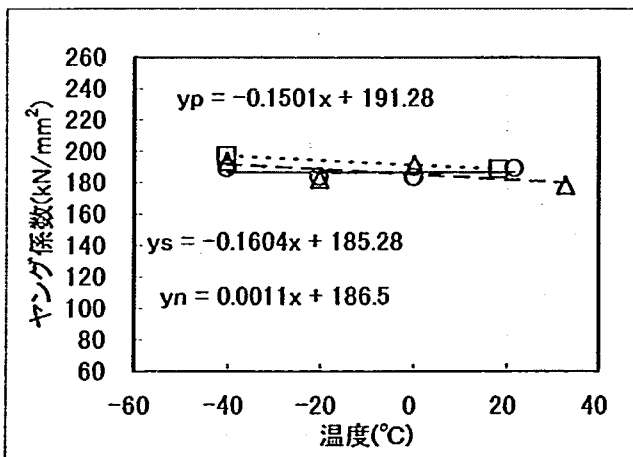
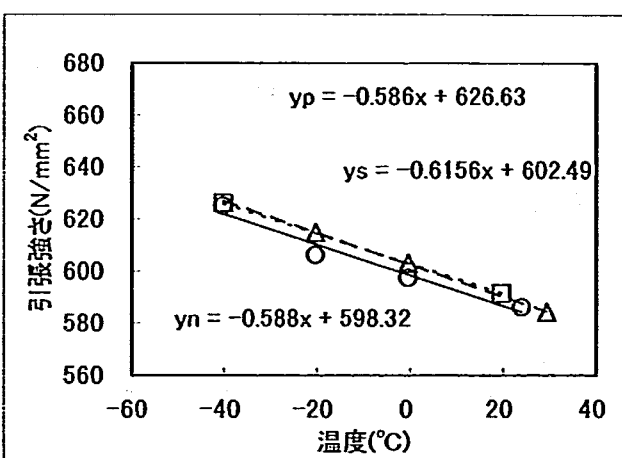
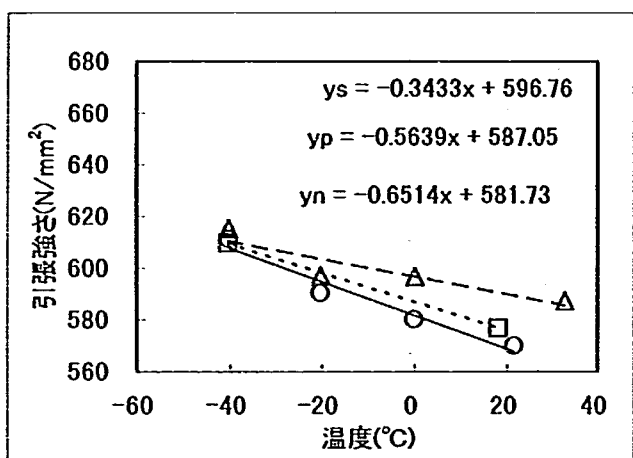
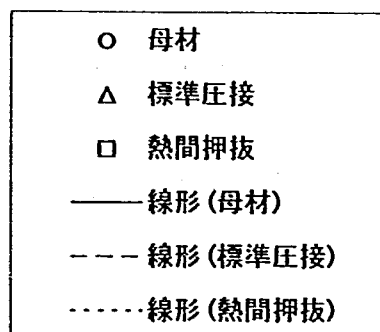
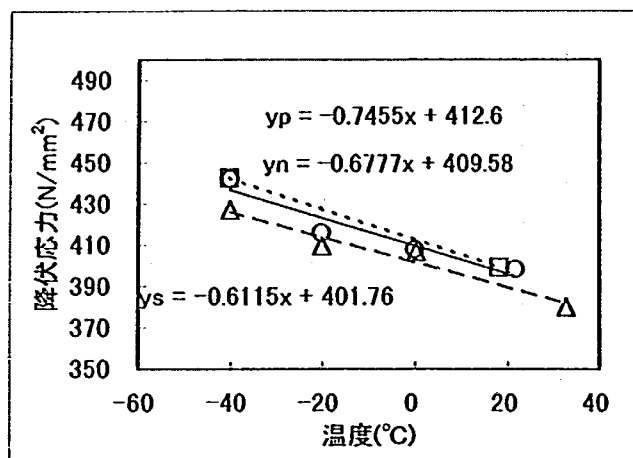


図-4.2.4 载荷速度, 試験温度の影響 D51高炉 (その1)

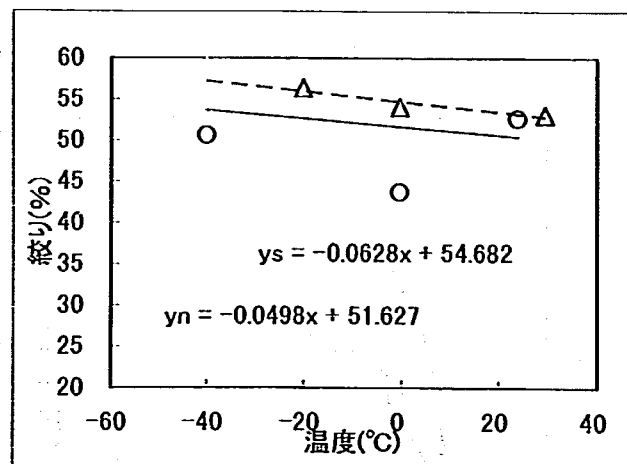
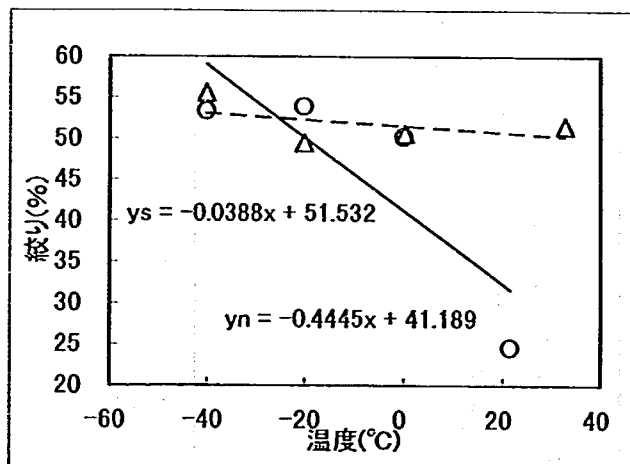
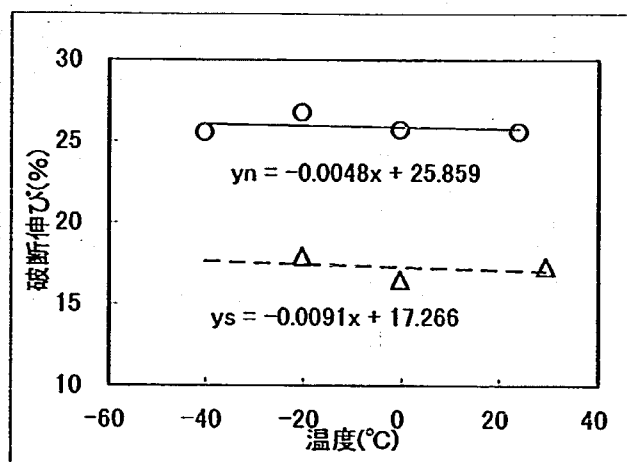
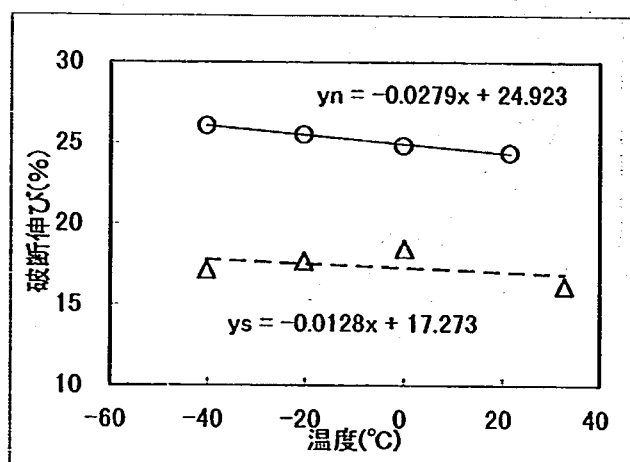
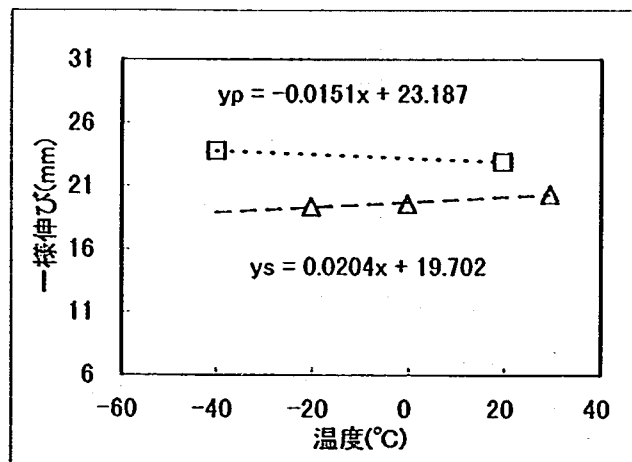
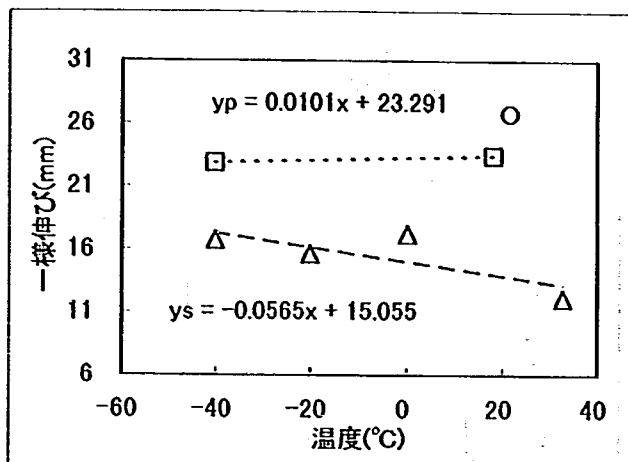


図-4.2.4 载荷速度、試験温度の影響 D51高炉 (その2)

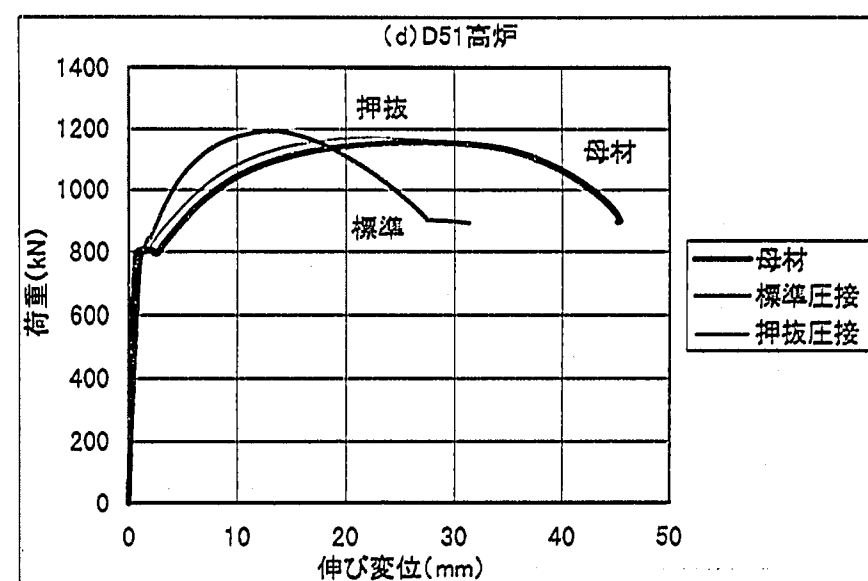
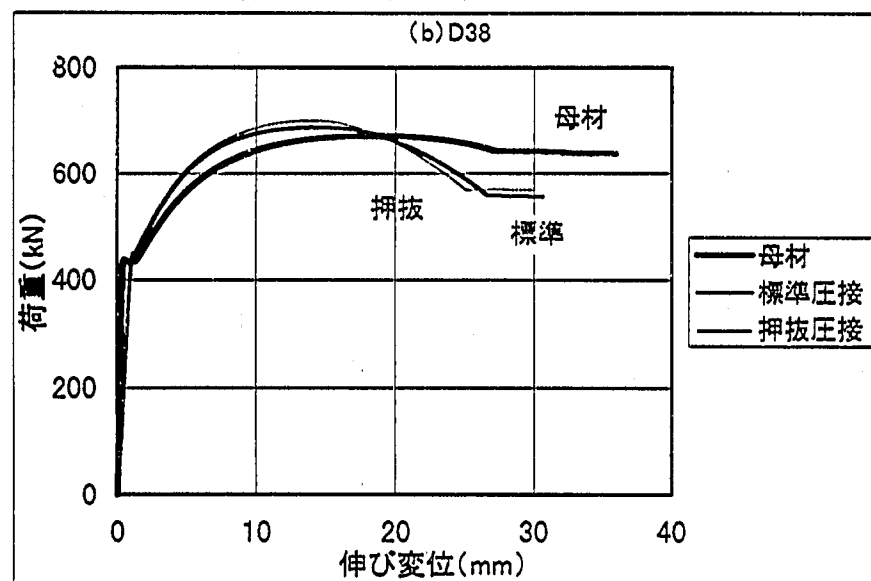
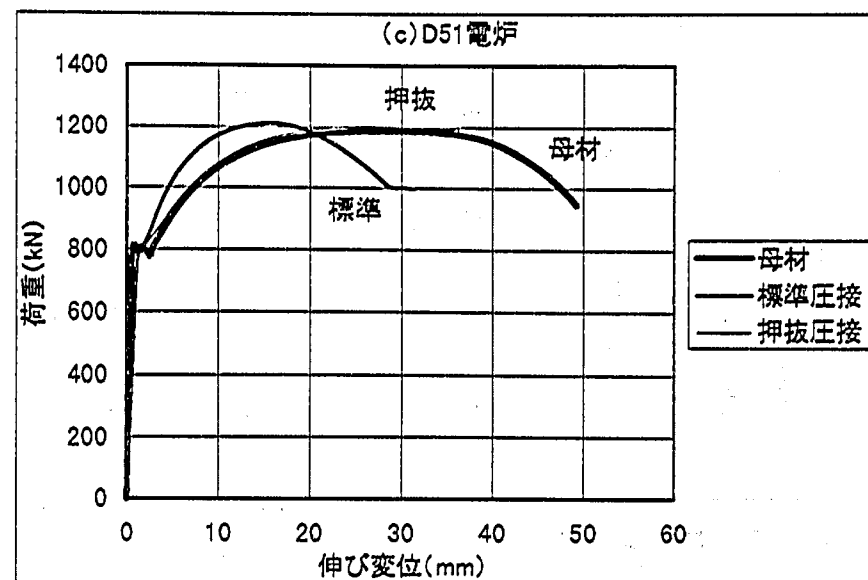
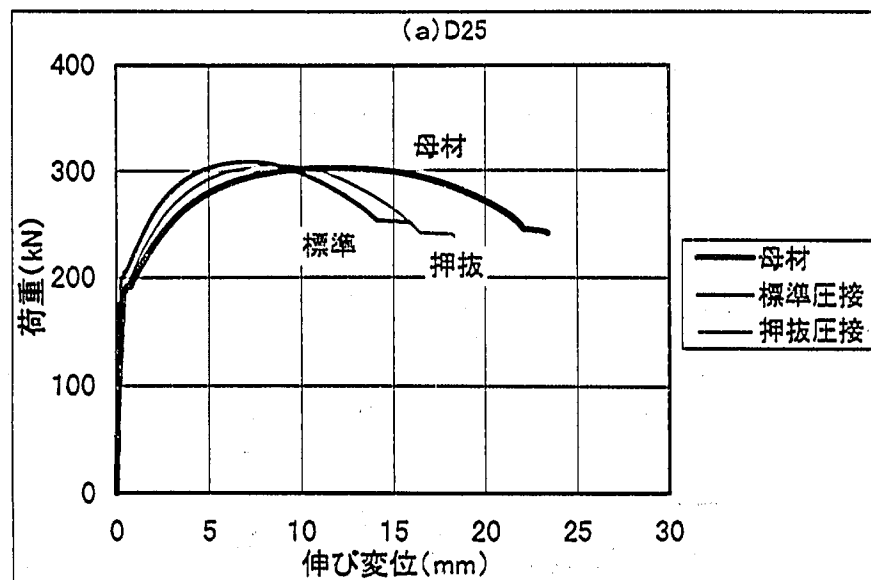


図-4.2.6 荷重—伸び変位関係

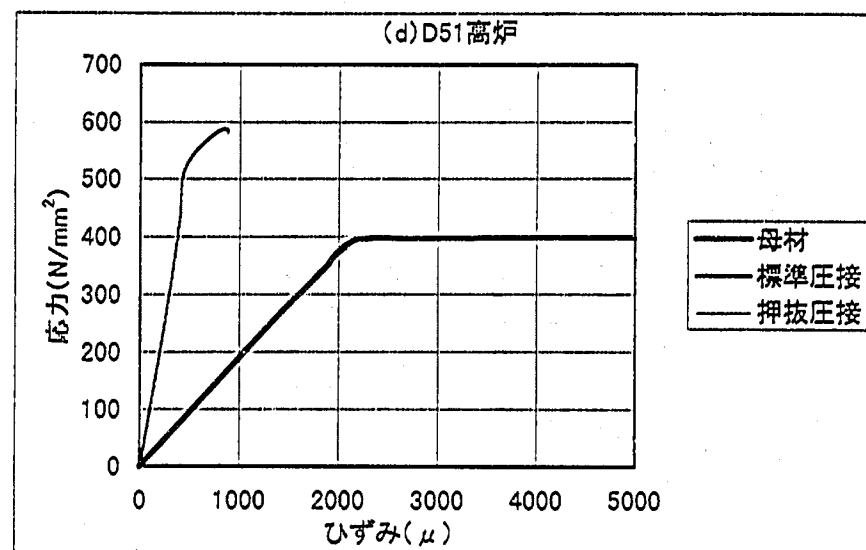
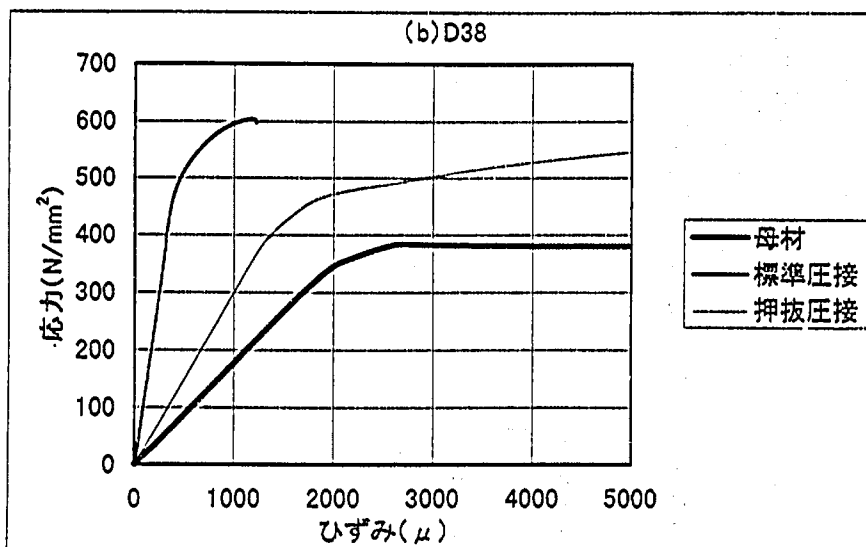
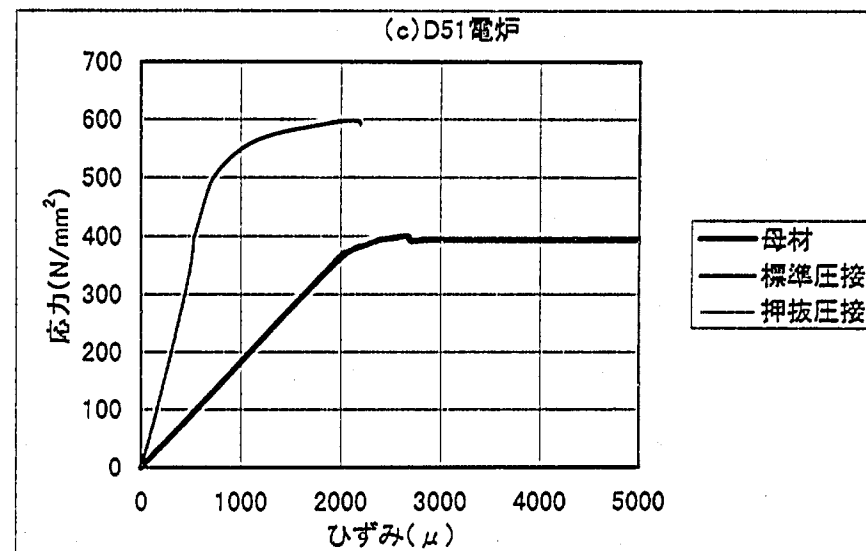
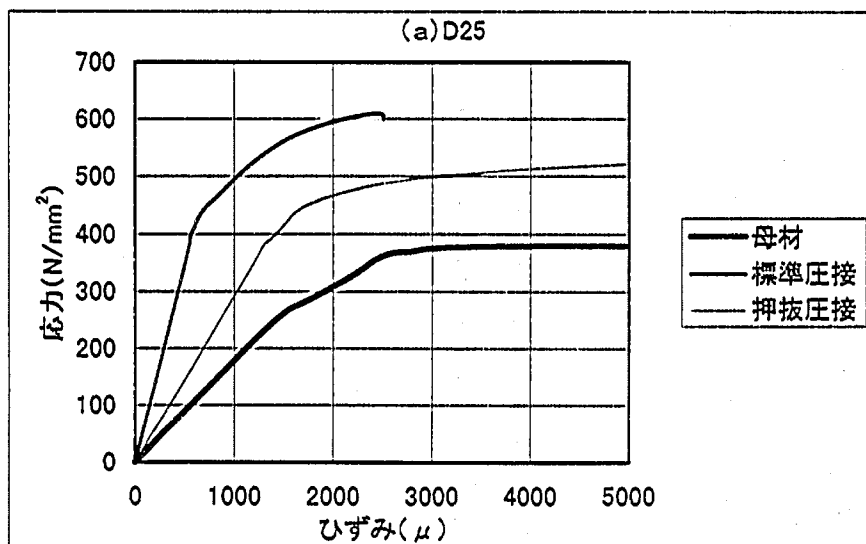


図-4.2.7 応力-ひずみ関係

4.2.2 強度に及ぼす試験温度の影響

試験温度と降伏応力、引張強さの関係を一次回帰した結果を表-4.2.3に示す。その結果を図-4.2.1～4.2.4の（その1）にも示す。

回帰した係数の関係を図-4.2.8および4.2.9に示す。標準速度時の降伏応力の傾きは、D25は1℃当たり0.3～0.4N/mm²低下するが、D38は0.6N/mm²、D51電炉は0.5N/mm²、D51高炉は0.7N/mm²程度ずつ低下しており、鉄筋径が太くなるほど大きくなる傾向がある。母材、圧接の種類による違いはないようである。

引張強さは、D25は1℃当たり約0.7N/mm²低下に対し、D38は約0.6N/mm²、D51電炉および高炉は0.5N/mm²であり、降伏とは逆に、太くなるほど低下する傾向にあるようである。載荷速度の影響は、標準速度（ひずみ速度0.01%/sec）と高速（5%/sec）では明確な違いはないようである。

4.2.3 ヤング係数、伸び、絞り に及ぼす試験温度の影響

試験温度、載荷速度を変化させてもヤング係数、一様伸び、破断伸び、絞りは図-4.2.1～4.2.4のように、ほぼ一定であり、強度以外の機械的特性に及ぼす載荷速度、温度の影響は、この程度の範囲ではないといえる。

4.2.4 伸び変位

伸び変位は図-4.2.6のように圧接鉄筋の伸びは母材より小さくなっている。標準圧接は押抜圧接よりわずかに小さくなっている。これは標点距離を一定にして測定しているため、圧接部の伸びが小さいためである。この傾向は図-4.2.1～4.2.4の一様伸び、破断伸びと一致している。

なお、破断伸びは図-4.1.4のように全長と、圧接部をはさんで上部、下部それぞれ測定している。これらの結果から、母材部の伸びと圧接部の伸びの比率を求めると図-4.2.10のようになる。圧接部の破断伸びに占める割合は、標点を打つ位置によって異なるが、おおむね0～20%であった。母材部は上・下で大きく異なっているが、これは破断した位置による違いである。

4.2.5 応力-ひずみ関係

母材のひずみは図-4.2.7のように降伏すると急激に流れているが、圧接部のひずみは、標準圧接は断面積が母材に対して平均約2.5倍あることから母材部が降伏点に達しても圧接部は降伏していない。押抜圧接は母材ほどではないがゆっくりと降伏している。

表-4.2.3 試験温度と強度の回帰結果

鉄筋の種類		試験片	圧接	標準速度				高速			
径	製法			降伏応力		引張強さ		降伏応力		引張強さ	
				傾き	切片	傾き	切片	傾き	切片	傾き	切片
D25	電炉	短	N	-0.320	388.0	-0.366	606.5			-0.504	629.6
		長									
		短	S	-0.369	406.5	-0.675	627.2			-0.520	637.0
		長									
		短	P	-0.409	415.9	-0.703	628.1			-0.603	642.8
		長									
D38		短	N	-0.722	413.2	-0.664	612.7			-0.460	633.5
			S	-0.647	419.6	-0.633	625.4			-0.561	639.3
			P	-0.536	423.3	-0.586	626.6			-0.379	642.4
D51		短	N	-0.496	409.7	-0.498	597.1			-0.245	603.4
			S	-0.536	410.1	-0.550	610.8			-0.558	624.5
			P	-0.709	424.7	-0.109	593.7	-0.854	453.0	0.207	604.3
D51	高炉	短	N	-0.678	409.6	-0.651	581.7			-0.588	598.3
			S	-0.612	401.8	-0.343	596.8			-0.616	602.5
			P	-0.746	412.6	-0.564	587.1	-0.818	445.1	-0.586	626.6

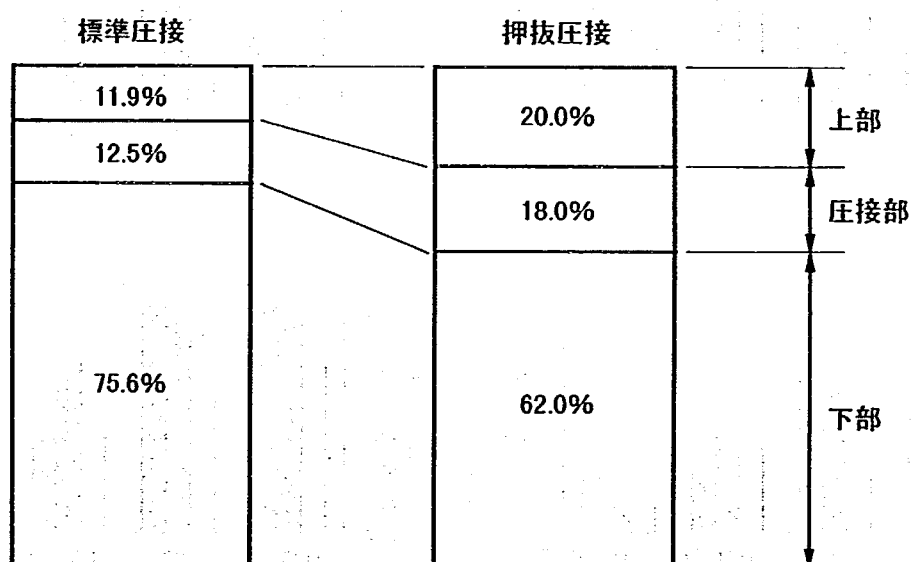
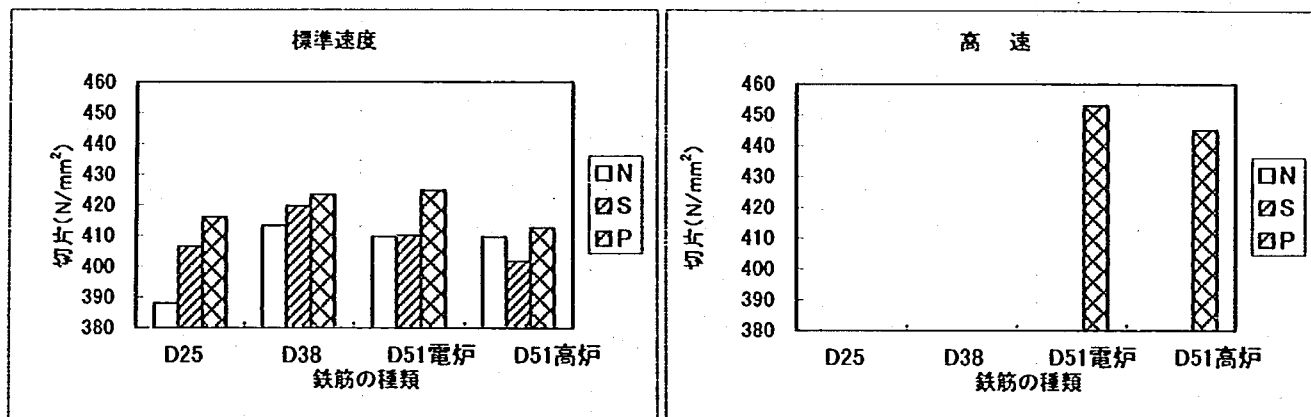
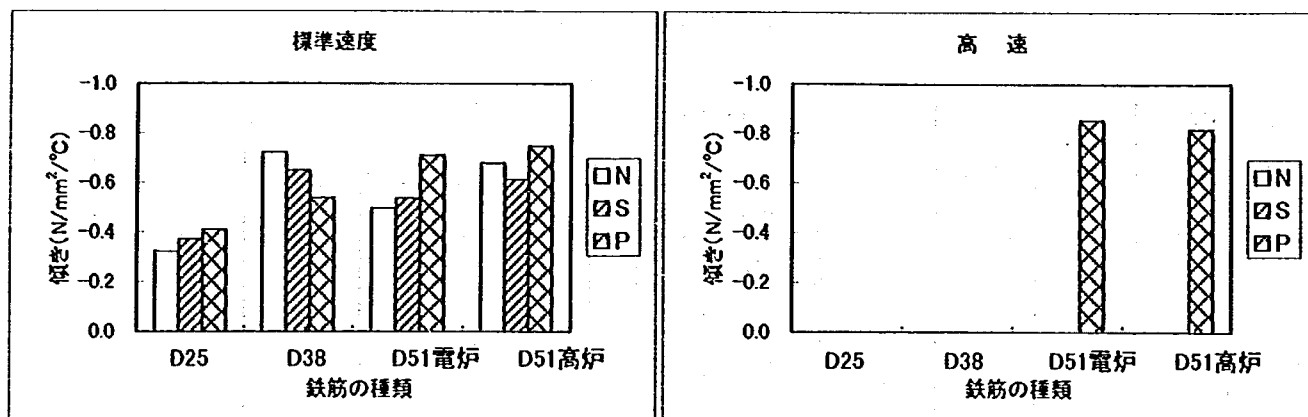


図-4.2.10 圧接部, 母材部の破断伸びの一例



引張強さ

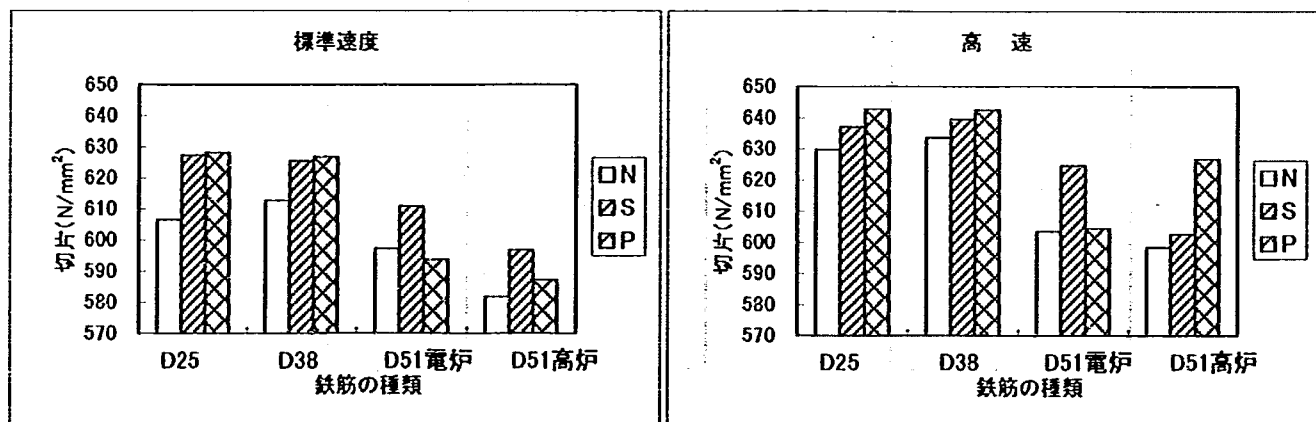
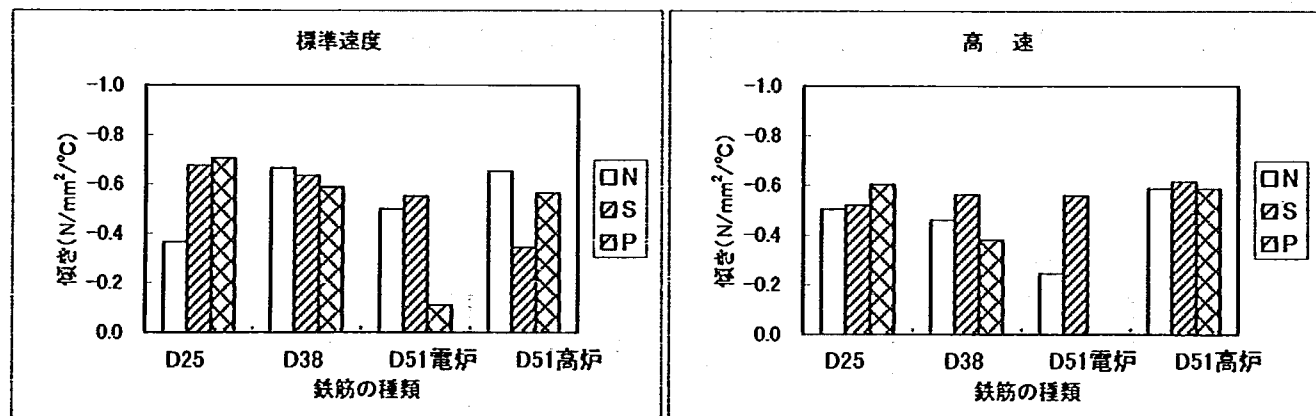
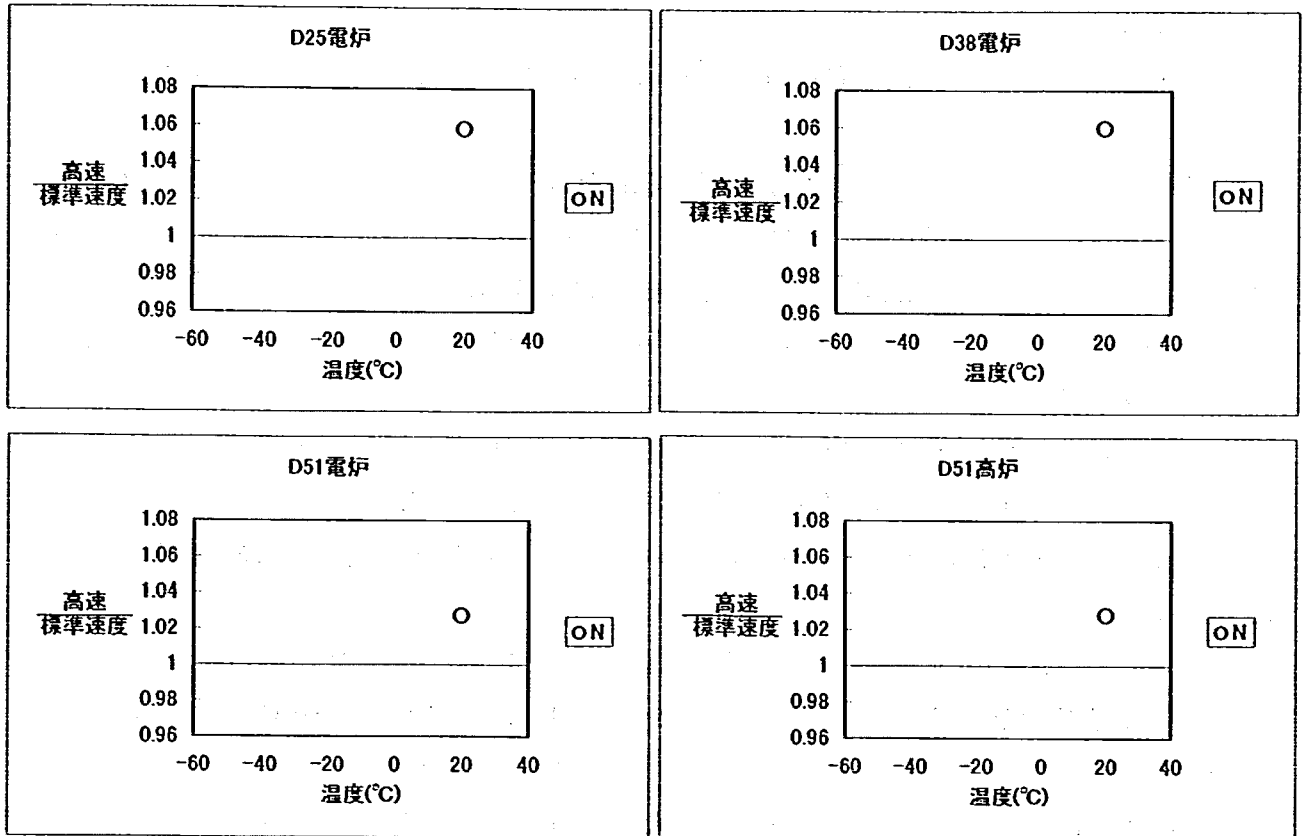


図-4.2.8 温度の影響

降伏応力



引張強さ

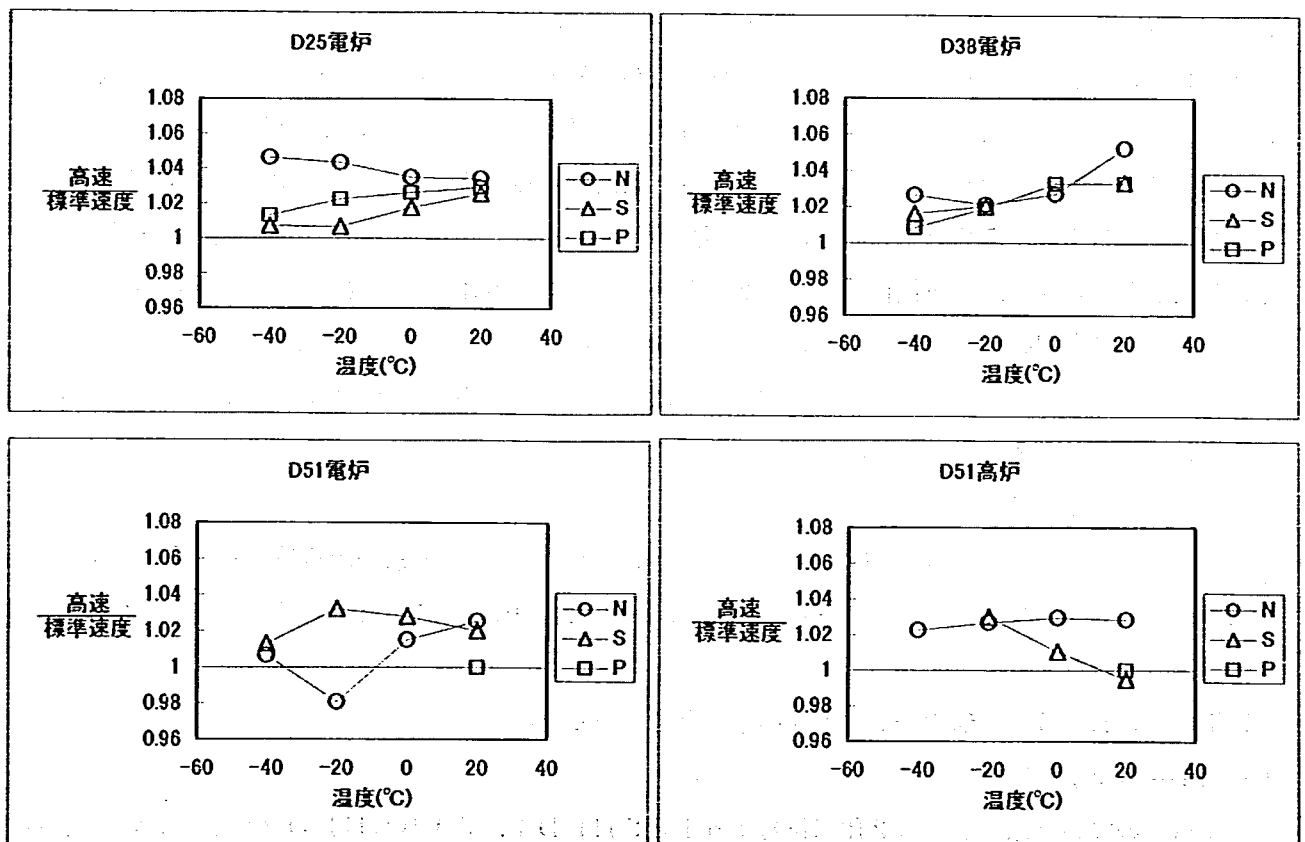


図-4.2.9 載荷速度の影響

4.2.6 圧接部で破断した鉄筋の金属学的調査結果

(1) 圧接界面破断部調査

唯一圧接界面で破断した試験片（D51・高炉材，標準圧接，標準速度載荷，0℃）について，破面調査した。

破面外観を写真－4.2.1に示す。外周約1／3に灰白色のいわゆるフラット破面が観察された。その他の破面は劈開破断した脆性的な破面を呈しており，フラット破面を起点として発生している。この外観の様相は，ガス圧接継手での界面破断に特徴的な破断面といえる。

フラット破面を主体に，SEMによる破面観察を行った。なお，SEMによる破面観察のため，破面の酸化物除去を行った。

フラット破面の全体を低倍率（20倍）にて観察した結果を写真－4.2.2に示す。この写真の上部が外周側であり，図示1のような黒く着色した帯状の部分，図示2のような鈍い灰色の部分，そしてその内周に図示3のような黒く着色した部分からなっている。なお，図示1の部分は図示3と類似の破面の様に見える。

これらの部分を高倍率で観察すると，まず，写真－4.2.3に示す2つの部分の100倍での写真をみると，フラット破面は黒色部分と，灰色部分の二相を示している。黒色部分及び灰色部分をさらに高倍率の1,000倍で観察すると，写真－4.2.4及び写真－4.2.5にそれぞれ見るように，酸化物（これら酸化物はMnやSi系であることが知られている）の塊の大きさ等に違いが見られる。すなわち，写真－4.2.4の黒色部は大きな塊の酸化物形状の部分が多く，微小球状の酸化物がやや少ない。これに対して，写真－4.2.5の灰色部は小さな球状の酸化物の塊が分散している部分が多い。この違いが破面の色合いに変化をもたらしていると思われる。また，界面強度の観点からみると，黒色部分の方が酸化物の塊の大きいことや，塊の面積比率の大きいことから，灰色部分よりも界面強度は劣っていると思われる。

なお，この界面破断の原因については，フラット破面の見られることから，表面酸化を圧接時に生成・残留させてしまったためと思われる。素材が高炉鉄筋であり，MnやSiが多いことも酸化物生成に影響したかもしれないが，圧接作業に何らかのミスがあったと考えるのが妥当と思われる。いずれにせよ，前回および今回の一連の試験においてすでに1058本の継手が強度試験されたが，前回曲げ試験で1本，今回引張試験で1本の計2本が界面破断したに過ぎず（不合格率：0.2％），圧接界面は良好な品質を示していると考えて良いと思われる。

(2) 継手付根部での破断部調査

表－4.2.1に示すように，D51の継手では一部に圧接ふくらの付根部から破断したものがあつた。内訳は，-40℃の試験において，標準圧接の高炉材で2本，押抜圧接の高炉材で同じく2本，電炉材で1本の，計5本あつた。

以下に，これら破断試験片の破面観察の結果と考察を示す。

1) 標準圧接継手の破断部

ふくらのついた標準圧接の2体（符号；51BSHLD1，51BSHLD2）が，その付根から破断した。写真－4.2.6及び写真－4.2.7にそれぞれの破面外観を示す。両試験片とも脆性的な劈開破面

を示しており、破面のパターンからき裂発生の起点が容易に推定できる。

これら試験片の亀裂起点部近傍の縦断面マクロ観察、およびミクロ組織観察、ビッカース硬さ試験を行った。

図-4.2.11にミクロ組織観察位置、及び硬さ測定位置を示す。

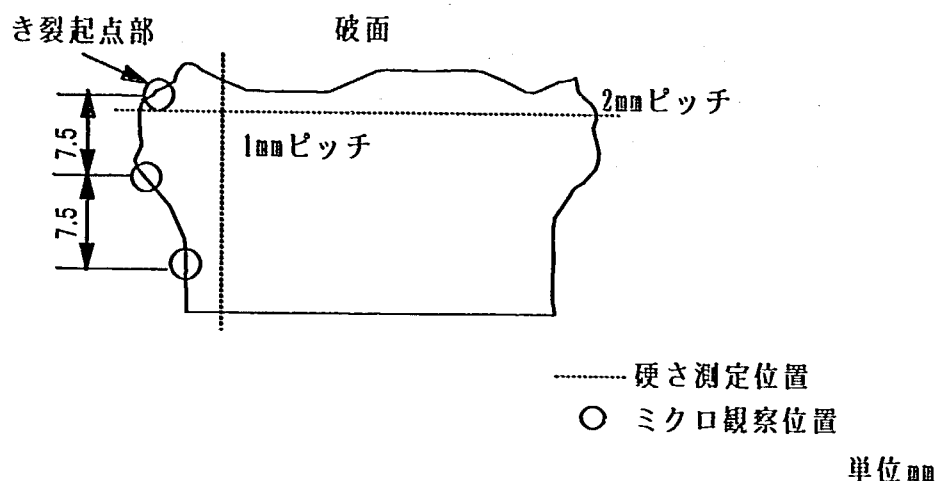


図-4.2.11 ミクロ組織位置及び硬さ測定位置

写真-4.2.8~4.2.9にき裂点部近傍の縦断面マクロ観察結果を、写真-4.2.10~4.2.11にミクロ観察結果を示す。なお、写真-4.2.8~4.2.9には、き裂起点部を矢印で示した。

また、便宜上試験片の径の小さい方に符号-1（母材側）を付け、径の大きい方に-2（圧接界面側）を付けた。

図-4.2.12~4.2.13に硬さ試験結果を示す。

これらの破断面のマクロ、ミクロ、及び硬さ試験の結果から破断の様相を以下に示す。まず、縦断面マクロのき裂起点部近傍は両試験片ともに切り欠き形状が鋭い形状になっている。これは圧接のふくらみの終端部が、異形棒鋼素材の斜め節の腹にぶつかった位置になったため、この部分が切り欠きを形成してしまったと思われる。

次に、ミクロ組織及び硬さ試験の結果をみると、き裂起点部は圧接熱影響部である。き裂発生位置とその付近のミクロ組織や硬さにはほとんど違いがないことから、これらがき裂発生の第1因子とは考えにくく、マクロで見る切り欠きの形成が破断の主因と考えられる。

とくに、今回高炉材で付け根破断が発生し、電炉材で発生しなかった理由を推定すると、高炉材は斜め節であり、ふくらみ終端との取り合い部において、切り欠きを形成してしまう部位が避けられないことがある。一方、今回の電炉材は竹節であったため、切り欠きを避けることが出来たと考えられる。従って、高炉材、電炉材というよりも、節の形状が効いたと思われる。

2) 押抜圧接継手の破断部

押抜圧接についても、D51高炉材の2本（符号：51BPJLD1, 51BPJLD2）及びD51電炉材の1本（符号：51EPHLD2）の計3体が、押抜の付根から破断した。なお、試験温度は-40℃であり、引張速度は標準条

件である。写真－4. 2. 12～4. 2. 14にそれぞれの破面外観を示す。すべての試験片は、ふくらみのついた標準圧接と同様、脆性的な劈開破面を示しており、破面のパターンからき裂発生の起点が容易に推定できる。これらの起点部について、写真－4. 2. 15～4. 2. 17には破断した継手の側面外観を示す。この写真において、画面手前がき裂起点部であり、切欠き形状が鋭い形状になっている。き裂発生部は押抜の端部のようなではあるが、圧接のふくらみの終端部が棒鋼素材の節の腹にぶつかった位置でもあるので、切欠きの形成は必ずしも押抜のためとはいいきれないと思われる。写真－4. 2. 18～4. 2. 20には破断部のミクロ組織、図－4. 2. 14～4. 2. 16には硬さ試験の結果を示す。

いずれも、ふくらみのついた標準圧接継手の破断の場合と同じ傾向を示した。

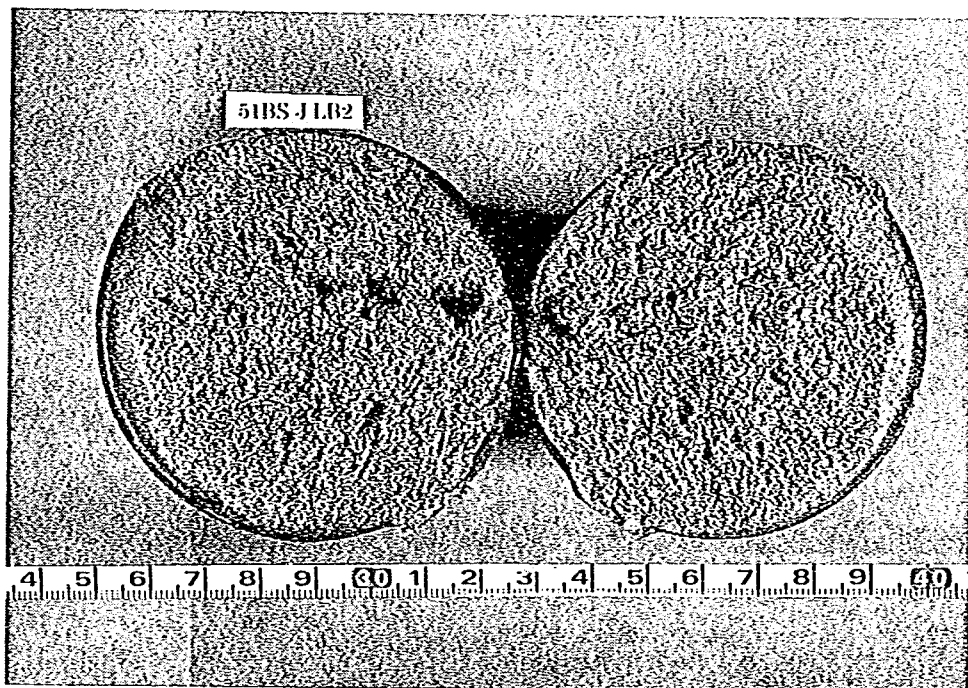


写真-4.2.1 破面外観 (D51BSJLB2)

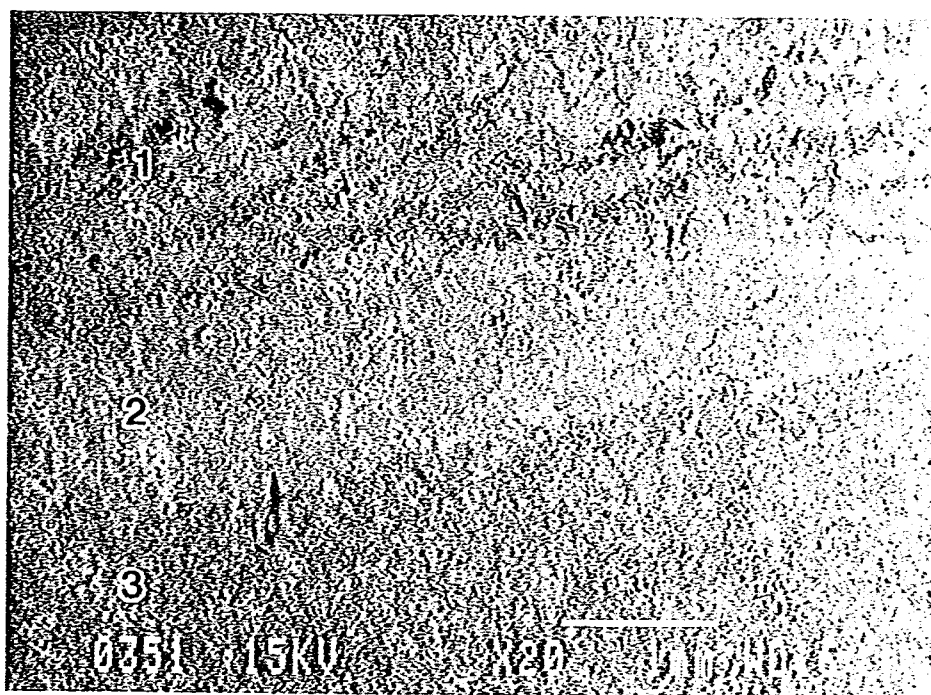


写真-4.2.2 フラット破面

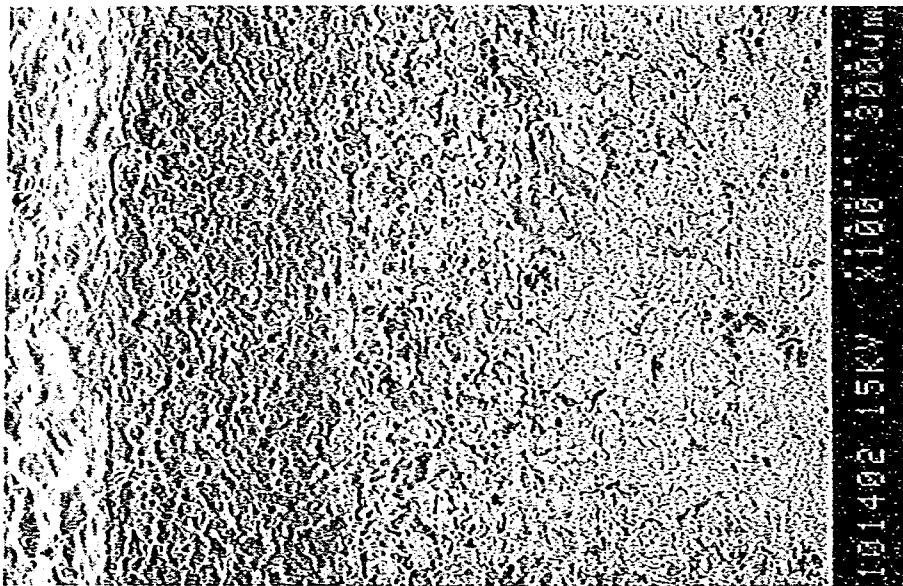


写真-4.2.3
黒色フラットと灰色フラット

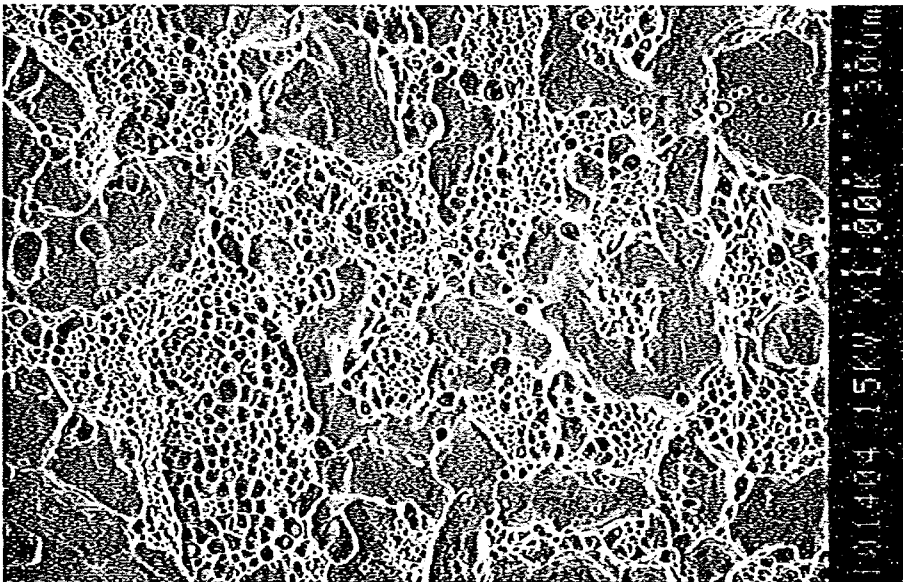


写真-4.2.4
黒色フラット部

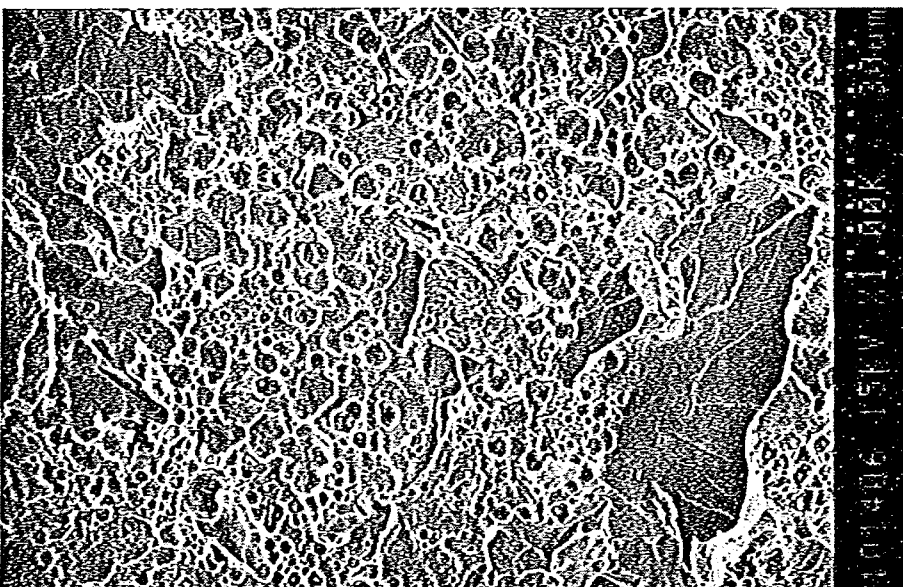


写真-4.2.5
灰色フラット部

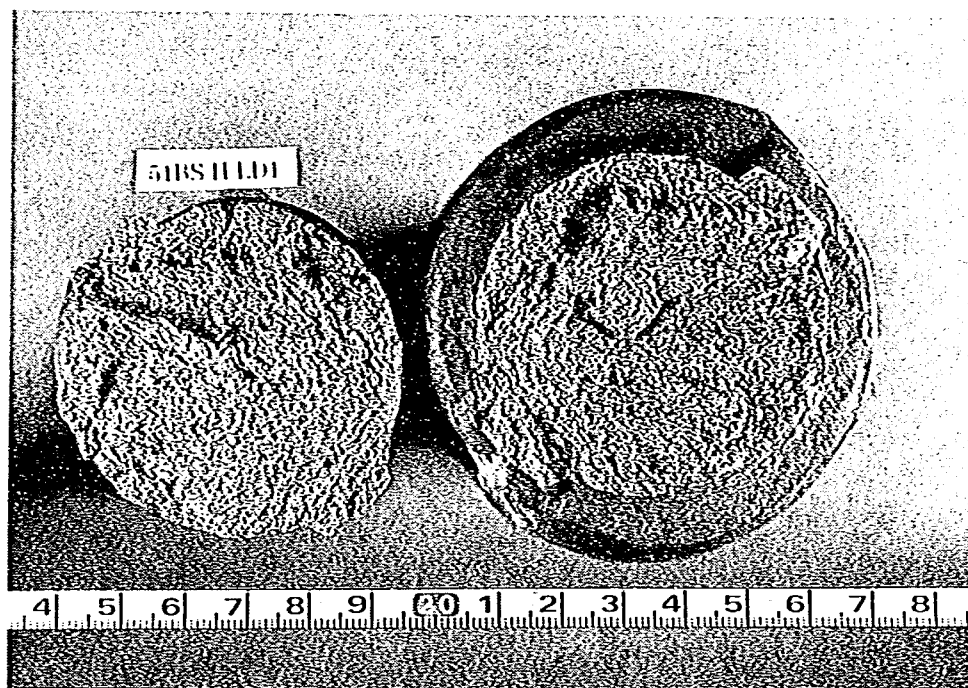


写真-4.2.6 破面外観 (51BSHLD1)

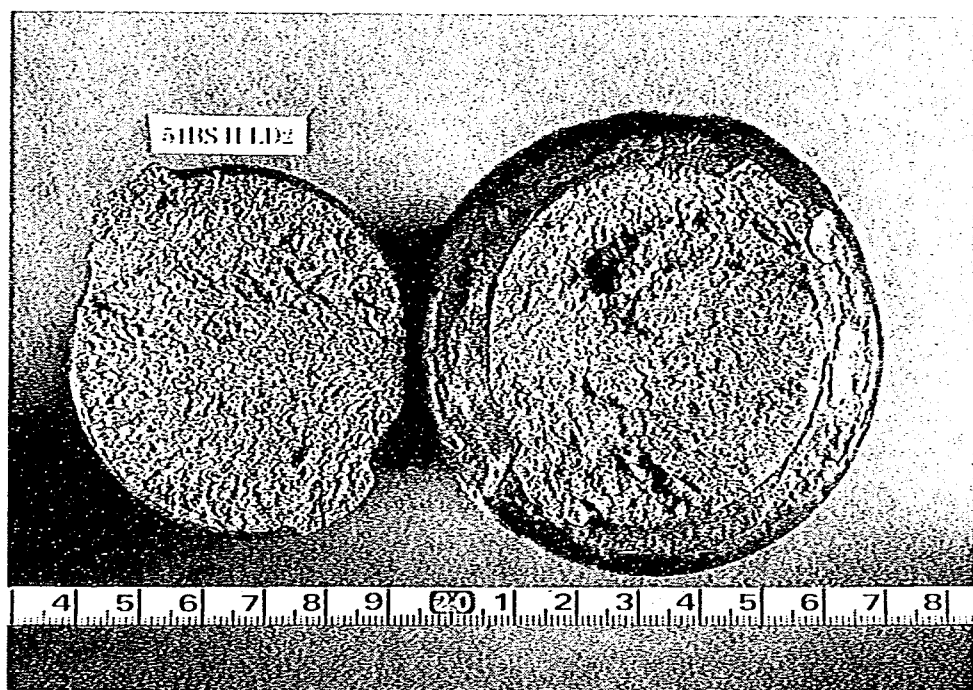


写真-4.2.7 破面外観(51BSHLD2)

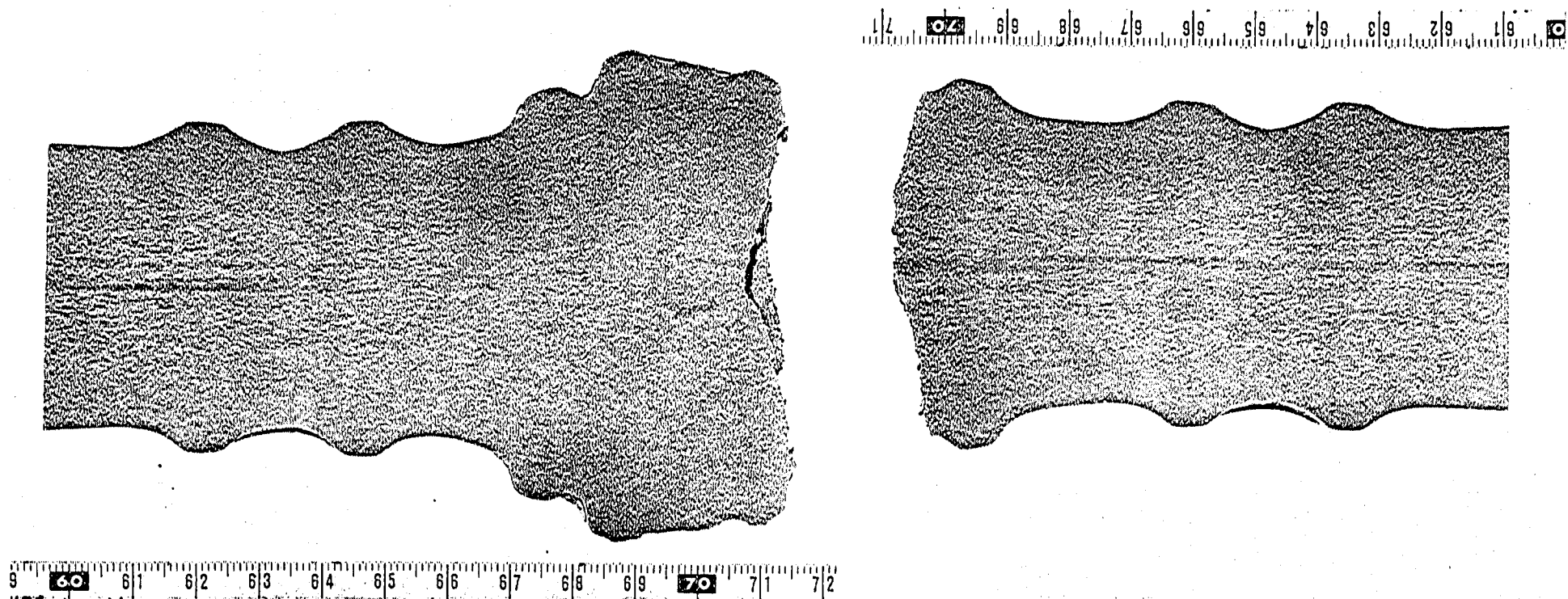


写真-4. 2. 8 マクロ観察(51BSHLD1)

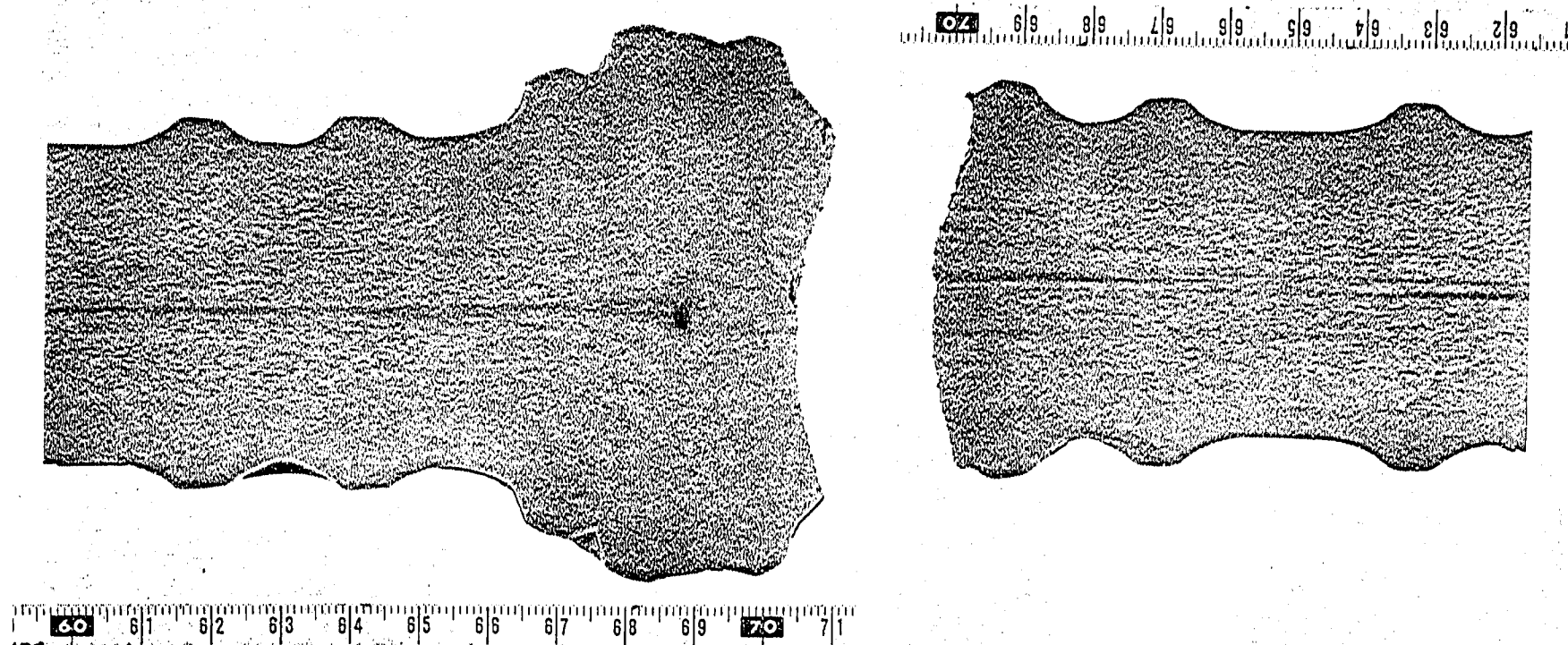
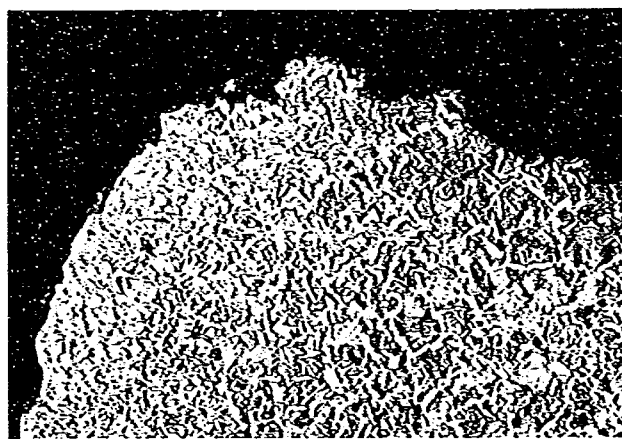


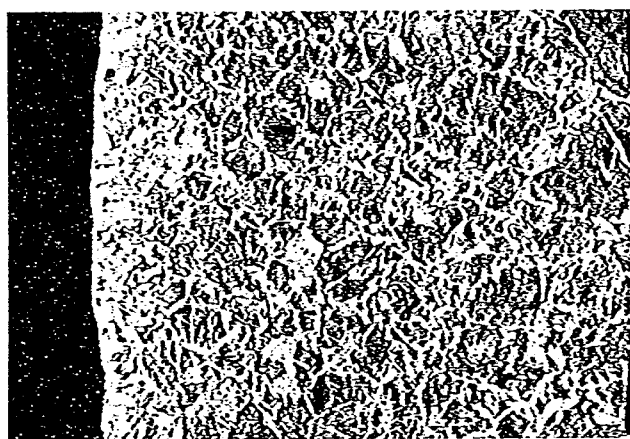
写真-4. 2. 9 マクロ観察(51BSHLD2)



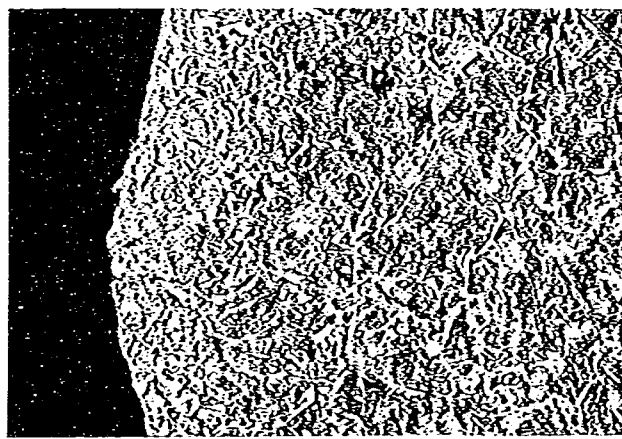
(a-1) き裂起点



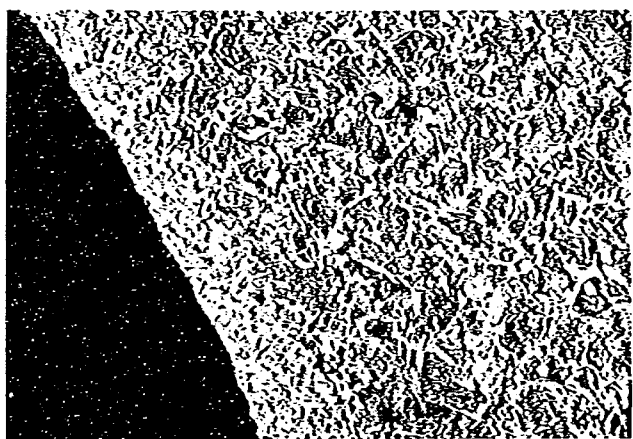
(a-2) き裂起点



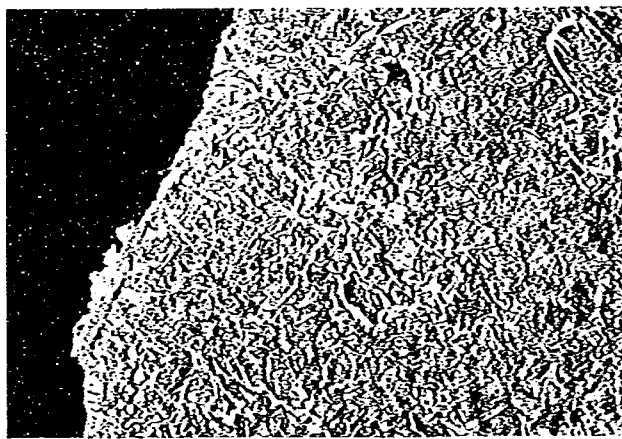
(b-1) 起点から7.5mm



(b-2) 起点から7.5mm

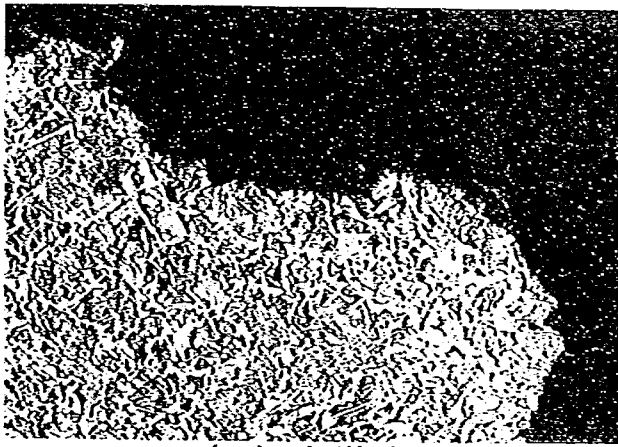


(c-1) 起点から15mm

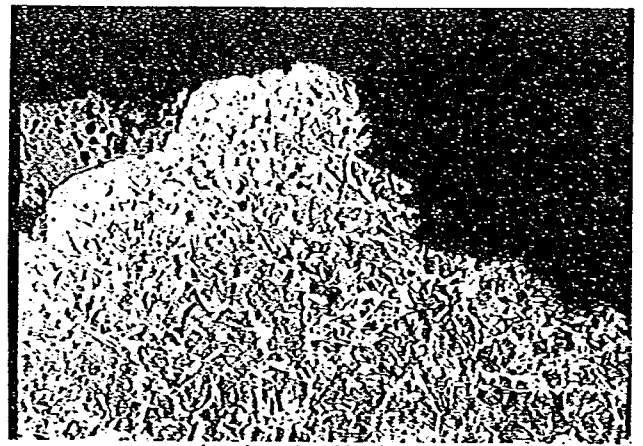


(c-2) 起点から15mm

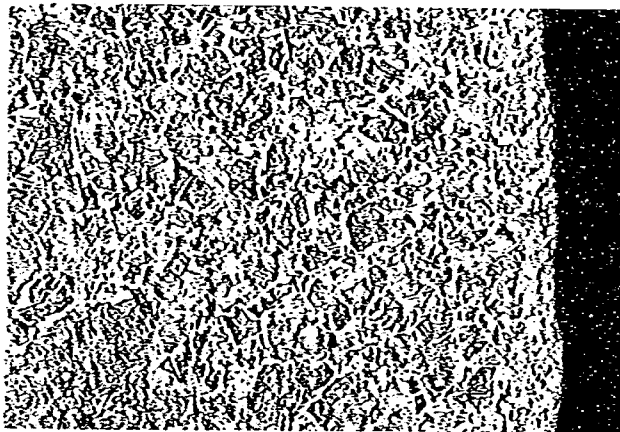
4.2.10 ミクロ観察 (51BSHLD1)



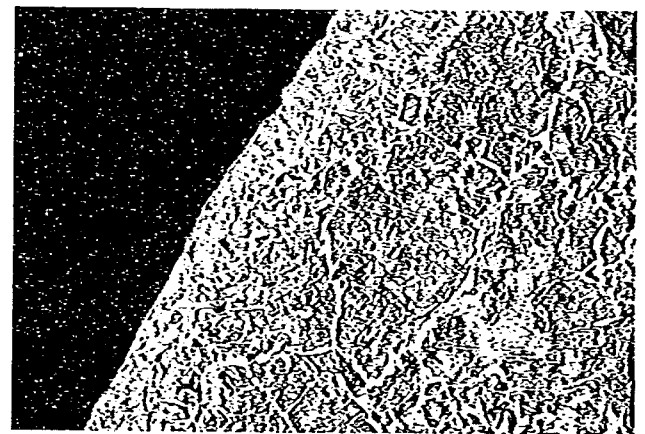
(a-1) き裂起点



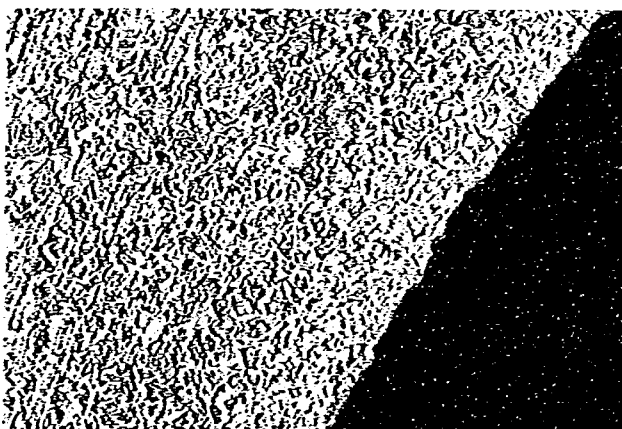
(a-2) き裂起点



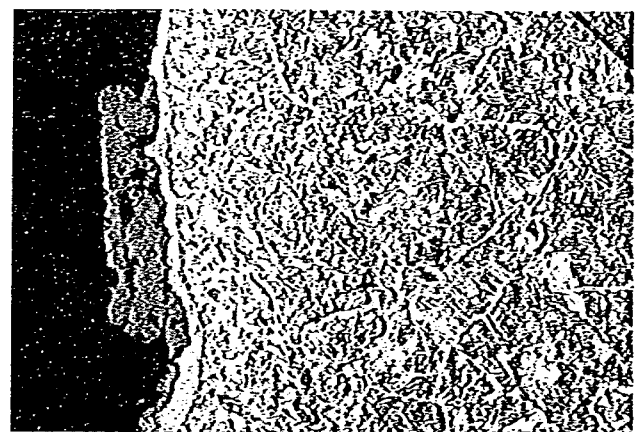
(b-1) 起点から7.5mm



(b-2) 起点から7.5mm

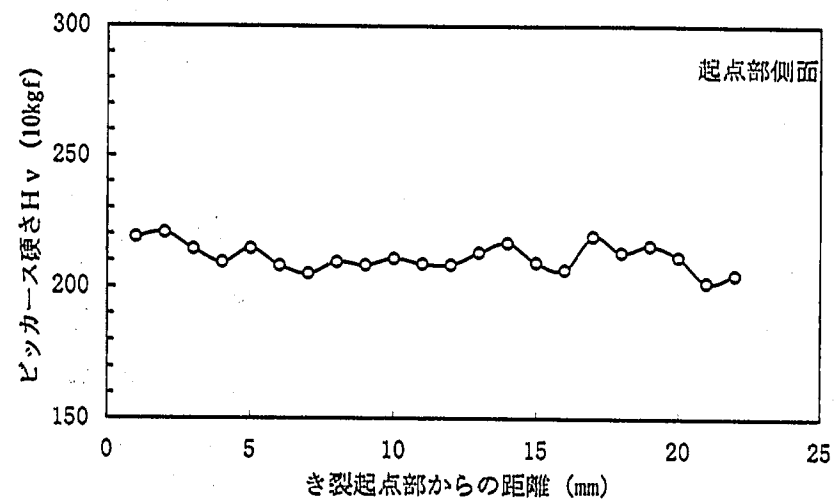


(c-1) 起点から15mm

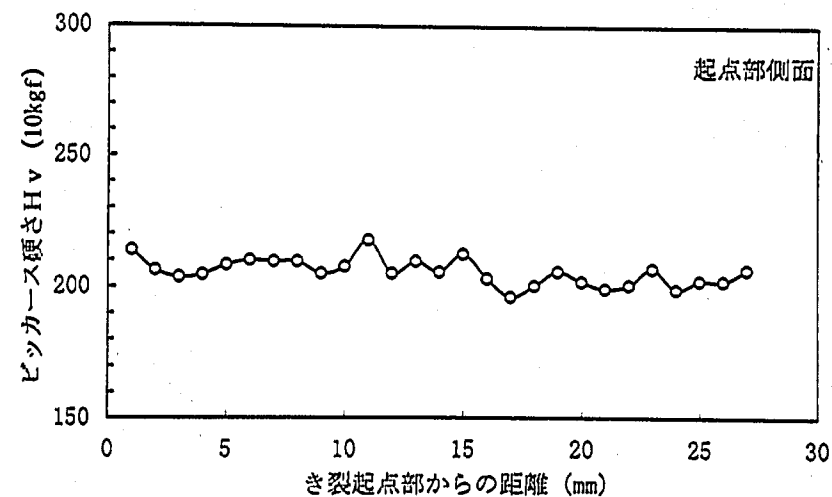


(c-2) 起点から15mm

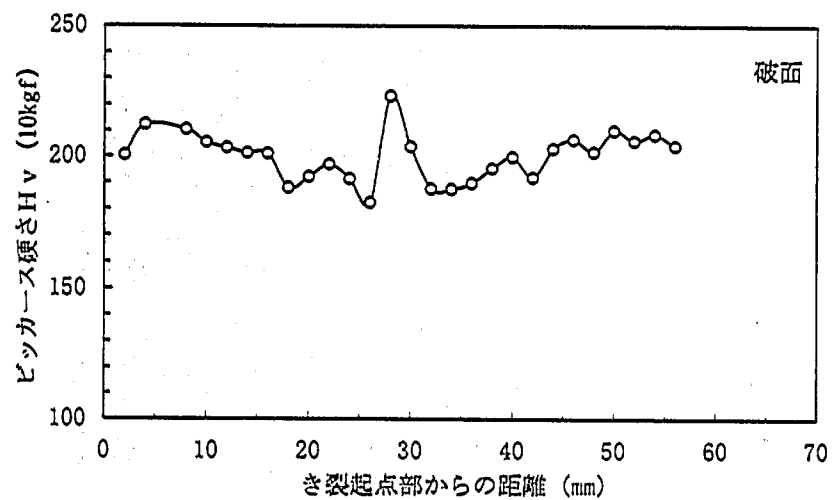
4. 2. 11 ミクロ観察 (51BSHLD2)



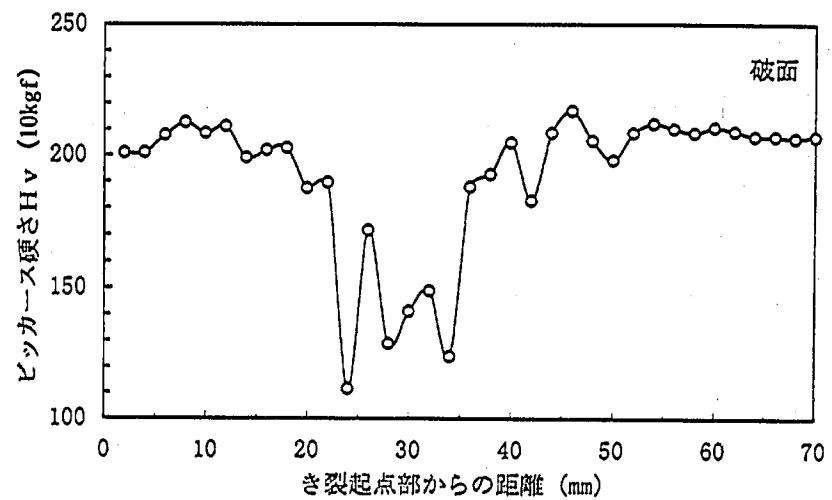
(a-1) 側面



(a-2) 側面

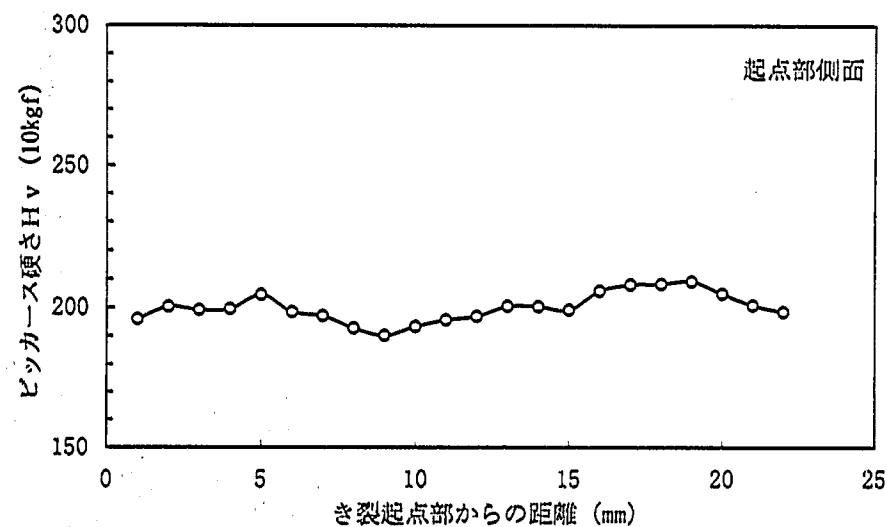


(b-1) 破面

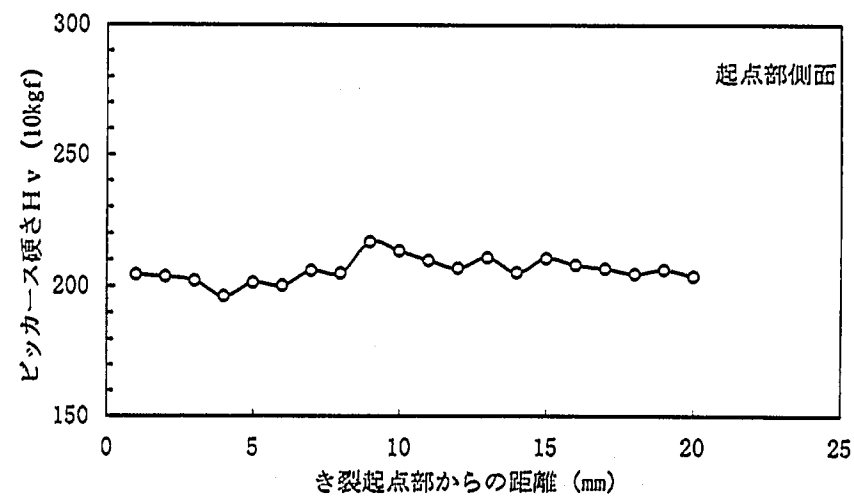


(b-2) 破面

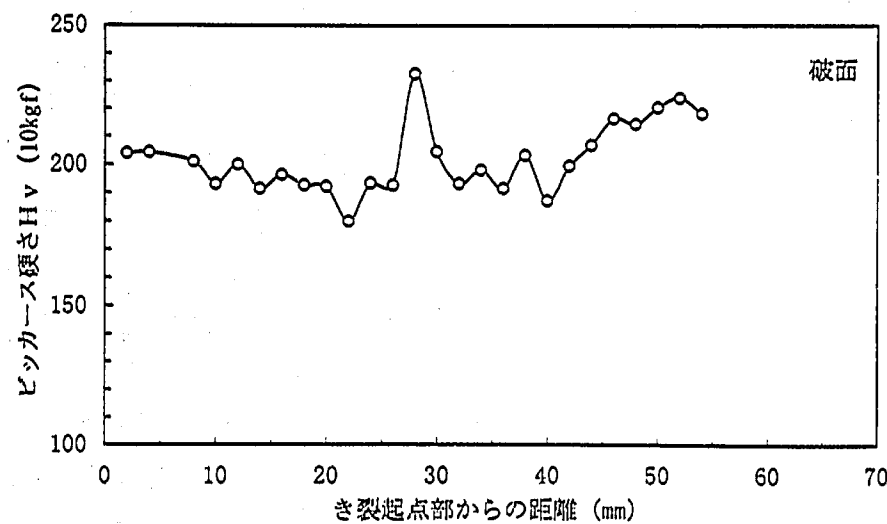
図-4.2.12 硬さ試験結果 (符号: 51BSH LD1)



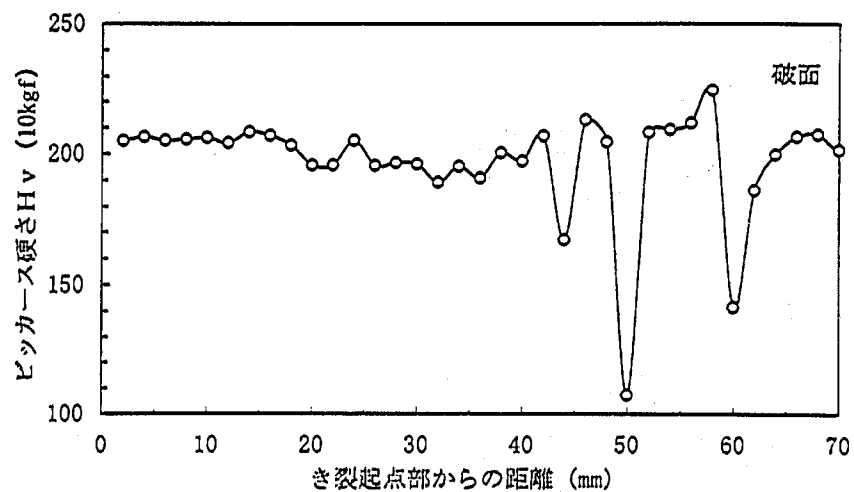
(a-1) 側面



(a-2) 側面



(b-1) 破面



(b-2) 破面

図-4.2.13 硬さ試験結果 (符号: 51BSH LD2)

51EPHLD2

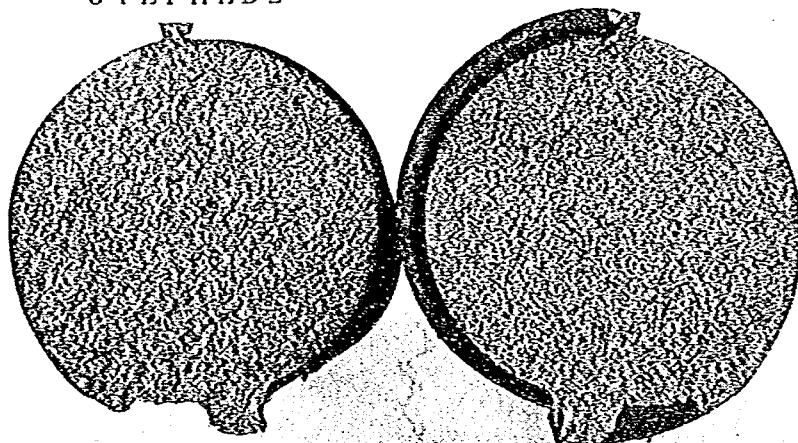


写真-4.2.12 破面外観
51EPHLD2

51BPJLD1

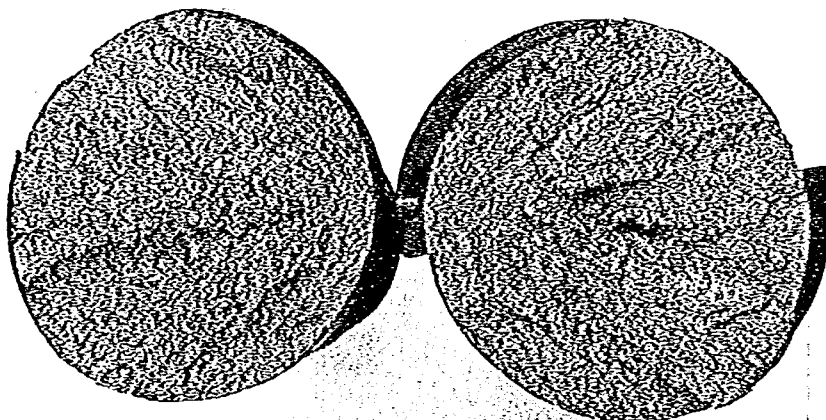


写真-4.2.13 破面外観
51BPJLD1

51BPJLD2

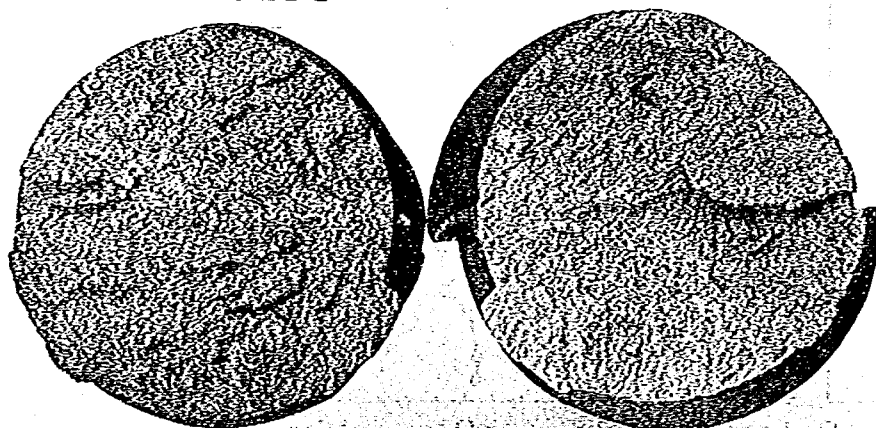


写真-4.2.14 破面外観
51BPJLD2

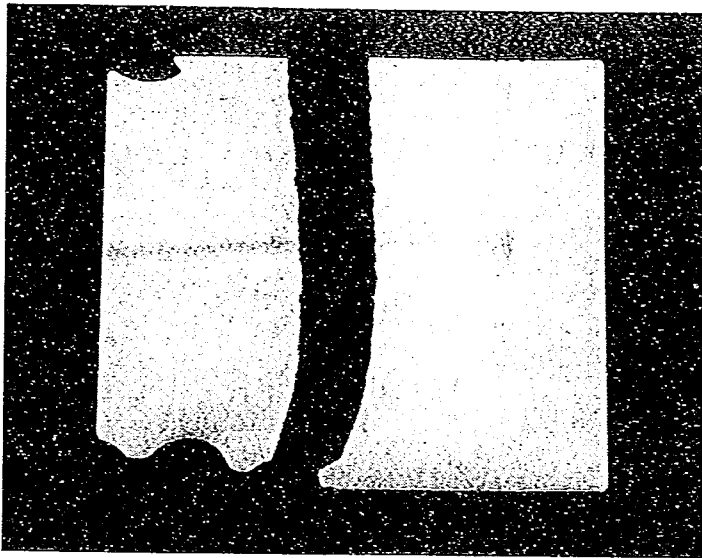


写真-4. 2. 15 マクロ観察 (51EPHLD2)

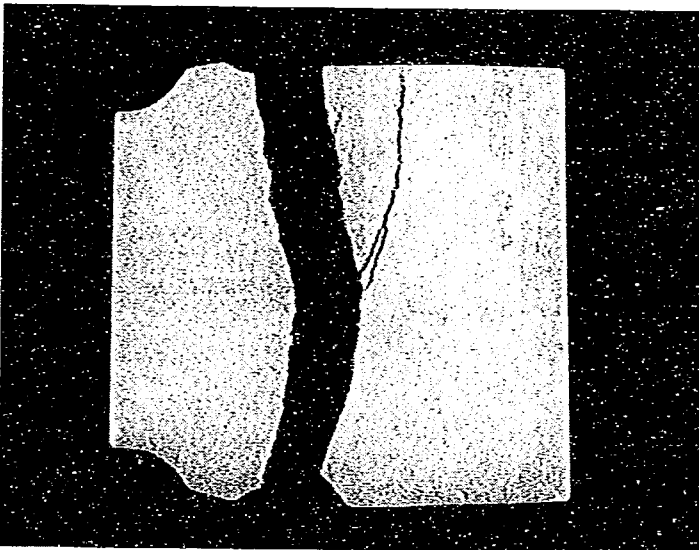


写真-4. 2. 16 マクロ観察 (51BPJLD2)

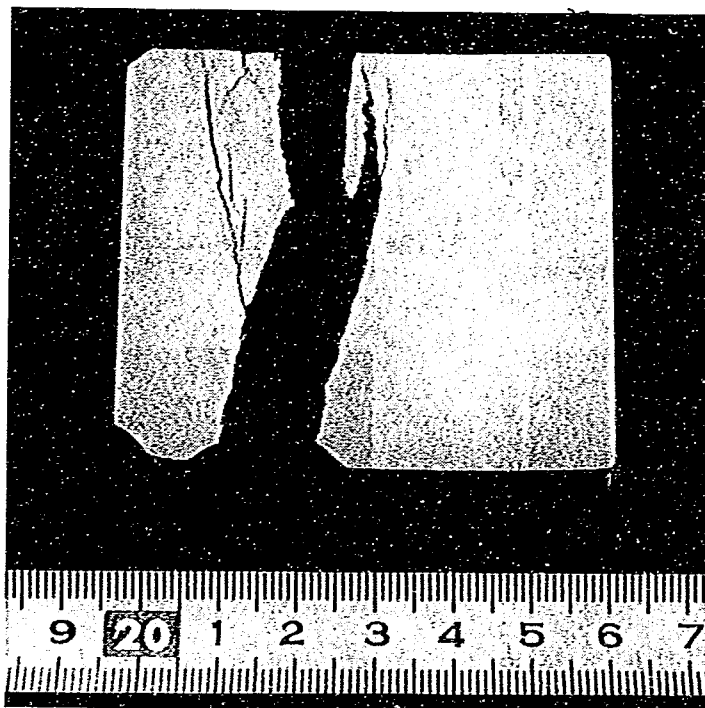
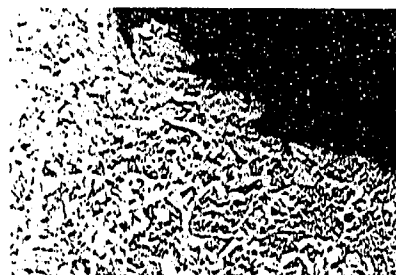


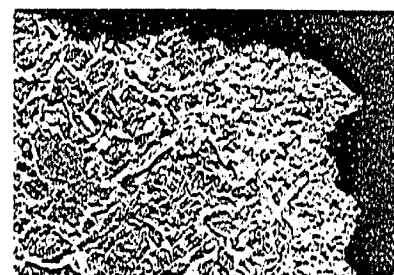
写真-4. 2. 17 マクロ観察 (51BPJLD2)



(a-1) き裂起点部



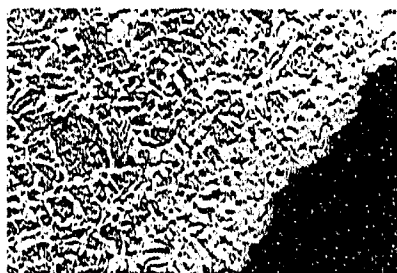
(a-2) き裂起点部



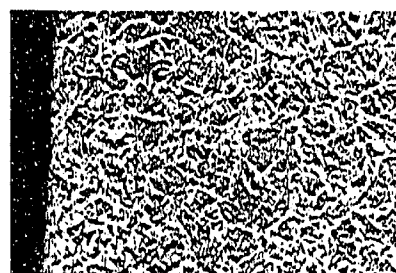
(a-1) き裂起点部



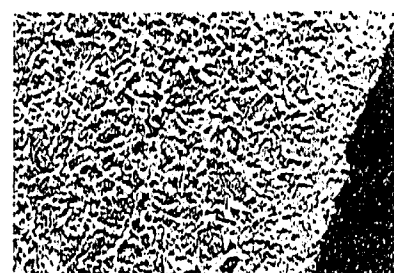
(a-2) き裂起点部



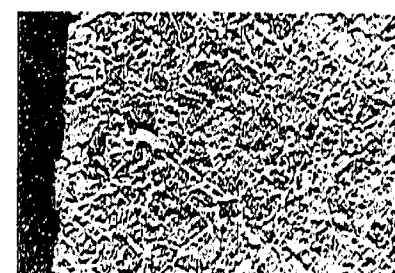
(b-1) 起点部から7.5mm



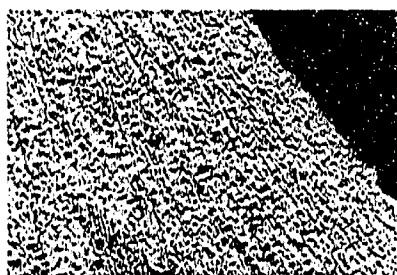
(b-2) 起点部から7.5mm



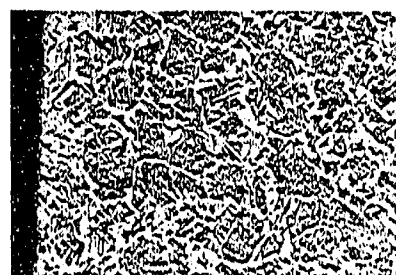
(b-1) 起点部から7.5mm



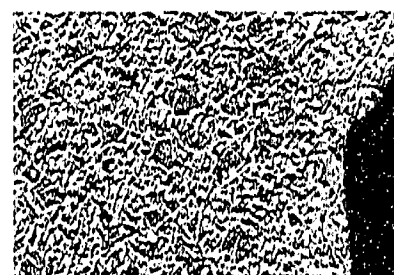
(b-2) 起点部から7.5mm



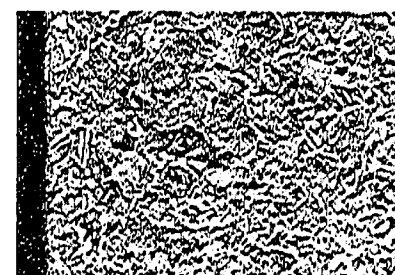
(c-1) 起点部から15mm



(c-2) 起点部から15mm



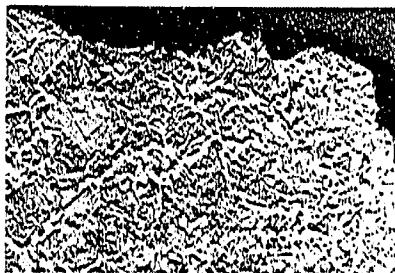
(c-1) 起点部から15mm



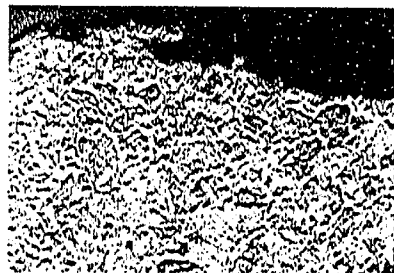
(c-2) 起点部から15mm

写真-4.2.18 ミクロ観察 (51EPHLD2)

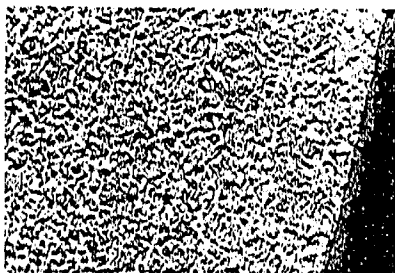
写真-4.2.19 ミクロ観察 (51EPHLD2)



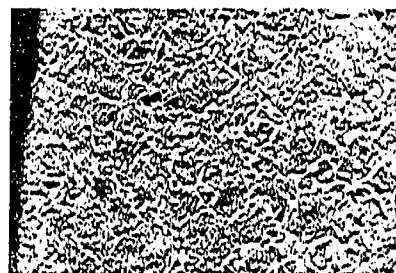
(a-1) き裂起点部



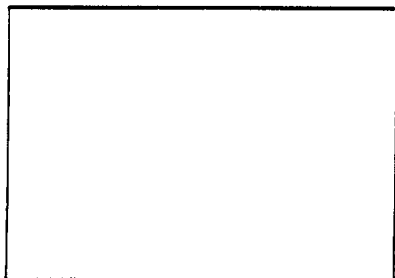
(a-2) き裂起点部



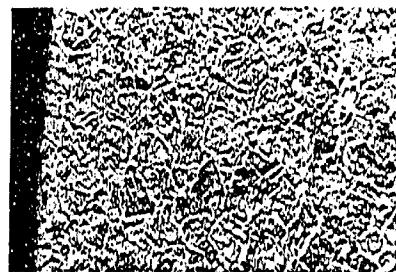
(b-1) 起点部から7.5mm



(b-2) 起点部から7.5mm



(c-1) 起点部から15mm



(c-2) 起点部から15mm

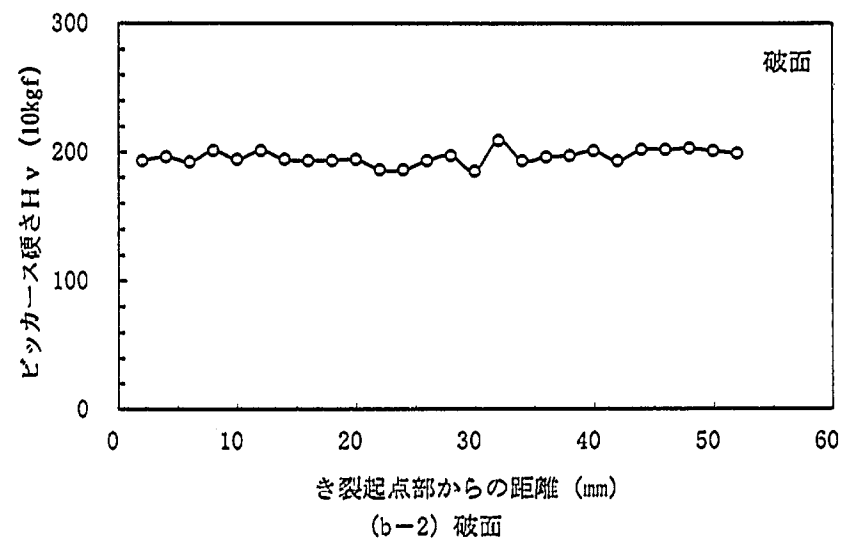
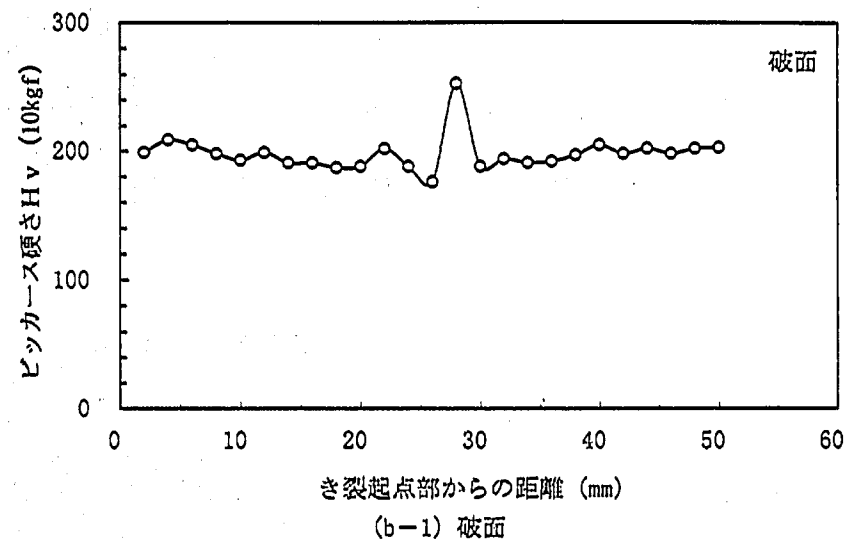
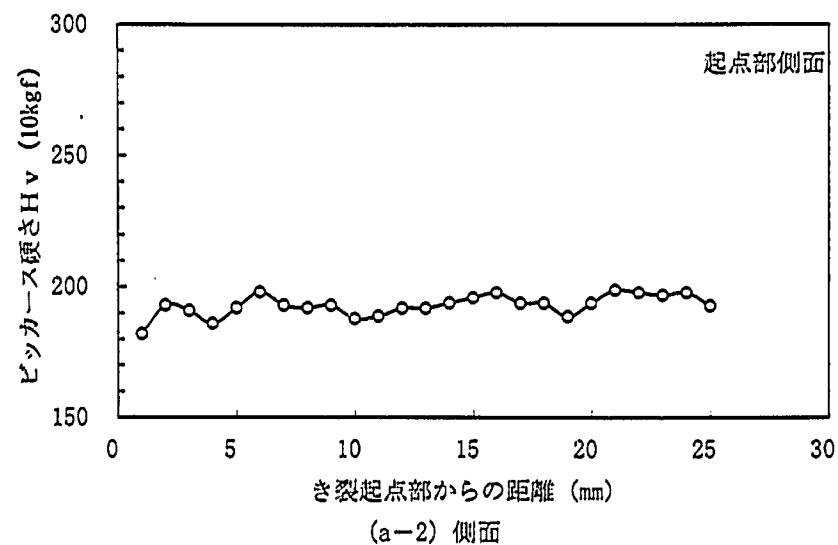
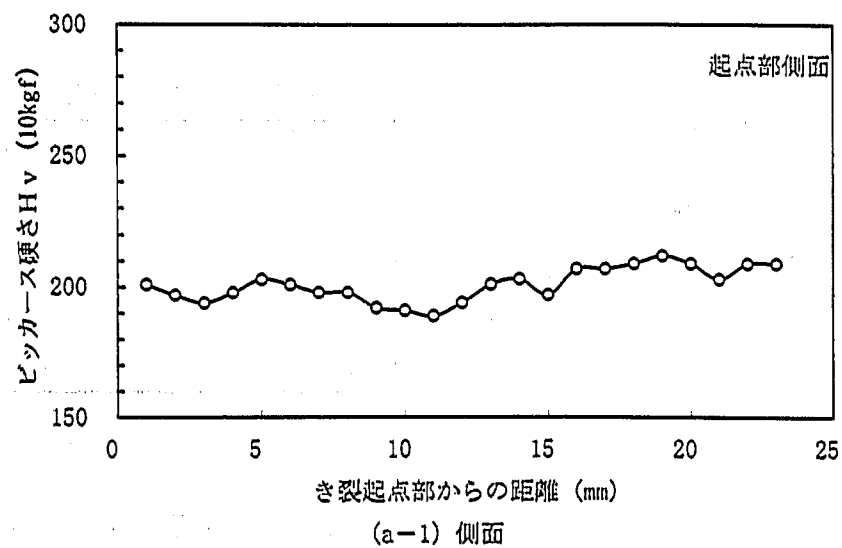
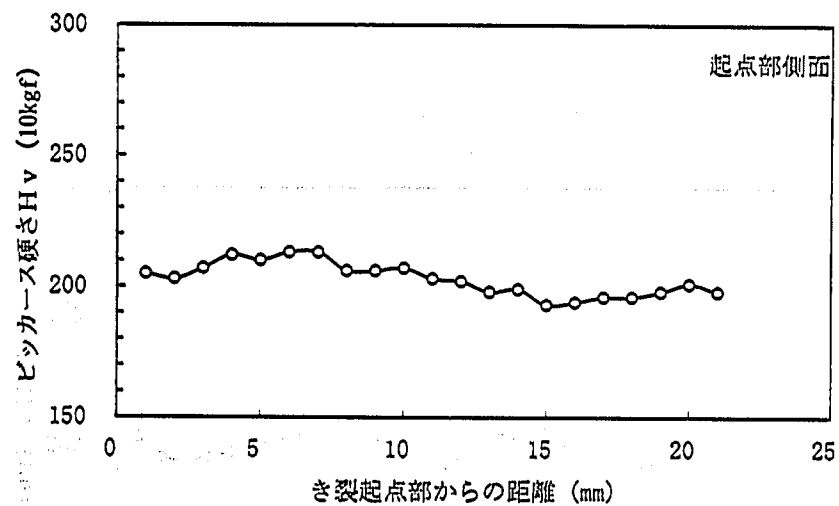
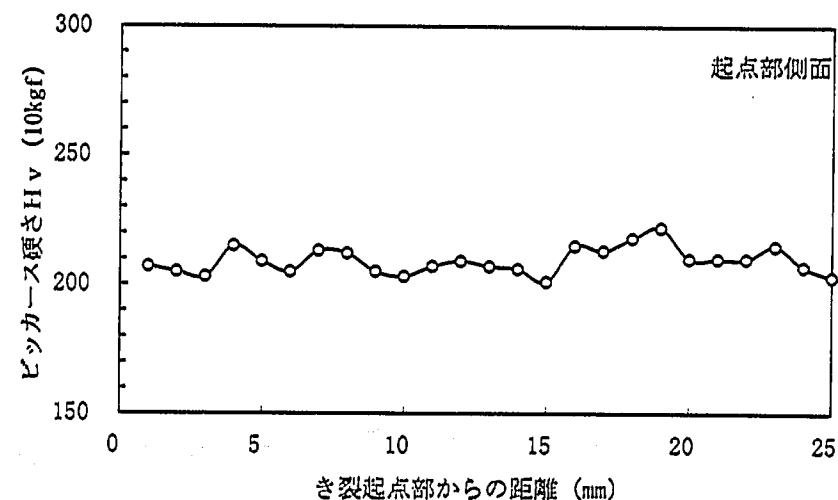


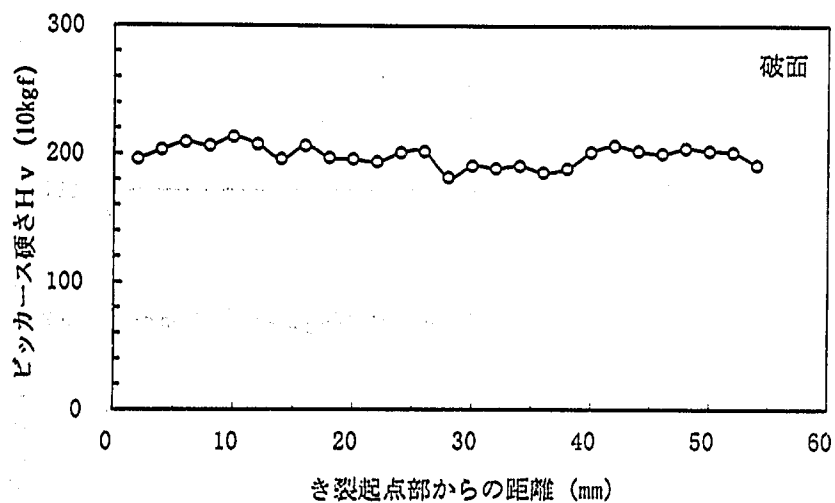
図-4.2.14 硬さ試験結果 (符号:51EPH LD2)



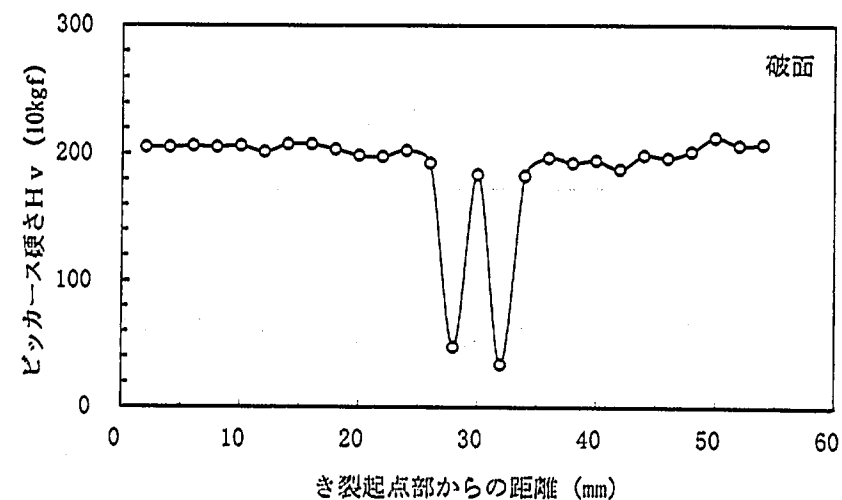
(a-1) 側面



(a-2) 側面



(b-1) 破面



(b-2) 破面

図-4.2.15 硬さ試験結果 (符号:51BPJ LD1)

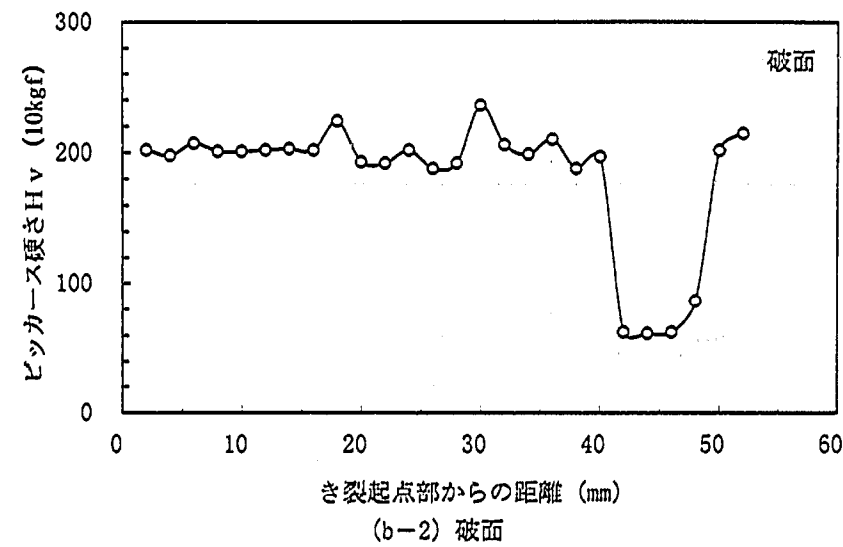
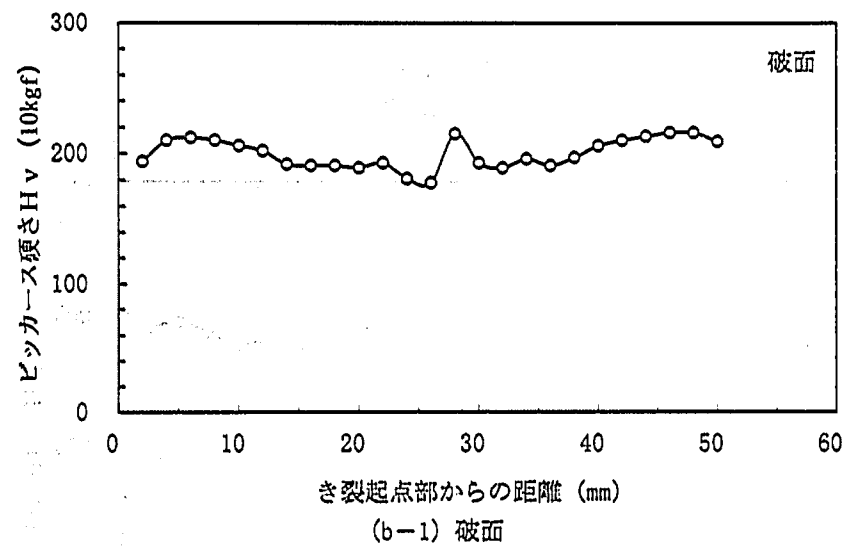
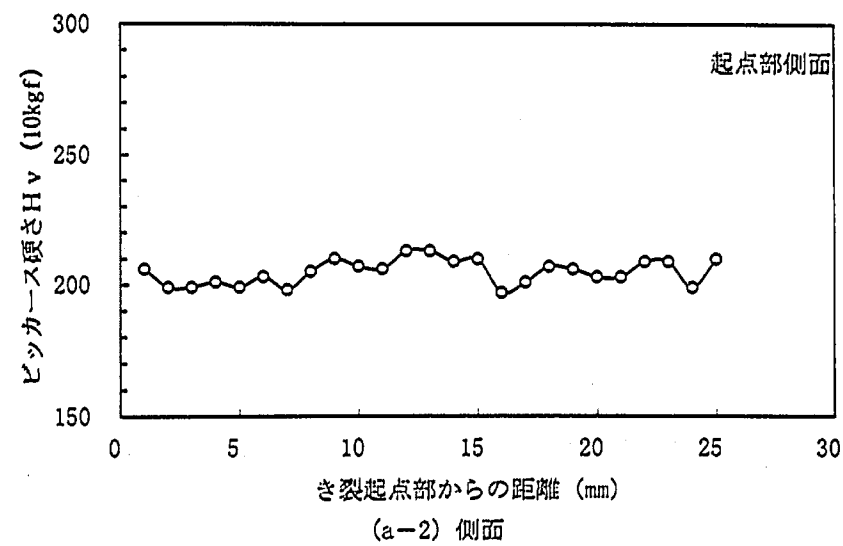
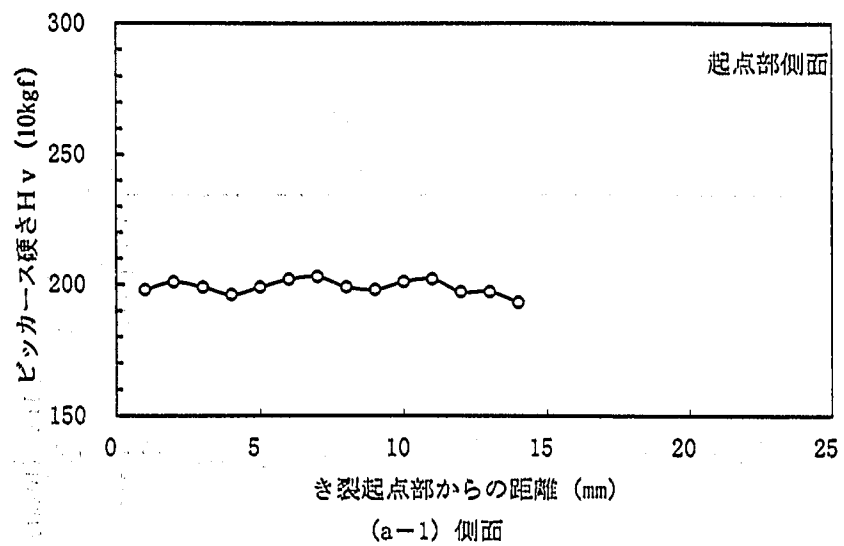


図-4.2.16 硬さ試験結果 (符号;51BPJ LD2)

4. 3 経時変化の影響に関する試験結果

4. 3. 1 試験結果

経時変化の影響については前報で圧接後2ヶ月までの結果を報告した。今回17ヶ月のデータを加えた。その結果を表-4. 3. 1および図-4. 3. 1~4. 3. 2に示す。

4. 3. 2 強度に及ぼす時間、温度の影響

降伏応力および引張強さは、2ヶ月までの結果では低下する傾向が見受けられた。試験時期が異なるため温度の影響ではないかと考え、実験室内の温度と鉄筋温度を測定し、前節の結果をもとに温度補正を行い、20℃のときの強度を求めた。降伏応力、引張強さの図には白丸と黒丸があり、白丸は実験結果そのまま、黒丸は温度の影響を考慮して補正した結果である。補正後の強度を表-4. 3. 2に示す。補正值は、表-4. 2. 3をもとに降伏応力に $-0.4\text{N/mm}^2/\text{度}$ 、引張強さに $-0.7\text{N/mm}^2/\text{度}$ を用いた。

その結果、図-4. 3. 1および4. 3. 2のように標準圧接では17ヶ月の結果がやや高い傾向を示したものの、全体的にはほぼ一定強度となっており、経時変化の影響はないものと考えられる。

4. 3. 3 ヤング係数、伸び、絞りに及ぼす時間の影響

ヤング係数、破断伸び、絞りは、図のようにほぼ一定値であり、いずれも経時変化の影響はないものと考えられる。

表-4.3.1 引張試験結果

圧接後の 材齢 日	製法	降伏点		引張強さ		ヤング係数 kN/mm ²	破断伸び %	絞り %
		ひずみ速度 %/sec	降伏点 N/mm ²	ひずみ速度 %/sec	引張強さ N/mm ²			
1日	標準圧接	376.6	0.0001	593.9	0.002	1.720	17.31	52.54
	押抜圧接	375.2	0.0001	594.9	0.002	1.820	17.80	52.23
3日	標準圧接	375.4	0.0001	594.3	0.002	1.827	17.75	55.05
	押抜圧接	377.0	0.0001	593.3	0.002	1.823	17.29	54.22
7日	標準圧接	375.7	0.0001	595.6	0.002	1.750	17.63	54.66
	押抜圧接	375.1	0.0003	592.7	0.002	1.777	18.19	54.01
60日	標準圧接	369.8	0.0001	585.0	0.002	1.873	17.73	51.94
	押抜圧接	368.4	0.0001	585.4	0.002	1.780	18.16	51.24
510日	標準圧接	374.1	0.0002	586.8	0.002	1.822	15.60	50.08
	押抜圧接	369.8	0.0002	585.3	0.002	1.826	14.88	56.14

表-4. 3. 2 温度補正後の強度

圧接後の 材齢	標準圧接		押抜圧接	
	降伏応力	引張強さ	降伏応力	引張強さ
1日	372.6	586.9	371.2	587.9
3日	371.4	587.3	373.0	586.3
7日	371.7	588.6	371.1	585.7
60日	369.8	585.0	368.4	585.4
510日	376.5	591.0	372.2	589.5

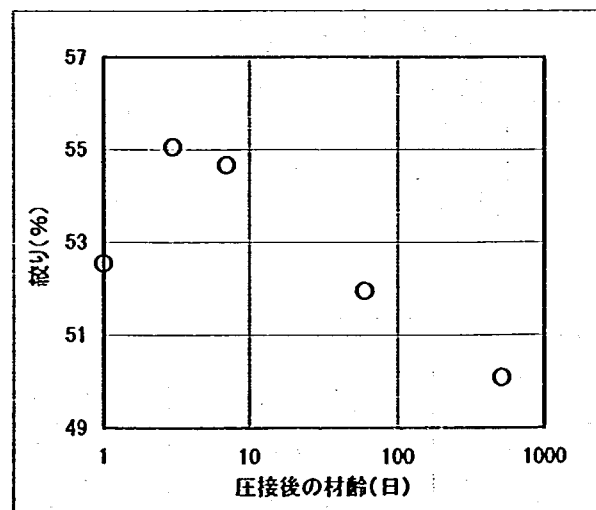
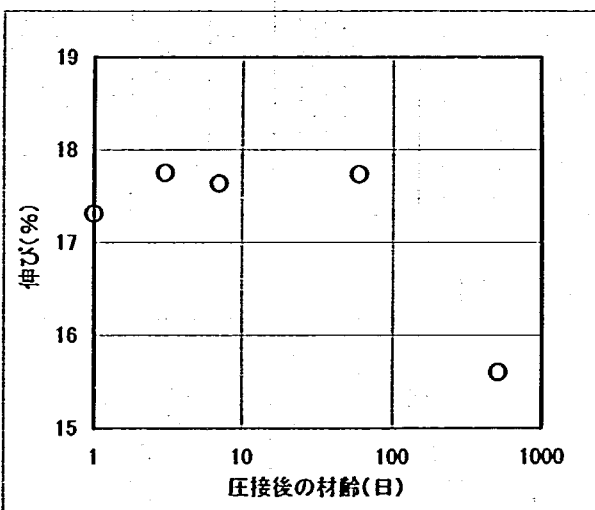
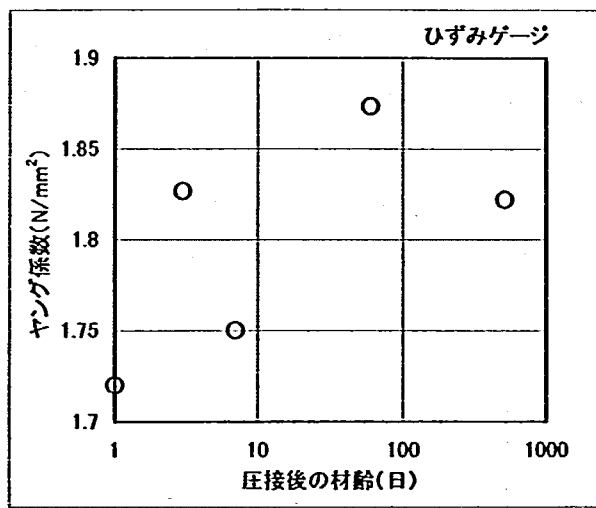
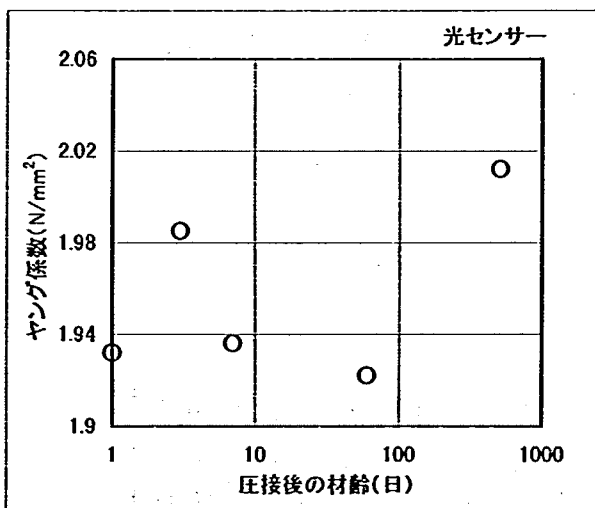
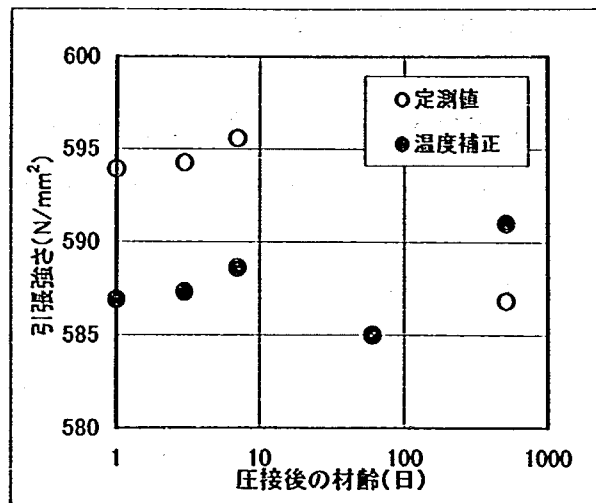
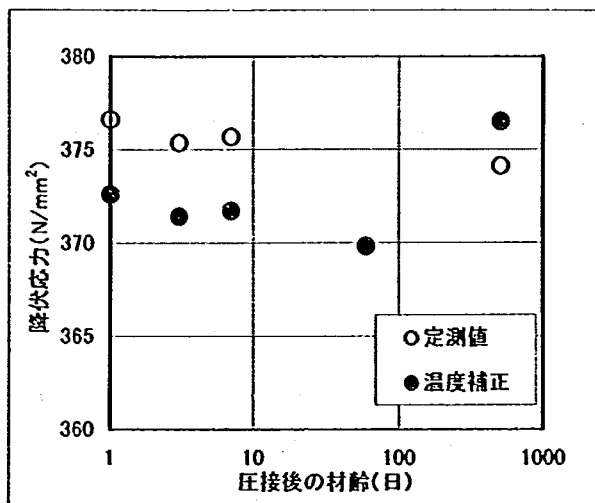


図-4.3.1 経時変化(標準圧接)

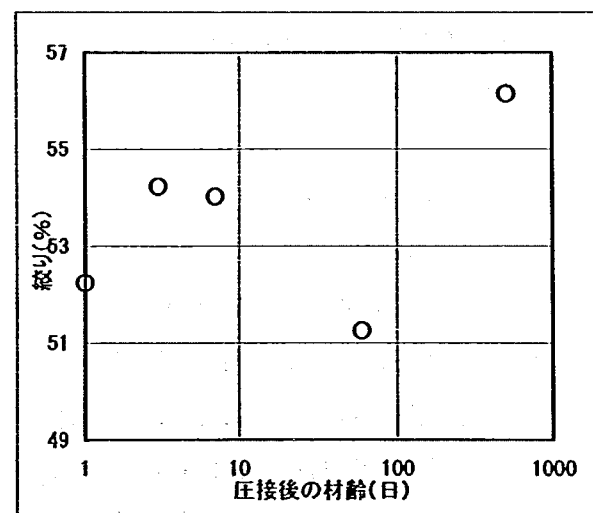
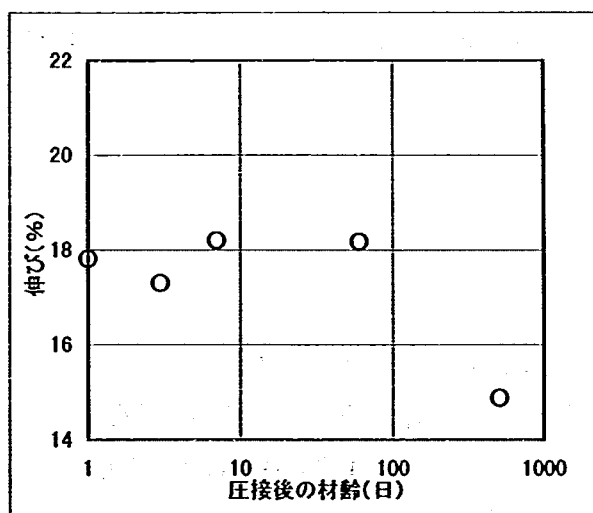
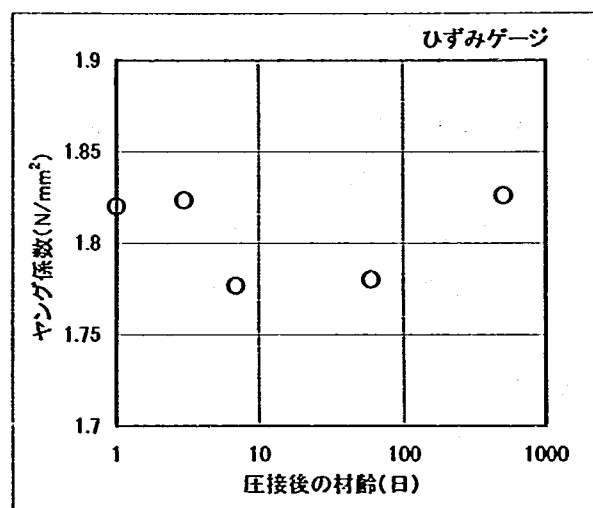
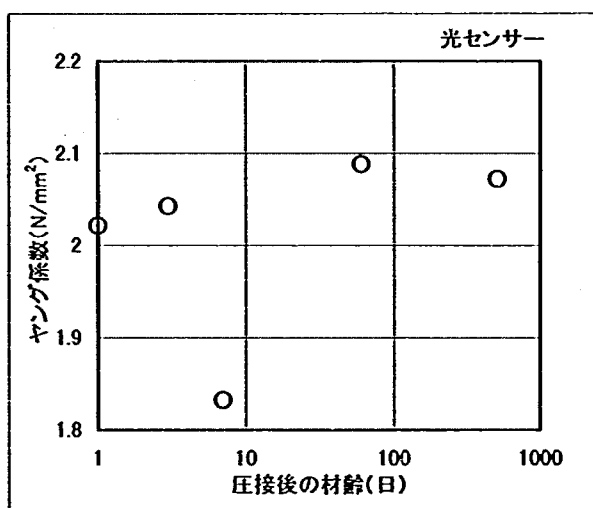
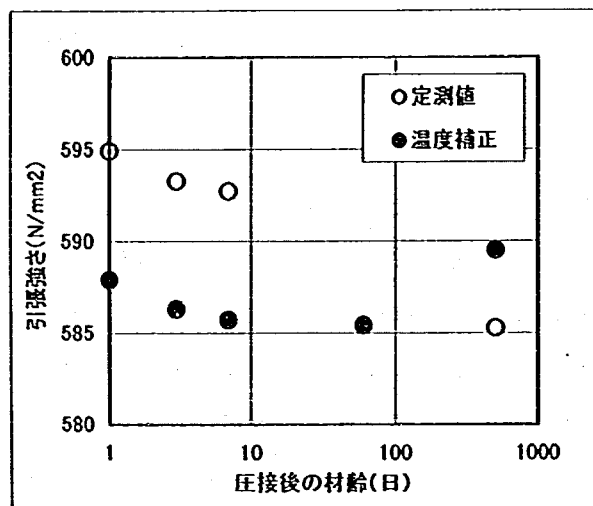
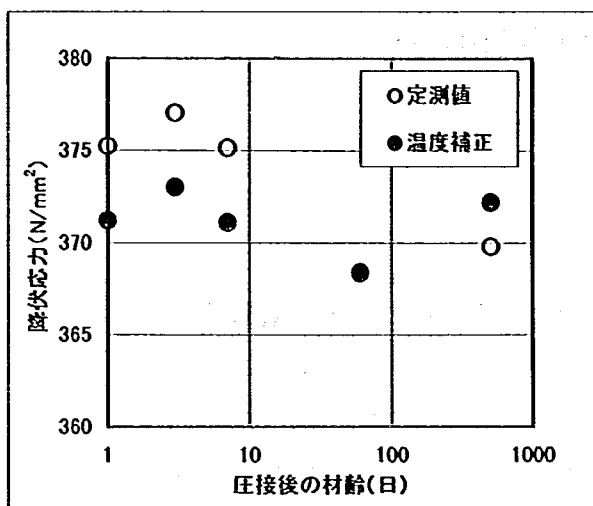


図-4.3.2 経時変化(押抜圧接)

5. 繰返し載荷試験

5. 1 試験方法

5.1.1 繰返し載荷パターン

(1) 規準にみる鉄筋継手の繰返し載荷パターン

前報では、一方向の繰返し載荷を行った。地震時を考慮すると正負の繰返し載荷を検討する必要があるものと考えられる。土木および建築では、継手の評価を以下のように行っている。

土木学会「鉄筋継手指針」では、繰返しに関する規定は①高応力繰返し、および②高サイクル繰返しの2種類である。両方とも弾性域における正方向の繰返しである。①は降伏応力の95%で30回繰返し、②は疲労試験である。

一方、建築では、「特殊な鉄筋継手」の規定として、建設省住宅局建築指導課長通達（建設省住指発第31号、平成3（1991）年1月31日）による「鉄筋継手判定基準」がある。同基準には、①一方向繰返し試験のほか、②弾性域正負繰返し試験、③塑性域正負繰返し試験が規定されている。①は土木学会「鉄筋継手指針」の高応力繰返しと同じ、②は引張が降伏応力の95%、圧縮は50%で20回繰返し、③は引張が降伏ひずみの2倍および5倍で、圧縮は50%でそれぞれ4回繰り返す試験である。

地震時の継手性能を検討するには、建築の基準のように塑性域における正負の繰返しについて検討する必要があるものと考え、以下の各種繰返しパターンについて検討した。

(2) 繰返し載荷パターン

試験した繰返し載荷パターンは、以下の6種類である（図-5.1.1）。

A. 一方向繰返し載荷試験

弾性域（降伏応力の95%）、塑性域（式(5.1)の $n=5$ ）において、それぞれ20回繰り返した後、破断まで載荷する。

B. 圧縮一定・引張漸増繰返し載荷試験

B-1 圧縮は降伏応力の50%一定、引張の弾性域は降伏応力の95%、塑性域は式(5.1)の $n=5$ において、それぞれ20回ずつ繰り返した後破断まで載荷する。

B-2 圧縮はB-1と同じ、引張は弾性域では降伏応力の95%で4回繰り返す。

塑性域では、引張強さ f_{max} と降伏応力 f_y の差を10等分し、降伏応力からの順番を n で表したとき、繰返し応力 f_n は式(5.1)で表し、 $n=1, 3, 5, 7, 9$ でそれぞれ4回繰り返す（図-5.1.2）。圧縮一定、引張漸増による弾性域・塑性域正負繰返し載荷とした。その後は破断まで載荷する。

$$f_n = f_y + \frac{f_{max} - f_y}{10} \times n \quad \text{----- (5.1)}$$

$0 \rightarrow (0.95 f_y \leftrightarrow -0.5 f_y) \rightarrow$
 (4回繰返し)
 $(f_n=1 \leftrightarrow -0.5 f_y) \rightarrow$ $(f_n=3 \leftrightarrow -0.5 f_y) \rightarrow$
 (4回繰返し) (4回繰返し)
 $(f_n=5 \leftrightarrow -0.5 f_y) \rightarrow$ $(f_n=7 \leftrightarrow -0.5 f_y) \rightarrow$
 (4回繰返し) (4回繰返し)
 $(f_n=9 \leftrightarrow -0.5 f_y) \rightarrow$ 破断
 (4回繰返し)

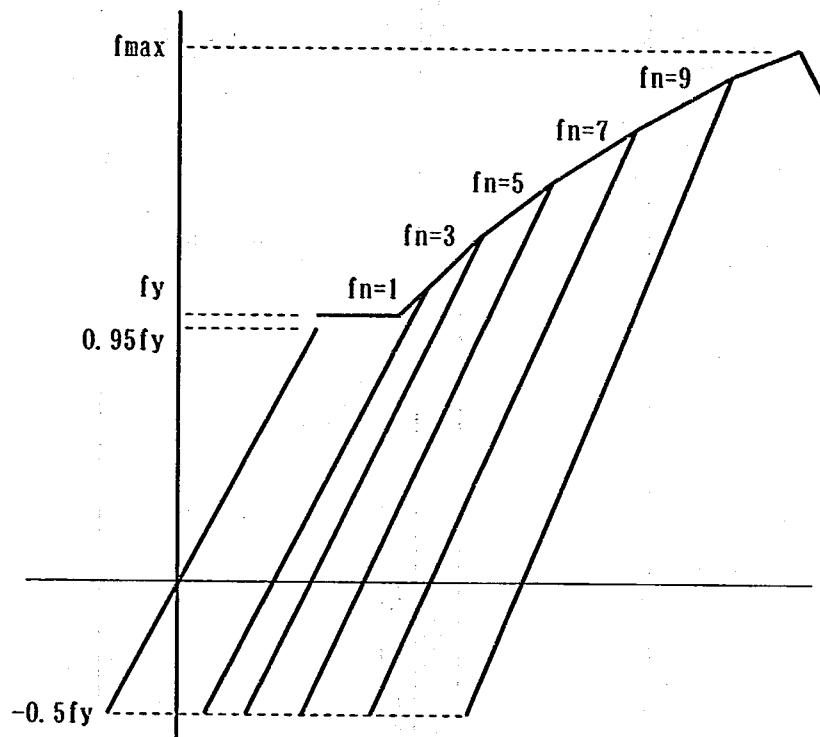


図-5.1.2 弾性域・塑性域正負繰返し载荷パターン

C. 弾性域・塑性域正負漸増繰返し载荷試験

C-1 降伏応力の95%で引張・圧縮1回繰り返した後、破断まで载荷する。

C-2 降伏応力の95%，式(5.1)の $n=1, 3, 5, 7, 9$ で引張圧縮それぞれ1回繰り返した後、破断まで载荷する。

C-3 C-2と同じ応力においてそれぞれ4回の繰返し後破断まで载荷する。

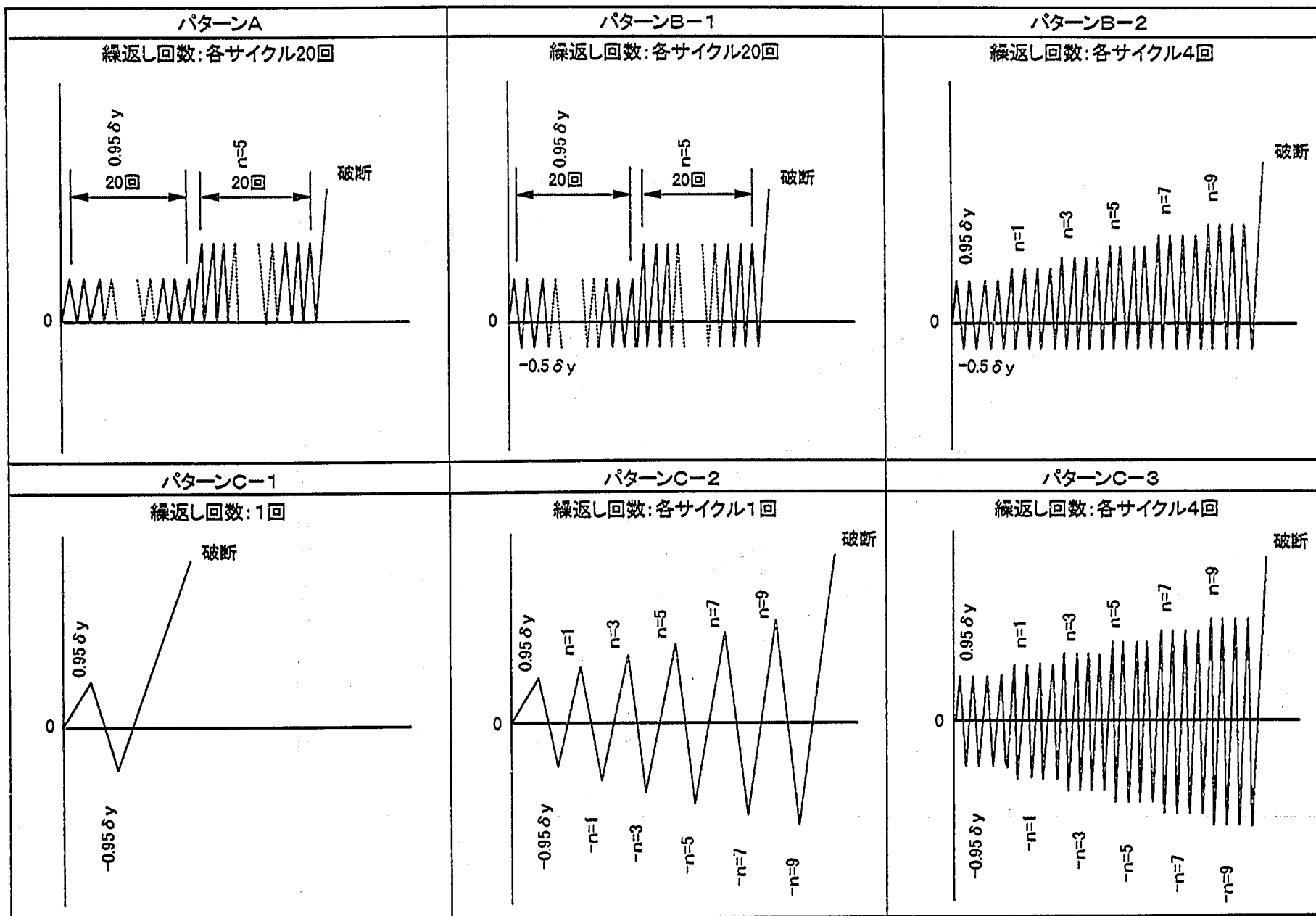


図-5.1.1 繰返し載荷試験方法

5.1.2 繰返し試験方法

(1) 試験片

繰返し試験に使用した試験片は、鉄筋径D25で図-5.1.3のように鉄筋部分の長さ10Dとし、その両側にφ50mmの鋼棒を溶接したものである。

繰返しパターンCの試験片は、図-5.1.4のようにコンクリートで巻き、中央部にスリットを設けてそこに引張応力が集中するようにした。コンクリートの中には割裂破壊を防止するためにスパイラル筋を入れた。

コンクリートの配合は表-5.1.1のとおりであり、打設後28日間湿布養生を行い、その後試験までは気中養生とした。そのときの強度は表-5.1.2のとおりである。

表-5.1.1 コンクリートの配合表

細骨材の 最大寸法 mm	目 標 スランプ cm	目 標 空気量 %	水 セメント比 W/C %	細骨材率 s/a %	単位量 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
15	8	2.5	55	49	190	345	867	921

表-5.1.2 繰返し載荷試験片コンクリート部圧縮試験結果

種 類	スランプ(cm)	養生方法	試験材齢(日)	圧縮強度(N/mm ²)
母 材	13.6	水中	28	33.2
		気中	49	32.1
標準圧接	9.5	水中	28	33.0
		気中	73	31.0
押抜圧接	8.6	水中	28	37.0
		気中	28	34.9

(2) 試験片の設置

試験片は図-5.1.5の501f疲労試験機に設置して、繰返し試験を行った。

(3) 載荷方法

載荷パターンは5.1.1のとおりである。

載荷速度は0.5Hzで、波形はサイン波とした。

(4) 計測項目および方法

計測項目およびその方法は表-4.1.3および図-4.1.3に示す引張試験の場合とほぼ同じである。異なるのはゲージの貼付位置および破断伸びの測定であり、それぞれ表-5.1.3および図-5.1.6に示す。

表-5.1.3 ひずみゲージ貼付位置

実験	形状	種類	数 量	概 略 図
繰返し載荷	短-長	母材	単軸 2枚*12本=24枚	
		圧接	単軸 6枚*24本=144枚	

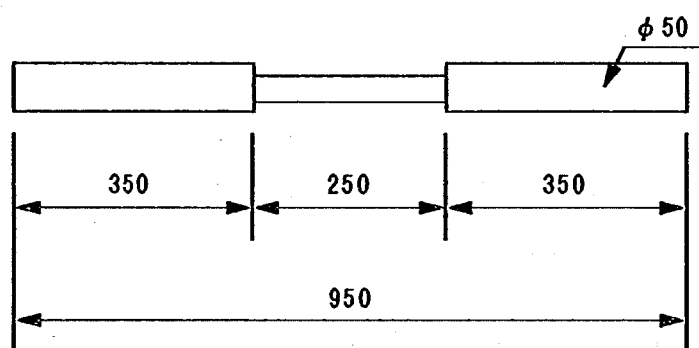


図-5.1.3 繰返し試験片

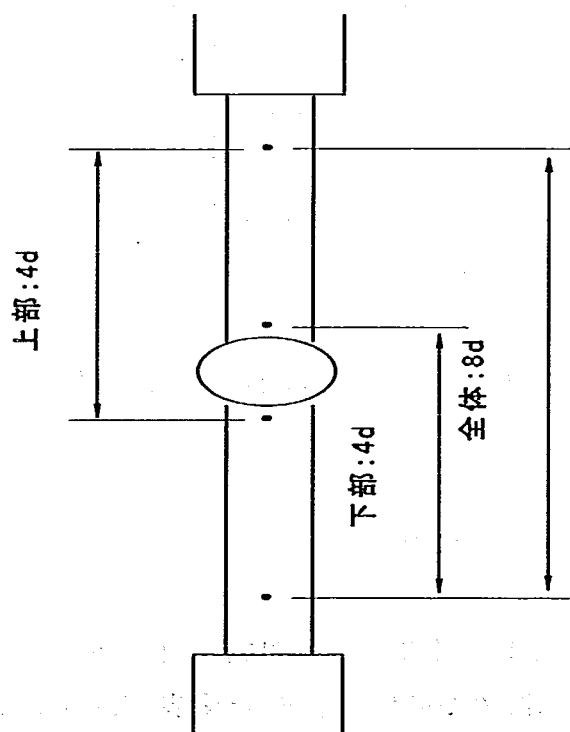


図-5.1.6 破断伸びの測定位置

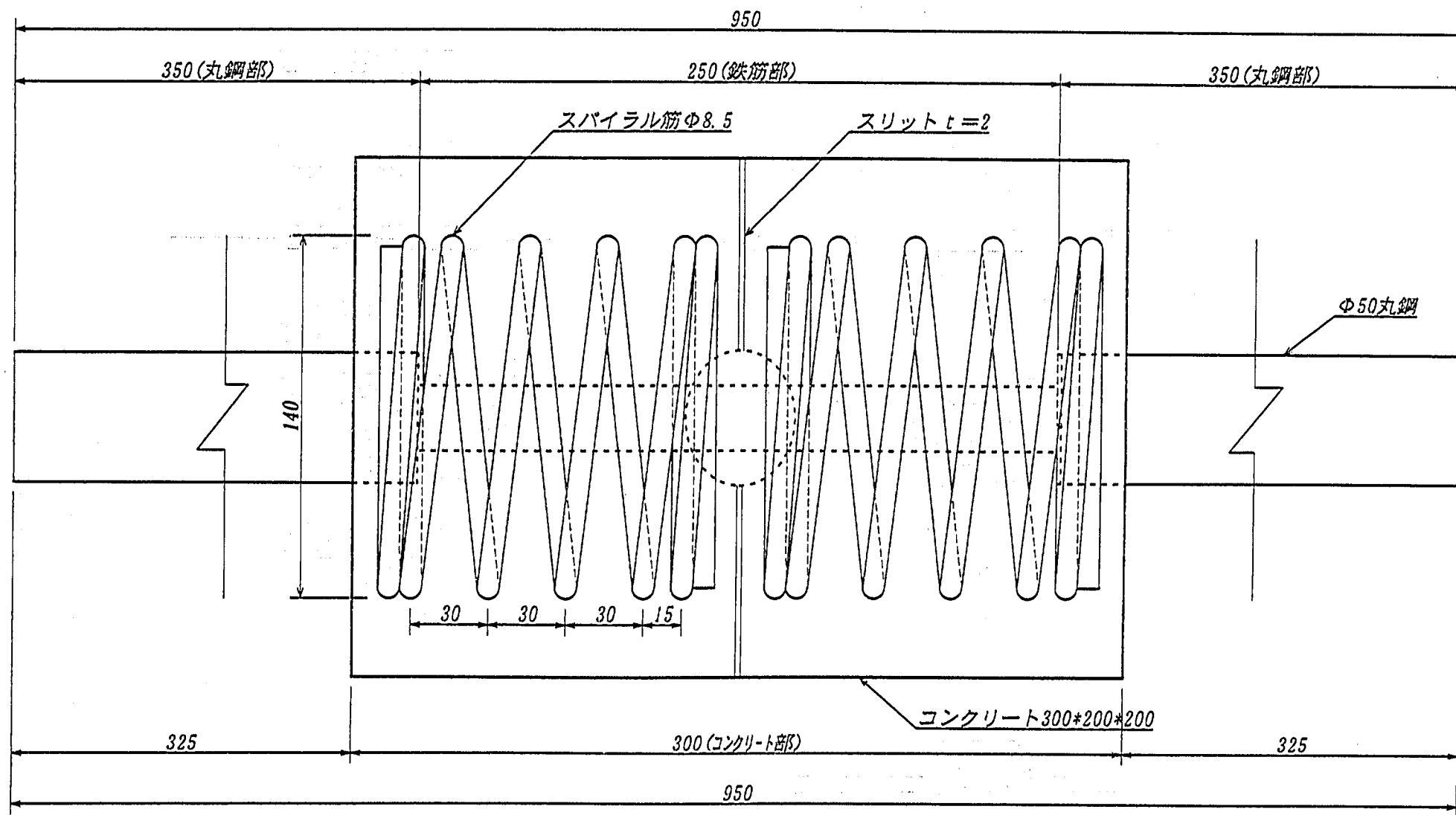


図-5.1.4 正負交番繰返し載荷用試験片寸法概要図

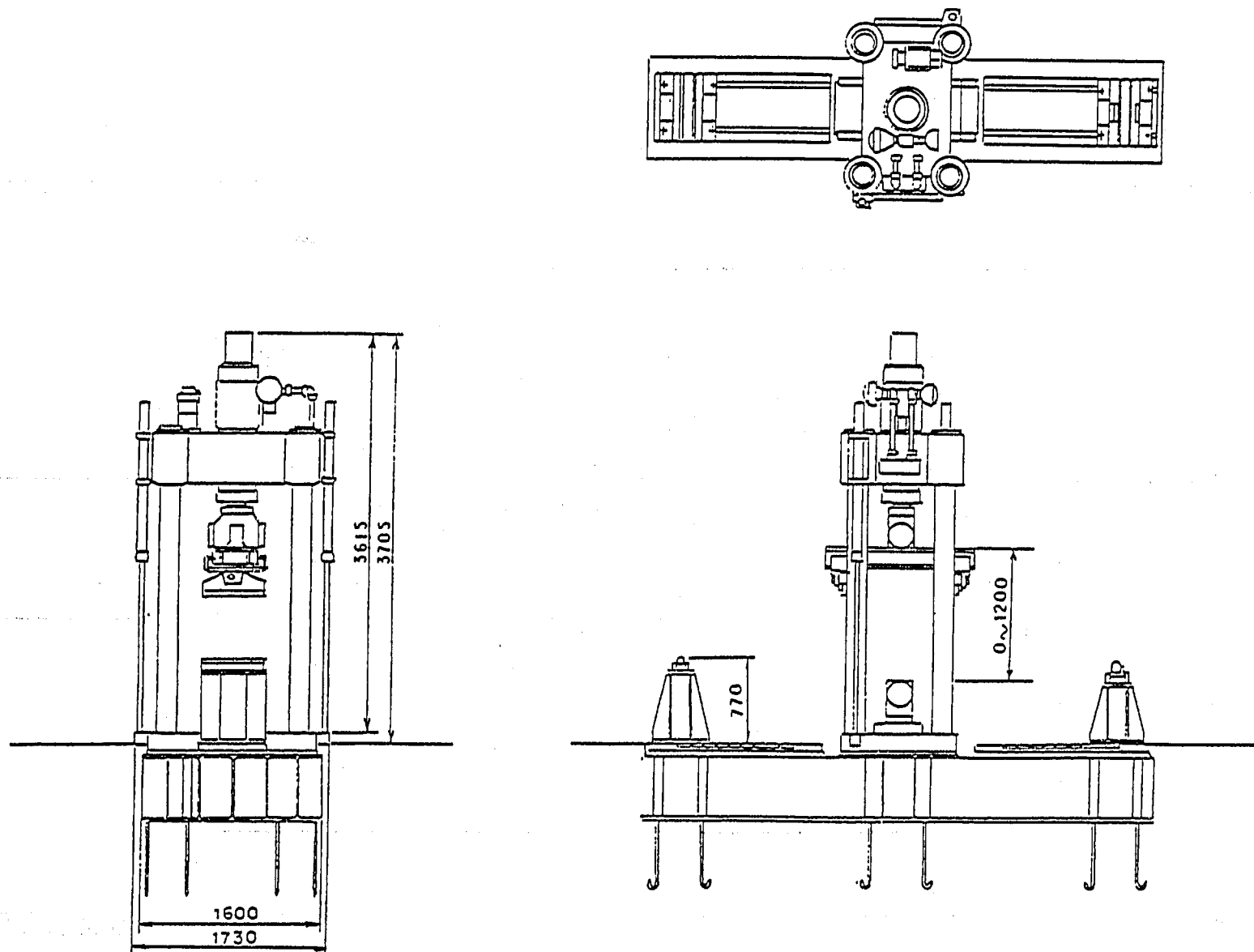


图-5.1.5 疲劳试验机 60t/50t构造图

5. 2 試験結果

繰返し载荷の荷重-伸び変位履歴の代表例を図-5. 2. 1に示す。

繰返し载荷後、破断まで引っ張ったときの引張強さ、伸び、絞りの結果は表-5. 2. 1および図-5. 2. 2のとおりであった。圧接はすべて母材部で破断した。母材の黒丸は破断位置が溶接位置で破断したものである。母材の引張強さは、図-5. 2. 2のようにパターンA、Bはほとんど変化がない。パターンCはC-1からC-3になるに従い引張強さが低下しており、正負の繰返し回数が増えるほど強度は低下するものと考えられる。しかしながら、C-3の場合でも 550N/mm^2 以上あり、規格値である 490N/mm^2 を十分上回っている。

圧接の場合も母材の場合とほぼ同じ引張強さであり、パターンCのように厳しい繰返しに対しても十分耐えることがわかった。

伸びについてはパターンCがA、Bに比べてわずかに小さい傾向がある。母材のパターンCは、繰返し回数が増えるほど小さく、いずれも規格値18%をわずかに下回っており、多少脆性的な破断に移行しているものと考えられる。圧接の場合は母材より小さくなっているが、これはふくらみ部分を含んだものであり、問題はない。

絞りはすべて50%程度であり、これについても問題はない。

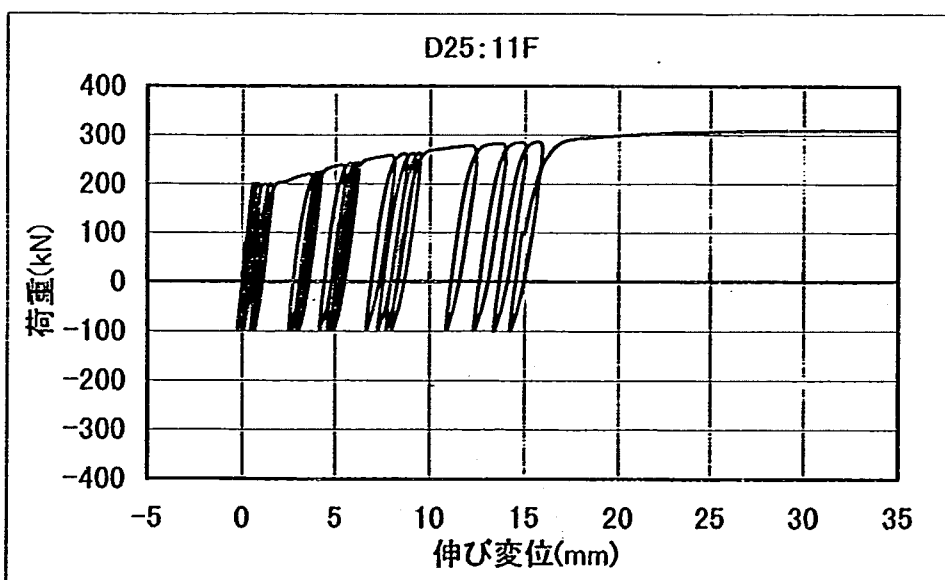
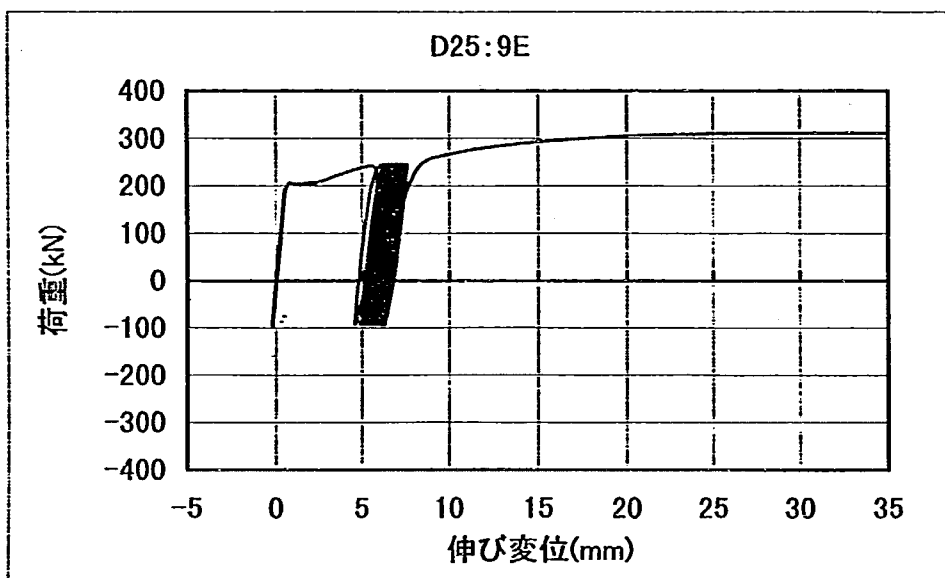
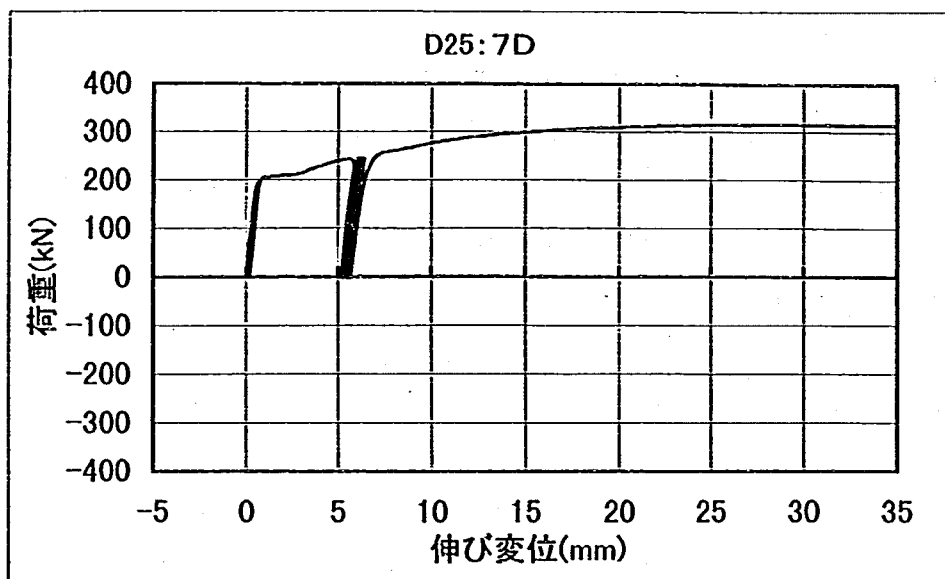
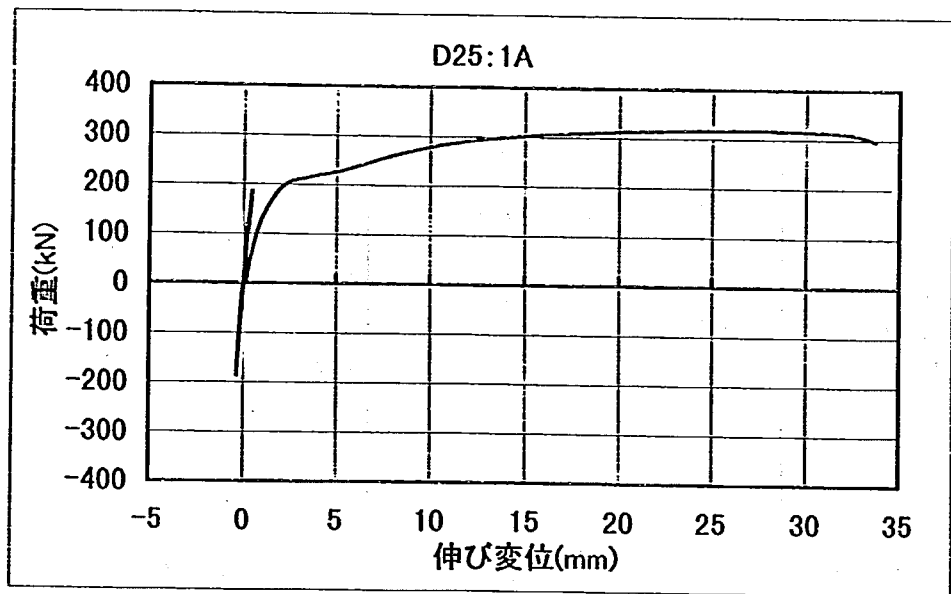
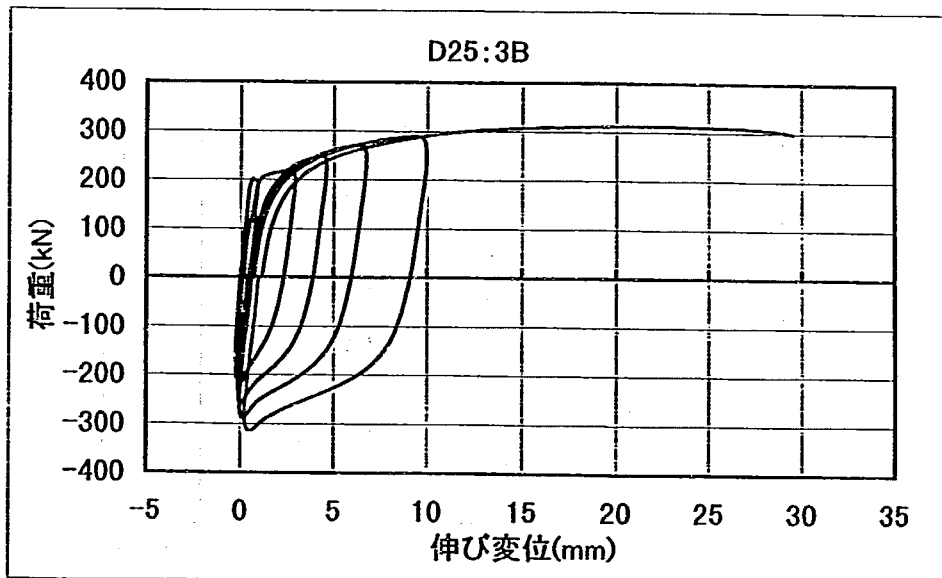


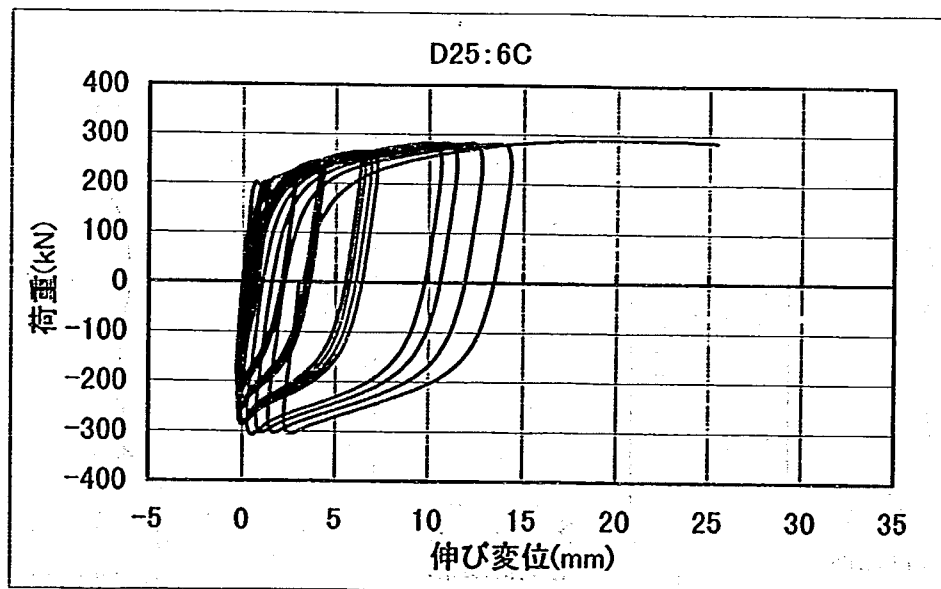
図-5.2.1 荷重-伸び変位履歴の代表例(その1)



(d)パターンC-1



(e)パターンC-2



(f)パターンC-3

図-5.2.1 荷重-伸び変位履歴の代表例(その2)

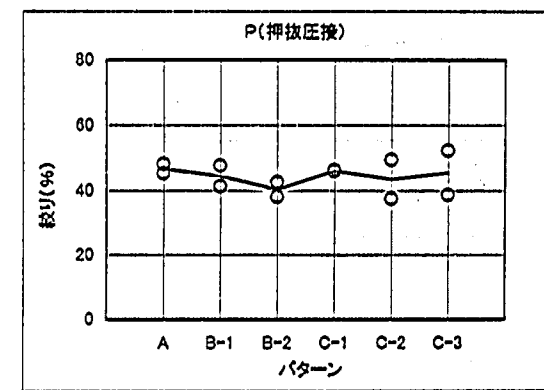
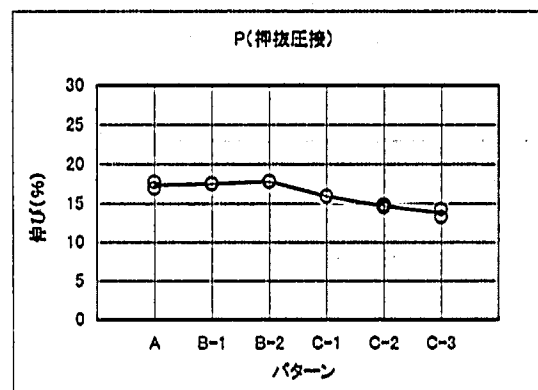
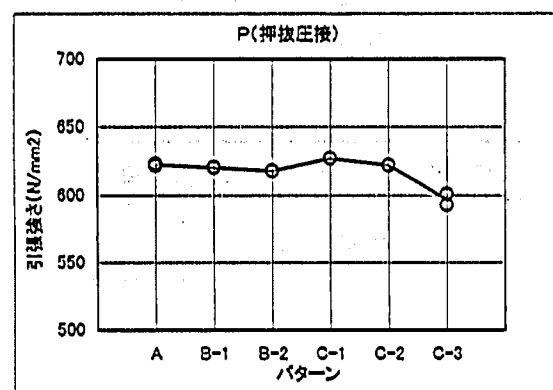
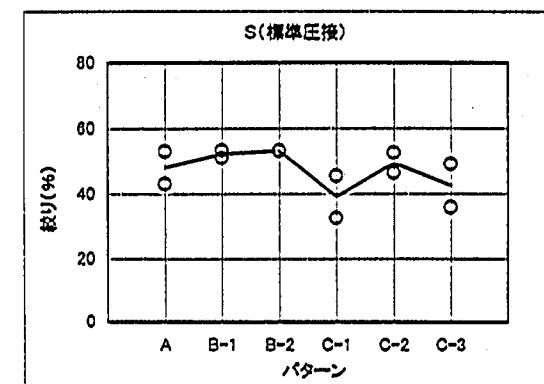
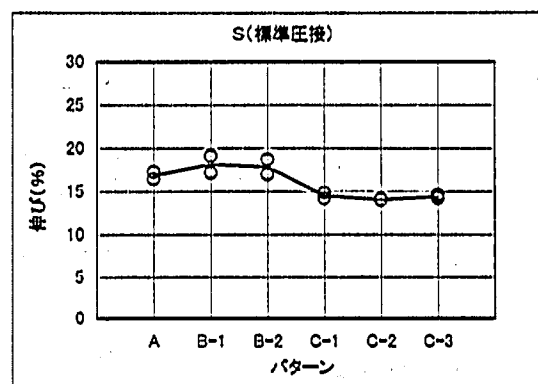
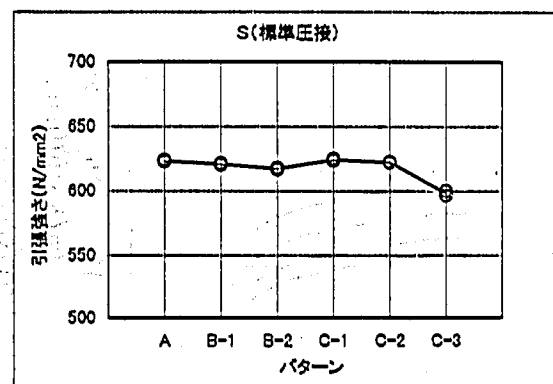
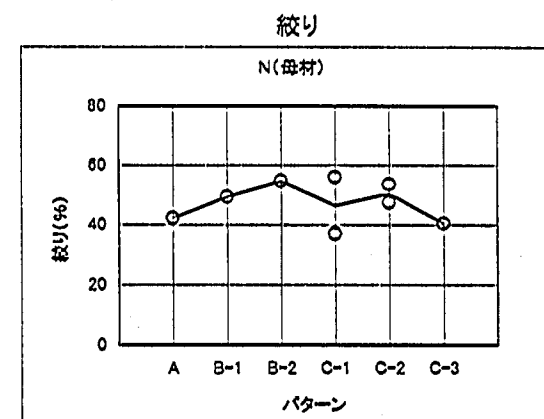
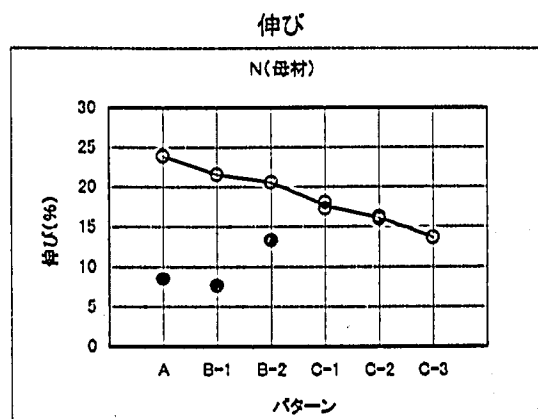
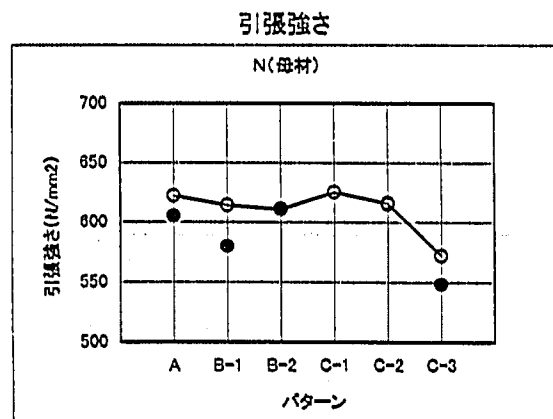


図-5.2.2 繰返し試験結果

表-5.2.1 繰返し試験結果

繰返しパターン	圧接種類	引張強さ (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
A	N	613.8	185.8	16.20	42.40
	S	623.7	158.1	16.86	48.10
	P	622.5	160.4	17.34	46.75
B-1	N	597.2	189.3	14.62	49.50
	S	621.0	156.9	18.14	52.25
	P	620.5	157.3	17.51	44.55
B-2	N	611.3	184.0	16.97	54.80
	S	617.4	158.8	17.83	53.25
	P	617.9	152.1	17.81	40.35
C-1	N	625.4	185.3	17.68	46.60
	S	624.5	199.6	14.49	39.10
	P	627.2	186.8	15.97	46.15
C-2	N	616.1	180.5	16.14	50.65
	S	622.6	196.4	14.04	49.50
	P	622.0	231.3	14.70	43.50
C-3	N	560.4	186.5	13.63	40.60
	S	598.6	186.1	14.41	42.55
	P	596.9	183.0	13.75	45.50

6. 複合載荷試験

6. 1 試験方法

複合載荷試験とは、鉄筋に一定のせん断力を加えておき、引張試験を行ったものである。

(1) 試験片

複合載荷試験に用いた試験片は図-5. 1. 3の繰返し試験片と同じものであり、D25の鉄筋について、鉄筋の長さは10Dでその両側に鋼棒を溶接したものである。

(2) 載荷方法

せん断力は図-6. 1. 1のように鋼製の枠に鉄筋を通し、せん断力載荷位置をボルトで押さえる。枠から棒を張り出し、その先に重りを吊してせん断力を加えた。せん断力は、0, 20, 40kNの3段階とした。そのとき鉄筋に作用するせん断応力は、約40, 80N/mm²である。せん断力を加える時期は、降伏荷重の2分の1のときとした。

引張試験は図-4. 1. 1の2000kN万能試験機を使用した。載荷速度は標準速度と同じく、降伏まではひずみ速度約0.01%/sec, 降伏後は約0.1%/secである。

(3) 測定項目および方法

測定項目とその方法は表-4. 1. 3と図-4. 1. 3と同様に行った。ひずみゲージ貼付位置は表-6. 1. 1のとおりである。中央部には三軸ゲージを貼付した。

破断伸びは図-5. 1. 6のように測定した。

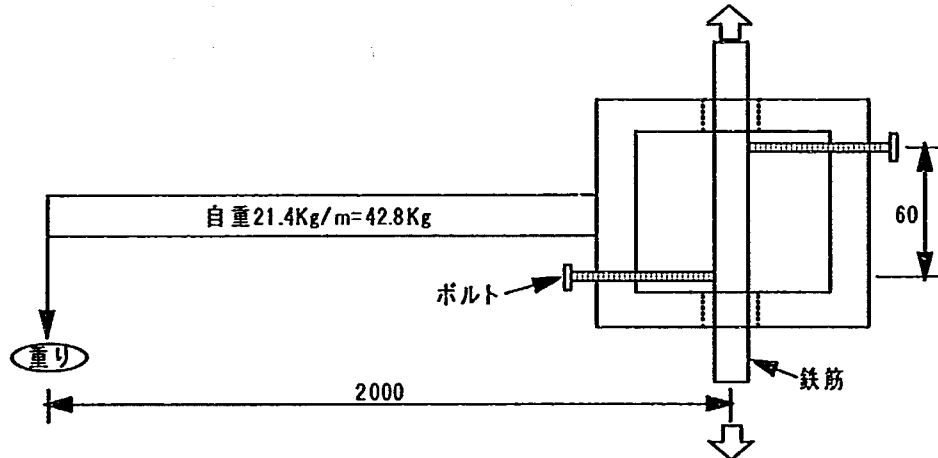


図-6. 1. 1 せん断力載荷方法

表-6. 1. 1 ゲージ貼付位置

実験	形状	種類	数 量	概 略 図
複 合 載 荷	短-長	全部	単軸 4枚×36本=144枚 3軸 2枚×18本=36枚	

6. 2 試験結果

複合載荷試験結果は表-6. 2. 1および図-6. 2. 1のとおりである。図-6. 2. 1の横軸は、圧接の種類とせん断力を示している。破壊は、すべてボルト位置の屈曲部であった。

降伏応力は、鉄筋が変形しているのではらつきも大きくなっているが、母材と同じ 380N/mm^2 程度であり、せん断力に関わらず一定である。

引張強さも、約 590N/mm^2 であり全く問題ない。

伸びは、母材がせん断力の増加により低下しているものの、圧接はいずれもほぼ一定である。絞りも約50%で一定であり、いずれも問題ない。

表-6. 2. 1 複合載荷試験結果

圧接種類	せん断力 (kN)	降伏応力 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	一様伸び (%)	破断伸び (%)	絞り (%)
母材	0	378.0	587.9	30.2	21.54	44.3
	20	379.7	588.9	29.7	19.19	53.8
	40	375.7	587.3	25.6	16.61	45.3
標準圧接	0	385.5	592.4	23.2	16.46	46.6
	20	381.2	594.5	23.5	17.60	51.3
	40	382.6	589.0	22.8	14.36	48.6
押抜圧接	0	375.8	592.1	23.9	16.85	46.2
	20	382.7	591.9	24.2	16.40	47.4
	40	385.4	590.7	31.7	15.5	48.8

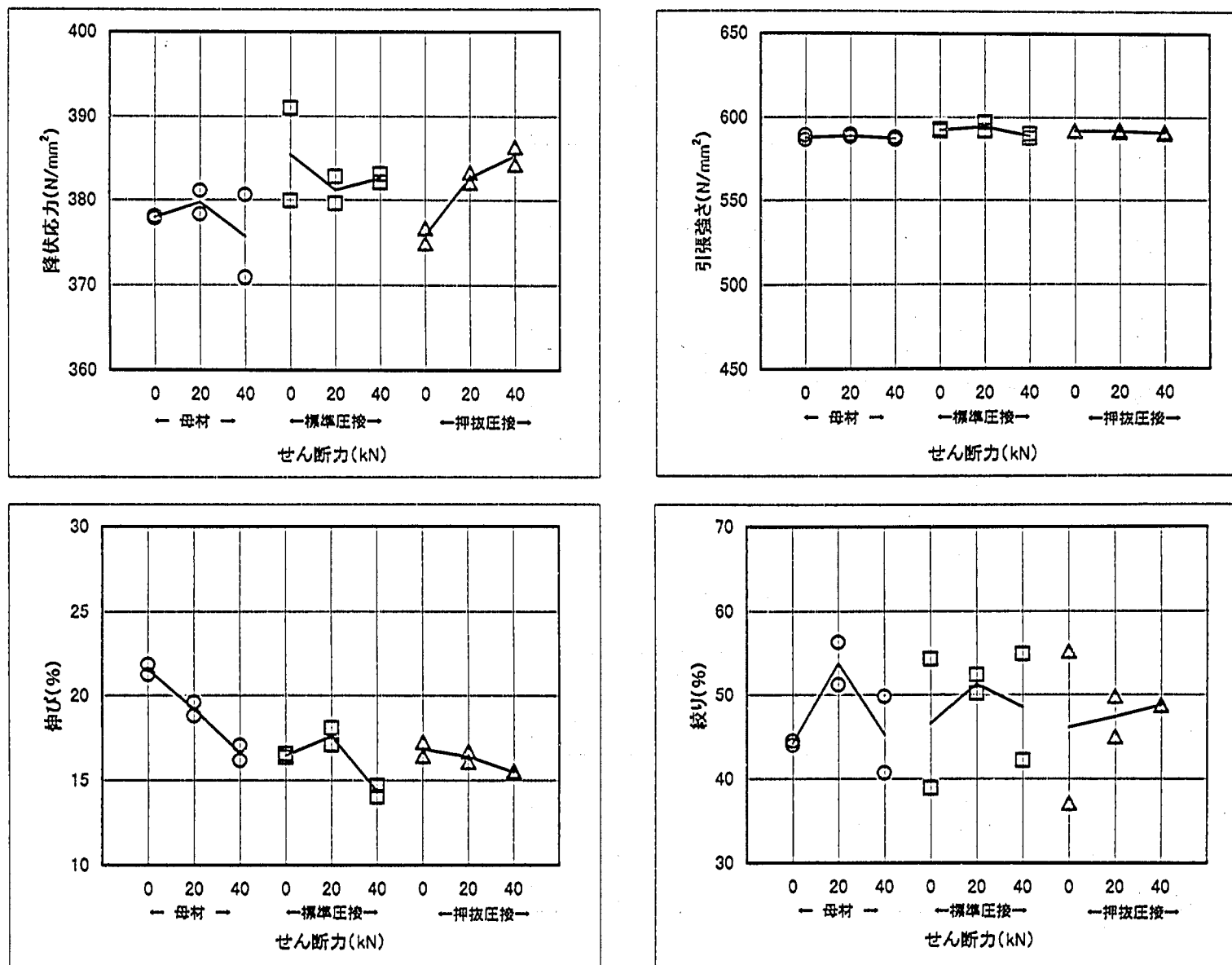


図-6.2.1 複合載荷試験結果

7. 金属学的調査

7. 1 試験方法

圧接部のマクロ、ミクロな顕微鏡観察、ビッカース硬さ試験、シャルピー衝撃試験を表- 7.1.1 のとおり行った。それぞれ引張試験前・後で行い、比較した。

7.1.1 マクロ観察

試験片の軸方向断面について、マクロ組織観察を行った。

試験片は、軸方向断面の1/2面を観察位置とし、同試験片を硬さ試験に使用するため、観察面と平行に厚さ10mmに切断を行い、これを観察試験片とした。また、倍率は1倍として3%ナイトルを使用して行った。

7.1.2 ミクロ観察

マクロ観察した試験片を倍率100倍でミクロ組織観察を行った。ミクロ観察位置は、図- 7.1.1のように圧接面の1/4D、1/2Dと軸方向に1/2Dの熱影響部(HAZ)、母材部の4箇所とした。

7.1.3 硬さ試験

ビッカース硬さ試験は、マクロ組織試験と同様の試験片を使用し、荷重は10kgfとして行った。測定位置は、図- 7.1.2のように符号に-のつくものについては鉄筋の表面から5mmの位置を、それ以外のものについては幅方向は圧接面を、軸方向は鉄筋の表面から5mm、1/2Dとした。また、測定ピッチは前者が2mmピッチ、後者が1mmピッチとした。

7.1.4 シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験片は、メタルフローにより圧接面および熱影響部(HAZ)を確認してノッチ位置を決め、採取した。

なお、ノッチ位置およびノッチ形状は、表- 7.1.1のとおりである。

図- 7.1.3 ~ 7.1.5 に、各鉄筋径におけるシャルピー衝撃試験片採取位置を示す。

表-7.1.1 試験項目、条件および数量

鉄筋径	継手種類	シャルピー						マクロ	硬さ	ミクロ
		U uノチ	V vノチ	H uノチ	W uノチ	F uノチ	C uノチ			
D 25 (2)	N	12	12							
	N-A	3								
	N-D	3								
	S			12	12			1	1	1
	S-A				3			1	1	
	S-D				3			1	1	
	P			12	12			1	1	1
	P-A				3			1	1	
	P-D				3			1	1	
D 38 (3)	N	12	12							
	N-A	3								
	S			12	12	12	10	1	1	1
	S-A				3			1	1	
	P			12	12	12	10	1	1	
	P-A				3			1	1	
D 51 電炉材 (4)	N	12	12							
	N-A	3								
	S			12	12	12	10	1	1	1
	S-A				3			1	1	
	P							1	1	1
	P-A							1	1	
D 51 高炉材 (5)	N	12	12							
	N-A	3								
	S			12	12	12	10	1	1	1
	S-A				3			1	1	
	P							1	1	1
	P-A							1	1	
合 計		63	48	72	96	48	40	18	18	7

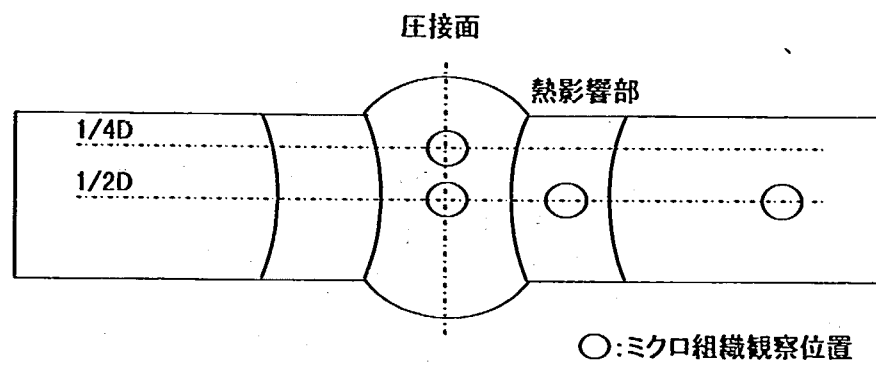


図-7.1.1 ミクロ組織観察位置

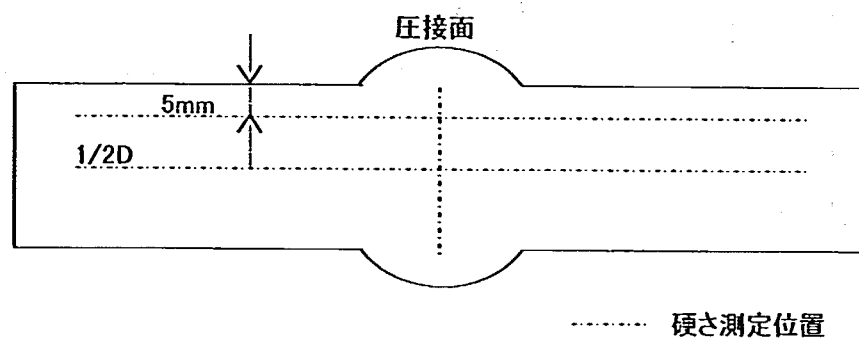


図-7.1.5 硬さ測定位置

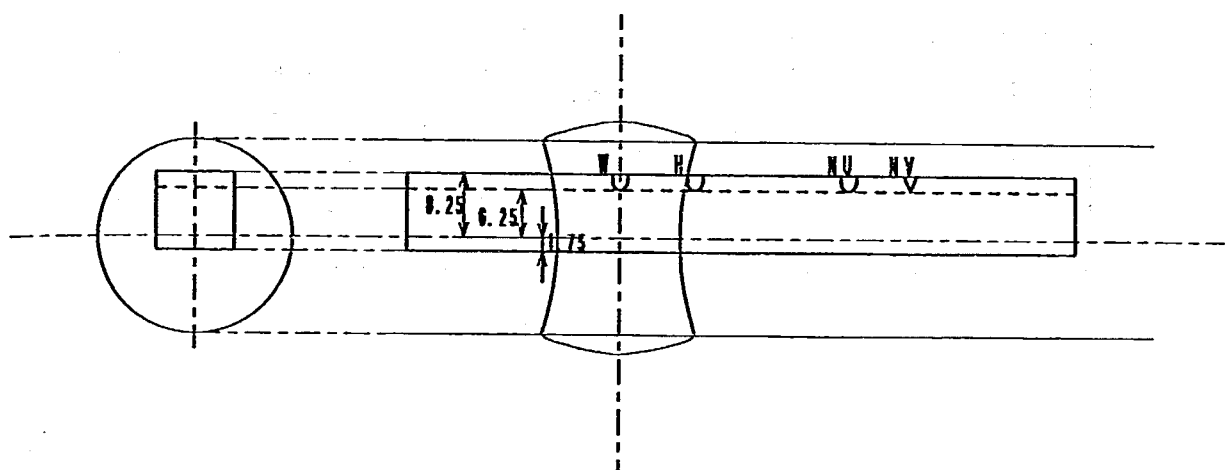


図-7.1.3 シャルピー衝撃試験片採取位置

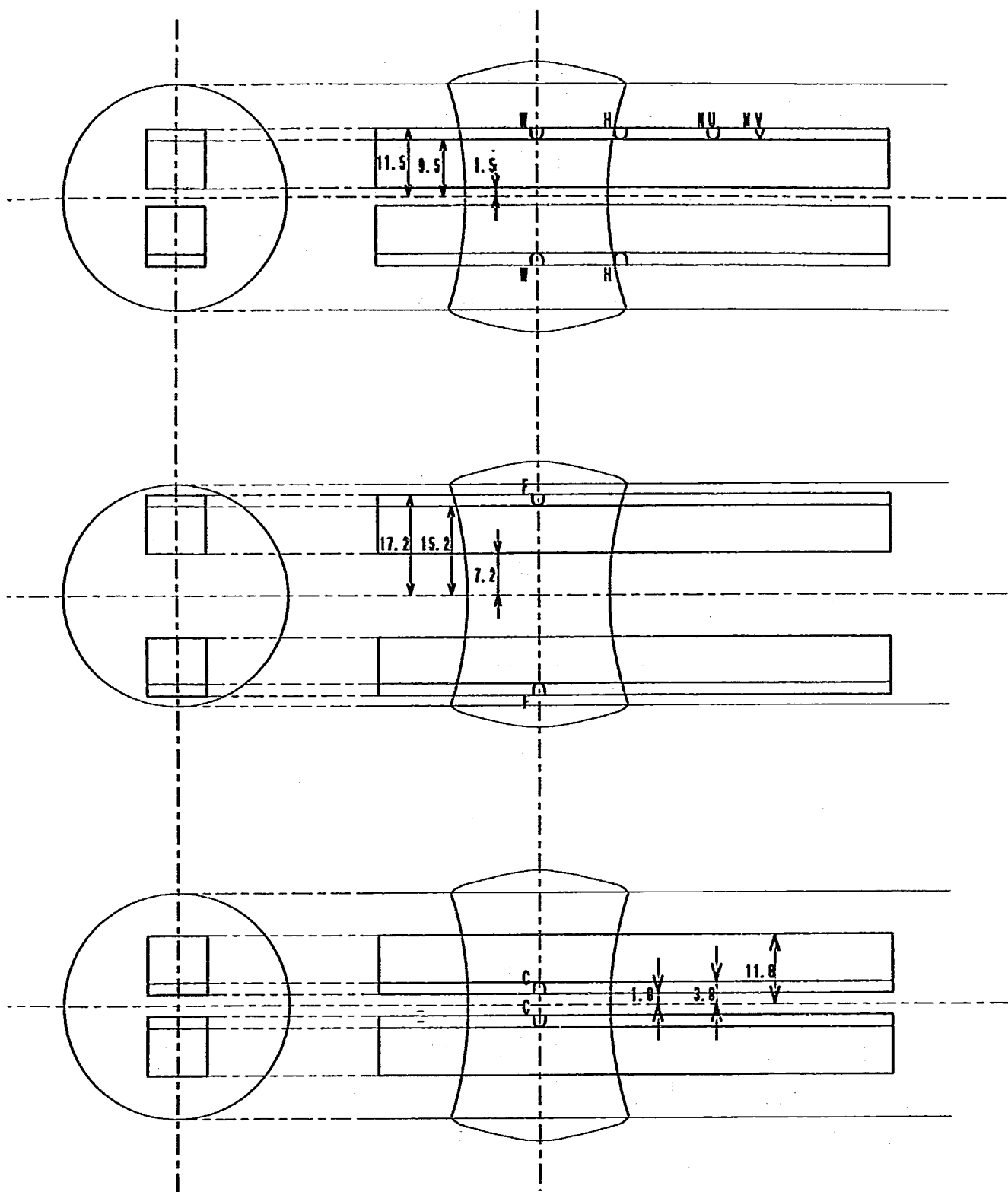
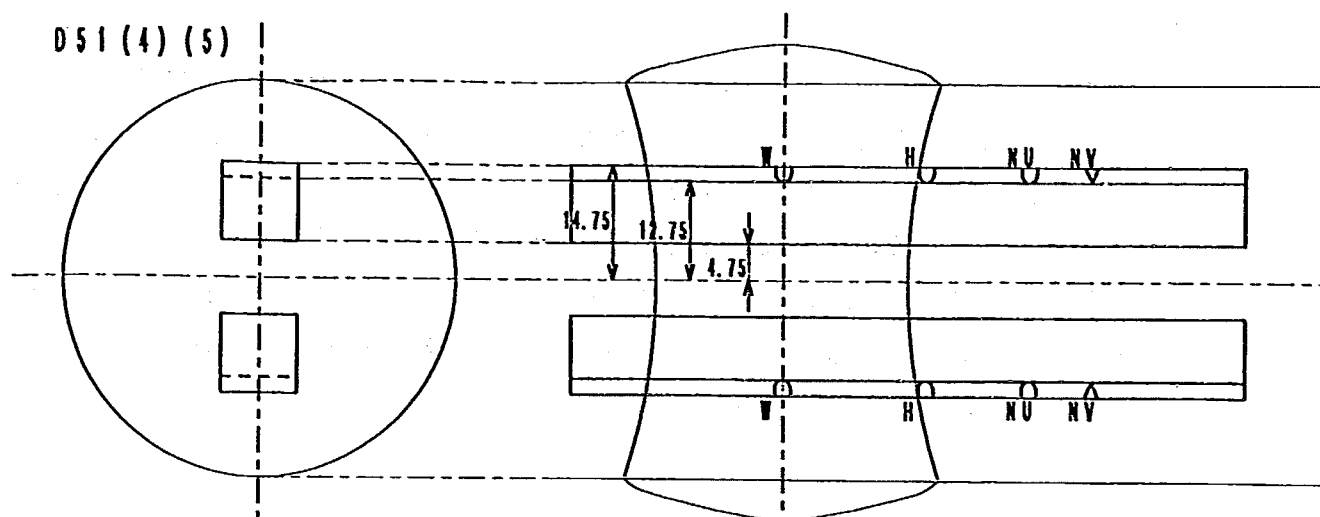
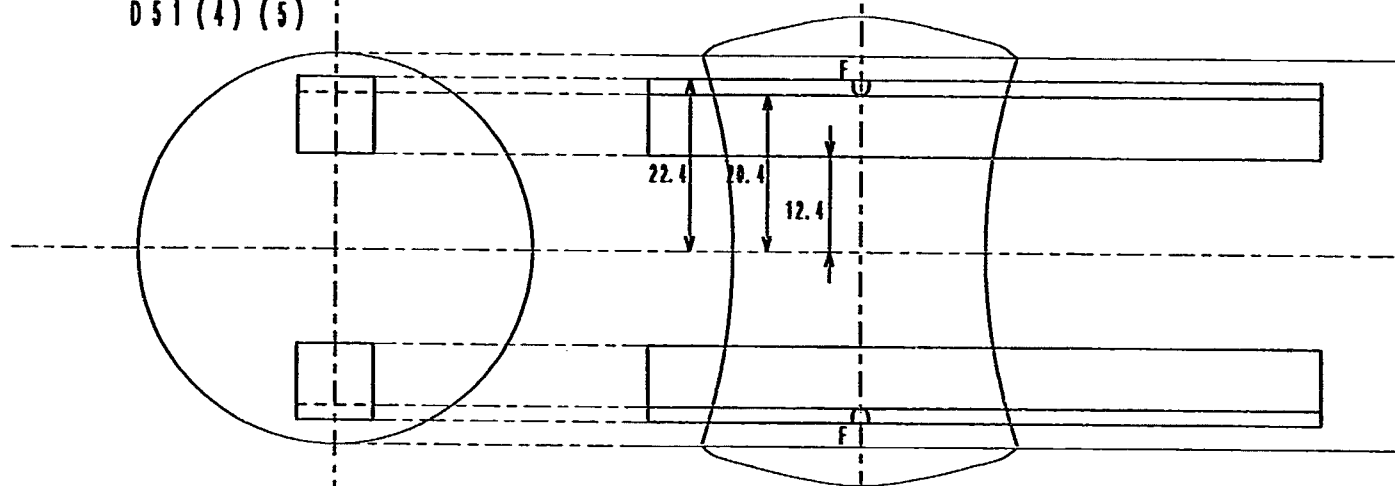


図-7.1.4 シャルピー衝撃試験片採取位置 (D38;符号3)

D51(4)(5)



D51(4)(5)



D51(4)(5)

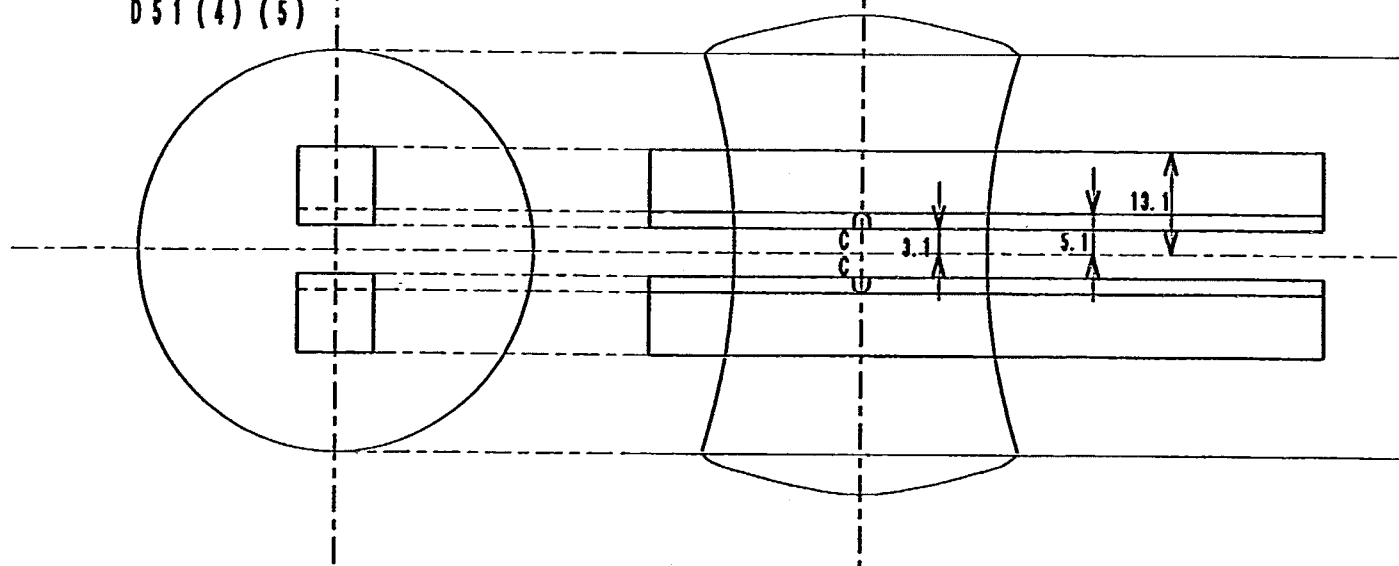
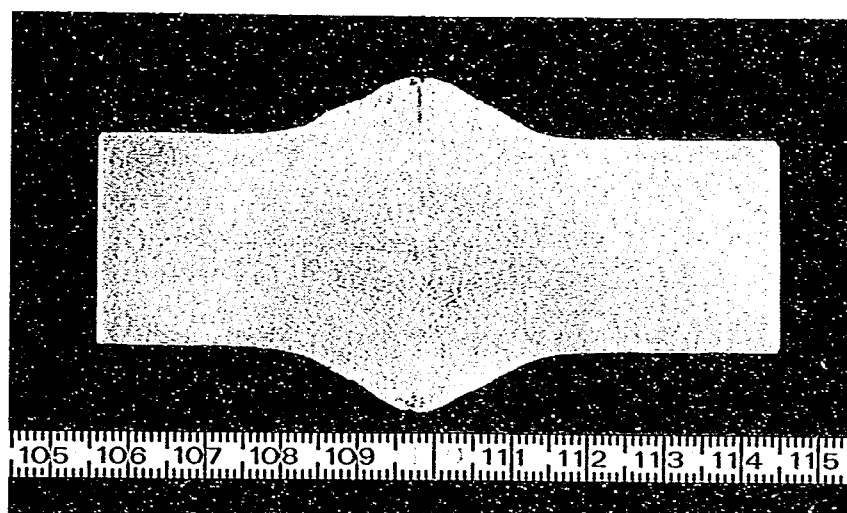


図-7.1.5 シャルピー衝撃試験片採取位置 (D51;符号4, 5)

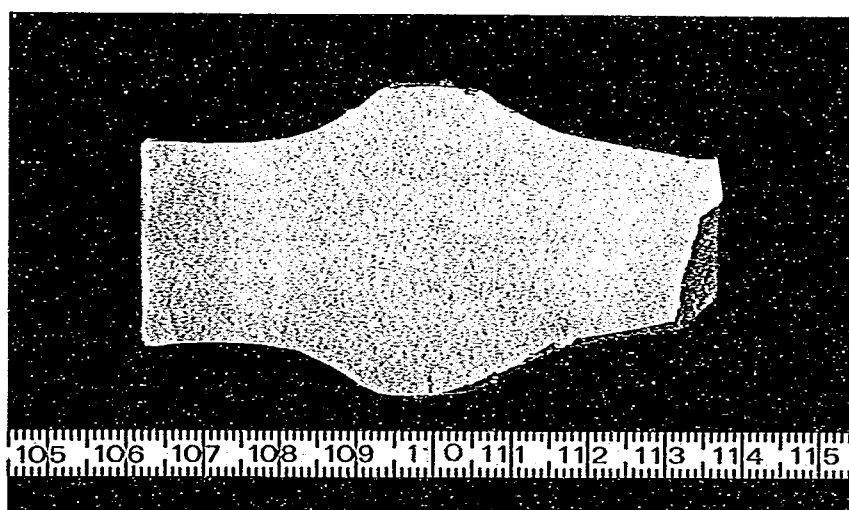
7. 2 マクロ観察結果

写真－7.2.1～7.2.8に引張前・後の圧接部のマクロ顕微鏡観察結果を示す。標準圧接と押抜圧接のマクロ組織を見ると、標準圧接接合部の最外縁付近に黒い部分が残っているものの、接合面は中央偏析や不純物がなければ分からないほどよく接合していることがわかる。最外縁の黒い部分は、ミクロ組織的には、浸炭したやや硬化した組織となっているためである。これは、界面の表面酸化を防ぐための還元炎による硬化が強い場合にこのような組織を生じることがあるのであって、界面の品質には影響しないといわれている。押抜圧接のマクロ組織は、外縁部の不純物もとられており、中央偏析がなければ接合面は全く分からない。

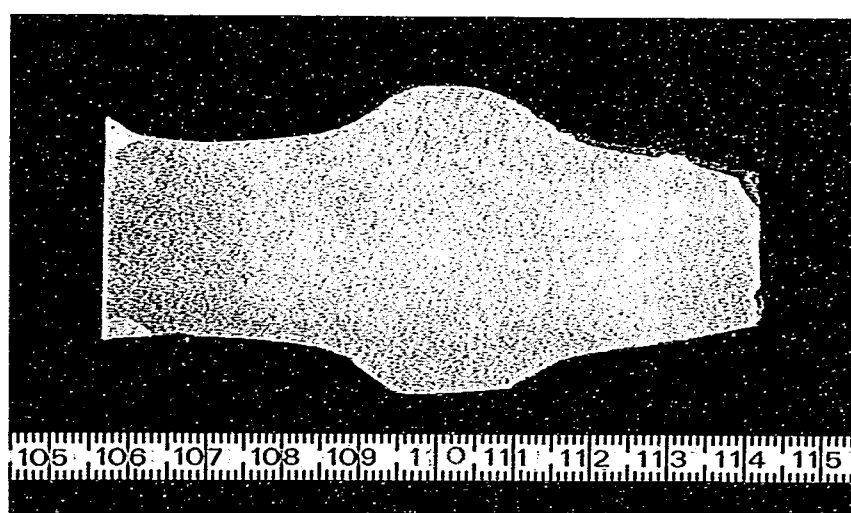
写真(b)または(c)の引張試験後についても同様であった。



(a) 引張前

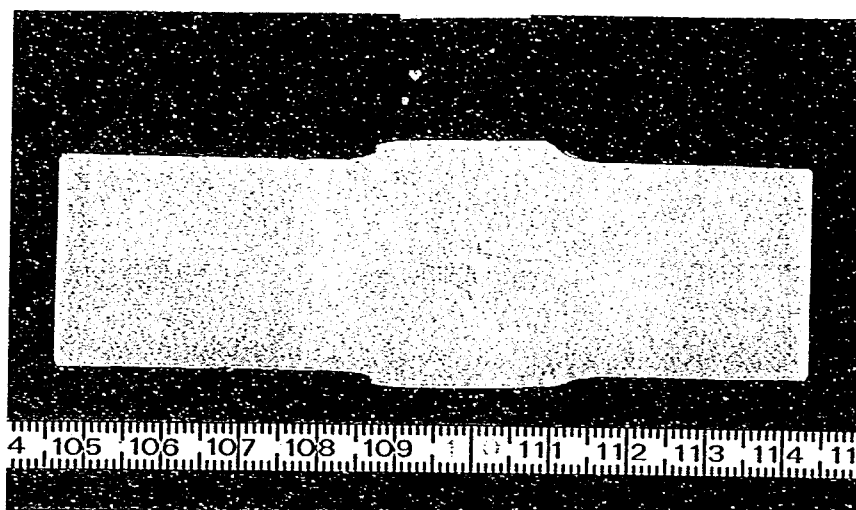


(b) 引張後 (常温)

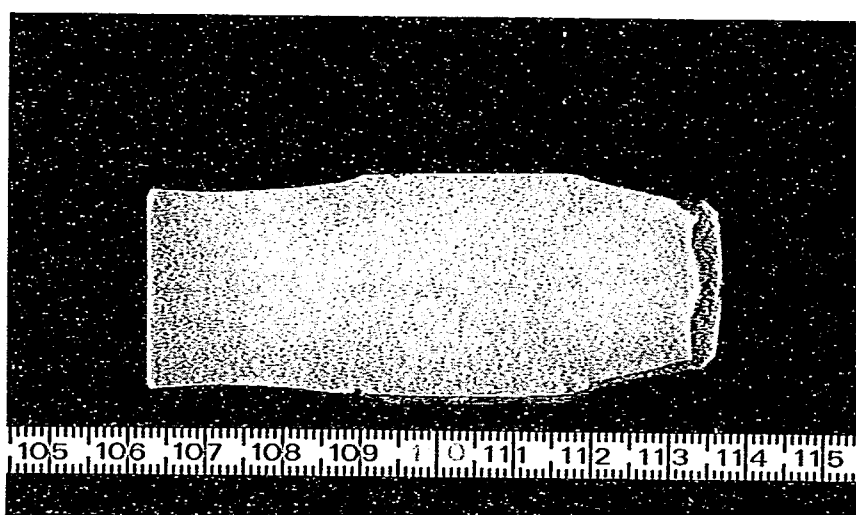


(c) 引張後 (-40℃)

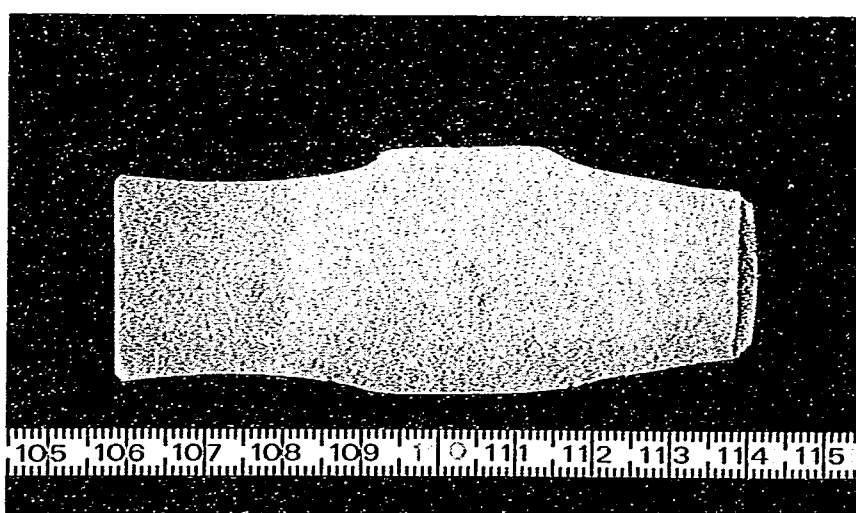
写真-7.2.1 マクロ観察結果 (D25標準圧接)



(a) 引張前

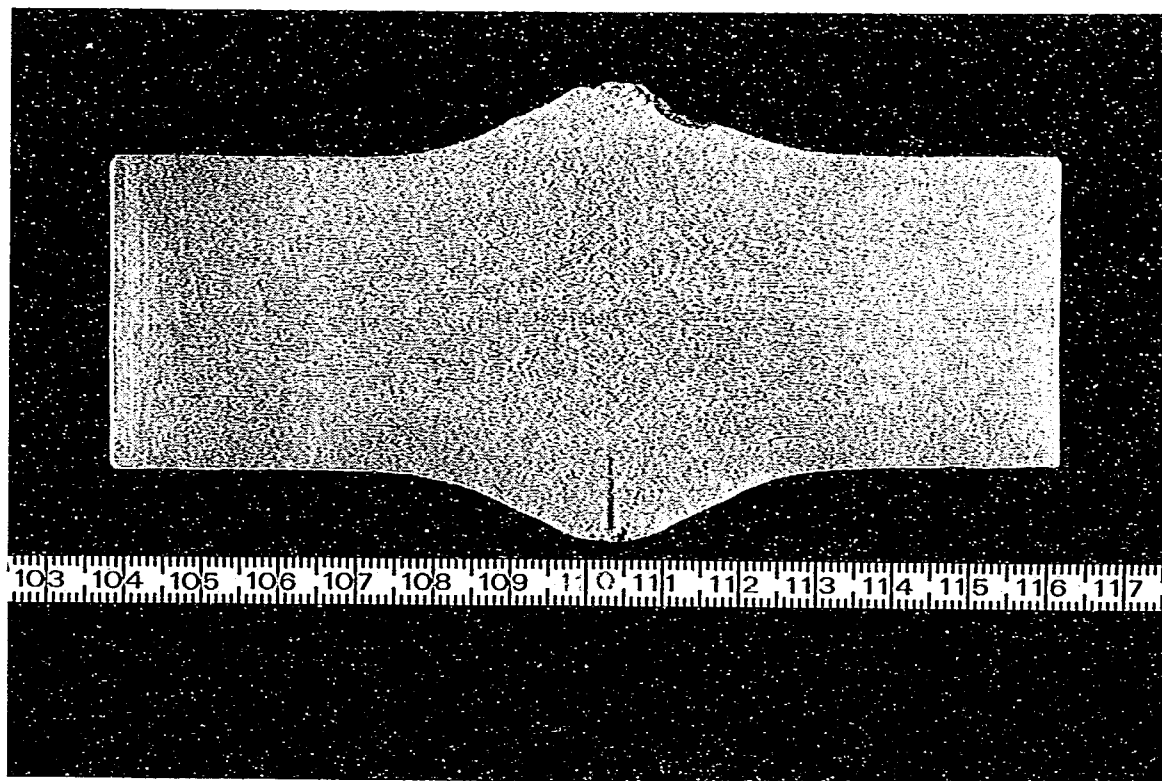


(b) 引張後 (常温)

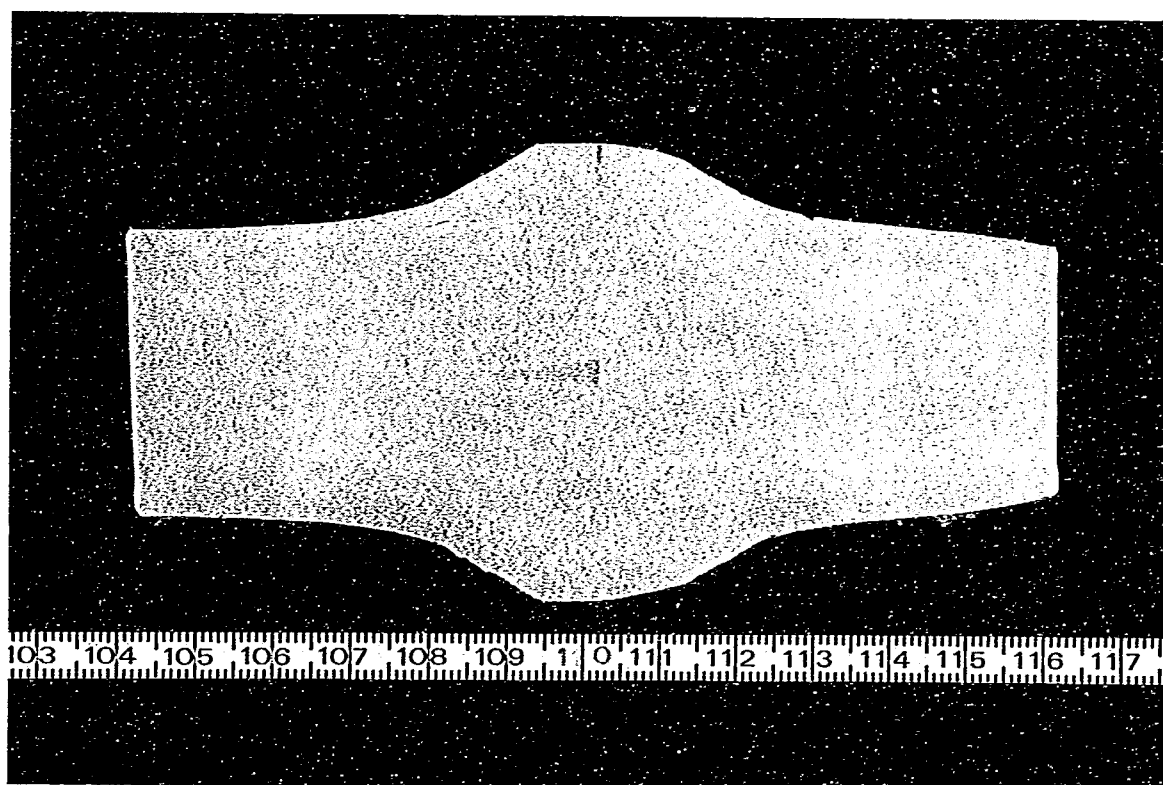


(c) 引張後 (-40℃)

写真-7.2.2 マクロ観察結果 (D25押抜圧接)

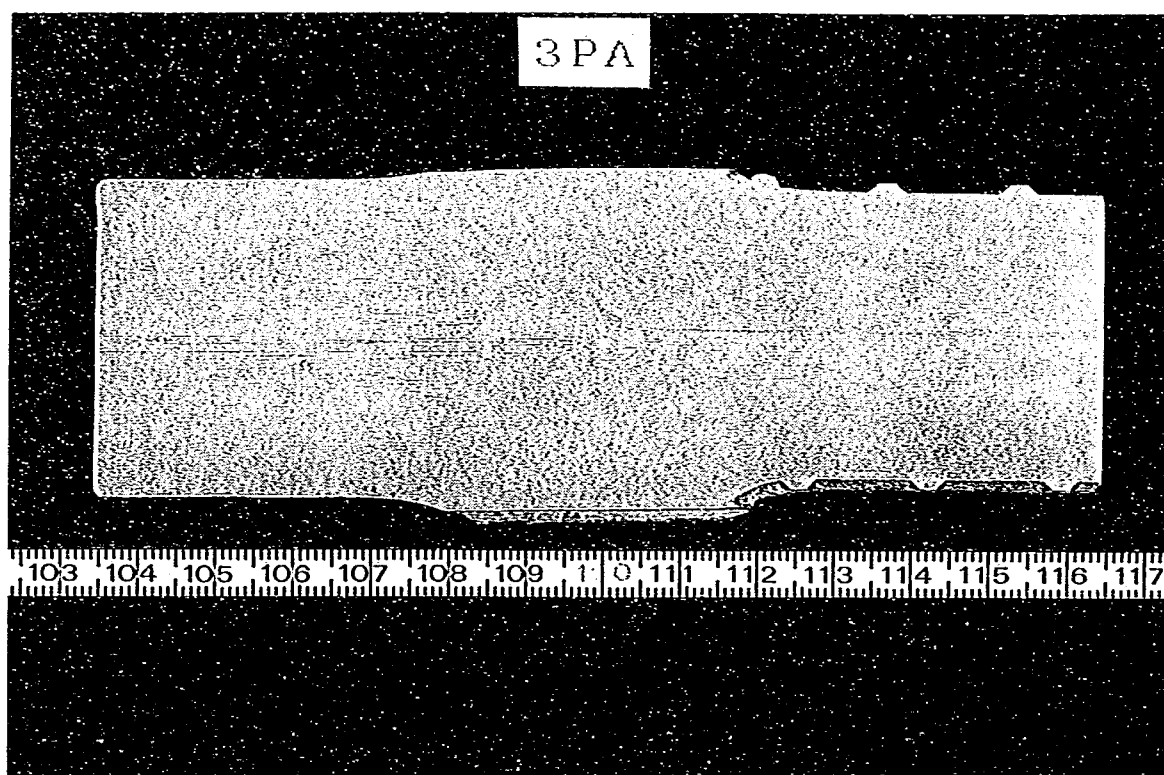


(a) 引張前

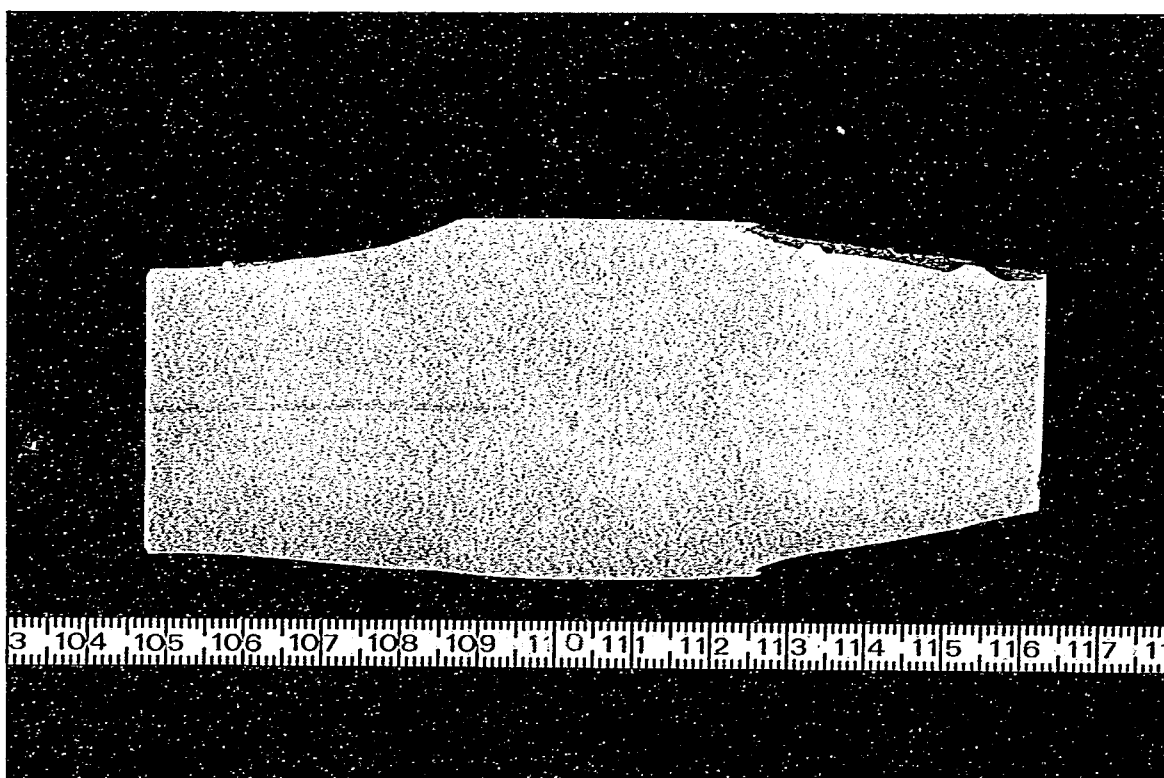


(b) 引張後

写真-7.2.3 マクロ観察結果 (D38標準圧接)

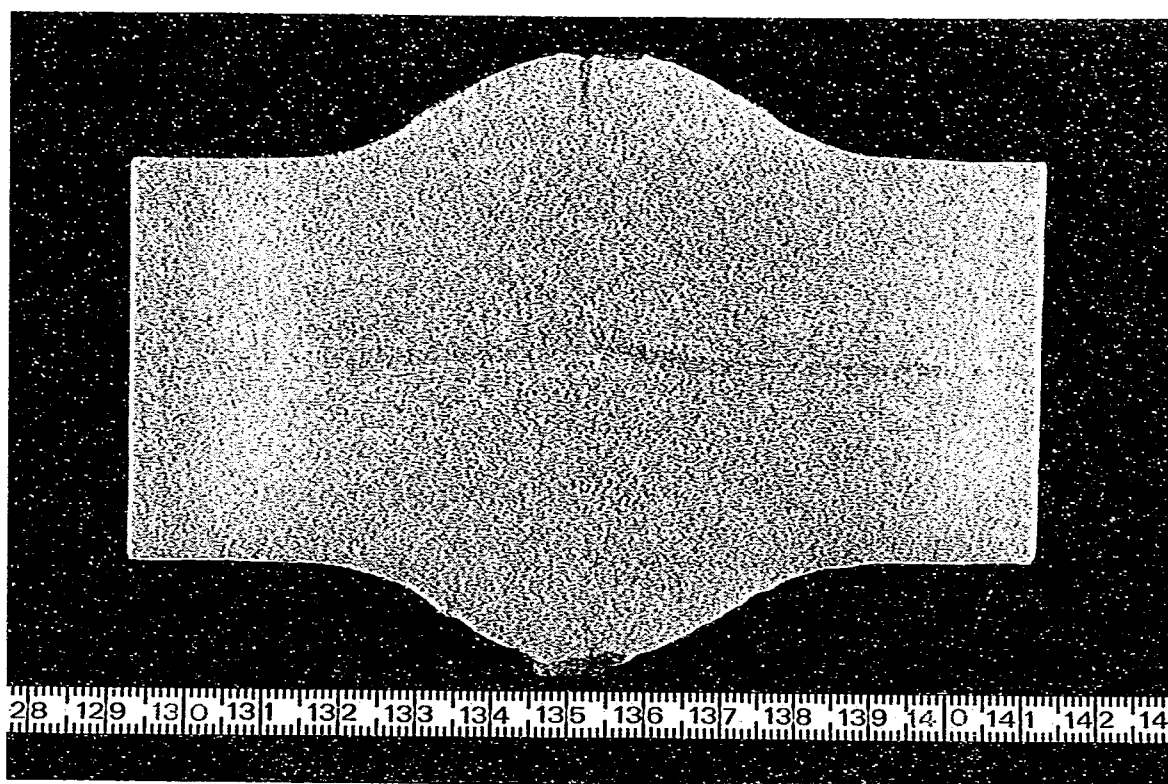


(a) 引張前

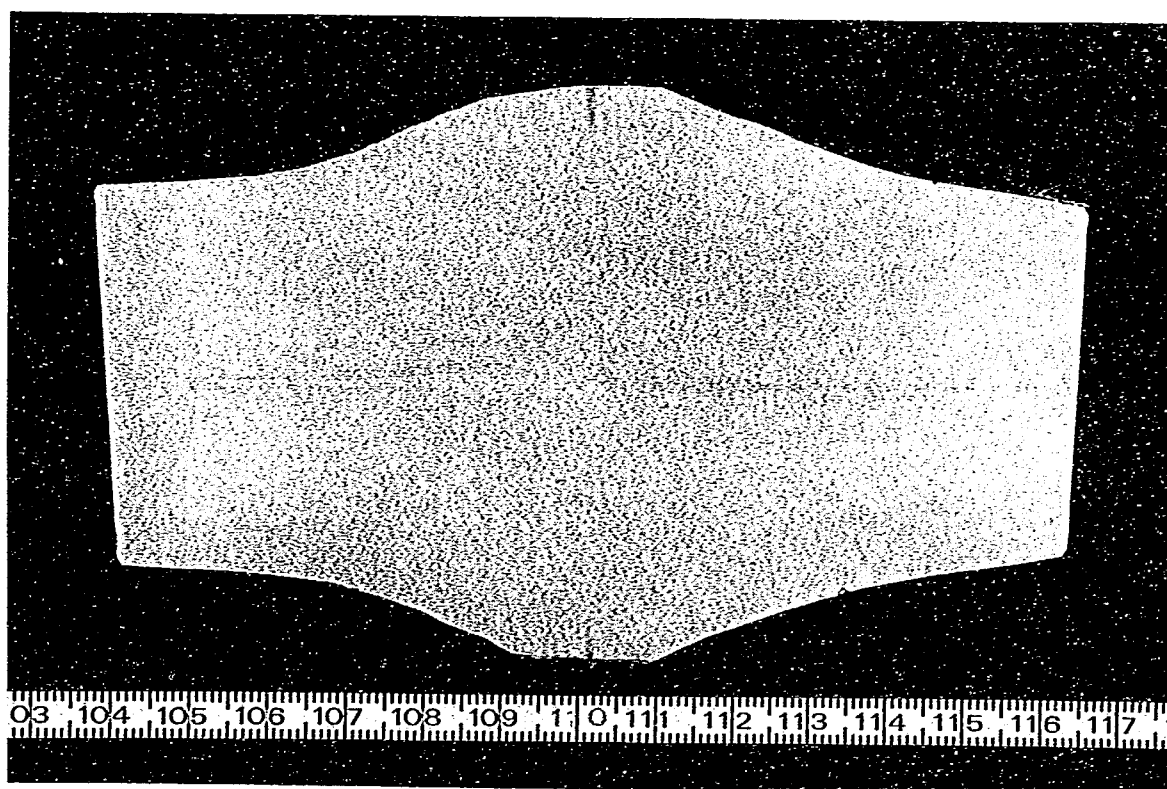


(b) 引張後

写真-7.2.4 マクロ観察結果 (D38押抜圧接)

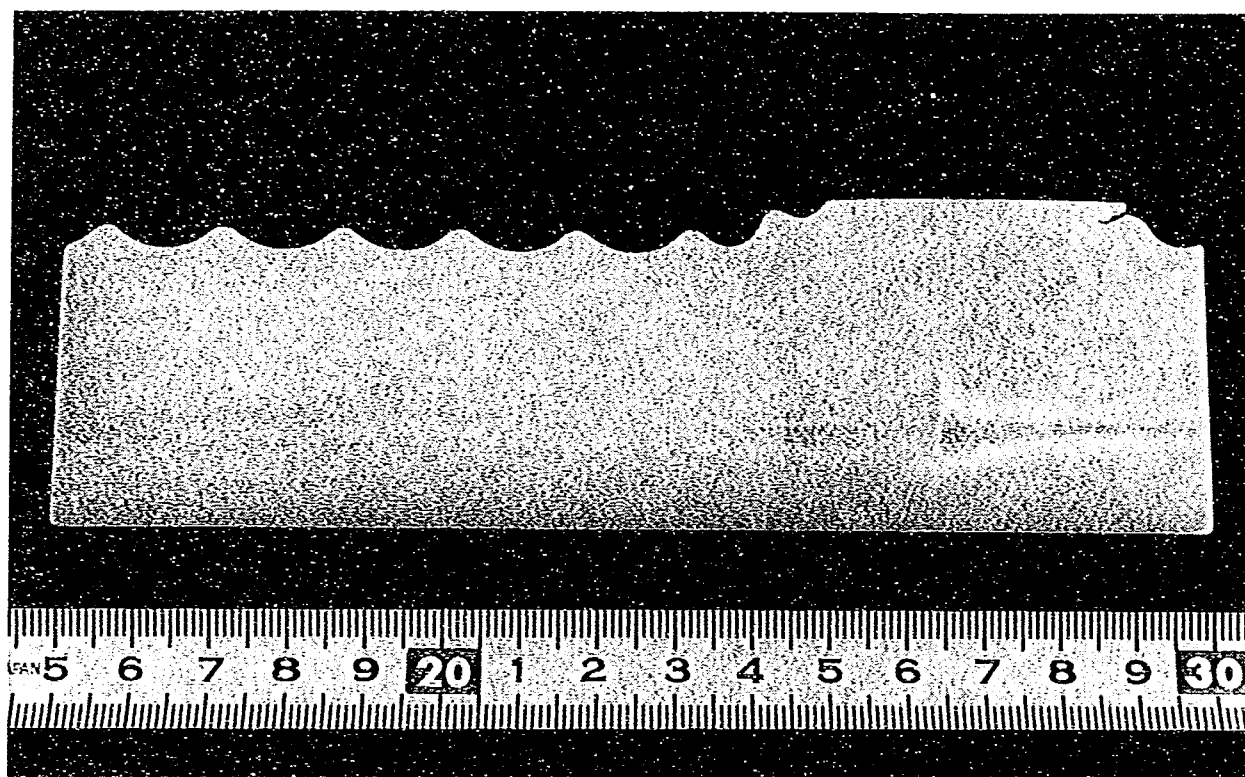


(a) 引張前

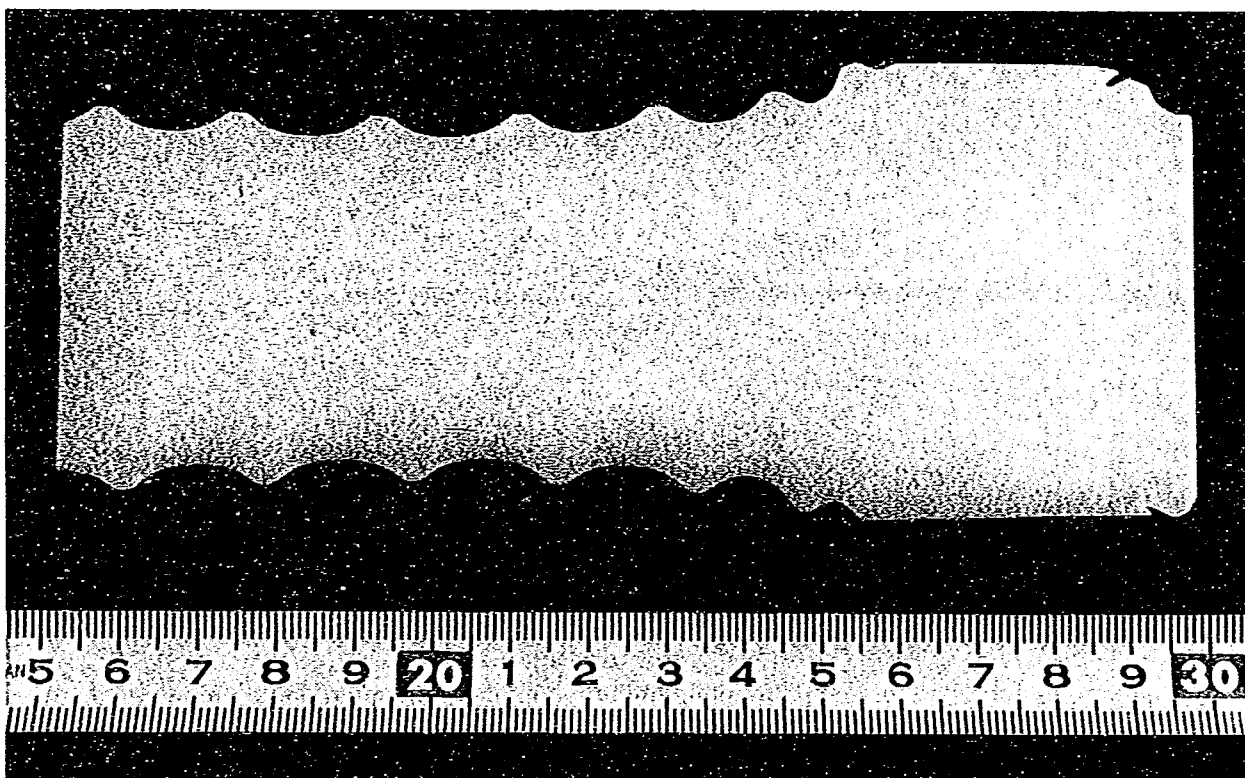


(b) 引張後

写真-7.2.5 マクロ観察結果 (D51電炉 標準圧接)

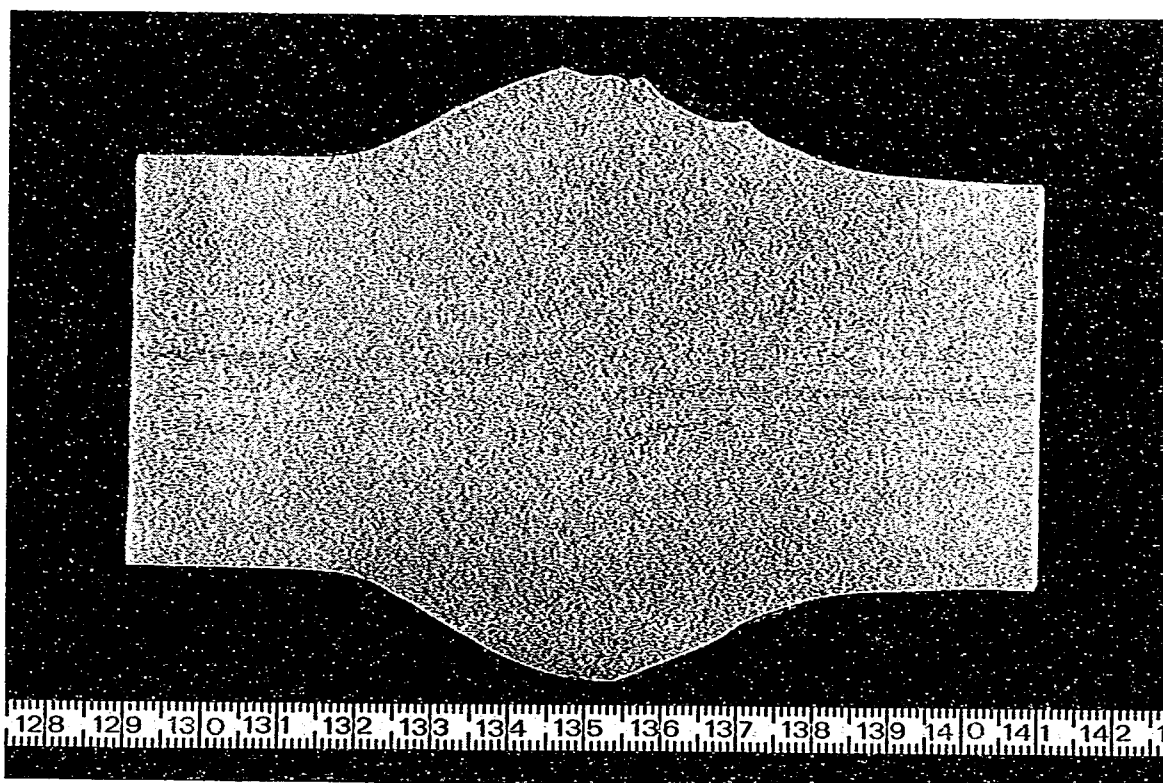


(a) 引張前

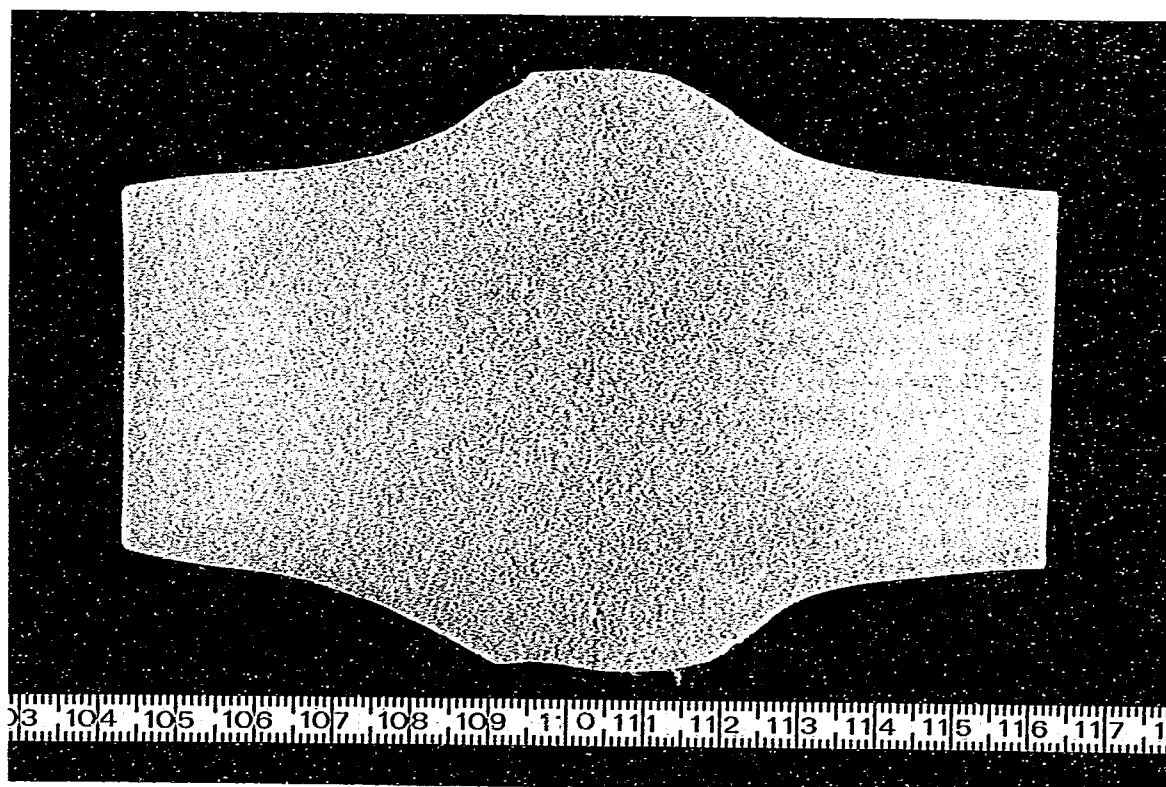


(b) 引張後

写真-7.2.6 マクロ観察結果 (D51電炉 押抜圧接)

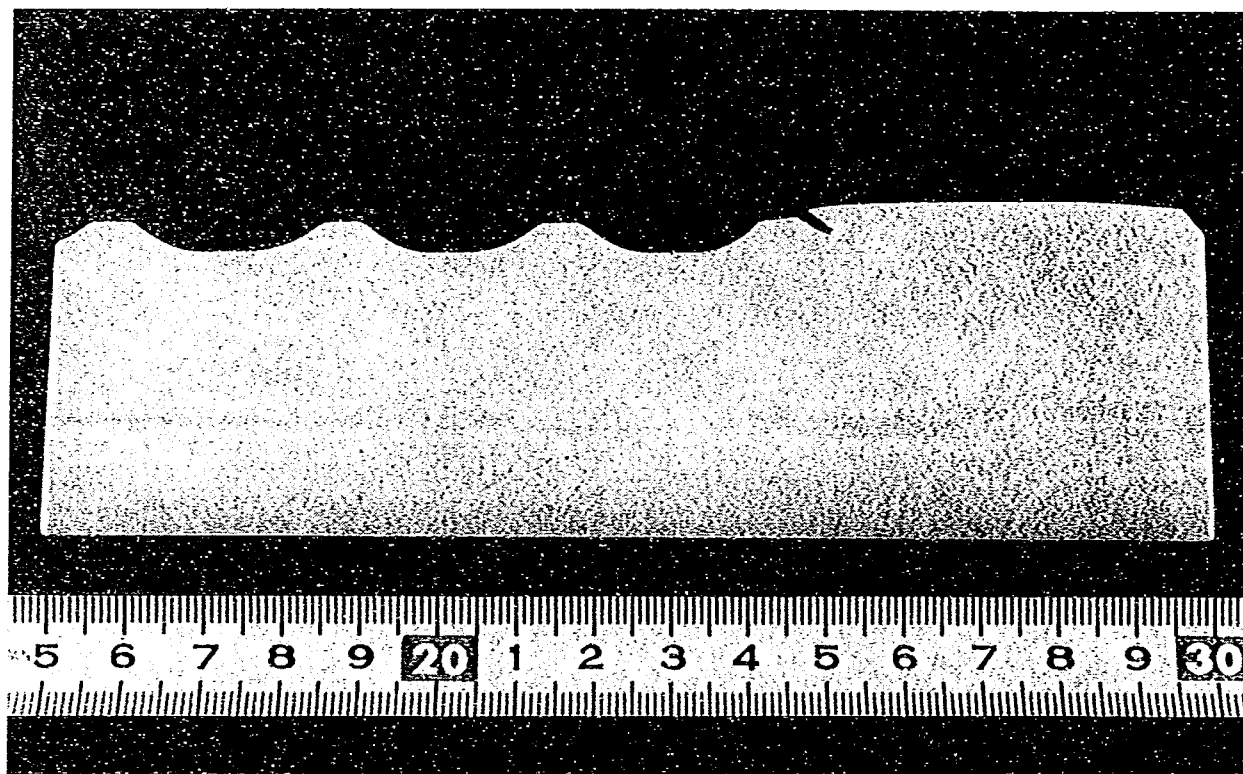


(a) 引張前

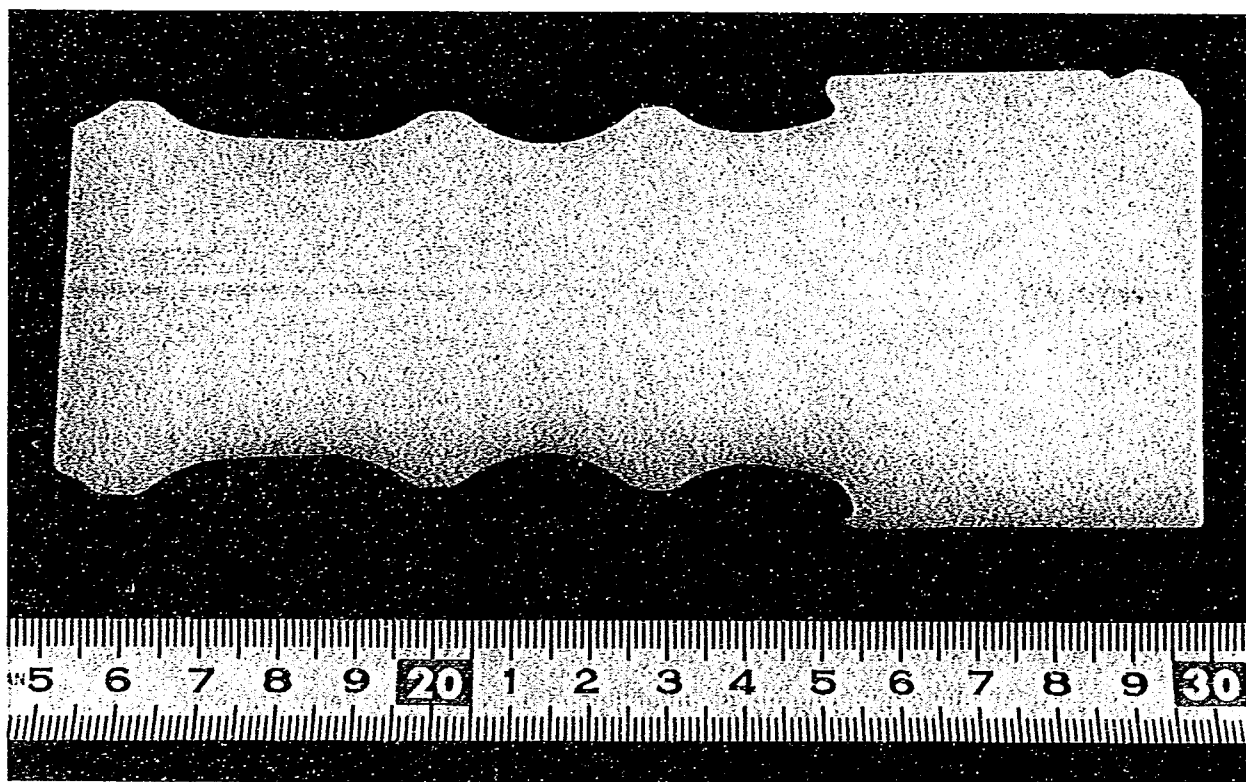


(b) 引張後

写真-7.2.7 マクロ観察結果 (D51高炉 標準圧接)



(a) 引張前



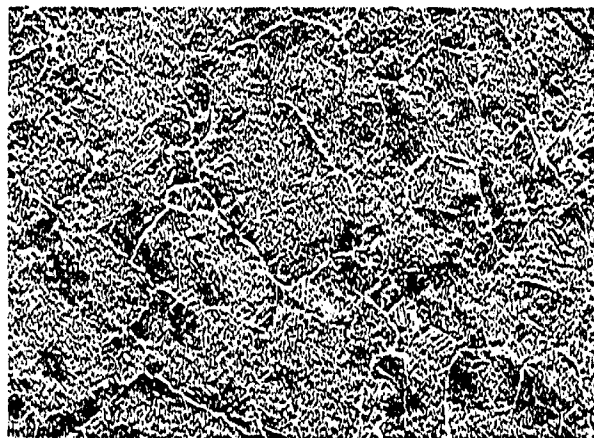
(b) 引張後

写真-7.2.8 マクロ観察結果 (D51高炉 押拔圧接)

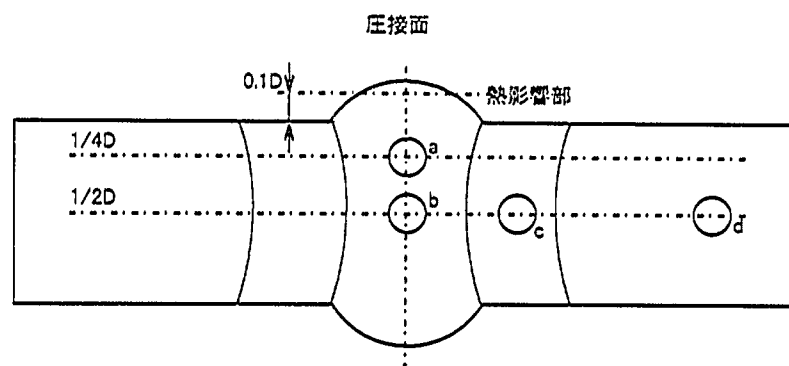
7. 3 ミクロ観察結果

ミクロ観察結果は写真— 7.3.1 ~ 7.3.8 の(a)~(d)のとおりであった。母材部(d)と比較すると、標準圧接の圧接面の(a)~(b)は高温加熱の影響により、非常に大きな結晶粒の成長が見られる。接合界面では、境界を越えた結晶粒の発達が見られ、全体としては接合面は消失しており、良好な接合が得られている。熱影響部境界(c)は細粒化していることがわかる。押抜圧接の圧接面(写真の(a)~(b))を標準圧接の場合と比べると、1/4D 位置の(a)と 1/2D 位置の(b)は標準圧接とほぼ同じ組織である。

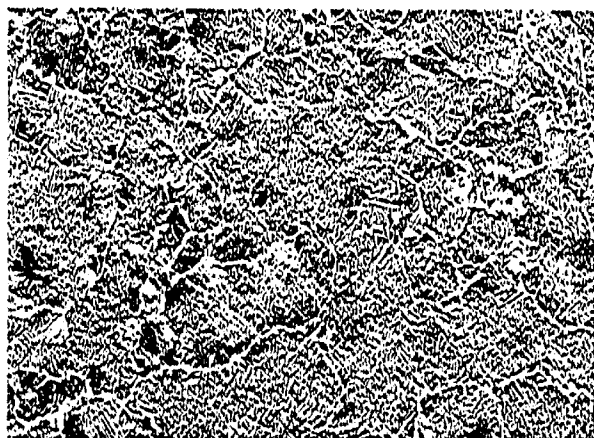
また、太径の D51 においては、電炉材と高炉材を較べると、圧接部、母材ともにほぼ同じ組織となっている。ただ、母材のミクロ組織は、小径の D25, D38 のミクロ組織に較べて結晶粒がやや大きい。



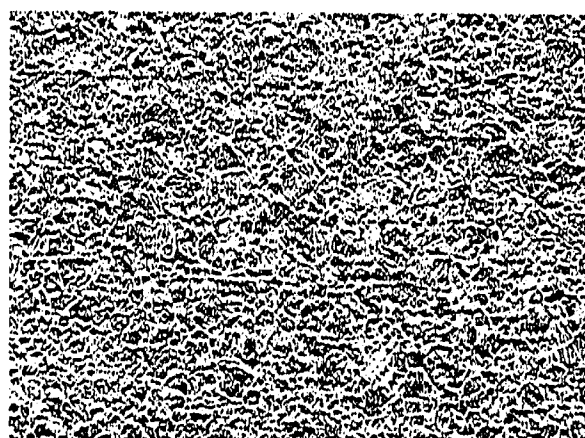
(a)



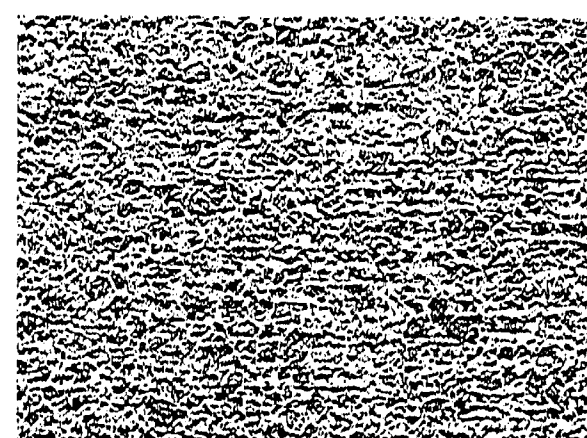
マイクロ組織観察位置



(b)

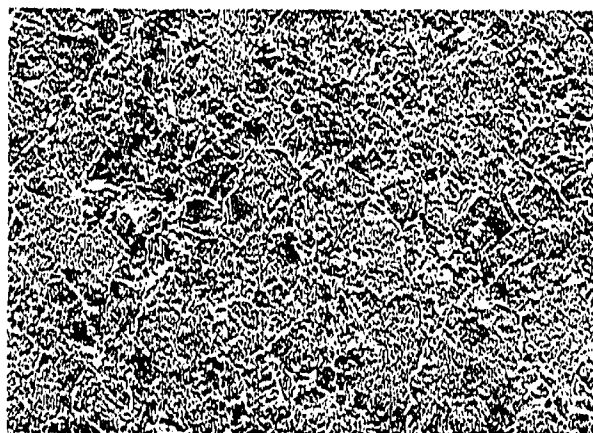


(c)

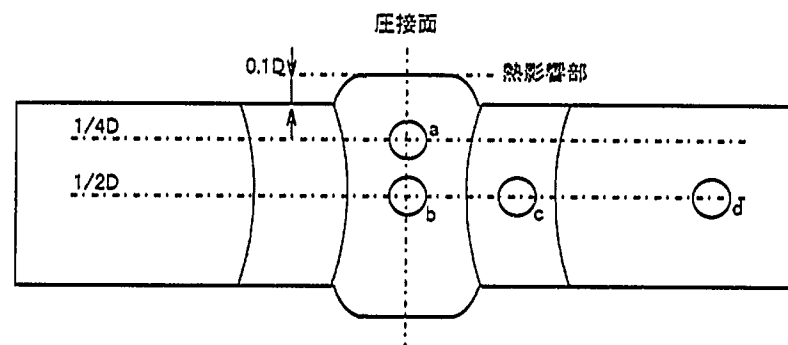


(d)

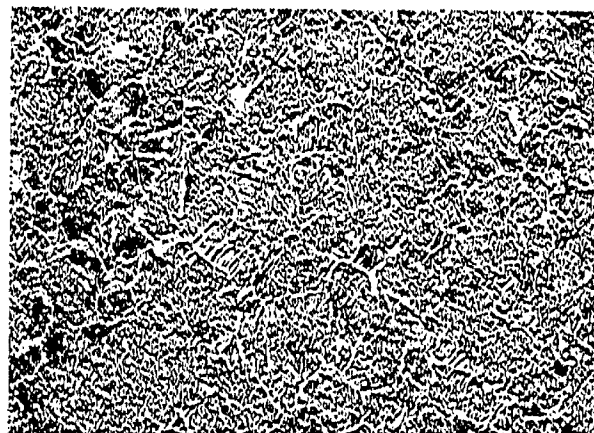
写真-7.3.1 ミクロ観察(D25 標準圧接)



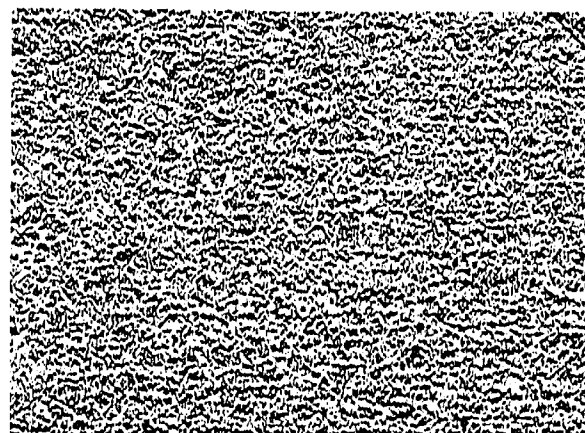
(a)



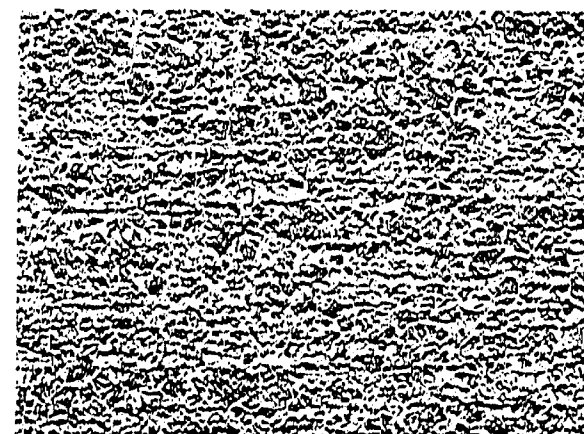
ミクロ組織観察位置



(b)

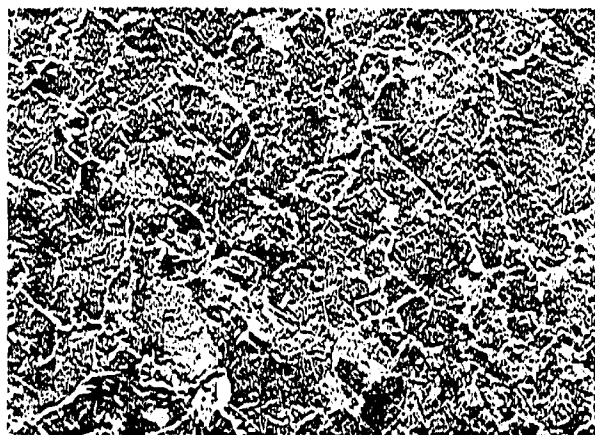


(c)

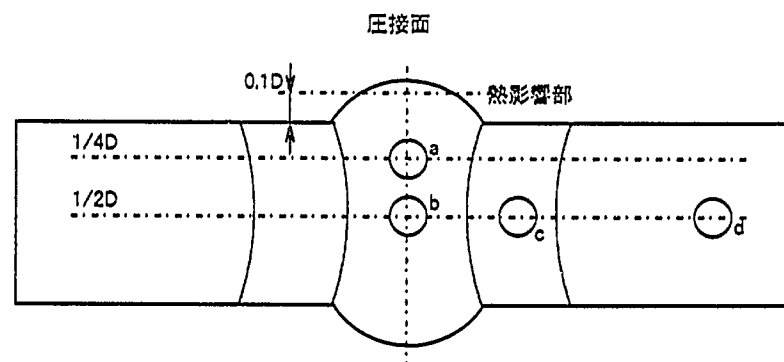


(d)

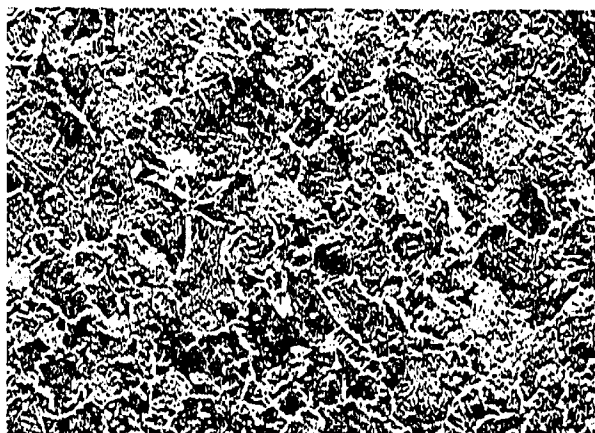
写真-7.3.2 ミクロ観察(D25 押抜圧接)



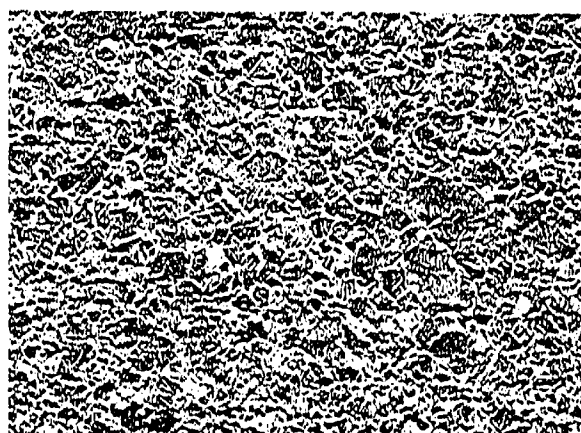
(a)



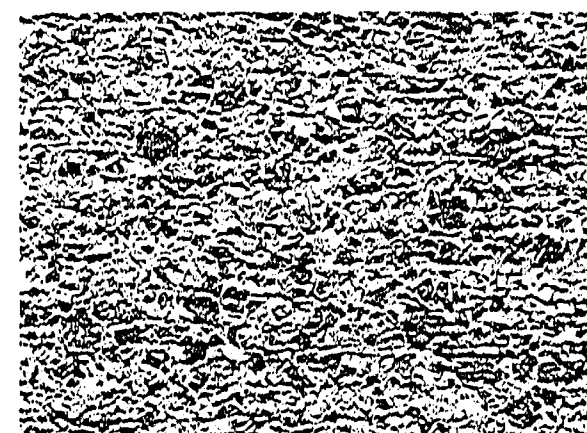
ミクロ組織観察位置



(b)

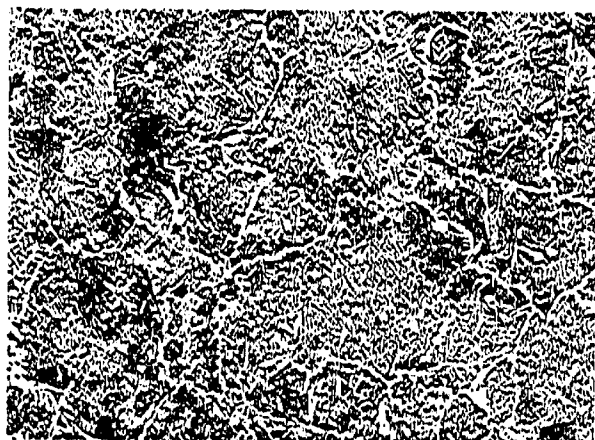


(c)

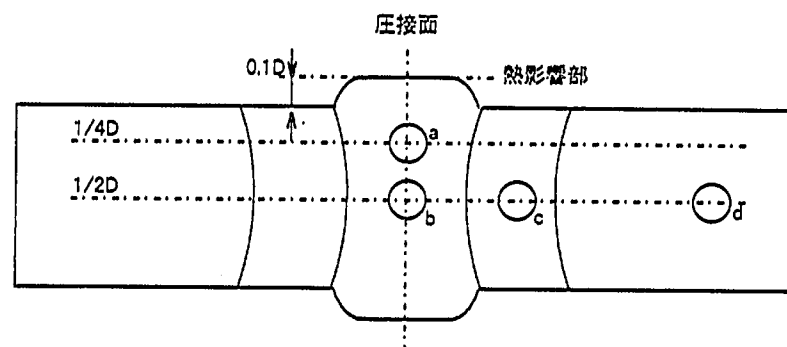


(d)

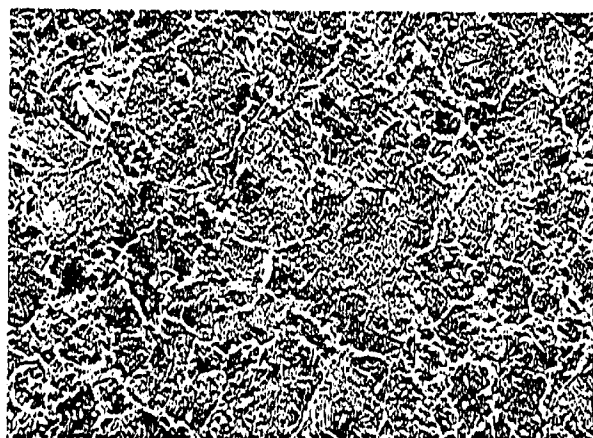
写真-7.3.3 ミクロ観察(D38 標準圧接)



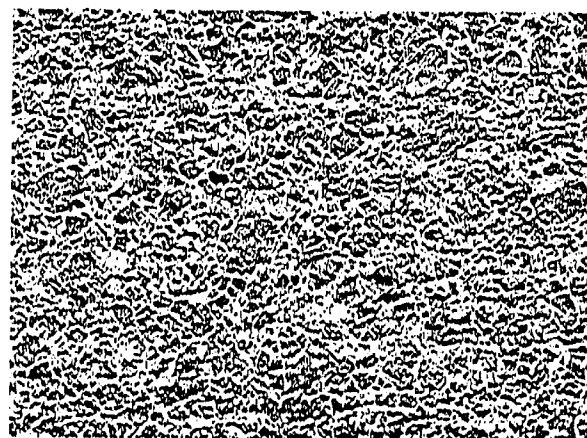
(a)



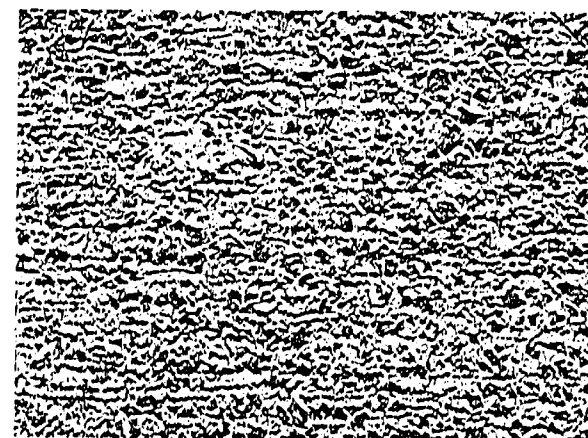
マイクロ組織観察位置



(b)



(c)

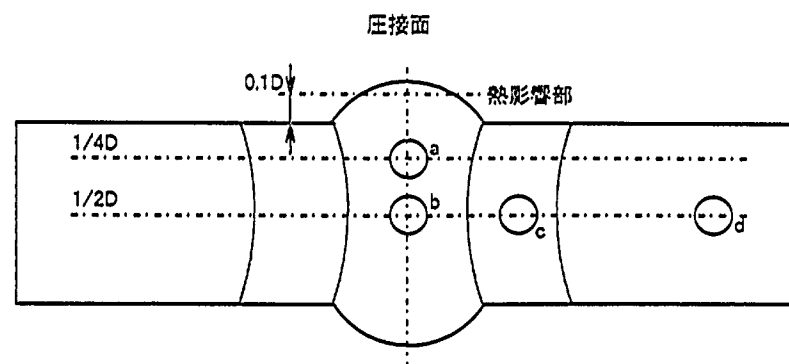


(d)

写真-7.3.4 ミクロ観察(D38 押抜圧接)



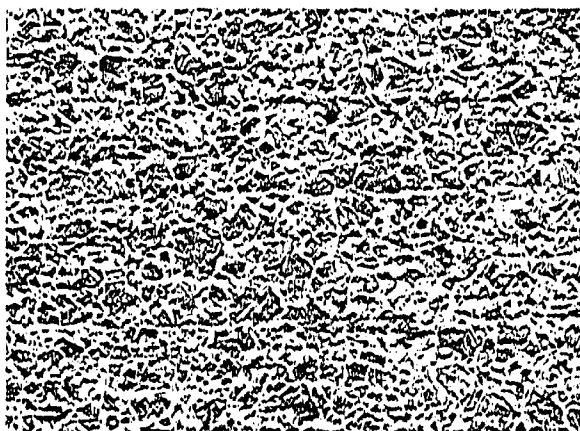
(a)



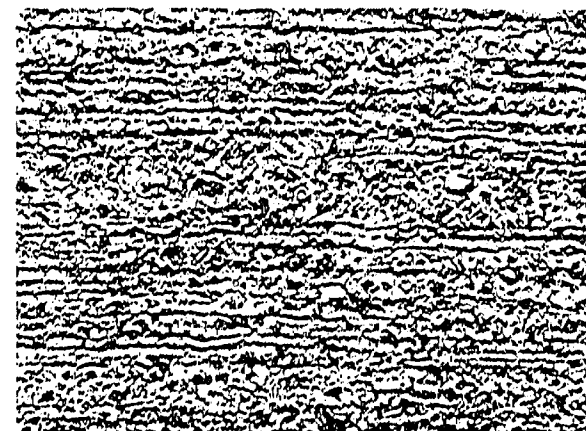
マイクロ組織観察位置



(b)

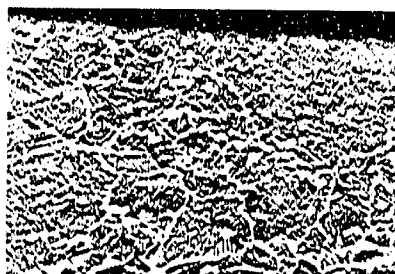


(c)

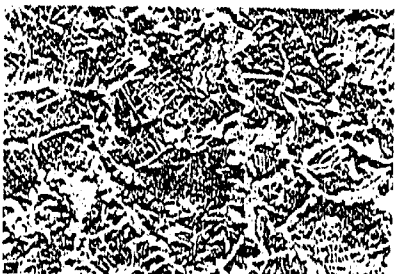


(d)

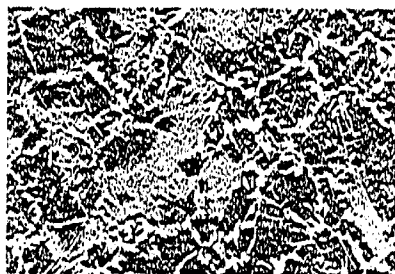
写真-7.3.5 ミクロ観察(D51電炉 標準圧接)



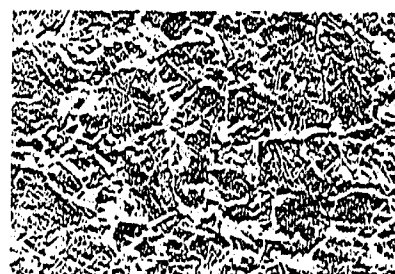
(a)



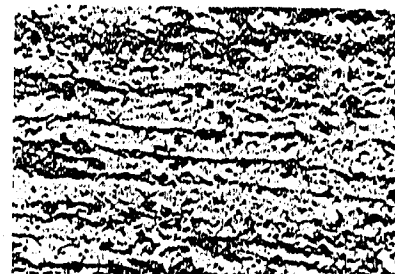
(b)



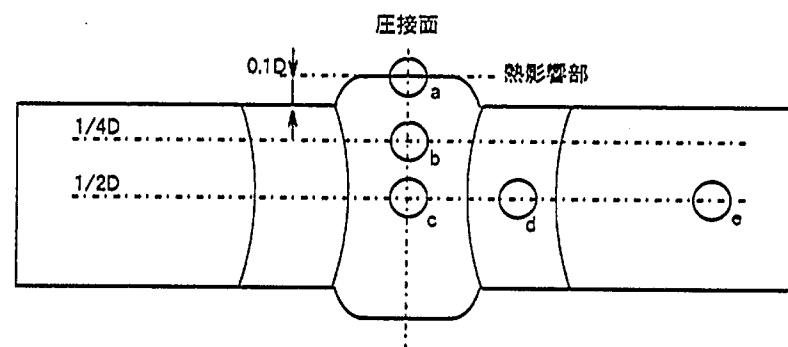
(c)



(d)



(e)

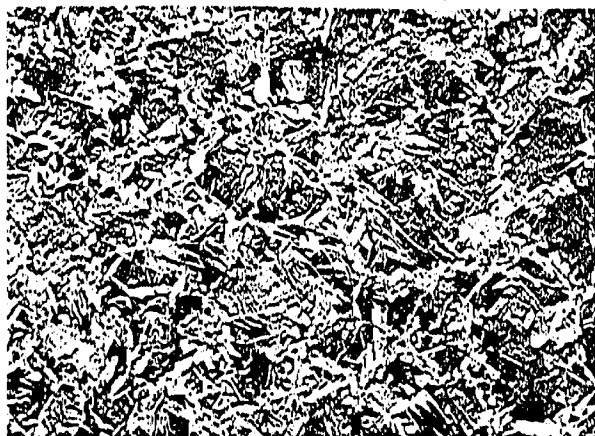


マイクロ組織観察位置

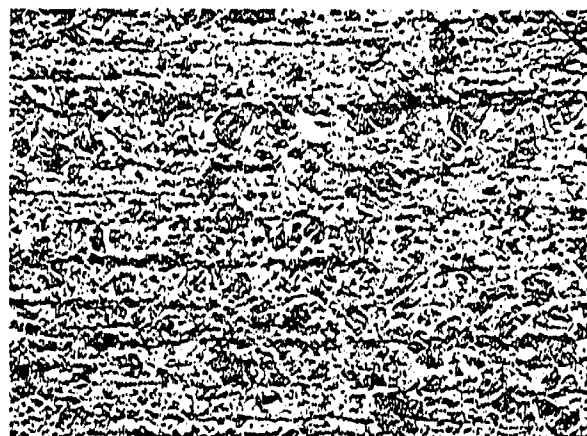
写真-7.3.6 ミクロ観察(D51電炉 押抜圧接)



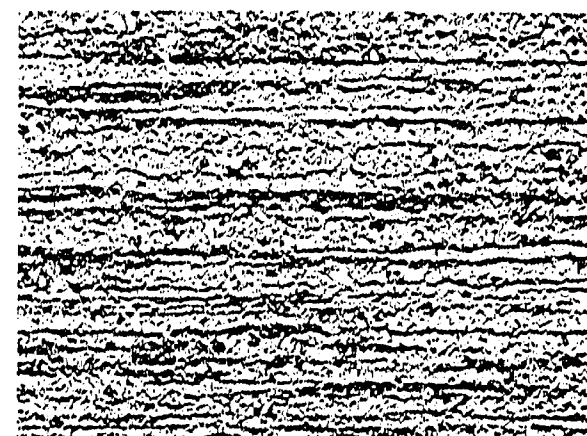
(a)



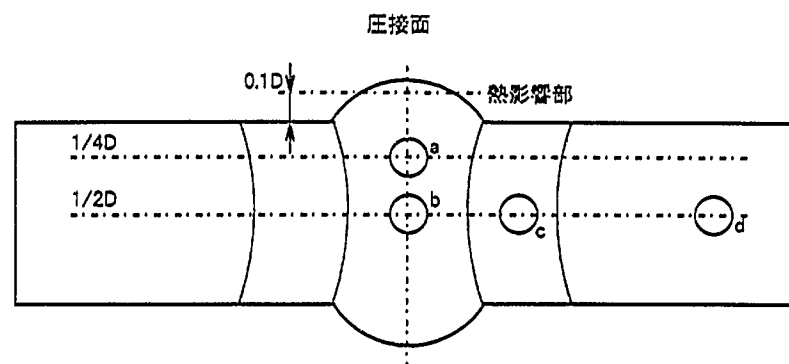
(b)



(c)

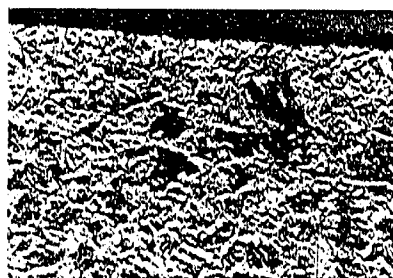


(d)



マイクロ組織観察位置

写真-7.3.7 ミクロ観察(D51 高炉 標準圧接)



(a)



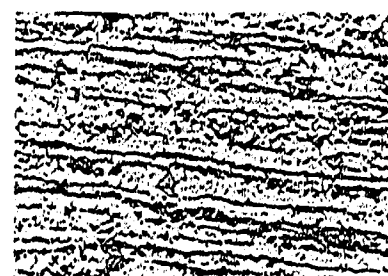
(b)



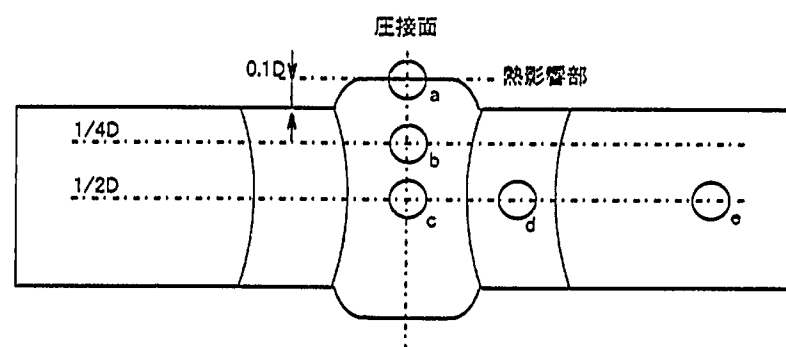
(c)



(d)



(e)



マイクロ組織観察位置

写真-7.3.8 ミクロ観察(D51高炉 押抜圧接)

7. 4 ビッカース硬さ試験結果

各種条件で作成した継手のビッカース硬さ（荷重；10kgf）の測定結果を図－7.4.1～7.4.4に示す。これらの結果を一括して表－7.4.1に示す。この表では表面から5 mm位置での圧接部近傍と母材の硬さを対比して、引張試験前と引張試験後の変化を示した。

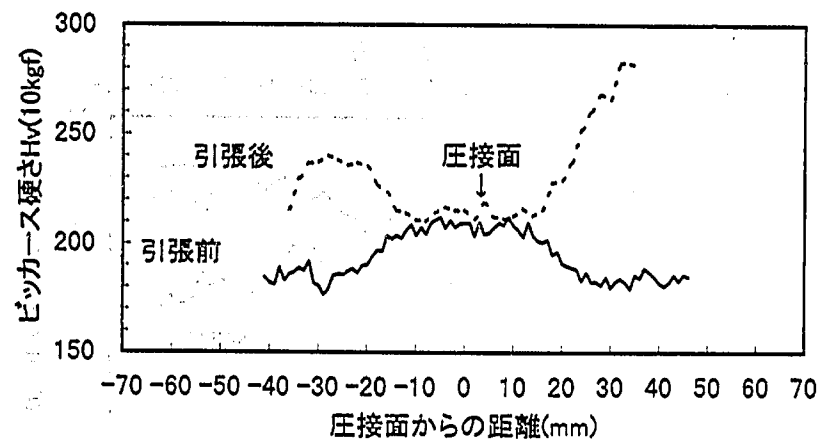
まず、引張試験前の継手に関しては、母材の硬さは、D25 から D51 について、 $Hv = 170 \sim 187$ であった。D38 がやや高い値を示したが、これは降伏点（ミルシート値）がやや高いのに対応していると考えられる。また、D51 が電炉材、高炉材ともにやや低い値であったのは、結晶粒の大きさとの関連が考えられる。圧接界面近傍の硬さは、同じく D25 から D51 について、 $Hv = 200 \sim 218$ であった。いずれも母材より硬いが、これは圧接継手のごく一般的な傾向を示しているといえる。硬化の程度は、母材よりも、ほぼ Hv 値が 23～29 高い。ただ、D51 の高炉材のみ 48 高い値を示したが、これは化学成分のうち炭素等量値に効く Mn, Si の量が電炉より高いためである。なお、圧接法の違いは硬さに影響しないようである。

次に、継手に荷重が付加された後の状態での、最も厳しい評価となる、引張試験後の継手に関しては、母材の硬さは、D25 から D51 について、 $Hv = 214 \sim 276$ と硬化していた。これは加工硬化の結果であり、引張前の硬さに較べて、 Hv 値が 42～93 硬化している。一方、圧接界面の硬さは、同じく D25～D51 について、 $Hv = 200 \sim 222$ であった。引張前の硬さに較べて、 Hv 値が標準圧接は 0～6、押抜圧接は 9～10 しか硬化していない。これは明らかに、圧接部はふくらみがあるために断面積が大きく、負荷ひずみ量が小さかった効果といえる（図－4.2.7 参照）。

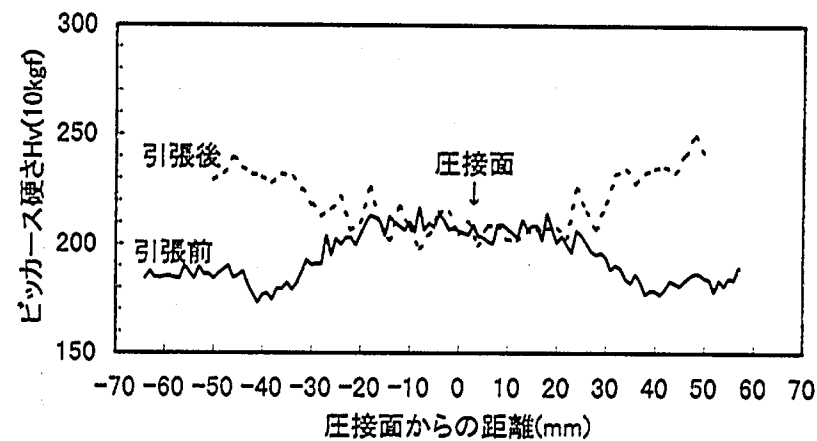
表－7.4.1 継手部ビッカース硬さ Hv に及ぼす試験条件の影響

鉄筋の種類		試験条件		標準圧接		押抜圧接	
呼び名	製法	試験前後	試験温度	母材	圧接面	母材	圧接面
D 2 5	電炉	引張前	常温	183	212	183	213
		引張後		240	218	272	222
				－ 40 ℃	248	216	276
D 3 8	電炉	引張前	常温	187	210	187	210
		引張後		235	212	242	220
D 5 1	電炉	引張前	常温	175	200	174	193
		引張後		224	200	225	199
D 5 1	高炉	引張前	常温	170	218	172	201
		引張後		218	218	214	199

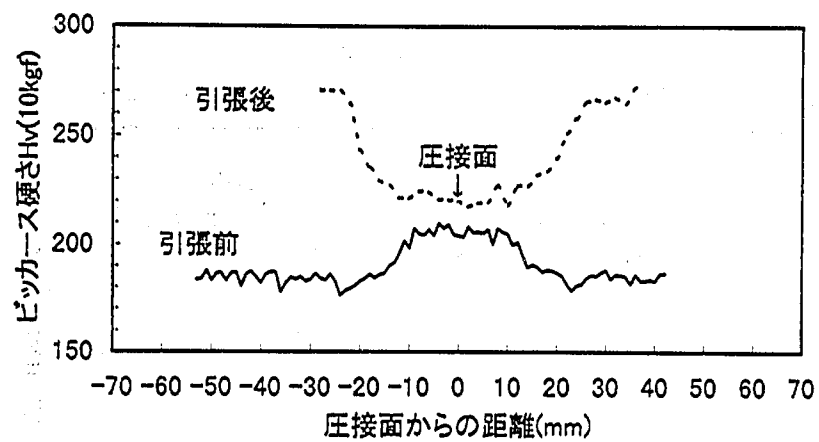
D25
標準圧接



D38
標準圧接



押抜圧接



押抜圧接

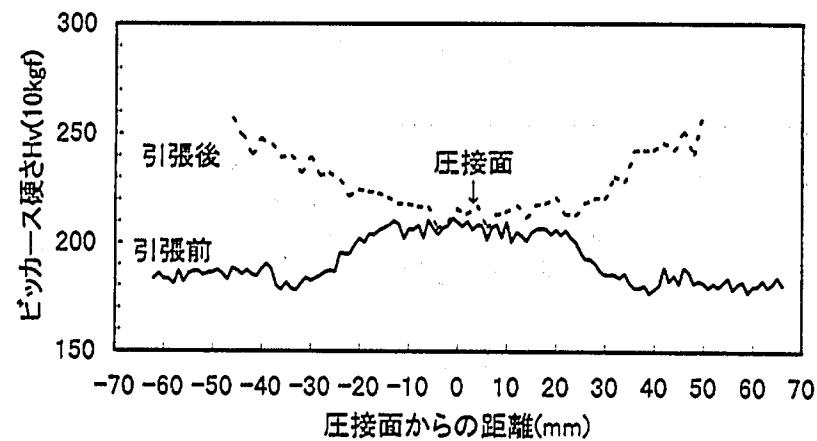
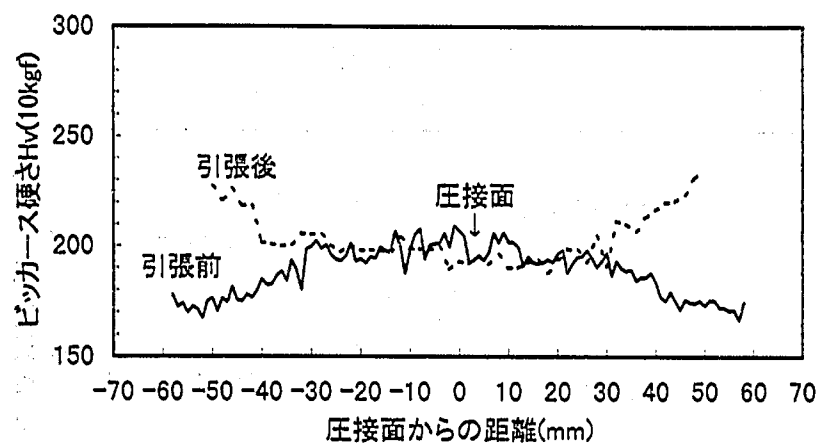


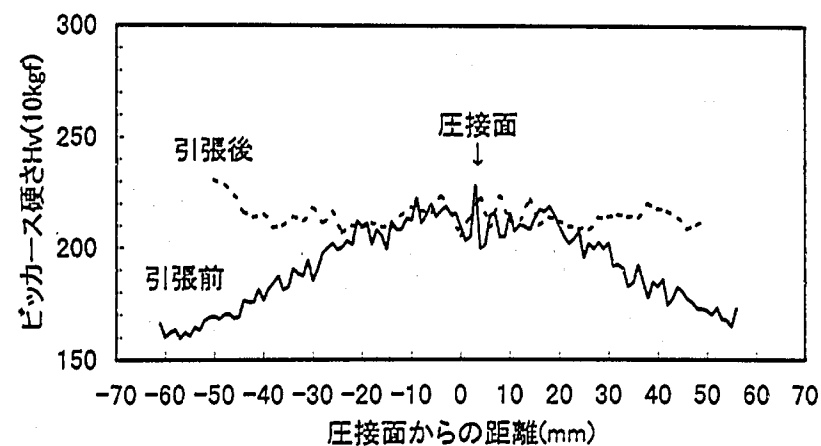
図-7.4.1 硬さ分布

図-7.4.2 硬さ分布

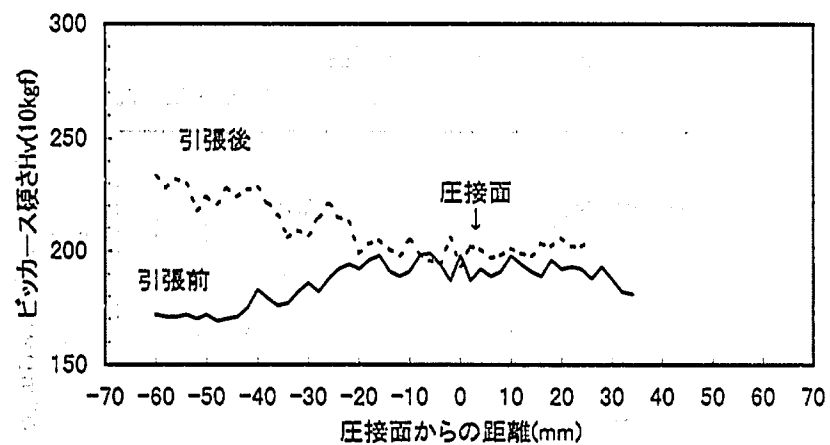
D51電炉
標準圧接



D51高炉
標準圧接



押抜圧接



押抜圧接

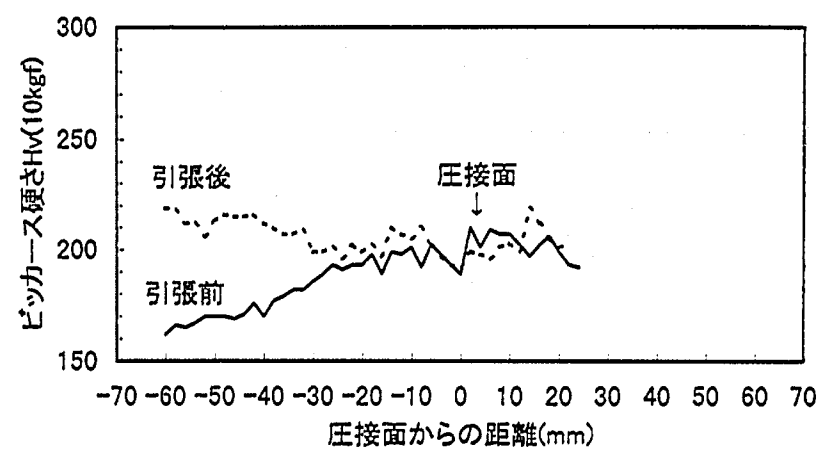


図-7.4.3 硬さ分布

図-7.4.4 硬さ分布

7. 5 シャルピー衝撃試験結果

7.5.1 試験温度0℃での衝撃特性

各種条件で作製した継手のUノッチシャルピー衝撃試験（試験温度0℃）の結果を一括して表- 7.5.1に示す。また、図- 7.5.1 ~ 7.5.3 に、鉄筋の種類ごと、継手ノッチ位置、ノッチ形状と吸収エネルギー値（試験温度0℃、 uE_o ）の関係を示す。

まず、図- 7.5.1 に示す D25 継手を見ると、母材、HAZに較べて圧接界面は約 1/2 程度の吸収エネルギー値を示す。また、圧接法の差異による吸収エネルギー値の差はあまりないようである（圧接界面の uE_o は標準法= 43 J、押抜法= 35 J）。

次に、図- 7.5.1 (b) に示す D38 継手を見ると、D25 継手同様の傾向を示している。吸収エネルギー値は D25 継手とくらべて、圧接界面でやや低い（圧接界面の uE_o は標準法= 25 J、押抜法= 22 J）。母材、HAZはほぼ同等である。圧接界面のノッチ位置については、図- 7.5.2 (a) のように外周近くの界面品質を知るために直径方向にも変化した（ノッチ底を標準試験片は 1/4 D、外周近くは表面から 4 mm、鉄筋中心近くは中心から 4 mm）。結果は標準法、押抜法ともに吸収エネルギー値に差はなかった。このことは健全な圧接が実施されたためと考えられる。このように見ると D38 圧接界面の吸収エネルギー値が D25 のそれよりやや低い値を示したのは、D38 のほうの母材化学成分（特に炭素質量、Vの添加）が高めであり、界面近傍の組織がやや脆弱であったためと思われる。すなわち、界面そのものの品質（例えば、表面酸化による酸化物の存在による衝撃特性の劣化）というより、その近辺の加熱組織の衝撃特性を評価したと考えるほうがよいと思われる。

さらに太径の D51 継手については、電炉材と高炉材のそれぞれの継手についても、図- 7.5.1 ~ 7.5.2 に示す。図- 7.5.1 (c) の D51 の電炉材継手を見ると、他の継手同様の傾向を示しているが、吸収エネルギー値は、母材、HAZ、圧接界面ともに、他の継手とくらべて低い値を示している。圧接界面は素材の衝撃特性に応じた値を示したと考えられる。また、圧接界面のノッチ位置については、D38 同様に外周方向の吸収エネルギー値を調べたが変化はなかった。一方、図- 7.5.1 (d) に示す D51 の高炉材継手を見ると、継手それぞれの位置の吸収エネルギー値は、他のどの継手と較べても、全般的に高い値を示した。これは素材そのものの衝撃特性が良かったためと考えられる。圧接界面も D25 継手と同等以上の値を示している。ただ、図- 7.5.2 (c) のように外周方向の値はやや低く、表面酸化による酸化物の影響が考えられた。

脆性破面率は、吸収エネルギーとは逆の傾向を示した。

母材についてUノッチとVノッチを比較したのが図- 7.5.3 である。(a)図のようにノッチ形状によって大きな差異がある。吸収エネルギーは (b) 図より電炉材はVノッチはUノッチの 23 %、高炉材は 62 %、脆性破面率は約 1.4 倍になっている。

以上の圧接部の衝撃特性を考察すると、

- ① 全般的に、母材、HAZに較べて、圧接界面は低い値を示す。圧接界面が低い値を示すのは、主として、加熱による結晶粒の粗大化によるものである（写真- 7.3.1 ~ 7.3.8）。すなわち、界面そのものというより、界面近傍の粗粒部の衝撃特性を評価したと考えられる。ただ、圧接時に表面酸化させてしまったような界面そのものの品質の善し悪しについては、外周近くの衝撃特性の劣化によって判

断できる。

- ② 電炉材においては、鉄筋径（呼び名）が太くなると、どの継手位置も低い値を示す傾向にある。この結果も素材の化学成分、圧延条件等によるものと思われる。とくに、圧接部については太径になると化学成分が高めになってくことと関係している。一方、高炉材は素材そのものの衝撃特性の良さにより、圧接部の衝撃特性も優れている。

7.5.2 遷移温度

(1) 遷移温度の求め方

温度を変化させてシャルピー試験を行った結果を表 7.5.2 に示す。この結果から吸収エネルギーを式 (7.5.1)、脆性破面率を式 (7.5.2) で回帰して遷移温度を求めた。遷移温度は、吸収エネルギーの場合は上部棚エネルギーの 50 % のときの温度、および脆性破面率が 50 % のときの温度であり、それぞれエネルギー遷移温度、脆性遷移温度と呼ぶ。

$$vE(T) = \frac{vE_{shelf}}{\exp \{-a(T - vTE)\} + 1} \quad (J) \quad \text{-----} \quad (7.5.1)$$

$$Cr(T) = \frac{100}{\exp \{b(T - vTs)\} + 1} \quad (\%) \quad \text{-----} \quad (7.5.2)$$

ここで、 $vE(T)$ 、 $Cr(T)$: 温度 $T(^{\circ}C)$ での吸収エネルギー (J) と脆性破面率 (%)

vE_{shelf} : 上部棚エネルギー (温度が $+\infty$ のときのエネルギー)

vTE : エネルギー遷移温度 (吸収エネルギー vE が vE_{shelf} の 1/2 となる温度)

vTs : 破面遷移温度 ($Cr=50\%$ となる温度)

a , b : 材料定数 (> 0)

回帰結果を表 7.5.3 および図 7.5.4 に示す。

圧接の種類、鉄筋の位置と回帰によって求めた遷移曲線は図 7.5.5、遷移温度をはじめとする各係数の関係は図 7.5.6 のとおりである。

(2) 母材の遷移温度

図 7.5.6 より、母材の遷移温度は、エネルギー遷移温度、破面遷移温度とも D25, 38, 51 の電炉材はほぼ $0 \sim 20^{\circ}C$ の間で一定であるが、高炉材は $-50^{\circ}C$ 程度であり、電炉材よりかなり低く、高炉材の耐衝撃特性は電炉材よりかなり高い。

上部棚エネルギーについても、電炉材 150 ~ 189J に対し、高炉材は 200J と高い。

(3) 圧接鉄筋の遷移温度

圧接鉄筋の遷移温度も図 7.5.6 より、HAZ は試験片採取位置のわずかな違いにより大きな差異があり平均的には母材程度であるが、圧接面は母材よりかなり大きな遷移温度になっており、耐衝撃性が低下し

ている。

7.5.3 引張試験前・後の比較

引張試験後の圧接面および母材部のシャルピー衝撃試験（試験温度 0℃）の結果を表－ 7.5.4 に示す。表－ 7.5.4 および表－ 7.5.1 の結果から、引張試験前・後の衝撃特性を比較したのが図－ 7.5.7 ～ 7.5.10 である。

図－ 7.5.7 より、圧接界面はやや引張後に低くなっている程度であるが、母材はかなり低くなっている。圧接界面の値より低い。これは引張試験での塑性変形が断面の小さい母材で生じたため（図－ 4.2.7）であり、加工硬化によるひずみ脆化である。この加工硬化の程度については表－ 7.4.1, および図－ 7.4.1 ～ 7.4.4 に明瞭に現れている。すなわち、母材の硬さは引張前に比べて引張後はかなり硬化している。それにとともに、脆性破面率は大きくなっている。

引張前に対する引張後の吸収エネルギー、脆性破面率の比は、図－ 7.5.8 のように、圧接面ではほぼ 1 近くであるが、母材部はかなり小さくなっている。しかしながら径が太くなるほど大きくなる傾向がある。

圧接部の衝撃特性は低下するが、引張後はあまり変化しない。一方、母材部の衝撃特性は著しく低下することから、引張前の圧接部に対して引張後の各部の衝撃特性がどの程度変化しているか比べたのが図－ 7.5.9 である。圧接部はほぼ 1 であるが、母材部は鉄筋が太くなるに従い大きくなっており、D38 はほぼ 1 に対し、D25 は 1 以下、D51 は 1 以上になっている。

引張試験を常温と－ 40℃で行った試験片の衝撃特性を比較したのが図－ 7.5.10 である。シャルピー試験を 0℃で行ったものであり、両者はほぼ同じである。

以上の衝撃特性の結果と、引張試験の結果を対比してみると、高速載荷試験（含む低温載荷）の結果との関連については、高速載荷試験の破断位置がほとんど母材部であったため、圧接部の衝撃特性との関連を見いだすことはできない。例えば、D51 の電炉材の圧接界面の衝撃特性は低いけれども、高速載荷試験で圧接界面で破断することはなかった。また、唯一 1 本のみであるが、圧接界面で破断したのは、D51 の高炉材であり、この圧接界面の衝撃特性は全般的に最も優れていたもので、これらの例から、高速載荷試験の破断様相には圧接部の衝撃特性は関与しないようである。

高速載荷試験の破断様相を見ると、母材破断も、圧接部の付け根での破断も、異形棒鋼特有の節の形状が機械的な切り欠きを形成することが、最も重要な因子となって破断したと思われる。

表-7.5.1 圧接後(引張試験前)のシャルピー衝撃試験結果(0℃)

鉄筋の種類		圧接の種類	試験位置		ノッチ形状	吸収エネルギー (J)	脆性破面率 (%)
径	材質		鉄筋	圧接			
D25	電炉	母材	1/4	—	U	73	63
					V	19	85
		標準圧接	1/4	圧接面	U	41	62
				HAZ	U	79	52
		押抜圧接	1/4	圧接面	U	35	70
				HAZ	U	98	42
D38	電炉	母材	1/4	—	U	83	55
					V	19	85
		標準圧接	表面	圧接面	U	23	90
			1/4	圧接面	U	25	73
				HAZ	U	80	52
			1/2	圧接面	U	22	92
		押抜圧接	表面	圧接面	U	21	92
			1/4	圧接面	U	22	77
				HAZ	U	77	53
			1/2	圧接面	U	26	90
D51	電炉	母材	1/4	—	U	78	62
					V	17	82
		標準圧接	表面	圧接面	U	11	95
			1/4	圧接面	U	9	95
				HAZ	U	22	90
			1/2	圧接面	U	7	95
D51	高炉	母材	1/4	—	U	172	18
					V	107	27
		標準圧接	表面	圧接面	U	34	87
			1/4	圧接面	U	58	72
				HAZ	U	121	45
			1/2	圧接面	U	53	72

吸収エネルギー

脆性破面率

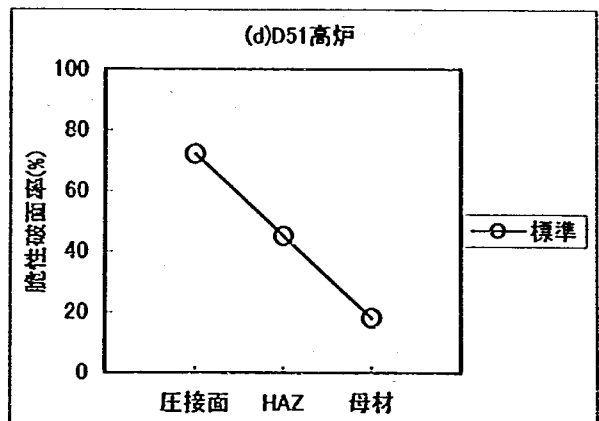
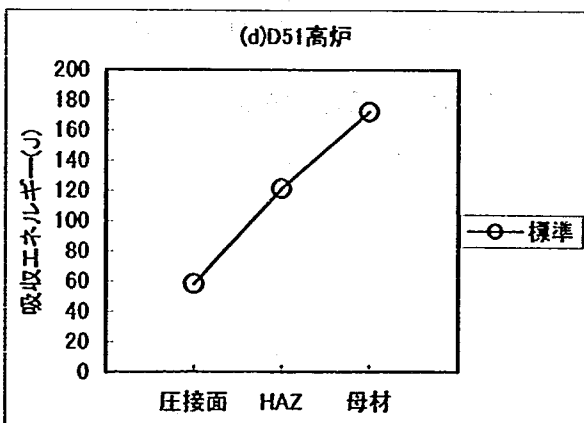
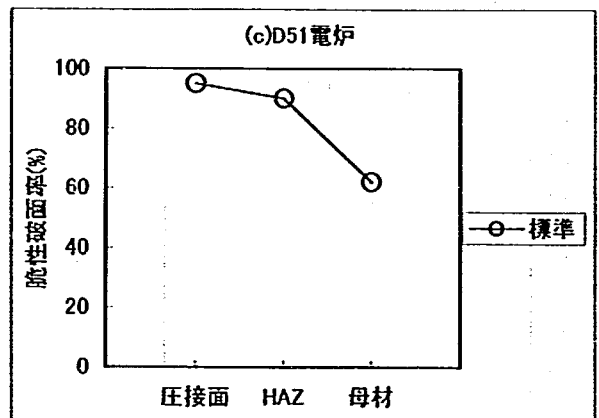
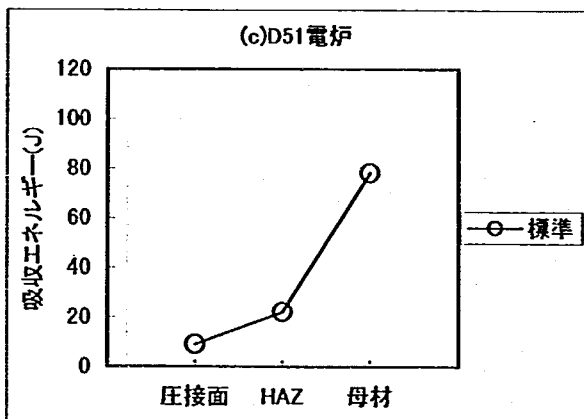
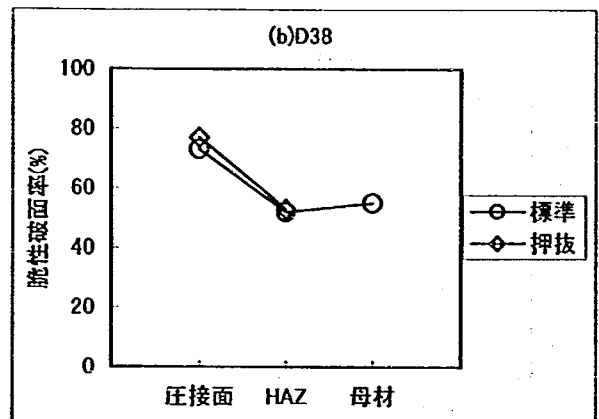
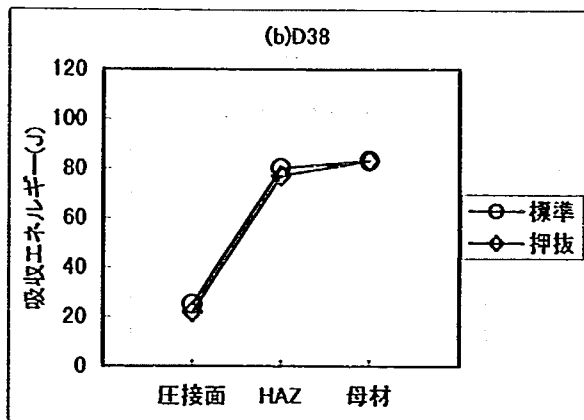
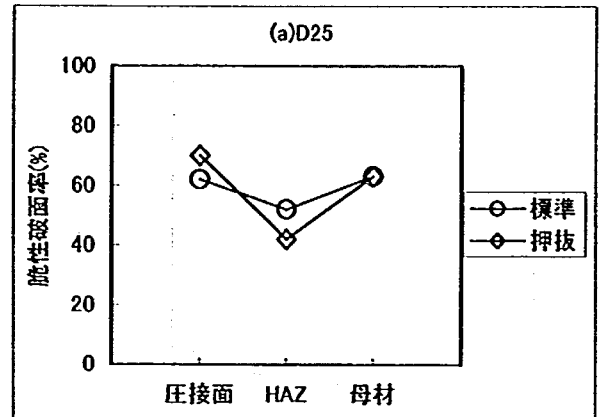
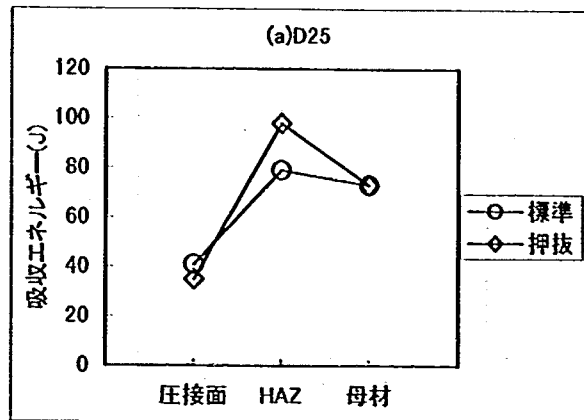


図-7.5.1 引張試験前の鉄筋軸方向の衝撃特性(0°C、1/4断面)

吸収エネルギー

脆性破面率

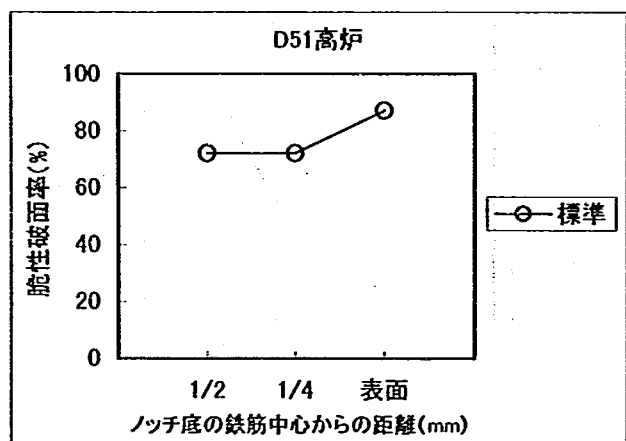
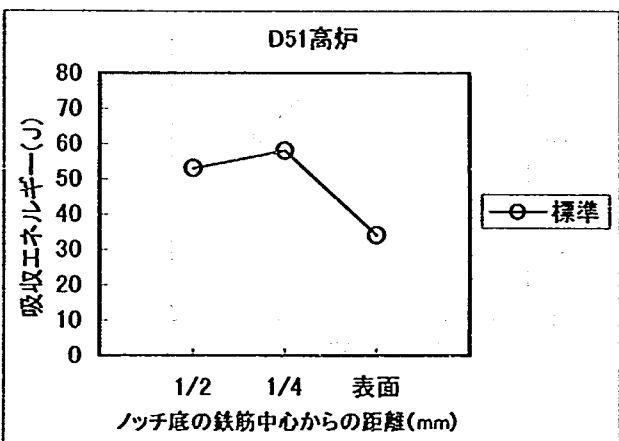
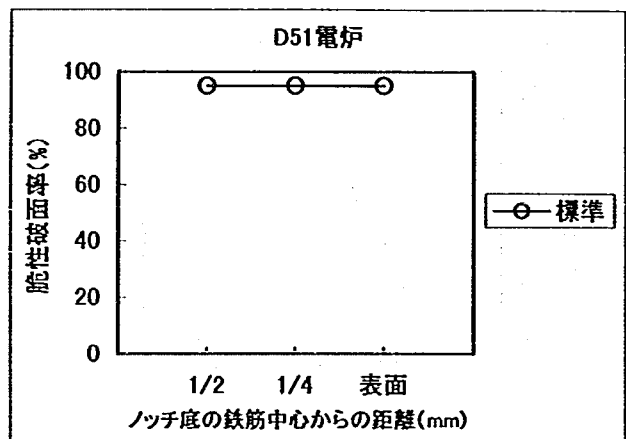
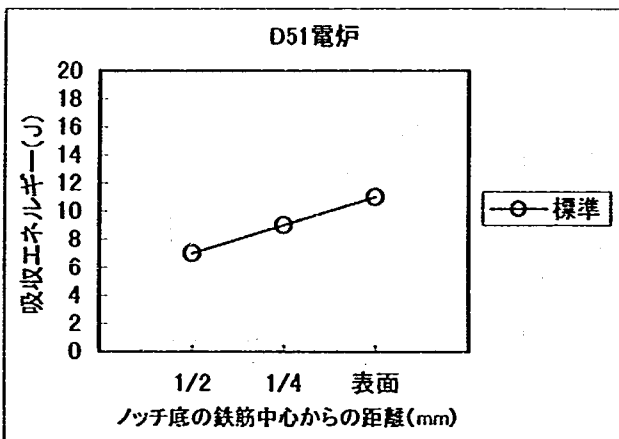
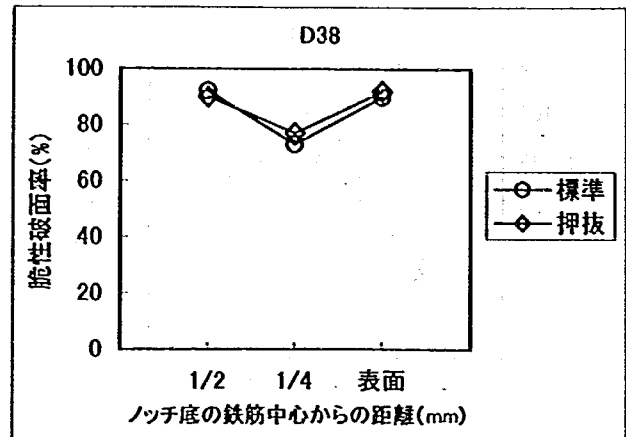
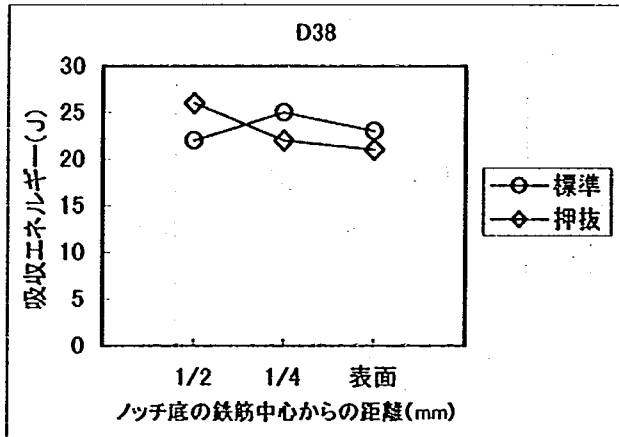
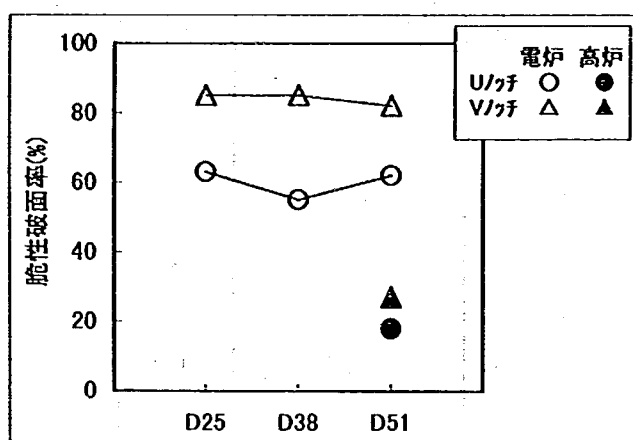
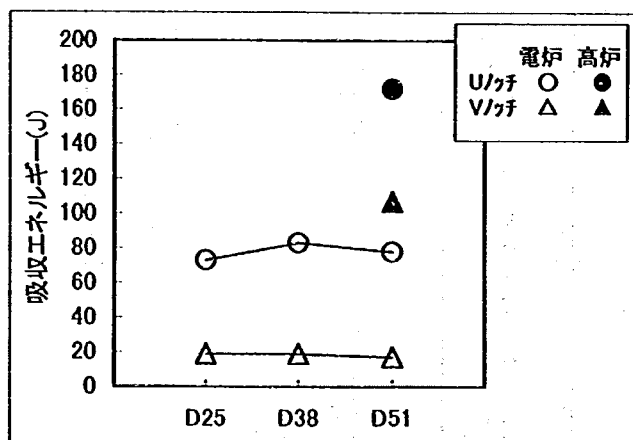


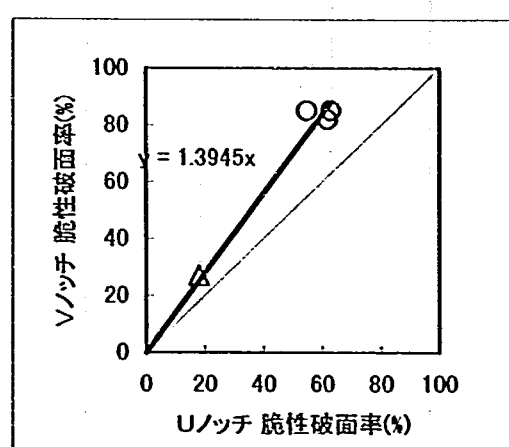
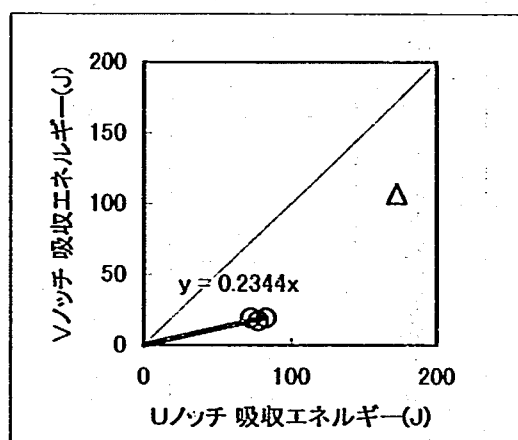
図-7.5.2 引張試験前の圧接界面の直径方向の衝撃特性(0°C)

吸収エネルギー

脆性破面率



(a) 鉄筋の種類ごとのUノッチとVノッチの比較



(b) UノッチとVノッチの比較

図-7.5.3 母材のUノッチとVノッチの比較

表-7.5.2 シャルピー温度変化結果(その1)

鉄筋の種類 径	鉄筋の材質	圧接の種類	試験位置		ノッチ 形状	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (J)	脆性破面率 (%)
			鉄筋	圧接				
D25	電炉	母材	1/4	-	U	-40	34	84
						-20	63	70
						0	73	63
						20	92	45
					V	-40	11	95
						-20	19	85
						0	33	62
						20	50	52
		標準圧接	1/4	圧接面	U	-20	22	87
						0	42	62
						20	43	58
						40	52	37
				HAZ	U	-40	38	83
						-20	70	63
						0	79	52
						20	92	42
		押抜圧接	1/4	圧接面	U	-20	22	90
						0	35	70
						20	24	70
						40	37	40
				HAZ	U	-40	46	78
						-20	58	70
						0	98	42
						20	109	30
D38	電炉	母材	1/4	-	U	-40	31	87
						-20	70	67
						0	83	55
						20	88	47
					V	-20	11	95
						0	19	85
						20	39	60
						40	51	48
		標準圧接	1/4	圧接面	U	-20	5	95
						0	25	73
						20	31	72
						40	45	50
				HAZ	U	-40	29	90
						-20	75	55
						0	80	52
						20	103	35
			表面	圧接面	U	0	23	90
						20	34	68
						40	36	58
						60	38	60
			1/2	圧接面	U	0	22	92
						20	40	70
						40	42	50
						60	50	52
				圧接面	U	-20	5	95
						0	22	77
						20	31	70
						40	34	50
		押抜圧接	1/4	HAZ	U	-40	40	85
						-20	70	58
						0	77	53
						20	106	30
			表面	圧接面	U	0	21	92
						20	30	68
						40	37	55
						60	48	43
			1/2	圧接面	U	0	26	90
						20	34	68
						40	29	58
						60	45	48

表-7.5.2 シャルピー温度変化結果(その2)

鉄筋の種類 径	鉄筋の材質	圧接の種類	試験位置		ノッチ 形状	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (J)	脆性破面率 (%)
			鉄筋	圧接				
D51	電炉	母材	1/4	-	U	-40	27	90
						-20	61	68
						0	78	62
						20	105	38
					V	-20	9	95
						0	17	82
						20	38	60
						40	63	47
		標準圧接	1/4	圧接面	U	-20	5	95
						0	9	95
						20	23	77
						40	83	42
				HAZ	U	-20	5	95
						0	22	90
						20	52	62
						40	83	42
			表面	圧接面	U	0	11	95
						20	18	88
						40	34	65
						60	37	72
			1/2	圧接面	U	0	7	95
						20	25	75
						40	48	58
						60	50	52
D51	高炉	母材	1/4	-	U	-40	126	45
						-20	158	25
						0	172	18
						20	189	15
					V	-40	56	68
						-20	88	43
						0	107	27
						20	155	15
		標準圧接	1/4	圧接面	U	-20	41	82
						0	58	72
						20	40	73
						40	79	50
				HAZ	U	-40	74	67
						-20	82	62
						0	121	45
						20	152	32
			表面	圧接面	U	0	34	87
						20	49	67
						40	55	53
						60	44	55
			1/2	圧接面	U	-20	21	90
						0	53	72
						20	53	68
						40	60	55

表-7.5.3 シャルピー衝撃試験による遷移曲線回帰結果

鉄筋の種類		圧接の種類	試験位置		ノッチ形状	吸収エネルギー				脆性破面率		
径	材質		鉄筋	圧接		a	vT _E	vEshelf	r	b	vTs	r
D25	電炉	母材	1/4	—	U	0.022	21.3	189	0.902	0.028	14.7	0.960
					V	0.036	39.4	98	0.964	0.041	38.5	0.967
		標準圧接	1/4	圧接面 HAZ	U	0.022	2.4	160	0.888	0.029	4.9	0.956
					U	0.075	-17.0	50	0.772	0.034	24.7	0.924
		押抜圧接	1/4	圧接面 HAZ	U	0.028	0.4	179	0.810	0.039	-3.9	0.903
					U	0.011	39.9	70	0.473	0.038	32.9	0.932
D38	電炉	母材	1/4	—	U	0.025	-2.5	150	0.847	0.029	11.0	0.922
					V	0.034	42.1	110	0.957	0.044	35.5	0.968
		標準圧接	表面	圧接面	U	0.014	39.6	70	0.563	0.022	68.1	0.830
			1/4	圧接面	U	0.033	39.2	90	0.947	0.035	40.9	0.935
				HAZ	U	0.077	-30.1	100	0.888	0.034	-0.7	0.868
			1/2	圧接面	U	0.023	34.1	80	0.890	0.031	54.9	0.890
		押抜圧接	表面	圧接面	U	0.024	43.7	80	0.847	0.035	49.0	0.947
			1/4	圧接面	U	0.104	-4.7	35	0.929	0.038	40.0	0.965
				HAZ	U	0.025	1.7	170	0.899	0.037	-1.7	0.899
			1/2	圧接面	U	0.014	67.7	89	0.744	0.031	54.4	0.942
D51	電炉	母材	1/4	—	U	0.034	0.3	160	0.974	0.038	8.4	0.969
					V	0.048	33.7	110	0.995	0.043	34.2	0.974
		標準圧接	表面	圧接面	U	0.035	40.8	60	0.868	0.026	87.0	0.802
			1/4	圧接面	U	0.071	54.8	317	0.994	0.076	35.6	0.993
				HAZ	U	0.057	27.4	126	0.936	0.056	32.3	0.972
			1/2	圧接面	U	0.096	20.3	53	0.980	0.035	57.7	0.931
D51	高炉	母材	1/4	—	U	0.035	-55.5	200	0.904	0.029	-50.4	0.895
					V	0.030	-3.6	222	0.826	0.043	-24.0	0.957
		標準圧接	表面	圧接面	U	0.007	55.8	100	0.269	0.023	58.6	0.844
			1/4	圧接面	U	0.018	11.0	110	0.438	0.024	46.7	0.788
				HAZ	U	0.024	0.2	241	0.801	0.026	-7.7	0.848
			1/2	圧接面	U	0.021	29.3	117	0.808	0.027	45.6	0.938

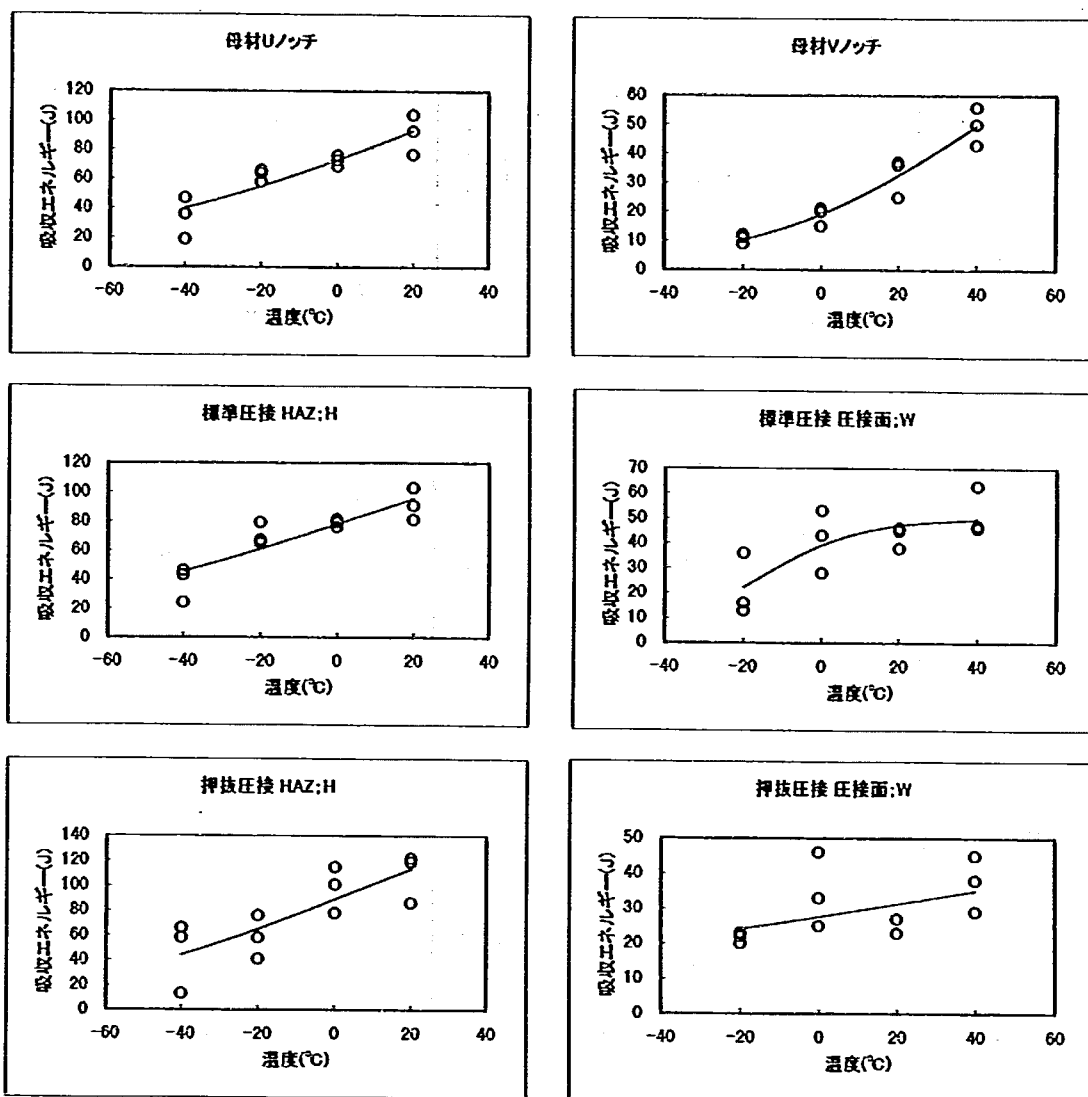
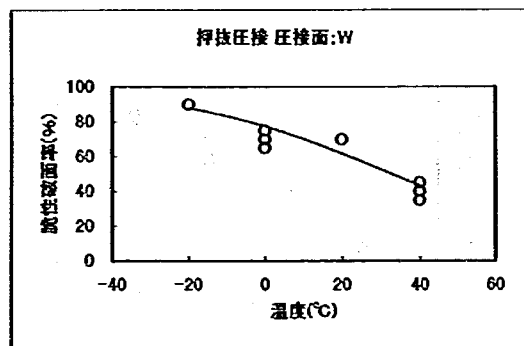
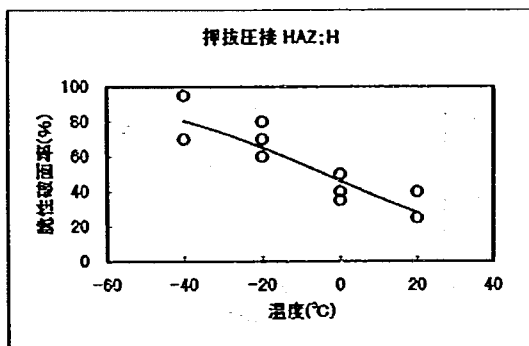
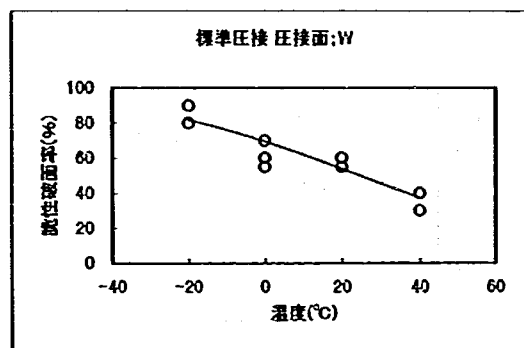
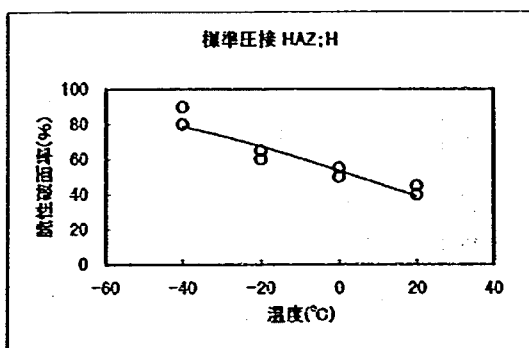
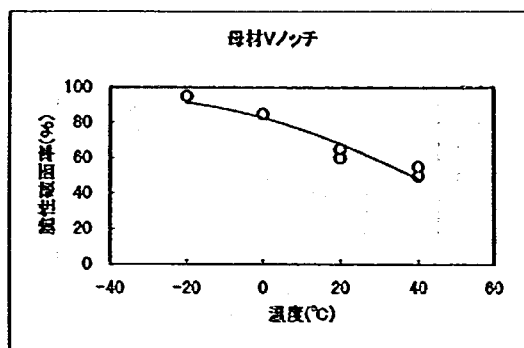
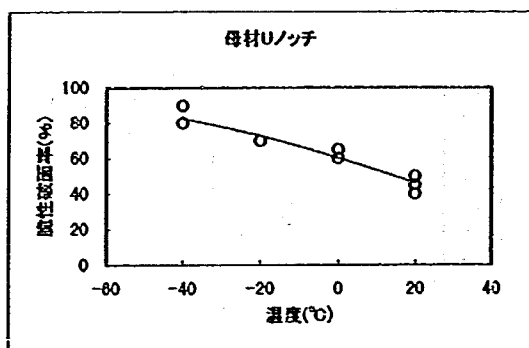


図-7.5.4 シャルピー遷移曲線 (その1-1 ; D25, 吸収エネルギー)



図一7.5.4 シャルピー遷移曲線 (その1-2; D25, 脆性破面率)

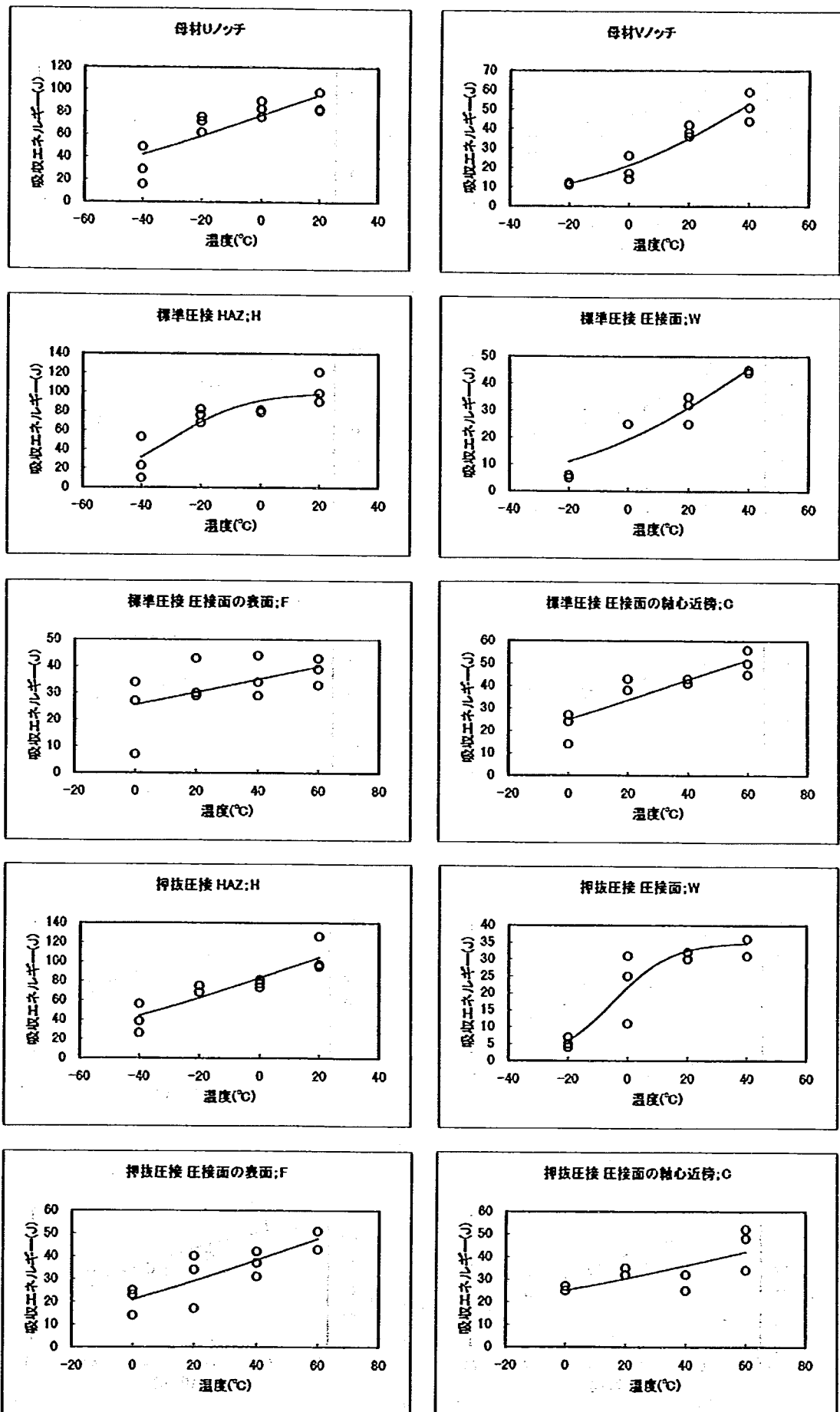


図-7.5.4 シャルピー遷移曲線 (その2-1; D38, 吸収エネルギー)

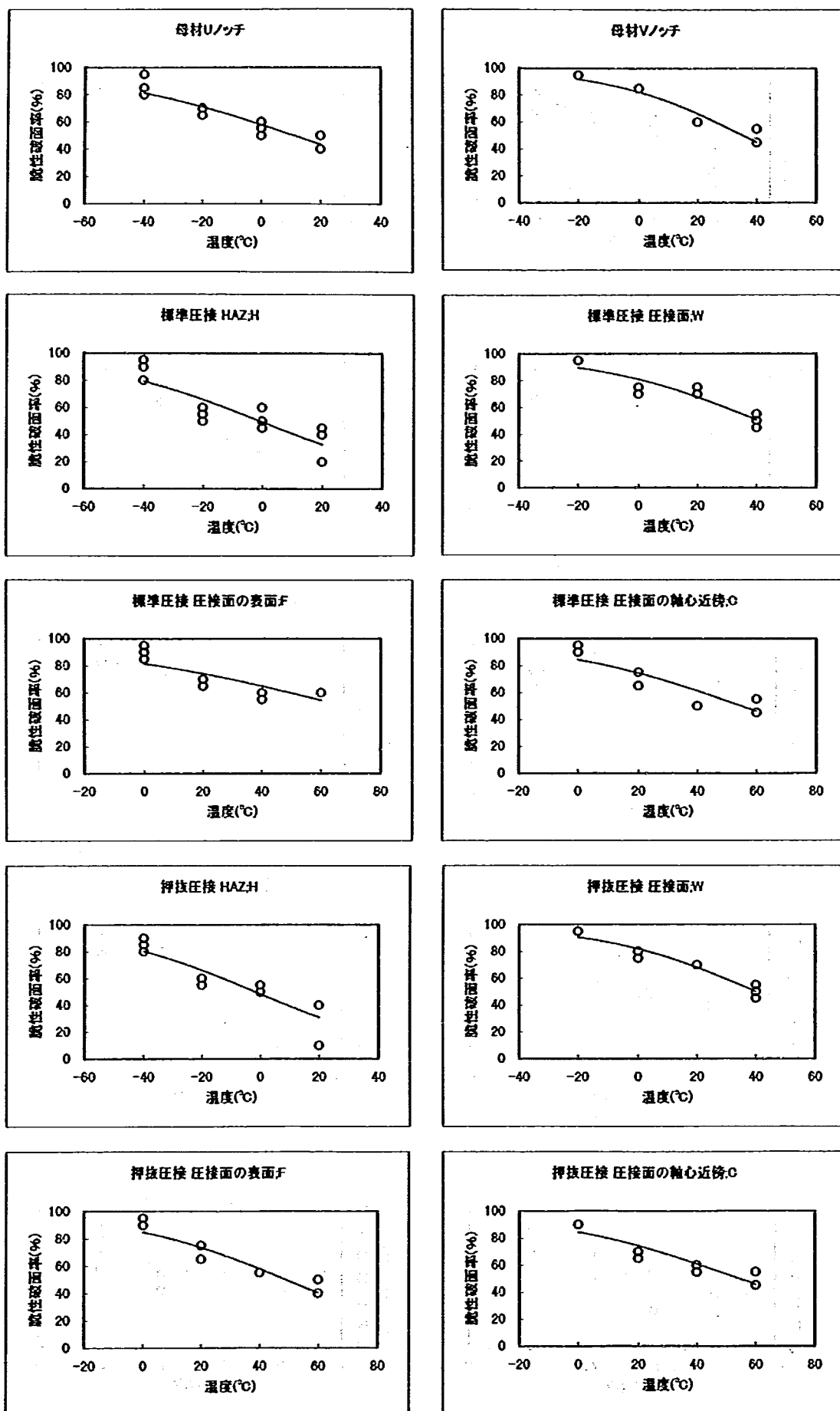


図-7.5.4 シャルピー遷移曲線（その2-2；D38, 脆性破面率）

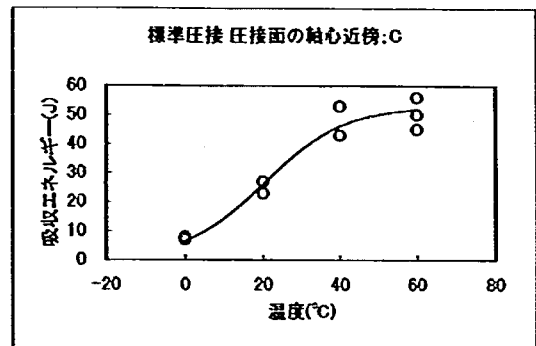
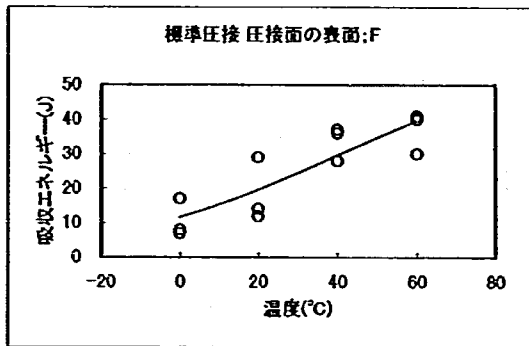
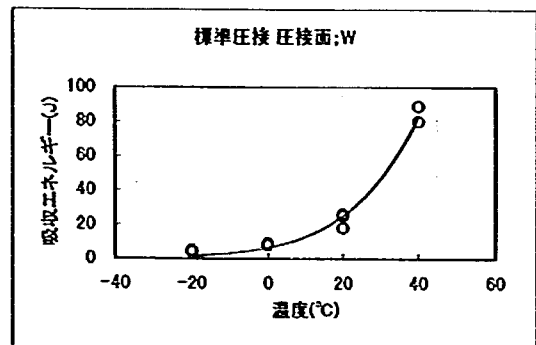
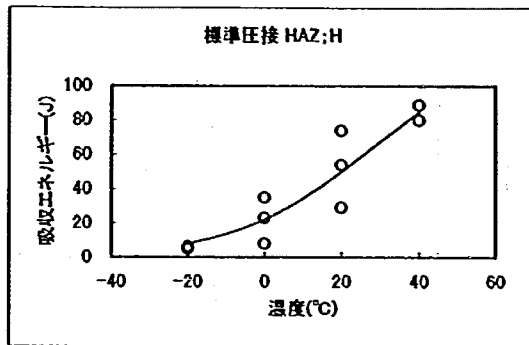
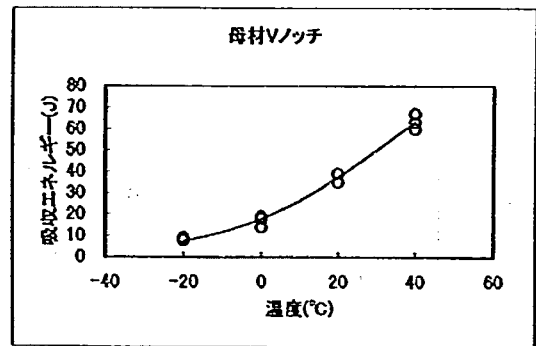
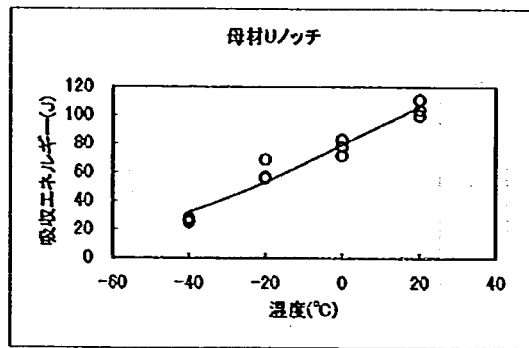


図-7.5.4 シャルピー遷移曲線 (その3-1 ; D51電炉, 吸収エネルギー)

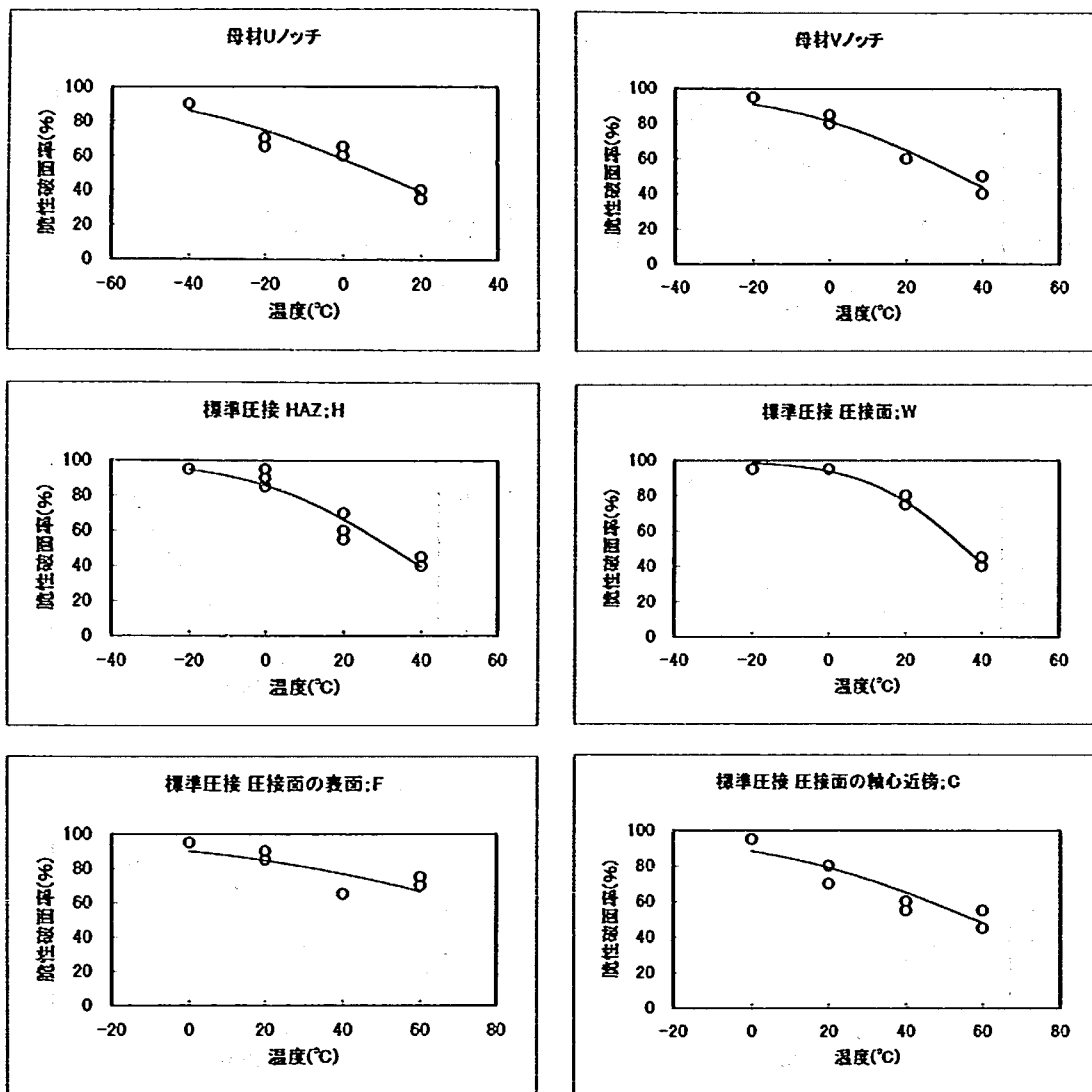


図-7.5.4 シャルピー遷移曲線 (その3-2 ; D51電炉, 脆性破面率)

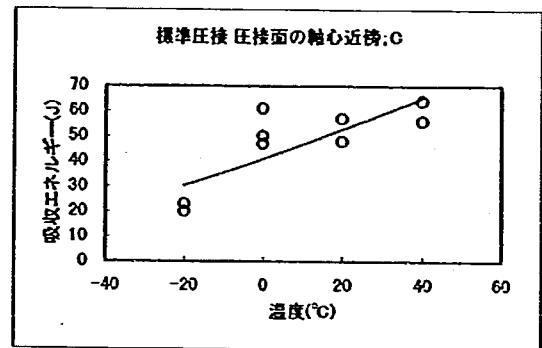
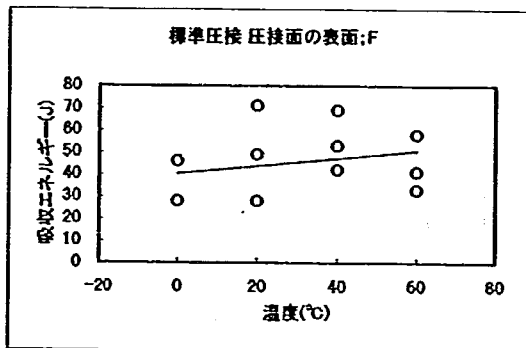
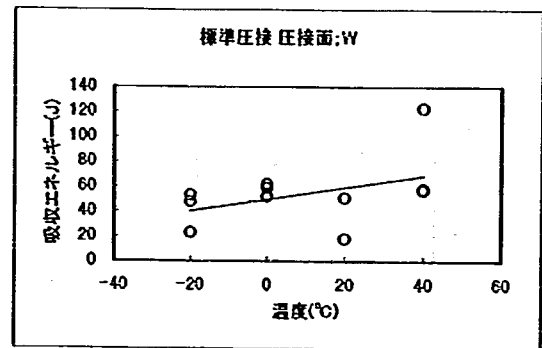
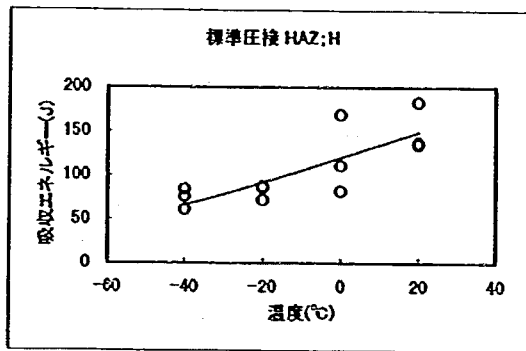
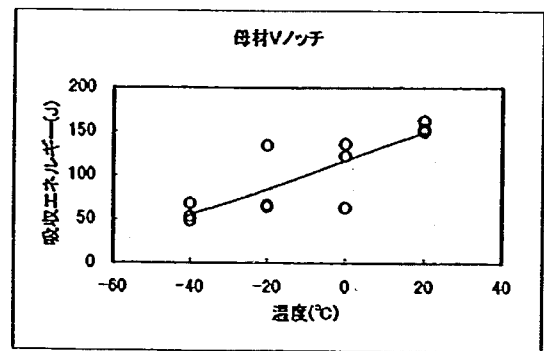
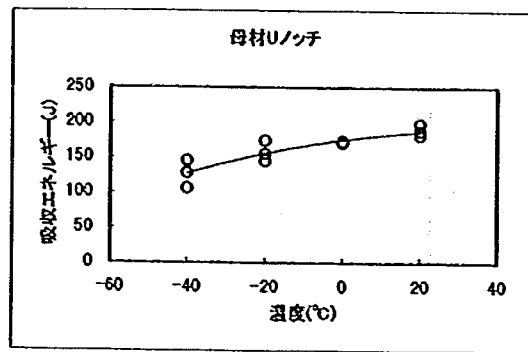


図-7.5.4 シャルピー遷移曲線 (その4-1; D51高炉, 吸収エネルギー)

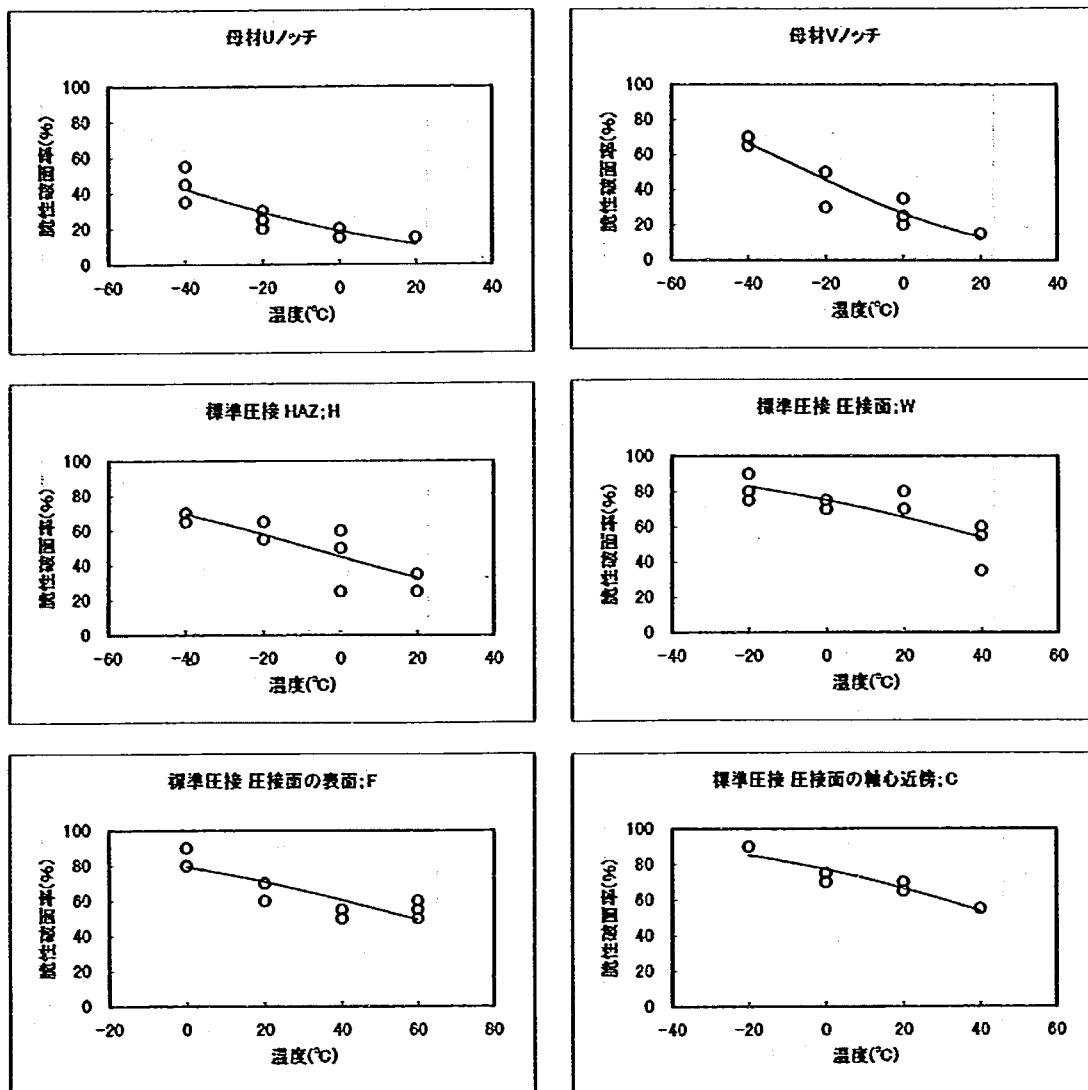
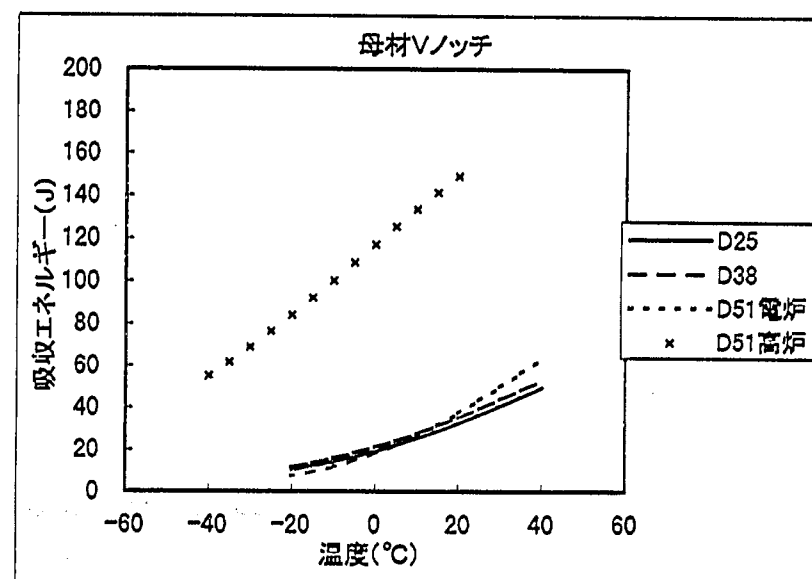
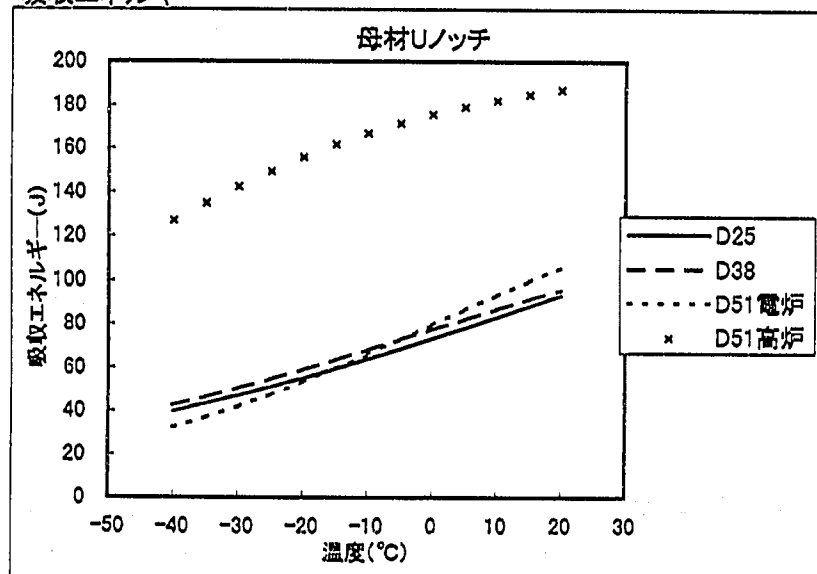


図-7.5.4 シャルピー遷移曲線（その4-2 ; D51高炉, 脆性破面率）

母材(D25, D38, D51電炉, D51高炉) Uノッチ・Vノッチ
吸収エネルギー



脆性破面率

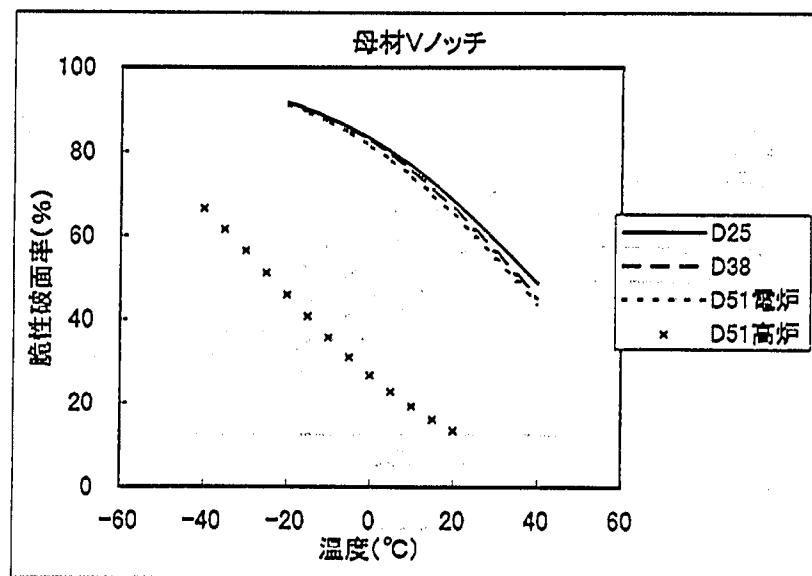
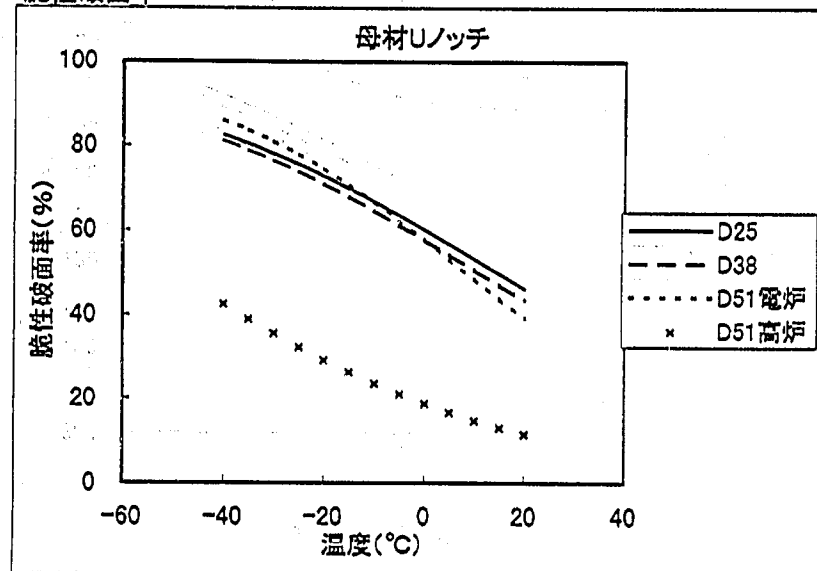
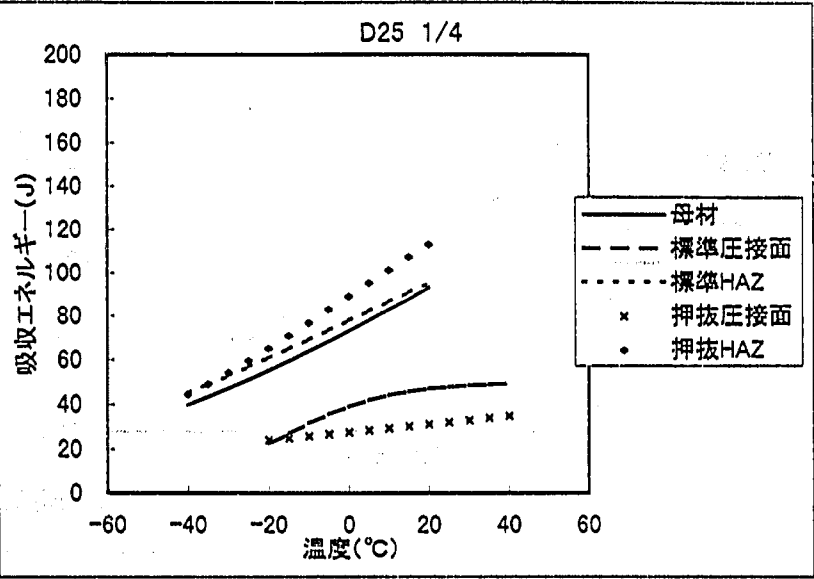


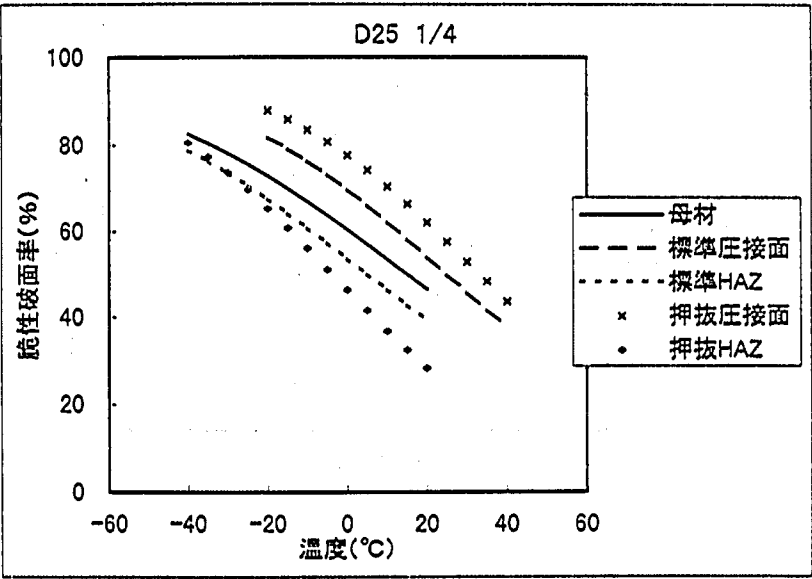
図-7.5.5 鉄筋の種類と遷移曲線(その1:母材)

D25 1/4 母材, 標準の圧接面, HAZ, 押抜の圧接面, HAZ

吸収エネルギー

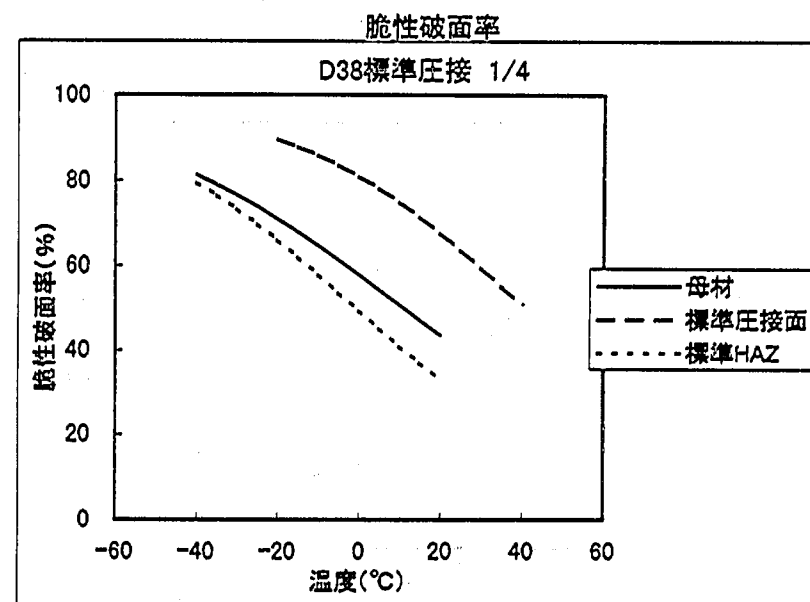
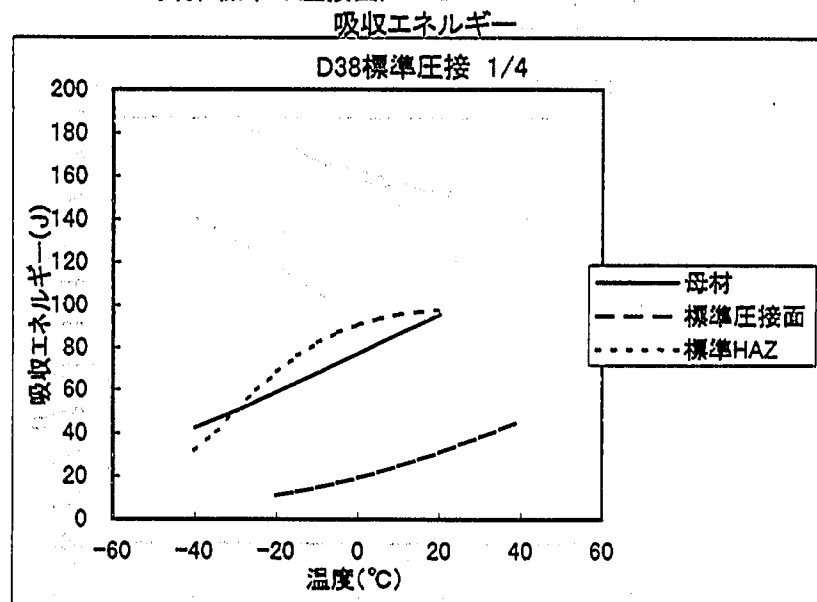


脆性破面率

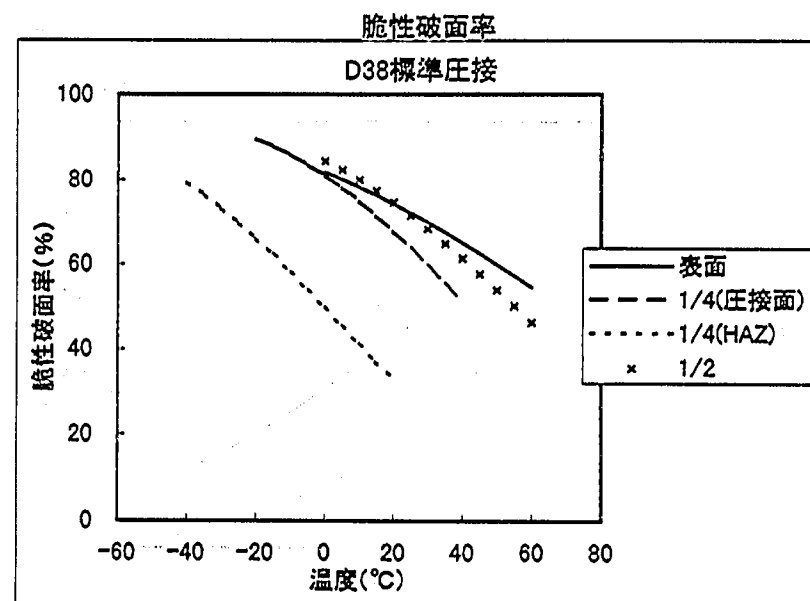
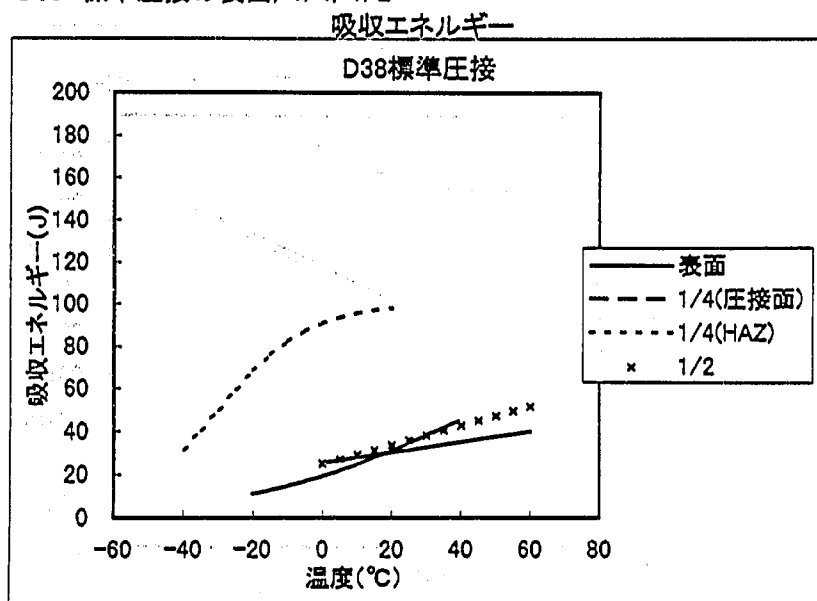


図一7.5.5 鉄筋の種類と遷移曲線(その2; D25)

D38 1/4 母材, 標準の圧接面, HAZ

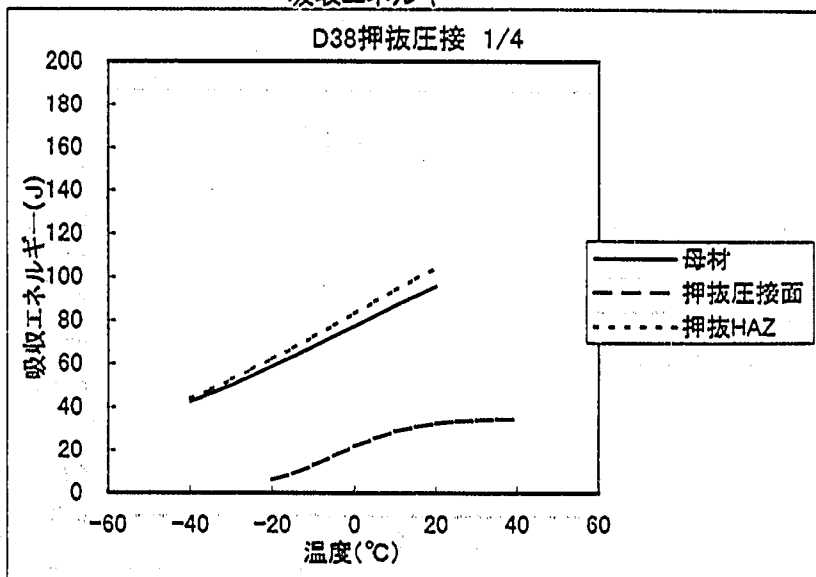


D38 標準圧接の表面, 1/4, 1/2

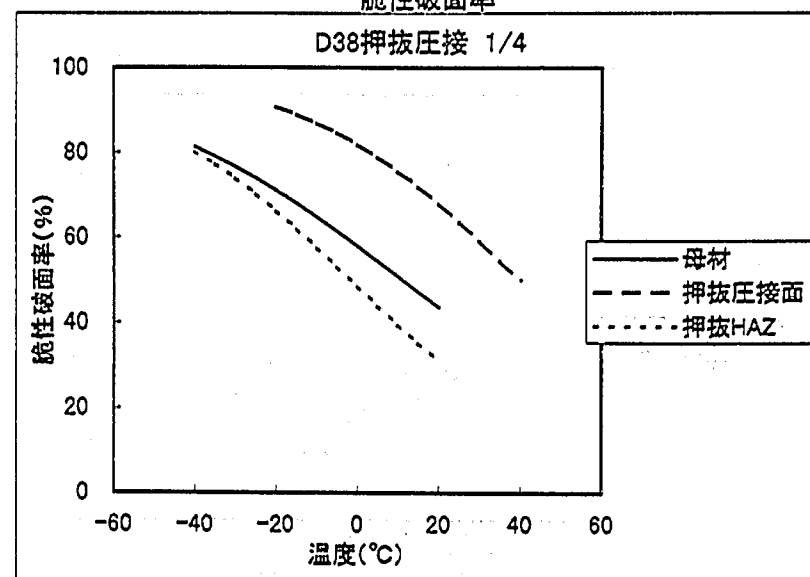


図一7.5.5 鉄筋の種類と遷移曲線(その3; D38, 標準圧接)

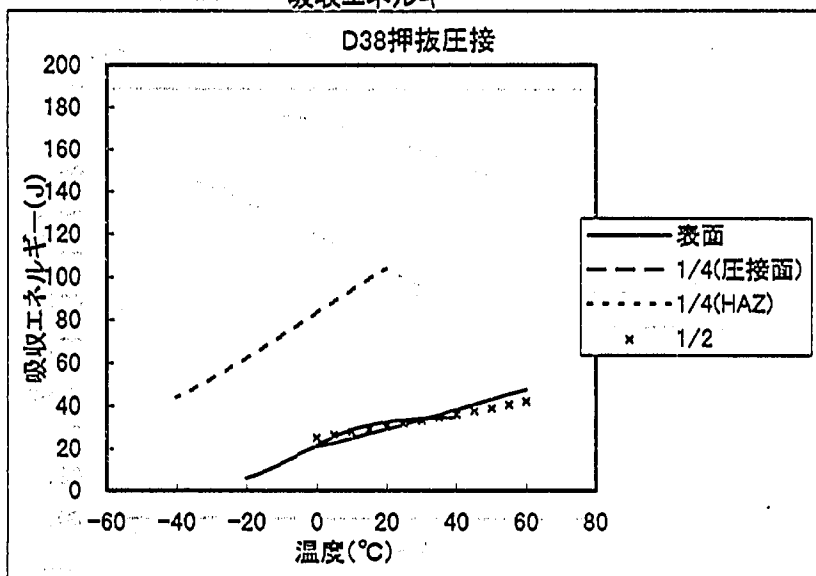
D38 1/4 母材, 押抜の圧接面, HAZ
吸収エネルギー



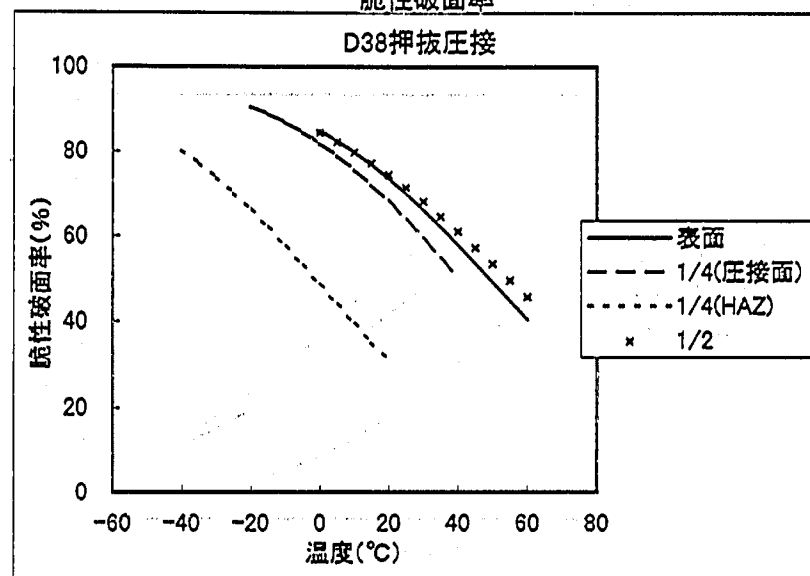
脆性破面率



D38 押抜圧接の表面, 1/4, 1/2
吸収エネルギー

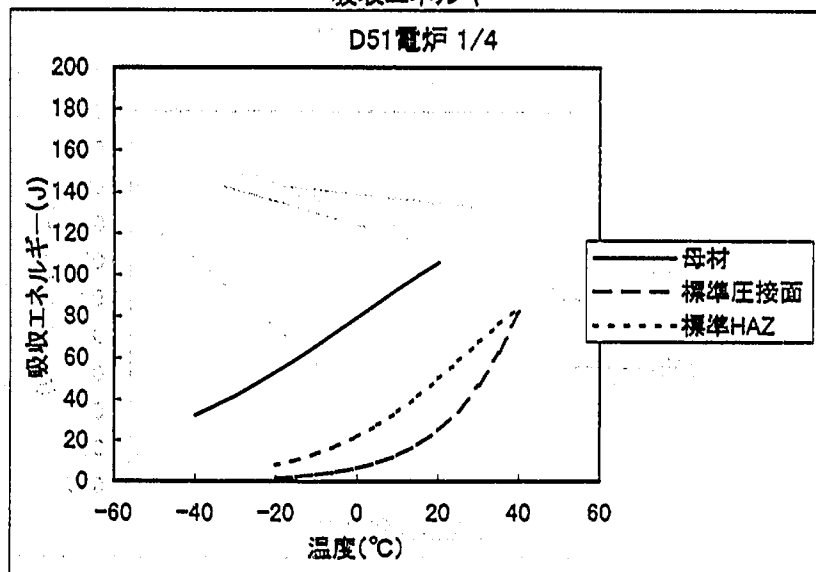


脆性破面率

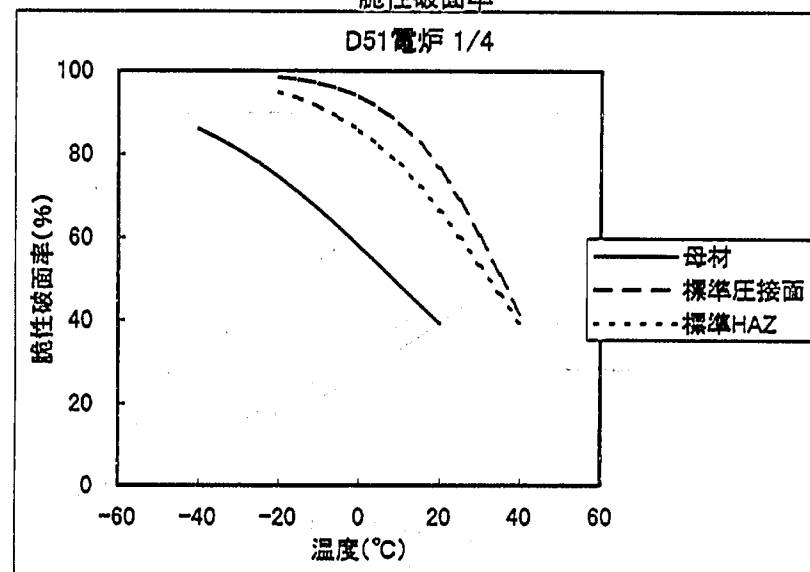


図一7.5.5 鉄筋の種類と遷移曲線(その4; D38, 押抜圧接)

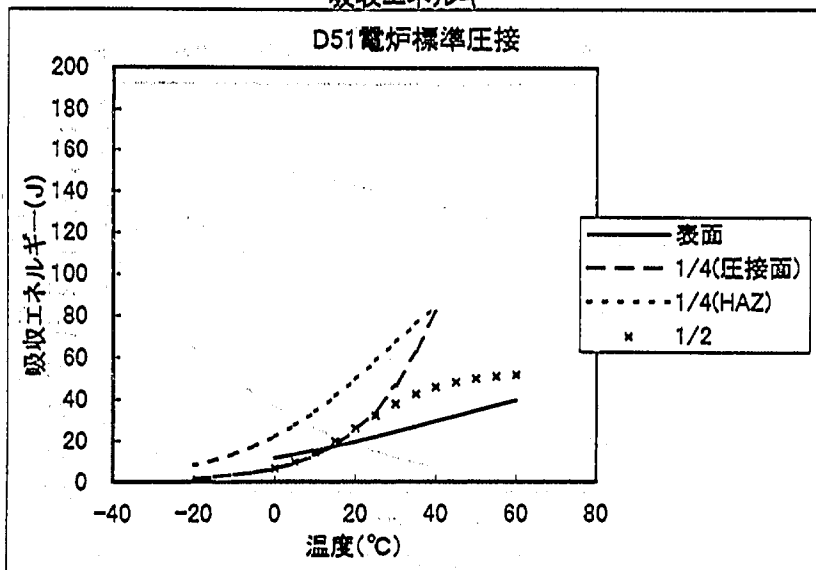
D51電炉 1/4 母材, 標準の圧接面, HAZ
吸収エネルギー



脆性破面率



D51電炉 標準圧接の表面, 1/4, 1/2
吸収エネルギー



脆性破面率

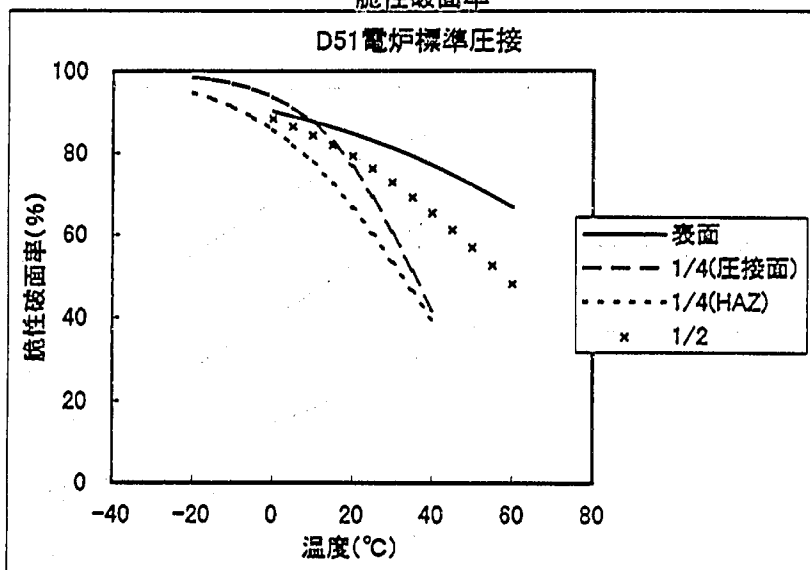
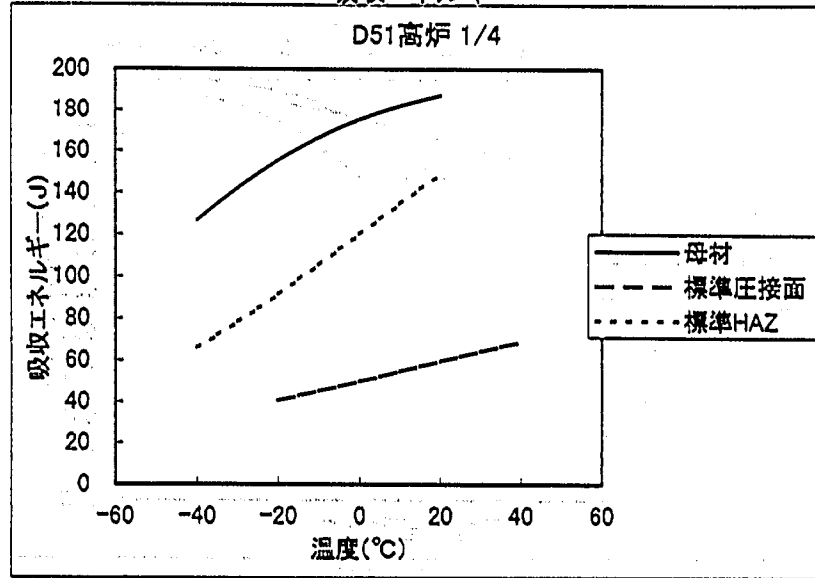
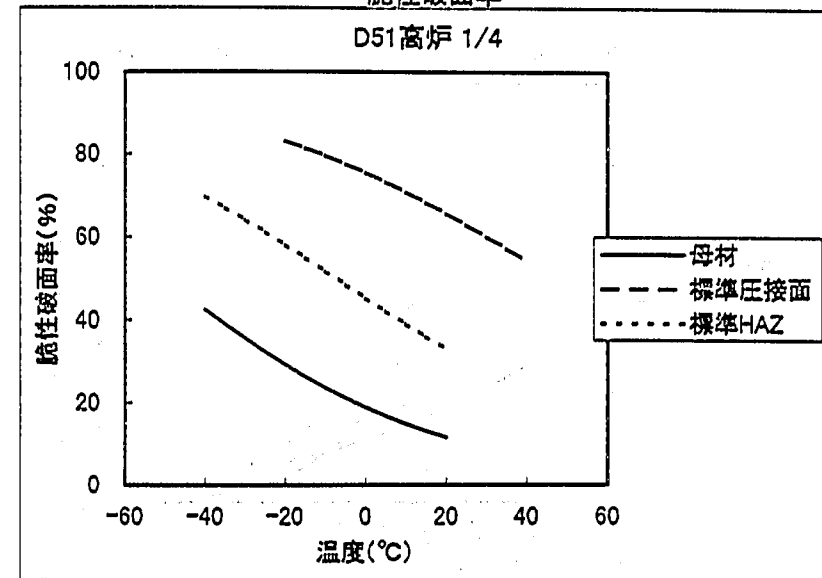


図-7.5.5 鉄筋の種類と遷移曲線(その5; D51電炉, 標準圧接)

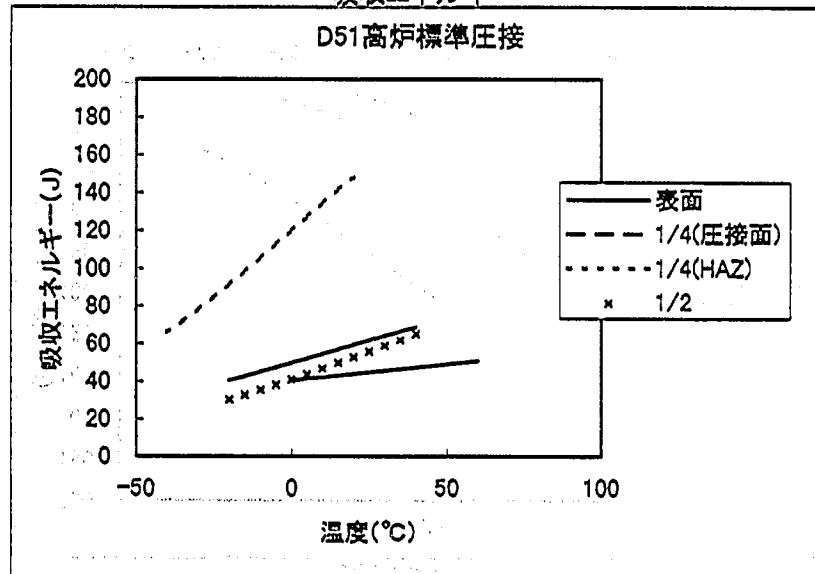
D51高炉 1/4 母材, 標準の圧接面, HAZ
吸収エネルギー



脆性破面率



D51高炉 標準圧接の表面, 1/4, 1/2
吸収エネルギー



脆性破面率

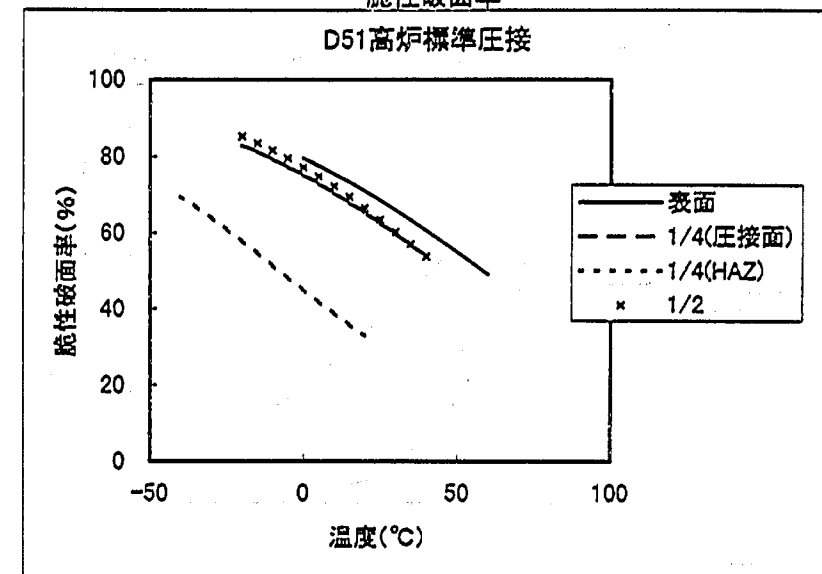
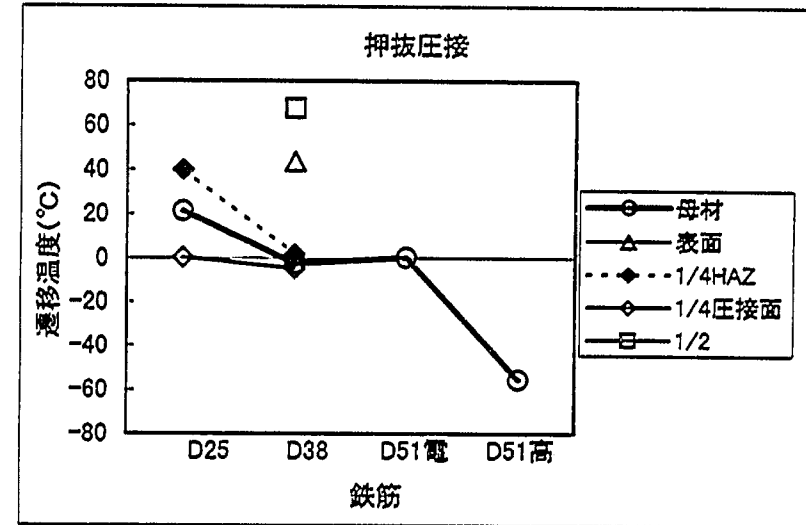
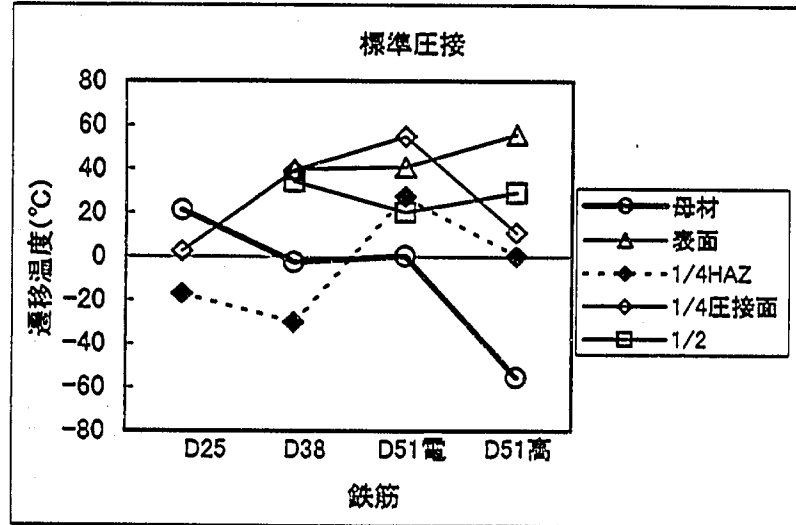


図-7.5.5 鉄筋の種類と遷移曲線(その6; D51高炉, 標準圧接)

エネルギー遷移温度 vTE



破面遷移温度 vTs

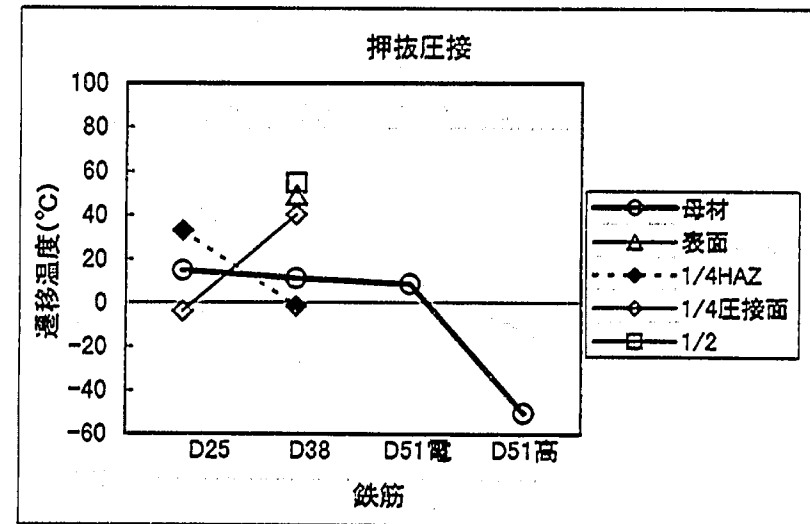
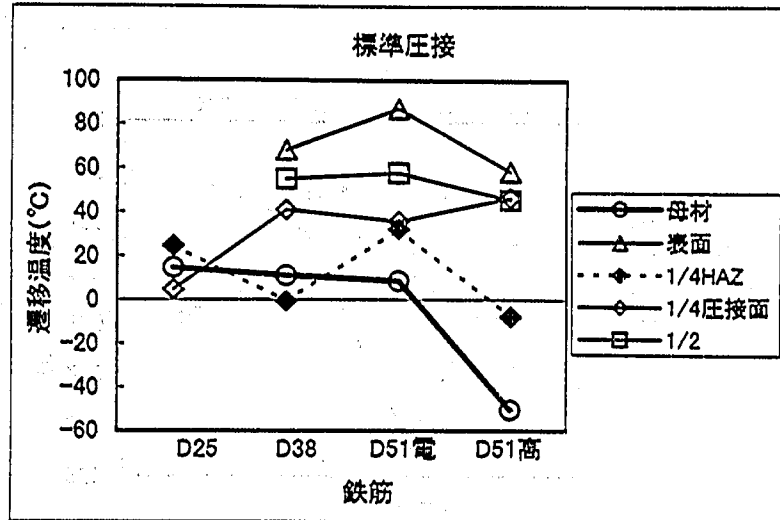


図-7.5.6 回帰係数の比較(その1;遷移温度)

上部棚エネルギー vEshelf

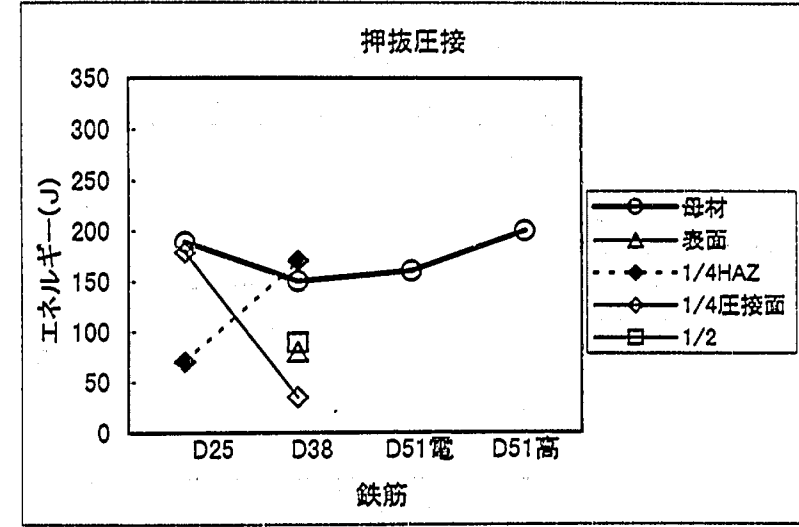
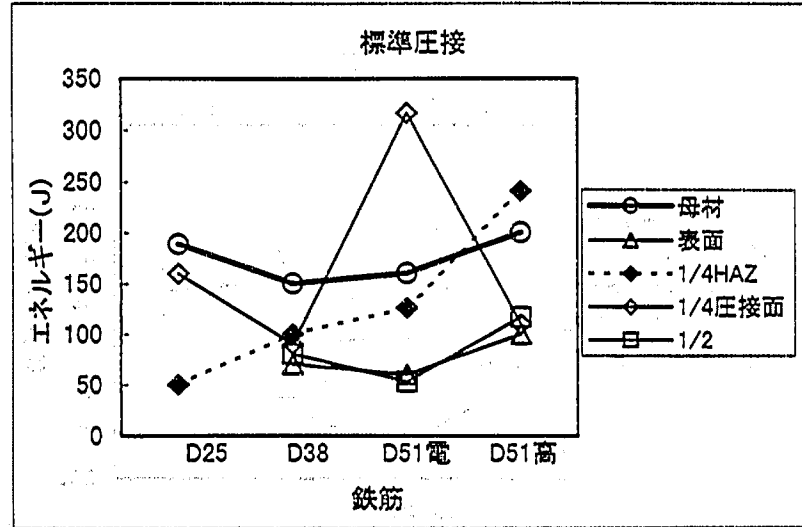


図-7.5.6 回帰係数の比較(その2;上部棚エネルギー)

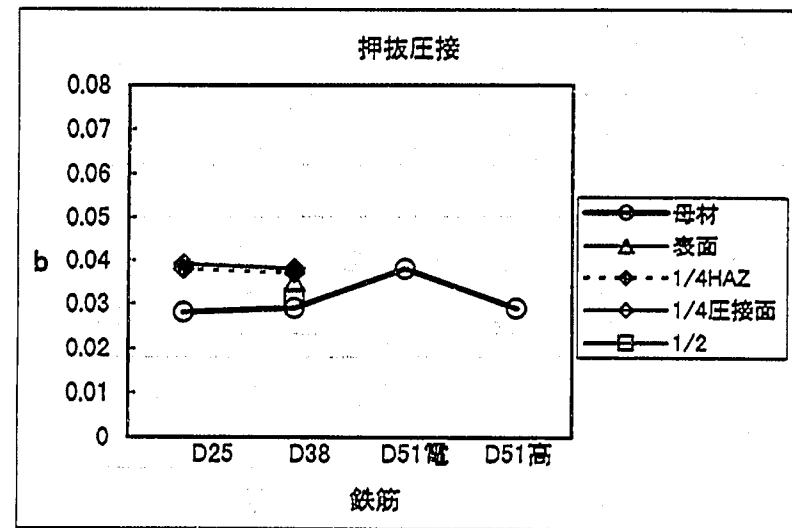
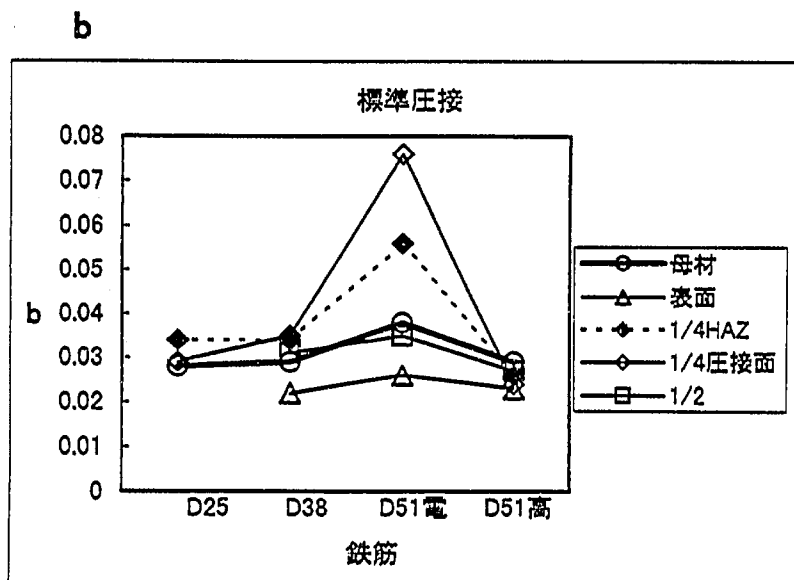
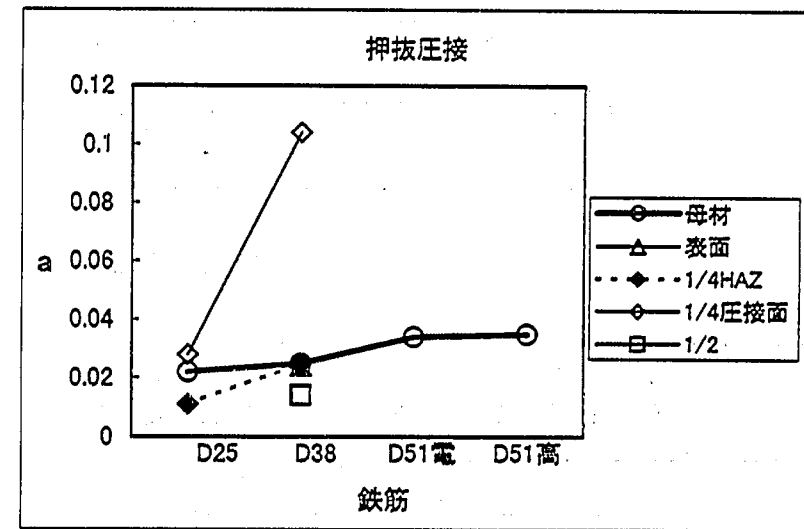
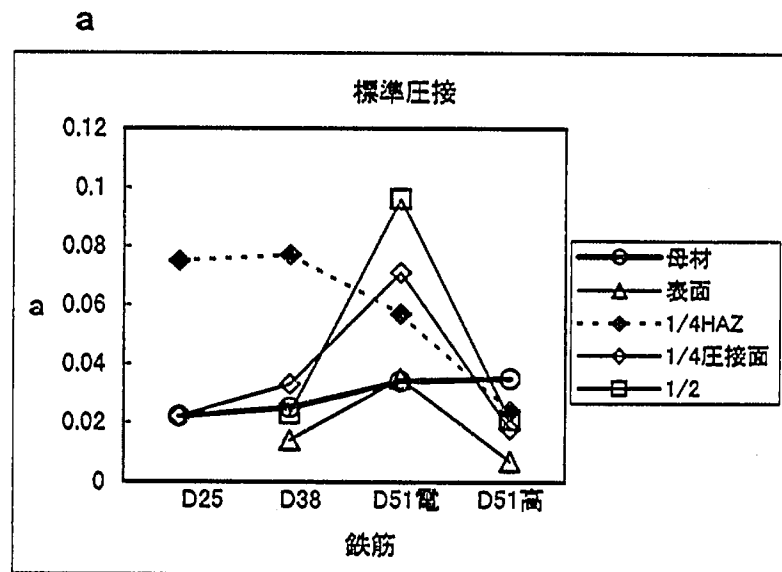


図-7.5.6 回帰係数の比較(その3; 回帰係数 a, b)

表-7.5.4 引張試験後のシャルピー衝撃試験結果(0℃)

鉄筋の種類		圧接の種類	試験位置		ノッチ形状	引張条件	吸収エネルギー (J)	脆性破面率 (%)
径	材質		鉄筋	圧接		温度		
D25	電炉	母材	1/4	—	U	常温	12	95
						-40℃	13	95
		標準圧接	1/4	圧接面	U	常温	35	88
						-40℃	34	88
		押抜圧接	1/4	圧接面	U	常温	28	93
						-40℃	25	93
D38	電炉	母材	1/4	—	U	常温	18	95
		標準圧接	1/4	圧接面	U	常温	27	88
		押抜圧接	1/4	圧接面	U	常温	19	95
D51	電炉	母材	1/4	—	U	常温	30	88
		標準圧接	1/4	圧接面	U	常温	8	95
D51	高炉	母材	1/4	—	U	常温	141	17
		標準圧接	1/4	圧接面	U	常温	42	87

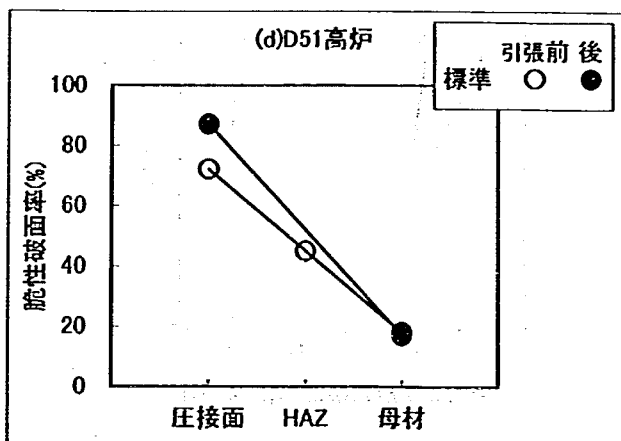
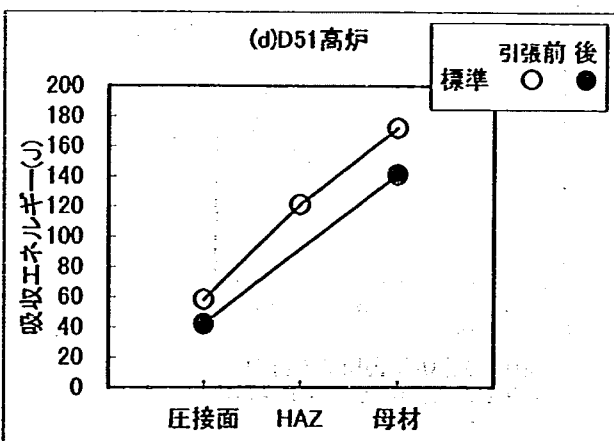
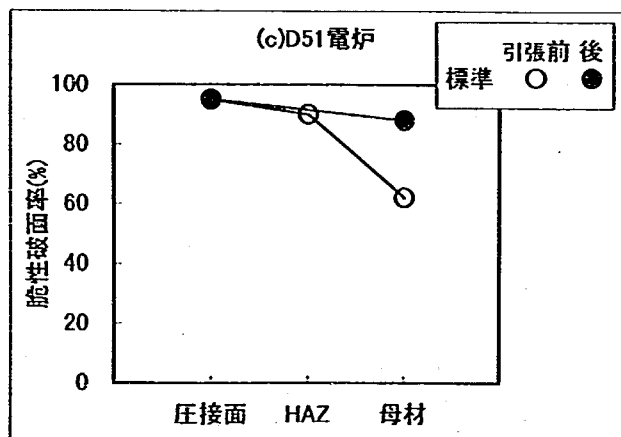
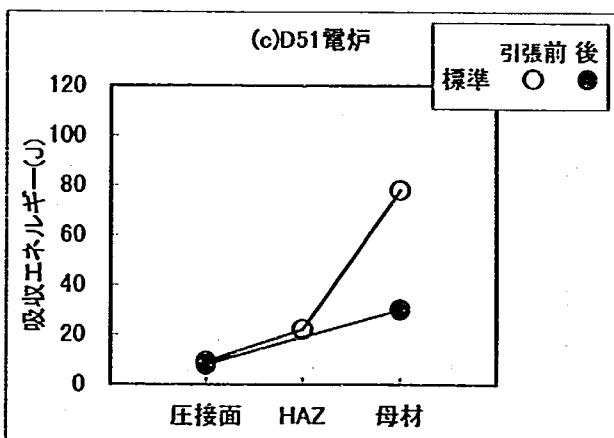
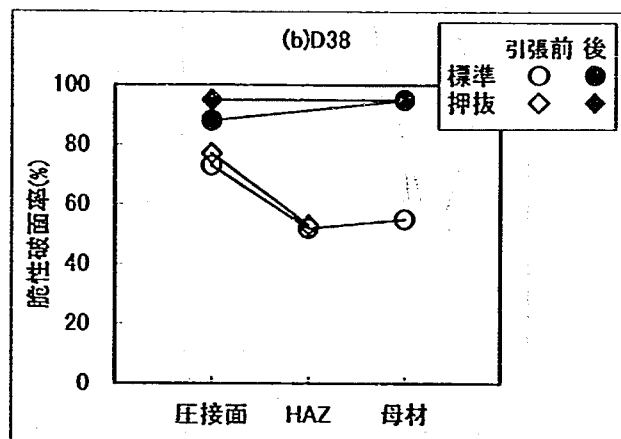
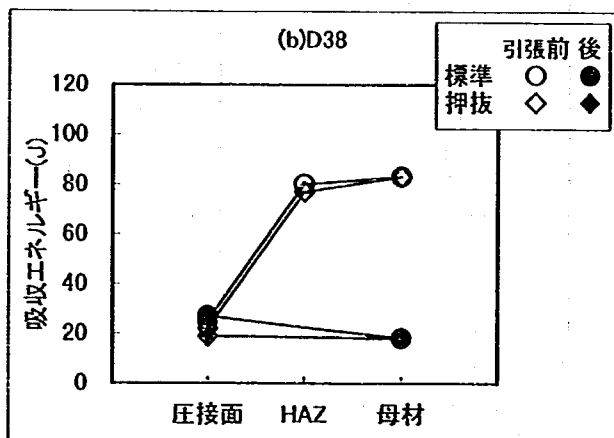
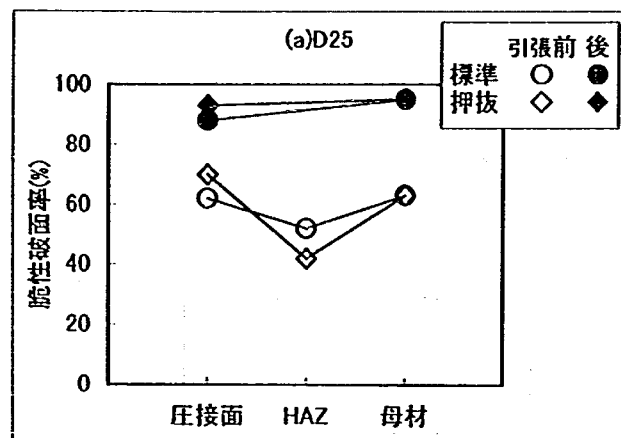
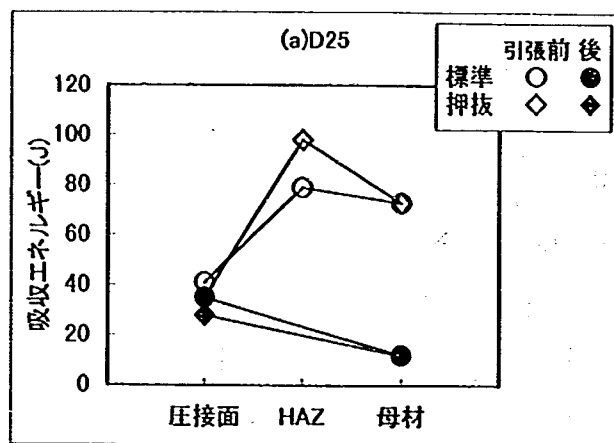


図-7.5.7 引張前・後の衝撃特性の比較(0°C)

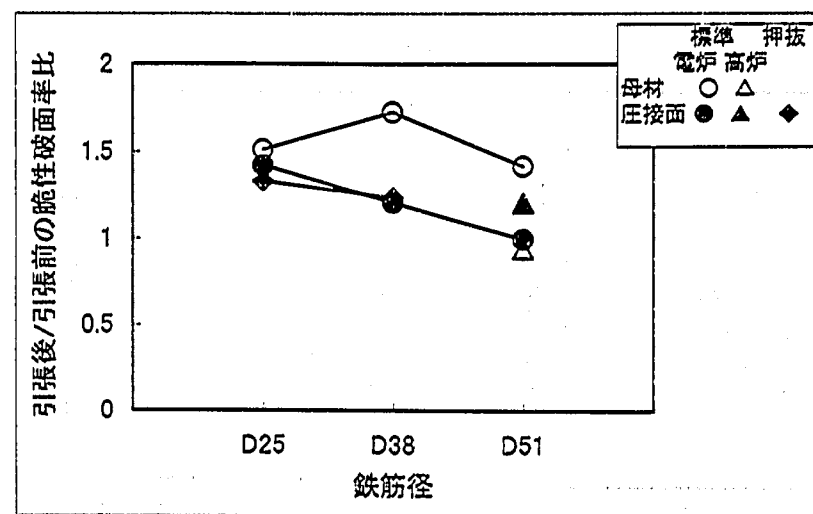
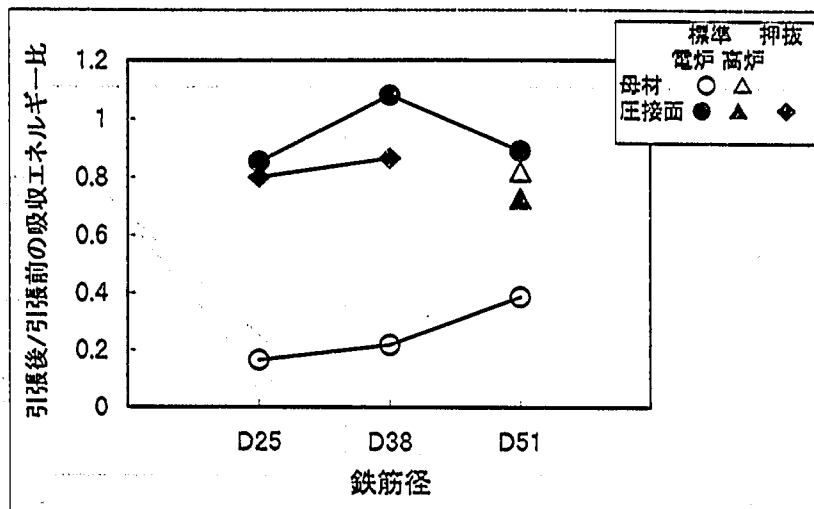


図-7.5.8 引張前の衝撃特性に対する引張後の衝撃特性の比

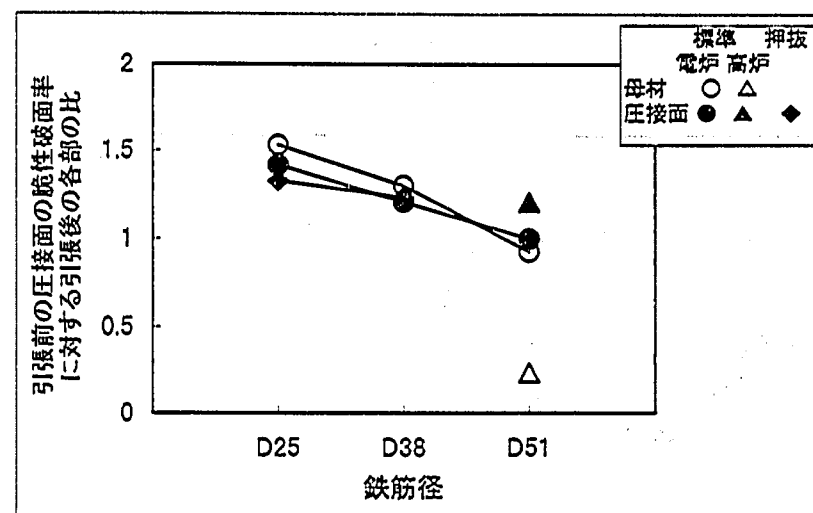
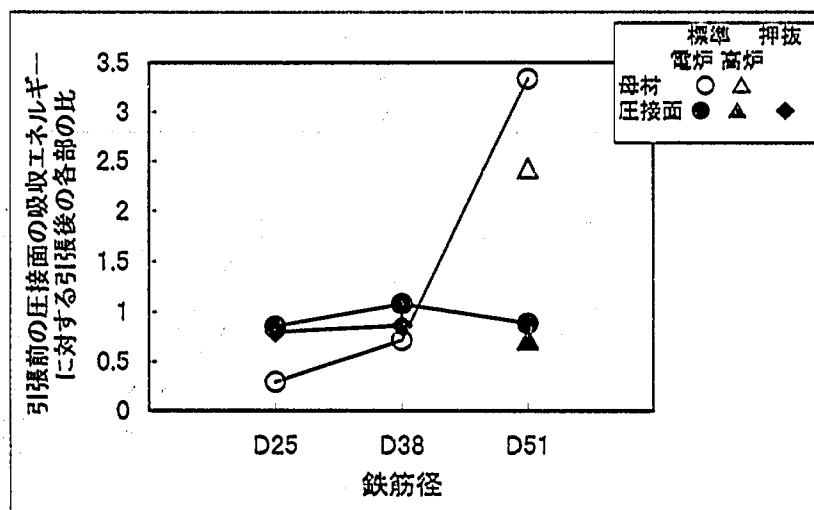


図-7.5.9 引張前の圧接面の衝撃特性に対する引張後の衝撃特性の比較

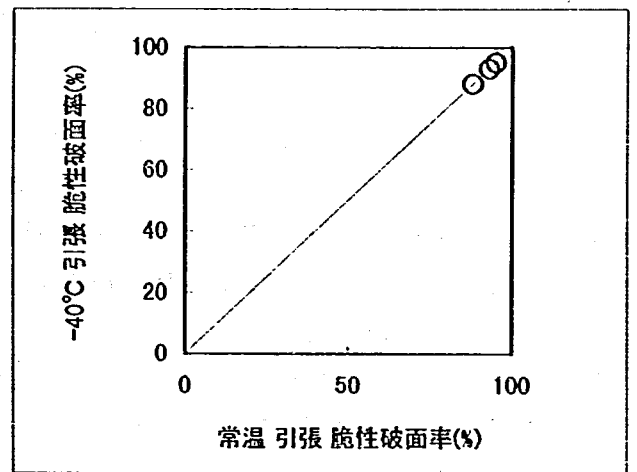
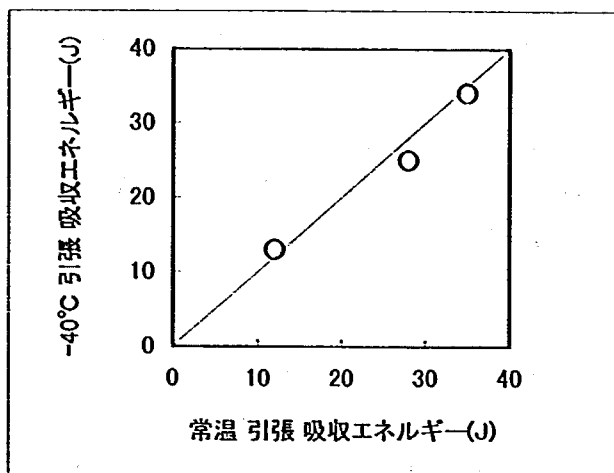


図-7.5.10 引張試験時の温度が異なる場合の衝撃特性の比較
(D25の常温と-40°C)

8. まとめ

標準圧接及び押抜圧接した鉄筋について、試験温度と載荷速度を変化させた引張試験、高ひずみ域での各種繰返し試験、引張と同時にせん断力を加えた複合載荷試験を行った。また、引張試験前・後において圧接部の顕微鏡によるマクロ、ミクロ観察、ビッカース硬さ試験、シャルピー衝撃試験など金属学的調査を行い、以下のことが明らかになった。

1) 温度・載荷速度の影響

- ① 常温において地震時に考えられるひずみ速度程度の引張試験を行った結果、強度は増加した。この際、圧接部で破断することはなかった。
- ② 試験温度を0～-40℃まで下げて引張試験を行った結果、標準圧接については、D51高炉材において0℃の引張で1本圧接界面で破断し、2本が-40℃の引張の時圧接付根部で破断した。また、押抜圧接については、-40℃の試験において、D51高炉材が2本、電炉材が1本圧接付根部で破断した。それらの強度もほぼ引張強さまで達しており、概ね良好な結果であった。母材部で破断したものは全く問題なかった。
- ③ 圧接部が破断した原因は、圧接界面の場合は外周部にフラット破面が形成されていたためである。圧接付根部の場合はふくらみと節によって切り欠き形状が形成されたためである。

2) 経時変化の影響

圧接後17ヶ月後の引張試験の結果、試験時期の違いによる温度変化を補正することにより、経時変化の影響は見られなかった。

3) 高ひずみ繰返しの影響

塑性域の正負漸増繰返し載荷を行うことにより多少の強度低下などがみられたものの、規格値などは十分満足しており、問題なかった。

4) 複合載荷の影響

せん断力を作用させた状態で引張試験を行った場合も強度、変形性などは、無作用時と同じであった。

5) 金属学的調査

- ① 顕微鏡観察の結果、適切な条件で圧接が行われていれば圧接面がわからないほどよく接合していた。
- ② 引張試験前・後の硬さ分布を比較すると、試験前は母材より圧接部が硬化しているという通常の硬さ分布を示した。試験後は、圧接部はほとんど変化はなかったが、母材部が逆に硬化していた。
- ③ シャルピー試験結果も引張試験前・後で比較すると、試験前の圧接部は母材よりも脆化した。しかし、試験後の圧接部はほとんど変化しないのに対し、母材部は脆化していた。この傾向は鉄筋径が細いほど著しかった。
- ④ シャルピー試験を温度を変化させた場合についても行い、遷移温度を求めた。高炉材は電炉材に比べて遷移温度が低く、耐衝撃性に優れた材料であった。しかしながら、1)②のように低温・高速引張試験の結果との関係は見い出せなかった。むしろ、節の形状にともなう切り欠き形状の形成のしやすさに関係するものと考察された。
- ⑤ ①～③の結果から、圧接部は断面が大きくなっているため引張による塑性の影響を受けにくい

ものと考えられる。そのため、載荷を受けた後、圧接部全体の耐衝撃性はほとんど低下しない。

6) 今後の検討課題

以上の結果より、ガス圧接継手は適切に施工すれば地震時に想定される荷重条件に十分耐えることができるものと考えられる。しかしながら、今回試験した圧接鉄筋358本中に引張試験で1本、外観観察や超音波探傷試験では良好であったものが界面で破断した。前報でも、700本中1本が曲げ試験で圧接界面から破断した。いずれもフラット破面を起点に破断していた。総計1058本中2本であり、不合格率は0.2%と良好な結果であった。今後より信頼性を高めるため、欠陥箇所をできるだけ見逃さないような各種検査方法の検査精度に関するさらなる検討が必要と考えられる。

資料

表-1 試験片の作製・検査結果

(1-1) D25標準圧接	(1-2) D25押抜圧接
(2-1) D38標準圧接	(2-2) D38押抜圧接
(3-1) D51電炉標準圧接	(3-2) D51電炉押抜圧接
(4-1) D51高炉標準圧接	(4-2) D51高炉押抜圧接

表-2 引張試験結果

(1-1) D25母材	(1-2) D25標準圧接	(1-3) D25押抜圧接
(2-1) D38母材	(2-2) D38標準圧接	(2-3) D38押抜圧接
(3-1) D51電炉母材	(3-2) D51電炉標準圧接	(3-3) D51電炉押抜圧接
(4-1) D51高炉母材	(4-2) D51高炉標準圧接	(4-3) D51高炉押抜圧接

表-3 破断伸び

- (1) 常温・標準速度
- (2) 常温・高速
- (3) 0℃・高速
- (4) -20℃・高速
- (5) -40℃・高速

表-4 圧接部破断鉄筋の硬さ試験結果

- (1) 標準圧接
- (2) 押抜圧接

表-5 経時変化

表-6 繰返し試験結果

表-7 複合载荷試験結果

表-8 硬さ試験結果

(1-1) D25標準圧接	(1-2) D25押抜圧接
(2-1) D38標準圧接	(2-2) D38押抜圧接
(3-1) D51電炉標準圧接	(3-2) D51電炉押抜圧接
(4-1) D51高炉標準圧接	(4-2) D51高炉押抜圧接

表-9 シャルピー衝撃試験結果

- (1) D25
- (2) D38
- (3) D51電炉
- (4) D51高炉

試験片番号

例：25ENJLA1

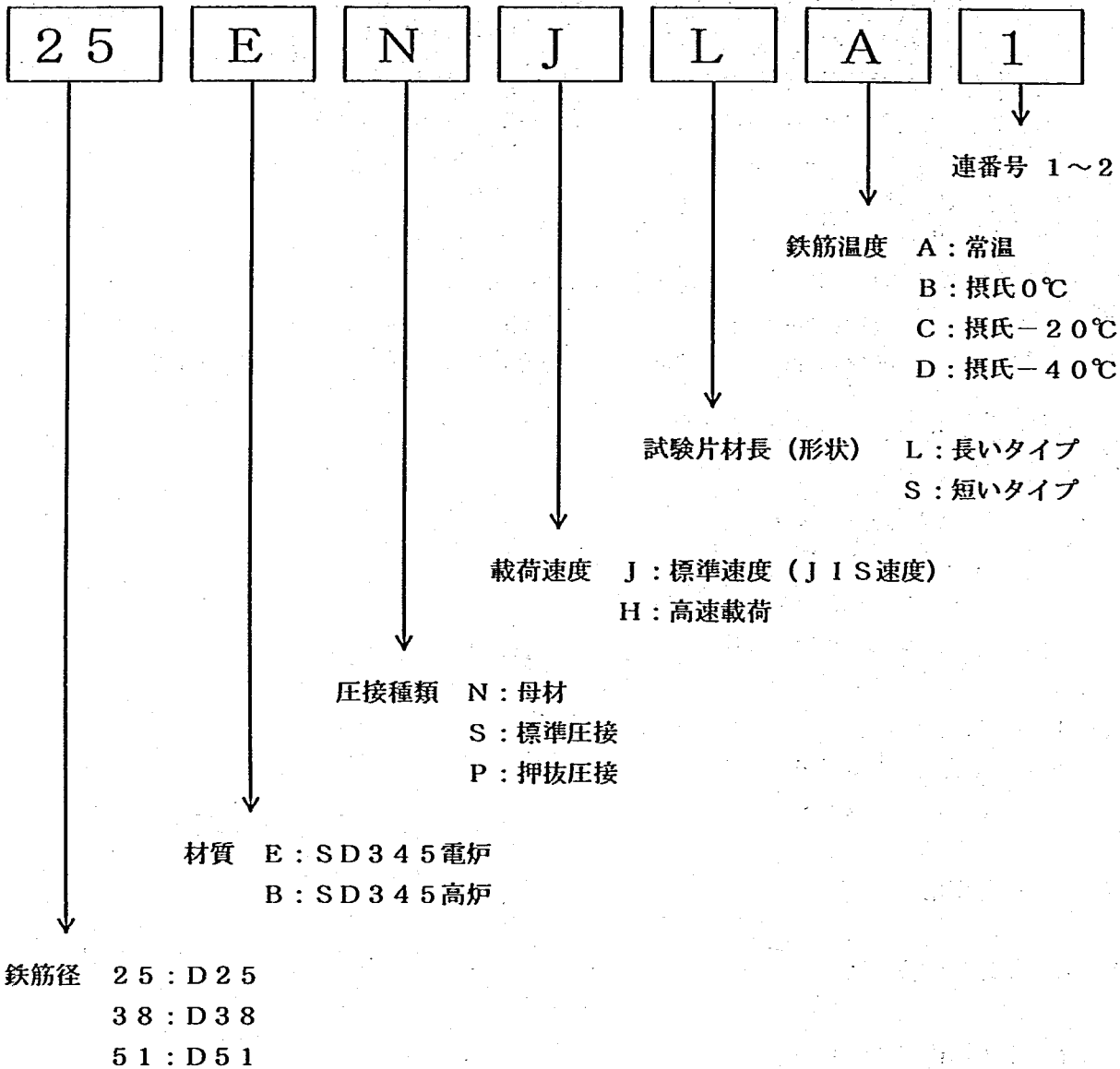


表-1 試験片の作製・検査結果

(1-1) D25標準圧接										(1-2) D25押抜圧接									
試験片 No	圧接時間 (sec)	圧接作業		扁平の検査						試験片 No	圧接時間 (sec)	圧接作業		扁平の検査					
		77セツ量 (mm)	鉄筋径に 対する比	ふくらみ係		鉄筋径に 対する比		ふくらみ係				77セツ量 (mm)	鉄筋径に 対する比	ふくらみ係		鉄筋径に 対する比			
				(mm)	対する比	(mm)	対する比	(mm)	対する比					(mm)	対する比	(mm)	対する比		
25-1	1	105	30	1.20	41	1.04	33	1.32		25-1	1	105	24	0.96			36	1.44	
	2	100	29	1.16	41	1.04	36	1.44			2	107	20	0.80			33	1.32	
	3	99	27	1.08	39	1.56	34	1.36			3	105	23	0.92			32	1.28	
	4	105	28	1.12	42	1.68	35	1.40			4	107	24	0.96			32	1.28	
	5	105	29	1.16	41	1.64	35	1.40			5	120	31	1.24			34	1.36	
	6	100	28	1.12	41	1.64	33	1.32			6	108	20	0.80			31	1.24	
	7	106	28	1.12	40	1.60	33	1.32			7	115	24	0.96			33	1.32	
	8	115	28	1.12	41	1.64	34	1.36			8	114	23	0.92			32	1.28	
	9	105	29	1.16	42	1.68	33	1.32			9	101	25	1.00			32	1.28	
	10	104	29	1.16	42	1.60	35	1.40			10	110	27	1.08			30	1.20	
	11	113	28	1.12	42	1.68	35	1.40			11	97	23	0.92			30	1.20	
	12	105	30	1.20	42	1.68	33	1.32			12	12	108	21	0.84			30	1.20
	13	98	29	1.16	42	1.68	32	1.28			13	13	106	26	1.04			31	1.24
	14	102	30	1.20	41	1.64	35	1.40			14	14	110	27	1.08			32	1.28
	15	115	32	1.28	43	1.72	34	1.36			15	15	120	29	1.16			33	1.32
	16	110	29	1.16	42	1.60	35	1.40			16	16	108	28	1.12			32	1.28
	17	65	32	1.28	42	1.68	35	1.40			17	17	102	24	0.96			33	1.32
	18	113	30	1.20	42	1.68	33	1.32			18	18	95	31	1.24			32	1.28
	19	116	32	1.28	43	1.72	35	1.40			19	19	92	26	1.04			32	1.28
	20	107	32	1.28	43	1.72	33	1.32			20	20	94	27	1.08			31	1.24
	21	108	29	1.16	42	1.68	33	1.32			21	21	104	27	1.08			33	1.32
	22	108	32	1.28	44	1.76	33	1.32			22	22	106	28	1.12			32	1.28
	23	112	31	1.24	43	1.72	34	1.36			23	23	95	28	1.04			36	1.44
	24	102	31	1.24	42	1.68	35	1.40			24	24	98	28	1.12			30	1.20
	25	117	29	1.16	42	1.68	33	1.32			25	25	96	27	1.08			32	1.28
	26	109	29	1.16	42	1.68	33	1.32			26	26	103	28	1.04			31	1.24
	27	98	26	1.04	40	1.60	32	1.28			27	27	96	27	1.08			32	1.28
	28	105	31	1.24	42	1.68	34	1.36			28	28	94	22	0.88			31	1.24
	29	112	28	1.12	41	1.64	33	1.32			29	29	110	25	1.00			32	1.28
	30	104	30	1.20	42	1.68	33	1.32			30	30	93	24	0.96			32	1.28
	31	101	30	1.20	43	1.72	33	1.32			31	31	107	26	1.04			32	1.28
	32	109	28	1.12	42	1.68	33	1.32			32	32	102	27	1.08			31	1.24
	33	102	29	1.16	41	1.64	34	1.36			33	33	94	24	0.96			32	1.28
	34	107	28	1.12	41	1.64	31	1.24			34	34	104	30	1.20			32	1.28
	35	100	28	1.12	41	1.64	33	1.32			35	35	106	25	1.00			31	1.24
	36	110	30	1.20	42	1.68	31	1.24			36	36	102	28	1.04			32	1.28
	37	97	27	1.08	41	1.64	33	1.32			37	37	106	26	1.04			33	1.32
	38	113	29	1.16	41	1.64	31	1.24			38	38	101	24	0.96			33	1.32
	39	107	29	1.16	42	1.68	33	1.32			39	39	108	23	0.92			32	1.28
	40	104	30	1.20	42	1.68	32	1.28			40	40	103	32	1.28			31	1.24
	41	112	31	1.24	42	1.68	35	1.40			41	41	109	28	1.12			30	1.20
	42	109	31	1.24	41	1.64	35	1.40			42	42	107	27	1.08			30	1.20
	43	110	29	1.16	42	1.68	34	1.36			43	43	113	30	1.20			32	1.28
	44	112	28	1.04	42	1.68	34	1.36			44	44	114	28	1.12			33	1.32
	45	111	32	1.28	42	1.68	34	1.36			45	45	118	29	1.16			33	1.32
	46	108	30	1.20	41	1.64	34	1.36			46	46	116	26	1.04			32	1.28
	47	101	30	1.20	43	1.72	35	1.40			47	47	116	29	1.16			32	1.28
	48	104	33	1.32	42	1.68	33	1.32			48	48	114	30	1.20			33	1.32
	49	112	29	1.16	42	1.68	34	1.36			49	49	109	28	1.04			32	1.28
	50	106	29	1.16	41	1.64	33	1.32			50	50	110	22	0.88			32	1.28
	51	103	31	1.24	42	1.68	32	1.28			51	51	105	25	1.00			31	1.24
	52	104	29	1.16	42	1.68	34	1.36			52	52	109	23	0.92			31	1.24
	53	98	31	1.24	42	1.68	34	1.36			53	53	112	27	1.08			32	1.28
	54	111	29	1.16	41	1.64	35	1.40			54	54	113	27	1.08			32	1.28
	55	99	32	1.28	42	1.68	32	1.28			55	55	110	27	1.08			31	1.24
	56	106	31	1.24	41	1.64	33	1.32			56	56	105	28	1.12			30	1.20
	57	103	32	1.28	42	1.68	34	1.36			57	57	119	29	1.16			32	1.28
	58	111	36	1.20	41	1.64	33	1.32			58	58	108	28	1.12			31	1.24
	59	107	36	1.20	42	1.68	34	1.36			59	59	102	27	1.08			29	1.16
	60	112	36	1.20	42	1.68	36	1.44			60	60	101	27	1.08			30	1.20
	61	89	29	1.16	42	1.68	35	1.40			61	61	120	27	1.08			31	1.24
	62	93	33	1.32	42	1.68	34	1.36			62	62	113	36	1.20			32	1.28
	63	86	25	1.12	41	1.64	33	1.32			63	63	122	27	1.08			33	1.32
値	数	63	63	63	63	63	63	63		値	数	63	63	63				63	63
平均	均	105	30	1.19	42	1.67	34	1.34		平均	均	107	26	1.05			32	1.27	
最大	大	117	33	1.32	44	1.76	36	1.44		最大	大	122	32	1.28			36	1.44	
最小	小	65	26	1.04	39	1.56	31	1.24		最小	小	92	26	0.80			29	1.16	
標準偏差		7.9	1.6	0.063	0.6	0.032	1.1	0.046		標準偏差		7.5	2.6	0.105			1.1	0.046	
変動係数(%)		7.5	5.3	5.3	1.9	1.9	3.4	3.4		変動係数(%)		7.0	10.0	10.0			3.6	3.6	

表-1 試験片の作製・検査結果

(2-1) D38標準圧接										(2-2) D38押抜圧接											
試験体	No	圧接作業			継手の検査						試験体	No	圧接作業			継手の検査					
		圧接時間 (sec)	77℃圧入量 (mm)	鉄筋係に 対する比	ふくらみ係 (mm)	鉄筋係に 対する比	ふくらみ長さ (mm)	鉄筋係に 対する比	77℃圧入量 (mm)	鉄筋係に 対する比			ふくらみ係 (mm)	鉄筋係に 対する比	ふくらみ長さ (mm)	鉄筋係に 対する比					
33-1	1	220	41	1.08	59	1.55	54	1.42			33-1	1	194	35	0.92			52	1.37		
	2	215	40	1.05	59	1.55	57	1.50				2	200	40	1.05			51	1.34		
	3	210	43	1.13	61	1.61	57	1.50				3	187	32	0.84			47	1.24		
	4	210	40	1.05	60	1.58	56	1.47				4	210	41	1.08			49	1.29		
	5	220	43	1.13	60	1.58	56	1.47				5	195	35	0.92			49	1.29		
	6	225	44	1.16	62	1.63	53	1.39				6	198	41	1.08			49	1.29		
	7	222	41	1.08	61	1.61	52	1.37				7	208	42	1.11			50	1.32		
	8	225	41	1.08	61	1.61	52	1.37				8	206	42	1.11			47	1.24		
	9	222	41	1.08	60	1.58	54	1.42				9	193	40	1.05			48	1.26		
	10	222	42	1.11	61	1.61	51	1.34				10	201	42	1.11			49	1.29		
	11	226	43	1.13	62	1.63	54	1.42				11	193	37	0.97			48	1.26		
	12	207	40	1.05	61	1.61	51	1.34				12	198	40	1.05			50	1.32		
	13	230	42	1.11	61	1.61	54	1.42				13	200	34	0.89			47	1.24		
	14	230	43	1.13	62	1.63	52	1.37				14	230	44	1.16			50	1.32		
	15	231	42	1.11	62	1.63	53	1.39				15	190	40	1.05			47	1.24		
	16	225	42	1.11	62	1.63	55	1.45				16	224	40	1.05			50	1.32		
	17	220	42	1.11	62	1.63	51	1.34				17	191	38	1.00			48	1.29		
	18	222	43	1.13	61	1.61	52	1.37				18	217	39	1.03			52	1.37		
	19	235	42	1.11	61	1.61	53	1.39				19	201	34	0.89			47	1.24		
	20	230	42	1.11	60	1.58	52	1.37				20	208	43	1.13			47	1.24		
	21	233	43	1.13	61	1.61	54	1.42				21	216	35	0.92			50	1.32		
	22	229	43	1.13	61	1.61	55	1.45				22	225	40	1.05			50	1.32		
	23	222	43	1.13	62	1.63	52	1.37				23	203	35	0.92			49	1.29		
	24	225	43	1.13	61	1.61	53	1.39				24	230	41	1.08			49	1.29		
	25	225	45	1.18	63	1.66	54	1.42				25	224	41	1.08			50	1.32		
	26	225	43	1.13	61	1.61	55	1.45				26	245	43	1.13			50	1.32		
	27	233	44	1.16	62	1.63	53	1.39				27	230	38	1.03			49	1.29		
	28	220	42	1.11	61	1.61	54	1.42				28	242	39	1.03			49	1.29		
	29	220	44	1.16	63	1.66	53	1.39				29	238	37	0.97			48	1.26		
	30	221	44	1.16	62	1.63	52	1.37				30	241	39	1.03			50	1.32		
	31	222	42	1.11	62	1.63	52	1.37				31	232	37	0.97			49	1.29		
	32	225	43	1.13	62	1.63	53	1.39				32	260	43	1.13			51	1.34		
	33	225	46	1.21	62	1.63	52	1.37				33	265	40	1.05			47	1.24		
	34	210	43	1.13	61	1.61	54	1.42				34	265	43	1.13			51	1.34		
	35	200	41	1.00	62	1.63	52	1.37				35	260	42	1.11			50	1.32		
	36	230	42	1.11	61	1.61	52	1.37				36	245	43	1.13			51	1.34		
	37	225	43	1.13	63	1.66	54	1.42				37	230	41	1.08			49	1.29		
	38	218	42	1.11	62	1.63	52	1.37				38	245	44	1.16			51	1.34		
	39	222	42	1.11	62	1.63	52	1.37				39	225	41	1.08			50	1.32		
	40	225	42	1.11	63	1.66	52	1.37				40	252	41	1.08			51	1.34		
	41	235	44	1.16	63	1.66	52	1.37				41	234	39	1.03			48	1.26		
	42	215	43	1.13	62	1.63	52	1.37				42	245	41	1.08			49	1.29		
	43	213	42	1.11	61	1.61	51	1.34				43	229	41	1.08			50	1.32		
	44	225	42	1.11	62	1.63	53	1.39				44	252	41	1.08			50	1.32		
	45	230	43	1.13	61	1.61	53	1.39				45	255	39	1.03			50	1.32		
	46	210	42	1.11	60	1.58	50	1.32				46	230	39	1.03			51	1.34		
	47	215	41	1.08	63	1.66	51	1.34				47	223	38	1.00			48	1.26		
	48	225	45	1.18	64	1.68	54	1.42				48	235	42	1.11			47	1.24		
	49	217	44	1.16	63	1.66	54	1.42				49	224	40	1.05			47	1.24		
	50	220	41	1.08	60	1.58	51	1.34				50	241	44	1.16			48	1.26		
	51	260	33	0.87	59	1.55	52	1.36				51	254	37	0.97	46	1.22	52	1.37		
値	数										値	数									
平均		223	42	1.11	61	1.62	53	1.39			平均		224	40	1.04	46	0.02	49	1.30		
最大		260	46	1.21	64	1.68	57	1.50			最大		265	44	1.16	46	1.22	52	1.37		
最小		200	33	0.87	59	1.55	50	1.32			最小		187	32	0.84	46	0.00	47	1.24		
標準偏差		9.0	1.8	0.048	1.09	0.029	1.0	0.041			標準偏差		22.3	2.8	0.07	0.0	0.17	1.45	0.038		
変動係数(%)		4.0	4.3		1.8	1.8	2.0	2.0			変動係数(%)		9.9	7.1	7.1	0.0	707.1	3.0			

表-1 試験片の作製・検査結果

(3-1) D51電機圧縮機

試験片 No.	正圧時間 (sec)	正圧作業		部材の検査			
		77 77 77 (mm)	試験後に 対する比	ふくらみ後 対する比	試験後に 対する比	ふくらみ後 対する比	試験後に 対する比
4-1	1	444	49	0.96	77.2	1.01	75.0
2	2	420	49	0.96	78.9	1.00	74.2
3	3	382	49	0.98	79.0	1.00	75.0
4	4	379	49	0.90	77.5	1.02	72.5
5	5	361	48	0.94	78.0	1.00	71.0
6	6	403	48	0.90	75.5	1.00	70.0
7	7	400	48	0.94	79.0	1.00	70.0
8	8	403	51	1.00	78.8	1.00	74.0
9	9	423	51	1.00	80.0	1.00	75.0
10	10	406	48	0.94	78.0	1.00	74.0
11	11	410	49	0.98	77.0	1.01	75.0
12	12	413	00	0.98	77.5	1.02	72.0
13	13	395	49	0.98	77.8	1.03	78.5
14	14	435	51	1.00	79.0	1.00	74.0
15	15	423	00	0.98	77.0	1.01	75.0
16	16	436	51	1.00	79.0	1.00	75.0
17	17	407	51	1.00	78.5	1.04	72.0
18	18	401	50	0.98	78.0	1.03	73.5
19	19	400	52	1.02	79.0	1.05	73.5
20	20	400	50	0.98	79.0	1.05	72.5
21	21	395	52	1.02	78.0	1.03	71.5
22	22	397	52	1.02	79.0	1.05	70.5
23	23	397	51	1.00	78.5	1.04	70.0
24	24	423	50	0.98	79.5	1.06	71.0
25	25	420	50	0.98	73.5	1.44	67.0
26	26	430	51	1.00	78.0	1.03	67.5
27	27	425	52	1.02	79.0	1.03	69.5
28	28	440	50	0.98	80.5	1.08	67.0
29	29	387	51	1.00	81.0	1.08	69.5
30	30	393	52	1.02	80.0	1.07	68.0
31	31	362	52	1.02	78.0	1.03	69.0
32	32	379	52	1.02	80.0	1.07	70.0
33	33	384	56	1.10	79.0	1.05	69.0
34	34	389	51	1.00	80.0	1.07	68.0
35	35	376	54	1.06	80.0	1.07	69.0
36	36	406	52	1.02	80.0	1.07	69.0
37	37	386	54	1.06	81.0	1.09	69.0
38	38	396	53	1.04	80.0	1.07	70.0
39	39	390	54	1.06	81.0	1.09	69.0
40	40	387	53	1.04	80.0	1.07	69.0
41	41	395	54	1.06	80.0	1.07	69.0
42	42	430	53	1.04	78.0	1.03	70.0
43	43	399	54	1.06	82.0	1.01	67.0
44	44	414	54	1.06	82.0	1.01	68.0
45	45	394	53	1.04	79.0	1.05	68.0
46	46	350	46	0.90	77.0	1.01	66.0
47	47	392	54	1.06	80.0	1.07	69.0
48	48	408	53	1.08	81.0	1.09	67.0
49	49	423	57	1.12	80.0	1.07	67.0
50	50	432	53	1.04	82.0	1.01	68.0
51	51	411	41	0.80	78.3	1.50	67.0
52	52	397	39	0.79	76.7	1.50	70.0
53	53	390	44	0.88	79.1	1.55	69.9
部 数		53	53	53	53	53	53
部 大		402	51	0.99	76.9	1.05	70.2
部 小		444	57	1.12	82.5	1.01	70.5
部 小		350	39	0.79	73.5	1.44	66.0
部 小		390	54	1.06	81.0	1.09	69.0
部 小		387	53	1.04	80.0	1.07	69.0
部 小		395	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		430	53	1.04	78.0	1.03	70.0
部 小		399	54	1.06	82.0	1.01	67.0
部 小		414	54	1.06	82.0	1.01	68.0
部 小		394	53	1.04	79.0	1.05	68.0
部 小		350	46	0.90	77.0	1.01	66.0
部 小		392	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		408	53	1.08	81.0	1.09	67.0
部 小		423	57	1.12	80.0	1.07	67.0
部 小		432	53	1.04	82.0	1.01	68.0
部 小		411	41	0.80	78.3	1.50	67.0
部 小		397	39	0.79	76.7	1.50	70.0
部 小		390	44	0.88	79.1	1.55	69.9
部 小		390	54	1.06	81.0	1.09	69.0
部 小		387	53	1.04	80.0	1.07	69.0
部 小		395	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		430	53	1.04	78.0	1.03	70.0
部 小		399	54	1.06	82.0	1.01	67.0
部 小		414	54	1.06	82.0	1.01	68.0
部 小		394	53	1.04	79.0	1.05	68.0
部 小		350	46	0.90	77.0	1.01	66.0
部 小		392	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		408	53	1.08	81.0	1.09	67.0
部 小		423	57	1.12	80.0	1.07	67.0
部 小		432	53	1.04	82.0	1.01	68.0
部 小		411	41	0.80	78.3	1.50	67.0
部 小		397	39	0.79	76.7	1.50	70.0
部 小		390	44	0.88	79.1	1.55	69.9
部 小		390	54	1.06	81.0	1.09	69.0
部 小		387	53	1.04	80.0	1.07	69.0
部 小		395	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		430	53	1.04	78.0	1.03	70.0
部 小		399	54	1.06	82.0	1.01	67.0
部 小		414	54	1.06	82.0	1.01	68.0
部 小		394	53	1.04	79.0	1.05	68.0
部 小		350	46	0.90	77.0	1.01	66.0
部 小		392	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		408	53	1.08	81.0	1.09	67.0
部 小		423	57	1.12	80.0	1.07	67.0
部 小		432	53	1.04	82.0	1.01	68.0
部 小		411	41	0.80	78.3	1.50	67.0
部 小		397	39	0.79	76.7	1.50	70.0
部 小		390	44	0.88	79.1	1.55	69.9
部 小		390	54	1.06	81.0	1.09	69.0
部 小		387	53	1.04	80.0	1.07	69.0
部 小		395	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		430	53	1.04	78.0	1.03	70.0
部 小		399	54	1.06	82.0	1.01	67.0
部 小		414	54	1.06	82.0	1.01	68.0
部 小		394	53	1.04	79.0	1.05	68.0
部 小		350	46	0.90	77.0	1.01	66.0
部 小		392	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		408	53	1.08	81.0	1.09	67.0
部 小		423	57	1.12	80.0	1.07	67.0
部 小		432	53	1.04	82.0	1.01	68.0
部 小		411	41	0.80	78.3	1.50	67.0
部 小		397	39	0.79	76.7	1.50	70.0
部 小		390	44	0.88	79.1	1.55	69.9
部 小		390	54	1.06	81.0	1.09	69.0
部 小		387	53	1.04	80.0	1.07	69.0
部 小		395	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		430	53	1.04	78.0	1.03	70.0
部 小		399	54	1.06	82.0	1.01	67.0
部 小		414	54	1.06	82.0	1.01	68.0
部 小		394	53	1.04	79.0	1.05	68.0
部 小		350	46	0.90	77.0	1.01	66.0
部 小		392	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		408	53	1.08	81.0	1.09	67.0
部 小		423	57	1.12	80.0	1.07	67.0
部 小		432	53	1.04	82.0	1.01	68.0
部 小		411	41	0.80	78.3	1.50	67.0
部 小		397	39	0.79	76.7	1.50	70.0
部 小		390	44	0.88	79.1	1.55	69.9
部 小		390	54	1.06	81.0	1.09	69.0
部 小		387	53	1.04	80.0	1.07	69.0
部 小		395	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		430	53	1.04	78.0	1.03	70.0
部 小		399	54	1.06	82.0	1.01	67.0
部 小		414	54	1.06	82.0	1.01	68.0
部 小		394	53	1.04	79.0	1.05	68.0
部 小		350	46	0.90	77.0	1.01	66.0
部 小		392	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		408	53	1.08	81.0	1.09	67.0
部 小		423	57	1.12	80.0	1.07	67.0
部 小		432	53	1.04	82.0	1.01	68.0
部 小		411	41	0.80	78.3	1.50	67.0
部 小		397	39	0.79	76.7	1.50	70.0
部 小		390	44	0.88	79.1	1.55	69.9
部 小		390	54	1.06	81.0	1.09	69.0
部 小		387	53	1.04	80.0	1.07	69.0
部 小		395	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		430	53	1.04	78.0	1.03	70.0
部 小		399	54	1.06	82.0	1.01	67.0
部 小		414	54	1.06	82.0	1.01	68.0
部 小		394	53	1.04	79.0	1.05	68.0
部 小		350	46	0.90	77.0	1.01	66.0
部 小		392	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		408	53	1.08	81.0	1.09	67.0
部 小		423	57	1.12	80.0	1.07	67.0
部 小		432	53	1.04	82.0	1.01	68.0
部 小		411	41	0.80	78.3	1.50	67.0
部 小		397	39	0.79	76.7	1.50	70.0
部 小		390	44	0.88	79.1	1.55	69.9
部 小		390	54	1.06	81.0	1.09	69.0
部 小		387	53	1.04	80.0	1.07	69.0
部 小		395	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		430	53	1.04	78.0	1.03	70.0
部 小		399	54	1.06	82.0	1.01	67.0
部 小		414	54	1.06	82.0	1.01	68.0
部 小		394	53	1.04	79.0	1.05	68.0
部 小		350	46	0.90	77.0	1.01	66.0
部 小		392	54	1.06	80.0	1.07	69.0
部 小		408	53	1.08	81.0	1.09	67.0
部 小		423	57	1.12	80.0	1.07	67.0
部 小		432	53	1.04	82.0	1.01	68.0
部 小		411	41	0.80	78.3	1.50	67.0
部 小		397	39	0.79	76.7	1.50	70.0
部 小							

表-2 引張試験結果

(1-1) D25母材

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	2NL1	25度	191.9	302.8	240.8	25.48	49.40	11.43	12.74	378.8	597.6	0.012	0.221	197.8	179.6
	2NL2	25.4度	193.0	303.3	234.6	26.63	41.80	11.92	12.91	380.9	598.6	0.011	0.223	188.5	180.6
	平均		192.5	303.1	237.7	26.06	45.60	11.67	12.83	379.8	598.1	0.012	0.222	193.1	180.1
	2NL3	0度	201.6	309.0	252.3	23.29	39.20	10.58	11.51	397.8	609.8	0.013	0.224	178.2	178.2
	2NL4	0度	196.3	308.2	250.2	26.01	47.80	12.00	13.04	387.5	604.3	0.011	0.223	201.9	181.5
	平均		199.0	307.8	251.2	24.65	43.50	11.29	12.27	392.6	607.0	0.012	0.224	190.0	179.8
	2NL5	-20度	193.6	309.3	246.4	25.84	49.20	12.26	13.34	382.1	610.4	0.012	0.219	195.6	182.0
	2NL6	-20度	197.0	309.1	239.3	24.97	40.50	12.16	12.99	388.8	609.9	0.017	0.225	194.5	179.3
	平均		195.3	309.2	242.9	25.41	44.85	12.21	13.17	385.4	610.2	0.014	0.222	195.1	180.7
	2NL7	-40度	205.4	313.1	234.6	27.00	55.00	12.05	13.04	405.4	618.0	0.011	0.223	208.3	186.9
高速	2NL8	-40度	205.3	318.7	266.3	24.58	45.95	12.07	13.07	405.1	629.0	0.011	0.215	205.9	187.6
	平均		205.3	315.9	250.5	25.79	50.48	12.06	13.05	405.2	623.5	0.011	0.219	207.1	187.2
	2NL9	24.8度		314.2	252.3	27.79	53.00	14.21			620.00	1.460	14.33	83.4	117.5
	2NL10	25.3度		312.9	249.4	25.92	51.90	14.40			617.48	1.185	14.24	138.0	147.4
	平均		ERR	313.5	250.8	26.86	52.45	14.31	ERR	ERR	618.74	1.323	14.29	110.7	132.5
	2NL11	0度		318.4	248.3	27.29	51.40	14.48			628.39	1.343	14.51	132.0	159.8
	2NL12	0度		318.3	268.6	23.54	45.20	12.90			628.18	1.075	13.97	86.0	124.9
	平均		ERR	318.4	258.5	25.42	48.30	13.68	ERR	ERR	628.29	1.209	14.24	109.0	142.4
	2NL13	-19.7度		321.2	270.0	26.89	46.60	15.29			633.98	1.100	14.03	84.9	131.9
	2NL14	-19.9度		323.9	269.5	26.86	42.30	15.57			639.30	0.877	13.59	102.0	171.5
高速	平均		ERR	322.6	269.8	26.88	44.45	15.43	ERR	ERR	636.64	0.989	13.81	93.5	151.7
	2NL15	-40.3度		331.1	266.9	25.42	50.60	14.10			653.39	0.892	14.00	127.4	177.2
	2NL16	-40.1度		330.1	270.8	27.71	48.10	15.44			651.44	0.867	13.61	131.2	179.2
	平均		ERR	330.6	268.8	26.57	49.35	14.77	ERR	ERR	652.41	0.880	13.80	129.3	178.2

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)		(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	2NM1	19.3度	198.1	304.4	246.4	23.47	47.30	11.72	12.22	390.9	600.8	0.015	0.220	192.5	182.3
	2NM2	19.7度	199.9	301.6	236.7	26.16	53.90	11.87	12.49	394.5	595.2	0.012	0.222	187.4	179.5
	平均		199.0	303.0	241.5	24.82	50.60	11.80	12.36	392.7	598.0	0.013	0.221	190.0	180.9
高速	2NM3	26.7度		313.1	192.9	23.37	53.00	14.17			617.8	1.273	13.261	98.4	112.9
	2NM4	26.9度		314.4	224.6	22.99	47.40	15.12			620.5	3.824	14.073	120.7	182.0
	平均		ERR	313.7	208.8	23.18	50.20	14.65	ERR	ERR	619.2	2.548	13.667	109.5	147.4
フィル ターOFF	E250F1		201.7	309.7	211.3					398.1	611.2	0.579			174.2
	E250F2		201.4	295.5	223.0					397.5	583.2	0.514			176.3
	E250F3		203.7	296.4	220.1					402.0	584.9	0.577			175.9
	平均		203.7	296.4	220.1	ERR	ERR	ERR	ERR	402.0	584.9	0.577	ERR	ERR	175.9

(1-2) D25標準圧接

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	2SL1	24.9度	205.5	309.0	250.1	15.75	48.10	7.368	8.159	405.5	609.9	0.011	0.212	215.9	186.3
	2SL2	25.8度	200.2	311.0	250.5	13.80	44.90	7.044	7.940	395.1	613.8	0.023	0.213	219.3	210.7
	平均		202.8	310.0	250.3	14.78	46.50	7.206	8.050	400.3	611.8	0.017	0.212	217.6	198.5
	2SL3	0度	207.6	317.3	255.4	15.36	52.20	7.856	8.792	409.6	626.1	0.011	0.213	234.7	186.9
	2SL4	0度	199.6	314.6	245.0	16.11	54.10	7.730	8.651	393.9	620.9	0.011	0.211	230.8	183.7
	平均		203.6	315.9	250.2	15.74	53.15	7.793	8.722	401.8	623.5	0.011	0.212	232.8	185.3
	2SL5	-20.4度	210.6	327.4	274.9	15.26	38.50	7.370	8.308	415.7	646.2	0.011	0.215	195.5	184.4
	2SL6	-20度	207.8	323.4	265.2	16.42	47.50	8.225	9.189	410.0	638.3	0.011	0.222	226.6	187.8
	平均		209.2	325.4	270.1	15.84	43.00	7.798	8.749	412.8	642.3	0.011	0.218	211.1	186.1
	2SL7	-39.9度	213.5	330.7	267.3	17.32	55.20	8.447	9.329	421.3	652.7	0.023	0.222	211.7	191.0
2SL8	-40.3度	216.1	332.7	258.3	17.29	53.08	8.121	9.060	426.4	656.6	0.011	0.230	203.8	185.3	
平均		214.8	331.7	262.8	17.31	54.14	8.284	9.195	423.8	654.6	0.017	0.226	207.8	188.1	
高速	2SL9	21.7度		317.2	268.5	15.86	52.80	9.370			626.0	1.173	13.81	161.2	165.3
	2SL10	22.1度		318.8	284.7	13.83	43.40	8.205			629.2	1.155	14.14	152.6	176.7
	平均		ERR	318.0	276.6	14.85	48.10	8.788	ERR	ERR	627.6	1.164	13.97	156.9	171.0
	2SL11	-0.4度		322.1	271.6	16.71	51.20	10.040			635.8	1.170	13.67	0.0	158.8
	2SL12	-0.4度		320.8	281.7	15.83	51.20	9.072			633.2	1.221	14.47	145.3	173.4
	平均		ERR	321.5	276.6	16.27	51.20	9.556	ERR	ERR	634.5	1.195	14.07	72.7	166.1
	2SL13	-20.2度		325.3	260.3	17.79	52.00	10.541			642.0	1.293	13.73	154.1	153.4
	2SL14	-19.8度		329.9	293.9	14.16	42.10	8.621			651.0	1.167	13.80	156.6	147.4
	平均		ERR	327.6	277.1	15.98	47.05	9.581	ERR	ERR	646.5	1.230	13.76	155.3	150.4
	2SL15	-40.2度		331.1	283.3	15.30	49.00	8.907			653.5	1.220	13.49	171.2	150.7
2SL16	-39.8度		337.0	287.5	17.10	48.20	10.872			665.2	1.196	13.05	166.1	163.7	
平均		ERR	334.1	285.4	16.20	48.60	9.890	ERR	ERR	659.3	1.208	13.27	178.7	157.2	

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	2SM17	27.7度	200.5	309.6	244.9	16.20	44.50	7.125	7.967	395.7	611.0	0.011	0.204	219.4	182.2
	2SM18	27.9度	209.0	310.9	253.8	13.81	34.40	6.164	7.828	412.4	613.6	0.010	0.202	229.2	202.7
	平均		204.7	310.2	249.4	15.01	39.45	6.645	7.898	404.1	612.3	0.011	0.203	224.3	192.5
高速	2SM19	27.4度		317.7	269.4	10.76	50.30	9.480			627.0	1.278	14.44	166.6	154.2
	2SM20	7.000		313.8	269.5	16.15	51.80	8.938			619.3	1.231	14.26	176.3	165.2
	平均		ERR	315.8	269.4	13.46	51.05	9.209	ERR	ERR	623.2	1.255	14.35	172.5	159.7

(1-3) D25押抜圧接

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	2PL1	27.7度	208.5	305.8	237.2	20.08	55.30	8.374	8.879	411.4	603.5	0.010	0.219	225.4	195.4
	2PL2	27.6度	209.7	314.3	256.0	17.34	53.00	6.931	7.747	413.9	620.4	0.010	0.203	270.4	191.4
	平均		209.1	310.1	246.6	18.71	54.15	7.653	8.313	412.7	612.0	0.010	0.211	247.9	193.4
	2PL3	-0.1度	207.1	315.1	258.8	18.68	54.40	8.212	9.219	408.8	621.9	0.011	0.220	236.7	182.0
	2PL4	0.2度	205.6	318.0	269.4	16.60	36.10	8.031	8.893	405.7	627.6	0.011	0.211	239.2	186.6
	平均		206.4	316.5	264.1	17.64	45.25	8.122	9.056	407.2	624.7	0.011	0.215	237.9	184.3
	2PL5	-20.5度	206.8	323.6	256.3	17.87	47.90	8.903	9.916	408.1	638.6	0.010	0.203	206.0	186.3
	2PL6	-20.5度	212.9	322.6	237.5	18.75	37.70	8.049	8.896	420.1	636.6	0.011	0.209	202.4	182.3
	平均		209.8	323.1	246.9	18.31	42.80	8.476	9.406	414.1	637.6	0.011	0.206	204.2	184.3
	2PL7	-39.7度	223.4	334.1	270.1	12.30	48.90	6.349	7.204	440.9	659.4	0.011	0.212	250.2	191.8
2PL8	-40.0度	225.6	335.7	276.7	18.03	49.10	7.568	8.258	445.3	662.5	0.010	0.209	208.6	192.9	
平均		224.5	334.9	273.4	15.17	49.00	6.959	7.731	443.1	661.0	0.010	0.210	229.4	192.4	
高速	2PL9	23.8度		318.9	270.4	16.72	32.80	9.52			629.3	1.12	13.08	79.4	71.37
	2PL10	24.7度		319.6	269.6	15.10	41.40	10.10			630.7	2.20	14.37	109.5	88.46
	平均		ERR	319.2	270.0	15.91	37.10	9.81	ERR	ERR	630.0	1.66	13.72	94.4	79.91
	2PL11	0.1度		324.3	269.9	17.53	48.10	9.77			640.0	0.51	14.14	61.7	228.42
	2PL12	0.0度		325.4	268.8	17.40	43.70	10.73			642.2	0.35	12.83	42.6	250.40
	平均		ERR	324.9	269.4	17.47	45.90	10.25	ERR	ERR	641.1	0.43	13.48	52.2	239.41
	2PL13	-20.1度		326.9	270.2	17.05	49.20	10.09			645.2	1.21	13.60	104.9	126.84
	2PL14	-20.2度		333.7	269.3	16.96	47.00	11.08			658.6	1.13	13.37	127.1	146.98
	平均		ERR	330.3	269.8	17.01	48.10	10.59	ERR	ERR	651.9	1.17	13.49	116.0	136.91
	2PL15	-40.2度		335.9	269.0	17.24	45.30	10.34			662.9	1.09	13.51	115.6	172.64
2PL16	-40.0度		342.7	291.5	16.95	41.20	10.56			676.3	1.09	14.17	124.9	169.08	
平均		ERR	339.3	280.2	17.10	43.25	10.45	ERR	ERR	669.6	1.09	13.84	120.3	170.86	

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	2PM17	28度	198.9	308.3	234.2	16.54	51.90	6.340	6.990	392.5	608.4	0.012	0.208	218.7	185.1
	2PM18	27.9度	195.9	309.3	254.8	17.67	48.00	7.970	8.670	386.6	610.4	0.011	0.211	221.6	185.8
	平均		197.4	308.8	244.5	17.11	49.95	7.155	7.830	389.6	609.4	0.011	0.209	220.2	185.5
高速	2PM19	28.3度		313.9	267.2	14.78	45.50	10.084			619.6	1.228	13.72	158.3	140.9
	2PM20	28.5度		313.7	270.1	16.93	48.40	9.716			619.1	1.313	13.93	154.6	106.3
	平均		ERR	313.8	268.7	15.86	46.95	9.900	ERR	ERR	619.3	1.271	13.82	156.4	123.6

表-2 引張試験結果

(2-1) D38母材

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	3NL1	26度	438.1	672.8	554.8	23.34	45.30	18.68	20.76	384.3	590.2	0.012	0.220	190.6	179.5
	3NL2	25.9度	458.6	683.6	538.6	25.20	49.10	18.38	19.52	402.3	599.7	0.012	0.224	192.5	183.0
	平均		448.4	678.2	546.7	24.27	47.20	18.53	20.14	393.3	594.9	0.012	0.222	191.5	181.2
	3NL3	-0.2度	472.9	700.0	552.6	22.46	43.00	19.43	20.81	414.9	614.0	0.011	0.218	180.8	184.6
	3NL4	0度	476.5	695.5	533.5	23.75	52.40	19.99	21.67	418.0	610.1	0.011	0.226	209.5	182.6
	平均		474.7	697.7	543.1	23.11	47.70	19.71	21.24	416.4	612.0	0.011	0.222	195.2	183.6
	3NL5	-20度	481.2	715.1	554.6	24.43	47.20	18.88	19.83	422.1	627.3	0.011	0.227	187.3	187.9
	3NL6	-20度	487.5	718.6	552.2	24.35	51.60	18.51	19.87	427.6	630.3	0.011	0.224	194.0	187.3
	平均		484.4	716.8	553.4	24.39	49.40	18.69	19.85	424.9	628.8	0.011	0.225	190.7	187.6
	3NL7	-40.5度	519.2	729.0	567.6	25.26	45.70	21.04	22.54	455.4	639.5	0.011	0.226	190.4	189.3
	3NL8	-40.3度	490.7	725.0	564.1	24.56	45.83	19.08	20.82	430.4	636.0	0.013	0.213	186.4	189.6
	平均		504.9	727.0	565.8	24.91	45.77	20.06	21.68	442.9	637.8	0.012	0.220	188.4	189.5
高速	3NL9	23.7度				25.14	51.70								
	3NL10	23.9度		713.6	578.8	25.18	47.90	21.28			626.0	0.498	8.143	142.5	184.0
	平均		ERR	713.6	576.8	25.16	49.80	21.28	ERR	ERR	626.0	0.498	8.143	142.5	184.0
	3NL11	0.0度		718.6	576.1	24.46	48.10	22.82			630.3	0.595	8.372	181.1	195.3
	3NL12	-0.2度		714.5	581.0	24.57	48.60	22.51			626.7	0.649	8.321	198.5	187.7
	平均		ERR	716.5	578.5	24.52	48.35	22.07	ERR	ERR	628.5	0.622	8.347	189.8	191.5
	3NL13	-20.2度		731.8	573.6	25.45	49.10	21.74			642.0	0.623	8.436	203.5	198.2
	3NL14	-20.3度			709.9							0.619	7.582	188.4	199.4
	平均		ERR	731.8	641.7	25.45	49.10	21.74	ERR	ERR	642.0	0.621	8.009	196.0	198.8
	3NL15	-40.1度		746.4	577.5	25.13	49.60	22.38			654.8	0.495	7.988	155.4	196.5
	3NL16	-40.5度		745.9	574.2	24.71	51.80	22.51			654.3	0.490	7.794	164.4	194.5
	平均		ERR	746.2	575.9	24.92	50.70	22.45	ERR	ERR	654.5	0.493	7.891	159.9	195.5

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	3NM1	20.2度	462.0	689.6	549.3	22.86	49.60	18.08	19.37	405.3	604.9	0.014	0.224	165.6	177.1
	3NM2	20.5度	459.7	690.2	539.5	23.47	48.90	18.20	19.38	403.3	605.5	0.015	0.225	164.3	179.8
	平均		460.9	689.9	544.4	23.17	49.25	18.14	19.37	404.3	605.2	0.015	0.225	165.0	178.5
高速	3NM3	29.5度		702.0	481.4	25.77	48.10	21.57			615.8	0.648	7.956	183.3	192.6
	3NM4	29.8度		709.3	543.7	24.38	47.30	20.29			622.2	0.651	8.083	177.5	184.0
	平均		ERR	705.6	512.5	25.08	47.70	20.93	ERR	ERR	619.0	0.650	8.019	180.4	188.3
フィル ターOFF	E380F1		482.8	696.4	506.4					423.5	610.9	0.374			184.8
	E380F2		479.4	700.4	509.0					420.5	614.4	0.414			185.0
	E380F3		475.1	696.6	511.9					416.8	611.0	0.405			178.2
	平均		475.1	696.6	511.9	ERR	ERR	ERR	ERR	416.8	611.0	0.405	ERR	ERR	178.2

(2-2) D38標準圧接

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	3SL1	33.6度	452.3	689.0	556.0	17.41	47.90	12.95	15.16	396.8	604.3	0.014	0.205	204.1	182.7
	3SL2	33.4度	457.8	690.9	560.9	16.45	48.10	12.91	15.09	401.5	606.1	0.013	0.199	197.4	180.8
	平均		455.0	689.9	558.5	16.93	48.00	12.93	15.12	399.2	605.2	0.014	0.202	200.7	181.8
	3SL3	-0.5度	474.0	711.2	571.8	15.65	46.20	12.36	14.10	415.8	623.9	0.011	0.217	225.8	191.5
	3SL4	-0.5度	470.8	713.8	576.7	17.29	45.90	13.20	14.94	413.0	626.1	0.011	0.217	213.8	184.3
	平均		472.4	712.5	574.3	16.47	46.05	12.78	14.52	414.4	625.0	0.011	0.217	219.8	187.9
	3SL5	-20.2度	498.5	725.4	579.7	18.11	48.00	14.04	16.07	437.3	636.3	0.011	0.215	212.7	188.7
	平均		500.0	725.1	579.5	16.70	48.20	13.13	14.95	438.6	636.0	0.011	0.215	195.6	188.3
	平均		500.8	724.9	579.4	15.99	48.30	12.68	14.39	439.3	635.9	0.011	0.215	187.1	188.1
	3SL7	-39.8度	498.7	746.2	597.6	17.91	53.20	12.80	14.39	437.5	654.5	0.010	0.225	206.4	193.5
3SL8	-40.0度	511.8	742.0	742.0				12.66	449.0	650.9	0.010	0.153	270.6	197.2	
平均		505.3	744.1	669.8	17.91	53.20	12.80	13.53	443.2	652.7	0.010	0.189	238.5	195.4	
高速	3SL9	26.1度		718.1	577.7	17.85	46.80	15.87			629.9	0.597	8.440	143.1	182.6
	3SL10	26.0度		707.6	540.7	17.35	51.30	17.09			620.7	0.550	7.500	192.5	198.5
	平均		ERR	712.8	559.2	17.60	49.05	16.48	ERR	ERR	625.3	0.574	7.970	167.8	190.6
	3SL11	0.1度				15.46	44.80								
	3SL12	0.0度			712.4							0.520	6.942	94.7	179.5
	平均		ERR	ERR	712.4	15.46	44.80	ERR	ERR	ERR	ERR	0.520	6.942	94.653	179.542
	3SL13	-20.1度			712.9							0.567	7.020	190.9	196.0
	3SL14	-20.1度		739.4	584.4	15.66	48.00	15.19			648.6	0.563	7.081	150.0	193.4
	平均		ERR	739.4	648.6	15.66	48.00	15.19	ERR	ERR	648.6	0.565	7.051	170.5	194.7
	3SL15	-40.2度		761.1	623.0	15.38	45.10	14.96			667.6	0.523	6.975	150.3	185.7
3SL16	-40.1度		751.0	666.4	14.10	36.10	15.81			658.8	0.552	7.038	189.8	199.2	
平均		ERR	756.0	644.7	14.74	40.60	15.39	ERR	ERR	663.2	0.538	7.006	170.1	192.5	

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	3SM17	28.0度	455.1	695.2	545.0	17.43	50.00	12.92	14.40	399.2	609.8	0.011	0.213	205.9	184.4
	3SM18	28.1度	457.4	696.9	568.9	15.92	46.30	12.50	13.94	401.2	611.3	0.011	0.218	209.3	185.1
	平均		456.3	696.1	557.0	16.68	48.15	12.710	14.170	400.2	610.6	0.011	0.216	207.6	184.8
高速	3SM19	29.6度		711.7	577.8	14.96	46.30	14.45			624.3	0.608	7.966	180.9	176.5
	3SM20	29.4度		707.5	578.5	15.21	44.20	15.09			620.6	0.703	8.420	182.1	183.3
	平均		ERR	709.6	578.1	15.09	45.25	14.77	ERR	ERR	622.4	0.655	8.193	181.5	179.9

(2-3) D38押抜圧接

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	3PL1	26.2度	471.9	700.6	567.7	16.83	49.50	13.04	14.44	414.0	614.6	0.012	0.215	218.5	186.8
	3PL2	27.5度	464.3	698.6	564.5	16.97	45.90	13.26	14.90	407.3	612.8	0.011	0.219	219.2	187.3
	平均		468.1	699.6	566.1	16.90	47.70	13.15	14.67	410.6	613.7	0.011	0.217	218.8	187.0
	3PL3	-0.3度		707.9	585.3	16.65	47.40				621.0				
	3PL4	0.0度				17.30	49.00								
	平均		ERR	707.9	585.3	16.98	48.20	ERR	ERR	ERR	621.0	ERR	ERR	ERR	ERR
	3PL5	-19.7度	485.0	729.5	590.4	16.53	44.80	13.32	15.58	425.4	639.9	0.013	0.192	187.1	193.0
	3PL6	-19.8度	495.1	729.5	575.5	18.05	47.60	13.52	14.96	434.3	639.9	0.011	0.213	192.3	191.3
	平均		490.0	729.5	582.9	17.29	46.20	13.42	15.27	429.9	639.9	0.012	0.202	189.7	192.1
	3PL7	-39.9度	524.6	740.8	589.4	17.08	41.50	13.10	14.28	460.2	649.8	0.011	0.211	206.2	194.2
高速	3PL8	-40.5度	496.1	744.4	610.7	17.10	42.67	12.97	14.68	435.2	652.9	0.010	0.214	186.3	209.3
	平均		510.4	742.6	600.1	17.09	42.09	13.04	14.48	447.7	651.4	0.010	0.213	196.3	201.8
	3PL9	22.5度		722.1	631.9	15.78	45.10	15.36			633.4	0.574	7.139	186.0	192.8
	3PL10	23.5度		723.0	624.2	18.58	46.70	17.06			634.2	0.533	7.544	176.0	189.6
	平均		ERR	722.5	628.0	17.18	45.90	16.21	ERR	ERR	633.8	0.553	7.341	181.0	191.2
	3PL11	0.0度		730.1	625.8	16.82	46.00	15.75			640.4	0.588	7.767	195.3	200.6
	3PL12	0.0度		732.0	601.2	16.92	45.90	16.19			642.1	0.628	7.848	175.0	191.9
	平均		ERR	731.1	613.5	16.87	45.95	15.97	ERR	ERR	641.3	0.608	7.807	185.1	196.3
	3PL13	-20.2度		742.5	614.3	15.88	48.50	15.98			651.3	0.610	7.871	152.8	199.6
	3PL14	-20.0度		744.1	630.5	18.64	18.80	17.38			652.7	0.598	7.641	182.1	200.9
	平均		ERR	743.3	622.4	17.26	33.65	16.68	ERR	ERR	652.0	0.604	7.756	167.5	200.2
	3PL15	-40.0度		753.1	619.5	16.80	46.60	16.34			660.6	0.544	7.355	176.4	191.9
	3PL16	-40.3度		744.2	607.1	15.74	41.60	16.07			652.8	0.784	7.896	173.0	180.0
	平均		ERR	748.6	613.3	16.27	44.10	16.20	ERR	ERR	656.7	0.664	7.626	174.7	186.0

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	3PM17	27.8度	450.1	692.5	558.9	17.69	48.10	13.86	15.29	394.8	607.5	0.012	0.219	196.4	187.2
	3PM18	27.7度	444.3	697.2	575.5	17.00	32.30	13.90	16.20	389.7	611.6	0.015	0.215	192.6	179.3
	平均		447.2	694.9	567.2	17.35	40.20	13.88	15.75	392.3	609.5	0.013	0.217	194.5	183.3
高速	3PM19	29.1度		713.0	578.1	16.55	46.40	15.14			625.5	0.689	8.349	198.1	188.0
	3PM20	28.9度		714.6	579.8	17.43	51.30	16.26			626.8	0.644	8.469	195.7	198.6
	平均		ERR	713.8	579.0	16.99	48.85	15.70	ERR	ERR	626.1	0.667	8.409	196.9	193.3

表-2 引張試験結果
(3-1) D51電炉母材

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	4NL1	26.5度	812.5	1186.0	944.8	24.23	42.90		29.28	400.8	585.1	0.012	0.226	186.4	184.5
	4NL2	23.5度	799.0	1186.3	961.4	24.48	51.00		28.91	394.2	585.3	0.012	0.222	190.2	179.9
	平均		805.8	1186.1	953.1	24.36	46.95	ERR	29.09	397.5	585.2	0.012	0.224	188.3	182.2
	4NL3	-0.3度	845.6	1214.0	958.3	24.38	37.90		30.43	417.2	598.9	0.011	0.218	204.5	183.2
	4NL4	-0.2度	819.3	1203.6	917.7	25.26	52.40		29.67	404.2	593.8	0.012	0.216	189.9	181.9
	平均		832.5	1208.8	938.0	24.82	45.15	ERR	30.05	410.7	596.3	0.011	0.217	197.2	182.5
	4NL5	-19.9度	835.5	1234.0	988.4	24.23	46.70		29.50	412.2	608.8	0.011	0.222	201.2	183.3
	4NL6	-20.4度	855.5	1228.3	951.0	24.70	48.90		29.07	422.1	606.0	0.011	0.222	216.4	185.7
	平均		845.5	1231.1	969.7	24.47	47.80	ERR	29.28	417.1	607.4	0.011	0.222	208.8	184.5
	4NL7	-40.2度	878.3	1256.7	937.0	24.45	51.50		29.82	433.3	620.0	0.011	0.221	192.8	189.8
4NL8	-40度	868.8	1245.7	979.8	22.63	50.70		28.89	428.6	614.6	0.011	0.222	201.0	187.3	
平均		873.5	1251.2	958.4	23.54	51.10	ERR	29.35	430.9	617.3	0.011	0.222	196.9	188.5	
高速	4NL9	25.2度		1215.2	1001.1	24.70	47.80				599.5	0.431	4.112	177.0	199.3
	4NL10	24.4度		1217.7	986.0	24.97	47.70				600.7	0.413	4.075	184.2	198.5
	平均		ERR	1216.4	993.6	24.84	47.75	ERR	ERR	ERR	600.1	0.422	4.094	180.6	198.9
	4NL11	-0.3度		1226.9	1217.6						605.3	0.419	3.959	201.4	202.1
	4NL12	-0.3度		1227.4	1008.1	26.67	42.80				605.5	0.418	3.955	198.4	201.9
	平均		ERR	1227.1	1112.8	26.67	42.80	ERR	ERR	ERR	605.4	0.419	3.957	199.9	202.0
	4NL13	-19.5度		1174.1	1164.4						579.2	0.421	3.948	185.2	201.5
	4NL14	-20.2度		1240.3	996.0	25.56	48.80				611.9	0.406	3.680	197.3	203.2
	平均		ERR	1207.2	1080.2	25.56	48.80	ERR	ERR	ERR	595.6	0.414	3.814	191.2	202.3
	4NL15	-40.2度		1249.0	1053.5	24.50	35.80				616.2	0.415	3.772	203.7	206.3
4NL16	-40.2度		1269.4	1064.6	23.57	43.20				626.3	0.400	3.535	210.1	205.8	
平均		ERR	1259.2	1059.0	24.04	39.50	ERR	ERR	ERR	621.2	0.408	3.654	206.9	206.1	

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	4NM1	20.7度	801.4	1187.2	952.7	24.31	43.5		28.44	395.4	585.7	0.011	0.231	182.8	185.3
	4NM2	20.6度	814.4	1185.8	941.4	25.71	48.7		30.19	401.8	585.0	0.017	0.223	178.9	179.5
	平均		807.9	1186.5	947.1	25.01	46.1	ERR	29.31	398.6	585.4	0.014	0.227	180.9	182.4
高速	4NM3	25.5度		1172.3	1005.3			20.69			578.3	0.407	4.292	174.6	186.5
	4NM4	26.3度		1215.3	892.3	26.69	52.1				599.5	0.506	4.355	186.6	194.9
	平均		ERR	1193.8	948.8	26.69	52.1	20.69	ERR	ERR	588.9	0.456	4.323	180.6	190.7
フィル ターOFF	E510F1		826.8	1202.1	946.1					407.9	593.1	0.238			182.7
	E510F2		826.2	1197.5	933.1					407.6	590.8	0.257			185.3
	E510F3		827.7	1199.6	940.9					408.3	591.8	0.263			180.2
	平均		827.7	1199.6	940.9	ERR	ERR	ERR	ERR	408.3	591.8	0.263	ERR	ERR	180.2

(3-2) D51電炉標準圧接

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	4SL1	31.4度	809.3	1212.7	998.0	15.55	46.80	14.75	17.19	399.3	598.3	0.009	0.202	202.7	184.7
	4SL2	32.2度	806.5	1201.1	976.7	17.09	50.70	16.19	18.58	397.9	592.6	0.011	0.215	220.1	183.9
	平均		807.9	1206.9	987.3	16.32	48.75	15.47	17.88	398.6	595.4	0.010	0.208	211.4	184.3
	4SL3	-0.1度	805.5	1226.1	976.6	15.94	48.70	15.48	17.97	397.4	604.9	0.010	0.204	212.1	194.1
	4SL4	0.3度	823.6	1240.0	998.8	16.32	45.40	15.89	18.30	406.3	611.8	0.012	0.197	205.1	185.6
	平均		814.6	1233.1	987.7	16.13	47.05	15.68	18.14	401.9	608.3	0.011	0.200	208.6	189.8
	4SL5	-20.0度	842.4	1256.2	1029.6	16.37	40.40	17.99	20.78	415.6	619.7	0.011	0.199	229.6	188.8
	4SL6	-19.7度	849.3	1255.7	974.4	18.48	52.10	18.47	21.25	419.0	619.5	0.011	0.196	224.5	185.9
	平均		845.8	1256.0	1002.0	17.43	46.25	18.23	21.01	417.3	619.6	0.011	0.197	227.1	187.4
	4SL7	-39.8度	884.2	1270.2	1089.2	15.31	40.30	17.95	19.74	436.2	626.6	0.011	0.205	204.2	183.7
高速	4SL8	-39.7度	889.8	1306.1	1049.2	15.88	45.43	15.30	17.68	439.0	644.3	0.011	0.198	224.4	195.5
	平均		887.0	1288.1	1069.2	15.60	42.87	16.63	18.71	437.6	635.5	0.011	0.202	214.3	189.6
	4SL9	28.6度		1227.8	959.5	16.39	44.90	20.03			605.7	0.409	3.674	184.3	189.7
	4SL10	26.9度		1234.8	926.7	16.44	51.70	20.89			609.2	0.427	3.724	194.1	195.7
	平均		ERR	1231.3	943.1	16.42	48.30	20.46	ERR	ERR	607.5	0.418	3.699	189.2	192.7
	4SL11	-0.4度		1269.9	940.4	16.96	46.20	20.97			626.5	0.403	3.397	189.2	200.7
	4SL12	0.3度		1265.3	964.1	16.53	48.20	20.10			624.2	0.386	3.517	204.9	198.6
	平均		ERR	1267.6	952.2	16.75	47.20	20.53	ERR	ERR	625.4	0.395	3.457	197.0	199.7
	4SL13	-20.2度		1291.1	942.8	14.72	43.30	19.27			637.0	0.408	3.195	195.5	199.1
	4SL14	-19.8度		1301.9	949.8	16.56	48.90	20.45			642.3	0.406	3.100	202.2	202.6
標準	平均		ERR	1296.5	946.3	15.64	46.10	19.86	ERR	ERR	639.6	0.407	3.147	198.8	200.8
	4SL15	-39.8度		1306.3	946.1	18.40	51.10	19.25			644.4	0.338	2.960	203.5	207.3
	4SL16	-40.0度		1303.3	1036.4	17.95	36.30	20.08			643.0	0.389	2.959	195.7	208.9
	平均		ERR	1304.8	991.2	18.18	43.70	19.67	ERR	ERR	643.7	0.364	2.959	199.6	208.1

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	4SM17	24.8度	776.5	1207.7	960.1	17.16	53.20	18.79	20.89	383.1	595.8	0.011	0.215	207.1	185.7
	4SM18	25.5度	800.4	1204.5	984.0	16.24	46.90	18.03	19.68	394.9	594.2	0.011	0.217	194.9	189.7
	平均		788.5	1206.1	972.1	16.70	50.05	18.41	20.29	389.0	595.0	0.011	0.216	201.0	187.7
高速	4SM19	27.6度		1230.4	932.7	15.66	39.10	19.76			607.0	0.444	3.741	206.0	194.7
	4SM20	29.1度		1232.7	949.5	16.73	44.90	19.71			608.1	0.447	3.734	204.5	198.2
	平均		ERR	1231.6	941.1	16.20	42.00	19.73	ERR	ERR	607.6	0.446	3.737	205.2	196.4

(3-3) D51電炉押抜圧接

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	4P2	21.3度	811.9	1203.0	955.4	19.80	50.20	25.71	26.94	400.6	593.5	0.011	0.218	190.7	187.6
	4P3	22.9度	822.3	1197.7	975.8	19.30	47.40	26.04	27.00	405.7	590.9	0.011	0.227	186.3	186.2
	4P5	23.01度	834.9	1199.3	955.8	18.27	46.60	24.77	25.66	411.9	591.7	0.011	0.229	186.9	184.7
	平均		823.0	1200.0	962.3	19.12	48.07	25.51	26.53	406.0	592.0	0.011	0.225	188.0	186.1
	4P4	-40.2度	884.8	1249.2	1245.3	6.54		15.89	18.30	436.5	616.3	0.011	0.204	217.5	191.6
	4P6	-40.1度	931.3	1211.7	1205.7	4.71		17.99	20.78	459.4	597.8	0.011	0.204	214.8	192.0
	4P7	-40.0度	905.4	1213.1	1212.0	5.35		18.47	21.25	446.7	598.5	0.019	0.210	182.4	191.1
	平均		907.2	1224.7	1221.0	5.53	ERR	17.45	20.11	447.5	604.2	0.013	0.206	204.9	191.6
高速	4P8	20.1度	861.7	1225.3	1211.1	10.68				425.1	604.5	0.471	3.423	182.8	187.2
	4P10	21.4度	884.6	1231.0	1003.8	19.32	37.50	26.00		436.4	607.3	0.472	3.410	183.6	178.3
	4P13	21.4度	879.2	1236.4	921.5	21.64	50.10	26.27		433.7	610.0	0.596	3.498	173.7	172.4
	平均		875.2	1230.9	1045.5	17.21	43.80	26.13	ERR	431.8	607.2	0.513	3.444	180.0	179.3
	4P9	-39.5度	1013.5	1254.7	1228.7	5.68				500.0	619.0	0.411	3.074	213.4	187.6
	4P11	-40.2度	1014.3	1228.8	1222.4	5.50				500.4	606.2	0.404	3.341	178.1	189.5
	4P12	-39.5度	959.7	1187.6	1179.4	3.84				473.5	585.9	0.372	3.490	184.4	196.1
	平均		995.8	1223.7	1210.2	5.01	ERR	ERR	ERR	491.3	603.7	0.396	3.302	192.0	191.1

表-2 引張試験結果
(4-1) D51高炉母材

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	降伏点	最大	破断	(%)	(%)	レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)	(kN)	(kN)			(mm)	(mm)	(N/mm2)	(N/mm2)	(%/sec)	(%/sec)	(kN/mm2)	(kN/mm2)
標準	5NL1	20.5度	807.8	1158.4	898.6	25.44	57.60	26.89	27.59	398.5	570.5	0.011	0.224	181.8	189.7
	5NL2	22.5度	807.5	1154.9	956.1	23.32	49.20	26.72	27.61	398.3	569.8	0.011	0.228	206.2	188.8
	平均		807.6	1155.7	926.4	24.38	53.40	26.81	27.60	398.4	570.1	0.011	0.226	194.0	189.2
	5NL3	0度	831.4	1179.9	984.4	23.80	47.00		28.05	410.1	582.1	0.016	0.225	185.5	182.6
	5NL4	-0.2度	822.2	1172.7	907.6	25.85	53.40		30.77	405.6	578.5	0.011	0.224	206.0	184.7
	平均		828.8	1176.3	946.0	24.83	50.20	ERR	29.41	407.9	580.3	0.013	0.225	195.7	183.7
	5NL5	-20.2度	851.1	1198.7	797.3	27.85	63.20		29.05	419.9	591.4	0.011	0.226	218.6	181.5
	5NL6	-20.3度	836.3	1195.3	973.1	23.18	44.70		30.26	412.6	589.7	0.011	0.225	204.1	186.1
	平均		843.7	1197.0	885.2	25.52	53.95	ERR	29.66	416.2	590.5	0.011	0.226	211.3	183.8
	5NL7	-40.2度	888.2	1234.2	1003.3	24.08	45.80		29.75	438.2	608.9	0.011	0.225	180.5	188.5
	5NL8	-40.2度	904.7	1244.6	831.4	28.05	60.97		28.86	446.3	614.0	0.011	0.223	204.5	190.1
	平均		896.5	1239.4	917.4	26.07	53.39	ERR	29.31	442.3	611.4	0.011	0.224	192.5	189.3
高速	5NL9	23.9度		1187.6	1023.6	25.03	50.30		28.44		585.9	0.434	3.903	181.0	189.9
	5NL10	23.6度		1189.0	921.3	26.14	55.00		28.03		586.6	0.481	4.248	186.7	198.6
	平均		ERR	1188.3	972.5	25.59	52.65	ERR	28.23	ERR	586.2	0.458	4.076	183.9	194.2
	5NL11	-0.2度		1210.8	907.1	27.88	50.00		28.80		597.3	0.427	4.058	191.3	197.9
	5NL12	-0.5度		1211.1	1055.0	23.54	36.80		31.33		597.5	0.427	4.017	189.8	188.5
	平均		ERR	1210.9	1011.0	25.71	43.70	ERR	30.06	ERR	597.4	0.427	4.037	190.5	193.2
	5NL13	-20.4度				26.82	64.00								
	5NL14	-20.2度		1228.9	1048.9	26.72	58.80		28.25		606.2	0.408	3.941	196.9	204.8
	平均		ERR	1228.9	1048.9	26.77	61.40	ERR	28.25	ERR	606.2	0.408	3.941	196.9	204.8
	5NL15	-40.3度		1257.8	945.6	26.49	52.80		28.33		620.5	0.444	3.648	180.2	194.4
	5NL16	-40.1度		1276.6	1022.5	24.61	48.40		28.70		629.8	0.403	3.478	194.7	207.6
	平均		ERR	1267.2	984.0	25.55	50.60	ERR	28.51	ERR	625.2	0.423	3.563	187.4	201.0

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び	絞り	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)	(kN)	(kN)	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(N/mm2)	(N/mm2)	(%/sec)	(%/sec)	(kN/mm2)	(kN/mm2)
標準	5NM1	21.8度	808.6	1160.6	838.6	24.64	46.10	25.32	26.83	398.9	572.6	0.010	0.229	192.1	185.4
	5NM2	22.7度	821.8	1157.0	799.7	28.20	60.00	25.14	26.85	405.4	570.8	0.011	0.232	196.7	180.4
	平均		815.2	1158.8	819.2	26.42	53.05	25.23	26.84	402.2	571.7	0.011	0.231	194.4	182.9
高速	5NM3	26.7度		1186.1	901.3	25.62	56.20	26.73			585.2	0.472	4.332	194.8	194.3
	5NM4	26.7度		1189.4	805.3	25.12	51.90	25.53			586.8	0.484	4.308	197.4	194.1
	平均		ERR	1187.8	853.3	25.37	54.05	26.13	ERR	ERR	586.0	0.478	4.320	196.1	194.2
フィル ターOFF	B510F1		833.0	1169.9	812.9					410.9	577.1	0.258			182.5
	B510F2		831.4	1109.0	833.0					410.2	576.7	0.243			182.3
	B510F3		830.3	1168.8	830.0					409.6	576.6	0.221			181.9
	平均		830.3	1168.8	830.0	ERR	ERR	ERR	ERR	409.6	576.6	0.221	ERR	ERR	181.9

(4-2) D51高炉標準圧接

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	5SL1	33.1度	768.9	1192.8	893.5	16.46	58.00	12.25	14.32	379.3	588.5	0.015	0.211	248.5	172.3
	5SL2	32.3度	772.1	1188.2	959.9	15.86	45.10	12.05	14.98	380.9	586.2	0.014	0.189	242.6	184.4
	平均		770.5	1190.5	926.7	16.16	51.55	12.15	14.65	380.1	587.3	0.014	0.200	245.6	178.4
	5SL3	-0.2度	836.4	1207.1	893.3	18.45	50.60	13.92	15.61	412.6	595.5	0.030	0.205	211.1	190.4
	5SL4	0.3度	813.0	1212.3	1212.1			20.54	13.97	401.1	598.1	0.010	0.198	235.2	192.4
	平均		824.7	1209.7	1052.7	18.45	50.60	17.23	14.79	406.9	596.8	0.020	0.201	223.1	191.4
	5SL5	-20.1度	837.7	1210.1	938.2	15.97	48.80	16.94	18.53	413.3	597.0	0.011	0.214	214.0	180.2
	5SL6	-20.2度	823.5	1210.4	873.4	19.41	50.20	14.38	16.47	406.2	597.1	0.014	0.207	196.8	184.5
	平均		830.6	1210.2	905.8	17.69	49.50	15.66	17.50	409.8	597.0	0.013	0.211	205.4	182.3
	5SL7	-40.3度	860.6	1249.8	911.7	17.53	57.10	15.55	17.79	424.6	616.6	0.010	0.206	238.7	202.2
5SL8	-40.0度	871.2	1244.9	947.4	16.76	54.00	17.95	20.00	429.8	614.1	0.011	0.208	182.5	184.8	
平均		865.9	1247.3	929.6	17.15	55.55	16.75	18.89	427.2	615.4	0.011	0.207	210.6	193.5	
高速	5SL9	29.5度		1183.0	842.4	16.60	53.30	19.98			583.6	0.393	4.044	201.2	203.5
	5SL10	29.2度		1185.7	841.9	18.03	52.90	20.70			585.0	0.397	4.067	173.6	212.6
	平均		ERR	1184.3	842.1	17.32	53.10	20.34	ERR	ERR	584.3	0.395	4.056	187.4	208.1
	5SL11	-0.4度		1223.5	844.4	15.84	56.80	18.67			603.6	0.383	3.904	160.4	198.2
	5SL12	-0.3度		1221.2	937.8	17.12	51.30	20.53			602.4	0.442	3.989	173.6	182.9
	平均		ERR	1222.3	891.1	16.48	54.05	19.60	ERR	ERR	603.0	0.413	3.947	167.0	190.6
	5SL13	-20.2度		1251.7	839.4	15.67	55.80	17.77			617.5	0.430	3.966	197.6	197.3
	5SL14	-20.4度		1240.8	830.6	20.18	56.90	20.93			612.1	0.401	3.759	188.5	192.9
	平均		ERR	1246.2	835.0	17.93	56.35	19.35	ERR	ERR	614.8	0.415	3.862	193.1	195.1
	5SL15	-39.8度			1265.1							0.358	3.603	153.4	180.3
5SL16	-40.3度			1146.7							0.428	3.589	199.9	198.7	
平均		ERR	ERR	1205.9	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	0.393	3.596	176.6	189.5	

短いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	5SM1	26.1度	733.2	1162.3	929.6	15.63	52.5	18.32	19.88	361.7	573.4	0.011	0.220	207.6	185.6
	5SM2	26.1度	794.7	1164.9	906.5	15.55	55.1	17.86	19.34	392.1	574.7	0.011	0.220	206.0	187.5
	平均		764.0	1163.6	918.1	15.59	53.8	18.09	19.61	376.9	574.1	0.011	0.220	206.8	186.6
高速	5SM3	29.1度		1200.8	930.9	16.44	55.2	17.29			592.4	0.458	3.935	214.2	194.1
	5SM4	29.0度		1193.4	948.8	19.14	57.7	19.76			588.7	0.444	4.158	201.8	203.9
	平均		ERR	1197.1	939.9	17.79	56.45	18.52	ERR	ERR	590.6	0.451	4.047	208.0	199.0

(4-3) D51高炉押抜圧接

長いタイプ

設定 載荷速度		温度	荷重			伸び (%)	絞り (%)	一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
			(kN)					(mm)	(mm)	(N/mm2)		(%/sec)		(kN/mm2)	
標準	5P2	17.6度	810.5	1172.3	817.2	21.12	61.20	23.14	25.01	399.8	578.3	0.011	0.227	197.8	190.1
	5P5	18.0度	803.8	1166.5	983.7	17.85	46.60	23.65	31.94	396.5	575.5	0.011	0.220	192.4	191.3
	5P7	18.4度	814.5	1172.2	822.2	21.70	63.30	23.30	24.50	401.8	578.3	0.011	0.228	193.6	185.9
	平均		809.6	1170.3	874.4	20.22	57.03	23.36	27.15	399.4	577.4	0.011	0.225	194.6	189.1
	5P3	-40.5度	873.3	1134.7	1134.7	3.85				430.9	559.8	0.010	0.199	214.4	198.5
	5P4	-40.7度	900.3	1218.1	1218.1	6.06				444.2	600.9	0.010	0.203	213.9	202.6
	5P6	-39.9度	894.4	1254.1	1040.1	17.35	48.00	22.88	25.21	441.2	618.7	0.010	0.225	222.2	192.0
	平均		889.3	1202.3	1131.0	9.09	48.00	22.88	25.21	438.7	593.1	0.010	0.209	216.8	197.7
高速	5P10	19.3度	854.9	1197.4	977.8	18.45	51.70	23.08		421.7	590.7	0.445	3.480	190.7	186.0
	5P12	19.6度	888.8	1201.3	945.7	19.04	49.30	22.15		438.5	592.7	0.481	3.648	194.7	184.9
	5P13	19.9度	850.5	1196.5	838.9	22.60	58.70	23.63		419.6	590.3	0.484	3.608	191.8	175.1
	平均		864.7	1198.4	920.8	20.03	53.23	22.96	ERR	426.6	591.2	0.470	3.579	192.4	182.0
	5P8	-40.0度	995.3	1276.8	1085.4	15.61	42.60	21.69		491.0	629.9	0.401	2.641	214.5	194.0
	5P9	-39.9度	959.1	1265.3	1036.4	18.87	47.20	24.21		473.2	624.2	0.412	2.890	201.5	189.1
	5P11	-40.4度	978.0	1273.1	930.2	20.52	44.10	23.38		482.5	628.1	0.385	2.888	205.2	194.7
	平均		977.5	1271.7	1017.3	18.33	44.63	23.09	ERR	482.2	627.4	0.399	2.806	207.0	192.6

表-3 破断伸び
(1) 常温・標準速度

	試験前(mm)			試験後(mm)			伸び(%)				標点距離/D							
	上	下	全体	上	下	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体
J-D25N-L	62.77	62.53	85.15	81.76	81.25	106.85	30.25	29.94	13.17	39.88	12.11	25.48	2.51	2.50	0.90	1.61	0.90	3.41
J-D25N-L	62.58	62.66	84.87	82.75	82.07	107.47	32.23	30.98	14.36	42.06	10.90	26.63	2.50	2.51	0.89	1.61	0.89	3.39
J-D25N-S	62.38	62.72	90.40	80.23	81.00	111.62	28.61	29.15	10.62	42.97	12.03	23.47	2.50	2.51	1.11	1.39	1.12	3.62
J-D25N-S	63.35	62.64	89.79	76.75	83.32	113.28	21.15	33.01	10.35	29.25	38.16	26.16	2.53	2.51	1.09	1.45	1.06	3.59
J-D25N-C	149.18	149.39	199.92	184.17	184.28	242.39	23.45	23.35	15.00	27.79	14.74	21.24	5.97	5.98	2.02	3.95	2.03	8.00
J-D25N-C	149.20	149.71	200.33	184.26	185.18	244.09	23.50	23.69	16.38	27.16	17.02	21.84	5.97	5.99	2.02	3.94	2.05	8.01
J-D25S-L	62.65	62.02	85.03	65.92	73.82	98.42	5.22	19.03	6.91	4.24	45.22	15.75	2.51	2.48	0.92	1.59	0.90	3.40
J-D25S-L	62.05	62.29	79.76	64.93	72.70	90.77	4.64	16.71	3.43	5.11	45.91	13.80	2.48	2.49	0.70	1.78	0.71	3.19
J-D25S-S	62.62	62.36	85.01	73.65	66.67	98.78	17.61	6.91	41.77	3.93	12.24	16.20	2.50	2.49	0.91	1.60	0.90	3.40
J-D25S-S	61.87	62.64	79.86	72.11	65.79	90.89	16.55	5.03	45.76	5.29	4.39	13.81	2.47	2.51	0.69	1.79	0.72	3.19
J-D25S-C	149.80	150.43	198.78	175.36	169.23	231.69	17.06	12.50	29.18	11.29	15.01	16.56	5.99	6.02	1.93	4.06	1.96	7.95
J-D25S-C	149.78	150.19	198.77	164.65	176.20	231.29	9.93	17.32	13.40	8.26	36.03	16.36	5.99	6.01	1.94	4.05	1.96	7.95
J-D25P-L	52.47	52.14	75.34	64.67	55.36	90.47	23.25	6.18	51.34	0.99	12.81	20.08	2.10	2.09	0.93	1.17	0.91	3.01
J-D25P-L	52.51	54.64	74.87	55.56	65.28	87.85	5.81	19.47	11.57	2.20	44.41	17.34	2.10	2.19	0.81	1.29	0.89	2.99
J-D25P-S	61.69	62.60	81.70	64.87	75.47	95.21	5.15	20.56	3.35	5.96	51.62	16.54	2.47	2.50	0.76	1.70	0.80	3.27
J-D25P-S	61.80	62.72	84.03	67.44	74.60	98.88	9.13	18.94	13.94	6.59	41.43	17.67	2.47	2.51	0.85	1.62	0.89	3.36
J-D25P-C	150.08	150.20	198.90	175.49	167.53	231.57	16.93	11.54	31.50	9.93	14.87	16.43	6.00	6.01	1.95	4.06	1.95	7.96
J-D25P-C	149.99	150.19	198.80	167.52	177.16	233.11	11.69	17.96	15.10	10.05	34.38	17.26	6.00	6.01	1.94	4.06	1.95	7.95
J-D38N-L	94.13	94.24	138.64	120.95	119.90	171.00	28.49	27.23	15.09	40.46	12.45	23.34	2.48	2.48	1.17	1.31	1.17	3.65
J-D38N-L	94.40	94.35	138.37	121.98	121.84	173.24	29.22	29.14	16.77	40.10	16.58	25.20	2.48	2.48	1.16	1.33	1.16	3.64
J-D38N-S	93.82	95.36	145.60	121.17	121.05	178.89	29.15	26.94	15.13	45.32	11.47	22.86	2.47	2.51	1.32	1.15	1.36	3.83
J-D38N-S	94.38	94.32	147.85	122.03	122.03	182.55	29.30	29.38	13.06	50.58	13.18	23.47	2.48	2.48	1.41	1.08	1.41	3.89
J-D38S-L	95.03	95.29	144.72	101.19	114.98	169.92	6.48	20.66	11.15	1.43	38.32	17.41	2.50	2.51	1.30	1.20	1.31	3.81
J-D38S-L	95.35	94.73	144.02	102.01	112.04	167.71	6.98	18.27	12.94	0.61	34.99	16.45	2.51	2.49	1.30	1.21	1.28	3.79
J-D38S-S	95.01	94.89	143.68	102.04	113.28	168.73	7.40	19.38	13.65	0.80	37.02	17.43	2.50	2.50	1.28	1.22	1.28	3.78
J-D38S-S	95.26	95.03	138.95	112.66	100.43	161.07	18.27	5.68	38.07	1.32	10.80	15.92	2.51	2.50	1.16	1.35	1.15	3.66
J-D38P-L	94.75	94.83	138.32	101.14	114.02	161.60	6.74	20.24	9.40	4.49	38.77	16.83	2.49	2.50	1.14	1.35	1.15	3.64
J-D38P-L	95.06	94.90	144.06	101.35	114.25	168.51	6.62	20.39	10.37	2.59	37.06	16.97	2.50	2.50	1.29	1.21	1.29	3.79
J-D38P-S	95.38	95.30	144.57	102.70	113.57	170.15	7.67	19.17	14.84	0.02	37.12	17.69	2.51	2.51	1.30	1.21	1.29	3.80
J-D38P-S	95.21	94.71	147.00	101.34	114.55	171.99	6.44	20.95	9.85	2.28	36.42	17.00	2.51	2.49	1.38	1.13	1.36	3.87
J-D51N-L	126.65	127.09	203.85	163.32	166.28	253.25	28.95	30.84	13.30	53.04	16.49	24.23	2.48	2.49	1.51	0.98	1.51	4.00
J-D51N-L	126.87	126.93	204.47	162.15	166.95	254.53	27.81	31.53	12.95	51.17	19.05	24.48	2.49	2.49	1.52	0.97	1.52	4.01
J-D51N-S	126.84	126.94	204.00	165.45	163.49	253.60	30.44	28.79	16.93	51.35	14.24	24.31	2.49	2.49	1.51	0.98	1.51	4.00
J-D51N-S	127.31	126.92	204.02	166.65	164.79	256.48	30.90	29.84	18.92	49.29	17.10	25.71	2.50	2.49	1.51	0.98	1.50	4.00
J-D51S-L	127.14	127.41	174.95	133.71	150.62	202.16	5.17	18.22	8.41	3.23	43.17	15.55	2.49	2.50	0.93	1.56	0.94	3.43
J-D51S-L	127.33	127.70	174.76	135.54	152.07	204.62	6.45	19.08	11.67	3.39	45.65	17.09	2.50	2.50	0.92	1.57	0.93	3.43
J-D51S-S	128.53	126.84	204.20	153.68	137.02	239.25	19.57	8.03	32.15	0.55	13.08	17.16	2.52	2.49	1.52	1.00	1.48	4.00
J-D51S-S	127.68	127.05	204.09	137.09	151.13	237.24	7.37	18.95	11.77	0.67	31.07	16.24	2.50	2.49	1.51	0.99	1.50	4.00
J-D51BN-L	126.79	126.69	203.26	167.88	163.25	254.96	32.41	28.86	19.77	51.67	13.87	25.44	2.49	2.48	1.50	0.98	1.50	3.99
J-D51BN-L	126.54	126.74	204.01	164.04	154.44	251.58	29.63	21.86	25.72	35.78	13.00	23.32	2.48	2.49	1.52	0.97	1.52	4.00
J-D51BN-S	126.59	126.78	195.21	166.14	161.62	243.31	31.24	27.48	19.38	45.20	12.46	24.64	2.48	2.49	1.34	1.14	1.35	3.83
J-D51BN-S	126.97	127.03	195.08	173.40	169.06	250.09	36.57	33.09	19.07	56.77	12.60	28.20	2.49	2.49	1.33	1.16	1.34	3.83
J-D51BS-L	108.10	113.55	161.21	112.56	136.48	187.75	4.13	20.19	7.57	1.41	41.57	16.46	2.12	2.23	0.93	1.19	1.04	3.16
J-D51BS-L	107.11	111.26	157.36	111.57	132.54	182.32	4.16	19.13	7.98	1.28	40.80	15.86	2.10	2.18	0.90	1.20	0.99	3.09
J-D51BS-S	128.24	127.39	203.42	152.99	134.62	235.22	19.30	5.68	32.32	0.34	9.38	15.63	2.51	2.50	1.49	1.02	1.47	3.99
J-D51BS-S	128.11	127.21	203.49	136.08	150.56	235.13	6.22	18.36	10.87	-0.62	31.40	15.55	2.51	2.49	1.50	1.02	1.48	3.99

表-3 破断伸び

(2) 常温・高速

	試験前(mm)			試験後(mm)			伸び(%)				標点距離/D							
	上	下	全体	上	下	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体
K-D25N-L	62.56	62.58	85.04	82.79	82.71	108.67	32.34	32.17	15.58	41.72	15.12	27.79	2.50	2.50	0.90	1.60	0.90	3.40
K-D25N-L	63.34	62.80	84.34	81.34	82.02	106.20	28.42	30.61	12.26	36.75	18.38	25.92	2.53	2.51	0.86	1.67	0.84	3.37
K-D25N-S	62.53	62.51	99.43	80.74	80.74	122.67	29.12	29.16	13.57	51.54	13.63	23.37	2.50	2.50	1.48	1.02	1.48	3.98
K-D25N-S	62.52	62.51	99.93	81.06	81.75	122.90	29.65	30.78	9.97	59.00	11.84	22.99	2.50	2.50	1.50	1.00	1.50	4.00
K-D25S-L	62.37	62.12	82.17	66.78	72.63	95.20	7.07	16.92	12.57	4.47	43.54	15.86	2.49	2.48	0.80	1.69	0.79	3.29
K-D25S-L	62.76	62.19	76.96	72.26	66.04	87.60	15.14	6.19	45.97	5.65	8.03	13.83	2.51	2.49	0.59	1.92	0.57	3.08
K-D25S-S	62.20	62.73	86.69	66.97	73.02	96.02	7.67	16.40	-4.01	14.98	18.62	10.76	2.49	2.51	0.96	1.53	0.98	3.47
K-D25S-S	62.57	62.20	80.57	74.73	65.39	93.58	19.43	5.13	53.46	5.29	4.72	16.15	2.50	2.49	0.73	1.77	0.72	3.22
K-D25P-L	49.35	57.02	74.63	51.86	67.51	87.11	5.09	18.40	11.30	1.64	39.44	16.72	1.97	2.28	0.70	1.27	1.01	2.99
K-D25P-L	49.78	54.30	73.95	58.00	58.00	85.12	16.51	6.81	38.02	2.49	12.21	15.10	1.99	2.17	0.79	1.21	0.97	2.96
K-D25P-S	62.05	62.58	82.21	66.09	73.78	94.36	6.51	17.90	4.84	7.28	40.23	14.78	2.48	2.50	0.79	1.70	0.81	3.29
K-D25P-S	62.25	62.39	81.68	74.89	69.09	95.51	20.31	10.74	36.96	12.83	6.12	16.93	2.49	2.50	0.77	1.72	0.78	3.27
K-D38N-L	92.82	94.97	149.52	121.62	123.71	187.11	31.03	30.26	16.22	52.13	15.50	25.14	2.44	2.50	1.44	1.01	1.49	3.93
K-D38N-L	92.94	94.04	151.59	122.76	113.84	189.76	32.09	21.05	31.92	32.35	14.24	25.18	2.45	2.47	1.51	0.93	1.54	3.99
K-D35N-S	94.34	94.20	147.38	124.01	120.71	185.36	31.45	28.14	21.57	44.22	15.67	25.77	2.48	2.48	1.40	1.08	1.40	3.88
K-D38N-S	95.28	94.69	148.07	122.12	123.11	184.17	28.17	30.01	14.39	45.73	17.54	24.38	2.51	2.49	1.40	1.10	1.39	3.90
K-D38S-L	100.98	94.31	143.90	119.88	101.47	169.59	18.72	7.59	37.37	0.72	15.82	17.85	2.66	2.48	1.31	1.35	1.13	3.79
K-D38S-L	102.15	104.69	152.58	108.26	124.96	179.05	5.98	19.36	12.95	-0.17	40.37	17.35	2.69	2.76	1.26	1.43	1.33	4.02
K-D38S-S	95.16	94.93	142.07	111.71	100.34	163.33	17.39	5.70	33.62	1.46	10.04	14.96	2.50	2.50	1.24	1.26	1.23	3.74
K-D38S-S	95.53	94.92	139.90	111.53	100.44	161.18	16.75	5.82	35.04	0.47	11.90	15.21	2.51	2.50	1.18	1.33	1.17	3.68
K-D38P-L	94.27	95.10	136.30	100.33	112.44	157.81	6.43	18.23	10.12	3.56	36.76	15.78	2.48	2.50	1.08	1.40	1.11	3.59
K-D38P-L	95.51	95.16	135.65	113.59	104.50	160.86	18.93	9.82	39.19	4.02	17.76	18.58	2.51	2.50	1.07	1.45	1.06	3.57
K-D38P-S	95.75	95.49	147.45	115.21	100.30	171.85	20.32	5.04	37.70	-0.30	9.56	16.55	2.52	2.51	1.37	1.15	1.36	3.88
K-D38P-S	95.17	94.83	147.77	102.49	113.85	173.52	7.69	20.06	12.71	1.40	35.04	17.43	2.50	2.50	1.39	1.11	1.38	3.89
K-D51N-L	127.73	126.78	204.36	157.62	167.20	254.84	23.40	31.88	12.97	39.54	26.87	24.70	2.50	2.49	1.52	0.98	1.50	4.01
K-D51N-L	127.08	126.74	204.07	167.53	155.93	255.03	31.83	23.03	28.15	37.55	13.65	24.97	2.49	2.49	1.52	0.98	1.51	4.00
*K-D51N-S	127.18	126.98	203.87	135.99	135.98	218.08	6.93	7.09	6.78	7.16	7.04	6.97	2.49	2.49	1.51	0.99	1.50	4.00
K-D51N-S	127.08	127.01	204.30	161.04	168.88	258.82	26.72	32.97	16.37	42.80	26.63	26.69	2.49	2.49	1.52	0.98	1.51	4.01
K-D51S-L	142.51	127.81	203.83	169.05	135.73	237.23	18.62	6.20	33.52	1.59	11.19	16.39	2.79	2.51	1.49	1.30	1.20	4.00
K-D51S-L	139.15	128.71	204.94	149.62	152.03	238.63	7.52	18.12	13.60	0.16	35.29	16.44	2.73	2.52	1.49	1.23	1.29	4.02
K-D51S-S	127.80	127.28	202.48	149.66	137.27	234.18	17.10	7.85	28.87	0.29	13.18	15.66	2.51	2.50	1.47	1.03	1.46	3.97
K-D51S-S	127.84	127.12	203.80	153.41	135.97	237.89	20.00	6.96	32.92	0.65	11.22	16.73	2.51	2.49	1.50	1.00	1.49	4.00
K-D51BN-L	126.72	127.68	193.73	160.87	166.28	242.22	26.95	30.23	14.97	39.99	21.40	25.03	2.48	2.50	1.30	1.19	1.31	3.80
K-D51BN-L	126.78	127.49	193.55	167.80	155.36	244.14	32.36	21.86	34.39	30.14	14.33	26.14	2.49	2.50	1.30	1.19	1.31	3.80
K-D51BN-S	126.56	126.70	194.63	165.65	166.82	244.49	30.89	31.67	14.34	50.06	15.82	25.62	2.48	2.48	1.33	1.15	1.33	3.82
K-D51BN-S	126.74	126.70	186.73	165.70	164.33	233.64	30.74	29.70	15.46	44.49	13.25	25.12	2.49	2.48	1.18	1.31	1.18	3.66
K-D51BS-L	132.59	127.75	203.83	158.24	136.95	237.66	19.35	7.20	32.37	1.80	11.48	16.60	2.60	2.50	1.49	1.11	1.40	4.00
K-D51BS-L	128.30	136.77	202.76	154.16	147.57	239.32	20.16	7.90	39.04	0.16	14.37	18.03	2.52	2.68	1.29	1.22	1.46	3.98
K-D51BS-S	127.59	127.21	204.95	135.44	153.16	238.64	6.15	20.40	9.96	0.22	33.40	16.44	2.50	2.49	1.52	0.98	1.52	4.02
K-D51BS-S	127.60	127.18	203.27	140.48	153.12	242.18	10.09	20.40	17.05	-0.17	34.40	19.14	2.50	2.49	1.49	1.01	1.48	3.99

表-3 破断伸び

(3)0°C・高速

	試験前(mm)			試験後(mm)			伸び(%)							標点距離/D						
	上	下	全体	上	下	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体		
K-D25N-L	62.09	63.16	85.09	81.82	82.26	108.31	31.78	30.24	18.79	38.87	15.17	27.29	2.48	2.53	0.88	1.61	0.92	3.40		
K-D25N-L	62.50	62.44	84.82	80.69	80.26	104.79	29.10	28.54	9.61	39.98	7.97	23.54	2.50	2.50	0.90	1.60	0.89	3.39		
K-D25S-L	62.97	62.12	89.37	73.79	66.58	104.30	17.18	7.18	38.42	0.98	15.57	16.71	2.52	2.48	1.09	1.43	1.06	3.57		
K-D25S-L	62.24	62.37	82.37	73.86	66.45	95.41	18.67	6.54	44.80	6.30	7.05	15.83	2.49	2.49	0.80	1.69	0.81	3.29		
K-D25P-L	54.28	57.69	80.48	57.85	69.09	94.59	6.58	19.76	11.89	2.73	40.23	17.53	2.17	2.31	0.91	1.26	1.05	3.22		
K-D25P-L	56.66	58.35	87.81	60.35	70.91	103.09	6.51	21.53	9.23	3.57	37.21	17.40	2.27	2.33	1.18	1.09	1.25	3.51		
K-D38N-L	94.85	93.88	151.95	123.93	116.79	189.11	30.66	24.40	24.54	40.32	14.15	24.46	2.50	2.47	1.53	0.97	1.50	4.00		
K-D38N-L	94.40	93.85	151.58	123.71	114.00	188.83	31.05	21.47	29.62	33.30	13.89	24.57	2.48	2.47	1.52	0.97	1.50	3.99		
K-D38S-L	101.46	102.11	152.14	107.25	120.77	175.66	5.71	18.27	9.71	1.81	34.98	15.46	2.67	2.69	1.32	1.35	1.33	4.00		
*K-D38S-L	95.69	96.60	148.45	99.83	101.86	156.87	4.33	5.45	6.09	2.24	8.11	5.67	2.52	2.54	1.36	1.15	1.39	3.91		
K-D38P-L	95.08	95.03	138.17	112.85	101.92	161.41	18.69	7.25	37.90	2.73	12.69	16.82	2.50	2.50	1.14	1.37	1.13	3.64		
K-D38P-L	95.06	95.11	140.51	100.62	114.65	164.28	5.85	20.54	9.32	2.68	40.07	16.92	2.50	2.50	1.19	1.31	1.20	3.70		
*K-D51N-L	126.60	126.33	204.42	144.26	141.62	230.22	13.95	12.10	13.46	14.74	10.46	12.62	2.48	2.48	1.53	0.95	1.53	4.01		
K-D51N-L	126.44	126.31	204.13	167.86	167.07	258.58	32.76	32.27	17.59	57.03	16.77	26.67	2.48	2.48	1.53	0.95	1.52	4.00		
K-D51S-L	139.61	127.93	203.87	150.64	152.31	238.45	7.90	19.06	13.43	1.30	36.65	16.96	2.74	2.51	1.49	1.25	1.26	4.00		
K-D51S-L	129.25	127.96	204.08	153.49	137.58	237.82	18.75	7.52	31.69	0.23	12.70	16.53	2.53	2.51	1.49	1.04	1.47	4.00		
K-D51BN-L	127.22	126.99	203.95	170.58	168.43	260.82	34.08	32.63	20.05	55.57	17.61	27.88	2.49	2.49	1.51	0.99	1.50	4.00		
K-D51BN-L	126.74	127.22	194.45	157.28	164.93	240.23	24.10	29.64	12.00	37.76	22.51	23.54	2.49	2.49	1.32	1.17	1.33	3.81		
K-D51BS-L	138.93	128.83	205.05	165.00	135.74	237.52	18.76	5.36	33.53	0.81	9.68	15.84	2.72	2.53	1.49	1.23	1.30	4.02		
K-D51BS-L	136.36	127.94	203.64	162.03	137.85	238.50	18.83	7.75	32.96	1.19	13.66	17.12	2.67	2.51	1.48	1.19	1.32	3.99		

(4)-20°C・高速

	試験前(mm)			試験後(mm)			伸び(%)					標点距離/D						
	上	下	全体	上	下	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体
K-D25N-L	62.61	62.54	85.14	82.12	82.11	108.03	31.16	31.29	14.69	40.46	15.00	26.89	2.50	2.50	0.90	1.60	0.90	3.41
K-D25N-L	62.78	62.18	85.15	82.53	81.14	108.02	31.46	30.49	17.02	39.79	13.95	26.86	2.51	2.49	0.92	1.59	0.89	3.41
K-D25S-L	62.89	62.50	85.91	67.92	73.63	101.19	8.00	17.81	17.73	2.23	44.53	17.79	2.52	2.50	0.94	1.58	0.92	3.44
K-D25S-L	62.90	62.20	80.18	66.49	71.61	91.53	5.71	15.13	10.79	3.67	44.91	14.16	2.52	2.49	0.72	1.80	0.69	3.21
K-D25P-L	55.66	58.27	84.35	58.84	69.87	98.73	5.71	19.91	10.66	1.35	39.04	17.05	2.23	2.33	1.04	1.18	1.15	3.37
K-D25P-L	62.97	59.66	92.36	75.32	63.68	108.02	19.61	6.74	35.60	2.35	11.26	16.96	2.52	2.39	1.31	1.21	1.18	3.69
K-D38N-L	94.08	94.48	151.12	123.68	115.21	189.58	31.46	21.94	31.30	31.70	15.53	25.45	2.48	2.49	1.49	0.99	1.50	3.98
*K-D38N-L	94.32	93.65	151.99	101.02	101.56	163.61	7.10	8.45	6.36	8.31	8.53	7.65	2.48	2.46	1.54	0.95	1.52	4.00
*K-D38S-L	95.24	101.76	147.22	98.46	105.65	154.10	3.38	3.82	6.58	0.46	7.04	4.67	2.51	2.68	1.20	1.31	1.37	3.87
K-D38S-L	95.23	104.34	146.70	100.84	123.04	169.68	5.89	17.92	10.10	2.52	33.75	15.66	2.51	2.75	1.11	1.39	1.35	3.86
K-D38P-L	95.79	95.00	141.81	101.71	112.52	164.33	6.18	18.44	10.68	1.88	36.07	15.88	2.52	2.50	1.23	1.29	1.21	3.73
K-D38P-L	95.25	95.58	141.04	115.46	102.73	167.33	21.22	7.48	42.10	2.15	13.28	18.64	2.51	2.52	1.20	1.31	1.21	3.71
*K-D51N-L	126.73	126.41	204.24	136.80	134.70	218.77	7.95	6.56	8.02	7.83	5.75	7.11	2.48	2.48	1.53	0.96	1.52	4.00
K-D51N-L	126.48	126.59	198.30	167.62	152.95	248.99	32.53	20.82	33.93	30.69	13.30	25.56	2.48	2.48	1.41	1.07	1.41	3.89
K-D51S-L	127.78	140.39	203.91	134.94	164.48	233.92	5.60	17.16	9.32	1.93	30.01	14.72	2.51	2.75	1.25	1.26	1.49	4.00
K-D51S-L	133.93	136.56	204.23	158.80	146.90	238.05	18.57	7.57	34.70	2.10	12.73	16.56	2.63	2.68	1.33	1.30	1.38	4.00
K-D51BN-L	126.71	126.58	203.41	171.35	151.38	257.97	35.23	19.59	38.73	29.83	12.93	26.82	2.48	2.48	1.51	0.98	1.50	3.99
K-D51BN-L	126.61	126.84	192.36	167.85	157.95	243.75	32.57	24.53	30.95	34.31	15.44	26.72	2.48	2.49	1.28	1.20	1.29	3.77
K-D51BS-L	127.43	137.70	194.62	133.91	162.93	225.11	5.09	18.32	9.24	1.73	35.73	15.67	2.50	2.70	1.12	1.38	1.32	3.82
K-D51BS-L	127.45	133.28	204.24	138.99	163.53	245.46	9.05	22.70	15.46	1.01	38.65	20.18	2.50	2.61	1.39	1.11	1.51	4.00

(5)-40°C・高速

	試験前(mm)			試験後(mm)			伸び(%)				標点距離/D							
	上	下	全体	上	下	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体	上	下	上部	圧接部	下部	全体
K-D25N-L	62.52	62.50	84.74	81.56	80.13	106.28	30.45	28.21	17.58	37.56	11.25	25.42	2.50	2.50	0.89	1.61	0.89	3.39
K-D25N-L	62.38	62.50	84.70	81.91	82.26	108.17	31.31	31.62	16.71	39.37	17.65	27.71	2.50	2.50	0.89	1.61	0.89	3.39
K-D25S-L	62.46	62.31	88.84	75.10	65.42	102.43	20.24	4.99	39.50	6.01	3.60	15.30	2.50	2.49	1.06	1.44	1.06	3.55
K-D25S-L	62.98	62.48	88.54	66.01	73.40	103.68	4.81	17.48	16.19	-3.22	47.38	17.10	2.52	2.50	1.04	1.48	1.02	3.54
K-D25P-L	58.79	57.04	84.64	70.62	60.64	99.23	20.12	6.31	39.82	2.69	10.68	17.24	2.35	2.28	1.10	1.25	1.03	3.39
K-D25P-L	56.56	52.48	79.47	66.57	56.77	92.94	17.70	8.17	34.01	2.81	15.10	16.95	2.26	2.10	1.08	1.18	0.92	3.18
K-D38N-L	94.23	94.24	151.95	123.45	111.91	190.14	31.01	18.75	35.56	23.82	15.54	25.13	2.48	2.48	1.52	0.96	1.52	4.00
K-D38N-L	94.00	93.24	151.12	123.96	107.70	188.46	31.87	15.51	39.53	19.60	12.92	24.71	2.47	2.45	1.52	0.95	1.50	3.98
K-D38S-L	97.09	94.36	144.11	102.12	112.64	166.28	5.18	19.37	7.82	2.41	36.45	15.38	2.56	2.48	1.31	1.25	1.24	3.79
K-D38S-L	95.04	94.98	142.25	100.89	109.97	162.31	6.16	15.78	10.73	1.63	30.10	14.10	2.50	2.50	1.24	1.26	1.24	3.74
K-D38P-L	95.44	95.20	139.49	103.68	112.18	162.93	8.63	17.84	14.59	3.48	34.51	16.80	2.51	2.51	1.17	1.35	1.16	3.67
K-D38P-L	94.88	96.40	145.19	101.35	113.78	168.04	6.82	18.03	11.21	2.17	32.56	15.74	2.50	2.54	1.28	1.21	1.32	3.82
K-D51N-L	127.08	126.66	204.32	165.52	154.17	254.37	30.25	21.72	29.02	32.17	15.03	24.50	2.49	2.48	1.52	0.97	1.51	4.01
K-D51N-L	126.78	126.39	204.05	164.65	147.60	252.15	29.87	16.78	34.63	22.35	13.24	23.57	2.49	2.48	1.52	0.96	1.52	4.00
K-D51S-L	127.61	141.07	202.10	139.10	167.88	239.28	9.00	19.00	16.99	1.68	34.49	18.40	2.50	2.77	1.20	1.31	1.46	3.96
K-D51S-L	128.49	135.33	203.94	142.72	158.26	240.54	11.07	16.94	19.92	0.94	29.65	17.95	2.52	2.65	1.35	1.17	1.48	4.00
K-D51BN-L	126.66	126.73	204.04	170.19	148.02	258.08	34.37	16.80	42.36	21.84	13.58	26.49	2.48	2.48	1.52	0.97	1.52	4.00
K-D51BN-L	126.74	126.59	203.82	167.74	146.16	253.99	32.35	15.46	39.62	21.01	11.90	24.61	2.49	2.48	1.51	0.97	1.51	4.00
*K-D51BS-L	137.74	126.95	202.59	147.45	134.18	216.92	7.05	5.70	9.39	4.20	7.12	7.07	2.70	2.49	1.48	1.22	1.27	3.97
*K-D51BS-L	127.99	134.00	204.20	131.56	137.98	211.03	2.79	2.97	4.06	1.25	4.28	3.34	2.51	2.63	1.38	1.13	1.49	4.00

表-4 圧接部破断鉄筋の硬さ試験結果
(1)標準圧接

試験片:51BSHLD1

LD1-1 側面		LD1-1 破面		LD1-2 側面		LD1-2 破面	
距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10
1	219	2	201	1	214	2	201
2	221	4	212	2	206	4	201
3	215	8	210	3	204	6	208
4	210	10	206	4	204	8	213
5	215	12	203	5	208	10	209
6	208	14	201	6	210	12	211
7	205	16	201	7	209	14	199
8	210	18	188	8	209	16	202
9	208	20	192	9	205	18	203
10	211	22	197	10	207	20	187
11	209	24	191	11	218	22	190
12	208	26	182	12	205	24	111
13	213	28	223	13	210	26	172
14	217	30	204	14	206	28	129
15	209	32	188	15	212	30	141
16	206	34	187	16	203	32	149
17	219	36	190	17	196	34	124
18	213	38	195	18	201	36	188
19	216	40	200	19	206	38	193
20	211	42	192	20	202	40	205
21	202	44	203	21	199	42	183
22	205	46	206	22	201	44	209
		48	202	23	207	46	217
		50	210	24	199	48	206
		52	206	25	203	50	198
		54	208	26	202	52	209
		56	204	27	207	54	212
						56	210
						58	209
						60	211
						62	209
						64	207
						66	207
						68	207
						70	207

試験片:51BSHLD2

LD2-1 側面		LD2-1 破面		LD2-2 側面		LD2-2 破面	
距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10
2	200	4	204	2	204	4	207
3	199	8	201	3	202	6	205
4	200	10	193	4	196	8	206
5	205	12	200	5	201	10	206
6	199	14	192	6	200	12	204
7	197	16	196	7	206	14	208
8	193	18	193	8	205	16	207
9	190	20	192	9	217	18	203
10	193	22	180	10	213	20	196
11	196	24	194	11	210	22	196
12	197	26	193	12	207	24	205
13	201	28	233	13	211	26	195
14	200	30	205	14	205	28	196
15	199	32	194	15	211	30	196
16	206	34	198	16	208	32	189
17	208	36	192	17	207	34	195
18	208	38	204	18	205	36	191
19	209	40	188	19	206	38	200
20	205	42	200	20	204	40	197
21	201	44	207			42	207
22	199	46	217			44	167
		48	215			46	213
		50	221			48	204
		52	224			50	107
		54	219			52	208
						54	209
						56	212
						58	224
						60	141
						62	186
						64	200
						66	206
						68	207
						70	201
						72	206
						74	203

表-4 圧接部破断鉄筋の硬さ試験結果

(1) 押抜圧接

試験片: 51BSHLD1

LD1-1 側面		LD1-1 破面		LD1-2 側面		LD1-2 破面	
距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10
1	205	2	196	1	207	2	205
2	203	4	203	2	205	4	205
3	207	6	209	3	203	6	206
4	212	8	206	4	215	8	205
5	210	10	213	5	209	10	206
6	213	12	207	6	205	12	201
7	213	14	196	7	213	14	207
8	206	16	206	8	212	16	207
9	206	18	197	9	205	18	203
10	207	20	196	10	203	20	198
11	203	22	194	11	207	22	197
12	202	24	201	12	209	24	202
13	198	26	202	13	207	26	192
14	199	28	182	14	206	28	47.5
15	193	30	191	15	201	30	183
16	194	32	189	16	215	32	33.8
17	196	34	191	17	213	34	182
18	196	36	186	18	218	36	196
19	198	38	189	19	222	38	192
20	201	40	202	20	210	40	194
21	198	42	207	21	210	42	187
		44	203	22	210	44	198
		46	201	23	215	46	196
		48	205	24	207	48	201
		50	203	25	203	50	212
		52	202			52	206
		54	192			54	207

試験片: 51BSHLD2

LD1-1 側面		LD1-1 破面		LD1-2 側面		LD1-2 破面	
距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10
2	201	4	210	1	206	2	202
3	199	6	212	2	199	4	198
4	196	8	210	3	199	6	207
5	199	10	206	4	201	8	201
6	202	12	202	5	199	10	201
7	203	14	192	6	203	12	202
8	199	16	191	7	198	14	203
9	198	18	191	8	205	16	202
10	201	20	189	9	210	18	224
11	202	22	193	10	207	20	193
12	197	24	181	11	206	22	192
13	197	26	178	12	213	24	202
14	193	28	215	13	213	26	188
		30	193	14	209	28	192
		32	189	15	210	30	236
		34	196	16	197	32	206
		36	191	17	201	34	189
		38	197	18	207	36	210
		40	206	19	206	38	188
		42	210	20	203	40	197
		44	213	21	203	42	62.7
		46	216	22	209	44	61.7
		48	216	23	209	46	62.7
		50	209	24	199	48	66.5
				25	210	50	202
						52	215

試験片: 51EPHLD2

LD1-1 側面		LD1-1 破面		LD1-2 側面		LD1-2 破面	
距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10	距離mm	硬さHv10
2	197	4	209	1	182	2	193
3	194	6	205	2	193	4	196
4	198	8	198	3	191	6	192
5	203	10	193	4	186	8	201
6	201	12	199	5	192	10	194
7	198	14	191	6	198	12	201
8	198	16	191	7	193	14	194
9	192	18	187	8	192	16	193
10	191	20	188	9	193	18	193
11	189	22	202	10	188	20	194
12	194	24	188	11	189	22	186
13	201	26	176	12	192	24	186
14	203	28	253	13	192	26	193
15	197	30	188	14	194	28	197
16	207	32	194	15	196	30	185
17	207	34	191	16	198	32	209
18	209	36	192	17	194	34	193
19	212	38	197	18	194	36	196
20	209	40	205	19	189	38	197
21	203	42	198	20	194	40	201
22	209	44	202	21	199	42	193
23	209	46	198	22	198	44	202
		48	202	23	197	46	202
		50	203	24	198	48	203
				25	193	50	201
						52	199

表-5 経時変化

試験 材料 (B)	圧縮履歴	荷重			伸び (%)	絞り (%)	圧縮履歴測定		強度		ひずみ弾性		ヤング係数		
		降伏点 (N)	最大 (N)	破断 (N)			平均 (mm)	断面積 (mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ひずみ弾性 (N/mm ²)	レーザ (N/mm ²)	ひずみ弾性 (N/mm ²)	
1	標準圧縮 S	188.5	294.3	238.7	15.5	53.9	42.00	13.82	372.1	533.8	0.00013	0.002	2.08	1.74	
		190.5	300.7	245.0	15.5	54.1	42.80	13.04	376.0	533.5	0.00014	0.002	1.84	1.72	
		191.1	298.7	243.8	15.4	54.2	40.60	12.95	377.2	533.5	0.00014	0.002	1.54	1.70	
		191.4	299.0	237.9	18.5	48.9	40.60	12.95	377.7	530.1	0.00014	0.002	1.85		
		190.7	302.9	240.6	18.4	55.5	40.90	13.11	376.4	537.9	0.00014	0.002	1.55		
		191.3			18.2	49.0	41.20	13.30	377.5		0.00014		1.80		
		191.8	302.1	247.6	18.2	54.3	42.30	14.02	378.6	536.1	0.00014	0.002	1.92		
		191.1	300.3	241.6	17.8	53.8	39.60	12.32	377.1	532.7	0.00014	0.002	1.90		
		191.4	303.4	241.6	18.0	54.2	41.40	13.43	377.6	538.8	0.00014	0.002	2.01		
		190.4	302.9	244.6	17.8	47.5	42.90	14.45	375.7	537.8	0.00014	0.002	2.03		
		平均	190.8	300.9	242.4	17.3	52.5	41.23	13.34	376.6	533.9	0.00014	0.002	1.93	1.72
		押込圧縮 P	192.3	303.1	245.5	18.3	50.5	31.70	7.87	379.6	533.2	0.00015	0.002	1.94	1.79
	189.6		298.1	247.2	16.0	53.2	31.70	7.87	374.2	528.3	0.00014	0.002	3.00	1.79	
	189.1		300.2	242.9	15.7	53.0	31.70	7.87	373.2	532.5	0.00014	0.002	1.83	1.83	
	183.6		303.1	242.5	18.7	48.5	31.70	7.87	374.2	538.1	0.00013	0.002	2.22		
	190.7		299.3	244.2	19.3	55.5	31.70	7.87	376.9	530.7	0.00014	0.002	2.05		
	189.8		303.6	241.9	19.2	56.4	31.70	7.87	374.6	539.2	0.00014	0.002	1.92		
	183.2		295.4	245.6	18.1	53.8	31.70	7.87	373.3	530.8	0.00014	0.002	1.90		
	189.2		302.3	240.1	18.9	52.6	31.70	7.87	373.4	536.6	0.00015	0.002	1.73		
	192.1		302.8	241.9	18.8	52.1	31.70	7.87	379.1	537.6	0.00014	0.002	1.72		
	189.6		302.5	245.7	17.0	45.7	31.70	7.87	374.3	537.0	0.00014	0.002	1.84		
	平均		190.1	301.4	244.0	17.8	52.2	31.70	7.87	375.2	534.9	0.00014	0.002	2.02	1.82
	3		標準圧縮 S	190.3	300.0	245.4	18.9	54.0	40.50	12.83	375.6	532.1	0.00015	0.002	1.99
		190.4		300.8	243.2	18.1	55.8	41.60	13.59	375.7	533.6	0.00015	0.002	1.97	1.79
189.1		300.7		245.8	15.8	55.1	41.10	13.23	373.3	533.4	0.00016	0.002	1.99	1.85	
188.5		301.0		245.4	17.0	56.3	41.00	13.17	372.1	534.0	0.00014	0.002	1.96		
183.4		301.2		243.3	19.2	49.4	41.50	13.49	373.8	534.5	0.00016	0.002	1.87		
189.9		301.8		240.9	18.7	58.1	39.60	12.32	374.8	535.7	0.00015	0.002	1.85		
191.9		301.0		245.6	19.1	53.2	40.00	12.53	378.8	534.0	0.00014	0.002	2.03		
191.1		298.5		240.2	18.6	57.6	41.30	13.40	377.2	529.1	0.00014	0.002	1.94		
190.1		301.9		240.4	18.4	54.0	42.10	12.63	375.1	535.8	0.00013	0.002	2.18		
191.1		304.2		241.7	19.7	57.0	40.70	12.58	377.1	600.3	0.00015	0.002	2.08		
平均		190.2		301.1	243.5	17.8	55.1	40.74	13.02	375.4	534.3	0.00015	0.002	1.99	1.83
押込圧縮 P		192.7		298.4	244.3	18.7	56.6	31.00	7.55	380.3	533.0	0.00012	0.002	2.05	1.87
		190.8	300.5	238.8	17.0	58.3	31.00	7.55	376.8	533.0	0.00014	0.002	2.04	1.77	
		191.3	299.5	240.5	15.9	57.4	31.00	7.55	377.4	531.2	0.00014	0.002	2.08	1.83	
		191.3	302.0	240.5	17.9	51.4	31.00	7.55	377.5	536.1	0.00015	0.002	2.01		
		193.0	301.0	243.2	17.7	50.8	31.00	7.55	380.8	534.0	0.00013	0.002	2.24		
			302.1	241.6	18.7	53.0	31.00	7.55		536.2		0.002			
		191.6	301.8	241.3	19.0	57.2	31.00	7.55	378.1	535.6	0.00014	0.002	2.11		
		190.4	301.8	241.8	17.4	51.8	31.00	7.55	375.8	535.7	0.00015	0.002	1.94		
		189.6			15.9	56.8	31.00	7.55	374.3		0.00015		2.11		
		188.7	298.2	240.1	15.7	49.1	31.00	7.55	372.4	533.5	0.00015	0.002	1.80		
		平均	191.0	300.6	241.3	17.3	54.2	31.00	7.55	377.0	533.3	0.00014	0.002	2.04	1.82
		7	標準圧縮 S	189.1	303.8	244.7	18.1	52.4	41.50	13.53	373.1	539.6	0.00016	0.002	1.83
190.4				301.8	240.7	15.8	57.5	40.60	12.95	375.7	535.6	0.00015	0.002	2.04	1.75
190.4	300.8			244.6	15.2	54.9	39.90	12.50	375.8	533.7	0.00016	0.002	1.85	1.74	
191.3	301.4			241.8	17.5	51.5	41.70	13.62	377.5	534.8	0.00013	0.002	1.54		
189.7	302.3			245.2	18.0	50.1	42.00	13.85	374.4	536.5	0.00014	0.002	1.81		
191.2	301.8			244.8	20.2	57.5	42.20	13.95	377.4	535.7	0.00015	0.002	2.03		
189.9	298.2			239.2	18.7	54.8	41.50	13.53	374.7	538.5	0.00014	0.002	1.87		
191.0	303.5			242.2	18.6	55.4	40.80	13.04	377.0	539.0	0.00016	0.002	2.06		
190.2	301.4			241.9	19.6	56.0	42.80	14.35	375.3	534.9	0.00016	0.002	1.91		
190.4	302.6			243.6	18.6	56.5	42.50	12.88	375.8	537.3	0.00012	0.002	1.85		
平均	190.4			301.8	243.0	17.6	54.7	41.35	13.42	375.7	535.6	0.00015	0.002	1.84	1.75
押込圧縮 P	191.4			298.3	240.1	18.9	55.9	30.00	7.07	377.8	538.8	0.00013	0.002	2.10	1.88
	190.5		300.4	242.3	18.4	56.4	30.00	7.07	378.1	532.8	0.00015	0.002	1.79	1.78	
	191.1		302.4	241.2	16.7	56.9	30.00	7.07	377.2	534.7	0.00017	0.002	1.74	1.69	
	187.8		298.1	241.3	18.5	55.4	30.00	7.07	370.6	538.2	0.00015	0.002	1.71		
	183.4		301.5	243.1	18.6	52.3	30.00	7.07	373.8	535.1	0.00015	0.002	1.78		
	189.1		297.8	245.9	18.8	51.7	30.00	7.07	373.3	537.7	0.00015	0.002	1.76		
	190.7		301.5	241.9	18.6	54.0	30.00	7.07	378.4	534.9	0.00015	0.002	1.97		
	189.9		301.7	243.1	19.0	54.0	30.00	7.07	374.8	535.4	0.00015	0.002	1.70		
	191.4		300.9	242.7	18.2	54.4	30.00	7.07	377.8	533.8	0.00012	0.002	2.01		
	189.3		300.8	243.0	19.0	49.1	30.00	7.07	373.5	533.7	0.00012	0.002	1.76		
	平均		190.1	300.3	242.6	18.2	54.0	30.00	7.07	375.1	532.7	0.00015	0.002	1.83	1.78
	60		標準圧縮 S	179.7	293.1	234.1	17.0	56.5	41.80	13.72	354.6	578.5	0.00013	0.002	1.77
187.6				295.1	236.9	18.5	53.8	42.90	13.14	370.2	582.3	0.00012	0.001	1.81	2.12
188.1		293.9		232.6	18.7	54.8	42.00	13.85	371.1	579.9	0.00014	0.002	1.91	1.72	
189.7		298.9		242.8	18.2	45.5	41.00	13.20	374.4	590.0	0.00014	0.002	1.90		
187.5		294.2		255.3	16.3	42.1	42.40	12.79	370.0	580.5	0.00014	0.002	1.99		
188.7		297.8		233.5	17.3	56.4	42.30	14.05	372.4	587.7	0.00015	0.002	1.88		
188.1		297.5		242.7	18.4	52.9	43.00	14.52	371.3	587.0	0.00014	0.002	1.93		
188.8		298.4		240.5	20.3	54.0	40.30	12.76	372.6	583.9	0.00013	0.002	2.04		
188.3		298.1		239.9	18.3	50.5	43.50	14.86	371.5	583.2	0.00015	0.002	1.99		
187.5		297.4		241.0	18.3	51.9	42.50	14.15	370.0	586.9	0.00012	0.002	2.00		
平均		187.4		296.4	239.9	17.7	51.9	41.77	13.70	369.8	585.0	0.00014	0.002	1.92	1.87
押込圧縮 P		183.0		297.5	242.0	17.5	47.7	30.60	7.35	373.0	587.1	0.00014	0.002	2.10	1.78
		187.0	292.8	233.5	17.3	54.2	30.60	7.35	369.1	577.9	0.00014	0.002	1.95	1.79	
		187.1	296.3	239.7	16.4	52.2	30.60	7.35	369.3	584.8	0.00013	0.002	1.83	1.77	
		185.4	297.3	236.4	18.9	51.2	30.60	7.35	365.9	566.7	0.00014	0.002	1.96		
		185.7	294.4	232.0	18.7	48.3	30.60	7.35	368.5	581.0	0.00012	0.002	1.97		
		197.2	297.4	236.6	19.2	47.5	30.60	7.35	369.5	566.9	0.00013	0.002	2.00		
		186.3	298.9	241.6	18.9	54.1	30.60	7.35	367.8	589.9	0.00014	0.002	2.43		
		185.3	297.8	241.1	18.9	54.1	30.60	7.35	367.6	587.7	0.00013	0.002	2.11		
		185.0	297.0	240.2	17.8	53.8	30.60	7.35	367.1	585.1	0.00014	0.002	2.18		
		186.4	296.9	247.7	18.0	49.3	30.60	7.35	367.8	565.9	0.00012	0.002	2.29		
		平均	1												

表-6 繰返し試験結果

繰返し パターン	圧接 種類	温度 (℃)	荷重		伸び (%)	絞り (%)	強度 引張強さ (N/mm2)	ヤング係数			
			最大	破断				上昇		下降	
								ヒズミ	光センサ	ヒズミ	光センサ
A	N	25.8	315.2	302.1	23.88	42.40	622.1	188.1	188.7	190.5	191.5
		26.3	306.8	306.8	8.52		605.4	183.5	184.3	186.4	184.1
		平均	311.0	304.5	16.20	42.40	613.8	185.8	186.5	188.5	187.8
	S	25.0	316.4	304.3	16.47	43.10	624.4	155.9	199.2	150.5	196.8
		25.2	315.6	296.0	17.24	53.10	622.9	160.3	210.0	163.1	210.4
		平均	316.0	300.2	16.86	48.10	623.7	158.1	204.6	156.8	203.6
	P	25.5	315.9	304.2	16.95	48.20	623.5	156.8	194.4	158.4	200.1
		25.5	314.9	295.0	17.73	45.30	621.5	163.9	201.1	165.5	202.4
		平均	315.4	299.6	17.34	46.75	622.5	160.4	197.7	161.9	201.2
B-1	N	26.9	311.3	293.2	21.58	49.50	614.4	185.8	190.8	188.6	192.1
		27.2	293.9	293.9	7.65		580.0	192.8	182.1	187.8	170.4
		平均	302.6	293.6	14.62	49.50	597.2	189.3	186.4	188.2	181.2
	S	25.4	315.1	298.0	17.17	51.20	621.8	158.0	203.9	110.6	169.0
		25.5	314.3	299.0	19.11	53.30	620.2	155.9	200.9	145.4	212.9
		平均	314.7	298.5	18.14	52.25	621.0	156.9	202.4	128.0	190.9
	P	25.4	314.6	298.5	17.55	47.70	620.8	159.6	204.4	141.4	186.6
		25.5	314.2	302.7	17.47	41.40	620.1	155.1	202.7	146.8	175.3
		平均	314.4	300.6	17.51	44.55	620.5	157.3	203.5	144.1	180.9
B-2	N	27.2	309.5	297.9	20.58	54.80	610.9	187.1	188.4	189.9	190.6
		26.9	309.9	309.9	13.36		611.7	180.9	187.5	181.3	180.6
		平均	309.7	303.9	16.97	54.80	611.3	184.0	187.9	185.6	185.6
	S	25.7	313.2	294.5	18.68	53.30	618.1	156.6	206.1	148.5	205.0
		25.7	312.5	292.5	16.98	53.20	616.7	161.0	204.0	155.7	203.9
		平均	312.9	293.5	17.83	53.25	617.4	158.8	205.0	152.1	204.4
	P	25.4	312.9	302.1	17.85	42.60	617.6	152.5	200.9	132.3	181.8
		25.4	313.2	303.4	17.76	38.10	618.1	151.8	198.0	139.5	211.4
		平均	313.1	302.8	17.81	40.35	617.9	152.1	199.4	135.9	196.6
C-1	N	28.6	316.9	296.8	17.34	37.10	625.4	184.1	171.5	324.4	268.6
		31.6	316.9	298.5	18.02	56.10	625.3	186.5	177.7	366.1	301.0
		平均	316.9	297.7	17.68	46.60	625.4	185.3	174.6	345.2	284.8
	S	29.0	316.9	303.1	14.78	32.70	625.5	175.9	178.7	316.0	281.2
		30.0	315.9	304.5	14.20	45.50	623.5	223.4	181.1	381.2	290.1
		平均	316.4	303.8	14.49	39.10	624.5	199.6	179.9	348.6	285.7
	P	31.0	317.9	303.7		45.90	627.4	188.0	183.0	255.5	247.1
		31.7	317.7	299.1	15.97	46.40	627.0	185.5	173.3	306.9	272.4
		平均	317.8	301.4	15.97	46.15	627.2	186.8	178.1	281.2	259.7
C-2	N	32.1	311.9	298.2	16.30	53.70	615.5	181.8	180.9	314.4	280.7
		32.3	312.4	299.8	15.97	47.60	616.6	179.2	171.5	380.4	303.7
		平均	312.2	299.0	16.14	50.65	616.1	180.5	176.2	347.4	292.2
	S	30.0	315.3	303.1	14.06	46.40	622.2	198.9	181.1	351.0	299.5
		29.0	315.6	296.2	14.02	52.60	622.9	194.0	178.8	306.1	272.7
		平均	315.5	299.7	14.04	49.50	622.6	196.4	180.0	328.6	286.1
	P	31.5	315.3	310.4	14.48	37.50	622.2	250.1	173.0	271.1	250.5
		31.0	315.0	301.1	14.91	49.50	621.7	212.6	180.9	344.0	268.9
		平均	315.2	305.8	14.70	43.50	622.0	231.3	176.9	307.5	259.7
C-3	N	32.0	277.9	273.2			548.5	192.8	170.8	379.9	300.8
		31.8	289.9	284.9	13.63	40.60	572.2	180.1	171.2	336.7	286.9
		平均	283.9	279.1	13.63	40.60	560.4	186.5	171.0	358.3	293.8
	S	28.9	304.1	280.6	14.22	49.20	600.2	189.3	174.4	317.9	285.4
		29.5	302.4	285.6	14.60	35.90	596.9	183.0	187.1	281.1	268.6
		平均	303.3	283.1	14.41	42.55	598.6	186.1	180.8	299.5	277.0
	P	28.3	304.4	292.3	14.21	38.70	600.8	182.3	184.0	271.8	255.6
		29.6	300.4	284.5	13.28	52.30	592.9	183.8	179.1	287.6	257.6
		平均	302.4	288.4	13.75	45.50	596.9	183.0	181.5	279.7	256.6

表-7 複合載荷試験結果

圧接種類	せん断力 (tf)	温度 (℃)	荷重			伸び (%)	絞り (%)	圧接部断面測定		一様伸び		強度		ひずみ速度		ヤング係数	
			降伏点	最大	破断			平均 (mm)	断面積 (cm2)	レーザー	試験機	降伏点	引張強さ	弾性域	ひずみ硬化	レーザー	ひずみゲージ
母材	0t	30.7	191.5	297.2	241.1	21.24	44.5				30.7	377.8	586.6	0.010	0.104	166.3	151.0
		31.1	191.6	298.5	247.6	21.84	44.0				29.7	378.1	589.1	0.011	0.101	165.0	152.8
		平均	191.6	297.9	244.4	21.54	44.3	ERR	ERR	ERR	30.2	378.0	587.9	0.011	0.103	165.7	151.9
	2t	29.0	193.1	298.1		19.59	56.3				28.3	381.1	588.2				
		30.7	191.7	298.7		18.79	51.2				31.0	378.3	589.6				
		平均	192.4	298.4	ERR	19.19	53.8	ERR	ERR	ERR	29.7	379.7	588.9	ERR	ERR	ERR	ERR
	4t	30.0	192.9	298.0		17.05	40.7				26.1	380.6	588.1				
		30.2	187.9	297.1		16.17	49.8				25.1	370.8	586.4				
		平均	190.4	297.6	ERR	16.61	45.3	ERR	ERR	ERR	25.6	375.7	587.3	ERR	ERR	ERR	ERR
標準圧接	0t	26.5	192.5	300.5	247.2	16.56	38.9	39.49	12.25	23.4	23.6	379.9	593.0	0.009	0.102	200.9	150.8
		26.4	198.1	299.8	232.7	16.36	54.3	40.76	13.05	23.0	23.4	391.0	591.7	0.010	0.105	190.5	154.8
		平均	195.3	300.2	240.0	16.46	46.6	40.13	12.65	23.2	23.5	385.5	592.4	0.010	0.104	195.7	152.8
	2t	26.8	192.4	299.9		18.09	52.4	40.54	12.90	23.1	22.8	379.6	591.9				
		26.3	193.9	302.5		17.10	50.2	40.97	13.18	23.8	23.4	382.8	597.0				
		平均	193.2	301.2	ERR	17.60	51.3	40.76	13.04	23.5	23.1	381.2	594.5	ERR	ERR	ERR	ERR
	4t	30.7	194.1	297.8		14.69	42.2	41.92	13.80	23.4	22.5	383.1	587.8				
		30.3	193.6	299.0		14.03	54.9	39.97	12.54	22.1	21.1	382.1	590.1				
		平均	193.9	298.4	ERR	14.36	48.6	40.95	13.17	22.8	21.8	382.6	589.0	ERR	ERR	ERR	ERR
熱間押接	0t	26.4	190.0	300.0	255.4	16.43	37.1	30.89	7.49	24.8	49.5	374.9	592.2	0.010	0.102	183.7	146.3
		27.5	190.9	299.9	234.2	17.26	55.2	30.83	7.46	22.9	46.1	376.7	591.9	0.011	0.103	187.9	149.2
		平均	190.5	300.0	244.8	16.85	46.2	30.86	7.48	23.9	47.8	375.8	592.1	0.011	0.103	185.8	147.8
	2t	26.3	193.6	299.5		16.71	49.8	29.12	6.66	24.2	23.3	382.1	591.1				
		26.4	194.2	300.3		16.09	45.0	30.38	7.25		34.1	383.3	592.6				
		平均	193.9	299.9	ERR	16.40	47.4	29.75	6.96	24.2	28.7	382.7	591.9	ERR	ERR	ERR	ERR
	4t	26.4	195.8	299.0		15.54	48.8	30.77	7.43		31.5	386.4	590.1				
		26.6	194.7	299.8		15.44	48.7	30.71	7.40		31.8	384.3	591.2				
			195.3	299.4	ERR	15.5	48.8	30.7	7.4	ERR	31.7	385.4	590.7	ERR	ERR	ERR	ERR

表-8 硬さ試験結果(1-1) D25標準圧接

(引張試験前)

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-41	185		-41	191		3	246	
-40	182		-40	189		4	246	
-39	181		-39	188		5	247	
-38	189		-38	186		6	231	
-37	183		-37	186		7	223	
-36	186		-36	183		8	220	
-35	187		-35	186		9	220	
-34	189		-34	183		10	218	
-33	187		-33	183		11	212	
-32	192		-32	180		12	214	
-31	182		-31	180		13	218	
-30	180		-30	178		14	214	
-29	176		-29	177		15	207	
-28	179		-28	179		16	208	
-27	185		-27	181		17	210	
-26	186		-26	185		18	214	
-25	186		-25	182		19	213	
-24	187		-24	182		20	209	
-23	188		-23	185		21	214	
-22	185		-22	187		22	225	
-21	190		-21	187		23	242	
-20	190		-20	185		24	228	
-19	194		-19	190		25	211	
-18	197		-18	195		26	209	
-17	196		-17	202		27	212	
-16	204	HE	-16	205		28	212	
-15	202		-15	202		29	209	
-14	204		-14	204		30	210	
-13	203		-13	205		31	217	
-12	206		-12	201	HE	32	207	
-11	209		-11	209		33	211	
-10	204		-10	204		34	213	
-9	207		-9	204		35	212	
-8	204		-8	211		36	211	
-7	209		-7	208		37	218	
-6	211		-6	207		38	215	
-5	212		-5	209		39	218	
-4	207		-4	212		40	214	
-3	211		-3	214		41	220	
-2	208		-2	220				
-1	209		-1	218				
1	210		1	208				
2	204		2	205				
3	210		3	209				
4	204		4	205				
5	205		5	203				
6	207		6	206				
7	210		7	205				
8	209		8	207				
9	212		9	209				
10	208		10	202				
11	206		11	204	HE			
12	203		12	201				
13	210	HE	13	200				
14	204		14	200				
15	201		15	197				
16	201		16	197				
17	202		17	193				
18	195		18	190				
19	196		19	188				
20	191		20	188				
21	190		21	181				
22	189		22	182				
23	188		23	182				
24	183		24	182				
25	187		25	185				
26	182		26	184				
27	182		27	181				
28	181		28	185				
29	185		29	180				
30	180		30	177				
31	183		31	185				
32	184		32	187				
33	182		33	185				
34	179		34	183				
35	186		35	183				
36	184		36	181				
37	189		37	178				
38	187		38	184				
39	185		39	188				
40	182		40	187				
41	180		41	186				
42	182		42	189				
43	186		43	189				
44	183		44	194				
45	186		45	192				
46	185		46	197				

(引張試験後)

2S-A(表面から5mm)			2S-D(表面から5mm)		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-36	215		-36	236	
-34	230		-34	232	
-32	237		-32	244	
-30	237		-30	247	
-28	240		-28	251	
-26	238		-26	246	
-24	236		-24	243	
-22	237		-22	242	
-20	235		-20	237	
-18	227		-18	221	
-16	223		-16	223	
-14	215		-14	216	HE
-12	214	HE	-12	219	
-10	211		-10	215	
-8	210		-8	215	
-6	214		-6	208	
-4	217		-4	211	
-2	215		-2	217	
0	216		0	212	
2	212		2	217	
4	219		4	211	
6	212		6	211	
8	211		8	210	
10	212	HE	10	209	
12	216		12	211	HE
14	213		14	213	
16	216		16	221	
18	228		18	224	
20	229		20	225	
22	237		22	238	
24	252		24	248	
26	261		26	266	
28	268		28	264	
30	266		30	275	
32	283		32	271	
34	282		34	285	
36	281		36	259	

表-8 硬さ試験結果(1-2) D25押抜圧接

(引張試験前)

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-53	183		-53	184		2	205	
-52	184		-52	185		3	212	
-51	188		-51	187		4	212	
-50	183		-50	181		5	206	
-49	187		-49	186		6	210	
-48	187		-48	185		7	210	
-47	183		-47	183		8	204	
-46	187		-46	181		9	206	
-45	187		-45	184		10	207	
-44	180		-44	187		11	214	
-43	186		-43	182		12	206	
-42	188		-42	185		13	211	
-41	185		-41	188		14	221	
-40	182		-40	182		15	211	
-39	186		-39	183		16	204	
-38	187		-38	183		17	207	
-37	187		-37	186		18	220	
-36	177		-36	185		19	221	
-35	182		-35	186		20	213	
-34	184		-34	188		21	214	
-33	184		-33	189		22	227	
-32	185		-32	182		23	206	
-31	183		-31	186		24	207	
-30	184		-30	181		25	213	
-29	186		-29	187		26	206	
-28	184		-28	183		27	209	
-27	183		-27	183		28	205	
-26	186		-26	181		29	210	
-25	183		-25	178				
-24	176		-24	178				
-23	178		-23	175				
-22	179		-22	180				
-21	181		-21	182				
-20	183		-20	181				
-19	184		-19	182				
-18	186		-18	185				
-17	184		-17	186				
-16	186		-16	184				
-15	186		-15	185				
-14	190		-14	187				
-13	192		-13	187				
-12	196	HE	-12	185				
-11	202		-11	191				
-10	198		-10	190	HE			
-9	208		-9	195				
-8	205		-8	200				
-7	204		-7	199				
-6	207		-6	211				
-5	204		-5	201				
-4	210		-4	202				
-3	207		-3	207				
-2	209		-2	207				
-1	204		-1	210				
1	203		1	234				
2	208		2	207				
3	205		3	202				
4	206		4	197				
5	205		5	203				
6	207		6	200				
7	200		7	199				
8	207		8	200				
9	206		9	203	HE			
10	205	HE	10	191				
11	200		11	192				
12	201		12	192				
13	195		13	186				
14	189		14	187				
15	191		15	185				
16	190		16	185				
17	187		17	185				
18	188		18	181				
19	188		19	180				
20	187		20	181				
21	185		21	179				
22	181		22	176				
23	178		23	174				
24	181		24	175				
25	181		25	171				
26	184		26	179				
27	186		27	177				
28	185		28	179				
29	187		29	187				
30	188		30	180				
31	184		31	186				
32	186		32	183				
33	186		33	180				
34	185		34	185				
35	182		35	185				
36	186		36	179				
37	183		37	183				
38	183		38	184				
39	184		39	181				
40	183		40	183				
41	186		41	182				
42	187		42	180				

(引張試験後)

2P-A(表面から5mm)			2P-D(表面から5mm)		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-28	271		-39	262	
-26	271		-36	267	
-24	270		-34	276	
-22	265		-32	278	
-20	243		-30	271	
-18	235		-28	273	
-16	230		-26	255	
-14	227		-24	262	
-12	222		-22	253	
-10	221	HE	-20	245	
-8	225		-18	238	
-6	224		-16	229	
-4	221		-14	226	
-2	220		-12	220	
0	220		-10	221	HE
2	217		-8	221	
4	219		-6	219	
6	220		-4	220	
8	228	HE	-2	222	
10	218		0	223	
12	227		2	217	
14	227		4	222	
16	232		6	220	
18	234		8	218	
20	240		10	221	HE
22	252		12	225	
24	258		14	232	
26	266		16	238	
28	267		18	247	
30	266		20	254	
32	268		22	263	
34	265		24	270	
36	273		26	281	
			28	288	
			30	300	
			32	298	

表-8 硬さ試験結果(2-1) D38標準圧接

(引張試験前)

最頂から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-64	184		-64	183		2	195	
-63	188		-63	185		3	205	
-62	184		-62	186		4	212	
-61	184		-61	187		5	208	
-60	185		-60	188		6	210	
-59	185		-59	183		7	209	
-58	185		-58	182		8	206	
-57	184		-57	189		9	206	
-56	190		-56	189		10	203	
-55	187		-55	188		11	210	
-54	184		-54	192		12	208	
-53	190		-53	193		13	208	
-52	186		-52	187		14	217	
-51	186		-51	184		15	214	
-50	184		-50	178		16	205	
-49	187		-49	182		17	207	
-48	188		-48	181		18	209	
-47	190		-47	183		19	209	
-46	185		-46	183		20	209	
-45	186		-45	182		21	208	
-44	187		-44	180		22	199	
-43	181		-43	178		23	199	
-42	177		-42	173		24	204	
-41	173		-41	175		25	203	
-40	177		-40	172		26	204	
-39	177		-39	174		27	197	
-38	174		-38	177		28	203	
-37	180		-37	178		29	214	
-36	179		-36	172		30	243	
-35	182		-35	174		31	210	
-34	179		-34	173		32	208	
-33	182		-33	179		33	196	
-32	187		-32	180		34	201	
-31	193		-31	182		35	203	
-30	190		-30	184		36	201	
-29	191		-29	188		37	207	
-28	191		-28	190		38	209	
-27	204		-27	189		39	207	
-26	195		-26	192		40	208	
-25	203		-25	194		41	204	
-24	200		-24	197		42	212	
-23	203		-23	203		43	204	
-22	203		-22	201		44	211	
-21	200		-21	200		45	211	
-20	205		-20	206		46	217	
-19	210		-19	202		47	217	
-18	213		-18	202		48	221	
-17	212		-17	201		49	239	
-16	211		-16	205		50	286	
-15	204		-15	194		51	258	
-14	213		-14	197		52	253	
-13	210		-13	205		53	257	
-12	208		-12	209		54	247	
-11	207		-11	206		55	287	
-10	210		-10	203		56	275	
-9	206		-9	205		57	247	
-8	217		-8	204				
-7	207		-7	197				
-6	210		-6	197				
-5	208		-5	188				
-4	214		-4	191				
-3	211		-3	183				
-2	207		-2	181				
-1	207		-1	182				

最頂から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
1	205		1	213				
2	205		2	208				
3	209		3	205				
4	204		4	206				
5	203		5	207				
6	201		6	208				
7	200		7	208				
8	209		8	207				
9	209		9	210				
10	207		10	209				
11	205		11	195				
12	203		12	204				
13	211		13	211				
14	207		14	201				
15	209		15	202				
16	209		16	203				
17	202		17	207				
18	214		18	202				
19	207		19	201				
20	201		20	200				
21	204		21	200				
22	200		22	197				
23	196		23	200				
24	206		24	198				
25	204		25	196				
26	201		26	197				
27	197		27	195				
28	195		28	192				
29	196		29	189				
30	194		30	189				
31	188		31	187				
32	190		32	184				
33	189		33	181				
34	184		34	180				
35	182		35	181				
36	186		36	182				
37	183		37	182				
38	177		38	185				
39	179		39	178				
40	179		40	177				
41	177		41	175				
42	179		42	175				
43	183		43	174				
44	182		44	180				
45	181		45	186				
46	183		46	186				
47	185		47	189				
48	187		48	188				
49	189		49	189				
50	184		50	190				
51	184		51	188				
52	184		52	184				
53	183		53	184				
54	181		54	189				
55	184		55	190				
56	184		56	199				
57	190		57	196				

(引張試験後)

最頂から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-50	229							
-48	232							
-46	239							
-44	235							
-42	232							
-40	231							
-38	228							
-36	232							
-34	230							
-32	235							
-30	218							
-28	213							
-26	217							
-24	221							
-22	206							
-20	210							
-18	226							
-16	209							
-14	202							
-12	218							
-10	208							
-8	198							
-6	205							
-4	215							
-2	215							
0	205							
2	210							
4	200							
6	209							
8	209							
10	202							
12	202							
14	206							
16	207							
18	208							
20	207							
22	203							
24	226							
26	215							
28	207							
30	219							
32	232							
34	234							
36	228							
38	233							
40	235							
42	235							
44	233							
46	241							
48	250							
50	242							

表-8 硬さ試験結果(2-2) D30押抜圧接
(引張試験前)

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-62	183		-63	187		2	212	
-61	186		-62	187		3	206	
-60	183		-61	181		4	205	
-59	183		-60	189		5	210	
-58	181		-59	185		6	204	
-57	187		-58	187		7	208	
-56	182		-57	189		8	200	
-55	185		-56	190		9	209	
-54	187		-55	189		10	207	
-53	187		-54	185		11	209	
-52	185		-53	187		12	207	
-51	186		-52	184		13	207	
-50	186		-51	182		14	204	
-49	187		-50	184		15	203	
-48	186		-49	185		16	207	
-47	183		-48	185		17	216	
-46	186		-47	185		18	206	
-45	187		-46	180		19	200	
-44	185		-45	186		20	181	
-43	187		-44	186		21	178	
-42	185		-43	187		22	200	
-41	184		-42	185		23	217	
-40	188		-41	179		24	232	
-39	190		-40	184		25	222	
-38	188		-39	189		26	194	
-37	180		-38	178		27	190	
-36	178		-37	173		28	205	
-35	181		-36	177		29	213	
-34	178		-35	176		30	205	
-33	178		-34	177		31	199	
-32	181		-33	179		32	205	
-31	184		-32	182		33	204	
-30	182		-31	183		34	202	
-29	183		-30	181		35	203	
-28	185		-29	184		36	208	
-27	186		-28	178		37	206	
-26	187		-27	180		38	208	
-25	186		-26	186		39	200	
-24	185		-25	188		40	208	
-23	185		-24	187		41	209	
-22	185		-23	190		42	210	
-21	199		-22	192				
-20	202		-21	195				
-19	200	H.E	-20	193				
-18	204		-19	195				
-17	204		-18	199				
-16	208		-17	198				
-15	207		-16	192				
-14	208		-15	196	H.E			
-13	210		-14	197				
-12	209		-13	196				
-11	202		-12	198				
-10	206		-11	201				
-9	208		-10	203				
-8	208		-9	202				
-7	202		-8	203				
-6	210		-7	204				
-5	207		-6	200				
-4	204		-5	199				
-3	207		-4	199				
-2	208		-3	198				
-1	211		-2	196				

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
1	207		-1	178				
2	210		2	200				
3	208		3	199				
4	208		4	210				
5	208		5	205				
6	201		6	211				
7	207		7	199				
8	208		8	208				
9	202		9	204				
10	209		10	203				
11	200		11	207				
12	205		12	206				
13	203		13	201				
14	201		14	208				
15	205		15	209				
16	208		16	209				
17	207		17	201				
18	208		18	203				
19	204		19	191	H.E			
20	206	H.E	20	196				
21	203		21	199				
22	205		22	190				
23	202		23	193				
24	201		24	191				
25	198		25	189				
26	192		26	185				
27	183		27	184				
28	191		28	183				
29	187		29	184				
30	185		30	184				
31	185		31	183				
32	185		32	184				
33	184		33	180				
34	185		34	179				
35	181		35	180				
36	179		36	179				
37	179		37	174				
38	180		38	176				
39	176		39	177				
40	178		40	181				
41	180		41	187				
42	189		42	187				
43	182		43	186				
44	185		44	184				
45	181		45	185				
46	188		46	181				
47	187		47	185				
48	181		48	184				
49	182		49	184				
50	181		50	185				
51	179		51	184				
52	181		52	185				
53	179		53	178				
54	181		54	182				
55	184		55	187				
56	178		56	186				
57	181		57	186				
58	182		58	183				
59	177		59	187				
60	180		60	184				
61	180		61	186				
62	183		62	188				
63	179		63	188				
64	181		64	186				
65	184		65	188				
66	180		66	188				

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-46	257							
-44	249							
-42	241							
-40	248							
-38	244							
-36	239							
-34	239							
-32	232							
-30	239							
-28	231							
-26	232							
-24	228	H.E						
-22	221							
-20	224							
-18	223							
-16	223							
-14	221							
-12	218							
-10	218							
-8	217							
-6	216							
-4	206							
-2	210							
0	215							
2	213							
4	217							
6	207							
8	213							
10	214							
12	217							
14	212							
16	217							
18	218							
20	220	H.E						
22	213							
24	213							
26	218							
28	221							
30	220							
32	231							
34	228							
36	242							
38	242							
40	243							
42	246							
44	243							
46	251							
48	241							
50	261							

表-8 硬さ試験結果(3-1) D51電炉 標準圧接

(引張試験前)

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-58	178		-59	178		1	205	
-57	172		-58	176		2	202	
-56	174		-57	177		3	205	
-55	170		-56	179		4	200	
-54	173		-55	175		5	202	
-53	171		-54	170		6	198	
-52	167		-53	177		7	206	
-51	175		-52	177		8	205	
-50	178		-51	178		9	200	
-49	170		-50	172		10	204	
-48	176		-49	178		11	200	
-47	174		-48	181		12	211	
-46	181		-47	173		13	202	
-45	175		-46	176		14	203	
-44	175		-45	178		15	191	
-43	178		-44	173		16	193	
-42	177		-43	174		17	205	
-41	180		-42	174		18	201	
-40	185		-41	178		19	202	
-39	182		-40	178		20	195	
-38	183		-39	179		21	202	
-37	188		-38	179		22	200	
-36	188		-37	187		23	200	
-35	184		-36	184		24	207	
-34	193		-35	187		25	200	
-33	189		-34	188		26	202	
-32	180		-33	181		27	195	
-31	199		-32	187		28	179	
-30	200		-31	189		29	205	
-29	202		-30	191		30	197	
-28	199		-29	194		31	189	
-27	200		-28	193		32	199	
-26	196		-27	195		33	192	
-25	194		-26	192		34	221	
-24	193		-25	193		35	216	
-23	195		-24	204		36	208	
-22	201		-23	196		37	204	
-21	193		-22	198		38	204	
-20	194		-21	200		39	220	
-19	192		-20	197		40	207	
-18	195		-19	200		41	181	
-17	194		-18	198		42	183	
-16	199		-17	206		43	190	
-15	198		-16	194		44	190	
-14	197		-15	203		45	192	
-13	207		-14	199		46	195	
-12	200		-13	192		47	195	
-11	187		-12	196		48	207	
-10	198		-11	203		49	210	
-9	205		-10	185		50	202	
-8	208		-9	202		51	200	
-7	194		-8	204		52	197	
-6	200		-7	201		53	195	
-5	201		-6	198		54	197	
-4	201		-5	200		55	207	
-3	206		-4	202		56	199	
-2	199		-3	199		57	195	
-1	209		-2	193		58	200	

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
1	204		-1	192		59	205	
2	192		1	195		60	202	
3	194		2	200		61	201	
4	196		3	206		62	199	
5	193		4	198		63	202	
6	197		5	187		64	210	
7	206		6	189		65	199	
8	201		7	194		66	200	
9	206		8	195		67	200	
10	201		9	194		68	205	
11	202		10	194		69	202	
12	199		11	193		70	204	
13	191		12	188		71	199	
14	185		13	190		72	199	
15	192		14	189		73	195	
16	192		15	188		74	198	
17	192		16	194		75	197	
18	194		17	189		76	199	
19	192		18	194		77	199	
20	198		19	199		78	201	
21	198		20	194		79	211	
22	188		21	191				
23	192		22	199				
24	195		23	198				
25	195		24	189				
26	198		25	181				
27	194		26	183				
28	190		27	190				
29	193		28	187				
30	197		29	186				
31	186		30	189				
32	193		31	186				
33	190		32	185				
34	189		33	184				
35	189		34	183				
36	184		35	183				
37	186		36	188				
38	186		37	183				
39	188		38	185				
40	184		39	181				
41	177		40	183				
42	175		41	183				
43	179		42	177				
44	175		43	179				
45	171		44	176				
46	176		45	176				
47	174		46	174				
48	174		47	174				
49	175		48	174				
50	173		49	175				
51	176		50	179				
52	175		51	174				
53	172		52	177				
54	172		53	175				
55	171		54	175				
56	171		55	174				
57	166		56	170				
58	175		57	170				
			58	170				

(引張試験後)

表面から5mm			位置
距離mm	硬さHv10	位置	
-50	227		
-48	221		
-46	226		
-44	219		
-42	218		
-40	202		
-38	201		
-36	200		
-34	201		
-32	205		
-30	205		
-28	205		
-26	200		
-24	197		
-22	200		
-20	198		
-18	198		
-16	198		
-14	197		
-12	204		
-10	198		
-8	198		
-6	198		
-4	200		
-2	189		
0	193		
2	192		
4	195		
6	191		
8	196		
10	190		
12	190		
14	192		
16	193		
18	188		
20	194		
22	198		
24	198		
26	193		
28	205		
30	191		
32	211		
34	210		
36	207		
38	213		
40	217		
42	220		
44	221		
46	224		
48	231		
50	235		

表-8 硬さ試験結果(3-2) D51電炉 押抜圧接

〈引張試験前〉

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	
-60	172	BM	-60	193	BM	2	196	
-58	171		-58	188		4	197	
-56	171		-56	173		6	192	
-54	172		-54	172		8	196	
-52	170		-52	168		10	201	
-50	172		-50	170		12	198	
-48	169		-48	168		14	203	
-46	170		-46	167		16	197	
-44	171		-44	169		18	189	
-42	175		-42	165		20	191	
-40	183		-40	170		22	187	
-38	179		-38	168		24	187	
-36	176		-36	168		26	188	
-34	177		-34	175		28	179	
-32	182		-32	169		30	224	
-30	186		-30	178		32	187	
-28	182	H.E.	-28	179	H.E.	34	179	
-26	188		-26	175		36	160	
-24	192	HAZ	-24	178	HAZ	38	169	
-22	194		-22	179		40	189	
-20	192		-20	185		42	189	
-18	196		-18	185		44	188	
-16	198		-16	186				
-14	191		-14	192				
-12	189		-12	193				
-10	191		-10	196				
-8	198		-8	201				
-6	199		-6	198				
-4	194	PWS	-4	212	PWS			
-2	187		-2	236				
0	198		0	224				
2	187		2	227				
4	192		4	218				
6	189		6	197				
8	191		8	178				
10	198		10	175				
12	194		12	176				
14	191		14	181				
16	189	HAZ	16	191	HAZ			
18	196		18	198				
20	192		20	196				
22	193		22	192				
24	192		24	187				
26	188		26	183				
28	193		28	188				
30	188		30	185				
32	182		32	183				
34	181		34	183				

〈引張試験後〉

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	
-60	233	BM	-60	224	BM	2	191	
-58	228		-58	228		4	196	
-56	232		-56	219		6	193	
-54	230		-54	218		8	192	
-52	218		-52	218		10	192	
-50	224		-50	216		12	193	
-48	221		-48	218		14	196	
-46	228		-46	215		16	199	
-44	224		-44	212		18	189	
-42	227		-42	206		20	192	
-40	228		-40	201		22	197	
-38	221		-38	196		24	207	
-36	216		-36	194		26	199	
-34	206		-34	192		28	201	
-32	209		-32	192		30	225	
-30	207		-30	196		32	230	
-28	215	H.E.	-28	191	H.E.	34	205	
-26	221		-26	197		36	199	
-24	215	HAZ	-24	192	HAZ	38	202	
-22	213		-22	197		40	207	
-20	199		-20	201		42	203	
-18	203		-18	198		44	206	
-16	205		-16	198		46	206	
-14	201		-14	203		48	201	
-12	198		-12	203		50	201	
-10	205		-10	202		52	206	
-8	199		-8	205		54	206	
-6	196		-6	203		56	205	
-4	194	PWS	-4	209	PWS			
-2	206		-2	203				
0	193		0	230				
2	202		2	227				
4	201		4	221				
6	197		6	218				
8	198		8	222				
10	201		10	216				
12	199		12	218				
14	198		14	215				
16	203	HAZ	16	212	HAZ			
18	202		18	207				
20	206		20	210				
22	202		22	212				
24	202		24	218				
26	205		26	215				

表-8 硬さ試験結果(4-1) D51高炉 標準圧接

(引張試験前)

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-61	166		-60	170		1	209	
-60	160		-59	168		2	204	
-59	162		-58	164		3	203	
-58	163		-57	163		4	202	
-57	160		-56	159		5	200	
-56	162		-55	161		6	225	
-55	161		-54	166		7	212	
-54	164		-53	163		8	210	
-53	163		-52	158		9	207	
-52	168		-51	161		10	214	
-51	169		-50	156		11	210	
-50	169		-49	161		12	213	
-49	168		-48	158		13	208	
-48	170		-47	164		14	205	
-47	170		-46	163		15	219	
-46	169		-45	163		16	217	
-45	169		-44	164		17	213	
-44	176		-43	167		18	205	
-43	176		-42	167		19	205	
-42	176		-41	174		20	208	
-41	181		-40	172		21	202	
-40	177		-39	173		22	197	
-39	181		-38	169		23	204	
-38	184		-37	177		24	207	
-37	187		-36	176		25	211	
-36	181		-35	179		26	206	
-35	182		-34	181		27	200	
-34	190		-33	178		28	215	
-33	188		-32	189		29	194	
-32	187		-31	185		30	201	
-31	194		-30	184		31	209	
-30	185		-29	192		32	211	
-29	190		-28	185		33	192	
-28	198		-27	183		34	207	
-27	200		-26	184		35	218	
-26	202		-25	185		36	205	
-25	199		-24	186		37	203	
-24	200		-23	186		38	210	
-23	203		-22	182		39	229	
-22	201		-21	183		40	200	
-21	212		-20	189		41	199	
-20	210		-19	189		42	213	
-19	211		-18	191		43	204	
-18	201		-17	194		44	191	
-17	208		-16	191		45	204	
-16	205		-15	193		46	203	
-15	199		-14	186		47	196	
-14	212		-13	195		48	200	
-13	208		-12	207		49	210	
-12	208		-11	213		50	197	
-11	213		-10	209		51	205	
-10	212		-9	219		52	198	
-9	223		-8	228		53	194	
-8	211		-7	258		54	200	
-7	215		-6	260		55	195	
-6	220		-5	242		56	186	
-5	214		-4	215		57	207	
-4	217		-3	224		58	213	
-3	219		-2	206		59	212	
-2	215		-1	223		60	195	
-1	216		1	248		61	205	

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
1	203		2	201		62	210	
2	205		3	213		63	203	
3	228		4	207		64	209	
4	200		5	204		65	203	
5	201		6	197		66	213	
6	215		7	200		67	209	
7	216		8	205		68	210	
8	205		9	196		69	207	
9	205		10	192		70	202	
10	216		11	192		71	204	
11	207		12	195		72	210	
12	211		13	198		73	210	
13	210		14	186		74	207	
14	208		15	189		75	210	
15	214		16	195		76	205	
16	218		17	201				
17	217		18	182				
18	219		19	184				
19	215		20	187				
20	210		21	197				
21	205		22	195				
22	202		23	183				
23	204		24	180				
24	208		25	190				
25	196		26	190				
26	202		27	189				
27	200		28	183				
28	203		29	180				
29	200		30	183				
30	202		31	180				
31	192		32	179				
32	192		33	180				
33	191		34	182				
34	183		35	179				
35	184		36	179				
36	192		37	175				
37	185		38	168				
38	178		39	175				
39	185		40	179				
40	183		41	179				
41	186		42	180				
42	174		43	176				
43	177		44	170				
44	182		45	169				
45	180		46	171				
46	177		47	170				
47	176		48	170				
48	173		49	170				
49	173		50	171				
50	172		51	172				
51	170		52	179				
52	173		53	181				
53	168		54	171				
54	168		55	166				
55	165		56	166				
56	173							

(引張試験後)

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置
-50	231		-48	228				
-46	224		-44	216				
-42	214		-40	215				
-38	209		-36	210				
-34	214		-32	213				
-30	218		-28	212				
-26	216		-24	207				
-22	210		-20	209				
-18	211		-16	209				
-14	209		-12	214				
-10	219		-8	217				
-6	216		-4	223				
-2	216		0	206				
2	214		4	223				
6	209		8	223				
10	212		12	212				
14	222		16	210				
18	214		20	213				
22	210		24	209				
26	209		28	214				
30	214		32	215				
34	214		36	214				
38	220		40	218				
42	217		44	213				
46	209		48	211				
50	213							

表-8 硬さ試験結果(4-2) D51高炉 押板圧接

〈引張試験前〉

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	
-60	162	BM	-60	180	BM	2	207	
-58	166		-58	178		4	203	
-56	165		-56	176		6	205	
-54	167		-54	177		8	199	
-52	170		-52	172		10	189	
-50	170		-50	171		12	189	
-48	170		-48	171		14	202	
-46	169		-46	175		16	189	
-44	171		-44	178		18	194	
-42	176		-42	180		20	191	
-40	170		-40	188		22	187	
-38	177		-38	178		24	192	
-36	179		-36	181		26	205	
-34	182		-34	186		28	196	
-32	182		-32	185		30	194	
-30	186		-30	191		32	202	
-28	189	H.E.	-28	194	H.E.	34	189	
-26	193		-26	198		36	196	
-24	191	HAZ	-24	203	HAZ	38	189	
-22	193		-22	224		40	178	
-20	193		-20	224		42	186	
-18	198		-18	218				
-16	189		-16	207				
-14	199		-14	202				
-12	198		-12	202				
-10	201		-10	196				
-8	192		-8	202				
-6	202		-6	181				
-4	198	PWS	-4	177	PWS			
-2	193		-2	191				
0	189	HAZ	0	194	HAZ			
2	210		2	189				
4	201		4	187				
6	209		6	185				
8	207		8	201				
10	207		10	199				
12	202		12	185				
14	197		14	193				
16	202		16	193				
18	206		18	185				
20	199	H.E.	20	183	BM			
22	193		22	185				
24	192	BM	24	187				

〈引張試験後〉

表面から5mm			1/2D			圧接面中央		
距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	位置	距離mm	硬さHv10	
-60	219	BM	-60	213	BM	2	210	
-58	218		-58	209		4	197	
-56	212		-56	205		6	207	
-54	212		-54	209		8	199	
-52	206		-52	206		10	193	
-50	213		-50	209		12	202	
-48	216		-48	215		14	192	
-46	215		-46	209		16	198	
-44	215		-44	215		18	201	
-42	216		-42	206		20	191	
-40	212		-40	203		22	197	
-38	210		-38	202		24	199	
-36	207		-36	193		26	201	
-34	207		-34	191		28	199	
-32	209		-32	193		30	212	
-30	199	H.E.	-30	191	H.E.	32	205	
-28	199		-28	193		34	206	
-26	201	HAZ	-26	189	HAZ	36	198	
-24	196		-24	185		38	197	
-22	202		-22	183		40	216	
-20	199		-20	187		42	197	
-18	202		-18	194		44	197	
-16	197		-16	197		46	198	
-14	210		-14	197		48	202	
-12	207		-12	199		50	197	
-10	205		-10	193		52	197	
-8	210		-8	199		54	205	
-6	202	PWS	-6	189	PWS	56	205	
-4	197		-4	193		58	199	
-2	193	HAZ	-2	199	HAZ			
0	192		0	212				
2	199		2	209				
4	198		4	230				
6	196		6	215				
8	201		8	216				
10	203		10	216				
12	199		12	215				
14	219		14	218				
16	212		16	222				
18	205	H.E.	18	215	H.E.			
20	201		20	203				
22	202		22	196				

表-9 シャルピー衝撃試験結果 (1) D25

〈引張試験前〉

(a) 母材

(b) 標準圧接

(c) 押抜圧接

試験片 番号	母材Uノッチ			試験片 番号	母材Vノッチ			試験片 番号	HAZ; H			試験片 番号	圧接面; W			試験片 番号	HAZ; H			試験片 番号	圧接面; W		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
2NU	-40	36	80	2NV	-20	9	95	2.SH	-40	46	80	2.SW	-20	13	90	2.PH	-40	13	95	2.PW	-20	20	90
		19	90			12	95			24	90			16	90			58	70			23	90
		47	80			11	95			43	80			36	80			66	70			22	90
	-20	66	70		0	20	85		-20	65	65		0	53	55		-20	58	70		0	33	70
		64	70			15	85			79	60			28	70			41	80			25	75
		58	70			21	85			67	65			43	60			76	60			46	65
	0	69	65		20	36	60		0	79	50		20	38	60		0	78	50		20	23	70
		76	60			37	60			81	50			45	55			101	40			27	70
		73	65			25	65			76	55			46	60			115	35			23	70
	20	104	40		40	56	50		20	81	40		40	46	40		20	119	25		40	29	45
		93	45			50	50			91	45			63	30			122	25			38	40
		77	50			43	55			103	40			47	40			86	40			45	35

〈引張試験後〉

常温 引張

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
2N-A	25ENJ LA1	0	13	95
	25ENJ LA2		12	95
	25ENH LA1		12	95
	平均	0	12	95

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
2S-A	25ESJ LA1	0	40	85
	25ESJ LA2		33	90
	25ESH LA1		32	90
	平均	0	35	88

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
2P-A	25EPJ LA1	0	34	90
	25EPJ LA2		24	95
	25EPH LA1		25	95
	平均	0	28	93

-40℃ 引張

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
2N-D	25ENJ LD1	0	18	95
	25ENJ LD2		8	95
	25ENH LD1		13	95
	平均	0	13	95

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
2S-D	25ESJ LD1	0	35	90
	25ESJ LD2		43	85
	25ESH LD1		25	90
	平均	0	34	88

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
2P-D	25EPJ LD1	0	17	95
	25EPJ LD2		21	95
	25EPH LD1		37	90
	平均	0	25	93

表-9 シャルピー衝撃試験結果 (2) D38

〈引張試験前〉

(a) 母材

試験片 番号	母材Uノッチ			試験片 番号	母材Vノッチ		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
3NU	-40	49	80	3NV	-20	11	95
		29	85			11	95
		16	95			12	95
	-20	62	70		0	14	85
		72	65			26	85
		75	65			17	85
	0	76	60		20	38	60
		83	55			42	60
		90	50			36	60
	20	82	50		40	44	55
		83	50			51	45
		98	40			59	45

(b) 標準圧接

試験片 番号	HAZ; H			試験片 番号	圧接面; W		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
3SH	-40	10	95	3SW	-20	5	95
		53	80			6	95
		23	90			5	95
	-20	82	50		0	25	75
		76	55			26	70
		68	60			25	75
	0	79	60		20	32	70
		81	45			25	75
		80	50			35	70
	20	121	20		40	45	50
		99	40			45	55
		90	45			44	45

(c) 押抜圧接

試験片 番号	HAZ; H			試験片 番号	圧接面; W		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
3PH	-40	38	85	3PW	-20	5	95
		56	80			7	95
		26	90			4	95
	-20	68	60		0	25	75
		75	55			31	750
		68	60			11	80
	0	77	55		20	30	70
		73	55			32	70
		81	50			32	70
	20	95	40		40	36	45
		97	40			31	55
		126	10			36	50

試験片 番号	圧接面の表面; F			試験片 番号	圧接面の軸心近傍; C		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
3SF	0	27	90	3SC	0	24	90
		34	85			27	90
		7	95			14	95
	20	29	70		20	38	75
		43	65			43	65
		30	70		40	41	50
	40	29	60			43	50
		44	55			45	55
		34	60		60	50	55
	60	43	60			56	45
		39	60				
		33	60				

試験片 番号	圧接面の表面; F			試験片 番号	圧接面の軸心近傍; C		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
3PF	0	23	90	3PC	0	27	90
		25	90			25	90
		14	95			25	90
	20	40	65		20	32	70
		17	75			35	65
		34	65		40	25	60
	40	37	55			32	55
		42	55			34	55
		31	55		60	52	45
	60	51	40			48	45
		51	40				
		43	50				

〈引張試験後〉

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
3N-A	38ENJ LA1	0	16	95
	38ENJ LA2		20	95
	38ENH LA1		18	95
	平均	0	18	95

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
3S-A	38ESJ LA1	0	25	90
	38ESJ LA2		44	80
	38ESH LA1		13	95
	平均	0	27	88

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
3P-A	38EPJ LA1	0	24	95
	38EPJ LA2		20	95
	38EPH LA1		12	95
	平均	0	19	96

表-9 シャルピー衝撃試験結果 (3) D51電炉

〈引張試験前〉

(a) 母材

試験片 番号	母材Uノッチ			試験片 番号	母材Vノッチ		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
4NU	-40	27	90	4NV	-20	8	95
		28	90			9	95
		25	90			9	95
	-20	56	70		0	19	80
		57	70			14	85
		69	65			18	80
	0	78	60		20	35	60
		72	65			39	60
		83	60			39	60
	20	111	35		40	67	40
		104	40			63	50
		100	40			60	50

(b) 標準圧接

試験片 番号	HAZ ; H			試験片 番号	圧接面 ; W		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
4SH	-20	6	95	4SW	-20	5	95
		6	95			5	95
		5	95			4	95
	0	8	95		0	9	95
		23	90			8	95
		35	85			9	95
	20	54	60		20	18	75
		74	55			26	75
		29	70			25	80
	40	80	40		40	80	40
		89	40			89	40
		80	45			80	45

試験片 番号	圧接面の表面 ; F			試験片 番号	圧接面の軸心近傍 ; C		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
4SF	0	8	95	4SC	0	7	95
		7	95			8	95
		17	95			7	95
	20	14	90		20	27	80
		12	90			23	70
		29	85		40	43	60
	40	36	65			53	55
		28	65			45	55
		37	65		60	50	55
	60	30	75			56	45
		40	70				
		41	70				

〈引張試験後〉

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
4N-A	51ENJ LA1	0	38	90
	51ENJ LA2		37	90
	51ENH LA1		15	85
	平均	0	30	88

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
4S-A	51ESJ LA1	0	9	95
	51ESJ LA2		7	95
	51ESH LA1		7	95
	平均	0	8	95

表-9 シャルピー衝撃試験結果 (4) D51高炉

〈引張試験前〉

(a) 母材

試験片 番号	母材Uノッチ			試験片 番号	母材Vノッチ		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
5 NU	-40	128	45	5 NV	-40	68	65
		145	35			53	70
		106	55			48	70
	-20	174	20		-20	64	50
		145	30			66	50
		155	25			134	30
	0	173	15		0	136	20
		171	20			63	35
		171	20			122	25
	20	188	15		20	150	15
		198	15			162	15
		182	15			153	15

(b) 標準圧接

試験片 番号	HAZ ; H			試験片 番号	圧接面 ; W		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
5 SH	-40	84	65	5 SW	-20	23	90
		61	70			48	80
		76	65			53	75
	-20	86	65		0	62	70
		72	65			59	70
		87	55			52	75
	0	82	60		20	61	70
		111	50			51	70
		169	25			18	80
	20	135	35		40	57	55
		137	35			58	60
		183	25			123	35

試験片 番号	圧接面の表面 ; F			試験片 番号	圧接面の軸心近傍 ; C		
	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)		試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
5 SF	0	28	90	5 SC	-20	20	90
		46	80			23	90
		28	90			20	90
	20	71	60		0	50	70
		28	70			61	70
		49	70			47	75
	40	69	50		20	48	70
		42	55			57	65
		53	55			64	55
	60	33	60		40	56	55
		58	50				
		41	55				

〈引張試験後〉

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
5 N-A	51BNJ LA1	0	144	15
	51BNJ LA2		132	20
	51BNH LA1		147	15
	平均	0	141	17

試験片 番号	鉄筋番号	試験 温度 (℃)	吸収エネ ルギー (J)	脆性 破面率 (%)
5 S-A	51BSJ LA1	0	51	85
	51BSJ LA2		24	90
	51BSH LA1		51	85
	平均	0	42	87