

厚 鋼 板 の 超 音 波 探 傷

Ultrasonic Inspection on Thick Steel Plate

喜 多 久 直*
Hisanao Kita

松 島 好 人*
Yoshito Matsushima

小 栗 忠 和*
Tadakazu Oguri

桑 原 保*
Tamotsu Kuwabara

要 旨

鋼板の超音波探傷は溶接構造物の品質を高める有力な手段として普及しているがまだ残された問題が多い。本文では実際の探傷上考慮すべき問題について述べる。筆者らはこれらの点を考慮して信頼性の高い探傷を行なうようにしている。

1. 結 言

圧延鋼板の品質は製鋼技術の発達により最近非常に向上してきている。鋼板の品質については JIS により規定されているが内部欠陥については規定されていない。しかし最近は使用上から JIS に規定されていない内部欠陥、衝撃値（特に SM 41 A の場合）などが問題となってきた。内部欠陥については現在超音波探傷によって調べている。鋼板に含まれる欠陥の程度は以前に比べると非常に少なくなっているが、内部欠陥を絶無にすることはむずかしく、許容限界を製品の使用条件により求め、もっとも経済的な使用計画をする必要がある。特に極厚鋼板（100～250 mm 厚さ）においてはその用途により性能上問題が多くじゅうぶんな事前検討が必要である。

鋼板の超音波探傷の問題は単に超音波探傷だけでなく鋼板の内在欠陥が機械的性質に与える影響、特に溶接構造物にどのような影響を及ぼすかといった鋼材の根本的な問題のほかに、製造法の差による鋼材の価格などが問題となる。筆者らは鋼板の内部欠陥の機械的性質に対する影響の実験を積んだのち、鋼板の超音波探傷技術自体の問題について、検討を重ね新しい基準に従って多数の重要構造物を製作している。

2. 鋼板の内部欠陥の現状

鋼板の内部欠陥はラミネーションと非金属介在物とに大別されるが、最近ではラミネーションはきわめて少なく各種非金属介在物が大部分を占めている。非金属介在物は成因が複雑で現在では一般に表 1 のように分類されており、厚板で一般的にみられる非金属介在物としては、

セミキルド鋼……………珪酸塩系，硫化物系
キ ル ド 鋼……………アルミナ系，珪酸塩系
があげられる。

欠陥の存在位置としては板厚の中央部がほとんどである。しかし表層部にも非金属介在物が存在し T 形溶接によりこれらが開口してハク離現象を起こすことがある。この現象は極厚（60 mm 厚さ以上）セミキルド鋼板を使用した場合によくみられる。欠陥の程度は圧延効果の差により表層部では細かく引きちぎられた状態で存在し、中央部ではマクロ的な状態で存在する。この状態を示したのが図 2 である。

欠陥自体の程度としてはミクロ的なものが多数存在するケース、長く連なったものが存在するケースなどいろいろある。断面の磁粉探傷による欠陥例は図 3 に示すとおりである。



図 1 鋼板の超音波探傷状況

表 1 鋼中非金属介在物の分類

分 類	名 称	成 因 備 考
成 因 に よ る 分 類	内生的介在物	溶鋼の脱酸反応，溶鋼の酸化物などに起因するもの。
	外生的介在物	とりべ，ノズルストップ，湯道などの耐火材と溶鋼の反応，耐火材の混入などに起因するもの。
化学組成による分類	珪 酸 塩	MnO, SiO ₂ など
	酸 化 物	FeO, MnO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂ など
	硫 化 物	MnS, FeS など
	窒 化 物	AlN など
形 態 に よ る 分 類	A 系	加工によって粘性変形し加工方向に細く長く伸びるもの。珪酸塩，酸化物がこれに属する。
	B 系	大小の粒状介在物が集団をなし，加工方向に点状に存在するもの。Al ₂ O ₃ などがこれに属する。
	C 系	不整形粒状に分散するもの。高融点酸化物，窒化物などがこれに属する。

3. 鋼板の超音波探傷に及ぼす諸因子に関する実験

最近超音波探傷を行なううえで考慮すべき点として探傷器の特性が取上げられ各方面で議論され統一化の動きがある。ここでは鋼板を対象とした探傷上でおもな因子となる下記の 4 項目について実験結果の概要を述べる。

- (1) 鋼板の表面状態が音響エネルギーの減衰に及ぼす影響
- (2) 一点規正の場合における欠陥規模特性に現われる器差の影響
- (3) 近距離音場および追込み現象の影響
- (4) 板厚と飽和反射波回数

* 日立製作所日立工場

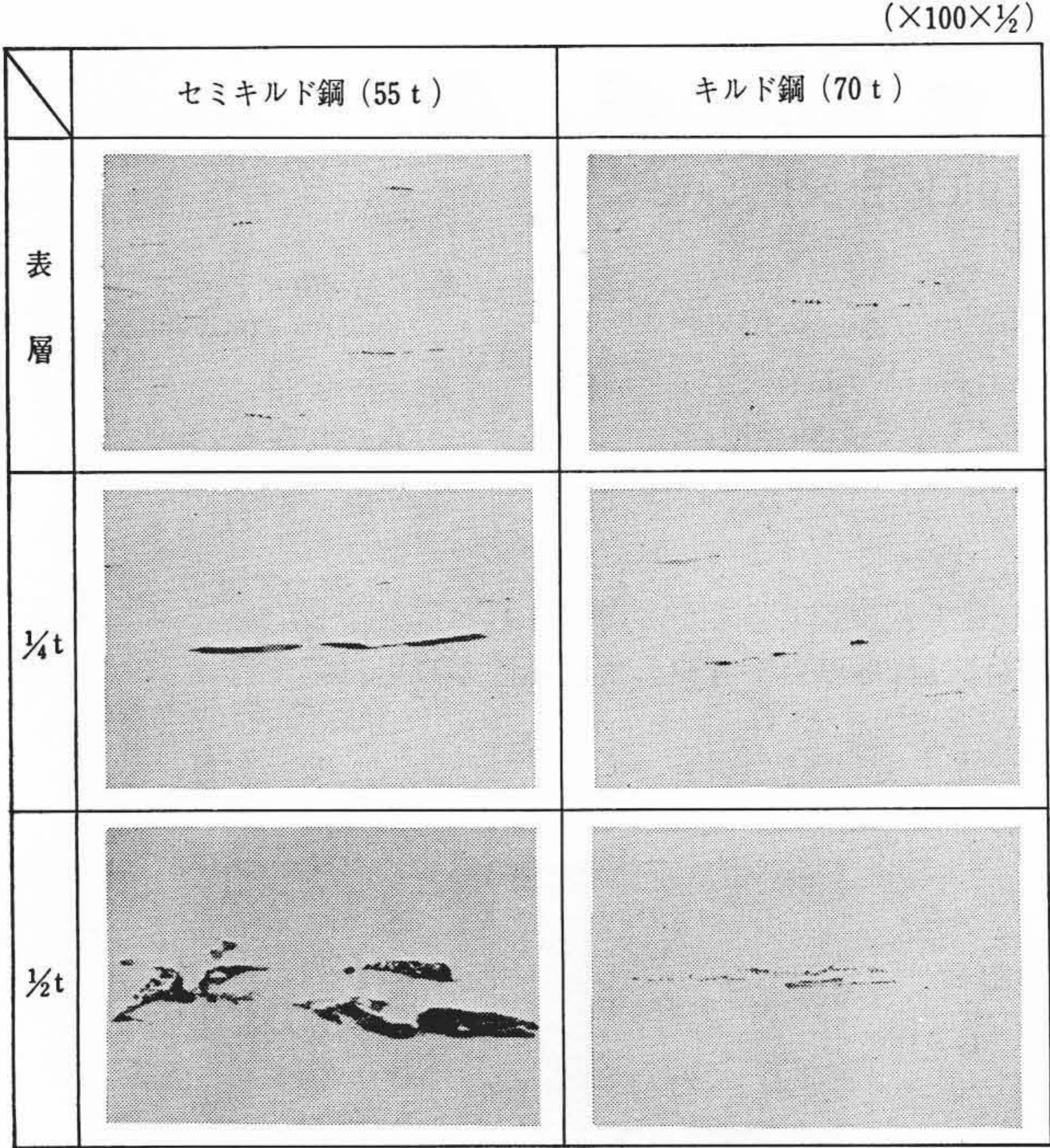


図2 板厚方向の位置による
非金属介在物の状態例 (t: 板厚)

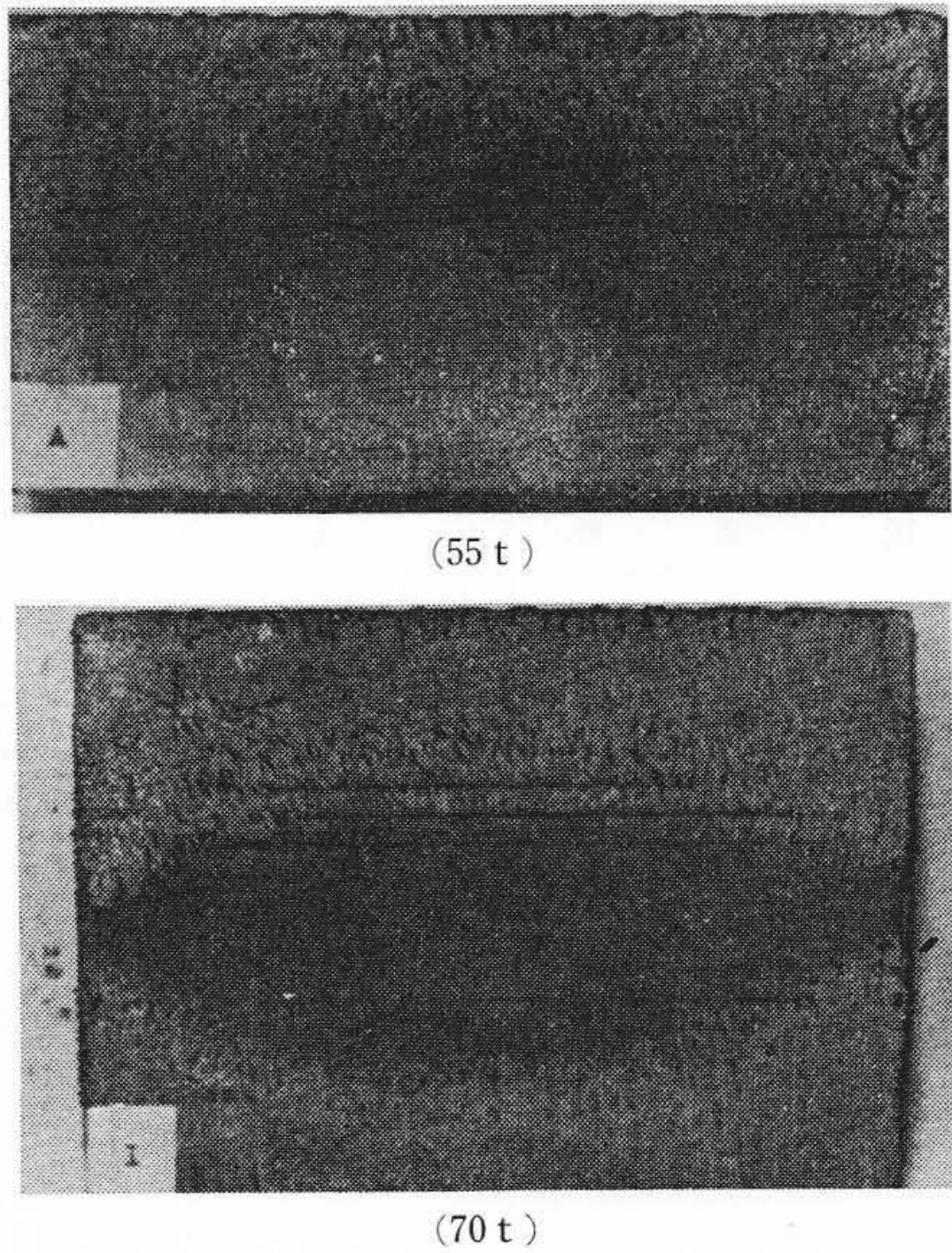


図3 断面磁粉探傷による
非金属介在物欠陥例 (セミキルド鋼)

3.1 鋼板の表面状態が音響エネルギーの減衰に及ぼす影響

この件に関して次の二つの実験を行なった。

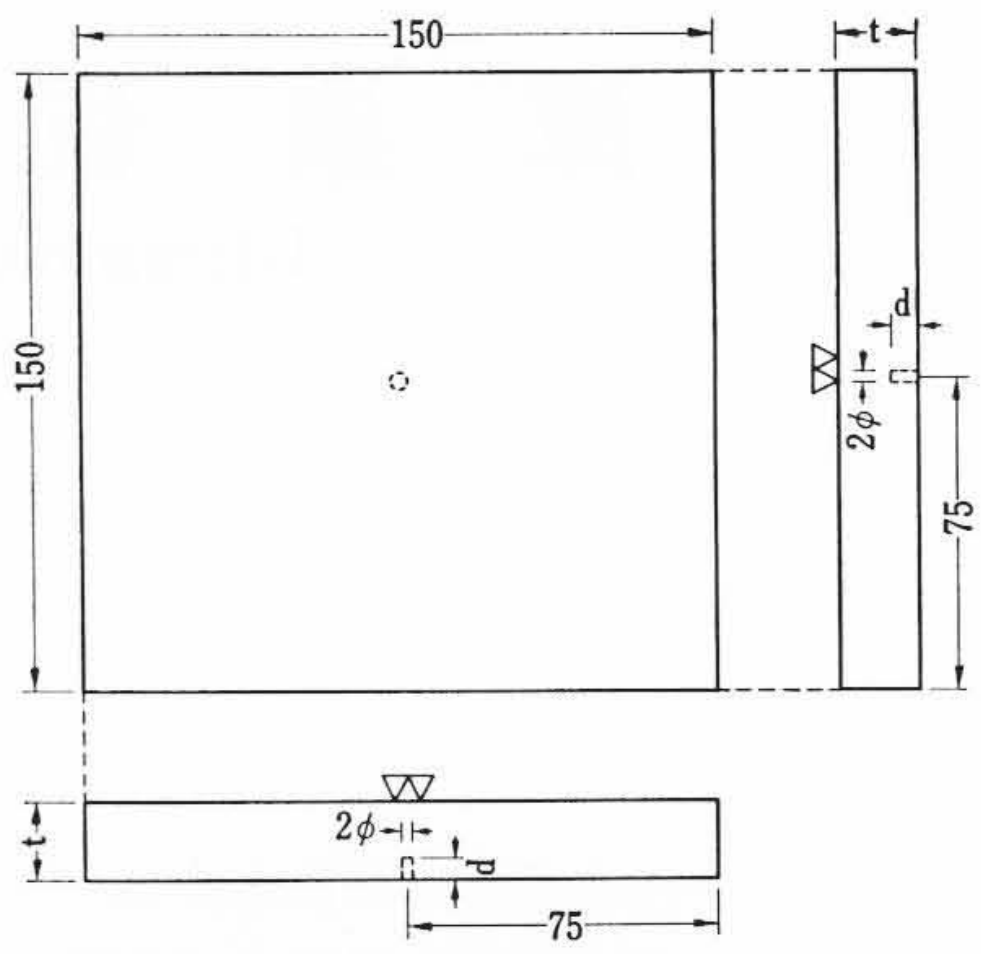
- (1) 2mmφの人工欠陥が表面状態でどのように変わるか調べる
実験

図4に示す試験片で表面にスケールのあるままと機械加工(25sの加工)後のエコーの変化を調べた。その結果は表2に示すとおりである。

- (2) 黒皮時の表面状態が表3のように異なる三様の鋼板についての実験

黒皮時と機械加工(25sの加工)後のエコーの高さを比較した。その結果は表4に示すとおりである(いずれも内部欠陥を含んでいる)。また本実験における試験片と超音波波形は図5に示すとおりである。

表面状態が悪い場合は鋼板表面における減衰が大きい。表面スケールのいちじるしいもの(軽打するだけではがれる程度)では



t	d	員数
50	20	1
70	20	1

図4 試験片形状

表2 試験結果

	黒皮時 (%)	機械加工後 (%)
50 t	50	71
70 t	22	29

表3 試験片の表面状態

試験片	表面状態
A (60 t)	表面のスケールが著しいもの(軽打するだけではがれる程度)。
B (40 t)	スケールがあるが固着しているもの。
C (38 t)	サンドブラストでスケールをすべて落としたもの。

表4 試験結果

	飽和反射波回数の増加 (回)	内部欠陥波の増加 (%)
A	(機械加工後) (黒皮時) 8-2=5	(機械加工後) (黒皮時) 100-57=43
B	10-8=2	80-45=35
C	11-7=4	35- 0=35

約40%もの減衰があり、探傷に供し得ない。熱処理を施してスケールが浮いているものはサンドブラストまたはグラインダをかける必要がある。スケールが完全に固着しているものとサンドブラストをかけたものではその差がほとんどみられないので圧延直後でスケールが完全に固着しているものはそのまま探傷してさしつかえない。

3.2 一点規正の場合における欠陥規模特性に現われる器差

学振Ⅲ型感度標準試験片のV15-2.8=80%に規正した場合、V15シリーズの他の人工欠陥がどのようなエコー高さを示すかを各装置について実験したものである。現在この種の探傷に使われている2.25MHzと5MHzの代表的な結果を示すと図6および図7のようになる。この現象は装置の差はもちろんであるが同じ器種でも総合感度の決定要素(Gain, Pulse Range, Rejectionなど)の組み合わせによっても変化する。この現象は欠陥規模に伴う固有の特性であるので筆者らは欠陥規模特性と呼んでいる。図6からわかるようにV15-2.8=80%に一点規正した場合V15-2.0の点で装置Aと装置Bのエコーの高さは約40%も差が出る。すなわち同一欠陥がこの

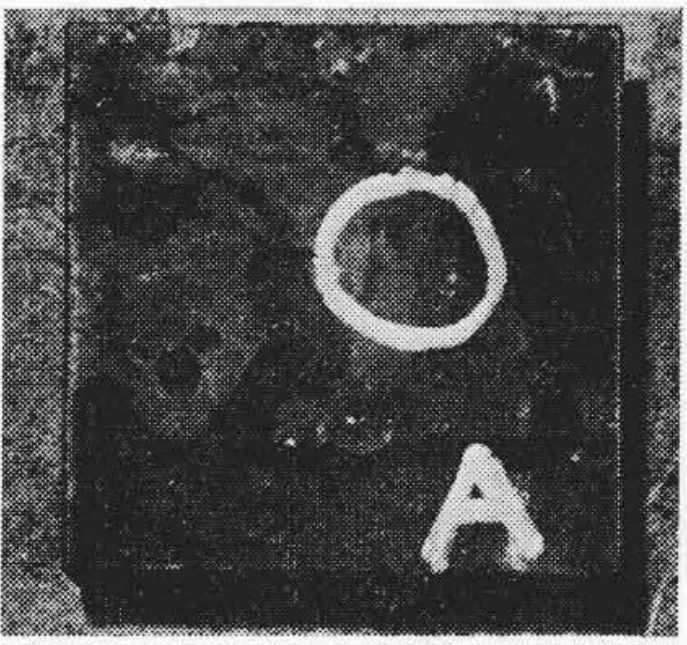
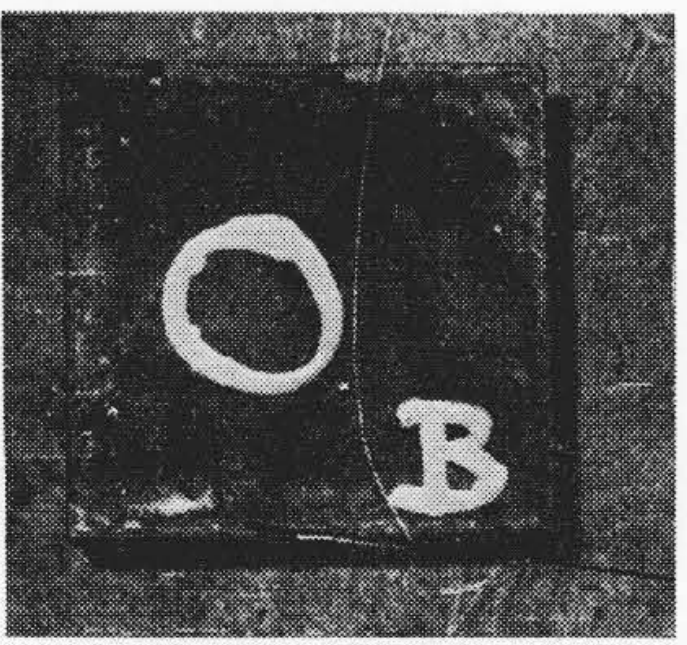
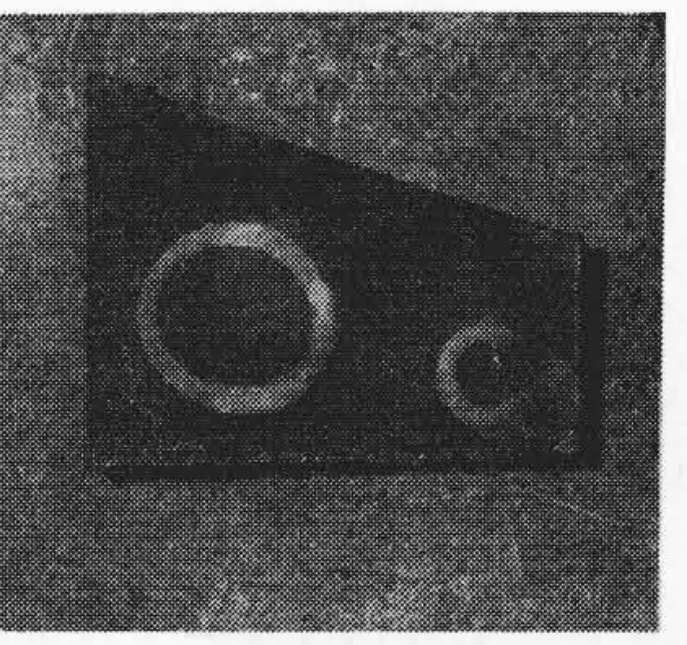
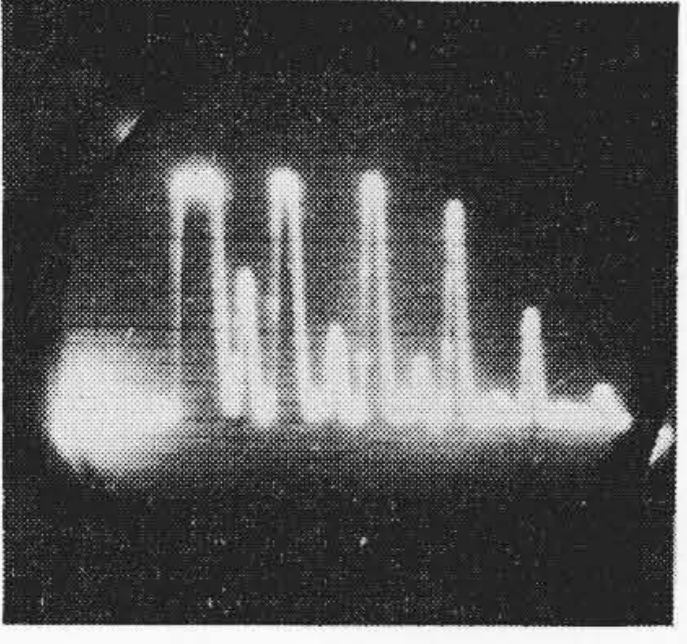
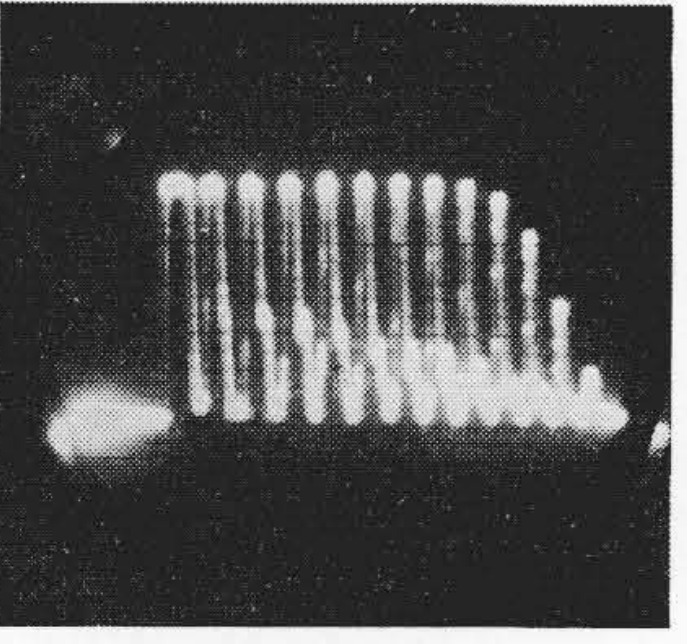
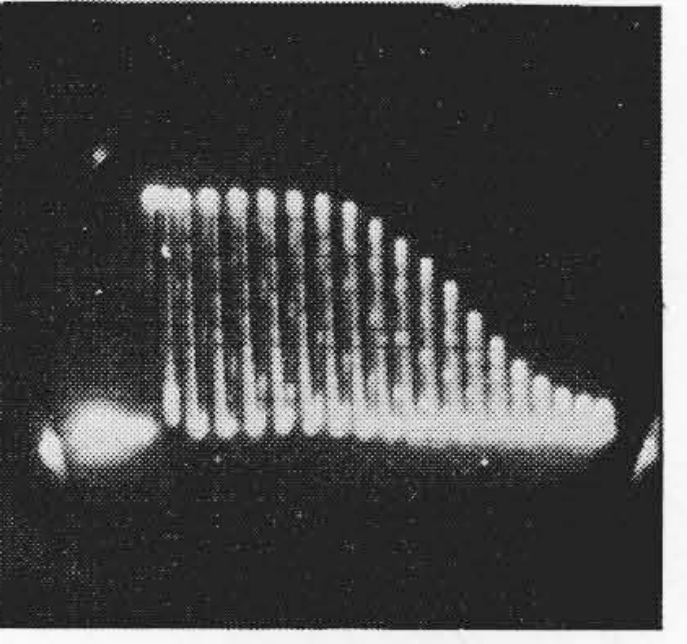
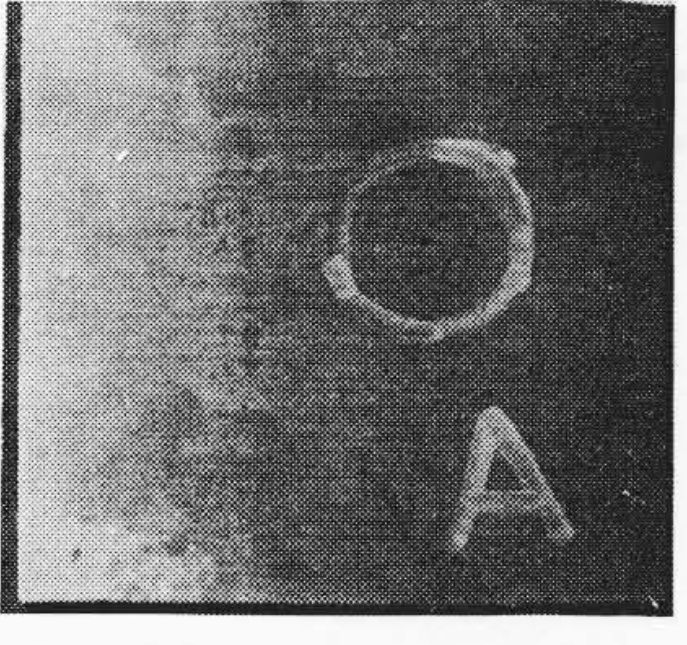
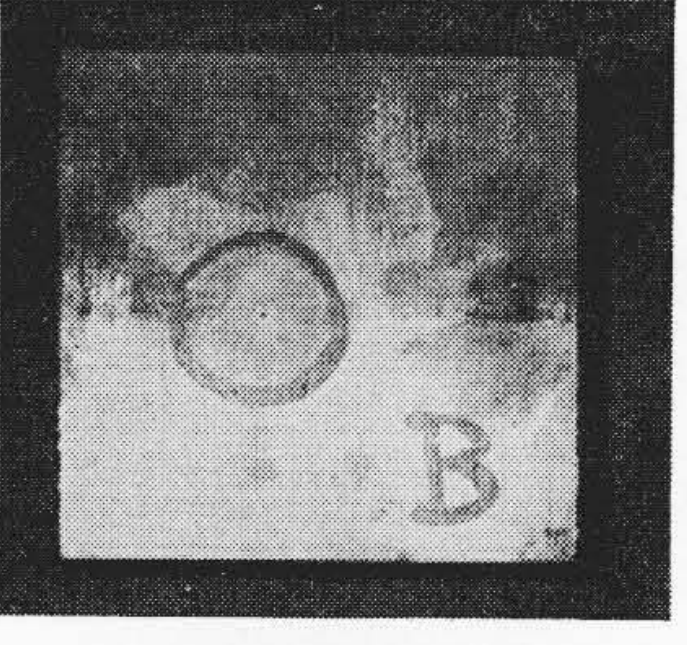
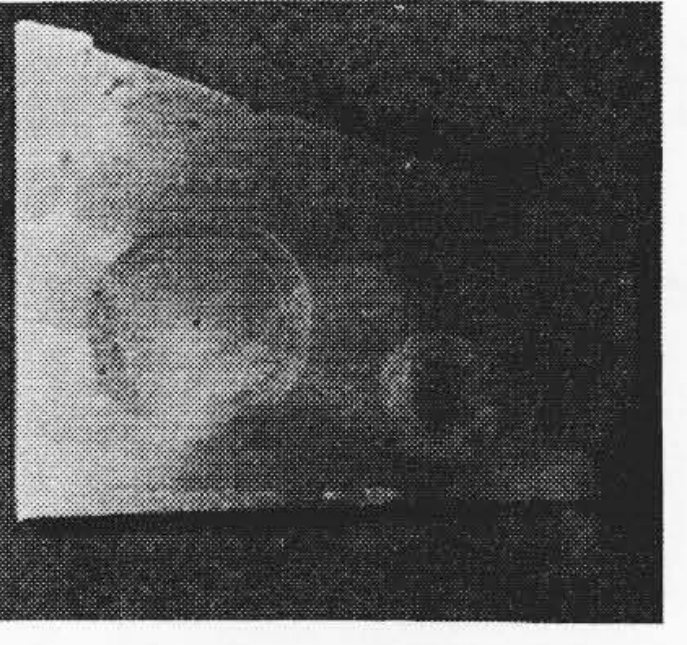
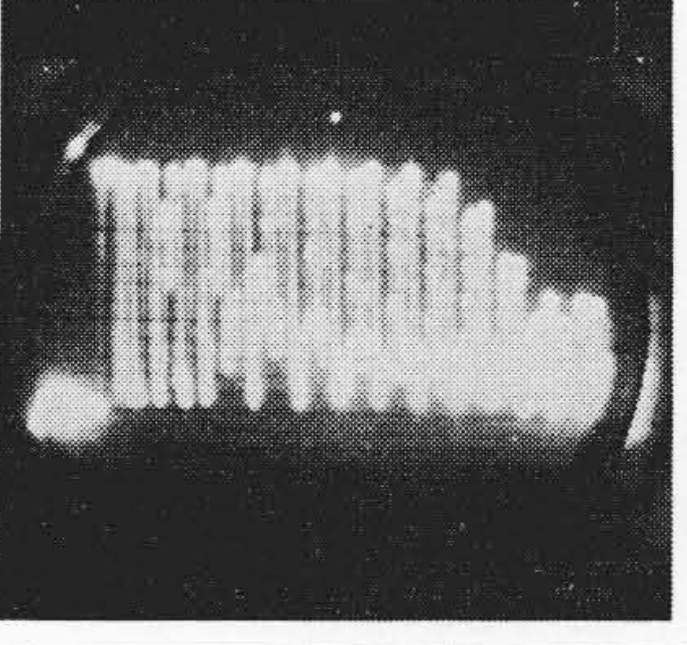
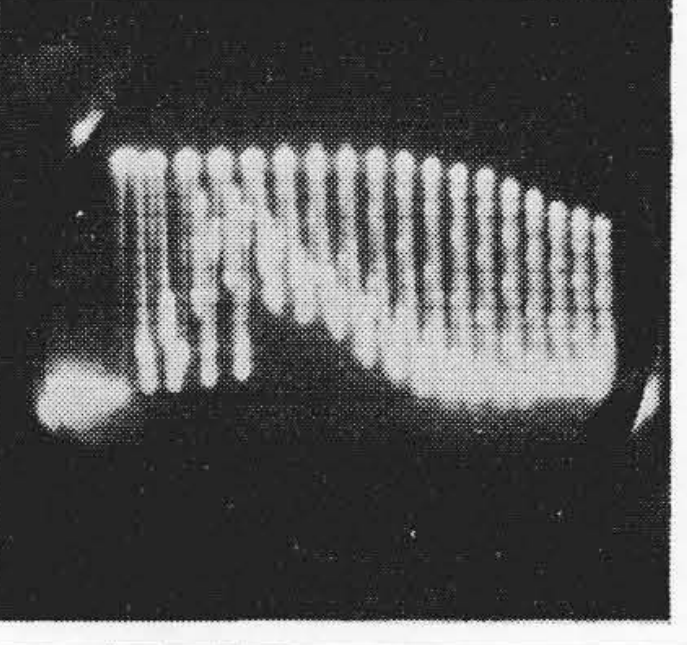
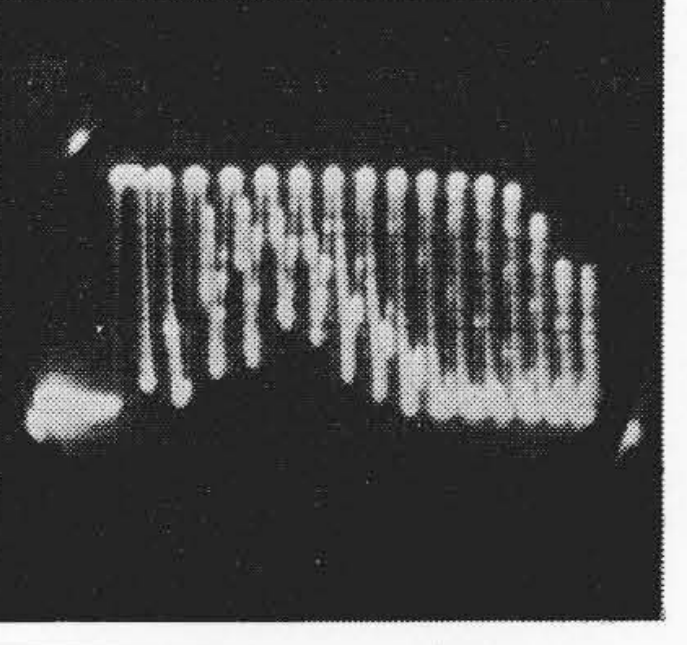
	A	B	C
黒皮状態			
超音波波形 (黒皮)			
機械加工状態			
超音波波形 (機械加工後)			

図5 黒皮時の状態が3様に異なる試験片についての実験結果

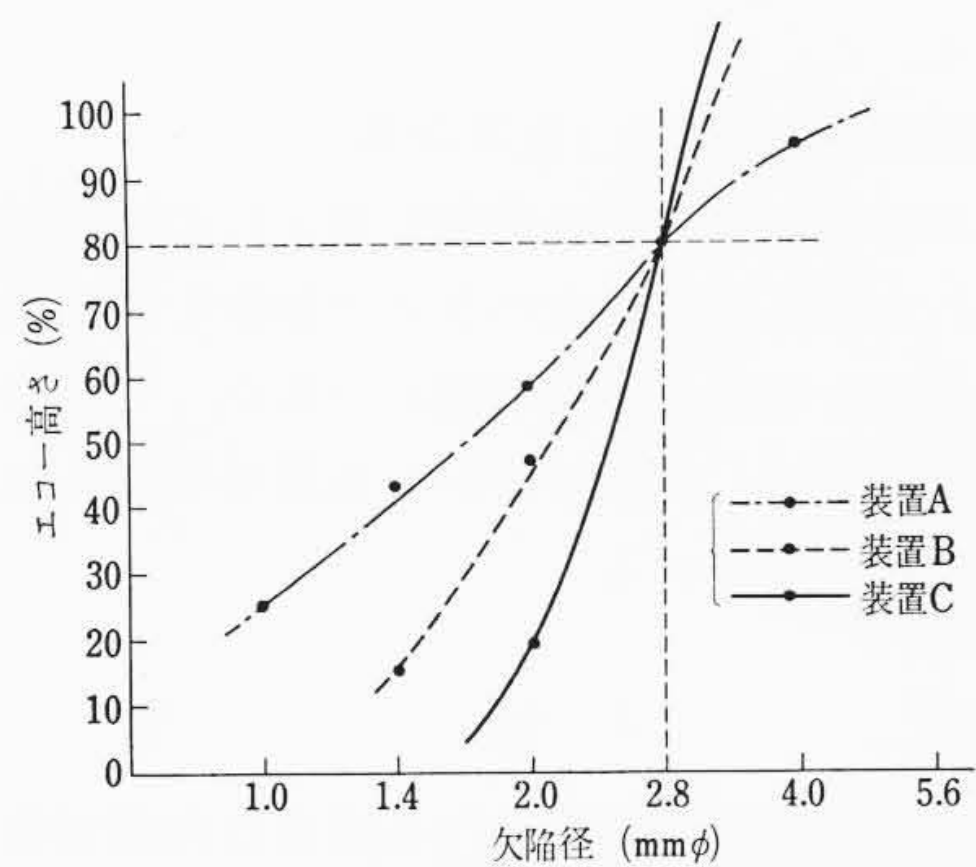


図6 欠陥規模特性 (2.25 MHz)

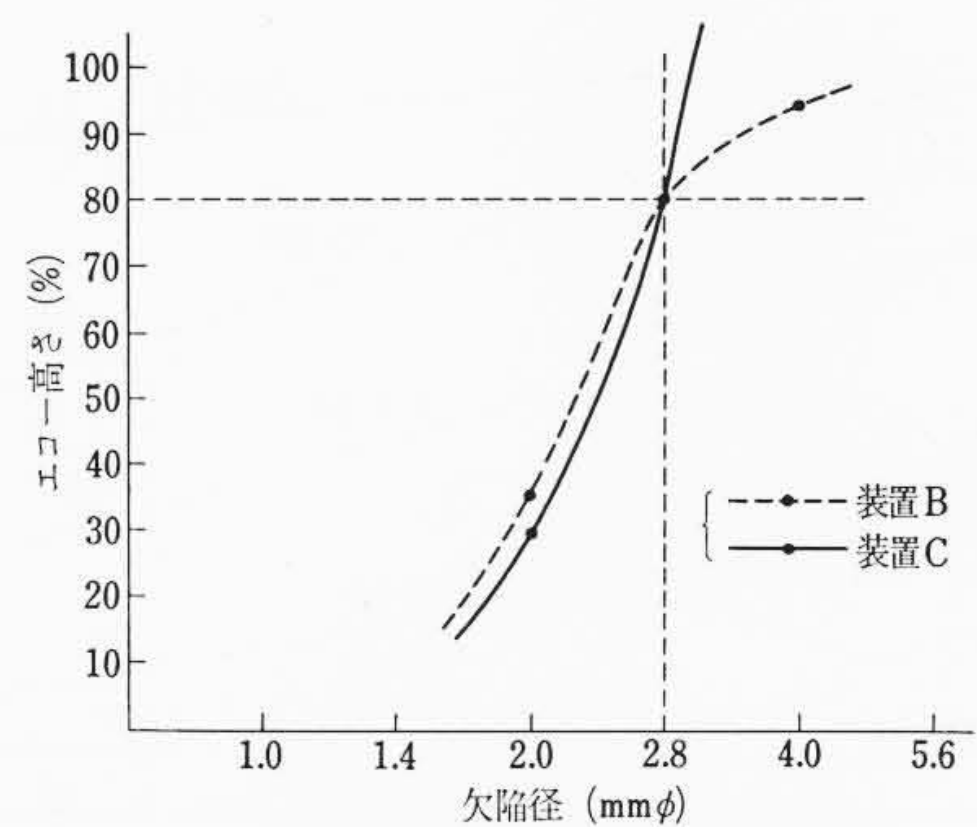


図7 欠陥規模特性 (5 MHz)

ような異なったブラウン管表示を示すことがある。概して最近の新形探傷器では装置Cのような急こう配の特性のものが多い。要はこれらの特性をじゅうぶんに理解し、各装置の特長をじゅうぶん生かして使わねばならない。器差を少なくする方法としては図8のように着目する欠陥の大きさに設定感度と判定基準とを一致させる方法がある。さらにまた図9のように二点規正（たとえばV-15-2.8=80%に設定したときV-2.0 $\geq$ 30%とする）の方法が考えられる。筆者らは後者の方法をとった。これは鋼中に含まれる介在物は平均1

mm前後の長さのものが多く、これらの分布を把握(はあく)するという品質管理上の配慮による。

3.3 近距離音場、追込み現象の影響

近距離音場にあるきずをパルス反射法により探傷する場合には遠距離音場における理論は成立しなくなり、いろいろな特異現象が現われる。したがって近距離音場において探傷を行なう場合にはこの特異性について認識しておく必要がある。また同時にこの範囲は探傷器の追込み現象領域にも入る。

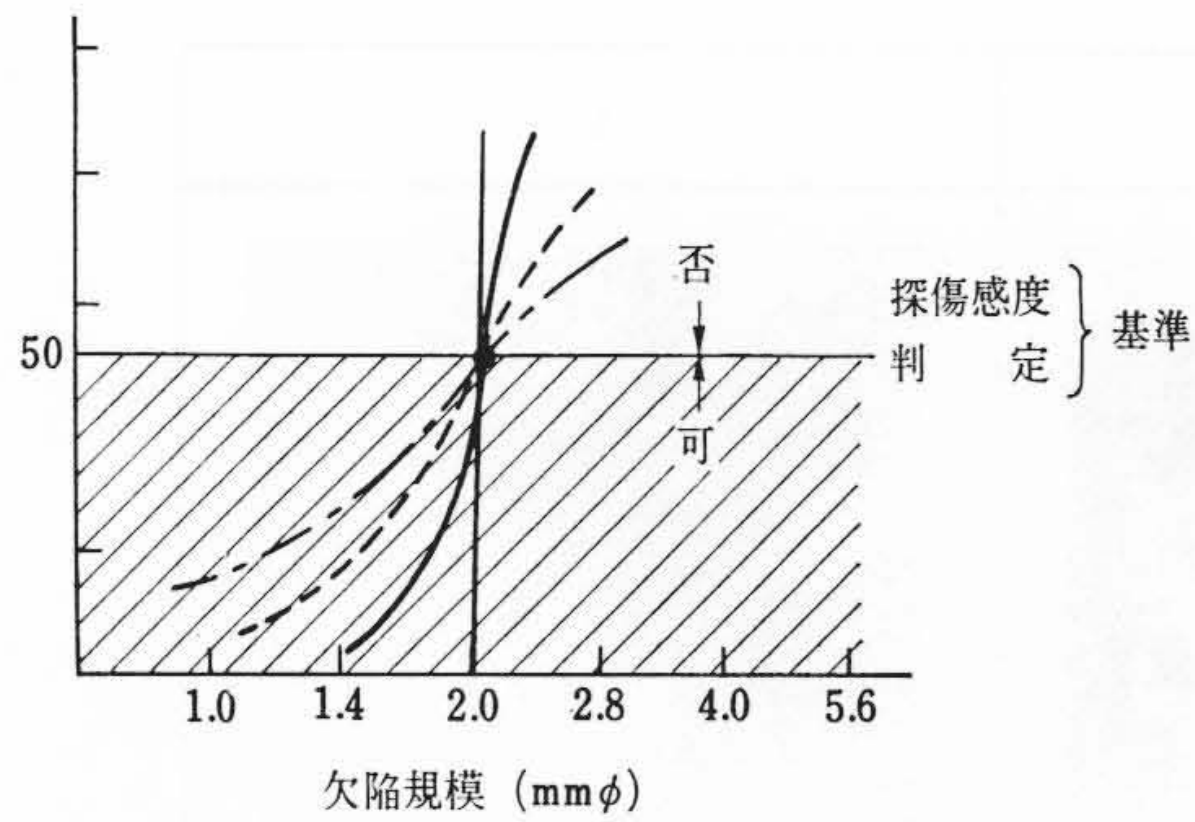


図8 器差がはいる感度および判定基準設定例

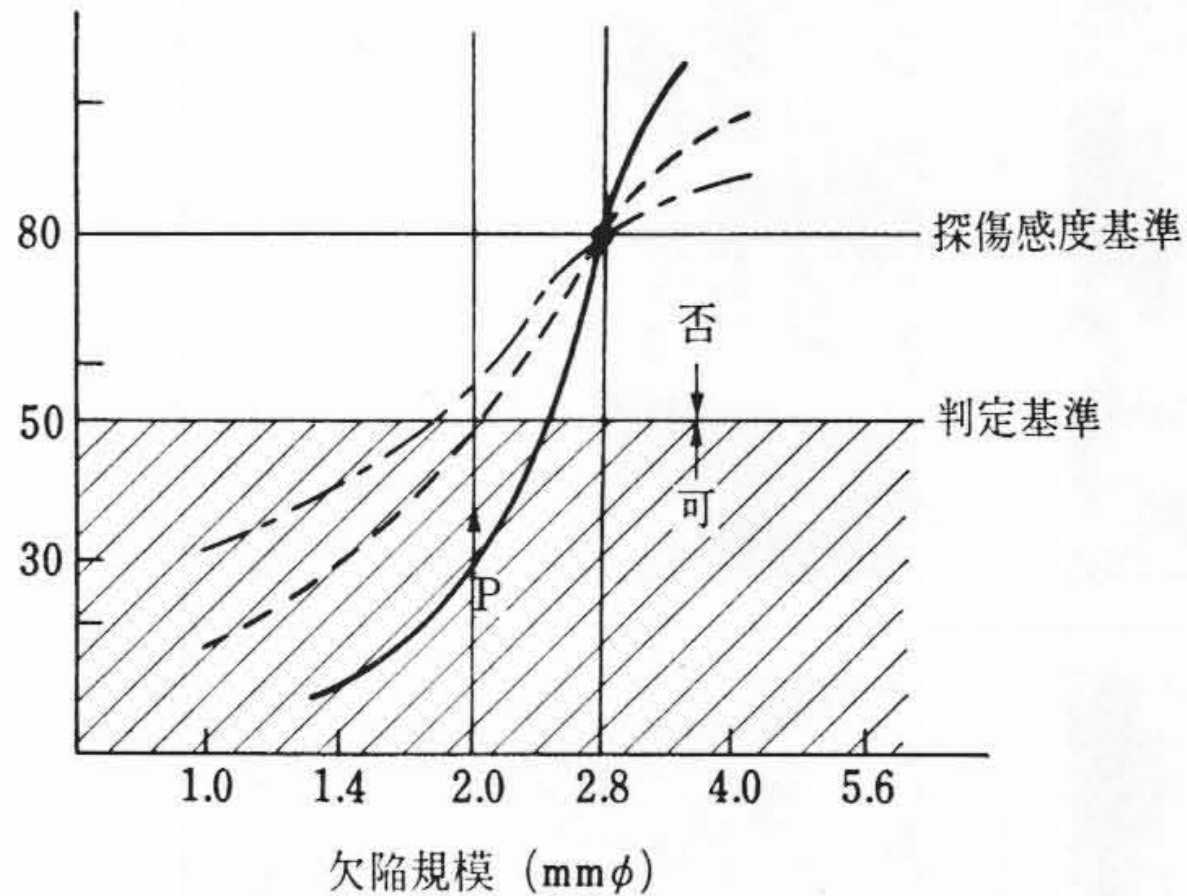
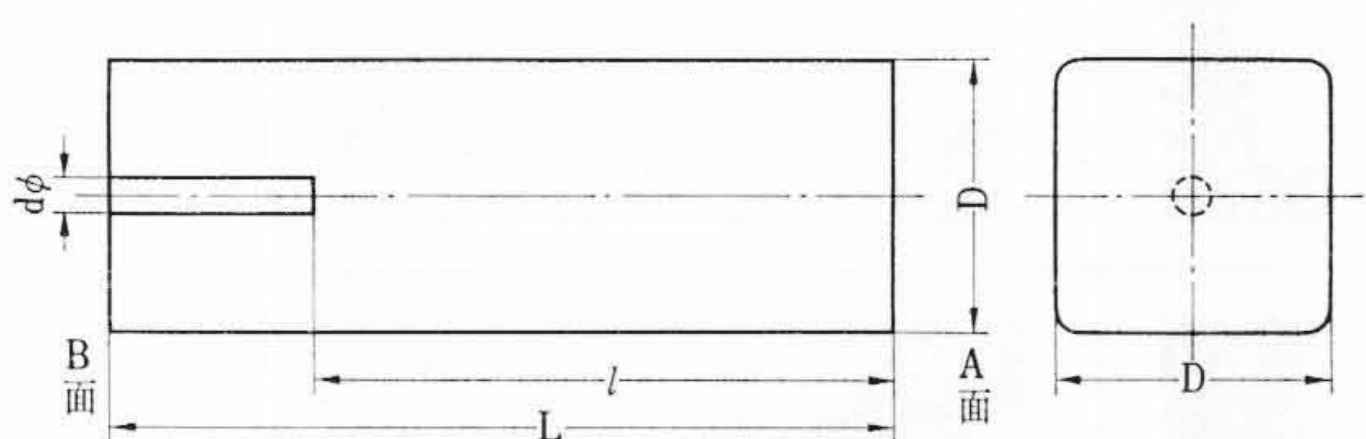


図9 器差を最小限に抑える感度および判定基準設定例



	L (mm)	D (mm)	l (mm)	d (mm)
V 15-1	180	50	150	1.0
V 15-1.4	180	50	150	1.4
V 15-2	180	50	150	2.0
V 15-2.8	180	50	150	2.8
V 15-4	180	50	150	4.0
V 15-5.6	180	50	150	5.6

図10 学振Ⅲ型感度標準試験片 V15 シリーズ

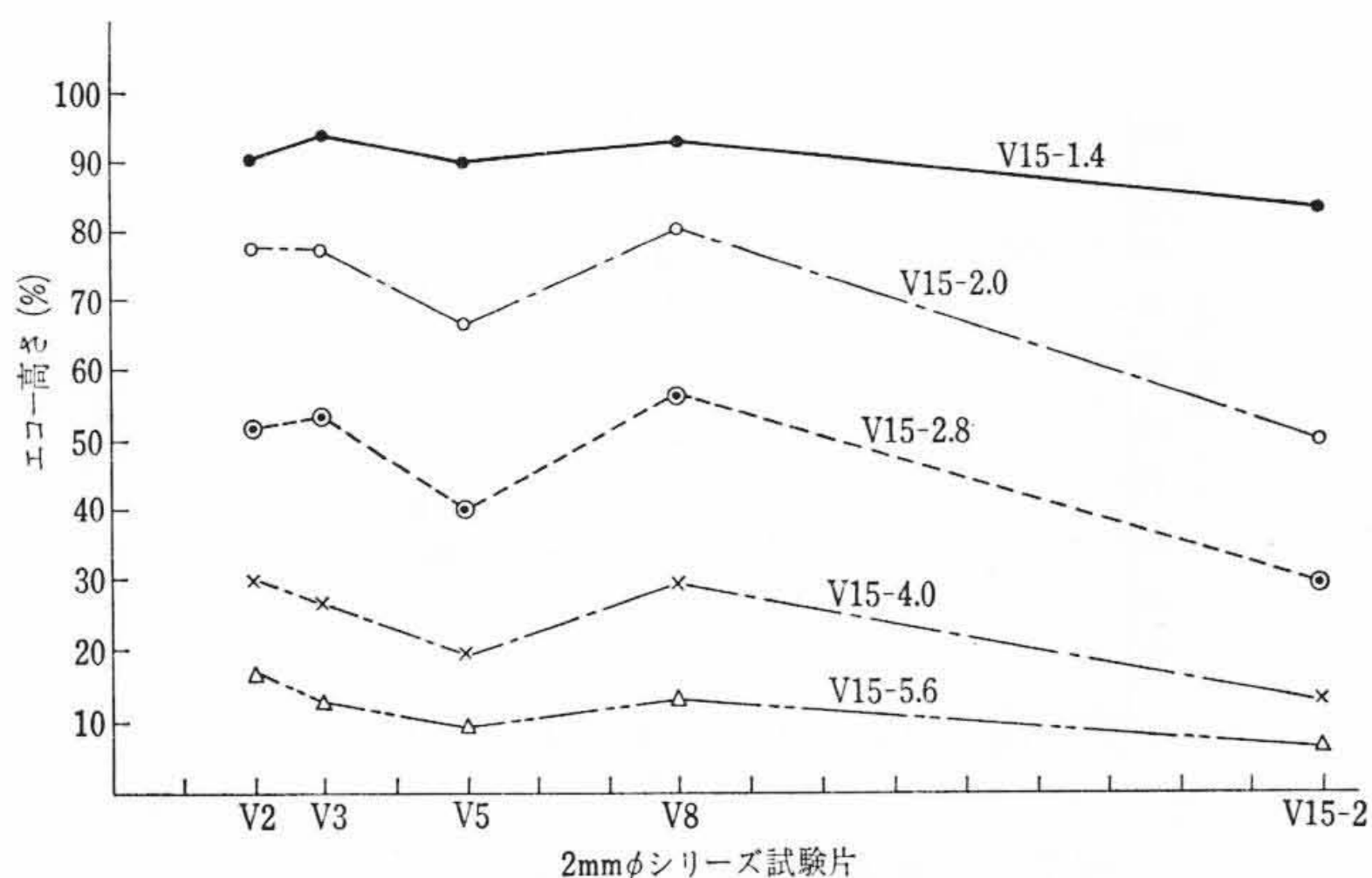


図11 近距離音場の影響 (2.25 MHz)

図10および図11はその範囲と影響程度を調べた結果例を示したものである。これは学振Ⅲ型感度標準試験片で2mmφの平底ドリル穴を有し欠陥までの距離の異なる5個の試験片(V-2, V-3, V-8, V15-2)を使用し欠陥径の異なるV15シリーズの欠陥エコーを50%に設定した場合のエコーの変化を調べたものである。

今回の実験結果から近距離の影響が及ぶ範囲は探触子の表面から約80mm程度であることがわかった。しかしこの範囲は周波数、

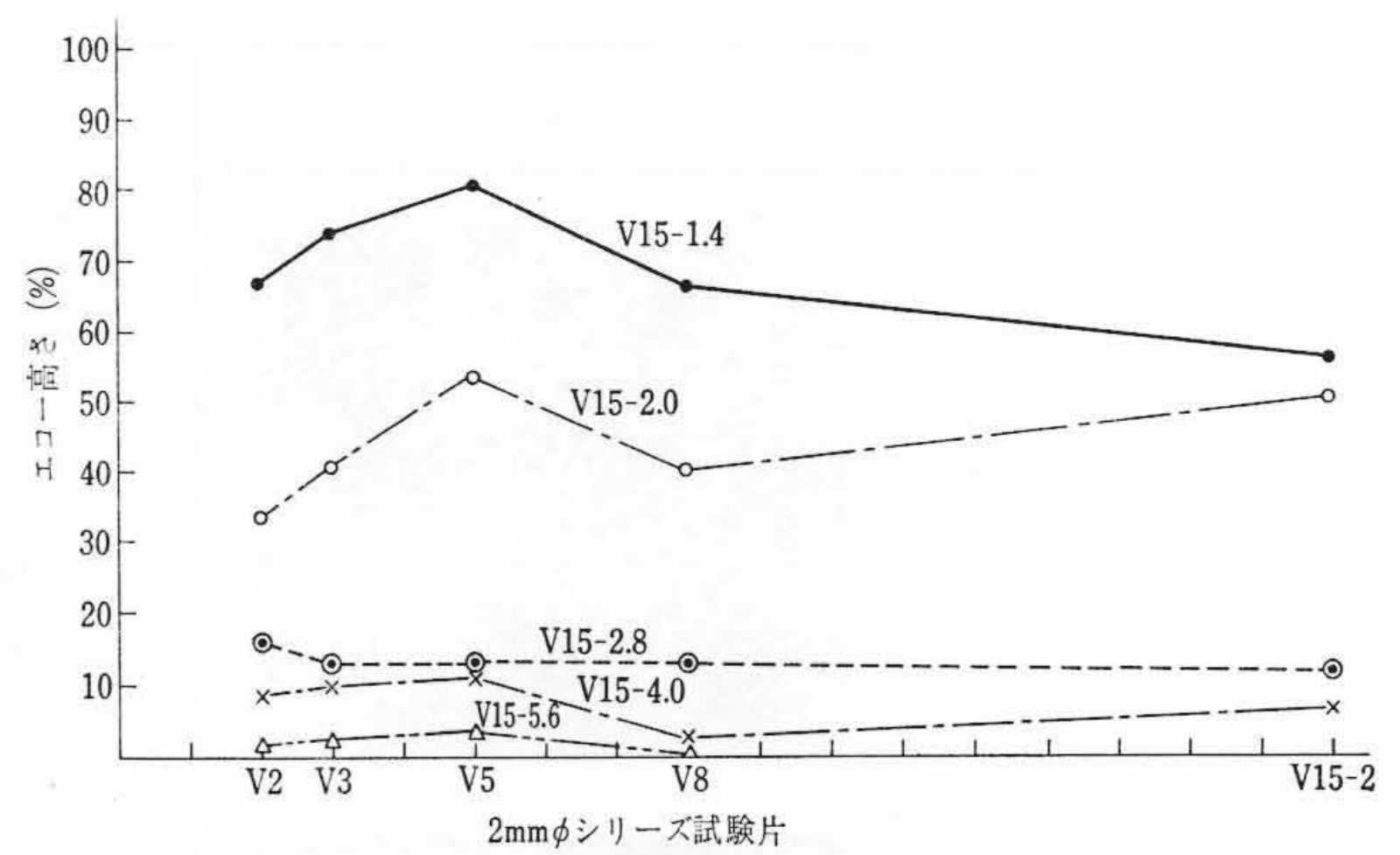


図12 近距離音場の影響 (5 MHz)

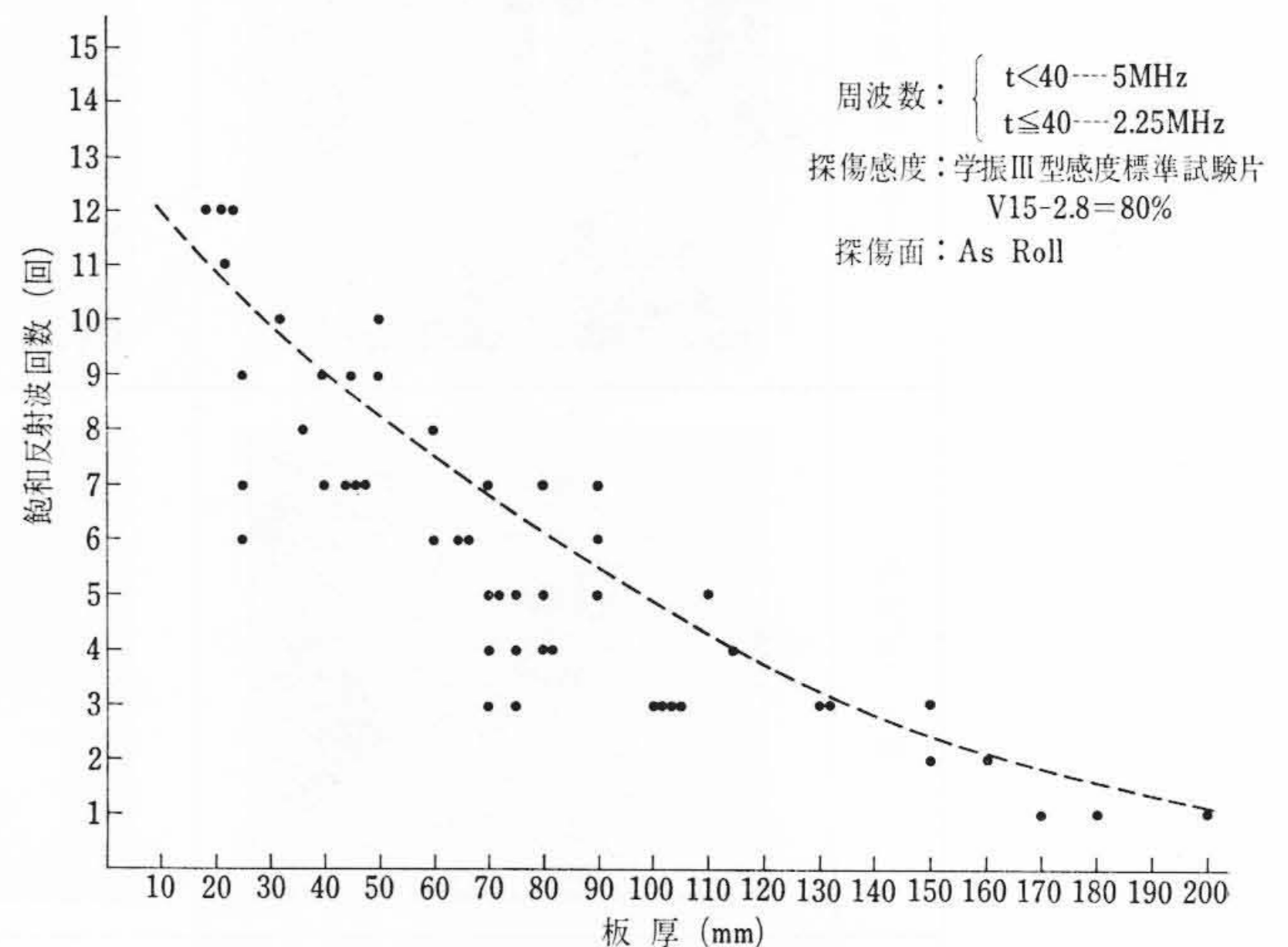


図13 鋼板の超音波探傷における飽和反射波回数

感度ファクタの組合せ、その他で変化する。またその影響度も変化する。しかし一様にこの範囲で感度低下が起こる。

一般圧延鋼板においては0~80mmがもっとも多く用いられるだけに探傷感度設定上なんらかの形で補正する必要があるが、その補正は後述の板厚効果による減衰を調整して決定すべきである。直接探傷法で一般に使用される探触子がピストン運動をするために現われる近距離干渉帯の近傍の近距離音場、特に鋼など固体中における現象はまだじゅうぶんに解明されていないので今後さらに研究する必要がある。

3.4 飽和反射波回数 (板厚効果)

超音波の音響エネルギーの減衰要素として距離(板厚)による減衰がある。これも探傷感度決定のうえで加味しなければならない条件である。この減衰程度を実際の鋼板であたって調べた結果は図13に示すとおりである。実験結果から板厚効果による飽和反射波回数の減衰はほぼ反比例している。

4. 結 言

鋼板の超音波探傷の基準を作る場合は非破壊検査の領域だけでなく鋼材そのものの基本的問題を解明したうえで検討しなければならない。

今回は探傷上考慮すべき点についてその一部を紹介した。今後鋼板の基礎的なデータが積み上げられるなかで鋼板の内在欠陥と超音波探傷の関係を研究していく必要がある。

参 考 文 献

- (1) 学振振興会製鋼第19委員会編：超音波探傷法 (日刊工業新聞社)
- (2) 日本鉄鋼協会編：鋼材の性質と試験 (地人書館)
- (3) 厚板超音波探傷研究会編：超音波探傷の実例—厚鋼板への応用—