

マイクロフィルム用資料

共同研究報告書

整理番号第227号

鉄筋のガス圧接継手に関する 共同研究報告書

(4) ガス圧接継手の非破壊検査

1999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 © 1999 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

(4)ガス圧接継手の非破壊検査

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
社団法人	日本圧接協会	圧接技術委員	大石橋 宏 次 ^{*1}
		〃	宇佐美 滋
		〃	菊 池 郁 雄 ^{*2}
		〃	原 沢 秀 明 ^{*3}
		〃	今 沢 理
		〃	粒 良 一 義

要 旨

兵庫県南部地震の際に、RC構造物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載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、96年度から共同研究として実施している。

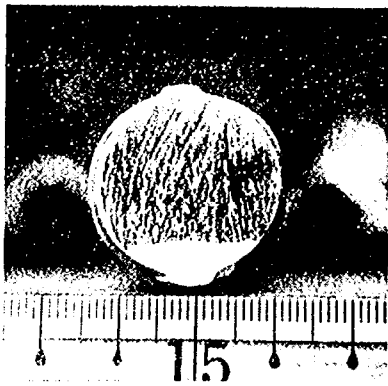
これまでの2ヶ年間、低温・高速・各種繰返し試験や、はり供試体による正負繰返し載荷実験、金属学的調査を実施し、規定どおり圧接を行えば圧接部からは破断しないことが明らかになった。

本報告書では、圧接の信頼性の向上を図るため、検査方法に関する検討を行った。それらの結果をとりまとめたものである。

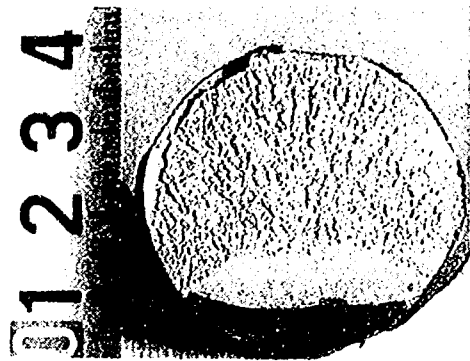
キーワード：ガス圧接継手，熱間押抜法，エンクローズ溶接，非破壊検査，外観観察，超音波探傷試験，斜角2探触子法，表面SH波法，渦流探傷法

* 1 98年8月まで
* 2 98年5月まで
* 3 98年8月まで

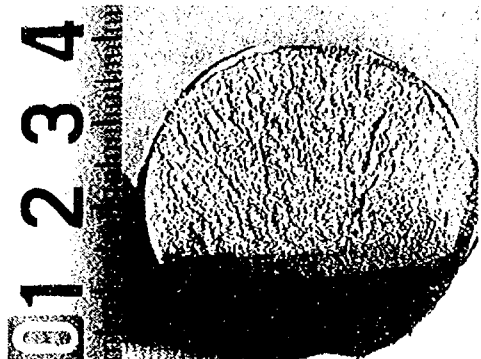
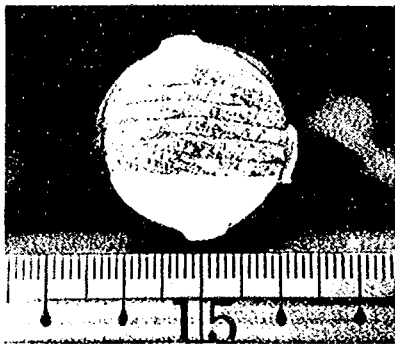
欠陥作成状況



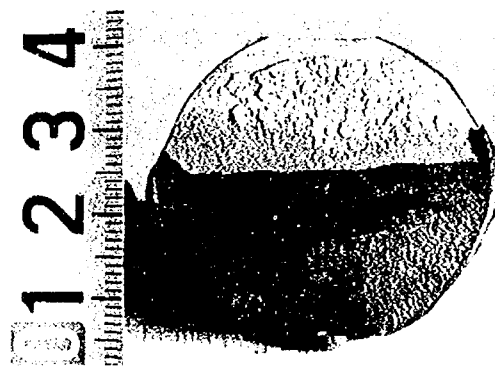
圧接界面破断状況



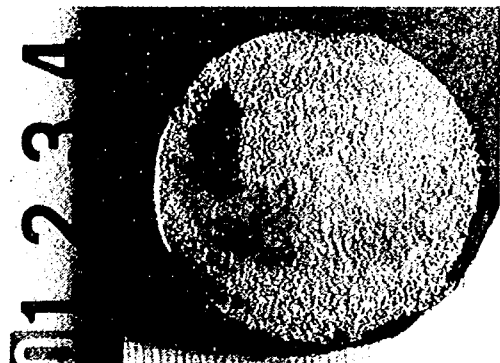
ペースト 1/8 (B 1欠陥)



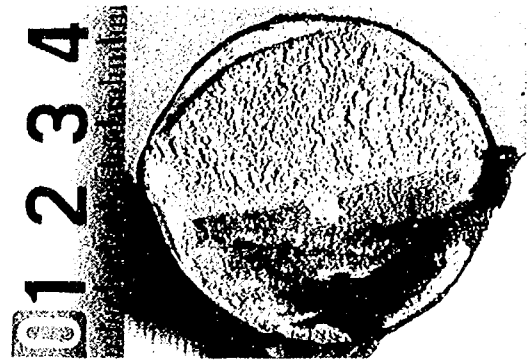
ペースト 2/8 (B 2欠陥)



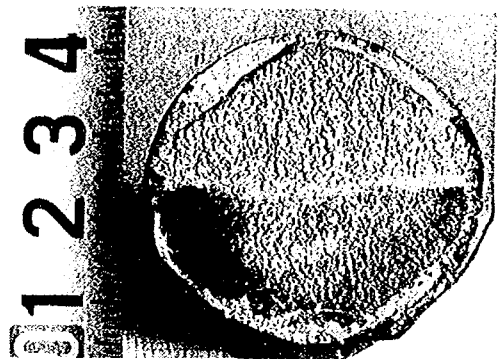
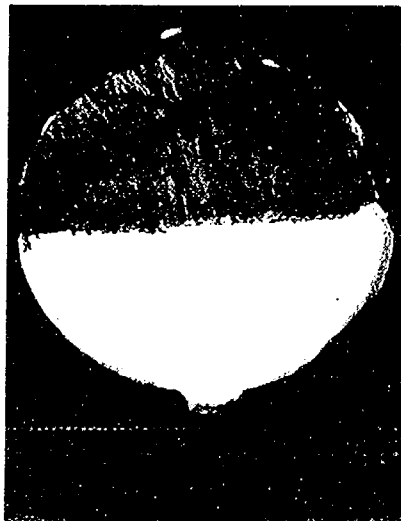
ペースト 4/8 (B 4欠陥)



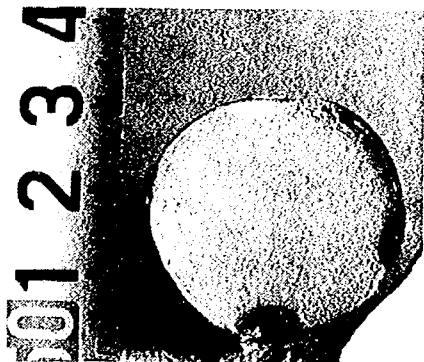
さび (C欠陥)



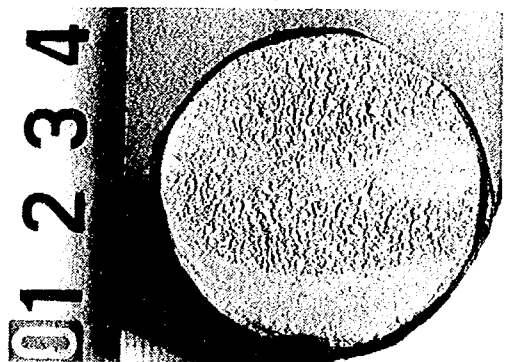
ガス切断 (D欠陥)



塗料 (E欠陥)



バーナーのずれ (F欠陥)



中性炎加熱 (G欠陥)

目 次

まえがき	1
I 実験概要	3
II 試験片の種類	7
III 引張試験	33
IV 金属学的調査	61
V 非破壊検査	119
VI 結論	197
あとがき	203
共同研究報告書および関連発表論文一覧	

まえがき

(1) 共同研究の背景、目的

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る。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。

このようなことから、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を、共同研究として実施している。

(2) これまでの成果

これまでに3件の報告書を出している。

第1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。第2報²⁾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を行った。第1報、第2報とも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衝撃特性の調査を行うなど、圧接部の金属学的考察も行った。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ことが確認された。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、引張荷重作用時には、ふくらみがあるので応力は低く、塑性化せず耐衝撃性は変化しないことがあげられる。それに対し、母材部

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⁾ 共同研究報告書第196号、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、1998年3月

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。

しかしながら、これまでの実験は基本的には一方向の引張試験である。ところが実際には、橋脚の場合は、塑性域での引張・圧縮の繰返しと同時にせん断力も正負の繰返しという複雑な応力状態になっている。第2報で既に引張とせん断の複合载荷実験を行ってはいものの、引張・せん断とも一方向の単調な载荷にとどまっている。そこで、第3報³⁾では、部材実験によって弾・塑性域の正負繰返しを行い、そのときの圧接部の挙動を把握した。この場合も、圧接が適切に行われていれば、圧接部は太く剛性が高いので変形は小さくなるのに対し、近傍の鉄筋母材部の変形が大きくなり、圧接部が弱点にはならないことがわかった。

(3) 本報告書の研究対象

以上のように、圧接を適切に行えば、地震時を想定した種々の载荷状態であっても圧接部が弱点にはならないことが明らかになった。ここでは、弱点になるような欠陥を極力減らすために、非破壊による検査方法について検討し、圧接の信頼性向上を図ることとした。

検討した検査方法は次の2種類である。

① 超音波探傷試験

従来から実施されている斜角2探触子法に加え表面SH波法の検討を行った。

② 熱間押抜法

目視により全数の検査が可能であるが、その信頼性向上のため、様々な欠陥があるときの検査結果が妥当なものであるのかを、非破壊検査及び引張試験によって確認する。また、強度上の信頼性向上を目指し、押抜径を太くした場合の施工性、検査方法、強度についても検討した。

³⁾ 共同研究報告書第226号、鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書(3)ガス圧接継手を有するはり供試体の正負交番繰返し载荷実験、1999年3月

I 実験概要

1. 実験目的.....	5
2. 実験内容.....	6

1. 実験目的

(1) 非破壊検査方法に関する検討

現在、圧接の品質管理において、外観検査と超音波探傷検査（UT法）が主たる非破壊検査方法として位置づけられている。UT法では 10,000 本を超える現場継手の試験結果から、圧接部における超音波の反射率と継手の引張強さとの間には良い相関性があることが証明されている。この関係をもとにUTで鉄筋の JIS 規格引張強さを十分に保証できるため、既に 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試験方法および判定基準）に規格化されている。

現状の斜角 2 探触子 K 走査法（以下、現行法）は、上述のように高い信頼性があり、すでに品質管理において重要な位置を占めている。しかしながら、現行法による探傷可能領域は圧接面の中央近傍となり（全圧接断面の 13% 程度）、欠陥が発生しやすい圧接面外周部には超音波ビームが当たらないという問題点がある^{1.1)}。今後の品質管理の重要性と UT 適用普及拡大の中であって、UT法の精度向上が期待されるところである。

そこで、圧接部の検査の信頼性をより向上するためには、現状の非破壊検査方法の信頼性を検討するとともに、問題点を補完する新たな試験方法について検討を行う必要がある。

今回、新たな方法として、表面 SH 波法によって超音波ビームを圧接面周辺部に当てる試験を試みた。また、熱間押抜法では表面 SH 波法に加え、表面の亀裂や凹みを検出するために渦流探傷法による試験を試みた。

(2) 熱間押抜法による検査方法に関する検討

別の検討課題として、熱間押抜法（以下、押抜圧接または単に押抜）がある。押抜に関しては、これまでの調査結果から、以下のような問題が明らかになっている。

- ① 施工上、現場では押抜きやすいように、通常の圧接より加熱時間が短い傾向がある。
- ② 引張試験時に測定した圧接部と鉄筋母材部のひずみ、引張試験前・後の硬さ分布を標準圧接と比較すると、標準圧接の圧接部は大きなふくらみがあり、断面積が大きいので圧接面は降伏せず、硬さも引張試験前・後で変化することはなかった。一方、押抜は断面が小さくなっているため破断以前に圧接面は降伏を生じる。そのため、硬さも、母材部ほどではないが引張前よりわずかに硬くなり、脆性的になる。
- ③ 押抜の検査は、目視で全数できるという大きな利点がある。その一方で、検査基準はあるものの、目視ということから、記録が残らない、誰がいつ、どのように検査しているか、など客観性に乏しいという問題がある。

これらの問題に対し、①は自動化することにより人為的な操作を極力減らすことが考えられる。この自動化技術については、既に鉄道用レールの接合で確立されている。②に対しては、押抜径を太くすることが考えられる。現在、押抜径を母材鉄筋径の 1.2 倍 (1.2D) としているので圧接面断面積は母材の 1.44 倍ということになる。鉄筋の引張強さと降伏点の比は、通常よく用いられている SD345 では約 1.7 である。押抜径を 1.3D にすれば断面積は 1.69 倍になり、母材が引張強さに達したとき圧接部の降伏がほぼ同時に生じる。③については既に UT 法の検討でふれたように、現行法に加え表面 SH 波法、渦流探傷法による検討を行う。

^{1.1)} (社)日本圧接協会：鉄筋ガス圧接部の超音波探傷検査，pp. 107～124，1994. 8

以上のようなことから、ここでは押抜径の太さを変化させたときの施工性、目視による圧接面の変状検査、UTによる検査、渦流探傷法による検査、強度特性について検討することとした。

(3) 経時変化

これまでの継続した試験であり、試験片作製後、2年6月(2.5年)経過時の強度、金属組織、硬さについて最終的な調査を行った。

2. 実験内容

実験の内容と対応する各編の関係は表-1.2.1のとおりである。

実験は、まず圧接条件を設定し、各条件ごとに4本ずつ試験片を作製した。すべての試験片について目視、UTなどによる非破壊検査を行った。その後、3本は引張試験を行い引張試験後、圧接界面で破断したものは、破断面を欠陥部、フラット破面などに分類し、それぞれ面積を測定した。引張試験していない1本と、引張試験後の試験片を用いて、金属組織の観察、硬さ試験などを行った。非破壊試験結果と引張、金属試験結果から、検査方法に関する考察を行い、今後検討すべき課題を明らかにした。

表-1.2.1 実験概要

実験項目	継手の種類			対応する編
	標準圧接	押抜圧接	エンクローズ溶接	
圧接条件と試験片作製	鉄筋の種類(径とリブの形状)、圧接条件(圧接面の状態、加熱条件、人工欠陥、拘束条件)ごとに試験拘束試験	押抜径が通常の1.2Dの場合、標準圧接の条件と同じ、押抜径が1.3D、1.4Dの場合は、代表的な条件で試	通常の健全な試験片と、人工欠陥の試験片を作製	II編
非破壊検査	現行法 表面SH波法	目視による外観観察 現行法 表面SH波法 渦流探傷法	現行法 表面SH波法	II編 6章 V編
引張試験	引張強度 破断面の断面積測定			III編
金属試験	金属組織のマクロ、ミクロ観察 硬さ試験 欠陥部分の成分分析 内部欠陥の放射線透過撮影による欠陥位置の同定			IV編
非破壊検査結果の考察	圧接条件、引張強度、金属試験結果と非破壊検査結果の関係			V編

実験の手順は図-1.2.1のとおりである。図の上段の二重の下線が非破壊試験である。太線の枠は通常行われている検査である。内部欠陥および外部欠陥を入れた試験片を標準圧接、押抜圧接、エンクローズ溶接によって作製した後、外観・超音波探傷検査を行った。その後、引張試験を行い、欠陥の探査を行った。

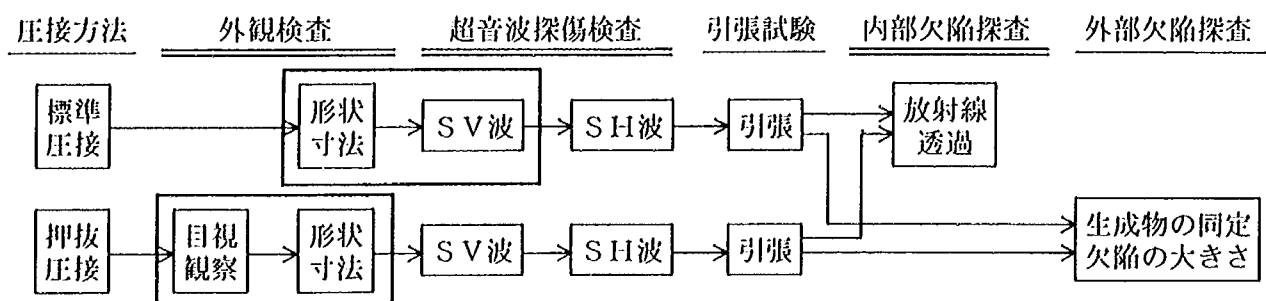


図-1.2.1 実験フロー

II 試験片の種類

1. 試験片の種類	9
2. 鉄筋の種類	12
3. 継手の種類	12
4. 圧接条件	14
5. 圧接結果	15
6. 拘束試験	23
6.1 実験目的	23
6.2 I シリーズ	23
6.3 J シリーズ	26

1. 試験片の種類

圧接現場の状態などを考慮して、表－Ⅱ.1.1のような各種圧接条件を設定し様々な欠陥を入れた試験片を作成した。その試験片について超音波探傷試験（UT法）、引張試験などを行うことによりUTの適用範囲、UT結果と引張強さの関係、などについて検討した。圧接方法は標準圧接と熱間押抜法であり、後者は押抜径を通常の1.2Dに対し、1.3D、1.4Dを加えた。鉄筋は、D19D25、D38、D51の4種類である。D25については、リブの形状が異なる5種類についても実施し、リブの形状が超音波ビームの伝播に及ぼす影響についても検討した。圧接条件は、健全なものに対し、人工的にタングステン箔を入れるなどの内部欠陥および鋸刃を入れるなどの外部欠陥を入れた場合、圧接面にペースト、さび、塗料を付着させたり、ガス切断した場合、バーナーを圧接面からずらした場合中性炎で加熱した場合、実際の現場施工を想定し、接合しようとする鉄筋どうしが結束されていることにより拘束状態にある場合である。欠陥作成の詳細については3章および6章に示す。

試験片の数は、拘束試験以外は1種類につき4本ずつ作製した。試験片は表－Ⅱ.1.2のように記号をつけて分類した。

試験は表－Ⅱ.1.3のように、試験片4本のうち3本引張試験、残り1本は金属試験を行った。

表－Ⅱ.1.1 試験片の種類

鉄筋の種類		継手の種類		圧 接 条 件										拘束試験					
呼び名	リブの種類		ふくらみ径	健全	圧接面の状態				加熱条件		人工欠陥						拘束力	拘束条件	
					ペースト			さび	ガス切断	塗料	バーナーずれ	中性炎加熱	内部欠陥			外部欠陥			
					1	2	4										3	6	9
D19	m	S	1.6D	○		○		○	○	○									
		P	1.4D	○		○		○	○	○									
D25	m h i w n	S	1.6D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
				○												○			
				○												○			
				○												○			
	m h i w n	P	1.2D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				○												○			
				○												○			
m			1.3D	○	○		○	○	○										
			1.4D	○	○		○	○	○										
D38	m	S	1.6D	○		○		○	○	○			○	○	○	○	○		
		P	1.2D	○		○		○	○	○									
D51	m	S	1.6D	○		○		○	○	○									
		P	1.2D	○		○		○	○	○									

I m-S-A0-1	鉄筋の種類	鉄筋の呼び名 D19: I, D25: II, D38: III, D51: V
	リブの形状	m: 中間, h: 高い, l: 低い, w: 広い, n: 狭い
	継手の種類	N: 母材 S: 標準圧接 E: エンクローズ溶接
	圧接条件	P: 押抜圧接 P2, P3, P4: 押抜径 1.2D, 1.3D, 1.4D
通し番号 (1~4)	鉄筋の種類	端面の状態 A0: 健全(無欠陥)
圧接条件	鉄筋の種類	B1, B2, B4: ペーストを鉄筋径の1/8, 2/8, 4/8塗布
継手の種類	鉄筋の種類	C: さびを鉄筋径の4/8, 隙間 3mm
鉄筋の種類	鉄筋の種類	D: ガス切断を鉄筋径の4/8
	鉄筋の種類	E: 塗料を鉄筋径の4/8, 隙間 3mm
	バーナー	F: バーナーの圧接面からのずれ 3mm, 隙間 3mm
	加熱	G: 中性炎(n)による加熱, 隙間 3mm
	内部欠陥	H3, H6, H9: 圧接中央に直径3, 6, 9mmのタングステン箔
	外部欠陥	A1, A2, A4: 健全な圧接後, 圧接径の1/8, 2/8, 4/8の切欠
	拘束力	I2L: 圧接時に引張拘束力を与える
		↑ 圧接機の圧力設定
		L: 圧接機の圧力 低圧(210kgf/cm ²)
		M: " 中圧(320kgf/cm ²)
		H: " 高圧(450kgf/cm ²)
		↑ 拘束力の設定
		2: 拘束力, 降伏点の2%
		4: " 4%
		8: " 8%
拘束条件	J1: 鉄筋を組み立てたときの拘束力の測定	
	↑ 拘束条件	
		1: フープを14本なまし鉄線で結束
		2: フープを1本番線で結束
		3: X型の補強を番線で結束
		4: フープを13本なまし鉄線+1本番線で結束
		5: フープを13本なまし鉄線+1本番線+X型の補強を番線で結束
		6: 5について実際に圧接

表- II. 1. 2 試験片の種類・記号の説明

表-11.1.3 ガス圧接試験片の種類と引張試験および金属試験一覧表

[illegible]

2. 鉄筋の種類

使用した鉄筋は JIS G 3112 に適合する SD345 の D19, D25, D38, D51 である。D25 は、リブの形状により 5 種類使用した。

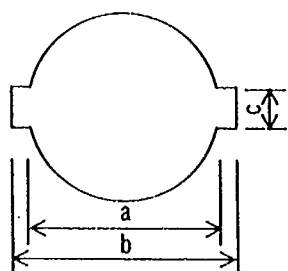
V T 試験に及ぼすリブの影響を検討するため、全電炉品のリブの形状を調査し、リブの高さが高いもの h, 低いもの l, 幅が広いもの w, 狭いもの n と、それらの中間 m の 5 種類を選んだ。

鉄筋の化学成分、機械的性質を表-Ⅱ. 2. 1 に示す。

実際に使用した鉄筋のリブの形状は、次のように計測した。その結果は表-Ⅱ. 2. 2 および図-Ⅱ. 2. 1 のとおりである。測定結果は、必ずしも事前調査どおりになってはいないが試験片記号は事前に付けたままとしてある。

鉄筋のリブの高さ, 幅, および実測断面積測定は、各鉄筋種類ごとの母材試験片について以下のように計測を行い、平均値を求めた。

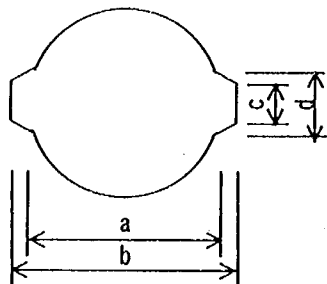
○リブ形状 : m, h, l



1. a 部 (谷～谷間) 直径を測定
2. b 部 (山～山間) 直径を測定
3. 縦リブ幅 c を測定
4. リブの高さは $(b-a)/2$ とした。
5. 次式によって断面積 A を算出

$$A = \left(\frac{\pi \times a^2}{4} \right) + c \times (b-a)$$

○リブ形状 : w, n



1. a 部 (谷～谷間) 直径を測定
2. b 部 (山～山間) 直径を測定
3. 縦リブ幅 c (最先端部) を測定
4. 縦リブ幅 d (付け根部) を測定
5. リブの高さは $(b-a)/2$ とした。
6. 次式によって断面積 A を算出

$$A = \left(\frac{\pi \times a^2}{4} \right) + (c+d) \times \left(\frac{b-a}{2} \right)$$

表-Ⅱ. 2. 2 リブの幅, 高さ

		幅 mm		高さ mm
I	D19	3.64		1.31
II	D25	m	4.70	1.43
		h	4.71	1.86
		l	4.50	1.52
		w	6.15 5.15	5.65 1.90
		n	5.00 3.68	4.34 1.25
III	D38	6.62		1.87
V	D51	6.71		2.12

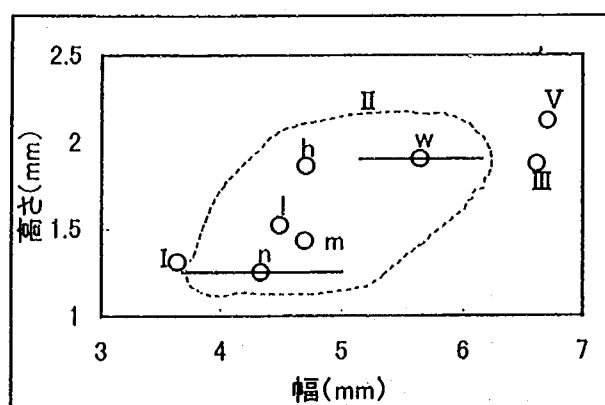


図-Ⅱ. 2. 1 リブの幅と高さの関係

3. 継手の種類

継手は、標準圧接、押抜圧接と、比較用にエンクローズ溶接を加えた。押抜圧接の押抜径は、D25 の場合、通常の 1.2D のほか、1.3D, 1.4D を加えた。

D19 の場合は、現在、押抜刃がないので、D22 のものを使用した。そのため、押抜径は

表-Ⅱ. 2. 1 鉄筋の化学成分および機械的性質

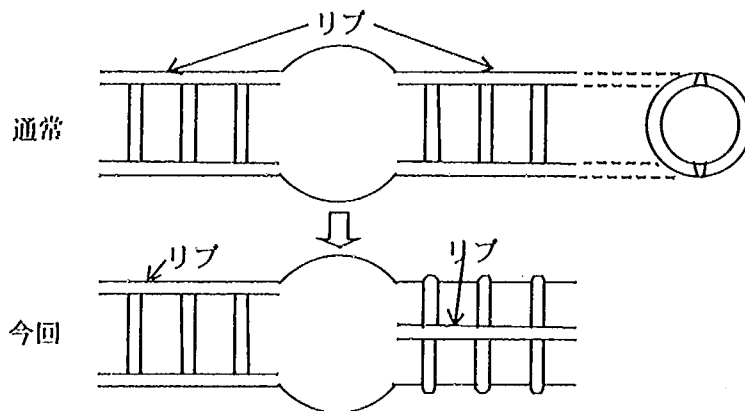
呼び名	リブの形状	化学成分 (%)						引張試験			曲げ試験
		C	Si	Mn	P	S	$C + \frac{Mn}{6}$	降伏点	引張強さ	伸び	
		×100	×100	×100	×1000	×1000	×1000	N/mm ²	N/mm ²	%	
D19		22	19	92	28	31	37	365	574	23	good
D25	m	23	15	99	23	30	40	376	596	24	good
	h	24	17	93	31	33	40	377	586	27	good
	l	25	20	102	25	22	42	392	589	23	good
	w	24	21	77	28	23	37	401	557	29	good
	n	25	20	89	34	35	40	396	539	21	good
D38		21	18	101	28	31	38	358	590	25	good
D51		21	16	105	28	24	38	374	601	25	good
規格値 SD345		27 以下	55 以下	160 以下	40 以下	40 以下	50 以下	345 - 440	490 以上	*	

* 伸びの規格値

呼び名	試験片	伸びの規格値
D19	2号	18%以上
D25	3号	20%以上
D38		16%以上
D51		16%以上

1.4D となった。D22 の押抜刃で押し抜くとき、径が異なるので、圧接機の鉄筋の固定位置にアングルを挟んで押抜の中心がずれないように調整した。

圧接するとき、通常、鉄筋のリブを合わせて固定する。しかしながら、今回は図－Ⅱ.3.1のように、欠陥部分と超音波の検査位置を変えるため、また、検査面積を広くするため、リブを 90° 回転させて圧接した。



図－Ⅱ.3.1 鉄筋の突合せ方

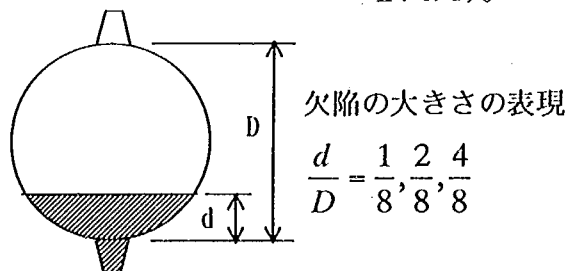
4. 圧接条件

表－Ⅱ.1.1 の圧接条件について以下に説明を加える。

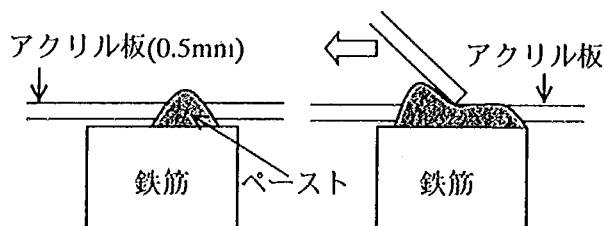
(1) 圧接面の状態

健全 A0：通常の圧接

ペースト B1, B2, B4：鉄筋径の 1/8, 2/8, 4/8 (図－Ⅱ.4.1) にセメントペーストを塗布した。欠陥は、一方のリブ側に付けた。セメントペーストは、W/C=30%で、厚さが 0.5mm になるようにアクリル板をあてた (図－Ⅱ.4.2)。

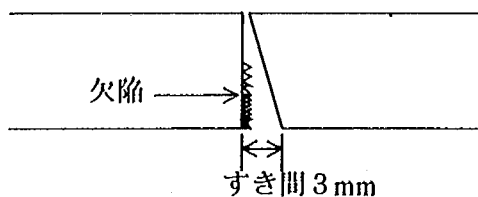


図－Ⅱ.4.1 欠陥の大きさ



図－Ⅱ.4.2 ペーストの塗り方

さび C3：さびを 4/8 つけたさびは、塩水を圧接する鉄筋断面に付け、1～2週間放置しておいた。さびさせない 4/8 面にはテープを貼っておき、圧接直前にはサンダーがけした。もう一方の鉄筋は、隙間をつくるため斜めに切断し、図－Ⅱ.4.3 のようにすき間を 3mm あけて突き合わせた。



図－Ⅱ.4.3 欠陥とすき間の関係

ガス切断 D0 : ガス切断を 4/8 残した。残りの 4/8 はガス圧接の山の位置に一致するように注意深く電動のこで切断した (図-Ⅱ.4.4)。この場合は、ガス切断部分にすき間ができるので、もう一方の鉄筋にはすき間は設けていない。

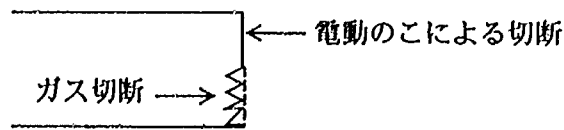


図-Ⅱ.4.4 切断断面

塗料 E3 : 塗料を 4/8 塗布し、すき間 3mm とした。

(2) 加熱条件

バーナーのずれ F3 : バーナーの中心部を圧接面から 3mm ずらして加熱した。さらにすき間 3mm 設けた。

中性炎加熱 G3 : 最初から最後まで中性炎によって加熱した。すき間を 3mm 設けた。

(3) 人工欠陥

内部欠陥 H3, H6, H9 : 融点の高いタングステン箔 (3400℃)、直径 3, 6, 9mm のものを圧接面の中央に付着させた。

エンクローズ溶接の場合は、鉄筋断面の中央に 6, 9, 12mm の穴をあけ、そこに鉄筋をはめ込み、センターポンチによりかしめた (図-Ⅱ.4.5)。

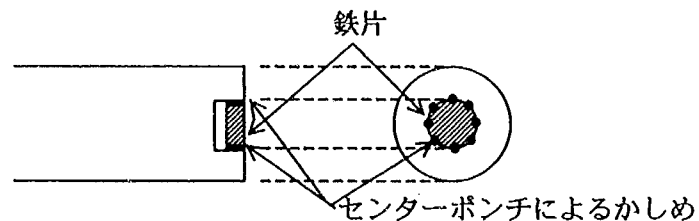


図-Ⅱ.4.5 エンクローズ溶接の内部欠陥

外部欠陥 A1, A2, A4 : 通常の健全な圧接を行ったもの (A0) について、圧接断面の 1/8, 2/8, 4/8 だけ電動のこによって切欠 (ノッチ) を入れた。

(4) 拘束試験

拘束試験 I, J については、6 章で説明する。

5. 圧接結果

各試験片の圧接時間、アプセット量、圧接部のふくらみ径、ふくらみ長さは表-Ⅱ.5.1 のとおりであった。

それらの結果をヒストグラムに表したのが図-Ⅱ.5.1~Ⅱ.5.5 である。標準圧接は基準どおり、ふくらみ径は約 1.6D で、最小でも 1.4D 以上である。

表－Ⅱ. 5. 1 ガス圧接継手試験片作製データ（その１）

(1) 圧接時間

圧接方法	鉄筋の種類			圧接時間					
	材質	径	押抜径	本数	最大 (秒)	最小 (秒)	平均 (秒)	標準偏差 (秒)	変動係数 (%)
標準	電炉	D19		20	60	54	56.6	2.0	3.6
		D25		85	95	60	80.5	4.9	6.1
		D38		20	196	159	177.1	10.2	5.7
		D51		20	291	259	273.3	9.0	3.3
押抜	電炉	D19	1.4D	20	62	55	58.0	2.1	3.7
		D25	1.2D	85	103	83	93.0	4.0	4.3
			1.3D	20	102	60	88.6	7.8	8.8
			1.4D	20	100	80	88.4	4.4	5.0
		D38	1.2D	20	198	180	187.8	5.6	3.0
		D51	1.2D	20	305	255	279.4	13.9	5.0

(2) アプセット量

圧接方法	鉄筋の種類			アプセット量						アプセット量／鉄筋径				
	材質	径	押抜径	本数	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	D19		20	26	19	22.4	1.66	7.4	1.37	1.00	1.18	0.09	7.4
		D25		85	37	23	28.3	2.27	8.0	1.48	0.92	1.13	0.09	8.0
		D38		20	49	37	43.6	3.29	7.6	1.29	0.97	1.15	0.09	7.6
		D51		20	53	46	49.3	1.89	3.8	1.04	0.90	0.97	0.04	3.8
押抜	電炉	D19	1.4D	20	32	22	27.0	2.77	10.3	1.68	1.16	1.42	0.15	10.3
		D25	1.2D	85	36	23	30.5	2.56	8.4	1.44	0.92	1.22	0.10	8.4
			1.3D	20	32	18	28.0	3.27	11.7	1.28	0.72	1.12	0.13	11.7
			1.4D	20	37	23	29.8	3.73	12.5	1.48	0.92	1.19	0.15	12.5
		D38	1.2D	20	39	28	33.8	3.26	9.7	1.03	0.74	0.89	0.09	9.7
		D51	1.2D	20	47	33	37.9	3.80	10.0	0.92	0.65	0.74	0.07	10.0

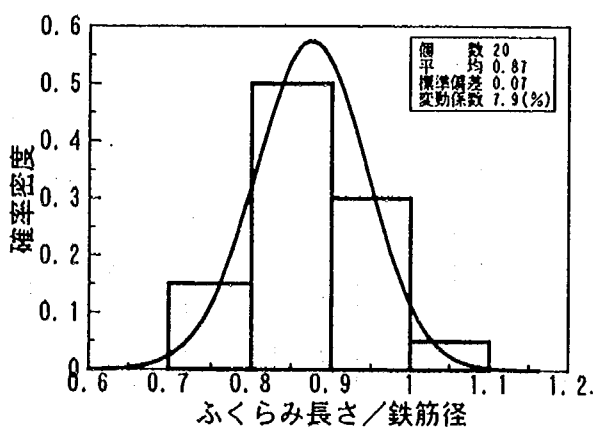
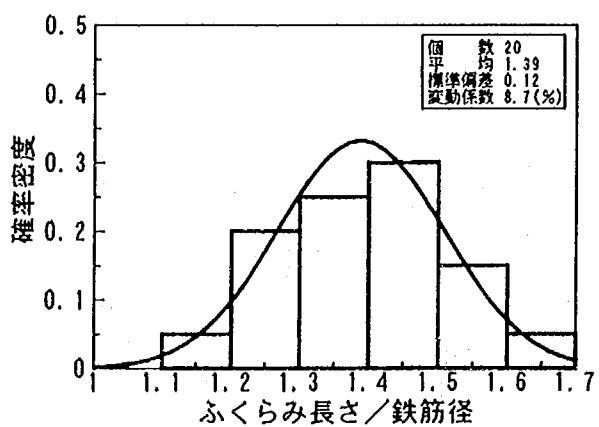
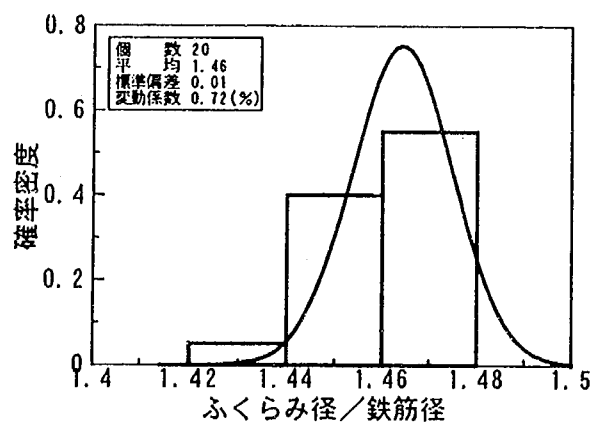
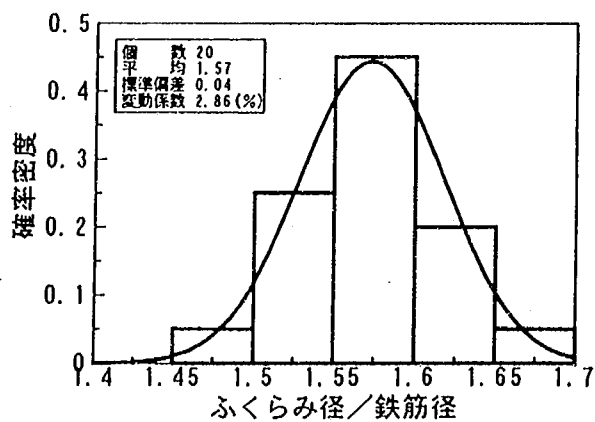
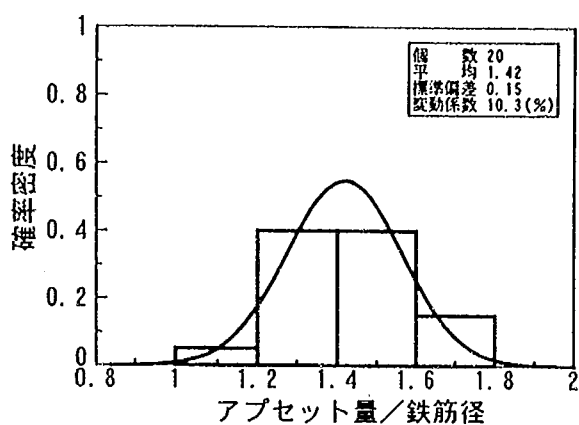
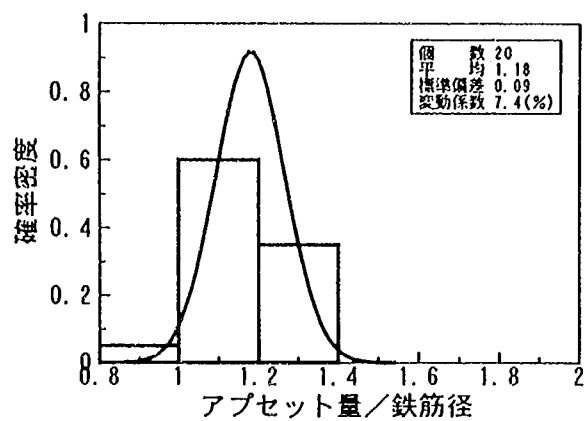
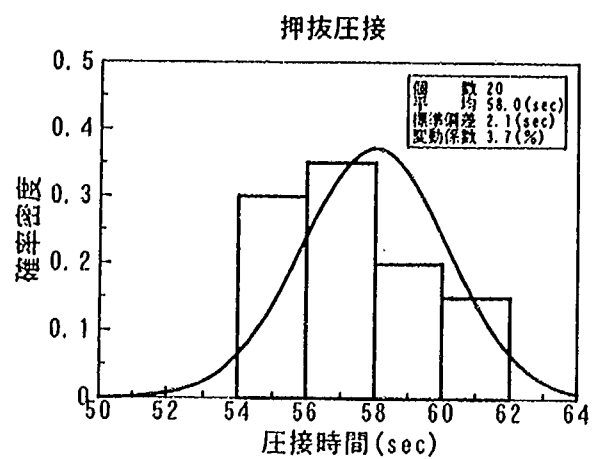
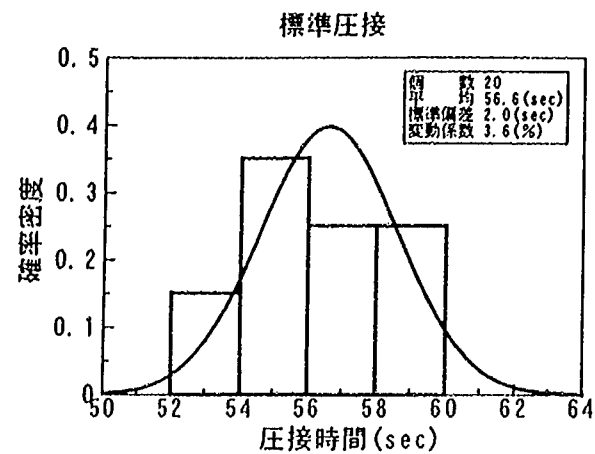
表-Ⅱ.5.1 ガス圧接継手試験片作製データ (その2)

(3) ふくらみ径

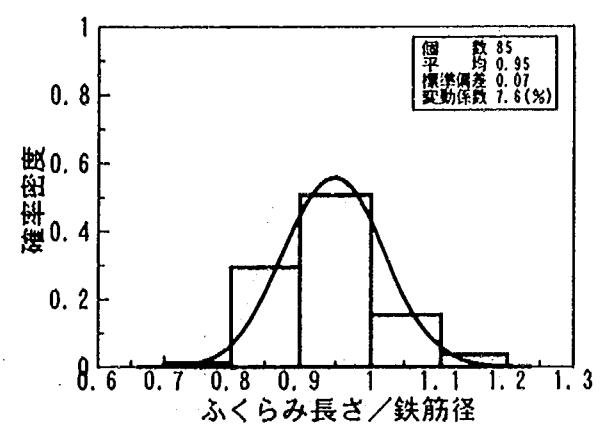
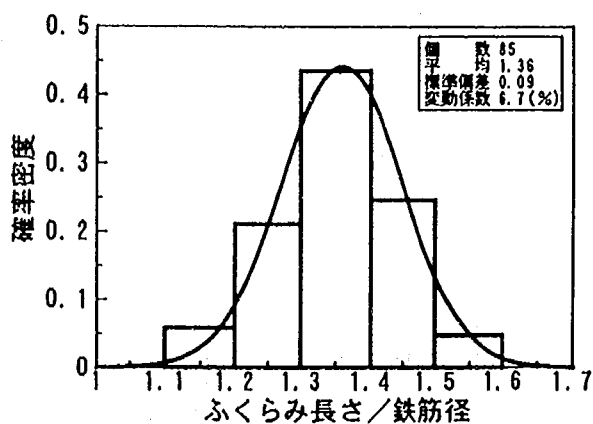
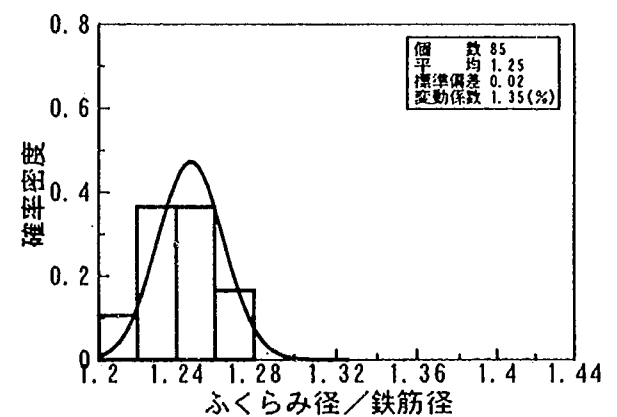
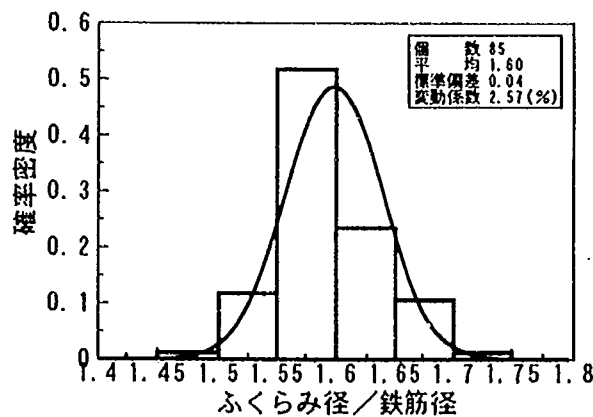
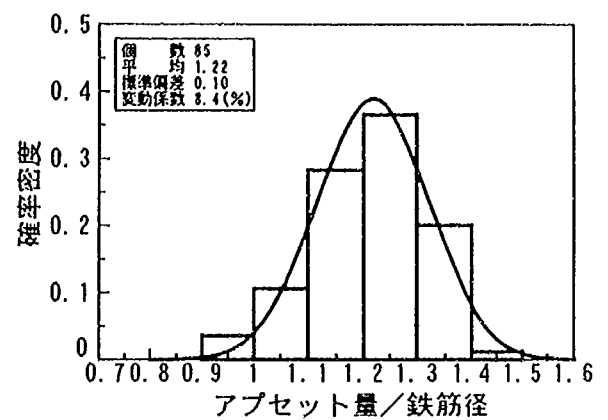
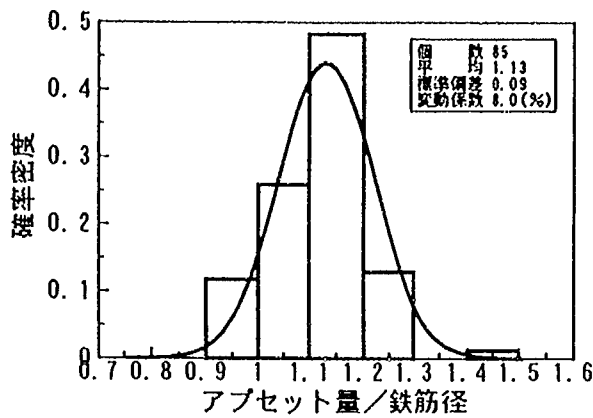
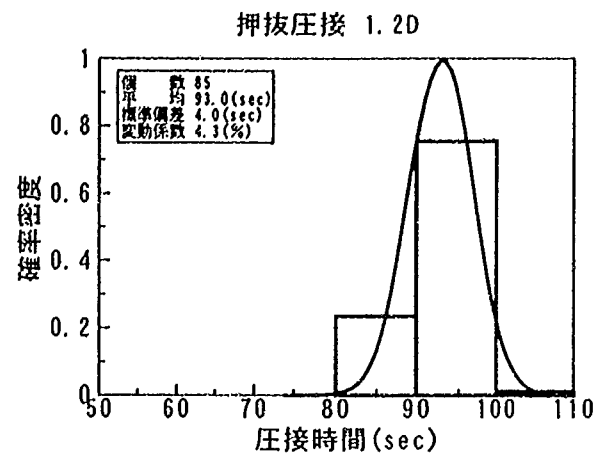
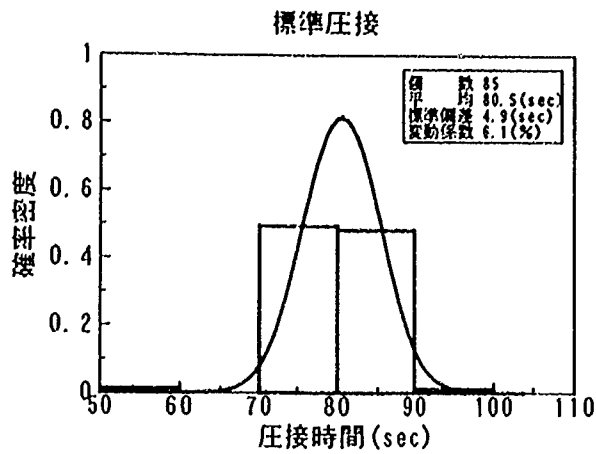
圧接方法	鉄筋の種類			ふくらみ径						ふくらみ径/鉄筋径				
	材質	径	押抜径	本数	最大 (mm)	最小 (mm)	平均 (mm)	標準 偏差 (mm)	変動 係数 (%)	最大	最小	平均	標準 偏差	変動 係数 (%)
標準	電炉	D19		20	31.8	28.0	29.9	0.85	2.9	1.67	1.47	1.57	0.04	2.86
		D25		85	42.8	36.4	40.0	1.03	2.6	1.71	1.46	1.60	0.04	2.57
		D38		20	63.8	58.6	61.2	1.38	2.2	1.68	1.54	1.61	0.04	2.25
		D51		20	83.1	75.9	79.3	1.91	2.4	1.63	1.49	1.55	0.04	2.4
押抜	電炉	D19	1.4D	20	28.1	27.4	27.8	0.20	0.7	1.48	1.44	1.46	0.01	0.72
		D25	1.2D	85	32.1	30.2	31.2	0.42	1.4	1.28	1.21	1.25	0.02	1.35
			1.3D	20	33.2	31.5	32.3	0.31	1.0	1.33	1.26	1.29	0.01	0.97
			1.4D	20	35.6	34.5	35.0	0.26	0.8	1.42	1.38	1.40	0.01	0.75
		D38	1.2D	20	46.9	45.9	46.3	0.27	0.6	1.23	1.21	1.22	0.01	0.58
		D51	1.2D	20	61.6	59.6	60.7	0.52	0.9	1.21	1.17	1.19	0.01	0.86

(4) ふくらみ長さ

圧接方法	鉄筋の種類			ふくらみ長さ						ふくらみ長さ/鉄筋径				
	材質	径	押抜径	本数	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	D19		20	31.0	21.5	26.4	2.28	8.7	1.63	1.13	1.39	0.12	8.7
		D25		85	39.1	29.0	34.0	2.26	6.7	1.56	1.16	1.36	0.09	6.7
		D38		20	52.1	41.6	47.8	2.44	5.1	1.37	1.09	1.26	0.06	5.1
		D51		20	67.0	59.2	62.8	2.28	3.6	1.31	1.16	1.23	0.04	3.6
押抜	電炉	D19	1.4D	20	19.3	13.9	16.6	1.32	7.9	1.02	0.73	0.87	0.07	7.9
		D25	1.2D	85	29.3	19.3	23.7	1.79	7.6	1.17	0.77	0.95	0.07	7.6
			1.3D	20	23.3	19.0	21.4	1.15	5.4	0.93	0.76	0.85	0.05	5.4
			1.4D	20	21.2	18.3	19.9	0.77	3.9	0.85	0.73	0.79	0.03	3.9
		D38	1.2D	20	34.7	28.0	31.4	1.85	5.9	0.91	0.74	0.83	0.05	5.9
		D51	1.2D	20	51.3	38.3	43.2	3.87	9.0	1.01	0.75	0.85	0.08	9.0



図－Ⅱ.5.1 試験片作製データ (D19-S, P4)



図一Ⅱ.5.2 試験片作製データ (D25-S, P2)

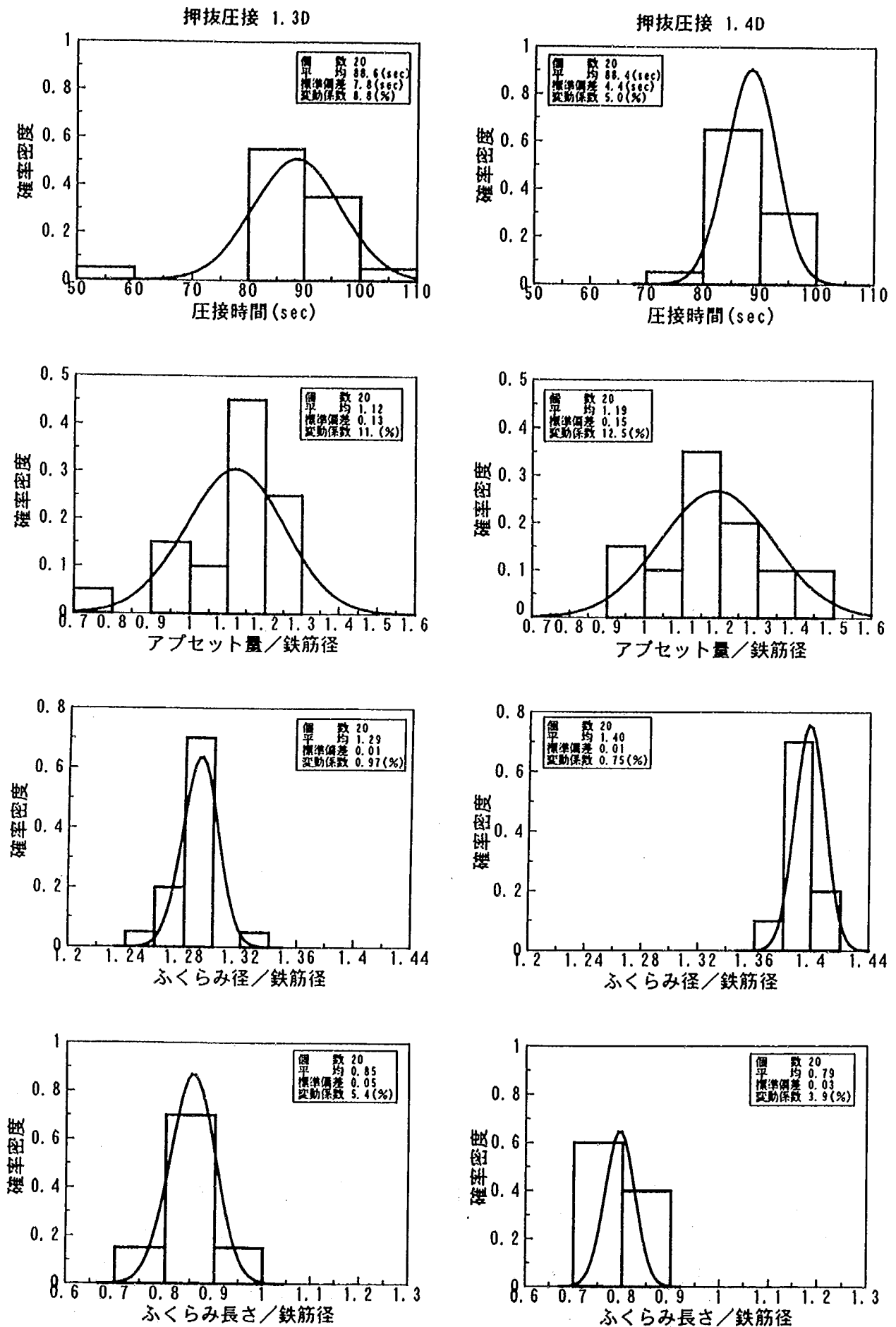


図-Ⅱ.5.3 試験片作製データ (D25-P3, P4)

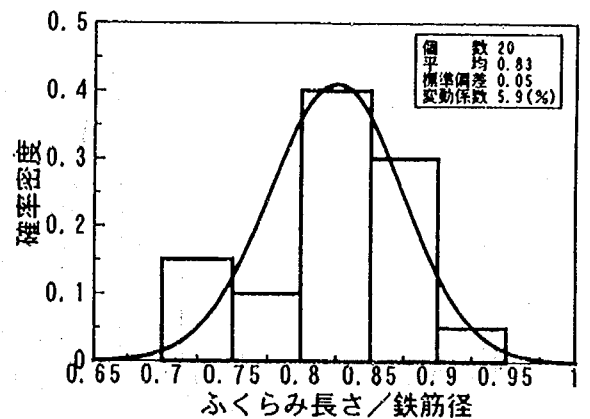
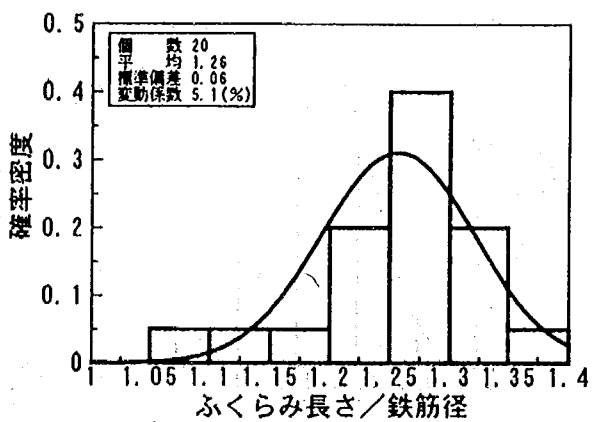
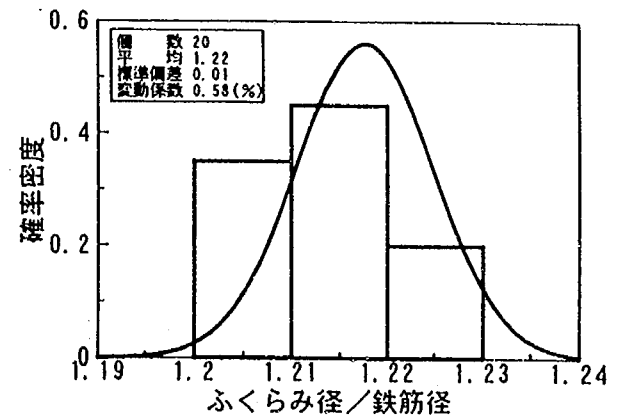
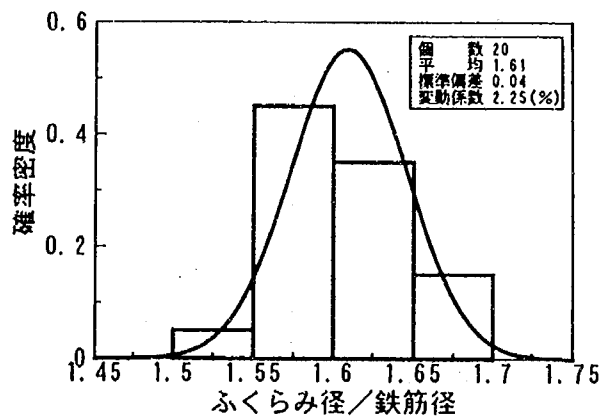
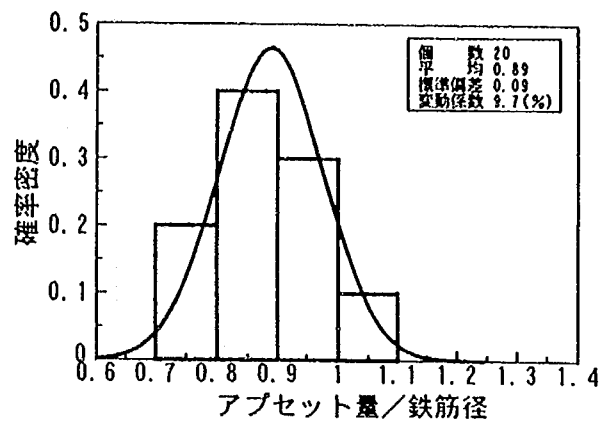
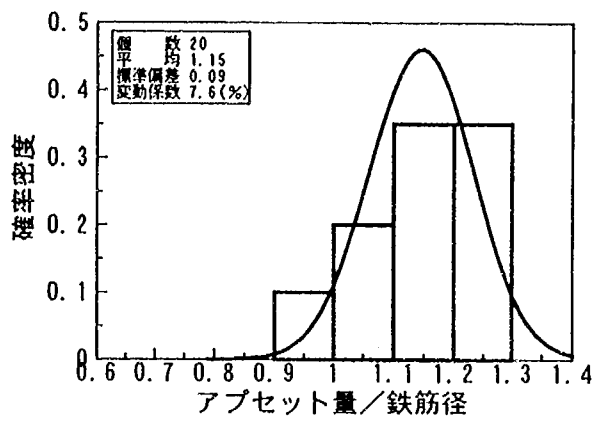
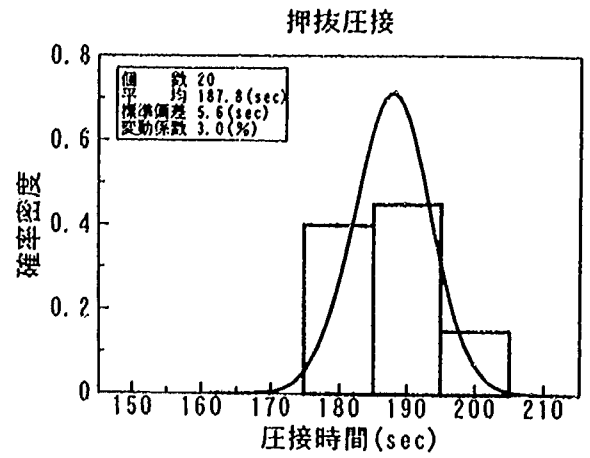
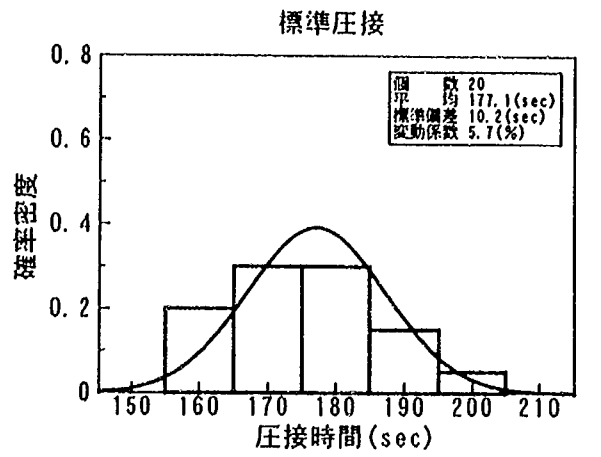
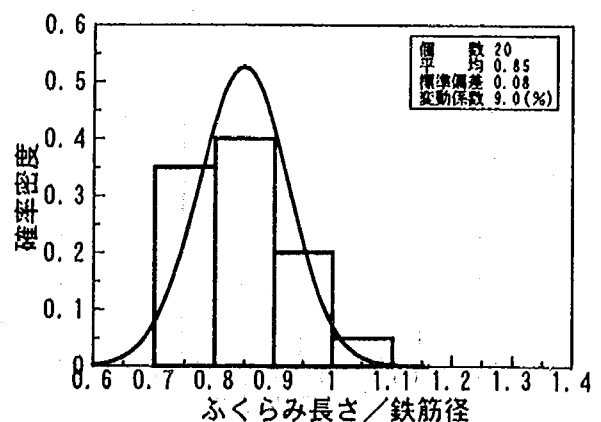
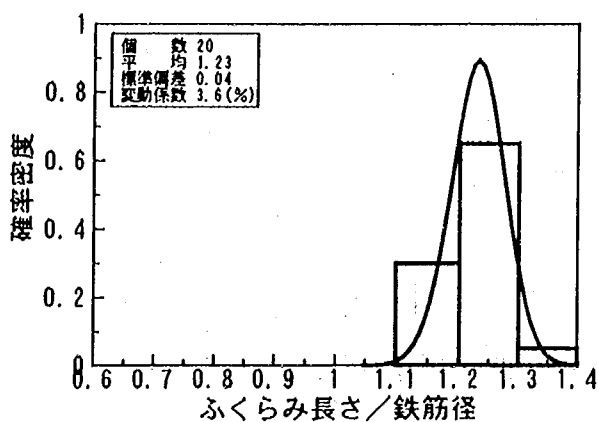
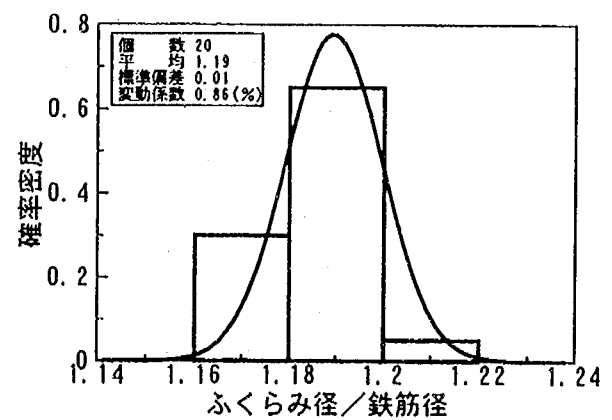
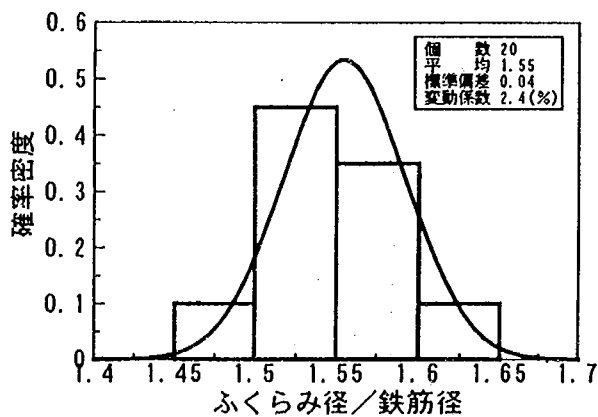
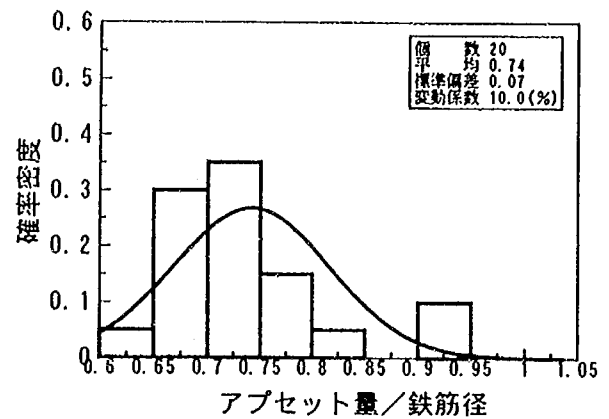
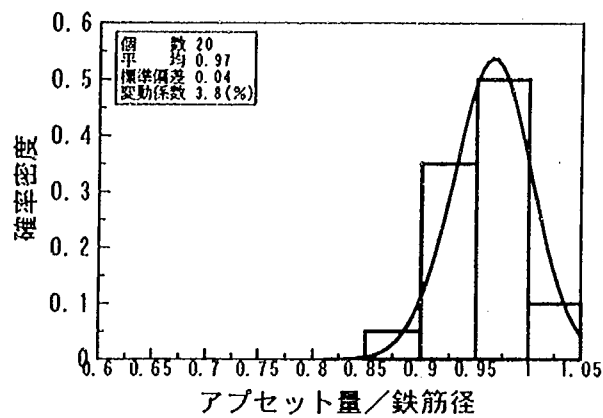
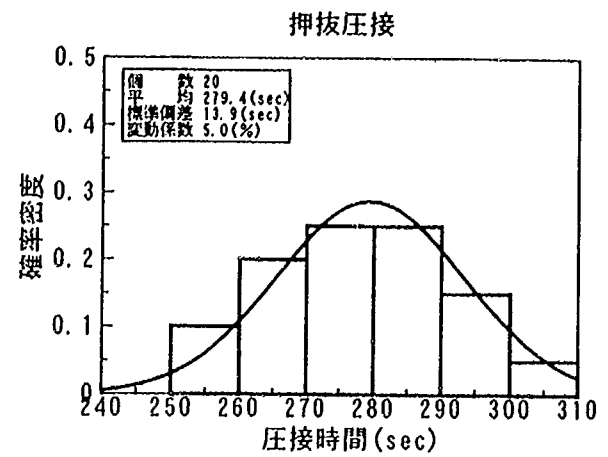
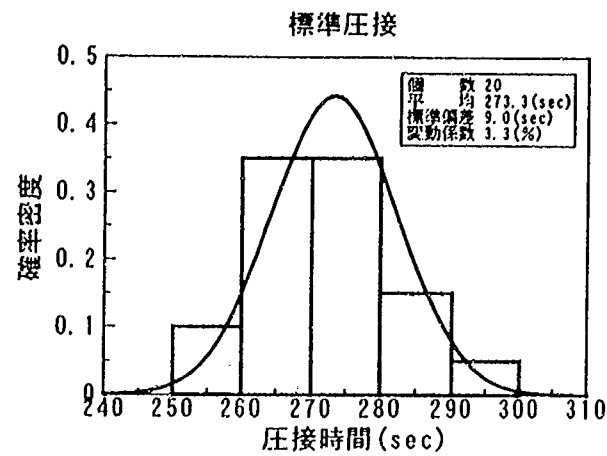


図-Ⅱ.5.4 試験片作製データ (D38-S, P2)



図一Ⅱ.5.5 試験片作製データ (D51-S, P2)

6. 拘束試験

6.1 実験目的

実際に配筋されている鉄筋をガス圧接によって接合する場合、鉄筋はなまし鉄線や番線で結束されているので加圧するときにそれらによって拘束されることになる。この拘束による施工性や継手部の品質を確認するために、拘束条件を明確にするために拘束力をバネで与えたときの圧接試験を行った（I シリーズ）。その試験に先立ち、実際の配筋状態の拘束力を確認するために、フープ筋をなまし鉄線や番線で拘束した場合、斜めの補強筋をX字に配筋して番線で結束した場合、あるいはそれらを組み合わせた場合について圧接機で加圧するとき無拘束に対してどの程度の拘束力があるかを測定した（J シリーズ）。

6.2 I シリーズ

I シリーズは、圧接時に鉄筋に作用する拘束力・圧力・拘束保持時間などをパラメータとして、その影響を確認する試験である。なお、試験後の圧接部位は所定の長さに切り取って引張試験を行った。

(1) 拘束条件

拘束条件を表－II. 6. 1 に示す。

拘束力：圧接によって鉄筋が 25mm 引き寄せられた場合に作用する拘束力を示し、鉄筋降伏応力の 2 %（荷重 4kN）、4 %（荷重 8 kN）、8 %（荷重 16kN）の 3 段階になるように圧縮ばねによって調整

圧力：圧接器の圧力の事前設定を、低圧力（約 21MPa）、中圧力（約 32MPa）、高圧力（約 44MPa）の 3 段階に設定した。

低圧は、拘束がないときの一般的な圧力設定値である。

ただし、熱間押抜圧接用ジャッキは自動圧力制御のため、最大圧力を読み取った。

保持時間：圧接終了後、拘束力を保持している時間で、短期（圧接終了後、鉄筋温度がある程度下がり、加熱による赤色から黒色になった時点で拘束力を解放する）、長期（圧接終了後、そのまま 30 分程度拘束した状態を保ったままにしておく）2 種類を設定した。

表－II. 6. 1 I シリーズの拘束条件

圧接種類		標準圧接			熱間押抜圧接
圧力		21MPa 低圧力	32MPa 中圧力	44MPa 高圧力	高圧力（自動）
保持時間		短期	長期	短期	短期
拘束力	2%	S12 1	S12 2	S12 3	P2 1 2
		(II m-S-12L)	(II m-S-12M)	(II m-S-12H)	(II m-P2-12H)
	4%	S14 1	S14 2	S14 3	P2 1 4
		(II m-S-14L)	(II m-S-14M)	(II m-S-14H)	(II m-P2-14H)
	8%	S18 1	S18 2	S18 3	P2 1 8
		(II m-S-18L)	(II m-S-18M)	(II m-S-18H)	(II m-P2-18H)

注：（ ）内記号は試験終了後に切り取った、対応する引張強度用試験片番号

(2) 試験方法

拘束試験は図－II. 6. 1 のように行った。測定項目は表－II. 6. 2 のとおりである。

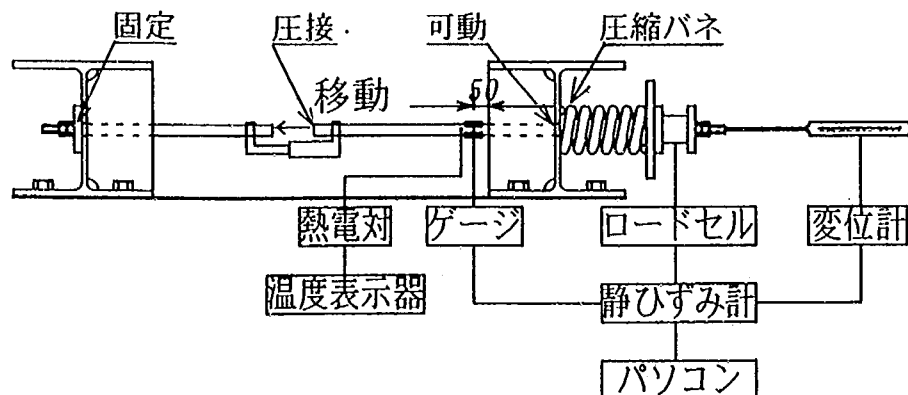
図－II. 6. 1 の右側の鉄筋は固定しておき、圧接機によって鉄筋同士を押し付けたときの変位を左端部で変位計によって測定した。拘束力はロードセルおよび鉄筋に張り付けたひずみゲージによって測定した。

試験手順は以下のとおりである

1. 圧接により鉄筋が 25mm 引き寄せられた時点での拘束力が所定値になるように圧接バネの選択及びバネ遊び量を調整し、鉄筋を設置する。
2. センサー等の接続及び設定・確認を行う。
3. 圧接の直前に初期測定を行い、その後インターバル計測を開始する。
4. 圧接を開始する。また、圧接時間計測のためにストップウォッチをスタートする。
5. 圧接終了後、ストップウォッチを停止し圧接時間を確認する。(ガス圧接継手試験体作製データに記録)
6. 圧接用ジャッキを取り外す。
7. 保持時間が短期のケースについては圧接部温度がある程度下がった時点で拘束力を解放し、計測を終了する。保持時間が長期のケースについては、引き続き 30 分ほどインターバル計測を行った後、拘束力を解放し、計測を終了する。
8. 最後に、アプセット量の確認をする。(ガス圧接継手試験体作製データに記録)

表－Ⅱ. 6. 2 I シリーズの測定方法

項目	センサー	内容
荷重	ロードセル	1 点：実際に鉄筋に作用する拘束力を確認
変位	変位計	1 点（移動側鉄筋端部）：圧接時の鉄筋移動量を確認
鉄筋のひずみ	ひずみゲージ	2 点（母材部裏表）：温度影響の無い距離まで離す。
その他の計測	鉄筋表面温度：熱電対によってゲージ部付近の鉄筋温度計測を適宜行う。 圧接時間：圧接開始から終了までの時間を計測。	
大まかな試験内容		拘束力・圧力などの各種条件が所定の条件になるようにした後、圧接作業開始時から拘束力を解放するまでの間、インターバル計測を行っていく。試験後、引張強度確認のために引張強度試験片として鉄筋を切り出す。



図－Ⅱ. 6. 2 I シリーズの測定状況

(3) 試験結果

変位と拘束力の関係は図－Ⅱ. 6. 3 のようになった。拘束力 2 %，4 %，8 % のときの荷重は 4，8，16kN になるが、ほぼ計画どおりに拘束されたのは、押抜と標準圧接の高圧設定の 2 %，4 %，低圧，中圧設定の 2 % のときであり、そのほかは計画以下であった。表－Ⅱ. 6. 3 には、標準圧接の圧接機の圧力設定値と圧接時間、圧接部のふくらみ径、押抜の場合は圧力ゲージの最大値を示したときの読みを示した。太線で囲んでいる部分は、圧接作業者が「押しきれなかった」と言った範囲、太い破線は図－Ⅱ. 6. 3 から計画の拘束力まで達しなかったところである。

図-Ⅱ.6.1 Iシリーズの試験状況

ふくらみ径は、低圧、中圧の場合、1.32D～1.53Dであり、目標である1.6Dを下回った。計画拘束力まで達しなかった高圧の拘束力8%の場合は1.60Dであり、目標値ちょうどであった。

押抜の圧力ゲージの読みを見ると、拘束力2%のとき39MPa、4%のとき44MPa、8%のとき50MPaとなっており、標準圧接のときもこの程度の圧力設定が必要と考えられる。実際に両者を比較してみると、圧力設定が満足されているのは高圧の拘束力2%、4%のときのみであり、ふくらみ径の結果と一致している。わずかな拘束であっても、通常の2倍程度の圧力設定をしなければ基準を満足することができない。これらの結果を示したのが図－II.6.3、II.6.4である。

表－II.6.3 Iシリーズの結果

条 件		標 準 圧 接						熱間押抜**			
圧接部の圧力設定 (MPa)		低圧 (21)		中圧 (32)		高圧 (45)		—			
圧力解除時期		初期		中期		初期		初期			
目標拘束力時*の圧接 時間 (左, 秒) ふくら み径(右, D)	2%	98	1.37	92	1.53	103	1.63	85	1.24	39	5.9
	4%	122	1.44	90	1.47	94	1.65	86	1.22	44	7.8
	8%	104	1.32	93	1.52	96	1.60	78	1.22	50	14.6

*目標拘束力 変位25mmのときの拘束力 (鉄筋降伏点に対する%)

拘束力 (%)	鉄筋応力 (N/mm ²)	荷重 (kN)
2	8	4
4	16	8
8	32	16

**熱間押抜の場合

左：圧接時間 (秒)

中左：ふくらみ径 (D)

中右：圧接機の圧力ゲージの最大値の読み (MPa)

右：計測された拘束力 (kN)

6.3 Jシリーズ

Jシリーズは、圧接部付近の配筋パターンによる拘束力の違いが、圧接時に鉄筋を引き寄せる際にどのように影響するのかの確認を、配筋形状変形の面からと応力状態の面から確認する試験である。

(1) 拘束条件

拘束条件を表－II.6.4 および図－II.6.5 に示す。

拘束力：鉄筋固定材料やフープ筋・斜補強筋有無等の配筋形状の違い・・・5種類
(圧接用ジャッキで鉄筋移動のみ)

圧 接：J5と同じ配筋(拘束)状態で、実際に標準圧接を行う・・・1種類
計 6種類

表－II.6.4 Jシリーズの拘束条件

ケース名	配筋状態 (形状)				概要
	フープ筋		斜補強筋	圧接	
	1～13番目	14番目			
J1	鈍し鉄線固定	鈍し鉄線固定	なし	なし	フープ筋14本を鈍し鉄線のみで結束
J2	なし	番線固定	なし	なし	フープ筋1本を番線φ2.5のみで固定
J3	なし	なし	番線固定	なし	斜補強鉄筋(クロス配置)を番線φ2.5のみで固定
J4	鈍し鉄線固定	番線固定	なし	なし	フープ筋13本を鈍し鉄線で結束+14本目のフープ筋は番線φ2.5で固定
J5	鈍し鉄線固定	番線固定	番線固定	なし	J5にJ3を複合した配筋(フープ+番線+斜補強筋)
J6	鈍し鉄線固定	番線固定	番線固定	標準圧接	J5配筋で実際に標準圧接を行ったケース

記：ケースJ6試験後に切り出した引張強度試験片記号はJm-S-J6とした

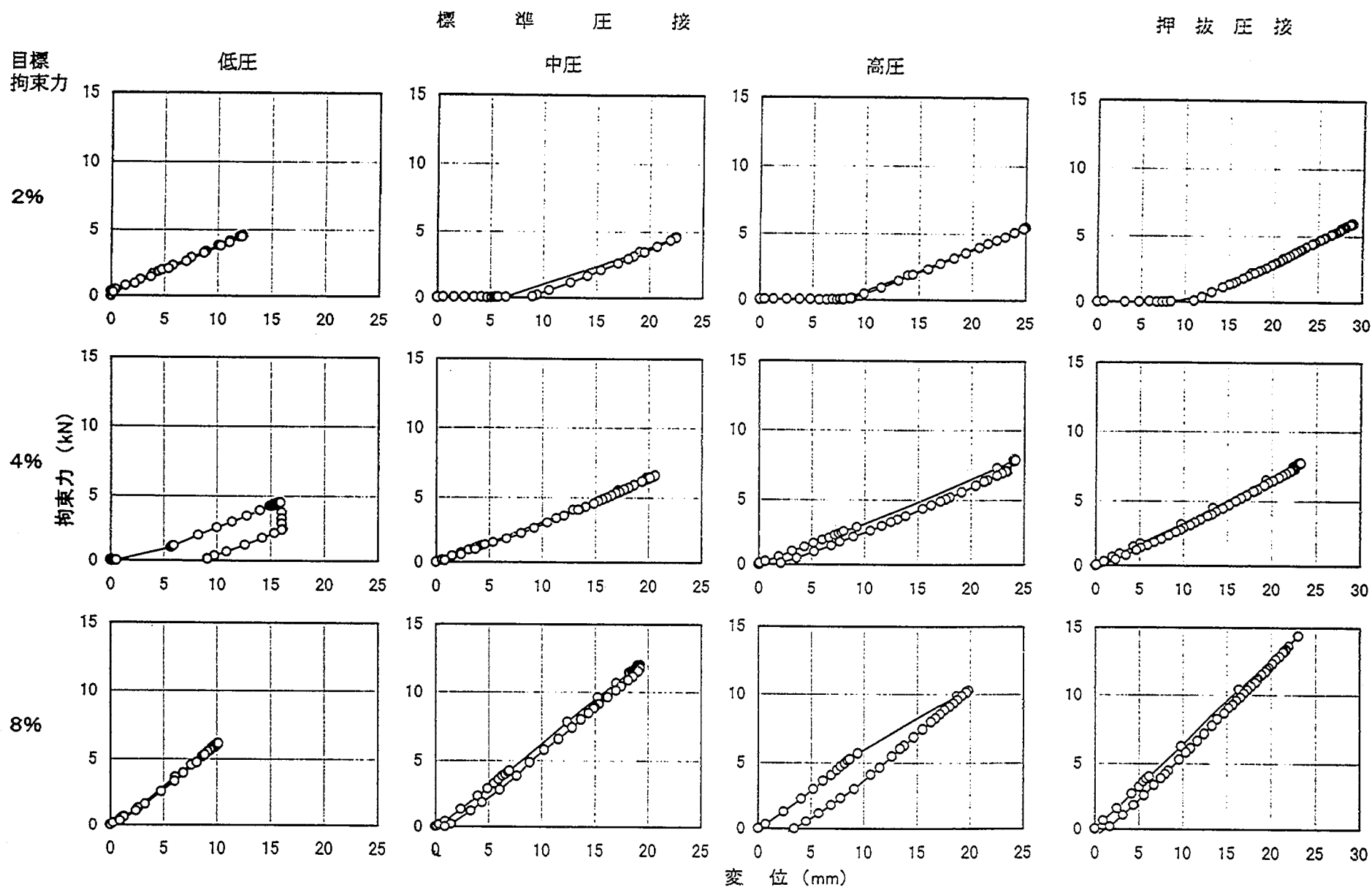
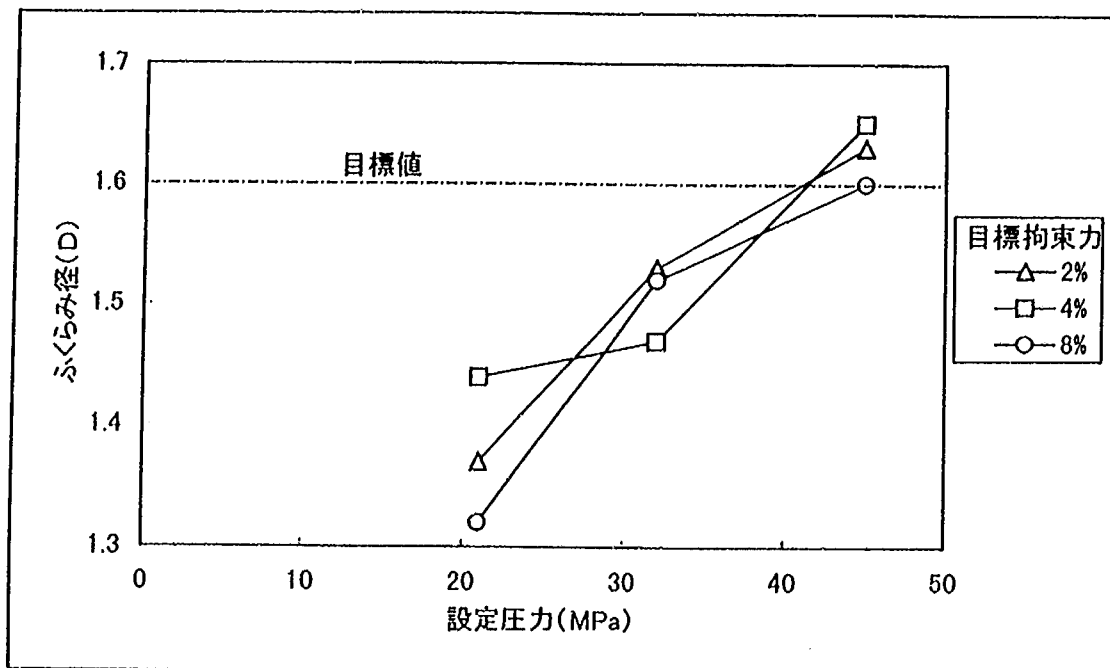
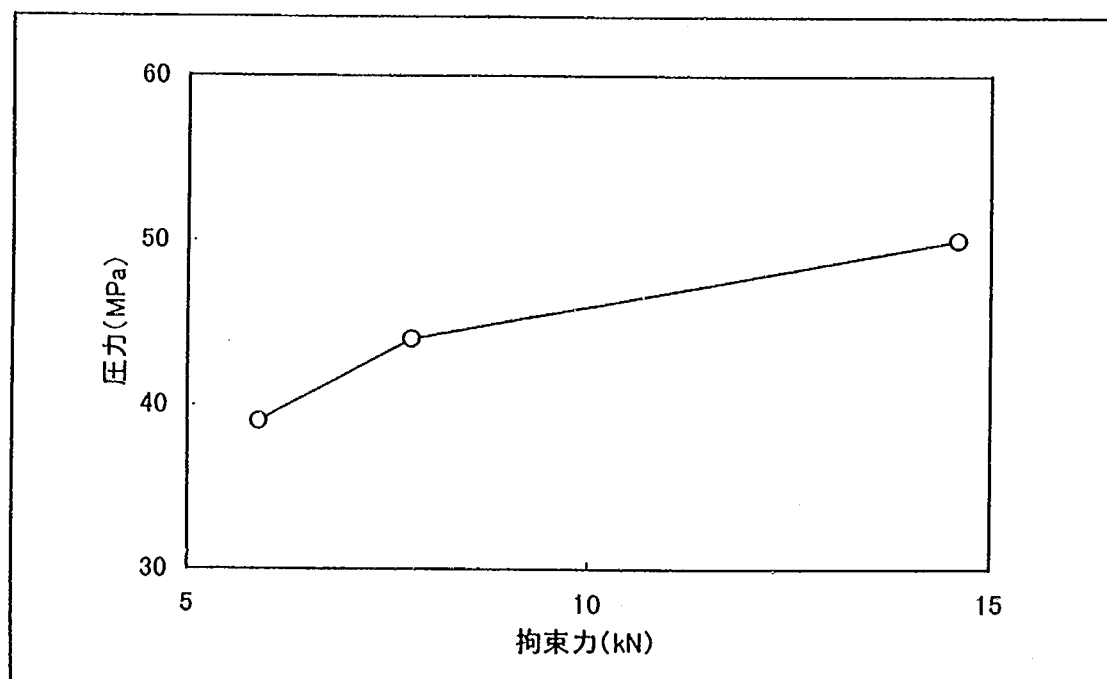


図-Ⅱ. 6. 3 拘束力と変位の関係 (Ⅰシリーズ)



図－Ⅱ. 6. 4 標準圧接の設定圧力とふくらみ径の関係



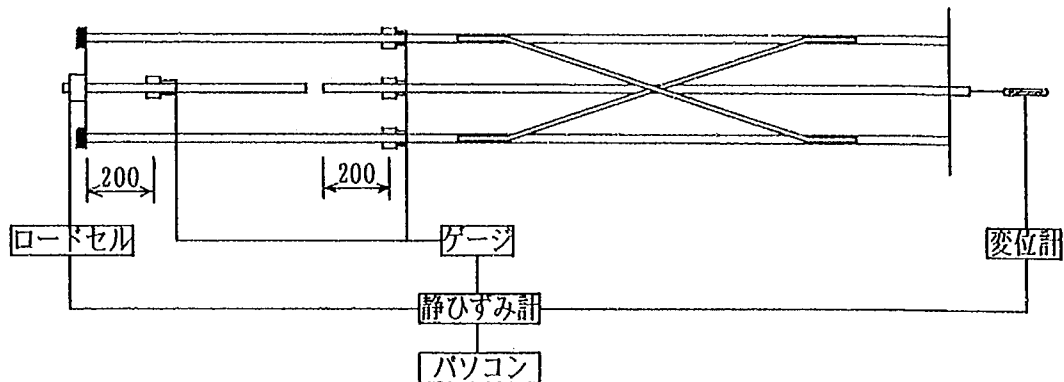
図－Ⅱ. 6. 5 熱間押抜の拘束力と最大圧力の関係

(2) 試験方法

J シリーズの試験は、図－Ⅱ. 6. 6 および表－Ⅱ. 6. 5 のように行った。

表－Ⅱ. 6. 5 引張強度試験計測項目

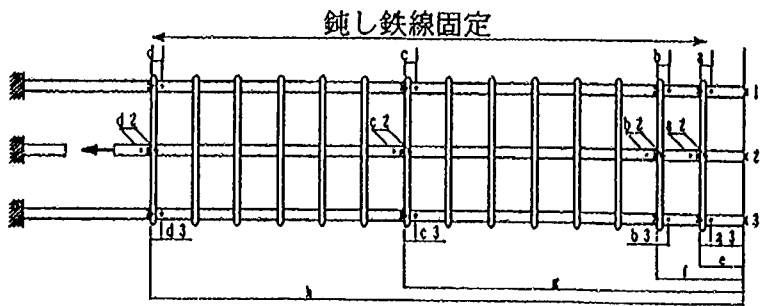
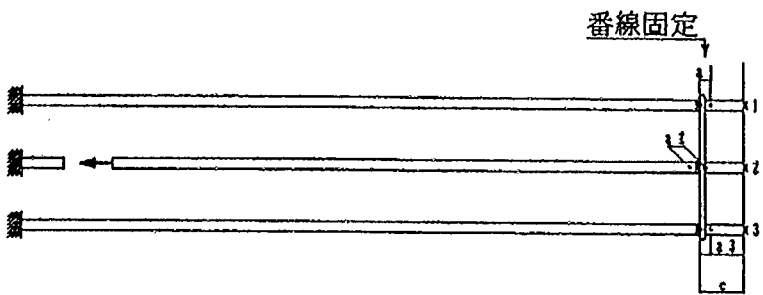
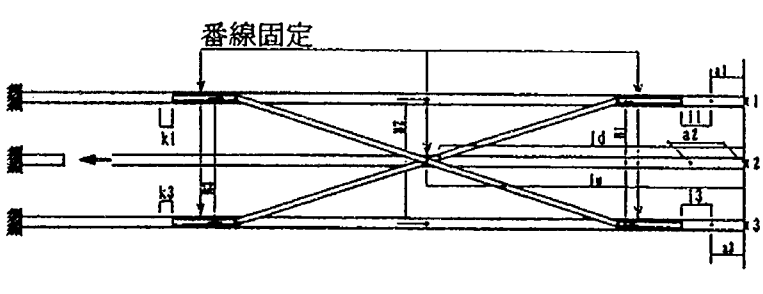
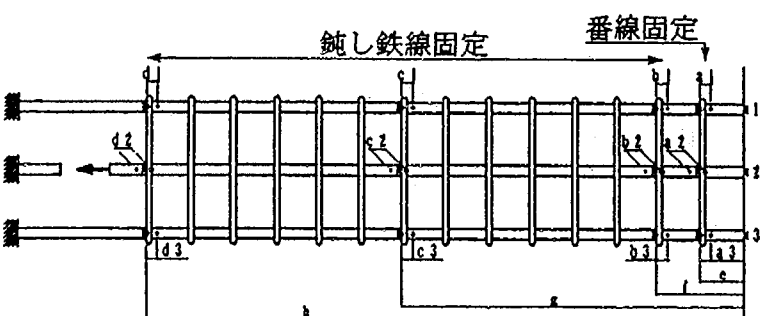
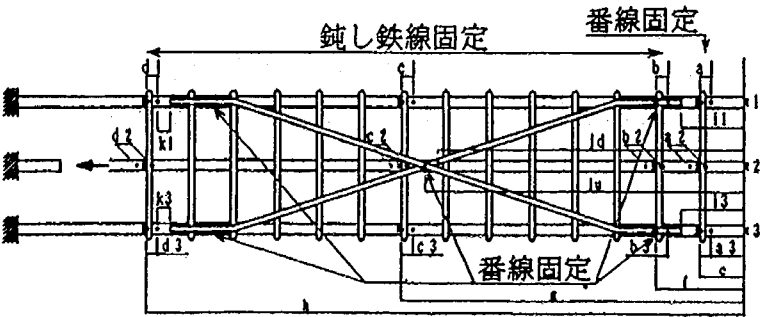
項目	センサー	内 容
荷重	ロードセル	1 点：実際に鉄筋に作用する拘束力を確認
変位	変位計	1 点：（移動側鉄筋端部）：試験中の鉄筋移動量を確認
鉄筋のひずみ	ひずみゲージ	8 点：（母材部裏表）：各主筋（3 本）の応力を確認
その他の計測	初期配筋状態からの変形量：初期状態，25mm変形時，50mm変形時，圧接ジャッキ解放時に所定位置について行う	
大まかな試験内容		鉄筋を所定のパターンに配筋後，圧接ジャッキで鉄筋を引き寄せる又は圧接を開始したときから圧接ジャッキ圧を解放するまでの間，インターバル計測を行っていく。試験途中，実際に圧接を行ったケースについては引張強度確認のために，引張強度試験片として圧接部を含めた鉄筋を切り出す。



図－Ⅱ. 6. 7 J シリーズの測定状況

試験の手順は以下のとおりである。

1. 各試験ケースの配筋条件に従い鉄筋を配置し結束していく。
2. 鉄筋がくみ上がったなら形状変形測定用の標点を所定位置にマーキングし，初期標点測定を行う。
3. センサー等の接続及び設定・確認を行う。
4. 鉄筋移動開始の直前に初期設定を行い，その後インターバル計測を開始する。
5. 鉄筋の移動を開始する。
6. 鉄筋が 25mm 移動した時点で一旦鉄筋の移動を終了し，形状変形測定のための標点測定を行う。
7. 形状変形測定後，鉄筋の移動を再開する。
8. 鉄筋が 50mm 移動した時点をもって鉄筋の移動を終了し，形状変形測定のための標点測定を行う。
9. 形状変形測定後，圧接ジャッキの油圧を抜いて拘束力を解放する。この時点でインターバル計測を停止させる。最後に残留形状変形を確認するため標点測定を行う。

ケース名	配筋パターン及び形状・寸法測定位置・記号
J1	 鈍し鉄線固定 ・フープ位置の測定 ・全長とフープ間の寸法
J2	 番線固定 ・フープ位置の測定 ・全長とフープ間の寸法
J3	 番線固定 ・全長の測定 ・X 型鋼筋固定位置
J4	 鈍し鉄線固定 番線固定 ・フープ位置の測定 ・全長とフープ間の寸法
J5 J6 J6は実際に圧接	 鈍し鉄線固定 番線固定 ・フープ位置の測定 ・全長とフープ間の寸法 ・X 型鋼筋固定位置

図－Ⅱ. 6. 6 J シリーズの拘束状況

(3) 試験結果

拘束力と変位の関係は図－Ⅱ. 6. 7 のようになった。25mm 変形したときの拘束力を図－Ⅱ. 6. 8 に示す。

拘束条件 J 1 (なまし鉄線でフープ筋 14 本を結束) は、圧接機側からフープが変形し、拘束力は上昇していく。15mm 程度まで変形するとなまし鉄線が切れはじめ、拘束力は下降しはじめた。

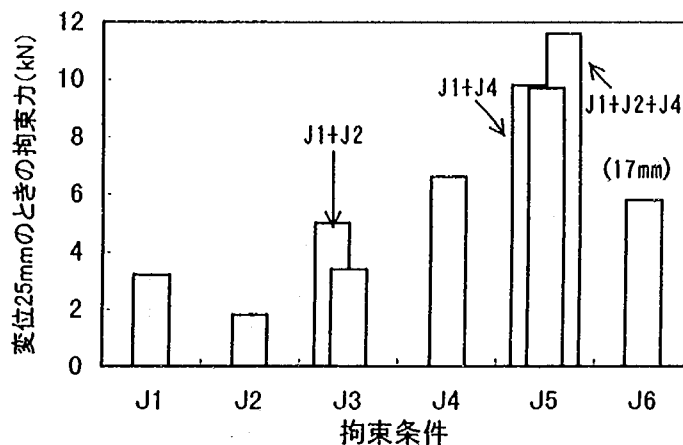
J 2 は、フープ 1 本を番線で結束したものであり、初期に弾性曲げ変形したあとは、塑性曲げ変形とずれが生じるだけであり、拘束力はほぼ一定である。

J 3 は、J 1 と J 2 を合わせた拘束状態のものであるが、圧接機側のなまし鉄線で結束した 13 本が変形するので、最大拘束力は J 1 とほぼ同じであった。

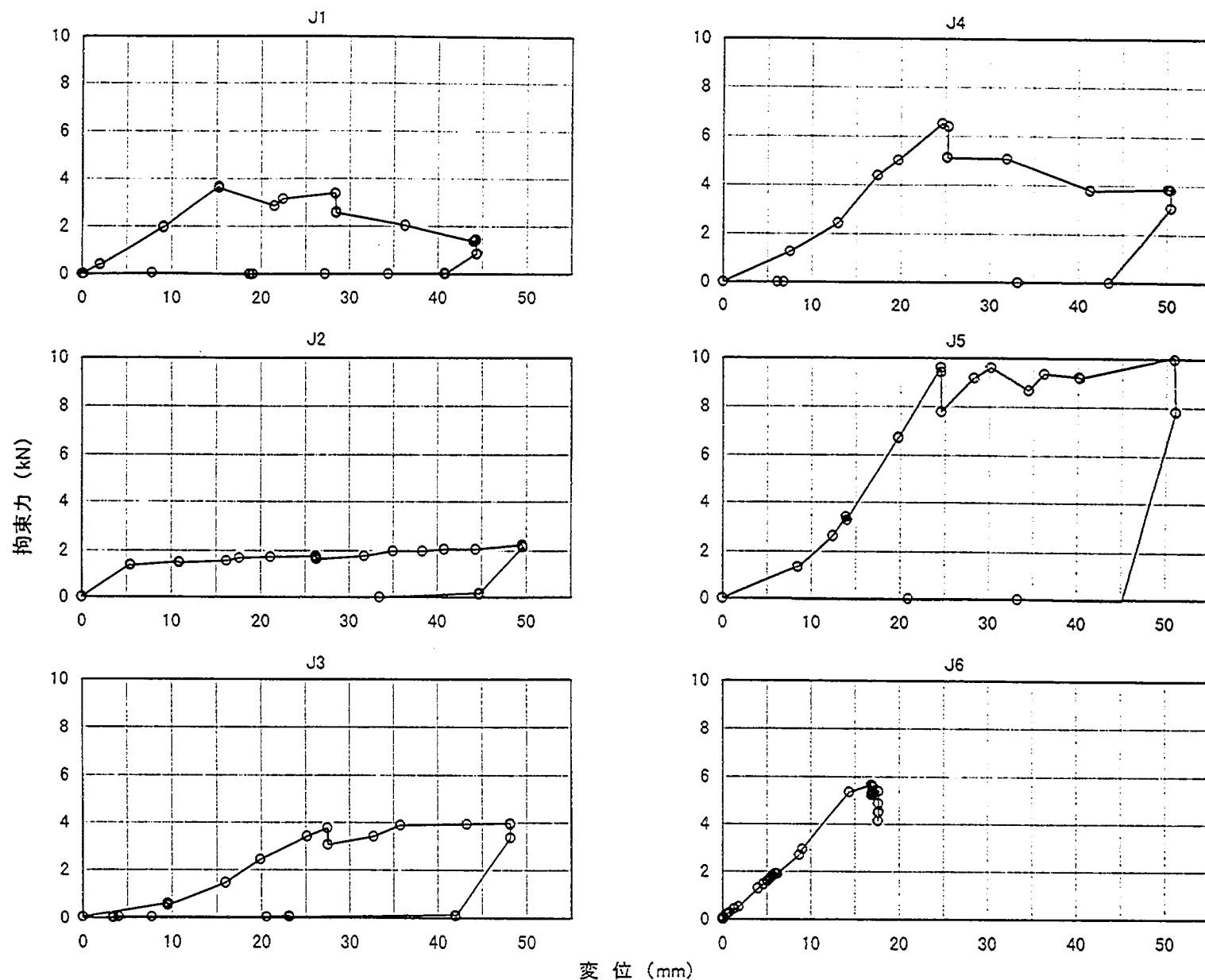
J 4 は斜補強を番線で結束したものであり、補強効果は高い。変形が 25mm を超えると外側の主鉄線のはらみが大きく、拘束力は次第に低下していった。

J 5 は、J 1、J 2 と J 4 を合わせた拘束状態のものであるが、25mm 変形時の拘束力は J 1 と J 4 の合計値とほぼ一致しており (図－Ⅱ. 6. 8)、この結果は J 3 と同様、J 2 の拘束はほとんどないことを示している。

J 6 は、J 5 と同じ条件で実際に圧接したものであるが、十分押しきれず、最大変形量は 17mm であった。圧接のふくらみ径は 1.52D であり、通常より小さくなっていた。



図－Ⅱ. 6. 9 拘束条件と変位25mmのときの拘束力



変位 (mm)
図-Ⅱ.6.8 拘束力-変位関係 (Jシリーズ)

Ⅲ 引張試験

1. 引張試験方法.....	35
2. 引張試験結果.....	37
2.1 試験結果	37
2.2 圧接界面の破断率	37
2.3 押抜径とひずみ	57
2.4 拘束試験 (I. J シリーズ) で作製した試験片の強度	58
3. 経時変化.....	58

1. 引張試験方法

引張試験は JIS Z 2241「金属材料の引張試験方法」に準じ、降伏まではひずみ速度 0.01%/s、降伏後は 0.1%/s で引っ張った。

測定項目を表-Ⅲ.1.1 に、測定フローを図-Ⅲ.1.1 に示す。各測定方法は以下の通りである。

(1) 荷重, ストローク

荷重, ストロークを試験機の出力から求めた。

(2) 変位

図-Ⅲ.1.2 のように標点間 8D の長さ変化をレーザー（光学式）変位計により測定した。

(3) ひずみ

図-Ⅲ.1.2 のように鉄筋母材部、圧接部にひずみゲージを貼付した。

(4) 開口変位

外部欠陥を入れた試験片には図-Ⅲ.1.3 のようにクリップゲージを取付、開口変位を測定した。

(5) 破断伸び, 絞り

破断後の伸び（ここでは、後述する「一様伸び」と区別するため、以下、「破断伸び」と呼ぶ）測定位置を図-Ⅲ.1.4 に示す。破断部では絞りも測定した。

(6) 破断後の観察

破断後の状況を写真撮影した。圧接界面破断したものは、破断面の面積を欠陥部、フラット破面、結晶破面などに分類して測定した。

(7) 金属学的調査

以上の測定が終了した後、引張試験が行われなかった試験片（引張試験前）と合わせて、圧接部の顕微鏡によるマクロ、ミクロ組織観察や、硬さ試験などを行った（Ⅳ編）。

表-Ⅲ.1.1 引張強度試験計測項目

項目	センサー	内容
荷重・ストローク	試験機出力	各1点：降伏，最大，破断荷重等の確認など
変位	光センサー	2点（裏表）：鉄筋の伸び量等の確認
鉄筋のひずみ	ひずみゲージ	2点（母材部裏表）：母材・切欠程度比較試験片 4点（母材部裏表及び継手部裏表）：上記以外の試験片
切欠変位	クリップ変位計	1点：切欠程度の違いを比較する試験片のみ使用
鉄筋の伸び	デジタルギス	5ヶ所：破断位置が通常標点区間から外れても伸び測定が可能のように広範囲に対応させている
鉄筋の絞り	デジタルギス	1ヶ所：（破断位置）JIS準拠
破断後の観察	カメラ	1枚：正常破断した場合は破断位置写真を撮影 3枚：継手部で破断した場合は上記に加え破断面を接写
大まかな試験内容		各種センサーをつけた試験片を標準的な速度で引張方向に載荷し、動的な計測を行っていく。得意な破断をした場合は破断面の接写を行う。

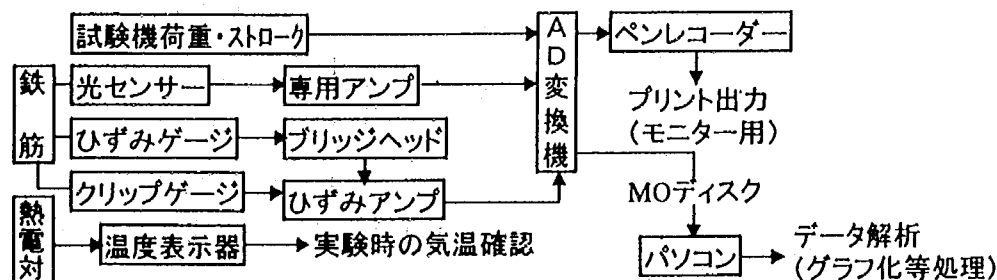
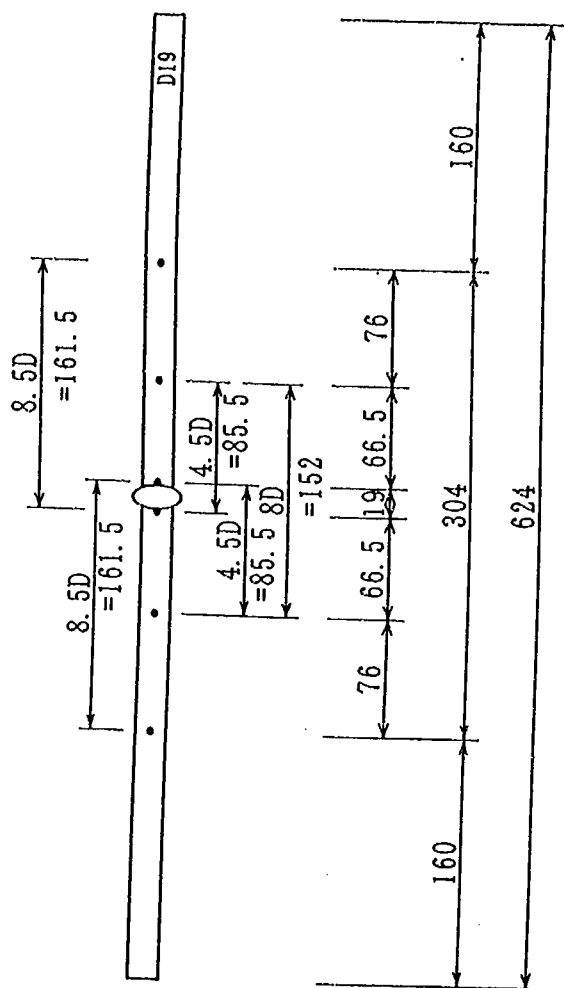


図-Ⅲ.1.1 測定フロー



図－Ⅲ.1.2 光センサー設置位置
およびひずみゲージ貼付位置

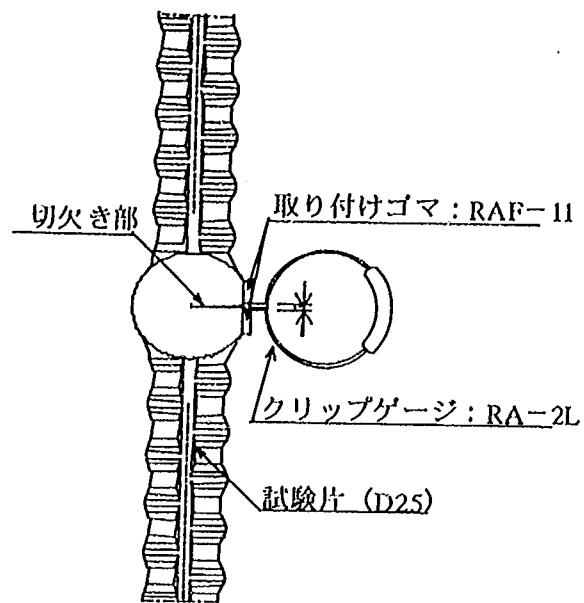
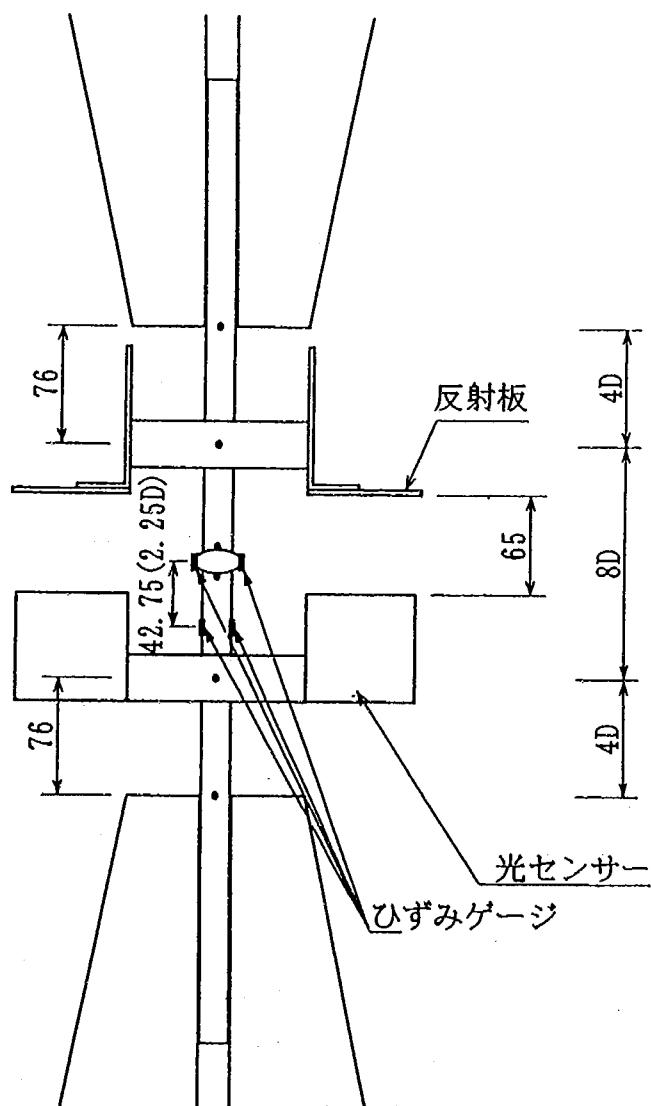


図-III.1.3 クリップゲージ



図一Ⅲ.1.4 伸び測定用標点位置

2. 引張試験結果

2.1 試験結果

引張試験結果を表Ⅲ. 2. 1～Ⅲ. 2. 19 に示す。

表Ⅲ. 2. 1～10 には、降伏、最大（引張強さ）、破断時の荷重と強度、実測のひずみ速度、ヤング係数、一様伸び、破断伸び、絞りの結果を示す。

表Ⅲ. 2. 11～19 は、圧接界面破断した試験片の破断面を健全部、欠陥部、健全部と欠陥部の中間的な変色域を黒色部、フラット破面部に分類して、それぞれ面積を測定した結果である。また、外部欠陥の切欠深さを、圧接径分の切欠深さ比で示した。

2.2 圧接界面の破断率

ここでは、圧接界面で破断した比率についてふれておく。各種類 3 本ずつ引張試験を行い破断した本数を黒丸で示したのが表Ⅲ. 2. 20 である。D38 および D51 は、健全以外はすべて圧接界面で破断したので示していない。D19 と D25 の標準圧接と押抜圧接の破断比率を比較すると興味深いことがわかる。

まず、D19 を見ると、B2 欠陥（ペースト付着）は欠陥部が 2/8 の場合であり、標準圧接はすべて破断しているが、押抜（1. 4D）はまったく破断していない。これは、偏った欠陥が押し抜くことによって取り除かれたか、わずかに残っていてもその影響が小さく破断しなかったものと考えられる。一方、標準圧接は断面積が大きいにもかかわらず、欠陥部がノッチ効果により応力集中を起し、破断したものと考えられる。

C（さび）欠陥は欠陥部が 4/8 の場合であり、この場合は逆に、標準圧接はまったく破断しなかったが、押抜はすべて破断している。破断面は、さびを生成させた部分はフラット破面であった。標準圧接もさびの部分には酸化物が介在し、曲げ試験でも行えばフラット破面が形成されているものと考えられるが、引張試験を行えば断面の大きい標準圧接は応力が小さくなるので破断しにくかったものと考えられる。

D（ガス切断）、E（塗料塗布）欠陥も酸化に関係するものと考えられるが、C の場合と傾向は異なっている。すなわち、標準圧接はすべて破断しているが、押抜は半数にとどまっている。これは、次のように考えることができる。これらの欠陥は加熱時に生じる可能性が高いことから、外周部に欠陥を生じやすいものと考えられる。そのため、押抜は外部の欠陥が取り除かれる可能性が高いのに対し、標準圧接では欠陥がそのまま残ったものと考えられる。

総数で比較すると、12 本に対し圧接部で破断したのは、標準圧接が 9 本（75%）、押抜 6 本（50%）であり、押抜の方が良好であった。

次に D25 について考察する。B1 から B4 の欠陥の大きさについてみると、標準圧接、押抜とも欠陥が大きいほど破断しやすい傾向を示している。

D25 は、押抜径を 1. 2D～1. 4D に変化させている。B2 欠陥は、D19 と同様標準圧接はすべて圧接部破断したのに対し、押抜は径が太くなるほど圧接部破断数は少なくなり、1. 4D では圧接部破断していない。

C、D、E 欠陥は、標準圧接、押抜ともほとんど圧接部破断している。

F（バーナーのずれ）欠陥は、標準圧接はまったく圧接部破断していないが、押抜はすべて圧接部破断した。破断面は、全面フラット破面であったことから、酸化が原因である。

其断面面积: 257.4 mm^2

W344	
------	--

●：圧潰部分で破断

表一Ⅲ.2.2 引張試験結果(D25母材, エンクローズ溶接)

[illegible]

表一四.2.3 引張試驗結果(D25標準圧接, 健全)

[illegible]

家賃保証: 4730 円

家賃保証: 4730 円

公称断面增: 506.7 mm²

● 连接部分与球面

図一Ⅲ.2.5 引張試験結果(D25押抜圧接, 健全)

[illegible]

● 図像部分で破断

其断面面积: 4730 mm^2

賈次子

・: 圧潰部分で破断

实测断面积: 473.0 mm²

※:圧潰部分で破断

図一Ⅲ.2.8 引張試験結果(D25拘束試験)

実測断面積: 473.0 mm²

公称断面積: 506.7 mm²

鉄筋 番号	鉄筋の位置 呼び 形状 名	縦手の位置 呼び 形状 名	圧縮条件			試験 温度	測定方法		伸び測定															絞り測定			降伏点		最大点		破断点		弾性係数		変形率						
			拘束力 (N)	保持 時間 条件	拘束 条件		全体寸法 (mm)		試験前 (mm)					試験後 (mm)					伸び (%)					試験前 断面積 (mm ²)	試験後 断面積 (mm ²)	絞り (%)	荷重 実測 (KN)	応力(N/mm ²) 公称	荷重 実測 (KN)	応力(N/mm ²) 公称	一様 伸び (mm)	荷重 実測 (KN)	応力(N/mm ²) 公称	光 出力 (%)	歪み 出力 (%)	降伏前 降伏後 %/SEC	降伏後 %/SEC				
							チップ	センサー	上部	上部	中央	下部	下部	上部	上部	中央	下部	下部	上部	上部	中央	下部	下部																		
							測定	測定	8.5D	4.5D	8D	4.5D	8.5D	8.5D	4.5D	8D	4.5D	8.5D	8.5D	4.5D	8D	4.5D	8.5D																		
							測定	測定	8.5D	4.5D	8D	4.5D	8.5D	8.5D	4.5D	8D	4.5D	8.5D	8.5D	4.5D	8D	4.5D	8.5D																		
Ⅱm-S-14L	D25	m	標準	4	短期	29.5	398	203	215.32	116.17	204.16	116.37	216.06	234.38	124.70	224.64	128.59	259.08	8.85	7.34	10.03	10.50	19.91	459.6	17.86	250.5	45.5	192.7	407.4	380.3	293.0	619.4	578.2	19.78	230.7	520.7	455.2	0.203	0.179	0.0111	0.1522
Ⅱm-S-18L				8	短期	29.6	400	194	216.59	116.26	199.93	112.70	212.00	253.73	128.43	223.22	124.88	238.95	17.15	10.47	11.65	10.81	12.71	459.6	19.18	288.9	37.1	195.3	412.6	365.2	295.1	623.9	582.4	21.22	262.5	508.5	518.1	0.199	0.184	0.0130	0.1573
Ⅱm-S-12M			圧	2	長期	29.9	400	194	210.98	113.16	196.45	108.97	211.14	241.13	125.70	221.72	122.31	245.70	14.29	11.08	12.86	12.24	16.37	459.6	20.48	329.4	28.3	194.5	411.3	383.9	294.5	622.6	581.2	22.04	274.9	834.4	542.5	0.192	0.186	0.0116	0.1616
Ⅱm-S-14M				4	長期	29.9	400	199	213.06	120.72	207.56	113.91	214.40	239.18	132.80	244.00	138.52	258.09	12.26	10.01	17.56	21.60	19.44	459.6	16.27	207.9	54.8	193.0	408.1	380.8	293.3	620.0	578.7	22.78	228.1	1101.8	452.1	0.207	0.184	0.0122	0.1579
Ⅱm-S-18M				8	長期	29.9	399	211	214.38	119.78	212.28	120.53	213.94	242.97	132.71	236.73	132.58	251.95	13.34	10.79	11.52	10.00	17.77	459.6	18.86	278.4	39.2	191.9	405.7	378.7	291.5	616.2	575.3	-	259.9	930.3	512.9	0.188	0.268	0.0086	0.1589
Ⅱm-S-14H				4	短期	29.9	399	206	214.35	118.70	204.44	114.54	214.38	258.21	133.69	229.00	124.43	235.61	20.46	12.63	12.01	8.63	9.90	459.6	16.67	216.9	52.8	193.3	408.6	381.5	293.0	619.5	578.3	21.66	220.0	1060.0	453.8	0.200	0.183	0.0113	0.1657
Ⅱm-S-16					CASE 6	30.1	399	200	212.52	113.77	199.97	113.84	214.45	253.58	125.15	220.72	123.54	237.11	19.31	10.00	10.38	8.52	10.57	459.6	16.10	203.6	55.7	193.8	409.8	382.5	292.3	618.0	576.9	20.70	225.1	1105.6	444.2	0.191	0.186	0.0113	0.1543
Ⅱm-P2-12H		押	2	短期	25.0	398	200	215.95	112.02	197.39	123.02	220.63	258.32	136.32	232.81	133.81	242.06	19.62	21.69	17.94	8.77	9.71	459.6	15.29	182.6	60.0	194.2	410.6	383.3	292.1	617.6	576.5	21.82	227.8	1240.8	449.6	0.189	0.184	0.0139	0.1625	
Ⅱm-P2-14H			4	短期	25.5	397	205	217.61	120.81	204.62	118.25	218.70	259.33	148.36	241.66	128.74	241.56	19.17	22.80	18.10	8.87	10.45	459.6	15.90	198.6	56.8	193.5	409.2	382.0	294.9	623.5	582.0	22.68	227.8	1147.3	449.6	0.195	0.188	0.0109	0.1677	
Ⅱm-P2-18H			8	短期	25.6	399	214	215.04	116.78	208.06	125.53	218.18	257.33	142.15	244.57	137.37	241.66	19.67	21.72	17.55	9.43	10.76	459.6	15.94	199.6	56.6	195.0	412.2	394.8	295.0	623.6	582.2	-	230.6	1155.5	455.1	0.191	0.182	0.0122	0.1623	

· 公称断面积: 1140 mm²

●: 圧壊部分で破断

本書の刊行： 1894 年

本書の刊行： 1894 年

公共营养师·2022 年

●: 匡復成分で確認

図-Ⅲ.2.11 破断面積測定結果(D19)

鉄筋 番号	鉄筋の位置		補手の位置		圧 縮 係 数							欠陥 程度	断面積(mm ²)										切り欠き程度			降伏点			最大点			破断点																																																																																																																																																																																																																		
	並び 形状	名	リブ 形状	ふく らみ 率 (%)	強度の 付着 程度 (mm)	腐 蝕 間 隔 (mm)	中性 ずれ (mm)	内部 加筋 (mm)	拘束 率 (%)	健全断面	健全断面				欠陥断面				エンクローズ		圧縮係 数	深さ d	切欠き d/D	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏点			最大点			破断点																																																																																																																																																																																																																			
											健全部		7ヶ所部	C+G の合計	欠陥部 F	黒色部 B	F+B の合計	F+B-G の合計	W	w					Ww合計	C	C-G	A	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)	降伏 強度 (N/mm ²)

図一Ⅲ.2.12 破断面積測定結果(D25母材, エンクローズ溶接)

試験 番号	試験の種類	母材の位置	母材の形状	母材の性質										欠陥 程度	断面の寸法										切り欠き寸法			溶接部					最大値					破断面																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				ふく らみ 率 (%)	強度の性質		断面 積 (mm ²)	伸び (%)	中性 変 形 (mm)	内部 欠陥 (mm)	断面 積 (%)	断面の寸法										D (mm)	d (mm)	d/D	溶接部					最大値					破断面																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
					付着 率 (%)	強度 (mm)						G-G (mm)	F-F (mm)		F-B (mm)	F-B-G (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)				W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W (mm)	W

圖一Ⅲ.2.14 破斷面積測定結果(D25標準圧接, 欠陥)

[illegible]

- 52 -

[illegible]

— 53 —

[illegible]

— 54 —

[illegible]

99-

[illegible]

— 56 —

[illegible]

この場合は明らかに断面積の大きさによって結果が異なったものと考えられる。施工時に強い風が吹いているような場合注意が必要であるが、このような場合、断面の大きい方が強度上有利である。

G（中性炎加熱）欠陥は、標準圧接の1本が圧接部破断したのみであり、F欠陥より影響は小さいようである。

共通する欠陥B2, C, D, E欠陥の全数12本で比較すると、標準圧接11本（92%）圧接部破断に対し、押抜の1.2Dは11本（92%）、1.3D、1.4Dとも8本（67%）であり、押抜径の太いほうが有利である。

以上の結果をまとめると、欠陥面積が大きい場合は標準圧接が有利である。それに対し、欠陥が外周部にある場合は押抜のほうが有利である。押抜径は、ある程度大きいほうが有利なようである。今後、押抜径を大きくした場合について詳細に検討すべきと考えられる。

表-Ⅲ. 2. 20 圧接界面破断

欠陥		D19		D25			
		標準圧接	押抜圧接	標準圧接	押抜圧接		
		1.6D	1.4D	1.6D	1.2D	1.3D	1.4D
A	0	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
B	1	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
	2	● ● ●	○ ○ ○	● ● ●	● ● ●	○ ○ ○	○ ○ ○
	4	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
C		○ ○ ○	● ● ●	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
D		○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
E		○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
F		○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
G		○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
B2,C,D,E, 欠陥の圧接 界面破断率		$\frac{9}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{11}{12}$	$\frac{11}{12}$	$\frac{8}{12}$	$\frac{8}{12}$

○：母材部破断， ●：圧接界面破断

2. 3 押抜径とひずみ

図-Ⅲ. 2. 1 に鉄筋母材部、標準圧接部、押抜径の異なる押抜圧接部の応力-ひずみ関係を示す。標準圧接は断面積が大きく、引張強さに達しても降伏していない。押抜は、押抜径が大きくなるほどひずみが小さくなっている。ひずみからも、押抜径をある程度大きくしたほうがよさそうである。

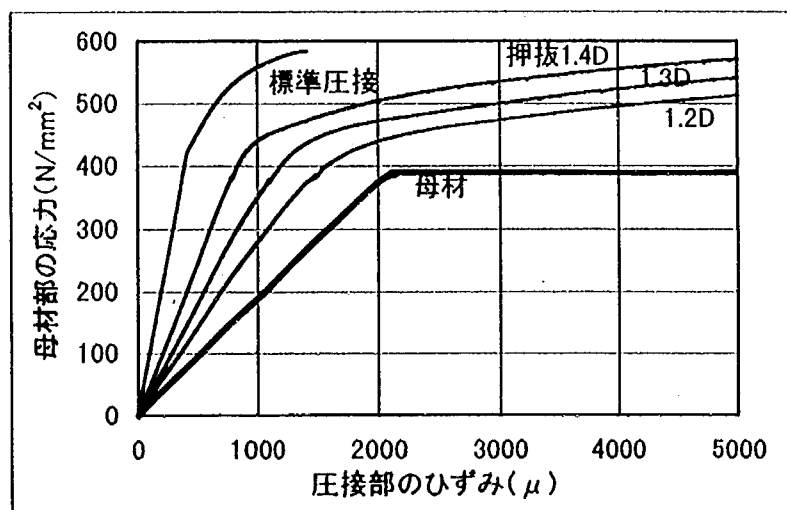


図-Ⅲ. 2. 1 母材部の応力-圧接部のひずみ関係

2.4 拘束試験（I，Jシリーズ）で作製した試験片の強度

拘束試験で作製した試験片のふくらみ径は、表－Ⅱ.6.3のように、圧力を高圧に設定した場合のふくらみ径は1.60D以上あったが、中圧以下は1.32～1.53Dで通常の場合より小さかった。押抜は1.2Dである。

引張試験結果は表－Ⅲ.2.8のとおりである。中圧以下はふくらみ径が不足しているにもかかわらず、すべて鉄筋母材部で破断し、強度も母材と同程度であり、問題なかった。

3. 経時変化

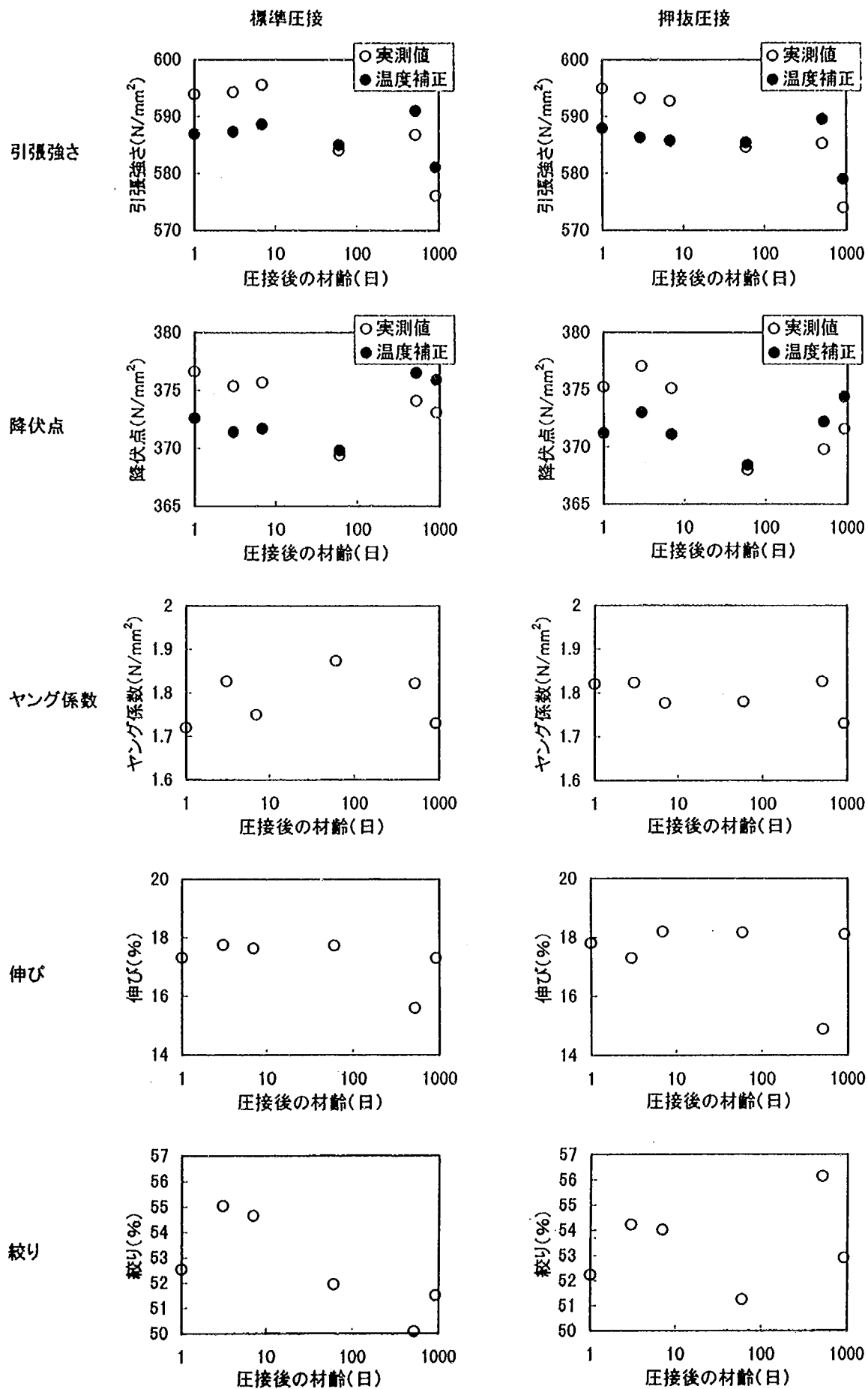
圧接後の経過時間と引張強さ、降伏点、ヤング係数、伸び、絞りの関係を図－Ⅲ.3.1および表－Ⅲ.3.1に示す。引張強さおよび降伏点の実測値（○）は、1，3，7日に対してそれ以後の強度は小さくなっている。この原因として、試験時期が異なることによる温度の影響と考え、20℃のときの強度に補正した結果が●である。その結果はほぼ一定であり、経時変化の影響はないものと考えられる。

その他の力学的特性もほぼ一定であり、3年程度では圧接後の経過時間に伴う力学的特性は変化しないようである。

表－Ⅲ.3.1 引張試験結果主要数値一覧表：圧接後の経過時間の違いによる比較

径	種類	圧接後の経過時間	試料数	伸び		絞り		降伏応力		引張強さ		破断強度		ヤング係数(kN/mm ²)			
				(%)		(%)		(N/mm ²)		(N/mm ²)		(N/mm ²)		ひずみ出力光学式出力			
				平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
D25	S	1日後	10	17.3	1.2	52.5	2.7	376.6	1.7	593.9	3.7	478.3	5.8	172	0.01	193	0.08
		3日後	10	17.7	1.4	55.0	2.4	375.3	1.9	594.2	2.7	480.5	4.9	183	0.02	199	0.09
		1週後	10	17.6	1.6	54.7	2.4	375.7	1.3	595.6	2.9	479.5	4.1	175	0.01	194	0.07
		2ヶ月後	10	17.8	1.2	51.9	4.3	370.0	5.3	585.2	39.0	473.7	12.3	177	0.04	195	0.09
		1年後	10	15.6	0.9	50.1	6.2	374.1	2.0	586.8	3.4	455.1	7.9	182	0.06	204	0.06
		2.5年後	10	17.3	1.7	51.5	1.7	373.1	2.1	576.1	1.9	447.0	4.7	173	0.01	196	0.07
	P	1日後	10	17.8	1.3	52.2	2.8	375.2	2.2	594.9	3.7	481.5	4.6	182	0.04	202	0.36
		3日後	10	17.3	1.0	54.2	3.2	377.0	2.5	593.3	2.9	476.3	3.1	182	0.04	184	0.62
		1週後	10	18.2	1.0	54.0	2.3	375.1	2.2	592.7	3.1	478.7	3.4	178	0.07	183	0.13
		2ヶ月後	10	18.2	0.9	51.2	2.7	368.4	1.9	585.4	3.3	471.1	9.8	178	0.01	209	0.16
		1年後	10	14.9	0.4	56.1	1.7	369.8	2.6	585.3	4.0	451.1	6.1	183	0.09	207	0.07
		2.5年後	10	18.1	0.4	52.9	3.4	371.6	2.7	574.0	3.1	446.5	3.8	173	0.02	193	0.02

補正後の強度→	降伏応力	引張強さ
	372.6	586.9
	371.4	587.3
	371.7	588.6
	369.8	585.0
	376.5	591.0
	375.9	581.1
	371.2	587.9
	373.0	586.3
	371.1	585.7
	368.4	585.4
	372.2	589.5
	374.4	579.0



図一Ⅲ.3.1 経時変化

IV 金属学的調査

1. 実験目的	63
2. 実験方法	63
2.1 マクロ観察	63
2.2 ミクロ観察	63
2.3 硬さ試験	64
2.4 成分分析	64
2.5 放射線透過試験	64
3. 試験結果	64
3.1 マクロ観察	64
3.2 ミクロ観察	65
3.3 硬さ試験	65
3.4 成分分析	65
3.5 放射線透過試験	65
3. 経時変化	116
4.1 マクロ・ミクロ観察	116
4.2 硬さ試験	116

1. 実験目的

超音波探傷結果，引張試験結果に及ぼす欠陥の影響を把握するため，鉄筋の種類（D19，D25，D38，D51），継手の種類（標準圧接，押抜圧接，エンクローズ溶接），圧接条件（圧接面の状況，加熱条件，人工欠陥）をそれぞれ変えたガス圧接継手鉄筋について，引張試験前および引張試験後の金属組織のマクロ，ミクロ観察，引張前・後の硬さの変化について調査した。また，主な欠陥については破断後の断面の成分分析を行い，圧接後の生成物を調べた。内部欠陥については，欠陥位置を把握するために，放射線による透過写真を撮影した。

2. 実験方法

試験項目および試験片の種類は表－IV. 2. 1 のとおりである。

試験片の詳細は，表－II. 1. 2 に示してある。

表－IV. 2. 1 試験項目および数量

鉄筋の 種類		継手の 種類	マクロ、ミクロ、硬さ試験					放射線 (組) 1組4本	SEM による 成分分析
			引張前		引張後				
			マクロ・ミクロ	硬さ	破断なし		破断あり		
					マクロ・ミクロ	硬さ	マクロ・ミクロ		
D19	S	5	1	2	1	3			
	P	5	1	4	1	3			
D25	S	10**	2**	5	1	7	3	4	
	P	19	3	10	3	13	3		
	E	1	1	1	1		3		
D38	S	5	1	1	1	4			
	P	5	1	1	1	4			
D51	S	5	1	1	1	4			
	P	5	1	1	1	4			
合 計		60	12	26	11	42	9	4	
		マクロ・ミクロ 128		硬さ 23					

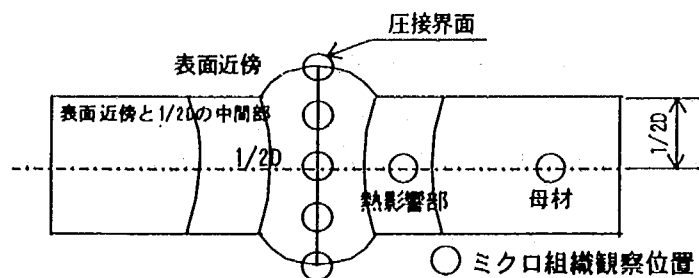
* 継手の種類 S：標準圧接，P：押抜圧接，E：エンクローズ溶接 ** 経時変化を含む

2. 1 マクロ観察

継手試験片の縦（軸方向）1/2D 断面について，圧接面近傍の観察を行った。腐食は，ピクリン酸飽和水溶液を使用し，メタルフローの観察を行った。観察は接写による実寸のマクロ組織観察とした。

2. 2 ミクロ観察

ミクロ組織の観察を図－IV. 2. 1 のように行った。腐食は3%ナイトルを使用し，100倍にてミクロ組織観察を行った（この報告書の写真－IV. 3. 31～41は50%に縮小してある）。観察位置は，圧接面では表面近傍，表面近傍と1/2Dの中間部，1/2Dの3ヶ所，軸方向に熱影響部1/2D，母材1/2Dの計5ヶ所とした。D51材の母材については，新たにマクロ試験片採取位置近傍より試験片を採取した。

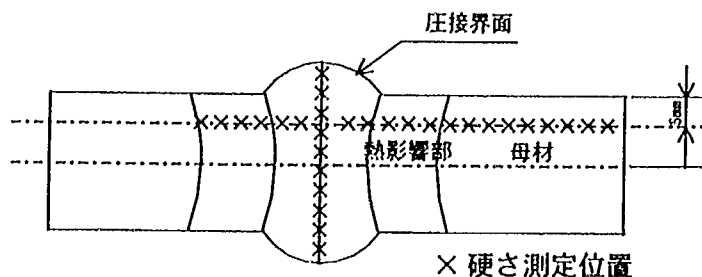


図－IV. 2. 1 ミクロ組織観察位置

2.3 硬さ試験

マクロ観察に使用した試験片を使用してピッカース硬さ試験を行った。また、D51 材の母材については、新たにマクロ試験片採取位置近傍より幅 50mm 程度の試験片を採取して使用した。

測定位置と測定範囲は圧接界面の全長，および軸方向は表面から 5mm の位置について熱影響部を含む圧接部全長とそれに連続する片側の母材部とした（図－IV. 2. 2 参照）。試験荷重は 10kgf とし，測定間隔はすべて 2mm ピッチとした。



図－IV. 2. 2 硬さ測定位置

2.4 成分分析

表－IV. 2. 1 に示した一部の試験片（D25 標準圧接材）4 種類（モルタル 2/8，さび，ガス切断，塗料）について，引張後破断材の破面の SEM（走査型電子顕微鏡）による EDX 分析を行った。

2.5 放射線透過試験

表－IV. 2. 1 に示した一部の試験片（D25 材）の内部欠陥材 9 種類について，放射線透過試験を行った。放射線透過試験は，側面および断面について行い，側面は，試験片記号記述部分を上に向けた方向（0°），および 90° 回転させた方向（90°）の 2 方向とした。また，断面については，標準圧接材および押抜圧接材について側面の試験結果より内部欠陥位置を推定し，その部分を 10～20mm 程度に切り出すことにより，放射線透過試験を行った。

3. 試験結果

3.1 マクロ観察

写真－IV. 3. 1～30 にマクロ観察結果を示す。写真は 3 段になっており，上段は引張前，中段は引張後の圧接界面が破断しなかったもの，下段は引張後の圧接界面が破断したものである。また，左は標準圧接，右は押抜圧接である。ただし，写真－IV. 3. 15～19 は左右とも押抜であり，左は押抜径 1.3D，右は 1.4D のものである。写真－IV. 3. 20 はエンクローズ溶接である。

実寸でのマクロ観察では，引張前・後（破断なしの場合）の差異の判断は，困難である。圧接界面を観察すると，加圧により外周方向へと流れを変えたメタルフローは，界面では左右の組織に明確な「ずれ」を見せているものと，逆に界面が判然としないものとがある。

3.2 ミクロ観察

写真－IV. 3. 31, 32 に D25 の健全な標準圧接，押抜圧接の圧接界面の 3 断面，熱影響部，鉄筋母材部のミクロ組織を示す。鉄筋母材部は一般的なフェライト－パーライト組織である。熱影響部は焼きなましにより微細化している。圧接界面の組織は粗粒化しているが，よく接合しており，接合面はわからない。

写真－IV. 3. 33 はエンクローズ溶接のミクロ組織であり，母材部，熱影響部は圧接の場合と同じである。溶接金属部は，それ特有の一般的な組織を示している。

写真－IV. 3. 34～41 は D25 の標準圧接と押抜圧接 1. 2D の各種欠陥を入れた場合の，圧接部のミクロ組織である。写真－IV. 3. 34～39 は下側が欠陥部となっている。ペーストは欠陥として現れている。ガス切断，塗料もわずかに現れているが，そのほかのさび，酸化に関する欠陥はミクロ組織からも見つけることはできない。

3.3 硬さ試験

鉄筋呼び名ごとに，標準圧接と押抜の引張前・後の硬さ分布を比較したのが図－IV. 3. 1～4 である。これまでと同様，引張前の圧接部は母材部より熱の影響により硬くなっているが，引張後は母材部は塑性変形によって大きくなっているが，圧接部はほとんど変化していない。

圧接界面とその近傍の硬さは表－IV. 3. 1 のようになった。標準圧接は引張前・後の違いはほとんどないが，押抜圧接は引張後わずかに大きくなる傾向がある。

表－IV. 3. 1 引張前・後の圧接界面の硬さ HV

鉄筋	圧接	引張前	引張後	引張後と 前の差
D19	S	205.3	206.7	1.4
	P4	194.4	201.9	7.5
D25	S	201.4	208.4	7.0
	P2	197.7	204.4	6.7
	P3	197.1	204.8	7.7
	P4	200.7	206.7	6.0
D38	S	201.7	202.8	1.1
	P2	199.1	202.2	3.1
D51	S	204.6	203.4	-1.3
	P2	204.9	204.3	-0.6

3.4 成分分析

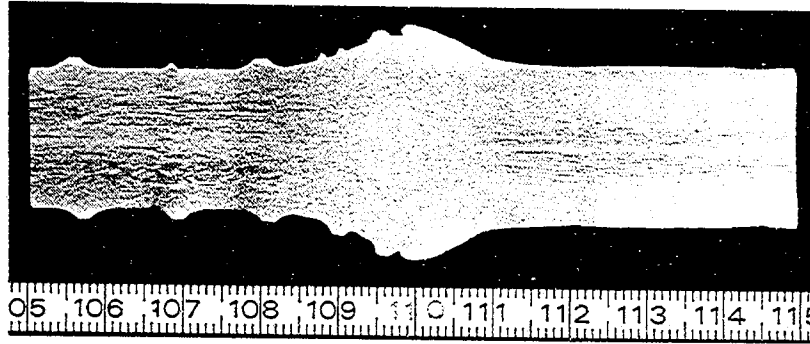
図－IV. 3. 5～8 に試験片破面と分析位置，EDX 分析結果を示す。

EDX 分析の結果，ペーストの欠陥部には Ca があること，結晶破面との間の変色部にもわずかに Ca があることがわかる。さび欠陥とその結晶は面を比べると，両者ともほとんど同じであることがわかる。ガス切断部も同様であった。塗料塗布では Ti が検出されており，塗料中に含まれていたものと考えられる。

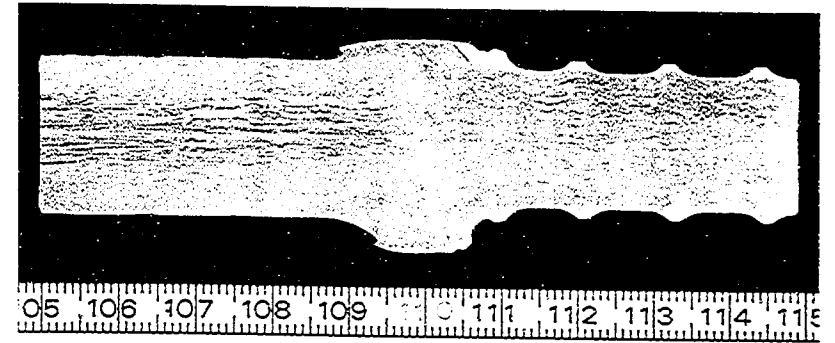
3.5 放射線透過試験

写真－IV. 3. 42 に放射線透過記録を示す。タングステン箔の中央からのずれがよくわかる。例えば，標準圧接のタングステン箔 3mm の場合（H3-1～4），1 と 3 はほぼ中央に位置しているが，2 はわずかにずれ，4 は中心と外周のほぼ中間に位置している。

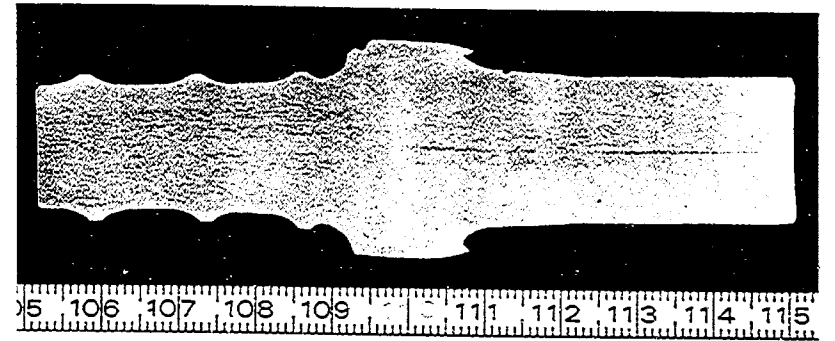
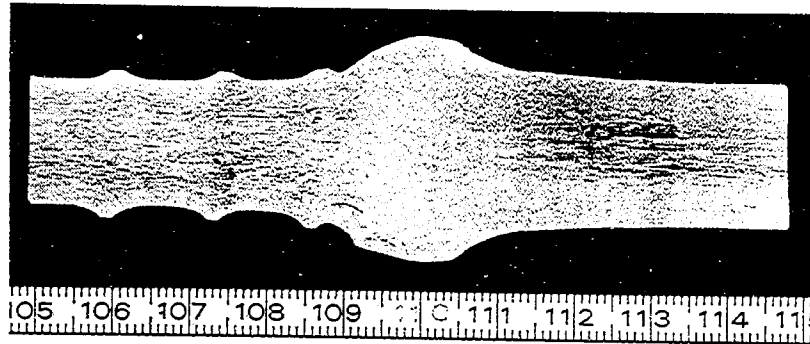
標準圧接



押抜圧接



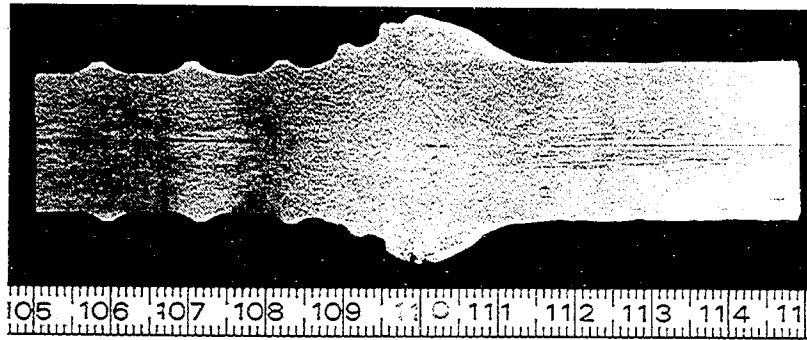
(a)引張前



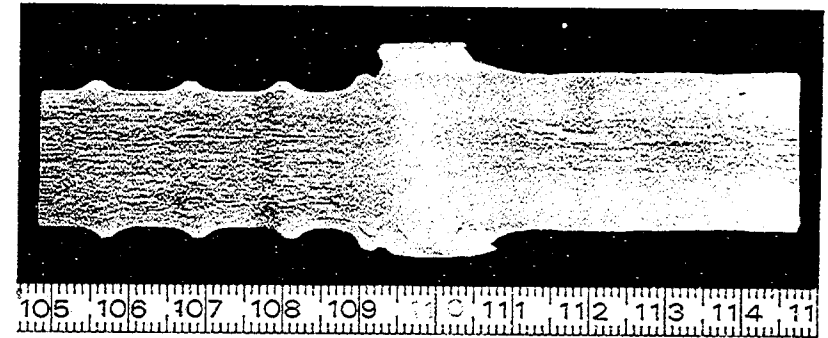
(b)引張後（母材破断）

写真-IV. 3. 1 マクロ写真 (D19-A O健全)

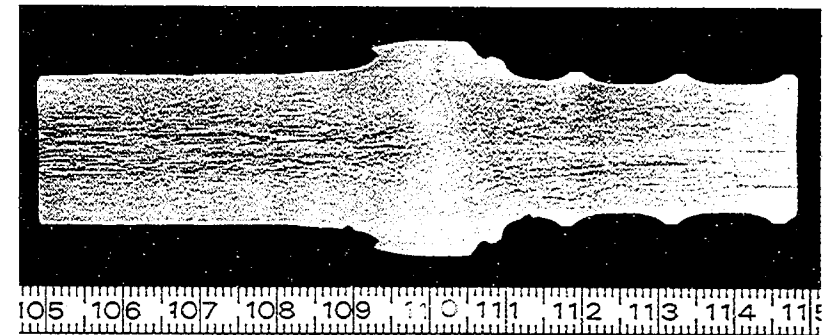
標準圧接



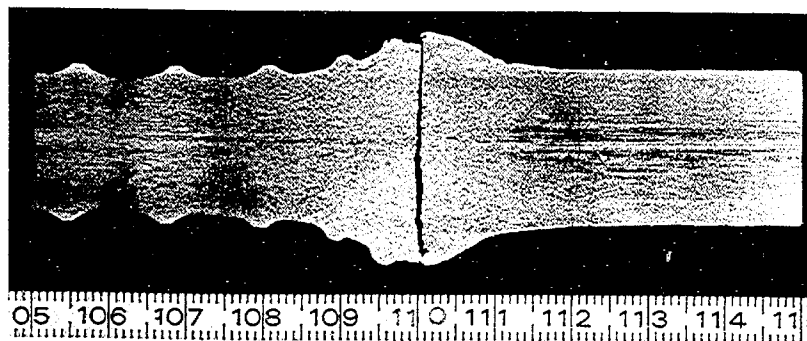
押抜圧接



(a)引張前

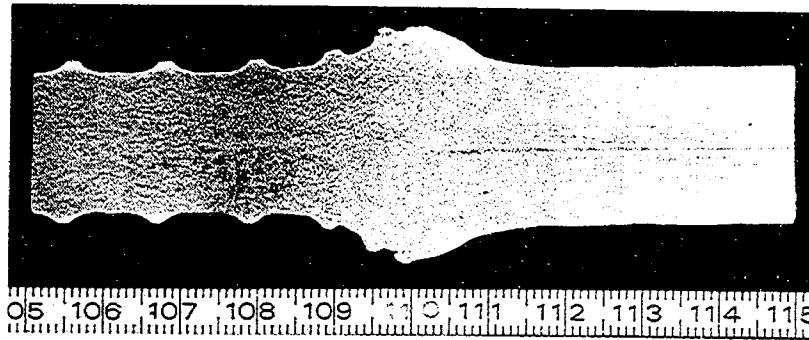


(b)引張後 (母材破断)

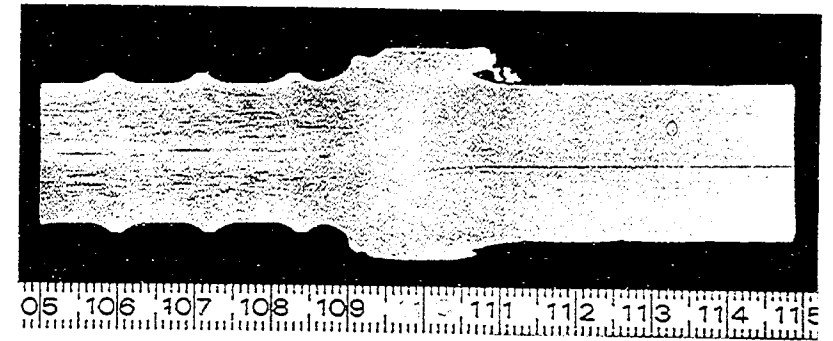


(c)引張後 (圧接界面破断)

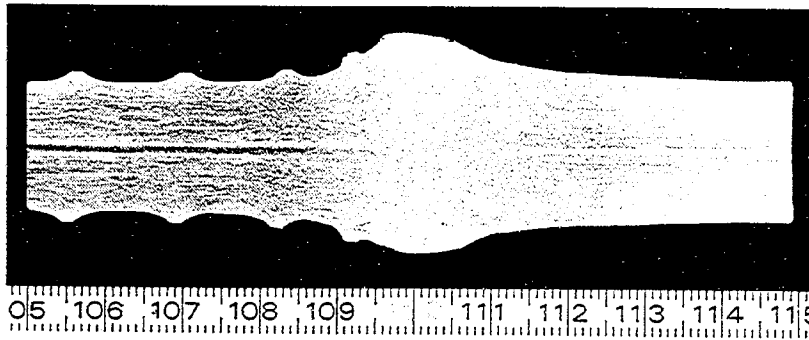
標準圧接



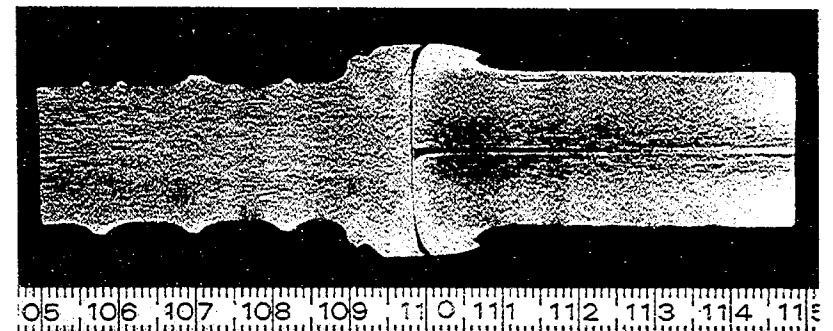
押抜圧接



(a) 引張前



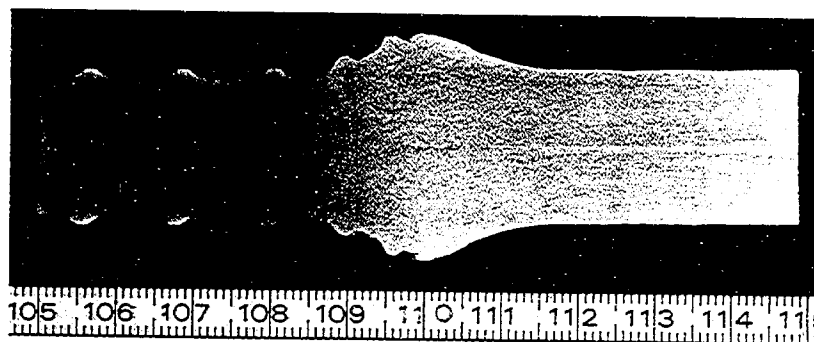
(b) 引張後 (母材破断)



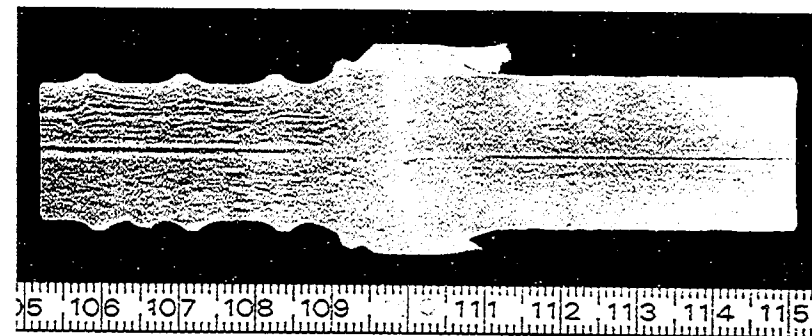
(c) 引張後 (圧接界面破断)

写真-Ⅳ. 3. 3 マクロ写真 (D19-さび(C)欠陥)

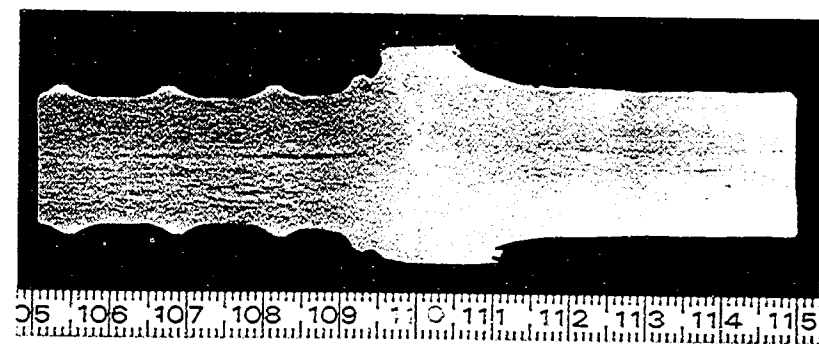
標準圧接



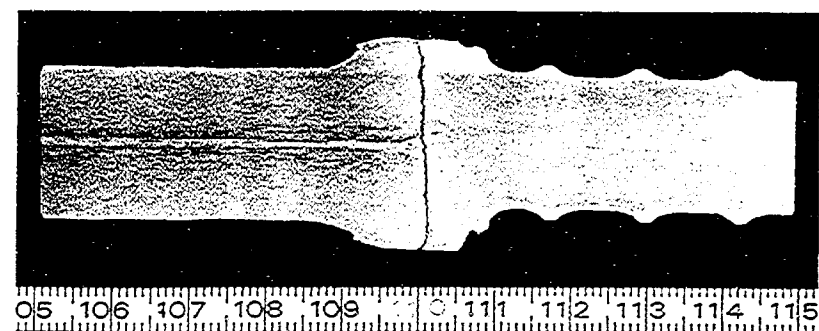
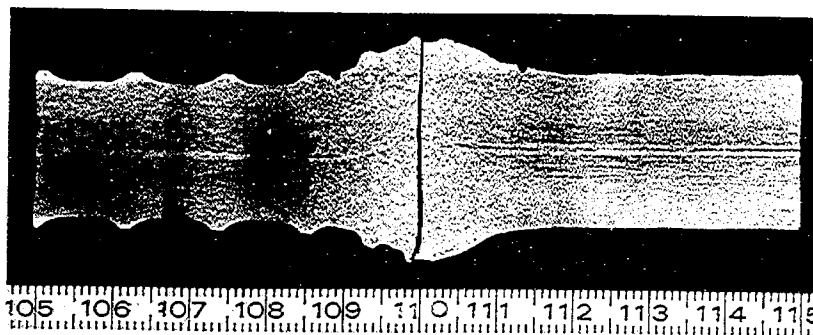
押抜圧接



(a)引張前



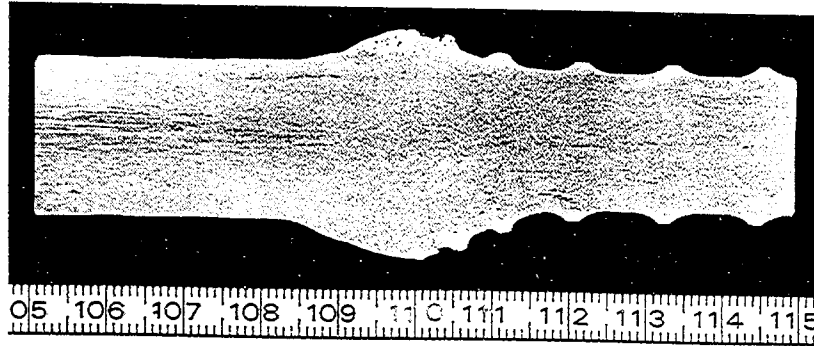
(b)引張後 (母材破断)



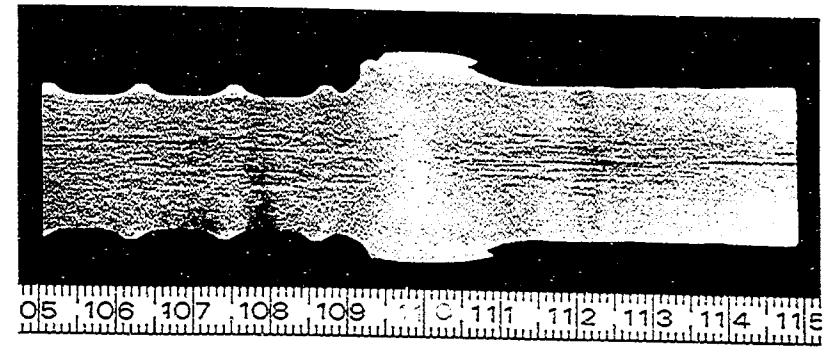
(c)引張後 (圧接界面破断)

写真-IV. 3. 4 マクロ写真 (D19-ガス切断(D)欠陥)

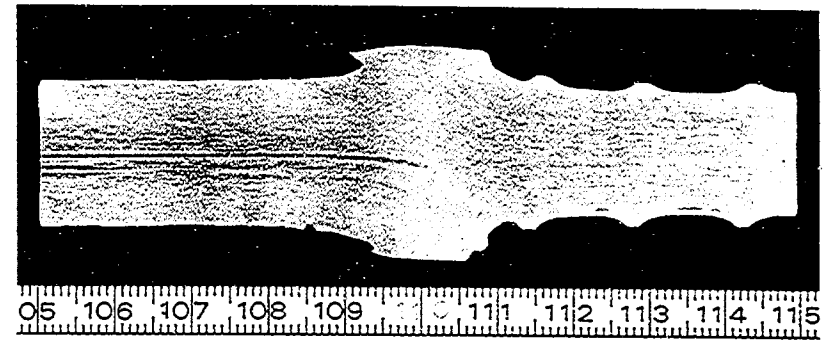
標準圧接



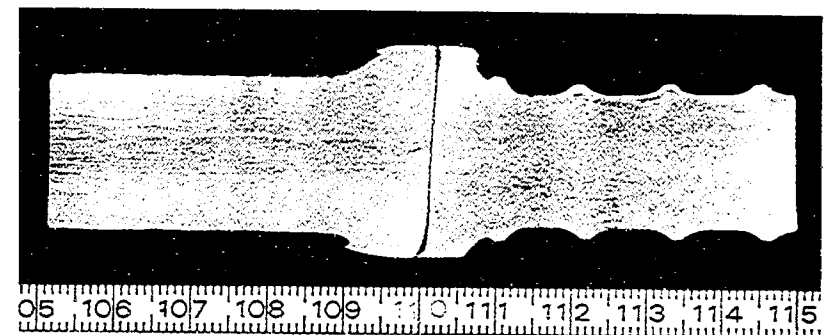
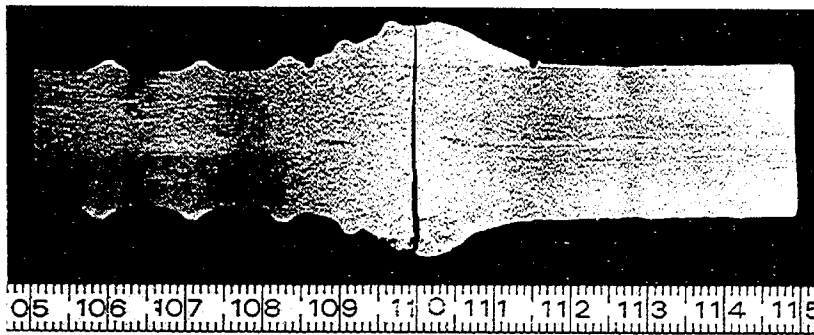
押抜圧接



(a)引張前

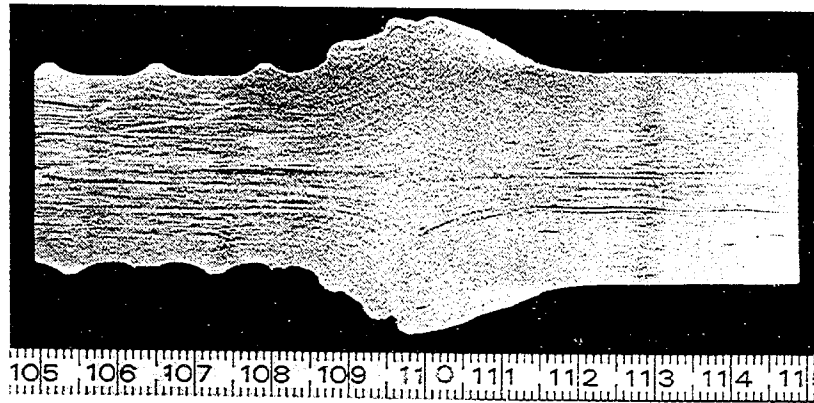


(b)引張後（母材破断）

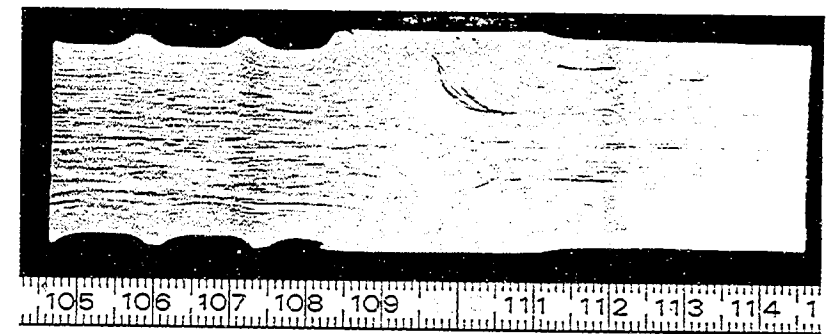


(c)引張後（圧接界面破断）

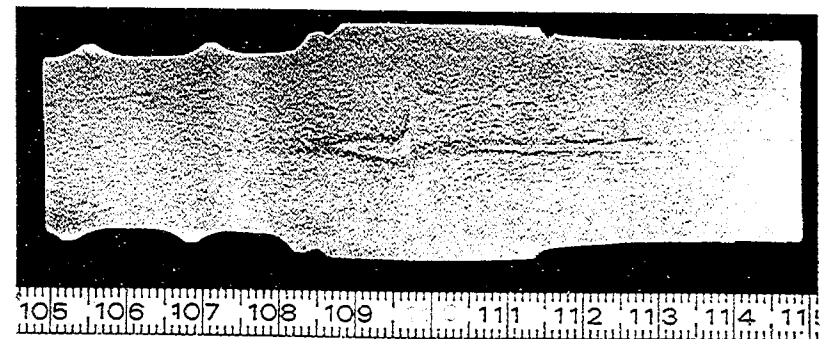
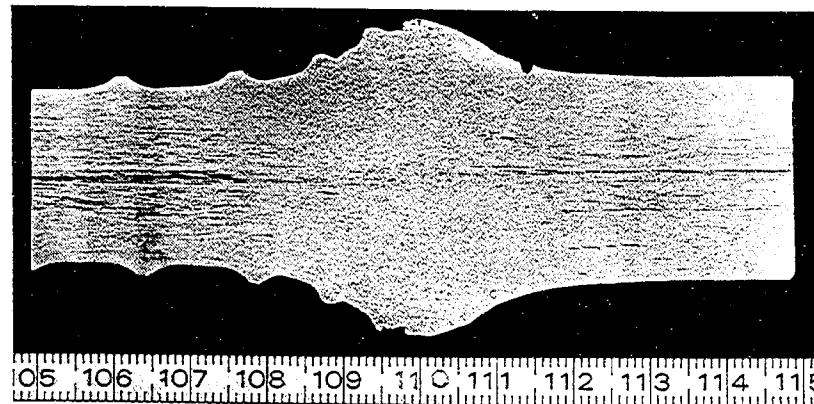
標準圧接



押抜圧接



(a)引張前



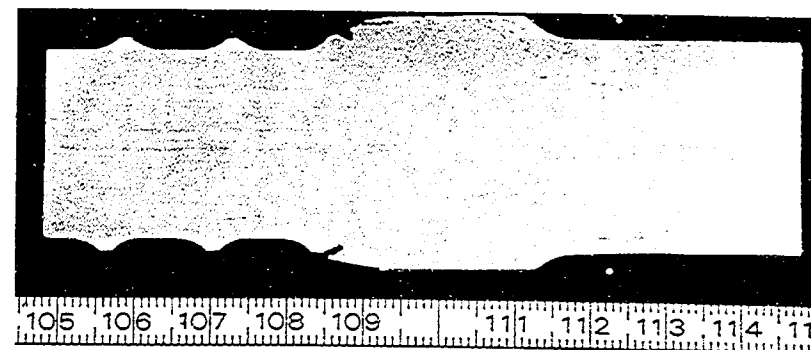
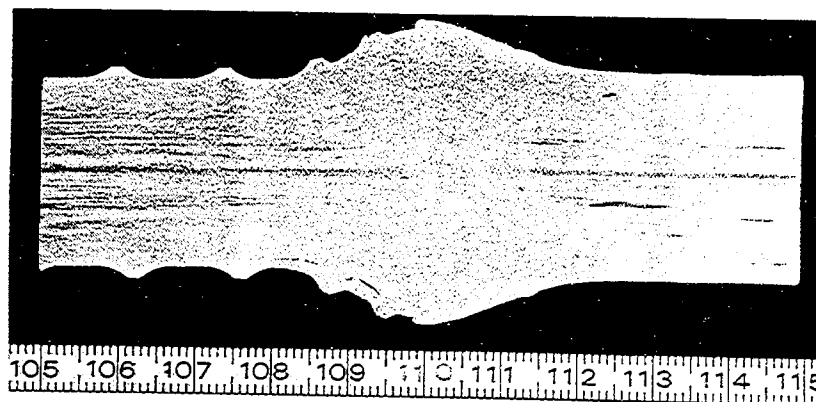
(b)引張後（母材破断）

写真-Ⅳ. 3. 6 マクロ写真 (D25-A O健全)

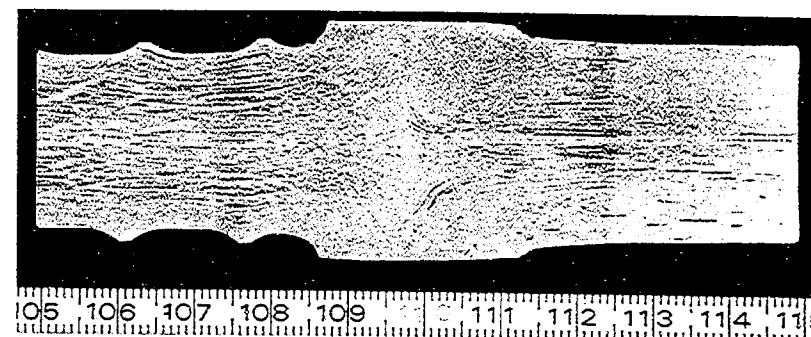
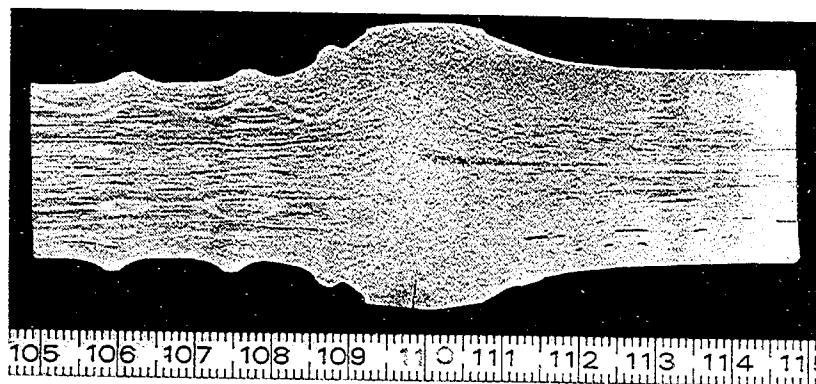
標準圧接

押抜圧接

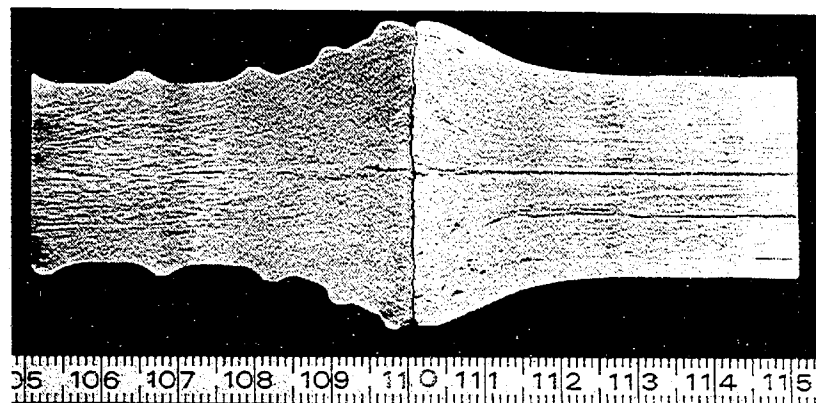
(a)引張前



(b)引張後
(母材破断)



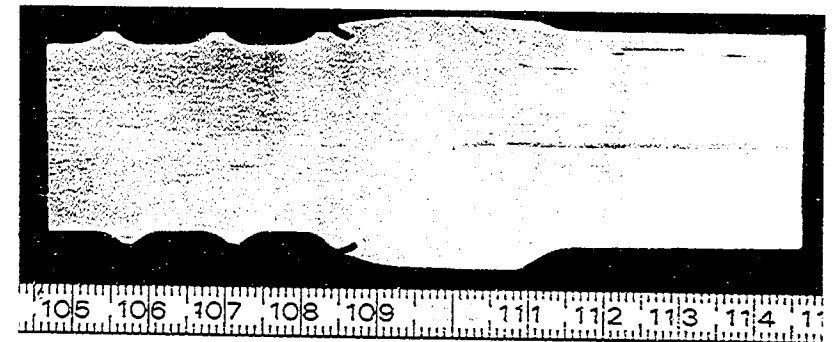
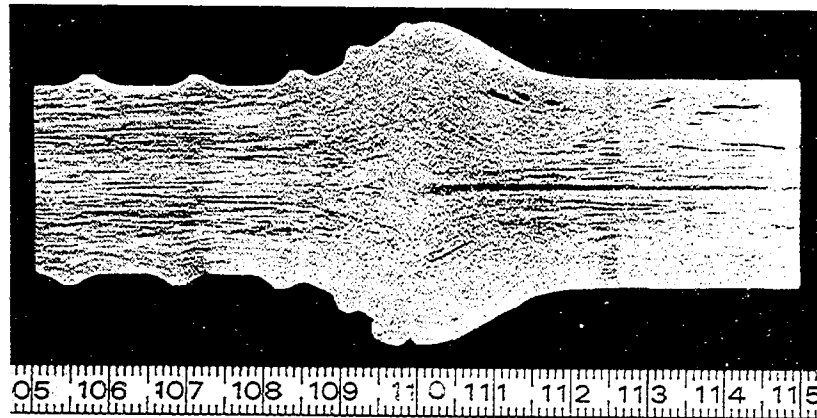
(c)引張後
(圧接界面破断)



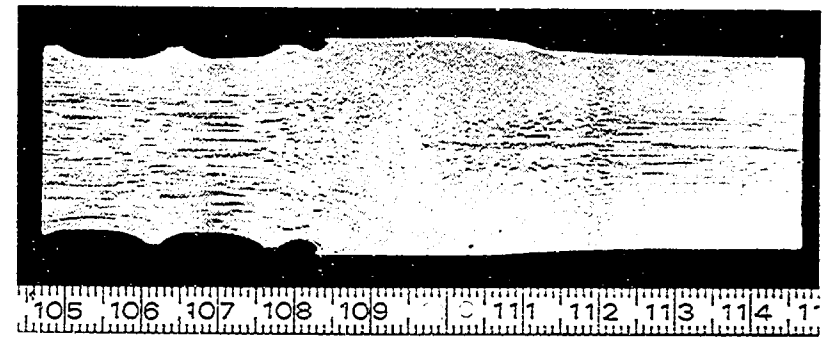
標準圧接

押抜圧接

(a)引張前



(b)引張後
(母材破断)



(c)引張後
(圧接界面破断)

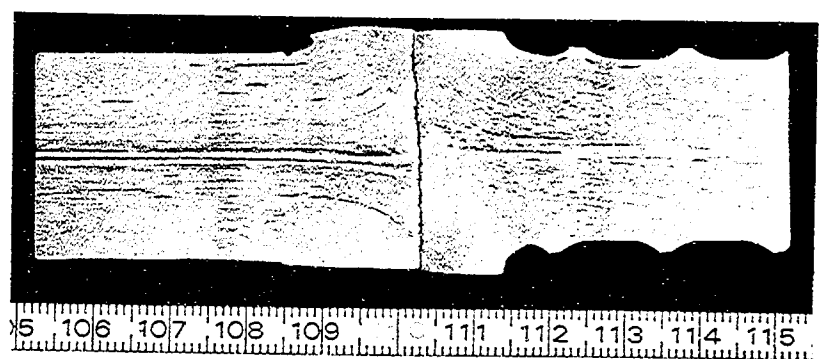
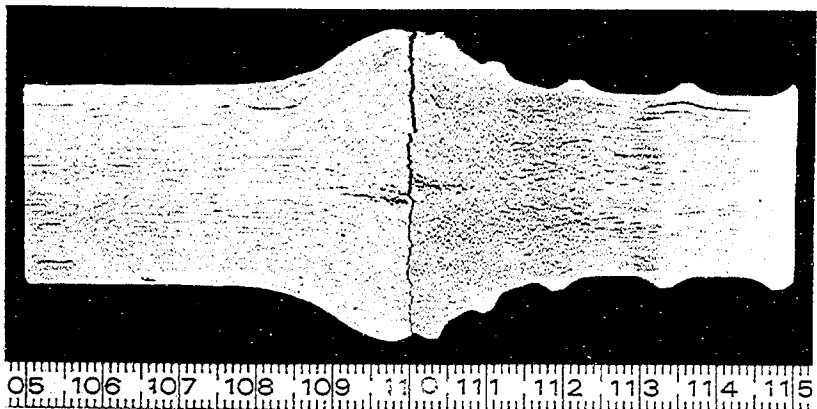
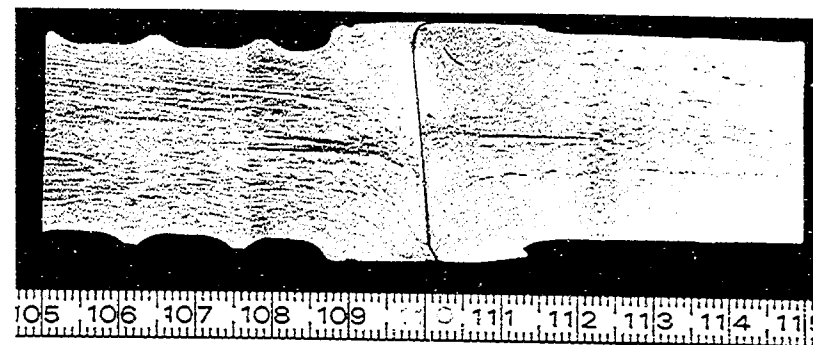
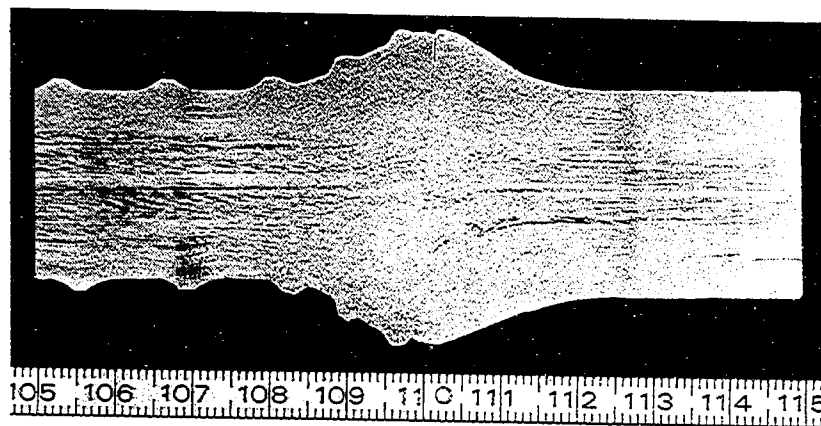


写真-IV. 3. 8 マクロ写真 (D25-ペースト2/8(B2)欠陥)

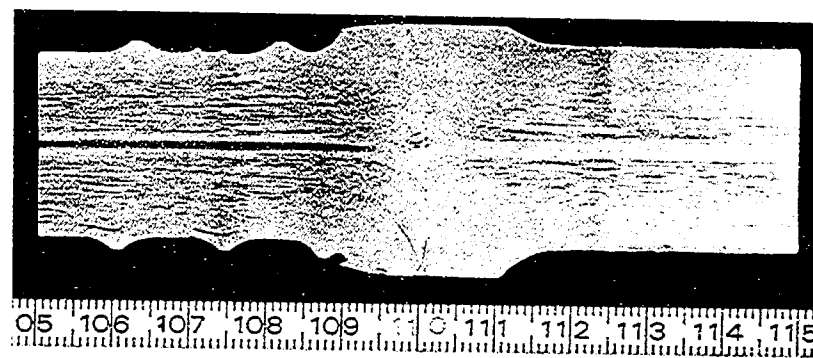
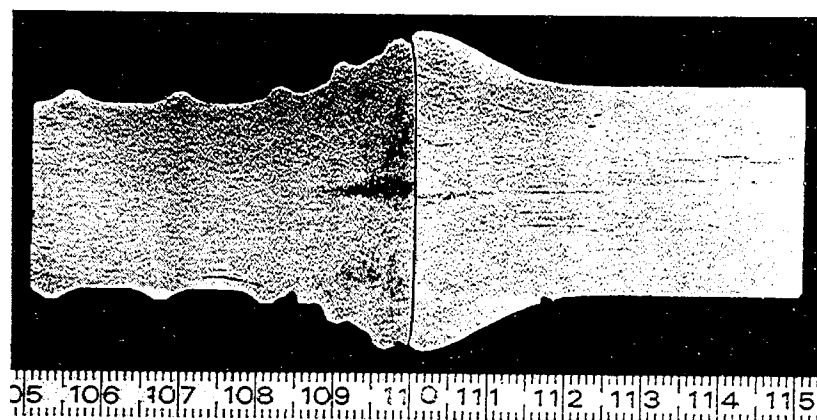
標準圧接

押抜圧接

(a)引張前



(b)引張後
(母材破断)

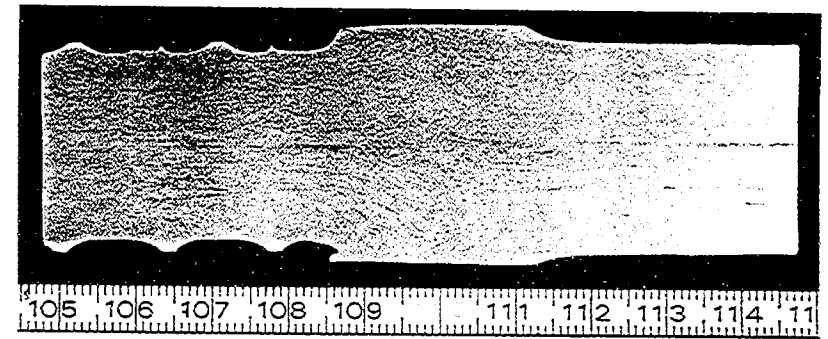
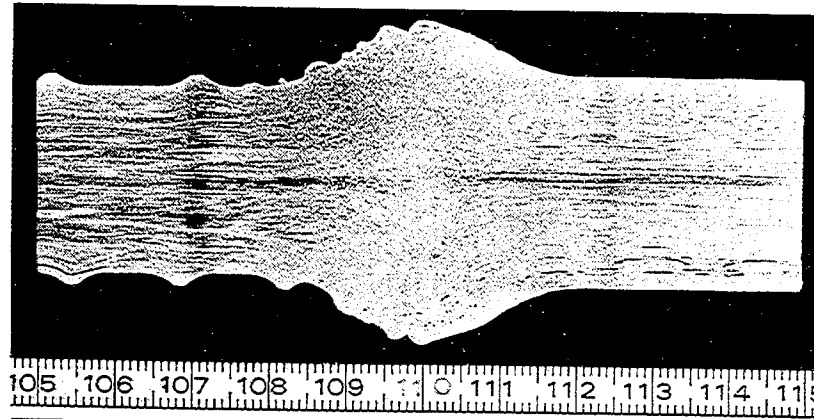


(c)引張後
(圧接界面破断)

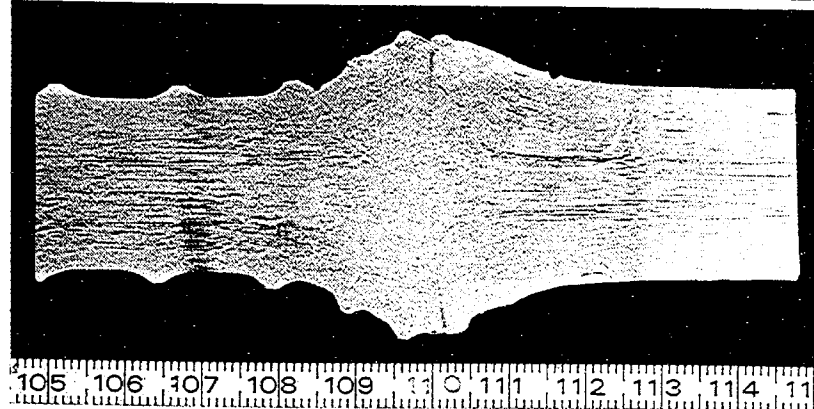
標準圧接

押抜圧接

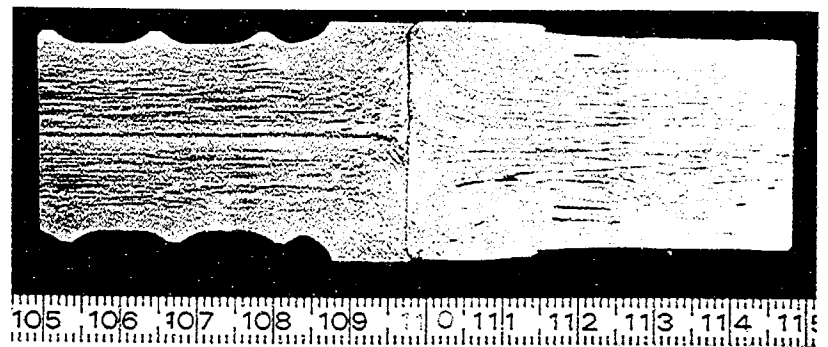
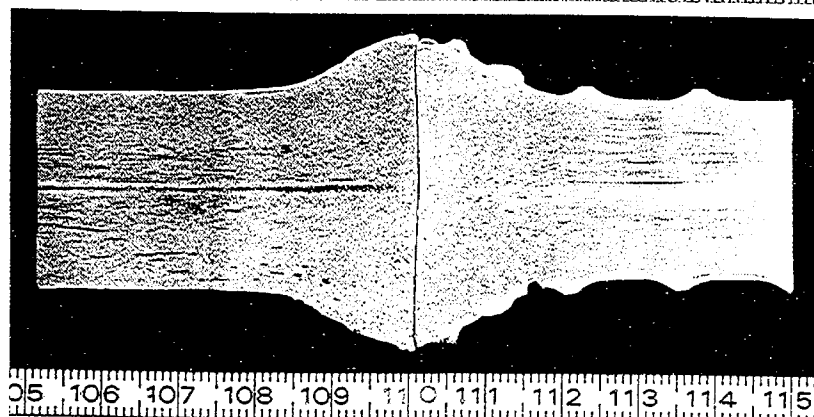
(a)引張前



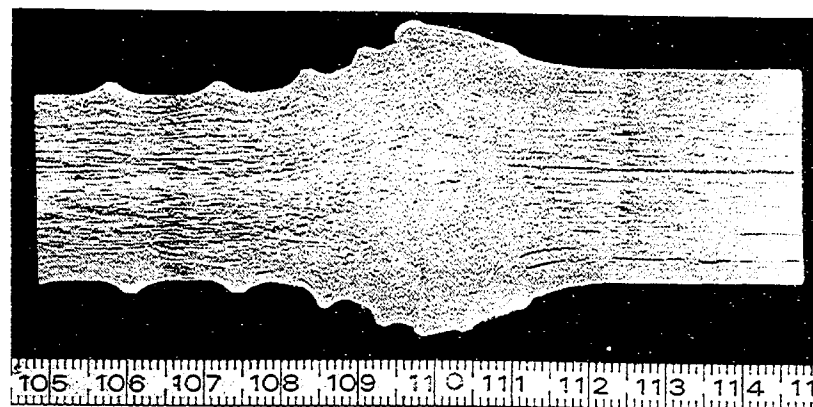
(b)引張後
(母材破断)



(c)引張後
(圧接界面破断)

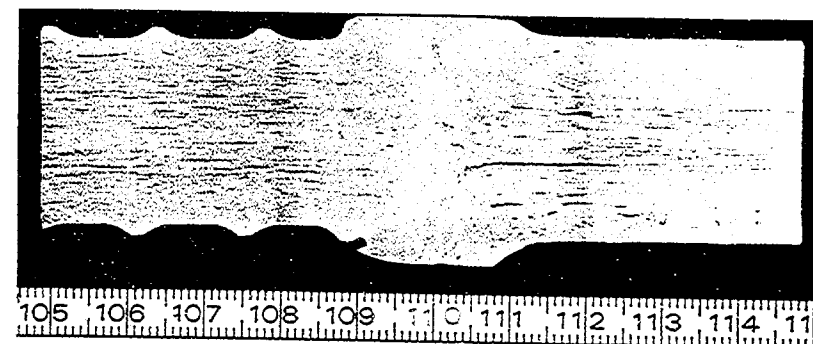


標準圧接

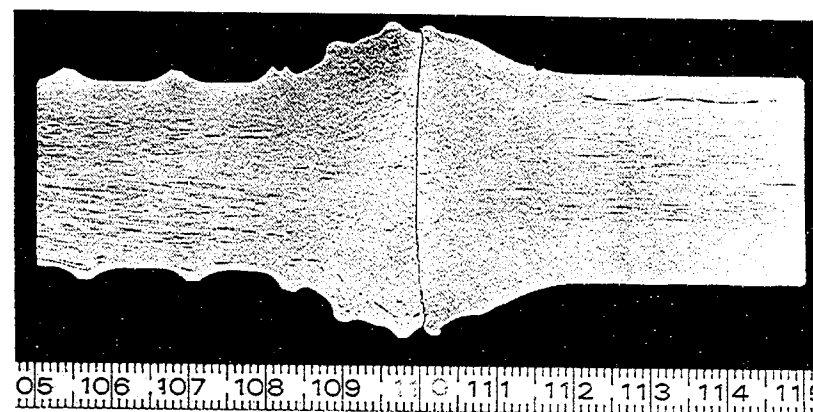


(a)引張前

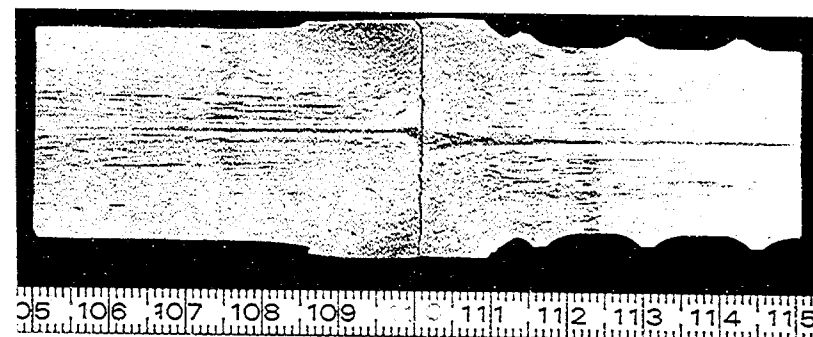
押抜圧接



(b)引張後
(母材破断)



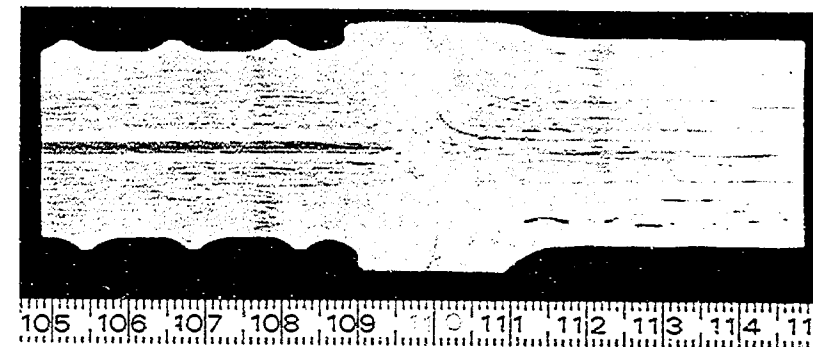
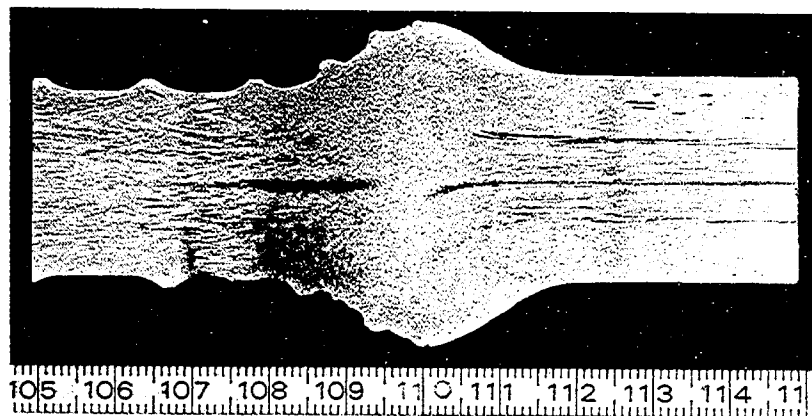
(c)引張後
(圧接界面破断)



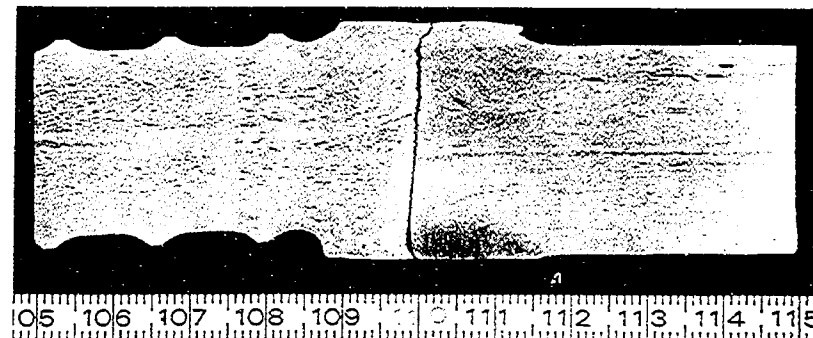
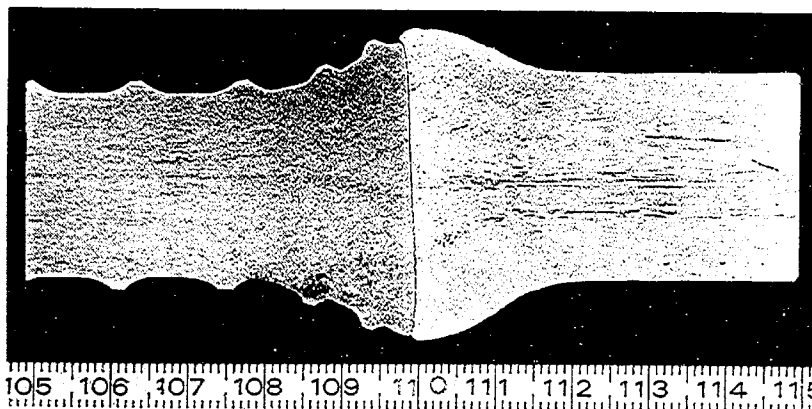
標準圧接

押抜圧接

(a)引張前



(b)引張後
(母材破断)

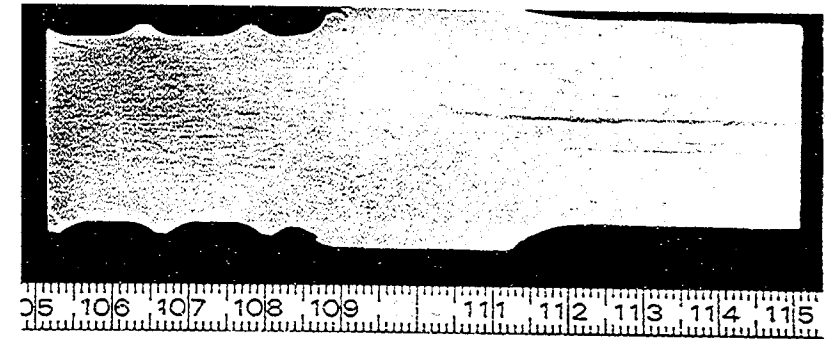
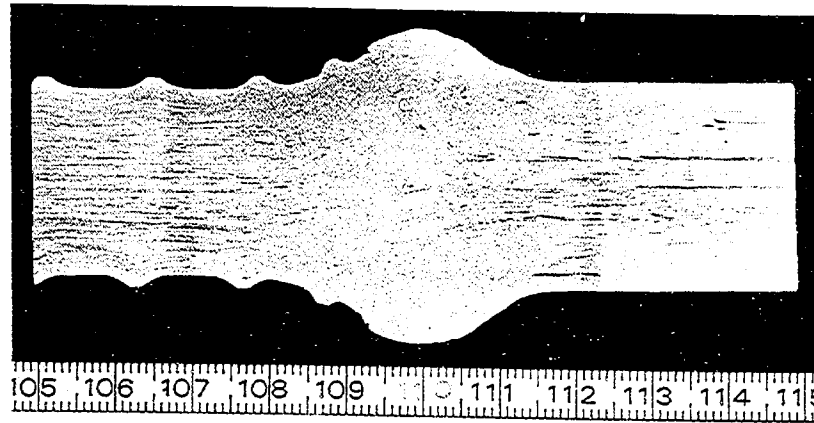


(c)引張後
(圧接界面破断)

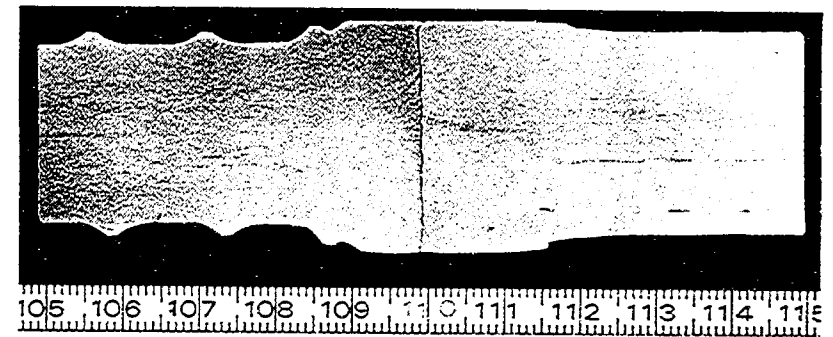
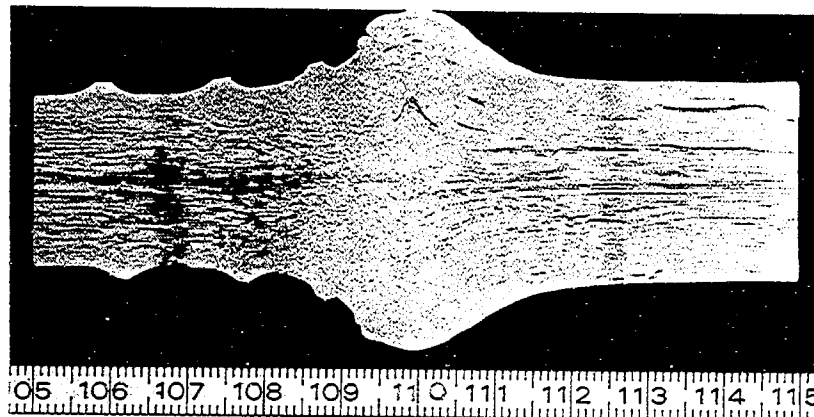
標準圧接

押抜圧接

(a)引張前



(b)引張後
(母材破断)



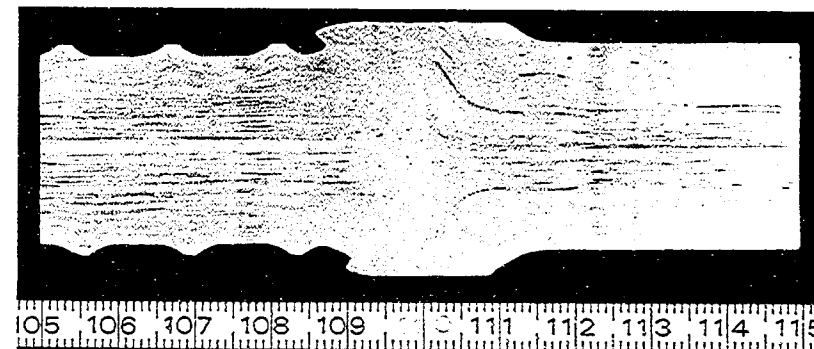
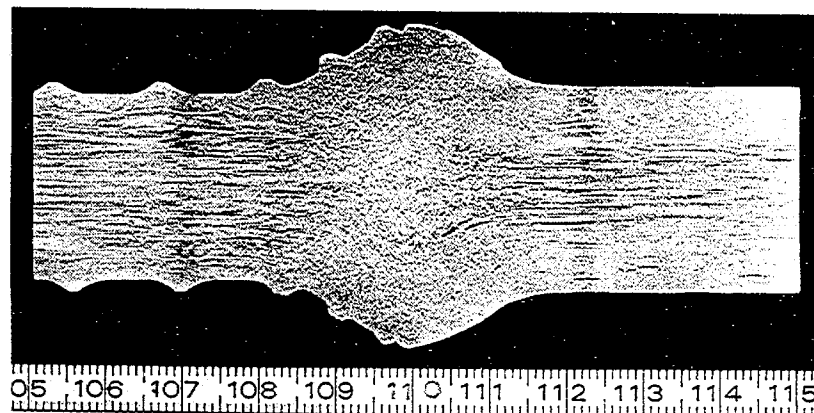
(c)引張後
(圧接界面破断)

写真-Ⅳ. 3.13 マクロ写真 (D25-バーナーのずれ(F)欠陥)

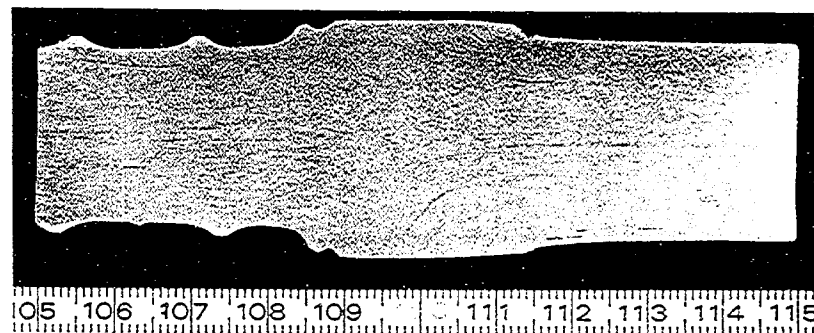
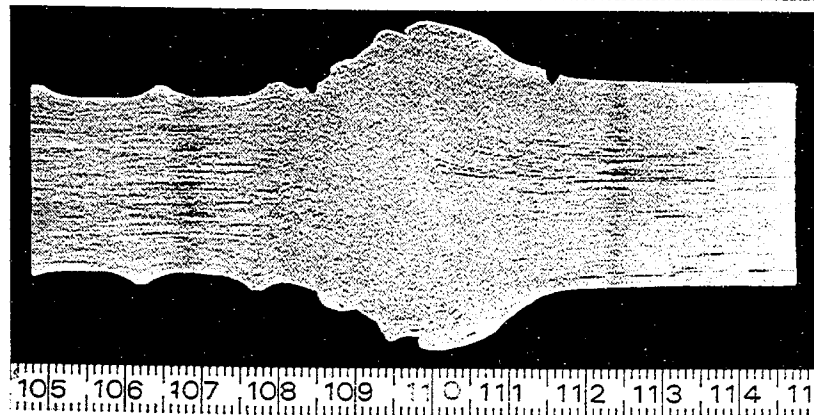
標準圧接

押抜圧接

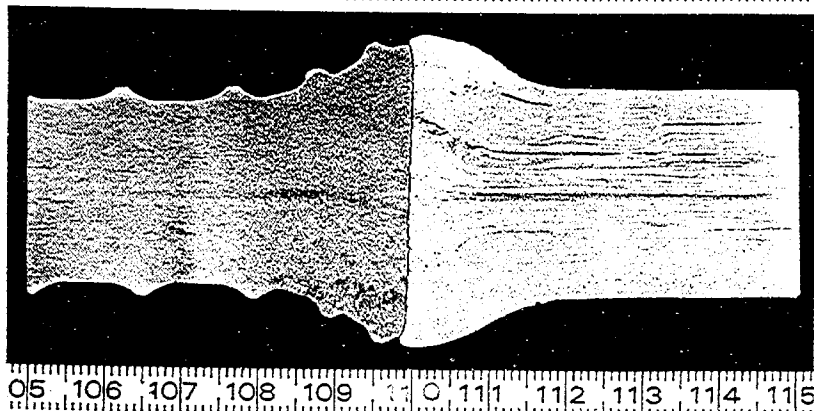
(a)引張前



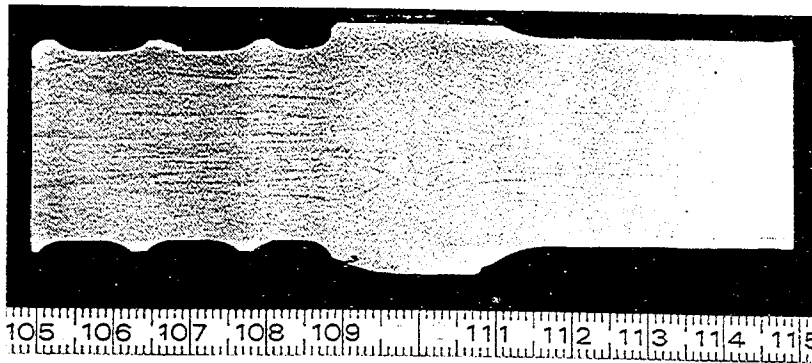
(b)引張後
(母材破断)



(c)引張後
(圧接界面破断)

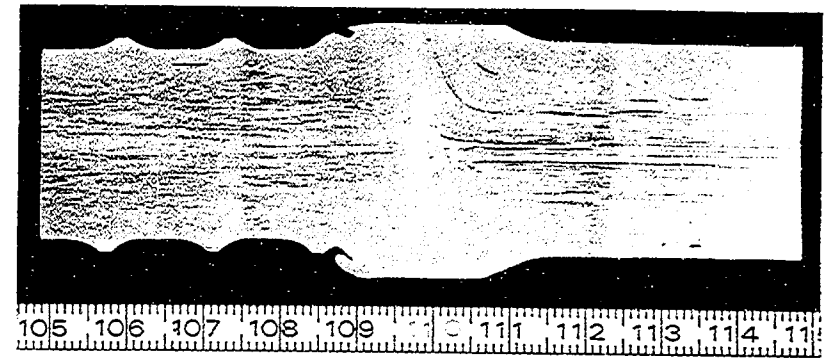


押抜 1.3 D



(a) 引張前

押抜 1.4 D



(b) 引張後
(母材破断)

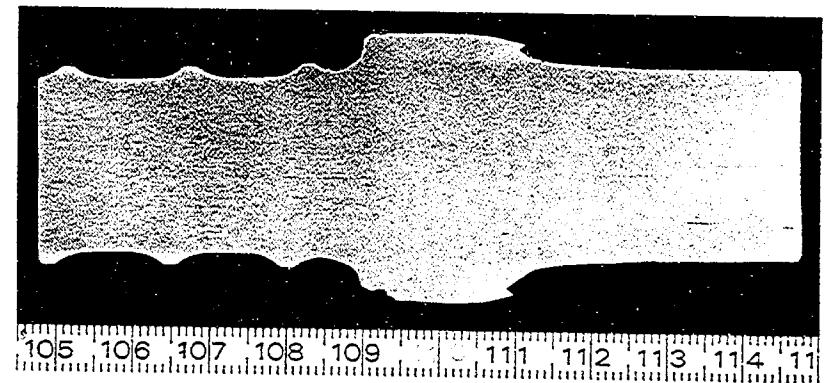
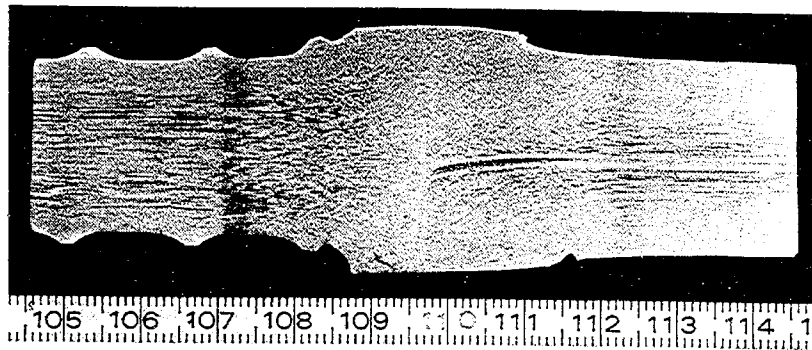
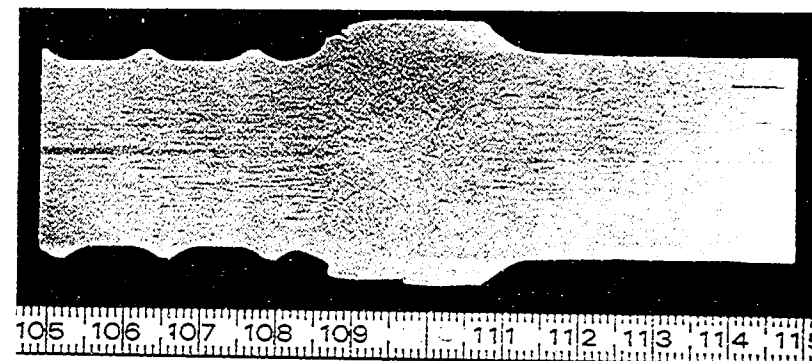
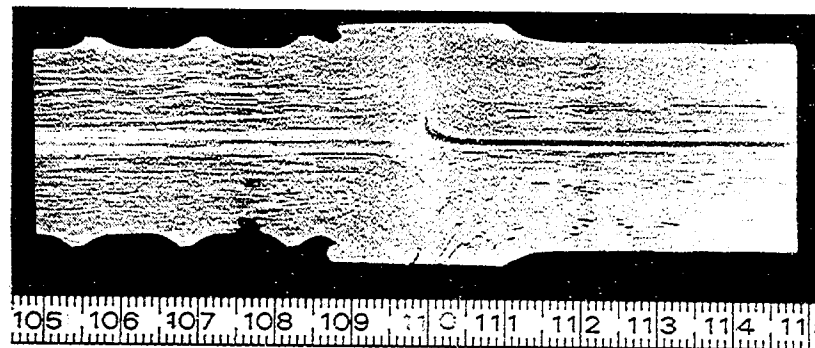


写真-IV. 3.15 マクロ写真 (D25-押抜径-AO健全)

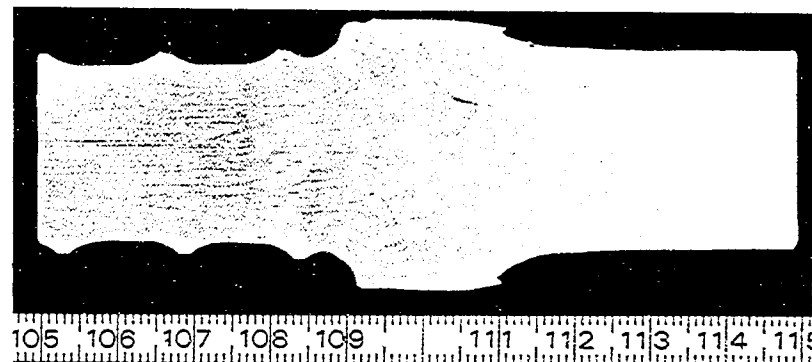
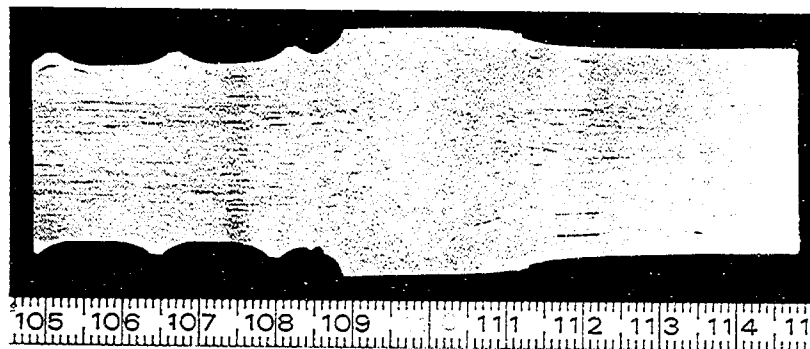
押抜1.3D

押抜1.4D

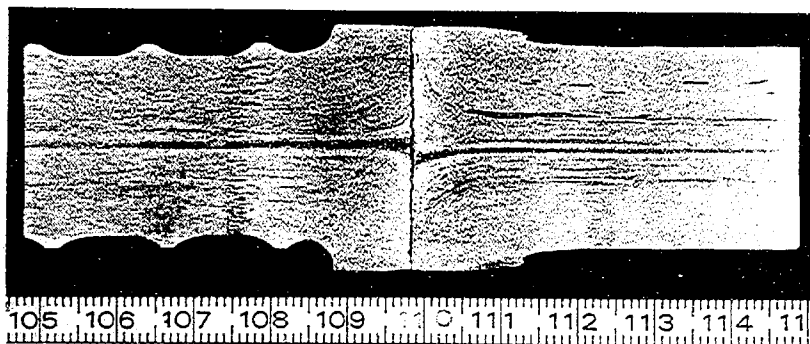
(a)引張前



(b)引張後
(母材破断)



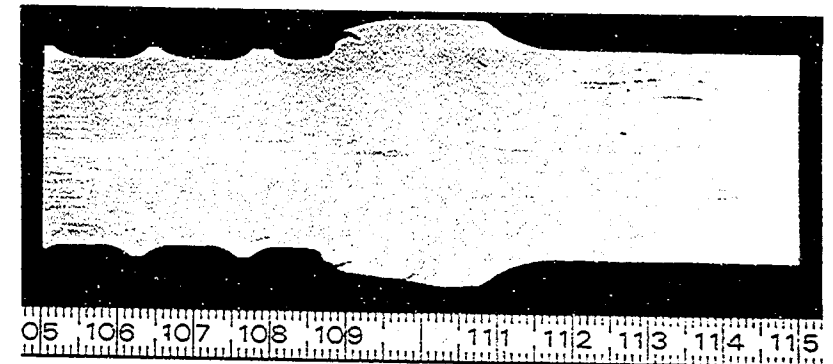
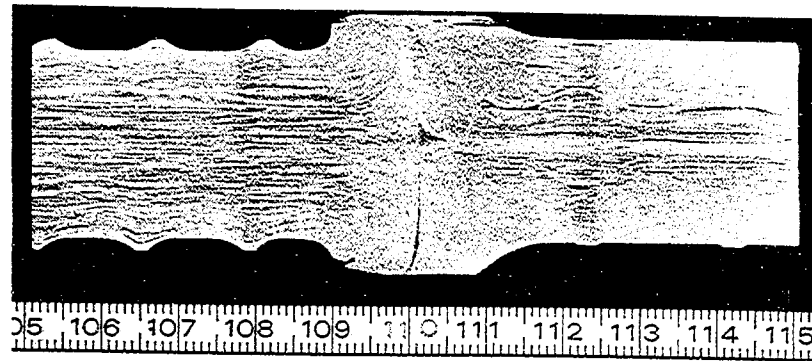
(c)引張後
(圧接界面破断)



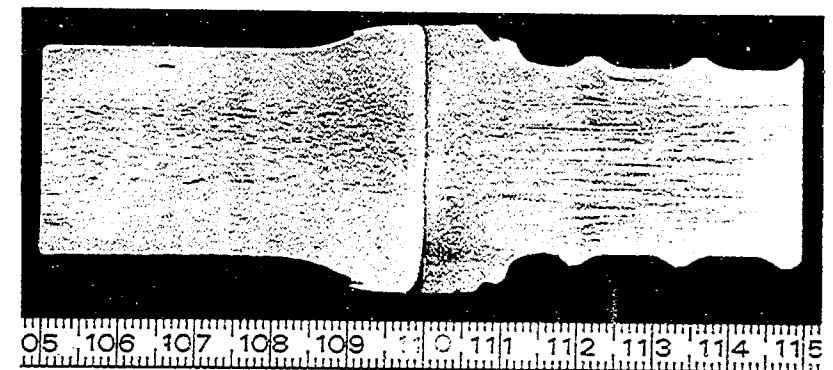
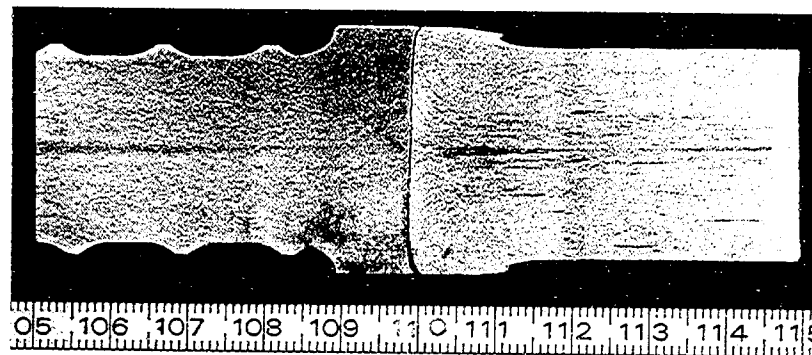
押抜1.3D

押抜1.4D

(a)引張前



(b)引張後
(母材破断)

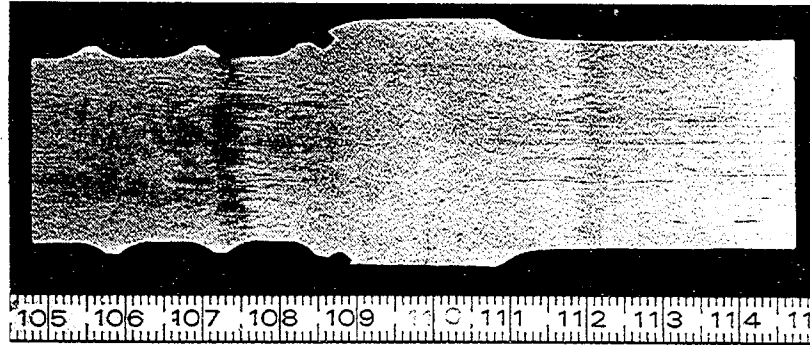


(c)引張後
(圧接界面破断)

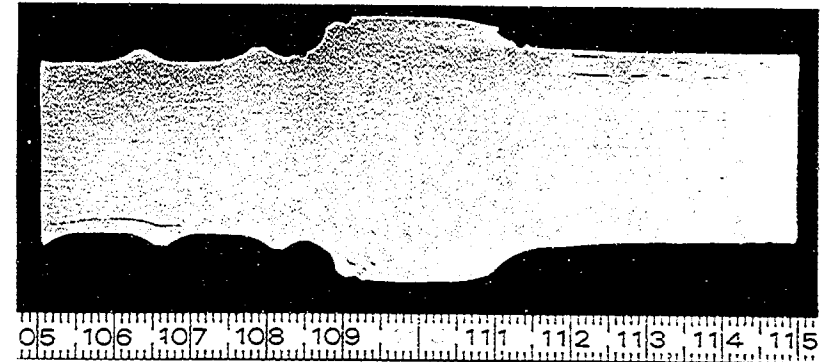
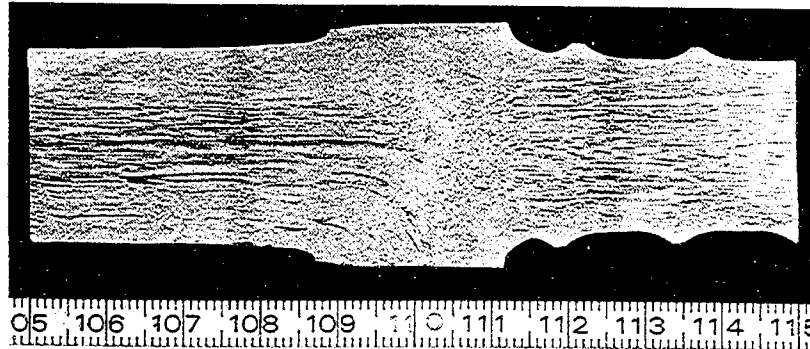
押抜1.3D

押抜1.4D

(a)引張前



(b)引張後
(母材破断)



(c)引張後
(圧接界面破断)

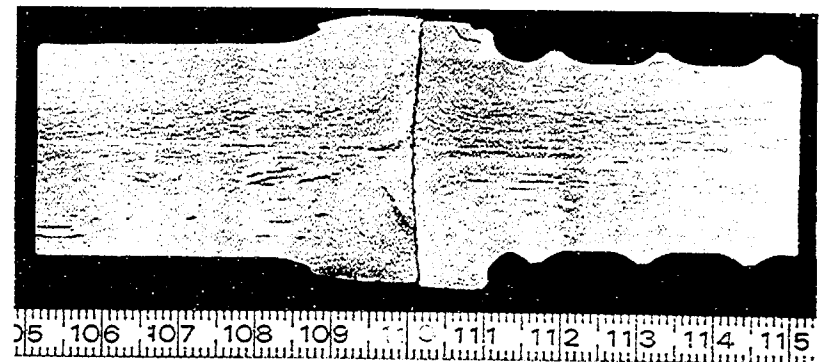
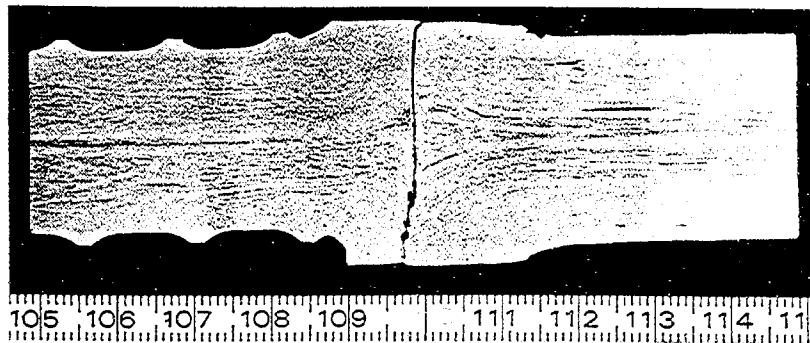
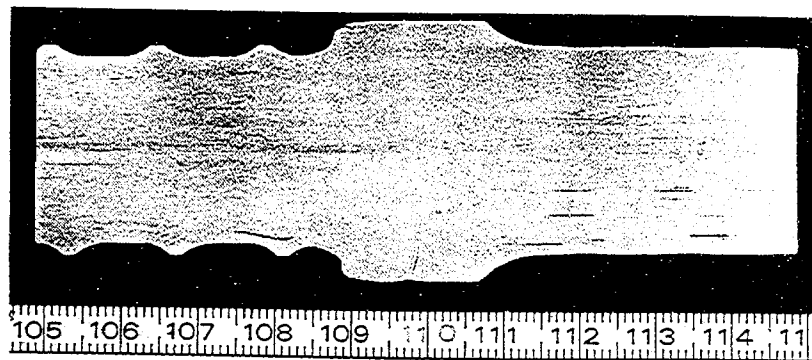
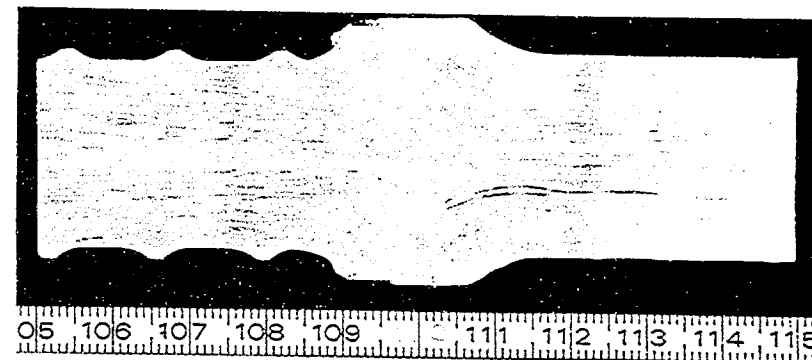


写真-IV. 3.18 マクロ写真 (D25-押抜径-ガス切断(D)欠陥)

押抜1.3D

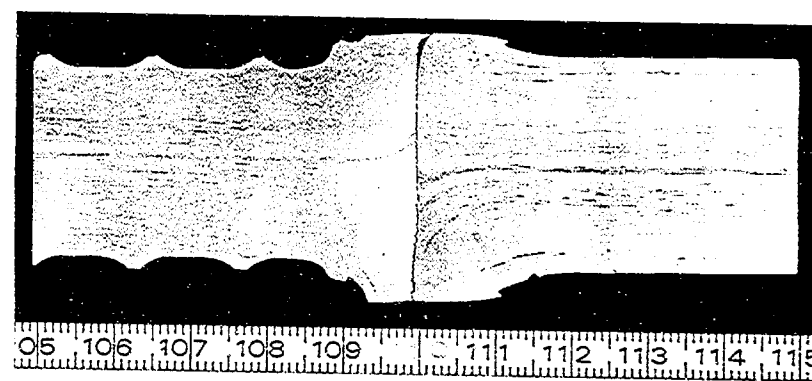
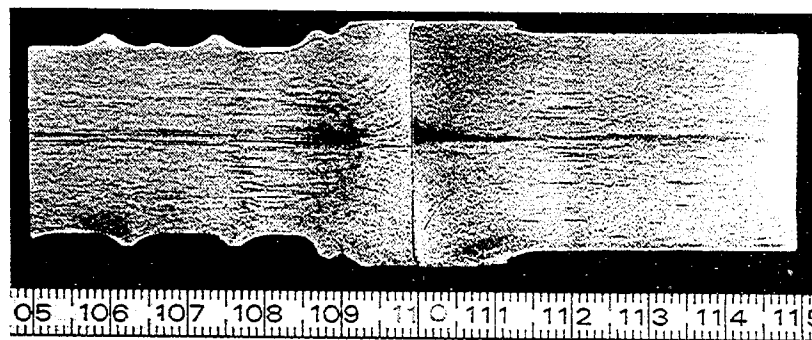


押抜1.4D



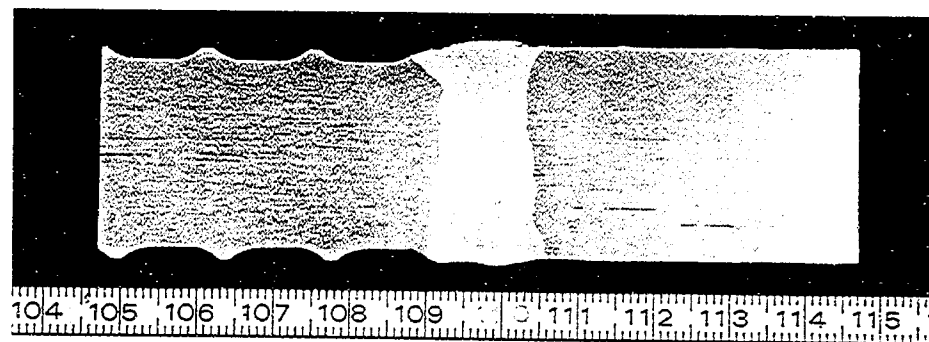
(a)引張前

(b)引張後
(母材破断)

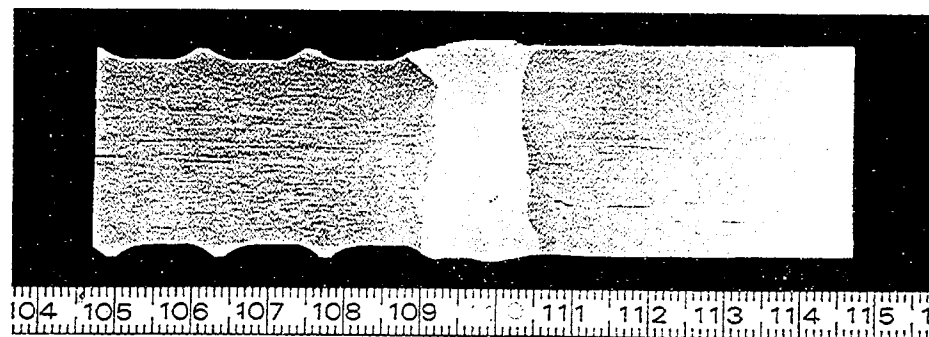


(c)引張後
(圧接界面破断)

写真-IV. 3.19 マクロ写真 (D25-押抜径-塗料(E)欠陥)



(a)引張前



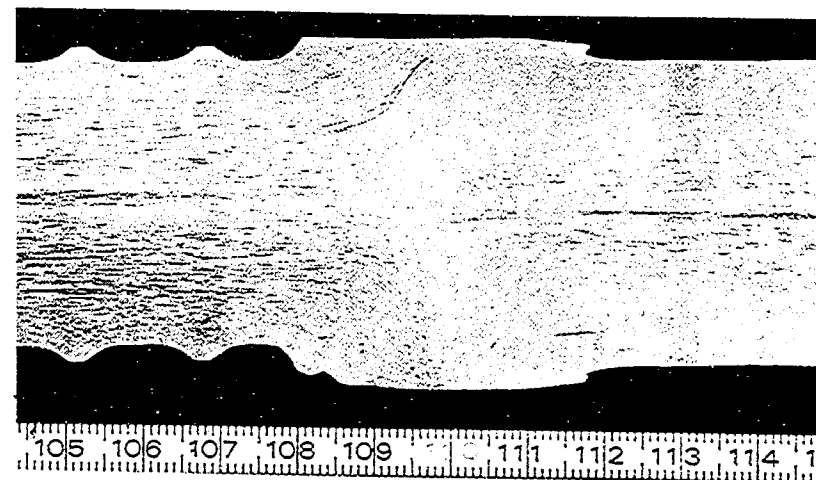
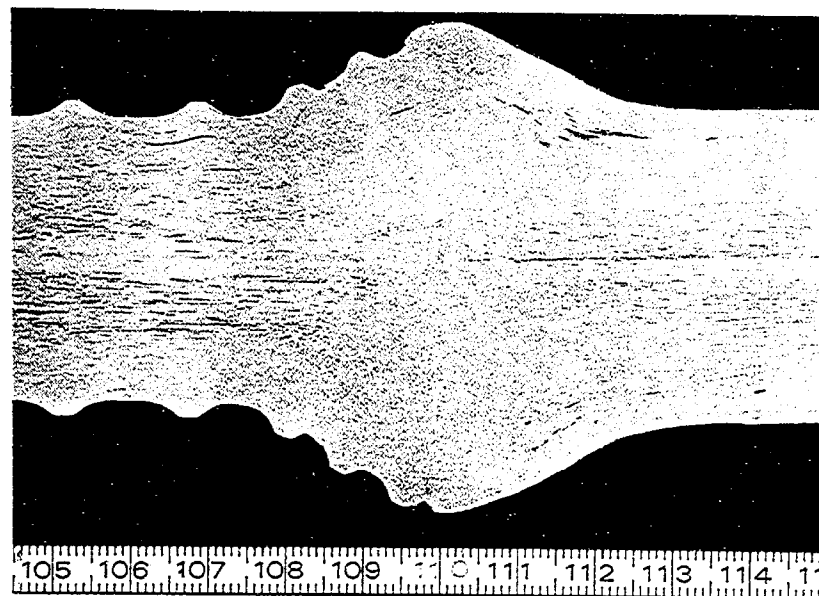
(b)引張後

写真-IV. 3.20 マクロ写真 (D25-エンクローズ溶接)

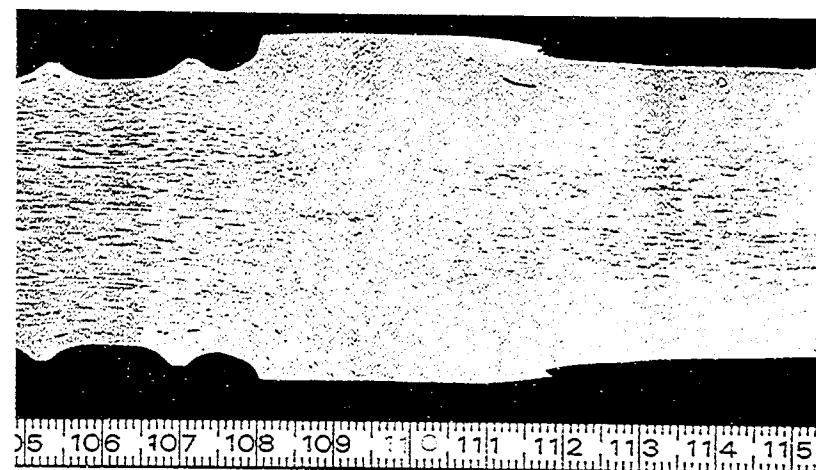
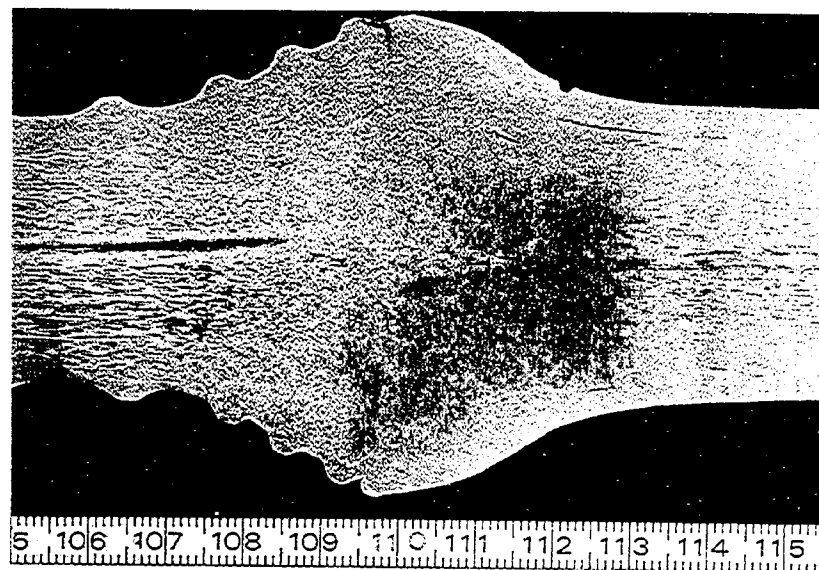
標準圧接

押抜圧接

(a)引張前



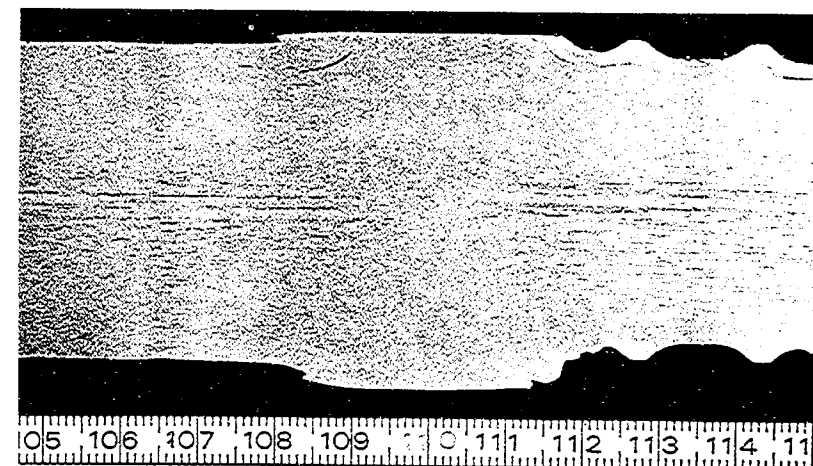
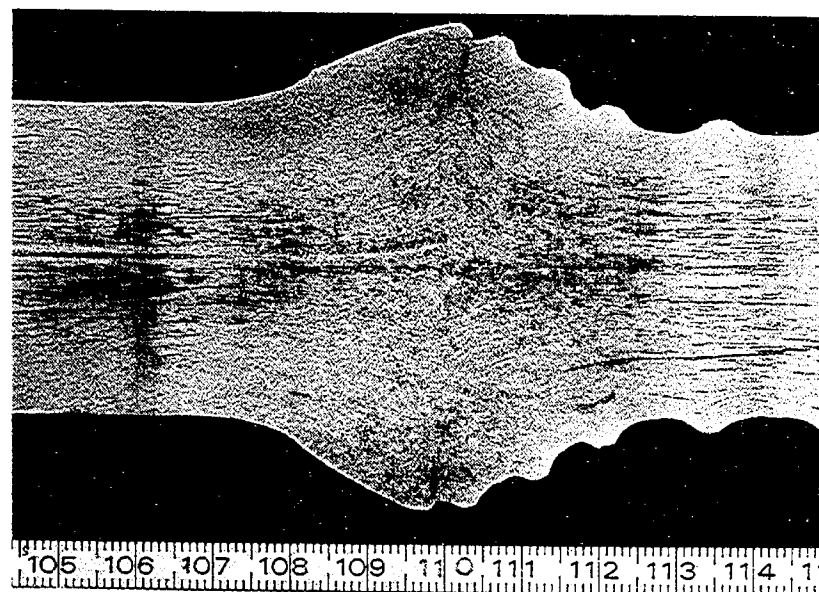
(b)引張後
(母材破断)



標準圧接

押抜圧接

(a) 引張前



(c) 引張後
(圧接界面破断)

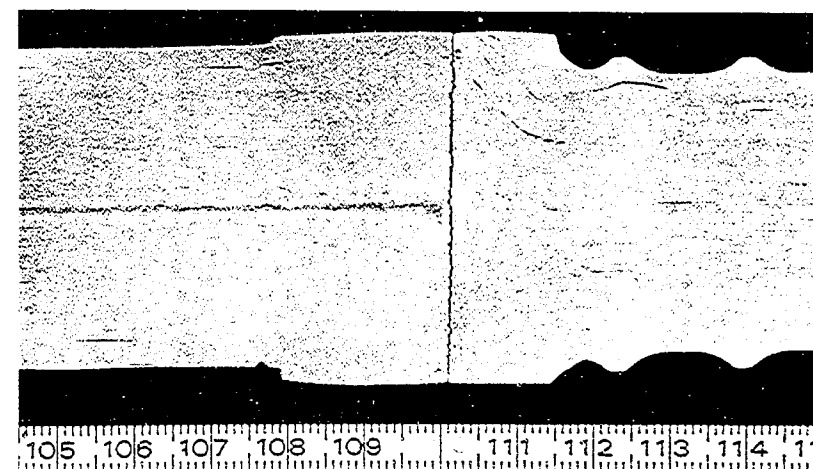
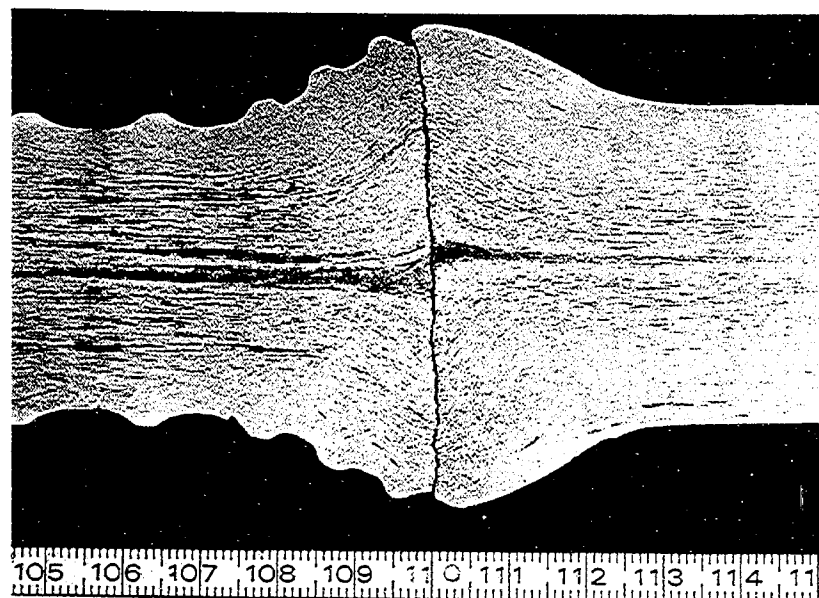
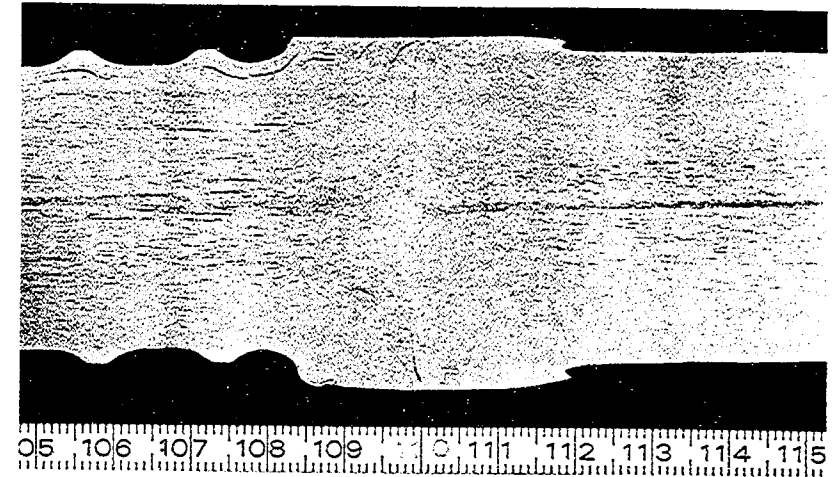
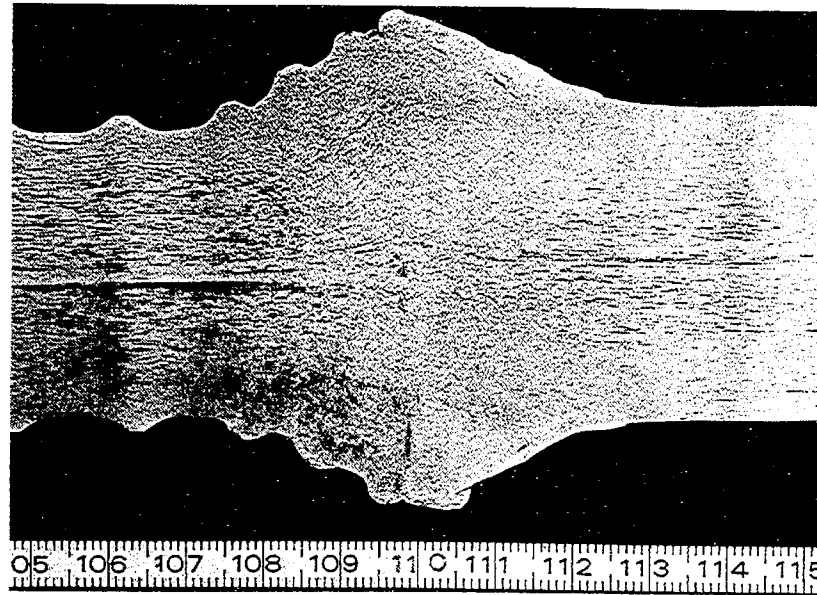


写真-Ⅳ. 3.22 マクロ写真 (D38-ペースト2/8(B2)欠陥)

標準圧接

押抜圧接

(a)引張前



(c)引張後
(圧接界面破断)

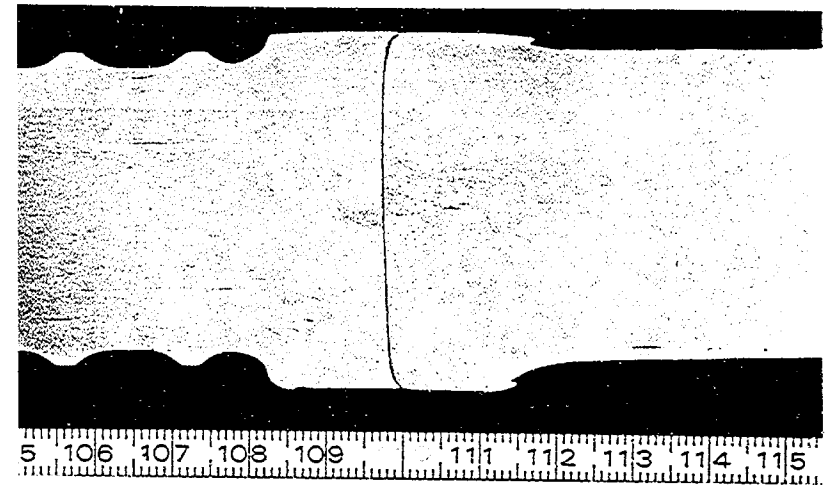
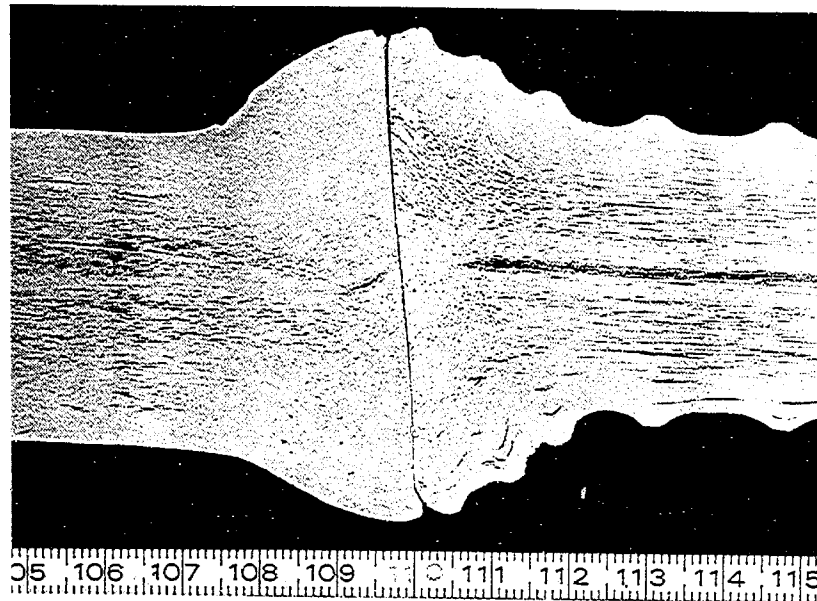
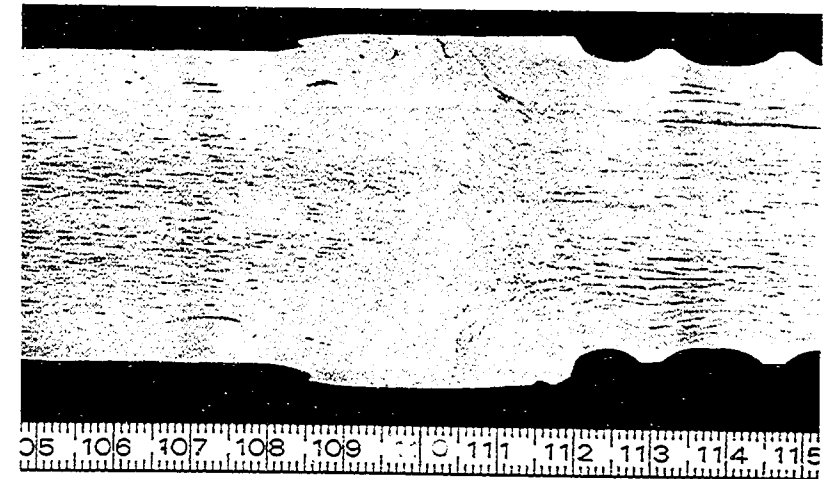
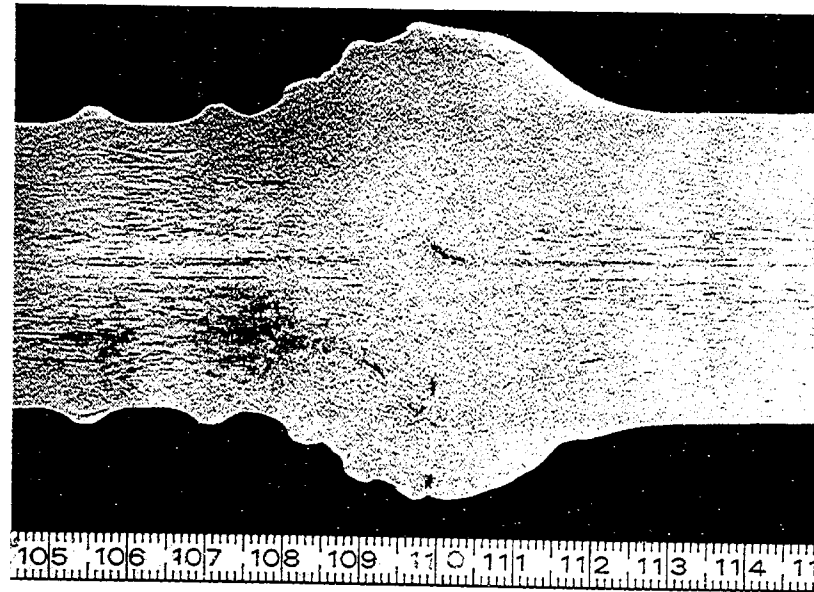


写真-IV. 3.23 マクロ写真 (D38-さび(C)欠陥)

標準圧接

押抜圧接

(a)引張前



(c)引張後
(圧接界面破断)

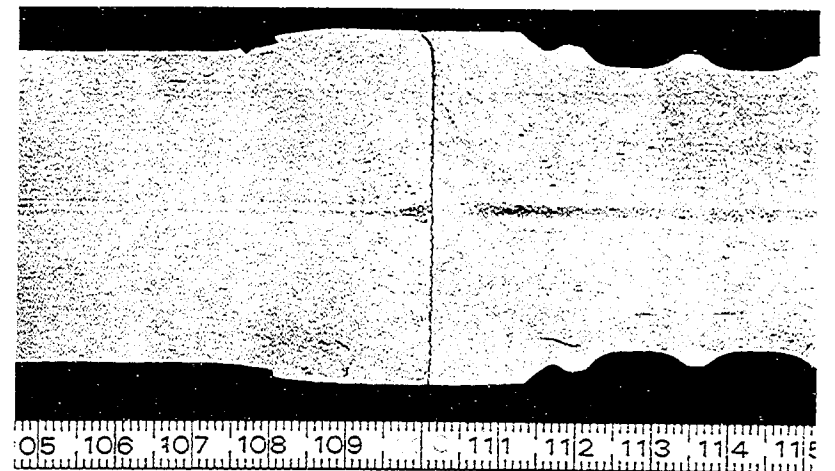
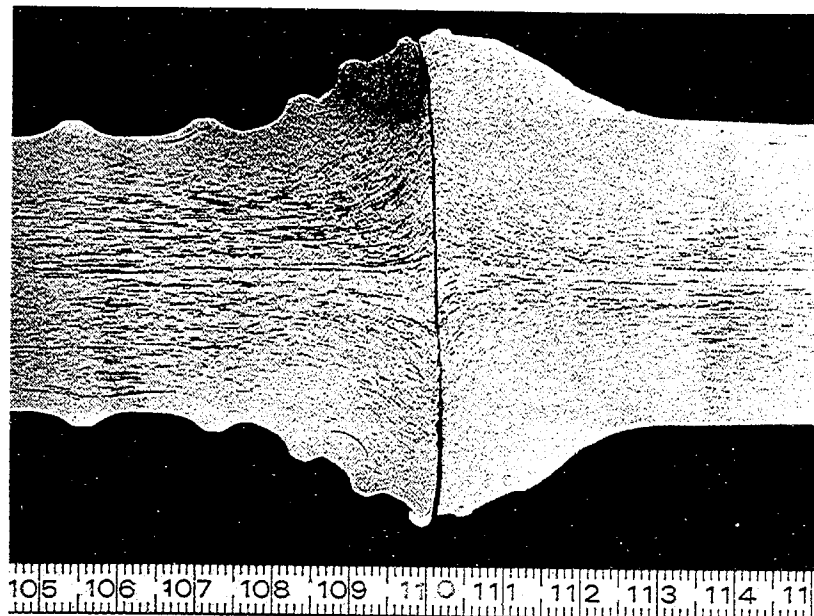
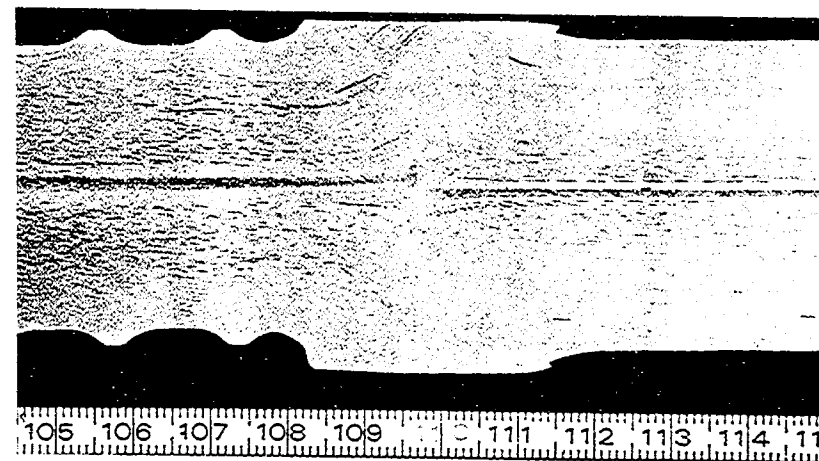
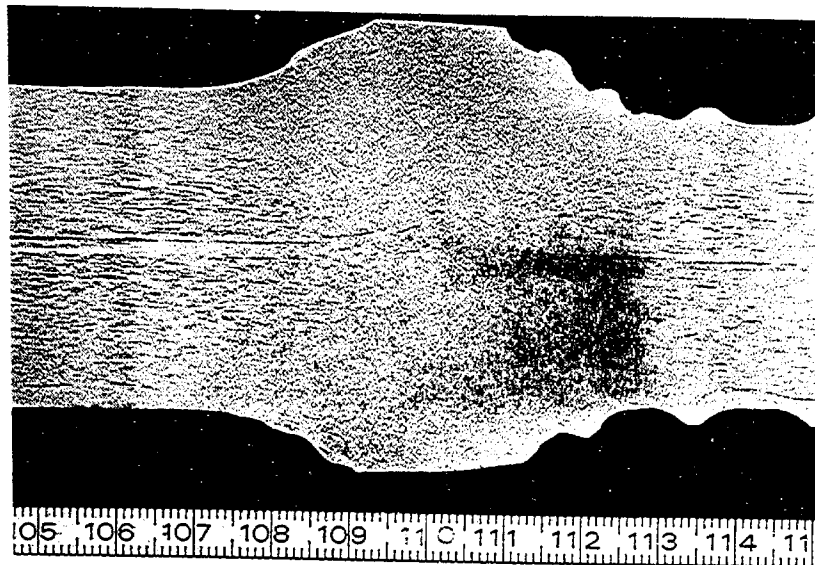


写真-IV. 3. 24 マクロ写真 (D38-ガス切断(D)欠陥)

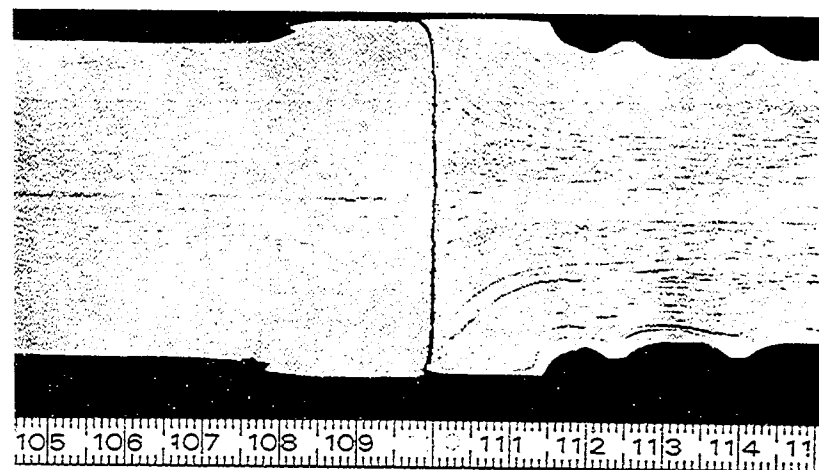
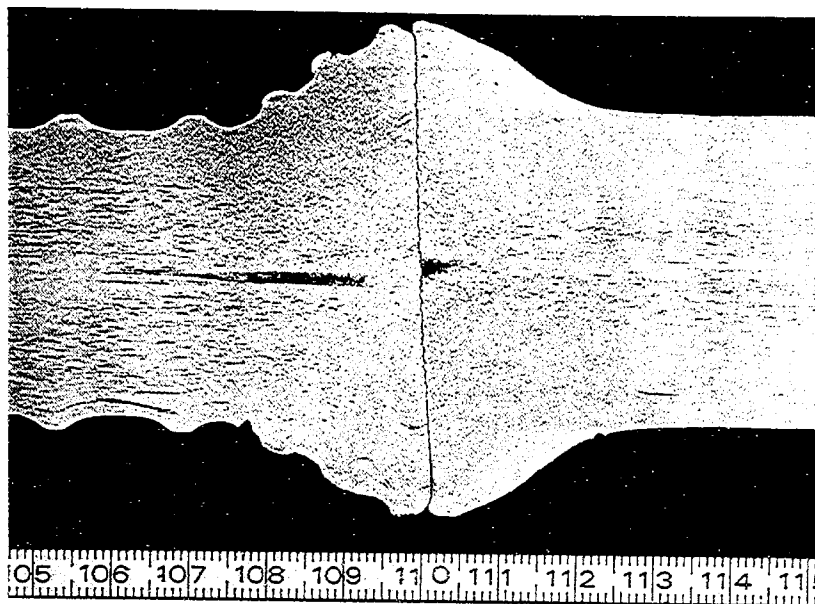
標準圧接

押抜圧接

(a) 引張前



(c) 引張後
(圧接界面破断)



標準圧接

押抜圧接

(a)

— 16 —

(b)

104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116

104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116

標準圧接

押抜圧接

(a)

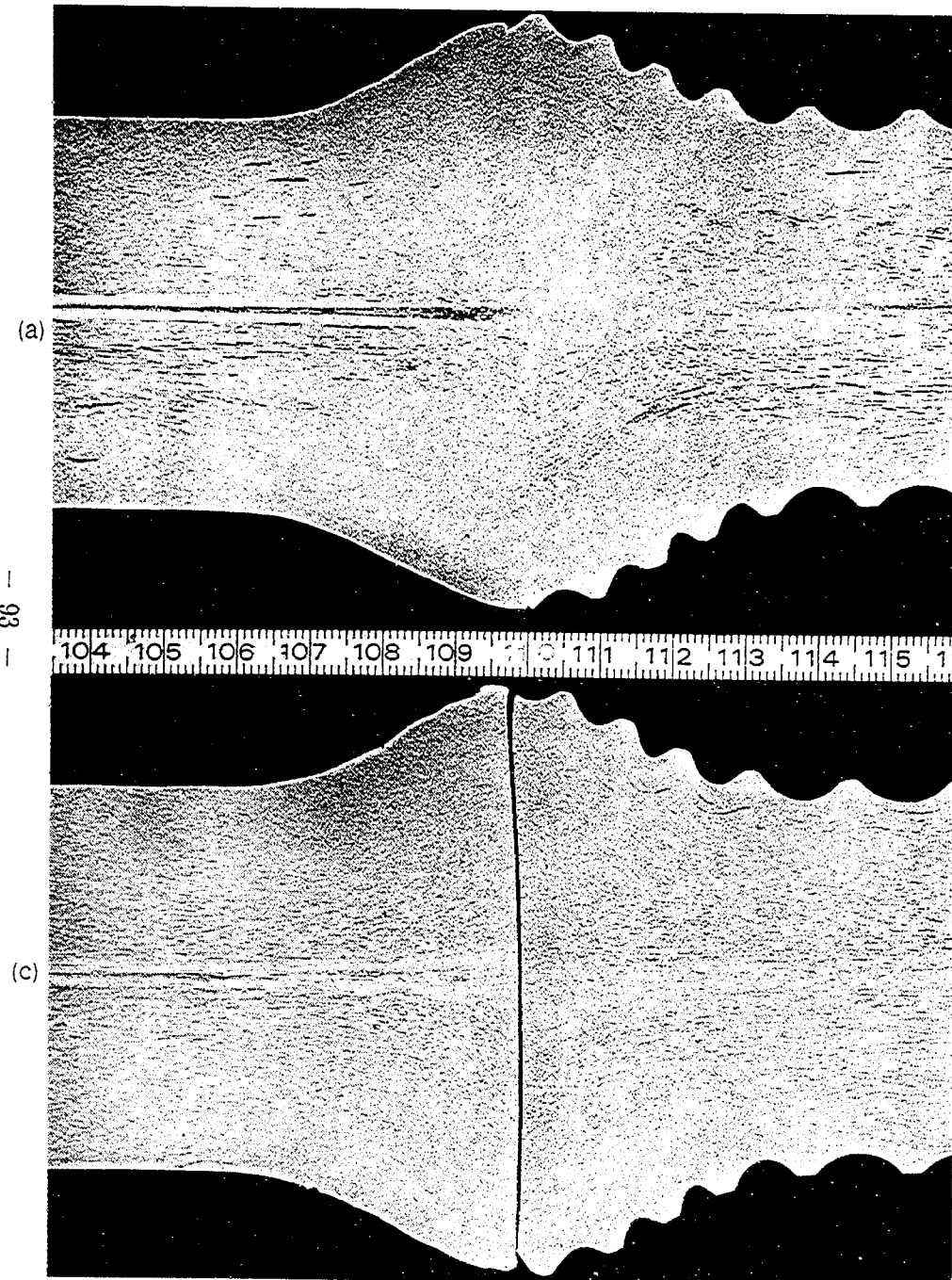
104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116

(c)

104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116

写真-IV. 3.27 マクロ写真 (D51-ペースト2/8(B2)欠陥)

標準圧接



押抜圧接

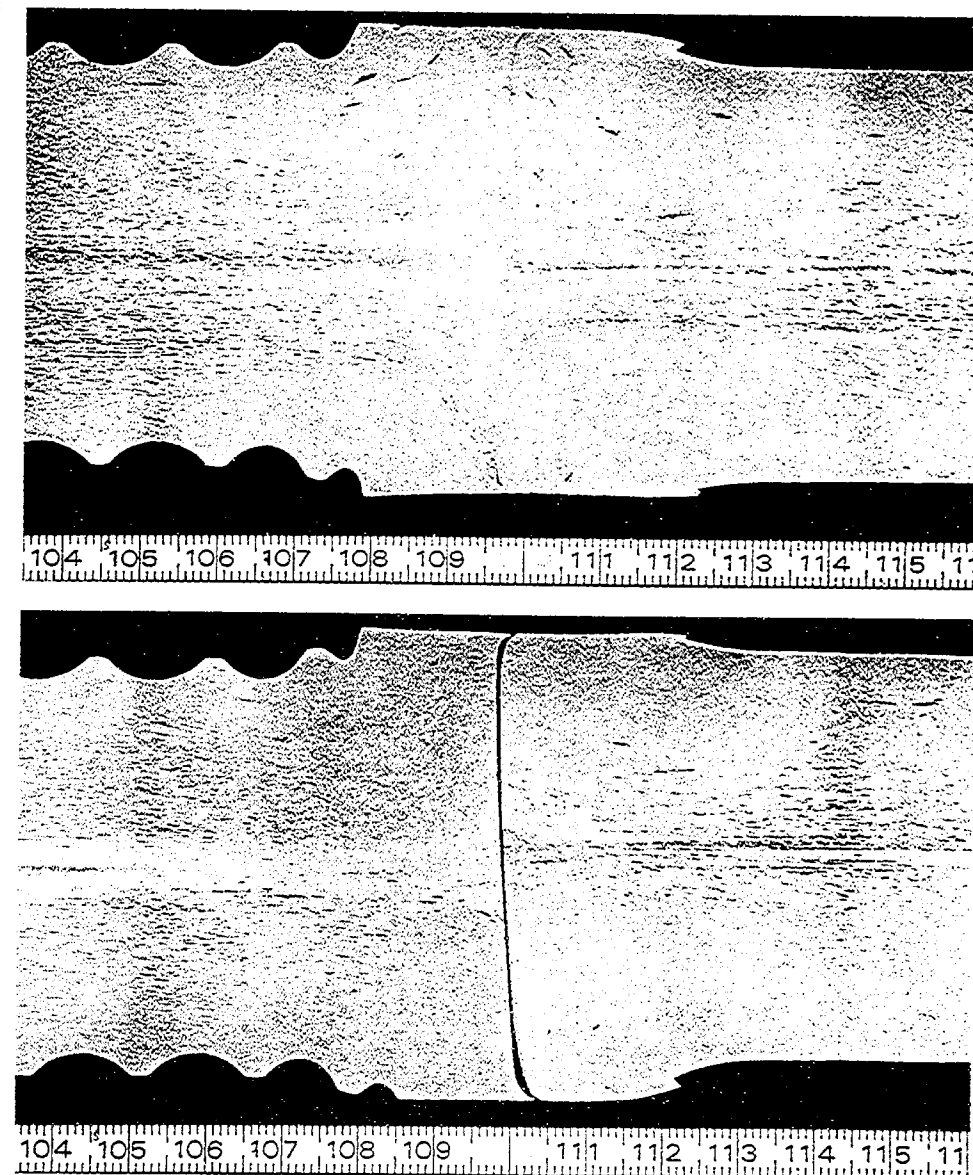
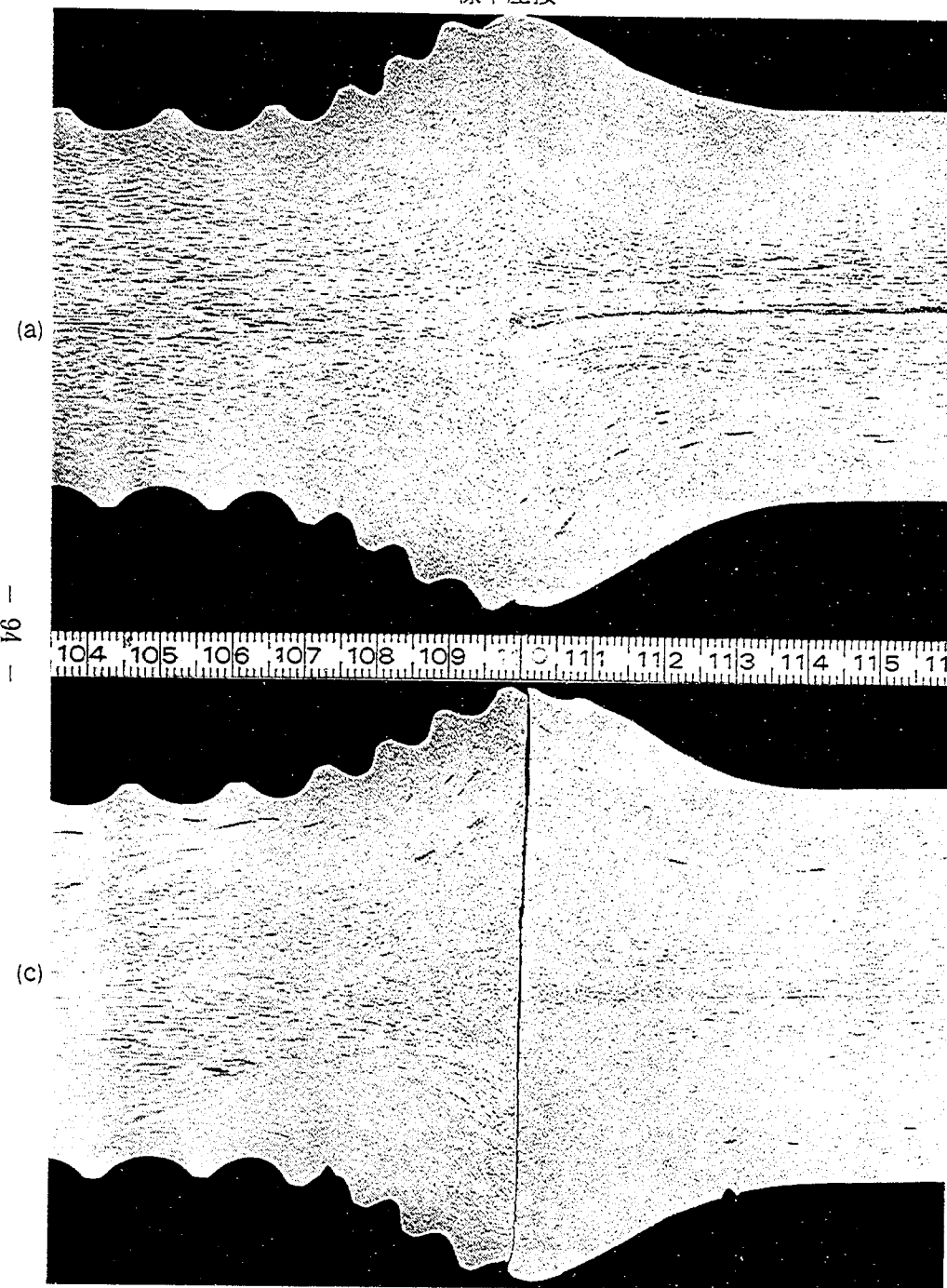


写真-IV. 3.28 マクロ写真 (D51-さび(C)欠陥)

標準圧接



押抜圧接

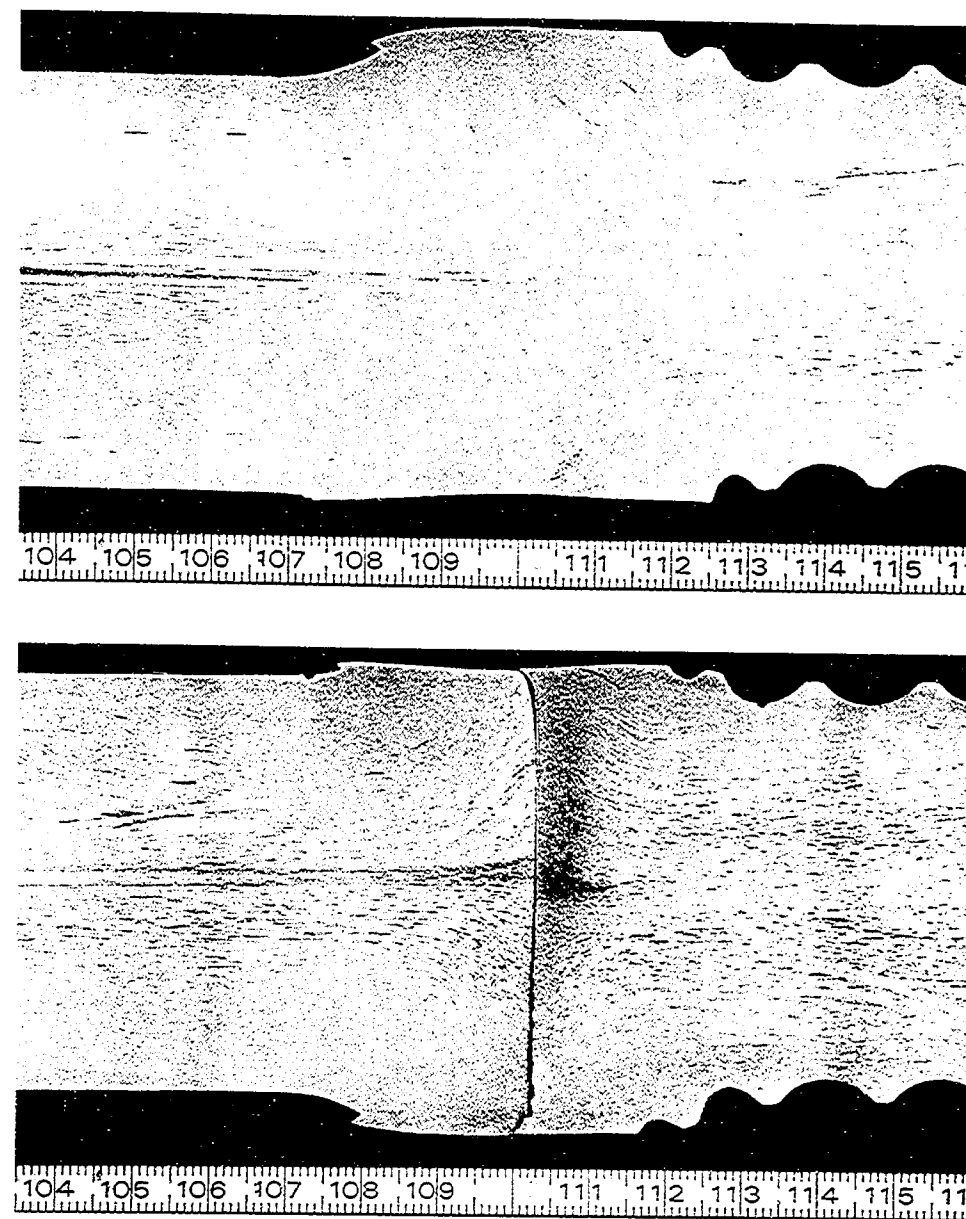
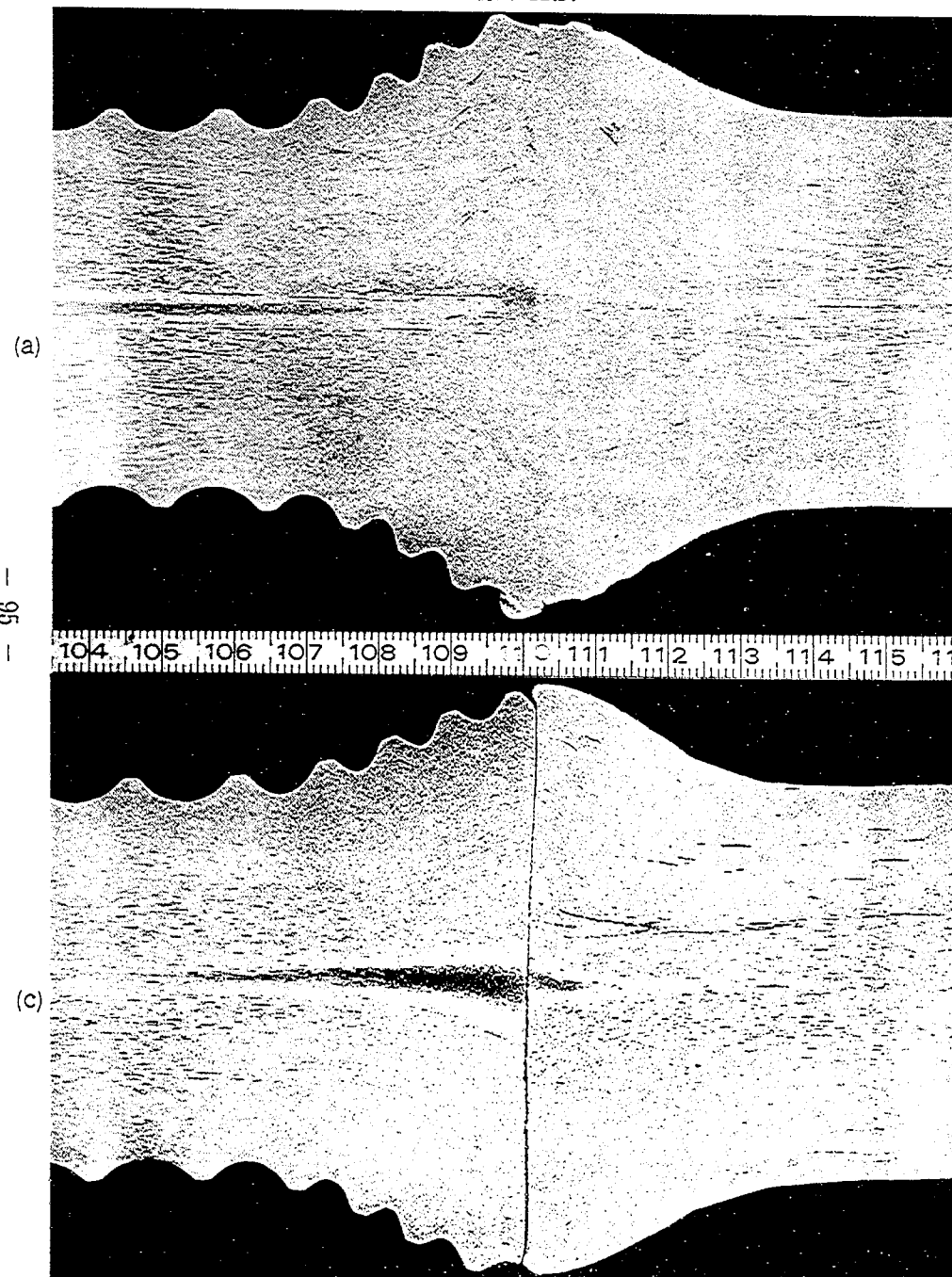
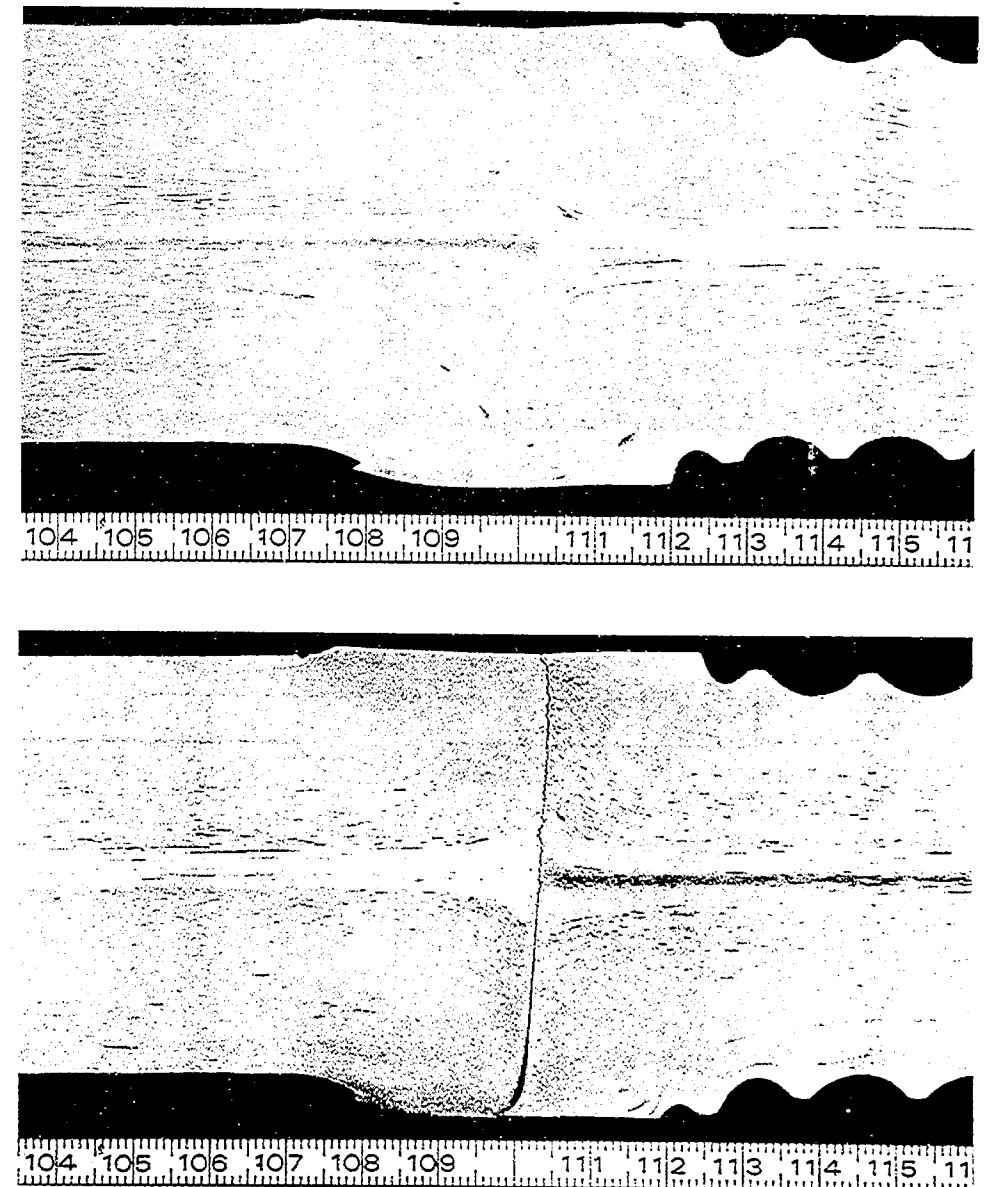


写真-IV. 3. 29 マクロ写真 (D51-ガス切断(D)欠陥)

標準圧接



押抜圧接



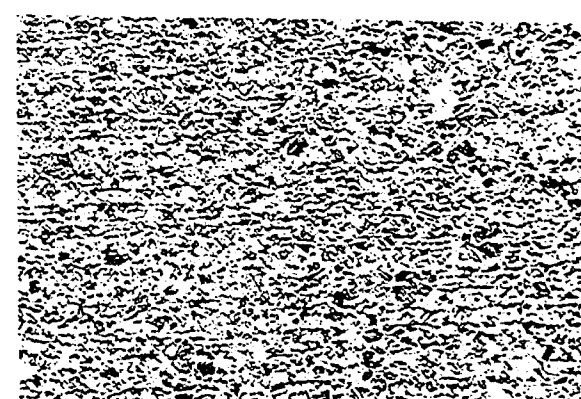
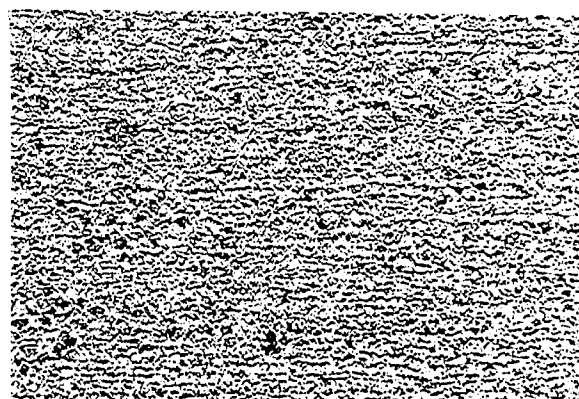
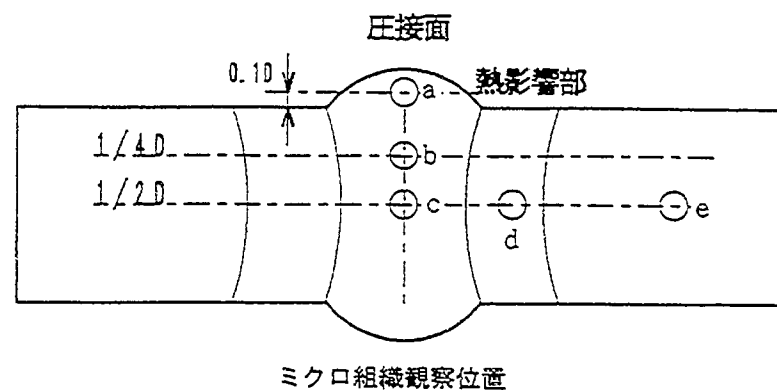
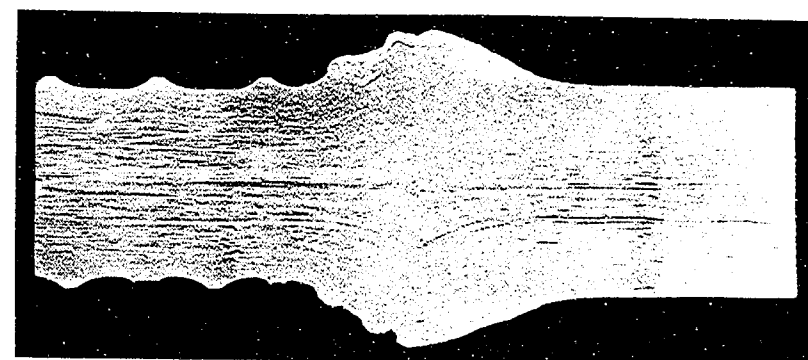
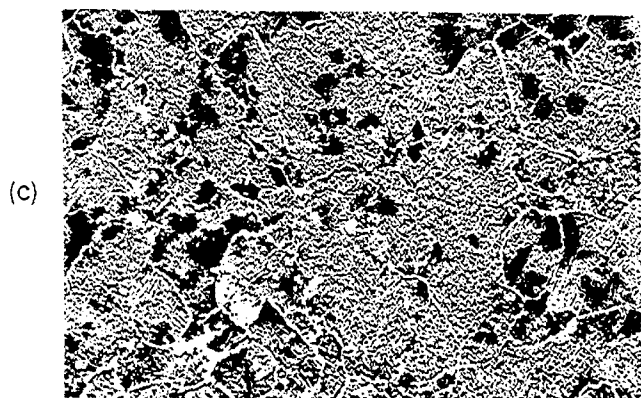
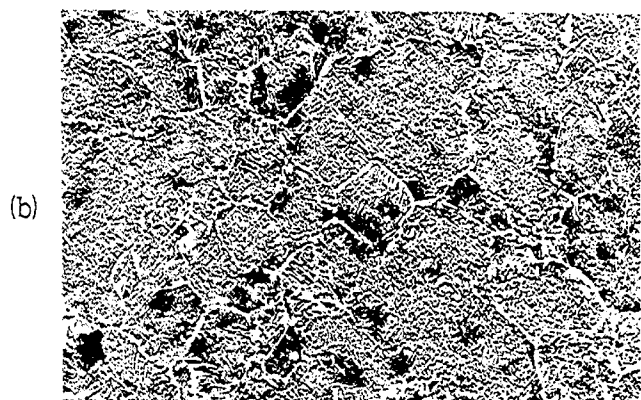
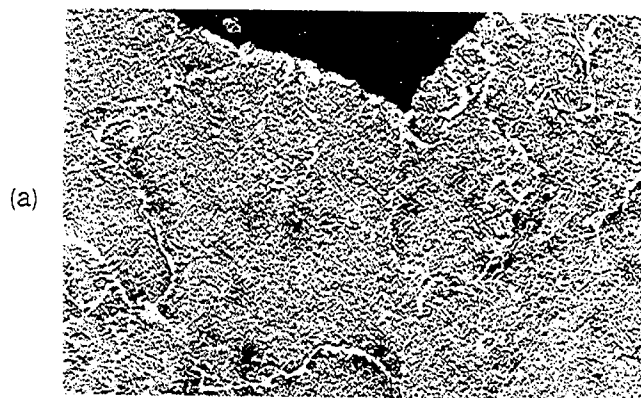


写真-IV. 3.31 マクロ写真 (D25-標準圧接-健全AO)

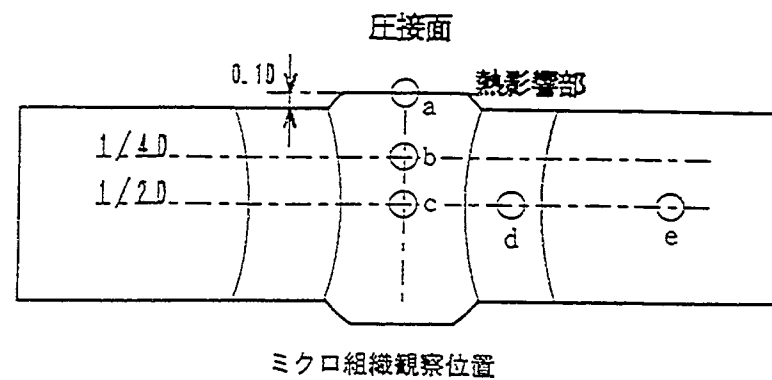
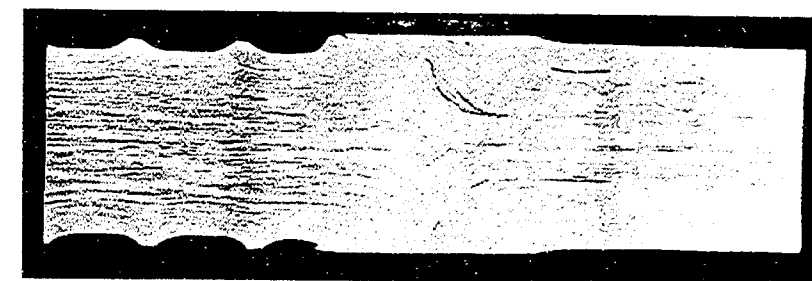
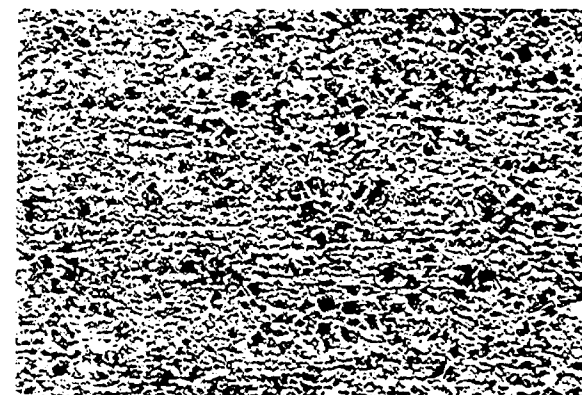
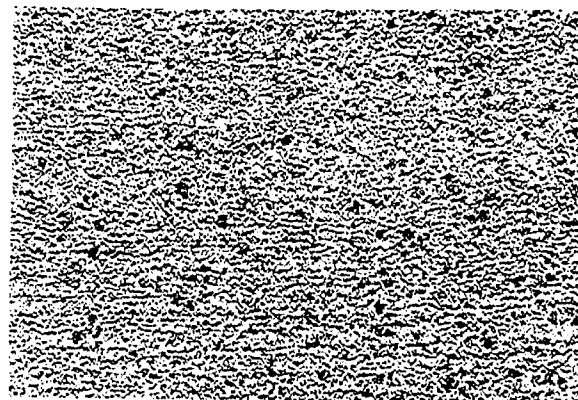
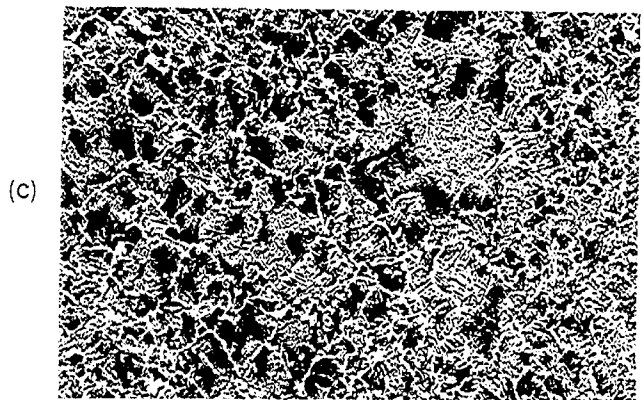
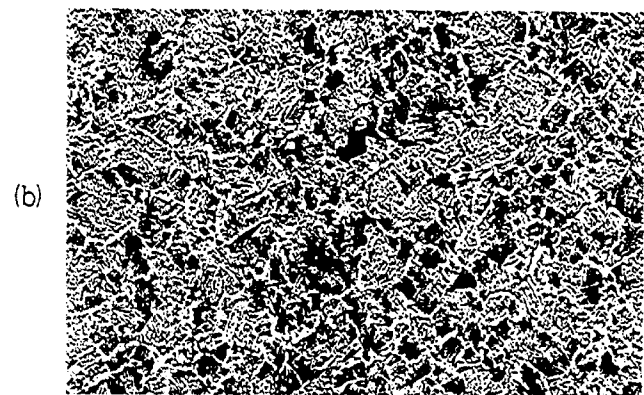
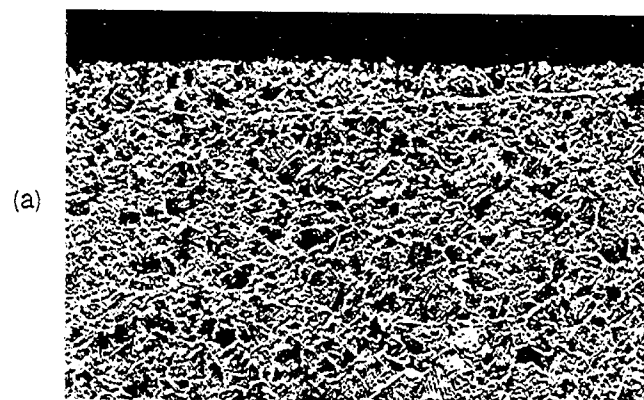
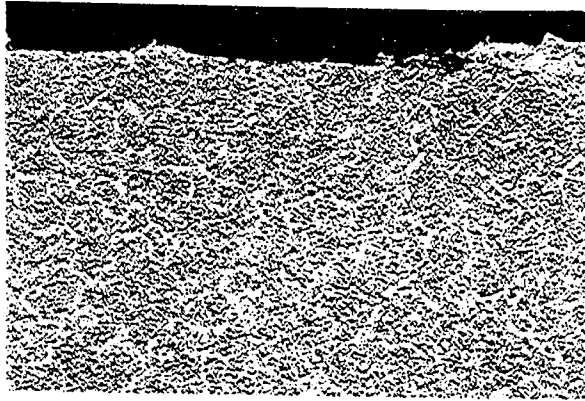
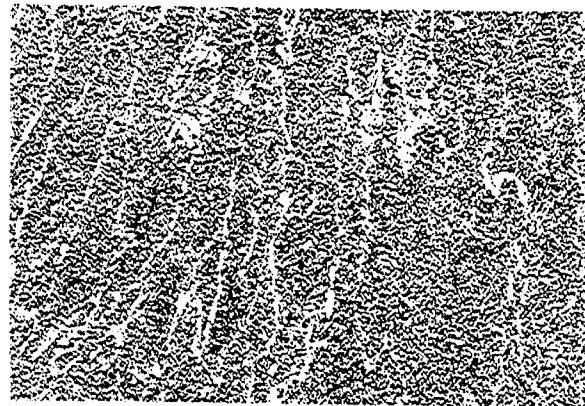


写真-Ⅳ. 3.32 マクロ写真 (D25-押抜圧接-健全AO)

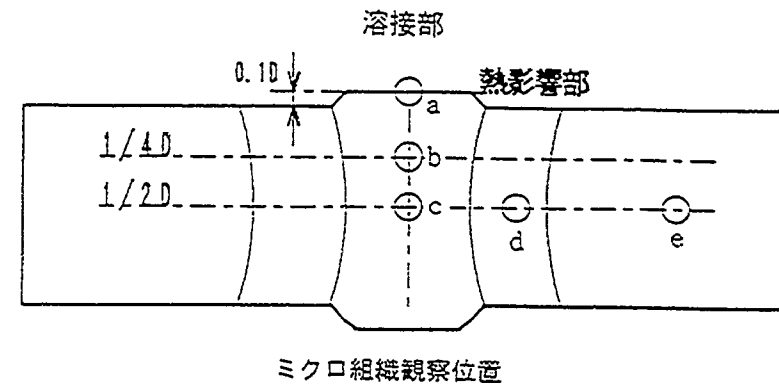
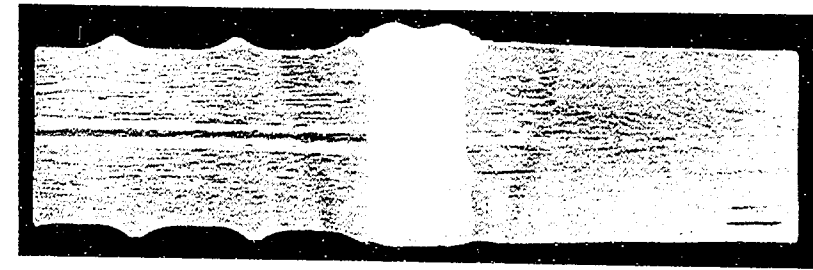
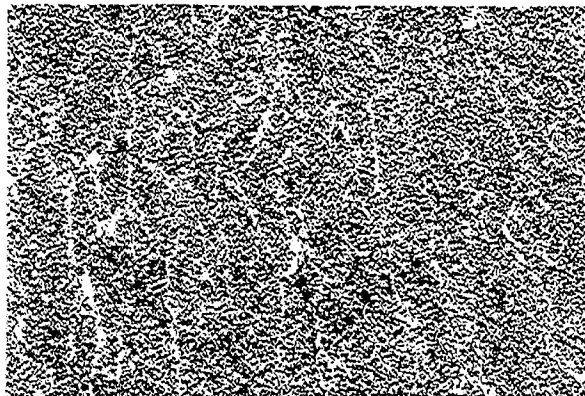
(a)



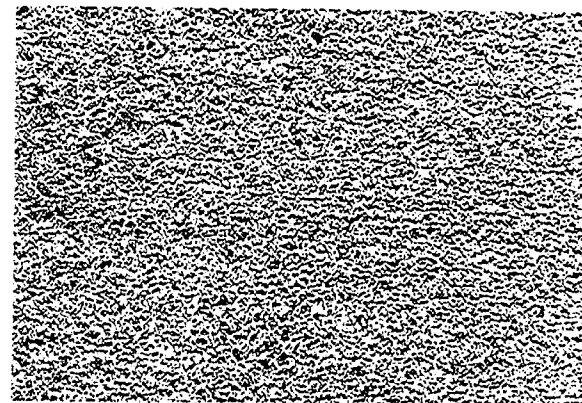
(b)



(c)



(d)



(e)

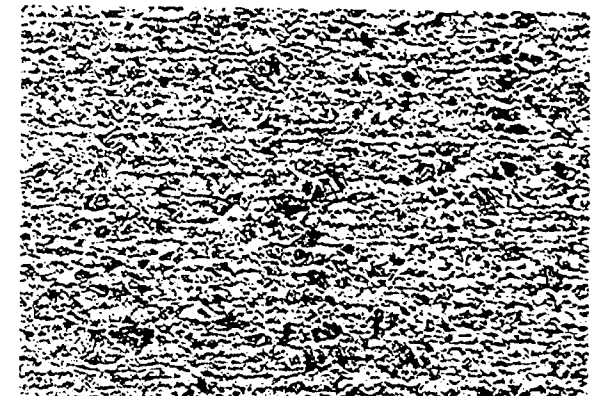
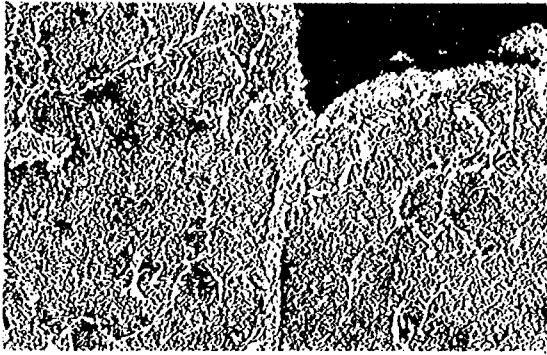


写真-IV. 3.33 マクロ写真 (D25-エンクローズ溶接)

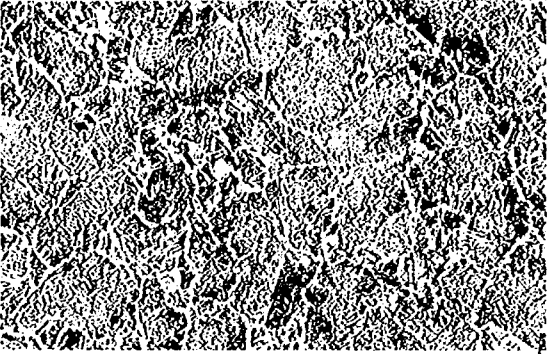
標準圧接

抑板圧接

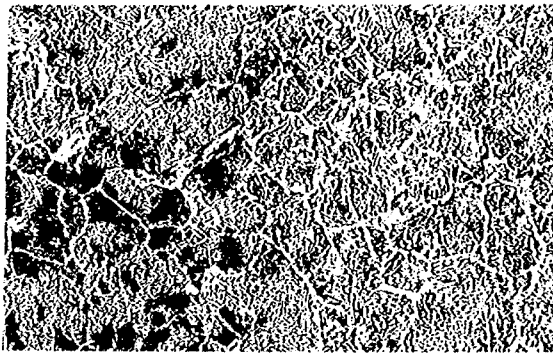
(a)



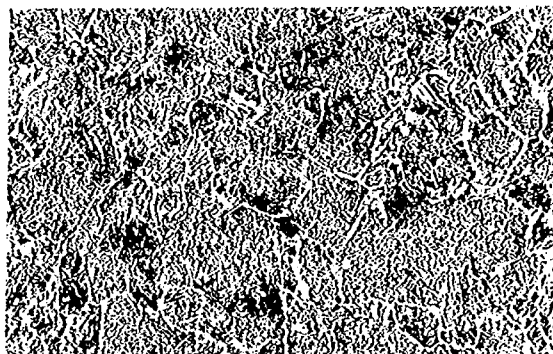
(b)



(c)



(d)



(e)

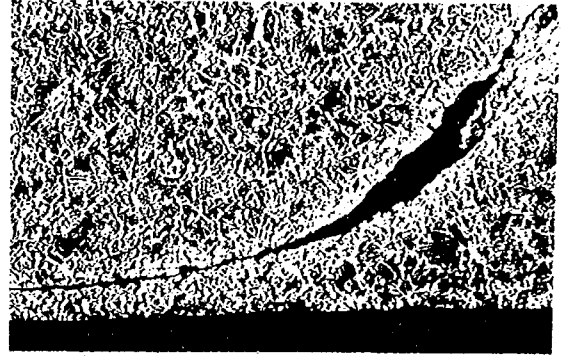
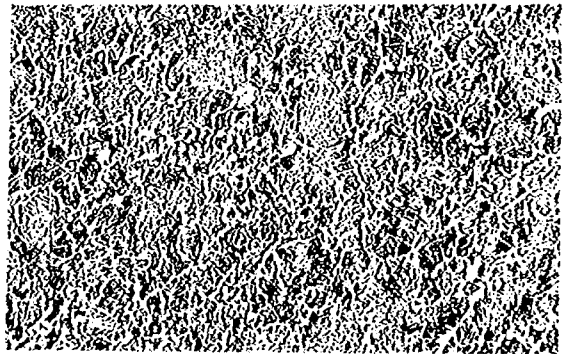
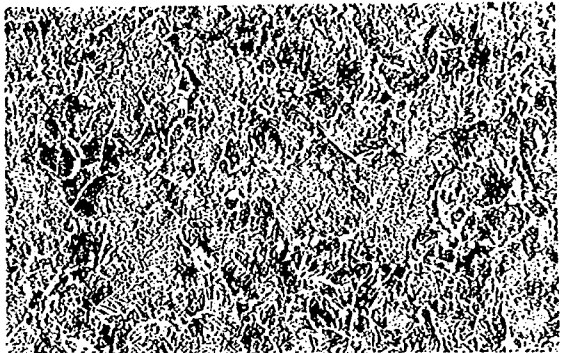
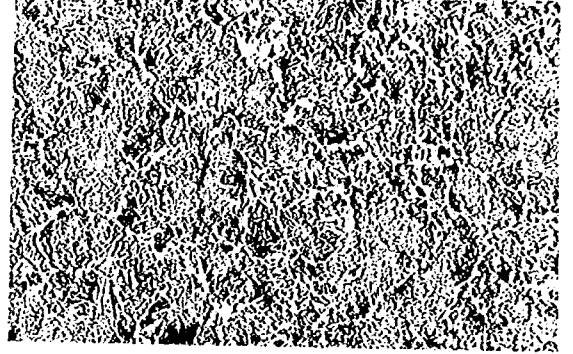
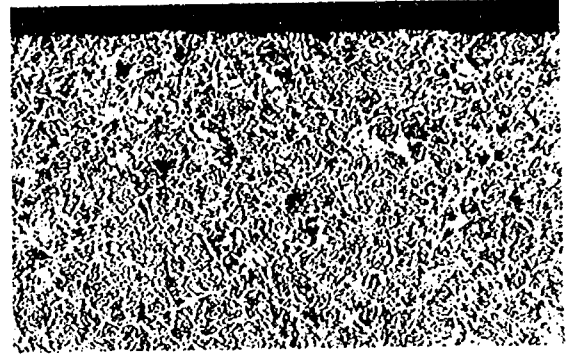
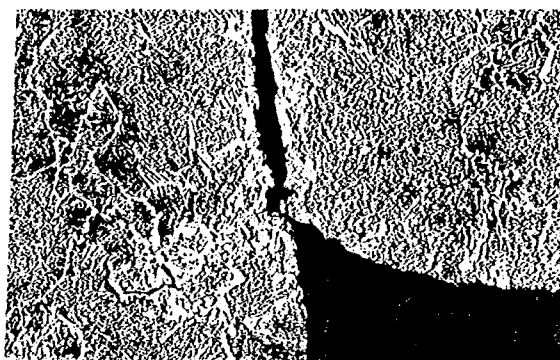


写真-IV. 3.34 マクロ写真 (D25-ペースト 1/8 (B 1)欠陥)

標準圧接

抑拔圧接

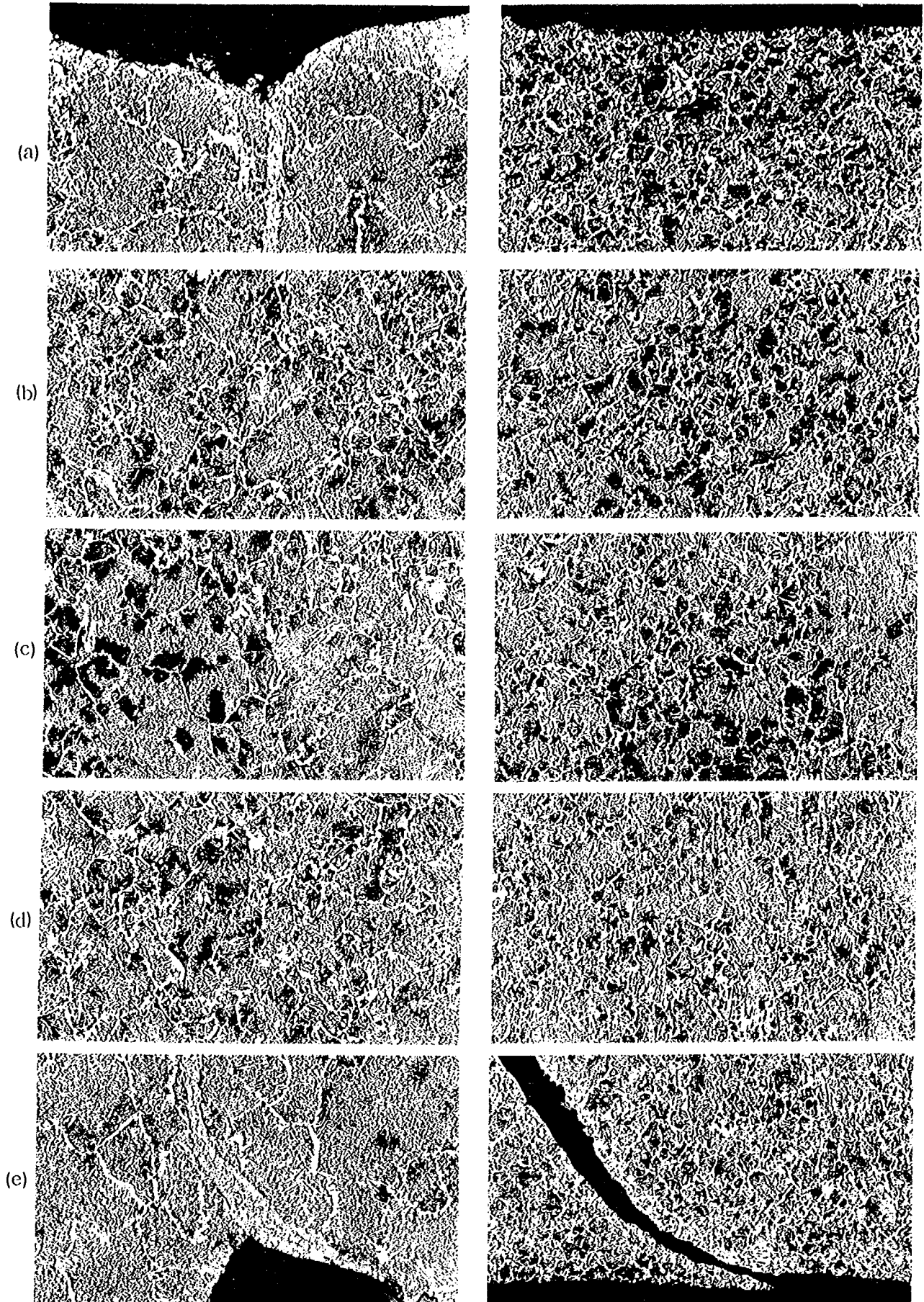


写真-IV. 3.35 マクロ写真 (D25-ペースト 2/8 (B 2) 欠陥)

標準圧接

押抜圧接

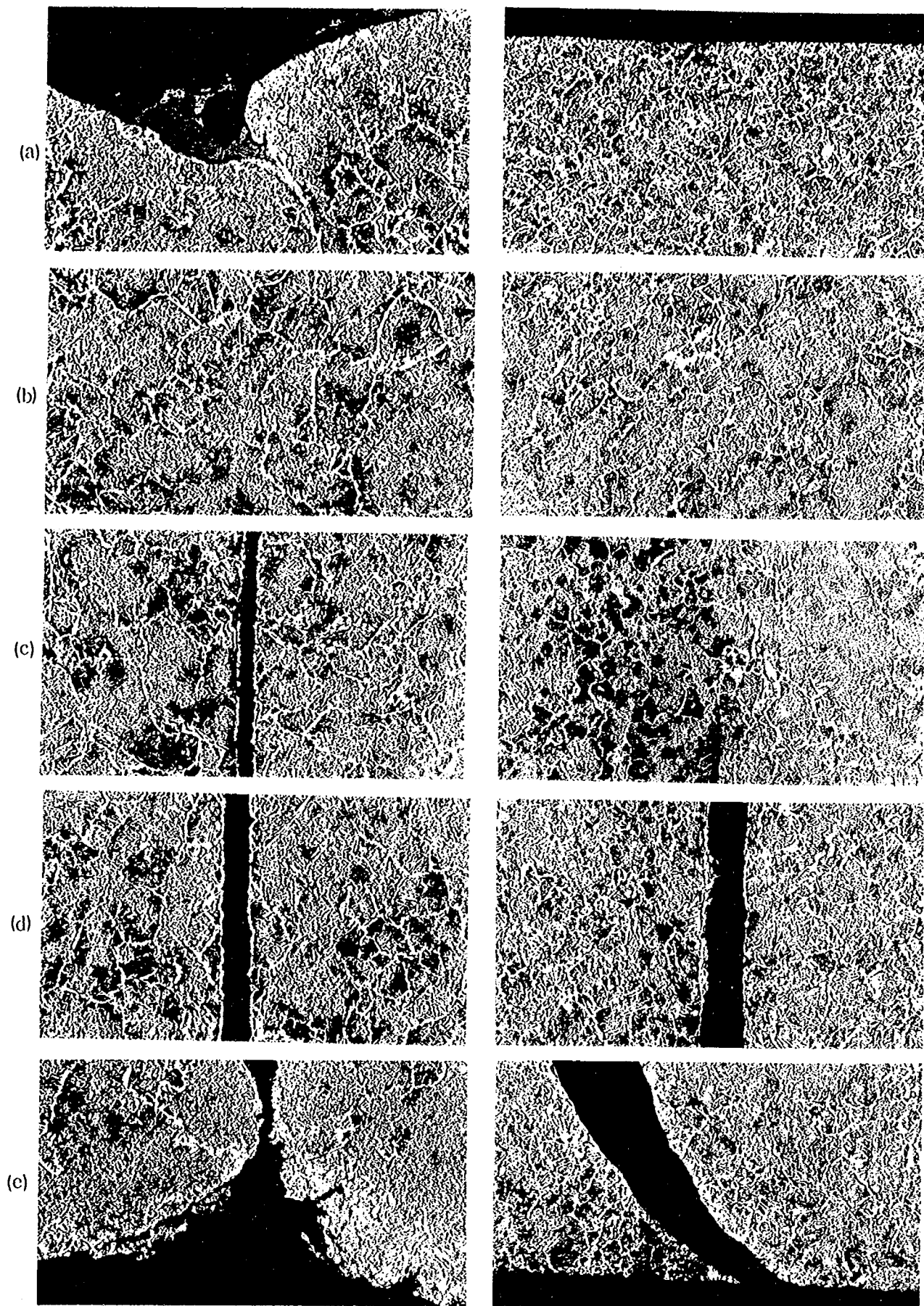


写真-Ⅳ. 3.36 マクロ写真 (D25-ペースト 4/8 (B 4)欠陥)

標準圧接

押抜圧接

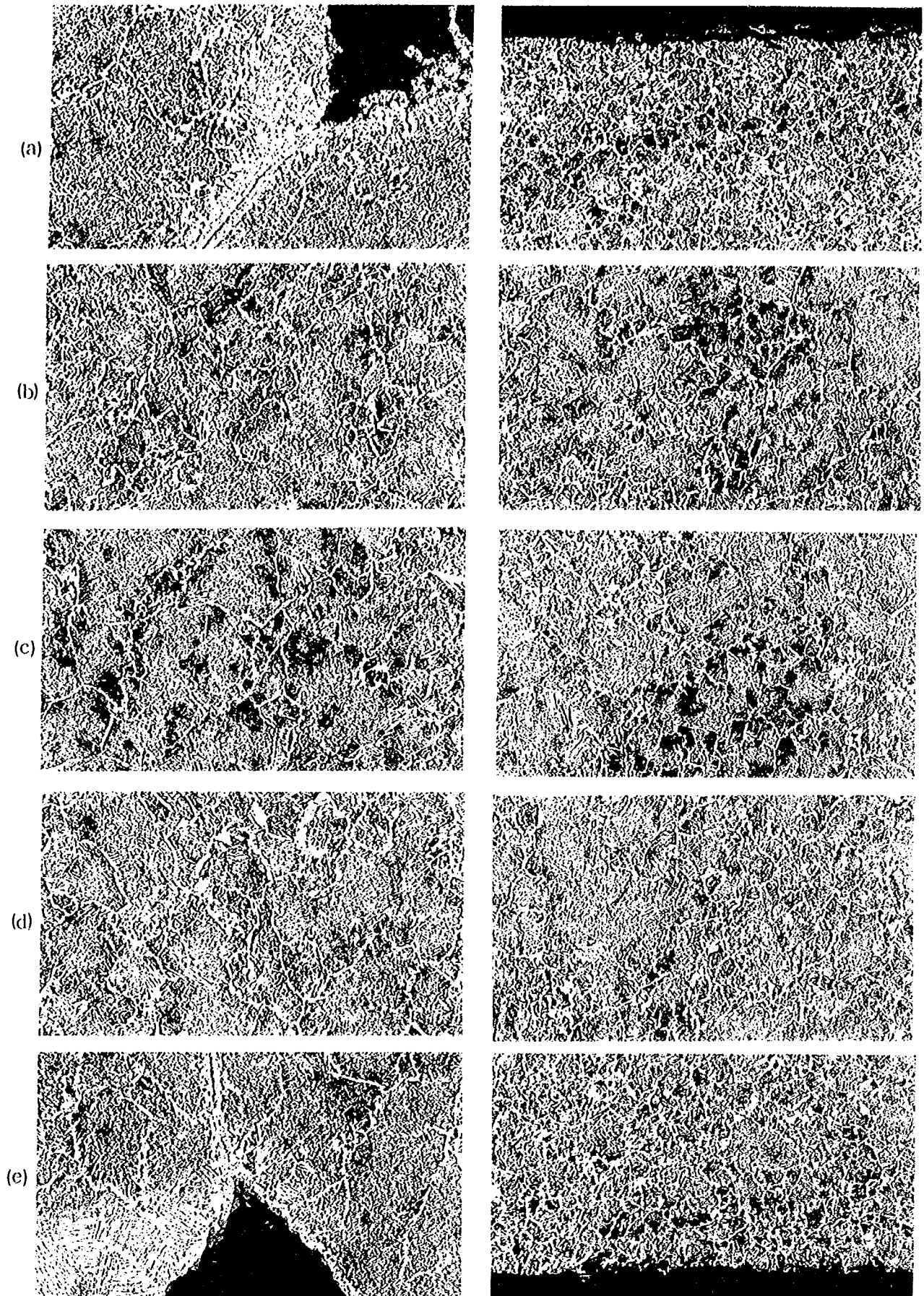
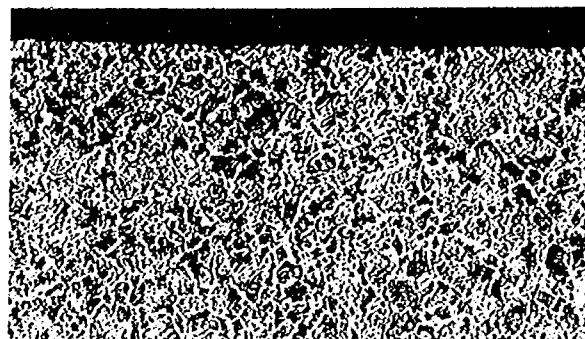


写真-IV. 3.37 マクロ写真 (D25-さび(C)欠陥)

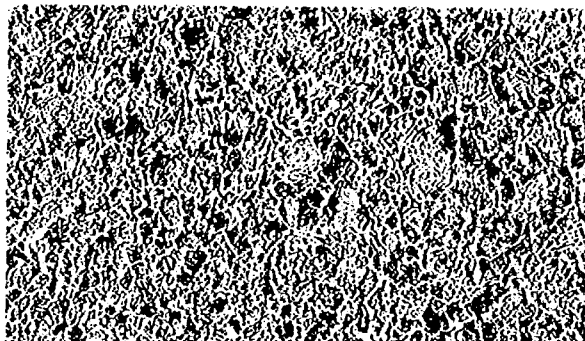
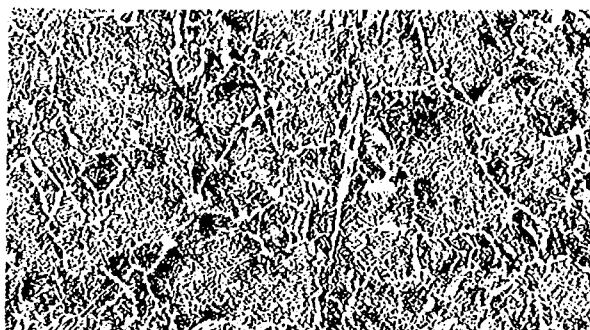
標準圧接

押抜圧接

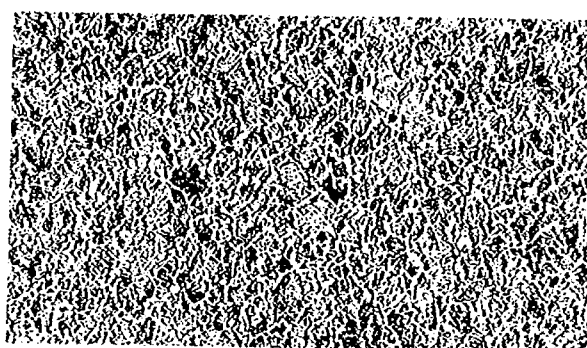
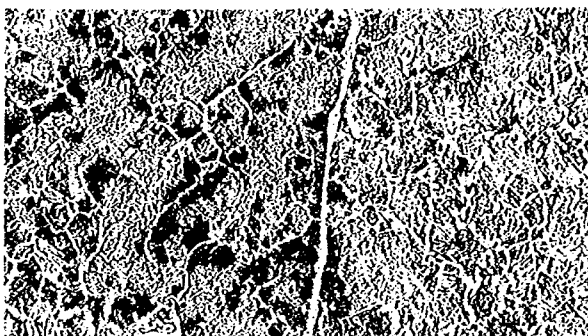
(a)



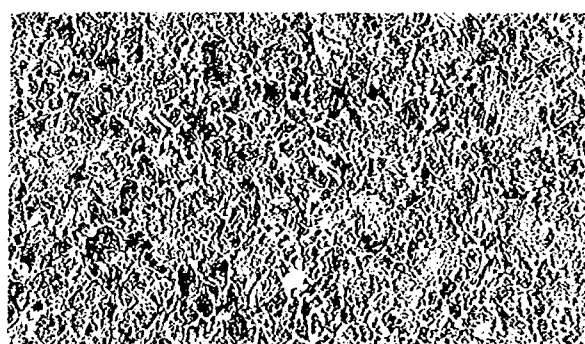
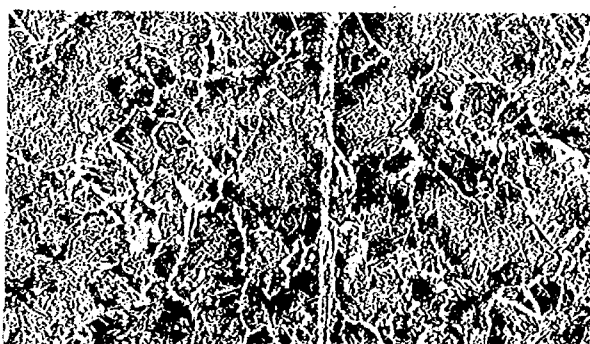
(b)



(c)



(d)



(e)

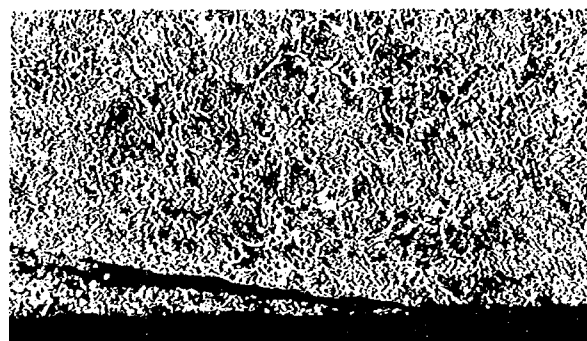
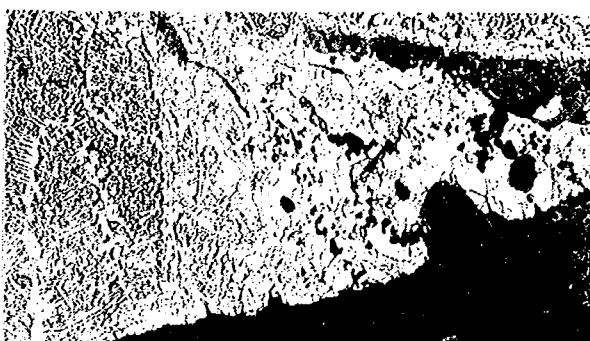


写真-IV. 3.38 マクロ写真 (D25-ガス切断(D)欠陥)

標準圧接

押抜圧接

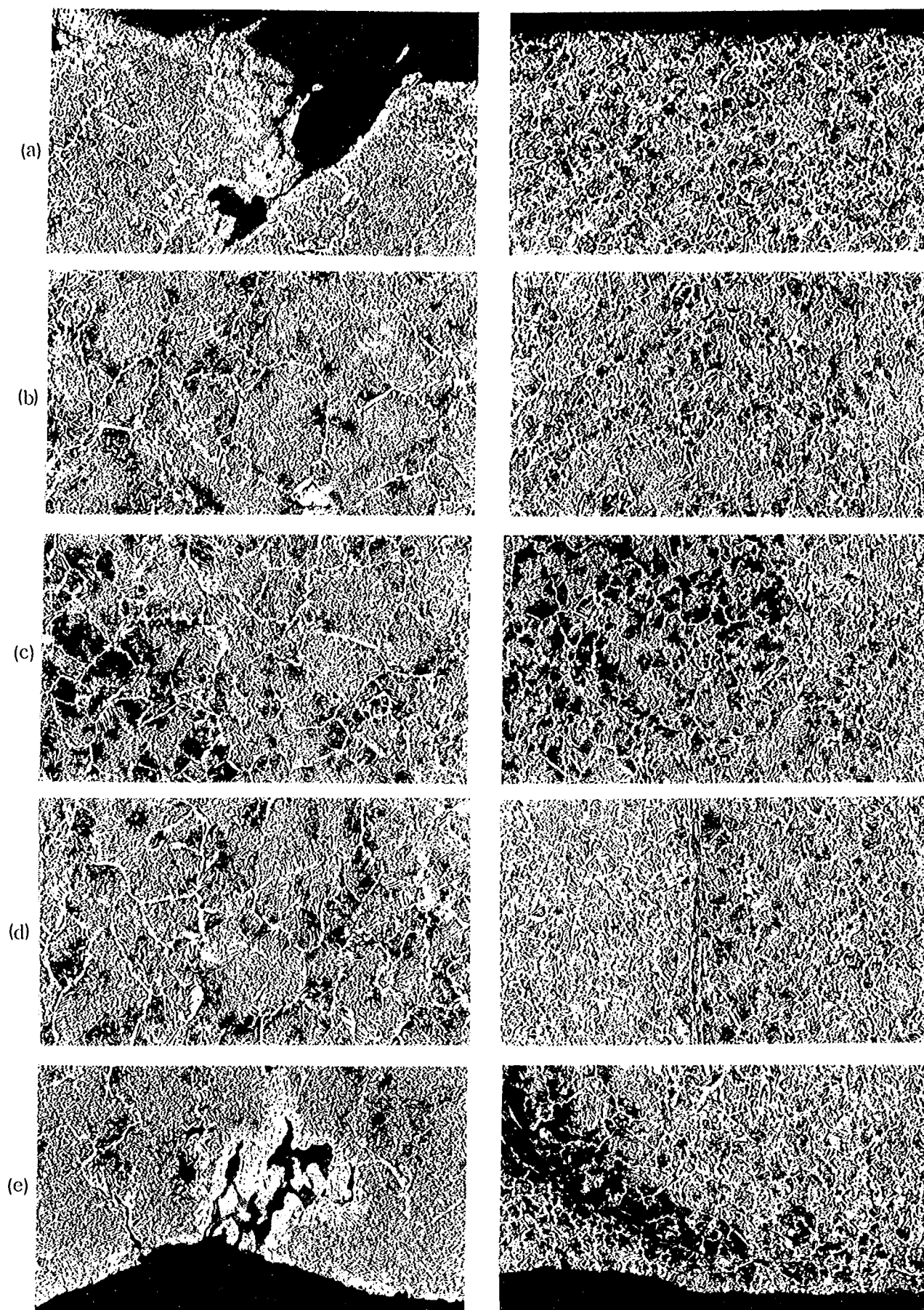
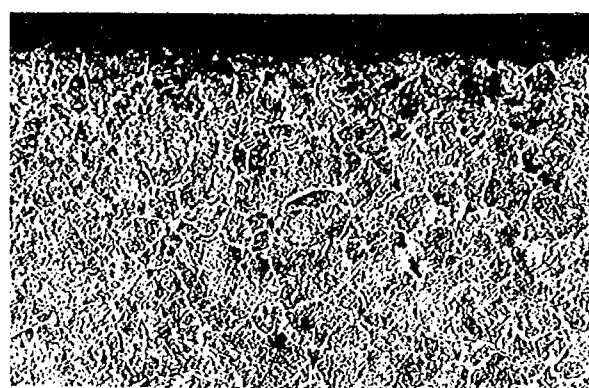
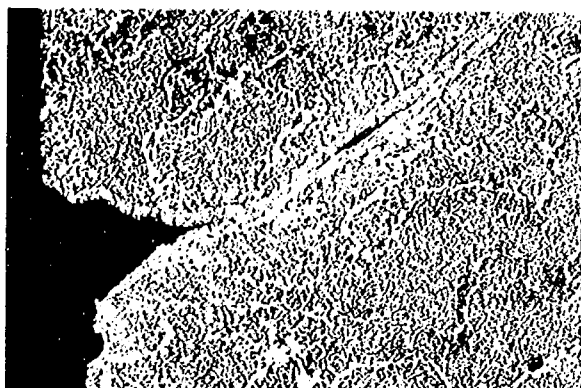


写真-Ⅳ. 3.39 マクロ写真 (D25-塗料(E)欠陥)

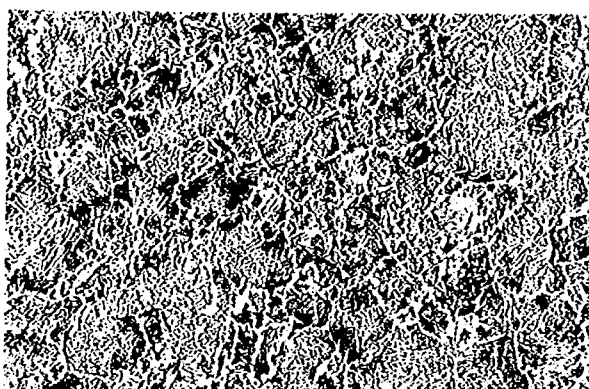
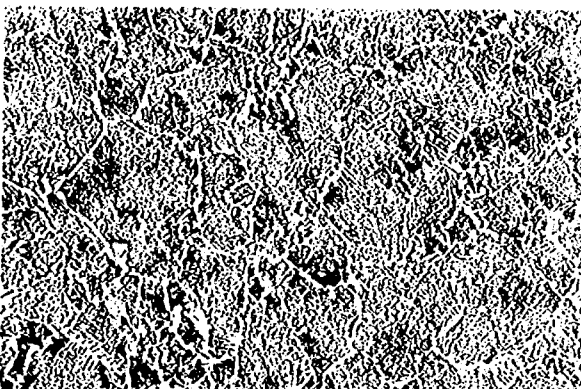
標準圧接

押抜圧接

(a)



(b)



(c)

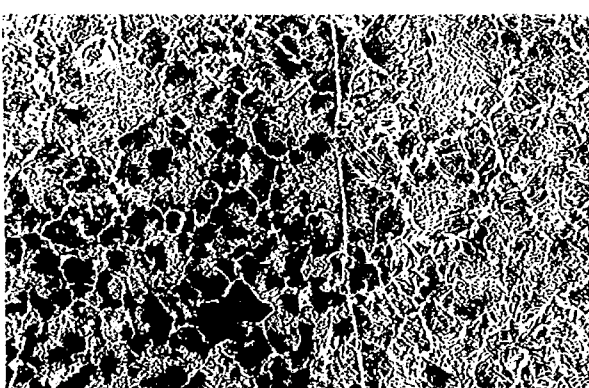
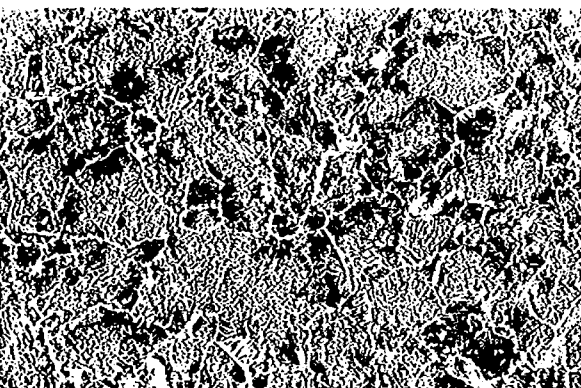
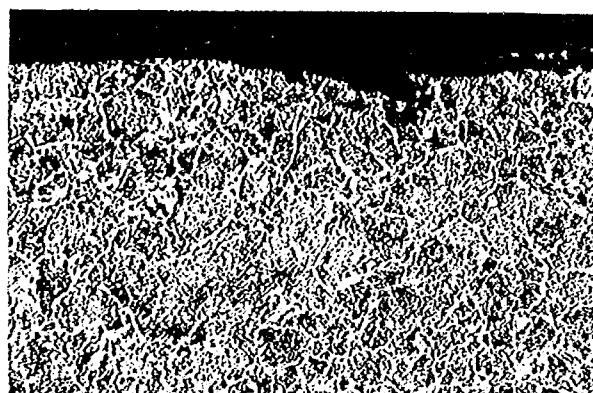


写真-IV. 3.40 マクロ写真 (D25-バーナーのずれ(F)欠陥)

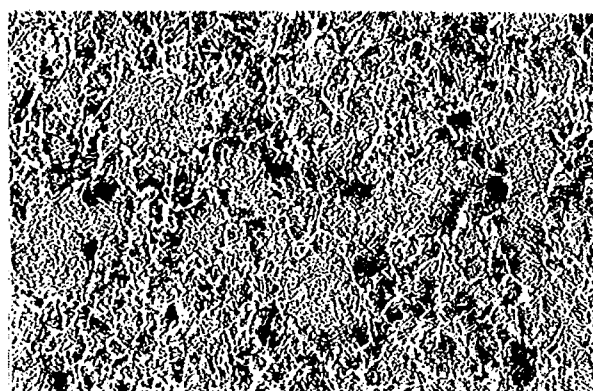
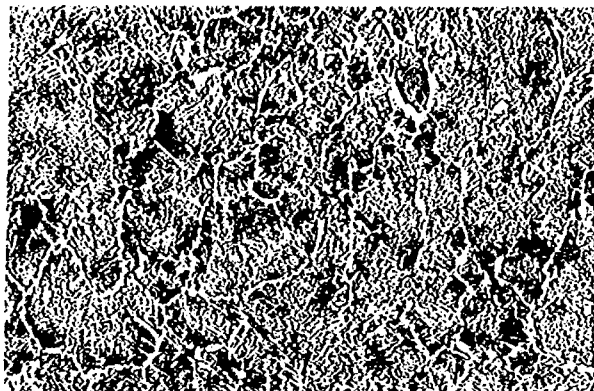
標準圧接

押抜圧接

(a)



(b)



(c)

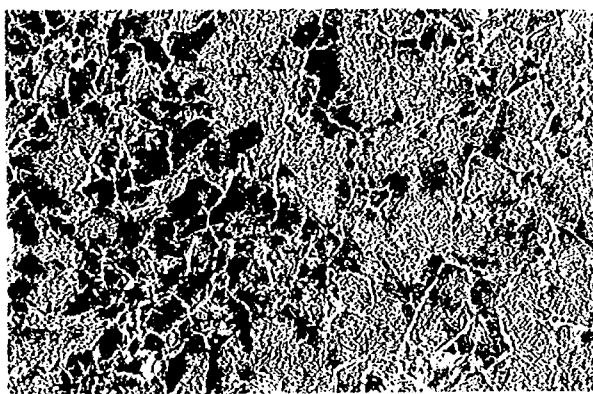
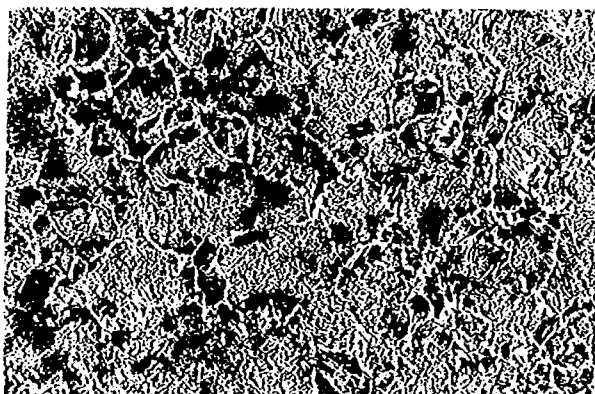


写真-Ⅳ. 3. 41 マクロ写真 (D25-中性炎加熱(G)欠陥)

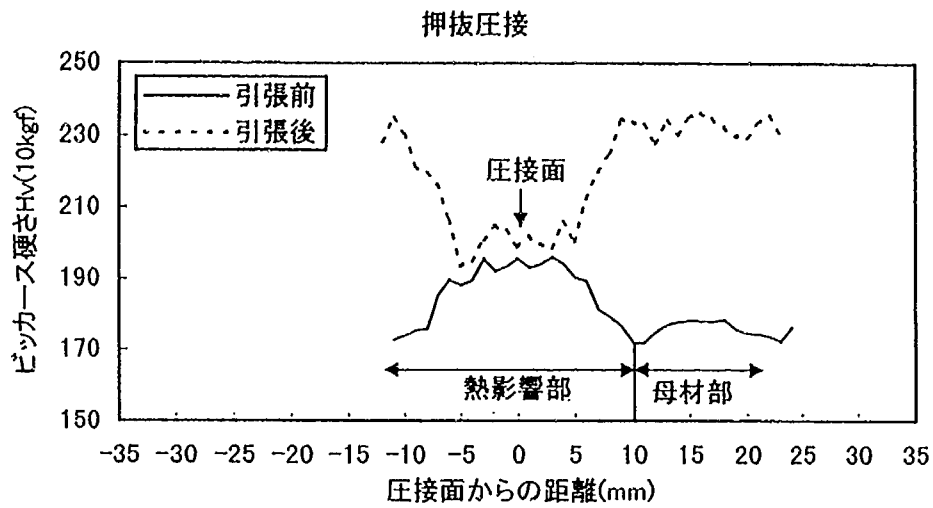
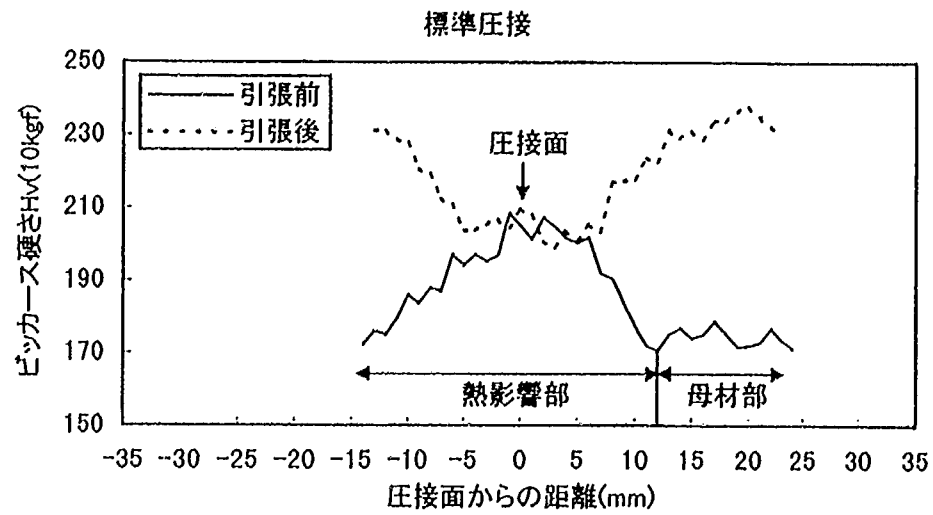
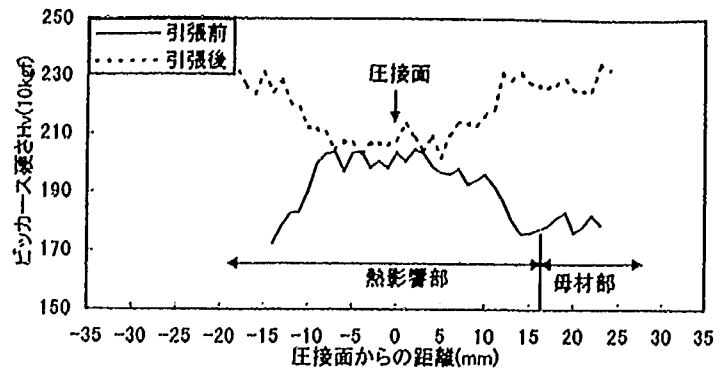
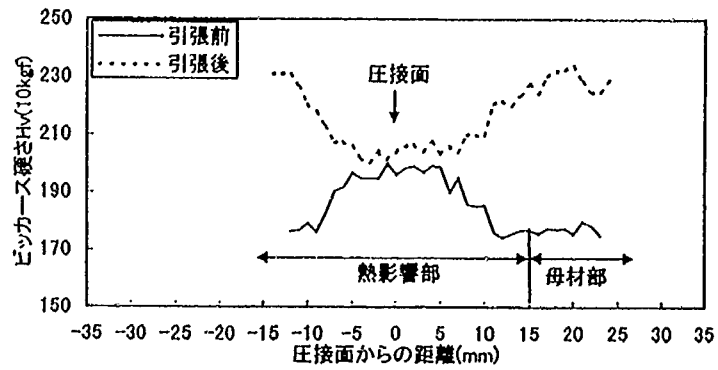


図-IV. 3.1 硬さ分布 (D19)

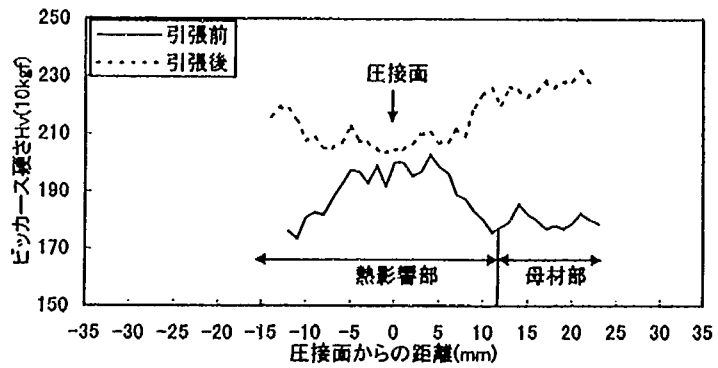
標準圧接



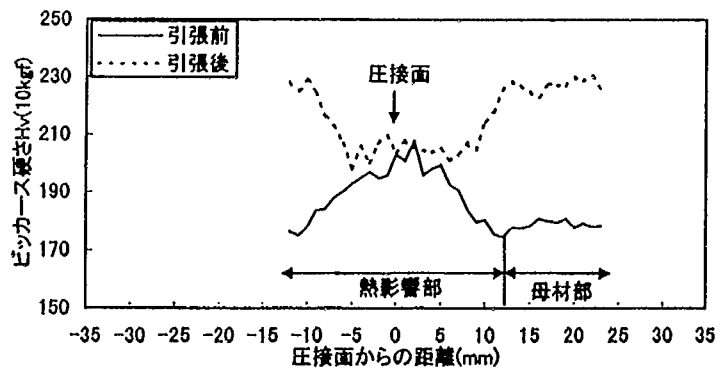
押抜圧接1. 2D



押抜圧接1. 3D



押抜圧接1. 4D



エンクローズ溶接

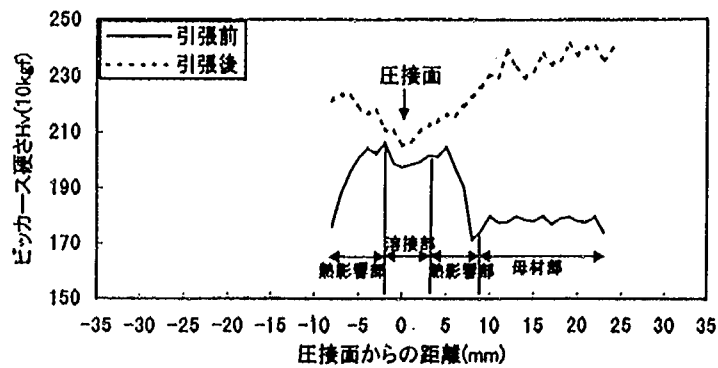


図-IV. 3. 2 硬さ分布 (D25)

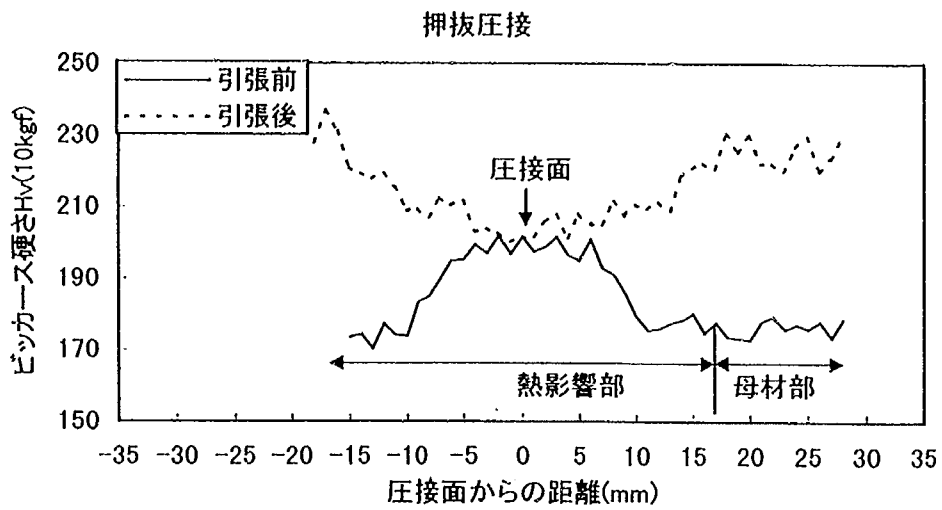
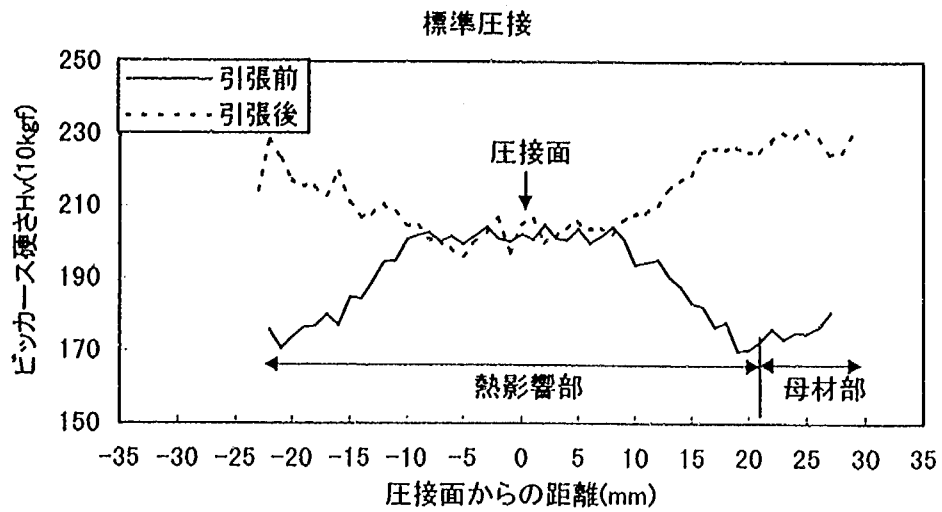


図-IV. 3. 3 硬さ分布 (D38)

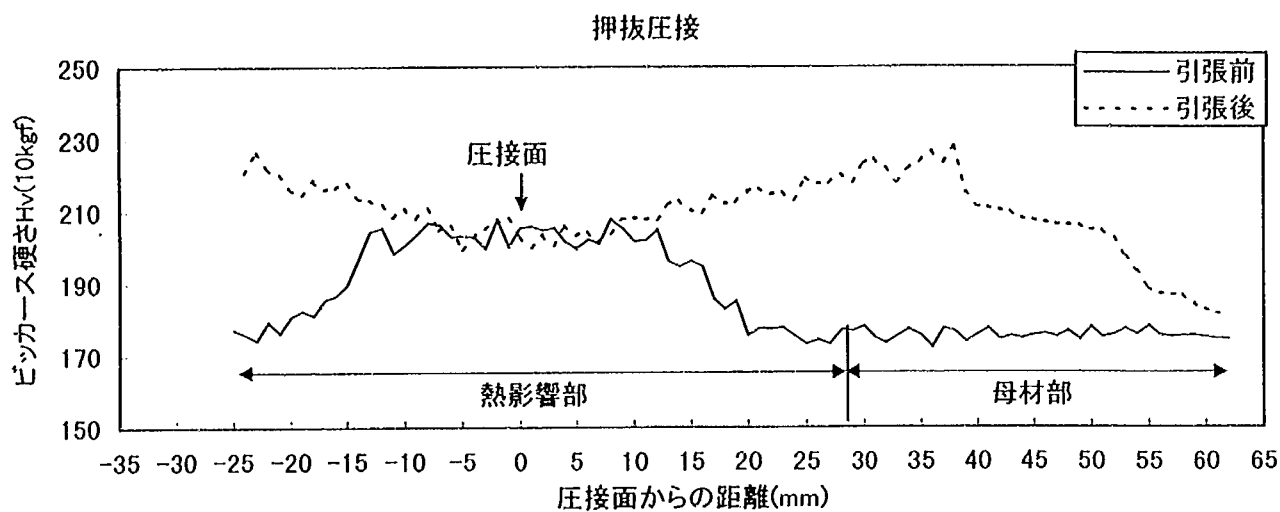
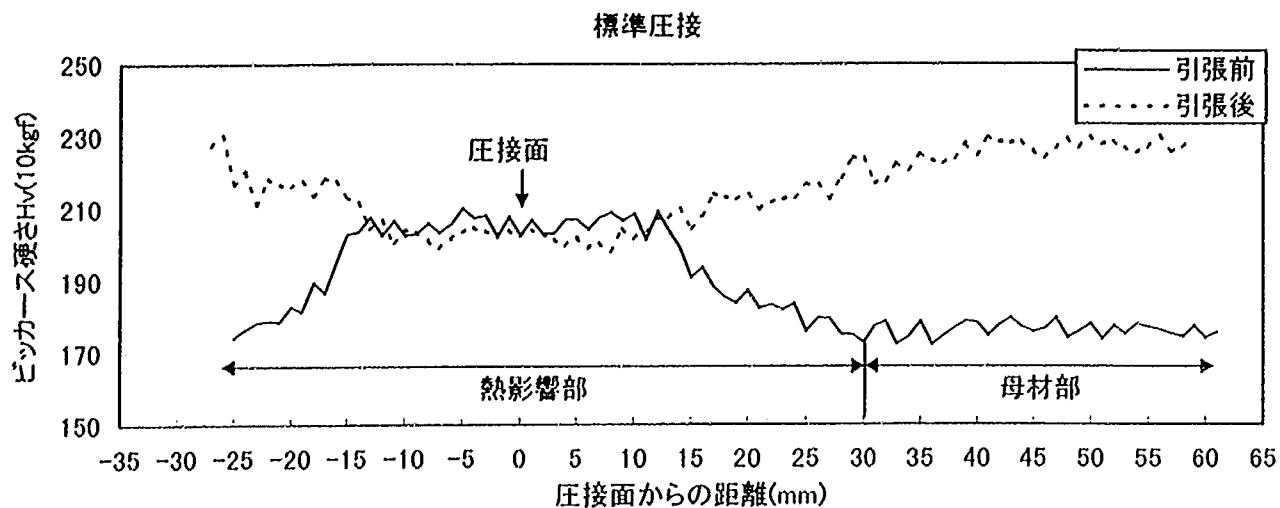
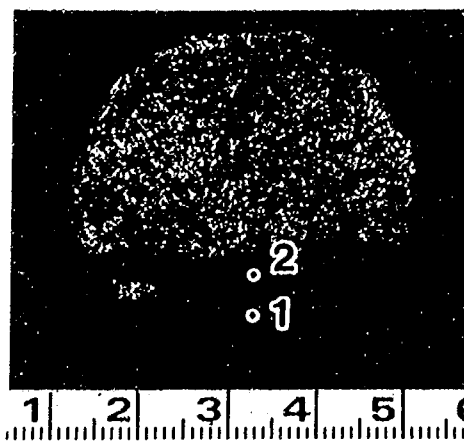


図-IV. 3. 4 硬さ分布 (D51)



D25 標準圧接ペースト 2/8(B2)欠陥の破面およびEDX分析位置

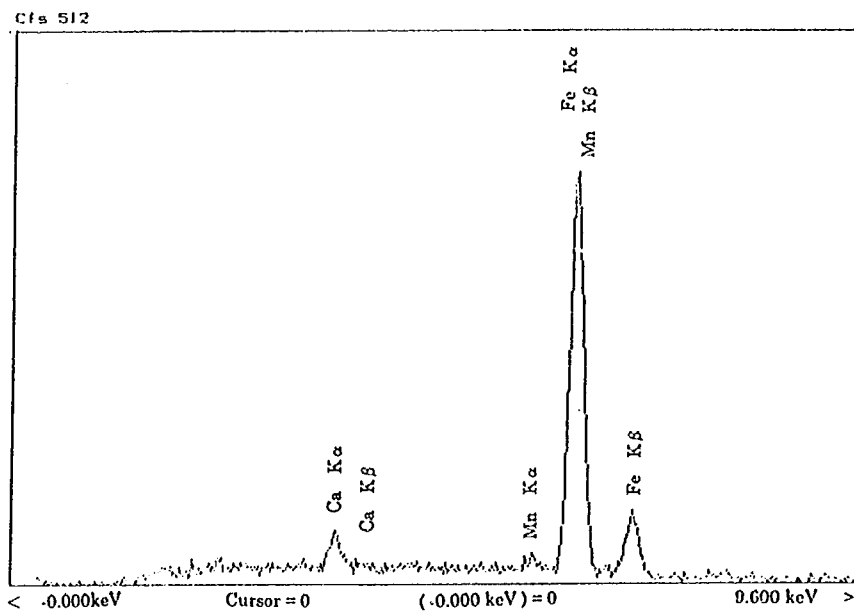
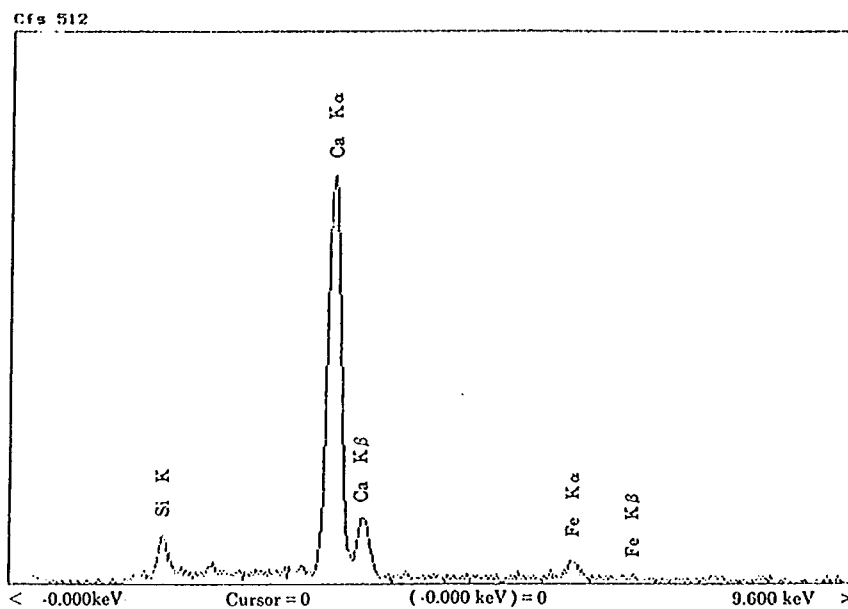
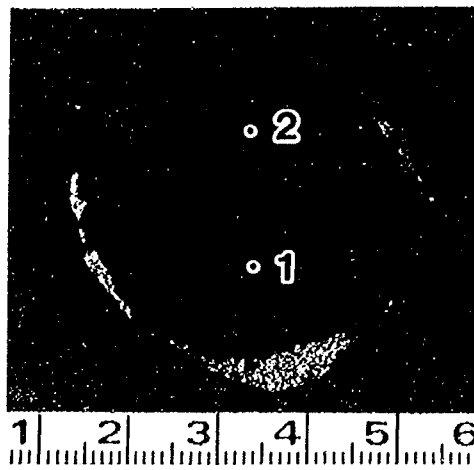


図-IV. 3. 5 D25 標準圧接ペースト 2/8(B2)欠陥のEDX分析結果



D25 標準圧接さび(C)欠陥の破面およびEDX分析位置

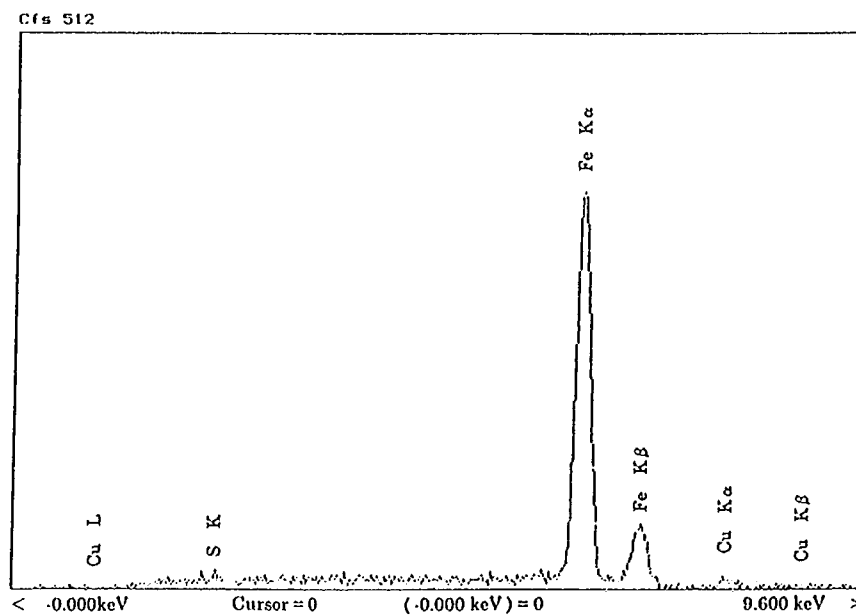
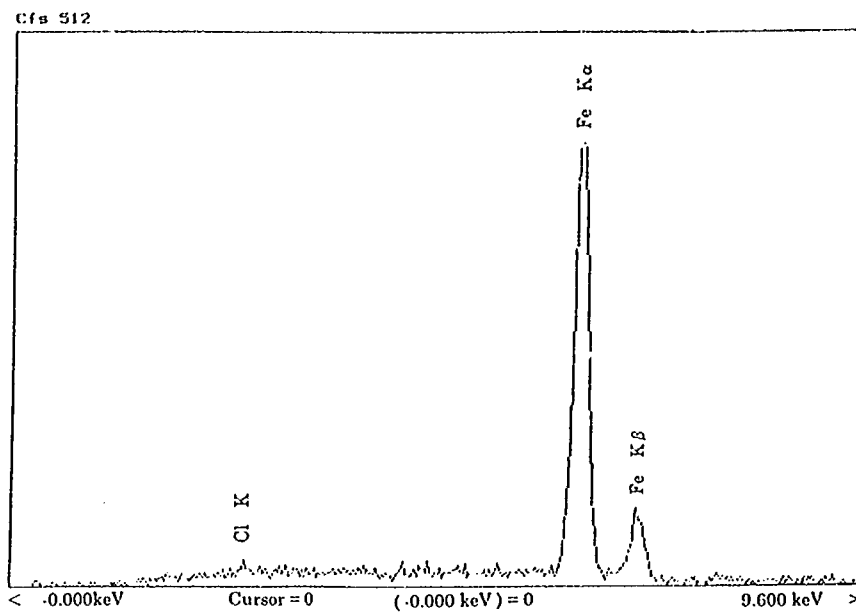
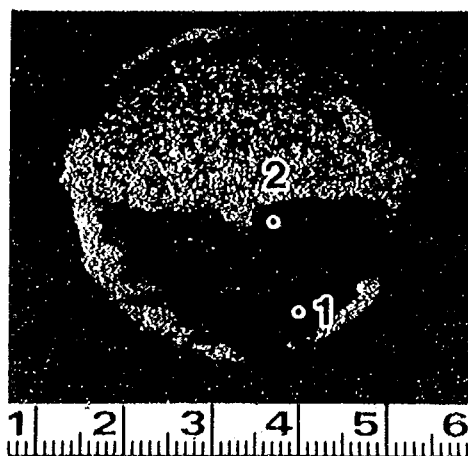


図-IV. 3. 6 D25 標準圧接さび(C)欠陥のEDX分析結果



D25 標準圧接ガス切断(D)欠陥の破面およびEDX分析位置

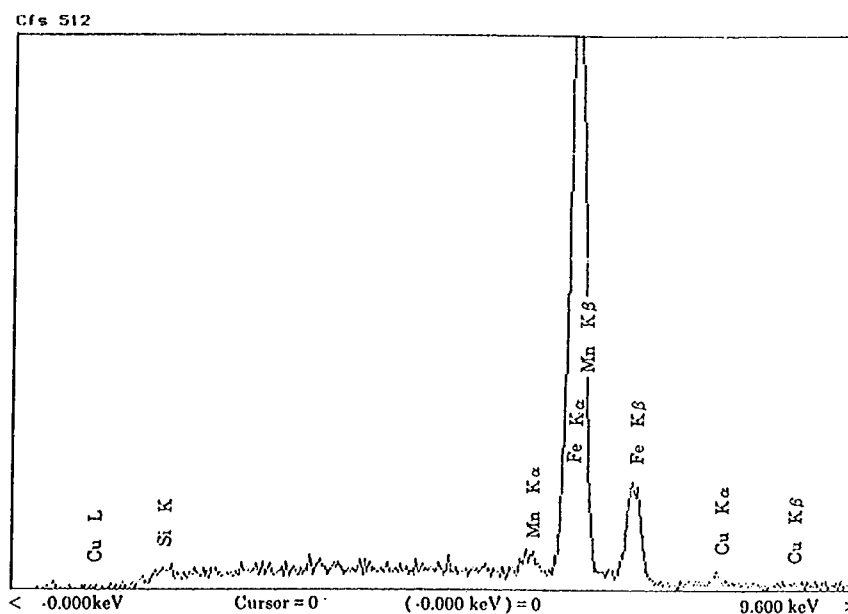
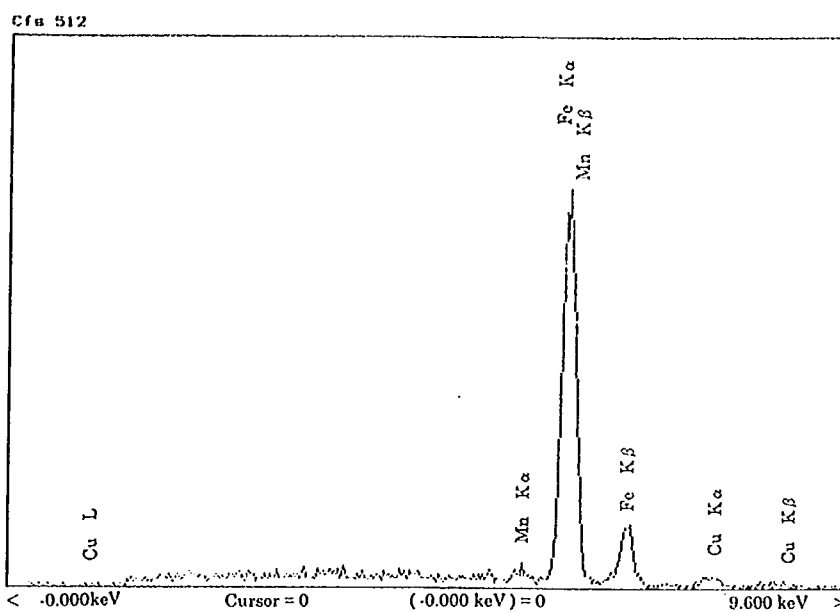
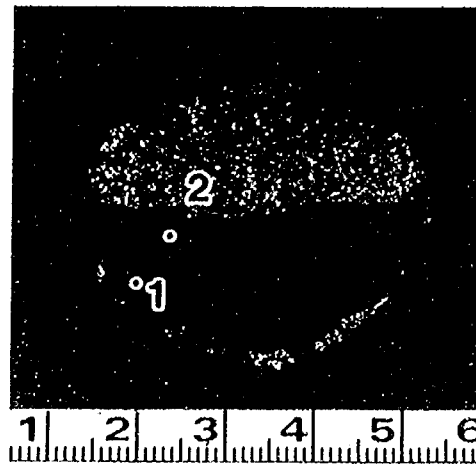


図-IV. 3. 7 D25 標準圧接ガス切断(D)欠陥のEDX分析結果



D25 標準圧接さび(E)欠陥の破面およびEDX分析位置

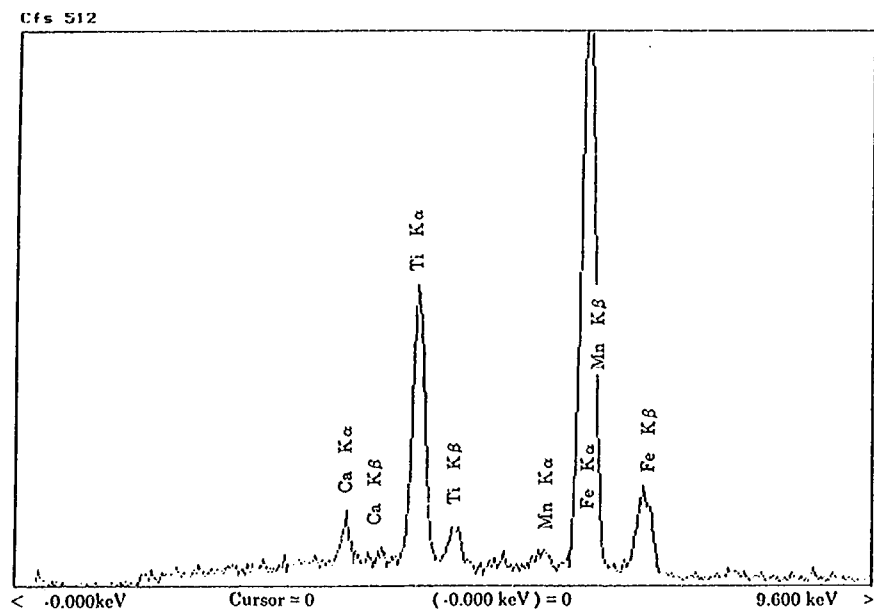
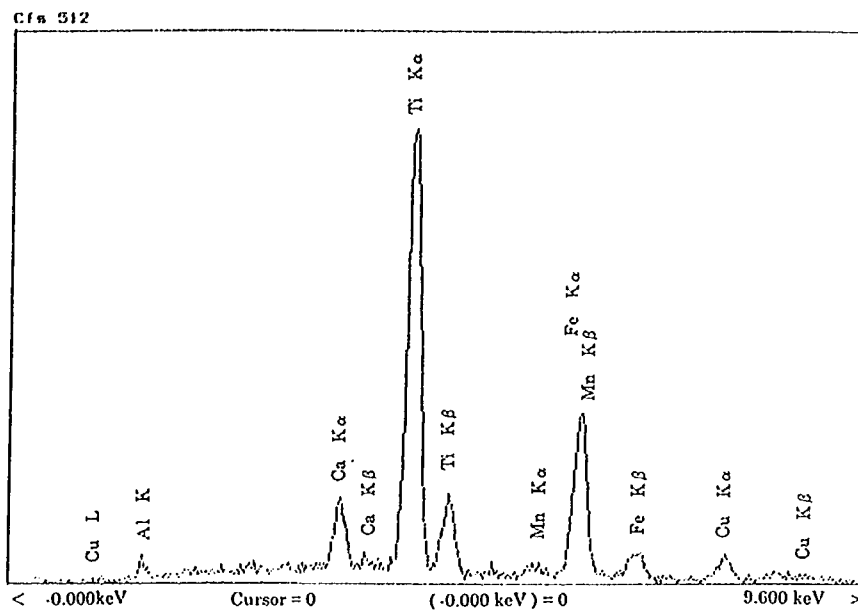
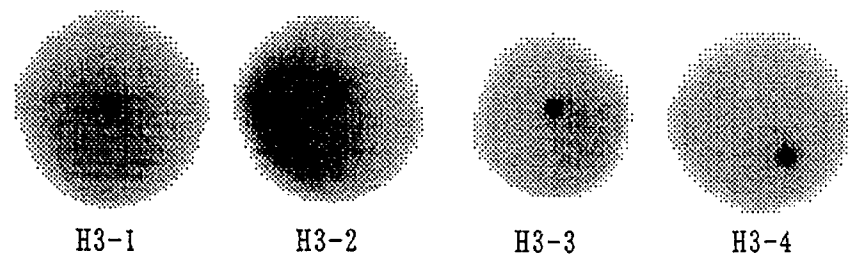


図-IV. 3. 8 D25 標準圧接塗装(E)欠陥のEDX分析結果

標準圧接



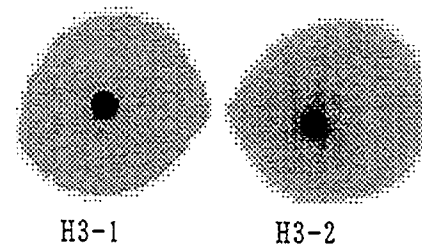
H3-1

H3-2

H3-3

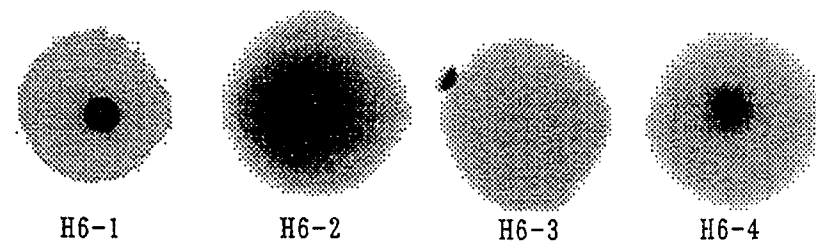
H3-4

押抜圧接



H3-1

H3-2

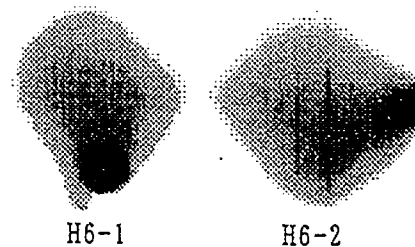


H6-1

H6-2

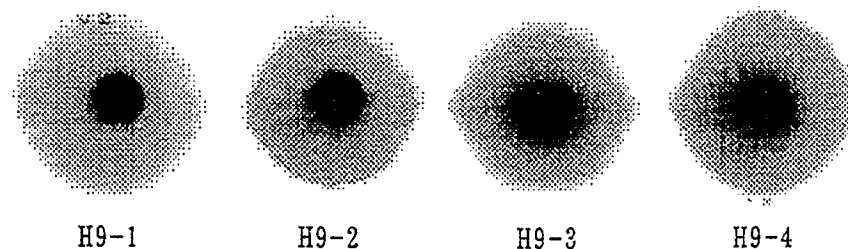
H6-3

H6-4



H6-1

H6-2

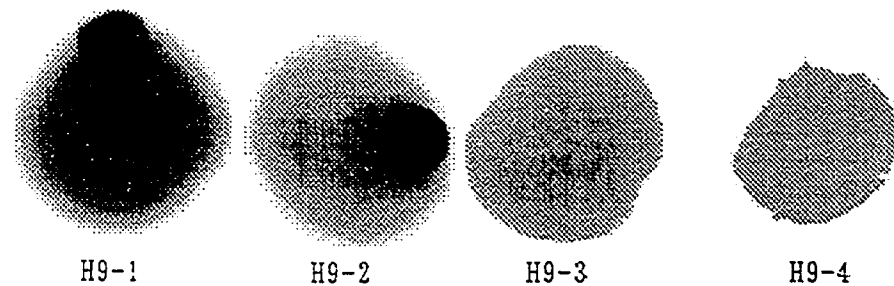


H9-1

H9-2

H9-3

H9-4



H9-1

H9-2

H9-3

H9-4

写真-IV. 3. 42 放射線透過記録

4. 経時変化

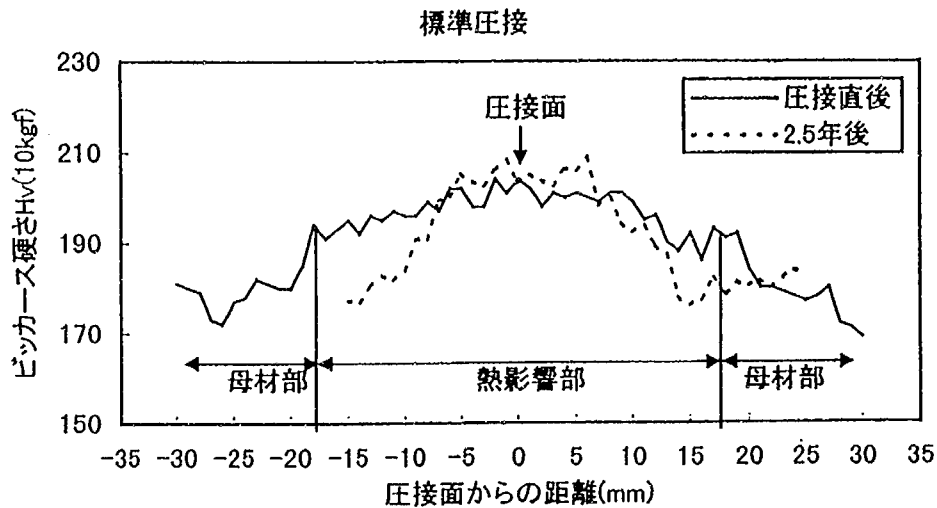
4.1 マクロ・ミクロ観察

写真－IV. 4. 1 およびIV. 4. 2 に試験片作製直後および 2. 5 年経過後の圧接部のマクロ、ミクロ写真を示すようにほぼ同じであり、時間経過に伴う金属組織の変化は見受けられない。

4.2 硬さ試験

試験片作製直後および 2. 5 年経過後の硬さ試験結果の比較を図－IV. 4. 1 に示す。

圧接界面とその近傍の硬さは、作製直後は $HV=202$ に対し、2. 5 年経過後も $HV=205$ であり、ほぼ同じである。

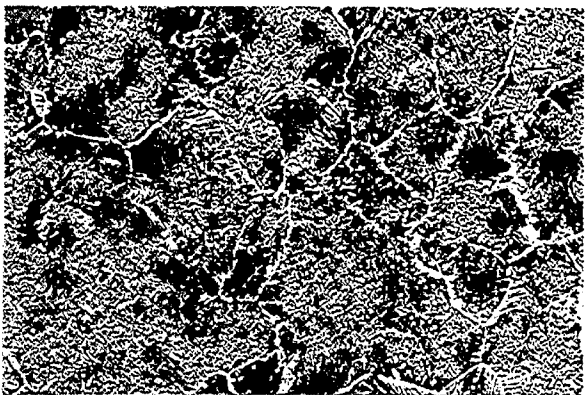


図－IV. 4. 1 硬さの比較

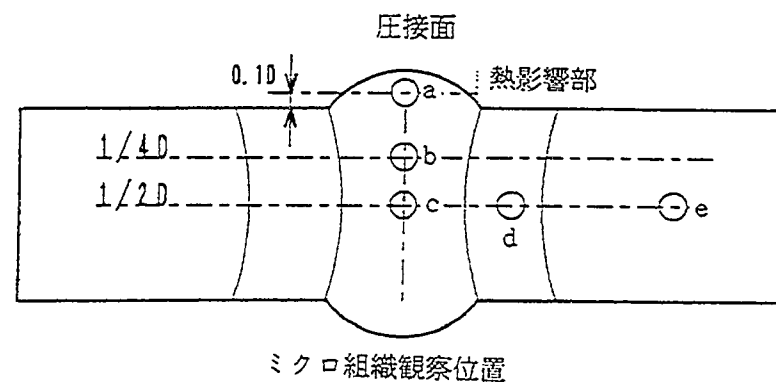
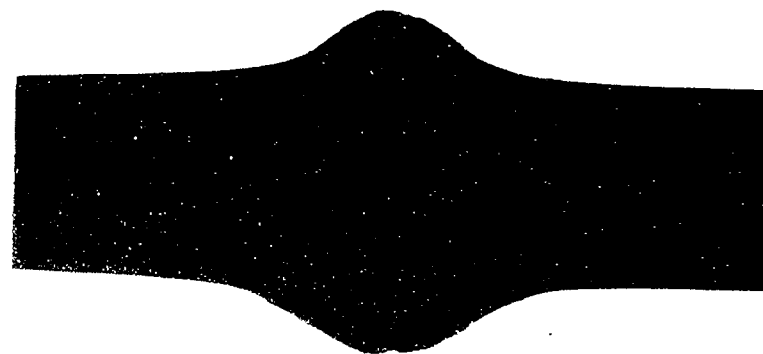
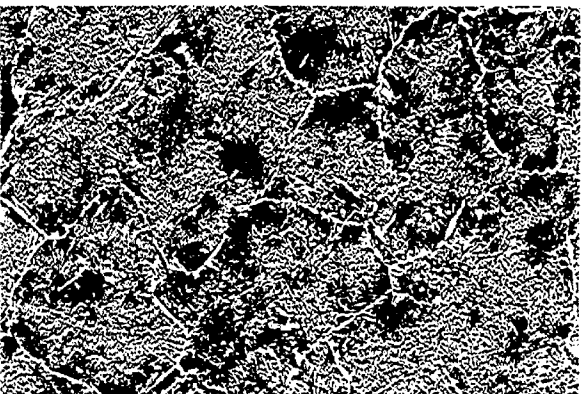
(a)



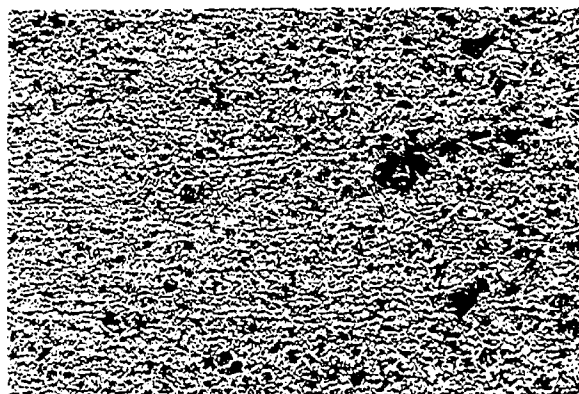
(b)



(c)



(d)



(e)

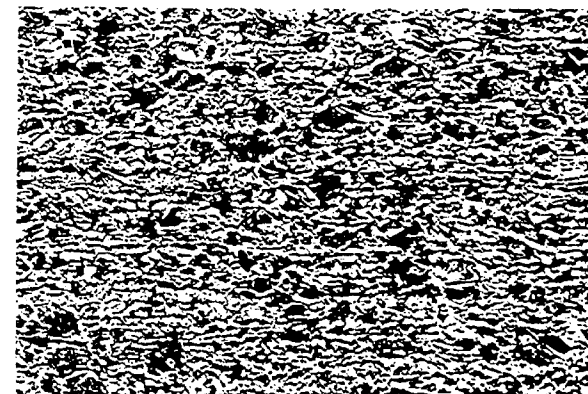
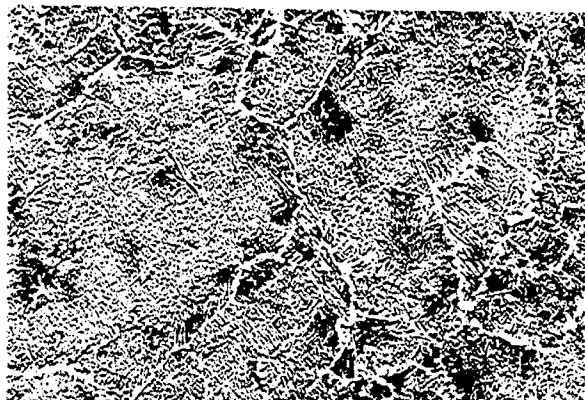


写真-IV. 4. 1 マクロ写真 (D25-作製直後)

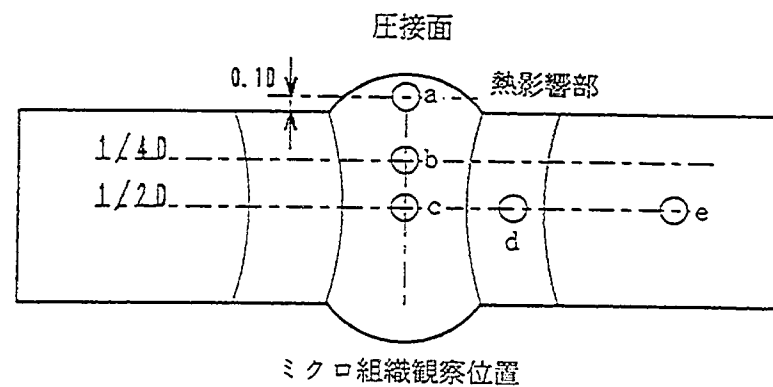
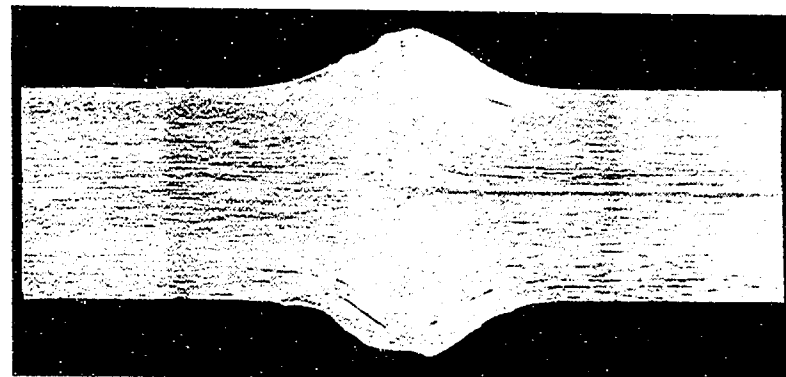
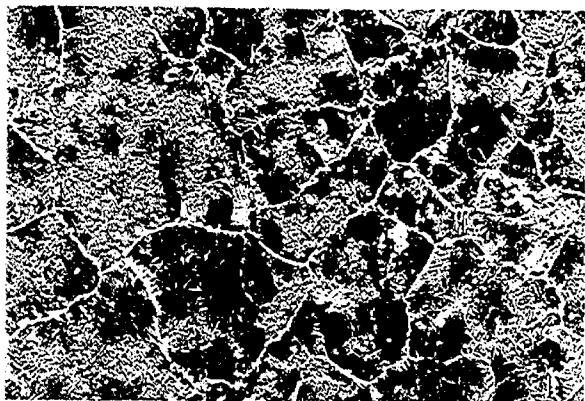
(a)



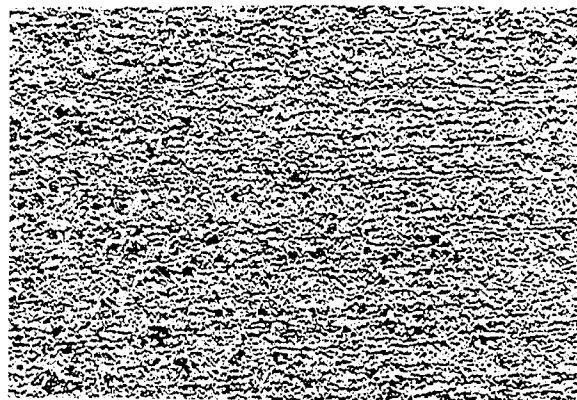
(b)



(c)



(d)



(e)

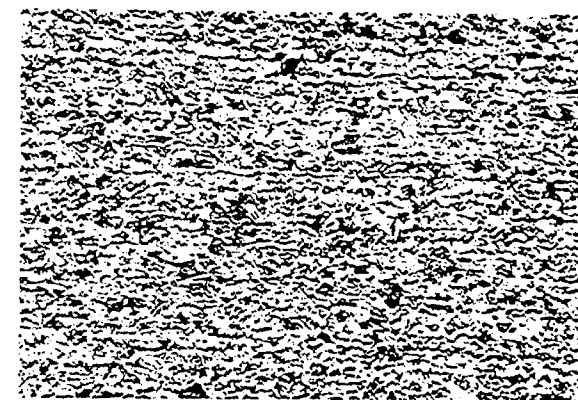


写真-IV. 4. 2 マクロ写真 (D25-作製後2年6月)

V 非破壊検査

1. 実験目的	121
2. 実験方法	121
2.1 継手の種類と非破壊試験の種類	121
2.2 非破壊試験方法	121
3. 試験片の種類	123
4. 実験結果	124
5. 超音波探傷試験結果と考察	143
5.1 超音波探傷試験結果に及ぼす各種要因	143
5.2 S V波とS H波の比較	152
5.3 汎用探傷器と専用探傷器の比較	158
6. 押抜試験片の非破壊試験結果と考察	162
6.1 目視試験と渦流探傷試験の比較	162
6.2 目視試験とE T及びU Tの比較	167
7. 非破壊試験結果と引張強さの関係	173
7.1 超音波探傷試験結果と引張強さの関係	173
7.2 押抜試験片の非破壊試験結果と引張強さの関係	181
7.3 非破壊試験の信頼性	189
8. 拘束試験によって作成した試験片の結果	192
8.1 非破壊試験結果	192
8.2 非破壊試験結果と引張試験の比較	192
9. まとめ	194
9.1 S V波法（現行の超音波探傷試験方法）	194
9.2 表面S H波法	194
9.3 熱間押抜による目視試験	195
9.4 熱間押抜部の渦流探傷試験	195
9.5 エンクローズ溶接	195
9.6 その他	195

1. 実験目的

超音波探傷による圧接部の検査と、鉄筋ガス圧接継手の引張強さとの間には強い相関関係があり、鉄筋ガス圧接部の品質管理の中で超音波探傷検査は重要な役割を果たしている。しかしながら、現行のSV波による斜角2探触子K走査法（以下、SV波法と呼ぶ）は、探傷可能領域が圧接面の中央近傍となり（全圧接断面の13%程度）、より欠陥が発生しやすいと考えられる圧接面外周部には超音波ビームが届きにくいと言われている。

そこで、圧接部の検査の信頼性をより向上するためには、現状の非破壊検査方法の信頼性を検討して、問題点を補完する新たな試験方法についての検討を行う必要がある。

今回、新たな方法として、標準圧接では表面SH波法（以下、単にSH波法）によって超音波ビームを圧接面外周部に当てることによる試験を試み、熱間押抜圧接ではSV波法、SH波法および渦流探傷法を用いて探傷検査を試みた。

2. 実験方法

標準圧接、押抜圧接、エンクローズ溶接のおよび拘束試験によって作成した4種類の継手試験片について、健全試験片及び欠陥試験片を作成し、従来の非破壊試験及び新たな非破壊試験を適用し、非破壊試験法の比較および引張試験との対応について検討した。

2.1 継手の種類と非破壊試験の種類

継手の種類毎に実施した非破壊試験の種類は以下のとおりである。

(1) 標準圧接継手試験片

①SV波法：汎用探傷器及び専用探傷器によって測定した。

②SH波法

(2) 押抜圧接継手試験片

①SV波法：汎用探傷器及び専用探傷器によって測定した。

②SH波法

③渦流探傷法：センサーとしてプローブコイルを用いた。

④目視試験法：表面外観の測定は、割れのための測定と割れとへこみの両方の測定の2つの場合について測定を行った。

(3) エンクローズ溶接継手試験片および拘束試験によって作成した圧接継手試験片

(1)と同様とした。

2.2 非破壊試験方法

非破壊試験方法の詳細は以下による。

(a) SV波法

SV波（Secondary Vertical Wave）は、振動子は垂直探触子と同様に縦方向に振動して縦波が発生する。この縦波が試験体表面に斜めに入射するときにスネルの法則によりモード変換して横波だけが屈折し、材料中に伝搬する。SV波の横波は伝搬方向に対して直角に、かつ探傷面に垂直に振動する波であり、表面を伝播しにくい（図-V.2.1）。

測定は、JIS Z 3062 により汎用探傷器及び専用探傷器を用い試験を実施した。

汎用探傷器の場合、試験片鉄筋の健全部で透過パルスの大きさをCRT画面の50%とし

基準感度を設定した後、探傷器のゲイン値を 24dB 上げ、図-V.2.1 に示すような走査方法で試験を実施し、CRT 画面の 50% とのエコー高きの差及びビーム路程について測定した。この測定を、圧接の両側 a, b の 2 箇所で行った。

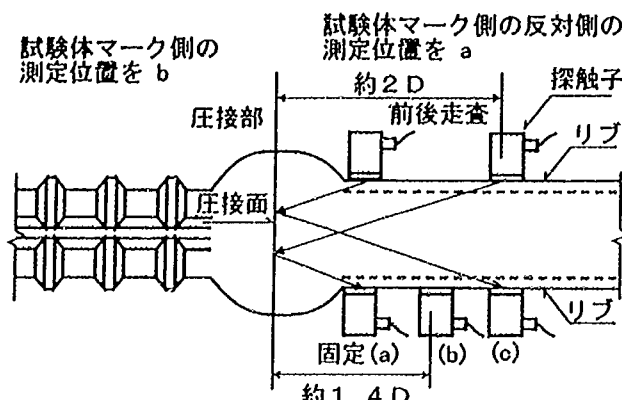


図-V.2.1 斜角2探触子法 (SV波)

(b) SH波法

SH波 (Secondary Horizontal Wave) は、振動子が横方向に振動し、材料に入射してからも伝搬方向に対して直角の振動であり、探傷面に平行方向に振動する。この方向はSV波と 90° 異なっており、反射の際のモード変換は起こらずに伝播する。SH波は屈折角 75° 以上になると表面を伝播するようになる (図-V.2.3)。これを用いて表面とその近傍の欠陥を検出しようとするものである。

測定は、試験片鉄筋と同メーカー・同種・同サイズの鉄筋の端部からのエコーを CRT 画面の 80% とし基準感度とした (図-V.2.2)。

基準感度のまま、図-V.2.3 に示すような走査方法で試験を実施し、CRT 画面の 80% とのエコー高きの差及びビーム路程について測定した。この測定を、各リブの位置 a, b, c, d の 4 箇所で行った。

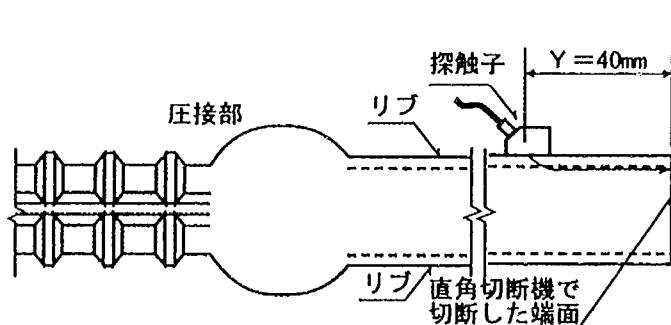


図-V.2.2 表面SH波法の基準感度の設定

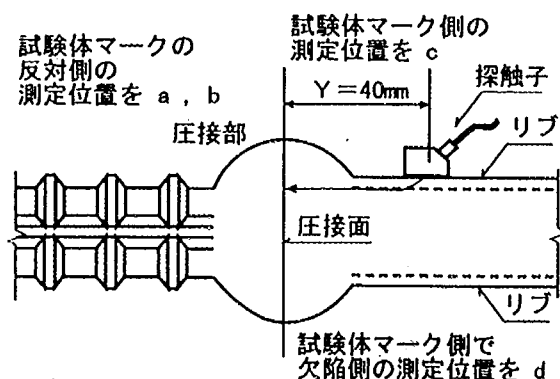


図-V.2.3 表面SH波法

(c) 渦流探傷法

押抜圧接継手試験片で、渦流探傷器及びプローブコイルを用い、欠陥からの信号がY軸方向に出力されるように周波数及び位相角を調整し、図-V.2.4 に示すような走査方法を5回程度繰り返した。出力値は、ベクトル表示の画面をカメラで撮影した後、写真から信号の大きさを測定して求めた (図-V.2.5)。

この測定を、各リブの位置 a, b, c, d についての4箇所で行った。

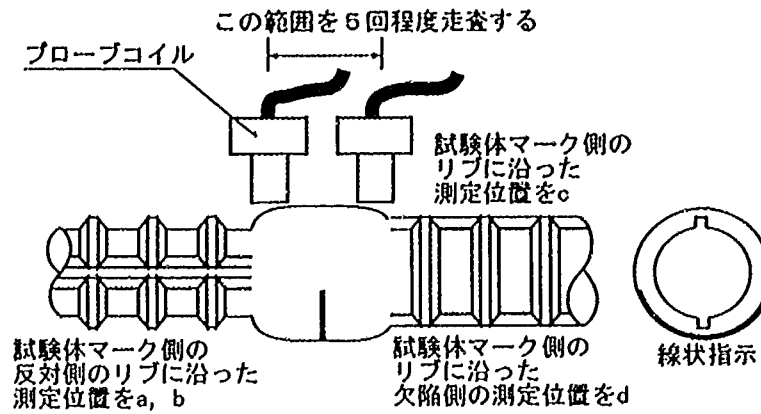


図-V.2.4 渦流探傷法

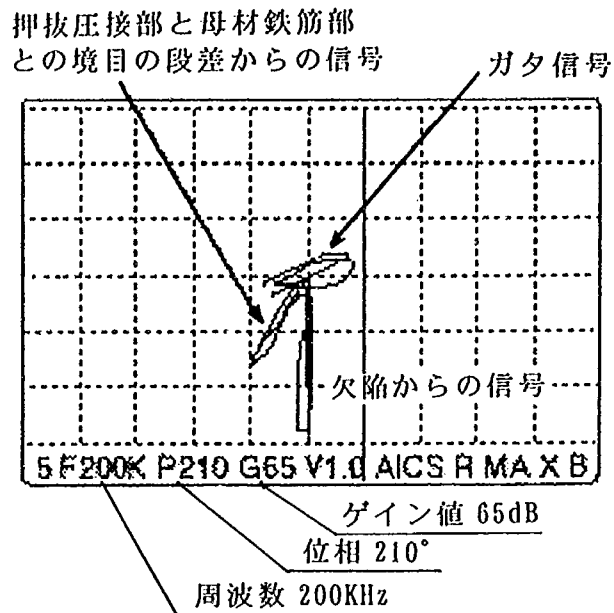


図-V.2.5 CRT画面の説明

(d) 目視試験法

押抜圧接継手試験片で、スケールを用いて、割れ及びへこみの円周方向の長さの総和を測定した。使用機器は以下による。

(a) S V 波法

超音波探傷器 USD-15 (汎用探傷器) および USG-27A (専用探傷器)

圧接用斜角探触子 5Z5×5A70 (2個)

(b) S H 波法

超音波探傷器 USD-15, 表面 S H 波探触子 5C5×5A90-S H

(c) 渦流探傷法

渦流探傷器 MIZ-20, プローブコイル DTXP Detachable

3. 試験片の種類

超音波探傷試験など非破壊試験を行った試験片は、表-II.1.3の全種類、各種類4本ずつの全てである。

4. 実験結果

各試験片の超音波探傷試験（UT）結果，押抜圧接はさらに外観検査，渦流探傷試験（ET）結果と引張強さを表－V. 4. 1～V. 4. 10 に示す。

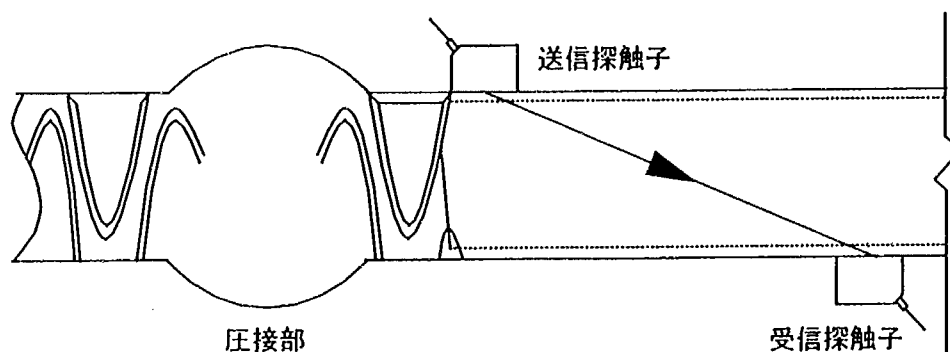
UTの結果は，SV波，SH波ごとに，基準感度，測定値（ゲイン）の絶対値，合否判定レベルからゲイン絶対値を引いたゲイン相対値，ゲイン相対値の最大値（最大エコー），ビーム路程などの結果を示す。

実際には次のように示している。まず，基準感度は，SV波は図－V. 4. 1 のように透過パルスを，SH波は図－V. 2. 2 のように直角端面のエコー高さを測定した。次に，SH波はこのときを0dBにして各継手試験片のエコー高さ（ゲイン絶対値）を求めた。SV波も基準感度から求めたゲイン絶対値（図－V. 4. 2（a））を求めたが，さらに，JIS Z 3062の合否判定レベルである-24dBを0dBにしたゲイン相対値（相対エコー高さ）を求めた（図－V. 4. 2（b））。

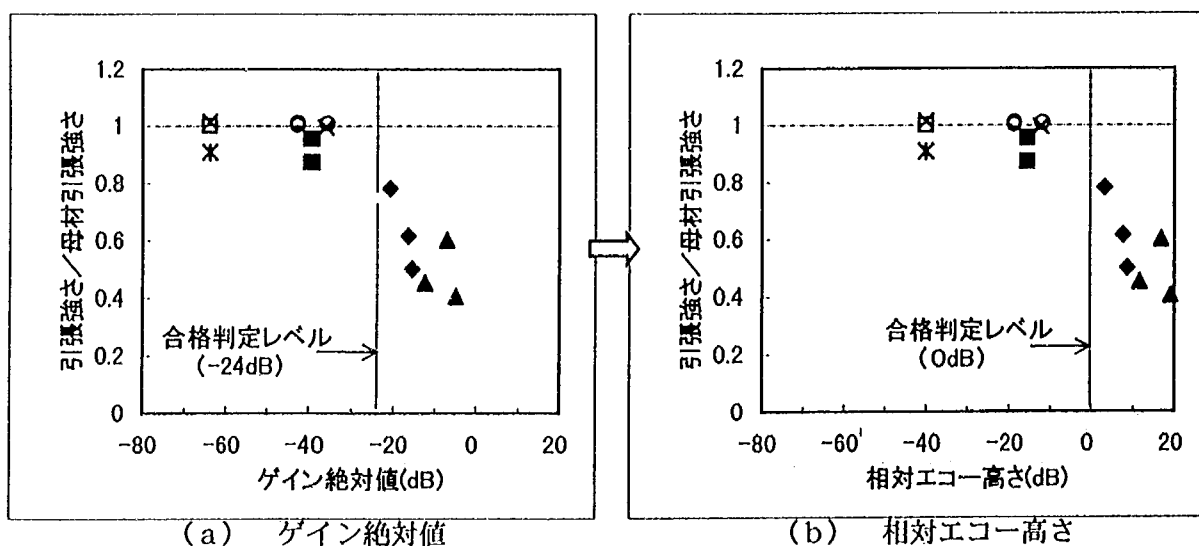
押抜圧接の外観検査は，開口割れおよびへこみの長さを測定した結果を示した。

ETの結果は，測定したリブごとの出力値を示した。

図－V. 4. 3～V. 4. 10 には，各要因ごとにUTの結果を示した。



図－V. 4. 1 リブ間の透過パルスによる基準感度の設定



図－V. 4. 2 相対エコー高さ

表-V.4.1 D19の非破壊検査結果

[illegible]

●：磁斷位置 ●：柱接界面磁斷
○：鉄筋母材部磁斷

表-V.4.2 D25標準圧接のリップ形状・外周部欠陥の非破壊検査結果

缺陷番号	呼び名	リブ形状	寸法	表面状態	圧接条件	欠陥位置	SV波										SH波										外観検査		ET測定値				引張強さ	試験位置			
							測定値					ビーム特性(W)					測定値					ビーム特性(W)					最大値(mm)		出力値		最大・最小・平均						
							基準	ゲイン	絶対値	ゲイン相対値	最大・最小・平均	基準	W絶対値	基準との差	基準	ゲイン	絶対値	ゲイン相対値	最大・最小・平均	基準	W絶対値	基準との差	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均						
							a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z					
II mSA0-1	025 m	横	1.60	全	0	0	57.0	162.7	162.2	-19.2	-19.2	-19.2	-19.2	138.6	68.5	94.5	98.5	94.7	96.7	30.0	26.0	96.1	40.0												546.5	○	
II mSA0-2		横	1.60	全	0	0	57.0	197.0	76.2	-40.0	-19.2	-19.2	-40.0	138.6	58.5	95.7	93.1	94.3	95.7	-27.2	-24.6	94.7	40.0												584.2	○	
II mSA0-3		横	1.60	全	0	0	57.0	73.0	175.6	-16.0	-18.6	-18.6	-17.3	138.6	68.5	98.1	98.1	93.3	95.9	-29.6	-24.8	96.4	40.0												578.4	○	
II mSA0-4		横	1.60	全	0	0	57.0	97.0	97.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	138.6	68.5	97.3	97.3	100.5	96.7	-32.0	-28.2	98.0	40.0														
平均							57.0	185.8	81.3	-28.8	-24.3	-23.6	-29.5	138.6	68.5	96.4	96.8	95.7	96.3	-29.7	-25.9	96.3	40.0												583.0	○	
II mSA1-1		縦	1.60	全	0	0	58.0	198.0	49.4	-40.0	8.6	8.6	-40.0	141.0	68.5	98.5	94.5	99.9	73.9	-31.4	-5.4	91.7	40.0												573.8	○	
II mSA1-2		縦	1.60	全	0	0	58.0	69.8	51.4	-11.8	6.6	6.6	-11.8	141.0	68.5	99.1	97.7	99.9	73.3	-31.4	-4.8	92.5	40.0												579.0	○	
II mSA1-3		縦	1.60	全	0	0	58.0	164.4	146.6	-6.4	11.4	11.4	-6.4	141.0	68.5	95.3	94.5	96.3	73.9	-27.8	-5.4	90.0	40.0												580.0	○	
II mSA1-4		縦	1.60	全	0	0																															
平均							58.0	77.4	49.1	-19.4	8.9	8.9	-19.4	141.0	68.5	97.6	95.6	98.7	73.7	-30.2	-5.2	91.4	40.0												577.6	○	
II mSA2-1		縦	1.60	全	0	0	58.0	68.2	51.0	-10.2	7.0	7.0	-10.2	141.0	68.5	92.5	96.7	64.7	64.3	-28.2	4.2	79.6	40.0													573.0	○
II mSA2-2		縦	1.60	全	0	0	58.0	61.4	53.6	-3.4	4.4	4.4	-3.4	141.0	68.5	92.7	92.3	93.3	70.7	-24.8	-2.2	87.3	40.0													570.4	○
II mSA2-3		縦	1.60	全	0	0	58.0	56.8	54.6	1.2	3.4	3.4	1.2	141.0	68.5	92.7	94.7	97.3	67.7	-28.8	0.8	88.1	40.0													547.4	●
II mSA2-4		縦	1.60	全	0	0																															
平均							58.0	62.1	53.1	-4.1	4.9	4.9	-4.1	141.0	68.5	92.6	94.6	95.1	67.6	-27.3	0.9	85.0	40.0												563.6	○	
II mSA4-1		縦	1.60	全	0	0	58.0	50.8	148.4	7.2	9.6	9.6	7.2	141.0	68.5	93.1	84.9	91.9	71.7	-24.6	-3.2	85.4	40.0													566.1	●
II mSA4-2		縦	1.60	全	0	0	58.0	42.4	148.2	15.6	9.8	15.6	9.8	127.1	68.5	89.1	87.1	95.9	64.1	-27.4	4.4	84.1	40.0													458.4	●
II mSA4-3		縦	1.60	全	0	0	58.0	53.4	143.6	4.6	14.4	14.4	4.6	95.1	68.5	89.1	89.7	94.3	70.7	-25.8	-2.2	86.0	40.0													579.8	●
II mSA4-4		縦	1.60	全	0	0																															
平均							58.0	48.9	146.7	9.1	11.3	13.2	7.2	102.1	68.5	90.4	87.2	94.0	68.8	-25.9	-0.3	85.1	40.0												601.4	○	
II nSA0-1		縦	1.60	全	0	0	57.5	197.5	197.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	138.9	66.5	92.3	89.5	101.1	94.3	-34.6	-23.0	94.3	40.0													578.0	○
II nSA0-2		縦	1.60	全	0	0	57.5	73.5	176.7	-16.0	-19.2	-16.0	-17.6	138.9	66.5	93.7	101.7	100.3	101.1	-35.2	-27.2	99.2	40.0													577.0	○
II nSA0-3		縦	1.60	全	0	0	57.5	197.5	197.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	138.9	66.5	91.7	97.1	97.1	99.1	-32.6	-25.2	96.3	40.0													578.3	○
II nSA0-4		縦	1.60	全	0	0	57.5	176.7	176.7	-19.2	-19.2	-19.2	-19.2	138.9	66.5	101.7	97.1	97.5	93.7	-35.2	-27.2	97.5	40.0														
平均							57.5	186.3	87.1	-28.8	-29.6	-28.8	-29.2	138.9	66.5	94.9	96.4	99.0	97.1	-34.4	-25.7	96.8	40.0												577.8	○	
II nSA2-1		縦	1.60	全	0	0	56.5	52.7	58.9	3.8	-2.4	3.8	-2.4	0.7	138.9	66.5	89.7	98.5	99.1	68.3	-32.6	-1.8	88.9	40.0												446.4	●
II nSA2-2		縦	1.60	全	0	0	56.5	75.7	48.5	-19.2	8.0	8.0	-19.2	138.9	66.5	96.5	94.9	99.7	69.5	-33.2	-3.0	90.2	40.0													577.0	○
II nSA2-3		縦	1.60	全	0	0	56.5	49.9	49.9	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	138.9	66.5	91.1	97.1	100.3	67.5	-33.8	-1.0	89.0	40.0												574.6	●
II nSA2-4		縦	1.60	全	0	0																															
平均							56.5	59.4	52.4	-2.9	4.1	6.1	-5.0	0.6	138.9	66.5	92.4	96.8	99.7	68.4	-33.2	-1.9	89.4	40.0											546.0	○	
II nSA0-1		縦	1.60	全	0	0	57.5	197.5	174.7	-40.0	-17.2	-17.2	-40.0	141.2	66.5	99.8	97.8	100.8	101.6	-34.6	-30.6	99.9	40.0													579.8	○
II nSA0-2		縦	1.60	全	0	0	57.5	197.5	171.1	-40.0	-13.6	-13.6	-40.0	141.2	66.5	97.0	99.0	102.2	100.2	-35.2	-30.0	99.6	40.0													580.3	○
II nSA0-3		縦	1.60	全	0	0	57.5	197.5	176.7	-40.0	-19.2	-19.2	-40.0	141.2	66.5	97.5	93.6	100.2	98.4	-33.2	-26.6	97.4	40.0													578.9	○
II nSA0-4		縦	1.60	全	0	0	57.5	197.5	197.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	141.2	66.5	97.0	101.6	95.8	123.0	123.0	-56.0	-28.8	110.9	40.0													
平均							57.5	197.5	180.0	-40.0	-22.5	-22.5	-40.0	141.2	66.5	97.0	98.9	96.5	106.6	105.8	-39.8	-29.0	101.9	40.0											579.7	○	
II nSA2-1		縦	1.60	全	0	0	57.5	53.5	149.1	4.0	8.4	8.4	4.0	6.2	141.2	67.0	95.4	99.6	99.0	69.6	-32.6	-2.6	90.9	40.0												579.3	○
II nSA2-2		縦	1.60	全	0	0	57.5	51.9	146.1	5.6	11.4	11.4	5.6	8.5	141.2	67.0	98.4	86.4	98.4	71.4	-31.4	-4.4	88.7	40.0												556.8	●
II nSA2-3		縦	1.60	全	0	0	57.5	53.1	153.5	4.4	4.0	4.4	4.0	4.2	141.2	67.0	100.8	97.0	97.0	78.8	-33.8	-11.8	93.4	40.0												557.3	●
II nSA2-4		縦	1.60	全	0	0																															
平均							57.5	52.8	149.6	4.7	7.9	8.1	4.5	6.3	141.2	67.0	98.2	94.3	98.1	73.3	-32.6	-6.3															

表-V.4.3 D25標準圧接の各種欠陥の非破壊検査結果

試験番号	試験種別	圧接条件	試験位置	試験方法	SV波										SH波										外観検査				ET(測定値)				試験結果	試験位置																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
					測定値					ビーム特性(W)					測定値					ビーム特性(W)					最大		最小		平均		最大																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
					最大		最小		平均		標準		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値				W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値		W絶対値		W相対値	

表-V.4.4 D25押抜圧接のリブ形状・外周部欠陥の非破壊検査結果

鉄筋番号	リブ形状	検査位置	検査方法	検査結果	欠陥位置	SV波										SH波										押抜圧接										引張強さ	破断位置
						測定値					ピーム路程(W)					測定値					ピーム路程(W)					外観検査					ET(測定値)						
						基準値					W絶対値					基準値					W絶対値					目視検査					出力値						
						a	b	c	d	平均	a	b	c	d	平均	a	b	c	d	平均	a	b	c	d	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均			
II mP2A0-1	D25	m	押抜圧接	健全	0	0	0	0	0	0	54.0	94.0	94.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	581.4	○	
II mP2A0-2						54.0	94.0	94.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	584.1	○		
II mP2A0-3						54.0	94.0	94.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	578.5	○		
II mP2A0-4						54.0	94.0	94.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
平均						54.0	94.0	94.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
II mP2A1-1					1/8	54.0	94.0	145.6	-40.0	-8.4	8.4	-40.0	-15.8	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	581.3	●		
II mP2A1-2						54.0	94.0	145.2	-40.0	8.8	8.8	-40.0	-15.6	36.5	-	45.2	8.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	574.7	●		
II mP2A1-3						54.0	94.0	148.0	-40.0	6.0	6.0	-40.0	-17.0	36.5	-	47.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	521.1	●		
II mP2A1-4						54.0	94.0	148.0	-40.0	6.0	6.0	-40.0	-17.0	36.5	-	47.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	535.3	●		
平均						54.0	94.0	146.3	-40.0	7.7	7.7	-40.0	-16.1	36.5	-	46.4	8.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	543.7	●		
II mP2A2-1					2/8	54.0	94.0	143.4	-40.0	10.6	10.6	-40.0	-14.7	36.5	-	43.1	6.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	517.3	●		
II mP2A2-2						54.0	94.0	142.4	-40.0	11.6	11.6	-40.0	-14.2	36.5	-	39.8	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	467.7	●		
II mP2A2-3						54.0	94.0	143.0	-40.0	11.0	11.0	-40.0	-14.5	36.5	-	41.7	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	470.6	●		
II mP2A2-4						54.0	94.0	142.9	-40.0	11.1	11.1	-40.0	-14.5	36.5	-	41.5	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	485.2	●		
平均						54.0	94.0	144.0	-40.0	10.0	10.0	-40.0	-14.5	36.5	-	42.5	6.0	10.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	345.5	●		
II mP2A4-1					4/8	54.0	154.0	38.2	-40.0	15.8	15.8	1.0	8.4	36.5	41.1	42.1	4.6	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	346.7	●		
II mP2A4-2						54.0	153.0	38.2	-40.0	15.8	15.8	1.0	8.4	36.5	41.1	42.1	4.6	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	349.9	●		
II mP2A4-3						54.0	153.0	38.2	-40.0	15.8	15.8	1.0	8.4	36.5	41.1	42.1	4.6	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
II mP2A4-4						54.0	143.0	37.6	-40.0	11.0	16.4	18.4	11.0	12.7	36.5	38.6	46.1	2.1	9.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
平均						54.0	150.0	39.9	-40.0	14.1	14.1	4.0	9.0	36.5	40.7	45.2	4.2	8.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	347.4	●		
II hP2A0-1		h			-	55.0	195.0	71.0	-40.0	16.0	16.0	-40.0	-28.0	37.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	577.4	○		
II hP2A0-2						55.0	195.0	68.2	-40.0	13.2	13.2	-40.0	-28.8	37.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	578.0	○		
II hP2A0-3						55.0	195.0	73.6	-40.0	18.6	18.6	-40.0	-29.3	37.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	574.4	○		
II hP2A0-4						55.0	167.8	72.8	-40.0	12.8	17.8	-17.8	-15.3	37.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
平均						55.0	183.2	71.4	-33.2	-16.4	-15.2	-34.5	-24.8	37.9	-	41.8	110.0	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	575.9	●		
II hP2A2-1					2/8	55.0	195.0	152.0	-40.0	3.0	3.0	-40.0	-18.5	37.9	-	43.3	5.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	555.9	●		
II hP2A2-2						55.0	195.0	152.2	-40.0	2.8	2.8	-40.0	-18.6	37.9	-	49.9	12.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	577.4	○		
II hP2A2-3						55.0	195.0	151.8	-40.0	3.2	3.2	-40.0	-18.4	37.9	-	51.6	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	565.4	●		
II hP2A2-4						55.0	195.0	152.0	-40.0	3.0	3.0	-40.0	-18.5	37.9	-	48.3	10.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	566.2	●		
平均						55.5	195.5	195.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	38.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	581.3	○		
II iP2A0-1		i			-	55.5	195.5	195.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	38.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	580.5	○		
II iP2A0-2						55.5	195.5	195.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	38.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	582.3	○		
II iP2A0-3						55.5	195.5	195.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	38.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
II iP2A0-4						55.5	195.5	195.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	38.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
平均						55.5	195.5	195.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	38.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
II iP2A2-1					2/8	55.5	195.5	145.7	-40.0	9.8	9.8	-40.0	-15.1	38.2	-	152.3	14.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	579.2	●	
II iP2A2-2						55.5	195.5	149.9	-40.0	5.6	5.6	-40.0	-17.2	38.2	-	150.3	12.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	559.9	●	
II iP2A2-3						55.5	195.5	145.7	-40.0	9.8	9.8	-40.0	-15.1	38.2	-	148.0	9.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	581.7	○	
II iP2A2-4						55.5	195.5	147.1	-40.0	8.4	8.4	-40.0	-15.8	38.2	-	150.2	12.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	573.6	○	
平均						54.5	194.5	194.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	38.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	551.0	○	
II wP2A0-1		w			-	54.5	73.1	194.5	-18.6	-40.0	-18.6	-40.0	-29.3	36.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	551.7	○		
II wP2A0-2						54.5	73.1	194.5	-18.6	-40.0	-18.6	-40.0	-29.3	36.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	553.6	○		
II wP2A0-3						54.5	73.1	194.5	-18.6	-40.0	-18.6	-40.0	-29.3	36.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
II wP2A0-4						54.5	73.1	194.5	-18.6	-40.0	-18.6	-40.0	-29.3	36.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
平均						54.5	78.5	194.5	-24.0	-40.0	-24.0	-40.0	-32.0	36.1	-	-	-	-</																			

- 129 -

●：直接界面破断
○：鉄筋母材部破断

表-V.4.6 D25押板圧接(1.3D~1.4D)の各種欠陥の非破壊検査結果

試験番号	試験種別	試験条件	試験位置	試験方法	試験結果	SV波										SH波										試験位置	試験結果																								
						測定値	ビーム距離(W)					測定値	ビーム距離(W)																																						
							基準	最大	最小	平均	基準		W対称	基準との差	基準	W対称	基準との差																																		
																		a	b	c	d	a	b	c	d																										
試験番号	試験種別	試験条件	試験位置	試験方法	試験結果	基準	最大	最小	平均	基準	W対称	基準との差	基準	W対称	基準との差	試験位置	試験結果																																		
II.mP3A0-1	D25	m	押板	1.3D	全	0	0	0	0	0	54.0	94.0	70.5	-40.0	-16.6	-16.6	-40.0	-28.3	36.5	-	-	-	-	-	-	575.8	○																								
II.mP3A0-2						54.0	94.0	58.0	-40.0	-4.0	-4.0	-40.0	-22.0	36.5	-	-	-	-	44.5	8.0	66.5	90.7	91.3	90.3	92.1	-25.6	-23.8	91.1	40.0	577.6	○																				
II.mP3A0-3						54.0	94.0	94.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	36.5	-	-	-	-	-	-	-	66.5	92.1	91.7	91.3	90.8	-25.6	-24.3	91.5	40.0	582.1	○																				
II.mP3A0-4						54.0	94.0	94.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	36.5	-	-	-	-	-	-	-	66.5	92.1	90.7	87.7	87.1	-25.6	-20.6	89.5	40.0																						
平均						54.0	94.0	79.2	-40.0	-25.2	-25.2	-40.0	-32.6	36.5	-	-	-	-	-	-	66.5	92.4	90.4	89.5	88.7	-26.2	-21.7	90.2	40.0																						
II.mP3B2-1					ベ	2/8					54.0	94.0	58.2	-40.0	-4.2	-4.2	-40.0	-22.1	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	578.5	○																				
II.mP3B2-2						54.0	94.0	53.8	-40.0	0.2	0.2	-40.0	-19.9	36.5	-	-	-	-	-	-	66.5	89.1	90.3	93.9	77.5	-27.4	-11.0	87.7	40.0																						
II.mP3B2-3						54.0	94.0	58.2	-40.0	-4.2	-4.2	-40.0	-22.1	36.5	-	-	-	-	-	-	66.5	93.5	92.1	90.7	71.7	-27.0	-5.2	87.0	40.0																						
II.mP3B2-4						54.0	71.8	59.6	-17.8	-5.6	-5.6	-17.8	-11.7	36.5	-	-	-	-	-	-	6.1	66.5	88.5	94.5	91.7	77.7	-28.0	-11.2	88.1	40.0																					
平均						54.0	94.0	58.2	-40.0	-4.2	-4.2	-40.0	-22.1	36.5	-	-	-	-	-	-	4.2	66.5	91.3	89.7	93.5	71.9	-27.0	-5.4	86.6	40.0																					
II.mP3C3-1					さ	1/2	3				54.0	188.5	57.5	-34.5	-3.5	-3.5	-34.5	-19.0	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	573.7	○																				
II.mP3C3-2						54.0	48.8	52.4	5.2	1.6	1.6	5.2	1.6	3.4	36.5	-	-	-	-	-	6.6	66.5	87.1	90.3	82.3	66.1	-23.8	0.4	81.5	40.0	40.5	39.5	47.7	38.7	0.5	-0.2	7.7	-1.3	43.0	46.0	1.3	-	-	-	-	2.1	2.1	1.3	1.7	192.2	●
II.mP3C3-3						54.0	47.8	39.2	6.2	14.8	14.8	6.2	10.5	36.5	-	-	-	-	-	-	5.4	66.5	81.5	67.9	90.3	68.5	-23.8	-1.4	77.1	40.0	40.3	40.5	38.6	0.3	0.5	-1.6	32.0	48.0	-	-	-	-	2.5	2.5	2.5	2.5	120.1	●			
II.mP3C3-4						54.0	49.6	94.0	4.4	-40.0	4.4	-40.0	-17.8	36.5	-	-	-	-	-	-	9.8	66.5	85.5	93.9	93.9	92.5	-27.4	-19.0	91.5	40.0	41.6	1.6	0.0	11.0	-	-	-	-	1.4	1.4	1.4	1.4	447.3	●							
平均						54.0	145.2	41.6	8.8	12.4	12.4	8.8	10.6	36.5	-	-	-	-	-	-	4.4	66.5	90.9	79.3	84.7	61.5	-24.4	5.0	79.1	40.0	40.7	47.9	38.8	0.7	7.9	-1.2	41.0	49.0	0.9	-	-	-	2.5	2.5	0.9	1.7					
II.mP3D0-1					ガ	1/2	0				54.0	47.9	56.8	6.2	-2.8	9.2	-5.9	1.7	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	572.2	○			
II.mP3D0-2						54.0	47.9	56.8	6.2	-2.8	9.2	-5.9	1.7	36.5	-	-	-	-	-	-	6.3	66.5	86.3	82.9	87.8	72.2	-24.9	-3.8	82.3	40.0	40.8	40.3	47.8	38.7	0.8	0.3	7.8	-1.3	29.0	38.5	1.1	-	-	-	2.1	2.1	1.5	1.8	253.2	○	
II.mP3D0-3						54.0	47.9	56.8	6.2	-2.8	9.2	-5.9	1.7	36.5	-	-	-	-	-	-	4.6	66.5	91.7	85.9	91.3	97.7	-31.2	-19.4	91.7	40.0	39.7	-0.3	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	581.3	○		
II.mP3D0-4						54.0	47.9	56.8	6.2	-2.8	9.2	-5.9	1.7	36.5	-	-	-	-	-	-	4.6	66.5	68.3	85.3	90.3	93.1	-26.6	-1.8	84.3	40.0	41.2	1.2	7.0	7.0	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	502.2	○		
平均						54.0	47.9	56.8	6.2	-2.8	9.2	-5.9	1.7	36.5	-	-	-	-	-	-	4.6	66.5	90.9	93.5	88.3	91.7	-27.0	-21.8	91.1	40.0		0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	-	-	577.2	○			
II.mP3E3-1					実	1/2	3				54.0	51.0	46.0	3.0	8.0	8.0	3.0	5.5	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	553.6	○			
II.mP3E3-2						54.0	49.8	48.2	4.2	5.8	5.8	4.2	5.0	36.5	-	-	-	-	-	-	8.3	66.5	70.1	87.3	88.3	58.5	-21.8	8.0	86.1	40.0	39.8	38.1	40.1	-0.1	-1.9	0.1	33.0	50.0	-	-	-	-	3.0	3.0	3.0	3.0	197.5	●			
II.mP3E3-3						54.0	55.2	38.8	-1.2	15.2	15.2	-1.2	7.0	36.5	-	-	-	-	-	-	6.4	66.5	75.1	97.7	93.1	68.5	-31.2	-2.0	83.6	40.0	40.9	40.5	0.9	0.5	23.0	23.0	-	-	-	-	0.9	-	-	-	2.3	2.3	0.9	1.6	203.6	●	
II.mP3E3-4						54.0	45.0	40.0	9.0	14.0	14.0	9.0	11.5	36.5	-	-	-	-	-	-	5.4	66.5	83.9	81.7	87.1	65.7	-20.6	0.8	79.6	40.0	40.8	40.7	40.8	40.9	0.8	0.7	0.8	0.9	36.0	36.0	1.9	-	-	-	2.2	2.2	1.9	2.1			
平均						54.0	50.3	43.3	3.8	10.8	10.8	3.8	7.3	36.5	-	-	-	-	-	-	5.3	66.5	77.0	84.7	88.6	63.7	-23.3	2.8	78.5	40.0	40.6	39.6	40.8	40.7	0.6	-0.4	0.8	0.7	30.5	34.8	1.9	0.9	-	-	2.4	2.4	2.0	2.2	205.6	○	
II.mP4A0-1					1.4D	全					54.0	91.3	89.9	88.1	63.7	-23.3	-2.8	78.5	40.0	40.6	39.6	40.8	40.7	0.6	-0.4	0.8	0.7	30.5	34.8	1.9	0.9	-	-	-	-	0.0	0.0	1.4	-	-	-	-	1.4	1.4	1.4	1.4	578.9	○			
II.mP4A0-2						54.0	92.5	94.5	94.5	92.5	-28.0	-26.0	93.5	40.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	580.0	○					
II.mP4A0-3						54.0	89.3	91.7	95.1	93.9	-28.6	-22.8	92.5	40.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	580.4	○					
II.mP4A0-4						54.0	95.7	93.5	92.1	89.7	-29.2	-23.2	92.8	40.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	0.6	0.6	0.6	0.6			
平均						54.0	92.2	92.4	92.6	92.1	-28.9	-23.6	92.6	40.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	0.5	0.5	1.0	579.8	○									
II.mP4B2-1					ベ	2/8					54.0	95.1	92.1	97.7	91.3	-31.2	-24.8	94.1	40.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0	8.0	-	-	-	-	-	-	583.1	○					
II.mP4B2-2						54.0	118.5	96.3	90.3	77.3	-52.0	-10.8	95.6	40.0	41.0	11.0	11.0	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	581.0	○						
II.mP4B2-3						54.0	90.3	94.5	96.3	92.1	-29.8	-23.8	93.3	40.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	582.3	○					
II.mP4B2-4						54.0	92.1	95.1	90.3	89.7	-28.6	-23.2	91.8	40.0	20.0	20.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-			
平均						54.0	99.0	94.5	93.7	87.6	-35.4	-20.7	93.7	40.0	41.0	9.8	9.8	-	-	-	0.0	0.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.8	9.8	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	582.4	○		
II.mP4C3-1					さ	1/2	3				54.0	91.3	89.5	89.3	79.9	-24.8	-13.4	85.3	40.0	41.1	40.7	41.1	1.1	1.1	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.0	50.0	-	-	-	-	-	-	1.5	1.5	1.5	1.5	236.2	●
II.mP4C3-2						54.0	48.8	48.0	5.2	6.0	6.0	5.2	5.6	36.5	-	-	-	-	-	-	10.0	66.5	80.1	78.5	89.5	61.5	-23.4	5.0	77.5	40.0	41.4	41.0	38.3	1.4	1.0	-	-	-	-	45.0	62.0	2.4	0.6	-	-	2.0	2.4	0.6	1.7	113.9	●
II.mP4C3-3						54.0	39.4	47.8	14.6	6.2	14.6	6.2	10.4	36.5	-	-	-	-	-	-	5.9	66.5	90.9	74.9	88.7	66.1	-24.4	0.4	80.2	40.0	41.6	38.3	2.6	-1.7	35.0	47.0	-	-	-	-	1.7	-	-	-	0.6	1.2	227.6	●			
II.mP4C3-4						54.0	150.8	44.7	3.2	6.4	6.4	3.2	4.8	36.5	-	-	-	-	-	-	5.7	66.5	73.3	71.5	8																										

●: 破断位置 ○: 圧壊位置
○: 鉄筋母材破断

表-V.4.7 D25エンクローズ溶接の非破壊検査結果

[illegible]

表-V.4.8 D35拘束試験により作成した試験片の非破壊検査結果

[illegible]

● : 建設位置
○ : 既設低地部

表-V.4.9 D38の非破壊検査結果

鉄筋番号	呼び 形状 名称	断面寸法 幅×高さ (mm)	配筋状況 種別・位置	圧入深度 (mm)	中性軸 位置 (mm)	SV渡り										SH渡り										外観検査		ET(測定値)		引張強さ	確認位置																
						測定値					ビーム降下(W)					測定値					ビーム降下(W)					補注(単位mm)	出力値																				
						最大・最小・平均					W絶対値・基準との差					最大・最小・平均					W絶対値・基準との差																										
						a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e			a	b			c	d	e													
ⅢmSA0-1	縦	160	全	0	0	61.0	101.0	101.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	59.9	-	-	61.5	96.3	97.1	101.7	98.5	-40.2	-34.8	98.4	40.8			578.7	○																		
ⅢmSA0-2	縦	160	全	0	0	61.0	101.0	78.2	-40.0	-17.2	-17.2	-40.0	-28.6	59.9	-	-	61.5	103.1	95.7	97.7	98.1	-41.6	-34.2	98.7	40.8			577.2	○																		
ⅢmSA0-3	縦	160	全	0	0	61.0	77.0	76.0	-16.0	-15.0	-15.0	-16.0	-15.5	59.9	-	-	61.5	99.3	99.3	104.9	98.7	-43.4	-37.2	100.6	40.8			578.4	○																		
ⅢmSA0-4	縦	160	全	0	0	61.0	101.0	78.2	-40.0	-17.2	-17.2	-40.0	-28.6	59.9	-	-	61.5	99.3	95.7	103.1	98.9	-41.6	-34.2	99.3	40.8																						
平均						61.0	95.0	83.4	-34.0	-22.4	-22.4	-34.0	-28.2	59.9	-	-	61.5	99.5	97.0	101.9	98.6	-41.7	-35.1	99.2	40.8																						
ⅢmSB2-1	ベースト	2/8				61.0	101.0	72.4	-40.0	-11.4	-11.4	-40.0	-25.7	59.9	-	60.1	0.2	61.5	98.7	96.9	94.1	71.7	-37.2	-10.2	90.4	40.8			578.1	●																	
61.0						78.8	74.2	-17.8	-13.2	-13.2	-17.8	-15.5	59.9	-	60.5	0.8	61.5	99.5	95.1	100.9	71.1	-39.4	-9.6	91.7	40.8			578.2	●																		
61.0						78.2	77.6	-17.2	-16.6	-16.6	-17.2	-16.9	59.9	-	-	-	61.5	100.7	99.3	96.7	70.9	-39.2	-9.4	91.9	40.8			578.3	●																		
61.0						79.6	101.0	-18.6	-40.0	-18.6	-40.0	-29.3	59.9	-	-	-	61.5	93.9	93.7	90.9	67.5	-32.4	-6.0	86.5	40.8			578.4	●																		
平均						61.0	84.4	81.5	-23.4	-20.3	-15.0	-28.8	-21.9	59.9	-	60.3	0.4	61.5	98.2	96.3	95.7	70.3	-37.1	-8.8	90.1	40.8																					
ⅢmSC3-1	さび	1/2、3				61.0	72.2	80.2	-11.2	-19.2	-11.2	-19.2	-15.2	59.9	62.5	-	2.6	61.5	104.1	104.5	98.9	100.3	-43.0	-37.4	102.0	40.8			578.9	●																	
61.0						101.0	68.8	-40.0	-7.8	-7.8	-40.0	-23.9	59.9	-	61.4	1.5	61.5	99.7	103.1	97.3	99.3	-41.6	-35.8	99.9	40.8			579.1	●																		
61.0						76.0	77.6	-15.0	-16.6	-15.0	-16.6	-15.8	59.9	-	-	-	61.5	99.7	96.5	102.3	75.3	-40.8	-13.8	93.5	40.8			579.2	●																		
61.0						101.0	78.2	-40.0	-17.2	-17.2	-40.0	-28.6	59.9	-	-	-	61.5	100.9	98.5	103.1	99.5	-41.6	-37.0	100.5	40.8			579.6	●																		
平均						61.0	87.6	78.2	-26.6	-15.2	-12.8	-29.0	-20.9	59.9	62.5	61.4	2.6	61.5	101.1	100.7	100.4	93.6	-41.8	-31.0	98.9	40.8			579.9	●																	
ⅢmSD0-1	ガス切断	1/2、0				61.0	59.4	54.4	1.6	6.6	6.6	1.6	4.1	59.9	61.4	60.3	1.5	0.4	61.5	100.3	103.5	104.9	73.5	-43.4	-12.0	93.1	40.8			580.0	●																
61.0						77.6	78.2	-16.6	-17.2	-16.6	-17.2	-16.9	59.9	-	-	-	61.5	104.1	96.9	105.5	81.5	-44.0	-20.0	97.0	40.8			580.1	●																		
61.0						63.8	54.0	-2.8	7.0	7.0	-2.8	2.1	59.9	60.8	59.0	0.9	-0.9	61.5	98.7	76.9	99.7	81.5	-38.2	-15.4	89.2	40.8	40.8	-39.7	0.0	-0.6	-1.1																
61.0						50.0	45.2	-11.0	15.8	15.8	-11.0	13.4	59.9	60.5	60.4	0.6	0.5	61.5	94.1	74.9	99.5	76.1	-38.0	-13.4	86.2	40.8			40.0	-1.8	-0.8																
平均						61.0	52.7	58.0	-1.7	3.1	3.2	-1.9	1.7	59.9	60.9	59.9	1.0	0.0	61.5	99.3	85.6	102.4	78.2	-40.9	-15.2	91.4	40.8	40.8	39.9	0.0	-0.9	-0.9															
ⅢmSE3-1	塗料	1/2、3				61.0	59.6	43.4	1.4	17.6	17.6	1.4	9.5	59.9	63.6	63.2	3.7	3.3	61.5	95.3	96.9	100.1	79.0	-38.6	-17.5	92.8	40.8	41.6	39.5	39.7	0.8	-1.3	-1.1														
61.0						57.8	43.2	3.2	12.8	12.8	3.2	8.0	59.9	59.7	60.5	-0.2	0.6	61.5	94.9	79.7	99.3	75.7	-37.8	-14.2	87.4	40.8	40.4	40.7	39.3	-0.4	-0.1	-1.5															
61.0						48.8	42.8	12.2	18.2	18.2	12.2	15.2	59.9	61.0	60.3	1.1	0.4	61.5	73.7	79.3	100.3	67.5	-38.8	-6.0	80.2	40.8	39.2	39.4	39.6	-1.6	-1.4	-1.2															
61.0						48.6	45.2	12.4	15.8	15.8	12.4	14.1	59.9	60.7	58.7	0.8	-1.2	61.5	70.3	83.7	98.1	84.9	-39.8	-22.2	92.0	40.8			40.3	-1.0	-0.5	-0.5															
平均						61.0	53.7	44.9	7.3	16.1	16.1	7.3	11.7	59.9	61.3	60.7	1.4	0.8	61.5	91.3	84.9	99.5	76.8	-38.8	-15.0	88.1	40.8	40.4	40.0	39.7	-0.4	-0.8	-1.0														
ⅢmPA20-1	縦	120	全	0	0	57.5	97.5	76.1	-40.0	-18.6	-18.6	-40.0	-29.3	52.0	-	-	60.0	118.0	122.6	118.0	96.6	-58.0	-32.6	108.3	40.0			0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0													
57.5						97.5	97.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	52.0	-	-	60.0	93.0	95.6	93.0	118.0	-58.0	-33.0	100.0	40.0			0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0														
57.5						97.5	74.1	-40.0	-18.6	-16.6	-40.0	-28.3	52.0	-	-	60.0	94.6	118.0	89.8	92.0	-58.0	-29.8	98.6	40.0			0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0														
57.5						67.5	65.2	-10.0	-7.8	-7.8	-10.0	-8.9	52.0	161.8	52.1	9.6	0.1	60.0	92.6	118.0	94.0	92.0	-58.0	-32.0	99.2	40.0			0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0												
平均						57.5	90.0	78.3	-32.5	-20.8	-20.8	-32.5	-26.6	52.0	161.6	52.1	9.6	0.1	60.0	99.6	106.1	98.7	99.7	-58.0	-31.9	101.0	40.0						581.1	●													
ⅢmPB2-1	ベースト	2/8				57.5	64.1	66.9	-6.6	-9.4	-6.6	-9.4	-8.0	52.0	164.4	156.6	124.4	4.6	60.0	97.2	92.0	72.8	118.0	-58.0	-12.8	95.0	40.0			36.0	39.6	-	-	1.7	-	1.7	1.7	483.7	●								
57.5						75.3	97.5	-17.8	-40.0	-17.8	-40.0	-28.9	52.0	-	-	60.0	89.8	90.2	91.2	66.2	31.2	-6.2	84.4	40.0			39.1	-	-0.9	0.0	26.0	-	-	-	2.0	2.0	2.0	589.6	●								
57.5						97.5	64.7	-40.0	-7.2	-7.2	-40.0	-23.6	52.0	-	57.8	5.8	60.0	118.0	118.0	93.4	74.8	-58.0	-14.8	101.1	40.0			39.0	-	-1.0	0.0	12.0	-	-	-	1.8	1.8	1.8	592.2	●							
57.5						97.5	97.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	52.0	-	-	-	60.0	91.6	90.4	92.0	72.4	-32.0	-12.4	86.6	40.0			38.9	-	-1.1	0.0	27.0	-	-	-	0.6	0.6	0.6	588.8	●							
平均						57.5	83.6	81.7	-26.1	-24.2	-17.9	-32.4	-25.1	52.0	164.4	157.2	124.4	5.2	60.0	99.2	97.7	87.4	82.9	-44.8	-11.6	91.8	40.0			40.0	39.0	-	-	0.0	1.0	9.2	26.0	-	-	1.7	1.5	1.5	1.5	588.8	●		
ⅢmPC3-1	さび	1/2、3				57.5	55.9	55.5	1.6	2.0	2.0	1.6	1.8	52.0	160.5	163.5	8.5	11.5	60.0	86.6	85.4	96.6	65.4	-36.6	-5.4	83.5	40.0	40.7	41.0	39.3	0.7	1.0	-	-	-0.7	70.0	75.0	-	-	-	1.6	1.6	1.6	749.9	●		
57.5						37.7	40.0	20.4	17.5	20.4	17.5	19.0	52.0	157.4	152.5	5.4	0.5	60.0	78.6	78.6	78.8	71.6	-28.8	-11.6	79.4	40.0	42.3	41.5	40.4	38.9	2.3	1.5	0.4	-1.1	-	-	-	3.0	3.0	3.0	582.2	●					
57.5						46.3	46.7	11.2	10.8	11.2	10.8	11.0	52.0	155.8	159.8	3.8	7.8	60.0	86.8	84.2	95.8	61.2	-35.8	-1.2	82.0	40.0	40.9	40.5	43.5	38.4	0.9	0.5	3.5	-1.6	-	-	-	3.0	3.0	3.0	583.0	●					
57.5						39.5	42.9	18.0	14.6	18.0	14.6	16.3	52.0	158.5	156.8	6.5	4.8	60.0	85.4	87.4	97.2	66.2	-37.2	-6.2	84.1	40.0	40.0	40.8		38.4	0.0	0.8	-1.6	62.0	90.0	-	-	-	3.0	3.0	3.0	583.0	●				
平均						57.5	44.7	46.3	12.8	11.2	12.9	11.1	12.0	52.0	158.1	158.2	6.1	6.2	60.0	84.4	83.9	94.6	66.1	-34.6	-6.1	82.2	40.0	41.0	41.0	42.0	38.8	1.0	0.9	2.0	-1.3	62.5	81.2	1.8	3.0	-	-	2.7	2.7	2.4	2.6	55.4	
ⅢmPD0-1	ガス切断	1/2、0				57.5	97.5	64.5	-40.0	-17.0	-17.0	-40.0	-23.5	52.0	-	55.7	3.7	60.0	93.4	82.8	90.0	90.8	-33.4	-22.8	90.0	40.0			41.5	-	1.5	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0									
57.5						50.7	43.5	6.8	14.0	14.0	6.8	10.4	52.0	161.0	157.1	9.0	5.1	60.0	75.4	86.8	89.8	77.0	-29.8	-15.8	82.3	40.0	41.9	42.8	41.4	38.7	1.9	2.8	1.4	-1.3	-	-	-	0.0	0.0								
57.5						97.5	97.5	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	52.0	-	-	-	60.0	84.2	60.8	95.8	94.0	-35.8	-0.8	83.7	40.0	42.5	-	-	2.5	-	0.0	30.0	-	-	-	-	0.0	0.0									
57.5						97.5	75.3	-40.0	-17.8	-17.8	-40.0	-28.9	52.0	-	-	-	60.0	85.0	86.2	90.2	94.0	-34.0	-25.0	89.4	40.0	40.0	40.5	-	-	0.0	0.5	0.0	32.0	-	-	-	-	0.0	0.0								
平均						57.5	85.8	70.2	-28.3	-12.7	-12.7	-28.3	-20.5	52.0	161.0	156.4	9.0	4.4	60.0	84.5	79.7	92.2	89.0	-33.3	-																						

●：在液界无破裂
○：铁粉母料部破裂

表-V.4.10 D51の非破壊検査結果

鉄筋番号	鉄筋種類・形状・寸法	圧入条件	圧入位置	圧入深度(mm)	圧入方向	SV波										SH波										弾性圧縮										引張強さ	破断位置	
						測定値					ビーム種類(W)					測定値					ビーム種類(W)					弾性圧縮					ET(測定値)							
						基準・ゲイン絶対値・ゲイン相対値					基準・ゲイン絶対値・ゲイン相対値					基準・ゲイン絶対値・ゲイン相対値					基準・ゲイン絶対値・ゲイン相対値					弾性圧縮					ET(測定値)							
						基準	ゲイン絶対値	ゲイン相対値	最大	最小	平均	基準	ゲイン絶対値	ゲイン相対値	最大	最小	平均	基準	ゲイン絶対値	ゲイン相対値	最大	最小	平均	基準	ゲイン絶対値	ゲイン相対値	最大	最小	平均	基準	ゲイン絶対値	ゲイン相対値	最大	最小	平均			
VmSA0-1	D51	m	標準圧入	1.60	健全	0	0	0	0	0	0	620	79.8	102.0	-17.8	-40.0	-17.8	-40.0	-28.9	71.1	-	-	-	560	124.0	94.2	101.2	99.4	-68.0	-38.2	104.7	140.0	-	-	-	589.1	○	
VmSA0-2												620	79.8	77.4	-17.8	-15.4	-15.4	-17.8	-16.6	71.1	-	-	-	560	94.0	99.0	98.6	124.0	-68.0	-38.0	103.9	140.0	-	-	-	589.2	○	
VmSA0-3												620	78.5	80.6	-16.5	-18.6	-16.5	-18.6	-17.6	71.1	-	-	-	560	91.4	96.2	100.6	124.0	-68.0	-35.4	103.1	140.0	-	-	-	589.5	○	
VmSA0-4												620	102.0	79.2	-40.0	-17.2	-17.2	-40.0	-28.6	71.1	-	-	-	560	96.8	98.6	94.8	101.2	-45.2	-38.8	97.9	140.0	-	-	-	-	-	
平均												620	85.0	84.8	-23.0	-22.8	-16.7	-29.1	-22.9	71.1	-	-	-	560	101.6	97.0	98.8	112.2	-62.3	-37.6	102.4	140.0	-	-	-	589.3	○	
VmSB2-1					ベースト	2/8						620	79.8	79.8	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8	71.1	-	-	-	560	94.2	100.6	124.0	74.0	-68.0	-18.0	98.2	140.0	-	-	-	413.3	●	
VmSB2-2												620	81.2	73.4	-19.2	-11.4	-11.4	-19.2	-15.3	71.1	-	-	-	560	96.8	97.6	93.0	74.8	-41.6	-18.8	90.6	140.0	-	-	-	40.3	●	
VmSB2-3												620	77.4	63.2	-15.4	-1.2	-1.2	-15.4	-8.3	71.1	-	-	-	560	91.2	100.6	124.0	64.2	-68.0	-8.2	95.0	140.0	-	-	-	42.0	●	
VmSB2-4												620	102.0	74.2	-40.0	-12.2	-12.2	-40.0	-26.1	71.1	-	-	-	560	124.0	124.0	96.2	66.4	-68.0	-10.4	102.7	140.0	-	-	-	40.5	●	
平均												620	85.1	72.7	-23.1	-10.7	-10.7	-23.1	-16.9	71.1	-	-	-	560	101.6	105.7	109.3	69.9	-61.4	-13.9	96.6	140.0	-	-	-	41.5	●	
VmSC3-1					さび	1/2, 3						620	67.2	65.2	-5.2	-3.2	-3.2	-5.2	-4.2	71.1	81.5	79.4	10.4	8.3	560	124.0	124.0	124.0	101.8	-68.0	-45.8	118.5	140.0	-	-	-	1.5	●
VmSC3-2												620	64.4	64.8	-2.4	-2.8	-2.4	-2.8	-2.6	71.1	77.4	79.2	6.3	8.1	560	94.8	124.0	99.4	103.2	-68.0	-38.8	105.4	140.0	-	-	-	174.8	●
VmSC3-3												620	77.4	79.8	-15.4	-17.8	-15.4	-17.8	-16.6	71.1	-	-	-	560	124.0	124.0	124.0	102.4	-68.0	-46.4	118.5	140.0	-	-	-	211.7	●	
VmSC3-4												620	73.8	79.8	-11.8	-17.8	-11.8	-17.8	-14.8	71.1	182.0	-	-	-	560	98.2	104.0	99.2	99.8	-48.0	-42.2	100.3	140.0	-	-	-	317.6	●
平均												620	70.7	72.4	-8.7	-10.4	-8.2	-10.9	-9.6	71.1	180.3	79.3	9.2	8.2	560	110.3	119.0	111.7	101.8	-63.0	-43.3	110.7	140.0	-	-	-	224.7	●
VmSD0-1					ガス切断	1/2, 0						620	59.5	54.8	2.5	7.2	2.5	7.2	4.9	71.1	81.2	80.3	10.1	9.2	560	95.4	92.0	124.0	74.0	-68.0	-18.0	96.4	140.0	-	-	-	40.3	●
VmSD0-2												620	48.4	51.4	13.6	10.6	13.6	10.6	12.1	71.1	79.7	80.5	8.6	9.4	560	94.0	85.0	101.8	73.2	-45.8	-17.2	88.5	140.0	-	-	-	139.6	●
VmSD0-3												620	79.2	80.6	-17.2	-18.6	-17.2	-18.6	-17.9	71.1	-	-	-	560	94.2	102.8	103.2	100.6	-47.2	-38.2	100.2	140.0	-	-	-	40.5	●	
VmSD0-4												620	58.2	43.4	3.8	18.6	18.6	3.8	11.2	71.1	181.9	-	-	-	560	85.2	99.0	99.0	97.2	-43.0	-29.2	95.1	140.0	-	-	-	0.4	●
平均												620	61.3	57.6	0.7	4.5	5.6	-0.4	2.6	71.1	180.9	180.4	9.8	9.3	560	92.2	94.7	107.0	86.3	-51.0	-25.7	95.0	140.0	-	-	-	40.4	●
VmSE3-1					塗料	1/2, 3						620	48.8	47.4	13.2	14.6	14.6	13.2	13.9	71.1	81.7	81.8	10.6	10.7	560	72.2	124.0	124.0	89.6	-68.0	-16.2	102.5	140.0	-	-	-	0.4	●
VmSE3-2												620	63.0	49.6	-1.0	12.4	12.4	-1.0	5.7	71.1	184.3	179.8	13.2	8.7	560	78.0	124.0	124.0	84.2	-68.0	-22.0	102.6	140.0	-	-	-	38.6	●
VmSE3-3												620	63.0	52.2	-1.0	9.8	9.8	-1.0	4.4	71.1	182.5	179.8	11.4	8.7	560	99.4	124.0	124.0	75.0	-68.0	-19.0	105.6	140.0	-	-	-	140.1	●
VmSE3-4												620	57.6	46.0	4.4	16.0	16.0	4.4	10.2	71.1	180.9	180.5	9.8	9.4	560	82.0	85.4	101.8	80.6	-45.8	-24.6	87.5	140.0	-	-	-	39.6	●
平均												620	58.1	48.8	3.9	13.2	13.2	3.9	8.6	71.1	182.4	180.5	11.3	9.4	560	82.9	114.4	118.5	82.4	-62.5	-20.5	99.5	140.0	-	-	-	39.7	●
VmP2A0-1					健全	0						600	100.0	100.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	66.2	-	-	-	550	94.4	92.6	92.6	91.2	-39.4	-36.2	92.7	140.4	-	-	-	0.0	○	
VmP2A0-2												600	100.0	100.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	66.2	-	-	-	550	92.6	87.2	93.0	90.8	-38.0	-32.2	90.9	140.4	-	-	-	0.0	○	
VmP2A0-3												600	100.0	100.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	66.2	-	-	-	550	119.0	119.0	92.2	93.0	-64.0	-37.2	105.8	140.4	-	-	-	0.0	○	
VmP2A0-4												600	79.2	100.0	-19.2	-40.0	-19.2	-40.0	-29.6	66.2	-	-	-	550	97.6	96.2	87.2	83.6	-42.6	-28.6	91.2	140.4	-	-	-	39.5	○	
平均												600	94.8	100.0	-34.8	-40.0	-34.8	-40.0	-37.4	66.2	-	-	-	550	100.9	98.8	91.3	89.7	-46.0	-33.6	95.1	140.4	-	-	-	39.5	○	
VmP2B2-1					ベースト	2/8						600	100.0	51.4	-40.0	8.6	8.6	-40.0	-15.7	66.2	-	-	-	550	94.4	94.0	98.2	57.4	-43.2	-2.4	86.0	140.4	-	-	-	38.8	●	
VmP2B2-2												600	100.0	52.8	-40.0	7.2	7.2	-40.0	-16.4	66.2	-	-	-	550	95.0	93.6	91.2	56.8	-40.0	-1.8	84.2	140.4	-	-	-	41.8	●	
VmP2B2-3												600	100.0	79.2	-40.0	-19.2	-19.2	-40.0	-29.6	66.2	-	-	-	550	95.0	90.2	93.0	56.6	-40.0	-1.6	83.7	140.4	-	-	-	41.0	●	
VmP2B2-4												600	75.4	100.0	-15.4	-40.0	-15.4	-40.0	-27.7	66.2	-	-	-	550	119.0	94.0	88.0	87.2	-64.0	-32.2	97.1	140.4	-	-	-	41.5	●	
平均												600	93.9	70.9	-33.9	-10.9	-4.7	-40.0	-22.4	66.2	-	-	-	550	100.9	93.0	92.6	84.5	-46.8	-9.5	87.7	140.4	-	-	-	40.7	●	
VmP2C3-1					さび	1/2, 3						600	47.6	43.0	12.4	17.0	17.0	12.4	14.7	66.2	185.4	177.5	19.2	11.3	550	91.4	65.0	89.0	62.8	-36.4	-7.8	77.1	140.4	-	-	-	39.6	●
VmP2C3-2												600	41.2	46.2	18.8	13.8	18.8	13.8	16.3	66.2	183.3	179.8	17.1	13.6	550	79.6	74.8	96.2	72.8	-41.2	-17.8	80.9	140.4	-	-	-	39.6	●
VmP2C3-3												600	54.8	47.6	5.2	12.4	12.4	5.2	8.8	66.2	183.2	171.2	17.0	5.0	550	82.8	75.6	89.8	72.8	-34.8	-17.8	80.3	140.4	-	-	-	39.6	●
VmP2C3-4												600	51.6	44.2	8.4	15.8	15.8	8.4	12.1	66.2	190.7	178.2	124.5	12.0	550	89.2	77.0	87.0										

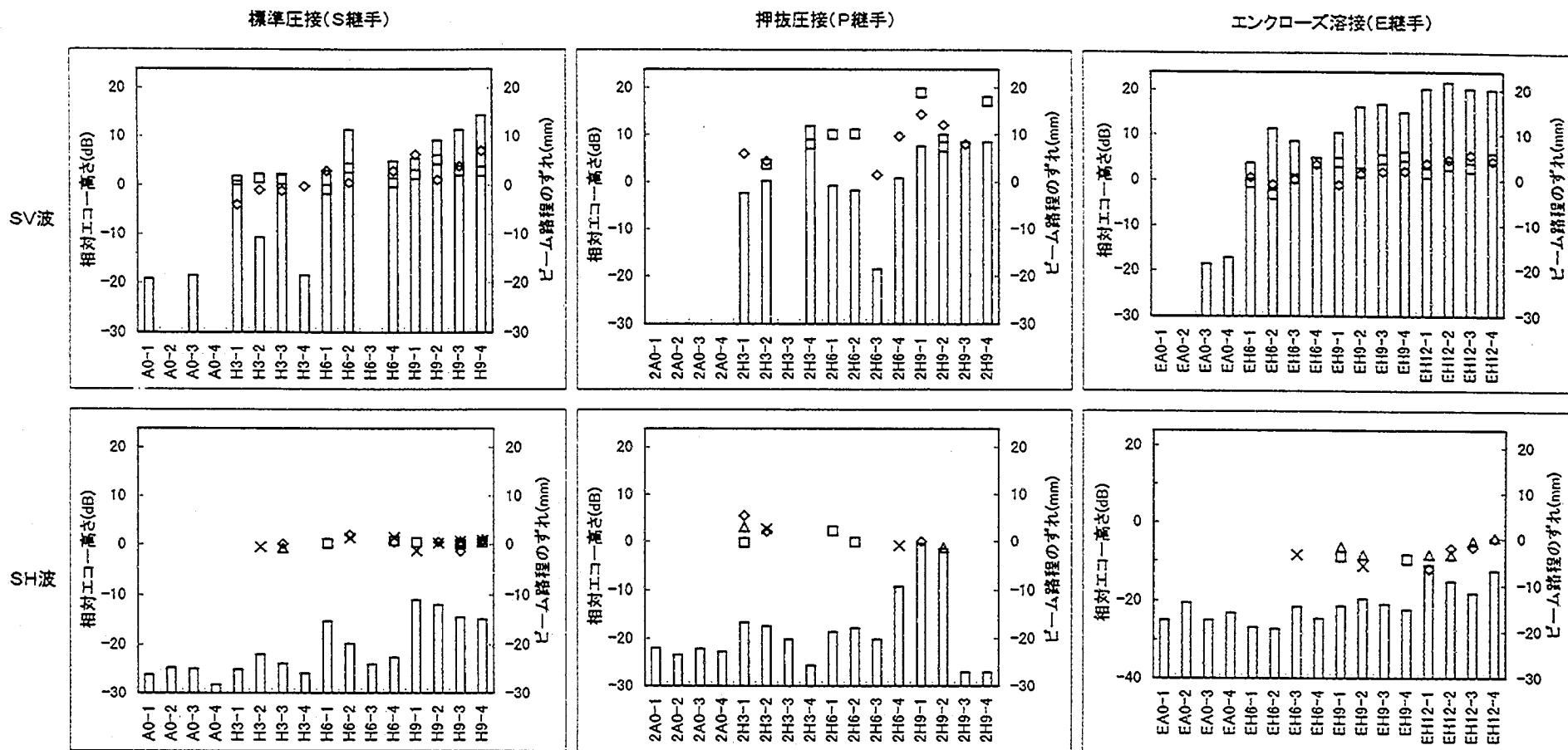


図-V.4.3 内部欠陥とエコー高さの関係 (D25)

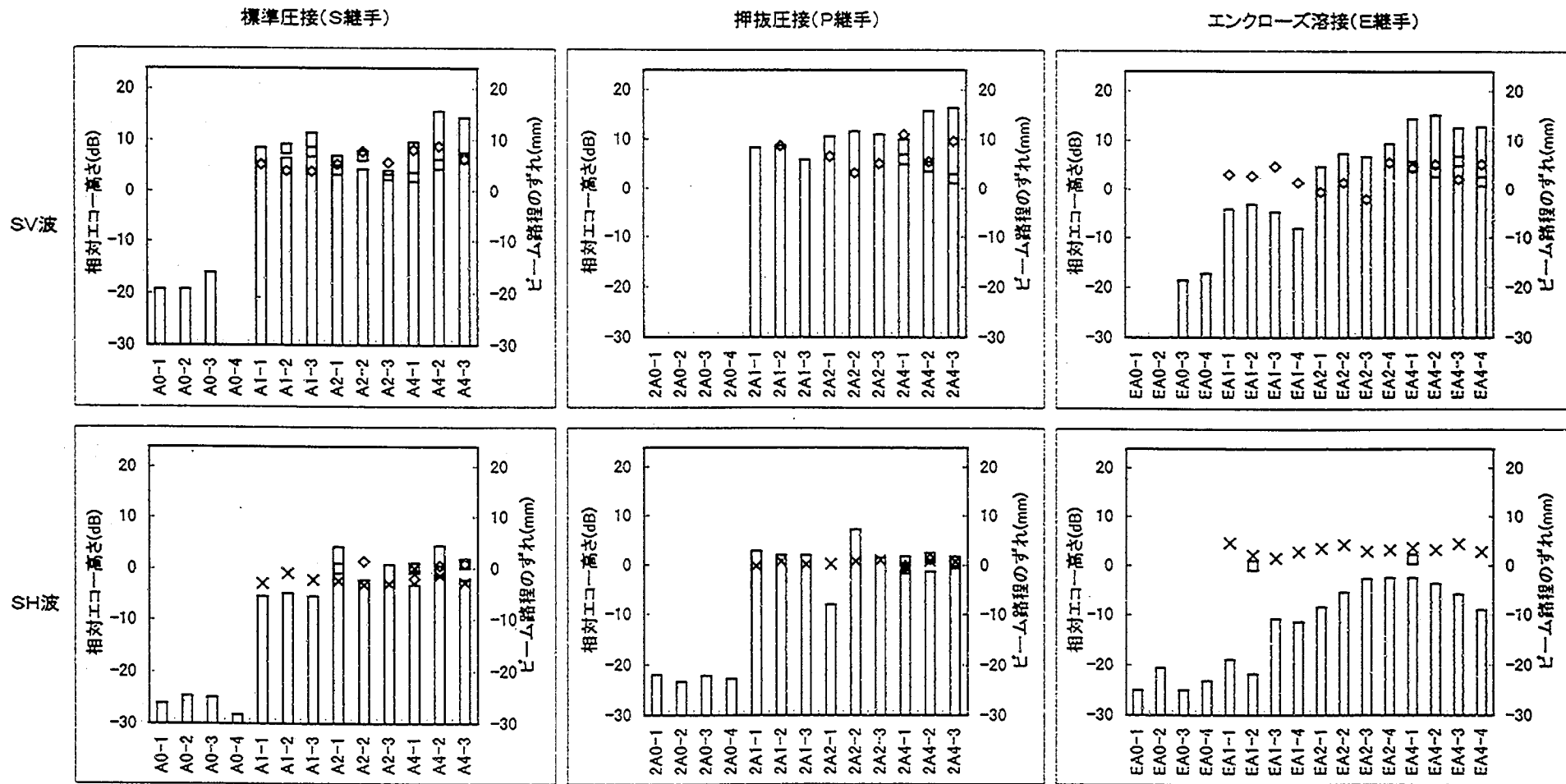


図-V.4.4 外周部欠陥とエコー高さの関係 (D25)

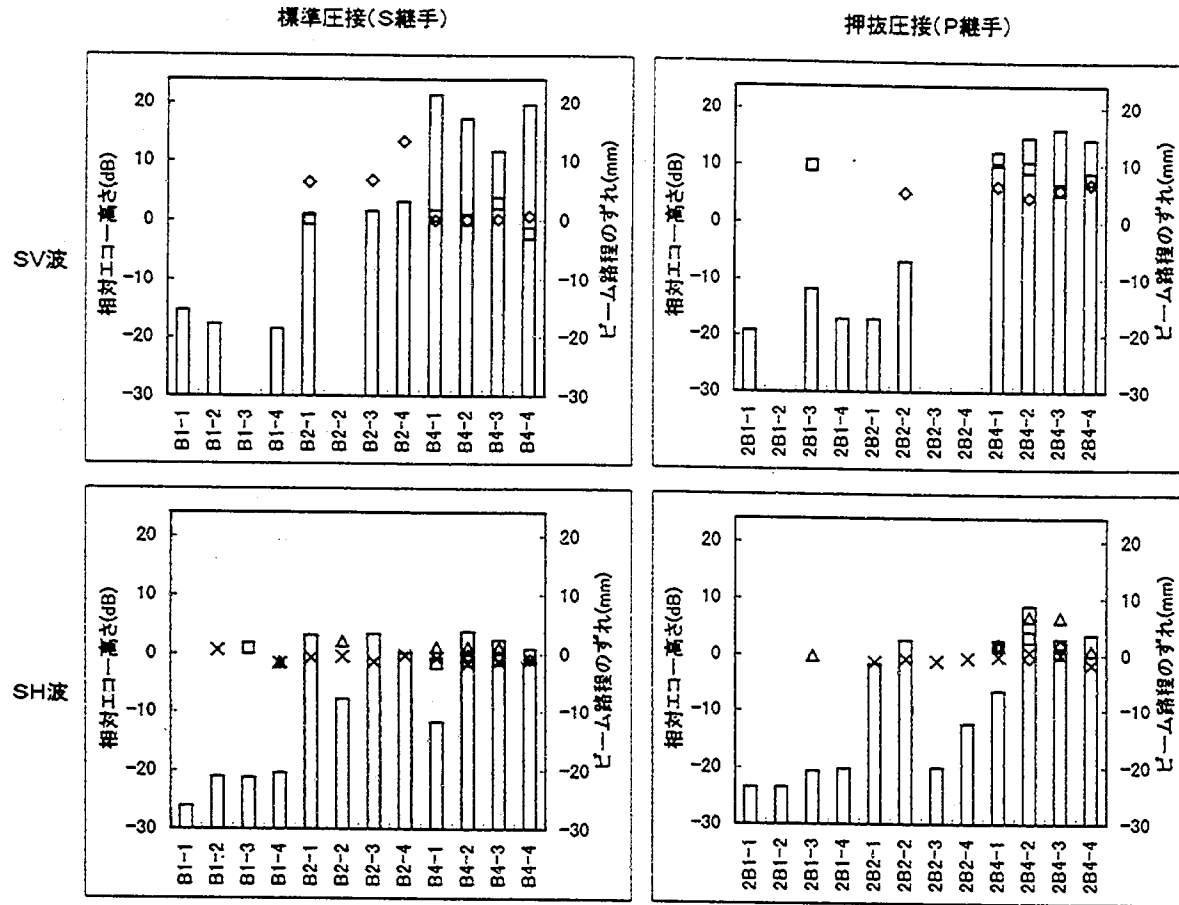


図-V.4.5 ベースト欠陥とエコー高さの関係 (D25)

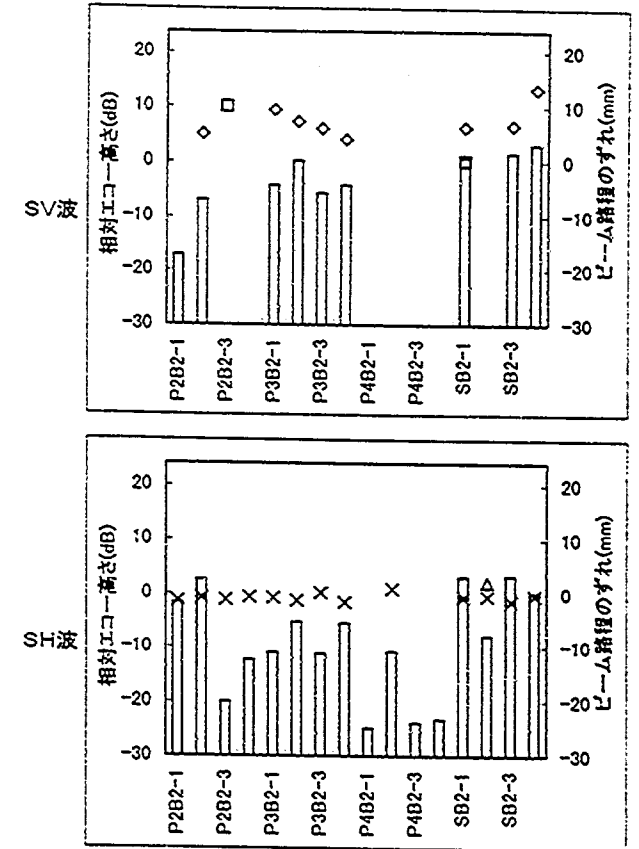


図-V.4.6 ベースト欠陥、押抜径とエコー高さの関係 (D25)

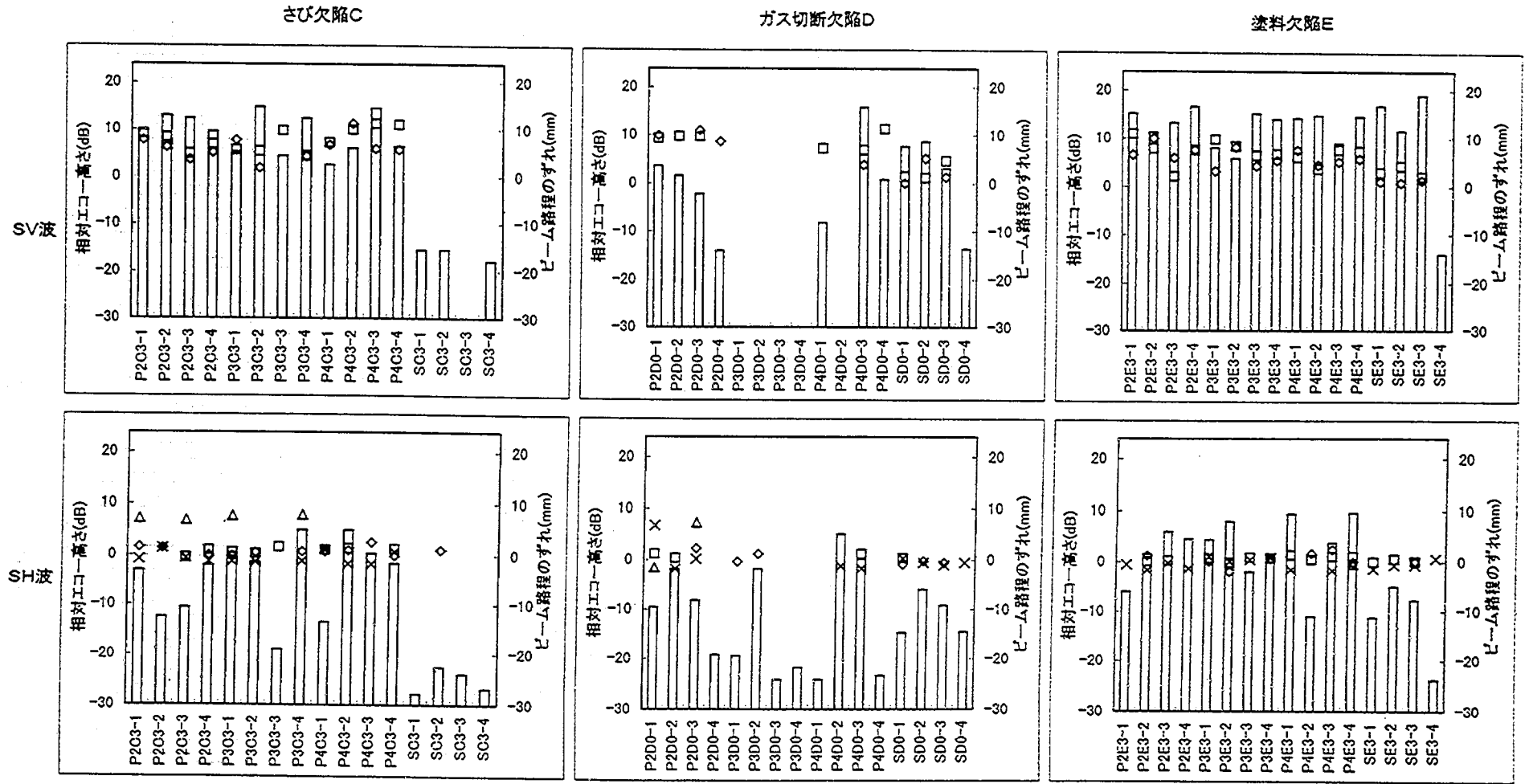


図-V.4.7 さび欠陥C, ガス切断欠陥D, 塗料欠陥E, 押抜径とエコー高さの関係 (D25, 欠陥4/8)

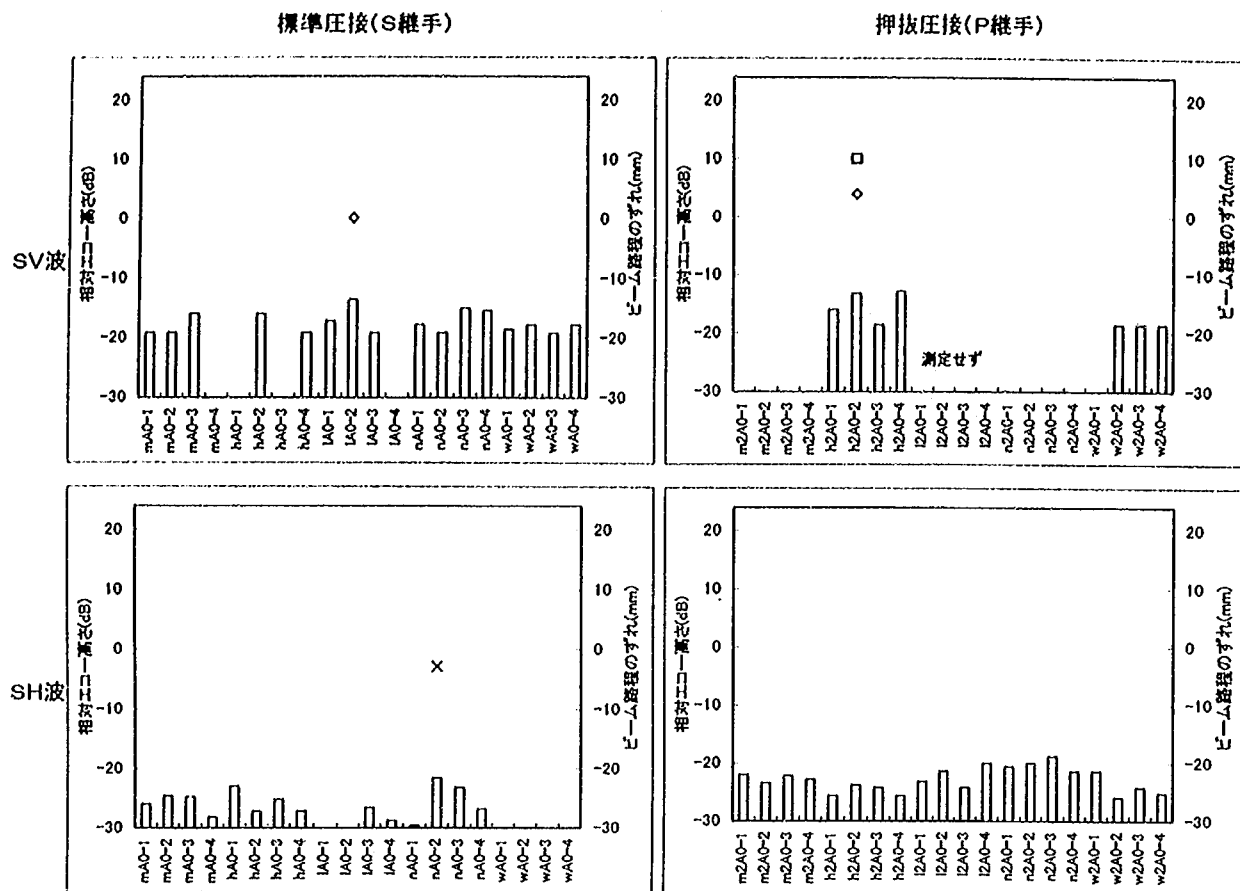


図-V.4.8 リブの影響 (D25, 健全A0)

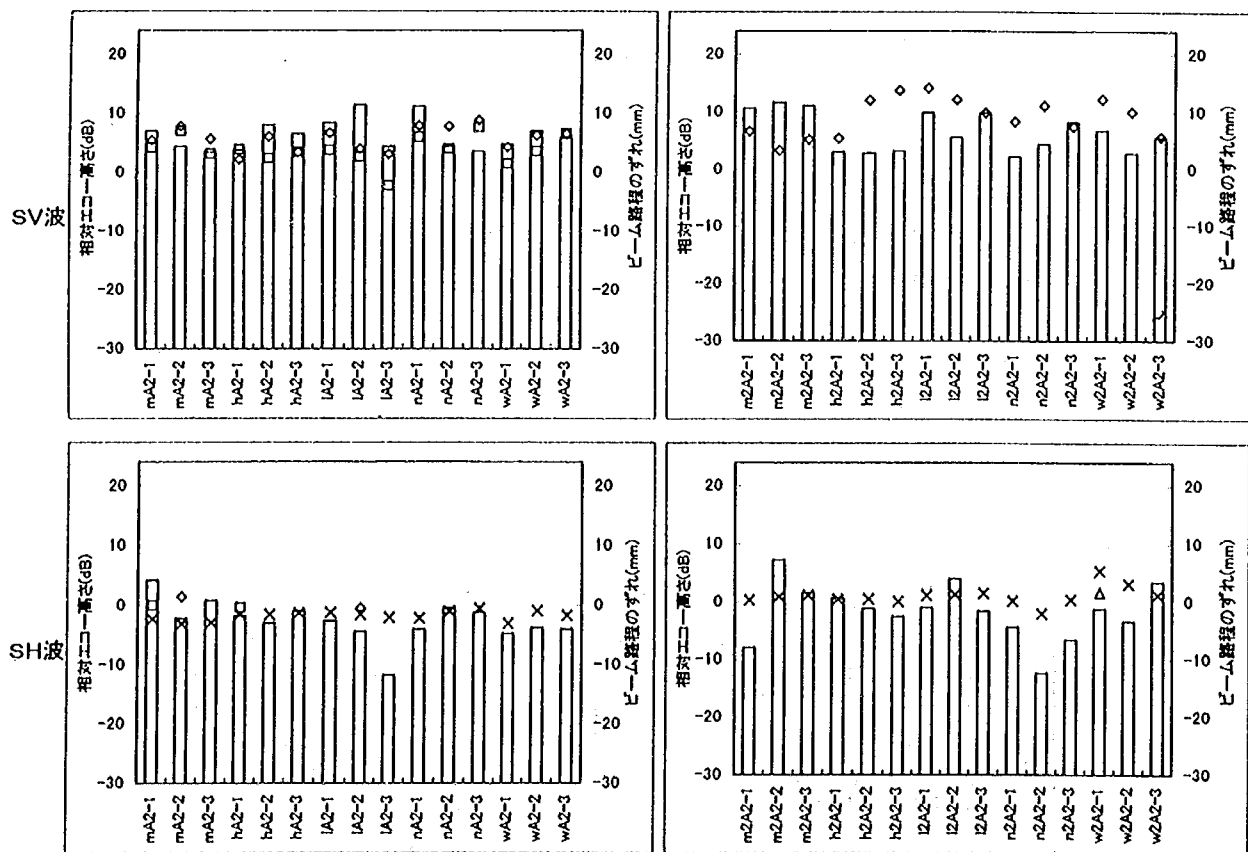
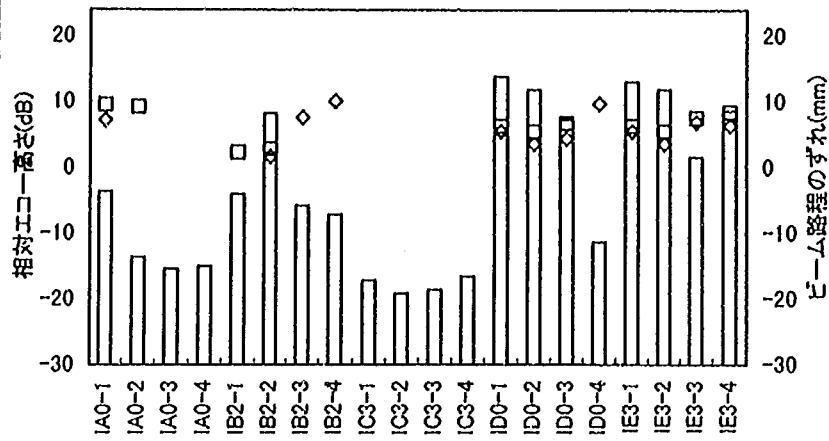
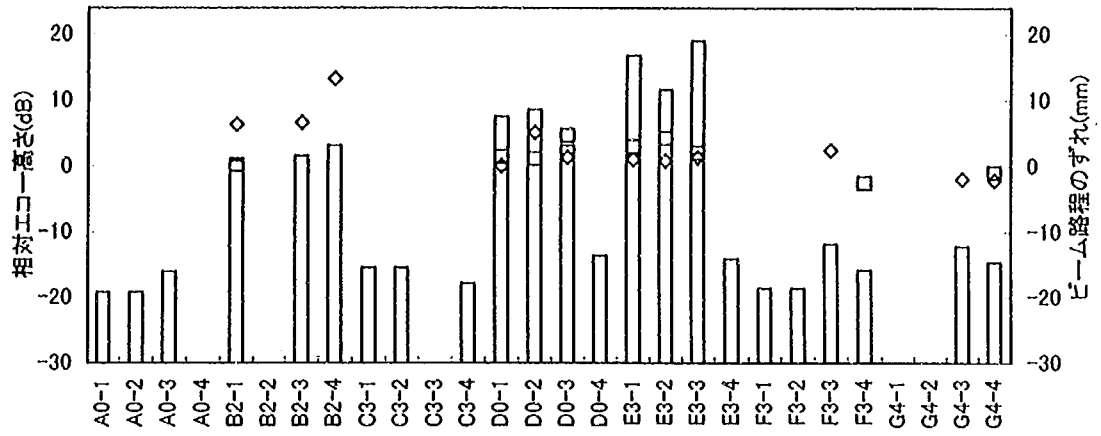


図-V.4.9 リブの影響 (D25, 外周部欠陥A2)

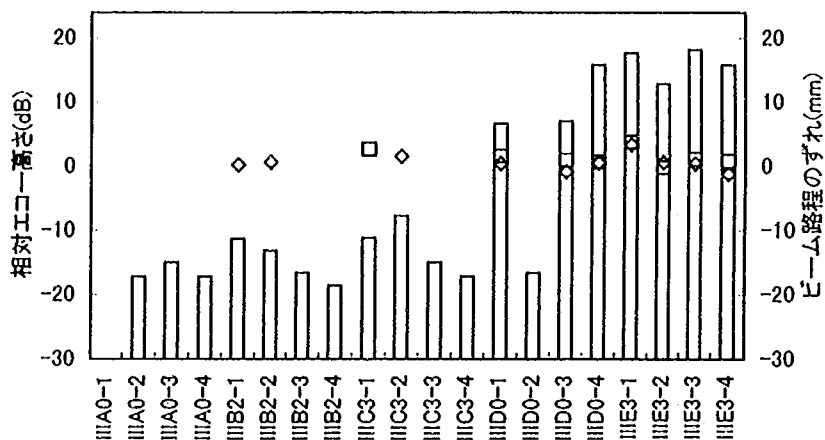
D19



D25



D38



D51

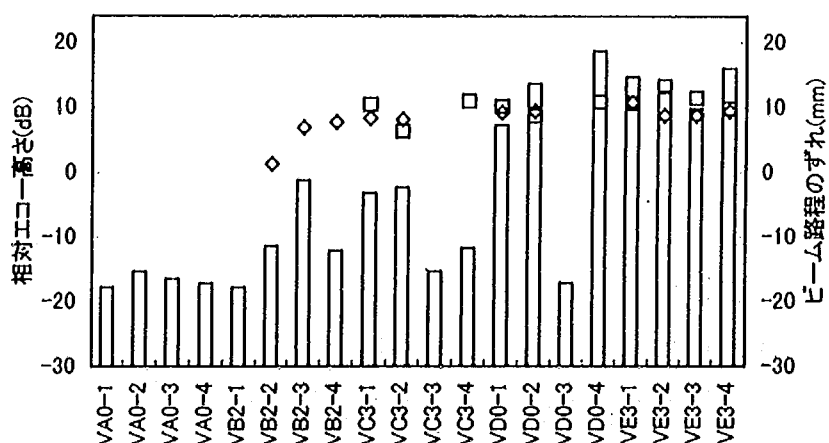
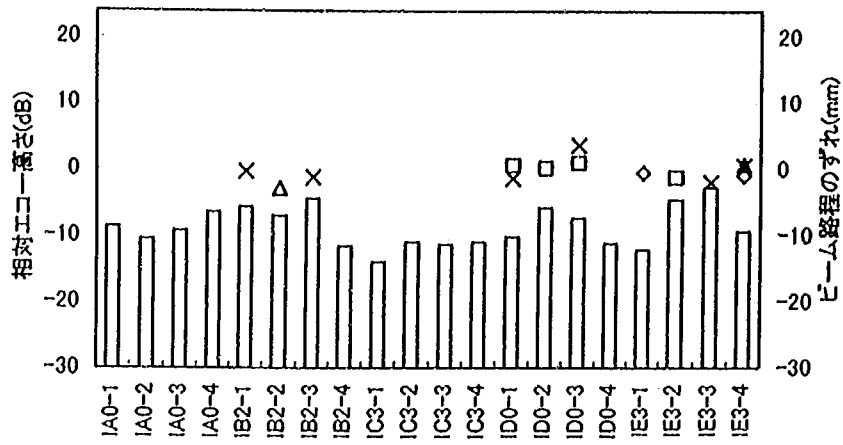
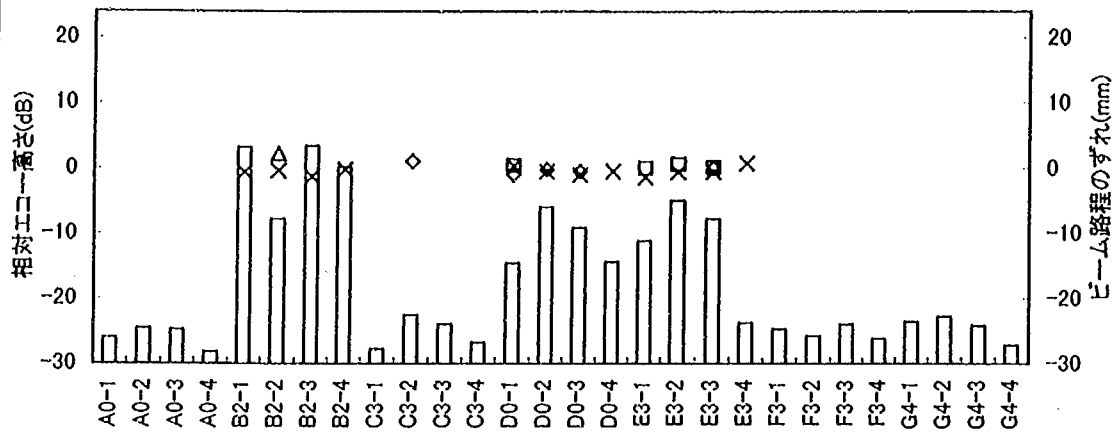


図-V.4.10 鉄筋径、各種欠陥とエコー高さの関係(標準圧接その1, SV)

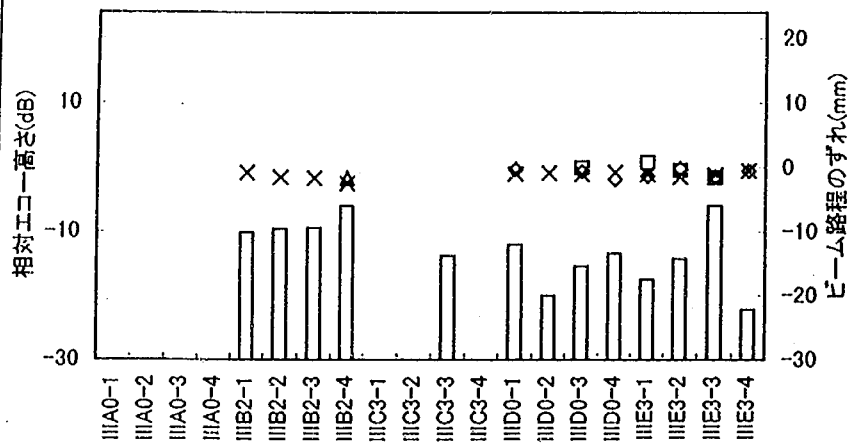
D19



D25



D38



D51

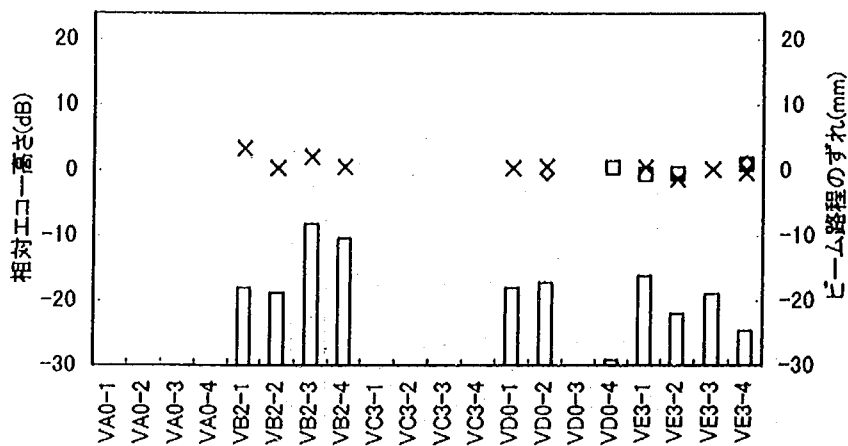
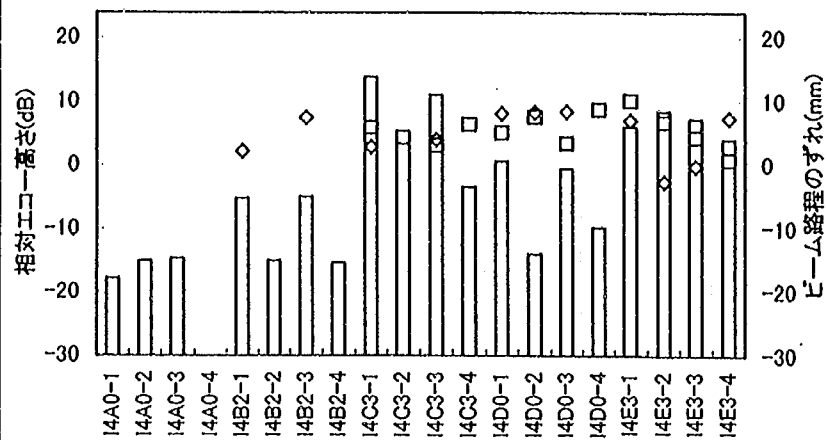
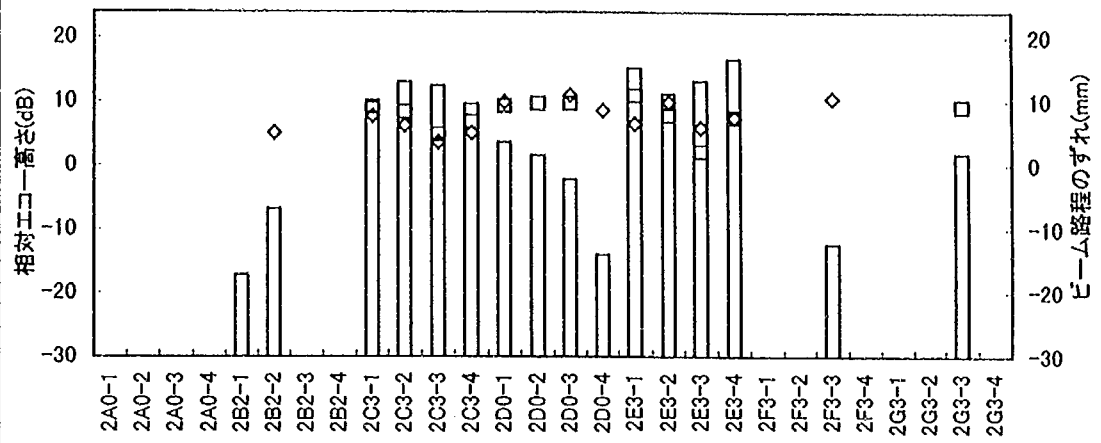


図-V. 4. 10. 鉄筋径、各種欠陥とエコー高さの関係 (標準圧接その2, SH)

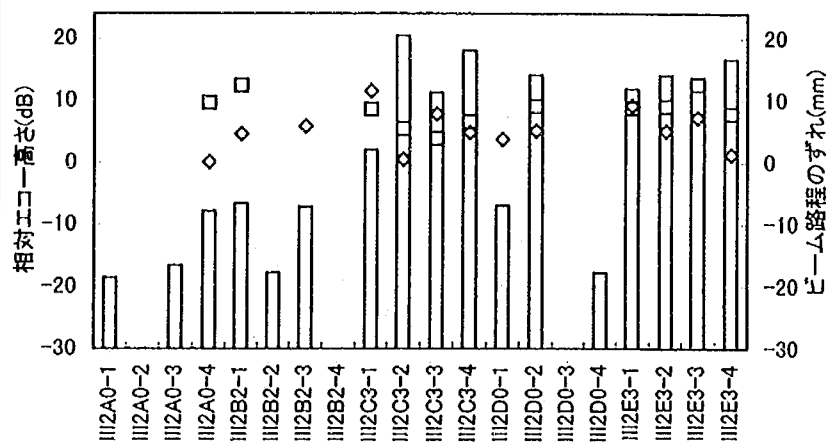
D19



D25



D38



D51

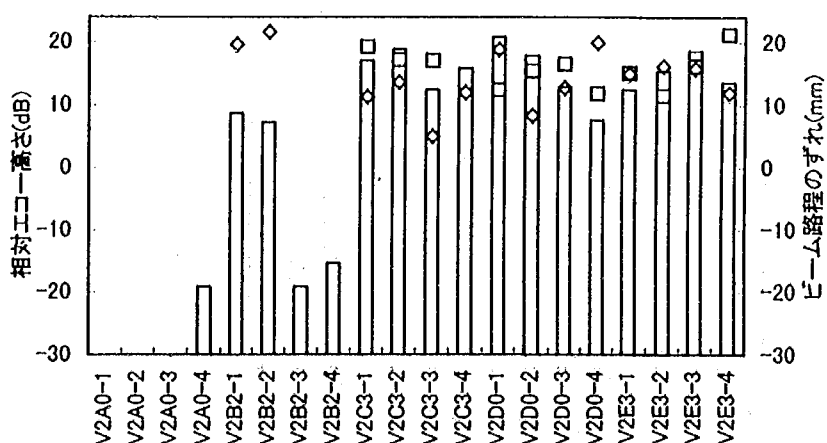
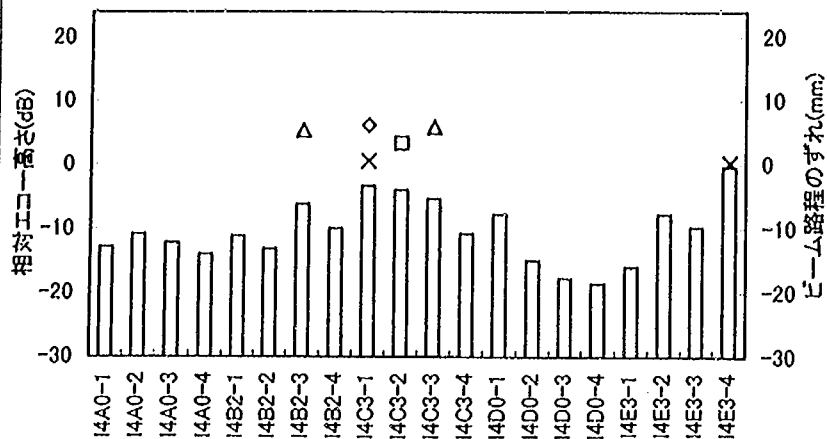
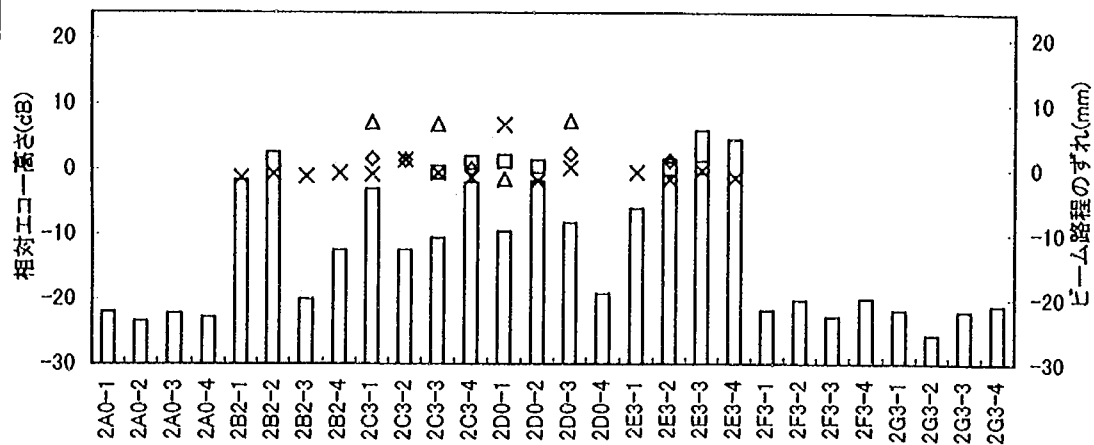


図-V.4.10 鉄筋径、各種欠陥とエコー高さの関係 (押抜圧接その3, SV)

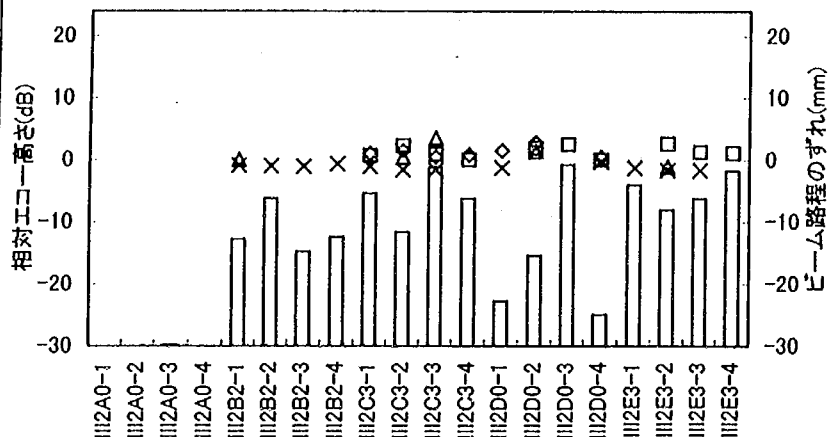
D19



D25



D38



D51

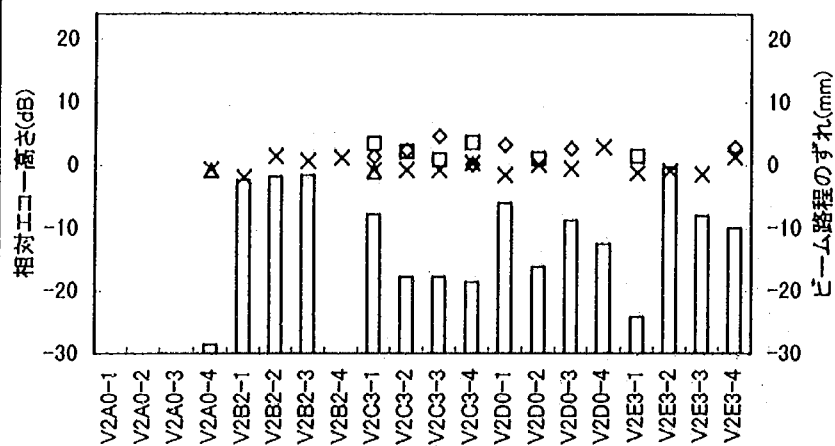


図-V. 4. 10 鉄筋径、各種欠陥とエコー高さの関係 (押抜圧接その4, SII)

5. 超音波探傷試験結果と考察

5.1 超音波探傷試験結果に及ぼす各種要因

まず、D25 について、人工的に入れた内部欠陥、外周部欠陥、ペースト欠陥、リブの形状、各種欠陥とふくらみ径が超音波探傷試験 (UT) 結果に及ぼす影響について検討した。その後、鉄筋径と各種欠陥の影響について検討した。評価には最大エコー高さをを用いた。以下に示す図表の、SV波の 0dB は合否判定レベル (基準レベル-24dB)、SH波の 0dB は直角端面のエコー高さ (図-V. 2. 2) である。

(1) 内部欠陥

図-V. 4. 1 に内部欠陥を有する標準圧接、押抜圧接、エンクローズ溶接継手 (以下、S、P、E継手と呼ぶ) のSV波およびSH波のエコー高さとビーム路程のずれを示す。内部欠陥面積率ごとの平均エコー高さを表-V. 5. 1 に示す。-40dB 以下は-40dB として計算してある。欠陥面積率は、鉄筋母材の公称断面積に対する欠陥面積の比率で示してある。欠陥面積率と平均エコー高さの関係は図-V. 5. 1 のとおりである。SおよびP継手の内部欠陥の位置は放射線透過写真-IV. 3. 42 のとおりである。E継手の内部欠陥はすべて中心である。

無欠陥 (A0) のSV波は、3種類の継手とも合否判定レベルに対して 20dB も小さいエコーであった (ノイズレベル)。SH波もほぼ同程度である。これらに対し、内部欠陥のUT結果は以下のとおりである。

SV波の場合、欠陥面積率が 1.4% のH3 欠陥でもS継手-2.0dB、P継手-7.6dB と急に高くなっている。さらに欠陥が大きくなるほどエコー高さも高くなるものの、ほぼ比例関係にあることがわかった。図-V. 5. 1 のE継手の欠陥面積率 0% (A0) と 5.6% (H6) はH3 欠陥がないので破線で結んである。SおよびP継手はE継手より小さい傾向にあるが、これは写真-IV. 3. 42 からわかるように、欠陥が中心からずれているものがあるためと考えられる。

SH波の場合も欠陥面積率と平均エコー高さの間にはほぼ比例関係があるものの、欠陥が中央にあるのでビームが当たりにくく、SV波の場合よりはかなり小さいエコーしか検出されていない。また、SおよびP継手はE継手より大きくなっている。これは、SV波とは逆に、欠陥が中央からずれているものがあるためと考えられる。写真-IV. 3. 42 と図-V. 4. 1 のSとP継手のSV波を比較すると、欠陥の中心からのずれが大きいほどエコーが高くなるのがよく一致していることがわかる。

これらの結果は、欠陥が中央付近にある場合SV波の検出能力は高いことを示している。

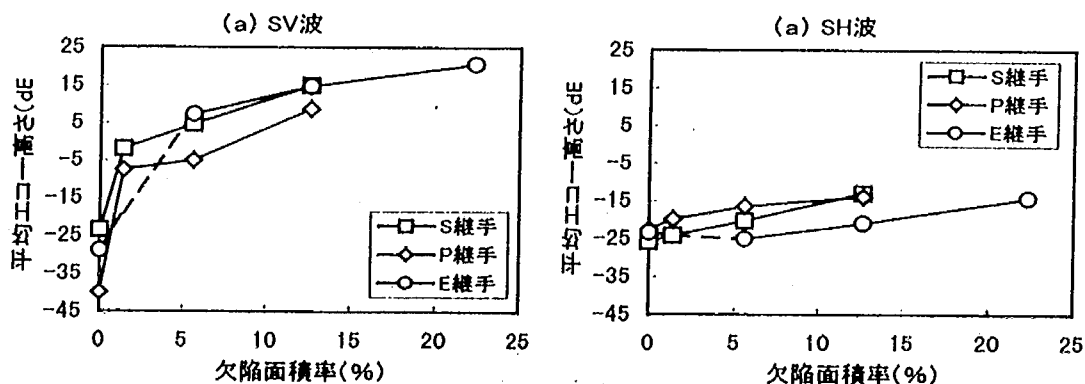


図-V. 5. 1 内部の欠陥面積率と平均エコー高さの関係

表-V. 5. 1 内部の欠陥面積率と平均エコー高さ

超音波	欠陥の種類	S継手	P継手	E継手	欠陥面積率(%)
S V波	A 0	-23. 6	-40. 0	-29. 0	0
	H 3	-2. 0	-7. 6	—	1. 4
	H 6	4. 6	-5. 1	7. 2	5. 6
	H 9	14. 8	8. 6	14. 6	12. 6
	H 12	—	—	20. 5	22. 3
S H波	A 0	-25. 9	-22. 6	-23. 5	0
	H 3	-24. 2	-20. 0	—	1. 4
	H 6	-20. 4	-16. 5	-25. 1	5. 6
	H 9	-13. 1	-14. 0	-21. 1	12. 6
	H 12	—	—	-14. 3	22. 3

注) 欠陥面積率は、鉄筋母材の公称断面積に対する欠陥面積の比率

(2) 外周部欠陥

ノッチによる外周部欠陥とエコー高さおよびビーム路程のずれの関係は図-V. 4. 2 のとおりである。欠陥面積率と平均エコー高さの関係は、表-V. 5. 2 および図-V. 5. 2 のとおりである。

外周部の欠陥面積率も母材の公称断面積の比で示してある。UTに影響を及ぼすのは、端子位置と欠陥の分布（位置と面積）と考えられる。端子位置は鉄筋のリブに決まっている。しかし、欠陥は、同種のものであれば圧接面に対する比率は一定になるが、位置関係はS継手とP継手では異なる。そのため個々では、とりあえず、母材公称断面積比で表した。実際には、次のようにして求めている。圧接部を円と仮定し、欠陥を1/8, 2/8, 4/8入れると、圧接面積に対する欠陥の面積率aは7.3%, 19.5%, 50.0%になる。S継手のふくらみ径を1.6D, PおよびE継手を1.2D一定とすると、母材断面積に対する圧接断面積は2.56倍, 1.44倍になり、鉄筋母材の断面積に対する外周部の欠陥面積の比率は、aにこれらの倍率を乗じた値となる。

ノッチによる外周部欠陥は、図-V. 5. 2 より、S V波、S H波とも、A1 (1/8 欠陥) でも大きなエコーを検出している。欠陥がA2 (2/8 欠陥)、A4 (4/8 欠陥) と大きくなってもエコーの増加はわずかである。ただし、S V波とS H波でエコー高さは異なっており、A4 欠陥のときS V波は13~14dB程度、S H波は-5~0dB程度である。

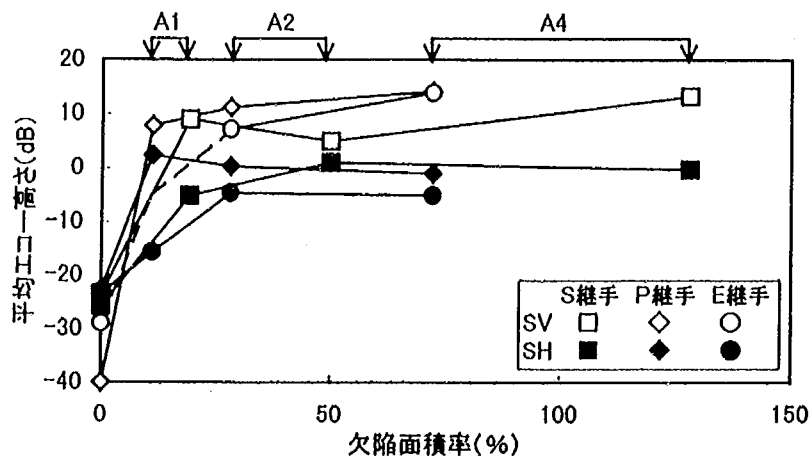


図-V. 5. 2 外周部の欠陥面積率と平均エコー高さの関係

表-V. 5. 2 外周部の欠陥面積率と平均エコー高さ

超音波	欠陥の種類	S継手		P継手		E継手	
		欠陥面積率(%)	エコー高さ(dB)	欠陥面積率(%)	エコー高さ(dB)	欠陥面積率(%)	エコー高さ(dB)
SV波	A 0	0	-23. 6	0	-40. 0	0	-29. 0
	A 1	19	8. 9	11	7. 7	11	-5. 1
	A 2	50	4. 9	28	11. 1	28	7. 1
	A 4	128	13. 2	72	14. 1	72	13. 8
SH波	A 0	0	-25. 9	0	-22. 6	0	-23. 5
	A 1	19	-5. 2	11	2. 3	11	-15. 7
	A 2	50	0. 9	28	0. 2	28	-4. 7
	A 4	128	-0. 3	72	-1. 1	72	-5. 2

注) 欠陥面積率は、鉄筋母材の公称断面積に対する欠陥面積の比率

(3) ペーストによる外周部欠陥

ペーストによる外周部欠陥とエコー高さおよびビーム路程のずれの関係は図-V. 4. 3のとおりである。欠陥面積率と平均エコー高さの関係は、表-V. 5. 3 および図-V. 5. 3のとおりである。欠陥面積率は、ノッチの場合と同様に計算から求めた場合および引張試験による破断面を測定した場合について示した。

S継手の欠陥面積率は、実測値と計算値はほぼ一致している。P継手は、B1 (1/8 欠陥) は圧接界面で破断しなかったので実測できなかった。B2 (2/8 欠陥) は計算値のほ

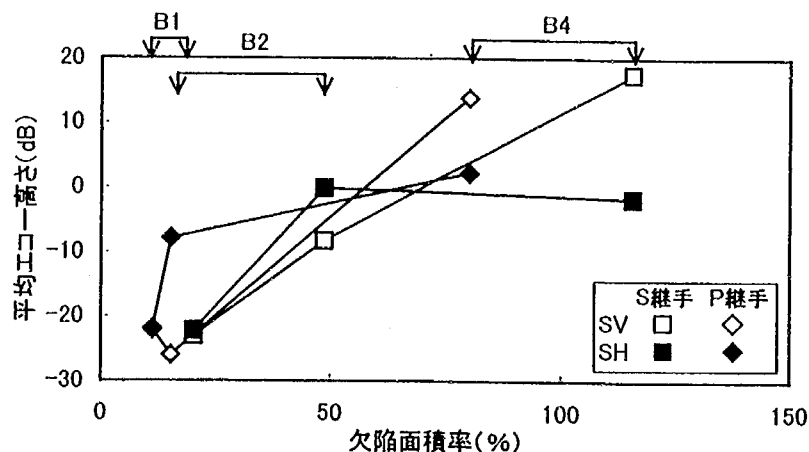


図-V. 5. 3 実測欠陥面積率と平均エコー高さの関係

ぼ 1/2 である。P継手の外周部の欠陥はふくらみを押し抜くことによって欠陥が小さくなったものと考えられる。B4 (4/8 欠陥) は中央部までペーストを付着させているので、押し抜いて外周部を取り除いても中央部は残り、ほぼ計算値どおりになっている。

図-V. 5. 3 より、P継手のB1欠陥は押し抜かれて欠陥がほとんど除去されていることが考えられ、SV波、SH波とも-20dB以下と非常に小さい。S継手のB1欠陥はSV波、SH波とも-20dB程度と小さく、ノッチによる欠陥A1とはかなり異なった傾向を示している。ノッチは完全に開いているが、ペーストの場合は圧接によってペーストがふくらみの外側に排除され欠陥が分散するため、検出しにくいという違いがあるものと考えられる。

SV波とSH波で異なっているのはB2欠陥の場合である。S継手のSV波は-8dB程度に対し、SH波はほぼ0dB程度である。SH波の0dBはほぼ上限値であり、非常に大きな

エコーといえる。P継手のB2欠陥の場合は、引張試験によって2本は圧接界面破断、1本は母材破断であったことから分けて検討する（図-V.4.3）。圧接界面破断した2本（通し番号の1と2）のエコーは、SV波で-26dB程度、SH波は-8dB程度である。SH波は欠陥があることを明確に検出している。このときの欠陥面積率は15%である。SV波は合否判定レベルより20dB以上も小さく、検出能力は小さい。B4欠陥になれば、SV波、SH波ともノッチによる外周部欠陥A4とほぼ同じエコー高さになっている。これらのことから、1/8欠陥では欠陥の種類によって検出できる場合とそうでない場合があること、2/8欠陥になればSH波の検出能力は高いものの、SV波は明確に検出できる限界付近と考えられる。

表-V.5.3 ペーストの欠陥面積率と平均エコー高さ

超音波	欠陥の種類	S継手			P継手		
		計算上の欠陥面積率(%)	実測欠陥面積率(%)	IC-高さ(dB)	計算上の欠陥面積率(%)	実測欠陥面積率(%)	IC-高さ(dB)
SV波	B1'	19	19.9	-23.0	11	—	-22.1
	B2''	50	48.7	-8.3	28	14.9	-26.0
	B4	128	115.6	17.5	72	80.1	13.8
SH波	B1'	19	19.9	-22.2	11	—	-21.9
	B2''	50	48.7	-0.2	28	14.9	-7.9
	B4	128	115.6	-1.7	72	80.1	2.2

* S継手の圧接界面破断は1本のみ、P継手の圧接界面破断はなし

** S継手の圧接界面破断は3本全部、P継手の圧接界面破断は2本

（4）押抜径と各種欠陥の影響

欠陥の種類ごとに、押抜径とエコー高さの関係を図-V.4.4および図-V.4.5に示す。図-V.4.4はペースト欠陥で、欠陥の大きさが2/8（B2）の場合である。図-V.4.5は欠陥の大きさが4/8の場合である。1.6Dは標準圧接である。

押抜径、欠陥の種類ごとの欠陥面積率、平均エコー高さを表-V.5.4および図-V.5.4に示す。欠陥面積率はその定義（欠陥面積／公称断面積）から、押抜径が大きくなるほど大きくなる傾向がある。

表-V.5.4 押抜径とエコー高さ

欠 陥	欠陥の 大 き さ	超 音 波	P 継 手						S 継 手	
			1. 2D		1. 3D		1. 4D		1. 6D	
			欠陥面 積率%	平均 I ₀ - dB	欠陥面 積率%	平均 I ₀ - dB	欠陥面 積率%	平均 I ₀ - dB	欠陥面 積率%	平均 I ₀ - dB
ペ-スト B 2	2/8	S V	14. 9	-26. 0	14. 0	-3. 5	—	—	48. 7	-8. 6
		S H		-7. 9		-8. 2		-20. 7		-0. 2
さび C	4/8	S V	67. 7	11. 2	57. 2	9. 2	77. 9	7. 4	113. 5	-22. 2
		S H		-7. 0		-3. 8		-2. 4		-25. 3
ガス切 断D		S V	25. 6	-2. 8	12. 6	—	39. 8	-7. 9	76. 3	1. 5
		S H		-9. 7		-16. 8		-10. 6		-11. 1
塗料 E		S V	57. 3	14. 1	67. 1	10. 8	85. 7	13. 2	76. 3	8. 4
		S H		1. 6		2. 8		3. 0		-12. 0

B2（ペースト 2/8）欠陥の場合、（3）項のとおり、1.2D および 1.6D のときSV波とSH波で明確な違いがあったものの、1.3D および 1.4D では明確ではない。D（ガス切断）

欠陥は押抜径に関係なくほぼ同じエコー高さを示している。C（さび）欠陥およびE（塗料）欠陥ではP継手は径にかかわらず高いエコーを示しているが、S継手（1.6D）は小さくなっている。

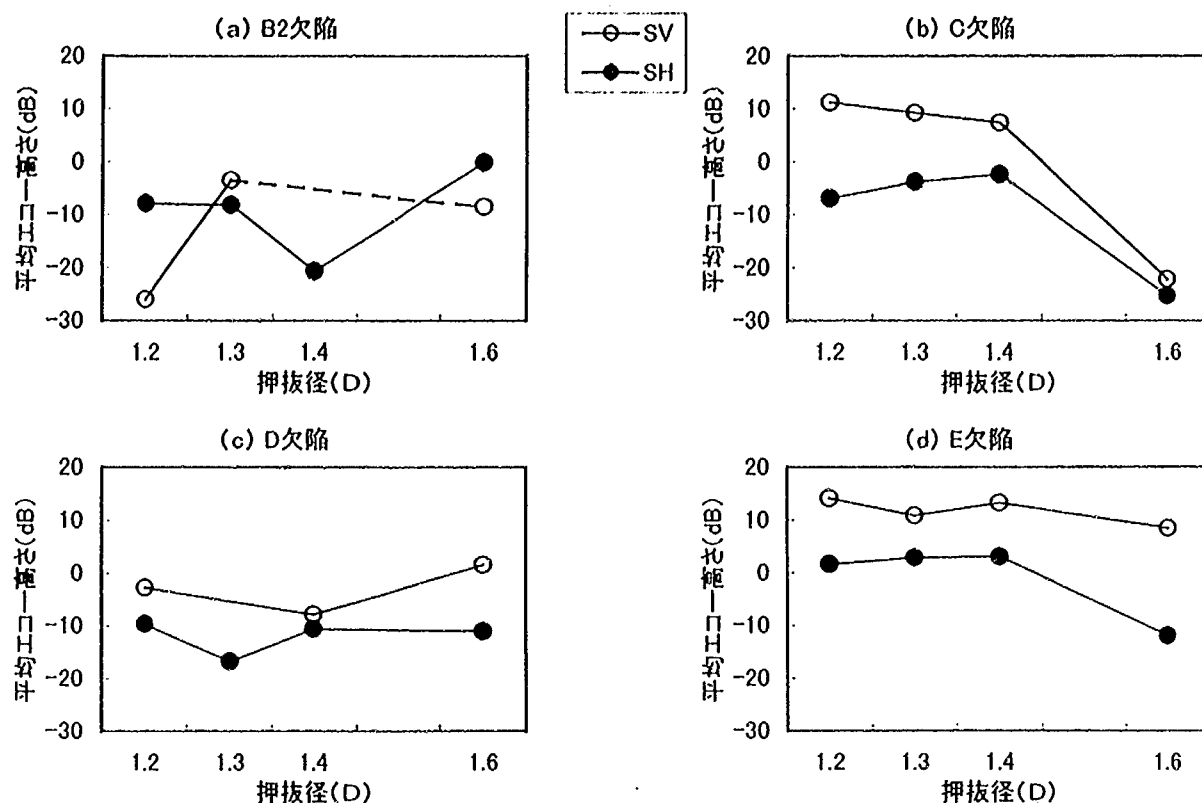


図-V. 5. 4 押抜径と平均エコー高さの関係

（５）リブの影響

リブの形状とエコー高さ、ビーム路程のずれの関係は図-V. 4. 6 およびV. 4. 7 のとおりである。図-V. 4. 6 は健全なA0試験片、図-V. 4. 7 は外周部欠陥 2/8 のA2試験片の場合である。リブの形状ごとの平均エコー高さを表-V. 5. 5 および図-V. 5. 5 に示す。表-V. 5. 5 には継手の種類ごとに平均値と標準偏差も示した。

表-V. 5. 5 リブ形状とエコー高さ

超音波	リブ	健全		A 2 欠陥	
		S 継手	P 継手	S 継手	P 継手
S V	m	-23.6	-40.0	4.9	11.1
	h	-28.8	-15.2	6.1	3.0
	l	-22.5	-40.0	8.1	8.4
	w	-18.4	-24.0	5.9	5.1
	n	-16.9	—	6.4	4.9
	平均	-22.0	-29.8	6.3	6.5
	標準偏差	4.2	10.7	1.0	2.9
S H	m	-25.9	-22.6	0.9	0.2
	h	-25.7	-24.8	-1.9	-1.1
	l	-29.0	-22.2	-6.3	0.5
	w	-32.2	-20.2	-4.2	-7.8
	n	-25.3	-24.2	-1.9	-0.4
	平均	-27.6	-22.8	-2.7	-1.7
	標準偏差	2.6	1.6	2.4	3.1

図-V.5.5より、リブの影響は明確ではない。そこで、基準感度とリブの幅（表-II.2.2）の関係をD19～D51までの全鉄筋の種類について図-V.5.6、表-V.5.6に示す。SV波の場合はリブの幅に関係なくほぼ一定であり、リブの幅の影響を受けていない。ところがSH波の場合は、リブの幅が広くなるほど感度は高くなっている。リブの幅が広いほど超音波を伝播しやすくなり感度も高くなるものと考えられる。

SH波の利用にあたっては、リブの幅を考慮し、周波数などを検討する必要があるものと考えられる。

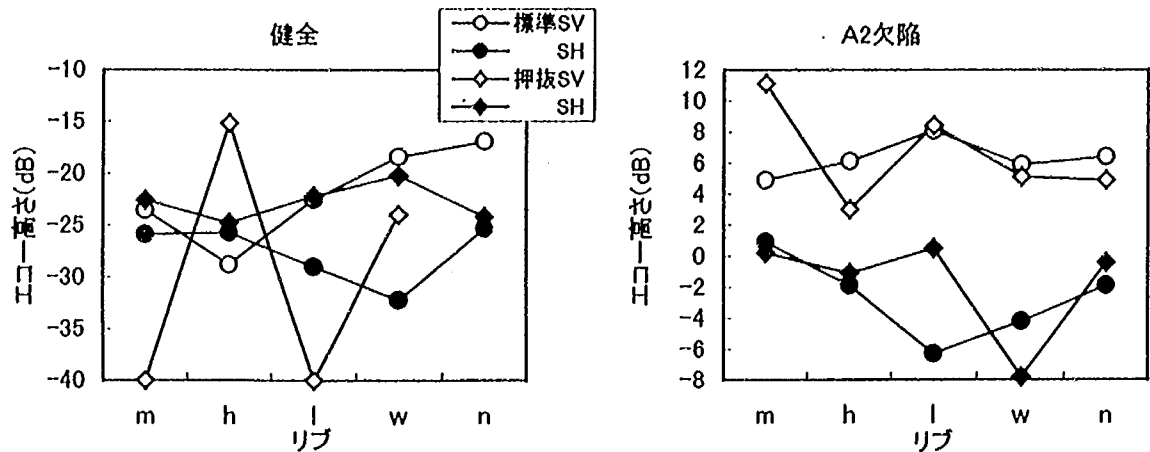


図-V.5.5 リブ形状と平均エコー高さの関係

表-V.5.6 リブの幅と基準感度

	リブの幅 (mm)	S V波 (dB)	S H波 (dB)
D19	3.64	-58.0	-81.5
D25 m	4.70	-55.5	-67.0
h	4.71	-57.0	-66.5
l	4.50	-57.5	-67.0
w	5.65	-57.5	-64.0
n	4.34	-59.0	-70.0
D38	6.62	-59.0	-61.0
D51	6.71	-61.0	-55.5

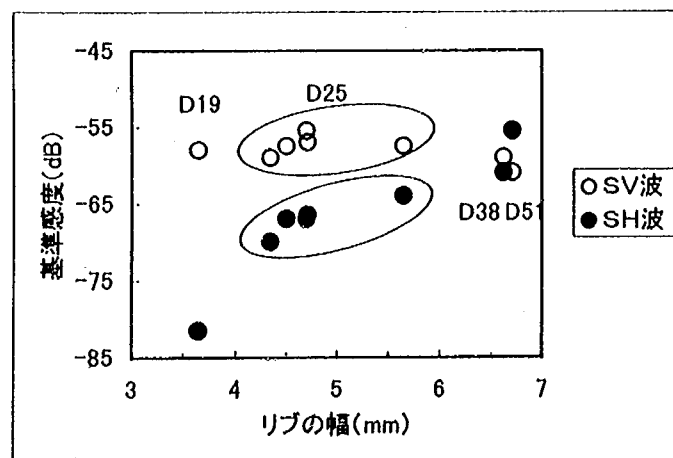


図-V.5.6 リブの幅と基準感度の関係

(6) 各種鉄筋径、欠陥とエコー高さ

図-V.4.8 に鉄筋径ごとに種々の欠陥とエコー高さの関係を示す。表-V.5.7 に鉄筋径 D19~D51 の4種類について、A0 (健全)、B2 (ペースト付着欠陥 2/8)、C (さびによる欠陥 4/8)、D (ガス切断による欠陥 4/8)、E (ペンキ付着欠陥 4/8)、D25 についてはF (バーナーのずれによる欠陥)、G (中性炎加熱による欠陥) の平均エコー高さを示す。図-V.5.7 に鉄筋径、各種欠陥ごとの平均エコー高さの関係を示す。

まず、D19 のS継手の健全なA0 は、SV波、SH波とも-10dB 程度という低いエコーを示している。それに対し、欠陥試験片は高いエコーが検出されている。表-V.4.1 の個々の結果もほぼ同程度の値を示している。SH波の場合、表面直下を表面に対して平行にSH波が伝搬するため、D19 のようにリブのサイズが小さい場合、基準とする端面エコー自体も非常に低く、85dB (ゲインの読み値) となった。そのため、欠陥エコーと林状エコー (バックグラウンドのノイズ) が同程度となり、健全なA0 と欠陥試験片でエコー高さの差異がなく、欠陥を検出することが困難である。

それに対して、鉄筋が D25 以上の場合、健全なA0 とさび欠陥C試験片を除いて、欠陥試験片とエコー高さの差が 20~30dB あり、十分に欠陥が検出できるようになった。

B2 欠陥は、欠陥が 2/8 であり (3) 節で検討したとおり、SV波で検出しやすい限界付近と考えられることから、検出しにくい場合と、検出しやすい場合でエコー高さは-2.2~-26.0dB と広く分布しているものと考えられる。SH波もS継手は-0.2~-13.9dB と広く分布しているものの、P継手は-10dB 程度である。

C欠陥は、S継手の場合、SV波、SH波ともかなり小さいエコーしか検出していない。さびによる欠陥は、さびが圧接時の加圧により超音波をも透過するほど微細化されるために検出しにくいものと考えられる。一方、P継手は高いエコーを検出している。これは、押し抜くことによりさびが起点となり、圧接界面に割れなどを生じたためと考えられる。

D、E欠陥は、SV波で高いエコーを検出している。これはペンキが多量に圧接面に付着した場合、圧接によって揮発し圧接面に空隙を形成するためと考えられる。また、D38 および D51 の一部のE欠陥試験片で低いエコーしか検出されなかったのは、圧接によってペンキが揮発し分散的にしか存在せず、圧接面の空隙も小さいものが形成されたためと考えられる。SV波と比較するとSH波は、E欠陥試験片 (1/2 ペンキ付着) のエコー高さは比較的低かった。これはペンキが多量に圧接面に付着した場合、圧接によって揮発し圧接面に空隙を形成するが、ふくらみの周辺部はガス炎によって十分に揮発されるため、ふくらみ周辺の圧接面に空隙が形成されないため、SH波ではエコー高さが比較的低くなったものと考えられる。

D欠陥試験片 (1/2 ガス切断面) については、SV、SH波とも径が大きくなるほどエコー高さが低くなる傾向があったが原因は不明である。

SV波の欠陥が検出された場合のビーム路程について考えると、基準感度を設定するための透過法と比べ、D38 を除いて、4~10mm 程度大きくなった。また、D38 の場合でも基準感度設定時と比べ 1~4mm 程度大きくなった。これは、圧接によってエコーの反射限となる欠陥が周辺に押し出され、SV波法では必ずしも探触子の正規の角度で欠陥を捉えるのではなくビームの屈折角が大きくなる方向への広がり度で欠陥を捕らえるため、基準感度設定時よりかなり大きなビーム路程になるものと考えられる。

F, G 欠陥は, D25 のみであるが, ほとんど-20dB 以下という低いエコーしか検出して
いない。これらは酸化に関係する欠陥と考えられるが, さびによる欠陥よりもさらに欠陥
を形成しにくいため, 超音波による検出は極めて困難と考えられる。

表-V. 5. 7 各種鉄筋呼び名, 欠陥とエコー高さ (その 1, 標準圧接)

超音波	鉄筋 呼び名	健全	欠 陥					
		A 0	B 2	C	D	E	F	G
S V	D19	-11.9	-2.2	-17.9	5.4	8.8	—	—
	D25	-23.6	-8.6	-17.8	1.5	8.4	-16.2	-26.7
	D38	-22.4	-15.0	-12.8	3.2	16.1	—	—
	D51	-16.7	-10.7	-8.2	5.6	13.2	—	—
S H	D19	-8.7	-7.2	-11.9	-8.7	-7.3	—	—
	D25	-5.9	-0.2	-25.3	-11.1	-12.0	-25.2	-24.5
	D38	-35.1	-8.8	-31.0	-15.2	-15.0	—	—
	D51	-37.6	-13.9	-40.0	-25.7	-20.5	—	—

表-V. 5. 7 各種鉄筋呼び名, 欠陥とエコー高さ (その 2, 押抜圧接)

超音波	鉄筋 呼び名	健全	欠 陥					
		A 0	B 2	C	D	E	F	G
S V	D19	-21.9	-10.2	6.2	-6.0	6.4	—	—
	D25	-40.0	-26.0	11.2	-2.8	14.1	-33.1	-29.6
	D38	-20.8	-17.9	12.9	-12.7	14.0	—	—
	D51	-34.8	-4.7	16.0	14.8	15.0	—	—
S H	D19	-12.5	-10.2	-5.9	-14.8	-8.5	—	—
	D25	-22.6	-7.9	-7.0	-9.7	1.6	-21.2	-22.6
	D38	-31.9	-11.6	-6.1	-16.0	-5.0	—	—
	D51	-33.6	-9.5	-15.5	-10.9	-10.7	—	—

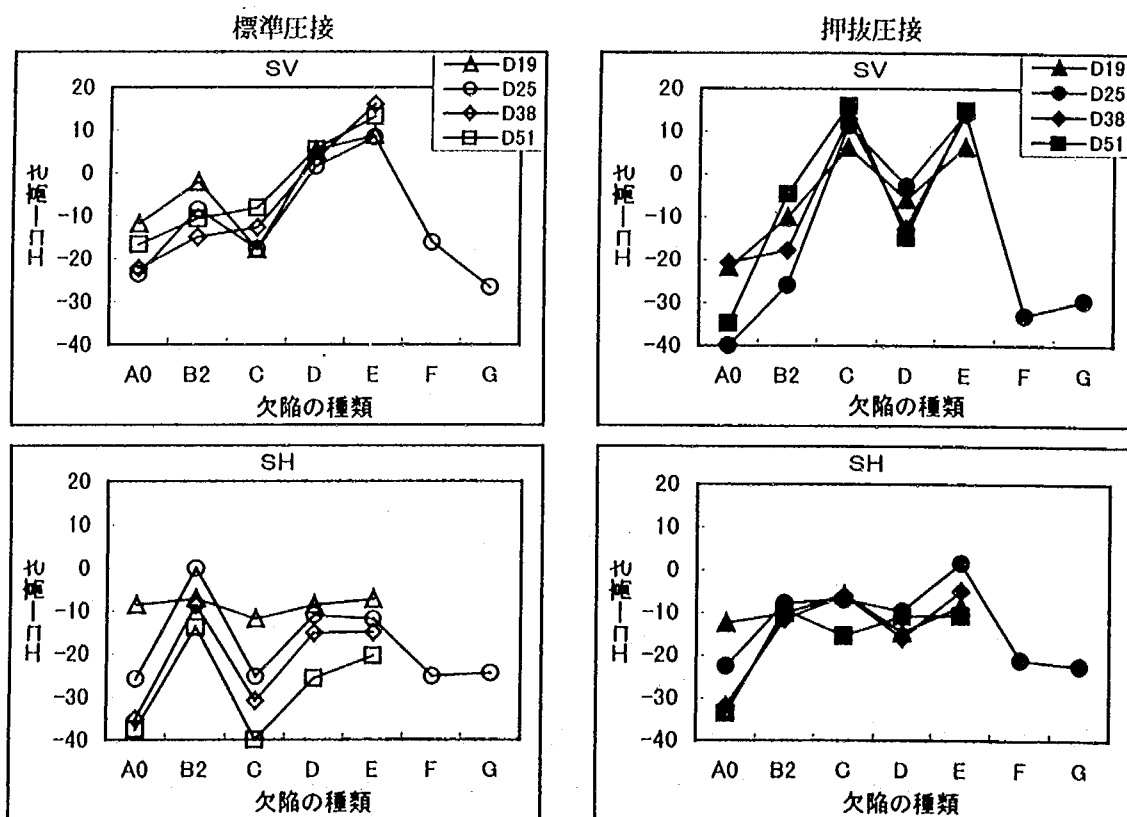
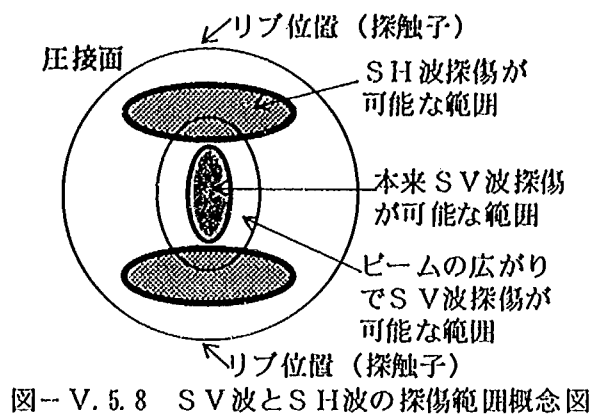


図-V. 5. 7 鉄筋径, 各種欠陥と平均エコー高さの関係

以上の結果より、S V波とS H波の探傷範囲は図-V. 5. 8 のようになっているものと考えられる。S V波は圧接面中心付近の 13% に加え、ビームの広がりによりさらに広い範囲の欠陥の検出に有効である。S H波の探傷範囲は、外周付近の検出が可能であり、S H波を適用することにより検出領域を広げられる可能性を示している。



5.2 S V波とS H波の比較

(1) S, P, E継手の内部欠陥, 外周部欠陥

S, P, E継手の内部(H)欠陥, ノッチによる外周部(A)欠陥のS V波とS H波のエコー高さは図-V. 5. 9 のとおりである。エコー高さはゲインの絶対値で比較した。

A0(健全)の一部を除き, H欠陥, A欠陥ともS V波では高いエコーが得られているが, S H波は低くなっている。これはH欠陥がほぼ中心部の欠陥であるため, S V波は高いエコーが得られており, 検出能が高いことを示している。

S, P継手のH欠陥とA欠陥を比較すると, S V波は両欠陥とも 40~60dB 程度でほぼ一定であるが, S V波はH欠陥が 70~100dB の範囲に分布しているのに対し, S H波は 60~80dB の高い範囲に分布しており, A欠陥のように外周部欠陥はS H波の検出能が高くなることを示している。

S, P継手のS V波とS H波の関係は一定の範囲内に分布しているのに対し, E継手はほぼ正の相関関係を示している。H欠陥は, E継手の場合は中心部に固定されているのに対し, S, P継手は写真-IV. 3. 42のようにタングステン箔が移動したためと考えられる。A欠陥の場合は, ノッチの深さ, 傾きなどが影響しているものと想定される。

関係の明確なE継手のH欠陥とA欠陥を比較すると, H欠陥はS V波のほうがS H波よりも 50dB 程度も高くなっている。A欠陥は 20dB 程度の違いである。

(2) ペーストによる外周部欠陥

S, P継手のペーストによる外周部(B)欠陥のS V波とS H波の比較を図-V. 5. 10 に示す。

B1(1/8)欠陥, B2(2/8)欠陥は, H欠陥の場合とは異なり, S V波とS H波はそれぞれほぼ同じエコー高さになっており, しかもB1欠陥よりB2欠陥のほうが高くなっており, S H波の検出能はかなり高いことを示している。

B4(4/8)欠陥では, S V波はB2欠陥よりもさらに高いエコーを検出しており中心付近の検出能の高さを示しているが, S H波はB2欠陥とほぼ同じエコー高さであり, 欠陥が2/8以上になればS H波の検出能はそれほど変わらないようである。このときのS V波とS H波の差は 20~30dB 程度である。

(3) 各種欠陥

各種欠陥の場合を図-V. 5. 11 に示す。

S V波とS H波のエコー高さがほぼ一致している一部を除き, 両者には正の相関関係があり, S V波のほうがS H波よりも 20~30dB 大きくなっている。一部のエコー高さがほぼ一致している欠陥は, S継手がさび(C)欠陥と中性炎加熱(G), P継手がバーナーのずれ(F)と中性炎加熱(G)であり, いずれも酸化に関係する欠陥である。

(4) リブ形状

リブ形状の異なる健全(A0)とノッチによる外周部(A2)欠陥の場合を図-V. 5. 12 に示す。

A0の一部を除き, 図-V. 5. 9のA欠陥と同様, この場合も両者には正の相関関係があり, S V波のほうがS H波より 20dB 程度高くなっている。

(5) 押抜径

種々の欠陥ごとの押抜径の違いの場合を図-V. 5. 13 に示す。

(a) 図の B2 欠陥と B1 欠陥の一部を除き、A 欠陥の場合と同様、全欠陥とも正の相関関係があり、S V 波のほうが S H 波より 20dB 程度大きくなっている。

(6) 鉄筋径

鉄筋径ごとに各種鉄筋の場合を図-V. 5. 14 に示す。

D19 は、S、P 継手とも S V 波は 40~80dB に分布しているのに対し、S H 波は S 継手が 90~100dB、P 継手が 80~100dB と狭い範囲に分布している。これは、5.1 節(5)項で考察したとおり、S H 波はリブの幅が小さいために超音波が伝播しにくく、低いエコーしか受振できなかったものと考えられる。

D25~D51 は、これまでの結果と同様、B2 欠陥は S V 波と S H 波のエコー高さはほぼ一致しているが、その他は正の相関関係があり、S V 波のほうが S H 波より 20dB 程度高くなっている。

(7) S V 波法と表面 S H 波法の比較

鉄筋径毎に S V 波法と表面 S H 波法を比較すると、D19 の場合、S V 波法では十分なエコー高さの差が現れるが、表面 S H 波法では欠陥の有無に係わらずその差は小さい。

D25 及び D38 の場合、両者で同様な欠陥検出がなされ、D51 の場合、それ以下の径と比較すると、表面 S H 波のエコー高さが高くなる傾向があった。

これは、表面 S H 波法の場合、リブのサイズが小さいほど圧接部に伝搬する超音波の量が S V 波法に比較し、急激に減少するためと考えられる。

D25 の各リブ形状による差異はなく、S V 波法と表面 S H 波法でも同様であった。これは、D25 程度のリブになると、超音波の波長に対して十分大きなリブになり、多少のサイズの変動ではエコー高さが変動しないためと考えられる。

ペーストの付着量による比較では、B タイプ欠陥（ペースト）で 2B1 (1/8 ペースト) 及び 2B4 (4/8 ペースト) では S V 波法と表面 S H 波法で大差はなかったが、2B2 (2/8 ペースト) では表面 S H 波法の方がエコー高さは高かった。これは、1/8 ペーストでは、圧接によってペーストが外周部に分散されながら押し出され、大きな連続した面状の欠陥とならず S V 波法及び表面 S H 波法で低いエコーしか検出されず、一方、4/8 ペーストでは圧接部の中心部から周辺部近傍まで欠陥が分布するため、S V 波法及び表面 S H 波法でかなり高いエコー高さとなるためと考えられる。

タングステン内部欠陥の場合、S V 波法では高いエコー高さが選られたが、表面 S H 波法ではエコー高さが低かった。これは、タングステン内部欠陥は、圧接によって多少移動したとしても、圧接部の中心近傍にあるためと考えられる。

押抜き前のふくらみの大きさの影響については、B タイプ欠陥（ペースト）及び D タイプ欠陥（ガス切断）では、S V 波法と表面 S H 波法で同様の傾向を示し、C タイプ欠陥（さび）及び E タイプ欠陥（ペンキ）では、S V 波法で高いエコーが検出されそのエコー高さの範囲も 10dB 程度と比較的狭かったが、表面 S H 波法ではエコー高さは比較的高かったがエコー高さの範囲は 25dB 程度と比較的広かった。

これらは、欠陥の性状・位置・大きさと S V 波法・表面 S H 波法の検出能によるものと考えられる。

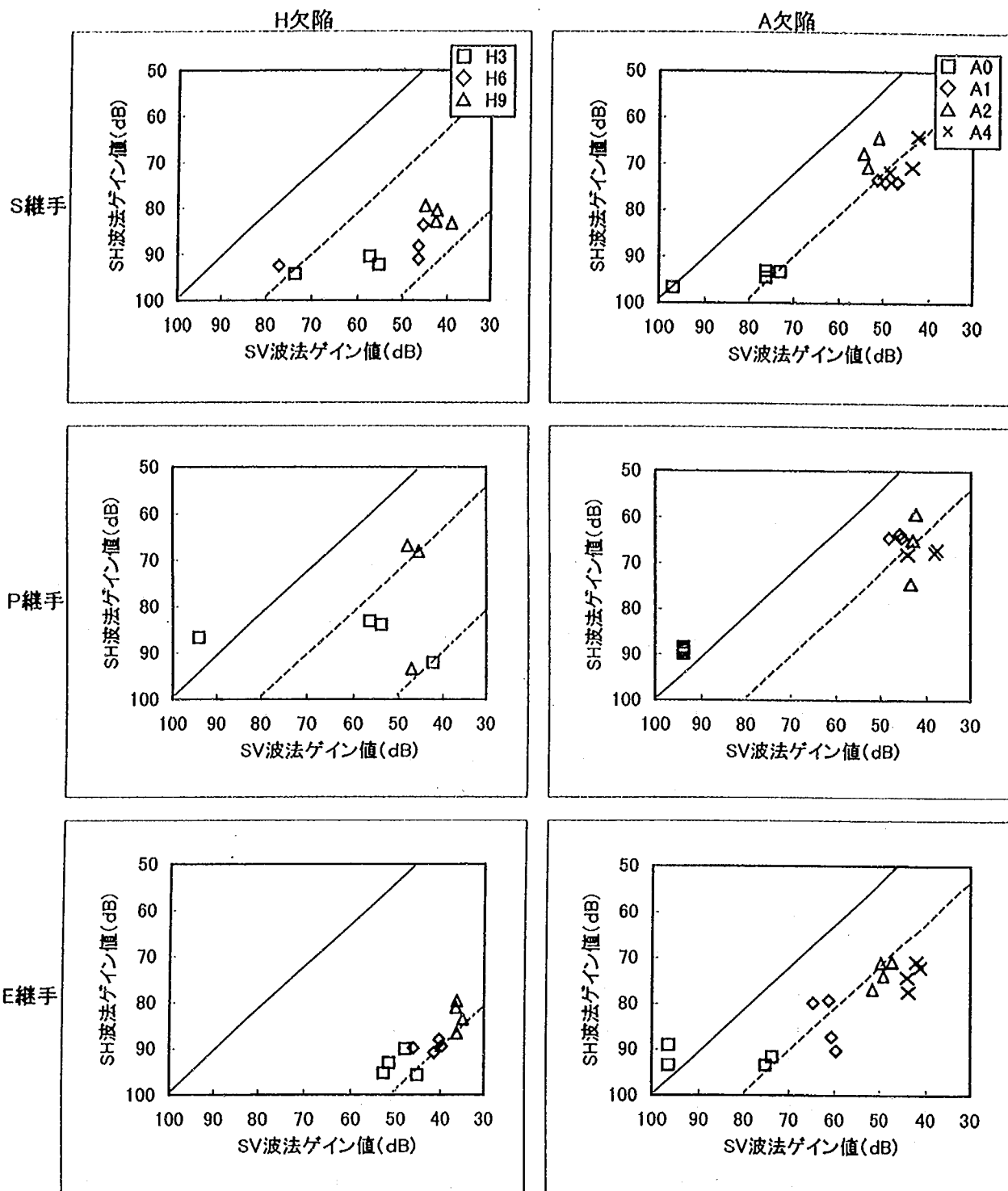


図-V. 5. 9 内部欠陥及び外周部欠陥のSV波とSH波の比較

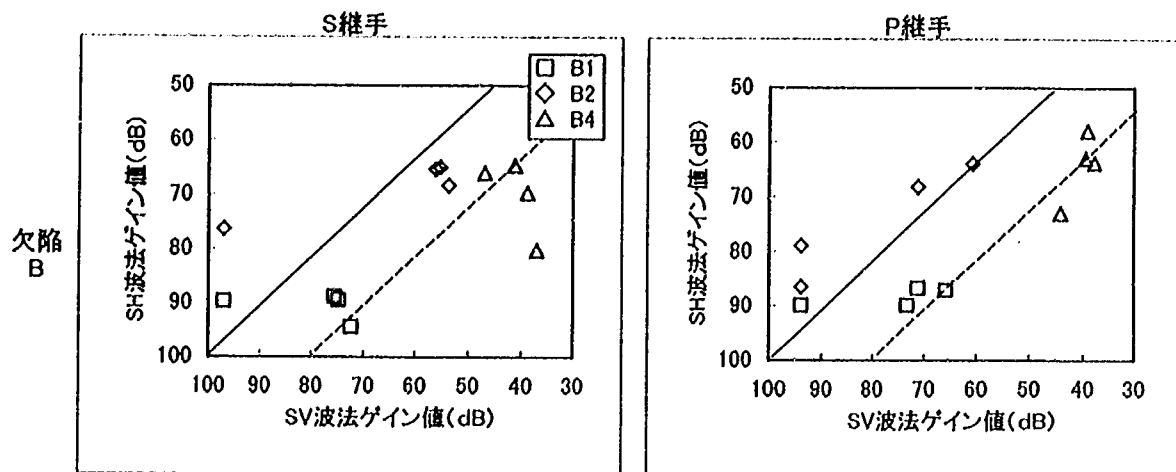


図-V. 5. 10 ベーストによる外周部欠陥のSV波とSH波の比較

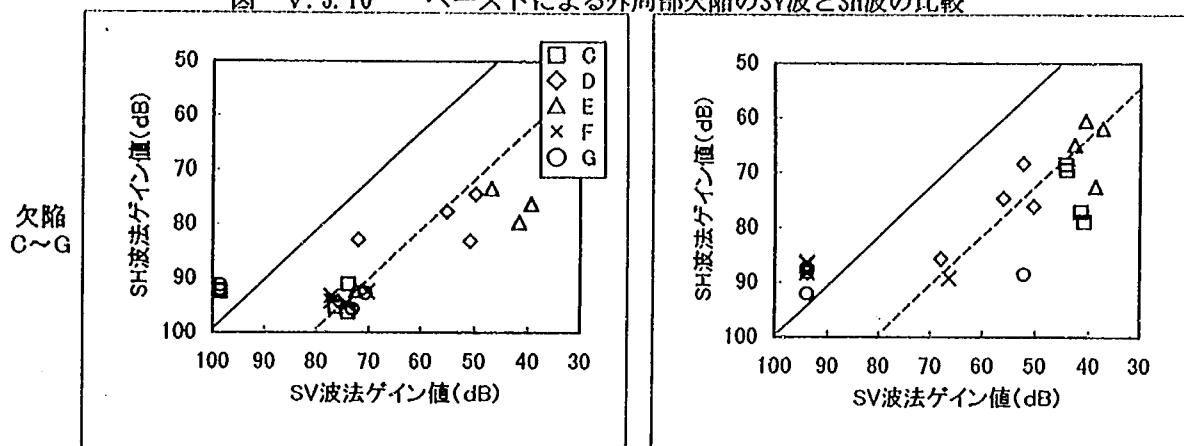


図-V. 5. 11 各種欠陥によるSV波とSH波の比較

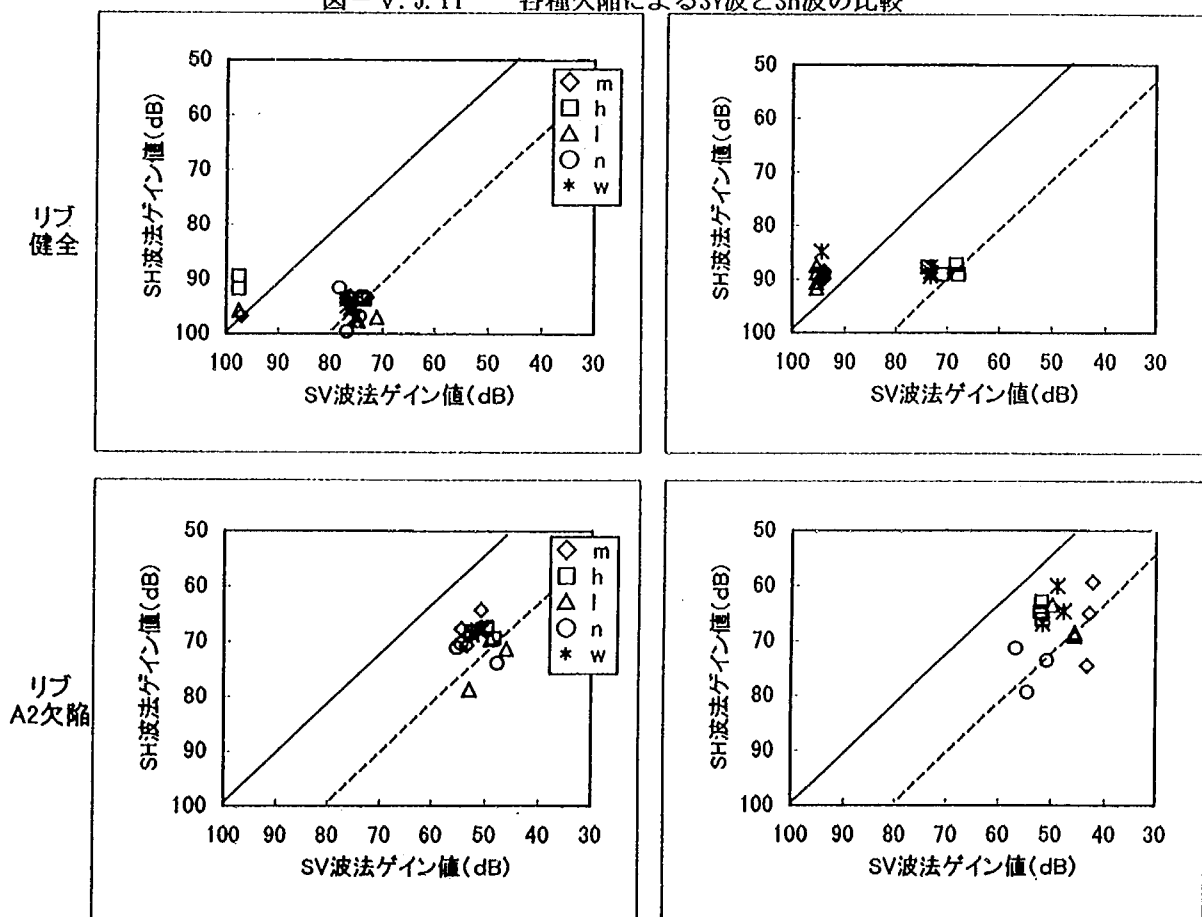
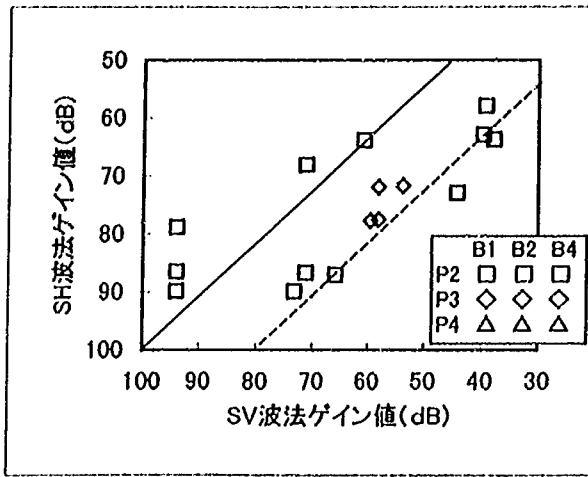
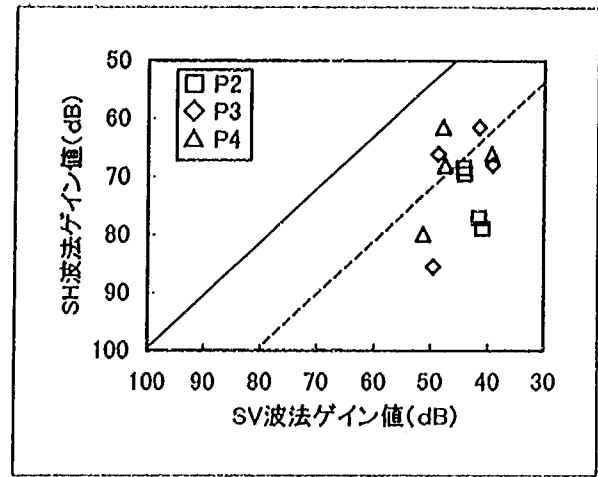


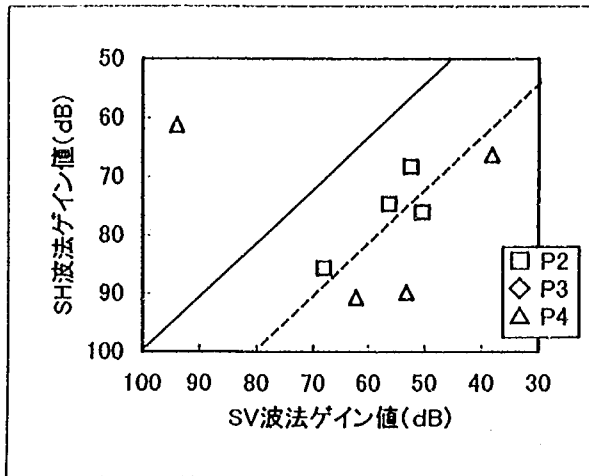
図-V. 5. 12 リブ形状によるSV波とSH波の比較



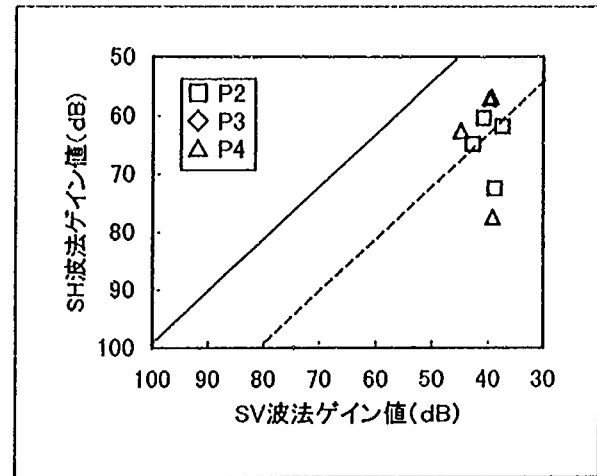
(a) ペーストによる外周部(B)欠陥



(b) さび(C)欠陥



(c) ガス切断(D)欠陥



(d) 塗料(E)欠陥

図-V. 5. 13 押抜径によるSV波とSH波の比較

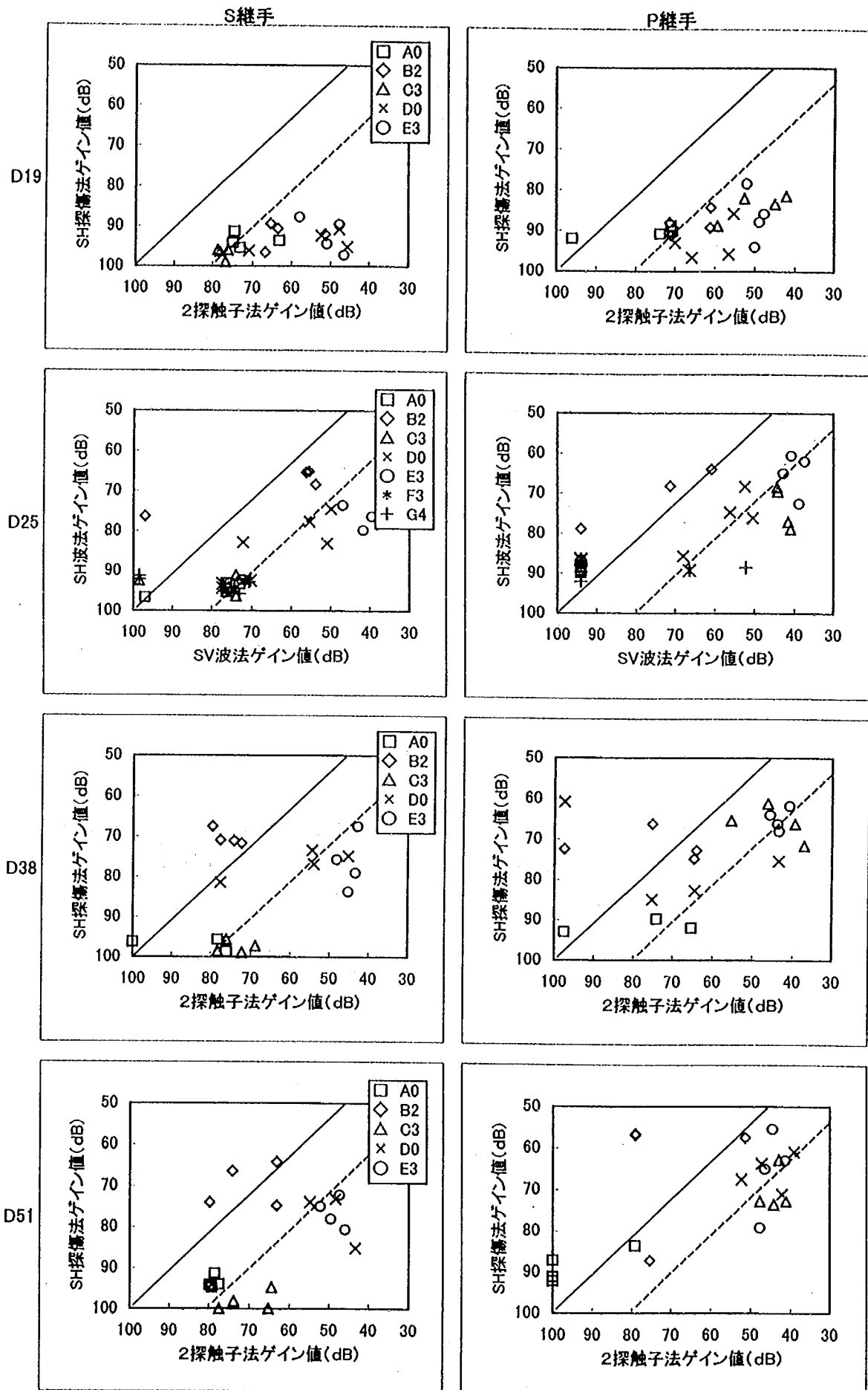


図-V. 5. 14 鉄筋径、各種欠陥によるSV波とSH波の比較

5.3 汎用探傷器と専用探傷器の比較

一般に溶接部の検査などに用いられているCRT付きの探傷器（以下、汎用探傷器と呼ぶ）と、鉄筋ガス圧接部にだけ適用可能な探傷器（以下、専用探傷器と呼ぶ）の2種類について、各種要因ごとにSV波による比較を行った。専用探傷器は、ピークホールド機能を有するデジタルの専用探傷器を用いることにより最高エコー高さを確実に検出できるものを用い、合否判定レベルに対して-6dBより大きいエコー高さを数値で表示されるものである。

（1）種々の欠陥

内部欠陥、ノッチおよびペーストによる外周部欠陥、さびなど各種欠陥ごとの汎用探傷器と専用探傷器により測定されたエコー高さの関係は図-V.5.15のとおりであった。斜めの線は両者が1対1に対応する等値線である。専用探傷器は-6dB以下は測定できないので、-6dB以下は-7dB一定値にしている。

いずれの場合も、専用探傷器と汎用探傷器のエコー高さはほぼ1対1に対応している。

（2）リブ形状

リブ形状の異なる場合の汎用と専用探傷器の測定結果を図-V.5.16に示す。この場合も両者はほぼ1対1に対応している。

（3）押抜径

押抜径の異なる場合の結果は図-V.5.17のとおりである。塗料による欠陥の場合、押抜径1.3Dの専用探傷器の結果は汎用の結果より大きく、1.4Dの場合は逆に小さくなっているが原因は不明である。そのほかはほぼ1対1に対応している。

（4）鉄筋径

鉄筋径ごとの結果は図-V.5.18のとおりである。

一部を除きほぼ1対1に対応している。

ずれの大きいのは、S継手のD25のペースト（B2）欠陥が大きく、D51のガス切断（D）欠陥が小さく、P継手のD25とD38は全体にわずかに小さい傾向がある。これらの結果についても一定の傾向は見受けられず、原因は不明である。

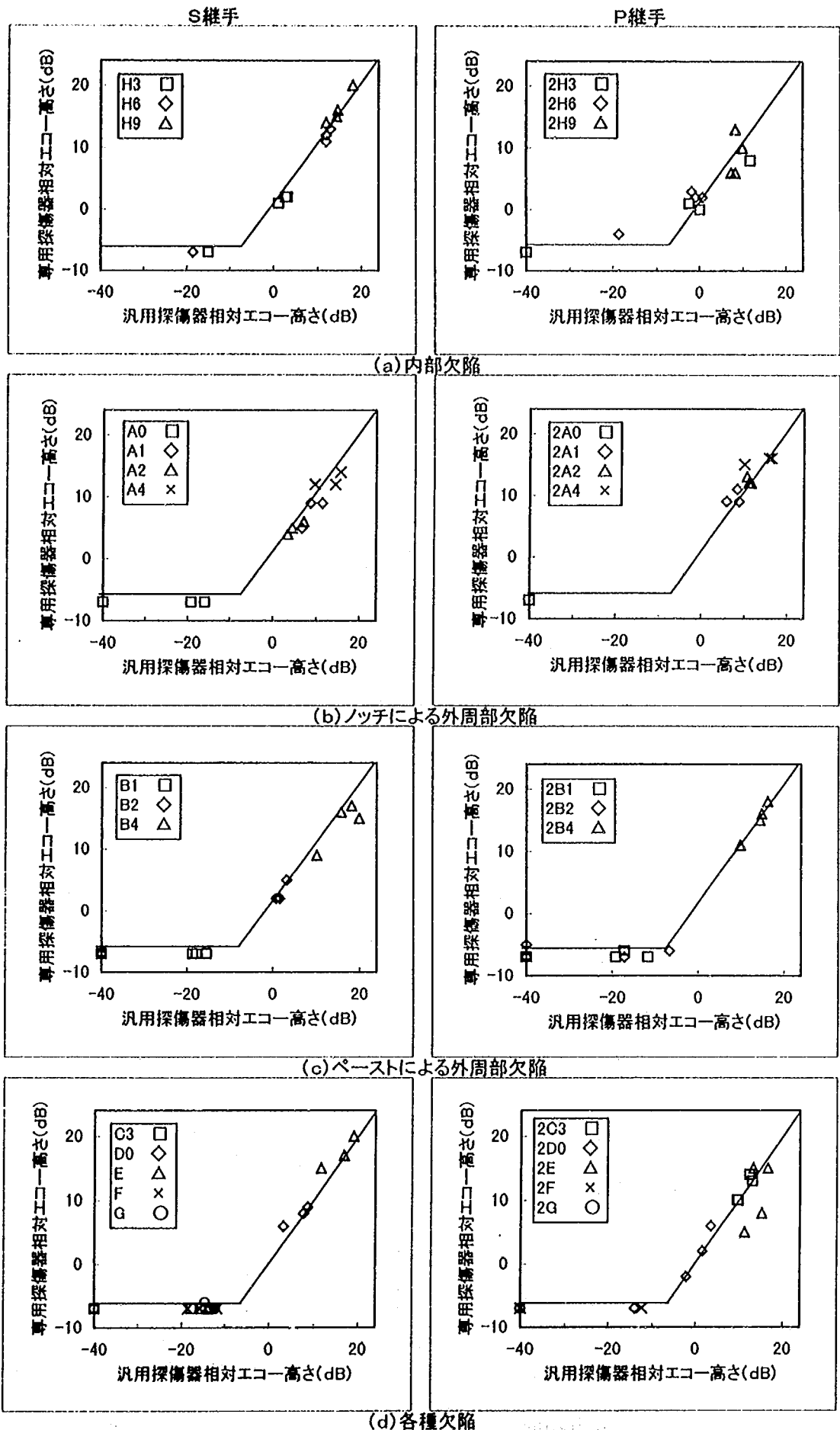
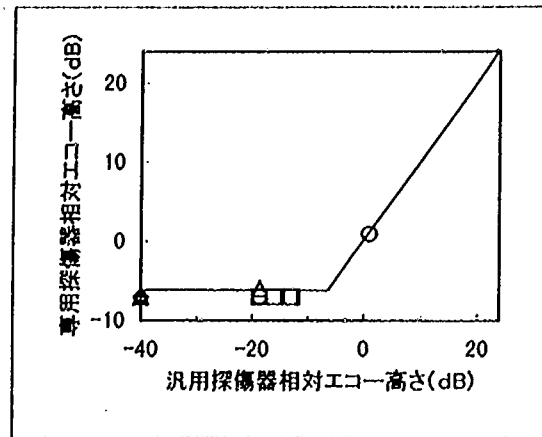
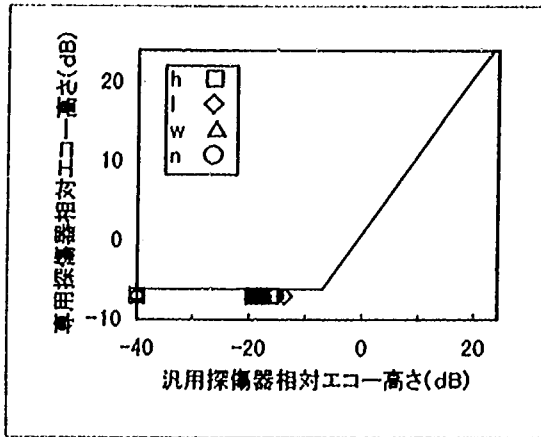


図-V. 5. 15 種々の欠陥ごとの汎用と専用探傷器の比較

A0
(健全)



A2
(ノッチ2/8)

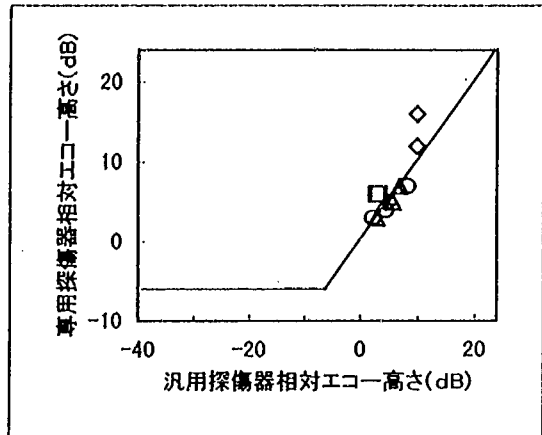
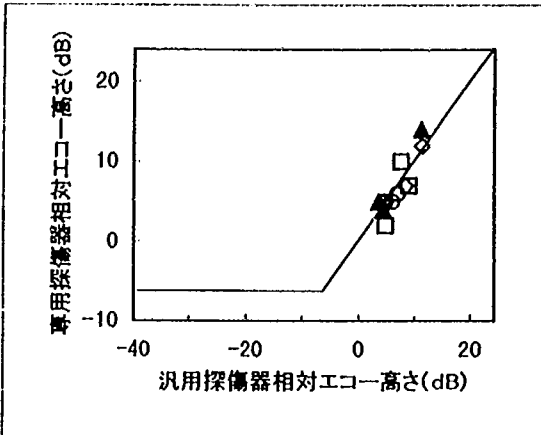
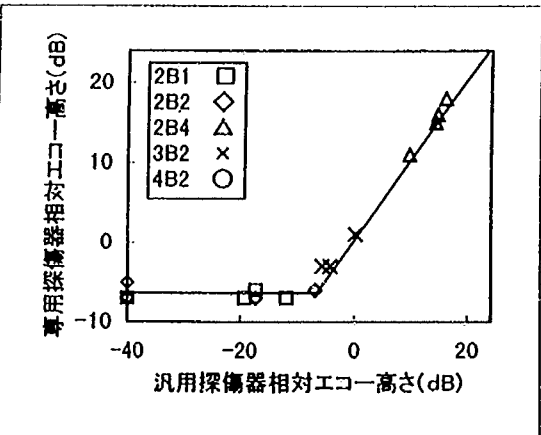
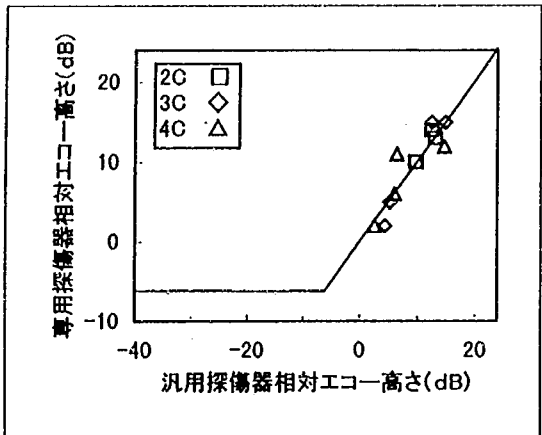


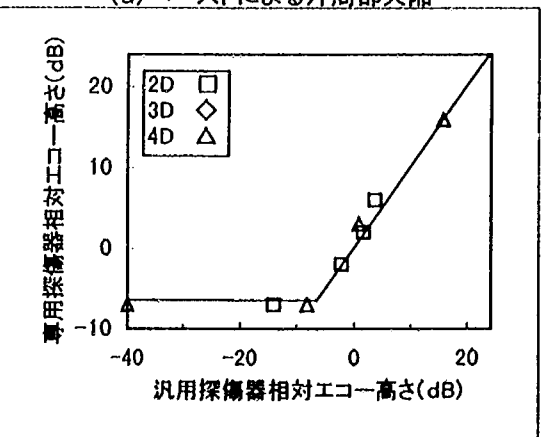
図-V. 5. 16 リブ形状ごとの汎用と専用探傷器の比較



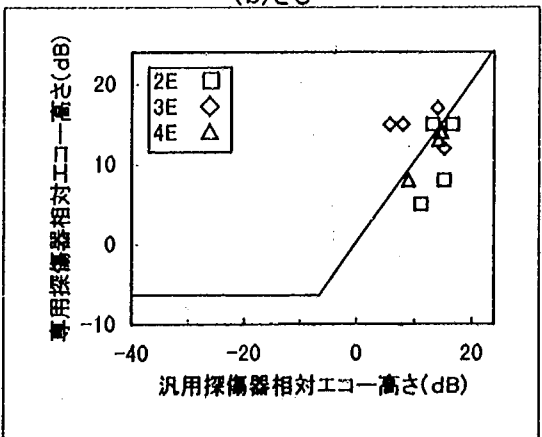
(a)ペーストによる外周部欠陥



(b)さび



(c)ガス切断



(d)塗料

図-V. 5. 17 押抜径ごとの汎用と専用探傷器の比較

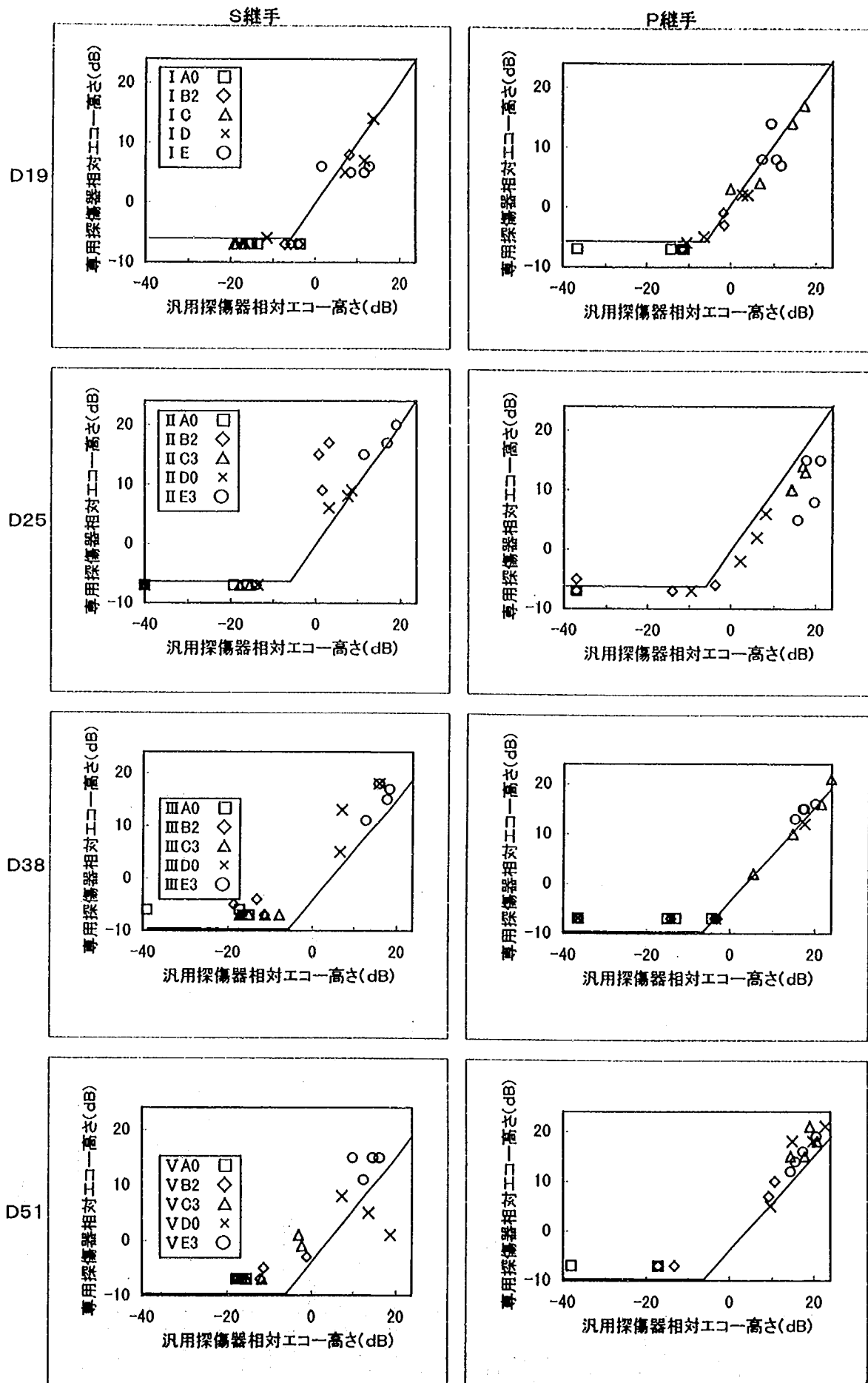


図-V. 5. 18 鉄筋径ごとの汎用と専用探傷器の比較

6. 押抜試験片の非破壊試験結果と考察

6.1 目視試験と渦流探傷試験の比較

(1) 鉄筋径, 各種欠陥

図-V. 6. 1 に D19 の場合の目視試験および渦流探傷試験結果 (ET) を示す。I4A0 タイプ (健全) ではいずれの方法でも指示は検出されなかった。また, I4D0 タイプ欠陥 (ガス切断) でもほとんど指示が検出されなかった。

それに対して, I4C3 タイプ欠陥 (さび) では, 20mm 程度の開口割れも 2 体の試験体で検出され, へこみも加えた線状指示はすべての試験体で検出された。ET でも 3 体で比較的大きな信号が得られた。

I4B2 タイプ欠陥 (ペースト) では, 20mm 以下の開口割れが 2 体で検出され, この試験体では数 mm 程度のへこみも混在した。ET でも 1 体から比較的大きな信号が得られた。

I4E3 タイプ欠陥 (ペンキ) では 1 体で 5 mm 程度の開口割れ, 3 体で 10~30mm 程度のへこみが検出されたが, ET では信号が検出されなかった。

図-V. 6. 2 には D25 の場合の結果を示す。2A0 (健全) 及び 2D0 タイプ欠陥 (ガス切断) ではいずれの方法でも指示は検出されなかった。また, 2B2 タイプ欠陥 (ペースト) でもほとんど指示が検出されなかった。

2E3 タイプ欠陥 (ペンキ) では 20mm~50mm 程度のへこみのみが検出された。

それに対して, 2C3 タイプ欠陥 (さび) では, 10mm~20mm 程度の開口割れ, へこみも

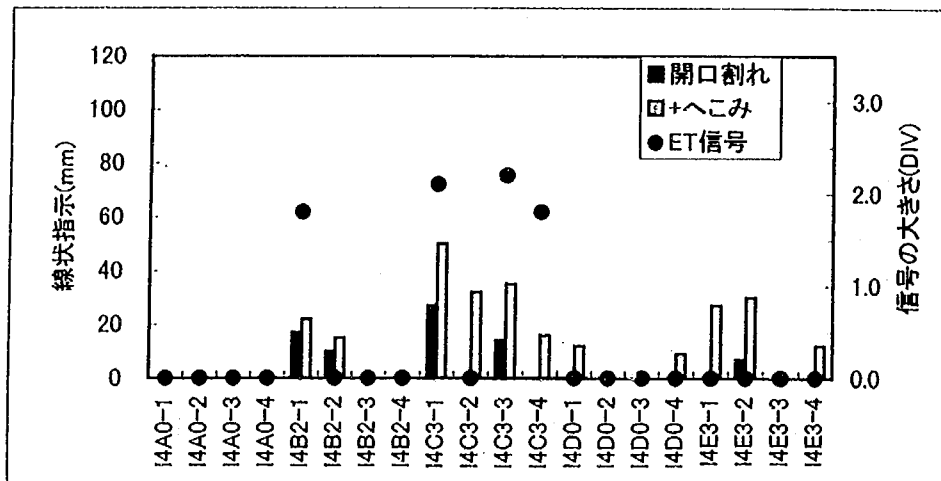


図-V. 6. 1 目視試験と渦流探傷試験 (押抜D19)

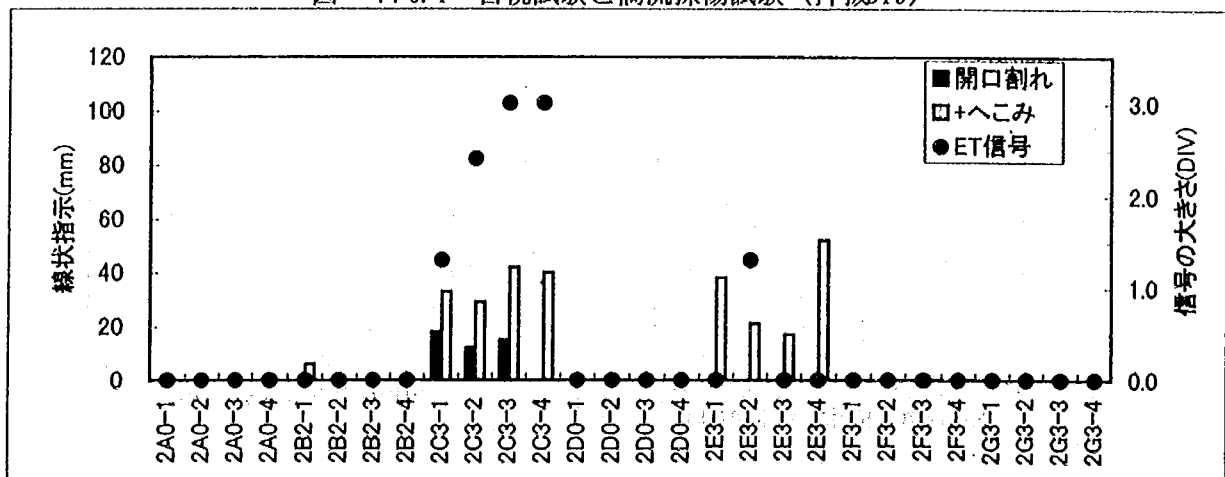


図-V. 6. 2 目視試験と渦流探傷試験 (押抜D25)

加えると 30mm~40mm 程度の指示が検出され、E Tではかなり大きな信号が検出された。

2F3 (バーナーのずれ)、2G3 (中性炎加熱) は、開口割れ、へこみ、E Tとも検出されなかった。

D38 の場合の結果を図-V. 6. 3 に示す。Ⅲ2A0 タイプ (健全) ではいずれの方法でも指示は検出されなかった。また、Ⅲ2D0 タイプ欠陥 (ガス切断) では、3 体で 10~30mm 程度のへこみのみが検出された。

それに対して、Ⅲ2C3 タイプ欠陥 (さび) では、すべての試験体で 60mm 程度の開口割れが検出され、へこみも加えると最大で 100mm 程度であった。また、E Tでも 3 体で非常に大きな信号が得られた。

Ⅲ2E3 タイプ欠陥 (ペンキ) では 2 体で 30mm 程度の開口割れ、へこみも加えると 4 体で 40~60mm 程度の線状指示が検出され、E Tでは 2 体で比較的大きな信号が検出された。

Ⅲ2B2 タイプ欠陥 (ペースト) では、開口割れは 1 体で 40mm 程度が検出されたが、へこみも加えると 4 体で 10~40mm 程度が検出され、E Tでは 4 体で比較的大きな信号が検出された。

D51 の場合の結果を図-V. 6. 4 に示す。V2A0 タイプ (健全) ではいずれの方法でも指示は検出されなかった。

VB2 タイプ欠陥 (ペースト) では、4 体で 30~70mm 程度の開口割れ及びさらにへこみも検出されたが、E Tでは信号が得られなかった。

V2D0 タイプ欠陥 (ガス切断) では、3 体で開口割れ、へこみも含むと 4 体で指示が得

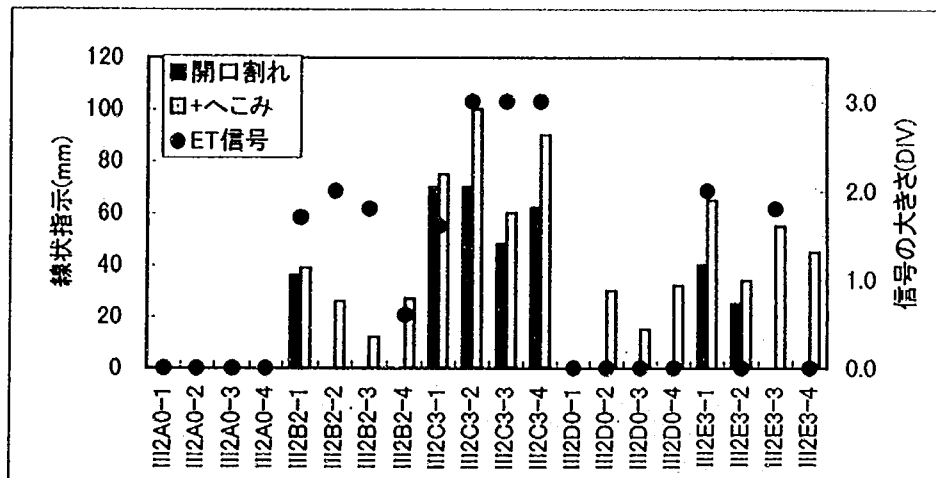


図-V. 6. 3 目視試験と渦流探傷試験 (押抜D38)

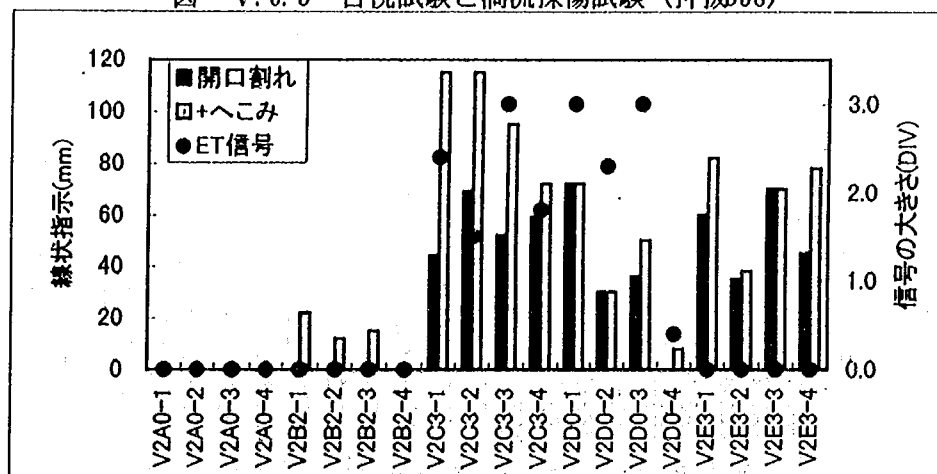


図-V. 6. 4 目視試験と渦流探傷試験 (押抜D51)

られ、ETでは8mmのへこみの試験体を除いて非常に大きな信号が得られた。

V2C3タイプ欠陥(さび)ではすべての方法で比較的大きな指示及び信号が得られた。

(2) 押抜径

D25については押抜き前のふくらみの大きさによる欠陥検出について測定を行った。

押抜き前のふくらみの直径が1.2Dを図-V.6.2に、1.3Dを図-V.6.5に、1.4Dを図-V.6.6に示す。

1.3Dの場合、3A0タイプ(健全)ではいずれの方法でも指示は検出されなかった。また、3D0タイプ欠陥(ガス切断)では7mmの開口割れのみが検出された。

また、3B2タイプ欠陥(ペースト)では、目視試験で線状指示が検出されなかった1体を除くと、開口割れ、へこみとも比較的短かったが、ETではかなり大きな信号が得られた。

3E3タイプ欠陥(ペンキ)では20mm~35mm程度の開口割れが検出され、へこみは1体のみで検出された。また、ETではいずれの場合でもかなり大きな信号が得られた。

3C3タイプ欠陥(さび)では、11mmのへこみが検出された試験体を除けば、目視試験で比較的大きな線状指示が得られ、ETではかなり大きな信号が検出された。

1.4Dの場合、4A0タイプ(健全)では2体でETの信号が検出されたが、それ以外については指示は検出されなかった。また、4D0タイプ欠陥(ガス切断)目視試験及びETで指示が検出された1体を除いて指示は得られなかった。

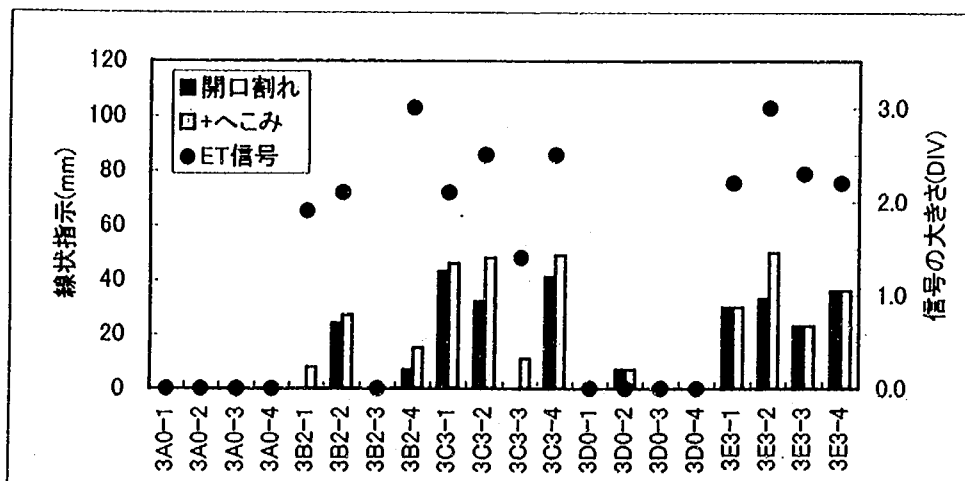


図-V.6.5 目視試験と渦流探傷試験 (押抜D25, 1.3D)

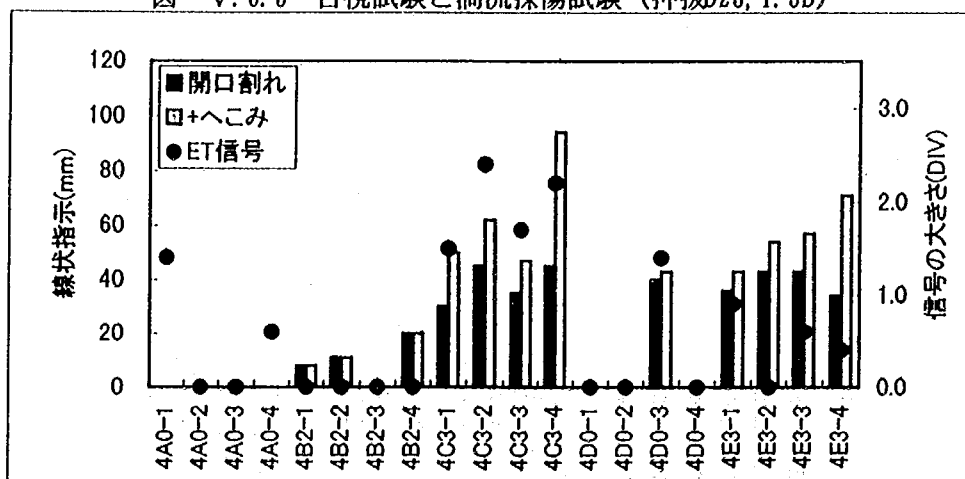


図-V.6.6 目視試験と渦流探傷試験 (押抜D25, 1.4D)

4B2 タイプ欠陥（ペースト）は、3 体で短い開口割れが検出されたが、E T では借号が得られなかった。

4E3 タイプ欠陥（ペンキ）では 30mm~40mm 程度の開口割れが検出され、へこみも検出されたが、E T では小さな信号しか得られず、1 体では借号が得られなかった。

4C3 タイプ欠陥（さび）では、すべての方法で比較的大きな指示が得られた。

（3）内部欠陥

内部欠陥（タングステン円板）の大きさによる比較（2H3, 2H6, 2H9 試験体）を図—V. 6. 7 に示す。

目視試験では、2H3 タイプ欠陥（φ3 タングステン）及び 2H6 タイプ欠陥（φ6 タングステン）で指示は検出されなかった。また、2H9 タイプ欠陥（φ9 タングステン）では小さな指示しか検出されなかった。それに対して、E T では 2H3 タイプ欠陥 1 体及び 2H9 タイプ欠陥 1 体で大きな信号が検出された。

D19 及び D25 の場合、健全試験体とガス切断欠陥試験体では目視試験及び E T のいずれでも指示はほとんど検出されなかった。また、D38 及び D51 の場合、健全試験体では目視試験及び E T のいずれでも指示は検出されなかった。

それに対して、さび欠陥試験体では、D19 の 1 本で E T の指示が検出されなかった場合を除いて、すべての試験体で目視試験及び E T で指示が検出された。また、その指示の大きさは鉄筋径が大きくなるほど大きくなった。これは、ふくらみに対して押抜を行うことによって、ふくらみで覆われ内部に閉じ込められていたさびが表面に表われかつ押抜時の応力により密着していたさびが開口したためと考えられる。また、鉄筋径が大きくなると割れの長さも深さも大きくなるため、目視試験でも E T でも大きな指示となったものと考えられる。

ガス切断欠陥試験体でも、同様にその指示の大きさは D19 及び D25 ほとんど検出されず、D38 及び D51 で検出され、とくに D51 はかなり大きな指示となった。

ペンキ欠陥試験体でも、目視試験で同様な傾向が見られたが、E T では指示が検出されなかった。これは、ガス圧接作業により周辺部のペンキが揮発したため、押し抜いても表面に開口する欠陥が形成されなかったため E T での検出能が低下したものと考えられる。

また、ペースト試験体は揮発等が考えにくく残存しやすいと考えられるが、D38 を除くと、指示はあまり検出されなかった。これは、圧接によってペーストが外周部に分散されながら押し出され、大きな連続した面状の欠陥とならなかったため、押し抜いても開口割れとして拡大されなかったためと考えられる。

D25 のふくらみの大きさによる欠陥検出について比較すると、押抜き前のふくらみの直径が 1. 2D, 1. 3D, 1. 4D で、各種の欠陥別の検出傾向については同様の傾向が見られたが、検出能に関しては目視試験及び E T にかかわらず、1. 2D の場合が低く、1. 3D, 1. 4D は比較すると高かった。また、目視試験では 1. 3D の方が検出された指示が大きく、E T では 1. 4D の方が検出された指示が大きかった。

その他の欠陥では、2F3, 2G3, 2H3 タイプ欠陥とも、ほとんど指示は検出されなかった。これは、施工条件が多少悪くとも、押し抜くことによって開口割れを発生させる起点となる欠陥を形成できないことが原因と考えられる。

内部欠陥（タングステン円板）の大きさによる比較では、目視試験及び E T の一部で指示

が検出されたが、ほとんどの場合指示が検出されなかった。これは、内部欠陥がふくらみの中心部にあるため、内部欠陥が押し抜くことによって開口割れを発生させる起点となることができないためと考えられる。それに対して、一部で指示が検出されたのは内部欠陥が圧接によって中心部から周辺部へ移動したためと考えられる。

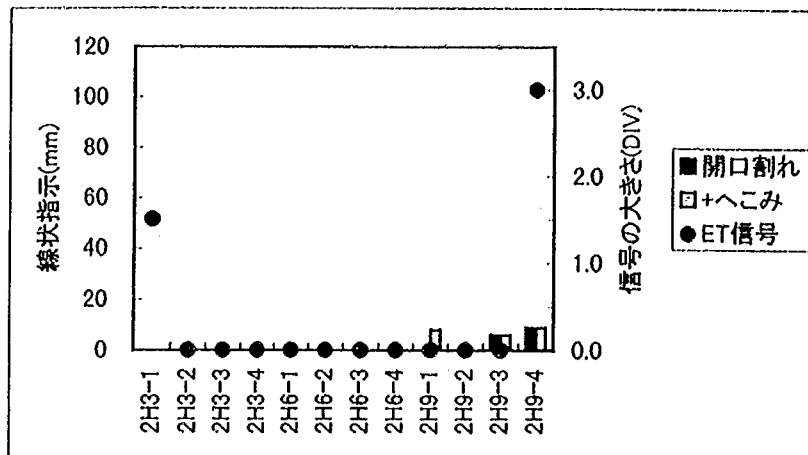


図-V. 6. 7 目視試験と渦流探傷試験 (押抜D25, 内部欠陥)

6.2 目視試験とET及びUTの比較

(1) 鉄筋径

鉄筋径毎の目視試験による線状の指示長さ（割れ＋へこみの合計長さ）とET信号の大きさの関係を図-V.6.8に示す。

目視試験とET信号の大きさの関係は、目視試験で線状指示が確認された試験体の半数程度がETで信号が検出されなかった。また、ETで信号が検出された場合、線状指示と信号の大きさにある程度の比例関係が見られた。

鉄筋径毎の目視試験による線状の指示長さ（割れ＋へこみの合計長さ）とUTのエコー高さの関係を図-V.6.9～10に示す。

目視試験とSV波法のエコー高さの関係は、目視試験で線状指示が確認された場合、SV波法で比較的大きなエコーが検出された。また、目視試験で線状指示が確認されなかった場合でも、SV波法で比較的高いエコーが検出された。さらに、目視試験で線状指示が確認された場合は、線状指示とSV波法のエコー高さは比例関係に近かった。

目視試験と表面SH波法のエコー高さの関係は、目視試験で線状指示が確認された場合、D19以外では比較的大きなエコーが検出され、鉄筋径が大きくなるほどエコーが大きくなった。

また、目視試験で線状指示が確認されなかった場合でも、表面SH波法で比較的高いエコーが検出された。さらに、目視試験で線状指示が確認された場合は、線状指示と表面SH波法のエコー高さは比例関係ではなくほぼ一定のエコー高さとなった。

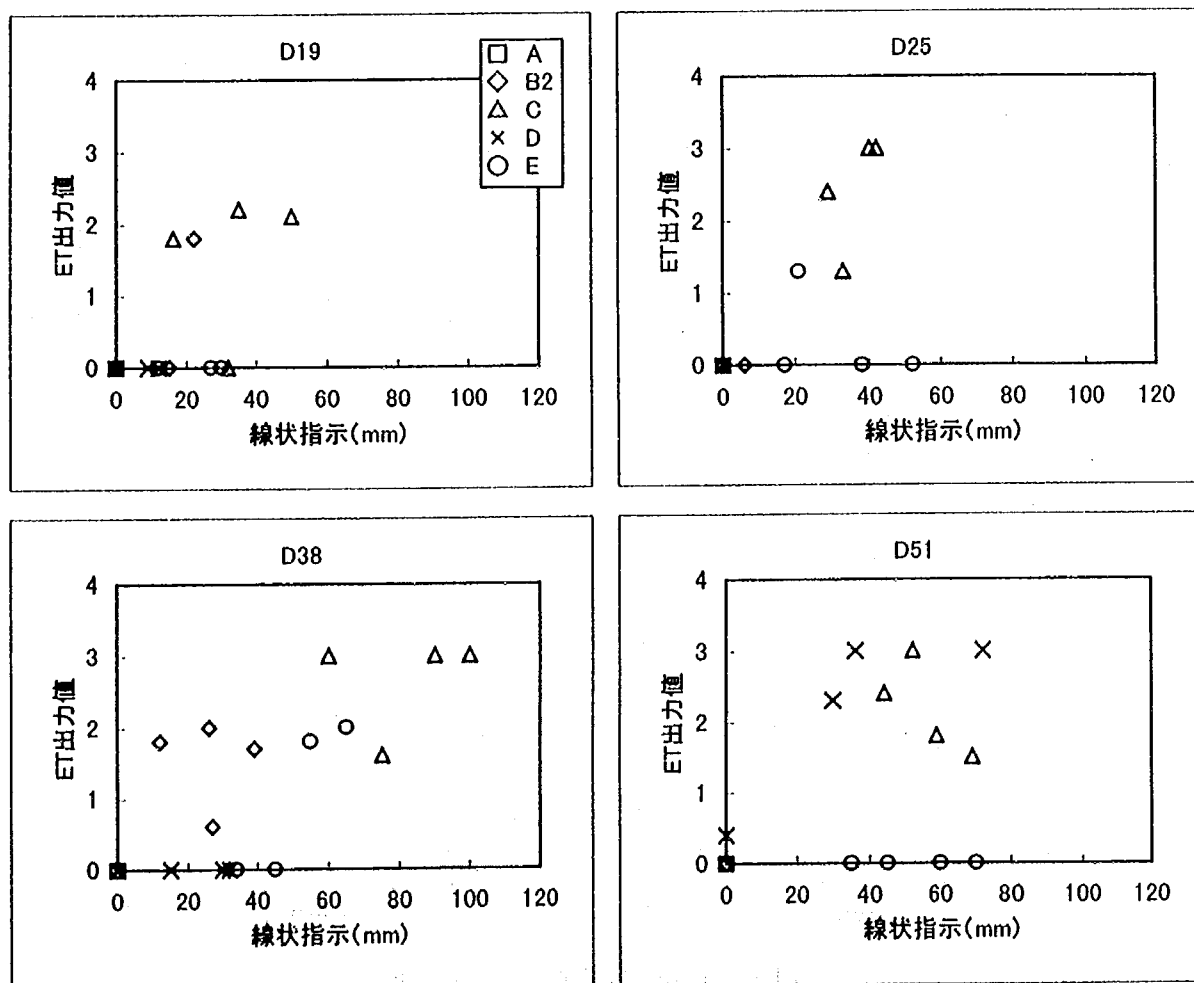


図-V.6.8 目視試験とETの関係

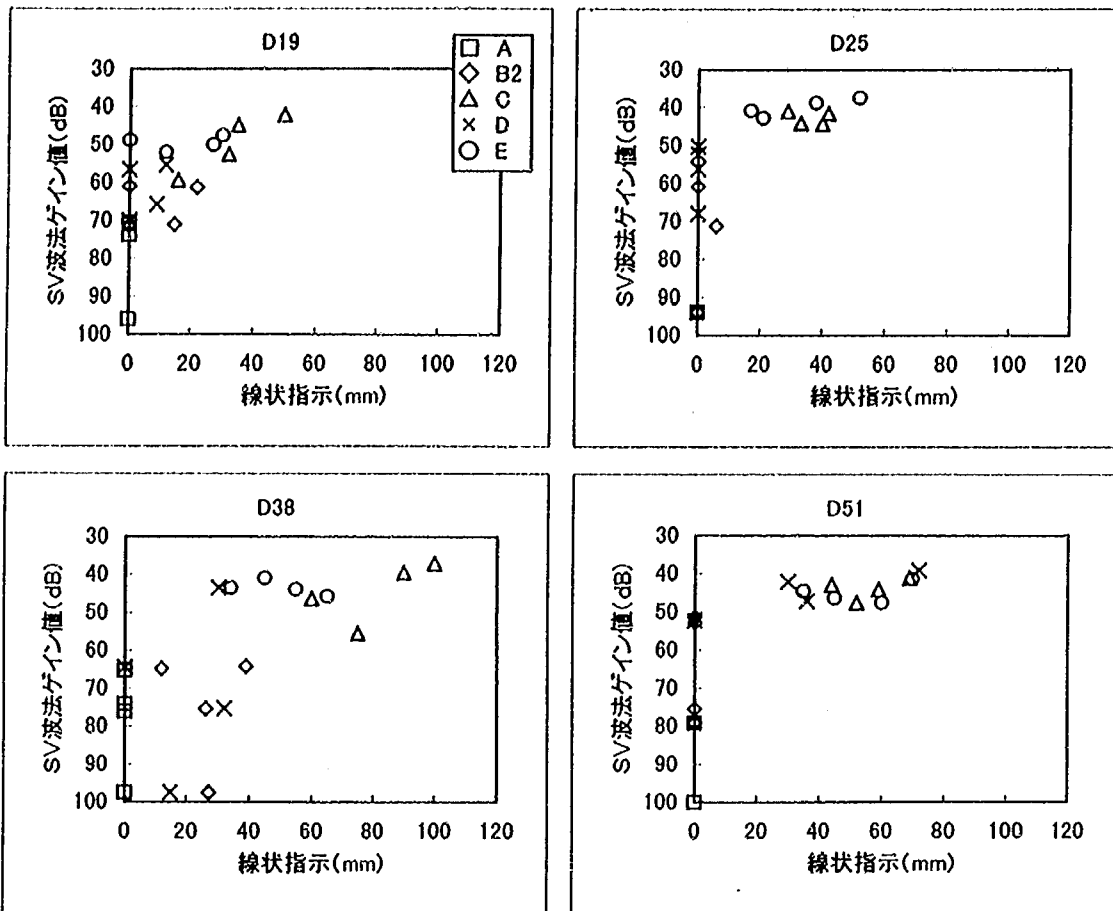


図-V. 6. 9 目視試験とSV波の関係

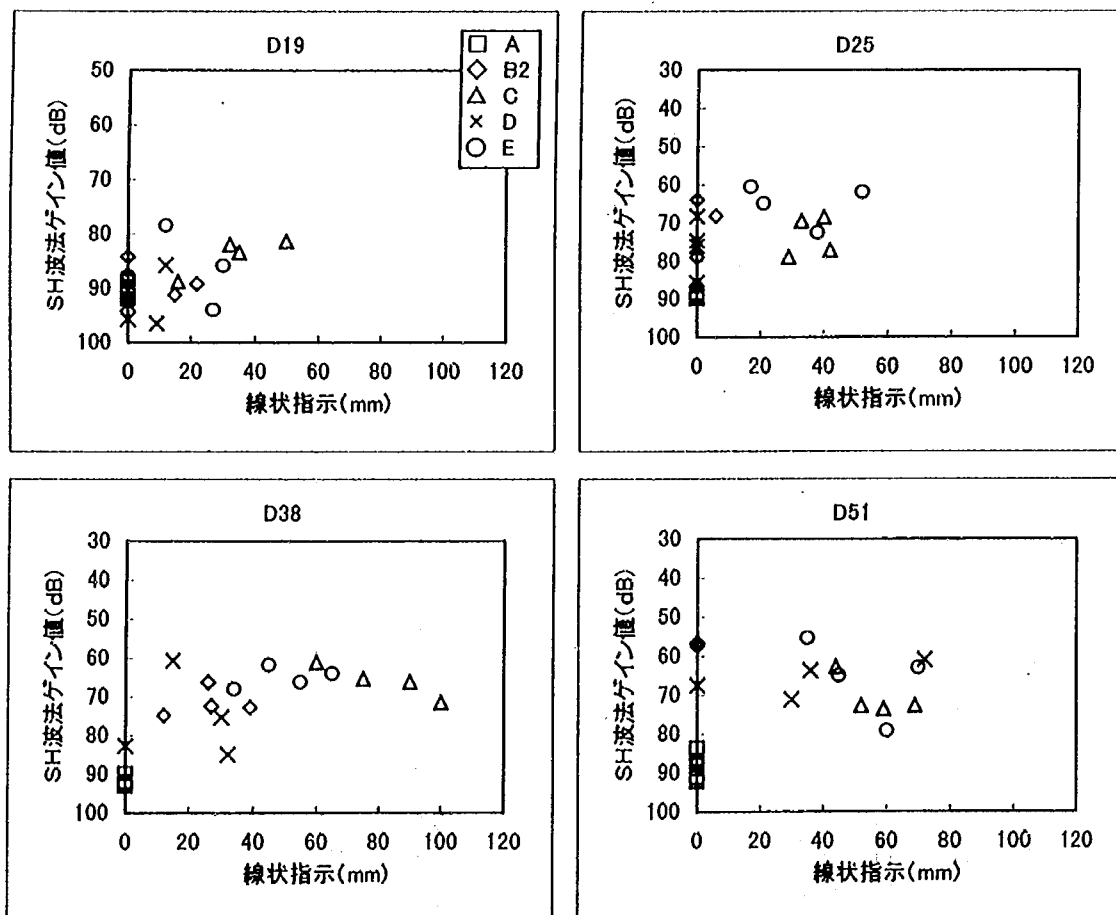


図-V. 6. 10 目視試験とSH波の関係

(2) 各種欠陥

D25 の欠陥毎の目視試験による線状の指示長さ（割れ+へこみの合計長さ）とET信号の大きさの関係を図-V. 6. 11~13に示す。

目視試験とET信号の大きさについては、ペースト欠陥及びペンキ欠陥試験体で目視試験で線状指示が確認されたがETで信号が検出されない場合があった。また、さび欠陥試験体では目視試験で確認された線状指示とETでの信号の大きさに比例関係があった。

目視試験とSV波法のエコー高さについては、ペースト及びガス切断欠陥では目視試験で線状指示が確認されなかった場合でも、エコーが検出された。さらに、ペースト欠陥は、線状指示とSV波法のエコー高さはほぼ比例関係であったが、さび及びペンキ欠陥の場合、線状指示とSV波法のエコー高さは比例関係ではなく、ゲインの読み値 40dB 程度のほぼ一定のエコー高さとなった。

目視試験と表面SH波法のエコー高さについては、SV波法の場合と同様に、ペースト及びガス切断欠陥では目視試験で線状指示が確認されなかった場合でも、エコーが検出された。

ペースト及びさび欠陥の場合、線状指示が確認された場合、線状指示と表面SH波法のエコー高さは比例関係となった。

ペンキ欠陥の場合、線状指示と表面SH波法のエコー高さは比例関係ではなく、ゲインの読み値 60dB 程度のほぼ一定のエコー高さとなった。

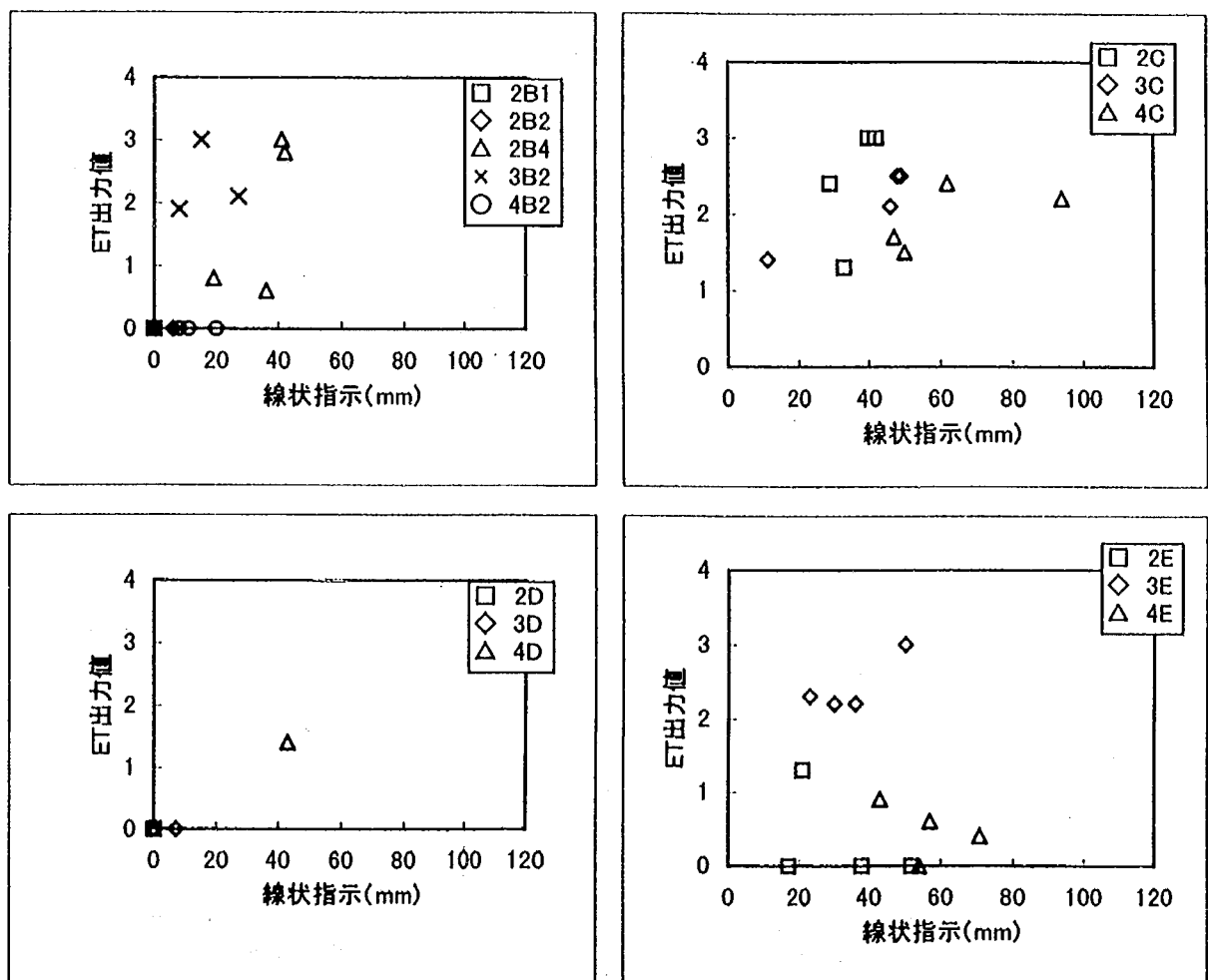


図-V. 6. 11 目視試験とETの関係

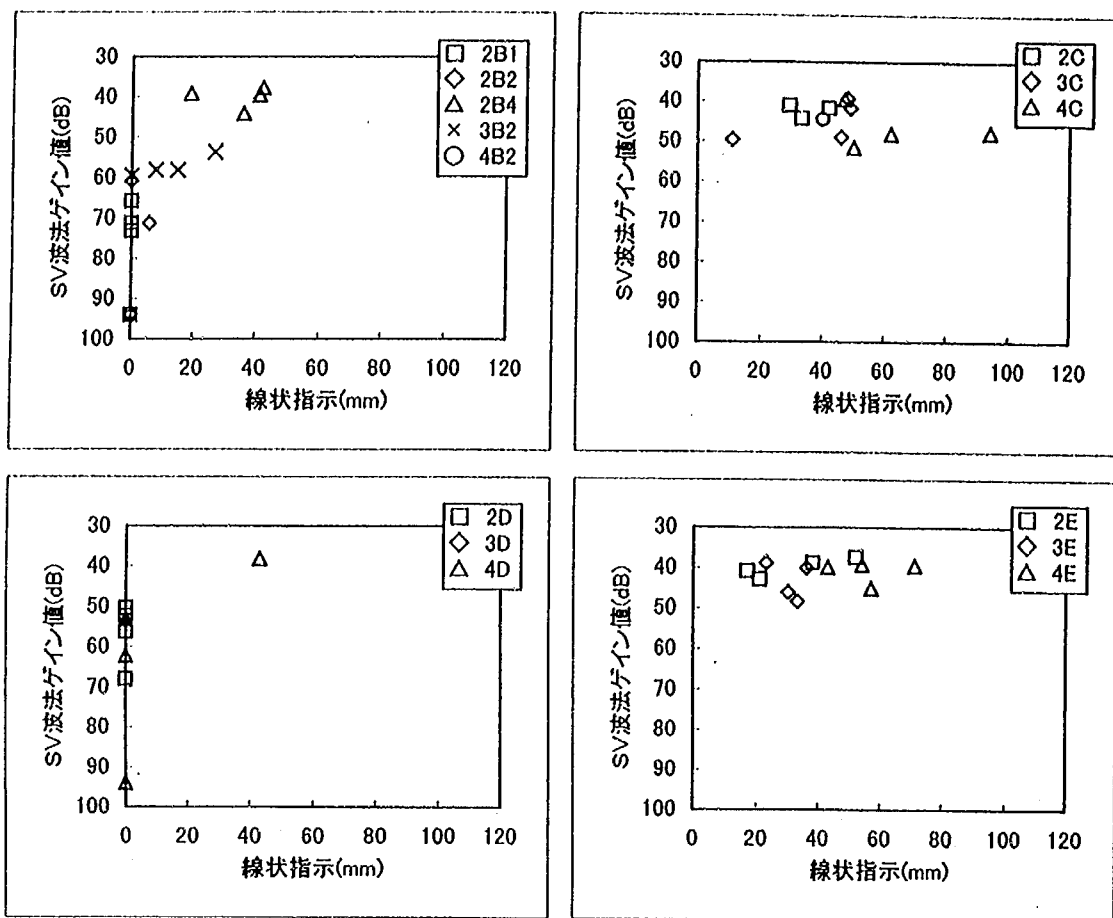


図-V. 6. 12 目視試験とSV波の関係

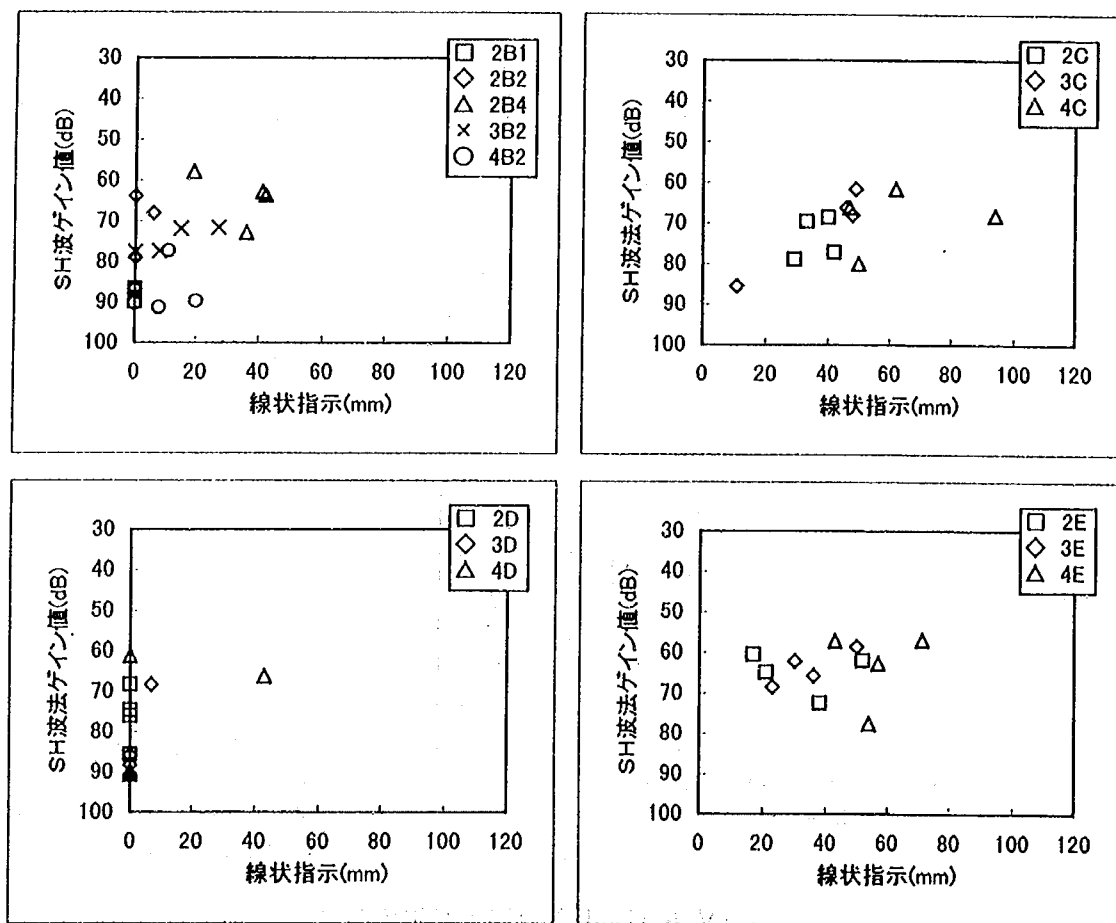


図-V. 6. 13 目視試験とSH波の関係

(3) その他の欠陥

D25 のバーナーのずれ、中性炎加熱による欠陥及び内部欠陥の目視試験による線状の指示長さ（割れ+へこみの合計長さ）と E T 信号の大きさの関係を図-V. 6. 14 に示す。

その他施工不良試験体の場合、目視試験と E T 信号の大きさについては、1 体を除いて、目視試験で線状指示が確認されず E T でも信号が検出されなかった。

目視試験と S V 波法のエコー高さについては、目視試験で線状指示が確認されなかったが、タイプ F（すきま及び炎のずれ）、タイプ G（中性炎）の各 1 体でエコーが検出され、タイプ H（タングステン円板による内部欠陥）では 3 体で比較的高いエコーが検出された。

目視試験と表面 S H 波法では、表面 S H 波法でノイズ感度のエコーしか検出されなかった。

内部欠陥（タングステン円板）試験体の場合、線状指示が確認され E T 信号が検出された試験体が 1 体、線状指示が確認され E T 信号が検出されなかった試験体が 1 体、線状指示が確認されず E T 信号が検出された試験体が 1 体あった。

目視試験と S V 波法のエコー高さについては、線状指示が確認されないがエコーが検出されたものが比較的多かった。

目視試験と表面 S H 波法のエコー高さについては、線状指示が確認されないがエコーが検出されたものがあつたが、大きな欠陥（ $\phi 9\text{mm}$ のタングステン）を除いてエコー高さは低かった。

目視試験と E T 信号の大きさの関係は、E T で信号が検出された場合、線状指示と信号の大きさにある程度の比例関係が見られた。しかしながら、目視試験で線状指示が確認された試験体の半数程度が E T で信号が検出されなかった。

これは、E T ではプローブコイルを用いその周波数が 200KHz と比較的高いため、センサーが欠陥を検出できる範囲は非常に狭く浅い。しかし、コイルの走査はリブの延長上の 4 線しか走査しないため実際に欠陥検出の範囲が狭かったためと考えられる。

鉄筋径毎の目視試験と U T のエコー高さの関係は、S V 波法の場合は線状指示と S V 波法のエコー高さは比例関係に近かった。また、D19 以外の表面 S H 波法では比較的大きなエコーが検出され、鉄筋径が大きくなるほどエコーが大きくなった。これは、U T では表面に開口した割れ及びへこみ以外に内部の欠陥を検出する特性によるものと考えられる。

D25 の欠陥毎の目視試験と E T 信号の大きさについては、さび欠陥試験体では目視試験で確認された線状指示と E T での信号の大きさに比例関係があつたが、ペースト欠陥及びペンキ欠陥試験体の目視試験で線状指示が確認されたが E T で信号が検出されない場合があつた。これはプローブコイルの走査はリブの延長上の 4 線しか走査しないため実際に欠陥検出の範囲が狭かったためと考えられる。

目視試験と S V 波法のエコー高さについては、線状指示が確認されなかった場合でもエコーが検出された場合があつたがほぼ相関関係が見られた。とくに、ペースト欠陥は線状指示と S V 波法のエコー高さはほぼ比例関係であつた。また、さび欠陥及びペンキ欠陥の場合、線状指示と S V 波法のエコー高さは比例関係ではなく、ゲインの読み値 40dB 程度のほぼ一定のエコー高さとなった。これは、ペースト欠陥は表面から深さ方向の大きさが比較的小さく表面の線状指示の長さに比例し、さび欠陥及びペンキ欠陥はある程度の長さになる深さ方向の大きさが十分に大きくなるためと考えられる。

目視試験と表面S H波法のエコー高さの関係は、S V波法の場合と同様であった。ただし、ペースト及びさび欠陥の場合、線状指示と表面S H波法のエコー高さは比例関係となり、ペンキ欠陥の場合、線状指示と表面S H波法のエコー高さは比例関係ではなく、ゲインの読み値 60dB 程度のほぼ一定のエコー高さとなった。これらは、欠陥のサイズ及び分布と表面S H波法の検出特性によるものと考えられる。

その他適正でない施工による欠陥及び内部欠陥については、S V波法でタングステン鋼の内部欠陥の検出を除いて、いずれの試験でも欠陥はあまり検出されなかった。これは、欠陥の性状・大きさ・位置と試験方法の特性によるものと考えられる。

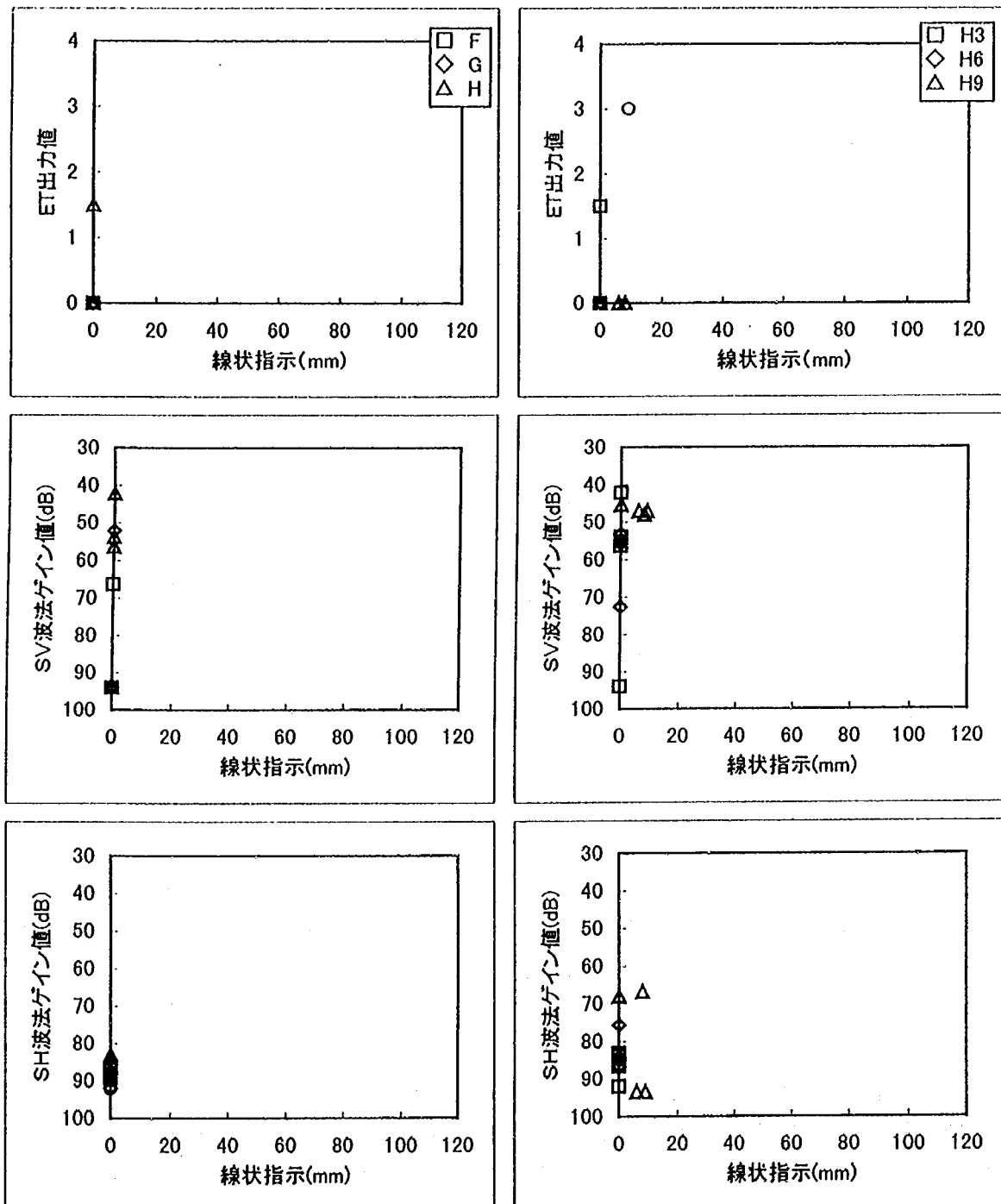


図-V. 6. 14 F, G, H欠陥のET, UTと目視試験の関係

7. 非破壊試験結果と引張強さの関係

7.1 超音波探傷試験結果と引張強さの関係

UT結果と引張強さの関係を比較したのが図-V.7.1~V.7.10である。鉄筋母材部で破断したものは白ヌキの記号、圧接界面破断したものは黒印の記号にしてある。引張強さとの関係は、これまでは規格値で比較しているが、ここでは母材の引張強さで正規化して示してある。

(1) 内部欠陥

S, P, E継手の内部欠陥とSV波, SH波のエコー高さと引張強さの関係は図-V.7.1のとおりである。内部欠陥の大きさは、S, P継手は3, 6, 9mm, E継手は6, 9, 12mmである。

内部欠陥を有する試験片のSV波の結果は、かなり高いエコーが検出されたが強度の低下はなかった。E継手のH12欠陥のうちの1本が唯一、欠陥部から破断した。この試験片のエコー高さはSV波が20.2dBであった。SH波は、SV波ほどではないが、最大エコーは-18.2dBと比較的高いエコーを検出している。その破断形状は、欠陥部から鉄筋の母材部に向かってコーン状になっていた。

このように内部欠陥の場合には、エコー高さと引張強さの関係は認められず、過大評価になっている。

(2) ノッチによる外周部欠陥

ノッチ深さを1/8, 2/8, 4/8入れた外周部欠陥のエコー高さと引張強さの関係は図-V.7.2のとおりである。強度低下に関しては、S継手が2/8ノッチから、P継手が1/8ノッチから、E継手が4/8ノッチからとなっており、E継手が切欠きの深さに対する強度低下の割合が最も少ない。リップ形状の違う鉄筋のノッチを2/8入れたときの結果を図-V.7.3に示す。1/8, 2/8ノッチは、SV波, SH波とも高いエコーが検出されているが、強度低下はほとんどない。圧接界面破断を生じた最小のエコーはSV波の場合2.2dB, SH波の場合-11.8dBであった。4/8ノッチで強度低下を生じており、そのときのエコー高さはSV波の場合10dB以上, SH波の場合-3.2dB以上であった。この場合はSV波の合格判定レベルに近い。

(3) ペーストによる外周部欠陥

ペーストによる外周部欠陥のエコー高さと引張強さの関係は図-V.7.4のとおりであった。ノッチによる外周部欠陥(図-V.7.2)に比べ、圧接界面で破断したエコー高さは小さくなっている。SV波は、圧接界面破断したもの12本の内、合否判定レベルよりも小さいエコー(ノイズレベル)にもかかわらず圧接界面破断したものが5本あり、ペースト欠陥の誤判定の比率はかなり高い。SH波の場合で圧接界面破断した最小のエコー高さは-21.0dBであった。

(4) 各種欠陥

さびなど各種欠陥によるエコー高さと引張強さの関係は図-V.7.5のとおりである。これらは、ペーストによる欠陥(図-V.7.4)とほぼ同様の関係にあり、エコー高さと引張強さの間には負の相関関係がある。圧接界面破断した21本の内、6本はSV波で合否判定レベルを下回っていた。6本の内訳は、さび欠陥2本、ガス切断1本、バーナーのずれ2本、中性炎加熱1本であり、いずれも酸化に関係する欠陥の場合であった。SH波の

場合は、-24dB 以下で圧接界面破断したものが1本あった。それ以外の圧接界面破断した最小エコー高さは-22.8dBであった。

(5) 押抜径

押抜径、欠陥の種類によるエコー高さと引張強さの関係は図-V.7.6のとおりである。P継手に、SV波で合否判定レベル以下で圧接界面破断したものが1本あった。それ以外は0.2dB以上(合否判定レベル以上のエコー高さ)で圧接界面破断している。SH波の場合は-19.0dB以上であった。

(6) 鉄筋径

鉄筋径と種々の欠陥によるエコー高さと引張強さの関係は、図-V.7.7~V.7.10のとおりである。

表-V.7.1に圧接界面破断した継手の最小エコーを示した。ただし、-24dB以下のノイズレベル程度のは除いている。SV波の場合、D19のエコーは合格判定レベルである0dBに近いが、それ以外は-18dB程度になっており、SH波の場合、D19はやや高いが、それ以外は-18~-23dBになっている。

表-V.7.1 圧接界面破断した最小エコー高さ

	SV波		SH波	
	S継手	P継手	S継手	P継手
D19	-5.8	0.6	-12.2	-16.0
D25	-17.8	-17.2	-22.8	-22.8
D38	-16.6	-17.8	-20.0	-22.8
D51	-17.8	-19.2	-19.0	-17.8

表-V.7.2に圧接界面破断したもののうち、エコー高さが合格判定レベルである0dB以下で破断した物の本数を表す。合計でS継手34.4%、P継手16.7%が誤判定ということになる。内訳は、S継手21本のうちペースト欠陥が10本、残りの11本はさび欠陥、ガス切断、中性炎加熱による酸化に伴う欠陥である。P継手も同じくペースト欠陥6本、酸化に伴う欠陥7本であった。

表-V.7.2 圧接界面破断に占める0dB以下の本数

	S継手		P継手	
	圧接界面破断数		圧接界面破断数	
	0dB以下		0dB以下	
D19	2	9	0	6
D25	5	28	7	48
D38	7	12	5	12
D51	7	12	1	12
合計*	21 (34.4%)	61	13 (16.7%)	78

* () 内の比率は、0dB以下の本数/圧接界面破断全数

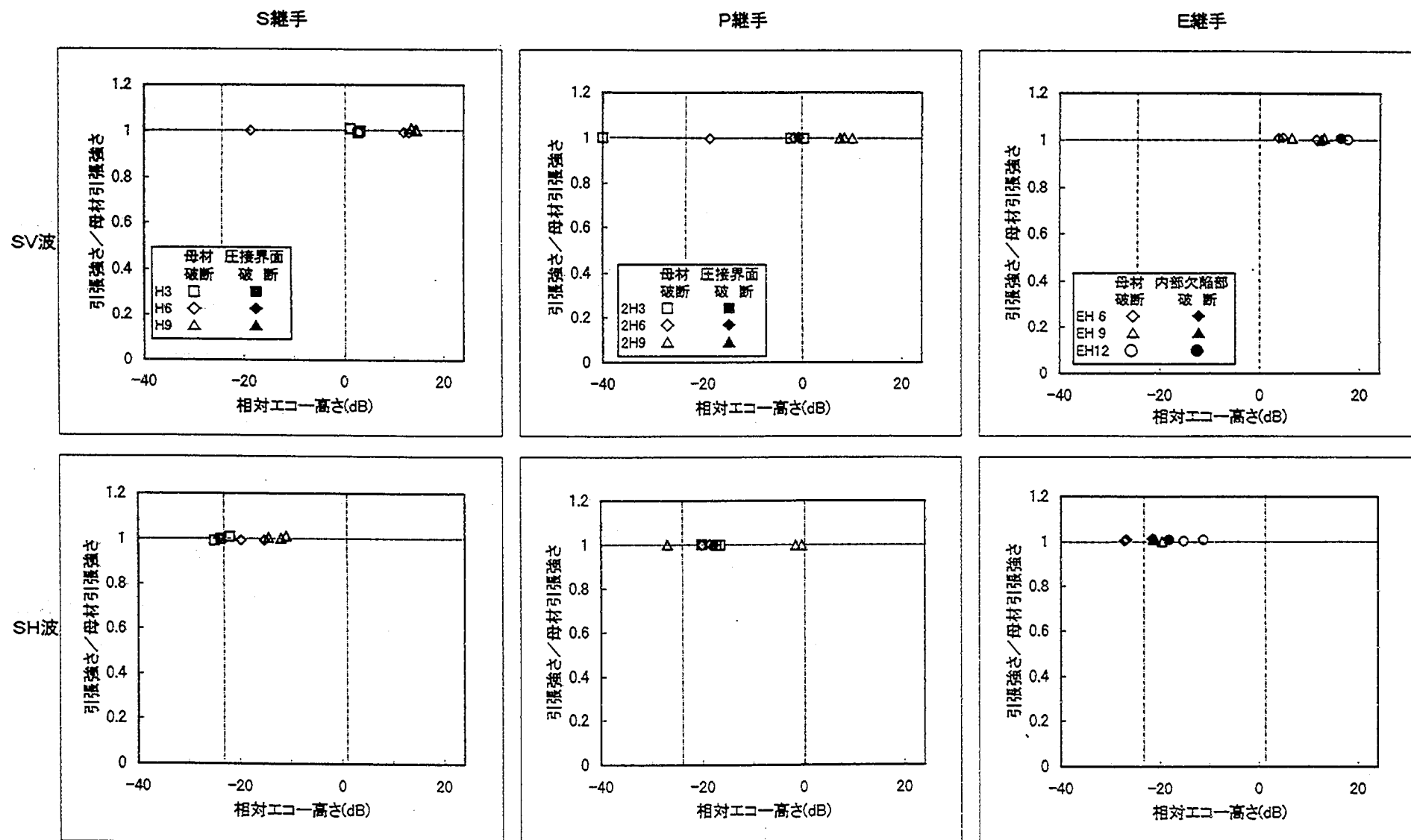


図-V. 7.1 内部欠陥のエコー高さと引張強さの関係

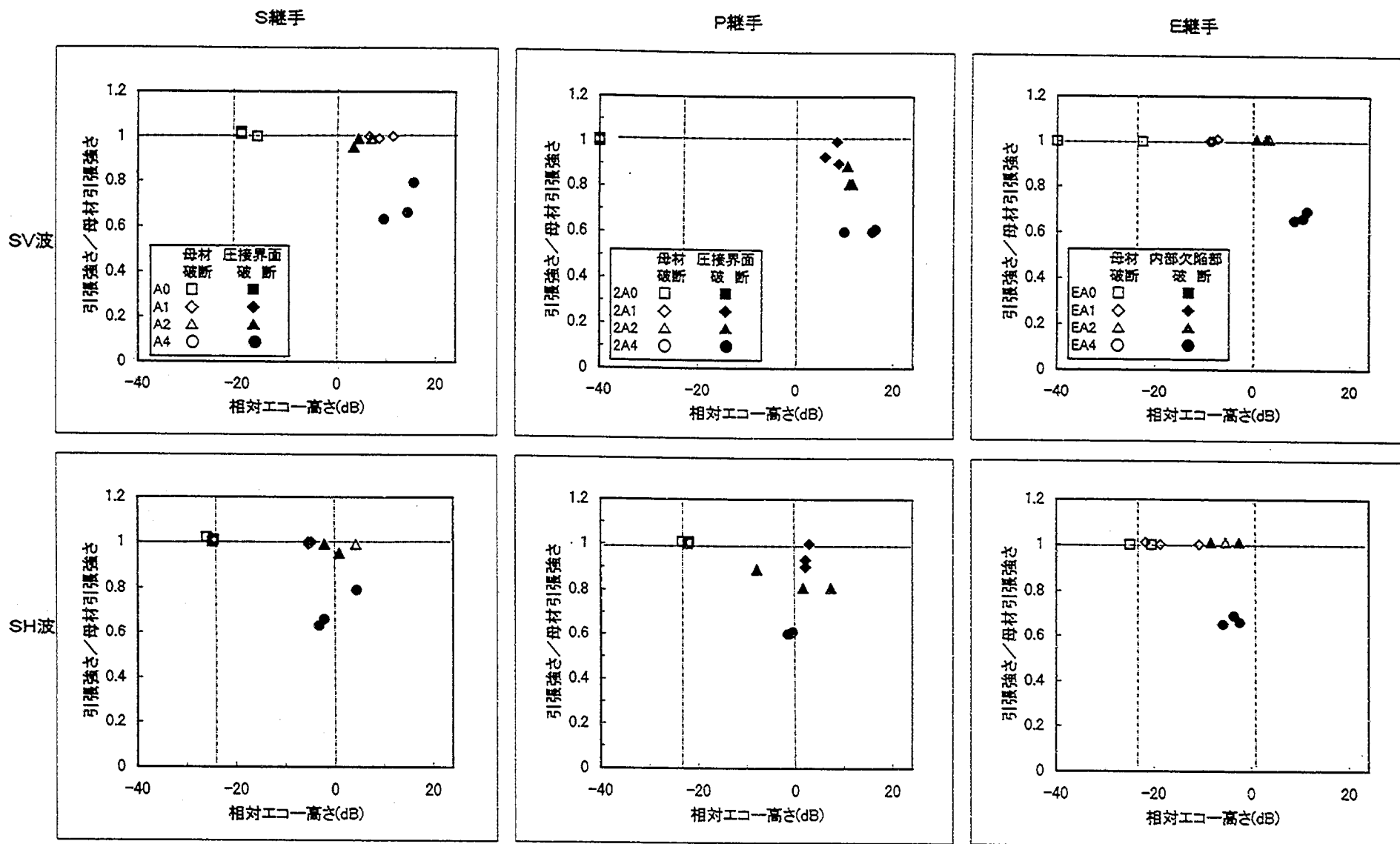


図-V.7.2 外周部欠陥のエコー高さと引張強さの関係

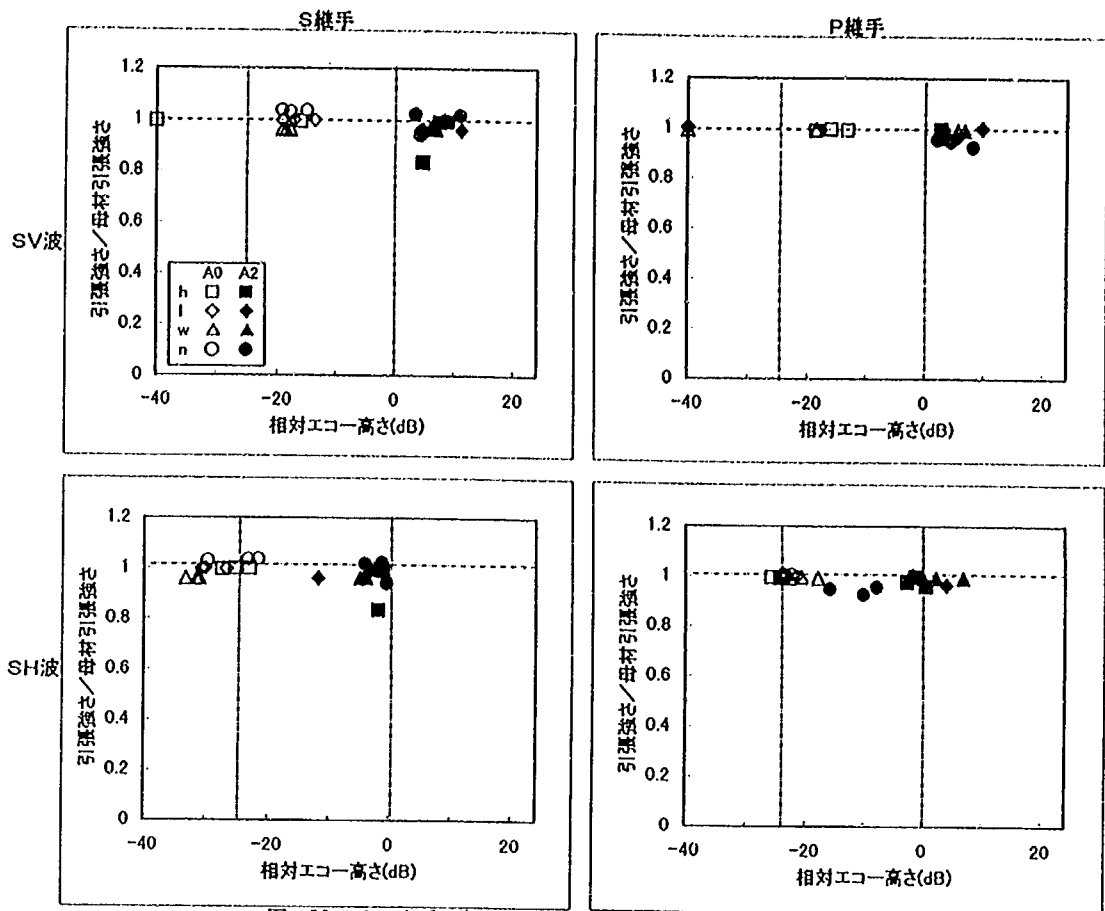


図-V.7.3 リブの違いによるエコー高さと引張強さの関係

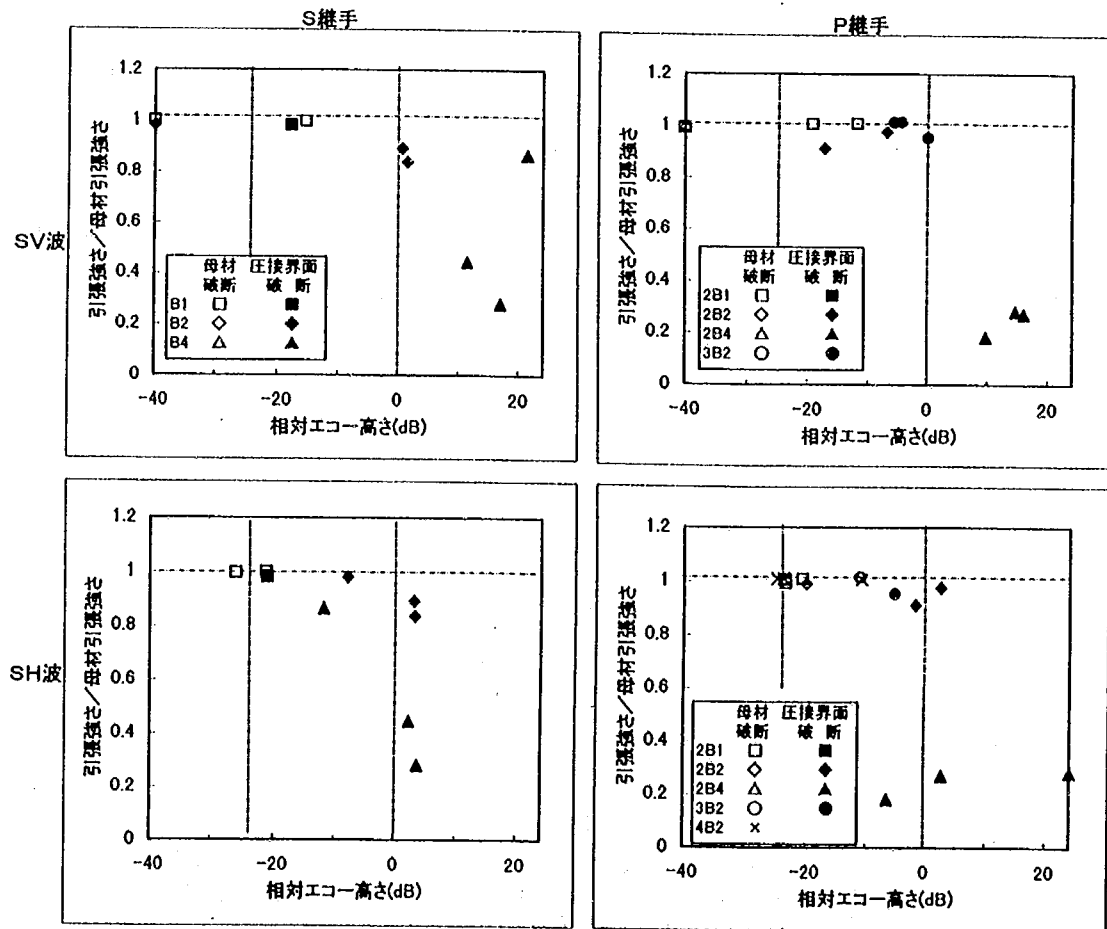


図-V.7.4 ペースト欠陥のエコー高さと引張強さの関係

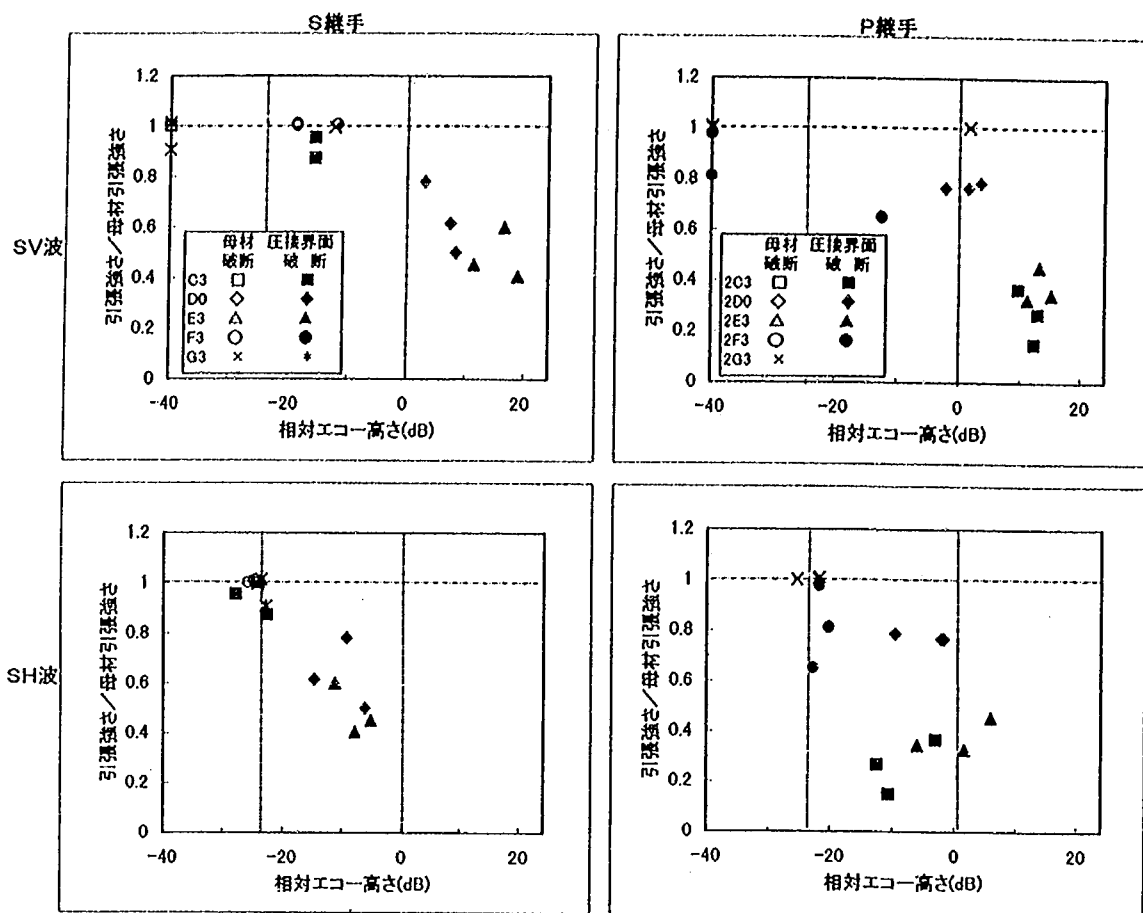


図-V.7.5 各種欠陥のエコー高さと引張強さ

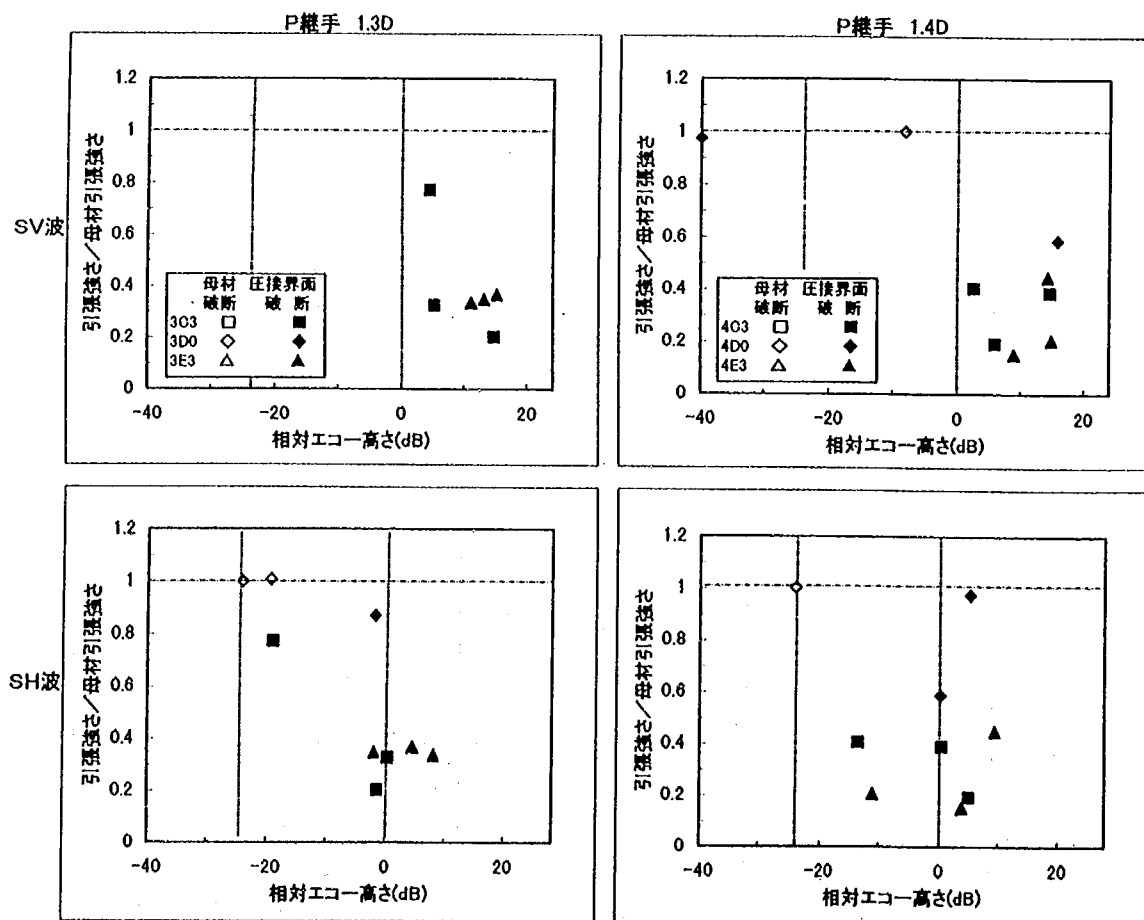


図-V.7.6 押抜径と各種欠陥のエコー高さと引張強さ

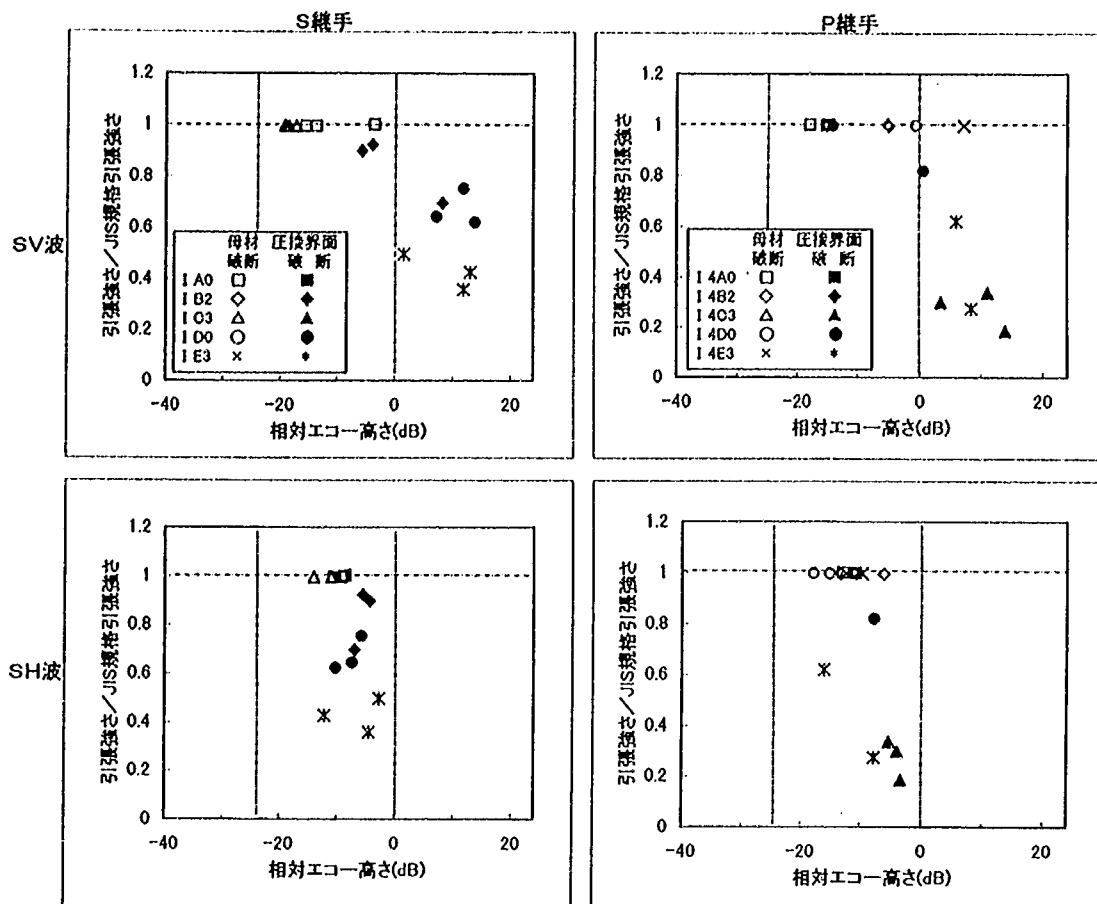


図-V.7.7 D19の各種欠陥のエコー高さと引張強さ

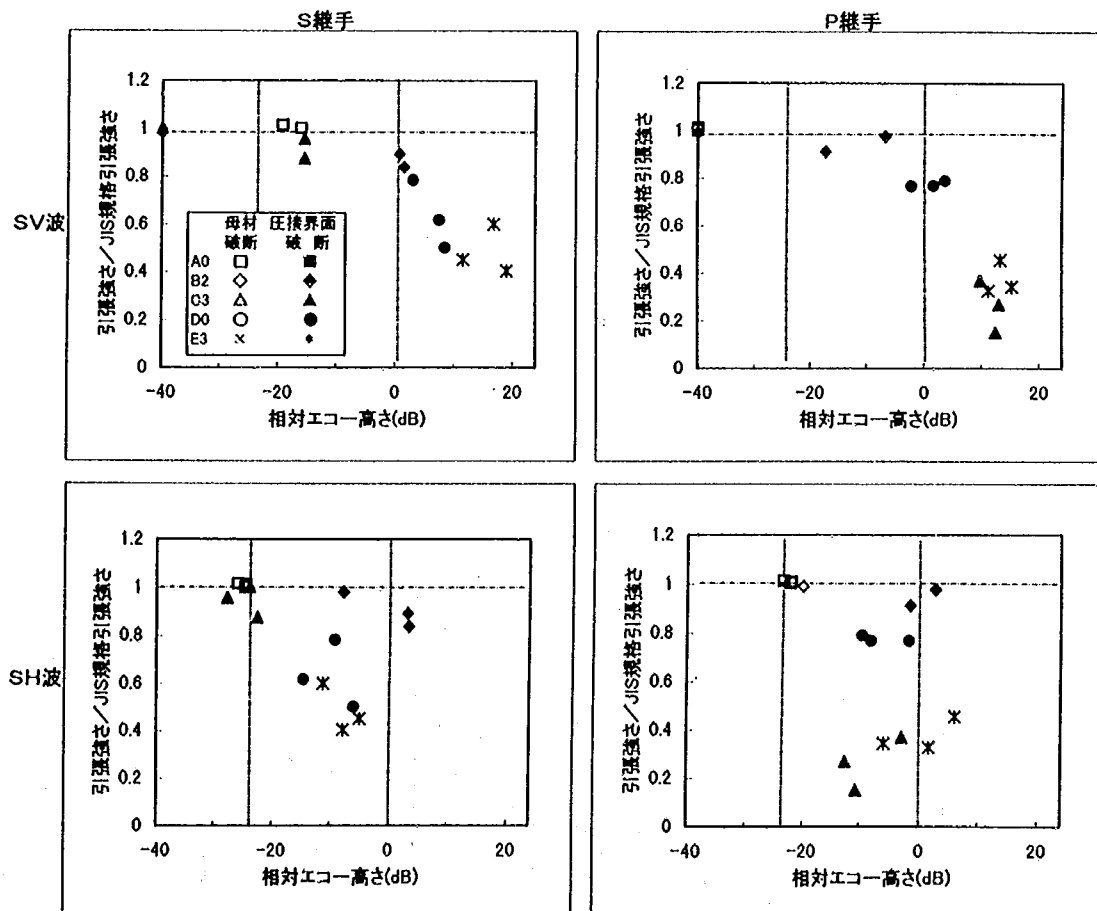


図-V.7.8 D25の各種欠陥のエコー高さと引張強さ

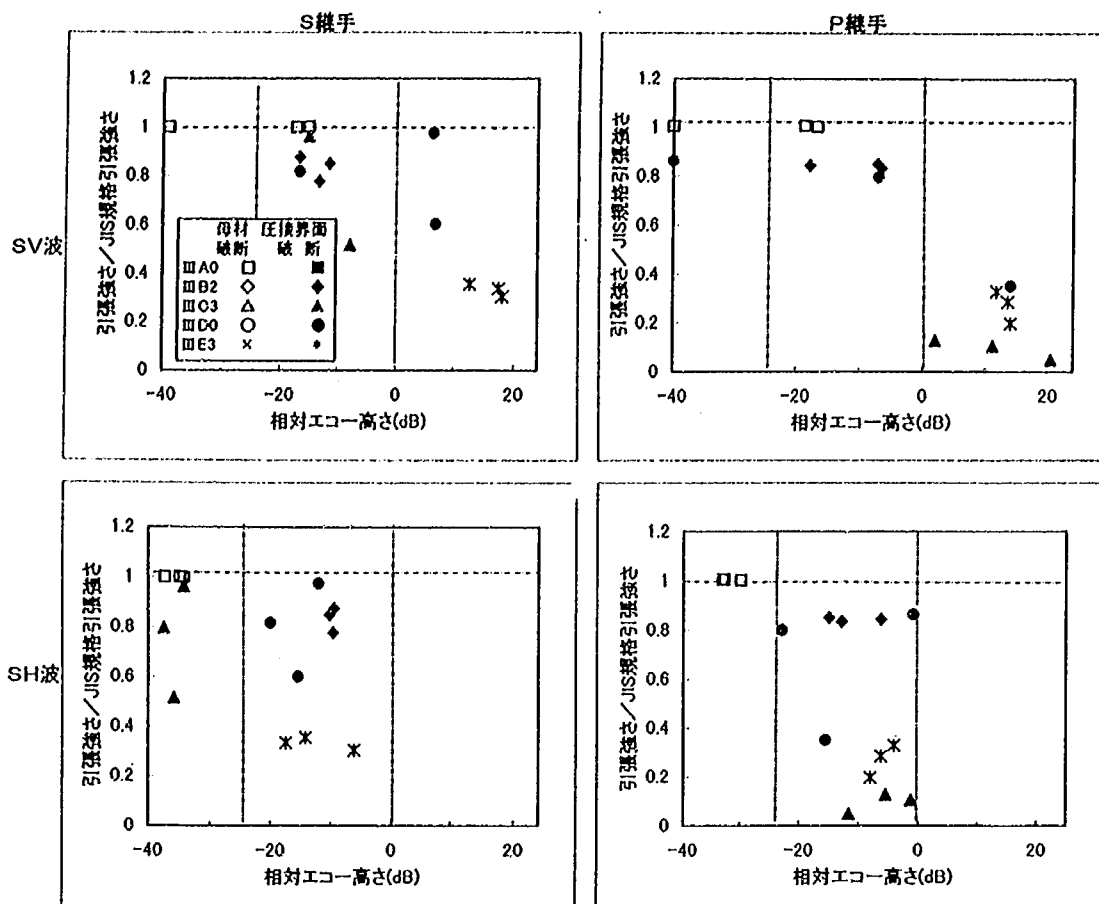


図-V.7.9 D38の各種欠陥のエコー高さと引張強さ

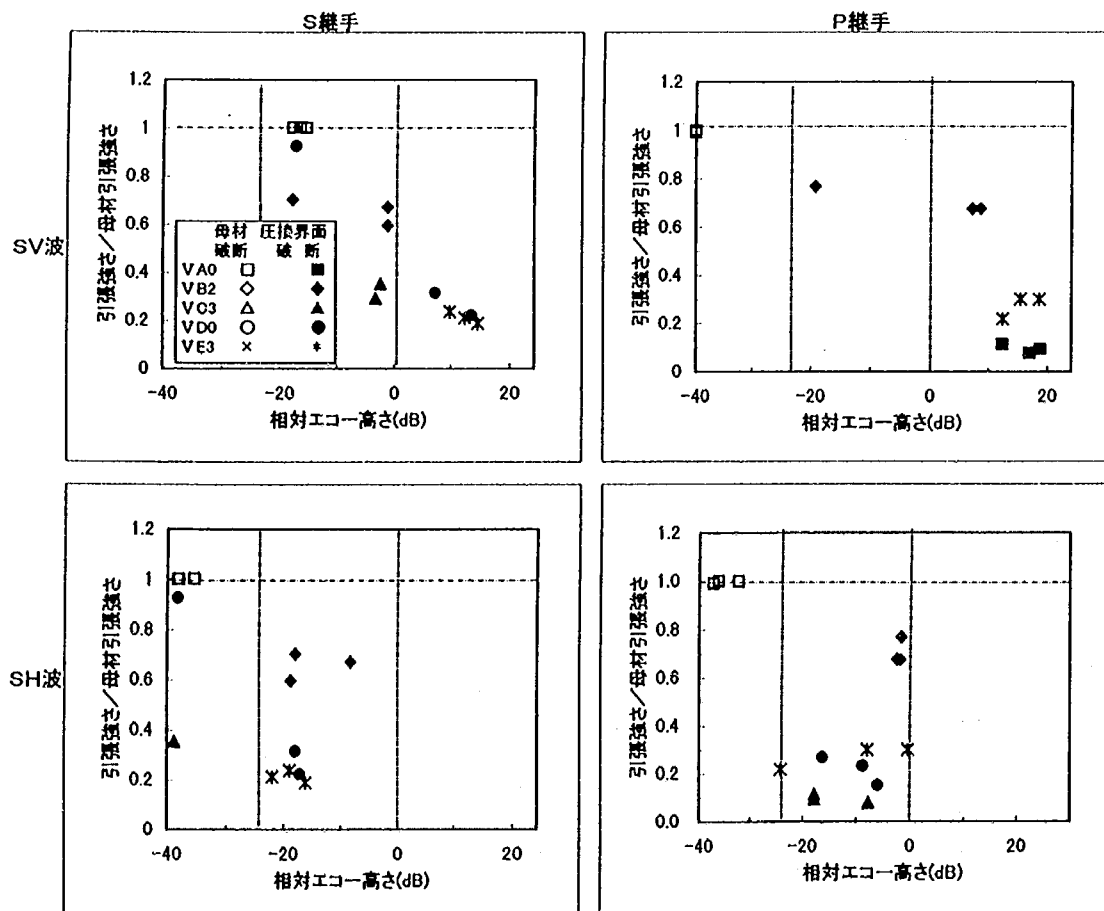


図-V.7.10 D51の各種欠陥のエコー高さと引張強さ

7.2 押抜試験片の非破壊試験結果と引張強さの関係

(1) 目視試験結果と引張強さの関係

鉄筋径毎の線状指示と引張強さの関係を図-V.7.11に示す。

目視試験での線状指示は、開口割れの長さのみと開口割れにへこみを加えた長さの両方の測定を行った。また、引張強さは母材の引張強さで正規化し、グラフ化した。

開口割れにへこみを加えた長さで引張強度はほぼ反比例の関係となった。それに対して、開口割れの長さのみでは欠陥が確認された場合は引張強度と反比例となったが多くの試験片強度を低下させる欠陥を見落としている。

ペーストによる線状指示の場合、他の欠陥の線状指示と比べ引張強さの低下が少なかった。それに対して、さびによる欠陥の場合は、線状指示はどの径の試験体でも長く、引張強度の低下も大きかった。さらに、さびによる欠陥は開口割れのみで評価した場合でも、D19の1体を除いて、引張強度の大きな低下を検出できた。

D25の試験体における、押抜径の大きさと各種欠陥の線状指示と引張強さのグラフを図-V.7.12に示す。

押抜径が大きいほどペースト以外の欠陥の線状指示が大きくなったが、引張強度は一定であった。

D25の試験体における、各種欠陥の線状指示と引張強度のグラフを図-V.7.13~18に示す。

タイプB（ペースト欠陥）の場合（図-V.7.13）、押抜径の大きさと線状指示及び引張強さの相関はないが、ペーストの付着が半分程度になった場合大きな線状指示と引張強さの大きな低下が見られた。

タイプC（さび）の場合（図-V.7.14）、押抜径が大きいほど線状指示が大きくなったが、引張強さの低下は押抜径の大きさや線状指示とは無関係であった。

タイプD（ガス切断）の場合（図-V.7.15）、1本を除いて、線状指示もほとんど検出されず、引張強さの低下もわずかであった。

タイプE（ペンキ）の場合（図-V.7.16）、押抜径が大きいほど線状指示が大きくなり、若干の引張強さの低下も見られた。

タイプF（バーナーのずれ）の場合（図-V.7.17）、線状指示が検出されなかったが、3本中2本の引張強さが低下した。

タイプG（中性炎加熱）（図-V.7.17）及び内部欠陥タイプH（ $\phi 3\text{mm}$ の）場合（図-V.7.18）、線状指示が確認されず引張強さの低下もなかった。

タイプH（ $\phi 3\text{mm}$ ~ $\phi 9\text{mm}$ タングステン）を比較すると、最大の内部欠陥H9（ $\phi 9\text{mm}$ タングステン）の場合、1体で開口割れ、1体でへこみが検出されたが、いずれの場合でも引張強さの低下はなかった。内部欠陥にもかかわらずH9欠陥で割れ、へこみが検出されたのは、タングステン箔が表面近くに移動したためと考えられる（写真-IV.3.42）。

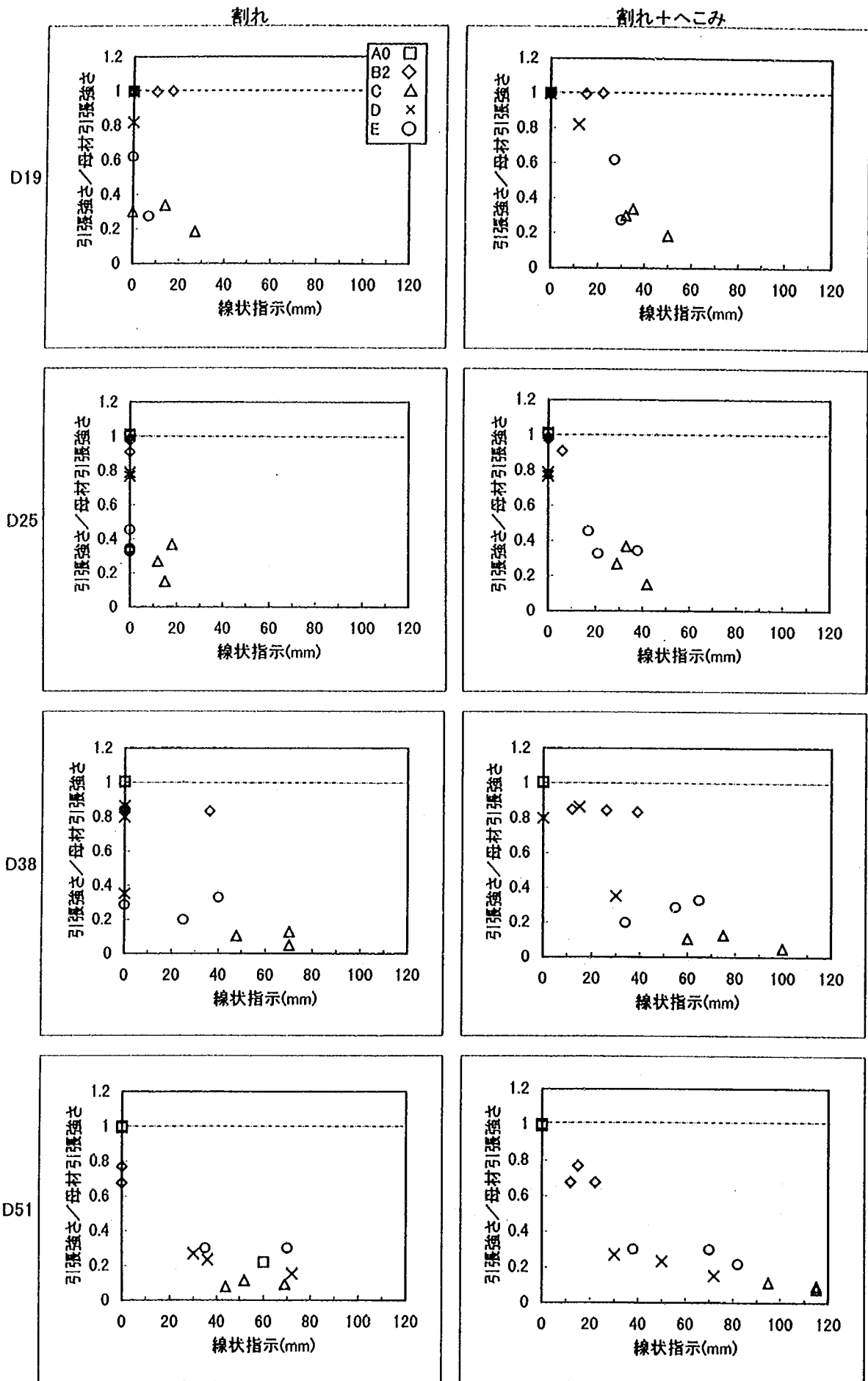
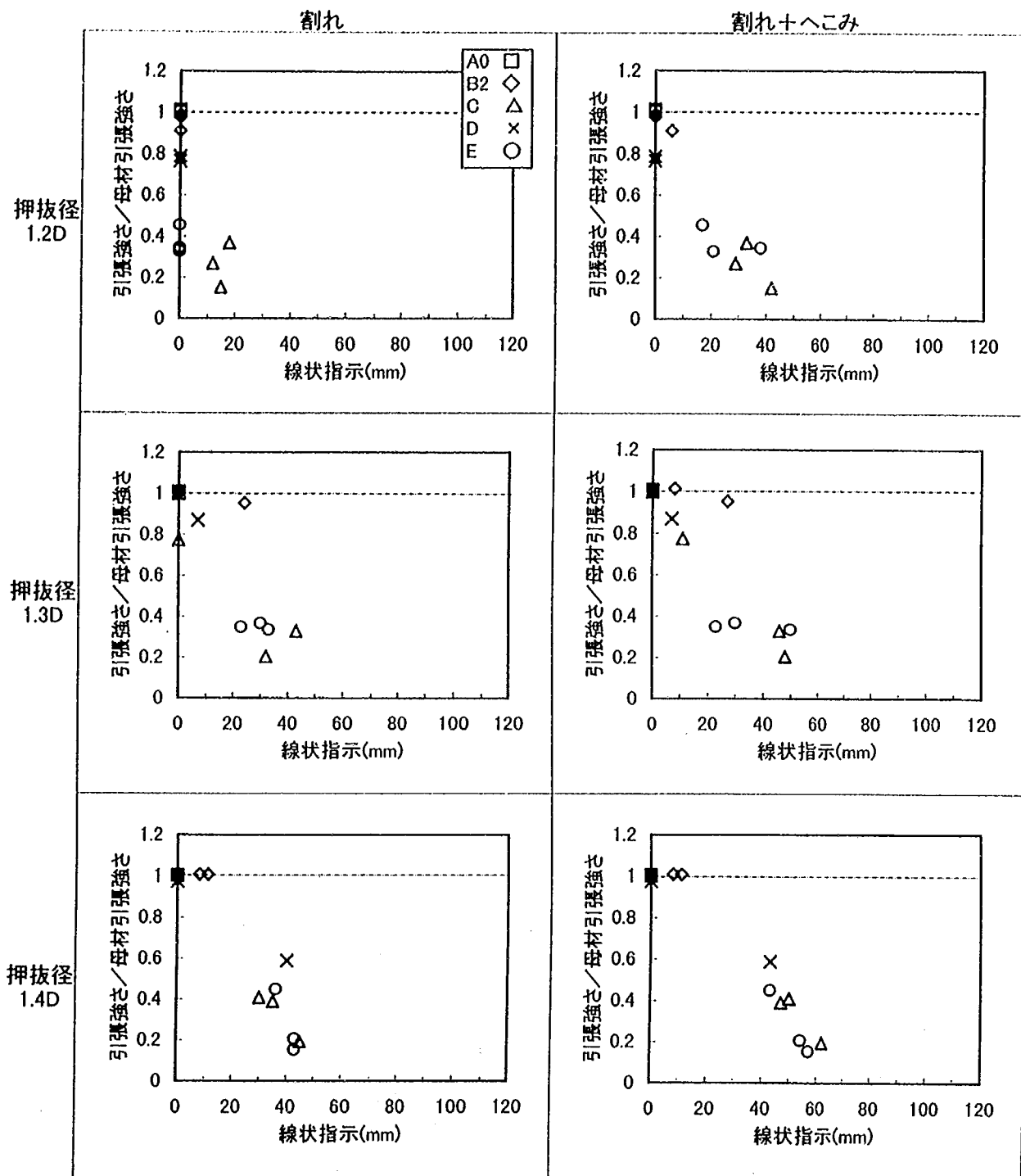


図-V. 7.11 鉄筋径, 各種欠陥ごとの目視試験結果と引張強さの関係



図一V. 7.12 押抜径ごとの目視試験結果と引張強さの関係

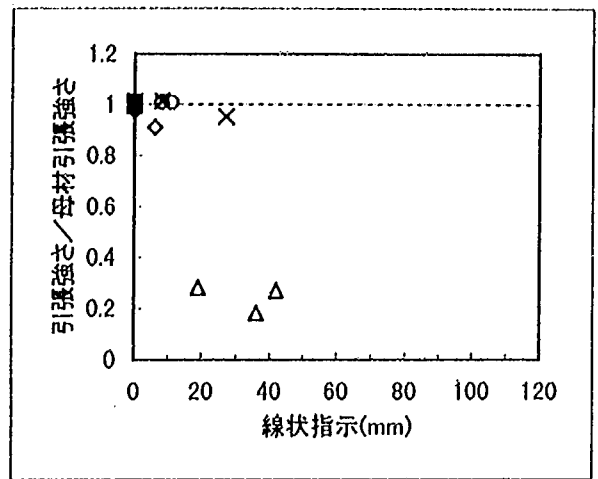
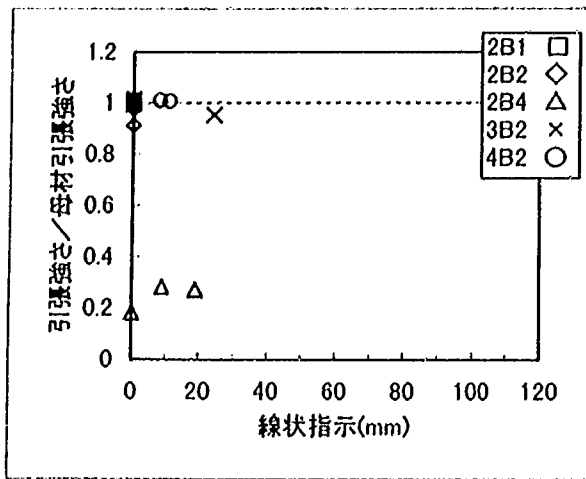


図-V. 7. 13 ペースト欠陥の目視試験結果と引張強さの関係

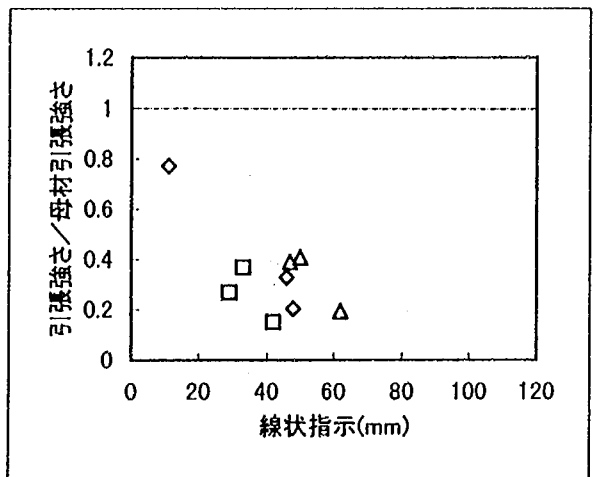
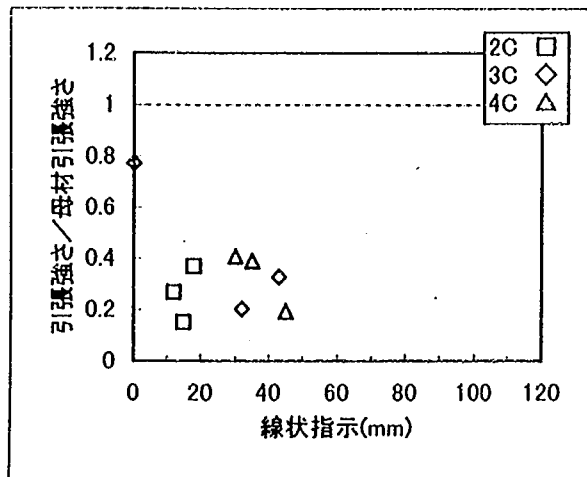


図-V. 7. 14 さび欠陥の目視試験結果と引張強さの関係

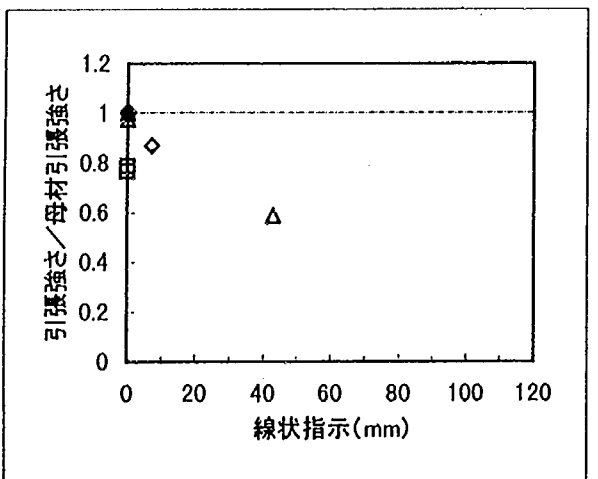
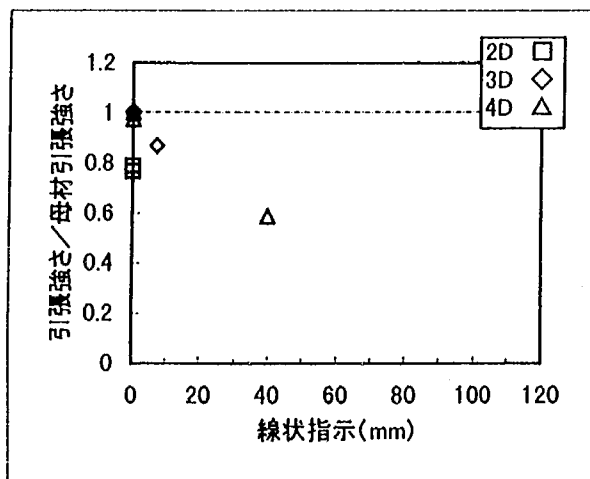


図-V. 7. 15 ガス切断欠陥の目視試験結果と引張強さの関係

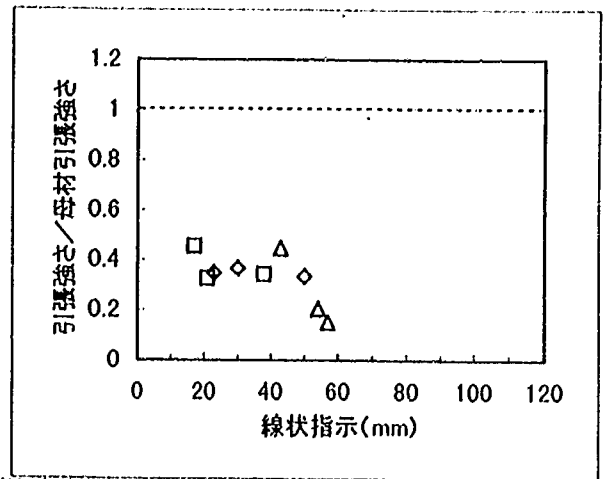
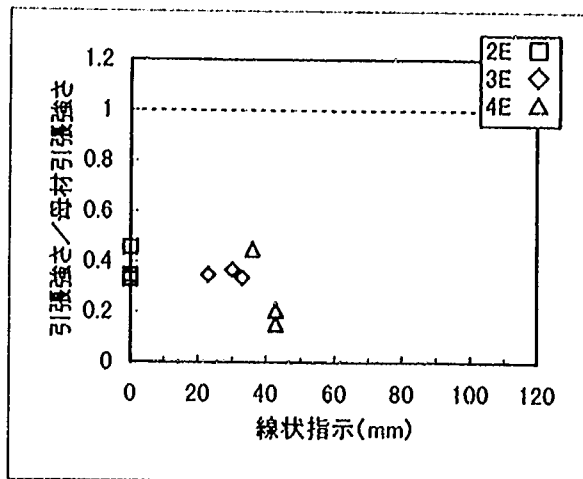


図-V. 7. 16 塗料欠陥の目視試験結果と引張強さの関係

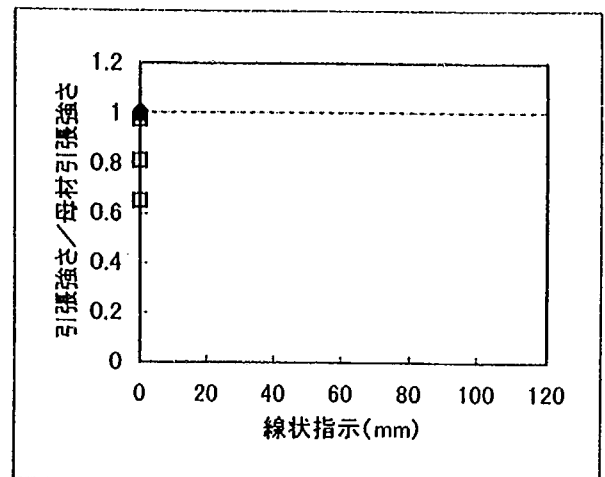
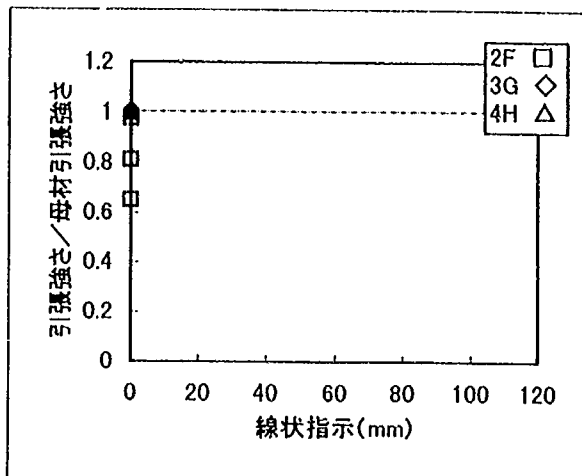


図-V. 7. 17 バーナーのずれ、中性炎加熱による欠陥の目視試験結果と引張強さの関係

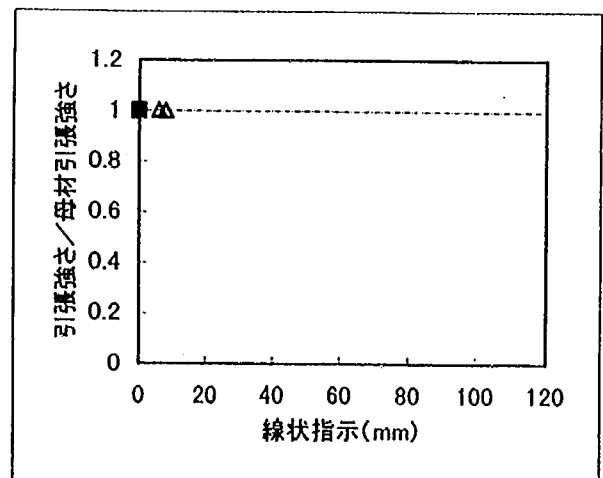
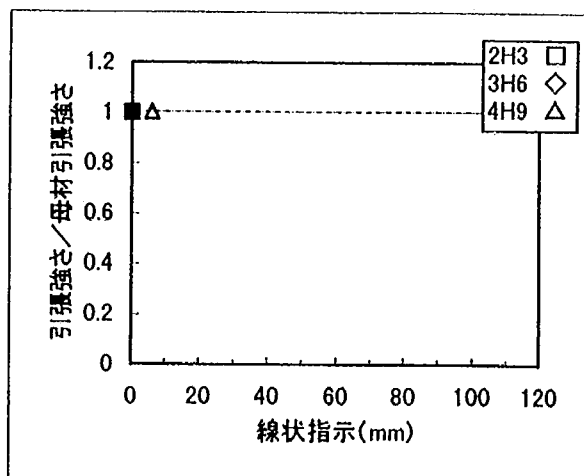


図-V. 7. 18 内部欠陥の目視試験結果と引張強さの関係

(2) 渦流探傷試験結果と引張強さの関係

鉄筋径毎のE TのCRT画面上の指示と引張強さの関係を図-V. 7. 19に示す。

E Tは、周波数 200KHz, 位相角 210° , ゲイン 65dB の条件で、リブに沿った圧接部でプローブコイルの走査を行い、CRT画面上のY軸方向のみの軌跡を描いた信号のY軸方向の絶対値を測定指示とした。引張強さは母材の引張強さで正規化し、グラフ化した。

さびによる欠陥については、D 1 9で1本検出できない試験体を除いて、すべてのサイズの圧接部で十分大きな信号として検出され、引張強さも大きく低下した。

また、D51 ではさびによる欠陥だけでなく、ガス切断による欠陥も検出され、引張強さも大きく低下した。

このように、D38 のペースト欠陥を除くと、E Tで指示が検出された場合、その指示の大きさと引張強さは反比例の関係がみられた。

しかしながら、どの径でも引張強さの低下がみられた試験体で、E Tで指示が検出されない場合がかなりあり、かならずしもE Tで指示と引張強さの対応は良いとはいえない。

D25 の試験体における、押抜径の大きさとE Tの指示と引張強さのグラフを図-V. 7. 20に示す。

全体的には、押抜径の大きさによって、E Tの指示と引張強さの間には相関性がみられなかった。

D25 の試験体における、各種欠陥のE T指示と引張強さのグラフを図-V. 7. 21~26 に示す。

タイプB (ペースト欠陥) の場合 (図-V. 7. 21), 押抜径の大きさとE T指示び引張強さの相関あまりみないが、ペーストの付着が半分程度になった場合、明確なE T指示と引張強さの大きな低下が見られた。

タイプC (さび) の場合 (図-V. 7. 22), 押抜径の大きさに係わらず、E T指示と引張強さは反比例の関係となった。

タイプD (ガス切断) の場合 (図-V. 7. 23), 引張強さが 0. 90~0. 95 程度のものを除けば、E T指示が選られた場合、引張強さは大きく低下した

タイプE (ペンキ) の場合 (図-V. 7. 24), 3本E T指示が検出されず引張強さが低下したものがあつたが、それ以外は本E T指示が検出された場合引張強さは大きく低下した。

タイプF (バーナーのずれ) の場合 (図-V. 7. 25), E T指示が検出されなかったが、3本中2本の引張強さが低下した。

タイプG (中性炎) (図-V. 7. 25) 及び内部欠陥のタイプH ($\phi 3\text{mm}$ の) 場合 (図-V. 7. 26), E T指示が確認されず強度の低下もなかった。

タイプH ($\phi 3\text{mm}\sim\phi 9\text{mm}$ タングステン) を比較すると、最小の内部欠陥 ($\phi 3\text{mm}$ タングステン) の場合、1体でE T指示が検出されたが引張強さの低下はなかった。

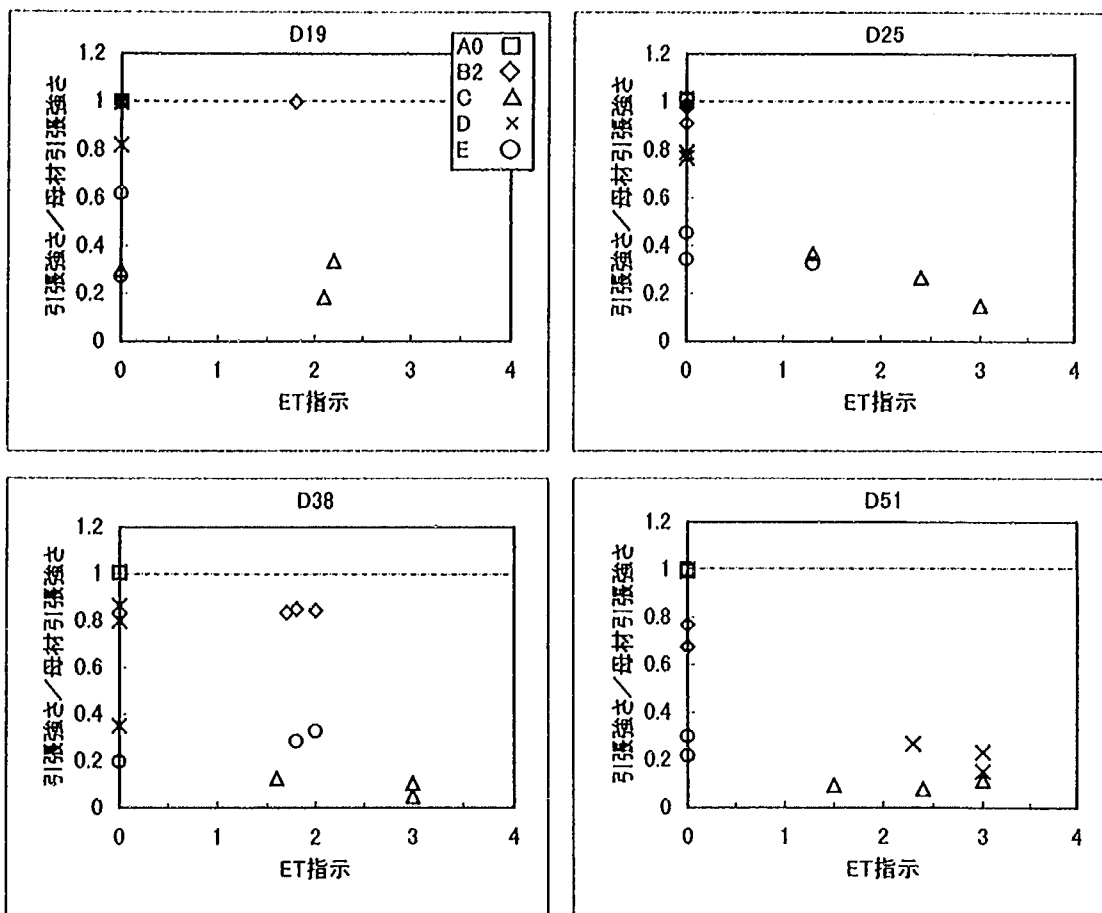


図-V.7.19 鉄筋径ごとのETと引張強さの関係

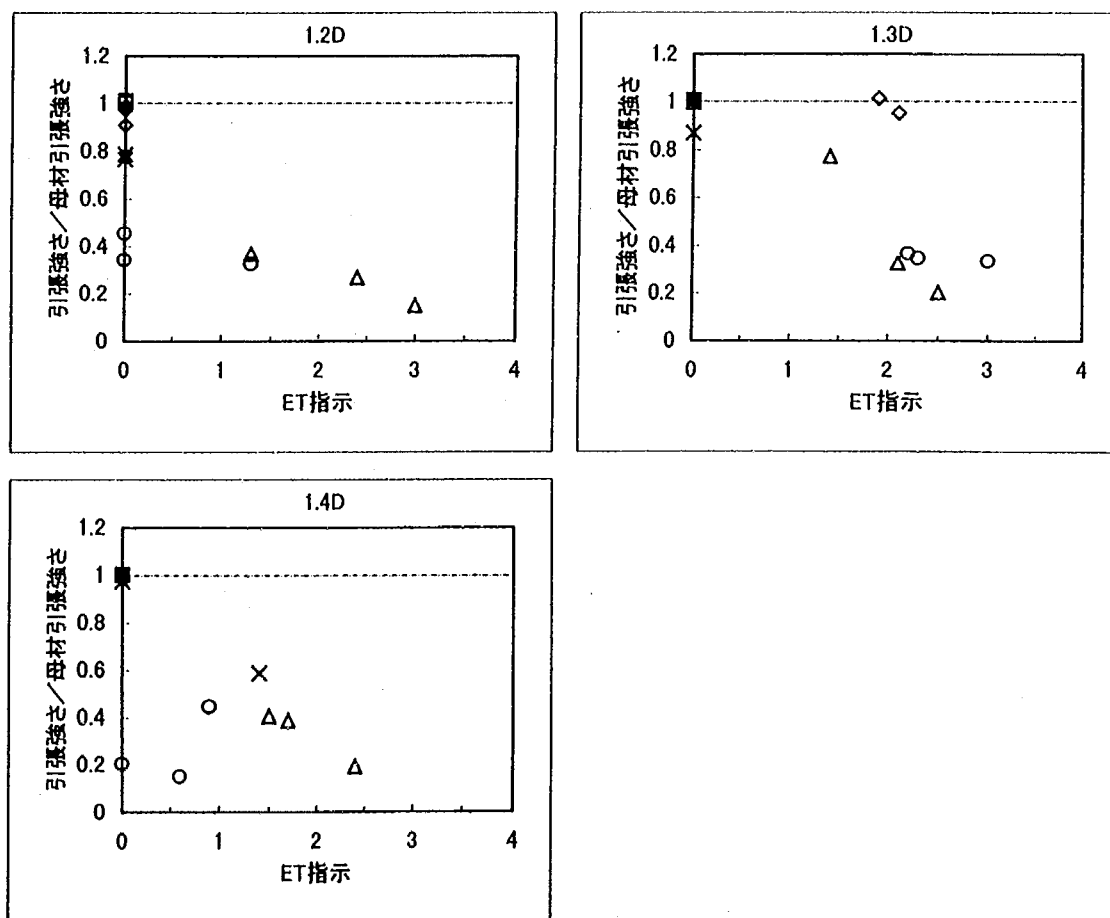


図-V.7.20 押抜径ごとのETと引張強さの関係

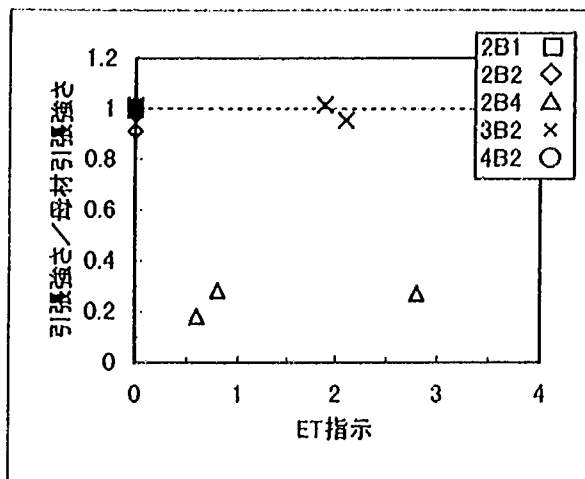


図-V. 7. 21 V-スリット欠陥のETと引張強さの関係

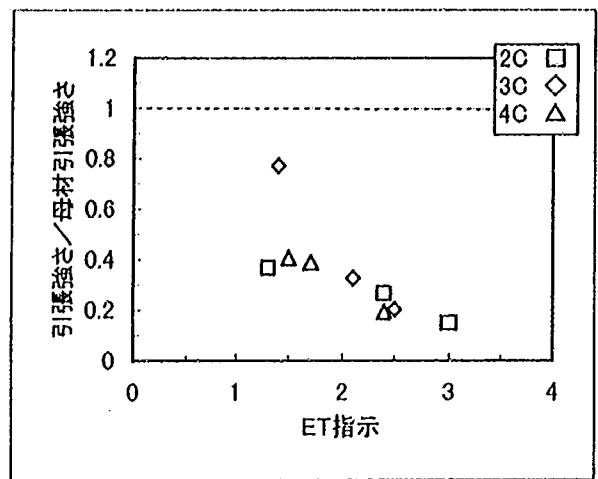


図-V. 7. 22 U-スリット欠陥のETと引張強さの関係

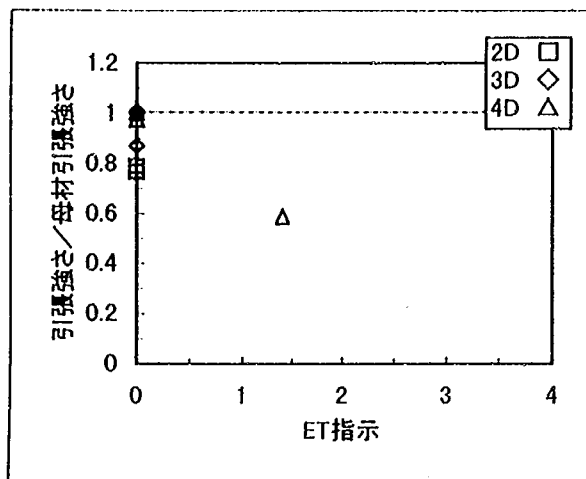


図-V. 7. 23 ガス切断欠陥のETと引張強さの関係

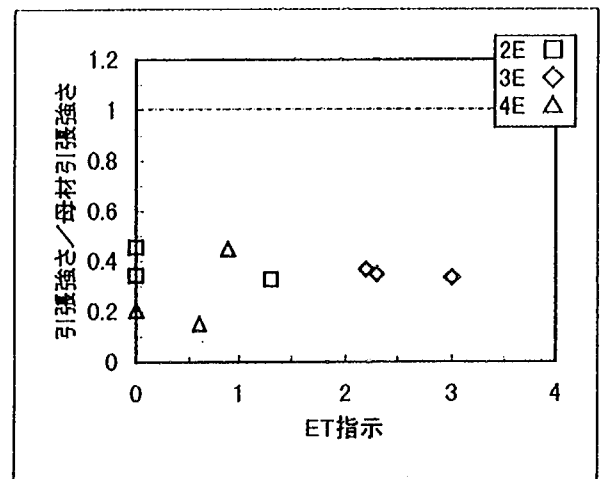


図-V. 7. 24 塗料欠陥のETと引張強さの関係

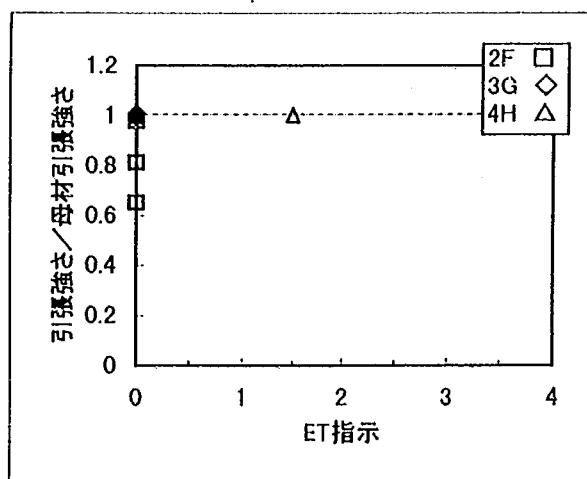


図-V. 7. 25 H-ナ-のずれ, 中性炎加熱のETと引張強さの関係

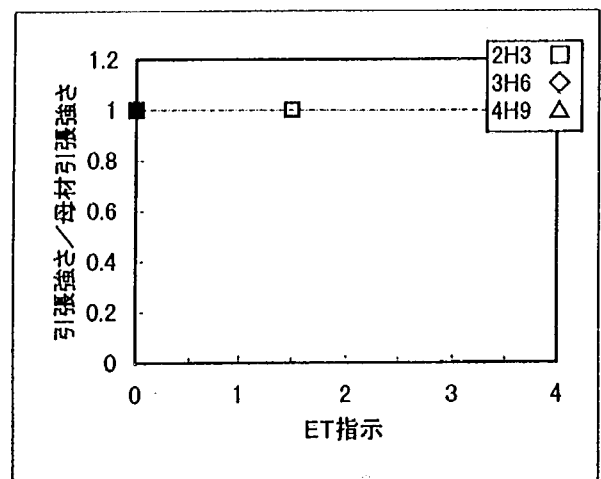


図-V. 7. 26 内部欠陥のETと引張強さの関係

7.3 非破壊試験の信頼性

(1) 判定結果の表し方

非破壊検査結果と引張強さによる破断位置の関係を表-V.7.3 およびV.7.4 に示す。表-V.7.3 は引張試験を行った全試験片のSV波、SH波の結果と破断位置の関係である。UTの判定基準は、SV波は合否判定レベルである0dB、SH波は前節の結果から-24dBとした。

表-V.7.4 は押抜試験片の場合であり、UTの判定基準は表-V.7.3 と同様とした。目視の判定基準は、割れ、割れ+へこみについて、線状指示のありなし、ETも信号の検出のありなしとした。

これらの結果から誤判定がどの程度あるかをわかりやすくするために、図-V.7.27 のように円グラフで示した。内側の円内の数字は引張試験の供試体数、円外の矢印の範囲が圧接面破断で判断した引張での合否区分、円内の矢印の範囲がUTで判断した合否区分、斜線部が各検査での誤判定比率である。それぞれの区分ごとに本数とカッコ内に比率(%)を示した。上部斜線部は検査で不合格と判定したにもかかわらず引張試験で母材破断した比率(以下、安全側の誤判定と呼ぶ)、一方、下部斜線部は逆に検査で合格と判定したにもかかわらず圧接面破断を生じた比率(以下、危険側の誤判定と呼ぶ)である。

図-V.7.28 に全試験片のUT結果を、図-V.7.29~V.7.31 に押抜試験片の各非破壊試験結果と引張試験結果の比較を示す。

(2) UT結果と引張試験結果の比較

図-V.7.28 はSV波とSH波を比較してある。SV波の危険側の誤判定は12.9%と比較的高い。安全側の誤判定も14.0%ある。それに対し、SH波の危険側の誤判定は2.9%であり、SV波よりかなり低い。安全側の誤判定は30.4%とかなり高い。

両者とも安全側の誤判定がかなり多いことが分かる。今回の場合、人工的に内部欠陥やノッチによる外周部欠陥などの試験片を作成し、これらのエコー高さはかなり高かったにもかかわらずほとんどの試験片は圧接界面から破断しなかったことによる。

(3) 押抜試験片の非破壊試験結果と引張試験結果の比較

押抜試験片のUTの関係を図-V.7.29 に示す。この場合も全試験片の場合(図-V.7.28)とほぼ同様の関係になっており、SV波の危険側の誤判定は10.1%、安全側の誤判定は8.5%に対し、SH波は0.7%と32.4%であった。SH波の-24dBを合否判定とした場合、危険側の誤判定は1本のみであり、誤判定の比率は、今回行った非破壊検査法の中で最も小さくなった。

目視試験による割れおよび割れ+へこみの結果と引張試験結果の比較は図-V.7.32 のとおりである。割れのみの場合、危険側の誤判定は21.1%と非常に高くなっている。一方、割れ+へこみの結果は、危険側の誤判定は7.3%とやや高いものの、安全側の誤判定は5.7%であり、トータルの誤判定は目視による割れ+へこみが今回行った非破壊検査法の中で最も小さくなった。

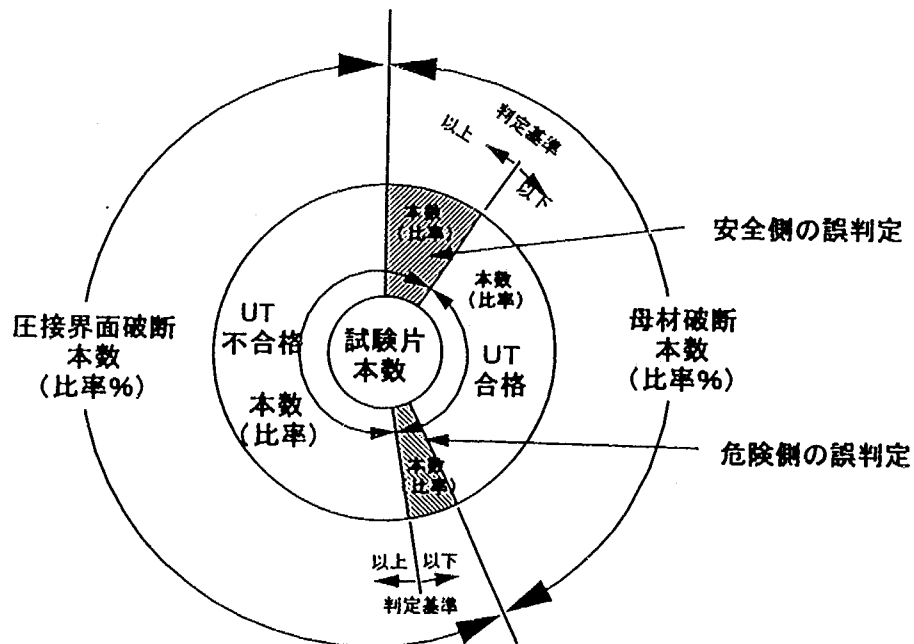
ETの結果は図-V.7.33 のとおり、危険側の誤判定が22.0%と最も高くなっている。

表－V.7.3 全試験片の非破壊検査結果と引張試験結果の関係

非破壊検査法	判定基準		引張破断位置		小合計	合計
			圧接界面破断	母材破断		
U T (SV)	0dB	以上	108 (40.9%)	37 (14.0%)	145	264 (100%)
		以下	34 (12.9%)	85 (32.2%)	119	
U T (SH)	-24dB	以上	139 (49.6%)	85 (30.4%)	224	280 (100%)
		以下	8 (2.9%)	48 (17.1%)	56	

表－V.7.4 押抜試験片の非破壊検査結果と引張試験結果の関係

非破壊検査法	判定基準		引張破断位置		小合計	合計
			圧接界面破断	母材破断		
U T (SV)	0dB	以上	62 (48.1%)	11 (8.5%)	73	129 (100%)
		以下	13 (10.1%)	43 (33.3%)	56	
U T (SH)	-24dB	以上	79 (54.5%)	47 (32.4%)	126	145 (100%)
		以下	1 (0.7%)	18 (12.4%)	19	
目視	割れ	あり	37 (37.1%)	5 (4.1%)	42	123 (100%)
		なし	26 (21.1%)	55 (44.7%)	81	
	割れ+へこみ	あり	54 (43.9%)	7 (5.7%)	61	123 (100%)
		なし	9 (7.3%)	53 (43.1%)	62	
E T	あり		36 (29.2%)	4 (3.3%)	40	123 (100%)
	なし		27 (27.0%)	56 (45.5%)	83	



図－V.7.27 判定結果の表し方

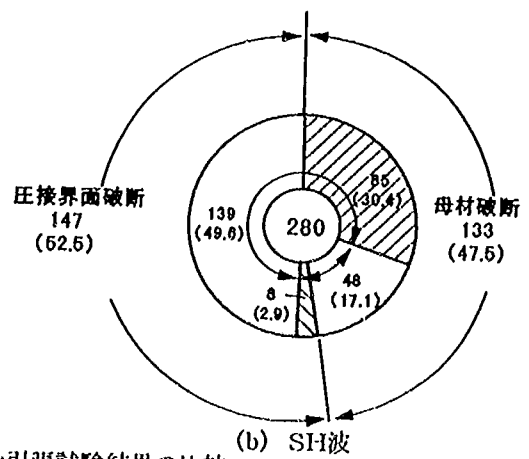
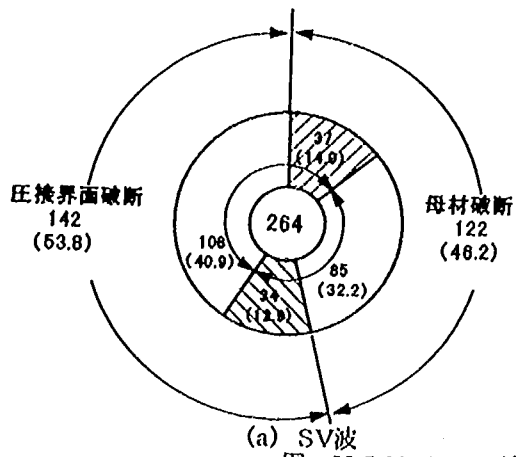


図-V.7.28 UT+SV波の結果と引張試験結果の比較

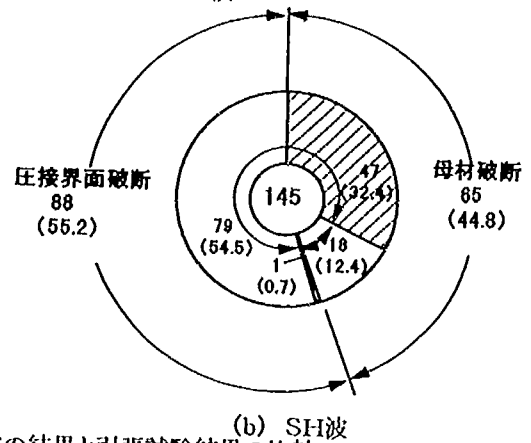
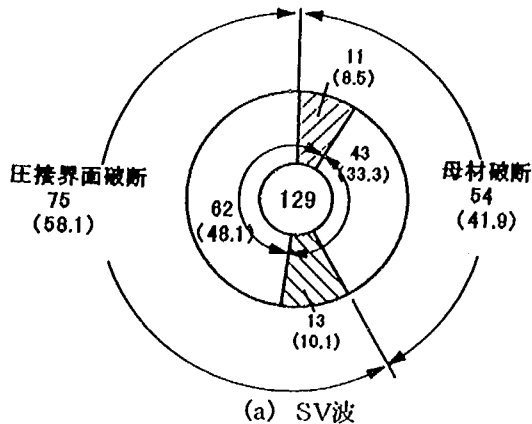


図-V.7.29 押抜試験片のUT+SV波の結果と引張試験結果の比較

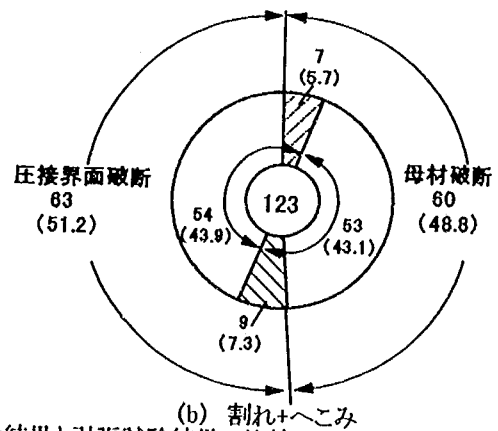
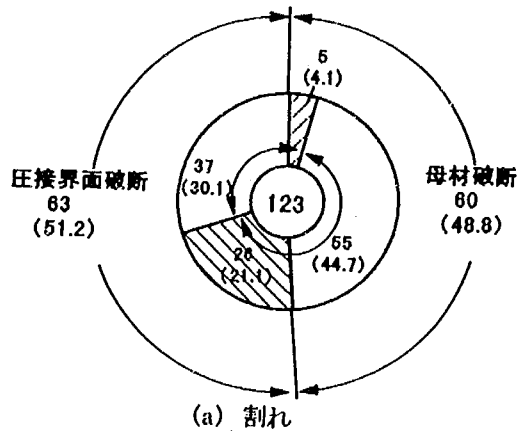


図-V.7.30 押抜試験片の目視試験結果と引張試験結果の比較

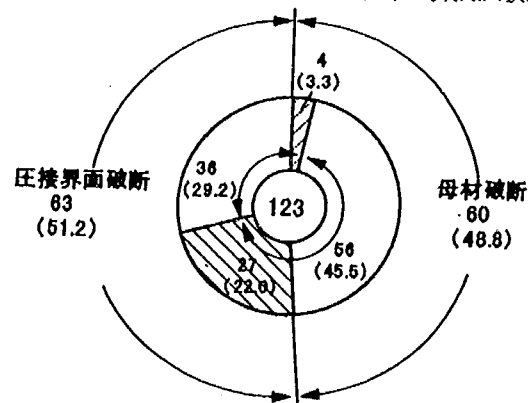


図-V.7.31 押抜試験片のET結果と引張試験結果の比較

8. 拘束試験によって作成した試験片の結果

8.1 非破壊試験結果

(1) S V 波法

専用探傷器を用い S V 波法で測定した結果を図-V. 8. 1 に示す。

専用探傷器を用いたため基準となる合否判定感度より 6dB を超えて低いエコーはすべて $< -6\text{dB}$ と表示されるため、 -7dB とした。欠陥エコーは検出されなかったため相対エコー高さがすべて -7dB となった。

ただし、記号で () 内が F は拘束を開放した状態での測定、() 内が T は拘束の状態での測定である。

拘束状態で測定、拘束解放状態で測定しても欠陥エコーは確認できなかった。また、拘束の大きさによっても変化がなかった。このことから、拘束によってエコーが生じるような欠陥は生じないものと考えられる。

(2) 表面 S H 波法

表面 S H 波法による測定結果を図-V. 8. 2 に示す。

ほとんどの場合、欠陥エコーが検出されず最大エコー高さがノイズ感度程度となった。また、同一の試験体で、拘束状態での測定と拘束を開放した状態での測定でまったく差異がみられなかった。このことから、拘束によってエコーが生じるような欠陥は発生しないものと考えられる。

8.2 非破壊試験と引張試験の比較

拘束試験体のエコー高さと引張強さの関係を図-V. 8. 3 及び図-V. 8. 4 に示す。

S V 波法の場合は、エコー高さを通常エンクロの探傷で用いられる合否判定感度（基準感度 -20dB ）と引張強さを母材の引張強さで正規化し、グラフ化した。また、表面 S H 波法の場合は、ゲインの読み値 85dB を基準とした相対エコー高さをを用いた。

S V 波法、表面 S H 波いずれの場合でも相対エコー高さは低く、引張強さは大きかった。

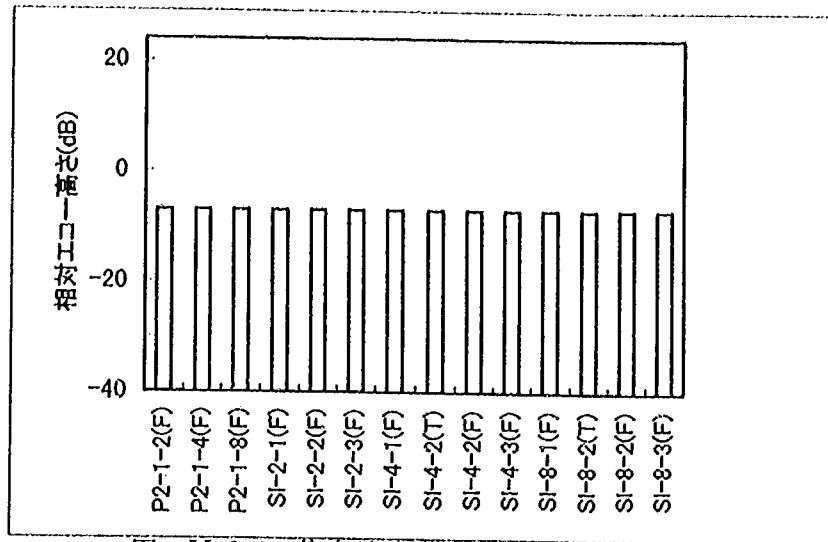


図-V. 8. 1 拘束試験片のSV波のエコー高さ

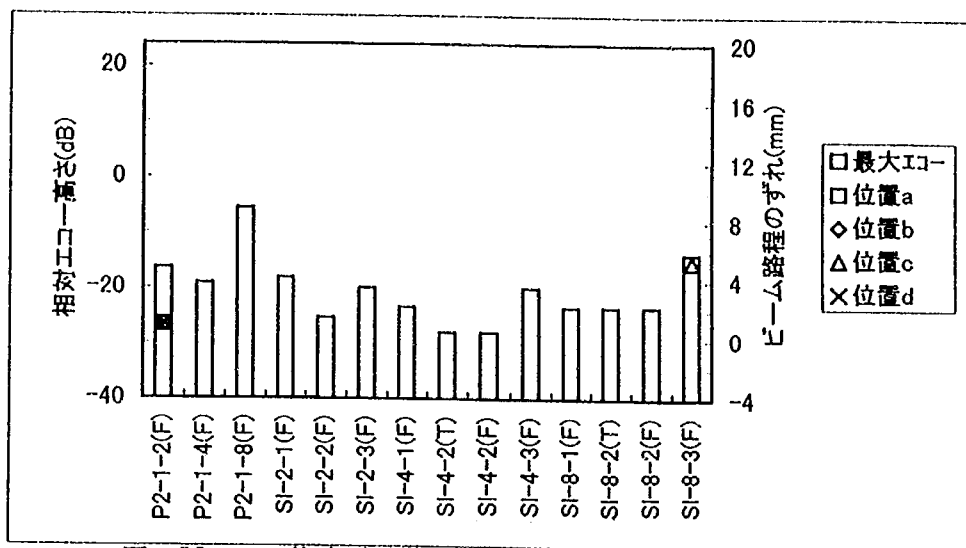


図-V. 8. 2 拘束試験体における表面SH波法のエコー高さ

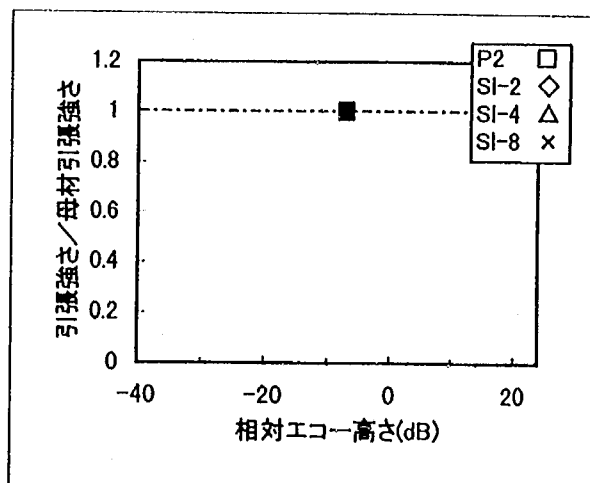


図-V. 8. 3 SV波法と引張強さ(拘束試験体)

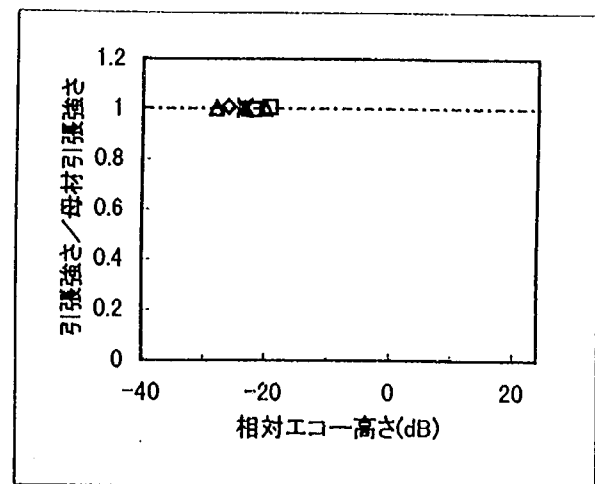


図-V. 8. 4 SH波法と引張強さ(拘束試験体)

9. まとめ

今回の実験で現行の超音波探傷試験が圧接部の品質を評価する上で信頼性の高い方法であることが確認された。また、熱間押抜法についても圧接の品質を評価する信頼性の高い非破壊試験方法を含む施工方法であることが確認された。

今回の実験で明らかになった圧接部の品質を評価する非破壊試験方法について以下に記す。

9.1 S V波法（現行の超音波探傷試験方法）

- (1) 標準圧接に適用した場合、現行の評価方法（合格判定レベル-24dB で判定）と引張強さによる合否判定は、さび欠陥、不適正な施工を除いてよく一致した。また、D38, D51 の太径の一部に一致しないものがあり、その欠陥種別はペースト欠陥及びさび欠陥であった。ただし、ペースト欠陥での引張強度の低下は規格値の 80%程度であった。
- (2) 熱間押抜に適用した場合、現行の評価方法と引張強さによる合否判定はかなりよく一致した。熱間押抜で合否判定が一致しないのは、鉄筋径が D38, D51 の太径で、欠陥種別がペースト欠陥で、母材の引張強さをわずかに下回る場合であった。
- (3) さび欠陥は標準圧接でエコー高さが低かったが熱間押抜では非常に高かった。また、引張強さは D19 及び D25 標準圧接では低下しなかったがそれ以外では大きく低下した。
- (4) 不適正な施工による（過大なすきま、バーナーのずれ、中性炎加熱）継手については、標準圧接ではエコー高さが低く引張強さも満足しており一致したが、熱間押抜ではエコー高さが低い引張強さが低下した場合があった。
- (5) S V波法では基準感度設定時のビーム路程と比べ探傷時のビーム路程はかなり大きくなったが、これは圧接部の欠陥がふくらみの周辺部にあるためと考えられる。

9.2 表面 S H波法

- (1) 標準圧接に適用した場合、D19 では引張強さによる合否判定は一致しなかったが、D25 以上では引張強さによる合否判定は、さび欠陥、施工不良を除いて、よく一致した。合否判定が一致しないさび欠陥は表面 S H波法で過小評価となった。
- (2) 熱間押抜に適用した場合、表面 S H波法と引張強さによる合否判定は、施工不良を除いてよく一致し、危険側の誤判定は最も少なかった。一部、合否判定が一致しないものは、表面 S H波法でエコー高さが高い引張強さを満足する場合であった。
- (3) さび欠陥は標準圧接でエコー高さが低かったが熱間押抜では高く、S V波法と同様であった。
- (4) 不適正な施工による（過大なすきま、バーナーのずれ、中性炎加熱）継手については、標準圧接ではエコー高さが低く引張強さも満足しており一致したが、熱間押抜ではエコー高さが低い引張強さが低下した場合があった。
- (5) 圧接部の欠陥はふくらみの周辺部にあるため、表面 S H波法ではよく検出され、S V波法に見られたビーム路程のずれも少なかった。

9.3 熱間押抜による目視試験

- (1) 所定の評価方法（開口割れおよびへこみは不合格）による合否判定と引張強さによる合否判定は比較的よく一致した。割れ+へこみで評価すると、誤判定は最も少なかった。
- (2) 開口割れのみでの評価は、引張強さが大きく低下する圧接部も合格とすることも少なくない。
- (3) 不適正な施工による（過大なすきま、バーナーのずれ、中性炎加熱）継手については、非破壊検査では検出できなかったが、一部の試験体で引張強さが規格値に達しない場合があった。

9.4 熱間押抜部の渦流探傷試験

- (1) 渦流探傷試験で信号が検出された場合は引張試験の合否判定とよく一致したが、引張強さが大きく低下する試験体を見落とす場合が少なくなかった。
- (2) 引張強さが大きく低下する試験体を見落とす原因として、渦流探傷プローブの走査がリブの延長線上4線だけでそのため欠陥の検出範囲が狭かったことが考えられる。
- (3) 不適正な施工による（過大なすきま、バーナーのずれ、中性炎加熱）継手については、検出できなかったが、一部の試験体で引張強さが低下する場合があった。

9.5 エンクローズ溶接

比較用のエンクローズ溶接（以下EA）では、2種類の内部欠陥（表面からノッチを入れた外周部欠陥、円板内蔵した内部欠陥）を付したEA試験体で作成し、これら試験体を2種の超音波探傷試験法（SV波法、表面SH波法）および継手引張試験法により試験して、継手の欠陥と反射エコーの状態および欠陥と引張強度との関連性を調べた。その結果は概ね次のとおりである。

- (1) 外周部欠陥試験体（欠陥面積率：0%，7%，20%，50%）のUT結果、SV波法、SH波法とも検出エコー高さと欠陥面積率とに密接な関係が認められた。しかし、SH波法ではノッチ欠陥面積の大きい場合（面積率が20%と50%）には分別が困難であった。
- (2) 内部欠陥試験体（欠陥面積率：6%，13%，22%）のUT結果も(1)の場合とほぼ同様にSV波法の検出能力は優れている。
- (3) 継手引張試験において、欠陥面積率50%のノッチを入れた試験片を除いた全ての試験片が母材引張強さと同程度であった。また、継手にノッチを入れた欠陥面積率50%試験体のSV波法による相対エコー高さは10dBで、引張強さは母材の80%程度に低下した。これらの結果は、従来のデータとほぼ一致しており、基準感度と合否判定感度のゲイン差を20dB（圧接は24dB）としている合理性が確認された。

9.6 その他

- (1) 汎用探傷器の合否判定と専用探傷器の合否判定はよく一致した。
- (2) 拘束試験体の超音波探傷試験結果から、拘束の影響は超音波探傷試験結果に影響を与えず、また、引張強度にも影響を与えなかった。

今後、圧接部の品質を確保し、さらに信頼性を高めるために、以下について検討する必要があるものと考えられる。

- (1) D38 以上の鉄筋については、表面 S H 波法を採用することによって信頼性を高めることができるものと考えられる。
- (2) D38 以上の鉄筋でさびは、S V 波法でも表面 S H 波法でも検出できない場合があるが、押抜を行えば、目視試験、渦流探傷試験、S V 波法、表面 S H 波法のいずれでも容易に検出できる。
- (3) 熱間押抜法では、開口割れだけでなくへこみも検出する必要がある。従って、観察する環境の明るさ・光の方向・障害物等に留意することが求められる。
- (4) 熱間押抜法では、不十分な接合は、押抜時のせん断力により欠陥が拡大される。標準圧接では大きな断面積により引張強さを満足するものであっても、熱間押抜では引張強さを低下させることがある。
- (5) 熱間押抜法はへこみも含めた外観観察が極めて重要になる。
- (6) 渦流探傷試験において、十分な走査方法もしくは広い面が探傷可能なプローブを製作すれば、引張強さの低下した欠陥の見落としを防げるものと期待される。
- (7) 適正な非破壊試験が行われたことを証明するような記録を残せることが重要である。
- (8) ガス圧接の施工が適正でない場合に生じる欠陥（さび・過大なすきま・バーナーのずれ・中性炎加熱）において、一部の試験体でいずれの非破壊試験でも検出できない場合があった。十分な施工管理と検査および管理の記録が重要になると考えられる。

VI 結 論

1. 検討概要	199
2. 各種圧接条件と超音波探傷試験の有効性	199
2.1 内部欠陥とUT法の検出能力	200
2.2 圧接面の状態, 加熱条件とUT法, 引張強さ	200
2.3 拘束条件と圧接の施工性, UT法, 引張強さ	200
3. 熱間押抜法と押抜径に関する検討	201
3.1 目視検査と引張強さ	201
3.2 欠陥の種類と圧接界面破断率	201
4. 信頼性向上のための検討課題	201
4.1 UTによる検査方法の改善	201
4.2 熱間押抜法の普及	201

1. 検討概要

ガス圧接継手の信頼性向上を目指し、地震時を想定した各種載荷実験および非破壊検査方法について検討してきた。各種載荷実験では、施工規準である「鉄筋のガス圧接工事標準仕様書」（日本圧接協会－1994）に基づいて適切に施工すれば、圧接部が弱点になることはないことが、1,000本以上にもおよぶ引張試験や、金属組織の観察結果、硬さ試験、衝撃試験などの結果から明らかになった。

そこで、本報告書では、ガス圧接継手のさらなる信頼性向上を目指し、検査方法の検討を行った。検討した内容は、次の2点である。

① 現在規格化されている 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試験方法および判定基準）で採用されているSV波による斜角2探触子K走査法（現行法）に加え、表面SH波法について検討した。

現行法は、多くの実験結果から、エコー高さと引張強度の間により相関があり、信頼性の高い方法であることが確認されている。しかしながら、この方法では、太径になるとビームが外周部に当たりにくくなる。ところが、ガス圧接継手は、圧接部の外周部に欠陥が生じやすいといわれており、このような場合、現行法の適用性にも問題があるものと考えられた。そこで、新たに外周部にビームを当てることができる表面SH波法による検査方法についても検討したものである。

② 最近、目視により全数の検査ができる方法として熱間押抜法が注目されている。この方法についても通常の圧接（標準圧接）とともに載荷実験などを行ってきた。その結果、a. 施工、b. 強度、c. 検査上若干の問題点が浮かび上がってきた。aの施工については、押し抜きしやすくするために標準圧接の圧接時間に比べて短い傾向がある。bの強度については、試験において圧接部が破断したものはなかったが、圧接部の断面が押し抜いて小さくなっているため、引張試験時にひずみを測定すると圧接部が塑性変形を受けている。そのため、引張試験前・後の硬さ試験や衝撃試験の結果は、標準圧接では硬さ、衝撃特性とも引張試験前・後で変化することはなかったが、熱間押抜法では引張試験後、若干ではあるが硬くなり衝撃特性は低下する傾向があった。cの検査については、目視による外観観察であり、超音波探傷試験に比べ客観性に劣るという問題がある。

これらの問題に対し、aおよびbについては押抜径を大きくすることにより、施工性は改善されるのか、強度上の問題はないのか、これまでと同じように目視による検査は可能か、を検討した。cの検査については、目視検査と①と同じ現行法および表面SH波法による超音波探傷試験、さらに渦流探傷法を加え表面の凹凸の検査が可能か、について検討した。

これらの検討の結果、明らかになったこと、今後検討すべき課題は以下のとおりである。

2. 各種圧接条件と超音波探傷試験の有効性

圧接条件を変化させて様々な欠陥を作り、その時の超音波探傷試験（UT法）の適用範囲などについて検討した。圧接方法は標準圧接と熱間押抜法であり、後者は押抜径を通常の1.2Dに対し、1.3D、1.4Dを加えた。鉄筋は、D19、D25、D38、D51の4種類である。D25については、リブの形状が異なる5種類についても実施し、リブの形状が超音波ビームの伝播に及ぼす影響についても検討した。圧接条件は、健全なものに対し、人工的にタング

ステン箔を入れるなどの内部欠陥および鋸刃を入れるなどの外部欠陥を入れた場合、圧接面にペースト、さび、塗料を付着させたり、ガス切断した場合、バーナーを圧接面からずらした場合、中性炎で加熱した場合、実際の現場施工を想定し、接合しようとする鉄筋どうしが結束されていることにより拘束状態にある場合である。

2.1 内部欠陥とUT法の検出能力

- ① 現行法は、内部欠陥の大きさとエコー高さの間によい相関があり、内部欠陥に対して信頼性の高い方法であることが確認された。
- ② 現行法は、太径の場合、外周部の小さい欠陥の検出能力は小さいが、外周から中央付近におよぶ大きな欠陥であれば精度よく検出することができる。
- ③ 表面SH波法は、太径鉄筋の場合、中央部の内部欠陥の検出はむずかしくなるが、外周部の欠陥の検出能力は高く、現行法で検出できないところをカバーすることができ、UT法の信頼性向上に役立つものと考えられる。

2.2 圧接面の状態、加熱条件とUT法、引張強さ

- ① 欠陥の種類によってUT法の有効性は異なる。ペースト付着は明確に検出でき、引張強さとの合否判定も一致したが、さびなど酸化による欠陥は従来から言われているようにUT法では検出できない。マクロ、ミクロ組織の観察や、圧接界面の生成物の成分分析からも欠陥を検出することはできなかった。さび欠陥については別途検討が必要である。
- ② ペースト付着欠陥の大きさとUTの結果は、人工の外部欠陥と同様、現行法は欠陥が大きければ検出できるが、小さいと検出は不可能である。その限界は圧接断面の2/8程度であった。表面SH波法は、欠陥が1/8でも明確に検出できた。
- ③ UTのエコー高さによる引張強さの合否判定は、さびによる欠陥と一部の鉄筋径の継手を除き、現行法、表面SH波法とも引張試験結果からの合否判定と比較的よく対応した。さびによる欠陥は、さびが圧接時の加圧により超音波をも透過するほどに微細化されるために検出できないと言われているが、別途検討が必要である。鉄筋径に関しては、現行法ではD38 およびD51の一部に合否判定の対応が悪いものがあつた。この原因は、太径になると外周部の欠陥がビームの広がりでは検出しにくくなるためと推測される。一方、表面SH波法では、細径の場合の検出能力が低下するのはリブ幅が狭いため、リブの幅と波長の関係でSN（信号とノイズ）比が適切にとれていないのではないかと推測される。

2.3 拘束条件と圧接の施工性、UT法、引張強さ

- ① 実際の配筋を想定し、フープ筋をなまし鉄線や番線で結束した場合、斜めの補強筋をX字に配筋して番線で結束した場合、あるいはそれらを組合せた場合について圧接機で加圧するとき無拘束に対してどの程度の拘束力があるかを測定した（Jシリーズ）結果、最大で10kN程度に達した。
- ② D25の鉄筋を用いて、熱間押抜法によって拘束力を降伏点の2%（4kN）、4%（8kN）、8%（16kN）与えて圧接したところ、圧接機の圧力ゲージの最大値は39、44、50MPaを示した。標準圧接の場合も拘束力がある場合、圧力を2倍程度に高める必要があるものと考えられる。

③ 拘束力に対して圧力設定が不足した場合、十分なアブセットができず、ふくらみ径の小さいものができる。今回の実験した内の最小のふくらみ径は 1.32D であったが、UT 法、引張試験とも合格であった。

④ 現在の加圧機の構造は、通常の加圧機は事前に圧力を設定する必要がある。現場では、配筋状態によって圧力を通常の 1.5～2 倍程度に設定しているということであるが、万が一不足すれば外観上不合格のものができる可能性がある。熱間押抜法に使用している加圧機は必要なだけ加圧できる構造になっており、通常の圧接機もこのような構造にすることが望まれる。

3. 熱間押抜法と押抜径に関する検討

熱間押抜法の UT 法の結果については 2 章でふれたので、ここでは、目視による外観観察の結果と、押抜径の違いによる引張強さと圧接界面の破断率について、標準圧接と比較することにより次のような結論を得た。

3.1 目視検査と引張強さ

目視検査による合格判定は、内部欠陥を除き、さびによる欠陥を含め今回行った全ての欠陥、鉄筋径に関して、引張試験における引張強さによる合否判定は一致した。ただし、目視検査は現行規準に定められているように開口割れのみならず、へこみも評価する必要がある。

3.2 欠陥の種類と圧接界面破断率

圧接界面破断率および引張強さは、欠陥の種類、圧接方法によって異なる。外周部に欠陥を有する場合、熱間押抜法のほうが破断しにくい。しかも、今回の実験の範囲では押抜径が大きいほど破断しにくかった。圧接面が全面酸化のような場合は、標準圧接のほうが熱間押抜法より断面積が大きいので有利であった。押抜径が小さくなるほど強度は小さくなった。

4. 信頼性向上のための検討課題

以上の結果より、ガス圧接継手の信頼性を向上させるための今後の検討課題を示すと、以下のとおりである。

4.1 UT による検査方法の改善

現場圧接の欠陥の種類、位置、大きさなどを調査し、生じやすい欠陥に適した検査方法を採用する必要がある。

例えば、中央部欠陥が多いようであれば現行法で十分であるが、外周部欠陥が多いようであれば表面 SH 波法に変更あるいは併用することも検討すべきと考えられる。

4.2 熱間押抜法の普及

ガス圧接継手の欠陥が、通常いわれているように外周部に多く発生するのであれば、熱間押抜法の普及についても検討すべきと考えられる。

その理由は、次のとおりである。

- ① 外周部に欠陥が多ければ、熱間押抜法によって目視検査が可能である。また、UT法ではさびによる検査は不可能であるが、熱間押抜法では可能であった。
- ② 強度上も、外周部の欠陥によるノッチ効果を減ずることができ、圧接界面からの破断率を低減することができる。
- ③ 圧接部の径が標準圧接の場合より小さく、一定になるので、構造物の設計、施工上有利になる。

ただし、普及にあたっては次のような検討が必要である。

- a. 圧接機は、自動化を図るべきである。熱間押抜法で不良品を出すと、断面積が標準圧接工法に比べ小さいので危険性が高くなる。現在のように手動であれば、押抜きしやすくするために圧接時間を短くするなど人為的な操作が可能なので、不良品を生じる可能性を少なくできるためである。また、現場では圧接しようとする鉄筋が、結束により拘束されているので、通常の場合より加圧力を高める必要がある。一方、標準圧接工法でも熱間押抜法の加圧機のように必要な加圧力を手元で容易に調整できる加圧機が望まれる。なお、押し抜いた後のリングは、構造物の耐久性上、取り除けるようにしておくほうがよい。
- b. 押抜径は現在の $1.2D$ よりも大きくすべきと考えられる。そうすることにより、施工上、加熱不足を防ぐことができること、強度上、断面積が大きいだけ有利であること、目視検査も欠陥が外周部に多ければ欠陥を見つけやすくなるなど、さまざまな改善が図られる。
- c. 熱間押抜法による継手の目視検査では、検査者の反対側をも容易に開口・へこみの検査ができるような検査方法を開発する必要があるだろう。

あとがき

兵庫県南部地震により鉄筋コンクリート構造物の鉄筋のガス圧接継手部に破断が見られたことから、土木研究所と日本圧接協会は 1996～98 年に圧接の信頼性確保を目的に共同研究を実施した。本研究では、初めに地震を想定した各種載荷状態での圧接部の挙動に関する調査などを行い、施工が適切に行われれば強度上問題ないことが明らかになった。次に、検査方法に関して検討した。それが本報告書である。ここでは、現在品質管理の重要な地位を占めている超音波探傷試験と、今後の発展が期待されている熱間押抜法について検討した。その結果、ガス圧接継手の信頼性向上のための検討課題が明らかになり、改善の方向性が示せたのではないかと考えている。

ところで、信頼性の向上には技量、モラルの向上が不可欠である。幸いにも技量に関しては、1972 年にガス圧接継手施工の技量者資格試験が JIS 化され、厳しい検定試験により技量水準の確保が図られている。また、92 年には圧接管理技士制度をつくり、品質管理の向上につとめている。

さらに 97 年 11 月には、優良圧接業者推奨制度を発足させ、品質管理体制の優れた圧接会社を選定し、「優良圧接業者」として公表するなど、品質向上に関する実効措置を講じている。

本共同研究の成果と、これらの諸制度により、鉄筋コンクリート構造物の安全性と品質の向上に寄与することを期待する次第である。

なお、拘束試験の I シリーズ（Ⅱ編 6 章 6.3 節）を行うにあたり、どの程度の拘束力を設定するかを把握する必要があった。日本圧接協会の圧接技術委員会・先組鉄筋小委員会では J シリーズ（Ⅱ編 6 章 6.2 節）の実験が行われており、その結果の概要を同小委員会の了解のもとに本報告書に掲載させていただきました。

共同研究報告書および関連発表論文一覧

【共同研究報告書】

- 1) 河野広隆, 森濱和正, 加藤俊二, 大石橋宏次, 宇佐美滋, 菊池郁雄, 原沢秀明
鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書
(1) 載荷速度の影響
共同研究報告書第 188 号, 1997 年 8 月
- 2) 河野広隆, 森濱和正, 加藤俊二, 大石橋宏次, 宇佐美滋, 菊池郁雄, 原沢秀明
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
共同研究報告書第 196 号, 1998 年 3 月
- 3) 河野広隆, 森濱和正, 大石橋宏次, 宇佐美滋, 菊池郁雄, 原沢秀明, 今沢理, 粒良一義
鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書
(3) ガス圧接継手を有するはり供試体の正負繰返し載荷実験
共同研究報告書第 226 号, 1999 年 3 月
- 4) 河野広隆, 森濱和正, 大石橋宏次, 宇佐美滋, 菊池郁雄, 原沢秀明, 今沢理, 粒良一義
鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書
(4) ガス圧接継手の非破壊検査
共同研究報告書第 227 号, 1999 年 3 月

【圧接技術調査研究報告書】(社)日本圧接協会

- 5) 森濱和正
高速載荷性能に及ぼす鉄筋継手条件の影響 (中間報告)
1997 年 5 月
- 6) 森濱和正
各種鉄筋継手の高速・低温・繰返し載荷実験
1998 年 5 月
- 7) 森濱和正
圧接継手を有するはり部材の正負繰返し載荷実験および圧接部の非破壊検査に関する検討
1999 年 5 月

【土木研究所資料】

- 8) 森濱和正, 河野広隆, 加藤俊二
鉄筋の機械式継手および溶接継手の挙動に関する調査報告書
土木研究所資料第 3608 号, 1998 年 12 月

【関連発表論文】

- 9) 森濱和正, 河野広隆
ガス圧接継手鉄筋の高速載荷および繰返し載荷試験
溶接構造シンポジウム'97, 一新世代構造のための高強度鋼/新素材の適用と信頼性 -
pp. 133~140, 1997 年 11 月
- 10) 森濱和正
各種鉄筋継手の高速・低温・繰返し載荷実験
「圧接」会誌, 第 127 号, Vol. 33, No. 1, pp. 8~9, 1998 年 4 月
- 11) 森濱和正, 河野広隆, 加藤俊二
ガス圧接鉄筋の高速・繰返し・低温引張試験
コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 20, No. 3, pp. 229~234, 1998 年 7 月
- 12) 森濱和正, 河野広隆, 加藤俊二
各種鉄筋継手の高速・低温・繰返し載荷実験
土木学会第 53 回年次学術講演会, 第 V 部, pp. 1004~1005, 1998 年 10 月
- 13) 森濱和正
ガス圧接継手鉄筋の各種載荷実験および検査方法に関する検討
溶接技術, Vol. 46, No. 12, pp. 132~136, 1998 年 12 月
- 14) 森濱和正, 河野広隆, 加藤俊二
各種鉄筋継手の力学特性
土木技術資料 Vol. 41, No. 3, 1999 年 3 月
- 15) 森濱和正
圧接継手を有するはり部材の正負繰返し載荷実験および圧接部の非破壊検査に関する検討
「圧接」会誌, 第 130 号, Vol. 33, No. 1, 1999 年 4 月
- 16) 森濱和正, 河野広隆, 宇佐美 滋
ガス圧接継手鉄筋検査への表面 SH 波法の適用
日本非破壊検査協会春季大会講演概要集, 1999 年 5 月
- 17) 古賀裕久, 河野広隆, 森濱和正, 加藤俊二
溶接および機械鉄筋継手の高速, 繰返し, 低温引張試験
コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, 1999 年 7 月
- 18) 森濱和正, 河野広隆
鉄筋のガス圧接継手部の表面 SH 波法による非破壊評価
コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, 1999 年 7 月